



**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SASSARI**

*Dipartimento di Architettura Design e Urbanistica*

*Scuola di Dottorato di Ricerca in Architettura e Ambiente*

*ciclo XXXII*

Tesi di Dottorato:

**APPLICAZIONE DI NUOVE TECNOLOGIE PER IL  
MONITORAGGIO DI AMBIENTI MARINO-COSTIERI**

Relatore: Prof. Vincenzo Pascucci

Coordinatore: Prof. Vincenzo Pascucci

Dottorando:

Mario De Luca

Anno Accademico 2018-2019



La presente tesi è stata prodotta durante la frequenza del corso di dottorato in **Architettura e Ambiente** dell'Università degli Studi di Sassari, A.A. 2018/2019 – XXXII ciclo, con il sostegno di una borsa di studio finanziata con le risorse del P.O.R. SARDEGNA F.S.E. 2014-2020 Asse III - Istruzione e Formazione - Obiettivo Tematico 10 “Investire nell’istruzione, nella formazione e nella formazione professionale per le competenze e l’apprendimento permanente”.

# INDICE

<b>1. INTRODUZIONE</b> .....	<b>4</b>
<b>2. OBIETTIVI</b> .....	<b>5</b>
<b>3. MATERIALI E METODI</b> .....	<b>6</b>
3.1 Sistemi di rilevamento dati marini finalizzati ad acquisire dati ad alta ed altissima risoluzione .....	6
3.1.1 Side Scan Sonar .....	6
3.1.2 Remoted Operated Vehicle (ROV) .....	9
3.1.3 Drone .....	13
3.2 Strumentazione non marina finalizzata alla caratterizzazione dei siti di stoccaggio delle banquettes di <i>Posidonia oceanica</i> .....	14
3.2.1 Ground penetrating radar G.P.R. ....	14
<b>4. CAMPI DI APPLICAZIONE DEGLI STRUMENTI</b> .....	<b>18</b>
4.1 Premessa .....	18
4.1.2 Applicazioni.....	19
<b>4.2 Aggiornamento della carta biocenotica dell'area Marina Protetta Capo Caccia-Isola     Piana</b> .....	<b>19</b>
4.2.1 Introduzione.....	19
4.2.2 Materiali e Metodi .....	20
4.2.3 Risultati.....	20
4.2.4 Conclusioni.....	21
4.2.5 Bibliografia.....	22
<b>4.3 Monitoraggio dell'habitat a Coralligeno nell'AMP "Isola dell'Asinara"</b> .....	<b>23</b>
4.3.1 Introduzione .....	24
4.3.2 Morfologia dei fondali .....	25
4.3.3 Materiali e Metodi .....	25
4.3.4 Campagna attuale .....	26
4.3.5 Risultati.....	28
4.3.6 Discussione.....	34
4.3.7 Bibliografia.....	35
<b>4.4 Il Litorale di Alghero</b> .....	<b>36</b>
4.4.1 Premessa .....	36
4.4.2 <i>Posidonia oceanica</i> .....	37
4.4.2.1 Caratteristiche Biologiche .....	37

4.4.2.2 Lo Spiaggiamento della <i>Posidonia oceanica</i> .....	40
4.4.2.3 Banquettes .....	41
<b>4.5 Normativa</b> .....	<b>42</b>
4.5.1 Normativa di riferimento praterie di <i>Posidonia oceanica</i> .....	42
4.5.2 Posidonia spiaggiata, normativa italiana.....	43
4.5.3 Indicazioni del ministero dell'ambiente.....	44
<b>4.6 Valutazione degli accumuli di <i>Posidonia oceanica</i> lungo Il Litorale di Alghero (Spiagge di San Giovanni e Maria Pia)</b> .....	<b>48</b>
4.6.1 Inquadramento dell'area di studio.....	48
4.6.2 L'area di studio.....	50
4.6.3 I sedimenti.....	53
4.6.4 Bilancio sedimentario.....	54
4.6.5 Variazione della linea di riva del litorale .....	56
4.6.6 Opere di difesa del litorale .....	58
4.6.7 Relazione tecnica.....	59
4.6.8 Lo stato dei luoghi e i fenomeni eolici.....	59
4.6.9 Inquadramento urbanistico.....	60
4.6.10 Intervento proposto .....	60
4.6.11 Pulizia del litorale di Alghero .....	67
4.6.12 Sito di stoccaggio temporaneo della Posidonia oceanica spiaggiata di San Giovanni	69
4.6.13 Scavi con terna .....	70
4.6.14 Acquisizione dati georadar (GPR) .....	74
4.6.15 Processing dei dati.....	78
4.6.16 Analisi dei dati GPR, antenna 80 MHz.....	78
4.6.17 Interpretazione dei dati.....	79
4.6.18 Analisi dei dati GPR, antenna 200 .....	81
4.6.19 Analisi dei dati GPR, antenna 600 MHz.....	85
4.6.20 Tomografie.....	86
4.6.21 Conclusioni GPR.....	87
4.6.22 Sito di stoccaggio temporaneo di Villa Segni .....	87
4.6.23 Bonifica dei siti di stoccaggio temporaneo di San Giovanni e Villa Segni .....	90
4.6.24 Tipologie di intervento .....	90



<b>5. PROGETTO PILOTA RELATIVO AL RIPOSIZIONAMENTO IN MARE DELLA POSIDONIA OCEANICA SPIAGGIATA SUGLI ARENILI DI SAN GIOVANNI, MARIA PIA, PUNTA NEGRA - ALGHERO .....</b>	<b>90</b>
5.1 Premessa.....	90
5.2 Fasi Del Progetto.....	88
5.2.1 Fase I individuazione dei siti di esperimento.....	90
5.2.2. Logistica.....	93
5.3 Tempistica fase 1.....	93
5.3.1 Fase II riposizionamento in mare nei siti di esperimento della Posidonia spiaggiata...	93
5.3.2 Raccolta della Posidonia spiaggiata.....	94
5.3.3 Immersione della Posidonia spiaggiata nei tre siti dell'esperimento.....	95
5.4.2 Tempistica fase 2.....	95
5.4.1 Fase III monitoraggio.....	95
5.4.2 Tempistica fase 3.....	96
5.5 Piano Di Monitoraggio.....	96
5.6 Attrezzature.....	96
<b>6. SMANTELLAMENTO DEL SITO, VAGLIATURA IN POSTO DEGLI ACCUMULI DI POSIDONIA E RIPOSIZIONAMENTO DELLA SABBIA RECUPERATA SULL'ARENILE.....</b>	<b>97</b>
6.1 Sito di Villa Segni.....	97
6.2 Analisi delle sabbie vagliate.....	103
6.3 Conclusioni sullo smantellamento del sito di Villa Segni.....	106
6.4 Sito di San Giovanni.....	106
6.5 Conclusioni.....	113
<b>7. ANALISI DELLA FREQUENTAZIONE SULLE SPIAGGE DI BALISTRA E RONDINARA (BONIFACIO-CORSICA) .....</b>	<b>114</b>
7.1 Premessa.....	114
7.2 Obbiettivi.....	114
7.3 Materiali e metodi.....	116
7.4 Risultati.....	117
7.5 Discussione.....	117
<b>8. CONCLUSIONI.....</b>	<b>118</b>
<b>9. BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>120</b>
<b>10. ALLEGATI.....</b>	<b>123</b>

## 1. Introduzione

La caratterizzazione dei fondali marini e delle aree costiere ad essi collegati attraverso l'acquisizione degli elementi morfologici e geologici, il rilevamento di emergenze idriche e/o emissioni gassose e il censimento del contesto ecologico è essenziale per la conservazione, tutela e gestione delle zone chiave degli ecosistemi marini europei (Consiglio "Pesca" di Lussemburgo 2001) e per l'attuazione della direttiva "Habitat" nell'Ambiente Marino Protetto (AMP). La cartografia marina, sia questa biocenotica che geologica se collegata ad un database GIS, è il primo ed essenziale strumento su cui inserire tutte le variabili ambientali, per valutare l'evoluzione spazio-temporale delle dinamiche costiere e programmare in maniera efficace gli interventi di tutela e gestione delle risorse. Oggi grazie all'introduzione di soluzioni robotiche a guida remota (ROV, SIDE SCAN SONAR, DRONE) e a nuove generazioni di sensori, è possibile programmare soluzioni ed approcci multidisciplinari con cui acquisire a basso costo e gestire con sistemi GIS i dati acquisiti per produrre carte tematiche.

Nell'ambito del progetto di dottorato sono stati sperimentati 2 sistemi di rilevamento: uno marino finalizzato ad acquisire dati ad alta ed altissima risoluzione nella fascia batimetrica compresa tra 0 e -10m,, l'altro terrestre finalizzato ad acquisire dati ad altissima risoluzione sugli arenili. In particolare, sono state sviluppate strategie di acquisizione dati Side Scan Sonar ad alta risoluzione in acque basse (-5 e -2.5m), capaci di dialogare ed integrare dati acquisiti con sistemi non oceanografici e georadar finalizzate ad interpretare i dati di sottosuolo della spiaggia emersa. Queste integrazioni hanno permesso di coprire senza soluzione di continuità le aree emerse, quelle sommerse poco profonde e quelle profonde, permettendoci di realizzare delle cartografie molto dettagliate dei fondali della rada di Alghero e della Baia di Porto Conte.

Nel progetto sono stati impiegati, oltre che, Side Scan Sonar e il Remote Operated Vehicle (ROV), anche sistemi classici di rilevamento satellitare, con immagini provenienti sia dal web che da aziende specializzate, che, immagini ad alta risoluzione acquisite con droni a pilota remoto (UAV). Questa ultima tecnologia, semplice da usare e poco costosa, permette la realizzazione di fotografie aeree di zone marine prossime alla costa e di colmare il vuoto lasciato dagli strumenti oceanografici, che per ora non riescono ad acquisire dati a profondità minori di 2.5 m.

Le informazioni acquisite hanno permesso di valutare lo stato della prateria a *Posidonia oceanica*, le dinamiche costiere presenti nella Rada di Alghero e di caratterizzare due siti di stoccaggio temporaneo utilizzati per l'accumulo delle foglie di *Posidonia oceanica* spiaggiate. Il litorale di

Alghero presenta infatti una peculiarità unica nel panorama delle spiagge Sarde in quanto gli accumuli di Posidonia per anno sono di circa 3000 m<sup>3</sup> all'anno, per la maggior parte concentrati nelle spiagge di San Giovanni, Maria Pia e Punta Negra. I grossi accumuli di foglie sono un problema per la fruizione turistica della spiaggia. Spesso si formano delle *banquette* molto spesse che abbastanza frequentemente possono raggiungere il metro di altezza, occasionalmente anche i due tre metri di altezza. Attualmente la Posidonia (sia foglie che *banquette*) viene spostata con mezzi meccanici e stoccata in siti di accumulo temporaneo ubicati nelle spiagge sopracitate.

Sulla base di questo è stato predisposto un piano di intervento nei siti di stoccaggio temporaneo di San Giovanni e Villa Segni per cercare di recuperare la maggior quantità di sabbia possibile e smaltire correttamente le foglie morte di Posidonia.

## 2. Obiettivi

I principali obiettivi del progetto di dottorato consistono nella:

- sperimentazione di sistemi di rilevamento dati marini “low cost” finalizzati ad acquisire dati ad alta ed altissima risoluzione nella fascia batimetrica compresa tra 0 e -10m. fascia attualmente non rilevata da strumenti come il *Side Scan Sonar*;
- creazione di carte biocenotiche e geomorfologiche attraverso l'uso integrato di questi strumenti;
- rilevare e mappare l'habitat a Coralligeno e Maërl attraverso l'uso integrato del ROV (opportunamente modificato), del *Multibeam* e del *Side Scan Sonar*;
- verificare l'origine della *Posidonia* spiaggiata presente lungo il litorale di Alghero (Sardegna, IT), mappando la sua estensione mediante l'uso integrato del *Side Scan Sonar* e del ROV sfruttando le modifiche apportate a tali strumenti;
- caratterizzare i siti di stoccaggio delle foglie di *Posidonia* spiaggiata (San Giovanni, Alghero) attraverso l'utilizzo del *Ground Penetrating Radar (GPR)* allo scopo di definire se questi siano considerabili discariche o meno e, quindi, possano essere recuperati;

- sperimentare nei siti di stoccaggio della *Posidonia* spiaggiata di San Giovanni e Villa Segni (Alghero) alcune tipologie di vagliatura finalizzate al recupero della sabbia frammista alle foglie;
- confrontare le diverse metodologie “sperimentali” di gestione della *Posidonia* spiaggiata in Sardegna con quelle applicate in Corsica.

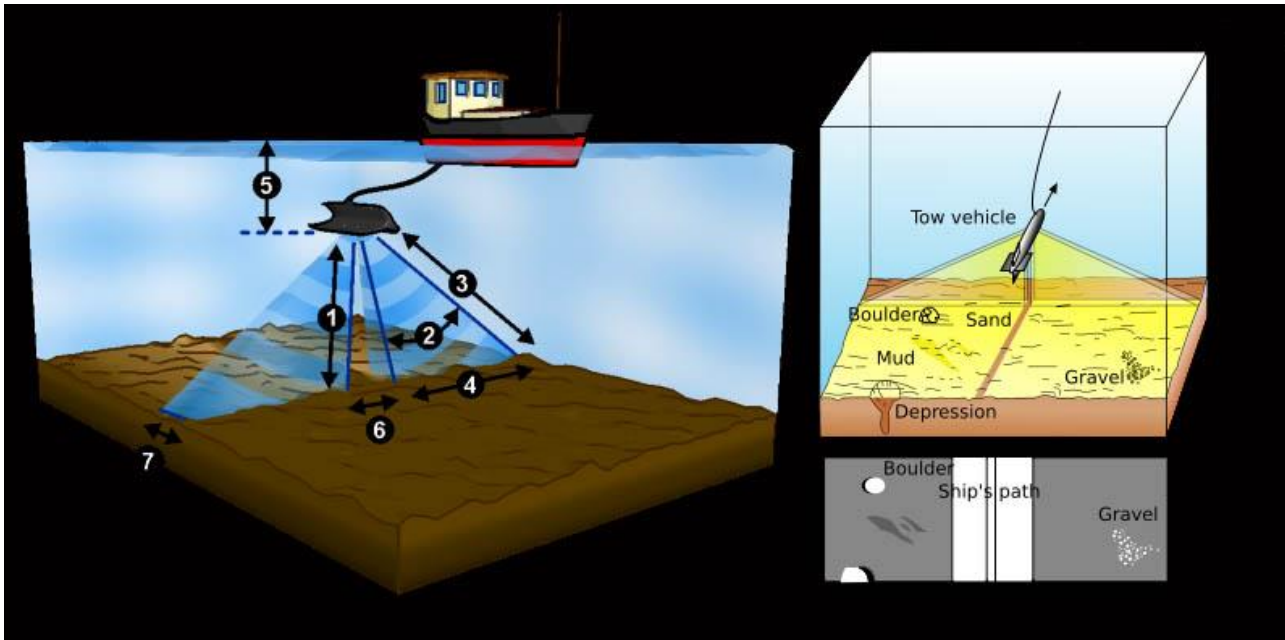
### 3. Materiali e metodi

#### 3.1 Sistemi di rilevamento dati marini finalizzati ad acquisire dati ad alta ed altissima risoluzione

##### 3.1.1 Side Scan Sonar

Il recente sviluppo delle tecnologie militari tipo sonar applicate allo studio dei fondali, ha permesso di realizzare mappe di dettaglio di questi ed in particolare di individuare oggetti presenti sul fondo (come relitti) di dimensioni metriche e, in alcuni casi, sub metriche.

Il sonar comunemente utilizzato per l'analisi dei fondali è del tipo a scansione laterale: *Side Scan Sonar* (SSS) (Fig. 1). Questo strumento consente di ottenere delle immagini morfo-acustiche (sonogrammi) del fondo marino per molti aspetti paragonabili alle foto aeree terrestri. Le immagini vengono acquisite tramite l'emissione di 255 impulsi acustici contemporanei (*ping*) secondo un fascio orientato trasversalmente alla direzione di navigazione (*slate range*). Le onde di ritorno (*backscatter*) provenienti dal fondale vengono captate, registrate e trasformate in immagini. Le immagini acustiche registrano le diverse intensità dell'impulso riflesso dal fondo del mare. Queste sono convertite in tonalità di colore (o grigio); un ritorno molto forte ha toni più chiari (*high backscatter*), mentre un ritorno debole ha toni più scuri (*low backscatter*).



**Figura 1** - Principio di funzionamento del SSS. 1) altezza SSS dal fondo; 2) beam verticale; 3) massimo range acustico-beam laterale; 4) slate range; 5) profondità; 6) separazione canali dx e sx - zona di non acquisizione; 7) larghezza del beam.

#### *Scheda tecnica del Side Scan Sonar utilizzato*

MODELLO: KLEIN 3000 digitale a doppia frequenza 500 e 100 KHz  
 Specifiche dell'unità subacquea (Fig. 2)

#### TOWFISH

- 1) Trasmissione degli impulsi: Tone burst, selezionabile dall'operatore da 25 to 400  $\mu$ secs. Impulsi indipendenti con controllo di frequenza; è dotato di due trasduttori (Fig. 1) per lato costituiti da un'unità di trasmissione (transmitter) ed una di ricezione (receiver)
- 2) Beams Orizzontali.  $0.7^\circ @ 100 \text{ kHz}$ ,  $0.21^\circ @ 500 \text{ kHz}$
- 3) Beams Verticali:  $40^\circ$
- 4) Beam tilt 5, 10, 15, 20,  $25^\circ$  down, aggiustabile;
- 5) Range di scala: 15 settings — 25 to 1,000 meters
- 6) Maximum range 600 meters @ 100 kHz; 150 meters @ 500 kHz
- 7) Profondità operative: 1.500 m
- 8) Costruzione del Towfish: Acciaio inossidabile;
- 9) Lunghezza del Towfish: 122 cm (48 in)
- 10) Diametro del Towfish: 8.9 cm (3.5 in)
- 11) Peso (in aria) 29 kg (63.9 lbs)
- 12) Sensori Standard: roll, pitch, heading



**Figura 2 - Il Towfish e dettaglio del trasduttore**

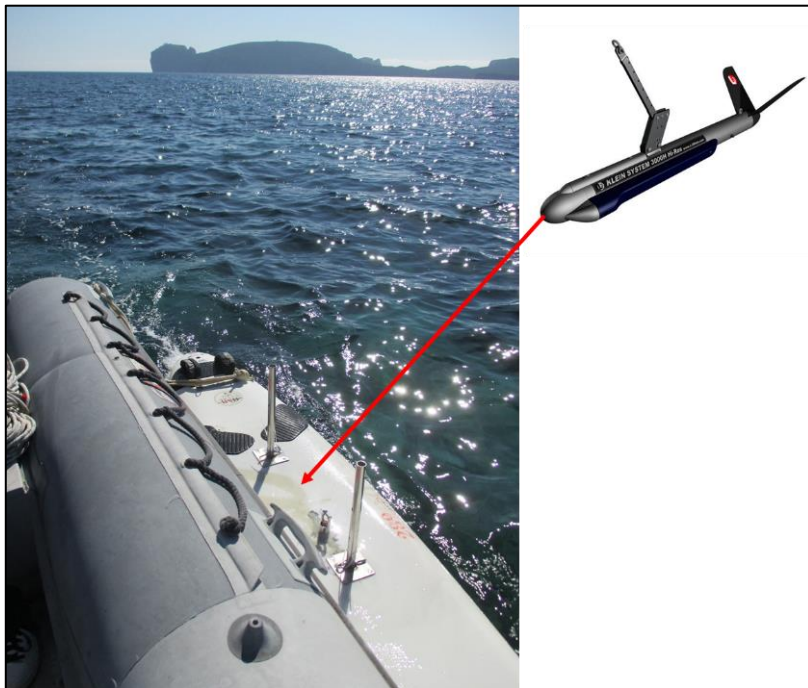
Specifiche dell'Unità di superficie

TRANSCEIVER PROCESSOR UNIT (TPU)

- 1) VxWorks® with custom application;
- 2) Standard 19-inch rack or table mount, VME bus structure;
- 3) Outputs 100 Base-Tx, Ethernet LAN;
- 4) Input di navigazione NMEA 0183;
- 5) Potenza (incluso towfish) 120 W @ 120/240 VAC, 50/60 Hz;
- 6) Alimentazione: generatore 1600 W.

### *Modifiche apportate*

Sono state sviluppate strategie di acquisizione dati Side Scan Sonar ad alta risoluzione capaci di rilevare dati in acque basse (-5 e -2.5m), normalmente infatti tale strumento non acquisisce dati al di sopra degli 8 metri. Ciò è stato possibile posizionando il *towfish* al di sotto di una tavola da surf opportunamente modificata, collegata direttamente all'imbarcazione (Fig. 3). Inoltre, è stata allestita una particolare consolle che ha permesso il posizionamento della TPU e del PC portatile utilizzato per la visualizzazione dei dati e della rotta, su un gommone di 4,8 metri. Questa integrazione ha permesso l'utilizzo del Side Scan Sonar sin sotto costa. Normalmente infatti le classiche acquisizioni SSS si svolgono su imbarcazioni lunghe almeno 10-12 metri, larghe 4-5 metri, con verricello che consentono di trainare il SSS per portarlo ad una determinata altezza dal fondo. Questo è il motivo



**Figura 3** – Tavola da surf opportunamente modificata per ospitare il **towfish**

per cui la fascia batimetrica limite è in genere compresa tra i 10 e gli 8 m.

### **3.1.2 Remoted Operated Vehicle**

R.O.V.: acronimo di Remotely Operated Vehicle – è un **sub robot** che funziona solo se collegato via cavo alla postazione remota di riferimento. Comandato a distanza da imbarcazioni, navi o piattaforme petrolifere, il **robot sub** trova applicazione in numerosi ambiti, anche molto diversi tra loro:

dall'estrazione petrolifera al monitoraggio dei fondali per la tutela dell'ambiente marino, dal recupero di relitti al rilevamento di mine e ordigni subacquei.

Il ROV da noi utilizzato è il modello Velociraptor (Fig. 4) completo di monitor e consolle di comando. Tale strumento, del peso in aria di circa 50 kg, è in grado di operare fino a 400 metri di profondità e dispone di due motori laterali per la propulsione orizzontale e di uno verticale per l'elevazione e l'inabissamento. Completano la dotazione due fari alogeni, due puntatori laser e due telecamere, in grado di realizzare filmati in HD.

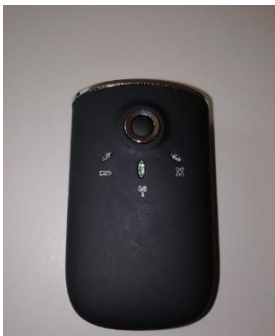


**Figura 4** – ROV, modello Velociraptor



## Modifiche apportate

Il ROV è stato opportunamente modificato, tramite il posizionamento di una videocamera GoPro hero 5 che permette l'acquisizione di video in 4k, portando così a tre le telecamere presenti. La videocamera inserita all'interno di uno scafandro (in grado di resistere alla pressione di 200 ATM) è stata posizionata su una staffa in acciaio inox fatta costruire appositamente. All'interno di questa, sono stati posizionati due laser distanti 10 cm l'uno dall'altro per rilevare la dimensione degli oggetti/organismi presenti sul fondale (Fig 6A). Inoltre, è stato progettato e realizzato un sistema di posizionamento low cost costituito da un'antenna GPS Bluetooth (Fig. 5) posta all'interno di un



**Figura 5** – Antenna GPS Bluetooth

galleggiante in superficie, collegato tramite sagolino, direttamente al ROV. L'antenna trasmette i dati al PC portatile presente nell'imbarcazione, in questo modo è possibile rilevare la sua posizione, senza ricorrere ai più costosi sistemi di posizionamento USBL, che possono arrivare a costare decine di migliaia di euro. I confronti fatti tra il sistema low cost e l'USBL da noi normalmente utilizzato (MicroNav System - Trittech) (Fig. 6B) ha permesso di definire minimo lo scarto nella precisione dei due sistemi.



**A**



**B**

**Figura 6** – **A**-piastra in acciaio inox con laser subacquei e scafandro per Go Pro – **B**-USBL Micronav System-Trittech



**A**



**B**

**Figura 7** – **A** consolle di comando con monitor e pc. **B** Rov con cavo ombelicale e imbarcazione d'appoggio

### 3.1.3 Drone

I droni (Fig. 8 e 9) sono Aeromobili a Pilotaggio Remoto (UAV) ovvero dispositivi di varie dimensioni capaci di librarsi in cielo senza necessità di un pilota a bordo, che rimane a terra – o su un veicolo adiacente armato di radiocomando per dirigerne i movimenti.

In questo lavoro di tesi sono stati utilizzati due tipi di droni:

1. DJ Mavic pro Drone con Video 4K Full-HD, 32 Megapixel, Fotocamera con gimbal a 3 assi: La fotocamera integrata di Mavic Air ha un sensore CMOS da 1/2,3" e 12 megapixel e un obiettivo f/2.8 con distanza focale equivalente a 24 mm.
2. Dji Phantom 3 Advanced (Fig. 8) con: sensore- larghezza: 6.16 mm - altezza :4.62 mm- numero massimo di pixel presenti nella foto: 4000 x 3000 (larghezza per altezza), lente: 20mm f2.8 ossia un angolo di campo pari a 94°.

La scelta dei due droni è stata motivata dal basso costo di acquisto degli strumenti in funzione della qualità delle immagini ottenute.



**Figura 8** - Drone DJ Mavic Pro



**Figura 9** - Dji Phantom 3 Advanced

## 3.2 Strumentazione non marina finalizzata alla caratterizzazione dei siti di stoccaggio delle *banquettes* di *Posidonia oceanica*

### 3.2.1 Ground Penetrating Radar G.P.R.

Il georadar, noto anche come G.P.R. (Ground penetrating radar) permette di investigare la struttura e composizione del sottosuolo attraverso l'analisi delle riflessioni di onde elettromagnetiche trasmesse nel terreno. Il sistema viene utilizzato in geofisica a partire dagli anni Sessanta e consente lo studio del primo sottosuolo, tramite una metodologia non invasiva. Gli impulsi elettromagnetici vengono emessi tramite un trasduttore (antenna) e il moto degli elettroni genera un campo magnetico. L'impulso si propaga verticalmente nel terreno con una certa velocità; quando incontra un'interfaccia (superficie di contatto tra due materiali diversi) parte dell'impulso viene riflesso verso la superficie (Fig. 10). Il G.P.R. opera generalmente a distanza di pochi metri, la sua risoluzione è dell'ordine di una decina di centimetri e basa il proprio funzionamento sulla riflessione subita da un'onda elettromagnetica nel momento in cui essa, attraversando il materiale con una determinata costante dielettrica relativa, incontra la superficie di un oggetto con costante dielettrica relativa differente da quella del mezzo in cui si sta diffondendo. Il segnale emesso si ripete secondo una cadenza prestabilita. Si ottiene una rappresentazione bidimensionale o sezione elettromagnetica o radargramma (in metri/tempo).

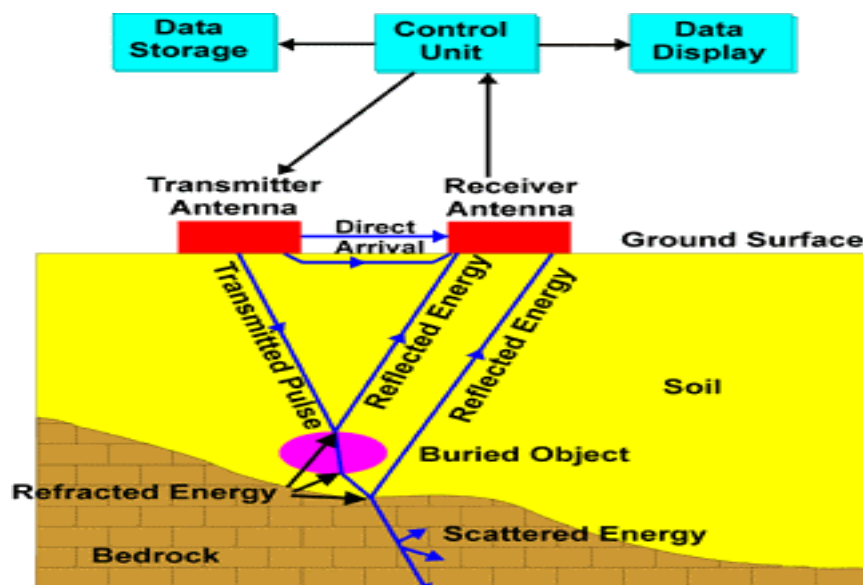


Figura 10 - Radiazione dell'onda elettromagnetica nel terreno.



La velocità di propagazione ( $V_r$ ) è essenziale per misurare correttamente la profondità dei bersagli; essa è in funzione delle proprietà dielettriche del terreno. La conducibilità elettrica ( $\sigma$ ) è la capacità del materiale a far transitare la corrente e si misura in Siemens/m o mho/m. In generale la conducibilità rende la penetrazione del segnale difficoltosa. I segnali vengono registrati in formato digitale, per la successiva elaborazione ed interpretazione. Eventuali oggetti presenti nel terreno rilevato, generano nei radargrammi delle caratteristiche forme iperboliche. Il raggio incidente ha la stessa direzione, ma inversa di  $90^\circ$  del raggio riflesso. Le loro velocità sono uguali: un secondo per arrivare alla discontinuità e un secondo per arrivare in superficie, il segnale che registriamo ha tempi doppi. Il ricevitore registra una variazione di impedenza che è la variazione della normale in un tracciato d'onda (ogni volta che è presente una discontinuità, l'onda descrive un'oscillazione anomala rispetto alle oscillazioni normali). Tale metodo consente di produrre una "sezione" del terreno indagato a partire da una profondità di alcuni metri fino al limite di alcune decine di metri. La sezione è il risultato di molteplici cicli di trasmissione e ricezione degli impulsi radar.

#### *Composizione del georadar*

Il georadar è composto da varie unità (Fig. 11 e 13):

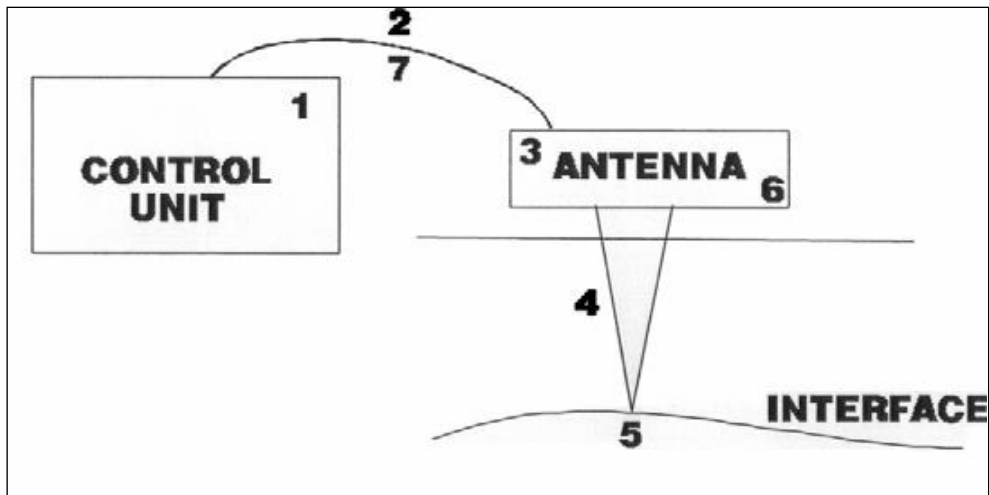
##### *Unità antenne:*

Può essere composta da una sola antenna e da più antenne integrate. Le antenne a bassa frequenza sono di norma di dimensioni più grandi di quelle ad alta frequenza.

Gli impulsi all'antenna sono dati da un encoder montato su di una ruota di cui si conosce il raggio. Ad ogni movimento definito della ruota corrispondono una serie di impulsi dell'antenna. Se la ruota è ferma non si emettono impulsi.

*Unità di alimentazione:* batterie.

Unità di controllo: controllo funzioni, visualizzazione dei dati, elaborazione dei dati e registrazione dei dati. Il computer è collegato via LAN alla DAD (Digital Antenna Driver), che è la sorgente delle emissioni di onde elettromagnetiche.



**Figura 11** - Schema di funzionamento del G.P.R.



**Figura 12** - Hi-Mod duo

La profondità di penetrazione di un segnale Georadar dipende dalle proprietà elettriche del mezzo investigato e dalle antenne usate. In generale si può coprire una profondità tra i 4 cm e i 50m.

La profondità di penetrazione diminuisce se la conducibilità aumenta e se la presenza d'acqua, argilla, minerali e inquinanti aumenta. L'operatore non può modificare questi fattori perché sono proprietà fisiche dell'ambiente in cui stiamo realizzando un'indagine.

La profondità di penetrazione aumenta se la frequenza dell'antenna diminuisce, se la potenza del segnale trasmesso aumenta e se la sensibilità del ricevitore aumenta. Questi fattori sono controllabili essendo caratteristiche fisiche dello strumento che stiamo utilizzando.

### *Performance antenne.*

Ogni antenna ha una sua frequenza nominale di emissione e viene scelta a seconda delle specifiche problematiche da affrontare. L'antenna viene fatta scorrere sulla superficie del terreno e i segnali captati dalla componente ricevente vengono visualizzati sul monitor dello strumento o di un computer portatile per il controllo delle funzioni dello strumento e della qualità delle registrazioni.

Le antenne a bassa frequenza hanno maggiore lunghezza d'onda, maggiore dimensione d'antenna, minore risoluzione, minore sensibilità, maggiore profondità e minore sensibilità al clutter (es. antenna da 200MHz).

Le antenne ad alta frequenza hanno minore lunghezza d'onda, minore dimensione d'antenna, maggiore risoluzione, maggiore sensibilità, minore profondità e maggiore sensibilità al clutter (es. antenna da 600MHz) (Fig. 12). Esiste una sorta di relazione inversa tra profondità di penetrazione e risoluzione. Con un'antenna da 80MHz avremo una rappresentazione meno accurata della superficie sepolta, al contrario con un'antenna da 600MHz avremo una risoluzione molto più elevata. Inoltre, bisogna tener conto che se c'è una trasmittente radio attiva nelle vicinanze del rilievo, ci possono essere interferenze con il segnale registrato. Generalmente questo problema si presenta quando il sito è vicino a basi militari o aeroporti, ma è meglio evitare anche l'uso di cellulari e walkie-talkie.



**Figura 13** – Georadar con operatore

## **4. Campi di applicazione degli strumenti**

### **4.1 Premessa**

La cartografia biocenotica e geomorfologica, inserita in un database GIS è il primo riferimento essenziale su cui inserire le condizioni ambientali, valutarne l'evoluzione spazio-temporale in relazione alle dinamiche costiere e ai cambiamenti climatici in modo da poter programmare in maniera efficace gli interventi di tutela e gestione delle risorse. Dapprima sviluppate in ambito terrestre, le tecniche di rappresentazione cartografica sono state in seguito applicate allo studio degli ambienti marini. Le carte geografiche e le tematiche tradizionali, su supporto cartaceo, sono state superate dalle nuove tecniche più adeguate a rappresentare modelli complessi a scale spaziali e temporali diversificate come quelli che servono a descrivere gli ecosistemi marini ed i loro processi ecologici. Lo sviluppo dei sistemi informativi geografici e delle tecniche di rappresentazione grafica digitale ha permesso alla cartografia bionomica, considerata già da decenni strumento primario di analisi e conoscenza degli ecosistemi marini, di superare i limiti imposti dalle tecniche di rappresentazione cartacea e dei modelli plastici in scala.

La biocartografia unita alla geomorfologia rappresenta uno dei più utili strumenti di gestione della fascia costiera, fornendo, attraverso una visualizzazione rapida ed efficace sia delle componenti biotiche che abiotiche caratterizzanti un ambiente, la possibilità di sviluppare piani d'azione a vario



livello, a partire dalla corretta definizione di piani di monitoraggio fino a progetti di gestione integrata della fascia costiera.

L'acquisizione dati per la realizzazione delle cartografie dei lavori inseriti in elenco è avvenuta tramite l'utilizzo integrato di una serie di strumenti opportunamente modificati.

Sono state infatti sviluppate strategie di acquisizione dati Side Scan Sonar ad alta risoluzione capaci di rilevare dati in acque basse (-5 e -2.5m), normalmente infatti tale strumento non acquisisce dati al di sopra degli 8 metri. Ciò è stato possibile posizionando il *towfish* al di sotto di una tavola da surf opportunamente modificata, collegata direttamente all'imbarcazione (Fig. 3). Inoltre, è stata allestita una particolare consolle che ha permesso il posizionamento della TPU e del PC portatile utilizzato per la visualizzazione dei dati e della rotta, su un gommone di 4,8 metri. Questa integrazione ha permesso l'utilizzo del Side Scan Sonar sin sotto costa.

Il ROV utilizzato è il modello Velociraptor (ElettronicaEnne) (Fig. 4) completo di monitor e consolle di comando (vedi cap 3.1.2).. Oltre che il Side Scan Sonar e il ROV sono stati impiegati anche sistemi classici di rilevamento satellitare, con immagini provenienti sia dal web che da aziende specializzate, che immagini ad alta risoluzione acquisite con droni a pilota remoto (UAV). Questa ultima tecnologia, semplice da usare e poco costosa, ha permesso di realizzare fotografie aeree di zone marine prossime alla costa e di colmare il vuoto lasciato dagli strumenti oceanografici, che per ora non riescono ad acquisire dati a profondità minori di 2.5 m.

#### **4.1.2 Applicazioni**

### **4.2 Aggiornamento della carta biocenotica dell'area Marina Protetta Capo Caccia-Isola Piana**

#### **4.2.1 Introduzione**

Il presente lavoro ha lo scopo di presentare tramite una mappa (Fig. 14) lo stato attuale delle biocenosi dell'Area Marina Protetta (AMP) Capo Caccia-Isola Piana e confrontare la situazione attuale con quella rilevata nel 2008. Il grande valore patrimoniale, ecologico ed economico delle biocenosi dell'area oggetto di studio, impone infatti, un costante monitoraggio poiché alcuni fenomeni come la riduzione di superficie colonizzata dalle praterie a *Posidonia oceanica* e l'arretramento di alcuni tratti del suo limite inferiore sono indicativi di alterazioni dello stato di equilibrio dell'area in oggetto. Seguire nel tempo l'evoluzione delle più importanti biocenosi presenti nell'area permette di diagnosticarne le loro tendenze (Chessa et al., 1988; Cossu et al., 2001; AMP C. Caccia I. Piana,

2008). Tra le biocenosi più importanti c'è la prateria a *P. oceanica*. La sua maggiore estensione si trova all'interno della baia di Porto Conte. Questa baia particolarmente riparata è intensamente frequentata, soprattutto nel periodo estivo, dal diporto nautico, esponendola ad un intenso impatto antropico. Impatto accentuato anche dalla presenza di due porti turistici.

La baia, inoltre, è sito preferenziale di pesca sia tradizionale che a strascico, quest'ultima fatta in modo illegale. Questo tipo di pesca altera in modo irreversibile la matre della prateria provocando profondi solchi che contribuiscono ad accelerare il degrado della prateria stessa (Milazzo et al., 2002). Degrado evidenziato da grandi estensioni di "matte" morta sia superficiali che profonde e da aree con bassa densità delle piante (Cossu et al., 2001).

*Il presente lavoro è stato pubblicato sul JOM e viene allegato come pdf alla fine della tesi.*

#### **4.2.2 Materiali e metodi**

Lo studio del tratto costiero e della parte interna della baia di Porto Conte è stato effettuato attraverso l'analisi di foto aeree (Ortofoto RAS 2008), di foto ottenute tramite l'utilizzo di un drone modello *Dji Phantom 3 Advanced* e da immagini satellitari (Basemap ESRI). Per l'analisi dei fondali è stato utilizzato il Sonar a scansione laterale KLEIN SYSTEM 3000 con le modifiche precedentemente illustrate. Le riprese video sono state effettuate con il R.O.V. modello "Velociraptor" descritto in precedenza. L'area marina è stata idealmente divisa in unità ambientali che rappresentano zone con situazioni biocenotiche e morfologiche affini e con relazioni simili tra le attività antropiche e territorio.

#### **4.2.3 Risultati**

L'unità ambientale "*Le falesie del versante di Ponente*" mostra una superficie di 530 ha. Si possono distinguere biocenosi dei fondali con disposizione orizzontale poco distanti dalla falesia e quelle verticali prossimali ad essa o loro stessa continuazione della parte sommersa. Le principali biocenosi sono rappresentate dai *Popolamenti infra-circalitorali delle Sabbie Medie interessate da correnti di Fondo - (SGCF)* caratterizzate dalla presenza di alghe bune (dictiotacee e cystoseire di fondo) che rappresentano oltre il 60% dei fondali; segue la *prateria a Posidonia oceanica* con il 14%. Tra quelle a disposizione verticale risultano ben rappresentate le *Biocenosi emifotofile delle superfici in roccia infralitorale (RIHC)* con il 17%. L'unità ambientale "*Le piccole isole del versante di Ponente (Foradada e Piana)*" mostra una superficie totale di 37,6 ha, e contiene le *Biocenosi sciafile infralitorali su roccia a Cystoseira ssp.* e saltuaria presenza di *Posidonia oceanica*. L'unità

ambientale “*La Baia di Porto Conte*” con i suoi 1754 ha, è la più estesa; la principale biocenosi è la prateria a *Posidonia oceanica* su sabbia (958 ha), con il 55% della superficie. I canali intramatte sono frequentemente presenti e la gran parte di essi deve la loro origine allo strascico e l’ancoraggio. La superficie complessiva del posidonieto degradato ammonta a 40 ha e sono stati rilevati oltre 360 solchi di cui la maggior parte mostra una dimensione compresa tra 1000 e i 3000 m<sup>2</sup>, che giustifica il tendenziale aumento del fenomeno erosivo costiero con conseguente arretramento del limite superiore del posidonieto. I canali di maggiore dimensione sono collocati nella parte mediana della baia tra i 18 e i 27 m. Tale area risente dell’ancoraggio delle navi e imbarcazioni che trovano riparo durante le tempeste di maestrale. Nella baia risultano ben rappresentate anche i *Popolamenti delle Sabbie Medie interessate da correnti di Fondo-Infracircolitorali (SGCF) - facies a Spatangidi* con il 21% di superficie che confinano con il limite inferiore della Posidonia.

L’unità ambientale “*Il promontorio di Punta Giglio*” con 247 ha contiene i *Popolamenti delle Sabbie Medie interessate da correnti di Fondo-Infracircolitorali (SGCF)* che rappresentano il 61% della superficie; è presente la prateria su sabbia con il 26% della superficie; risultano ben rappresentate anche le *Biocenosi emifotofile delle superfici in roccia infralitorale (RIHC)* e le *Biocenosi fotofile delle superfici in roccia infralitorali superiori in moda calma (RIPC)*.

#### **4.2.4 Conclusioni**

L’analisi comparata dei rilievi eseguiti negli anni precedenti con gli attuali evidenzia come nella baia sono presenti grandi estensioni di “matte” morta in sostanziale aumento come anche aree a prateria con basse densità anch’esse in ampliamento; tali condizioni sono sicuramente indice di un fenomeno di deterioramento ambientale su larga scala che interessa ormai molti tratti delle coste sarde. Si evidenzia altresì un arretramento del limite superiore e la presenza di ampi canali intermatte di chiara origine antropica in ampliamento sia in frequenza sia in lunghezza. Le zone sottoposte a tutela integrale, incluse nell’unità ambientale “*Le piccole isole del versante di Ponente*”, e nel primo tratto della falesia del versante orientale mostrano come l’elevato regime di protezione presenti la sua efficacia sia sulle comunità bentoniche qui integre sia sulla fauna ittica, eterogenea e ben strutturata nelle taglie. In conclusione, si auspica che vengano prodotte successive ricerche, continuando il controllo sull’efficacia delle misure di salvaguardia adottate, per valutare se queste siano veramente efficaci o se debbano essere rimodulate in rapporto all’evoluzione dell’uso del territorio.

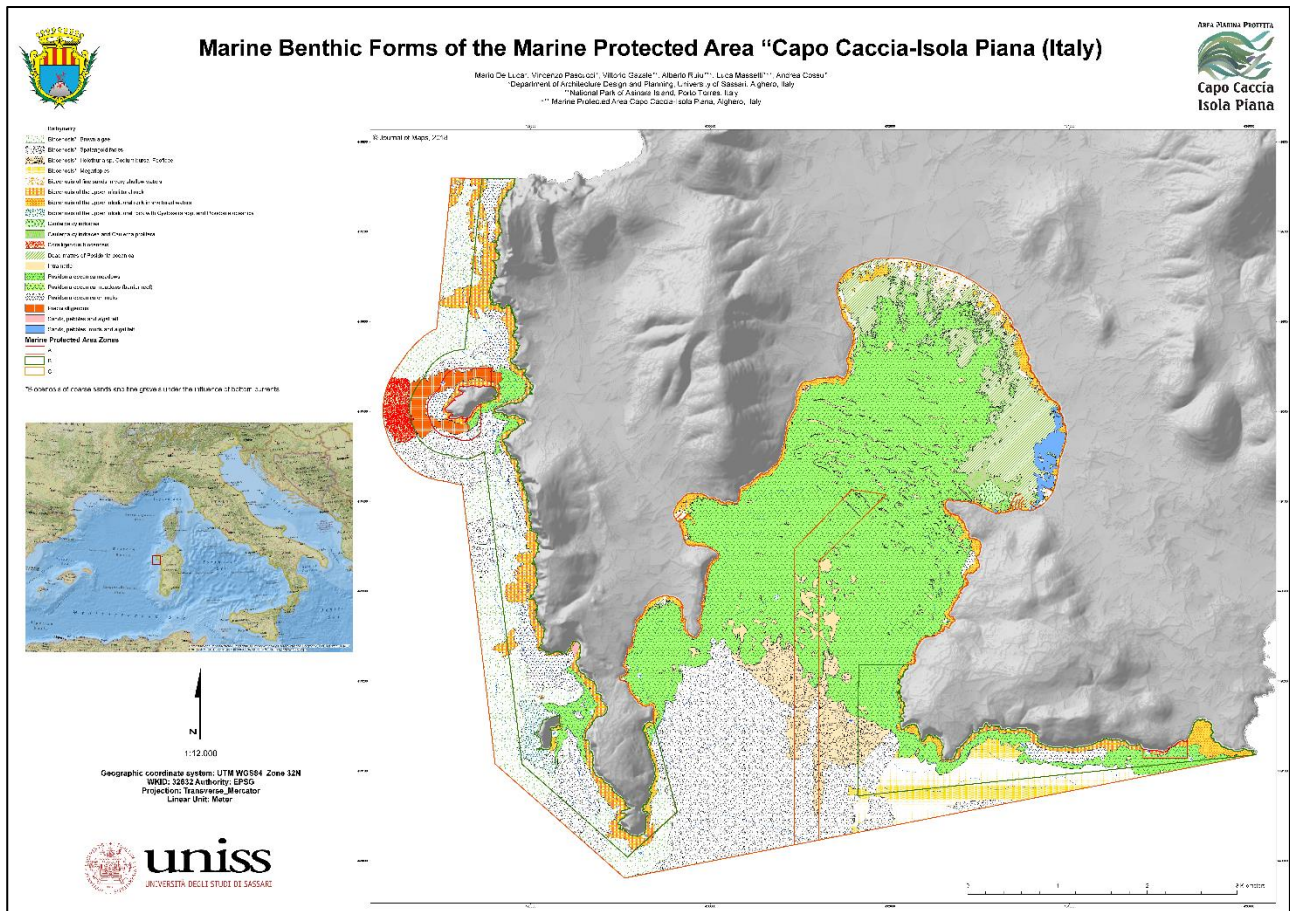


Figura 14 – Carta Biocenotica Area Marina Protetta Capo Caccia-Isola Piana

#### 4.2.5 Bibliografia

- AREA MARINA PROTETTA CAPO CACCIA – I. PIANA. 2008 - Carta delle Praterie; Carta delle biocenosi bentoniche. <http://www.ampcapocaccia.it/ricerche.asp>
- CHESSA L.A., ROY P., MAZZELLA L., GAMBÌ M. C., RUSSO G. F., LIGIOS S., WERNEUS F., PIERROT S., 1988 - Survey on *P.oceanica* meadows and on other biotopes in the bay of Porto Conte (NW Sardinia). Rapp. Comm. int. Mer Médit., 31 (2):117
- COSSU A., DE LUCA M., 2016 - Seabed survey to support implementation of Marine Strategy framework directive-northern Sardinia - Biologia Marina Mediterranea. 23 (1): pag. 178-181 ISSN 1123-4245.
- COSSU A., GAZALE V., ORRÙ P., PINTUS C. 2001 - Caractérisation géomorphologique et biocénotique de la zone protégée de Capo Caccia - Île Piana (N-Sardaigne) Rapp. Comm. int. Mer Médit., 36, 2001
- COSSU A., GAZALE V. 1998 - Osservazioni sul fitobenthos della grotta dei palombi dell'isola Foradada (Sardegna Nord-Occidentale). Biol. Mar. Medit., 5(1): 557-560. (1998)
- MILAZZO, M., BADALAMENTI, F., RIGGIO, S., CHEMELLO, R., 2002. Effetti degli ancoraggi sulla *Posidonia oceanica* della Riserva Marina di Ustica: uno studio preliminare. Biol. Mar. Mediterr. 9 (1), 686–689.

## 4.3 Monitoraggio “Habitat a Coralligeno nell’AMP dell’Asinara”

### 4.3.1 Introduzione

Il presente lavoro è stato realizzato nell’ambito della Direttiva Quadro “2008/56/CE Marine Strategy”, della sezione Habitat del fondo marino e biodiversità e si inserisce nelle attività di monitoraggio degli habitat a coralligeno. Di seguito vengono presentati i risultati relativi al monitoraggio sui substrati circalitorali (condotti secondo le metodiche proposte dal Programma di Monitoraggio per la Strategia Marina “Art. 11 D.lgs. 190/2010 Scheda metodologica modulo 7”) effettuato nel versante Nord dell’AMP Isola dell’Asinara con lo scopo di dare una valutazione dello stato delle comunità bentoniche dei fondali.

In Mediterraneo, i sistemi litorali profondi (tra 25-30 e 150-200 m) sono colonizzati da biocenosi dominate da organismi calcarei, generalmente definiti "coralligene" (Pérés & Picard (1964); Sarà & Pulitzer-Finali (1970)). Tali biocenosi si sviluppano su coste rocciose e su fondali sabbiosi in condizioni relativamente costanti di temperatura, correnti e salinità e dove l'irradianza si riduce in un range di 2-3% - 0-0.5% rispetto a quella superficiale (Garrabou & Ballesteros (2000)). Il coralligeno è un tipico biotopo del piano sublitorale inferiore, costituito da strati rocciosi di materiale organico concrezionato, originato principalmente dai talli morti delle alghe coralline crostose (*Lithophyllum* spp.) e secondariamente da resti di animali bio-costruttori come policheti, briozoi e gorgonie. Su questi blocchi si sviluppano gruppi di specie molto diverse (Cocito et al., 2001, Laborel (1961), Laubier (1966)) generando un'elevata ricchezza specifica, elevata biomassa e produzione, con valori paragonabili alle scogliere tropicali. Viene quindi considerato una delle più importanti e caratteristiche biocenosi del Mar Mediterraneo (Bianchi et al, 2001). Data la sua complessità, il sistema coralligeno è considerato fragile, poiché la sua persistenza è correlata al mantenimento di particolari fattori biotici e abiotici Hong (1983). Come in altri ecosistemi, l'aumento di torbidità, insabbiamento e deposito di sedimenti può rappresentare una minaccia. Nel Coralligeno superiore si è dimostrato che il disturbo legato alla eccessiva deposizione sedimentaria può favorire lo sviluppo di specie opportunistiche resistenti al ricoprimento (Airoldi (2000); Airoldi et al. 1995). Eventi su larga scala, che coinvolgono mortalità di massa di formazioni coralligene sembrano essere legati alla stabilità estiva termica del tratto superiore della colonna d'acqua; l'aumento degli eventi ad alte temperature, sembra siano correlate all'attuale tendenza del riscaldamento globale.

Le acque reflue influenzano profondamente la struttura delle comunità coralligene inibendo la crescita della frazione algale ed aumentando i tassi di bioerosione. Inoltre causano una diminuzione

della ricchezza e della densità delle specie dell'epifauna, eliminando alcuni gruppi tassonomici, come echinodermi, briozoi e crostacei, ed aumentando l'abbondanza di altre specie più resistenti.

La pesca è un'altra causa del suo degrado. La pesca a strascico è particolarmente distruttiva, poiché non solo distrugge fisicamente la struttura, ma ne aumenta anche i tassi di torbidità e sedimentazione, che influiscono negativamente sulla crescita delle alghe e sull'alimentazione dei consumatori. La pesca tradizionale, oltre che ricreativa, colpisce principalmente le specie bersaglio, sebbene la maggior parte di esse recuperi rapidamente dopo l'esecuzione di una gestione della pesca scientificamente guidata. L'attività subacquea è un'altra causa del recente degrado del coralligeno, anche se questo tipo di disturbo colpisce solo, al momento, pochissime aree situate nei siti più popolari per le immersioni ricreative. Infine, le specie esotiche invasive sono un altro motivo di preoccupazione perché il loro numero è in aumento in tutto il Mediterraneo, come l'alga rossa *Womersleyella setacea*, che forma un tappeto denso sul substrato delle specie incrostanti, inibendo così la fotosintesi e la crescita dei principali costruttori

#### **4.3.2 Morfologia dei fondali**

I fondali del versante Nord orientale e Nord Occidentale dell'isola dell'Asinara presentano caratteristiche profondamente differenti sia in termini morfologici che in termini di composizione e distribuzione delle biocenosi. Il versante occidentale, comprendente anche la zona di Punta Scorno, è caratterizzato da pendii con notevole acclività che continuano nella parte sommersa e sprofondano rapidamente oltre i 50 m anche a breve distanza dalla costa, in particolare nelle zone presso Punta Scorno, Punta Grabara, Punta Tumbarino e Punta Pedra Bianca. La costa profondamente marcata dall'intensa azione erosiva risulta quindi quasi totalmente inaccessibile dal mare, con falesie che in alcuni punti superano i 200 m. Le forti correnti di fondo e la notevole azione del moto ondoso di provenienza dai settori occidentale e nord-occidentale impediscono la formazione di significativi depositi sedimentari e determinano la selezione di materiale in prevalenza costituito da sabbie grossolane e ghiaie.

Il fondale più prossimo alla costa è in prevalenza roccioso e caratterizzato da una morfologia irregolare, contraddistinta dalla presenza di falesie con franate, anfratti, canali e spaccature. L'unica grotta di dimensioni significative esistente è localizzata presso Cala di Peppe; posta sul livello del mare ha una profondità di circa 8 m e un'altezza all'ingresso di circa 10 m. Piccoli bacini a sabbia fine o media sono presenti in corrispondenza di insenature quali Cala Scombro di fuori, Cala Tumbarineddu, Porto Manno della Reale, Cala Tappo e Porto Mannu. Più a largo, entro la batimetrica dei 50 m, si rileva un fondale roccioso-sabbioso più regolare, con prevalenza di litotipo sabbioso. A



profondità superiori si riscontrano in prevalenza substrati mobili (sabbie medie bioclastiche, sabbie fini e sabbie fini e limose) con occasionali e parziali affioramenti rocciosi.

Il versante orientale è generalmente caratterizzato da coste basse, prevalentemente rocciose e talvolta sabbiose. Lungo questo versante si trovano le poche spiagge dell'isola, come quelle, della zona del Trabuccato, di Cala d'Arena, Cala Barche Napoletane, Cala Giordano e Cala Sabina.

Nella zona tra Cala d'Oliva e Punta Trabuccato e in particolare nella Rada della Reale il fondale è prevalentemente sabbioso e ospita un'estesa ed integra prateria di *Posidonia oceanica* L. Delile.

### 4.3.3 Materiali e metodi

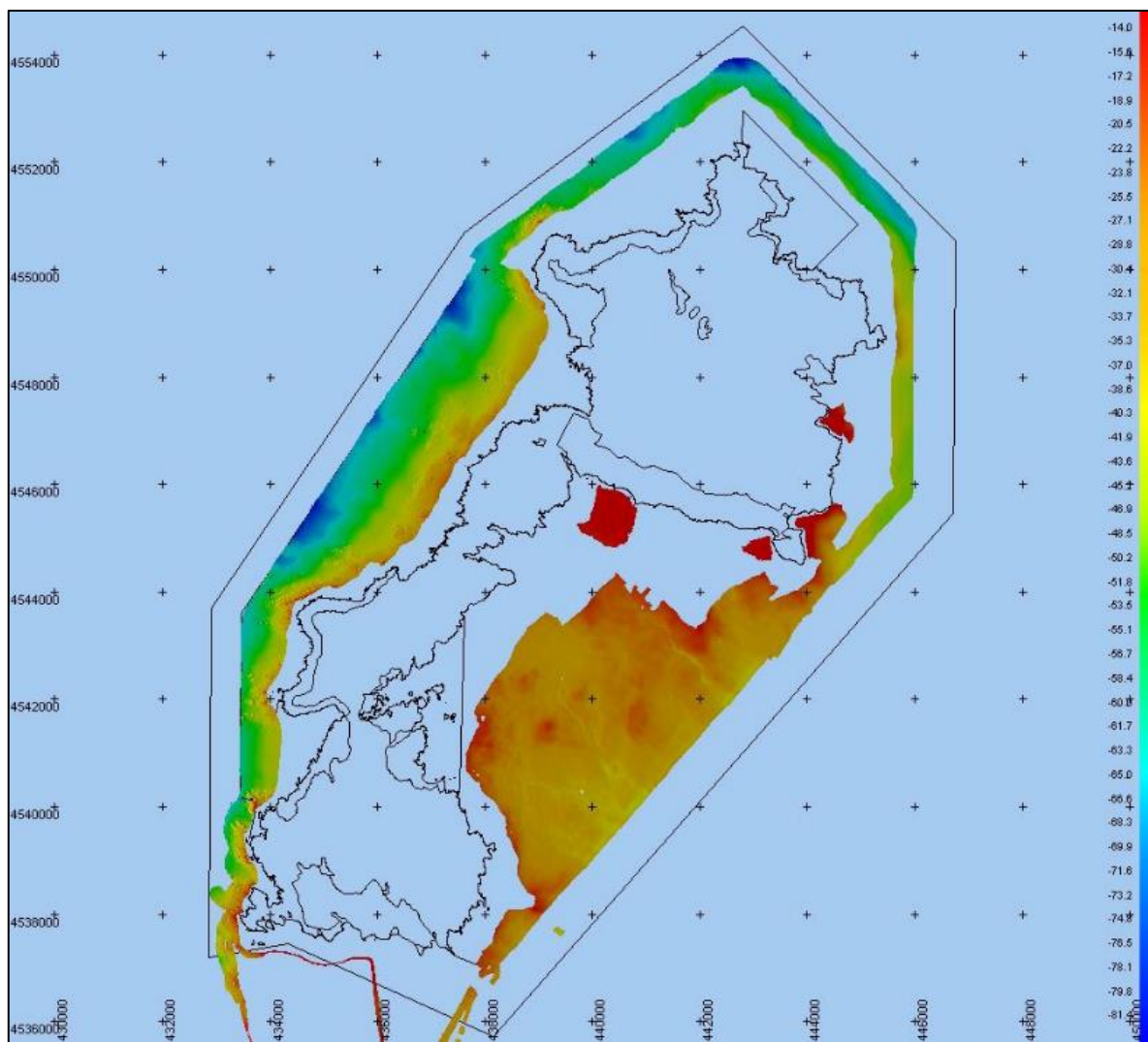
Negli anni 2014, 2015 e 2016 sono state svolte delle attività geofisiche di dettaglio, in collaborazione con l'Istituto di Oceanografia e Geofisica Sperimentale (OGS) di Trieste, con l'utilizzo delle tecniche del Side Scan Sonar e Multibeam e del Subbottom Profiler.

Le tecniche di rilevazione hanno permesso di produrre immagini del fondo marino con copertura totale dell'AMP e di ricostruire la stratigrafica di una sezione di fondale (Romeo et al. 2019).

I nuovi dati multibeam (Fig. 16) acquisiti hanno fornito una precisa ricostruzione dell'assetto batimetrico del fondale, evidenziando aree depresse e in rilievo, spesso riconducibili alla conformazione geologico/strutturale della porzione emersa dell'Isola dell'Asinara, ma talvolta non direttamente relazionabili e probabilmente legati a processi prettamente marini. Dalle indagini Side Scan Sonar, coadiuvate dalle informazioni tridimensionali del dato Multibeam, sono emerse peculiari caratteristiche geomorfologiche ed è stato possibile definire i legami tra batimetria e tipologia di fondale.



**Figura 15** – Cala D'Arena



**Figura 16** –DTMAMP Asinara (Risoluzione 5x5m)

Grazie a questi studi è stato possibile valutare la distribuzione delle diverse strutture coralligene all'interno dell'AMP, la loro superficie e distribuzione spaziale per strati batimetrici secondo le diverse tipologie.

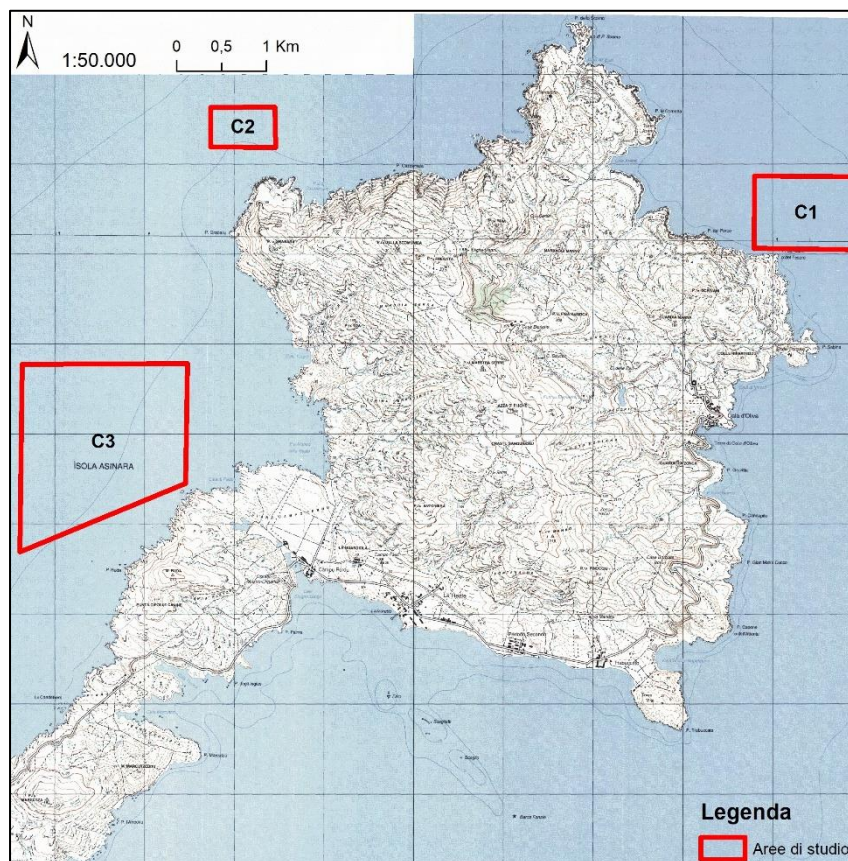
#### **4.3.4 Campagna attuale**

Per le indagini a mare è stata impiegata un'imbarcazione appositamente attrezzata, corredata di un sistema di posizionamento G.P.S. cartografico tipo Trimble GeoXH 6000 e di un modulo ecoscandaglio. Le riprese video sono state realizzate con un R.O.V. modello Velociraptor completo di monitor e consolle di comando. Completano la dotazione due fari alogeni, due puntatori laser e due telecamere, di cui una principale, e un'altra accessoria (modello GoPro hero 5) in grado di



realizzare filmati in HD. Anche in questo caso è stato utilizzato il sistema di posizionamento descritto in precedenza.

Al fine di validare la presenza dell'habitat e descriverne il popolamento sono state raccolte immagini e video lungo transetti georeferenziati. Per ciascuna area (Fig. 17), indicata dall'Ente gestore, sono stati realizzati tre transetti di circa 200 m di lunghezza ciascuno. Il materiale video e fotografico in alta definizione è stato processato con l'ausilio di software specifici (VLC per l'estrazione dei frame e Seascape per l'analisi di immagine). Quest'ultimo sviluppato appositamente per foto digitali subacquee, permette l'utilizzo di metodi analitici automatici o semi-automatici per ottenere rapidamente dati ecologici, in questo caso applicato a dati di copertura.



**Figura 17** –Aree di studio (Aree C1, C2, C3)

Le immagini subacquee delle comunità bentoniche vengono infatti segmentate in regioni omogenee in rapporto all'uniformità cromatica e il software calcola per ogni singolo elemento la sua area di copertura e il perimetro. L'operatore manualmente può sommare secondo la sua esperienza i diversi elementi per comporre la copertura complessiva della specie da valutare. I dati poi vengono riversati in formato Excel (.xlsx) dove sono riportati i perimetri e le aree di ciascun elemento, in relazione alla specie di riferimento.

Ogni immagine preventivamente veniva analizzata per allestire l'elenco delle specie presenti. Il file generato era necessario per riferire un cromatismo convenzionale che potesse essere attribuibile alla specie di riferimento. Il software genera un'immagine virtuale a falsi colori che comprende le coperture di tutte le specie presenti nell'immagine.

I dati ottenuti si riferiscono ai seguenti indici: *presenza dell'habitat, estensione dell'habitat o caratterizzazione della condizione dell'habitat attraverso la valutazione della condizione delle specie strutturanti*. Per la realizzazione di questo ultimo obiettivo, l'indagine è stata svolta mediante un approccio che ha consentito una sintesi delle principali metodologie ad oggi proposte al fine di individuare e caratterizzare l'habitat Coralligeno attraverso l'analisi delle immagini (Cecchi & Piazzì 2010, Cecchi *et al.* 2010, 2013, Kipson *et al.* 2011, Teixido *et al.* 2013), secondo il Protocollo di intesa *MATTM – Regioni*, per l'esecuzione di attività di indagine integrative ai fini della attuazione della strategia marina di cui al DLgs. 190/2010 modulo 7.

#### 4.3.5 Risultati

In tabella 1, creata utilizzando l'output del software Seascapè (Teixidó *et al.*, 2011), vengono riportate le coperture delle 33 tipologie bentoniche individuate nelle 3 aree di campionamento ciascuna a tre transetti e con 5 repliche per ogni transetto. Nelle immagini (Fig. 18 e 19) si sono individuate sia specie o generi di alghe e animali bentonici, sia complessi di essi (complex) quando non era possibile l'attribuzione a taxa specifici.



**Figura 18** - Fotogrammi stazioni campionamento. Area\_C1-transetto\_T1 (40m), i cerchi gialli indicano i laser di posizionamento



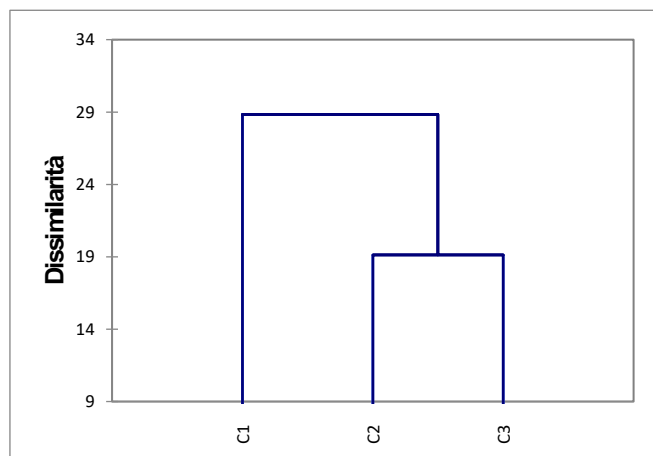


**Figura 19** - Fotogrammi stazioni campionamento Area\_C2-transetto\_T2 (56m) – **a** Foto realizzata con la telecamera standard in dotazione al ROV – **b** stessa inquadratura delle foto 19 a realizzata con la GoPro Hero 5

In tabella 1 sono riportati inoltre i valori di copertura % dei singoli elementi per tutte le componenti bentoniche. Le misure sono riferite al netto dello sfondo e delle zone in ombra ovvero si riferiscono unicamente alle specie occupanti il substrato duro.

**Tabella 1** - Copertura % degli elementi bentonici individuati nelle tre aree come medie delle cinque repliche dei tre transetti in ordine di abbondanza.

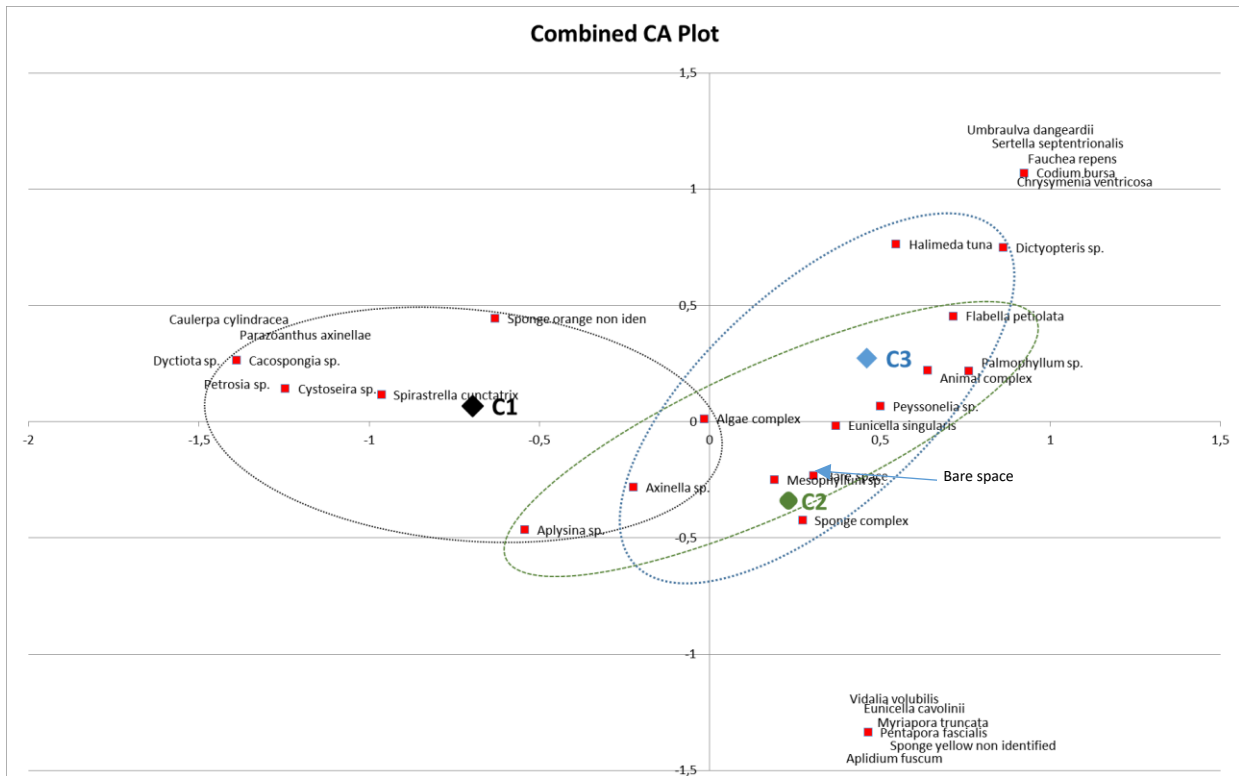
<i>Sp.</i>	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>
<i>Algae complex</i>	51,4066	48,8978	50,1225
<i>Sponge complex</i>	6,3260	21,0772	9,9185
<i>Flabella petiolata</i>	1,3374	7,6306	22,6000
<i>Cystoseira sp.</i>	19,4141	1,6158	0,0000
<i>Mesophyllum sp.</i>	3,6462	7,7349	4,9371
<i>Spirastrella cunctatrix</i>	11,4198	1,9150	1,1215
<i>Peyssonelia sp.</i>	0,9909	3,5342	4,7353
<i>Axinella sp.</i>	1,1965	1,2302	0,4768
<i>Cacospongia sp.</i>	1,6687	0,0000	0,0000
<i>Halimeda tuna</i>	0,2359	0,1260	1,2401
<i>Animal complex</i>	0,0847	0,5040	0,9171
<i>Aplysina sp.</i>	0,4199	0,3516	0,0000
<i>Pentapora fascialis</i>	0,0000	0,6570	0,0000
<i>Palmophyllum sp.</i>	0,0000	0,1816	0,3313
<i>Codium bursa</i>	0,0000	0,0000	0,4605
<i>Eunicella singularis</i>	0,0564	0,1398	0,1552
<i>Myriapora truncata</i>	0,0000	0,2340	0,0000
<i>Parazoanthus axinellae</i>	0,2090	0,0000	0,0000
<i>Sponge orange non identified</i>	0,0804	0,0046	0,0359
<i>Sponge yellow non identified</i>	0,0000	0,0753	0,0000
<i>Dyctiota sp.</i>	0,0527	0,0000	0,0000
<i>Aplidium fuscum</i>	0,0000	0,0396	0,0000
<i>Caulerpa cylindracea</i>	0,0388	0,0000	0,0000
<i>Dictyopteris sp.</i>	0,0000	0,0049	0,0318
<i>Chrysomenia ventricosa</i>	0,0000	0,0000	0,0318
<i>Vidalia volubilis</i>	0,0000	0,0214	0,0000
<i>Eunicella cavolinii</i>	0,0000	0,0206	0,0000
<i>Faucheia repens</i>	0,0000	0,0000	0,0166
<i>Sertella septentrionalis</i>	0,0000	0,0000	0,0128
<i>Umbraulva dangeardii</i>	0,0000	0,0000	0,0122
<i>Petrosia sp.</i>	0,0003	0,0000	0,0000
<i>Bare space</i>	1,4200	4,0000	2,8431



**Figura 20** - Dendrogramma delle stazioni: dissimilarità espressa come distanza euclidea; legame medio come metodo di agglomerazione.

Secondo la Classificazione Ascendente Gerarchica (Fig. 20) il dendrogramma identifica due stazioni con caratteristiche maggiormente simili (C2 e C3) Il gruppo di rilievi nell'area di queste presentano minori differenze rispetto al più eterogeneo gruppo dei rilievi nell'area C1. L'analisi delle corrispondenze (CA) (Fig. 21) evidenzia tali differenze ponendoli più vicini tra loro rispetto alla stazione C1.

In sintesi, si possono quindi distinguere due gruppi: C2+C3 e C1 coerentemente con il dendrogramma di fig. 20.

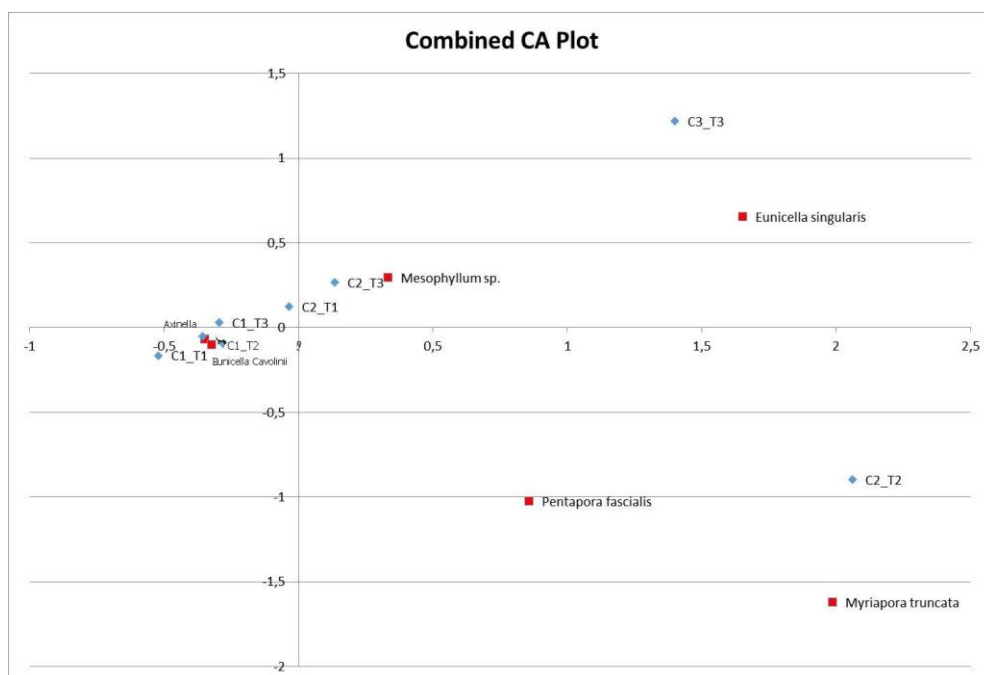


**Figura 21** - Analisi delle corrispondenze (CA). Posizione delle stazioni (C1, C2 e C3) e delle variabili (specie e gruppi funzionali) negli assi fattoriali. Le ellissi racchiudono le dieci variabili prossimali alle stazioni.

La CA ha permesso inoltre di identificare gli elementi bentonici che più contribuiscono a caratterizzare le differenze tra le stazioni. Le variabili più prossime alle stazioni (Fig. 21 e Tab. 2) e quindi quelle più caratterizzanti, sono: per la stazione C1, *Spirastrella cunctatrix*, *Sponge orange non iden*, *Aplysina sp.*, *Cystoseira sp.*, *Axinella sp.*; per la stazione C2: *Sponge complex*, *Mesophyllum sp.*, *Eunicella singularis*, *Algae complex*, *Axinella sp.*; Per la stazione C3: *Animal complex*, *Peyssonellia sp.*, *Eunicella singularis*, *Palmophyllum sp.*, *Flabellia petiolata*, *Halimeda tuna*. Assume un'importanza significativa la variabile "bare space" indicante superficie non colonizzata sia nella stazione C2 sia nella C3.

**Tabella 2** - Prime dieci specie o gruppi complex caratterizzanti le stazioni (C1, C2 e C3). Distanza assoluta da ogni stazione

sp	distanza		distanza		distanza	
	C1	sp	C2	sp	C3	sp
	da		da		da	
<i>Spirastrella cunctatrix</i>	0,27	<i>Sponge complex</i>	0,09	<i>Animal complex</i>	0,19	
<i>Sponge orange non iden</i>	0,38	<i>Mesophyllum sp.</i>	0,10	<i>Peyssonelia sp.</i>	0,21	
<i>Aplysina sp.</i>	0,55	Bare space	0,13	<i>Eunicella singularis</i>	0,30	
<i>Cystoseira sp.</i>	0,56	<i>Eunicella singularis</i>	0,35	<i>Palmophyllum sp.</i>	0,30	
<i>Axinella sp.</i>	0,59	<i>Algae complex</i>	0,43	<i>Flabella petiolata</i>	0,31	
<i>Algae complex</i>	0,68	<i>Axinella sp.</i>	0,46	<i>Halimeda tuna</i>	0,50	
<i>Parazoanthus axinellae</i>	0,72	<i>Peyssonelia sp.</i>	0,49	Bare space	0,53	
<i>Caulerpa cylindracea</i>	0,72	<i>Animal complex</i>	0,69	<i>Algae complex</i>	0,54	
<i>Dyctiota sp.</i>	0,72	<i>Palmophyllum sp.</i>	0,77	<i>Mesophyllum sp.</i>	0,59	
<i>Cacospongia sp.</i>	0,72	<i>Aplysina sp.</i>	0,79	<i>Dictyopteris sp.</i>	0,62	



**Figura 22** – Analisi delle corrispondenze (CA) tra i transetti e le specie strutturanti.

Secondo quanto previsto dal protocollo Marine strategy (Art. 11, D.lgs. 190/2010, modulo 7) è stata calcolata l'abbondanza specifica, di ogni singola specie strutturante, espressa in numero di colonie/individui per m<sup>2</sup> (densità relativa all'area standard del transetto di 100 m<sup>2</sup>, ottenuta considerando 200 m di transetto per un'ampiezza del campo visivo pari a circa 50cm).

L'analisi delle corrispondenze (CA) (Fig. 22) ha evidenziato come il transetto C2\_T2 e si distingue per l'abbondanza di *P. fascialis* ed *M. truncata* e per C3\_T3 di *E. singularis*. Si evidenzia inoltre una modesta variabilità negli altri transetti a rimarcare come le specie strutturanti si ripetano, così come evidenziato nelle precedenti analisi, rimarcando la monotonia biocenotica dovuta alla medesima profondità dei rilievi eseguiti nello stesso versante espositivo.

#### 4.3.6 Discussione

Le verità a mare eseguite nelle aree campione hanno confermato in maniera puntuale le aree marine dove la biocenosi a coralligeno era segnalata dalle prospezioni Multibeam. Si segnala l'abbondanza della componente algale che nella forma generica "algae complex" mostra una copertura di circa il 50% in tutte e tre le stazioni. Tale risultato indica la presenza di un Coralligeno nella sua forma più superficiale, dove la luce è capace di far sviluppare un manto algale ben strutturato. Tale caratteristica si evidenzia maggiormente sia nella st. C1 sia nella C3 e meno nella C2 dove le spugne assumono una maggior importanza; le percentuali di copertura oscillano tra il 72% (Area C1) e il 90% (Area C3). Tra le specie strutturanti si segnala l'abbondanza delle spugne a sviluppo verticale; L'abbondanza di filtratori associati alla presenza cospicua di alghe con dune subacquee e megaripples nel settore occidentale, testimonia la presenza di forti correnti di fondo che caratterizzano quest'area. Relativamente alle indicazioni della Direttiva MFSD concernenti epibiosi e necrosi si rimarca che in tutti i transetti non si sono registrati questi fenomeni, ad indicare l'ottimo stato di salute dell'area. In altre indagini effettuate in precedenti campagne si sono rivelate delle criticità (Cossu *et al.* 2009) relative alla presenza di reti fantasma che ovviamente alterano la struttura naturale della comunità, creando problemi alla fauna ittica ma anche alla componente bentonica con soffocamento delle comunità naturali. Tale problematica non è stata riscontrata nei siti presi in esame durante questa campagna ma è stata rilevata la presenza di palamiti abbandonati nei transetti C1\_T1 e C1\_T2. Il futuro di queste indagini si dovrebbe concretizzare attraverso un piano di campionamento che preveda un maggior numero di stazioni nella batimetria dei 50 metri prendendo in considerazione il versante occidentale dell'isola dell'Asinara dove sappiamo esistere del coralligeno in ottimo stato (Cossu *et al.* 2009) per una migliore e definitiva caratterizzazione dei fondali.



### 4.3.7 Bibliografia

- AIROLDI L., 2000. Effects of disturbance, life-history and overgrowth on coexistence of algal crusts and turfs. *Ecology* 8: 798-814
- AIROLDI L., RINDI F., CINELLI F., 1995. Structure, seasonal dynamics and reproductive phenology of a filamentous turf assemblage on a sediment influenced, rocky subtidal shore. *Bot. Mar.* 38: 227-237.
- BIANCHI, C. NIKE, AND CARLA MORRI, 2001. "L'approccio bionomico per la caratterizzazione e la zonazione dell'ambiente marino costiero: una rassegna introduttiva." *Atti Ass. It. Oceanol. Limnol* 14: 401-434.
- CECCHI E., PIAZZI L., (2010) A new method for the assessment of the ecological status of coralligenous assemblages. *Biol. Mar. Mediterr* 17: 162-163.
- CECCHI E., PIAZZI L., SERENA F. (2010) The use of coralligenous assemblages in the monitoring survey along the Tuscany coasts: the assessment of sampling procedures and results of five years studies 3° Simposio CNR Livorno. *Biol. Mar. Mediterr.* (2011), 18 (1): 58-59.
- COCITO, S., FERDEGHINI, F., & SGORBINI, S. (2001). Bioconstructions promote biodiversity: lesson from Bryozoans and other invertebrates. *Biologia Marina Mediterranea*, 8, 175–180.
- COSSU A. V. L., CHESSA L, GAZALE V, RAGAZZOLA F (2009). On the circalittoral benthic communities in the Asinara Marine Parks. *Biologia Marina Mediterranea*, vol. 16(1), p. 256-257, ISSN: 1123-4245
- GARRABOU, JOAQUIM, AND ENRIC BALLESTEROS. "Growth of *Mesophyllum alternans* and *Lithophyllum frondosum* (Corallinales, Rhodophyta) in the northwestern Mediterranean." *European Journal of Phycology* 35.1 (2000): 1-10.
- HONG, J. S. (1983). Impact de la pollution on the benthic community. Environmental impact of the pollution on the benthic coralligenous community in the Gulf of Fos, northwestern Mediterranean. *Bulletin of the Korean Fisheries Society*, 16, 273- 290.
- KIPSON S., FOURT M., TEIXIDÓ N., CEBRIAN C., CASAS E., BALLESTEROS E., ZABALA M., GARRABOU J 2011 Rapid Biodiversity assessment and monitoring method for highly diverse benthic communities: A case study of Mediterranean coralligenous outcrops *Plos ONE* 6(11): e 27103.doi: 101371/Journal.pone. 0027103.
- LABOREL J (1961) Sur un cas particulier de concrétionnement animal. Concrétionnement à *Cladocora caespitosa* (L.) dans le Golfe de Talante. *Int Explor Sci Mer* 16(2):429–432
- LAUBIER, LUCIEN. 1966 "Le Coralligène des Albères-Monographie biocénotique." *Annales De L Institut Oceanographique*. Vol. 43. No. 2. Service Des Publications 195 Rue Saint-Jacques, 75005 Paris, France: Institut Oceanographique,.
- PÉRÈS, J. M., & PICARD, J. 1964. Nouveau manuel de bionomie benthique de la Mer Méditerranée (pp. 1-137). Station.
- SARA, M.; PULITZER-FINALI, G. 1970. Nuove vedute sulla classificazione dei fondi coralligeni. *Estratto Publ. Staz. Zool. Napoli*, 38: 174-179.
- TEIXIDÓ N, ALBAJES-EIZAGIRRE A, BOLBO D, LE HIR E, DEMESTRE M, GARRABOU J, GUIGUES L, GILI JM, PIERA J., PRELOT T., SORIA-FRISCH A., 2011. Hierarchical Segmentation based software for Cover Classification Analyses of Seabed Images (Seascape). *Mar Ecol Prog Ser* 431:45-53.
- TEIXIDÓ N., CASAS E., CEBRIAN C., LINARES AND J. GARRABOU. 2013 Impact on coralligenous Outcrop Biodiversity of a Dramatic Coastal Storm. *PLoS ONE* 8(1): e 53742.doi: 101371/Journal.pone. 0053742.

## 4.4 Il Litorale di Alghero

### 4.4.1 Premessa

L'abbondanza di foglie di *Posidonia* spiaggiata annualmente sul litorale di Alghero ha reso necessario uno studio sia sulla dinamica di questo che sui fondali della baia.

Il primo obiettivo, iniziato nel 2013 (Manca et al. 2013) ha permesso di definire come la dinamica del litorale di Alghero sia fortemente condizionata dalla presenza di strutture antropiche, quali costruzioni sulla spiaggia, dighe foranee dei porti e barriere frangi flutto. Queste influenzano in modo negativo il bilancio sedimentario della spiaggia. Inoltre, il movimento dei sedimenti in senso orario lungo la baia connesso al vento di Maestrale genera una selezione granulometrica che diminuisce da N-S.

Nella parte settentrionale, vicino a Fertilia, la granulometria media è quella delle sabbie medie (390 micron); in quella meridionale le sabbie sono fini (190 micron) (Fig. 23).

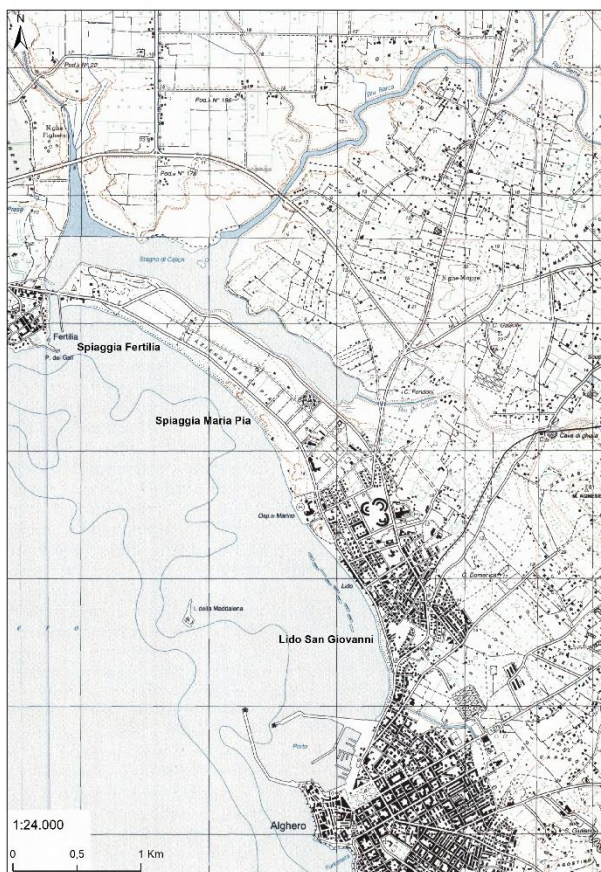
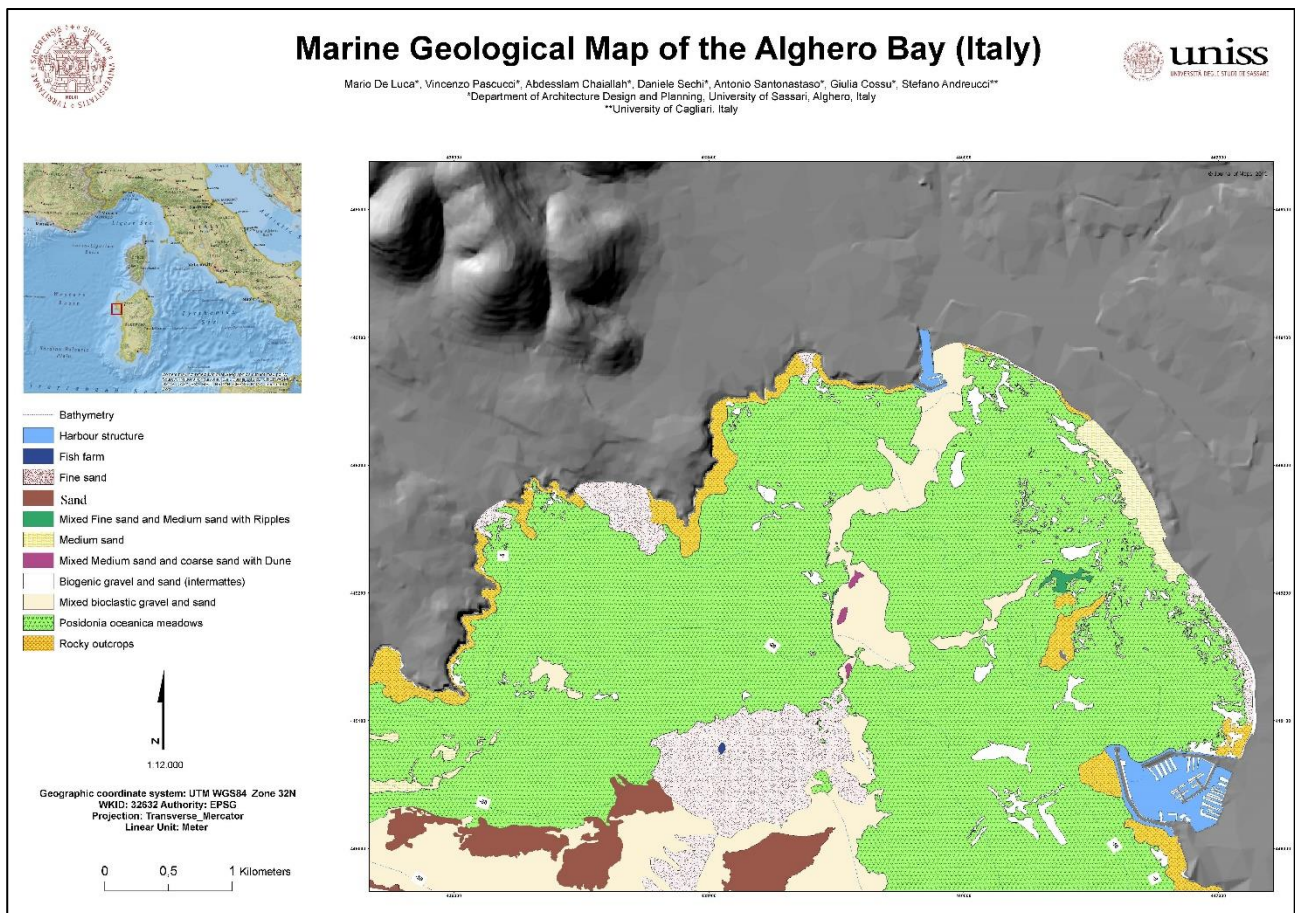


Figura 22 – Area di studio

L'importante accumulo di foglie di *Posidonia* sulla spiaggia rende ancora più forte l'impatto antropico su di questa. Ogni anno vengono rimosse dai 10 ai 20.000 m<sup>3</sup> di *Posidonia* e stoccati nei siti temporanei di accumulo. Ogni metro cubo contiene circa 100 kg di sabbia (De Falco et al., 2008; Manca et al., 2013), va da sé che nella peggiore delle ipotesi vengono persi ogni anno 1-2000 tonnellate di sabbia. Basti pensare che un camion di cava trasporta circa 24 ton. di sabbia e l'immagine del bilancio negativo della spiaggia di Alghero risulterà immediato.

Da qui la necessità di valutare lo stato della prateria a *Posidonia oceanica* presente nella Baia di Alghero e successivamente intervenire nei siti di stoccaggio temporaneo per cercare di recuperare la maggior quantità di sabbia possibile.



**Figura 23** – Carta Geologica della Rada di Alghero

La carta (Fig. 24) è ancora in fase di allestimento e, pertanto, viene presentata senza note e discussione. È stata inserita solo per far vedere lo stato della prateria a *P. oceanica* antistante il litorale di Alghero.

Dall'analisi della carta si evince la presenza di margini erosivi, riscontrati principalmente nel tratto di prateria presente a livello delle "sponde" del paleo alveo che farebbero pensare ad azioni di natura idrodinamica che dovranno essere meglio indagate con un futuro studio correntometrico.

Particolare preoccupazione desta inoltre l'attuale localizzazione dei punti di fonda per le navi che porta ad un progressivo degrado di porzioni importanti della prateria.



## 4.4.2 *Posidonia oceanica*

### 4.4.2.1 Caratteristiche biologiche

*Posidonia oceanica* (L.) Delile (Fig.25) è una fanerogama endemica del Mediterraneo con radici, rizoma e foglie, si riproduce con fiori e frutti e per stolonizzazione. Le praterie a cui dà luogo ricoprono i fondi marini dalla superficie sino alle batimetriche dei 30-40 metri e il loro ruolo ecologico, nei confronti del sistema costiero, è di importanza assai rilevante. Questa fanerogama, infatti, è una specie strutturante, per la sua azione di consolidamento e arricchimento sul substrato, per le risorse e la protezione verso il biota; la formazione rappresenta una vera area di nursery per le fasi giovanili di moltissime specie alieutiche, e offre rifugio e cibo anche agli esemplari adulti (Francour P., 1997). La pianta produce con la fotosintesi una grande quantità di materia organica che rappresenta una fonte di cibo diretta e indiretta per numerosi organismi ed è il punto di partenza di una complessa rete trofica.



**Figura 25** - Prateria di *Posidonia oceanica*.

La prateria svolge un ruolo fondamentale nel contenimento e protezione delle coste dall'azione erosiva del moto ondoso, intrappola tra i rizomi il sedimento più fine e consolida il substrato.

Le foglie morte spiaggiate, possono costituire formazioni dette banquettes, che proteggono il litorale dai fenomeni erosivi causati dal moto ondoso (Jeudy de Grissac A., 1984).

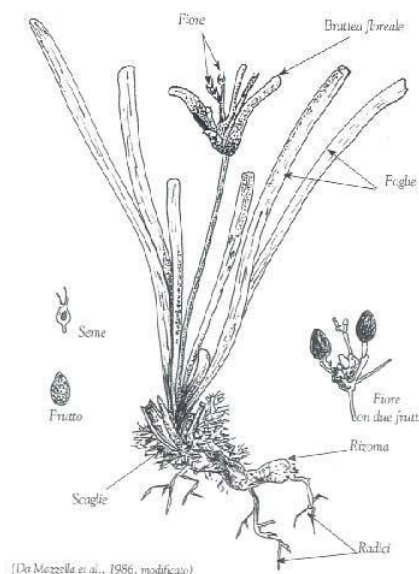
Nell'intento di salvaguardare l'ecosistema a *P. oceanica*, assume un'importanza basilare definire le aree occupate dalle praterie, studiarne la struttura, la fenologia ed i popolamenti epifiti. Per realizzare tale proposito si utilizzano metodologie che, attraverso rilevamenti sul campo, conducono a

rappresentazioni cartografiche immediatamente interpretabili e ad indicazioni sullo stato di salute delle praterie e dei popolamenti ad esse associati (Pergent G. *et al.*, 1995).

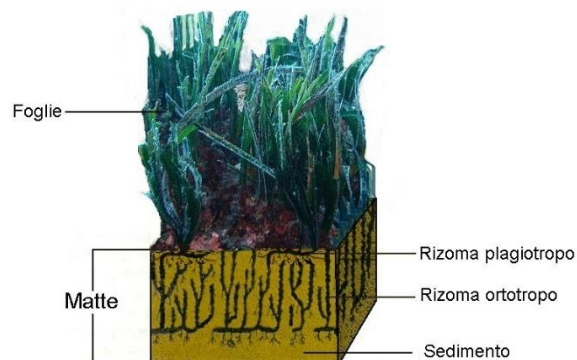
I rizomi di *P. oceanica* (Fig. 26 e 27) sono fusti modificati che possono accrescersi sia in senso orizzontale (rizoma plagiotropo) che verticale (rizoma ortotropo). Lo sviluppo in verticale determina un progressivo innalzamento dal fondo, che dà origine ad una tipica formazione chiamata matte, costituita dall'intreccio di più strati di rizomi e radici di vecchie piante e dal sedimento intrappolato tra questi elementi: solo la sommità di questa formazione è ricoperta da piante vive. Le foglie sono nastriformi, con apici arrotondati, di colore verde intenso, hanno una larghezza media di un centimetro e possono raggiungere un metro e mezzo di lunghezza; sono organizzate in fasci, ognuno dei quali ne contiene in media sei o sette, a formare quasi un ventaglio.

*P. oceanica* è estremamente sensibile a tutte le variazioni ambientali e scompare a causa dell'inquinamento; per questo motivo risulta essere un eccellente bioindicatore. Le principali cause di regressione delle praterie sono imputabili alla crescente pressione antropica sulle coste, dovuta all'immissione diretta di sostanze inquinanti o eutrofizzanti e alla costruzione di manufatti, come porti, moli e dighe, che alterano il regime idrodinamico costiero. Si verifica allora, con la regressione o la scomparsa delle praterie, una perdita di biodiversità e una maggiore esposizione delle coste verso i fenomeni erosivi, con notevoli danni, biologici oltre che economici (Pérès J. M., 1984).

*P. oceanica* è una specie sottoposta a tutela, come riportato nelle Convenzioni Internazionali sulla Tutela della Biodiversità in Mediterraneo (Relini G. *et al.*, 2009): è citata nell'Annesso I (specie rigorosamente protette) della Convenzione di Berna e nell'Annesso II (Specie Minacciate) del Protocollo delle Aree Specialmente Protette della Convenzione di Barcellona; inoltre, nel "Piano d'Azione per la conservazione della vegetazione marina in Mediterraneo", adottato dai paesi mediterranei nell'ambito della Convenzione di Barcellona nel 1999, le nazioni aderenti si sono impegnate a condurre inventari e mappature delle praterie di *P. oceanica* che insistono lungo le loro coste. Le praterie di Posidonia rappresentano uno degli habitat inclusi nell'Allegato I "Tipi di habitat naturali di interesse comunitario la cui conservazione richiede la designazione di aree speciali di conservazione" della Direttiva 92/43/CEE del 21 maggio 1992 relativa alla conservazione degli habitat naturali e seminaturali e della flora e della fauna selvatiche.



**Figura 26** - Rappresentazione schematica di *Posidonia*  
(Da: Mazzella et al., 1986)



**Figura 27** - Rappresentazione della "matte"  
(Di Esculapio - opera personale, GFDL )

#### 4.4.2.2 Lo spiaggiamento della *Posidonia oceanica*

*Posidonia oceanica* è presente, nonostante il nome della specie, esclusivamente nel mar Mediterraneo, quasi tutti i paesi che si affacciano sul bacino presentano spiaggiamenti. Secondo alcune stime le praterie ricoprono tra i 25 e 45.000 km<sup>2</sup> (Parente e Montesano, 2013).

Nel periodo autunno-inverno la vegetazione di *Posidonia* si rinnova (Romero et al., 1992; Chessa et al., 2000), e parte delle foglie senescenti vengono trasportate dalle correnti sulla costa dove i residui si accumulano come detrito, dando origine al processo di decomposizione. Lungo le spiagge è possibile distinguere cumuli costituiti da foglie e agglomerati di fibre di *Posidonia* denominati egagropili che assumono la conformazione sferica per effetto del rotolamento sul fondo del mare e sulla spiaggia (Fig. 28 e 29). La quantità di residui rinvenibile lungo un determinato litorale è legata allo stato di salute delle praterie in mare, alle stagioni, alle correnti marine, ai venti dominanti e, infine, alla conformazione della spiaggia.

La produzione di biomassa da parte di una prateria di *Posidonia* è molto elevata: un metro quadro di prateria produce 420gr/anno di sostanza organica secca di cui il 75% rimane in mare costituendo dei veri e propri letti di macerazione e circa il 25% si accumula sotto forma di residui lungo le spiagge (Parente e Montesano, 2013).

La *Posidonia* presenta le caratteristiche per essere considerata un buon bioindicatore: costituisce uno degli ecosistemi più produttivi e maggiormente diffusi del nostro bacino, è una specie sensibile,



longeva, risponde all'inquinamento e ad altre pressioni legate all'attività umana (Ceccherelli et al., 2007).



Figura 28 - Banquette di foglie, Alghero



Figura 29 - Egagropili, Alghero .

#### 4.4.2.3 *Banquettes*

In seguito alle mareggiate autunnali e invernali e in particolari condizioni legate alle caratteristiche idrodinamiche e geomorfologiche della costa, i resti di *Posidonia oceanica* danno luogo alla formazione di strutture conosciute con il termine francese di “*banquette*” (Molinier et al., 1953). Questi accumuli costituiti da foglie, sabbie e rizomi hanno spessori variabili che possono raggiungere anche diversi metri (Boudouresque & Meisneiz, 1982). La presenza di *banquette* nelle spiagge ne influenza l'assetto geomorfologico (Simeone, 2008) e può contribuire alla formazione di una berma di origine biologica (De Falco et al., 2008).

Simeone (2008) ha ipotizzato un modello deposizionale delle *banquette* evidenziando come il processo di deposizione inizi al diminuire dell'intensità delle mareggiate, con la sedimentazione dei materiali più pesanti (rizomi e sedimenti) in corrispondenza del limite superiore della battigia. La posa delle foglie avviene in relazione alla riduzione dell'energia ondosa. Differenti quantità di sedimento (principalmente sabbia) possono essere intrappolate nelle *banquette*, con valori di concentrazione variabili da 10 a 100 kg/m<sup>3</sup> (De Falco et al., 2008).

La forma a nastro delle foglie di *Posidonia*, e la modalità di accumulo, conferisce alle *banquette* una struttura lamellare molto compatta ed elastica. Tale struttura è in grado di assorbire l'energia del moto ondoso riducendone le capacità erosive e contribuendo in tal modo alla stabilità delle spiagge (Fig. 30).



**Figura 30** - Struttura lamellare di una *banquette*, Alghero 2014.

I residui di *Posidonia* spiaggiati svolgono importanti funzioni ecologiche sulla costa:

- Riducono gli effetti dell'erosione costiera lungo i tratti di spiaggia sabbiosa;
- Concorrono alla formazione del sistema dunale costiero, favorendo la formazione di dune embrionali, contribuendo alla stabilità del sistema (Bovina et al., 2007; Bovina et al., 2008);
- Rappresentano un'importante fonte di elementi nutritivi necessari per la vegetazione pioniera delle spiagge.

La presenza di fogliame sulle spiagge comunemente frequentate dai bagnanti scoraggia la presenza dei turisti. Di conseguenza vi è la continua richiesta alle amministrazioni locali da parte degli operatori turistici di rimuovere la *Posidonia* spiaggiata per rendere le spiagge più gradevoli (De Falco et al., 2002).

## 4.5 Normativa

### 4.5.1 Normativa di riferimento praterie di *Posidonia oceanica*

Le praterie di *Posidonia oceanica* rappresentano la specie chiave dell'ecosistema marino del Mediterraneo, pertanto sono meritevoli di salvaguardia e conservazione.

Esse sono classificate come habitat prioritario di conservazione<sup>1</sup> e inserite nell'allegato I della Direttiva 92/43/CEE (Direttiva Habitat) Questa è stata recepita dall'Italia con il DPR n.357 del

---

<sup>1</sup> Habitat prioritario di conservazione: habitat naturale che rischia di scomparire nel territorio per cui è necessario adottare misure per mantenere uno stato di conservazione soddisfacente.

8/9/1997 e per la sua tutela sono stati individuate delle aree definite Siti di Importanza Comunitaria (SIC).

In virtù del valore ecologico che riveste, la specie *Posidonia oceanica*, è protetta a livello europeo dalla Convenzione di Berna, adottata il 19/9/1979, con lo scopo di assicurare la conservazione della flora e della fauna selvatiche e dei loro habitat e di proteggere le specie minacciate di estinzione mediante una cooperazione tra gli Stati. La Convenzione riporta nell'allegato I, tra le specie rigorosamente protette, tre specie di fanerogame marine del Mediterraneo (*Posidonia oceanica*, *Cymodocea nodosa*, *Zostera marina*).

Nel 1976, sedici paesi del Mediterraneo e della Comunità Europea adottarono la "Convenzione di Barcellona" (poi rafforzata nel 1995). All'interno della Convenzione è stato sottoscritto dalle Parti il "Protocollo relativo alle aree specialmente protette e alla diversità biologica in Mediterraneo", a loro volta recepiti in Italia con la legge 175/99. Nell'allegato II del protocollo, che riporta le specie minacciate, è inserita la specie *Posidonia oceanica*, mentre nell'allegato I sono elencati una serie di criteri che gli Stati devono prendere in considerazione per la creazione delle Aree Marine Protette e delle Aree Costiere che dovranno essere inserite nella lista delle "Aree Specialmente Protette di Interesse Mediterraneo" (ASPIM).

#### **4.5.2 Posidonia spiaggiata, normativa italiana**

Esistono molti dubbi interpretativi sulla normativa e sull'effettiva classificazione delle biomasse spiaggiate. La linea interpretativa predominante confermerebbe la connotazione di rifiuto<sup>2</sup> del materiale in questione, perché pur essendo un prodotto naturale (quindi non è possibile individuare un "produttore" e un "detentore"), determinerebbe la necessità di disfarsene per motivi turistico-balneari e di igiene pubblica.

La norma italiana di riferimento per la gestione dei rifiuti è il Decreto Legislativo n.152 del 3/04/2006 "Norme in materia ambientale". I rifiuti sono classificati, secondo l'origine, in rifiuti urbani e rifiuti speciali e, secondo le caratteristiche di pericolosità, in rifiuti pericolosi e non pericolosi (art.184 D. Lgs 152/2006).

Sono rifiuti urbani:

a) rifiuti domestici, anche ingombranti, provenienti da locali e luoghi adibiti ad uso di civile abitazione;

---

<sup>2</sup> Rifiuto: qualsiasi sostanza od oggetto di cui il detentore si disfi o abbia intenzione o abbia l'obbligo di disfarsi (art.183 D.Lgs 152/06).

- b) rifiuti non pericolosi provenienti da locali e luoghi adibiti ad usi diversi da quelli di cui alla lettera, assimilati ai rifiuti urbani per qualità e quantità;
- c) rifiuti provenienti dallo spazzamento delle strade;
- d) rifiuti di qualunque natura o provenienza, giacenti sulle strade o aree pubbliche o sulle strade ed aree private comunque soggette ad uso pubblico o sulle spiagge marittime e lacuali e sulle rive dei corsi d'acqua;
- e) rifiuti vegetali provenienti da aree verdi, quali giardini, parchi e aree cimiteriali;
- f) rifiuti provenienti da esumazioni ed estumulazioni nonché altri rifiuti provenienti da attività cimiteriale diverse da quelle di cui le lettere b), c), e).

La Regione Sardegna con la Determinazione n. 942 del 7 aprile 2008 stabilisce una serie di prescrizioni inerenti all'asportazione della Posidonia spiaggiata e la pulizia delle spiagge dai rifiuti. Sempre considerando il ruolo svolto dai residui nella protezione degli arenili dall'erosione, la Regione autorizza i comuni costieri e i concessionari demaniali ad effettuare le operazioni di pulizia delle spiagge secondo una serie di prescrizioni. Nel documento si fa particolare riferimento alla protezione del sistema dunale, vietando l'uso dei mezzi meccanici nelle operazioni di pulizia, che devono essere effettuate esclusivamente con strumenti manuali e senza asportare la sabbia. Inoltre, la Regione Sardegna vieta il trasporto dei residui di Posidonia in spiagge diverse da quelle in cui si sono accumulati. Con la Deliberazione G.R. n. 27/7 del 13 maggio 2008, inoltre, la Regione Sardegna prescrive una serie di indirizzi urgenti per la gestione della fascia costiera, soffermandosi, tra le altre cose, sul problema della gestione della posidonia spiaggiata. In questa delibera la Regione Sardegna riprende le tre soluzioni prospettate dal Ministero dell'Ambiente.

#### **4.5.3 Indicazioni del Ministero dell'Ambiente**

Riconoscendo il ruolo ecologico-ambientale delle biomasse spiaggiate, il Ministero dell'Ambiente e della tutela del Territorio e del Mare, con la Circolare n.8123/2006 (e successiva circolare del 19 maggio 2019), ha fornito tre diverse soluzioni legate alla specificità dei luoghi e delle situazioni sociali ed economiche di riferimento:

- 1) Mantenimento in loco delle *banquette*;
- 2) Spostamento degli accumuli;
- 3) Rimozione permanente e trasferimento in discarica.

1) Mantenimento in loco delle *banquette*: questa soluzione, la migliore dal punto di vista ecologico, va attuata laddove non entri in conflitto con la balneazione e fruizione delle spiagge o in siti costieri

deve il fenomeno erosivo è particolarmente accentuato. È la soluzione auspicabile nelle aree protette e nelle zone A e B dei Parchi Nazionali, la cui efficacia è aumentata da campagne di informazione/sensibilizzazione dei bagnanti. Nei casi in cui le biomasse spiaggiate vengano lasciate in loco, con l'obiettivo di assicurarne la tutela e la salvaguardia, è opportuno che gli amministratori mettano in atto alcuni accorgimenti:

- diffusione dei contenitori e rimozione dei rifiuti di origine antropica
- comunicazione e sensibilizzazione al fine di aumentare la tolleranza da parte dei fruitori della spiaggia.

Inoltre, è importante sottolineare il risparmio di risorse finanziarie che i soggetti gestori potrebbero risparmiare con l'eliminazione dei costi di smaltimento dei banchi di *Posidonia*.

2) Spostamento degli accumuli: qualora il mantenimento in loco dei residui di *Posidonia* venisse giudicato incompatibile con la balneazione, **si propone lo spostamento degli accumuli e il riposizionamento degli stessi nel periodo invernale**. Gli interventi dovranno essere preceduti dall'asportazione di tutti i rifiuti dagli arenili. Questa operazione dovrà essere effettuata con attrezzi manuali e, nel caso di arenili molto estesi, potrà essere affiancata da mezzi meccanici dotati di un sistema di trigliaggio<sup>3</sup>. Eventuali rifiuti di piccole dimensioni, potranno essere asportati tramite l'utilizzo di setacci. Il successivo spostamento della *Posidonia* spiaggiata dovrà essere effettuato con attrezzi manuali quali rastrelli per il prelievo selettivo delle foglie. Nel caso di arenili molto estesi potranno essere affiancati mezzi gommati a bassa invasività, di peso non superiore alle 2,5 tonnellate; si esclude l'impiego di mezzi cingolati. Lo spostamento degli accumuli di *Posidonia* nei siti soggetti a spiaggiamento consistente dovrà essere programmato ed eseguito periodicamente, con un minimo di tre interventi all'anno, rimuovendo solo gli strati superficiali di foglie asciutte. La profondità dell'intervento dovrà essere limitata ai primi 10 cm. La *Posidonia* potrà essere accumulata in apposite strutture amovibili di contenimento che ne assicurino l'areazione ed evitino la dispersione eolica e cattivi odori ad esempio semplici tutori infissi nella sabbia raccordati da rete a maglia fitta. La quantità di accumulo dovrà essere tale da non consentire fenomeni di putrefazione.

La biomassa può essere stoccata a terra all'asciutto, trasportata in zone appartate della stessa spiaggia dove si è accumulata (spostamento in situ), spostata su spiagge poco accessibili o non frequentate dai bagnanti o su spiagge particolarmente esposte all'erosione (trasferimento ex situ). Ove le caratteristiche morfo-sedimentologiche degli arenili e quelle dei depositi lo consentano, si potrebbe

---

<sup>3</sup> Sistema di trigliaggio: griglie che consentono l'asportazione del rifiuto e il rilascio della sabbia e dei residui di *Posidonia*.

procedere all'accumulo delle biomasse vegetali spiaggiate al piede della duna e/o alla sua sommità o in alternativa spandere i residui sulla maggiore superficie possibile, eventualmente ricoprendo con uno strato di sabbia. Con quest'ultima opzione la matrice di residui vegetali provvederà ad integrarsi con la spiaggia consentendo la sua ulteriore stabilizzazione, favorendo i processi antierosione, ed in particolari casi stabilizzando anche le dune.

Nei casi in cui l'arenile sia compromesso a causa di (1) uno spiccato trend erosivo, (2) un livello di antropizzazione della fascia costiera troppo elevato, (3) una duna irrimediabilmente danneggiata o assente, i materiali potrebbero essere trasferiti presso un contesto ambientale limitrofo. In questo caso, il riutilizzo delle biomasse vegetali spiaggiate finalizzato alla realizzazione di interventi di ripristino morfologico, potrebbe implicare il trasporto e il trasferimento di questi materiali da un sito in un altro.

3) Rimozione permanente e trasferimento in discarica: laddove si verificano le oggettive condizioni di incompatibilità fra gli accumuli di biomassa e la frequentazione delle spiagge (fenomeni putrefattivi in corso, mescolamento dei detriti vegetali con i rifiuti), le *banquette* possono essere rimosse e trattate come rifiuti urbani secondo la normativa vigente. Tale soluzione è da attuarsi solo in caso di effettiva necessità, cioè nell'impossibilità di ricorrere a soluzioni alternative.

Il materiale spiaggiato dovrà essere considerato assimilabile ai Rifiuti Solidi Urbani (in base alla definizione ai sensi dell'articolo 184 del D.lgs.152/2006) e i comuni hanno l'obbligo della rimozione, a meno che non si tratti di un'area in concessione a privati. In tal caso questi chiedono al comune il certificato di parificazione a rifiuti solidi urbani. Le biomasse devono essere raccolte e trasportate con mezzi da ditte iscritte nell'elenco delle ditte autorizzate al trasporto dei rifiuti. I codici CER con i quali possono essere classificate le biomasse spiaggiate sono i seguenti (Dec. 2000/532 CE):

- Codice CER 20 01 02 (Rifiuti Urbani domestici e assimilabili- rifiuti prodotti da giardini e parchi- rifiuti biodegradabili)
- Codice CER 20 03 03 (Rifiuti Urbani domestici e assimilabili – altri rifiuti urbani – residui della pulizia stradale)
- Codice CER 20 03 99 (Rifiuti Urbani domestici e assimilabili- altri rifiuti urbani- rifiuti urbani non specificati altrimenti).

Il materiale, a seguito della separazione dei rifiuti antropici, contenente notevoli quantitativi di sabbia deve essere sottoposto ad essiccamento e vagliatura. L'essiccamento serve a facilitare la successiva separazione della sabbia dalle foglie di *Posidonia* e a ridurre il peso del materiale destinato a discarica. La vagliatura permette, quindi, di recuperare il materiale inerte e di ridurre notevolmente i quantitativi di materiale da trasportare in discarica.



#### 4.5.4 Circolare n.8838 del 20.5.2019

Nel Giugno 2019 è stata pubblicata in Gazzetta Ufficiale la Circolare n.8838 del 20.5.2019 (si veda allegato) del Ministero dell’Ambiente del Territorio e del Mare, che ha come oggetto non le biomasse vegetali spiaggiate, bensì i soli residui di *Posidonia oceanica*. La nuova circolare, sebbene non estenda il suo campo di applicazione al legname ed ai materiali lignei di modeste dimensioni/cannicciate, affronta la problematica in modo più esaustivo e circostanziato rispetto a quella precedente, offrendo molte più opzioni gestionali.

Dopo una breve introduzione, nella quale la posidonia spiaggata viene definita sia come rifiuto che come risorsa, segue un inquadramento normativo e sette opzioni gestionali elencate secondo il principio gerarchico di gestione dei rifiuti (riduzione, riutilizzo, riciclo, smaltimento), comprendendo anche indicazioni di “bonifica” di accumuli antropici”, cioè quegli accumuli frutto di un lungo e periodico deposito di materiale in luoghi appartati individuati da alcune amministrazioni lungo la fascia costiera.

Alla luce della nuova circolare la comunità scientifica, nell’ambito di diversi progetti, sta ora adeguando ed implementando una serie di procedure con le quali poter favorire le attività turistico ricreative e l’economia del mare (consentendo la pulizia degli abbancamenti dai rifiuti, la creazione di spiagge ecologiche, lo spostamento stagionale). Una delle maggiori perplessità è costituita dall’immersione in mare, per ora considerata come attività di smaltimento. Al contrario, si ritiene che la Posidonia accumulata potrebbe anche essere restituita al mare proprio in virtù del fatto che essa è composta principalmente dall’apparato fogliare della pianta marina che costituisce la prateria (definita appunto prateria madre) da cui ha origine il materiale spiaggato (solo secondariamente costituito da fibre e da radici, detti rizomi). Numerosi sono i casi di ritrovamento di foglie morte 7 nella colonna d’acqua litoranea o sul fondale sia a basse profondità che a profondità maggiori rispetto al limite inferiore (oltre i 40 metri) dove possono dare luogo a veri e propri letti di macerazione. Pertanto all’interno di Riserve Naturali, AMP, Parchi o altre aree dove la contaminazione è assente o contenuta, l’immersione in mare dovrebbe costituire una opzione priva di particolari criticità proprio perché finalizzata ad attuare operazioni antropiche che simulano processi naturali che si ripetono naturalmente ogni anno (Cappucci & Creo (2019).

## 4.6 Valutazione degli accumuli di *Posidonia oceanica* lungo il litorale di Alghero (spiagge di San Giovanni e Maria Pia)

Lo spiaggiamento di *Posidonia*, pur essendo un fenomeno naturale mal si concilia con l'esigenza di offrire spiagge pulite durante la stagione estiva in una economia fondata sul turismo balneare.

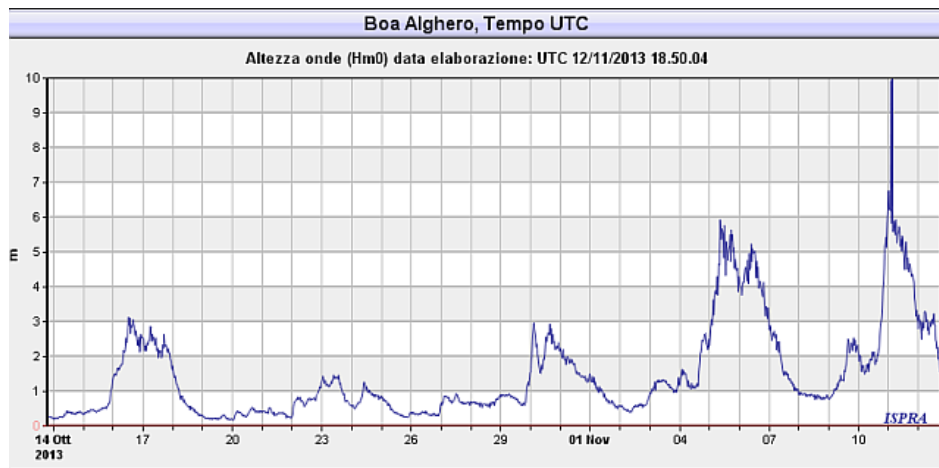
Lungo le coste del Mediterraneo, dopo le mareggiate soprattutto invernali, si accumulano foglie, rizomi ed egagropili *Posidonia* che danno origine a depositi biogenici, noti anche con il nome di *banquettes* (Boudouresque et al., 2006). Il fenomeno è del tutto naturale, non è sintomo di sofferenza o degrado dell'ambiente marino, anzi indica la presenza nelle vicinanze dell'arenile di praterie "vive" e sono sinonimo di mare pulito e in equilibrio (Diviacco et al., 2001). I depositi biogenici costituiscono un prodotto che non ha ancora completato il ciclo biologico e va incontro, se accumulato in ingenti quantitativi, a fenomeni di putrefazione con conseguenti odori sgradevoli. In passato le *banquettes* erano considerate parte integrante del paesaggio. Oggi a seguito delle attività turistico-balneari, la presenza di *Posidonia* spiaggiata viene recepita come un elemento di disturbo che deturpa la bellezza della spiaggia. I comuni costieri devono spesso intervenire per la pulizia delle spiagge, sostenendo pesanti costi economici sia per la rimozione che per l'eventuale smaltimento dei residui. Al centro del presente studio vi sono il lido San Giovanni di Alghero, dove nella parte meridionale adiacente al porto è presente un sito temporaneo di stoccaggio della *Posidonia* spiaggiata, rimossa dall'arenile in modo meccanico e l'area antistante Villa Segni, secondo sito di stoccaggio temporaneo del litorale Alghero-Fertilia.

### 4.6.1 Inquadramento dell'area di studio

#### Contesto generale

Alghero è situata nella Sardegna Nord-Occidentale (fig. 24). Il clima è mite, caratterizzato da una stagione piovosa (da ottobre ad aprile) in cui si manifesta mediamente l'80% del cumulo annuale e una stagione secca (da maggio a settembre). L'area è microtidale e dominata dal vento di maestrale che può produrre onde di tempesta di circa 8 metri di altezza (APAT, 2006). Le sue spiagge si sono formate alla fine della risalita eustatica post massimo glaciale (LGM) (Pascucci et al., 2018). Sono principalmente caratterizzate da sedimento sabbioso e mostrano un evidente arretramento della linea di riva. Una vasta prateria di *Posidonia oceanica* caratterizza il litorale di Alghero coprendo un'area di 13 km<sup>2</sup> ad una profondità compresa tra i 5 e i 30 m (Pala et al., 2009, De Luca et al. in press). Nel settore nord il limite superiore della prateria risulta fortemente frammentato e discontinuo e il limite

inferiore mostra evidenti segni di regressione. Nel settore sud, la prateria appare uniforme eccetto nell'area intorno all'isola della Maddalenetta e nell'area di fronte alla laguna del Calich (Pala et al., 2009, De Luca et al. in press) (Fig. 24). Le onde in mar aperto sono monitorate dalla RON (Rete Ondametrica Nazionale). L'analisi dei dati mostra che ad Alghero è alto il numero di episodi con onde superiori ad almeno 3 metri. Il vento che genera la quasi totalità delle mareggiate nella Sardegna occidentale è il Maestrale. La tipica direzione delle onde è 300°N, spesso hanno un'altezza significativa di 2m (APAT, 2006). I dati registrati dalla boa della RON posizionata al largo di Capo Caccia nella notte tra il 10 e 11 novembre 2013 hanno segnalato un'onda di 10,5 metri (Fig.31) e la mattina del 22 ottobre 2014, è stata registrata l'altezza massima di 16,8 metri. Se si considera la rarità con cui si registrano simili onde, gli eventi rappresentano un vero record per tutto il bacino del Mediterraneo.



**Figura 31** - Altezza d'onda superiore ai 10 metri, novembre 2013 (Da: RON).

#### 4.6.2 L'area di studio

Il litorale Alghero-Fertilia si trova nella baia di Alghero, sulla costa nord-occidentale della Sardegna



**Figura 32** – Rada di Alghero e Laguna del Calich (nel riquadro in rosso)

(Italia). È caratterizzato da una costa sabbiosa lunga circa 4 km che forma un arco orientato NNW-SSE. La baia è delimitata a sud dal porto di Alghero e a nord dal più piccolo porto di Fertilia, sviluppatosi all'ingresso dello sbocco a mare della Laguna di Calich (Fig. 32). Il litorale può essere ulteriormente suddiviso in due settori

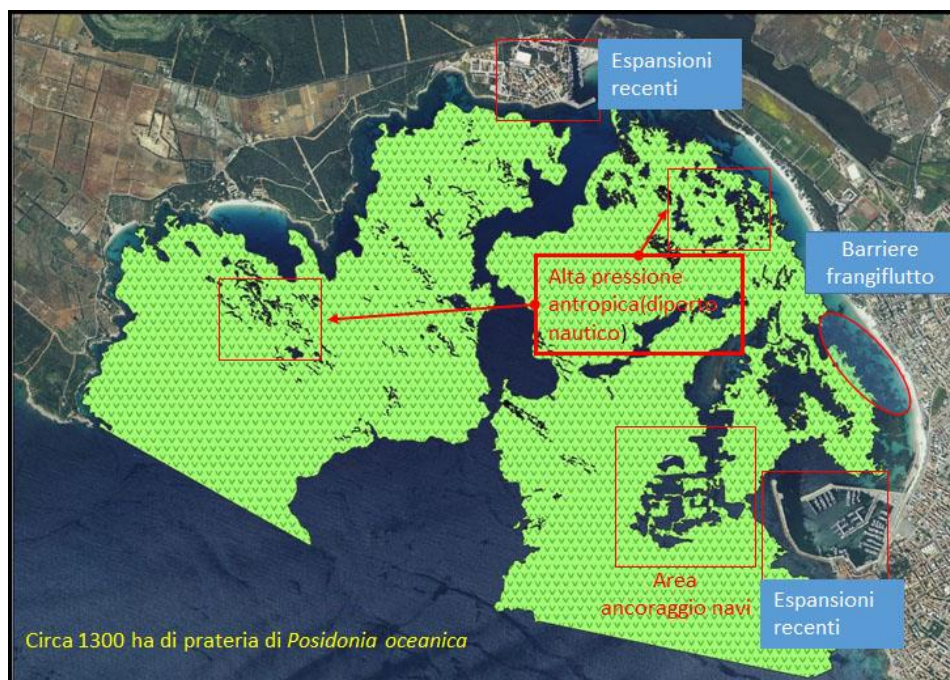
separati da un piccolo promontorio (Punta del Paru), oggi caratterizzato da una diga marina che protegge l'edificio dell'Ospedale Marino. Una piccola isola costituita interamente da basalto (Isola della Maddalenetta, (Fig. 24) si trova all'interno del profilo di profondità di 5 m circa di fronte a Punta del Paru. Una strada principale, parallela alla riva, delimita i tratti superiori della spiaggia e il sistema delle dune. Il settore settentrionale si estende dalla spiaggia di Fertilia alla spiaggia di Maria Pia. La spiaggia di Maria Pia può essere descritta come una spiaggia semi-naturale, con un sistema di dune (Fig. 33), stabilizzata da alberi di ginepro e una pineta piantata negli anni '50. La sabbia che costituisce la base di queste dune è stata datata a circa 2600 y BP (Andreucci et al., 2017) ed è composta principalmente da sabbia bioclastica da fine a media.



**Figura 33** - Le spiagge di San Giovanni (SG) e Maria Pia (MP) separate da Punta del Paru (PP)



L'urbanizzazione e l'industria turistica hanno avuto un *boom* negli anni Settanta, portando nuove strade e *resort* nella parte superiore attiva della spiaggia e delle dune, causando la loro distruzione. L'unico apporto di sedimenti terrigeni al litorale è la laguna di Calich (Fig. 32), che è alimentata da tre piccoli fiumi. Questa tuttavia oggi ha la sua connessione con il mare nel porto di Fertilia, con conseguente insabbiamento di questo e perdita di un grosso volume di sedimenti. Il bacino idrografico di questi fiumi era originariamente di 400 km<sup>2</sup>, tuttavia dopo la costruzione di due dighe nel 1975 è stato ridotto a 290 km<sup>2</sup>. Nel 1938-1943, il sistema lagunare di Calich fu in parte bonificato per uso agricolo e chiusa la sua connessione mare ubicata nella parte centrale della spiaggia di Maria Pia (Manca et al., 2013). L'estensione della laguna fu ulteriormente ridotta alla fine degli anni '80, anni durante i quali furono dragati sia la laguna che il porto di Fertilia. L'ultimo sbocco naturale a mare del Calich fu ulteriormente trasformato nel 1989-1990 con l'estensione del molo di sopraflutto del porto di Fertilia. Il settore meridionale, a sud di Punta del Paru, comprende la spiaggia urbana del Lido San Giovanni, principale località balneare dalla città di Alghero. Il porto di Alghero negli anni '90 è stato progressivamente ampliato per proteggere sia la flotta peschereccia che il crescente numero di imbarcazioni da diporto. Dopo la significativa espansione di entrambi i frangiflutti del porto terminati nel 1990, le spiagge urbane hanno iniziato a ritirarsi, mettendo a rischio di inondazione la vicina stazione ferroviaria costiera (successivamente spostata verso l'interno) ed il lungo mare "Passeggiata Busquets", principale accesso di Alghero. Tra il 1981 e il 1983 furono



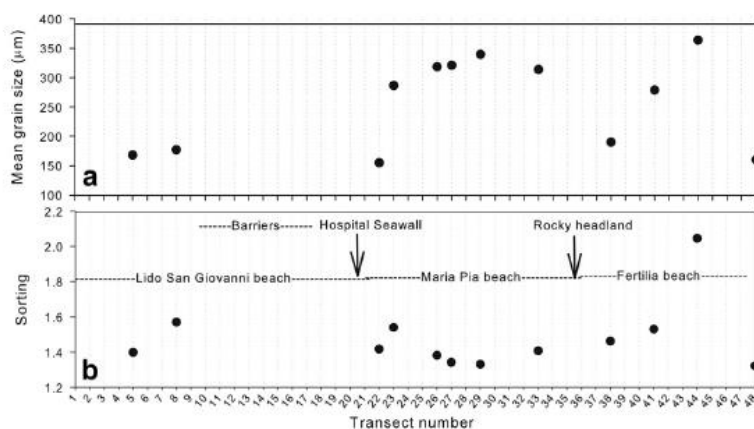
**Figura 34** - Carta della Prateria di *P. oceanica* della rada di Alghero con indicati i principali segni dell'antropizzazione



costruite una serie di difese costiere parallele alla costa (barriere parzialmente sommerse) al largo della spiaggia di Lido San Giovanni, al fine di ridurre l'energia delle onde e proteggere la costa. Tra l'inizio degli anni '80 e il 1990, i frangiflutti furono ulteriormente allungati. La barriera messa a protezione di Punta del Paru (sede dell'Ospedale Marino di Alghero) fu ampliata e rinforzata nel 1983 dopo i danni causati da una forte tempesta, e di nuovo nel 2001 e 2005 con il progredire della ritirata del litorale (Fig. 34) Le analisi delle variazioni del litorale tra il 1842 e il 1942 riportate da Spano e Pinna, indicano che un tempo la spiaggia di Punta del Paru era la più ampia dell'intero litorale.

#### 4.6.3 I sedimenti

I sedimenti del litorale Alghero-Fertilia (si veda allegato), analizzati su 48 profili, mostrano sempre una distribuzione unimodale (con una sola eccezione nel profilo 44 il sedimento è bimodale, sabbioso-ghiaiosa: 212  $\mu\text{m}$  e 842  $\mu\text{m}$  rispettivamente). I dati sono riportati in figura 35.



**Figura 35** – **a** Variazione media della granulometria del sedimento lungo il litorale Alghero-Fertilia. **b** Composizione granulometrica lungo il litorale Alghero-Fertilia

I sedimenti sono delle sabbie medio-fini, da poco a ben assortiti. La sabbia nelle aree vicino al Porto di Alghero (parte in accrezione della spiaggia) sono fini, (159  $\mu\text{m}$ ) e ben assortite (1.3). Sabbie con caratteristiche molto simili si trovano vicino al Porto di Fertilia (profilo 48) altra area di accrescimento. La parte centrale delle spiagge di Maria Pia e Fertilia ha generalmente sabbie più grossolane (tra 286  $\mu\text{m}$  e 339  $\mu\text{m}$ ). Queste sono aree caratterizzate da intensi processi erosivi dove maggiore è l'asportazione del materiale fine.

#### 4.6.4 Bilancio sedimentario

Una stima del bilancio sedimentario del litorale Alghero-Fertilia è stata fatta, supponendo che il litorale sia una cella sedimentaria indipendente, come suggerito da (APAT, 2006). Il dragaggio del porto di Fertilia e della laguna del Calich ha influenzato negativamente il bilancio sedimentario, con una perdita netta, dopo il dragaggio, di circa 520.000 m<sup>3</sup> di sedimenti in circa 3 anni (1999-2002). Questa depressione creata nel letto della laguna deve essere colmata da nuovi sedimenti prima che questi possano di nuovo raggiungere la sabbia delle spiagge. Inoltre, la costruzione di dighe lungo i principali fiumi riferiti al bacino idrografico in cui si trova il litorale di Alghero-Fertilia ha ridotto di circa il 30%, il volume di sedimento (principalmente sabbia) trasportato durante le piene. Inoltre, i cambiamenti di uso del suolo, tra questi la bonifica delle aree palustri adiacenti il Calich per uso agricolo, hanno ridotto l'area di erosione potenziale e di conseguenza il potenziale trasporto di sedimenti verso il mare. Il dragaggio del porto di Alghero e lo smaltimento della sabbia in discarica, è un'altra perdita netta di sedimenti dal sistema. Nei settori di arenile in cui sono scomparse le dune naturali (Lido San Giovanni, spiaggia e spiaggia di Fertilia) la sabbia che viene asportata durante le mareggiate si accumula sia nell'entroterra che lungo la strada ed in buona parte viene persa. Una piccola parte di questa è ridistribuita a mano dagli operatori ecologici nelle spiagge dalle quali deriva. Tuttavia, nonostante il bilancio sia negativo, l'arenile mostra nel complesso un equilibrio positivo se si bilanciano le aree in avanzamento con quelle in arretramento. Questo indica che vi sia ancora del sedimento disponibile. È inoltre certo che la potenziale perdita di sedimento verso mare, durante eventi di tempesta, sia limitata dalla presenza della prateria di *Posidonia oceanica*. La stessa, inoltre è attualmente la principale sorgente di sedimento alla spiaggia come dimostrato dalla presenza di circa il 40% di bioclasti determinati sia nelle sabbie che della spiaggia stessa.

Le dune della spiaggia di Maria Pia sono la principale area sorgente dei sedimenti delle spiagge come dimostrato dall'analisi granulometrica dei sedimenti da cui si evince che le zone di spiaggia hanno una granulometria della sabbia molto simile a quella delle dune. La composizione granulometrica della sabbia delle dune è compresa tra 169 a 255 µm, da bene a molto bene assortite (tra 1,26 e 1,39), mostrando quindi caratteristiche simili a quelle dei profili posti agli estremi del litorale. Si può concludere che allo stato attuale le poche e piccole dune di Maria Pia stanno salvando il litorale di Alghero-Fertilia dall'erosione costiera. Tutto questo non è sostenibile per la modesta riserva di sabbia. Da qui la necessità di non perdere neanche un "granello" della sabbia presente nel sistema (Fig. 36 a,b).

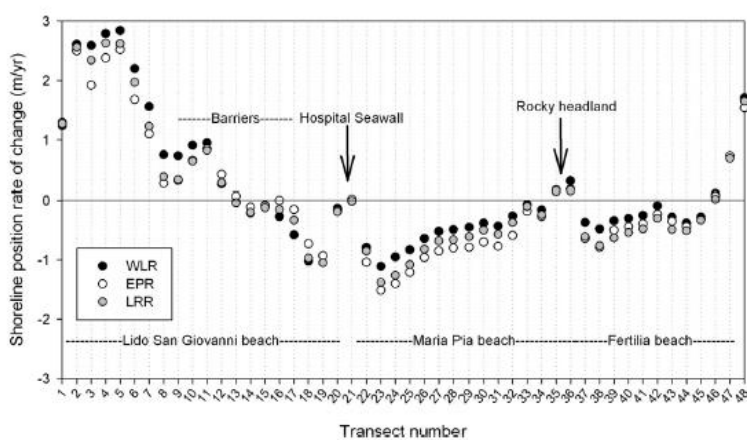


**Figura 36** - Le dune e la spiaggia di Maria Pia: **a)** estate, **b)** inverno. Si noti l'erosione del piede delle dune e la conseguente immissione nel sistema di sabbia

#### 4.6.5 Variazione della linea di riva del litorale

La variazione della linea di riva del litorale di Alghero-Fertilia è stata monitorata nel periodo 1977-2009 (Fig. 37) attraverso l'analisi di immagine e l'applicazione dell'analisi della variazione delle linee di riva (Digital Shoreline Analysis System - DSA) in 48 transetti (Manca et al., 2013). Questa ha permesso di rilevare i tassi di arretramento/avanzamento della spiaggia (End Point Rate-EPR) e di eseguire una Surface Variation Analysis (SVA). Valori positivi (incremento) di 1,2 m a-1 sd 0,88 (sd=deviazione standard) sono stati determinati nel tratto meridionale della spiaggia di San Giovanni (tratto adiacente al porto di Alghero). Valori negativi (con un'unica eccezione nel tratto centrale) di -0,56 m a-1 sd 0,46 nel restante litorale e valori di arretramento molto elevati ( $< -1$  m a-1) nel tratto centro-meridionale del litorale di Maria Pia. Solo il tratto di spiaggia subito a sud del porto di Fertilia è in crescita con valori di 0,8 m a-1, sd 0,76.

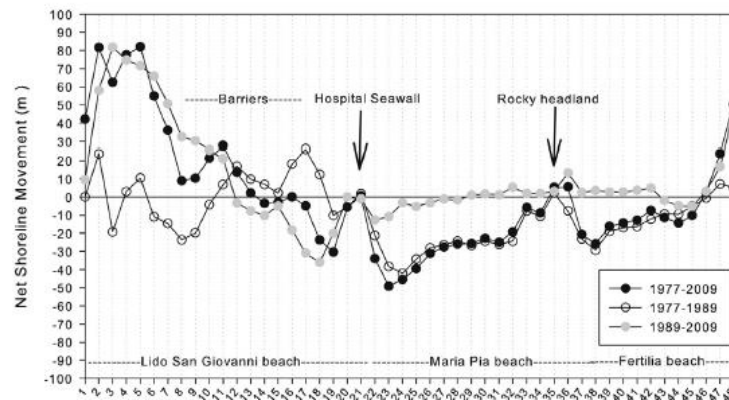
Tutto il litorale di Alghero ha una superficie complessiva di circa 11ha di cui 5,5ha in avanzamento e 5,4ha in arretramento. A questo bilancio positivo, tuttavia, si contrappone la lunghezza dell'arenile con maggiore pressione turistica estiva dove si evidenzia una zona di oltre 3.100m in arretramento.



**Figura 37** – Tasso di variazione della linea di riva tra il 1977 e il 2009 espresso come End Point Rate (EPR) Linear regression Rate (LRR) e Weighted Linear Regression Rate (WLR)

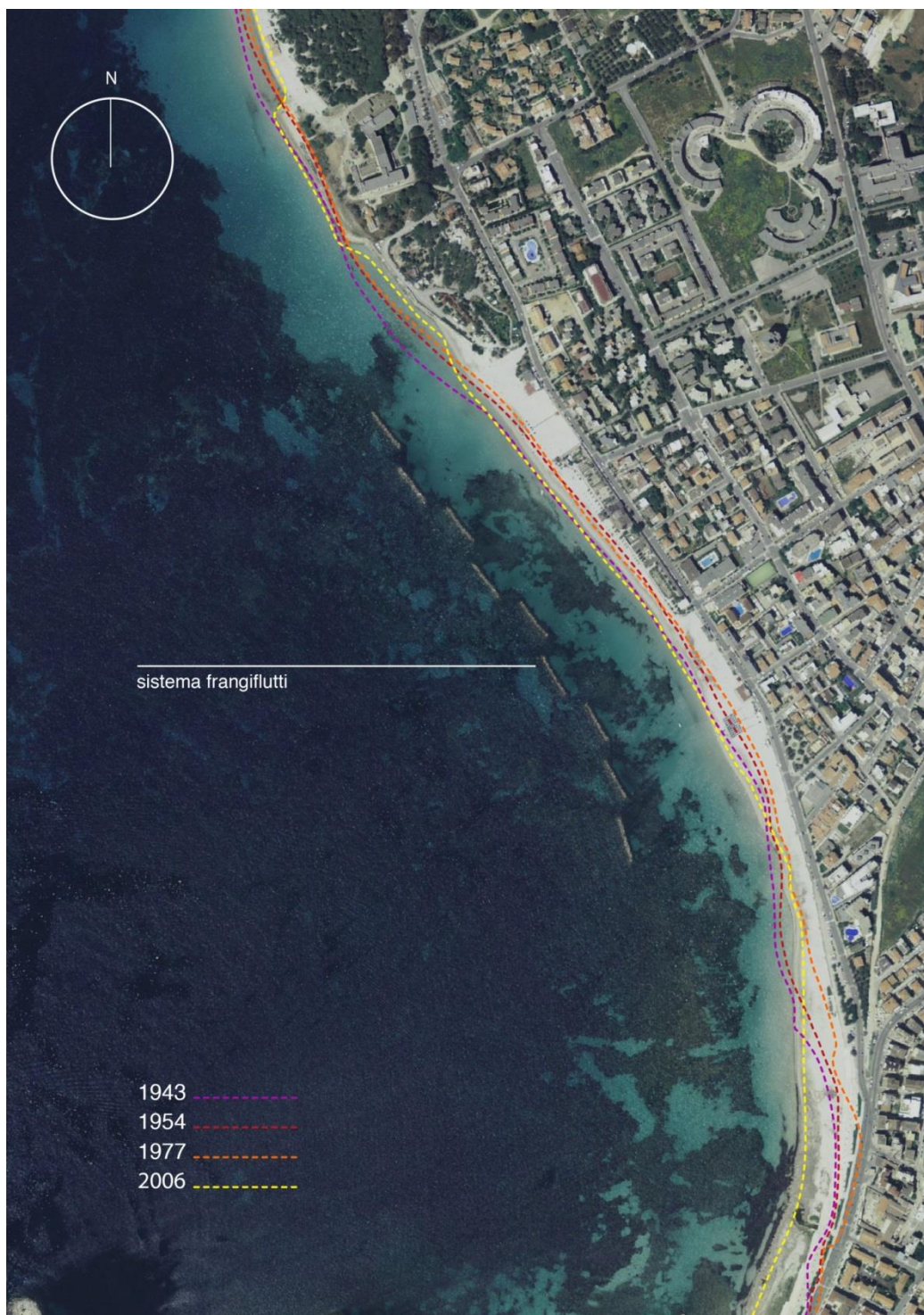
L'analisi EPR (End Point Rate) e LRR (Linear Regression Rate) indicano chiaramente che la forte erosione del litorale antistante la costa armata dove ha sede l'Ospedale Marino sia legata all'effetto di amplificazione del moto ondoso per interazione con le barriere parzialmente soffolte (costruite nel 1983) presenti davanti al tratto settentrionale della spiaggia di Maria Pia. L'ampliamento del molo di sopraflutto del porto di Alghero sembra, invece, aver influito sulla crescita della porzione più meridionale della spiaggia di Maria Pia (Fig. 38 e 39).

Un'adeguata conoscenza degli effetti dell'erosione sia del passato e del presente è l'unico strumento che permette una sostenibile e migliore gestione dei possibili interventi. Un opportuno monitoraggio permette infatti di (1) quantificare le variazioni della dinamica del litorale, (2) valutare l'efficacia degli interventi adottati e (3) orientare gli sforzi per contrastarne gli effetti negativi. Le informazioni acquisite aiutano a prevedere i cambiamenti futuri, e indirizzare sia le politiche insediative dei diversi piani urbanistici, sia le attività di gestione e di destinazione d'uso del territorio. Nel caso del litorale di Alghero, la cementificazione, l'eccessiva frequentazione senza le opportune misure di protezione della spiaggia, le opere marittime sia portuali sia di difesa, hanno indebolito il sistema litorale che in molti tratti risulta in erosione soprattutto nelle zone di massima fruizione.



**Figura 38** – Tasso di variazione della linea di riva tra il 1977-1989, 1989-2009 e per l'intero periodo 1977-2009. I valori positivi indicano un'area in accrezione, i valori negativi un'area in erosione





**Figura 39** - Immagine da satellite della spiaggia di San Giovanni. Da notare le successive variazioni della linea di riva dal 1943 al 2006 e le barriere frangiflutto.

#### 4.6.6 Opere di difesa del litorale

Tra marzo e aprile del 2004 sono stati eseguiti degli interventi di contenimento del fenomeno erosivo, con il ripascimento dell'arenile di Maria Pia effettuato con modesti quantitativi di sedimenti sabbiosi



provenienti dallo smantellamento del vecchio tracciato ferroviario. La vegetazione rappresenta l'elemento principale di edificazione e stabilizzazione dell'ambiente dunale, per cui, sono state trapiantate delle essenze arboree e arbustive quali tamerici e palme. Durante questo lavoro di tesi, in collaborazione con il comune di Alghero, è stato sviluppato un progetto di ingegneria naturalistica sperimentale e provvisoria finalizzato a posizionare delle barriere frangivento costituite da viminate in canne da posizionarsi nelle aree di San Giovanni (nei tratti particolarmente soggetti a fenomeni di deflazione) e di Maria Pia (particolarmente esposta all'erosione nel tratto di fronte al palazzo dei congressi) (Fig. da 40, a 42).

Le barriere frangivento disposte a scacchiera sulla spiaggia di Maria Pia hanno una trappola sedimentaria sia per le biomasse vegetali che per la sabbia favorendo l'innalzamento del profilo di spiaggia e contribuendo a ricostituire l'area dunale. Inoltre, per limitare il parcheggio delle autovetture direttamente sulla spiaggia sono state installate delle recinzioni in pali in legno di 1,30 m di lunghezza, distanziati di 3,00 m infissi nella sabbia per una profondità di 0,80 cm. L'accesso alla spiaggia è stato realizzato tramite passerelle di legno.

#### **4.6.7 Relazione tecnica**

*Di seguito viene presentata la relazione tecnica fatta per il Comune di Alghero*

La presente relazione è parte integrante del "Progetto di protezione degli arenili urbani" proposto dal Settore III – Sviluppo Sostenibile, nell'ambito delle attività dell'Ufficio relative alla gestione delle spiagge urbane della città di Alghero in collaborazione con il Dipartimento di Architettura, Design e Urbanistica dell'Università di Sassari (UNISS).

La sperimentazione svolta da UNISS con il Comune di Alghero nel corso delle stagioni 2015/16/17 ha dimostrato che gli interventi che si intendono realizzare, previa acquisizione di tutti i nulla osta e autorizzazioni necessarie, consentiranno la realizzazione di una efficace barriera contro la dispersione della sabbia al di fuori della spiaggia.

Il supporto tecnico scientifico fornito dal Prof. Pascucci e Dott. De Luca - Dipartimento di Architettura, nell'ambito degli accordi tra il Comune di Alghero e l'Università degli Studi di Sassari, ha permesso di elaborare il presente progetto attenuando le criticità emerse durante le sperimentazioni.

#### **4.6.8 Lo stato dei luoghi e i fenomeni eolici**

La città di Alghero è dotata di un'ampia e molto apprezzata spiaggia urbana, che si estende dal molo di sottoflutto del porto di Alghero fino al porto di Fertilia, con piccole soluzioni di continuità in

prossimità del Camping Mariposa - Ospedale Marino (Punta del Paru) e degli affioramenti con scogli bassi nei pressi di Villa Segni.

La direttrice della spiaggia, prevalentemente nord-sud, e il suo orientamento espongono l'arenile ai venti provenienti principalmente dal terzo e dal quarto quadrante, con prevalenza del libeccio e del maestrale con intensità fino ai 40 nodi.

Gli eventi eolici, data anche la granulometria fine della sabbia, provocano il trasporto della stessa lungo i marciapiedi limitrofi e la sede stradale con la conseguente immissione nel sistema fognario e l'irreversibile perdita della risorsa.

Il trasporto interessa inoltre anche le foglie di *Posidonia oceanica* secca presente sull'arenile, la quale va ad accumularsi sui marciapiedi, sulla carreggiata e nei terreni pubblici e privati limitrofi alla spiaggia.

L'intervento sperimentale svolto nel corso della stagione invernale scorsa ha dimostrato che le barriere frangivento hanno limitato notevolmente il disperdersi della frazione vegetale e della sabbia nelle zone limitrofe e sulla carreggiata, pertanto si ritiene opportuno proporre l'intervento.

#### **4.6.9 Inquadramento urbanistico**

La zona urbanistica di intervento, individuato dal PRG comunale vigente, risulta essere S5-Balneare Urbana.

Inoltre, la zona risulta sottoposta a vincolo paesaggistico monumentale ai sensi del D. Lgs 42/2004.

#### **4.6.10 Intervento proposto**

La proposta progettuale prevede la realizzazione di barriere costituite da stuoie di cannette sostenute da pali in legno conficcati, senza leganti, nella sabbia (Fig. da 43 a 49)

L'altezza della barriera è di circa 1 m, salvo variazioni dovute alla morfologia della spiaggia.

I pali saranno posizionati con l'ausilio di una piccola trivella, ad uso agricolo, per una profondità di 0,5 m, senza l'ausilio di leganti. L'interasse tra i pali previsto è di circa 2 m.

Le stuoie saranno fissate a tre fili di nylon o con cordino sintetico di adeguato spessore, collocati parallelamente all'andamento del terreno, rispettivamente all'altezza del suolo, a circa 50 cm e in cima ai pali di sostegno.

La linea costituita dalle barriere avrà andamento per lo più rettilineo, salvo in prossimità degli ingressi all'arenile, dove è stato studiato un posizionamento della barriera, in relazione alla direzione dei venti dominanti (libeccio e maestrale), tale da consentire un agevole accesso alle persone ma non il passaggio di sabbia e foglie.

Sarà comunque garantito un accesso all'utenza della spiaggia.

Ulteriori interruzioni delle barriere, adeguatamente realizzate, saranno predisposte lungo tutto il tracciato per consentire la libera fruizione dell'arenile (Fig. 50).

*Documentazione fotografica*



**Figura 40** – Rafel (San Giovanni)



**Figura 41** – Spiaggia Maria Pia, Villa Segni



**Figura 42** – Spiaggia Maria Pia, Lido Novelli



*Simulazioni grafiche delle barriere*



**Figura 43** – San Giovanni



**Figura 44** – Rafel



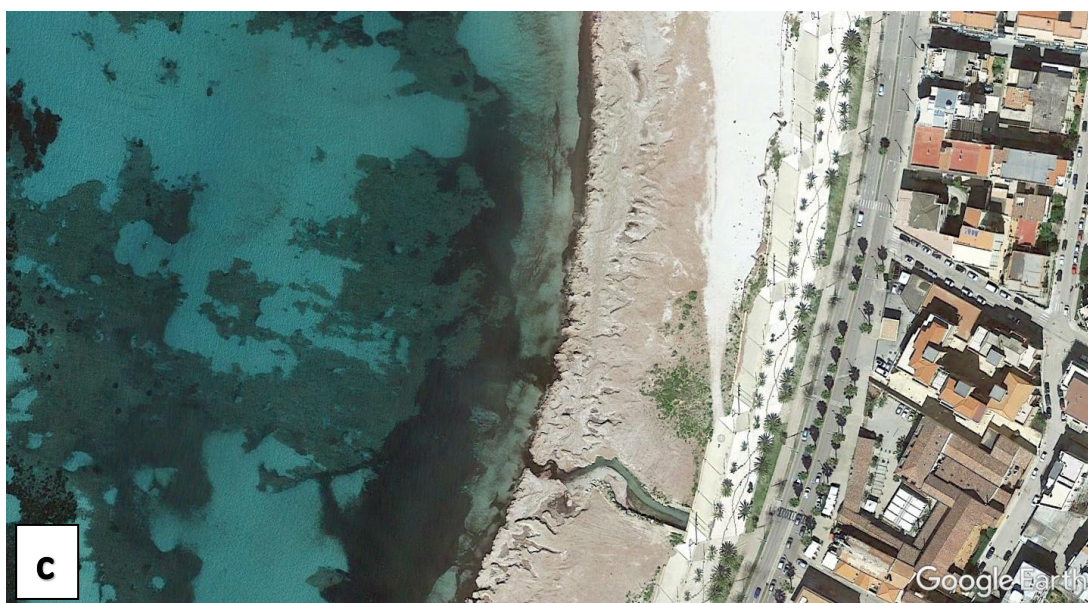
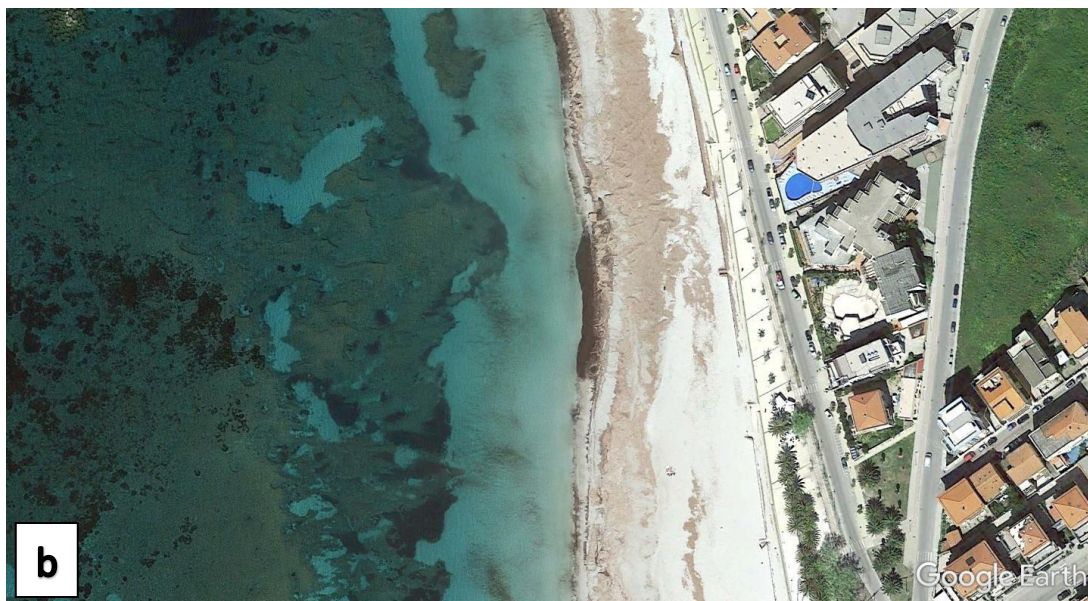
**Figura 45** – Villa Segni

Le barriere realizzate sono visibili nelle foto sottostanti



**Figura 46** – a Ubicazione delle vimate in canna



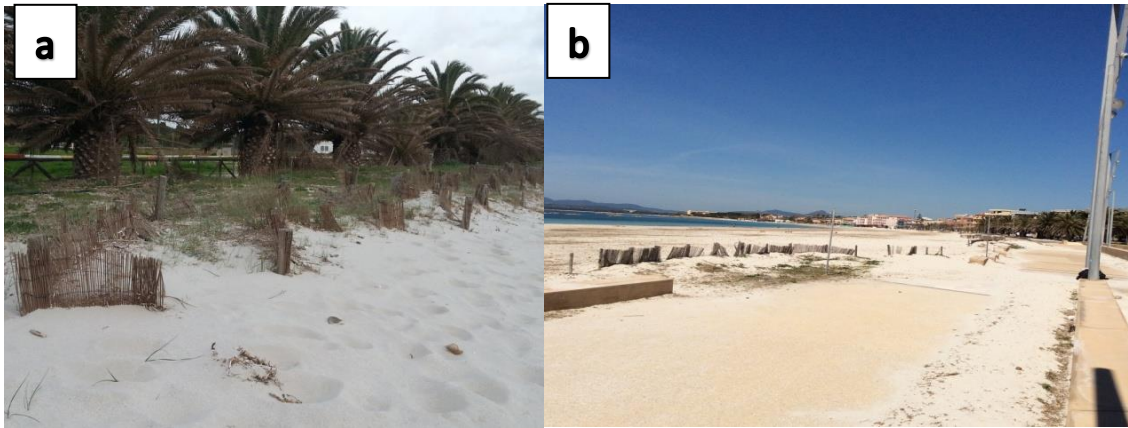


**Figura 46 (b,c)** - Ubicazione delle viminate in canna lungo la spiaggia di San Giovanni

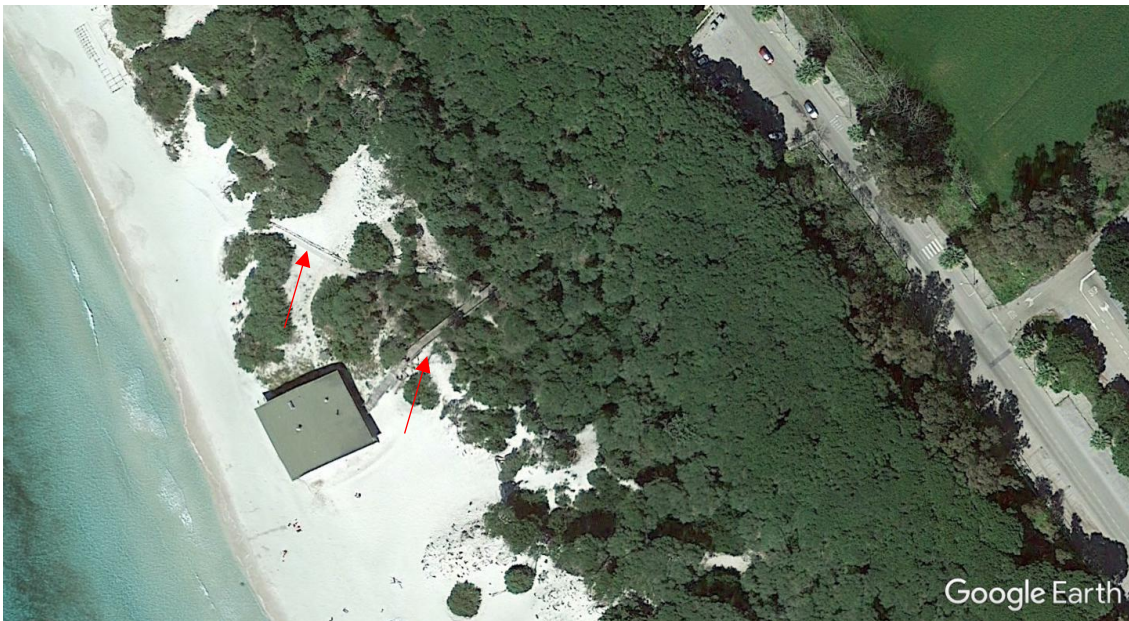


**Figura 47 – a** Moduli a scachiera, Maria Pia; **b-** Viminata, San Giovanni 2019





**Figura 48 – a** Barriere frangivento a scacchiera, Maria Pia, 2015 **b** Viminata, San Giovanni, 2015.



**Figura 49 -** Passerelle di legno di accesso alla spiaggia di Maria Pia



**Figura 50 – a** Passerella pedonale in legno rimovibile poggiate sulla sabbia, Maria Pia; **b** Passerella sopraelevata e pannello in legno per l'affissione di cartello informativo, Maria Pia.

#### 4.6.11 Pulizia del litorale di Alghero

Dal 1997 al 2007 il comune di Alghero ha iniziato a gestire direttamente la rimozione della *Posidonia* spiaggiata dagli arenili, affrontando però il “problema” unicamente da un punto di vista igienico-ambientale, trascurando invece la salvaguardia del litorale sabbioso. La biomassa spiaggiata (circa 15.000 ton anno), tutti i rifiuti antropici e una grande quantità di sedimento (circa 40% in volume e 60% peso) sono stati prelevati e depositati in discarica fino al 2008.

Nel 2008 il volume di *banquettes* rimosso è stato di circa 5000 m<sup>3</sup> (Mancinelli et al., 2005); considerando che 1m<sup>3</sup> di *banquettes* trattiene circa 92,8 kg di sabbia (De Falco et al., 2008), sono state asportate circa 450 tonnellate di sabbia. Nel 2008 la Regione Autonoma della Sardegna, facendo seguito ad una nota ministeriale, ha normato la rimozione della *Posidonia* con la Determinazione n.942 del 07/04/2008. Per ottemperare alla Determina a partire dal 2009 l'Amministrazione Comunale di Alghero ha individuato due siti di stoccaggio temporaneo adiacenti al litorale: San Giovanni (adiacente al molo di sottoflutto del porto e già in uso dal 2005) e Villa Segni (posto nella parte più meridionale della spiaggia di Maria Pia) (Fig. 52).

Gli interventi di pulizia del litorale di Alghero dal 2009 seguono uno schema ben preciso che prevede una progettazione specifica con relazione tecnica e planimetrie. Per raggiungere tale obiettivo si prevede:

- un primo intervento di pulizia straordinaria con rimozione di rifiuti e asportazione ed accumulo della *Posidonia* nei siti di stoccaggio mediante l'impiego di mezzi meccanici di piccole dimensioni (bobcat e carrello) (o in caso di accumuli particolari è autorizzato in deroga l'utilizzo della pala meccanica gommata) (Fig. 51);
- interventi periodici di pulizia degli arenili operata mediante l'impiego di macchine vagliatrici (pulispiagge) per l'asportazione meccanica dei rifiuti dalla sabbia;
- interventi manuali per la pulizia ordinaria degli arenili, con il posizionamento e lo svuotamento dei cestini portarifiuti (con effettuazione della raccolta differenziata almeno per la plastica e l'alluminio); conferimento dei sacchi in prossimità delle aree di stoccaggio provvisorio; raccolta dei sacchi per il loro successivo conferimento da effettuarsi presso i siti autorizzati.

Nella rimozione della *Posidonia* il mezzo gommato munito di pala dovrà operare in modo tale da asportare il minor quantitativo di sabbia possibile ed operare ad una profondità massima di 10 cm, prelevando solo gli strati più superficiali di foglie asciutte.

Nel periodo di durata del lavoro si individuano quattro fasi operative

- dal 1° maggio al 31 maggio.

*intervento di pulizia meccanica delle spiagge da effettuarsi mediante mezzo pulispiaggia. Tale intervento si configura come un primo iniziale periodo di pulizia meccanica straordinaria (sgrossamento iniziale) per tutti i tratti di arenile individuati;*

*- dal 1° giugno al 30 agosto.*

*Durante tale periodo si dovrà provvedere giornalmente ad un intervento di asportazione di tutti i rifiuti depositati sulle spiagge (posidonia compresa) da effettuarsi mediante mezzi meccanici ed operatori*

*- dal 31 agosto al 1° ottobre.*

*Durante tale periodo si dovrà provvedere settimanalmente ad un intervento di asportazione di tutti i rifiuti depositati sulle spiagge (posidonia compresa) da effettuarsi mediante mezzi meccanici ed giornalmente mediante operatori- dal 1° ottobre fino a fine lavori.*

Nell'ultimo periodo, corrispondente alla fine della stagione balneare, si dovrà provvedere alla redistribuzione della biomassa stoccata sulle spiagge. La durata di quest'ultimo intervento è in relazione alle condizioni climatiche del momento.

Dai dati riportati dall'Amministrazione comunale di Alghero è emerso che per la gestione della *Posidonia* spiaggiata, nel triennio 2011- 2013, sono stati spesi complessivamente 630.000 euro comprensivi di I.V.A. al 10%.



**Figura 51 - Mezzo meccanico in azione**

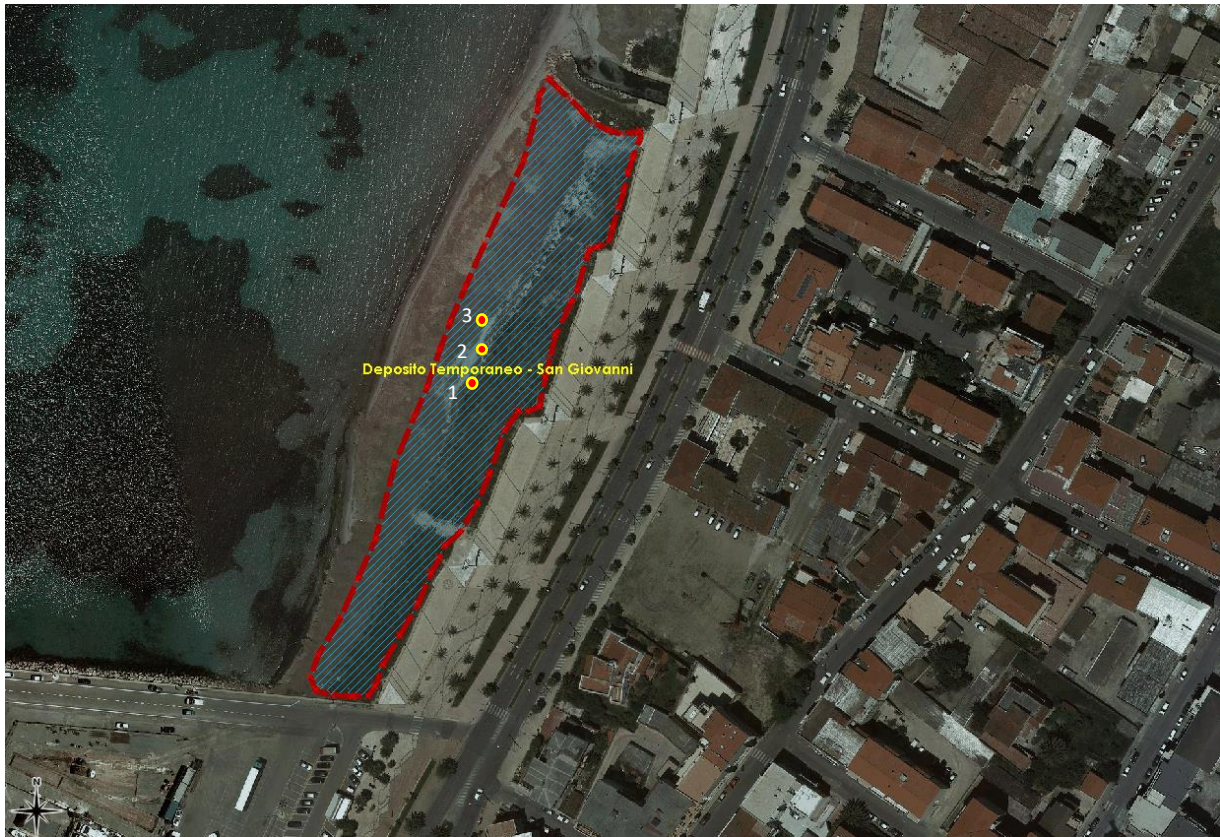
Dopo 10 anni di utilizzo i siti di stoccaggio temporaneo sono diventati permanenti con seri dubbi sulla loro natura. Da qui la necessità di bonificarli. La bonifica dei siti è stata fatta caratterizzandoli

e successivamente analizzando cosa fare degli accumuli decennali di foglie di Posidonia seguendo sia le indicazioni del Ministero dell’Ambiente che delle ricerche originali, obiettivo di questa tesi.

#### **4.6.12 Sito di stoccaggio temporaneo della *Posidonia oceanica* spiaggiata di San Giovanni**

Il sito di San Giovanni occupa circa 30.000 m<sup>2</sup> e vi sono stimati circa 50.000 m<sup>3</sup> di foglie di Posidonia. Il sito è stato realizzato nel 2005 per gestire la grossa mole di foglie di Posidonia che ogni anno si spiaggiano sul litorale di Alghero in seguito alle mareggiate invernali. I lavori svolti nel 2005 presso il Centro Congressi prossimo a Fertilia e quelli relativi all’ammodernamento della passeggiata Busquets, avevano suggerito all’amministrazione Comunale di Alghero di utilizzare la sabbia di scavo per effettuare un piccolo ripascimento nella zona prossima a Fertilia, caratterizzata da forte erosione, e di rinforzare e proteggere dalle mareggiate la passeggiata distribuendo in modo omogeneo le foglie di *Posidonia* spiaggiate e raccolte durante la pulizia dell’arenile prima della stagione turistica. Da qui l’inizio dell’utilizzo di questo sito come stoccaggio temporaneo della Posidonia. Non ci sono dati certi pregressi sul volume di queste foglie, ma nel 2019 ne sono state raccolte 20.000 ton. Considerando il 2019 come anno eccezionale, è possibile valutare in circa 12-15.000 ton le quantità di foglie per anno che si depositano sul litorale di Alghero, inteso nella sua massima accezione da Alghero porto a Fertilia porto. Si pensi che in tutta la provincia di Livorno le tonnellate sono 3000 ([www.provincia.livorno.it](http://www.provincia.livorno.it)). Sulla base di questi numeri Alghero può essere considerata come un’eccezione nel panorama italiano tra le città con problemi di Posidonia spiaggiata.





**Figura 52** - San Giovanni: sito di stoccaggio temporaneo delle Posidonia raccolta durante la pulizia dell'arenile di Alghero-Fertilia. 1-3 ubicazione degli scavi

Il sito di San Giovanni è stato utilizzato senza soluzione di continuità per circa 14 anni e la quantità di Posidonia riposizionata sulla spiaggia è sempre stata minima o nulla. Negli anni 2018-2019 l'Amministrazione Comunale di Alghero ha deciso di smantellare i siti temporanei per recuperare i tratti di arenile in cui questi si sviluppavano. Da qui la ricerca oggetto di questa tesi.

Per caratterizzare i siti di stoccaggio (e documentare se fossero diventati discariche) sono state effettuate sia indagini dirette, attraverso scavi in loco, che indagini indirette con l'utilizzo di georadar.

#### **4.6.13 Scavi con terna**

Sono stati realizzati tre scavi mediante una terna gommata fino alla profondità di 1 metro.

Il primo scavo ha evidenziato (Fig. 53):

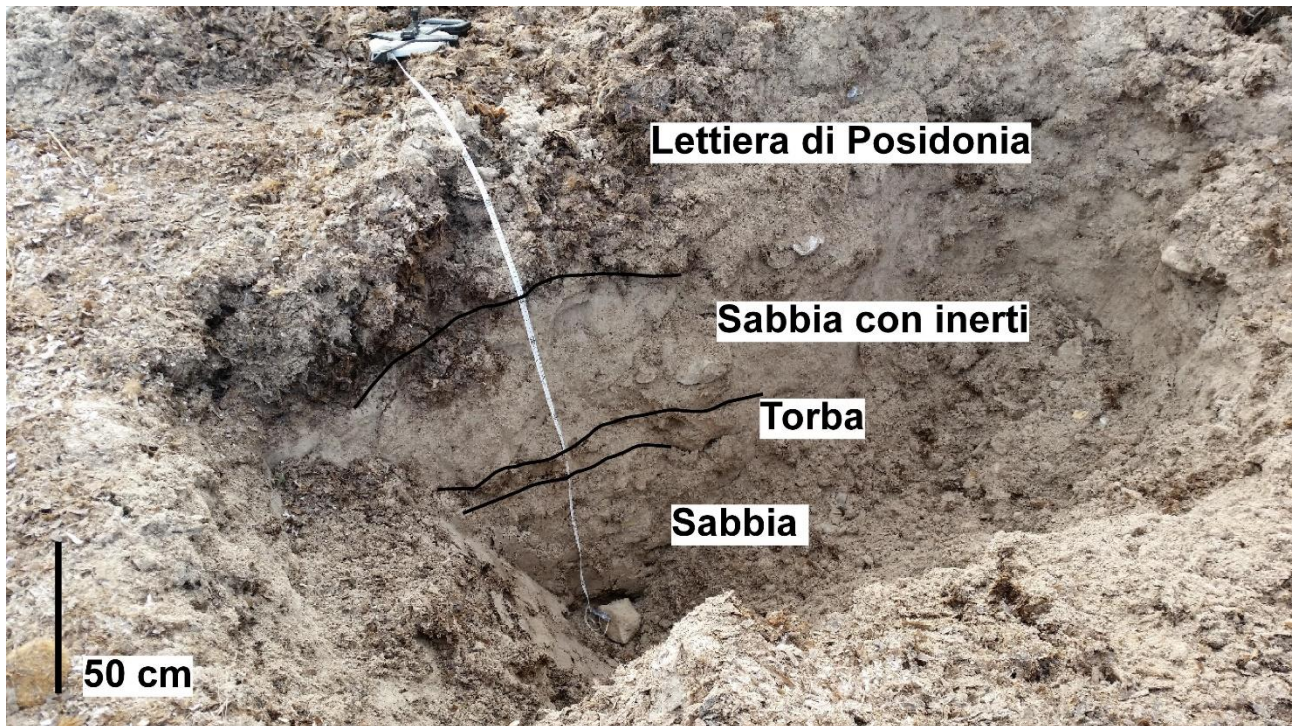
0-40 cm lettiera di Posidonia,

40-70 cm sabbia medio fine e materiali inerti in prevalenza calcarei. Alla profondità di circa 40cm è stato ritrovato un sacchetto per alimenti in materiale accoppiato plastica- alluminio (confezione di patatine) con data di scadenza il 18/2/1991 (Fig. 56).



70-80 cm livello di torba

80-120 cm sabbia fine



**Figura 53** - Scavo 1 (40°33,955'; 8°19,069')

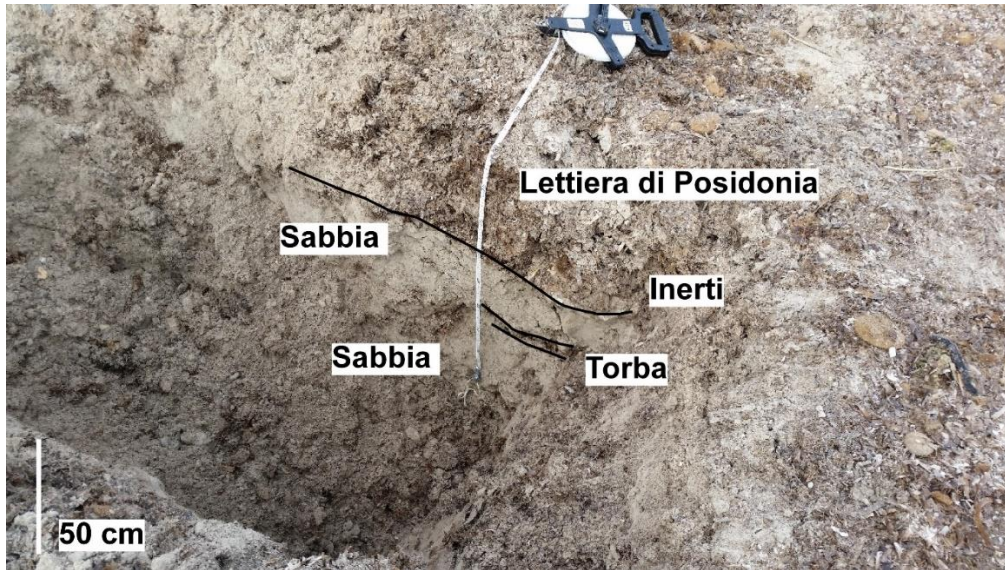
Il secondo scavo ha evidenziato (Fig 54):

0-30 cm di residui di Posidonia costituiti da foglie ed egagropili con numerosi inerti dispersi.

30-100 cm sabbia fine con livelli centimetrici di torba.

Alla profondità di circa 1 metro è stato rinvenuto un contenitore di succo di limone concentrato costruito con imballaggio in polietilene a bassa densità con codice n°4 LDPE, con simbolo triangolare con frecce che si rincorrono e codice numerico 04; le tre frecce, a partire dalla direttiva europea 83/189/CEE del 28 marzo 1983, rappresentano il simbolo della riciclabilità (Fig. 56).





**Figura 54** -. Scavo 2 - (40°33,964': 8°19.069')

Il terzo scavo ha evidenziato (Fig. 55):

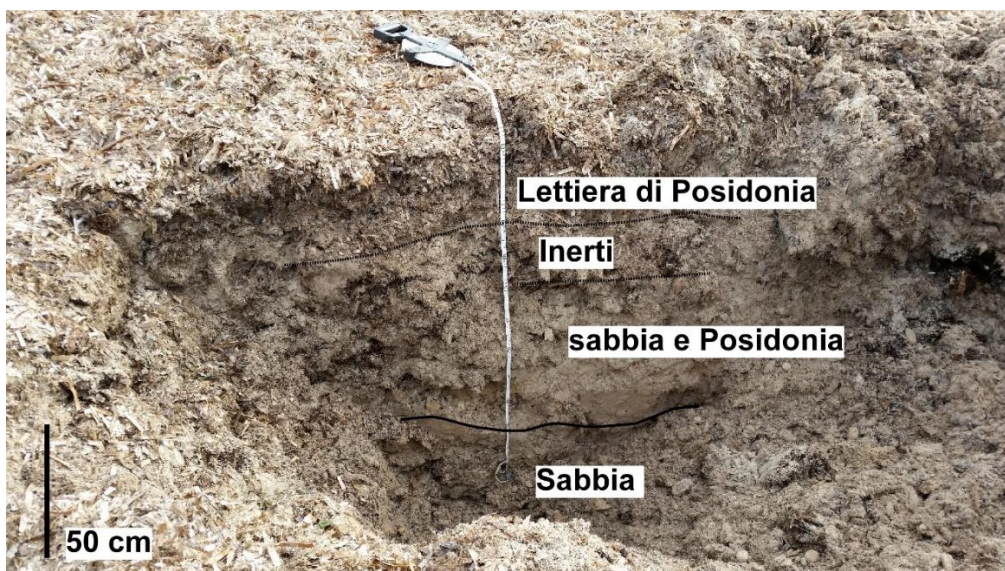
0-30 cm lettiera di Posidonia

30-40 cm inerti di diametro medio di 10-20cm.

40-70 cm sabbia medio-fini e *Posidonia*.

70-100 cm sabbia fini con piccole lenti di *Posidonia*.

Tra gli inerti è stata rinvenuta una lattina di birra con scadenza nel 2011. Alla profondità di 1 m un coperchio in plastica, probabilmente utilizzato su un barattolo di vernice, con data di produzione nel maggio 1995 (Fig. 56).



**Figura 55** - Scavo 3 (90° 33,969': 8° 19,075')





**Figura 56** - Rifiuti recuperati nelle sabbie basali (ad eccezione della lattina di birra) durante gli scavi e loro ubicazione.



Le date di scadenza confermano che la sabbia sia stata ricoperta dalla Posidonia dal 2005. Tutti e tre gli scavi hanno evidenziato che lo spessore della lettiera di Posidonia non supera i 50 cm e che inferiormente si trovano delle sabbie molto pulite a granulometria fine.

#### 4.6.14 Acquisizione dati georadar (GPR)

Per l'acquisizione dati è stato utilizzato il sistema GPR della IDS (Pisa) equipaggiato con due antenne integrate (sistema Hi-Mod-duo) da 200 e 600 MHz e una antenna singola da 80MHz (Fig. 61).

Per l'acquisizione è stato utilizzato il Software K2-fastway distribuito dalla IDS.

Con l'antenna da 80 MHz sono stati acquisiti 4 profili longitudinali alla linea di riva per una lunghezza di 120 m ciascuno, spaziate di 10 m (Fig. 57). Le antenne sono state trainate da un quadriciclo a motore (Quad) sul quale era stata montata l'unità di controllo (Fig. 58).

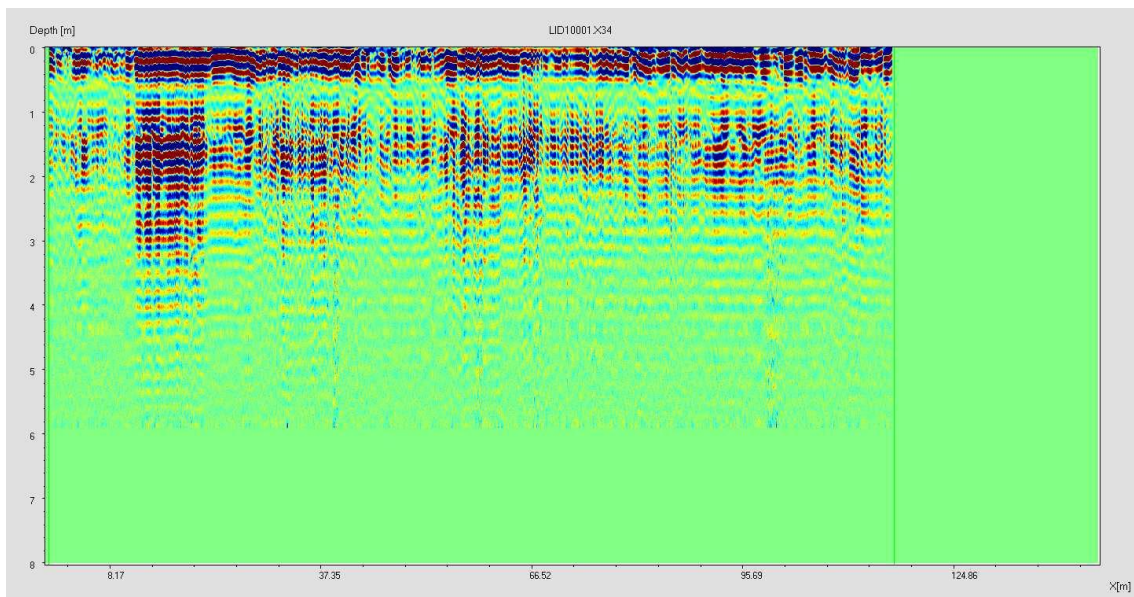


Figura 57 - Area di acquisizione linee GPR 80MHz





**Figura 58 - Antenne da 80 MHz**

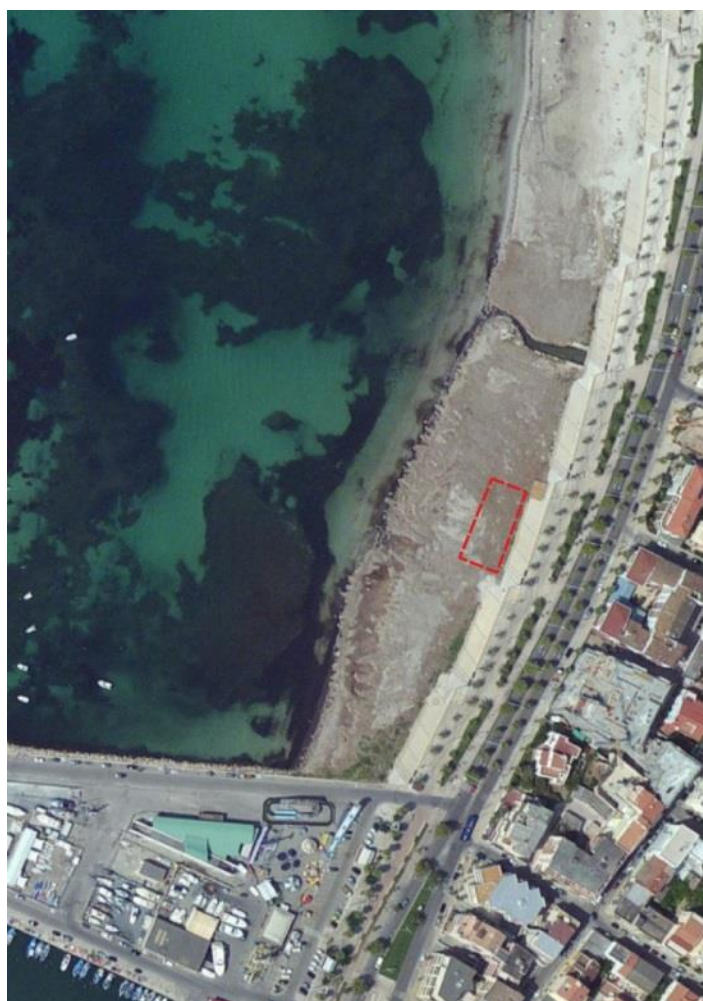


**Figura 59 - Esempio di line GPR 80MHz**

Con il sistema integrato Hi-Mod Duo (Fig. 61) è stata rilevata un'area rettangolare di 40x18 m. In questa sono state acquisite sia in senso longitudinale (L) che trasversale (T) un totale di 58 (40 +18) linee lunghe rispettivamente 40 e 18 metri (Fig. 62). Questo modello di acquisizione dati è necessario



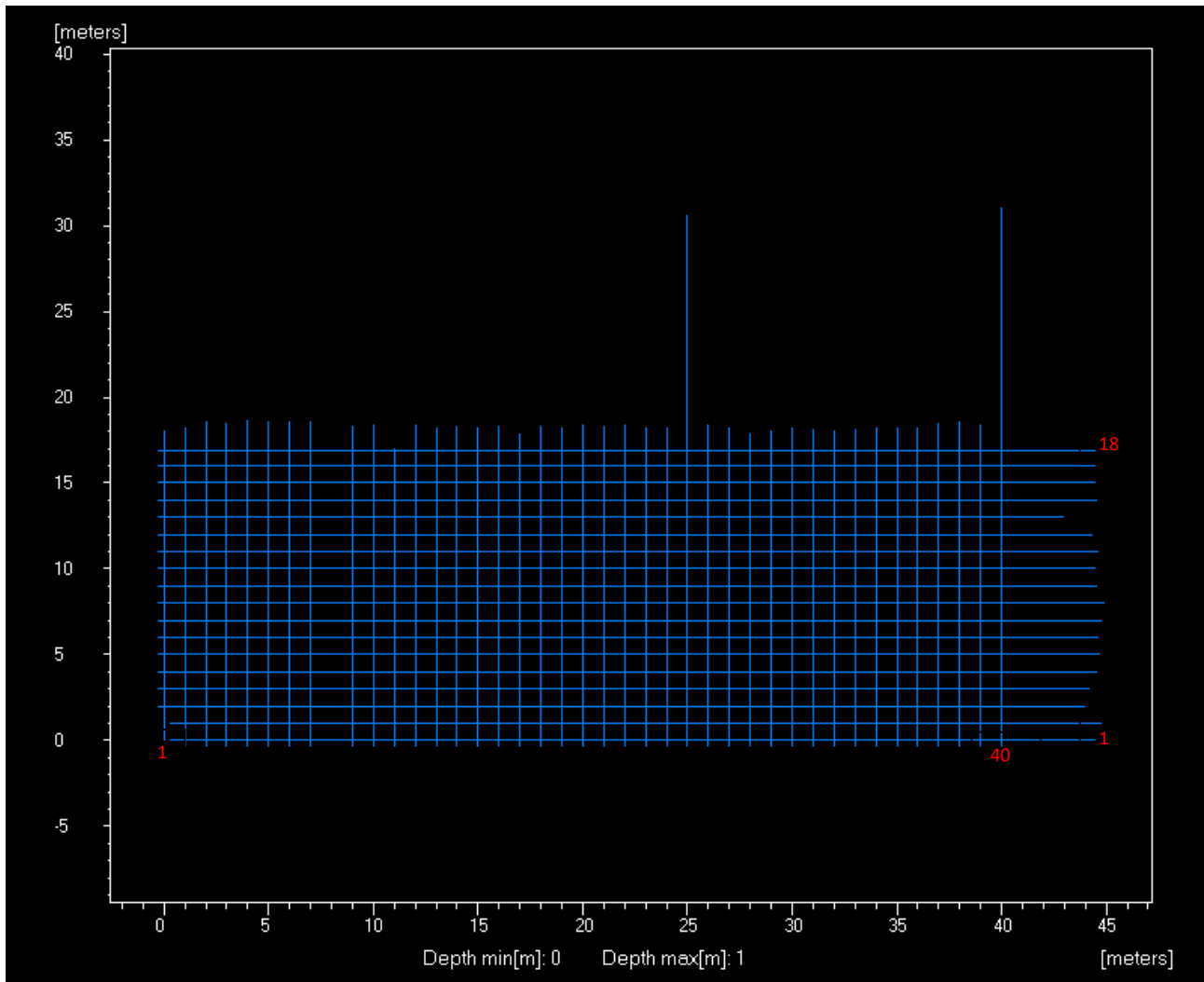
per realizzare sia tomografie (Fig. 59) che i modelli 3D dell'area di studio. La superficie anche se non perfettamente pianeggiante è stata considerata tutta alla stessa quota.



**Figura 60** - Area rilevata con il sistema GPR Hi-Mod-duo



**Figura 61** - Acquisizione dati mediante Hi-Mod Duo con antenne da 200-600Mhz



**Figura 62** - Griglia di acquisizione dati GPR con il sistema Hi-Mod-duo

#### 4.6.15 Processing dei dati

Il processing dei dati radar acquisiti è stato fatto utilizzando il SW Gred della IDS. Questo SW permette di creare una maschera nella quale inserire parametri quali: filtraggio, guadagno e rimozione del rumore di fondo (*background removal*) (Fig. 63).

Il SW ha due funzioni di processing: la funzione B-scan (analisi 2D) e la C-scan (analisi 3D). Queste permettono rispettivamente di visualizzare i dati come sezioni verticali o tomografie orizzontali. Quest'ultime sono dei piani tagliati in senso verticale a profondità definite.

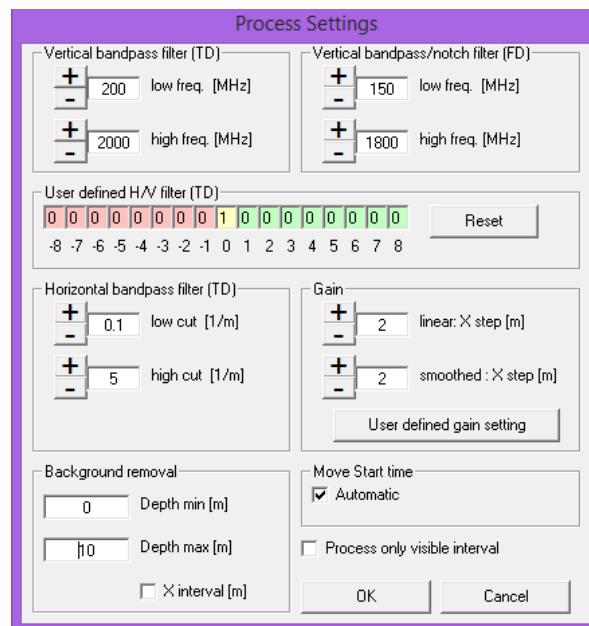


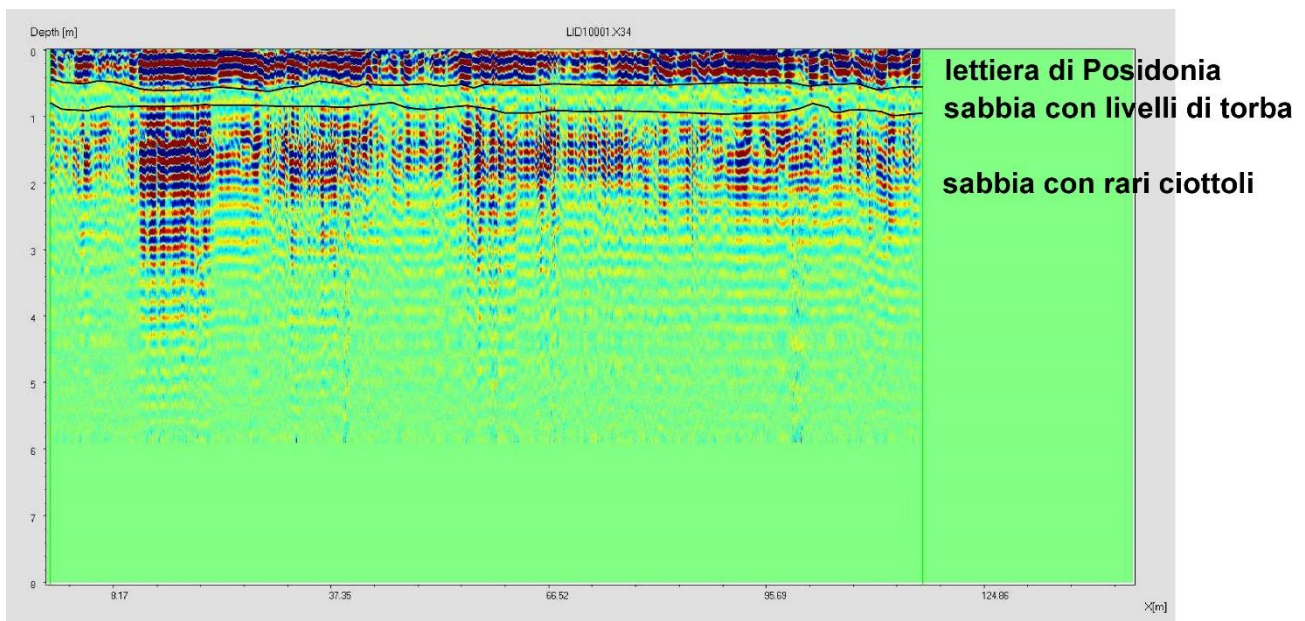
Figura 63 - Maschera nella quale si inseriscono i dati del processing

Le linee radar con il prefisso LID sono longitudinali, quelle con TID trasversali. Le linee LID/TID1 sono riferite all'antenna a 600MHz, quelle con la sigla LID/TID2 sono riferite all'antenna a 200MHz. Le linee acquisite con l'antenna a 80MHz hanno solo suffisso LID1, in quanto solo longitudinali. La profondità massima d'indagine è stata di circa 4.0 m con l'antenna da 80MHz, 0.50 m con l'antenna da 600MHz e 1.0 m con l'antenna da 200MHz.

#### 4.6.16 Analisi dei dati GPR, antenna 80 MHz

Tutte le linee acquisite con l'antenna da 80 MHz (LID1-4) (Fig. da 64 a 67) hanno messo in risalto un'anomalia magnetica superficiale continua caratterizzata da riflessioni continue e ben marcate. Questa anomalia è presente in modo marcato dal piano di campagna fino alla profondità di 40-45 cm,

sulle linee LID1-3; è invece molto meno marcata sulla LID4 (Fig. 67). Inferiormente fino alla profondità di 70-80 cm vi è una zona trasparente, continua su tutte le linee. Nelle LID2-3 la zona trasparente verso N è interessata da una serie di anomalie puntiformi. Nella LID4, l'anomalia superficiale e quella trasparente tendono ad omogeneizzarsi e diventano indistinguibili. Alla profondità di circa 1 metro su tutte le linee LID1-4 è presente una netta discontinuità al di sotto della quale si sviluppano riflettori ben marcati e continui che possono essere seguiti fino alla profondità di circa 4 m.

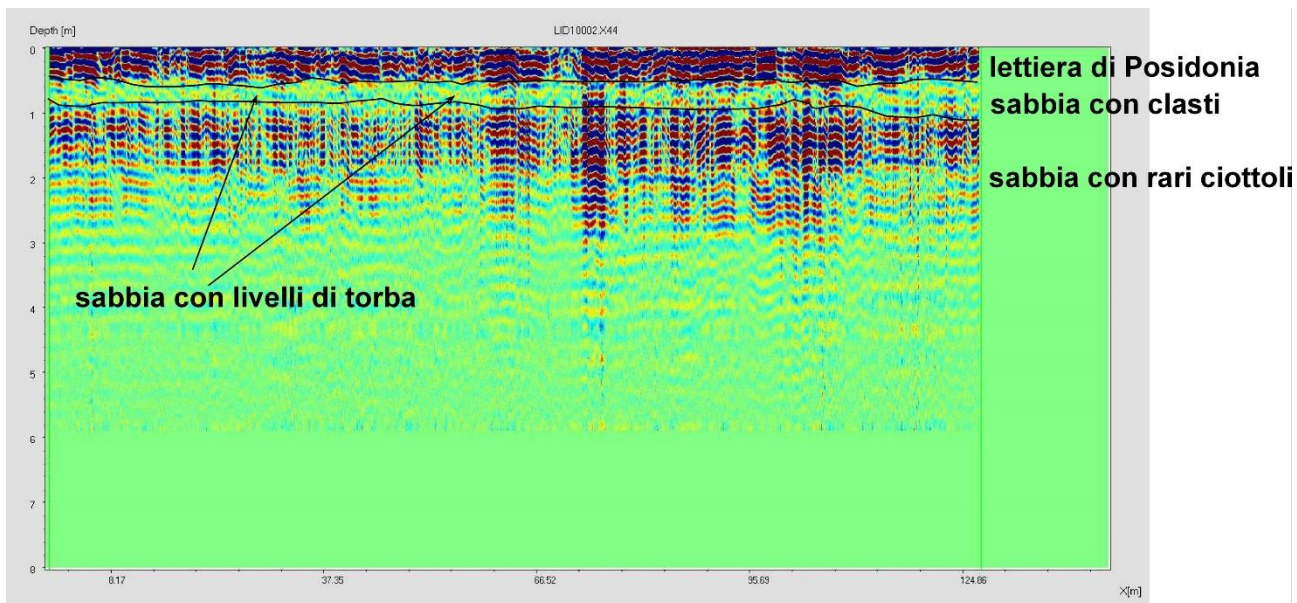


**Figura 64 - LID1-80MHz**

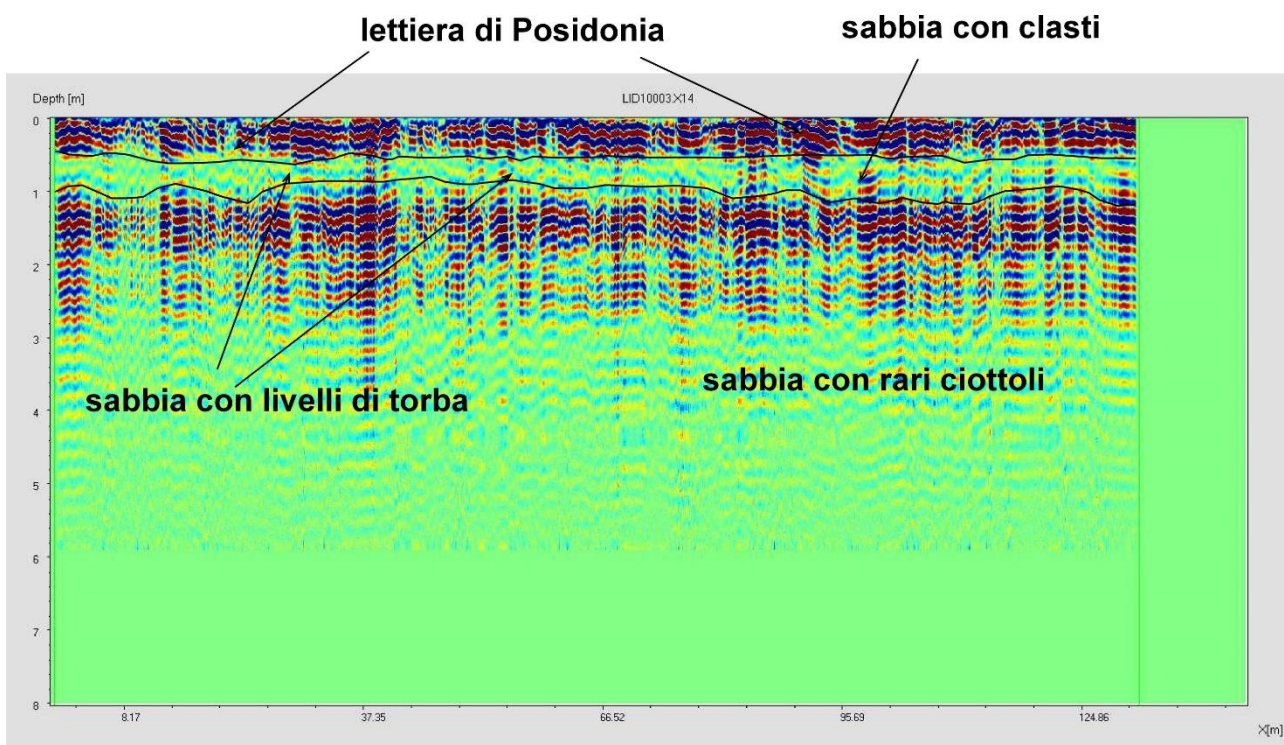
#### **4.6.17 Interpretazione dei dati**

I dati derivati dalle linee acquisite con l'antenna da 80MHz possono essere interpretati con: 1) presenza di una lettiera di *Posidonia oceanica* dal piano di campagna fino alla profondità di 0.45 m, livello di torba e sabbia tra i 0.45 e gli 0.80 m di profondità. Inferiormente livello di sabbia, di anche 3 m di spessore, con rari ciottoli dispersi. Il livello di torba e sabbia è caratterizzato nella parte più settentrionale dalla presenza di clasti di grosse dimensioni.



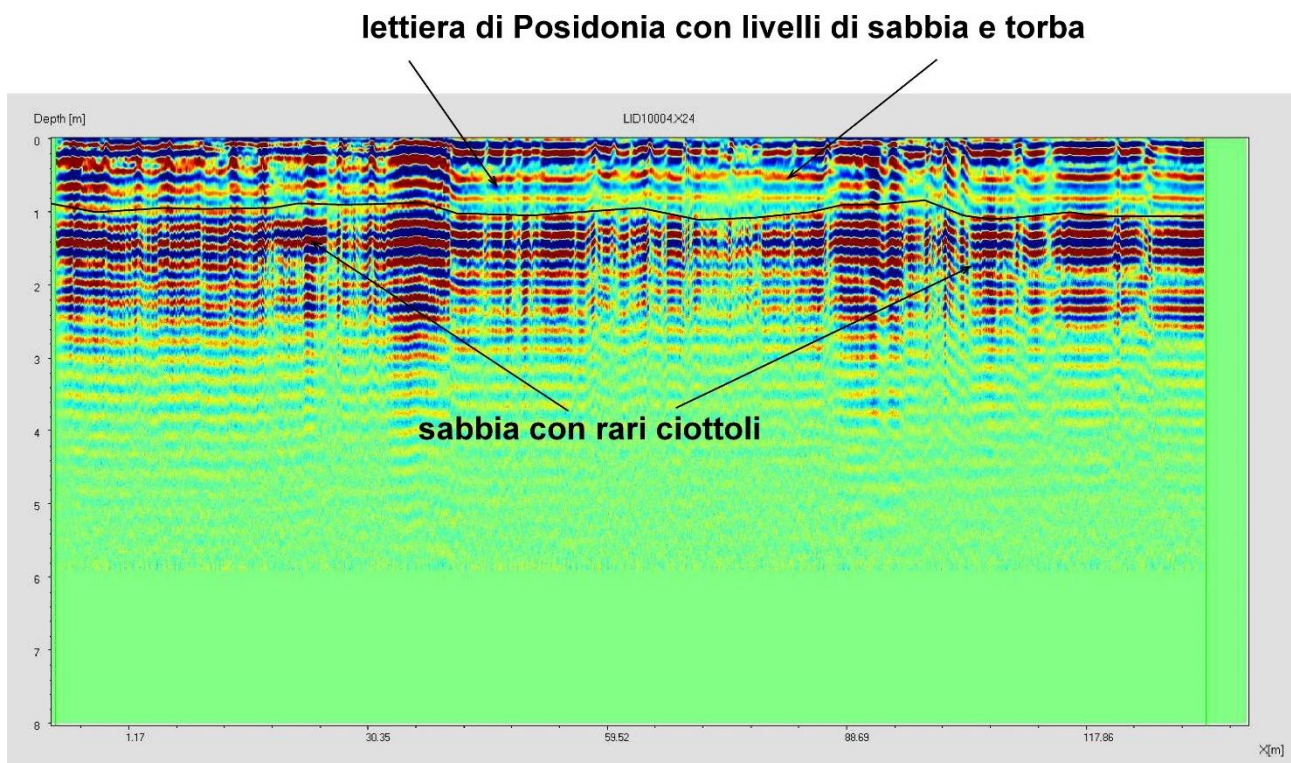


**Figura 65 - LID2-80MHz**



**Figura 66 - LID3-80MHz**





**Figura 67 - LID4-80MHz**

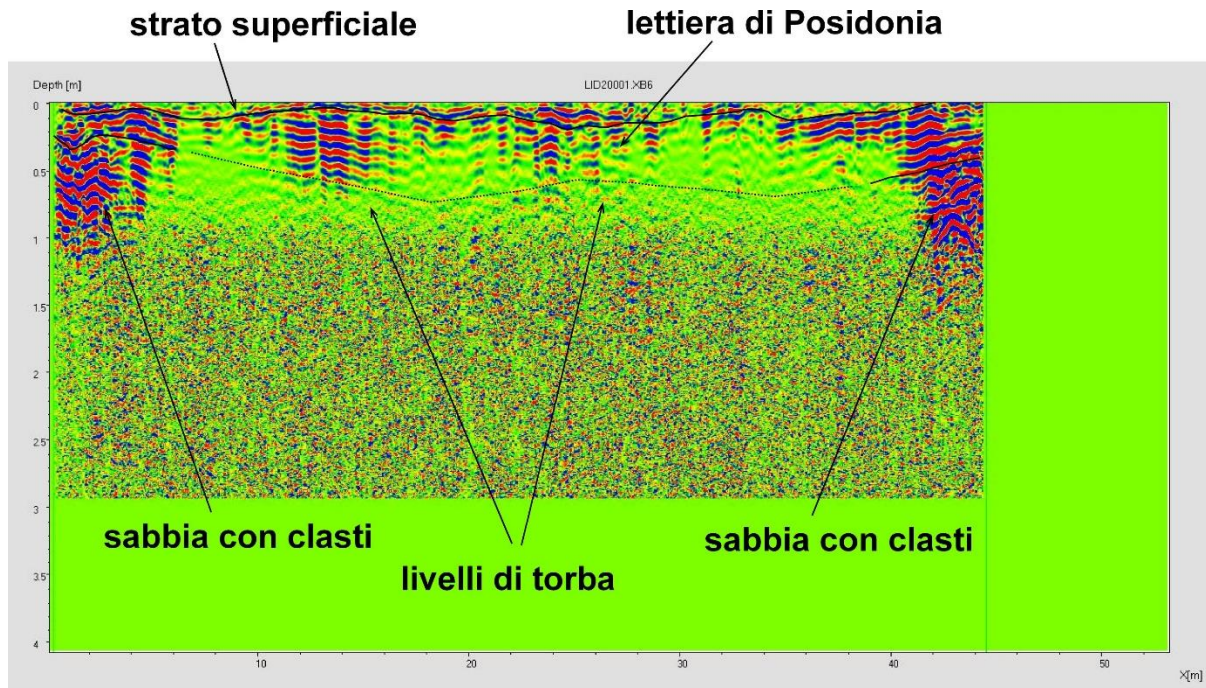
I dati radar hanno messo in evidenza in senso areale quanto documentato dagli scavi. La lettiera di Posidonia da mare verso terra (LID1→LID4) aumenta di spessore passando da circa 35 cm a 70-80 cm. Inferiormente alla lettiera è sempre presente un livello di sabbia, talvolta contenente ciottoli (o inerti). Il passaggio lettiera di Posidonia-Sabbia nelle sezioni LID1-2-3 è sempre delimitato da un livello di torba e sabbia continuo e di spessore compreso tra 20 e 30 cm. Evidenti sono i clasti dispersi nei livelli di sabbia più superficiali. Questi probabilmente sono costituiti da inerti accumulati nell'arenile durante i lavori della Passeggiata Busquets.

#### **4.6.18 Analisi dei dati GPR, antenna 200**

Le linee acquisite con le antenne da 200 e 600 MHz (LID1/2\_1-48) tramite il sistema Hi-Mod duo hanno dato risposte diverse. L'antenna a 200MHz ha raggiunto la profondità di circa 1.5 m permettendo di dettagliare i primi 70-80 cm di successione (Fig. da 68, a72). L'analisi delle anomalie magnetiche mette in evidenza la presenza dei riflettori discontinui, paralleli, ma ben marcati di norma di lunghezza metrica, talvolta centimetrici, separati da lenti dove il segnale diventa trasparente e, quindi a bassa velocità di propagazione delle onde. Inferiormente i riflettori diventano ben marcati e discontinui, con chiare iperboli di diffrazione. L'antenna a 600 MHz ha raggiunto una profondità di

50-60 cm permettendo di caratterizzare solo la parte più superficiale del sito oggetto di studio. Questo è caratterizzato da segnali molto forti ben marcati che si alternano con segnali trasparenti.

Interpretazione dei dati GPR 200-600MHz:



**Figura 68** - LID20001 (200MHz)

I segnali ben marcati che si alternano a quelli trasparenti sono interpretati come lettiera di Posidonia alternata a livelli più o meno potenti di torba. Inferiormente questi poggiano su sabbie contenenti clasti (o inerti).



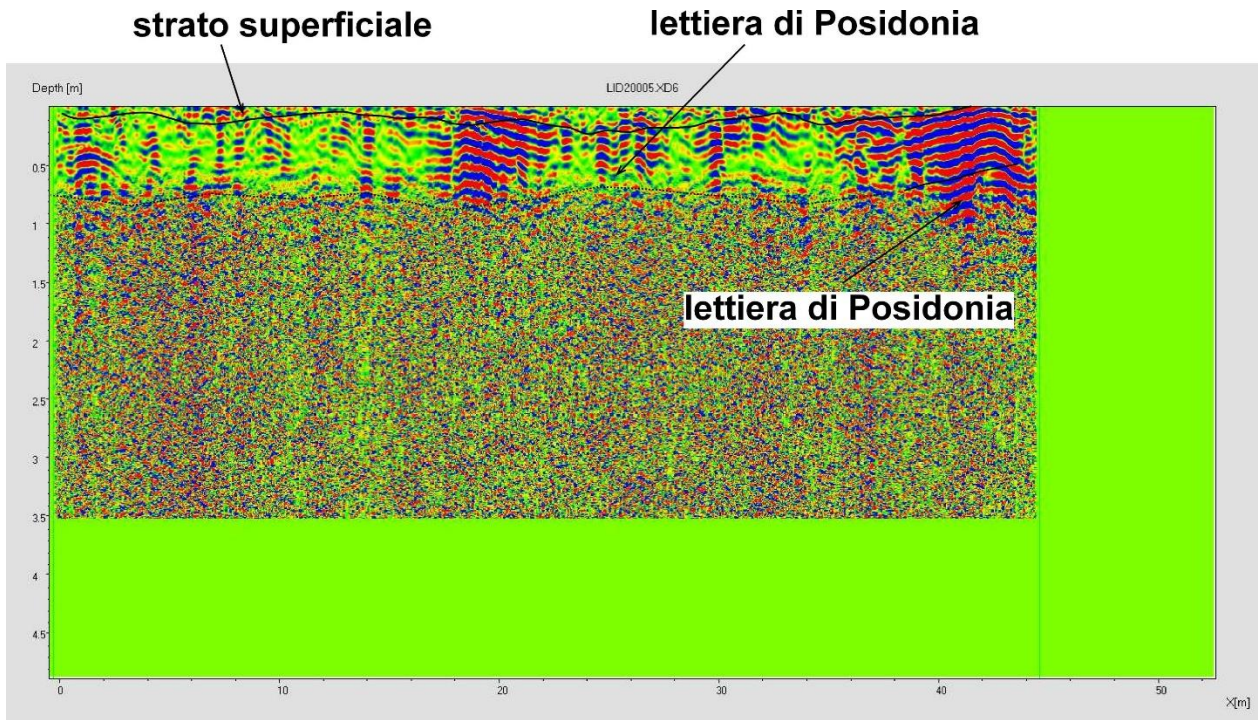


Figura 69 - LID20006 (200MHz)

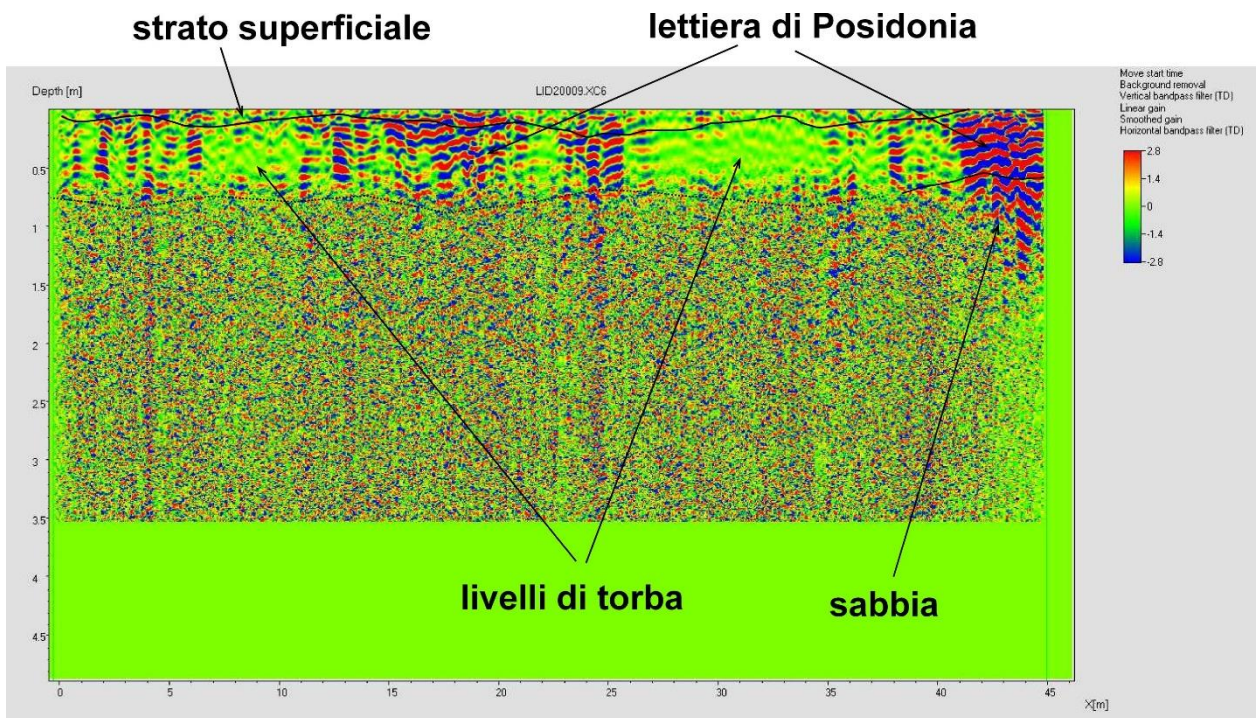


Figura 70 - LID20009 (200MHz)



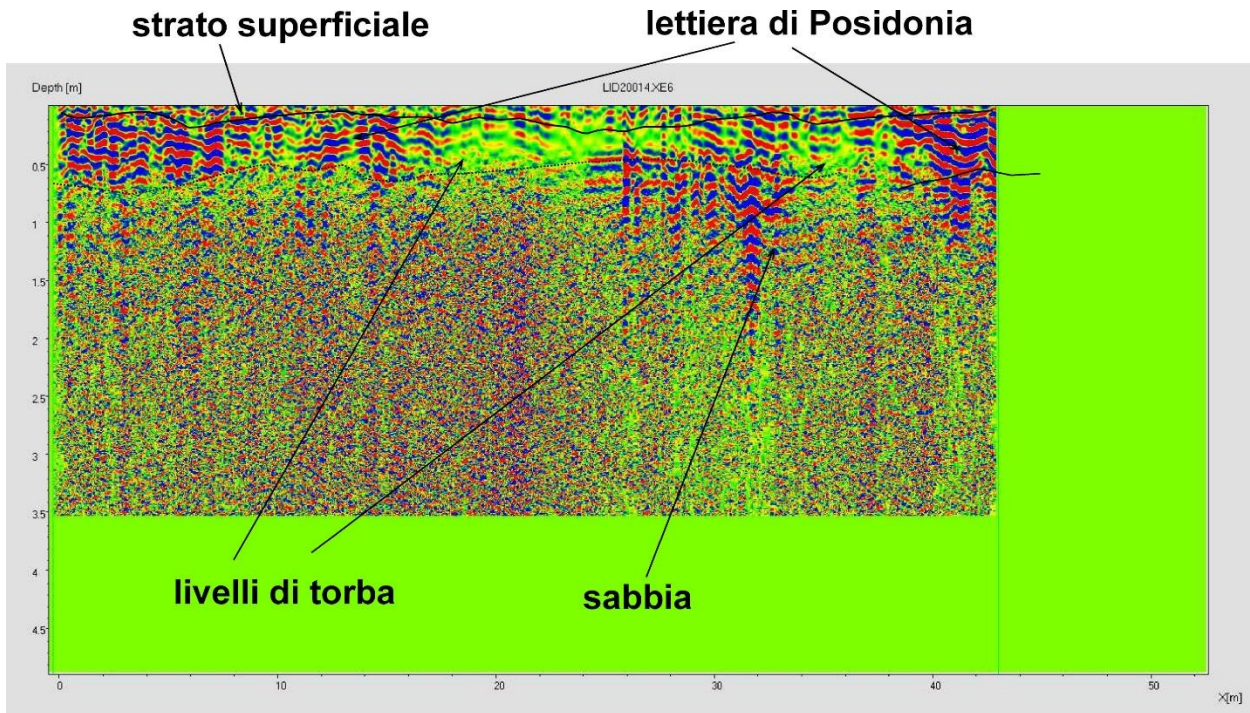


Figura 71 - LID20014 (200MHz)

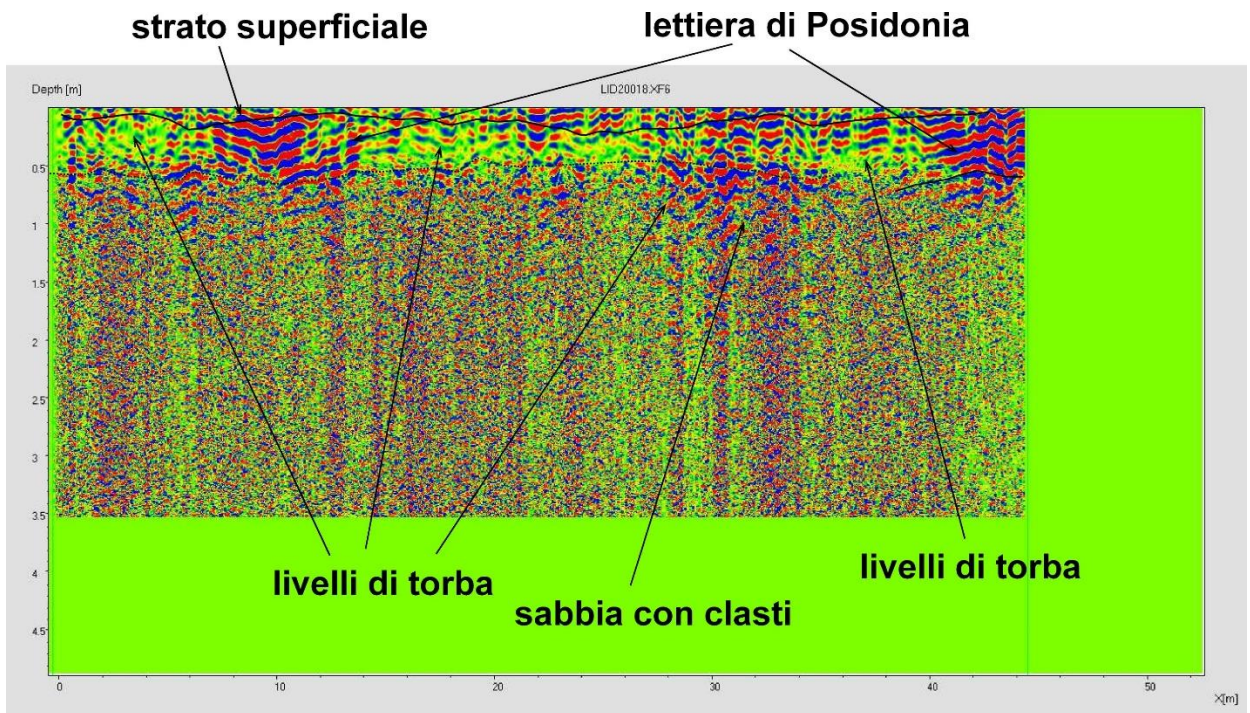


Figura 72 - LID20016 (200MHz)

#### 4.6.19 Analisi dei dati GPR, antenna 600 MHz

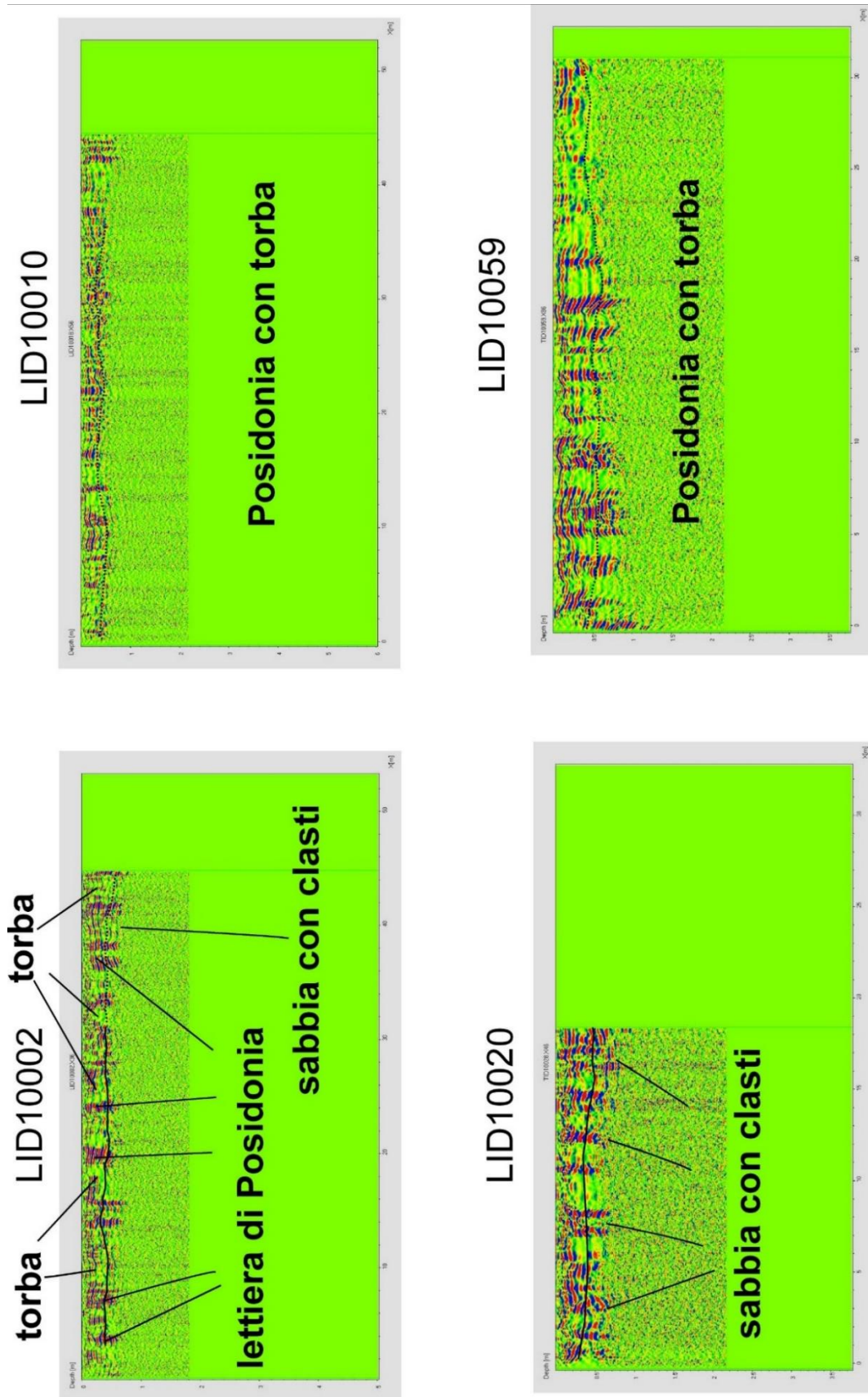


Figura 73 - Profili radar a 600 MHz



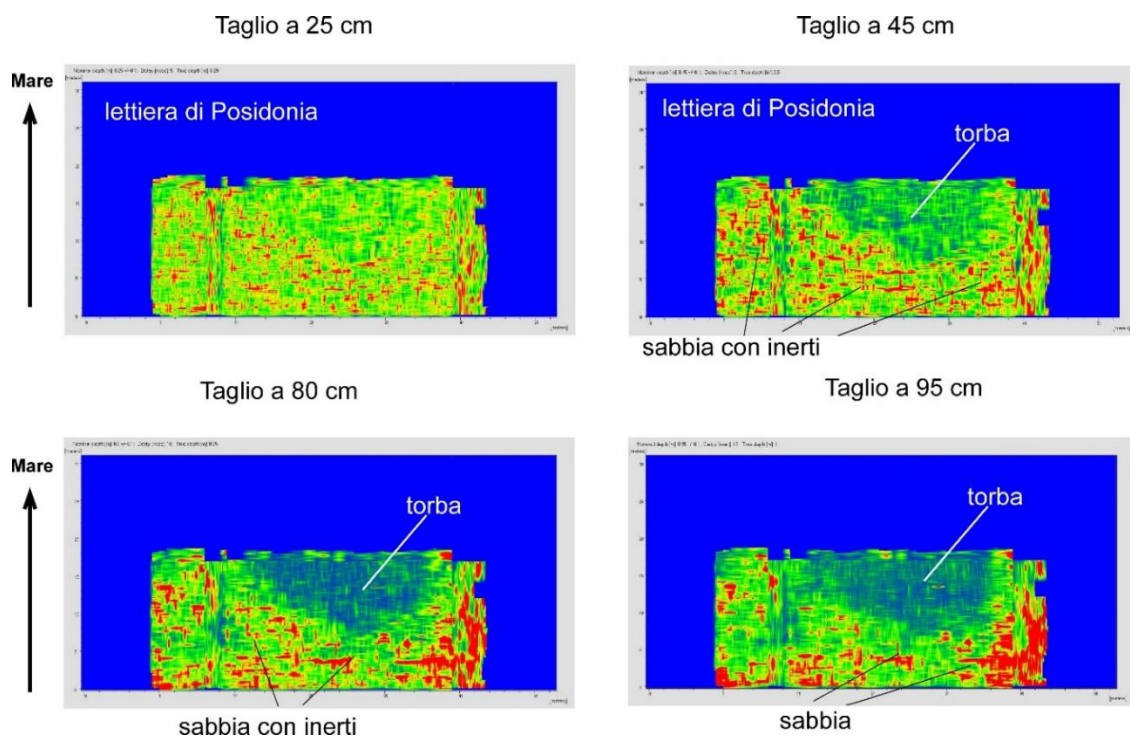
L'analisi dei profili radar acquisiti con antenna da 600MHz (Fig. 73) ha permesso di dettagliare la struttura interna della lettiera di Posidonia che risulta caratterizzata da zone o lenti di torba e di lettiera. Lo spessore della lettiera/torba non supera i 50/60 cm. Le sabbie su cui poggia non sono state ben evidenziate dai rilievi la cui penetrazione è stata non superiore al metro.

#### 4.6.20 Tomografie

Le tomografie 3D (Fig. 74) hanno permesso di visualizzare, secondo piani tagliati orizzontalmente a profondità predefinite, la struttura sia della lettiera di Posidonia che della sabbia.

La lettiera di Posidonia è caratterizzata da anomalie che ricordano delle celle irregolari tra loro intrecciate e formanti un mosaico. È presente fino alla profondità di 45/50 cm. Intercalati si possono trovare clasti (o inerti), ma anche abbondanti egagropili. Non è possibile distinguere il segnale radar di questi elementi grossolani. Tuttavia, le abbondanti macchie rosse indicano in modo chiaro la presenza di anomalie all'interno della lettiera di Posidonia interpretabili come elementi grossolani.

Dalla profondità di 45/50 fino a 95/100 cm il segnale nella parte centrale e verso mare diventa trasparente. Questo è associabile ai livelli di torba incontrati negli scavi ed interpretati nelle linee radar. Lateralmente il livello di torba si chiude e il segnale radar cambia di facies. Le celle diventano meno definite e più grandi. Il segnale può essere interpretato come sabbie con clasti (o inerti) al loro interno.



**Figura 74** - Tomografie GPR del sito di San Giovanni

#### 4.6.21 Conclusioni GPR

I dati GPR hanno permesso di definire la stratigrafia del sito temporaneo di San Giovanni. Questo è costituito in tutta la sua superficie da una lettiera di *Posidonia* con spessore variabile dai 20-30 cm verso la parte interna (terra) a 50 cm verso l'esterna (mare). Inferiormente la lettiera passa ad un livello di torba più o meno continuo in tutto il sito. È evidente supporre che l'attività anaerobica che porta alla decomposizione delle foglie di *Posidonia* cominci alla profondità media di 40 cm. La torba ha uno spessore massimo di 50 cm e tende a ridursi nelle parti laterali del sito. Inferiormente alla torba sono presenti sabbie, pulite o contenenti clasti. Questi, dato la natura sabbiosa dell'arenile, possono essere riconducibili agli inerti posizionati sulla spiaggia in seguito al rifacimento della Passeggiata Busquets.

Nota importante è che in circa 15 anni di attività continua del sito di stoccaggio la *Posidonia* non ha mai raggiunto accumuli superiori al metro (mediamente 50 cm) e che inferiormente a questa siano sempre presenti sabbie più o meno ben cernite. Questo implica che il volume della *Posidonia* raccolta si riduce notevolmente già dopo un anno dal suo accumulo nel sito.

#### 4.6.22 Sito di stoccaggio temporaneo di Villa Segni



**Figura 75** – Area di studio Villa Segni

Il sito di Villa Segni (Fig. 75) ha una dimensione di circa 50x15 m (750 m<sup>2</sup>) dove sono stati stoccati circa 5000 m<sup>3</sup> di foglie di *Posidonia* raccolta lungo il litorale di Maria Pia. Data la dimensione del sito sono stati fatti solo degli scavi per caratterizzarlo in profondità.



Gli scavi di profondità variabile tra 1 e 1.70 m hanno messo in evidenza (dall'alto verso il basso) (Fig. 76):

- 30 cm di accumulo di Posidonia ed egagropili recente (2017-2018);
- 50 cm lettiera di Posidonia con egagropili entrambe in parte decomposte
- 10-20 cm di livelli di torba mista a sabbia
- Inferiormente agli 80 cm dal piano di campagna sabbia media pulita.



**Figura 76** - Lo scavo nel sito di stoccaggio temporaneo di Villa Segni. Si noti il sacchetto di patatine con scadenza 2005

Il sito di Villa Segni mostra notevoli analogie stratigrafiche con quello di San Giovanni. In entrambi, la lettiera di Posidonia poggia su di un livello di torba e a circa 80 cm dal piano di campagna si trovano le sabbie. Nel sito di Villa Segni sono abbondanti le egagropili, rare in quello di San Giovanni.



#### **4.6.23 Bonifica dei siti di stoccaggio temporaneo di San Giovanni e Villa Segni**

Dal 2017 l'Amministrazione Comunale di Alghero ha deciso di bonificare i siti temporanei di Villa Segni e San Giovanni.

#### **4.6.24 Tipologie di intervento**

Le ricerche condotte per questa tesi hanno avuto due obiettivi principali:

- 1) bonifica del sito e riposizionamento in mare degli accumuli di *Posidonia* spiaggiati,
- 2) bonifica del sito, vagliatura in sito degli accumuli e riposizionamento della sabbia recuperata sull'arenile.

### **5. Progetto Pilota relativo al riposizionamento in mare della *Posidonia oceanica* spiaggiata sugli arenili di San Giovanni, Maria Pia, Punta Negra - Alghero**

#### **5.1 Premessa**

Il progetto prevedeva lo studio della possibilità di riposizionare in mare la quasi totalità delle foglie di *Posidonia* raccolte durante la pulizia delle spiagge. Questa tecnica ad oggi non è stata ancora provata e, pertanto, necessita di essere sperimentata per definire vantaggi e svantaggi dell'operazione stessa. Se la sua efficacia venisse verificata potrebbe portare a vantaggi considerevoli eliminando in modo definitivo i siti di stoccaggio temporanei ubicati in adiacenza degli arenili e diventare una metodologia non invasiva esportabile ad altre realtà con problemi analoghi. A causa della mancata concessione del permesso da parte del Ministero dell'Ambiente e dell'Autorità Portuale competente nella zona, non è stato possibile procedere alla sperimentazione.

#### **5.2 Fasi Del Progetto**

Il progetto prevedeva tre fasi: individuazione dei siti di riposizionamento in mare, riposizionamento delle foglie di *Posidonia*, monitoraggio.

##### **5.2.1 Fase I individuazione dei siti di esperimento.**

I siti dovranno essere individuati tenendo conto delle seguenti caratteristiche.

- Presenza di fondale sabbioso,
- Profondità: 15, 25, 35 m
- Correnti di fondo: moderate
- Prossime al limite inferiore della prateria di *Posidonia*



**Figura 77** - Canale sabbioso che si sviluppa in senso NE-SW dal Porto di Fertilia

Le scelte di tre siti a profondità diverse sono state fatte in considerazione di:

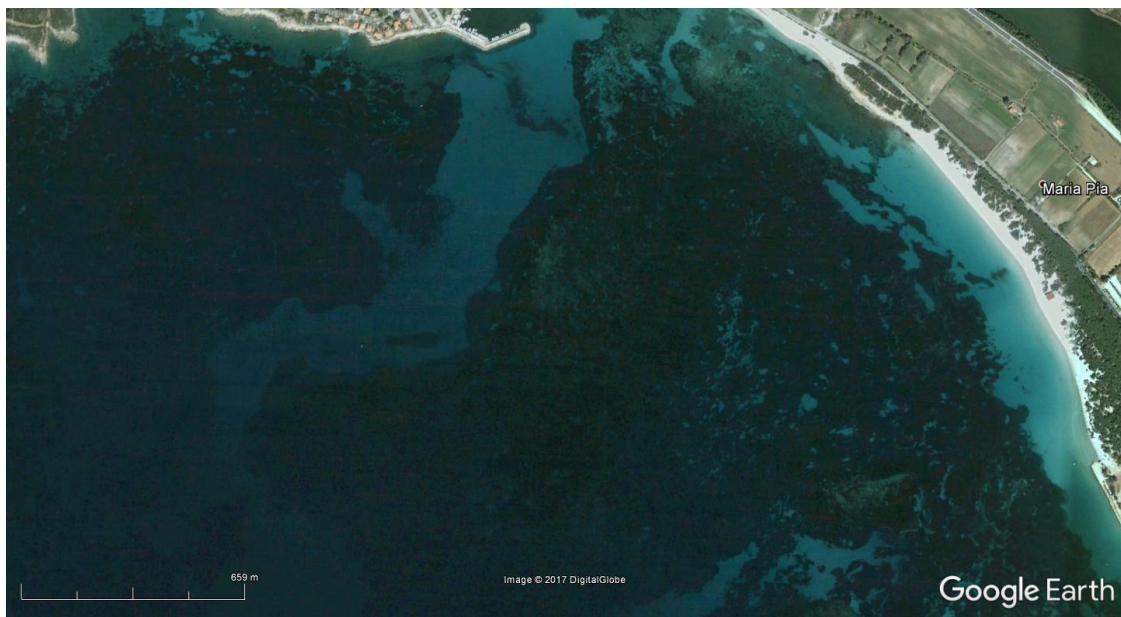
**A)** presenza di un canale sabbioso che dal porto di Fertilia si sviluppa per circa 2 km in direzione NE-SW (Figura 1). Il canale (Fig. 77) ha una larghezza massima di 300 m e media di 120, è composto di sabbie medio grossolane e caratterizzato da un andamento meandriforme. La morfologia del canale e delle anse sembrano essere abbastanza stabili, come evidenzia il confronto delle immagini da satellite del 2005 e 2016 (Figura 78, 79). La presenza di strutture sedimentarie di grosse dimensioni (barra sottomarine) sul fondo del canale, in particolare nelle anse, implica che questo sia interessato da correnti sottomarine in grado di formare e fare migrare, prevalentemente verso terra, discrete quantità sabbia. Questo dovrebbe permettere alla sabbia presente sulle foglie di *Posidonia*, una volta degradate, di ritornare ad essere parte del sistema naturale in tempi relativamente brevi. I tre siti potenziali si trovano nelle due principali anse del canale poste rispettivamente alla profondità di 15 m e 25 m. Il terzo è ubicato a circa 35 m di profondità dove il canale si apre verso il mare aperto.

**B)** Presenza di un limite netto e ben definito tra canale sabbioso e prateria di *Posidonia oceanica* (Figura 78); buono stato della prateria di *Posidonia* nelle aree limitrofe al canale.

C) facilità di monitoraggio dei tre siti (Figura 80);

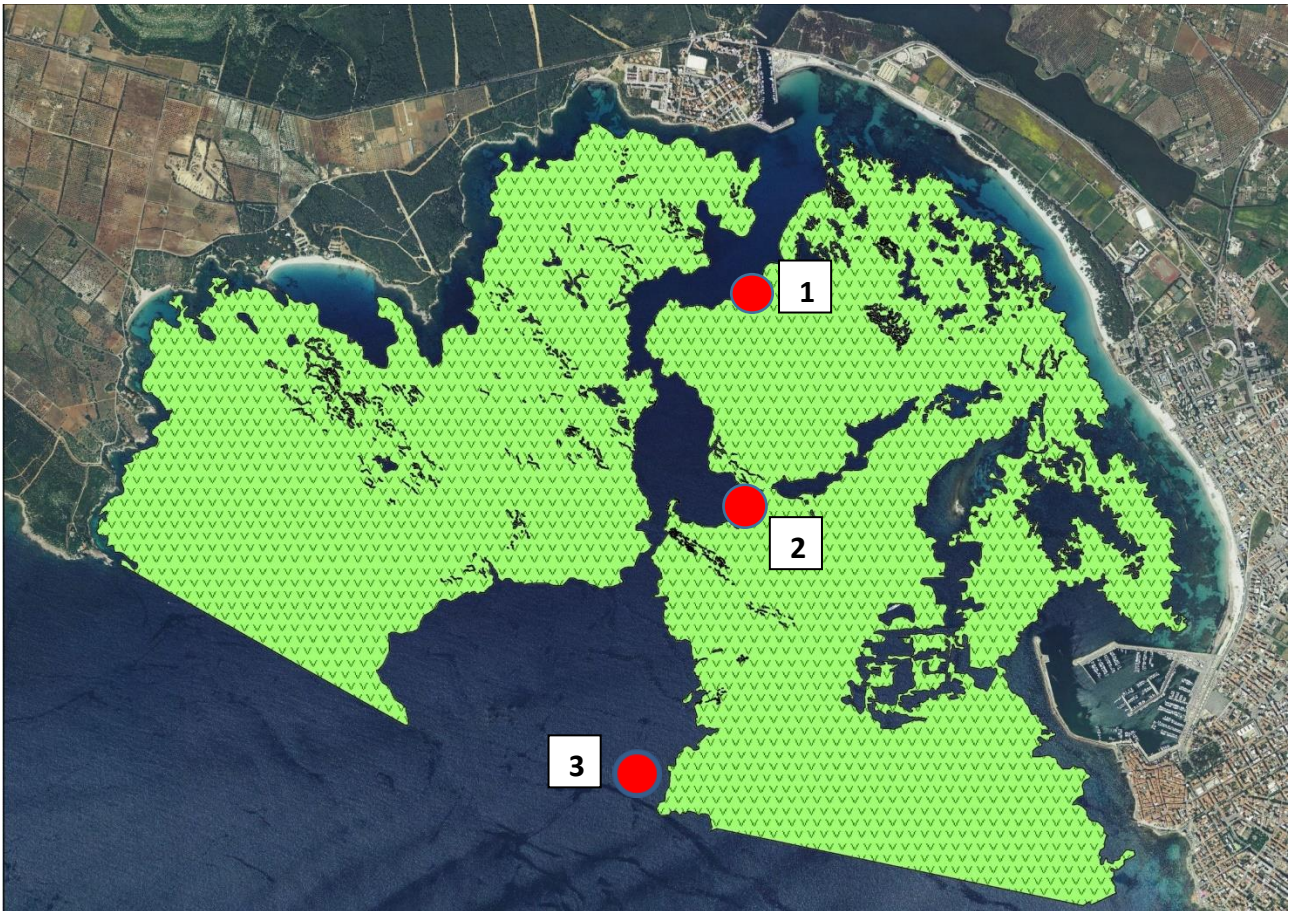


**Figura 78** - Immagine del canale sabbioso nel 2016 (fonte Google Earth)



**Figura 79** - Immagine del canale sabbioso nel 2005 (fonte Google Earth)





**Figura 80** - Mappa della prateria di *Posidonia oceanica* della Rada di Alghero (fonte Manca et al., 2013) e ubicazione dei tre siti potenziali

### 5.2.2. Logistica

Per l'individuazione e la caratterizzazione precisa dei tre siti, sarà necessario realizzare una mappa geologica e biocenotica di dettaglio dell'area. Questa sarà fatta sia attraverso rilievi Side Scan Sonar lungo tutto il canale sabbioso, sia riprese ROV ed immersioni ARA.

### 5.3 Tempistica fase 1: 4 mesi

#### 5.3.1. Fase II riposizionamento in mare nei siti di esperimento della *Posidonia spiaggiata*<sup>9</sup>

L'esperimento di riposizionamento dovrà essere fatto con una quantità di *Posidonia spiaggiata*. Se la raccolta annuale fosse di 3000 m<sup>3</sup>, l'esperimento potrebbe essere fatto con circa 1000/1500 m<sup>3</sup> totali (1/3 o 1/2 della quantità totale).

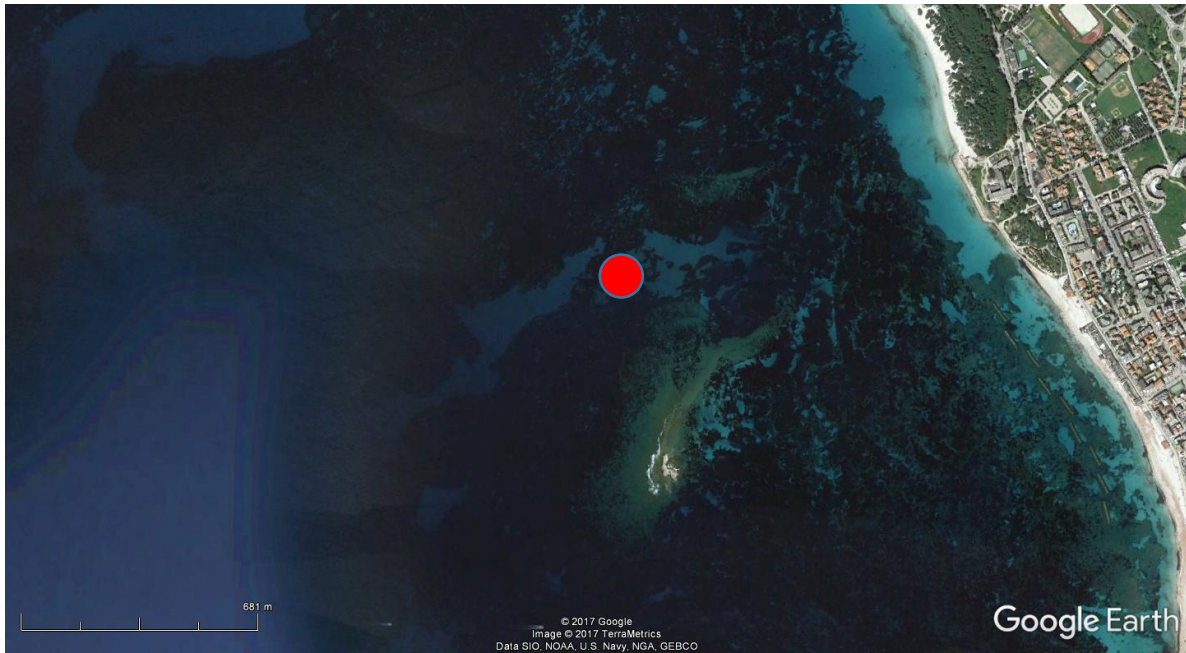


### 5.3.2 Raccolta della Posidonia spiaggiata

La raccolta dovrà essere fatta con gli stessi mezzi che sono attualmente utilizzati. Portata nel sito di stoccaggio temporaneo di San Giovanni. Da qui, senza soluzione di continuità, le foglie raccolte dovranno essere posizionate in una gabbia galleggiante da maricoltura di diametro tra i 20 e i 35 metri e capacità nominale di 600-700 m<sup>3</sup> (Fig. 81). La gabbia dovrà essere del tipo sommergibile, dotata di una rete a maglia (da definire) ma di circa 40 mm, tappo ed apertura della parte inferiore. La gabbia una volta caricata con un volume di foglie da definire, verosimilmente 30/40 m<sup>3</sup>, dovrà essere portata a traina da una barca in un sito (attualmente da definire) caratterizzato da una elevata idrodinamica e fondali non troppo profondi. La gabbia sarà lasciata in acqua, sommersa per circa un metro per un periodo variabile di 1-2 mesi (da definire). In questo periodo la gabbia, opportunamente ancorata al fondo, sarà continuamente monitorata e campionata per definire quanta sabbia si separerà dalle foglie di Posidonia.



**Figura 81** - Gabbie galleggianti sommergibili



**Figura 82** - Potenziale aree di ancoraggio gabbia galleggiante sommergibile

### 5.3.3 Immersione della Posidonia spiaggiata nei tre siti dell'esperimento

La gabbia galleggiante sarà spostata con un mezzo nautico nel primo sito prescelto per l'esperimento. Saranno ispezionate le foglie contenute nella rete ed eventualmente pulite da eventuali rifiuti. La rete contenuta nella gabbia sarà sollevata con apposito braccio meccanico, presente sull'imbarcazione, opportunamente zavorrata e collocata nel sito (Fig. 82). Nel sito, con dei balise, saranno definite le aree dove riposizionare la Posidonia.

La stessa procedura con un intervallo di un mese (se presente una sola gabbia galleggiante) sarà ripetuta per gli altri siti.

## 5.4 Tempistica fase 2: massimo 3 mesi

### 5.4.1 Fase III monitoraggio

Sarà effettuato un monitoraggio, con cadenza quindicinale, nei primi 3 mesi, mensile nei successivi, finalizzato a verificare l'eventuale interazione della massa fogliare posizionata nei 3 siti con la prateria circostante. Ulteriori monitoraggi saranno fatti in seguito a mareggiate eccezionali. Il monitoraggio sarà fatto tramite immersioni subacquee ARA. Sarà prodotta una documentazione fotografica del monitoraggio sia con video camera che tramite ROV.

Mensilmente sarà prodotto un report sugli effetti del riposizionamento delle foglie di Posidonia sulla prateria tramite conteggio dei fasci nelle aree limitrofe al riposizionamento e per una fascia di 100-

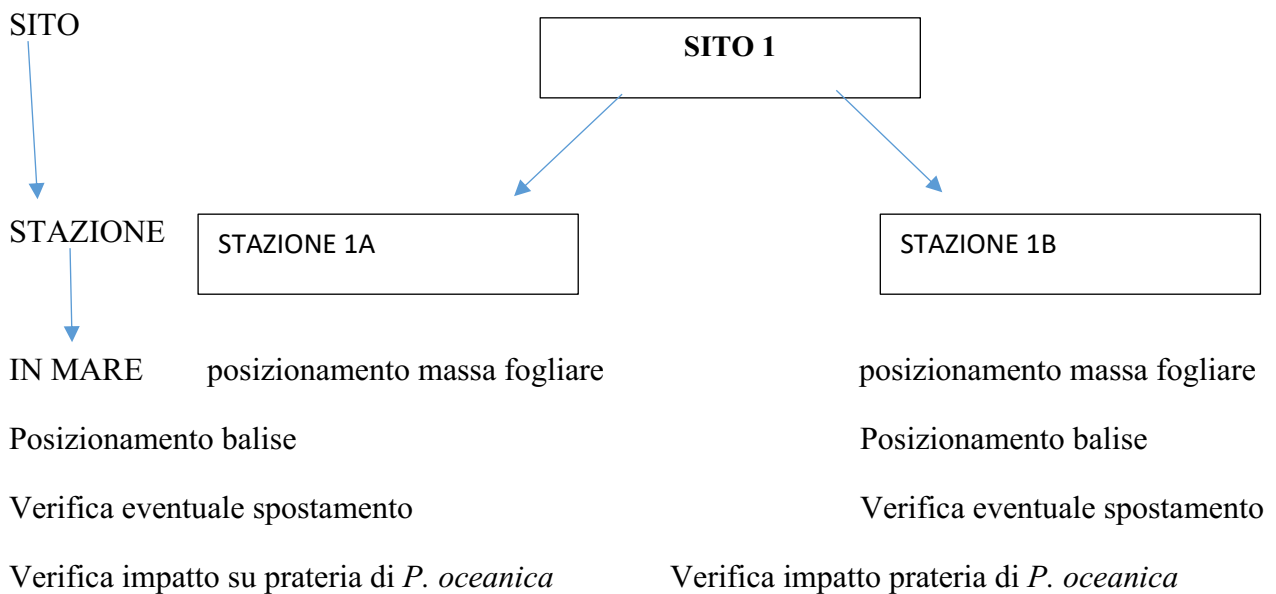
200 metri. Sarà anche osservata la dispersione delle foglie lungo il canale sottomarino e l'evoluzione temporale delle foglie stesse e la formazione di strutture sedimentarie come conseguenza del rilascio della sabbia presente sulle foglie.

Durata del monitoraggio: 1 anno (più eventuale secondo anno di controllo)

### 5.4.2 Tempistica fase 3:

1 anno + 1

## 5.5 Piano di monitoraggio



- Con cadenza quindicinale, nei primi tre mesi, mensile (da verificare) nei successivi si verificherà l'eventuale spostamento della massa fogliare e l'eventuale interazione con la prateria.

## 5.6 Attrezzature

Barca di appoggio per gli studi dei siti

Rilievi Side Scan Sonar (SSS) per l'individuazione dei tre siti

Attrezzatura ARA

Attrezzatura per rilievi subacquei

Macchine fotografiche subacquee

Gabbia galleggiante sommergibile da maricoltura

Barca per il movimento della gabbia

Mezzi meccanici per la rimozione delle foglie dall'arenile e loro posizionamento nella gabbia.

## **6. Smantellamento del sito, vagliatura in posto degli accumuli di Posidonia e riposizionamento della sabbia recuperata sull'arenile.**

L'Amministrazione Comunale ha optato per lo smantellamento dei siti con vagliatura sul posto degli accumuli di *Posidonia* e successivo riposizionamento della sabbia recuperata sull'arenile adiacente il sito stesso.

Date le dimensioni del sito di Villa Segni, rispetto a quello di San Giovanni, la bonifica è iniziata da questo.

### **6.1 Sito di Villa Segni**

Di seguito saranno presentate delle immagini che meglio spiegano la bonifica del sito di Villa Segni (Fig. 83-90). Le fasi sono state:

- La raccolta degli accumuli con pala meccanica e loro posizionamento in un sito adiacente per facilitare la pulizia di questi da eventuali rifiuti;
- Pulizia dai rifiuti solidi urbani;
- Prima vagliatura degli accumuli. La vagliatura è stata fatta a secco con un vaglio da torba con maglia 1cm (diametro più piccolo dei vagli disponibili). Il vaglio utilizzato (modello Doppstadt SM 518 PROFI) (Fig. 83) è a tamburo rotante e cernita meccanica, progettato per produrre due frazioni: in questo caso clastica e biogenica. È composto da un tamburo girevole montato su una struttura leggermente inclinata. Il tamburo funge da vaglio, cilindrico a rete. Durante la rotazione, il tamburo permette alla frazione più fine (clastica prevalente) di passare attraverso i fori, mentre la frazione più grande (biogenica) raggiunge l'estremità del vaglio. Le due frazioni possono essere impilate separatamente o raccolte da trasportatori per il trattamento successivo.
- Accumulo della frazione clastica costituita da sabbie e fibre di *Posidonia* (inferiori al cm);



- Accumulo della frazione biogenica costituita da fibre di Posidonia (superiori al cm) (Fig. 84, 85)
- Distribuzione sull'arenile della frazione clastica (Fig. 84, 86).



**Figura 83** - Vaglio Doppstadt SM 518 PROFI



**Figura 84** - Cantiere per la vagliatura dell'accumulo della Posidonia spiaggiata di Villa Segni (da destra): pala meccanica per la mobilizzazione dei depositi del sito; pala meccanica per caricare i depositi puliti dai rifiuti solidi urbani nel vaglio; vaglio; cumulo di materiale biogenica (in primo piano); cumulo di materiale clastico (in secondo piano)





**Figura 85** - Cumulo di materiale organico



**Figura 86** - Cumulo di materiale clastico (in primo piano). Sull'arenile sono state accumulate le sabbie derivate dalla vagliatura





**Figura 87** - Sabbie da vagliatura



**Figura 88** - Arenile prima del posizionamento della sabbia da vagliatura





**Figura 89** - Arenile durante il posizionamento della sabbia da vagliatura.



**Figura 90** - Arenile un mese dopo il posizionamento della sabbia vagliata





**Figura 91** - Residui biogenici della vagliatura

## 6.2 Analisi delle sabbie vagliate

Vengono presentate in forma sintetica alcune immagini (Fig. da 92 a 97) delle sabbie prima e dopo il vaglio dell'arenile in cui insisteva il sito di stoccaggio di Villa Segni.

Le sabbie non vagliate sono ben cernite, medie ( $350\mu$ ) costituite principalmente da quarzo (70%) e in minor misura da bioclasti. Quelle vagliate hanno circa l'80% di sedimento clastico e il 20% di biogenico. Quest'ultimo è costituito da filamenti di foglie di Posidonia, generatesi molto probabilmente dal processo di setacciamento meccanico. La parte clastica è analoga a quella della sabbia non vagliata.



**Figura 92** - Sabbie della spiaggia antistante il sito di Villa Segni





**Figura 93** - Sabbia a granulometria media della spiaggia antistante il sito di Villa Segni viste al microscopio. Si noti l'abbondante presenza di quarzo e l'alto grado di cernita. Le sabbie hanno granulometria media di 350 $\mu$ .



**Figura 94** - Sabbie derivate dalla vagliatura. Il colore bruno è legato ai filamenti di Posidonia, circa il 20%, che coprono la superficie del campione





**Figura 95** - Sabbia da vagliatura vista al microscopio. Si notino i filamenti di Posidonia in superficie



**Figura 96** - Sabbia da vagliatura. Si notino gli abbondanti grani di quarzo aventi dimensioni medie di 350 $\mu$ .



**Figura 97** - Sabbia da vagliatura. Si notino gli abbondanti grani di quarzo aventi dimensioni medie di 350 $\mu$  ed una minore classazione dei grani di sabbia

### **6.3 Conclusioni sulla bonifica del sito di Villa Segni**

Il sito è stato bonificato al 100% (5000 m<sup>3</sup> di accumuli). Sono state recuperati circa 4000 m<sup>3</sup> di sabbia e 1000 m<sup>3</sup> di materiale biogenico. La sabbia vagliata è stata disposta sull'arenile che in circa un mese ha riacquisito una sua dinamicità naturale. I filamenti di Posidonia mista a sabbia sono stati asportati sia del vento che dalle onde. Il materiale biogenico (scarto del vaglio) sarà utilizzato per stabilizzare/consolidare le dune dell'arenile di Maria Pia.

### **6.4 Sito di San Giovanni**

Di seguito saranno presentate delle immagini che meglio spiegano lo smantellamento del sito di Villa Segni (Fig. 98-108). Le fasi sono state:

- La raccolta degli accumuli con pala meccanica e loro posizionamento in un sito adiacente per facilitare la pulizia di questi da eventuali rifiuti solidi urbani;
- Pulizia dai rifiuti solidi urbani;
- Prima vagliatura degli accumuli. La vagliatura è stata fatta a secco con un vaglio da torba con maglia 1 cm (diametro più piccolo dei vagli disponibili). Il vaglio utilizzato (modello

Doppstadt SM 518 PLUS) è a tamburo rotante e cernita meccanica, progettato per produrre due frazioni: in questo caso clastica (sottovaglio) e biogenica (sopravaglio). È composto da un tamburo girevole montato su una struttura leggermente inclinata. Il tamburo funge da vaglio, cilindrico a rete. Durante la rotazione, il tamburo permette alla frazione più fine (clastica prevalente) di passare attraverso i fori, mentre la frazione più grande (biogenica) raggiunge l'estremità del vaglio. Le due frazioni possono essere impilate separatamente o raccolte da trasportatori per il trattamento successivo.

- Seconda vagliatura
- Accumulo della frazione clastica costituita da sabbie e fibre di *Posidonia* (inferiori al cm);
- Accumulo della frazione biogenica costituita da fibre di *Posidonia* (superiori al cm);
- Distribuzione sull'arenile della frazione clastico-biogenica.
- Trasferimento della frazione biogenica in impianto per il recupero totale della sabbia rimasta nelle foglie;
- Distribuzione sull'arenile della frazione clastica

La presenza diffusa di torba ha reso necessario la raccolta della *Posidonia* accumulata nel sito con un ragno. In questo modo la frazione raccolta poteva essere agitata prima di essere messa nel vaglio.

La torba era stata individuata con il GPR tra i 50 e 30 cm dal piano di campagna e fino ad 1 metro. La rimozione degli accumuli di *Posidonia* non ha mai superato la quota di -1 metro.

La rimozione della torba ha messo in evidenza come questa fosse ricca di sabbia silico clastica. Le analisi granulometriche condotte hanno messo in evidenza che la granulometria media è di 145 $\mu$ . Non è stato possibile in questo sito separare la frazione clastica (sabbie fini) da quella biogenica così come fatto nel sito di Villa Segni. Per recuperare un maggior quantitativo di sabbia (e capire quanto ne era rimasta nel sopravaglio) è stato necessario trattare la frazione di sopravaglio in stabilimento. Il trattamento è stato fatto presso l'Ecocentro di Quartu Sant'Elena gestito dal Gruppo Esposito. In questo stabilimento sono stati trattati 2500 tonnellate di prodotto di sopravaglio che hanno permesso di recuperare 1200 tonnellate di sabbia.





**Figura 98** - Cantiere nel sito di San Giovanni. In primo piano la macchina vagliatrice (Doppstadt SM 518 PLUS), a destra il ragno ed infine la pala meccanica



**Figura 99** - Operazioni di vagliatura





**Figura 100** - La frazione di sottovaglio costituita da sabbia e Posidonia



**Figura 101** - La frazione di sottovaglio. Visione d'insieme degli accumuli.





**Figura 102** - La frazione di sottovaglio: dettaglio



**Figura 103** - La frazione di sopravaglio





**Figura 104** - La frazione di sopravaglio



**Figura 105** - L'arenile prima della rimozione dell'accumulo di Posidonia





**Figura 106** - Lavori di distribuzione della sabbia sull'arenile a seguito della rimozione degli accumuli di Posidonia. La frazione scura è quella di sottovaglio. La frazione chiara quella derivata dalle operazioni di vagliatura in stabilimento della frazione di sopravaglio



**Figura 107** - Lavori di distribuzione della sabbia sull'arenile. La frazione scura è quella di sottovaglio. La frazione chiara quella derivata dalle operazioni di vagliatura in stabilimento della frazione di sopravaglio

I volumi di sabbia mista a fibre di Posidonia di sottovaglio recuperati sono stati circa 12000 m<sup>3</sup> (5000 tonnellate). Questi sono stati distribuiti sull'arenile, da dove era stata scavata per circa 50 cm la Posidonia accumulata, sulla base dei dati G.P.R., con spessori variabili dai 10 ai 20 cm. La sabbia di sopravaglio (2500 tonnellate) è stata trattata nell' Ecocentro Sardegna Srl di Quartu Sant'Elena e privata di qualsiasi componente organica. Questa sabbia, bianchissima (circa 1200 tonnellate), è stata distribuita sopra la prima con spessori variabili da 5 ai 10 cm. I risultati sono visibili nelle figure 106, 107 e 108.



**Figura 108** - La spiaggia dopo la rimozione degli accumuli di Posidonia e il riposizionamento della sabbia

## 6.5 Conclusioni

Il sito è stato bonificato all'80% (12000 m<sup>3</sup> di accumuli). Sono stati recuperati circa 5000 tonnellate di sabbia mista a materiale biogenico (sottovaglio). In seguito al trattamento in impianto del sopravaglio sono stati recuperati altre 1200 tonnellate di sabbia priva di frazione biogenica. Le due frazioni sono state disposte sull'arenile dove insisteva il sito di stoccaggio riconferendo a questo il ruolo di spiaggia (Fig. 108).



## **7. Analisi della frequentazione sulle spiagge di Balistra e Rondinara (Bonifacio-Corsica)**

### **7.1 Premessa**

Nell'ambito del programma Interreg Marittimo GIREPAM, in collaborazione con l'Office dell'Environnement de la Corse, è stato condotto uno studio sulle interazioni e la frequentazione dei bagnanti in spiagge dove erano presenti accumuli di foglie di *Posidonia oceanica*. Il *Conservatoire Du Littoral* e *Terra Vi(v)u pays littoral*, sulle due spiagge pilota di Balistra e Rondinara (Fig. 109) si sono occupati della prima parte di questo lavoro (2018), documentando la presenza di banquettes attraverso indagini sul campo, l'analisi di foto realizzate tramite drone, il conteggio diretto del numero dei bagnanti e la somministrazione di questionari ad un numero statisticamente significativo per verificare la percezione e l'interazione di questi ultimi con le banquettes.

L'Office dell'Environnement, ha proseguito le attività di monitoraggio durante la stagione 2019 e sulla base di queste informazioni, sta elaborando una serie di "Buone pratiche" per la corretta gestione degli accumuli di Posidonia.

### **7.2 Obiettivi**

Gli obiettivi di questo studio erano:

1. Valutare le superfici dei diversi accumuli delle foglie di Posidonia durante il periodo estivo.
2. Quantificare il numero e conoscere il posizionamento delle persone nelle diverse zone delle spiagge.
3. Valutare le sensazioni degli utenti in merito alla presenza delle diverse *banquettes* di Posidonia.



### **7.3 Materiali e metodi**

I principali accumuli di foglie di Posidonia sono stati identificati come superfici lunghe e continue o come "patch" di aree significative. Per questa ragione, sono stati presi in considerazione quattro tipi di accumuli:

1. Foglie morte in sospensione nella zona balneare: "*detriti sospesi*".
2. *Banquettes* umide: "*detriti fogliari bagnati*"
3. *Banquettes* miste: "*detriti di fogliame umido e secco*" misto "
4. *Banquettes* secche: "detriti fogliari secchi".

Il contenuto di umidità e lo spessore della *banquette* ha permesso di stabilire i limiti tra due tipologie contigue e quindi di poterle classificare. Tramite l'utilizzo di un GPS (Fig. 110) è stato possibile creare dei poligoni georeferenziati corrispondenti alle diverse tipologie. Sovrapponendo i tracciati GPS alle foto realizzate con il drone tramite il software QGIS è stato possibile creare delle mappe di distribuzione e calcolare la superficie delle diverse tipologie.



**Figura 110** – Mappatura banquettes



## 7.4 Risultati

Nella stagione estiva 2018 le “*banquettes* umide” rappresentano la maggioranza. In ogni caso lo spazio occupato risulta limitato ad eccezione del sito di Rondinara Sud. Nel 2019 l’accumulo di *banquettes* si è ulteriormente ridotto.

L’analisi dei dati ha evidenziato che:

- Nel sito di Rondinara, la frequentazione resta concentrata nella Spiaggia di Rondinara Nord. Il sito di Balistra è meno frequentato.
- La distribuzione degli utenti dipende essenzialmente da diversi fattori quali; l'occupazione dello spazio, il meteo (ombra, vento) e la configurazione della spiaggia.
- La conoscenza delle *banquettes* e delle sue funzioni è limitata anche se sembra evolvere verso una maggiore consapevolezza del fenomeno.
- Normalmente le persone non si sdraiano sulle *banquettes*, ma la loro presenza sembra non costituire un notevole fastidio, qualunque sia la tipologia. In determinate situazioni le “*banquettes* secche”, vengono utilizzate per la ricerca di ombra, per avere una maggiore distanza dal resto dei bagnanti, o per ripararsi dal vento.

## 7.5 Discussione

Il progetto GIREPAM terminerà agli inizi del 2020 con la pubblicazione di una serie di buone pratiche finalizzate alla corretta gestione delle *banquettes*. Viste le differenti dimensioni e caratteristiche delle spiagge esaminate in Corsica rispetto alla situazione di Alghero, secondo quanto emerso sino adesso (Ottobre 2019), probabilmente nelle spiagge di Rondinara e Balistra non si utilizzeranno macchinari per la gestione degli accumuli, ma si opterà per la rimozione manuale e il loro stoccaggio in aeree appositamente individuate, tramite reti biodegradabili. Inoltre, è in fase di elaborazione l’eventuale proposta di rimozione manuale delle foglie presenti lungo riva non ancora spiagiate.

## 8. Conclusioni

La *Posidonia oceanica* costituisce uno dei più importanti endemismi del Mediterraneo e la sua presenza è un chiaro indicatore delle buone condizioni chimiche, fisiche e biotiche delle acque costiere. I residui di *Posidonia* contribuiscono alla protezione delle coste dall'erosione e la presenza di detriti in sospensione in acqua smorza l'effetto delle onde. Nonostante il ruolo ecologico svolto dalle *banquettes*, il fenomeno dello spiaggiamento viene percepito come un disagio dai cittadini, bagnanti e gestori degli stabilimenti balneari. Le decisioni gestionali perciò, devono tener conto sia dei valori ecologici che delle problematiche igienico sanitarie e turistiche dei litorali. Il litorale di Alghero presenta una peculiarità unica nel panorama delle spiagge Sarde in quanto gli accumuli di *Posidonia* per anno sono di circa 3000 m<sup>3</sup> all'anno, per la maggior parte concentrati nelle spiagge di San Giovanni, Maria Pia e Punta Negra.

Nell'ambito del progetto di dottorato sono stati sperimentati due sistemi di rilevamento: uno marino finalizzato ad acquisire dati ad alta e altissima risoluzione nella fascia batimetrica compresa tra 0 e -10m, (fascia attualmente non rilevata da strumenti come il Side Scan Sonar utilizzato per la realizzazione di carte dei fondali marini ad elevata risoluzione e, quindi dettagliate), l'altro terrestre finalizzato ad acquisire dati ad altissima risoluzione sugli arenili.

Le informazioni acquisite hanno permesso di valutare lo stato della prateria a *Posidonia oceanica*, le dinamiche costiere presenti nella Rada di Alghero e di caratterizzare due siti di stoccaggio temporaneo utilizzati per l'accumulo delle foglie di *Posidonia oceanica* spiaggiate.

Per ottenere maggiori informazioni sul deposito presente nel lido San Giovanni, ai fini della sua corretta gestione, è stato utilizzato il Ground Penetrating Radar (G.P.R.), mai impiegato fino ad oggi per lo studio della *Posidonia oceanica* spiaggiate sui litorali. Lo strumento si è rivelato idoneo alla mappatura dell'area permettendo di dettagliare la stratigrafia del sito di stoccaggio di San Giovanni. Le verifiche del sottosuolo fatte attraverso sondaggi eseguiti con una terna gommata messa a disposizione dall'amministrazione comunale hanno confermato che l'area presenta uno strato superficiale composto dai 10 ai 50 cm di residui di *Posidonia* mista a sabbia, sovrastante, circa 3 metri di sabbia. Tra gli strati sono stati rilevati alcuni rifiuti con incisa la data di scadenza o produzione, utili per la datazione stratigrafica. Tali analisi ci hanno permesso di stabilire che le aree di stoccaggio temporaneo non sono una discarica e, sulla base di questo, è stato predisposto un piano di intervento nei siti di San Giovanni e Villa Segni per cercare di recuperare la maggior quantità di sabbia possibile e smaltire correttamente le foglie morte di *Posidonia*.

A Villa Segni il sito è stato smantellato al 100% (5000 m<sup>3</sup> di accumuli). Sono state recuperati circa 4000 m<sup>3</sup> di sabbia e 1000 m<sup>3</sup> di materiale biogenico. La sabbia vagliata è stata disposta sull'arenile che in circa un mese ha riacquisito una sua dinamicità naturale (Fig. 90). I filamenti di *Posidonia* mista a sabbia sono stati asportati sia del vento che dalle onde. Il materiale biogenico (scarto del sopravaglio) sarà utilizzato per stabilizzare/consolidare le dune dell'arenile di Maria Pia.

Il sito di San Giovanni è stato smantellato all'80% (12000 m<sup>3</sup> di accumuli). Sono stati recuperati circa 5000 tonnellate di sabbia mista a materiale biogenico (sottovaglio). In seguito al trattamento in impianto del sopravaglio sono stati recuperati altre 1200 tonnellate di sabbia priva di frazione biogenica. Le due frazioni sono state disposte sull'arenile dove insisteva il sito di stoccaggio riconferendo a questo il ruolo di spiaggia (Fig. 108).

È importante sottolineare che sia in Italia che in Europa manca una normativa che fornisca chiare indicazioni sulla gestione delle biomasse spiaggiate, sarebbe opportuno perciò condurre degli studi che definiscano il volume di residui di *Posidonia oceanica* da mantenere in loco e la quantità di materiale che è possibile asportare senza compromettere la sua funzione di protezione del litorale dall'erosione costiera.



## 9. Bibliografia

- ANDREUCCI, S., SECHI, D., BUYLAERT, J.P, SANNA, L., PASCUCCI, V. 2017. Post-IR IRS290 dating of K-rich feldspar sand grains in a wind-dominated system on Sardinia. *Marine and Petroleum Geology* 87, 91-98.
- APAT, 2006. Atlante delle Coste Italiane Agenzia Protezione Ambiente e Territorio. [http://www.apat.gov.it/site/it/Servizi\\_per\\_l'Ambiente/Stato\\_delle\\_coste/](http://www.apat.gov.it/site/it/Servizi_per_l'Ambiente/Stato_delle_coste/).
- BOURDOURESQUE C.F., BERNARD G., BONHOMME P., CHARBONNEL E., DIVIACCO G., MEINESZ A., PERGENT G., PERGENT-MARTINI C., RUITTON S., TUNESI L., 2006. Préservation et conservation des herbiers à *Posidonia oceanica* Ramoge 202 pp.
- BOUDOURESQUE C.F., MEINESZ A., 1982. Découverte de l'herbier de Posidonie. *Cah. Port-Cros, Fr.*,4,1-79.
- BOVINA G., CAPPUCCI S., DEVOTI S., PALLOTTINI E., SILENZI S., 2006. Le problematiche generali della gestione delle biomasse vegetali spiaggiate. Simposio sul Monitoraggio Costiero del Mediterraneo: problematiche e tecniche di misura. Sassari ottobre 2006.
- BOVINA G., CAPPUCCI S., PALLOTTINI E., (2008). Caracterisation des biomasses vegetales de plage. Interactions de *Posidona oceanica* et Sable avec l'Environnement des Dunes Naturelles, Cahier Technique étendu de Phase C: 22-40.
- CAPPUCCI S., CREO C., (2019). Proposta di una nuova circolare per meglio regolamentare la gestione delle biomasse vegetali spiaggiate. ENEA – Dipartimento Sostenibilità dei Sistemi Produttivi e Territoriali Via Anguillarese, 301 – ROMA – Rapporto
- CECCHERELLI G., CAMPO D., MILAZZO M., 2007. Short-term response of the slow growing seagrass *Posidonia oceanica* to simulated anchor impact. *Marine Environmental Research* 63, 341-349.
- CHESSA L.A., FUSTIER V., FERNANDEZ C., MURA F., PAIS A., PERGENT G., SERRA S., VITALE L., 2000. Contribution to the knowledge of "banquettes" of *Posidonia oceanica*(L.) Delile in Sardinia Island. Proceeding IV° International Seagrass Biology Workshop, Corsica France, *Biologia Marina Mediterranea*,7,35-38.
- DE FALCO G., BAROLI M., SIMEONE S., PIERGALLINI G., (2002). La rimozione della *Posidonia oceanica* dalle spiagge: conseguenze sulla stabilità dei litorali. Risultati del Progetto Arena.
- DE FALCO G., BAROLI M., CUCCO A., SIMEONE S., 2008. Intrabasinal conditions promoting the development of a biogenic carbonate sedimentary facies associated with the seagrass *Posidonia oceanica*. *Continental Shelf Research* 28/6, 797-812.

- DE FALCO G., SIMEONE S., BAROLI M., 2008. Management of beach-cast *Posidonia oceanica* seagrass on the Island of Sardinia (Italy, Western Mediterranean). *J.Coast Res.*, 69-75.
- DIVIACCO G., SPADA E., VIRNO LAMBERTI C., 2001. Le fanerogame marine del Lazio, ICRAM, Roma.
- FRANCOUR, P. "Fish Assemblages of *Posidonia Oceanica* Beds at Port-Cros (France, NW Mediterranean): Assessment of Composition and Long-term Fluctuations by Visual Census." *Marine Ecology* 18, no. 2 (1997): 157–173.
- JEUDY DE GRISSAC A., 1984- Effects des herbiers a *Posidonia oceanica* sur la dynamique marine et la sédimentologie littorale. International Workshop on *Posidonia oceanica* beds, Boudouresque C.F., Jeudy de Grissac A., Olivier J. eds., Gis Posidonie publ., Fr., 1: 437-443.
- MANCA E., PASCUCCI V., DELUCA M., COSSU A., ANDREUCCI S., 2013. Shoreline evolution related to coastal development of a managed beach in Alghero, Sardinia, Italy.
- MANCINELLI A., AMINTI P., ARCHETTI R., ATZENI A., CANU V., CAPPIETTI L., LORENZONI C., ZANUTTIGH B., 2005. Opere di difesa realizzate con strutture sommerse a cresta bassa ad Alghero (SS), Perd'e Sali (Ca), Marina di Massa (MS), Maina di Pisa (PI), Porto Recanati (MC), Marina di Montemarciano (AN), Lido di Dante (RA) e Pellestrina (VE). *Studi Costieri* 9,7-50.
- MOLINIER, ROGER, AND J. PICARD. "Etudes biologiques sur les herbiers de Phanérogames marines à l'Ouest d'Alger." *Bull. Stn. Aquicult. Pêche Castiglione, Alg* 4 (1953): 7-34.
- PALA D., COSSU A., PISCHEDDA E., PASCUCCI V., ANDREUCCI S., RAGAZZOLA F., DEMELAS S.N.S., 2009. Indagini preliminari su ripartizione e morfologia della prateria a *Posidonia oceanica* nella rada di Alghero. *Biol. Mar. Mediterr.* 16 (1), 286-287.
- PARENTE A, MONTESANO F, LOMORO A, GUIDO M (2013) Improvement of beached *Posidonia* residues performance to composting. *Environ Eng Manag J* 12:81–84
- PASCUCCI, V., DE FALCO, G., DEL VAIS, C., MELIS, R.T., SANNA, I., ANDREUCCI, S., 2018. Climate changes and human impact on the Mistras coastal barrier system (W Sardinia, Italy). *Marine Geology*, 395, 271-284.
- PÉRÈS J.M., 1984 - History of the Mediterranean an Biota and the colonisation of the depth. In: "Western Mediterranean", Margalef R. ed., Oxford, Pergamon Press: 198-232
- PERGENT G., PERGENT-MARTINI C., BOUDOURESQUE C.F., 1995. Utilisation de l'herbier à *Posidonia oceanica* comme indicateur biologique de la qualité du milieu littoral en Méditerranée: Etat des connaissances. *Mésogée*, 54pp.
- RELINI G., GIACCONE G., 2009. Gli Habitat prioritari del Protocollo SPA/BIO (Convenzione di Barcellona) presenti in Italia. Schede descrittive per l'identificazione. *Biologia Marina Mediterranea*. 16 (suppl.1): 1-266.

ROMEO R., BARADELLO L., BLANOS R., CONGIATU 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. & YABAR D. (2019) Shallow geophysics of the Asinara Island Marine Reserve Area (NW Sardinia, Italy), Journal of Maps, 15:2, 759-772, DOI: [10.1080/17445647.2019.1669498](https://doi.org/10.1080/17445647.2019.1669498)

ROMERO J., PERGENT MATRINI C., MATEO M. A., REGNIER C., 1992. The detritic compartment in a *Posidonia oceanica* meadow: litter features, decomposition rates and mineral stocks. Marine Ecology, 13(1),73-83.

SIMEONE S., DE FALCO G., COMO S., OLITA A., DE MURO S., 2008. Dinamica deposizionale delle banquettes di *Posidonia oceanica* nelle spiagge. Riassunti 84° Congresso Nazionale SGI-Rendiconti online Soc. Geol. It., Vol.3, 2008. 726-727.



## **10. Allegati**



## Marine benthic forms of the Marine Protected Area Capo Caccia-Isola Piana (Sardinia, Italy)

Mario De Luca, Vincenzo Pascucci, Vittorio Gazale, Alberto Ruiu, Luca Massetti & Andrea Cossu

To cite this article: Mario De Luca, Vincenzo Pascucci, Vittorio Gazale, Alberto Ruiu, Luca Massetti & Andrea Cossu (2018) Marine benthic forms of the Marine Protected Area Capo Caccia-Isola Piana (Sardinia, Italy), *Journal of Maps*, 14:2, 421-427, DOI: [10.1080/17445647.2018.1486242](https://doi.org/10.1080/17445647.2018.1486242)

To link to this article: <https://doi.org/10.1080/17445647.2018.1486242>



© 2018 The Author(s). Published by Informa UK Limited, trading as Taylor & Francis Group on behalf of Journal of Maps



[View supplementary material](#)



Published online: 25 Jun 2018.



[Submit your article to this journal](#)



Article views: 319



[View related articles](#)



[View Crossmark data](#)



Citing articles: 1 [View citing articles](#)



## Marine benthic forms of the Marine Protected Area Capo Caccia-Isola Piana (Sardinia, Italy)

Mario De Luca<sup>a</sup>, Vincenzo Pascucci<sup>a,b</sup>, Vittorio Gazale<sup>c</sup>, Alberto Ruiu<sup>d</sup>, Luca Massetti<sup>d</sup> and Andrea Cossu<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Department of Architecture Design and Planning, University of Sassari, Alghero, Italy; <sup>b</sup>Institute of Geology and Petroleum Technologies, Kazan Federal University, Kazan, Russia; <sup>c</sup>National Park of Asinara Island, Porto Torres, Italy; <sup>d</sup>Marine Protected Area Capo Caccia-Isola Piana, Alghero, Italy

### ABSTRACT

The great ecological and economic value of the biocenoses of Marine Protected Area 'Capo Caccia-Isola Piana' (MPA) requires a constant monitoring. For this reason, a continuous study of the area producing overlapping maps useful to control in real time the evolution of the biocenoses is necessary. The integrated use of several methodologies, such as Side Scan Sonar, Remote Operating Vehicle and Drone, has allowed us to realize a very detailed map. This paper presents the marine benthic map of the MPA and compares the present situation with that recorded in 2008.

### ARTICLE HISTORY

Received 7 January 2018  
Revised 4 June 2018  
Accepted 5 June 2018

### KEYWORDS

*Posidonia oceanica*;  
biocenosis; human impact;  
Alghero; Mediterranean Sea

### 1. Introduction

One of the main topics related to the conservation of marine environments is the *Posidonia oceanica* seagrass meadow in its worldwide regression. For its importance, the topic has been included in the EC Directive 92/43/EEC ([http://ec.europa.eu/environment/nature/legislation/habitatsdirective/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/environment/nature/legislation/habitatsdirective/index_en.htm)). The meadow plays an important role in protecting (i.e. reducing the wave energy) and nourishing (i.e. supplying bioclastic material) the beach systems (De Muro, Batzella, Kalb, & Pusceddu, 2008; Manca, Pascucci, De Luca, Cossu, & Andreucci, 2013; Pergent, Pergent-Martini, & Boudouresque, 1995; Vacchi et al., 2017). Therefore, a detailed and continuous mapping of the seagrass distribution may ensure its conservation (De Muro & De Falco, 2015; Tecchiato, Collins, Parnum, & Stevens, 2015). However, issues such as the distribution of other benthic communities, environmental modifications and human impact have to be considered as well to evaluate the ecological status of coastal areas to plane future strategies (Buosi et al., 2017; De Muro, Ibbas, & Kalb, 2016; James, 2000).

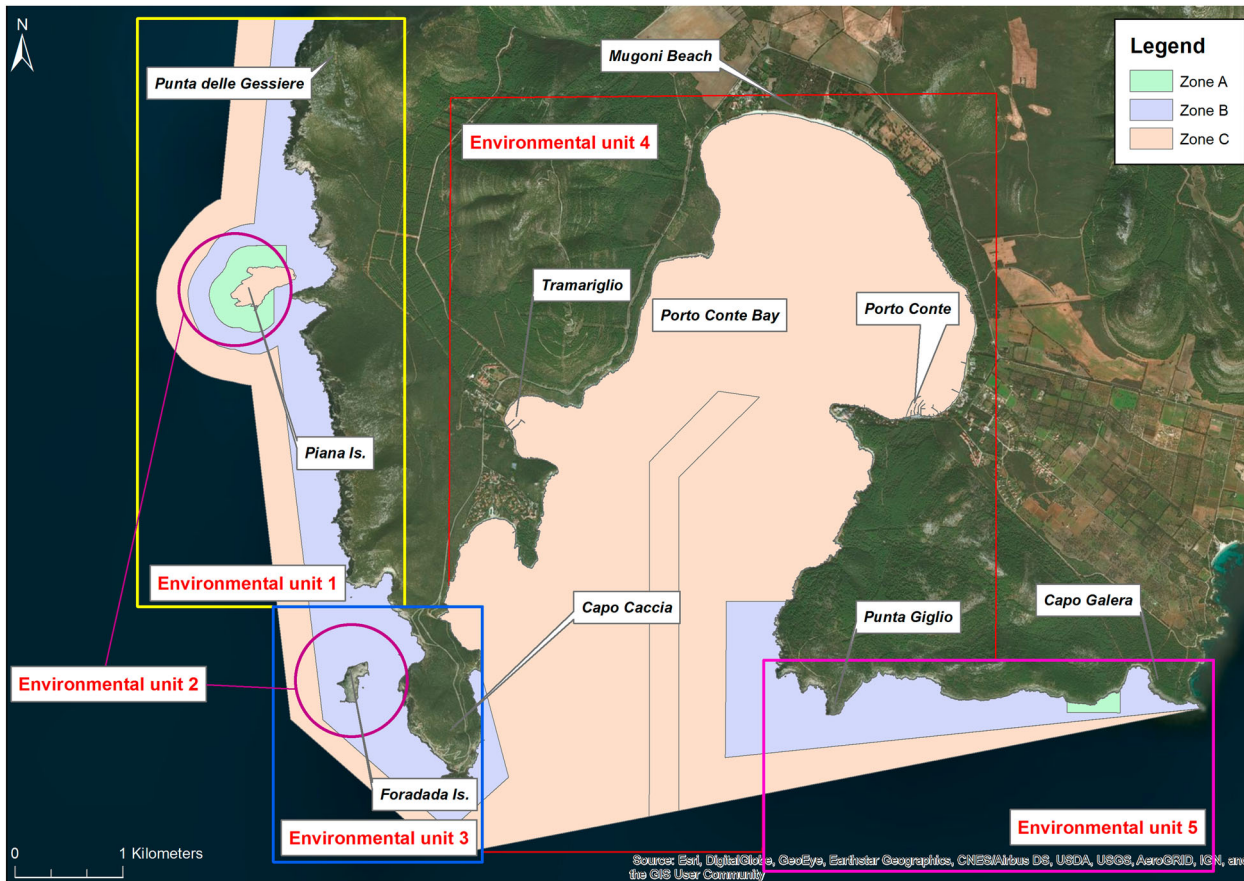
Marine protected areas (MPAs) have been established to keep in their natural state areas to conserve biodiversity and protect species. They are created by delineating zones with permitted and non-permitted uses (Kelleher & Recchia, 1998). Under this purpose, on 2002 the MPA of 'Capo Caccia-Isola Piana' (NW Sardinia, Italy, Central Mediterranean Sea) was established by the Italian Ministry of Environment (Figure 1). One of the aims of MPA has been since the beginning the knowledge of the ecological communities present

in the area and to estimate the economic value of the biocenoses. In this context, this paper presents the distribution and status of the benthic communities of the MPA imaged in a 1:12,000 scale map. Particular attention has been given to the mapping of the wide *P. oceanica* meadow. The seagrass mostly lies within the bay of Porto Conte (Figure 1 and main map). This particularly sheltered bay is intensely frequented, especially during the summer season, from nautical pleasure, exposing it to an intensive anthropic impact. Impact also enhanced by the presence of two tourist ports (Tramarglio and Porto Conte) (Figure 1). The bay is also a preferred site for fishing both traditional and trawling. It has been documented that this last type of fishing irreversibly changes the mat, causing deep grooves that contribute to accelerate the degradation of the *P. oceanica* meadow itself (Milazzo, Badalamenti, Riggio, & Chemello, 2002). Degradation is evidenced by large extensions on the sea surface of dead mat and by the presence of low-density plants as well as by the regression of its upper limit (Chessa et al., 1988; Cossu, Gazale, Orrù, & Pintus, 2001). The current distribution of the biocenoses presented in the map has been compared with that mapped on 2008 (Figure 2) to underline changes occurred in the MPA in a decade.

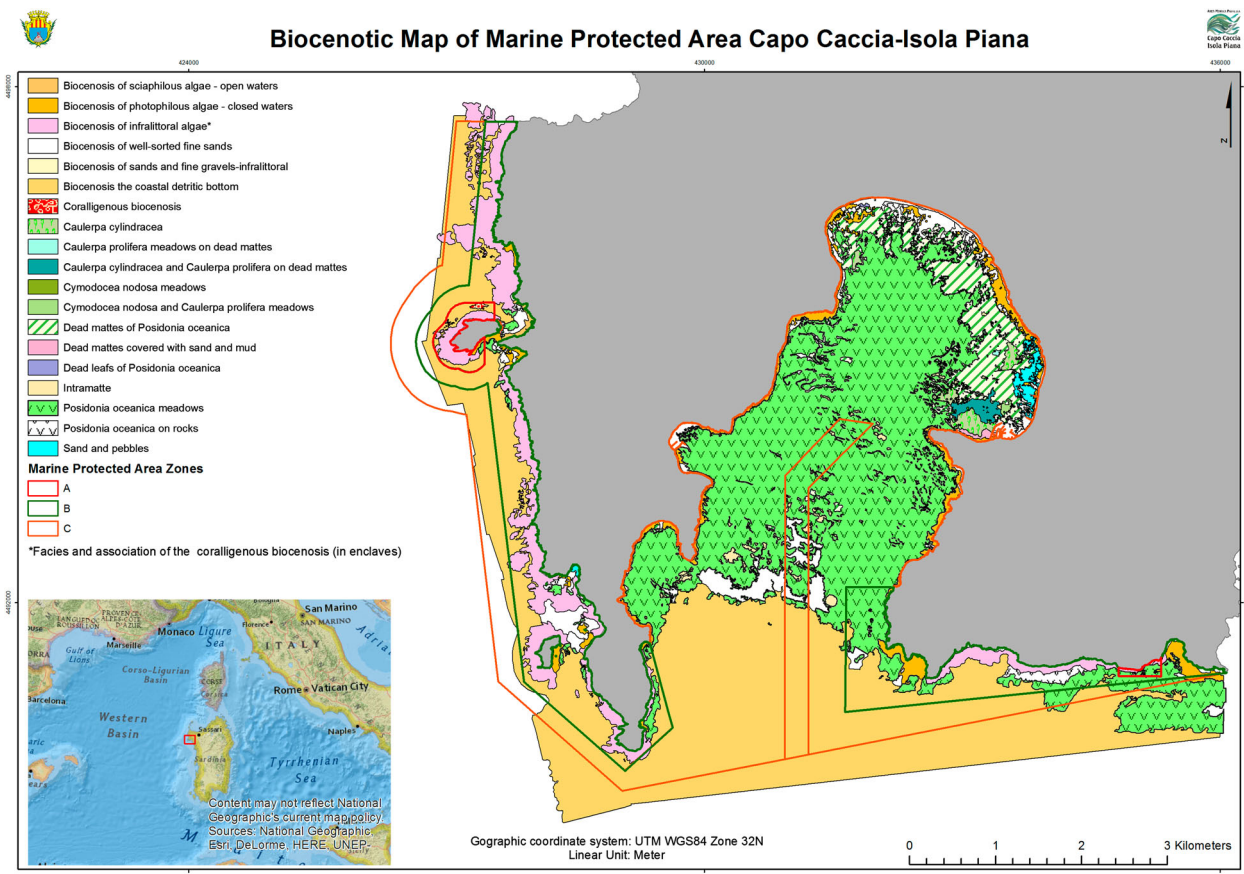
### 2. Study area

The MPA of 'Capo Caccia-Isola Piana' (40°34'N–8°13'E) extends from Punta delle Gessiere to Capo Galera, it has 36,144 km of coastline and a sea extension of 2631 ha (Figure 1).





**Figure 1.** Study area. Red lines delimit Zones A (total restriction), B and C of the Marine Protected Area. Squares indicate the five defined environmental units of the Biocenotic Map. Image is from ESRI, Open street map. Environmental units.



**Figure 2.** Biocenotic realized in the 2008 by the Marine Protected Area 'Capo Caccia-Isola Piana'. The map is available at <http://www.ampcapocaccia.it/ricerche.asp>.

The present morphological setting of the MPA formed since about 3 ka BP when the post Last Glacial Maximum (20 ka BP) sea level rise decreased (Magny & Combourieu Nebout, 2013; Pascucci et al., 2018; Pascucci, Sechi, & Andreucci, 2014 and ref therein). Similarly, the present climate started to establish between 6 and 5 ka BP and become stable about 3 ka BP, after which small amplitude climate fluctuations (0.5–1°C) occurred (Pascucci et al., 2018).

The coast bordering the MPA is characterized by high rocky cliffs, often articulated in promontories mostly delimiting small bays where sand and/or gravelly pocket beaches occur. In places, rocky cliffs are incised by wave action, developing tidal notches (Antonoli et al., 2015). On the NE landward side of the Porto Conte Bay, there is the biggest and most important beach of the MPA, the Mugoni Beach (Figure 1). Beaches are nourished by clastic sediments fallen and/or eroded from the cliffs or carried by a complex system of ephemeral streams active during winter major rainfalls. Most of the bioclastic sediments derive from shell organisms living in the extensive *P. oceanica* meadow occurring all along the MPA at depth comprises between –4 and –30 m and transported to the beaches during major storms (De Falco, De Muro, Batzella, & Cucco, 2011; Manca et al., 2013). The dominant effective wind is from the northwest (Mistral wind) and is responsible for the longshore drift (Donda et al., 2008; Manca et al., 2013; Vicinanza, Contestabile, & Ferrante, 2013); the sea is microtidal with storm waves up to about 7 m high. The average sea temperature measured during 2017 was about 16.5°C (<https://www.seatemperature.org>).

### 2.1. Geological setting

Sardinia is the second biggest Island of the Mediterranean Sea and represents a segment of the south-European plate that was separated from the European continent during the early Miocene (Cherchi & Montadert, 1982; Doglioni, Gueguen, Harabaglia, & Mongelli, 1999). The studied area can be sketched as a bay (the Porto Conte Bay) delimited by two headlands (Capo Caccia and Punta Giglio promontories) (Figure 1). The promontories are composed of Triassic to Cretaceous carbonates deposited when Sardinia was part of the northern side of the Neo-Tethys (southern margin of the European plate) (Simone & Cherchi, 2009). In particular, they are made of limestones composed of Triassic-early Jurassic paralic and coastal deposits, early Cretaceous shallow water platform deposits and late Cretaceous Rudist-rich limestones. Late Quaternary marine to alluvial deposits crop out along the low relief part of the Porto Conte Bay and formed as a consequence of the last 300 ka sea level fluctuations (Pascucci et al., 2014). Marine deposits mainly consist of conglomerates, shallow-marine fossiliferous carbonates, and

sandstones referred to the interglacial stages. Non-marine deposits consist of coastal aeolian sandstones interlayered by fine-grained sandstones and siltstones (colluvia and paleosols) and alluvial conglomerates, which are usually attributed to glacial stages (Andreucci, Clemmensen, Murray, & Pascucci, 2010; Pascucci et al., 2014). The 1.6 km long and just 30 m wide Mugoni beach-lagoon system is formed during the latest stages of the Holocene sea level rise (Palombo et al., 2017). The beach is mostly composed of medium to coarse sand, whereas fine sand and silty deposits thinly cover the back shore marsh plain (Ratto, Montis, Depalmas, Rendeli, & Melis, 2016). The marsh was reclaimed during the period 1936–1955 (Tedde & Farris, 2016).

### 3. Methods

The marine benthic map was made by the integrated use of Side Scan Sonar (SSS), submarine surveys and aerial photo and satellite images analyses. These integrated systems have allowed distinguishing the biocenoses present inside the MPA. The used SSS is a KLEIN 3000 with a dual frequency of 100 and 500 KHz (Klein Marine Systems, Salem, NH, USA). The survey was made with a slate range of 150 m and a line spacing of at least 20%. The SSS was towed with an 8.5 m long (Jenneau Merry Fischer) boat, equipped with a Trimble GEOXT Differential Geographic Position System (DGPS) and a Raymarine C80 GPS integrated with echo sounder. Submarine survey was performed with a Remote Operating Vehicle (ROV) ‘Velociraptor’ (Enne Elettronica, Savona, Italy). It was equipped with a high-quality video camera with grand angular lens providing a field view of 80° and with two 50-W halogen spotlights. The used aerial photos are Ortofoto 2008 (Regione Sardegna, RAS) and BaseMap Esri images (Digital Globe) with a resolution of 0.5 m and accuracy of 10.2. Additional aerial photos have been acquired with an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) DJI Phantom 3 Advanced Drone equipped with a 12 mpixels camera mounted on three axis gimbal support to ensure the maximum stability.

The final map of biocenoses was edited at a scale of 1:12,000. The map was made interpreting a 0.250 m pixel resolution SSS mosaic integrated with aerial photo interpretation. Truthing points were acquired using the ROV images and direct scuba dives.

### 4. Results

The MPA has been ideally subdivided into five environmental units (Units 1–5), characterized by different ecological-environmental characteristics, representing areas with similar biocenotic and morphological conditions and analogous human activities (Figure 1). For the legend of the biocenosis, we referred

to Pérès and Picard (1964). Data presented in the main map have been compared with those mapped in 2008 (<http://www.ampcapocaccia.it/ricerche.asp>) (Figure 2). The main differences are discussed in the text.

*Environmental Unit 1* ‘The Western Cliffs’ has an area of 530 ha (Figure 1). The main benthic communities are *Biocenosis of coarse sands and fine gravels under the influence of bottom currents-Brown algae*, representing more than 60% of the total, *P. oceanica meadows* 14% and *Biocenosis of the upper infralittoral rock* 17%. The main difference with the 2008 biocenotic map made is the extension of the *P. oceanica meadow*, which represented only 3% of the mapped area.

This environmental unit has a medium protection level (Zones B and C, Figure 1). In the area, only the underwater fishing is not allowed. All others activities such as navigation, professional fishing, sport fishing and anchoring are allowed under certain regulation. Anchoring occurs occasionally and only in some of the small embayments present along the cliffs. No mooring buoys are present; however, the considerable distance of this area from the ports made the human attendance very low.

*Environmental Unit 2* ‘The small islands of the western cliff (Foradada and Piana)’ has an area of 37.6 ha (Figure 1). The main benthic communities are *Biocenosis of the upper infralittoral rock with the presence of Cystoseira spp. and P. oceanica* (52%) and *P. oceanica on rocks* (21%), this latter was not mapped in the 2008 map (Figure 2).

The protection of this environmental unit is medium-high including areas with full (Zone A Piana Is) and general protections (Zone B Foradada Is) (Figure 1). In Zone A, the only activities permitted are scientific research and emergency assistance, whereas in Zone B, navigation, sport fishing and anchoring are allowed. No mooring buoys are present; however, the morphology of the Foradada Island strongly reduces the anchoring possibilities to small boats (mostly rubber dinghies).

*Environmental Unit 3* ‘Capo Caccia Promontory’ has an area of 139 ha (Figure 1). The promontory is interested by bottom currents coming from the north and bending to the east after the cape. The presence in the northern side of the promontory of numerous submerged karstic caves allows developing of sciafilous biocenoses. In the southern side, biocenoses are more susceptible to the light. Of particular interest are the mediolittoral communities with considerable presence of *Lithophyllum byssoides*, which is here very well developed and forms continuous ridges (*trottoirs* of Pérès & Picard, 1964) all along the cliffs where the tidal notch is better developed (Figure 3). The seafloor consists predominantly of medium sands bearing *Dyctiotales* and *Cystoseira* algae and is characterized by alternation of dense vegetation and wide bare sands.

In the bay, close to the cliff, there is an impoverishment of the vegetation component with facies at *Oloturie*.

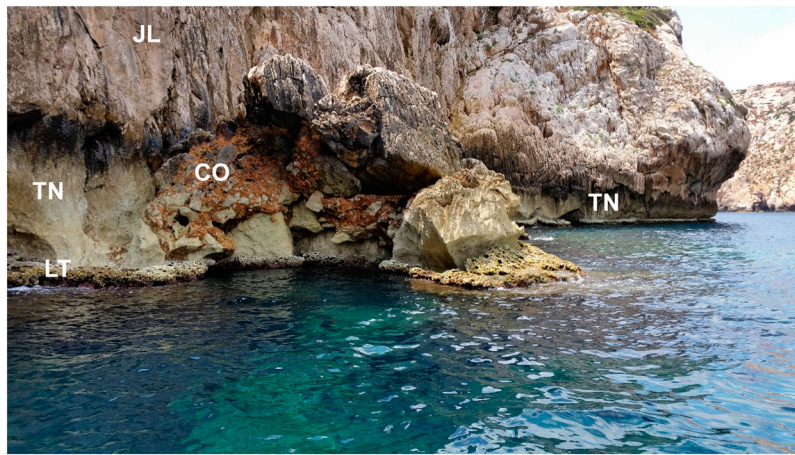
The main benthic communities of this unit are *Biocenosis of coarse sands and fine gravel under bottom currents* representing 67% of the surface, *Biocenosis of the upper infralittoral rock in sheltered waters* 17% and the *P. oceanica meadows* 14%. The main difference with the 2008 map is the extension of the *P. oceanica meadow*, which occupied 6% of the unit area (Figure 2). It should be noted that in the previous map was indicated the presence of the *Biocenosis of fine sands in shallow waters* which, in our opinion, is not present both for the strong bottom currents and for the presence of diffuse megariipples in the unit area (main map).

This environmental unit has a medium protection level (Zones B and C, Figure 2). Most of the human presence is related to motorboats for collective transport (guided tours and scuba divers) and sport fishing. This last is just allowed with rod and line only. Anchoring occurs just occasionally at the foot of some cliffs where the water depth does not exceed 10 m. Mooring buoys are present in some of the most attended scuba diving sites.

*Environmental Unit 4* ‘The Porto Conte Bay’ has an area of 1754 ha; that is, the largest unit of the MPA (Figure 1). The main benthic community is represented by the *P. oceanica meadows*, which occupies 958 ha, accounting for 55% of the total area (main map). Intramatte channels are very numerous (over 360 have been mapped) and occupy about 40 ha. Channels size ranges between 1000 and 3000 m<sup>2</sup>, which clearly indicates a non-natural origin of them. It should be noted that the larger channels are located in the most distal part of the meadow at depths between –18 and –30 m. In the bay, the *Biocenosis of coarse sands and fine gravels under the influence of bottom currents-Facies at Spatangoid* is also well represented. It occupies the 21% of the total area and is confined below the lower limit of *P. oceanica meadow* (below –30 m). The present survey shows substantial differences with the 2008 map in the number and size of intramatte channels (Figure 2 and main map).

This environmental unit has a low protection level (Zone C, Figure 2). This area, because sheltered, is highly used by tourism boats and as anchorage of ships during storms. We claim that most of the recognized intramatte channels could be related to anthropic phenomena. In particular, those occupying the central part of the Porto Conte Bay, at the depth around –20 m, to ship anchorages, whereas those occurring at shallow depth to both anchoring and trawling. This last type of fishing is made illegally in the bay. Mooring buoys, although present, are not sufficient for anchoring the large number of boats sailing the bay during the summer season.





**Figure 3.** Medioltoral communities: *Lithophyllum byssoides* developed on the tidal notch where it forms continuous ridge (trottoir). JL: Jurassic Limestones; CO: Quaternary Colluvium; TN: Tidal notch; LT: *Lithophyllum byssoides*.

*Environmental Unit 5* ‘The promontory of Punta Giglio’ has a surface of 247 ha (Figure 1). The main benthic communities are represented by *Biocenosis of coarse sands and fine gravels under the influence of bottom currents-Megaripples* representing 61% and *P. oceanica meadows* occupying 26% of the area. In addition, the *Biocenosis of the upper infralittoral rock* and *Biocenosis of the upper infralittoral rock in sheltered waters* are well represented. The main difference with the 2008 map is the extension of the *P. oceanica meadow* (Figure 2). The *Biocenosis of fine sands in shallow waters* and *Biocenosis of well-sorted fine sands* mapped in 2008 in our opinion are not present, given the presence of strong bottom currents megaripples in the unit area. Our interpretation indicates only the presence of *Biocenosis of coarse sands and fine gravels under the influence of bottom currents-Facies a Spatangoid*.

This environmental unit has a medium-high protection level including areas with full and general protections (Zones A, B and C, Figure 1). Most of the human presence is related to navigation. Anchoring is allowed only in definite areas mostly served by mooring buoys.

## 5. Conclusions

Mapping plays a key role in the management and conservation of natural systems. In MPAs, where sustainable development is always subordinate to conservation efforts, maps are mostly used to represent habitats, development pressures, tourist facilities or legal restrictions such as the zoning of a protected area (De Muro et al., 2018; Rovere et al., 2013). The newly produced biocenotic map of the Marine Protected Area ‘Capo Caccia-Isola Piana’ may therefore represents a fundamental tool for the future monitoring of the conservation status of the benthic communities. The map has underlined that the most

important biocenosis of the area is the *P. oceanica meadow*. It has also highlighted that although the MPA is covered by limitations, only Zones A and B are effectively protected. The wide area of Porto Conte Bay is the most human attended because sheltered and easy to reach. The city of Alghero is just 7 miles far and the other two touristic ports present in the bay make easy to navigate in it. Pleasure, sport fishing, fishermen and touristic boats sail and anchor in the bay without any significant control. The several intramatte channels mapped and not recognized in the work of 2008 claim for an important deterioration of the meadow with consequent regression of its upper limit. This deterioration is most probably linked to anchoring and illegal trawl fishing conducted in the area. This intense human activity in the bay may have yield an increase in the turbidity of the marine superficial water with the consequent fragmentation and retreat of the *P. oceanica meadow* upper limit. This effect is similar to the more large-scale environmental deterioration phenomenon that is affecting many highly anthropized sections of the Sardinian coast (De Muro et al., 2018). The work, finally, clearly states that areas with integral protection (mainly environmental Unit 2 and in part Unit 3) are functional to the protection of benthic communities. The comparison with the map of 2008 has indicated an increase of 20% of the *P. oceanica meadow* in the areas. We therefore hope in a continuous monitoring of the protected areas producing overlapping maps useful to control in real time the evolution of the biocenoses.

## Software

SonarPro® Package (Klein Marine Systems, Inc.) is the software used for Side Scan Sonar data acquisition, whereas the data processing was performed with Sonarweb (Chesapeake Technology). Spatial analyses were performed and processed using ArcGIS Desktop version 10.5.1 (ESRI).

## Acknowledgements

The authors are indebted with the reviewers Sandro De Muro, Makram Murad-al-shaikhfor, Sira Tecchiato, the Associated Editor Wayne Stephenson and the Editor in chief Mike J. Smith who helped to improve the manuscript.

## Disclosure statement

No potential conflict of interest was reported by the authors.

## Funding

This work was supported by Accordo di Cooperazione ex art. 15 della legge 7, agosto 1990 n. 241 between the Alghero Municipality, Manager of Marina Protected Area ‘Capo Caccia – Isola Piana’ and Department of Architecture, Design and Planning of the University of Sassari (resp. Prof. Vincenzo Pascucci).

## ORCID

Vincenzo Pascucci  <http://orcid.org/0000-0003-4834-3056>

## References

- Andreucci, S., Clemmensen, L. B., Murray, A. S., & Pascucci, V. (2010). Middle to late Pleistocene coastal deposits of Alghero, northwest Sardinia (Italy): Chronology and evolution. *Quaternary International*, 222, 3–16.
- Antonoli, F., Lo Presti, V., Rovere, A., Ferranti, L., Anzidei, M., Furlani, S., ... Vecchio, A. (2015). Tidal notches in Mediterranean Sea: A comprehensive analysis. *Quaternary Science Reviews*, 119, 66–84.
- Buosi, C., Tecchiato, S., Pusceddu, N., Frongia, P., Ibba, A., & De Muro, S. (2017). Geomorphology and sedimentology of Porto Pino, SW Sardinia, western Mediterranean. *Journal of Maps*, 13, 470–485.
- Cherchi, A., & Montadert, L. (1982). Oligo-Miocene rift of Sardinia and the early history of the Western Mediterranean Basin. *Nature*, 298(5876), 736–739.
- Chessa, L. A., Roy, P., Mazzella, L., Gambi, M. C., Russo, G. F., Ligios, S., ... Pierrot, S. (1988). Survey on *P. oceanica* meadows and on other biotopes in the bay of Porto Conte (NW Sardinia). *Rapport de la Commission Internationale pour l'Exploration Scientifique de la Mer Méditerranée*, 31, 117.
- Cossu, A., Gazale, V., Orrù, P., & Pintus, C. (2001). Caractérisation géomorphologique et biocénétique de la zone protégée de Capo Caccia - Île Piana (N-Sardaigne). *Rapport de la Commission Internationale pour l'Exploration Scientifique de la Mer Méditerranée*, 36, 375.
- De Falco, G., De Muro, S., Batzella, T., & Cucco, A. (2011). Carbonate sedimentation and hydrodynamic pattern on a modern temperate shelf: The strait of Bonifacio (western Mediterranean). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 93, 14–26.
- De Muro, S., Batzella, T., Kalb, C., & Pusceddu, N. (2008). Sedimentary processes, hydrodynamics and modeling of the beaches of Santa Margherita, Solanas, Cala di Trana and La Sciumara (Sardinia – Italy) [Processi sedimentari, idrodinamica e modellizzazione delle spiagge di Santa Margherita, Solanas, Cala di Trana e La Sciumara (Sardegna – Italia)]. *Rendiconti Online Società Geologica Italiana*, 3(1), 308–309.
- De Muro, S., & De Falco, G. (2015). *Handbook of best practice for the study, monitoring and management of Sardinian beaches*. Italy: Cagliari University Press. Scienze Costiere e Marine, CUEC Editrice. ISBN 978-88-8467-953-6.
- De Muro, S., Ibba, A., & Kalb, C. (2016). Morpho-sedimentology of a Mediterranean microtidal embayed wave dominated beach system and related inner shelf with *Posidonia oceanica* meadows: The SE Sardinian coast. *Journal of Maps*, 12(3), 558–572.
- De Muro, S., Porta, M., Pusceddu, N., Frongia, P., Passarella, M., Ruju, A., ... Ibba, A. (2018). Geomorphological processes of a Mediterranean urbanized beach (Sardinia, Gulf of Cagliari). *Journal of Maps*, 14(2), 114–122.
- Dogliani, C., Gueguen, E., Harabaglia, P., & Mongelli, F. (1999). On the origin of west-directed subduction zones and applications to the western Mediterranean. *Geological Society, London, Special Publications*, 156, 541–561.
- Donda, F., Gordini, E., Rebesco, M., Pascucci, V., Fontolan, G., Lazzari, P., & Mosetti, R. (2008). Shallow water sea-floor morphologies around Asinara Island (NW Sardinia, Italy). *Continental Shelf Research*, 28, 2550–2564.
- James, R. J. (2000). From beaches to beach environments: Linking the ecology, human-use and management of beaches in Australia. *Ocean & Coastal Management*, 43(6), 495–514.
- Kelleher, G., & Recchia, C. (1998). Editorial – lessons from marine protected areas around the world. *Parks*, 8(2), 1–4.
- Magny, M., & Combourieu Nebout, N. (2013). Holocene changes in environment in the Mediterranean. *Climate of the Past*, 9, 1447–1445.
- Manca, E., Pascucci, V., De Luca, M., Cossu, A., & Andreucci, S. (2013). Shoreline evolution related to coastal development of a managed beach in Alghero, Sardinia, Italy. *Ocean & Coastal Management*, 85(Part A), 65–76.
- Milazzo, M., Badalamenti, F., Riggio, S., & Chemello, R. (2002). Effetti degli ancoraggi sulla *Posidonia oceanica* della Riserva Marina di Ustica: uno studio preliminare. *Biologia Marina Mediterranea*, 9(1), 686–689.
- Palombo, M. R., Antonoli, F., Lo Presti, V., Mannino, M. A., Melis, R. T., Orru, P., ... Altamura, S. (2017). The late Pleistocene to Holocene palaeogeographic evolution of the Porto Conte area: Clues for a better understanding of human colonization of Sardinia and faunal dynamics during the last 30 ka. *Quaternary International*, 439, 117–140.
- Pascucci, V., De Falco, G., Del Vais, C., Melis, R. T., Sanna, I., & Andreucci, S. (2018). Climate changes and human impact on the Mistras Coastal Barrier System (W Sardinia, Italy). *Marine Geology*, 395, 271–284.
- Pascucci, V., Sechi, D., & Andreucci, S. (2014). Middle Pleistocene to Holocene coastal evolution of NW Sardinia (Mediterranean Sea, Italy). *Quaternary International*, 328–329, 3–20.
- Pérès, J. M., & Picard, J. (1964). Nouveau Manuel de Bionomie Benthique de la Mer Méditerranée. *Recueil des Travaux de la Station Marine d'Endoume, Bull.*, 31(47), 5–137.
- Pergent, G., Pergent-Martini, C., & Boudouresque, C. F. (1995). Utilisation de l'herbier a *Posidonia oceanica* comme indicateur biologique de la qualité du milieu littoral en Méditerranée: état des connaissances. *Mésogée*, 54, 3–27.
- Ratto, G., Montis, F., Depalmas, A., Rendeli, M., & Melis, R. T. (2016). Paleoenvironmental reconstruction of the

- Sant'Imbenia area during the middle Holocene (Sardinia, Italy). *Geografia Fisica Dinamica Quaternaria*, 39, 193–202.
- Rovere, A., Ferraris, F., Parravicini, V., Navone, A., Morri, C., & Bianchi, C. N. (2013). Characterization and evaluation of a marine protected area: 'Tavolara–Punta Coda Cavallo' (Sardinia, NW Mediterranean). *Journal of Maps*, 9(2), 279–288.
- Simone, L., & Cherchi, A. (2009). The Cretaceous carbonate system of the Nurra region (North Western Sardinia, Italy). In IAS 2009, 27th Meeting, field trip 11 (pp. 223–234). Sassari, Italy: Medimond International. ISBN 978-88-7587-554-1.
- Tecchiato, S., Collins, L., Parnum, I., & Stevens, A. (2015). The influence of geomorphology and sedimentary processes on benthic habitat distribution and littoral sediment dynamics: Geraldton, Western Australia. *Marine Geology*, 359, 148–162.
- Tedde, S. A., & Farris, A. G. (2016). Un secolo di bonifica umana. Colonie penali e miglioramento fondiario nella Nurra di Alghero (1864–1962), 284 pp. Sassari, Italy: Carlo Delfino Editore.
- Vacchi, M., De Falco, G., Simeone, S., Montefalcone, M., Morri, C., Ferrari, M., & Bianchi, C. N. (2017). Biogeomorphology of the Mediterranean *Posidonia oceanica* seagrass meadows. *Earth Surface Processes and Landforms*, 42, 42–54.
- Vicinanza, D., Contestabile, P., & Ferrante, V. (2013). Wave energy potential in the north-west of Sardinia (Italy). *Renewable Energy*, 50, 506–521.

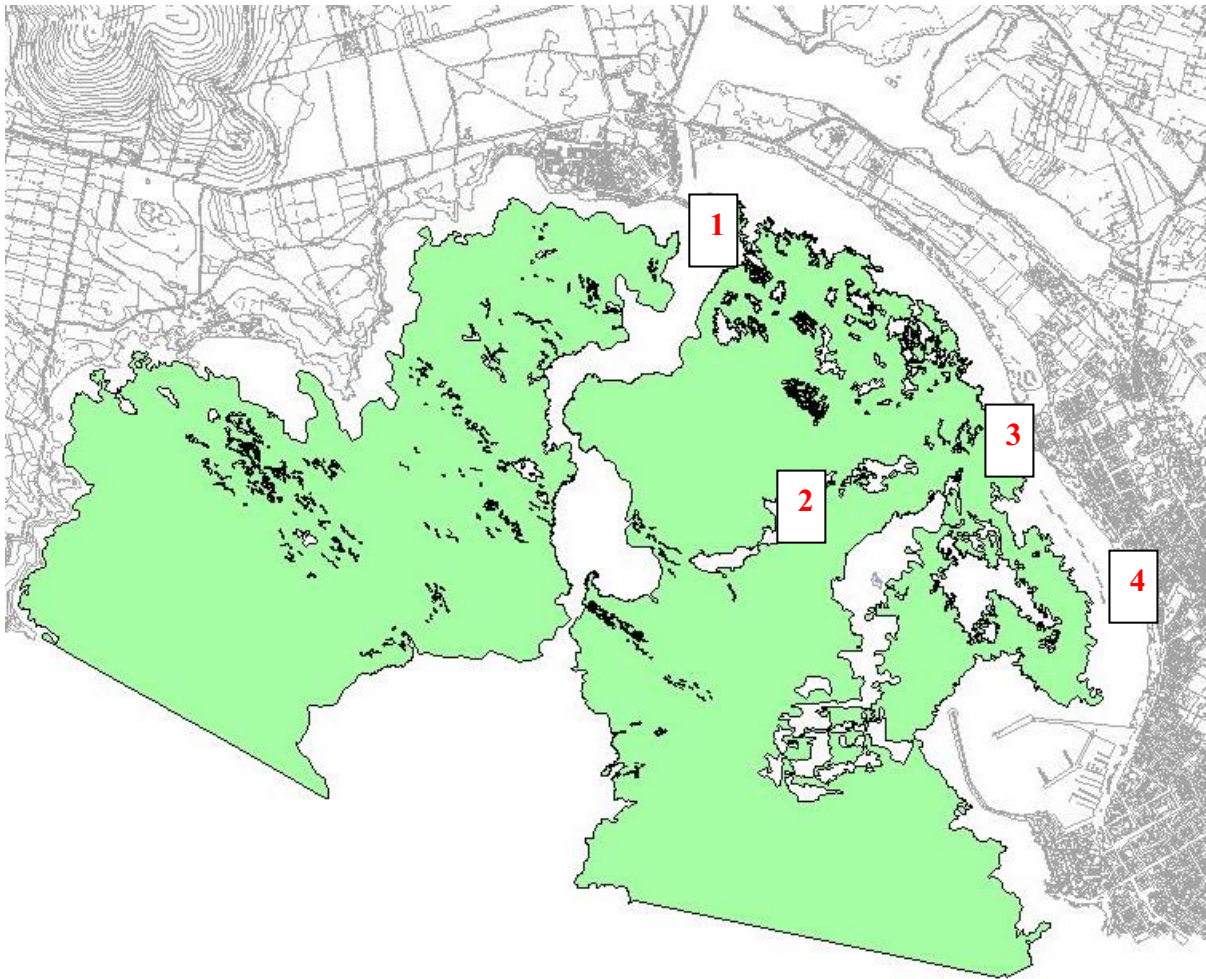


## Granulometria

- **Area di campionamento:**

L'area di campionamento (Fig. 1) è stata scelta sulla base dei dati rilevati per la realizzazione della carta geologica e biocenotica del fondale della Rada di Alghero. La versione più recente di questa carta è stata presentata al Congresso di Biologia Marina di Livorno da Pala et al. (2009) e Pascucci et al. (2009). Da questa sono state individuate le seguenti aree di studio:

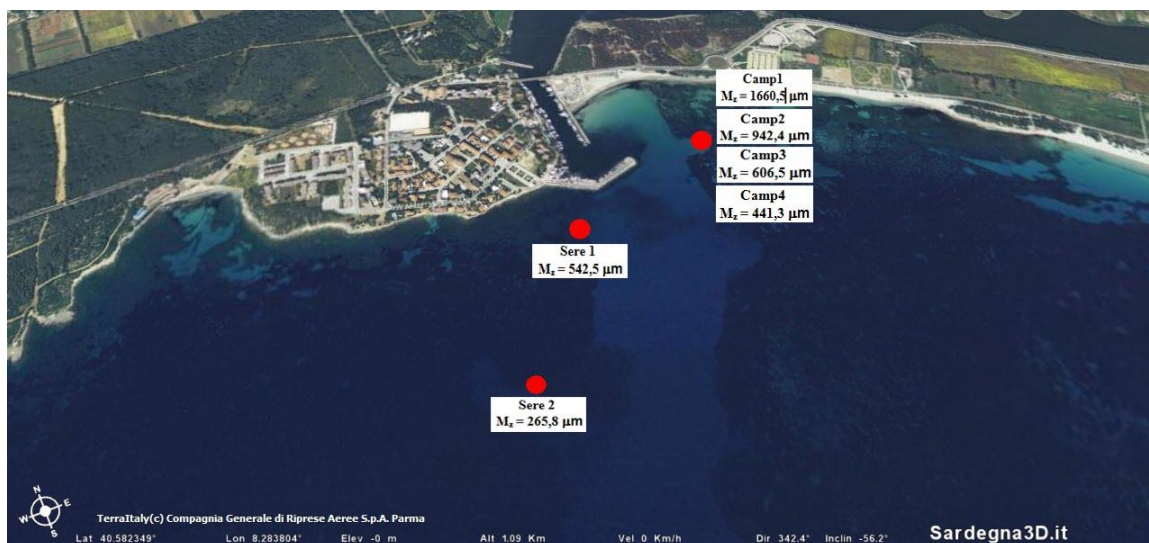
1. Porto di Fertilia (Area 1). Quest'area rappresenta la parte iniziale del paleo alveo del Calich;
2. Area della Maddalenetta (Area 2). Quest'area rappresenta un canale sommerso sviluppatosi nella prateria di *Posidonia o.*;
3. Fertilia-Punta del Paru-Ospedale marino (spiaggia emersa) (Area 3). Quest'area ben rappresenta la porzione emersa della spiaggia di Maria Pia;
4. Lido di Alghero (spiaggia emersa) (Area 4). Quest'area ben rappresenta la porzione emersa della spiaggia del lido di S. Giovanni;



**Fig.1 - Area dei campionamenti**

**Area 1: Porto di Fertilia (spiaggia sommersa)**

In questa area sono stati prelevati 6 campioni (Fig. 2) (Camp1, Camp2, Camp3, Camp4, Sere1, Sere2).



**Fig.2** - Localizzazione campioni nell'area di Fertilia

Di seguito verrà riportata un breve descrizione dei singoli campioni ordinati secondo profondità crescente:

✓ Camp1 (-10 metri)

L'analisi granulometrica ha evidenziato che il campione Camp 1 presenta una media geometrica di 1660,5  $\mu\text{m}$  risulta, pertanto, costituito da sabbie molto grossolane, moderatamente bene sortite con kurtosis di tipo leptocurtico. Il campione presenta una coda verso il materiale grossolano (skewness negativo).

✓ Camp2 (-11 metri)

L'analisi granulometrica ha evidenziato che il campione Camp2 presenta una media geometrica di 942,4  $\mu\text{m}$  risulta costituito da sabbie grossolane, moderatamente sortite con kurtosis di tipo platicurtico. Il campione presenta una coda verso il materiale fino (skewness positivo).

✓ Camp3 (-11 metri)



L'analisi granulometrica ha evidenziato che il campione Camp3 presenta una media geometrica di 606,5  $\mu\text{m}$  risulta costituito da sabbie grossolane, poco sortite con kurtosis di tipo mesocurtico. Il campione presenta una coda tendente verso il materiale grossolano (skewness negativo).

✓ Camp4 (-12 metri)

L'analisi granulometrica ha evidenziato che il campione Camp4 presenta una media geometrica di 441,3  $\mu\text{m}$  risulta costituito da sabbie medie, moderatamente bene sortite con kurtosis di tipo leptocurtico. Il campione presenta una coda verso il materiale grossolano (skewness negativo).

✓ Sere1 (- 12 metri)

L'analisi granulometrica ha evidenziato che il campione Sere1 presenta una media geometrica di 542,5  $\mu\text{m}$  risulta costituito da sabbie grossolane, moderatamente sortite con kurtosis di tipo mesocurtico. Il campione presenta una coda verso il materiale grossolano (skewness negativo).

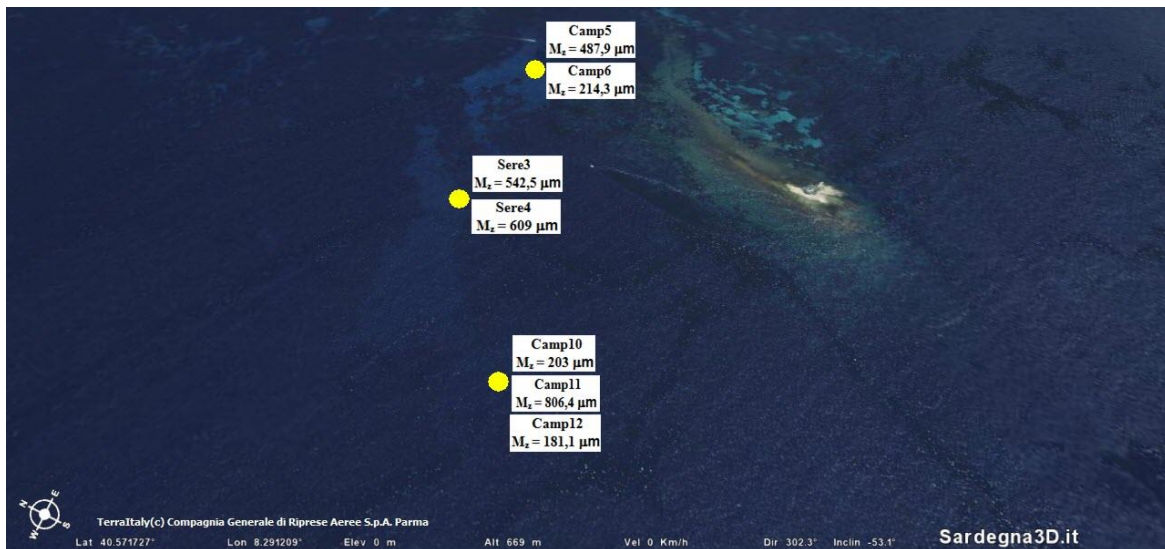
✓ Sere2 (- 13 metri)

L'analisi granulometrica ha evidenziato che il Campione Sere2 presenta una media geometrica di 265,8  $\mu\text{m}$  risulta costituito da sabbie medie, poco sortite con

kurtosis di tipo platocurtico. Il campione presenta una coda verso il materiale fino (skewness positivo).

## Area 2: Isola della Maddalenetta (spiaggia sommersa)

In questa area (Fig. 3) sono stati prelevati 7 campioni (Camp5, Camp6, Sere3, Sere4, Camp10, Camp11, Camp12). Di seguito verrà riportata un breve descrizione dei singoli campioni ordinati secondo profondità crescente:



**Fig.3** - Localizzazione campioni nell'area della Maddalenetta

### ✓ Camp5 (-13 metri)

L'analisi granulometrica ha evidenziato che il campione Camp5 presenta una media geometrica di 487,9  $\mu\text{m}$  risulta costituito da sabbie medie, moderatamente sortite con kurtosis di tipo leptocurtico. Il campione presenta una coda verso il materiale grossolano (skewness negativo).

✓ Camp6 (-14 metri)

L'analisi granulometrica ha evidenziato che il campione Camp6 presenta una media geometrica di 214,3  $\mu\text{m}$  risulta costituito da sabbie fini, moderatamente sortite con kurtosis di tipo mesocurtico. Il campione presenta una coda verso il materiale grossolano (skewness negativo).

✓ Sere3 (-14 metri)

L'analisi granulometrica ha evidenziato che il campione Sere3 presenta una media geometrica di 542,5  $\mu\text{m}$  risulta costituito da sabbie grossolane, moderatamente sortite con kurtosis di tipo mesocurtico. Il campione presenta una coda verso il materiale grossolano (skewness negativo).

✓ Sere4 (- 15 metri)

L'analisi granulometrica ha evidenziato che il campione Sere4 presenta una media geometrica di 609  $\mu\text{m}$  risulta costituito da sabbie grossolane, moderatamente bene sortite con kurtosis di tipo mesocurtico. Il campione presenta una coda verso il materiale grossolano (skewness negativo).

✓ Camp10 (- 23 metri)

L'analisi granulometrica ha evidenziato che il campione Camp10 presenta una media geometrica di 203  $\mu\text{m}$  risulta costituito da sabbie fini, moderatamente



bene sortite con kurtosis di tipo leptocurtico. Il campione presenta una coda verso il materiale grossolano (skewness negativo).

✓ Camp11 (- 25 metri)

L'analisi granulometrica ha evidenziato che il campione Camp11 presenta una media geometrica di 806,4  $\mu\text{m}$  risulta costituito da sabbie grossolane, poco sortite con kurtosis di tipo platicurtico. Il campione presenta una coda verso il materiale grossolano (skewness negativo).

✓ Camp12 (- 28 metri)

L'analisi granulometrica ha evidenziato che il campione Camp12 presenta una media geometrica di 181,1  $\mu\text{m}$  risulta costituito da sabbie fini, moderatamente bene sortite con kurtosis di tipo leptocurtico. Il campione presenta una coda verso il materiale grossolano (skewness negativo).

### **Campioni prelevati nella spiaggia emersa:**

#### **Area 3: Fertilia-Punta del Paru-Ospedale marino (spiaggia emersa)**

In questa area sono stati prelevati 4 campioni (fig. 4) (Fer1, Ele5, Ele6, Ele7).



**Fig.4** - Localizzazione campioni nell'area Fertilia-Punta del Paru-Ospedale marino

Di seguito verrà riportata un breve descrizione dei singoli campioni:

✓ Fer 1

L'analisi granulometrica ha evidenziato che il campione Fer1 presenta una media geometrica di 296,1 $\mu\text{m}$  risulta costituito da sabbie medie, poco sortite con kurtosis di tipo leptocurtico. Il campione presenta una coda verso il materiale molto grossolano ( skewness negativo).

✓ Ele 5 (piede duna)

L'analisi granulometrica mostra che il campione Ele 5 presenta una media geometrica 255,6  $\mu\text{m}$  risulta costituito da sabbie medie, bene sortite con kurtosis di tipo mesocurtico. Il campione presenta una coda verso il materiale molto fino (skewness positivo).

✓ Ele 6 (berma)

L'analisi granulometrica ha evidenziato che il campione Ele 6 presenta una media geometrica di 265,5  $\mu\text{m}$  risulta costituito da sabbie medie, bene sortite con kurtosis di tipo leptocurtico. Il campione presenta una coda verso il materiale fino (skewness positivo).

✓ Ele 7 (battigia)

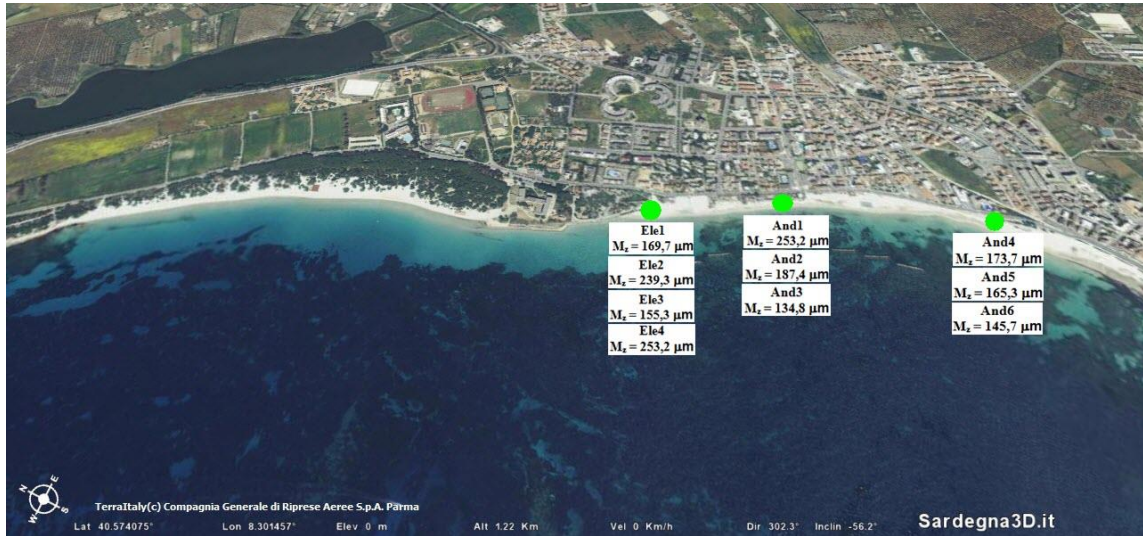
L'analisi granulometrica ha evidenziato che il campione Ele 7 presenta una media geometrica di 327,6  $\mu\text{m}$  risulta costituito da sabbie medie, bene sortite con kurtosis di tipo mesocurtico. Il campione presenta una curva simmetrica.

**Area 4: Lido di Alghero (spiaggia emersa)**

In quest' area sono stati prelevati 10 campioni (Fig. 5) (Ele1, Ele2, Ele3, Ele4, And1, And2, And3, And4, And5, And6).

Di seguito verrà riportata un breve descrizione dei singoli campioni:





**Fig.5** - Localizzazioni nell'area del Lido di Alghero.

✓ Ele 1 (duna)

L'analisi granulometrica ha evidenziato che il campione Ele1 presenta una media geometrica di 169,7 μm risulta costituito da sabbie fini, molte bene sortite con kurtosis di tipo platicurtico. Il campione presenta una curva simmetrica.

✓ Ele 2 (spiaggia)

L'analisi granulometrica ha evidenziato che il campione Ele2 presenta una media geometrica di 239,3 μm risulta costituito da sabbie fini, bene sortite con kurtosis di tipo mesocurtico. Il campione presenta una coda verso il materiale fino (skewness positivo).

✓ Ele 3 (battigia)

L'analisi granulometrica ha evidenziato che il campione Ele3 presenta una media geometrica di 155,3  $\mu\text{m}$  risulta costituito da sabbie fini, moderatamente sortite con kurtosis estremamente leptocurtico. Il campione mostra una coda verso il materiale molto grossolano (skewness negativo).

✓ Ele 4 (duna)

L'analisi granulometrica ha evidenziato che il campione Ele4 presenta una media geometrica di 253,2  $\mu\text{m}$  risulta costituito da sabbie medie, bene sortite con kurtosis mesocurtico. Il campione presenta una coda verso il materiale fino (skewness positivo).

✓ And 1 (duna, muretto)

L'analisi granulometrica mostra che il campione And 1 presenta una media geometrica di 188,7  $\mu\text{m}$  risulta costituito da sabbie fini, bene sortite con kurtosis di tipo mesocurtico. Il campione presenta una curva di tipo simmetrico.

✓ And 2 (berma, gradino erosivo)

L'analisi granulometrica ha evidenziato che il campione And 2 presenta una media geometrica di 187,4  $\mu\text{m}$  risulta essere costituito da sabbie fini, moderatamente bene sortite con kurtosis di tipo leptocurtico. Il campione presenta una coda verso il materiale grossolano (skewness negativo).

✓ And 3 (battigia)

L'analisi granulometrica ha evidenziato che il campione And 3 presenta una media geometrica di 134,8  $\mu\text{m}$  risulta costituito da sabbie fini, bene sortite con kurtosis di tipo mesocurtico. Il campione presenta una curva di tipo simmetrico (non presenta una coda)

✓ And 4 (duna)

L'analisi granulometrica mostra che il campione And 5 presenta una media geometrica di 173,7  $\mu\text{m}$  risulta costituito da sabbie fini, moderatamente bene sortite con kurtosis di tipo mesocurtico. Il campione presenta una coda verso il materiale grossolano (skewness negativo).

✓ And 5 (berma)

L'analisi granulometrica ha evidenziato che il campione And 5 presenta una media geometrica di 165,3  $\mu\text{m}$  risulta costituito da sabbie fini, bene sortite con kurtosis di tipo mesocurtico. Il campione presenta una curva simmetrica.

✓ And 6 (battigia)

L'analisi granulometrica ha evidenziato che il campione And 6 presenta una media geometrica di 145,7  $\mu\text{m}$  risulta costituito da sabbie fini bene sortite con kurtosis di tipo mesocurtico. Il campione presenta una curva simmetrica.



## Analisi composizionali

Sono stati selezionati 9 campioni provenienti dalle 4 distinte aree studio per una caratterizzazione composizionale del sedimento.

I campioni sono:

- ✓ Sere 2 dall'area 1 Porto di Fertilia (spiaggia sommersa)
- ✓ Camp 10, Camp 11 dall'area 2 Isola della Maddalenetta (spiaggia sommersa)
- ✓ Ele1, Ele2, Ele3, Ele4 dall'area 3 Punta del Paru-Ospedale marino (spiaggia emersa)
- ✓ And 2, And 5 dall'area 4 Lido di Alghero (spiaggia emersa)

Tab. 1 - Tabella riassuntiva delle analisi composizionali effettuate sui campioni studiati

Analisi composizionale dei campioni																	
sample	Composizione frazione silicoclastica %							Composizione frazione bioclastica %									
	Qtz.	Feldspati	Bt	Ms	Framm. litici	N.I.	% tot.	Bivalvi	Gaster.	Briozoi	Echinod.	Foramin.	Alge calcaree	Framm. Posidonia	N.I.	% tot	
Camp 10 (mare)	22		8		5		35	8							57	65	
Camp 11 (mare)	20		1		12		33	13	2	3	1	2	1		45	67	
Ele 1 (duna)	60	9			4		73	1							26	27	
Ele 2 (berma)	48	9	8		11		76								24	24	
Ele 3 (battigia)	34	6	3	1	23		67							1	32	33	
Ele4 (duna)	48	11	4		12		75		1						24	25	
Sere 2 (mare)	34	4	2		18		58					1		7	34	42	
And 2 (berma)	49	4	6	1	12		72							1	27	28	
And 5 (berma)	37	5	5		16		63		1					8	28	37	

Di seguito si riportano graficamente le analisi composizionali dei vari campioni esaminati:

✓ Sere 2 dall' area 1 Porto di Fertilia (spiaggia sommersa)

L'analisi composizionale del campione Sere 2 mostra che le sabbie sono costituite per il 58% da materiale silicoclastico e per il restante 42 % da materiale carbonatico. In particolare, gli elementi maggiormente presenti sono quarzo (34%) e bioclasti (34%).

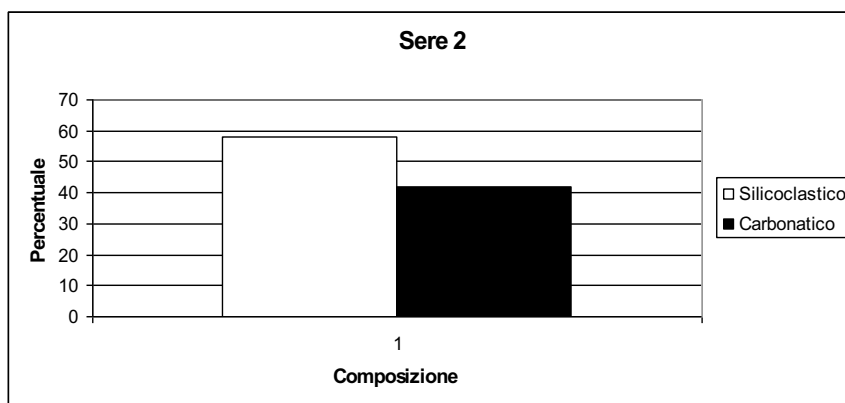
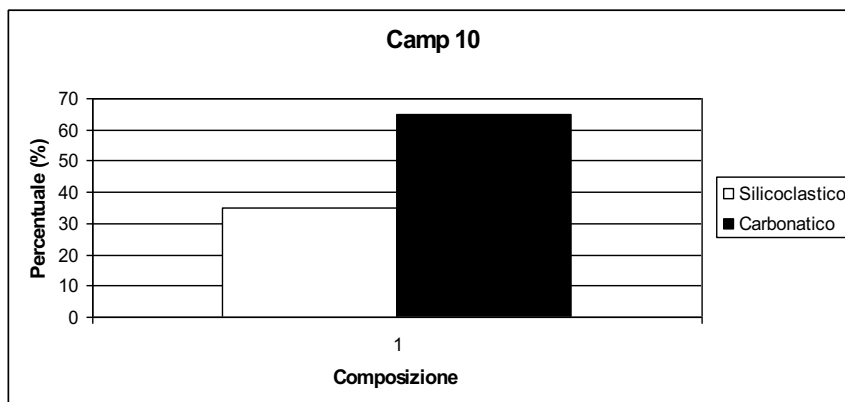


Fig.6 - Istogramma rappresentativo delle frazioni silicoclastiche e carbonatiche del campione SERE2.

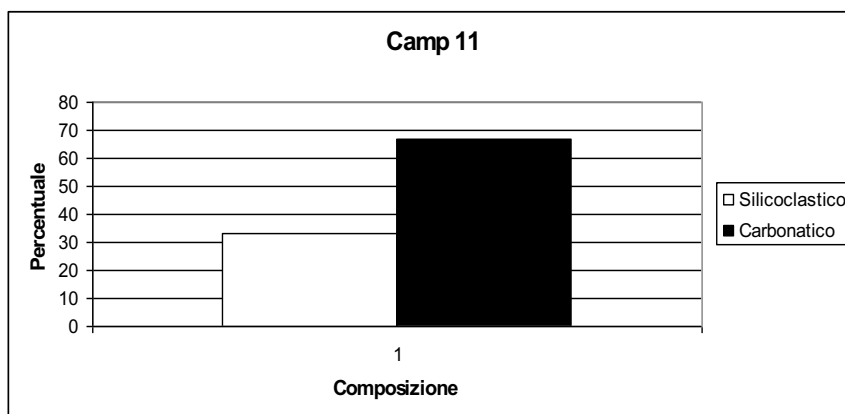
✓ Camp 10, Camp11 dall'area 2 Isola della Maddalenetta (spiaggia sommersa)

L'analisi composizionale del campione Camp10 mostra che le sabbie sono costituite per il 35% da materiale silicoclastico e per il restante 65 % da materiale carbonatico. In particolare, gli elementi maggiormente presenti sono quarzo (22%) e bioclasti (57%).



**Fig.7** - Istogramma rappresentativo delle frazioni silicoclastiche e carbonatiche del campione Camp10

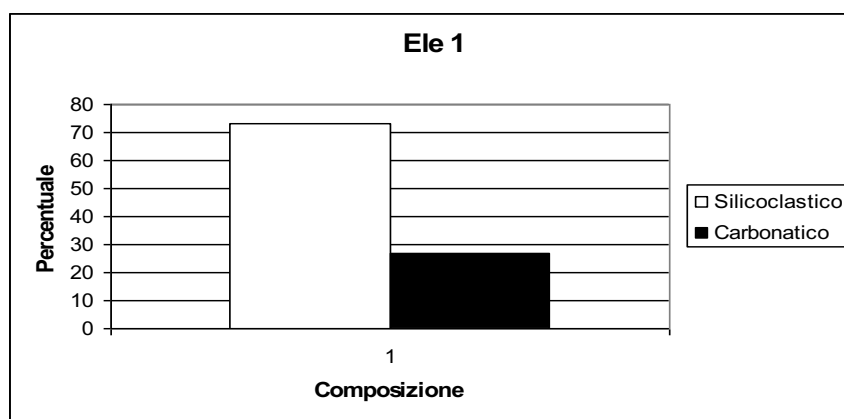
L'analisi composizionale del campione Camp11 (Fig. 8) mostra che le sabbie sono costituite per il 33% da materiale silicoclastico e per il restante 67 % da materiale carbonatico (Fig, 7). In particolare, gli elementi maggiormente presenti sono quarzo (20%) e bioclasti (45%).



**Fig.8** - Istogramma rappresentativo delle frazioni silicoclastiche e carbonatiche del campione Camp11

✓ Ele1 (duna), Ele2 (spiaggia), Ele3 (battigia), Ele4 (duna) dall'area 3 Punta del Paru-Ospedale marino (spiaggia emersa)

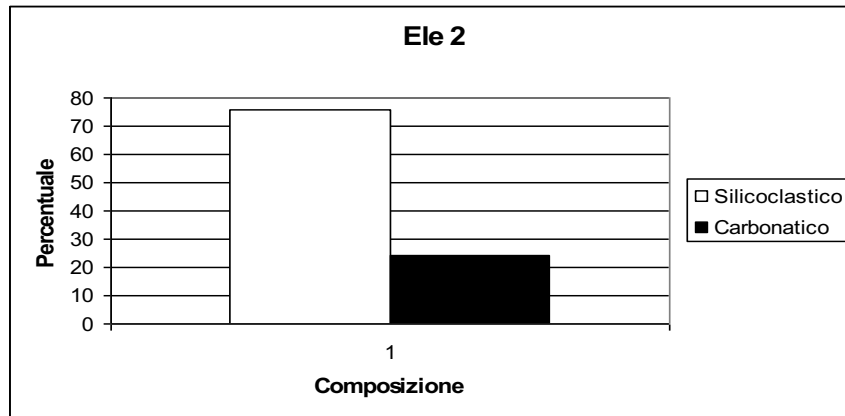
L'analisi composizionale del campione Ele1 (Fig. 9) mostra che le sabbie sono costituite per il 73% da materiale silicoclastico e per il restante 27 % da materiale carbonatico. In particolare, gli elementi maggiormente presenti sono quarzo (60%) e bioclasti (26%).



**Fig.9** - Istogramma rappresentativo delle frazioni silicoclastiche e carbonatiche del campione Ele1

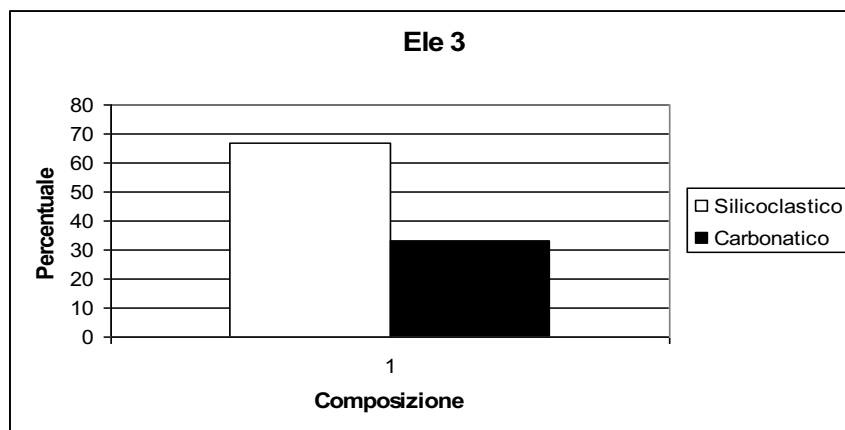
L'analisi composizionale del campione Ele 2 (Fig. 10) mostra che le sabbie sono costituite per il 76% da materiale silicoclastico e per il restante 24 % da materiale carbonatico. In particolare, gli elementi maggiormente presenti sono quarzo (48%) e bioclasti (24%).





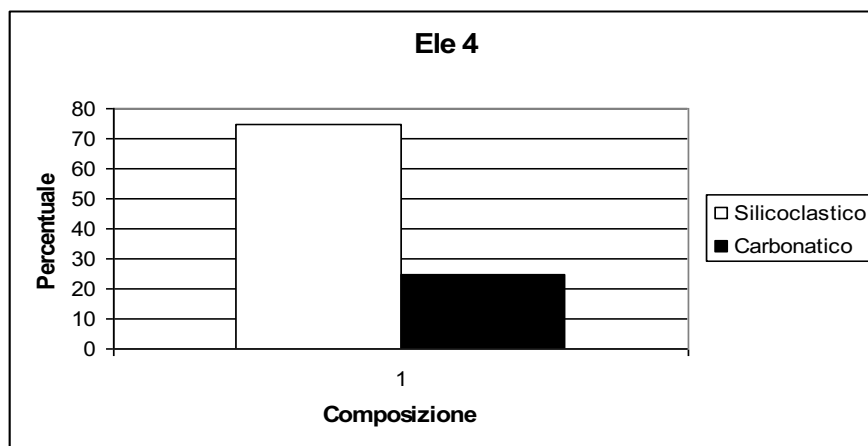
**Fig.10** - Istogramma rappresentativo delle frazioni siliclastiche e carbonatiche del campione Ele2

L'analisi composizionale del campione Ele 3 (Fig. 11) mostra che le sabbie sono costituite per il 67 % da materiale siliclastico e per il restante 33 % da materiale carbonatico. In particolare, gli elementi maggiormente presenti sono quarzo (34%) e bioclasti (32%).



**Fig.11.** Istogramma rappresentativo delle frazioni siliclastiche e carbonatiche del campione Ele3

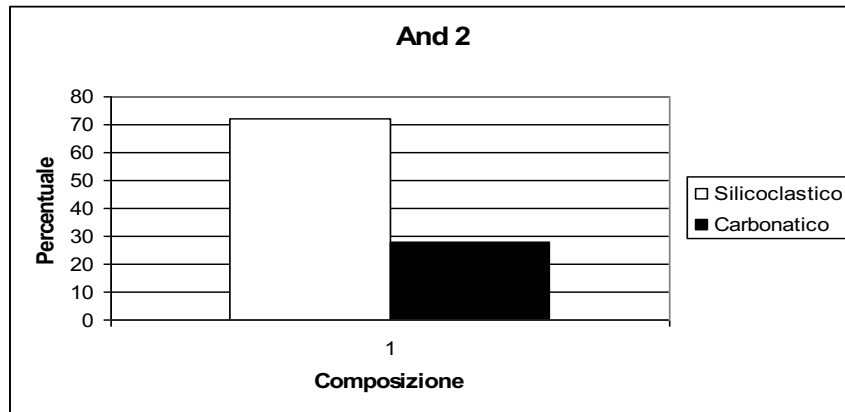
L'analisi composizionale del campione Ele 4 (Fig. 12) mostra che le sabbie sono costituite per il 75 % da materiale silicoclastico e per il restante 25 % da materiale carbonatico. In particolare, gli elementi maggiormente presenti sono quarzo (48%) e bioclasti (24%).



**Fig.12** - Istogramma rappresentativo delle frazioni silicoclastiche e carbonatiche del campione Ele4

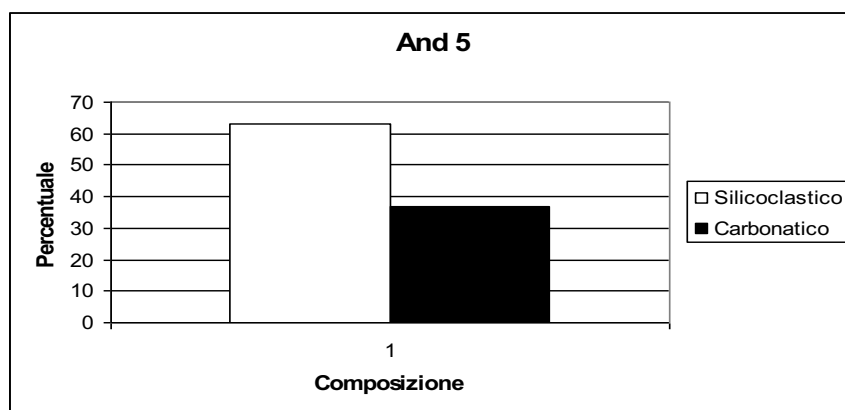
✓ And 2 (berma) , And 5 (berma) dall'area 4 Lido di Alghero (spiaggia emersa)

L'analisi composizionale del campione And 2 (Fig. 13) mostra che le sabbie sono costituite per il 72 % da materiale silicoclastico e per il restante 28 % da materiale carbonatico. In particolare, gli elementi maggiormente presenti sono quarzo (49%) e bioclasti (27%).



**Fig.13** - Istogramma rappresentativo delle frazioni silicoclastiche e carbonatiche del campione And2

L'analisi composizionale del campione And 5 (Fig 14) mostra che le sabbie sono costituite per il 63 % da materiale silicoclastico e per il restante 37 % da materiale carbonatico. In particolare, gli elementi maggiormente presenti sono quarzo (37%) e bioclasti (28%).



**Fig.14** - Istogramma rappresentativo delle frazioni silicoclastiche e carbonatiche del campione And5

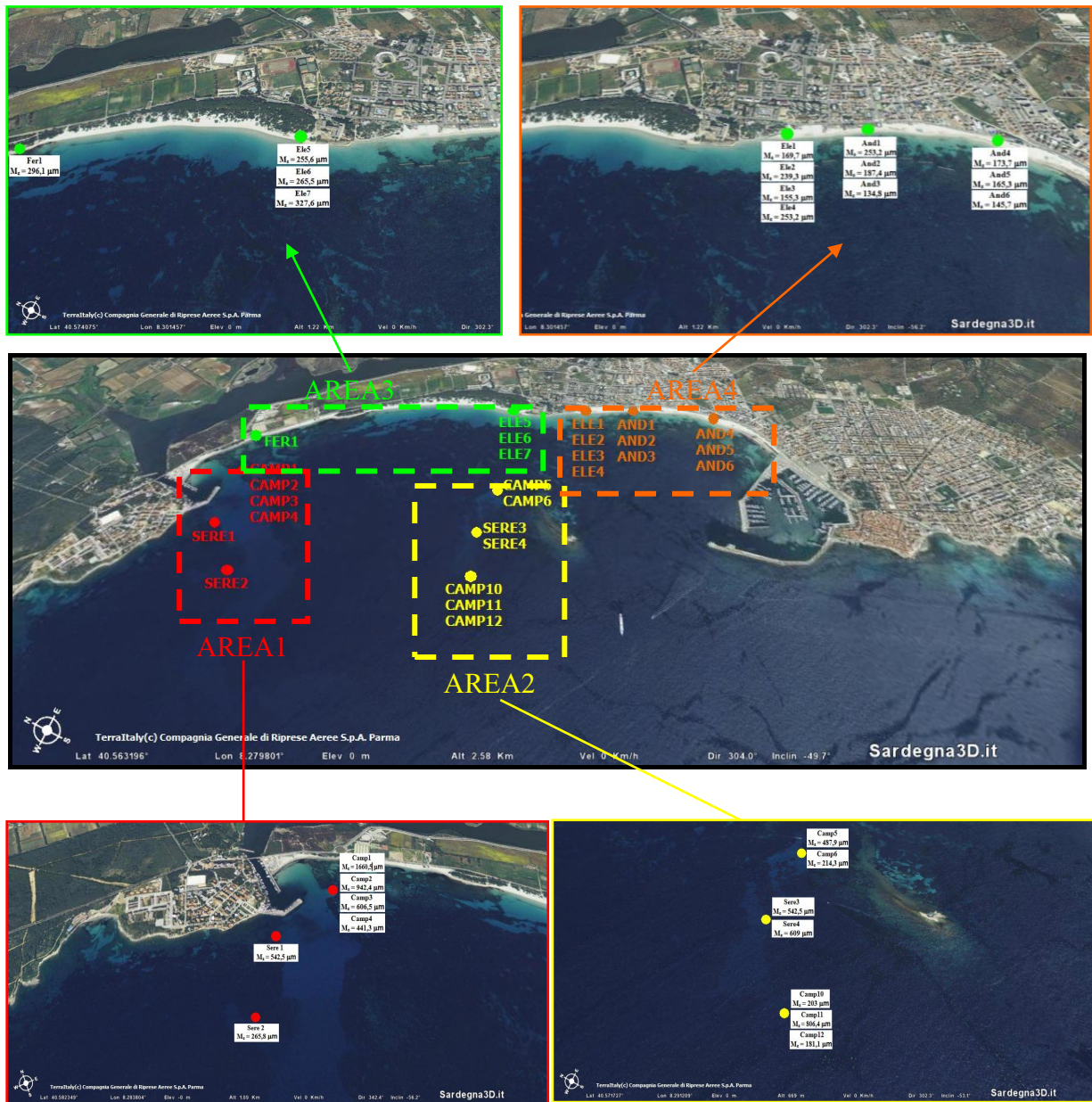


Fig.15 - Area campionamento con nel dettaglio le quattro aree esaminate.



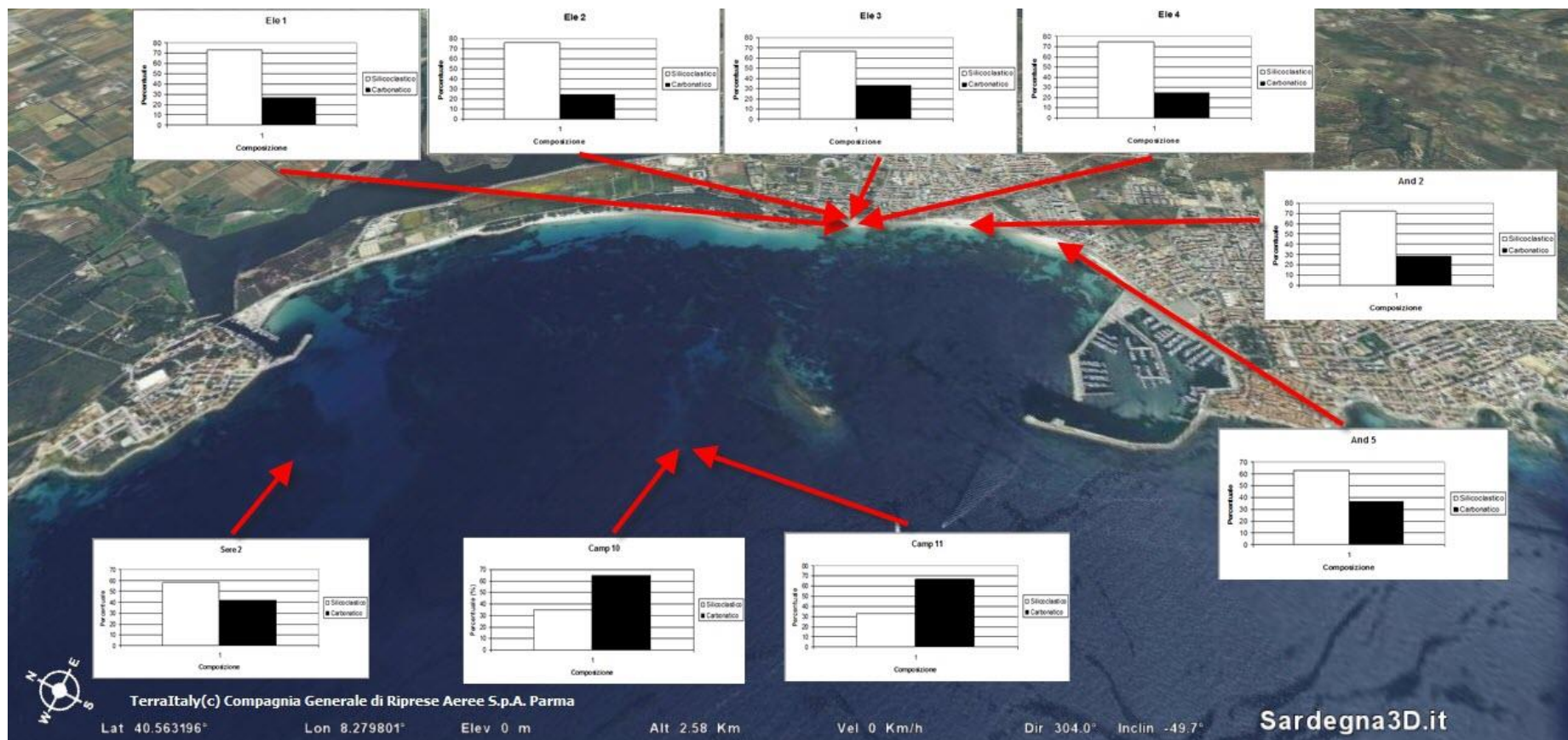


Fig.16 - Localizzazione dei 9 campioni selezionati per l'analisi composizionale

Tutti i campioni raccolti nella spiaggia emersa sono costituiti da almeno il 70% dei grani composti da materiale silicoclastico, il restante 30% da materiale bioclastico. I campioni raccolti in mare possono essere suddivisi in due gruppi (Fig. 15 e 16):

1 Quelli del paleo Calich (Area 1) sono mediamente costituiti da 60% di materiale silicoclastico e 40% di bioclastico;

2 Quelli dell'area della Maddalenetta (Area 2) sono costituiti per il 30% da materiale silicoclastico ed il 70% da materiale bioclastico.

I dati indicano che l'alimentazione della spiaggia emersa è per la maggior parte legata agli apporti (se pur modesti) di tipo fluviale.

Il dato è confermato anche dall'analisi delle dimensioni medie dei grani riferiti alla berma ordinaria del settore Area 3 (Fertilia-Punta del Paru-Ospedale marino Fer1, Ele 6) e alla battigia nel settore Area 4 (Lido di Alghero).



**Fig.17** - Foto Area 3 Fertilia-Punta del Paru-Ospedale marino

Le dimensioni infatti diminuiscono progressivamente da valori di 256 micron (sabbie medie) a 145 micron (sabbie molto fini). Facendo riferimento alle dimensioni medie dei grani si può ipotizzare un trasporto lungo costa da Fertilia verso Alghero legato all'influenza che i venti di maestrale hanno sulla costa.

L'analisi granulometrica mostra come i campioni raccolti lungo il litorale di Maria Pia (Area 3) (Fig. 17) siano tutti costituiti da sabbie medie. Questo dato supporta alcune osservazioni fatte sul terreno che documentano come questo tratto di litorale sia meno soggetto all'erosione. Al contrario la spiaggia di San Giovanni (Area 4) è costituita da sabbie fini e/o molto fini.

Queste sono più facilmente trasportabili in sospensione sia dal vento che dal moto ondoso, caratteristica che rende questo tratto di litorale estremamente vulnerabile. La presenza di un 30% di bioclasti indica, inoltre, che il litorale di Alghero sia anche alimentato dalla prateria di *Posidonia o.* antistante la spiaggia. Il mantenimento in buono stato della prateria sembra, quindi essere l'unica sicura fonte di alimentazione futura per la spiaggia. Appare evidente infatti, che gli apporti da terra (Calich) siano impediti dalla presenza del porto di Fertilia. Questa osservazione è sottolineata oltre che dal movimento dei sedimenti lungo la spiaggia (Fig. 18), dalle dimensioni della spiaggia stessa. Il litorale di Alghero infatti, presenta dimensioni ridotte in prossimità di Fertilia (30/40 metri) e massime in corrispondenza di Alghero (80/100 metri).



**Fig.18** - Distribuzione delle sabbie lungo il litorale di Alghero

Un dato ulteriore che emerge da questo lavoro di tesi è la presenza di sabbie a grana media, silicoclastiche (50%) lungo il paleo alveo del Calich. Il paleo alveo potrebbe rappresentare una sorgente di sabbia per un eventuale ripascimento morbido della spiaggia di Alghero. Allo stato attuale, però i dati in nostro possesso sono troppo pochi e necessitano di approfondimento per poter validare le ipotesi.