



SeaForest LIFE

LIFE17 CCM/IT/000121

Azione A.1.2

Piano di campionamento per la definizione degli stock di carbonio dell'habitat 1120* per le aree protette coinvolte nel progetto



Beneficiario responsabile: ISPRA

Autori: Sante Francesco Rende, Silvia Maltese

Collaboratori: Marina Pulcini, Alfonso Scarpato





INDICE

Sintesi	4
Abstract	6
Aree di Studio	8
Rilievi topo-batimetrici mediante Multibeam Echosounder (MBES) e Sub Bottom Profiler (SBP) in Aree Marine Protette definite da ISPRA.....	10
Materiali e metodi.....	10
Sistema Multibeam Reson SeaBat 7125	11
Sistema Multibeam Reson SeaBat 8125	12
Sistemi ausiliari.....	13
Mezzo nautico impiegato nei rilievi	17
Acquisizione, restituzione ed elaborazione dati	18
Calibrazione	19
Elaborazione dei dati.....	20
Rilievo sub-bottom profiler dei fondali	21
Generalità	21
Sub Bottom Profiler Parametrico Innomar SES-2000 Compact	22
Sistemi ausiliari.....	23
Acquisizione, restituzione ed elaborazione dati	25
Risultati.....	26
Rilievi Multibeam Parco Nazionale del Cilento, Vallo di Diano e Alburni (AMP Costa degli Infreschi e della Masseta)	26
Rilievi Multibeam Parco Nazionale del Cilento, Vallo di Diano e Alburni (AMP Santa Maria di Castellabate)	29
Rilievi Multibeam Parco Nazionale dell'Arcipelago di La Maddalena	31
Rilievo Sub Bottom Profiler Parco Nazionale del Cilento, Vallo di Diano e Alburni (AMP Costa degli Infreschi e della Masseta).....	36
Rilievo Sub Bottom Profiler Parco Nazionale dell'Arcipelago di la Maddalena	42
Risultati indagine rilievo Sub Bottom Profiler	51
Stima diretta biomassa fogliare “campionamento fasci fogliari”	53
Materiali e metodi.....	53



Risultati stima altezza della canopy fogliare e della biomassa fogliare mediante misura diretta nel Parco Nazionale del Cilento, Vallo di Diano e Alburni.....	61
Risultati stima altezza della canopy fogliare e della biomassa fogliare mediante misura diretta nel Parco Nazionale Arcipelago di La Maddalena e nel Parco Nazionale dell'Asinara.....	63
Stima indiretta biomassa fogliare "bioacustica"	65
Materiali e metodi.....	65
Metodologia integrata per il monitoraggio, ispezione e rilevamento su acque poco profonde	65
Attività di rilievo nei siti pilota	73
Rilievo acustico nell'Area Marina Protetta di Santa Maria di Castellabate	73
Rilievo acustico nell'Area Marina Protetta Costa degli Infreschi e della Masseta.....	80
Rilievo acustico nel Parco Nazionale dell'Arcipelago di La Maddalena	87
Rilievo acustico nel Parco Nazionale dell'Asinara	92
Acquisizione dati	99
Algoritmi di elaborazione	100
Risultati stima biomassa fogliare mediante misura indiretta nel Parco Nazionale del Cilento, Vallo di Diano e Alburni	101
Algoritmo di elaborazione Visual Habitat.....	101
Algoritmo di elaborazione VBT	102
Algoritmo modello esponenziale.....	103
Risultati stima biomassa fogliare mediante misura diretta nel Parco Nazionale Arcipelago di La Maddalena e Parco Nazionale dell'Asinara	105
Algoritmo di elaborazione Visual Habitat.....	105
Algoritmo di elaborazione VBT	106
Algoritmo modello esponenziale.....	107
Conclusioni	109
Allegato I. Equazione allometrica stima biomassa Canopy fogliare mediante modello esponenziale	111
Allegato II. Protocollo di stima della biomassa di Posidonia oceanica da immagini satellitari.....	115
Allegato III. Protocollo di stima della biomassa della canopy fogliare di Posidonia oceanica mediante fotogrammetria	123
Bibliografia consultata.....	139
Ringraziamenti.....	158



Azione A.1.2 Piano di campionamento per la definizione degli stock di carbonio dell'habitat 1120* per le aree protette coinvolte nel progetto

Sintesi

Nell'ambito dell'Azione A1.2 sono stati eseguiti rilievi con sistemi acustici per determinare i depositi di carbonio “*carbon stock*” delle praterie di *Posidonia* nelle aree oggetto di indagine del progetto. I rilievi sono stati effettuati all'interno di ciascun Parco Nazionale, sulla base del piano di campionamento predisposto nell'azione A1.1.

Le attività condotte hanno permesso di determinare le riserve di C_{org} prodotte dalle praterie oggetto di indagine in termini di a) biomassa vegetale vivente epigea; b) spessore dello strato ipogeo vivente “*matte*”; c) spessore dello strato ipogeo non vivente “*matte morta*”. Il piano di campionamento per la definizione degli *stock* di carbonio organico ha previsto la misura/stima di: a) biomassa della canopy fogliare e dei rizomi per unità di superficie; b) spessore della *matte* viva e della *matte* morta.

Le attività di indagine sono state condotte con il supporto del servizio esterno dello *Spin-off* dell'Università di Palermo “*Biosurvey*”, che si è occupato principalmente dei rilievi topo batimetrici mediante Multibeam Echosounder (MBES) e Sub Bottom Profiler (SBP) in 5 aree del Parco Nazionale dell'Arcipelago di La Maddalena” e in 5 aree del Parco Nazionale del Cilento, Vallo di Diano e Alburni (Affidamento diretto n. 009/19/AGP-GAR CIG: ZD528E9B52 - CUP I56H18000100006, Lettera contratto Rep. AGP-GAR N. 012/19/AD/AGP-GAR), e con il supporto dello *Spin-off* dell'Università della Calabria “*3D Research*”, che si è occupato principalmente della gestione e delle acquisizioni dei dati acustici e fotogrammetrici con il veicolo elettrico autonomo di superficie DEVSS “*DEvelopment Vehicle for Scientific Survey*” (Affidamento diretto n. 009/19/AGP-GAR CIG: Z4328E2E5B - CUP I56H18000100006, Lettera contratto Rep. AGP-GAR N. 11.19/AD/AGP-GAR).

Le indagini geofisiche condotte mediante Multibeam Echosounder (MBES) e Sub Bottom Profiler (SBP) hanno permesso di stimare la presenza della *matte* e di stimarne gli spessori per la determinazione degli *stock* di carbonio. I dati acquistati sono stati altresì adoperati per la progettazione dei nuovi campi ormeggi nel Parco Nazionale dell'Arcipelago di La Maddalena e nel Parco Nazionale del Cilento, Vallo di Diano e Alburni.

I rilievi acustici condotti con il veicolo elettrico autonomo di superficie DEVSS “*DEvelopment Vehicle for Scientific Survey*” adoperando il sensore acustico *Biosonics* sono stati effettuati sia nel Parco Nazionale dell'Arcipelago di La Maddalena, che nel Parco Nazionale dell'Asinara e nel Parco



Nazionale del Cilento, Vallo di Diano e Alburni. I dati acquisiti sono stati elaborati mediante gli algoritmi di analisi e di processamento dati sviluppati dall'*Akdeniz University* (Antalya, Turchia).

Parallelamente, in tre praterie identificate all'interno di ciascun Parco Nazionale, sono stati condotti campionamenti di fasci fogliari con il supporto del Nucleo Carabinieri Subacquei di Napoli e di Cagliari. Le analisi fenologiche e lepidocronologiche sono state condotte dall'Università della Toscana al fine di determinare la produzione fogliare al m².

Sono stati inoltre predisposti, con il supporto esterno dello *Spin-off* dell'Università di Palermo "*Biosurvey*" e dello *Spin-off* dell'Università della Calabria "*3D Research*", dei protocolli di stima della biomassa della canopy fogliare mediante fotogrammetria subacquea e con sistemi *Unmanned Aircraft Systems* (UAS), ovvero droni aerei. ISPRA ha inoltre contribuito allo sviluppo di un'equazione allometrica costituita da un modello di calcolo su base esponenziale della biomassa della canopy fogliare al m², in relazione all'altezza della canopy fogliare.

Le indagini condotte con il Sub Bottom Profiler, hanno permesso di determinare la presenza e gli spessori della *matte* nelle aree di interesse del progetto. Nel Parco Nazionale del Cilento lo spessore medio maggiore della *matte* è stato osservato nell'Area Marina Protetta Santa Maria di Castellabate, precisamente nella Baia di Ogliastro, mentre nell' Area Marina Protetta Costa degli Infreschi e della Masseta lo spessore medio maggiore è stato osservato a Punta Spinosa. Nel Parco Nazionale dell'Arcipelago di La Maddalena lo spessore medio maggiore della *matte* è stato osservato a Cala Garibaldi e Giardinelli, mentre lo spessore medio minore della *matte* è stato osservato a Cala Corsara.

Le attività di indagine condotte con il supporto dello *Spin-off* "*3D Research*" dell'Università della Calabria con il veicolo di superficie *DEVSS* e il sensore acustico *Biosonics* hanno permesso di stimare la produzione di biomassa della canopy fogliare (gr/m²) nei siti oggetto di indagine. I dati acquisiti sono stati elaborati con il supporto dell'*Akdeniz University* adoperando l'algoritmo *Visual Habitat*, l'algoritmo *VBT* e il *modello esponenziale* sviluppato da ISPRA. I risultati ottenuti sono stati confrontati con la stima diretta della produzione di biomassa effettuata in laboratorio.



Abstract

During Action A1.2, surveys were carried out with acoustic systems to determine the carbon stock of *Posidonia* meadows in the project areas. Surveys were realized within each National Park, on the basis of the sampling plan prepared with action A1.1.

The activities allowed to determine the C_{org} produced by the *P. oceanica* meadows in terms of a) living epigeal plant biomass; b) thickness of the living hypogean layer "*matte*"; c) thickness of the non-living hypogean layer "dead *matte*". The sampling plan for the definition of organic carbon stocks included the measurement/estimation of: a) leaf canopy and rhizome biomass per unit area; b) living *matte* and dead *matte* thickness.

The surveys were conducted with the support of the external service of "Biosurvey", spin-off of the University of Palermo, which was mainly involved in the bathymetric topo surveys using Multibeam Echosounder (MBES) and Sub Bottom Profiler (SBP) in 5 areas of Arcipelago di La Maddalena National Park and in 5 areas of Cilento, Vallo di Diano and Alburni National Park (Direct assignment n. 009/19/AGP-GAR CIG: ZD528E9B52 - CUP I56H18000100006, Letter of Contract Rep. AGP-GAR N. 012/19/AD/AGP-GAR), and with the support of the "3D Research", spin-off of University of Calabria, which was mainly involved in the management and acquisition of acoustic and photogrammetric data with the electric autonomous surface vehicle DEVSS "*DEvelopment Vehicle for Scientific Survey*" (Direct award no. 009/19/AGP-GAR CIG: Z4328E2E5B - CUP I56H18000100006, Contract Letter Rep. AGP-GAR No. 11.19/AD/AGP-GAR).

The geophysical investigations carried out using Multibeam Echosounder (MBES) and Sub Bottom Profiler (SBP) allowed to assess the presence and thicknesses of *matte* in order to determine its carbon stocks. The acquired data were also used to plan new mooring fields in Arcipelago di La Maddalena National Park and Cilento, Vallo di Diano and Alburni National Park

The acoustic surveys with the autonomous electric surface vehicle DEVSS "*DEvelopment Vehicle for Scientific Survey*" using the acoustic sensor Biosonics were carried out both in Arcipelago di La Maddalena National Park, the Asinara National Park and Cilento, Vallo di Diano and Alburni National Park. Data were processed using data analysis and processing algorithms developed by Akdeniz University (Antalya, Turkey).



Furthermore, with the external support of "Biosurvey" and "3D Research", protocols for the estimation of leaf canopy biomass using underwater photogrammetry and using Unmanned Aircraft Systems (UAS) or aerial drones were prepared. In addition, ISPRA has contributed to the development of an allometric equation consisting of a model for calculating, on an exponential basis, the leaf canopy biomass per m^2 in relation to the leaf canopy height.

Investigations with the Sub Bottom Profiler determined the presence and thickness of *matte* in the project areas. In the Cilento National Park, the greatest average thickness of *matte* was observed in Ogliastro Bay (Santa Maria di Castellabate MPA) and Punta Spinosa (Costa Degli Infreschi and Masseta MPA). In the Maddalena National Park the greatest average *matte* thickness was observed at Cala Garibaldi and Giardinelli. The lowest average thickness of the *matte* was observed at Cala Corsara.

The activities carried out with the support of "3D Research" with the DEVSS surface vehicle and the Biosonics acoustic sensor allowed us to estimate the biomass production of leaf canopy gr/m^2 in the study areas. Data were processed with the support of Akdeniz University using the Visual Habitat algorithm, the VBT algorithm and the exponential model developed by ISPRA. The results were compared with the laboratory direct estimation of biomass production.



Aree di Studio

Le indagini acustiche condotte con il supporto esterno dello *Spin-off* dell'Università di Palermo "*Biosurvey*" sono state effettuate nei seguenti Parchi Nazionali: **Parco Nazionale del Cilento, Vallo di Diano e Alburni** e **Parco Nazionale dell'Arcipelago di La Maddalena** (Figura 1). Le attività condotte con il supporto esterno dello Spin-off dell'Università della Calabria "3D Research" sono state invece eseguite nel **Parco Nazionale del Cilento, Vallo di Diano e Alburni**, nel **Parco Nazionale dell'Arcipelago di La Maddalena** e nel **Parco Nazionale dell'Asinara** (Figura 1).

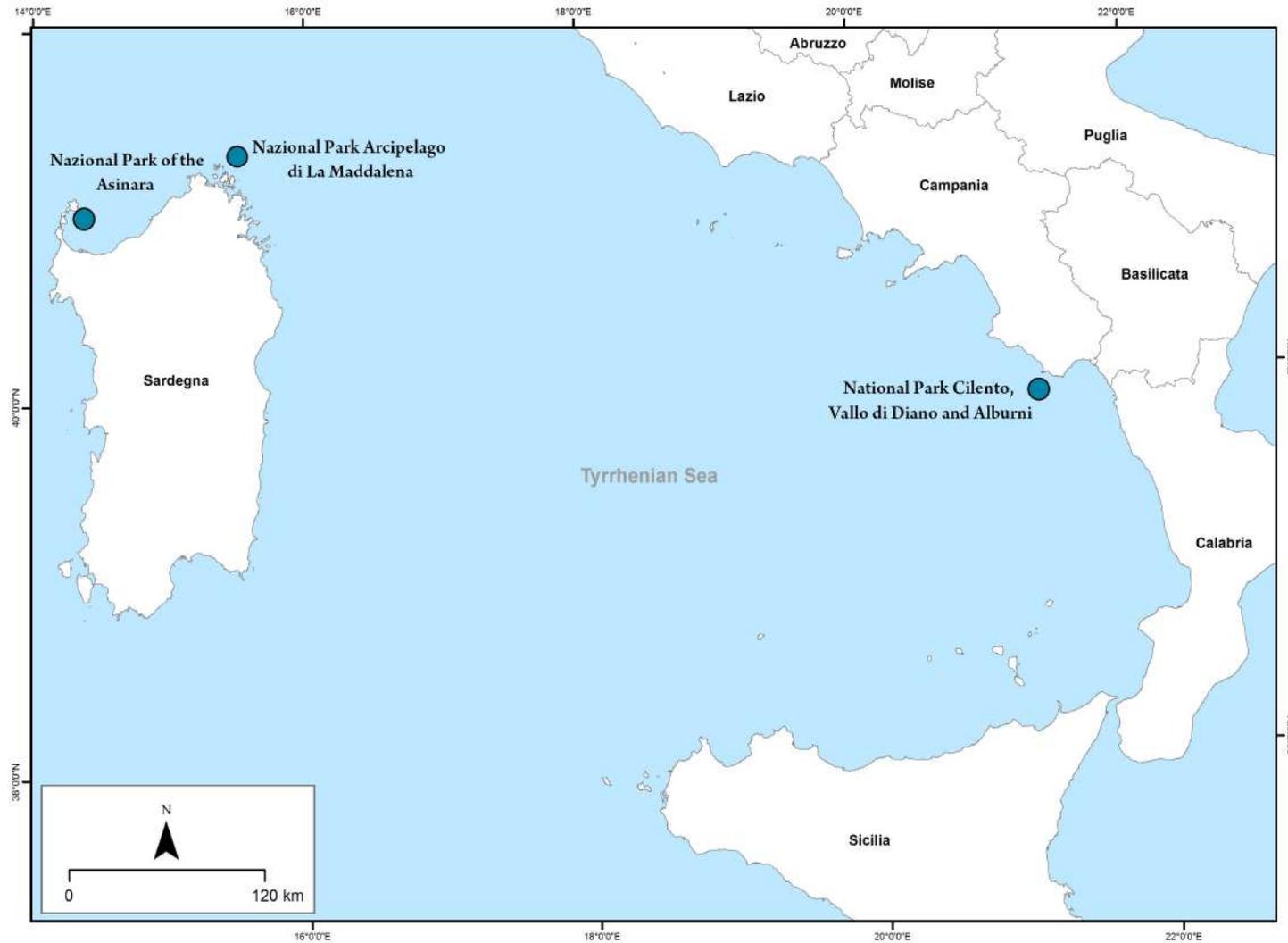


Figura 1 – Parchi Nazionali oggetto di studio nell’ambito del progetto LIFE SeaForest (Elaborazione ISPRA).



Rilievi topo-batimetrici mediante Multibeam Echosounder (MBES) e Sub Bottom Profiler (SBP) in Aree Marine Protette definite da ISPRA

Materiali e metodi

Il Multibeam è un ecoscandaglio multifascio (MBES) e rappresenta la tecnologia al momento più precisa per indagini batimetriche di dettaglio. Il Multibeam emette onde sonore perpendicolarmente alla direzione di movimento dell'imbarcazione, in un ventaglio simultaneo di impulsi che si propagano come onde sonore con un angolo di copertura massimo di 150°. In tal modo è possibile ottenere la totale copertura del fondo marino effettuando transetti paralleli tra loro. Lo strumento emette onde acustiche attraverso un numero elevato di raggi (o *beams*), acquisendo per ciascuna energizzazione un gran numero di dati trasversali alla rotta seguita dall'imbarcazione (Figura 2). Gli impulsi acustici vengono emessi da un trasduttore (o proiettore) e ricevuti in modo separato ("beams") da una serie di ricettori (più di 100) montati generalmente lungo un arco. Per ogni ciclo di misura il proiettore genera un fascio acustico molto ampio mentre in ricezione viene formato un numero di fasci acustici uguale a quello dei ricettori. Ad esempio un MBES con una spazzata di 155° e 101 ricettori intercetta 101 fasci ognuno ampio 1,5°. L'intersezione di ogni singolo fascio acustico sul fondo determina l'impronta del MBES - detta "*footprint*" - che esprime il grado di risoluzione spaziale che può essere ottenuto ad una certa profondità. L'ampiezza dell'intera spazzata sul fondo è naturalmente proporzionale alla profondità, generalmente di un fattore che va da 4 a 7 volte.

Il sistema MBES consiste sostanzialmente di un trasduttore-ricevitore, di una CPU e di un computer dove è gestita l'acquisizione dei dati. La CPU è a sua volta interfacciata con l'antenna GPS e con il sensore di assetto.

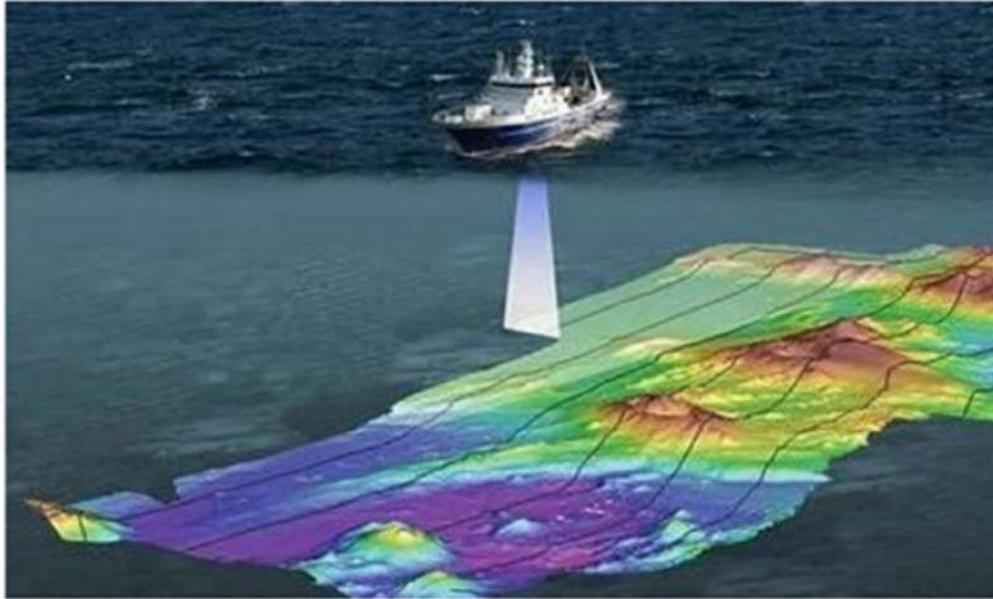


Figura 2 - Esempio di funzionamento di un ecoscandaglio multi fascio.

Sistema Multibeam Reson SeaBat 7125

Il sistema Multibeam Reson SeaBat 7125 (Figura 3) è stato utilizzato per i rilievi presso Punta Spinosa (Parco Nazionale del Cilento, Vallo di Diano e Alburni). Le specifiche tecniche del sistema sono riportate nella Tabella 1.

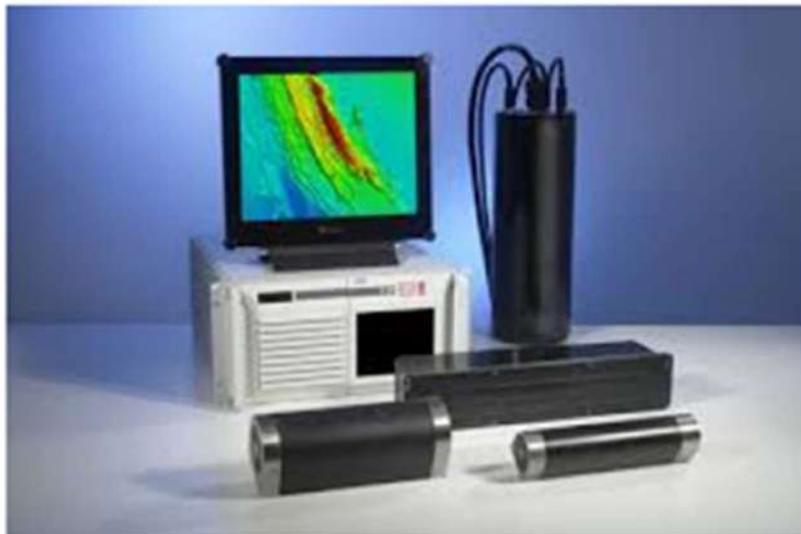


Figura 3 - Sistema Multibeam 7125 Reson.

Tabella 1 - Caratteristiche tecniche del sistema ResonSeaBat 7125.

Frequenza	200 kHz or 400 kHz (doppia frequenza disponibile)
Risoluzione in profondità	6 mm
Copertura spazzata	165° in modalità Equi-Angolo
Operatività massima	450 m a 200 kHz
Numero di Beam	512 a 400 kHz
Apertura anteriore del singolo Beam	0.5° a 400 kHz
Apertura laterale del singolo Beam	0.5° a 400 kHz

Durante le attività di campo il sistema è stato installato a bordo di un mezzo nautico omologato per il servizio specifico. Il trasduttore è stato posizionato a palo sulla murata del natante, immerso a circa 1 m sotto la superficie marina. Tale soluzione riduce il disturbo generato dall' imbarcazione e permette una maggiore stabilità del sensore, limitando le possibilità di errore nella fase di acquisizione.

Tutta la strumentazione è stata interfacciata con il software di navigazione PDS 2000 per la visualizzazione e la georeferenziazione in tempo reale dei dati acquisiti.

Sistema Multibeam Reson SeaBat 8125

Il sistema Multibeam Reson SeaBat 8125 (Figura 4) è stato utilizzato per i rilievi nelle aree restanti del Parco Nazionale del Cilento, Vallo di Diano e Alburni (Baia degli Infreschi, Cala Bianca, Punta Licosa e Baia di Ogiastro). Le specifiche tecniche del sistema sono riportate nella Tabella 2.



Figura 4 - Sistema Multibeam 8125 Reson.

Durante le attività di campo il sistema è stato installato a bordo di un mezzo nautico omologato per il servizio specifico. Il trasduttore è stato posizionato a palo sulla murata del natante, immerso a circa 1 m sotto la superficie marina. Tale soluzione riduce il disturbo generato dall' imbarcazione e permette una maggiore stabilità del sensore, limitando le possibilità di errore nella fase di acquisizione.

Tutta la strumentazione è stata interfacciata con il software di navigazione PDS 2000 per la visualizzazione e la georeferenziazione in tempo reale dei dati acquisiti.

Tabella 2 - Caratteristiche tecniche del sistema Reson SeaBat 8125.

Frequenza	455 kHz
Risoluzione in profondità	6 mm
Copertura spazzata	120°
Numero di Beam	fino a 512
Apertura anteriore del singolo Beam	1°
Apertura laterale del singolo Beam	0.5°

Sistemi ausiliari

Sonda Valeport Swift. La sonda (Figura 5) permette di ottenere informazioni relative alla velocità del suono lungo la colonna d'acqua, necessarie per una corretta acquisizione dei dati mediante strumenti acustici. Le caratteristiche tecniche della sonda sono riportate in Tabella 3.



Figura 5 - Sonda Valeport Swift.

Tabella 3 - Caratteristiche tecniche della sonda ValeportSwift.

Range velocità del suono	1.350-1.600 m/sec
Risoluzione	0,1 m/sec
Accuratezza	±0,25 m/sec
Range di profondità	200 m (intervallo 0,5 m)
Range di temperature operativo	0/+45°C
Autonomia batterie interne	20 ore in acquisizione continua
Alimentazione	115 / 230 V
Peso	5,0 kg
Misure	900 x 100 x 550 mm

Sistema di posizionamento Topcon GRS-1. Il posizionamento del mezzo nautico e di tutti i dati acquisiti è stato affidato ad un sistema satellitare Topcon GRS-1 (RTK-VRS) (Figura 6). Tale sistema riceve contemporaneamente segnali sia dalla costellazione satellitare americana GPS, che dalla costellazione russa GLONASS, garantendo un'elevata accuratezza nelle fasi di acquisizione dei dati. Le caratteristiche tecniche dello strumento sono riportate nella Tabella 4.



Figura 6 - Ricevitore RTK Topcon GRS-1.

Tabella 4 - Specifiche tecniche del Sistema di posizionamento Topcon GRS-1.

Frequenza	1525 - 1559 MHz
Condizioni operative	Temperatura: -20° / +60°C; Umidità: 95%
Dinamica Altitudine	Intervallo di lavoro -400 / +18.000 m s.l.m. Velocità <515 m/s Accelerazione <4 g
Alimentazione	10-32 V; Consumo 410 mA 12 V
Caratteristiche fisiche	Peso: 870 g Display 3 LED Misure 194 x 112 x 67mm

Sistema di posizionamento Hemisphere A101 Smart Antenna (Figura 7). Tale sistema offre una correzione differenziale del segnale GPS (DGPS), garantendo un'elevata accuratezza nelle fasi di acquisizione dei dati. Si riportano in Tabella 5 le caratteristiche tecniche dello strumento.



Figura 7 - Sistema hemisphere A101 Smart Antenna.

Tabella 5 - Specifiche tecniche del Sistema di posizionamento Hemisphere A101.

Condizioni operative	Temperatura: -40° / +70° C; Umidità: 95% Intervallo di lavoro -400 / +18.000 m s.l.m.
Dinamica Altitudine	Velocità <515 m/s Accelerazione <4 g
Alimentazione	7-36 V; Consumo 249 mA 12 V
Caratteristiche fisiche	Peso: 558 g Indicatore di stato Power/GPS Lock 1 LED verde/rosso Misure 104 x 145 mm

Girobussola/MRU Seapath 130. La correzione in tempo reale dei movimenti (pitch/roll/yaw) dell'imbarcazione utilizzata durante le fasi di acquisizione e la sincronizzazione del Time è stata effettuata per mezzo della Girobussola/MRU Seapath 130 completo di MRU 5+ (Figura 8). Tale sistema, dotato di una serie di accelerometri, garantisce un'elevata accuratezza nel fornire indicazioni circa la posizione relativa del mezzo, permettendo una correzione in tempo reale dei dati batimetrici acquisiti. Le caratteristiche tecniche dello strumento sono riportate nella Tabella 6.



Figura 8 - Sistema girobussola/MRU Seapath130 con MRU 5

Tabella 6 - Specifiche tecniche della girobussola/MRU Seapath130 con MRU 5+

Errore in condizioni statiche	$\pm 0.008^\circ$ RMS
Accuratezza in condizioni dinamiche	$\pm 0.08^\circ$ RMS
Velocità rilevamento	200° al secondo
Limiti rilevamento	45° beccheggio e rollio
Dimensione	242 x 430 x 232 mm
Peso	20 Kg
Condizioni operative	-10 / +55° C
Alimentazione	24 V a 5 A

Mezzo nautico impiegato nei rilievi

I rilievi sono stati effettuati mediante il battello pneumatico iscritto al numero PA3961 dei registri delle navi minori della Capitaneria di Porto del compartimento marittimo di Palermo (Figura 9). Le caratteristiche principali tecniche dell'imbarcazione sono elencate nelle Tabella 7.



Figura 9 - Mezzo nautico impiegato nelle attività.

Tabella 7 - Specifiche tecniche del mezzo nautico PA 3961.

Lunghezza f.t.	6,85 m
Larghezza f.t.	3,55 m
Altezza di costruzione	2,3 m
Stazza di calcolo	3 TSL
Potenza totale installata	1x150 CV
Eliche	1
Velocità massima	25 Knt
Velocità di survey	1,2 Knt

Acquisizione, restituzione ed elaborazione dati

I sistemi multibeam sono stati interfacciati con i sistemi di posizionamento di precisione (Topcon GRS-1 ed Hemisphere Smart Antenna A101) e il sensore di assetto/girobussola (Girobussola/MRU Sepath 130 con MRU 5). Di seguito viene riportato lo schema dei collegamenti tra il sistema Multibeam e le strumentazioni ausiliarie (Figura 10).

Tutti i dati sono stati acquisiti, seguendo un piano di acquisizione precostituito da una griglia di linee parallele con opportune spaziature, con infittimenti ove necessari. Al fine di garantire un'adeguata copertura delle aree investigate la navigazione è stata effettuata mediante il software di gestione/acquisizione PDS 2000. Tutte le acquisizioni sono state eseguite mantenendo le opportune distanze di sicurezza dalle porzioni con fondali che potevano rappresentare un pericolo per la strumentazione e per l'equipaggio.

Preliminarmente alle attività di acquisizione dei dati batimetrici sono stati inseriti i dati relativi alla velocità del suono lungo la colonna d'acqua acquisiti mediante la sonda della velocità del suono Valeport Swift e sono state effettuate le operazioni di calibrazione del sistema, al fine di eliminare eventuali errori nella configurazione/installazione.

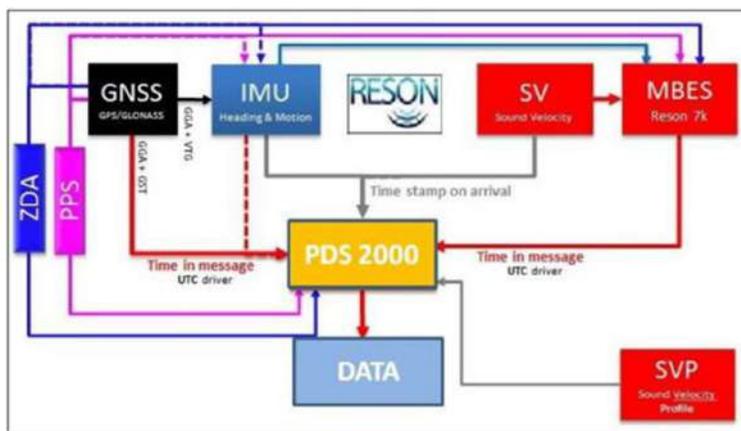


Figura 10 - Schema di collegamento del sistema Multibeam e dei sistemi ausiliari.

Per ogni area indagata è stato eseguito almeno un profilo verticale al giorno, mediante la sonda Valeport Swift, che ha permesso di ottenere le informazioni sulla velocità del suono lungo la colonna d'acqua. Si riporta di seguito un esempio di profilo verticale acquisito nelle aree oggetto delle indagini (Figura 11).



Figura 11 – Esempio di profilo verticale della velocità del suono.

Calibrazione

Le attività di calibrazione sono state effettuate in una porzione di fondale avente le caratteristiche utili per la corretta calibrazione del sistema. In tale area sono state effettuate 4 strisciate con distanza e direzione specifiche al fine di poter calibrare i seguenti parametri:

- *Roll* (orientamento del sensore rispetto all'asse trasversale della nave);
- *Pitch* (orientamento del sensore rispetto all'asse longitudinale della nave);
- *Yaw* (differenza angolare sul piano orizzontale).

La calibrazione è stata realizzata mediante il modulo dedicato del software PDS 2000 di cui si riporta un esempio di schermata finale ed i parametri di calibrazione ottenuti (Figura 12, Tabelle 8 e 9).

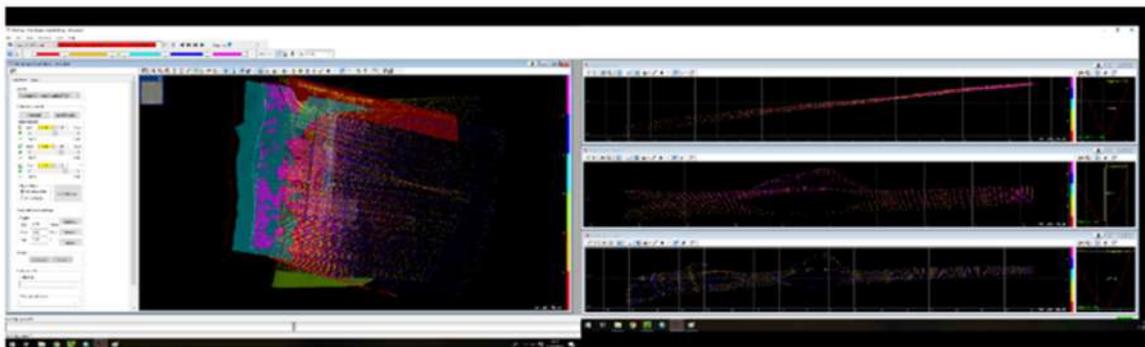


Figura 12 – Esempio di schermata del processo di calibrazione.



Tabella 8 - Risultato delle operazioni di calibrazione del sistema 7125.

Parametro	Risultato
<i>Roll</i>	0.5°
<i>Pitch</i>	0.41°
<i>Yaw</i>	-1.17°

Tabella 9 - Risultato delle operazioni di calibrazione del sistema 8125.

Parametro	Risultato
<i>Roll</i>	-0.5°
<i>Pitch</i>	0.18°
<i>Yaw</i>	-0.51°

Elaborazione dei dati

L'elaborazione dei dati è stata effettuata con l'ausilio del software PDS 2000 attraverso le seguenti fasi:

- editing delle singole linee acquisite;
- controllo di eventuali problemi connessi a salti del sistema di posizionamento;
- correzione livello idrometrico;
- creazione del modello digitale del terreno (DTM);
- esportazione in formato ASCII della nuvola di punti (XYZ) per la successiva restituzione cartografica su piattaforma GIS/CAD.

Rilievo sub-bottom profiler dei fondali

Generalità

La stratigrafia dei fondali negli ambienti acquatici può essere investigata attraverso l'uso di un sistema profilatore di sedimenti Sub Bottom Profiler parametrico (SBP). Il sistema è costituito da una unità hardware a bordo della imbarcazione che registra e processa le informazioni acquisite e da un trasduttore racchiuso in un involucro che viene immerso in mare fissato all'imbarcazione (Figura 13).

Il principio di funzionamento di un sistema SBP è basato sulla misura della diversa velocità di propagazione del suono all'interno dei sedimenti: maggiore è la velocità e più marcata risulterà la risposta acustica.

La penetrazione e la riflessione dipendono inoltre sia dalle proprietà fisiche del materiale attraversato, sia dalla potenza e dalla frequenza portante del segnale. La frequenza utilizzabile varia tra 4 kHz e i 15 kHz, in funzione della tipologia del fondale e degli obiettivi del rilievo. La potenza del segnale varia tra 1 e 5kW in funzione della tipologia di strumento. Gli impulsi emessi vengono riflessi dal fondale e quindi ricevuti dallo stesso trasduttore, che converte l'impulso meccanico in elettrico registrando in modo digitale il risultato ottenuto. Le acquisizioni vengono effettuate mediante "profili" distanti tra loro a seconda del grado di risoluzione e di precisione che si vuole ottenere dal rilievo.

I dati acquisiti (profili sismici) vengono interpretati per ricostruire gli spessori sedimentari di medesime litologie di sedimenti o per caratterizzare i target individuati (Figura 14).

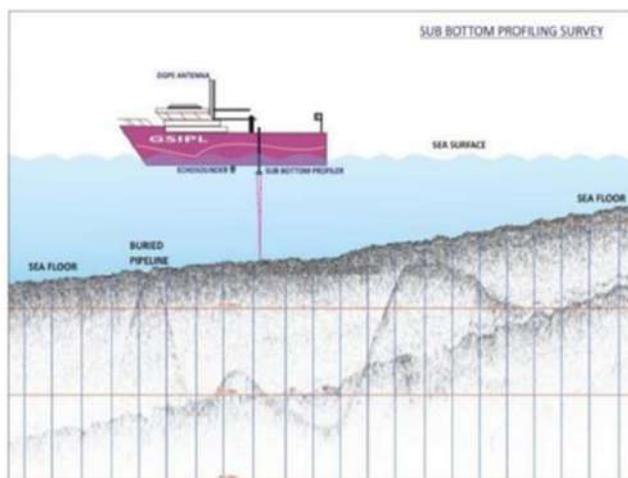


Figura 13 - Operatività del sistema Sub Bottom Profiler.

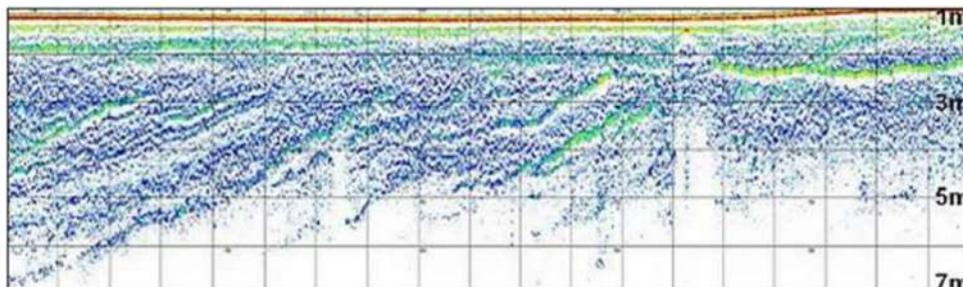


Figura 14 - Esempio di restituzione di un dato SBP.

Sub Bottom Profiler Parametrico Innomar SES-2000 Compact

Il Sub-Bottom Profiler (SBP) parametrico Innomar SES – 2000 Compact (Figura 15) ha permesso di ottenere importanti informazioni sui sedimenti e sulle strutture presenti sotto l'interfaccia acqua – sedimento. Lo strumento è interfacciato con il sistema DGPS, che garantisce un'accurata precisione dei rilievi. Le caratteristiche tecniche dello strumento sono elencate in Tabella 10.



Figura 15 - Sub-Bottom parametrico Innomar SES –2000 Compact.

Tabella 10 - Specifiche tecniche sistema Sub bottom profiler SES 2000 Compact.

Trasmittitore	Frequenza primaria 100 kHz; frequenza secondaria: 4, 5, 6, 8, 10, 12, 15 kHz
Range profondità	1 m - 400 m
Range operativo	5 m - 200 m
Penetrazione	oltre 50 m in relazione ai sedimenti e alla frequenza
Risoluzione	<1 cm su singolo bersaglio; <5 cm su bersagli multipli
Data Input	NMEA e ASCII compatibile; serial input per sensore di moto
Dimensioni	0,35 x 0,30 x 0,40 (m ³); Peso 23 kg
Trasduttore	0,22 x 0,22 x 0,1 (m ³) /25 kg compreso cavo
Assorbimento	<800W

Sistemi ausiliari

Sonda Valeport Swift. La sonda (Figura 16) permette di ottenere informazioni relative alla velocità del suono lungo la colonna d'acqua, necessarie per una corretta acquisizione dei dati mediante strumenti acustici. Le caratteristiche tecniche della sonda sono riportate in Tabella 11.



Figura 16 - Sonda Valeport Swift.

Tabella 11 - Caratteristiche tecniche della sonda ValeportSwift.

Range velocità del suono	1.350-1.600 m/sec
Risoluzione	0,1 m/sec
Accuratezza	±0,25 m/sec
Range di profondità	200 m (intervallo 0,5 m)
Range di temperature operativo	0/+45°C
Autonomia batterie interne	20 ore in acquisizione continua
Alimentazione	115 / 230 V
Peso	5,0 kg
Misure	900 x 100 x 550 mm

Sistema di posizionamento Hemisphere A101 Smart Antenna (Figura 17). Tale sistema offre una correzione differenziale del segnale GPS (DGPS), garantendo un'elevata accuratezza nelle fasi di acquisizione dei dati. Si riportano in Tabella 12 le caratteristiche tecniche dello strumento.



Figura 17 - Sistema Hemisphere A101 Smart Antenna.

Tabella 12 - Specifiche tecniche del Sistema di posizionamento Hemisphere A101

Condizioni operative	Temperatura: -40° / +70° C; Umidità: 95%
Dinamica Altitudine	Intervallo di lavoro -400 / +18.000 m s.l.m. Velocità <515 m/s Accelerazione <4 g
Alimentazione	7-36 V; Consumo 249 mA 12 V
Caratteristiche fisiche	Peso: 558 g Indicatore di stato Power/GPS Lock 1 LED verde/rosso Misure 104 x 145 mm

Girobussola/MRU TSS Mahrs. La correzione in tempo reale dei movimenti (pitch/roll/yaw) dell'imbarcazione utilizzata durante le fasi di acquisizione, è stata effettuata per mezzo della Girobussola/MRU TSS Mahrs (Figura 18). Tale sistema, dotato di una serie di accelerometri, garantisce un'elevata accuratezza nel fornire indicazioni circa la posizione relativa del mezzo, permettendo una correzione in tempo reale dei dati batimetrici acquisiti. Le caratteristiche tecniche dello strumento sono riportate nella Tabella 13.



Figura 18 - Sistema girobussola/MRU TSS Mahrs.

Tabella 13 - Specifiche tecniche della girobussola/MRU TSS Mahrs.

Errore in condizioni statiche	±0.05° RMS
Accuratezza in condizioni dinamiche	±0.1° RMS
Velocità rilevamento	200° al secondo
Limiti rilevamento	45° beccheggio e rollio
Dimensione	242 x 430 x 232 mm
Peso	20 Kg
Condizioni operative	-10 / +55° C
Alimentazione	24 a 5 A



Acquisizione, restituzione ed elaborazione dati

Tutti i sistemi sono stati interfacciati con il software di navigazione RESON PDS 2000, che ha permesso in tempo reale la georeferenziazione, garantendo un'adeguata copertura delle aree investigate secondo quanto richiesto dalla committenza. I dati sono stati corretti per la perdita di energia (*spreading corrections*) attraverso il controllo de TVG (*Time-Varing Gain*). Al termine delle operazioni di acquisizione, tutti i dati sono stati controllati direttamente a bordo prima della demobilitazione della strumentazione e salvati su supporto digitale per le successive fasi di elaborazione da effettuare in laboratorio. Successivamente i dati sono stati elaborati mediante il software ISE (*Interactive SedimentLayer Editor*).

Risultati

Rilievi Multibeam Parco Nazionale del Cilento, Vallo di Diano e Alburni (AMP Costa degli Infreschi e della Masseta)

Baia degli Infreschi

L'area investigata, che presenta una superficie di circa 9 ha, è caratterizzata da batimetrie comprese tra -2.5 m e -36 m. L'area presenta un andamento regolare dei fondali dall'interno della baia verso l'esterno. In prossimità dell'imboccatura si ha una variazione di batimetrie più evidente rispetto alla porzione interna (Figura 19 e Tavola 1).

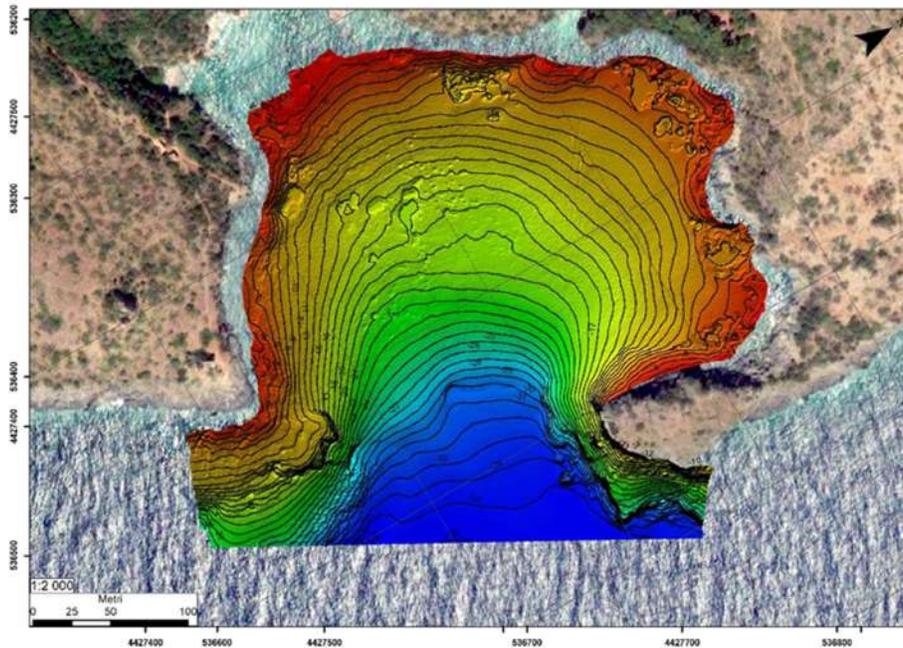


Figura 19 – Modello digitale del terreno e batimetrie dell'area oggetto dei rilievi.

Cala Bianca

L'area investigata, che presenta una superficie di circa 12 ha, è caratterizzata da batimetrie comprese tra -3 m e -22 m. L'area presenta un andamento regolare dei fondali dall'interno della baia verso l'esterno. La porzione centrale della baia è caratterizzata da una cresta di substrato roccioso che genera una variazione batimetrica di circa 7 metri (Figura 20 e Tavola 2).

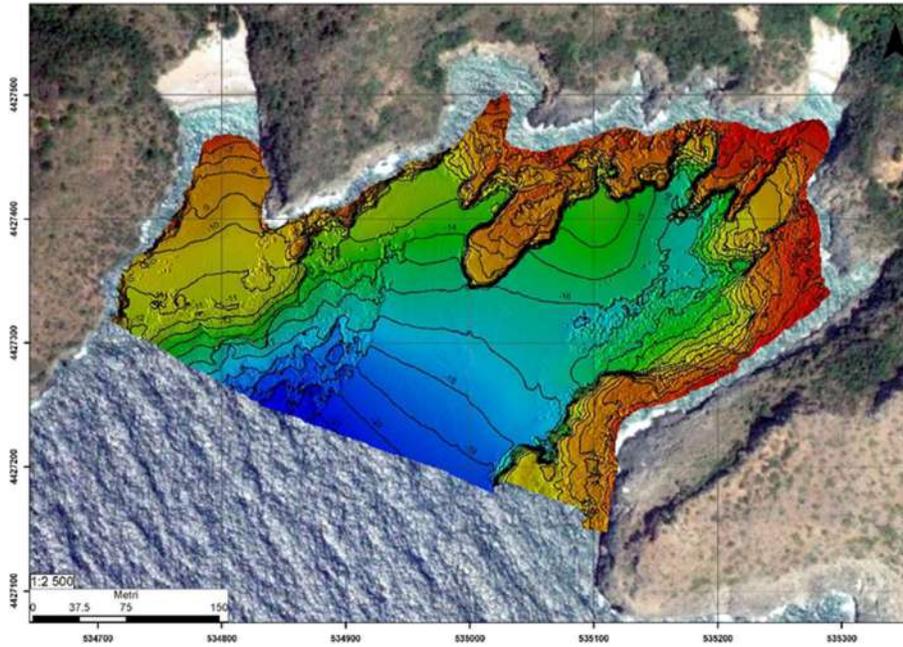


Figura 20 – Modello digitale del terreno e batimetrie dell'area oggetto dei rilievi.

Punta Spinosa

L'area investigata, che presenta una superficie di circa 7.5 ha, è caratterizzata da batimetrie comprese tra - 1 m e - 21 m. L'area presenta un andamento costa-largo regolare dei fondali. Le porzioni laterali sono caratterizzate da una maggiore articolazione del substrato (Figura 21 e Tavola 3).

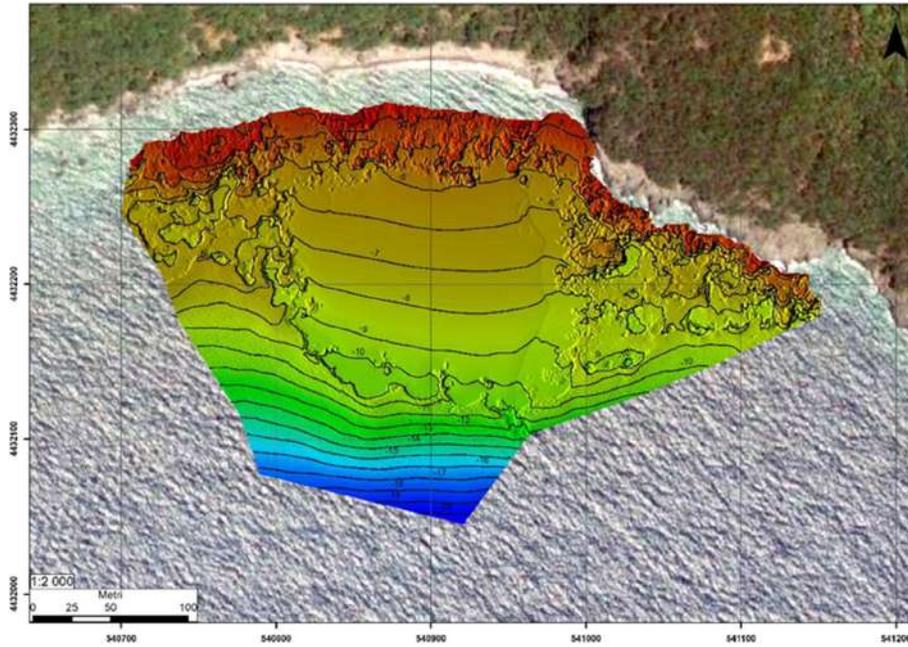


Figura 21 - Modello digitale del terreno e batimetrie dell'area oggetto dei rilievi.

Rilievi Multibeam Parco Nazionale del Cilento, Vallo di Diano e Alburni (AMP Santa Maria di Castellabate)

Punta Licosa

L'area investigata, che presenta una superficie di circa 50 ha, è caratterizzata da batimetrie comprese tra - 2.3 e - 19 m. La maggior parte della superficie dell'area è caratterizzata da fondali a basso fondo (tra -2.3 m e -8 m). Solo la porzione a Sud presenta una pendenza più elevata con il raggiungimento delle batimetrie minori (Figura 22 e Tavola 4). L'area prossima all'isolotto non è stata investigata a causa della presenza di numerosi scogli semi-affioranti e fondali che avrebbero compromesso la sicurezza di strumentazione, imbarcazione ed equipaggio.

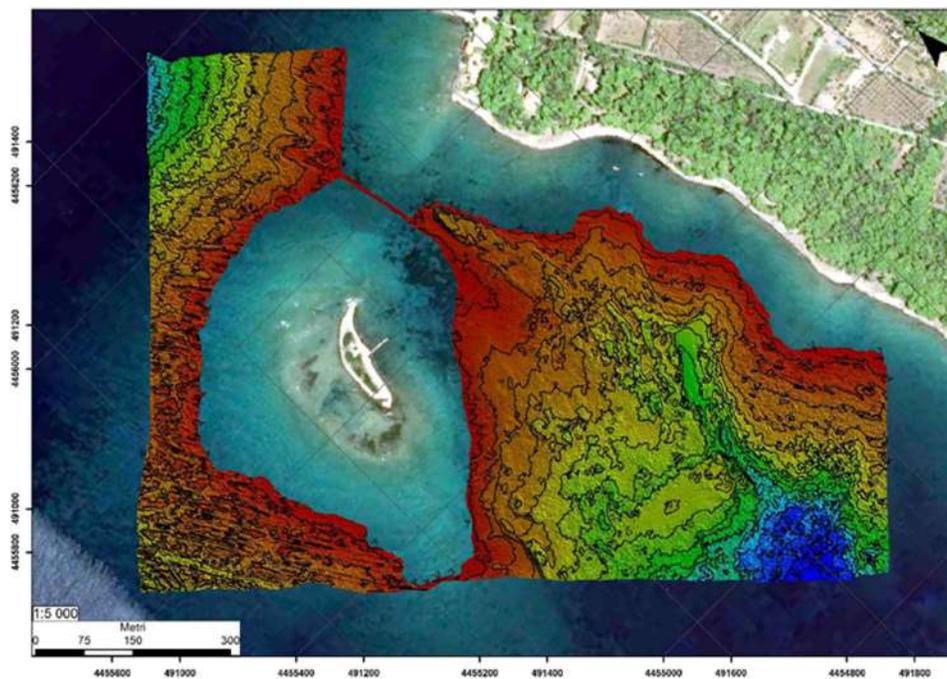


Figura 22 - Modello digitale del terreno e batimetrie dell'area oggetto dei rilievi.

Baia di Ogliastro

L'area investigata, che presenta una superficie di circa 70 ha, è caratterizzata da batimetrie comprese tra - 2.5 e - 21.5 m. I fondali presentano un andamento batimetrico costa-largo regolare (Figura 23 e Tavola 5).

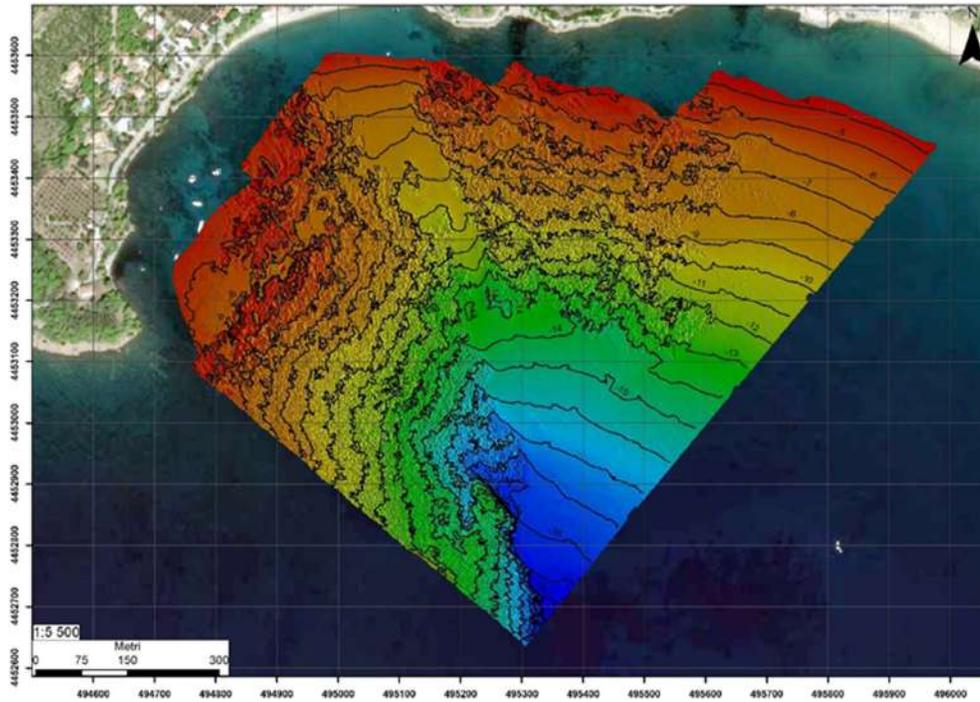


Figura 23 - Modello digitale del terreno e batimetrie dell'area oggetto dei rilievi.

Rilievi Multibeam Parco Nazionale dell'Arcipelago di La Maddalena

Cala Napoletana

L'area investigata, che presenta una superficie di circa 8.7 ha, è caratterizzata da batimetrie comprese tra - 3 m e - 29.5 m circa. L'area presenta un andamento regolare dei fondali dall'interno della baia verso l'esterno (Figura 24 e Tavola 3).

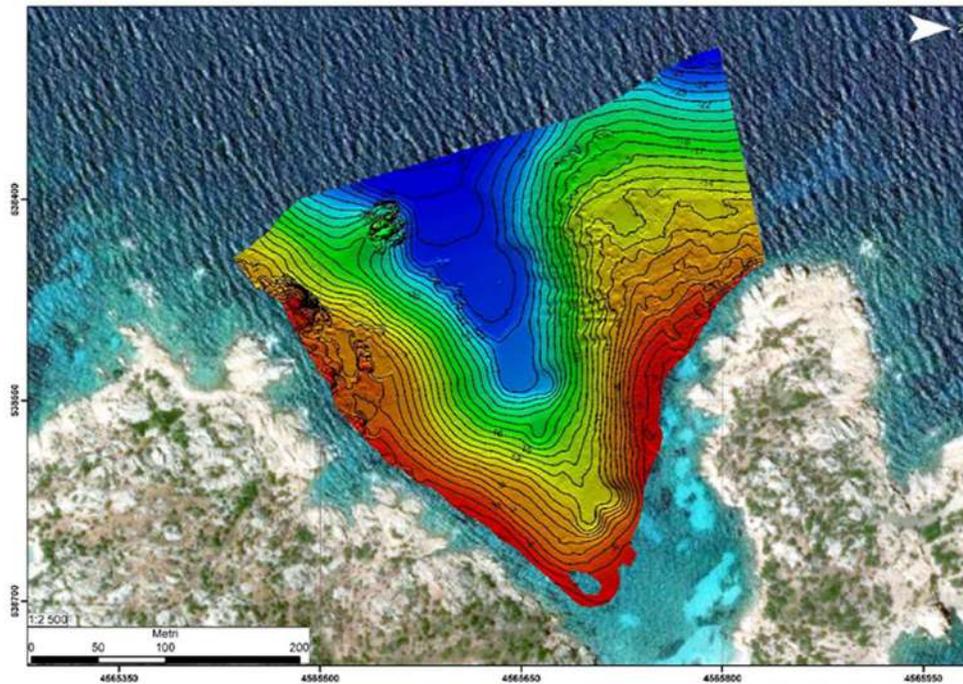
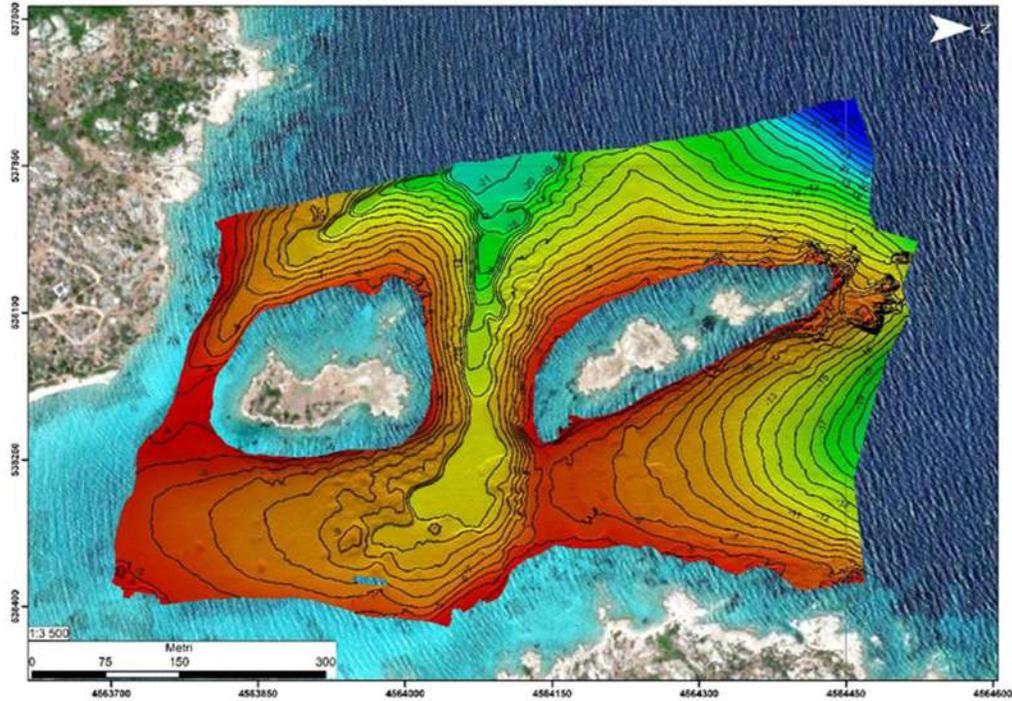


Figura 24 – Modello digitale del terreno e batimetrie dell'area oggetto dei rilievi.

Cala Garibaldi

L'area investigata, che presenta una superficie di circa 25 ha, è caratterizzata da batimetrie comprese tra - 2.5 m e - 29.5 m circa. L'area presenta un andamento regolare dei fondali dall'interno della baia verso l'esterno. Tra le "Isole italiani" è presente un canale con fondali a maggiore profondità. (Figura 25 e Tavola 1).



Giardinelli

L'area investigata, che presenta una superficie di circa 15 ha, è caratterizzata da batimetrie comprese tra - 2.4 m e - 31 m circa. L'area presenta un andamento costa-largo regolare dei fondali. La parte centrale dell'area investigata presenta numerosi scogli affioranti che hanno limitato i rilievi. (Figura 26 e Tavola 3).

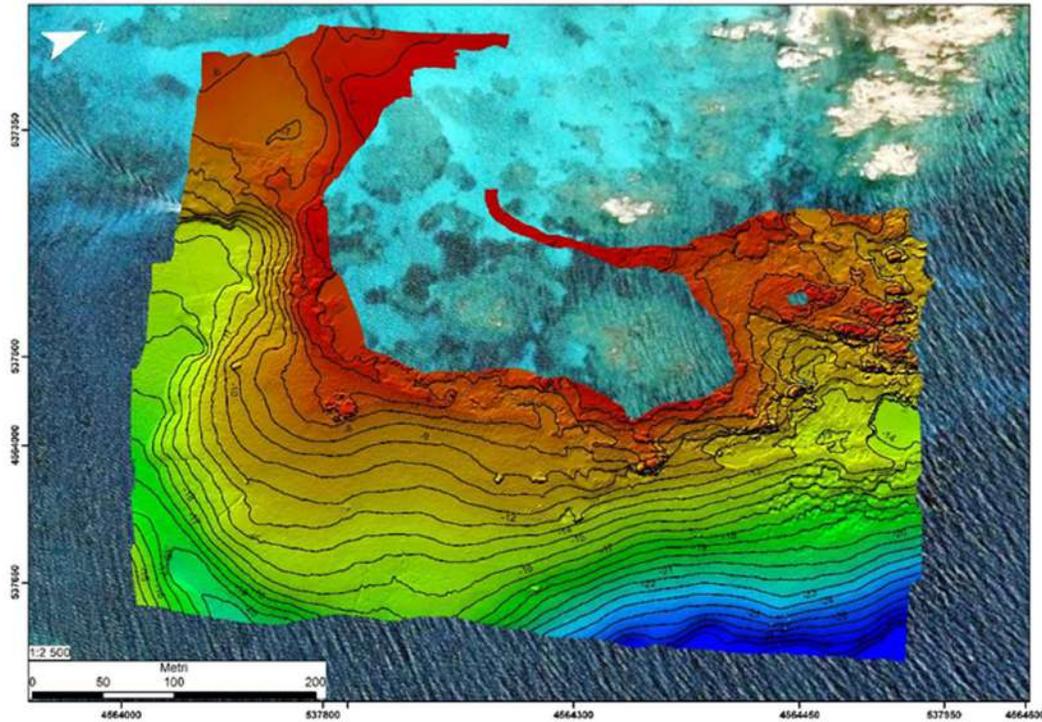


Figura 26 - Modello digitale del terreno e batimetrie dell'area oggetto dei rilievi.

Cala Corsara

L'area investigata, che presenta una superficie di circa 27 ha, è caratterizzata da batimetrie comprese tra - 3 e - 44.4 m circa. L'area presenta un andamento costa-largo regolare dei fondali (Figura 27 e Tavola 4).

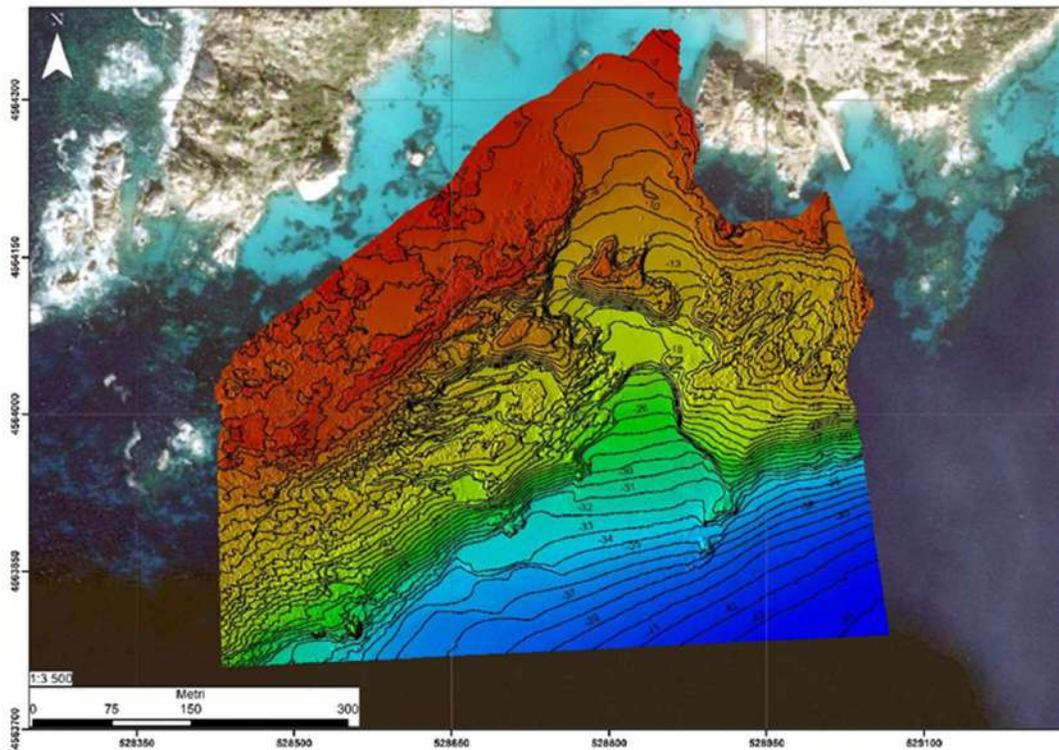


Figura 27 - Modello digitale del terreno e batimetrie dell'area oggetto dei rilievi.

Cala Coticcio

L'area investigata, che presenta una superficie di circa 37 ha, è caratterizzata da batimetrie comprese tra - 2.9 e - 56.5 m circa. I fondali presentano un andamento batimetrico costa-largo regolare (Figura 28 - e Tavola 5).

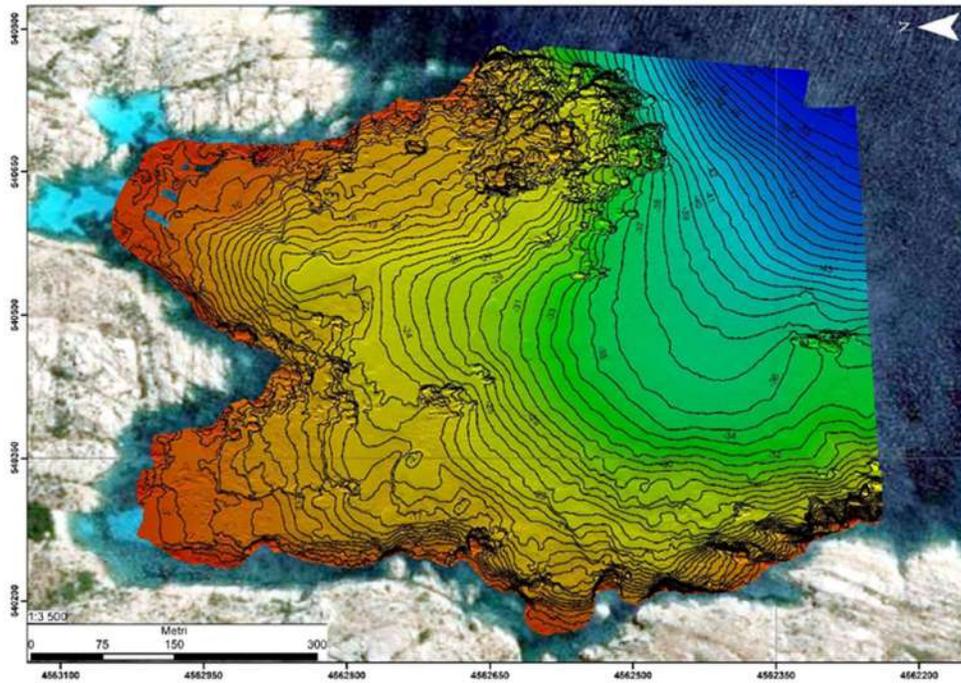


Figura 28 - Modello digitale del terreno e batimetrie dell'area oggetto dei rilievi.

Rilievo Sub Bottom Profiler Parco Nazionale del Cilento, Vallo di Diano e Alburni (AMP Costa degli Infreschi e della Masseta)

Baia degli Infreschi

Le indagini sono state eseguite seguendo un piano di acquisizione costituito da una griglia di linee aventi spaziatura di circa 25 m, per un totale di circa 6.8 km lineari (Figura 29). Nelle Figure 30 e 31 si riportano due esempi di profili acquisiti nell'area Baia degli Infreschi.

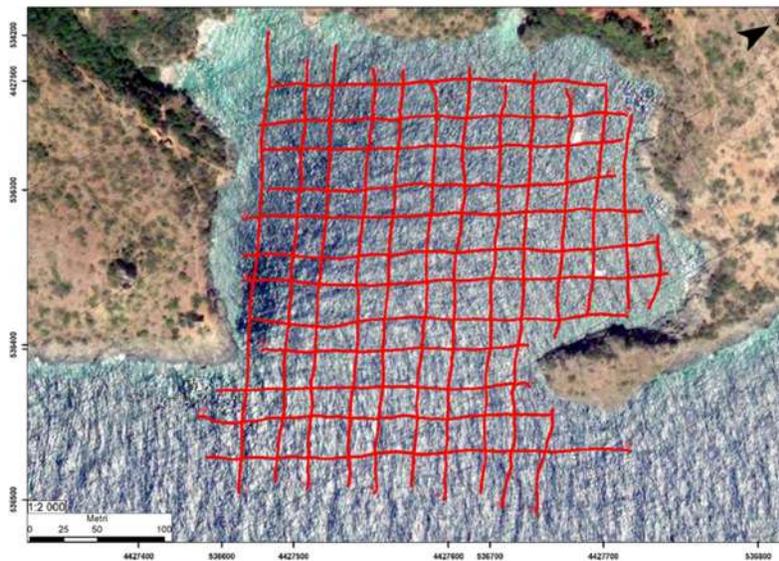


Figura 29 – Linee di acquisizione delle indagini mediante Sub Bottom Profiler

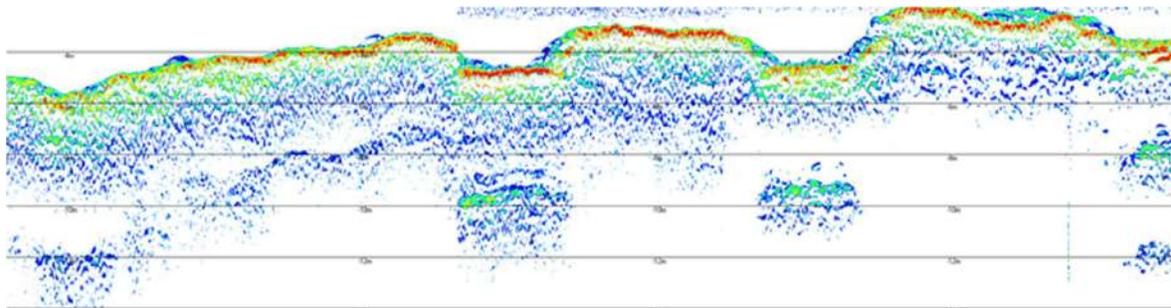


Figura 30 – Porzione del profilo 1 acquisito

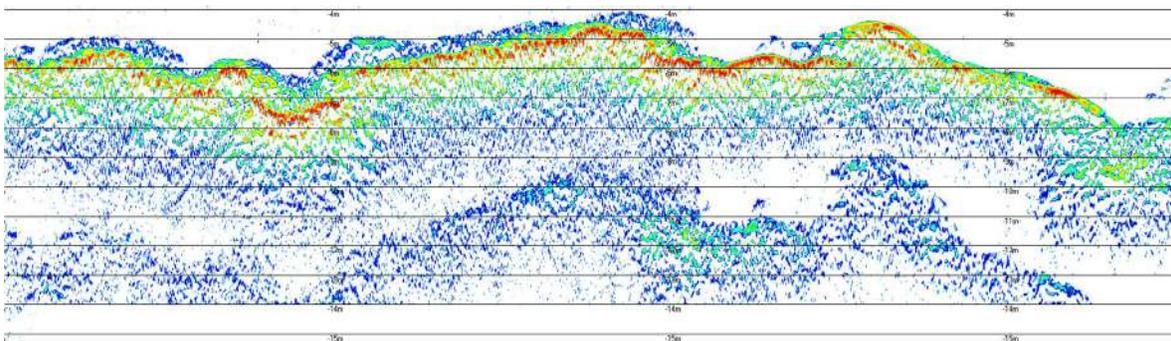


Figura 31– Porzione del profilo 12 acquisito.

Cala Bianca

Le indagini sono state eseguite seguendo un piano di acquisizione costituito da una griglia di linee aventi spaziatura di circa 25 m, per un totale di circa 8.78 km lineari (Figura 32). Nelle Figure 33 e 34 si riportano due esempi di profili acquisiti nell'area.



Figura 32 - Linee di acquisizione delle indagini mediante Sub Bottom Profiler.

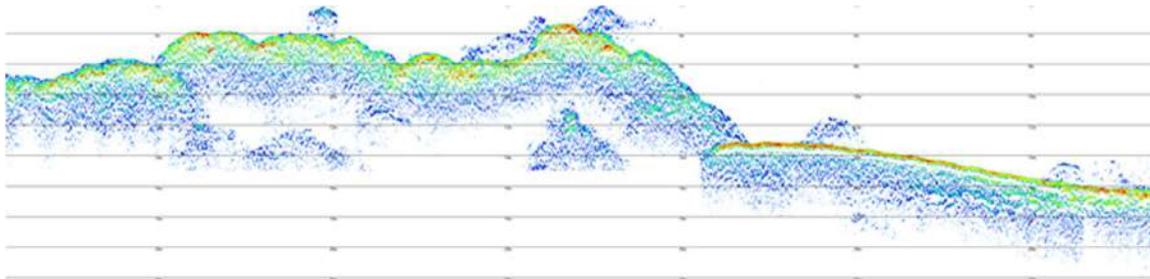


Figura 33 - Porzione del profilo 12 acquisito

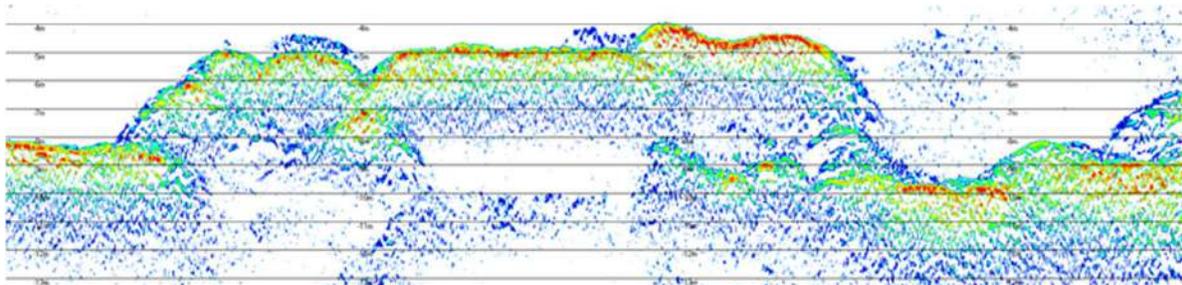


Figura 34 - Porzione del profilo 15 acquisito

Punta Spinosa

Le indagini sono state eseguite seguendo un piano di acquisizione costituito da una griglia di linee aventi spaziatura di circa 25 m, per un totale di circa 5.07 km lineari (Figura 35). Nelle Figure 36 e 37 si riportano due esempi di profili acquisiti nell'area.

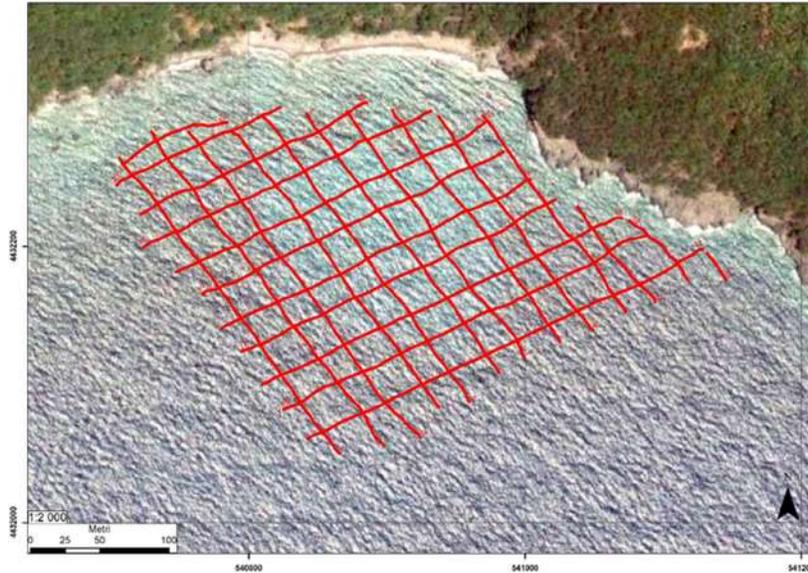


Figura 35 - Linee di acquisizione delle indagini mediante Sub Bottom Profiler

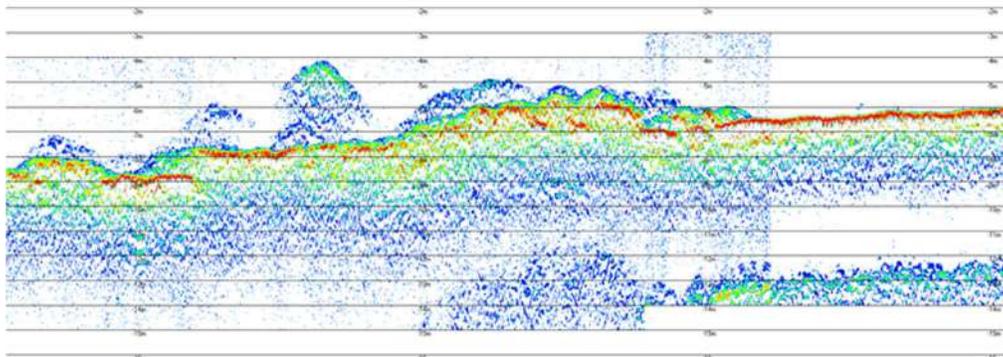


Figura 36 - Porzione del profilo 9 acquisito

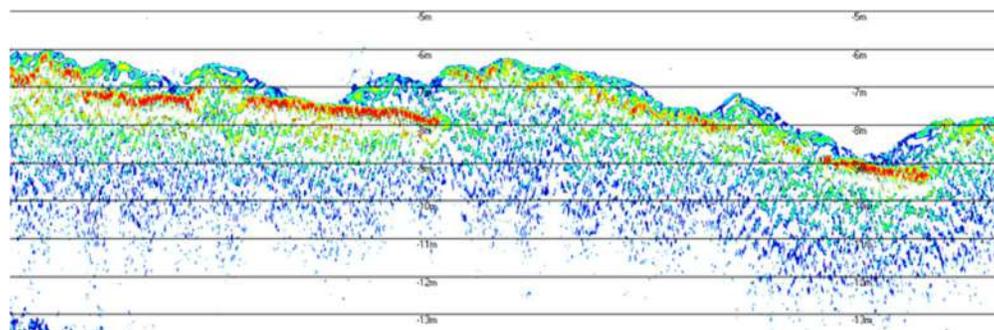


Figura 37 - Porzione del profilo 12 acquisito

Rilievo Sub Bottom Profiler Parco Nazionale del Cilento, Vallo di Diano e Alburni (AMP Santa Maria di Castellabate)

Punta Licosa

Le indagini sono state eseguite seguendo un piano di acquisizione costituito da una griglia di linee aventi spaziatura di circa 40 m, per un totale di circa 22.17 km lineari (Figura 38). Nelle Figure 39 e 40 si riportano due esempi di profili acquisiti nell'area.

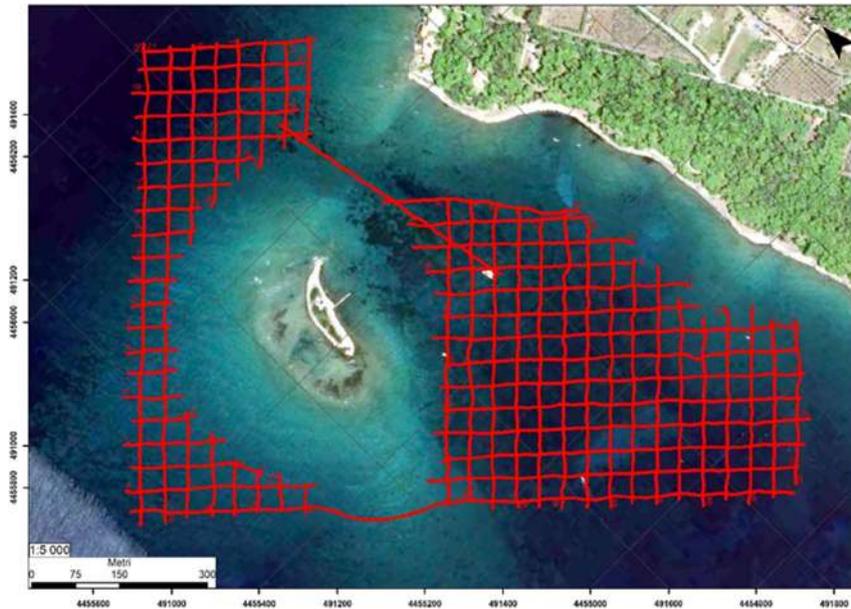


Figura 38 - Linee di acquisizione delle indagini mediante Sub Bottom Profiler

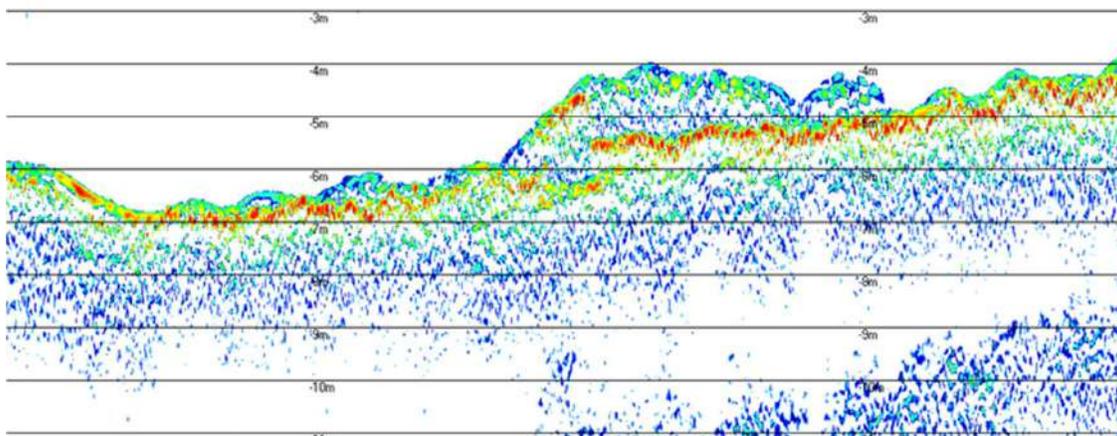


Figura 39 - Porzione del profilo 13 acquisito

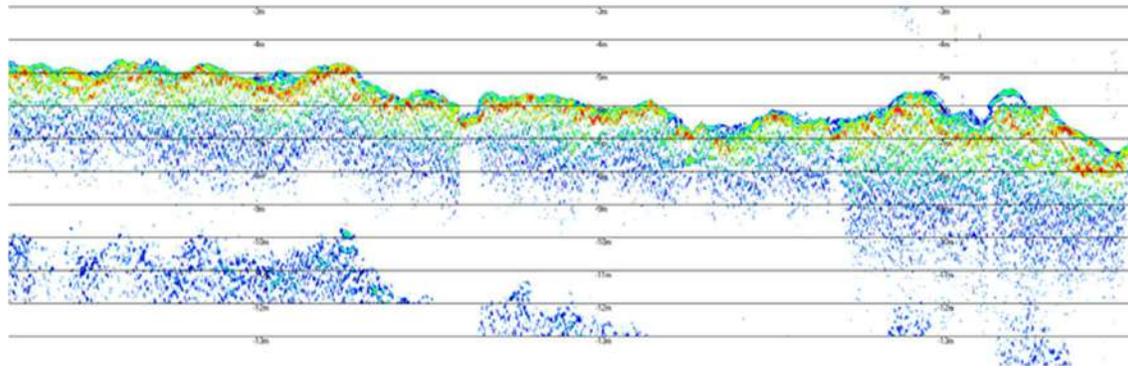


Figura 40 - Porzione del profilo 16 acquisito

Baia di Ogliastro

Le indagini sono state eseguite seguendo un piano di acquisizione costituito da una griglia di linee aventi spaziatura di circa 50 m, per un totale di circa 29.93 km lineari (Figura 41). Nelle Figure 42 e nella Figura 43 si riportano due esempi di profili acquisiti nell'area.

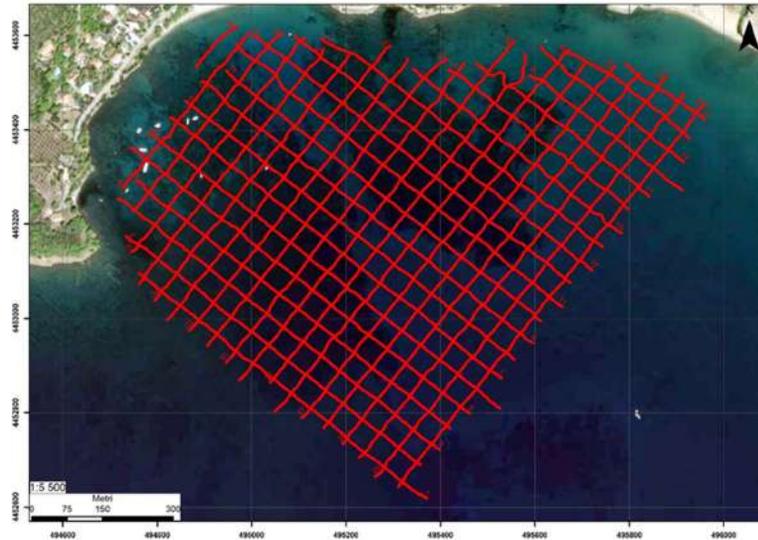


Figura 41 - Linee di acquisizione delle indagini mediante Sub Bottom Profiler.

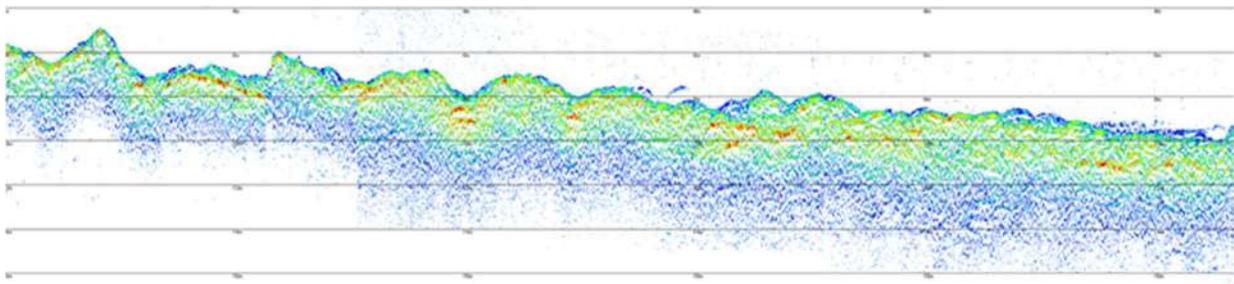


Figura 42 - Porzione del profilo 8 acquisito

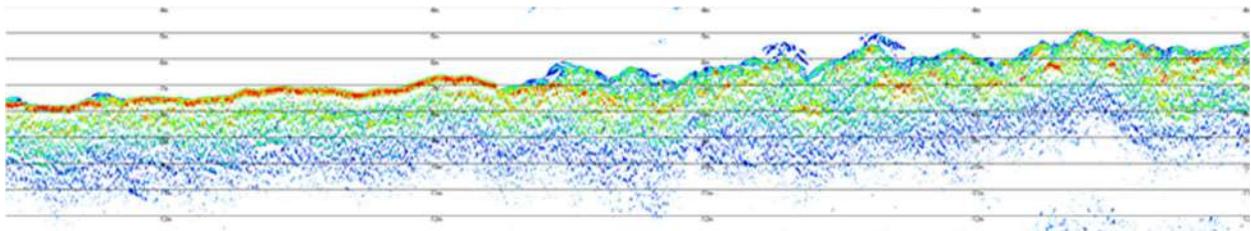


Figura 43 - Porzione del profilo 17 acquisito

Rilievo Sub Bottom Profiler Parco Nazionale dell'Arcipelago di la Maddalena

Cala Napoletana

Le indagini sono state eseguite seguendo un piano di acquisizione costituito da una serie di linee parallele con spaziatura di circa 30m e da una serie di linee, posizionate in base ai rilievi batimetrici effettuati, che hanno permesso una migliore copertura dell'area.

I rilievi hanno interessato un totale di circa 5.9 km lineari (Figura 44). Nelle Figure 45 e 46 si riportano due esempi di profili acquisiti nell'area.

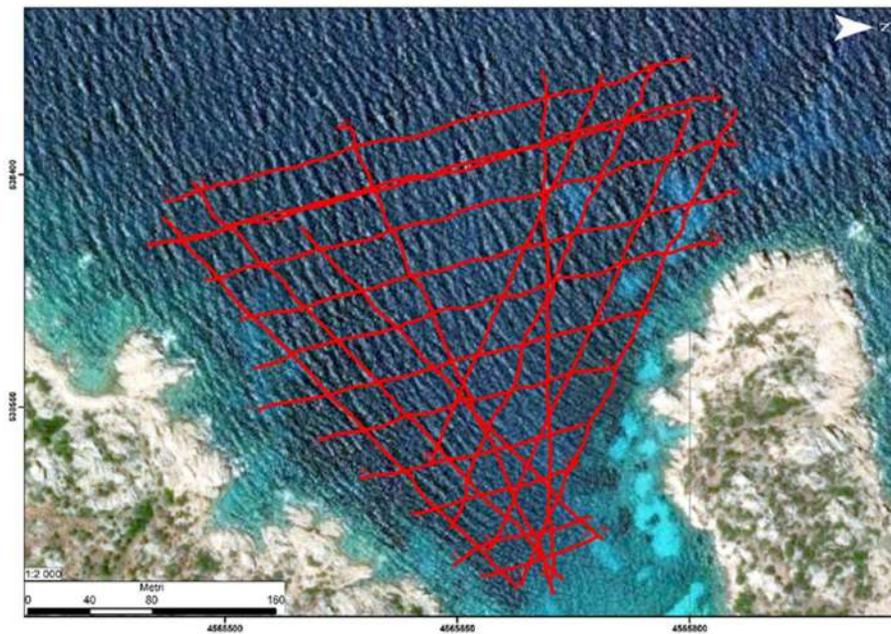


Figura 44– Linee di acquisizione delle indagini mediante Sub Bottom Profiler

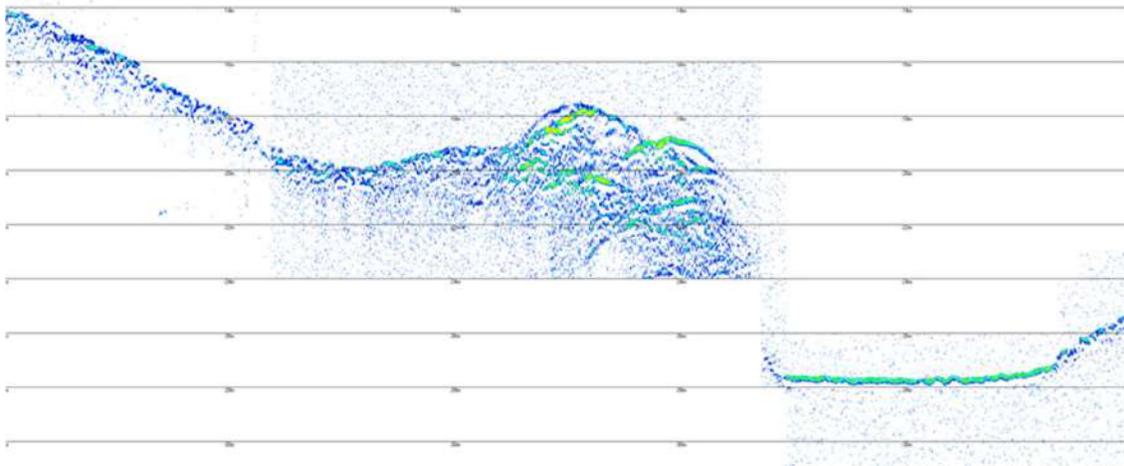


Figura 45 – Porzione del profilo 3 acquisito

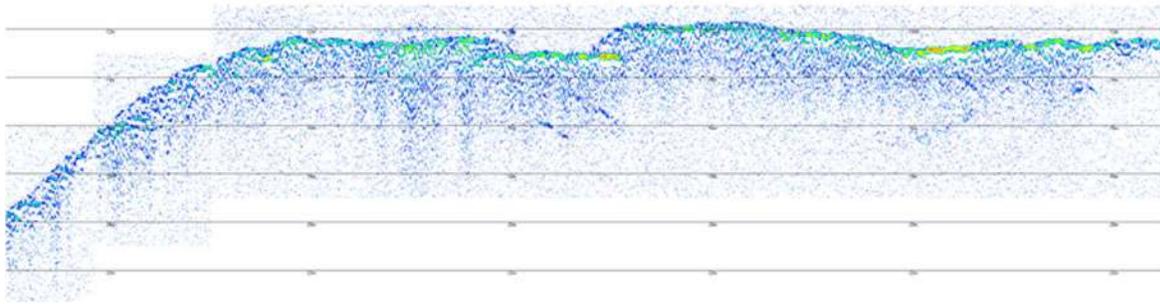


Figura 46 – *Porzione del profilo 12 acquisito*

Cala Garibaldi

Le indagini sono state eseguite seguendo un piano di acquisizione costituito da una griglia di linee aventi spaziatura di circa 30 m, per un totale di circa 11.9 km lineari (Figura 47). Nelle Figure 48 e 49 si riportano due esempi di profili acquisiti nell'area.

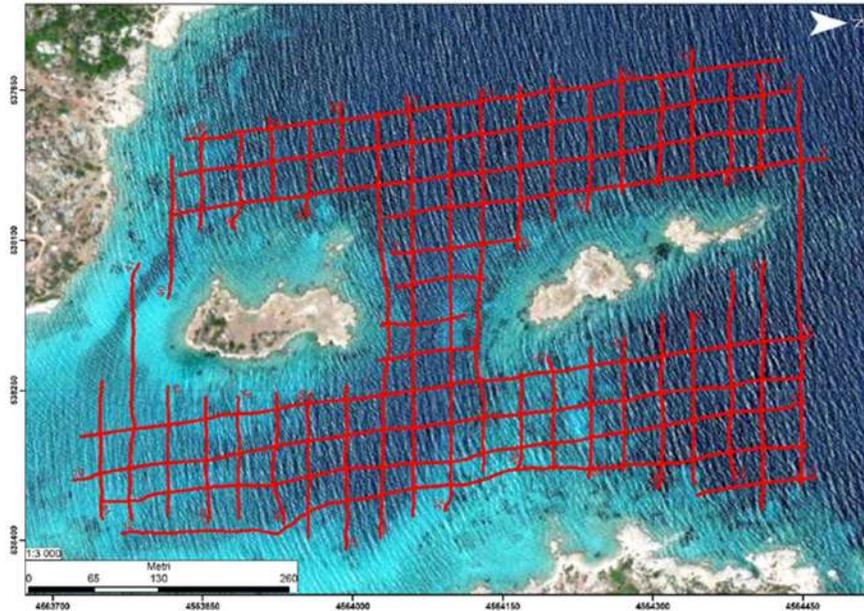


Figura 47 - Linee di acquisizione delle indagini mediante Sub Bottom Profiler

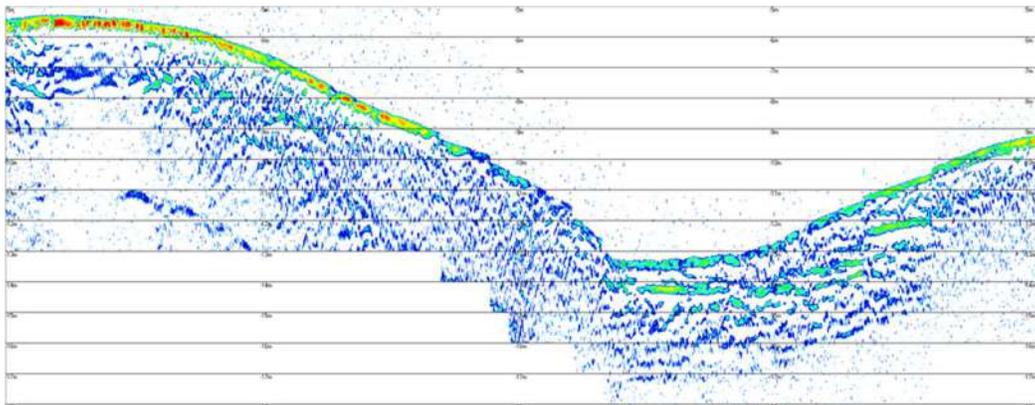


Figura 48 - Porzione del profilo 7 acquisito

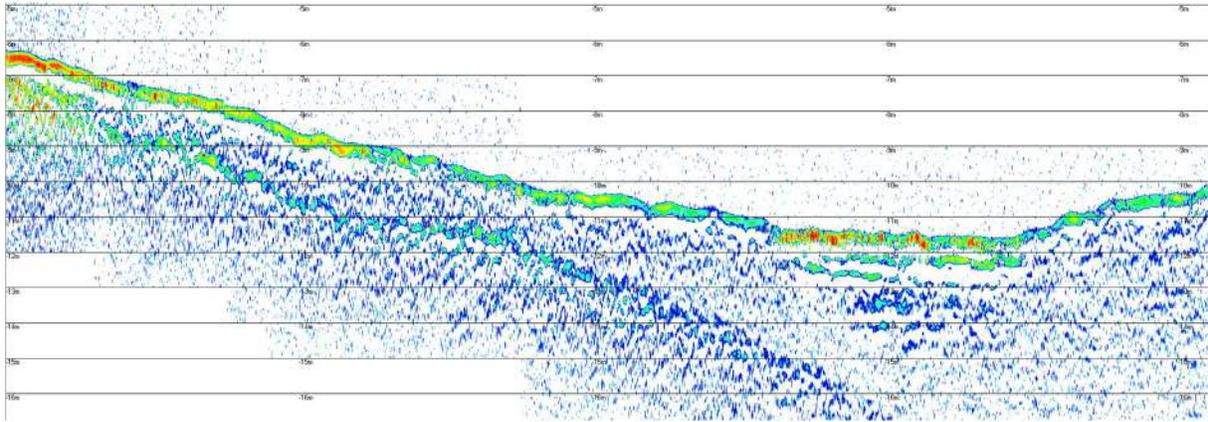


Figura 49 - Porzione del profilo 47 acquisito

Giardinelli

Le indagini sono state eseguite seguendo un piano di acquisizione costituito da una griglia di linee aventi spaziatura di circa 30 m, per un totale di circa 7.2 km lineari (Figura 50). Nelle Figure 51 e 52 si riportano due esempi di profili acquisiti nell'area.

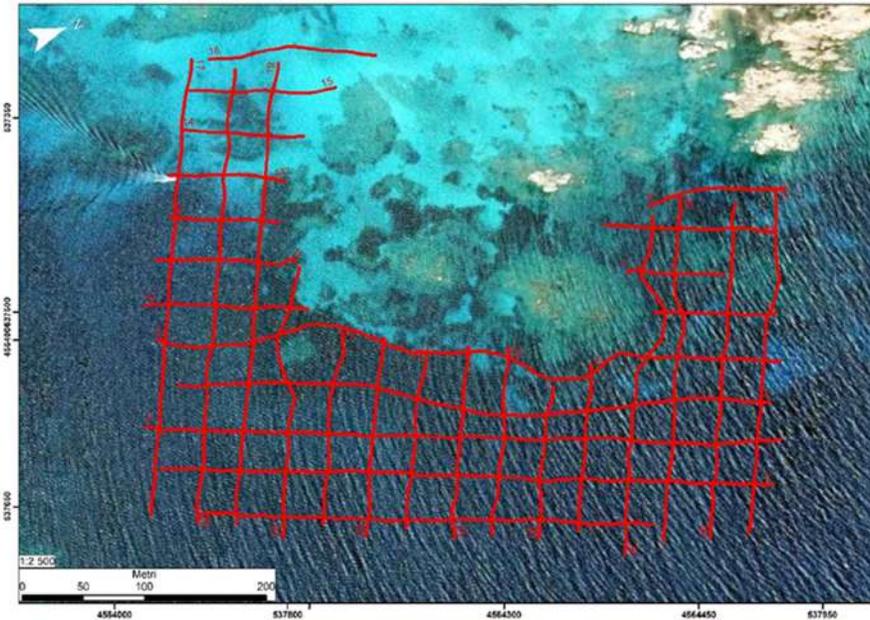


Figura 50 - Linee di acquisizione delle indagini mediante Sub Bottom Profiler.

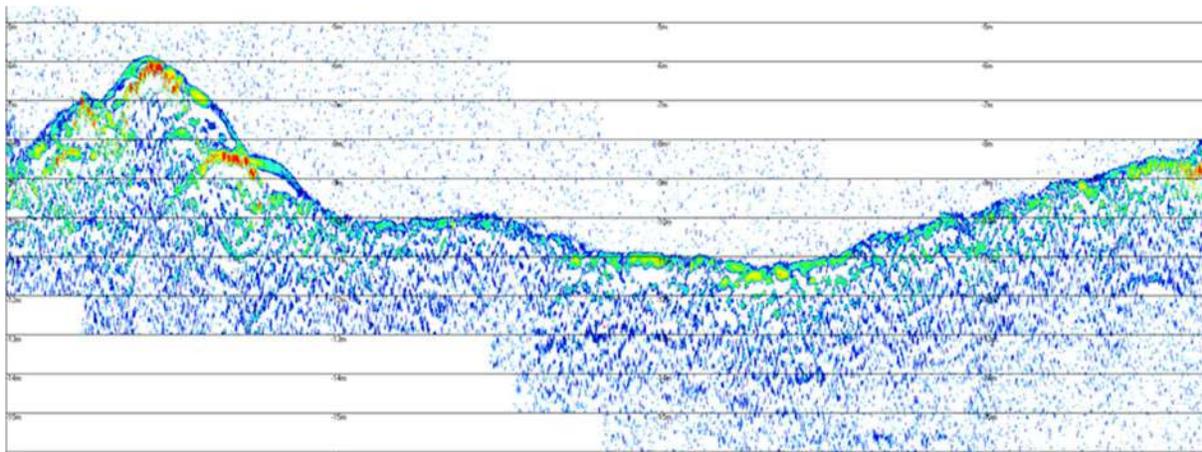


Figura 51 - Porzione del profilo 6 acquisito

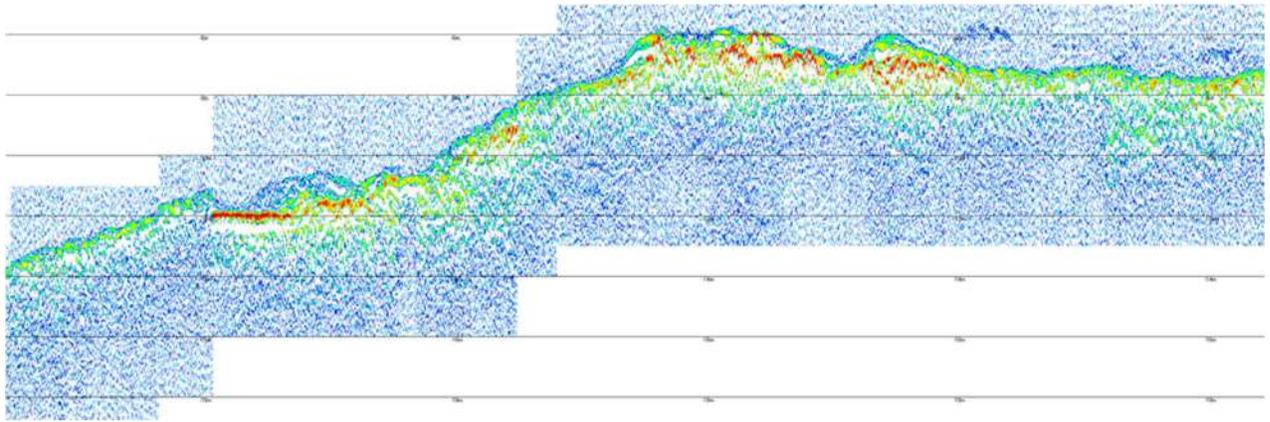


Figura 52 - Porzione del profilo 28 acquisito

Cala Corsara

Le indagini sono state eseguite seguendo un piano di acquisizione costituito da una griglia di linee aventi spaziatura di circa 30 m, per un totale di circa 9.7 km lineari (Figura 53). Nelle Figure 54 e 55 si riportano due esempi di profili acquisiti nell'area.

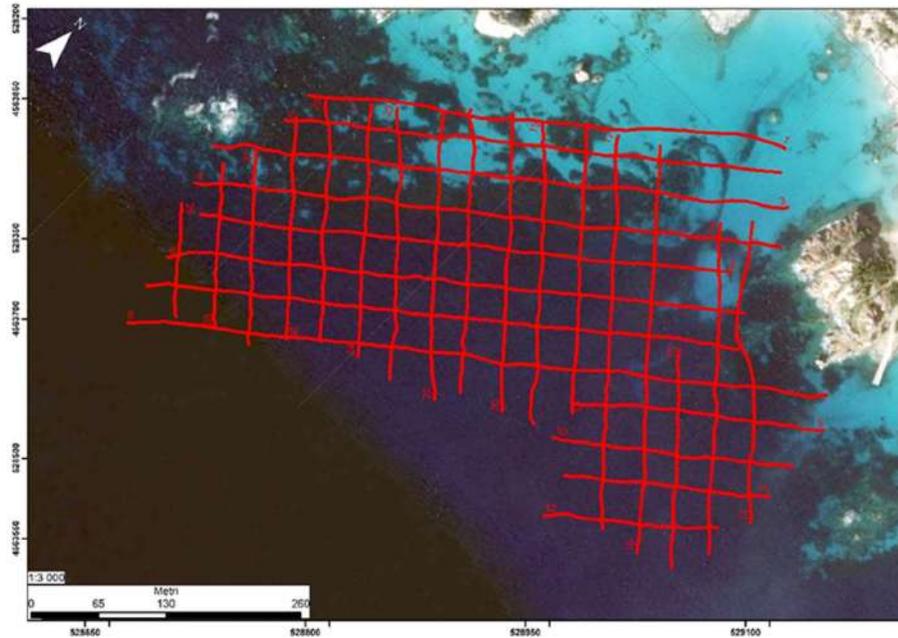


Figura 53 - Linee di acquisizione delle indagini mediante Sub Bottom Profiler

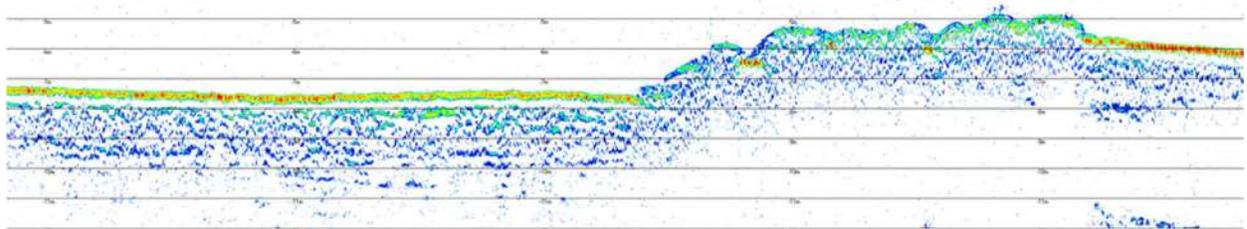


Figura 54 - Porzione del profilo 3 acquisito

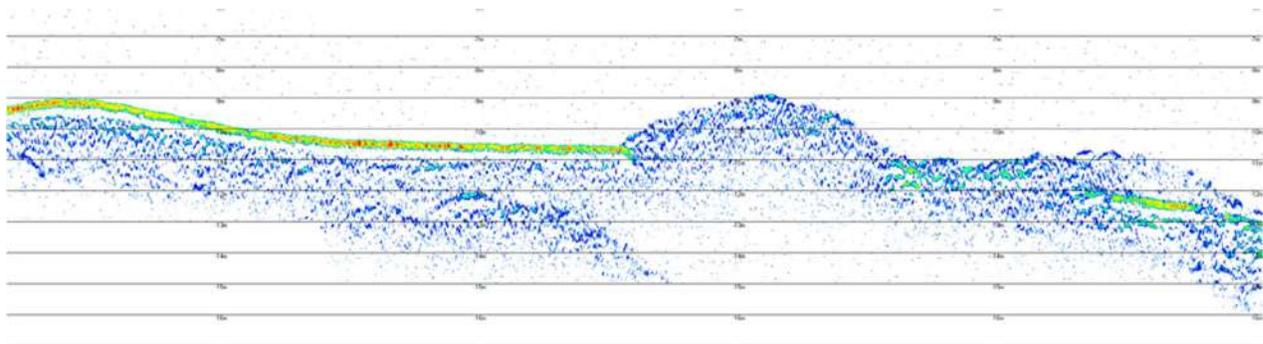


Figura 55 - Porzione del profilo 5 acquisito

Cala Coticcio

Le indagini sono state eseguite seguendo un piano di acquisizione costituito da una griglia di linee aventi spaziatura di circa 30 m, per un totale di circa 13.9 km lineari (Figura 56). Nelle Figure 57 e 58 si riportano due esempi di profili acquisiti nell'area.

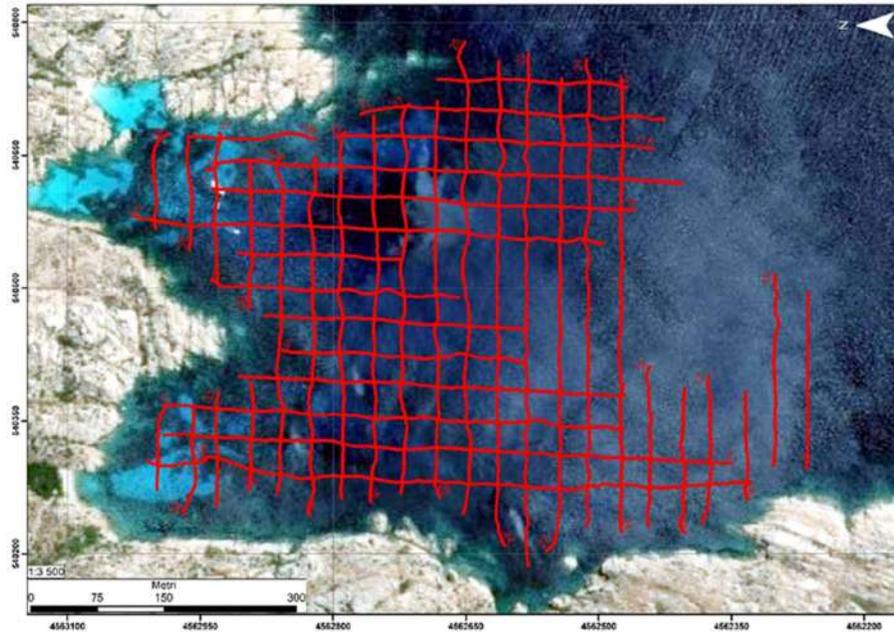


Figura 56 - Porzione del profilo 3 acquisito

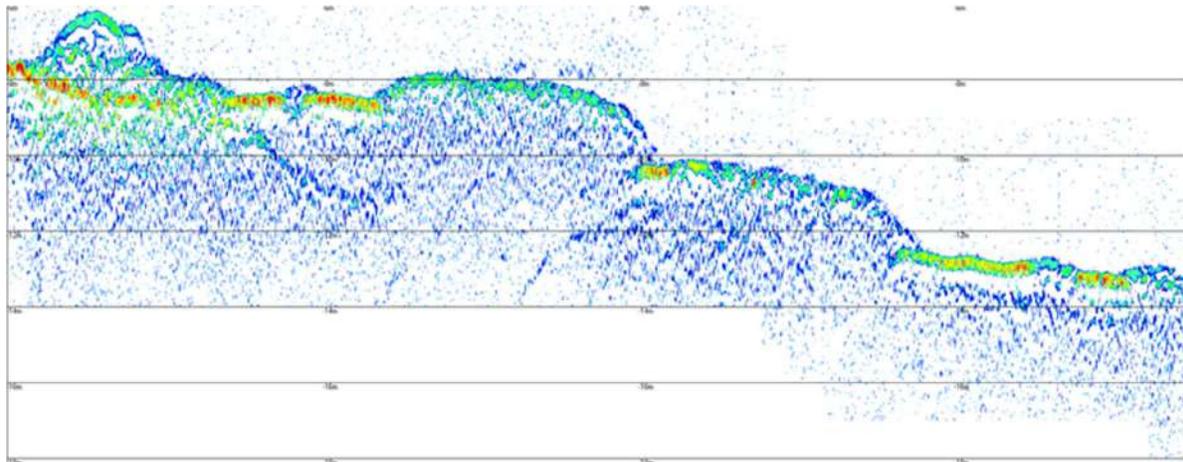


Figura 57 - Porzione del profilo 3 acquisito

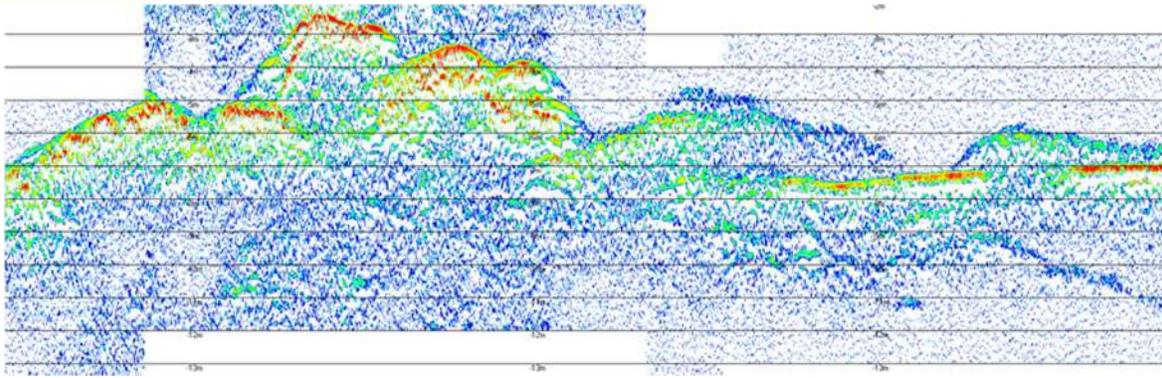


Figura 58 - Porzione del profilo 11B acquisito

Risultati indagine rilievo Sub Bottom Profiler

Le indagini condotte con il Sub Bottom Profiler hanno permesso di determinare la presenza e gli spessori della *matte* nelle aree di interesse del progetto. In tabella 14 e in Figura 59 sono riportati i valori medi in metri dello spessore della *matte* determinato nelle aree investigate rispettivamente nell' Area Marina Protetta Costa degli Infreschi e della Masseta e nell'Area Marina Protetta Santa Maria di Castellabate (Parco Nazionale del Cilento, Vallo di Diano e Alburni). Lo spessore medio maggiore della *matte* è stato osservato nella Baia di Ogliastro, con un valore medio pari a 0,85 m e Punta Spinosa, con un valore medio pari a 0,71 m (Tabella 14 – Figura 59). Lo spessore medio minore della *matte* è stato osservato nel sito Cala Bianca con un valore medio pari a 0,60 m (Tabella 14 – Figura 59).

Tabella 14 – Spessore *matte* aree di studio Parco Nazionale del Cilento

Sito	Spessore <i>matte</i> (media)	Spessore <i>matte</i> (Dev.STD)
Cala Bianca	0,60852459	0,253796743
Baia Infreschi	0,631212121	0,265268232
Punta Spinosa	0,714090909	0,354033346
Baia Ogliastro	0,859854015	0,282447403
Punta Licosa	0,663636364	0,285762641

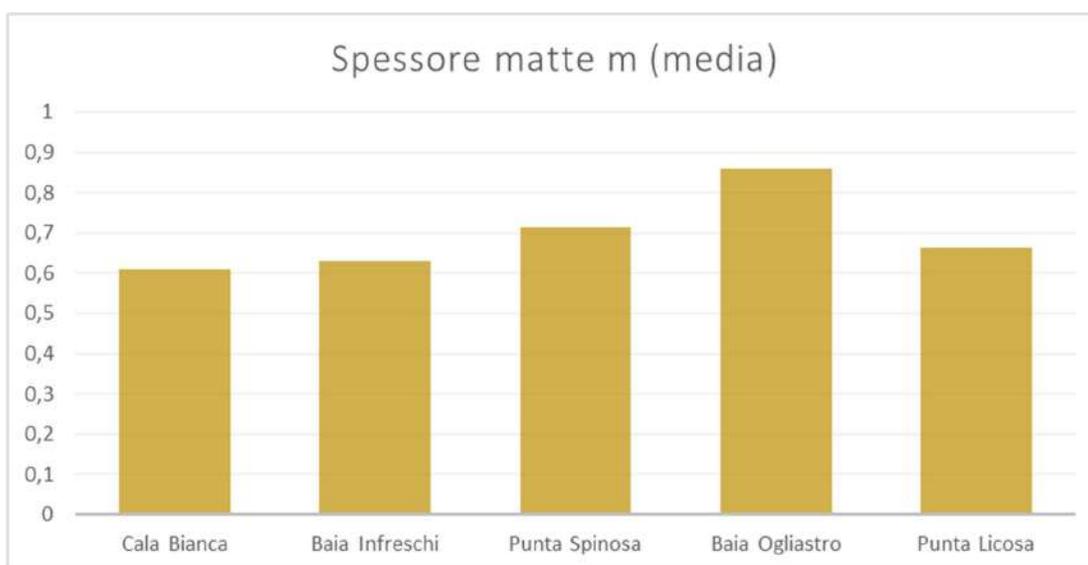


Figura 59 – Confronto spessore *matte* aree di studio Parco Nazionale del Cilento.

In tabella 15 e in Figura 60 sono riportati i valori medi dello spessore della *matte* determinato nelle aree investigate nel Parco Nazionale di La Maddalena. Lo spessore medio maggiore della *matte* è stato osservato nel sito Cala Garibaldi, con un valore medio pari a 2,57 m e Giardinelli, con un valore medio pari a 1,99 m (Tabella 15 – Figura 60). Lo spessore medio minore della *matte* è stato osservato nel sito Cala Corsara, con un valore medio pari a 0,84 m (Tabella 15 – Figura 60).

Tabella 15 – Spessore *matte* aree di studio Parco Nazionale della Maddalena.

Sito	Spessore <i>matte</i> (media)	Spessore <i>matte</i> (Dev.STD)
Cala Corsara	0,841068702	0,31660327
Cala Coticcio	1,004761905	0,423085267
Cala Garibaldi	2,573492063	1,191297993
Cala Napoletana	0,982222222	0,315180936
Giardinelli	1,997301587	0,503330369

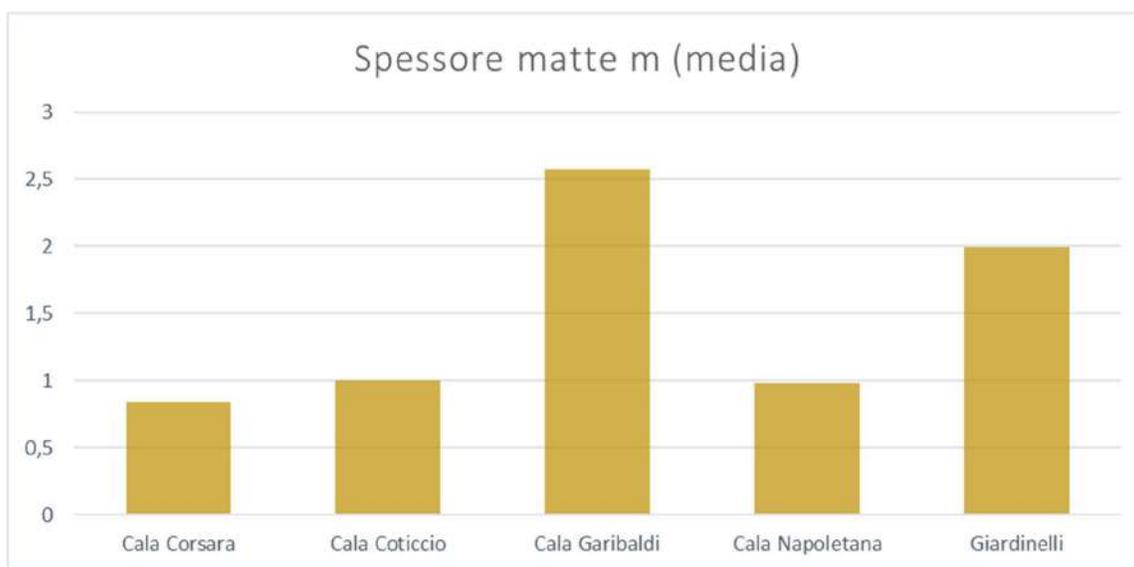


Figura 60 – Confronto spessore *matte* aree di studio Parco Nazionale di La Maddalena.

Stima diretta biomassa fogliare “campionamento fasci fogliari”

Materiali e metodi

I prelievi dei fasci fogliari sono stati eseguiti all'interno delle Aree Blue Carbon identificate per ogni Parco. Le attività di campionamento sono state condotte con il supporto del Nucleo Carabinieri Subacquei di Napoli e di Cagliari. In totale sono state individuate tre aree all'interno di ciascuno dei Parchi Nazionali nelle quali sono state condotte i prelievi dei fasci fogliari. In ciascuna stazione sono stati prelevati 6 – 9 fasci di *P. oceanica*. Le stazioni sono state individuate in base alla tipologia di prateria. Le analisi di laboratorio per la determinazione della biomassa (fenologia e lepidocronologia) sono state condotte dall'Università della Tuscia. Per quanto riguarda il Parco Nazionale del Cilento, si riportano in Figura 61 le stazioni di campionamento nell'Area Marina Protetta Santa Maria di Castellabate e in Figura 62 un esempio di prateria campionata.

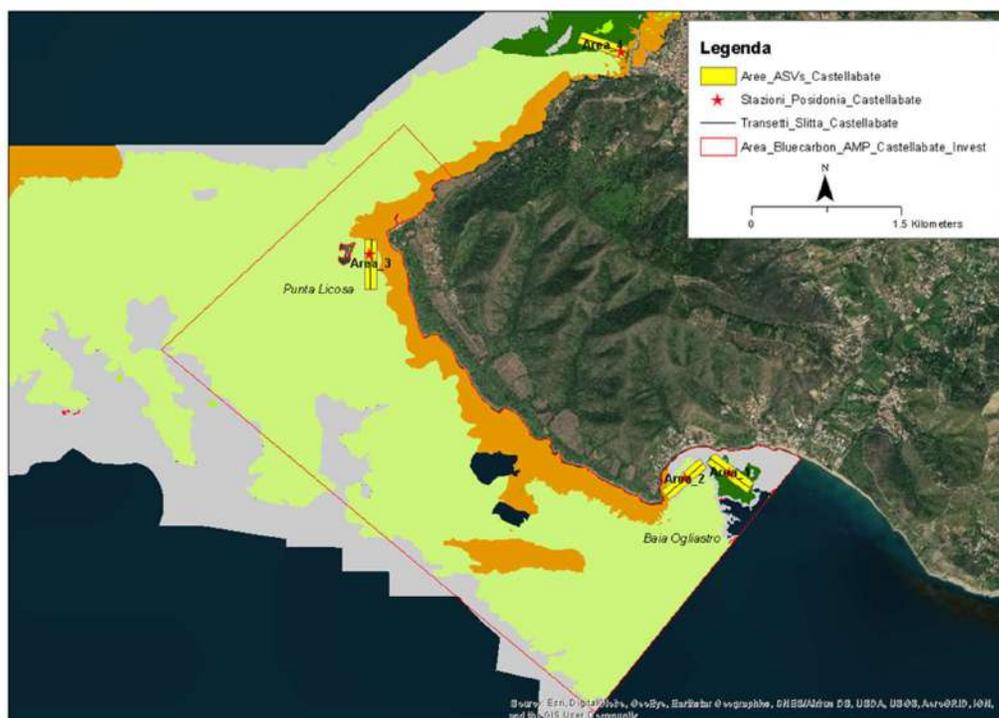


Figura 61 - Mappa generale dell'Area Marina Protetta Santa Maria di Castellabate e ubicazione delle aree di indagine.

Le stazioni individuate sono state selezionate in base alla diversa tipologia di prateria:

- Stazione 1: Prateria di *Posidonia oceanica* su matte e/o sabbia;
- Stazione 2: *Posidonia oceanica* su roccia;
- Stazione 3: *Posidonia* degradata-matte morta.



Figura 62: Immagini fotografiche di una prateria campionata nell'Area Marina Protetta Santa Maria di Castellabate.

Per quanto riguarda l'Area Marina Protetta Costa degli Infreschi e della Masseta, si riportano in Figura 63 le stazioni di campionamento nelle quali sono stati eseguiti i prelievi dei fasci fogliari e in Figura 64 un esempio di prateria campionata.

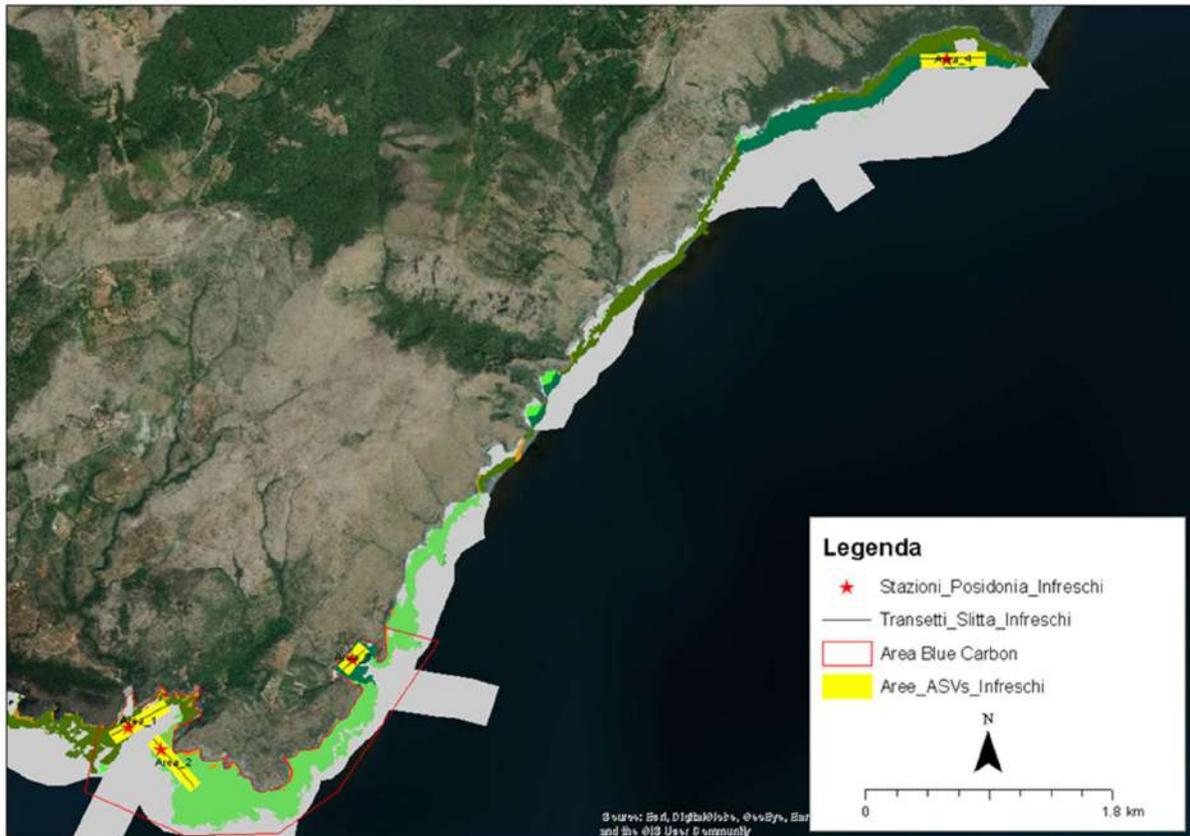


Figura 63: Mappa generale dell'Area Marina Protetta Costa degli Infreschi e della Masseta e ubicazione delle aree di indagine.

Le stazioni individuate sono state selezionate in base alla diversa tipologia di prateria:

- Stazione 1: Prateria di *Posidonia oceanica* su *matte* e/o sabbia;
- Stazione 2: *Posidonia oceanica* su roccia;
- Stazione 3: *Posidonia* degradata-*matte* morta.

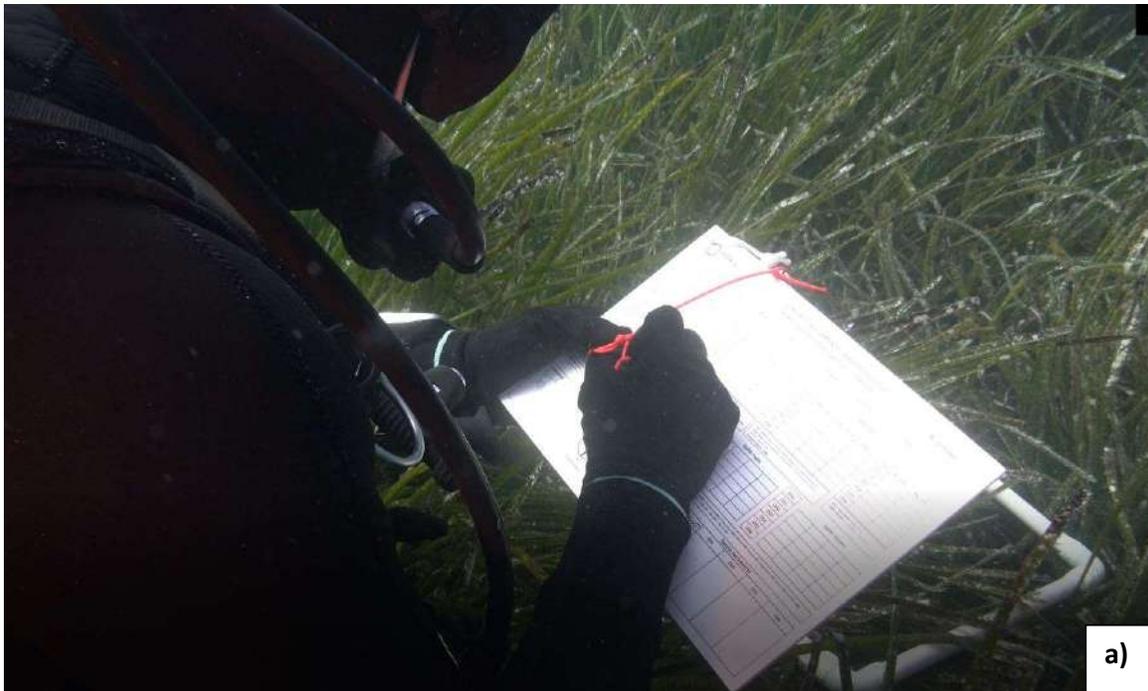


Figura 64: Immagini fotografiche di una prateria campionata nell'Area Marina Protetta Costa degli Infreschi e della Masseta.

Per quanto riguarda il Parco Nazionale Arcipelago di La Maddalena, si riportano in Figura 65 le stazioni di campionamento e di prelievo dei fasci fogliari e in Figura 66 un esempio di prateria campionata. Le Figure 67 e 68 mostrano invece le stazioni di campionamento e di prelievo dei fasci fogliari considerate nel Parco Nazionale dell'Asinara e un esempio di prateria campionata.

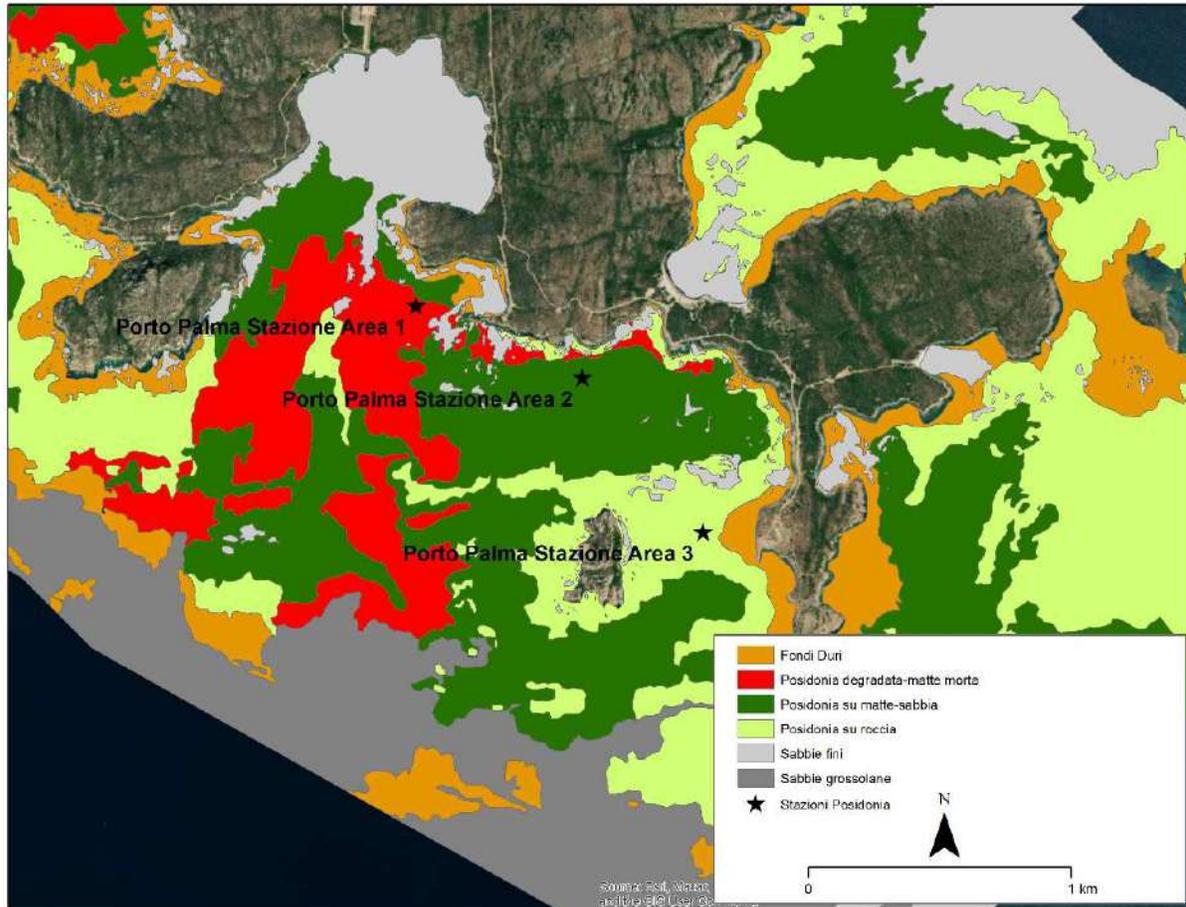


Figura 65: *Mapa generale del Parco Nazionale di La Maddalena e ubicazione delle aree di indagine.*

Le stazioni individuate sono state selezionate in base alla diversa tipologia di prateria:

- Stazione 1 Porto Palma – La Maddalena: Posidonia degradata-*matte* morta;
- Stazione 2 Porto Palma – La Maddalena: Posidonia su *matte*-sabbia;
- Stazione 3 Porto Palma – La Maddalena: Posidonia su roccia.

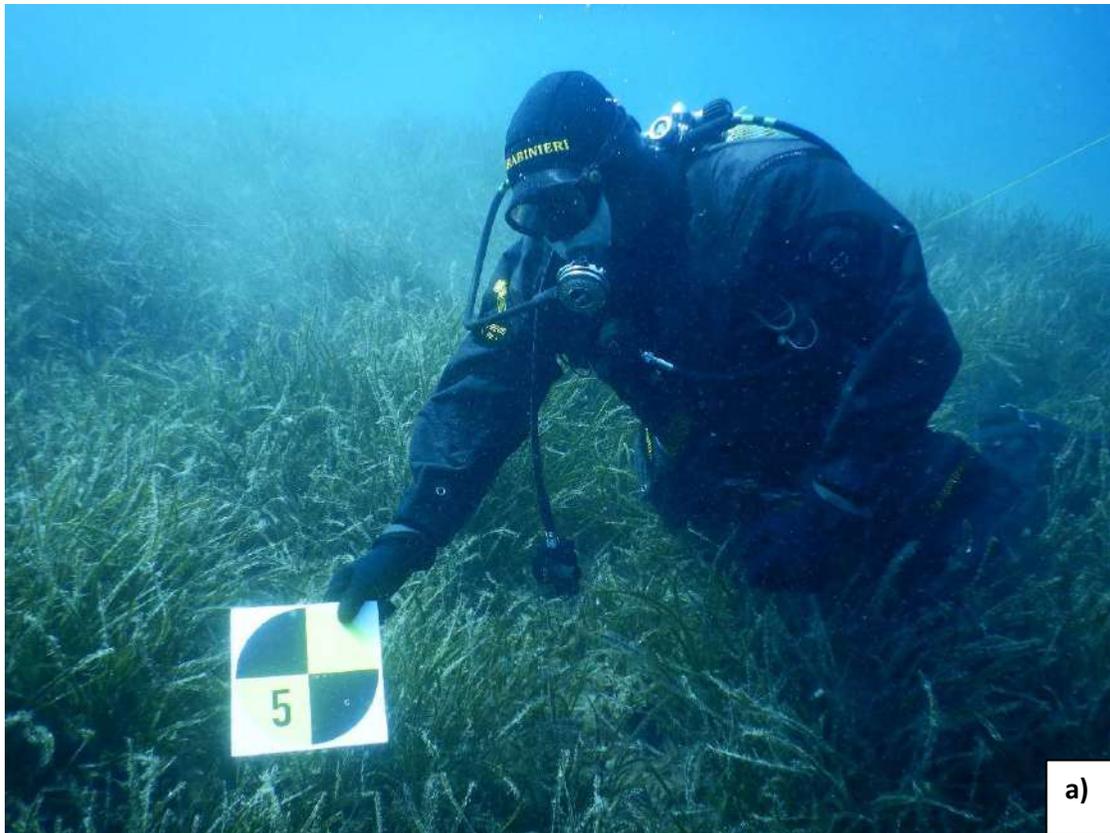


Figura 66: Immagini fotografiche di una prateria campionata nel Parco Nazionale della Maddalena.

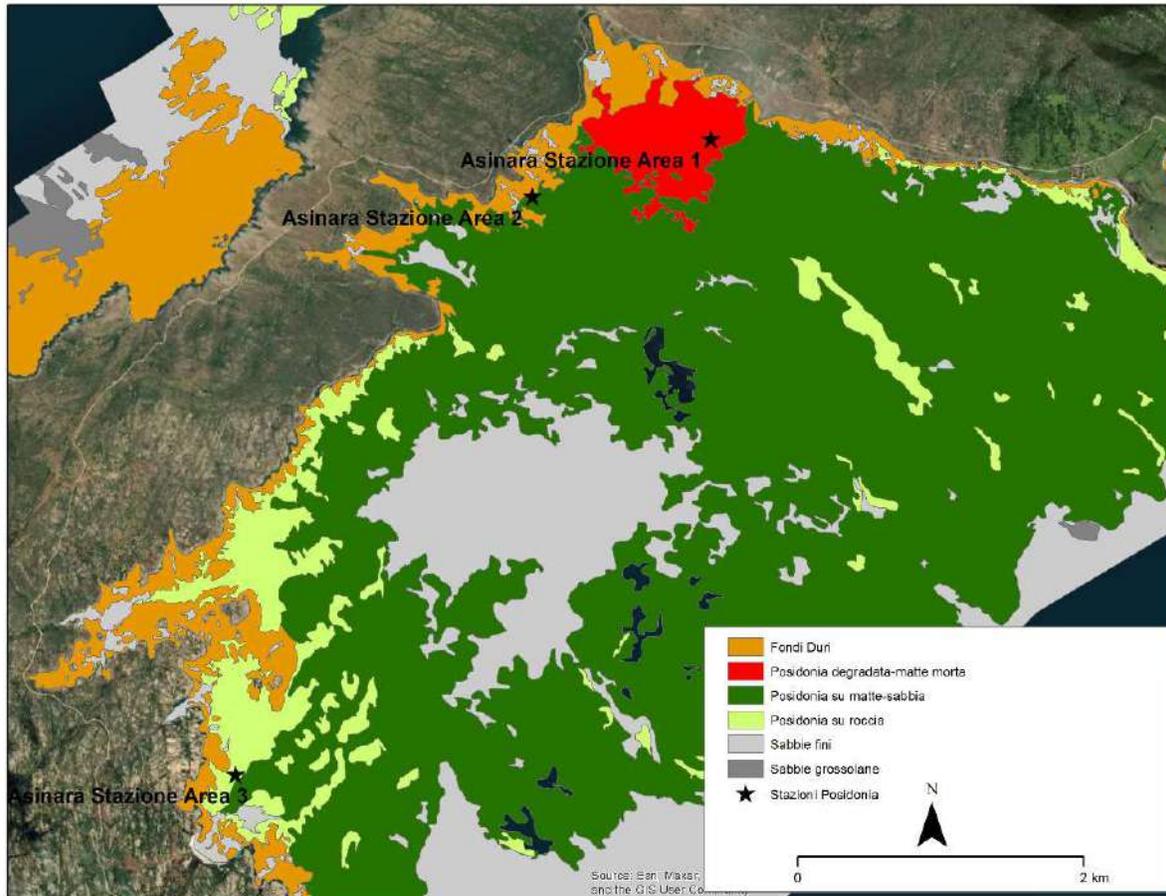


Figura 67: *Mapa generale del Parco Nazionale dell'Asinara e ubicazione delle aree di indagine*

Le stazioni individuate sono state selezionate in base alla diversa tipologia di prateria:

- Stazione 1 Asinara: Posidonia degradata-*matte* morta;
- Stazione 2 Asinara: Posidonia su *matte*-sabbia;
- Stazione 3 Asinara: Posidonia su roccia.

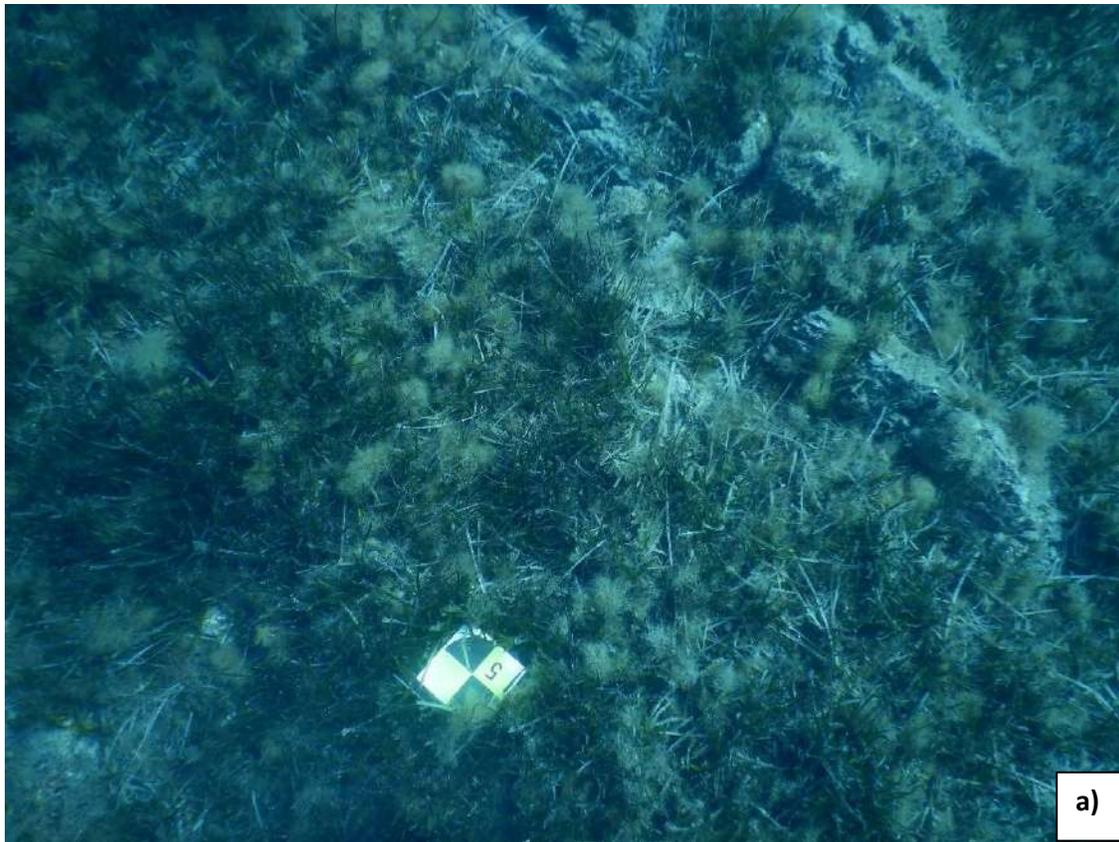


Figura 68: Immagini fotografiche di una prateria campionata nel Parco Nazionale dell'Asinara.

Risultati stima altezza della canopy fogliare e della biomassa fogliare mediante misura diretta nel Parco Nazionale del Cilento, Vallo di Diano e Alburni

Le indagini condotte in laboratorio da parte dell'Università della Tuscia, hanno permesso di determinare la biomassa delle praterie in gr/m^2 . In Tabella 16 e Figura 69 e in Tabella 17 e Figura 70 sono riportati i valori medi dell'altezza della canopy e della biomassa fogliare (gr/m^2) determinati nelle aree investigate rispettivamente nell'Area Marina Protetta Santa Maria di Castellabate e nell'Area Marina Protetta Costa degli Infreschi e della Masseta. L'altezza maggiore della canopy fogliare è stato osservato nella stazione 1 (Cala Bianca-*P. oceanica* su *matte* e/o sabbia), con un valore medio pari a 93,30 cm e nella stazione 3 (Punta Licosa-*Posidonia* degradata-*matte* morta), con un valore medio pari a 82,88 cm (Tabella 16 – Figura 69). Il valore minore dell'altezza della canopy è stato osservato nella stazione 2 (Baia di Ogliastro-*P. oceanica* su roccia) con un valore medio pari a 59,85 cm (Tabella 16 – Figura 69).

Tabella 16 – Altezza media canopy (cm) misurata nelle aree di studio del Parco Nazionale del Cilento.

	Altezza Canopy cm (media)	Altezza Canopy cm (Dev.STD)
Staz. 1 Baia Ogliastro	78,22	5,73
Staz. 2 Baia Ogliastro	59,85	9,99
Staz. 3 Punta Licosa	82,88	20,65
Staz. 1 Cala Bianca	96,30	20,78
Staz. 2 Cala Bianca	63,98	13,00
Staz. 3 Baia Infreschi	74,80	18,79

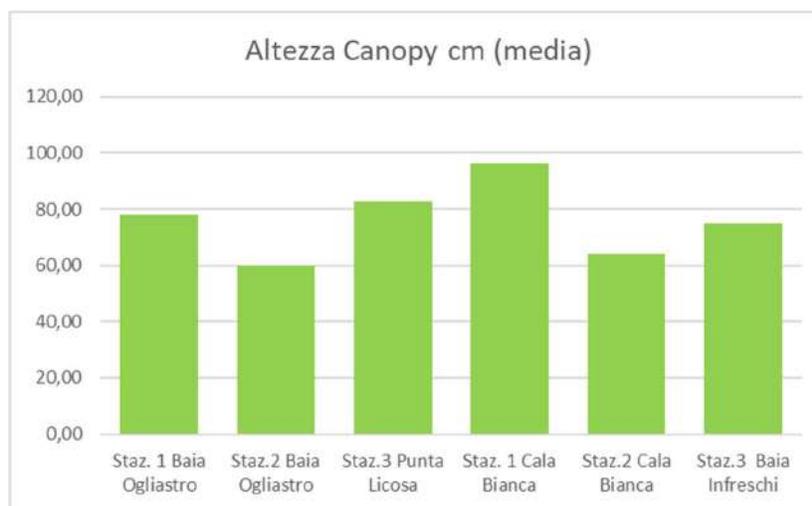


Figura 69 – Confronto altezza media (cm) canopy nelle aree di studio del Parco Nazionale del Cilento.

I valori maggiori della biomassa fogliare (gr/m^2) sono stati osservati nella stazione 1 (Baia di Ogliastro), con un valore medio pari a $589,7 \text{ gr}/\text{m}^2$ e nella stazione 1 (Cala Bianca), con un valore medio pari a $665,6 \text{ gr}/\text{m}^2$ (Tabella 17 – Figura 70). Il valore minore della biomassa fogliare è stato osservato nella stazione 2 (Baia di Ogliastro) con un valore medio pari a $351,1 \text{ gr}/\text{m}^2$ e nella stazione 3 (Baia degli Infreschi) con un valore medio pari a $413,6 \text{ gr}/\text{m}^2$ (Tabella 17 – Figura 70).

Tabella 17 – Biomassa fogliare (gr/m^2) misurata nelle aree di studio del Parco Nazionale del Cilento.

	Biomassa fogliare (gr/m^2)	Biomassa fogliare(Dev.STD)
Staz. 1 Baia Ogliastro	589,7	13,2
Staz.2 Baia Ogliastro	351,1	11,8
Staz.3 Punta Licosa	575,6	12,7
Staz. 1 Cala Bianca	665,6	9,3
Staz.2 Cala Bianca	445,0	6,8
Staz.3 Baia Infreschi	413,6	8,2

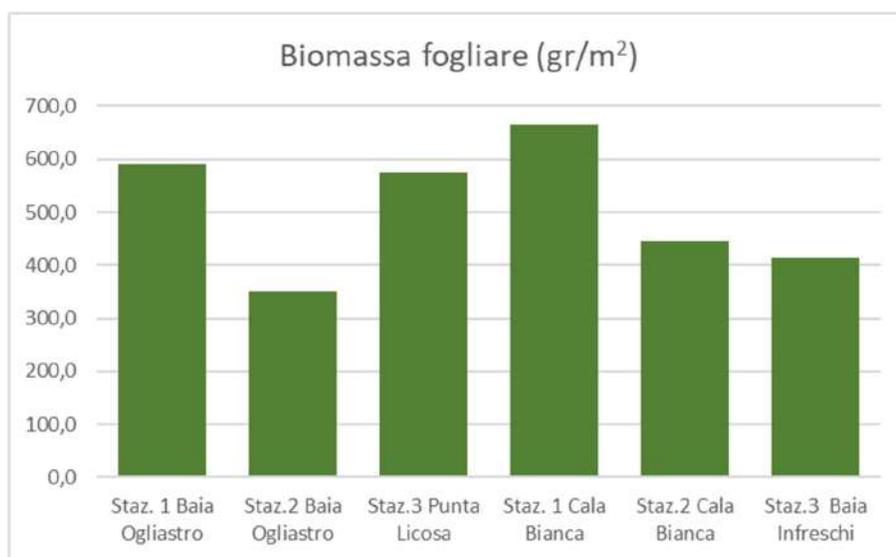


Figura 70 – Confronto biomassa fogliare (gr/m^2) nelle aree di studio del Parco Nazionale del Cilento.

Risultati stima altezza della canopy fogliare e della biomassa fogliare mediante misura diretta nel Parco Nazionale Arcipelago di La Maddalena e nel Parco Nazionale dell'Asinara

In Tabella 18 e Figura 71 e in Tabella 19 e Figura 72 sono riportati i valori medi dell'altezza della canopy e della biomassa fogliare determinati nelle aree investigate nel Parco Nazionale Arcipelago di La Maddalena e nel Parco Nazionale dell'Asinara. L'altezza maggiore della canopy fogliare è stato osservato nella stazione 3 della Maddalena (Posidonia su roccia), con un valore medio pari a 39,2 cm e nella stazione 2 della Maddalena (Posidonia su *matte-sabbia*), con un valore medio pari a 38,8 cm (Tabella 18 – Figura 71). Il valore minore dell'altezza della canopy è stato osservato nella stazione 2 Asinara, Posidonia su *matte-sabbia*, con un valore medio pari a 31,4 cm (Tabella 18 – Figura 71).

Tabella 18 – Altezza media Canopy cm misurata nelle aree di studio nel Parco Nazionale dell'Arcipelago di La Maddalena e nel Parco Nazionale dell'Asinara.

Stazione	Altezza Canopy cm (media)	Altezza Canopy cm (Dev.STD)
Stazione 1 - Maddalena	33,0	11,9
Stazione 2 - Maddalena	38,8	17,6
Stazione 3 - Maddalena	39,2	13,7
Stazione 1 Asinara	33,9	11,3
Stazione 2 Asinara	31,4	9,5
Stazione 3 Asinara	32,9	12,1

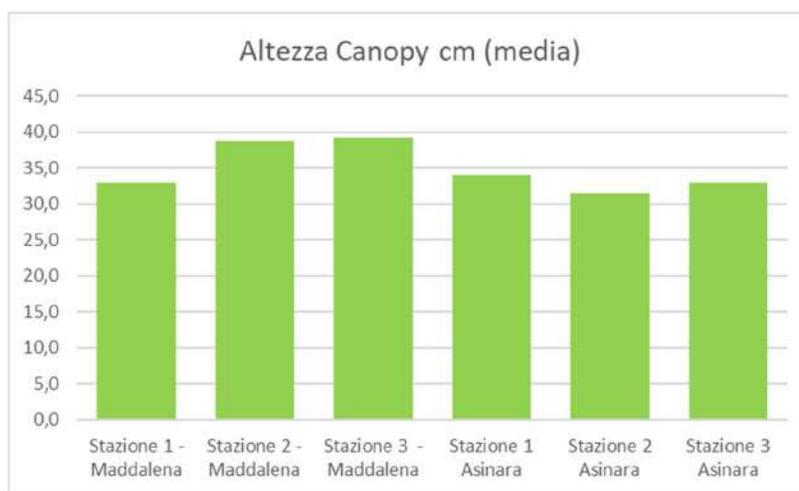


Figura 71 – Confronto altezza media (cm) canopy nelle aree di studio nel Parco dell'Arcipelago di La Maddalena e nel Parco Nazionale dell'Asinara.

I valori maggiori della biomassa fogliare (gr/m^2) sono stati osservati nella stazione 2 della Maddalena (Posidonia su *matte-sabbia*), con un valore medio pari a $209,7 \text{ gr/m}^2$ e nella stazione 3 della Maddalena (Posidonia su roccia), con un valore medio pari a $134,2 \text{ gr/m}^2$ (Tabella 19 – Figura 72). Il

valore minore della biomassa fogliare è stato osservato nella stazione 1 dell'Asinara (Posidonia degradata-*matte* morta), con un valore medio pari a 35,8 gr/m² (Tabella 19 – Figura 72).

Tabella 19 – Biomassa fogliare gr/m² misurata nelle aree di studio nel Parco dell'Arcipelago di La Maddalena e nel Parco Nazionale dell'Asinara.

Stazione	Biomassa fogliare (gr/m ²)
Stazione 1 - Maddalena	115,583375
Stazione 2 - Maddalena	209,7854
Stazione 3 - Maddalena	134,27426
Stazione 1 Asinara	35,83341667
Stazione 2 Asinara	121,0444583
Stazione 3 Asinara	83,54565333

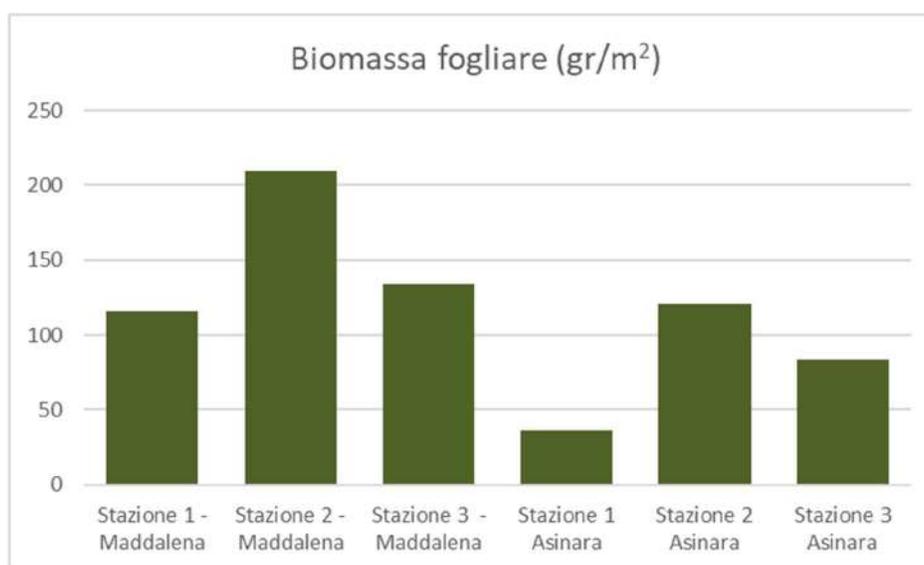


Figura 72 – Confronto biomassa fogliare gr/m² nelle aree di studio nel Parco dell'Arcipelago di La Maddalena e nel Parco Nazionale dell'Asinara.



Stima indiretta biomassa fogliare “bioacustica”

Nella presente sezione del documento si riportano le attività di rilievo svolte con il supporto dello Spin-off dell'Università della Calabria “3D Research” srl (3DR) nell'ambito del progetto *SeaForest Life*. In linea generale e con riferimento alla proposta progettuale, le attività di 3DR si sono focalizzate sul supporto all'utilizzo del veicolo autonomo di superficie dell'ISPRA denominato DEVSS (*Development Vehicle for Survey System*) per il rilievo di parametri di biomassa epigea di praterie di *Posidonia oceanica* nelle aree pilota del progetto. In particolare, le attività di rilievo hanno riguardato alcune zone delle seguenti aree:

- Area Marina Protetta di Santa Maria di Castellabate;
- Area Marina Protetta Costa degli Infreschi e della Masseta;
- Parco Nazionale dell'Asinara;
- Parco Nazionale dell'Arcipelago di La Maddalena;
- Parco Marino Regionale "Riviera dei Cedri" – Isola di Cirella come area test sperimentale per lo sviluppo di protocolli metodologici;

Materiali e metodi

[Metodologia integrata per il monitoraggio, ispezione e rilevamento su acque poco profonde](#)

In letteratura scientifica molteplici sono i metodi e gli strumenti disponibili per lo studio, il monitoraggio e la mappatura degli habitat bentonici poco profondi (< 40m). Questi si differenziano per il tipo di approccio “diversificato” e per la scala spaziale in cui possono operare. Tali metodiche prevedono in primo luogo l'impiego di metodi di ispezione e rilevamento classificabili in diretti o indiretti a seconda che essi prevedano l'intervento diretto dell'operatore in immersione oppure si avvalgono di strumenti di prospezione di vario tipo (ottici, elettroacustici etc.). Entrambe le categorie consentono di elaborare cartografie tematiche, più o meno accurate, indispensabili per la gestione della zona litorale. Si pensi ad esempio al telerilevamento da satellite, ormai adoperato da anni per mappare con efficacia la distribuzione spaziale delle praterie di *P. oceanica*.

Poiché queste differenti tecniche di rilievo possiedono caratteristiche molto differenti in termini di risoluzione spaziale, tipologia d'informazione, diversità interpretativa, il lavoro svolto nell'ambito del presente progetto ha avuto come obiettivo quello di valutare la possibilità di poter integrare le differenti sorgenti di dati al fine di generare cartografie che risultano essere più accurate, precise e

con maggiori contenuti informativi rispetto allo stato dell'arte. Questo processo, denominato di *data fusion*, è divenuto oramai una prassi nel campo ingegneristico quale soluzione per ottenere un'informazione più robusta e accurata rispetto a quella ottenibile adoperando una singola sorgente dati. Le principali tecniche di rilievo marino richiedono molto spesso mezzi imponenti ed onerosi; vengono perciò impiegate esclusivamente per programmi di ricerca impegnativi. Con la comparsa degli Aeromobili a Pilotaggio Remoto (APR) e dei Veicoli Autonomi di Superficie (ASVs – *Autonomous Surface Vehicles*), opportunamente equipaggiati con sensori ottici multispettrali e/o acustici, si è aperta una nuova frontiera applicativa riguardo il monitoraggio dell'ambiente marino costiero basato sul telerilevamento di prossimità o a bassa quota, soprattutto in aree ritenute critiche (LARS, *Low Altitude Remote Sensing*). In effetti, la metodologia di rilievo che può essere attuata impiegando tali sistemi risulta di facile applicazione consentendo di poter mappare in maniera speditiva e con un'elevata risoluzione spaziale, tematica e temporale, gli habitat marino costieri e le eco-morfosi delle comunità bentoniche presenti nelle acque poco profonde. L'uso combinato di tecniche di *data fusion* e sistemi per il rilievo basati sull'utilizzo di APR e ASV rappresenta dunque un nuovo ed efficace approccio metodologico per mappare e cartografare, in tempi estremamente rapidi, gli habitat marino costieri e un potente ed economico sistema di controllo per il monitoraggio ambientale a breve e lungo periodo.

Drone marino di superficie (ASV) per rilievo acustico su basso fondale

Nell'ambito del suddetto progetto, il veicolo autonomo di superficie DEVSS (*DEvelopment Vehicle for Scientific Survey*) in dotazione all'ISPRA, è stato impiegato per le acquisizioni acustiche nelle aree pilota (Figura 73).



Figura 73 - Veicolo Autonomo di Superficie DEVSS

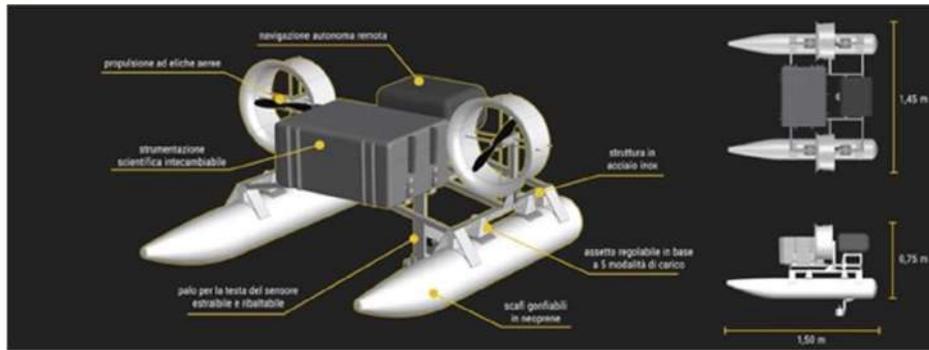


Figura 74 - Veicolo Autonomo di Superficie DEVSS



Tabella 20 – Caratteristiche veicolo DEVSS

<i>Dimensione di ingombro</i>	1,40 x 1,20 mt (HxL)
<i>Pescaggio</i>	Pochi centimetri, assenza di eliche immerse e di timoni (adatti ad operare anche in acque molto basse e in presenza di formazioni algali)
<i>PayLoad</i>	Valigia Ermetica removibile: <ul style="list-style-type: none">• volume interno: 53L• carico massimo supportabile: 10Kg
<i>Modalità di navigazione</i>	Totalmente autonoma o a controllo remoto (modo backup)
<i>Propulsione</i>	Motori brushless da 800W equipaggiati con eliche da 12"
<i>Sistema di controllo</i>	Pixhawk PX4 autopilot composto da: <ul style="list-style-type: none">• Telemetria MAVLink 433Mhz• GPS module con bussola elettronica• Radio control RC 2.4 Ghz• Real-time navigation control• Mission planning software
<i>Operational Area</i>	500 mt
<i>Scafi</i>	Gonfiabili realizzati in Neoprene
<i>Alimentazione</i>	Batteria Lipo 14.6V 32A con sistema di ricarica AC
<i>Struttura</i>	Struttura tubolare in acciaio inox 304 Predisposizione per il collegamento di dispositivi aggiuntivi (multi-beam, fotocamera, scanner, sonar, dvl, etc)

Al fine di soddisfare le esigenze di progetto, l'ASV è stato equipaggiato con la seguente strumentazione:

Side Scan Sonar Lowrance HDS-7 Carbon

	<table> <tr> <td>Frequenze ecoscandaglio</td> <td>455/800 kHz (StructureScan® 3D/HD), 40-60kHz, 85-145kHz, 130-210kHz (CHIRP), 50 kHz/83kHz/200kHz (Narrow Band)</td> </tr> <tr> <td>Max Profondità Sonar Ecoscandaglio [m]</td> <td>1524</td> </tr> <tr> <td>Allarme di Minima</td> <td>Yes</td> </tr> <tr> <td>Caratteristiche Standard</td> <td>Yes</td> </tr> <tr> <td>Ricerca Pesce:</td> <td>COLORLINE™ o GRAYLINE®, ASP™, FishSymbol I.D.™,</td> </tr> <tr> <td>Lecture Temperatura</td> <td>Yes</td> </tr> <tr> <td>Tipo Trasduttore</td> <td>Multiple selections Lowrance and Airmar®</td> </tr> </table>	Frequenze ecoscandaglio	455/800 kHz (StructureScan® 3D/HD), 40-60kHz, 85-145kHz, 130-210kHz (CHIRP), 50 kHz/83kHz/200kHz (Narrow Band)	Max Profondità Sonar Ecoscandaglio [m]	1524	Allarme di Minima	Yes	Caratteristiche Standard	Yes	Ricerca Pesce:	COLORLINE™ o GRAYLINE®, ASP™, FishSymbol I.D.™,	Lecture Temperatura	Yes	Tipo Trasduttore	Multiple selections Lowrance and Airmar®
Frequenze ecoscandaglio	455/800 kHz (StructureScan® 3D/HD), 40-60kHz, 85-145kHz, 130-210kHz (CHIRP), 50 kHz/83kHz/200kHz (Narrow Band)														
Max Profondità Sonar Ecoscandaglio [m]	1524														
Allarme di Minima	Yes														
Caratteristiche Standard	Yes														
Ricerca Pesce:	COLORLINE™ o GRAYLINE®, ASP™, FishSymbol I.D.™,														
Lecture Temperatura	Yes														
Tipo Trasduttore	Multiple selections Lowrance and Airmar®														

Biosonic MX Aquatic Habitat Echosounder

	<ul style="list-style-type: none"> • Transmit Power: 105 Watts RMS • Input power: 12-18 VDC or 85-264 VAC • Draw: 5 Watts, Fuses: 1 Amp AC 1.5 Amp DC • Transmit source level: 213 dB re 1uPa • Pulse length: 0.4ms, Ping rate 5Hz • Range resolution: 1.7cm • Accuracy: 1.7cm +/- 0.2% of depth • Depth range: 0-100m • Operating condition: 0-50 °C • DGPS positional accuracy: <3m, 95% typical • DGPS velocity accuracy: 0.1 knot RMS • DGPS update rate: 1sec • RS232 (GPS in/out)
---	---

GoPro Hero 4 Black

	<ul style="list-style-type: none">• Sensore: CMOS – 12Mp• Chip: f2.8 – 170°• Max risoluzione: 4K – 30fps• Batteria: Li-Ion 1180 mAh• Formato video: H.264/MP4
---	---

Ricevitore satellitare Ublox NEO-M8T GPS + HMC5983 Magnetometer breakout board

	<ul style="list-style-type: none">• Patch antenna (GPS + GLONASS + BEIDOU + Galileo)• Power supply: 3.3V or 5V• Filter on power supply lines• EMI Shielding• Dimensions: 80*80mm
--	--

L'architettura hardware del sistema di acquisizione installato a bordo dell'ASV si compone di una sezione subacquea costituita da una camera posizionata in modo tale da acquisire immagini zenitali del fondale sottostante (GoPro Hero 4), un side scan sonar (Lowrance HDS-7 Carbon) e un Echosounder singlebeam (Biosonics). La sezione subacquea è stata integrata nell'ASV mediante il contenitore OrangeKit in dotazione al veicolo, come si evince dall'immagine in Figura 75. Per garantire l'operatività della strumentazione da remoto, l'OrangeKit è stata inoltre fornita di un'antenna WiFi a 5Ghz ad alto raggio d'azione (> 1000 m) e di un micro PC LattePanda 2G/32 sul quale sono stati installati i software di controllo per la strumentazione (Biosonics, SSS e GoPro). I trasduttori del Biosonics e del SSS, così come la camera, sono stati collegati al palo d'immersione dell'ASV, come si evince dalla 75.

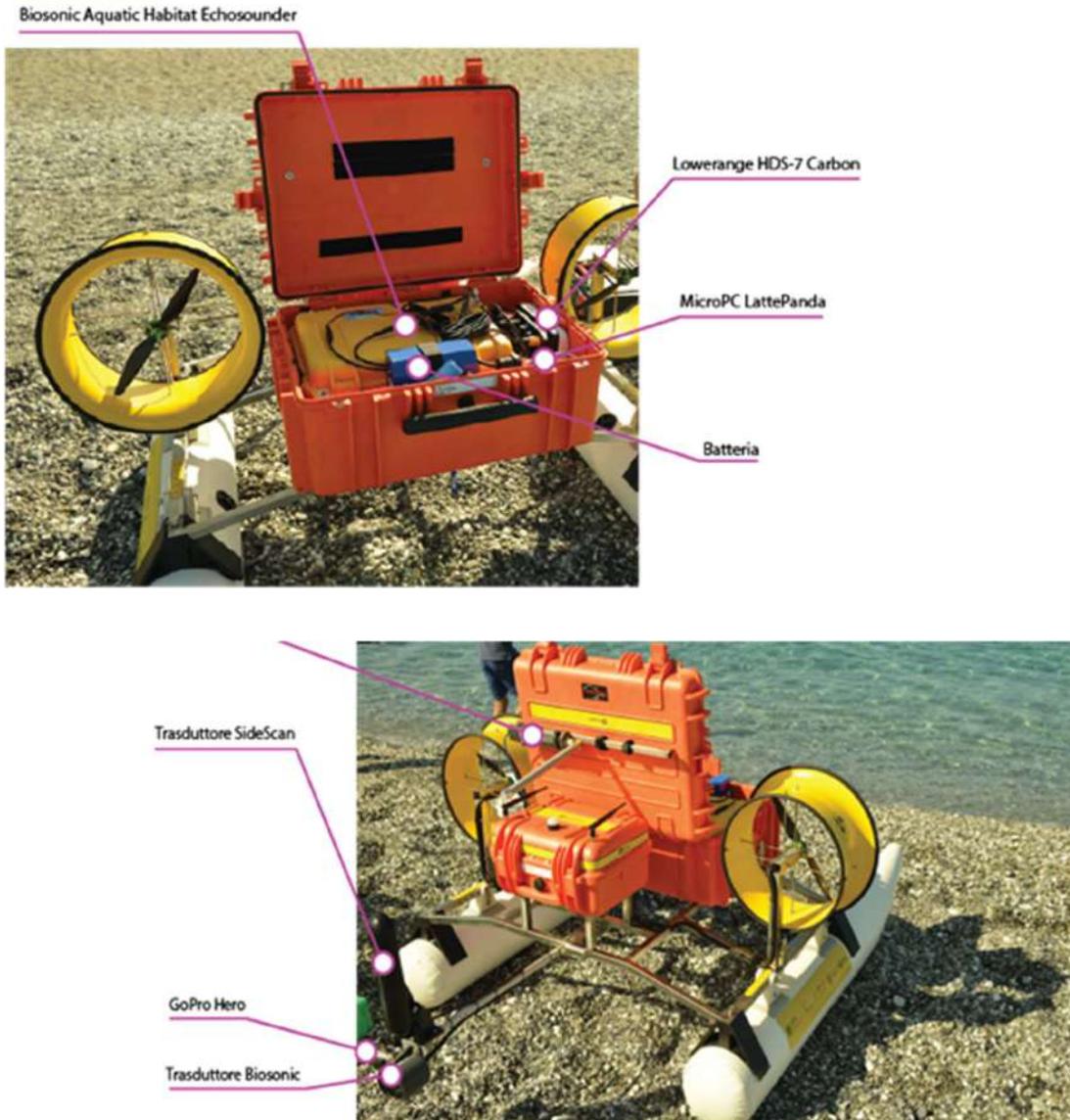


Figura 75- Allestimento OrangeKit per ASV DEVSS

La sezione di controllo del veicolo è costituita da una piattaforma inerziale (ricevitore satellitare + IMU) che fornisce i dati di orientamento e posizione (yaw, pitch e roll, latitudine e longitudine) del veicolo rispetto al fondale, e da una consolle di controllo per la gestione del sistema e l'archiviazione dei dati acquisiti. Il sistema di acquisizione utilizza il segnale di temporizzazione PPS fornito dal ricevitore satellitare per acquisire in maniera sincrona i dati provenienti dal sensore IMU, dal Biosonics Echosounder, dal SideScan Sonar, e quelli di posizione forniti dal ricevitore satellitare stesso. La camera è invece sincronizzata con il segnale PPS satellitare fornito dal ricevitore attraverso l'utilizzo di un'apposita interfaccia hardware/software con la consolle di controllo. Grazie a questa sincronizzazione temporale tra i diversi sensori che costituiscono il sistema di acquisizione,

il tracciato GPS (corredato dai dati di orientamento) relativo alle aree acquisite viene associato automaticamente ai dati acustici così come ai dati EXIF delle immagini acquisite con la camera. Quest'ultima funzionalità è stata implementata realizzando un apposito software che riceve in input i dati di log dei vari sensori (IMU, ricevitore satellitare e Biosonics Echosounder) e fornisce in output un file di testo in formato CSV in cui ogni immagine del dataset acquisito è corredata dai dati di posizione e di orientamento del sistema nell'istante in cui la stessa è stata acquisita. In particolare, i dati acquisiti dal ricevitore satellitare ci consentono di definire longitudine e latitudine, quelli acquisiti dall'Echosounder l'altitudine rispetto al fondale, mentre l'IMU fornisce i dati di yaw, pitch e roll. L'adozione di questa soluzione tecnologica è stata attuata in quanto consente di poter "integrare" i dati acquisiti sia su base "spaziale" che "temporale" ed ottimizzare, allo stesso tempo, le prestazioni, in termini di accuratezza e capacità di elaborazione, delle tecniche fotogrammetriche impiegate per la generazione delle nuvole di punti 3D del fondale marino e degli ortomosaici RGB georeferenziati.

Dipendentemente dal tipo di rilievo da effettuare, il software Mission Planning è utilizzato per la generazione della griglia attraverso la quale determinare la rotta che dovrà percorrere il drone marino di superficie durante l'acquisizione dei vari transetti (Figura76).



Figura 76 – Veicolo ASV DEVSS con rappresentazione della griglia delle rotte dei vari transetti.

Attività di rilievo nei siti pilota

Rilievo acustico nell'Area Marina Protetta di Santa Maria di Castellabate

La campagna di rilievo presso l'Area Marina Protetta di Santa Maria di Castellabate ha riguardato il tratto di mare costiero a ridosso della città di Castellabate. Questa area è caratterizzata dalla presenza di una estesa prateria di *Posidonia oceanica* ad una profondità compresa tra i 2 e i 10 metri. In totale sono state individuate tre aree all'interno delle quali sono state condotte le acquisizioni acustiche e ottiche con il veicolo di superficie ASVs DEVSS. In Figura 77 sono evidenziate le aree di indagine.

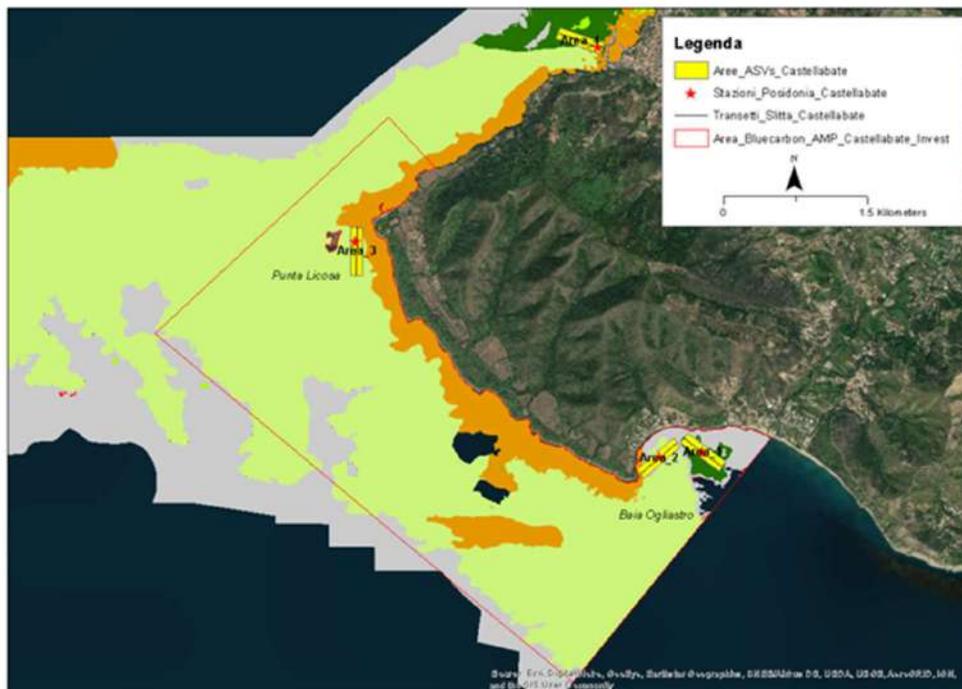


Figura 77 - Mappa generale dell'Area Marina Protetta Santa Maria di Castellabate e ubicazione delle aree di indagine.

Per quanto riguarda la pianificazione del rilievo di ogni area, e dunque le rotte dell'ASV, sono state dimensionate per un'acquisizione di tipo acustico. In particolare, il dimensionamento dei transetti è stato calcolato in relazione al campo di indagine del Side Scan Sonar, che garantisce un'apertura di campo acustico di circa 15 metri per lato considerando un fondale medio di circa 5-6 metri.

Area 1

La prima area di indagine ha una superficie di circa 72.450 m² (210 m x 345 m) ed è collocata all'interno della Baia di Ogiastro (Figura 78).



Figura 78 - Pianificazione rotte per l'ASV dell'area 1 nell' dell'Area Marina Protetta Santa Maria di Castellabate.

Con i parametri definiti in precedenza, la copertura della superficie per l'area 1 è stata ottenuta con 10 transetti da 345 m in direzione nord-est-sud-ovest, distanziati ognuno di 15 metri (Figura 78).

Nella tabella seguente si riportano le principali informazioni relative al rilievo effettuato.



Single Beam Echosounder (Biosonics)	
Par. single beam	204.8 kHz – 8.5° Single
N. Ping	14186
N. Punti	1419
Formato dati	DT4
SideScan Sonar (Lowrance HDS-7 Carbon)	
Freq. trasduttore	455 kHz
N. Ping	6798
Tempo acquisizione	01:21:02
Formato dati	SL3
Veloc. Media (Stimata)	1.3 kts
Camera ottica (GoPro Hero 4 black)	
Risol. immagine	4000 x 3000 pix
No immagini	2896
Formato dati	JPEG
Dim. dataset	6.10 GB

Area 2

La seconda area di indagine ha una superficie di circa 43.561 m² (127 m x 343 m) ed è collocata all'interno della Baia Ogliastro (Figura 79).

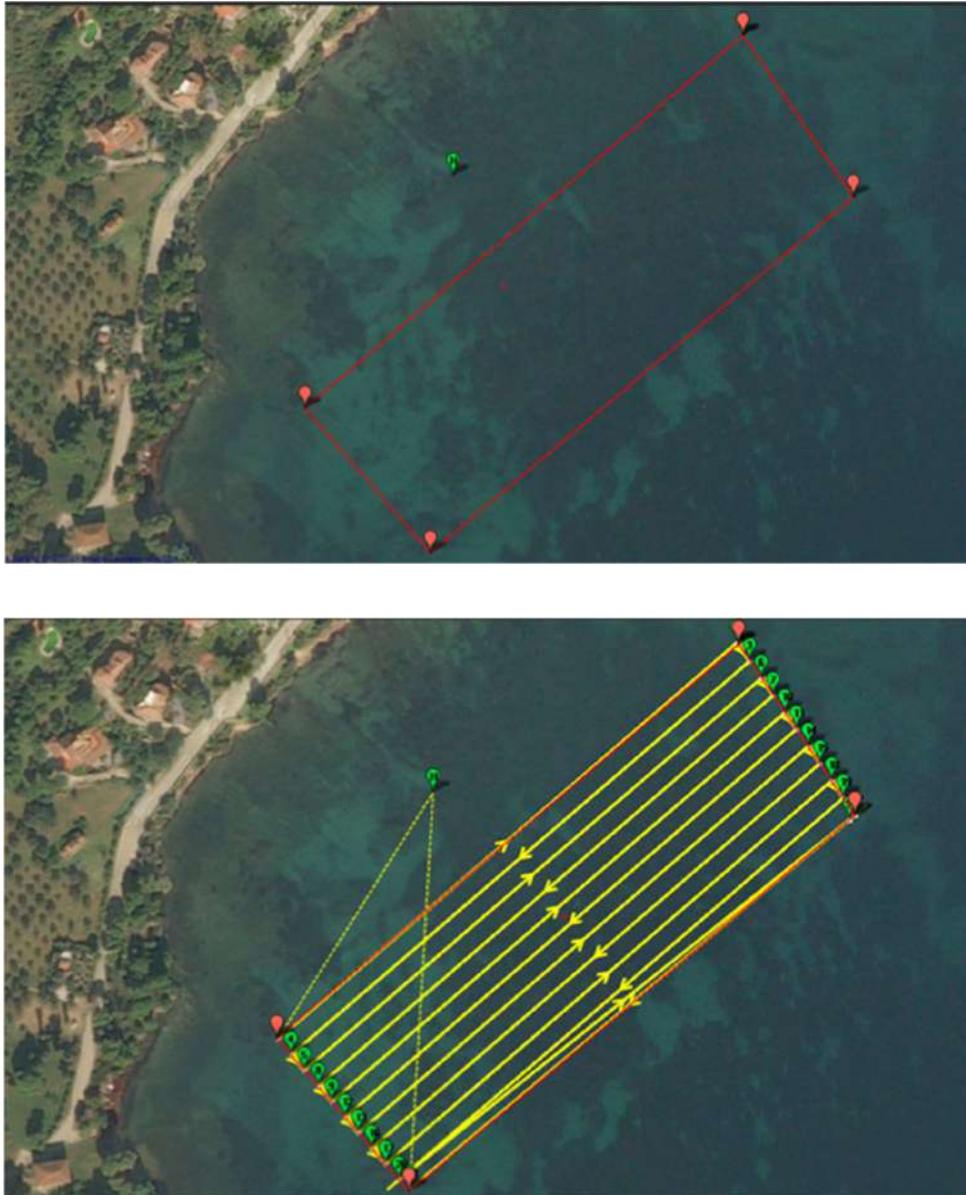


Figura 79- Pianificazione rotte per l'ASV dell'area 2

Con i parametri definiti in precedenza, la copertura della superficie per l'area 2 è stata ottenuta con 11 transetti da 343 m in direzione nord-est-sud-ovest, distanziati ognuno di 12 metri. Nella tabella seguente si riportano le principali informazioni relative al rilievo effettuato.



Single Beam Echosounder (Biosonics)	
Par. single beam	204.8 kHz – 8.5° Single
N. Ping	13482
N. Punti	1201
Formato dati	DT4
SideScan Sonar (Lowrance HDS-7 Carbon)	
Freq. trasduttore	455 kHz
N. Ping	5924
Tempo acquisizione	01:08:56
Formato dati	SL3
Veloc. Media (Stimata)	1.24 kts
Camera ottica (GoPro Hero 4 black)	
Risol. immagine	4000 x 3000 pix
No immagini	2166
Formato dati	JPEG
Dim. dataset	4.47 Gb

Area 3

La terza area di indagine ha una superficie di circa 35.670 m² (123 m x 290 m) ed è collocata a Punta Licosa (Figura 80).

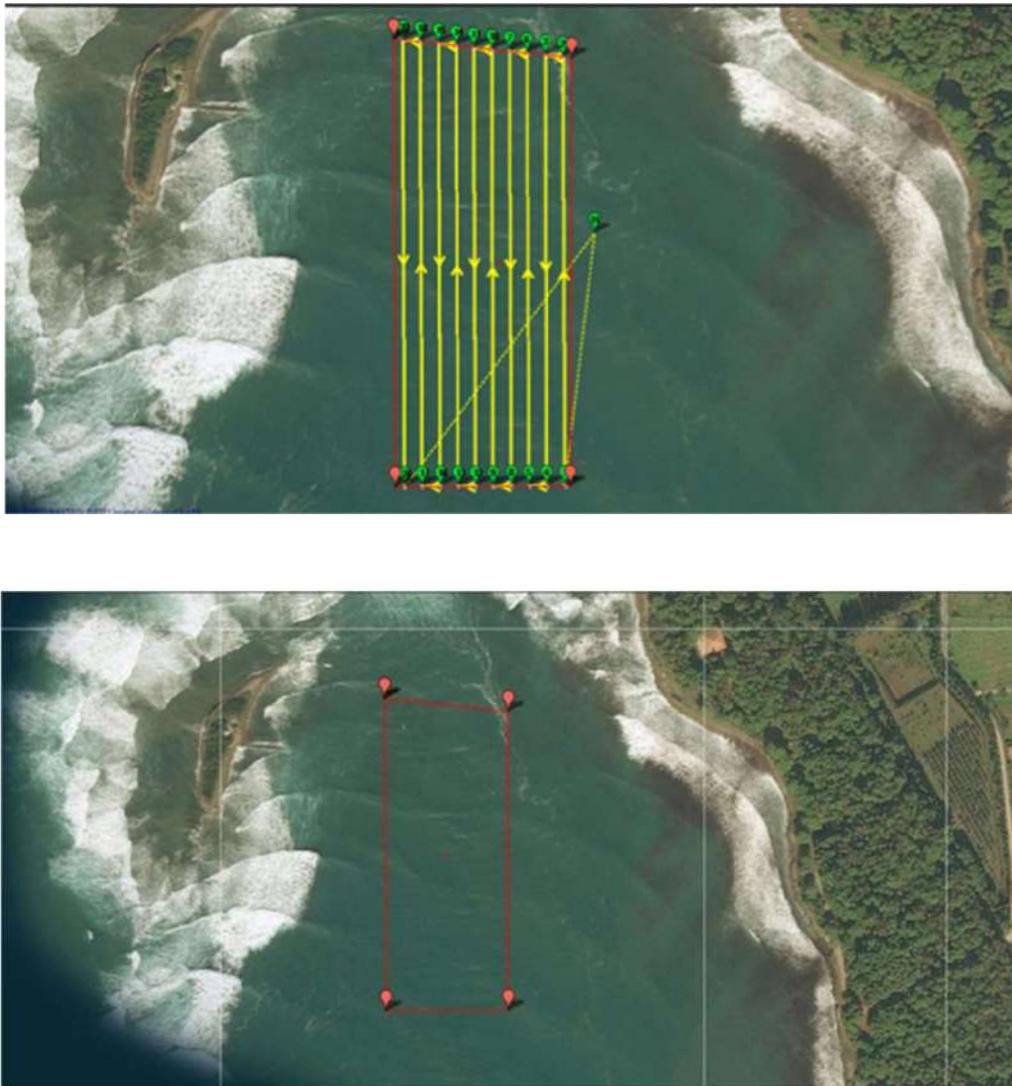


Figura 80 - Pianificazione rotte per l'ASV dell'Area 3.

Con i parametri definiti in precedenza, la copertura della superficie per l'area 3 è stata ottenuta con 10 transetti da 345 m in direzione nord-est-sud-ovest, distanziati ognuno di 15 metri.

Nella tabella seguente si riportano le principali informazioni relative al rilievo effettuato.



Single Beam Echosounder (Biosonics)	
Par. single beam	204.8 kHz – 8.5° Single
N. Ping	15676
N. Punti	1645
Formato dati	DT4
SideScan Sonar (Lowrance HDS-7 Carbon)	
Freq. trasduttore	455 kHz
N. Ping	3119
Tempo acquisizione	00:47:24
Formato dati	SL3
Veloc. Media (Stimata)	1.32 kts
Camera ottica (GoPro Hero 4 black)	
Risol. immagine	4000 x 3000 pix
No immagini	2407
Formato dati	JPEG
Dim. dataset	5.57 Gb

Rilievo acustico nell'Area Marina Protetta Costa degli Infreschi e della Masseta

La campagna di rilievo presso l'Area Marina Protetta Costa degli Infreschi e della Masseta ha riguardato il tratto di mare costiero in cui la presenza della *Posidonia oceanica* è compresa a profondità tra i 5 e i 15 metri. In totale sono state individuate tre aree all'interno delle quali sono state condotte le acquisizioni acustiche e ottiche con il veicolo di superficie ASVs DEVSS. In Figura 81 sono evidenziate le aree di indagine.

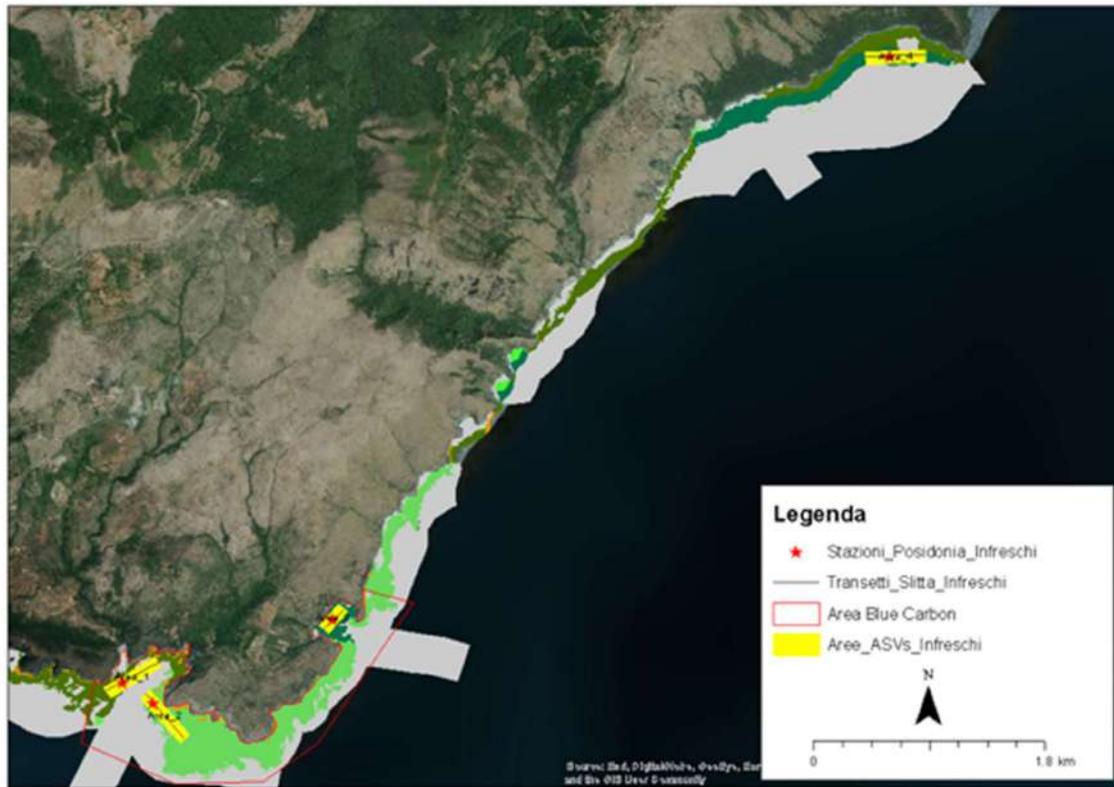


Figura 81 - Mappa generale dell'Area Marina Protetta Santa Maria di Castellabate e ubicazione delle aree di indagine.

Per quanto riguarda la pianificazione del rilievo di ogni area, così come definito in precedenza sono stati dimensionati dei transetti distanti ognuno circa 15 metri.

Area 1

La prima area di indagine ha una superficie di circa 32.412 m² (111 m x 292 m) ed è collocata all'interno di Cala Bianca (Figura 82).



Figura 82 - Pianificazione rotte per l'ASV dell'Area 1.

Con i parametri definiti in precedenza, la copertura della superficie per l'area 1 è stata ottenuta con 8 transetti da 292 m in direzione nord-est-sud-ovest, distanziati ognuno di 13 metri.

Nella tabella seguente si riportano le principali informazioni relative al rilievo effettuato.



Single Beam Echosounder (Biosonics)	
Par. single beam	204.8 kHz – 8.5° Single
N. Ping	12754
N. Punti	1389
Formato dati	DT4
SideScan Sonar (Lowrance HDS-7 Carbon)	
Freq. trasduttore	455 kHz
N. Ping	4173
Tempo acquisizione	00:49:25
Formato dati	SL3
Veloc. Media (Stimata)	1.35 kts

Area 2

L'area di indagine ha una superficie di circa 25.856 m² (101 m x 256 m) ed è collocata all'esterno di Cala Bianca (Figura 83).

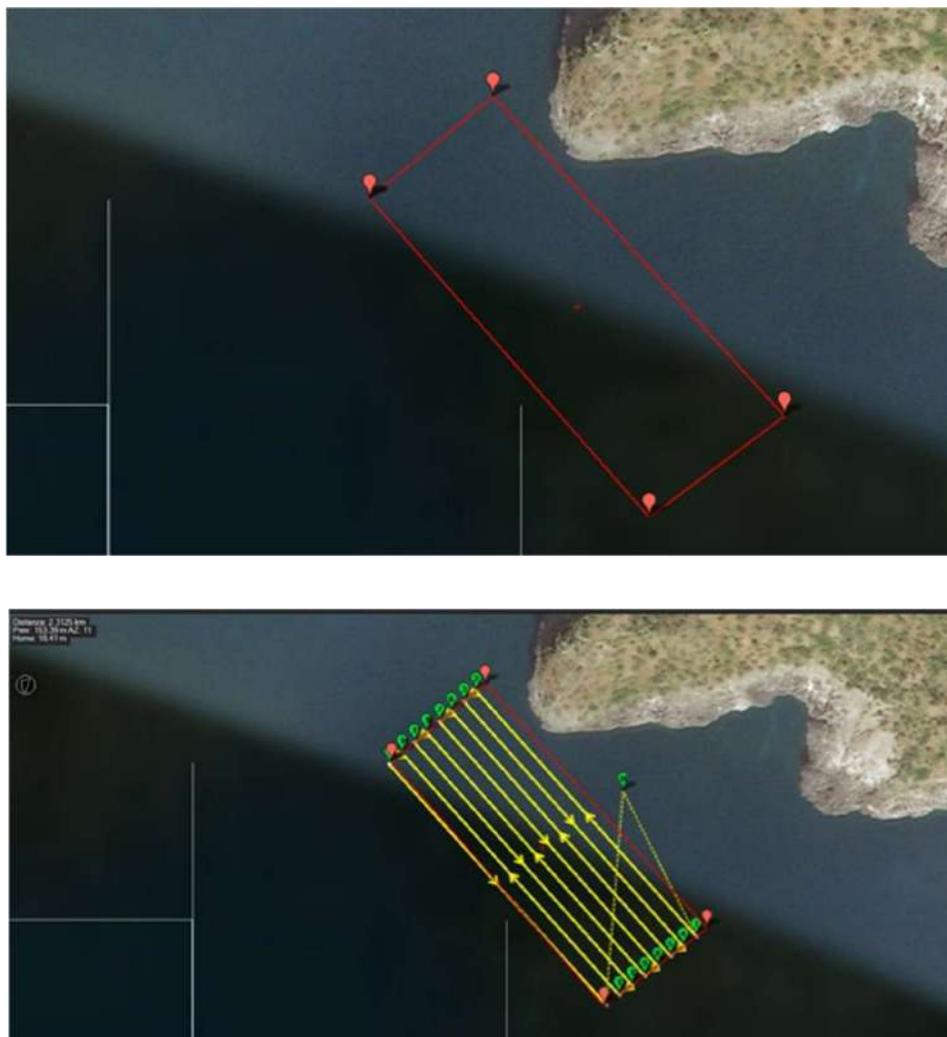


Figura 83- Pianificazione rotte per l'ASV dell'Area 2.

Con i parametri definiti in precedenza, la copertura della superficie per l'area 2 è stata ottenuta con 8 transetti da 256 m in direzione nord-est-sud-ovest, distanziati ognuno di 14 metri.

Nella tabella seguente si riportano le principali informazioni relative al rilievo effettuato.



Single Beam Echosounder (Biosonics)	
Par. single beam	204.8 kHz – 8.5° Single
N. Ping	15002
N. Punti	1492
Formato dati	DT4
SideScan Sonar (Lowrance HDS-7 Carbon)	
Freq. trasduttore	455 kHz
N. Ping	3730
Tempo acquisizione	00:45:54
Formato dati	SL3
Veloc. Media (Stimata)	1.23 kts

Area 3

La terza area di indagine ha una superficie di circa 14.600 m² (100 m x 146 m) ed è collocata all'interno di Baia degli Infreschi (Figura 84).



Figura 84 Pianificazione rotte per l'ASV dell'Area 3.

Con i parametri definiti in precedenza, la copertura della superficie per l'area 3 è stata ottenuta con 8 transetti da 345 m in direzione nord-est-sud-ovest, distanziati ognuno di 15 metri.

Nella tabella seguente si riportano le principali informazioni relative al rilievo effettuato.



Single Beam Echosounder (Biosonics)	
Par. single beam	204.8 kHz – 8.5° Single
N. Ping	12986
N. Punti	1123
Formato dati	DT4
SideScan Sonar (Lowrance HDS-7 Carbon)	
Freq. trasduttore	455 kHz
N. Ping	24611
Tempo acquisizione	00:27:01
Formato dati	SL3
Veloc. Media (Stimata)	1.35 kts

Rilievo acustico nel Parco Nazionale dell'Arcipelago di La Maddalena

La campagna di rilievo presso il Parco Nazionale dell'Arcipelago di La Maddalena da programma aveva previsto di eseguire le acquisizioni con il veicolo ASVs nei siti di Cala Coticcio, Porto Palma e Cala Corsara (Figura 85). Tuttavia, a seguito di condizioni meteo avverse, le attività sono state condotte in due aree collocate su diversi substrati all'interno di Porto Palma (Figure 86-87).



Figura 85 Siti pianificati per i rilievi mediante il veicolo ASVs.

Area 1



Figura 86 – Rotte eseguite dal veicolo ASVs nell' Area 1 Maddalena.

Con i parametri definiti in precedenza, la copertura della superficie per l'area 1 è stata ottenuta con 5 transetti da 367 m in direzione nord-est-sud-ovest, distanziati ognuno di 20 metri.

Nella tabella seguente si riportano le principali informazioni relative al rilievo effettuato.



Single Beam Echosounder (Biosonics)	
Par. single beam	204.8 kHz – 8.5° Single
N. Ping	10226
N. Punti	929
Formato dati	DT4
SideScan Sonar (Lowrance HDS-7 Carbon)	
Freq. trasduttore	455 kHz
N. Ping	5674
Tempo acquisizione	00:46:07
Formato dati	SL3
Veloc. Media (Stimata)	1.34 kts
Camera ottica (GoPro Hero 4 black)	
Risol. immagine	4000 x 3000 pix
No immagini	2875
Formato dati	JPEG
Dim. dataset	4.43 Gb

Area 3

L'area di indagine ha una superficie di circa 34.540 m² (110 m x 314 m) ed è collocata nei pressi di Punta Rossa di fronte Isola Porco (Figura 87).

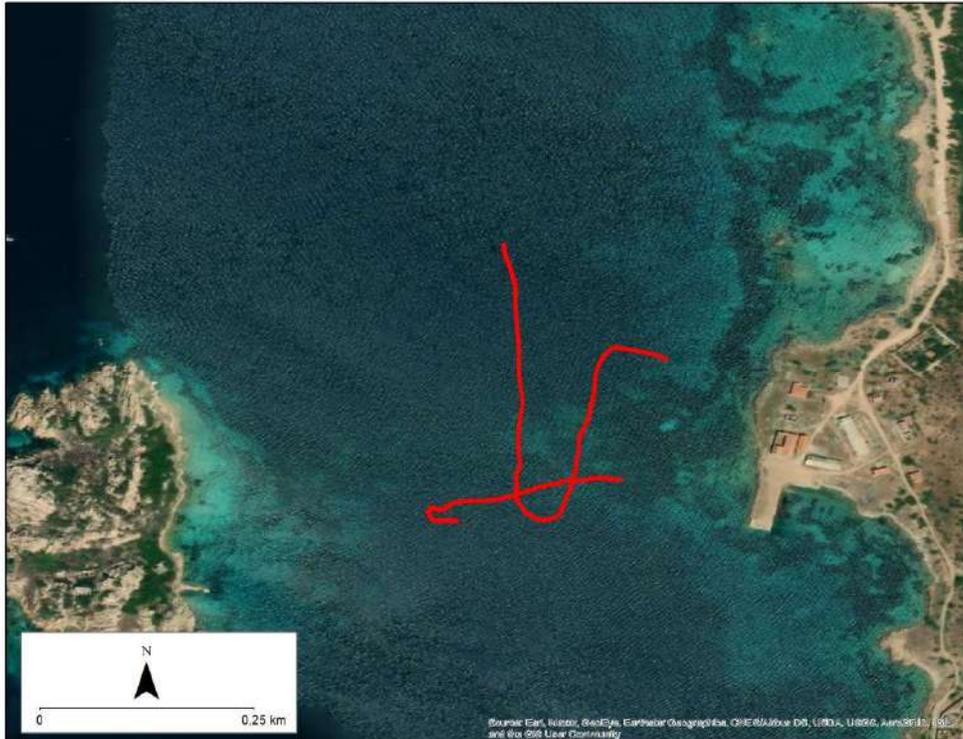


Figura 87 – Rotte eseguite dal veicolo ASVs nell'area 3 Maddalena.

Con i parametri definiti in precedenza, la copertura della superficie per l'area 2 è stata ottenuta con 6 transetti da 345 m in direzione nord-est-sud-ovest, distanziati ognuno di 18 metri

Nella tabella seguente si riportano le principali informazioni relative al rilievo effettuato.



Single Beam Echosounder (Biosonics)	
Par. single beam	204.8 kHz – 8.5° Single
N. Ping	10180
N. Punti	1093
Formato dati	DT4
SideScan Sonar (Lowrance HDS-7 Carbon)	
Freq. trasduttore	455 kHz
N. Ping	3849
Tempo acquisizione	00:45:12
Formato dati	SL3
Veloc. Media (Stimata)	1.35 kts
Camera ottica (GoPro Hero 4 black)	
Risol. immagine	4000 x 3000 pix
No immagini	2849
Formato dati	JPEG
Dim. dataset	5.56 Gb

Rilievo acustico nel Parco Nazionale dell'Asinara

La campagna di rilievo presso il Parco Nazionale dell'Asinara da programma aveva previsto di eseguire le acquisizioni con il veicolo ASVs in tre siti posti nei pressi dell'Isola Piana (Figura 88). Tuttavia, a seguito di condizioni meteo avverse, le attività sono state condotte in tre aree collocate su diversi substrati all'interno dell'Area Marina Protetta dell'Asinara (Figure 89-91).

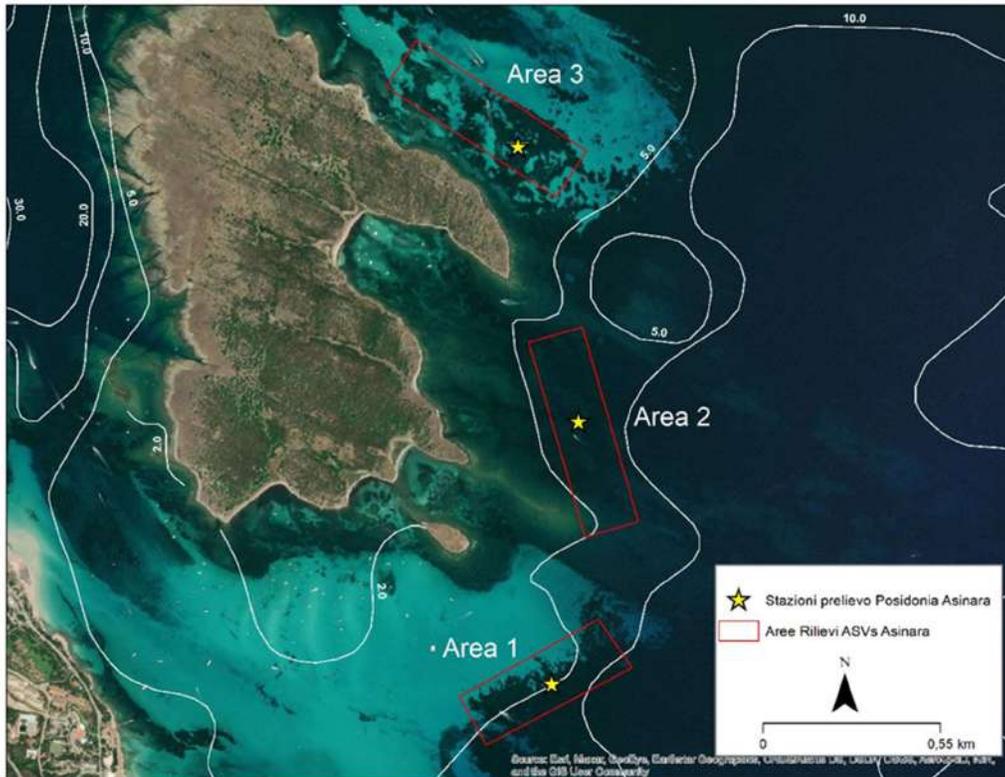


Figura 88 - Mappa generale delle aree di indagine.

La campagna di rilievo presso il Parco Nazionale dell'Asinara ha riguardato tre tratti di mare in cui la presenza della *P. oceanica* si attesta su batimetriche dai 5 ai 10 metri di profondità.

Area 1

La prima area di indagine ha una superficie di circa 72.471 m² (147 m x 493 m) ed è collocata all'interno di Cala Reale (Figura 89).



Figura 89 - Rotte eseguite dal veicolo ASVs nell' Area 1 Asinara.

Con i parametri definiti in precedenza, la copertura della superficie per l'area 1 è stata ottenuta con 8 transetti da 393 m in direzione nord-est-sud-ovest, distanziati ognuno di 13 metri.

Nella tabella seguente si riportano le principali informazioni relative al rilievo effettuato.



Single Beam Echosounder (Biosonics)	
Par. single beam	204.8 kHz – 8.5° Single
N. Ping	13923
N. Punti	1224
Formato dati	DT4
SideScan Sonar (Lowrance HDS-7 Carbon)	
Freq. trasduttore	455 kHz
N. Ping	4857
Tempo acquisizione	00:52:54
Formato dati	SL3
Veloc. Media (Stimata)	1.30 kts
Camera ottica (GoPro Hero 4 black)	
Risol. immagine	4000 x 3000 pix
No immagini	2765
Formato dati	JPEG
Dim. dataset	5.01 Gb

Area 2

La terza area di indagine ha una superficie di circa 51.984 m² (114 m x 456 m) ed è collocata nei pressi di Cala Catrafatta (Figura 90).



Figura 90 – Rotte eseguite dal veicolo ASVs nell'area 2 Asinara.

Con i parametri definiti in precedenza, la copertura della superficie per l'area 2 è stata ottenuta con 9 transetti da 345 m in direzione nord-est-sud-ovest, distanziati ognuno di 15 metri.

Nella tabella seguente si riportano le principali informazioni relative al rilievo effettuato.



Single Beam Echosounder (Biosonics)	
Par. single beam	204.8 kHz – 8.5° Single
N. Ping	15384
N. Punti	1434
Formato dati	DT4
SideScan Sonar (Lowrance HDS-7 Carbon)	
Freq. trasduttore	455 kHz
N. Ping	6894
Tempo acquisizione	01:32:02
Formato dati	SL3
Veloc. Media (Stimata)	1.35 kts
Camera ottica (GoPro Hero 4 black)	
Risol. immagine	4000 x 3000 pix
No immagini	3250
Formato dati	JPEG
Dim. dataset	6.23Gb

Area 3

La terza area di indagine ha una superficie di circa 51.084 m² (129 m x 396 m) ed è collocata a nord di Punta Li Giorri (Figura 91).



Figura 91 – Rotte eseguite dal veicolo ASVs nell’area 3 Asinara.

Con i parametri definiti in precedenza, la copertura della superficie per l’area 3 è stata ottenuta con 9 transetti da 345 m in direzione nord-est-sud-ovest, distanziati ognuno di 13 metri.

Nella tabella seguente si riportano le principali informazioni relative al rilievo effettuato



Single Beam Echosounder (Biosonics)	
Par. single beam	204.8 kHz – 8.5° Single
N. Ping	15336
N. Punti	1245
Formato dati	DT4
SideScan Sonar (Lowrance HDS-7 Carbon)	
Freq. trasduttore	455 kHz
N. Ping	6784
Tempo acquisizione	01:24:22
Formato dati	SL3
Veloc. Media (Stimata)	1.35 kts
Camera ottica (GoPro Hero 4 black)	
Risol. immagine	4000 x 3000 pix
No immagini	2783
Formato dati	JPEG
Dim. dataset	5.42 Gb

Acquisizione dati

I rilievi svolti con il veicolo di superficie DEVSS mediante il sensore Biosonics sono stati effettuati con il Software Visual Acquisition deputato all'acquisizione e alla riproduzione dei dati in tempo reale per i sistemi ecoscandaglio BioSonics DT-X e MX. Il software Visual Acquisition acquisisce simultaneamente i dati dell'ecosistema acquatico come la vegetazione acquatica, il fondo e la batimetria (Figura 92).

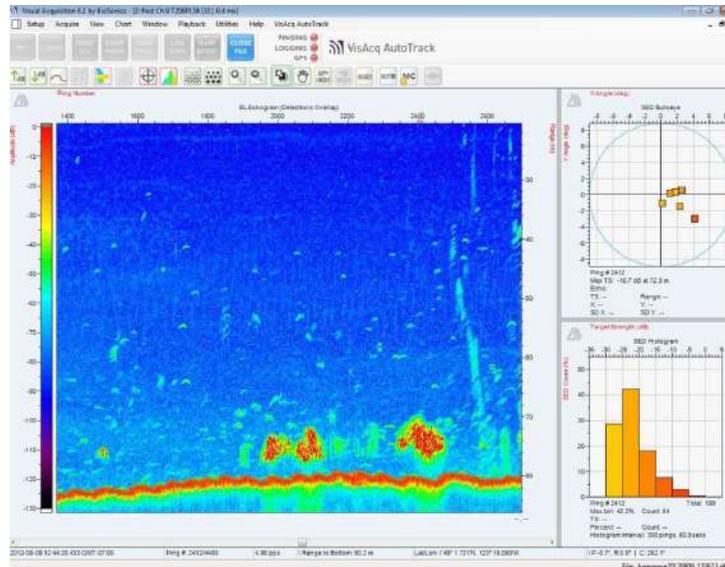


Figura 92 – Schermata software Visual Acquisition.

Le acquisizioni condotte con il *Biosonics* sono state elaborate con il software Visual Aquatic (Figura 93). Le elaborazioni condotte hanno permesso di determinare l'altezza della canopy fogliare, la % di copertura e l'identificazione delle aree di sabbia, fango, roccia e altri substrati.

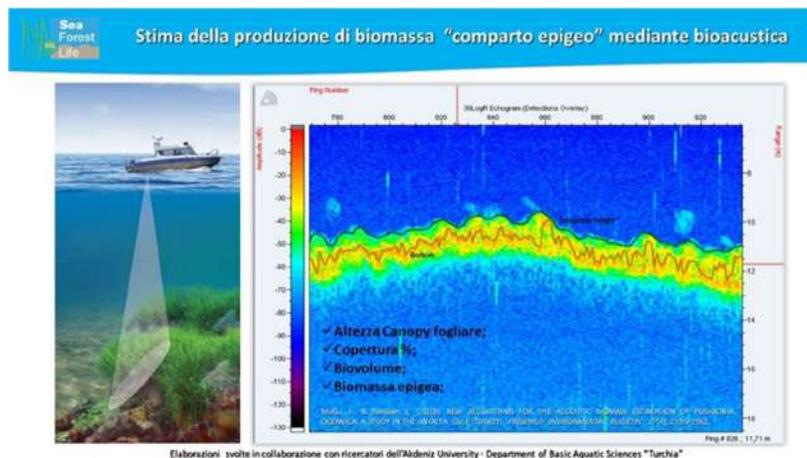


Figura 93 - Stima biomassa epigea mediante il sensore Biosonics equipaggiato sul veicolo DEVSS "Development Vehicle for Scientific Survey".



Algoritmi di elaborazione

I dati acquisiti con il sensore acustico Biosonics sono stati elaborati mediante gli algoritmi di analisi e processamento dati sviluppati dall' *Akdeniz University* (Antalya, Turchia). Le elaborazioni condotte sono state confrontate con il modello esponenziale di calcolo della biomassa epigea sviluppato da ISPRA, che si basa sull'altezza della canopy fogliare per determinare la biomassa epigea (Allegato I).

I metodi di acustica della vegetazione sono stati sviluppati sulla base di algoritmi per classificare i tipi di fondo, vale a dire OTCView, Echoplus, BioSonics VBT, e EchoView. Mentre la riflettività acustica della vegetazione acquatica è conosciuta e utilizzata per il rilevamento della vegetazione acquatica sommersa (SAV), le basi di questo fenomeno non sono ancora state stabilite. Generalmente, l'acustica della vegetazione è usata per determinare e mappare la densità e la quantità di alghe nei prati nei laghi e negli ambienti marini.

Con il supporto dell'*Akdeniz University* sono stati testati tre algoritmi per stimare la biomassa di *Posidonia oceanica*. Il primo algoritmo, denominato *SheatFinder*, converte l'energia acustica relativa alla biomassa assoluta della Posidonia, e poi mappa la distribuzione basata sulla biomassa (g/m^2) e determina l'altezza delle foglie (m).

Il secondo algoritmo adoperato è il *Visual Habitat*, mutuato dal software *Visual Aquisition BioSonics*, mentre il terzo algoritmo considerato è il *VBT Seabed Classifier* (Visual Bottom Typer 1.10). Tutti e tre gli algoritmi sono stati utilizzati per la post-elaborazione dei dati acustici e per misurare la biomassa della *Posidonia oceanica*.

Risultati stima biomassa fogliare mediante misura indiretta nel Parco Nazionale del Cilento, Vallo di Diano e Alburni

Algoritmo di elaborazione Visual Habitat

Le indagini con il veicolo di superficie DEVSS e il sensore Biosonics MX Aquatic, hanno permesso di determinare la biomassa delle praterie in gr/m^2 . In Tabella 21 e Figura 94 sono riportati i valori della biomassa fogliare gr/m^2 determinati con l'algoritmo Visual Habitat rispettivamente nell'Area Marina Protetta Santa Maria di Castellabate e nell'Area Marina Protetta Costa degli Infreschi e della Masseta. I valori maggiori della biomassa fogliare (gr/m^2) sono stati osservati nella stazione 1 Cala Bianca (*Posidonia oceanica* su *matte* e/o sabbia), con un valore medio pari a $388,6 \text{ gr/m}^2$ e nella stazione 3 Baia Infreschi (*Posidonia* degradata-*matte* morta), con un valore medio pari a $368,55 \text{ gr/m}^2$ (Tabella 21 – Figura 94). Il valore minore della biomassa fogliare è stato osservato nella stazione 2 Baia Ogliastro (*P. oceanica* su roccia), con un valore medio pari a $201,3 \text{ gr/m}^2$ e nella stazione 3 Punta Licosa (*Posidonia* degradata-*matte* morta), con un valore medio pari a $214,4 \text{ gr/m}^2$ (Tabella 21 – Figura 94).

Tabella 21 – Biomassa fogliare (gr/m^2) misurata nelle aree di studio del Parco Nazionale del Cilento.

	Biomassa fogliare (gr/m^2)	Biomassa fogliare(Dev.STD)
Staz. 1 Baia Ogliastro	295,61	132,62
Staz.2 Baia Ogliastro	201,36	126,04
Staz.3 Punta Licosa	214,48	113,00
Staz. 1 Cala Bianca	388,60	155,48
Staz.2 Cala Bianca	248,47	161,96
Staz.3 Baia Infreschi	368,55	88,43

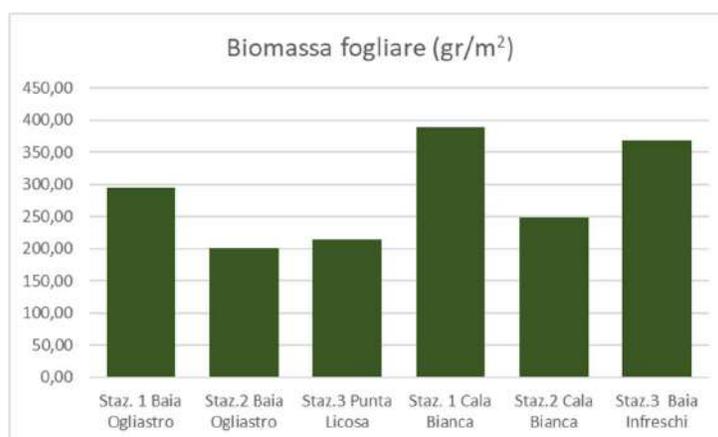


Figura 94 – Confronto biomassa fogliare nelle aree di studio del Parco Nazionale del Cilento.

Algoritmo di elaborazione VBT

In Tabella 22 e Figura 95 e sono riportati i valori della biomassa fogliare determinati con l'algoritmo VBT nell'Area Marina Protetta Santa Maria di Castellabate e nell' Area Marina Protetta Costa degli Infreschi e della Massetta. I valori maggiori della biomassa fogliare (gr/m^2) sono stati osservati nella stazione 2 Cala Bianca (*P. oceanica* su roccia), con un valore medio pari a $638,5 \text{ gr}/\text{m}^2$ e nella stazione 1 Cala Bianca (*P. oceanica* su *matte* e/o sabbia), con un valore medio pari a $603,3 \text{ gr}/\text{m}^2$ (Tabella 22 – Figura 95). Il valore minore della biomassa fogliare è stato osservato nella stazione 1 Baia Ogliastro (*P. oceanica* su *matte* e/o sabbia), con un valore medio pari a $387,82 \text{ gr}/\text{m}^2$ e nella stazione 2 Baia Ogliastro (*P. oceanica* su roccia), con un valore medio pari a $387,8 \text{ gr}/\text{m}^2$ (Tabella 22 – Figura 95).

Tabella 22 – Biomassa fogliare (gr/m^2) misurata nelle aree di studio del Parco Nazionale del Cilento.

	Biomassa fogliare (gr/m^2)	Biomassa fogliare(Dev.STD)
Staz. 1 Baia Ogliastro	387,82	139,84
Staz.2 Baia Ogliastro	486,32	156,46
Staz.3 Punta Licosa	525,07	137,26
Staz. 1 Cala Bianca	603,34	100,44
Staz.2 Cala Bianca	638,59	118,30
Staz.3 Baia Infreschi	530,66	70,68

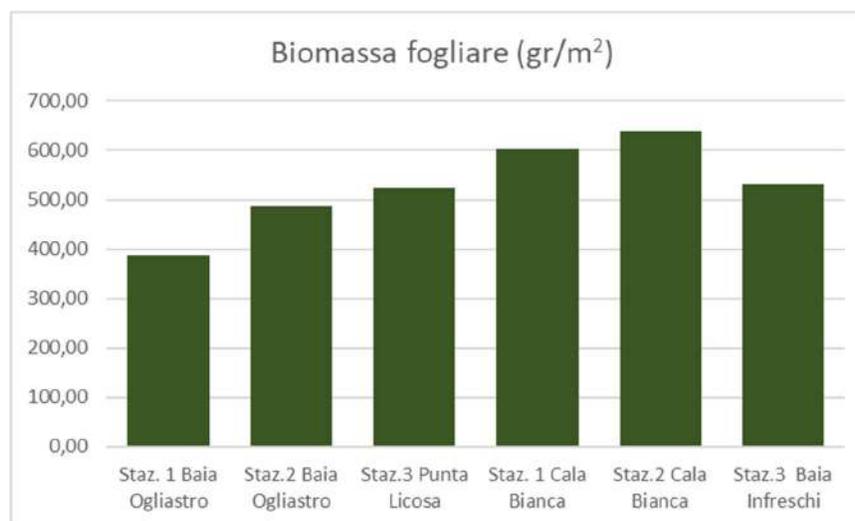


Figura 95 – Confronto biomassa fogliare nelle aree di studio del Parco Nazionale del Cilento.

Algoritmo modello esponenziale

In Tabella 23 e Figura 96 e sono riportati i valori della biomassa fogliare determinati con l'equazione allometrica del modello esponenziale sviluppato da ISPRA nell'Area Marina Protetta Santa Maria di Castellabate e nell' Area Marina Protetta Costa degli Infreschi e della Masseta. I valori maggiori della biomassa fogliare (gr/m^2) sono stati osservati nella stazione 1 Cala Bianca (*P. oceanica* su *matte* e/o sabbia), con un valore medio pari a $299,1 \text{ gr}/\text{m}^2$ e nella stazione 3 Baia degli Infreschi (*Posidonia* degradata-*matte* morta), con un valore medio pari a $279,7 \text{ gr}/\text{m}^2$ (Tabella 23 – Figura 96). Il valore minore della biomassa fogliare è stato osservato nella stazione 3 Punta Licosa (*Posidonia* degradata-*matte* morta), con un valore medio pari a $155,4 \text{ gr}/\text{m}^2$ e nella stazione 2 Baia Ogliastro (*P. oceanica* su roccia), con un valore medio pari a $155,4 \text{ gr}/\text{m}^2$ (Tabella 23 – Figura 96).

Tabella 23 – Biomassa fogliare (gr/m^2) misurata nelle aree di studio del Parco Nazionale del Cilento.

	Biomassa fogliare (gr/m^2)	Biomassa fogliare(Dev.STD)
Staz. 1 Baia Ogliastro	217,2	109,0
Staz.2 Baia Ogliastro	159,3	91,5
Staz.3 Punta Licosa	155,4	79,8
Staz. 1 Cala Bianca	299,1	97,2
Staz.2 Cala Bianca	202,5	108,6
Staz.3 Baia Infreschi	279,7	59,8

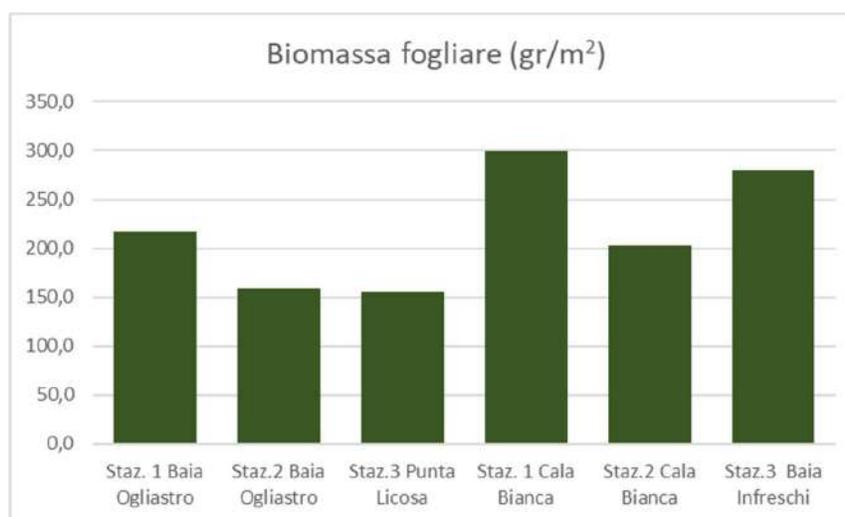


Figura 96 – Confronto biomassa fogliare nelle aree di studio del Parco Nazionale del Cilento.

In Figura 97 sono riportate le comparazioni tra i valori della biomassa fogliare determinati con gli algoritmi Visual Habitat, VBT, modello esponenziale e la misura diretta determinata in laboratorio nelle AMP Santa Maria di Castellabate e Costa degli Infreschi e della Masseta. La comparazione tra gli algoritmi mostra valori tendenzialmente simili, in tutti siti campionati tra la misurazione indiretta con il modello esponenziale e l'algoritmo Biosonics Visual Habitat (Figura 97). La misura diretta e l'algoritmo Biosonics VBT tenderebbero entrambe a rappresentare valori elevati di biomassa (Figura 97).

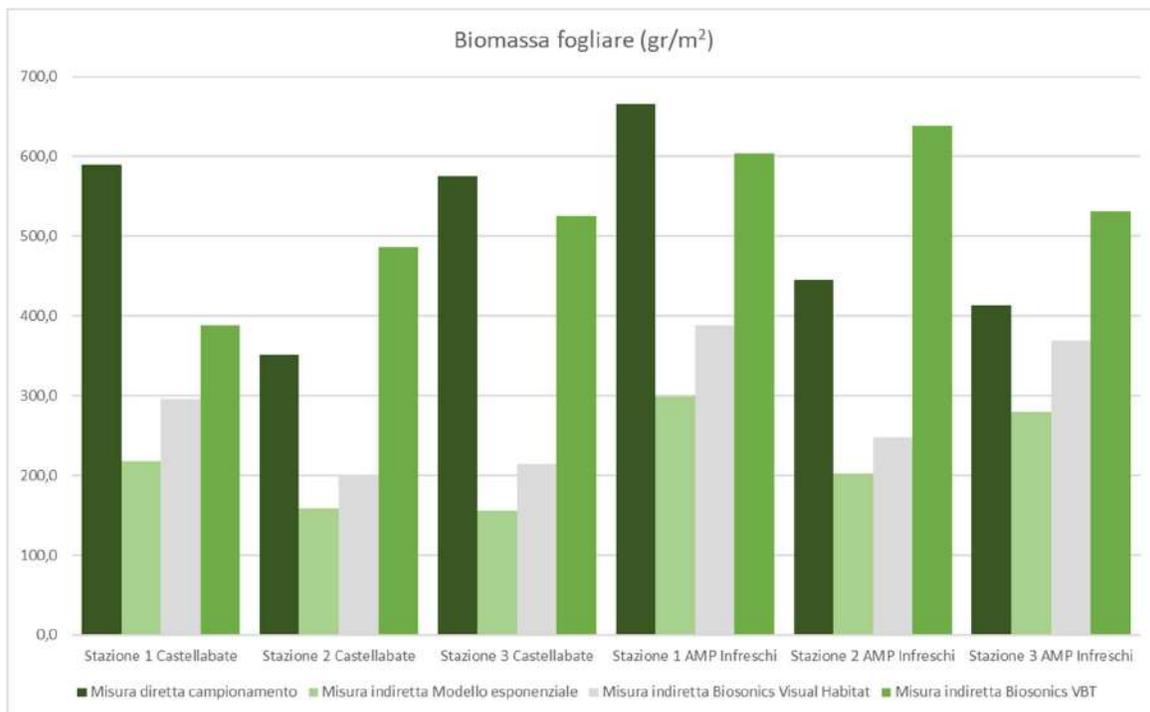


Figura 97 – Confronto algoritmi di calcolo biomassa fogliare con la misura diretta nelle aree di studio del Parco Nazionale del Cilento.

Risultati stima biomassa fogliare mediante misura diretta nel Parco Nazionale Arcipelago di La Maddalena e Parco Nazionale dell'Asinara

Algoritmo di elaborazione Visual Habitat

I valori maggiori della biomassa fogliare (gr/m^2) determinati con l'algoritmo Visual Habitat sono stati osservati nella stazione 3 dell'Asinara (Posidonia su roccia), con un valore medio pari a $595,7 \text{ gr}/\text{m}^2$ e nella stazione 1 della Maddalena (Posidonia degradata-*matte* morta), con un valore medio pari a $383,9 \text{ gr}/\text{m}^2$ (Tabella 24 – Figura 98). Il valore minore della biomassa fogliare è stato osservato nella stazione 1 dell'Asinara (Posidonia degradata-*matte* morta), con un valore medio pari a $117,0 \text{ gr}/\text{m}^2$ e nella stazione 2 dell'Asinara (Posidonia su *matte*-sabbia), con un valore medio pari a $241,8 \text{ gr}/\text{m}^2$ (Tabella 24 – Figura 98).

Tabella 24 – Biomassa fogliare (gr/m^2) misurata nelle aree di studio nel Parco Nazionale Arcipelago di La Maddalena e Parco Nazionale dell'Asinara

	Biomassa fogliare (gr/m^2)	Biomassa fogliare(Dev.STD)
Stazione 1 Asinara	117,00	152,60
Stazione 2 Asinara	241,80	275,60
Stazione 3 Asinara	595,70	357,50
Stazione 1 Maddalena	383,90	248,20
Stazione 2 Maddalena	0,00	0,00
Stazione 3 Maddalena	386,20	354,40

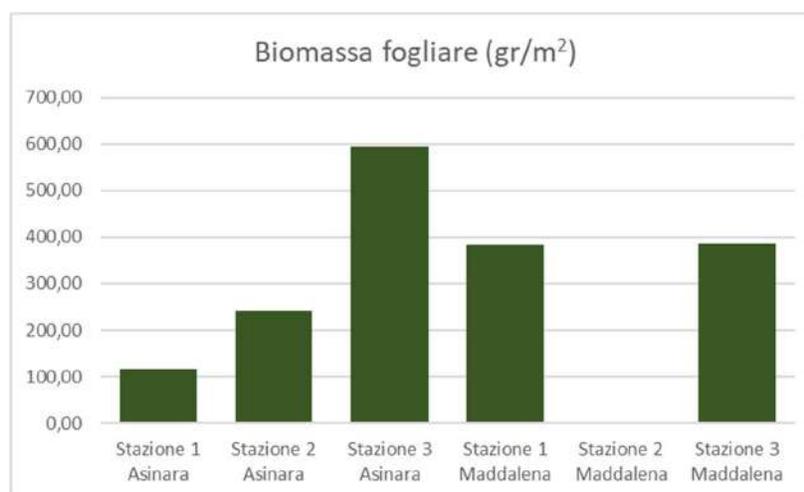


Figura 98 – Confronto biomassa fogliare nelle aree di studio nel Parco Nazionale Arcipelago di La Maddalena e Parco Nazionale dell'Asinara.

Algoritmo di elaborazione VBT

I valori maggiori della biomassa fogliare (gr/m^2) determinati con l'algoritmo VBT sono stati osservati nella stazione 3 dell'Asinara (Posidonia su roccia), con un valore medio pari a $401,0 \text{ gr/m}^2$ e nella stazione 2 dell'Asinara (Posidonia su *matte*-sabbia), con un valore medio pari a $311,0 \text{ gr/m}^2$ (Tabella 25 – Figura 99). Il valore minore della biomassa fogliare è stato osservato nella stazione 1 dell'Asinara (Posidonia degradata-*matte* morta), con un valore medio pari a $134,0 \text{ gr/m}^2$ e nella stazione 1 della Maddalena (Posidonia degradata-*matte* morta), con un valore medio pari a $269,1 \text{ gr/m}^2$ (Tabella 25 – Figura 99).

Tabella 25 – Biomassa fogliare (gr/m^2) misurata nelle aree di studio nel Parco Nazionale Arcipelago di La Maddalena e Parco Nazionale dell'Asinara.

	Biomassa fogliare (gr/m^2)	Biomassa fogliare(Dev.STD)
Stazione 1 Asinara	134,00	264,80
Stazione 2 Asinara	311,00	334,80
Stazione 3 Asinara	401,00	418,90
Stazione 1 Maddalena	269,10	309,10
Stazione 2 Maddalena	0,00	0,00
Stazione 3 Maddalena	284,50	360,40

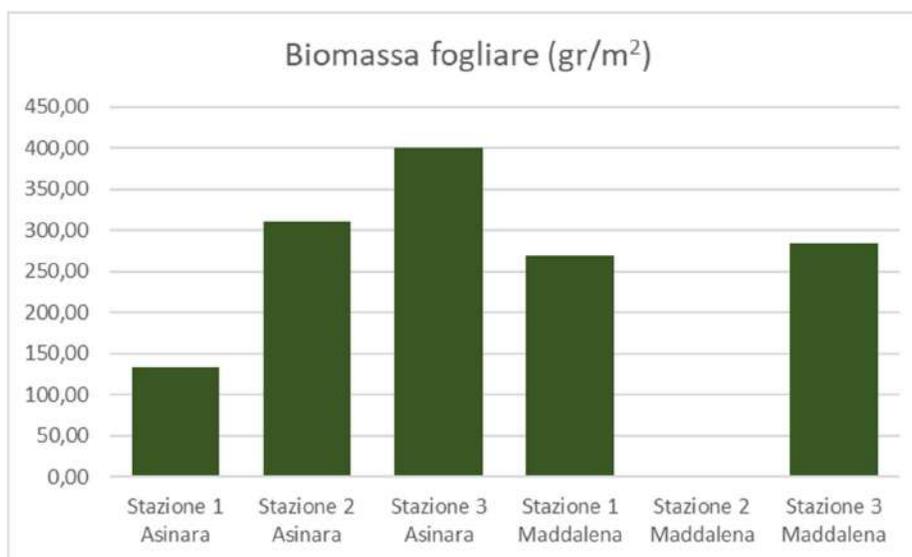


Figura 99– Confronto biomassa fogliare nelle aree di studio nel Parco Nazionale Arcipelago di La Maddalena e Parco Nazionale dell'Asinara.

Algoritmo modello esponenziale

I valori maggiori della biomassa fogliare (gr/m^2) determinati con l'equazione allometrica del modello esponenziale sono stati osservati nella stazione 3 dell'Asinara (Posidonia su roccia), con un valore medio pari a $188,7 \text{ gr/m}^2$ e nella stazione 1 della Maddalena (Posidonia degradata-*matte* morta), con un valore medio pari a $131,1 \text{ gr/m}^2$ (Tabella 26 – Figura 100). Il valore minore della biomassa fogliare è stato osservato nella stazione 1 dell'Asinara (Posidonia degradata-*matte* morta), con un valore medio pari a $50,9 \text{ gr/m}^2$ e nella stazione 2 dell'Asinara (Posidonia su *matte*-sabbia), con un valore medio pari a $84,6 \text{ gr/m}^2$ (Tabella 26 – Figura 100).

Tabella 26 – Biomassa fogliare (gr/m^2) misurata nelle aree di studio nel Parco Nazionale Arcipelago di La Maddalena e Parco Nazionale dell'Asinara.

	Biomassa fogliare (gr/m^2)	Biomassa fogliare(Dev.STD)
Stazione 1 Asinara	50,90	52,10
Stazione 2 Asinara	84,60	82,80
Stazione 3 Asinara	188,70	99,30
Stazione 1 Maddalena	131,10	99,90
Stazione 2 Maddalena	0,00	0,00
Stazione 3 Maddalena	127,40	69,90

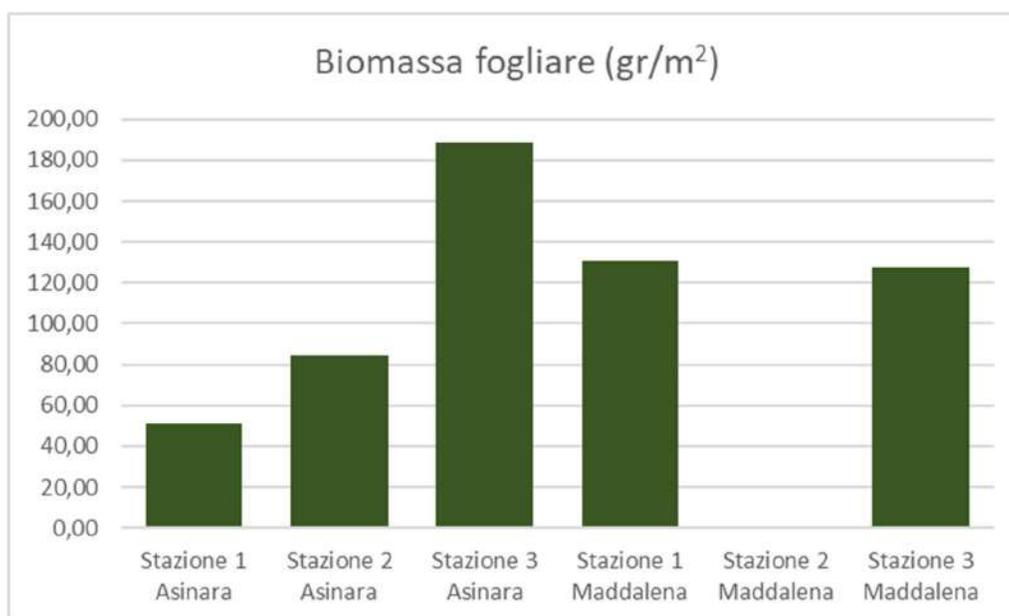


Figura 100 – Confronto biomassa fogliare nelle aree di studio nel Parco Nazionale Arcipelago di La Maddalena e Parco Nazionale dell'Asinara.

In Figura 101 sono riportate, per il Parco Nazionale Arcipelago di La Maddalena e Parco Nazionale dell'Asinara, le comparazioni tra i valori della biomassa fogliare (gr/m^2) determinati con gli algoritmi Visual Habitat, VBT, modello esponenziale e la misura diretta determinata in laboratorio. La comparazione tra gli algoritmi mostra valori simili, in tutti siti campionati tra la misurazione diretta e la misura indiretta con il modello esponenziale (Figura 101). Il modello Biosonics Visual Habitat e VBT tenderebbero entrambi a sovrastimare i valori di biomassa (Figura 101).

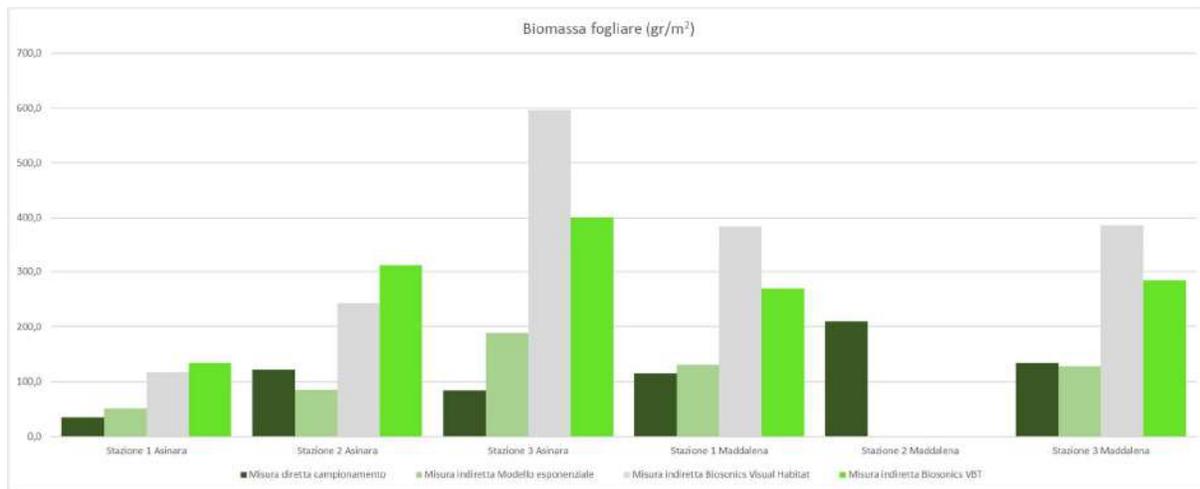


Figura 101 – Confronto algoritmi di calcolo biomassa fogliare con la misura diretta nelle aree di studio nel Parco Nazionale Arcipelago di La Maddalena e Parco Nazionale dell'Asinara.



Conclusioni

Per quanto concerne l'azione A1.2 **“Piano di campionamento per la definizione degli stock di carbonio dell'habitat 1120* per le aree protette coinvolte nel progetto”**, sia nel PN del Cilento che nel PN Arcipelago di La Maddalena, sono state portate a termine con il supporto dello Spin-off Biosurvey dell'Università di Palermo, le attività di rilievo e acquisizione geofisica mediante *Multibeam* e *Sub Bottom Profiler* per la determinazione della presenza della *matte*. Presso il PN dell'Asinara non sono state condotte acquisizioni geofisiche poiché i dati sono stati acquisiti precedentemente dall'AMP dell'Asinara e condivisi nell'ambito del progetto Life SeaForest.

Le indagini condotte con il Sub Bottom Profiler, hanno permesso di determinare la presenza e gli spessori della *matte* nelle aree di interesse del progetto. Nel Parco Nazionale del Cilento lo spessore medio maggiore della *matte* è stato osservato nell'Area Marina Protetta Santa Maria di Castellabate, precisamente nella Baia di Ogliastro, con un valore medio pari a 0,85 cm, mentre nell' Area Marina Protetta Costa degli Infreschi e della Masseta lo spessore maggiore è stato osservato a Punta Spinosa, con un valore medio pari a 0,71 cm. Nel Parco Nazionale Arcipelago di La Maddalena lo spessore medio maggiore della *matte* è stato osservato nel sito Cala Garibaldi, con un valore medio pari a 2,57 cm, e Giardinelli, con un valore medio pari a 1,99 cm. Lo spessore medio minore della *matte* è stato osservato nel sito Cala Corsara, con un valore medio pari a 0,84 cm.

Le attività di indagine condotte con il supporto dello Spin-off 3D Research dell'Università della Calabria con il veicolo di superficie *DEVSS* e il sensore acustico *Biosonics* ci ha permesso di stimare la produzione di biomassa della canopy fogliare (gr/m^2) nei siti oggetto di indagine. I dati acquisiti sono stati elaborati con il supporto dell'Akdeniz University adoperando l'algoritmo *Visual Habitat*, l'algoritmo *VBT* e il *modello esponenziale* sviluppato da ISPRA. I risultati ottenuti sono stati confrontati con la stima diretta della produzione di biomassa effettuata in laboratorio.

Le indagini condotte nell'Area Marina Protetta Santa Maria di Castellabate e Costa degli Infreschi e della Masseta hanno permesso di determinare la produzione di biomassa (gr/m^2) mediante stime dirette e indirette. I risultati ottenuti mostrano valori tendenzialmente simili, in tutti siti campionati, tra la misurazione indiretta, il modello esponenziale e l'algoritmo Biosonics Visual Habitat. La misura diretta e l'algoritmo Biosonics VBT tendono invece a fornire stime più elevate di biomassa. Per il Parco Nazionale Arcipelago di La Maddalena e il Parco Nazionale dell'Asinara, le comparazioni mostrano valori simili, in tutti siti campionati, tra la misurazione diretta e la misura indiretta



effettuata con il modello esponenziale. I modelli Biosonics Visual Habitat e VBT tendono invece entrambi a sovrastimare i valori di biomassa.

Allegato I

Equazione allometrica stima biomassa Canopy fogliare mediante modello esponenziale

In biologia, l'accrescimento relativo di un organo o di una parte di un organismo rispetto a tutto il corpo, esprimibile con l'equazione $y = ax^b$, dove y indica la dimensione o il peso del corpo, e a e b sono due costanti. Tale equazione si chiama allometrica.

Per quanto riguarda le praterie di *P. oceanica* l'equazione allometrica per la stima della biomassa della Canopy fogliare in funzione dell'altezza può essere adoperata per stimare la quantità di carbonio contenuto presente nella fitomassa fogliare. L'equazione allometrica sviluppata da ISPRA, si basa su un modello di tipo esponenziale, ed è stata prodotta partendo dai dati di lunghezza delle foglie adulte e di biomassa fogliare (gr/m^2) acquisiti nell'ambito del programma di mappatura delle praterie di *P. oceanica* della Sardegna e del Progetto RIPO riguardanti la regione Liguria, Toscana, Lazio, Campania, Basilicata e Puglia. La base dati acquisita è stata elaborata mediante analisi statistica. Nella Figura 1 è riportata la distribuzione del logaritmo della lunghezza della foglia, utilizzando la distribuzione di Johnson. Utilizzando questa distribuzione sono stati calcolati i percentili e sono stati eliminati i dati che superavano il 95° percentile.

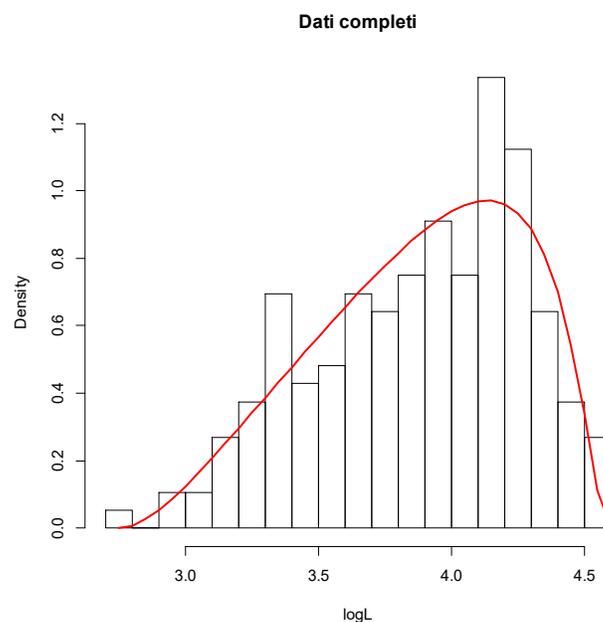


Figura 1 - Distribuzione di Johnson logaritmo della Lunghezza della foglia.

Nella Figura 2 è riportata la distribuzione del logaritmo della biomassa (gr/m^2) utilizzando la distribuzione di Johnson. Anche in questo caso sono stati calcolati i percentili ed eliminato i dati che superavano il 95° percentile.

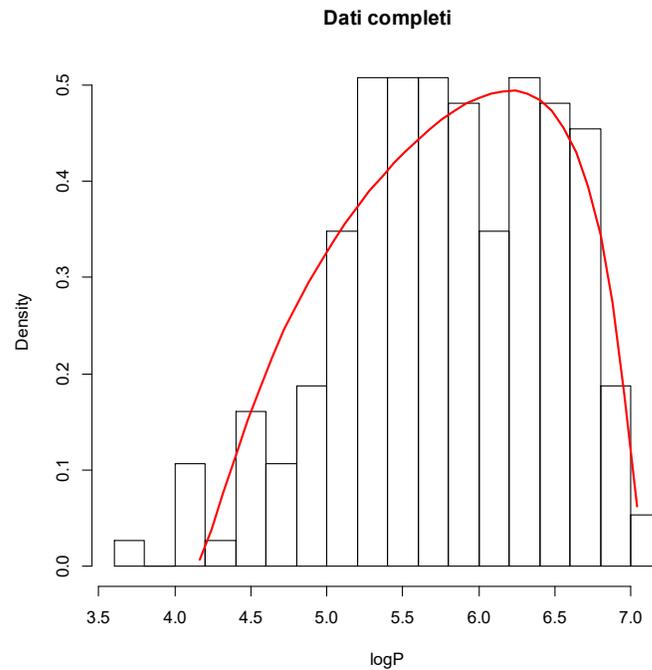


Figura 2 - Distribuzione di Johnson logaritmo della biomassa folgiare gr/m^2 .

A questo punto, una volta puliti i dati è stato applicato il modello di regressione lineare.

Di seguito si riporta l'output del modello.

```
summary(lm1)
```

Call:

```
lm (formula = dati1$logP ~ dati1$logL - 1)
```

Residuals:

```
Min 1Q Median 3Q Max
```

```
-1.6703 -0.5196 0.1058 0.5957 1.4969
```

Coefficients:

```
Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
```

```
dati1$logL 1.48088 0.01417 104.5 <2e-16 ***
```

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.7138 on 169 degrees of freedom



(10 observations deleted due to missingness)

Multiple R-squared: 0.9848, Adjusted R-squared: 0.9847

F-statistic: 1.092e+04 on 1 and 169 DF, p-value: < 2.2e-16

Nella Figura 3 si riporta lo Scatterplot in scala logaritmica del modello di regressione lineare tra la lunghezza della foglia e la biomassa gr/m^2 .

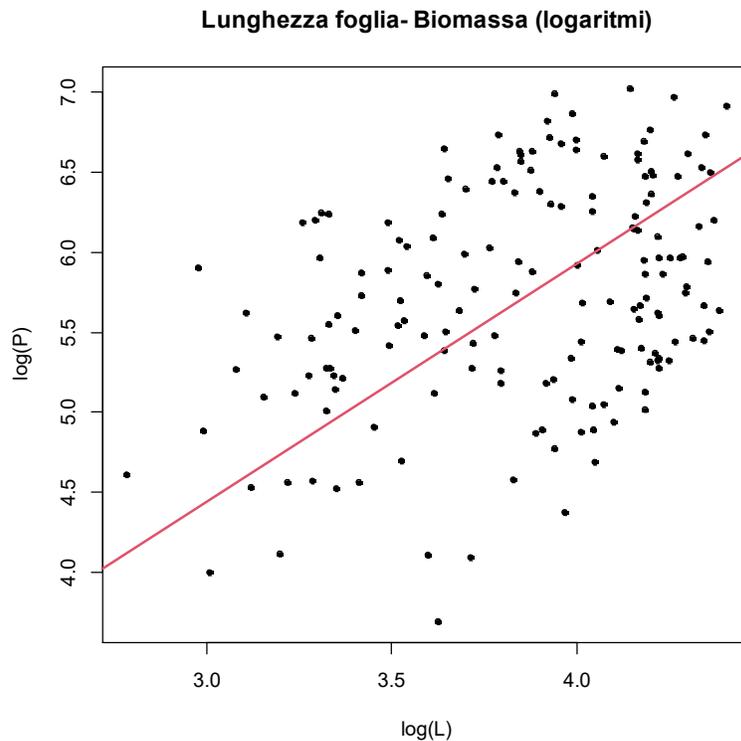


Figura 3 - Scatterplot in scala logaritmica tra la lunghezza della foglia e la biomassa gr/m^2 .

Quindi il modello da considerare per la stima della biomassa della canopy fogliare in funzione dell'altezza della canopy sarà di tipo esponenziale: $y = e^{\beta_1 x}$, quindi nel nostro caso: $P = L^{1.48}$.

La curva che si ottiene con i dati fittati è riportata in Figura 4.

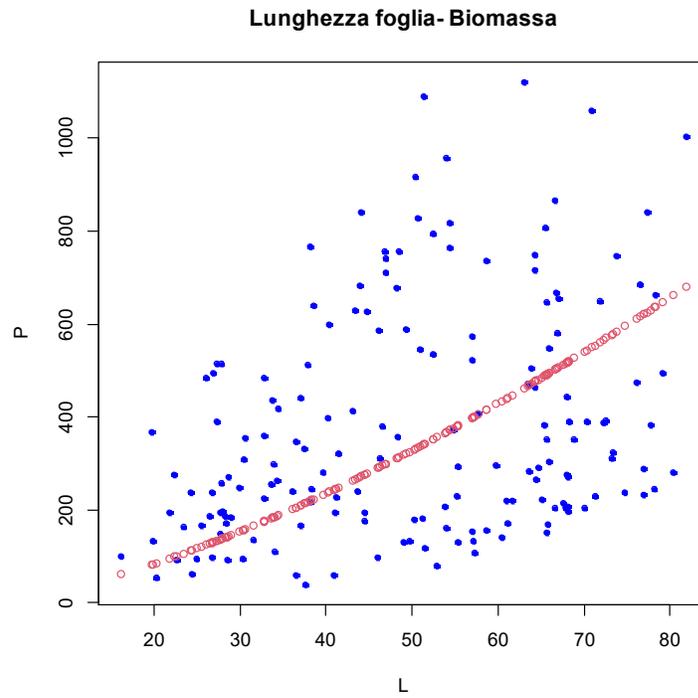


Figura 4 - Curva del modello esponenziale tra la lunghezza della foglia in cm e la biomassa gr/m^2 .



Allegato II

Protocollo di stima della biomassa di *Posidonia oceanica* da immagini satellitari

Introduzione

La biomassa associata alle praterie di *Posidonia oceanica* è un parametro fondamentale per la stima dello stock di carbonio disponibile. Il parametro può essere ottenuto con buon livello di attendibilità tramite campionamento diretto dei fasci fogliari e successive operazioni di laboratorio che consentono la quantificazione in g/m². Il metodo è certamente il più promettente tra quelli conosciuti ma, ovviamente, si scontra con la difficoltà delle procedure da mettere in atto per il raggiungimento dell'obiettivo, come possono essere il georiferimento dei punti di campionamento o il "taglio" in immersione da parte di sub quando non si tratti di bassi fondali. Non secondaria, inoltre, la necessità di non arrecare danno eccessivo alla prateria e disturbo alle popolazioni bentoniche e/o ittico demersali che fanno della *Posidonia* il loro ambiente di vita. Per i motivi sopra esposti, si è valutata la possibilità di ottenere i medesimi risultati, o quanto meno risultati comparabili al campionamento, con metodi indiretti basati sull'impiego di procedure basate su determinate proprietà fisiche dei mezzi indagati. Tutti i metodi indiretti di stima della biomassa di *Posidonia*, tuttavia, non possono prescindere da un campionamento fisico della pianta, necessario alla calibrazione delle correlazioni implementate e alla verifica della bontà delle stesse.

La stima della biomassa tramite l'uso delle immagini satellitari venne proposta da Armstrong nel 1993 e, successivamente, rivista da Mumby *et al.* nel 1997. La procedura consiste nella generazione di una relazione quantitativa empirica tra biomassa misurata e i valori di riflettanza derivati da immagini satellitari. Gli autori ottennero ottimi risultati utilizzando immagini multispettrali (Landsat, Spot) e iperspettrali (CASI). Altri approcci hanno preferito l'utilizzo di sistemi di ripresa video con successiva stima della biomassa. Più di recente sono stati introdotti metodi acustici per la stima di biomassa, indice fogliare e altezza della prateria di *Posidonia* dal fondale.

I metodi indiretti proposti, come è lecito aspettarsi, mostrano benefici e difficoltà legati alle tecniche impiegate per l'ottenimento delle correlazioni necessarie alla stima della biomassa.

Tra i benefici si può citare la significativa riduzione della quantità di *posidonia* da "tagliare" rispetto al metodo diretto. Tra le difficoltà, in riferimento alle procedure basate sull'impiego di immagini satellitari, si ricordano alcuni parametri che entrano in gioco: condizioni ambientali e geometriche



al momento dell'acquisizione dell'immagine (riflessi sulla superficie marina, IOP, AOP ecc.), questi condizionano fortemente i risultati ottenibili facendo sì che modelli implementati in determinate aree non possano essere impiegate in settori diversi e, in linea di principio, nemmeno negli stessi settori quando cambiano le condizioni di presa dei sensori utilizzati.

Come accennato, il metodo diretto, consistente nel campionamento (taglio) della Posidonia secondo schemi e superfici standard, è sicuramente il più promettente ma, ovviamente, si scontra con la difficoltà delle procedure per l'ottenimento delle informazioni (immersioni, taglio, combustione ecc.). Le metodologie che sfruttano tecniche indirette per la stima della biomassa, pur non potendo prescindere da un campionamento fisico della pianta necessario alle calibrazioni dei modelli e alle verifiche della bontà dei risultati ottenuti, riducono enormemente la quantità di Posidonia da asportare dal fondale. Nel caso di impiego di tecniche che fanno capo ai principi dell'ottica e dell'acustica, tuttavia, si deve tenere conto che il numero di campionamenti di Posidonia necessari alla taratura dei modelli implementati deve comunque essere statisticamente significativo.

Al momento, quindi, i metodi indiretti rappresentano il miglior compromesso tra bontà della stima della biomassa da Posidonia e la necessità di proteggere la pianta e gli ecosistemi ad essa associati.

Con lo scopo di valutare la possibilità di superare alcuni dei limiti/difficoltà sopra descritti si è pensato di mettere in atto una strategia di stima della biomassa mista acustico/ottica consistente nell'impiego del sovrabbondante numero di campioni di stima della biomassa derivati da sistemi Single Beam (SB) specificamente progettati e tarati allo scopo.

Le maggiori difficoltà osservate nell'applicazione del metodo risiedono, principalmente, nell'alto numero di misure che gli apparati SB eseguono lungo il loro tragitto (funzione della velocità del mezzo di trasporto e della frequenza di campionamento) che devono essere raffrontate alla risoluzione spaziale del sensore satellitare/aereo impiegato, normalmente di qualche metro/pixel. Nel caso specifico si è scelto di implementare il metodo utilizzando immagini satellitari Sentinel 2 (S2) per la disponibilità di tempi di rivisitazione frequenti e la possibilità di ottenere le immagini gratuitamente dai portali di ESA, USGS e altri. La risoluzione del pixel di 10 m, per le bande di nostro interesse, comporta che sul singolo pixel dell'immagine siano ubicati di frequente diversi punti campionati del sistema SB (in molti casi anche fino a diverse decine di punti). È noto che anche quando una prateria si dovesse presentare all'apparenza omogenea ed ugualmente densa, nella

realtà così non è, ne consegue che le acquisizioni del SB hanno fornito dati di biomassa anche significativamente differenti a distanza di 1-2 m lungo le tracce acquisite. Indipendentemente dalle tecniche di sviluppo dei modelli di correlazione, il primo e fondamentale problema da affrontare è stato come associare un unico valore di biomassa SB ad ogni pixel dell'immagine interessata dal tracciato percorso. La scelta del valore è ricaduta sulla mediana dell'insieme dei punti SB ricadenti in ogni pixel Sentinel 2, ciò ha attenuato il "peso" dei valori estremi del gruppo considerato.

Materiali e metodi

La verifica della procedura è stata fatta utilizzando i dati SB acquisiti a giugno 2020 nell'area Marina di Castellabate, il cui percorso è rappresentato in Figura 1.



Figura 1 - Tracciato di acquisizione Single Beam.

In un periodo di tempo ragionevolmente breve, a cavallo della data di acquisizione SB, si sono individuate alcune immagini S2 utili al processo di stima della biomassa Figura 2.



Figura 2 - Immagine Sentinel2.

Tra le immagini individuate si è proceduto inizialmente alla selezione di quelle che mostravano di essere meno interessate da fenomeni potenzialmente limitanti delle tecniche di elaborazione: sunglint, torbidità, copertura nuvolosa ecc. (Figura 3).



Figura 3 - Sezione immagine Sentinel2.

Le S2 scelte sono state sottoposte alle elaborazioni finalizzate all'ottenimento di immagini corrette della colonna d'acqua secondo la procedura indicata nel 1° report (Relazione sullo stato di

avanzamento dell'elaborazione immagini telerilevate multispettrali e iperspettrali - Aree Marine Protette della Maddalena, dell'Asinara, di Infreschi e di Castellabate). Delle immagini usate quella ritenuta maggiormente idonea alle successive elaborazioni è risultata essere la Sentinel2 del 31 luglio 2020.

Il processo di correzione della colonna d'acqua, nel caso in esame, consente la generazione di 3 bande, combinazione delle bande originarie 2, 3 e 4 (blu, verde e rosso). La Figura 4 rappresenta in falso colore l'immagine utilizzata per le elaborazioni successive.



Figura 4 - Immagine corretta della colonna d'acqua.

Il calcolo della biomassa prevede l'utilizzo della sola porzione di fondale occupato dalla pianta, tale settore è stato "ritagliato" dall'intera immagine rappresentante il fondale utilizzando il file SHP ottenuto dalla mappatura del fondale medesimo (Figura 5). Per semplicità di rappresentazione si è scelto di applicare la procedura solo ad una parte di posidonia mappata nell'intera Area Marina Protetta.



Figura 5 - Porzione di immagine corretta della colonna d'acqua raffigurante la sola prateria di Posidonia. In verde la traccia dello SHP impiegato per il ritaglio.

La procedura si è svolta in ambiente GIS (QGIS). Sul ritaglio ottenuto è stato sovrapposto il tracciato seguito per l'acquisizione del dato SB (Figura 6).

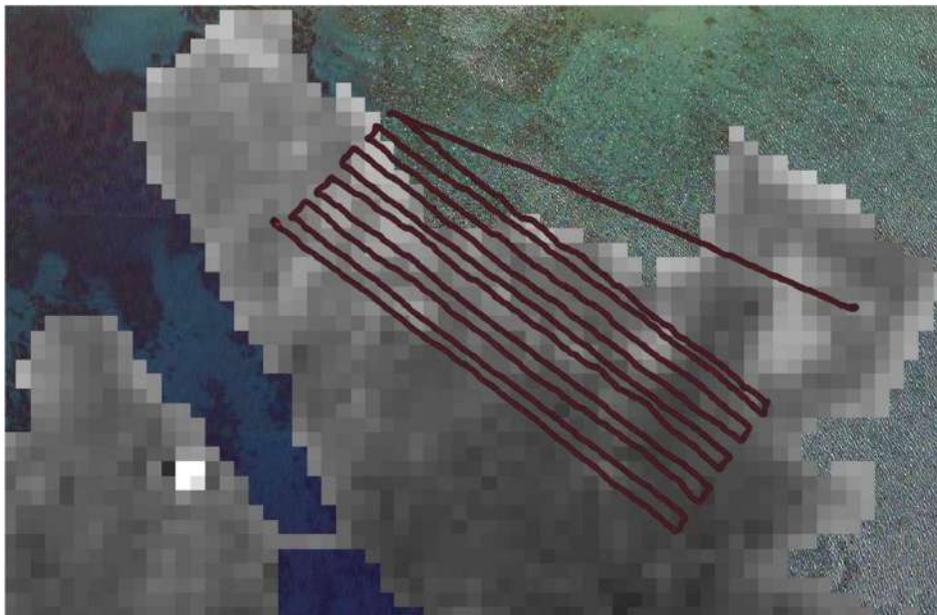


Figura 6 - Tracciato di acquisizione sistema Single Beam.

Per ogni pixel appartenente all'immagine precedentemente ottenuta, rappresentante la sola Posidonia, si è associato il relativo gruppo di punti della traccia SB (Figura 7).

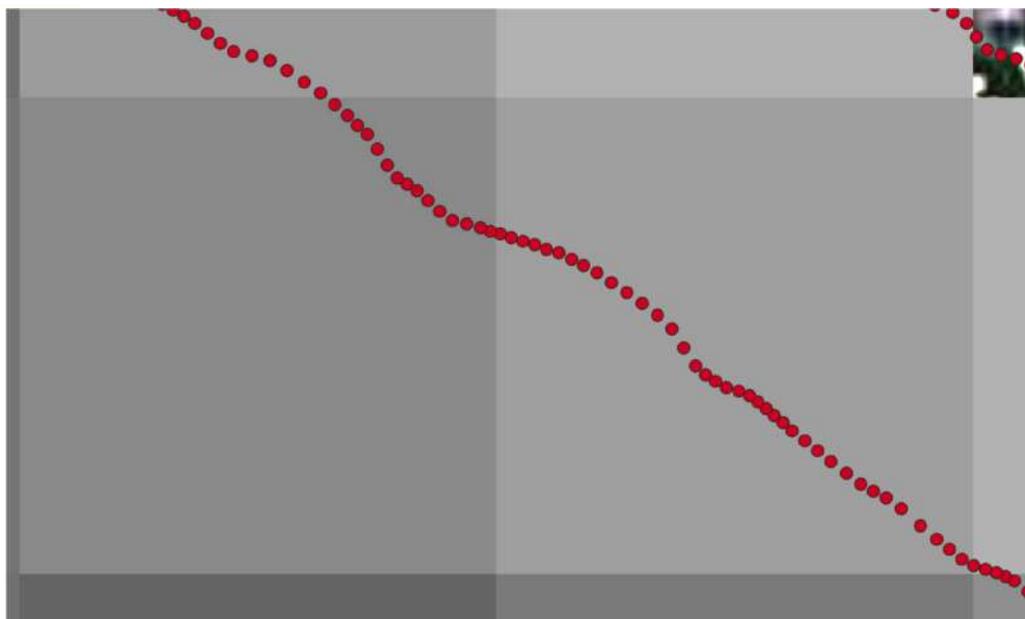


Figura 7 - In tonalità di grigio sono rappresentati i pixels dell'immagine Sentinel2 corretta della colonna d'acqua, in rosso sono indicati i punti di campionamento del Single Beam.

Per ognuno dei pixel con presenza di punti di campionamento SB si è calcolato il valore mediano di biomassa che è stato messo in relazione ai valori di "riflettanza" dell'immagine.

La migliore correlazione è risultata la retta: $y = -12.863x + 88.656$.

A tale retta di regressione corrisponde un valore di coefficiente di correlazione $c=0.73$ e di determinazione $R^2=0.53$

Nella seguente tabella vengono riportati i dati ottenuti per l'intero set di immagini elaborate.

Immagini	Equazione	C	R ²
CWC1	$y = -16,433x + 110,02$	0.722	0.521
CWC2	$y = -16.402x + 109.83$	0.722	0.521
CWC3	$y = -12.863 + 88.656$	0.73	0.53

I migliori parametri di regressione (intercetta e coefficiente angolare) sono stati impiegati per la stima della biomassa della porzione di immagine elaborata secondo l'equazione:

$$\text{Biomassa} = 88.656 - 12.863 * \text{CWC3}$$

Dove per CWC 3 si intende la banda 3 dell'immagine corretta della colonna d'acqua.

L'elaborazione ha generato l'immagine di Figura 8 dove, in gradazione di verde, è rappresentato, pixel per pixel, il range di biomassa stimata.

Il computo totale di biomassa, per la superficie presa in considerazione, ha fornito un valore pari a 255,769 tonnellate e una biomassa media di 352,5 g/m².



Figura 8 - Rappresentazione della distribuzione della biomassa.



Allegato III

Protocollo di stima della biomassa della canopy fogliare di *Posidonia oceanica* mediante fotogrammetria

Introduzione

La biomassa associata alle praterie di *Posidonia oceanica* costituisce un indice di primaria importanza per la stima dello stock di CO₂ disponibile. Classicamente, la metodologia impiegata per la sua misura è effettuata tramite campionamento diretto dei fasci fogliari e un loro successivo trattamento effettuato in laboratorio che ne consente la quantificazione esprimendola in g/m². Il metodo risulta certamente il più accurato tra quelli conosciuti ma, ovviamente, si scontra con la difficoltà delle procedure da mettere in atto per il raggiungimento dell'obiettivo, come la difficoltà del "taglio" in immersione da parte di sub quando non si tratti di bassi fondali e/o la complessità delle operazioni di essiccazione da effettuare in laboratorio. Non secondaria, inoltre, la necessità di non arrecare danno eccessivo alla prateria e disturbo alle popolazioni bentoniche e/o ittico demersali che fanno della Posidonia il loro ambiente di vita. Per i motivi sopra esposti, in letteratura scientifica diversi sono i lavori proposti dove si è valutata la possibilità di ottenere i medesimi risultati, o quanto meno risultati comparabili al campionamento, con metodi indiretti basati sull'impiego di procedure di stima basate sulla misura di determinate proprietà fisiche dei target indagati. Tutti i metodi indiretti di stima della biomassa di Posidonia, tuttavia, non possono prescindere da un campionamento fisico della pianta, necessario in fase di calibrazione delle correlazioni implementate e alla verifica della bontà delle stesse.

In tale contesto, questo documento riporta una descrizione dettagliata e i risultati ottenuti dall'applicazione di un protocollo metodologico per la stima, mediante tecniche fotogrammetriche subacquee, dell'indice di biomassa a partire dal volume della canopy fogliare delle praterie di Posidonia oceanica. L'obiettivo dello studio effettuato è stato quello di dimostrare come tecniche fotogrammetriche subacquee siano in grado di fornire misure non distruttive affidabili della biomassa della canopy fogliare rappresentando in tal modo non solo uno strumento prezioso per la stima dello stock di carbonio disponibile ma aprendo al contempo la possibilità di poter analizzare la produttività primaria della prateria nel corso del tempo (analisi diacronica).

Materiali e Metodi

Protocollo metodologico

Il protocollo metodologico sviluppato per la stima mediante tecniche fotogrammetriche subacquee dell'indice di biomassa a partire dal volume della canopy fogliare delle praterie di *Posidonia oceanica* si compone delle seguenti fasi (Figura 9).

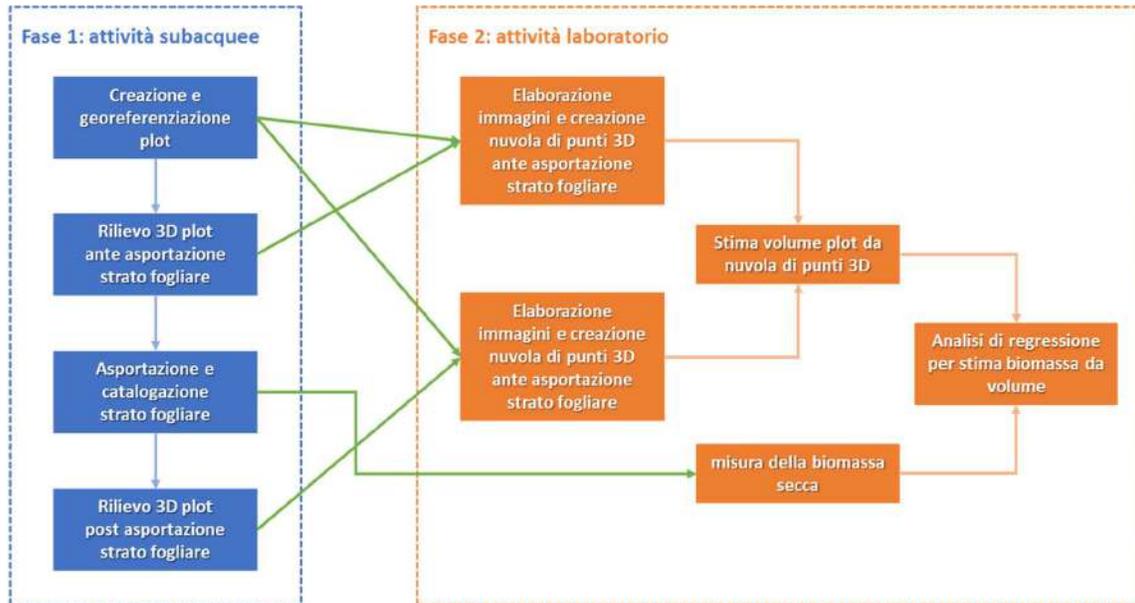


Figura 9 - Protocollo metodologico per la stima mediante tecniche fotogrammetriche subacquee dell'indice di biomassa a partire dal volume della canopy fogliare.

Fase 1. Attività subacquee

La fase 1 del protocollo metodologico proposto racchiude tutte le operazioni di rilievo 3D e campionamento da condurre a mare da parte degli operatori subacquei. In particolare, queste prevedono:

- a. Creazione dei plot da acquisire mediante posizionamento sul fondale di una dima quadrata e loro georeferenziazione;
- b. Rilievo 3D dei plot mediante acquisizione di immagini ottiche ad alta risoluzione;
- c. asportazione e catalogazione dello strato fogliare ricadente all'interno dei singoli plot;
- d. rilievo 3D dei plot a valle dell'asportazione dello strato fogliare (come al punto b.).

Fase 2. Attività laboratorio

La fase 2 del protocollo metodologico proposto racchiude tutte le operazioni da effettuare in laboratorio per la stima del valore di biomassa dei plot a partire dalla misura del loro volume. In particolare, queste prevedono:



- a. Elaborazione dataset immagini ottiche e creazione nuvola di punti 3D dei plot acquisiti prima e dopo l'asportazione dello strato fogliare;
- b. stima del volume dei plot utilizzando le nuvole di punti 3D ottenute in a.;
- c. misura della biomassa secca dello strato fogliare asportato dai singoli plot;
- d. analisi di regressione per stima di biomassa da misure di volume.

Attrezzature necessarie

L'applicazione del protocollo metodologico richiede l'utilizzo delle seguenti le attrezzature hardware e software:

Fase 1. Attività subacquee:

- a. Attrezzatura fotografica subacquea professionale (macchina fotografica reflex o mirrorless e relativo scafandro, flash e/o illuminatori subacquei);
- b. Dima quadrata dotata di marker fotogrammetrici;
- c. 1 boa di superficie collegata a uno spool e ad un sistema GNSS con correzione RTK;
- d. Bussola subacquea (opzionale);
- e. Forbici da taglio;
- f. Contenitori catalogati per lo stoccaggio dello strato fogliare asportato.

Fase 2. Attività laboratorio:

- a. Software per l'elaborazione fotogrammetrica dei dati acquisiti;
- b. Software per il processing delle nuvole di punti 3D e per la stima del volume;
- c. Stufa di essiccazione;
- d. Software statistico per l'analisi di regressione.

Attività sperimentali SIC Isola di Cirella (CS)

La sperimentazione del protocollo metodologico sviluppato per la stima mediante tecniche fotogrammetriche subacquee dell'indice di biomassa a partire dal volume della canopy fogliare delle praterie di *Posidonia oceanica* è avvenuta nella primavera-estate 2021 nel SIC calabrese Isola di Cirella (CS).

Per questa prima attività sperimentale, è stato deciso in fase di pianificazione di acquisire 7 plot di dimensione 1 m x 1 m. Al fine di avere una rappresentazione completa della prateria, le stazioni di campionamento sono state selezionate in maniera casuale e a profondità differenti (dai 3 ai 20 m) (Figura 10).



Figura 10 - Immagine satellitare sito sperimentale SIC "Isola di Cirella (CS)" in cui si evidenziano le stazioni di campionamento selezionate.

Fase 1: Attività subacquee

Operazioni preliminari: costruzione della dima quadrata con marker fotogrammetrici

Una dima per l'acquisizione fotogrammetrica subacquea dei plot di posidonia è stata specificatamente progettata e realizzata per le attività sperimentali condotte al fine di ottenere nuvole di punti 3D aventi un corretto rapporto di scala e un'accuratezza dell'ordine del decimo di millimetro. La dima, di dimensioni totali 1 m x 1 m, si compone di 4 staffe ad "L" realizzate in acciaio inox e giunte tramite delle cerniere meccaniche in modo da creare un corpo rigido quadrato in grado di non flettersi sulle pendenze del fondale. La larghezza di ogni lato è di 30 cm. Questo crea uno

spazio vuoto tra il plot e la posidonia circostante consentendo così di poter acquisire sia le zone in ombra che i sottosquadri (Figura 11).

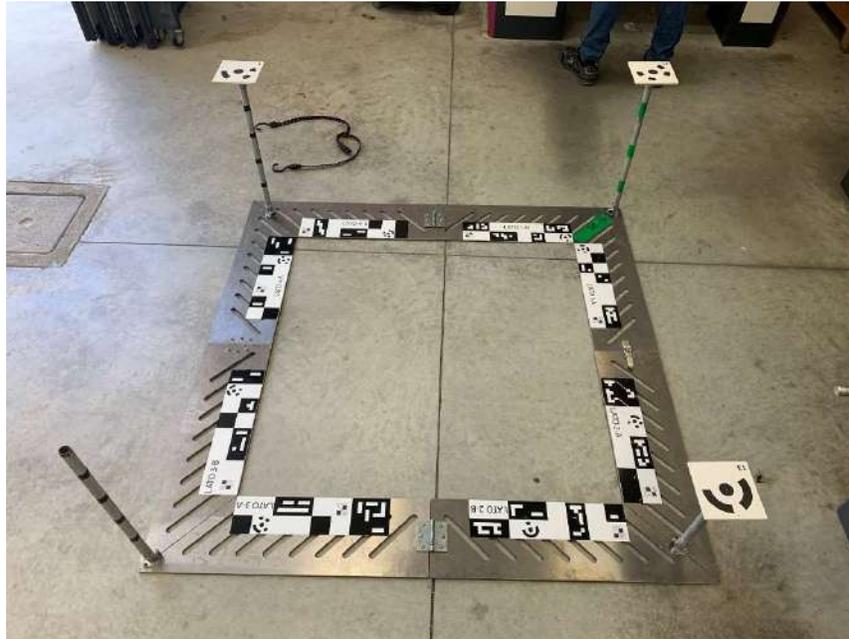


Figura 11 - Foto della dima quadrata con marker fotogrammetrici per la creazione dei plot di *Posidonia oceanica* da acquisire.

La dima si caratterizza per avere una serie di marker posti lungo i suoi lati che sono automaticamente riconoscibili dal software di elaborazione fotogrammetrica utilizzato. Questi risultano di fondamentale importanza durante le fasi di elaborazione in quanto introducono dei riferimenti metrici che sono di aiuto al software durante la fase di “allineamento” delle immagini digitali. Inoltre, essendo le distanze reciproche dei marker misurabili fuori dall’acqua e quindi già note, il sistema permette di scalare la nuvola di punti 3D sempre con la medesima rete di controllo, eliminando il lavoro subacqueo di presa delle distanze tra marker e la possibile introduzione di errori nella fase di scaling.

Dunque, sulla dima sono state applicate delle etichette con dei marker e dei pattern di controllo di dimensioni note (quadrati neri di dimensione di 5 cm). Quest’ultimi sono utilizzati come misure di controllo per verificare l’accuratezza del fattore di scala applicato alla nuvola di punti 3D (Figura 12).

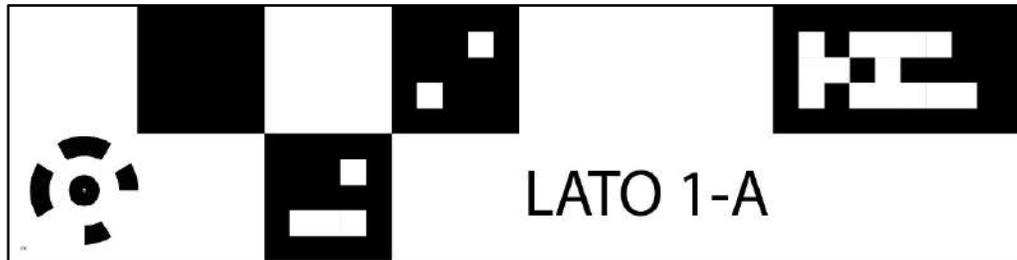


Figura 12 - Immagine etichette con marker fotogrammetrici e pattern di controllo utilizzati per le operazioni di scaling della nuvola di punti 3D.

Inoltre, ai quattro vertici della dima sono stati posti dei paletti con dei marker applicati sulla sommità al fine di avere delle misure note anche sull'asse Z.

Selezione stazioni di campionamento e georeferenziazione

La prima operazione effettuata da parte degli operatori subacquei ha riguardato il posizionamento della dima quadrata nelle stazioni di campionamento individuate, cercando di selezionare una zona della prateria con fondale pressoché piano. Dopo aver montato i paletti con i marker sui quattro vertici, la dima è stata georeferenzziata. Tale operazione è stata effettuata in due modalità differenti: a) legando in sequenza lo spool della boa di superficie ad ognuno dei 4 vertici della dima e battendo i relativi punti utilizzando un GNSS in superficie; b) orientando la dima verso Nord secondo gli assi definiti sulla dima stessa (Nord evidenziato tramite colore verde) utilizzando la bussola subacquea e successivamente battendo solo il vertice a Nord attraverso la procedura descritta nel punto a). Per entrambe le procedure è stato utilizzato un sistema **AtlasLink™ GNSS Smart Antenna** alloggiato su una boa di superficie opportunamente progettata (Tabella 1).

Tabella 1 - Sistema GNSS on correzione RTK utilizzato per la georeferenziazione dei plot acquisiti.

	AtlasLink™ GNSS Smart Antenna
Receiver type	GNSS L1 & L2 RTK with carrier phase
Signals received	GNSS, GLONASS, BeiDou, GALILEO and Atlas
GNSS sensitivity	-142 dBm
Update rate	10 Hz standard, 20 Hz optional (with subscription)
Timing (1PPS) accuracy	20 ns
Maximum speed	1,850 kph (999 kts)
Horizontal accuracy (L-band)	0.04 m (RMS, 67%); 0.08 m (2DRMS, 95%)
Platform	Surface buoy with 30 m underwater cable

La Tabella 2 riporta le posizioni geografiche e le profondità delle 7 stazioni di campionamento.

Tabella 2 - Coordinate geografiche (WGS 84) delle stazioni di campionamento

Stazione	Longitudine (WGS84)	Latitudine (WGS84)	Profondità [m]
1	39°41'49.96020"	15°48'11.49068"	6.5
2	39°41'55.43202"	15°48'13.58516"	4.6
3	39°42'01.66187"	15°48'15.53013"	20
4	39°41'52.16546"	15°48'14.68878"	5.3
5	39°41'53.25524"	15°48'13.75751"	3.8
6	39°41'47.70214"	15°48'32.96233"	15.6
7	39°41'48.93214"	15°48'22.14435"	8.2

Rilievo ottico subacqueo

Il rilievo dei plot è stato condotto secondo un layout standard di acquisizione fotogrammetrica, utilizzando attrezzatura fotografica subacquea di tipo professionale. In particolare, le immagini sono state acquisite da un operatore fotogrammetrista subacqueo equipaggiato con una fotocamera Sony A7III dotata di sensore CMOS 24Mpx (6000x4000) Full Frame a basso rumore e obiettivo grandangolare Sony Zeiss 16-35mm f / 4 di alta qualità. La telecamera è stata alloggiata all'interno di una custodia Easydive Leo3Wi che utilizza una porta dome da 160 Ø, per garantire la massima qualità dell'immagine, e una serie di flash subacquei INON Z330 con un numero 33GN, in grado di neutralizzare la colonna d'acqua e illuminare la scena riproducendo colori naturali (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata..**

Tabella 3 - Specifiche tecniche attrezzature impiegate per rilievo fotogrammetrico subacqueo

	Sony A7III
Sensor Size	35,6 x 23,8 mm
Numbers of Pixel	24,2 Mpx
Image Size	6000 x 4000 px
ISO	ISO 100-51.200
Video	Up to 4K HDR 30p
Picture Profile	sLog2, sLog3, HLG,
Video Format	XAVC S, AVCHD ver. 2.0
Autofocus	Hybrid, 693 phase detection and 425 contrast detection points.

	Sony FE 16-35mm f/4 ZA OSS Vario Tessar T*
Focal Length	16-35 mm
FOV	107.1° – 63.5°
Minimum Aperture	f/4
Lens Elements / Groups	12 Elements in 10 Groups
Minimum Focus Distance	0.28m
Reproduction Ratio	0.19x
Stabilization	Yes
Diameter	72mm

	Eesydive Leo3 Wi
Material	Aluminum anticorodal
Type	Electronic
Electronical Connections	USB – Wi-Fi - IR
Maximal Operational Depth	150m
Seal	Double Radial O-ring
Strobes Connections	Nikonos / Fiber Optics
Dome port	160mm

	INON Z330
Guide Number	GN33
Angle	110° without diffuser
Focus Light	220 lumens
Minimum recycle time	1.6sec at Full Flash power
Connection	Fiber Optics
Exposure Control	Manual, TTL

L'acquisizione è stata effettuata sia prima che dopo la fase di asportazione dello strato fogliare (vedasi sezione 1.4) posizionando la camera ad una distanza costante rispetto al plot (distanza media di circa 1.4 m, garantendo in tal modo un Ground Sample Distance di 0.4 mm).

Le modalità di rilievo sono state effettuate seguendo dei transetti incrociati in direzione Nord-Sud ed Est-Ovest con una sovrapposizione dei fotogrammi di circa il 70%. Inoltre, è stata eseguita una

spirale sulla semisfera immaginaria che racchiude il plot al fine di poter acquisire le zone in ombra e i sottosquadri (Figura 13).



Figura 13 - Operatore subacqueo durante la fase di rilievo ottico.

Prima della fase di acquisizione immagini, la camera è stata calibrata utilizzando una “procedura di calibrazione in situ” al fine di determinare i parametri di orientamento interno e ridurre le distorsioni prodotti dalle ottiche grandangolari utilizzate.

Per ogni plot, circa 100 immagini sono state acquisite per un dataset totale di circa **700 immagini**.

Asportazione e catalogazione dello strato fogliare ricadente all’interno dei plot

L’ultima fase delle attività subacquee ha riguardato l’asportazione e la catalogazione dello strato fogliare ricadente all’interno di ogni plot. In particolare, l’operazione di taglio è stata effettuata a circa 5 cm dal rizoma e le foglie asportate sono state riposte all’interno di contenitori subacquei opportunamente etichettati al fine di poter catalogare correttamente lo strato fogliare appartenente ad ogni stazione di campionamento (Figura 14).



Figura 14 - Operatore subacqueo durante la fase di asportazione e catalogazione strato fogliare da stazione di campionamento.

Fase 2: Attività in laboratorio

Elaborazione immagini e ricostruzione 3D

A causa dell'attenuazione (dovuta ai fenomeni di assorbimento e di scattering) che la luce subisce nella sua propagazione in acqua, le immagini subacquee sono generalmente affette da problemi quali basso contrasto, illuminazione non uniforme, sfocatura, limitato range di visibilità, attenuazione dei colori (in particolar modo del canale rosso) e da rumore. Per tale ragione, le immagini acquisite (in formato RAW) sono state opportunamente elaborate prima del processo di ricostruzione al fine di correggere le loro proprietà radiometriche (Figura 15).



Figura 15 - Immagini campione prima (sinistra) e dopo (destra) applicazione algoritmi di correzione radiometrica.

Dopo aver effettuato le dovute correzioni alle immagini in termini cromatici e di contrasto, il dataset d'immagini digitali acquisite è stato importato nel software di ricostruzione fotogrammetrica. Allo scopo è stato utilizzato il software commerciale Metashape. La tecnica fotogrammetrica utilizzata per l'elaborazione è una Multiview Stereo (MVS): attivata la procedura di riconoscimento automatico dei marker nelle immagini, queste sono state allineate e una prima nuvola di punti (sparsa) è stata creata. Questa è stata quindi scalata importando nel software le coordinate geografiche dei 4 marker rialzati così da georeferenziare il modello, le misure tra i marker posti sulla base e inserendo manualmente alcuni punti di controllo tra i vertici dei marker posti sui lati della dima. Si è proceduto infine all'ottimizzazione del processo di ricostruzione per affinare i parametri della camera e la conseguente proiezione dei punti. A valle di tale processo, un errore medio (RMSE) di 0.001 m è stato ottenuto sulla misura delle barre di controllo (Figura 16).

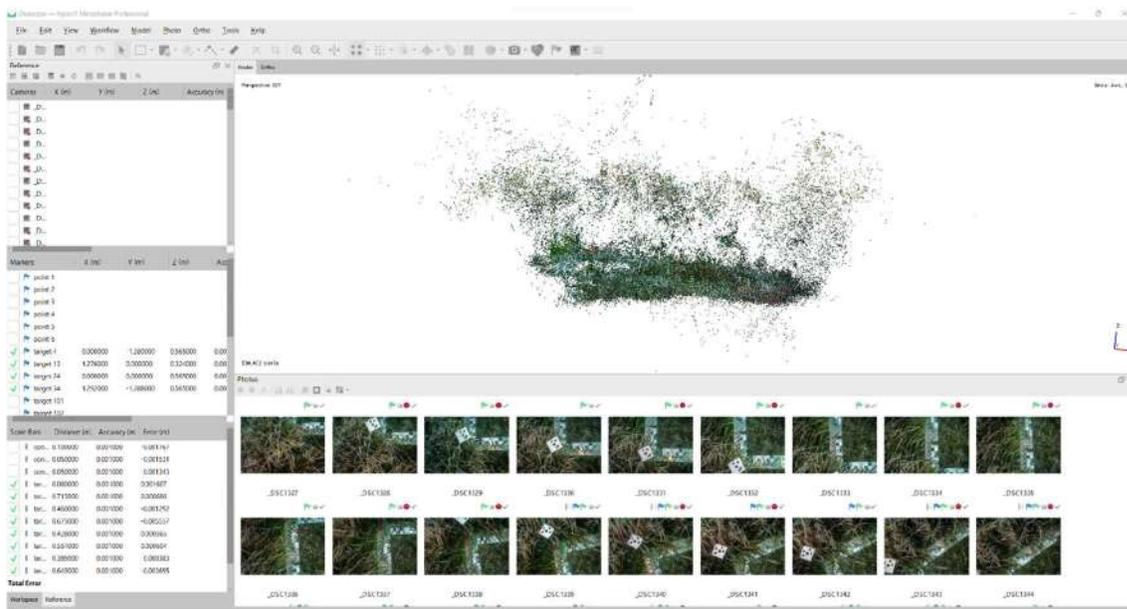


Figura 16 - Interfaccia del software Metashape in cui vengono visualizzate i dati importati per la georeferenziazione e lo scaling, alcune delle immagini del dataset utilizzato e la nuvola di punti 3D sparsa del plot ricostruito.

Ottenuta la nuvola di punti 3D sparsa si è proceduto alla creazione della mappa di profondità e alla generazione della nuvola di punti 3D densa, quest'ultima necessaria per eseguire la stima del volume. A tal fine, per ogni plot è stata eseguita la ricostruzione 3D prima e dopo l'asportazione dal plot dello strato fogliare. Mediamente, le nuvole rappresentati i plot prima dell'asportazione fogliare hanno un numero di punti 3D pari a circa 10 milioni mentre, a valle dell'asportazione, un numero di punti 3D pari a circa 8 milioni (Figura 17).

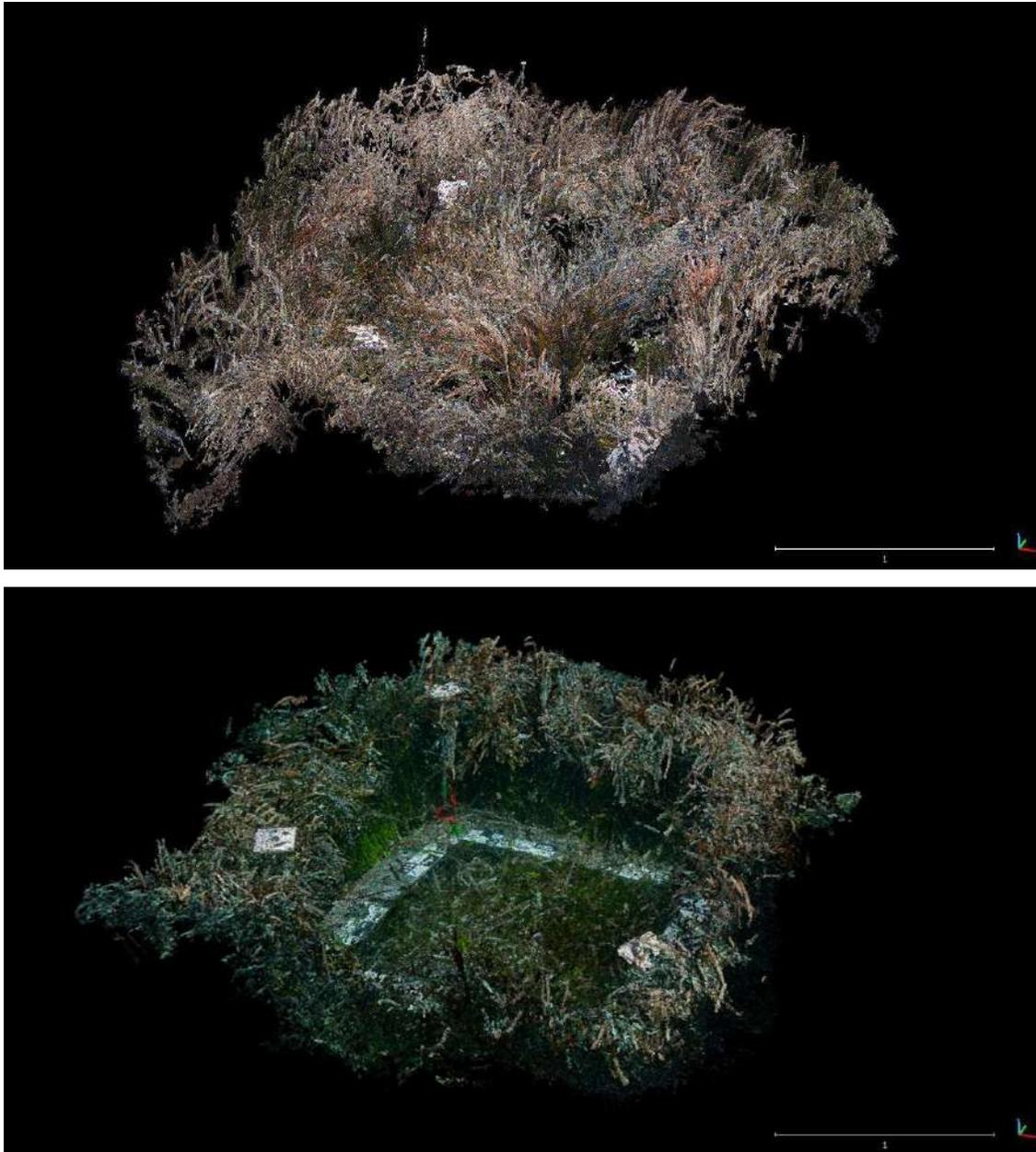


Figura 14 - Nuvola di punti 3D del plot prima (in alto) e dopo (in basso) l'asportazione dello strato fogliare.

Processing nuvole di punti 3D e stima volume

Le misure di volume a partire dalle ricostruzioni 3D dei plot prima e dopo l'asportazione dello strato fogliare sono state effettuate utilizzando l'approccio *Raster Space* basato sull'assunzione che lo spazio compreso tra i punti 3D della "canopy fogliare" e quelli del "terreno sottostante" sia occupato dalla vegetazione. L'algoritmo crea una *raster grid* partizionando il piano x, y della nuvola di punti in celle quadrate. Il volume viene dunque calcolato come prodotto tra l'area della cella e la sua altezza, quest'ultima determinata come differenza tra le altezze dei punti 3D delle nuvole rappresentanti la

“canopy fogliare” e quelli del “terreno sottostante” ricadenti all’interno della cella stessa. Nel presente lavoro, è stata utilizzata l’implementazione di tale algoritmo presente nel software opensource CloudCompare (CloudCompare 2.7.0, <http://www.cloudcompare.org>).

Al fine di poter applicare correttamente la procedura di misura, le nuvole di punti 3D sono state opportunamente pre-elaborate. In particolare, esse sono state prima “ripulite” al fine di eliminare i punti al di fuori del perimetro dei plot e successivamente allineate (Figura 18).



Figura 18 - Nuvola di punti 3D di un plot prima (sinistra) e dopo (destra) operazione di “pulitura”.

Il processo di allineamento è stato effettuato applicando un approccio di tipo *target-based*, basato cioè sull’individuazione di punti omologhi (features) tra le due rappresentazioni attraverso i quali è possibile stimare la matrice di trasformazione rigida che consente di registrare le due nuvole di punti 3D. Allo scopo sono stati utilizzati mediamente 15 features per coppia di plot, tutte individuate sulla dima quadrata che delimita i plot stessi. Un errore medio (RMSE) di allineamento di circa 2 mm è stato ottenuto.

A valle del processo di allineamento, un’ulteriore fase di “pulitura” è stata effettuata al fine di garantire, per ogni plot, un elevato valore di matching tra la coppia di nuvole di punti 3D (prima e dopo l’asportazione dello strato fogliare). La Tabella 4 riporta, per ciascun plot, alcune statistiche estratte dalle coppie di nuvole 3D.

Tabella 4 - Statistiche relative alle coppie di nuvole di punti 3D rappresentanti i plot prima e dopo l’asportazione dello strato fogliare: NO di punti 3D a valle della fase di pulitura e altezza stimata.

	N° punti 3D (ante asportazione)	N° punti 3D (post asportazione)	Altezza (H) [m]
Plot 1	4.208.767	2.649.593	0,324
Plot 2	4.219.845	2.643.580	0,458
Plot 3	4.084.929	1.841.465	0,374



Plot 4	5.634.449	2.080.160	0,483
Plot 5	2.668.604	1.839.742	0,271
Plot 6	1.976.979	1.403.694	0,391
Plot 7	20.948.7420	16.943.0676	0,412

La stima del volume dei singoli plot è stata stimata applicando l'algoritmo *Raster Space* alla nuvola di punti 3D prima della fase di asportazione, usando come riferimento quella rappresentante il plot dopo l'asportazione dello strato fogliare. Un valore di 1 mm è stato utilizzato come *cell size*. Comunque, considerando che il calcolo del volume è strettamente correlato al numero di punti corrispondenti che ricadono all'interno della stessa *cell size*, la stima ottenuta è stata corretta utilizzando un coefficiente di densità (C_p) definito come il rapporto tra la densità massima di punti delle nuvole 3D (N^0 punti/m²) e la densità di ogni singolo plot. I risultati ottenuti sono riportati in Tabella 5.

Tabella 5 - Statistiche relative alla misura di volume dei plot di *Posidonia oceanica* prima e dopo la normalizzazione effettuata utilizzando il coefficiente di densità delle nuvole di punti 3D.

	Volume V [m³]	Volume normalizzato V_n [m³]	Coefficiente C_p
Plot 1	0,158	0,309	0,511087645
Plot 2	0,167	0,434	0,3843717
Plot 3	0,143	0,356	0,401267159
Plot 4	0,157	0,466	0,336853221
Plot 5	0,69	0,251	0,50686378
Plot 6	0,73	0,363	0,42344245
Plot 7	0,392	0,392	1

Misura della biomassa secca dello strato fogliare asportato dai plot

I campioni prelevati, rappresentativi della canopy fogliare per ogni singolo plot, sono stati essiccati in stufa per circa 48 ore ad una temperatura costante di 90° al fine di misurarne la biomassa secca (espressa in grammi). La biomassa asportata è stata pesata dopo il taglio (*fresh weight*, FW) e dopo l'essiccazione (*dry weight*, DW). Le misure ottenute sono riportate in Tabella 6.



Tabella 6 - Misure di biomassa dei plot di *Posidonia oceanica* prima e dopo la fase di essiccazione.

	<i>fresh weight, FW [g]</i>	<i>dry weight, DW [g]</i>	DW/FW
Plot 1	3003,32	495,38	0,165
Plot 2	3280,78	558,13	0,170
Plot 3	2611,41	507,99	0,195
Plot 4	3228,53	543,51	0,168
Plot 5	3562,26	648,79	0,182
Plot 6	3304,86	616,53	0,187
Plot 7	3014,27	541,21	0,180

Analisi statistica per la stima di biomassa da volume

I valori di biomassa ottenuti sono stati adoperati per la predisposizione dell'equazione di regressione lineare semplice al fine di valutare la correlazione tra la variabile biomassa, misurata in laboratorio, e la variabile volume, misurata in situ mediante rilievo fotogrammetrico.

Considerato il numero ridotto di plot che è stato possibile acquisire nella campagna sperimentale effettuata, l'analisi statistica effettuata ha avuto come obiettivo primario quello di determinare qualitativamente la correlazione tra volume misurato e biomassa e individuare i parametri che maggiormente influenzano l'accuratezza della stima ottenibile.

Osservando gli scatterplot in Figura 19, si nota una tendenza lineare sia tra l'altezza che il volume quanto comparata con la misura di biomassa secca. L'andamento suggerisce che entrambi i parametri possono essere utilizzati per la stima ricercata. Ciò comunque risulta vero se e solo se le nuvole di punti 3D generate dal processo fotogrammetrico rispettano alcuni vincoli relativi alla loro densità. Infatti, com'è possibile notare dai grafici, due dei 7 plot si discostano largamente dall'andamento individuato. Ciò, come è possibile osservare dalle etichette presenti su ogni dato, in cui è riportata la densità della nuvola di differenza di altezza (in migliaia) e la percentuale di punti della nuvola senza corrispondenza, è dovuto alla bassa densità delle nuvole di punti 3D ricostruite. Ciò risulta in un decadimento del valore percentuale di matching dell'algoritmo *Raster Space* utilizzato per la stima del volume e dunque un aumento dell'errore di stima del volume stesso che quindi si discosta dall'andamento statistico seguito dagli dati ottenuti.

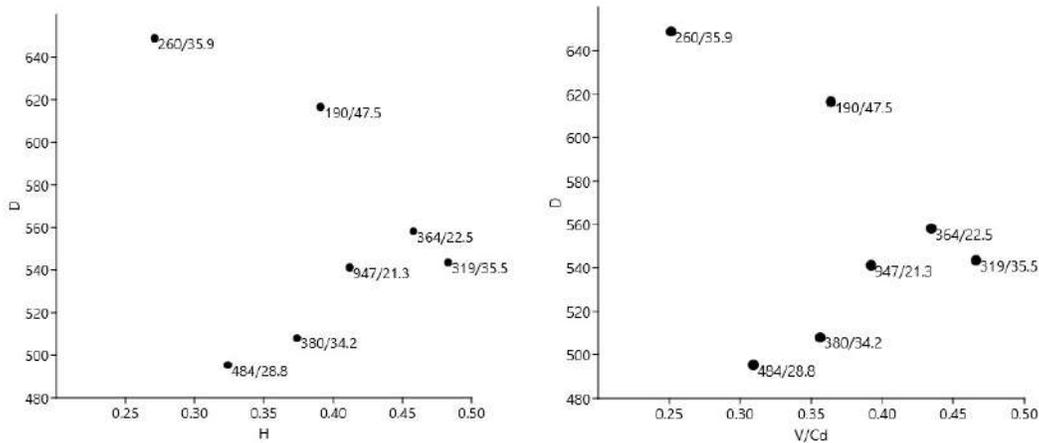


Figura 19 - Scatterplot dell'altezza media (H, in m) e del Volume normalizzato (Vn, in m³) sulla biomassa secca (D, in grammi). Le etichette dei punti riportano la densità della nuvola di differenza di altezza (in migliaia) e la percentuale di punti della nuvola senza corrispondenza.

Eliminati gli outliers dalla serie di dati, si è proceduto al calcolo della retta di regressione semplice per determinare la correlazione biomassa secca (DW) – Volume Normalizzato (Vn).

I risultati ottenuti sono mostrati in Figura .

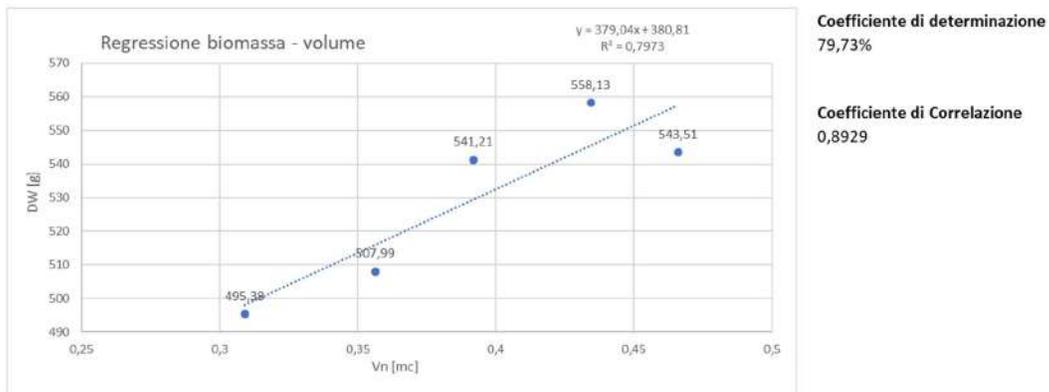


Figura 20 - Retta di regressione semplice tra biomassa secca (DW) – Volume Normalizzato (Vn) determinata a partire dalle misure effettuate sui plot di Posidonia oceanica analizzati nella campagna sperimentale a Cirella (CS).



Bibliografia consultata

Adame, M.F., Wright, S.F., Grinham, A., Lobb, K., Reymond, C.E. & Lovelock, C.E. (2012). Terrestrial-marine connectivity: Patterns of terrestrial soil carbon deposition in coastal sediments determined by analysis of glomalin related soil protein. *Limnology and Oceanography*, 57, 1492.

Alongi, D.M. (2002). Present state and future of the world's mangrove forests. *Environmental conservation*, 29, 331–349.

Alongi, D.M. (2008). Mangrove forests: resilience, protection from tsunamis, and responses to global climate change. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 76, 1–13.

An, S., Li, H., Guan, B., Zhou, C., Wang, Z., Deng, Z. *et al.* (2007). China's natural wetlands: past problems, current status, and future challenges. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 36, 335–342.

Arp, W.J., Drake, B.G., Pockman, W.T., Curtis, P.S. & Whigham, D.F. (1993). Interactions between C3 and C4 salt marsh plant species during four years of exposure to elevated atmospheric CO₂. In: *CO₂ and biosphere*. Springer, pp. 133–143.

Aschbacher, J., Pongsrihadulchai, A., Karnchanasutham, S., Rodprom, C., Paudyal, D. & Le Toan, T. (1995). Assessment of ERS-1 SAR data for rice crop mapping and monitoring. In: *Geoscience and Remote Sensing Symposium, 1995. IGARSS'95. 'Quantitative Remote Sensing for Science and Applications', International*. IEEE, pp. 2183–2185.

Aubinet, M., Vesala, T. & Papale, D. (2012). *Eddy covariance: a practical guide to measurement and data analysis*. Springer Atmospheric Sciences.

Baker, T. & Chao, K. (2009). Manual for coarse woody debris measurement in RAINFOR plots.

Barbier, E.B., Hacker, S.D., Kennedy, C., Koch, E.W., Stier, A.C. & Silliman, B.R. (2011). The value of estuarine and coastal ecosystem services. *Ecological Monographs*, 81, 169–193.

Barg, U., Bartley, D., Tacon, A. & Welcomme, R. (1997). Aquaculture and its environment: A case for collaboration. *Developing and sustaining world fisheries resources. The state of science and management.*, 462–470.

Barillé-Boyer, A.-L., Barillé, L., Massé, H., Razet, D. & Héral, M. (2003). Correction for particulate organic matter as estimated by loss on ignition in estuarine ecosystems. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 58, 147–153.



Barr, J.G., Engel, V., Fuentes, J.D., Zieman, J.C., O'Halloran, T.L., Smith, T.J. *et al.* (2010). Controls on mangrove forest - atmosphere carbon dioxide exchanges in western Everglades National Park. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences (2005–2012)*, 115.

Beck, M.W., Heck, K.L., Able, K.W., Childers, D.L., Eggleston, D.B., Gillanders, B.M. *et al.* (2001). The Identification, Conservation, and Management of Estuarine and Marine Nurseries for Fish and Invertebrates A better understanding of the habitats that serve as nurseries for marine species and the factors that create site-specific variability in nursery quality will improve conservation and management of these areas. *Bioscience*, 51, 633–641.

Bouillon, S., Borges, A.V., Castañeda - Moya, E., Diele, K., Dittmar, T., Duke, N.C. *et al.* (2008). Mangrove production and carbon sinks: a revision of global budget estimates. *Global Biogeochemical Cycles*, 22.

Bouillon, S., Dahdouh-Guebas, F., Rao, A., Koedam, N. & Dehairs, F. (2003). Sources of organic carbon in mangrove sediments: variability and possible ecological implications. *Hydrobiologia*, 495, 33–39.

Brown, J.K. & Roussopoulos, P.J. (1974). Eliminating biases in the planar intersect method for estimating volumes of small forest fuels. *Forest Science*, 20, 350–356.

Burba, G. (2013). *Eddy Covariance Method for Scientific, Industrial, Agricultural, and Regulatory Applications: A Field Book on Measuring Ecosystem Gas Exchange and Areal Emission Rates*. LI-COR Biosciences, Lincoln, NE, USA.

Cahoon, D.R., Lynch, J.C., Perez, B.C., Segura, B., Holland, R.D., Stelly, C. *et al.* (2002). High-precision measurements of wetland sediment elevation: II. The rod surface elevation table. *Journal of Sedimentary Research*, 72, 734–739.

Callaway, J.C., Borde, A., Diefenderfer, H.L., Parker, V.T., Rybczyk, J.M., Thom, R.M. *et al.* (2012). *Pacific Coast tidal wetlands*. University of California Press Berkeley, CA, USA.

Chave, J., Andalo, C., Brown, S., Cairns, M., Chambers, J., Eamus, D. *et al.* (2005). Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*, 145, 87–99.

Chipman, L., Huettel, M., Berg, P., Meyer, V., Klimant, I., Glud, R. *et al.* (2012). Oxygen optodes as fast sensors for eddy correlation measurements in aquatic systems. *Limnology and Oceanography: Methods*, 10, 304–316.



Chmura, G.L. (2013). What do we need to assess the sustainability of the tidal salt marsh carbon sink? *Ocean & Coastal Management*, 83, 25–31.

Chmura, G.L., Anisfeld, S.C., Cahoon, D.R. & Lynch, J.C. (2003). Global carbon sequestration in tidal, saline wetland soils. *Global biogeochemical cycles*, 17, Article 11.

Choi, Y. & Wang, Y. (2004). Dynamics of carbon sequestration in a coastal wetland using radiocarbon measurements. *Global Biogeochemical Cycles*, 18, Article GB4016.

Choi, Y., Wang, Y., Hsieh, Y.P. & Robinson, L. (2001). Vegetation succession and carbon sequestration in a coastal wetland in northwest Florida: Evidence from carbon isotopes. *Global Biogeochemical Cycles*, 15, 311–319.

Cintrón, G., Lugo, A.E., Pool, D.J. & Morris, G. (1978). Mangroves of arid environments in Puerto Rico and adjacent islands. *Biotropica*, 10, 110–121.

Clough, B. & Scott, K. (1989). Allometric relationships for estimating above-ground biomass in six mangrove species. *Forest Ecology and Management*, 27, 117–127.

Connor, R.F., Chmura, G.L. & Beecher, C.B. (2001). Carbon accumulation in Bay of Fundy salt marshes: Implications for restoration of reclaimed marshes. *Global Biogeochemical Cycles*, 15, 943–954.

Coronado-Molina, C., Day, J., Reyes, E. & Perez, B. (2004). Standing crop and aboveground biomass partitioning of a dwarf mangrove forest in Taylor River Slough, Florida. *Wetlands Ecology and Management*, 12, 157–164.

Craft, C. (2013). Emergent Macrophyte Biomass Production. In: *Methods in Biogeochemistry of Wetlands* (eds. DeLaune, RD, Reddy, KR, Richardson, CJ & Megonigal, JP). Soil Science Society of America, pp. 137–153.

Craft, C., Seneca, E. & Broome, S. (1991). Loss on ignition and Kjeldahl digestion for estimating organic carbon and total nitrogen in estuarine marsh soils: calibration with dry combustion. *Estuaries*, 14, 175–179.

Cullen-Unsworth, L. & Unsworth, R. (2013). Seagrass meadows, ecosystem services, and sustainability. *Environment: Science and Policy for Sustainable Development*, 55, 14–28.



Cummings, D., Boone Kauffman, J., Perry, D.A. & Flint Hughes, R. (2002). Aboveground biomass and structure of rainforests in the

southwestern Brazilian Amazon. *Forest Ecology and Management*, 163, 293–307.

Daiber, F.C. (1982). *Animals of the tidal marsh*. Van Nostrand Reinhold Co. Inc, New York, NY, pp. 422.

Dame, R., Dankers, N., Prins, T., Jongasma, H. & Smaal, A. (1991). The influence of mussel beds on nutrients in the Western Wadden Sea and Eastern Scheldt estuaries. *Estuaries*, 14, 130–138.

Danielsen, F., Sørensen, M.K., Olwig, M.F., Selvam, V., Parish, F., Burgess, N.D. et al. (2005). The Asian tsunami: a protective role for coastal vegetation. *Science*, 310, 643.

Darby, F.A. & Turner, R.E. (2008a). Below-and aboveground *Spartina alterniflora* production in a Louisiana salt marsh. *Estuaries and Coasts*, 31, 223–231.

Darby, F.A. & Turner, R.E. (2008b). Effects of eutrophication on salt marsh root and rhizome biomass accumulation. *Marine Ecology Progress Series*, 363, 63–70.

Das, S. & Vincent, J.R. (2009). Mangroves protected villages and reduced death toll during Indian super cyclone. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106, 7357–7360.

DeFries, R., Achard, F., Brown, S., Herold, M., Murdiyarso, D. & Schlamadinger, B. (2007). Earth observations for estimating greenhouse gas emissions from deforestation in developing countries. *Environmental science & policy*, 10, 385–394.

DeLaune, R. & White, J. (2012). Will coastal wetlands continue to sequester carbon in response to an increase in global sea level?: a case study of the rapidly subsiding Mississippi river deltaic plain. *Climatic Change*, 110, 297–314.

Di Gregorio A. (2005). *Land Cover Classification System. Classification concepts and user manual*. Software version 2. FAO, Environment and Natural Resources Series number 8. Rome, Italy. 190 pp & CD-ROM.

Di Gregorio, A. & Jansen, L.J.M. (2000). *Land Cover Classification System (LCCS). Classification concepts and user manual for software version 1.0*. FAO Rome, p. 179.

Donato, D., Kauffman, J., Mackenzie, R., Ainsworth, A. & Pflieger, A. (2012). Whole-island carbon stocks in the tropical Pacific: Implications for mangrove conservation and upland restoration. *Journal of environmental management*, 97, 89–96.



Donato, D.C., Kauffman, J.B., Murdiyarto, D., Kurnianto, S., Stidham, M. & Kanninen, M. (2011). Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics. *Nature Geoscience*, 4, 293–297.

Duarte, C.M. (1990). Seagrass nutrient content. *Marine ecology progress series*. Oldendorf, 6, 201–207.

Duarte, C.M., Marbà, N., Gacia, E., Fourqurean, J.W., Beggins, J., Barrón, C. et al. (2010). Seagrass community metabolism: Assessing the carbon sink capacity of seagrass meadows. *Global Biogeochemical Cycles*, 24.

Duarte, C.M., Middelburg, J.J. & Caraco, N. (2005). Major role of marine vegetation on the oceanic carbon cycle. *Biogeosciences*, 2, 1–8.

Duke, N.C., Meynecke, J.-O., Dittmann, S., Ellison, A.M., Anger, K., Berger, U. et al. (2007). A world without mangroves? *Science*, 317, 41–42.

Else-Quirk, T., Seliskar, D.M., Sommerfield, C.K. & Gallagher, J.L. (2011). Salt marsh carbon pool distribution in a mid-atlantic lagoon, USA: sea level rise implications. *Wetlands*, 31, 87–99.

Esquivel, M.J., Harvey, C.A., Finegan, B., Casanoves, F. & Skarpe, C. (2008). Effects of pasture management on the natural regeneration of neotropical trees. *Journal of Applied Ecology*, 45, 371–380.

Fang, J., Liu, G. & Xu, S. (1996). Carbon pools in terrestrial ecosystems in China, in emissions and their relevant processes of greenhouse gases in China. China Environment Science Press, Beijing.

FAO (2007). The world's mangroves, 1980–2005. In: *FAO Forestry Paper* (ed. Nations, FAO/OTU). Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome, pp. 153.

Fatoyinbo, T.E. & Simard, M. (2013). Height and biomass of mangroves in Africa from ICESat/GLAS and SRTM. *International Journal of Remote Sensing*, 34, 668–681.

Fatoyinbo, T.E., Simard, M., Washington - Allen, R.A. & Shugart, H.H. (2008). Landscape - scale extent, height, biomass, and carbon estimation of Mozambique's mangrove forests with



Landsat ETM+ and Shuttle Radar Topography Mission elevation data. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences* (2005–2012), 113, Article G02S06.

Fourqurean, J., Willsie, A., Rose, C. & Rutten, L. (2001). Spatial and temporal pattern in seagrass community composition and productivity in south Florida. *Marine Biology*, 138, 341–354.

Fourqurean, J.W., Duarte, C.M., Kennedy, H., Marbà, N., Holmer, M., Mateo, M.A. et al. (2012a). Seagrass ecosystems as a globally significant carbon stock. *Nature Geoscience*, 5, 505–509.

Fourqurean, J.W., Kendrick, G.A., Collins, L.S., Chambers, R.M. & Vanderklift, M.A. (2012b). Carbon, nitrogen and phosphorus storage in subtropical seagrass meadows: examples from Florida Bay and Shark Bay. *Marine and Freshwater Research*, 63, 967–983.

Gedan, K.B., Altieri, A.H. & Bertness, M.D. (2011). Uncertain future of New England salt marshes. *Marine Ecology Progress Series*, 434, 229–237.

Gedan, K.B., Silliman, B. & Bertness, M. (2009). Centuries of human-driven change in salt marsh ecosystems. *Marine Science*, 1, 117–141.

Gibbs, H.K., Brown, S., Niles, J.O. & Foley, J.A. (2007). Monitoring and estimating tropical forest carbon stocks: making REDD a reality. *Environmental Research Letters*, 2, 045023.

Giri, C., Ochieng, E., Tieszen, L., Zhu, Z., Singh, A., Loveland, T. et al. (2011). Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data. *Global Ecology and Biogeography*, 20, 154–159.

Giri, C.P. (2012). *Remote sensing of land use and land cover: principles and applications*. CRC Press, Boca Raton, FL.

Giroux, J.F. & Bédard, J. (1987). The effects of grazing by greater snow geese on the vegetation of tidal marshes in the St Lawrence estuary. *Journal of Applied Ecology*, 773–788.

Giroux, J.F. & Bédard, J. (1988). Above-and below-ground macrophyte production in *Scirpus* tidal marshes of the St. Lawrence estuary, Quebec. *Canadian journal of botany*, 66, 955–962.

Global Carbon Atlas 2020. Atlas of CO₂ emissions. Web-based data at <http://globalcarbonatlas.org/en/CO2-emissions> [Online].



GOFC-GOLD (2009). A sourcebook of methods and procedures for monitoring and reporting anthropogenic greenhouse gas emissions and removals caused by deforestation, gains and losses of carbon stocks in forest remaining forests, and forestation. In: GOFC-GOLD Report Version COP15-1. GOFC-GOLD Project Office, Natural Resources Canada Canada

Gosselink, J. & Maltby, E. (1990). Wetland gains and losses. Wetlands: a threatened landscape. Blackwell Science, Oxford, UK, 269–322.

Green, E.P., Mumby, P.J., Edwards, A.J. & Clark, C.D. (2000). Remote sensing handbook for tropical coastal management. Paris: UNESCO

Green, E.P. & Short, F.T. (2003). World atlas of seagrasses. University of California Press Berkeley, CA, USA, UNEP-WCMC

Gross, M. (2014). Protect the coasts so they can protect us. *Current Biology*, 24, R51–R53.

Gross, M.F., Hardisky, M.A., Wolf, P.L. & Klemas, V. (1991). Relationship between aboveground and belowground biomass of *Spartina alterniflora* (smooth cordgrass). *Estuaries*, 14, 180–191.

Hall, F. (2001a). Ground-based photographic monitoring. In: Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-503. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station Portland, OR, p. 340.

Hall, F. (2001b). Photo point monitoring handbook. In: Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-526. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station Portland, OR, p. 134.

Harmon, M.E. & Sexton, J. (1996). Guidelines for measurements of woody detritus in forest ecosystems. US LTER Network Office
Seattle (WA).

Heck Jr, K.L., Carruthers, T.J., Duarte, C.M., Hughes, A.R., Kendrick, G., Orth, R.J. et al. (2008). Trophic transfers from seagrass meadows subsidize diverse marine and terrestrial consumers. *Ecosystems*, 11, 1198–1210.

Heiri, O., Lotter, A.F. & Lemcke, G. (2001). Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results. *Journal of paleolimnology*, 25, 101–110.

Held, A., Ticehurst, C., Lymburner, L. & Williams, N. (2003). High resolution mapping of tropical mangrove ecosystems using hyperspectral and radar remote sensing. *International Journal of Remote Sensing*, 24, 2739–2759.



Hendriks, I., Sintes, T., Bouma, T. & Duarte, C. (2008). Experimental assessment and modeling evaluation of the effects of seagrass (*Posidonia oceanica*) on flow and particle trapping. *Mar Ecol Prog Ser*, 356, 163–173.

Heumann, B.W. (2011). Satellite remote sensing of mangrove forests: Recent advances and future opportunities. *Progress in Physical Geography*, 35, 87–108.

Hidayat, S. & Simpson, W.T. (1994). Use of green moisture content and basic specific gravity to group tropical woods for kiln drying. US Dept. of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory.

Hirota, J. & Szyper, J.P. (1975). Separation of total particulate carbon into inorganic and organic components. *Limnol. Oceanography*, 20, 896–900.

Hoekstra, J.M., Molnar, J.L., Revenga, C., Spalding, M.D. & Jennings, M. (2010). The atlas of global conservation: changes, challenges and opportunities to make a difference. University of California Press, Berkeley, CA, USA.

Hogarth, P. (1999). *The Biology of Mangroves*. Oxford University Press, Oxford, UK, pp. 228

Hoojoer, A., Silvius, M., Wosten, H. & Page, S. (2006). Assessment of CO₂ emissions from drained peatlands in SE Asia. A technical Report. Wetlands International Netherlands.

IPCC (2007). Contribution of Working Group II. In: Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (eds. M.L.

Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, Linden, P.J. & Hanson, C.E.). Cambridge University Press Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

IPCC (2013). Coastal Wetlands. In: 2013 Supplement to the 2006 IPCC guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (eds. Alongi, D, Karim, A, Kennedy, H, Chen, G, Chmura, G, Crooks, S et al.).

Jaramillo, V.J., Kauffman, J.B., Rentería-Rodríguez, L., Cummings, D.L. & Ellingson, L.J. (2003). Biomass, carbon, and nitrogen pools in Mexican tropical dry forest landscapes. *Ecosystems*, 6, 609–629.

Johnson, B., Pickoff, M., Russ, C., Dostie, P. & Duvall, M. (in prep). Assessing carbon stocks in tidal salt marshes. *Estuaries and Coasts*.

Johnson, B.J., Moore, K.A., Lehmann, C., Bohlen, C. & Brown, T.A. (2007). Middle to late Holocene fluctuations of C₃ and C₄ vegetation in a



Northern New England Salt Marsh, Sprague Marsh, Phippsburg Maine. *Organic Geochemistry*, 38, 394–403.

Kangas, P.C. & Lugo, A.E. (1990). The distribution of mangroves and saltmarsh in Florida. *Tropical Ecology*, 31, 32–39.

Kathiresan, K. & Bingham, B.L. (2001). Biology of mangroves and mangrove ecosystems. *Advances in marine biology*, 40, 81–251.

Kathiresan, K. & Rajendran, N. (2005). Coastal mangrove forests mitigated tsunami. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 65, 601–606.

Kauffman, J., Sanford, R., Cummings, D., Salcedo, I. & Sampaio, E. (1993). Biomass and nutrient dynamics associated with slash fires in neotropical dry forests. *Ecology*, 74, 140–151.

Kauffman, J.B. & Cole, T.G. (2010). Micronesian mangrove forest structure and tree responses to a severe typhoon. *Wetlands*, 30, 1077–1084.

Kauffman, J.B., Cummings, D. & Ward, D. (1998). Fire in the Brazilian Amazon 2. Biomass, nutrient pools and losses in cattle pastures. *Oecologia*, 113, 415–427.

Kauffman, J.B., Cummings, D., Ward, D. & Babbitt, R. (1995). Fire in the Brazilian Amazon: 1. Biomass, nutrient pools, and losses in slashed primary forests. *Oecologia*, 104, 397–408.

Kauffman, J.B. & Donato, D. (2011). Protocols for the measurement, monitoring and reporting of structure, biomass and carbon stocks in mangrove forests. Bogor, Indonesia: Center for International Forestry Research (CIFOR).

Kauffman, J.B., Heider, C., Cole, T.G., Dwire, K.A. & Donato, D.C. (2011). Ecosystem carbon stocks of Micronesian mangrove forests. *Wetlands*, 31, 343–352.

Kauffman, J.B., Heider, C., Norfolk, J. & Payton, F. (2014). Carbon stocks of intact mangroves and carbon emissions arising from their conversion in the Dominican Republic. *Ecological Applications*, 24, 518–527.

Kennedy, H., Beggins, J., Duarte, C.M., Fourqurean, J.W., Holmer, M., Marbà, N. et al. (2010). Seagrass sediments as a global carbon sink: Isotopic constraints. *Global Biogeochemical Cycles*, 24.

Kennedy, V.S. (1984). *The estuary as a filter*. Academic Press, New York, NY, USA



King, S.E. & Lester, J.N. (1995). The value of salt marsh as a sea defence. *Marine Pollution Bulletin*, 30, 180–189.

Klemas, V. (2010). Remote sensing techniques for studying coastal ecosystems: An overview. *Journal of Coastal Research*, 27, 2–17.

Klemas, V. (2013). Using remote sensing to select and monitor wetland restoration sites: An overview. *Journal of Coastal Research*, 29, 958–970.

Komiyama, A., Ong, J.E. & Pongparn, S. (2008). Allometry, biomass, and productivity of mangrove forests: A review. *Aquatic Botany*, 89, 128–137.

Komiyama, A., Pongparn, S. & Kato, S. (2005). Common allometric equations for estimating the tree weight of mangroves. *Journal of Tropical Ecology*, 21, 471–477.

Kuenzer, C., Bluemel, A., Gebhardt, S., Quoc, T.V. & Dech, S. (2011). Remote sensing of mangrove ecosystems: A review. *Remote Sensing*, 3, 878–928.

Kyoto Protocol (1998). Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change (ed. Nations, U).

Laffoley, D. & Grimsditch, G.D. (2009). The management of natural coastal carbon sinks. IUCN, Gland, Switzerland.

Lavery, P., Mateo, M., Serrano, O. & Rozaimi, M. (2013). Variability in the Carbon Storage of Seagrass Habitats and Its Implications for Global Estimates of Blue Carbon Ecosystem Service. *PLoS One*, 8, e73748.

Leong, L. & Tanner, P. (1999). Comparison of methods for determination of organic carbon in marine sediment. *Marine Pollution Bulletin*, 38, 875–879.

Lo Iacono, C., Mateo, M.A., Gràcia, E., Guasch, L., Carbonell, R., Serrano, L. et al. (2008). Very high - resolution seismo - acoustic imaging of seagrass meadows (Mediterranean Sea): Implications for carbon sink estimates. *Geophysical Research Letters*, 35.

Long, S.P. & Mason, C.F. (1983). *Saltmarsh ecology*. Blackie Glasgow, UK.



Loomis, M.J. & Craft, C.B. (2010). Carbon sequestration and nutrient (nitrogen, phosphorus) accumulation in river-dominated tidal marshes, Georgia, USA. *Soil Science Society of America Journal*, 74, 1028–1036.

Lovelock, C.E., Adame, M.F., Bennion, V., Hayes, M., O'Mara, J., Reef, R. et al. (2014). Contemporary Rates of Carbon Sequestration

Through Vertical Accretion of Sediments in Mangrove Forests and Saltmarshes of South East Queensland, Australia. *Estuaries and Coasts*, 37, 763–771.

Lovelock, C.E., Feller, I.C., McKee, K.L. & Thompson, R. (2005). Variation in mangrove forest structure and sediment characteristics in Bocas del Toro, Panama. *Caribbean Journal of Science*, 41, 456–464.

Lovelock, C.E., Ruess, R.W. & Feller, I.C. (2011). CO₂ efflux from cleared mangrove peat. *PLoS one*, 6, e21279.

Lucas, R., Rowlands, A., Brown, A., Keyworth, S. & Bunting, P. (2007a). Rule-based classification of multi-temporal satellite imagery for habitat and agricultural land cover mapping. *ISPRS Journal of photogrammetry and remote sensing*, 62, 165–185.

Lucas, R.M., Mitchell, A.L., Rosenqvist, A., Proisy, C., Melius, A. & Ticehurst, C. (2007b). The potential of L - band SAR for quantifying mangrove characteristics and change: case studies from the tropics. *Aquatic conservation: marine and freshwater ecosystems*, 17, 245–264.

Massel, S., Furukawa, K. & Brinkman, R. (1999). Surface wave propagation in mangrove forests. *Fluid Dynamics Research*, 24, 219–249.

Mazda, Y., Magi, M., Kogo, M. & Hong, P.N. (1997). Mangroves as a coastal protection from waves in the Tong King delta, Vietnam. *Mangroves and Salt marshes*, 1, 127–135.

McIvor, A., Möller, I., Spencer, T. & Spalding, M. (2012a). Reduction of wind and swell waves by mangroves. *Natural Coastal Protection Series: Report*, 1, 27.

McIvor, A., Spencer, T., Möller, I. & Spalding, M. (2012b). Storm surge reduction by mangroves. *Natural Coastal Protection Series: Report*, 2, 36.

McKee, K.L., Cahoon, D.R. & Feller, I.C. (2007). Caribbean mangroves adjust to rising sea level through biotic controls on change in soil elevation. *Global Ecology and Biogeography*, 16, 545–556.



Mcleod, E., Chmura, G.L., Bouillon, S., Salm, R., Björk, M., Duarte, C.M. et al. (2011). A blueprint for blue carbon: toward an improved understanding of the role of vegetated coastal habitats in sequestering CO₂. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 9, 552–560.

Megonigal, J.P. & Schlesinger, W. (2002). Methane - limited methanotrophy in tidal freshwater swamps. *Global Biogeochemical Cycles*, 16, 35-31-35-10.

Middelburg, J., Nieuwenhuize, J., Lubberts, R. & Van de Plassche, O. (1997). Organic carbon isotope systematics of coastal marshes. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 45, 681–687.

Middleton, B. & McKee, K. (2001). Degradation of mangrove tissues and implications for peat formation in Belizean island forests. *Journal of Ecology*, 89, 818–828.

MITLibraries. Reasons to Manage and Publish Your Data. (<http://libraries.mit.edu/guides/subjects/data-management/why.html>) 14th March 2014.

Mitsch, W.J. & Gosselink, J.G. (2000). The value of wetlands: importance of scale and landscape setting. *Ecological economics*, 35, 25–33.

Mitsch, W.J. & Gosselink, J.G. (2007). *Wetlands*. John Wiley & Sons, Inc. Hoboken. NJ, USA.

Mortlock, R.A. & Froelich, P.N. (1989). A simple method for the rapid determination of biogenic opal in pelagic marine sediments. *Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers*, 36, 1415–1426.

Monnier, B., Pergent, G., Valette-Sansevin, A., Boudouresque, C. F., Mateo, M. Á., & Pergent-Martini, C. (2020). The *Posidonia oceanica* matte: a unique coastal carbon sink for climate change mitigation and implications for management. *Vie et Milieu/Life & Environment*, 70.

Monnier B, Pergent G, Clabaut P, Pergent-Martini C 2017. Seismic reflection: a new tool to estimate carbon sinks. In Özhan E Ed, Proceedings of the 13th International MEDCOAST Congress on Coastal and Marine Sciences, Engineering, Management and Conservation, MEDCOAST, Mellieha, Malta. Mediterranean Coastal Foundation, Dalyan, Mugla, Turkey, 1: 674 p.

Monnier B, Clabaut P, Mateo MA, Pergent-Martini C, Pergent G 2019a. Intercalibration of seismic reflection data and characterization of *Posidonia oceanica* meadow mats. In Langar H, Ouerghi A Eds, UNEP/MAP – SPA/RAC 2019, Proceedings of the 6th Mediterranean Symposium on Marine Vegetation, Antalya, Turkey. RAC/SPA publ., Tunis: 148 p.

Monnier B, Lapaquellerie J, Boudouresque CF, Cantaloube F, Mateo MA, Clabaut P, Pergent G, Pergent-Martini C, 2019b. The *Posidonia oceanica* matte: a reservoir of environmental



information. In Özhan E Ed, Proceedings of the 14th International MEDCOAST Congress on Coastal and Marine Sciences, Engineering, Management and Conservation, MEDCOAST, Marmaris, Turkey. Mediterranean Coastal Foundation, Dalyan, Mugla, Turkey, 1: 275-286.

Morton, R.A. & White, W.A. (1997). Characteristics of and corrections for core shortening in unconsolidated sediments. *Journal of Coastal Research*, 13, 761–769.

Mougin, E., Proisy, C., Marty, G., Fromard, F., Puig, H., Betoulle, J. et al. (1999). Multifrequency and multipolarization radar backscattering from mangrove forests. *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, 37, 94–102.

Mumby, P.J. (2006). Connectivity of reef fish between mangroves and coral reefs: algorithms for the design of marine reserves at seascape scales. *Biological conservation*, 128, 215–222.

Murray, B.C., Pendleton, L. & Sifleet, S. (2011). State of the Science on Coastal Blue Carbon: A Summary for Policy Makers. In: Nicholas Institute for Environmental Policy Solutions Report NIR 11-06, pp. 1–43.

Murray, N.J., Phinn, S.R., Clemens, R.S., Roelfsema, C.M. & Fuller, R.A. (2012). Continental scale mapping of tidal flats across East Asia using the Landsat archive. *Remote Sensing*, 4, 3417–3426.

Nascimento Jr, W.R., Souza-Filho, P.W.M., Proisy, C., Lucas, R.M. & Rosenqvist, A. (2013). Mapping changes in the largest continuous Amazonian mangrove belt using object-based classification of multisensor satellite imagery. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 117, 83–93.

Nelson, D.W., Sommers, L.E., Sparks, D., Page, A., Helmke, P., Loeppert, R. et al. (1996). Total carbon, organic carbon, and organic *matter*.

Methods of soil analysis. Part 3-chemical methods., 961–1010.

Niering, W.A. & Warren, R.S. (1980). Vegetation patterns and processes in New England salt marshes. *BioScience*, 30, 301–307.

Nixon, S.W. (1980). Between coastal marshes and coastal waters—a review of twenty years of speculation and research on the role of salt marshes in estuarine productivity and water chemistry. Plenum Press, New York, NY, USA pp. 437–525.

Orth, R.J., Carruthers, T.J., Dennison, W.C., Duarte, C.M., Fourqurean, J.W., Heck, K.L. et al. (2006). A global crisis for seagrass ecosystems. *Bioscience*, 56, 987–996.



Pan, Y., Birdsey, R.A., Fang, J., Houghton, R., Kauppi, P.E., Kurz, W.A. et al. (2011). A Large and Persistent Carbon Sink in the World's Forests. *Science*, 333, 988–993.

Parrondo, R.T., Gosselink, J.G. & Hopkins, C.S. (1978). Effects of salinity and drainage on the growth of three salt marsh grasses. *Botanical Gazette*, 139, 102–107.

Partridge, T. & Wilson, J. (1987). Salt tolerance of salt marsh plants of Otago, New Zealand. *New Zealand journal of botany*, 25, 559–566.

Pearson, T., Walker, S. & Brown, S. (2005). Sourcebook for land use, land-use change and forestry projects. In: Report from BioCF and Winrock International World Bank Washington DC.

Pearson, T.R., Brown, S.L. & Birdsey, R.A. (2007). Measurement guidelines for the sequestration of forest carbon. USDA Forest Service, Newtown, PA, USA.

Pendleton, L., Donato, D.C., Murray, B.C., Crooks, S., Jenkins, W.A., Sifleet, S. et al. (2012). Estimating global “blue carbon” emissions from conversion and degradation of vegetated coastal ecosystems. *PLoS One*, 7, e43542.

Pennings, S.C. & Moore, D.J. (2001). Zonation of shrubs in western Atlantic salt marshes. *Oecologia*, 126, 587–594.

Peter Mumby, E.P. Green, Alasdair James Edwards, Chris D Clark - Measurement of seagrass standing crop using satellite and digital airborne remote sensing – 1997 Marine Ecology Progress Series 159:51-60

Pilskaln, C. & Paduan, J. (1992). Laboratory techniques for the handling and geochemical analysis of water column particulate and surface sediment samples. Monterey Bay Aquarium Research Institute Technical Report, 92–99.

Poffenbarger, H.J., Needelman, B.A. & Megonigal, J.P. (2011). Salinity influence on methane emissions from tidal marshes. *Wetlands*, 31, 831–842.

Pu, R., Bell, S., Meyer, C., Baggett, L. & Zhao, Y. (2012). Mapping and assessing seagrass along the western coast of Florida using Landsat TM and EO-1 ALI/Hyperion imagery. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 115, 234–245.

Purvaja, R. & Ramesh, R. (2001). Natural and anthropogenic methane emission from coastal wetlands of South India. *Environmental Management*, 27, 547–557.



Rahman, A.F., Dragoni, D., Didan, K., Barreto-Munoz, A. & Hutabarat, J.A. (2013). Detecting large scale conversion of mangroves to aquaculture with change point and mixed-pixel analyses of high-fidelity MODIS data. *Remote Sensing of Environment*, 130, 96–107.

Ray, R., Ganguly, D., Chowdhury, C., Dey, M., Das, S., Dutta, M. et al. (2011). Carbon sequestration and annual increase of carbon stock in a mangrove forest. *Atmospheric Environment*, 45, 5016–5024.

Rees, G. & Rees, W. (2012). *Physical principles of remote sensing*. Cambridge University Press. Cambridge, UK.

Robertson, A.I. & Alongi, D.M. (1992). *Tropical mangrove ecosystems*. American Geophysical Union. Washington DC, USA. pp. 329

Robertson, A.I. & Daniel, P.A. (1989). Decomposition and the annual flux of detritus from fallen timber in tropical mangrove forests. *Limnology and Oceanography*, 34, 640–646.

Roelfsema, C., Phinn, S., Udy, N. & Maxwell, P. (2009). An integrated field and remote sensing approach for mapping seagrass cover, Moreton Bay, Australia. *Journal of Spatial Science*, 54, 45–62.

Ross, M.S., Ruiz, P.L., Telesnicki, G.J. & Meeder, J.F. (2001). Estimating above-ground biomass and production in mangrove communities of Biscayne National Park, Florida (USA). *Wetlands Ecology and Management*, 9, 27–37.

Roy A. Armstrong - Remote sensing of submerged vegetation canopies for biomass estimation - March 1993 *International Journal of Remote Sensing* 14(3):621-627

SABOL, B.M. AND R.E. MELTON, JR, 1995. Development of an automated system for detection and mapping of submersed aquatic vegetation with hydroacoustic and global positioning system technologies, report I: the Submersed Aquatic Vegetation Early Warning System (VASEWS) - system description and user's guide (version 1.0), USACE Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.

SABOL, B.M., R. E. MELTON, R. CHAMBERLAIN, P. DOERING, K. HAUNERT. 1999. Evaluation of a Digital Echo Sounder System for Detection of Seagrass (draft paper).

SABOL, B.M., R.L. KASUL, R.E. MELTON, AND D.A. MARINO. 1994. Hydroacoustic measurement and automated mapping of submersed aquatic vegetation. *Miscellaneous Paper A-94-2*, USACE Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS, 12-20.



Saenger, P. (2002). The Value of Mangroves. In: Mangrove Ecology, Silviculture and Conservation. Springer, pp. 207–228.

Saenger, P. & Snedaker, S.C. (1993). Pantropical trends in mangrove above-ground biomass and annual litterfall. *Oecologia*, 96, 293–299.

Saintilan, N., Rogers, K. & Howe, A. (2009). Geomorphology and habitat dynamics. CSIRO Publishing, Collingwood, Vic. pp. 58–60.

Saintilan, N., Rogers, K., Mazumder, D. & Woodroffe, C. (2013). Allochthonous and autochthonous contributions to carbon accumulation and carbon store in southeastern Australian coastal wetlands. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 128, 84–92.

Saintilan, N. & Williams, R.J. (1999). Mangrove transgression into salt marsh environments in south - east Australia. *Global Ecology and Biogeography*, 8, 117–124.

Saunders, C.J., Megonigal, J.P. & Reynolds, J.F. (2006). Comparison of belowground biomass in C3-and C4-dominated mixed communities in a Chesapeake Bay brackish marsh. *Plant and Soil*, 280, 305–322.

Schlesinger, W.H. & Lichter, J. (2001). Limited carbon storage in soil and litter of experimental forest plots under increased atmospheric CO₂. *Nature*, 411, 466–469.

Sharp, R., Tallis, H. T., Ricketts, T., Guerry, A. D., Wood, S. A., Chaplin-Kramer, R., ... & Vogl, A. L. (2014). InVEST user's guide. The Natural Capital Project: Stanford, CA, USA.

Schnitzer, S.A., DeWalt, S.J. & Chave, J. (2006). Censusing and Measuring Lianas: A Quantitative Comparison of the Common Methods. *Biotropica*, 38, 581–591.

Schneider, P., Burczynski, J., Monteoliva, A., & Valle, A. (2001). Results from submerged aquatic plant assessment using digital echosounder technique. International Council for the Exploration of the Sea, Joint Session of FTFB and FAST Working Groups, 23-27.

Serrano, O., Mateo, M., Renom, P. & Julià, R. (2012). Characterization of soils beneath a *Posidonia oceanica* meadow. *Geoderma*, 185–186, 26–36.

Serrano, O., Lavery, P.S., Rozaimi, M. & Mateo, M.Á. (2014). Influence of water depth on the carbon sequestration capacity of seagrasses. *Global Biogeochemical Cycles*. DOI: 10.1002/2014GB004872



Short, F.T. & Coles, R.G. (2001). *Global seagrass research methods*. Elsevier Science, Amsterdam, pp. 473.

Sidik, F. & Lovelock, C.E. (2013). CO₂ efflux from shrimp ponds in Indonesia. *PloS one*, 8, e66329.

Siikamäki, J., Sanchirico, J. & Jardine, S. (2012). Global economic potential for reducing carbon dioxide emissions from mangrove loss. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109, 14369–14374.

Simard, M., Hensley, S., Lavalley, M., Dubayah, R., Pinto, N. & Hofton, M. (2012). An empirical assessment of temporal decorrelation using the uninhabited aerial vehicle synthetic aperture radar over forested landscapes. *Remote Sensing*, 4, 975–986.

Simard, M., Pinto, N., Fisher, J.B. & Baccini, A. (2011). Mapping forest canopy height globally with spaceborne lidar. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences* (2005–2012), 116.

Simard, M., Rivera-Monroy, V.H., Mancera-Pineda, J.E., Castañeda-Moya, E. & Twilley, R.R. (2008). A systematic method for 3D mapping of mangrove forests based on Shuttle Radar Topography Mission elevation data, ICESat/GLAS waveforms and field data: Application to Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia. *Remote Sensing of Environment*, 112, 2131–2144.

Simard, M., Zhang, K., Rivera-Monroy, V.H., Ross, M.S., Ruiz, P.L., Castañeda-Moya, E. et al. (2006). Mapping height and biomass of mangrove forests in Everglades National Park with SRTM elevation data. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 72, 299–311.

Smith III, T.J. & Whelan, K.R. (2006). Development of allometric relations for three mangrove species in South Florida for use in the Greater Everglades Ecosystem restoration. *Wetlands Ecology and Management*, 14, 409–419.

Smith, K.K., Good, R.E. & Good, N.F. (1979). Production dynamics for above and belowground components of a New Jersey *Spartina alterniflora* tidal marsh. *Estuarine and coastal marine science*, 9, 189–201.

Smith, S. (1981). Marine macrophytes as a global carbon sink. *Science*, 211, 838–840.

Snedaker, S.C. & Lahmann, E.J. (1988). Mangrove understory absence: a consequence of evolution. *J. Trop. Ecol*, 4, 311–314.



Sollins, P., Glassman, C., Paul, E., Swanston, C., Lajtha, K., Heil, J. et al. (1999). Soil carbon and nitrogen: pools and fractions. In: Standard soil methods for long-term ecological research (ed. Robertson, G). Oxford University Press New York, NY, pp. 89–105.

Solochin (2009). Free Inventory and Measurements in Forest Ecosystem Carbon RawaGambut: A case study in Merang Peat Swamp Forest, South Sumatra. MerangREDD Pilot Project-GTZ.

Sousa, A.I., Lillebø, A.I., Risgaard-Petersen, N., Pardal, M.A. & Caçador, I. (2012). Denitrification: an ecosystem service provided by salt marshes. *Mar Ecol Prog Ser*, 448, 79–92.

Souza-Filho, P.W.M., Paradella, W.R., Rodrigues, S.W., Costa, F.R., Mura, J.C. & Gonçalves, F.D. (2011). Discrimination of coastal wetland environments in the Amazon region based on multi-polarized L-band airborne Synthetic Aperture Radar imagery. *Estuarine, Coastal and*

Shelf Science, 95, 88–98. Spalding, M., Blasco, F. & Field, C. (1997). World mangrove atlas. The International Society for Mangrove Ecosystems Okinawa, Japan., pp. 178

Spalding, M., Kainuma, M. & Collins, L. (2010). World atlas of mangroves. Earthscan. London, UK

Tibbetts, J. (2006). Louisiana's wetlands: A lesson in nature appreciation. *Environmental Health Perspectives*, 114, A40.

USDA (1999). Soil Taxonomy: A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. (ed. Service, NRC) Washington DC USDA (2008). Field Instructions for the annual inventory of California, Oregon, and Washington. (ed. United States Department of Agriculture Forest Service, FlaAP).

Valiela, I. & Teal, J.M. (1979). The nitrogen budget of a salt marsh ecosystem. *Nature*, 280, 652–656.

Valiela, I., Teal, J.M. & Persson, N.Y. (1976). Production and dynamics of experimentally enriched salt marsh vegetation: belowground biomass. *Limnology and Oceanography*, 21, 245–252.

Van der Nat, F.-J. & Middelburg, J.J. (2000). Methane emission from tidal freshwater marshes. *Biogeochemistry*, 49, 103–121.



Viles, H. & Spencer, T. (1995). Coastal problems: geomorphology, ecology and society at the coast. Edward Arnold, London, UK, pp. 350. Waddell, K.L. (2002). Sampling coarse woody debris for multiple attributes in extensive resource inventories. *Ecological indicators*, 1, 139–153.

Waycott, M., Duarte, C.M., Carruthers, T.J., Orth, R.J., Dennison, W.C., Olyarnik, S. et al. (2009). Accelerating loss of seagrasses across the globe threatens coastal ecosystems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106, 12377–12381.

Weliky, K., Suess, E., Ungerer, C., Muller, P. & Fischer, K. (1983). Problems with accurate carbon measurements in marine sediments and particulate *matter* in seawater. A new approach. *Limnology and Oceanography*, 28, 1252–1259.

Wetzel, R.G. & Penhale, P.A. (1979). Transport of carbon and excretion of dissolved organic carbon by leaves and roots/rhizomes in seagrasses and their epiphytes. *Aquatic Botany*, 6, 149–158.

Williams, M.J., Coles, R. & Primavera, J.H. (2007). A lesson from cyclone Larry: An untold story of the success of good coastal planning. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 71, 364–367.

World Agroforestry Center (2001). World Agroforestry Database. (<http://datadryad.org/resource/doi:10.5061/dryad.234/1?show=full>) 12th March 2014.

Yu, O. & Chmura, G. (2009). Soil carbon may be maintained under grazing in a St Lawrence Estuary tidal marsh. *Environmental Conservation*, 36, 312–320.

Ringraziamenti

Si ringrazia per il supporto ricevuto durante l'esecuzione delle attività di campo condotte nel **Parco Nazionale del Cilento, Vallo di Diano e Alburni**, nel **Parco Nazionale dell'Arcipelago di La Maddalena** e nel **Parco Nazionale dell'Asinara** il personale del Nucleo Carabinieri Subacquei di Napoli e di Cagliari. Si ringrazia il personale dello Spin-Off dell'Università della Calabria 3D Research s.r.l e dello Spin-off Biosurvey dell'Università di Palermo.



Nucleo Carabinieri Subacquei di Napoli



Nucleo Carabinieri Subacquei di Cagliari