



Adriatic Living Fishlab – azioni di conservazione di habitat marini e degli stock ittici nell'AMP e ZSC di Torre Guaceto – Attività della Environmental Surveys

Consorzio di Gestione di

Torre Guaceto

Area Marina Protetta • Riserva Naturale dello Stato



MINISTERO DELLA
TRANSIZIONE ECOLOGICA



REGIONE PUGLIA



FEAMP

PO 2014-2020
Fondo europeo per gli
affari marittimi e la pesca

DETERMINAZIONE DEL DIRIGENTE SEZIONE ATTUAZIONE DEI PROGRAMMI
COMUNITARI PER L'AGRICOLTURA E LA PESCA 4 febbraio 2021, n. 13
Fondo Europeo per gli Affari Marittimi e per la Pesca (FEAMP) 2014/2020 MISURA
1.40 "Protezione e ripristino della biodiversità e degli ecosistemi marini e dei regimi di
compensazione nell'ambito di attività di pesca sostenibili" (art. 40 par.1
lettere d, e, f, g del Reg. UE 508/2014).

**Adriatic Living Fishlab – azioni di conservazione di habitat marini e degli
stock ittici nell'AMP e ZSC di Torre Guaceto**

ATTIVITÀ DELLA ENVIRONMENTAL SURVEYS RAPPORTO FINALE

DATA: NOVEMBRE 2023

REV: 0

INDICE

1. INTRODUZIONE	2
2. ATTIVITÀ DI ENSU	2
3. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	4
4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO - GEOMORFOLOGICO	5
5. GEODESIA.....	13
6. CREAZIONE DEL GEODATABASE	13
7. ATTIVITA' DI PRE-MOBILITAZIONE E MOBILITAZIONE	15
8. MEZZO NAUTICO	16
9. SIGLE CAMPIONI.....	17
10. INSTALLAZIONE TRAPPOLE SEDIMENTARIE.....	18
11. INSTALLAZIONE MAREOGRAFO	20
12. INSTALLAZIONE ADCP.....	23
13. RILIEVO CON SONDA MULTIPARAMETRICA	25
14. PRELIEVO CAMPIONI DI SEDIMENTO SPIAGGIA SOMMERSA	28
15. RILIEVO BATIMETRICO	31
16. RILIEVO MORFOLOGICO	36
17. VIDEO ISPEZIONI ROV	41
18. RILIEVO FOTOGRAMMETRICO SUBACQUEO	43
19. RILIEVO AEROFOTOGRAMMETRICO DEL CANALE REALE	44
20. RILIEVO LASER SCANNER 3D	50
21. PRELIEVO CAMPIONI DI SEDIMENTO LUNGO FALESIA E BATTIGIA.....	56

1. INTRODUZIONE

Nell'ambito del progetto Adriatic Living Fishlab – azioni di conservazione di habitat marini e degli stock ittici nell'AMP e ZSC di Torre Guaceto finanziato dal Fondo europeo per gli Affari marittimi e per la pesca (FEAMP) 2014/2020 MISURA 1.40 finalizzato a sostenere la “Protezione e ripristino della biodiversità e degli ecosistemi marini e dei regimi di compensazione nell'ambito di attività di pesca sostenibili” (art. 40 par.1 lettere d, e, f, g del Reg. UE 508/2014), la società Environmental Surveys (ENSU) ha il compito di svolgere alcune attività dell'azione 2.4 – Definizione dei contributi sedimentari lungo l'area costiera di Torre Guaceto e loro influenza sulle praterie di Posidonia.

Il presente documento costituisce il rapporto finale delle attività di ENSU ne e descrive le modalità ed i risultati.

2. ATTIVITÀ DI ENSU

Di seguito sono elencate le attività svolte da ENSU:

AZIONE 2.4 - FASE 1 – Creazione Geo-Database:

- Creazione di un Geo-Database popolato con dati già esistenti riguardanti l'area marina protetta di Torre Guaceto ed in particolare lo sviluppo delle Praterie di Posidonia oceanica;

AZIONE 2.4 - FASE 2.1 – Installazione di rete di monitoraggio, prelievo dati e campioni:

- Creazione di un Geo-Database popolato con dati già esistenti riguardanti l'area marina protetta di Torre Guaceto ed in particolare lo sviluppo delle Praterie di Posidonia oceanica;
- Installazione di n.6 trappole sedimentarie posizionate lungo 2 transetti perpendicolari alla costa ed installate in prossimità del limite alto, basso del posidonieto ed al suo centro;
- Analisi di una serie temporale di dati di marea acquisiti da un mareografo installato in prossimità dell'area di lavoro;
- Misura e acquisizione di una serie temporale di dati di corrente marina ed ondametrici mediante l'installazione di un Profilatore di Corrente Doppler Acustico (ADCP);
- Esecuzione di misurazioni e acquisizioni periodiche di dati per la caratterizzazione fisico-chimica dell'acqua mediante sonda multiparametrica (CTD) lungo tutta la colonna d'acqua lungo

2 transetti perpendicolari alla costa in corrispondenza del limite alto, basso del posidonieto ed al suo centro;

- Prelievo di campioni di sabbia di spiaggia sommersa lungo n.2 transetti perpendicolari alla costa, dalla battigia all'area occupata dal posidonieto, ogni 2 m di profondità.

AZIONE 2.4 - FASE 2.2 – Campagna di rilievi geofisici marini:

- Esecuzione di rilievo batimetrico mediante ecoscandaglio multifascio (MBES);
- Esecuzione di rilievo morfologico mediante Sonar a scansione laterale (SSS)
- Esecuzione di rilievo fotogrammetrico in corrispondenza del limite superiore del posidonieto
- Esecuzione di video ispezioni mediante Remotely Operated vehicle (ROV) in corrispondenza del limite inferiore del posidonieto;

AZIONE 2.4 - FASE 2.3 – Campagna di rilievi geomorfologici:

- Esecuzione di rilievo aerofotogrammetrico lungo il Canale reale e alla sua foce;
- Esecuzione di rilievo 3D con strumentazione Laser Scanner Terrestre lungo le falesie che mostrano evidenze di importanti fenomeni di disfacimento;
- Prelievo di campioni di falesia e di spiaggia in corrispondenza dei tratti di falesie che mostrano evidenze di importanti fenomeni di disfacimento.

AZIONE 2.4 - FASE 2.4 – Raccolta dati di monitoraggio:

- Svuotamento trappole sedimentarie;
- Campioni portati presso laboratori per le opportune analisi;
- Scaricamento dati mareografo.

3. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'Area Marina Protetta (AMP) di Torre Guaceto – Riserva Naturale dello Stato, è situata a nord della città di Brindisi, a circa 20 km di distanza (Fig. 1). L'area marina è suddivisa in n.5 aree ognuna con diverso uso come mostrato nella carta di zonizzazione (Fig. 2).

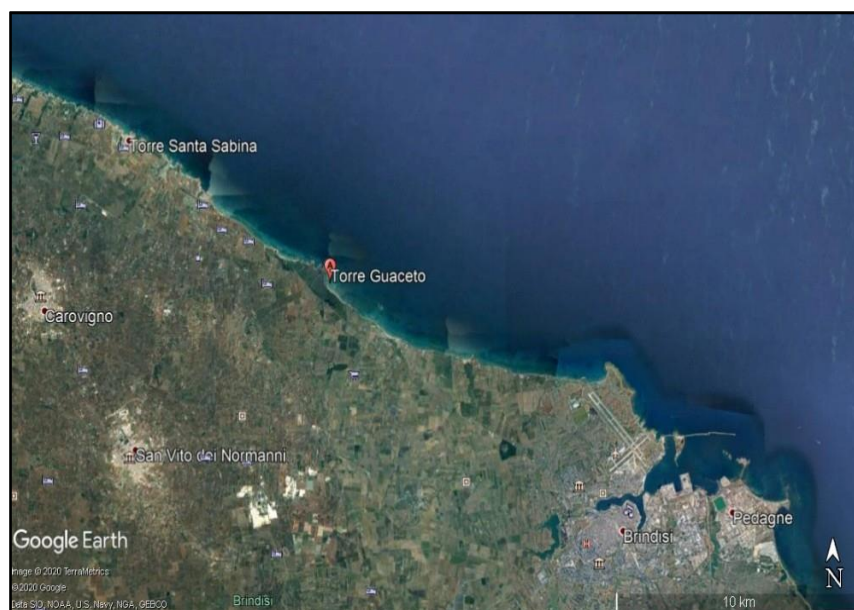


Figura 1 – Ubicazione geografica dell'AMP (immagine da Google Earth)

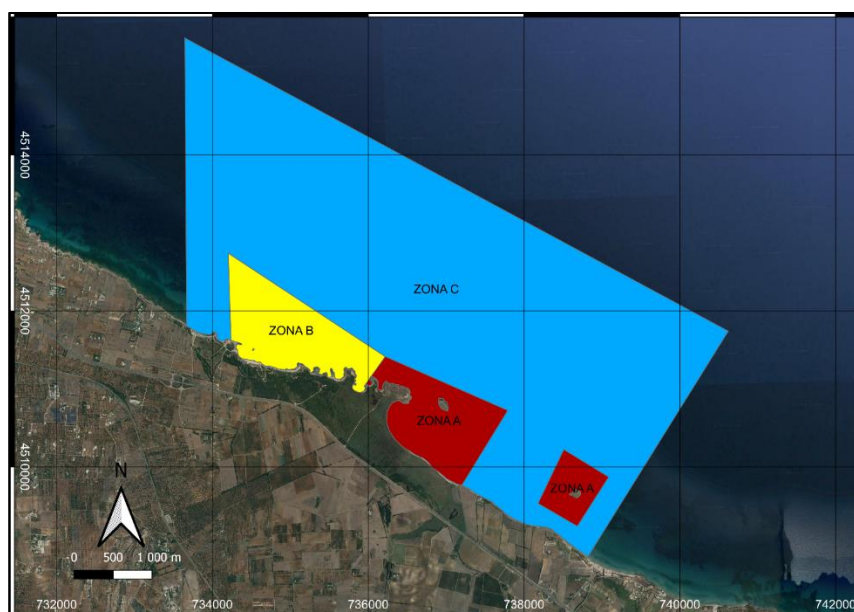


Figura 2 – Zonizzazione della Riserva Naturale di Torre Guaceto (www.riservaditorreguaceto.it)

4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO - GEOMORFOLOGICO

L'area oggetto di studio ricade all'interno del "Foglio 191 - Ostuni" del Servizio Geologico d'Italia (Fig. 3).

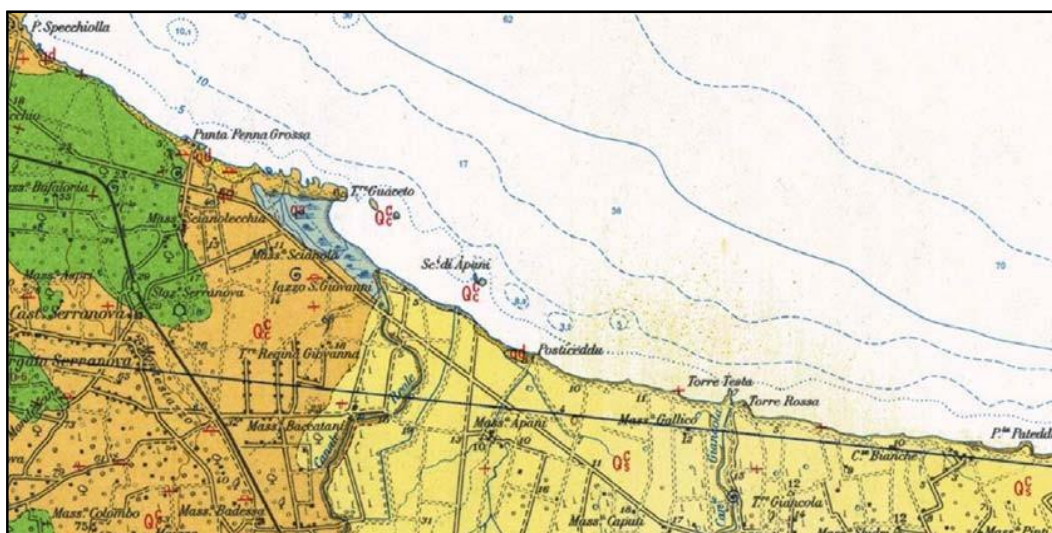
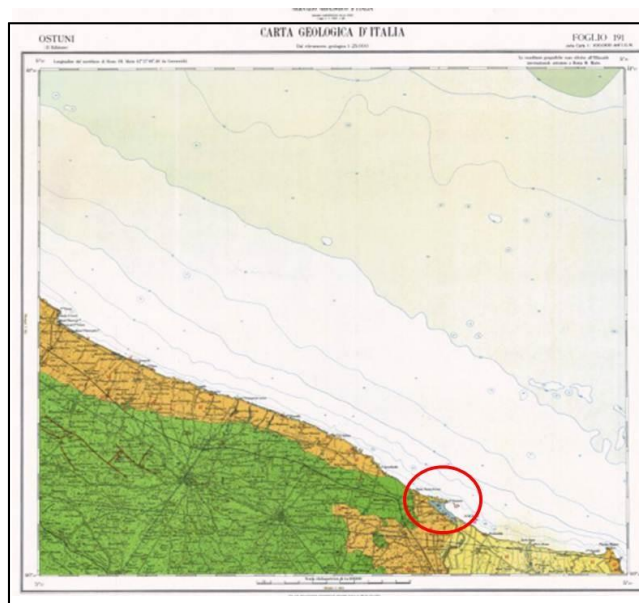


Figura 3 – Stralcio del F°191 "Ostuni" (da Servizio Geologico d'Italia, 1966).

La fascia costiera è rappresentata da una alternanza di diversi litotipi la cui deposizione sul basamento locale è strettamente connessa alle variazioni del livello del mare avvenute nel corso del Pleistocene Medio e Superiore (Mastronuzzi *et alii*, 2011).

La zona litorale sita a nordovest della AMP è modellata su calcareniti ben consolidate che corrispondono alle diverse condizioni di stazionamento del mare e di dunazione del Tirreniano (MIS 5). I lembi relitti delle dune costituiscono tutti gli isolotti presenti dall'area di Torre Guaceto fino a quelli in località Apani. Tali sedimenti rappresentano la parte sommitale della falesia di Torre Rossa – Capo Testa e, più a sudest, verso Punta Penne.

Le calcareniti e i depositi retrodunari sabbiosi – limosi del Pleistocene Superiore – Tirreniano poggiano in parte sulle Calcareniti di Gravina (Pleistocene Medio-Inferiore) e in parte su una successione di calcareniti, sabbie argillose e sabbie del Pleistocene Medio (Mastronuzzi *et alii*, 2011). Depositi più recenti, limosi sabbiosi o schiettamente sabbiosi, costituiscono i depositi di transizione delle conche retrodunari e delle spiagge, in alcune località quali Punta Penna Grossa bordate da imponenti cordoni dunari olocenici e attuali (Mastronuzzi e Sansò, 2002) (Fig. 4).

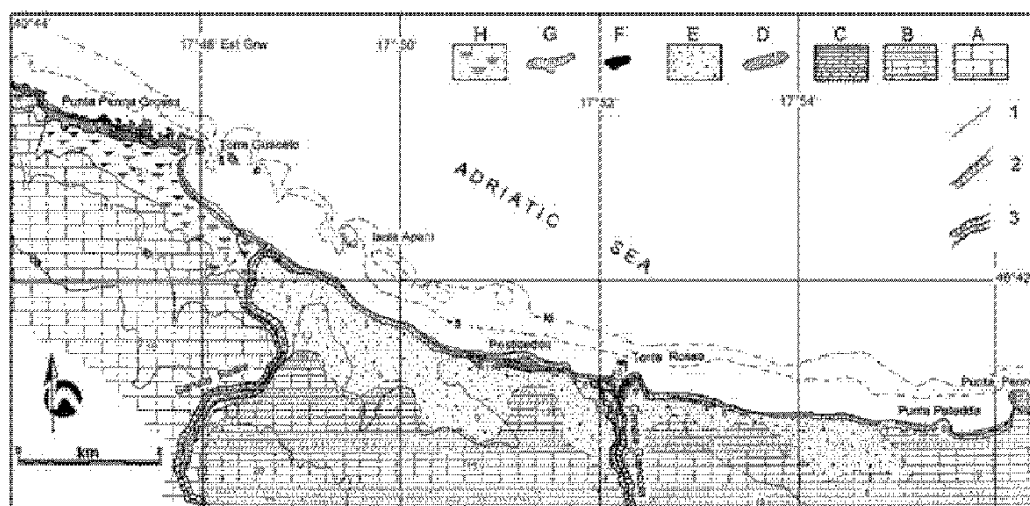


Figura 4 – Inquadramento geomorfologico della zona costiera tra Torre Guaceto e Punta Penne. Legenda: A) Calcarenite di Gravina; B) Sabbie gialle e arenarie del Pleistocene Medio; C) Spiaggia MIS 5; D) Eolianiti MIS 5; E) Lagune continentali con sabbie MIS 5; F) Eolianiti Olocene Medio; G) Eolianiti età Romana; H) Depositi retrodunari e lagune; 1) Spiagge arenarie; 2) Falesie; 3) Valli fluviali (da Mastronuzzi *et alii*, 2011).

Da un punto di vista geomorfologico l'area mostra una significativa differenziazione laterale (Mastronuzzi *et alii*, 2011); il tratto di costiero ubicato più a nordovest, costituito nelle calcareniti Tirreniane, è rappresentato da coste rocciose degradanti piane, sulla quale è modellata una *wave cut platform* (*wcp*), in ambiente subtidale, mentre in ambiente adlitorale la *surf bench* (*sb*) si estende sino a decine di metri verso l'entroterra.

La *wave cut platform* rappresenta l'elemento caratterizzante di numerosa parte di mare definito fra la terra ferma e le isole di Torre Guaceto e di Apani.

Il fondale è caratterizzato dalla presenza di una discontinua copertura di sabbie in movimento che contribuiscono a livellare una superficie di trasgressione modellata sulle calcareniti di Gravina plio-pleistoceniche e sulle calcareniti e sabbie pleistoceniche. La superficie della *wcp* risulta particolarmente visibile fra i 7 m fino a circa 1,5 m sotto il livello del mare, contraddistinta da una serie di marmitte di eversione. Un allineamento in continuità verso le profondità maggiori dovrebbe indicare un antico reticolo idrografico effimero tributario della grande *sapping valley* sommersa ai piedi della torre (Mastronuzzi e Sansò, 2002). Nel momento in cui tale continuità vien meno, invece, dovrebbero indicare l'attuale effetto del movimento di ciottoli e sabbiaenergizzati dall'azione del moto ondoso.

Tale azione oltre ad essere responsabile del modellamento della *wcp* è anche causa del modellamento locale di falesie alte sino a 3-6 m, laddove il litotipo non conserva più le caratteristiche di resistenza originale alla scala dell'affioramento a causa della presenza di fratture (di natura tettonica e da azione delle onde) che ne hanno facilitato il crollo per scalzamento alla base.

La particolare resistenza del tipo litologico, l'originale deposizione a definire un cordone circa parallelo alla posizione della linea di riva del Tirreniano e la storia erosiva successiva, marcata dalla fase di abbassamento del livello del mare dell'ultimo glaciale (*Last Glacial Time* = *LGT*), hanno determinato una serie di incisioni erosive connesse alla principale rete idrografica, successivamente ampliate dall'ingressione marina olocenica e dalla dissoluzione di interstrato.

Come risultato si mostrano una successione di piccole insenature a pianta circa circolare, riconoscibili a Torre Guaceto e fra Punta Penna e Brindisi; ove attualmente, ospitano sul loro

fondo *pocket beach* (Figg. 5-6). Tali caratteri morfologici sono anche riconoscibili su tutti gli isolotti.



Figura 5 – Esempio di spiaggia presente lungo il tratto costiero.



Figura 6 – Insenatura di pianta subcircolare.

Dalla zona sud del Canale Reale sino a Punta Penna la situazione è completamente diversa a causa della presenza dell'affioramento di un tipo litologico differente e meno resistente. Dalla foce del Canale sino a Punta Patedda è presente una falesia modellata su depositi colluviali e

retrunari del Pleistocene superiore di altezza variabile, bordata da una spiaggia di estensione stagionale che continua con basse pendenze, circa 1%, fino alla profondità di chiusura. Tali falesie mostrano una significativa velocità di arretramento tanto da definire situazioni di instabilità e pericolosità.

Su questi corpi rocciosi si leggono gli effetti della regressione del livello del mare in corrispondenza del *LGT*, del relativo impostarsi di una rete fluviale e della successiva rimonta del mare nell'Olocene. Laddove è stata più significativa l'erosione fluviale si sono formate profonde incisioni fluviali, come quella del Canale Reale, che risulta ben visibile in ambiente subacqueo nella *sapping valley* incisa nelle calcareniti del basamento locale affioranti sui fondali ai piedi della Torre, e quella più articolata del Porto di Brindisi e dei suoi due seni, che rappresentano oggi vere e proprie *rias*.

I sistemi di spiaggia presenti subito a nordovest della foce del Canale Reale e della Torre sono accumulate in corrispondenza della colmata della rete di incisioni fluviali a causa della lenta rimonta olocenica del livello del mare.

Lungo la spiaggia di Punta Penna Grossa e sino a Torre Guaceto si può osservare la duna attuale, sotto la quale si osservano i resti di due generazioni di depositi eolici di età olocenica. Le eolianiti più antiche sono rappresentate da sabbie a grana media debolmente cementate, di colore marroncino, costantemente segnate da una stratificazione incrociata caratterizzante. Questi depositi rappresentano una parte dell'antico ed esteso sistema di cordoni dunari che caratterizzavano lunghi tratti della costa pugliese circa 6.000 anni fa.

Il cordone dunare, con quota massima di circa 12 m, caratterizza il litorale subito ad est di Punta Penna Grossa rappresentando il risultato morfologico di due fasi di accumulo:

- la prima, verificata circa 6.000 anni fa, responsabile della formazione del nucleo del cordone attualmente cementato e ricco di fossili di gasteropodi polmonati del genere *Helix*, si trova in corrispondenza dell'attuale falesia e in qualche taglio artificiale;
- la seconda fase morfogenetica invece si è verificata circa 2.500 anni fa, come indicano le numerose datazioni col radiocarbonio disponibili ed i reperti archeologici (Mastronuzzi e Sansò, 2002). In questo periodo si ebbe una nuova fase di progradazione delle spiagge con successiva formazione di una nuova generazione di dune che hanno ricoperto quasi intera-

mente quelle della generazione precedente.

La generazione più recente di sabbie eoliche è rappresentata da sabbie sciolte di colore marrone chiaro segnate da numerosi livelli di suolo bruno, avente spessore di qualche decimetro, e dalla presenza di numerosi resti di gasteropodi polmonati (Fig. 7).



Figura 7 – La falesia modellata nella successione delle dune oloceniche presso Punta Penna Grossa.

La formazione del cordone dunare, interagendo con la falda idrica costiera ed ostacolandone il deflusso verso mare, ha determinato l’inizio della formazione della zona umida di Torre Guaceto.

L’analisi morfologica evidenzia la presenza di alcuni elementi caratterizzanti che sono nell’ordine:

- i rilievi a cupola della penisola di Torre Guaceto, degli scogli di Apani, di Posticeddu e Torre Testa-Torre Rossa;
- le spiagge tipo “*pocket beach*” della parte nordoccidentale della Riserva;
- le estese falesie nell’area a sudest del Canale Reale;
- l’ampia falcata della zona umida a ovest della Torre.

I rilievi a cupola corrispondono ai lembi residui del cordone dunare Tirreniano (MIS 5) connesso ai depositi colluviali e di retroduna che si riconoscono a costituire il litotipo prevalente su cui sono modellate le falesie a sud della foce di Canale Reale.

Dopo la significativa regressione del *LGM* che ha portato il mare a circa - 150 m rispetto alla sua posizione attuale, circa 20.000 dal presente, la veloce trasgressione del livello del mare si è stabilizzata circa alla posizione attuale (in effetti a - 6 m sul livello del mare, ovvero punto di flesso di ogni curva delle variazioni del livello del mare degli ultimi 20ka (cfr Antonioli *et alii*, 2009) circa 7ka dal presente. In quella fase gli scogli di Apani erano a tutti gli effetti collegati al continente e tagliati nella loro continuità lungo costa dai paleoalvei dei corsi d'acqua corrispondenti al Canale Reale e al Canale Apani. Queste cupole costituivano i rilievi su cui in fase tarda dell'età del Bronzo (circa 4.500 anni BP) si insediarono i primi insediamenti stanziali dei quali oggi si conservano estese ed interessanti vestigia (Scarano *et alii*, 2008; Cinquepalmi *et alii*, 2010) (Figura 8).



Figura 8 – Isolotto di Apani in cui sono visibili resti del villaggio dell'età del Bronzo (da Scarano *et alii*, 2009).

La progressiva rimonta del mare esercitò particolare capacità erosiva principalmente lungo le vie di intrusione rappresentate dai corsi d'acqua. Le vie di trasgressione, modellate su calcareniti pleistoceniche, hanno modellato insenature di forme subcircolari ed accumulato sedimento delle *pocket beach*.

Le zone di spiaggia sufficientemente estese, come Punta Penna Grossa, hanno contribuito alla formazione di estesi cordoni dunari che durante la loro evoluzione, hanno seguito la migrazione della linea di riva parallelamente all'innalzamento del livello del mare.

La rimonta del livello del mare raggiunse le unità retrodunali, limoso-sabbiose, scarsamente cementate, erodendole, ma rispettando i nuclei calcarenitici cementati delle dune resistenti all'erosione.

La progressiva erosione – da circa 4.500 anni fa ad oggi – ha causato l'arretramento della linea di costa e al modellamento della falesia la cui demolizione è attiva da allora. I depositi derivanti dalla sua distruzione hanno così alimentato la deriva litorale che nel tempo ha determinato l'accumulo di limi sabbiosi nell'area umida a ovest di Torre Guaceto, disegnandovi nel tempo l'ampia spiaggia falcata.

Questa è limitata nella zona prossima alla foce del Canale Reale da una bassa duna che scompare nella zona più interna della falcatura dove invece l'area umida costiera arriva quasi a mare limitata da bassi accumuli della spiaggia emersa spesso aumentati in spessore da accumuli di foglie di *Posidonia oceanica*.

5. GEODESIA

Tutti i dati acquisiti e gli elaborati prodotti sono stati georeferenziati nel seguente sistema di riferimento:

DATUM:	ETRS89 (ETRF2000)
PROIEZIONE:	U.T.M. – Fuso 33N
MERIDIANO CENTRALE:	15°00'00"
FALSO EST:	500 000
FATTORE DI SCALA	0.9996
DATUM VERTICALE:	Zero della Rete di Livellazione di Alta Precisione dell'Istituto Geografico Militare Italiano (OIGMI)

Tabella 1- Sistema di riferimento planimetrico e verticale

6. CREAZIONE DEL GEODATABASE

L'attività di creazione del Geo-database (AZIONE 2.4 - FASE 1) è stata eseguita prima dell'inizio delle attività sul campo ed ha previsto la raccolta di tutti i precedenti studi riguardanti l'AMP di Torre Guaceto ed in particolare inerenti estensione e stato di salute delle praterie di Posidonia prospicienti l'area costiera. I dati pregressi sono stati reperiti da diverse fonti incluso l'Ente gestore e da alcuni portali gestiti da enti pubblici: in particolare sono stati consultati il Geoportale Nazionale del Ministero dell'Ambiente (wms.pcn.minambiente.it) ed il sito del Sistema d'Informazione Territoriale della Regione Puglia (www.sit.puglia.it) dai quali sono stati scaricati dati in formato vettoriale e raster utili allo scopo del lavoro. Tutti i dati sono stati inseriti e organizzati in un *database* al quale è possibile accedere attraverso un *Geographic Information System* (GIS).

Il Geo-Database popolato ha rappresentato la base conoscitiva per definire nel dettaglio le azioni della FASE 2 ed ha previsto sia un'integrazione durante la durata del progetto che l'aggiornamento con i risultati delle varie attività svolte.

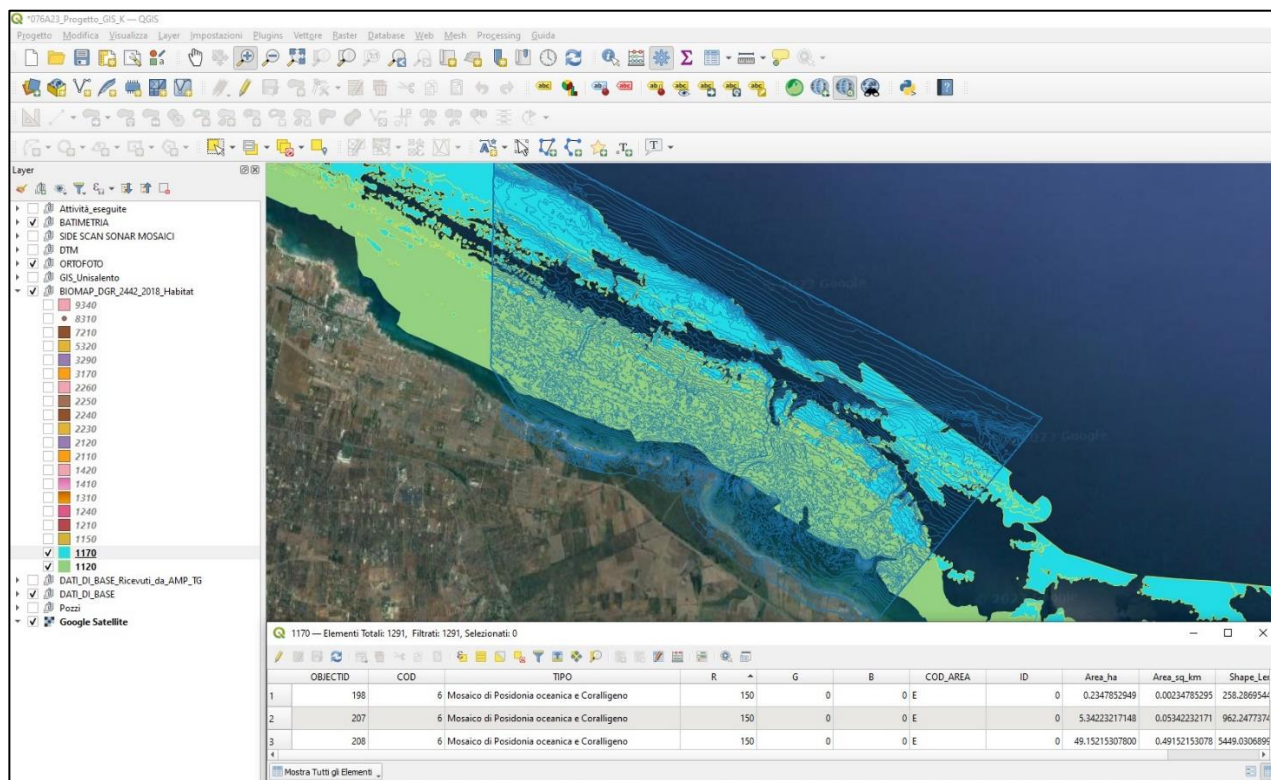


Figura 9 – Database GIS

7. ATTIVITA' DI PRE-MOBILITAZIONE E MOBILITAZIONE

La pianificazione delle attività è stata realizzata in maniera da raggiungere gli standard richiesti. In dettaglio degli strumenti è avvenuta secondo i criteri adottati dall'ENSU nei propri piani di controllo di qualità.

Le operazioni di pre-mobilizzazione sono state eseguite prima dell'inizio del rilievo presso gli uffici di Bari e sono di seguito riassunte:

- Richiesta presso gli Enti preposti delle autorizzazioni necessarie all'esecuzione dei rilievi;
- Preparazione della strumentazione, inclusi i *Bench Test* e i controlli operativi necessari;
- Interconnessione della strumentazione per verifica della ricezione e trasmissione dei dati tra il sistema di posizionamento e i sistemi di acquisizione;
- Preparazione del progetto nel sistema di navigazione e impostazione delle linee di navigazione;
- Meeting con tutto il personale coinvolto nel progetto per illustrare lo scopo del lavoro, procedure e documenti contrattuali;
- Imballaggio negli appositi alloggi della strumentazione da trasportare in area lavori.
- Raggiunta l'area lavori, sono iniziate le attività di mobilitazione ed i tecnici di campo hanno intrapreso le attività di installazione degli strumenti (sia a terra che a bordo dell'imbarcazione utilizzata) e hanno eseguito i test necessari alla verifica del corretto funzionamento dei sistemi.

8. MEZZO NAUTICO

Tutte le attività marine, compresi i rilievi geofisici, sono state svolte con l'ausilio del gommone Tempest 700 di proprietà del Consorzio AMP di Torre Guaceto (Figura 10).



Figura 10 – Mezzo nautico utilizzato per le attività marine

9. SIGLE CAMPIONI

Nella seguente tabella sono mostrate le sigle identificative utilizzate per i codici delle diverse tipologie di campionamenti.

Attività	Sigla campioni
Campionamento falesia	F
Campionamento battigia	B
Campionamento sedimento ogni 2 m dalla linea di costa fino a inizio Posidonia	CS
Trappole sedimentarie	T

Tabella 1- Riassunto dei codici di campionamento

10. INSTALLAZIONE TRAPPOLE SEDIMENTARIE

Le (n°6) trappole sedimentarie sono state posizionate sul fondo, opportunamente ancorate, lungo 2 transetti perpendicolari alla costa ed installate in prossimità del limite alto, basso e al centro del posidonieto, con il compito di intercettare le principali componenti sedimentarie che si mobilitano nel settore occupato dal posidonieto.

Le trappole sono state installate nel mese di giugno 2023; il sedimento è stato recuperato nei mesi di luglio 2023, settembre e ottobre 2023. L'ubicazione delle trappole sedimentarie è mostrata in Figura 10.

Al termine delle attività i campioni ed il relativo registro sono stati consegnati al Laboratorio di Geotecnica del Dipartimento di Scienze della Terra e Geoambientali dell'Università degli Studi di Bari Aldo Moro per le analisi opportune.

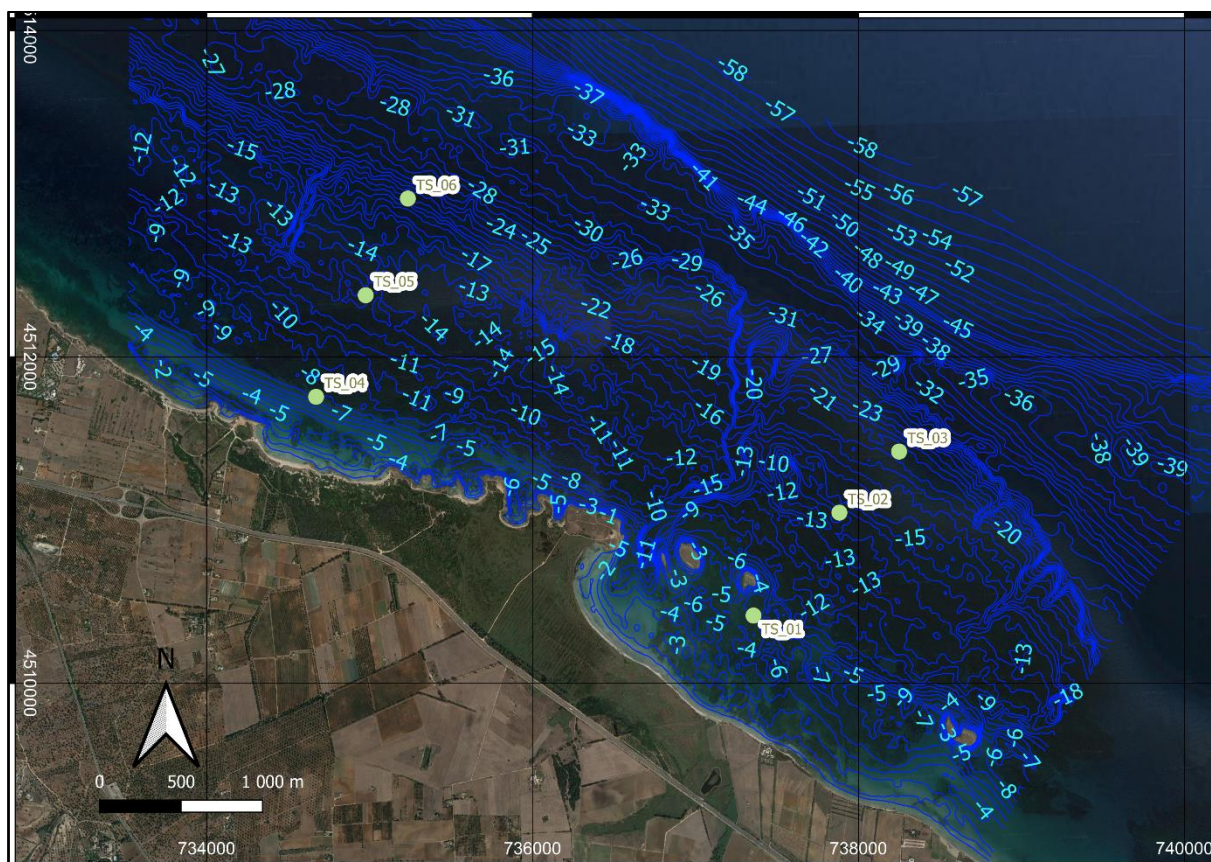


Figura 11 – Ubicazione delle trappole sedimentarie



Figura 12 – Trappole sedimentarie prima dell'installazione

11. INSTALLAZIONE MAREOGRAFO

Il mareografo digitale modello Valeport Tidemaster è stato installato il giorno 28 luglio 2023 in un'area tra le meno esposte del settore costiero, nei pressi della torre, con la funzione di calibrare il contributo mareale e di variazioni temporale del livello del mare (ad esempio per fenomeni barici importanti) all'interno dei modelli idrodinamici di mobilità dei sedimenti. Si è optato per una installazione non invasiva ancorando il sensore dello strumento direttamente sul fondo. Al fine di semplificare le operazioni di verifica funzionale e download dei dati, l'unità di superficie è stata installata in una cassetta stagna, saldamente fissata a terra.

I dati di marea sono stati scaricati ad agosto e settembre 2023. L'ubicazione esatta dello strumento e la fase di installazione sono mostrate nelle immagini seguenti. La serie temporale completa delle oscillazioni di marea è visibile in Figura 17.



Figura 13 – Ubicazione del mareografo



Figura 14 – Installazione mareografo – Unità di superficie



Figura 15 – Installazione mareografo



Figura 16 – Particolare della cassetta stagna in cui è stata installata l’unità di superficie

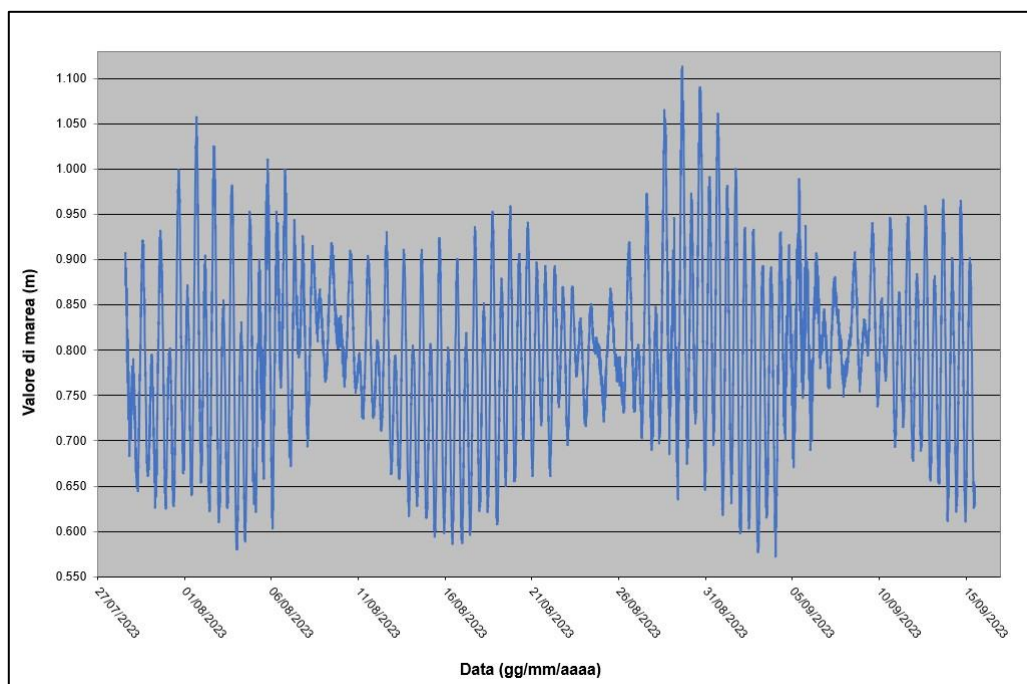


Figura 17 – Serie temporale dati di marea

12. INSTALLAZIONE ADCP

La corrente lungo la colonna d'acqua ed il moto ondoso nel settore costiero di Torre Guaceto (incluso il posidonieto) sono stati misurati per mezzo di un Profilatore di Corrente Doppler Acustico della Teledyne RDI modello ADCP Sentinel V50, con la funzione di tarare il contributo del moto ondoso nei modelli idrodinamici ottenuti. L'ADCP è stato montato solidalmente ad una struttura di base e posata (in data 21 giugno 2023) ad una profondità di circa 10 metri.

La sua ubicazione è visibile nell'immagine seguente (Figura 16):

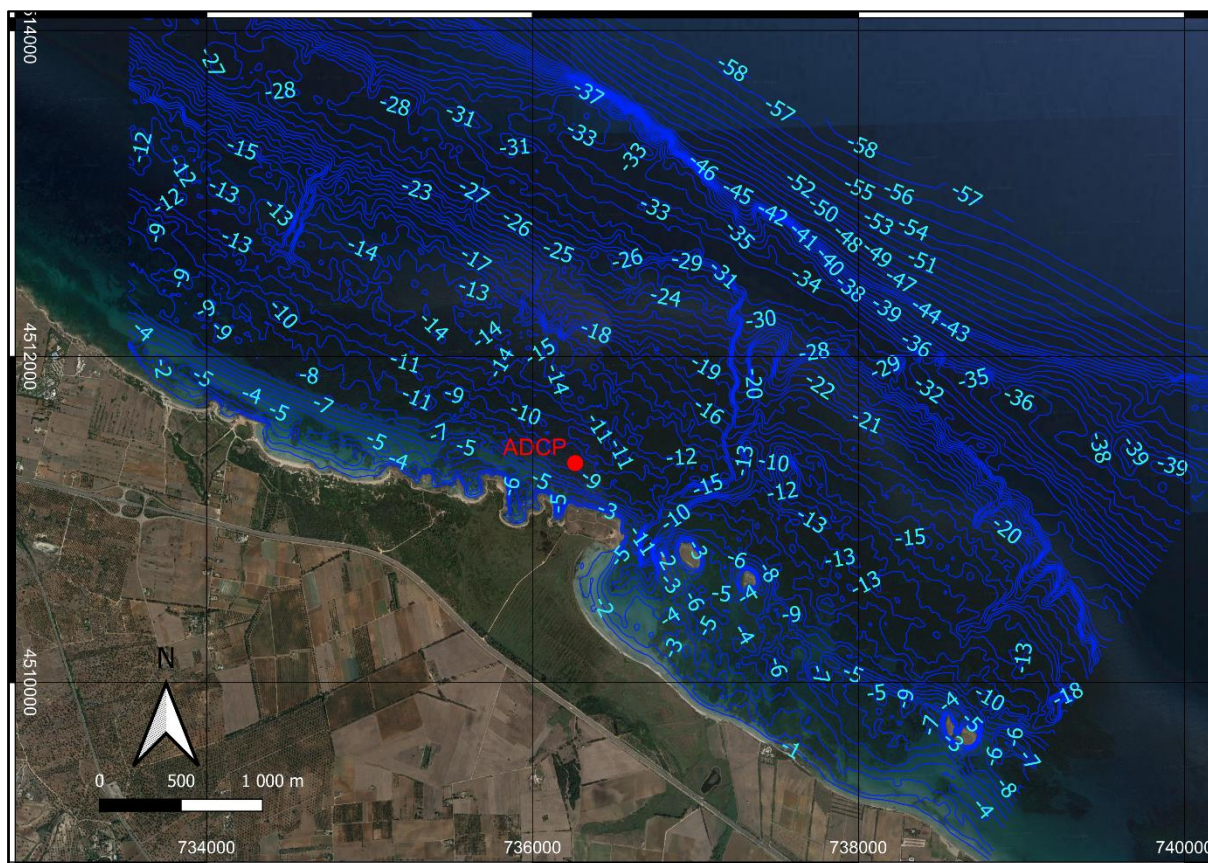


Figura 18 – Ubicazione dell'ADCP.

Direzione ed intensità della corrente sono stati analizzati e restituiti secondo celle aventi dimensione di 0,6 metri. I dati in formato raw sono stati elaborati e convertiti utilizzando il software Velocity della Teledyne.

I dati ondametrici in formato raw sono stati elaborati ed esportati utilizzando il medesimo software al fine di ottenere i seguenti parametri ondametrici:

Hs (Hm0)	Altezza d'onda significativa (metri)
Tp	Periodo di picco (secondi)
Dp	Direzione nel periodo di picco (gradi)
H_{max}	Altezza massima delle onde (metri)
T_{max}	Periodo massimo dell'onda di picco (secondi)
H_{1/3}	Media delle altezze di un terzo delle onde più alte (metri)
T_{1/3}	Periodo medio di un terzo delle onde più alte (secondi)
H_{1/10}	Media delle altezze di un decimo delle onde più alte (metri)
T_{1/10}	Periodo medio di un decimo delle onde più alte (secondi)
H_{mean}	L'altezza media delle onde (metri)
T_{mean}	Il periodo associato all'altezza media delle onde (secondi)
D_{mean}	La direzione associata all'altezza media delle onde (gradi)
Hs_Sea	Altezza significativa dell'onda di mare vivo (metri)
Tp_Sea	Periodo di picco dell'onda di mare vivo (secondi)
Dp_Sea	Direzione nel periodo di picco dell'onda di mare vivo (gradi)
Hs_Swell	Altezza significativa dell'onda di mare morto (metri)
Tp_Swell	Periodo di picco dell'onda di mare morto (secondi)
Dp_Swell	Direzione nel periodo di picco dell'onda di mare morto (gradi)



Figura 19 – Fase di installazione dell'ADCP

13. RILIEVO CON SONDA MULTIPARAMETRICA

I rilievi tramite la sonda multiparametrica (CTD) nel settore costiero di Torre Guaceto, incluso il posidonieto, sono stati eseguiti con lo scopo di tarare il contributo del moto ondoso nei modelli idrodinamici ottenuti.

L'acquisizione dati mediante sonda multiparametrica è stata eseguita su due transetti (in totale sono stati eseguiti n°6 rilievi) nei mesi di giugno 2023, settembre e ottobre 2023 al fine di determinare i parametri chimico-fisici dell'acqua.

È stato utilizzato il modello di sonda Ocean Seven 310 (Figura 21) per la determinazione dei seguenti parametri:

- Pressione
- Temperatura dell'acqua

- pH
- Conducibilità elettrica (EC)
- Ossigeno disciolto
- Potenziale Redox
- Salinità
- Torbidità
- Clorofilla
- Ficoeritrina

L'ubicazione dei punti di acquisizione è riportata nella seguente immagine (Figura 20):

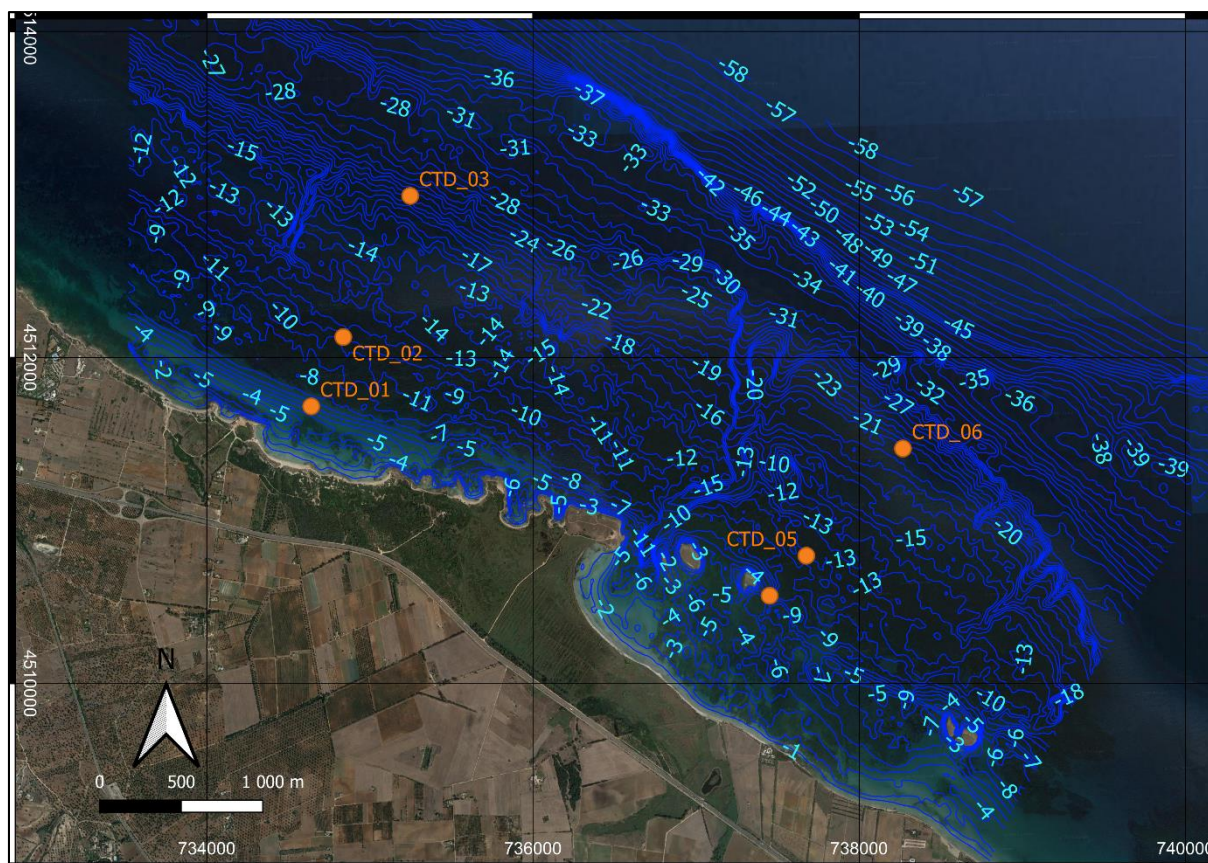


Figura 20 – Posizione dei punti di rilievo con sonda multiparametrica CTD



Figura 21 – In primo piano la sonda multiparametrica utilizzata

14. PRELIEVO CAMPIONI DI SEDIMENTO SPIAGGIA SOMMERSA

Sono stati prelevati campioni di sabbia di spiaggia sommersa lungo due transetti posizionati a nord e a sud di Punta Penna Grossa (Figura 20) e perpendicolari alla costa, dalla battigia all'area occupata dal posidonieto (ogni 2 m di profondità) allo scopo di verificare eventuali variazioni granulometriche e composizionali; i campionamenti sono stati eseguiti a giugno 2023. Ogni campione prelevato è stato confezionato in un idoneo contenitore plastico marchiato indelebilmente con codice identificativo univoco (CS1-CS2 + profondità) (Figura 25). Al termine delle attività i campioni ed il relativo registro sono stati consegnati al Dipartimento di Scienze della Terra e Geoambientali dell'Università degli Studi di Bari Aldo Moro per le opportune analisi.

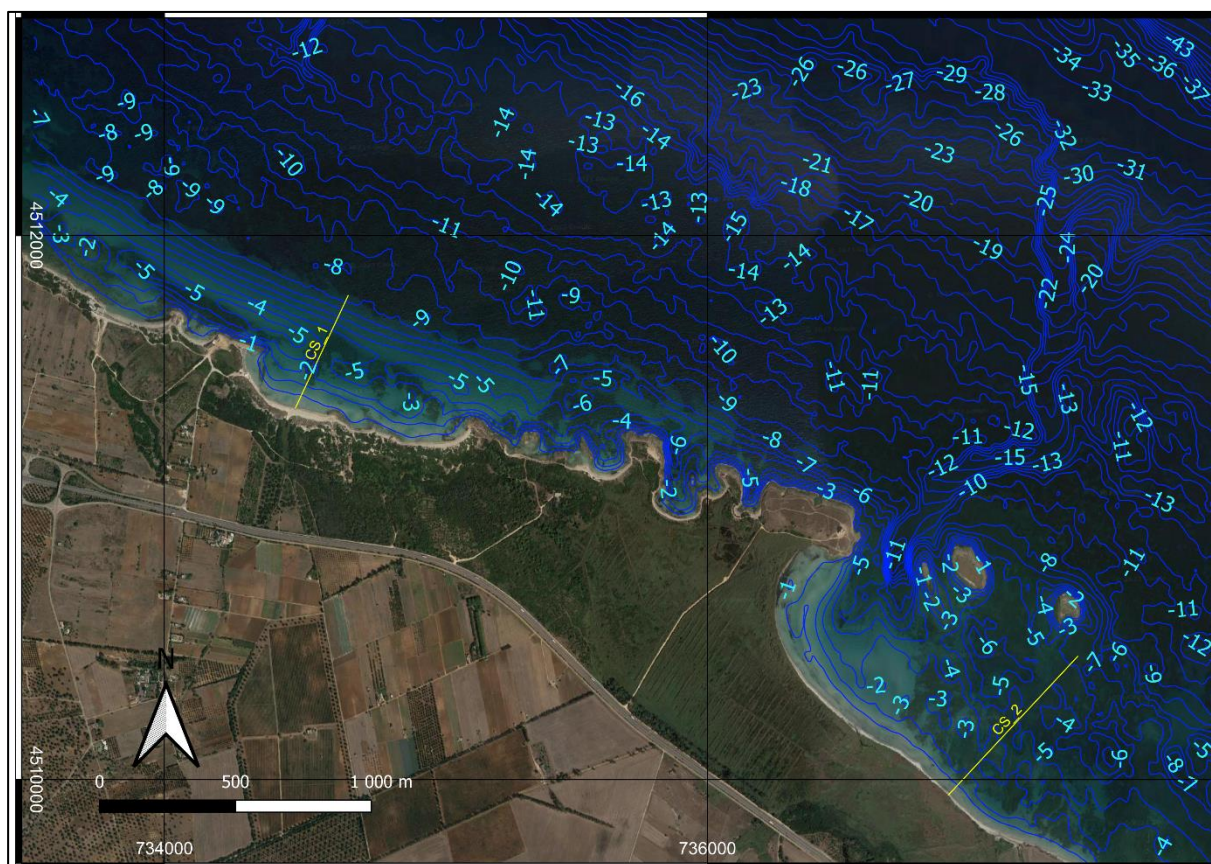


Figura 22 – Ubicazione dei due transetti per i campionamenti

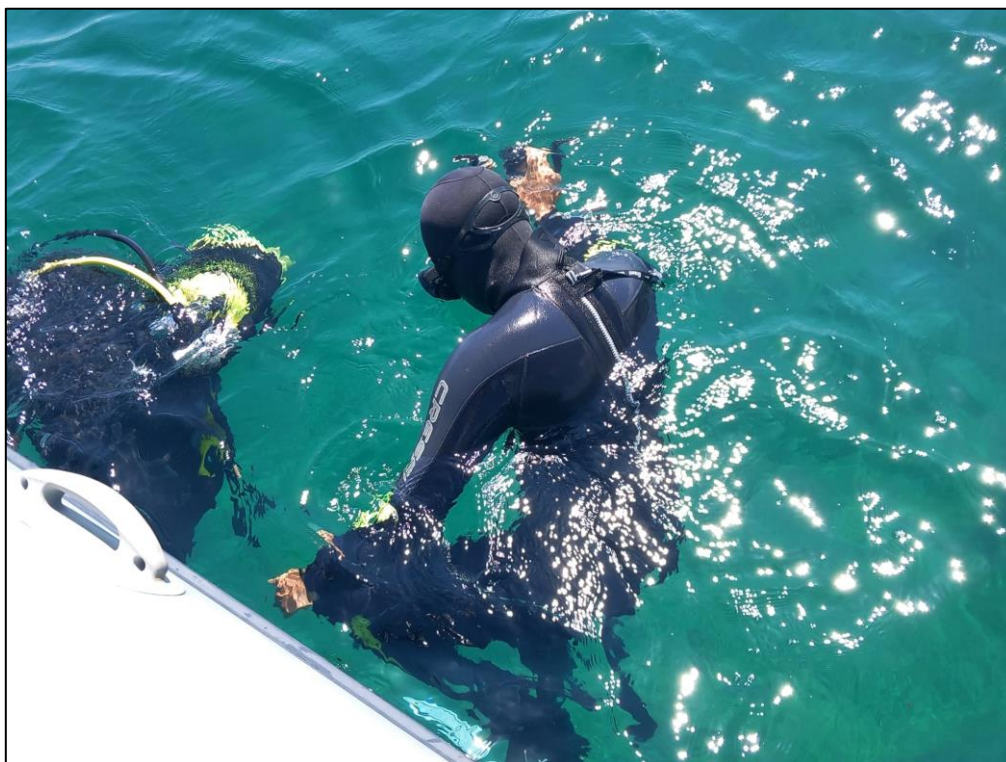


Figura 23 – Fase di preparazione all'immersione



Figura 24 – Fase di campionamento di sedimento



Figura 25 – Contenitori del sedimento con codici identificativi

15. RILIEVO BATIMETRICO

Il rilievo batimetrico è stato eseguito per mezzo di un ecoscandaglio di tipo MBES (MultiBeam Eco Sounder) ad alta risoluzione R2SONIC 2022, il quale utilizza un impulso acustico con una frequenza di 450 kHz. Il sistema utilizza 256 beams, ognuno con una ampiezza di 0.9°, e, in acque poco profonde, è in grado di emettere fino a 60 impulsi al secondo.

L'ecoscandaglio ha un angolo di copertura settabile fino a 160°, permettendo l'investigazione potenziale di un corridoio ampio 4 volte la profondità dell'acqua fino ad una profondità massima di 400 metri.

Il sistema di navigazione e acquisizione dei dati batimetrici è costituito da un computer industriale equipaggiato con il software TELEDYNE PDS 2000 v. 4.1.

I sensori utilizzati sono stati interfacciati via porta seriale o di rete al computer per la registrazione dei dati in formato PDS (*.pds).

I dati sono stati in seguito copiati su supporto rigido (hard disk) ed elaborati in post-processing in ambiente Caris Hips.

Per lavorare correttamente il sistema è stato collegato ai seguenti sensori esterni:

- Sistema inerziale integrato di posizione e assetto R2SONIC I2NS
- Sonda Valeport MiniSVS per la misurazione della velocità del suono in continuo in prossimità del trasduttore multibeam;
- Sonda Sea Bird 19 plus per la misurazione della velocità del suono lungo tutta la colonna di acqua.

Per ottimizzare gli angoli misurati dal sistema inerziale, questo è stato installato solidalmente alla testa del trasduttore MBES e collocato a pochi centimetri di distanza da esso.

Lo schema seguente mostra la configurazione generale adottata durante l'esecuzione del rilievo batimetrico (Figura 26).

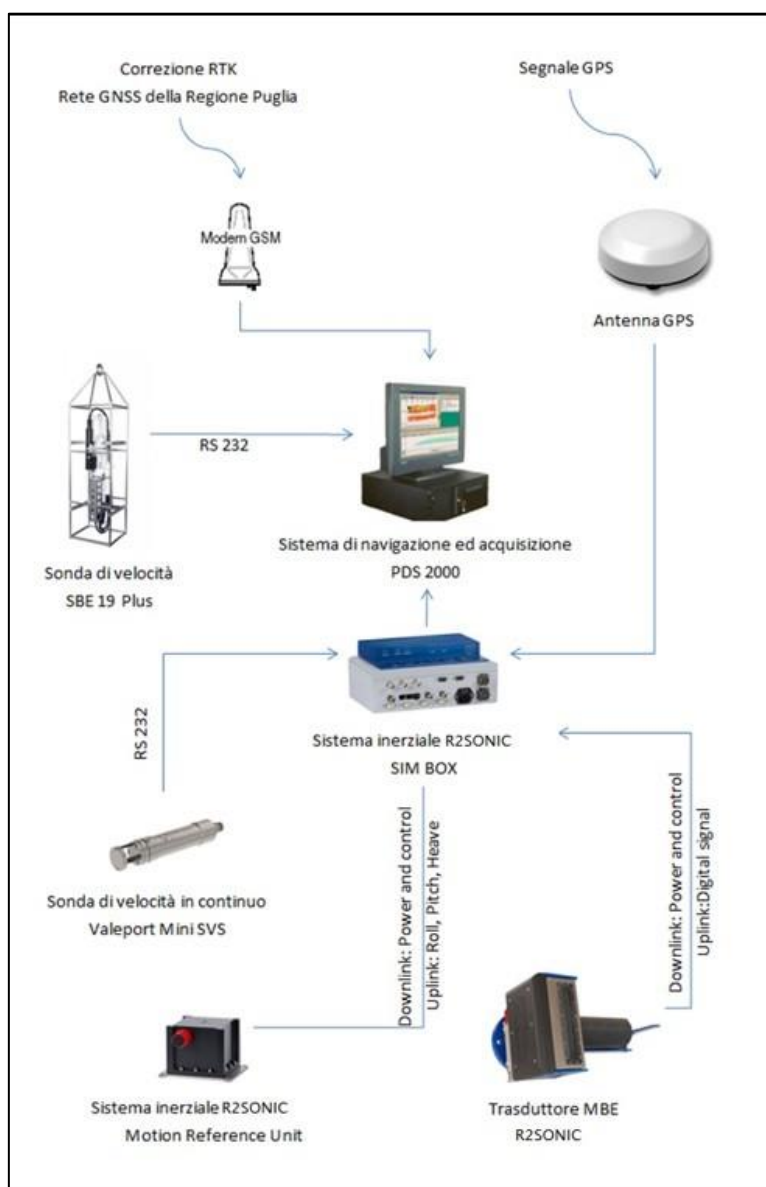


Figura 26 – Configurazione strumentale rilievo batimetrico

Sistema di posizionamento

Il posizionamento dell'imbarcazione è stato ottenuto con metodologia differenziale/cinematica RTK: una coppia di ricevitori GNSS a doppia frequenza L1/L2 montati solidalmente all'imbarcazione hanno registrato ed inviato la posizione al sistema di

controllo del sensore di assetto, il quale ha provveduto ad applicare in tempo reale la correzione differenziale diffusa dalla Rete Hexagon Smartnet via modem GSM.

La posizione assoluta delle antenne GNSS ha così raggiunto un'accuratezza sub-centimetrica con frequenza di aggiornamento di 2 Hz: la posizione aggiornata è stata poi re-inviata tramite interfaccia seriale al sistema di navigazione equipaggiato con il software PDS2000.

Sulla base delle coordinate dell'antenna GNSS, alla disposizione geometrica del trasduttore a bordo dell'imbarcazione, all'orientamento e assetto di quest'ultima determinati dalla MRU ("Motion Reference Unit", i.e. Datore di Verticale), il software di navigazione/acquisizione ha ricalcolato in tempo reale la posizione degli strumenti installati per la corretta georeferenziazione dei dati acquisiti.

Calibrazione MBES

La procedura di calibrazione è necessaria per la rimozione dell'errore sistematico dovuto al disallineamento angolare tra il trasduttore dell'ecoscandaglio multifascio ed il sistema di riferimento dell'imbarcazione.

Per la valutazione di tali disallineamenti sono state eseguite una serie di linee standardizzate. Le linee sono state elaborate tramite il modulo di calibrazione del software CARIS HIPS che ha permesso il calcolo accurato dei valori di disallineamento. Prima della calibrazione MBES, è stato acquisito un profilo di velocità del suono in acqua e i valori immessi nel software PDS 2000.

I valori di disallineamento sono stati calcolati ed applicati solo in fase di elaborazione dei dati e non durante la fase di acquisizione; pertanto i dati bruti non sono stati calibrati in origine.

TIPO DI CALIBRAZIONE	TIPO DI MISURAZIONE	CAUSE D'ERRORE	EFFETTO RELATIVO SULLA PROFONDITÀ
Roll	Offset angolare di Roll tra Trasduttori ed MRU	Non allineamento tra trasduttori ed MRU	Forte
Pitch	Offset angolare di Pitch tra Trasduttori ed MRU	Non allineamento tra trasduttori ed MRU	Debole

Heading (Yaw)	Offset angolare tra Girobussola ed asse dell'imbarcazione (Trasduttori)	Non allineamento tra trasduttori MRU e bussola.	Medio
Time Delay	Offset temporale tra navigazione e sistema multibeam	Offset ed errori di posizionamento, offset temporale nell'acquisizione dei dati di posizionamento	Forte

Tabella 2- Errori di disallineamento del trasduttore dell'ecoscandaglio multifascio

Le linee reciproche acquisite su un'area piana con la presenza di pendenze sono state selezionate per il processo di calibrazione di pitch e roll. Le linee navigate nella stessa direzione ma opportunamente distanziate sono state utilizzate per il processo di calibrazione dello yaw. L'utilizzo del sistema integrato MBES, GNSS ed IMU in combinazione con la sincronizzazione PPS rende la latenza complessiva del sistema di rilevamento influente. Per tale motivo le linee di calibrazione della latenza (Time delay) non sono state eseguite.

La procedura di correzione di marea è stata eseguita utilizzando i dati del mareografo installato in area lavori attraverso il modulo "Tide editor" del software di elaborazione dati CARIS HIPS.

Elaborazione dati batimetrici

I dati batimetrici sono stati elaborati con l'ausilio del software Caris HIPS (Hydrographic Information Processing System) secondo le seguenti fasi:

- Creazione di un nuovo progetto
- Creazione del file di configurazione per i mezzi nautici utilizzati
- Importazione dati all'interno del progetto attraverso il modulo di conversione
- Applicazione del "delayed heave" utilizzando i file POS registrati automaticamente dal Sistema Applanix PosMV durante l'acquisizione
- Applicazione della marea attraverso il modulo "Tide Editor"
- Filtraggio e pulizia dei dati di navigazione (in particolare di salti di navigazione se presenti) attraverso il modulo "Navigation editor"

- Filtraggio dei dati di profondità:

Al fine di rimuovere gli echi multipli, i falsi echi e forme particolari che possono essere dovute ad esempio alla presenza di pesci, tutti i dati sono stati elaborati mediante l'applicazione di filtri basati su parametri statistici e manualmente utilizzando i moduli:

- "Swath editor" che consente una pulizia interattiva dei dati batimetrici di ogni singola linea
- "Subset editor" che consente la pulizia di più linee contemporaneamente in aree 3D

- Produzione di un modello digitale dei dati MBES con cella pari a 1m x 1m

- Esportazione dei file ASCII e GEOTIFF

- Controllo di qualità dei dati elaborati all'interno del GIS e creazione delle isobate

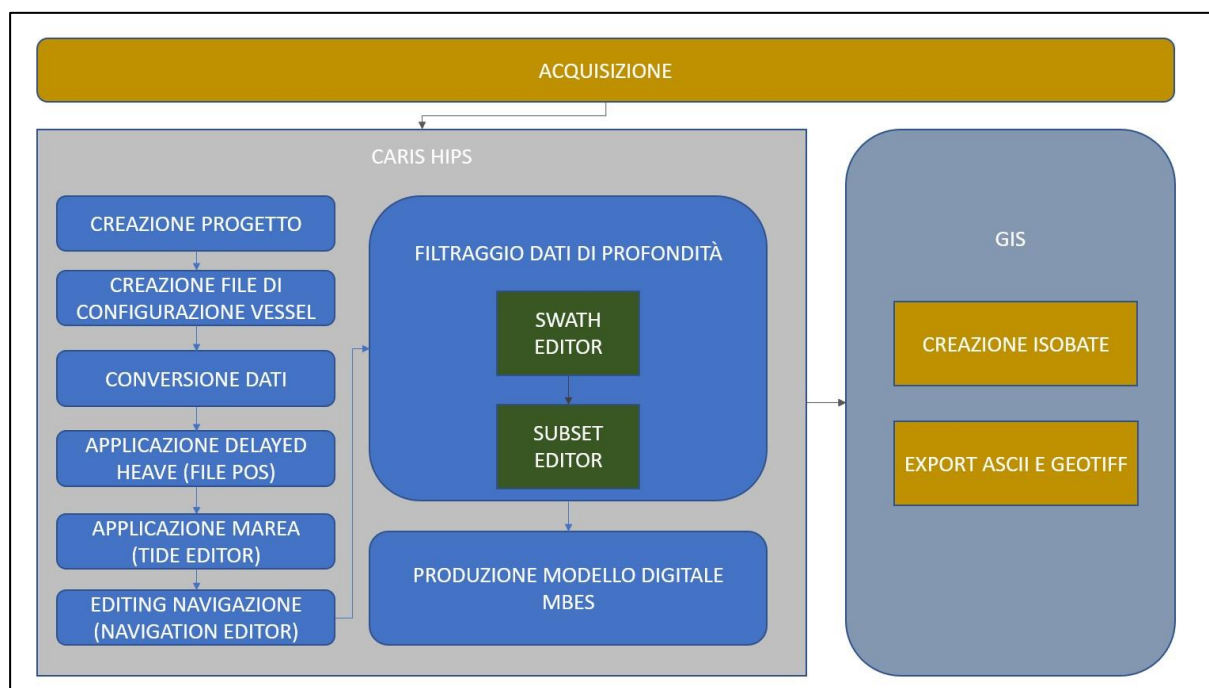


Figura 27 – Elaborazione MBES

16. RILIEVO MORFOLOGICO

Il rilievo morfologico è stato eseguito utilizzando un sonar a scansione laterale (Side Scan Sonar, SSS) modello KLEIN 3000, il quale dispone delle seguenti caratteristiche tecniche:

- impulso a tecnologia con doppia frequenza simultanea 100 - 500 kHz
- narrowbeam (0.5° in orizzontale)
- risoluzione across track migliore di 1 cm

Il veicolo subacqueo è stato trainato a distanza dall'imbarcazione mediante un cavo di traino/trasmissione dati in kevlar. Durante l'esecuzione del rilievo e compatibilmente con le esigenze di sicurezza del veicolo, l'operatore geofisico ha cercato di mantenere la distanza veicolo-fondo tra il 10÷20% del range della scansione del sonar, modificando la quantità di cavo in acqua in funzione anche delle possibili variazioni di velocità dell'imbarcazione, mantenute all'incirca costante sui 3 nodi.

Il sistema di acquisizione SSS è composto da un modulo di comunicazione ed alimentazione collegato via rete (Ethernet 10/100 BASE T) ad un notebook equipaggiato con il software di acquisizione KLEIN SonarPro.

Quest'ultimo è stato collegato mediante interfaccia seriale al sistema di navigazione RESON PDS2000 dal quale ha ricevuto le seguenti informazioni (con una frequenza di aggiornamento di 1 Hz):

- Data e Orario
- Numero Evento
- Posizione Nave
- Posizione veicolo subacqueo
- Velocità Nave

Questi dati sono stati registrati unitamente ai dati sonar nel formato KLEIN e XTF (eXtended Triton Format). Inoltre il modulo SwanCoverage del sistema di acquisizione del SSS, ha consentito il controllo in tempo reale della corretta copertura tra linee di navigazione adiacenti.

I dati sono stati registrati direttamente su Hard Disk. Nella pagina seguente è riportato uno schema della configurazione utilizzata (Figura 29).

Elaborazione dati SSS

I dati acquisiti utilizzando il SSS modello Klein 3000 sono stati registrati nel formato XTF (eXtended Triton Format) e SDF (Sonar Data Format). Successivamente sono stati elaborati con l'ausilio del software SonaWiz secondo le seguenti fasi:

- Creazione del progetto
- Importazione dati all'interno del progetto attraverso il modulo di conversione
- Filtraggio dei dati di navigazione (in particolare salti di navigazione se presenti)
- Applicazione di un guadagno
- Applicazione delle correzioni di slant range
- Produzione delle immagini acustiche georeferenziate (mosaici) con risoluzione 0.20m

I mosaici sono stati quindi importati su piattaforma GIS per la classificazione morfologica del fondale e la successiva fase di interpretazione e digitalizzazione (Figura 31).

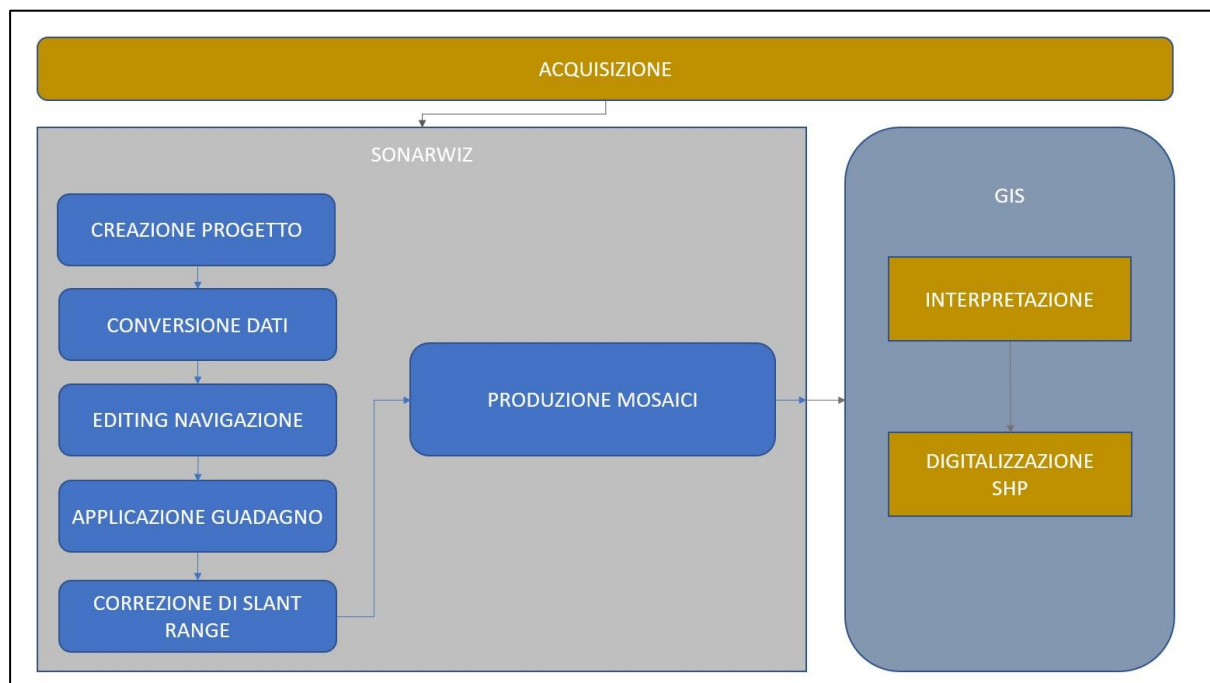


Figura 28 – Elaborazione SSS

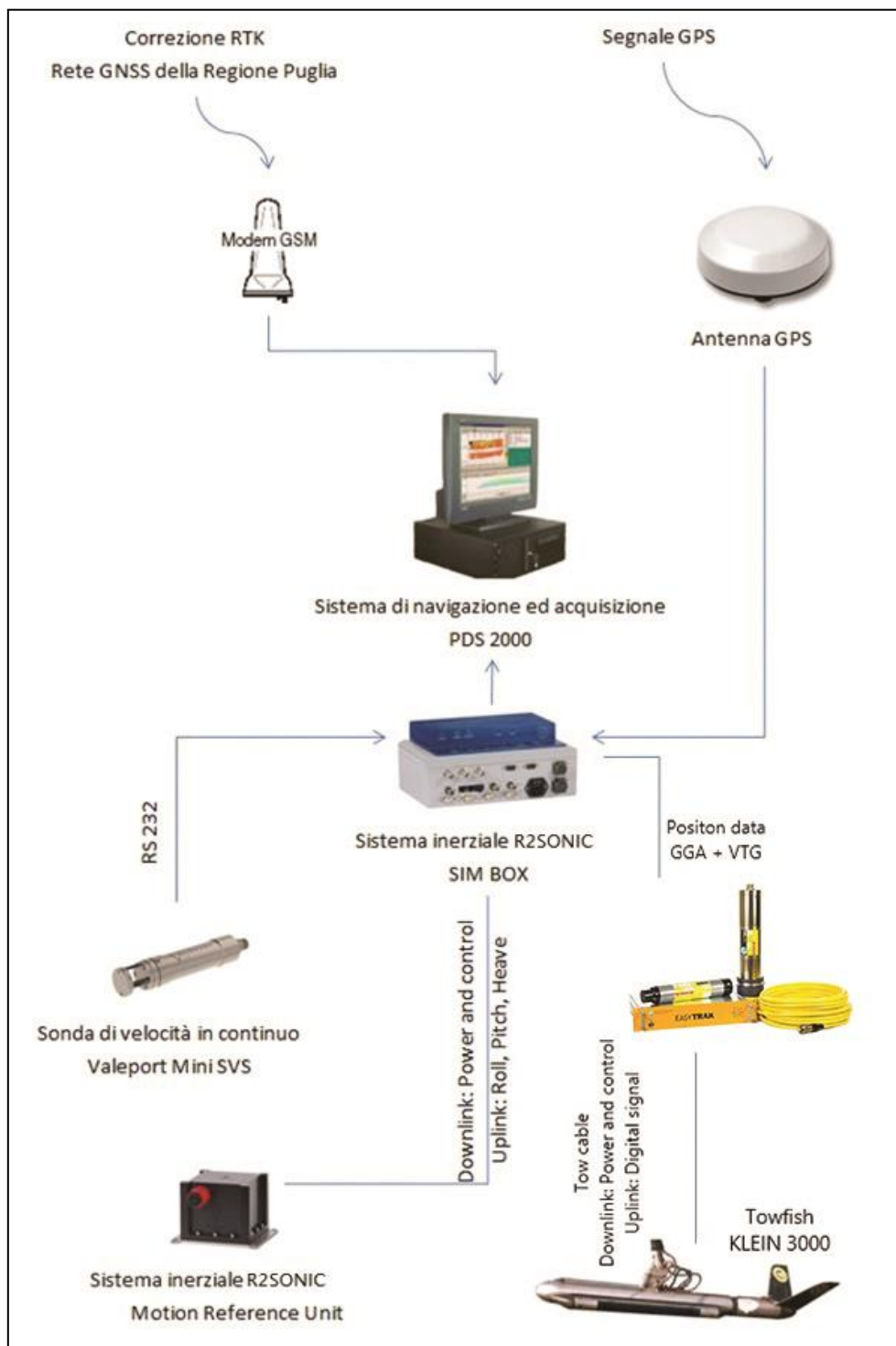


Figura 29 – Configurazione strumentale rilievo morfologico

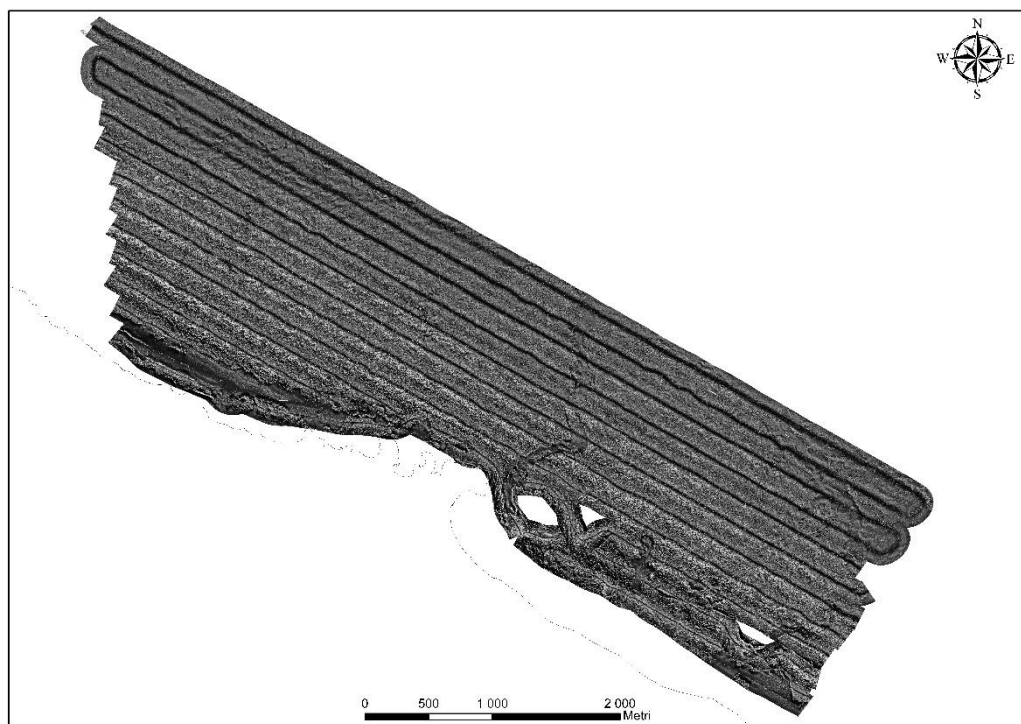


Figura 30 – Mosaico SSS

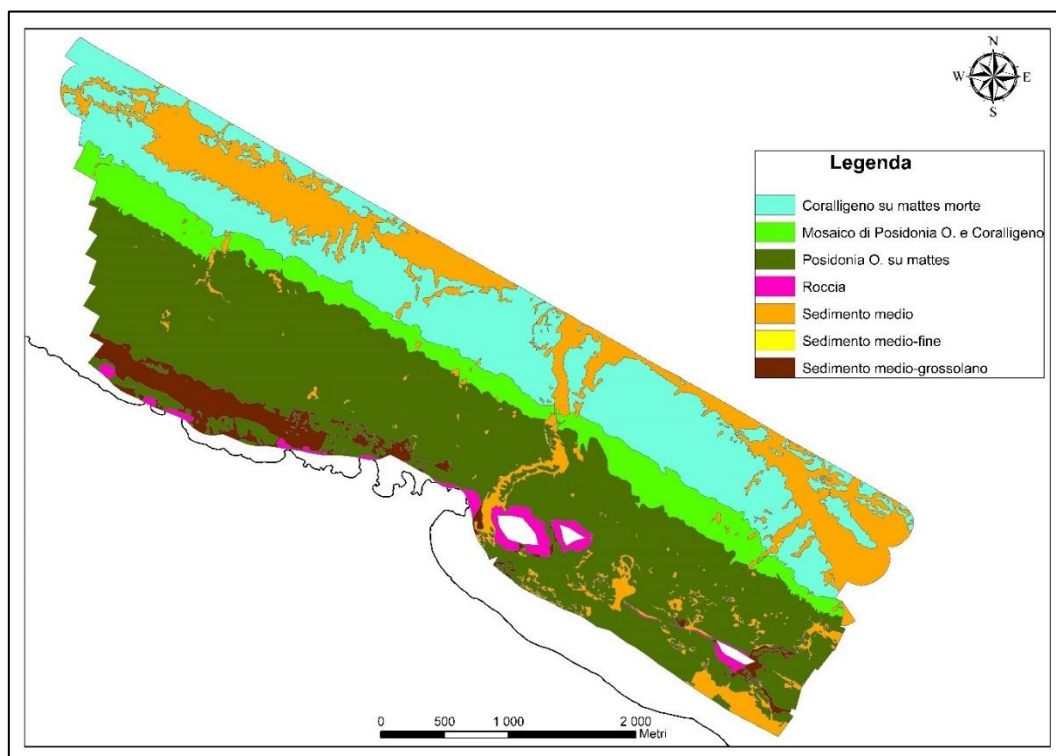


Figura 31 – Interpretazione dei dati SSS

17. VIDEO ISPEZIONI ROV

Il limite profondo della prateria di Posidonia O. è stato ispezionato attraverso l'ausilio di video ispezioni con Remotely Operated Vehicle (ROV) come supporto all'interpretazione morfologica. L'ispezione visiva del fondale mediante ROV lungo n° 6 transetti (Figura 32) è stata condotta nel mese di ottobre 2023.

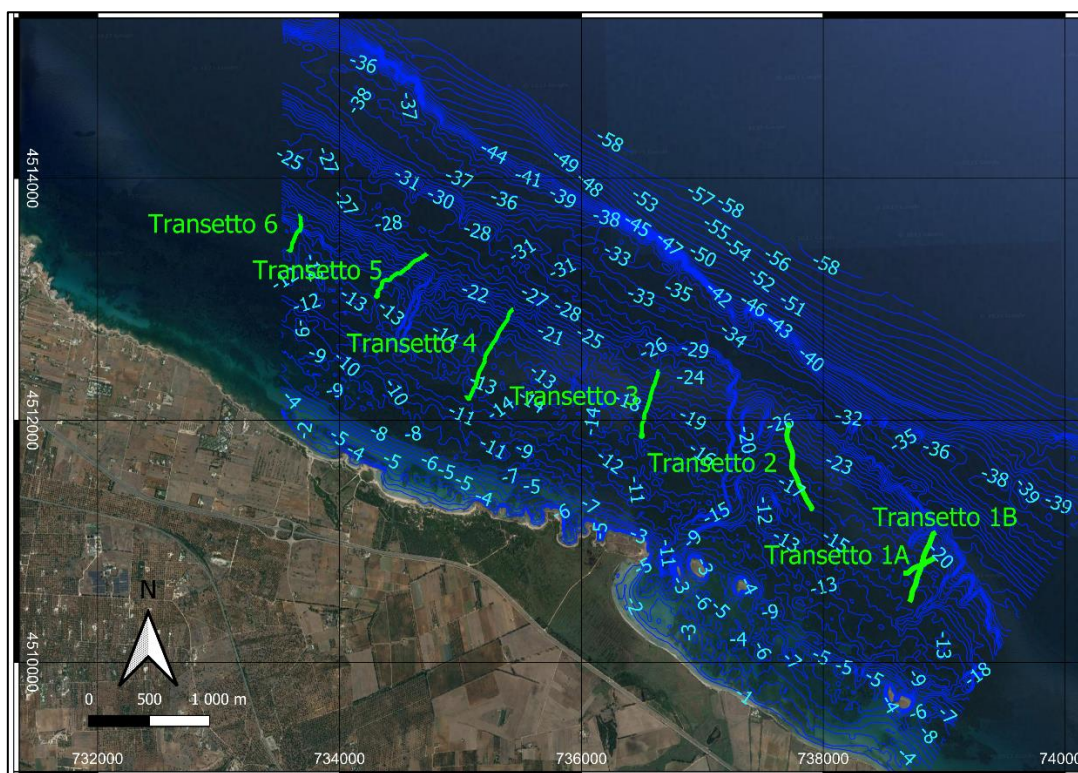


Figura 32 – Ubicazione transetti ROV



Figura 33 – Mosaico di Posidonia Oceanica e coralligeno (transetto T5A)



Figura 34 – Mosaico di coralligeno e Posidonia Oceanica su sedimento medio (transetto T1A)



Figura 35 – Caulerpa racemosa su sedimento medio (transetto T3B)

18. RILIEVO FOTOGRAMMETRICO SUBACQUEO

Il limite più superficiale della prateria di Posidonia Oceanica è stato rilevato con tecniche fotogrammetriche.

Il rilievo fotogrammetrico della fascia costiera sommersa è stato eseguito usando la tecnica fotogrammetrica di prossimità subacquea. La fotogrammetria di prossimità subacquea è stata realizzata attraverso due GoPRO Hero Black 10 accoppiate su un'asta di 1.5 metri di lunghezza disposta ortogonalmente alla direzione di percorrenza del diver. L'acquisizione fotogrammetrica è stata eseguita lungo un transetto subacqueo parallelo alla linea di riva. L'acquisizione delle immagini statiche è stata impostata con un time-lapse di 2 secondi per entrambe le GoPRO. Per l'impostazione dei riferimenti metriche delle immagini subacquee sono state usate 4 barre metalliche della lunghezza di 30 cm, disposte in maniera ortogonale lungo il transetto subacqueo.

La fase di orientamento e restituzione del modello digitale del transetto è stata eseguita attraverso il software Agisoft Metashape Professional secondo le seguenti fasi:

- Allineamento delle foto e generazione nuvola di punti rada

- Riconoscimento dei target all'interno delle singole foto ed inserimento dei Markers nel progetto
- Ottimizzazione delle camere
- Pulizia mediante filtri o selezione manuale
- Generazione nuvola di punti densa
- Generazione ortomosaico
- Generazione del Modello Digitale del terreno (DTM)

19. RILIEVO AEROFOTOGRAMMETRICO DEL CANALE REALE

Il rilievo aerofotogrammetrico di dettaglio è stato eseguito ad aprile 2023 lungo il canale reale e alla sua foce (Figura 36) utilizzando il sistema SAPR DJI Phantom 4 PRO (Figura 39) con lo scopo di ricostruire ad alto dettaglio il bacino di drenaggio del canale onde modellizzare nelle fasi successive gli scenari di esondazione. Sono stati eseguiti n° 4 voli a quota costante di 40 metri della durata di circa 20 minuti ciascuno, impostando valori di “front overlap ratio” e “side overlap ratio” mai inferiori al 75%. Prima di ogni volo, numerosi target a clessidra (Figura 37) sono stati posizionati nelle aree da rilevare sia per migliorare la qualità dei modelli digitali sia per georeferenziare il tutto nel sistema di coordinate prestabilito. Le coordinate dei target sono state accuratamente calcolate mediante ricevitore GPS LEICA 1200 e tecnologia Real Time Kinematic (RTK) sfruttando la correzione differenziale proveniente in tempo reale dalla base più vicina all'area del rilievo, appartenente alla rete Hexagon SmartNet. In totale sono state acquisite 1679 foto ed elaborate con il software Agisoft Metashape secondo le seguenti fasi:

- Allineamento delle foto e generazione nuvola di punti rada
- Riconoscimento dei target all'interno delle singole foto ed inserimento dei Markers nel progetto
- Ottimizzazione delle camere
- Pulizia mediante filtri o selezione manuale
- Generazione nuvola di punti densa (Figura 40)

- Generazione ortomosaico con risoluzione di 1 cm/px (Figura 43)
- Generazione del Modello Digitale del terreno (DTM) con cella avente risoluzione di 2 cm (Figura 41)

Di seguito vengono mostrate l'area in cui è stato realizzato il rilievo aerofotogrammetrico e alcune immagini relative alle fasi operative delle acquisizioni:



Figura 36 – Area rilievo fotogrammetrico SAPR



Figura 37 – Posizionamento di un target a clessidra sulla spiaggia



Figura 38 – Vista dal Canale Reale



Figura 39 – Drone DJI Phantom 4 PRO



Figura 40 – Rappresentazione della nube di punti densa con dettaglio sulla foce del Canale Reale

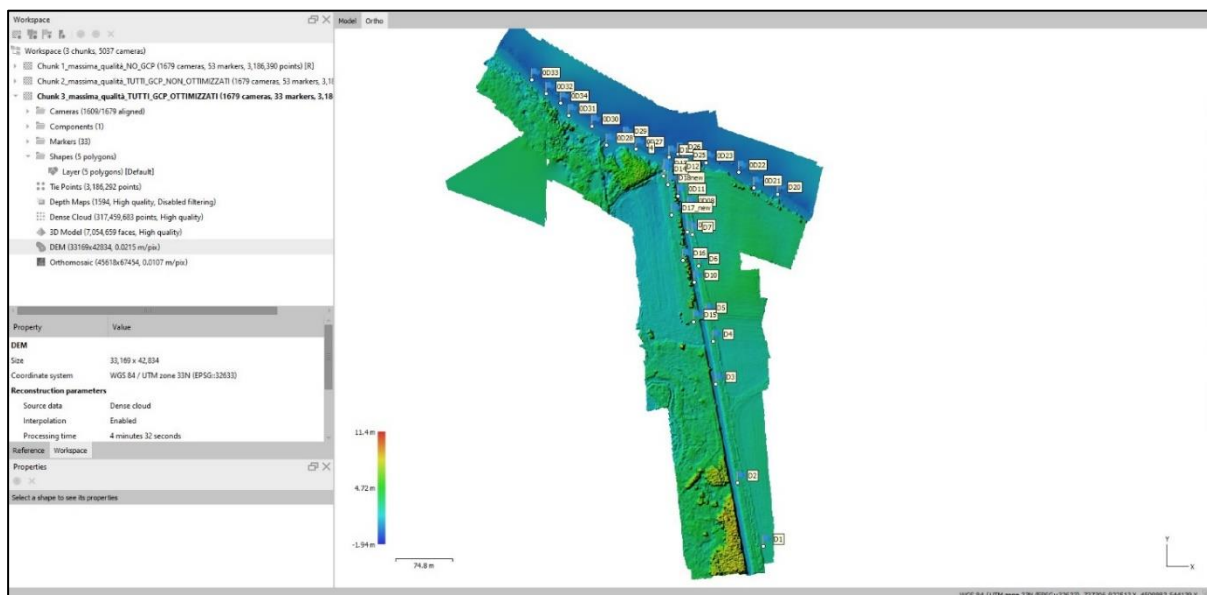


Figura 41 – Generazione del Modello Digitale del Terreno (DTM) con i GCP

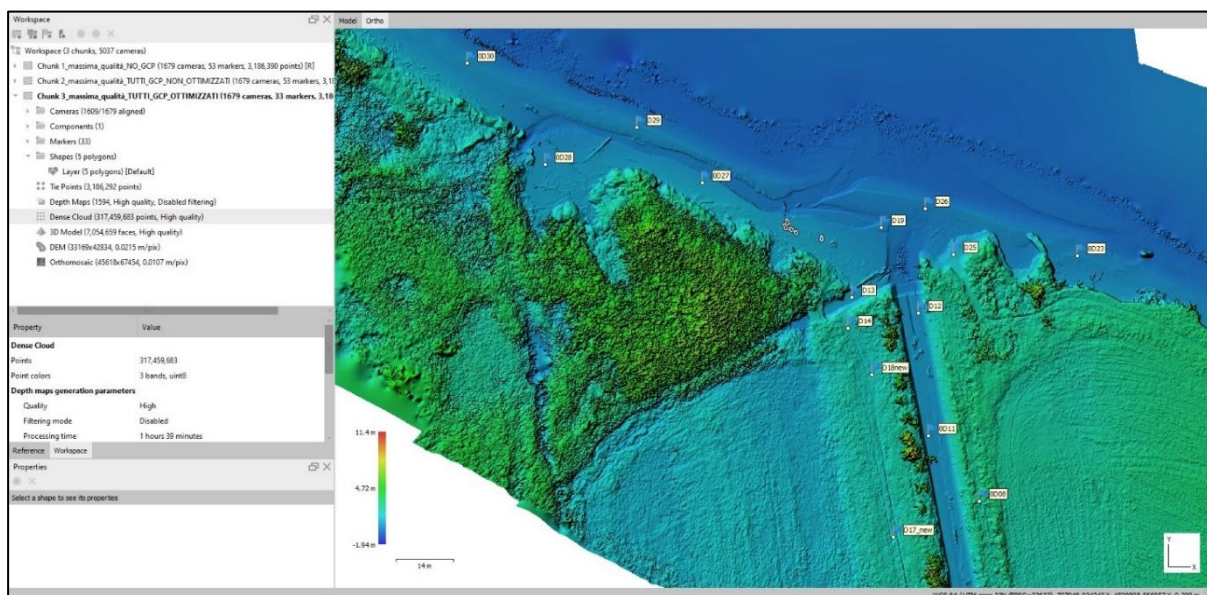


Figura 42 – Rappresentazione del DTM con dettaglio sulla foce del Canale Reale e sulla spiaggia



Figura 43 – Generazione dell'ortomosaico con i GCP



Figura 44 – Rappresentazione dell'ortomosaico con dettaglio sulla foce del Canale Reale e sulla spiaggia

20. RILIEVO LASER SCANNER 3D

Il rilievo con Laser scanner 3D è stato realizzato lungo le falesie che mostrano evidenze di importanti fenomeni di disfacimento (Figura 48). In questa fase sono stati anche prelevati campioni di falesia e di spiaggia onde descrivere, attraverso opportune analisi sedimentologiche e mineralogiche, l'impronta del contributo del disfacimento delle falesie all'interno delle dinamiche di trasporto dei sedimenti costieri nell'area di Torre Guaceto.

Lo strumento utilizzato è un laser scanner Faro modello Focus X130 ad alta velocità, in grado di misurare fino a un milione di punti al secondo, ideale per scansione oggetti situati ad una distanza massima di 130 metri dal punto di scansione. Inoltre il sistema include una fotocamera a colori integrata, dotata di sovrapposizione colore automatica senza parallasse da 70 megapixel. Il risultato finale è la disponibilità di nuvole di punti e immagini 3D dettagliate e foto-realistiche composte da milioni di misurazioni.

In totale sono state eseguite n°12 scansioni (Figura 46) coprendo una lunghezza di costa di circa 1.2 km (Figura 45), montando lo strumento su treppiede e settando il laser ad una risoluzione di 7 mm, ottenendo così una nuvola di punti 3D estremamente dettagliata, composta da milioni di punti per ciascuna scansione e dotata inoltre di valori RGB acquisiti mediante fotocamera integrata ed intensità di segnale riflesso ricevuto (riflettività).

Per georeferenziare i dati acquisiti in un unico sistema di riferimento globale, è stato necessario utilizzare alcuni Ground Control Points (GCP) posizionando dei target riflettenti (Figura 50) all'interno delle aree scansionate. Si è quindi provveduto a calcolare, mediante tecnologia DGNS, le coordinate di questi target: lo strumento utilizzato a tal fine è il ricevitore GNSS LEICA Geosystem 1200 (Figura 49) il quale, lavorando in modalità RTK (Real Time Kinematics) e applicando in tempo reale la correzione differenziale diffusa dalla Rete GNSS Hexagon SmartNet (base di Brindisi) ricevuta via modem GSM, ha calcolato le coordinate dei punti battuti con un errore di posizionamento centimetrico.

Tutte le scansioni sono state elaborate con il software Faro Scene secondo le seguenti fasi:

- Importazione, caricamento e colorazione delle scansioni all'interno del progetto;
- Registrazione e georeferenziazione delle scansioni (individuazione dei GCP nelle singole scansioni ed inserimento coordinate globali calcolate con rilievo DGPS RTK)

- Affinamento automatico delle nuvole di punti;
- Pulizia dei dati;
- Esportazione delle nuvole di punti

Nelle immagini seguenti sono visibili alcuni esempi di dati elaborati:



Figura 45 – Area rilievo laser scanner 3D



Figura 46 – Ubicazione punti in cui è stato eseguito il rilievo laser scanner 3D



Figura 47 – Rilievo laser scanner della falesia

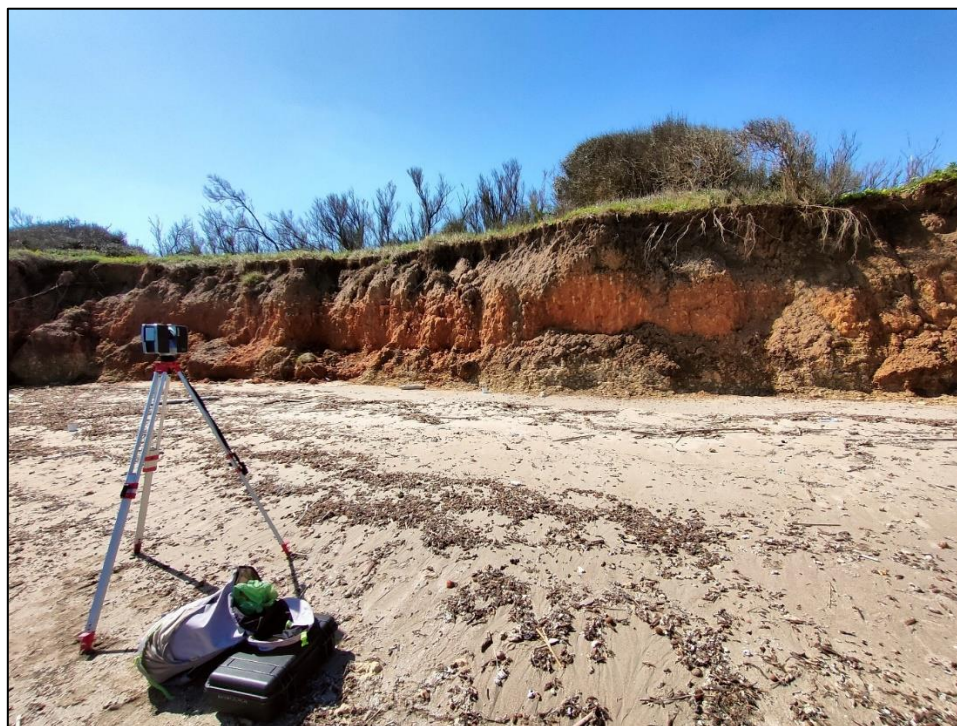


Figura 48 – Rilievo laser scanner della falesia



Figura 49 – Acquisizione GNSS durante il rilievo laser scanner 3D



Figura 50 – Target cilindrico riflettente



Figura 51 – Software Faro Scene – Nuvola di punti 3D



Figura 52 – Software Faro Scene – Nuvola di punti 3D

21. PRELIEVO CAMPIONI DI SEDIMENTO LUNGO FALESIA E BATTIGIA

I campionamenti di sedimento sono stati effettuati a marzo 2023 su spiaggia emersa mediante una sessola su punti prestabiliti lungo n° 7 transetti perpendicolari alla costa. Su ogni transetto sono stati effettuati dei campionamenti sulla battigia (B) e alla base della falesia (F), per un totale di 14 campionamenti (Figura 53).



Figura 53 – Ubicazione campionamenti alla base della falesia

Ogni campione prelevato è stato confezionato in un idoneo contenitore plastico marchiato indelebilmente con codice identificativo univoco (B1-B7 e F1-F7). Al termine delle attività i campioni ed il relativo registro sono stati consegnati al Laboratorio di Geotecnica del Dipartimento di Scienze della Terra e Geoambientali dell'Università degli Studi di Bari Aldo Moro per le analisi opportune.