



REGIONE CALABRIA

Dipartimento N. 6 - Infrastrutture - Lavori Pubblici - Mobilita' Settore: Difesa del Suolo

PROGETTO PER LA SALVAGUARDIA DEL LITORALE COSTIERO

II STRALCIO - CALOPEZZATI (CS)

C.U.P. J23B18000340001 - CIG 8181782C16 - Cod. Rendis 18IR980/G1

PROGETTO DEFINITIVO

elaborato:

REPORT DEI RILIEVI TOPO - BATIMETRICI

(Elaborato redatto da altro professionista nell'ambito dell'Accordo Straordinario della Regione Calabria e Universita' della Calabria - Dipartimento DIBEST)

TAVOLA	R2
SCALA	----
DATA	MAR.22
FILE	R2_REL_RIL.doc
COORDINATE PROGETTO	0422/CE

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO DI PROFESSIONISTI (R.T.P.):

DOTT. ING. ANTONIO D'ARRIGO

DOTT. ING. NICOLA RUSTICA

DOTT. ING. DOMENICO MANGANO

DOTT. ING. AGOSTINO LA ROSA

DOTT. ING. LEOPOLDO ROSSI

DOTT. ING. MANUELA BARBAGIOVANNI GASPARO

DOTT. ING. ALBERTO LO PRESTI

DOTT. ARCHEOL. TIZIANA FISICHELLA

DOTT. BIOL. SEBASTIANO CAPONE

DOTT. GEOL. PIERO MERK

c/o Sede legale: Studio D'Arrigo Via Cagini n.6 98122 Messina - Tel./Fax. 090364154 3356573983 - pec: antoniop.darrigo@ingpec.eu - mail: a.darrigo@tiscali.it

IL DIRIGENTE DEL SETTORE 6:

DOTT. ARCH. ORSOLA REILLO

RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO:

DOTT. GEOL. GIOVANNA CHIODO

Accordo Commissario Straordinario della Regione Calabria e Università della Calabria – Dipartimento DIBEST

Report 4

Ricostruzione topografica della spiaggia emersa di Calopezzati

**18IR954/G1 “Salvaguardia litorale costiero di Calopezzati” - - CUP
J23B18000330001;**

**18IR980/G1 “Progetto preliminare per la salvaguardia del litorale costiero II
stralcio” CUP J23B18000330001**

Il Responsabile Scientifico (Unical - DiBEST)

i Collaboratori

Ric. Rocco Dominici

Dott. Geol. Antonio Viscomi(Borsista)



INDICE

INTRODUZIONE	2
METODOLOGIA.....	3
Parametri geodetici	3
Aerofotogrammetria	4
Analisi dei dati fotogrammetrici	6
Acquisizione Ground Control Points (GCP)	6



INTRODUZIONE

Nell'ambito delle attività previste è stata prevista la ricostruzione topo-batimetrica della spiaggia emersa e sommersa mediante l'utilizzo integrato di dati pregressi immagini aeree e/o satellitari, DTM-regionali, LIDAR-ministeriali, batimetria sottocosta (da 0 m alla -12) ed offshore (profondità maggiori alla -12 m), l'armonizzazione e rielaborazione dati mediante validazioni e calibrazioni in ambiente GIS seguite dall'esecuzione di rilievi aggiornati, al fine di fornire tutte le informazioni necessarie per valutazioni quantitative e qualitative (variazioni volumetriche, trend e peculiari aspetti-processi) dell'area di studio, all'interno di un progetto di lavoro GIS funzionale, condivisibile ed implementabile.

L'attività di "armonizzazione e rielaborazione dati mediante validazioni e calibrazioni in ambiente GIS" dei dati pregressi e il progetto GIS fa parte di uno specifico Report che sarà implementato sulla base delle attività previste nell'accordo.

In questo documento vengono descritte le attività sviluppate per l'acquisizione dati/immagini relative necessarie per il rilievo fotogrammetrico della spiaggia emersa.

L'attività di rilievo aerofotogrammetrico della fascia costiera compresa tra la latitudine 39°35'25" e la latitudine 39°34'28" nonché il tratto di Foce del Torrente Fiumarella del comune di Calopezzati (CS), compresa nei fogli CTR (cartografia tecnica regionale) a scala 1/5.000 n° 553021 e 553022 (volo 2008) è stata eseguita mediante l'utilizzo di SAPR

L'attività si è svolta il giorno 24 febbraio con attività di acquisizione aerofotogrammetrica e proseguita il giorno 2 marzo 2020 con attività di misurazione punti a terra (GCP o ground control points).



METODOLOGIA

L'attività è stata sviluppata attraverso una programmazione del volo cercando di coprire l'area con minor numero di voli garantendo la sovrapposizione dei fotogrammi in modo da limitare gli errori derivanti dalla mosaicatura. Tale attività è stata associata all'identificazione e ricerca di alcuni capisaldi permanenti utili ai fini di aggancio delle attività fotogrammetriche sullo stesso sistema di riferimento locale e geografico. I capisaldi inizialmente ritenuti validi sono stati misurati con strumentazione topografica ovvero GPS differenziale in modalità RTK. Tra questi un capisaldo della rete regionale dei punti GPS presente nell'area di rilievo che si intendeva utilizzare per aggancio e verifica è stato misurato e poi scartato in quanto capisaldo non collaudato e non presente nell'archivio regionale. Questa problematica ha reso necessaria un'attività integrativa di misurazione di molti punti a terra (GPC o *ground control points*).

La base topografica di riferimento utilizzata è la CTR ed in particolare il foglio 553021.

L'elevata qualità (accuratezza) delle foto aeree del 2008 consente di visualizzare oggetti di 10-20 cm ma la restituzione ha evidenziato importanti imprecisioni sulle posizioni spaziali (3D) in termini assoluti soprattutto per quanto riguarda l'altezza, pertanto è stata necessaria un'ulteriore acquisizione di punti di riferimento e capisaldi attraverso il sistema GPS.

Parametri geodetici

Il rilievo e la battuta dei punti a terra con il GPS sono stati eseguiti utilizzando i seguenti parametri geodetici:



Datum:	WGS 84
Proiezione:	U.T.M. – Fuso 33
Meridiano Centrale:	15°00'00"
Falso Est:	500 000
Fattore di scala	0.9996

Aerofotogrammetria

L'acquisizione dei dati fotogrammetrici è stata eseguita con Sistema Aeromobile a Pilotaggio Remoto (SAPR o Drone) equipaggiato con camera nel visibile da 36 Megapixel e ottica fissa da 35mm. Il mezzo è dotato di sistema RTK di tipo base rover che consente la georeferenziazione automatica dei centri di presa per una migliore precisione in fase di elaborazione dei fotogrammi. La base del sistema gps è stata posizionata in modo ottimale presso la foce del Torrente Fiumarella (39°35'15.87"N 16°49'4.48"E) e voli sono stati eseguiti in modalità autonoma tramite piani di volo preimpostati attraverso appositi *waypoints*. Il mezzo è stato pilotato a vista, come da regolamento in materia, da pilota abilitato. L'area di interesse è stata suddivisa in 4 parti, sia per contenere la durata delle operazioni di volo, sia per gestire meglio la grande quantità di dati. I piani di volo sono stati impostati per una quota di 130 metri e calibrati per un'acquisizione di fotogrammi con sovrapposizione di almeno il 60% lungo la direzione di volo e del 60% in senso laterale (ove previste più strisciate). Il GSD previsto è stato di 1,7 cm più che sufficiente per una restituzione in scala 1:500.

Le operazioni di volo sono state iniziate intorno alle ore 11 del giorno 24 febbraio e si sono protratte fino alle ore 14 dello stesso giorno. Le condizioni meteo erano favorevoli con cielo sereno e vento non superiore ai 4 nodi. L'orario inoltre è coinciso con il livello medio



di marea (livello medio alle ore 12,30) pertanto anche la linea di battigia presente nei fotogrammi coincide in modo abbastanza affidabile con il livello medio del mare. Le strisciate così ottenute hanno permesso di coprire con un adeguato numero di fotogrammi l'intera area di rilievo di circa 21,2 ettari.

Sono stati ottenuti un totale di 489 fotogrammi validi con 4 missioni di volo della durata totale di 32 minuti gestite da 2 differenti posizioni di decollo e atterraggio a fine di garantire il rispetto dei limiti di distanza massima previsti dal regolamento SAPR che prevede volo a vista (VLOS).

I fotogrammi ottenuti sono stati verificati sul campo sia in termini qualitativi, sia in termini di copertura e affidabilità dei dati gps associati ai fotogrammi e al termine delle verifiche si è chiusa l'attività sul campo del giorno 24 febbraio per procedere in seguito all'elaborazione dei dati ottenuti.





Fig. 1 - I centri di presa visualizzati su piattaforma Google Earth.

Analisi dei dati fotogrammetrici

I dati acquisiti sono stati elaborati con l'ausilio di più software ed in particolare PHOTOMOD e del software Global Mapper/Qgis per la restituzione delle curve di livello. Di seguito vengono descritte le fasi principali di elaborazione:

- Filtraggio dei dati (verifica di sovrapposizione e di qualità dei fotogrammi);
- Allineamento preliminare dei fotogrammi;
- Individuazione e correlazione dei GCP (targets);
- Correzione topografica e allineamento definitivo con rettifica dei centri di presa;
- Generazione di nuvola di punti;
- Generazione di DEM e Ortofoto alla massima risoluzione;

Il modello di elevazione è di tipo DEM 32 bit non è stato processato per la restituzione di un DTM in quanto la presenza di numerosi manufatti rende difficile la loro rimozione per ottenere un dato del terreno pulito e affidabile. Tuttavia in considerazione delle aree di interesse del rilievo (spiaggia emersa e foce) prive di privi di elementi fabbricati il DEM costituisce un prodotto che consente di generare profili e sezioni, eventualmente filtrando elementi di disturbo.

Acquisizione Ground Control Points (GCP)

Durante la fase di elaborazione dei dati è emerso che i dati GPS della rete regionale non erano collaudati oppure registravano notevoli lacune tali da non permettere l'utilizzo come capisaldi. L'acquisizione in RTK a corredo dei fotogrammi non era sufficiente a garantire la



precisione desiderata pertanto si è stata programmata un'attività integrativa di misurazione a terra di un numero congruo di punti di controllo tramite sistema GPS RTK topografico. Tali punti di controllo, che in genere vengono materializzati in modo provvisorio tramite targets, in questo caso sono stati selezionati tra manufatti di facile identificazione nei fotogrammi (spigoli di muretti, chiusini, blocchi di calcestruzzo delle barriere a mare, ecc...) e misurati con lo strumento.



Fig. 2 Localizzazione dei punti GPC

Le coordinate ottenute, calibrate con dati NTRIP su stazioni permanenti, sono poi stati impiegati per la rettifica delle elaborazioni e le verifiche di precisione.

Dati di elaborazione:

Number of images: 256 Camera stations: 256

Flying altitude: 133 m Tie points: 2,340,160

Ground resolution: 1.67 cm/pix Projections: 9,197,818

Coverage area: 0.374 km² Reprojection error: 0.419 pix

<i>Camera Model</i>	<i>Resolution</i>	<i>Focal Length</i>	<i>Pixel Size</i>	<i>Precalibrated</i>
---------------------	-------------------	---------------------	-------------------	----------------------



ILCE-7R (35mm) 7360 x 4912 35 mm

4.88 x 4.88 μm

Yes

	Value	Error	F	Cx	Cy	B1	B2	K1	K2	K3	K4	P1	P2	P3	P4
F	7644.53	0.95	1.00	0.07	0.40	0.02	0.12	0.67	-0.62	0.21	-0.26	0.00	0.07	0.11	0.01
Cx	-31.2162	0.033		1.00	-0.03	-0.00	-0.05	0.10	-0.05	0.02	-0.03	0.61	0.01	-0.04	0.03
Cy	14.583	0.074			1.00	0.25	-0.02	0.28	-0.25	0.09	-0.10	0.00	0.67	0.40	-0.03
B1	-0.137822	0.0034				1.00	-0.03	0.03	-0.03	0.02	-0.01	0.10	0.11	0.13	-0.02
B2	0.398892	0.0032					1.00	0.08	-0.08	0.03	-0.03	0.02	0.05	-0.09	0.05
K1	0.057102	2.2e-005						1.00	-0.97	0.80	-0.79	0.06	0.05	0.07	0.02
K2	-0.305965	0.00025							1.00	-0.89	0.88	-0.01	-0.05	-0.06	-0.02
K3	0.241271	0.00094								1.00	-0.99	0.00	0.01	0.01	0.02
K4	-0.371516	0.0015									1.00	-0.00	-0.01	-0.01	-0.02
P1	5.27403e-005	1.2e-006										1.00	0.04	-0.04	0.03
P2	-0.00182899	1.8e-006											1.00	0.44	-0.29
P3	-1.61272	0.0037												1.00	-0.89
P4	0.845858	0.01													1.00

Table 2. Calibration coefficients and correlation matrix.

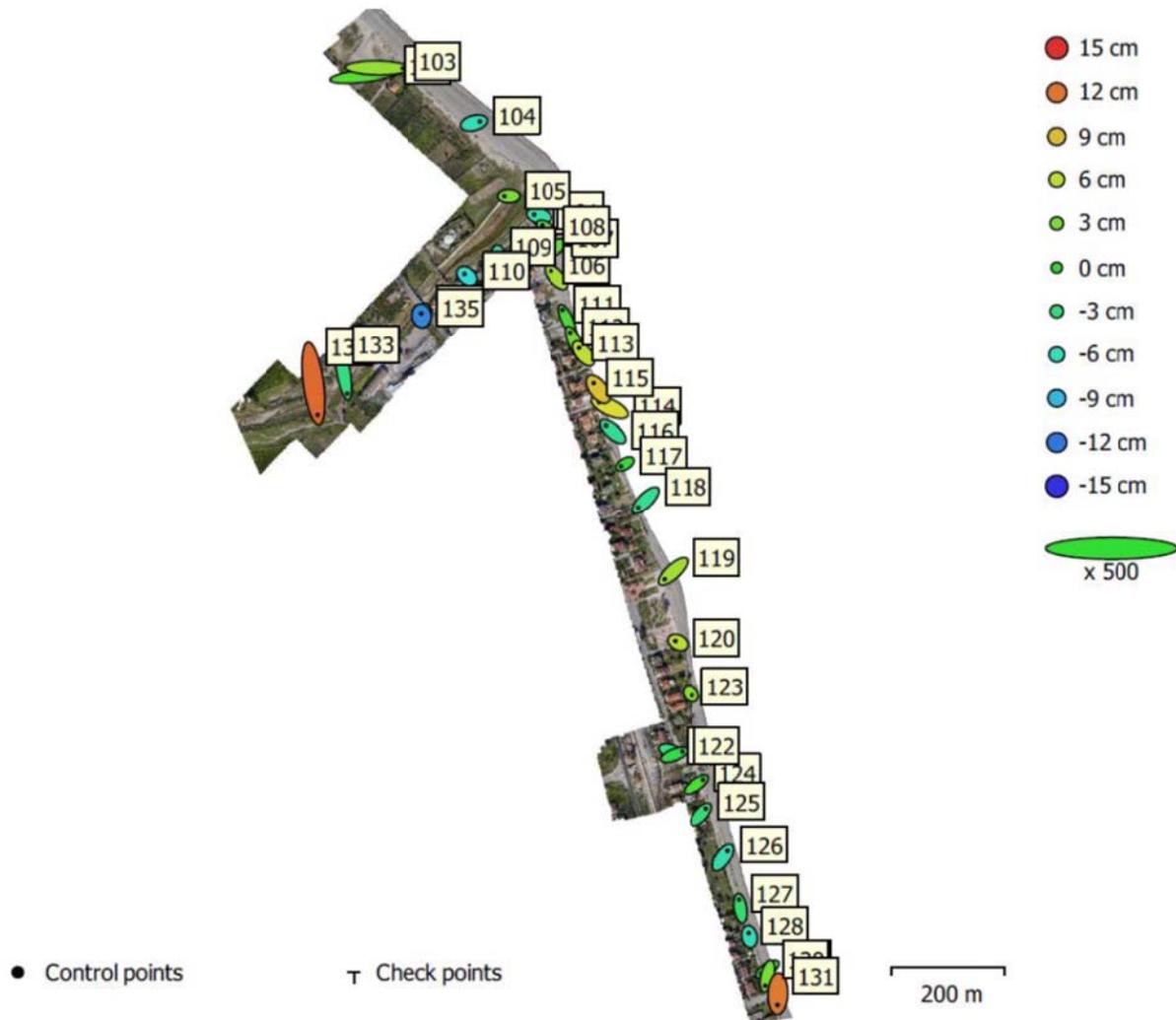


Fig. 3 Localizzazione dei GPC e dell'errore stimato.

Verifica dei punti di controllo e valutazione dell'errore geografico (esagerazione 500x).

L'errore in Z è rappresentato dal colore delle ellissi. Errori X e Y sono rappresentati dalla forma delle ellissi. La posizione stimata dei GCP è indicata con un punto.

Table 3. Control points RMSE.

Count	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	XY error (cm)	Total (cm)
36	5.6399	5.99098	5.41015	8.22802	9.84734



X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

GCP

Label	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	Total (cm)	Image (pix)
100	-2.88303	2.30617	-1.20143	3.88249	0.244 (16)
101	-3.50939	0.817542	-5.69028	6.73524	0.908 (16)
102	20.284	2.39055	1.56031	20.4839	1.067 (10)
103	17.8516	-0.289429	4.3306	18.3716	0.469 (11)
104	4.17687	1.12962	-5.62455	7.09633	0.063 (10)
105	-3.10503	-0.0277621	3.2022	4.4605	0.722 (18)
106	-3.8276	4.42827	4.95694	7.67016	0.296 (6)
107	-1.88	-1.90373	2.02339	3.35451	0.851 (6)
108	-3.31672	2.54597	1.95053	4.6138	0.163 (10)
109	-0.409708	4.33358	-5.65307	7.13477	0.202 (9)
110	-1.65245	1.54375	-7.31459	7.65617	0.295 (9)
111	-3.03678	6.87465	0.861703	7.56475	0.139 (5)
112	-3.88368	8.34899	2.89746	9.65318	0.232 (5)
113	-3.10473	3.9161	6.24435	7.99795	0.184 (5)
114	-7.57945	3.5709	7.40186	11.1798	0.161 (5)
115	-3.16808	4.35526	8.79478	10.3128	0.237 (6)
116	-4.73393	4.27875	-4.46265	7.78672	0.306 (6)
117	-2.76386	-1.69051	-0.196335	3.24581	0.292 (6)
118	-5.211	-5.25442	-4.29229	8.55495	0.326 (5)
119	-6.06495	-5.67656	4.78555	9.58689	0.361 (5)
120	-1.88714	1.02524	5.82992	6.21292	0.127 (5)
123	0.869521	-0.959523	3.78478	4.00017	0.175 (6)
124	4.95918	3.49741	1.09783	6.1669	0.944 (17)
125	3.57478	4.15293	-2.6761	6.09814	0.181 (5)
126	3.25994	5.02334	-5.38778	8.05539	0.261 (6)
127	-0.967483	6.18014	-2.30207	6.66555	0.189 (5)
128	-0.511255	2.62308	-5.82757	6.41113	0.166 (5)
129	-4.46967	-3.08456	-1.11797	5.54457	0.279 (5)
130	-1.54375	-6.85186	2.90089	7.59909	0.175 (6)
131	-0.269681	-7.93477	11.8131	14.2331	0.247 (3)
121	3.9996	-1.41625	-3.2388	5.33782	0.568 (20)
122	5.69384	2.27193	-1.11129	6.23028	0.811 (18)
132	2.92487	-22.5414	12.5544	25.967	0.265 (6)
133	2.5533	-15.0654	-3.39137	15.6521	0.365 (8)
134	-0.539783	-4.07899	-3.9302	5.68999	0.551 (10)
135	-0.199269	1.75392	-11.2637	11.4011	0.188 (8)
Total	5.6399	5.99098	5.41015	9.84734	0.537

X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

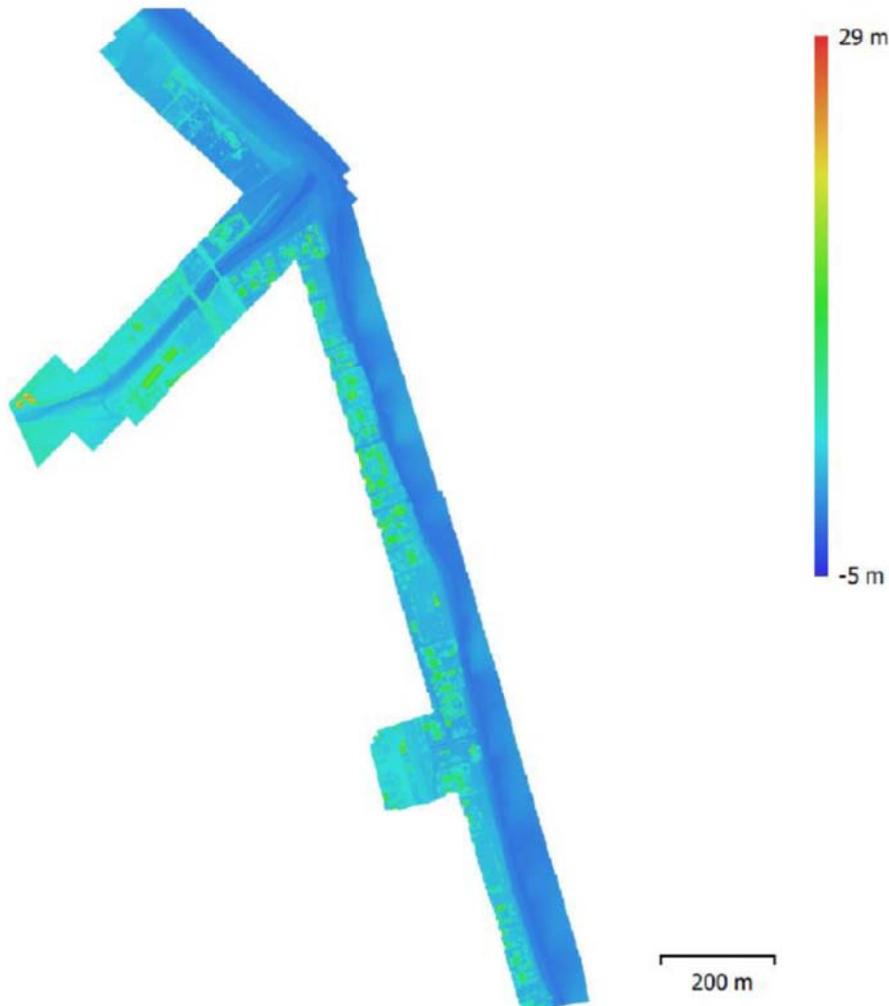


Fig. 4 - Ricostruzione del DEM. Risoluzione: 3.34 cm/pix Densità punti: 899 points/m²

Il DEM elaborato e restituito è stato sottoposto in seguito, tramite sw GIS, ad un operazione di taglio presso la linea di riva per escludere tutto il dato in mare, dal momento che la fotogrammetria in quell'area restituisce dati imprecisi e disturbati (dal movimento dell'acqua) e quindi non validi (il valore di -5 indicato alla figura di cui sopra è relativo a questo tipo di errore). La quota (asse Z) è stata poi rettificata, sempre tramite sw GIS



affinché fosse corrispondente con il livello medio del mare al momento dell'acquisizione (24 febbraio 2020 ore 12). Il DEM viene comunque consegnato anche in versione non rettificata ma con il puro dato GPS in formato UTM.

Data 09.0.2020

il Resp. scientifico

Dr. Geol. Phd Ric. Rocco Dominici

**Accordo Commissario Straordinario della Regione Calabria
e Università della Calabria – Dipartimento DIBEST**

Report 5

**Rilevo morfobatimetrico della spiaggia sommersa di
Calopezzati (CS).**

18IR954/G1 “Salvaguardia litorale costiero di Calopezzati”-

- CUP J23B18000330001;

**18IR980/G1 “Progetto preliminare per la salvaguardia del litorale costiero II
stralcio”**

CUP J23B18000330001

Il Responsabile Scientifico

i Collaboratori

Ric. Rocco Dominici

Dott. Geol. Antonio Viscomi



INDICE

1	INTRODUZIONE	3
1.1	SCOPO DEL LAVORO	3
1.2	AREA DI INDAGINE	3
2	METODOLOGIA E ATTREZZATURE	4
2.1	MEZZI E STRUMENTAZIONE	4
2.2	RICHIAMI TEORICI	5
2.2.1	Ecoscandaglio Multibeam.....	5
2.2.2	Sensore di navigazione Inerziale APPLANIX POSMV VAWEMASTER.....	7
2.2.3	Multibeam KONGSBERG-GEOACOUSTICS GEOSWATH PLUS COMPACT..	7
2.2.4	La Sonda di velocità	8
2.2.5	Software di navigazione Kongsberg GS4	9
2.3	POSIZIONAMENTO, DATUM GEODETICO, RIFERIMENTO ALTIMETRICO	9
2.4	ELABORAZIONE DEI DATI	11
2.5	MODALITÀ OPERATIVE E RISULTATI	15
2.5.1	Generalità	15
2.5.2	Rotte di indagine.....	16
2.5.3	Elaborazione dati Multibeam	17

1 INTRODUZIONE

1.1 Premessa

In data 20.06.2020 veniva comunicato che a causa delle norme vigenti e direttive degli organi preposti al rilascio delle autorizzazioni e disposizioni connesse al COVID-19 per l'esecuzione dei rilievi necessari la "ricostruzione della spiaggia sommersa" si sarebbe conferito incarico esterno. Nel dettaglio le dimensioni, la strumentazione della barca Jack di proprietà del DiBEST-UNICAL necessitavano l'utilizzo di almeno 4 operatori che per disposizioni anti-Covid19 non potevano essere rispettate. Nel mese di giugno 2020 venivano predisposte tutte le documentazioni necessarie all'incarico ed in data 09.09.2020 veniva eseguito grazie alle condizioni meteomarine ottimali attraverso il coordinamento, la verifica e supporto tecnico-scientifico dei ricercatori dell'UNICAL DIBEST. I dati grezzi venivano successivamente verificati e rielaborati attraverso l'utilizzo di strumenti e software ed hardware dell'unicat DiBEST producendo un rilievo morfobatimetrico superficiale del fondale antistanti del comune di Calopezzati (CS).

1.2 Area di indagine

L'area oggetto di indagine è situata all'interno del litorale antistante il Comune di Calopezzati in Provincia di Cosenza. Nel pannello di destra di Figura 1 è riportato l'inquadramento territoriale, mentre sul pannello di sinistra viene mostrata in dettaglio l'area indagata indicata dal poligono giallo.

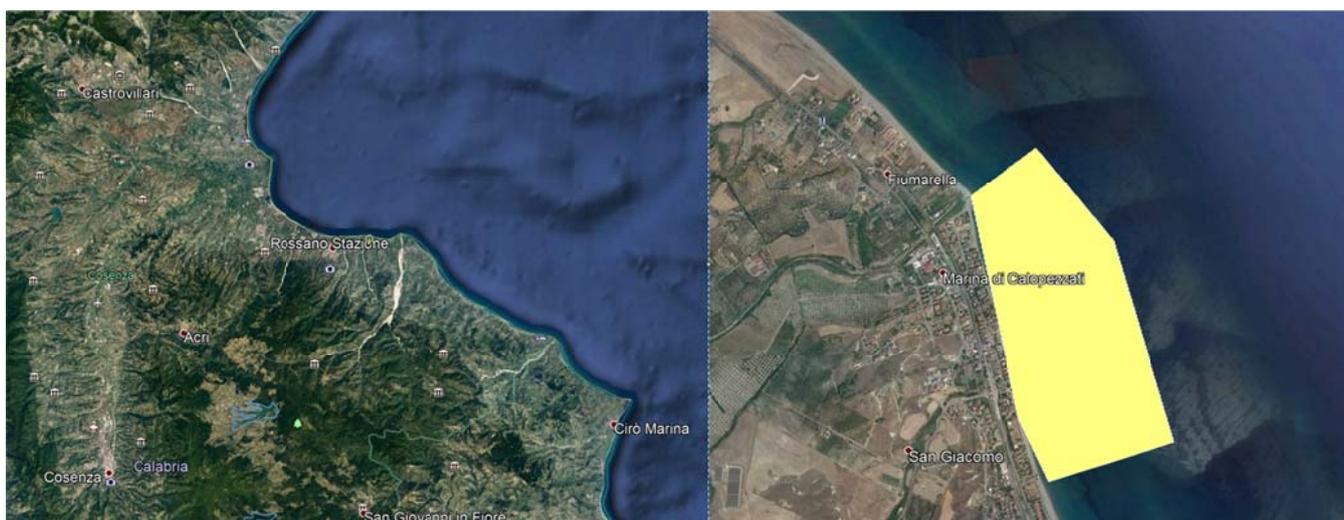


Figura 1. Inquadramento geografico dell'Area di indagine a destra; a sinistra dettaglio dell'area indagata.

2 METODOLOGIA E ATTREZZATURE

2.1 Mezzi e Strumentazione

Il rilievo batimetrico è stato condotto attraverso l'uso di un Multibeam EchoSounder a tecnologia interferometrica (Kongsberg Geoacoustics mod. Geoswath plus Compact 500 kHz).

I rilievi sono stati eseguiti con un gommone con una motorizzazione singola fuoribordo di lunghezza di m 4 (vedi Fig. 2). Il mezzo consente grande manovrabilità e pescaggio contenuto. La strumentazione impiegata è quella elencata di seguito:

- ✓ Sistema posizionamento inerziale e misura di assetto (IMU – Inertial Motion Unit) con doppio ricevitore e doppia antenna doppia frequenza con correzione RTK da reti permanenti **ITALPOS**;
- ✓ Antenna GNSS Compact **GNSS**;
- ✓ Tablet **GNSS**;
- ✓ Multibeam EchoSounder KONGSBERG-GEOACOUSTICS GEOSWATH PLUS compact;
- ✓ Sonda per la misura della velocità del suono al trasduttore;
- ✓ Sonda per la misura del profilo di velocità del suono in acqua;
- ✓ Software di navigazione, acquisizione ed elaborazione dati idrografici Kongsberg GS4.



Figura 2. Mezzo nautico impiegato per l'esecuzione dei rilievi presso l'area Calopezzati (CS). Si nota nella foto di destra l'allestimento strumentale.

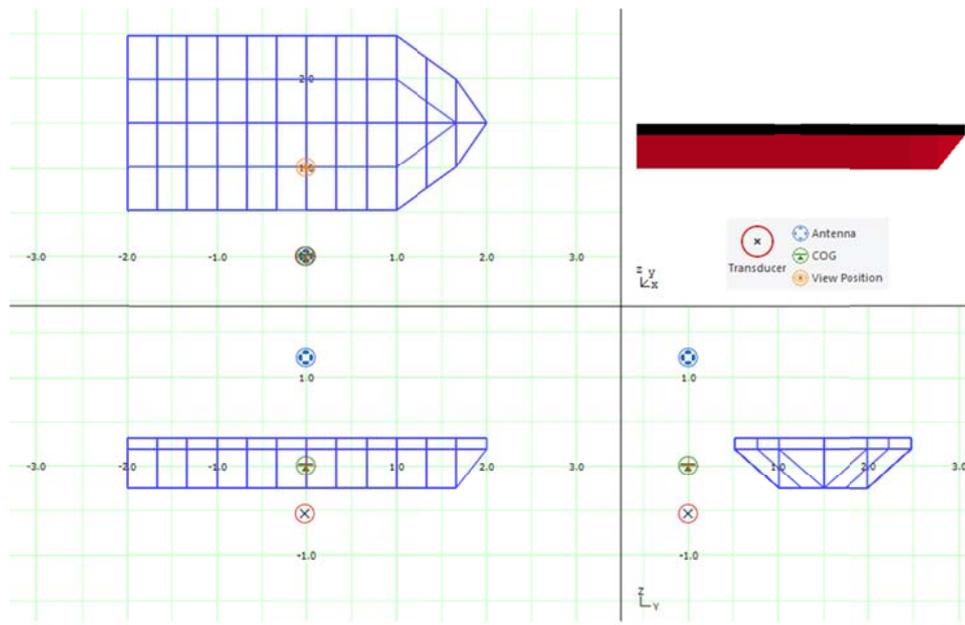


Figura 3. Schema degli offset dell'imbarcazione nel software di acquisizione dati Kongsberg GS4.

Sull'imbarcazione sono state installate le varie strumentazioni, in particolare il trasduttore del MBES (Multi-beam Echo Sounders) è stato installato lungo la fiancata di dritta, ed il sensore di moto è stato installato in asse al trasduttore (v. Fig. 2 e 3).

La procedura di installazione prevede l'accurata misura della disposizione plano-altimetrica dei vari strumenti, i quali andranno inseriti nel software di navigazione, al fine di effettuare i necessari calcoli per la georeferenziazione di tutti i dati acquisiti. Tali dati vengono poi confrontati con la correzione proposta dal software a seguito della procedura di calibrazione degli offset.

2.2 Richiami Teorici

2.2.1 Ecoscandaglio Multibeam

La logica di funzionamento dell'ecoscandaglio multibeam è calcolare la profondità del fondale attraverso la selezione di differenti impulsi sonori (o beam). Sia per beam reali o beam virtuali, tutti i sistemi multibeam calcolano il cross range e la profondità, misurando le seguenti due variabili:

1. La distanza tra il trasduttore ed il punto di misura;
2. L'angolo del percorso acustico formato tra il trasduttore ed il punto di misura.

Tutti i sistemi multibeam utilizzano uno o entrambi dei seguenti metodi per misurare le variabili:

1. misurazione del tempo di andata e ritorno del segnale con un angolo specifico;
2. misurazione dell'angolo del segnale riflesso in un istante di tempo specifico.

I multibeam tradizionali, i cosiddetti "beam forming control technology" usano il metodo (1), ovvero essi ricevono i segnali direzionali dell'eco e li analizzano per ottenere l'angolo del

percorso acustico. La profondità del punto target può essere calcolata una volta calcolato l'angolo del percorso acustico θ e il tempo di percorrenza t dell'impulso sonoro.

Al primo ordine di approssimazione, la distanza orizzontale H e quella verticale D possono essere scritte come:

$$H = v t \cos \theta$$

$$D = v t \sin \theta$$

dove D rappresenta la distanza verticale tra il trasduttore ed il fondale e H , la distanza tra il punto di misura a il punto proiezione del trasduttore sul fondale (v. figura 4).

I sistemi Multibeam interferometrici utilizzano la tecnologia dell'interferometria. Dopo aver scansionato il fondo marino utilizzando un impulso breve, è possibile ricevere una serie di segnali di eco come fasi particolari. Poiché esiste una relazione tra la differenza di fase e l'angolo dell'impulso riflesso dell'elemento trasduttore adiacente, in base al principio dell'interferometria, può essere calcolato l'angolo del percorso acustico θ . Infine, la misura della profondità può essere calcolata dopo aver compensato il rollio.

Geo Swath Plus è un tipico sistema multibeam interferometrico, in grado di trasmettere impulsi acustici alternativamente attraverso due trasduttori e ricevere in maniera continua fasci di eco acustici. Geo Swath plus può registrare una serie di differenze di fase delle eco di tali impulsi e può anche calcolare una serie di angoli dei raggi riflessi.

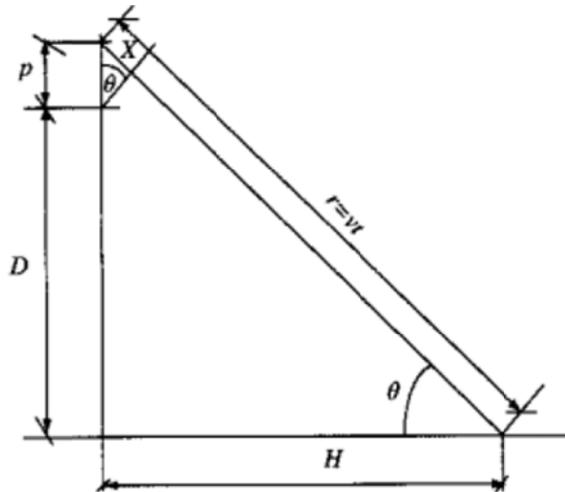


Figura 4. Relazioni geometriche tra emettitore dell'impulso acustico e il punto di misura sul fondale marino.

Data la differenza di fase $\Delta \phi$ e la lunghezza d'onda λ si ha

$$X = \frac{\Delta \phi \lambda}{2\pi}$$

dove $X = p \sin \theta$ e $\Delta \phi = 2\pi p \sin \theta / \lambda$, si può ottenere l'angolo θ del fascio riflesso come

$$\theta = \arcsin \left(\frac{\Delta \phi \lambda}{2\pi p} \right),$$

con p distanza tra due trasduttori adiacenti. La distanza lungo il raggio sonoro r può essere scritta come

$$r = vt$$

dove v rappresenta la velocità del suono e t è il tempo di viaggio dell'impulso sonoro. Se la distanza tra due trasduttori adiacenti p può essere trascurata le distanze orizzontali e verticali diventano:

$$D = r \cos \alpha$$

$$H = r \sin \alpha$$

2.2.2 Sensore di navigazione Inerziale APPLANIX POSMV WAVEMASTER

Per il posizionamento e la misura di assetto dell'imbarcazione è stato utilizzato un sensore di navigazione inerziale APPLANIX POSMV WAVEMASTER. Il sistema misura con estrema precisione la posizione, i movimenti angolari (Rollio, Beccheggio) e le accelerazioni nei tre assi, fornendo una soluzione a 6 gradi di libertà del mezzo in movimento.

Il sensore è costituito da una coppia di antenne con funzione di posizionamento e GAMS (*GPS Azimuth Measurement Subsystem*) per la misura dell'angolo rispetto al Nord, un sensore di moto (IMU) dotato di accelerometri allo stato solido per la misura delle accelerazioni angolare ed orizzontali, e di una unità di elaborazione dei dati nella quale un algoritmo di Kalman miscela tutti i dati dei sensori per generare una soluzione stimata di posizione e assetto, che viene quindi inviata al software di navigazione/ acquisizione dati. Il sistema funge anche da orologio di sincronizzazione dei dati con il tempo UTC in maniera rigorosa e precisa.



Figura 5. APPLANIX. (IMU, PCS e ANTENNE GPS) e diagramma del flusso dati dei sensori.

2.2.3 Multibeam KONGSBERG-GEOACOUSTICS GEOSWATH PLUS COMPACT

I dati batimetrici sono stati acquisiti tramite l'utilizzo di un ecoscandaglio *Multibeam* a tecnologia interferometrica KONGSBERG-GEOACOUSTICS GEOSWATH PLUS COMPACT funzionante ad una frequenza di 250 kHz.

Il sistema utilizzato è specifico per acque basse e bassissime, poiché permette di scandagliare i fondali lungo un fascio di ampiezza fino a 12 volte la profondità di utilizzo,

non subendo i limiti dei *Multibeam* tradizionali (*beamformer*) che sono legati all'angolo di apertura del trasduttore.

Il trasduttore è stato montato sulla fiancata di dritta dell'imbarcazione. Il sistema è stato interfacciato con il software di acquisizione dati Kongsberg GS4 che svolge anche funzione di navigazione, visualizzazione e georeferenziazione in tempo reale dei valori acquisiti. Il sistema è stato interfacciato e sincronizzato (tramite il segnale 1PPS del ricevitore GPS integrato) con il sensore di navigazione/assetto inerziale (IMU) POSMV che fornisce una soluzione a 6 gradi di libertà per posizione, assetto (rollio, beccheggio, heading) e heave per la correzione in tempo reale dei relativi movimenti. Il trasduttore è dotato inoltre di sonda per la misura diretta della velocità del suono.



Figura 6. Multibeam GEOSWATH PLUS Compact. Sotto Trasduttore, e Sonar Processor. A fianco montaggio a murata sull'Imbarcazione.

2.2.4 La Sonda di velocità

La sonda di ridotte dimensioni, robusta e tecnicamente avanzata, progettata per eseguire profili delle velocità del suono (e della temperatura) con misura diretta del valore di velocità del suono.

La sonda permette di essere usata per misure in tempo reale e trasmissione a bordo dei dati tramite cavo dati, oppure può essere programmata per profili in modalità auto-registrante (self recording) con intervalli selezionabili (es. ogni metro di profondità). La peculiarità è la misura diretta del valore di velocità tramite trasduttore acustico con piastra riflettente a distanza calibrata. In sostanza, essa usa lo stesso principio degli ecoscandagli ma effettua un calcolo inverso (velocità invece di distanza). E' dotata di un memoria per registrazione interne di numerosi profili e software per la visualizzazione e il download dei dati registrati. Il profilo registrato prima del rilievo viene inserito nel software di acquisizione dati per la correzione in tempo reale del beam pattern.



Figura 7. La Sonda

2.2.5 Software di navigazione Kongsberg GS4

Per la navigazione e l'acquisizione dati è stato usato il software **Kongsberg GS4**. Il programma consente di effettuare la navigazione con guida in linea utilizzando una cartografia di sfondo. Esso può essere interfacciato con moltissimi strumenti (GPS, ecoscandagli, magnetometri, girobussole, MultiBeam ecc.) e registrarne i dati. Consente la trasformazione di coordinate in tempo reale, il calcolo di tutti i parametri di navigazione e prevede una serie di visualizzazioni grafiche complesse di tutti i parametri di acquisizione e il controllo di qualità in tempo reale.



Figura 8. Software di acquisizione dati Kongsberg GS4. A sinistra, l'applicazione dei filtri per l'individuazione del fondale. A destra la larghezza del fascio emesso dai due trasduttori con relativa scala della colorimetria della profondità rilevata.

2.3 Posizionamento, Datum geodetico, riferimento altimetrico

Il posizionamento dell'imbarcazione durante il rilievo è stato eseguito mediante il sistema di navigazione inerziale dotato di doppia antenna GNSS per la misura di Posizione, Heading con tecnica IARTK – *Inertial Aided Real Time Kinematic* con correzioni differenziali dalla rete di Stazioni Permanenti **ITALPOS** (certificata dall'ISTITUTO GEOGRAFICO MILITARE) operata da LEICA GEOSYSTEM. Il sistema è capace di una precisione centimetrica sia in planimetria che in quota.

Le due antenne GPS sono state installate parallelamente all'allineamento poppa-prua ad una distanza reciproca di 2.0 m, mentre il sensore di moto (IMU) è stato installato in asse al trasduttore. Il sistema viene configurato con apposito software POSVIEW che si occupa anche di registrare i dati grezzi dell'intero rilievo, mentre l'uscita dati (su interfaccia LAN) è stata interfacciata con il software di navigazione Kongsberg GS4. L'antenna ausiliaria Leica GNSS è stata installata ad una distanza di 0,485 m dall'IMU, in asse alle due antenne GPS.

Il rilevamento è stato effettuato nel sistema di coordinate mondiale WGS84 con proiezione nel sistema UTM (Universal Transverse Mercator) fuso 33 N, e successivamente trasformato in coordinate GAUSS-BOAGA tramite grigliato IGM (.gr2) e apposito software.

Per la riduzione delle misure di profondità al livello medio mare è stata applicata la misura di marea registrata dal mareografo del Porto di Crotone, appartenente alla Rete Mareografica Nazionale (RMN).

Tabella 1. Parametri geodetici e cartografici.

Parametri Geodetici	
Datum	ROMA 40
Ellissoide:	HAYFORD 1909 (INTERNATIONAL) semiasse maggiore: a = 6 378 388 m eccentricità: c = 0.006722670022 schiacciamento: f = 1/297,00000001475
Proiezione:	GAUSS-BOAGA fuso est (Transverse of Mercator)
Origine Longitudine:	15°00'00"
Falso Est:	2520 000
Falso Nord:	0
Fattore di scala	0.9996

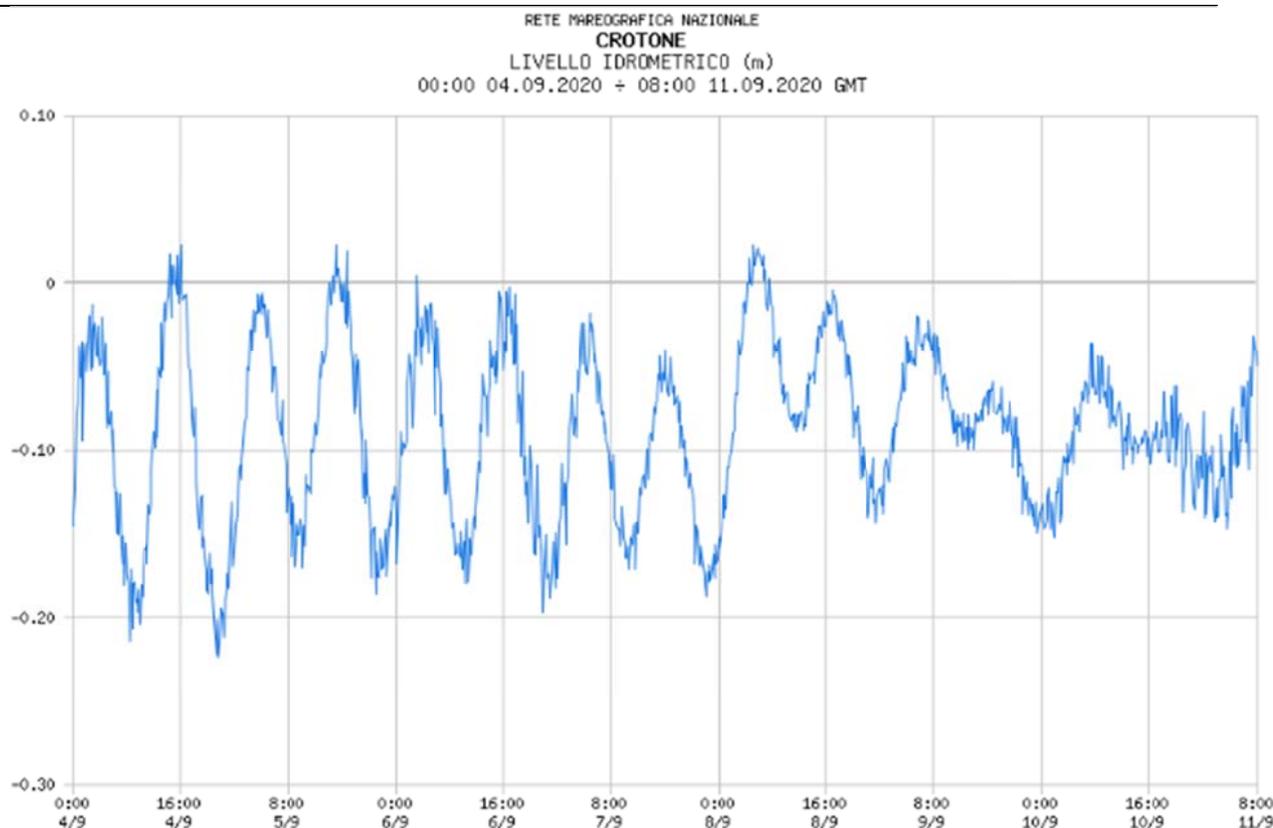


Figura 9. Livello idrometrico registrato nella stazione mareografica di Crotone.



	Rete idrografica e mareografica nazionale LIVELLAZIONE DI ALTA PRECISIONE	Rilievi anno 2009 - 2010	Stazione mareografica di Crotona
	ORIGINE IGM Cso: 98/62 Punto GPS: 238902	Annotazioni:	
CSO MAREOGRAFICO ISPRA Coordinate piane UTM - ETRF 2000 N: 4328008.540 E: 684846.393 Quota s.l.m.: m. 1.7382 quota itaGeo 2005: m.1.757 Bullone in acciaio inox murato sulla soletta di fondazione della cabina, in lato destro della porta di accesso,			
CSO ASTA IDROMETRICA Quota s.l.m.: m. 1.5121 Bullone in acciaio inox murato in banchina, lato mare, a sinistra della cabina guardando verso mare			
STAFFA MAREOGRAFICA Quota s.l.m. 1998: m.1.7487 (quota boccaforo pozzo) Quota s.l.m. 2010: m.1.7615 Differenza di quota Δ = 0,0128 Staffa in acciaio zincato aggettante nel pozzo di calma			

Figura 10. Monografia ufficiale della stazione di Crotona.

Il software di elaborazione POSpac MMS consente l'elaborazione a posteriori dei dati di posizione e assetto acquisiti sul campo dai sistemi POS MV.

2.4 Elaborazione dei dati

I dati relativi al posizionamento e all'assetto sono stati elaborati con il software POSpac MMS di Applanix, il quale fornisce la migliore stima della traiettoria e dell'assetto completo di una stima oggettiva dell'errore (SBET - Smoothed Best Estimate of Trajectory). Il file SBET completo delle stime degli errori è stato inserito come input nel GS4, per ottenere la massima precisione dai propri rilievi. La correzione differenziale in modalità RTK è stata ricevuta dal sistema e, come si vede, l'errore sul posizionamento N, E oscilla in media intorno **agli 0.40 m prima della correzione e intorno agli 0.1 m** dopo la correzione, fatti salvi sporadici episodi in cui la precisione è degradata intorno a 0.4 m. Quanto all'errore sulla quota, **esso è pari in media a circa 0.08 m**, dopo la correzione.

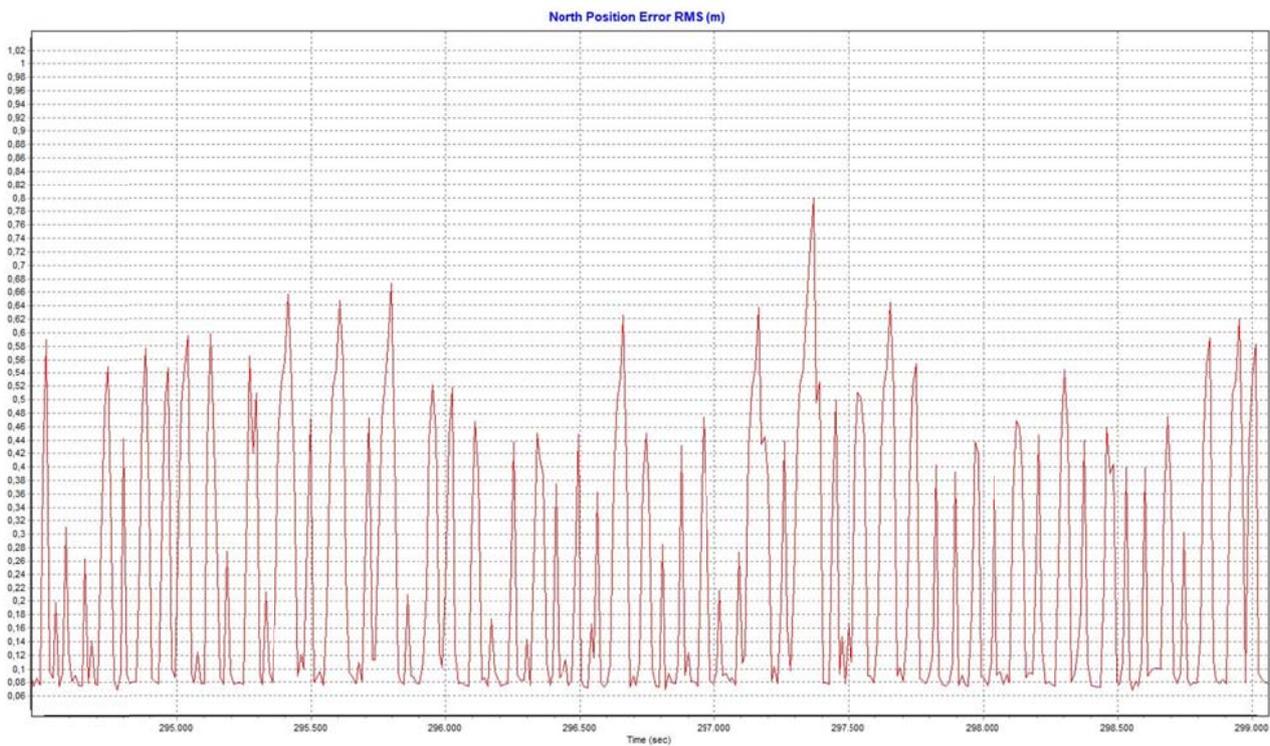


Figura 11. Errore quadratico medio nella determinazione della coordinata Nord **prima** della correzione col POSPac MMS.

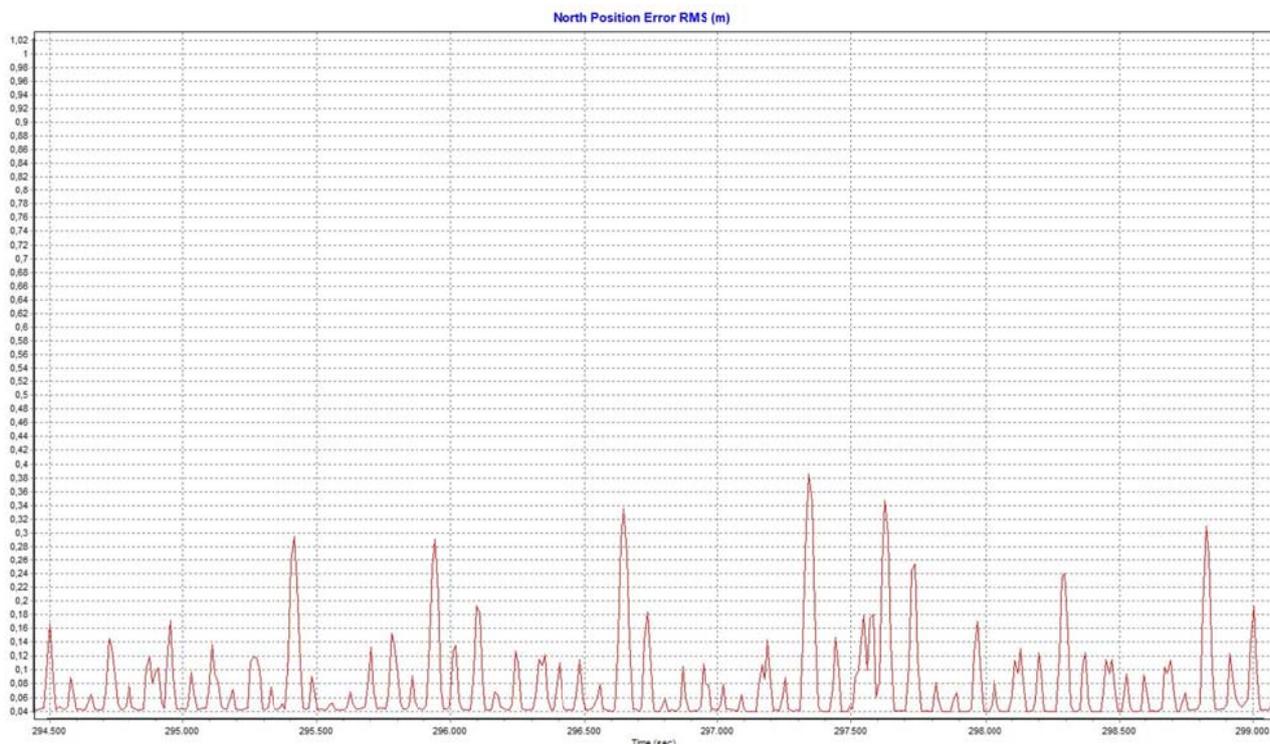


Figura 12. Errore quadratico medio nella determinazione della coordinata Nord **dopo** la correzione col POSPac MMS.

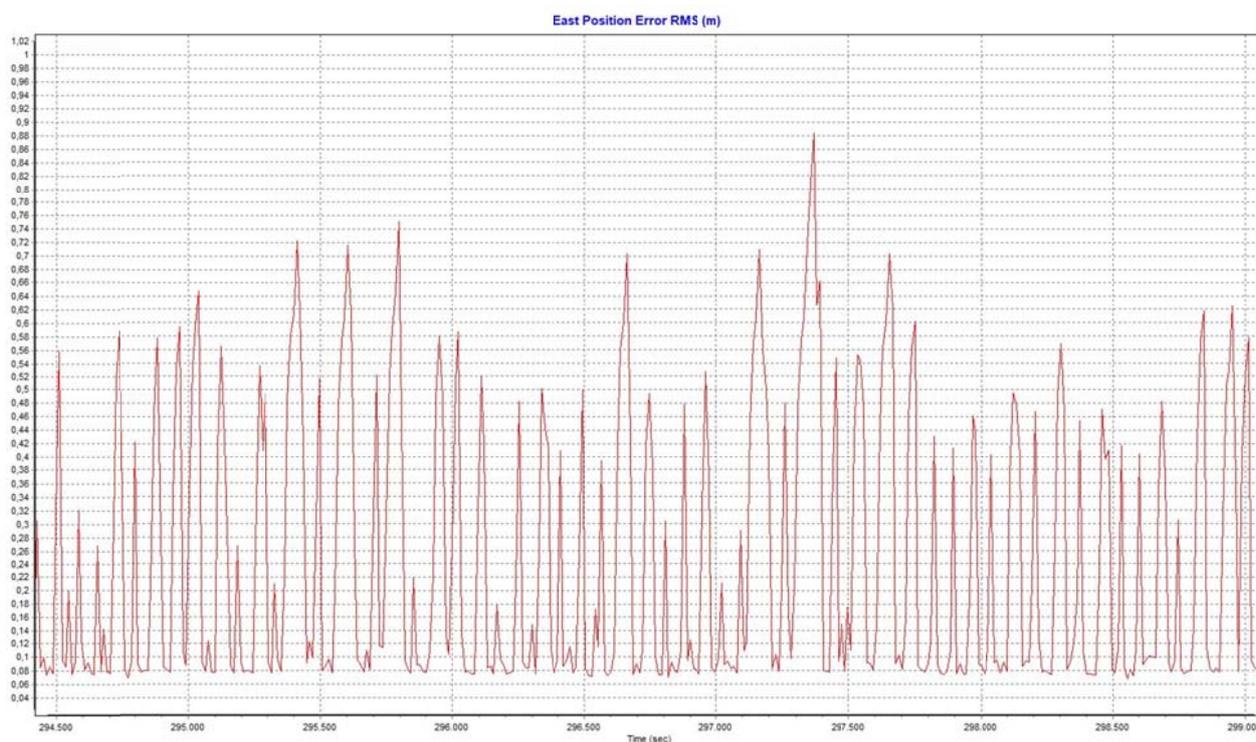


Figura 13. Errore quadratico medio nella determinazione della coordinata Est **prima** e della correzione col POSPac MMS.

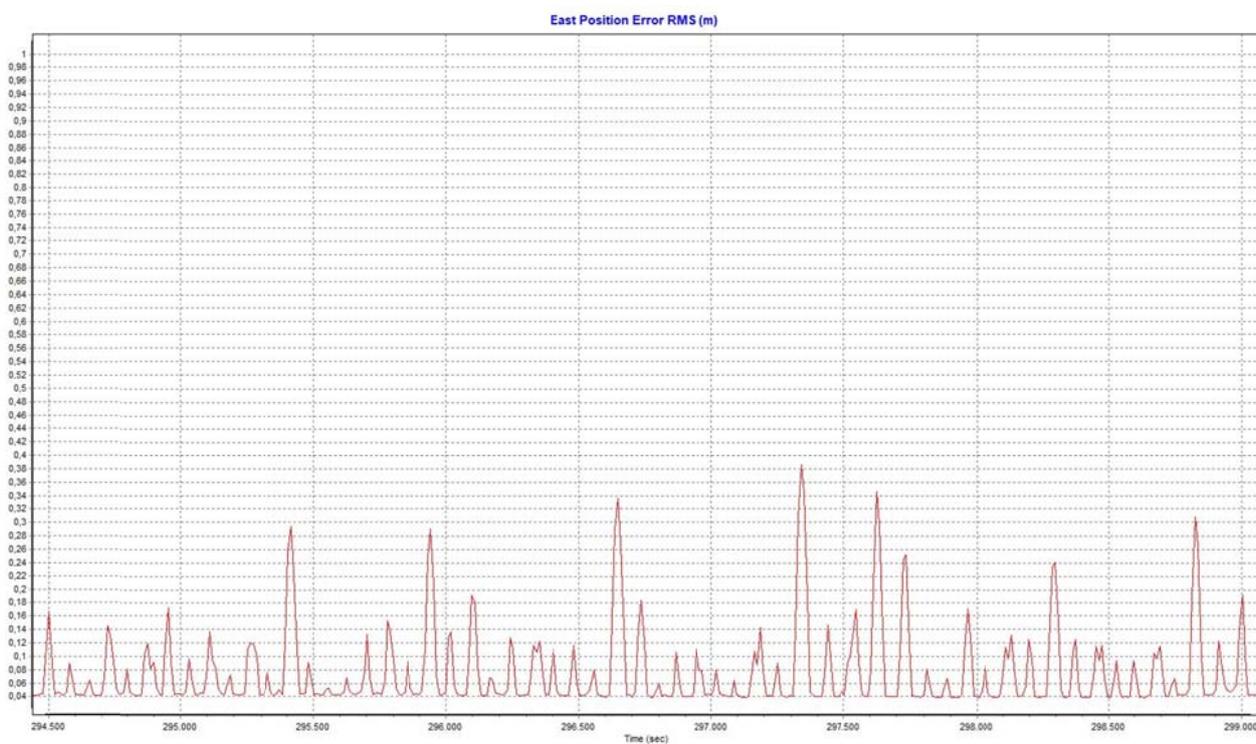


Figura 14. Errore quadratico medio nella determinazione della coordinata Est **dopo** della correzione col POSPac MMS.

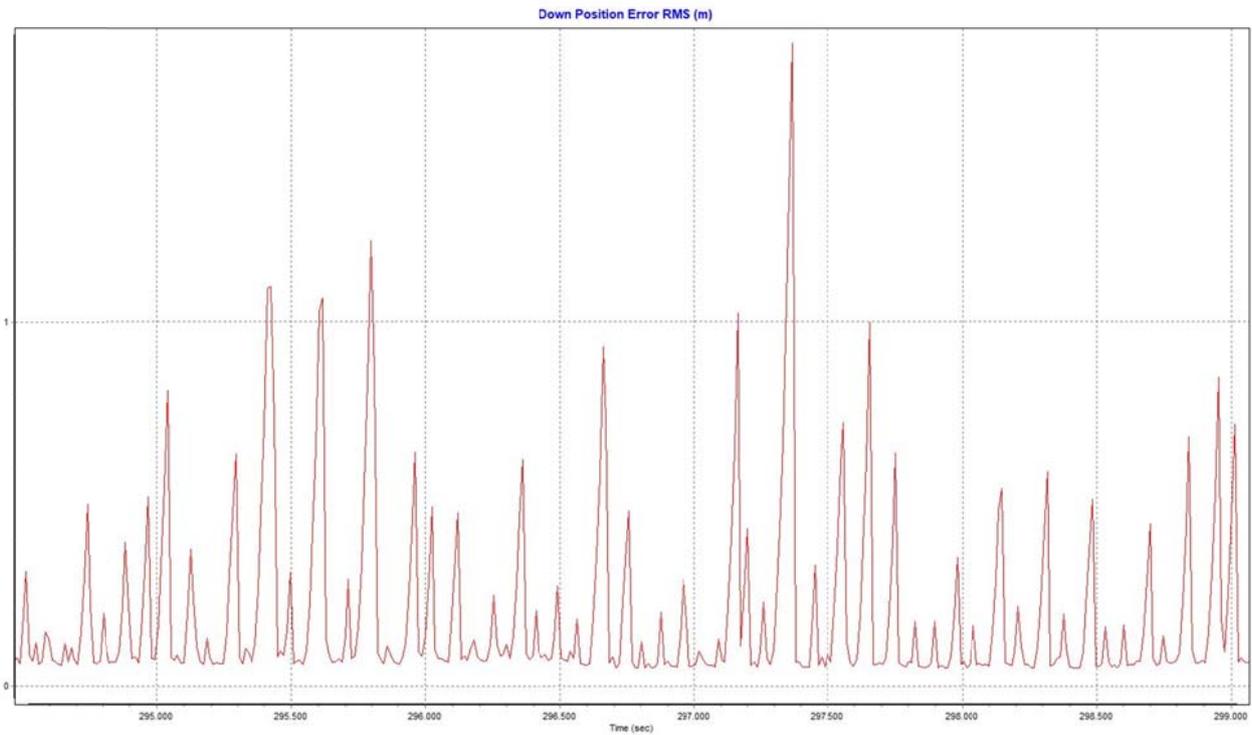


Figura 15. Errore quadratico medio nella determinazione della coordinata verticale **prima** della correzione col POSPac MMS.

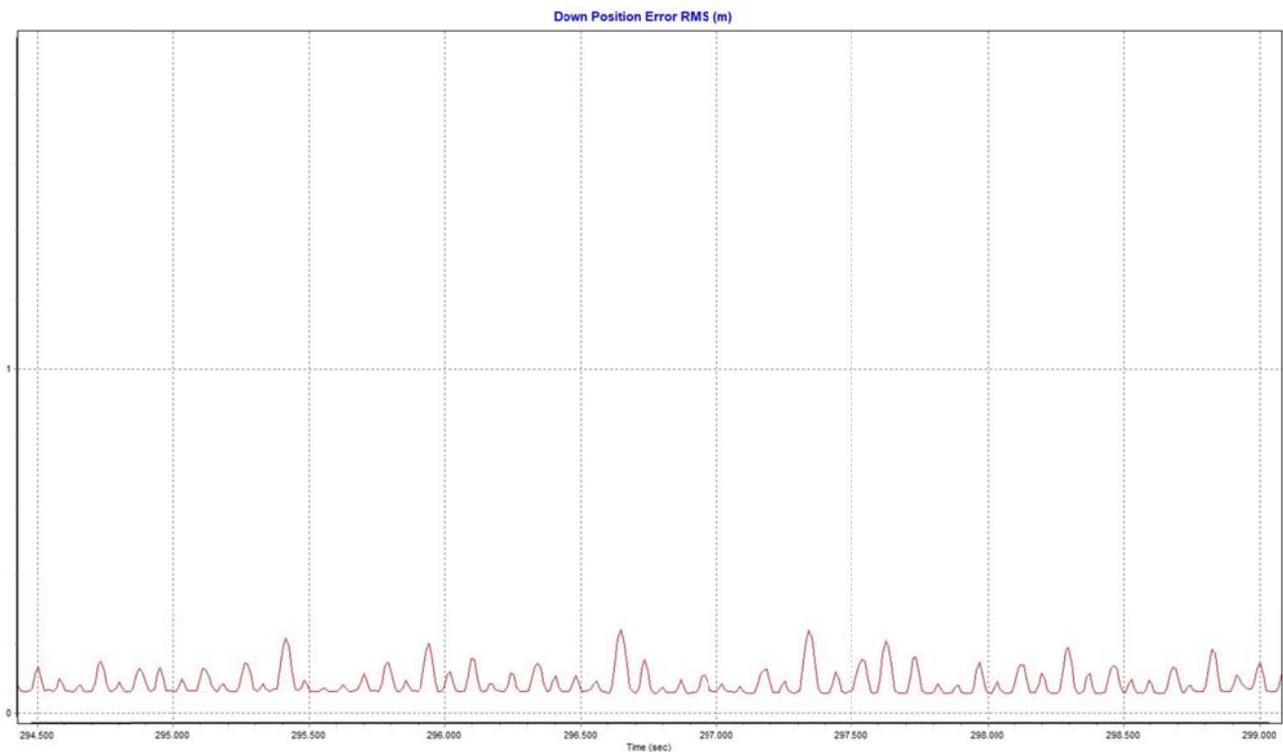


Figura 16. Errore quadratico medio nella determinazione della coordinata verticale **dopo** della correzione col POSPac MMS.

2.5 Modalità operative e risultati

2.5.1 Generalità

In data 09 settembre 2020 sono state installate le varie attrezzature per l'esecuzione del rilievo MultiBeam e misurati gli offset strumentali, configurati i software ed eseguiti tutti i test di funzionamento. Sulla base dei rilievi preliminari e sopralluoghi effettuati dal DiBEST è stato predisposto un piano di rotte specifico per il *MultiBeam*, a distanze tali da garantire una copertura totale del fondo ed una sovrapposizione minima dei beam variabile dal 50% al 100%. Completata la fase di installazione in arenile si è proceduto a varare il mezzo ed eseguire alcune rotte di "allineamento e calibrazione" necessarie al sistema inerziale (INS), in particolare al sottosistema GAMS (GPS Azimuth Measurement Subsystem), per raggiungere le precisioni richieste per la migliore esecuzione delle misure.

Una volta raggiunte le accuratezze richieste, è stato misurato il profilo di velocità del suono mediante apposita sonda SVP (cfr. Figura 17), necessario per il corretto calcolo delle profondità. A questo punto è stata avviata la sessione di registrazione dai dati in modo da avere un *dataset* utile a determinare gli offset angolari di installazione (calibrazione Multibeam) e si è proceduto quindi al rilievo vero e proprio dell'area oggetto di indagine che è stato completato in giornata.

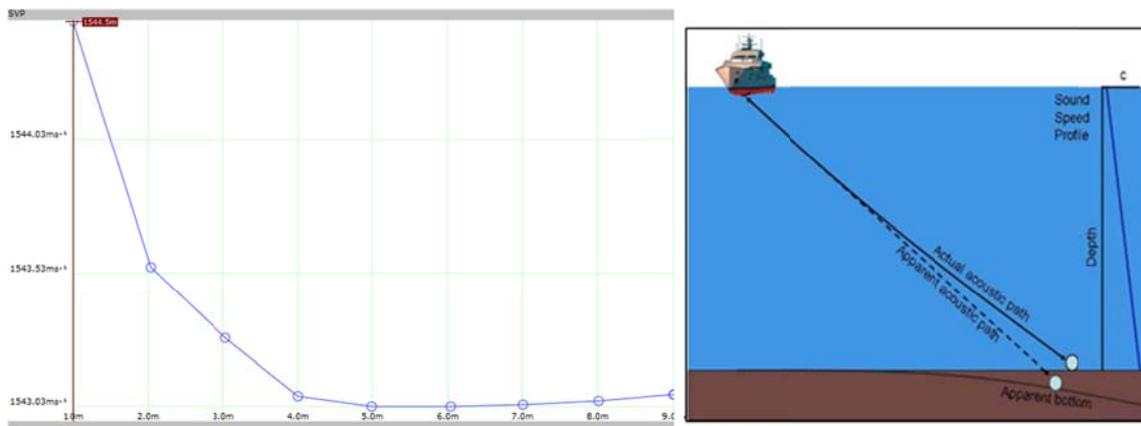


Figura 17. Profilo di velocità lungo la colonna d'acqua e calcolo della direzione del fascio (beam steering).

2.5.2 Rotte di indagine

Il piano delle rotte per il rilievo è mostrato nella mappa seguente:

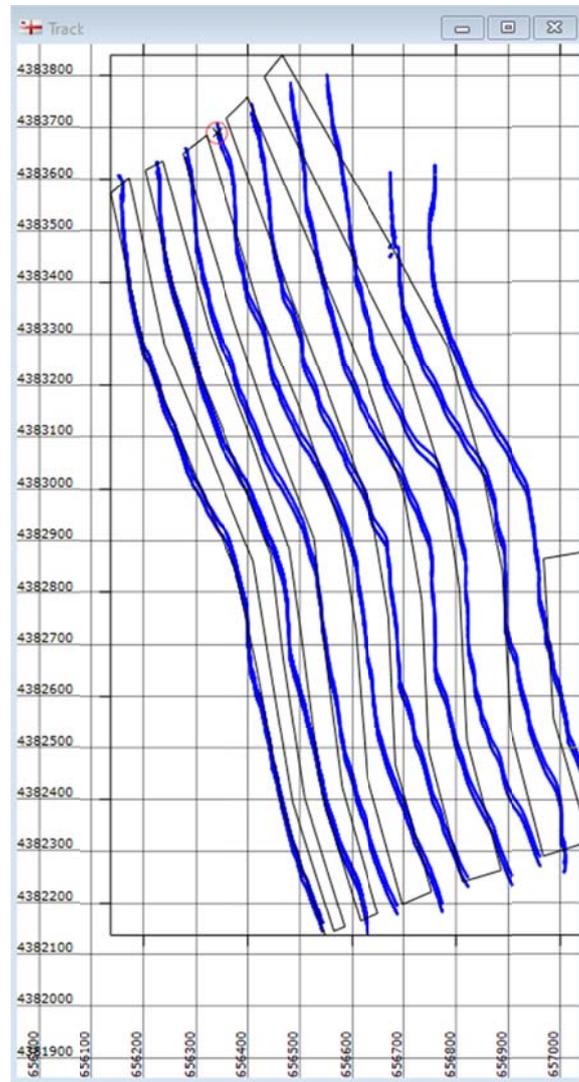


Figura 18. Rotte eseguite per il rilievo batimetrico con Multibeam.

2.5.3 Elaborazione dati Multibeam

L'elaborazione dei dati è stata eseguita con il software Kongsberg GeoAcoustic GS4.

La fase di pulizia dei dati è quella che sicuramente richiede maggiore sforzo sia in termini di tempo che di attenzione, poiché occorre individuare anche le più piccole criticità nei dati, che nella successiva fase di generazione del modello digitale possono non essere più visibili.

La procedura di pulizia è stata adattata al particolare scopo del lavoro usando i seguenti filtri:

- Amplitude Filter;
- Limits Filter;
- Across Track Filter;
- Along Track Filter.

I dati batimetrici sono stati quindi corretti per tenere conto dell'escursione di marea, il cui andamento è stato ricavato dalle registrazioni dalla Stazione Mareografica presente nel porto di Crotona, appartenente alla Rete Mareografica Nazionale (cfr. § 2.3).

A conclusione della pulizia dei dati durante la fase di processamento, è stato generato un file grid su cui vengono applicati dei filtri volti ad eliminare eventuali rumori. I principali filtri adottati, in sequenza, nella generazione del GRID sono:

- Spike Filters;
- Depth Filters;
- Interpolate;
- Smooth Filters.

Infine, è stato prodotto il modello digitale del terreno (DTM), utilizzando una griglia, con cella di 0.5m, dimensione che fornisce un adeguato dettaglio e riduce il rumore sui dati. Il modello così ottenuto è stato usato per la generazione delle isobate. Le Figg. 19-21 mostrano diverse rappresentazioni del modello digitale del terreno dell'area indagata e le isoipse.

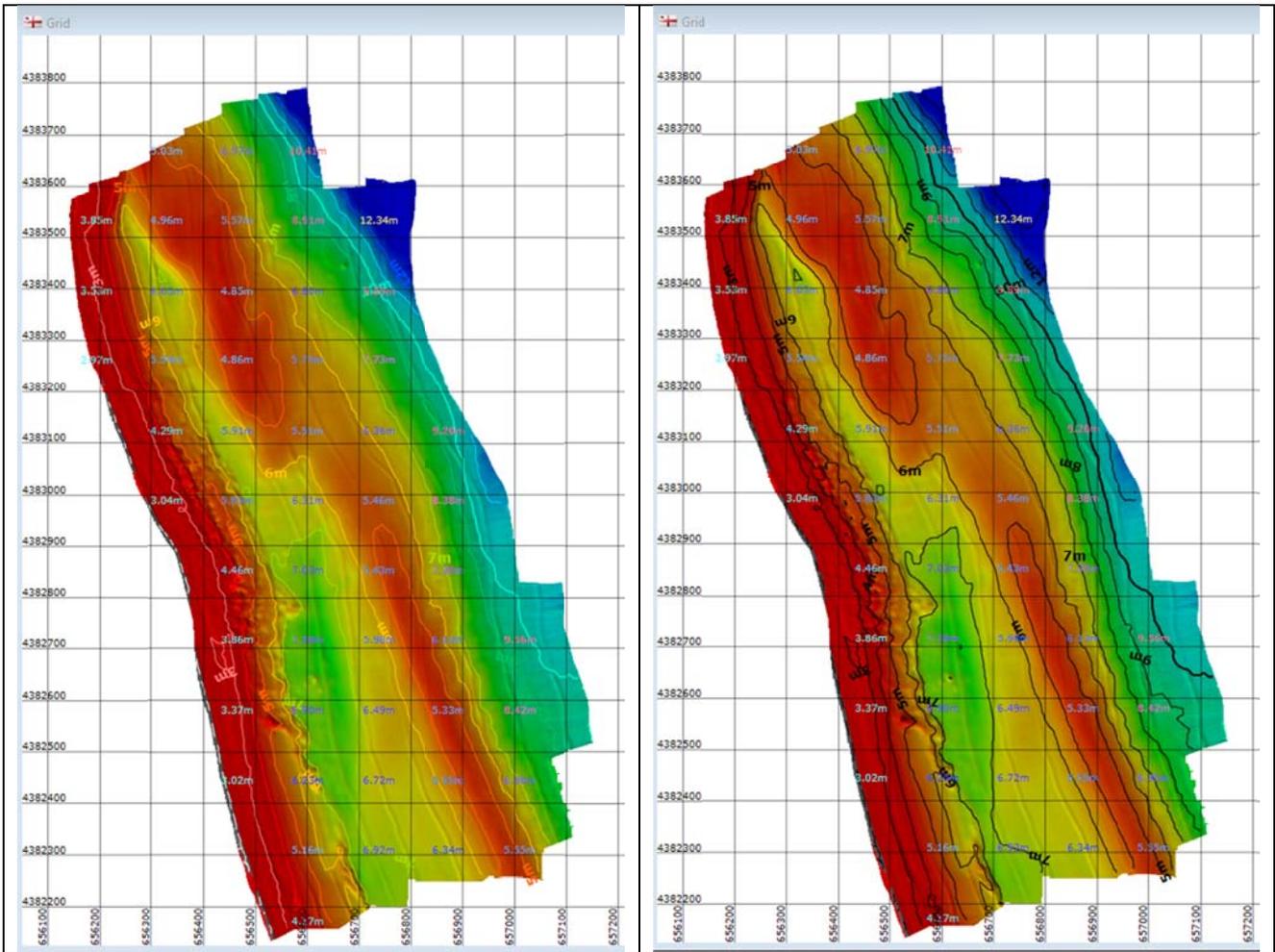


Figura 19. Mappa batimetrica in scala di colori ed isopse.

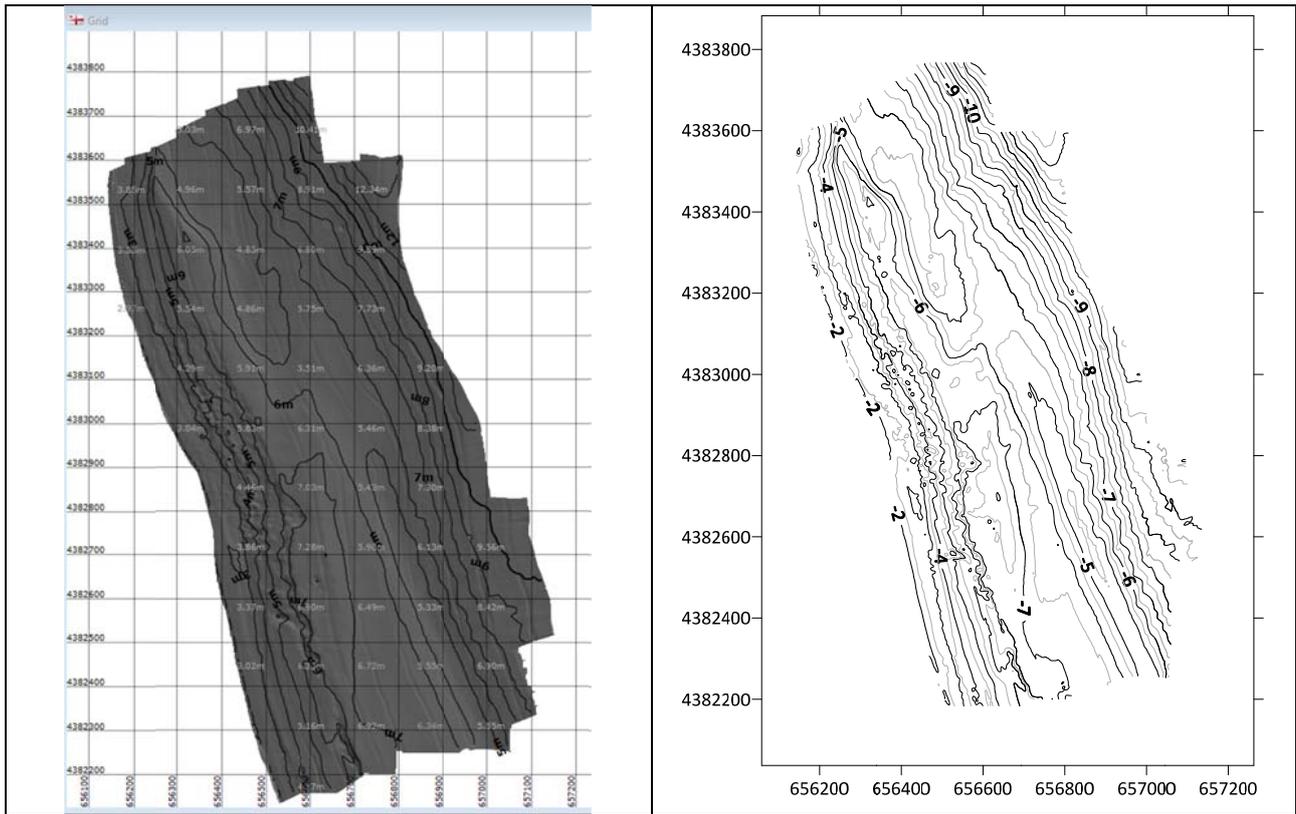


Figura 20. Mappa batimetrica in scala di grigi e ombreggiatura del paraggio considerato e curve di livello.



Figura 21. Mappa batimetrica in scala di colori e sovrapposizione del rilievo all'area di indagine.

3 SINTESI E CONCLUSIONI

Il rilievo batimetrico multibeam fornisce una morfologia della spiaggia sommersa di Calopezzati di elevato dettaglio fino alla profondità di 10 m (allegato 1). L'interpretazione in termini morfo-sedimentologici, finalizzata alla caratterizzazione dei sub-ambienti e della dinamica costiera, è stata sviluppata attraverso l'integrazione di rilievi e sopralluoghi subacquei, analisi tessiturali dei sedimenti sommersi e dalle indicazioni fornite dallo studio ingegneristico costiero. I rilievi e sopralluoghi subacquei e le analisi tessiturali sono state condotte dal personale DiBEST attraverso immersioni (Giugno-Settembre 2020) e campionamenti effettuati in varie fasi seguiti dalle relative analisi (vedi report Analisi granulometriche e successive integrazioni).

Per la definizione dei sub-ambienti della spiaggia sommersa è stato adottato lo schema proposto da U.S Army Corps of Engineers Department of the Army nel "COASTAL ENGINEERING MANUAL" (fig. 22) mentre per la dinamica costiera è stato adottato lo schema proposto da Carobene nel vo. 10 del 2010 di Geoitalia (fig. 23).

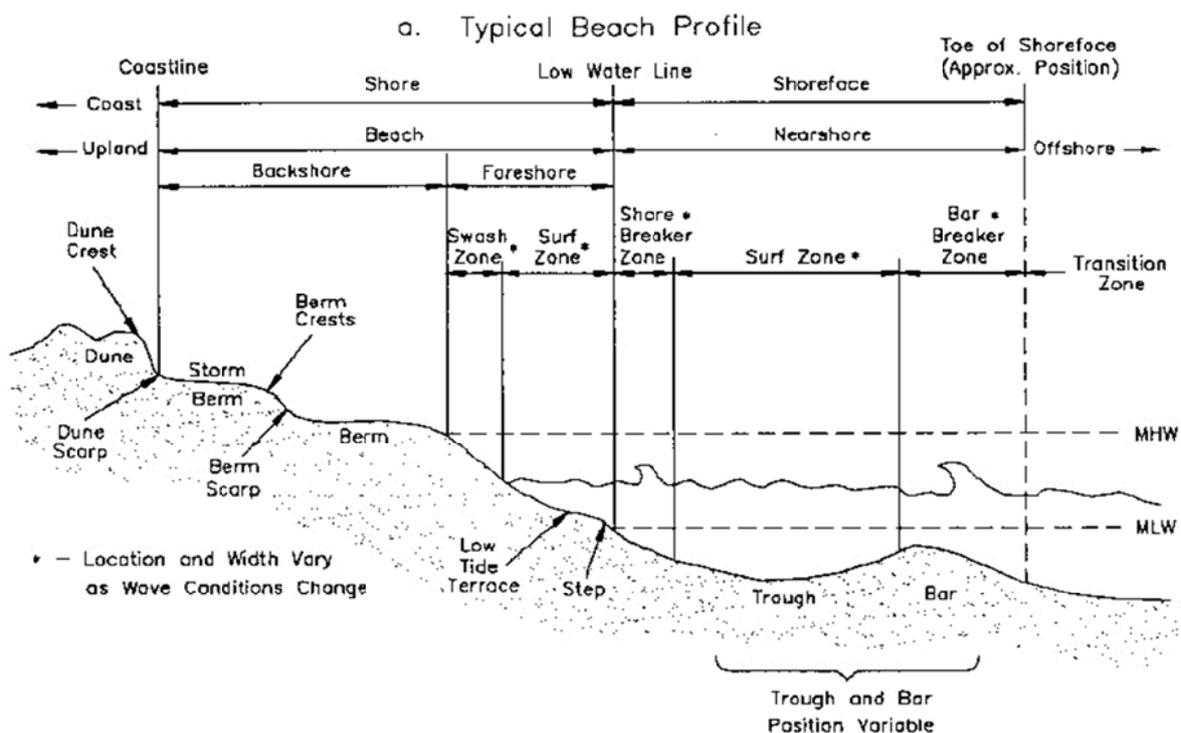


Fig. 22 – Zonazione morfologica della spiaggia emersa e sommersa (da COASTAL ENGINEERING MANUAL (2002). U.S Army Corps of Engineers Department of the Army).

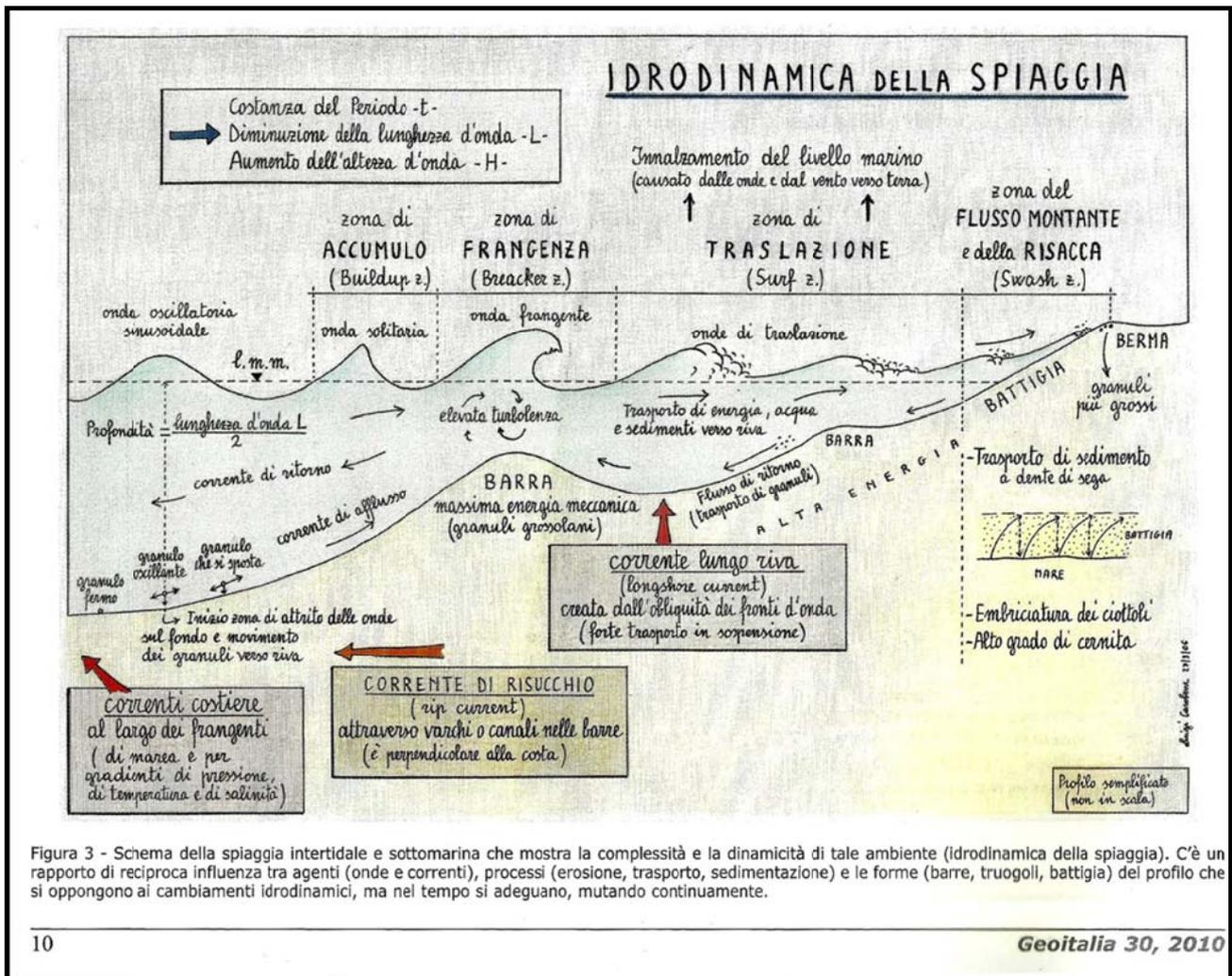


Fig. 23 – Zonazione morfologica della spiaggia emersa e sommersa (da Una giornata in spiaggia: Cervia, 19 settembre 2009. Geitalia, vol. 30.

Il foreshore (avanspiaggia) è caratterizzato da una battigia (swash zone) costituita da un livello di spessore centimetrico di sabbie medie-grossolane seguite verso il basso da ghiaie con granuli (2-4 mm) e ciottoli fino a 3-4 cm. Si tratta di sedimenti che spesso presentano una bimodalità o polimodalità che dipende dalla profondità del campionamento. In alcuni casi sono stati prelevati sedimenti trasportati e depositati da eventi di diversa energia.

Il foreshore inferiore è caratterizzato da ciottoli da centimetrici a 128-256 mm sempre arrotondati o sub-arrotondati alla foce della Fiumarella, fino ai 2-3 m di profondità, dove si registra un passaggio a sabbie medie (250 micron). Il passaggio è talora evidenziato da un gradino morfologico di 0,5-0,25 m. Le sabbie sembrano coprire le ghiaie. Alla foce della Fiumarella il deposito ghiaioso si estende fino ai 6-8 m di profondità formando una sorta di conoide sommersa. In generale il foreshore è ampio da 10 a 30 m rispetto alla linea di riva con una breaker zone interna (zona di frangenza interna) che si individua proprio al passaggio con la sabbia del nearshore, attiva in occasione di eventi di bassa e media intensità.

Le sabbie che occupano il *nearshore* formano un truogolo con profondità massima di 6 m circa, orientato parallelamente alla linea di riva. Il truogolo si chiude in prossimità della foce del T.te Fiumarella ed ha un'ampiezza compresa tra 50 e 250 m. Il limite verso mare è spesso caratterizzato da una scarpata verticale di 1 m. La scarpata delimita un substrato roccioso formato da sabbie e ciottoli cementati (*beach rock?*) che si allunga parallelamente alla costa. La continuità laterale del substrato roccioso presenta delle interruzioni ed uno *shift* verso mare nella parte centrale dell'area di studio. Questo deposito cementato ha una cresta piatta con profondità minima di 4-5 m e costituisce la zona di frangenza esterna stabile-fissa, attiva in occasione di eventi meteomarinari di elevata intensità.

Il substrato roccioso è coperto completamente da *Posidonia oceanica* ad eccezione di alcune aree sub-circolari. Quest'ultime potrebbero essere il prodotto di processi di erosione attive durante le tempeste di maggiore energia, simili alle docce di erosione in ambito torrentizio. Il passaggio verso *offshore* è caratterizzato talora da una scarpata oppure è graduale verso un fondale formato da sabbie medie (da 250 a 500 micron) con la presenza di una frazione grossolana e molto grossolana, evidente alla profondità di 7-9 m. La presenza di una componente sabbiosa grossolana e di ghiaia fino a 8 mm, formata in prevalenza da frammenti di rocce metamorfiche, probabilmente è connessa al trasporto lungo costa dei sedimenti provenienti dal Fiume Trionto.

Le sabbie del truogolo e della zona di transizione sono caratterizzate rispettivamente da *ripples* e *megaripples* da onda, con una cresta costituita generalmente da sedimenti a granulometria media (250 micron) più fina e quarzosa, mentre la parte più depressa dei *ripples* sono costituiti da sedimenti più grossolani e caratterizzati da una componente clastica importante o prevalente di origine metamorfica (colore grigio).

Il confronto dei DEM relativi ai rilievi del 2012 e del 2020 non evidenziano in termini quantitativi l'azione di processi erosivi. In dettaglio il confronto tra i due DEM batimetrici non permette di ricavare informazioni quantitative come la variazione di volume. È probabile che la problematica è connessa alle differenti metodologie di rilievo utilizzate multibeam e single beam. Il confronto dei due rilievi pur ricostruendo una morfologia del tutto confrontabile attraverso la definizione dei vari sub-ambienti ed elementi morfobatimetrici (foreshore, truogolo, zona di frangenza esterna e passaggio all'*offshore*) registra una riduzione della profondità media di 1,5 m. Questo dato indurrebbe ad ipotizzare una generale deposizione su tutta l'area investigata che potrebbe trovare una sua spiegazione come effetto dell'erosione della spiaggia emersa e sedimentazione nella spiaggia sommersa. Infatti si registra nell'intervallo 2012-2020 una riduzione della spiaggia per $9.230.927\text{m}^2$ ed accensione della zona prospiciente la foce del T.te Fiumarella dove si registra un aumento di 821.278m^2 ed un arretramento medio della linea di riva di 12 m.

Tuttavia le osservazioni eseguite mediante sopralluoghi e rilievi subacquei evidenziano in generale l'azione di processi erosivi nella spiaggia sommersa con scalzamenti alla base delle scarpate che delimitano il substrato roccioso della zona di frangenza esterna; l'aumento del fondale roccioso (erosione della sabbia); la comparsa di una lunghissima catena con maglia da 10 cm utilizzata in passato negli anni 70 per ancoraggio e ormeggio (comunicazione dei pescatori locali).



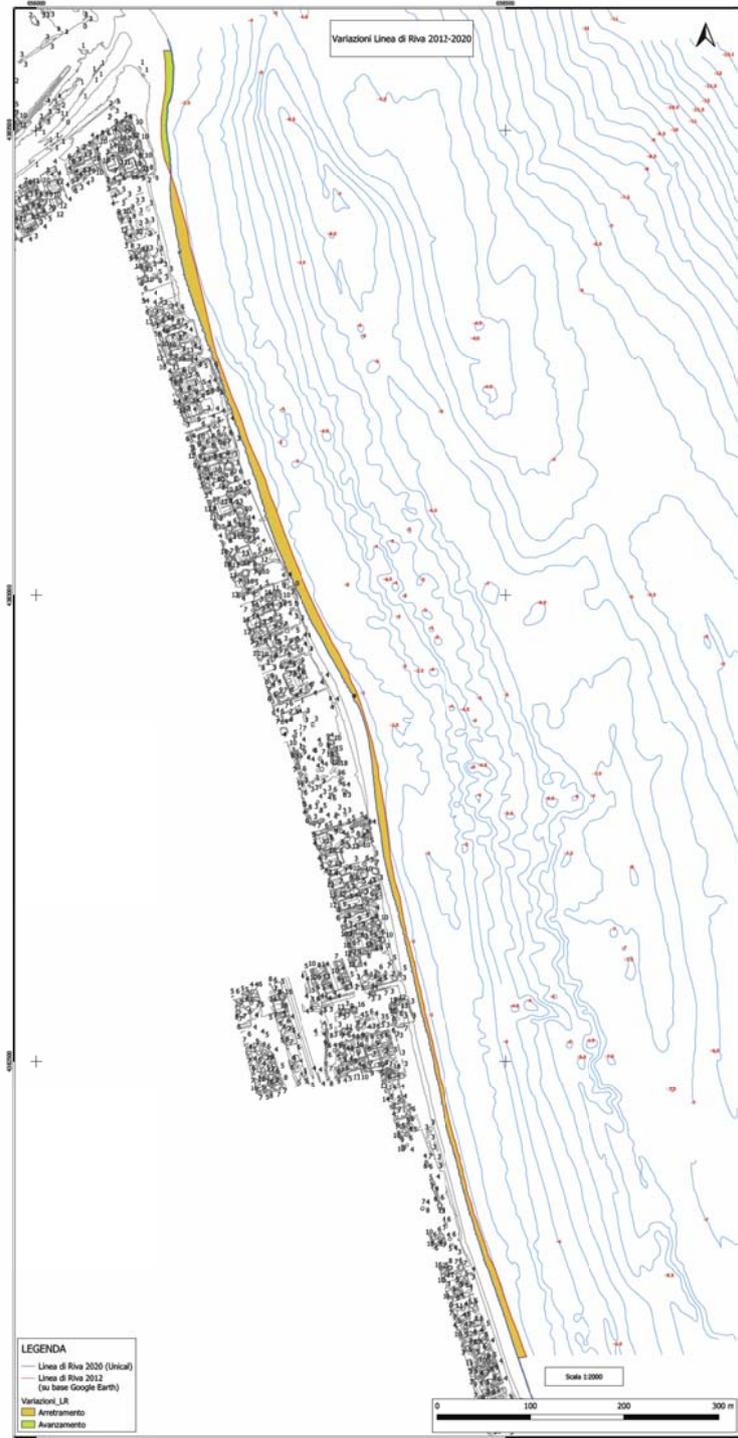
La sovrapposizione dei rilievi effettuati a terra e a mare ha reso necessarie delle operazioni di ripulitura e correzione delle zone di interferenza tra i due rilievi. L'analisi dei dati grezzi ha suggerito la ricostruzione di una linea di riva 2020 su base fotogrammetrica in quanto, pur tenendo conto della quota 0 m s.l.m., rilevata dal volo ad hoc, la stessa ricadeva su quote batimetriche comprese tra la -0.5 m e la -1m. Al fine di ovviare a tale disarmonia, si è preferito operare la ricostruzione ex novo della linea di riva 2020 mediante fotointerpretazione, in modo da consentire una correzione dell'interpolazione congiunta tra i dati a terra e quelli batimetrici, ottenendo così un risultato più fedele al reale andamento della scarpata litoranea e nel complesso di tutto il sistema costiero indagato (allegato 2).

Data 09.0.2020

Il Resp. Scientifico

Dr. Geol. Phd Ric. Rocco Dominici

ALLEGATO 1





ALLEGATO 2

