



RELAZIONE TECNICA SULLE ATTIVITÀ DI MONITORAGGIO
ED ELABORAZIONE DEI DATI
RELATIVI ALL'INSTALLAZIONE DI UN SISTEMA
ANTIEROSIONE MODULARE AMOVIBILE SULLA
SPIAGGIA IN CONCESSIONE A LE CINQUE VELE S.R.L.
SUL LITORALE DI SALVE (LE)

IL COMMITTENTE
LE CINQUE VELE S.R.L.
Via Mauro 33 - 73050 Salve (LE)
P.IVA 04202660751;



IL TECNICO

Ing. Riccardo Moncullo



Lecce, 27/25/2025

Sommario

PREMESSA.....	1
1 INQUADRAMENTO TERRITORIALE.....	3
2 TECNOLOGIA DI RILIEVO	3
2.1 Cenni di fotogrammetria	3
2.2 Gli strumenti impiegati	4
2.2.1 Il Sistema aeromobile a pilotaggio remoto	5
2.2.2 Il sistema satellitare per il rilievo dei punti di appoggio	6
3 IL RILIEVO FOTOGRAMMETRICO	8
3.1 Progetto del rilievo	8
3.1.1 Le missioni di volo	9
3.1.2 Il GSD e il concetto di accuratezza	9
4 IL RILIEVO SATELLITARE A TERRA	11
4.1 Il rilievo dei punti di appoggio (GCP)	11
5 ELABORAZIONE, E RESTITUZIONE DEI RISULTATI.....	13
5.1 Principi di modellazione tridimensionale	13
5.1.1 Elaborazione dei dati	13
5.1.2 Calibrazione delle immagini ed allineamento	14
5.1.3 Generazione della nuvola di punti densa.....	17
5.1.4 Generazione della mesh triangolare e Texture.....	18
6 RISULTATI DELLA CAMPAGNA DI RILIEVO.....	20
7 ANALISI COMPARATIVA DEI RILIEVI PRE E POST INTERVENTO	30



8	CONCLUSIONI.....	31
---	------------------	----

Premessa

La presente relazione tecnica si propone di documentare e analizzare i risultati ottenuti a seguito dell'installazione di barriere antierosione su un tratto di litorale del Comune di Salve (LE) in corrispondenza del tratto in concessione alla Società Le Cinque Vele srl,, con l'obiettivo di contrastare l'erosione costiera e favorire l'accumulo di sedimenti. L'intervento è stato valutato mediante rilievi topografici eseguiti prima e dopo l'installazione delle barriere, utilizzando tecnologie avanzate di rilievo e modellazione GIS in 3D.

Detto Sistema è composto da una serie di moduli preformati in plastica con forma a cuneo disposti lungo la linea di riva agganciati tra di loro attraverso due cavi in acciaio paralleli che attraversano la base di ogni modulo e da un sistema di piastre e cavi in acciaio trasversali ancorati a pali infissi nella sabbia.

Ogni modulo è composto da sei elementi: una base, un'ala con un'inclinazione di circa 20 gradi, due profilati tubolari e due paratie di chiusura (da installare all'occorrenza). L'ala si inserisce a incastro nella parte superiore della base, ed è ancorata a quest'ultima dal profilato tubolare. Due cavi in acciaio paralleli attraversano i profilati inseriti nei fori presenti sulla base (lato spiaggia e lato mare) garantendo l'ancoraggio dei moduli. Le paratie di chiusura sono installate all'occorrenza.

La base ha dimensioni 40 cm x 80 cm; l'ala, una volta montata, presenta uno sviluppo in altezza di 40 cm. Il posizionamento del Sistema è effettuato lungo la linea di riva, con il lato del cuneo aperto verso la spiaggia avendo cura di verificare, tramite le tabelle di marea, che risulti sempre una parte dell'ala superiore emergente almeno di 5 cm rispetto al livello massimo di marea.

Con l'intervento oggetto della presente analisi sono stati installati un totale n. 144 moduli, suddivisi in sezioni lunghe 8 m, per un totale di 80 ml.

Il Sistema TETI, contrariamente alla maggior parte dei sistemi antierosione attualmente in uso che mirano a ostacolare la forza d'impatto dell'onda sulla linea di riva, grazie alla forma a cuneo del modulo, agevola per quanto possibile il flusso e l'avanzamento dell'onda incidente, mentre ne ostacola il deflusso, risultando di fatto una barriera all'asportazione di sabbia e granuli degli strati superficiali della spiaggia lambiti dalle onde. Inoltre, provocando un rallentamento dell'onda di ritorno, determina la decantazione dalla sabbia presente in sospensione nell'onda stessa che, in tal modo, è

trattenuta all'interno dei moduli che fungono, quindi, da trappola sedimentaria ; man mano che questo processo si ripete il materiale sabbioso presente in sospensione nell'onda incidente si accumula nei moduli sino al livello massimo del margine superiore degli stessi creando prima una cordone di sabbia e poi un progressivo riempimento della zona situata tra la linea di riva preesistente all'installazione del sistema e la barriera costituita dai moduli, sino al bordo superiore di questi realizzando, in sostanza, un ripristino naturale dell'arenile senza alcun impiego di idrovore e/o di altri mezzi meccanici.

In sostanza, quindi, il Sistema Modulare Antierosione esercita due azioni sull'arenile:

- **un'azione protettiva della spiaggia (azione principale):** trattenere la sabbia sulla linea di riva che per dilavamento verrebbe altrimenti trascinata e dispersa in mare;
- **un'azione di ripristino naturale dell'arenile eroso (azione secondaria):** produrre una perdita di energia all'onda di ritorno facendo in tal modo decantare naturalmente la sabbia contenuta in sospensione nell'onda stessa e facilitando il deposito di detta sabbia sulla linea di riva.

L'attività di rilievo, su incarico della società Le Cinque Vele srl, è stata svolta dal sottoscritto Ing. Riccardo Moncullo e portata a termine tramite servizio di rilievo aerofotogrammetrico con SAPR e stazione GPS (per GCP) e successiva elaborazione per il calcolo delle quantità areali e volumetriche.

L'analisi è stata condotta su un periodo di 43 giorni, dal 18 Marzo 2024 al 30 Aprile 2025. Questo periodo è stato utile a garantire un'osservazione sufficiente delle dinamiche erosive e deposizionali in atto.

1 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

L'area interessata dal rilievo, sita nel comune di Salve, in Località Pescoluse.



Figura 1 - Individuazione dell'area di rilievo

Il tratto del litorale interessato risulta pari a 81,30 metri lineari esposto in direzione Sud.

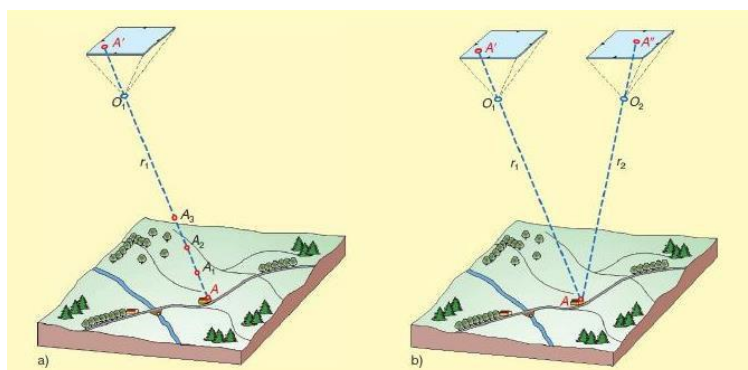
2 TECNOLOGIA DI RILIEVO

2.1 Cenni di fotogrammetria

La fotogrammetria è una tecnica di rilievo che permette di ottenere dati metrici di un qualsiasi oggetto

(forma e posizione) tramite l'acquisizione e l'analisi di immagini fotografiche a prospettiva centrale dell'oggetto stesso. Si distingue in fotogrammetria aerea e terrestre. Quella aerea è applicata per la realizzazione di cartografie o studi che riguardano il territorio ed i suoi cambiamenti oltre che per i rilievi di supporto alla progettazione edilizia.

Sebbene l'accuratezza di un rilievo aerofotogrammetrico sia generalmente inferiore rispetto ad altre



tecnologie di rilievo topografico (stazione totale, *laser scanner*), per la presente commessa, si è ritenuto questa come la migliore tecnica di studio. Infatti si può affermare che :

- Il sorvolo ed il rilievo mediante drone (e la successiva elaborazione delle immagini riprese) permette di acquisire la topografia dei luoghi con un'alta densità di informazioni ed in tempi sensibilmente inferiori rispetto all'uso
- L'utilizzo di un mezzo aereo permette di rilevare aree difficilmente accessibili a piedi, con un GPS o una stazione totale, come le aree a forte pendenza o le pareti rocciose verticali.

2.2 Gli strumenti impiegati

Per portare a termine la missione di rilievo è stata impiegata la seguente strumentazione:

- Un drone PHANTOM4 Riferimento ENAC **19442**

- un ricevitore satellitare GNSS, del tipo Zenith15 GeoMax, per le coordinate dei punti di appoggio.

2.2.1 Il Sistema aeromobile a pilotaggio remoto

Riusulta importante conoscere i parametri fondamentali dell'ottica quando i fotogrammi sono scattati con macchine fotografiche digitali. Per il modello di camera montata sul DJI PHANTOM4 PRO i parametri risultano :



Larghezza dell'immagine	4000
Altezza dell'immagine	3000
Larghezza del sensore	13,2 mm
Altezza del sensore	8,8 mm
Distanza focale reale	8,8 mm

Figura 3 - Sensore ottico del Phantom

MODELLO MACCHINA FOTOGRAFICA DJI PHANTOM4 PRO			
Lunghezza reale del sensore	Sw	13,2	mm
Altezza reale del sensore	Sh	8,8	mm
Diagonale reale del sensore	Sd	15,86	mm
Crop factor	Cf	2,73	
Lunghezza focale reale	Fr	8,8	mm
Lunghezza focale equ. a 35 mm	F35	24,00	mm
Larghezza dell'immagine digitale	IMw	4000	pixel
Altezza dell'immagine digitale	IMh	3000	pixel
Diagonale foto	IMd	5000	pixel
Dimensione pixel	d	0,0033	mm/pixel

Tabella 1 - Parametri di input sensore ottico

Angolo di campo diagonale

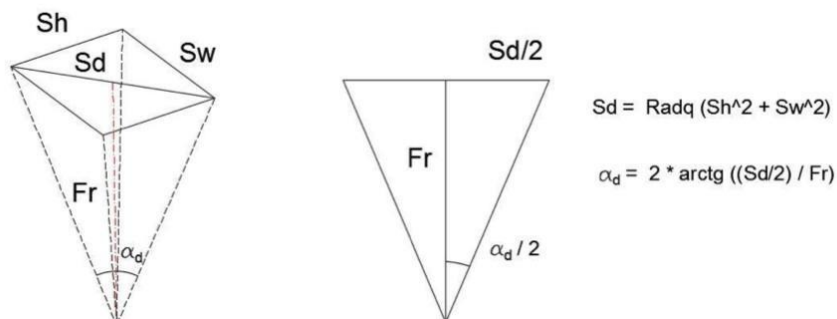


Figura 4 - Calcolo dell'angolo di campo

2.2.2 Il sistema satellitare per il rilievo dei punti di appoggio

Per il rilievo dei punti georeferenziati è stato utilizzato un sistema di tracciamento della serie Zenith15 GeoMax, completo di ricevitore GNSS integrato che permette il tracciamento dei sistemi GPS e GLONASS.



Le caratteristiche tecniche dello strumento sono riportate nella tabella seguente.

	ZENITH25 PRO4	ZENITH25 PRO	ZENITH15
Tecnologia Q-Lock™	Rumore minimo e mitigazione multipath		
Satelliti (numero max. di satelliti tracciati contemporaneamente)	60		
Canali	120		
Tracciamento GPS	L1, L2, L2C		
Tracciamento GLONASS	L1, L2		
Tracciamento BeiDou	SI	-	-
Tracciamento Galileo *	SI	-	-
Frequenza di posizionamento	20 Hz (opzionale), 5 Hz	20 Hz (opzionale), 5 Hz	5 Hz
SBAS	EGNOS, WAAS, MSAS, GAGAN		
PRECISIONE**			
Orizz./Vert. statica (mm + ppm)	3 + 0,5 / 5 + 0,5	3 + 0,5 / 5 + 0,5	5 + 0,5 / 10 + 0,5
Orizz./Vert. lunga statica (mm + ppm)	3 + 0,4 / 3,5 + 0,4	3 + 0,4 / 3,5 + 0,4	3 + 0,4 / 3,5 + 0,4
Orizz./Vert. cinematica (mm + ppm)	8 + 1 / 15 + 1	8 + 1 / 15 + 1	10 + 1 / 20 + 1
COMUNICAZIONE			
Modulo GSM/GPRS	GSM Quad-Band e Penta-Band; UMTS 800 /850 /900 /1900 /2100 MHz; Antenna interna		
Modulo radio UHF	Ricevitore da 1000 mW; 406 - 480 MHz		
	SI	Opzionale	Opzionale
Bluetooth®	Dispositivo di classe II		
Porta di comunicazione	USB, seriale e alimentazione		
INTERFACCE			
Tastiera	On/Off e tasti funzione		
Indicatori di stato e modalità LED	Posizione, batteria, Bluetooth®, ricezione RTK, trasmissione RTK, scheda di memoria; rover, base, statico		
Registrazione dati	Scheda micro-SD rimovibile da 8 GB		
GSM / TCP / IP	Scheda SIM rimovibile		
ALIMENTAZIONE			
Alimentazione esterna / Batteria interna	Da 10,5 V a 28 V / Rimovibile 2,6 Ah; 7,4 V		
Durata di funzionamento (statico/rover)	9 h / 6 h	9 h / 6 h	7,5 h / 5 h
SPECIFICHE FISICHE			
Dimensioni / Peso	Altezza 95 mm, ø 198 mm / 1,2 kg incl. batteria e radio UHF		
Temperatura operativa	Da -40 °C a 65 °C		
Classe di protezione	IP68: resistente a polvere e immersione in acqua		
Umidità	100%, con condensa		
Vibrazioni	Resistente alle sollecitazioni meccaniche conformemente a ISO 9022-36-05		
Urti	Resistente a cadute da 2 m su superfici dure		
* Il tracciamento opzionale Galileo è disponibile se sono presenti satelliti a sufficienza; ** Le precisioni di misurazione, esattezza ed affidabilità dipendono da diversi fattori quali il numero di satelliti tracciati, geometria, ostacoli, tempi di osservazione, condizioni ionosferiche, multipath, ecc. I dati sopraelencati assumono condizioni da normali a favorevoli.			
 0616 / 847551 it Copyright GeoMax AG. Illustrazioni, colori, descrizioni e specifiche tecniche non sono vincolanti e possono cambiare. Tutti i marchi e i nomi appartengono ai rispettivi proprietari.			

3 IL RILIEVO FOTOGRAMMETRICO

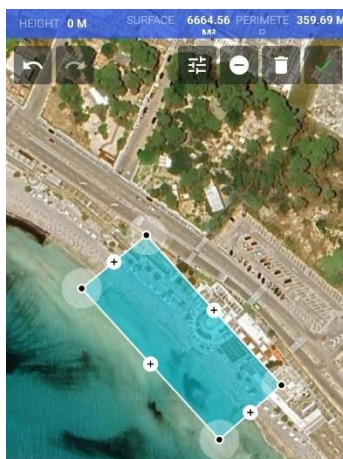
3.1 Progetto del rilievo

Si riconosce che la progettazione di un rilievo aerofotogrammetrico è la fase più importante per la buona riuscita del lavoro in campo. Da questo dipenderà la scala della rappresentazione, l'accuratezza restituita, la densità della nuvola di punti e il dettaglio del modello 3D.

La pianificazione delle operazioni consiste principalmente nella determinazione del numero di strisciate e del numero di fotogrammi per ogni strisciata.

Dato che l'obiettivo della commessa è una presa aerea utile per la modellazione tridimensionale di un'area caratterizzata da una debole pendenza, si è optato per strisciate nadirali e strisciate oblique. Si è scelto una sovrapposizione di almeno il 80% nella direzione longitudinale - *overlap* (rispetto alla direzione di volo) ed almeno il 80% di sovrapposizione laterale - *overside* (tra le strisciate). La griglia scelta è regolare e la fotocamera è mantenuta il più possibile a un'altezza costante sul terreno/oggetto per garantire il GSD desiderato.

Figura 7. Progetto del rilievo, sono visibili gli esempi di strisciate e i punti di presa



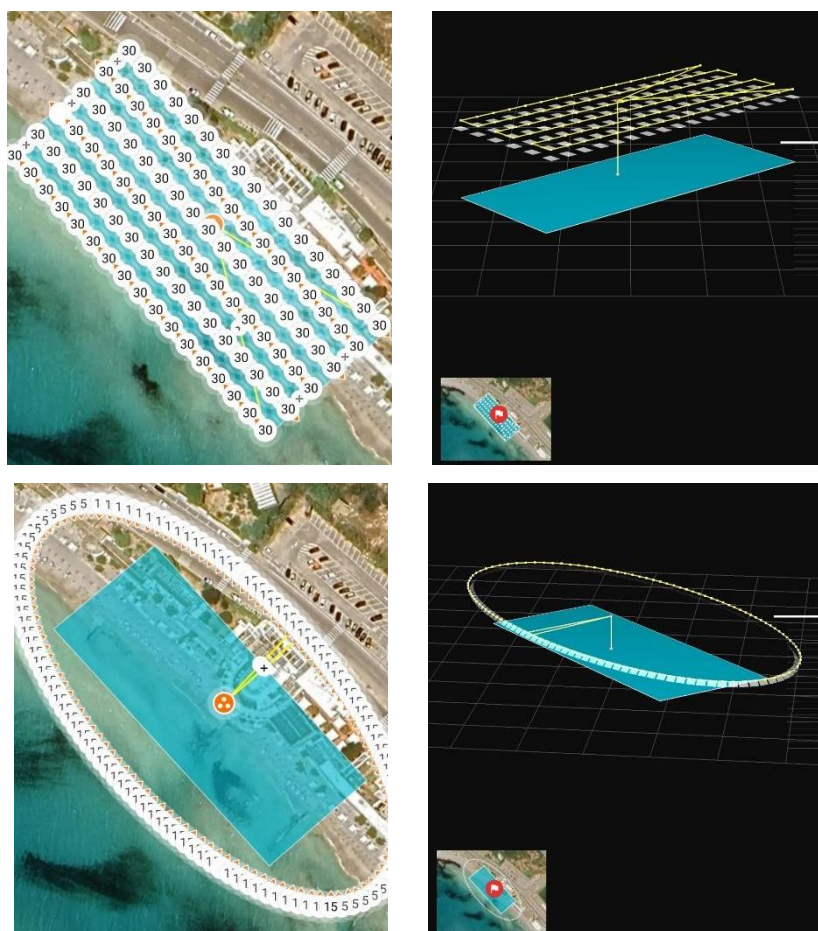


Figura 7 - Progetto del rilievo, sono visibili gli esempi di strisciate e i punti di presa

La missione è stata portata a termine con volo zenitale ad un'altezza di 30 m e risoluzione di circa 0,70 cm/pixel con software avanzato di pianificazione di volo.

3.1.1 Le missioni di volo

Si è scelto di compiere la missione in modalità automatica e successivamente si è optato per un volo manuale per prese di punti di particolare interesse.

3.1.2 Il GSD e il concetto di accuratezza

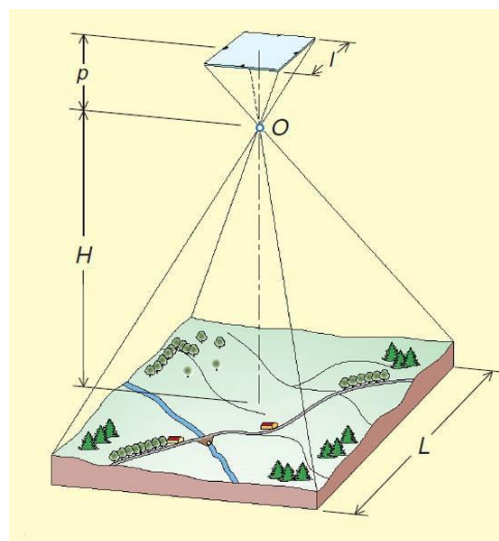
Uno degli obiettivi del rilievo è la definizione della scala di restituzione. Per ottenere la corretta accuratezza assoluta occorre stabilire il GSD appropriato (*Ground Sampling Distance*), cioè la distanza di Campionamento a Terra, in altre parole, la “quantità di terreno contenuta in un campione di immagine”.

Il GSD influenza l'accuratezza di un rilievo aerofotogrammetrico ed è la distanza tra i punti centrali di due *pixel* vicini di un'immagine digitale, misurata sul terreno reale. Il GSD dice quanto è grande un

pixel misurato sul terreno e fornisce la risoluzione dell'immagine a terra. Generalmente si prende come valore di riferimento dell'accuratezza generale di un rilievo aerofotogrammetrico quello di 3 volte il GSD.

E' un parametro che è funzione della distanza tra fotocamera e terreno (altezza di volo), dimensioni del sensore fotografico e lunghezza focale dell'ottica (da cui deriva l'angolo di campo F.O.V. – *Field Of View*).

GSD ottimali non dovrebbero essere maggiori di 5 cm/pixel.



4 II RILIEVO SATELLITARE A TERRA

4.1 Il rilievo dei punti di appoggio (GCP)

Ogni set di immagini deve essere ben sovrapposto ed è raccomandabile utilizzare punti di aggancio manuali, per georeferenziare correttamente i diversi set di immagini. Per la georeferenziazione del modello devono essere note le coordinate triortogonali di un minimo di tre punti da segnare in almeno due fotogrammi ciascuno.

I punti di vincolo, anche chiamati *Ground Control Points* (GCP), sono punti identificabili nelle immagini e dei quali sono note (perché misurate) le coordinate. Questi punti hanno molte analogie con i PFA (Punti Fotogrammetrici di Appoggio) della fotogrammetria tradizionale. La loro funzione è di restituire un modello scalato e georeferenziato. Costituiscono anche un mezzo per vincolare il modello in fase di ricostruzione, riducendo le distorsioni indotte dalla concatenazione delle immagini. I GCP servono per l'orientamento esterno del modello. Per il rilievo aerofotogrammetrico, i GCP devono essere visibili nelle foto aeree e pertanto monumentati con target artificiali di opportune dimensioni. Possono essere rilevati con gli usuali sistemi topografici ed inseriti con qualsiasi tipo di *datum*; nel caso in esame sono stati rilevati mediante utilizzo di tecnologia GPS.



Solitamente si utilizzano almeno 5 GCP da identificare in 5 immagini, così da ridurre al minimo le imprecisioni e per rilevare gli errori che possono verificare durante l'inserimento del GCP. Dato che la precisione richiesta risultava essere molto elevata, si è scelto di rilevare un numero maggiore di GCP per una migliore ricostruzione. Sono stati collocati in modo uniforme sul paesaggio per minimizzare l'errore di scala e di orientamento.

Il rilievo delle coordinate dei GCP è effettuato contestualmente al volo con il drone. Prima del volo si

posizionano i target nell'area di interesse. Il centro dei target dovrà essere visibile ed identificabile nelle immagini acquisite (dimensioni target legate alla quota di volo e fotocamera utilizzata). La posizione del punto (posizione del centro del target) è spesso misurata con tecniche topografiche classiche come GNSS o stazione totale. I fattori che influenzano la scelta sono:

- estensione dell'area
- quota di volo
- fotocamera
- caratteristiche dell'area
- complessità geometria della superficie (sia in termini planimetrici che altimetrici)
- accuratezze che si vogliono ottenere

Successivamente i punti rilevati sono riportati in una opportuna matrice ed importati nel software di restituzione per identificarli nei fotogrammi.

L'errore intorno alla GCP è compreso tra 1 a 3 volte la risoluzione GSD. Dato che il progetto ha un GSD 1 cm/pixel, l'errore sarà tra 1 e 3 centimetri al massimo.

Tabella 2 - Tabella degli errori

	PLANIMETRICO	ALTRIMETRICO
RILIEVO MODALITA' RTK/NRTK	5 mm ± 0.5 ppm (RMS)	10 mm ± 0.5 ppm (RMS)
RILIEVO MODALITA' SAPR	5mm	5mm

5 ELABORAZIONE, E RESTITUZIONE DEI RISULTATI

5.1 Principi di modellazione tridimensionale

5.1.1 *Elaborazione dei dati*

Consiste nella determinazione delle coordinate assolute dell'oggetto rilevato e nella successiva rappresentazione grafica.

Nella restituzione digitale, il dato primario utilizzato è costituito da immagini digitali. Le procedure di orientamento e restituzione sono eseguite tramite un software fotogrammetrico che tramite degli algoritmi di autocorrelazione permettono il riconoscimento sulle immagini di segnali o forme prestabilite al fine dell'individuazione automatica di punti omologhi.

Il processo di autocorrelazione può essere distinto nelle seguenti fasi:

- Selezione dell'entità per la correlazione in una immagine
- Individuazione della corrispondente entità su un'altra immagine
- Calcolo della posizione nello spazio del punto considerato

Il processo di restituzione digitale del software Pix4Dmapper, che fornisce come risultato finale una ricostruzione tramite nuvola di punti, è mostrato in figura.

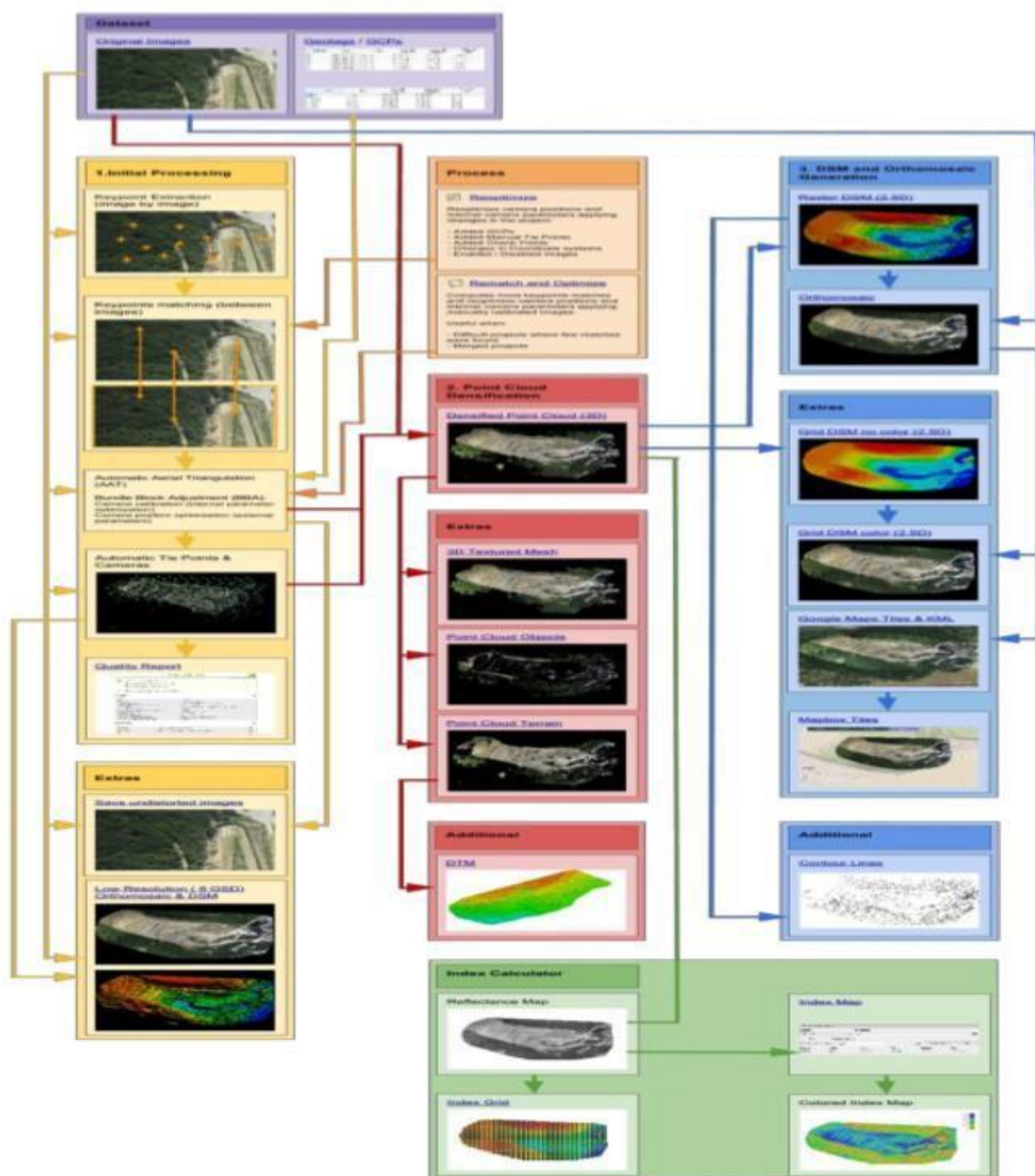


Figura 10 - Processo di restituzione digitale tramite PIX4D

5.1.2 Calibrazione delle immagini ed allineamento

Prima di procedere con l'allineamento delle immagini è necessario impostare la calibrazione. Si tratta di un processo trasversale che inizia con il settaggio di alcuni parametri e termina, dopo

l'ottimizzazione degli allineamenti, con l'analisi dei risultati ottenuti.

La calibrazione è una fase molto importante quando le fotografie sono usate con per ricostruzioni 3D con finalità metrica: permette infatti di calcolare i parametri di calibrazione interna della fotocamera e le distorsioni che le lenti provocano sull'immagine.

E' possibile seguire diversi approcci alla calibrazione delle immagini:

- **Pre-calibrazione:** si fa con oggetti di dimensioni note o *check boards* bi-tridimensionali. Ciò permette di calcolare parametri e distorsioni. La calibrazione si fa di solito in ufficio, prima del lavoro sul campo e quindi in condizioni ambientali diverse.
- **Calibrazione in loco:** si effettua contestualmente al lavoro da svolgere. Si allestisce un'area test, nelle immediate vicinanze dell'area del rilievo dove, grazie ad oggetti di dimensioni note o punti di vincolo, si stimano le caratteristiche della fotocamera.
- **Self-calibrazione:** o auto calibrazione. In questo caso il dataset acquisito per l'esecuzione del lavoro si usa anche per la calibrazione della fotocamera.

Per questo lavoro si è scelto la self calibrazione che garantisce anche conformità tra risultati calcolati e le reali condizioni operative. La self calibrazione permette infatti di ridurre i tempi sul campo: non è necessario allestire e rilevare un sito test. Tuttavia sono necessarie misure a terra, i cosiddetti punti di vincolo (o GSD), per dare contenuto metrico al prodotto e correggere le distorsioni.

L'allineamento serve a posizionare correttamente le immagini le une rispetto alle altre o, se sono già geolocalizzate, a calcolarne l'esatta posizione nello spazio reale. L'allineamento si basa su alcuni metodi:

- **Point based:** alcune *matching photos* fanno da "ponte" tra i *chunk* permettendone l'allineamento grazie all'identificazione di punti omologhi.
- **Marker based:** *marker* posizionati dall'utente e comuni ai *chunk* sono usati per l'allineamento.
- **Camera based:** la posizione e l'orientamento di alcune immagini sono usati per l'allineamento; le immagini devono avere lo stesso nome per poter essere riconosciute nei *chunk*.

N.B.: se i *chunk* sono georeferenziati, si trovano nello stesso sistema di riferimento e non ne è necessario l'allineamento.



Figura 11 - I descrittori trovati sono i pallini blu e bianchi

Su ogni immagine lavora un algoritmo di *features detection* (*Scale Invariant Features Transform* o similari) che permette di identificare punti notevoli e caratteristici. Un punto notevole, o *descriptor* (descrittore), per essere tale, deve essere stabile, rimanere identificabile e distinguibile al variare della scala di acquisizione, direzione di presa e condizioni di illuminazione. Per ogni immagine c'è un database contenente tutti i descrittori trovati. Ogni descrittore è univoco poiché caratterizzato dal comportamento radiometrico dell'immagine (e quindi della scena reale) nel suo intorno. I descrittori delle varie immagini sono confrontati tra loro. Gli omologhi costituiscono un legame tra le immagini e ne permettono il posizionamento reciproco.

Una volta determinati i punti di legame si possono impostare e risolvere le equazioni di collinearità. Si imposta la collinearità lungo l'asse ottico tra:

- centro di presa,
- punti di legame
- posizione 3D del punto di legame.

Le equazioni di collinearità fanno da ponte tra lo spazio immagine (bidimensionale) e lo spazio reale (3D), mettendo in relazione:

- posizione nello spazio immagine del punto di legame;
- parametri di calibrazione della fotocamera;
- parametri esterni della fotocamera (posa e orientamento);
- coordinate nello spazio reale del punto di legame.

Il sistema di equazioni è risolto all'interno di uno step chiamato *bundle adjustment*, dove le soluzioni ottenute sono ottimizzate.

I principi base della fotogrammetria tradizionale ricordano che un generico punto P deve essere ritratto in almeno 2 immagini per poter essere ricostruito in 3D (quindi coordinate immagine note in due fotogrammi, 4 equazioni e le 3 coordinate incognite).

Al termine dello step di allineamento si vedono nuvola sparsa e posizione delle fotocamere (rettangoli blu) nel model panel ed i valori adjusted dei parametri di calibrazione nel camera *calibration tool*.

In PIX4D i punti di vincolo sono inseriti come *marker*. Il processo di identificazione del target nelle immagini è chiamato collimazione.

In questo modo si ottiene la costruzione della nuvola sparsa, che descrive l'oggetto, e la posa delle prese fotografiche.

Risultato del passo sono le curve di livello dell'area oggetto di rilievo dove sono ancorati i GCP.

5.1.3 Generazione della nuvola di punti densa

I risultati della fasi di allineamento, calibrazione della fotocamera ed orientamenti interni ed esterni delle immagini, sono utilizzati come input per un nuovo processing, cioè per la creazione della nuvola densa. Infatti si utilizzano gli allineamenti sopra descritti per definire la posizione 3D pixel by pixel con gli algoritmi di *Dense Image Matching*.

L'approccio più diffuso per il matching delle immagini è quello definito Stereo o Multi-Stereo (due o più immagini). E' il processo che richiede il maggior tempo di esecuzione (mediamente dal 50% al 96% del totale con impostazioni da medium a ultra high) ed è l'unico ad utilizzare la GPU.



Figura 12 - Nuvola di punti densa

5.1.4 Generazione della mesh triangolare e Texture

Generare una *mesh* significa creare una superficie a partire da una nuvola di punti. I punti sono uniti a formare triangoli che costituiranno la *mesh*.



Figura 13 - Ricostruzione del DSM

Texturizzare un modello significa applicare alla mesh un contenuto in colore. Nel caso della fotogrammetria il contenuto è fotorealistico e ricavato dalle immagini acquisite. Si può scegliere la combinazione dei contributi delle varie immagini alla *texture* finale di ogni *pixel*.

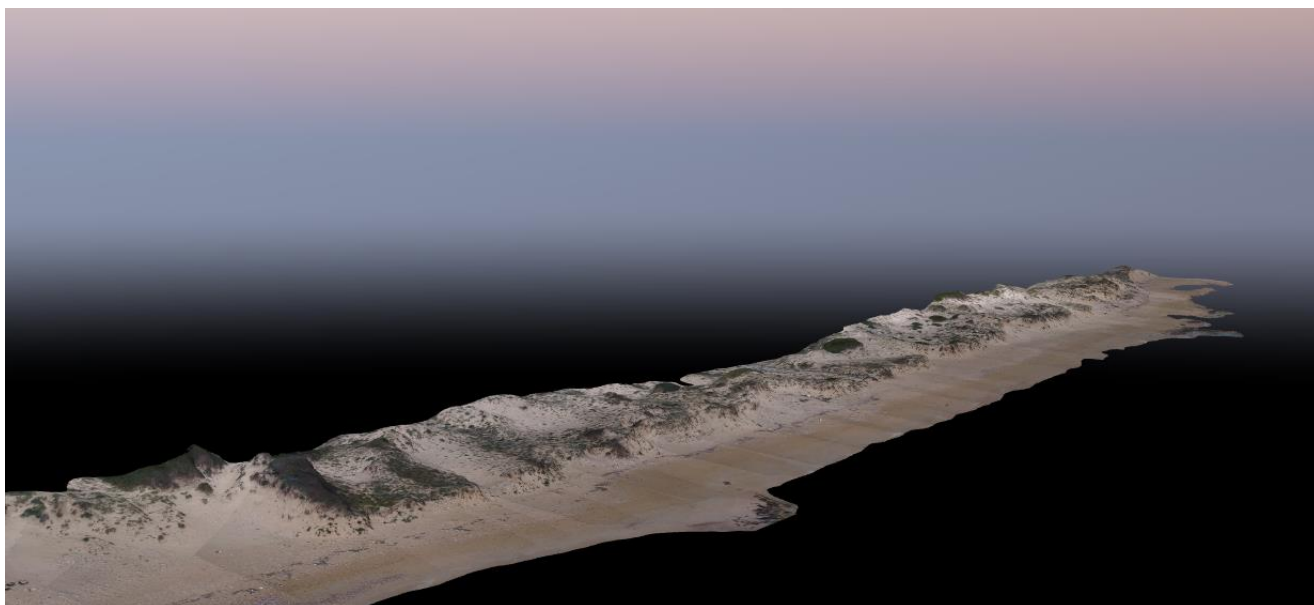


Figura 14 - Ricostruzione fotorealistica e tridimensionale del sito

6 RISULTATI DELLA CAMPAGNA DI RILIEVO

Sono stati eseguiti due rilievi topografici, uno prima dell'installazione delle barriere antierosione e uno dopo l'intervento. Entrambi i rilievi sono stati condotti in condizioni di marea simili, con un'altezza di 10 cm rispetto al livello medio del mare, per garantire la comparabilità dei dati raccolti.

L'intero rilievo è realizzato sul sistema di Coordinate WGS84 - UTM 33N e altimetrie relative al Geoide EGM96.

La campagna di rilievi si è svolta nelle giornate del 17/03/2025 a cui è seguita la fase di elaborazione e restituzione del dato digitale in ufficio.

Il secondo rilievo è stato dunque eseguito con le medesime tecniche e modalità impiegate per il primo, sulla medesima zona e con le medesime impostazioni del primo rilievo.

La seconda campagna di rilievi si è svolta nella giornata del 30.04.2025 a cui è seguita la fase di elaborazione e restituzione del dato digitale in ufficio.

Sono state dunque prodotti DSM, DTM, Ortofoto, Curve di livello dal DTM. Tutti risultati sono stati restituiti in maniera georeferenziata, permettendo la sovrapposizione e il confronto automatico del primo con il secondo rilievo, riducendo al massimo l'errore di misurazione e ottenendo i dati quantitativi.

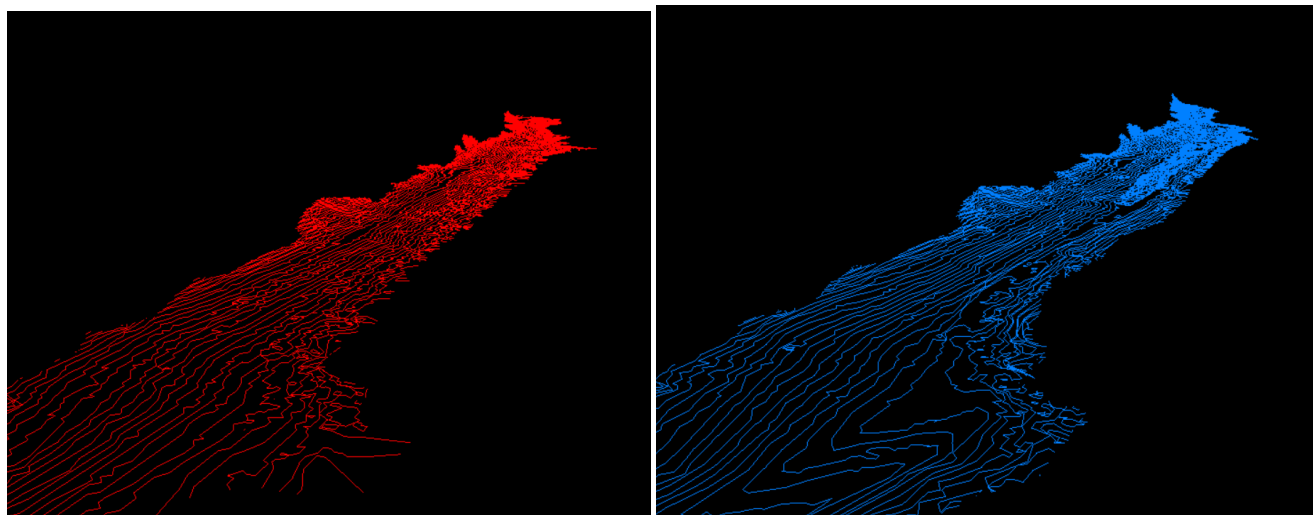
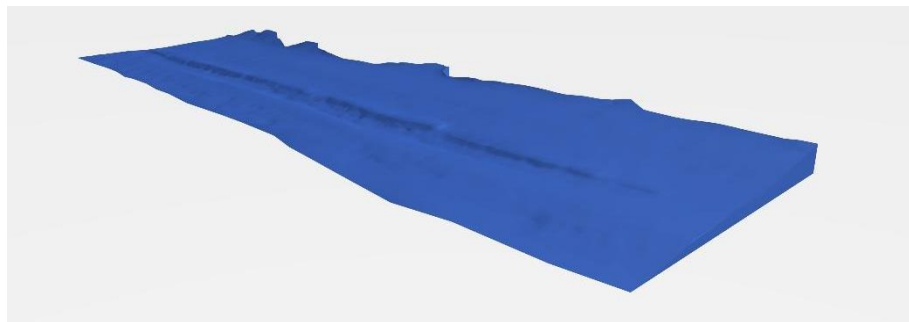


Figura 15 - Curve di livello da DTM ante e post intervento

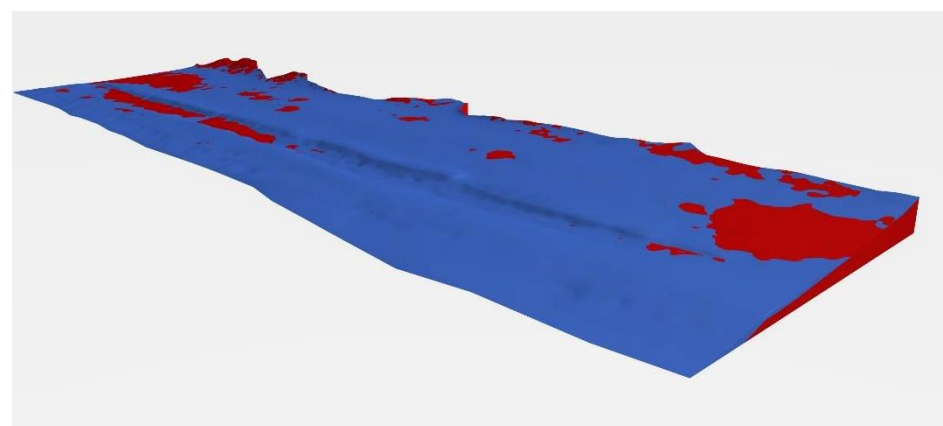
I dati rilevati hanno mostrato un accumulo di 164,16 metri cubi di sedimenti rispetto alla situazione iniziale, con un avanzamento medio di 2,58 m della linea di riva, con un massimo di 4,67 m e un minimo di 1,50 m. L'area dell'arenile risultava essere di 1682,50 mq prima dell'installazione dei moduli antierosione, mentre dal rilievo successivo risulta essere di 1913,50 mq, con un recupero di 231 mq di spiaggia.



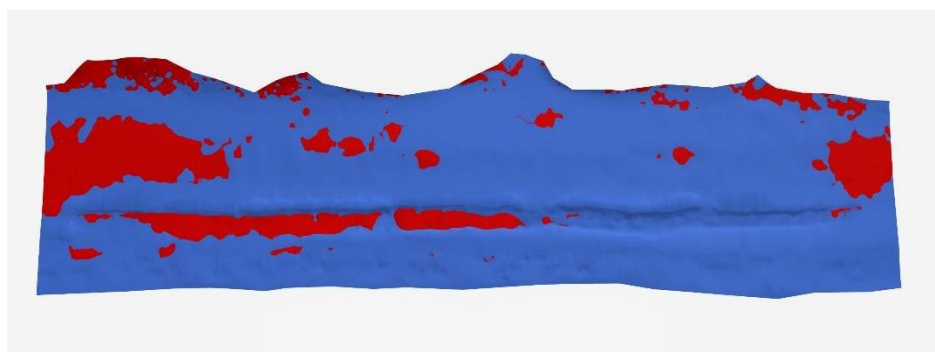
Volume Rilievo Pre



Volume Rilievo Post



Confronto Volumi Rilievo Pre-Post



Confronto Volumi Rilievo Pre-Post

Si riportano di seguito le risultanze dei rilievi attraverso le planimetrie e le sezioni di analisi della situazione pre e post intervento e relativi confronti per entrambe le aree.

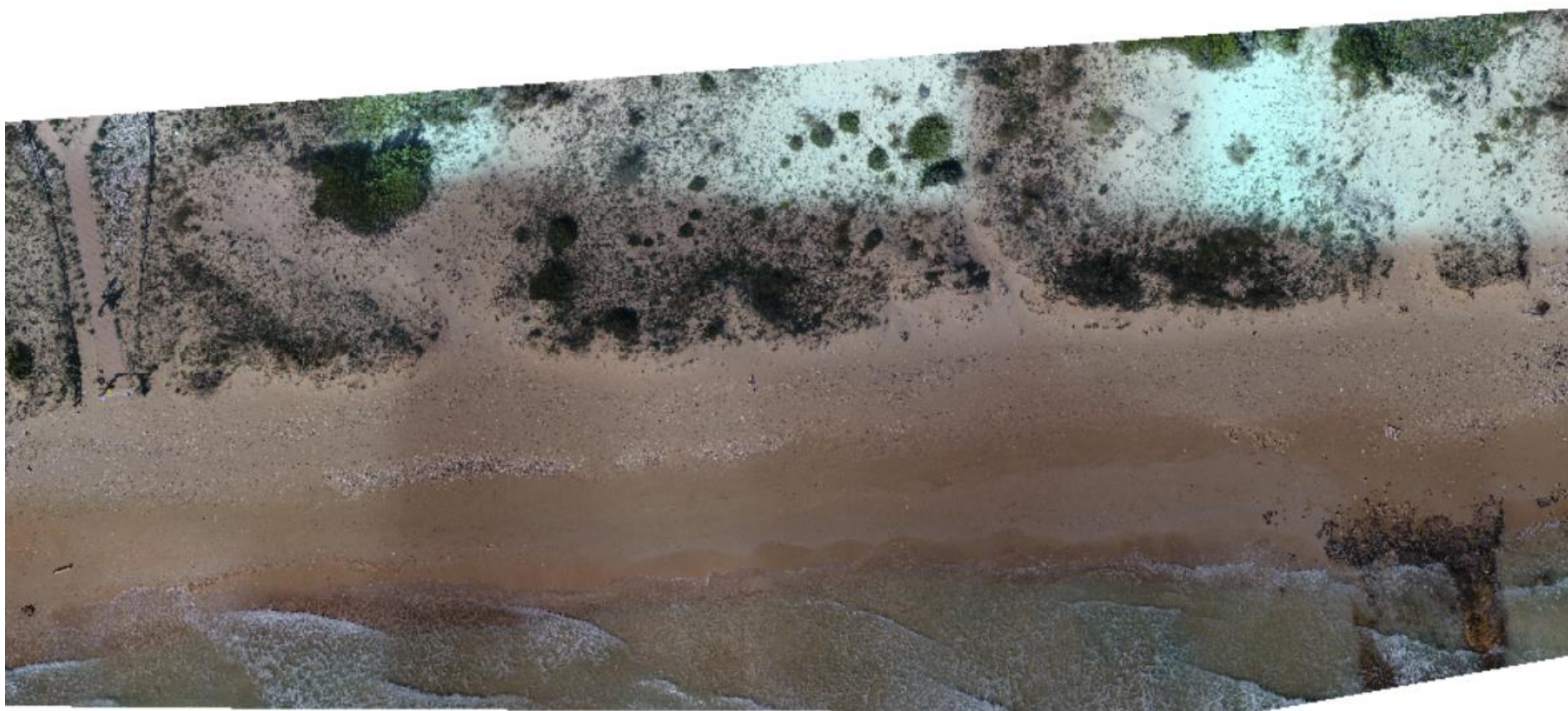


Figura 16 - Ortofoto da Rilievo alla data del 17/03/2025

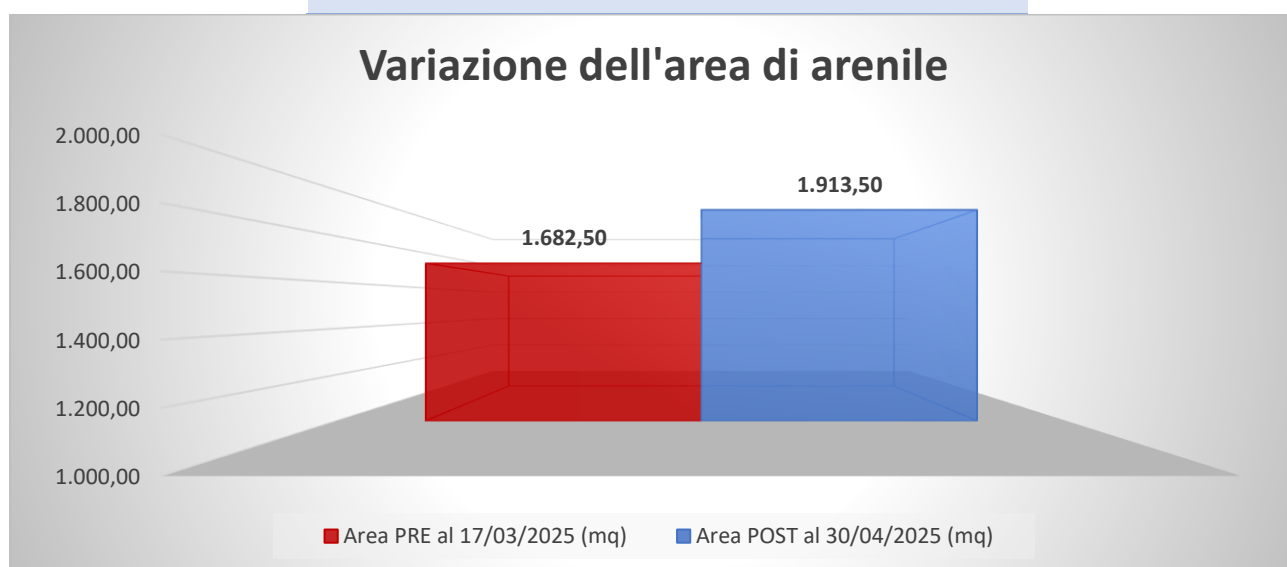


Figura 17 - Ortofoto da Rilievo alla data del 30/04/2025

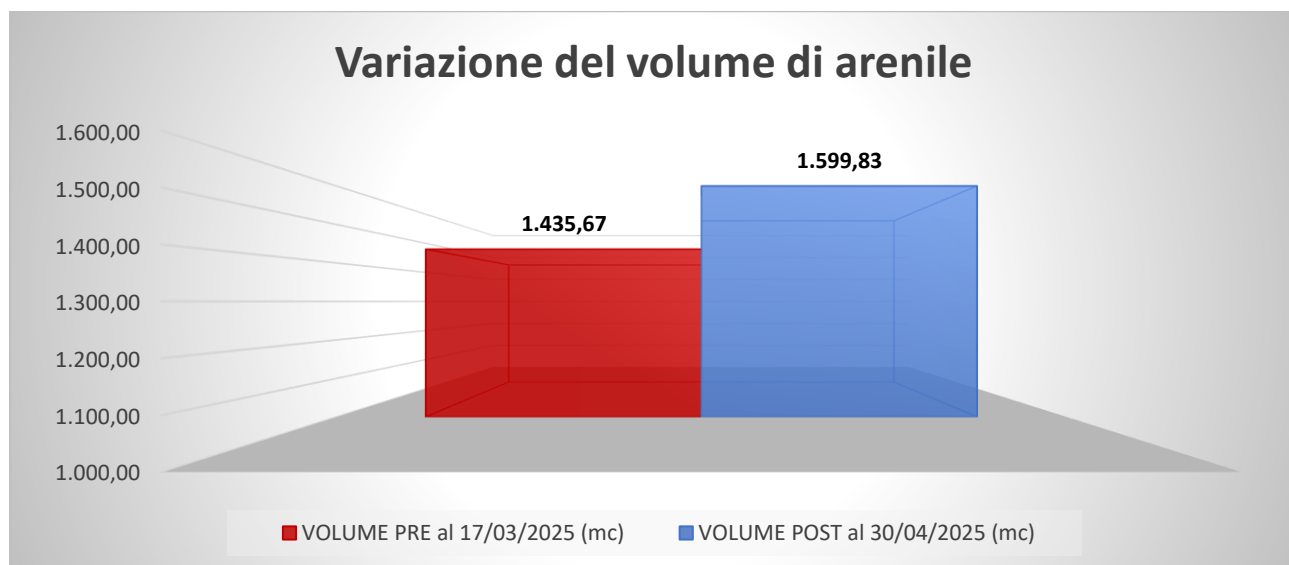
7 ANALISI COMPARATIVA DEI RILIEVI PRE E POST INTERVENTO

L'analisi delle aree mostra che la spiaggia ha mantenuto una crescita costante nel tempo, con un incremento netto di +164,16 mc tra il primo e il secondo rilievo. La spiaggia ha registrato inoltre un'espansione significativa (+231 mq).

<i>Sup. Rilievo PRE (17/03/2025) (mq)</i>	<i>Sup. Rilievo POST (30/04/2025) (mq)</i>	<i>Δ Sup. Rilievo PRE → POST (%)</i>
1682,50	1913,50	13,73%



<i>Vol. Rilievo PRE (17/03/2025) (mc)</i>	<i>Vol. Rilievo POST (30/04/2025) (mc)</i>	<i>Δ Vol. Rilievo PRE → POST (%)</i>
1435,67	1599,83	11,43%



8 CONCLUSIONI

I dati confermano la funzionalità del sistema modulare nell'arresto del fenomeno erosivo e nel favorire il ripristino naturale. In generale, il sistema si dimostra efficace nel lungo termine, con effetti misurabili e positivi.

È da evidenziare che l'azione di spostamento periodico nel retrospiaggia effettuata durante il funzionamento del Sistema, attraverso lo svuotamento dei moduli insabbiati, ha incrementato notevolmente lo spessore, ed dunque il volume complessivo di sedimenti, rendendo di fatto la spiaggia più resiliente ai fenomeni erosivi anche dopo la rimozione dei moduli.

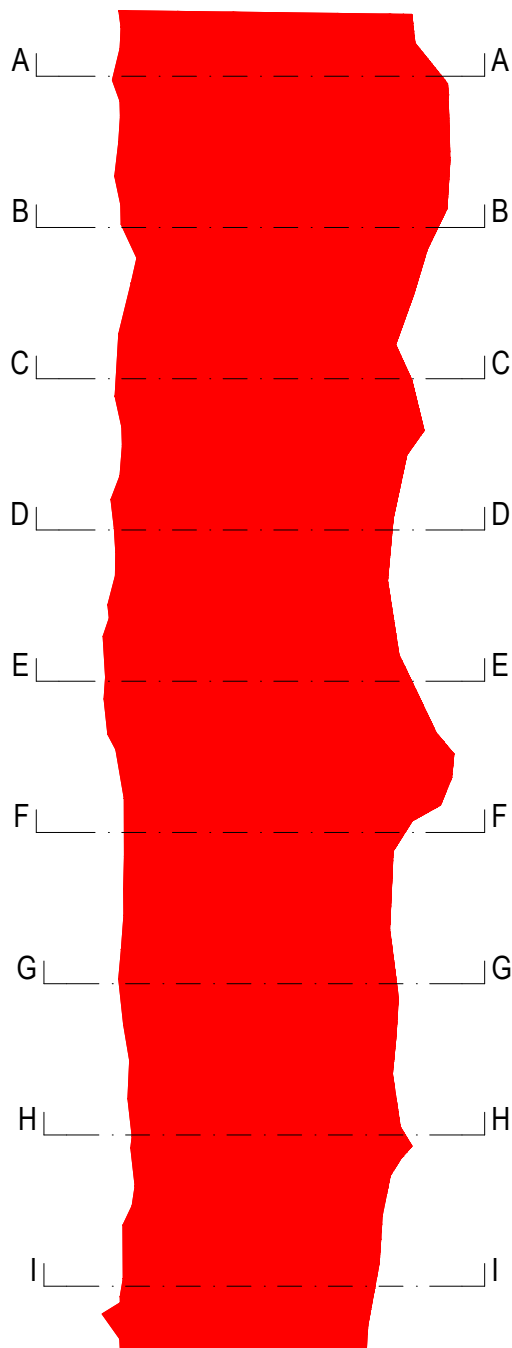
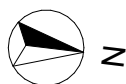
Si verifica dunque l'importanza di tale azione di manutenzione periodica che incrementa l'efficacia della funzione di trappola sedimentaria del Sistema.

Tali risultati rafforzano la validità delle barriere modulari amovibili come sistema sostenibile, reversibile e adattabile per il contrasto all'erosione costiera.

In conclusione, l'intervento realizzato rappresenta un esempio positivo di come le tecnologie e le soluzioni ingegneristiche possono essere utilizzate per affrontare problemi ambientali complessi come l'erosione costiera, promuovendo al contempo la sostenibilità e la protezione delle risorse naturali, in accordo con le esigenze di sviluppo economico del territorio.

Lecce, 27/05/2025

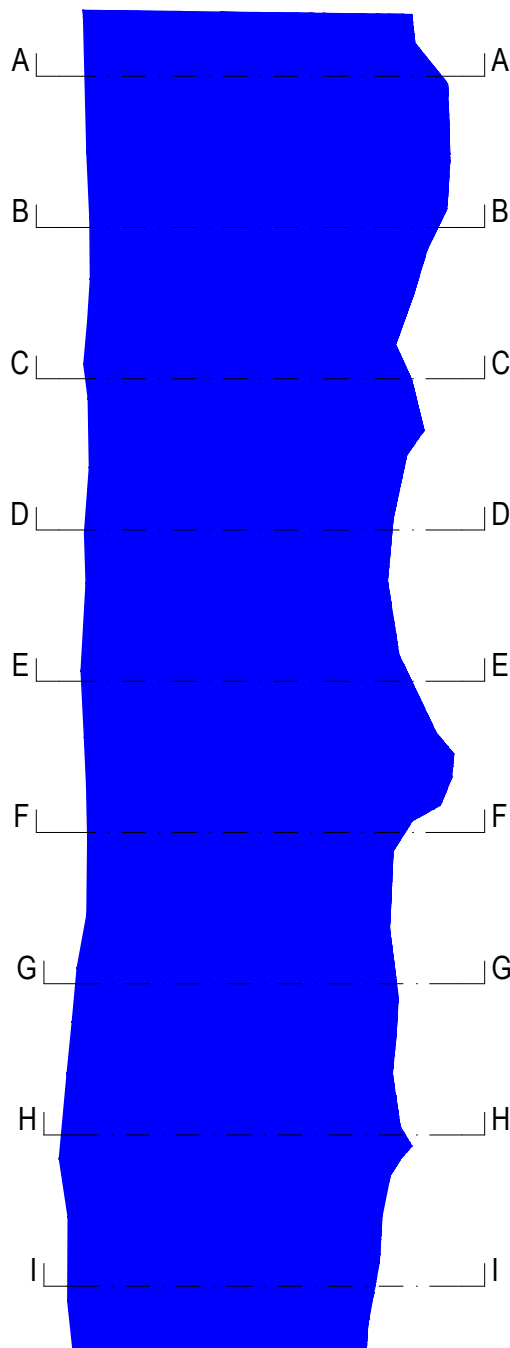
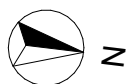
Ing. Riccardo Moncillo



0 2 4 6 8 10 m

/AREA ARENILE ALLA DATA DEL 17/03/2025

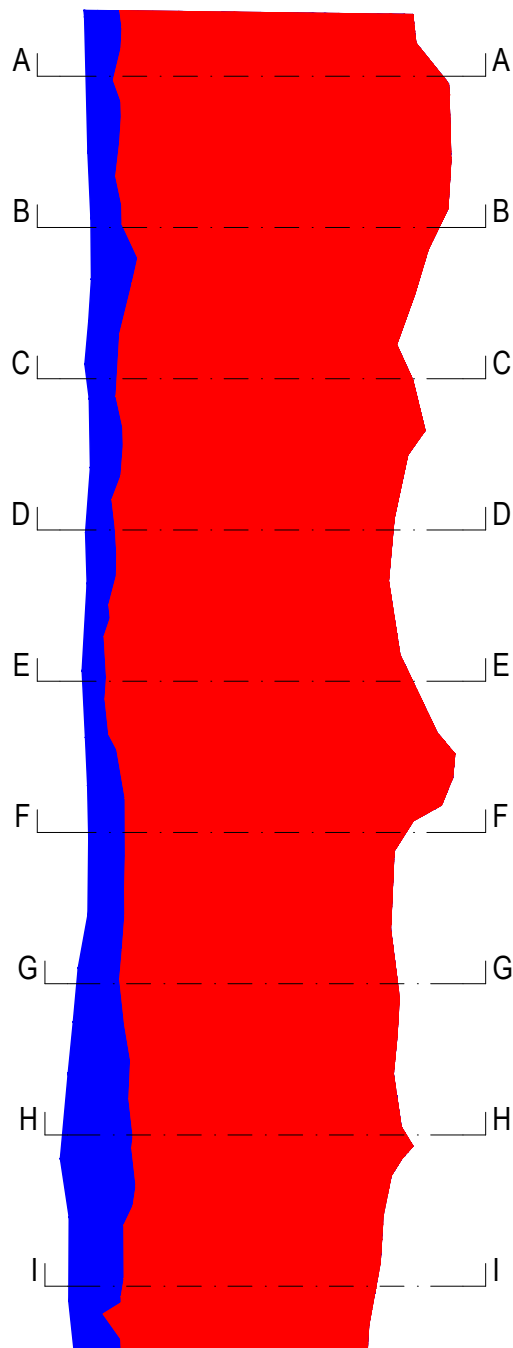
1:500



0 2 4 6 8 10 m

AREA ARENILE ALLA DATA DEL 30/04/2025

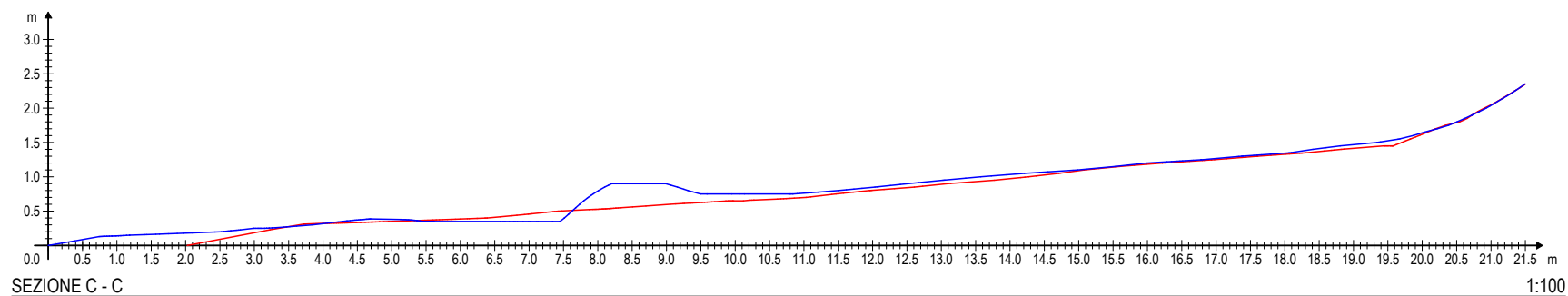
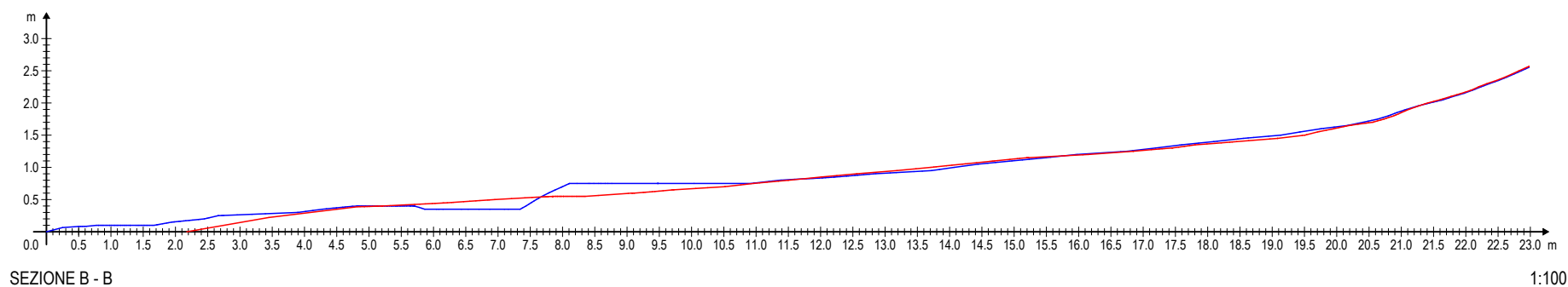
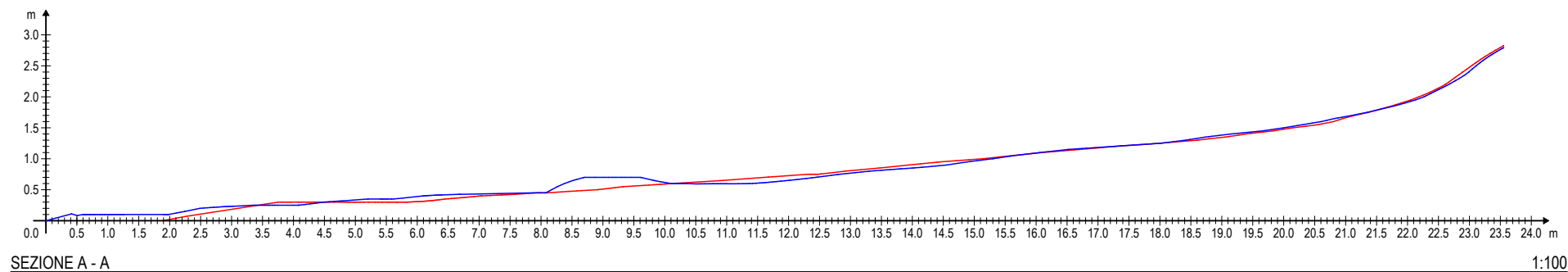
1:500

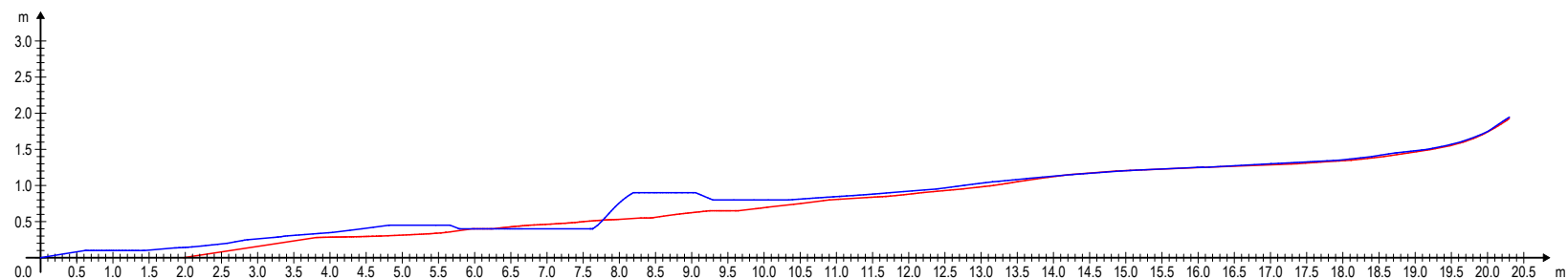


0 2 4 6 8 10 m

AREA ARENILE CONFRONTO

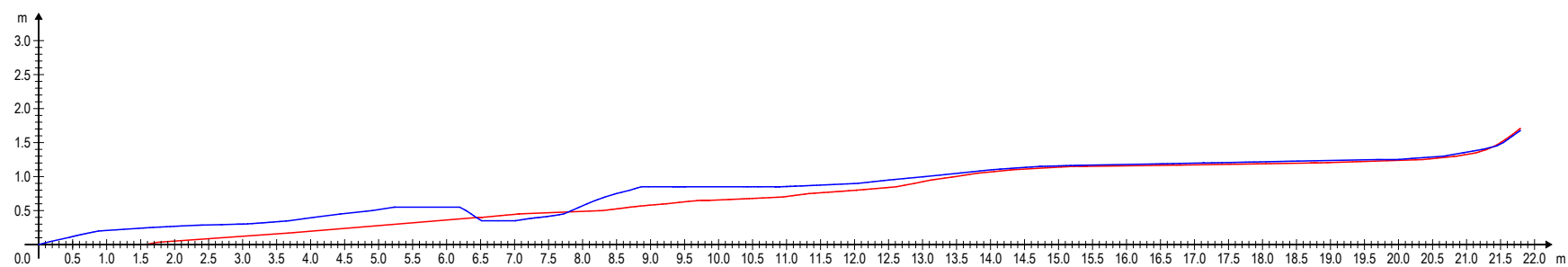
1:500





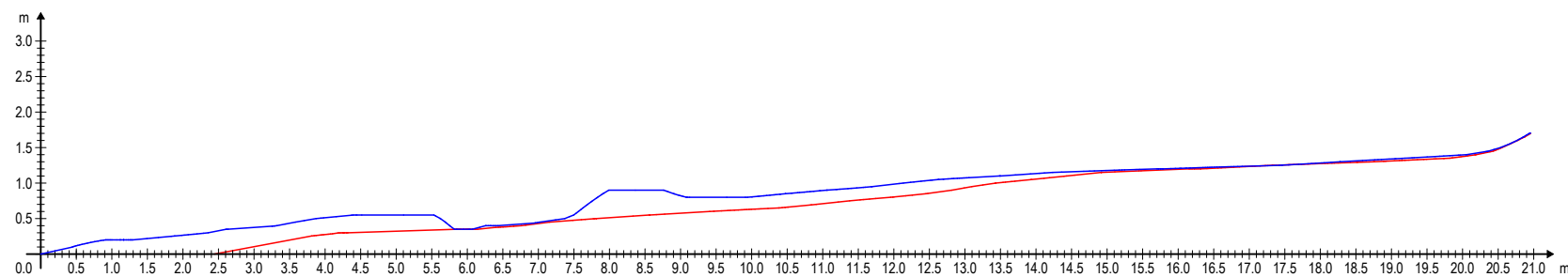
SEZIONE D - D

1:100



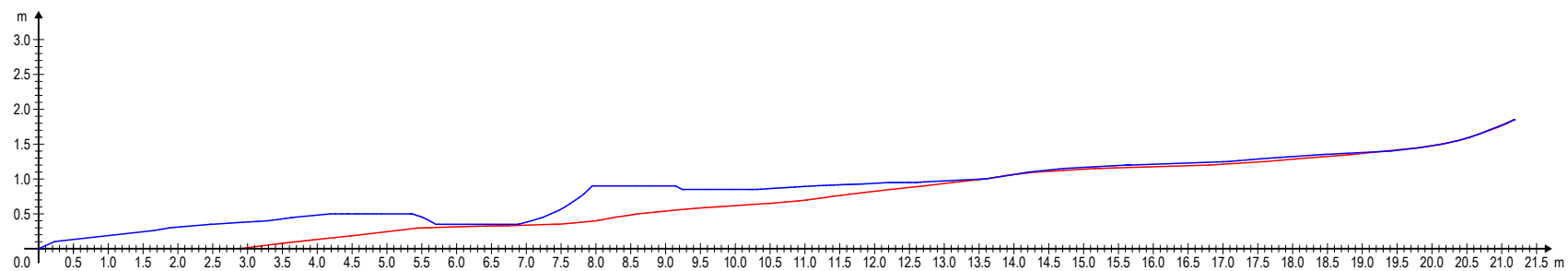
SEZIONE E - E

1:100



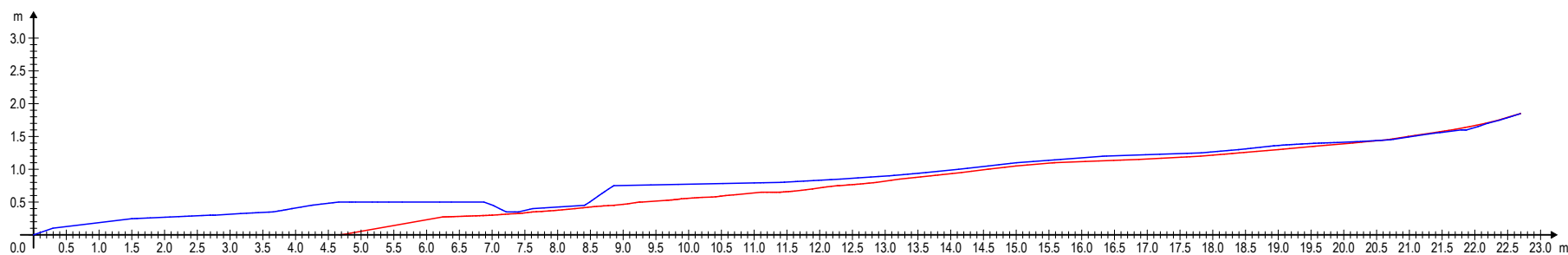
SEZIONE F - F

1:100



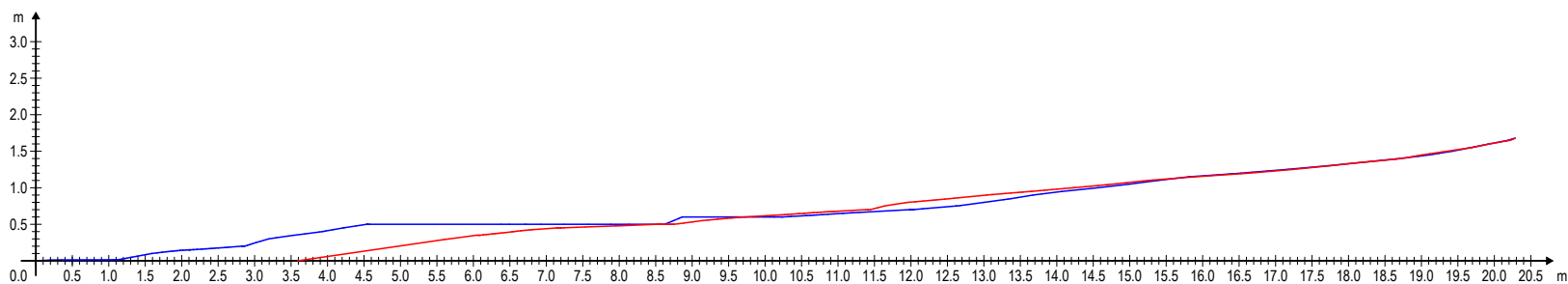
SEZIONE G - G

1:100



SEZIONE H - H

1:100



SEZIONE I - I

1:100