



Regione Liguria



Comune di Monterosso al Mare

# CONCORSO DI PROGETTAZIONE PER LA RIQUALIFICAZIONE ARCHITETTONICA E FUNZIONALE DI PIAZZA GARIBALDI

## RILIEVI TOPOGRAFICI

### Relazione Tecnica

#### COMMITTENTE

Comune di Monterosso al Mare  
Area Tecnica Manutentiva  
Settore OO.PP.  
Piazza Garibaldi, 33  
19016 - Monterosso al Mare (SP)

#### DOCUMENTO

R01

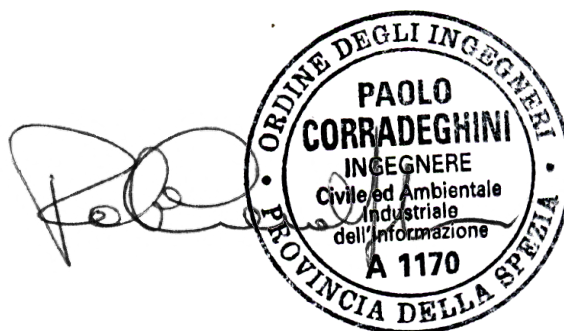
#### DATA

Gennaio 2023

#### IL TECNICO



Ing. Paolo Corradeghini  
Via Bertoloni, 59  
19038 - Sarzana (SP)  
[www.3dmetrica.it](http://www.3dmetrica.it)



# INDICE

<b>PREMESSA</b>	<b>3</b>
<b>L'AREA DEL RILIEVO</b>	<b>4</b>
<b>LA STRUMENTAZIONE IMPIEGATA</b>	<b>4</b>
<b>PREDISPOSIZIONE DEI PUNTI DI APPOGGIO AEROFOTOGRAMMETRICO</b>	<b>5</b>
<b>MISURA DELLE COORDINATE DEI PUNTI DI APPOGGIO FOTOGRAMMETRICO</b>	<b>6</b>
<b>IL RILIEVO AEROFOTOGRAMMETRICO</b>	<b>6</b>
CENNI DI FOTOGRAMMETRIA	8
PROGRAMMAZIONE DELLE OPERAZIONI	10
IL G.S.D. ED IL CONCETTO DI ACCURATEZZA	11
ELABORAZIONE, ORIENTAMENTO E RESTITUZIONE DEI RISULTATI	12
PRINCIPI DI MODELLAZIONE TRIDIMENSIONALE	12
ELABORAZIONE DEI DATI	13
CARICAMENTO DELLE IMMAGINI ED ALLINEAMENTO	13
NUVOLA DI PUNTI DENSA	14
VERIFICA DELL'ACCURATEZZA DEL MODELLO	15
RASTER E MODELLI DIGITALI DI ELEVAZIONE	16
MODELLO DIGITALE DI ELEVAZIONE - DEM	16
ORTOFOTO	17
NOTA TECNICA SUL PROCESSO FOTOGRAMMETRICO	19
<b>SISTEMI DI RIFERIMENTO E QUOTE</b>	<b>19</b>
RAPPRESENTAZIONE 2D VETTORIALE	20
<b>NOTA SULL'IMPIEGO DI UAV</b>	<b>21</b>
<b>DOCUMENTAZIONE CONSEGNATA</b>	<b>22</b>
<b>Appendice A</b>	
<b>Report elaborazione fotogrammetrica</b>	<b>24</b>

## PREMESSA

Questa relazione tecnica descrive i **rilievi topografici** condotti nella Piazza Giuseppe Garibaldi, e nelle aree adiacenti, nell'abitato di Monterosso al Mare, con lo scopo di fornire documentazione tecnico-informativa per un concorso di progettazione per la riqualificazione architettonica e funzionale della stessa piazza.

Viste le caratteristiche dell'area ed i risultati attesi si è scelta l'**aerofotogrammetria da UAV** quale tecnica principale per la descrizione dei luoghi, **integrata da misure topografiche terrestri.**

Lo scopo delle attività è stato **caratterizzare la topografia generale dei luoghi** come base conoscitiva per le proposte progettuali di cui sopra.

Le attività di campo sono state condotte nel giorno **29 Novembre 2022.**

.

## L'AREA DEL RILIEVO

L'area indagata si trova nel **Comune di Monterosso al Mare**, nel centro della porzione orientale dell'abitato.



*Localizzazione dell'area delle indagini (fonte mappa Google)*

## LA STRUMENTAZIONE IMPIEGATA

L'acquisizione dei dati di campo è stata fatta con la seguente strumentazione:

- **Ricevitore satellitare geodetico (GNSS)**

*Trimble R2 - chip avanzato Trimble Maxwell 6 custom GPS - multicostellazione (GPS, GLONASS, BeiDou, Galileo) - 220 canal - Tracciamento GPS L1/L2; SBAS a 4 canali; Correlatore multiplo ad alta precisione per misurazioni di pseudorange L1/L2.*

Impiegato per il rilievo delle coordinate dei target di appoggio.

- **UAV DJI Phantom 4 Pro (drone)**

*Peso massimo al decollo MTOM 1.4 kg - Frequenza operativa 2.4-2.483 GHz e 5.725-5.850 GHz, GPS+GLONASS, Fotocamera 1", 24Mpixel, Ottica 24mm.*

Impiegato per l'acquisizione fotografica delle immagini elaborate nel processo fotogrammetrico

# PREDISPOSIZIONE DEI PUNTI DI APPOGGIO AEROFOTOGRAMMETRICO

Il rilievo aerofotogrammetrico necessita di punti di coordinate note per poter orientare, scalare e georeferenziare il modello che ne risulta.

Questi punti sono i **GCP - Ground Control Points**.

La loro caratteristica è quella di essere ben individuabili dalle foto scattate durante il volo di presa fotogrammetrica ed avere la possibilità di determinare univocamente la loro posizione, misurata con strumentazione topografica (palina).

A tale scopo si sono disposti a terra 15 target in PVC (80x80 cm), amovibili e ad alta visibilità, rimossi al termine delle operazioni.



*Target di appoggio per il rilievo aerofotogrammetrico materializzato a terra mediante foglio in PVC*

Tra tutti i punti materializzati e rilevati parte di essi sono stati utilizzati per controllare l'accuratezza del risultato e stimare l'errore di restituzione del rilievo.

Si tratta dei *Quality Control Points (QCP)*, *Check Points (CP)* o *Punti di Controllo*.

# MISURA DELLE COORDINATE DEI PUNTI DI APPOGGIO FOTOGRAMMETRICO

L'acquisizione delle coordinate dei punti noti, da impiegare nel riferimento e nell'appoggio a terra, è stata effettuata con **strumentazione satellitare GNSS a doppia frequenza** (L1+L2).

Si è impiegato un ricevitore rover in modalità *nRTK* (*network Real Time Kinematic*) con correzione in tempo reale della posizione sulla base delle informazioni provenienti dalla rete di stazioni fisse sul territorio nazionale (Rete SmartNet Leica Geosystems).

La connessione e la trasmissione di informazioni al fine del posizionamento è avvenuta in modalità GSM/GPRS. I ricevitori hanno sfruttato le costellazioni di satelliti GPS, GLONASS, GALILEO e BEIDOU. Le coordinate dei punti battuti sono state acquisite nel sistema di riferimento ellissoidico ETRF2000 RDN2008 (EPSG 6706) e successivamente convertite nel sistema di riferimento cartografico di destinazione, ETRF2000 RDN2008 - UTM Zona32N EPSG6707, tramite l'impiego di software Verto3K ed opportuni grigliati di trasformazione rilasciati dall'Istituto Geografico Militare (IGM).

## IL RILIEVO AEROFOTOGRAMMETRICO

Lo scopo delle attività di rilievo descritte in questa relazione era la caratterizzazione topografica, morfologica ed altimetrica dell'area di indagine.

In considerazione dell'estensione delle aree (non enorme ma neppure limitata a qualche centinaia di metri quadri) e della presenza di zone inaccessibili (aree private, fascio ferroviario, alveo, ...) si è scelto di utilizzare la tecnica dell'**aerofotogrammetria da drone** per massimizzare i rapporti dati acquisiti/tempo e benefici/costi ottenendo una restituzione ad alta densità di informazioni in,

relativamente, poco tempo e potendo fruire di un output che congelasse lo stato dei luoghi al momento delle attività di campo.

La fotogrammetria consente l'acquisizione di informazioni metriche di oggetti a partire dall'elaborazione di immagini fotografiche, scattate da punti di vista differenti. L'aerofotogrammetria impiega immagini scattate da mezzo aereo, nel caso specifico da drone. Le fotografie riprese dalle fotocamere impiegate sono immagini digitali, pertanto è più corretto riferirsi a *tecniche di fotogrammetria digitale*.

Le tecniche impiegate nello svolgimento di questi rilievi non sono tuttavia tecniche fotogrammetriche pure, analoghe a quelle impiegate per la produzione del repertorio cartografico nazionale tuttora in uso.

Si tratta di elaborazioni digitali condotte con algoritmi denominati *Structure from Motion* che, grazie alle potenze di calcolo disponibili nelle workstation "comuni" ed a tecnologia di computer vision, riescono a creare modelli tridimensionali a partire da immagini riprese da fotocamere *non calibrate e prive del certificato di calibrazione metrica*, quasi imprescindibile nella fotogrammetria classica.

Si fa tuttavia presente che le equazioni risolte nella fase computazionale (descritta in seguito) sono le medesime equazioni della fotogrammetria classica: le **equazioni di collinearità**, fornendo al metodo robustezza e validità nella qualità e nell'affidabilità degli output prodotti.

Il vantaggio di tale approccio risiede nell'**elevata densità di informazioni a terra** (di fatto irraggiungibile con le tecniche tradizionali di topografia classica) racchiuse nella nuvola di punti 3D, da cui è possibile estrarre, in maniera autonoma ed indipendente, tutto quanto necessario per le fasi successive di studio e progettazione oltre che per la produzione di elaborati cartografici 2D (piane e sezioni).

La nuvola di punti fotogrammetrica permette inoltre di avere **informazioni anche nelle parti irraggiungibili a piedi, pericolose e non visibili dai punti di misura a terra** (oltre a quanto accennato poco fa, si possono citare anche le coperture dei fabbricati, ...).

## CENNI DI FOTOGRAMMETRIA

La fotogrammetria consente di definire la **posizione, la forma e le dimensioni di oggetti sul terreno** (o dello stesso terreno), utilizzando le informazioni contenute in immagini fotografiche degli stessi oggetti, riprese da punti diversi.

Per poter determinare le posizioni dei punti di un oggetto nell'ambiente reale o del territorio utilizzando le posizioni dei punti corrispondenti sulla fotografia, è necessario definire le relazioni geometriche fra le posizioni tridimensionali dei punti dell'oggetto e quelle delle loro immagini sul piano della fotografia.

A ogni punto dell'oggetto tridimensionale corrisponde un punto omologo sull'immagine.

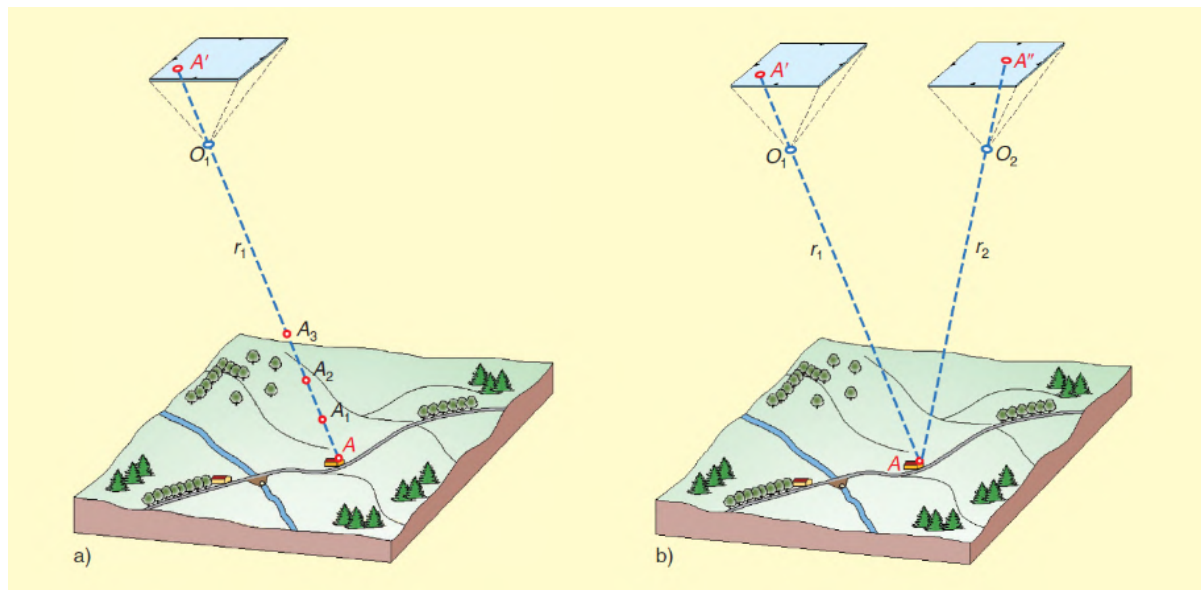
A questo proposito è possibile, con sufficiente approssimazione, pensare alla fotografia come a una prospettiva centrale, in base alla quale i segmenti che congiungono i punti dell'oggetto con le loro corrispondenti immagini (stella proiettante) si incontrano tutti in un punto distante pochi centimetri dal piano del sensore fotografico, il centro di presa.

Una sola immagine piana non contiene informazioni sufficienti a definire la posizione e le dimensioni di un oggetto tridimensionale (lo sarebbe solo se anche l'oggetto fosse piano). Tuttavia queste informazioni possono essere ottenute disponendo di due fotografie che riprendono lo stesso oggetto osservato da due differenti punti di presa (un'unica camera che riprende l'oggetto in posizioni e in tempi diversi).

Le posizioni dei centri di presa e l'orientamento del sensore fotografico tuttavia (salvo poche eccezioni) non sono note a priori.

È però possibile ottenere queste informazioni dalle stesse fotografie, se queste contengono un certo numero di punti di appoggio sul terreno le cui posizioni vengono ricavate da tradizionali operazioni topografiche (fase di orientamento assoluto).





Schematizzazione del principio fotogrammetrico: impiego di almeno due immagini per definire le posizioni univoche dei punti sul terreno rilevato

Nel rilievo fotogrammetrico tradizionale si riconoscono sempre le seguenti fasi:

- **acquisizione:** operazioni riguardanti la presa delle immagini fotografiche;
- **orientamento:** operazioni per la determinazione dei parametri che consentono di posizionare i centri di presa e la posizione dei piani dei sensori fotografici con la stessa posizione nello spazio che essi avevano al momento della presa, quindi la ricostruzione della forma e delle dimensioni dell'oggetto ripreso;
- **restituzione:** operazioni che consentono di effettuare misure sul modello dell'oggetto ricostruito, utilizzando strumenti detti restitutori, in grado di produrre, come risultato finale un modello tridimensionale, un disegno, un insieme numerico di coordinate o una immagine rettificata e raddrizzata (ortofoto).

## PROGRAMMAZIONE DELLE OPERAZIONI

Il sorvolo dell'APR all'interno dell'area del rilievo è stato condotto in **modalità automatica**, secondo missioni di volo programmato, precedentemente definite sulla base di modelli digitali disponibili (Google).

Per le necessità e gli scopi del presente studio si è ritenuto sufficiente programmare **un'acquisizione di immagini fotografiche di tipo nadirale**, ossia con camera orientata verso il basso ed asse ottico diretto verticalmente verso il terreno a cui poi si sono aggiunte **integrazioni di volo manuale** per riprendere alcuni elementi rilevanti a sviluppo verticale (banchine, fabbricati, ...) secondo prese oblique.

Al fine di effettuare una robusta acquisizione aerofotogrammetrica ed in considerazione dell'estensione dell'area da sorvolare e da coprire con la presa fotogrammetrica, si è condotto il volo dell'APR in modo che:

- l'altezza di volo non fosse superiore a 50 m AGL (*Above Ground Level*);
- la velocità di crociera non fosse superiore a 2 m/s, sufficientemente ridotta per evitare sfocature nelle immagini dovute al possibile effetto mosso per velocità elevate;
- l'intervallo di scatto delle fotografie nadirali fosse pari a 5 secondi per avere una sovrapposizione tra fotogrammi consecutivi dell'80%;

La programmazione delle operazioni è stata condotta con il software di mission planning *UGCS Pro*.

## IL G.S.D. ED IL CONCETTO DI ACCURATEZZA

Un parametro importante in un rilievo fotogrammetrico è la **Risoluzione Spaziale** che è definita dal **G.S.D.** (*Ground Sampling Distance*) ossia la distanza, misurata a terra, tra due pixel vicini dell'immagine.

Il GSD è quindi la dimensione del pixel sul campo.

Al decrescere del valore del GSD aumenta il dettaglio della fotografia.

Esso dipende dalla risoluzione della macchina fotografica, dalla lunghezza focale della sua ottica e dall'altezza di volo.

Le operazioni di ripresa fotografica sono state condotte in modo che il **GSD avesse un valore non superiore a 2 cm/pixel.**

Non si deve tuttavia confondere il valore del GSD con quello dell'accuratezza del rilievo. Se le fotografie sono pianificate per un GSD di 1 cm non significa che l'accuratezza del rilievo restituito sia di 1 cm.

L'accuratezza di un rilievo aerofotogrammetrico può essere relativa o assoluta.

L'accuratezza relativa è la misura di come i punti sono posizionati relativamente uno con l'altro in un modello ricostruito (ad esempio in un'ortofoto o in un D.S.M.).

L'accuratezza assoluta invece si riferisce alle differenze tra la posizione dei punti nel modello ricostruito e la loro effettiva posizione sulla superficie terrestre.

Sebbene per alcune applicazioni ed impieghi l'accuratezza relativa possa essere sufficiente è buona norma ricercare l'accuratezza assoluta. In questo senso ci si affida ai punti di appoggio di cui sopra, i *Ground Control Points* (G.C.P.).

L'accuratezza assoluta dell'intero rilievo aerofotogrammetrico non può essere maggiore di quella con cui sono rilevati i *Ground Control Points*.

## ELABORAZIONE, ORIENTAMENTO E RESTITUZIONE DEI RISULTATI

Terminate le operazioni di campo i dati acquisiti sono stati elaborati per restituire i risultati richiesti.

### PRINCIPI DI MODELLAZIONE TRIDIMENSIONALE

Tramite la **modellazione tridimensionale** si ricostruisce ciò che si vede realmente ed in particolare la forma, l'illuminazione e la distribuzione del colore in un dato oggetto o scena reale rappresentati in una o più immagini.

Le tecniche di calcolo che sono implementate nei software utilizzati per questo scopo sfruttano diverse informazioni ricavabili dalle immagini per ricostruire la forma 3D degli oggetti, come per esempio le ombre (*shape from shading*), la texture (*shape from texture*), la silhouette (*shape from silhouette*). In generale si parla più comunemente di tecnologia *Structure from Motion*, includendo al suo interno tutte le tecniche che permettono la ricostruzione di oggetti 3D partendo da punti estrapolati da immagini 2D.

Tale tecnica, a partire dalle tecniche fotogrammetriche classiche ed integrandole con le moderne tecnologie di imaging su immagini digitali sempre più definite consente, nello specifico, di estrarre punti da immagini attraverso parametri fotografici: lunghezza focale, dimensioni del sensore, distorsioni e pixels. A differenza delle tecniche fotogrammetriche tradizionali, che richiedono l'utilizzo di una fotocamera calibrata o di una camera fotogrammetrica, per la *Structure From Motion* si può usare una qualsiasi fotocamera, di cui è necessario conoscere solo alcuni parametri, purché si rilevino direttamente sull'oggetto o nell'ambiente misure che possano servire per il dimensionamento della nuvola di punti.

In fase di elaborazione si riesce a calcolare la posizione nello spazio della fotocamera rispetto all'oggetto e individuare i punti in comune in più immagini.

Verranno quindi calcolate le coordinate dei punti nello spazio, che costituiranno una nuvola di punti densa.

Trattandosi di una elaborazione di immagini e non di un rilievo topografico tramite sensori ottici, la nuvola di punti apparirà colorata, poiché i vertici ereditano il colore dei pixel.

La procedura *Structure From Motion* si compone di quattro fasi successive:

- Rilevamento ed estrazione delle features, individuazione dei punti di legame (keypoints) e loro descrizione tramite vettori di numeri (descriptor);
- Accoppiamento delle feature: una volta individuati ed estratti i punti omologhi, viene eseguito il loro accoppiamento (matching) nelle diverse immagini;
- Stima dei parametri della camera: calcolo dei parametri di orientamento interno ed esterno attraverso una procedura iterativa;
- Esecuzione del matching denso: calcolo di una nuvola di punti più completa attraverso algoritmi di dense image matching.

## ELABORAZIONE DEI DATI

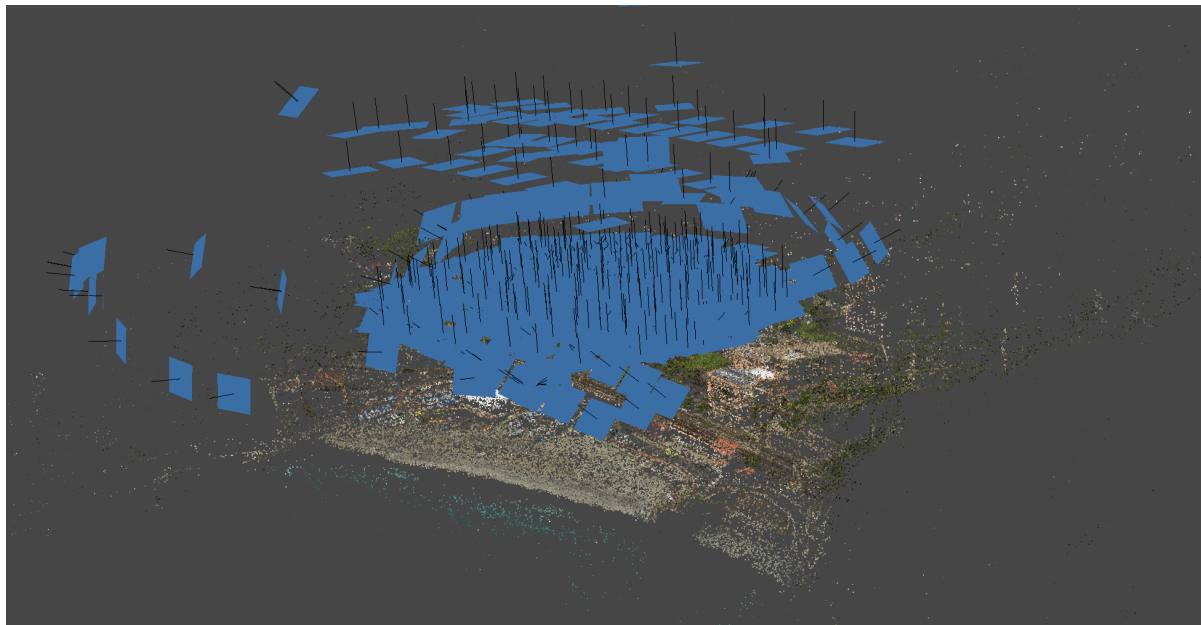
Il programma che è stato utilizzato per l'elaborazione delle immagini e dei dati rilevati a terra è *Agisoft Metashape Pro (versione 1.8)*, il quale lavora individuando i punti omologhi tra le diverse immagini e garantendo da qui la ricostruzione tridimensionale e l'estrazione di tutti i dati metrici ricercati.

## CARICAMENTO DELLE IMMAGINI ED ALLINEAMENTO

Inizialmente tutte le immagini scattate durante le operazioni di sorvolo e rilievo sono caricate all'interno del software.

Le immagini vengono poi successivamente analizzate allo scopo di trovare i punti comuni tra di esse, i matching points sui quali verranno basate le successive

elaborazioni. Questi punti formano una *nuvola di punti a ridotta densità* denominata **nuvola sparsa**.



*Posizione delle camere elaborate rispetto ai punti del terreno ed a tutte le altre immagini acquisite*

## **NUVOLA DI PUNTI DENSA**

A partire dalla nuvola sparsa e dopo l'orientamento della stessa mediante le coordinate dei punti di appoggio (in un processo che prende il nome di *bundle block adjustment*) il software procede al calcolo che richiede maggiori risorse in termini di tempo e prestazioni del calcolatore: la generazione della **nuvola densa**. Ai punti della nuvola sparsa si aggiungono altri punti a partire dalle informazioni grafiche contenute nelle immagini scattate in volo.



Nuvola di punti densa

## VERIFICA DELL'ACCURATEZZA DEL MODELLO

L'elaborazione dei dati rilevati sul campo termina con la generazione di un modello tridimensionale dell'area indagata (da cui poi derivano in realtà altri output 2D). Prima della restituzione dei risultati si è proceduto alla verifica dell'accuratezza globale mediante l'impiego dei punti di controllo a terra QCP.

La stima dell'accuratezza è stata condotta internamente al software di modellazione *structure from motion*.

Il principio impiegato è quello dell'**analisi statistica degli scarti quadratici medi**.

La valutazione degli scarti tra la posizione rilevata sul campo e la posizione restituita dal modello elaborato rende possibile stimare l'accuratezza del rilievo.

A valle di questo controllo si stima che **l'accuratezza del modello restituito sia pari a 7 cm.**

## RASTER E MODELLI DIGITALI DI ELEVAZIONE

Al termine del processo fotogrammetrico/*structure from motion* il risultato è una nuvola di punti: milioni di punti nello spazio tridimensionale le cui coordinate (Est, Nord, quota ortometrica) sono riferimento al sistema di riferimento di progetto (EPSG 6707) e successivamente trasformate nel Sistema di Riferimento *ETRF2000 - RDN2008 - UTM32N (EPSG 6707)*.

A partire da questa informazione si è proceduto all'elaborazione ed alla produzione di ulteriori output: il **modello digitale di elevazione** e l'**ortofoto**.

## MODELLO DIGITALE DI ELEVAZIONE - DEM

Un *Modello Digitale di Elevazione (Digital Elevation Model)* – DEM – è una generica superficie statistica in cui ad un numero finito di coppie (X,Y) viene attribuita un'elevazione, una Z, corrispondente.

*"Una superficie statistica è una rappresentazione della distribuzione dei valori di un determinato fenomeno definito, per ogni coppia di coordinate (X, Y), da un valore di Z, misurato o calcolato"* (Robinson et al., 1995; DeMers, 1997).

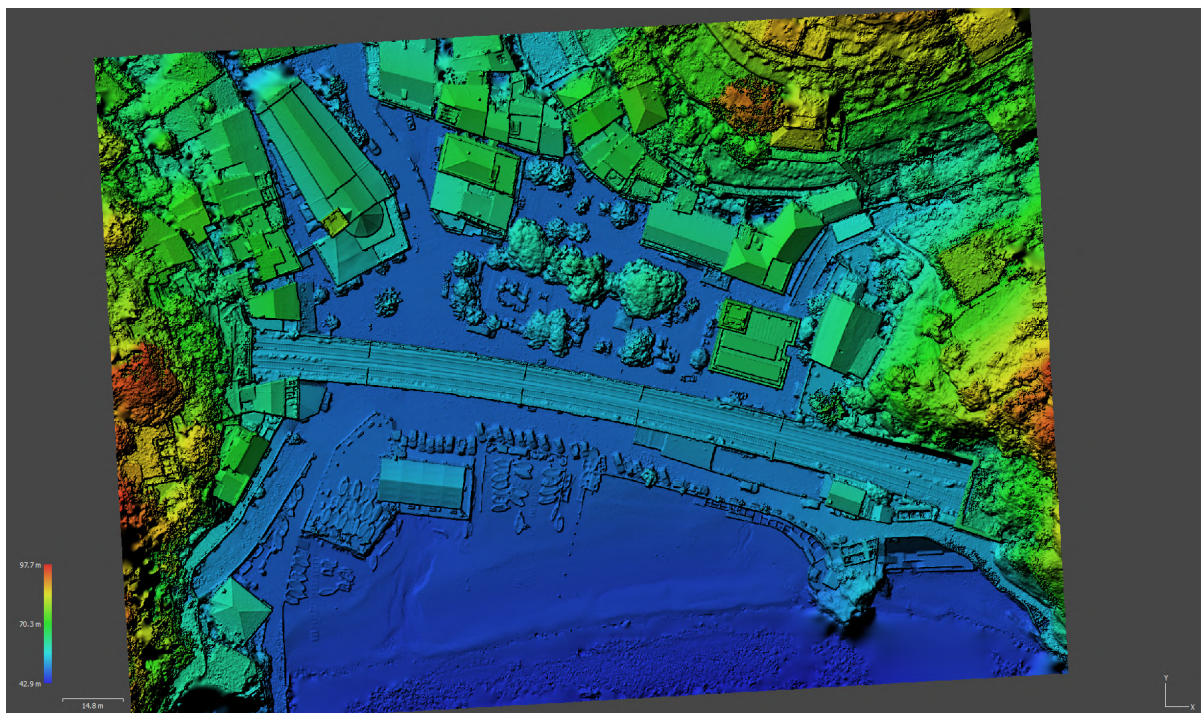
Il termine statistico, associato al concetto di superficie, deriva dal fatto che questo tipo di rappresentazione si ottiene attraverso la stima del valore di una variabile dove non è stata fatta nessuna misura.

Le tecniche statistiche di stima si usano quando una variabile è calcolata in ogni punto di una superficie a partire da dati misurati solo in alcune posizioni.

Per calcolare i punti sconosciuti ci si affida a processi di interpolazione o estrapolazione.

L'interpolazione usa algoritmi che calcolano i punti incogniti da misure esistenti attorno ad essi. L'estrapolazione invece stima le informazioni oltre il limite dei dati disponibili.





Modello Digitale di Elevazione (DEM) per l'area di indagine a seguito di elaborazione fotogrammetrica

Nell'uso comune il DEM è riferito alla topografia terrestre ma può riguardare anche altre superfici: la superficie piezometrica di una falda o il piano di scorrimento profondo di una frana, la superficie delle chiome degli alberi di un bosco, ecc.

Nello specifico del caso topografico con **DSM** (*Digital Surface Model*) si intende la **superficie terrestre comprensiva degli oggetti che ci sono sopra: edifici, alberi ed altri manufatti.**

Il DSM è utilizzato come superficie di riferimento per l'ortomosaico, risultato più significativo per gli scopi di questo lavoro, è stato costruito a partire dalla nuvola di punti densa ed ha una risoluzione di 5 cm/pixel.

## ORTOFOTO

Il processo fotogrammetrico si conclude con la generazione dell'**ortomosaico**. L'ortomosaico, anche noto come ortofoto, è una fotografia che ha la proprietà di essere una proiezione ortografica.

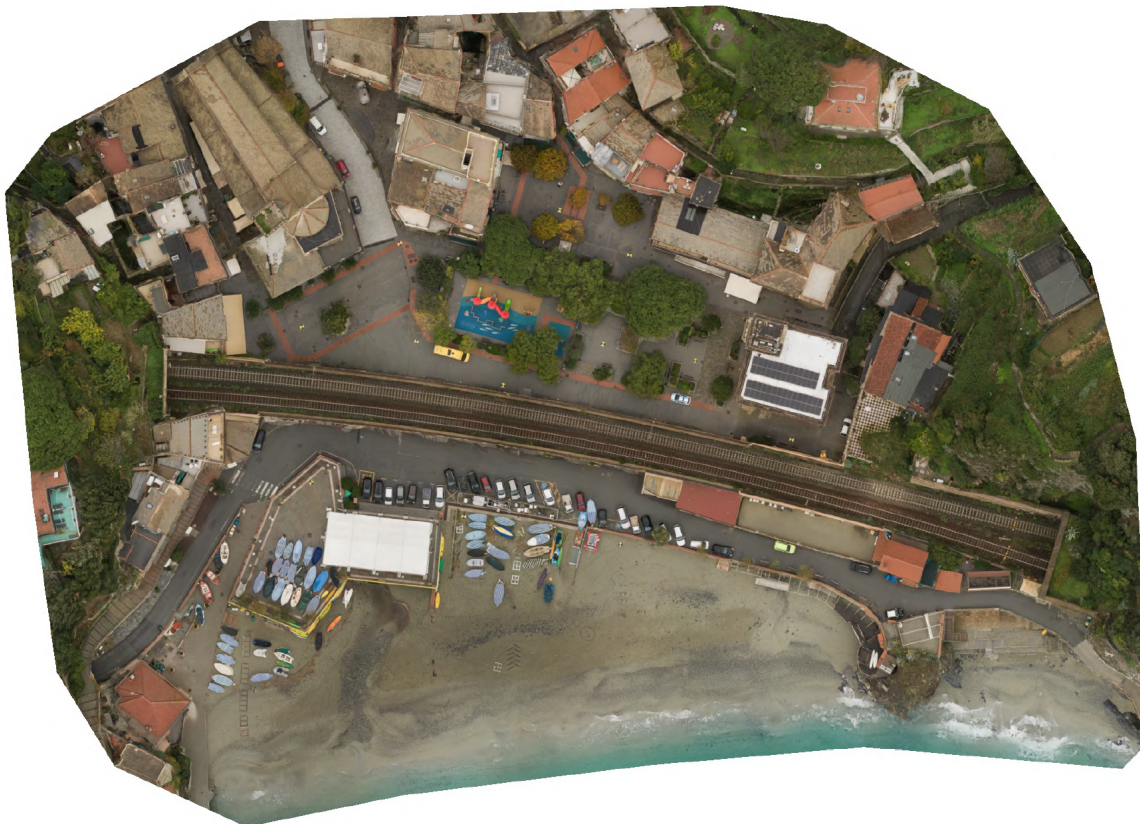
Nella vista ortografica tutte le parti verticali non sono visibili in quanto è come se ciascuna di esse fosse vista proprio dalla sua sommità.

La creazione dell'ortomosaico segue due step:

1. Ortorettificazione delle fotografie per eliminare le distorsioni prospettiche;
2. Mosaicatura delle fotografie rettificate a creare un unico elemento.

L'ortomosaico prodotto per l'area di cui al presente rilievo ha una **risoluzione di 1.5 cm/pixel**.

Per il fatto che un'ortofoto deriva dai prodotti del processo fotogrammetrico, basato su misure topografiche di appoggio, scalato, orientato e georeferenziato, un'ortofoto può essere misurate planimetricamente all'interno di software CAD e GIS.



*Ortomosaico in alta definizione dell'area oggetto di rilievo*

## NOTA TECNICA SUL PROCESSO FOTOGRAMMETRICO

La fotogrammetria è una tecnica passiva. Ciò significa che è possibile ricostruire (in termini di dimensione, posizione e forma) solo quanto visibile nelle immagini del dataset.

Nelle aree in cui il suolo è nascosto alla vista dell'ottica fotografica è impossibile risalire ai dati topografici, ricavati dal processo fotogrammetrico.

Si ritiene opportuno quindi segnalare che **la restituzione degli output è stata possibile per le aree libere da ostacoli** al momento dei rilievi descritti in questa relazione.

## SISTEMI DI RIFERIMENTO E QUOTE

Il sistema di riferimento impiegato per le elaborazioni fotogrammetriche, durante le scansioni laser e le misure celerimetriche è identificato dal codice *EPSG 6707* (i codici EPSG fanno riferimento alla banca dati *European Petroleum Survey Group - Geodetic Parameter Dataset* - e sono considerati standard a livello globale) ed è legato alla rete di stazioni permanenti utilizzate per il post processing dei dati GNSS dei capisaldi.

Si tratta del sistema di riferimento cartografico *ETRF2000 epoca 2008.0 (RDN2008)*.

Tale sistema di riferimento rappresenta lo standard a livello nazionale a seguito dei contenuti del D.P.C.M. 30.11.2011

Tuttavia, per venire incontro alle esigenze della committenza nel rispetto di rilievi esistenti in aree prossime a quelle di indagine (Terminal A. Ravano all'interno di aree LSCT) si è restituito l'output nel **Sistema di Riferimento ETRF2000 - RDN2008 - UTM32N (EPSG 6707)**.

Le quote sono riferite al livello medio del mare e si sono determinate a seguito di conversione da quote ellissoidiche acquisite da antenna GNSS a quote ortometriche mediante l'impiego del software interpolatore *Verto3K* e grigliati di trasformazioni emanati dall'Istituto Geografici Militare (IGM).

# RAPPRESENTAZIONE 2D VETTORIALE

L'output finale dei rilievi è una **rappresentazione planimetrica bidimensionale**.

A partire dalla nuvola di punti, interrogabile, e con l'aiuto dell'ortomosaico si è riprodotta in ambiente CAD (vettoriale) una planimetria generale delle aree indagate.

I risultati grafici del rilievo sono contenuti nell'elaborato *T02-Planimetria* a cui si rimanda per maggiori approfondimenti.



*Ambiente di lavoro 2D per la rappresentazione vettoriale dei rilievi condotti*

## NOTA SULL'IMPIEGO DI UAV

Il rilievo aerofotogrammetrico è stato realizzato con Sistema Aeromobile a Pilotaggio Remoto (S.A.P.R.) regolarmente registrato ed assicurato ai sensi del vigente regolamento in materia.

L'operatore SAPR e pilota autorizzato è stato il sottoscritto:

Paolo Corradeghini: Codice Utente D-Flight: USRD8BV26F, Codice Operatore: ITED8BV26F, Codice EASA: ITAip6n2fydjpft7 ed in possesso dei requisiti per il pilotaggio di mezzi autonomi (UAV).



*Aeromobile a pilotaggio remoto impiegato per le attività di sorvolo e presa fotogrammetrica*

# DOCUMENTAZIONE CONSEGNATA

In aggiunta alla presente Relazione Tecnica (R01-Relazione Tecnica), consegnata in formato pdf, si trasmettono i seguenti elaborati in formato digitale:

- **Planimetria** - in formato DWG2004 e file JPG dell'ortomosaico che è integrata al suo interno:  
[https://drive.google.com/file/d/1cV1dmsZihiv\\_kuojuC8weP-zACATY-kn/view?usp=share\\_link](https://drive.google.com/file/d/1cV1dmsZihiv_kuojuC8weP-zACATY-kn/view?usp=share_link)
- **Sezioni del terreno** - in formato DWG2004 e file JPG dell'ortomosaico che è richiamato nella planimetria su cui sono presenti le tracce delle sezioni:  
[https://drive.google.com/file/d/1d6LtUjK3sfjp3jnrTdisP\\_VjPWWEsVn-/view?usp=share\\_link](https://drive.google.com/file/d/1d6LtUjK3sfjp3jnrTdisP_VjPWWEsVn-/view?usp=share_link)
- **Ortomosaico generale** da rilievo aerofotogrammetrico - in formato JPG con file JGW di georeferenziazione (per importarlo in software GIS) e file "-scheme" relativo all'ingombro dell'immagine in pianta (per posizionarlo in CAD):  
[https://drive.google.com/file/d/1dK04qGtRF0sg5jaEdGNUS4zb0uOoN4tz/view?usp=share\\_link](https://drive.google.com/file/d/1dK04qGtRF0sg5jaEdGNUS4zb0uOoN4tz/view?usp=share_link)
- **Fotografie terrestri** scattate durante i rilievi:  
[https://drive.google.com/file/d/1d8PI-5lcXp92II2zQnYjTJnkQR1YN4RC/view?usp=share\\_link](https://drive.google.com/file/d/1d8PI-5lcXp92II2zQnYjTJnkQR1YN4RC/view?usp=share_link)
- **Fotografie aeree** scattate dal drone in volo durante i rilievi:  
[https://drive.google.com/file/d/1dJJ\\_R5e9ENdrVVDUiWhTK2OwHoxX\\_k6W/view?usp=share\\_link](https://drive.google.com/file/d/1dJJ_R5e9ENdrVVDUiWhTK2OwHoxX_k6W/view?usp=share_link)

Al fine di condividere in maniera interattiva ed indipendente l'output del rilievo, sono stati creati **due modelli tridimensionali**, caricati online ed accessibili tramite browser e connessione web.

Il primo è un **modello tridimensionale renderizzato con le immagini aeree** che può essere visualizzato in maniera qualitativa.

<https://sketchfab.com/3d-models/monterosso-piazza-garibaldi-6f5693f65db140bd8eb28b29fe2c8827>

È protetto da password che è: *monterosso*



Il secondo è la **nuvola di punti**, caricata su spazio web protetto ed accessibile solo a chi possiede il link: <https://www.3dmetrica.cloud/monterosso/piazzagaribaldi.html>

A differenza del primo, questo modello è invece interrogabile e misurabile quantitativamente con gli strumenti di misura che si trovano nel menù a sinistra (*Tools - Measurements*).

**Appendice A**

**Report elaborazione fotogrammetrica**



# Survey Data

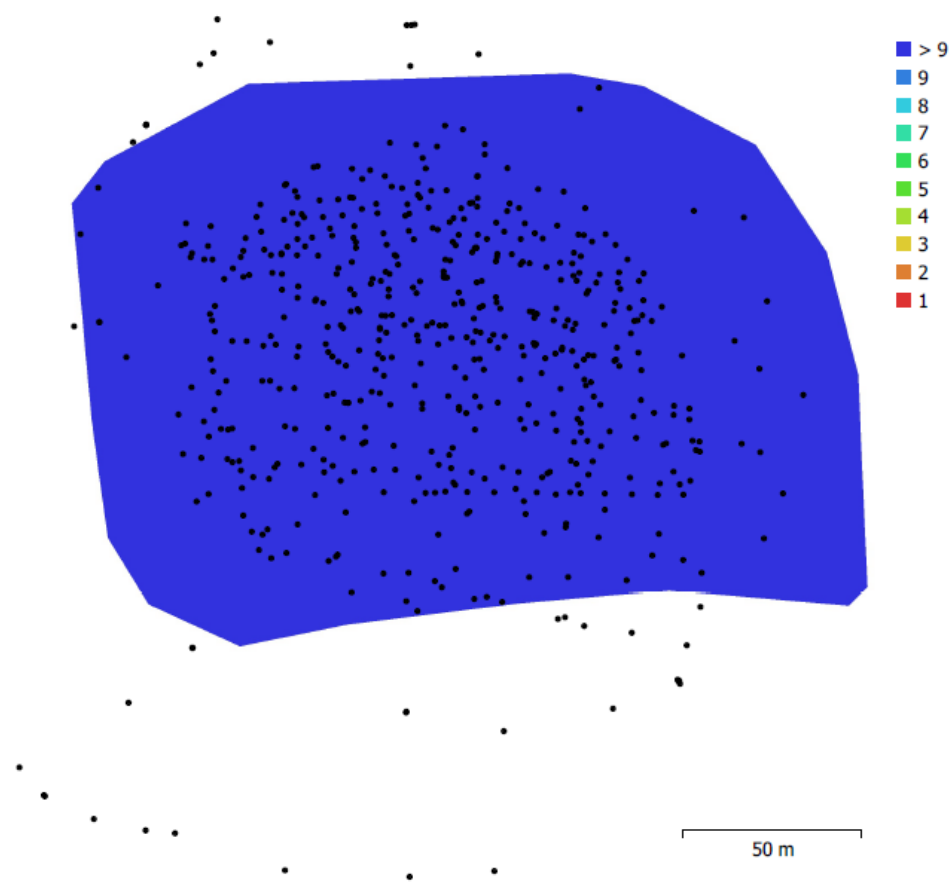


Fig. 1. Camera locations and image overlap.

Number of images:	541	Camera stations:	540
Flying altitude:	45.4 m	Tie points:	158,680
Ground resolution:	1.53 cm/pix	Projections:	787,361
Coverage area:	0.0296 km <sup>2</sup>	Reprojection error:	0.496 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
FC6310R, 24.0 mm (8.8...	5464 x 3640	8.8 mm	2.42 x 2.42 μm	Yes

Table 1. Cameras.

# Camera Calibration

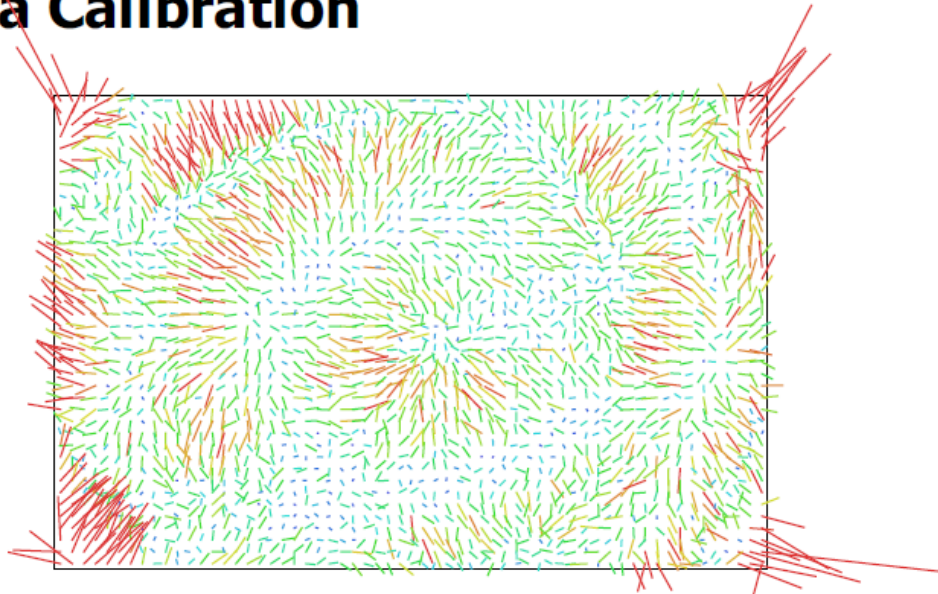


Fig. 2. Image residuals for FC6310R, 24.0 mm (8.8mm).

## FC6310R, 24.0 mm (8.8mm)

541 images, precalibrated

Type	Resolution	Focal Length	Pixel Size
<b>Frame</b>	<b>5464 x 3640</b>	<b>8.8 mm</b>	<b>2.42 x 2.42 μm</b>

	Value	Error	F	Cx	Cy	B1	B2	K1	K2	K3	K4	P1	P2
<b>F</b>	<b>3699.78</b>	0.016	1.00	0.02	-0.39	-0.23	-0.01	-0.50	0.42	-0.38	0.35	-0.02	0.25
<b>Cx</b>	<b>-51.5528</b>	0.015		1.00	-0.01	0.01	0.04	-0.01	0.01	-0.01	0.01	0.15	0.03
<b>Cy</b>	<b>-28.2231</b>	0.013			1.00	-0.03	0.03	0.01	-0.00	0.00	-0.00	-0.01	-0.31
<b>B1</b>	<b>0.314436</b>	0.0031				1.00	0.01	0.03	-0.05	0.05	-0.05	-0.01	0.14
<b>B2</b>	<b>-0.145838</b>	0.003					1.00	-0.00	0.00	-0.00	0.00	-0.19	-0.01
<b>K1</b>	<b>-0.289749</b>	2.1e-05						1.00	-0.97	0.92	-0.87	-0.00	-0.03
<b>K2</b>	<b>0.150063</b>	7.3e-05							1.00	-0.99	0.96	0.01	0.01
<b>K3</b>	<b>-0.0716635</b>	9.6e-05								1.00	-0.99	-0.01	-0.00
<b>K4</b>	<b>0.0176686</b>	4.3e-05									1.00	0.01	-0.00
<b>P1</b>	<b>7.02862e-05</b>	3.4e-07										1.00	-0.01
<b>P2</b>	<b>-0.000166787</b>	4.8e-07											1.00

Table 2. Calibration coefficients and correlation matrix.

# Ground Control Points

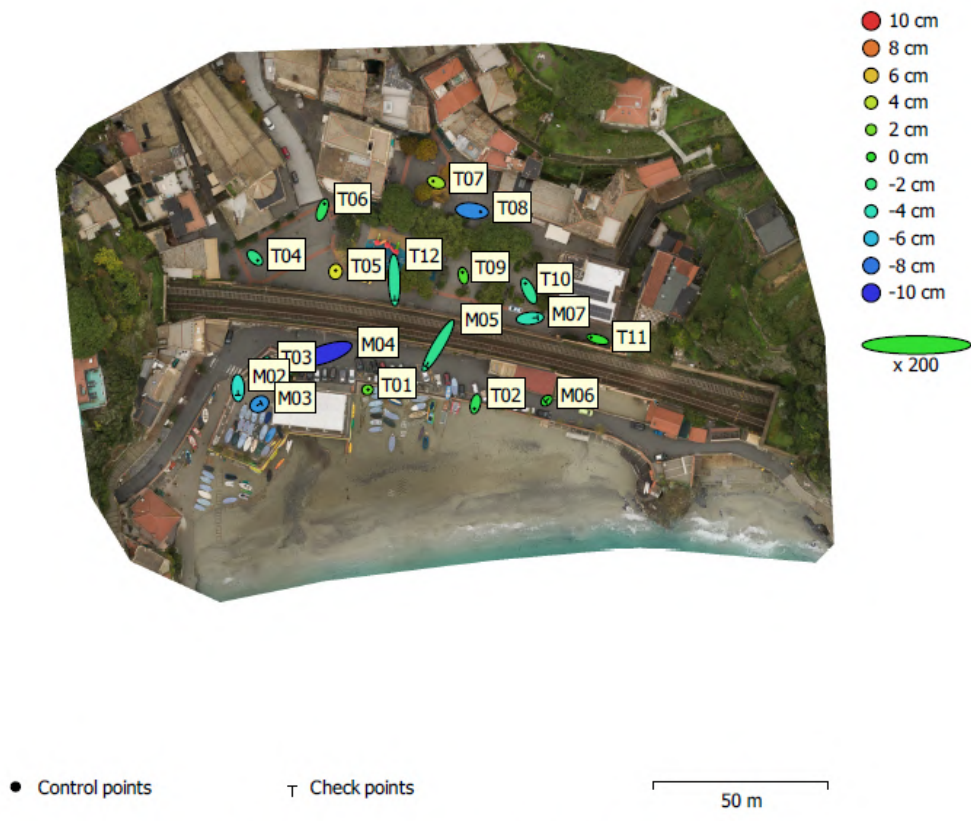


Fig. 3. GCP locations and error estimates.

Z error is represented by ellipse color. X,Y errors are represented by ellipse shape. Estimated GCP locations are marked with a dot or crossing.

Count	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	XY error (cm)	Total (cm)
11	1.07206	1.04428	3.30047	1.4966	3.62393

Table 3. Control points RMSE.  
X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

Count	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	XY error (cm)	Total (cm)
7	2.53068	3.31173	5.3405	4.16796	6.77443

Table 4. Check points RMSE.  
X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

<b>Label</b>	<b>X error (cm)</b>	<b>Y error (cm)</b>	<b>Z error (cm)</b>	<b>Total (cm)</b>	<b>Image (pix)</b>
T05	0.0466491	0.301654	4.93358	4.94301	0.251 (164)
T09	-0.204642	1.01283	0.917379	1.38177	0.211 (162)
T06	0.60344	1.75068	-1.36208	2.29876	0.245 (154)
T02	-0.310946	-1.37908	-1.11246	1.79893	0.273 (154)
T03	-0.305474	-0.586043	-3.2158	3.28301	0.268 (140)
T10	-1.02527	2.12395	-2.84461	3.69515	0.225 (138)
T01	0.146976	0.0309019	1.45055	1.4583	0.298 (136)
T04	0.790895	-0.764777	-2.45418	2.6895	0.240 (126)
T08	2.44391	-0.272463	-7.42178	7.81855	0.219 (97)
T07	-0.897674	0.326496	3.14682	3.2886	0.212 (77)
T11	-1.88873	0.539291	0.0601669	1.96514	0.258 (68)
<b>Total</b>	<b>1.07206</b>	<b>1.04428</b>	<b>3.30047</b>	<b>3.62393</b>	<b>0.248</b>

Table 5. Control points.  
X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

<b>Label</b>	<b>X error (cm)</b>	<b>Y error (cm)</b>	<b>Z error (cm)</b>	<b>Total (cm)</b>	<b>Image (pix)</b>
T12	0.141083	-5.78019	-3.05168	6.53783	0.263 (131)
M02	0.05124	-2.03065	-4.44121	4.8837	0.740 (35)
M03	0.534078	0.295992	-7.08317	7.10944	0.433 (25)
M04	-5.22106	-1.77304	-9.95664	11.3815	0.913 (23)
M05	-3.50274	-5.98692	-2.71173	7.44754	0.866 (27)
M06	-0.381289	-0.343017	-0.238105	0.565452	0.414 (6)
M07	2.20199	0.215925	-3.72735	4.33457	0.499 (25)
<b>Total</b>	<b>2.53068</b>	<b>3.31173</b>	<b>5.3405</b>	<b>6.77443</b>	<b>0.541</b>

Table 6. Check points.  
X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.



# Digital Elevation Model

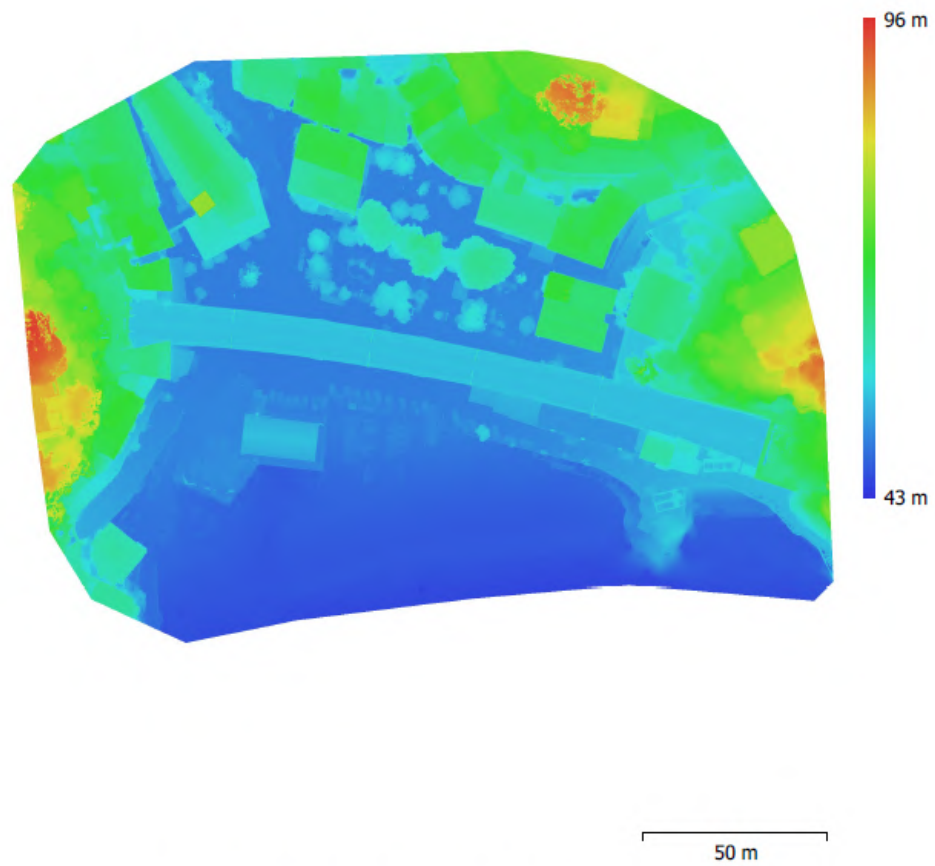


Fig. 4. Reconstructed digital elevation model.

Resolution: 3.06 cm/pix  
Point density: 0.107 points/cm<sup>2</sup>

# Processing Parameters

## General

Cameras	541
Aligned cameras	540
Markers	19

## Shapes

Polygon	3
Coordinate system	RDN2008 / UTM zone 32N (N-E) (EPSG::6707)
Rotation angles	Yaw, Pitch, Roll

## Point Cloud

Points	158,680 of 312,313
RMS reprojection error	0.152484 (0.496475 pix)
Max reprojection error	0.488129 (4.57425 pix)
Mean key point size	3.11673 pix
Point colors	3 bands, uint8
Key points	1.74 GB
Average tie point multiplicity	7.69892

## Alignment parameters

Accuracy	High
Generic preselection	Yes
Reference preselection	No
Key point limit	40,000
Key point limit per Mpx	1,000
Tie point limit	4,000
Exclude stationary tie points	No
Guided image matching	No
Adaptive camera model fitting	No
Matching time	6 minutes 24 seconds
Matching memory usage	731.54 MB
Alignment time	3 minutes 26 seconds
Alignment memory usage	590.76 MB

## Optimization parameters

Parameters	f, b1, b2, cx, cy, k1-k4, p1, p2
Adaptive camera model fitting	No
Optimization time	5 seconds
Date created	2022:11:30 15:52:16
Software version	1.8.4.14856
File size	50.47 MB

## Depth Maps

Count	536
<b>Depth maps generation parameters</b>	
Quality	High
Filtering mode	Aggressive
Max neighbors	16
Processing time	21 minutes 32 seconds
Memory usage	7.28 GB
Date created	2022:12:02 13:45:22
Software version	1.8.4.14856
File size	2.87 GB

## Dense Point Cloud

Points	84,750,707
--------	------------

Point colors	3 bands, uint8
<b>Depth maps generation parameters</b>	
Quality	High
Filtering mode	Aggressive
Max neighbors	16
Processing time	21 minutes 32 seconds
Memory usage	7.28 GB
<b>Dense cloud generation parameters</b>	
Processing time	1 hours 12 minutes
Memory usage	23.09 GB
Date created	2022:12:02 18:51:08
Software version	1.8.4.14856
File size	1.20 GB
<b>Model</b>	
Faces	7,610,140
Vertices	3,808,617
Vertex colors	3 bands, uint8
<b>Depth maps generation parameters</b>	
Quality	High
Filtering mode	Aggressive
Max neighbors	16
Processing time	21 minutes 32 seconds
Memory usage	7.28 GB
<b>Reconstruction parameters</b>	
Surface type	Arbitrary
Source data	Depth maps
Interpolation	Enabled
Strict volumetric masks	No
Processing time	8 minutes 15 seconds
Memory usage	8.67 GB
Date created	2022:12:02 13:53:26
Software version	1.8.4.14856
File size	163.36 MB
<b>DEM</b>	
Size	7,705 x 5,725
Coordinate system	RDN2008 / UTM zone 32N (N-E) (EPSG::6707)
<b>Reconstruction parameters</b>	
Source data	Dense cloud
Interpolation	Enabled
Processing time	21 seconds
Memory usage	307.32 MB
Date created	2023:01:03 15:22:00
Software version	1.8.4.14856
File size	162.37 MB
<b>Orthomosaic</b>	
Size	19,172 x 14,221
Coordinate system	RDN2008 / UTM zone 32N (N-E) (EPSG::6707)
Colors	3 bands, uint8
<b>Reconstruction parameters</b>	
Blending mode	Mosaic
Surface	Mesh
Enable hole filling	Yes
Enable ghosting filter	Yes
Processing time	2 hours 59 minutes
Memory usage	77.14 GB
Date created	2022:12:02 14:19:15



Software version	1.8.4.14856
File size	20.24 GB
<b>System</b>	
Software name	Agisoft Metashape Professional
Software version	1.8.4 build 14856
OS	Windows 64 bit
RAM	127.84 GB
CPU	Intel(R) Core(TM) i9-10900K CPU @ 3.70GHz
GPU(s)	NVIDIA GeForce RTX 3090