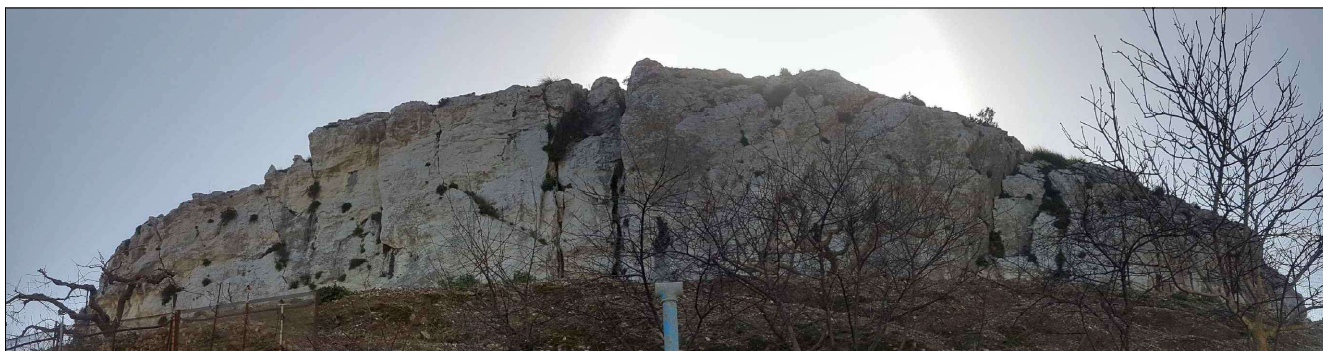




REGIONE SICILIA
Comune di Marineo
Città Metropolitana di Palermo



Oggetto: "CONSOLIDAMENTO COSTONE PROSPICIENTE LA VIA CORLEONE"
- CIG: 78044850C4 - CUP: G93B18000690001

ELABORATO

Tavola	PROGETTO DEFINITIVO ED ESECUTIVO	Scala disegno
A.04.1		----
	Rilievo: Report elaborazione dati	Data Agosto 2021

COMMITTENTE Comune di Marineo Arch. Pier Giuseppe Sorrentino (RUP)	PROGETTISTA Ing. Vincenzo Timotini
DIRETTORE DEI LAVORI	IMPRESA ESECUTRICE

Approvazioni

RAPPORTO DI ELABORAZIONE



1. Premessa

Con la presente relazione si descrivono le attività di rilievo topografico svolte a Marineo, in provincia di Palermo - “Zona Rocca” compresa della materializzazione e livellazione dei capisaldi plano-altimetrici (riferimento spazio-temporale) e gli altri punti di dettaglio ausiliari mediante tecniche combinate di rilievo con sistemi GPS, e rilievi aerofotogrammetrici e topografici attraverso l'utilizzo di sistemi SAPR (Sistemi Aerei a Pilotaggio Remoto).

Tale operazione è finalizzata a definire con precisione; la morfologia dell'area di studio e di tutti gli elementi che insistono sul territorio con maggior attenzione all'area di progetto e alle caratteristiche geometriche e materico costruttive.

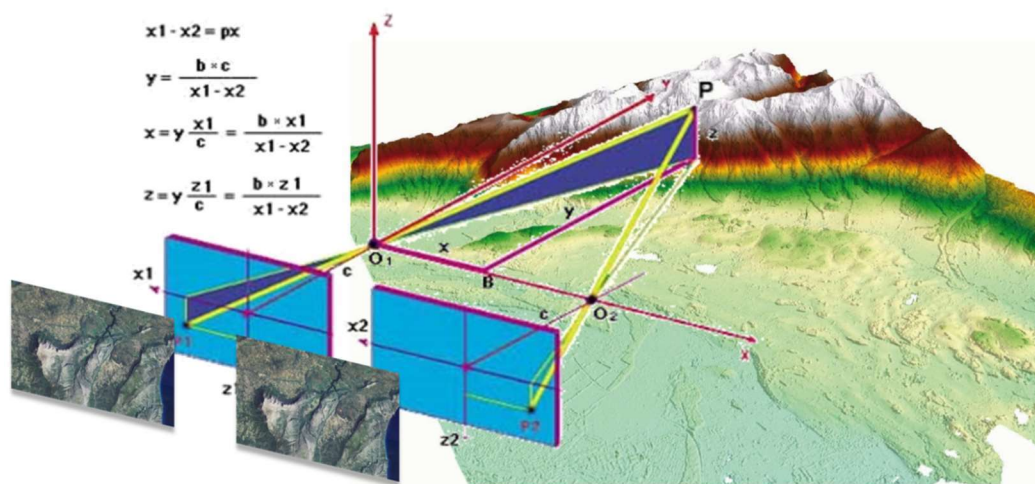
Il rilievo dell'area è stato condotto durante le prime settimane di Febbraio 2021, mediante l'esecuzione di una serie di voli aerofotogrammetrici con veicoli APR (droni a pilotaggio remoto), volti alla ricostruzione delle geometrie delle aree, coadiuvati da una serie di operazioni topografiche di appoggio svolte a terra mediante l'uso di GPS.

Il velivolo utilizzato è stato un drone multi rotore della serie DJI modello Inspire2 con camera ad alta risoluzione modello Dji x4s, mediante il quale si è proceduto all'acquisizione di fotografie nadirali a forte sovrapposizione.

Nel presente rapporto di indagine si forniscono i dettagli relativi alla strumentazione.

2. GENERALE

La tecnica fotogrammetrica è una metodologia di rilievo classica, basata sull'acquisizione di immagini della stessa area ma da diversi punti di vista e parzialmente sovrapposte. Sfruttando il principio della stereoscopia, a partire dai dati relativi al posizionamento ed orientamento della fotocamera al momento dello scatto, dal tipo di obiettivo utilizzato e dalla risoluzione delle immagini, la ricostruzione matematica della geometria prospettica consente di effettuare una triangolazione ottica dei punti individuati dai pixel delle immagini e ricostruire la geometria tridimensionale delle aree fotografate:



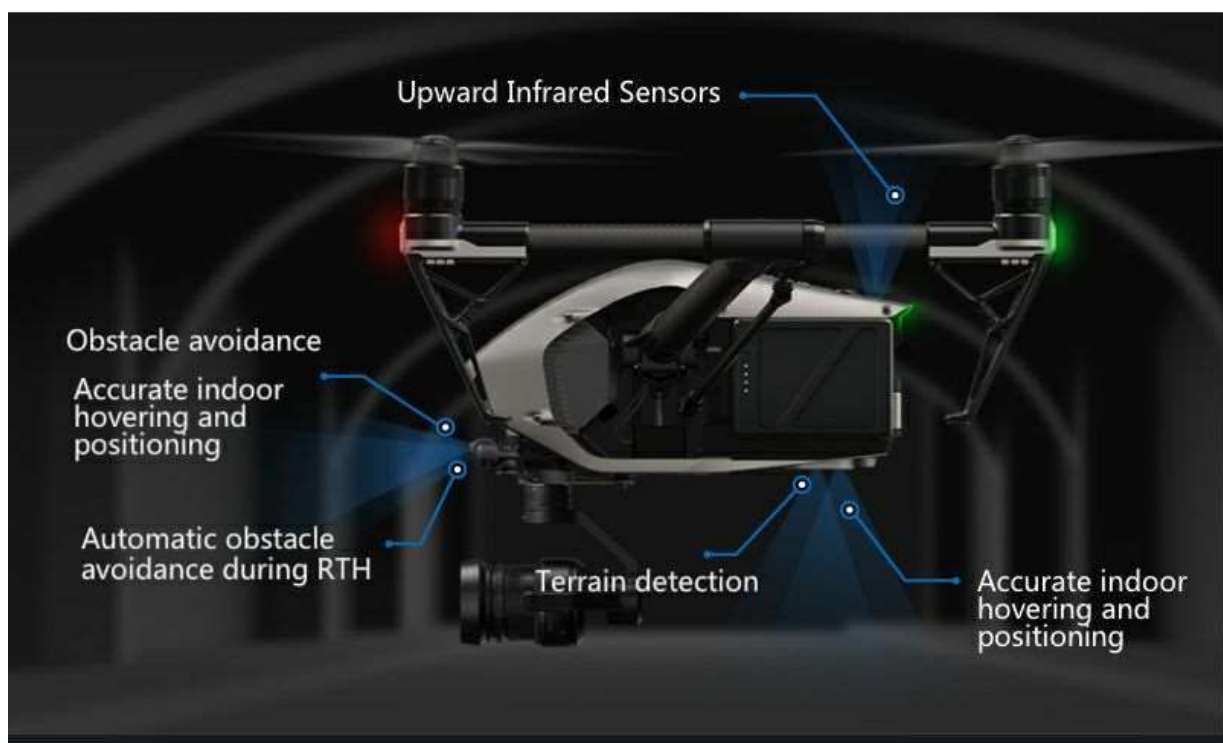
Come indicato in introduzione, la restituzione della geometria delle aree è avvenuta con tecnica fotogrammetrica attraverso una metodologia di acquisizione ed elaborazione fotografie nadirali scattate secondo uno schema di posizioni tali da risultare in una forte sovrapposizione reciproca.

I seguenti paragrafi mostrano in maggior dettaglio le operazioni di acquisizione, elaborazione e restituzione.

3. STRUMENTAZIONE

L'esecuzione dei voli aerofotogrammetrici è avvenuto nelle prime settimane di Febbraio 2021; il velivolo utilizzato è un drone a pilotaggio remoto INSPIRE2 prodotto dalla compagnia dji,

La forma ed il sistema di propulsione sono mirate all'ottimizzazione del rendimento di volo e dell'autonomia, che raggiunge una durata massima di 25 minuti e consente la copertura di vaste estensioni areali.



Il drone è equipaggiato con una fotocamera ad alta risoluzione DJI X4S, con sensore da 20 MPixel, e controlli elettronici a bordo, quali GPS integrato, sensore inerziale ed altimetro ottico ad ultrasuoni, che consentono l'automazione del volo e forniscono i parametri necessari all'orientamento delle fotografie e del blocco fotogrammetrico.

Le caratteristiche del sistema in configurazione pronto volo sono le seguenti:

INSPIRE 2 Scheda tecnica

Velivolo

Modello	T650A
Peso	3440 g (con eliche e due batterie, escluso gimbal e fotocamera)
Peso massimo al decollo	4250 g
Accuratezza di stazionamento in volo (con GPS)	Verticale: $\pm 0,5$ m o $\pm 0,1$ m (con sensori visivi inferiori attivati) Orizzontale: $\pm 1,5$ m o $\pm 0,3$ m (con sensori visivi inferiori attivati)
Velocità angolare massima	Beccheggio: $300^{\circ}/s$; Imbardata: $150^{\circ}/s$
Massimo angolo di inclinazione	Modalità P: 35° (con sensori visivi frontali attivati: 25°) Modalità A: 35° Modalità S: 40°
Velocità ascensionale (max.)	Modalità P e A: 16,4 ft/s (5 m/s) Modalità S: 19,7 ft/s (6 m/s)
Velocità di discesa (max.)	Verticale: 13,1 ft/s (4 m/s) Inclinazione: 13,1-29,5 ft/s (4-9 m/s)
Altezza di decollo sul livello del mare (max.)	2500 m 5000 m (con eliche appositamente progettate)
Resistenza alla velocità del vento (max.)	10 m/s
Autonomia di volo	ca. 27 min. (con Zenmuse X4S) ca. 23min (con Zenmuse X7) (stazionamento in volo a livello del mare e in assenza di vento)
Modello motore	DJI 3512
Modello eliche	DJI 1550T
Volo stazionario al chiuso	Abilitato
Temperatura operativa	$-20^{\circ} - 40^{\circ} C$
Distanza diagonale (eliche escluse)	605 mm, modalità Landing (Atterraggio)
Velocità massima	94 km/h (modalità Sport)

Radiocomando

Modello	GL6D10A
Frequenza operativa	2.400-2.483 GHz 5.725-5.850 GHz
Distanza massima di trasmissione (senza ostacoli e interferenze)	2.4 GHz: FCC: 7 km; CE: 3,5 km; SRRC: 4 km; MIC: 4 km; 5.8 GHz: FCC: 7 km; CE: 2 km; SRRC: 5 km; MIC: - ;
EIRP	2.4 GHz: FCC: 26 dBm; CE: 17 dBm; SRRC: 20 dBm; MIC: 17dBm; 5.8 GHz: FCC: 28 dBm; CE:14 dBm; SRRC: 20 dBm; MIC: - ;
Porte di uscita video	USB, HDMI
Alimentazione	Batteria integrata
Ricarica	Caricabatterie DJI
Funzionalità con doppio utente	Collegamento Host-and-Slave
Dispositivo mobile supportato	Tablet o smartphone
Larghezza massima del dispositivo mobile	170 mm
Potenza in uscita	9 W (esclusa l'alimentazione per il dispositivo smart)
Temperatura operativa	-20° - 40° C

Temperatura di stoccaggio	Meno di 3 mesi: -20° – 45° C Più di 3 mesi: 22° – 28° C
Temperatura di ricarica	0° – 40° C
Batteria	6000mAh 2S LiPo
Alimentazione USB	iOS: 1 A a 5,2 V (max); Android: 1,5 A a 5,2 V (max)

Caricabatterie

Modello	IN2C180
Tensione	26,1 V
Potenza nominale	180 W

Sistema di visione (verso il basso)

Intervallo di velocità	<32,8 ft/s (10 m/s) a un'altezza di 6,56 piedi (2 m)
Intervallo di quota	<32,8 piedi (10 m)
Intervallo operativo	<32,8 piedi (10 m)
Ambiente operativo	Superfici definite, con illuminazione adeguata (>15 lux)
Intervallo operativo del sensore a ultrasuoni	0,33 – 16,4 piedi (10-500 cm)
Ambiente operativo del sensore a ultrasuoni	Materiali non assorbenti, superfici rigide (la presenza di moquette spessa in ambienti chiusi ne pregiudica il funzionamento ottimale)

Sensore a infrarossi (verso l'alto)

Distanza di rilevamento ostacoli	0 – 16,4 piedi (0-5 m)
Campo visivo	± 5°
Ambiente operativo	Ostacoli grandi, non riflettenti

CAMERA ZENMUSE X4S

La camera Zenmuse X4S è una videocamera dotata di sensore da 1 pollice da 20 Megapixels, con un nuovo sistema di registrazione immagini fino a 5.2K in CinemaDNG RAW.

La Zenmuse X4S è una fotocamera potente dotata di un sensore da 20 megapixel ed 1 pollice di dimensione con un ISO massimo di 12.800. La Zenmuse X4S utilizza un obiettivo compatto DJI-progettato con bassa dispersione e basso 24 millimetri distorsione della lente primaria equivalente.

Questo, obiettivo di alta risoluzione con 84 ° FOV rende il Zenmuse X4S potente durante l'imaging aerea in quanto è sul ground. Combined con CineCore 2.0, potente sistema di elaborazione delle immagini del Inspire 2, può registrare 4K / 60 video H.264 e 4K / 30 H.265 ad un bitrate 100 Mbps, e sovracampionamento 5.2k video in 4K il video in tempo reale, immagini dai dettagli nitidi. In modalità Burst, la Zenmuse X4S supporta 14fps tiro a 20 megapixel in entrambi i formati JPEG e DNG. È in grado di effettuare il difficile equilibrio tra agilità e la qualità delle immagini.

4. ACQUISIZIONE

Il rilievo sul sito de interessava un'area di poco inferiore ai 4 Ha, in fase di pianificazione dei voli, le aree sono state leggermente ampliate al fine di includere le immediate pertinenze per una estensione globalmente rilevata e restituita.

Sono stati realizzati un totale di 7 voli, ognuno dei quali eseguito mediante una serie di strisciate percorse in senso parallelo e perpendicolare alla direzione di massima pendenza del sito.

Ogni volo è stato realizzato ad una quota nominale pari a circa 40 m agl (above ground level = quota rispetto al suolo) cui corrisponde un GSD (ground sample distance – dimensione nominale del pixel a terra) pari a circa 1.93 cm.

L'obiettivo della fotocamera è un grandangolare standard da 24 mm equivalenti.

Al fine di fornire ridondanza e migliorare la qualità della restituzione, la sovrapposizione longitudinale e trasversale tra le fotografie è stata impostata ad un valore pari rispettivamente al 75% (foto lungo la stessa strisciata) e 80% (foto tra strisciate adiacenti) cui corrisponde un interasse tra le foto rispettivamente pari a circa 30 e 25 m per un totale di circa 2000 immagini globalmente acquisite durante tutti i voli.

La seguente immagine mostra la schermata del piano di volo, ripresa dal software di controllo e pilotaggio remoto del drone:

La seguente planimetria mostra la posizione e l'estensione dell'area rilevata:



La seguente immagine mostra la matrice delle effettive posizioni di presa dei fotogrammi e della loro sovrapposizione:

Dati Esaminati

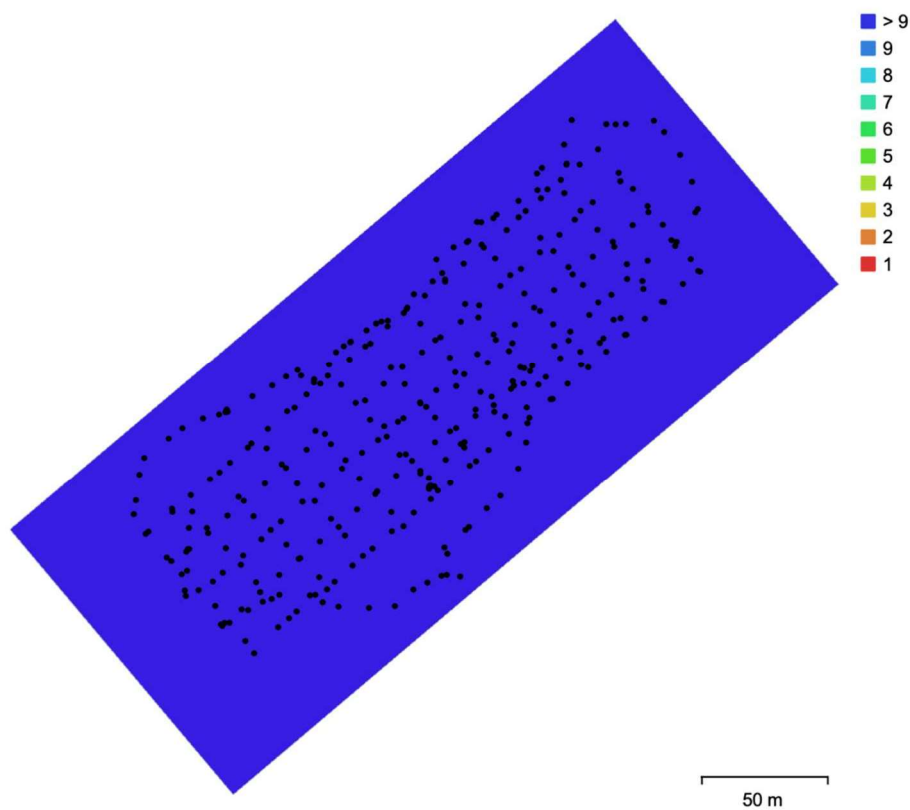


Fig. 1. Posizione delle camere (punti di scatto) e loro sovrapposizione.

Numero di immagini:	345	Puntidi ripresa fissi:	345
Altitudine di volo:	65.9 m	Punti di vincolo:	182,238
Risoluzione a terra:	1.1 cm/pix	Proiezioni:	497,184
Area coperta:	0.0432 km^2	Errore di riproiezione:	2.01 pix

Modello Fotocamera	Risoluzione	Lunghezza Focale	Dimensione Pixel	Precalibrata
FC6510 (8.8mm)	5472 x 3648	8.8 mm	2.41 x 2.41 µm	No

Tabella 1. Camere.

Calibrazione Fotocamera

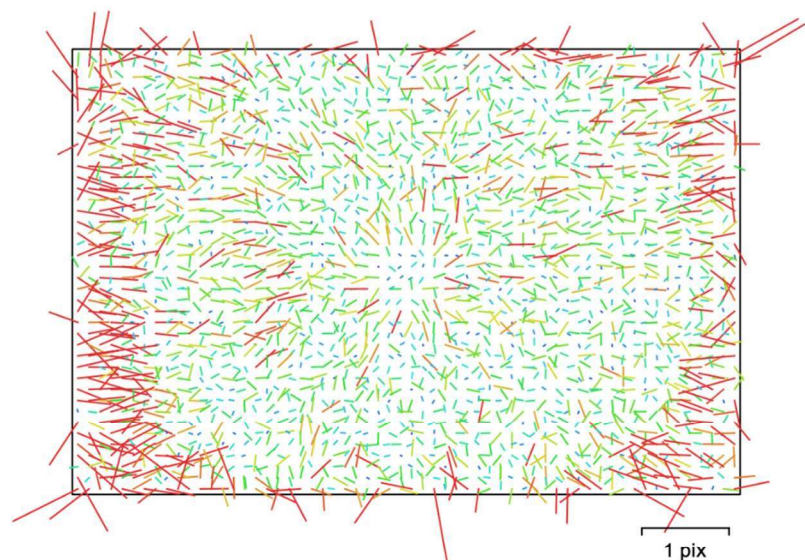


Fig. 2. Residuali Immagine per FC6510 (8.8mm). I vettori colorati mostrano l'errore medio di riproiezione dei pixel nelle corrispondenti celle, calcolato su tutte le immagini.

FC6510 (8.8mm)

345 immagini

Tipo	Risoluzione	Lunghezza Focale	Dimensione Pixel
Fotogramma	5472 x 3648	8.8 mm	2.41 x 2.41 μm

	Valore	Errore	F	Cx	Cy	K1	K2	K3	P1	P2
F	3694.33	0.22	1.00	0.09	-0.60	-0.23	0.22	-0.20	0.00	-0.17
Cx	-9.3333	0.21		1.00	-0.05	0.06	-0.07	0.07	0.89	-0.01
Cy	1.71377	0.21			1.00	-0.02	-0.01	0.01	0.02	0.63
K1	0.00940575	0.00021				1.00	-0.97	0.91	0.06	-0.03
K2	-0.0185755	0.00066					1.00	-0.98	-0.06	0.00
K3	0.0201465	0.00062						1.00	0.06	-0.01
P1	0.000600143	1.9e-05							1.00	0.00
P2	0.000580112	1.5e-05								1.00

Tabella 2. Coefficienti di calibrazione e matrice di correlazione.

Posizione Camere (punti di scatto)

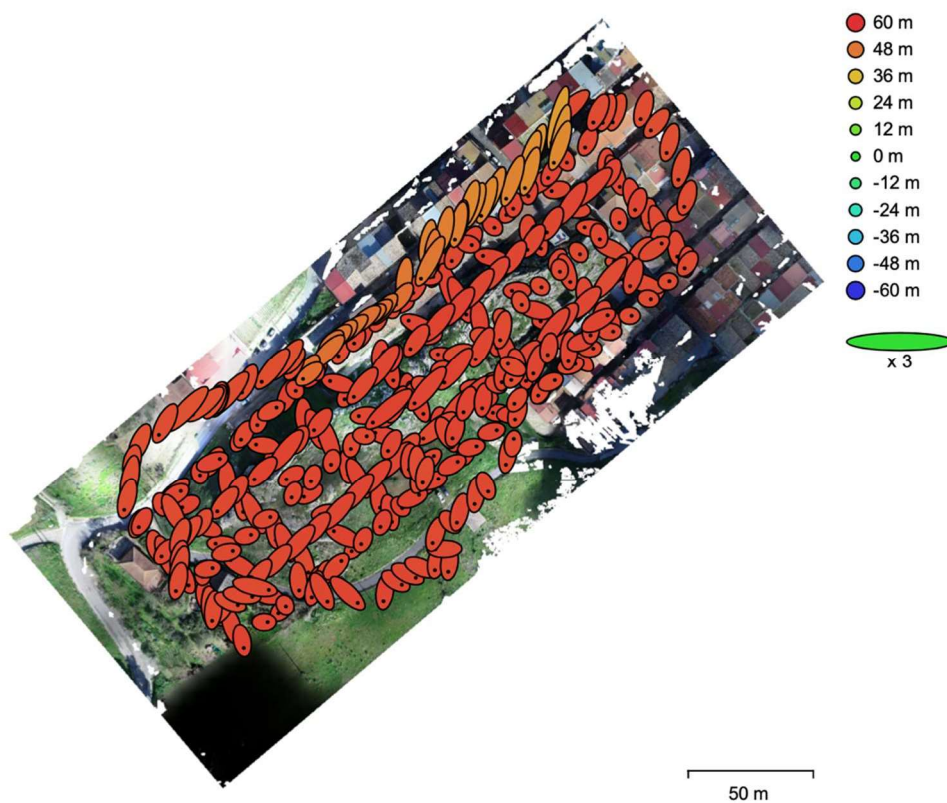


Fig. 3. Posizione Camere (punti di scatto) ed errori stimati.

L'errore Z è rappresentato dal colore dell'ellisse. Gli errori X,Y sono rappresentati dalla forma dell'ellisse.

Le posizioni stimate delle camere sono contrassegnate da un punto nero.

errore X (m)	errore Y (m)	errore Z (m)	errore XY (m)	Errore totale (m)
1.48744	2.26458	55.4856	2.7094	55.5517

Tabella 3. Errore medio di posizione delle Camere.

X - Verso Est, Y - Verso Nord, Z - Altitudine.

Punti di Controllo a Terra (GCPs)

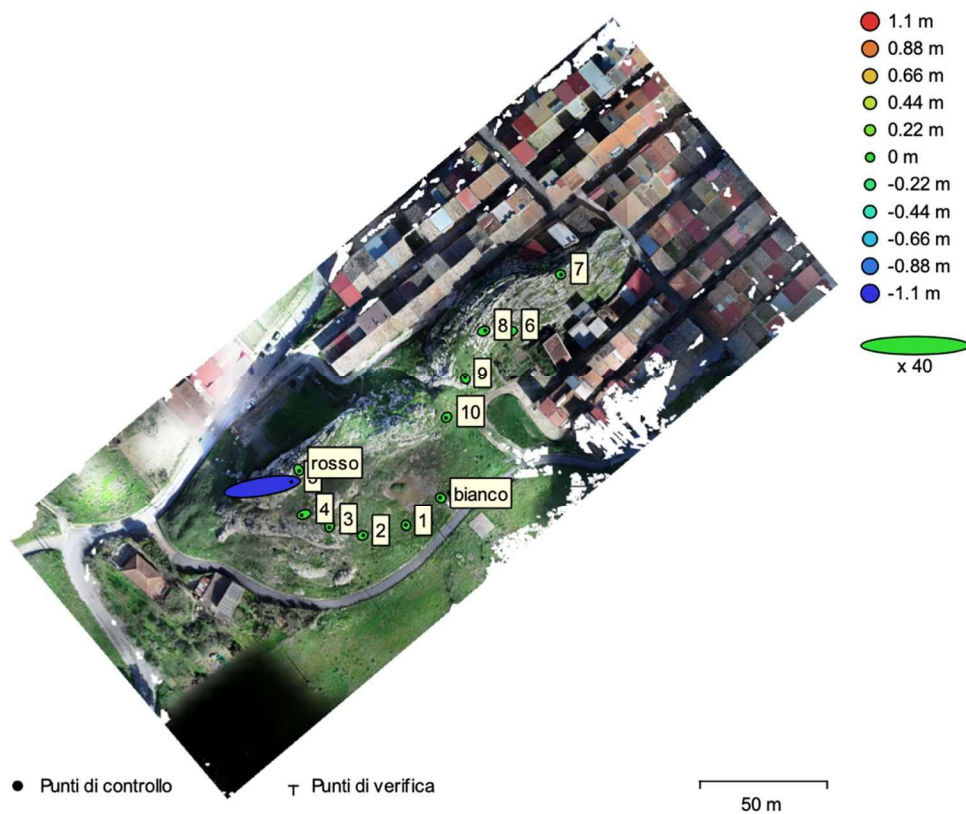


Fig. 4. Posizione dei GCP ed errori stimati.

L'errore Z è rappresentato dal colore dell'ellisse. Gli errori X,Y sono rappresentati dalla forma dell'ellisse.

Le posizioni stimate dei GCP sono contrassegnate da un punto o da una croce.

Conteggio	errore X (cm)	errore Y (cm)	errore Z (cm)	errore XY (cm)	Totale (cm)
12	16.6628	3.20516	31.4574	16.9683	35.742

Tabella 4. Punti di controllo RMSE.

X - Verso Est, Y - Verso Nord, Z - Altitudine.

Etichetta	errore X (cm)	errore Y (cm)	errore Z (cm)	Totale (cm)	Immagine (pix)
1	-0.293465	0.946294	2.01483	2.24525	0.635 (27)
2	1.42051	0.664195	0.135442	1.57396	0.577 (24)
3	-0.523285	-4.1125	-1.12066	4.29445	0.826 (28)
4	-4.61891	-1.59664	0.0598993	4.88745	1.063 (23)
5	57.2883	9.47178	-108.931	123.44	303.358 (19)
6	-3.16877	-0.8923	0.767761	3.38035	0.652 (37)
8	3.10495	1.11481	-0.722849	3.37728	0.889 (33)
9	-0.581317	2.06357	0.744404	2.26945	0.747 (32)
10	-1.2148	-1.15178	-0.304829	1.70155	0.580 (34)
bianco	-1.49122	0.720922	-1.27202	2.08842	0.499 (27)
rosso	1.0831	-2.14641	-0.162756	2.4097	1.058 (28)
7	1.11058	-0.1137	-0.464897	1.20932	0.424 (36)
Totale	16.6628	3.20516	31.4574	35.742	70.887

Tabella 5. Punti di controllo.
X - Verso Est, Y - Verso Nord, Z - Altitudine.

Modello di Elevazione Digitale (DEM)

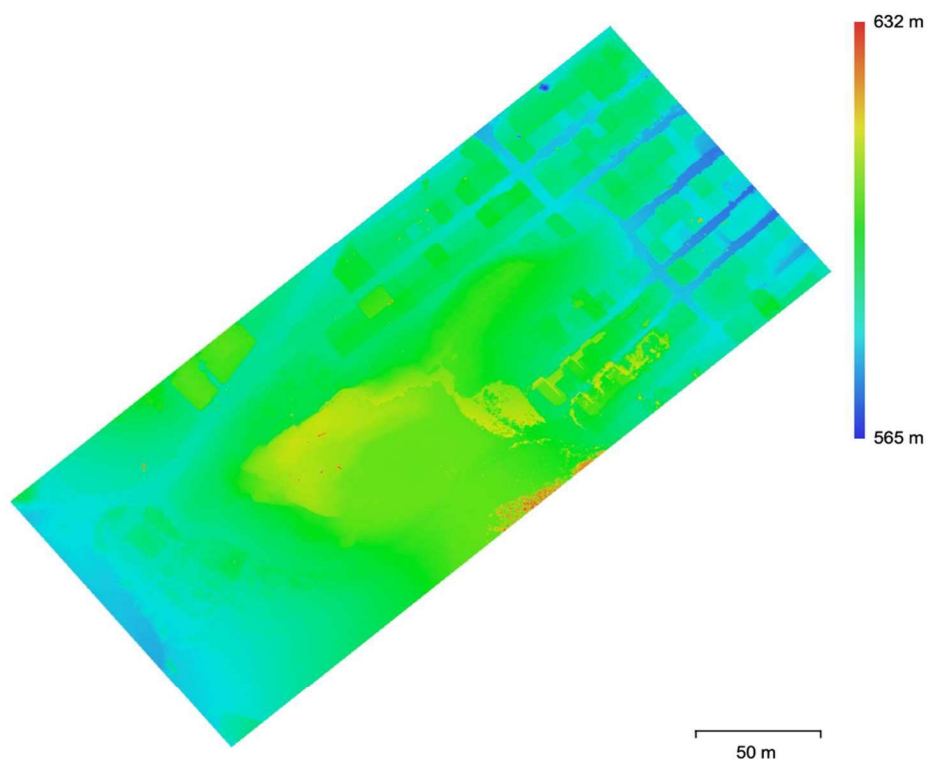


Fig. 5. Modello di elevazione digitale ricostruito.

Risoluzione: 8.8 cm/pix
Densità punti: 129 punti/m²

Parametri di Elaborazione

Generale

Camere (punti di ripresa)	345
Camerei allineate	345
Marcatori	651
Forme	
Polilinee	1393
Poligoni	32806
Sistema di coordinate	RDN2008 / UTM zone 32N (N-E) (EPSG::6707)
Angoli di rotazione	Imbardata, Beccheggio, Rollio

Nuvola di Punti

Punti	182,238 di 194,910
Errore RMS di riproiezione	0.117318 (2.01377 pix)
Errore massimo di riproiezione	0.352815 (44.117 pix)
Dimensione media punti chiave	15.8129 pix
Colori punto	3 bande, uint8
Punti chiave	No
Media molteplicità dei punti di vincolo	2.86124

Parametri di allineamento

Precisione	Bassa
Preseleziona generica	Si
Preseleziona foto georeferenziate	Sorgente
Punti chiave limite	40,000
Punti di vincolo limite	4,000
Guided image matching	No
Autoseleziona modello di fotocamera adeguato	No
Tempo di ricerca corrispondenze	8 minuti 12 secondi
Conflitto nell'utilizzo della memoria	384.49 MB
Tempo di allineamento	2 minuti 40 secondi
Allineamento della memoria utilizzata	77.77 MB
Versione Software	1.7.0.11340
Dimensione File	13.28 MB

Mappe di Profondità

Conteggio	345
Generazione Parametri Mappe di Profondità	
Qualità	Bassa
Modalità filtro	Leggero
Tempo di elaborazione	6 ore 39 minuti
Dimensione File	179.13 MB

Nuvola di Punti Densa

Punti	9,229,217
Colori punto	3 bande, uint8
Generazione Parametri Mappe di Profondità	
Qualità	Bassa
Modalità filtro	Leggero
Tempo di elaborazione	6 ore 39 minuti
Generazione Parametri Nuvola Densa	
Tempo di elaborazione	8 minuti 49 secondi
Versione Software	1.7.0.11340
Dimensione File	122.25 MB

Modello

Facce	1,845,779
-------	-----------

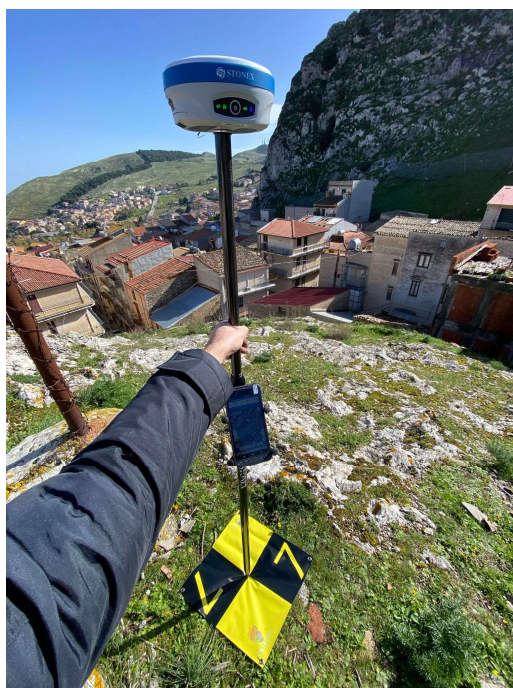
Vertici	928,367
Vertice Colori	3 bande, uint8
Texture	4,096 x 4,096, 4 bande, uint8
Generazione Parametri Mappe di Profondità	
Qualità	Bassa
Modalità filtro	Leggero
Tempo di elaborazione	6 ore 39 minuti
Parametri di ricostruzione	
Tipo superficie	Arbitraria
Dati in ingresso	Nuvola densa
Interpolazione	Abilitato
Maschere volumetriche precise	No
Tempo di elaborazione	6 minuti 33 secondi
Memoria in uso	4.92 GB
Parametri di elaborazione texture	
Modalità di mappatura	Generica
Modalità di fusione	Mosaico
Dimensione texture	4,096
Abilità riempimento buchi	Si
Abilità filtro rimozione artefatti luminosi	Si
Tempo di mappatura UV	20 minuti 40 secondi
Mappa UV di memoria utilizzata	2.21 GB
Tempo di fusione	9 minuti 15 secondi
Fusione della memoria utilizzata	1.70 GB
Versione Software	1.7.0.11340
Dimesione File	108.87 MB
Modello a Tasselli (piastrelle)	
Texture	3 bande, uint8
Generazione Parametri Mappe di Profondità	
Qualità	Bassa
Modalità filtro	Leggero
Tempo di elaborazione	6 ore 39 minuti
Parametri di ricostruzione	
Dati in ingresso	Nuvola densa
Dimensione tassello (piastrella)	256
Conteggio facce	Bassa
Abilità filtro rimozione artefatti luminosi	No
Tempo di elaborazione	2 ore 0 minuti
Memoria in uso	5.45 GB
Versione Software	1.7.0.11340
Dimesione File	530.98 MB
DEM (modello digitale elevazione-morfologia)	
Dimensione	3,743 x 3,503
Sistema di coordinate	RDN2008 / UTM zone 32N (N-E) (EPSG::6707)
Parametri di ricostruzione	
Dati in ingresso	Nuvola densa
Interpolazione	Abilitato
Tempo di elaborazione	16 secondi
Memoria in uso	262.38 MB
Versione Software	1.7.0.11340
Dimesione File	21.48 MB
Ortomosaico	
Dimensione	29,944 x 28,024
Sistema di coordinate	RDN2008 / UTM zone 32N (N-E) (EPSG::6707)
Colori	3 bande, uint8
Parametri di ricostruzione	

Modalità di fusione	Mosaico
Superficie utilizzata	DEM (Modello Digitale Elevazione-morfologia)
Abilita riempimento buchi	Si
Abilita filtro rimozione artefatti luminosi	No
Tempo di elaborazione	27 minuti 51 secondi
Memoria in uso	2.20 GB
Versione Software	1.7.0.11340
Dimesione File	8.50 GB
System	
Nome del software	Agisoft Metashape Professional
Versione Software	1.7.0 build 11340
OS	Windows 64 bit
RAM	31.70 GB
CPU	Intel(R) Core(TM) i5-4460 CPU @ 3.20GHz
CPU(s)	Nessuno

5. GEOREFERENZIAZIONE

Per questo lavoro, vista la semplicità di accesso e la presenza di strade dislocate su tutta l'area si è deciso di eseguire l'appoggio a terra del rilievo secondo la tecnica tradizionale, che prevede la georeferenziazione del blocco fotogrammetrico ubicando, in posizioni opportune, un numero congruo di GCP (Ground Control Point) in forma di bersagli rilevabili dalla fotocamera del drone, le cui coordinate sono state rilevate tramite misure a terra con ricevitore GPS stonex differenziale in doppia frequenza e correzione da VRS (virtual reference station), con un errore di posizionamento pari a circa $1 \div 2$ cm approx.

La seguente immagine mostra un esempio sul campo di posa e misura del bersaglio di controllo a terra:



6. SISTEMA DI RIFERIMENTO DELLE COORDINATE

Il sistema di riferimento delle coordinate adottato in fase di rilievo e restituzione è stato ETRF2000, in proiezione UTM Fuso 32. Il sistema ETRF2000 rappresenta un aggiornamento del sistema WGS84, inizialmente adottato dalla costellazione GPS, e modificato negli anni per tenere conto del movimento della crosta terrestre.

Le quote sono state convertite da ellissoidiche ETRF2000 ad ortometriche mediante modello geoidico Italgeo 2005 (riconosciuto come livello medio del mare) fornito dall'IGM.

7. POST-ELABORAZIONE E RESTITUZIONE

Il rilievo aereo è stato restituito tridimensionalmente mediante apposito software di elaborazione fotogrammetrica, tramite il quale si è proceduto alla ricostruzione dell'orientamento delle prese fotografiche al momento dell'acquisizione, alla correzione delle distorsioni introdotte dal sistema obiettivo/sensore ed alla generazione delle coordinate 3D dei punti omologhi visibili contemporaneamente su più fotografie (principio stereoscopico), per un totale di circa 120 milioni di punti restituiti su tutta l'area.

La densa nuvola di punti prodotta dal software fotogrammetrico corrisponde ad un modello digitale di superficie (DSM) in grado di descrivere con notevole accuratezza le aree cartografate. La nuvola è stata quindi sottoposta all'applicazione in sequenza di una serie di filtri morfologici, mediante un software per l'elaborazione dei dati telerilevati ed in particolar modo dati LIDAR, che hanno consentito la rimozione della vegetazione e degli oggetti fuori terra al fine di ottenere il modello digitale del terreno (DTM).

Il modello così ottenuto è stato infine sottoposto ad operazioni di meshatura ad elementi triangolari irregolari (TIN) e texturizzazione per la creazione del modello 3D fotorealistico con circa 15 milioni di Voxel (triangoli della mesh) su tutta l'area ed all'estrazione dei seguenti prodotti:

- Modello digitale di superficie così come nativamente creato dal modello fotogrammetrico, caratterizzato da un GSD (Ground Sample Distance = dimensione nominale del pixel a terra) pari a 10 cm, in formato matrice .tif georeferenziata;
- Modello digitale del terreno, caratterizzato da un GSD (Ground Sample Distance = dimensione nominale del pixel a terra) pari a 30 cm, in formato matrice .tif georeferenziata;
- Ortofoto delle aree in formato jpeg georeferenziati, caratterizzati da un GSD (Ground Sample Distance = dimensione nominale del pixel a terra) pari a 3, 5, 10 e 20 cm;
- Piano quotato dell'area, con curve di livello equispaziate ad intervalli di 1 m e punti tridimensionali, in formato digitale per software cad e gis.

San Cipirello, agosto 2021

il progettista
(ing. Vincenzo Timotini)

