

An aerial photograph of an archaeological site, showing a grid-like layout of stone foundations and walls. In the center, there is a cluster of large, cylindrical stone columns, some standing and some fallen. The surrounding area is dry and dusty, with some green vegetation on the left side. The text "Sistemi UAV per rilievi in ambito archeologico" is overlaid in large, bold, blue letters.

Sistemi UAV per rilievi in ambito archeologico

Mauro Lo Brutto



Introduzione

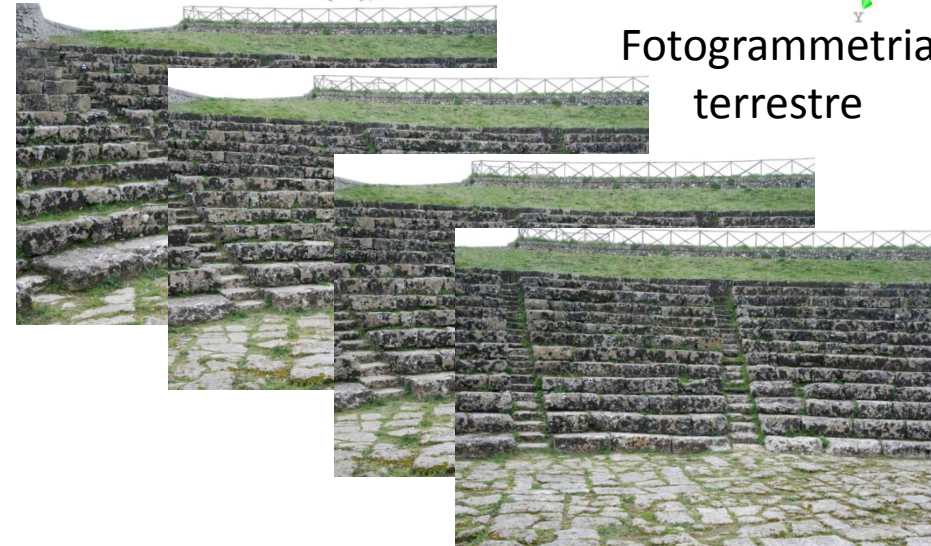
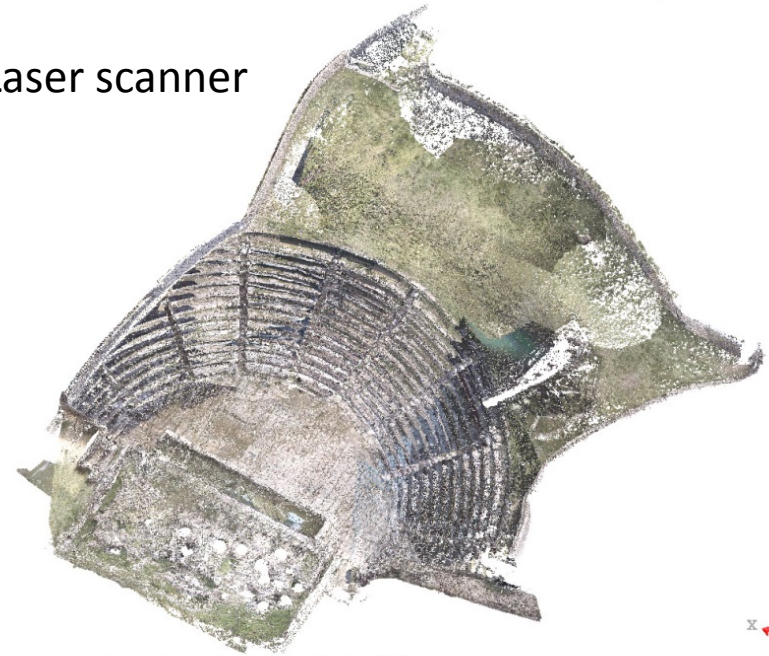
Il rilievo di Beni Culturali (siti archeologici o centri storici) che si sviluppano su aree di estensioni variabili, anche dell'ordine di qualche chilometro quadrato, è sempre stato abbastanza problematico per la mancanza di strumenti adeguati che permettono di colmare il gap tra

- i classici **rilievi fotogrammetrici aerei**
- i **rilievi terrestri** (topografici, fotogrammetrici o laser scanner).

Fotogrammetria
aerea



Laser scanner



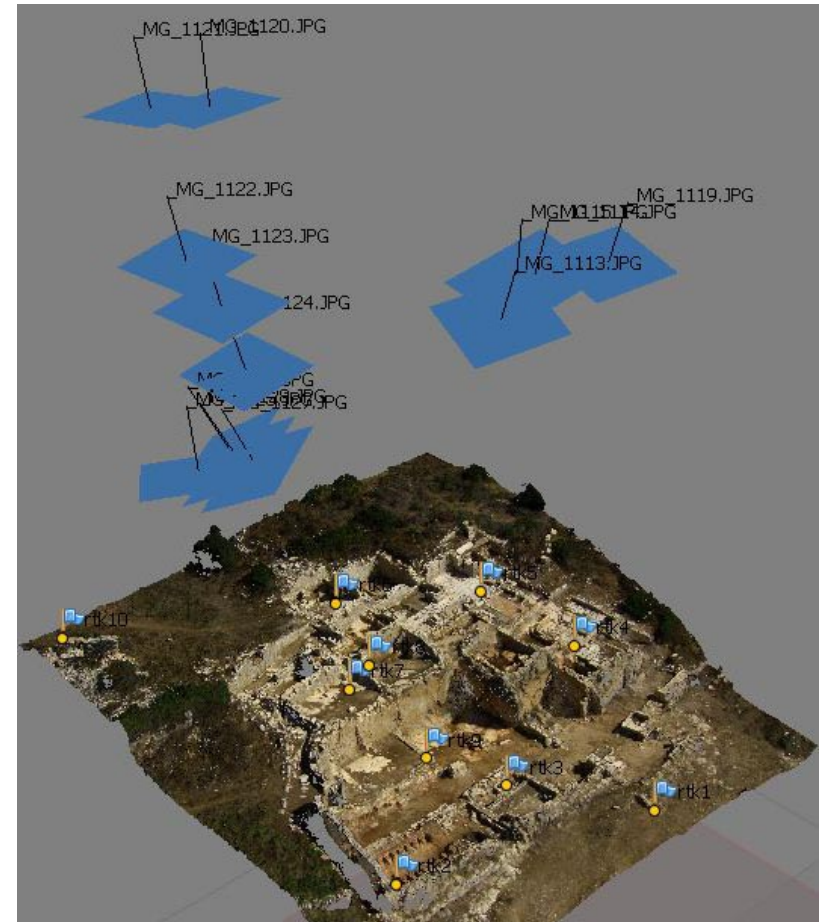
Fotogrammetria
terrestre



Negli anni si è cercato di utilizzare piattaforme aeree di vario tipo per eseguire rilievi aerei di prossimità



Il risultato di questi rilievi è spesso una sequenza di immagini che non sempre ha geometrie di prese idonee ad effettuare ricostruzioni corrette dal punto di vista metrico



Soltanto recentemente con lo sviluppo dei sistemi UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*, o “droni”) è possibile

- eseguire **rilievi aerei fotogrammetrici** a bassa quota (generalmente in un *range* tra i 20 e i 200 metri)
- acquisire dati metrici e qualitativi di dettaglio



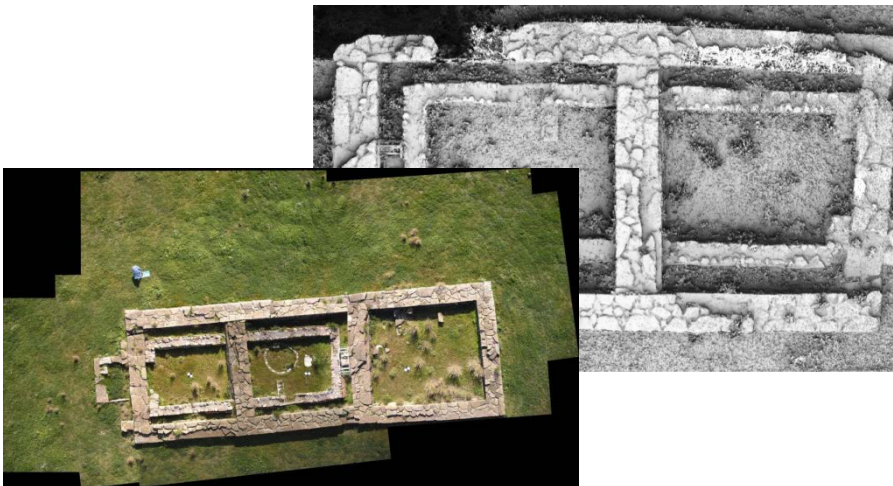
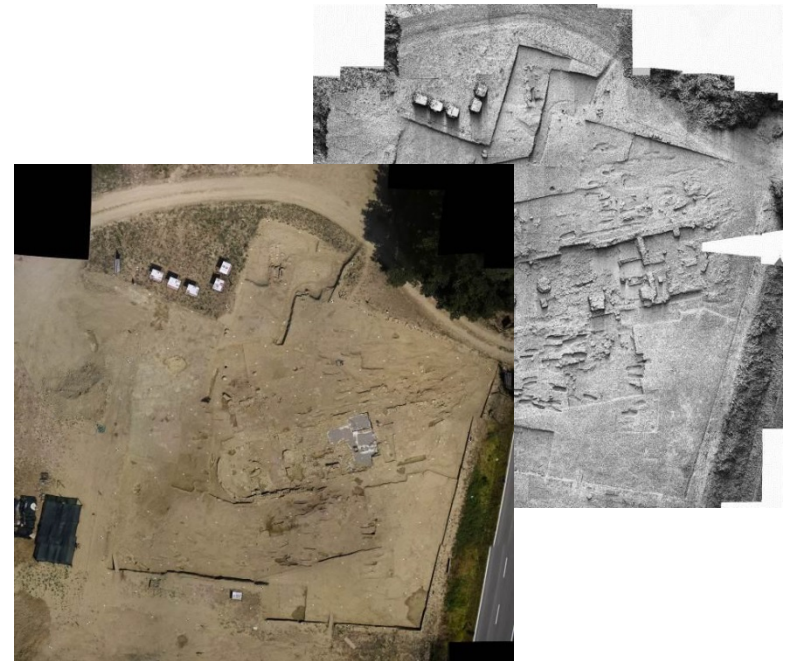


Vantaggi dell'utilizzo dei sistemi UAV

- possibilità di eseguire rilievi "**fotogrammetrici**"
- costi contenuti delle fasi di acquisizione
- risoluzione delle immagini maggiore rispetto a quella ottenibile dalla tradizionale fotogrammetria aerea (pixel <1 cm)
- rapidità nell'esecuzione del rilievo
- possibilità di mappare aree difficilmente accessibili

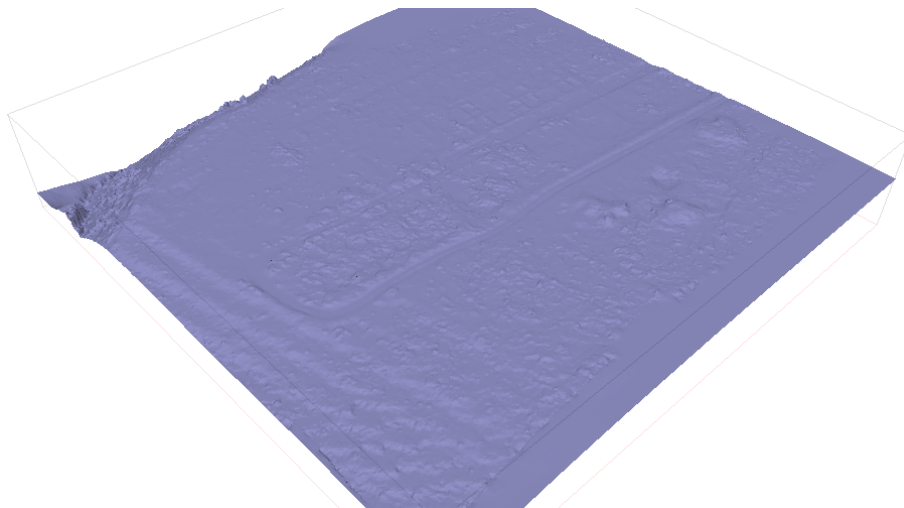
I sistemi UAV sono molto utilizzati nel campo archeologico principalmente con lo scopo di ottenere documentazione 2D e 3D di

- scavi archeologici
- siti archeologici
- monumenti



Le principali finalità del rilievo fotogrammetrico aereo da UAV sono la realizzazione di

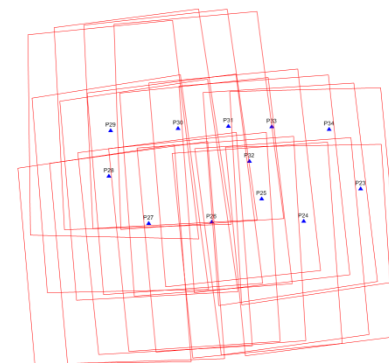
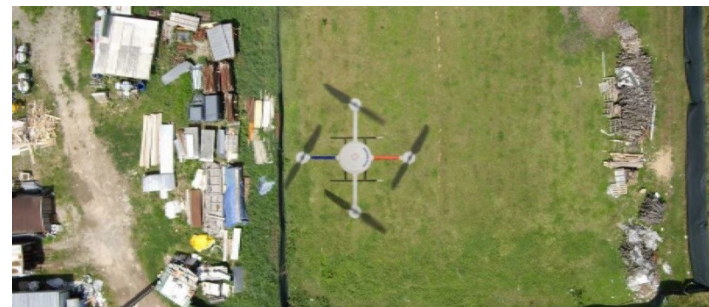
- modelli digitali del terreno (DTM o DSM)
- modelli 3D
- ortofoto





Il flusso di lavoro può essere suddiviso in quattro fasi:

- progettazione del volo
- acquisizione delle immagini
- calcolo degli orientamenti
- produzione elaborati finali (DSM, ortofoto)





⇒ La progettazione del volo dipende dalle **caratteristiche della piattaforma** in particolare

- dal **payload**, che influenza la scelta del sensore da utilizzare
- dall'**autonomia di volo**, che determina l'estensione dell'area da rilevare



⇒ La fase di acquisizione è influenzata dalla

- **morfologia del sito**
- **presenza di “pericoli” per il volo** (ostacoli)
- **condizioni metereologiche** (in particolare dalla presenza di vento!!!!).



⇒ Le procedure di orientamento delle immagini sono fortemente influenzate dalla

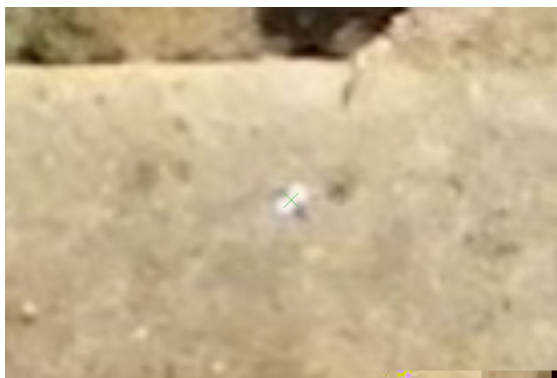
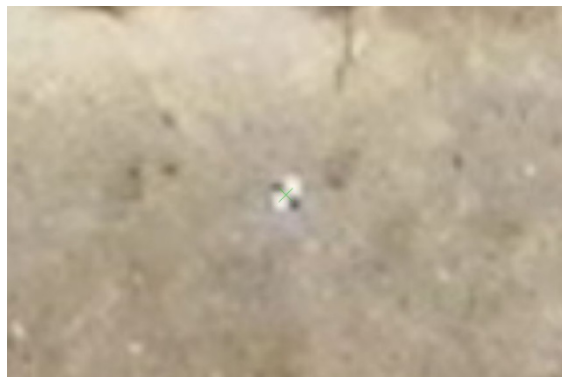
- **irregolarità dei blocchi fotogrammetrici**
- **elevato numero di immagini** (spesso >100) necessarie per una completa copertura delle aree di studio.

Diverse sperimentazioni sono state effettuate relativamente a quest'ultimo aspetto per utilizzare software derivanti dalla Computer Vision e rispetto ai "tradizionali" programmi fotogrammetrici.



⇒ La produzione e la qualità metrica degli elaborati finali dipende dalla

- **accuratezza metrica e dai metodi di rilievo dei riferimenti geometrici sul terreno (punti di appoggio, distanze note)**
- **risoluzione geometrica delle immagini**
- **qualità radiometrica**





Allo scopo di valutare le potenzialità delle piattaforme UAV nel campo del rilievo archeologico sono stati eseguite dei test su diversi dataset che si differenziano per

- tipologia dei velivoli utilizzati
- estensione delle zone riprese



I velivoli utilizzati sono:

- un quadricottero *md4-200* della *Microdrones* con il quale sono state acquisite le immagini di due aree all'interno del Parco archeologico della Valle dei Templi
- un velivolo ad ala fissa *Swinglet CAM* della *Sensefly* utilizzato per il rilievo di parte del sito archeologico di Selinunte.

md4-200 della Microdrones



Swinglet CAM della Sensefly





	<i>md4-200</i>	<i>Swinglet CAM</i>
Peso (gr.)	900	500
Diametro (cm)	70	80
Payload (kg)	200	150
Raggio d'azione (m)	500	2000
Altezza di volo (m)	20 - 150	120 - 200
Autonomia (min.)	20	30
Motori	4 motori elettrici	1 motore elettrico
Camera	Pentax Optio RZ18	Canon IXUS 125 HS
GPS	Si	Si
Auto-pilot	Si	Si
Resistenza al vento (m / s)	4	7



I velivoli utilizzati si differenziano per operatività, autonomia di volo, quota di volo, modalità di acquisizione.

Il quadricottero ha resistenza al vento inferiore e può volare a quote di volo anche molto basse (20 metri); inoltre, ha una maggiore flessibilità in fase di acquisizione in quanto consente di effettuare prese sia nadirali che inclinate grazie alla possibilità di ruotare la camera.

Il velivolo ad ala fissa invece ha resistenze al vento maggiore, vola a quote sempre superiori (in genere intorno ai 100-120 metri) e consente l'esecuzione soltanto di prese nadirali secondo il classico schema di fotogrammetria aerea.



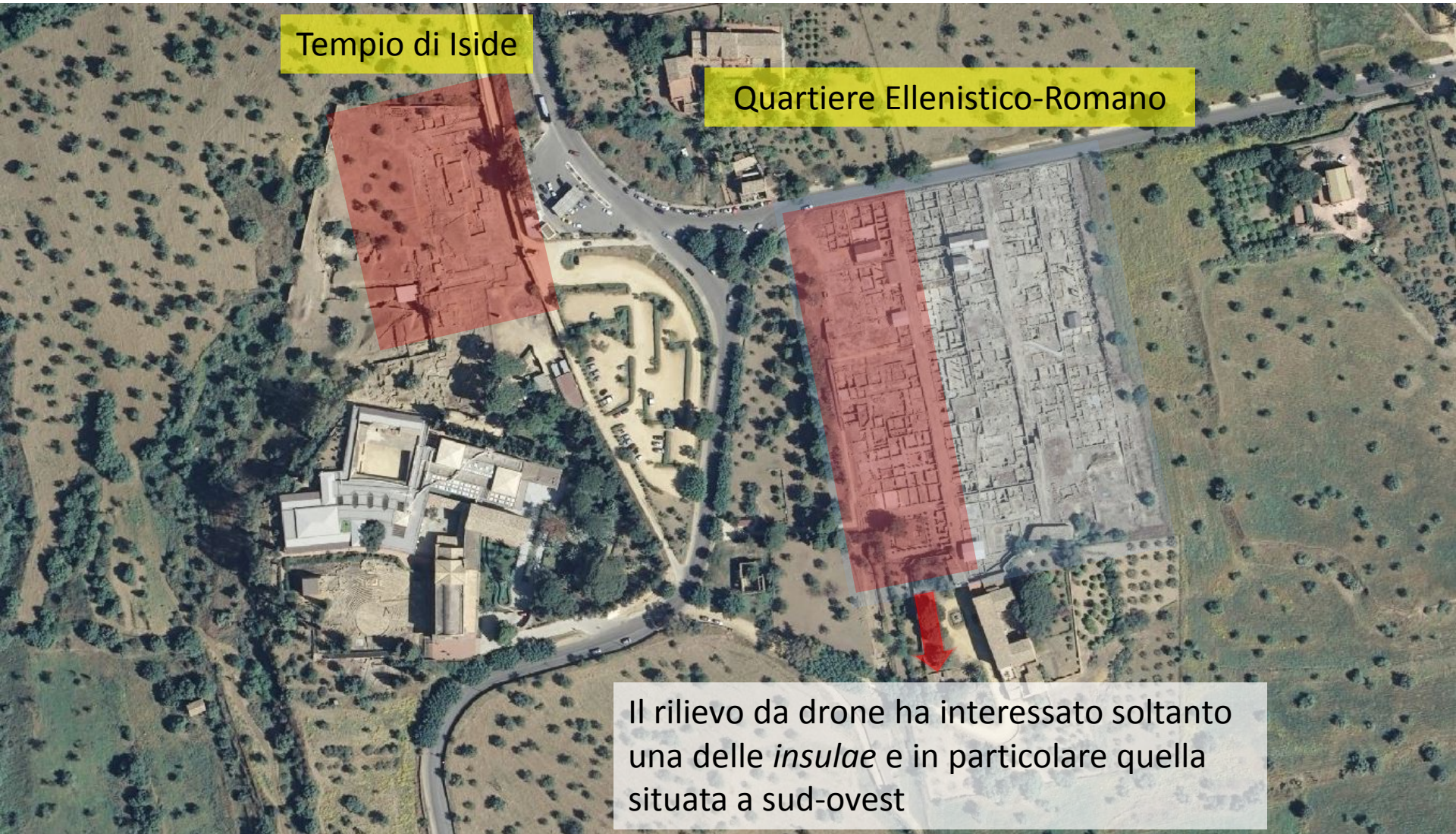
I due velivoli, pur appartenendo alla stessa grande categoria dei micro UAV, e pur avendo campi di applicazione simili, si differenziano anche relativamente ai prodotti ottenibili:

- rilievi a grandissima scala (pixel 1 o 2 cm) di zone molto limitate nel caso del quadricottero
- rilievi a grande scala (pixel circa 5 cm) di aree anche estese qualche chilometro quadrato per il velivolo ad ala fissa



Tre differenti dataset:

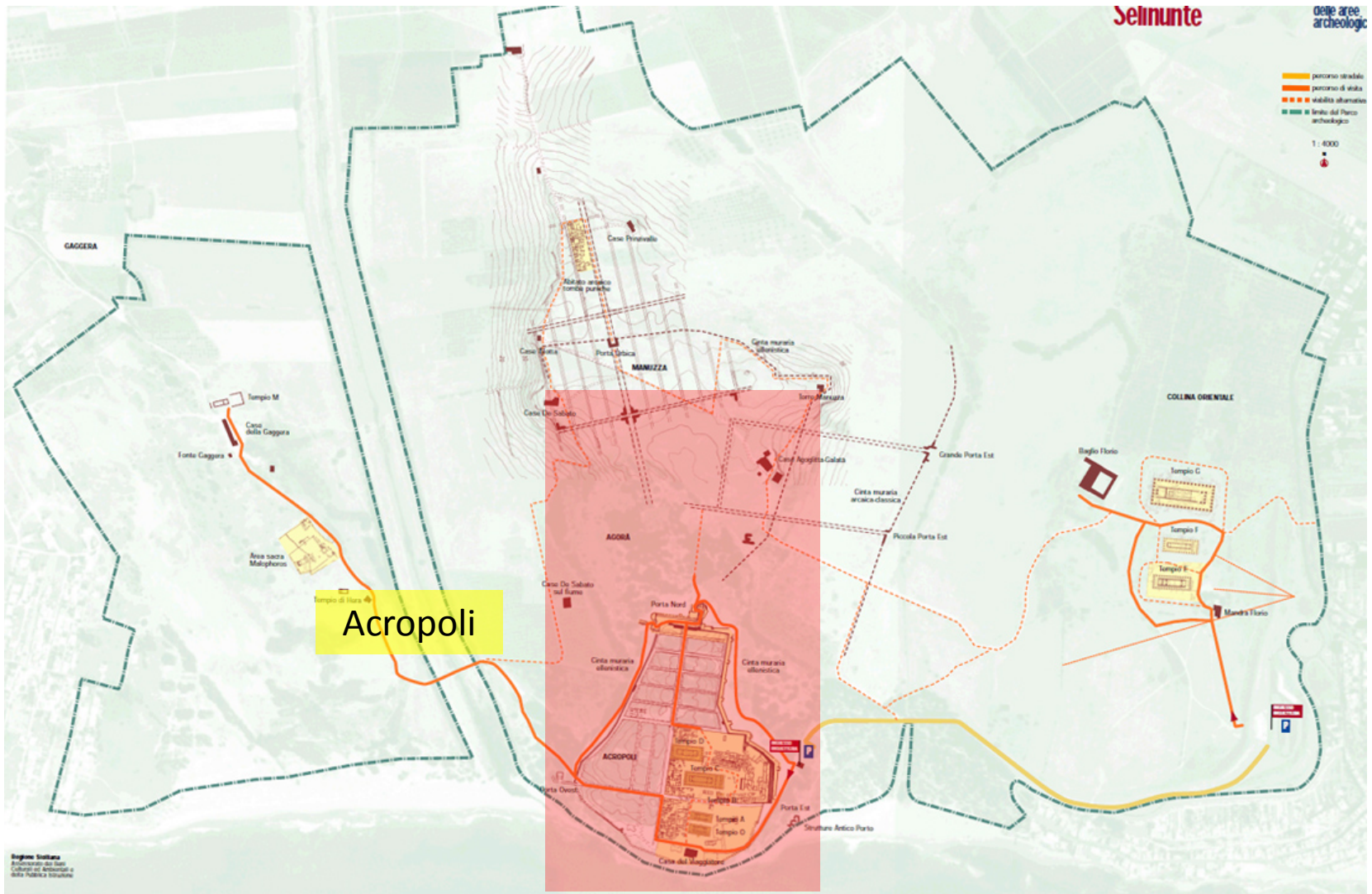
- due aree di piccola estensione all'interno della Valle dei Templi di Agrigento
 - *md4-200* della *Microdrones*
- un'area abbastanza ampia nel sito archeologico di Selinunte
 - *Swinglet CAM* della *Sensefly*



Il rilievo da drone ha interessato soltanto una delle *insulae* e in particolare quella situata a sud-ovest



Palermo, 22 novembre 2013





Giornata di Studio "Potenzialità e prospettive del rilievo fotogrammetrico aereo di prossimità con l'utilizzo di droni: applicazioni nel campo ambientale e dei beni culturali"

Palermo, 22 novembre 2013





Parametri del volo

Riprese in volo programmato con prese nadirali e andamento delle strisciate approssimativamente Nord-Sud e Est-Ovest

Camera utilizzate

⇒ Pentax Optio RZ18 da 16 Megapixel focale da 4.5 mm per la ripresa con *Microdrones md4-200*



⇒ Canon IXUS 125 HS da 16 Megapixel focale da 4.4 mm per la ripresa con *Sensefly Swinglet CAM*





Tempio di Iside due voli (Nord-Sud e Est-Ovest)

Quartiere ellenistico-romano quattro voli (due per ogni direzione di volo)

Acropoli di Selinunte quattro voli (due per ogni direzione di volo)

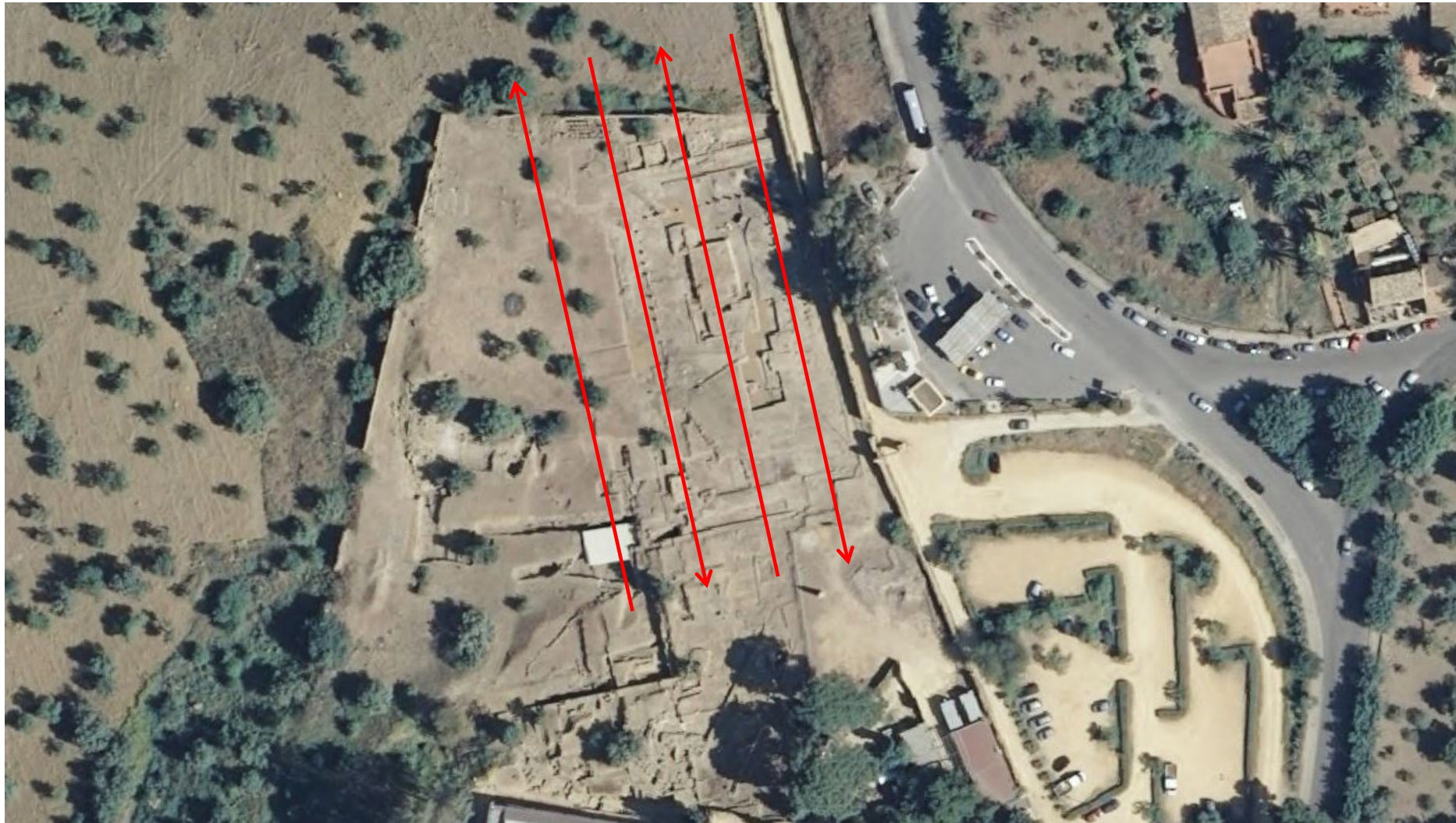
Riprese eseguite su waypoint determinati in fase di progettazione del volo

Scatto delle foto in continuo (uno scatto ogni 3 secondi).

Dataset	Estensione [ha]	Direzione voli	Ricoprimento longitudinale	Ricoprimento trasversale	Quota relativa di volo [m]	N. immagini	GSD [cm/pix]
Tempio di Iside	0.57	N-S	80%	70%	71	24	1.9
		E-O	80%	70%	65	27	1.6
Quartiere ellenistico-romano	0.67	N-S	80%	70%	45	56	1.2
		E-O	80%	70%	45	65	1.2
Selinunte	92	N-S	80%	80%	160	372	5.0
		E-O	80%	80%	160	320	5.0

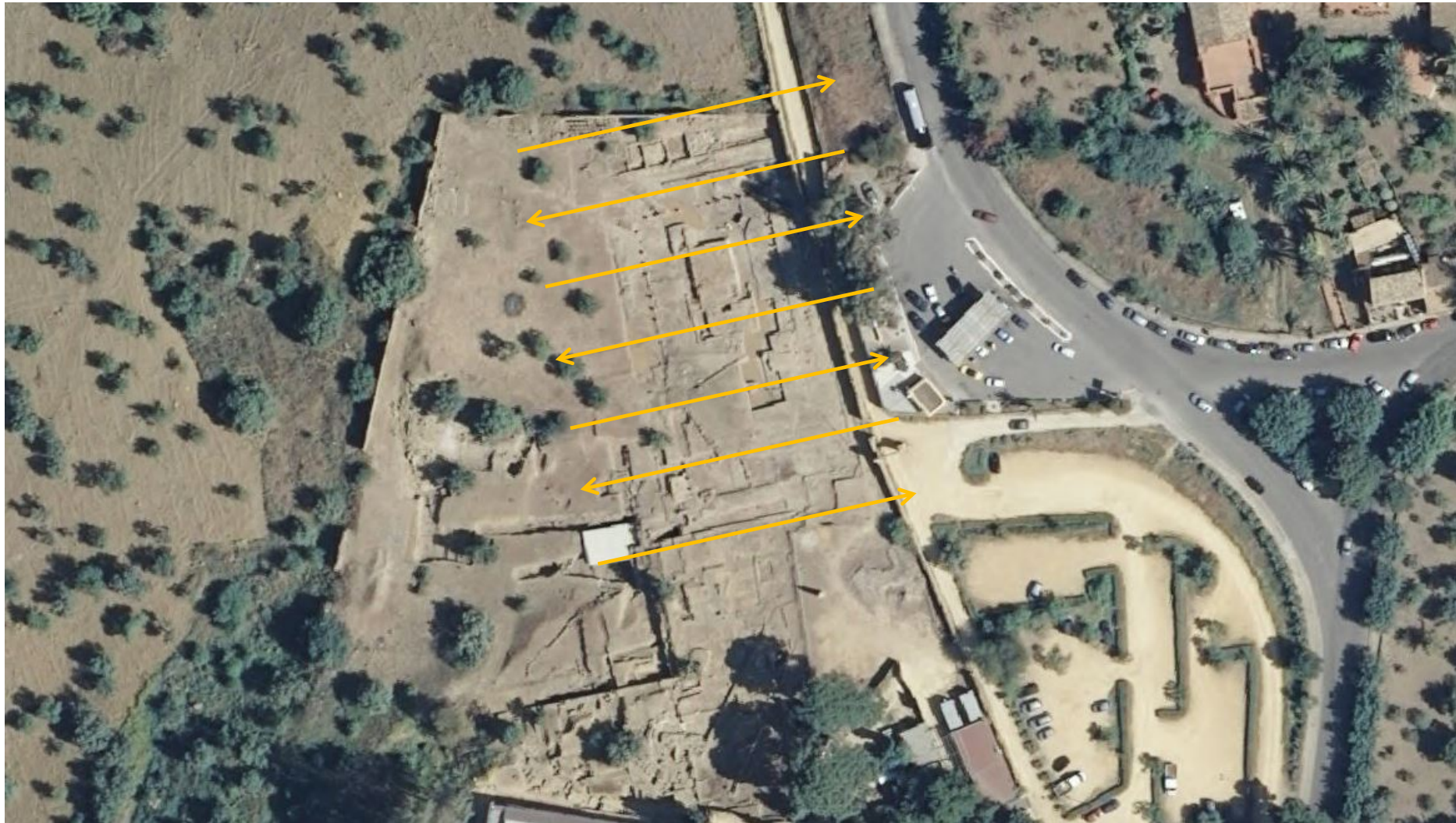


Tempio di Iside





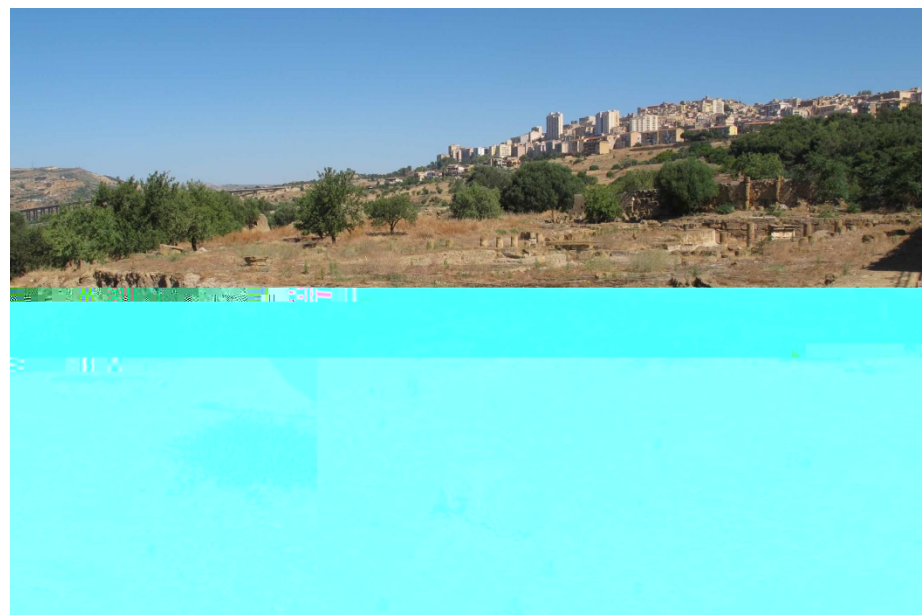
Tempio di Iside





Giornata di Studio "Potenzialità e prospettive del rilievo fotogrammetrico aereo di prossimità con l'utilizzo di droni: applicazioni nel campo ambientale e dei beni culturali"

Palermo, 22 novembre 2013

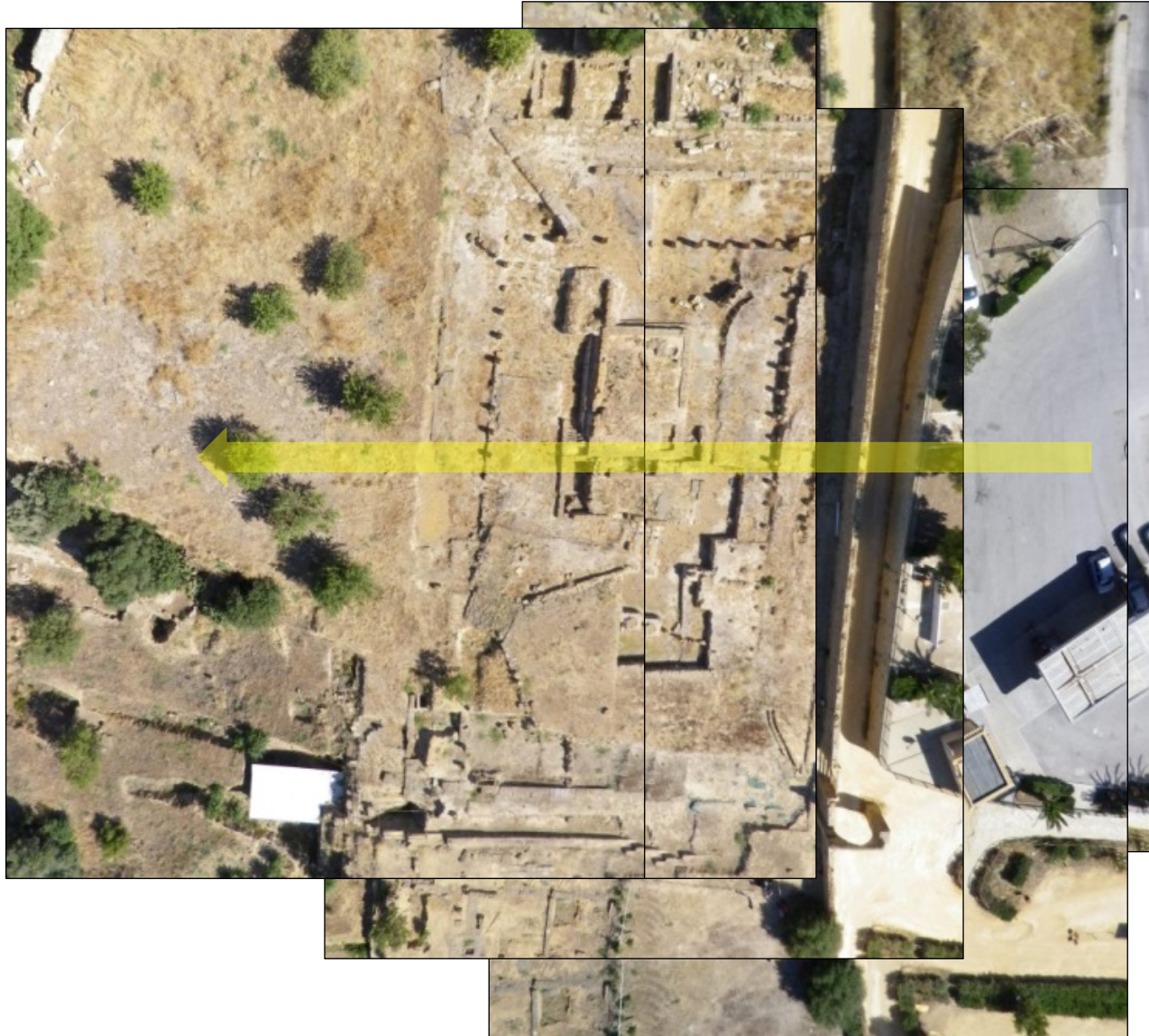




Giornata di Studio "Potenzialità e prospettive del rilievo fotogrammetrico aereo di prossimità con l'utilizzo di droni: applicazioni nel campo ambientale e dei beni culturali"

Palermo, 22 novembre 2013







Quart. Ellenistico-Romano





Quart. Ellenistico-Romano



Giornata di Studio "Potenzialità e prospettive del rilievo fotogrammetrico aereo di prossimità con l'utilizzo di droni: applicazioni nel campo ambientale e dei beni culturali"

Palermo, 22 novembre 2013





Acropoli di Selinunte





Acropoli di Selinunte







Giornata di Studio "Potenzialità e prospettive del rilievo fotogrammetrico aereo di prossimità con l'utilizzo di droni: applicazioni nel campo ambientale e dei beni culturali"

Palermo, 22 novembre 2013



Rilievo topografico punti di appoggio

Rilievo GPS in modalità RTK

⇒ Target 20 cm x 20 cm (Parco archeologico di Agrigento)

⇒ Punti «naturali»

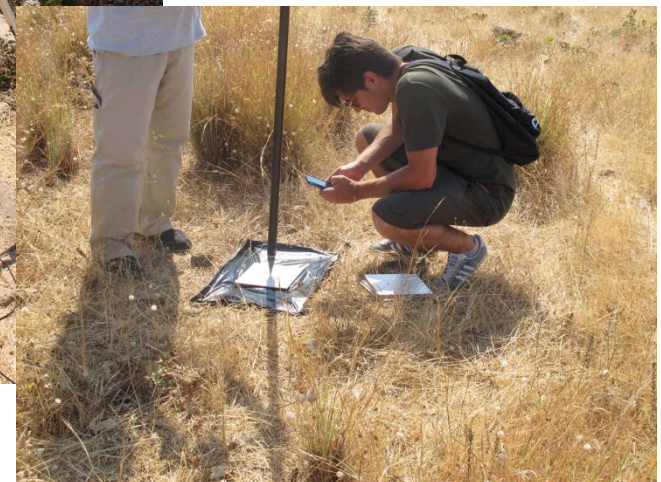


Rilievo topografico punti di appoggio

Rilievo GPS in modalità RTK

⇒ Target 30 cm x 40 cm (Parco archeologico di Selinunte)

⇒ Punti «naturali»





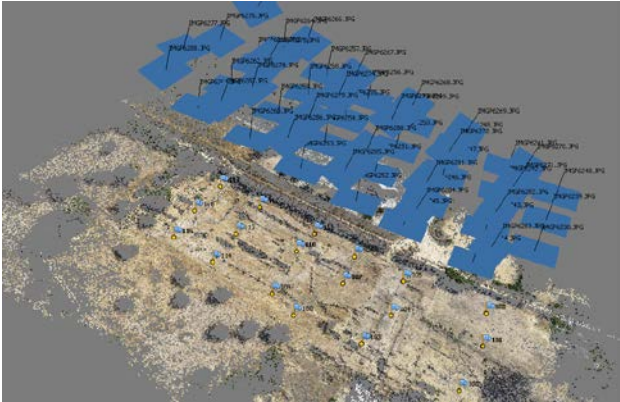
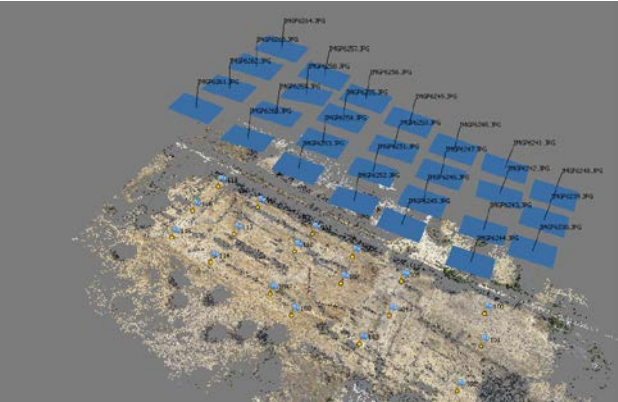
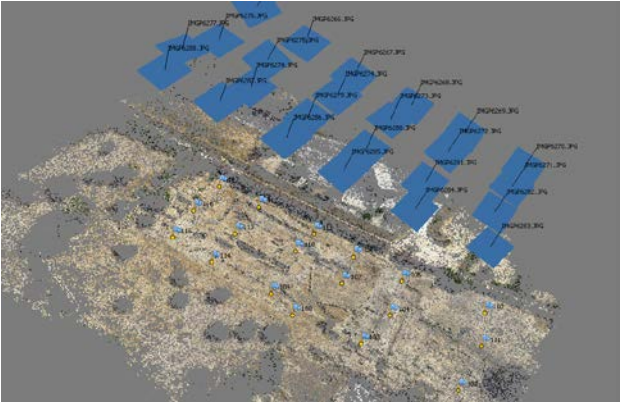
Orientamento dataset Tempio di Iside

Eseguito con il software *Photoscan* (Agisoft) tramite procedure automatiche della Computer Vision (*Structure from Motion*).

Parametri di orientamento interno e di distorsione della camera sono stati ricavati durante la fase di orientamento.

Il calcolo dell'orientamento esterno è stato eseguito prima sui singoli blocchi NS e EO e poi su un unico blocco con tutte le immagini.

		N. Immagini	N. CGP	SQM Pixel [pix]	SQM X [m]	SQM Y [m]	SQM Z [m]	SQM XYZ [m]
Tempio di Iside	Volo NS	24	13	0.76	0.021	0.015	0.033	0.042
	Volo EO	27	13	0.82	0.024	0.025	0.032	0.047
	Volo NS+EO	51	13	1.03	0.017	0.016	0.012	0.026





Orientamento dataset Quartiere ellenistico-romano

Eseguito con il software *Photoscan* (Agisoft) tramite procedure automatiche della Computer Vision (*Structure from Motion*).

Parametri di orientamento interno e di distorsione della camera sono stati ricavati durante la fase di orientamento.

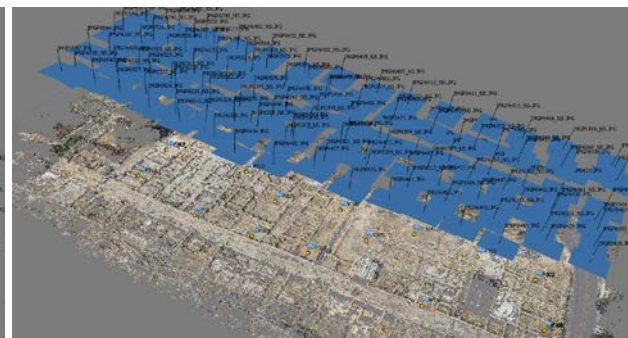
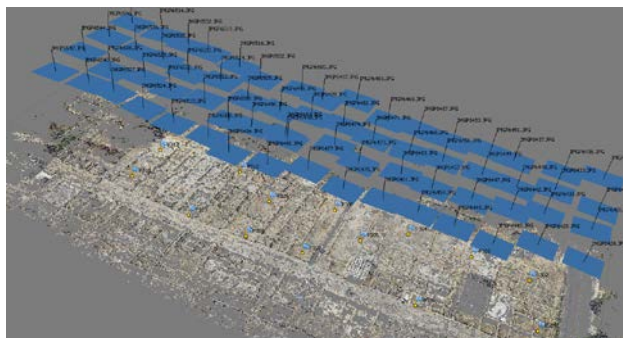
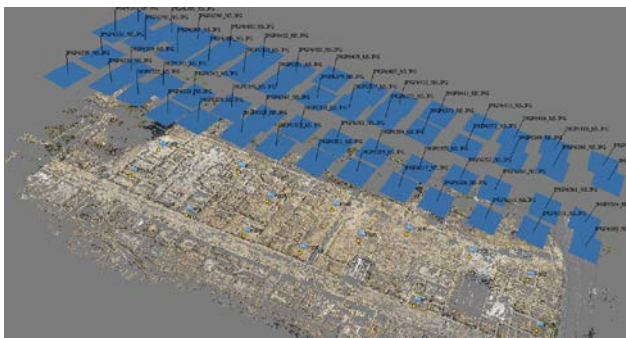
Il calcolo dell'orientamento esterno è stato eseguito prima sui singoli blocchi NS e EO e poi su un unico blocco con tutte le immagini.



Giornata di Studio "Potenzialità e prospettive del rilievo fotogrammetrico aereo di prossimità con l'utilizzo di droni: applicazioni nel campo ambientale e dei beni culturali"

Palermo, 22 novembre 2013

		N. Immagini	N. CGP	SQM Pixel [pix]	SQM X [m]	SQM Y [m]	SQM Z [m]	SQM XYZ [m]
Quartiere ellenistico- romano	Volo NS	56	10	0.61	0.025	0.018	0.047	0.056
	Volo EO	65	10	0.61	0.021	0.025	0.048	0.058
	Volo NS+EO	121	10	0.63	0.012	0.016	0.044	0.048





Orientamento dataset Selinunte

Eseguito con il software APS (Menci Software) tramite triangolazione fotogrammetrica (bundle adjustment).

Parametri di orientamento interno e di distorsione della camera disponibili da una precedente calibrazione.

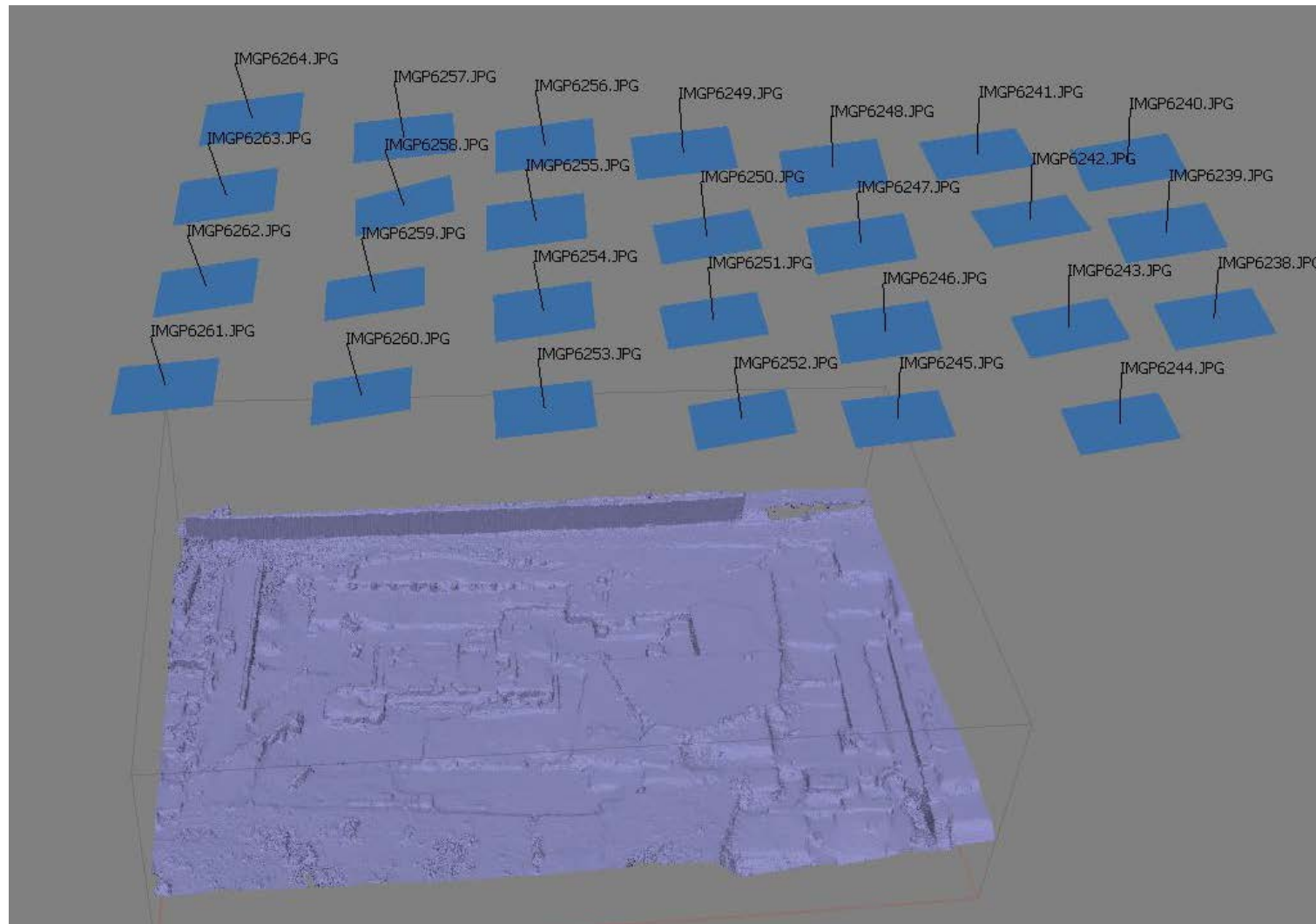
Allo stato attuale è stato eseguito soltanto il calcolo dell'orientamento esterno del blocco EO e sono state condotte delle verifiche per la configurazione ottimale di punti di appoggio

		N. Immagini	N. CGP	SQM Pixel [pix]	SQM X [m]	SQM Y [m]	SQM Z [m]	SQM XYZ [m]
Selinunte	V. EO [27 GCP]	314	27	0.68	0.014	0.013	0.044	0.048
	V. EO [14 GCP]	314	14	0.70	0.018	0.011	0.055	0.059
	V. EO [7 GCP]	314	7	0.71	0.037	0.019	0.049	0.064



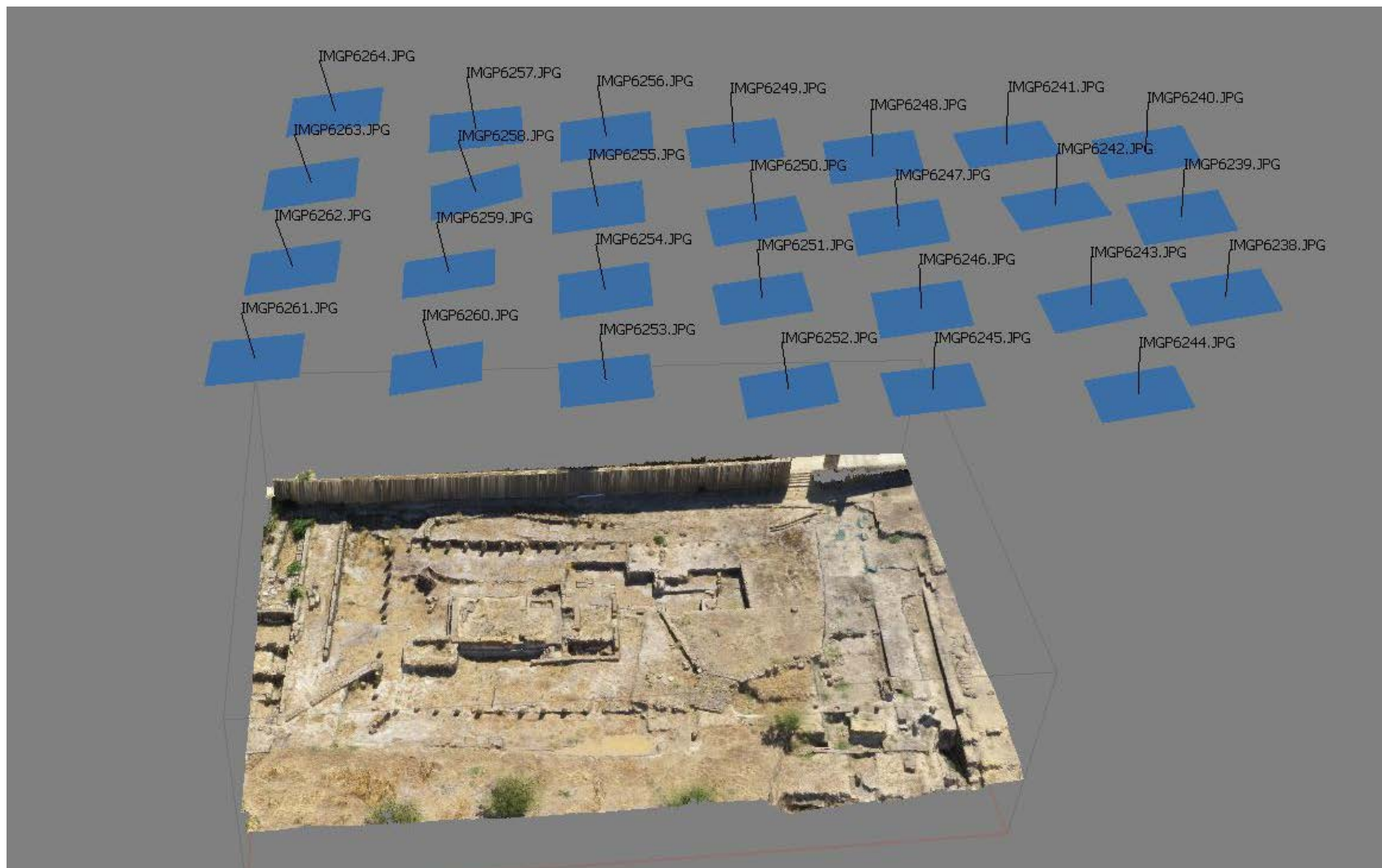


Modello 3D Tempio di Iside





Modello 3D Tempio di Iside



Ortofoto
Risoluzione 2 cm/pixel





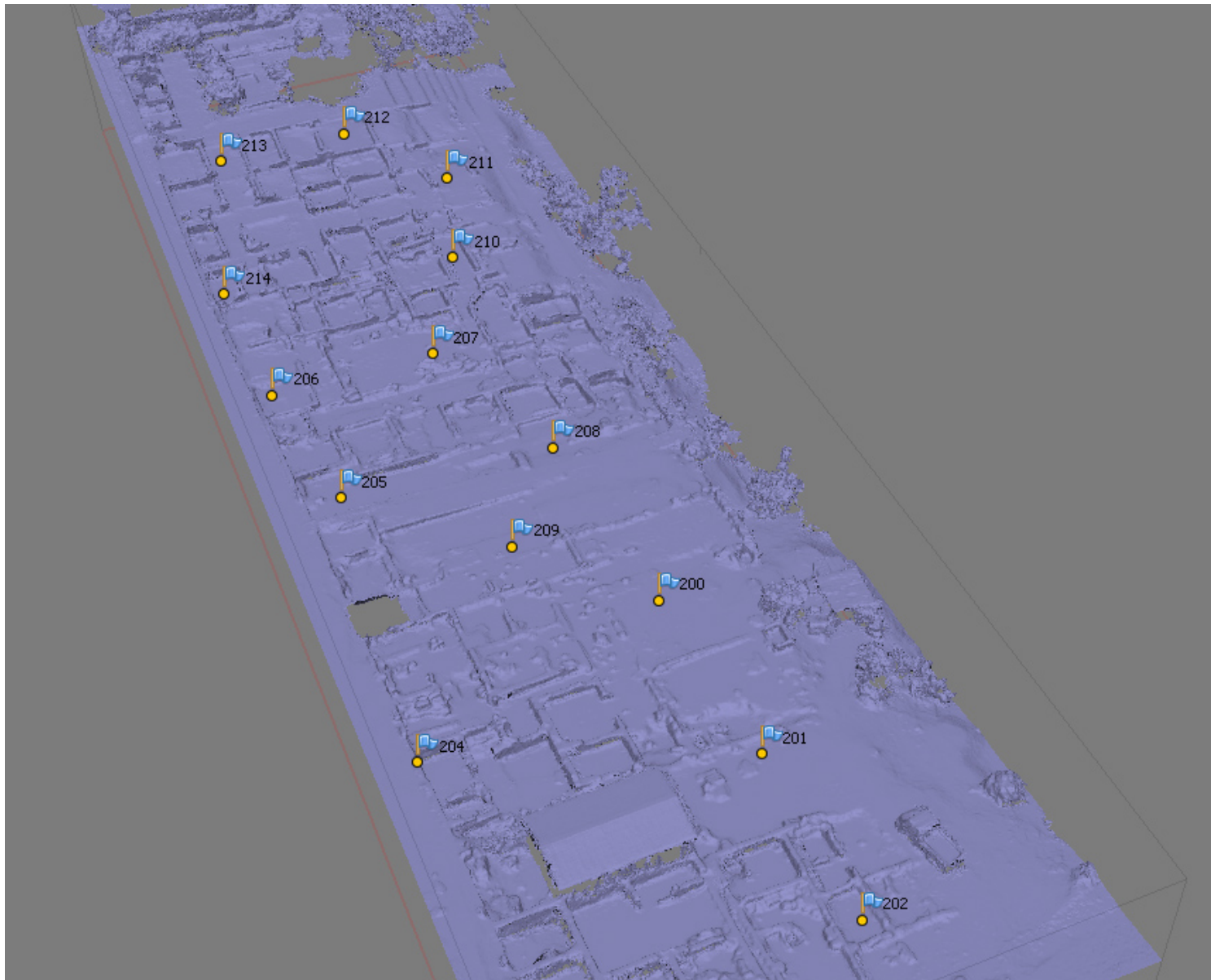
Ortofoto
Risoluzione 2 cm/pixel





Giornata di Studio "Potenzialità e prospettive del rilievo fotogrammetrico aereo di prossimità con l'utilizzo di droni: applicazioni nel campo ambientale e dei beni culturali"

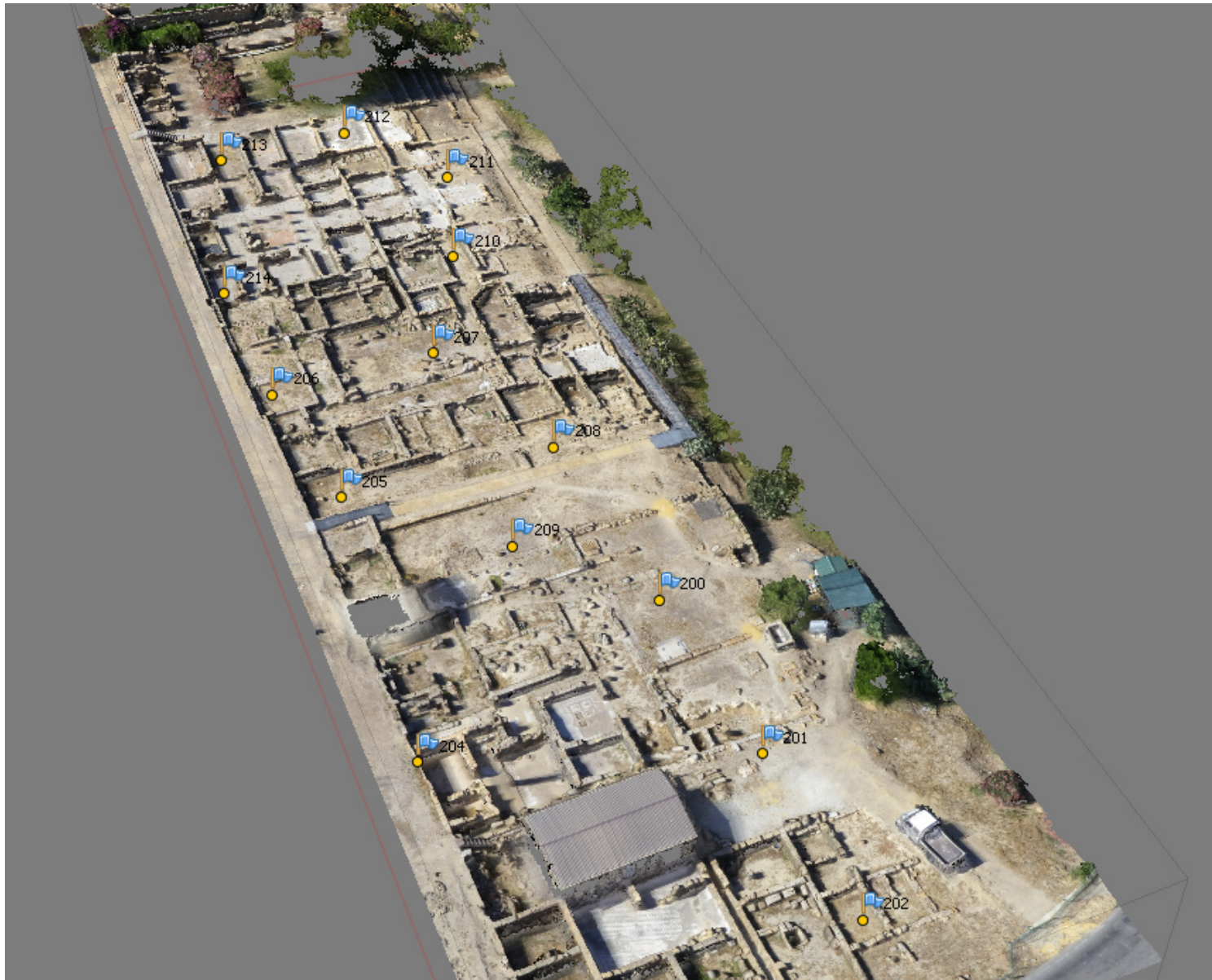
Palermo, 22 novembre 2013





Giornata di Studio "Potenzialità e prospettive del rilievo fotogrammetrico aereo di prossimità con l'utilizzo di droni: applicazioni nel campo ambientale e dei beni culturali"

Palermo, 22 novembre 2013





Giornata di Studio "Potenzialità e prospettive del rilievo fotogrammetrico aereo di prossimità con l'utilizzo di droni: applicazioni nel campo ambientale e dei beni culturali"

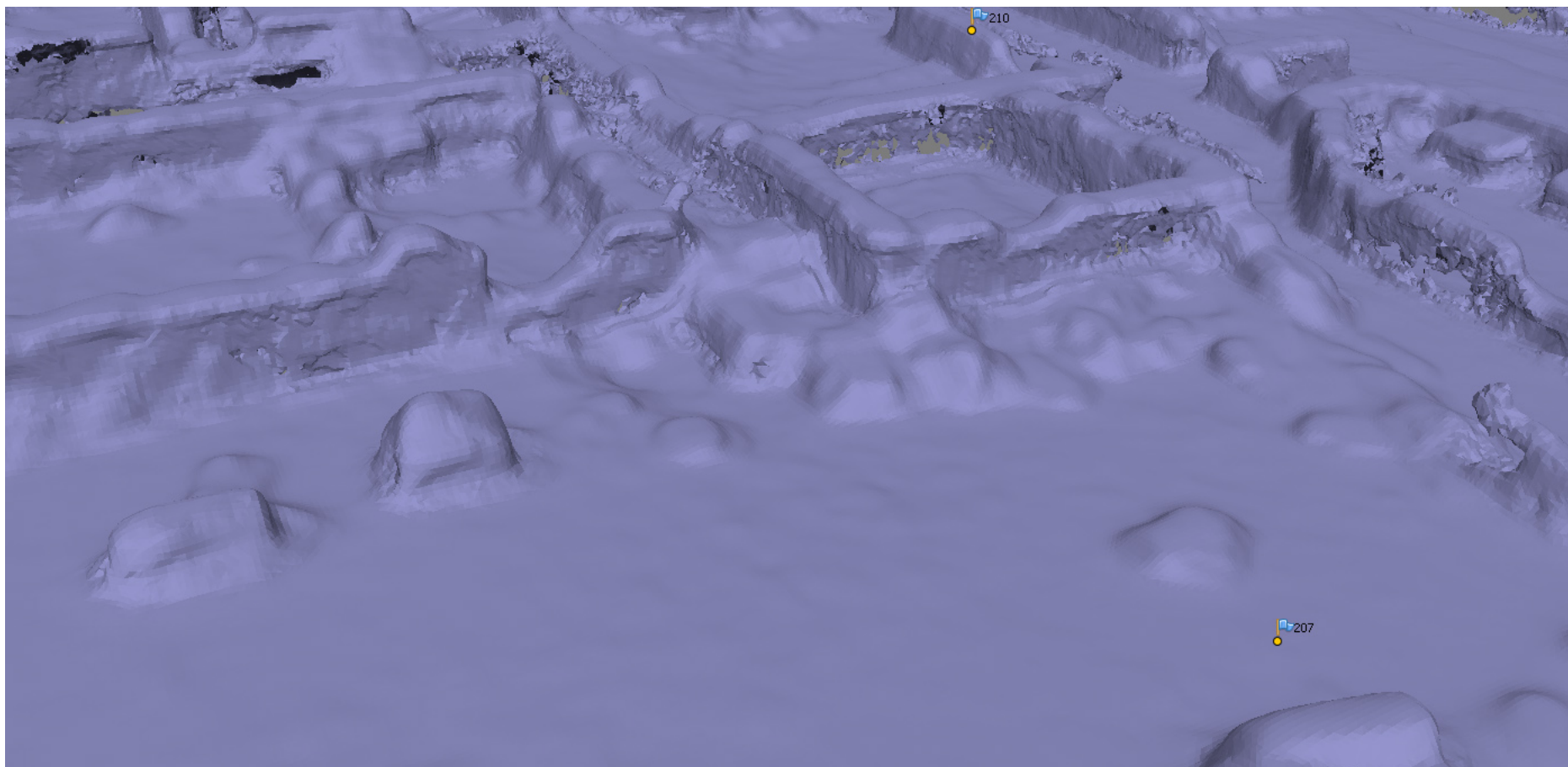
Palermo, 22 novembre 2013





Giornata di Studio "Potenzialità e prospettive del rilievo fotogrammetrico aereo di prossimità con l'utilizzo di droni: applicazioni nel campo ambientale e dei beni culturali"

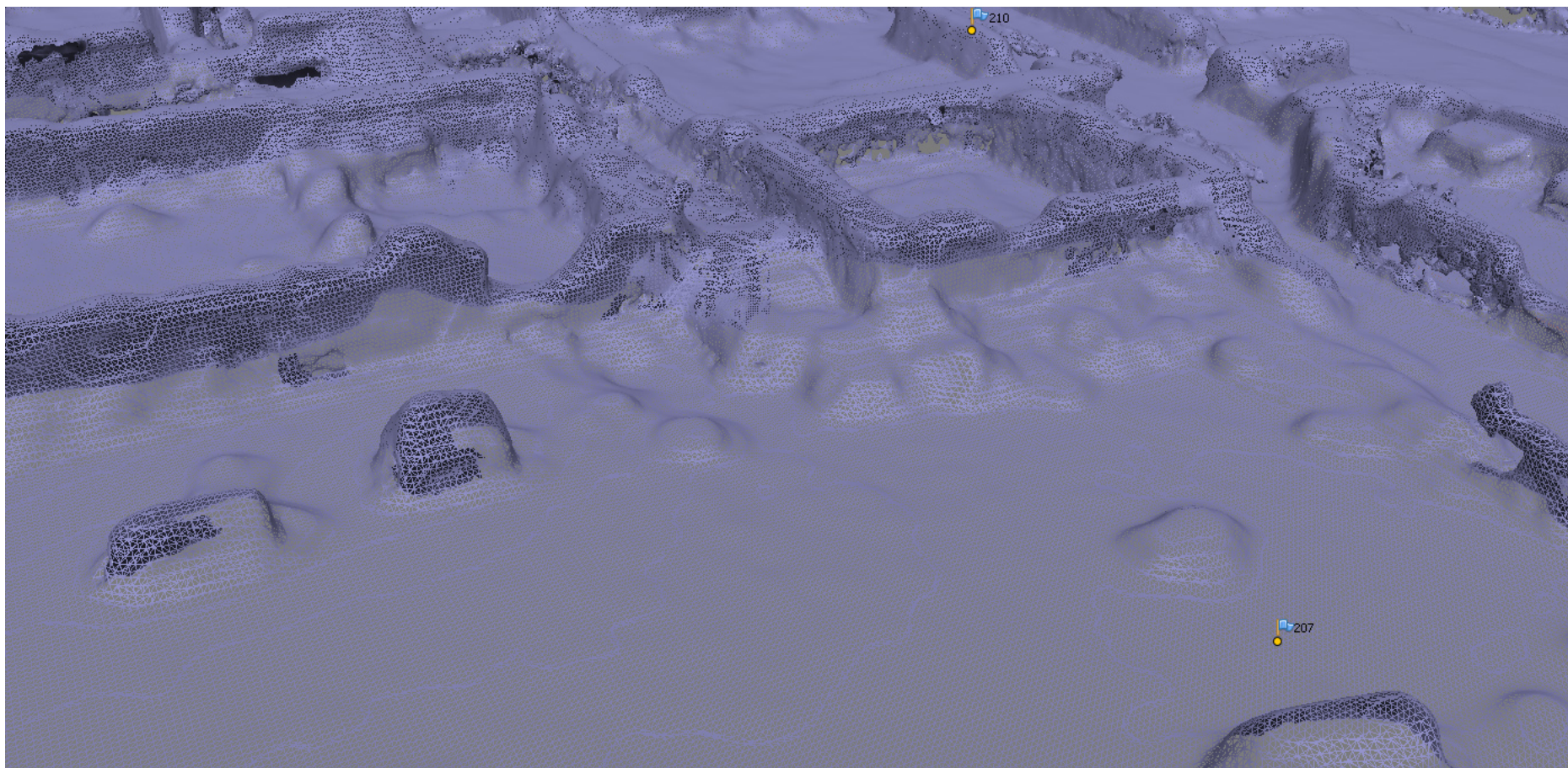
Palermo, 22 novembre 2013





Giornata di Studio "Potenzialità e prospettive del rilievo fotogrammetrico aereo di prossimità con l'utilizzo di droni: applicazioni nel campo ambientale e dei beni culturali"

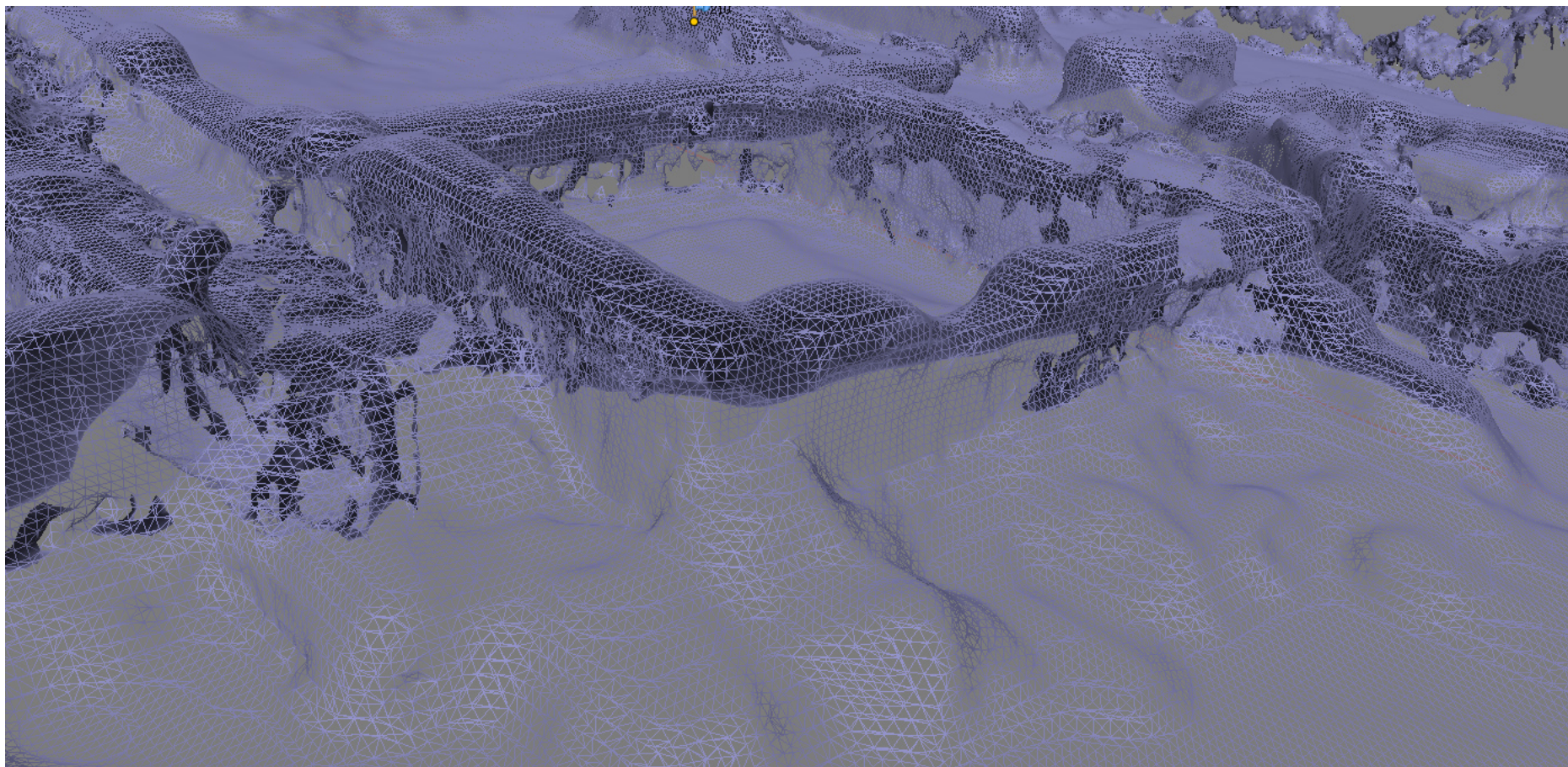
Palermo, 22 novembre 2013





Giornata di Studio "Potenzialità e prospettive del rilievo fotogrammetrico aereo di prossimità con l'utilizzo di droni: applicazioni nel campo ambientale e dei beni culturali"

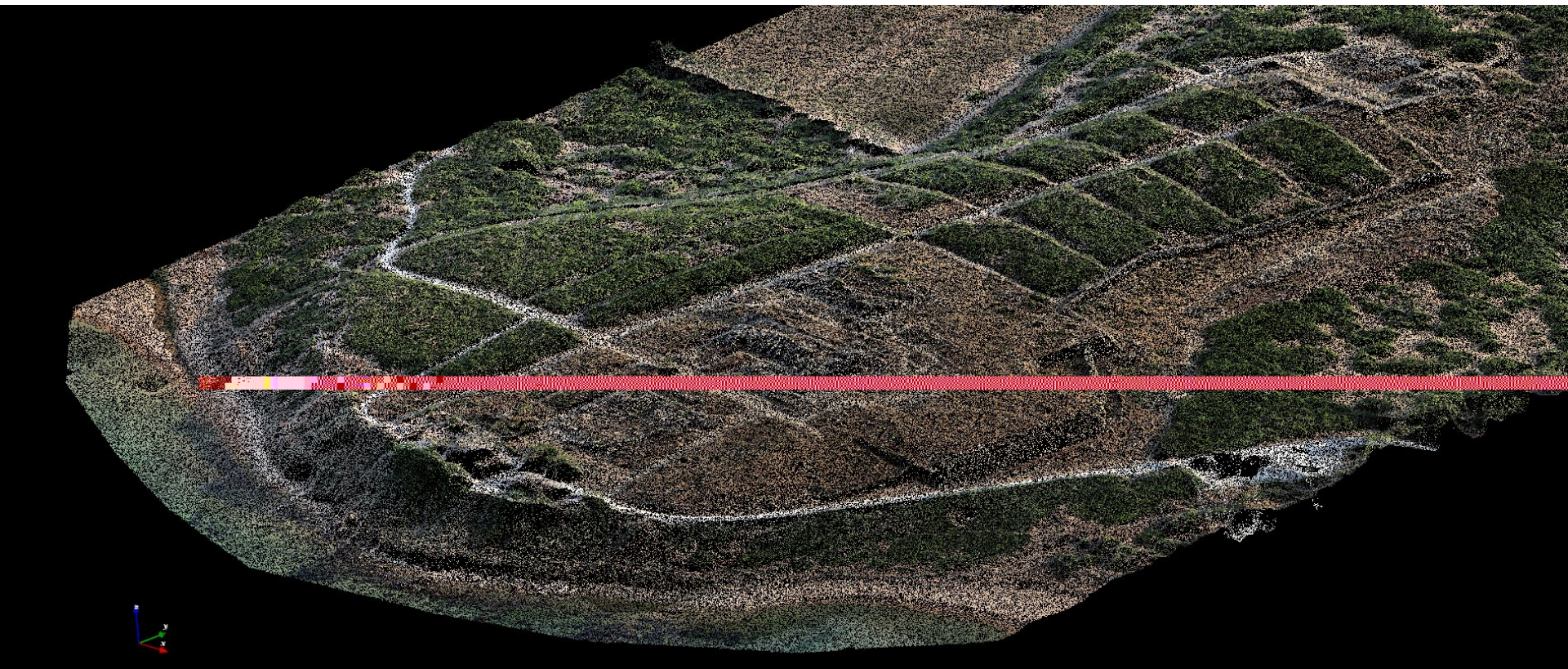
Palermo, 22 novembre 2013





Giornata di Studio "Potenzialità e prospettive del rilievo fotogrammetrico aereo di prossimità con l'utilizzo di droni: applicazioni nel campo ambientale e dei beni culturali"

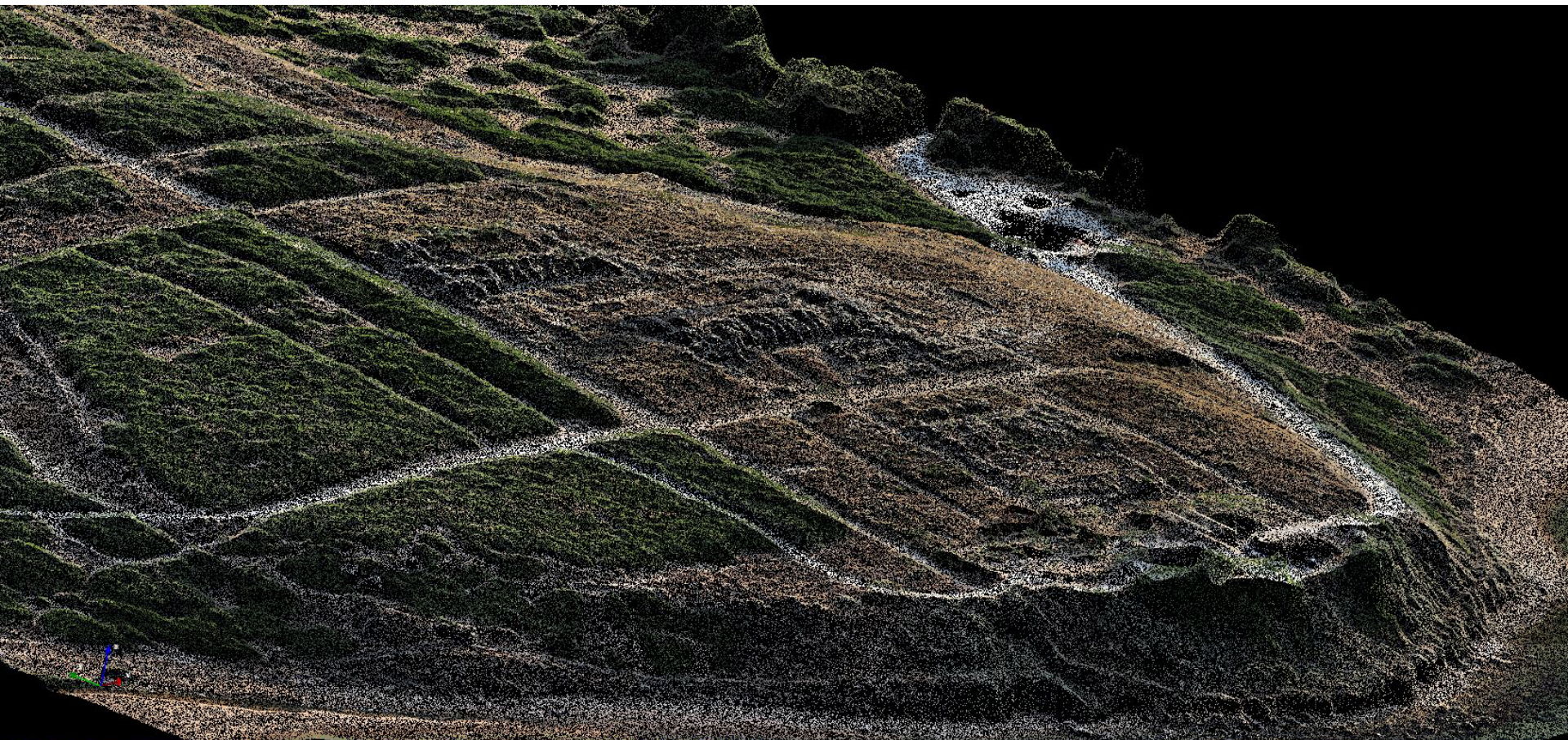
Palermo, 22 novembre 2013





Giornata di Studio "Potenzialità e prospettive del rilievo fotogrammetrico aereo di prossimità con l'utilizzo di droni: applicazioni nel campo ambientale e dei beni culturali"

Palermo, 22 novembre 2013





***Giornata di Studio* "Potenzialità e prospettive del rilievo fotogrammetrico aereo di prossimità con l'utilizzo di droni: applicazioni nel campo ambientale e dei beni culturali"**

Palermo, 22 novembre 2013





Giornata di Studio "Potenzialità e prospettive del rilievo fotogrammetrico aereo di prossimità con l'utilizzo di droni: applicazioni nel campo ambientale e dei beni culturali"

Palermo, 22 novembre 2013

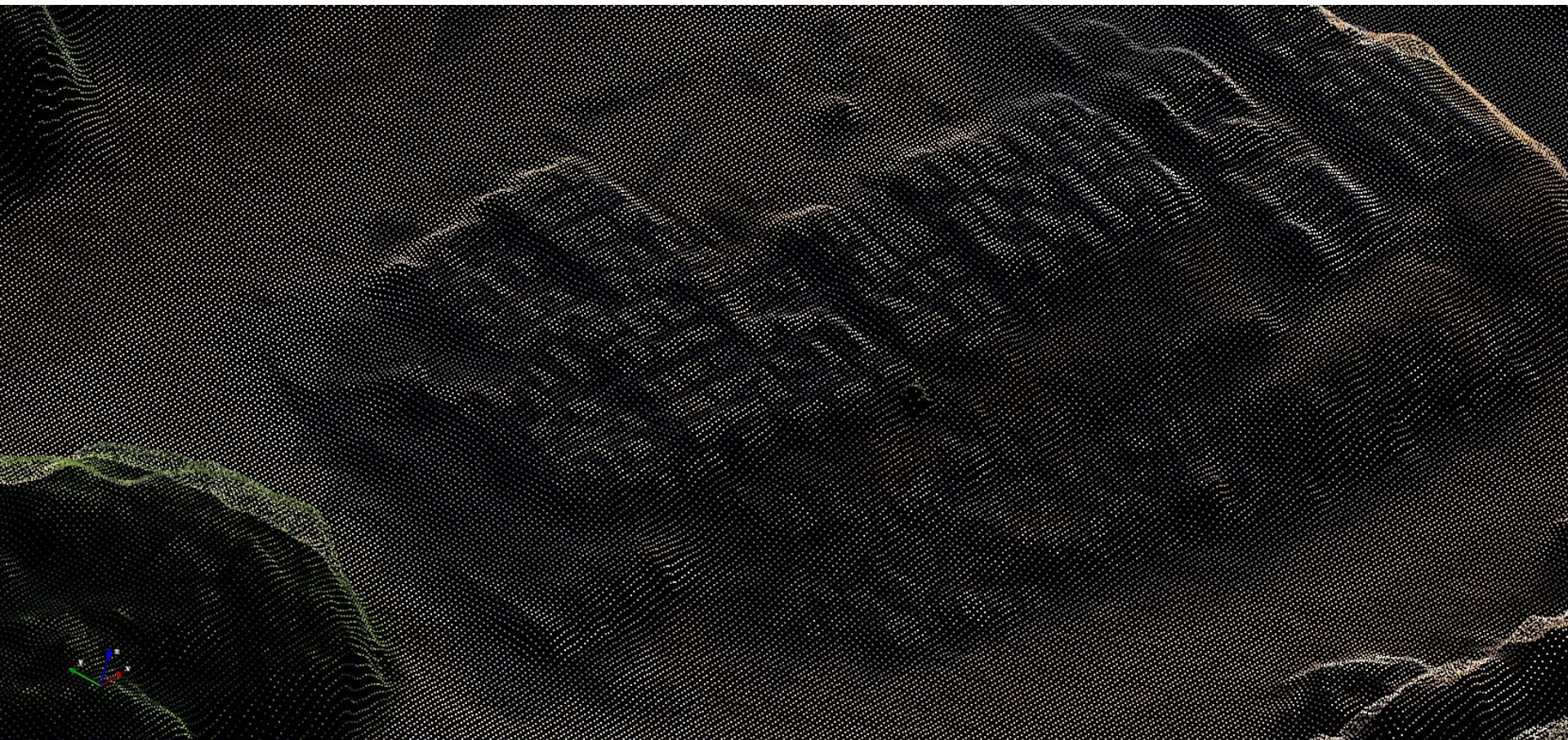




Giornata di Studio "Potenzialità e prospettive del rilievo fotogrammetrico aereo di prossimità con l'utilizzo di droni: applicazioni nel campo ambientale e dei beni culturali"

Palermo, 22 novembre 2013

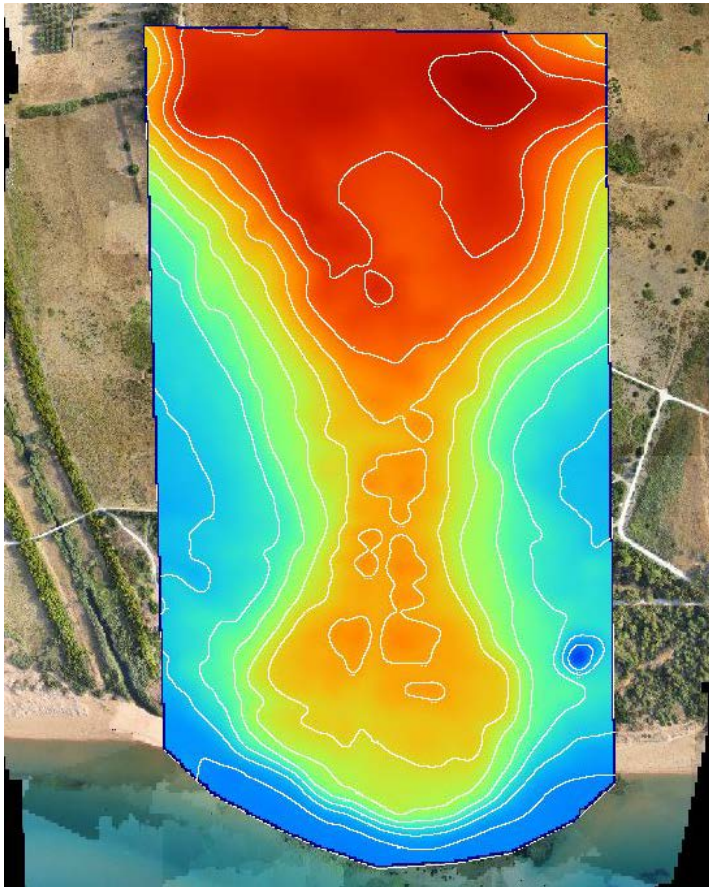






Ortofoto

Risoluzione 5 cm/pixel



Ortofoto
Risoluzione 5 cm/pixel



Ortofoto Risoluzione 5 cm/pixel





Conclusioni

Il lavoro presentato rappresenta soltanto un primo step sull'indagine delle potenzialità del rilievo tramite UAV in ambito archeologico.

Alcuni primi risultati possono già essere evidenziati anche se molti aspetti richiedono ulteriori e più approfondite ricerche.



- utilizzando blocchi fotogrammetrici con immagini riprese con differenti direzioni di volo, si potrebbe ottenere un aumento della precisione
- nel caso di blocchi fotogrammetrici molto grandi come quello di Selinunte si deve disporre di un numero adeguato di punti di appoggio
- i prodotti realizzati (modelli 3D e ortofoto) sono risultati con un livello di dettaglio molto alto che consente di eseguire restituzioni a grande scala (1:200 o 1:100)
- le procedure sono state abbastanza rapide grazie anche all'elevato livello di automazione raggiunto dai programmi utilizzati



- i risultati dovrebbero essere confermati da test che prevedano anche l'utilizzo di **checkpoint** per una verifica sull'effettiva accuratezza
- la corretta progettazione ed esecuzione delle prese è sempre un parametro fondamentale
- l'accuratezza del rilievo topografico è fondamentale per ottenere prodotti cartografici metricamente affidabili



Ringraziamenti

- l'ente "Parco Archeologico e Paesaggistico della Valle dei Templi di Agrigento" e l'ente "Parco Archeologico di Selinunte e Cave di Cusa", per la disponibilità concessa ad accedere nelle aree oggetto dei rilievi
- il Consorzio Ticonzero e la Menci software per l'esecuzione dei voli
- l'arch. Paola Meli per la collaborazione all'elaborazione dei dati
- l'arch. Fabio Di Salvo, l'ing. Gianni Faraci e il dott. Marco Casella per la collaborazione alle operazioni di rilievo topografico