

# SPECIALE UAV per la geomatica

INSERTO  
STACCABILE

## UNA NUOVA REALTA' TRA FOTOGRAMMETRIA E TOPOGRAFIA

Supplemento a GEOmedia numero 5-2014 - Direzione: Redazione, Marketing e  
Stampa da mediagGEO soc.coop www.mediageo.it info@mediageo.it - Roma 2014

### FLYNOVEX



FlyNovex è un sistema multi-rotore APR (Aeromobile a Pilotaggio Remoto) della FlyTop. Progettato per il rilievo del territorio, il precision farming, il monitoraggio ambientale, il supporto alle situazioni d'emergenza, i rilievi strutturali, le indagini sui beni culturali e l'ausilio durante l'attività giornalistica o di produzione cinematografica, è in grado di trasportare molti sensori differenti come ad esempio fotocamere, videocamere, termocamere, camere iper-spetttrali, multi-spetttrali o sensori Lidar.



VALUTAZIONI METRICHE  
DI PIATTAFORME APR PER  
RILIEVI E MODELLAZIONI 3D

# VALUTAZIONI METRICHE DI PIATTAFORME APR PER RILIEVI E MODELLAZIONI 3D

di Mauro Lo Brutto, Alessandra Garraffa e Paolo Meli

L'ARTICOLO DESCRIVE LE ESPERIENZE CONDOTTE PER LA VALUTAZIONE METRICA DI BLOCCHI AEREI ACQUISITI CON DIFFERENTI SISTEMI APR UTILIZZATI NELL'AMBITO DEL RILIEVO DI BB.CC. IL LAVORO È STATO SVOLTO SU DUE SITI CHE DIFFERISCONO PER ESTENSIONE E CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE UTILIZZANDO DUE DIVERSE PIATTAFORME APR, UN SISTEMA MULTI-ROTORE E UN SISTEMA AD ALA FISSA.



Fig. 1 - Quadricottero md4-200 della microdrones.

Il rilievo di Beni Culturali, come 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 permettano di colmare il gap tra i classici rilievi fotogrammetrici aerei e i rilievi terrestri (topografici, fotogrammetrici o laser scanner). Recentemente questo gap è stato colmato dallo sviluppo dei sistemi APR (Aeromobili a Pilotaggio Remoto) che consentono sia di eseguire rilievi aerei a bassa quota, generalmente in un range compreso tra i 20 e i 200 metri, sia l'acquisizione di dati metrici e qualitativi di dettaglio (Eisenbeiss & Sauerbierl, 2011). Gli APR, noti anche con l'acronimo UAV (*Unmanned Aerial*

*Vehicles*) e sviluppati inizialmente per applicazioni militari, sono ormai molto diffusi in ambito civile ed in particolare nel settore del rilievo architettonico ed archeologico grazie alla possibilità di ottenere immagini dell'area di interesse con numerosi vantaggi quali: rapidità nell'esecuzione del rilievo aereo, possibilità di mappare aree difficilmente accessibili, risoluzione delle immagini maggiore rispetto a quella ottenibile dalla tradizionale fotogrammetria aerea (anche con pixel < 1 cm), costi contenuti delle fasi di acquisizione, disponibilità di diversi software *user-friendly* e *low-cost* per il processamento delle immagini. In particolare, l'attività condotta nell'ambito del rilievo architettonico ed archeologico è principalmente rivolta verso la realizzazione di modelli 3D

con elevati livelli di dettaglio e ortofoto con risoluzione geometriche centimetriche (o in alcuni casi anche sub-centimetriche) e scale nominali tipiche del rilievo architettonico (1:100 ÷ 1:200).

Il flusso di lavoro adottato per questa tipologia di rilievi è abbastanza standardizzato e prevede sostanzialmente tre fasi:

- ▶ pianificazione del volo
- ▶ acquisizione delle immagini
- ▶ calcolo degli orientamenti, delle nuvole di punti 3D e delle ortofoto.

Ciascuna fase presenta problematiche e caratteristiche proprie che dipendono da vari fattori.

La prima fase del rilievo consiste nella progettazione di un volo programmato attraverso l'uso dei rispettivi software di gestione dei velivoli.

Questo approccio, particolarmente utile per mantenere le corrette geometrie di presa durante il rilievo fotogrammetrico, risulta abbastanza semplice nel caso di prese nadirali (dove è possibile mantenere gli stessi criteri della fotogrammetria aerea), un po' più problematico per schemi con prese inclinate e/o convergenti. In quest'ultimo caso, la realizzazione del progetto non sempre è agevole per la mancanza di funzioni adeguate nei software di gestione dei voli; inoltre, a causa della bassa affidabilità del posizionamento eseguito con il GPS di cui sono dotati gli APR, il piano di volo potrebbe non essere seguito in maniera corretta. I parametri che influenzano maggiormente le scelte di pianificazione del volo sono l'autonomia e il payload del sistema APR.



Fig. 2 - Velivolo Swinglet CAM della Sensefly.

Questi due parametri sono fra di loro strettamente correlati; il primo condiziona l'estensione dell'area da rilevare, il secondo la tipologia del sensore da utilizzare.

L'acquisizione delle immagini è principalmente influenzata dalla morfologia del sito, dalla vicinanza di "pericoli" per il volo, dalla stabilità della piattaforma in condizioni meteorologiche non ottimali e dalla disponibilità di spazi per l'atterraggio (per sistemi APR ad ala fissa).

Infine, il processamento delle immagini è condizionato dalla notevole irregolarità dei blocchi fotogrammetrici, dall'elevato numero di immagini (spesso maggiore di 100) in genere necessarie per una completa copertura delle aree di studio, dalle qualità e caratteristiche radiometriche delle immagini, dalle problematiche di calibrazione delle camere

per uso fotogrammetrico e dal numero, disposizione e precisione dei punti di appoggio.

Le problematiche sul processamento delle immagini sono state quelle maggiormente indagate nel corso degli ultimi anni grazie anche al sempre più frequente utilizzo di software derivanti dalla Computer Vision in ambito fotogrammetrico. Diverse ricerche sono state effettuate soprattutto verificando e/o confrontando i risultati ottenuti con software della Computer Vision, che utilizzano l'approccio *Structure from Motion* (SfM), rispetto ai classici programmi fotogrammetrici (Verhoeven et al., 2011; Lo Brutto et al., 2012). Soltanto pochi esempi sono riportati circa la qualità dell'accuratezza metrica in relazione all'uso delle tecniche della SfM rispetto differenti configurazioni del blocco fotogrammetrico (Nocerino et

al., 2013; Lo Brutto et al., 2014). Non è ancora chiaro se l'uso di configurazioni di blocchi più stabili potrebbe migliorare l'accuratezza e l'affidabilità dei risultati per le immagini acquisite da sistemi APR e processate attraverso un approccio proprio della CV.

L'obiettivo della ricerca è stato quello di effettuare una prima valutazione sulle potenzialità metriche delle piattaforme APR nel campo del rilievo dei beni culturali attraverso l'analisi di alcuni dataset che riprendono due aree con forte valenza turistica e culturale e che differiscono per estensione e caratteristiche morfologiche: la prima è un'area di piccola estensione, situata all'interno del Parco Archeologico e Paesaggistico della Valle dei Templi di Agrigento e relativa alla zona del Tempio di Iside; la seconda presenta un'estensione abbastanza ampia e racchiude il Cretto di Gibellina vicino Trapani. I differenti dataset sono stati ottenuti utilizzando due diversi APR: un quadricottero md4-200 della microdrones per l'area all'interno della Valle dei Templi (fig. 1) e un velivolo ad ala fissa Swinglet CAM della Sensefly per il Cretto di Gibellina (fig. 2). I due velivoli, pur appartenendo alla stessa grande categoria dei micro UAV e pur avendo campi di applicazione simili, si differenziano per operatività, autonomia di volo, quota

di volo, modalità di acquisizione: il quadricottero, come tutti i multi-rotori, ha resistenza al vento inferiore, può volare a quote di volo anche molto basse (10-20 metri) ed 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 ha maggiore resistenza al vento, vola a quote sempre superiori ai 100 metri (in genere 140-160 metri) e consente l'esecuzione soltanto di prese nadirali secondo il classico schema di fotogrammetria aerea. Ma l'elemento più interessante che li contraddistingue è relativo alla tipologia di prodotti ottenibili: rilievi a grandissima scala (nel nostro caso pixel 1 o 2 cm) per il quadricottero md4-200 della microdrones, rilievi a grande scala (nel nostro caso pixel circa 5 cm) di aree anche estese qualche chilometro quadrato per l'APR ad ala fissa. Entrambi i velivoli sono dotati di camere digitali compatte; in particolare, il quadricottero md4-200 è dotato di una camera Pentax Optio RZ18 da 16 Megapixel con un obiettivo a zoom variabile da 4.5 mm a 81 mm mentre il drone planante Swinglet CAM è equipaggiato con una camera Canon IXUS 125 HS da 16 Megapixel e obiettivo a zoom variabile da 4.3 mm a 21.5 mm.



Fig. 3 - Il tempio di Iside.



Fig. 4 - Il "Cretto di Gibellina".

## IL RILIEVO UAV

Il Tempio di Iside è tra i siti meno conosciuti e meno frequentati dai turisti dell'intero Parco Archeologico della Valle dei Templi di Agrigento ed è costituito da un'area solo parzialmente scavata. Il Tempio era costituito da un podio e da un triportico che delimitava una piazza; all'interno si trovava una cella preceduta da un pro-nao e seguita da un avancorpo su podio accessibile mediante due rampe laterali. Il triportico era caratterizzato da sessantadue colonne e due mezze colonne terminali oggi ancora parzialmente visibili (fig. 3). Il "Cretto di Gibellina" è un'opera dell'artista Alberto Burri realizzata tra il 1984 e il 1989 nel posto in cui una volta era situata la città di Gibellina distrutta dal terremoto della Valle del Belice nel 1968. Quest'opera è una tra i maggiori esempi della cosiddetta "land-art". L'artista, la cui idea era quella di creare un luogo della memoria, ha coperto con una colata di cemento le rovine della città in modo da formare tanti "blocchi" che riproducono le vecchie strade della città; i blocchi sono costituiti da muri di cemento armato alti circa 1.60 m e sono separati da "viali" larghi circa 2-3 metri. Complessivamente l'opera, rimasta in parte incompiuta rispetto al progetto originario, si estende su un'area di circa 300 m x 270 m e ha un dislivello di circa 100 m (fig. 4).

Per il rilievo delle zone di studio sono stati progettati due voli con strisciate orientate lungo direzioni perpendicolari, approssimativamente coincidenti con le direzioni Nord-Sud ed Est-Ovest; in questo modo è stato possibile effettuare diversi test in relazione alle configurazioni geometriche dei voli.

Tutte le riprese sono state progettate imponendo un

classico schema di prese fotogrammetriche aeree (prese nadirali) con un ricoprimento longitudinale pari all'80% e un ricoprimento trasversale pari al 70% e all'80% rispettivamente per il rilievo dell'area del Tempio di Iside e per il "Cretto di Gibellina". Tutti i voli sono stati eseguiti in modalità automatica seguendo il piano di volo realizzato in fase di progettazione del rilievo e impostando le camere in modalità *wide* (minima distanza focale) e messa a fuoco a infinito.

Per i voli sul Tempio di Iside è stata programmata una ripresa con scatti eseguiti in corrispondenza dei waypoint calcolati in fase di progettazione, imponendo che, per ottenere una minima ridondanza dei dati, venissero scattate due immagini per ciascun waypoint. Complessivamente per l'intera area, che presenta un'estensione di circa 0.57 ha, sono stati realizzati due voli (uno Nord-Sud e l'altro Est-Ovest) con quote relative di volo pari a circa 71 metri per la ripresa Nord-Sud e a circa 65 metri per quella Est-Ovest, ottenendo rispettivamente dimensioni medie del pixel a terra (*Ground Sample*

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
Cretto di Gibellina	30	N-S	80%	80%	160	85	5.0
		E-O	80%	80%	160	76	5.0

Tab. 5 - Parametri di volo.

*Distance* - GSD) di circa 1.9 cm e di circa 1.6 cm.

Per il rilievo del "Cretto di Gibellina" sono stati eseguiti due voli (Nord-Sud ed Est-Ovest) da una quota di volo di circa 160 metri predisponendo uno scatto ogni 3 secondi; in questo modo è stato possibile ottenere il ricoprimento trasversale previsto e un GSD di circa 5 cm. La tabella 5 riassume le caratteristiche principali dei voli.

Contestualmente alla ripresa nelle due aree sono stati posizionati e rilevati topograficamente dei target opportunamente dimensionati in funzione delle relative altezze dei voli (di dimensioni pari a 20 cm x 20 cm per le zone del Parco Archeologico di Agrigento pari a 40 cm x 30 cm per il Cretto di Gibellina); i target sono stati utilizzati in parte come Ground Control Point (GCP) ed in parte come Check Point (CP). Le coordinate dei target, rife-

rite al sistema di riferimento UTM-WGS84 ETRF2000, sono state determinate tramite un rilievo RTK utilizzando una stazione master posizionata all'interno delle aree di rilievo. Come evidenziato in precedenza, a causa dell'irregolarità dei blocchi e al numero molto elevato di immagini, il numero, la disposizione e la precisione delle coordinate dei target rappresentano aspetti da valutare con attenzione in questo tipo di rilievi. Per quanto riguarda il numero e la disposizione dei target si è cercato di coprire in maniera omogenea le aree di interesse utilizzando 18 target (10 GCP e 8 CP) per il Tempio di Iside e 24 target (16 GCP e 8 CP) per il Cretto di Gibellina. Come è noto i rilievi in modalità RTK prevedono precisioni nell'ordine di qualche centimetro; per avere però una stima più precisa dell'accuratezza delle coordinate dei punti di appog-

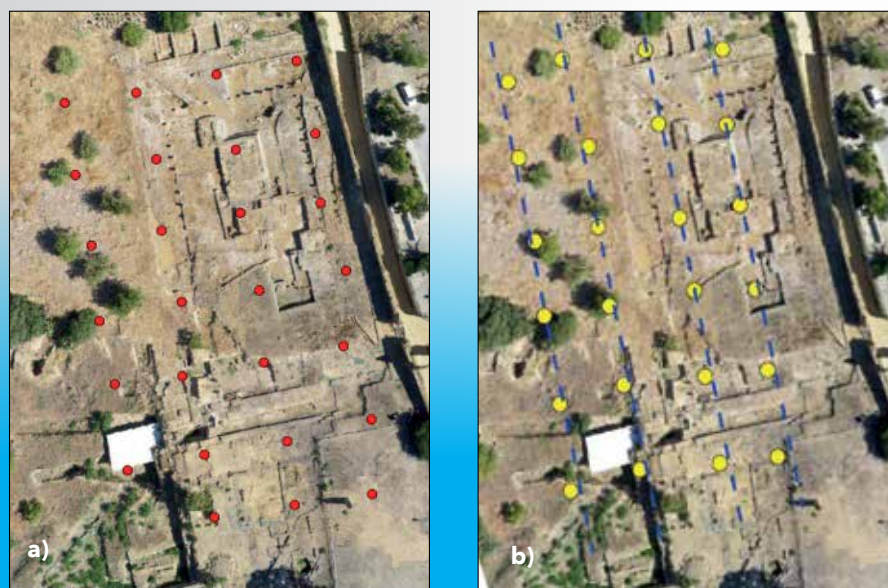


Fig. 5 - Differenti configurazioni dei blocchi utilizzati per il dataset del Tempio di Iside: Blocco Est-Ovest (a); Blocco Nord-Sud (b).

gio, si è scelto di misurare le coordinate dei target del dataset del Tempio di Iside due volte in due giorni differenti. Il risultato del confronto tra le coordinate dei due rilievi ha consentito di calcolare uno s.q.m. pari a  $\pm 1.2$  cm sia in planimetria che in altimetria, con errori massimi soprattutto in quota anche nell'ordine dei 4 cm. Tale verifica, anche se statisticamente non rigorosa, da un'idea più realistica delle accuratezze dei punti di appoggio e delle precisioni massime che è possibile aspettarsi dal rilievo fotogrammetrico.

I diversi blocchi fotogrammetrici acquisiti sono stati utilizzati per effettuare alcune iniziali valutazioni sulla precisione metrica dell'orientamento delle immagini in relazione alle diverse configurazioni geometriche del blocco e sull'accuratezza in quota dei modelli 3D calcolati.

Il processamento delle immagini è stato effettuato con il software Photoscan Professional Edition della Agisoft. Tale software è probabilmente il programma di CV più noto e più utilizzato in applicazioni fotogrammetriche terrestri e da APR e prevede una sequenza di operazioni totalmente automatiche per l'orientamento delle immagini, il calcolo del modello 3D e la generazione dell'ortofoto, utilizzando procedure di SfM e *dense image matching*. Durante il processo di orientamento (definito allineamento) PhotoScan stima sia i parametri di orientamento interno della camera (distanza principale, posizione del principale punto, coefficienti di distorsione) sia i parametri di orientamento esterno per ogni immagine e produce una nuvola di punti sparsi. Successivamente è possibile calcolare una *dense point cloud* o una *mesh* dell'oggetto per ottenere un modello 3D fotorealistico. Il programma consente

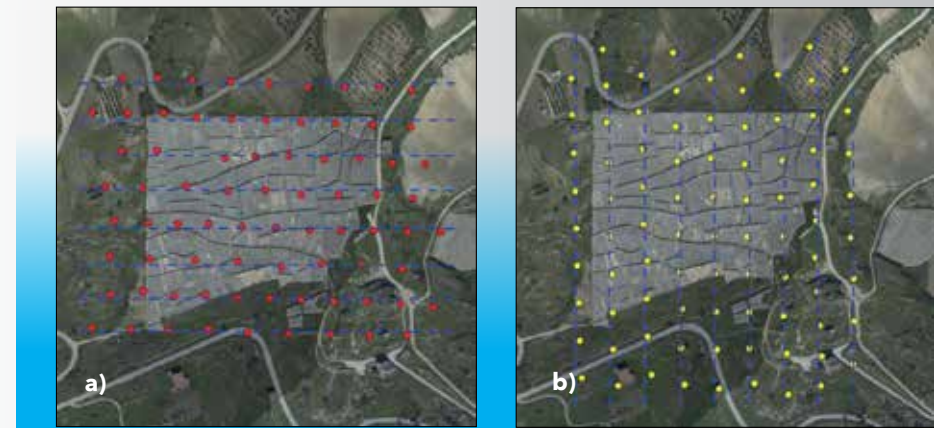


Fig. 6 - Differenti configurazioni dei blocchi utilizzati per il dataset del "Cretto di Gibellina": Blocco Est-Ovest (a); Blocco Nord-Sud (b).

l'impostazione di un numero limitato di parametri per il controllo delle operazioni di calcolo (criterio di selezione delle coppie di immagini per la correlazione, numero massimo di punti per immagine, accuratezza dell'allineamento) e l'utilizzo di GCP e CP. I GCP possono essere utilizzati anche per "ottimizzare" i parametri di orientamento interno ed esterno tramite una procedura di *bundle adjustment* che consente di compensare la deformazione non-lineare del blocco fotogrammetrico e di migliorare la stima dei parametri di orientamento interno della camera. Le verifiche effettuate hanno previsto la valutazione dei residui dei GCP e dei CP su differenti configurazioni dei blocchi fotogrammetrici:

- Blocco Est-Ovest
- Blocco Nord-Sud
- Blocco Est-Ovest con strisciate trasversali al bordo
- Blocco Nord-Sud con strisciate trasversali al bordo
- Blocco complessivo con le riprese Est-Ovest e Nord-Sud

I voli relativi alle due aree di studio sono stati processati e valutati separatamente in relazione al diverso velivolo utilizzato. Per tutti i dataset considerati la procedura di orientamento è stata eseguita prevedendo una fase di "allineamento" in modalità *high* e una fase

di "ottimizzazione" dei parametri di orientamento interno ed esterno successiva alla collimazione dei GCP e dei CP. Sulla base dei risultati del rilievo topografico, l'accuratezza dei GCP è stata settata pari ad 1 cm.

Per i CP sono state ottenute accuratezze planimetriche ed altimetriche nell'ordine di circa  $\pm 1.5$  cm e di circa  $\pm 3.0$  cm per il dataset del Tempio di Iside (Tabella 6) e nell'ordine di circa  $\pm 3.0$  cm e di circa  $\pm 5.0$  cm per il dataset del "Cretto di Gibellina" (Tabella 7). Come previsto i residui ottenuti per GCP e CP hanno più o meno la stessa accuratezza del rilievo topografico; inoltre i residui ottenuti in Z sono sempre risultati maggiori.

Dai risultati ottenuti è possibile notare che non ci sono evidenti miglioramenti sui residui utilizzando configurazioni teoricamente più stabili. In entrambi i dataset, infatti, l'aggiunta di strisciate trasversali nei

blocchi Est-Ovest e Nord-Sud non crea un miglioramento nei risultati, anzi, gli scarti quadratici medi in X, Y e Z sono quasi gli stessi, se non peggiori (per esempio, nel dataset del "Cretto di Gibellina" lo scarto quadratico medio della coordinata Z nella configurazione che prevede il Blocco NS + strisciate trasversali è maggiore di 1 cm rispetto al corrispondente valore del solo Blocco NS). Ciò potrebbe sembrare in contraddizione con il classico approccio fotogrammetrico che generalmente considera le strisciate trasversali utili per limitare e controllare la deformazione del blocco fotogrammetrico. Anche aumentando la ridondanza delle misure fotogrammetriche e considerando l'insieme delle immagini disponibili per ogni dataset (Blocco complessivo con le riprese Est-Ovest e Nord-Sud) non si ottiene un miglioramento sostanziale dei risultati.

Tempio di Iside	N. Immagini	Residui CP		
		SQM X [m]	SQM Y [m]	SQM Z [m]
Blocco EO	27	0.010	0.010	0.027
Blocco EO+ Cross Strip	39	0.022	0.011	0.029
Blocco NS	24	0.015	0.007	0.020
Blocco NS + Cross Strip	32	0.010	0.008	0.020
Blocco EO+ Blocco NS	51	0.010	0.007	0.034

Tab. 6 - Parametri statistici dell'orientamento delle immagini per il dataset del Tempio di Iside.

Cretto di Gibellina	N. Immagini	Residui CP		
		SQM X [m]	SQM Y [m]	SQM Z [m]
Blocco EO	76	0.036	0.017	0.051
Blocco EO+ Cross Strip	93	0.021	0.024	0.056
Blocco NS	85	0.021	0.017	0.029
Blocco NS + Cross Strip	103	0.021	0.016	0.040
Blocco EO+ Blocco NS	161	0.023	0.025	0.022

Tab. 7 - Parametri statistici dell'orientamento delle immagini per il dataset del "Cretto di Gibellina".

### VALUTAZIONE METRICA MODELLO 3D

Ulteriori valutazioni sono state condotte anche per verificare le procedure di *dense image matching* implementate in PhotoScan per calcolare i modelli 3D. Tale verifica è stata fatta considerando soltanto i dataset di tre blocchi fotogrammetrici, Blocco EO, Blocco NS e il Blocco complessivo con le riprese Est-Ovest e Nord-Sud. Per questi blocchi sono state calcolate *point cloud* con parametri di risoluzione "High" e "Ultra High", che permettono di ottenere modelli 3D di estremo dettaglio, con risoluzioni che variano da 2.5 cm a 3.5 cm per il Tempio di Iside e da 7 cm a 8 cm per il "Cretto di Gibellina". La precisione metrica in quota dei modelli 3D è stata valutata

calcolando la differenza tra il valore in Z di alcuni punti di controllo uniformemente distribuiti nelle aree di interesse (376 punti nell'area del Tempio di Iside e 274 punti nell'area del "Cretto di Gibellina"), acquisiti tramite un rilievo RTK, e il corrispondente valore interpolato dalle *point cloud* ottenute da PhotoScan. Le differenze calcolate mostrano per i dati del Tempio di Iside una distribuzione dei residui simile in tutti i blocchi considerati con residui maggiori nella parte a nord dove si evidenziano differenze in quota anche di 20 cm (fig. 8); i valori di s.q.m. variano da  $\pm 0.079$  m (Blocco EO) a  $\pm 0.086$  m (Blocco NS). Per il dataset del "Cretto di Gibellina", nel confronto tra i residui del Blocco EO e del Blocco EO+NS vi è una

concentrazione di differenze negative principalmente nelle zone centrali, mentre nel confronto tra i residui del Blocco NS la distribuzione delle deviazioni risulta più omogenea (fig. 9). I valori degli s.q.m. variano da  $\pm 0.050$  m (Blocco NS) a  $\pm 0.097$  m (Blocco EO+NS). Tutti i residui verticali calcolati sono risultati mediamente maggiori rispetto a quelli determinati nei check point utilizzati durante la fase di orientamento, nonostante tutti i punti di controllo siano stati individuati in aree pianeggianti o in aree con pendenza costante per minimizzare gli effetti dell'interpolazione nel calcolo della quota dal modello 3D. Questo risultato evidenzia come la stima della precisione effettuata per l'orientamento non possa essere considerata anche valida per le ricostruzioni 3D derivate dalle procedure di *dense image matching*.

### CONCLUSIONI

Il lavoro presentato mostra alcuni primi risultati sulla valutazione metrica di rilievi eseguiti da APR. In particolare, le verifiche eseguite sul calcolo degli orientamenti non evidenziano alcuna riduzione degli scarti sui CP utilizzando blocchi fotogrammetrici

geometricamente più stabili. L'elevata ridondanza delle misurazioni (in media ogni punto ha nei casi considerati almeno 8-10 proiezioni) e l'elevato numero di punti di legame per ogni immagine (nell'ordine di 2000-4000 punti per immagine) potrebbero rendere superfluo l'uso di configurazioni geometriche di presa aerea più ridondanti tipiche della fotogrammetria aerea "tradizionale". Inoltre, le ricostruzioni 3D calcolate, pur possedendo un livello di dettaglio molto alto, non sempre hanno accuratèzze compatibili con quelle ottenute dalle procedure di orientamento, e, come si evince dalle rappresentazioni grafiche dei residui verticali, potrebbero presentare delle leggere deformazioni non evidenziabili da un semplice controllo qualitativo.

### RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia l'ente "Parco Archeologico e Paesaggistico della Valle dei Templi di Agrigento" per la disponibilità concessa ad accedere nelle aree oggetto dei rilievi e il Consorzio Ticonzero e la Menci Software srl per l'esecuzione dei voli nelle due aree di studio.

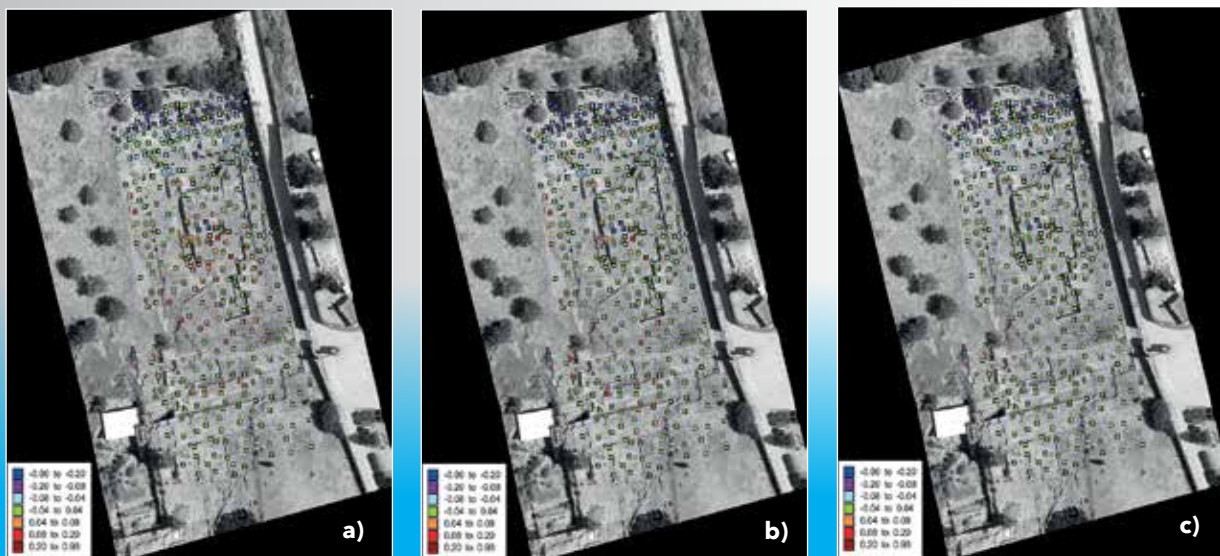


Fig. 7 - Rappresentazione grafica dei residui verticali (in m) calcolati dalla nuvola di punti 3D per il Tempio di Iside: Blocco Est-Ovest (a); Blocco Nord-Sud (b); Blocco Est-Ovest + Blocco Nord-Sud (c).

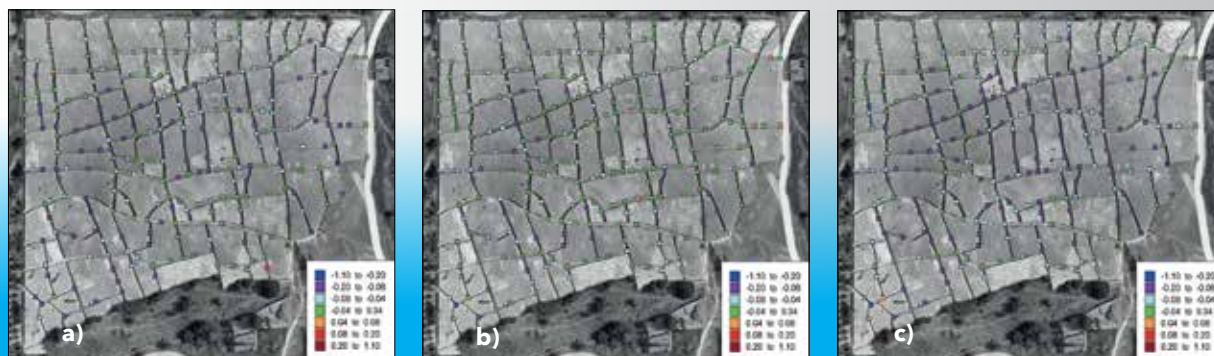


Fig. 8 - Rappresentazione grafica dei residui verticali (in m) calcolati dalla nuvola di punti 3D per il "Cretto di Gibellina": Blocco Est-Ovest (a); Blocco Nord-Sud (b); Blocco Est-Ovest + Blocco Nord-Sud (c).

#### BIBLIOGRAFIA

- Eisenbeiss, H., & Sauerbier, M., 2011. Investigation of UAV systems and flight modes for photogrammetric applications. The Photogrammetric Record, 26(136), pp. 400-421.
- Lo Brutto, M., Borruso, A., D'Argenio, A., 2012. UAV Systems for photogrammetric data acquisition of archaeological sites. Journal of Heritage in the Digital Era, 1, Supplement 1, pp. 7-13.
- Lo Brutto, M., Garraffa, A., Meli, P., 2014. UAV platforms for cultural heritage survey: first results. ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume II-5, pp. 227-234.
- Verhoeven, G., Doneus, M., Briese, C., Vermeulen, F., 2011. Mapping by matching: a computer vision-based approach to fast and accurate georeferencing of archaeological aerial photographs, Journal of Archaeological Science, 39(7), pp. 2060-2070.
- Nocerino, E., Menna, F., Remondino, F., Saleri, R., 2013. Accuracy and block deformation analysis in automatic UAV and Terrestrial photogrammetry - Lesson learnt. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. II-5/W1, pp. 203-208.

#### PAROLE CHIAVE

FOTOGRAMMETRIA; APR; COMPUTER VISION; MODELLAZIONE 3D

#### ABSTRACT

The paper describes the work conducted for the metric evaluation of areal blocks acquired using different APR systems for Cultural Heritage surveys. The work was carried out on two sites with different extent and morphology. Two different APR systems (a multi-rotor and a fixed-wing) were used

#### AUTORI

MAURO LO BRUTTO  
mauro.lobrutto@unipa.it

ALESSANDRA GARRAFFA  
alessandra.garraffa@unipa.it

PAOLA MELI  
paola.meli@unipa.it

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE, AEROSPAZIALE E DEI MATERIALI (DICAM), UNIVERSITÀ DI PALERMO



WWW.SISTER.IT

SERVIZI ED INNOVAZIONE DA OLTRE 20 ANNI

## Sistemi Informativi Geografici



comprendere  
e gestire il territorio

## Geo Business Intelligence



analizzare i dati  
per decidere meglio

## Big Data e Open Data



la conoscenza  
al servizio di tutti

## Public Utilities



più efficienti e competitivi  
con le tecnologie GIS & BI

# SOLUZIONI UAV INTEGRATE PER IL RILIEVO

## AEROMAX



### CARATTERISTICHE

- Multirotori quadricotteri/esacotteri anche con eliche contrapposte
- Struttura full carbon/alluminio
- Payload da 300 gr ad oltre 6 kg
- Camera mount con pan, tilt e sistema di smorzamento tilt e roll
- Autostabilizzazione e posizionamento gps
- Radiocomando con video real-time
- Elevata stabilità ed estrema maneggevolezza
- GPS differenziale a bordo, come opzione upgradabile in futuro

## iFLY



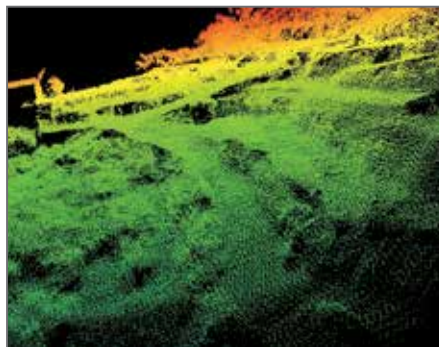
### CARATTERISTICHE

- Peso al decollo: 2 kg
- Motore: Brushless, potenza 500W
- Autonomia di volo: 30 minuti
- Quota di volo rilievi: 70 mt
- Velocità: 40/70 km/h
- Resistenza al vento: fino a 30 km/h
- Condizioni ambientali operative: -10 °C/+ 45°C
- Fpv: 5,8 Ghz fino a 2 Km
- Volo assistito con modalità "cruise"
- Reset della missione

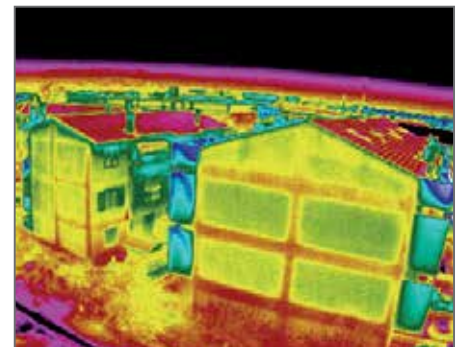
### SOLUZIONI



CAMERA SYSTEM



LIDAR SYSTEM



INFRARED SYSTEM