

## **Moderne tecniche di rilievo aereo-fotogrammetrico di oggetti a sviluppo verticale per la produzione di DSM: il caso di Campione del Garda (BS)**

Martino Montagna (\*) Paolo Rigon (\*) Luca Ercolin (\*\*\*)  
Daniele Sarazzi (\*\*) Francesca Julitta (\*\*)

(\*) ViReal, Arquà Polesine (RO)

(\*\*) Zenit s.r.l., Busto Arsizio (VA)

(\*\*\*) Zenith Ingegneria, Ferrara

### **Riassunto**

La metodologia di rilievo sperimentata dimostra che le procedure tradizionali di acquisizione ed elaborazione dati dell'aereo-fotogrammetria nadirale grazie alla peculiare capacità della piattaforma utilizzata di orientare frontalmente la camera metrica, possono essere applicate con successo per la modellizzazione di oggetti a sviluppo verticale anche di grandi dimensioni. La metodica utilizzata è nata dall'esigenza di ottenere risultati ugualmente precisi e comparabili a quelli che si ottengono con laser scanner, superando il limite delle occlusioni derivanti dalla sfavorevole geometria di acquisizione, che appunto il laser scanner presenta in questo genere di rilievo.

Infatti, a seconda delle caratteristiche della parete e dell'area ad essa antistante, e quindi degli angoli di presa, il rilievo da stazione laser terrestre può rivelarsi inefficace o incompleto, oltre che certamente più oneroso. Il rilievo da micro UAS permette una misurazione precisa delle superfici e dei volumi della parete e la restituzione di un modello 3D in cui ricostruire gli ammassi rocciosi. Di questi, in base alla dimensione e alla posizione, sulla base del confronto di più rilievi nel tempo si potrà così valutare la suscettibilità al movimento e le relative criticità.

La possibilità, quindi di automatizzare il rilievo comporta l'opportunità di effettuare rapidamente e a costi ridotti indagini multi-temporali. Il caso di studio su cui verte il presente lavoro riguarda il rilievo di una parete rocciosa sita alle spalle di campione del Garda (Brescia).

### **Abstract**

The methodology of the survey shows that the tested conventional procedures of acquisition and processing of the aero-photogrammetry nadir data due to the peculiar capabilities of the platform used to orient the metric camera straight ahead, can be successfully applied to the modeling of objects in vertical development also of considerable surface.

The method used is also born from the need to obtain accurate and comparable results to those obtained with laser scanner data, exceeding the limit of occlusions, caused by the unfavorable geometry of acquisition, the laser scanner has for this kind of survey. In fact, according to the characteristics of the wall, the area beneath it, and then the angles of the camera, survey from terrestrial laser station can be ineffective or incomplete, well certainly more expensive.

The survey from micro UAVs allows an accurate measurement of surfaces and volumes of the wall and the return of a 3D model in which to reconstruct the rock masses. Here, depending on the size and position, based on the comparison of several measurements over time can be evaluate its susceptibility to motion and its criticality.

The possibility to automate the survey involves the opportunity to do quickly and cost-effective multi-temporal surveys. The case study on which the subject of this work involves the survey of a rock wall located behind Campione Del Garda (Brescia) village.

## 1 Area di studio

Questo studio si inserisce nell'ambito di un progetto di riqualificazione ambientale della località di Campione del Garda (BS) e delle aree circostanti all'interno di uno dei più importanti interventi di recupero ecosostenibile d'Europa.



Figura 1 – Inquadramento area di studio.

Campione del Garda è un borgo dalla forte vocazione industriale e commerciale. Descritto già dalle cronache del XVI secolo come sede di cartiere, mulini e fucine, nell'ultimo secolo è stato sede di un'importante industria della filatura del cotone. Nel 1981 è avvenuta la chiusura dello stabilimento e nel 2002 Coopsette diviene proprietaria dell'area, da qui inizia l'operazione di riqualificazione ambientale a destinazione turistica.

Alle spalle del borgo un'alta parete rocciosa a strapiombo è divisa in due dal solco del torrente Tignalga che li scende verso il lago, separandola in parete nord e parete sud.

Il presente lavoro si è occupato appunto della parete sud a supporto della progettazione per gli interventi di messa in sicurezza della stessa.

## 2 Materiali e metodi

In questo lavoro si descrive un rilievo eseguito con tecniche aerofotogrammetriche da drone con prese verticali parallele alla parete e rilievo laser scanner 3D, al fine di ottenere un modello tridimensionale georeferenziato con la verticale geodetica.

La campagna di misura è stata articolata in 2 fasi di lavoro distinte:

- rilievo topografico *Laser Scanning* 3D che ha consentito l'unione georeferenziata di tutti i fotogrammi
- rilievo aerofotogrammetrico tramite uso di drone UAS (*Unmanned Aircraft System*) dotato di macchina fotografica ad asse orizzontale calibrata

### 2.1 Rilievo aerofotogrammetrico

L'apparecchiatura utilizzata per tale rilievo è una suite *Microdrones* MD4-200 della classe VTOL (*Vertical Take-off and Landing*), composta da un Drone UAS, base station e software proprietario che consente la programmazione e la realizzazione di voli pianificati sulla base di *way points* definiti su base cartografica. Rispetto a tutte le altre piattaforme di volo, aeree o satellitari, l'UAS presenta numerosi vantaggi sia tecnici che logistici, tra i più importanti: bassa quota operativa (che si traduce in un'elevatissima risoluzione spaziale), tempestività nella messa in esercizio e ottenimento dei dati, ridotti costi di esercizio.

Per quanto riguarda l'elettronica di volo il drone è dotato di ricevitore gps, magnetometro ed accelerometri. L'integrazione di questi sottosistemi costituisce un *Inertial Navigation System (INS)* estremamente preciso che consente di eseguire automaticamente un piano di volo pre-programmato su base cartografica o, se richiesto, di mantenere precisamente la propria posizione. Il sistema di posizionamento GPS e i sensori di volo consentono inoltre di contrastare l'azione del vento in assenza di comandi da parte dell'operatore, migliorando così la stabilità dell'apparecchio e di conseguenza la qualità dei rilievi.

I punti di decollo, la rotta e la quota di volo, insieme a tutti i parametri di settaggio dei sensori, vengono pianificati a priori su base cartografica GIS attraverso software proprietario.

Il drone è pertanto in grado di eseguire rilievi aerei fotogrammetrici precisi e automatici, ripetibili nel tempo e pertanto adatti ad indagini multitemporali. Durante i rilievi attraverso la stazione di controllo a terra si ha un riscontro continuo ed in tempo reale dell'inquadratura degli apparati di ripresa e delle telemetrie di volo attraverso un *datalink* a 2.4 GHz.

### 2.1.1 Programmazione voli automatici

Presupposto fondamentale alle riprese mediante drone è la pianificazione del volo che richiede a sua volta un'approfondita analisi dell'area di studio.

La parete Sud sopra citata ha un ingombro massimo di 400 m di altezza per uno sviluppo planimetrico di 350 m.

Inoltre presenta uno scostamento di soli 11° rispetto alla verticale, per cui tra il piede della parete e la parte sommitale c'è uno scarto di circa 80 m sul piano orizzontale di cui si è dovuto tener conto nella pianificazione.

Tra il punto di decollo del drone e la parete c'è una distanza a terra di 80 m, mentre in corrispondenza della quota massima raggiunta dal drone lungo l'asse verticale, la distanza raggiunge un'estensione di 160 m.

Per poter pianificare il volo è stato necessario uniformare tutti i diversi dati a disposizione perché fossero utilizzabili in ambiente GIS.

L'immagine sottostante illustra l'area di intervento su base cartografica CTR: in giallo è tracciata la linea di approssimazione del piede della parete, mentre in rosso la traccia del piano sul quale eseguire le linee di volo verticali.

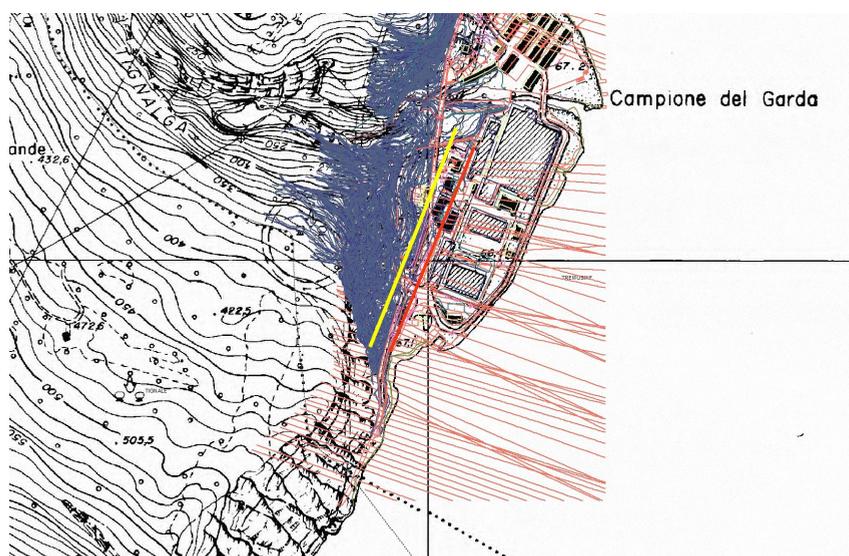


Figura 2 – Rappresentazione dell'area del rilievo su base cartografica CTR.

In particolare, è stata utilizzata come fotocamera per le riprese una Pentax con obiettivo da 17 mm, montata in modo da effettuare riprese orizzontali. Per garantire la copertura di tutta l'area di interesse sono necessarie 5 strisciate verticali, aventi circa il 15% di sovrapposizione l'una con l'altra e con azimuth del drone pari a 291.5° dal N.

I voli si intendono continui, in ascensione e discesa con 5 secondi di permanenza alla massima quota, con lo scatto in modalità temporizzata a raccogliere una immagine ogni 12 m durante il percorso in salita e una immagine ogni 8 m durante il percorso in discesa (equivalente a una sovrapposizione dell'80%). Date le particolari condizioni ambientali del sito e le elevate quote di volo è stato ideato questo metodo di acquisizione a tempi sfalsati tra andata e ritorno per minimizzare il rischio di mancare l'*overlap* tra i fotogrammi a causa delle possibili folate di vento in quota. L'errata acquisizione di un fotogramma per via di improvvisa raffica di vento in un senso di percorrenza viene compensata dagli scatti effettuati in senso opposto. In questo modo è garantita la mosaicatura dei fotogrammi di una strisciata con sovrapposizione prestabilita.

Una prima analisi delle quote ha portato a queste conclusioni circa le quote massime da raggiungere per ciascuna ascensione:

- colonna 1: 370m
- colonna 2: 350m
- colonna 3: 320m
- colonna 4: 270m
- colonna 5: 270m (riducibile fino a 220m)

I voli sono stati pianificati in ambiente GIS e successivamente trasferiti in *mdCockpit*, ossia il *software* di interfaccia del modello md4-200.

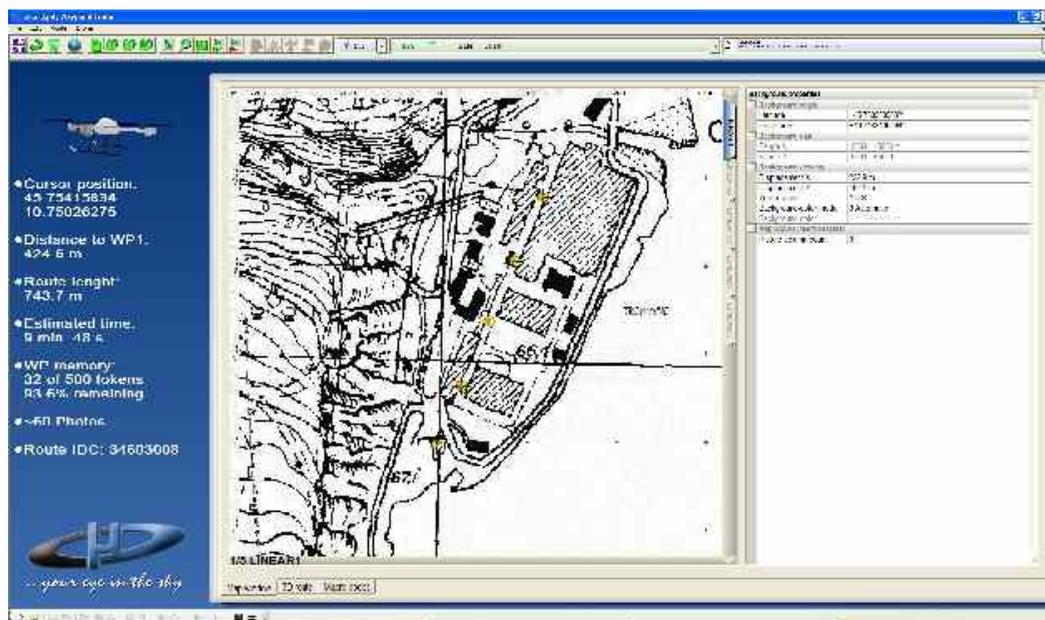


Figura 3 – Interfaccia del software mdCockpit per la pianificazione del volo e posizionamento delle stazioni di decollo.

### 2.1.2 Rilievo aereo fotogrammetrico in campo

In data 06/08/2011 è stato eseguito il volo aereo fotogrammetrico, sfruttando la finestra temporale 12.00 - 13.00 am che presenta i valori minimi di vento nel sito considerato.



Figura 4 – md4-200 in posizione di decollo.

### 2.2 Rilievo Laser Scanning

Il rilievo *laser scanner*, eseguito con la *scan station* Leica C10 in data 03/08/2011, ha avuto una duplice funzionalità: controllare eventuali sbandamenti della parete ottenuta dall'elaborazione fotogrammetrica e definire il sistema di riferimento cartesiano al quale riferire le singole strisciate ottenute per fotogrammetria.

Infatti sono state eseguite 5 stazioni di misura acquisendo con dettaglio tutti gli edifici o comunque gli elementi notevoli costruiti presenti alla base della parete e presenti anche nei fotogrammi acquisiti dal drone così da permettere sulla base dei punti omologhi di coordinate note, 5 rototraslazioni con variazione di scala indipendenti per le cinque strisciate verticali modellate tridimensionalmente per punti.

### 3 Risultati preliminari e discussione

E' necessario premettere che la fase di elaborazione fotogrammetrica delle immagini acquisite è tuttora in corso, i risultati illustrati attraverso le seguenti immagini derivano da elaborazioni preliminari.

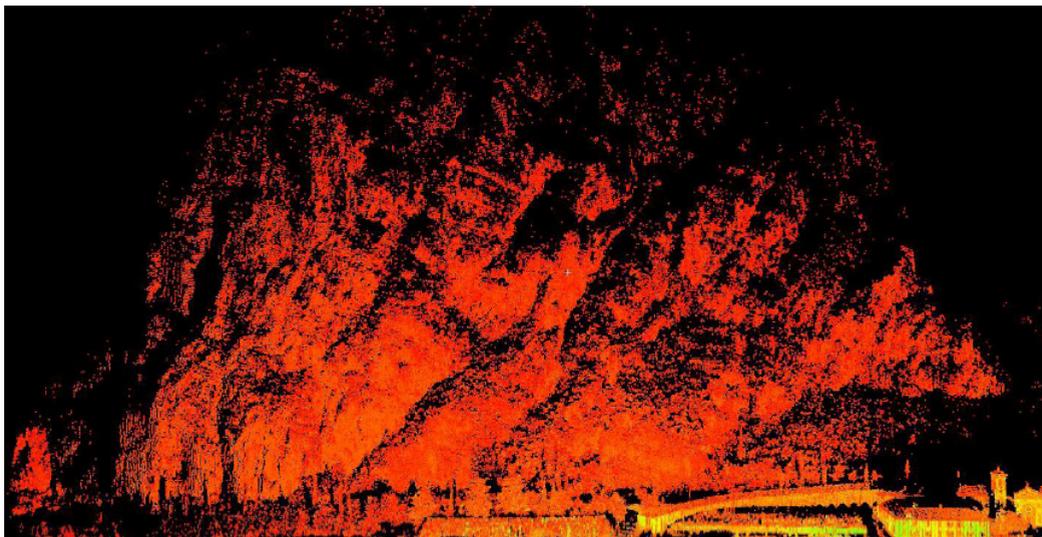


Figura 5 – Scansione complessiva della parete mediante laser scanner.

Una semplice analisi visiva dell'immagine sopra riportata, che mostra la nuvola di punti complessiva ottenuta dalla scansione mediante *Laser Scanner*, permette di osservare come la densità di punti acquisiti non sia uniforme in tutta la figura. La parte bassa dell'immagine presenta una maggiore densità di punti che ben descrive la morfologia del versante, mentre spostandosi nelle parti alte i punti si diradano, prevalgono le zone nere, ossia quelle prive di punti, pertanto il modello è insufficiente a descrivere l'andamento della superficie.

Per questo motivo si è ritenuto necessario integrare le due tecniche di rilievo (*Laser scanner* e fotogrammetria aerea di prossimità) per compensare con le riprese aeree le lacune della scansione. Diversi studi mostrano come l'integrazione di più tecniche di rilievo nel caso di ricostruzioni 3D di strutture architettoniche e siti archeologici portano ad ottenere risultati di elevato dettaglio, sono i casi, ad esempio, della canonica di San Pietro in Villore in provincia di Siena, Italia (Campana et al 2008) e dei siti di Cerveteri in provincia di Roma, Italia (Remondino et al 2009) e di Tucume in Perù (Sauerbier et al 2004).

Le riprese mediante drone hanno permesso di superare il forte limite delle occlusioni derivanti dalla sfavorevole geometria di acquisizione della stazione *Laser*.

L'immagine sottostante mostra il risultato di una prima elaborazione dei fotogrammi ripresi con il drone. I dati sono stati, infatti, soggetti ad un trattamento preliminare mediante il *software Photomodeler Scanner*, che ha permesso di orientare tutti i fotogrammi di tutte le strisciate sulla base del riconoscimento di punti naturali omologhi al fine di collegare inizialmente in un mondo locale tutti i fotogrammi alla rispettiva strisciata.

Sempre in questo ambiente fotogrammetrico è stato possibile estrarre nelle varie zone di sovrapposizione delle coppie di foto una griglia di punti regolari dotati anche della terza dimensione, fino all'ottenimento di una maglia di 25x25 cm di punti di tutte le strisciate realizzate.

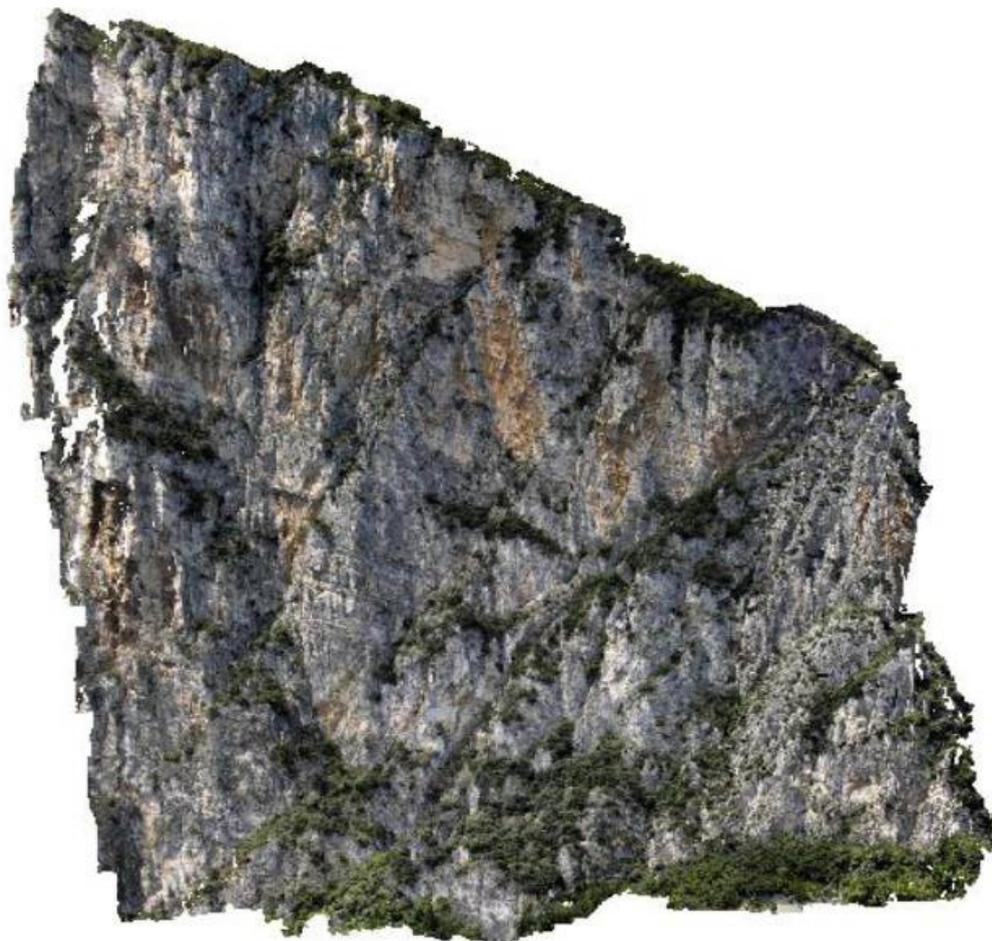
L'*output* dell'elaborazione è stato una nuvola di 12 milioni di punti rappresentativa della morfologia di dettaglio della parete oggetto di rilievo.

E' stato scelto il piano che meglio approssimava la forma non regolare dell'unghia di base della parete, così da poter avere un'unica giacitura della *mesh* realizzata in ambiente CAD e conseguentemente l'estrazione di una sezione della parete ogni 10 m.

Nella figura sottostante è riportata la nuvola di punti relativa alla porzione di parete rilevata con associata l'informazione RGB.

Si può osservare come questa rappresentazione descriva con maggior dettaglio ed in modo più uniforme la morfologia della parete rocciosa, rispetto alla scansione. Tutta la superficie è omogeneamente coperta dai punti, fatta eccezione solo per alcune porzioni marginali, e sono, inoltre, visibili le fessure e le sporgenze tra gli ammassi rocciosi.

Allo stato attuale del lavoro si può affermare che le riprese realizzate mediante UAS hanno prodotto immagini di buona qualità in grado di integrare le acquisizioni Laser per future modellizzazioni 3D.



*Figura 6 – Nuvola di punti risultato di elaborazione fotogrammetrica preliminare.*

### **Riferimenti Bibliografici**

Campana S., Remondino F., Rizzi A., Sordini M. (2008) "Ricostruzione virtuale e visualizzazione di un monumento romanico: la canonica di San Pietro in Villore" <http://www.fondazionepava.org>

Eisenbeiss H., Li Zhang L. (2006) "Comparison of DSMs generated from mini UAV imagery and terrestrial laser scanner in a cultural heritage application" ISPRS Commission V Symposium 'Image Engineering and Vision Metrology IAPRS Volume XXXVI, Part 5, Dresden 25-27 September 2006

Eisenbeiss H. et al (2005) "Photogrammetric documentation of an archaeological site (Peru) using an autonomous model helicopter" CIPA 2005 XX International Symposium, 26 September – 01 October, 2005, Torino, Italy

Eisenbeiss, H., (2008) "UAV photogrammetry in plant sciences and geology" 6th ARIDA Workshop on "Innovations in 3D Measurement, Modeling and Visualization, Povo (Trento), Italy.

Haarbrink, R.B., Koers, E., 2006. Helicopter UAV for Photogrammetry and Rapid Response. Int. Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. 36(1/W44), Antwerp, Belgium (on CD-ROM).

Lambers K.et al (2007) "Combining photogrammetry and laser scanning for the recording and modelling of the Late Intermediate Period site of Pinchango Alto, Palpa, Peru" Journal of Archaeological Science xx 1-11

Remondino F., Rizzi A. (2009) "Reality-based 3D documentation of world heritage sites: methodologies, problems and examples" XII CIPA Symposium, October 11-15, 2009, Kyoto, Japan

Sauerbier M., Kunz M., Fluehler M., Remondino F. (2004) "Photogrammetric reconstruction of adobe architecture at Tucume, Peru" ETH, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, Institut für Geodäsie und Photogrammetrie (2004). doi:10.3929/ethz-a-005018568.

Scaioni M.et al (2009) "RC-Heli and structure & motion techniques for the 3-D reconstruction of a Milan Dome spire" Int. Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. 38(5W1), Trento, Italy (on CDROM).