
L'USO DI IMMAGINI UAV PER LA MODELLAZIONE 3D DEGLI EDIFICI

THE USE OF THE UAV IMAGES FOR THE BUILDING 3D MODEL GENERATION

Giuseppina Vacca*, Giuseppe Furfaro, Andrea Dessì***

* DICAAR - Università degli Studi di Cagliari - Cagliari, Italia.

vaccag@unica.it, andessi@unica.it

** Libero professionista

Abstract

Il crescente interesse degli ultimi anni per i rilievi UAV - Unmanned Aerial Vehicles da parte della comunità scientifica, sviluppatori di software e professionisti della geomatica, ha portato questi sistemi ad essere utilizzati sempre più ampiamente, in diversi campi dell'ingegneria e dell'architettura. Ciò è dovuto soprattutto alla loro flessibilità nell'utilizzo e al basso costo rispetto ai tradizionali voli fotogrammetrici che utilizzano costose camere digitali metriche o sensori LiDAR. Negli ultimi anni gli UAV sono stati utilizzati anche nel campo del monitoraggio e dell'ispezione di edifici pubblici o privati grazie, soprattutto, all'introduzione dei voli obliqui, ovvero con asse ottico della camera inclinato di 45° rispetto alla direzione nadirale, che hanno permesso una conoscenza metrica ed un rilievo 3D molto accurato dell'edificio in tutte le sue parti, comprese le facciate che difficilmente venivano ricostruite in maniera completa con i voli nadirali. Questo lavoro si pone l'obiettivo di studiare i sistemi di acquisizione UAV a basso costo ed i software open source per l'elaborazione di immagini acquisite da UAV attraverso voli nadirali e obliqui, studiando le accuratze dei modelli 3D prodotti. Le immagini nadirali ed oblique provenienti dai voli UAV sono state elaborate utilizzando l'approccio Structure from Motion (SfM) per la generazione di nuvole di punti utilizzando l'algoritmo implementato in software open source. A tal fine è stato testato il software open source VisualSfM, sviluppato da Chanchang Wu in collaborazione con l'Università di Washington e Google, integrato con il tool PMVS/CMVS, realizzato da Yasutaka Furukawa, per la generazione della nuvola densa di punti. I risultati sono stati confrontati con quelli ottenuti dal software commerciale e ampiamente testato Photoscan di Agisoft e con il modello 3D proveniente dal rilievo Laser Scanner terrestre (TLS) attraverso l'utilizzo del software open source Cloud Compare.

Abstract

The growing interest in recent years in Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) by the scientific community, software developers, and geomatics professionals, has led these systems to be used more and more widely, in different fields of engineering and

architecture. This is thanks, above all, to their flexibility of use and low cost compared to traditional photogrammetric flights using expensive metric digital cameras or LiDAR sensors. In recent years, UAVs have also been used in the field of monitoring and inspection of public or private buildings that are remarkable in terms of size and architecture. This is mainly due to the focus a sustainability and resource efficiency in the building and infrastructure sector, which aims to extend their lifetimes. Through the use of remote checking using UAVs, the monitoring and inspection of buildings can be brought to a new level of quality and saving. This paper focuses on the processing and study of 3D models obtained from images captured by an UAV. In particular, the authors wanted to study the accuracy gains achieved in the building 3D model obtained with both nadir and oblique UAV flights. The images from the flights were processed using Structure-from Motion-based approach for point cloud generation using dense image-matching algorithms implemented in an open source software. We used the open source software VisualSfM, developed by Chanchang Wu in collaboration with the University of Washington and Google. The dense matching plug-in integrated in its interface, PMVS/CMVS, made by Yasutaka Furukawa, was employed to generate the dense cloud. The achieved results were compare with those gained by Photoscan software by Agisoft and with 3D model from the Terrestrial Laser Scanner (TLS) survey.

Keywords: building and design techniques, UAV, photogrammetry, building, SfM, open source, VisualSfM.

1. Introduzione

Il crescente interesse negli ultimi anni per i sistemi Unmanned Aerial Vehicles (UAV) da parte della comunità scientifica, sviluppatori di software e professionisti della geomatica, ha portato questi sistemi ad essere utilizzati sempre più diffusamente, in diversi campi dell'ingegneria e dell'architettura. Questo grazie soprattutto alla loro flessibilità d'uso ed al basso costo rispetto alle tradizionali tecniche geomatiche come ad esempio i rilievi fotogrammetrici aerei eseguiti con costose camere digitali metriche o sensori LiDAR [1]. Altri vantaggi sono il ridotto tempo di acquisizione delle immagini e la facilità di elaborazione delle immagini grazie alla presenza sul mercato o sul WEB di software a basso costo o free /open source.

I sistemi UAV sono stati utilizzati prima per scopi militari e successivamente per quelli civili, come ad esempio nella gestione agricola e forestale (agricoltura di precisione, sorveglianza antincendio, ecc.) [2, 3], per l'archeologia ed i beni culturali (documentazione e mappatura 3D) [4, 5], per la ricostruzione 3D [6] e altri. Nello specifico, negli ultimi anni, gli UAV sono stati utilizzati anche nel campo del monitoraggio e dell'ispezione

di edifici pubblici o privati. Ciò è dovuto principalmente al focus sulla sostenibilità ed efficienza delle risorse nel settore dell'edilizia e delle infrastrutture, che mira a prolungare la durata della vita dell'edificio. Questo tipo di monitoraggio e ispezione ha sempre richiesto metodi sofisticati e costosi per identificare rapidamente e in sicurezza possibili danni che potrebbero mettere a repentaglio la stabilità e la sicurezza di edifici e persone. Attraverso l'uso del controllo remoto tramite UAV, il monitoraggio e l'ispezione degli edifici può essere portato a un nuovo livello di qualità e risparmio.

Il modello 3D degli edifici, in particolare quelli di importanza storico-architettonica, diventa di interesse strategico anche per il Building Information Modeling (BIM) o per la creazione di 3D City Models o GIS 3D [7, 8], delle nostre città, permettendo in questo modo una migliore conoscenza e gestione dell'edificio [9]. Finalizzati al pieno raggiungimento di questi ultimi obiettivi ed in particolare per una completa ricostruzione geometrica degli edifici con elevata accuratezza, da diversi anni vengono utilizzati i voli UAV nadirali e obliqui [10]. L'uso di voli UAV obliqui consente, inoltre, la ricostruzione di modelli 3D completi di edifici tra cui anche le facciate. Inoltre, questa tecnica consente la misurazione e il rilievo delle parti superiori degli oggetti, che non sono facilmente ottenibili dalle comuni tecniche di rilevamento, come il rilievo laser scanner terrestre (TLS) o la fotogrammetria terrestre [11]. Questo articolo si concentra sull'elaborazione e lo studio di modelli 3D ottenuti da immagini acquisite da UAV. In particolare, gli autori hanno voluto studiare l'accuratezza raggiungibile nel rilevamento e nella misurazione degli edifici nei modelli 3D o il loro stato di salute ottenuto con voli UAV nadirali e obliqui. A tale scopo, alcuni rilievi UAV con assi sia nadirale che obliqui sono stati eseguiti sugli edifici. Le immagini dei voli sono state elaborate utilizzando l'approccio Structure from Motion (SfM) per la generazione di nuvole di punti implementato in software open source. In particolare, è stato utilizzato il software Open Source VisualSfM, sviluppato da Chanchang Wu in collaborazione con l'Università di Washington e Google, per l'allineamento delle immagini mediante la tecnica SfM [12] integrato con il tool PMVS/CMVS, realizzato da Yasutaka Furukawa, per la generazione della nuvola densa di punti. I risultati ottenuti sono stati confrontati con quelli ottenuti dal software Photoscan di Agisoft e con il modello 3D del rilievo del Laser Scanner Terrestre (TLS) sullo stesso edificio.

2. Metodologia

Strumenti e software

Lo scopo di questa ricerca è stato quello di studiare l'accuratezza dei modelli 3D ottenuti dalle immagini nadirali e oblique acquisite da sistemi UAV ed elaborate con il software Open Source VisualSfM. Per raggiungere questi obiettivi, è stato eseguito un volo UAV nadirale ed obliquo su un singolo edificio. Il sistema UAV utilizzato è il

FlyNovex UAV di FlyTop S.p.A. (Figura 1). È un esacottero del peso di 6 kg con un raggio di 5 km e 20 minuti di autonomia. Il sistema contiene un'unità IMU (unità di misurazione inerziale), un ricevitore GPS e una camera digitale montata sul Gimbal. L'UAV ha una connessione wireless con un computer che lavora come stazione di controllo a terra. La camera digitale è un'Alfa 6000 della Sony con una risoluzione di 6000 pixel x 4000 pixel, una lunghezza focale di 16 mm, dimensioni del sensore di 23,5 mm x 15,6 mm e una dimensione di pixel di 3,92 micron. I parametri di calibrazione della telecamera sono riportati nella Tabella 1.



Fig. 1. FlyNovex UAV system.

Focal length	16 mm
Pixel size x	0.004 mm
Pixel size y	0.004 mm
fx	4074.9533 pixel
fy	4074.4493 pixel
cx	2996.9340
cy	1936.5894
skew	0.934748
k1	-0.019653
K2	0.013821
K3	-0.006089
K4	0.008760
p1	-0.001868
p2	-0.001065
Date	14/10/2016

Tabella. 1. Parametri di calibrazione della camera.

Le immagini UAV sono state elaborate utilizzando VisualSfM, ed il modello 3D dell'edificio ottenuto è stato validato utilizzando un modello 3D Laser Scanner terrestre (TLS). Lo strumento laser scanner utilizzato è il Faro Focus 3D, uno scanner compatto caratterizzato da un campo operativo variabile tra 0,6 me 120 m, con un errore di distanza lineare di ± 2 mm per distanze oggetto scanner comprese tra 10 me 25 m. L'elabora-

zione delle scansioni è stata effettuata utilizzando il software JRC Reconstructor v. 3.1.0 (335) di Gexcel Ltd. (Spin Off dell'Università di Brescia, Bergamo, Italia).

La validazione dei risultati è stata effettuata sia confrontando le misure di distanze prese sulle nuvole di punti ottenute dal modello 3D UAV e dai rilievi TLS, sia confrontando le nuvole di punti stesse utilizzando il software CloudCompare (software Open Source). Le immagini sono state elaborate anche con un software commerciale proprietario Agisoft Photoscan (www.agisoft.com) che raggiunge prestazioni e accuratezza molto elevate.

I voli UAV ed i risultati

Per questo studio è stato pianificato ed eseguito un volo su un singolo edificio. L'edificio scelto era una costruzione abbandonata con una forma regolare, alta circa 12 m. Il volo è stato caratterizzato da immagini acquisite sia con asse della camera nadirale sia inclinato di 45° rispetto alla direzione nadirale. La Tabella 2 mostra i parametri del piano di volo per i voli nadirale ed obliquo. Le immagini dal volo UAV sono state elaborate utilizzando VirtualSfM e Photoscan. La nuvola densa di punti è stata calcolata con Photoscan impostando il parametro Qualità su "Medio" e il Depth Filtering su "Moderato". Le nuvole di punti sono state georeferenziate utilizzando quattro GCP sul terreno e cinque sulla facciata (Figura 2), rilevati nel datum ETRF2000.

Nadir flight	Flight altitude	90 m
	GSD	2.20 cm
	Forward overlay	80 %
	Side overlay	75%
	Number of images	25
Oblique flight	Flight altitude	50 m
	GSD	1.2 cm
	Forward overlay	About 80 %
	Side overlay	About 80 %
	Number of images	119
	Axis inclination	45°

Tabella. 2. Parametri dei voli.

Il rilievo TLS è stato eseguito utilizzando il laser scanner 3D Faro Focus. Sono state realizzate con quattro scansioni esterne (figura 3) ad una risoluzione di un punto ogni 7,67 mm a 10 m. Le nuvole dei punti sono state georeferenziate sugli stessi GCP utilizzati per le nuvole di punti ottenute dal volo UAV, con un r.m.s. di 3,5 cm. Il modello 3D finale è composto da 5.203.483 punti e l'r.m.s. della registrazione è di 2 mm.

La Tabella 3 riporta il numero di punti delle diverse nuvole di punti che rappresentano solo l'edificio.

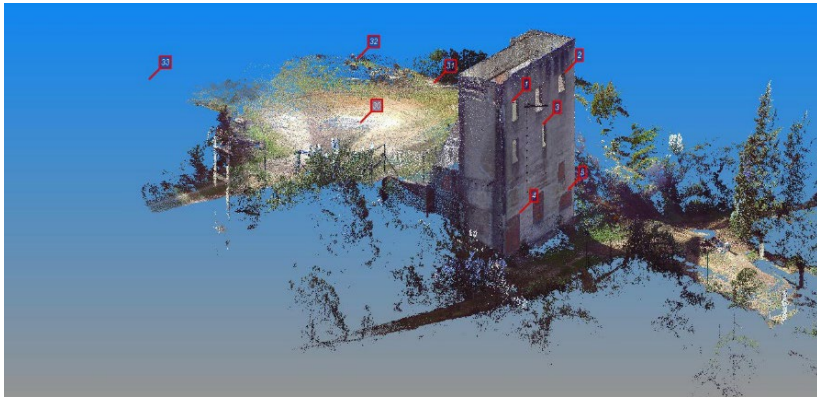


Fig. 2. GCPs.

Flight/Survey and Software	N. of points
UAV Flight - Photoscan	1.207.609
UAV Flight - VisualSfM	1.042.332
TLS Faro Focus 3D	5.203.483

Tabella. 3. Numero di punti dei modelli 3D.

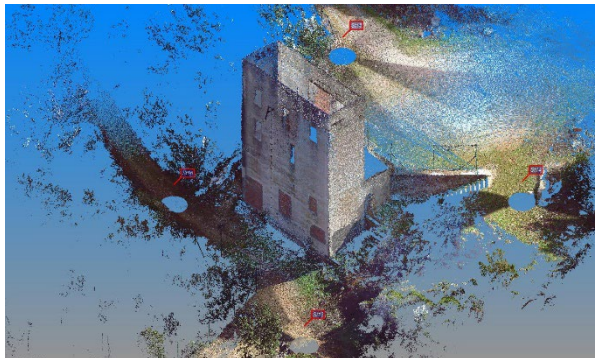


Fig. 3. TLS stazioni.

Come si può vedere dalla tabella 3, il numero di punti elaborati da Visual SfM è compatibile con quelli della nuvola di punti elaborati da Photoscan, mentre entrambi sono di molto inferiori di quelli del TLS. Le nuvole di punti ottenute dall'elaborazione sono state validate in due modalità differenti. La prima attraverso le misure L1, L2 e H (figura 4) nelle diverse nuvole di punti; l'altra, calcolando la minimal distance tra ogni punto del modello 3D ottenuto da ciascun volo e il modello 3D TLS.

La tabella 4 riporta i confronti tra ciascuna quantità misurata sui differenti modelli 3D. L'analisi della tabella 4 mostra che le misure effettuate sulla nuvola di punti generata da VisualSfM differiscono da quelle provenienti dal TLS di poche decine di centimetri, mentre quelle ottenute da Photoscan sono leggermente peggiori. La seconda validazione ha comportato un confronto diretto tra le nuvole di punti dal volo UAV e dal rilevamento TLS, attraverso il calcolo della distanza minima tra ogni punto. Per ragioni pratiche, questo confronto non ha interessato l'intero edificio ma solo la facciata nord (figura 6), che non conteneva gronde o ostruzioni, assicurando così che i risultati statistici dipendessero solo dall'elaborazione e non dalla geometria o dalle condizioni dell'elemento esaminato.

Misure	TLS	VSM	PS	TLS-VSfM	TLS-PS
H (m)	11,93	12,03	11,34	-0,1	0,63
L ₁ (m)	8,72	9,06	8,53	-0,34	0,50
L ₂ (m)	3,20	3,31	3,02	-0,11	0,24

Tabella. 4. Comparison between the measurements.

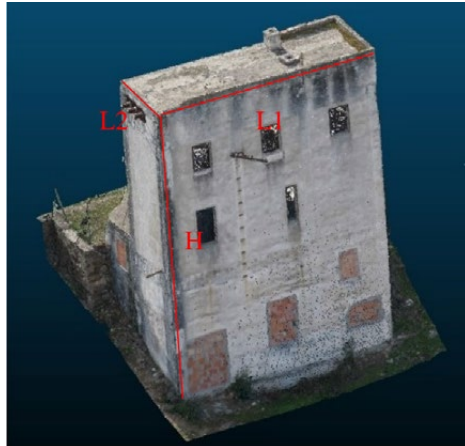


Fig. 4. Misure sull'edificio.

La Tabella 5 riporta il numero di punti della porzione di nuvola di punti che rappresenta la facciata nord per ogni configurazione.

Flight/Survey and software	N. points of the 3D model
VisualSfM	123.430
Photoscan	187.441
TLS Faro Focus 3D	515.775

Tabella. 5. Numero di punti sulla facciata.

Sempre dalla tabella 5 è confermato che il risultato sulla densità dei punti è leggermente migliore nell'elaborazione con Photoscan rispetto a VisualSfM. Il calcolo della distanza minima tra ogni punto delle nuvole di punti è stato ottenuto per le diverse elaborazioni e la nuvola di punti TLS. Per il confronto è stato utilizzato il software CloudCompare, che confronta le nuvole di punti che rappresentano uno stesso oggetto ma acquisite in diversi tempi e /o con diversi strumenti. CloudCompare calcola inoltre le seguenti statistiche: distanza minima, distanza massima, distanza media e deviazione standard.

Nella figura 5, la facciata nord da TLS, nelle figure 6 la facciata nord da UAV elaborata con Photoscan e nella figura 7 la facciata nord da UAV elaborata con VisualSfM. La Tabella 6 riporta i risultati dei confronti tra le nuvole di punti ottenute con TLS e le nuvole di punti da VisualSfM e Photoscan elaborati.

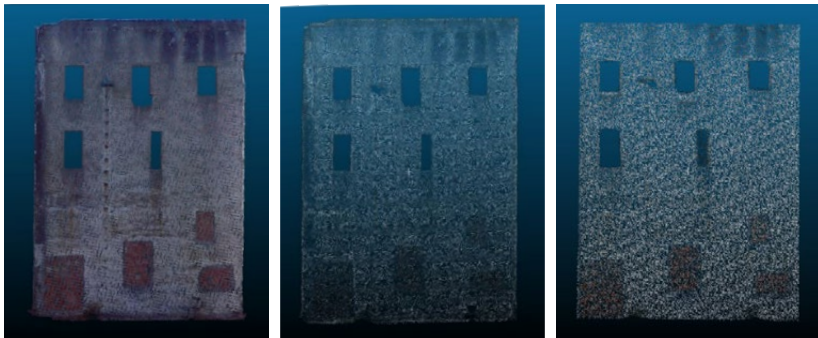


Fig. 5. Asinistra: TLS nuvola di punti. Al centro: UAV Photoscan processing. A destra: UAV VisualSfM processing.

Software	VisualSfM	Photoscan
Min (m)	0	0
Max (m)	0.363	0.397
Mean (m)	0.064	0.008
Dev. Stand (m)	0.073	0.031

Fig. 6. Valori statistici dei confronti.

La Tabella 6 mostra che le statistiche sulle nuvole di punti da VisualSfM e Photoscan sono comparabili. Solo la deviazione standard di VisualSfM è doppia rispetto a Photoscan ma sempre inferiore a 10 cm. Le figure 8 e 9 mostrano le mappe delle discrepanze e l'istogramma tra le nuvole di punti TLS e quelle ottenute dalle indagini UAV.

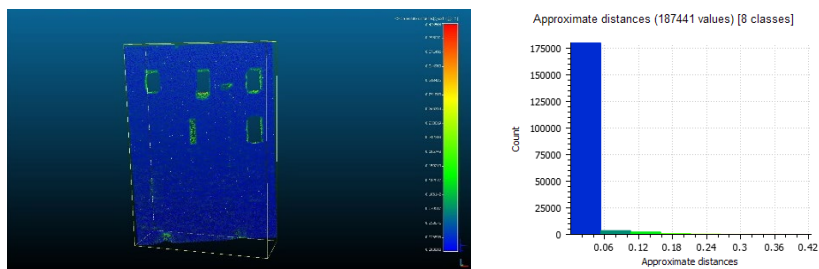


Fig. 7. Mappa e istogramma della discrepanza tra la nuvola dei punti TLS e UAV Photoscan.

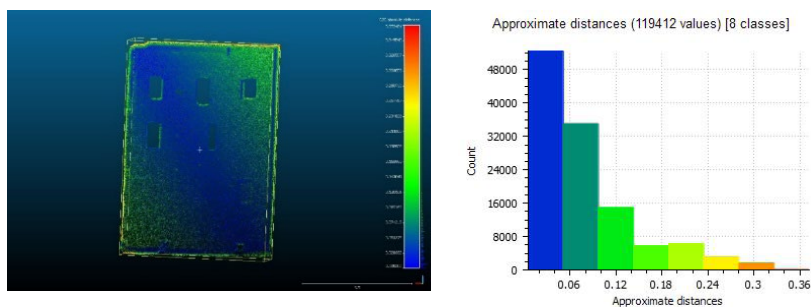


Fig. 8. Mappa e istogramma della discrepanza tra la nuvola dei punti TLS e UAV VisualSfM.

3. Conclusioni

La ricerca descrive una metodologia UAV e una strumentazione per il rilievo 3D degli edifici attraverso l'acquisizione di immagini nadirali e oblique. In particolare, abbiamo voluto testare l'accuratezza e la funzionalità di un software open source e confrontarlo con quelli già ampiamente testati da Photoscan, nonché con il modello 3D proveniente da un sondaggio TLS.

L'utilizzo di VisualSfM è stato facile e immediato, con tempi di elaborazione più rapidi rispetto a quelli di Photoscan. Sarebbe utile, tuttavia, essere in grado di personalizzare, tramite l'input dei parametri, la gestione delle elaborazioni dalla creazione della nuvola sparsa a quella densa, attraverso l'uso di PMVS / CMVS.

Un altro problema riscontrato era la georeferenziazione, che era un processo lungo e non molto automatizzato. Nel complesso, tuttavia, possiamo dire che il software open source VisualSfM è davvero utile in tutti quei contesti in cui è necessario ricostruire in 3D gli edifici in modo rapido e preciso, mirato alla conoscenza geometrica dell'edificio, all'analisi della sua salute o come base per un possibile progetto di restauro conservativo.

Bibliografia

1. Ezequiel CAF, Cua M, Libatique NC (2014) UAV Aerial Imaging Applications for Post-Disaster Assessment Environmental Management and Infrastructure Development. In Proceedings of the International Conference on Unmanned Aerial Systems, pp. 274-283
2. Remondino F, Barazzetti L, Nex F, Scaioni M, Sarazzi D (2011) UAV Photogrammetry for mapping and 3D modeling - current status and future perspectives-. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XXXVIII-1/C22, pp. 25-31 ISPRS Zurich 2011 Workshop, 14-16 September 2011, Zurich, Switzerland
3. Aicardi I, Dabove P, Lingua A, Piras M (2016) Integration between TLS and UAV photogrammetry techniques for forestry applications. *iForest*, pp. e1-e7 doi:10.3832/ifor1780-009
4. Berni JAJ, Zarco-Tejada PJ, Suárez L, González-Dugo V, Fereres E (2009) Remote sensing of vegetation from UAV platforms using lightweight multispectral and thermal imaging sensors. *Int. Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Hannover, Germany, 38 (1-4-7/W5)
5. Chiabrando F, Nex F, Piatti D, Rinaudo F (2011) UAV and RPV systems for photogrammetric surveys in archeological areas: two tests in the Piedmont region (ITALY). *Journal of Archaeological Science* (3):697-710. doi:10.1016/j.jas.2010.10.022, ISSN: 0305-4403
6. Chiabrando F, Lingua A, Rinaudo F, Spanò A (2012) Archaeological site monitoring: UAV photogrammetry could be an answer. *Int. Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 39(5)
7. Deidda M, Pala A, Vacca G (2013). An example of a tourist location-based service (LBS) with open-source software. *Applied Geomatic*, 5, pp.73-86.
8. Deidda M, Musa C, Vacca G (2015) A GIS of Sardinia's Coastal defense system (XVI—XVIII century). *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, 40-4/W7, pp.17-22
9. Vacca G, Fiorino DR, Pili D (2018) A Spatial Information System (SIS) for the Architectural and Cultural Heritage of Sardinia (Italy). *ISPRS Int. J. Geo-Inf.*, 7, 49.
10. Vacca G, Dessi A, Sacco A (2017) The Use of Nadir and Oblique UAV Images for Building Knowledge. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.*, 6, 393

11. Lingua A, Noardo F, Spanò A, Sanna S, Matrone F (2017) 3D Model generation using oblique images acquired by UAV. *Int. Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLII-4/W2 pp. 107-115
12. Wu C (2011) VisualSFM: A visual structure from motion system. <http://ccwu.me/vsfm> (accessed 24 March 2018)