

Utilizzo delle immagini UAV a supporto della pianificazione territoriale

Giuseppina Vacca^(a), Andrea Dessi^(a), Alessandro Sacco^(b)

^(a) DICAAR, Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Architettura, Università di Cagliari; P.zza D'Armi; 09123 Cagliari (Italy); vaccag@unica.it

^(b) Ingegnere

1. Introduzione

L'interesse di questi ultimi anni verso i sistemi di pilotaggio remoto UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) da parte della comunità scientifica, degli sviluppatori di software e dei professionisti della geomatica ha portato questi sistemi ad essere utilizzati, sempre più diffusamente in diversi campi dell'ingegneria e dell'architettura grazie, soprattutto, alla loro flessibilità d'utilizzo e al basso costo rispetto ai tradizionali sistemi di rilievo fotogrammetrici aerei che utilizzano costose camere metriche digitali o sensori LiDAR. [Samad, 2013]. I sistemi UAV sono stati utilizzati prima in ambito militare e poi in quello civile, dove le maggiori applicazioni sono per l'agricoltura di precisione e per le attività forestali, per l'archeologia ed il rilievo del patrimonio culturale, per il rilievo ambientale e per la modellazione 3D [Remondino, 2011].

In generale i voli UAV sono di tipo nadirale, ovvero con l'asse della camera diretto lungo la verticale, e garantiscono una sovrapposizione longitudinale tra le immagini e una trasversale tra le strisciate permettendo così la ricostruzione 3D del territorio/oggetto ripreso. Questo tipo di voli cade un pò in difetto per la modellazione 3D delle città o di agglomerati urbani, nei quali è fondamentale la ricostruzione completa degli edifici, comprese le facciate ed il *footbuilding*. In questi casi, per migliorare il modello 3D, il volo UAV nadirale può essere integrato con nuvole di punti provenienti da rilievi geomatici terrestri quali ad esempio rilievi con il Laser Scanner Terrestre (TLS) o con la più classica fotogrammetria terrestre, riuscendo ad ottenere un modello 3D molto più accurato e completo. [Persad, 2015; Cheng, 2013]. Ovviamente questa integrazione comporta tempi di rilievo più lunghi e costi aggiuntivi di personale e attrezzatura. Per ovviare a ciò, in questi ultimi anni, sono iniziate le sperimentazioni di integrazione dei voli UAV nadirali con i voli cosiddetti obliqui acquisendo, quindi, oltre alle immagini con asse della camera nadirale, anche le immagini con asse della camera inclinata rispetto alla posizione nadirale. I risultati ottenuti fino ad oggi, sembrano dimostrare un effettivo miglioramento nella ricostruzione 3D city model con una migliore inclusione delle facciate e del *footbuilding*.

La sperimentazione che viene presentata in questo articolo riguarda proprio lo studio delle potenzialità dell'utilizzo di immagini provenienti da voli effettuati con sistemi UAV, sia in modalità nadirale che in modalità obliqua, per la misura degli edifici quali altezze, aree e volumi, finalizzate alla determinazione dei parametri edificatori in relazione alla redazione di piani pianificatori urbanistici e particolareggiati del territorio urbano e sub-urbano. Negli studi pianificatori

urbanistici, infatti, la conoscenza delle dimensioni volumetriche e areali degli edifici è di notevole importanza e spesso non esistono cartografie aggiornate e/o a scala adeguata per la loro determinazione. In casi come questi, quindi, i sistemi UAV possono fornire un notevole aiuto, sia in termini di tempi di acquisizione e di elaborazione, sia in termini di costo.

A tal fine sono stati eseguiti due diversi voli da UAV con camera ad asse nadirale e ad asse obliquo (45°). Il volo nadirale (denominato I caso studio) ha interessato un'area di circa 3.5 ha su cui ricadevano 30 fabbricati, mentre il secondo volo (II caso studio), eseguito sia con camera nadirale che con camera obliqua, è stato realizzato su un singolo edificio. Nel primo volo si sono studiate le potenzialità e le accuratezze di un volo nadirale, quindi speditivo e di facile esecuzione, per la determinazione dei parametri volumetrici di una zona edificata. I risultati ottenuti sono stati confrontati con quelli provenienti dal Database Geotopografico (DBGT) in scala 1:2000 (2K) dell'area e con dati da rilievi topografici a terra.

Nel secondo caso lo studio si è concentrato su un singolo edificio con l'obiettivo di verificare l'incremento di accuratezza nell'utilizzare un volo nadirale integrato con un volo obliquo rispetto ad un volo esclusivamente nadirale. In questo II caso i risultati ottenuti sono stati confrontati con quelli ottenuti da un rilievo laser scanner terrestre.

Le immagini provenienti dai voli, sono stati elaborate con i software Photoscan dell'Agisoft e Pix4D.

2. Metodologia

La ricerca qui presentata aveva lo scopo di studiare le potenzialità e le accuratezze dei modelli 3D ottenuti da immagini provenienti da voli di sistemi a pilotaggio remoto (UAV) finalizzati alla conoscenza dimensionale degli edifici (altezza, area e volume) da utilizzare nella redazione di piani urbanistici per la pianificazione del territorio. Inoltre, si voleva valutare il miglioramento della modellazione 3D di edifici e della loro conoscenza quantitativa e qualitativa integrando il volo esclusivamente nadirale con un volo obliquo, ovvero eseguito con asse della camera posizionato con una inclinazione di circa 45° rispetto alla posizione nadirale.

Per raggiungere questi obiettivi sono stati eseguiti due voli UAV, un volo nadirale (I caso studio), che ha interessato un'area di circa 3.5 ha su cui ricadevano 30 fabbricati, ed un secondo volo nadirale integrato con un obliquo (II caso studio) su un singolo edificio. Per entrambi i casi studio è stato utilizzato il sistema UAV FlyNovex della FlyTop S.p.A. (figura 1), un esacottero dal peso di 6 kg, con un raggio di azione fino a 5 km ed un'autonomia di volo di circa 20 minuti. Il sistema è composto di un sistema inerziale IMU, di un ricevitore GPS ed di un sistema composto da tre bracci cardanici (Gimbal) su cui viene montata la camera da presa. Lo UAV è dotato di connessione wireless kit e di un computer che funge da Ground Control Station. Sul sistema UAV è montata una camera digitale calibrata Sony Alfa 6000 da 24 Mpix con

focale pari a 16 mm, dimensione del sensore 23.5 mm x 15.6 mm, dimensione dell'immagine 6000 pixel x 4000 pixel e dimensione del pixel pari a 3.92 mm.



La georeferenziazione delle immagini dei voli è stata affidata ad una serie di Ground Control Points (GCPs) materializzati sul terreno attraverso l'uso di target. I punti sono stati rilevati con un ricevitore GNSS in modalità RTK GNSS nel sistema di riferimento ufficiale italiano ETRF2000. La rete di stazioni permanenti utilizzata è la rete ITALPOS (<http://it.smartnet-eu.com/>).

Figura 1: Il sistema UAV

Per ogni caso studio il lavoro è stata suddiviso nelle seguenti fasi:

- progetto di volo, in cui definire i parametri necessari a realizzare un modello 3D con accuratèzze compatibili alle scale della pianificazione territoriale;
- esecuzione del volo con sistemi UAV e acquisizione delle immagini sulla base dei parametri definiti nel progetto di volo;
- elaborazione e trattamento delle immagini acquisite con il sistema UAV, con i software PhotoScan e Pix4D;
- misura di distanze, aree e volumi degli edifici sui modelli 3D;
- validazione delle misure attraverso l'utilizzo di Database Geo-Topografici e rilievi diretti sul terreno con l'ausilio di sistemi di rilievo GNSS e/o con Laser scanner terrestre (TLS).

3. Casi studio

Nei paragrafi successivi sono presentate le due sperimentazioni realizzate. Per ciascuno studio sono stati riportati il piano di volo, i risultati dell'elaborazione delle immagini, le misure eseguite e la loro validazione.

3.1 I caso studio - Volo nadirale

Per il I caso studio è stata scelta un'area ricadente in un contesto territoriale parzialmente edificato ma lontano da agglomerati urbani e da infrastrutture importanti. La superficie interessata dalla sperimentazione ricopre un'area di circa 3.5 ha e sulla quale ricadono 30 fabbricati (figura 2). Nella tabella 1 sono riportati i parametri del progetto di volo scelti.

Tabella 1: Parametri di volo

Area ripresa	5, 6672 ha
Quota di volo	90 m
GSD	2.20 cm
Ricoprimento longitudinale	80%
Ricoprimento trasversale	73%
Numero strisciate	7
Numero fotogrammi	110



Le immagini provenienti dal volo nadirale sono state elaborate dai software commerciali Agisoft Photoscan e Pix4D. Per entrambi i software l'obiettivo era quello di ottenere un modello 3D georeferenziato dell'area test, nel sistema ETRF2000.

Il processo di elaborazione delle immagini è avvenuto secondo i classici steps:

- Generazione della nuvola di punti sparsa
- Generazione della nuvola di punti densa
- Generazione della mesh e della texture
- Generazione delle ortofoto

Nella tabella 2 sono riportati i risultati ottenuti per entrambi i software utilizzati.

Figura 2: Area e grafico di volo

Tabella 2: Risultati dell'elaborazione delle immagini del volo nadirale

Tipologia	Photoscan	Pix4D
Nuvola di punti densa	22.112.405 punti	18.437.348 punti
Mesh	4.422.480 facce	1.000.000 triangoli
GSD DSM Raster	8 cm	2 cm
GSD Ortofoto	2 cm	2 cm

Sui modelli 3D sono state eseguite le seguenti misure:

- 10 distanze (figura 3) combinazione dell'unione dei GCPs misurati con tecniche GNSS RTK;
- 30 aree, relative ai 30 edifici ricadenti nell'area test (figura 4);
- 30 volumi, relativi ai 30 edifici ricadenti nell'area test (figura 4).



Figura 3,4: Distanze ed edifici misurati

Le differenze delle distanze misurate sui modelli 3D e quelle misurate a terra sono tutte all'interno delle tolleranze previste per le cartografie a grande scala. Per quanto riguarda le aree ed i volumi i risultati delle differenze ottenuti sono riportati negli istogrammi delle figure 5, 6, 7 e 8.

Dall'analisi delle aree risulta che le medie delle differenze risultano di 2.41 m² e 0.98 m² rispettivamente per i confronti tra il DBGT e Photoscan e il DBGT e Pix4D, mentre gli s.q.m. sono rispettivamente di 4.62 m² e 6.05 m². Per quanto concerne il calcolo delle volumetrie, risulta che le medie delle differenze risultano di 13.29 m³ e 12.70 m³ rispettivamente per i confronti tra il DBGT e Photoscan e tra il DBGT con Pix4D, mentre gli s.q.m., sono rispettivamente di 74.13 m³ e 68.55 m³.

Dalla lettura di questi risultati sembrerebbe che un volo nadirale così progettato non sia sufficientemente valido per la misura di aree con le finalità della pianificazione, che, alle volte, richiederebbe accuratazze più elevate rispetto a quelle del DBGT2k.

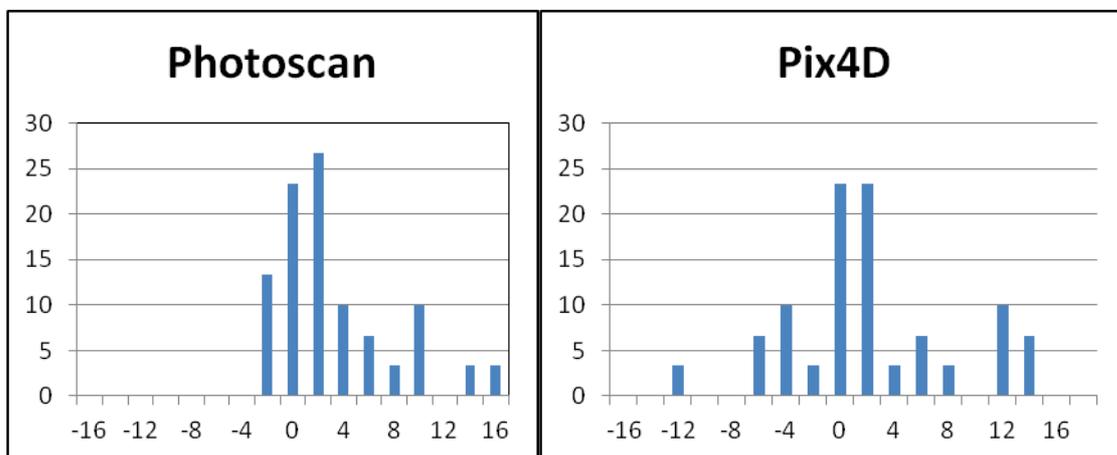


Figure 5,6: Istogrammi delle differenze delle aree riportate nell'asse delle ascisse in m². Nelle ordinate le frequenze (%)

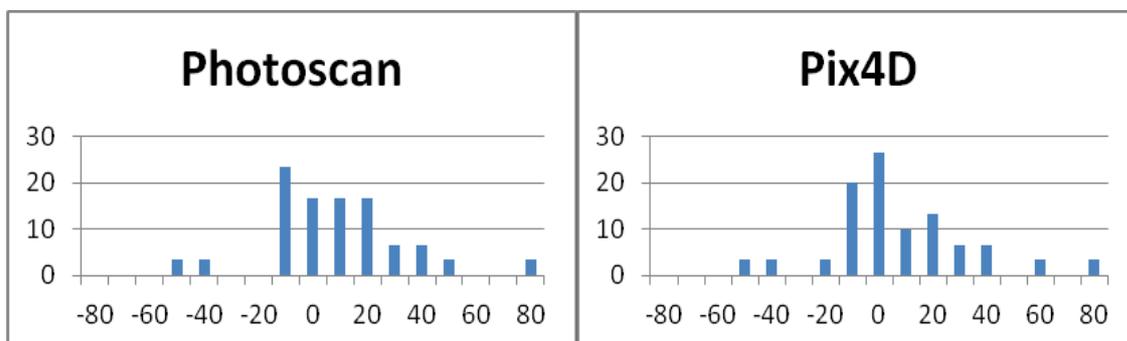


Figure 7,8: Istogrammi delle differenze dei volumi riportate nell'asse delle ascisse in m³. Nelle ordinate le frequenze (%)

3.2 II caso studio - Volo nadirale e obliquo

Sulla base dei risultati del I caso studio si è deciso di indagare in maniera più approfondita le potenzialità, in termini di accuratezza, dei voli UAV nadirali

integrandoli con le immagini oblique. Per fare questo è stato scelto di rilevare un fabbricato dalla forma regolare, alto circa 12 m, con un volo nadirale integrato con un volo obliquo. I modelli 3D ottenuti sono stati validati con il modello 3D dell'edificio ottenuto da un rilievo laser scanner terrestre. Il volo obliquo è stato realizzato con asse ottico della camera a 45° con lo stesso sistema di acquisizione UAV utilizzato nel I caso studio.

Anche in questo caso le immagini provenienti dai voli sono state elaborate con i software Photoscan e Pix4D. La georeferenziazione delle nuvole dei punti è stata fatta utilizzando 4 GCPs, rilevati nel sistema ETRF2000 con tecnica GNSS RTK. Per il rilievo Laser Scanner è stato utilizzato il laser scanner terrestre Faro Focus 3D e complessivamente sono state eseguite 4 scansioni esterne alla risoluzione di un punto ogni 7.67 mm/10 m.

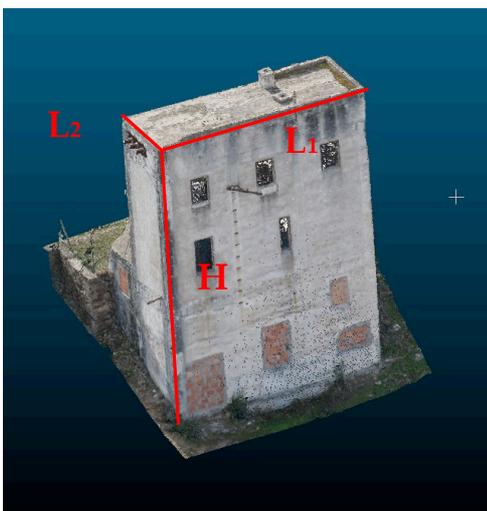
Nel volo nadirale (N) l'UAV ha volato a 90 m con un GSD di 2,20 cm ed un ricoprimento longitudinale e trasversale di 80 %. Sono state scattate 25 immagini. Nel volo obliquo (O) lo UAV ha volato a 50 m con un GSD di 1,20 cm e l'asse inclinato di 45° ed un ricoprimento longitudinale e trasversale di 80 %. Sono state scattate 119 immagini.

Le immagini provenienti dal volo nadirale sono state elaborate dai software Agisoft Photoscan e Pix4D. Per entrambi i software l'obiettivo era quello di ottenere un modello 3D georeferenziato dell'area test, nel sistema ETRF2000.

Nella tabella 3 sono riportati i i dati delle nuvole dei punti dei diversi rilievi ed elaborazioni.

Tabella 3: Numero dei punti dei modelli 3D

Volo/Rilievo e software	Numero dei punti
Volo N - Photoscan	58.740
Volo N - Pix4D	67.779
Volo N+O - Photoscan	1.207.609
Volo N+O - Pix4D	2.031.823
TLS Faro Focus 3D	5.203.483



Sulle nuvole dei punti provenienti dai diversi voli e dalle diverse elaborazioni sono state eseguite due tipologie di validazione. La prima sulle dimensioni dell'edificio misurate direttamente sulle nuvole dei punti (figura 9), l'altra attraverso il calcolo della *minimal distance between every point* del modello 3D dei vari voli ed elaborazioni e il modello 3D ottenuto dal rilievo TLS. Per questo calcolo è stato utilizzato l'algoritmo *Nearest Neighbour* del software Cloud Compare.

Figura 9: Edificio oggetto del volo obliquo

In questo lavoro viene presentata solo la prima tipologia di validazione. Nella tabella 4 sono riportati i confronti sulle singole grandezze misurate sul modello 3D ottenuto con il rilievo laser scanner terrestre e quelli ottenuti con Photoscan e Pix4D.

Tabella 4: Confronto tra misure sulle nuvole Photoscan e TLS

Grandezza	TLS	TLS-Photo Nadirale	TLS-Photo Obliquo	TLS-Pix4D Nadirale	TLS-Pix4D Obliquo
H (m)	11,93	0,63	0,59	0,03	0,03
L ₁ (m)	8,72	0,50	0,19	0,13	0,01
L ₂ (m)	3,20	0,24	0,18	0,19	0,01
Area (m ²)	27,93	3,60	2,17	2,08	0,14
Volume (m ³)	333,20	58,26	41,08	25,52	0,89

Analizzando i risultati ottenuti è indubbio che l'integrazione del volo obliquo ha portato un netto miglioramento nell'accuratezza delle misure eseguite. Tale incremento è più evidente nel volo elaborato con Pix4D rispetto a quello elaborato con Photoscan dove le differenze con la nuvola TLS si attestano su pochi centimetri sulle lunghezze e qualche decimetro quadrato sull'area e sul volume. Questo sicuramente è da attribuirsi al numero maggiore di punti ottenuti dall'elaborazione Pix4D in entrambe le configurazioni ma soprattutto nella configurazione N+O.

Conclusioni

I due casi studio presentati hanno permesso di indagare le potenzialità dei modelli 3D provenienti dall'elaborazione delle immagini da voli UAV, in particolare per le misure delle grandezze dimensionali di edifici, quali larghezze, altezze, aree e volumi ottenute da questi modelli 3D.

Nei due casi studio presentati è stato possibile studiare le accuratezze di tali misure sia in modelli provenienti da voli UAV nadirali sia da quelli obliqui. Sicuramente l'integrazione delle immagini oblique ha permesso un miglioramento nelle accuratezze permettendo la conoscenza più completa dell'edificio a scapito di un leggero incremento dei tempi di acquisizione e di elaborazione delle immagini. E' indubbio quindi che i rilievi UAV ed in particolari quelli integrati con volo nadirale ed obliquo possono contribuire a fornire dati e informazioni geografiche di notevole utilità ai progettisti della pianificazione urbanistica, laddove le amministrazioni coinvolte ne siano sprovvisti, riducendo i costi ed i tempi di realizzazione rispetto ai classici metodi della fotogrammetria metrica aerea.

La ricerca sta proseguendo indagando in maniera più approfondita le accuratezze globali dei modelli 3D lavorando direttamente sulle nuvole dei punti e confrontandole con quelle ottenute dal rilievo con il laser scanner terrestre.

Ringraziamenti

Si ringrazia la società SFT Survey, nella persona del geom. Giuseppe Furfaro, per la disponibilità ad eseguire i voli UAV.

Riferimenti bibliografici

1. Samad, A. M.; Kamarulzaman, N.; Hamdani, M. A.; Mastor, T. A.; Hashim, K. A. (2013) The potential of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) for civilian and mapping application. In *Proceedings - IEEE 3rd International Conference on System Engineering and Technology, ICSET 2013* pp. 313-318 DOI: 10.1109/ICSEngT.2013.6650191
2. F. Remondino, L. Barazzetti, F. Nex, M. Scaioni, D. Sarazzi.(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. Persad RA, C.Armenakis (2015) Alignment of point cloud DSMs from TLS and UAV platforms, in *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol XL-1/W4, pp. 369-373 International Conference on Unmanned Aerial Vehicles in Geomatics, 30 August-2 September 2015 Toronto, Canada
4. Cheng, L.; Tong, L.; Li, M.; Liu, Y.(2013) Semi-automatic registration of airborne and terrestrial laser scanning data using building corner matching with boundaries as reliability check. *Remote Sensing 5, Issue 12 2013*, pp. 6260 – 6283
5. Szeliski, R. (2010) Computer vision: algorithms and applications. Springer
6. Aicardi I, Dabove P, Lingua AM, Piras M (2016). Integration between TLS and UAV photogrammetry techniques for forestry applications. *iForest*. – doi: 10.3832/ifor1780-009
7. Aicardi, I.; Chiabrando, F.; Grasso, N.; Lingua, A.M.; Noardo, F.; Spanò, A. (2016) UAV photogrammetry with oblique images: first analysis on data acquisition and processing. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol XLI-B1, pp. 835-842
8. Disciplinaire Tecnico Database Geotopografico della Regione Sardegna in scala 1:2000 (2008)