POLITECNICO DI TORINO
Repository ISTITUZIONALE

Utilizzo di aeromobili a pilotaggio remoto (APR) pr il rilievo integrato del patrimonio architettonico

Original
Utilizzo di aeromobili a pilotaggio remoto (APR) pr il rilievo integrato del patrimonio architettonico / Matrone, Francesca; Coniglione, Francesco; Zerbinatti, Marco. - ELETTRONICO. - (2018). (Intervento presentato al convegno Dronitaly 2018 - Working with drones tenutosi a Milano nel 23-24 Marzo 2018).

Availability:
This version is available at: 11583/2730874 since: 2019-04-14T00:25:58Z

Publisher:
Mirumir - Dronitaly

Published
DOI:

Terms of use:

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

Publisher copyright

(Article begins on next page)

12 October 2024

UTILIZZO DI AEROMOBILI A PILOTAGGIO REMOTO (APR) PER IL RILIEVO INTEGRATO DEL PATRIMONIO ARCHITETTONICO

Francesca Matrone*, Francesco Coniglione*, Marco Zerbinatti*
(1) Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture (DIATI) - Politecnico di Torino Corso Duca degli Abruzzi 24, 10129 Torino (Italia)
(2) Dipartimento di Architettura e Design (DAD) - Politecnico di Torino Viale Mattioli 39, 10125 Torino (Italia)
(3) Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Edile e Geotecnica (DISEG) - Politecnico di Torino Corso Duca degli Abruzzi 24, 10129 Torino (Italia)
*email: francesca.matrone@polito.it; francesco.coniglione@studenti.polito.it; marco.zerbinatti@polito.it

KEY POINTS
Beni culturali, modelli 3D, fotogrammetria aerea e terrestre, APR.

1. Introduzione

L'innovazione tecnologica degli ultimi anni che ha investito il settore dell'architettura, dell'ingegneria e delle costruzioni ha permesso di sviluppare e sperimentare nuove metodologie di rilievo a supporto della gestione del patrimonio edilizio esistente.
All'interno di questo contributo verranno trattate alcune metodologie di rilievo integrato quali fotogrammetria terrestre e aerea tramite APR (Aeromobili a Pilotaggio Remoto) e tecnica laser scanner ai fini della costruzione di modelli architettonici tridimensionali. L'obiettivo di questa ricerca è dunque legato alla realizzazione di nuvole di punti georiferite, che forniscano la base per la definizione di geometrie e componenti in modelli tridimensionali *object-oriented* quali l'HBIM (*Historical Building Information Modeling*). Attraverso l'utilizzo di questi strumenti digitali è infatti possibile creare e organizzare *database* di supporto alla manutenzione programmata e alla gestione dei beni culturali.
Tali metodologie sono state applicate ad alcune cappelle del Sacro Monte di Varallo, un complesso devozionale del XV secolo, dichiarato Patrimonio Mondiale dell'Umanità nel 2003.
Più in particolare, a partire dal 2015 si è avviata una collaborazione tra il Politecnico di Torino (Dipartimenti DIATI e DISEG) e l'Ente gestore del Sacro Monte di Varallo, per l'aggiornamento dei dati metrici esistenti e per la realizzazione di uno strumento d'ausilio al sistema di gestione del bene. Ad oggi l'attività di ricerca ha prodotto una documentazione storica e rappresentativa di cinque edifici del Sacro Monte di Varallo: la Cappella 1 "Adamo ed Eva, il Paradiso Terrestre", la Cappella 16 "Gesù resuscita il figlio della vedova di Naim", la Cappella 24 "Gesù al Tribunale di Anna", la Cappella 28 "Gesù al Tribunale di Erode" e il Palazzo di Pilato che al suo interno contiene ulteriori 8 cappelle (n. 27 e dalla 29 alla 35).

1.1 Il Sacro Monte di Varallo (VC)

Situato in Valsesia, in provincia di Vercelli, il Sacro Monte di Varallo costituisce uno dei più imponenti e importanti Sacri Monti della regione prealpina grazie ai suoi contenuti storico-artistici. Esso è posizionato su uno sperone roccioso, a circa 600 m s.l.m., che sovrasta la città di Varallo ed è composto da 45 cappelle. Proprio per questa sua disposizione caratteristica, per il rilievo architettonico si è rivelato molto utile l'utilizzo di APR che hanno consentito di raggiungere ed acquisire dati anche in parti non accessibili del sito.

2. METODOLOGIA

Il metodo seguito può essere definito di "multirisoluzione" e "multisensore" poiché sono state utilizzate diverse strumentazioni e acquisiti i dati a differenti scale di dettaglio (regionale, locale e oggetto).
In questo caso ci inseriamo nella scala locale, essendo il Sacro Monte di Varallo un sito esteso con all'interno singoli edifici oggetto di studio, pertanto ci si è affidati alla tecnica topografica (con stazione totale e GPS/GNSS), fotogrammetrica (con UAV) e al rilievo LiDAR (laser scanner Time of Flight).

2.1 Acquisizione dati e pianificazione del rilievo

Sono state eseguite più campagne di rilievo, ma i dati di seguito descritti sono stati acquisiti in particolare durante due campagne: la prima condotta dal 18 al 20 luglio 2016 e la seconda dal 13 al 14 luglio 2017.
In entrambi i casi, date le caratteristiche urbanistiche del complesso, si è dapprima proceduto con la pianificazione del rilevo, posizionando sia i marker a terra che quelli sulle superfici murarie, poi sono state impostate le reti d'inquadramento, tramite GPS/GNSS, e raffittimento con conseguente rilievo celerimetrico di tutti i marker, tramite stazione totale, e infine sono stati pianificati ed eseguiti i voli del drone. In ultimo, dati metrici densi sono stati acquisiti tramite laser scanner terrestri posizionati sia in ambienti esterni che interni.
Per ciò che concerne la pianificazione del volo, è necessario conoscere a priori la scala di rappresentazione finale, poiché essa determina il limite di tolleranza entro il quale deve risiedere l'incertezza delle misure. In questo caso, dopo aver stabilito una scala di rappresentazione finale 1:100, è stato possibile definire la precisione entro cui mantenere tale tensione: scala 1:100 → $\sigma = 100 * 0{,}2$ mm = 20 mm.
In base a questo sono stati definiti alcuni dei parametri fondamentali per pianificare lo schema di volo.
Uno di questi è il GSD (*Ground Sample Distance*) che rappresenta la distanza tra il centro di due pixel consecutivi, o meglio quanto terreno viene rappresentato in un pixel. Dal momento che il GSD stabilisce la precisione effettiva del progetto, nella pianificazione del volo è stato rispettato un GSD_{max} pari alla metà della precisione ed è stata definita un'altezza di volo pari a 50 m.

$$GSD = \frac{\mathrm{H} * \mathrm{dpx}}{\mathrm{d}}$$

H= altezza di volo = 50 m
dpx= dimensione del pixel calcolata facendo il rapporto tra la dimensione del sensore della fotocamera (SONY ILCE a5100) e il numero massimo di pixel delle immagini = 23,5 mm/6000 = 3,92 μm
d= distanza principale (lunghezza focale) = 0,021 m.
Il GSD così ottenuto è pari a 9,3 mm, minore rispetto al GSD_{max} e quindi accettabile.
Una volta determinati l'altezza massima di volo H_{max} e l'altezza relativa di progetto H_{pro}, la scala media del fotogramma *mb*, l'abbracciamento al suolo L_x e L_y, il ricoprimento trasversale, l'interasse delle strisciate *I* e il GSD, è stato possibile determinare i punti di inizio e di fine della strisciata.
Nella campagna di misurazioni del 2016, il volo del drone è stato pianificato grazie al programma *MissionPlanner*, un software *open source*, che permette di configurare il progetto di volo individuando sulla mappa dell'area da sorvolare alcuni *waypoints* che determinano il percorso da seguire e che, insieme all'hardware, dove è installato, forma la *Ground Control Station*. Può essere usato sia come strumento di configurazione che come strumento di controllo dinamico dell'APR.
La velocità dell'APR è stata di circa 2-3 m/s, velocità non molto elevata a causa di problemi di strisciamento dell'immagine e sono state impostate strisciate trasversali parallele tra loro in modo da avere una copertura totale. Sono stati effettuati tre voli: uno obliquo (a 45°) (Fig. 1a.) e due nadirali (Fig. 1b. e c.) con distanze totali percorse da ogni volo di circa 2-3 Km (valori rilevati dal software).

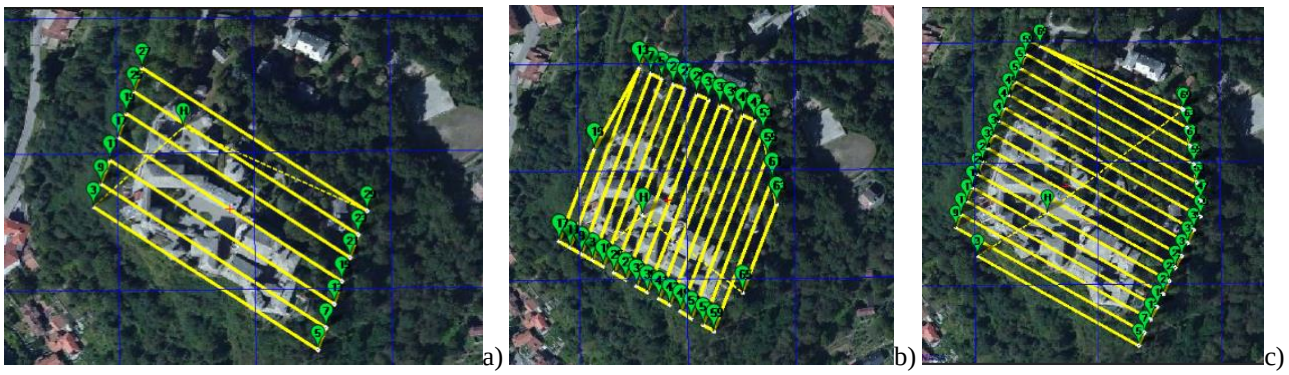


Figura 1. a) Piano di volo a 45°, b) c) Piani di volo nadirali

Il drone utilizzato è un sistema aereo a pilotaggio remoto chiamato Valis DIATI PX01 ed è un esarotore sviluppato dal DIATI del Politecnico di Torino (Fig. 2a.). Ha un telaio in fibra di carbonio, plastica e alluminio con sei bracci (profili di alluminio cavi a sezione quadrata di un cm con anima di spessore 1 mm)

le cui estremità formano un esagono. All'estremità di ciascuno dei bracci è presente un motore elettrico di tipo *brushless*.
La fotocamera digitale utilizzata per l'acquisizione delle immagini è la SONY ILCE a5100. Si tratta di una fotocamera *mirrorless*, che permette un'ottima qualità delle immagini con un peso molto più contenuto. È dotata di un sensore APS-C CMOS da 24,3 megapixel di risoluzione effettiva, un processore BIONZ X, un autofocus ibrido ed è di dimensioni cotenute, 110 x 63 x 26 mm (la più piccola sul mercato delle *mirroless*).
La fotocamera è stata montata su un supporto mobile, dotato di giunti cardanici (*gimbal*) lungo 3 assi che permettono di posizionare l'obbiettivo ortogonale al terreno per l'acquisizione di tipo nadirale o di variare l'angolo di presa per un'acquisizione inclinata a 45° come avvenuto per la campagna al Sacro Monte.
L'acquisizione di immagini oblique, ha consentito di ricostruire non solo le geometrie delle coperture, ma anche quelle di alcune pareti verticali, altrimenti non rilevabili.
Per quanto riguarda invece la campagna di rilievo del 2017, l'acquisizione dei dati fotogrammetrici è avvenuta avvalendosi del drone *Phantom 4Pro* (Fig. 2b.) equipaggiato di una camera da 20 megapixel con un sensore in grado di acquisire video in 4K a 60fps, un peso di circa 1400 grammi, una velocità massima di salita di 6 m/s (22 km/h) in S-mode e una precisione di volo verticale +/- 10 cm (con sensori di posizione attivi) oppure +/-0.5 m con GPS e orizzontale: +/- 30 cm oppure +/-1.5 m con GPS.

a)

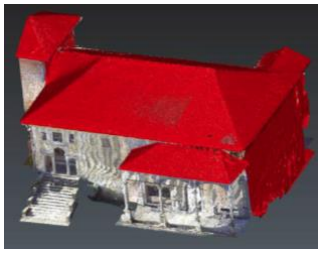
b)

Figura 2. a) Valis DIATI PX01, b) Phantom 4 Pro

A differenza della precedente campagna di rilievo del 2016, non è stato necessario realizzare un piano di volo dal momento che l'area di interesse era ristretta e circoscritta alla sola Cappella 1, circondata da vegetazione ad alto fusto che avrebbe potuto influire sulla ricezione del segnale GPS/GNSS. Per tali motivi, il volo è stato eseguito in modalità completamente manuale a una altezza di circa 10 m da terra per una durata totale di 15 minuti acquisendo in totale 100 fotogrammi in formato JPEG.

2.2 Elaborazione dati

L'elaborazione dei dati fotogrammetrici e LiDAR per la costruzione della nuvola densa di punti è avvenuta in due fasi: elaborando e registrando prima le scansioni laser, utilizzate per le parti inferiori degli edifici e per gli ambienti interni, e unendo poi le acquisizioni fotogrammetriche terrestri e quelle ottenute con il volo del drone, utilizzate per le coperture e le aree non accessibili. Successivamente le due nuvole di punti sono state integrate con lo scopo di ottenere un unico modello tridimensionale (Fig. 3a).
Più in particolare per l'elaborazione dei dati fotogrammetrici sono stati adoperati *ContextCapture* (Fig. 3b) e *Agisoft PhotoScan* (Fig. 3c), in grado di individuare automaticamente i punti comuni nei fotogrammi costituenti il blocco fotogrammetrico e, attraverso l'operazione di *matching*, di ricavare in automatico i parametri di calibrazione della fotocamera e la posizione di presa per ogni fotogramma.


a)

b)

c)

Figura 3. a) Complesso del Sacro Monte, b) a) Cappella 1, c) Unione nuvola fotogrammetrica (rosso) e LiDAR

Queste nuvole dense sono state poi segmentate con il software ReCap 360 di Autodesk e suddivise in elementi architettonici, per una più facile gestione all'interno di Revit, programma utilizzato per la costruzione del modello tridimensionale *object-oriented*. All'interno di questo software è stato possibile mantenere la georeferenziazione delle nuvole e creare un modello federato complessivo a cui sono collegati i modelli delle singole cappelle, mantenendone così identità e integrità. Tale modello HBIM ha quindi fornito la base per la creazione di un database di supporto alle attività di manutenzione programmata del complesso del Sacro Monte di Varallo.

3. RISULTATI e DISCUSSIONE

I risultati conseguiti sono stati la creazione di nuvole di punti dense grazie all'impiego di tecniche di rilievo non convenzionali e la piena integrazione di tali dati con quelli ottenuti tramite LiDAR, mantenendo anche un adeguato livello di dettaglio e accuratezza nei contenuti metrici rispetto alla scala di rappresentazione finale, precedentemente stabilita.

L'utilizzo degli APR ha inoltre consentito l'acquisizione di dati in aree non accessibili e non raggiungibili del sito, oltre a rendere più speditive e veloci le operazioni di rilievo. Infine, la possibilità di scattare immagini oblique (45°) ha permesso di ottenere i dati non solo delle parti architettoniche mancanti (quali le pareti verticali su zone a strapiombo), ma anche di tutte le murature esterne.

4. CONCLUSIONI

Ad oggi gli APR, nel rilievo dell'architettura, hanno ancora alcuni svantaggi quali limitazioni di peso, sensori di qualità inferiore rispetto alle tecnologie convenzionali, altezze di volo contenute e ridotta potenza e autonomia. Nonostante ciò le tecniche di rilievo non convenzionali permettono di velocizzare il rilievo e di svolgerlo con strumentazioni e apparecchiature *low cost*, con un costo nettamente inferiore rispetto agli strumenti tradizionali, consentendo comunque di raggiungere le precisioni desiderate.

Infine, gli APR sono caratterizzati anche da una buona manovrabilità e dalla possibilità di svolgere le missioni in autonomia; ciò favorisce il loro utilizzo non solo per il rilievo architettonico, ma li rende anche un'ottima soluzione per la gestione delle emergenze, quali terremoti o catastrofi naturali.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Agisoft: Agisoft PhotoScan User Manual Professional Edition, Version 1.2, 2014.

De Filippis, E., Guida al Sacro Monte di Varallo, Tipolitografia di Borgosesia, Borgosesia, 2009.

Albery, E.; Lingua, A.; Rinaudo, F., Tecniche e strumenti innovativi per il rilievo metrico dei beni culturali, in "Atti di convegno: Giornata nazionale di studi del CIPA", 79, 2000.

Bezoari, G., Monti, C., Selvini, A., La fotogrammetria per l'architettura, Liguori Editore, Napoli, 1999.

F. Chiabrando, F., Lingua, A., Maschio, P., Rinaudo, F., Spanò, A., Mezzi aerei non convenzionali a volo autonomo per il rilievo fotogrammetrico in ambito archeologico, in "Una giornata informale per i 70 anni del Prof. Carlo Monti, 3 maggio 2012", 2012.

Deiana, A., PhotoMeshing: generazione automatica di grandi modelli urbani 3D da foto oblique, Conferenza ASITA (Federazione italiana delle Associazioni Scientifiche per le Informazioni Territoriali e Ambientali) 2014. Disponibile online in formato PDF: http://atti.asita.it/ASITA2014/Pdf/049.pdf.

Guarneri, A., Vettore, A., Georeferenziazione indiretta mediante rete topografica, in F. Sacerdote, G. Tucci (a cura di), Sistemi a scansione per l'architettura e il territorio, Alinea Editrice, Firenze, 55-56, 2007.

Guidi, G.; Remondino, F.; Russo, M., Principali tecniche e strumenti per il rilievo tridimensionale in ambito archeologico, in "Archeologia e Calcolatori", n.22, 169-170, 2011.

Remondino, F., El-Hakim, S., Image-based 3D modeling: a review, in "Photogrammetric Record", n. 21, Stuart I. Granshaw 2006.

Sacri Monti. Rivista di arte, conservazione, paesaggio e spiritualità dei Sacri Monti piemontesi e lombardi, Tipolitografia di Borgosesia, Borgosesia, 2007.

Scarzella, P.; Zerbinatti, M., Recupero e conservazione dell'edilizia storica, Alinea editrice, Firenze, 2009.

Schuhmacher, S., Böhm, J., Georeferencing of terrestrial laserscanner data for applications in architectural modelling, in "The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science", 2005, Mestre-Venezia, Italy, Vol. XXXVI, Part 5/W17, articolo 15.