

FOTOGRAMMETRIA DA UAV PER L'ISPEZIONE VISIVA E L'IDENTIFICAZIONE AUTOMATICA DEI DIFETTI SUL PARAMENTO DI UNA DIGA A GRAVITÀ

UAV-BASED PHOTOGRAMMETRY FOR VISUAL INSPECTION AND AUTOMATIC DETECTION OF DEFECTS ON THE GRAVITY DAM SURFACE

Stefano Angeli

Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture, Politecnico di Torino, Corso Duca degli Abruzzi 24, Torino, 10129, Italia - stefano.angeli@polito.it

PAROLE CHIAVE: Ispezione visiva, fotogrammetria da UAV, GIS, diga, sensori a basso costo, automazione, telerilevamento

KEY WORDS: Visual inspection, UAVs photogrammetry, GIS, dam, low-cost sensors, automation, remote sensing

RIASSUNTO

In questo articolo viene descritta l'implementazione di una soluzione basata sull'analisi automatica dei dati estratti da un rilievo fotogrammetrico. L'attività descritta è collegata alla nuova tipologia di industria "4.0" consolidata negli ultimi anni, la quale indica una tendenza verso l'automazione dei processi industriali con l'introduzione di nuove tecnologie a supporto della produzione sia di beni che servizi di ogni genere. Per lo svolgimento dell'attività presentata è stato utilizzato un sistema UAV a basso costo e, nelle sezioni seguenti, vengono descritte tutte le analisi coinvolte nella pianificazione della fase di acquisizione dei dati, della loro gestione nel flusso di lavoro ed elaborazione all'interno del sistema informativo geografico (GIS). Durante la fase di acquisizione sul campo sono state acquisite differenti tipologie di dati, utilizzando due tecniche: registrazione video 4K ed acquisizione immagini ad alta risoluzione. Il test presentato è stato effettuato sulla diga del Serrù, struttura situata nel comune di Ceresole Reale, nei pressi di Torino, Piemonte (Italia). Della diga in questione è stato realizzato un modello tridimensionale sul quale è stato eseguito un controllo dello stato di conservazione ed integrità relativo al paramento murario di monte.

ABSTRACT

In this paper, the implementation of a solution based on the automatic analysis of data extracted from a photogrammetric survey has been described. This activity is connected to the new type of industry "4.0" consolidated in recent years, indicating a trend towards the automation of industrial processes with the introduction of new technologies to support the production of different services and goods. A low-cost UAV system was used to carry out the presented activity and, in the following sections, all the analyses involved in the planning of data acquisition phase, their management in the workflow and their processing in a geographical information system (GIS). During the acquisition phase in the field, different types of data were acquired, using various techniques: 4K video recording and high-resolution image acquisition. The test presented was performed on the Serrù dam, a structure located in Ceresole Reale, near Turin, Piedmont (Italy). A three-dimensional model of the dam was made, on which a check of the state of conservation and integrity relative to the upstream walls was carried out.

1. INTRODUZIONE

La fotogrammetria aerea è diventata, negli ultimi anni, una tecnica di monitoraggio e documentazione ampiamente utilizzata anche nelle applicazioni industriali (Bolle et al., 2016, Chiabrando et al., 2017, Piras et al., 2017). L'acquisizione e l'elaborazione dei dati acquisiti è diventata una pratica sempre più consolidata ed è possibile trovarne svariati esempi nella letteratura scientifica (Aicardi et al., 2016, Piras et al., 2017, Silvagni et al., 2017, Valpreda, 2015), con diversi schemi di acquisizione (Chiabrando et al., 2017, Lingua et al., 2017) e sensori di navigazione (Cristodaro et al., 2017, Dabove et al., 2016, Piras et al., 2016). Questa piattaforma rappresenta un'alternativa a basso costo alle tradizionali tecniche di fotogrammetria aerea (Guarnieri et al., 2017, Lingua et al., 2017), utilizzando le competenze derivanti dal campo della robotica per quanto riguarda l'automazione delle operazioni di volo (Silvagni et al., 2017). Il forte sviluppo dei software dedicati alla Structure from Motion (SfM) e la continua implementazione degli algoritmi alla base della fotogrammetria digitale, hanno portato ad un uso massiccio di questa tecnica negli ambienti più diversi (Balletti et al., 2016). La qualità delle

immagini acquisite da drone, ormai divenuti strumenti di uso comune, consente di raggiungere un alto livello di dettaglio per la creazione di modelli tridimensionali, nonostante la facilità d'uso e la compattezza di questi strumenti (Balletti et al., 2017, Valpreda et al., 2015). Ciò è consentito dalla possibilità, che questi offrono, di raggiungere anche gli spazi inaccessibili di persona.

In questo periodo storico nel quale l'efficienza dei processi e la minimizzazione del rischio in termini di sicurezza, sono alla base del nuovo tipo di industrie, questo metodo consente di acquisire una grande quantità di dati in modo sicuro e, di ripetere questa operazione molteplici volte con un costo ridotto, rispetto alle tecniche tradizionali. Le specifiche descritte rendono tale metodo particolarmente adatto per il monitoraggio di strutture di grandi dimensioni, evitando di esporre a grossi rischi il personale addetto a tale operazione. La letteratura scientifica riporta alcuni esempi di ispezione visiva su modelli digitali di dighe (Buffi et al., 2017, Khaloo et al., 2018). In questi casi, tuttavia, le strutture analizzate e i difetti riconoscibili su di esse sono sostanzialmente diversi da quelli presentati in questo articolo. Gli output ottenuti sono stati

successivamente valutati in termini di accuratezza, completezza dei dati acquisiti e tempi di acquisizione.

1.1 Caso studio: la diga del Serrù a Ceresole Reale

Il caso studio selezionato è la diga del Serrù (Fig. 1), nei pressi di Torino (Italia), una struttura realizzata negli anni '50 che, con i suoi 2400 metri di altitudine, è una delle più alte della Val d'Orco. La diga, con una capacità di circa 15 milioni di m³ è una delle più grandi della valle. Si tratta di una diga a gravità in muratura di pietrame e malta cementizia, a pianta rettilinea. Fondazione in calcestruzzo gettato sulla roccia in loco, paramenti di monte e di valle rivestiti con bolognini in pietra da taglio con stilatura dei giunti. Le sue dimensioni, 330 metri di lunghezza e circa 35 metri di altezza, rendono molto dispendioso il monitoraggio del paramento che, al momento, viene eseguito dal personale calandosi lungo la struttura su di una piattaforma agganciata al coronamento.



Figura 1. Diga del Serrù, Ceresole Reale (TO), Italia

1.2 Il processo operativo

Il processo seguito per l'implementazione del metodo proposto si divide nelle seguenti fasi: pianificazione dei voli, acquisizione dei dati, generazione dei modelli tridimensionali, gestione dei dati acquisiti e automazione dei processi. In particolare, la procedura proposta, mira alla possibilità di riprodurre automaticamente le attività precedentemente svolte per l'acquisizione dei dati e l'identificazione automatica degli eventuali difetti presenti sul paramento murario della diga. Quest'ultima operazione, tuttavia, non consente una soluzione definitiva, ma una forte ottimizzazione delle operazioni di ispezione manuale, operata direttamente sul modello digitale. In questo caso, l'aspetto più interessante, riguarda la possibilità di operare direttamente sul modello tridimensionale del manufatto, utilizzando le operazioni di snellimento per identificare le criticità senza dover eseguire l'azione direttamente sulla struttura, riducendo così il rischio per la sicurezza del personale.

2. ACQUISIZIONE DEI DATI

Come prima operazione è stato effettuato il rilievo completo del rivestimento a monte della diga. Come di consueto, durante un rilievo metrico, è necessario inizialmente creare una rete topografica nell'area per georeferenziare tutti i dati nello stesso sistema di coordinate. In questo caso, è stata utilizzata una strategia di rilievo mista: GNSS e Stazione Totale (TS). La rete topografica è stata materializzata rilevando due vertici (1000, 2000) utilizzando due ricevitori Geomax Zenith 35 in modalità rapido-statica, con un tempo di acquisizione di circa due ore. Dai vertici della rete sono stati rilevati i punti di dettaglio, sulla superficie della diga, utilizzando la TS Image Station Leica

Geosystem. Per quanto riguarda i punti di dettaglio, sul coronamento della diga è stato possibile materializzare alcuni marker codificati (utili in seguito per l'automazione del processo), mentre sul fronte sono stati rilevati punti naturali individuati nelle intersezioni delle linee di fuga tra i vari blocchi in pietra. In totale sono stati rilevati 78 punti di controllo (Fig. 2): 22 marker codificati e 56 punti naturali.

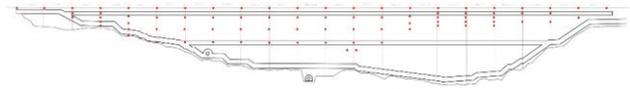


Figura 2. Schema dei punti collimati (in rosso)

Come mostrato in Figura 2 e, successivamente, in Figura 5, la parte inferiore del paramento di monte non è stata rilevata perché sommersa dall'acqua o coperta dalla neve.

In seguito all'acquisizione, la rete topografica è stata elaborata considerando, come punti di riferimento, le tre stazioni permanenti nelle vicinanze (Bussoleno, Cuorgnè e Biella). A causa delle dimensioni del manufatto e dell'altitudine alla quale si trova, è necessario prestare particolare attenzione alle deformazioni cartografiche, non irrilevanti considerando le elevate precisioni del rilievo. Per evitare la perdita della precisione raggiunta con le misure topografiche è quindi possibile ricorrere ad un sistema di coordinate cartesiane locale, utilizzando una terna Euleriana (Fig. 3).

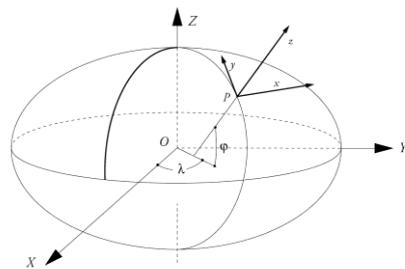


Figura 3. La terna Euleriana

In questo caso il vertice 1000 è stato individuato come origine della terna e sono state eseguite delle traslazioni di +500 m in E, +500 m in N e -2200 m in altezza.

Con il calcolo della rete sono stati ottenuti ellissi d'errore di circa 1.5 cm in tutte le dimensioni. Per consentire una corretta visualizzazione del paramento della diga, successivamente, le coordinate dei punti di controllo sono state trasformate in un sistema di coordinate di facciata.

2.1 La piattaforma UAV

La piattaforma utilizzata è un DJI Phantom 4 Pro (Fig. 4) equipaggiato con una camera dalle seguenti caratteristiche: lunghezza focale 8.8 mm, sensore CMOS 13.2 x 8.8 mm. Dimensione del pixel di 2.4 µm.

2.2 La pianificazione del volo

Considerando le caratteristiche della camera utilizzata, è stato pianificato il volo alla distanza di 8 m dal paramento, in modo da ottenere un GSD (Ground Sample Distance) di 3 mm sull'oggetto in accordo con le caratteristiche necessarie per soddisfare la finalità del rilievo.



Figura 4. Piattaforma UAV utilizzata

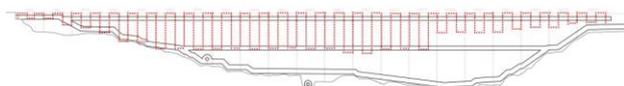


Figura 5. Schema di volo (in rosso)

3. ELABORAZIONE DEI DATI

Lo step successivo all'acquisizione dei dati è stato l'elaborazione di questi con l'utilizzo del software Agisoft PhotoScan. Tutte le 1249 immagini acquisite sono state elaborate in un unico blocco per la realizzazione di una nuvola di punti densa. Le fasi per completare il processo sono state le seguenti: un primo step riguardante l'orientamento delle camere e l'estrazione dei punti di legame (tie points), la georeferenziazione delle immagini utilizzando i punti di controllo a terra (GCP), la densificazione delle nuvole di punti. L'orientamento interno ed esterno delle camere, inizialmente, è stato eseguito utilizzando i dati estratti dal GPS a bordo dell'UAV. La nuvola sparsa è stata calcolata con una triangolazione aerea automatica (bundle block adjustment) utilizzando i tie points estratti (circa 2 milioni) secondo l'algoritmo SIFT. Successivamente, per valutare l'accuratezza dei risultati ottenuti, i GCP misurati sono stati utilizzati come punti di controllo. Per quanto riguarda il processo di densificazione della nuvola, questo, partendo dal modello sparso, utilizza i dati relativi all'orientamento delle camere per riproiettare i singoli pixel nel sistema di coordinate reali. In questo modo, è stata ottenuta una nuvola di punti densa composta da circa 100 milioni di punti, con una densità media di 15.4 punti in una sezione di raggio 2 cm. Successivamente, è stato realizzato un modello tridimensionale in forma di mesh composta da circa 20 milioni di superfici triangolari. In Figura 6 è possibile visualizzare il risultato delle diverse fasi della procedura.



Figura 6. Comparazione tra nuvola sparsa, nuvola densa, mesh e mesh texturizzata

4. GESTIONE DEI DATI

Partendo dalla mesh triangolare sono stati generati Ortofoto e Digital Elevation Model (DEM), contenenti le informazioni spaziali per ciascun pixel dell'immagine accoppiata. Entrambi i prodotti sono stati realizzati con un alto livello di dettaglio, con una dimensione del pixel sull'oggetto di 2.9 mm (Fig. 7).



Figura 7. Comparazione tra Ortofoto e DEM

Queste elaborazioni sono state quindi organizzate in un sistema informativo geografico (GIS) per renderne più facile la gestione (data le grandi dimensioni dei file) e offrire la possibilità di realizzare analisi spaziali e operazioni di geoprocessing, utili al monitoraggio della struttura. Utilizzando Ortofoto e DEM è inoltre possibile restituire i dati in forma di Ortofoto Solida, sovrapponendo il contenuto metrico bidimensionale e cromatico dell'Ortofoto, con quello tridimensionale proprio di un modello altimetrico denso (Dense Digital Surface Model) dell'oggetto rappresentato. La posizione del pixel selezionato sull'Ortofoto fornisce le coordinate planimetriche, mentre il modello altimetrico contiene la terza dimensione corrispondente. Per rendere possibile ciò è necessario quindi che le matrici contenenti le varie informazioni siano formate da pixel della stessa dimensione e abbiano al loro interno stesso numero di righe e di colonne.

5. AUTOMAZIONE DEL PROCESSO

L'intero processo descritto nelle sezioni precedenti può essere ampiamente automatizzato nelle varie fasi.

5.1 Rete topografica e rilievo dei punti di dettaglio

La rete topografica, una volta materializzata e rilevata, non richiede una costante rimisurazione ad ogni intervento: i vertici rilevati possono essere considerati permanenti e sostanzialmente stabili nella loro posizione. È possibile però programmare un aggiornamento ad intervalli di tempo costanti, ad esempio ogni 3-5 anni, oppure ogni qualvolta ci siano indizi visibili di una possibile deformazione dei vertici. Ovviamente le coordinate dei vertici rilevate con sistema GNSS, che si basa su una rete dinamica di stazioni permanenti, possono modificarsi nel tempo a causa della naturale deformazione della crosta terrestre in corrispondenza della placca Europea.

Il numero di punti di controllo può essere limitato a circa 20 ben distribuiti sull'intera porzione del paramento interessata dal rilievo, i quali possono essere materializzati in modo permanente utilizzando marker codificati opportunamente realizzati con materiali non degradabili e fissati sulla parete.

Date le deformazioni della diga, è consigliabile procedere ad una nuova misurazione dei punti di controllo per ogni acquisizione fotogrammetrica, la quale può essere molto rapida se, anticipatamente, un supporto riflettente (riflettore o prisma) è integrato nel marker, consentendo così la collimazione automatica con le stazioni totali motorizzate. Il posizionamento dei marker codificati sul coronamento è piuttosto semplice ed

economica, mentre il posizionamento di quelli sul paramento risulta più difficile e costosa.

5.2 Acquisizione fotogrammetrica

La pianificazione del volo viene eseguita solo la prima volta e, nel caso le caratteristiche della fotocamera digitale associate al drone (lunghezza focale, dimensioni del sensore e dimensione del pixel) rimangano le stesse, non è necessario ripetere il processo.

La geometria del volo si mantiene anch'essa costante e di conseguenza tutte le caratteristiche del primo volo realizzato, ovvero:

- traiettorie di volo;
- suddivisione in funzione dei tempi di volo;
- posizioni di acquisizione delle immagini;
- inclinazione della camera durante gli scatti;

possono essere considerate costanti poiché verificate nell'efficacia metrica e nella completezza del ricoprimento.

Tutti questi dati possono essere utilizzati per programmare i voli in modo completamente automatico sfruttando il potenziale delle nuove tecnologie per realizzare acquisizioni in modo completamente autonomo. In questo modo, i tempi di realizzazione dell'intero processo di acquisizione dei dati, potrebbero essere ridotti del 20-40%, nelle stesse condizioni meteorologiche.

5.3 Identificazione automatica dei difetti

Per quanto riguarda la classificazione automatica dei difetti presenti sul paramento murario della diga, invece, i dati acquisiti non consentono una completa soluzione al problema, ma consentono una forte ottimizzazione delle operazioni di ispezione manuale direttamente sul modello digitale.

È possibile, infatti, sfruttare le tecniche di classificazione automatica supervisionate con l'intervento preliminare dell'operatore che identifica un certo insieme di distacchi di materiale tra i blocchi, restituendoli con poligoni (shapefile, Region Of Interest, ecc.) (Fig. 8).



Figura 8. Distacchi individuati manualmente

In base al contenuto radiometrico (RGB) dei pixel selezionati, è possibile calcolare la firma spettrale delle zone in cui sono visibili i distacchi, con una precisione di 15-20 toni radiometrici (Fig. 9).

È possibile definire con maggiore precisione questa firma se:

- vengono individuate più aree di interesse;
- vengono analizzati dati oltre il visibile (es. NIR).

Attraverso l'analisi di questa firma spettrale è possibile quindi estrarre dall'Ortofoto tutti i pixel che presentano caratteristiche coerenti a quelle individuate precedentemente, ottenendo così un set di potenziali anomalie.

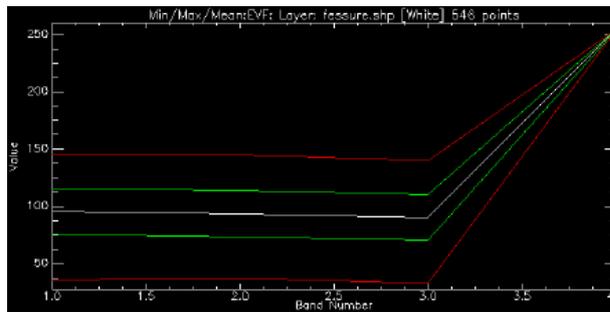


Figura 9. Firma spettrale dei distacchi



Figura 10. Esempio di identificazione automatica dei difetti

Le zone visibili in Figura 10 sono state classificate in base alla dimensione dell'area, escludendo tutte le porzioni più piccole di 2 cm². La procedura offre un enorme potenziale che le tecniche di elaborazione delle immagini consentono di mettere in pratica per automatizzare, o almeno semplificare, le operazioni manuali. Questa procedura potrebbe essere ulteriormente migliorata individuando delle soglie adattive sulla base dell'esperienza e, al miglioramento delle firme spettrali con altre bande.

6. CONCLUSIONI

La metodologia proposta ha permesso di confermare l'effettiva applicabilità del processo che utilizza la post-produzione di immagini digitali acquisite da drone e algoritmi di Structure from Motion per un rilievo tridimensionale completo del paramento di una diga. Il risultato finale ottenuto (Ortofoto Solida) descrive in modo completo l'oggetto rilevato con una precisione ed una risoluzione molto alte (pochi mm): questa informazione è stata efficace per l'ispezione dettagliata della superficie del paramento senza alcun rischio per l'operatore addetto a tale operazione. Pur essendo applicato un solo schema di volo lineare, grazie all'abbondante sovrapposizione delle immagini (ogni tie point identificato è visibile in almeno dieci immagini) il modello digitale risulta completo in ogni sua parte. L'intera procedura può essere automatizzata, dalla fase di acquisizione, sfruttando la possibilità di effettuare un volo autonomo da parte del drone, all'estrazione automatica dei difetti presenti sul paramento della diga.

L'attività descritta prevede solamente l'individuazione dei difetti riguardanti il distacco di materiale tra i blocchi in pietra del paramento, quindi individuabili nello spettro visibile. Utilizzando diversi sensori che permettono un esame in altre bande dello spettro elettromagnetico sarebbe sicuramente possibile individuare diverse manifestazioni di degrado proprie dei materiali lapidei.

Le condizioni atmosferiche e la forma della struttura implicano una particolare attenzione in fase di svolgimento delle operazioni sul campo.

RINGRAZIAMENTI

L'attività è stata finanziata dall'azienda multiservizi IREN all'interno di un progetto condotto dal Politecnico di Torino in collaborazione con l'ufficio di Internazionalizzazione ed Innovazione della stessa IREN.

BIBLIOGRAFIA

Aicardi I., Chiabrando F., Lingua A.M., Noardo F., Piras M., Vigna B., A methodology for acquisition and processing of thermal data acquired by UAVs: a test about subfluvial springs' investigations. In: *Geomatics, Natural Hazards & Risk*, DOI:10.1080/19475705.2016.1225229, 8 (1), 1-13, 2016.

Balletti C., Ballarin M., Guerra F. *3D printing: State of the art and future perspectives*, In: *Journal of Cultural Heritage*, 26, 172-182, 2017.

Balletti C., Beltrame C., Costa E., Guerra F., Vernier P., *Underwater photogrammetry and 3D reconstruction of marble cargos shipwreck*, In: *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 40 (7), 7-13, 2016.

Bolli P., Pupillo G., Virone G., Farooqui M.Z., Lingua A.M., Mattana A., Monari J., Murgia M., Naldi G., Paonessa F., Perini F., Pluchino S., Rusticelli S., Schiaffino M., Schillirò F., Tartarini G., Tibaldi A., *From MAD to SAD: The Italian experience for the Low Frequency Aperture Array of SKA1-LOW*, In: *RADIO SCIENCE*, DOI:10.1002/2015RS005922, 51 (3), 160-175, 2016.

Buffi G., Manciola P., Grassi S., Barberini M., Gambi A., *Survey of the Ridracoli Dam: UAV-based photogrammetry and traditional topographic techniques in the inspection of vertical structures*, In: *Geomatics, Natural Hazards & Risk*, 2017, vol.8, no.2, 1562-1579.

Chiabrando F., Di Pietra V., Lingua A.M., Cho Y., Jeon J., *An original application of image recognition based location in complex indoor environments*, In: *ISPRS International Journal Of Geo-Information*, DOI:10.3390/ijgi6020056. - ISSN:2220-9964, vol. 6(2), 56, 2017.

Chiabrando F., Lingua A.M., Maschio P.F., Teppati Losè L., *The influence of flight planning and camera orientation in UAVs photogrammetry. a test in the area of Rocca San Silvestro (LI), Tuscany*, In: *International Archives of The Photogrammetry, Remote Sensing And Spatial Information Sciences*, DOI:10.5194/isprs-archives-XLII-2-W3-163-2017, (2/W3), 163-170 (2017).

Cristodaro C., Dosis F., Falco G., Pini M., *GNSS receiver performance in urban environment: Challenges and test approaches for automotive applications*, In: *International Conference of Electrical and Electronic Technologies for Automotive*, 10.23919/EETA.2017.7993222, 1-6, 2017.

Dabove P., Manzino A.M., *Accurate Real-time GNSS positioning assisted by tablets: An innovative method for positioning and mapping*, In: *Geingegneria Ambientale e Mineraria*, ISSN 1121-9041, vol. 148 n. 2, 17-22, 2016.

Guarnieri A., Fissore F., Masiero A., Di Donna A., Coppa U., Vettore A., *From survey to fem analysis for documentation of built heritage: The case study of villa Revedin-Bolasco*, In: *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, DOI: 10.5194/isprs-archives-XLII-5-W1-527-2017, 42 (5-W1), 527-533, 2017.

Khaloo A., Lattanzi D., Jachimowicz A., *Utilizing UAV and 3D Computer Vision for Visual Inspection of a Large Gravity Dam*, In: *Preprints 2018*, 2018010235 (doi: 10.20944/preprints201801.0235.v1).

Lingua A.M., Noardo F., Spano' A.T., Sanna S., Matrone F., *3D model generation using oblique images acquired by UAV*, In: *International Archives of The Photogrammetry, Remote Sensing And Spatial Information Sciences*, DOI:10.5194/isprs-archives-XLII-4-W2-107-2017, XLII (4/W2), pp.107-115, 2017.

Piras M., Dabove P., *Comparison of two different mass-market IMU generations: Bias analyses and real time applications*, In: *Proceedings of the 2016 IEEE/ION Position, Location and Navigation Symposium, PLANS 2016*, Savannah (USA), April 11-14, 2016. pp. 34-41.

Piras M., Di Pietra V., Visintini D., *3D modeling of industrial heritage building using COTSS system: Test, limits and performances*, In: *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, doi: 10.5194/isprs-archives-XLII-2-W6-281-2017, 42 (2-W6), 281-288, 2017.

Piras M., Taddia G., Forno M.G., Gattiglio M., Aicardi I., Dabove P., Lo Russo S., Lingua A.M., *Detailed geological mapping in mountain areas using an unmanned aerial vehicle: application to the Rodoretto Valley, NW Italian Alps*, In: *Geomatics, Natural Hazards & Risk*, DOI:10.1080/19475705.2016.1225228, vol. 8 (1), 137-149, 2017.

Silvagni M., Chiaberge M., Sanguedolce C., Dara G., *A modular cloud robotics architecture for data management and mission handling of unmanned robotic services*, In: *Mechanisms and Machine Science*, DOI https://doi.org/10.1007/978-3-319-61276-8_55, volume 49, 2018, 528-538, 2017.

Silvagni M., Tonoli A., Zenerino E., Chiaberge M., *Multipurpose UAV for search and rescue operations in mountain avalanche events*, In: *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, Volume 8 (1), 2017, 17-33.

Valpreda F., *3D printing awareness the future of making things*, In: *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*, doi:10.1117/12.2083302, vol. 9398, 2015.