POLITECNICO DI TORINO
Repository ISTITUZIONALE

Immagini oblique acquisite da UAV per il rilevamento architettonico post-emergenza

Original
Immagini oblique acquisite da UAV per il rilevamento architettonico post-emergenza / Chiabrando, F., Lingua, A.M., Spanò, A.T., Persico, S., Stano, R.. - (2017), pp. 239-246. (Asita Salerno 21-23 Novembre 2017).

Availability:
This version is available at: 11583/2701313 since: 2018-02-26T09:00:34Z

Publisher:
Asita

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 2026

Immagini oblique acquisite da UAV per il rilevamento architettonico post-emergenza

Filiberto Chiabrando([a]), Andrea M. Lingua([b]), Antonia T. Spanò([a]), Stefano Persico([b]), Raffaella Stano([b])

([a]) Politecnico di Torino, Dipartimento di Architettura e Design, via Morgari 36/b, 10129, Torino (TO), tel. 011-0904380
email: filiberto.chiabrando@polito.it, antonia.spano@polito.it
([b]) Politecnico di Torino, Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture, corso Duca degli Abruzzi 24, 10129, Torino (TO), tel. 011-0907700 , *fax 011-0907699*, email: andrea.lingua@polito.it, stefano.persico@studenti.polito.it, s232312@studenti.polito.it

Abstract
Nel corso degli ultimi anni la tematica del post-emergenza ha giocato un ruolo fondamentale per il nostro paese a causa dell'elevato rischio geologico e dello scarso adeguamento delle strutture presenti sul territorio.
La ricerca intrapresa in questo ambito ha lo scopo di mettere a confronto differenti tecniche geomatiche per il rilevamento di dati nel post-terremoto verificandone la celerità del processo produttivo e la completezza delle informazioni estratte.
L'elemento architettonico in esame è la Torre degli Smeducci a San Severino Marche, colpita dal sisma del 2016, la cui struttura presenta diffusi dissesti strutturali.
Il rilevamento dei dati è stato effettuato con tecnica fotogrammetrica terrestre, fotogrammetria aerea mediante droni e laser scanner terrestre per sopperire alle problematiche esistenti come l'elevata altezza della struttura e la presenza di vegetazione ad alto fusto.
L'elaborazione dei dati acquisiti mediante software commerciale ha permesso di generare alcune nuvole di punti che opportunamente integrate hanno consentito la produzione degli elaborati finali.
La comparazione tra le diverse tecniche ha permesso di evidenziarne punti di forza e limiti operativi.

Introduzione

L'Italia coniuga la più alta percentuale al mondo di beni culturali registrati nel patrimonio Unesco, circa il 5%, con una delle più alte percentuali di numero e intensità di terremoti verificatisi nel corso degli ultimi due anni. Il 40% della popolazione nazionale vive in zone a rischio terremoto, nelle quali solo il 36% del patrimonio edilizio è stato progettato e costruito secondo normative antisismiche le quali, generalmente, vengono emanate in seguito al verificarsi dell'evento.
Dal 24 Agosto 2016 al 18 Gennaio 2017 il Centro Italia è stato interessato da una molteplicità di eventi sismici, con scosse di terremoto fino a 6,5

magnitudo, che hanno causato un totale di 303 vittime e il crollo di intere frazioni e comuni come Arquata del Tronto, Accumoli e Amatrice.
Sulla base di queste premesse, dal 20 al 24 di Febbraio 2016, è stata intrapresa una campagna di rilievo a San Severino Marche dal *team* studentesco DIRECT (*DIsaster RECovery Team*) del Politecnico di Torino, specializzato in acquisizioni speditive in condizioni di emergenze ambientali, per il monitoraggio dei principali beni architettonici.

Il caso studio: la torre Smeducci
L'elemento oggetto di studio è la Torre Comunale, o degli Smeducci, situata in frazione Castello, sulla sommità del colle Monte Nero nel comune di San Severino Marche. Il monumento subì ingenti danni in precedenti eventi sismici, tanto da apparire pendente verso sud-ovest. Dopo i sismi del 26 e 30 Ottobre 2016 la struttura presenta nuovi e diffusi dissesti strutturali, visibili sia internamente che esternamente.

Figura 1. Torre degli Smeducci e relativi dissesti strutturali.

Strumenti e metodi
Considerata l'elevata altezza della Torre e la presenza di ingombri fisici, come vegetazione ad alto fusto, è stato scelto l'utilizzo di molteplici tecniche di rilevamento, seguendo le recenti tendenze dell'approccio metodologico al rilievo del patrimonio costruito basato sull'integrazione di differenti strumenti e metodi di acquisizione dati.
Nello specifico le tecniche utilizzate sono state tre: la fotogrammetria aerea da UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) con drone DJI Phantom4, la fotogrammetria *close-range* con camera Nikon D800E e il *laser scanner* terrestre con Faro Focus ^{3D}(TLS, *Terrestrial Laser Scanner*). I rilievi sono stati eseguiti valutando una scala di restituzione finale pari a 1:50 per il solo involucro architettonico a cui corrisponde una tolleranza di 20 mm.
Per tale motivo i dati fotogrammetrici sono stati acquisiti considerando un GSD (*Ground Sample Distance*) di progetto pari a circa 5 mm.
Per rispettare i valori imposti il drone ha acquisito le immagini a una distanza compresa tra 4 e 5 m, effettuando sette strisciate verticali per un totale di 172

immagini. La presa terrestre è stata eseguita acquisendo tre strisciate circolari concentriche, la prima con l'asse della camera parallelo alla struttura in elevato, per rilevare la porzione inferiore della torre (circa il primo quarto), la seconda obliqua per acquisire quella centrale e l'ultima, quella più esterna anch'essa obliqua, per registrare la parte terminale della torre (circa l'ultimo quarto) per un totale di 165 immagini.
Per quel che riguarda le acquisizioni Laser, le 16 posizioni sono state state distribuite in modo da circoscrivere in tutte le sue parti l'oggetto da rilevare

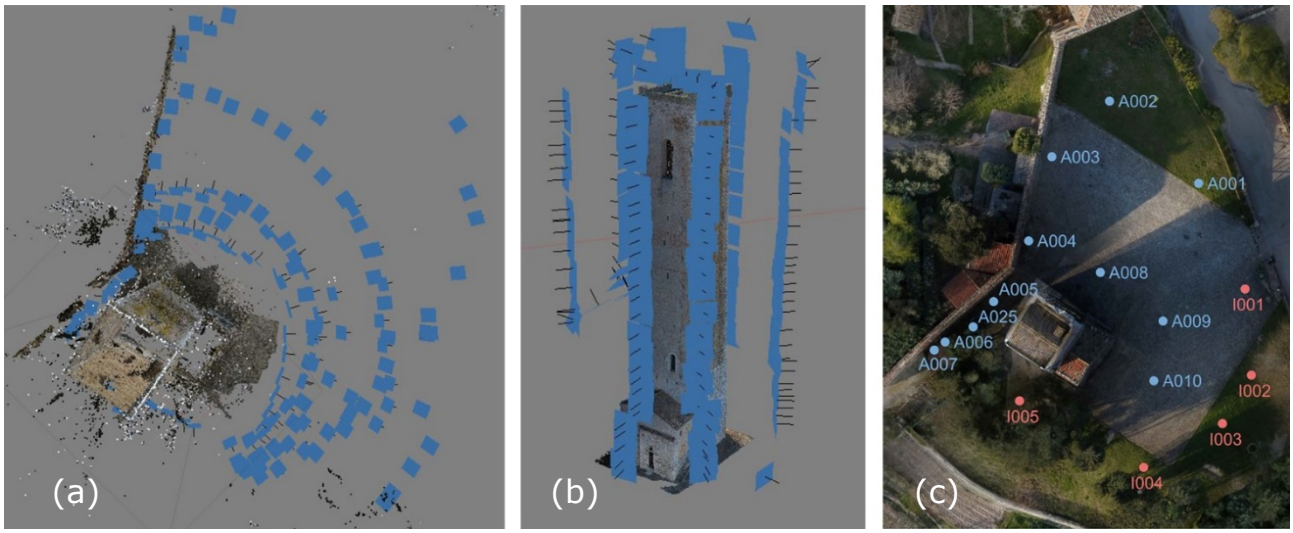

Figura 2 - La presa fotogrammetrica terrestre (a), lo schema di volo UAV (b) e la posizione delle scansioni TLS (c)

Elaborazione dei dati

La celerità di acquisizione dati viene compensata da una naturale dilatazione dei tempi della fase successiva di elaborazione degli stessi, tale fase è stata realizzata tramite l'utilizzo di differenti programmi a seconda della tecnica di rilievo impiegata.
I dati fotogrammetrici sono stati elaborati con i *software* commerciali Agisoft PhotoScan e Pix4D Mapper in modo da confrontare le tempistiche e l'accuratezza dei prodotti generati (*dense point cloud*). Le scansioni, invece, sono state registrate e georeferenziate con il programma Faro SCENE. Per la stima del RMSE (*Root Mean Square Error*) sono stati utilizzati alcuni *check point* non utilizzati nelle fasi di orientamento come punti di appoggio.

Tecnica	Fotogram. da UAV		Fotogram. terrestre		TLS
Software	Photoscan	Pix4D	Photoscan	Pix4D	SCENE
RMSE [m]	0,017	0,015	0,020	0,014	0,006
Tempo di elaborazione	8h 40'	5h 10'	48h 20'	9h 10'	Circa 4h

Tabella 1 - Riepilogo dei RMSE e tempistiche di elaborazione delle differenti tecniche di rilievo effettuate per la Torre degli Smeducci.

Dalla tabella 1, si può notare che:

- tutte le tecniche utilizzate hanno RMSE minore o uguale a 20 mm e quindi garantiscono una accuratezza coerente con la scala di analisi prevista (1:50);

- le tecniche fotogrammetriche sia da piattaforma aerea che terrestre garantiscono sostanzialmente la medesima accuratezza;
- i 2 software di elaborazione fotogrammetrica utilizzato hanno prestazioni simili anche se Pix4D garantisce una accuratezza migliore di qualche mm;
- come prevedibile, la tecnica TLS raggiunge l'accuratezza migliore con un RMSE di circa 6 mm, inferiore alla metà dell'RMSE ottenuto con le tecniche fotogrammetriche.

Dal punto di vista delle rapidità di post-elaborazione, la tecnica TLS garantisce la maggiore celerità visto che le nuvole di punti sono direttamente acquisite in loco, ma richiede la presenza dell'operatore essendo un processo in gran parte assistito (registrazione delle scansioni). Nella gran parte dei casi la tecnica fotogrammetrica permette di ottenere un risultato corretto in poco più del doppio del tempo (ad eccezione del caso Photoscan con immagini terrestri ad altissima risoluzione), che, in questo caso è quasi solamente tempo macchina richiedendo la presenza dell'operatore solamente nelle fasi di lancio della procedura e di analisi e verifica (diagnosi) della bontà del risultato.

Analisi delle nuvole di punti

Le nuvole dense di punti, estratte dai *file* di progetto dei *software* di elaborazione dati fotogrammetrici o *laser scanner*, sono servite per compiere un'approfondita analisi riguardante principalmente la loro qualità. Prima di effettuare le analisi è stato necessario eliminare alcune parti delle nuvole di punti chiaramente affette da errori grossolani di misura e alcuni elementi limitrofi all'oggetto del rilievo.

Lo studio della qualità è stato effettuato mediante analisi della densità ("*density*" di CloudCompare, Figura 2), che ha permesso di definire la concentrazione più o meno elevata di punti (*number of neighbors*) in un intorno di raggio pari alla tolleranza della scala di rappresentazione fissata (20 mm).

Densità media della Torre degli Smeducci (R = *20 mm*)						
descrizione	*Cod.*	Nord	Sud	Ovest	Est	Torre
1. Photoscan: Dji Phantom4 (UAV)	*PhoDji*	20	19	21	21	20
2. Photoscan: Nikon (terrestre)	*PhoTer*	100	72	91	98	90
3. Pix4D: Dji Phantom4 (UAV)	*PixDji*	24	34	39	33	32
4. Pix4D: Nikon (terrestre)	*PixTer*	146	115	158	147	141
5. Faro SCENE: Laser Scanner Terrestre	*TLS*	38	37	100	36	53

Tabella 2- Densità media della Torre degli Smeducci e di ciascun fronte che la compone.

Dalla tabella 2 si può notare come le tecniche terrestri permettono la generazione di nuvole più dense rispetto a quelle ottenute dal rilievo con drone (da 4 a 5 volte più dense in media). La necessità di acquisire la totalità del

monumento ha portato a posizionare il *laser scanner* a una distanza maggiore da esso per le facciate nord, sud ed est, ottenendo una nuvola di punti con minore densità rispetto a quanto previsto in fase di pianificazione del rilievo.
Analizzando la variazione della densità lungo le varie facciate della Torre (figura 2) al variare della distanza da terra, si nota che le tecniche di rilievo terrestri (2,4,5 in figura 2) denunciano una significativa variazione di densità (alta nella parti vicino al terreno, bassa nelle parti alte) particolarmente critica nelle parti più alte dell'edificio specialmente per la tecnica TLS. Le tecniche aeree da UAV generano nuvole di punti con distribuzione più uniforme lungo tutte le superfici, con la sola eccezione delle zone in cui la presa è stata ostacolata da elementi fisici vincolanti.
Lo studio della precisione, invece, è stato effettuato calcolando la distanza secondo una media gaussiana tra coppie di nuvole di punti, usando la funzione "*cloud to cloud*" del *software* CloudCompare, di cui un esempio dei risultati è visibile in figura 3.

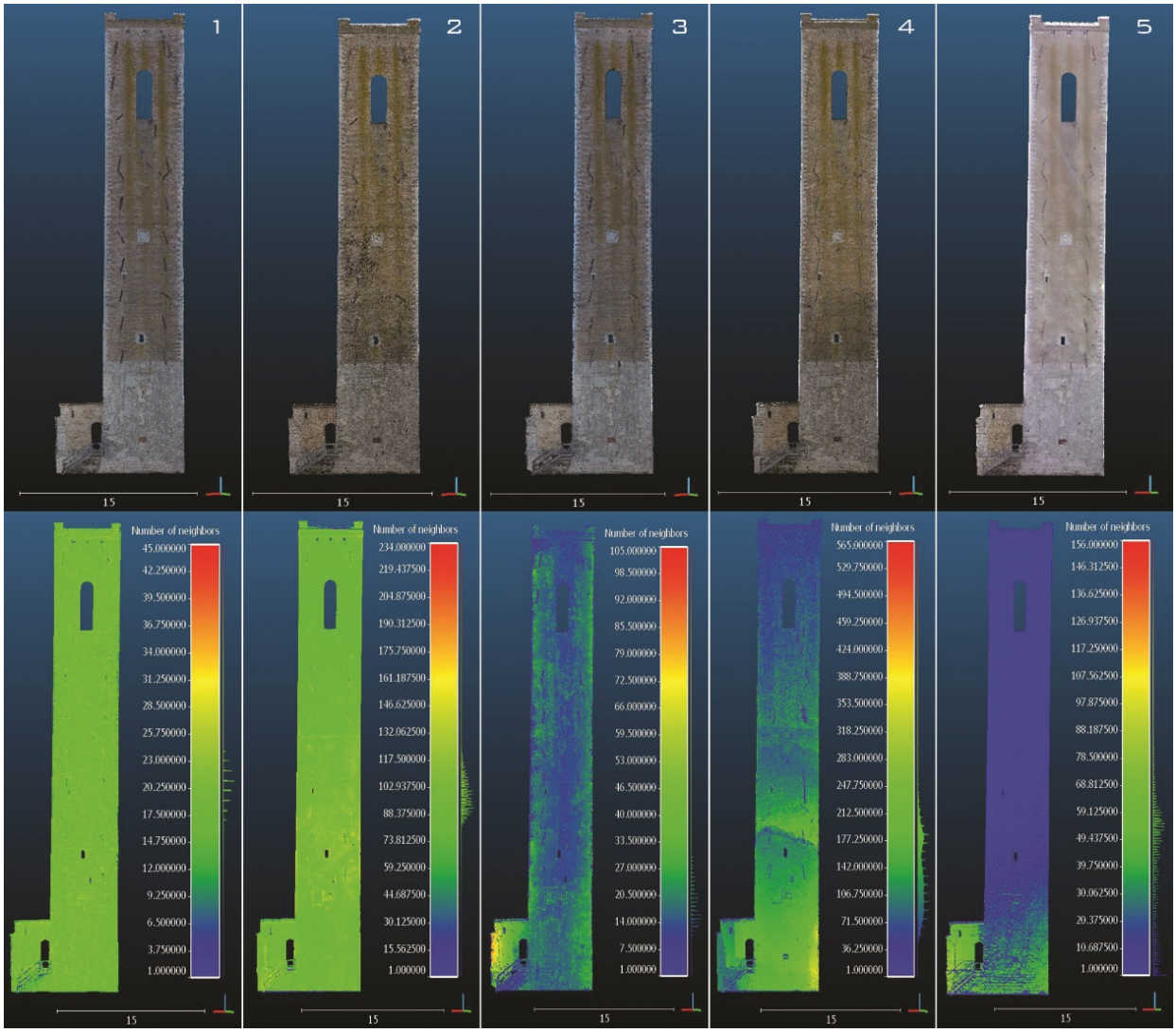

Figura 3 - Analisi della densità del fronte nord: in alto le nuvole dense di punti, in basso l'analisi di densità effettuata sulle rispettive nuvole dense di punti. La numerazione segue la stessa della tabella 2.

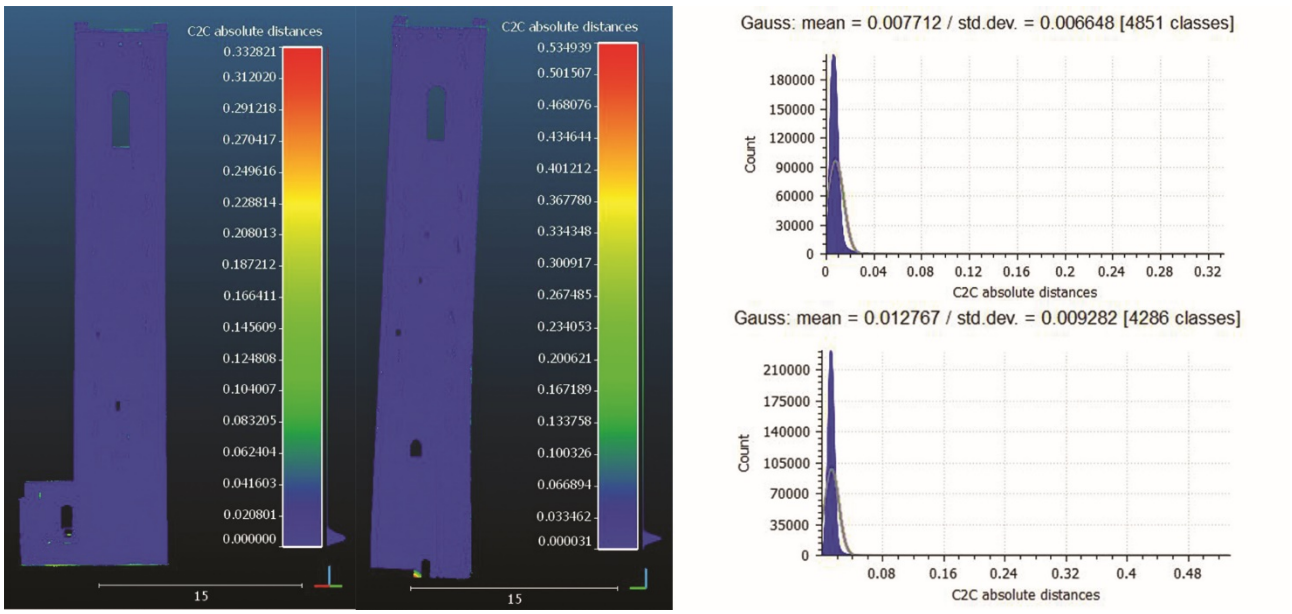

Figura 4 - Esempi di analisi cloud to cloud (fronti nord e ovest).

caso	descrizione	Media [mm]	sqm [mm]
(a)	PhoDji - PhoTer	14	11
(b)	PixDji - PixTer	18	21
(c)	PhoDji - TLS	12	13
(d)	PhoTer - TLS	9	6
(e)	PhoDji- PixDji	6	6
(f)	PhoTer - PixTer	5	5

Tabella 3. Medie gaussiane e deviazioni standard delle comparazioni tra coppie di nuvole dense della Torre degli Smeducci.

La tabella 3 mostra tutte le analisi effettuate con indicazione della media e dello scarto quadratico media (sqm) delle differenze cloud-to-cloud utilizzando i codici associati ai tipi di dato indicati in tabella 2, seconda colonna. Si può notare che:

- tutte le analisi riportano sostanzialmente risultati in termini di media e di sqm compatibili con la tolleranza della scala 1:50;
- la comparazione tra fotogrammetria aerea e terrestre elaborata mediante Photoscan (a) e Pix4D (b) denotano le maggiori differenze in termini di media e sqm; le situazioni peggiori sono localizzate sul fronte sud;
- la comparazione (d) tra il risultato delle tecniche fotogrammetriche terrestri e le nuvole TLS denotano la sostanziale coincidenza tra i due prodotti, mentre il risultato delle acquisizioni UAV (c) è un po' meno preciso (media ed sqm circa doppi) a causa risoluzione della camera utilizzata. I valori sono pressoché costanti per tutti i fronti in questione;
- in termini di accuratezza sulle nuvole di punti i due software utilizzati riportano sostanzialmente risultati coincidenti come dichiarato dai parametri media e sqm delle differenze cloud-to-cloud (e) ed (f). I valori sono pressoché costanti per tutti i fronti in questione.

Conclusioni

I risultati ottenuti confermano la necessità di utilizzo di tecniche di acquisizione multi-sensore per il bene architettonico oggetto di studio, convalidando le considerazioni svolte durante la fase di pianificazione del rilievo.
Le tecniche adoperate in questo studio, impiegano più o meno lo stesso tempo per l'acquisizione di una notevole quantità di dati, mentre per la fase di elaborazione quelle che si basano sul principio di funzionamento della scansione *laser* restituiscono il prodotto desiderato in tempi minori rispetto a quelle fotogrammetriche. Si tenga conto però che nel caso delle tecniche fotogrammetriche, data l'automazione del processo, questi tempi sono solo legati all'elaborazione del calcolatore e non richiedono la presenza dell'operatore umano.
Per un approfondimento delle analisi eseguite si sarebbero dovute utilizzare camere da presa con le stesse proprietà, condizione difficile da realizzare con le versioni commerciali attuali degli UAV che utilizzano soluzioni di ripresa *multi-purpose* e non ottimizzate nello specifico per applicazioni fotogrammetriche. Le caratteristiche intrinseche, quali ad esempio la risoluzione della camera da presa Nikon, utilizzata per il rilievo fotogrammetrico terrestre, hanno fatto sì che il confronto della densità tra le nuvole ottenute da differenti tecniche di acquisizione dati non fosse uniforme.
La tecnica TLS non ha potuto mostrare completamente le proprie capacità; infatti per poter acquisire il bene architettonico in tutta la sua altezza e la zona circostante, molte stazioni sono state posizionate a una distanza maggiore di quella che si sarebbe impostata per rilevare soltanto le parti più basse. Ciò ha comportato delle densità minori sia nelle parti inferiori sia in quelle superiori rispetto alla tecnica di rilievo fotogrammetrica terrestre.
Le analisi *cloud to cloud* hanno confermato i risultati previsti dalla pratica comune; infatti confrontando *dense cloud* generate da *software* differenti, ma con stessi *input*, i valori di scostamento risultano essere inferiori alla precisione imposta dalla scala di rappresentazione, viceversa comparando modelli 3D elaborati a partire da tecniche differenti tra loro si ottengono valori maggiori al caso precedente ma inferiori alla tolleranza ammissibile, indipendentemente dai programmi utilizzati.
La prospettiva futura delle analisi compiute è quella di consegnare all'operatore, addetto alla restituzione grafica, dati utili per la scelta delle corrette porzioni delle nuvole di punti in modo da realizzarne un modello parametrico 3D.

Ringraziamenti

Il presente lavoro è stato svolto grazie al finanziamento stanziato dal CdA del Politecnico di Torino inerente la Task Force per il sisma in centro italia, coordinato dal prof. Sebastiano Foti. Si ringraziano tutti i colleghi che hanno collaborato e gli studenti del team DIRECT che hanno permesso lo studio.

Riferimenti bibliografici

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". *In: International archives of the photogrammetry,*

remote sensing and spatial information sciences, vol. XLI-B1, pp. 835-842. - ISSN 1682-1750.

Bendea H., Boccardo P., Dequal S., Giulio Tonolo F., Marenchino D., Piras M., (2008). "Low cost UAV for post-disaster assessment". *ISPRS Archives Vol. XXXVII, ISPRS Congress, Beijing, China, pp. 1373-1380*.

Bornaz, L., Rinaudo, F. (2004), "Terrestrial laser scanner data processing". *Proceedings of XX ISPRS Congress*.

Chiabrando, F., Costamagna, E., Spano', A., Rinaudo, F., (2010). "Very close nadiral images: a proposal for quick digging survey". *ISPRS Archives, vol. XXXVIII/5, pp. 155-160.*

Chiabrando, F., Lingua, A., Maschio, P., Rinaudo, F., Spanò A. (2012). "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 - Milano, 3 maggio 2012. pp. 1-12*.

Chiabrando, F., Piatti, D., Rinaudo, F., (2008). "Sperimentazioni sull'utilizzo di UAV per il rilievo delle emergenze archeologiche". *Atti 12a Conferenza Nazionale ASITA, 21-24 ottobre, L'Aquila*.

Eisenbeiß, H., (2009). "*UAV photogrammetry*". Zurich, Switzerland: ETH.

Eisenbeiss, H., Lambers, K., Sauerbier, M., Zhang, L., (2005). "Photogrammetric documentation of an archaeological site (Palpa, Peru) using an autonomous model helicopter". *ISPRS Archives Vol. XXXIV-5/C34, CIPA, Torino, Italy ,pp. 238-243.*

Perotti, L., Giardino, M., Alberto, W., Martelli, D., Tamburini, A., (2008). "L'uso combinato di fotogrammetria digitale terrestre, laser scanner, tecniche topografiche tradizionali e GNSS per l'analisi della dinamica gravitativa di versante: il caso dell'oriondé (Cervino, Valle d'Aosta). *Atti 12a Conferenza Nazionale ASITA, 21-24 ottobre, L'Aquila*.

Püschel, H., Sauerbier, M., Eisenbeiss, H., (2008). "A 3D model of Castle Landenberg (CH) from combined photogrammetric processing of terrestrial and UAV-based images". *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 37, pp. 93-98*.

Sarazzi, D., Mancon, L., Julitta, F., Quartieri, A., (2011). "Piattaforma UAV per l'acquisizione ed elaborazione fotogrammetrica di immagini di scavi archeologici e strutture architettoniche", *Atti 15a Conferenza Nazionale ASITA, 15-18 novembre, Reggia di Colorno*.

Szeliski, R., (2010). "Computer vision: algorithms and applications". *Springer Science & Business Media*.

Tucci, G., Bonora, V., Gulec Korumaz, A., Salvadori, M., Orlandini, S., (2014), "Fotogrammetria digitale e sistemi UAV: applicazioni al monitoraggio ambientale". *Atti 18a Conferenza Nazionale ASITA, 14 – 16 ottobre, Firenze*.