

# Fotogrammetria da UAV negli interventi di recupero: dalla fase pre-progettuale al cantiere



di Donatella Dominici, Pierluigi De Berardinis, Maria Alicandro, Marianna Rotilio

**La fotogrammetria da UAV (Unmanned Aerial Vehicle) è utilizzata nel mondo del recupero e della ricostruzione post-sisma e le sue potenzialità di impiego possono ancora essere approfondite. Per questo motivo l'articolo illustra nuovi scenari di ricerca, attualmente oggetto di studio in sinergia con la progettazione sostenibile.**

**D**a molti anni il tema del recupero dei centri storici è oggetto di dibattito nazionale al fine di garantire la conservazione della cultura materiale dei luoghi, passando dal singolo monumento al centro storico fino al cosiddetto “valore ambientale di insieme” (Zordan et al 2002) dei centri minori. All'interno del tema generale della riqualificazione urbana, spicca per attualità ed interesse la lettura in chiave sostenibile del recupero, in quanto trattasi di un'azione volta a limitare il consumo di suolo, alla riduzione degli “sprechi” energetici, al “risveglio”

dell'identità culturale e del sentimento di appartenenza ad un luogo, ... Nell'ultimo decennio il concetto di recupero si è arricchito di ulteriori significati, legati anche all'intensa attività di ricostruzione post-sisma che sta caratterizzando il centro Italia a partire dall'evento tellurico che nel 2009 colpì la città di L'Aquila. L'enorme difficoltà che gli operatori del settore hanno incontrato nel momento in cui si sono trovati ad intervenire nelle zone terremotate è stata quella relativa alla “presa visione” dello stato di fatto, ancorché prima dell'analisi dell'entità del danno. Infatti,

ultimata la fase del primo soccorso alla popolazione, restavano principalmente fabbricati imprigionati tra imponenti cumuli di macerie, viabilità interrotte ed accessi interdetti. E' in questo momento che si decise di impiegare la fotogrammetria da “UAV” (Unmanned Aerial Vehicle). L'UAV, dall'uso consolidato in ambiente militare, è un'ottima piattaforma di acquisizione di dati per rilievi metrici dei danni nelle zone inaccessibili per l'essere umano o comunque non in sicurezza (Dominici et al. 2012) e, più in generale, per la gestione delle problematiche ambientali e territoriali. La fotogrammetria da UAV, in sinergia con il laser scanner, GNSS e rilievo tradizionale permette di ottenere una completa visione 3D metrica e navigabile degli oggetti indagati. La fotogrammetria da UAV apre nuovi scenari di applicazione nel campo della fotogrammetria dei vicini (Eisenbeiß 2009), permettendo di ottenere rilievi aerei ad altissima risoluzione (circa 2-10 cm) facilmente integrabili con i rilievi laser scanner grazie allo sviluppo di nuovi algoritmi di Structure from Motion (SFM) (Westoby et al

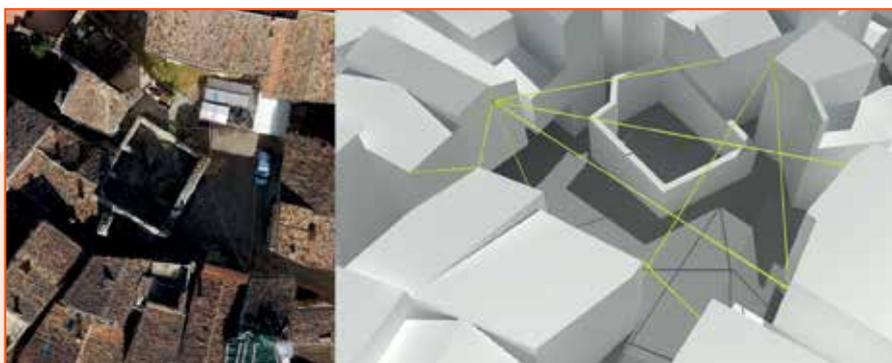


Fig. 2 – a) Zoom su un ortomosaico estratto dall'elaborazione del volo fotogrammetrico nel centro storico di Fontecchio (AQ). Dall'ortomosaico sono state messe in evidenza le linee aeree relative ad un piazzale del centro storico. b) modello 3D della zona indagata. Immagine estrapolata dalla tesi di laurea in Ingegneria Edile Architettura di Luigi Fradiani “Il controllo della progettazione esecutiva nel recupero dell'edilizia storica e la gestione del piano di cantierizzazione: il caso studio del borgo di Fontecchio (Aq)”, Relatore Prof. Pierluigi De Berardinis, Correlatore Geom. Lucio Cococetta.



Fig. 1 – Fasi principali di elaborazione: a) image matching; b) bundle adjustment; c) Dense Matchings; d) Texturing.

2012, Barazzetti et al 2011), che hanno permesso di lavorare con le nuvole di punti nel campo della fotogrammetria. Un ulteriore vantaggio dell'utilizzo della tecnica da UAV è rappresentato dalla velocità di esecuzione dei rilievi, ad esempio è possibile rilevare più di un ettaro di superficie in meno di 10 minuti. Nello specifico la fotogrammetria è la tecnica di rilievo che permette di ottenere informazioni metriche di un oggetto partendo dall'acquisizione, con un sensore ottico (camera fotografica), di almeno 2 o più immagini da differenti punti di vista e con un adeguato grado di sovrapposizione.

Le fasi fondamentali del rilievo possono essere sintetizzate in:

- ▶ Pianificazione del volo;
- ▶ Acquisizione fotogrammi e rilievo di punti di controllo a terra (GCP);
- ▶ Elaborazione dei dati;
- ▶ Validazione dei dati finali.

La pianificazione del volo consente di garantire la giusta sovrapposizione dei fotogrammi

e in base alle caratteristiche del sensore utilizzato (lunghezza focale e dimensioni del pixel del sensore), di determinare la quota ottimale di volo; quest'ultima funzione della risoluzione finale del rilievo (Dominici et al. 2016).

Durante la seconda fase, l'UAV seguirà la rotta preimpostata dal piano di volo per acquisire i fotogrammi. Il numero dei fotogrammi sarà funzione, oltre dei parametri suddetti, anche dell'estensione dell'area da rilevare. In aggiunta all'acquisizione dei fotogrammi, per georeferenziare e controllare i risultati del modello finale, come noto, dovranno essere acquisiti dei GCP, (Ground Control Point) punti con coordinate 3D note in un determinato sistema di riferimento e ben visibili su più immagini. In base alle dimensioni dell'area da rilevare, i GCP (min. 3) devono essere distribuiti omogeneamente e vengono misurati con tecniche GNSS o rilievo tradizionale tramite Stazione totale (Dominici et al. 2016).

Per la ricostruzione dei modelli

3D viene eseguito il tipico approccio della SFM (Westoby 2012, Triggs et al, 1999) e di Dense Matching (Fig. 1) ad oggi implementato nella maggior parte dei software per la modellazione 3D (Szeliski, 2010) come Pix4D, Agisoft, APERO- MICMAC, ecc.

I modelli 3D vengono georeferenziati durante la fase di bundle adjustment, inserendo e riconoscendo manualmente i GCP sui fotogrammi. Per la validazione dei risultati, come noto, alcuni dei GCP non utilizzati nella fase precedente, contribuiscono alla valutazione della qualità finale.

Dalla restituzione fotogrammetrica vengono estratti differenti output (Modelli 3D, ortofoto, DEM) estremamente utili all'esportazione di informazioni metriche e qualitative con precisione centimetrica di edifici, anche nel caso in cui essi siano distrutti o fortemente danneggiati a seguito di eventi catastrofici, come sisma, alluvione, frana, ecc. e tali output risultano oggi spesso utilizzati nel mondo



Fig. 3 - Ricostruzione 3D e rilievo termografico su aggregato.

dell'edilizia, in particolare anche per la ricostruzione post-sisma. Gli autori hanno intuito che l'impiego della fotogrammetria da UAV ha notevoli potenzialità anche per ulteriori applicazioni inerenti il recupero edilizio, di cui oggi sono pochi i riferimenti nel panorama internazionale. Per questo motivo hanno elaborato una ricerca volta ad unire le due "anime" della geomatica e del recupero edilizio che ha dato vita allo sviluppo di numerosi progetti tra i quali, il più ambizioso, è sicuramente quello relativo alla fondazione dello Spin-Off dell'Università degli Studi di L'Aquila chiamato Gitais s.r.l. (Geo-Inspired Technologies & Applications for Innovation & Sustainability – [www.gitais.it](http://www.gitais.it)).

La ricerca è finalizzata all'utilizzo delle tecniche geomatiche applicate nel campo della riqualificazione sostenibile, indagando differenti ambiti di intervento. Di seguito verrà illustrata una sintesi delle esperienze finora svolte, concentrando l'attenzione sull'utilizzo dei risultati ottenuti, grazie all'impiego della fotogrammetria da UAV, in differenti casi di studio analizzati.

### Riqualificazione degli scenari luminosi

L'impiego della fotogrammetria da UAV è stata impiegata per rilevare le reti infrastrutturali aeree, in modo tale da mettere in luce le criticità, come ad esempio il danneggiamento in facciata, l'inadeguatezza delle connessioni e degli ancoraggi, la scarsa resa cromatica, la presenza di interferenze di colore, causate di norma da sorgenti luminose di diverso tipo, che determinano una non corretta percezione dello spazio e del costruito, ...

Le citate analisi hanno consentito di evidenziare le criticità tra cui ad esempio la presenza di zone d'ombra e dunque di condizioni di pericolosità, l'assenza di valorizzazione delle emergenze architettoniche, la dispersione del flusso luminoso, ... La metodologia elaborata è stata verificata nel centro minore storico di Fontecchio (Aq), si veda Fig. 2.

### Riqualificazione energetica dell'involucro edilizio

Mediante l'installazione di un sensore termico sull'UAV gli autori hanno eseguito delle indagini non distruttive sull'involucro storico di alcuni edifici,

volte ad acquisire informazioni termiche sugli elementi, ma anche dati inerenti i materiali, in relazione al danno e al degrado. E' stato possibile infatti rilevare la presenza di cambi di materiali nel substrato, approfondire la conoscenza in situ di infiltrazioni capillari, distacco di intonaco, fessurazioni, risalita di umidità, ... in alcune facciate storiche di edifici siti nel già citato borgo di Aielli (Fig. 3)

### Miglioramento prestazioni energetiche del fabbricato

La fotogrammetria da UAV è stata impiegata anche per promuovere il miglioramento del comportamento energetico del fabbricato, acquisendo informazioni inerenti le coperture. La sperimentazione è stata eseguita nel centro storico di Aielli (AQ). Il DEM (Fig. 4.a) ad altissima risoluzione (6 cm), ottenuto dal processo fotogrammetrico, è stato sottoposto ad ulteriori indagini in ambiente GIS al fine di ottenere le mappe di pendenze ed esposizione dell'intero borgo. Il processo è stato automatizzato tramite il Model Builder di ArcMap (Fig. 4.d) ed utilizzando gli algoritmi "Slope" e "Aspect" (8). Ulteriori filtri sono stati necessari



Fig. 4- a) DEM del borgo di Aielli; b) mappa delle pendenze; c) mappa delle esposizioni; d) workflow di restituzione automatica in Model Builder di ArcMap.

al fine di rimuovere il rumore generato dalla presenza di altri elementi rilevati (p. es.: alberi, automobili, lampioni, ecc.). Nelle seguenti Fig. 4.b e Fig. 4.c sono riportate le mappe tematiche restituite. Tali informazioni morfologiche (pendenze ed esposizioni dei versanti) hanno consentito di individuare le potenzialità e criticità in relazione all'applicazione delle energie rinnovabili come ad esempio la valutazione del potenziale fotovoltaico dell'intero borgo analizzato.

### Monitoraggio attività di cantiere

Gli ambiti di interesse fin qui illustrati riguardano principalmente la fase pre-progettuale dell'intervento di recupero ovvero quella relativa alle analisi che consentiranno di redigere degli elaborati capaci di rispettare, interpretare e salvaguardare le reali condizioni dell'esistente. Gli autori però hanno intuito come la fotogrammetria da UAV possa essere efficacemente utilizzata anche durante la fase esecutiva del progetto, al fine di monitorare non solamente gli stadi di sviluppo interni al cantiere e le relative configurazioni evolutive dei layout, ma anche

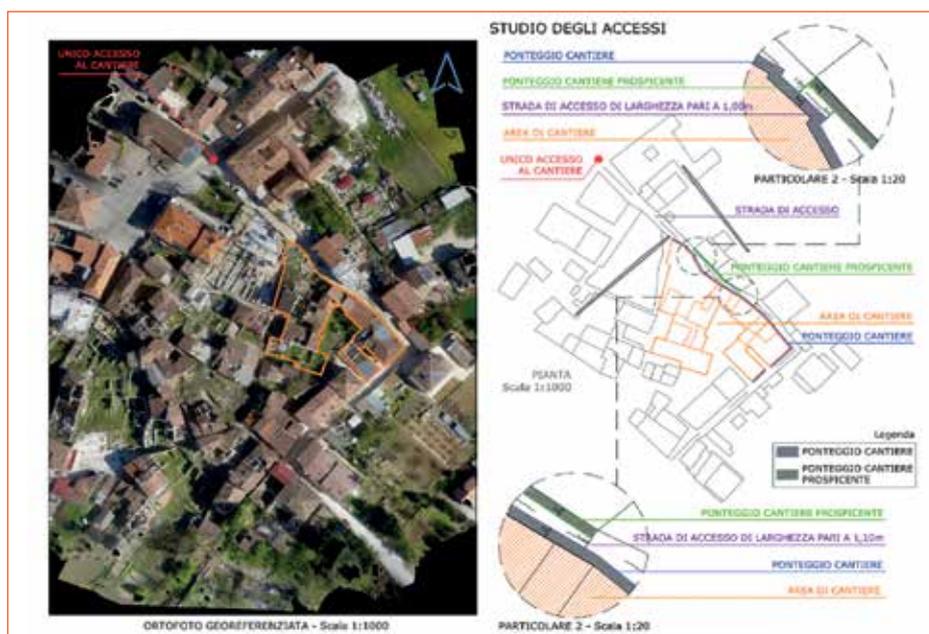


Fig. 5 - Ortofoto georeferenziata ottenuta da volo fotogrammetrico da UAV nel centro storico di Villa Sant'Angelo (AQ), individuazione del cantiere e analisi degli accessi al cantiere. Immagini estrapolate dalla tesi laurea in Ingegneria Civile di Marcone Claudia "Fotogrammetria da UAV per una gestione "smart" del cantiere. Relatore: Prof.ssa Donatella Dominici, Prof. Pierluigi De Berardinis; Correlatore: Ing. Maria Alicandro.

per controllare l'intorno per una migliore gestione logistica e delle interferenze (Fig. 5-Fig. 6). In questo specifico filone di ricerca, gli autori hanno sperimentato l'importanza dell'utilizzo della fotogrammetria da UAV in due centri storici, ovvero quello di Villa Sant'Angelo e quello di Fontecchio, entrambi collocati nella Provincia di L'Aquila.

In conclusione dunque, si è voluto sottolineare la potenzia-

lità di impiego della fotogrammetria da UAV nel campo del recupero edilizio. Il gruppo di ricerca crede nell'impiego di queste conoscenze in territori fragili come quelli del contesto italiano e sta lavorando per approfondire nuovi aspetti di ricerca relativi all'uso della fotogrammetria da UAV in sinergia con la progettazione sostenibile e mediante il coinvolgimento delle istituzioni.

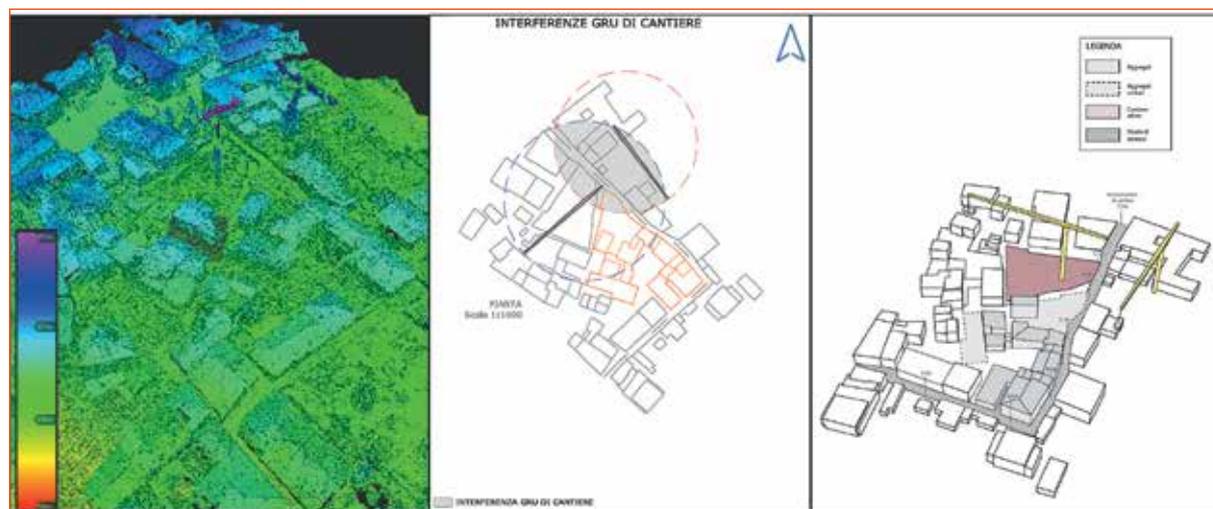


Fig. 6- a) Nuvola di punti con individuazione delle gru (elementi in viola e in blu); b) modello 3D semplificato, ricostruito dalle informazioni della nuvola di punti e individuazione delle interferenze gru nelle zone adiacenti il cantiere; c) Analisi interferenza gru nel centro storico di Villa S. Angelo (Aq). Immagini estrapolate dalla tesi laurea in Ingegneria Civile di Marcone Claudia "Fotogrammetria da UAV per una gestione "smart" del cantiere. Relatore: Prof.ssa Donatella Dominici, Prof. Pierluigi De Berardinis; Correlatore: Ing. Maria Alicandro.

**BIBLIOGRAFIA**

Barazzetti L, Forlani G, Remondino F, Roncella R. & Scaioni M. (2011) *Experiences and achievements in automated image sequence orientation for close-range photogrammetric projects*. Proc. SPIE 8085, Videometrics, Range Imaging, and Applications XI, 80850F; 2011 May 23; Munich (DE).  
 Dominici, D., Baiocchi, V., Zavino, A., Alicandro, M., & Elaiopoulos, M. (2012, May). *Micro UAV for post seismic hazards surveying in old city center of L'Aquila*. In Proceedings of the FIG Working Week (pp. 06-10).

Dominici D, Alicandro M, Massimi V. (2017) *UAV photogrammetry in the post-earthquake scenario: case studies in L'Aquila*, Geomatics, Natural Hazards and Risk 8.1 (2017): 87-103.

Eisenbeiß, H. (2009). *UAV photogrammetry* (Doctoral dissertation, ETH Zurich).

Zhao, W., Chellappa, R., Phillips, P. J., & Rosenfeld, A. (2003). *Face recognition: A literature survey*. ACM computing surveys (CSUR), 35(4), 399-458.

Westoby M J, Brasington J, Glasser N F, Hambrey M J & Reynolds J M (2012). *Structure-from-Motion' photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications*. *Geomorphology*. [Internet]. 179: 300-314.

Zordan L, Bellicoso A, De Berardinis P, Di Giovanni G & Morganti R (2002). *Le tradizioni del costruire della casa in pietra: materiali, tecniche, modelli e sperimentazioni*. Gruppo Tipografico Editoriale, L'Aquila, 7.

**ABSTRACT**

The UAV photogrammetry has a lot of potential in terms of building rehabilitation and post-earthquake reconstruction, of which today there are few references on the international scene. For this reason the authors have elaborated a research aimed to merge the geomatics techniques and the building recovery, arising the develop of a lot of projects. In particular, different scenarios will be presented in the paper, from the pre-design step in the field of sustainable rehabilitation to the optimization of the "construction sites" management.

**PAROLE CHIAVE**

FOTOGRAMMETRIA; UAV; RECUPERO EDILIZIO; SOSTENIBILITÀ

**AUTORE**

PROF. DONATELLA DOMINICI, DONATELLA.DOMINICI@UNIVAQ.IT

PROF. PIERLUIGI DE BERARDINIS, PIERLUIGI.DEBERARDINIS@UNIVAQ.IT

ING. PH. D. MARIANNA ROTILIO, M.ROTILIO@GITAIS.IT

ING. PH. D. MARIA ALICANDRO, M.ALICANDRO@GITAIS.IT

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE-ARCHITETTURA ED AMBIENTALE, UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DELL'AQUILA, VIA GRONCHI, 18 – L'AQUILA

**Droni Idrografici polivalenti**

- Rilievi batimetrici automatizzati
- Acquisizione dati e immagini
- Mappatura parametri ambientali
- Ispezione fondali



Dighe, laghi, cave in falda, bacini, fiumi e canali fino a 4 m/s. Insensibili ai bassi fondali e alla presenza di alghe e detriti



**Vendita - Noleggio - Servizi chiavi in mano,  
anche con strumentazione cliente**



## GIOCA D'ANTICIPO

Il **monitoraggio satellitare** della superficie terrestre fornisce informazioni aggiornate e puntuali per prendere decisioni rapide e consapevoli in numerosi contesti applicativi.

È la soluzione ideale per il monitoraggio di **aree in frana** o subsidenza; individuare potenziali cedimenti strutturali di **reti idriche** e fognarie; monitorare la stabilità di **reti stradali** e ferroviarie, ponti e viadotti; valutare la qualità delle **acque marino-costiere**; identificare e classificare le **aree percorse dal fuoco** e le **trasformazioni antropiche** nel tempo.

Attiva il tuo servizio di monitoraggio continuo con **aggiornamenti giornalieri**, settimanali o mensili attraverso la sottoscrizione di un **abbonamento annuale** alla **piattaforma Rheticus®**.

Disporrai di report, mappe ed indicatori di sintesi progettati per soddisfare le tue esigenze operative.



### UTILITIES

Oil&Gas, Energia,  
Estrazione, Reti  
idrico-fognarie,  
Teleriscaldamento,  
Dissalatori



### INGEGNERIA

Aeroporti, Ferrovie,  
Strade, Tunnel, Dighe,  
Ponti, Metropolitane,  
Perforazioni offshore,  
Dragaggi



### FOOD

Pesca,  
Acquacoltura,  
Previsioni sulle colture,  
Precision farming



### GOVERNO

Urbanistica,  
Frane e subsidenza,  
Incendi boschivi,  
Acque  
marino-costiere

Richiedi una quotazione per la tua area di interesse  
su [www.rheticus.eu](http://www.rheticus.eu)