

# I Sistemi UAV in ausilio alla Protezione Civile per il monitoraggio del territorio: la frana di Casola Valsenio

Alessandra Callegari <sup>(a)</sup>, Marco Dubbini <sup>(b)</sup>, Antonio Zanutta <sup>(a)</sup>

<sup>(a)</sup> Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei Materiali, Università di Bologna, 40136, Bologna, Italia, tel. +39 051 2093111, E-mail: alecallegari10@gmail.com, antonio.zanutta@unibo.it

<sup>(b)</sup> Dipartimento di Storia Culture Civiltà—Università di Bologna, 40124, Bologna, Italia, tel. +39 051 2097454; E-mail: marco.dubbini@unibo.it

## Abstract

Gli enti predisposti al controllo e monitoraggio del territorio oggi possono avvalersi delle nuove tecnologie di rilievo offerte dalla Geomatica. Tra queste i sistemi UAV "Unhumaned Aerial Vehicle", risultano essere i più adatti per l'osservazione dell'evoluzione di fenomeni di dissesto a grande scala.

Questo elaborato presenta un rilievo eseguito mediante drone di una porzione di territorio subito dopo il verificarsi di un evento franoso.

Obiettivo del lavoro è quello di dimostrare l'efficacia della tecnica adottata per indagare il fenomeno verificatosi, delimitare l'area di intervento, analizzare geometricamente le variazioni superficiali registrate e quantificare i movimenti di terreno avvenuti.

L'area interessata dalla frana è situata nel comune di Casola Valsenio (Ravenna). Il fenomeno franoso, verificatosi il 25 febbraio 2015, ha interessato il Senio, invadendo parzialmente il corso del fiume.

Il rilievo è stato georeferenziato mediante Punti Fotogrammetrici d'Appoggio rilevati con ricevitori GNSS. L'elaborazione delle immagini è stata realizzata mediante un software open source che, in maniera quasi automatica, genera modelli tridimensionali arricchiti dal contenuto radiometrico delle immagini originali.

Oltre allo studio geometrico del movimento è stata eseguita un'analisi quantitativa e qualitativa delle differenze intercorse utilizzando il materiale vettoriale e raster reperito dall'Ufficio Cartografico della Regione Emilia Romagna.

## Introduzione

Il territorio italiano, a causa delle sue caratteristiche geologiche, morfologiche e idrografiche è naturalmente predisposto a fenomeni di dissesto quali frane e alluvioni. La Regione Emilia Romagna nello specifico è la seconda in Italia dopo la Lombardia per diffusione ed estensione di frane sul proprio territorio. La maggior parte delle frane ha un'attività intermittente, caratterizzata da lunghe

fasi di quiescenza, anche della durata di decenni, alternate a fasi di attività che possono determinare la mobilitazione di interi versanti con gravi conseguenze sul sistema antropico. La fragilità morfologica del territorio non è esclusiva solo delle aree su cui le frane sono conclamate ma interessa anche lunghi tratti di infrastrutture viarie, che, in occasione di fenomeni meteorologici particolarmente intensi, subiscono con notevole frequenza danni di varia gravità per smottamenti di varia estensione.

Il dissesto idrogeologico deriva dall'azione combinata di diversi fattori naturali: un territorio con una struttura geomorfologica giovane e instabile, la presenza di rocce friabili e impermeabili, che favoriscono lo scorrimento in superficie dell'acqua piovana e un clima in cui lunghi periodi di siccità si alternano a precipitazioni intense e concentrate nel tempo.

Negli ultimi anni è quindi sempre più evidente la necessità di prevenire e monitorare questi eventi, in modo tale da programmare nel modo più rapido possibile una strategia di intervento.

Il tema delle frane e del rischio a esse collegate coinvolge a vario titolo numerosi Enti e Autorità come il Corpo dei Vigili del Fuoco, il Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli e il Servizio Nazionale della Protezione Civile.

La Protezione Civile, istituita dalla Legge n. 225 del 24 febbraio 1992: (aggiornato con Decreto n. 93 del 14 agosto 2013) è l'ente preposto al monitoraggio, gestione dei danni ambientali, soccorso alle popolazioni colpite da eventi calamitosi, prevenzione e mitigazione dei rischi.

L'osservazione dell'evoluzione di fenomeni di dissesto viene realizzata con tecniche geomatiche, di tipo puntuale o areale.

Con lo sviluppo tecnologico verificatosi nell'ultimo periodo assume particolare importanza il telerilevamento e la fotogrammetria digitale è divenuta ormai una tecnica consolidata di rilievo sia a livello di grande scala che di piccola scala. Per la generazione di cartografia, elaborati vettoriali e raster a valenza metrica, la tecnica prevede l'acquisizione di fotogrammi acquisiti da posizioni differenti che identifichino la stessa porzione di oggetto o di territorio.

Lo sviluppo di algoritmi sempre più performanti di restituzione, ha reso le procedure di orientamento dei fotogrammi e di restituzione, pressoché automatiche, rendendo possibile l'impiego della fotogrammetria anche a utenti non propriamente del settore.

Fondamentale risulta essere la velocità con la quale oggi è possibile completare il rilievo di oggetti e porzioni di territorio anche se permangono ancora criticità relative al controllo della qualità degli elaborati prodotti.

Gli Aeromobili a Pilotaggio Remoto, in Italia siglati con l'acronimo APR (in lingua inglese si utilizza il termine UAV, cioè "Unmanned Aerial Vehicle") sono oggi un ottimo supporto al rilievo fotogrammetrico, in particolare, su zone accidentate o rese inagibili da eventi che hanno compromesso il territorio.

Questo lavoro nasce da una dimostrazione di rilievo mediante UAV, effettuato dalla ditta SAL engineering S.r.l., della frana avvenuta a Casola Valsenio (Ravenna) il 25 febbraio 2015. La SAL engineering S.r.l. è una società che progetta, produce e commercializza sistemi UAVs (Unmanned Aerial Vehicle) e ROVs (Remotely Operated Vehicle) per l'acquisizione di dati in ambiente aereo, marino, terrestre e subacqueo".

Il rilievo, consistito in un sorvolo dell'area disastrosa con un Drone prototipo è stato condotto in circa 30', in presenza delle forze dell'ordine, dei tecnici della regione e del personale della Protezione civile, a dimostrazione dell'efficacia della tecnica adottata. Contemporaneamente sono stati rilevati dei punti di controllo a terra impiegando ricevitori GNSS. La fase di analisi in laboratorio è consistita nella elaborazione di elaborati vettoriali e raster della zona che hanno permesso l'analisi geometrica della frana, un confronto qualitativo e quantitativo con modelli tridimensionali e ortofoto precedenti all'evento franoso.

### Metodologia

La frana avvenuta nel Comune di Casola Valsenio in provincia di Ravenna il 25 febbraio 2015, ha interessato il campo da calcio del paese, prospiciente al fiume Senio, scivolando e accumulando detriti nel greto del fiume. L'evento è avvenuto in seguito ad un'abbondante precipitazione piovosa.

Questa zona è caratterizzata a livello geologico dalla Formazione Marnoso Arenacea in cui strati più compatti (arenacei) e altri più disaggregabili (marnosi), si alternano ritmicamente.

Per rilievo, realizzato dalla società SAL Engineering S.r.l., è stato impiegato un esacottero a sei bracci UAV ESAFLY 2500 sul quale è stata installata una Camera Canon EOS 550D (focale 2.7 cm; dimensione pixel 4.404 m) con sensore CMOS da 18 megapixel con focamento fisso ed esposimetro automatico.



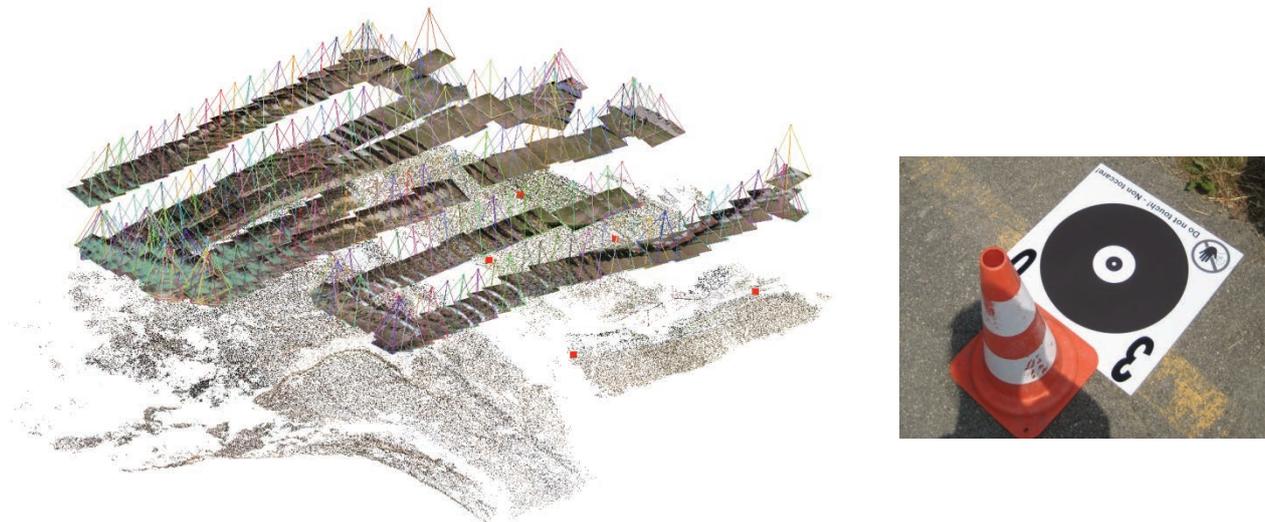
Figura 1 - UAV ESAFLY 2500 e Canon EOS 550D.

Sono stati effettuati tre sorvoli della zona interessata, acquisendo 792 fotogrammi con percentuale di sovrapposizione di almeno l'80% per immagini successive e 20% tra strisciate contigue.

Le immagini, acquisite ad una altezza media di circa 100 metri sono caratterizzate da un fattore di scala medio di 3766 e la dimensione del pixel a terra (Ground Sampling Distance, GSD) di circa 1.7 cm.

Suddividendo il dataset in tre blocchi omogenei per quanto riguarda l'assetto di presa nei confronti del suolo, tramite il programma open source *VisualSfM* (<http://ccwu.me/vsfm/>), che lavora quasi completamente in autonomia è stato possibile costruire nuvole di punti tridimensionali della scena di rilievo.

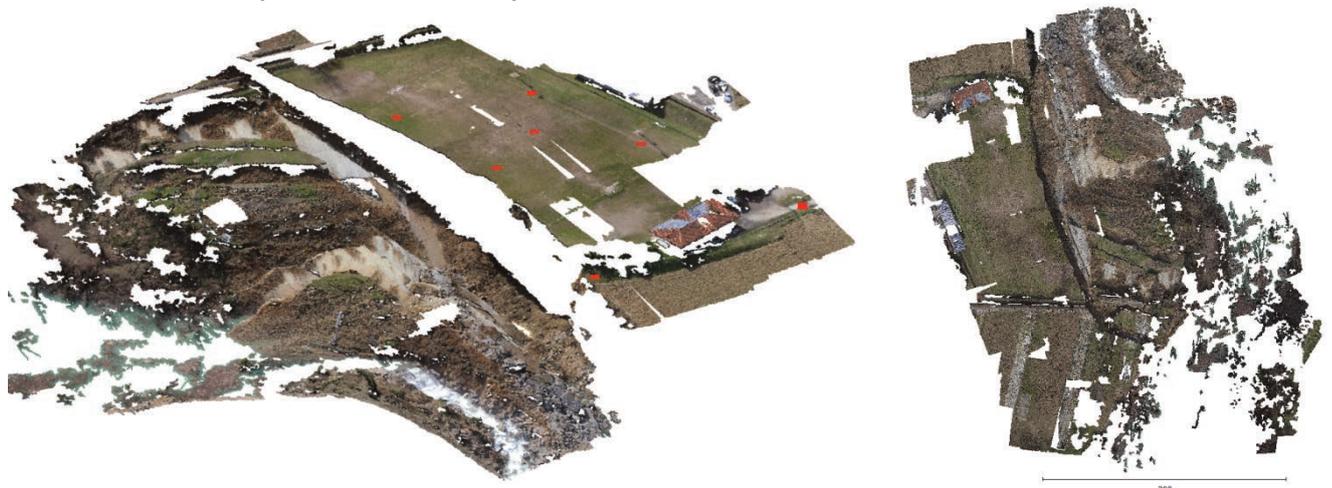
Queste nuvole di punti, orientate in un sistema di riferimento locale, sono state poi georeferenziate tramite l'inserimento di coordinate note di n. 11 Punti Fotogrammetrici d'Appoggio marcati sul campo in modo tale da essere visibili nei fotogrammi. Il modello è stato così inquadrato nel sistema geodetico UTM-ED50.



*Figura 2 - Ricostruzione 3D del terreno PFA.*

Per la ricostruzione della scena complessiva è stato necessario unire i tre prodotti creati allineandoli per trasformazione mediante un programma open source di elaborazione ed editing di nuvole di punti tridimensionali (*Cloud Compare*, <https://www.cloudcompare.org/>).

Uno dei problemi riscontrabili in una nuvola densa di punti può essere la presenza di "buchi", zone non restituite, in cui non esistono punti correlati ma che risulta indispensabile "riempire".



*Figura 3 – Viste prospettive delle nuvole dense di punti georeferenziate nel sistema UTM-ED50. Da notare le vaste aree non restituite.*

L'interpolazione è stata realizzata mediante l'algoritmo di Poisson (funzione Poisson Surface Reconstruction), in modo tale da ricostruire le zone prive di punti restituiti ed ottenere un modello completo e omogeneo.

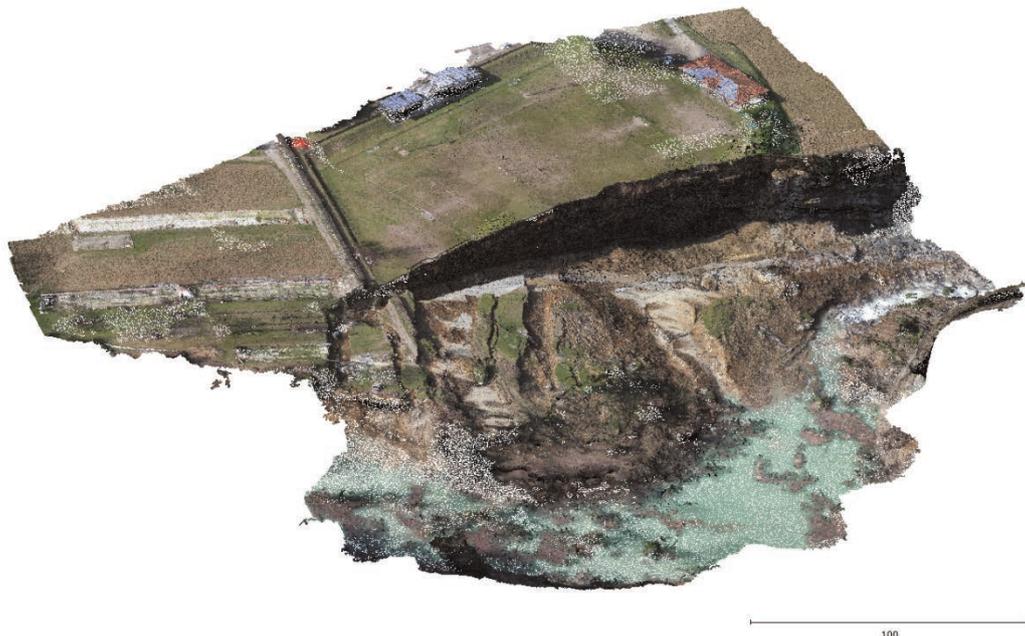


Figura 4 - Vista prospettica del modello tridimensionale ottenuto dal rilievo. La procedura di generazione ha richiesto l'intervento manuale per la eliminazione di outlier e una intenso calcolo di interpolazione per eliminare le aree non restituite.

### **Analisi degli elaborati prodotti**

Lo studio geometrico del DSM è stato realizzato generando sezioni e profili e stimando il volume movimentato. Per identificare le variazioni intercorse sono stati reperiti dall'Ufficio Cartografico della Regione Emilia Romagna i seguenti prodotti:

- DTM (Digital Terrain Model) costruito a partire dai dati relativi alla Carta Tecnica Regionale dell'Emilia Romagna del 2013 in scala 1:5000;
- Ortofoto Akea 2011;
- Carta Geologica in scala 1:10000;
- Carta Topografica 1:25000.

Le sezioni e i profili estratti sia DTM della Regione che dal DSM elaborato in questo studio, sono stati realizzati in ambiente Cloud Compare e confrontati numericamente.

Dalle figure 5-8 si evincono le variazioni geometriche intercorse. In bianco è rappresentato il profilo tridimensionale ottenuto dal DTM proveniente della Regione, mentre in rosso quello ottenuto dal modello rilevato.

Nelle figure sono state evidenziate con frecce, le zone interessate da maggiori variazioni.

E' stata inoltre generata, mediante un software a basso costo (*Bentley Pointools*, <https://www.bentley.com/it/products/product-line/reality-modeling-software/bentley-pointools>), un'ortofoto (5 cm dimensione pixel) impiegando i fotogrammi acquisiti con il drone e il modello tridimensionale ottenuto dalla elaborazione fotogrammetrica (Figura 9).

L'ortofoto è stata messa a confronto con quella reperita dalla regione (Figura 10).



Figura 5 - Linee di sezione.



Figura 6 - Sezione A-A'.



Figura 7 - Sezione B-B'.

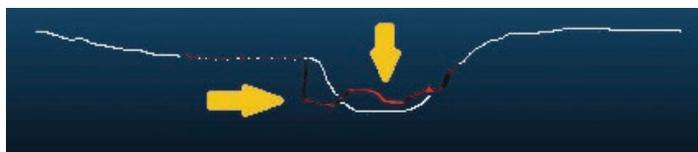


Figura 8 - Sezione C-C'.

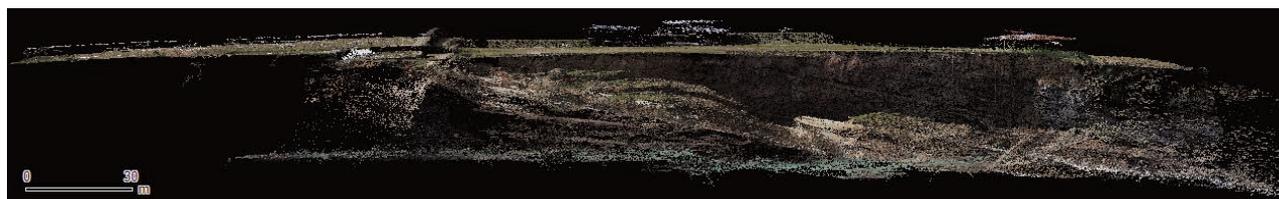


Figura 9 - Vista prospettica del modello tridimensionale prodotto. Da notare la parete in affioramento, interessata dalla frana.

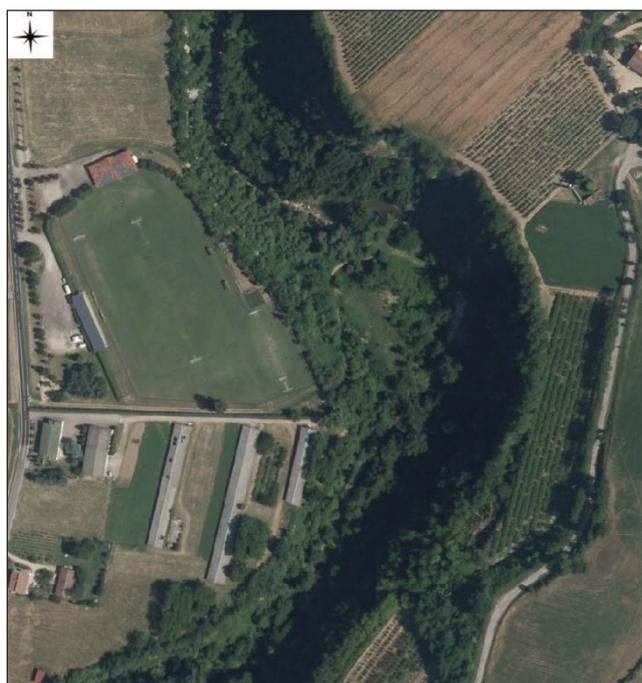


Figura 10 - Confronto: Ortofoto AGEA 2011 (sinistra); ortofoto 2015 (destra)

Per realizzare valutazioni quantitative in termini di variazioni di volume è stato impiegato il software Surfer (Goldensoft, [https:// www. goldensoftware .com/](https://www.goldensoftware.com/)). I modelli sono stati registrati in un'unica griglia e dove il dato era mancante, si è eseguita un'interpolazione tramite il metodo Kriging. È stato possibile ottenere informazioni in termini di volumi movimentati: franati e accumulati.

Per mettere in luce le differenze prima e dopo l'evento è stata realizzata una classificazione dei residui tra le superfici messe in relazione effettuando una sottrazione tra DSM e DTM.

Per evidenziare i range di spostamento e rendere visibile questa classificazione di informazioni sono state scelte le colorazioni del rosso per i valori negativi e rappresentanti la parte di distacco, e quelle del blu per rappresentare il terreno in accumulo (Figura 11).

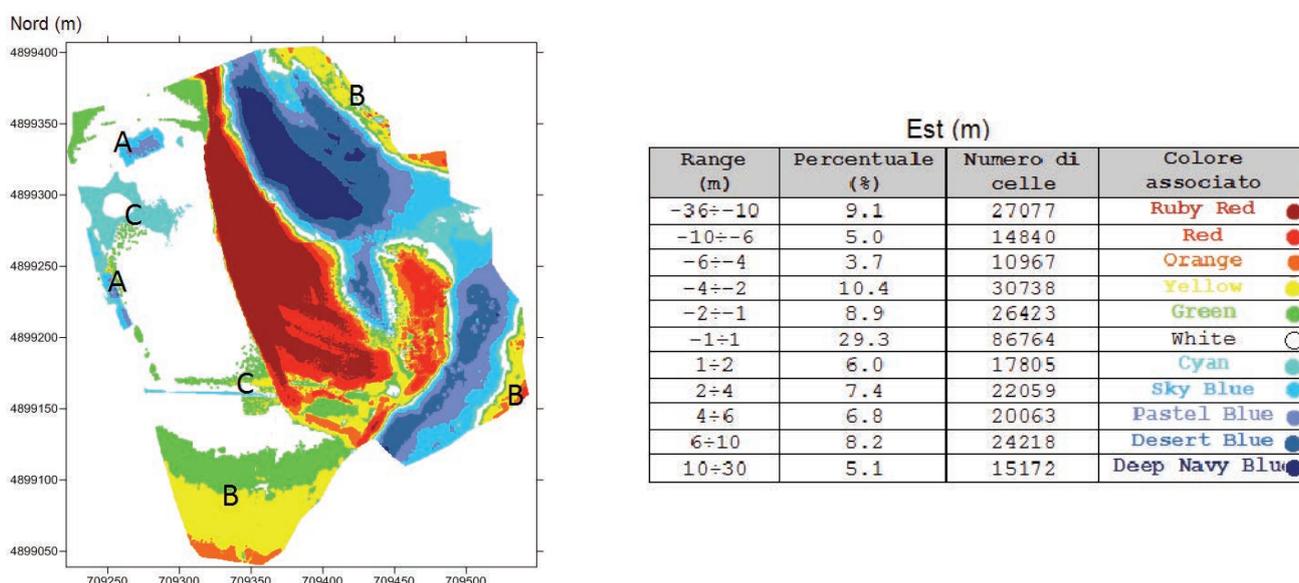


Figura 11 - Residui ottenuti dalla differenza tra DTM Regione e DSM rilevato.

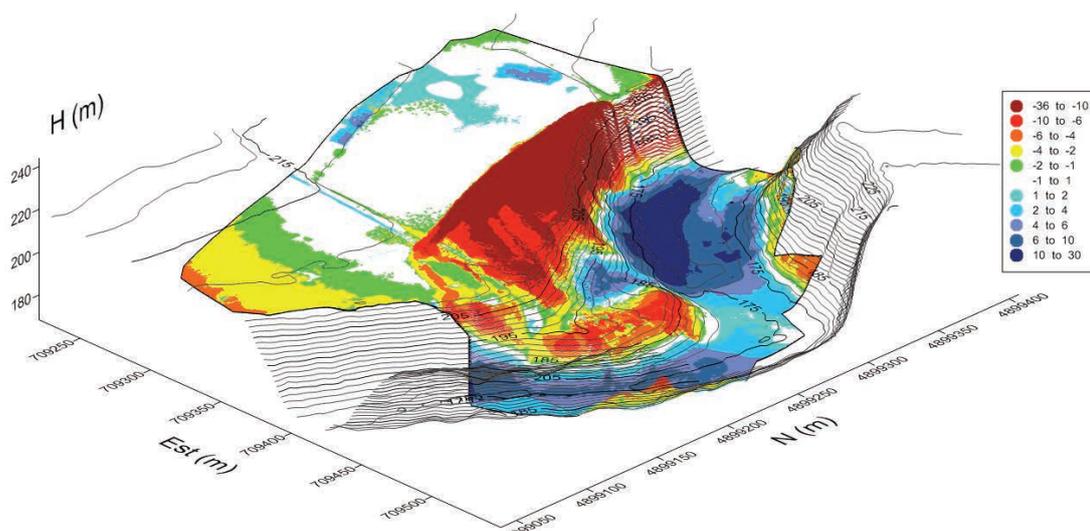


Figura 12 - Classificazione tra zone di distacco e di accumulo. In evidenza le curve di livello risalenti a prima dell'evento franoso.

Dalle figure 11 e 12 risulta evidente il meccanismo di frana, che appare di scivolamento con accumulo nel greto del fiume.

## Conclusioni

Dai fotogrammi acquisiti mediante il drone sono stati ottenuti elaborati vettoriali e raster a valenza metrica che hanno consentito di attuare uno studio geometrico del territorio interessato dall'evento calamitoso. I DSM ottenuti con VSfM anche se presentano caratteristiche distorsioni residue legate modello di calibrazione semplificato implementato nel software, e sono caratterizzati da aree diffuse non restituite che per essere "colmate" richiedono l'adozione di opportuni algoritmi di interpolazione, sono stati ottenuti in poche ore di elaborazione automatica. L'impiego di Punti Fotogrammetrici di Controllo rilevati con ricevitori GNSS ha consentito la georeferenziazione degli elaborati in un sistema globale e l'analisi in ambiente GIS delle variazioni intercorse utilizzano prodotti analoghi forniti dall'Ufficio Cartografico della Regione Emilia Romagna. Nel complesso la procedura di rilievo è stata rapida (30 minuti) e la fase di restituzione ha necessitato circa una decina di ore di tempo macchina. La tecnica di rilievo si è per tanto dimostrata efficace nel rilievo di territori interessati da eventi calamitosi in quanto in tempi rapidi può fornire le informazioni necessarie agli enti predisposti per attuare gli opportuni interventi.

## Riferimenti bibliografici

Bemis S.P., Micklethwaite S., Turner D., James M.R., Akciz S., Thiele A.T., Bangash H.A., 2014. Ground-based and UAV-Based photogrammetry: A multi-scale, highresolution mapping tool for structural geology and paleoseismology. *Journal of Structural Geology*, 69, 163-178, doi: 10.1016/j.jsg.2014.10.007.

Borgatti L., Vittuari L., Zanutta A., 2010. Geomatic methods for punctual and areal control of surface changes due to landslide phenomena. In Ernest D. Werner, Hugh P. Friedman Editors, "Landslides: Causes, Types and Effects", Natural Disaster Research, Prediction and Mitigation, Nova Science Publishers Inc., Hauppauge, NY, ISBN: 978-1-60741-258-8, 133-176.

Mutti E., Ricci Lucchi F., 1972. Le torbiditi dell'Appennino settentrionale: introduzione all'analisi di facies. *Memorie della Società Geologica Italiana*, 11, 161,199.

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*, 179, 300 – 314, doi: 10.1016/j.geomorph.2012.08.021.

Zanutta A., Baldi P., Bitelli G., Cardinali M., Carrara A., 2006. Qualitative and quantitative photogrammetric techniques for multi-temporal landslide analysis. *Annals of Geophysics*, 49, 4/5, 1593-5213, 1067-1079, doi.org/10.4401/ag-3117.