

La fotogrammetria digitale di archivio per lo studio multitemporale di un'area in frana nelle Prealpi vicentine

Gabriele Bitelli, Giorgia Gatta, Alberto Landuzzi, Luca Vittuari, Antonio Zanutta

DISTART - Università di Bologna - viale Risorgimento 2, 40136 Bologna, Italia
(gabriele.bitelli, giorgia.gatta, alberto.landuzzi, luca.vittuari, antonio.zanutta@mail.ing.unibo.it)

Riassunto

Il monitoraggio di un fenomeno franoso richiede di valutare periodicamente gli spostamenti dell'area in frana rispetto ad una zona stabile. Tra le moderne tecniche della Geomatica, alcune permettono di controllare nel tempo lo spostamento piano-altimetrico di punti notevoli mentre altre, tra cui la fotogrammetria, possono consentire di estendere l'analisi all'intera area d'interesse attraverso un numero molto elevato di punti, da cui estrarre modelli numerici della superficie (DTM); dal confronto tra DTM di rilievi successivi, è possibile evidenziare spostamenti di masse di terreno, calcolarne volumi e differenze di quote. La tecnica fotogrammetrica può permettere tale confronto, sia in termini qualitativi che metrici, anche in relazione ad un differente periodo storico per il quale si disponga di immagini adeguate allo scopo ("fotogrammetria d'archivio").

Il presente caso di studio si riferisce alla zona di frana del Brustolè (VI), risalente alla fine dell'ultima Era Glaciale, la cui più recente riattivazione è avvenuta nel 1966. Utilizzando fotogrammi aerei di due voli ricoprenti la zona di interesse (uno, del 1954, precedente l'ultima riattivazione, e l'altro, del 1982, successivo all'evento), sono stati ricostruiti i relativi modelli storici e sono stati ottenuti diversi prodotti fotogrammetrici digitali. Questi permettono confronti e interpretazioni sull'evoluzione temporale e sulla geometria del movimento di riattivazione del 1966, sia di tipo quantitativo sia di tipo qualitativo. Lo studio conferma come la fotogrammetria digitale di archivio possa costituire un interessante strumento di conoscenza sull'evoluzione nel tempo di un fenomeno franoso, ad integrazione dell'uso delle moderne tecniche topografiche.

Abstract

Landslide monitoring implies a periodical evaluation of ground movements with respect to stable zones. Modern surveying techniques allow to determine the movements of a small number of relevant points or instead the movements of a very high number of points, from which a DTM can be extracted. By photogrammetry, the comparison of DTMs drawn from subsequent surveys can be extended to historical times, since "archival photogrammetry" uses historical frames to derive both metric information and qualitative analyses. This paper concerns the post-glacial Brustolè landslide (Vicenza, Italy), whose latest reactivation occurred in 1966. Aerial photos from two flights over the target zone (1954 and 1982, i.e. before and after the landslide reactivation) have been used to reconstruct historical models and to realize other digital photogrammetry products. The results of this study confirm that digital archival photogrammetry can be a useful tool for understanding the evolution of a landslide, and an effective way of integrating modern topographic techniques.

Introduzione

Il monitoraggio di un fenomeno franoso richiede di valutare periodicamente gli spostamenti dell'area in frana rispetto ad una zona stabile, controllando nel tempo gli eventuali movimenti e confrontando tra loro i risultati dei rilievi successivi. I metodi di rilievo topografici basati sull'uso di

total station o di stazioni GNSS permettono di controllare nel tempo lo spostamento plano-altimetrico di punti notevoli, materializzati sul territorio; la fotogrammetria, la scansione laser aerea e terrestre e le tecniche interferometriche InSAR consentono invece di estendere l'analisi all'intera zona di interesse attraverso un numero molto elevato di punti (Bitelli et al., 2004; Kääb, 2000). Esse sono quindi atte ad evidenziare campi di spostamento per vaste aree e variazioni di forma del terreno, rappresentato sottoforma di *Digital Terrain Model* ottenuto dall'acquisizione delle coordinate di un elevatissimo numero di punti. Dal confronto tra DTM di rilievi successivi, è possibile evidenziare spostamenti di masse di terreno, calcolarne volumi e differenze di quote.

Di particolare interesse è sicuramente la tecnica fotogrammetrica: potendo avvalersi anche di informazioni del passato, sottoforma di fotogrammi storici, la fotogrammetria, detta in questo caso "d'archivio", può consentire infatti di ricavare informazioni metriche e qualitative del fenomeno in differenti periodi storici. Queste, messe in relazione tra loro e con rilievi odierni, consentono di condurre il monitoraggio attraverso un lungo periodo storico, dunque in un'ottica multitemporale (Chandler e Cooper, 1988; Chandler et al, 2007; Zanutta et al., 2006). Scopo del presente studio è presentare con un caso di studio come questa tecnica, a fianco dei moderni metodi topografici, possa aiutare a comprendere l'evoluzione temporale di uno dei più classici fenomeni di deformazione oggetto di monitoraggio: una frana.

La frana del Brustolè

La frana del Brustolè si trova in Comune di Arsiero (VI). E' situata a monte dell'abitato, a circa 3 km dalla confluenza del torrente che scorre ai suoi piedi, il Posina, nella valle d'Astico, nel versante settentrionale del monte Priaforà (1.659 m). La valle del Posina ha origine glaciale, e l'evoluzione della frana del Brustolè è probabilmente iniziata durante gli stadi di ritiro del ghiacciaio würmiano, circa 18.000 anni fa. Al modellamento glaciale ha fatto seguito l'epigenesi, a cui è legata l'incisione della gola degli Stancari che ospita l'alveo attuale del torrente Posina: la valle glaciale del Posina era infatti inizialmente sospesa rispetto a quella dell'Astico, e l'erosione da parte del torrente ha dovuto ridurre questo dislivello. A questa prima fase, cui possiamo attribuire la porzione di accumulo nota come "paleo-frana", hanno fatto seguito molte riattivazioni, predisposte dall'incisione epigenetica della gola degli Stancari ed innescate da precipitazioni di notevole intensità. In particolare, si ricorda l'ultima grande riattivazione recente, del 1966, avvenuta in corrispondenza dell'alluvione eccezionale di quell'anno e alla piena del Posina: la frana interessò una zona di circa 400 m di dislivello, dai roccioni dolomitici a 700-750 m di quota, fino all'alveo del torrente, che fu invaso di detriti per un fronte di circa mezzo chilometro e, straripando, invase edifici a valle (Dal Prà, 1968; Colombo e Dal Pra', 1989).

La successione stratigrafica del versante che comprende la frana (Fig. 1) è costituita dalle porfiriti triassiche, dalla formazione di Raibl e dalla formazione della Dolomia Principale. La superficie di scorrimento della frana si colloca a contatto tra le porfiriti triassiche degradate e alcuni livelli argillosi della formazione di Raibl. Il corpo di frana è costituito essenzialmente da Dolomia Principale fratturata e variamente scompaginata; il tipo di movimento della frana è classificabile come scivolamento di roccia a blocchi. Si stima che il corpo di frana delimitato dalle nicchie attualmente visibili abbia una superficie di circa 600.000 m², con larghezza massima al piede di circa 1 km; il dislivello complessivo è 350-400 m (da una quota di 350 m s.l.m.m. a 700-750 m s.l.m.m.). La superficie principale di scorrimento si trova ad una profondità di circa 20 m nella parte sommitale e in quella inferiore del corpo di frana, mentre raggiunge una profondità di circa 100 m nella parte centrale. Il volume del corpo di frana coinvolto nella riattivazione recente è stimato in 20-30 milioni di metri cubi.

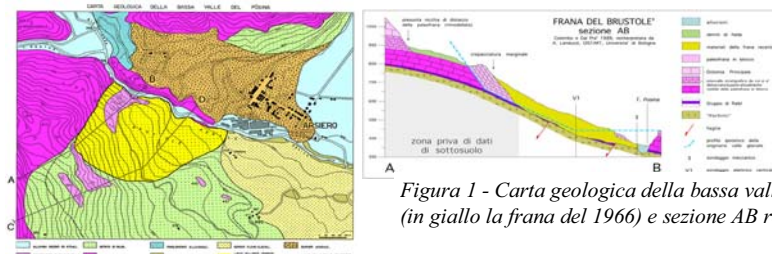


Figura 1 - Carta geologica della bassa valle del Posina (in giallo la frana del 1966) e sezione AB relativa.

In seguito all'evento franoso del 1966, è sorta la necessità di effettuare il monitoraggio geometrico del corpo di frana del Brustolè, al fine di rilevare eventuali spostamenti in atto. Requisiti essenziali che deve possedere una metodologia atta a monitorare una frana sono innanzitutto la precisione e l'affidabilità degli strumenti utilizzati, in secondo luogo la frequenza e la continuità dei controlli, con la possibilità di effettuarli in tempi stretti se richiesto, ed infine la velocità di esecuzione (che aumenta se si adottano processi di automazione nell'esecuzione del lavoro e nella registrazione dei dati) e di confronto con la situazione pregressa. Il rilievo topografico di alta precisione, con la misura della posizione di un certo numero di vertici opportunamente distribuiti sull'area di frana, fornisce il controllo di spostamenti e deformazioni superficiali ed è in questo caso probabilmente il sistema più idoneo, considerata l'elevata copertura arborea della zona (Fig. 2). E' stata dunque realizzata una rete topografica di monitoraggio, che attualmente è costituita da 15 vertici (2 stazioni di lettura, situate sul versante opposto a quello di frana, in corrispondenza di due terrazzi morfologici affacciati sulla gola degli Stancari e geologicamente stabili, e 13 capisaldi distribuiti all'interno dell'area delle più recenti riattivazioni in luoghi accessibili e intersvisibili rispetto alle stazioni di lettura). Le campagne di misura sono effettuate dal 1997 dal DISTART dell'Università di Bologna, nell'ambito di Contratti di Convenzione con la Comunità Montana Alto Astico e Posina e con il Comune di Velo d'Astico; il monitoraggio viene eseguito con strumentazione di alta precisione, consistente in una total station *Leica TCA 2003*, dotata di dispositivo ATR (*Automatic Target Recognition*) per il riconoscimento automatico dei target, e prismi retroriflettenti per misure ingegneristiche di precisione, montati sui pilastri che costituiscono i capisaldi della rete. Lo schema di misura adottato è un'intersezione tridimensionale mediante misure angolari e di distanza dalle stazioni fisse ai vertici in frana. Per ogni campagna di misura vengono determinate le posizioni dei vertici della rete, in un sistema di riferimento locale, e confrontate con quelle misurate nelle campagne precedenti, calcolando le differenze di posizione nel tempo ed evidenziando per ciascuna determinazione anche gli intervalli di confidenza associati.



Figura 2 - Vista della zona di frana da una delle stazioni della rete topografica

Studio multitemporale della frana mediante la fotogrammetria d'archivio

I rilievi in corso forniscono una informazione relativa ad un intervallo temporale piuttosto recente, di molto posteriore all'ultima riattivazione avvenuta nel 1966. Con l'obiettivo di studiare le possibili variazioni intercorse nella morfologia del corpo di frana rispetto ad una data antecedente all'ultima riattivazione, si è ricorsi pertanto alla "fotogrammetria d'archivio". Le riprese

fotografiche aeree o terrestri del passato possono rappresentare, infatti, uno dei pochi strumenti per retrocedere nell'osservazione di un fenomeno nel tempo ed effettuarne uno studio multitemporale. Sono stati reperiti i fotogrammi aerei corrispondenti a due voli eseguiti sulla zona, uno pre-frana effettuato nel 1954 (volo G.A.I.) ed uno post-frana del 1982 (volo Regione Veneto), selezionando le coppie stereoscopiche idonee per il ricoprimento dell'area in frana (Fig. 3); le scale fotogramma sono rispettivamente di 1:40000 e 1:25000, non idonee dunque per una analisi di dettaglio ma sufficienti per una prima ricognizione sull'evento. I fotogrammi sono stati reperiti o convertiti in forma digitale con risoluzioni, purtroppo non molto elevate, di 600 e 800 dpi rispettivamente, e successivamente elaborati all'interno di una stazione fotogrammetrica digitale di fascia alta (Gatta, 2005).

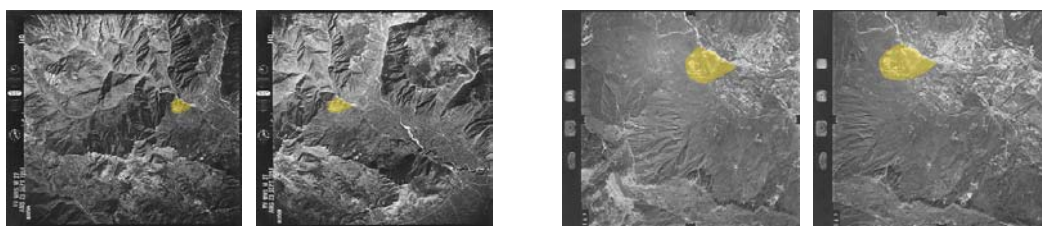


Figura 3 - I fotogrammi aerei esaminati (a sinistra la coppia stereoscopica del 1954, a destra quella del 1982), con evidenziata in giallo la zona di frana.

L'orientamento interno è stato effettuato in modo rigoroso solo per i fotogrammi più recenti, in quanto era disponibile il certificato di calibrazione, mentre per la prima coppia stereoscopica ci si è avvalsi di tecniche di autocalibrazione a partire dalle informazioni di focale e dimensione delle immagini. L'orientamento esterno è stato effettuato sulla base di circa 30 punti di controllo, posti in area non influenzata dal fenomeno franoso, ritrovati su cartografia attuale inquadrata nel sistema UTM-WGS84: le coordinate planimetriche sono state ricavate da un'ortofoto del 2006, con accuratezza dichiarata pari a 0,5 m, mentre le quote sono state dedotte dalle curve di livello della cartografia numerica CTR 1:5000. Oltre a questi, sono stati collimati numerosi *tie points* (circa 70). La precisione della fase di orientamento può essere valutata, in termini di scarto quadratico medio sulle coordinate di alcuni *check-points*, tra 3,5 e 5,9 m per il volo del 1954 e tra 2 e 3,6 m per quello dell'82.

Oltre al modello tridimensionale, navigabile in stereoscopia, per ognuno dei due voli sono stati ottenuti, come prodotti digitali, un DTM dell'area di frana, in formato *grid*, con passo 20 m (considerata la precisione in quota delle coordinate e la scala di restituzione teorica), e conseguentemente l'ortofoto della stessa zona, con GSD di 3 m (scala ortofoto 1:15.000). In figura 4 sono rappresentati i due modelli tridimensionali, texturizzati con le corrispondenti ortofoto.

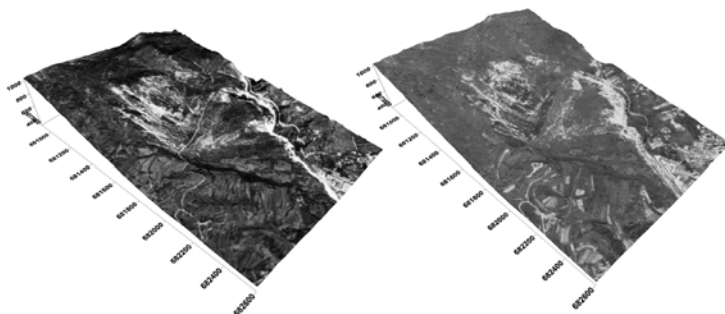


Figura 4 - Visualizzazione dei due DTM della zona di frana (a sinistra quello ottenuto dal modello del 1954, a destra quello ottenuto dal modello del 1982), texturizzati con le relative ortofoto.

Applicazioni e risultati

I prodotti ottenuti, essendo riferiti a situazioni precedenti e successive all'episodio di riattivazione del 1966, possono consentire l'interpretazione e la valutazione, quantitativa e qualitativa, dell'evoluzione della frana nel tempo e della geometria del movimento, secondo diverse modalità:

- fotointerpretazione del modello stereoscopico, come risultato delle fasi di orientamento interno ed esterno dei fotogrammi;
- acquisizione, in stereoscopia, per entrambi i modelli storici, delle coordinate di punti caratteristici sul corpo di frana, e calcolo dei relativi vettori spostamento;
- riproduzione di scene prospettiche e voli virtuali, all'interno del modello creato per ogni stereo coppia (in figura 5 si riporta un esempio di ricostruzione virtuale di scenari sulla frana);
- confronti tra i due DTM, mediante visualizzazione dei modelli texturizzati, differenze punto a punto, e sezioni per ricostruire il profilo di frana (Fig. 6);
- sovrapposizione delle ortofoto generate dalle foto aeree del '54 e dell'82, sia tra di loro, sia con cartografia e ortofoto attuali, e visualizzazione delle variazioni intercorse.

La visione stereoscopica ottenuta durante l'elaborazione ha consentito già di per sé una buona analisi in fase di fotointerpretazione. Oltre a questa, per la valutazione della geometria della frana è risultata particolarmente efficace (dato il tipo di movimento franoso avvenuto) la visualizzazione dei vettori spostamento, tra la situazione del 1954 e quella del 1982, di punti topografici significativi, individuati su entrambi i modelli stereoscopici. Tali vettori, sovrapposti alle ortofoto ottenute (vedi figura 6, dove le lunghezze riprodotte sono state esagerate per essere visibili), hanno confermato il movimento di scivolamento verso valle della massa, e hanno permesso di stimare l'entità di tale movimento, attorno ai 15 m; i punti topografici individuati fuori dal corpo di frana della riattivazione recente risultano invece, come da attendersi, esenti da movimenti significativi. Riportando su una sezione geologica lo spostamento subito dal fronte di frana, è stato possibile fare una stima del volume di materiale roccioso scivolato a valle durante l'episodio del '66, e trasportato via dal torrente: circa 650000 m³. Attraverso la sovrapposizione in dissolvenza delle ortofoto relative al pre- e al post-frana, inoltre, si può apprezzare visivamente lo spostamento verso valle di due sentieri che attraversano la zona centrale del corpo di frana (evidenza dello spostamento verso valle dell'intero corpo), e la contemporanea attivazione di una scarpata nella zona superiore del corpo di frana e di scarpate minori nel corpo e nel piede di frana (quest'ultima a causa dell'erosione torrentizia).



Figura 5 - Mediante i modelli storici texturizzati (a sinistra 1954, al centro 1982) è possibile ricreare le viste corrispondenti ad una scena attuale (a destra: gola degli Stancari vista dalla frana)

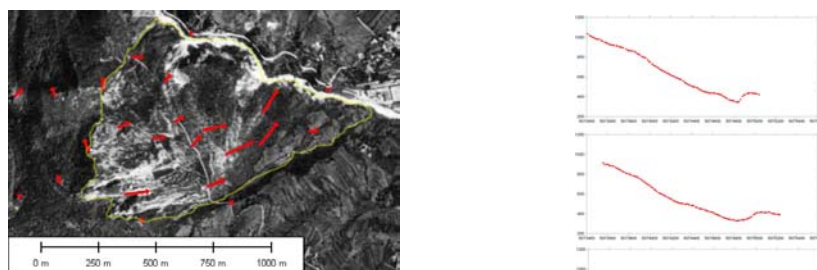


Figura 6 - Sopra, vettori spostamento di punti significativi (le dimensioni sono quintuplicate), sovrapposti all'ortofoto del 1954. A destra, 3 sezioni longitudinali della parte centrale del corpo di frana (delimitato sull'ortofoto sopra), ricavate dal DTM del 1982.

Conclusioni

Il monitoraggio della frana del Brustolè si avvale attualmente di un metodo topografico moderno, di alta precisione ed affidabilità, con campagne di misura eseguite periodicamente.

In associazione a questa attività di controllo e per approfondire lo studio su questo fenomeno franoso, è stata sperimentata la possibilità offerta dalla moderna fotogrammetria digitale nella realizzazione di modelli tridimensionali storici, in particolare relativamente ad un periodo precedente e ad un periodo successivo all'evento franoso del 1966. Dal confronto dei modelli storici e dei prodotti ottenuti, è stato possibile valutare le variazioni intervenute in occasione dell'evento franoso. In particolare, si sono dimostrate utili le ortofoto create a partire dagli stessi DTM, in quanto la loro sovrapposizione ha messo chiaramente in evidenza gli spostamenti subiti dal corpo di frana, permettendo di stimare il volume della porzione di piede di frana asportata dal torrente.

Va rilevato che in generale l'uso di fotogrammi storici comporta alcuni problemi di non immediata soluzione, sia di orientamento interno (mancando, spesso, le informazioni relative alla camera, come nel caso del volo del 1954), sia di orientamento esterno, verificandosi spesso una notevole difficoltà nel riconoscimento di punti rimasti invariati nel tempo; infine, la ridotta disponibilità di immagini obbliga sovente al confronto tra voli con scale fotogramma piccole e spesso differenti tra loro (in questo caso una era largamente inferiore all'altra). Va ricordato inoltre che non sempre è semplice disporre delle immagini e dei dati ad essi correlati perché molto spesso non sono disponibili archivi ben strutturati per la catalogazione e la gestione dei fotogrammi storici. Una volta risolti o contenuti, per quanto possibile, questi non semplici problemi, la ricostruzione dei modelli storici ed il loro confronto reciproco vengono a costituire un interessante strumento di conoscenza sull'evoluzione temporale di un'area in frana, ad integrare l'uso delle moderne tecniche topografiche e geomatiche per il monitoraggio.

Bibliografia

- Bitelli G., Dubbini M., Zanutta A. (2004), *Terrestrial Laser Scanning and Digital Photogrammetry techniques to monitor landslide bodies*, Int. Arch. Of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XXth ISPRS Int. Congress, Istanbul, vol. XXXV (B), 246-251.
- Chandler J.H., Cooper M. (1988), *The extraction of positional data from historical photographs and their application in geomorphology*, Photogrammetric Record 13 (73), 69-78.
- Chandler J.H., Lane S., Walstra J. (2007), *Quantifying landform change*, in: Fryer, J., Mitchell, H., Chandler, J.H. (Eds.), *Applications of 3D Measurement from Images*, Whittles Publishing, Dunbeath, UK, 139-170.
- Colombo P., Dal Pra' A. (1989), *Studio geologico e geotecnico della frana di Brustole' presso Arsiero*, in *Comune di Velo d'Astico (Venezia)*, Regione del Veneto, Dipartimento per la protezione civile, Venezia, 46 pp., 4 all.
- Dal Pra' A. (1968), *I movimenti franosi e l'alluvione del torrente Posina avvenuti presso Arsiero (Prealpi vicentine) nel Novembre 1966*, Mem. Acc. Patavina di SS. LL. AA.: Classe di Scienze Matematiche e Naturali, 53, 41-66.
- Gatta G. (2005), *Applicazioni della Fotogrammetria digitale e delle moderne tecniche topografiche nello studio multitemporale di un'area in frana*, Tesi di Laurea in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio, DISTART, Università di Bologna.
- Kääb, A. (2000). *Photogrammetry for early recognition of high mountain hazards: new techniques and applications*, Physics and Chemistry of the Earth, 25, 765-770.
- Zanutta A., Baldi P., Bitelli G., Cardinali M., Carrara A. (2006), *Qualitative and quantitative photogrammetric techniques for multi-temporal landslide analysis*, Annals of Geophysics, vol. 49, n. 4/5, 1067-1080.