Valutazione delle deformazioni di un'area in frana mediante l'utilizzo della fotogrammetria digitale aerea multi-temporale

Massimo Fabris, Vladimiro Achilli, Andrea Menin

LRG – Laboratorio di Rilevamento e Geomatica, DAUR, Università degli Studi di Padova,
via Marzolo, 9, 35131 Padova, tel. 049 8271614, fax: 049 8275582, e-mail: massimo.fabris@unipd.it

Riassunto
La fotogrammetria digitale aerea multi-temporale permette di misurare gli spostamenti di un'area in frana quando i rilievi aerofotogrammetrici d'archivio vengono co-registrati nello stesso sistema di riferimento.
In questo lavoro vengono utilizzati tre rilievi fotogrammetrici effettuati nel 1998, 2004 e 2007 in un'area soggetta a deformazioni nell'appennino bolognese. Lo studio delle variazioni morfologiche è stato effettuato misurando manualmente in stereoscopia 12 punti naturali ben visibili sulle immagini e corrispondenti agli spigoli dei tetti degli edifici per la serie dei 3 rilievi. Le variazioni sono state ottenute dal confronto delle coordinate rispettive dei 12 punti naturali.
I risultati non hanno fornito deformazioni evidenti nel primo confronto (1998-2004), mentre le variazioni risultano più marcate nel secondo periodo (2004-2007) in concomitanza con la comparsa di fessurazioni negli edifici misurati; l'entità delle deformazioni individuate risulta comunque al limite della precisione del metodo.

Abstract
Multi-temporal aerial digital photogrammetry allow to measure displacements of a landslide area if the archival aerial images are co-registered in the same reference system.
In this paper three photogrammetric surveys performed in 1998, 2004 and 2007 on an area characterized by deformations in the north Apennine (Bologna) are used; the study of morphological changes was carried out measuring manually with stereoscopic vision 12 natural points (buildings roofs corners) for the datasets. The changes were obtained comparing the respective coordinates of the 12 natural points. Results shown small changes in the first comparison (1998-2004), while the deformations are more evident in the second period (2004-2007) together with the formation of cracks on the measured buildings; however the deformations size detected are at the limit of the precision of the methodology used.

Introduzione

La ricostruzione tridimensionale digitale della superficie del terreno può essere effettuata per mezzo di Modelli Digitali del Terreno (DEM – *Digital Elevation Model*) che permettono di realizzare analisi morfologiche della superficie della terra. La fotogrammetria digitale rappresenta uno degli strumenti più importanti in termini di precisione ed efficienza per la misura delle coordinate di grandi quantità di punti allo scopo di generare DEM ad alta risoluzione.
I modelli digitali vengono estratti utilizzando procedure automatiche o semiautomatiche basate su ben definite tecniche di confronto della forma di un oggetto acquisito da punti diversi o dalla distribuzione dai livelli di toni di grigio o di colore in zone corrispondenti delle immagini. Modelli digitali ad alta risoluzione e precisione acquisiti periodicamente su un'area soggetta a consistenti variazioni morfologiche vengono utilizzati per determinare le deformazioni superficiali e i movimenti di massa (Kääb et al., 1997; Baldi et al., 2005; Zanutta et al., 2006).

Spostamenti vettoriali di punti distribuiti nell'area di studio possono essere ottenuti dalla misura della posizione di punti naturali e/o artificiali riconosciuti sulle immagini stereoscopiche multi-temporali; questo approccio è senz'altro meno accurato di altre tecniche di rilievo come i metodi della topografia classica o il GPS, ma utilizzando un grande numero di punti può fornire una visione generale del processo; inoltre è un metodo che, a differenza di quelli menzionati, permette anche analisi retroattive del fenomeno.
Gli archivi fotografici contengono un'ampia fonte di dati "storici" che, in alcuni casi, permettono la modellazione di aree instabili durante gli ultimi 50-60 anni. Nel caso dell'elaborazione di immagini storiche viene utilizzato il metodo conosciuto come fotogrammetria d'archivio per l'estrazione di informazioni metriche (Chandler, Cooper, 1988a,b; Walstra et al., 2004; Chandler et al., 2007; Baldi et al., 2008).
In questo lavoro vengono presentati i risultati del confronto delle coordinate di punti naturali misurate in stereoscopia utilizzando 3 rilievi aerofotogrammetrici effettuati su un'area soggetta a deformazione (Pianoro, Bologna): in questo caso, infatti, non sono stati confrontati modelli digitali del terreno multi-temporali ma solo le coordinate di alcuni punti naturali in quanto l'entità delle deformazioni che si vogliono indagare risulta non apprezzabile dal confronto tra DEM. Le scale medie delle immagini dei tre rilievi, effettuati nel 1998, 2004 e 2007, variano da 1:7400 a 1:8500 e, vista la limitata estensione della zona, sono tutti costituiti da una coppia di immagini.

I rilievi aerofotogrammetrici utilizzati
Per l'analisi delle deformazioni sono stati utilizzati 3 rilievi aerofotogrammetrici effettuati il 9 agosto 1998, il 13 luglio 2004 ed il 28 agosto 2007: in particolare, sono state considerate le coppie di diapositive di ciascun volo che coprono l'area oggetto di studio. Le caratteristiche principali sono le seguenti:

- Rilievo effettuato il 9 agosto 1998: è stata considerata 1 strisciata con 2 diapositive in scala media 1:8500;
- Rilievo effettuato il 13 luglio 2004: è stata utilizzata 1 strisciata con 2 diapositive in scala media 1:7500;
- Rilievo effettuato 28 agosto 2007: è stata utilizzata 1 strisciata con 2 diapositive in scala media 1:7400.

Le diapositive sono state rasterizzate mediante lo scanner fotogrammetrico Wehrli Raster Master RM2 con dimensione del pixel di 12 µm ottenendo una risoluzione a terra di circa 10 cm per il rilievo del 1998 e circa 9 cm per i rilievi del 2004 e 2007.
L'analisi multi-temporale dei rilievi fotogrammetrici richiede la definizione di un sistema di riferimento comune che può essere ottenuto dall'identificazione di un certo numero di punti comuni riconosciuti sui modelli stereoscopici multi-temporali e localizzati in zone stabili dell'area di studio.
Generalmente l'orientamento e la posizione spaziale delle immagini aeree (parametri di orientamento esterno) necessario per le procedure di restituzione sono determinati dalla presenza sulle immagini di punti pre-segnalizzati di coordinate note (GCP – *Ground Control Points*). Tradizionalmente le coordinate dei GCP vengono rilevate mediante metodologie topografiche simultaneamente all'esecuzione del rilievo fotogrammetrico.
In questo caso i GCP sono stati misurati a posteriori nel 2009 scegliendo punti naturali ben visibili sulle immagini, localizzati in aree presumibilmente stabili, comuni alla serie di immagini e misurati con metodologia GPS.
L'orientamento delle immagini è stato effettuato con il software Socet Set (*SoftCopy Exploitation Tool Set*) v. 5.4 ottenendo residui d'orientamento compatibili con le scale medie dei tre rilievi fotogrammetrici e la dimensione del pixel a terra.
Dal rilievo del 2007 sono stati prodotti automaticamente due DEM dell'area in deformazione in modalità ATE (*Automatic Terrain Extraction*): uno con passo della griglia di 5 m e relativo all'intera area dal quale è stata estratta la corrispondente ortofoto (figura 1) e l'altro ad alta risoluzione con passo griglia di 1 m corrispondente alla zona studiata in dettaglio (riquadro figura 1).

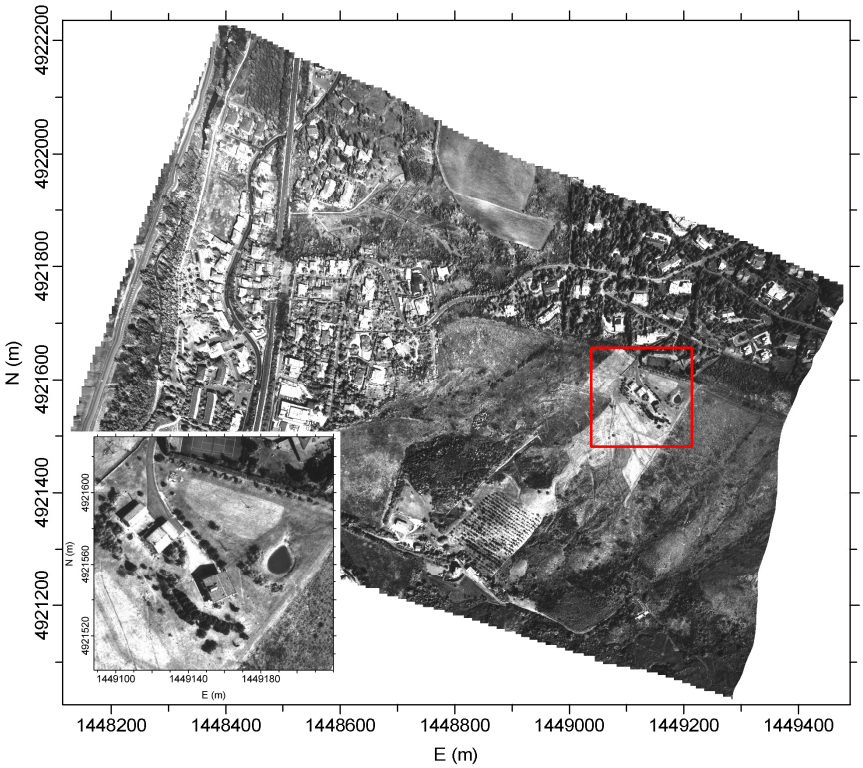

Figura 1 – Localizzazione sull'ortofoto della zona in deformazione oggetto di studio e dettaglio dell'area analizzata.

Il coefficiente di correlazione automatica

L'efficienza dell'approccio automatico del software utilizzato viene fornita da un parametro di correlazione che rappresenta, per ciascun punto estratto, la qualità del calcolo automatico della quota del punto: può indicare il successo della correlazione o che la misura è discutibile (ma non necessariamente che i punti devono essere editati manualmente); questo valore viene definito "*Figures Of Merit*" (FOM).

Il parametro FOM fornisce valori numerici compresi tra 0 e 99: valori compresi tra 0 e 32 indicano che la correlazione ottenuta nell'estrazione dei punti non è soddisfacente, mentre negli altri casi il coefficiente dovrebbe essere proporzionale al grado di affidabilità del dato misurato.

I valori inferiori a 33 indicano categorie diverse di approcci utilizzati per risolvere il problema della mancata correlazione: la quota di ogni singolo punto viene quindi calcolata tramite interpolazione o estrapolazione partendo dalle quote dei punti circostanti (Baltsavias et al., 2001; Fabris, Baldi, 2006).

Nel caso analizzato, complessivamente i punti che presentano FOM minore di 33 risultano pari al 34.8% e si riferiscono a 9 categorie diverse; la distribuzione degli eventi corrispondenti a FOM positivo raggiunge il valore massimo in corrispondenza al FOM pari a 88.

Nella figura 2 la distribuzione dei punti con FOM inferiore a 33 è stata sovrapposta alla corrispondente ortofoto: si nota come i punti caratterizzati da FOM insufficiente siano relativi ad aree edificate e densamente vegetate nelle quali, quindi, risulta più difficile la correlazione automatica.

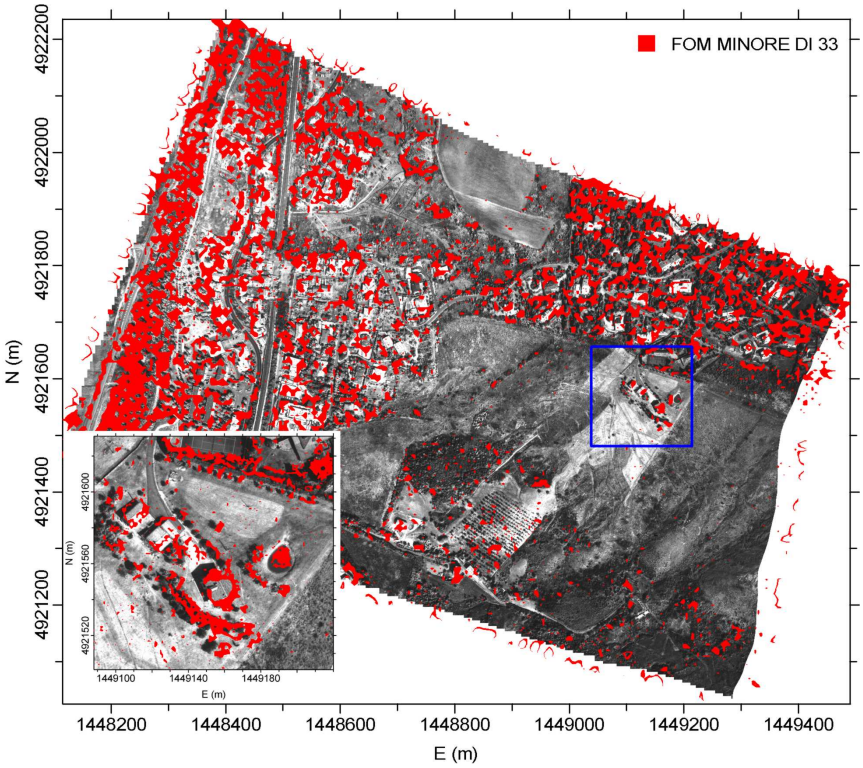

Figura 2 – Localizzazione delle aree che presentano coefficiente di correlazione FOM minore di 33.

La misura stereoscopica di punti naturali

Allo scopo di analizzare le variazioni morfologiche con la massima precisione che permette di raggiungere questo metodo, è stato utilizzato un approccio basato sull'identificazione e la misura di punti omologhi sulla serie multi-temporale di rilievi confrontando le coordinate rispettive e generando vettori spostamento tridimensionali. L'analisi è stata quindi effettuata in corrispondenza dell'area di studio (riquadro rosso di figura 1) per misurare le deformazioni intercorse tra un volo aerofotogrammetrico e l'altro.

Sono stati misurati manualmente in stereoscopia 12 punti naturali corrispondenti agli spigoli del tetto degli edifici all'interno dell'area analizzata: sono stati scelti, e quindi misurati, solo gli spigoli ben visibili sulle immagini in tutta la serie dei tre rilievi. Confrontando le coordinate dei punti omologhi localizzati all'interno dell'area in deformazione sono stati generati vettori 3D che rappresentano lo spostamento durante il periodo analizzato. Si nota come l'entità dei movimenti nel primo periodo (1998-2004, figura 3) risulti molto limitata e sicuramente all'interno della precisione del metodo. Nel secondo periodo invece (2004-2007, figura 3) presenta valori più consistenti in concomitanza anche con il manifestarsi di evidenti fessurazioni negli edifici; i vettori risultano diretti lungo la linea di massima pendenza anche se l'entità degli spostamenti, dell'ordine dei 20 cm, appare ai limiti della precisione del metodo (2 pixel corrispondono a circa 18 cm).

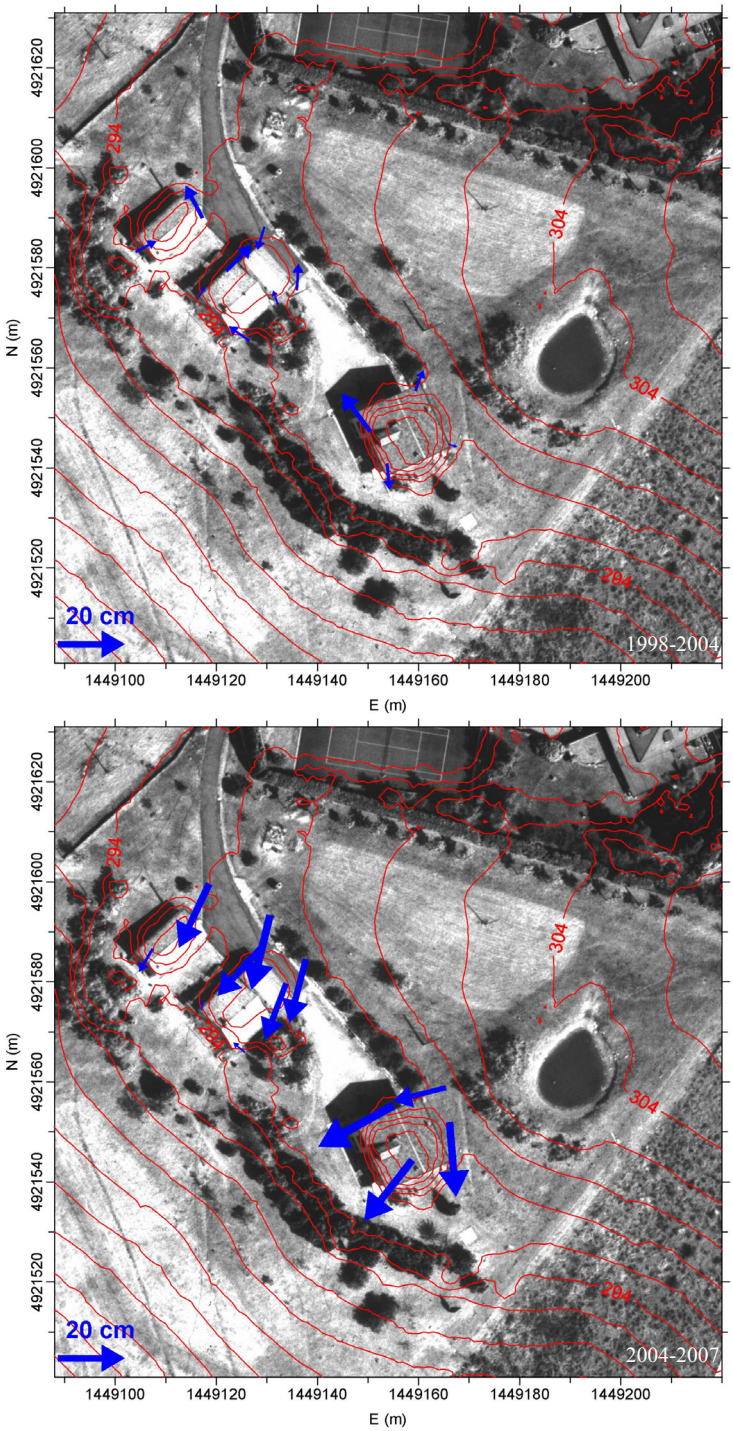

Figura 3 – Generazione dei vettori spostamento nel primo periodo (1998-2004) e nel secondo periodo (2004-2007).

Conclusioni

In questo lavoro è stata utilizzata la fotogrammetria digitale aerea multi-temporale d'archivio per lo studio delle deformazioni di un'area dell'appennino bolognese. Sono state utilizzate immagini aeree acquisite nel 1998, 2004 e 2007 caratterizzate da scala media e dimensione del pixel al suolo confrontabili.

Dal rilievo del 2007, utilizzando il software Socet Set, è stato estratto automaticamente un DEM dell'intera zona con passo griglia di 5 m e un altro ad alta risoluzione (1 m) solo dell'area di studio. L'analisi del coefficiente di correlazione FOM ha evidenziato difficoltà di correlazione automatica in corrispondenza alle aree edificate e densamente vegetate. L'analisi degli spostamenti non è stata effettuata mediante il confronto tra DEM acquisiti in tempi diversi in quanto, trattandosi di movimenti di scarsa entità, la precisione del metodo non avrebbe permesso di ottenere informazioni utili. E' stato quindi utilizzato il metodo del confronto tra le coordinate di punti naturali omologhi caratteristici misurati in stereoscopia sui tre modelli fotogrammetrici analizzati; il confronto delle coordinate rispettive ha permesso di estrarre vettori 3D.

I risultati hanno fornito spostamenti trascurabili nel primo periodo (1998-2004) mentre sono apparsi più consistenti nel secondo periodo (2004-2007) e con direzione perpendicolare alle curve di livello: tuttavia la loro entità, dell'ordine dei 20 cm, risulta al limite della precisione del metodo.

Bibliografia

Baldi P, Fabris M, Marsella A, Monticelli R. (2005), "Monitoring the morphological evolution of the Sciara del Fuoco during the 2002–2003 Stromboli eruption using multi-temporal photogrammetry", *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 59 (4): 199-211

Baldi P, Cenni N, Fabris M, Zanutta A. (2008), "Kinematics of a landslide derived from archival photogrammetry and GPS data", *Geomorphology*, 102: 435-444

Baltsavias E P, Favey E, Bauder A, Bösch H, Pateraki M. (2001), "Digital surface modelling by airborne laser scanning and digital photogrammetry for glacier monitoring", *Photogrammetric Record*, 17, 98: 243-273

Chandler JH, Cooper M. (1988a), "Monitoring the development of landslides using archival photography and analytical photogrammetry", *Land Miner Surveying Royal Institution of Chartered Surveyors*, 6: 576-584

Chandler JH, Cooper M. (1988b), "The extraction of positional data from historical photographs and their application in geomorphology", *Photogrammetric Record*, 13 (73): 69-78

Chandler JH, Lane S, Walstra J. (2007), "Quantifying landform change", *In: Fryer J, Mitchell H, Chandler JH (Eds.), Applications of 3D Measurement from Images*, Whittles Publishing, Dunbeath, UK: 139-170

Fabris M, Baldi P. (2006), "Estrazione automatica di modelli digitali del terreno in fotogrammetria digitale", *Atti della 10ª Conferenza Nazionale ASITA,* Novembre 14-17, 2006, Bolzano, 2: 923-928

Kääb A, Haeberli W, Gudmundsson G.H. (1997), "Analysing the creep of mountain permafrost using high precision aerial photogrammetry: 25 years of monitoring Gruben Rock glacier, Swiss Alps", *Permafrost and Periglacial Process*, 8: 409-426

Walstra J, Chandler JH, Dixon N, Dijkstra T.A. (2004), "Extracting landslide movements from historical aerial photographs", *In: Lacerda W, Erlich M, Fontoura SAB, Sayao ASF (Eds.), Landslides: Evaluation and Stabilization*, Taylor & Francis, London: 843-850

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: 1121-1134