

L'USO DELL'AEREOFOTOGRAMMETRIA AEREA PER LO STUDIO 3D DELLA FRANA DI SANTA VARVA IN PROVINCIA DI BENEVENTO (ITALY)

Massimiliano BENCARDINO (*), Pascal ALLEMAND (*),
Francesco M. GUADAGNO (*), Christophe DELACOURT (*)

(*) Laboratorio Sistemi Informativi Geografici per l'Organizzazione del Territorio;
DISAT - Università degli Studi di Salerno, Via Ponte don Melillo, 1; 089/962138 mbencardino@unisa.it

(**) Laboratoire de Sciences de la Terre; Université Claude Bernard Lyon 1 et Ecole Normal
Supérieure de Lyon (France); allemand@univ-lyon1.fr

(***) Dipartimento di Studi Geologici ed Ambientali; Università degli studi del Sannio, guadagno@unisannio.it

(****) Laboratoire Domaines Océanique, Université de Bretagne Occidentale, Brest (France);
christophe.delacourt@univ-brest.fr

Problematica

La comprensione del meccanismo che regola l'attività di una frana necessita di informazioni fondamentali inerenti la topografia, la morfologia e la cinematica della zona in esame.

L'obiettivo di questo lavoro è quello di estrarre parte di queste importanti informazioni a partire dall'aerofotogrammetria ed approfondire le potenzialità di questo tipo di dati per ottenere una caratterizzazione quantitativa e non qualitativa dei campi di attività di una massa in frana.

L'obiettivo del lavoro è quindi quello di caratterizzare tridimensionalmente del profilo di terreno, definire preliminarmente le masse in gioco nell'evento franoso ed analizzare le evoluzioni superficiali del corpo di frana.

L'area di SantaVarva ricade in una tipica area collinare dell'Appennino meridionale. Il *range* degli spostamenti delle frane studiate è tra i 2,5 m/anno ed i 20 m/anno.

Metodologia

La metodologia proposta serve a realizzare cartografie degli spostamenti su scala spaziale e temporale che tengano conto anche della storia del movimento di instabilità.

Essa quindi prevede, come primo passo, la generazione in un modello digitale del terreno a partire da una stereocoppia di immagini aeree, georeferenziato grazie ad un congruo numero di coordinate geografiche acquisite attraverso un gps commerciale (in questo caso un Mobile Mapper Thales).

Il modello digitale del terreno è utilizzato per calcolare le pendenze, le variazioni verticali del terreno ed i campi di spostamento del terreno.

Si è lavorato sul periodo 1977-2003 e si sono prese in considerazione tre stereocoppie, temporalmente allocate negli anni 1977, 1991 e 2003, quindi sono stati generati i modelli digitali del terreno e si sono analizzati i cambiamenti avvenuti sul profilo.

Sono state, inoltre generate ortofoto a partire da questi DEM, e si sono analizzati i cambiamenti superficiali, sulle ortofoto, attraverso alcuni algoritmi di correlazione, scritti in ambiente Matlab.

La parte più onerosa della metodologia è la scrittura di algoritmi "ad hoc" per la georeferenziazione 3d dei DEM e per la correlazione delle immagini ortorettificate.

La tecnica innovativa applicata alle immagini è finalizzata a misurare gli spostamenti della serie di stereocoppie successiva rispetto a quella precedente. Dalla prima, in senso temporale, vengono estratte "finestre locali", ovvero piccole partizioni dell'immagine, che possano essere facilmente riconoscibili anche sulla seconda immagine. La misura dello spostamento delle finestre ottiche corrisponde allo spostamento del terreno. Stabilita quindi la correlazione tra le finestre ottiche, si ha una misura del cambiamento della superficie della frana.

La scelta della grandezza delle finestre è un compromesso tra la volontà di una descrizione puntuale e quella di avere un'immagine leggibile. Il metodo non ha limiti di precisione ma è legato alla scelta della grandezza delle finestre.

La bontà dei risultati è, infine, misurata attraverso una correlazione tra i risultati sulle immagini e misure al suolo con tecniche topografiche.

Tutti questi dati vengono allocati in un sistema GIS che permette di risalire al campo di spostamenti del terreno ad ogni acquisizione, ed avere un quadro completo delle aree interessate dal movimento. La finalità dello studio è infine quella di avanzare una ipotesi sulla massa che è coinvolta dal movimento e le verifiche effettuate su tale tecnica hanno prodotto ottimi risultati.

Sarebbe, infine, possibile un'astrazione matematica della superficie di scivolamento della frana. Tale finalità è realizzabile allorché si sono correttamente determinati gli spostamenti orizzontali e verticali del profilo della frana e tali spostamenti si presentano corretti e congruenti sull'intero profilo di frana.

Risulterebbe facilmente possibile fare una sommatoria di questi spostamenti, che sono solo superficiali ma, che consentono di fare una ipotesi piuttosto realistica sulla profondità del movimento franoso. I movimenti superficiali e profondi infatti presentano una certa correlazione. Tale analisi esula però dagli obiettivi dello studio presentato.

In questo studio è evidenziato come le misure, siano esse effettuate attraverso le tecniche classiche o effettuate attraverso nuove tecniche GPS, mal descrivono interamente i campi di velocità della frana, causa la eterogeneità spaziale e temporale di dati al suolo.

Il range degli spostamenti della frane studiate è tra i 2,5 m/anno ed i 20 m/anno. Le mappe dei campi di velocità ottenute con questa tecnica sono comparabili con quelle ottenute attraverso l'interferometria differenziale SAR, ed è a questa assolutamente complementare. I limiti del DInSAR, quali il contrasto geometrico o la poca coerenza dei risultati in presenza della vegetazione, possono essere compensati da questa tecnica.

Localizzazione geografica e storia evolutiva

La frana Santa Varva ricade nel Comune di San Giorgio la Molara, provincia di Benevento. L'area, lungo la valle del Fiume Tammaro, è caratterizzata dall'affioramento esteso di terreni riconducibili alla Falda Sannitica. Si tratta, dal basso verso l'alto, di una successione costituita da argille policrome e risedimenti calcarei (Fly ch Rosso) e da quarzareniti (Fly ch Numidico), su cui poggiano in paraconformità torbiditi conglomeratici - arenaceo - pelitiche della Formazione di San Giorgio (Zuppetta et al. 2002).



Figura 2 - Rilievo geologico della frana di Santa Varva

Studi precedenti hanno constatato che la frana indicata è innescata dall'azione scalzante dei vari tratti del corso d'acqua, i quali si presentano sovente profondamente incassati o comunque poco protetti dalla coltre alluvionale, in genere poco spessa anche dove le maggiori sezioni del corso ne ha favorito la formazione, ed i valori di franosità potenziale sono elevati.

Non ci sono notizie precise riguardanti la prima attivazione della frana, ma attraverso testimonianze storiche raccolte presso gli abitanti del luogo e notizie bibliografiche, si è dedotto che il movimento franoso era già avvenuto agli inizi del 1970. Poco documentate sono anche le date delle successive riattivazioni.

Sempre secondo testimonianze dirette, negli ultimi dieci anni la frana si sarebbe riattivata in almeno tre diverse occasioni: Novembre 198; Gennaio 1994 Gennaio 2003.

Tutti i casi di riattivazioni sono imputabili alle precipitazioni meteoriche che, prima e/o durante l'evento, hanno interessato direttamente il versante. Infatti, l'incremento delle pressioni interstiziali, indotto da eventi piovosi d'elevata intensità, costituisce un fattore determinante negli inneschi delle frane a causa di una rapida saturazione dei materiali più superficiali.

Elaborazione delle immagini

Un primo importante discrimine è stato usato nella scelta delle immagini da utilizzare nello studio; tra tutte le immagini disponibili, per fonte di acquisizione, quelle utilizzate ne sono solo una parte. E' necessario, infatti, che le acquisizioni siano ben distribuite nel tempo ed abbiamo una scala di acquisizione non troppo dissimile l'una dalle altre. Per questo motivo si è scelto di usare solo una delle fonti disponibili, ossia l'Istituto Geografico Militare Italiano.

Le stereocoppie analizzate, per l'area di Santa Varva (San Giorgio la Molara), hanno la seguente distribuzione temporale (in parentesi è riportata la quota di volo):

- 1954 (600 m la quota di volo);
- 1976 77 (400 m la quota di volo);
- 1991 (600/ 1:600 m la quota di volo);
- 2003 (40/ 1:5000 m la quota di volo).

Tutti i rilievi GPS sono stati catalogati secondo lo schema seguente, riportato a mo' d'esempio:

Nome punto	GCP	Ore	Descrizione	Foto	x (Est)	y (Nord)	z	Pdop
P1	1	11:20	Spigolo fabbricato		25146	47166	774	-
P2	2		Spuntone roccia affiorante		251404	47160	70	-
Pn	..		etc etc	

Tabella 3 – Esempio dell'archiviazione dei dati GPS

Tali dati risultano fondamentali nell'analisi. Dare luogo ad una buona campagna di acquisizione dati diventa, quindi, molto importante; non sono pochi i problemi che possono sorgere, sia per errori in fase di acquisizione che per incomprendibilità ed impossibilità, a volte, di riconoscere il sito di acquisizione del punto GPS sulle foto. Errori che portano spesso a scartare alcune acquisizioni. Le campagne di misura sono elementi essenziali alla riproduzione dei modelli digitali del terreno ed è bene pianificare le campagne prima di

andare *in situ*, e programmare griglie di acquisizione ben distribuite. Nel caso di Santa Varva si è provveduto a due tipi di acquisizioni: la prima ottenuta percorrendo l'intero corpo di frana, ed una seconda finalizzata alla ricerca di oggetti che rappresentassero dei punti fermi nelle immagini della serie storica. (figura 4).

Avendo proceduto alla realizzazione dei DEM, nella tabella successiva (tab. 5) vi è un piccolo resoconto delle risoluzioni adottate sui DEM della frana di Santa Varva - S. Giorgio I.M. (Bn), nei vari anni.

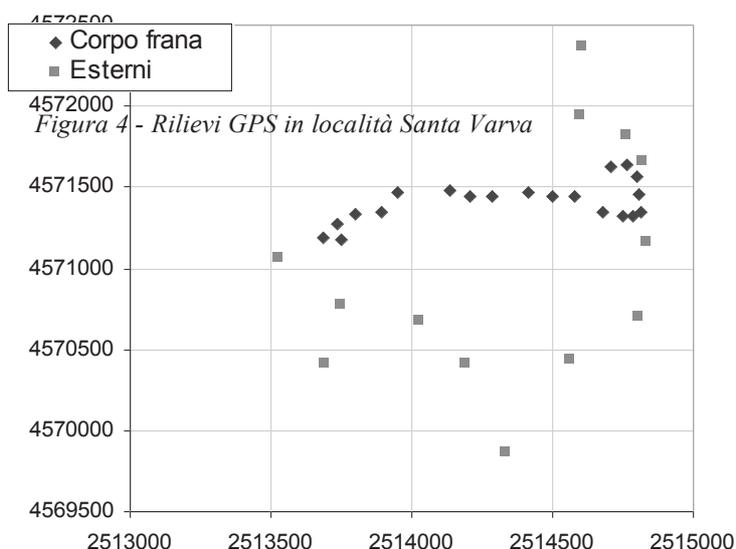


Figura 4 - Rilievi GPS in località Santa Varva

	DEM (risoluz. migliore)	DEM (risoluz. media)	DEM (risoluz. bassa)
Anno 2003	2.6 m	5.1 m	10.3 m (fig. d)
Anno 1991	2.9 m	5.8 m (fig. d)	
Anno 1997	2.2 m	4.5 m (fig. d)	

Tabella 5 – Risoluzioni adottate

Si può notare come nel caso dell'anno 2003 non sia stato sufficiente costruire un DEM ad una risoluzione media per chiudere tutti i buchi (alcuni pixel nell'*image matching* "falliscono", cioè pixel rimangono privi del proprio rispettivo coniugato) presenti nell'immagine, ma è stato necessario spingersi fino ad un DEM a risoluzione di 10.3 m; negli altri due casi, invece, è stato sufficiente fermarsi ad una media risoluzione per avere un DEM. I DEM estratti quindi hanno rispettivamente risoluzione di 2.6 m (anno 2003), 2.9 m (anno 1991) e 2.2 m (anno 1997).

Per poter confrontare i DEM fra loro è necessario ricondurli ad una risoluzione comune, univoca. Si è scelto di ricondurre tutti i DEM alla risoluzione di 2.6 m ossia la risoluzione del DEM del 2003.

Risultati

Dopo una serie di elaborazioni è possibile giungere ad un confronto tra i vari DEM. In particolare qui viene esposto (figura 6) il confronto tra il DEM del 1991 e quello del 2003, ottenuto per D dalla quota verticale. In detta immagine è possibile notare chiaramente come siano presenti i segni di un movimento verticale del terreno. Essendo, infatti, questa una immagine della differenza tra i due DEM, è facilmente riscontrabile un movimento del terreno, sia nella parte di accumulo, dove è evidente anche ad occhio il volume di accumulo di colore verde, che in quella di alimentazione dove l'area erosa è evidenziata dal colore rosso.

E' inoltre possibile notare perfettamente il profilo del movimento franoso. Ciò significa averne colto, attraverso l'analisi, precisamente il cambiamento e quindi il movimento.

Tale movimento è non già quindi una semplice osservazione cromatica, ma un valore numerico calcolabile. Una prima valutazione di tale tecnica consente, quindi, di affermare che attraverso questa serie di operazioni matematiche esposte è possibile passare da una analisi qualitativa ad una analisi quali-quantitativa se non addirittura numerica delle volumetrie coinvolte.

I risultati numerici non vengono però riportati, perché, nonostante la buona riuscita dell'operazione ottenuta in alcuni casi, essi non possono essere stati verificati con analisi di campo che avrebbero legittimato i risultati numerici.



Figura 6 - Spostamenti verticali della frana di Santa Varva

Questo approccio è, infatti, ancora in fase sperimentale, e richiede una lunga fase di testing dei risultati, ottenibile solo con la contemporanea acquisizione di dati numerici al suolo degli spostamenti.

E', altresì possibile evincere dalla figura la natura del movimento intercorso tra l'anno 1991 e 2003. Vi è senz'altro un ulteriore accumulo di materiale a valle, frutto di riattivazioni di una frana già in atto anche nel 1977, e già prima del '55; tale accumulo è frutto di una erosione di monte che scorre lungo il canale di deflusso ed arriva fino alla parte di accumulo che tra il 1991 ed il 2003 si espande. Le direttrici del canale di deflusso sono bene evidenti e ben evidenziano le zone in movimento da quelle stabili. Il fenomeno è tutt'altro che in fase stabile.

La ulteriore analisi, che si è inteso effettuare, è quella poi della ricerca dei vettori spostamento. Questi si ottengono applicando l'algoritmo di correlazione alle ortofoto epipolari generate, ossia le immagini ortorettificate e sovrapponibili.

Gli algoritmi applicati su queste immagini sono stati diversi e l'algoritmo che ha dato un migliore risultato è quello basato sulla mutua informazione (misura statistica derivante dalla teoria dell'informazione), del quale ne vengono esposti i risultati (figura 7).

In particolare confrontando le ortofoto dell'anno 1991 e quelle del 1977 sono stati individuati alcuni vettori spostamento, che risultano coerenti con il movimento soprattutto nella parte a monte, nella parte di alimentazione. Tali vettori spostamento sono il risultato della correlazione e rappresentano i cambiamenti di una immagine rispetto all'altra, ma sono coerenti solo in una parte della immagine stessa.

Infatti, tali vettori ben evidenziano il movimento nell'area di alimentazione e la rotazioni stessa che il corpo di frana effettua nella parte a monte, individuando anche il punto di convergenza e di accesso del materiale in frana al canale di deflusso, esso stesso ben rappresentato nel suo scorrere verso l'area di accumulo. Ma l'immagine, nel suo complesso, dei vettori spostamento è corrotta da una deformazione complessiva dal lato Sud-Est al lato Nord-Ovest.

Il risultato esposto è quindi una carta dei vettori spostamento intercorsi sulla frana di Santa Varva (San Giorgio La Molara) tra l'anno 1977 e l'anno 1991.

Questo errore complessivo è attribuibile a due fattori fondamentali: una distorsione del primo DEM rispetto al secondo comunque non perfettamente corretta dalle operazioni matriciali compiute, ed un diverso stato vegetazionale dell'area nel 1991 e nel 2003. Infatti la semplice crescita di vegetazione in alcune aree o di contro il taglio della stessa possono mutare non poco il DEM e quindi corrompere i risultati, fortunatamente solo per zone esterne al profilo in frana.

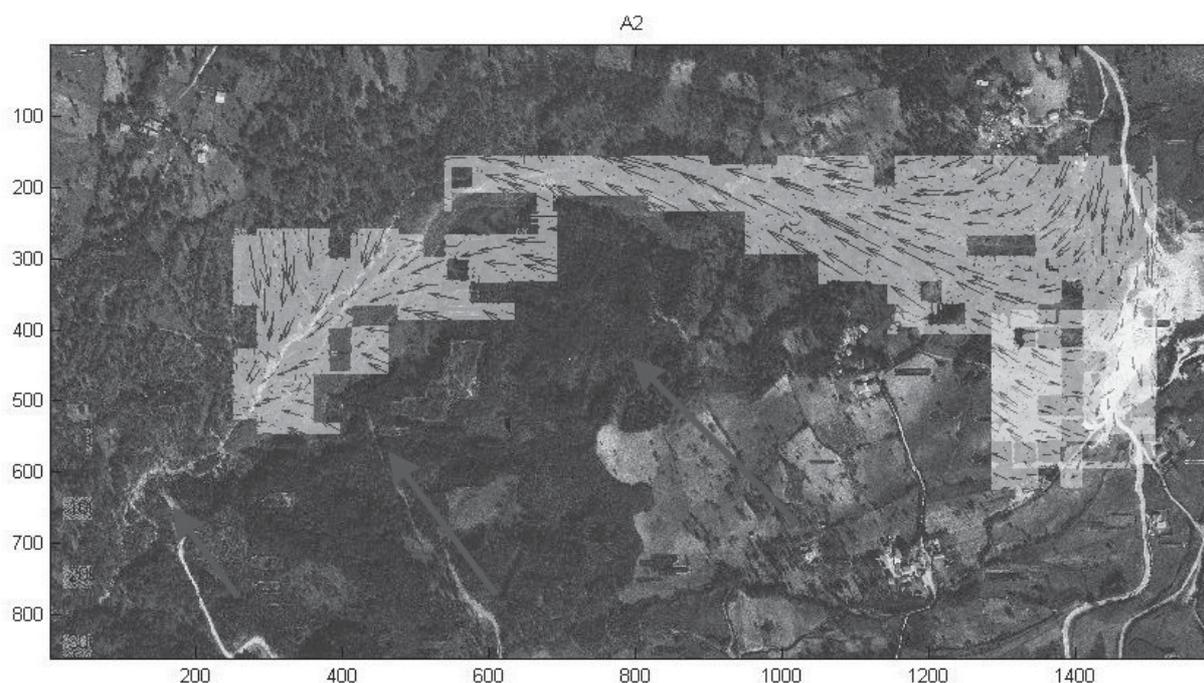


Figura 7 - Spostamenti orizzontali della frana di Santa Varva

Anche in questo contesto, non vengono presentati risultati numerici ma soltanto grafici per la difficoltà di ricondurli a numeri assumibili come reali, ma la distribuzione dei vettori ottenuti rappresenta un risultato perfettamente congruente con il movimento franoso di Santa Varva e proporzionato alle aspettative. I risultati ottenuti si presentano complessivamente positivi e, nonostante gli errori e le approssimazioni cumulate siano tali che richiederebbero uno studio apposito, essi si presentano complessivamente utili e congruenti con gli obiettivi proposti.

A valle dell'analisi effettuata si può quindi affermare che la tecnica può avere un campo di applicazione anche su frane di non notevoli dimensioni (più facile è infatti l'applicazione su frane di grandi dimensioni), anche se l'ottenimento dei risultati presentati ha necessitato una analisi approfondita, puntuale ed un lungo procedimento iterativo.

I parametri che maggiormente hanno dato luogo alla complessità di analisi sono risultati anzitutto la scala di analisi (mediamente di 1:30'000) e la qualità dalle immagini stesse.

Per migliorare i risultati e spingersi nella ricerca di valori numerici si dovrebbe, quindi:

- cercare di utilizzare scale fotografiche di analisi più basse (1:10'000 ÷ 1:15'000);
- ottimizzare gli algoritmi di analisi, i quali lavorano ottimamente in altri campi di applicazione ma sono ancora in una fase sperimentale in questo tipo di analisi;
- utilizzare GPS non commerciali o che garantiscano approssimazioni migliori di 2÷3 metri in orizzontale;
- prefigurare analisi su frane il cui profilo superficiale si presenta meno stravolto e con elementi puntuali più riconoscibili, che possono essere anche elementi introdotti quali pali, massi, riconoscibili da satellite;
- operare su immagini che abbiano un intervallo temporale inferiore.

I risultati, quindi, hanno prodotto DEM con risoluzioni nell'ordine di qualche metro (2 ÷ 3 metri) e vettori spostamento di precisione sub-metrica. Nulla si può dire però, alla luce delle riflessioni esposte, riguardo l'accuratezza dei risultati ottenuti. Operando, nel futuro, secondo gli accorgimenti precedentemente esposti si può senz'altro arrivare a risultati di precisione ed accuratezza submetrica. Tali risultati permetterebbero anche di poter fare una astrazione sulla superficie di scorrimento ed un calcolo preciso delle volumetrie in gioco.

Riferimenti bibliografici

Allemand P. et alii (2004), "Velocity fields of the "La Clapiere" landslide measured by the correlation of aerial and QuickBird satellite images", *Geophysical Research Letters*, Vol. 31, EGS.

Casson B. et alii (2004), "Seventeen years of the La Clapiere landslide evolution analysed from ortho-rectified aerial photographs", *Engineering Geology*, Elsevier Vol. 68, pp. 123-139.

Guadagno F.M. et alii (2006) *Carta delle frane della provincia di Benevento*, Pubblicazione n° 2906/2006 del GNDCI (U.O. 2.24 Resp. F.M. Guadagno). Benevento, pp. 77.

Squarzoni C. et alii (2003), "GPS monitoring of the la Valette landslide (French Alps) with mono-frequency receivers", *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 5, EGS.

Abstract

The understanding of the mechanism that regulates the activity of a landslide needs the fundamental information as the topography, the morphology and the kinematics of the zone in examination.

The objective of this job is that to extract part of these important information beginning from the aereofotogrametric images and to deep the potentialities of this type of data to get a quantitative characterization of the fields of activity of a mass in landslide. An other objective of the job is therefore to have a three-dimensionally characterization of some profile of ground, to define preliminarily the masses in game in the landslide event and to analyze the superficial evolutions of the body of landslide.

The area of SantaVarva reverts in a typical hilly area of the southern Appennino. The range of the e studied landslides movements is among the 2,5 m/annos and the 20 m/annos.