

INTEGRAZIONE DI FOTO AEREE, IMMAGINI SATELLITARI QUICKBIRD E GPS PER IL MONITORAGGIO DELLA FRANA DI CORNIGLIO (PARMA, ITALIA)

Leonardo DISPERATI, Enrico GUASTALDI, Duccio NALDINI,
Tommaso COLONNA, Alice FARINELLI e Salvatore VIRDIS

Università di Siena, Centro di Geotecnologie e Dipartimento di Scienze della Terra, via Vetri Vecchi, 34,
52027 San Giovanni Valdarno (AR), tel. 0559119442, fax 0559119437, e-mail disperati@unisi.it.

Riassunto

La frana di Corniglio (Pr) è un fenomeno di instabilità gravitativa documentato da secoli che si estende per un'area di ca. 300 ha ed ha provocato negli anni '90 gravi danni alle infrastrutture ed installazioni umane. In questo studio vengono valutate le deformazioni superficiali del corpo di frana attraverso interpretazione digitale e confronto tra diversi *dataset* relativi a epoche differenti: CTR 1:5.000 della Regione Emilia Romagna (anno 1979), foto aeree del 4 Luglio 1996, 4 Novembre 1996 e 21 Novembre 1996 e immagini QuickBird pancromatiche del 2000. Infine, tali deformazioni vengono confrontate con i risultati preliminari di misure GPS eseguite nel luglio 2006. I risultati, costituiti da mappe di accuratezza e precisione delle ortorettifiche e mappe dei vettori spostamento, consentono di stabilire che: a) la soglia di significatività del metodo di monitoraggio proposto è di ca. 2 m; b) la frana di Corniglio ha subito tra il 1996 ed il 2000 deformazioni superficiali molto superiori a tale soglia e comunemente superiori ai 20 m; c) la velocità di deformazione ha subito un forte rallentamento tra il 2000 e il 2006.

Abstract

The Corniglio (Parma province, Northern Apennines, Italy) landslide is a large slope movement (about 300 ha) well known by the IX century. A reactivation of the landslide in the '90s caused important damages to buildings and infrastructures. In this work the ground displacements of the landslide have been evaluated by comparing the following multitemporal dataset: topographic map at the scale of 1:5.000 (year 1979), aerial photographs related to July 4th 1996, November 4th 2006 and November 21st 1996, and panchromatic QuickBird images related to 2000. Moreover, the above ground displacements have been compared to preliminary results of GPS measuring performed in July 2006. The results are made up of accuracy and precision maps for aerial photos orthorectification and maps of ground displacement vectors. These outputs allowed us to state that: a) the ground displacement monitoring proposed is reliable for displacements greater of about 2 m; b) the Corniglio landslide underwent from 1996 to 2000 ground displacements often larger than 20 m; c) ground displacement velocity greatly reduced from 2000 to 2006.

Introduzione

La frana di Corniglio (Fig. 1) è un grande fenomeno di instabilità gravitativa che ha colpito l'area dell'abitato di Corniglio, situato alla quota di ca. 700 m s.l.m. nell'Appennino Emiliano, circa 50 km a SW della città di Parma. Le dimensioni della frana sono considerevoli: più di 3.000 m in lunghezza, 1.000 m in larghezza e fino a ca. 120 m di profondità della superficie di scorrimento. L'area instabile si estende tra 1.150 e 550 m s.l.m.

Fenomeni di instabilità gravitativa e relative riattivazioni sono stati documentati nell'area dal IX secolo fino all'ultimo decennio (Larini et al., 2001; Gottardi & Tonni, 2003; Clerici et al., 2005). In particolare, nel gennaio 1996, due sismi di limitata magnitudo (MW 3,3 e 2,2) hanno causato nuovi



Figura 1 – Inquadratura geografica dell'area di studio e foto della frana nell'inverno 1996.

movimenti. Nel novembre dello stesso anno sono stati poi segnalati spostamenti superficiali dell'ordine dei 6-8 m, successivamente ad un sisma più importante (evento con epicentro a Correggio, ca. 60 km da Corniglio, dell'Ottobre 1996, MW 5,4) seguito da intense precipitazioni (Regione Emilia Romagna, 1995).

Tuttavia, anche se sono disponibili per l'area di studio i risultati di sondaggi, monitoraggi inclinometrici, indagini geofisiche e rilievi topografici tradizionali (Lollino et al., 2001; Tonni et al., 2001; Allasia et al., 2002; Brunamonte et al., 2003), soprattutto effettuati a partire dalla metà degli anni '90, non sono disponibili ad oggi misure precise degli spostamenti superficiali che hanno interessato nel tempo tutto il corpo di frana. Questo tipo di informazioni è di fondamentale importanza poiché una quota importante dei danni alle infrastrutture ed installazioni umane è direttamente correlata con le deformazioni superficiali del suolo.

In questo lavoro vengono descritti i primi risultati di uno studio in corso di svolgimento nell'ambito di un Progetto di Ricerca di interesse nazionale (PRIN 2005),

dove vengono integrati cartografia topografica, foto aeree, immagini satellitari ad elevata risoluzione spaziale e GPS per il monitoraggio degli spostamenti superficiali che hanno caratterizzato la frana di Corniglio a partire dal 1979.

Dati

I dati impiegati in questo lavoro sono descritti di seguito:

- carta tecnica regionale (CTR) della Regione Emilia-Romagna in scala 1:5.000 generata da foto aeree del 1979 (sezioni n° 217091, 217092, 217103, 217104);
- carta geologica (Pignone et al., 1988)
- modello digitale del terreno (MDT) per la stessa area con risoluzione spaziale di 5 m;
- foto aeree dell'area di frana relative alle date 4 luglio 1996 (9 fotogrammi), 4 novembre 1996 (4 fotogrammi), e 21 novembre 1996 (7 fotogrammi), e relativi certificati di calibrazione;
- subset di scena intera di immagine QuickBird formato *basic*, messa a disposizione dalla Regione Emilia-Romagna, ortorettata attraverso GCP e modello di acquisizione rigoroso.

Metodologia

Le fasi di preparazione e elaborazione dei dati sono state svolte con l'obiettivo di confrontare le diverse posizioni planimetriche di *target* omologhi riconoscibili sulle fonti di informazione multitemporale disponibili (carte topografiche, foto aeree e immagine QuickBird). Infine, la posizione di tali target, quando questi erano ancora localizzabili sul terreno, è stata verificata tramite l'esecuzione di misure GPS.

Individuazione delle regioni stabili

Nello studio delle deformazioni superficiali da frana, un problema da risolvere è costituito dall'individuazione di regioni stabili, cioè regioni che nell'intervallo temporale considerato sono interessate da deformazioni superficiali assenti o trascurabili perché minori di quelle misurabili con i sistemi di rilevamento impiegati. Le regioni stabili vengono quindi utilizzate per la coregistrazione spaziale delle fonti di informazione multitemporale disponibili, siano esse omogenee o eterogenee. L'individuazione delle regioni stabili circostanti all'area in frana è stata fatta in modo preliminare attraverso l'analisi della carta geologica, che individua le aree stabili e instabili dal punto di vista gravitativo secondo criteri euristici, cioè in base a dati raccolti dal geologo durante il lavoro di campagna. Successivamente si è proceduto alla fotointerpretazione stereoscopica delle coperture aerofotografiche disponibili, che ha consentito di raffinare i risultati preliminari utilizzando criteri di interpretazione geomorfologica. Infine, il confronto tra le posizioni di *target* omologhi in queste aree eseguito sulla CTR (1979) e l'immagine QuickBird e, ove disponibili, risultati di monitoraggi inclinometrici, hanno consentito di definire le regioni stabili da utilizzare per la coregistrazione spaziale dei dati ed il posizionamento di GCP per l'ortorettifica delle foto aeree.

Ortorettifica dei fotogrammi, accuratezza e precisione dell'output

Questa fase ha consentito di ottenere ortofoto confrontabili con i dati CTR e QuickBird. L'ortorettifica è stata eseguita in ambiente Leica ERDAS LPS utilizzando il MDT con risoluzione spaziale 5 m e modelli stereoscopici di coppie di fotogrammi costruiti attraverso i processi di orientamento interno ed esterno. Per l'orientamento interno dei fotogrammi si è fatto riferimento ai dati dei certificati di calibrazione delle camere fotografiche. Per l'orientamento assoluto, i GCP sono stati posizionati su target compresi nelle regioni stabili (al di fuori della frana) e le relative coordinate planoaltimetriche sono state acquisite dalla CTR, mentre i punti di controllo (*check points*) e di legame (*tie points*) sono stati uniformemente distribuiti nelle aree di sovrapposizione dei fotogrammi adiacenti.

Per conoscere la qualità e la sensitività degli ortofotogrammi per la misura degli spostamenti del terreno sono state valutate accuratezza e precisione dell'ortorettifica. A questo fine si è sfruttato il fatto di disporre di fotogrammi caratterizzati da un'elevata percentuale di ricoprimento, per cui lo stesso *target* poteva essere individuato generalmente su 3 o più fotogrammi della stessa data di acquisizione.

Per la precisione, è stata valutata la deviazione standard della dispersione delle coordinate di *target* omologhi posizionati su aree stabili e in frana, tra i diversi fotogrammi della stessa data.

Per l'accuratezza, è stato valutato lo scarto tra le coordinate medie di *target* omologhi su diversi fotogrammi della stessa data e le coordinate degli stessi sulla CTR utilizzata per il posizionamento dei GCP. In questo caso si è fatto riferimento esclusivo a *target* localizzati in regioni stabili. L'accuratezza consente quindi di stimare la qualità della registrazione spaziale delle diverse coperture fotografiche rispetto alla cartografia topografica di riferimento (CTR).

Misura degli spostamenti superficiali

Le misure degli spostamenti del terreno nell'area di frana sono state dedotte confrontando, tramite interpretazione visuale in ambiente georeferenziato, le posizioni di target omologhi individuabili su CTR, ortofoto delle diverse epoche e immagine QuickBird e disegnando i relativi vettori spostamento (Fig. 2). L'analisi numerica di tali vettori ha consentito quindi di calcolare il modulo (metri) e l'azimut (gradi rispetto al Nord) degli spostamenti.

I risultati di accuratezza e precisione relativi all'ortorettifica delle foto aeree (dati puntuali relativi ad ognuna delle epoche considerate) ed i valori di spostamento del suolo nel tempo (dati puntuali riferiti al luglio 1994) sono stati spazializzati applicando un algoritmo di interpolazione deterministica (inverso della distanza alla potenza 3).

Misure GPS

Nel luglio 2006 è stata materializzata nell'area di studio una rete di 35 capisaldi che comprende l'area di frana, l'abitato di Corniglio e le zone circostanti. Le *baseline* della rete sono generalmente dell'ordine dei 2 km e sempre più piccole di 9 km. Quando possibile, sono stati materializzati target riconoscibili dai dati telerilevati. La rete è stata sottoposta a rilievo GPS nello stesso mese. Sono stati impiegati 4 ricevitori GPS Leica a doppia frequenza in configurazione statica (due basi e due rover), con tempi di stazionamento compresi tra 45' e 1 h. Per vincolare tra loro i risultati di diverse sessioni di misura, è stato applicato il metodo del *leap frogging* (Hofmann et al., 1997) per l'occupazione dei capisaldi. Questo metodo, assieme all'impiego contemporaneo di due basi, consente di ottenere dati ridondanti e di stimare la ripetibilità delle misure. I risultati del rilievo sono in corso di post-elaborazione e sono in programma ulteriori campagne di misura nel settembre e dicembre 2006. Per procedure di rilievo come quelle descritte, applicate a reti con *baseline* di pochi chilometri ci si può attendere precisioni dell'ordine di 2 cm o migliori (Hofmann et al., 1997).

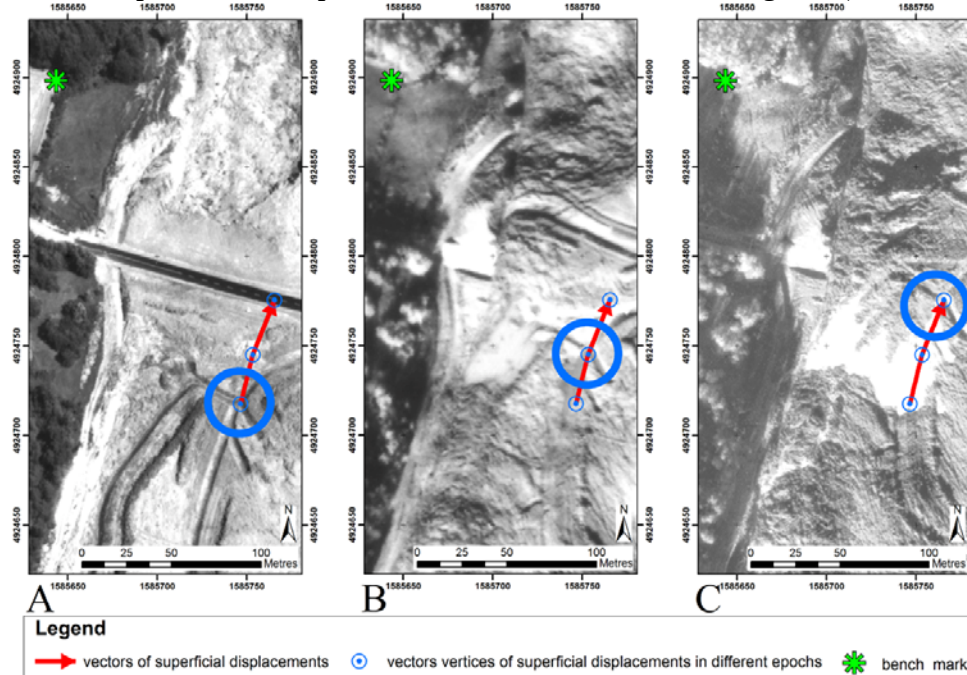


Figura 2 – Determinazione della deformazione superficiale attraverso la localizzazione di target omologhi nell'area di frana (cerchi) su ortofoto di diverse epoche: a) 4 luglio 1996; b) 4 novembre 1996; c) 21 novembre 1996. Per confronto, gli asterischi rappresentano target omologhi appartenenti a regioni stabili (cfr. paragrafo “Risultati e Discussione”).

Risultati e discussione

La procedura di lavoro descritta ha consentito di ottenere banche dati e mappe rappresentative della precisione e accuratezza e planimetrica (su X e Y) conseguite nell'ortorettifica delle foto aeree. In Fig. 3 sono riportate, a titolo d'esempio, la banca dati delle precisioni in corrispondenza di *target* utilizzati per la copertura aerea del 21 novembre 1996 e la corrispondente spazializzazione raster.

In Fig. 4 è rappresentata la spazializzazione dell'accuratezza (qualità della coregistrazione spaziale) dell'ortorettifica della copertura fotografica del 21 novembre 2006 rispetto alla CTR 1:5.000 della Regione Emilia-Romagna. Analoghe rappresentazioni sono state ottenute per le altre coperture fotografiche sottoposte ad ortorettifica.

La precisione ottenuta è risultata generalmente migliore di 2 m, con valori localmente maggiori, attorno ai 4-5 m, per alcune aree all'interno della zona di frana. Questo risultato potrebbe essere imputato, tra altre cause, all'impiego per l'ortorettifica di un MDT più antico dei fenomeni franosi del 1996. L'accuratezza è risultata generalmente migliore di 3 m, con picchi locali di circa 6 m. Per quanto riguarda l'immagine QuickBird, il confronto con la CTR ha fornito scostamenti tra *target*

omologhi generalmente inferiori a 3 m. Tali risultati indicano che in questo lavoro misure di deformazione al suolo maggiori di 2-3 m possono essere considerate significative con buona confidenza. D'altra parte si può affermare che aree che hanno subito deformazioni al suolo minori di tale soglia potrebbero anche essere incluse (erroneamente da punto di vista tecnico-pratico) tra le aree stabili.

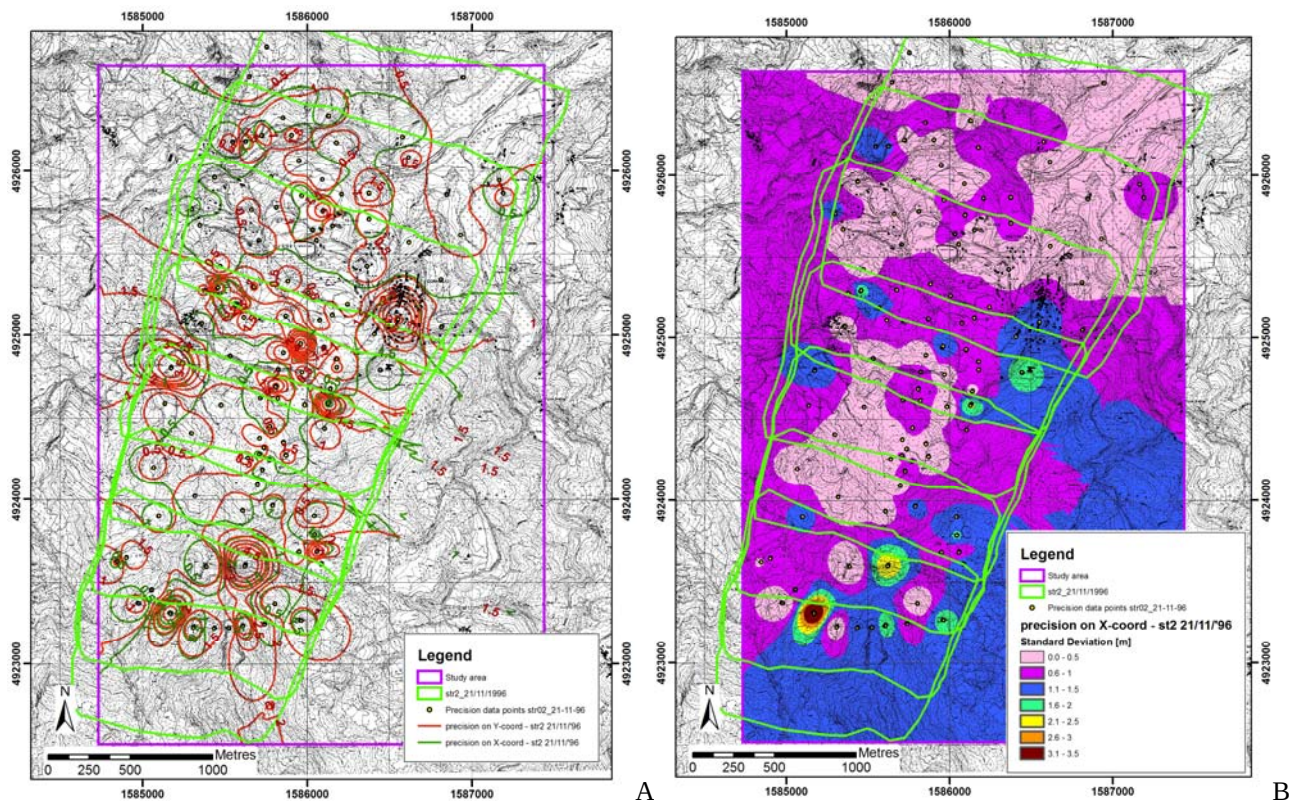


Figura 3 – Copertura fotografica del 21 novembre 2006: a) banca dati e rappresentazione a isolinee dei valori di precisione dell'ortorettifica sulle coordinate X e Y; b) spazializzazione della precisione della coordinata X.

Tenendo presente tali soglie di significatività del metodo di misura, nelle Fig. 5 e 6 sono riprodotte le mappe della deformazione superficiale dedotte dall'analisi di posizione di target omologhi nell'area di frana nei periodi 4 luglio - 4 novembre 1996 e 4 novembre - 21 novembre 1996. Analoghe mappe sono state ottenute per il periodo 21 novembre 1996 – 2000 (immagine QuickBird). Per ogni intervallo di tempo vengono distinti e rappresentati modulo e azimuth del vettore spostamento. Le mappe di azimuth sono generalmente in accordo con l'orientazione del versante in frana, con spostamenti prevalenti nel quadrante NE e, per le aree di piede della zona di accumulo, nel quadrante NW. Le mappe di modulo indicano che tra luglio e novembre 1996 gran parte dei fenomeni di instabilità si concentrano nelle porzioni superiori del corpo di accumulo, con valori che superano anche i 15-20 m di spostamento. Nella zona di piede sono comunque presenti vaste aree che registrano deformazioni superiori a 2 m. Nell'intervallo compreso nel novembre 1996 si osserva un aumento generalizzato delle velocità di deformazione: in un periodo di 17 giorni gli spostamenti sono quasi ovunque superiori a 2 m (ad esclusione della zona di unghia del corpo di accumulo) e sono sempre maggiori di 10 m per quote superiori a ca. 700 m s.l.m. Successivamente al 1996 e fino al 2000, la deformazione resta ancora importante soprattutto nelle porzioni inferiori del corpo di accumulo, dove si registrano valori di spostamento superiori a 15-20 m. Tali risultati sono concordanti con quanto indicato da Clerici & Perego (2000) e con Allasia et al., 2002. I risultati preliminari delle misure GPS eseguite nel luglio 2006 confrontati con i dati QuickBird, suggeriscono invece che successivamente al 2000 la frana di Corniglio sia entrata in una fase di relativa stabilità. Gli spostamenti stimati infatti, rientrano al di sotto dell'accuratezza di registrazione del dato satellitare (3m).

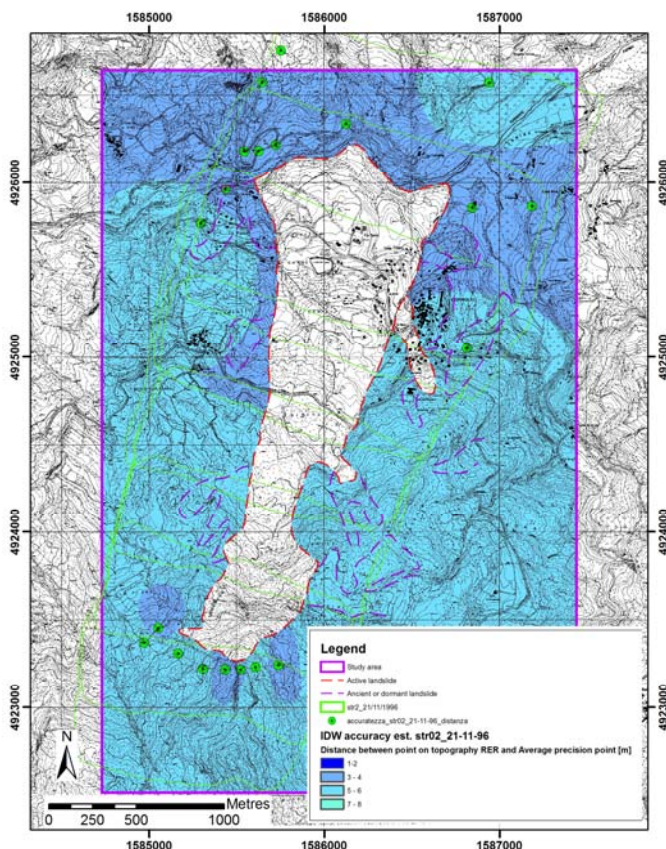


Figura 4 – Spazializzazione dell'accuratezza dell'ortorettifica della copertura fotografica del 21 novembre 2006 rispetto alla CTR.

telerilevati sono ampiamente migliori dell'entità del segnale misurato fino al 2000. Inoltre, la buona corrispondenza tra l'azimut dei vettori spostamento e l'orientazione dei versanti in frana, fa supporre che la soglia assunta di 2-3 m sia conservativa e che anche segnali inferiori possano essere significativi.

Conclusioni

Al fine di monitorare lo stato di attività e le deformazioni superficiali della frana di Corniglio (Pr), è stato eseguito un confronto tra dati cartografici (cartografia CTR in scala 1:5.000) e telerilevati multitemporali (foto aeree del luglio e novembre 1996 e dati QuickBird del 2000) che coprono l'intervallo 1979 – 2000. Le procedure di ortorettifica hanno fornito precisioni e accuratze migliori di 2-3 m, comparabili con l'accuratezza di registrazione dei dati QuickBird (circa 3 m). Le procedure di confronto hanno quindi consentito di evidenziare che la frane di Corniglio ha subito deformazioni superficiali diffuse anche superiori a 10-20 m nel 1996, in particolar modo nel mese di novembre. I fenomeni di instabilità si sono protratti con velocità simili fino al 2000, per poi ridursi verso i tempi attuali. Le misure GPS eseguite nel luglio 2006 indicano infatti che gli spostamenti sono inferiori all'accuratezza di registrazione spaziale dei dati QuickBird.

Dal punto di vista metodologico, accuratezza e precisione del metodo di monitoraggio degli spostamenti basato sul confronto di dati

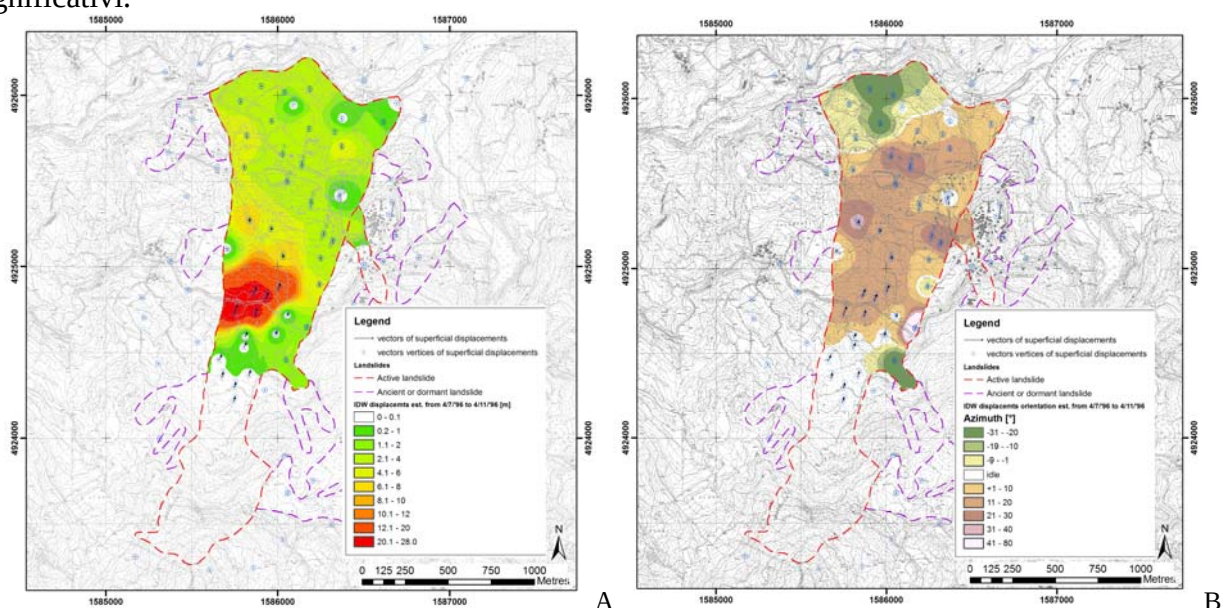


Figura 5 – Spazializzazione dell'accuratezza dell'ortorettifica della copertura fotografica del 21 novembre 2006 rispetto alla CTR.

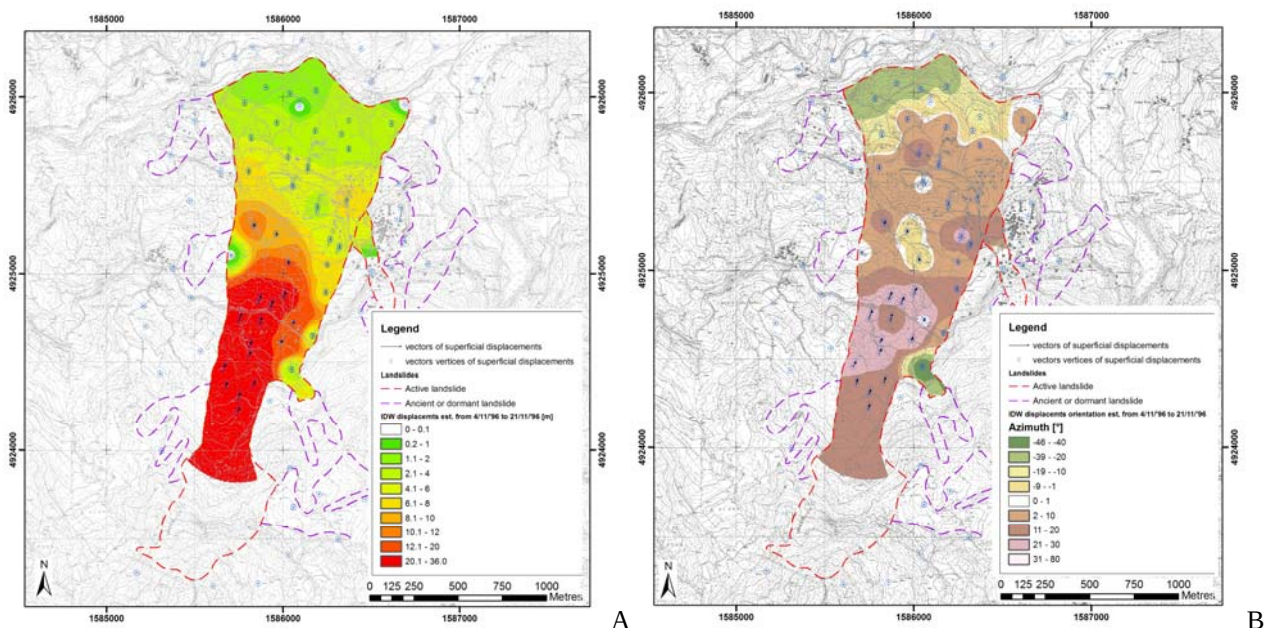


Figura 6 – Spazializzazione dell'accuratezza dell'ortorettifica della copertura fotografica del 21 novembre 2006 rispetto alla CTR.

Bibliografia

- P. Allasia, M. Baldo, F. Godone, G. Lollino & G. Nigrelli, 2002 - Applicazioni di tecnologie avanzate per il monitoraggio di fenomeni di dinamica di versante. La Difesa della Montagna. Convegno Nazionale. Assisi, 11-12 dicembre 2002.
- F. Brunamonte, G. Lollino & M. Baldo, 2003 - An integrated approach to the study of large landslide in the Northern Apennines: from a historical catalogue to the application of new monitoring techniques. 4° Congresso Europeo sulla cartografia geoscientifica regionale ed i sistemi informativi, 14/17 Giugno 2003 - Bologna.
- A. Clerici & S. Perego, 2000 - Simulation of the Parma River blockage by the Corniglio landslide (Northern Italy). *Geomorphology*, 33, 1-23.
- A. Clerici, S. Perego, C. Tellini & P. Vescovi, 2002 - A procedure for landslide susceptibility zonation by the conditional analysis method. *Geomorphology*, 48, 349-364.
- G. Gottardi & L. Tonni, 2003 - Interpretation of Slope Movements Induced by Adjacent Large Landslide in Northern Italy. *Natural Hazards Rev.* Vol. 4, Issue 2, 71-77.
- Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., Collins, J., 1997. *GPS Theory and Practice*. Springer, Wien, New York.
- G. Larini, C. Malaguti, M. Pellegrini & C. Tellini, 2001 - La *Lama* di Corniglio (Appennino parmense), riattivata negli anni 1994-1999. *Quaderni di Geologia Applicata*, 8, 59-114.
- G. Lollino, F. Brunamonte, G. Larini & C. Malaguti, 2001 - La sperimentazione del Sistema inclinometrico automatizzato nel monitoraggio in continuo della frana di Corniglio e ricerca di correlazioni significative fra le precipitazioni e la riattivazione del novembre 1994. *Quaderni di Geologia Applicata*, 8, 2-2001.
- R. Pignone, G. Plesi, A. Rau, 1988 - Carta geologica dell'Appennino Emiliano-Romagnolo (1:10000) - 217100, Corniglio.
- Regione Emilia Romagna, Servizio Provinciale Difesa del Suolo e Risorse Idriche e Forestali di Parma, 1995 - Lavori di somma urgenza relativi al monitoraggio del corpo franoso in Loc. Le Lame nel Comune di Corniglio (Pr). *INDAGINI GEOFISICHE*.
- L. Tonni, G. Gottardi & G. Marchi, 2001. Analisi di stabilità e modellazione numerica dei movimenti di versante nell'area di Corniglio. *Quaderni di Geologia Applicata*, 8, 2-2001