

Il metodo della ricollocazione nella risoluzione di problematiche geologico-ambientali: il caso di Zeri (Massa-Carrara)

Rosita Raiti¹, Patrizio Signanini², Patrizio Torrese², Paolo Sammartino²

¹Servizio Sismico Regionale, Regione Toscana, 347/5878468, rosita.raiti@libero.it

²Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli Studi "G. d'Annunzio" di Chieti, 0871/3556160, labgeofisica@unich.it

Method of replacing for the resolution of geological-environmental problems: the case of Zeri

ABSTRACT: The use of photogrammetry techniques is an operative instrument for the definition of geometry and deep kinematics of complex large-scale mass movements. Many informations about deep mechanisms especially in complex geological-geomorphological situations, can be obtained by means of superficial displacements vectorial analysis. These are achieved by the comparison of aerophotogrammetrical and topographical survey data referred to a wide time period, pre and post landslide. Starting from simple models of different landslide typologies (rotational, rototraslational, etc.) and analysing the plano-altimetric variations before and after the movement and the consequential distribution of displacement vectors, it's possible to create a preliminary classification of the slope movements type and to give some indications about probable depth of rupture surfaces. This methodology is especially useful in urbanised areas for the presence of infrastructures whose location can be easily monitored during the phenomena development. This kind of methodological approach has been employed in the study of Patigno landslide, located in Zeri town (MS). As far as is concerned superficial displacement analysis aerial panchromatic photograms have been utilized referred to a 23 years time period (1976-1999); then a vectorial analysis of anthropic structures displacements occurred in the same period has been carried out.

Key terms: Aerophotogrammetry, superficial displacements, landslide, displacement vectors

Termini chiave: aerofotogrammetria, spostamenti superficiali, frana, vettori di spostamento

Riassunto

L'utilizzo di tecniche di analisi fotogrammetriche costituisce uno strumento efficace per la definizione delle geometrie e dei cinematismi profondi dei grandi movimenti gravitativi complessi. Numerose informazioni sui meccanismi profondi soprattutto in contesti geologico-geomorfologici complessi, si possono ottenere dall'analisi vettoriale degli spostamenti superficiali ottenuti dal confronto di rilievi aerofotogrammetrici e topografici relativi ad un ampio arco temporale, pre e post evento franoso. La modellazione di tipologie di frana semplici (rotazionali, rototraslazionali, traslazionali, ecc.) in termini di variazioni planoaltimetriche pre e post evento e la conseguente distribuzione dei vettori di spostamento superficiale, permettono infatti una prima classificazione delle tipologie di movimento, fornendo inoltre indicazioni circa la possibile profondità delle superfici di rottura. Questa metodologia è particolarmente applicabile nelle aree urbanizzate per la presenza di infrastrutture la cui posizione può essere facilmente monitorata durante l'evoluzione del dissesto.

Questo approccio metodologico è stato impiegato nello studio della frana di Patigno, nel comune di Zeri (MS). Per l'analisi degli spostamenti superficiali sono state utilizzate foto aeree pancromatiche relative ad un arco temporale di

23 anni (1976-1999); quindi è stata effettuata un'analisi vettoriale degli spostamenti di strutture antropiche, verificatisi in questo intervallo di tempo.

Introduzione

Lo studio della ricollocazione degli spostamenti superficiali, già utilizzato per lo studio della frana di Ancona (Cunietti et alii, 1996), opportunamente integrato, permette una ricostruzione piuttosto dettagliata dei modelli franosi complessi quale quello di Zeri. La frana di Zeri (MS), si sviluppa in direzione NW-SE per una lunghezza massima pari a circa 2,5 Km e una larghezza di circa 1 Km al piede, per una superficie complessiva di 1,360 Km², su un versante debolmente inclinato, i cui tratti morfologici essenziali, idrografici e orografici, sono fortemente condizionati dall'assetto geologico-tettonico dell'area dell' Appennino settentrionale alla quale appartiene. Il versante di Patigno è confinato verso nord-ovest da una dorsale sostanzialmente coincidente con la linea di accavallamento tettonico tra l'Unità di Ottone - S. Stefano (Dominio Ligure esterno) e l'Unità di Canetolo (Dominio Subligure), mentre verso est risulta limitato da un crinale impostato sulla Formazione dell'Argille e Calcari e allungato in direzione circa nord-sud, parallelamente alle principali direzioni di strato. Il Dominio Toscano, rappresentato dalla Formazione del

Macigno, affiora ad est dell'area d'interesse (Chelli et alii,2000).

Metodologia utilizzata

Il movimento di una porzione di pendio lungo una particolare superficie è causata dal superamento della resistenza tipica del materiale da parte delle forze esterne ed interne che agiscono in favore della generazione dello stesso movimento.

Ignorando le cause e analizzando gli effetti prodotti dal movimento, è possibile basare un tipo di classificazione di frana sul tipo di cinematismo introducendo alcuni concetti riguardanti le dinamiche dei movimenti. In generale si può affermare che è la geometria del piano di scorrimento a governare il fenomeno. Questa superficie, più o meno complessa, condiziona, nei materiali a comportamento rigido-plastico, le dinamiche della forma della superficie topografica. Per questa ragione, cominciando da un piano di scivolamento conosciuto, è possibile ottenere sulla superficie, con il movimento in avanzamento, un posizionamento dei punti topografici che possono essere predetti e quindi rilevati e quantificati. D'altra parte, date le dinamiche di spostamento superficiale, è possibile ottenere in modo diverso, indicazioni sulla forma e sulla profondità del piano di scivolamento. A riprova di quanto esposto inizieremo con lo studio di sistemi cinematici semplici per poi proseguire con l'analisi di sistemi progressivamente più complessi.

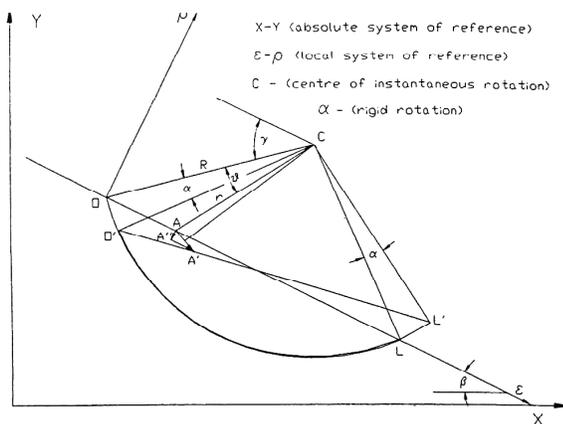


Figura 1 – Schema generale utilizzato per la rappresentazione di un cinematismo semplice.

General scheme used for the representation of a simple kinematics. (RAINONE et alii,1996)

Un sistema cinematico semplice corrisponde ad un movimento puramente rigido di una porzione di un ipotetico pendio caratterizzata da una superficie di scorrimento circolare ed una posizione variabile del centro di rotazione. Con il centro di rotazione al di sotto della superficie topografica, la porzione di versante coinvolta dal movimento è naturalmente un semicerchio.

Con il centro di rotazione posizionato all'infinito il cinematismo è quello di un movimento puramente traslazionale; nel caso intermedio la porzione di versante diventa un arco di circonferenza.

Nello studio dei modelli cinematici si utilizza un sistema di riferimento locale e non assoluto. In questo modo, posizionando l'origine del sistema di riferimento nel punto O "iniziale" del fenomeno cinematico (Figura 1), con l'asse delle ascisse coincidente con il profilo topografico mediato pre-movimento, lo studio può essere condotto normalizzando il problema rispetto all'angolo di pendenza del versante (Rainone et alii,1996).

Cominciando dal caso in cui il centro di rotazione è posizionato in modo casuale, è possibile ottenere analiticamente, per ciascun punto della superficie topografica, i valori dei moduli dei vettori di spostamento orizzontale e verticale in riferimento al sistema di posizionamento locale.

In sintesi, il dato topografico utilizzabile, derivato dal processing dei dati acquisiti attraverso la fotogrammetria o la classica topografia, torna ad essere, usando il metodo del posizionamento, una rappresentazione dei campi vettoriali in cui i vettori spostamento, collocati in una griglia regolare ed in seguito opportunamente filtrati, forniscono una rappresentazione della sola superficie di dislocazione della massa coinvolta. La rappresentazione classica è quella dell'illustrazione su un diagramma delle differenze tra i vettori relativi a due posizioni temporali in coordinate Cartesiane, in accordo con il riferimento cartografico. La Figura 1 ipotizza una rotazione rigida nella sezione circolare di corda OL nell'intorno del centro di istantanea rotazione C.

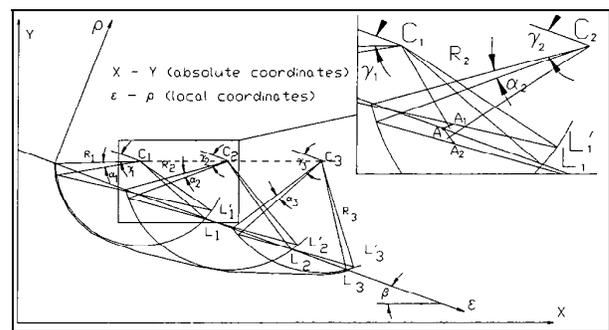


Figura 2 – Schema generale della possibile evoluzione di un meccanismo di rottura come somma di meccanismi semplici.

General scheme of the possible evolution of a rupture mechanism as a sum of simple mechanisms. (RAINONE et alii,1996)

I sistemi cinematici complessi sono quei movimenti di porzioni di pendio che avvengono su superfici di qualsiasi forma. Un sistema cinematico complesso (Figura 2) può essere interpretato come la somma di una serie di cinematismi semplici che interpolano le sezioni sovrapposte sull'arco di una circonferenza dovuta ai centri di istantanea rotazione che si muovono in ogni direzione. In questo

senso, deve essere specificato che un modello complesso è quello in cui i vettori di spostamento superficiale danno un'indicazione dei vari centri di rotazione e pertanto della superficie di scorrimento, fermo restando i limiti della metodologia stessa (Rainone et alii, 1996). Per ogni circonferenza è possibile utilizzare le stesse procedure utilizzate per lo studio dei cinematismi semplici.

Per esprimere il concetto sopra esposto in maniera semplificata, in Figura 3 sono state schematizzate le relazioni intercorrenti tra alcune tipologie di frana e la distribuzione vettoriale della ricollocazione.

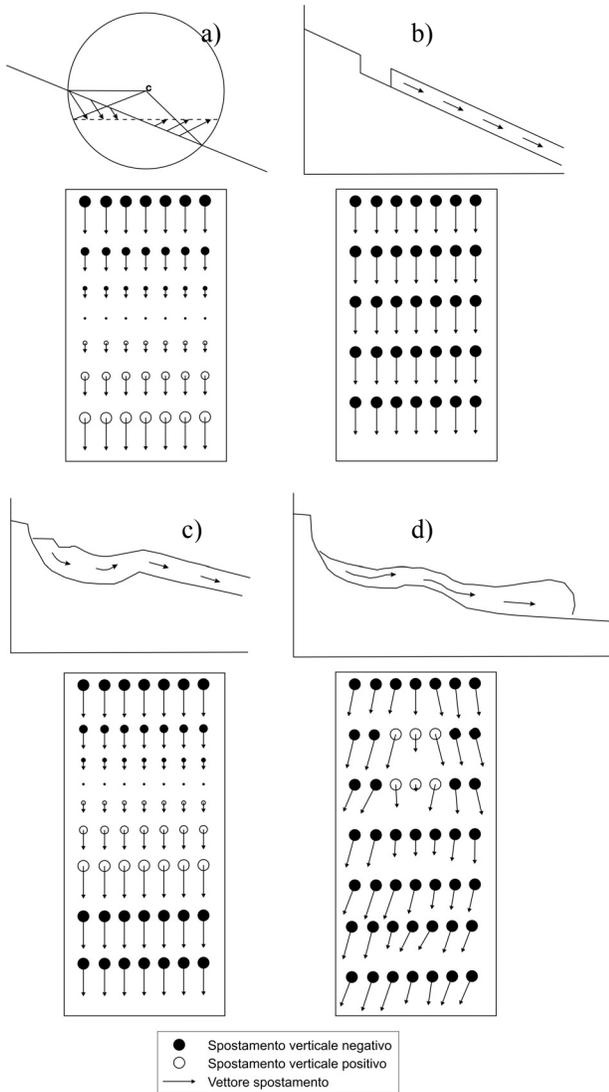


Figura 3 – Campi vettoriali degli spostamenti superficiali nel caso di un movimento a) rotazionale; b) traslativo, c) roto-traslativo, d) di colamento.

Superficial displacement vectorial field referred to a) rotational movement b) translational movement c) roto-translational d) flow.

L'analisi di questi campi vettoriali degli spostamenti superficiali, ben diversi dalle deformazioni, fornisce utili

indicazioni per una prima classificazione delle varie tipologie di frana.

Analisi vettoriale degli spostamenti superficiali

Per lo studio della ricollocazione dei vettori spostamento del versante di Patigno, sono stati utilizzati fotogrammi relativi al volo R.A.F. del 1954, volo EIRA del 1976 ed un rilievo aerofotogrammetrico realizzato nel 1999.

I fotogrammi del volo RAF, seppure molto interessanti per la loro data di acquisizione, sono stati utilizzati per trarne informazioni a carattere generale poiché la scala dei fotogrammi (1:30.000) non è confrontabile con le altre (1976;1999) e le urbanizzazioni come le opere a rete non corrispondono con lo stato attuale dei luoghi. La zona di Val di Termine che nel 1976 risulta antropizzata, nel 1954 era una zona boschiva: tutto ciò fornisce una misura della difficoltà del reperimento di punti utili al metodo della ricollocazione nello studio di ampi intervalli temporali.

Di notevole precisione è invece la base topografica numerica scala 1:2000, realizzata tramite restitutore analitico digitale, sulla base del rilievo aerofotogrammetrico eseguito ad una quota media di circa 1.200 metri, con scala fotografica di circa 1:8.000 (Concessione dello Stato Maggiore dell'Aeronautica Militare alla divulgazione dei fotogrammi n°244 del 31/08/99).

La prima fase del lavoro è consistita nel trattamento delle immagini: i fotogrammi a differente scala, non georeferenziati e distorti, sono stati omogeneizzati, georeferenziati e ortocorretti. Generate le ortofoto, nelle quali ogni punto è caratterizzato da una coppia di valori (x,y) corrispondenti alla latitudine e longitudine del punto considerato in un dato sistema di riferimento (nel nostro caso Gauss-Boaga, Roma 40), si è proceduto a sovrapporre perfettamente mediante l'utilizzo di programmi di gestione delle immagini (ArcMap, ENVI).

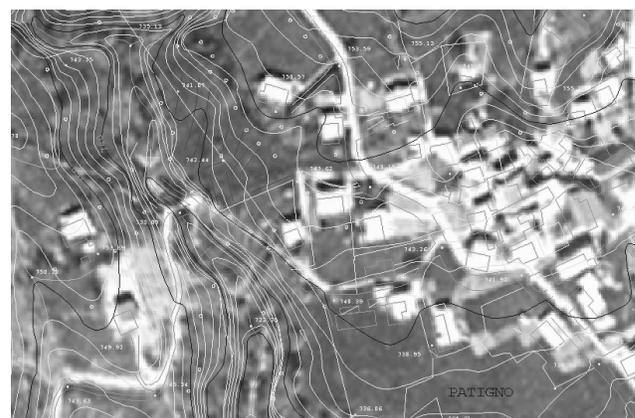


Figura 4 – Particolare della sovrapposizione del rilievo aerofotogrammetrico del 1999 sull'ortofoto del 1976.

Particular of the overlapping of the 1999 aerophotogrammetric survey data and the 1976 orthophoto.

L'ortofoto che meglio si è prestata al confronto con la base numerica alla scala 1:2000 è stata quella del 1976. Essendo in scala 1:5000 possiede un grado di dettaglio paragonabile al rilievo del 1999. Visualizzando la sovrapposizione del rilievo aerofogrammetrico sull'ortofoto del '76 (Figura 4), si è proceduto a selezionare una serie di oggetti comuni e di inequivocabile riconoscimento quali edifici, incroci di strade, cimitero e chiesa che risultano essersi spostati nel tempo. Altri elementi, quali i meandri dei fiumi, i fossi, arbusti e campi coltivati sono stati ritenuti non idonei per via della loro naturale evoluzione, non necessariamente correlabile al movimento franoso.

Scelti i punti da analizzare nella foto del 1976, sono stati tracciati i vettori spostamento fino ai corrispettivi punti individuati sul rilievo del 1999. Sono stati selezionati 360 punti, interni ed esterni alla frana; per questi ultimi il vettore spostamento è risultato dell'ordine centimetrico, quindi non significativo considerando gli errori insiti nel processing delle immagini. La distribuzione dei vettori non è uniforme; la concentrazione maggiore è interna al corpo di frana e localizzata presso i centri abitati di Patigno, Val di Termine e Noce, dove maggiore è il numero di punti utili potuti considerare. In questo modo è stata creata una prima mappa dei vettori di spostamento superficiale (Figura 14).

Analizzando e filtrando separatamente le componenti vettoriali Δx e Δy dei vettori spostamento dei quali si conoscono le coordinate dei punti iniziali e finali, la lunghezza e le componenti lungo le direzioni x (Est-Ovest) e y (Nord-Sud), sono stati prodotti vari elaborati che hanno permesso una visione più dettagliata del movimento franoso.

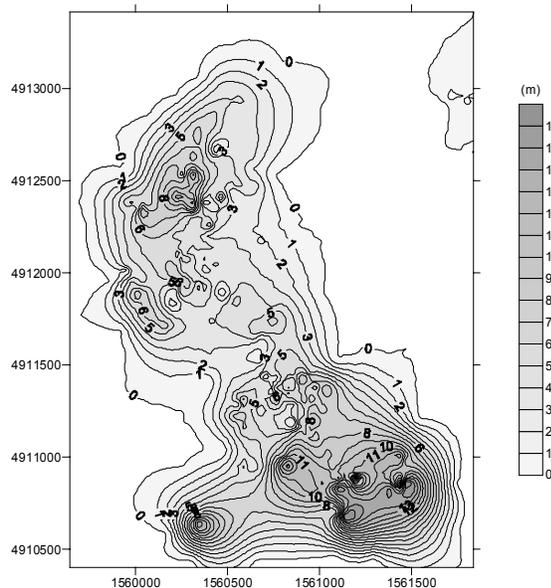


Figura 5 – Grafico dei moduli dei vettori spostamento.
Graph of displacement vectors modulus.

In un foglio di calcolo elettronico sono state inserite le coordinate dei punti di origine dei vettori, ossia dei punti

della foto del 1976 dei quali si voleva considerare lo spostamento, e le relative lunghezze. Sui dati è stato applicato un algoritmo di interpolazione che ha prodotto una griglia di valori interpolati sulla quale visualizzare le countur line, ossia le linee che collegano i punti ad uguali valore di lunghezza del vettore spostamento.

Dal grafico in Figura 5, che mostra i moduli dei vettori spostamento relativi al periodo compreso tra il 1976 e il 1999, emerge che lo spostamento maggiore è avvenuto al piede della frana, a conferma del rilievo geomorfologico svolto nell'area. Proprio in questa zona si osservano infatti marcati segni di attività e le notizie storiche parlano di forti danni alle abitazioni e crolli ripetuti della chiesa di San Lorenzo ivi ubicata.

Lo stesso procedimento è stato seguito per generare il grafico delle componenti Δx e Δy : il foglio di calcolo elettronico in questo caso conteneva la colonna dei valori di latitudine, la colonna delle longitudini e quella dei valori della componente esaminata.

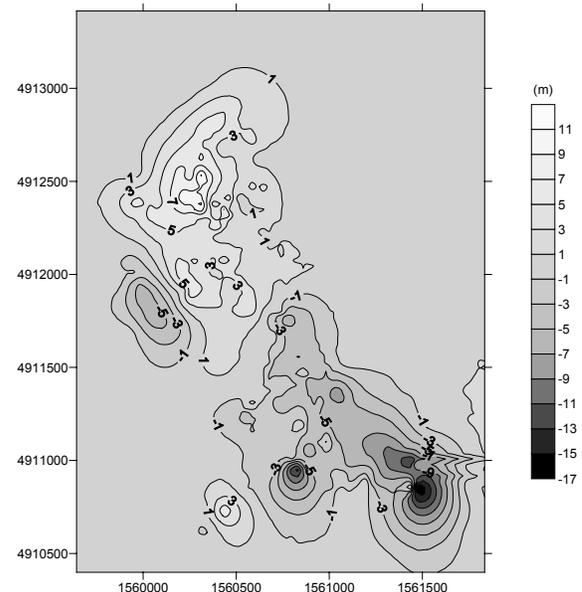


Figura 6 – Grafico delle componenti Δx dei vettori spostamento.
Graph of Δx components of displacement vectors.

Nel grafico in Figura 6, che mostra le componenti dei vettori spostamento lungo l'asse x si può osservare come nell'area in frana i valori più grandi di spostamento, in modulo, si abbiano al piede e come siano predominanti due toni: toni più chiari nella parte alta e scuri nella bassa. I diversi toni sono associati al diverso segno dei valori.

Nella parte centrale del corpo in frana la countur line assume valore 0, se ne deduce che in questa porzione del versante i vettori spostamento abbiano la sola componente di movimento lungo y (Nord-Sud). All'esterno della frana, dove lo spostamento può considerarsi nullo, la presenza delle countur lines è dovuta al processo di interpolazione; le stesse sono state trascurate nell'interpretazione del grafico.

Una possibile spiegazione dei valori più alti al piede è

legata alla forma del versante: ipotizzando, infatti, un movimento di tipo viscoso plastico, questo risulterà confinato lungo il versante dagli elementi stabili, come il Colle Greta (aggirato dalla frana), e ne seguirà l'andamento. Al piede della frana, il versante tende ad allargarsi, e l'ipotetico scivolamento ad espandersi generando un movimento con una componente lungo l'asse x più grande.

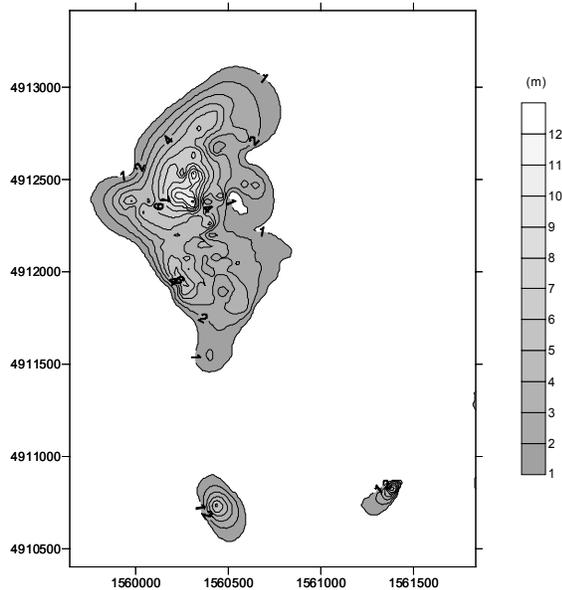


Figura 7 – Grafico degli spostamenti verso est.
Eastward displacement graph.

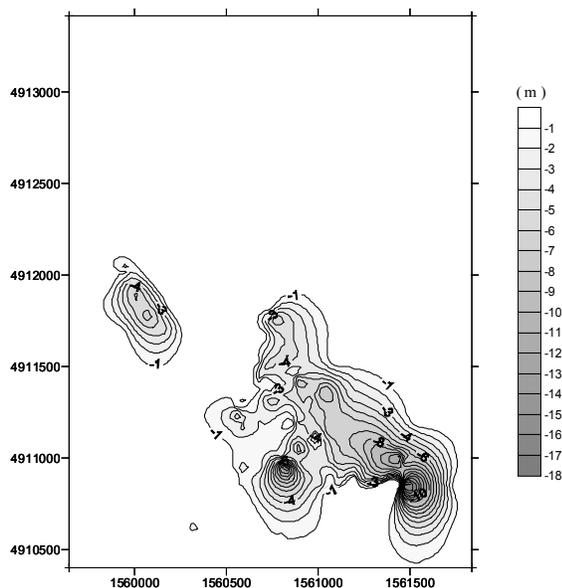


Figura 8 – Grafico degli spostamenti verso ovest.
Westward displacement graph.

Poiché lo spostamento lungo l'asse x può avvenire da Est verso Ovest oppure da Ovest verso Est si è operato un semplice filtraggio per distinguere il verso di spostamento: i

valori positivi delle componenti corrispondono a spostamenti verso Est, mentre i negativi a spostamenti verso Ovest (Figure 7 e 8).

Il movimento ha una componente diffusa di spostamento verso Est in tutta la parte settentrionale del versante, (Figura 7) mentre nella parte meridionale si riscontra solo in due aree. L'anomalia localizzata in basso a sinistra è riferita ad un'area posta sulla sponda destra del Torrente Gordana, nei pressi di Coloretta, quindi esterna al versante di Patigno. Lo spostamento verso Ovest è localizzato nella parte inferiore del versante e nei pressi di Costa d'Asino, poco a sud ovest dell'abitato di Val di Termine (Figura 8).

In linea generale la parte superiore della frana si muove verso est, mentre quella inferiore verso ovest: anche in questo caso l'andamento dello spostamento ricorda quello di scivolamento di un materiale a comportamento visco-plastico.

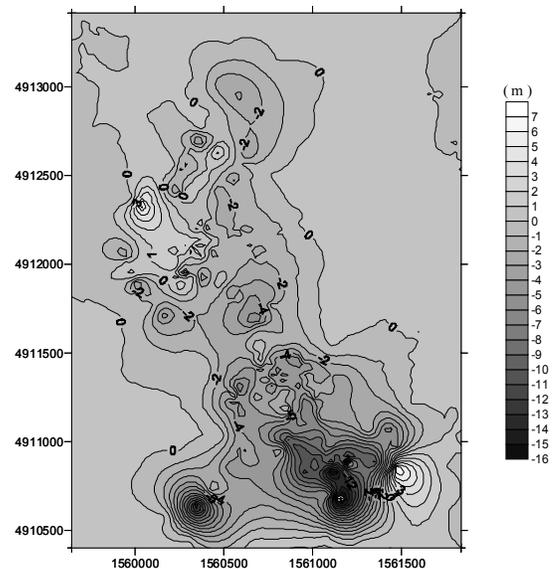


Figura 9 – Grafico delle componenti Δy dei vettori spostamento.
Graph of Δy components of displacement vectors.

Medesimo procedimento è stato adottato per l'analisi delle componenti Δy lungo la direzione nord-sud. Dal grafico in Figura 9 emerge che i valori più grandi di spostamento siano concentrati nella parte meridionale della grande frana.

Dal filtraggio delle componenti Δy positive (spostamento verso nord) e negative (spostamento verso sud), è risultata una piccola componente di spostamento verso nord presso l'abitato di Val di Termine. In questa zona alcuni edifici risultano spostati leggermente a nord rispetto alla posizione occupata nel 1976. Anche al piede della frana, una porzione ristretta di territorio sembra essersi spostata di poco a nord.

Per gran parte della sua estensione la frana mostra invece un movimento verso Sud, con i valori più alti ancora una volta concentrati nella parte inferiore del versante.

Il passo successivo allo studio delle componenti x e y è stato quello della valutazione delle variazioni di quota nei 23 anni intercorse tra il 1976 e il 1999.

Non disponendo di dati più accurati, sono stati confrontati i punti quotati dell'elemento 233023, Patigno, della Carta Tecnica Regionale alla scala 1:5000 per l'anno 1976 con gli stessi individuati sulla base numerica a scala 1:2000 per il 1999. In entrambe le carte sono stati presi in considerazione solo i punti quotati per ridurre l'errore. La variazione altimetrica dei punti considerati è risultata per la gran parte dell'area in studio interna all'errore atteso, fatte salve alcune zone, come quella di Patigno, area nella quale si è potuto procedere all'applicazione della ricollocazione per la definizione della superficie di scorrimento. I valori di Δz negativi caratterizzano la zona dell'abitato di Patigno e del Cimitero, mentre la zona in prossimità di Colle Greta risulta essersi innalzata (Δz positivi) dal 1976 al 1999. Probabilmente in questa zona, la frana ha trovato un punto stabile attorno al quale ha continuato a scorrere comprimendosi ed innalzandosi. Non disponendo di un modello stereoscopico dell'area dal 1976 al 1999, l'interpretazione delle differenze tra le quote che si evincono dalla cartografia utilizzata, possono fornire una indicazione puramente qualitativa del fenomeno.

Filtraggio dei dati

Le componenti cartesiane dei vettori sono state filtrate per cercare di mettere in evidenza il trend generale di spostamento, riconducibile al movimento più profondo, e le piccole anomalie residuali associabili ai movimenti più superficiali. Si è proceduto all'applicazione di vari tipi di filtri low-pass e high-pass di diverse dimensioni. Nel primo caso quello che ha fornito a nostro avviso i risultati migliori è stato il filtro media mobile di matrice 23x23. Il filtro media mobile applicato alla componente x (direzione Est-Ovest), ha messo in evidenza due grandi anomalie (Figura 10): una localizzata nella parte settentrionale del versante di Patigno che indica uno spostamento generalizzato verso est, ed una anomalia meridionale associata al movimento verso ovest. In generale, il filtraggio passa basso ci ha permesso di visualizzare con chiarezza ed immediatezza l'andamento che già si era ipotizzato leggendo i grafici precedenti.

Quindi, a prescindere dalle direzioni di movimento che localmente possono assumere i corpi in frana più superficiali, ben delineabili con un filtraggio di tipo passa alto, è verosimile che la parte settentrionale e profonda della frana scorra con una componente del movimento verso est mentre quella meridionale verso ovest.

Sulla componente y sono stati eseguiti gli stessi filtri eseguiti sulla componente x. Anche nel caso della componente y (Figura 11), il filtraggio più efficace è risultato quello media mobile con matrice 23x23 dal quale emerge un dato prevedibile ma essenziale: il movimento che può ritenersi profondo è per quasi tutto il versante diretto verso sud.

Lo studio delle anomalie residuali associabili alle piccole frane superficiali è stato effettuato trattando i dati con un filtro di tipo passa alto (mean removing).

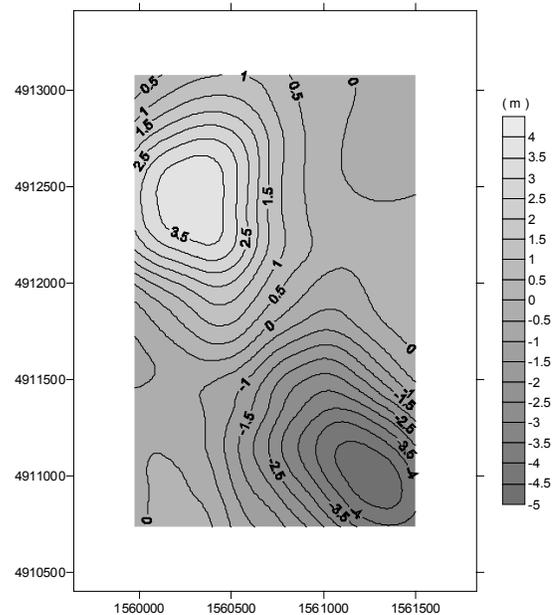


Figura 10 – Filtro media mobile applicato alla componente Δx dei vettori.

Moving average filter applied to Δx vector component.

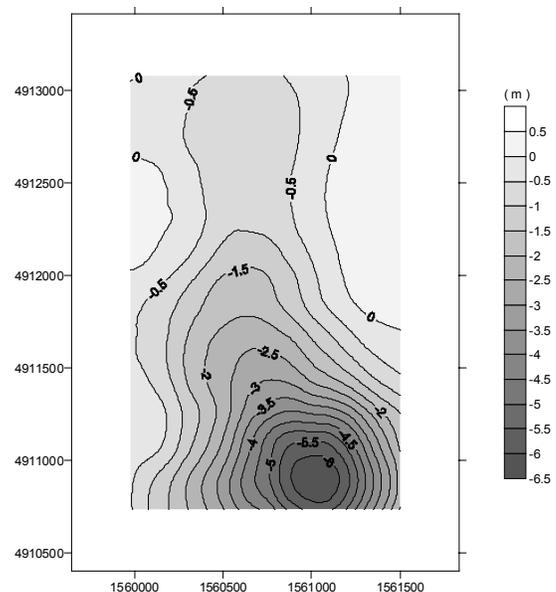


Figura 11 – Filtro media mobile applicato alla componente Δy dei vettori.

Moving average filter applied to Δy vector component.

Entrambe le superfici che interpolano i valori ottenuti dal filtraggio passa alto sulle due componenti x e y (Figura 12), molto irregolari, mostrano con chiarezza la presenza di tante piccole anomalie di intensità crescente verso il piede

associabili a frane superficiali che si muovono con velocità e direzioni diverse e che rappresentano potenzialmente le situazioni a più alto rischio.

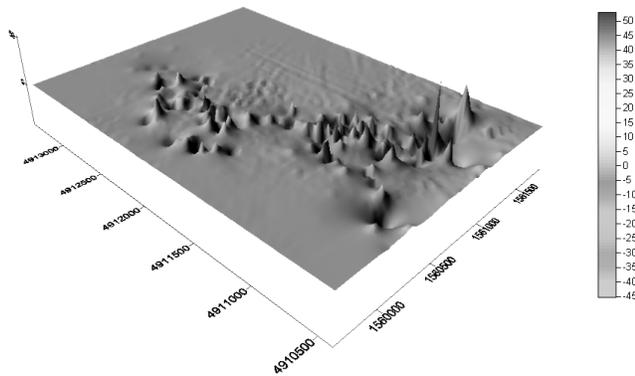


Figura 12 – Filtro passa alto applicato alla componente Δy dei vettori (scala di grigi in unità relative).
High-pass filter applied to Δy vector component (grey scale in relative units).

Modellizzazione di alcune sezioni

Per concludere sono stati tracciati tre profili topografici localizzati presso l’abitato di Patigno, prossimi alla linea di sismica a riflessione HR in onde SH realizzata nell’area, orientati secondo la direzione del movimento, sui quali sono state disegnate le componenti cartesiane dei vettori spostamento ottenute calcolando la differenza di quota tra il punto iniziale ed il punto finale del vettore (Δy) e proiettando il vettore sulla sezione (Δx). Per realizzarli sono state utilizzate la carta tecnica scala 1:5000, l’ortofoto del 1976 ed il rilievo aerofotogrammetrico del 1999. A titolo d’esempio viene riportata la sezione A-A’ (Figura 13).

Le sezioni corrispondono a profili topografici della superficie del 1976, mentre interpolando i punti finali dei vettori spostamento si può ricostruire la nuova superficie topografica del 1999.

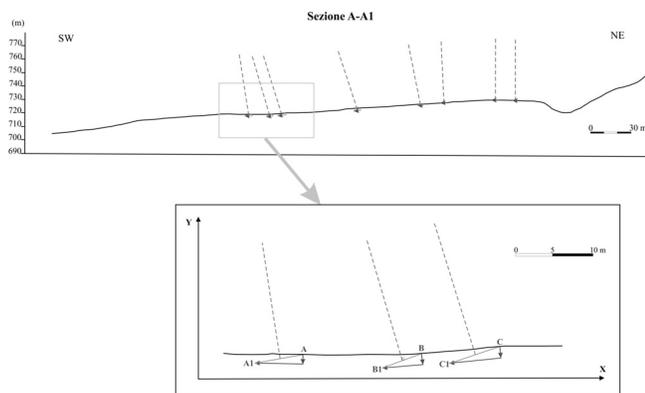


Figura 13 – Sezione A-A’.
Section A-A’.

Sulle sezioni realizzate sono state, poi, tracciate tutte le perpendicolari passanti per i punti medi dei vettori spostamento: se il movimento fosse stato di tipo roto-traslativo le mediane si sarebbero intersecate in uno o più punti (centri di istantanea rotazione), invece risultano quasi parallele e non si intersecano, se non a distanze molto grandi (quasi all’infinito) dalla superficie.

Questo dato ci conforta nell’ipotesi di classificazione del movimento di Patigno come uno scivolamento traslazionale probabilmente lungo gli stessi piani individuati dalla sismica a riflessione, utilizzata peraltro nella ricostruzione della sezione geologico-interpretativa.

Per le altre aree l’elaborato fondamentale dello studio della ricollocazione rimane la carta dei vettori spostamento (Figura 14).

Le diverse direzioni dei vettori evidenziano la coesistenza di flussi di materia. Presumibilmente i danni maggiori, dovrebbero rilevarsi nelle aree in cui è manifesta la convergenza dei flussi. Quest’ultima ipotesi è da validare con ulteriori studi. In alcune zone del versante si osserva un andamento caotico dei vettori, probabilmente legato al sollevamento di porzioni del substrato, che ostacolano e deviano lo scivolamento della frana.

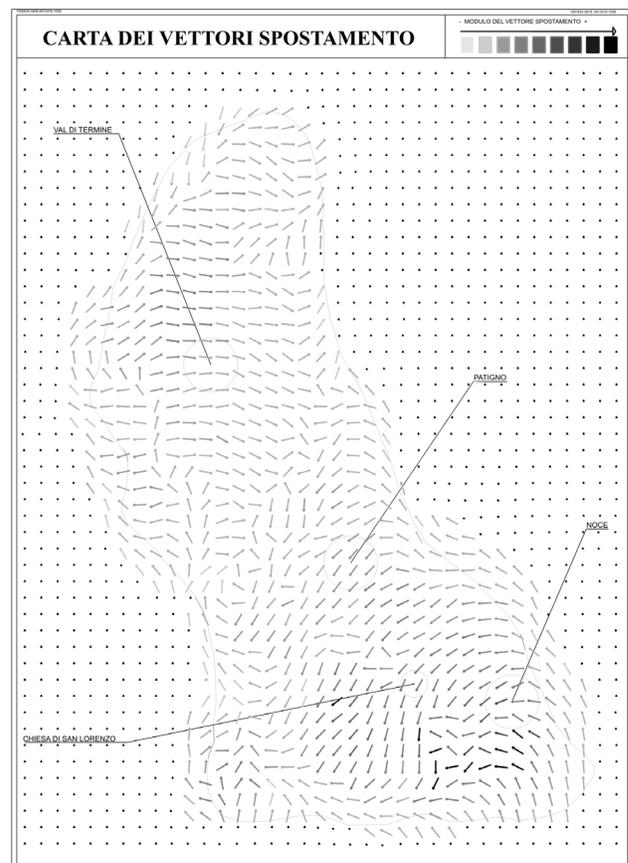


Figura 14 – Carta dei Vettori di spostamento superficiale.
Superficial displacement vectors map.

Conclusioni

L'unione dei risultati ottenuti dall'analisi fotogrammetrica e dalla sismica a riflessione HR in onde SH realizzata nei pressi dell'abitato di Patigno permette di ricostruire una sezione interpretativa semplificata della frana. Il modello ipotizzato (Figura 15) prevede un substrato articolato su cui scorre lentamente, lungo una serie di superfici localmente interrotte, un livello intermedio fortemente alterato e deformato ascrivibile alla formazione delle Argille e calcari; al tetto di questo lento movimento si impostano una serie di piccole frane superficiali che evolvono secondo varie

tipologie (colamenti, traslazioni, crolli).

L'applicazione del metodo della ricollocazione nello studio di frane caratterizzate da cinematismi complessi ci ha permesso una buona analisi in termini qualitativi e talora semi quantitativi del problema. Non è stato possibile valutare appieno la risolutività della metodologia in termini quantitativi perchè questo avrebbe richiesto una quantificazione dell'errore introdotto nei vari passaggi del processing. Comunque i risultati di rilievo fin qui acquisiti ci spronano ad esplorare i limiti e le possibilità della metodologia stessa.

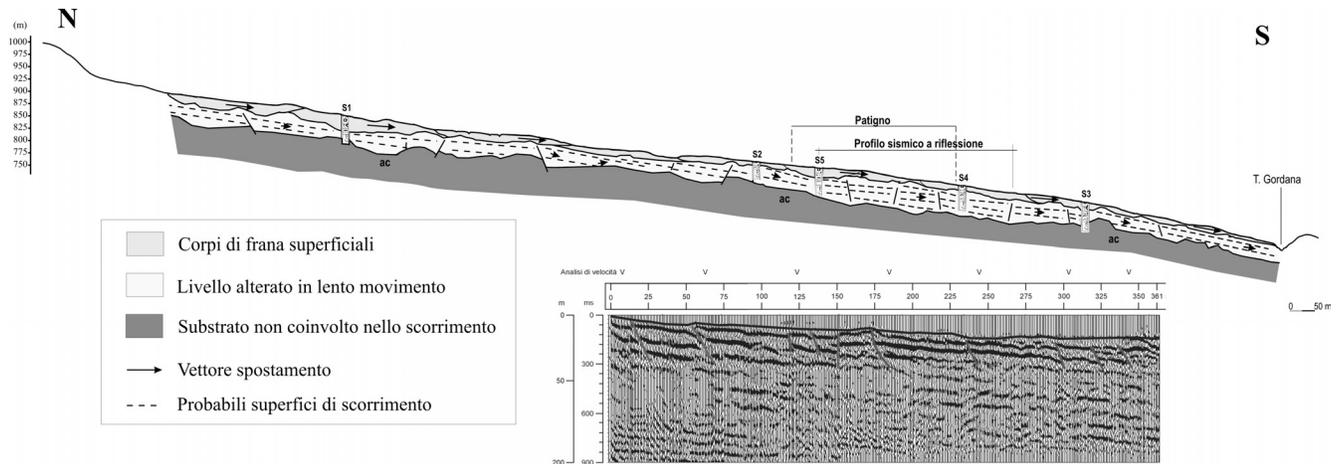


Figura 15 – Sezione geologico-interpretativa della frana di Zeri.
Geological interpretative section of Zeri landslide

Bibliografia

Chelli A., D'Amato Avanzi G., Federici P.R., Puccinelli A., Ribolini A & Verani M. (2000) – La grande frana di Patigno di Zeri (Massa Carrara). Memorie dell'Accademia Lunigianese di Scienze <<Giovanni Capellini>> Vol. LXX(2000) – Scienze naturali fisiche e matematiche.

Chelli A., D'Amato Avanzi G., Federici P.R., Puccinelli A., Ribolini A & Verani M. (1999) – Studio geologico-strutturale, geomorfologico e geognostico della grande frana di Patigno

(Comune di Zeri, Provincia di Massa Carrara). Dipartimento di Scienze della Terra – Università di Pisa.

Cunietti M., Bondi G., Fangi G., Moriondo A., Mussio L., Proietti F., Radicioni F. & Vanossi A. (1986) – La grande frana di Ancona del 13 dicembre 1982: Misure topografiche e aerofotogrammetriche. Studi Geol. Camerti. Vol. Speciale, 41-82.

Cunietti M., Fangi G., Mussio L. & Radicioni F. (1984) – Block adjustment and digital model of

photogrammetric data in a control problem for the Ancona '82 landslide. Int. Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 25 (A3a/b), Rio de Janeiro.

Rainone M.L., Sciarra N. & Signanini P. (1996) – An alternative approach to the study of deep mechanism of large-scale mass movements. Geogr. Fis. Dinam. Quat. 19 (1996), 351-357, 9 figg.