

## La valanga di roccia della Cima Thurwieser (SO): determinazione del volume con tecniche di fotogrammetria digitale

F. Godone (\*), D. Godone (\*\*), A. Tamburini (\*\*\*); G. Mortara (\*)

(\*) CNR – IRPI Sez di Torino, Str. Delle Cacce 73, 10135, Torino, tel 0113977251 , 011343574,  
[franco.godone@cnr.irpi.it](mailto:franco.godone@cnr.irpi.it)

(\*\*) Università di Torino, Facoltà di Agraria, DEIAFA Sez. Topografia, Via L. da Vinci 44, 10095, Grugliasco (TO)  
tel 0116705526 , 0116705516, [daniilo.godone@unito.it](mailto:daniilo.godone@unito.it)

(\*\*\*) Tele-Rilevamento Europa - T.R.E. s.r.l., Via Vittoria Colonna 7, 20149 Milano, tel. 02.4343.121,  
[andrea.tamburini@treuropa.com](mailto:andrea.tamburini@treuropa.com)

### Riassunto

Il presente contributo è finalizzato alla determinazione del volume in roccia coinvolto nel grande crollo della parte sommitale della Cima Thurwieser (3657 m) in alta Val Zebrù (SO), avvenuto il 18 settembre 2004. La frana, la più imponente tra quelle che stanno attualmente caratterizzando i versanti in alta quota di molti massicci alpini, prese avvio dalla sommità di Cima Thurwieser (versante SE) con il distacco unitario di una grande porzione di roccia, quindi si evolse in una imponente valanga di roccia con parziale percorso sulla superficie del Ghiacciaio dello Zebrù, arrestandosi sul fondovalle a quota 2200 m.

Per la realizzazione dello studio sono state impiegate tecniche di fotogrammetria digitale con l'impiego multitemporale di fotogrammi aerei appartenenti a due voli rispettivamente del settembre 1997 e dell'agosto 2005 sul quale erano ancora ben riconoscibili i limiti della frana.

Le due riprese aeree presentano caratteristiche favorevoli allo svolgimento dello studio: direzione di volo coincidente (da Est a Ovest), scala dei fotogrammi confrontabile (circa 1: 16000) e, aspetto molto importante, per lo studio è stato possibile impiegare una sola coppia stereoscopica per ognuno dei due voli. Quest'ultimo fattore ha favorito l'uso di punti di appoggio a terra, rilevati dalla cartografia tecnica CTR della Regione Lombardia, comuni alle due coppie stereoscopiche analizzate. Considerata l'acclività e le caratteristiche morfologiche accidentate della zona in studio, sarebbe stato molto gravoso rilevare sul terreno i punti di appoggio necessari.

Con l'impiego del *software* DVP versione 5.5 dotato di schermo polarizzato, dopo le fasi di scansione dei fotogrammi, calibrazione delle immagini ed orientamento, sono stati rilevati per restituzione diretta i modelli digitali del terreno. Per la zona di distacco è stato acquisito un grigliato a maglia regolare di 5 m per un totale di 3600 punti, la zona di accumulo è stata descritta con un grigliato con passo di 10 m per un totale di 10600 punti. Nel corso dello studio, sono state eseguite verifiche per mettere in evidenza le differenze fra i DTM rilevati per restituzione diretta e quelli generati in automatico dal *software* utilizzato; i volumi sono stati calcolati con l'impiego dei seguenti programmi: Polyworks e Surfer 8.

L'impiego di fotogrammi aerei e la loro analisi multitemporale, l'uso di uno specifico programma elaborativo di fotogrammetria digitale e l'utilizzo di risorse informatiche modeste hanno consentito di quantificare il volume in roccia interessato dall'evento franoso, risultato pari a 2.7 milioni m<sup>3</sup> (da confermare in attesa di ulteriori verifiche). Il caso di studio della valanga di roccia di Cima Thurwieser conferma come la tecnica di rilevamento fotogrammetrico consenta di soddisfare, con sufficiente precisione, la necessità di descrivere geometricamente fenomeni dinamici di grande entità e di complessa accessibilità.

## **Abstract**

The paper aim is to evaluate the volume of rock involved in the huge rockfall occurred in upper part of Cima Thurwieser in Zebrù Valley happened on 18 September 2004.

The rockfall, one of most impressive currently involving high altitude mountain slopes, started from the summit of Cima Thurwieser (South-eastern face) with the fall of an only rock portion, evolving in an impressive rock fall with partial run out track on the Zebrù Glacier, ending its fall on valley floor at 2200 m.

The analysis have been carried out employing digital photogrammetry techniques with the use of multitemporal images belonging to two photogrammetric flights: September 1997 and August 2005, where the rock fall boundary were still visible.

Images were suitable to the accomplishment of the study as they have coincident flight direction (from east to west) comparable scale (~ 1:16000) and in both case a single stereopair, for each flight, has been used.

This fact has allowed the employment of GCP, taken from the Regione Lombardia technical map, common in both stereopairs. Considering the site morphology and steepness the GCP direct survey would have been very difficult.

Employing DVP 5.5 software equipped with polarized screen, after the scanning, calibration and orientation of images, digital terrain model have been manually measured through stereoplotting.

In the starting zone 3600 3d points have been measured in 5m x 5m grid and in the accumulation zone 10600 3d points in a 10m x 10m grid. During the measurement, analysis on differences between manual or automatic stereoplotting of DTM have been carried out, volumes have been computed using the following softwares: Polyworks and Surfer 8.

The employment of multitemporal images, a specific software and a computer with typical resources have allowed to compute the volume involved in the rock fall namely 2.7 millions m<sup>3</sup> (the result will be verified with further analysis and surveys).

The case study confirms that photogrammetry can give enough precision in order to geometrically describe dynamic phenomena characterized by large magnitude and difficult accessibility.

## **Descrizione dell'evento**

La frana si staccò il 18 Settembre 2004 dalle pendici sommitali della Cima Thurwieser in Val Zebrù (m 3658), costituite da rocce dolomitico-calcaree. Il collasso in massa, improvviso anche se preceduto da avvisaglie nelle settimane precedenti (Cola, 2005) avvenne con un meccanismo di scivolamento-crollo e successiva, rapidissima evoluzione in valanga di roccia (Rozman et al., 2004). La massa franata, con parziale percorso sul Ghiacciaio Occidentale di Zebrù, impegnò il ramo destro del Rio Malè e si arrestò a quota 2200 m circa, coinvolgendo una baita ed il sentiero per il Rifugio V° Alpini (Regione Lombardia, 2006).

L'evento, il maggiore accaduto sulle Alpi Italiane dopo il catastrofico caso della Brenva (Monte Bianco, gennaio 1997) sembra confermare la tendenza ad un significativo aumento dell'instabilità in alta quota imputabile alla degradazione del permafrost alla luce dei numerosi crolli segnalati a partire dalla torrida estate 2003 in molti massicci alpini (Cervino, Monte Bianco, Eiger, Monte Rosa).

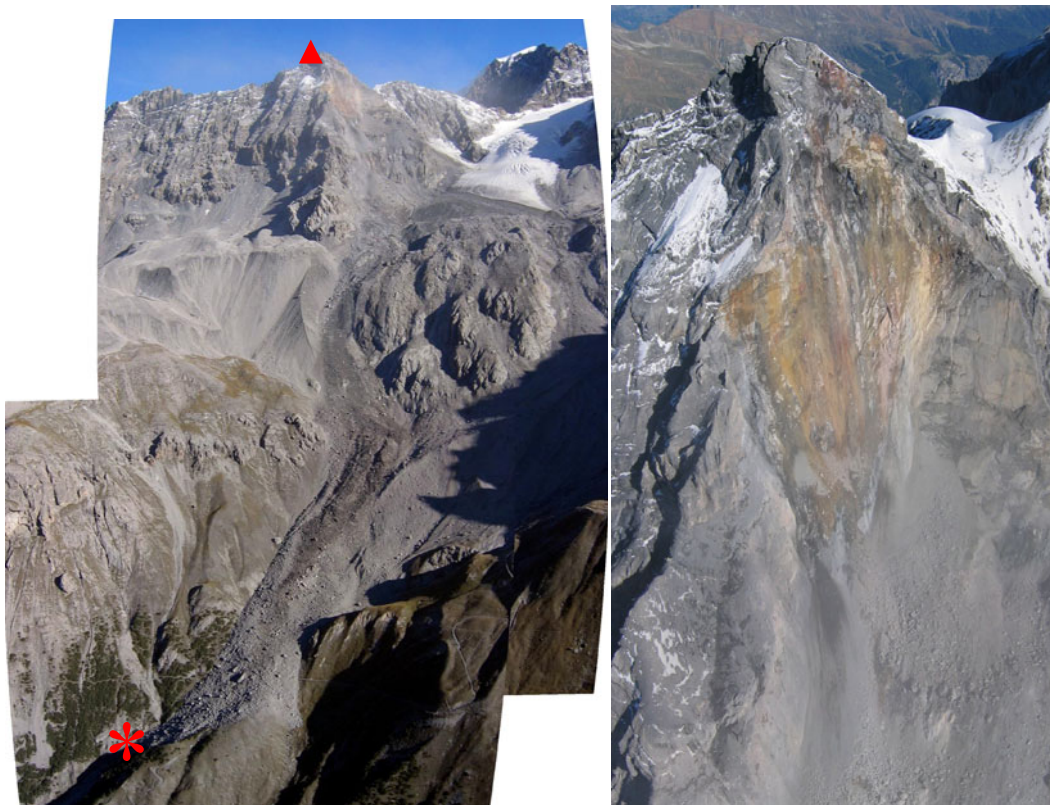


Fig. 1 – Vista d'insieme dell'area interessata dalla frana e dettaglio della zona di distacco:  $\Delta$ : Cima Thurwieser;  $*$ : punto di arresto della frana (Foto Regione Lombardia).

### **Il rilievo aerofotogrammetrico**

Il rilievo dell'area di frana è stato eseguito con tecniche di aerofotogrammetria digitale con l'impiego del software DVP versione 5.5, provvisto per l'osservazione stereoscopica tridimensionale di uno schermo polarizzato NU Vision modello 21SX e di occhiali polarizzati passivi per l'operatore.

I fotogrammi aerei selezionati per l'analisi multitemporale appartengono a due riprese fotogrammetriche eseguite nel mese di settembre 1997, a cura della Provincia Autonoma di Bolzano, e nel mese di agosto 2005 a cura del CNR-IRPI.

Le due riprese aeree, presentano alcune caratteristiche simili: la direzione del volo da est a ovest, la scala dei fotogrammi confrontabile (circa 1:20.000 per il volo 1997 e 1:16.000 per il volo 2005), le due coppie stereoscopiche ricoprenti la stessa porzione di territorio. Quest'ultima caratteristica, ha permesso di utilizzare nella fase di orientamento assoluto delle due coppie stereoscopiche i medesimi punti di appoggio a terra.

Le foto aeree in formato cartaceo sono state successivamente trasformate in immagini digitali mediante scansione, eseguita con Scanner Epson GT12000 formato A3; la densità di scansione utilizzata è di 1000 DPI tale da consentire le seguenti precisioni: per i fotogrammi B/N del volo 1997 precisione planimetrica di 0.40 m e precisione altimetrica di 0.80 m; per i fotogrammi a colori del volo 2005 precisione planimetrica di 0.30 m e precisione altimetrica 0.60 m.

Nel corso della sessione di scansione dei fotogrammi viene scannerizzata anche una griglia di calibrazione riprodotta su un supporto dimensionalmente stabile; l'immagine della griglia viene poi analizzata da un apposito *software* che genera i parametri, impiegati nelle successive fasi di orientamento, utili alla correzione di eventuali distorsioni provocate da derive termiche o dimensionali dell'apparecchiatura di scansione.

Le coppie stereoscopiche sono state successivamente orientate con gli orientamenti interno, relativo e assoluto. Per l'orientamento interno sono stati utilizzati i parametri di calibrazione dello scanner

ottenuti come descritto nel paragrafo precedente e i parametri di calibrazione della camera fotografica aerea forniti dalla Ditta esecutrice.

L'orientamento relativo è stato eseguito utilizzando 12 punti di controllo in luogo dei 6 normalmente usati, per l'orientamento assoluto o esterno sono state impiegate le coordinate Est Nord e quota di 6 punti di appoggio con altri punti rilevati con tecniche di geodesia satellitare da A. Tamburini nei giorni seguenti all'evento.

I modelli digitali del terreno sono rilevati sui fotogrammi di entrambi i voli, mediante l'opzione DTM del *software* DVP, secondo un grigliato a maglie regolari di 5 m di lato per la zona di distacco della frana e con maglia di 10 m per la zona di accumulo. La procedura, consente il rilevamento dei punti quotati in modalità semi-automatica, posizionando la marca di collimazione automaticamente nella posizione planimetrica da rilevare e richiedendo all'operatore solo la misura diretta della quota del punto; questa attività viene ripetuta poi per tutti i punti del DTM racchiusi nel poligono di misura preventivamente definito.

A termine delle fasi di restituzione il modello digitale del terreno è stato trasferito dal DVP al *software* grafico Autocad mediante il formato di scambio DXF e nel formato solo numerico ASCII, il salvataggio delle coordinate dei punti rilevati in questo ultimo formato consente il trasferimento e l'elaborazione dei dati in altri programmi elaborativi orientati al trattamento e la rappresentazione di dati geografici.

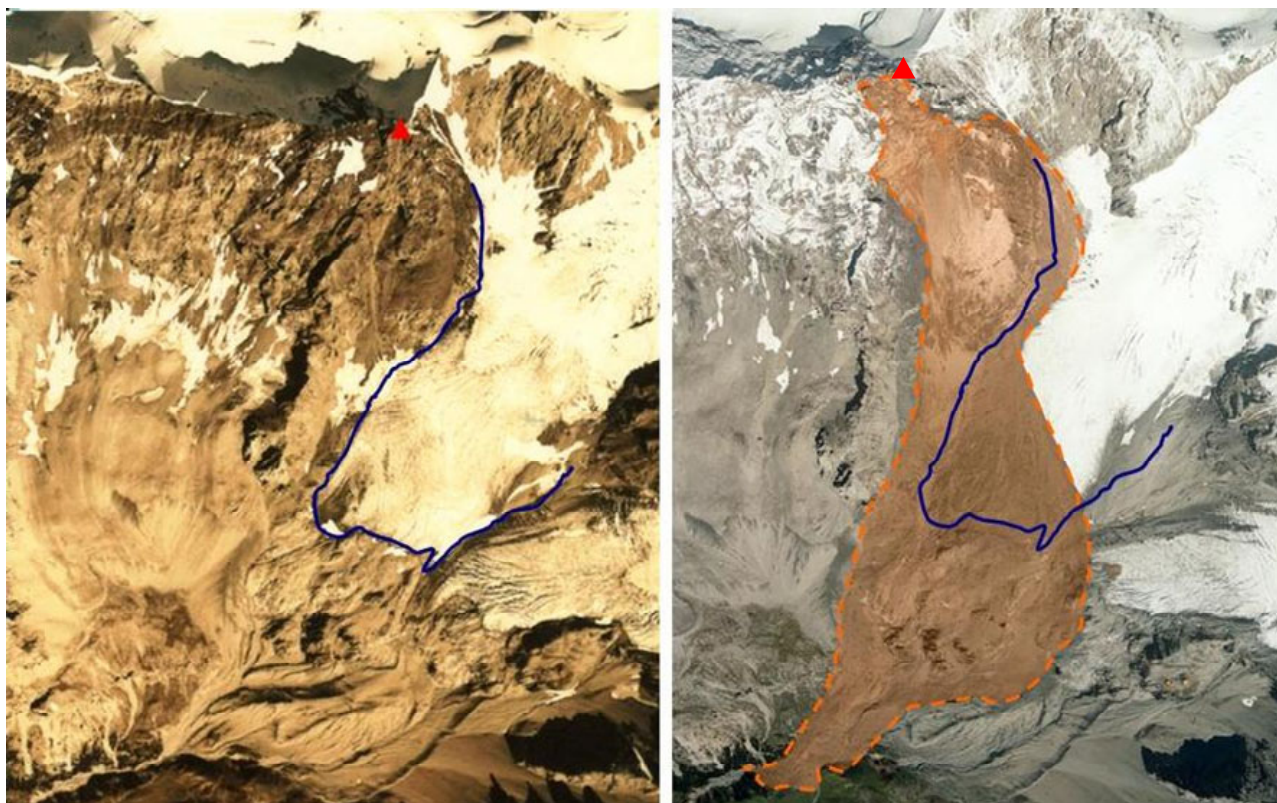


Fig. 2 – Confronto fra due riprese aeree dell'area in esame eseguite rispettivamente nel 1981 (a sinistra, volo Regione Lombardia) e nel 2005 (a destra, volo CNR-IRPI Torino). Si noti la porzione frontale del Ghiacciaio Occidentale di Zebrù, ora parzialmente coperta dall'accumulo di frana.  $\Delta$  indica la Cima Thurwieser

### Utilizzazione dei dati rilevati

I dati rilevati dai modelli stereoscopici dei fotogrammi ripresi nel 1997 e 2005 hanno consentito la formazione di due modelli digitali del terreno relativi alla zona di distacco della frana, compresa fra quota 3650 m e quota 3250. Il rilevamento aerofotogrammetrico ha permesso anche la formazione

di due DTM, relativi ai voli (1997 e 2005), riguardanti la zona di accumulo compresa nella fascia altimetrica 3190 - 2250 m.

Per la zona di accumulo, utilizzando i fotogrammi 1997, sono stati rilevati alcuni DTM in modalità automatica sia nel posizionamento planimetrico che in quello altimetrico; per queste misure si è fatto uso di un'opzione del *software* DVP che consente la correlazione di immagine automatica.

I dati rilevati hanno consentito la determinazione del volume in roccia coinvolto dal distacco, che è risultato di 2.7 milioni m<sup>3</sup>, il volume dell'accumulo e il confronto fra misure di quota dirette eseguite dall'operatore con quelle eseguite in automatico. Non bisogna dimenticare l'ampia possibilità di descrizione grafica del fenomeno con rappresentazioni tridimensionali utilizzando l'abbondanza e la qualità delle informazioni plano-altimetriche.

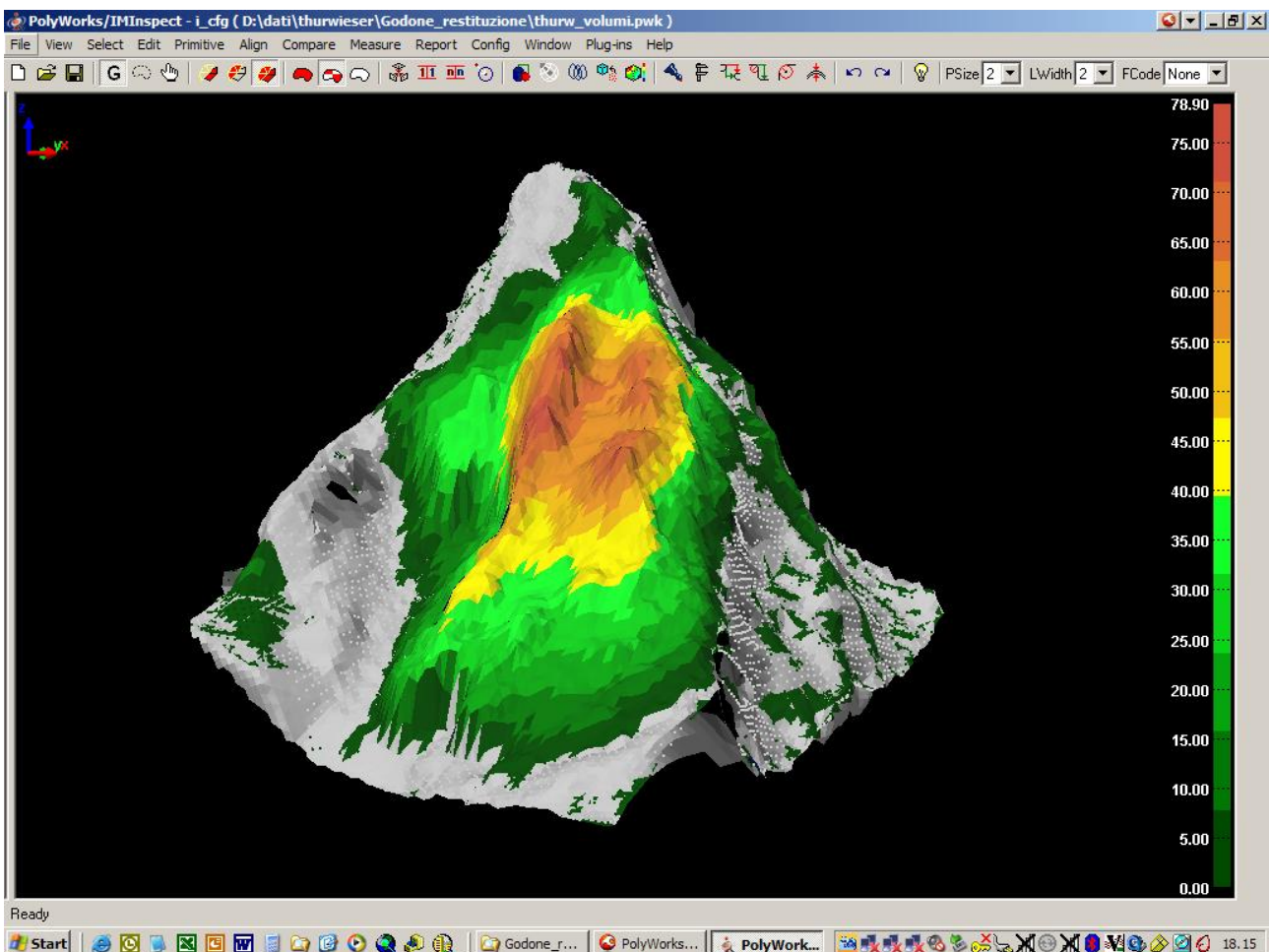


Fig. 3 – Rappresentazione tridimensionale della zona di distacco della frana e degli spessori della massa franata. La superficie rappresentata è quella precedente all'evento, mentre i colori rappresentano la distanza minima tra le superfici, con passo di 5 metri.

Il risultato sopra rappresentato è stato ottenuto costruendo i modelli a maglie triangolari relativi alle superfici pre- e post-frana mediante il modulo IMMerge del software Innovmetric Polyworks ([www.innovmetric.com](http://www.innovmetric.com)), a partire dai punti quotati ottenuti dalla restituzione fotogrammetrica. Successivamente le due superfici sono state importate nel modulo IMInspect del medesimo software, che consente di eseguire operazioni avanzate di manipolazione dei dati e confronto tra superfici, quale ad esempio la misura della distanza minima di ogni maglia della superficie considerata (in questo caso il 2005) rispetto a quella di riferimento (in questo caso il 1997). La misura del volume contenuto tra le due superfici ha consentito di valutare l'entità del volume

distaccatosi dalla parete, pari appunto a circa 2.7 milioni di m<sup>3</sup>. Questo dato, insieme al volume dell'accumulo, è tuttavia in attesa di ulteriori verifiche, anche in considerazione delle valutazioni fatte da altri autori, talora molto contrastanti (Bellingeri, Zini, 2005; Cola, 2005; Regione Lombardia, 2006; Tropeano et., 2006) ed ottenuti con approcci diversi.

Dal confronto del DTM restituito in modalità manuale e alcune aree campione in modalità automatica sono emersi differenti risultati illustrati nella seguente tabella:

	Area 1	Area 2	Area 3
Massimo (m)	8.29	11.50	30.06
Minimo (m)	-9.39	-8.22	-26.16
Media (m)	-1.80	-2.37	-1.78
SQM (m)	2.54	2.32	3.64
Entro soglia (%)	21.75	10.45	13.62

Figura 4 – Tabella riassuntiva degli scarti tra metodologie di restituzione (soglia di precisione 0.78 m)

### Conclusioni

Le modalità operative descritte in questo rapporto riguardano lo studio di un evento, avvenuto in ambiente alpino, difficilmente rilevabile con misure dirette.

La tecnica della fotogrammetria digitale permette il rilevamento di modelli digitali del terreno, descrivendone con dettaglio le evidenze morfologiche, facilitando la determinazione delle dimensioni dei fenomeni. In questo lavoro è stato possibile misurare la cubatura della massa in roccia nella zona di distacco, verificare la quantità del materiale accumulato ed inoltre controllare l'attendibilità delle misure fatte per la formazione di un DTM eseguite per restituzione diretta con quelle ottenute in modo completamente automatico.

### Notazioni

La scansione dei fotogrammi e il trattamento delle immagini digitali sono stati eseguiti con la collaborazione di P.G. Trebò.

### Bibliografia

Bellingeri D, Zini C. (2005), "Utilizzo di immagini Ikonos stereoscopiche per il monitoraggio dei ghiacciai e per la stima del volume di accumuli di frana". *Atti 9° Conf. Naz. ASITA* (Catania, 15-18 Nov. 2005), 285-289.

Cola G. (2005), "La grande frana della cresta Sud-Est della Punta Thurwieser (Thurwieser-spitze) 3658 m (Alta Valtellina, Italia). *Terra Glacialis*, 8: 9-37.

Regione Lombardia (2006), *Inventario dei fenomeni franosi in Lombardia*. Progetto IFFI in Collana Prevenzione Lombardia, 62-63.

Rozman J, Rožič A., Budkovič A., Budkovič T. (2004), "Rockfall in the southern wall of Punta Thurwieser (Italy) on September 18, 2004. *Geologija*, 47: 221-232.

Tropeano D, Luino F., Turconi L. (a cura di), *Eventi di piena e frana in Italia Settentrionale nel periodo 2002-2004*. Edizioni SMS, Torino, 158 pp. Pubbl. GNDCI n. 2911.