

# UTILIZZO DI IMMAGINI IKONOS STEREOSCOPICHE PER IL MONITORAGGIO DEI GHIACCIAI E PER LA STIMA DEL VOLUME DI ACCUMULI DI FRANA

Dario BELLINGERI, Enrico ZINI

ARPA Lombardia, Viale Restelli 3/1, Tel. 02 69666320, fax 02 69666259, [d.bellingeri@arpalombardia.it](mailto:d.bellingeri@arpalombardia.it)

## Riassunto

L'immagine IKONOS acquisita in modalità stereoscopica sulla Valfurva e sulla Val Zebrù il 27 settembre 2004 è stata utilizzata per effettuare il monitoraggio di due differenti aree glaciali sul Monte Sobretta e sul Monte Confinale e per stimare il volume dell'accumulo detritico della frana della Punta Thurwieser.

## Abstract

An IKONOS Stereo Bundle image acquired on 27th September 2004 over Valfurva and Val Zebrù (upper Valtellina, Lombardy) has been used to monitor the glacier of M. Sobretta and M. Confinale and to estimate the volume involved in Punta Thurwieser landslide.

## Introduzione

ARPA Lombardia ha avviato il monitoraggio di ghiacciai campione con tecniche di telerilevamento nell'estate del 2003, con l'acquisizione di una immagine satellitare ad alta risoluzione IKONOS in modalità stereoscopica sul Ghiacciaio dei Forni, che ha permesso la quantificazione dell'arretramento lineare e volumetrico del ghiacciaio.

L'immagine stereoscopica IKONOS acquisita il 27 settembre 2004 sull'area della Valfurva ha consentito di proseguire il monitoraggio su altri comprensori glaciali, con differenti caratteristiche geografiche. La stessa immagine, inoltre, ha consentito la stima del volume dell'accumulo della frana della Punta Thurwieser (Val Zebrù), avvenuta 9 giorni prima della ripresa satellitare.

L'immagine IKONOS utilizzata è stata acquisita in modalità STEREO Bundle, ovvero con acquisizione in stereoscopia sia delle bande multispettrali (4 metri di risoluzione geometrica) che della banda pancromatica (1 metro di risoluzione).

L'immagine riprende circa 90 Km<sup>2</sup> della porzione nord-occidentale della Lombardia, in particolare la Valfurva e, parzialmente, la Val Zebrù. L'acquisizione, originariamente programmata su un'area più ampia, è di interesse, nonostante la nuvolosità superiore al 20%, per effettuare il monitoraggio dei due comprensori glaciali del Monte Confinale e del Monte Sobretta e per stimare il volume dell'accumulo del materiale franato dalla Punta Thurwieser, il cui accumulo è visibile al margine delle due riprese stereoscopiche.

Nella figura seguente è schematizzata la localizzazione dell'area di studio e le diverse rilevanze analizzate.

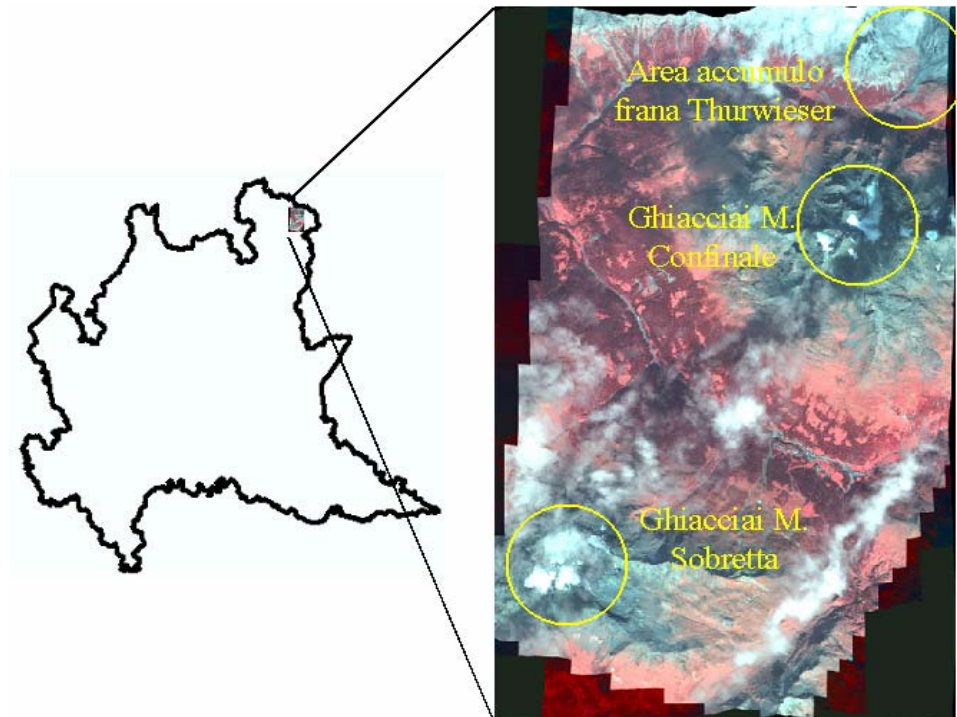


Figura 1: Localizzazione dell'area di studio e visualizzazione in sintesi IR falso colore dell'immagine IKONOS utilizzata.

### Pre-elaborazioni

Per meglio utilizzare l'immagine IKONOS anche solo dal punto di vista fotointerpretativo, è stata dapprima effettuata la fusione della banda pancromatica e delle bande multispettrali, in modo da sfruttare la migliore risoluzione geometrica unitamente al contenuto informativo dei quattro canali centrati nel blu, verde, rosso e vicino infrarosso (ERDAS Imagine, metodo Pan sharpening).

Per condurre tutte le operazioni di monitoraggio "lineare", come l'arretramento lineare ed areale dei ghiacciai, l'immagine è stata ortoproiettata al fine di poterla sovrapporre e confrontare ad altri strati tematici (carte tecniche, ortofoto). Per questa operazione è stata selezionata l'immagine più nadirale della coppia stereoscopica, al fine di minimizzare le distorsioni geometriche, utilizzando il modulo OrthoBase Pro di ERDAS Imagine. Sempre con questo modulo, è stata elaborata la coppia stereoscopica per la predisposizione del *block file*, ovvero per effettuare l'orientamento relativo ed assoluto della stereocoppia IKONOS, passaggio necessario per la fase successiva di stereorestituzione digitale.

Al termine di questa fase, infatti, è possibile ricostruire la morfologia degli oggetti ripresi acquisendo punti quotati tramite stereorestituzione a video (ERDAS StereoAnalyst).

Viene qui sinteticamente presentata la valutazione dell'accuratezza di questa fase dell'elaborazione, effettuata leggendo a video la quota di 15 punti indipendenti (non utilizzati per la predisposizione del *block file*) ben identificabili sulle immagini e sulla Carta Tecnica Regionale e confrontandone la quota reale e stimata. Sono stati selezionati punti quotati ben distribuiti sull'immagine e ad altitudini variabili fra i 1355 ed i 2295 metri (figura 2). Lo scarto assoluto massimo non supera i 2,5 metri, e non appaiono relazioni significative fra scarto e quota. Questi valori di accuratezza valgono per i singoli punti individuati, mentre è più difficile stimare l'errore dei modelli digitali derivanti dall'interpolazione dei singoli punti, essendo questo dipendente dalla densità dei punti e dal metodo di interpolazione.

Quota reale	Quota stimata
1355,7	1354,5
1378,0	1377,9
1550,9	1548,8
1480,9	1481,5
1773,5	1772,3
1796,0	1795,2
1732,5	1731,9
1757,8	1756,8
1847,9	1847,0
2116,6	2116,5
2228,2	2229,3
2087,0	2087,8
2294,8	2295,0
1866,0	1864,6
2757,0	2756,8

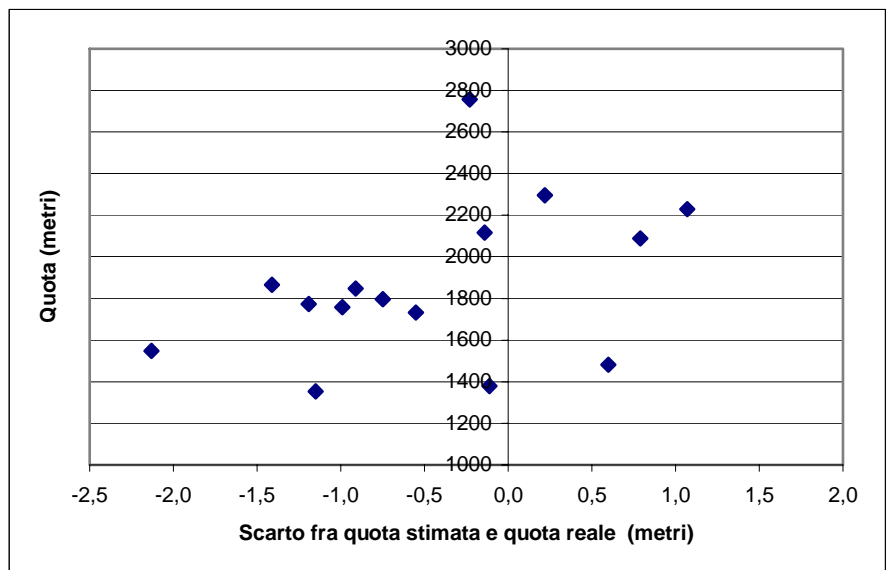


Figura 2: Scarto fra quota reale e stimata a video utilizzando la stereocoppia IKONOS, per 15 punti campione.

## Risultati

### *Monitoraggio dei ghiacciai vallivi e di circo dei M. Sobretta e M. Confinale*

L'interesse di ARPA Lombardia per il monitoraggio dei ghiacciai si inserisce nel contesto della valutazione generale del bilancio idrico a livello regionale e di singoli bacini idrografici, e come indicatore degli effetti a scala locale dei cambiamenti climatici.

L'esperienza avviata nel 2003 sul ghiacciaio dei Forni è proseguita quindi con l'acquisizione del 2004 sui due comprensori glaciali del Monte Sobretta e del Monte Confinale, che sono dotati di caratteristiche peculiari, essendo formati da piccoli ghiacciai vallivi o di circo, e per questo più sensibili alle variazioni climatiche.

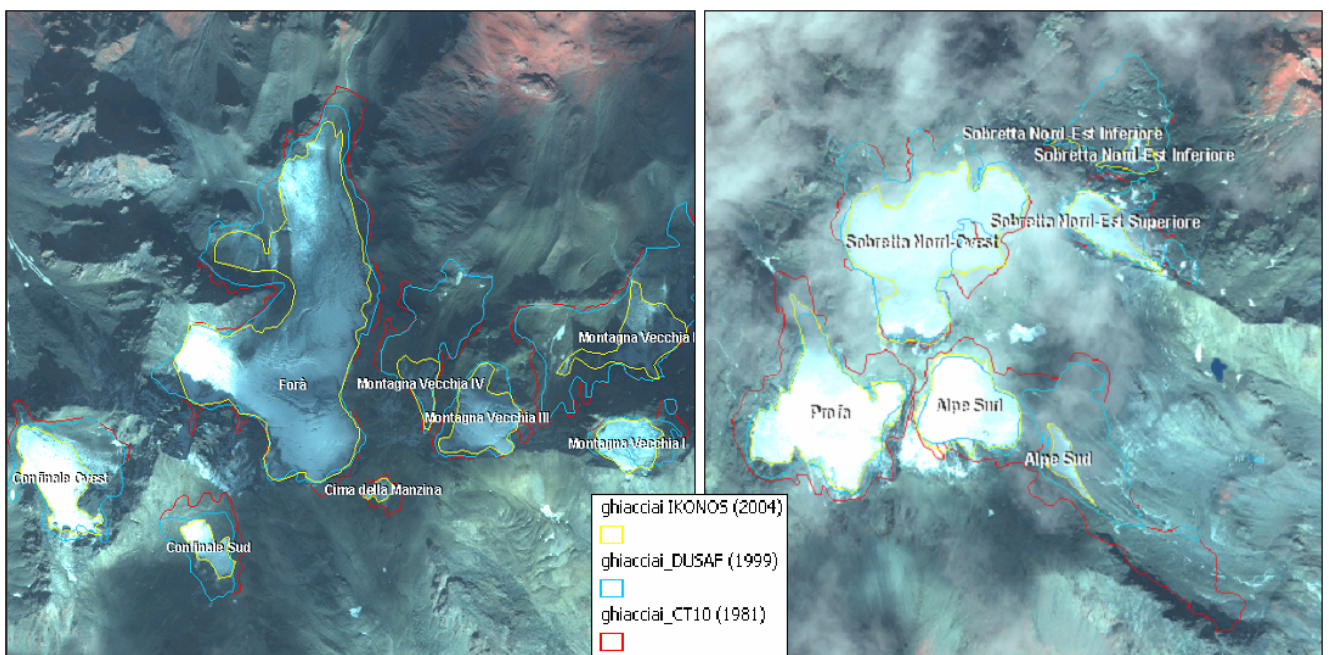


Figura 3: Analisi delle variazioni areali di piccoli ghiacciai vallivi e di circo sul Monte Confinale (a sinistra) e sul Monte Sobretta (a destra), Valfurva. Immagine IKONOS del 27/9/2004.

Dal confronto dei limiti glaciali delineati sulle immagini IKONOS, con i limiti delineati nella Carta Tecnica Regionale del 1981 e nella cartografia DUSAF (derivata da fotointerpretazione delle riprese aeree del 1999), emergono notevoli arretramenti areali (sintetizzati nella tabella seguente).

Tabella 1: Variazioni areali dei comprensori glaciali investigati, nel 1981, 1999 e 2004.

Anno	Fonte	Ghiacciai Monte Confinale	Ghiacciai Monte Sobretta
		Confinale Ovest e Sud, Forà, Cima Manzina, Montagna Vecchia I,II,III,IV	Sobretta N-O e N-E, Profa, Alpe Sud
1981	Carta Tecnica Regionale	120 ha	135 ha
1999	Cartografia DUSAF	107 ha	95 ha
2004	Immagini IKONOS	64 ha	63 ha

Attualmente, è in corso l'elaborazione della stereocoppia IKONOS al fine di ricostruire i modelli digitali del terreno aggiornati dei ghiacciai per stimarne non solo l'arretramento lineare ed areale, ma anche quello volumetrico. La procedura seguita è analoga a quella utilizzata per ricostruire il DEM del Ghiacciaio dei Forni utilizzando la stereocoppia IKONOS ripresa il 7 agosto 2003.

#### *Stima del volume dell'accumulo della frana della Punta Thurwieser*

La frana della Thurwieser è avvenuta il 18 settembre 2004 attorno alle 13.40. Il collasso ha interessato parte del versante Sud della Punta Thurwieser (quota 3657,6 della Carta Tecnica Regionale), tra le quote 3.250 e 3.600 circa.

La pendenza elevata e la presenza di una lingua glaciale nella zona immediatamente a valle della zona di distacco hanno determinato uno scarso accumulo di materiale detritico che è invece traslato verso le quote minori. Il materiale di frana staccatosi dalla Punta Thurwieser ha percorso non meno di 2,6 Km, arrestandosi all'interno dell'alveo del Rio Marè, portando ad un cospicuo deposito di detriti soprattutto in prossimità della base del vallone. Il fronte dei materiali di caduta si è in massima parte fermato intorno a quota 2.220, ovvero 300 metri a monte della località Baita del Pastore. Nella figura seguente è visibile l'area interessata prima e dopo l'evento, rispettivamente nelle ortofoto IT2000 e nell'immagine IKONOS del 27 settembre 2004.

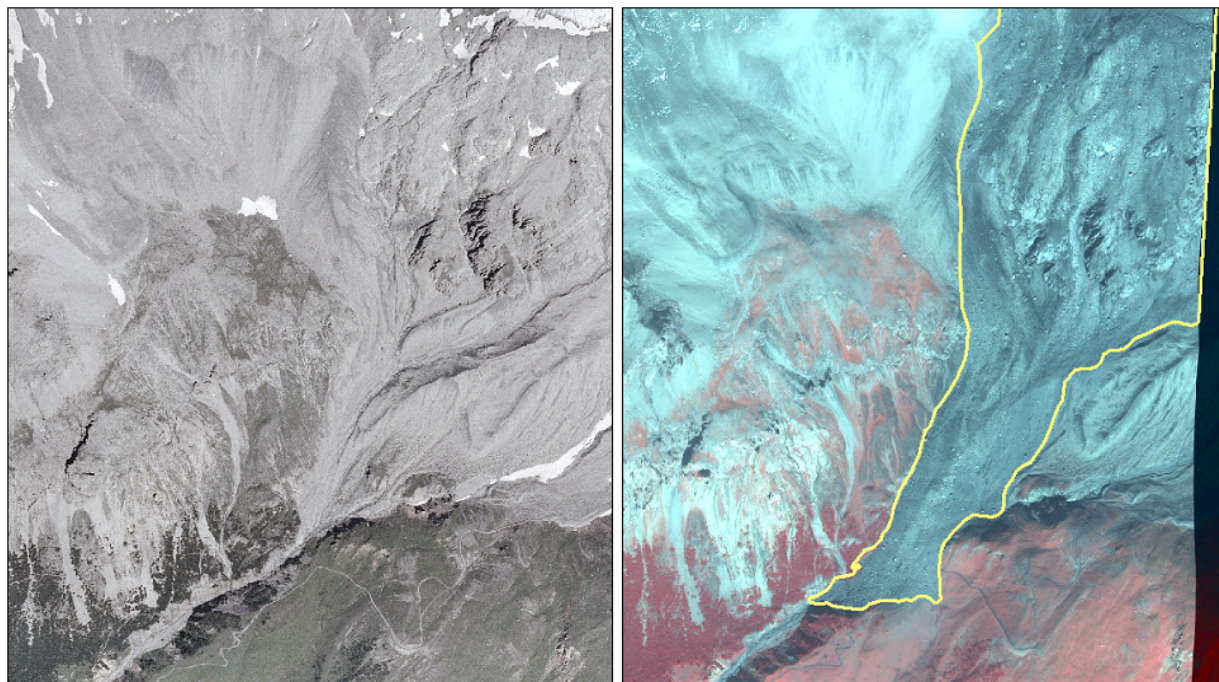


Figura 4: Area di accumulo della frana della Punta Thurwieser prima (sin: Ortofoto IT2000) e dopo (destra, immagine IKONOS in sintesi IR falso colore) l'evento.

Utilizzando il software StereoAnalyst è stata stimata la quota di oltre 660 punti sulla zona di accumulo franoso e nella zona immediatamente laterale al deposito, principalmente individuando singoli blocchi rocciosi sulle due immagini della stereocoppia.

Utilizzando tali punti quotati e le curve di livello della zona laterale non interessata dalla frana, è stato ricostruito il modello digitale del terreno dell'area, con passo di 10 metri (con il modulo "3D Surfacing" di ERDAS). Tale modello è stato quindi confrontato con il DTM ante-frana (ricostruito, con lo stesso griglia, utilizzando solamente le curve di livello). In figura 5 è riassunto l'intero processo.

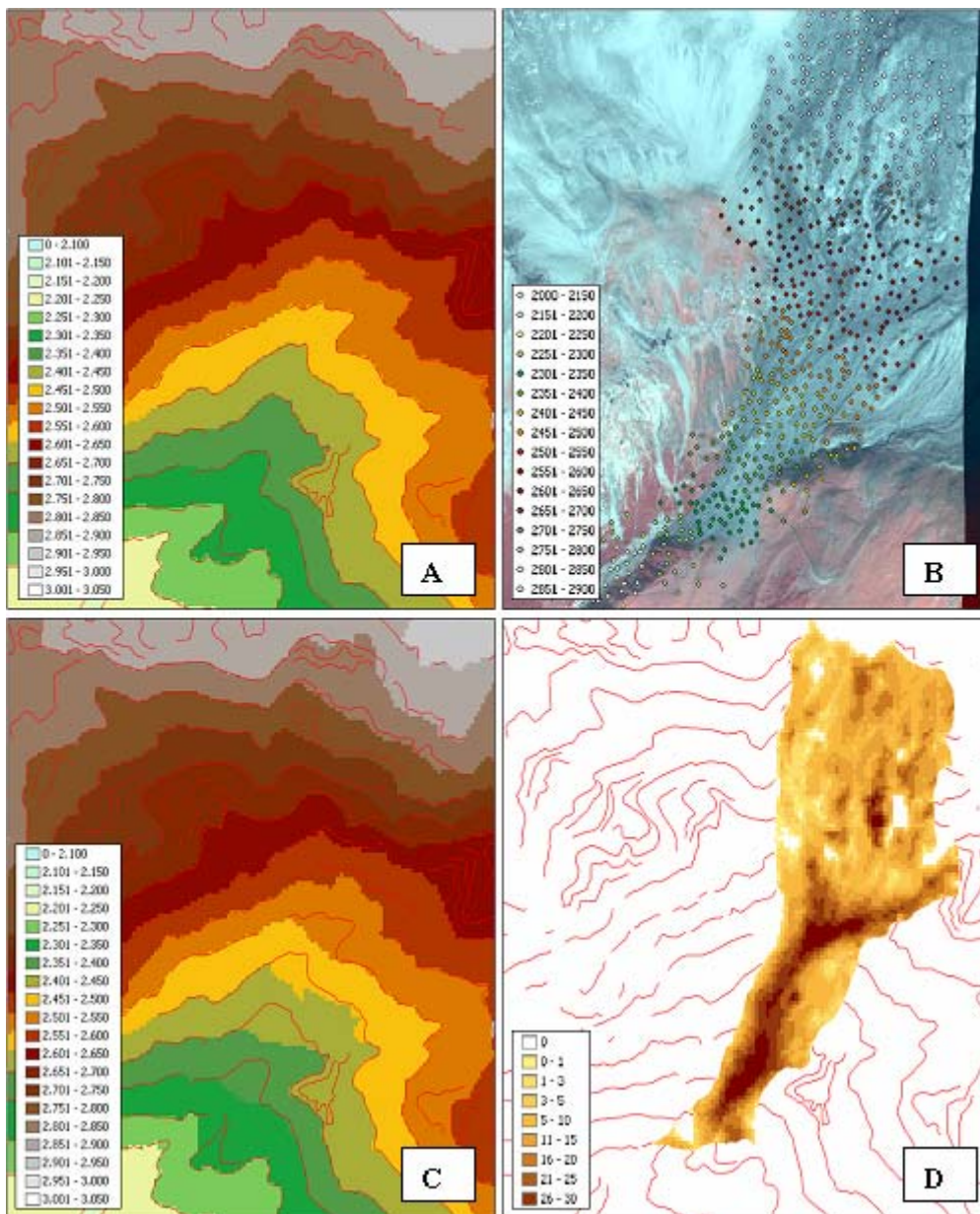


Figura 5: Ricostruzione del modello digitale del terreno. A: DTM pre-frana (solo con curve di livello); B: individuazione dei punti quotati sull'accumulo; C: DTM post- frana (ottenuto interpolando punti quotati e curve di livello dell'area esterna); D: mappa degli spessori stimati dell'accumulo di frana, ottenuta per differenza (valori espressi in metri).

L'area di accumulo investigata è di 440.000 metri quadrati, il volume totale stimato dell'accumulo di frana è di circa 2.900.000 metri cubi, per uno spessore medio di circa 6,8 metri (con punte che sfiorano i 30 metri nella zona dell'ex alveo del Rio Marè). Tali valori sono compatibili con le stime effettuate in campo.

In figura 6 sono visibili due diverse ricostruzioni prospettiche dell'area, prima e dopo la frana.

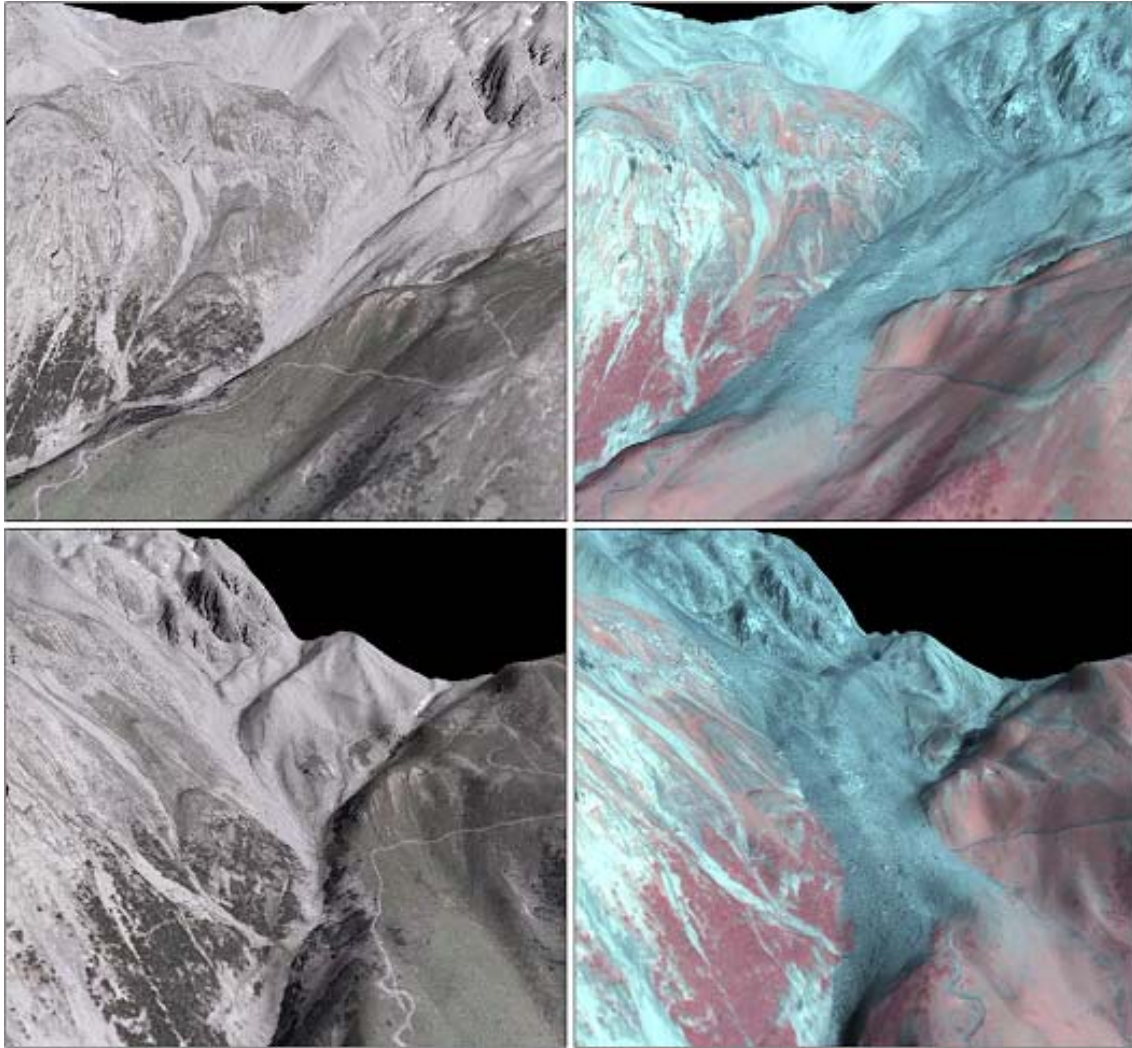


Figura 6: Ricostruzioni tridimensionali, ottenute sovrapponendo le ortofoto digitali e l'immagine IKONOS, rispettivamente prima (a sinistra) e dopo (a destra) l'evento franoso.

### Conclusioni

Le immagini ad alta risoluzione geometrica IKONOS, acquisite in modalità stereoscopica sulla Valfurva e sulla Val Zebrù, si sono dimostrate un valido strumento ai fini del monitoraggio delle variazioni lineari ed areali dei comprensori glaciali del Monte Sobretta e del Monte Confinale. Per entrambi i comprensori sono stati misurati riduzioni dell'estensione glaciale di circa il 50% rispetto al 1981, confermando l'ipotesi che questi ghiacciai vallivi e di circo, essendo di dimensioni ridotte, sono particolarmente sensibili alle variazioni climatiche.

Lo stesso dato satellitare ha consentito la stima del volume dell'accumulo detritico a seguito della frana della Punta Thurwieser, avvenuto solo 9 giorni prima della ripresa delle immagini.

### Bibliografia

- Bellingeri et al., (2004), "Utilizzo di immagini satellitari a media risoluzione e di immagini IKONOS stereoscopiche per il monitoraggio del manto nevoso e dei ghiacciai", *Atti della 8° Conferenza Nazionale ASITA*, Roma
- Bellingeri et al., (2005), "Planimetric and volumetric glacier monitoring with IKONOS high spatial resolution stereoscopic images", *9<sup>th</sup> Alpine Glaciological Meeting*, Milano
- Grodecki et al., (2003), "Error propagation in block adjustment of high resolution satellite images", *ASPRS 2003 Annual Conference Proceedings*, Anchorage, Alaska