

Integrazione di geomática e geomorfologia per l'analisi delle morfostrutture e delle deformazioni gravitative profonde di versante. Applicazioni in Valle di Susa (Alpi Occidentali)

Geomatics-Geomorphology integration for the analysis of morphostructures and deep-seated gravitational slope deformations. Application in the Susa Valley (Western Alps)

GIARDINO M. (*), ALBERTO W. (*), PEROTTI L. (*)

RIASSUNTO - L'evoluzione recente del paesaggio alpino risente tipicamente dell'azione di fattori esogeni (il clima): nondimeno l'attività di fattori endogeni svolge un ruolo molto importante. L'assetto lito-strutturale determina di per sé un condizionamento di tipo statico alla morfologia del rilievo montuoso, mentre le deformazioni tettoniche, che si possono propagare fino in superficie secondo diversi meccanismi e velocità, offrono un condizionamento "dinamico" alla scala regionale, in funzione dei cambiamenti nel tempo dei campi di stress. Per l'analisi dell'evoluzione del rilievo, risulta fondamentale il rapporto tra i tassi della deformazione e la velocità del modellamento: questo comporta una approfondita analisi di tipo multitemporale e multispaziale.

In Valle di Susa è stata effettuato uno studio sistematico dei casi a partire dall'attivazione di singole frane ad evoluzione rapida in risposta al particolare assetto strutturale, fino al generalizzato processo di migrazione dello spartiacque principale della catena in atto dalla fine del Pliocene. Lo studio ha compreso il rilevamento geomorfologico dell'area, l'organizzazione dei dati così raccolti in un *geodatabase* collegato ad un *GIS* (*Geographic Information System*), mediante il quale è stato possibile effettuare valutazioni qualitative e quantitative delle modificazioni subite dalla superficie topografica

nei tempi più recenti.

Le modalità generali di indagine hanno comportato da un lato l'analisi di ampie aree per il riconoscimento delle tendenze generali dell'evoluzione del rilievo, dall'altro misure ripetute nel tempo su settori ristretti per la definizione dei movimenti locali. L'analisi geomorfologica dell'anfiteatro morenico valsusino è stata effettuata attraverso l'impiego di modelli digitali del terreno (DSM-DEM) per la ricostruzione della dinamica glaciale. Per lo studio dei fenomeni franosi recenti ed in atto sono state utilizzate immagini iperspettrali ad alta risoluzione (sensore MIVIS).

PAROLE CHIAVE: geomática, geomorfologia, deformazioni gravitative profonde di versante, DSM-ASTER, MIVIS, Alpi Occidentali.

ABSTRACT - The history of the alpine landscape is subject to the action of exogenic processes as well as of endogenic ones in its time evolution. An integration of traditional geomorphological and innovative geomatics methods has been applied for a better evaluation of stages in the landscape evolution and rates of geomorphic processes. The litho-structural features determine a "static" condi-

(*) Università degli Studi di Torino, Dipartimento di Scienze della Terra, Via Valperga Caluso 35, 10125 Torino
marco.giardino@unito.it

tioning to the evolution on the mountain relief, while the tectonic deformations, eventually propagating up to the surface according to different mechanisms and rates, offer a “dynamic” conditioning to the evolution at a regional scale, based on the temporal changes of the stress field. For the landscape analysis, it is important to investigate the relationships between deformational and modelling rates: this implicates a deepened multitemporal and multispatial analysis. This way, in the Susa Valley it has been possible to range over the single rapid mass movement activation due to particular structural features, and the generalized process of migration of the main watershed from the Late Pliocene.

The Geomatics methods have been essential for the study of the Susa Valley landscape and the reconstruction of the whole geomorphological aspects, multitemporal and multispatial ones. Regarding the most recent evolutionary phases, these modern techniques allow a qualitative and quantitative evaluation of the topographical surface changes.

Two research lines have been started: the first one includes the wide areas analysis for the general recognition in terms of relief evolution of the internal side of the NW-Alps, the second one is devoted to the repeated measurements in time on single Susa Valley sectors for local slopes’ movements identification. Particularly, the geological-geomorphological analysis of the Susa Valley and the Rivoli-Avigliana morainic amphitheatre has been effected throughout the use of digital terrain models for the reconstruction of the glacial dynamics. The usage of high resolution hyperspectral images (MIVIS sensor) were proposed for the analysis and the classification of the recent and present-day superficial landslide phenomena.

KEYWORDS: geomatics, geomorphology, deep-seated gravitational slope deformation, DSM-ASTER, MIVIS, Western Alps.

1. - INTRODUZIONE

Nella ricostruzione dell’evoluzione geomorfologica di un rilievo montuoso in generale e di una valle alpina in particolare è necessario considerare il ruolo che numerosi fattori svolgono simultaneamente o in successione nel tempo. Infatti, le variazioni nell’aspetto del paesaggio derivano principalmente dalla risultante della composizione di tre condizionamenti: 1) gli agenti esogeni, la cui azione viene strettamente correlata al clima e alle sue modificazioni; 2) la “struttura”, intesa come la componente statica dell’assetto geologico di un’area; 3) gli agenti endogeni, intesi come attività geodinamica e quindi come componente attiva alla morfogenesi.

In generale è assai difficile poter discernere il peso che ogni singolo condizionamento mostra di aver avuto nel modellamento di un’area, tant’è che, se il primo “fattore” viene classicamente ritenuto il principale condizionamento

nella morfogenesi, gli altri due “fattori”, e in particolare l’ultimo, sono in genere scarsamente considerati (CARRARO & FERRARINO, 1982).

La Valle di Susa è stata oggetto di numerosi studi diretti alla ricostruzione della sua evoluzione geologica e, per quanto riguarda la storia post-glaciale, anche dell’evoluzione geomorfologica; questo settore delle Alpi Occidentali (fig. 1) si candida dunque per essere un macrolaboratorio dove testare la validità e i campi di impiego di alcune metodologie di indagine che le nuove tecnologie stanno rendendo sempre più facilmente ed economicamente utilizzabili.

Nella Valle affiora uno spaccato di catena alpina rappresentato essenzialmente dal Dominio Pennidico, composto da unità di mantello e di crosta profonda, di crosta oceanica e continentale impilate e deformate dall’orogenesi alpina. Benché l’esumazione di queste rocce sia cominciata in tempi remoti, il paesaggio oggi visibile è frutto della storia geologica e geomorfologica tardo pliocenico-quadernaria, come indicato da alcuni *marker* sedimentari (distribuzione dei depositi Villafranchiani, età delle forme e dei depositi glaciali, CARRARO *et alii*, 2005).

L’evoluzione del rilievo durante questo periodo è stata guidata, oltre che dal fattore climatico, anche dall’evoluzione delle strutture neotettoniche e, in primo luogo, dal sollevamento isostatico generalizzato della catena, responsabile dell’“incastramento” delle forme più recenti in quelle più antiche. L’effetto più evidente comprende le tracce degli antichi fondovalle glaciali conservati sui fianchi della Valle di Susa a quote sempre maggiori in funzione dell’età. Inoltre, l’attività tettonica sin-morfogenetica ha determinato l’assetto dei principali elementi geomorfologici parallelo alle strutture tettoniche; alcuni segmenti vallivi della Valle di Susa (tra Gravera e Oulx) e dell’adiacente Val Chisone (tra Fenestrelle e Sestriere) sono infatti orientati in direzione N60°E, cioè allineati alla principale struttura deformativa locale, rappresentata da una fascia di deformazione plurichilometrica, denominata *Susa-Chisone Shear Zone* (SCSZ – GIARDINO & POLINO, 1997). Ad essa è stato attribuito un carattere transtensivo che coinvolge un ampio settore dello spartiacque tra le valli Susa e Chisone (POLINO *et alii*, 2002); l’attività neotettonica che si concentra lungo queste direttrici produce settori ben poco conservativi dal punto di vista geomorfologico “esogeno”.

Il particolare assetto strutturale della SCSZ, unitamente alle scadenti caratteristiche geomecchaniche dei calcescisti in cui questa è impostata, determina lo sviluppo di imponenti deformazioni gravitative profonde di versante (NEMČOK, 1972; MORTARA & SORZANA, 1987; CROSTA, 1996) lungo entrambi i fianchi della dorsale Susa-Chisone. Questi fenomeni si realizzano attraverso lenti movimenti (dell'ordine del cm/anno) e mostrano di evolvere per lunghissimi periodi (migliaia di anni) durante i quali si alternano fasi di relativa stabilità a fasi parossistiche che talvolta possono portare a frane catastrofiche.

Nel caso specifico della Valle di Susa è ben evidente la coesistenza di settori contraddistinti da differenti velocità di evoluzione (GIARDINO *et alii*, 2004a). In base alla stretta relazione esistente tra le dimensioni temporale e spaziale a cui avvengono i cambiamenti nelle forme terrestri (SUMMERFIELD, 1991), risulta quindi utile uno studio delle forme e dei processi caratteristici di questo settore del rilievo alpino che ne evidenzia una classificazione dimensionale, anche attraverso l'uso integrato di metodi tradizionali geomorfologici ed innovativi geomatici.

2. - METODOLOGIA

Come accennato, le modificazioni del rilievo alpino avvengono secondo tassi di evoluzione molto vari e interessano porzioni di crosta terrestre di dimensioni differenti. Quindi, il riconoscimento, la quantificazione e il monitoraggio dei movimenti trova nelle ampie superfici coinvolte e nei piccoli spostamenti aspetti problematici oggettivamente difficili da superare con le tecniche di analisi tradizionali (rilevamento geologico di terreno, fotointerpretazione analogica); a questo si aggiungono le difficoltà di accesso ai siti di indagine, risolte solo in parte con l'interpretazione delle foto aeree tradizionali.

In questi ultimi anni la Geomatica ha introdotto cambiamenti radicali nelle metodologie di studio geomorfologico, prevalentemente in relazione all'impiego dei dati digitali. In particolare si sono sviluppati nuovi metodi di analisi e di rappresentazione del territorio ma anche del dato di rilevamento, nella prospettiva, soprattutto, di integrare i dati di terreno con quelli telerilevati, per ot-

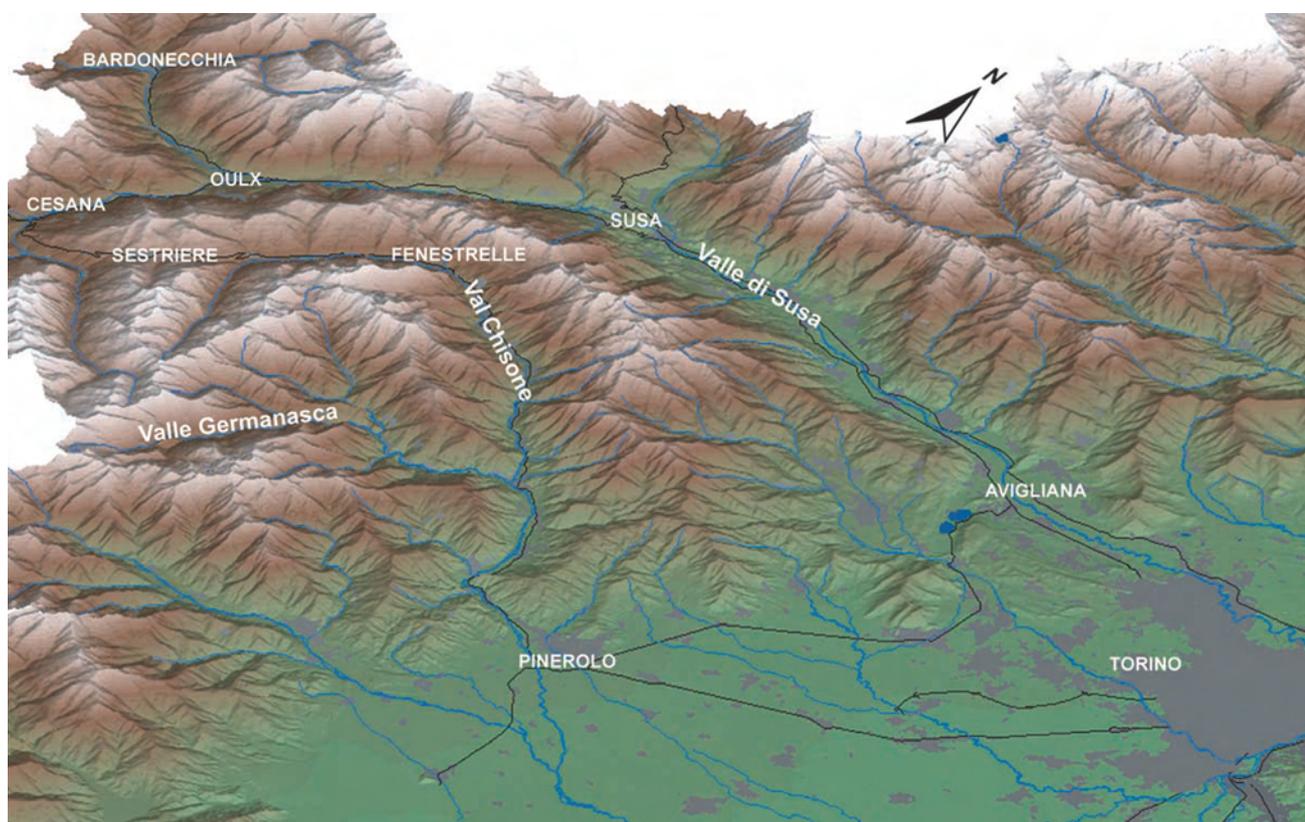


Fig. 1 - La Valle di Susa, un importante sistema di drenaggio delle Alpi Occidentali; questa rappresentazione è stata creata a partire dal DSM prodotto dall'immagine ASTER.
 - The Susa Valley, an important drainage system of the N-W Alps; this representation has been created beginning from the DSM produced by the Aster stereo image.

tenere interpretazioni e rappresentazioni del territorio sempre più “reali”.

Per lo studio di alcune grandi morfostrutture alpine, ad esempio l'anfiteatro morenico di Rivoli-Avigliana, è risultato estremamente efficace l'utilizzo di un modello digitale del terreno (DEM), creato a partire da immagini satellitari e quindi rappresentativo della superficie reale (DSM - *Digital Surface Model*); in questo modo è stato possibile effettuare osservazioni morfologiche su ampie aree esaltando alcune caratteristiche quali l'altimetria, l'esposizione dei versanti, etc. che sono state indispensabili per il riconoscimento e soprattutto per la rappresentazione di forme altrimenti poco evidenti.

Per scopi più applicativi, altre tecniche di indagine, quali ad esempio la fotogrammetria digitale (BOCCARDO *et alii*, 2004b; BORGOGNO MONDINO *et alii*, 2004) e il telerilevamento iperspettrale, offrono una valutazione quantitativa di parametri morfologici e ambientali; la seconda tecnica permette di raccogliere informazioni sulla superficie terrestre basandosi sulla registrazione su 102 bande spettrali della riflettività; nel caso delle immagini MIVIS (*Multi-spectral Infrared Visible Imaging Spectrometer*), dalla sintesi di particolari combinazioni di bande acquisite è possibile ottenere un gran numero di risposte diverse relative a diversi fattori ambientali (litologia, vegetazione, umidità, etc.), molte delle quali sono ancora, tuttavia, da conformare a uno standard (GIARDINO *et alii*, 2004b).

2.1. - IL DEM ASTER: L'ANFITEATRO MORENICO DI RIVOLI-AVIGLIANA

L'anfiteatro morenico di Rivoli-Avigliana (di seguito AMRA) si è originato dalla deposizione di materiale trasportato dal grande ghiacciaio della Val di Susa durante le sue fasi di massima espansione pleistoceniche. L'anfiteatro ha una struttura complessa legata alla sovrapposizione di archi morenici di età diversa, la formazione dei quali è stata intervallata a fasi di erosione e di diversione del corso d'acqua proglaciale. A complicare il quadro ha inoltre contribuito l'evoluzione neotettonica dell'area, condizionata dall'attività della Linea del Canavese che borda il rilievo alpino occidentale verso la pianura e dalla diversa mobilità verticale dei blocchi della catena alpina occidentale in sollevamento.

L'AMRA ha una sua identità morfologica ben definita sul versante interno mentre, su quello esterno, i depositi glaciali risultano interdigitati con quelli fluvio-glaciali; inoltre, la forte antropizzazione dell'area (che comprende parte della cintura di Torino) maschera talvolta l'assetto morfologico naturale.

La natura geologica dell'anfiteatro è stata riconosciuta già alla fine del XIX secolo e analizzata in dettaglio all'inizio del 1900 (SACCO, 1921, fig. 2); il lavoro è sempre stato complicato dalla grande estensione della morfostruttura, dall'antropizzazione e dalla vegetazione.

Oggi, tramite l'utilizzo dei dati digitali, ad esempio di immagini da satellite e dati nu-

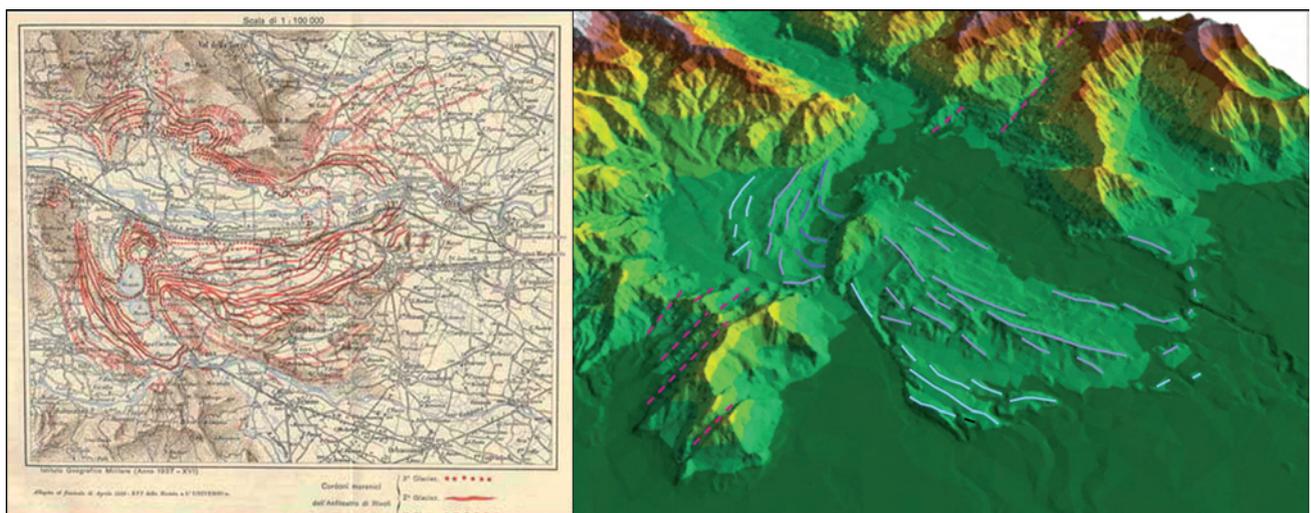


Fig. 2 - L'Anfiteatro Morenico di Rivoli-Avigliana; a sinistra la carta di Sacco (1921), a destra il DSM dello stesso territorio, rappresentato in falsi colori, dove è possibile riconoscere più facilmente le grandi morfostrutture e il condizionamento operato dalla struttura.
 - The Rivoli-Avigliana Morainic amphitheater; left, the sheet of Sacco (1921) - right, the DSM of the same territory, represented in false colors, where possible to recognize more easily the great morphostructures and the conditioning operated by the geology.

merici della zona dell'anfiteatro è possibile, con l'ausilio di *software* specifici, elaborare i dati per ottenere carte tematiche e visioni tridimensionali che aiutino a comprendere l'evoluzione del rilievo. Nel caso specifico è stata utilizzata una immagine satellitare acquisita dal sensore ASTER, posto sulla piattaforma Terra. Questo sensore consente di acquisire sistematicamente coppie stereo nella banda dell'IR vicino in modalità stereoscopica *along-track* attraverso due ottiche fisse uguali ma orientate secondo angoli di vista pari a 0° (*nadir view*) e $27,6^\circ$ (*backward view*, fig. 3). Le immagini multispettrali acquisite sono caratterizzate da una risoluzione geometrica variabile da 15 a 90 metri, con una ampiezza dello spettro radiometrico variabile tra $0,556$ e $11,32 \mu\text{m}$. (VIS-Termico) e una zona di acquisizione di 60×60 km. Dall'elaborazione delle immagini è stato prodotto un DSM, ovvero un modello digitale di superficie in cui le quote riportate si riferiscono al terreno solo laddove questo non sia ricoperto da oggetti quali vegetazione, edifici o infrastrutture; Da questo è stato possibile creare diverse prospettive dell'anfiteatro da vari punti di vista, estremamente utili sotto l'aspetto didattico e scientifico (AIGOTTI *et alii*, 2001).

Ai fini della generazione dei DSM è stato utilizzato un *software* commerciale, il DEM ASTER, scritto in linguaggio IDL e inserito come modulo aggiuntivo di ENVI. È stato quindi creato un Modello del Terreno con un passo di 15 m che è stato successivamente elaborato per ricavare alcuni tematismi (carta delle pendenze, *hillshade*, etc.). Il prodotto generato ha una buona accuratezza soprattutto per quello che riguarda l'approssimazione delle forme, anche se la precisione finale del dato è fortemente dipendente dalla morfologia del terreno (BOCCARDO *et alii*, 2004); in ogni caso questo tipo di dato soddisfa pienamente le esigenze di una rappresentazione tridimensionale di partenza. La suddivisione in fasce altimetriche permette di depurare l'immagine da ogni altro segno grafico in modo da mostrare esclusivamente l'aspetto morfologico senza interferenze di cromatismi legati alla vegetazione e all'antropizzazione. Essa garantisce inoltre un livello di interpretazione delle forme glaciali tipiche dell'AMRA molto superiore rispetto ad esempio alla sola lettura delle carte. In definitiva, si tratta di un metodo rapido, relativamente economico e contraddistinto da una buona accuratezza nella rappresentazione delle forme del rilievo, un ottimo strumento da affiancare al rilevamento di terreno; inoltre con questo metodo è possibile

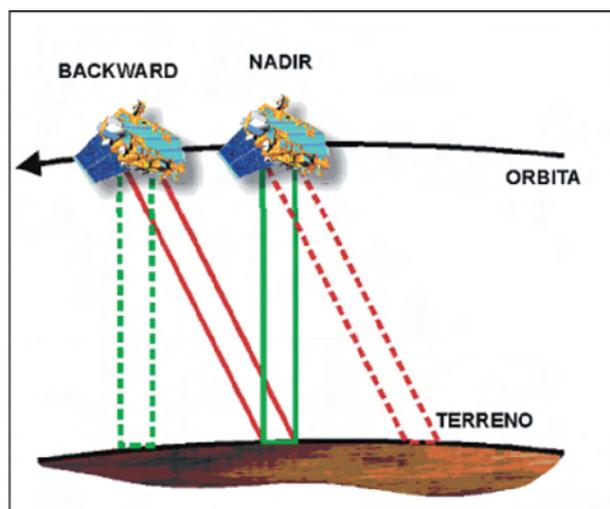


Fig. 3 - Schema di acquisizione stereoscopica della piattaforma Terra (Aster).
- Scheme of stereoscopic capabilities of the Terra platform (Aster sensor).

rappresentare qualsiasi settore della superficie terrestre, anche inaccessibile e/o privo di cartografia di base, in cui le dimensioni massime degli elementi morfologici da analizzare siano medio grandi. Al contrario, il limite maggiore resta legato al fatto che il modello generato con queste procedure automatiche contiene, nella sua rappresentazione, anche gli oggetti posti sopra la superficie (case, alberi, etc.).

2.2. - LE IMMAGINI MIVIS: IL CASO DELLA FRANA DEL CASSAS

La frana del Cassas (fig. 4) si trova sul versante destro della media Valle di Susa, nel territorio comunale di Salbertrand e nel Parco Regionale del Gran Bosco di Salbertrand; al suo piede si trovano importanti vie di comunicazione con la Francia: l'autostrada A32, che collega Torino al tunnel del Frejus, la storica ferrovia Torino-Modane e la strada statale 24 "del Monginevro". La frana si inquadra in uno stato di generale instabilità del versante, che dà luogo a differenti tipologie di dissesto caratterizzate da velocità di movimento estremamente variabili. L'attività dei fenomeni gravitativi è storicamente documentata, oltre che da evidenze geologiche-geomorfologiche, da numerosi dati d'archivio (testimonianze, Atti di Visita, relazioni tecniche) a partire dal XVII secolo.

Nel dettaglio, la frana del Cassas si inserisce in quadro di deformazione gravitativa che coinvolge ampiamente lo spartiacque Susa-Chisone, lungo il quale si sviluppano imponenti Deformazioni Gravitative Profonde



Fig. 4 - La frana del Cassas. Vista della media Valle di Susa verso valle: la presenza di più fenomeni gravitativi contrapposti ha determinato nel tempo il ripetuto sbarramento della Dora Riparia.
 - The Cassas landslide. W-E line of sight toward valley: the presence of some contrasted DSGSD phenomena has determined in the time the repeated obstruction of the Dora Riparia river.

di Versante, estese per decine di km². Il movimento ripetuto del versante in località Cassas, in concomitanza con l'attività dell'adiacente deformazione gravitativa di "Testa del Mottas" e di quella sul versante opposto di "Serre la Voute", ha determinato nel tempo ripetuti sbarramenti della Dora Riparia, con formazione di temporanei bacini lacustri il cui *top* deposizionale è oggi riconoscibile nella piana di Salbertrand. Lo stesso toponimo "Cassas", con cui già anticamente si indicava il versante, potrebbe essere riconducibile al termine francese *casser* (rompere) e quindi riferibile alla produzione e all'accumulo di detriti (BROVERO *et alii*, 1996).

L'utilizzo di dati iperspettrali (come quelli del sensore MIVIS) in aggiunta a tecniche più consolidate di telerilevamento quali la classificazione assistita e le sintesi additive, si è rivelato particolarmente efficace e molto promettente per lo studio di fenomeni franosi di questo tipo. Il sensore MIVIS, sviluppato dal CNR-LARA, è basato sulla tecnica di acquisizione *whiskbroom* (a scansione puntuale), registra 102 bande spettrali dal visibile sino all'infrarosso termico (tab. 1) ma presenta, nel dato grezzo, forti deformazioni. Solo dopo opportune pre-elaborazioni geometriche (dirette all'orto-proiezione delle immagini e all'omogeneizzazione dell'errore a monte dell'analisi), il dato può risultare di grande utilità per applicazioni geomorfologiche. Bisogna comunque tenere presente la buona qualità geometrica delle immagini MIVIS, il cui *pixel* ha le dimensioni

TAB. 1 - Caratteristiche del sensore Mivis.
 - MIVIS sensor characteristics.

Spettrometro	Bande	Canali	Limite inferiore (nm)	Limite superiore (nm)	Larghezza della banda (nm)
1	1-20	20	430	830	20
2	21-28	8	1150	1550	50
3	29-92	64	1963	2478	9
4	93-102	10	8180	12700	340-540

variabili a seconda della quota di volo entro un *range* di 4-8 m (dato grezzo) per tutta l'ampiezza dello spettro elettromagnetico indagato.

In Valle di Susa e in particolare per la frana del Cassas, sono state utilizzate 2 immagini MIVIS opportunamente ortoproiettate e calibrate radiometricamente per una prima estrazione delle informazioni geologico/geomorfologiche (fig. 5). Nel caso specifico, un buon risultato è stato ottenuto dalla classificazione dei maggiori elementi in cui si articola la zona instabile quali: aree coperte da depositi di *debris flow*; pareti rocciose fratturate, accumuli di frana. Un secondo risultato positivo è venuto dalla localizzazione e dalla caratterizzazione in dettaglio di singole strutture deformative superficiali quali faglie e fratture principali, trincee, depressioni allungate.

L'impiego delle immagini MIVIS ha permesso dunque di superare in primo luogo i problemi di accessibilità, ottenendo una "classificazione" della superficie topografica utilizzabile per la cartografia geomorfologica; utilizzando numerose diverse combinazioni delle 102 bande iperspettrali è possibile ottenere altre classificazioni per fini differenti.

3. - CONCLUSIONI

L'analisi geomorfologica del rilievo montuoso in Valle di Susa, supportata dai contributi di vari metodi propri della Geomatica, ha consentito di individuare e comprendere meglio alcuni differenti ordini di "grandezza geomorfologica spazio-temporale" nell'evoluzione del paesaggio alpino:

- la "dinamica esogena attuale";
- le manifestazioni della "dinamica post-glaciale";
- i prodotti dei principali "eventi morfogenetici pleistocenici", cioè gli elementi connessi alla dinamica glaciale di alta intensità e lunga durata.

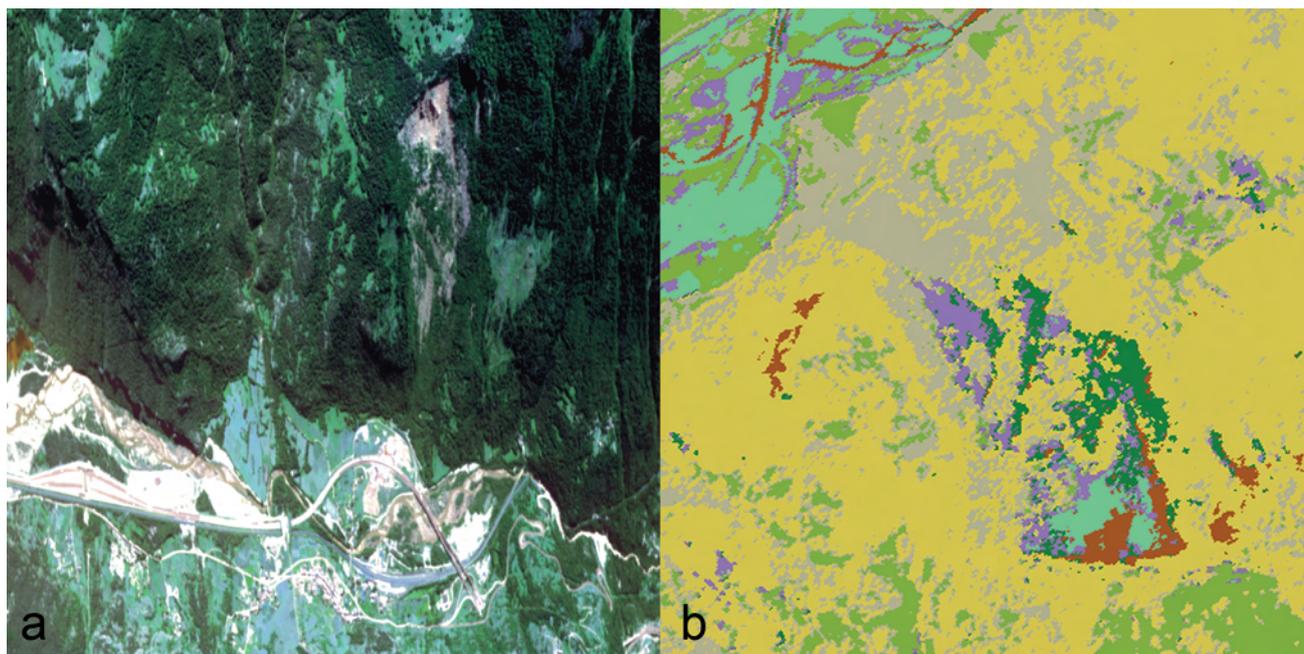


Fig. 5 - Frana del Cassas: a) Immagine MIVIS a colori reali prima del processo di ortoproiezione; b) Immagine classificata MIVIS dopo il processo di ortoproiezione.

- Cassas Landslide: a) MIVIS Real color image before the orthoprojection process; b) classified MIVIS image after the orthoprojection process.

Per quanto concerne i metodi e gli strumenti innovativi presentati ed utilizzati per l'analisi geomorfologica dei settori dell'AMRA e del Cassas, è stata utile e necessaria anche una loro integrazione con dati pregressi, sia di origine cartografica "geotematica" che di tipo testuale, descrittivo; per fare ciò si è dovuto necessariamente ricorrere ad un GIS che permettesse la georeferenziazione dei dati, il popolamento dei *database* associati e le relative analisi spaziali di tipo quantitativo e tematico.

Ovviamente, la creazione di un sistema informativo ben strutturato e cartograficamente coerente è una fase di lavoro estremamente impegnativa, soprattutto se integrata con una ricca dotazione di dati pregressi (è il caso della Valle di Susa), poiché comporta una notevole quantità di lavoro di preparazione. Tuttavia, a testimoniare i vantaggi di un approccio di questo tipo, basta ricordare che, oltre alla descrizione geomorfologica e all'estrema versatilità delle analisi dei settori dell'AMRA e del Cassas, il sistema informativo ha permesso di estendere ulteriormente le potenzialità sia verso una lettura "applicativa" del paesaggio geomorfologico (zonazione delle aree in frana), sia verso una descrizione divulgativa dei due settori analizzati. Ciò ha permesso in particolare di creare alcuni scenari rappresentativi bi- e tridimensionali *ad hoc*, facilmente comprensibili anche per i "non addetti ai lavori".

BIBLIOGRAFIA

- AIGOTTI D., MORTARA G., BAGGIO P., BOIS M., GIARDINO M. & DE RENZO G. (2001) - *I geositi della provincia di Torino, proposte di valorizzazione*. Edizioni della Provincia di Torino.
- BOCCARDO P., BELLONE T., BORGOGNO MONDINO E., GIULIO TONOLO F. & PEROTTI L. (2004a) - *Valutazione di DSM derivati da immagini satellitari stereoscopiche mediante software commerciali*. Geomatica, Atti 8° Conferenza Nazionale ASITA, 1: pp. 461-466.
- BOCCARDO P., BORGOGNO MONDINO E., GOMARASCA M.A. & PEROTTI L. (2004b) - *Orthoprojection tests of hyperspectral data in steep slope zones*. XXth ISPRS, Istanbul 2004: pp 872-877..
- BORGOGNO MONDINO E., GIARDINO M. & PEROTTI L. (2004) - *Neural Network: a method for the application of hyperspectral images analysis to the Cassas landslide hazard assessments (Susa Valley, NW-Italy)*. 1° EGU, Nice 2004: pp. 219.
- BROVERO M., CAMPUS S., FORLATI F., RAMASCO M. & SUSELLA G. (1996) - *La frana del "Cassas", Salbertrand, Val di Susa*. In: REGIONE PIEMONTE & UNIVERSIT  J. FOURIER (Eds.) "Rischi Generati da Grandi Movimenti Franosi", Programma Interreg I - Italia-Francia: pp. 71-103.
- CARRARO F. & FERRARINO G. (1982) - *Tentativi di realizzazione di un nuovo tipo di carte morfologiche: le carte morfostratigrafiche*. Boll. A.I.C., 54-55: 209-218.
- CARRARO F., FORNO M.G., GIARDINO M. & PARO L. (2005) - *Natural hazards related to recent geological processes and regional evolution*. MAEGS 14, Field Trip Guide. Il Quaternario, 18 (2): 3-55.
- CROSTA G. (1996) - *Landslide, spreading, deep seated gravitational deformation: analysis, examples, problems and proposal*. Geogr. Fis. Dinam. Quat., 19: 297-313.
- GIARDINO M. & POLINO R. (1997) - *Le deformazioni di*

versante dell'alta Valle di Susa: risposta pellicolare dell'evoluzione tettonica recente. Il Quaternario, 10 (2): 293-298.

- GIARDINO M., PEROTTI L., ALBERTO W. & BORGOGNO MONDINO E. (2004a) – *L'evoluzione del rilievo montuoso in Valle di Susa: il contributo della geomatica all'analisi delle morfostrutture e delle deformazioni gravitative profonde di versante*. Geomatica, Atti 8° Conferenza Nazionale ASITA, vol. 2: pp. 1201-1206.
- GIARDINO M., GOMARASCA M.A., BOCCARDO P., BORGOGNO MONDINO E. & PEROTTI L. (2004b) – *Airborne sensor MIVIS images for landslide phenomena analysis in mountain areas*. 5th ISEMG, Thessaloniki, Greece, vol. 2: pp. 708-711.
- MORTARA G. & SORZANA P.F. (1987) – *Fenomeni di deformazi*

one gravitative profonda nell'arco alpino occidentale italiano, Considerazioni litostrutturali e morfologiche. Boll. Soc. Geol. It., 106: 303-314.

- NEMČOK A. (1972) – *Gravitational slope deformation in high mountains*. Proc. 24th Inter. Geol. Congr. Montreal, sec. 13: pp. 132-141.
- POLINO R. (coordinatore), DELA PIERRE F., FIORASO G., GIARDINO M. & GATTIGLIO M. (2002) – *Foglio 132-152-153 "Bardonecchia" Carta Geologica d'Italia, scala 1:50.000*. Servizio Geologico d'Italia.
- SACCO F. (1921) – *Il glacialismo della Valle di Susa*. L'Universo, 2(8): 561-592, carta glaciologica alla scala 1:100 000.
- SUMMERFIELD MA. (1991) – *Global geomorphology*. Harlow, Longman.