

# LA DEFORMAZIONE GRAVITATIVA PROFONDA DI SAUZE D'OULX (ALPI OCCIDENTALI): ANALISI DEI MECCANISMI DEFORMATIVI IN RELAZIONE ALL'EVOLUZIONE TARDO QUATERNARIA DELL'ALTA VALLE DI SUSA

Gianfranco Fioraso<sup>1</sup>, Mauro Tararbra<sup>2</sup> & Nicoletta Negro<sup>2</sup>

<sup>1</sup>CNR - Istituto di Geoscienze e Georisorse, Torino

<sup>2</sup>ARPA Piemonte - Centro Regionale per le Ricerche Territoriali e Geologiche, Torino

Corresponding author: G. Fioraso <g.fioraso@csg.to.cnr.it>

**RIASSUNTO:** Fioraso G., Tararbra M. & Negro N., *La deformazione gravitativa profonda di Sauze d'Oulx (Alpi Occidentali): analisi dei meccanismi deformativi in relazione all'evoluzione tardo quaternaria dell'alta Valle di Susa.* (IT ISSN 0394-3356, 2010).

L'alta Valle di Susa e l'alta Val Chisone si caratterizzano per la straordinaria concentrazione di deformazioni gravitative profonde di versante (DGPV) e grandi frane. In questo quadro deformativo la DGPV di Sauze d'Oulx rappresenta uno dei fenomeni di maggiori dimensioni delle Alpi Occidentali. Il substrato roccioso è rappresentato da unità della Zona Piemontese Auct. costituite da calcescisti con intercalazioni di corpi ofiolitici. I caratteri morfologici, morfostrutturali e idrogeologici del fenomeno gravitativo di Sauze d'Oulx appaiono alquanto diversi rispetto a quelli che contraddistinguono le altre DGPV delle Alpi Occidentali. Nell'ambito della deformazione di Sauze d'Oulx possono essere infatti distinti due settori con caratteri morfoevolutivi ben distinti:

a) il settore di Jouvenceaux, esteso su un'area di 5,3 km<sup>2</sup> e caratterizzato da una morfologia a cono. La deformazione coinvolge un'estesa massa di serpentiniti (circa 4 km<sup>2</sup>) costituita da volumi rocciosi relativamente poco fratturati alternati a zone di taglio di ampiezza metrica-pluridecametrica in cui le serpentiniti appaiono intensamente cataclastate; queste ultime sono attraversate da un fitto reticolo di vene costituite da un aggregato di calcite e tremolite fibrosa;

b) il settore di Sportinia-Richardette, esteso su un'area di 14,9 km<sup>2</sup>, contraddistinto da una morfologia ad anfiteatro che circonda l'abitato di Sauze d'Oulx. Nella parte medio-superiore del versante la deformazione è accompagnata da un corteo di elementi morfostrutturali quali scarpate, contropendenze e depressioni chiuse. Il movimento gravitativo si sviluppa lungo superfici di scivolamento multiple a geometria listrica che derivano dalla riattivazione di almeno tre sistemi di faglie con direzione WSW-ENE, NW-SE e N-S.

Al fine di comprendere l'evoluzione cinematica, lo stato di attività e lo stile deformativo della DGPV di Sauze d'Oulx, è stato adottato un approccio multidisciplinare che ha previsto: realizzazione della cartografia geologica, geomorfologica e idrogeologica di dettaglio; indagini dirette di sottosuolo spinte fino a 200 m di profondità; raccolta di informazioni semiquantitative sui tassi di movimento del settore di Jouvenceaux riguardanti la prima metà del secolo scorso; monitoraggio delle deformazioni profonde con l'ausilio di una rete di inclinometri e piezometri; monitoraggio delle deformazioni superficiali per mezzo di tecniche interferometriche da satellite (PSInSAR<sup>TM</sup>, per il periodo 1992-2001) e da terra (LISA<sup>®</sup>, per il periodo 2002-2008) integrate con un sistema di rilevamento GPS.

L'analisi integrata dei dati di terreno e dei dati ricavati dal monitoraggio strumentale ha messo in luce una duplice risposta del substrato roccioso allo stress gravitativo: il settore di Jouvenceaux può essere interpretato come un *rock flow* controllato da processi di creep profondo diffusamente sviluppati a spese delle serpentiniti cataclastiche; per contro nel settore di Sportinia-Richardette il movimento si è sviluppato con prevalenti meccanismi di creep concentrati lungo superfici di scivolamento multiple.

L'evoluzione della DGPV di Sauze d'Oulx è da attribuire alle particolari condizioni dell'assetto litostutturale del substrato roccioso e al forte approfondimento erosivo del fondovalle svolto dai ghiacciai della Dora di Cesana e di Bardonecchia nel corso del Pleistocene superiore.

**ABSTRACT:** Fioraso G., Tararbra M. & Negro N., *The deep-seated gravitational slope deformation of Sauze d'Oulx (Western Alps): analysis of the deformation mechanisms related to the late Quaternary evolution of the upper Susa Valley.* (IT ISSN 0394-3356, 2010).

*The upper Susa and Chisone Valleys represent a peculiarity in the landscape of the Western Alps because of the extraordinary concentration of deep-seated gravitational slope deformations (DSGSD) and large landslides, covering on the whole 285 km<sup>2</sup>, equivalent to 38% of the mountain region. The Sauze d'Oulx DSGSD, extended over an area of 20 km<sup>2</sup>, represent one of the biggest gravitational collapse of the western Alpine chain. Placed along the right slope of the Susa Valley near the confluence of Dora di Bardonecchia and Dora di Cesana catchment basins, the Sauze d'Oulx phenomenon extends between the Susa-Chisone drainage divide and the valley bottom, filled with a thick (up to 125 m) fluvio-lacustrine post-glacial succession.*

*Bedrock geology is characterized by a stack of tectono-stratigraphic units belonging to the Piemontese Zone and made up of monotonous calcschistes with ophiolitic intercalations (mainly serpentinites and ophiolites with minor metabasites). Morphological, morpho-structural and hydrogeological features characterizing the Sauze d'Oulx phenomenon are somewhat different respect to the other DSGSD of the Western Alps. Within the collapsed slope, two main morfo-evolutive domains are easily recognizable:*

*a) the Jouvenceaux sector, covering an area of over 5.3 km<sup>2</sup> and characterized by a spectacular and well defined fan shaped morphology. Slope deformation involves a huge serpentinitic mass (at least 4 km<sup>2</sup>) in which jointed rock masses alternate with wide metric to pluridecametric cataclastic shear zones; these latter are crossed by a three-dimensional network of irregular closely spaced veinlets composed of fibrous tremolite and calcite.*

*b) the Sportinia-Richardette sector, involving an area of 14.9 km<sup>2</sup>, that presents a clear amphitheatre-shaped morphology surrounding the Sauze d'Oulx village. In the middle and upper part of the deforming slope, displacement is accompanied by morfo-structural features such as scarps and counterscarps hectometric to kilometric in extent, and wide collapse dolines. Movement of rock masses takes place along multiple listric sliding surfaces reactivating at least three pre-existing fault systems: i) WSW-ENE striking subvertical transcurrent faults with pluri-kilometric extent influencing the trends of Susa and Chisone Valleys; ii) NW-SE oriented set of normal faults; iii) N-S trending subordinate system of normal faults and fractures.*

*To understand the kinematic evolution and the actual state and style of activity of the Sauze d'Oulx DSGSD, a multi-disciplinary approach was performed collecting over time a variety of data from field and remote sensing investigation, both inside and outside the collapse perimeter: detailed geological, geomorphological and hydrogeological field mapping; subsurface exploration with boreholes up to 200 m deep; semi-quantitative informations about the rate of movement of the Jouvenceaux sector recorded in the first half of the last century; monitoring ground-displacement with inclinometric and piezometric systems; measurement of superficial deformation by means of Permanent Scatterer (PSInSAR<sup>TM</sup>) technique (1992-2001) and ground-based SAR interferometry (LISA<sup>®</sup>) (2002-2008), with*

*the aid of GPS surveying system.*

*Integrated analysis of field data and instrumental monitoring suggest a dual response of the rock masses to the gravitational stress: the Jouvenceaux sector, subjected to a rapid evolution, can be recognized as a rock flow controlled by a deep-seated continuous creep process, which involves as a whole the cataclastic serpentinites partially detached from the underlying undeformed bedrock; instead, the Sportinia-Richardette sectors creep processes develops along multiple rupture surfaces with a prevailing retrogressive sliding mechanisms similar to those observed in the others rock flow phenomena of the Susa and Chisone Valleys.*

*On the whole the onset evolution of the Sauze d'Oulx DSGSD, controlled by the lithostructural array of the bedrock, is due to the strong downcutting of the Dora di Cesana and Dora di Bardonecchia glaciers and overdeepening of the valley bottoms during the last upper Pleistocene glacial episode.*

Parole chiave: deformazione gravitativa profonda di versante, Valle di Susa, Sauze d'Oulx, sistema di monitoraggio, creep.

Keywords: deep-seated gravitational slope deformation, Susa Valley, Sauze d'Oulx, monitoring system, creep.

## 1. INTRODUZIONE

Le deformazioni gravitative profonde di versante (DGPV) e le grandi frane rappresentano la principale risposta, in termini di volumi rocciosi coinvolti, al disequilibrio indotto nelle aree di catena dall'interazione tra il sollevamento dei rilievi e l'approfondimento erosivo operato dai corsi d'acqua e dai ghiacciai. L'entità e le modalità della compensazione gravitativa sono spazialmente e temporalmente disomogenee, variando in funzione della mobilità tettonica locale, dell'assetto litologico e strutturale del substrato roccioso esumato e della storia morfoevolutiva dei versanti. L'area comprendente l'alta Valle di Susa e l'alta Val Chisone costituisce in tal senso uno dei migliori esempi di interazione tra l'evoluzione tettonica recente dei rilievi e la dinamica di versante in quanto sede della più elevata concentrazione di fenomeni gravitativi dell'arco alpino occidentale, che coinvolgono complessivamente una superficie di 285 km<sup>2</sup>, pari al 38% del territorio considerato. La tipologia dei fenomeni è estremamente diversificata, comprendendo frane in roccia con movimenti roto-traslativi e complessi (BROVERO *et al.*, 1996; GIARDINO & BAGGIO, 1998; FORLATI *et al.*, 2004; CARRARO *et al.*, 2005), frane di crollo (LOLLINO *et al.*, 2002), rock avalanches (CARRARO & FORNO, 1981; CADOPPI *et al.*, 2002) e DGPV (CARRARO *et al.*, 1979; PUMA *et al.*, 1989; POLINO *et al.*, 2002; CARRARO *et al.*, 2005). Queste ultime, in particolare, spiccano per le ragguardevoli dimensioni raggiunte in termini di estensione areale, spessore e volume dei corpi rocciosi coinvolti, tali in alcuni casi da porsi al limite con le manifestazioni di tettonica gravitativa.

Numerosi sono i fattori che concorrono nel determinare la cospicua presenza di fenomeni di instabilità gravitativa in questo settore della catena alpina: 1) le caratteristiche litologiche del substrato roccioso (MORTARA & SORZANA, 1987), costituito in prevalenza da successioni metasedimentarie a calcescisti, talvolta marcatamente filladici, contenenti subordinate masse di ofioliti; 2) l'assetto strutturale delle unità che compongono il substrato (GIARDINO & POLINO, 1997; POLINO *et al.*, 2002), reciprocamente separate da zone di taglio ad alto e basso angolo di estensione regionale e attraversate da complessi sistemi di faglie e fratture estremamente pervasivi; 3) l'elevata energia del rilievo che contraddistingue l'orografia delle vallate e che in taluni casi raggiunge valori di 1800-2000 m; 4) il diffuso e prolungato sviluppo del glacialismo pleistocenico, che ha dato luogo

ad un sensibile approfondimento erosivo dei fondovalli (GIARDINO & FIORASO, 1998; POLINO *et al.*, 2002) e conseguentemente lo scalzamento dei versanti. Ad accentuare gli episodi di instabilità di versante localmente possono inoltre contribuire anche i fenomeni di dissoluzione carsica profonda, ampiamente sviluppati nell'alta Valle di Susa ove sono presenti estese masse evaporitiche situate in corrispondenza dei principali contatti tettonici (es. DGPV di P.ta Gardiol, sul versante sinistro della Dora di Cesana; POLINO *et al.*, in stampa).

In questo complesso contesto geologico si colloca la DGPV di Sauze d'Oulx, ubicata sul versante destro della Valle di Susa nel settore di confluenza della Dora di Cesana nella Dora di Bardonecchia (Fig. 1). Le caratteristiche morfologiche e morfostrutturali del fenomeno di Sauze d'Oulx appaiono nell'insieme molto diverse rispetto a quelle rilevabili nelle altre DGPV delle Alpi Occidentali, a tal punto da aver suggerito nel tempo contrastanti ipotesi interpretative da parte di vari Autori (CAPELLO, 1942; CARRARO *et al.*, 1979; PUMA *et al.*, 1989; POLINO *et al.*, 2002; CARRARO *et al.*, 2005). Al fine di chiarire i meccanismi evolutivi del collasso gravitativo di Sauze d'Oulx è stata effettuata un'analisi integrata dei dati morfologici e geologico-strutturali di superficie con quelli provenienti dalle numerose indagini di sottosuolo effettuate nel corso degli ultimi anni; sono inoltre state analizzate le modalità della circolazione idrica superficiale e profonda che in contesti di forte instabilità gravitativa possono risultare sensibilmente condizionate dall'assetto strutturale e dallo "stato tensionale" del substrato (BOGAARD *et al.*, 2007). Per questo fenomeno sono inoltre disponibili numerose informazioni sulle modalità e sull'entità dei movimenti pregressi, ricavate sia dall'analisi dell'assetto morfo-stratigrafico della successione glaciale e post-glaciale presente all'interno e al contorno del fenomeno di collasso, sia da dati storici. In tal senso, di particolare rilevanza è la presenza di un sistema di monitoraggio integrato, basato su un sistema inclinometrico, su tecniche interferometriche da satellite e da terra e su una rete di caposaldi GPS (recentemente installati nell'area di Sauze d'Oulx e di Jouvenceaux), in grado di fornire precise indicazioni sulle componenti di movimento orizzontale e verticale della superficie: la cospicua ed eterogenea mole di dati ha consentito di definire un modello cinematico del fenomeno, inserito nel più ampio quadro evolutivo post-glaciale che ha interessato l'alta Valle di Susa.

**2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO**

Il versante che ospita la DGPV di Sauze d'Oulx è ripartito in una serie di unità tettonostratigrafiche costituite da successioni metasedimentarie e calcescisti ofiolitiferi riferiti alla Zona Piemontese *Auct.* (POLINO *et al.*, 2002). Lungo la fascia medio-inferiore del versante affiora l'Unità di Cerogne-Ciantiplagna (Fig. 1), composta da una potente successione di calcescisti con intercalazioni di serpentiniti, serpentinoscisti e oficalciti in masse di dimensioni da pluri-decamentriche a chilometriche; particolarmente significativo ed esteso (circa 4 km<sup>2</sup>) è il corpo serpentinitico affiorante tra gli abitati di S. Marco, Granvillard, Gad e Oulx, interamente coinvolto dal movimento gravitativo.

Lungo la porzione sommitale della dorsale spartiacque Susa-Chisone affiora l'Unità del Lago Nero, costituita da calcescisti con intercalazioni di spessore da metrico a pluridecamentrico di calcescisti marmorei, filladi, scisti carbonatici e quarziti micacee; localmente sono inoltre presenti corpi eterometrici di metagabbri,

metabasiti, serpentiniti, oficalciti e marmi. Il contatto tra l'Unità del Lago Nero e l'Unità di Cerogne-Ciantiplagna è rappresentato da un sovrascorrimento ad andamento suborizzontale localizzato tra i 1700 e i 2100 m di quota ed osservabile lungo le dorsali di Monfol e di Malafosse (POLINO *et al.*, 2002).

Sul versante sinistro della Dora di Cesana e alla base del versante destro, poco a monte dell'abitato di Oulx, il substrato è rappresentato da una successione di calcescisti indifferenziati attribuiti al Complesso del Puys (POLINO *et al.*, 2002), separato dall'Unità di Cerogne-Ciantiplagna da un contatto tettonico ad alto angolo con direzione media NE-SW localizzato in corrispondenza del fondovalle. Alcuni affioramenti di calcescisti riferibili all'Unità del Puys emergono inoltre dalla superficie del conoide della Dora di Cesana poche centinaia di metri a NE dell'abitato di Oulx, nell'area compresa tra la linea ferroviaria Torino-Modane e il tracciato della S.S. n. 24 del Monginevro.

A Nord di Sauze d'Oulx il collasso gravitativo sfiora, senza tuttavia coinvolgerla, l'Unità di Gad, interpre-

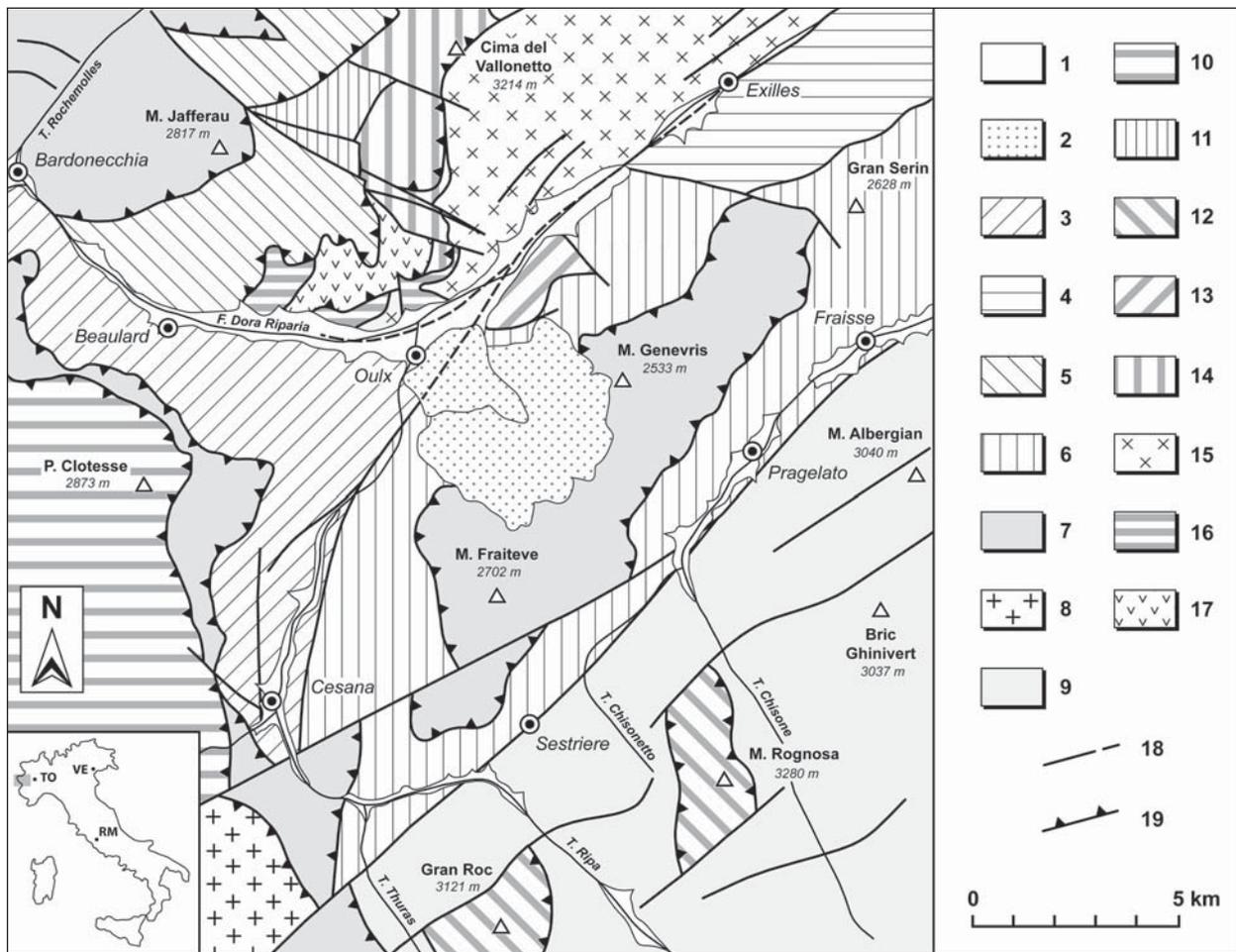


Fig. 1 - Schema geologico-strutturale delle alte Valli di Susa e del Chisone (modificato da BARFÉTY *et al.*, 1996, e da POLINO *et al.*, 2002). 1 = depositi fluviali. 2 = deformazione gravitativa profonda di Sauze d'Oulx. Zona Piemontese: 3 = Complesso del Puys; 4 = Complesso di Venaus; 5 = Unità dell'Aigle; 6 = Unità di Cerogne-Ciantiplagna; 7 = Unità del Lago Nero; 8 = Unità dello Chenaillet; 9 = Unità dell'Albergian. Falde Pennidiche: 10 = Unità dello Chaberton - Grand Hoche - Grand Argentier; 11 = Unità di Valfredda; 12 = Unità del Fourgon - Banchetta; 13 = Unità di Gad; 14 = Unità del Vallonetto; 15 = Unità dell'Ambin; 16 = coperture mesozoiche dell'Unità dell'Ambin. 17 = gessi, anidriti e breccie di faglia carbonatiche. 18 = faglie principali. 19 = sovrascorrimenti.

*Geo-structural sketch-map of the upper Susa and Chisone Valleys (modified after BARFÉTY *et al.*, 1996, and POLINO *et al.*, 2002). 1 = fluvial deposits. 2 = Sauze d'Oulx deep-seated gravitational slope deformation. Piemontese Zone: 3 = Puys Complex; 4 = Venaus Complex; 5 = Aigle Unit; 6 = Cerogne-Ciantiplagna Unit; 7 = Lago Nero Unit; 8 = Chenaillet Unit; 9 = Albergian Unit. Pennidic Units: 10*

tata come un lembo di coperture mesozoiche ad affinità brianzonese costituito da dolomie massicce con livelli di breccie carbonatiche, quarziti micacee e calcescisti carbonatici; l'Unità di Gad è separata dall'Unità di Cerogne-Ciantiplagna da un contatto tettonico subverticale con direzione media ENE-WSW.

Tutte le unità descritte sono caratterizzate da un'impronta metamorfica alpina in facies scisti blu con parziale riequilibrio in facies scisti verdi (POLINO *et al.*, 2002).

L'assetto strutturale dell'area è dominato dalla presenza di tre principali sistemi di discontinuità:

- il sistema ENE-WSW, rappresentato da faglie subverticali di estensione regionale aventi una direzione compresa tra N40° e N70°, una componente di movimento essenzialmente trascorrente e una spaziatura media ettometrica. Nel suo insieme questo sistema costituisce un corridoio di deformazione di ampiezza plurichilometrica (*Susa-Chisone Shear Zone* in GIARDINO & POLINO, 1997, e in POLINO *et al.*, 2002), esteso tra la Val d'Arc, a NW, e la Val Germanasca a SE. In Valle di Susa e in Val Chisone il sistema ENE-WSW controlla l'orientazione dei principali assi vallivi (es. media Valle di Susa tra Oulx ed Exilles; alta Val Chisone tra Sestriere e Fraïsse) e di una parte del reticolato idrografico affluente (Fig. 1);
- il sistema NW-SE, costituito da strutture con una direzione compresa tra N110° e N140° e con una componente di movimento debolmente trascorrente in senso destro associata a movimenti distensivi verso SW. Questo sistema, morfologicamente meno evidente del precedente, controlla l'orientazione dei principali corsi d'acqua tra gli abitati di Cesana e di Pragelato (es. torrenti Chisone, Chisonetto, Ripa e Thuras);
- il sistema N-S, composto da faglie subverticali distensive con direzione media compresa tra N10° e N160° e quasi del tutto privo di espressione morfologica.

Il settore di confluenza della Dora di Bardonecchia e della Dora di Cesana, oltre a costituire un punto di giunzione di numerose strutture tettoniche, rappresenta un'area chiave nell'evoluzione tardo-quadernaria dell'alta Valle di Susa.

Il fondovalle prospiciente la DGPV di Sauze d'Oulx è occupato dall'estesa pianura di Oulx-Salbertrand, costituita da una potente (oltre 125 m) successione di sedimenti fluviali e fluviolacustri, nella quale si innestano imponenti conoidi torrentizi alimentati dai corsi d'acqua tributari (es. Rio Gran Comba): lo sviluppo del complesso fluviolacustre (datato a  $9525 \pm 85$  e  $8380 \pm 95$  anni b.P., TROPEANO & OLIVE, 1993) è legato allo sbarramento vallivo verificatosi nei pressi di Serre la Voûte ad opera di due contrapposti fenomeni gravitativi tuttora in rapido movimento verso l'alveo della Dora Riparia.

In tutta la conca di Oulx sono diffusamente conservate forme e depositi riferibili all'ultima massima espansione glaciale (*Last Glacial Maximum*, LGM) e alle successive fasi di arretramento delle fronti glaciali. Lungo il versante destro i depositi glacialigenici, più o meno intensamente rimaneggiati dai processi di rimodellamento, sono distribuiti fino a quote comprese tra i 1675 e i 1715 m s.l.m.; le forme di esarazione glaciale sono invece localizzate unicamente in corrispondenza

dei ripiani di S. Domenico e di Monfol, ove sono visibili superfici montonate e solchi modellati nella successione carbonatica dell'Unità di Gad.

In corrispondenza dell'abitato di S. Marco è presente un esteso terrazzo di *kame*, profondamente disseccato dalle incisioni del Rio Moretta e della Dora di Cesana, che sottende una potente successione di sedimenti glaciolacustri e fluvioglaciali poggianti su depositi glaciali di fondo e sui calcescisti dell'Unità di Cerogne-Ciantiplagna: il terrazzo si è sviluppato a seguito dello sbarramento subito dalla Dora di Cesana da parte del ghiacciaio della Dora di Bardonecchia, ancora presente nell'area di Oulx nel momento in cui la fronte della lingua glaciale proveniente da Cesana si era già attestata nei pressi della confluenza T. Ripa - Piccola Dora (POLINO *et al.*, in stampa).

Sul versante nord-occidentale della dorsale spartiacque Susa-Chisone non sono conservate forme e depositi chiaramente riconducibili alla presenza di ghiacciai tributari; sul versante della Val Chisone, nei pressi del Colle di Costa Piana e del Col Bourget, sono invece visibili due circhi che ospitavano piccoli apparati glaciali spintisi con la propria fronte in prossimità della conca di Pragelato.

### 3. LA DGPV DI SAUZE D'OULX

Il fenomeno di Sauze d'Oulx si estende su un'area di circa 20 km<sup>2</sup>, coinvolgendo l'intero versante compreso tra lo spartiacque Susa-Chisone e l'estesa pianura di fondovalle sulla quale sorgono gli abitati di Oulx e Salbertrand (Fig. 2). Al suo interno sono riconoscibili due settori, nettamente distinti dal punto di vista morfologico ed evolutivo ma al contempo strettamente interdipendenti:

- il settore di Sportinia-Richardette, contraddistinto da un complesso sistema di sdoppiamenti multipli del profilo di cresta e di superfici di distacco gravitativo visibili lungo tutta la dorsale spartiacque;
- il settore di Jouvenceaux, facilmente identificabile per la spettacolare morfologia a cono il cui apice si innesta nel cuore del settore in deformazione di Sportinia-Richardette.

#### 3.1. Il settore di Sportinia-Richardette

Il settore di Sportinia-Richardette si estende complessivamente su una superficie di 14,97 km<sup>2</sup> coinvolgendo la fascia di versante compresa tra la dorsale spartiacque M. Triplex (2506 m) - P.ta Moucrons (2507 m) - M. Genevris (2533 m) e il settore di Jouvenceaux (Fig. 3): essa è costituita da due distinti settori tra loro lateralmente coalescenti (in seguito indicati come settore di Sportinia e settore di Richardette), nettamente distinguibili in merito all'espressione morfologica e al grado evolutivo. Nell'insieme il versante coinvolto dalla deformazione gravitativa è contraddistinto da una configurazione ad anfiteatro esposto verso NW che ospita al centro l'abitato di Sauze d'Oulx.

Il settore di Sportinia (superficie 7,65 km<sup>2</sup>, inclinazione media 21,6°) si estende tra il Pian della Rocca e la dorsale di Malafosse e culmina in corrispondenza del M. Triplex (2506 m); verso valle è invece delimitato dal fianco sinistro del settore di Jouvenceaux, limite che coincide approssimativamente con l'incisione del Rio

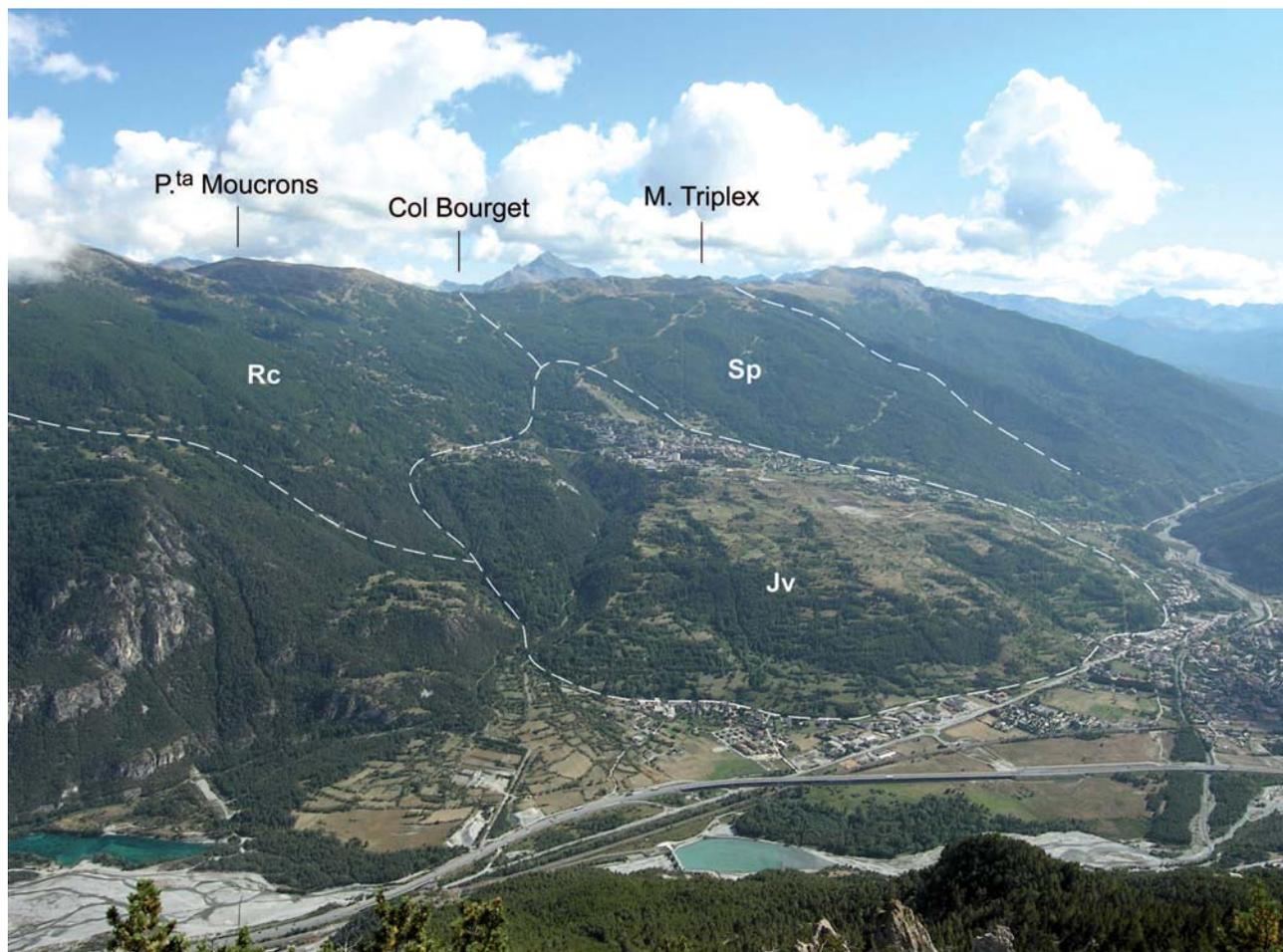


Fig. 2 - Immagine d'insieme della DGPV di Sauze d'Oulx. Jv: settore di Jouvenceaux; Sp: settore di Sportinia; Rc: settore di Richardette. In basso è visibile il fondovalle percorso dall'alveo della Dora Riparia, mentre al centro e a destra dell'immagine sono visibili, rispettivamente, gli abitati di Sauze d'Oulx e Oulx.

*View of the Sauze d'Oulx DSGSD. Jv: Jouvenceaux sector; Sp: Sportinia sector; Rc: Richardette sector. The Dora Riparia flood plain is visible in the foreground. Sauze d'Oulx and Oulx villages are visible, respectively, on centre and right of the image.*

Moretta (Fig. 3). Il fenomeno gravitativo si manifesta con una serie di imponenti blocchi rocciosi, di spessore compreso tra poche decine e alcune centinaia di metri, traslati verso il fondovalle lungo superfici di movimento immergenti mediamente verso NNW e con una inclinazione compresa tra 30° e 40° (Fig. 4a).

L'intersezione dei piani di scivolamento con la superficie topografica dà luogo a un complesso sistema di elementi morfostrutturali chiaramente rilevabili lungo tutto il versante settentrionale del M. Triplex fino a circa 1550 m di quota, nei pressi della frazione Tachiet. Sono presenti superfici di scivolamento in roccia di estensione ettometrica-chilometrica e con andamento planimetrico arcuato che dislocano per lunghi tratti il profilo della cresta spartiacque tra il Col Bourget e il M. Triplex (Fig. 3 e 4b). Nella parte alta del versante l'intersezione delle superfici di scivolamento con la superficie topografica il più delle volte si manifesta con lo sviluppo di evidenti contropendenze.

Si osservano inoltre numerose depressioni semiaperte o chiuse di forma ellittica con asse maggiore quasi sempre allineato parallelamente alla direzione del versante, di dimensioni comprese tra 10 e 140 m e

profondità non superiori ai 10÷12 m: queste depressioni, talvolta ospitanti piccoli bacini lacustri (es. Lago Nero; Fig. 4b), si sviluppano a seguito di localizzati fenomeni di subsidenza generati dall'allentamento dell'ammasso roccioso in prossimità delle superfici di scivolamento gravitativo. L'elevato rilascio tensionale del substrato traspare anche dalle numerose fratture beanti e trincee con diverso grado di apertura distribuite in vari punti del settore di Sportinia.

La ripartizione a blocchi del substrato roccioso è evidenziata dall'organizzazione del reticolato idrografico, che pur mostrando nel complesso una orientazione piuttosto regolare in direzione SE-NW, localmente è contraddistinto da incisioni torrentizie con un andamento intrecciato o "a losanga" del tutto anomalo (es. fianco sinistro del settore di Sportinia in prossimità della dorsale di Malafosse; Fig. 3). Anche il sensibile sovradimensionamento delle sezioni vallive in rapporto agli esigui valori medi di portata in transito lungo le aste torrentizie confermano la chiara connotazione morfostrutturale dei solchi vallivi.

Alcune delle superfici di rottura con minore rigetto e continuità laterale visibili in prossimità di Sportinia e

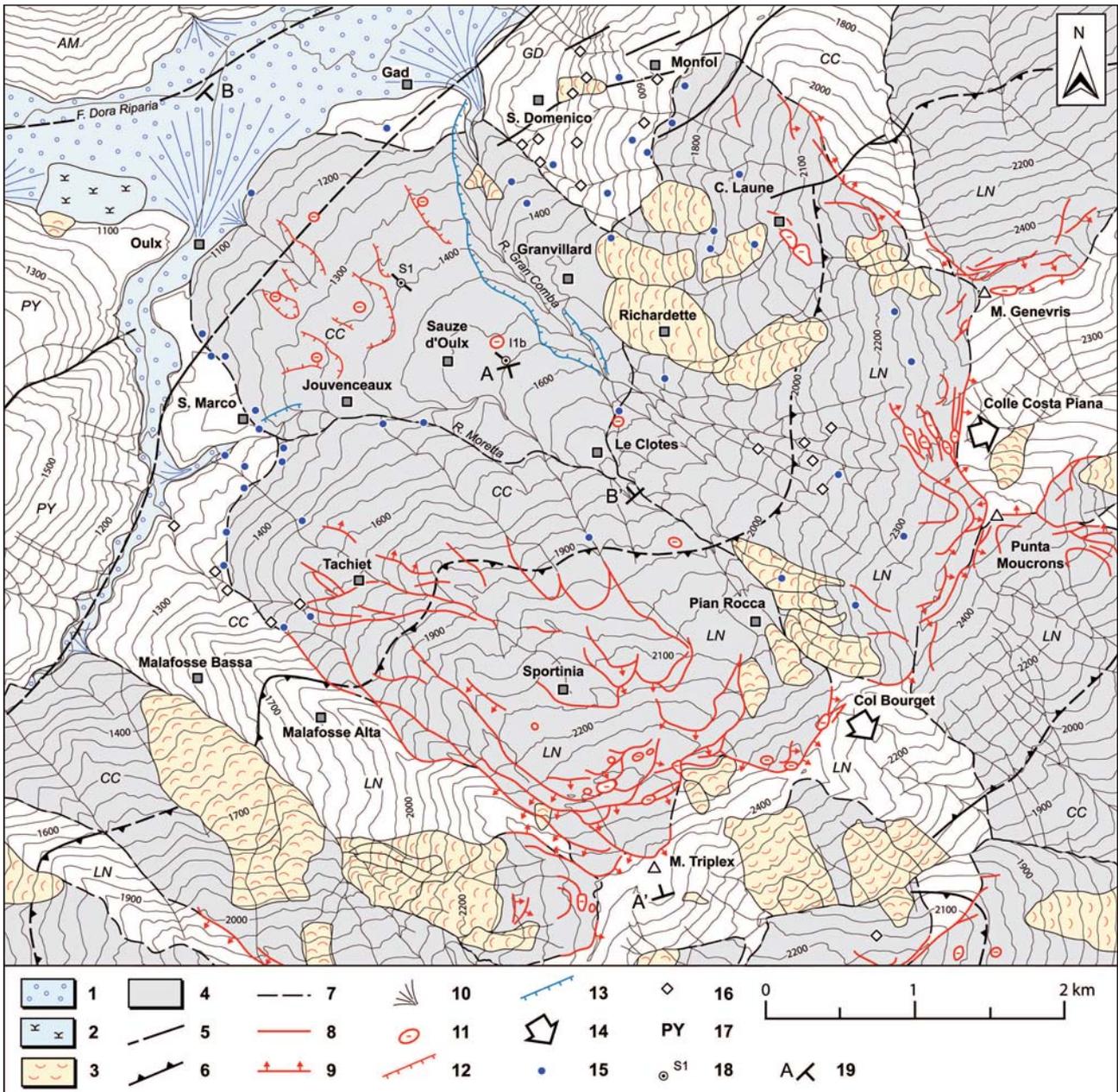


Fig. 3 - Schema morfostrutturale della DGPV di Sauze d'Oulx. 1: depositi fluviali; 2: depositi palustri e di torbiera; 3: accumuli di frana; 4: DGPV; 5: faglie; 6: sovrascorimenti; 7: limiti di DGPV; 8: superfici di distacco gravitativo; 9: superfici di distacco gravitativo con contropendenza; 10: conoidi torrentizi; 11: depressioni chiuse; 12: scarpate di collasso gravitativo; 13: scarpate di erosione; 14: valli decapitate; 15: sorgenti; 16: travertini; 17: unità tettonostratigrafiche (CC = Cerogne-Ciantiplagna; LN = Lago Nero; PY = Puys; GD = Gad; AM = Ambin); 18: sondaggi; 19: traccia delle sezioni geologiche.

Morpho-structural map of the Sauze d'Oulx DSGSD. 1: fluvial deposits; 2: marsh deposits and peat bogs; 3: landslides; 4: DSGSD; 5: faults; 6: thrusts; 7: DSGSD boundaries; 8: yielding surfaces; 9: yielding surfaces with counterslopes; 10: alluvial fans; 11: pseudo-dolines; 12: gravitational scarps; 13: erosional scarps; 14: beheaded valleys; 15: springs; 16: travertine deposits; 17: tectonostratigraphic units (CC = Cerogne-Ciantiplagna; LN = Lago Nero; PY = Puys; GD = Gad; AM = Ambin); 18: boreholes; 19: traces of geological cross-sections.

del Lago Nero assumono in profondità una geometria debolmente listrica, raccordandosi a superfici di scorrimento più estese e maggiormente radicate nel substrato (Fig. 5, Sez. A-A'). In base alle osservazioni meso-strutturali effettuate nei settori indeformati ed esterni alla DGPV, tutte le superfici di scivolamento rappresentano la riattivazione (in senso gravitativo) di preesistenti discontinuità (faglie e fratture) che compongono i diver-

si sistemi riconosciuti all'interno dell'Unità del Lago Nero e dell'Unità di Cerogne-Ciantiplagna; la riattivazione avviene tuttavia in modo selettivo, essendo coinvolte unicamente le discontinuità con una orientazione congruente con l'andamento della componente gravitativa della deformazione, che il più delle volte è normale alla direzione locale del versante. Nel tratto M. Triplex - Col Bourget il movimento avviene in particolare lungo strut-

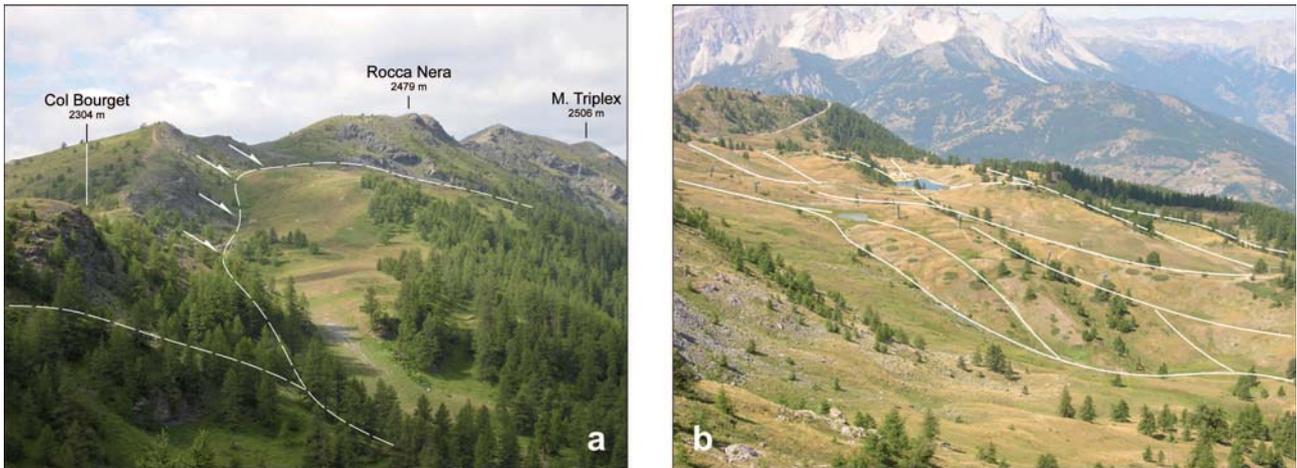


Fig. 4 - a) Panoramica della porzione sommitale del settore di Sportinia nel tratto compreso tra il Col Bourget e il M. Triplex. In primo piano è visibile la superficie di distacco gravitativo sommitale. L'entità della traslazione, misurata lungo il piano, è di circa 80 m. b) Intreccio di superfici di distacco gravitativo e depressioni chiuse nel tratto sommitale del settore di Sportinia. Al centro dell'immagine è visibile il Lago Nero.

a) View of the upper portion of the Sportinia sector between Col Bourget and Mt. Triplex. In the foreground the basal sliding surface is visible. The dip-slip component of the displacement is about 80 m. b) Network of yielding surfaces and pseudo-dolines in the upper portion of the Sportinia sector. The Lago Nero is visible at the centre of the image.

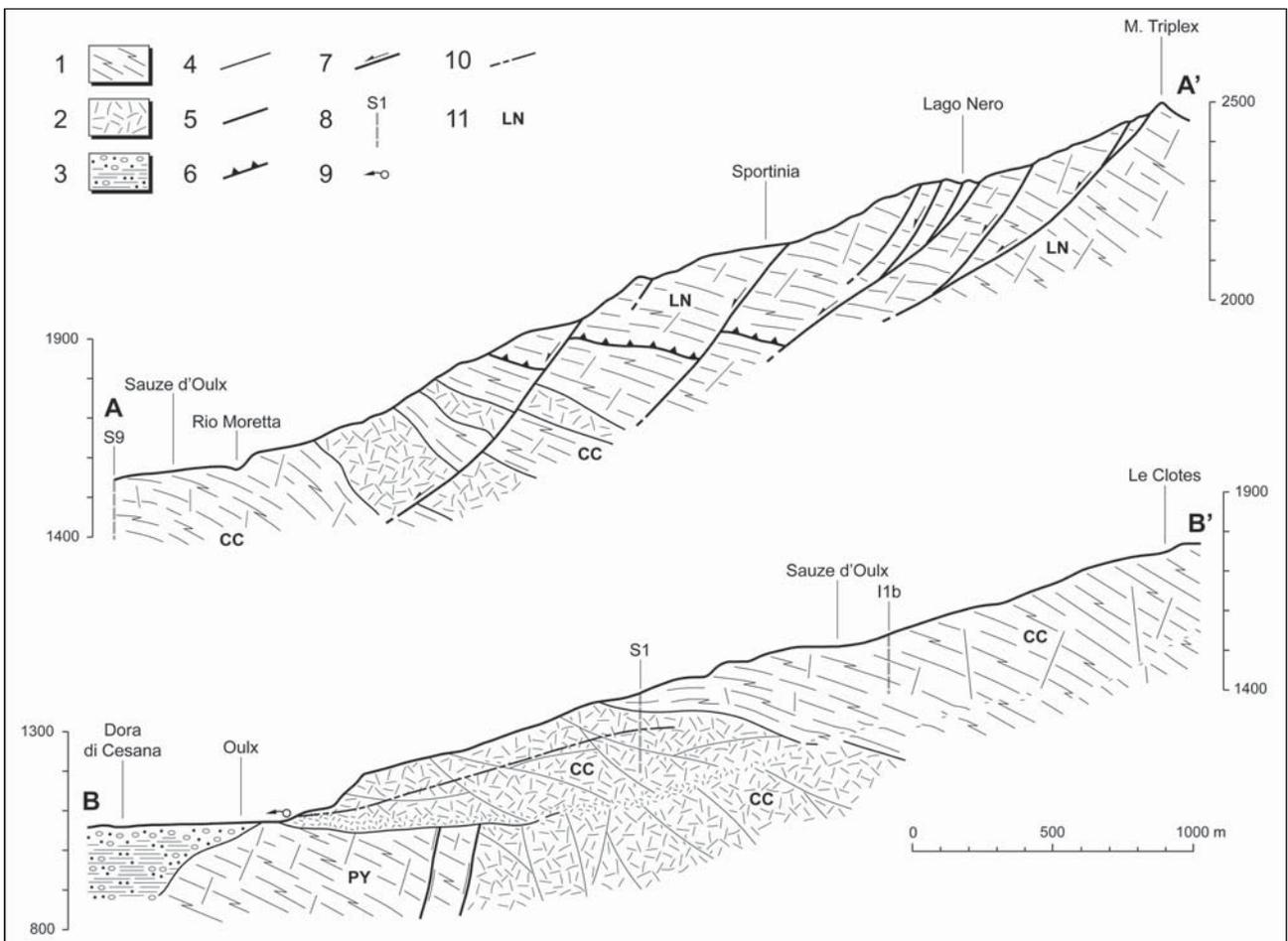


Fig. 5 - Sezioni geologiche della DGPV di Sauze d'Oulx (per l'ubicazione vedi Fig. 3). 1: calcscisti; 2: serpentiniti, serpentiniti brecciate e oficalciti; 3: depositi fluviali e fluviolacustri; 4: contatti stratigrafici; 5: faglie principali; 6: sovrascorrimento; 7: superfici di scivolamento gravitativo; 8: sondaggi; 9: sorgente; 10: andamento della falda freatica; 11: unità tettonostratigrafiche (LN = Lago Nero; CC = Cerogne-Ciantiplagna; PY = Puys).

Geological cross sections of the Sauze d'Oulx DSGSD (see Fig. 3 for their location). 1: calcschists; 2: serpentinites, cataclastic serpentinites and ophicalcites; 3: fluvial and fluviolacustrine deposits; 4: stratigraphic boundaries; 5: main faults; 6: thrust; 7: gravitational sliding surfaces; 8: boreholes; 9: spring; 10: phreatic surface; 11: tectonostratigraphic units (LN = Lago Nero; CC = Cerogne-Ciantiplagna; PY = Puys).

ture allineate in direzione E-W e ENE-WSW e con una inclinazione di  $50\text{--}70^\circ$  rispettivamente verso N e NNW; inoltre, nelle porzioni più elevate del versante il rilascio tensionale dell'ammasso roccioso consente il trasferimento laterale della componente di scivolamento lungo discontinuità quali superfici di scistosità o zone di taglio a basso angolo, che conferiscono ai piani di movimento una geometria piuttosto complessa con una caratteristica morfologia "a gradini".

L'assenza nel substrato di *marker* stratigrafici non consente di valutare con attendibilità l'entità delle deformazioni avvenute lungo il versante: tuttavia, in base a considerazioni sulla geometria e sui reciproci rapporti dei blocchi rocciosi, la dislocazione lungo le singole superfici di scivolamento risulterebbe compresa tra alcune decine e diverse centinaia di metri, con una risultante di movimento complessiva di circa 2 km.

Il settore di Richardette (superficie  $7,32\text{ km}^2$ , inclinazione media  $22,7^\circ$ ) coinvolge il versante compreso tra Monfol e il Col Bourget. Il limite laterale con il settore di Sportinia (nel tratto a monte della frazione Le Clotes) è rappresentato da due incisioni torrentizie sub-parallele con andamento SE-NW facenti capo al Rio Gran Comba e al Rio Moretta (Fig. 3). Le manifestazioni più evidenti della deformazione sono concentrate in prossimità dello spartiacque Susa-Chisone, in particolare nel tratto compreso tra il Col Bourget e il Colle di Costa Piana e lungo la dorsale nord-occidentale del M. Genevris: in questi settori il profilo di cresta è per lunghi tratti intersecato da superfici di rottura multiple di estensione ettometrica-chilometrica e di ampiezza pluridecimetrica che danno luogo a contropendenze di versante e trincee (Fig. 6); il rilascio tensionale del substrato che accompagna l'evoluzione di queste strutture è spesso causa dello sviluppo di depressioni chiuse di forma ellittica, talvolta di imponenti dimensioni (fino a 180 m di estensione longitudinale) come quelle visibili nei pressi di Case Laune e del Colle di Costa Piana. A Sud-Ovest della P.ta Moucrons il fenomeno gravitativo si estende sul lato della Val Chisone, dando luogo a

superfici di rottura antitetiche rispetto all'andamento del versante. Analogamente a quanto osservato nel contiguo settore di Sportinia, nel settore di Richardette la DGPV ha riattivato un duplice sistema di discontinuità (rispettivamente con andamento N-S e NNW-SSE) presenti all'interno dell'Unità del Lago Nero. L'entità delle dislocazioni lungo le singole superfici di movimento è più contenuta rispetto a quanto osservato nell'area di Sportinia, con valori indicativamente non superiori al centinaio di metri.

Al di sotto dei 2000 m di quota le evidenze della deformazione svaniscono completamente per lasciare il posto, nei pressi di Pian della Rocca e di Richardette, a numerosi ed estesi (fino ad un massimo di  $0,35\text{ km}^2$ ) accumuli di frana connessi a fenomeni roto-traslativi in roccia.

Il controllo della deformazione gravitativa di versante sui deflussi superficiali è particolarmente evidente a monte della frazione Le Clotes, ove il reticolato idrografico, facente capo al bacino del Rio Gran Comba, ha una densità di drenaggio piuttosto elevata, con incisioni torrentizie estremamente ravvicinate ed allineate in direzione NW-SE; la loro conformazione (talvolta risultano solo debolmente incassate nel versante) è tipica di un reticolato di recente impostazione, a conferma dell'elevata dinamicità morfologica che caratterizza questa porzione della deformazione gravitativa. Tra Case Laune e Richardette le incisioni sono per contro sporadiche e prive di una precisa organizzazione plano-altimetrica.

### 3.2. Il settore di Jouvenceaux

Esteso su una superficie di  $5,27\text{ km}^2$  e con una inclinazione media di  $18,4^\circ$ , il settore di Jouvenceaux coinvolge la porzione di versante compresa tra la frazione Le Clotes (1775 m) e gli abitati di Oulx e Gad (1060 m). L'elemento di maggiore risalto del settore di Jouvenceaux è rappresentato dalla spettacolare morfologia a cono (Figg. 2 e 7), nettamente protesa verso la

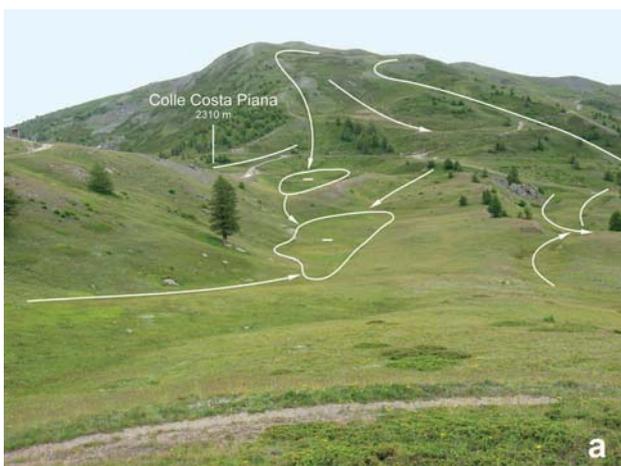


Fig. 6 - a) Superfici di distacco gravitativo e depressioni chiuse nel settore sommitale della DGPV di Richardette, nei pressi del Colle di Costa Piana. Sullo sfondo la P.ta Moucrons (2507 m). b) Trincea localizzata nel settore di Richardette a Est di Case Laune, lungo la dorsale che dalla sommità del M. Genevris si estende verso l'abitato di Monfol. La trincea, orientata in direzione NW-SE, ha un'ampiezza di 40 m, una profondità di 10 m e una lunghezza di 200 m.

a) *Yielding surfaces and pseudo-dolines in the upper portion of the Richardette sector, near the Costa Piana Pass. In the background the P.ta Moucrons (2507 m) is visible.* b) *Trench 40 m wide, 200 m length and 10 m deep, localized 800 m NW of Mt. Genevris and oriented along NW-SE direction.*

pianura alluvionale di Oulx e con apice localizzato nei pressi di Le Clotes.

Verso Sud il limite del fenomeno coincide per lun-

ghi tratti con l'incisione del Rio Moretta, affluente di destra della Dora di Cesana, mentre il limite nord-orientale coincide con l'incisione torrentizia localizzata alcu-

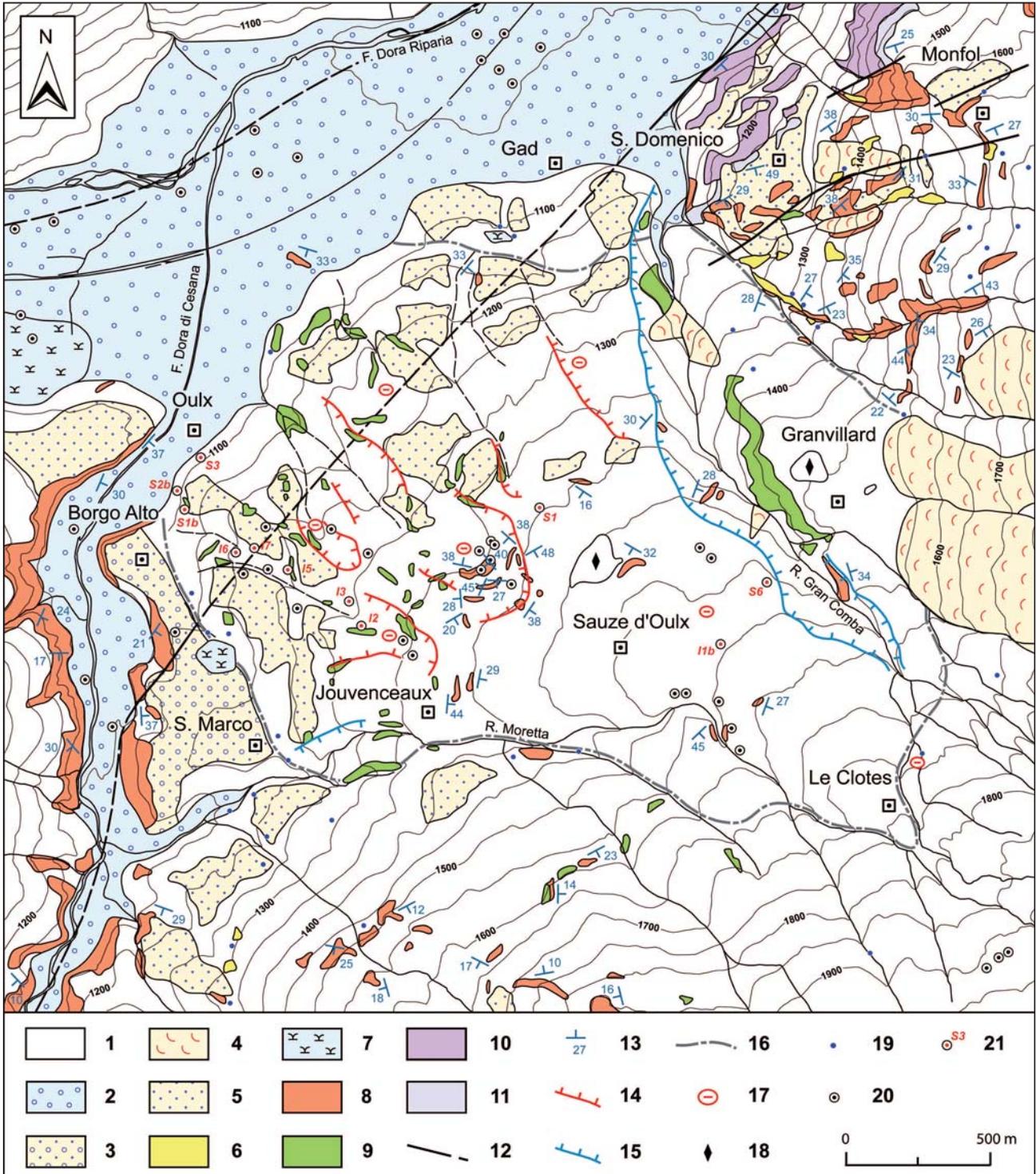


Fig. 7 - Schema geologico della DGPV di Sauze d'Oulx, settore di Jouvenceaux. 1: coltre detritico-colluviale; 2: depositi fluviali; 3: depositi di kame; 4: accumuli di frana; 5: depositi glaciali; 6: travertini; 7: depositi palustri e di torbiera; 8: calcscchistes; 9: serpentinites, serpentinoschistes e ophicalciti; 10: dolomie; 11: breccie carbonatiche e quarziti; 12: faglie; 13: giaciture della scistosità; 14: scarpate di collasso gravitativo; 15: scarpate di erosione; 16: limite del settore di Jouvenceaux; 17: depressioni chiuse o semiaperte; 18: accumuli antropici; 19: sorgenti; 20: sondaggi e pozzi per acqua; 21: inclinometri e sigla identificativa.

Geological map of Sauze d'Oulx DSGSD, Jouvenceaux sector. 1: colluvial deposits; 2: fluvial deposits; 3: kame deposits; 4: landslides; 5: glacial deposits; 6: travertines; 7: marsh deposits and peat bogs; 8: calcschistes; 9: serpentinites, serpentinoschists and ophicalcites; 10: dolomites; 11: carbonatic breccias and quartzites; 12: faults; 13: strike and dip of foliation; 14: gravitational scarps; 15: erosional scarps; 16: Jouvenceaux sector boundary; 17: pseudo-dolines; 18: waste disposal; 19: springs; 20: boreholes and water wells; 21: inclinometers with identification codes.

ne centinaia di metri a Nord della dorsale di Granvillard; quest'ultima è separata dal corpo principale della DGPV dall'incisione del Rio Gran Comba, che per circa 2 km incide il substrato fino ad una profondità massima di circa 100 m. Oltre alle incisioni torrentizie, un ulteriore elemento morfologico di separazione tra il settore di Sauze d'Oulx e quello di Sportinia-Richardette è rappresentato dall'evidente rottura di pendenza osservabile lungo la direttrice Jouvenceaux - Le Clotes - Granvillard.

Nell'area di Jouvenceaux la DGPV coinvolge un'estesa massa di serpentiniti e oficalciti affiorante al di sotto dei 1350÷1500 m di quota tra il Rio Gran Comba e il Rio Moretta. In superficie e in profondità il corpo ofiolitico è piuttosto eterogeneo: esso è composto da volumi rocciosi di dimensioni decametriche-ettometriche di aspetto massiccio e relativamente poco fratturati, separati da fasce di deformazione tettonica di ampiezza metrica-decamentrica costituite da serpentiniti brecciate con frequenti passaggi a serpentiniti cataclastiche di potenza da decimetrica a metrica caratterizzate da un elevato grado di comminuzione della roccia (Fig. 8a). Le fasce maggiormente deformate sono siste-

maticamente pervase da un fitto reticolo di vene biancastre di spessore centimetrico-millimetrico, composte da un aggregato di calcite e tremolite fibrosa (Fig. 8b) che localmente può rappresentare il 25÷30% del volume roccioso: la genesi di queste mineralizzazioni, diffuse in molte masse serpentinitiche localizzate nell'alta Valle di Susa e alla testata della Val Chisone, è stata attribuita ad eventi deformativi fragili post-metamorfici sviluppati a livelli crostali piuttosto superficiali (COMPAGNONI & GROPPPO, 2006).

Le serpentiniti sono separate, tramite un contatto a basso angolo (intercettato in profondità da numerosi sondaggi) irregolarmente immergente di 5÷8° verso Sud-Est, da calcescisti sporadicamente affioranti lungo la S.P. n. 214 tra gli abitati di Jouvenceaux e Sauze d'Oulx (Fig. 5, Sez. B-B'). Gli imponenti sbancamenti effettuati tra i 1340 e i 1450 m di quota per la realizzazione dell'impianto olimpico di *Free-Style*, localizzato a Nord-Ovest dell'abitato di Sauze d'Oulx, hanno evidenziato l'irregolarità dell'assetto giaciturale dei calcescisti imputabile al sensibile allentamento subito a seguito del collasso del versante (Fig. 7).

Con la sola esclusione del Rio Gran Comba, sulla



Fig. 8 - a) Fascia di serpentiniti cataclastiche all'interno di una zona di taglio localizzata nei pressi dell'abitato di Jouvenceaux (Unità di Cerogne-Ciantiplagna). b) Serpentiniti cataclastiche attraversate da un fitto reticolo di vene a calcite e tremolite, affioranti lungo la strada che collega Sauze d'Oulx alla frazione Tachiet (Unità di Cerogne-Ciantiplagna).

a) *Cataclastic serpentinites along a shear zone outcropping on the outskirts of Jouvenceaux (Cerogne-Ciantiplagna Unit). b) Cataclastic serpentinites crossed by a network of irregular and closely spaced veinlets of calcite and tremolite, along the road connecting Sauze d'Oulx and Tachiet (Cerogne-Ciantiplagna Unit).*

superficie del collasso gravitativo il reticolato idrografico è del tutto assente. Al di sotto dei 1400 m di quota sono visibili unicamente alcuni avvallamenti ad andamento rettilineo, con direzione media compresa tra NNW-SSE e WNW-ESE, incassati nel substrato per alcune decine di metri e privi di deflussi idrici; verso monte terminano in corrispondenza di imponenti depressioni (ampie fino a 450 m) semiaperte verso il fondovalle e delimitate da nette scarpate con andamento planimetrico arcuato (Fig. 7). Gli avvallamenti sono separati da dorsali in roccia costituite da serpentiniti poco fratturate e solo sporadicamente attraversate da esigue fasce di serpentiniti cataclastiche. Le dorsali sono inoltre rivestite da coltri più o meno discontinue di depositi glaciali, progressivamente più estese procedendo verso le fasce di versante prossime al fondovalle; i clasti di origine glaciale hanno una composizione petrografica piuttosto eterogenea, con litofacies riferibili sia al bacino della Dora di Cesana, sia a quello della Dora di Bardonecchia.

Il quadro delle manifestazioni descritte è coerente con il graduale assestamento gravitativo subito dall'ammasso serpentinitico il quale, lateralmente non confinato nel suo movimento verso valle, si è espanso radialmente causando fenomeni di rilassamento tensionale e sprofondamento superficiale (talvolta repentini come già segnalato da CAPELLO, 1942) all'origine rispettivamente degli avvallamenti e delle depressioni terminali.

Tra il Borgo Alto, Oulx e l'abitato di Gad il settore frontale della DGPV è bordato da una netta rottura di pendenza che separa il sovrastante tratto di versante a bassa acclività dalla scarpata, estesa in altezza fino ad oltre un centinaio di metri e con una inclinazione di  $35\div 40^\circ$ , lambita dal conoide della Dora di Cesana (Fig. 5, Sez. B-B'). Alla base della scarpata il substrato appare completamente destrutturato, costituito da un ammasso microdetritico e pulverulento in cui sono immersi blocchi metrici di composizione serpentinitica. La fronte poggia inoltre sui calcescisti dell'Unità del Puys, affioranti a poche decine di metri dal margine della DGPV; un analogo rapporto di giustapposizione è stato messo in luce da un sondaggio effettuato nei pressi del Borgo Alto, che ha intercettato la superficie di appoggio delle serpentiniti sui calcescisti.

Nel complesso i dati indicano che la porzione distale del settore di Jouvenceaux ha sopravanzato il limite dell'originario fondovalle nell'intero tratto compreso tra il Borgo Alto di Oulx e Gad: considerando l'andamento del contatto tettonico orientato in direzione NE-SW che separa i calcescisti non ofiolitici dell'Unità del Puys dalle serpentiniti dell'Unità di Cerogne-Ciantiplagna è possibile quantificare in oltre 500 m l'avanzamento della fronte della DGPV. Le serpentiniti microdetritiche rappresenterebbero pertanto il prodotto della frizione sviluppata lungo la fascia di scollamento basale del fenomeno. Il movimento verso valle è responsabile anche del profilo marcatamente convesso del versante rilevabile tra S. Marco e il Borgo Alto di Oulx, in cui l'ammasso serpentinitico risulta poggiare lateralmente sui depositi fluvio-lacustri che costituiscono il terrazzo di *kame*.

Meno chiari risultano invece i rapporti tra i settori di Jouvenceaux e quelli di Sportinia-Richardette: tuttavia la morfologia spiccatamente convessa del versante nel tratto compreso tra Le Clotes e Sauze d'Oulx, resa

ancor più evidente dalle incisioni del Rio Gran Comba e del Rio Moretta, e le risultanze del sondaggio I1b (ubicato a 1540 m di quota) che ha messo in luce, a profondità comprese tra 93 e 105 m e tra 122 e 126 m, due zone di deformazione che separano volumi di calcescisti relativamente indisturbati, indicano la probabile presenza di un parziale reciproco scollamento dei diversi settori del fenomeno gravitativo di Sauze d'Oulx (Fig. 3).

#### 4. CIRCOLAZIONE IDRICA PROFONDA

Il diverso grado di fratturazione e rilascio tensionale del substrato determina variazioni nelle modalità della circolazione idrica interna al versante e conseguentemente differenti caratteristiche idrogeochimiche delle acque. Nell'ambito del collasso gravitativo di Sauze d'Oulx possono essere distinti due complessi idrogeologici, differenziati in funzione delle caratteristiche lito-strutturali degli acquiferi, facenti capo rispettivamente ai settori di Sportinia-Richardette e di Jouvenceaux.

Per effetto dell'elevato grado di allentamento e disarticolazione del substrato, le porzioni più elevate del settore di Sportinia-Richardette costituiscono aree di prevalente assorbimento e infiltrazione delle acque di precipitazione, direttamente connesse con gli acquiferi profondi ospitati all'interno del versante. La percolazione si sviluppa essenzialmente lungo le superfici di scivolamento gravitativo oppure in corrispondenza di volumi rocciosi caratterizzati da spiccati fenomeni di dilatazione: tracce dell'avvenuta circolazione sono visibili sulle superfici di scivolamento, sulle pareti delle trincee e delle fratture beanti che risultano tappezzate da breccie detritiche a cemento carbonatico oppure da concrezioni alabastrine, di spessore centimetrico-millimetrico, costituite da calcite sparitica e, più raramente, da aragonite fibrosa di aspetto coralloide. L'elevata permeabilità dei settori prossimi alle dorsali spartiacque è confermata dall'assenza di emergenze sorgentizie significative: sono infatti presenti unicamente piccole sorgenti con portate massime di  $0,2\div 0,4$  l/s e con valori di conducibilità elettrica relativamente bassi ( $280\div 390$   $\mu\text{S/cm}$ ), congruenti con una circolazione epidermica impostata all'interno delle coltri detritico-colluviali.

Il minore allentamento del substrato e il decrescente grado di apertura delle fratture che si osserva procedendo verso le fasce di versante meno elevate e meno deformate determina un decremento dei valori di permeabilità e una sostanziale chiusura dei circuiti idrogeologici sotterranei che impone alle acque una riemersione verso la superficie. Ciò è confermato dalle numerose sorgenti, talvolta con portate di  $3\div 4$  l/s, localizzate in prossimità del fondovalle, rispettivamente al margine inferiore dei settori di Richardette (tra le frazioni di S. Domenico, Monfol e Granvillard) e di Sportinia (tra le frazioni Tachiet e S. Marco) (Fig. 3), queste ultime distribuite a breve distanza dalle superfici di svincolo laterale della DGPV. La maggiore profondità e lunghezza dei circuiti idrici è in questo caso confermata dagli elevati valori di conducibilità elettrica, compresi tra 430 e 580  $\mu\text{S/cm}$ : nelle unità a calcescisti della Zona Piemontese presenti in alta Valle di Susa e in alta Val Chisone, valori di conducibilità così elevati sono riscontrabili unica-

mente in sorgenti poste alla base di fenomeni di deformazione gravitativa profonda.

Nell'ambito del settore di Jouvenceaux non sono invece presenti emergenze sorgentizie di rilievo. I piezometri dislocati tra Sauze d'Oulx, Jouvenceaux e Oulx all'interno del corpo serpentinitico segnalano la presenza della superficie freatica a profondità comprese tra i 30 m e i 90 m (Fig. 7); per contro i piezometri ospitati all'interno dei calcescisti tra Sauze d'Oulx e Le Clotes indicano che la superficie freatica si colloca a 5÷12 m di profondità. Questi dati giustificano pertanto l'assenza della circolazione idrica sulla superficie del settore di Jouvenceaux, indotta dall'elevata permeabilità dell'ammasso roccioso serpentinitico. La falda freatica, particolarmente depressa all'interno del versante, dà luogo ad emergenze sorgentizie con portate fino a 1,5÷2 l/s localizzate unicamente nei punti di raccordo del versante con il fondovalle (in particolare lungo la superficie di appoggio delle serpentiniti sui calcescisti dell'Unità del Puys; Fig. 5, Sez. B-B') e lungo il contatto tra le serpentiniti e il terrazzo di *kame* di S. Marco.

Connessa a fenomeni di dissoluzione della frazione carbonatica dei calcescisti e alla riprecipitazione della stessa nei punti di affioramento delle acque di percolazione è la presenza di numerose masse di travertino variamente distribuite sulla superficie del settore di Sportinia-Richardette: un primo gruppo di corpi travertinosi, non più alimentati da parte di acque mineralizzanti, è localizzato un chilometro circa a Ovest del Colle di Costa Piana; altri due raggruppamenti di masse carbonatiche, tuttora in parte attivamente alimentate dalle acque sorgentizie, sono stati individuati rispettivamente alla base del settore di Richardette (tra S. Domenico e Monfol) e di Sportinia (a Sud di S. Marco) (Figg. 3 e 7). I corpi travertinosi hanno un'estensione compresa tra poche decine e alcune migliaia di metri quadrati e uno spessore massimo di circa 8-10 m: sono costituiti da differenti facies (breccie di versante, travertini fitoermali e stromatolitici), con associazioni differenziate in funzione del contesto morfo-deposizionale (es. travertini di versante, di sbarramento e di cascata). La precipitazione di travertino nei settori di affioramento delle unità a calcescisti della Valle di Susa e della Val Chisone è stata ricondotta alla presenza di ammassi rocciosi coinvolti da rilasci gravitativi di vario tipo quali frane in roccia di grandi dimensioni e DGPV (FIORASO, 1999; POLINO *et al.*, 2002; FIORASO, 2007). In tal senso anche i travertini localizzati nell'ambito della DGPV di Sauze d'Oulx si inseriscono coerentemente in questo quadro interpretativo; inoltre l'elevato numero di masse travertinose attualmente non più alimentate da emergenze sorgentizie conferma l'elevata dinamicità del versante che in passato ha contraddistinto il settore di Sportinia-Richardette, in grado di modificare le condizioni di permeabilità e le traiettorie di deflusso delle acque sotterranee e la repentina comparsa/scomparsa delle sorgenti (MAZZOCOLA *et al.*, 1998).

## 5. ANALISI DELLE DEFORMAZIONI SUPERFICIALI

Per la definizione di un modello evolutivo affidabile della DGPV di Sauze d'Oulx, si è resa necessaria da un lato la raccolta di informazioni relative alle deformazioni superficiali subite in passato dal versante, dall'al-

tro la messa in opera di un sistema di monitoraggio integrato in grado di fornire indicazioni sull'attività recente ed attuale della deformazione gravitativa. L'utilizzo di diversi sistemi di controllo consente di avviare ai limiti imposti dalle singole metodologie di misura e dalla complessità del fenomeno gravitativo indagato.

Per quanto riguarda i dati storici, già a partire dal XVI secolo sono state segnalate lesioni alle strutture murarie della chiesa parrocchiale dell'abitato di Sauze d'Oulx (CAPELLO, 1942); le lesioni si sono progressivamente ampliate nel corso dei secoli e risultano tuttora chiaramente identificabili in vari punti dell'edificio. A testimonianza dell'entità dei movimenti, si segnala come negli anni '20 del secolo scorso i tentativi di realizzazione di un impianto di derivazione delle acque a scopo idroelettrico siano stati vanificati dalle forti deformazioni subite dalle opere in superficie e in sottoterraneo nel tratto di versante sovrastante l'abitato di Oulx. Ancora più significative appaiono in tal senso le osservazioni riportate da CAPELLO (1942), il quale riferisce che il punto (posto sul fondovalle) dal quale era possibile osservare la guglia del campanile di Sauze d'Oulx si è progressivamente spostato (nel periodo 1906-1940) dal ponte sulla Dora di Bardonecchia (Pont Ventoux) al ponte di Oulx sulla Dora di Cesana, a breve distanza dal piede della DGPV di Sauze d'Oulx: secondo l'Autore la variazione della visuale sarebbe da ricondurre al repentino approfondimento del tratto di versante antistante l'abitato di Sauze d'Oulx a seguito dell'assetamento gravitativo del substrato serpentinitico.

Solo per gli ultimi 15 anni le tecniche di interferometria radar hanno reso disponibili precise misure sull'entità delle deformazioni registrate nel settore di Jouvenceaux. Per avviare ai limiti di osservazione connessi a questa metodologia, si è ricorsi a due distinti sistemi di monitoraggio interferometrico.

Un primo sistema utilizza i dati SAR satellitari con la tecnica dei Permanent Scatterers (PSInSAR™) (FERRETTI *et al.*, 2001; FARINA *et al.*, 2006), rilevati dai sensori ERS 1 e ERS 2 dell'Agenzia Spaziale Europea nel periodo 1992-2001. Gli spostamenti misurati fanno riferimento alla componente dello spostamento reale proiettata lungo la direzione di osservazione del sistema SAR, orientata approssimativamente in direzione E-W (geometria di acquisizione perpendicolare all'orbita quasi-polare dei satelliti). Al fine di definire con maggiore precisione i movimenti del fenomeno gravitativo si sono valutate le componenti della deformazione in direzione Est-Ovest e in direzione verticale. I dati della componente orizzontale (riferiti ad un punto ritenuto stabile localizzato sulla dorsale in roccia ad Ovest dell'abitato di Oulx) sono riportati in Fig. 9: essi evidenziano come l'abitato di Sauze d'Oulx sia contraddistinto dai massimi valori di traslazione verso Ovest, compresi tra 21,5 e 23,9 mm/anno. Valori di poco inferiori caratterizzano i settori di Granvillard e di Jouvenceaux. L'assenza di riflettori nelle aree non antropizzate non consente invece di verificare la distribuzione dei movimenti nei restanti settori della DGPV.

Un secondo sistema di monitoraggio interferometrico utilizza i dati ottenuti da un rilevatore radar terrestre LISA® posizionato sul versante sinistro della Dora di Cesana a circa 1350 m di quota, nei pressi della frazione Pierremenaud: la direzione di osservazione del siste-

ma risulta quindi adatta per rilevare spostamenti orizzontali lungo la direzione WNW-ESE che risulta coerente con l'esposizione del versante di Sauze d'Oulx. Le misure effettuate coprono il periodo settembre 2002 - novembre 2008 e rilevano, per questo intervallo temporale, spostamenti massimi di 110 mm cumulati lungo la direzione di osservazione del sistema radar, equivalente ad una velocità media di 15÷17 mm/anno: i valori massimi si situano in corrispondenza dell'abitato di Jouvenceaux, posto ad una quota analoga a quella del sensore radar (Fig. 9). Queste velocità risultano di poco inferiori a quelle fornite dall'elaborazione del dato satellitare (17,5÷23,9 mm/anno), evidenziando entità di spostamento sulla superficie equiparabili, nonostante i periodi di lettura non sovrapponibili. Un'area di difficile interpretazione è invece quella della frazione Granvillard, localizzata a NE del Rio Gran Comba, dove il dato LISA® non evidenzia alcun movimento a differenza di quanto emerso dall'elaborazione del dato satellitare.

In diversi punti del settore di Jouvenceaux sono posizionati 11 inclinometri, realizzati tra il 2001 e il 2006, che raggiungono profondità comprese tra 13 e 161 m (Fig. 7; Tab. 1); uno di essi (S1b), posto al piede del fenomeno gravitativo nei pressi di Oulx, è dotato di una colonna a sonde inclinometriche fisse automatizza-

te che consente la registrazione in continuo alla quota di posa delle sonde (6 e 11,5 m).

Gli strumenti localizzati nella parte inferiore del versante (S1b, S2b e S3; Tab. 1) hanno registrato nel periodo novembre 2001 - dicembre 2008 movimenti relativamente superficiali (tra 4 e 12,5 m di profondità) con velocità di traslazione orizzontale comprese tra 8,9 e 10,2 mm/anno verso NW-WNW. Entità di movimento comparabili (8,9 mm/anno verso WNW) sono state rilevate in corrispondenza dell'inclinometro S1 localizzato a circa 1400 m di quota: in questo caso i movimenti si concentrano alle profondità di 65÷67 m e 77÷88 m, in corrispondenza delle quali il substrato serpentinitico è attraversato da livelli cataclastico-milonitici; non si registrano invece altri movimenti fino a 161 m di profondità. Gli inclinometri ubicati a quote intermedie (I2, I3, I5, I6, I7) registrano invece deboli movimenti (1,2÷2,1 mm/anno) secondo direzioni variabili (da N a WNW), presumibilmente influenzati dalle condizioni geomorfologiche locali. Infine l'inclinometro I1b, localizzato nel centro dell'abitato di Sauze d'Oulx, non evidenzia movimenti in un'area dove il dato interferometrico satellitare ha per contro rilevato movimenti orizzontali importanti (oltre 2 cm/anno in direzione E-W).

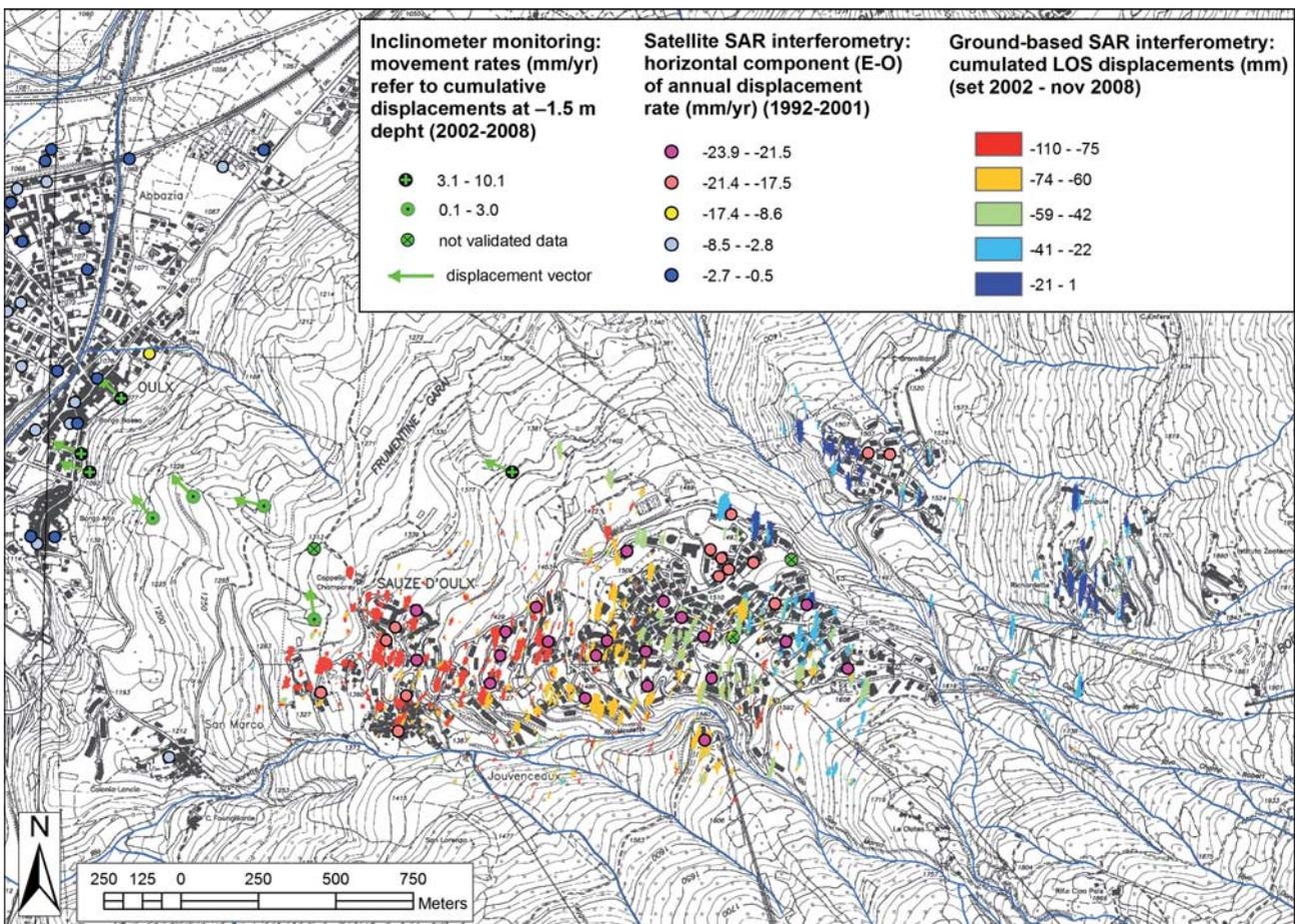


Fig. 9 - Movimenti registrati dal radar satellitare (componente orizzontale E-O), dal radar terrestre (lungo la linea di vista) e dal monitoraggio inclinometrico.

Rate of movement detected by SAR interferometry (E-W component), by ground interferometry (along the radar line of sight) and by inclinometric monitoring.

Tabella 1 - Velocità di deformazione rilevate dagli inclinometri attivi sulla DGPV di Sauze d'Oulx.  
*Rate of movement detected by active inclinometers installed on Sauze d'Oulx DSGSD.*

Inclinometro <i>Inclinometer</i>	Quota <i>Elevation</i> (m)	Profondità strumento <i>Depth of casing</i> (m)	Profondità movimento <i>Depth of movement</i> (m)	Verso movimento alle profondità indicate <i>Direction of movement at different depths</i> (°)	Verso movimento <i>Mean direction of movement</i> (°)*	Velocità media <i>Mean velocity</i> (mm/anno)	Periodo di misura <i>Period of measurement</i>
S1b	1090	20	9÷12,5	N290	N293	9,7	nov 01 - dic 08
S2b	1090	38	7÷9	N300	N288	10,2	nov 01 - dic 08
S3	1110	13	4÷9,5	N320	N313	8,9	nov 01 - dic 08
I5	1255	50	4÷5; 29; 41,5	N230; N270; N200	N284	1,2	gen 02 - lug 08
I6	1200	66	2÷5; 12; 47; 55	N300; N300; N300; N270	N319	2,1	gen 02 - lug 08
I7	1240	50	varie	-	N315	1,5	gen 02 - lug 08
I2	1320	50	2; 14,5; 38,5	N350; N270; N270	N351	1,9	gen 02 - lug 08
I3	1310	59	anomalie da verificare con prossime letture		-	-	gen 02 - lug 08
S1	1400	161	65÷67 e 77÷88	N260; N275÷N312	N293	8,9	mag 01 - giu 08
S6	1510	24	anomalie da verificare con prossime letture		-	-	ott 06 - lug 08
I1b	1540	150	anomalie da verificare con prossime letture		-	-	giu 06 - giu 08

\*considerando la sommatoria vettoriale (a -1,5 m di profondità dal p.c.) degli spostamenti registrati dall'intera colonna inclinometrica.

\*vector sum at -1.5 m below ground surface of the movements recorded by the inclinometric probe.

## 6. EVOLUZIONE DELLA DGPV DI SAUZE D'OULX

La spettacolare morfologia a cono e le imponenti dimensioni del settore di Jouvenceaux costituiscono gli elementi di maggiore spicco dell'area di Sauze d'Oulx, particolarità che non trovano molte analogie con le altre deformazioni gravitative profonde dell'arco alpino occidentale italiano. L'evidenza della DGPV è ulteriormente accentuata dalla sua sovrapposizione sul paesaggio glaciale, attestata dalla morfologia convessa sensibilmente protesa verso il fondovalle e dallo stridente contrasto con il profilo dei versanti che circondano la conca di Oulx.

Il cono è l'espressione di una lenta deformazione del versante sviluppata essenzialmente all'interno dell'ammasso serpentinitico per effetto dell'elevato grado di fratturazione e cataclasi della roccia. La deformazione si sviluppa con meccanismi di *creep* lungo le numerose fasce cataclastico-milonitiche localizzate nelle serpentiniti, dando luogo ad una ulteriore frammentazione e alla totale perdita della già scarsa coesione e compattezza delle serpentiniti. In profondità gli effetti della deformazione, oltre che dall'analisi dei numerosi sondaggi geognostici, possono essere chiaramente osservati lungo il margine frontale del collasso in cui, in più punti, affiora una fascia di materiale microdetritico completamente destrutturato costituito da frammenti di serpentinite e calcite avvolti da un feltro di microfibre di tremolite.

L'ipotesi di un movimento lento concentrato lungo diverse fasce cataclastico-milonitiche è confermata dalla distribuzione in profondità delle deformazioni messe in luce dalle sonde inclinometriche. Dall'analisi dei dati esposti nel § 5 emerge chiaramente come le velocità di movimento registrate con le sonde inclinometriche (in testa tubo) appaiano sensibilmente più basse rispetto ai valori misurati in superficie ricavati

dall'analisi interferometrica e dai rilievi topografici GPS condotti nell'area nel periodo 2008-2009. E' pertanto possibile affermare che le colonne inclinometriche intercettano solo una parte dei movimenti in atto, quanto meno nelle aree di Sauze d'Oulx e Jouvenceaux. Lo spessore di roccia coinvolto dal movimento risulterebbe quindi ben superiore ai 161 m, profondità massima alla quale opera la strumentazione inclinometrica. Tra i 161 e i 200 m di profondità (porzione investigata dal sondaggio geognostico S1) sono state infatti individuate altre zone di taglio milonitiche di spessore pluridecimetrico analoghe a quelle più superficiali in cui è registrato il movimento. Inoltre la quasi completa assenza di deformazioni all'interno della colonna inclinometrica I1b, localizzata 900 m a SE della S1 e profonda 150 m, conferma che i movimenti si verificano a profondità più elevate (Fig. 5, Sez. B-B').

In superficie l'accomodamento della deformazione è avvenuto con lo sviluppo di avvallamenti rettilinei ad andamento radiale (impostati lungo preesistenti discontinuità del substrato), accompagnati da localizzati fenomeni di subsidenza (cfr. depressioni semiaperte): questi elementi denotano, quanto meno in superficie, un comportamento essenzialmente fragile e passivo delle serpentiniti in risposta al loro graduale spandimento verso il fondovalle. Il fenomeno presenta forti analogie con i fenomeni di crepacciamento radiale osservati negli scivolamenti di terreni plastici (BRUNSDEN & IBSSEN, 1996) e nelle fronti glaciali in prossimità degli sbocchi vallivi (BENNET & GLASSER, 1996). La presenza di una deformazione passiva della parte corticale del fenomeno di collasso è confermata dall'andamento relativamente poco disturbato del contatto calcescisti-serpentiniti, tracciabile a partire da Jouvenceaux fino alla frazione di Granvillard.

L'assenza di precisi limiti stratigrafici facilmente individuabili non consente di quantificare l'entità della

deformazione subita dal versante: tuttavia in corrispondenza della DGPV di Jouvenceaux è presente una lacuna morfostratigrafica nella successione glaciale, con fasce di modellamento e limite massimo di conservazione dei depositi altimetricamente traslati verso valle di 360÷380 m rispetto a quanto osservato nei settori esterni al fenomeno gravitativo.

Tutti gli elementi fin qui analizzati consentono di ipotizzare per il settore di Jouvenceaux della DGPV di Sauze d'Oulx un movimento simile a quello dei *rock flow*, con caratteristiche non molto dissimili da quelle descritte da COWAN & MANSFIELD (1970) per fenomeni di flusso sviluppati a spese di serpentiniti. Questo modello evolutivo giustificerebbe la presenza del rigonfiamento lungo i margini frontale e laterale del corpo serpentinitico e soprattutto il totale scollamento della porzione inferiore del versante e la sua giustapposizione sui calcescisti indeformati dell'Unità del Puys. Pur in assenza di dati di sottosuolo sufficientemente profondi, in base a questa ipotesi è presumibile che l'entità dello sradicamento dell'ammasso roccioso decresca gradualmente verso monte (Fig. 5, Sez. B-B').

Sebbene le caratteristiche morfologiche del settore di Jouvenceaux siano sensibilmente diverse rispetto a quelle osservate nel resto del versante, appare tuttavia evidente che i diversi settori che compongono il fenomeno di Sauze d'Oulx sono strettamente interdipendenti nella loro evoluzione. In tal senso l'avvio del *rock flow* di Jouvenceaux si è verosimilmente sviluppato parallelamente al movimento del settore di Sportinia-Richardette, in parte richiamato verso valle dal progressivo svuotamento e detensionamento del settore centrale del versante. In base alla configurazione delle superfici di rottura e all'entità della dislocazione relativa tra i singoli volumi rocciosi, l'evoluzione del settore di Sportinia-Richardette può essere schematizzata secondo un meccanismo "a domino" (*book-shelf model*): il movimento dei blocchi, guidato dalla configurazione delle discontinuità presenti nel substrato, è avvenuto con movimenti di tipo traslativo. Lo scivolamento dei pacchetti di roccia si sarebbe inoltre svolto secondo un meccanismo retrogressivo, con il coinvolgimento di porzioni di substrato progressivamente più profonde come evidenzia la conformazione del versante settentrionale del M. Triplex (Fig. 5, Sez. A-A'); tale meccanismo è inoltre responsabile della parziale (Col Bourget) o completa (Colle di Costa Piana) decapitazione delle testate di alcuni dei bacini tributari della Val Chisone (Fig. 3).

Il fenomeno di Sauze d'Oulx si è sviluppato successivamente a un'intensa e prolungata fase di esarazione glaciale che ha determinato un sensibile approfondimento erosivo dei solchi vallivi (con particolare riferimento al segmento della Dora di Bardonecchia) e un conseguente incremento dei valori dell'energia del rilievo, che attualmente sono compresi tra i 1500 e i 1700 m. L'insacco della DGPV di Sauze d'Oulx è avvenuto presumibilmente in concomitanza con il termine dell'LGM, parallelamente alla graduale riduzione di spessore delle lingue glaciali (DAL PIAZ, 1936; PANIZZA, 1973) provenienti dai settori di Cesana e di Bardonecchia, ed è stato favorito dalla disponibilità di ingenti quantitativi di acque di fusione in grado di permeare l'ammasso roccioso.

Pur in assenza di dati adeguati sull'avvio della

deformazione, l'ipotesi post LGM sull'età del collasso gravitativo di Sauze d'Oulx può essere formulata in base ai dati ricavati da alcune datazioni U/Th effettuate sui travertini localizzati nei pressi di S. Domenico (alla base del settore di Richardette) che hanno fornito un'età di  $11506 \pm 66$  anni b.P., confrontabile con quelle ricavate da altri corpi travertinosi localizzati in località Le Selle (3 km circa a NE del M. Genevris, nel Parco Naturale del Gran Bosco di Salbertrand) pari a  $10145 \pm 225$  e  $9475 \pm 670$  anni b.P. (ALI *et al.*, 2006). Questi dati confermano che nelle fasi terminali del Pleistocene superiore il versante che ospita il settore di Richardette doveva aver già sperimentato quanto meno un sensibile grado di rilascio tensionale in grado di innescare una circolazione idrica profonda necessaria allo sviluppo dei fenomeni di dissoluzione e riprecipitazione del carbonato di calcio (FIORASO, 1999, 2007).

Parallelamente all'evoluzione della DGPV di Sauze d'Oulx si è verificato il graduale colmamento del solco glaciale della Dora di Bardonecchia con una potente successione di depositi fluvio-lacustri, che tuttavia in base ai dati di sottosuolo non sono in diretto rapporto con il fenomeno gravitativo. Attualmente i margini della DGPV sono lambiti dagli imponenti conoidi della Dora di Cesana e del Rio Gran Comba: i numerosi eventi di piena torrentizia e di *debris flow* storicamente documentati per quest'ultimo corso d'acqua (talvolta con mobilitazione di ingenti volumi di materiale solido, come avvenuto nel corso dell'evento del 20 maggio 1728) confermano la presenza di intensi fenomeni erosivi sviluppati a spese delle serpentiniti cataclastiche, con ulteriori effetti di destabilizzazione indotti dallo scalzamento laterale lungo la Gran Comba.

## 7. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

La DGPV di Sauze d'Oulx rappresenta un fenomeno anomalo se rapportato ai collassi gravitativi profondi riscontrati nell'arco alpino occidentale, sia sotto l'aspetto cinematico sia sotto quello morfoevolutivo. Questa particolarità è da attribuire in primo luogo al ruolo chiave assunto dal settore di Oulx, in cui si osserva l'interferenza tra uno dei più complessi nodi strutturali del settore alpino occidentale e il modellamento superficiale quaternario, alternativamente svolto dai ghiacciai e dai corsi d'acqua. Il fenomeno gravitativo di Sauze d'Oulx, nel suo aspetto attuale, costituisce infatti l'ultima tappa di una storia evolutiva che ha visto per lungo tempo protagonisti i ghiacciai della Valle di Susa: l'intensa e prolungata attività esarativa svolta dal ghiacciaio della Dora di Bardonecchia, e secondariamente da quello della Dora di Cesana, ha determinato l'approfondimento del solco vallivo e lo scalzamento dei versanti, creando i presupposti per un progressivo rilascio tensionale degli ammassi rocciosi; ciò ha consentito l'avvio della deformazione che, sulla base dei dati morfostratigrafici e di movimento pregressi ed attuali, pare essersi esplicata più o meno continuativamente a partire dal termine dell'LGM.

Per il settore di Sportinia-Richardette, ospitato nelle successioni metasedimentarie a calcescisti dell'Unità di Cerogne-Ciantiplagna e dell'Unità del Lago Nero, le manifestazioni morfologiche di superficie appaiono del tutto simili a quelle rilevate nelle altre

DGPV ospitate nella Zona Piemontese e, più in generale, a quelle che accomunano i fenomeni di *rock flow*: sviluppo di superfici di rottura sommitali multiple, entità delle dislocazioni progressivamente minori procedendo verso le aree di fondovalle, assenza di superfici di rottura continue nella parte medio-inferiore dei versanti (ZISCHINSKY, 1969; VARNES, 1978; SORRISO-VALVO, 1995; BISCI *et al.*, 1996).

Le caratteristiche del settore di Jouveceaux risultano invece meno facilmente inquadrabili nei classici schemi evolutivi proposti per i grandi collassi gravitativi profondi. La presenza di un substrato serpentinitico estremamente fratturato e tettonizzato giustifica, senza alcun dubbio, molti dei caratteri morfologici più evidenti: presenza di una morfologia di flusso abbinata a fessurazioni radiali, la totale mancanza di circolazione idrica superficiale, l'assenza di superfici di svincolo gravitativo macroscopiche. Questi elementi sono compatibili con una deformazione di tipo plastico (se rapportata alle dimensioni del volume roccioso coinvolto) in cui prevalgono meccanismi di creep profondo sviluppati lungo le numerose zone di taglio cataclastiche presenti. L'entità dello spostamento della massa in movimento può essere stimata in circa 500÷600 m sulla componente orizzontale, con valori circa dimezzati per quella verticale: questi dati appaiono ben confrontabili (come ordine di grandezza) con quelli ricavati dai diversi sistemi di monitoraggio. L'ammasso serpentinitico, rifluito verso valle con un meccanismo di tipo *rock flow*, si è pertanto lentamente adagiato sull'estesa superficie in roccia (attualmente mascherata dal conoide della Dora di Cesana) che si estende al di sotto dell'abitato di Oulx. La superficie basale del fenomeno, assume pertanto un ruolo passivo nell'evoluzione del fenomeno, non potendosi ad essa attribuire alcun fattore predisponente nell'evoluzione della deformazione gravitativa profonda del versante di Sauze d'Oulx.

## RINGRAZIAMENTI

Si ringraziano i due anonimi referee per la lettura critica del manoscritto e per i preziosi suggerimenti forniti. Ricerca finanziata dal CNR - Istituto di Geoscienze e Georisorse - Unità Operativa di Torino nell'ambito del Progetto CARG.

## BIBLIOGRAFIA

- ALI A.A., MARTINEZ M., FAUVART N., ROIRON P., FIORASO G., GUENDON J.-L., TERRAL J.-F. & CARCAILLET C. (2006) - *Incendies et peuplements à Pinus mugo Turra dans les Alpes occidentales (Val de Susse, Italie) durant la transition Tardiglaciaire-Holocène: une zone refuge évidente*. C. R. Biologies, **329**, 494-501.
- BARFETY J.C., LEMOINE M., MERCIER D., POLINO R., NIEVERGELT P., BERTRAND J., DUMONT T., AMAUDRIC DU CHAFFAUT S., PECHER A. & MONJUVENT G. (1996) - *Carte Géologique de France (1/50.000), feuille Briançon (823)*. BRGM, Orléans.
- BENNET M. & GLASSER N.F. (1996) - *Glacial geology. Ice sheets and landforms*. John Wiley & Sons, 364 pp.
- BISCI C., DRAMIS F. & SORRISO-VALVO M. (1996) - *Rock flow (sackung)*. In: DIKAU R., BRUNSDEN D., SCHROTT L. & IBSEN M. (Eds.), *Landslide recognition*. John Wiley & Sons, 150-160.
- BOGAARD T., GUGLIELMI Y., MARC V., EMBLANCH C., BERTRAND C. & MUDRY J. (2007) - *Hydrogeochemistry in landslide research: a review*. Boll. Soc. Géol. Fr., **178** (2), 113-126.
- BROVERO M., CAMPUS S., FORLATI F., RAMASCO M. & SUSELLA M. (1996) - *La frana del "Cassas", Salbertrand, Val di Susa*. In: REGIONE PIEMONTE & UNIVERSITÉ J. FOURIER (Eds.), *Rischi generati da grandi movimenti franosi*. Programma Interreg I Italia-Francia, 71-103.
- BRUNSDEN D. & IBSEN M.-L. (1996) - *Mudslide*. In: R. DIKAU, D. BRUNSDEN, L. SCHROTT & M.-L. IBSEN (Eds.), *Landslide recognition: identification, movement and causes*. John Wiley & Sons Ltd., 103-119.
- CADOPPI P., CASTELLETTO M., SACCHI R., BAGGIO P., CARRARO F. & GIRAUD V. (2002) - *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000. Foglio 154 "Susa"*. Servizio Geologico d'Italia, 127 pp.
- CAPELLO C.F. (1942) - *Geomorfologia della regione ulzina (Valle di Susa)*. L'Universo, **23** (9), 509-522.
- CARRARO F., DRAMIS F. & PIERUCCINI U. (1979) - *Large-scale landslides connected with neotectonic activity in the alpine and apennine ranges*. IGU-UNESCO Proc. 15<sup>th</sup> Plenary Meeting Commission on Geomorphological Survey and Mapping. Modena, 7-15 settembre 1979, 213-220.
- CARRARO F. & FORNO M.G. (1981) - *Segnalazione di una "paleofrana" in Val Chisone presso Fenestrelle (Prov. di Torino)*. Geogr. Fis. Dinam. Quat., **4**, 48-54.
- CARRARO F., FORNO M.G., GIARDINO L. & PARO L. (Eds.) (2005) - *Natural hazards related to recent geological processes and regional evolution*. Il Quaternario, **18**(2), 3-55.
- COMPAGNONI R. & GROppo C. (2006) - *Gli amianti in Val di Susa e le rocce che li contengono*. Rend. Soc. Geol. It., **3**, Nuova Serie, 21-28.
- COWAN D.S. & MANSFIELD C.F. (1970) - *Serpentine flows on Joaquin Ridge, Southern Coast Ranges, California*. Geological Society of America Bulletin, **81** (9), 2615-2628.
- DAL PIAZ G. (1936) - *Su alcuni casi di scoscendimento ad uncino osservati in Valle Aurina e in Val di Vizze (Alto Adige)*. - Studi Trentini di Scienze Naturali, **17**, 1-16.
- FARINA P., COLOMBO D., FUMAGALLI A., MARKS F. & MORETTI S. (2006) - *Permanent Scatterers for landslide investigation: outcomes from the ESA-SLAM project*. Engineering Geology, **88**, 200-217.
- FERRETTI C., PRATI F. & ROCCA F. (2001) - *Permanent Scatterers in SAR Interferometry*. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, **39**, 8-20.
- FIORASO G. (1999) - *I travertini della Valle di Susa e della Val Chisone (Provincia di Torino): caratterizzazione sedimentologica, morfologica e ipotesi genetiche*. Il Quaternario, **12** (2), 147-160.
- FIORASO G. (2007) - *I travertini delle Alpi Cozie settentrionali: significato geologico, paleoecologico e paleoambientale*. Annali Scientifici del Massiccio del Monviso, **3**, 45-65.

- FORLATI F., MORELLI M., PARO L., PIANA F., POLINO R., SUSELLA G. & TROISI C. (2004) - *The Cassas landslide*. In: CH. BONNARD, F. FORLATI & C. SCAVIA (Eds.), *Identification and mitigation of large landslide risks in Europe*. European Commission. Fifth Framework Programme. IMIRLAND Project. A.A. Balkema Publishers, 45-87.
- 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. & BAGGIO P. (1998) - *Cartografia geologica e fenomeni di instabilità gravitativa: applicazioni di un nuovo metodo di raccolta dei dati di terreno*. In: F. LUINO (Ed.), *Atti del convegno internazionale "La prevenzione delle catastrofi idrogeologiche: il contributo della ricerca scientifica"*. Pubblicazione GNDCI n. 1600, 1, 209-221.
- GIARDINO M. & FIORASO G. (1998) - *Cartografia geologica delle formazioni superficiali in aree di catena montuosa: il rilevamento del Foglio "Bardonecchia" nell'ambito del progetto CARG*. Mem. Sci. Geol., **50**, 133-153.
- LOLLINO G., TROPEANO D. & TURCONI L. (2002) - *Sintesi degli eventi di piena e frana avvenuti nell'anno 2001 in Italia Nord-Occidentale*. GEAM, **105**, 27-43.
- MAZZOCOLA D., LAFFI R., SCIESA E. & PRESBITERO M. (1998) - *State of activity evaluation for landslides in deep-seated slope deformation areas*. 8<sup>th</sup> International IAEG Congress. Balkema, Rotterdam, 1209-1216.
- MORTARA G. & SORZANA P.F. (1987) - *Fenomeni di deformazione gravitativa profonda nell'arco alpino occidentale italiano. Considerazioni lito-strutturali e morfologiche*. Boll. Soc. Geol. It., **106**, 303-314.
- PANIZZA M. (1973) - *Glacio pressure implications in the production of landslides in the dolomitic area*. Geol. Appl. Idrogeol., **8**, 289-297.
- POLINO R., BORCHI A., CARRARO F., DELA PIERRE F., FIORASO G. & GIARDINO M. (2002) - *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000. Foglio 132-152-153 "Bardonecchia"*. Servizio Geologico d'Italia, 128 pp.
- POLINO R., FIORASO G. & MALUSÀ M. (in stampa) - *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000. Foglio 171 "Cesana Torinese"*. Istituto Superiore per la protezione e la Ricerca Ambientale, 128 pp.
- PUMA F., RAMASCO M., STOPPA T. & SUSELLA G. (1989) - *Movimenti di massa nelle alte valli di Susa e Chisone*. Boll. Soc. Geol. It., **108**, 391-399.
- SORRISO-VALVO M. (1995) - *Considerazioni sul limite tra deformazione gravitativa profonda di versante e frana*. Mem. Soc. Geol. It., **50**, 179-185.
- TROPEANO D. & OLIVE P. (1993) - *Eventi geomorfologici nelle Alpi italiane e nella pianura occidentale del Po: inquadramento cronologico in base a radiodattazioni <sup>14</sup>C*. Il Quaternario, **6** (2), 189-204.
- VARNES D.J. (1878) - *Slope Movement. Type and processes*. In: SCHUSTER R.L. & KRIZEK R.J. (Eds.), *Landslide analysis and control*. Transportation Research Board Special Report, **176**, Nat. Acad. of Sciences, Washington, 11-33.
- ZISCHINSKY U. (1969) - *Über sackungen*. Rock Mechanics, **1**, 30-52.

Ms. ricevuto il 28 ottobre 2009  
 Testo definitivo ricevuto il 26 marzo 2010

Ms. received: October 28, 2009  
 Final text received: March 26, 2010