



An example of data's analysis coming from the geological monitoring: Ruinon landslide in upper Valtellina (Sondrio, Italy)

Un esempio di analisi dei dati provenienti dal monitoraggio geologico: la frana del Ruinon in Alta Valtellina (Sondrio)

Luca Dei Cas

ARPA Lombardia - Dipartimento di Sondrio
U.O. Coordinamento Amministrativo Centro di Monitoraggio Geologico e CNM

ABSTRACT

Ten years ago, the Geological Monitoring Centre activated in upper Valtellina (SO) a real-time monitoring system for the monitoring of the Ruinon landslide. Movements measurement and hydrogeological, geophysical and geotechnical investigations have permitted to investigate accurately the slope whilst improving the definition of the geological model of the landslide area. With the reconstruction of the trend of the underground water circulation, it was possible to clarify the relationship between groundwater feeding, NE-SW features and superficial flows of the neighbouring Torrent Confinale. Furthermore, it was highlighted that the "simultaneity" of the movement of all the area included between the upper main scar (2100 m. above sea level) and 1830 m. above sea level. The joint evaluation of superficial and deep movements allowed estimating in 10-15 million cubic metres the maximum volumetry involved in the disarrange. The comparative analysis of movements and of the meteorological situation allowed us at last to highlight the determining role, for the landslide accelerations, of the snowy dissolution and assume a worsening of the immobility of the rock mass depending on the repetition of the cycles of acceleration.

RIASSUNTO

In alta Valtellina (SO) da dieci anni il Centro di Monitoraggio Geologico, struttura della Regione Lombardia ora afferente ad ARPA, ha attivato un sistema di monitoraggio in tempo reale per il controllo della frana del Ruinon. Le misurazione dei movimenti, effettuate nel corso di questi anni, sono state successivamente implementate ed hanno visto l'utilizzo di: estensimetri a filo, distometri, sonde inclinometriche, sonde piezometriche, cavi TDR, ricevitori GPS e mire ottiche per misurazioni topografiche. Numerose indagini, geofisiche, idrogeologiche e geotecniche, hanno inoltre permesso di investigare accuratamente il versante affinando la definizione del modello geologico dell'area di frana. Sulla base di detta imponente mole di dati il presente lavoro ha quindi sviluppato una serie di analisi finalizzate alla definizione delle criticità del dissesto. La ricostruzione della circolazione idrica sotterranea ha permesso di dimostrare come l'acqua del bacino si raccolga, come in un grande catino, a monte dell'area di frana e, almeno in parte, fuoriesca a valle di quota 1830 m.slm. dove sono presenti numerose sorgenti. La falda di versante, presente nell'area di frana, appare solo marginalmente alimentata dagli scorrimenti superficiali del limitrofo Torrente Confinale mentre riceve alimentazioni profonde in relazione ai lineamenti NE-SW. L'analisi dei dati estensimetrici/distometrici, unitamente a quelli provenienti dalle misure topografiche, permettono di definire una "simultaneità" di movimento per tutta l'area compresa fra la nicchia alta (2100 m.slm.) ed i 1830 m.slm. La valutazione congiunta di movimenti superficiali e profondi ha permesso di stimare in 10-15 milioni di mc la volumetria massima coinvolta nel dissesto. L'analisi comparata di movimenti e situazione meteorologica ha infine permesso di evidenziare il ruolo determinante, per le accelerazioni della frana, dello scioglimento nivale e di ipotizzare un peggioramento della staticità dell'ammasso in funzione del ripetersi dei cicli di accelerazione.

1. INTRODUCTION

The zone called "Ruinon" is located in upper Valtellina, on right side of Valfurva (Sondrio), in an area included between 2100 m. a.s.l. and the bottom of the valley (1500 m. a.s.l.). The disarrange, noted in 1983 as some debris concerned the area up to 1700 m a.s.l., assumed certain characteristics that required the Regione Lombardia's specific attention. From 1997, Regione Lombardia started installing a monitoring

system in order to increase the knowledge on the phenomenon and be able to forecast any collapse.

This monitoring system is managed by the Geological Monitoring Centre (CMG), now affiliated to the Sondrio Department of ARPA Lombardia, which installed instrumentation, with transmission of the real-time data, and executes periodical survey campaigns with manual instrumentation (convergence tape measurement, piezometric measurement, topographical measurement, GPS, TDR, borehole inclinometer). The

analysis of the data set collected, together with the investigations made up to the present time, allows us to develop a few considerations:

- geological area model;
- underground water circulation in the landslide area;
- ground and volumetries involved in the landslide movement;
- movement mode and correlation with meteorological situation.



Fig. 1 - Geographic arrangement of the Ruinon landslide. In the square, the localization with respect to the northern Italy.

Collocazione geografica della frana del Ruinon. Nel riquadro la localizzazione rispetto al nord Italia.

2. THE SLOPE'S GEOLOGY AND HYDROGEOLOGY

The geology of this area was investigated and described by several authors [LAFFI *et al.*, 1997; DEL PICCOLO, 1998; CROSTA *et al.*, 1999; CANUTI *et al.*, 2002; GRIFFINI, 2004]. The slope interested by the so-called "Ruinon landslide" is entirely included in the Falda Ortles-Campo. More in detail, in the landslide area there appears exclusively "Filladi di Bormio" constituted from sericitic and cloritic fillades paragneiss levels of greenish grey colour, rich of nodules and lenses of milky quartz. The phyllites turn out intently deformed with the formation of isoclinal folds generally transposed. In a few transposed folds other terms of the series of Campo-Ortles are also involved as marbles, "metabasiti and prasiniti" [CASAGLI *et al.*, 2007]. These marbles form a quite thick level that appears upstream of the Ruinon between 2400 and 2650 metres a.s.l.

With regard to the structural evidences, it is easy to observe how a big part of the Valfurva right slope presents several DPGV clues with counter slopes, which

lengthwise cross the slope for hundreds of meters. In particular, in the area at hand, these deformations are clear and close between 2100 m. a.s.l. and 2300 m. a.s.l. with gaping trench presence immediately uphill of the landslide area [CROSTA *et al.*, 1999].

Morphologically, the basin upstream of the landslide area is characterized by the presence of the Confinale Lake (2950 m. above sea level) and relative emissary, which, in the less high part, delimits the left side of the Ruinon. Beyond 2800 m. a.s.l., there is also periglacial morphology evidence (rock glaciers, polygonal soils) to testify the presence (for big part certainly inactive) of permafrost. Such situation could turn out interesting above all in relation to the presence of the quantities of water and to the relative interferences with the below landslide. Recent studies [M. GUGLIELMIN, 2004] show us that in recent years, the permafrost located in the most superficial sectors (10-12 meters from the ground level) have undergone a remarkable heating. In particular in the near area of the Stelvio, to 3000 m. a.s.l., a strong heating (+1°C) was registered in permafrost of the 15 first meters from the ground level, in the summer of 2000 and summer of 2001.

The observation of the landslide area allows us to immediately identify, on the basis of the morphological evidences, an upper main scar, (circa 2100 m. a.s.l) and a lower main scar (approximately 1900 m. a.s.l.). The upper main scar shows a rocky step, with variable heights between five and twenty metres, which starts with a SW-NE trend for about 500 meters. The lower main scar, with the same trend but lengthier, has a more limited height difference with respect to the overhanging one.

The area of the Ruinon is delimited on the left side (SE) from the afore mentioned Confinale Torrent, set up along fractures belonging to the perpendicularly oriented family to the slope [CROSTA *et al.*, 1999], while the opposite side (NW) is delimited from a sub vertical fracture with NNE-SSW trend that is also almost perpendicular to the slope.

In the last two decades, the landslide area was also inspected several times by drilling boreholes. Ten vertical drillings have been executed, of which it has not always been possible to find the stratigraphy, so identifiable:

S1 and S2: On project of CMAV, they were realized in 1988 by ISMES downstream the lower main scar. Results highlight detrital covering 31,8 and 25,6 meters from the ground level. Beneath such depths (up to 95 meters) the rock has high RQD, on average comprised between 70 and 100%. [ISMES, 1989];

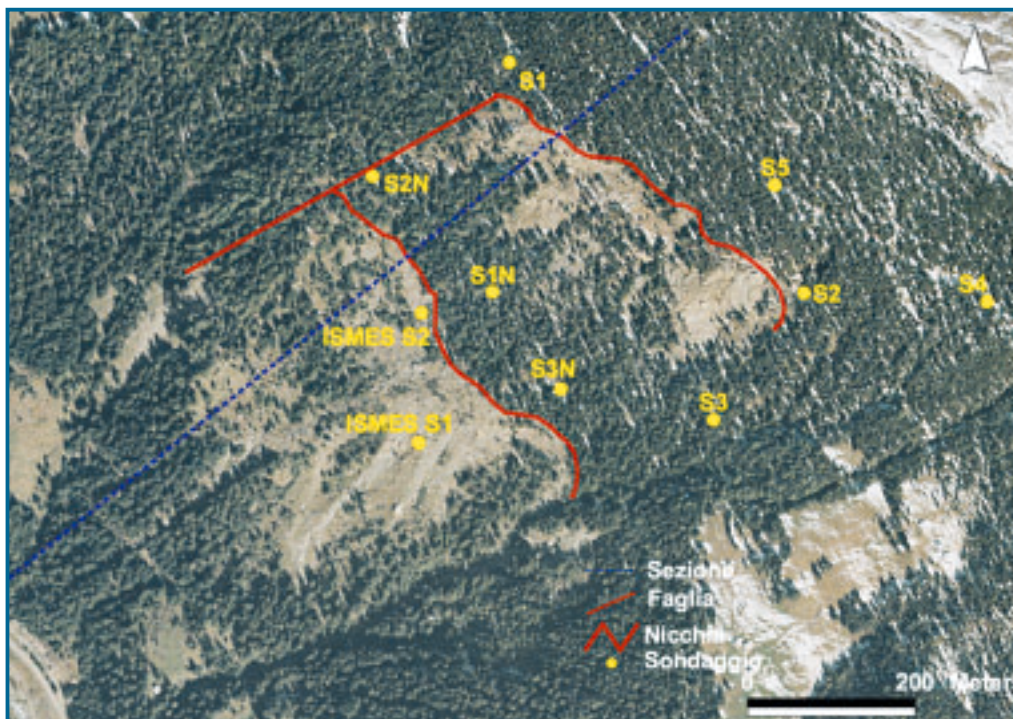


Fig. 2 - Aerial photograph (year 1998) with localization of the upper main scar, of the geological lower main scar, of the fault which delimits the landslide area to North west, of the drilling points and section track shown in figure 3. (N. Bondio)

Fotografia aerea (anno 1998) con localizzazione della nicchia alta, della nicchia bassa, della faglia che delimita a nord-ovest l'area di frana, dei punti di sondaggio e della traccia della sezione geologica riportata in figura 3 (N. Bondio).

S1-S2 and S3: On commission of the Regione Lombardia they were realized by the company SOGETEC in 1999. The two first boreholes were executed to destruction, the third recovery with stratigraphy that highlights weak level presence. In particular, in the S3 vertical the presence of bedrock is found from 3,9 metres from the ground level and there is a first level with RQD 0% between 17,25 and 19,90 meters. A further very bad level from the ground level (RQD 0%) is present at 72 metres from the ground level. In 2004, during the execution of an inclinometer measurement, an interruption of the vertical was discovered at 16 metres below the ground level, demonstrating a movement close to the RQD 0% level (17,25 m. a.s.l.) [SOGETEC, 1999];

S4 and S5: In 2001, upon request of the Regione Lombardia, two vertical boreholes were realized, at 40 m. of depth, a little upstream of the upper main scar;

Sn1: presence of deposits of landslide down to 33,2 metres from the ground level. Beneath such depth and down to 100 metres from the ground level the rock presents itself with RQD always higher than 20% [SOGETEC, 2004];

Sn2: under the landslide deposits (25,5 metres from the ground level) the bedrock has a wide zone (12 metres), comprised between 64 and 80 metres from the ground level, with RQD 0% [SOGETEC, 2004];

Sn3: under the landslide deposits (38 metres from the ground level) the bedrock has good geomechanical characteristics up to the intervals 86-88 m. (RQD 0%) and 94-96 m. (RQD 0%) [SOGETEC, 2004].

With regards to the hydrogeology, this area is characterized, in surface, by the presence of Lake Confinale (2950 m above m.s.l.) and of the homonymous torrent. Observations repeated in the years have permitted to notice how the water, which comes out of the lake, infiltrates little downstream from the waterfalls at 2900 m above sea level. Downhill, between 2450 and 2280 m a.s.l., several sources positioned downstream of the afore mentioned marble emergence, the Confinale Torrent again starts to flow superficially. It must be noted that the Confinale Torrent's flow at the exit of the lake is of circa one/two orders of size lower than that of the torrent near the landslide. What has to be furthermore remembered is that "observations led on the Confinale's torrent in the period 1996-1997 highlighted that during the spring months of '97, torrent waters were completely infiltrating in the subsoil between 2130 and 2140 m. above sea level" [R. LAFFI *et al.*, 1997] and that this datum turns out almost congruent with the results of the geophysical investigation performed in 2001 by EEG s.r.l., on behalf of Sogetec, from which the presence, to about 2.200 m. a.s.l., of an underground water flow outgoing from the torrent towards the landslide is deduced.

In the wide sector included between the upper and the lower main scar there is no evidence of superficial flowing; while sources are noticed, with variable and discontinuous range, downstream at 1830 m. a.s.l.

The Ruinon's strong dynamics made especially

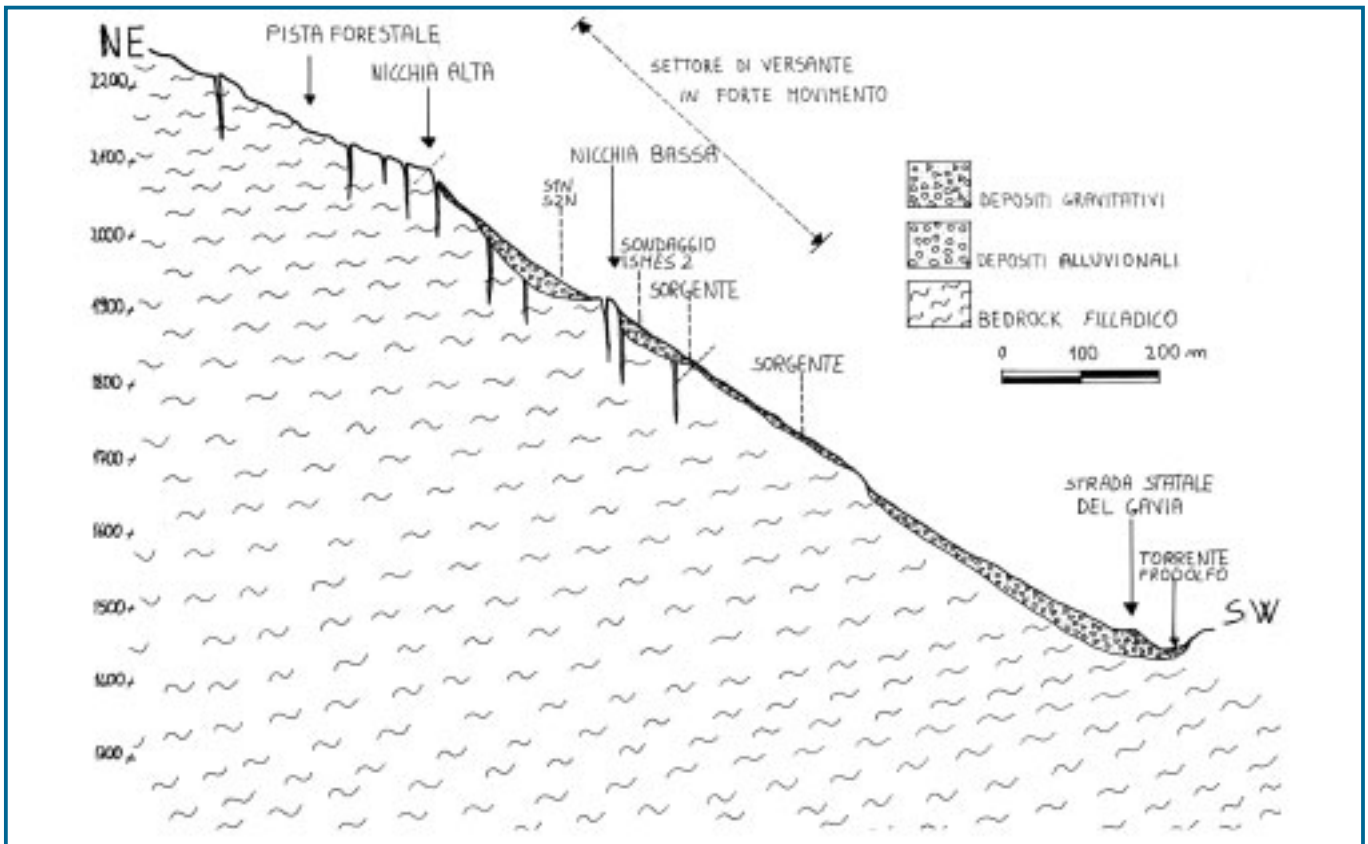


Fig. 3 - Geological profile NE-SW: the borehole investigations have permitted to rebuild with sufficient precision the depth of the bedrock in the bigger movement sector. Please notice, the source presence, from 1830 m. a.s.l. (L. Dei Cas).
Profilo geologico NE-SW: le indagini geognostiche condotte hanno permesso di ricostruire con sufficiente precisione la profondità del substrato roccioso nel settore di maggiore movimento. Si noti, a partire da quota 1830 m s.l.m., la presenza di sorgenti (L. Dei Cas).

difficult the systematic collection of data regarding the slope's groundwater level. Six automatic piezometers were positioned in September 2004 inside the mentioned boreholes S1n, S2n and S3n but only for the PZSn3A piezometer the data analysis, starting from May 2005, can be considered significant and will be consequently clarified.

Spring 2005 (whole days with temperatures higher than the 0 °C in the area of the upper main scar) saw an increase in the temperatures as of mid March. The rainfall was instead very poor for the first six months of the year (less than 200 mm) while it lightly increased in the months of July/August (altogether about 250 mm).

The groundwater level highlighted from the

piezometer 3A began to rise with continuity by the end of May arriving to about +2 metres at the end of September. From this moment the groundwater level went down to reach the May 2005 level in May 2006.

From here a new growth with a peak of +1,5 in July 2006 and then a new decreasing phase for the remaining part of 2006 [F. BIGIOLLI, 2007].

It must be noticed that 2006 had a fairly good snow covering (100 cm at Plaghera at the thaw beginning) and the moment of the dissolution deferred with temperatures higher than 0 °C only to the end of March 2006.

With regards to the area on the side immediately upstream of the upper main scar, the geophysical

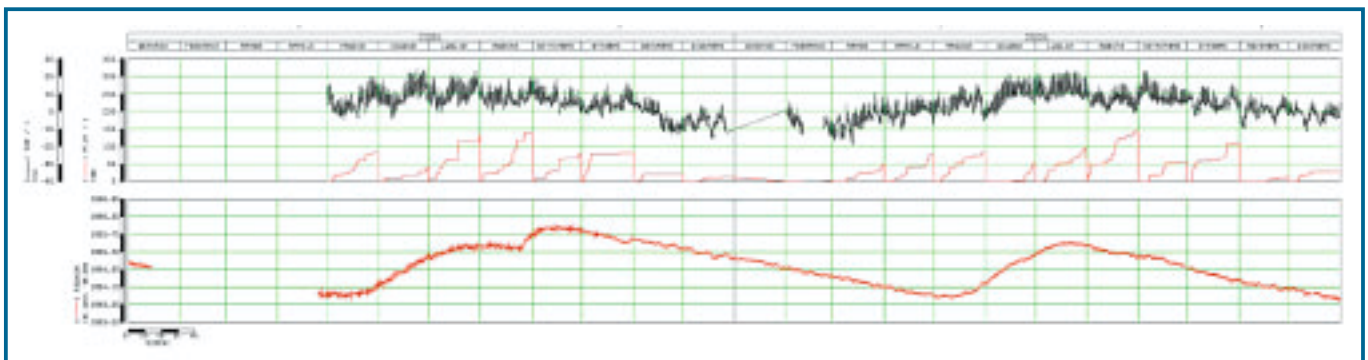


Fig. 4 - Trend of the groundwater level, measured upstream the lower main scar in the borehole SN3, during the season 2005/2006. The rainfall and temperature datum refers to the station placed uphill the upper main scar. (F. Bigioli)
Andamento della falda, misurata nella nicchia bassa nella verticale del foro SN3, nel corso della stagione 2005. Il dato di piovosità e temperatura si riferisce alla stazione posta a monte della nicchia alta (F. Bigioli).

investigation made in the summer 2005 (Dipolo-Dipolo mode) shows the presence of saturated deposits from the surface near the Confinale Torrent almost to have a direct feed.

In the central part, upstream of the upper main scar, the deposits and the rock that compose the first 40 metres are dry while there is water presence in depth. [EEG GEOPHYSIC s.r.l. - 2005]

From the data analysis it would seem that the water concentrates above all from the hydrographical left towards the landslide centre. In order to investigate the deep flowings during 2005, upon request of ARPA Lombardia, some tracing was placed (mixed fluorescein sodium to ammonia) in the central landslide zone (2145 m. a.s.l. in correspondence of the S5 borehole). The exam of fluorescein receptors, positioned at c.600 metres lower (1580 m. a.s.l.), highlighted the first fluorescein tracks in a period comprised between 27

and 34 days from the introduction, testifying a fast filtering. The real distance is of about 1 km and so it is possible to estimate a permeability of $3,5 \cdot 10^{-2}$ cm/sec. This is an average degree of permeability for the deposits (a clean sand or a mixture of sand and gravel). The passage of fluorescein therefore lasted for a time, quite long, between 6 and 28 days inclusive [EEG GEOPHYSIC s.r.l., 2005].

3. SUPERFICIAL UPPER MAIN SCAR MOVEMENTS

From the end of 1998, in the strip altimetrically included between 2130 and 1918 m. a.s.l., 28 wire extensometers have been installed that, connected by radio to CMG, supply in real-time the shifting datum allowing to evaluate any alarming situations (limit overcoming). Analysis of the data so collected in the

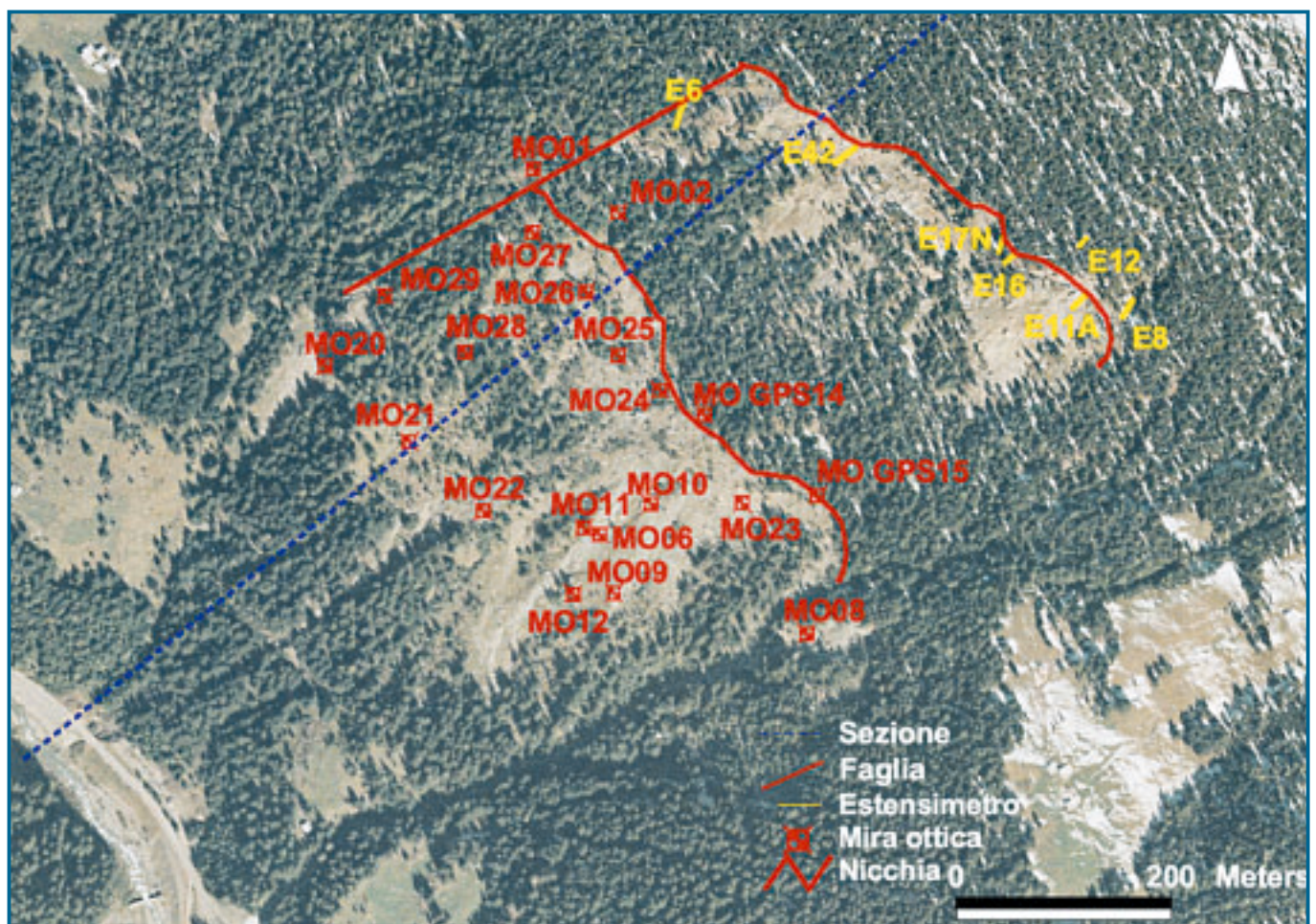


Fig. 5 - Aerial photograph (year 1998) with localization of the main scar, of the fault which delimits to North west the area of the landslide, of significant instrumentation and topographical marks (N. Bondio).

Fotografia aerea (anno 1998) con localizzazione delle nicchie, della faglia che delimita a nord-ovest l'area di frana, della strumentazione significativa e delle mire topografiche (N. Bondio).

annuities gone by (1999-2006) allows us to make important considerations on the dynamics of the Ruinon and the involved area. Seven wire extensometers (significant tools) that in this time did not undergo shiftings will be examined but above all those that they are placed in significant zones allowing for a judgement on wide areas of the landslide.

The first five wire extensometers (E11, E16, E17, D22 and E6) are used for the “upper main scar” check while the last two (E8 and E12) are placed uphill of the upper main scar. As it is easily observable, the area

downstream the upper main scar moves simultaneously, highlighting in the different annuities, a “characteristic curve” (the annual shifting continuation results maximum in 2001 followed by 2002 and 2000) while upstream, the upper main scar’s both wire extensometers highlight extremely limited movements that in the years 2000 and 2001, were of two size orders lower than the described ones. Such situation highlights how the area behind the upper main scar resents marginally from the movement.

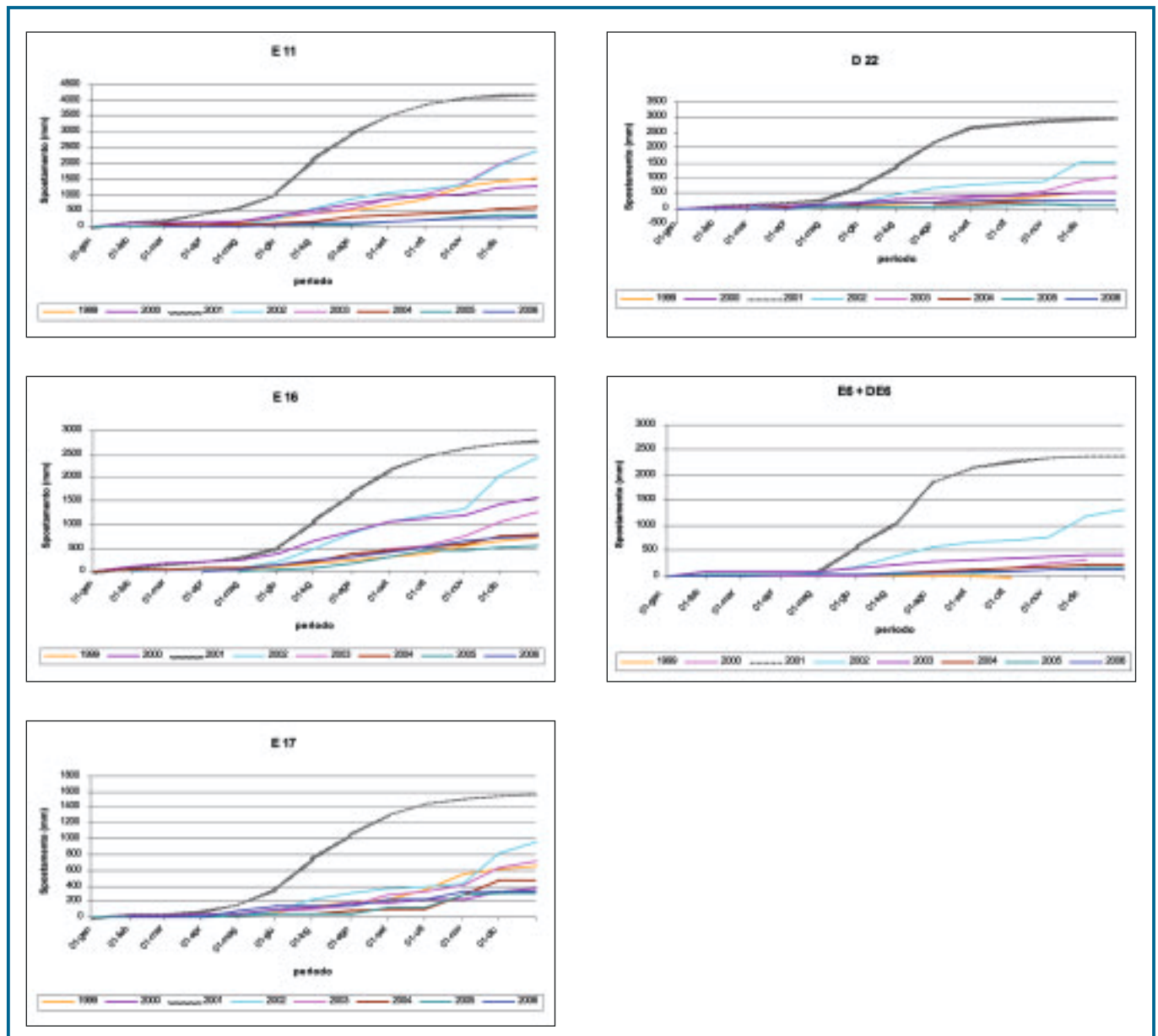


Fig. 6a - Movements of several years registered by significant tools (automatic wire extensometers) (E11, E16, E17, D22, E6).
Grafici relativi ai movimenti pluriannuali registrati dagli strumenti (estensimetri automatici) significativi (E11, E16, E17, D22, E6).

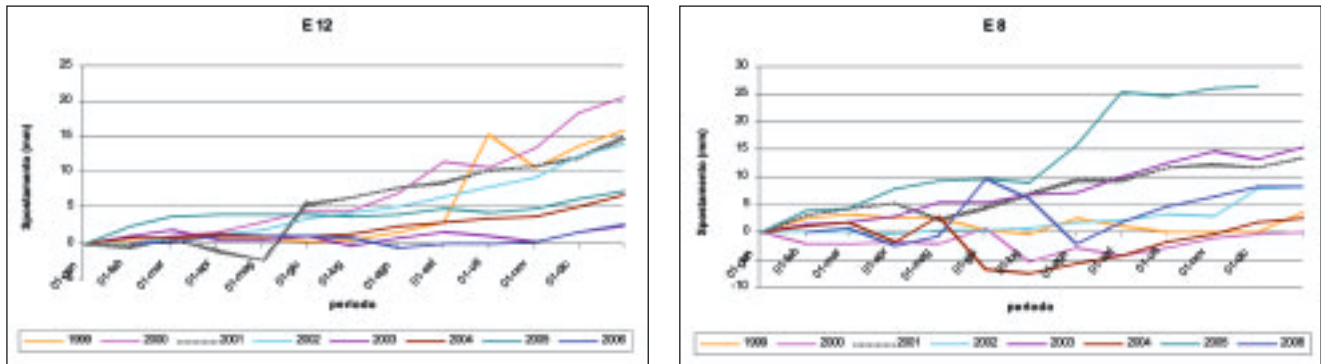


Fig. 6b - Movements of several years registered by significant tools (automatic wire extensometers) placed uphill of the upper main scar (E12, E8).

Grafici relativi ai movimenti pluriannuali registrati dagli strumenti significativi posti a tergo della nicchia alta (E12, E8).

4. SUPERFICIAL LOWER MAIN SCAR MOVEMENTS

Since spring 2000, the area near the lower main scar was equipped with 18 optical marks, which allowed making repeated topographical monitoring campaigns. The purpose was to acquire information about an area in which there was no monitoring with real-time data transmission. The strong dynamics of this area (principally boulders falling and rolling) prevented for many of these marks measurement campaigns from being repeated in time.

At the end of 2004, a first datum was, however, emerging with clearness: the markers positioned near the lower main scar (MO GPS 14, MO GPS 15, MO1, MO2) were showing movements of several tens of centimetres if not even of a few meters concentrated in the maximum acceleration periods of the landslide area (spring/summer 2001 and autumn 2002) while the MO11 mark, placed at 1770 m. a.s.l., was highlighting far

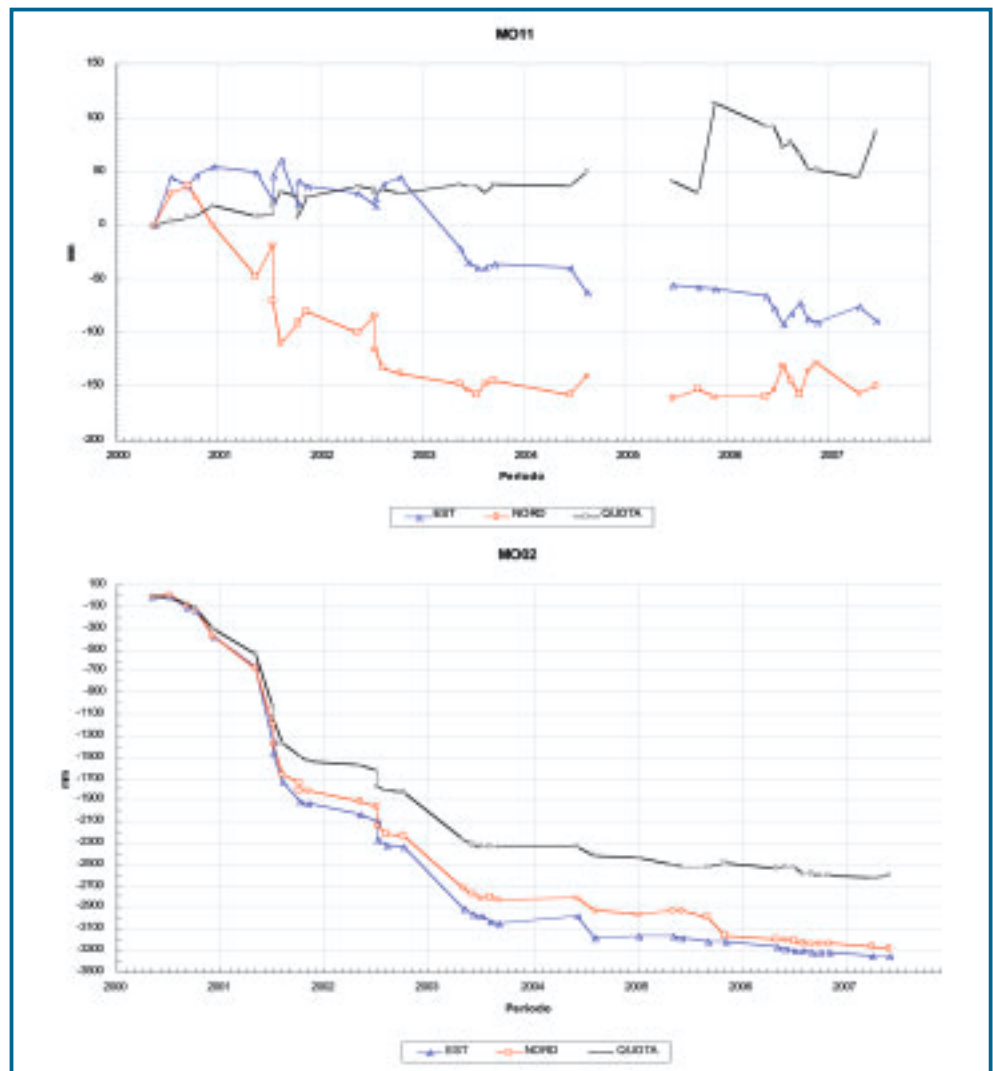


Fig. 7 - Graphs concerning the movements registered from the optical marks 2 (placed near the lower main scar) and 11 (placed at 1770 m. a.s.l.);

Grafici relativi ai movimenti registrati dalle mire ottiche 2 (posta a ridosso della nicchia bassa) ed 11 (posta a 1770 m s.l.m.).

more reduced movements and assessable in centimetres.

In autumn 2005, a further series of topographical marks were positioned in order to monitor slope dynamics with greatest precision in the strip altimetrically included between 1700 m. and 1890 m. a.s.l. After 19 months of observations and measurements (from November 2005 to June 2007) it was possible to highlight how the optic marks (MO GPS 14, MO GPS 15, MO1, MO2, MO 27-MO 26-MO 25-MO 24-MO 23) positioned near the lower main scar, in the strip included between 1860 m. a.s.l. and 1890 m. a.s.l., show medium speed shifting of beyond 16 cm/year (compatible therefore with the values registered in the upper main scar) while the lower placed marks (MO 20, 21, 29, 28, 12, 11), in the strip included between 1700 and 1790 m. a.s.l., highlight a more reduced shifting speed an average of 5 cm/year.

The monitoring of this area, therefore, allows us to trace a lower limit for the landslide area defining a slope strip, included between 1800 and 1850 m. a.s.l., within which the Ruinon's movement, substantially homogeneous, decreases strongly.

5. DEEP MOVEMENTS

For the volumetric analysis, the deep investigation data appears extremely important (recovery borehole) as well as that from measurement campaigns make in depth.

The first two boreholes, equipped with inclinometric probes were the holes realized by ISMES, in 1988, downstream of the lower main scar. For the short period in which both holes were accessible the survey highlighted contact movements between deposit and bedrock, yet an absence of movements inside the bedrock.

Later, in 1998, Regione Lombardia commissioned further three boreholes of which (S3) was equipped with a probe inclinometer. Measurements have been made on 14 June 1999, in November 1999, four in the following year and the last in July 2001. These measurements highlight a maximum movement in the spring/summer 2001. In short, it is possible to identify three areas in movement: the first RQD 0% of 17 meters from the ground level, to 50 m. from the ground level (RQD 15%) and to 72 m. from the ground level (RQD 0%).

Measurements ceased only to restart, with a different operator, from October 2001 to July 2002, with movements concentrated on the two RQD 0%. In 2004 the hole turns out not longer accessible beyond 16 meters.

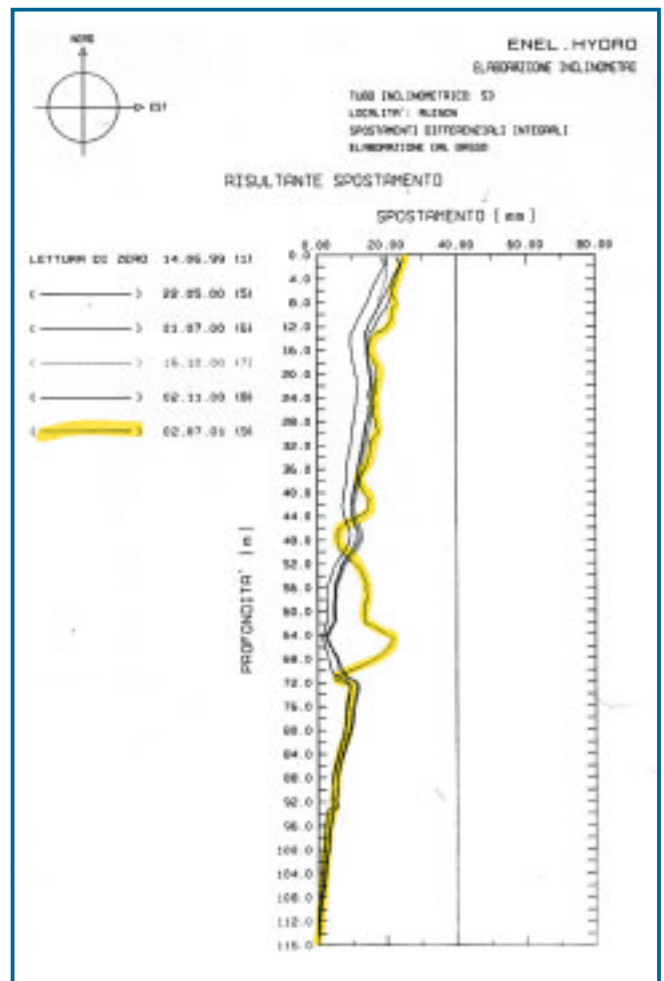


Fig. 8 - Graphic processing of the inclinometric measurements made by Enel Hydro since June 14th, 1999 to July 2nd, 2001 inside the borehole S3.

Elaborazione grafica delle campagne inclinometriche effettuate da Enel Hydro dal 14 giugno 1999 al 2 luglio 2001 all'interno della verticale S3 (da Enel Hydro, 2001).

In 2004 other 3 holes were executed and equipped near the lower main scar. Inclinometric probes S1 and S3 were interrupted (September 2004) respectively at 27 meters and 38 meters from the ground level. Such data tells us that S3 stopped precisely on contact between bedrock and deposit while S1 slightly (6 meters) above.

Today S2 is still measurable but it is necessary to consider that in the hole it was not possible to extract the covering. Therefore (besides a greater curvature at about 25 meters, substantially at the bedrock deposit contact) the hole moves altogether and it is still measurable.

In the boreholes S1n, S2n and S3n a few TDR measurements have also been made with the purpose to investigate any movements places under the interruption. The datum of 10 January 2007

highlighted, for the boreholes S1n and S3n, no significant movements in the part not any more investigated by the inclinometric measurements.

The above (absence of movements under the bedrock deposit contact) has to be, however, put in relation to the annuities considered (2004-2005-2006) in which the accelerations of Ruinon were extremely modest. On the contrary, during spring/summer 2001 the S3 inclinometer registered, at remarkable depths (70 meters), the acceleration present also in surface.

The acquired data, therefore, highlights a strong superficial movement at the contact between bedrock and loose slope deposits and a more modest, but absolutely important, movement at variable depths depending on the geomechanical characteristics of the phyllites.

6. MOVEMENT ANALYSIS

In previous years most authors, in noticing how a continuous evolution of the landslide area the deformation trend undergoes some slowing down in the winter period, highlighted the tie among movements of the area of Ruinon landslide and precipitations. Especially G. Crosta believes that "...precipitations and the climatic conditions are to be considered as the main check factor acting of the landslide's evolution" [G. CROSTA, 1999]. Later, the analysis of a greater number of annuities allows L. Griffini to affirm that "the worst conditions for the landslide movement evolution are connected to rain storage rather than to short but intense precipitation" [L. GRIFFINI, 2003].

Starting from the above, one will proceed:

- a) to highlight the pluviometrical conditions of the annuities which highlight the most movements (2000-2001-2002);
- b) to an analysis of the relationship between snow ablation and movements;
- c) to a comparison of two quarters with similar rainfalls;

a) The biggest annual rainfalls have been registered during 2000 followed by 2002 and 2001. On the contrary, the cumulative movement datum

highlighted that the annuity 2001, and especially the period May 2001/ August 2001, was the most frantic with metrical order movements in the upper main scar area. In this period, the measured rainfall at S. Caterina (1730 m. a.s.l.) was of 599,4 mm, therefore higher than the same period of the rainy previous year (467,1 mm) and of the next one (471,8 mm). This highlights the importance of rain accumulation [L. GRIFFINI, 2003], but an acceleration and a so superior movement can be explained only if we add to the rain factor the one of snow dissolution that, contrary to the rainfall datum, in 2001 turns out to be by far higher than that of the previous and subsequent years.

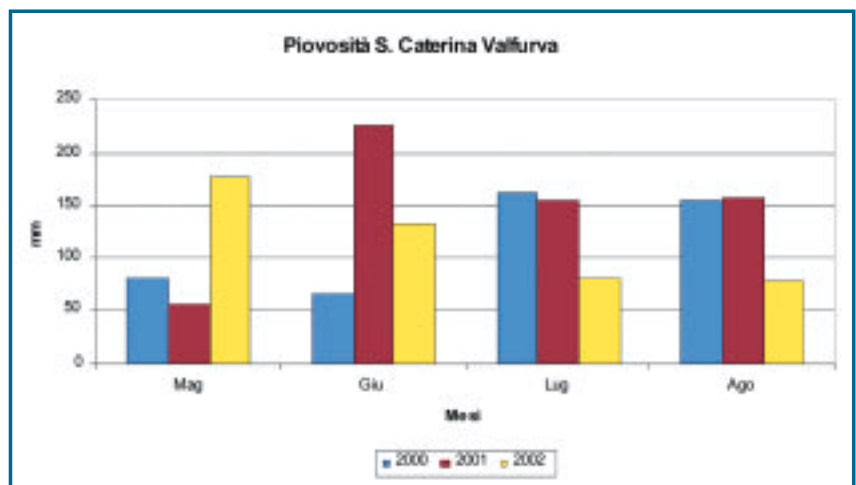


Fig. 9 - Rainfall of the months of May, June, July and August registered in the station of S. Caterina (1730 m. a.s.l.) in the years 2000, 2001 e 2002 (Data Arpa CMG).

Piovosità dei mesi di maggio, giugno, luglio ed agosto registrata nella stazione di S. Caterina (1730 m s.l.m.) negli anni 2000, 2001 e 2002 (dati Arpa CMG).

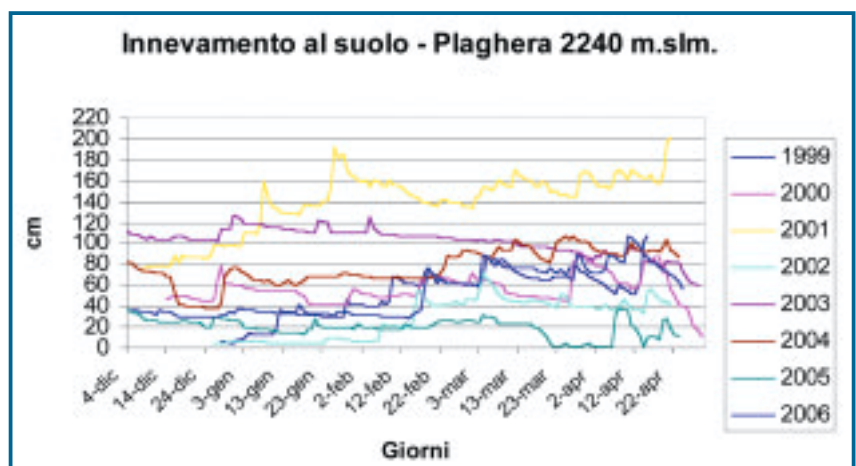


Fig. 10 - Snowfall registered on the opposite slope of Ruinon (at Plaghera) at 2240 m. a.s.l. winter 1998/1999 - 2005/2006. (Data Arpa CNM).

Altezza dell'innnevamento al suolo registrato sul versante opposto del Ruinon (in località Plaghera) a quota 2240 m s.l.m. tra l'inverno 1998/1999 e l'inverno 2005/2006 (dati Arpa CNM).

Since it is possible to estimate in 200-250 mm the equivalent in water (1 to 5 ratio in spring snow conditions) of the surplus of 2001 snow dissolution, with respect to the annuities 2000 and 2002, one can conclude that in the maximum acceleration period (May/August 2001) the Ruinon slope was subject to filtering, due both to the rains and the snow dissolution, of a remarkable entity and by far superior to that of the other annuities.

b) The importance of the snow ablation is confirmed by the fact that the acceleration in 2001, in the upper main scar area, starts well before a significant increase of the rains. As a matter of fact, the graphs highlight how a first acceleration occurred independently of the rains (see the blue line on graphs E16, E17 and E42 in May 2001) while the most important rainfall (see purple line) triggered a subsequent acceleration.

c) Comparison June/August 2001 quarter with August/October 1999 having similar rain intensity.

	S. Caterina - Rain (mm)
1 August 1999 - 31 October 1999	547,7
1 June 2001 - 31 August 2001	541,8

The comparison between the accelerations registered by the most representative extensometers of the upper main scar area highlights how, with respect to precipitation accumulated in the three months considered, the movement is much more sizeable in 2001 as opposed to 1999. The movement of 2001 is altogether superior from four to ten times with respect to the one registered in 1999.

Such observations allow us to formulate two hypotheses that could also simultaneously subsist:

1) For the landslide movements, the infiltration due to the snow dissolution gains much more

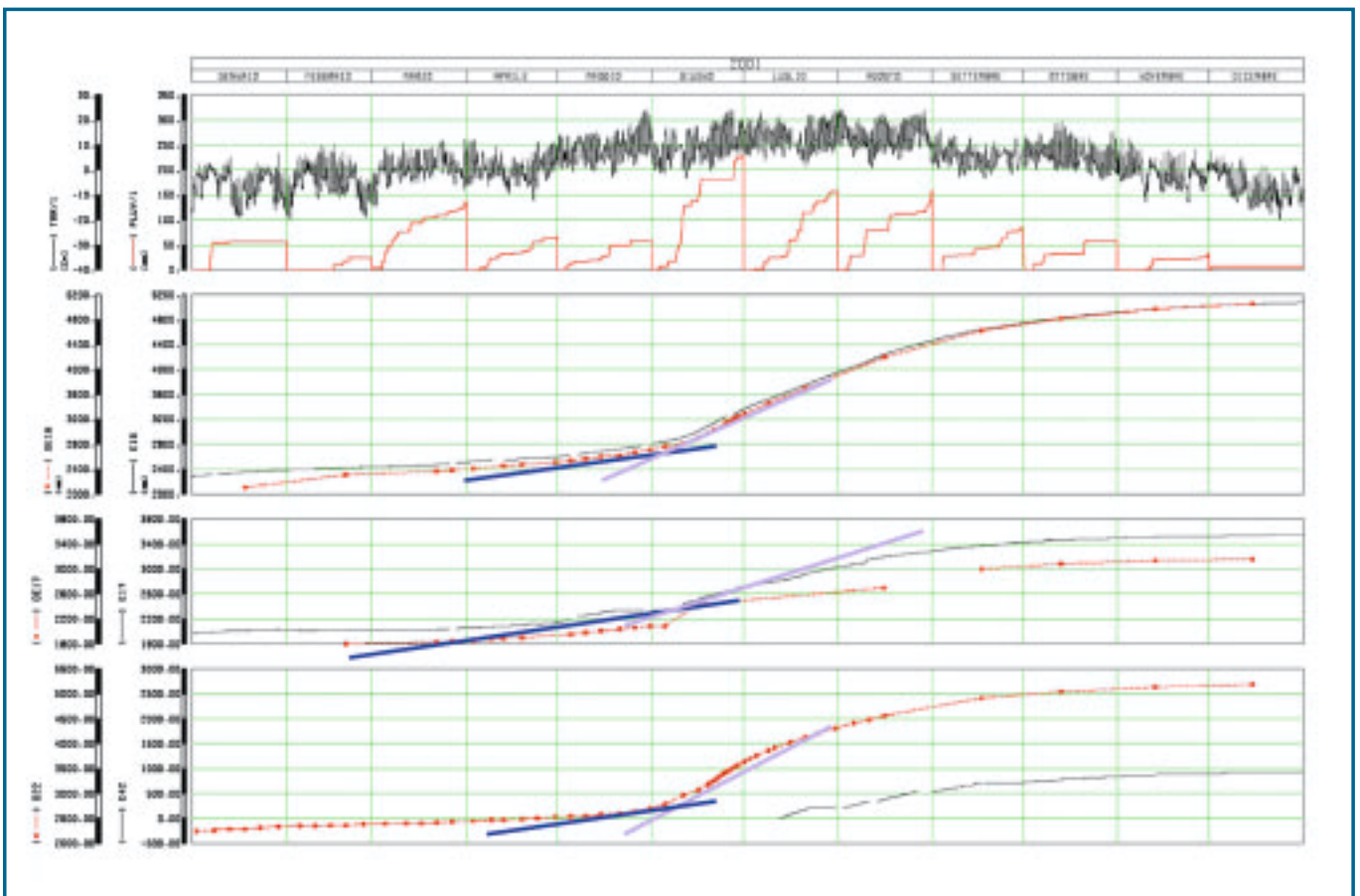


Fig. 11 - Movements registered by the wire extensometers E16 (DE16), E17 (D17) E42 (D22): you can see the two next accelerations of May (blue line) and June (line violates) 2001. In the high part of the graph the monthly accumulated rainfall (relative to S. Caterina station) and the temperature datum (Data Arpa CMG).

Movimenti registrati dagli estensimetri E16 (DE16), E17 (D17), E42 (D22): si notino le due successive accelerazioni di maggio (linea blu) e giugno (linea viola) 2001. Nella parte alta del grafico la cumulata mensile delle piovosità (relativa alla stazione di S. Caterina ed il dato di temperatura (dati Arpa CMG).

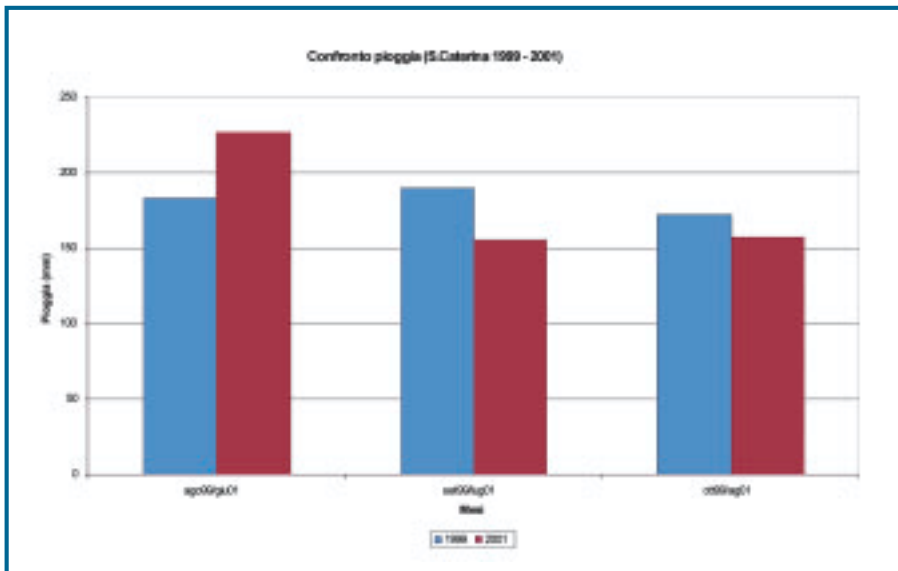


Fig. 12 - Comparison between the monthly rainfalls registered at S. Caterina, between 1 August and 31 October 1999 and those of the 1 June - 31 August 2001 quarter. (Data Arpa CMG).

Confronto fra le piovosità mensili registrate, a S. Caterina, tra il 1° agosto ed il 31 ottobre 1999 e quelle del trimestre 1° giugno - 31 agosto 2001 (dati Arpa CMG).

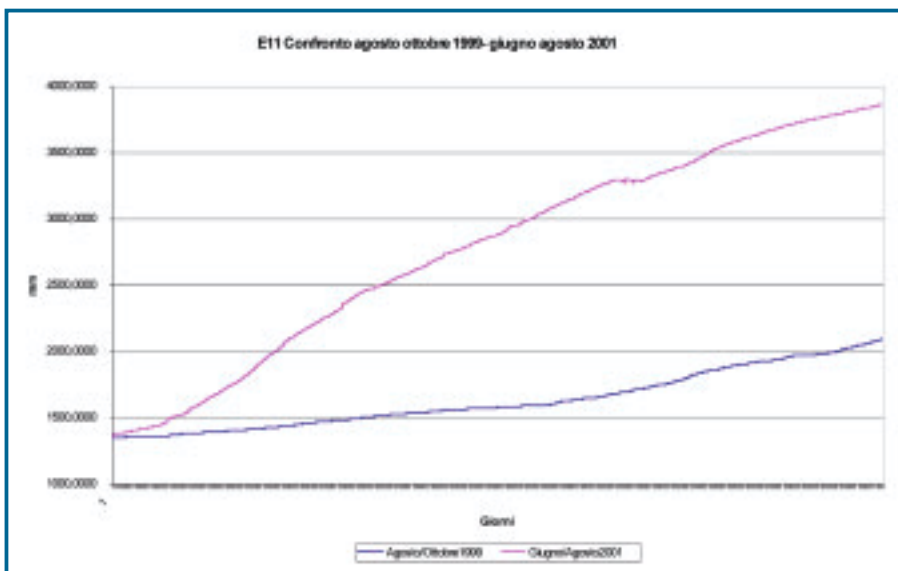


Fig. 13 - Comparison between the registered shiftings with extensometrical measurement (E11) in the period 1 August - 31 October 1999 and in the 1 June - 31 August 2001 quarter. (Data Arpa CMG).

Confronto fra gli spostamenti registrati con misure estensimetriche (strumento E11) nel periodo 1° agosto - 31 ottobre 1999 e nel trimestre 1° giugno - 31 agosto 2001 (dati Arpa CMG).

the period in which it occurs, given that only in springtime the rainfall and snow-melting factors can be summed.

2) The continuous landslide movements have further disjointed the side and, to substantial saturation condition equality, the rock answered in a different way with greater accelerations in summer 2001 with respect to autumn 1999. That would lead to affirm that in the not-so-remote case of further periods with similar precipitation (e.g. 550 mm in 90 days) the rock acceleration could be still greater.

7. DISCUSSION ON THE HYPOTHESES 1 AND 2

In order to verify the accelerations/snow dissolution relation and the supposed worsening rock immobility condition, a few comparisons will be made:

May 2002-May 2001

May 2002 highlights a plentiful rainfall, (Rain gauge Ruinon 265 mm - S. Caterina 176 mm) and thaw (the Plaghera snowmeter shows, already at the end of April, a reduced snow blanket of few centimetres) but the landslide has a smaller acceleration (see graph 14) with respect to May 2001, with scarce rain (Rain gauge S. Caterina 57,6 mm) and plentiful thaw.

August 2001 - June 2001

Analogously the smallest acceleration of August 2000 can be compared, after 45 days of plentiful rainfall (330 mm Scè di Sotto), with the more important of mid June 2001 with about half the rainfall (190 mm in preceding 45 days).

Both comparisons strengthen the thesis according to which the snowfall is much more important than the rain.

importance with respect to the quantity of accumulated rains. For such reason, the movement 2001, where the snow dissolution was certainly important, is greater than 1999 and the movement acceleration started in May in significant rain absence. In such case, one would have to think of the critical state not because of the persistence of abundant precipitation but because of

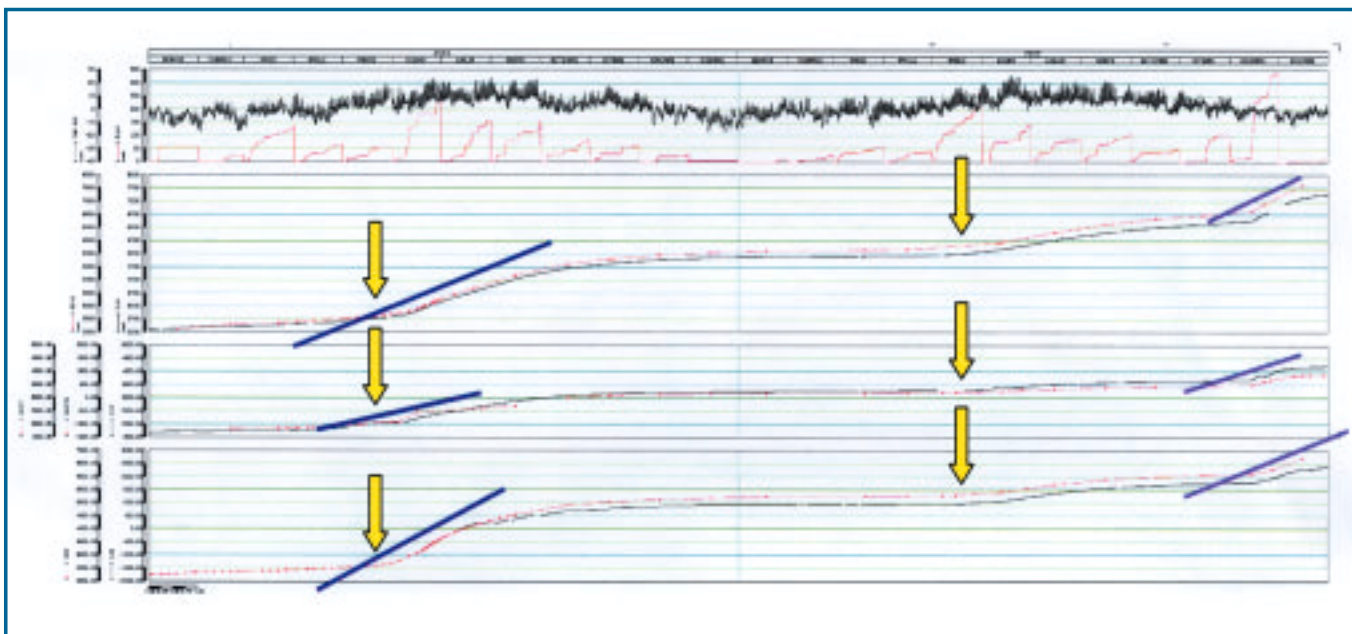


Fig. 14 - Comparison between the accelerations registered from wire extensometers E16 (DE16) E17 (DE17) E42 (DE42), in May 2001 and 2002. With blue and purple lines, comparison between the two registered accelerations at the beginning of summer 2001 and end of autumn 2002. The movements of E16, E17 and E42 are graphed from top to the bottom. (Data Arpa CMG).

Confronto fra le accelerazioni, registrate dagli estensimetri E16 (DE16), E17(DE17), E42 (DE42), nel maggio 2001 e nel maggio 2002 . Con linea blu e viola confronto fra le accelerazioni registrate ad inizio estate 2001 e a fine autunno 2002. Dall'alto verso il basso sono graficati i movimenti di E16, E17, E42 (dati Arpa CMG).

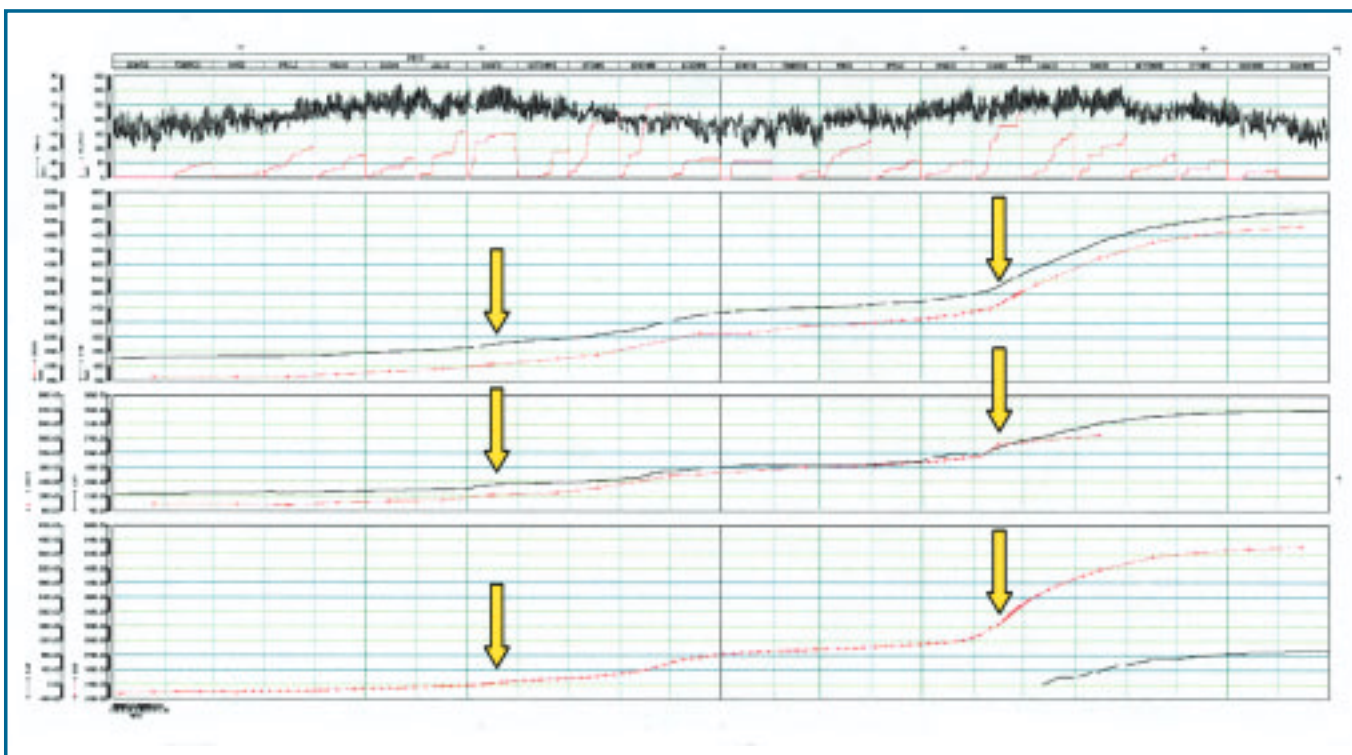


Fig. 15 - Movements registered from wire extensometers E16 (DE16), E17 (DE17), E42 (DE22): please compare the two different accelerations of August 2000 and June 2001 (Data Arpa CMG).

Movimenti registrati dagli estensimetri E16 (DE16), E17 (DE17), E42 (DE22): si confrontino le due differenti accelerazioni di agosto 2000 e giugno 2001 (dati Arpa CMG).

Summer 2001 – autumn 2002

On the contrary, the supposed worsening of the rock mass immobility can be analysed by making a comparison post acceleration 2001.

In particular, the rock mass answer will be evaluated in coincidence with the heavy precipitation occurred between mid November and mid December 2002.

In this case, the deformation curve's inclination highlighted by the significant tools show a light prevalence of the 2001 movement (E11, D22 and E6).

The comparison is made on the monthly acceleration of the period included between 10-15 June - 10-15 July 2001 and the period mid November mid December 2002.

Both data will be related, in the below table, to the rainfall accumulated also in the previous 45 days:

For a good part of the hydrographical basin subtended to the upper main scar area, which is included between 2150 m. a.s.l. and above 3000 m. a.s.l., the precipitation of autumn 2002 is snowy and it is therefore easy to think, also in consideration of the influence of the snow dissolution of the spring 2001, that the water area infiltration is by far superior in the period 2001 with respect to 2002.

On such basis, a clearer result was to be expected in favour of the 2001 acceleration. On the contrary, the above could prove to be a progressive “worsening” of the Ruinon’s immobility which, also in lower precipitation presence, undergoes similar accelerations (confirming by the second hypothesis). In this regard it is interesting to remember that in the modelling made by L. Griffini in December 2004, the mathematical model highlighted “that deforming processes follow a resulting evolution of hysteresis cycles which involve a progressive resistance decay feature and that, therefore, the collapse thresholds decrease with repeating stress events” [L. GRIFFINI, 2004].

Tool	Acceleration 2001	Acceleration 2002	Rain S. Caterina 1 May - 15 July 2001	Rain S. Caterina 1 October - 15 December 2002
E11	1200 mm/month	950 mm/month	336 mm	452 mm
E16	650 mm/month	800 mm/month	336 mm	452 mm
E17	420 mm/month	480 mm/month	336 mm	452 mm
D22	960 mm/month	520 mm/month	336 mm	452 mm
E6	750 mm/month	500 mm/month	336 mm	452 mm

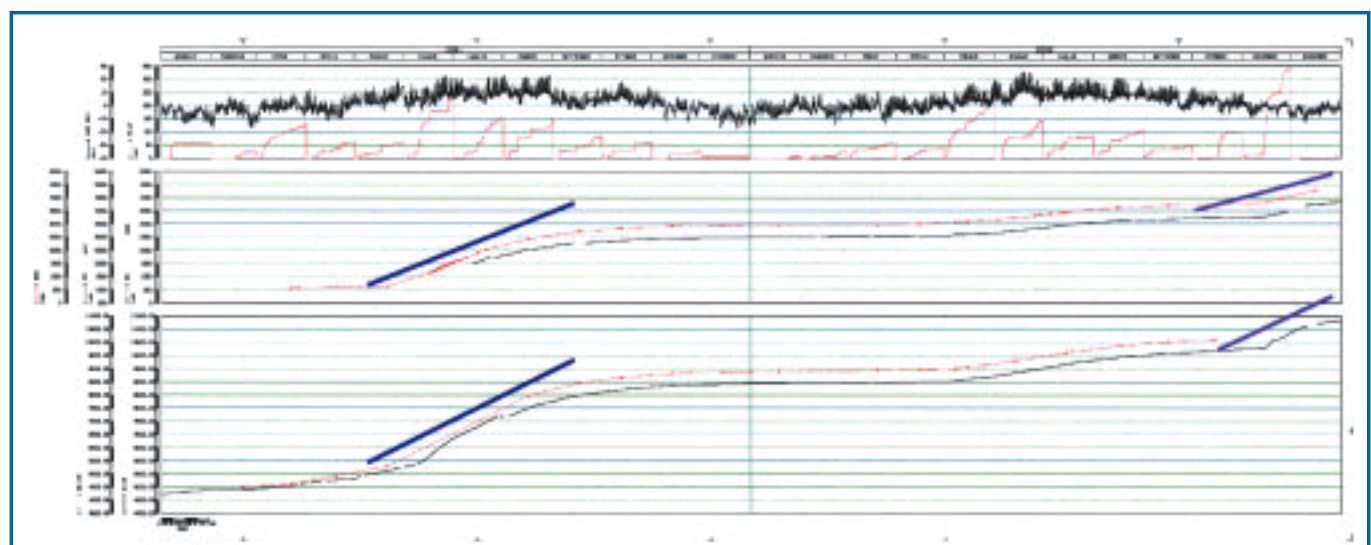


Fig. 16 - Comparison between the two registered accelerations at the beginning of summer 2001 (blue line) and end of autumn 2002 (purple line). The movements of E6 (DE6) and E11 (DE11) are graphed from top to the bottom. (Data Arpa CMG).
 Confronto fra le due accelerazioni registrate ad inizio estate 2001 (linea blu) e a fine autunno 2002 (linea viola). Dall'alto verso il basso sono graficati i movimenti di E6 (DE6), E11 (DE11) (dati Arpa CMG).

8. CONCLUSIONS

The Ruinon area is included inside a slope subject to important deep gravitative deformations of viscous type (DPGV) that, in the landslide area, show accelerations due to occasional high water pressure conditions [L. GRIFFINI, 2004]. The years long analysis of the monitoring tools has permitted us to define an area of 200.000 sq.m. (170.000 sq.m. in plan) in progressive slipping depending on the gravity and on meteorological events. Such area present itself with a bedrock appearing only in correspondence of the net slope changes of the two "main scars" while the remaining landslide area has a gravity deposit with variable height between 2-3 meters and 25-30 meters. The investigations led with the layout introduction (fluorescein) have allowed us to identify an underground water circulation which puts in relationship the ground water present uphill of the lower main scar with the sources present downstream at 1830 m. a.s.l. Since the laboratory analyses made on the samples of bedrock RQD 0%, taken from the S3 borehole (1999) to 19,6 and 71,3 metres from the ground level, highlighted a sand classification with gravel [L. GRIFFINI, 2004] it is possible to consider plausible a filtering of the tracing both inside of the horizons with poorer geomechanical features, than in the superficial deposit. Therefore, in short, it is possible to affirm that the tests and the studies show a big basin, uphill of the upper main scar, which partly picks up the Confinale's water and canalises that of the mountain.

The analysis of the ground water trend of the slope on two annuities (2005-2006) highlighted the seasonality of the same one with a raising of the level postponed of 45-60 days by the beginning of the thaw. It must also be noted that, despite the rainfall of 2006 being lightly higher than that of 2005 (like for the snow being more plentiful in the winter 2005/2006 than in 2004/2005), the ground water raising period is smaller, both for amplexness as well as for duration, in the spring/summer 2006 with respect to the same period of 2005 and, from September 2006 until all January 2007, the ground water has turned out lower of about 1 metre with respect to the previous year.

It was possible to see how, also in occasion of greater flow of the Confinale Torrent (August 2006), the slope's ground water did not undergo any increase but, on the contrary, tended to decrease. The proved independence between ground water trend and flow of the Confinale Torrent induces us to review the hypotheses made on the importance that this torrent has on the landslide trend. It seems clear that the underground water flow, present at 2.200 m. a.s.l., is

only marginally fed by the Confinale Torrent's waters, while it is realistic to put it in relation to the deep NE-SW features well visible in the aerial photograph.

The analysis of the extensometer data, together with the ones coming from the topographical measurements, allow us to define a "simultaneity" of movement for all the area included between the upper main scar and 1830 m. a.s.l. With regards to the movement depth it is immediate to perceive, in the borehole inclinometer data, the greater speed of the flow of the superficial deposit with respect to the slipping plans present in the bedrock. This fact made it difficult to monitor the deep movements, for significant periods, even if during the greater acceleration period (spring/summer 2001) movements noticed in surface were confirmed at the deepest levels (50 and 72 metres from the ground level) of the borehole S3, showing a correspondence between levels at RQD 0% and slipping plans. On the basis of this and of the boreholes made, it is therefore possible to see again the landslide volumetry which, assuming a correspondence between slipping plans and RQD 0% levels, can be estimated in 10-15 million cubic meters.

Finally, the comparison among various data annuities highlighted that if there is a direct correlation between rains and accelerations it is not true that greater rainfalls correspond to greater movement.

In particular, based on the examined data, it is possible to affirm that:

- The year 2001 highlighted the greatest movement of the last eight years and the snow dissolution component had a decisive role;
- The snow dissolution had a greater importance than the rain as dissolution times are compatible with the infiltration, while flowing phenomena tend to reduce the effective rain, especially during intense rainfalls;
- Repetition of cycles of accelerations produce a worsening of the geomechanical conditions of the rock mass.

To such a purpose, it was possible to verify the importance of the snow dissolution comparing the May 2001 acceleration (which turned out to be substantially similar), with modest rains, with that of May 2002 where plentiful rains were registered. Equally, the smallest acceleration of August 2000 can be compared, after 45 days of plentiful rainfall (330 mm at Scè di Sotto), with that of mid June 2001, which although registered half the rainfall (190 mm in the preceding 45 days) it had remarkable snow dissolution.

With regards to the worsening of the immobility of the Ruinon it will be important to wait for the data of

the next "not droughty" season; but the comparison between the acceleration of summer 2001, exceptional for its snow dissolution, and the autumnal period of 2002 allow us to assume a progressive worsening of geomechanical conditions.

In conclusion, it is possible to define the Ruinon landslide like a body that almost simultaneously moves from the area of the upper main scar to 1830 m. a.s.l. The movement has origin shortly after the thaw with gradients determined by the snow ablation abundance. The significant rain presence induces further accelerations with a delay of a few days from the meteorological event.

ACKNOWLEDGEMENTS

For the collection and validation of the data I wish to thank Dott. F. Bigioli and F. Ferrarini.

For the cooperation in the illustration processing my colleagues at CMG and especially N. Bondio, U. Agnelli and M. Aili.

For the data of snowy the CNM and in particular F. Berbenni.

For the revision of the English text F. Lombardini;

REFERENCES

- BIGIOLLI F. (2007): *Dati strumentazione geotecnica Ruinon anni 2004-2005 e 2006*. Marzo 2007.
- BIGIOLLI F. (2007): *Misure inclinometriche Ruinon anno 2006*. Marzo 2007.
- CANUTI P., CASAGLI N., MANNUCCI G. et al. (2002): *Applicazione dell'interferometria radar da terra per il controllo dei movimenti franosi: la frana del Ruinon in Valfurva*. Pubblicazione CNR- GNDICI n. 2543 - Maggio 2002.
- CENTRO DI MONITORAGGIO GEOLOGICO (2004): *CD Dati idrometeorologici 1987-2003*.
- CNR POTENZA (2006): *Elettrici Resistività tomography (ERT)*. 2006.
- COMI M. (2004): *Elaborazione misure GPS 2001-2004*.
- CROSTA G., AGLIARDI F., FRATTINI P. (1999): *Convenzione di studio per effettuazione di verifiche di stabilità e la modellazione dello scendimento di masse rocciose potenzialmente instabili della frana del Ruinon*. Settembre 1999.
- DEL PICCOLO A. (1998): *Frana del Ruinon: aspetti geomorfologici e geotecnici*. (Tesi 1998).
- EEG GEOPHYSIC (2005): *Esecuzione di misure idrogeologiche e geofisiche sulla frana del Ruinon in Comune di Valfurva*. Novembre 2005.
- ENEL HYDRO (2001): *Misure inclinometriche frana Ruinon anni 1999-2001*.
- FERRARINI F. (2007): *Rilevamento GPS area Ruinon anni 2005 e 2006*. Marzo 2007.
- GRIFFINI L. (2004): *Valutazione delle condizioni di stabilità della frana del Ruinon ed aree limitrofe*. Dicembre 2004.
- GUGLIELMIN M. (2004): *Climate Change impacts on vegetation, snow and permafrost in the Stelvio Area*. Atti convegno ARPA Milano - Ottobre 2004.
- HORTUS (2006): *Misure TDR frana Ruinon*. Gennaio 2006.
- ISMES (1989): *Indagini preliminari per lo studio del movimento franoso del Ruinon*.
- LAFFI R., MAZZOCOLA D., SCIESA E. (1997): *R.L. Relazione Tecnica di aggiornamento sulla situazione della frana del Ruinon*. Luglio 1997.
- MANNUCCI G. (2000): *Progetto di fattibilità per la variante in galleria della SS 300 del Gavia - Frana del Ruinon*. R.L., 2000.
- SOGETC ed EEG s.r.l. (2001): *Indagine geofisica Ruinon*. Settembre 2001.
- SOGETEC (2004): *Lavori urgenti di perforazione ed installazione di strumentazione geotecnica sulla frana del Ruinon*. Novembre 2004.
- SOGETEC (2005): *Rapporto di cantiere*. 1999.
- TRABUCCHI B. (2007): *Diversivo del torrente Confinale per la stabilizzazione della frana del Ruinon*. Politecnico di Milano, anno accademico 2004/2005.
- UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FIRENZE (2006): *Analisi dei dati acquisiti dal sistema SAR sulla frana del Ruinon dal 21 giugno al 5 ottobre 2006*. Novembre 2006.
- UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FIRENZE (2007): *Monitoraggio della frana del Ruinon mediante tecniche di interferometria radar - Rapporto n. 2*. Marzo 2007.

Un esempio di analisi dei dati provenienti dal monitoraggio geologico: la frana del Ruinon in alta Valtellina

1. PREMESSA

La zona denominata "Ruinon" è localizzata in alta Valtellina, sul versante destro della Valfurva (SO), in una area compresa fra i 2100 m s.l.m. ed i 1500 m s.l.m. del fondovalle. Il dissesto, noto dal 1983 quanto alcune colate di detrito interessarono l'area sino a quota 1700 m.slm., ha assunto caratteristiche tali da richiedere l'attenzione specifica della Regione Lombardia che, a partire dal 1997 ha iniziato ad installarvi un sistema di monitoraggio al fine di accrescere le conoscenze sul fenomeno e di poter prevedere l'eventuale crollo. Detto sistema di monitoraggio è gestito dal Centro di Monitoraggio Geologico (CMG), ora afferente al Dipartimento di Sondrio di ARPA Lombardia, che vi ha installato numerosa strumentazione, con trasmissione dei dati in tempo reale, ed esegue periodiche campagne di rilevamento con strumentazione manuale (campagne di misura distometriche, piezometriche, topografiche, GPS, TDR, inclinometriche). L'analisi dell'insieme dei dati così rilevati, unitamente alle indagini sino ad ora effettuate, permette di sviluppare alcune considerazioni su:

- modello geologico dell'area;
- circolazione idrica sotterranea nell'area di frana;
- areale e volumetrie coinvolte nel movimento di frana;
- modalità del movimento e correlazione con situazione meteorologica.

2. GEOLOGIA DEL VERSANTE ED IDROGEOLOGIA

La geologia di quest'area è stata indagata e descritta da numerosi autori [LAFFI *et al.*, 1997; DEL PICCOLO, 1998; CROSTA *et al.*, 1999; CANUTI *et al.*, 2002; GRIFFINI, 2004]. Il versante interessato dalla cosiddetta "frana del Ruinon" è interamente compreso nella Falda Ortles-Campo. Più nel dettaglio nell'area di frana affiorano esclusivamente le cosiddette "Filladi di Bormio" costituite da metapeliti quarzifere sericitico-clorotiche di colore grigio verdognolo, ricche di noduli e lenti di quarzo latteo. Le filladi risultano intensamente deformate con la formazione di pieghe isoclinali generalmente trasposte. In alcune pieghe trasposte sono coinvolti anche altri termini della serie di Campo-Ortles come marmi, metabasiti e prasiniti [CASAGLI *et al.*, 2007]. Detti marmi formano un livello piuttosto potente che affiora a monte del Ruinon fra quota 2400 e 2650 m s.l.m.

Per quanto riguarda le evidenze strutturali è facile osservare come gran parte del versante destro della Valfurva presenti numerosi indizi di DPGV con contropendenze che attraversano longitudinalmente il pendio per centinaia di metri. In particolare nell'area in oggetto dette deformazioni sono evidenti e ravvicinate fra 2100 m s.l.m. e 2300 m s.l.m. con presenza di trincee beanti immediatamente a monte dell'area di frana [CROSTA *et al.*, 1999].

Morfologicamente il bacino a monte dell'area di frana è caratterizzato dalla presenza del Lago di Confinale (quota 2950 m s.l.m.) e dal relativo emissario che, nella parte meno rilevata, delimita il fianco sinistro del Ruinon. Al di sopra di quota 2800 m.slm. vi sono anche numerosi evidenze di morfologie periglaciali (rock glacier, suoli

poligonali) a testimoniare la presenza (per gran parte certamente relitta) di permafrost. Tale situazione potrebbe risultare interessante soprattutto in relazione alla presenza dei quantitativi d'acqua ed alle relative interferenze con la sottostante frana. Studi recenti [M. GUGLIELMIN, 2004] ci indicano come negli ultimi anni il permafrost ubicato nei settori più superficiali (10-12 metri da p.c.) abbia subito un notevole riscaldamento. In particolare nella vicina area dello Stelvio, a 3000 m s.l.m., si è registrato un forte riscaldamento (+1°C) nel permafrost dei primi 15 metri da p.c., fra l'estate del 2000 e l'estate del 2001.

L'osservazione dell'area di frana porta immediatamente ad identificare, sulla base delle evidenze morfologiche, una nicchia alta (attorno a 2100 m.slm.) ed una di nicchia bassa (1900 m.slm. circa). La nicchia alta mostra un gradino roccioso, con altezze variabili fra cinque e venti metri, che decorre con andamento SW-NE per circa 500 metri. La nicchia bassa, con medesimo andamento e maggiore lunghezza, si presenta con dislivello più limitato rispetto alla sovrastante.

L'area del Ruinon è delimitata sul fianco sinistro (SE) dal già menzionato Torrente Confinale, impostatosi lungo fratture appartenenti alla famiglia orientata perpendicolarmente al versante [CROSTA *et al.* 1999], mentre sul lato opposto (NW) da una frattura subverticale con andamento NNE-SSW anch'essa pressoché perpendicolare al versante.

Negli ultimi due decenni l'area di frana è stata più volte indagata anche mediante l'utilizzo di sondaggi a carotaggio continuo. Complessivamente sono stati eseguiti 10 sondaggi, dei quali non sempre è stato possibile rinvenire la stratigrafia, così identificabili:

S1 e S2. Su progetto della CMAV furono realizzati nel 1988 da ISMES a valle della nicchia bassa. I risultati evidenziano copertura detritica di 31,8 e 25,6 metri da p.c. Al di sotto di tali quote (fino a 95 metri) la roccia presenta elevato RQD, mediamente compreso fra 70 e 100% [ISMES 1989].

S1-S2 ed S3. Su incarico della Regione Lombardia vennero realizzati dalla ditta So.Ge.Tec. nel 1999. I primi due fori vennero eseguiti a distruzione, il terzo a recupero con stratigrafia che evidenzia presenza di livelli deboli. In particolare nella verticale di S3 si riscontra la presenza di bedrock a 3,9 metri da p.c. e c'è un primo livello con RQD 0% fra 17,25 e 19,90 da p.c. Un ulteriore pessimo livello è presente a 72 m da p.c. (RQD 0%). Nel 2004, durante l'esecuzione di una campagna di misure inclinometriche, si è constatata l'interruzione della verticale a 16 metri da p.c., a dimostrazione di un movimento in prossimità del livello a RQD 0% presente poco sotto [SO.GE.TEC., 1999].

S4 e S5. Nel 2001, su incarico della Regione Lombardia, vennero realizzate due verticali, a 40 m di profondità, poco a monte della nicchia alta.

Sn1: presenza di depositi di frana fino a 33,2 metri da p.c. Al di sotto di tale quota e sino a 100 metri da p.c. la roccia si presenta con RQD sempre superiori al 20%. [SO.GE.TEC. 2004]

Sn2: al di sotto dei depositi di frana (25,5 metri da p.c.) il bedrock presenta una ampia zona (12 metri), compresa fra 64 e 80 metri da p.c., con RQD 0% [SO.GE.TEC., 2004]

Sn3: al di sotto dei depositi di frana (38 metri da p.c.) il bedrock ha buone caratteristiche geomeccaniche sino agli intervalli 86-88 m (RQD 0%) e 94-96 m (RQD 0%) [SO.GE.TEC., 2004].

Per quanto riguarda l'idrogeologia l'area in esame è caratterizzata, in superficie, dalla presenza del lago di Confinale (quota 2950 m s.l.m.) e dell'omonimo torrente. Osservazioni ripetute negli anni hanno permesso di constatare come l'acqua, che fuoriesce dal lago, si infiltra poco a valle delle cascate di quota 2900 m s.l.m. Più in basso, tra quota 2450 m s.l.m. e 2280 m s.l.m., numerose sorgenti, posizionate a valle del già citato affioramento di marmi, danno nuovamente vita allo scorrimento superficiale del Torrente Confinale. Va notato che la portata del Torrente Confinale all'uscita del lago è di circa uno/due ordini di grandezza inferiore a quella del torrente in prossimità della frana. Va inoltre ricordato che "osservazioni condotte sul Torrente Confinale nel periodo 1996-1997 hanno evidenziato che durante i mesi primaverili del '97 le acque del torrente si infiltravano completamente nel sottosuolo tra le quote 2130 m s.l.m. e 2140 m s.l.m." [R. LAFFI *et al.*, 1997] e che tale dato risulta pressoché congruente con i risultati dell'indagine Geofisica, svolta nel 2001 da EEG s.r.l. per conto di So.Ge.Tec., dalla quale si evince la presenza, a circa 2.200 m s.l.m., di un flusso idrico sotterraneo in uscita dal torrente verso la frana.

Nell'ampio settore compreso fra la nicchia alta e la nicchia bassa non vi è alcuna evidenza di scorrimenti superficiali mentre si notano sorgenti, con portata variabile e discontinua, a valle di quota 1830 m s.l.m.

La forte dinamica dell'area di frana ha reso particolarmente difficoltosa la raccolta sistematica di dati riguardanti la falda di versante. Sei sonde piezometriche automatiche sono state posizionate nel settembre 2004 all'interno dei già citati fori di sondaggio S1n, S2n ed S3n ma solo per il piezometro PZSn3A l'analisi dei dati, a partire dal maggio 2005, può considerarsi significativa e verrà di seguito esplicitata.

La primavera del 2005 ha visto un aumento delle temperature sin dalla metà di marzo (intere giornate con temperature superiori allo 0°C nell'area della nicchia alta). La piovosità è invece stata molto scarsa per i primi sei mesi dell'anno (meno di 200 mm) mentre è aumentata leggermente nei mesi di luglio/agosto (complessivamente circa 250 mm).

Il livello evidenziato dalla cella piezometrica 3A è iniziato a salire con continuità dalla fine di maggio arrivando a circa +2 metri alla fine di settembre. Da questo momento è iniziata la decrescita riportandosi al livello del maggio 2005 anche nel maggio 2006.

Da qui una nuova crescita con picco di +1,5 nel luglio 2006 e poi una nuova decrescita per la restante parte del 2006 [F. BIGIOLLI, 2007].

Va notato che nel 2006 si è avuta una discreta copertura nevosa (100 cm a Plaghera all'inizio del disgelo) ed il momento dello scioglimento è stato più avanzato con un deciso aumento delle temperature superiori allo zero solo dalla fine di marzo 2006.

Per quanto riguarda l'area di versante immediatamente a monte della nicchia alta l'indagine geoelettrica, effettuata nell'estate 2005 (modalità Dipolo-Dipolo), mostra la presenza di depositi saturi sin dalla superficie nei pressi del torrente Confinale quasi ad avere una alimentazione diretta.

Nella parte centrale, a monte della nicchia alta, i depositi e la roccia che compongono i primi 40 metri sono asciutti mentre in profondità vi è presenza di acqua [EEG GEOPHYSIC S.r.l., 2005].

Dai dati del substrato sembrerebbe che l'acqua si concentri, soprattutto dalla sinistra idrografica, verso il centro della frana. Al fine di investigare ulteriormente gli scorrimenti profondi nel corso del 2005, su incarico di ARPA Lombardia, sono stati immessi dei traccianti (fluorescina sodica miscelata ad ammoniaca) nella zona centrale della frana (2145 m s.l.m. in corrispondenza del foro di sondaggio S5). L'esame dei fluorocaptori, posizionati circa 600 metri di quota più in

basso (1580 m s.l.m.), ha evidenziato le prime tracce di fluorescina in un periodo compreso fra 27 e 34 giorni dall'immissione a testimonianza di una filtrazione veloce. La distanza reale è infatti di circa 1 Km per cui si presuppone permeabilità dell'ammasso di $3,5 \cdot 10^{-2}$ cm/sec, cioè pari ad un grado di permeabilità medio per i depositi (una sabbia pulita o una miscela di sabbia e ghiaia). Il passaggio della fluorescina è durato per un tempo compreso fra 6 e 28 giorni quindi una coda piuttosto lunga [EEG GEOPHYSIC S.r.l., 2005].

3. MOVIMENTI SUPERFICIALI NICCHIA ALTA

A partire dalla fine del 1998 nella fascia altimetricamente compresa fra 2130 m s.l.m. e 1918 m s.l.m. sono stati installati 28 estensimetri a filo che, collegati via radio al CMG, forniscono in tempo reale il dato di spostamento che permette di valutare eventuali situazioni d'allarme (superamento soglie). L'analisi dei dati così raccolti nelle annualità trascorse (1999-2006) permette altresì di effettuare importanti considerazioni sulla dinamica del Ruinon e sugli areali coinvolti. A tal proposito si prenderanno in esame 7 estensimetri (STRUMENTI SIGNIFICATIVI) che in questo arco di tempo non hanno subito spostamenti ma soprattutto che sono posti in zone significative per un giudizio su vaste aree dell'ammasso.

I primi cinque strumenti (E11, E16, E17, D22 ed E6) sono utilizzati per il controllo della nicchia alta mentre gli ultimi due (E8 ed E12) sono posti a tergo della nicchia alta. Come è facilmente osservabile dai grafici l'area a valle della nicchia alta si muove simultaneamente evidenziando, nelle differenti annualità, una "curva caratteristica" (lo spostamento cumulato annuo risulta massimo nel 2001 seguito dal 2002 e dal 2000) mentre a monte della nicchia entrambi gli strumenti evidenziano movimenti estremamente limitati che, negli anni 2000 e 2001, sono di due ordini di grandezza inferiori a quelli descritti poc'anzi. Tale situazione evidenzia come dietro la nicchia si risenta solo marginalmente del movimento se non per un modesto richiamo.

4. MOVIMENTI SUPERFICIALI NICCHIA BASSA

A partire dalla primavera 2000 l'area a ridosso della nicchia bassa è stata attrezzata con 18 mire ottiche che permettessero di effettuare ripetute campagne di monitoraggio topografico. Lo scopo era quello di acquisire informazioni su un'area in cui non vi fosse il monitoraggio con trasmissione dei dati in tempo reale. La forte dinamica di quest'area (principalmente caduta e rotolamento massi) ha impedito che per molte di queste mire si potessero ripetere nel tempo le campagne di misurazione. Al termine del 2004 un primo dato emergeva però con chiarezza: le mire posizionate a ridosso della nicchia bassa (MO GPS 14, MO GPS 15, MO1, MO2) mostravano movimenti di varie decine di centimetri, se non addirittura di alcuni metri, concentrati nei periodi di massima accelerazione dell'area di frana (primavera/estate 2001 e autunno 2002) mentre la mira MO11, posta a 1770 m s.l.m., evidenziava movimenti assai più ridotti e valutabili in centimetri.

Nell'autunno 2005 sono state perciò posizionate una ulteriore serie di mire topografiche al fine di monitorare con maggior precisione la dinamica del versante nella fascia altimetricamente compresa fra 1700 m s.l.m. e 1890 m s.l.m. Dopo 19 mesi di osservazioni e misure (da novembre 2005 a giugno 2007) è stato possibile evidenziare come le mire ottiche (MO GPS 14, MO GPS 15, MO1, MO2, MO 27-MO 26-MO 25-MO 24-MO 23) poste a ridosso della nicchia bassa, nella fascia compresa fra 1860 m s.l.m. e 1890 m s.l.m., mostrino una velocità media di spostamento di oltre 16

cm/anno (compatibile quindi con i valori registrati in nicchia alta) mentre le mire poste più in basso (MO 20, 21, 29, 28, 12, 11), nella fascia compresa fra 1700 m s.l.m. e 1790 m s.l.m., evidenziano una velocità di spostamento assai più ridotta con valori medi di 5 cm/anno.

Il monitoraggio di quest'area ci permette quindi di tracciare un limite inferiore per l'area di frana definendo una fascia di versante, compresa fra 1800 m.slm. e 1850 m.slm., all'interno della quale si attenua fortemente il movimento, sostanzialmente omogeneo, del Ruinon.

5. MOVIMENTI PROFONDI

Per l'analisi delle volumetrie appaiono estremamente importanti i dati desumibili da indagini profonde (sondaggi a recupero) e da campagne di misurazione effettuate in profondità.

I primi due sondaggi attrezzati con tubi inclinometrici sono stati i due fori realizzati dall'ISMES, nel 1988, a valle della nicchia bassa. Per il breve periodo in cui sono stati accessibili entrambi i fori hanno evidenziato movimenti al contatto fra deposito e bedrock mentre assenza di movimenti all'interno del bedrock.

Successivamente (1998) la Regione Lombardia ha commissionato ulteriori tre sondaggi di cui uno (S3) è stato attrezzato con tubo inclinometrico. La misura di zero è del 14 giugno 1999, poi una seconda nel novembre 1999, quattro nell'anno successivo e l'ultima nel luglio 2001. Dette misure evidenziano un movimento massimo nella primavera/estate 2001. In sintesi è possibile individuare le aree in movimento in corrispondenza del primo RQD 0% a 17 metri da p.c., a 50 m da p.c. (RQD 15%) ed a 72 m da p.c. (RQD 0%).

Le misure si interrompono per riprendere, con differente operatore, da ottobre 2001 a luglio 2002 con movimenti concentrati sui due RQD 0%. Nel 2004 il foro risulta non più accessibile oltre i 16 metri.

Nel 2004 altri 3 fori sono stati eseguiti ed attrezzati a ridosso della nicchia bassa. I tubi inclinometrici S1 ed S3 si sono subito (settembre 2004) interrotti rispettivamente a 27 e 38 metri da p.c. Tali dati ci dicono che S3 si è interrotto precisamente al contatto fra roccia e deposito mentre S1 leggermente (6 metri) più sopra.

Viceversa S2 è, ad oggi, ancora misurabile ma bisogna considerare che nel foro non è più stato possibile estrarre il rivestimento per cui (al di là di una maggiore curvatura a circa 25 metri, sostanzialmente al contatto deposito roccia) il foro si muove solidalmente ed è quindi ancora misurabile.

Per quanto riguarda le verticali S1n, S2n ed S3n si sono effettuate anche alcune campagne TDR aventi lo scopo di investigare eventuali movimenti posti al di sotto dell'interruzione. Il dato del 10 gennaio 2007 ha evidenziato come, per le verticali interrotte S1n ed S3n, non vi siano significativi movimenti nella parte non più investigata dalle misure inclinometriche.

Quanto sopra (assenza di movimenti al di sotto del contatto deposito bedrock) va però messo in relazione alle annualità considerate (2004-2005-2006) nelle quali le accelerazioni del Ruinon sono state estremamente modeste. Viceversa nella primavera/estate 2001 l'inclinometro S3 ha registrato a profondità notevoli (70 metri) l'accelerazione presente anche in superficie.

I dati acquisiti ci evidenziano quindi un forte movimento superficiale al contatto fra bedrock e depositi sciolti ed un più modesto, ma assolutamente importante, movimento a profondità variabili in funzione delle caratteristiche geomeccaniche delle filladi.

6. ANALISI DEI MOVIMENTI

Negli anni passati più autori, nel rilevare come all'interno di una evoluzione continua dell'area di frana il trend di deformazioni subisca dei rallentamenti nel periodo invernale, hanno evidenziato il legame fra movimenti dell'area di frana del Ruinon e precipitazioni. In parti-

colare G. Crosta ritiene che "...precipitazioni e le condizioni climatiche sono da considerarsi come il principale fattore di controllo agente sull'evoluzione della frana..." [G. CROSTA, 1999]. Successivamente l'analisi di un maggior numero di annualità permette a L. Griffini di affermare che "le condizioni peggiori per l'evoluzione dei movimenti di frana sono connesse all'accumulo di precipitazioni più che a fenomeni piovosi intensi ma brevi" [L. GRIFFINI, 2003].

Partendo da quanto sopra riportato si procederà:

a) ad evidenziare le condizioni pluviometriche delle annualità che evidenziano i movimenti maggiori (2000-2001-2002);

b) ad un'analisi del rapporto fra ablazione nivale e movimenti;

c) ad un confronto di due trimestri con piovosità analoghe.

a) Alla scala annuale le piovosità maggiori si registrano nel corso del 2000 seguito dal 2002 e 2001. Viceversa il dato cumulativo di movimento ha evidenziato come l'annualità 2001, ed in particolare il periodo maggio 2001/agosto 2001, è stata la più parossistica con movimenti di ordine metrico nell'area di nicchia alta. In tale periodo la piovosità misurata a S. Caterina (1730 m s.l.m.) è stata di 599,4 mm, quindi superiore al medesimo periodo sia del piovoso anno precedente (467,1 mm) che del successivo (471,8 mm). Ciò evidenzia l'importanza dell'accumulo di precipitazioni [L. GRIFFINI, 2003], ma una accelerazione ed un movimento tanto superiore può spiegarsi solo se al contributo delle piogge uniamo quello dello scioglimento nivale che, contrariamente al dato di piovosità, nel 2001 risulta di gran lunga superiore a quello degli anni precedenti e successivi.

Poiché è possibile stimare in 200-250 mm l'equivalente in acqua (rapporto 1 a 5 in condizioni di neve primaverile) del surplus di scioglimento nivale 2001, rispetto alle annualità 2000 e 2002, possiamo concludere che nel periodo di massima accelerazione (maggio/agosto 2001) il versante del Ruinon è stato interessato da una filtrazione, dovuta sia alle piogge che allo scioglimento nivale, di notevole entità e di gran lunga superiore a quella delle altre annualità.

b) L'importanza dell'ablazione nivale è confermata dal fatto che l'accelerazione 2001, nell'area di nicchia alta, ha inizio ben prima di un significativo incremento delle piogge. I grafici riportati evidenziano infatti come una prima accelerazione si è avuta indipendentemente dalle piogge (vedi linea azzurra su grafici E16, E17 ed E42 nel maggio 2001) mentre la piovosità più importante (vedi linea viola) ha innescato una successiva accelerazione.

c) Si confronterà il trimestre giugno/agosto 2001 con agosto/ottobre 1999 avente intensità di pioggia simile.

	Stazione S. Caterina Pioggia (mm)
1° agosto 1999 - 31 ottobre 1999	547,7
1° giugno 2001 - 31 agosto 2001	541,8

Il confronto fra le accelerazioni registrate dagli strumenti più rappresentativi dell'area di nicchia alta evidenzia come, pur a parità di precipitazione cumulata nei tre mesi considerati, il movimento è assai più consistente nel 2001 rispetto al 1999. Complessivamente il movimento del 2001 è da quattro a dieci volte superiore rispetto a quello registrato nel 1999.

Tali osservazioni ci permettono di formulare due ipotesi che potrebbero sussistere anche contemporaneamente:

1) per i movimenti di frana l'infiltrazione dovuta allo scioglimento nivale assume importanza assai maggiore rispetto al quantitativo di piogge cumulate. Per tale ragione il movimento 2001, dove lo scioglimento nivale è sicuramente stato consistente, è assai maggiore del 1999 e l'accelerazione di movimento ha avuto inizio nel mese

di maggio pur in assenza di piogge significative. In tal caso si dovrà riflettere sulla criticità non tanto derivata dalla persistenza di una abbondante precipitazione quanto sul periodo in cui essa avviene poiché solamente nel periodo primaverile a tale precipitazione si potrà sommare l'effetto dello scioglimento nivale.

2) la continua rimobilizzazione della frana ha ulteriormente disarticolato il versante e, ad una sostanziale parità delle condizioni di saturazione, l'ammasso ha risposto in maniera differente con accelerazioni nettamente maggiori nell'estate 2001 rispetto all'autunno 1999. Ciò porterebbe ad affermare che nel caso, non certo remoto, di ulteriori periodi con accumulo di precipitazioni dell'ordine sopra-descritto (circa 550 mm in 90 giorni) l'accelerazione dell'ammasso potrebbe essere ancor maggiore.

7. DISCUSSIONE SULLE IPOTESI 1 E 2

Al fine di verificare la relazione accelerazioni/scioglimento nivale nonché il supposto peggioramento delle condizioni di staticità dell'ammasso, si effettueranno alcuni confronti:

Maggio 2002 - Maggio 2001

Il maggio 2002 evidenzia una piovosità abbondante, (Pluviometro Ruinon 265 mm – Pluviometro S. Caterina 176 mm) e l'avvenuto disgelo (il nivometro di Plaghera indica, già alla fine di aprile, una coltre nevosa ridotta a poche decine di cm) ma la frana ha una accelerazione minore (vedi i grafici sottoriportati) del maggio 2001 con pioggia scarsa (Pluviometro S. Caterina 57,6 mm) e disgelo copioso.

Agosto 2000 - Giugno 2001

Analogamente si può confrontare la minore accelerazione dell'agosto 2000, dopo 45 giorni con una pioggia abbondante (330 mm a Scè di Sotto), con quella, ben più importante, della metà di giugno 2001 dopo una piovosità di circa la metà (190 mm nei 45 giorni precedenti).

Entrambi i confronti avvalorano la tesi secondo cui l'innevamento è assai più importante della pioggia.

Estate 2001 - Autunno 2002

Viceversa il supposto peggioramento della staticità dell'ammasso può essere analizzato effettuando un confronto post accelerazione 2001. In particolare si valuterà la risposta dell'ammasso in coincidenza della forte precipitazione avvenuta fra la metà del mese di novembre 2002 e metà dicembre 2002. In questo caso le inclinazioni delle curve di deformazione, evidenziate dagli strumenti significativi, mostrano una lieve prevalenza del movimento 2001 (E11, D22 ed E6).

Il confronto viene effettuato sull'accelerazione mensile del periodo compreso fra il 10-15 giugno - 10-15 luglio 2001 ed il periodo metà novembre metà dicembre 2002. Entrambi i dati verranno rapportati, nella tabella sottostante, alla piovosità cumulata anche dei 45 giorni precedenti:

Per buona parte del bacino idrografico sotteso all'area di nicchia alta, compreso quindi fra 2150 m s.l.m. e oltre 3000 m s.l.m., la precipitazione dell'autunno 2002 è nevosa ed è quindi facile pensare, anche in considerazione dell'influenza dello scioglimento nivale della primavera 2001, che l'infiltrazione idrica dell'area sia molto superiore nel periodo 2001 rispetto al 2002.

Sulla base di ciò ci si poteva quindi attendere un risultato più netto in favore dell'accelerazione 2001. Quanto sopra potrebbe viceversa dimostrare un progressivo "peggioramento" della staticità del Ruinon che, pur in presenza di precipitazioni inferiori, subisce accelerazioni analoghe (confermando così la seconda ipotesi). A questo proposito è interessante ricordare che nella modellazione effettuata da L. Griffini nel dicembre 2004 il modello matematico evidenziava "che i processi deformativi seguono un'evoluzione conseguente a cicli d'isteresi che comportano un progressivo decadimento delle caratteristiche di resistenza e che, quindi, le soglie di collasso decono con il ripetersi degli eventi di stress" [L. GRIFFINI, 2004].

8. CONCLUSIONI

L'area del Ruinon rientra all'interno di un versante soggetto ad importanti deformazioni gravitative profonde di tipo viscoso (DPGV) che, nell'area di frana, mostrano accelerazioni dovute ad occasionali condizioni di sovrappressione idrica [L. GRIFFINI, 2004]. L'analisi pluriennale degli strumenti di monitoraggio ha permesso di definire un areale di 200.000 mq (170.000 mq in pianta) in progressivo scioglimento in funzione della forza di gravità e degli eventi meteorologici. Tale area si mostra con un substrato roccioso affiorante solamente in corrispondenza dei netti cambi di pendenza delle due "nicchie", mentre la restante parte dell'area di frana presenta una coltre di depositi gravitativi con potenze variabili fra 2-3 metri e 25-30 metri. Le indagini condotte con l'immissione di traccianti (fluorescina) hanno permesso di individuare una circolazione idrica sotterranea che mette in relazione la falda presente a monte della nicchia bassa con le sorgenti presenti a valle di quota 1830 m.s.l.m. Poiché le analisi di laboratorio effettuate sui campioni del bedrock a RQD 0%, prelevati dal sondaggio S3 (1999) a 19,6 e 71,3 metri da p.c., hanno evidenziato una classificazione di sabbia con ghiaia [L. GRIFFINI, 2004], è possibile ritenere plausibile una filtrazione del tracciante sia all'interno degli orizzonti con caratteristiche geomeccaniche più scadenti, che nel deposito superficiale. In sintesi è quindi possibile affermare che le prove e gli studi indicano un grande catino, a monte della nicchia alta, che raccoglie in parte l'acqua del Confinale e che canalizza quella di monte.

L'analisi dell'andamento della falda di versante su due annualità (2005-2006) ha evidenziato la stagionalità della stessa con innalzamento del livello posticipato di 45-60 giorni dall'inizio del disgelo. Va anche notato che nonostante la piovosità del 2006 sia leggermente superiore a quella del 2005 (lo stesso dicasi per l'innevamento più abbondante nell'inverno 2005/2006 che nel 2004/2005) il periodo di innalzamento della falda è minore, sia per ampiezza che

Strumento	Accelerazione 2001	Accelerazione 2002	Pluv. S. Caterina 1° maggio - 15 luglio 2001	Pluv. S. Caterina 1° ottobre - 15 dicembre 2002
E11	1200 mm/mese	950 mm/mese	336 mm	452 mm
E16	650 mm/mese	800 mm/mese	336 mm	452 mm
E17	420 mm/mese	480 mm/mese	336 mm	452 mm
D22	960 mm/mese	520 mm/mese	336 mm	452 mm
E6	750 mm/mese	500 mm/mese	336 mm	452 mm

per durata, nella primavera estate 2006 rispetto allo stesso periodo del 2005 e, dal settembre 2006 sino a tutto gennaio 2007, la falda risulta più bassa di circa 1 metro rispetto all'anno precedente.

Si è inoltre potuto osservare come, anche in occasione di maggiori portate del Torrente Confinale (agosto 2006), la falda di versante non subisca alcun incremento ma anzi tenda a diminuire. La dimostrata indipendenza fra andamento della falda e portate del Torrente Confinale ci induce a rivedere le ipotesi effettuate sull'importanza che questa asta torrentizia ha sull'andamento della frana. Pare evidente che il flusso idrico sotterraneo, presente in prossimità di quota 2.200 m s.l.m., sia solo marginalmente alimentato dalle acque del Torrente Confinale mentre è realistico metterlo in relazione ai lineamenti profondi NE-SW ben visibili in fotografia aerea.

L'analisi dei dati estensimetrici, unitamente a quelli provenienti dalle misure topografiche, permettono di definire una "simultaneità" di movimento per tutta l'area compresa fra la nicchia alta ed i 1830 m.s.l.m. Per quanto riguarda la profondità del movimento è immediato scorgere, nei dati inclinometrici, la maggior velocità dello scorrimento del deposito superficiale rispetto ai piani di scivolamento presenti nel bedrock. Tale fatto ha reso difficoltoso monitorare, per tempi significativi, i movimenti profondi anche se durante il periodo di maggior accelerazione (primavera/estate 2001) i movimenti rilevati in superficie hanno trovato riscontro anche nei livelli più profondi (50 e 72 metri da p.c.) del foro S3 mostrando una corrispondenza fra livelli a RQD 0% e piani di scivolamento. Sulla base di ciò e dei sondaggi effettuati è quindi possibile rivedere le volumetrie della frana che, ipotizzando una corrispondenza fra piani di scivolamento e livelli a RQD 0%, possono essere stimate in 10-15 milioni di mc.

Infine il confronto fra diverse annualità di dati ha evidenziato che se vi è una correlazione diretta fra piogge ed accelerazioni non è vero che a maggiori piovosità corrispondano maggiori movimenti.

In particolare, basandosi sui dati esaminati, è possibile affermare che:

- nel 2001, che ha evidenziato il maggior movimento degli ultimi otto anni, ha avuto un ruolo decisivo la componente dovuta allo scioglimento nivale;
- lo scioglimento nivale ha una importanza assai maggiore della pioggia in quanto i tempi di scioglimento sono compatibili con

l'infiltrazione mentre fenomeni di ruscellamento tendono a ridurre la pioggia efficace soprattutto in occasione di piogge intense;

- il ripetersi di cicli di accelerazioni producono peggioramenti delle condizioni geomeccaniche dell'ammasso roccioso.

A tal proposito è stato possibile verificare l'importanza dello scioglimento nivale confrontando l'accelerazione (risultata sostanzialmente analoga) che si è avuta nel maggio 2001, con piogge modeste, con quella del maggio 2002 dove si sono registrate piogge abbondanti. Parimenti si può confrontare la minore accelerazione dell'agosto 2000, dopo 45 giorni con una pioggia abbondante (330 mm a Scè di Sotto), con quella della metà di giugno 2001 dopo una piovosità di circa la metà (190 mm nei 45 giorni precedenti) ma notevole scioglimento nivale.

Per quanto riguarda il peggioramento della staticità del Ruinon sarà importante attendere i dati di una prossima stagione "non siccitosa", ma il confronto fra l'accelerazione dell'estate 2001, eccezionale per quanto sopra detto relativamente allo scioglimento nivale, ed il periodo autunnale del 2002 permettono di ipotizzare un progressivo decadimento delle condizioni geomeccaniche.

In conclusione è possibile definire la frana del Ruinon come un corpo che si muove pressoché simultaneamente dall'area di nicchia alta sino a quota 1830 m s.l.m. Il movimento ha origine poco tempo dopo il disgelo con gradienti determinati dall'abbondanza dell'ablazione nivale. La presenza di piogge significative fa sì che detto movimento possa subire delle ulteriori accelerazioni con un ritardo di alcuni giorni dall'evento meteorologico.

RINGRAZIAMENTI

Per la raccolta e validazione dei dati si ringraziano i Dott. F. Bigioli e F. Ferrarini.

Per la collaborazione nella elaborazione delle illustrazioni i colleghi del CMG ed in particolare U. Agnelli, M. Aili e N. Bondio.

Per i dati di copertura nevosa il CNM ed in particolare F. Berbenni.

Per la revisione del testo in lingua inglese F. Lombardini.