Zeitschrift: Bulletin für angewandte Geologie

Herausgeber: Schweizerische Vereinigung der Petroleum-Geologen und –Ingenieure; Schweizerische Fachgruppe für Ingenieur-Geologie

Band: 3 (1998)

Heft: 1

Artikel: Geologische Naturgefahren in der Schweiz = Dangers géologiques en Suisse = Pericoli geologici naturali in Svizzera

Autor: Bonzanigo, Luca

Kapitel: Casp rappresentativo no. 10 : lo slittamento di Campo Vallemaggia

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-220733

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 12.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Boll. Geol. appl.	vol. 3	no. 1	p. 111 - 120	Luglio 1998

Caso rappresentativo no. 10:

Lo slittamento di Campo Vallemaggia

LUCA BONZANIGO*

Riassunto

Lo slittamento di Campo Vallemaggia è eccezionale per le sue dimensioni e la sua peculiarità idrogeologica. Il suo meccanismo è difficilmente percettibile sulla base di concetti geotecnici classici. La presenza di pressioni artesiane e il suo comportamento pulsante, ne fanno uno degli oggetti di studio di geologia applicata più affascinante della Svizzera, forse dell'Europa. Da oltre un secolo, i geologi più illustri sono rimasti interdetti di fronte al fenomeno, cercandone le chiavi. Questo articolo non pretende di dare spiegazioni definitive, esercizio che la sua natura non consente, bensì di illustrare succintamente il risultato degli studi recenti, le interpretazioni che ne sono state ricavate, e la strategia di risanamento adottata. Gli aspetti geologici sono di fondamentale importanza.

1. Inquadramento, eventi

Il nome di Campo Vallemaggia è noto ai geologi di tutta la svizzera e di gran parte dell'Europa e del mondo, per la presenza di un fenomeno di instabilità di pendio tra i più grandi conosciuti, oltre che per il suo complesso e curioso meccanismo. È situato a circa 25 km a NW del delta del fiume Maggia, che sbocca nel Lago Maggiore presso Locarno e Ascona. Si tratta di una massa di circa un miliardo di metri cubi separata in più "zolle" distinte (vedi figura 1), che si è mossa in media di qualche centimetro all'anno, e a scadenze più o meno regolari, accelerando durante circa un mese fino ad alcuni centimetri al giorno. Dalle misurazioni effettuate già dalla fine del secolo scorso risulta una traslazione orizzontale complessiva di circa trenta metri in cent'anni.

In conseguenza del movimento, una massiccia erosione al piede dovuta al fiume Rovana e al suo carattere torrentizio asporta decine di migliaia di metri cubi di materiale verso valle, producendo uno squarcio alto 150 m e largo 4 km. Il suo carattere spettacolare e la sua dimensione ispira molta soggezione (vedi figura 1), per cui al profano puo apparire ovvio che l'erosione del fiume è la causa di tutti i danni. Eppure già Albert Heim nel 1892 aveva percepito che le cause erano interne, e che andavano cercate nella presenza di acqua in pressione nello slittamento e alla sua base.

* Viale Stazione 16a, 6501 Bellinzona

Fig. 1: Veduta aerea dello slittamento di Campo Vallemaggia. Si nota il carattere isoclinale della roccia in posto, e la struttura a zolle della massa in movimento.

Le indagini svolte sono numerose e hanno permesso di inquadrare il fenomeno dal punto di vista geometrico e geodinamico. Quelle più recenti erano inserite nel progetto e la costruzione del cunicolo di drenaggio (figura 2), realizzato tra il 1993 e il 1996. Quest'opera inusuale è stata finanziata dal cantone Ticino con l'aiuto della Confederazione. Il progetto e la direzione lavori sono stati assicurati dallo studio di ingegneria Lombardi SA, con la nostra consulenza geologica.

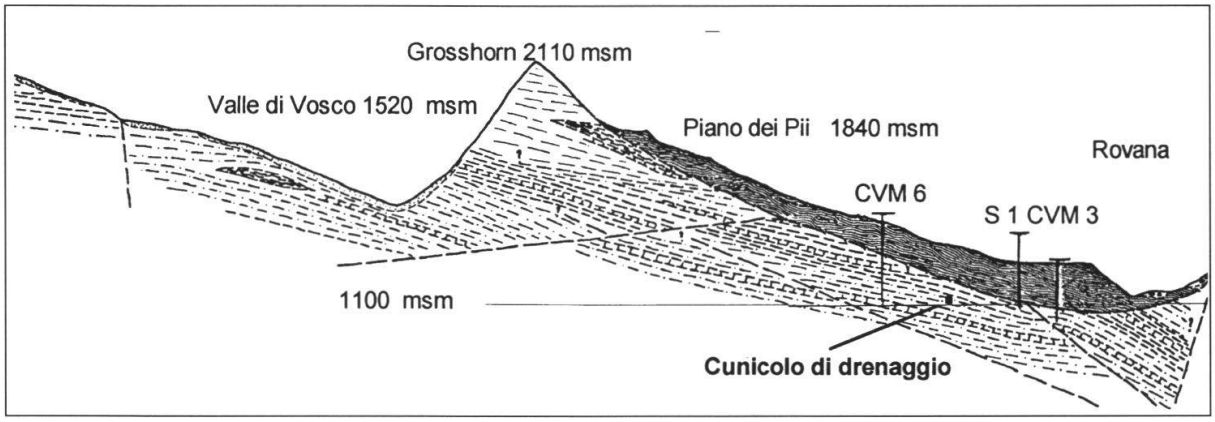


Fig. 2: Sezione geologiche longitudinale dello slittamento con indicata la posizione del cunicolo di drenaggio.

Le caratteristiche più rilevanti di questo fenomeno, a parte le sue dimensioni, sono:

- la presenza di elevate pressioni artesiane nella massa in movimento e nella roccia in posto sottostante,
- il carattere pulsante dei movimenti.

Si osserva infatti che a scadenze più o meno regolari, durante o dopo periodi di prolungate e intense precipitazioni, lo slittamento accelera (vedi figura 3).
La relazione tra movimento e precipitazioni non è ne proporzionale ne diretta. Si osserva un effetto di ritardo e un effetto "soglia". Si ricava infatti dall'analisi del comportamento dello slittamento che le accelerazioni avvengono dopo un periodo di "preparazione" che dura 10-20 anni, durante il quale eventi meteorologici importanti non hanno grandi effetti sul movimento.

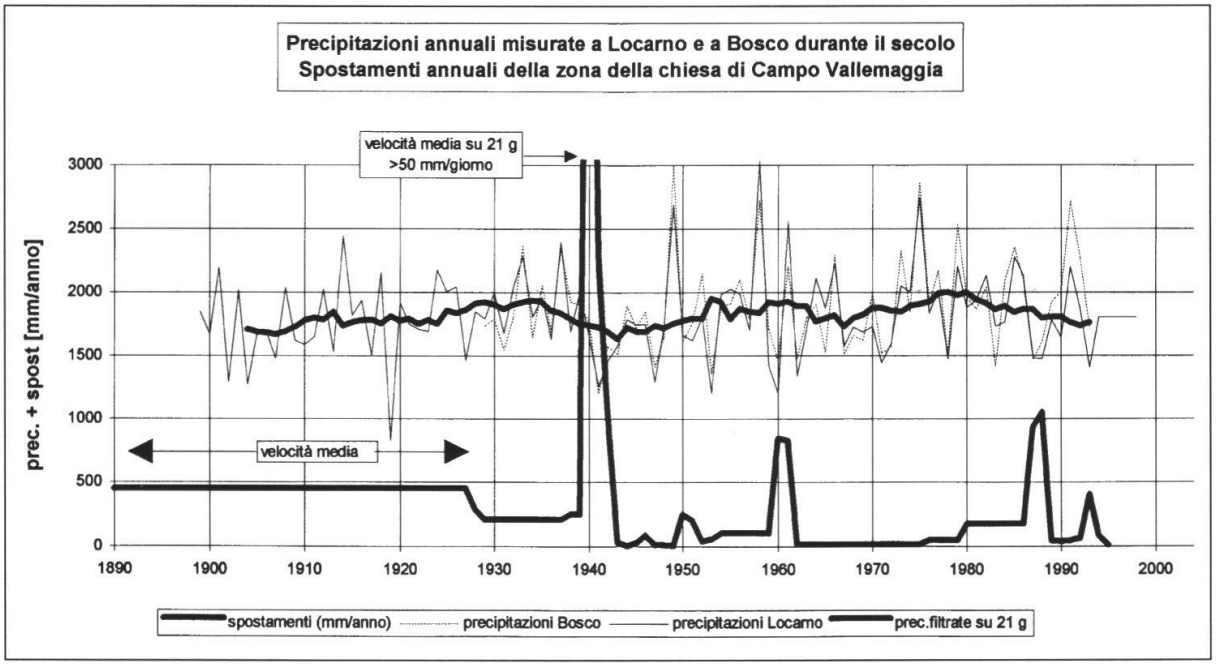


Fig. 3: Grafico degli spostamenti medi presso il fronte dello slittamento in relazione alle precipitazioni. Si osserva che il movimento reagisce con un certo ritardo e in maniera non omogenea alle precipitazioni. È ben visibile l'effetto pulsante.

2. Situazione geologica

Lo slittamento di Campo Vallemaggia è situato nelle coltri di ricoprimento penniniche metamorfiche, più precisamente al contatto tra la "zona di Bosco" e un diverticolo della coltre di Antigorio indicata come "serie di Orsalia". La massa in movimento è composta da pannelli di roccia più o meno alterata, a dipendenza della sua natura mineralogica e tettonica. Sono presenti rocce cristalline e molto differenziate, con una potente intercalazione di anfiboliti localmente accompagnate da metacarbonati. I pannelli, di dimensioni ettometriche e con decine di metri di spessore, sono scivolati l'uno sull'altro lungo fasce di scorrimento cagionate dalla differenziazione litologica e dal grado di alterazione. La presenza di faglie ha determinato la suddivisione dello slittamento in zolle. Questo processo iniziò verosimilmente in un periodo interglaciale, senza che si possa indicare con esattezza quale.

3. Metodo di lavoro e indagini effettuate

Il fenomeno è stato oggetto di innumerevoli studi. Come accennato sopra, già Albert Heim e altri illustri studiosi lo avevano affrontato fin dal secolo scorso, individuando l'importanza dell'acqua interna. Studi di vario genere si sono in seguito susseguiti, condizionati dalla volontà politica, a sua volta proporzionale ai danni e allo stato delle finanze pubbliche. Nel 1962 vengono eseguiti i primi sondaggi meccanici fino a profondità di circa 200m, che confermano la presenza dell'artesiano. Sono pure state effettuate misurazioni geodetiche a intervalli assai variabili, oltre che ricerche di carattere idrologico. Dai vari progetti presentati trapela l'incertezza e il sentimento di impotenza di fronte a un comportamento della natura che sembra superare l'intendimento umano. Un cunicolo di drenaggio e una galleria di deviazione erano già stati consigliati negli anni sessanta.

A partire dal 1984, l'autore di questo articolo, dopo aver raccolto tutte le informazioni esistenti, ha eseguito una cartografia geologica di dettaglio mirata alla geotecnica e l'idrogeologia particolare dell'oggetto. Ne ricavò la convinzione che la causa dell'instabilità era veramente la sovrapressione artesiana e non l'erosione al piede, che risulta esserne la conseguenza.

Nell'ambito di nuovi e ambiziosi progetti di risanamento, è stato possibile allestire una vasta campagna di indagini, che ha compreso (vedi cartina, figura 4).

- Sondaggi a distruzione fino a circa 200m di profondità.
- Sondaggi con recupero di campioni effettuati con carotiere triplo e fluidi polimerici (Wireline), fino a profondità comprese tra 200 e 330m.
- Posa di celle di misurazione piezometriche a varie quote nei fori di sondaggio.
- Posa di guide inclinometriche nei medesimi fori.
- Numerose linee di sondaggio sismico a rifrazione.
- Una linea di sondaggio sismico a riflessione (nell'ambito del PNR20).
- Analisi idrochimiche e isotopiche delle acque di sorgente e degli artesiani.
- Misurazioni geodetiche, automatiche e giornaliere in alcuni punti.

I sondaggi con recupero di campione e buona parte della sismica era integrata nelle indagini relative al progetto di cunicolo di drenaggio poi realizzato. In seguito sono ancora state effettuate analisi idrochimiche e isotopiche sulle acque captate dal cunicolo, che complessivamente rappresentano una portata di circa 50 l/s. È ancora in corso (1997), assieme all'osservazione degli effetti sul movimento, quello dell'evoluzione delle pressioni e delle portate, oltre che delle caratteristiche idrochimiche e isotopiche delle acque del drenaggio.

4. Risultati delle indagini

I sondaggi meccanici hanno permesso di determinare in varie posizioni l'elevato spessore della massa in movimento e la sua natura. Si ottennero campioni di roccia molto alterata per argillificazione, che ha però mantenuto la propria struttura e il posizionamento litologico. A quindi potuto essere dimostrato che non si tratta di materiale "franato", ne di deposito glaciale (morenico), bensì di roccia spostatasi in

Fig. 4: Situazione generale e limite dello slittamento di Campo Vallemaggia, con indicata la posizione dei sondaggi meccanici e dei profili sismici effettuati.

pannelli isolati. Che separano questi pannelli non sono superfici di scorrimento ben definite, ma piuttosto fasce, "zone" all'interno delle quali avviene la deformazione. Queste fasce sono di spessore variabile nello spazio, e verosimilmente nel tempo, a dipendenza della reologia del meccanismo (vedi interpretazione più avanti).

Le pressioni artesiane incontrate (fino a circa 12 bar) corrispondono in maniera assai omogenea a una quota piezometrica a circa 1450 msm. L'analisi degli isotopi stabili delle acque delle sorgenti profonde e degli artesiani mostrano pure una quota di ricarica omogenea, situata tra 1500 e 1600 msm. Per contro, la mineralizzazione varia notevolmente da un punto di prelievo all'altro. Anche le acque captate nel cunicolo di drenaggio, pur essendo state incontrate a pressione simile, da un punto all'altro mostrano caratteristiche fisico-chimiche assai differenziate.

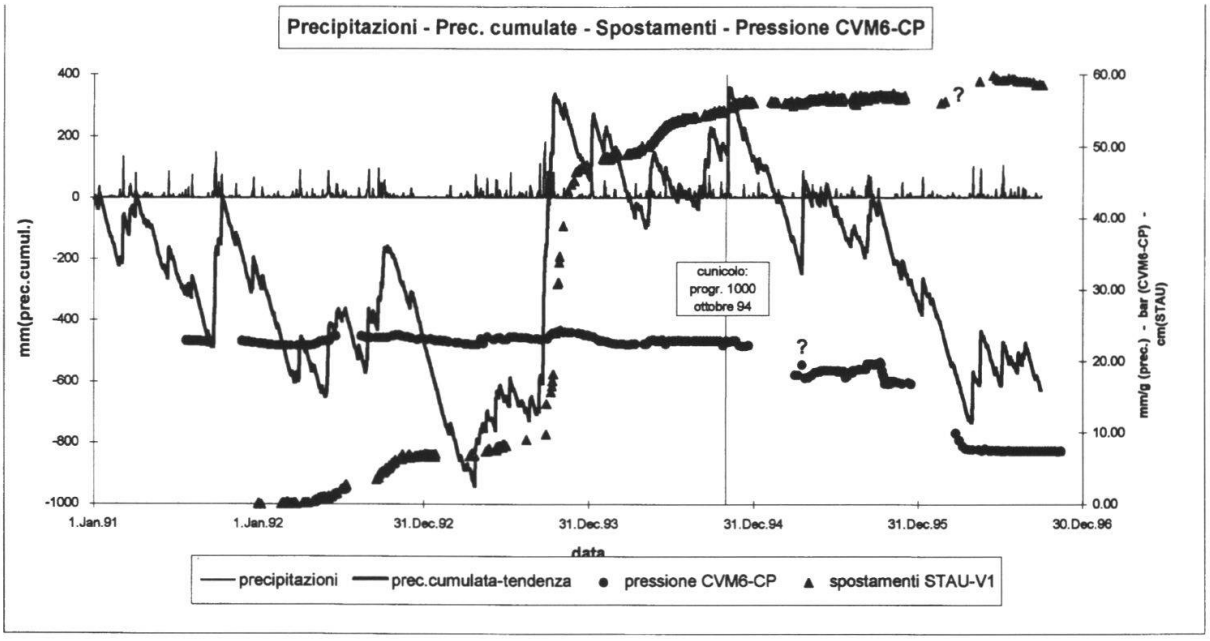


Fig. 5: Evoluzione delle pressioni interstiziali nella roccia (sondaggio CVM6 a -178 m di profondità) e dei movimenti, in funzione delle precipitazioni e della realizzazione del cunicolo di drenaggio.

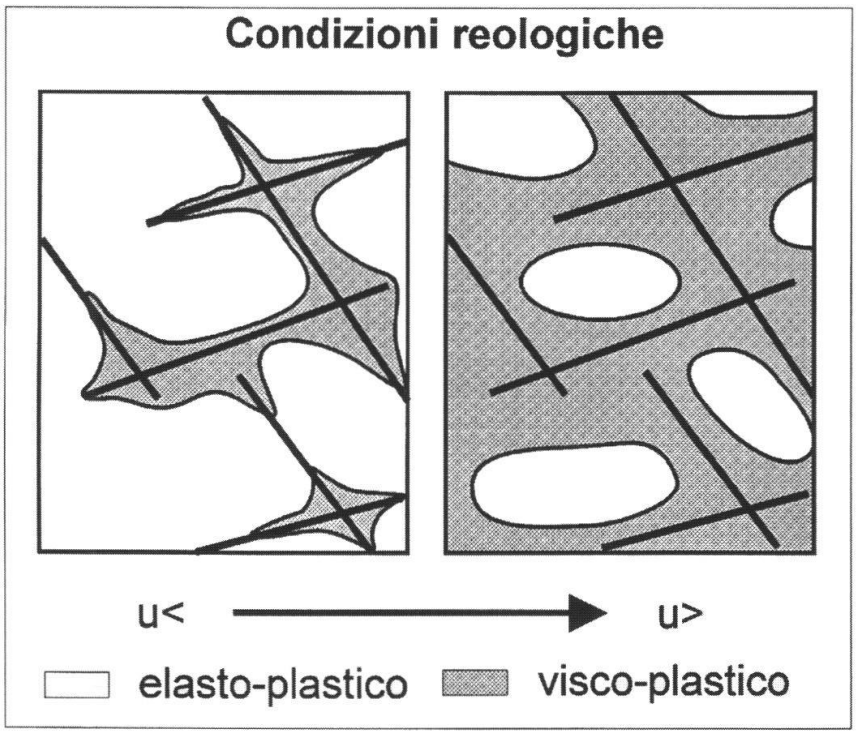
5. Interpretazioni

Le informazioni ricavate dalle indagini effettuate hanno consentito di confermare il seguente modello geodinamico:

- La massa in movimento è costituita da pannelli di roccia più o meno alterata, a dipendenza della sua natura mineralogica e dalla posizione.
- I movimenti avvengono lungo fasce di deformazione di spessore e comportamento reologico variabile, nello spazio e nel tempo. Le profondità e le pressioni idrauliche, e quindi le sollecitazioni dinamiche alle quali avvengono le deformazioni, oltrepassano i limiti di validità dei modelli geomeccanici classici.
- Le sovrappressioni idrauliche sono contenute in acquiferi di geometria complessa, che non è possibile descrivere con esattezza. Esiste tra di loro un equilibrio idrostatico a riposo (in assenza di circolazione), attraverso vie caratterizzate da permeabilità molto basse. L'equilibrio idrostatico tra gli acquiferi, se perturbato, necessita di molto tempo per ristabilirsi.
- „L'effetto soglia" del quale sono responsabili le elevate pressioni idrostatiche può spiegarsi con il seguente meccanismo: Se la pressione locale è inferiore a quella critica, la deformazione è elasto-plastica. Se viene superata, subentra un regime visco-plastico. Il carattere reologico varia lungo le fasce di deformazione. La proporzione tra comportamento elasto-plastico e visco-plastico condiziona il comportamento pulsante dello slittamento.

Il movimento, contrariamente ai crolli in roccia o ai scivolamenti condizionati dalla mobilizzazione di resistenze al taglio residue, denota un carattere auto-smorzante. Le deformazioni, agendo sulla permeabilità di diaclasi, tendono a ridurre le pressioni idrauliche, e quindi la distribuzione tra comportamento elasto-plastico e vi-

Fig. 6:
Ipotesi di ripartizione lungo le fasce di scorrimento delle zone di diverso comportamento reologico.



sco-plastico varia pure lei. In breve: accelerando, lo slittamento tende ad auto-stabilizzarsi. La figura 6 illustra schematicamente l'ipotesi di disposizione, controllata dalla tettonica, delle zone con diverso comportamento reologico.

Calcoli di stabilità effettuati con vari metodi, dimostrano che l'asportazione anche importante di materiale dal fronte di erosione non influisce molto sulla stabilità del pendio. Variazioni relativamente ridotte delle pressioni idrauliche agiscono per contro sensibilmente sugli equilibri dello slittamento.

6. Valutazione del rischio

Lo slittamento di Campo Vallemaggia cagiona vasti danni materiali su scala regionale. Le deformazioni dovute ai movimenti differenziati lungo i limiti tra le zolle rovinano le strade e alcune case. Ciò nonostante, la maggior parte degli edifici non sono colpiti, perché le deformazioni avvengono in profondità.

Una delle conseguenze dello slittamento è l'erosione del piede, a ragione di qualche decina migliaia di metri cubi all'anno di media. Lo sbocco del fiume Rovana nella Maggia, presso il villaggio di Cevio, rappresenta un apporto alluvionale massiccio, che se non fosse usato a scopi edilizi (inerti), provocherebbe grandi squilibri idrici. L'alto piano di Campo ha inoltre subito importanti perdite da terreno di pascolo.

Non esiste praticamente pericolo per le persone. Gli aspetti catastrofici si limitano all'erosione del fronte, che seppure spettacolare, non costituisce un pericolo corporale immediato e repentino.

È stata paventata l'eventualità di uno scivolamento di grande dimensione che porterebbe alla chiusura della valle e quindi alla formazione di un lago. Questa even-

tualità costituirebbe un pericolo su scala territoriale, sia per le cose che per le persone, fino a Locarno e Ascona, e oltre nel piano di Magadino e lungo le sponde del Lago Maggiore. Questa eventualità appare tuttavia a nostro parere remota, per il particolare meccanismo pulsante, auto-smorzante, che lo slittamento manifesta.

7. Gestione dei pericoli

L'oggetto Campo Vallemaggia ha assunto un'importanza territoriale, a causa del suo carattere spettacolare, che appare inesorabile. La soggettività del rischio e la sensibilità della popolazione è variabile, a dipendenza del momento politico e della sua ubicazione. I mass media hanno pure un'influenza elevata in un campo difficile da descrivere con terminologie giornalistiche.

In fase di accelerazione lo stesso effetto pulsante suscita la volontà di risanamento, che cala rapidamente assieme allo smorzamento dei movimenti e alla cura dei danni alluvionali. Trattandosi di un fenomeno a lunga scadenza, anche la formulazione delle strategie di risanamento globale risultano difficili. Il problema andava comunque affrontato, e non poteva esserlo altrimenti che su grande scala. Gli interventi principali che sono stati realizzati recentemente sono due:

- Un cunicolo sotto alla massa in movimento, scavato nella roccia in posto, dal quale sono state eseguite delle perforazioni verso l'alto. Lo scopo era di abbattere le pressioni idrauliche che regnano nelle zone dove avvengono le deformazioni di scorrimento.
- Una galleria di deviazione per togliere dal fronte di erosione le piene del fiume Rovana, e quindi ridurre il trasporto a valle di materiale alluvionale.

Vari altri interventi aggiuntivi sono stati intrapresi, in particolare per il risanamento dei boschi e la gestione delle acque di superficie.
Il piano regolatore del comune tiene conto delle minacce potenziali, con una delimitazione dei fondi potenzialmente minacciati dai scivolamenti al fronte.

Deve comunque essere rilevato che per fenomeni di questa natura, un risanamento definitivo del tipo "da dimenticare" non è realistico. In questo caso è palese la necessità di accettare un rischio residuo, il che comporta qualche difficoltà di ordine giuridico. La definizione di questo rischio residuo è il compito non facile degli attori di una tale operazione. Il rischio corporale può comunque essere ridotto ai minimi termini con vari accorgimenti di natura tecnica e operativa (sistemi d'allarme), fino a renderlo inferiore a quello medio nel resto del territorio.

8. Effetto del drenaggio

In seguito alla realizzazione del cunicolo di drenaggio sono stati osservati i comportamenti dello slittamento, dal punto di vista geodetico e idrogeologico. L'effetto più manifesto è la decisa deviazione dei vettori di spostamento. I movimenti si ridurrono ad assestamenti verticali, mentre i movimenti orizzontali furono praticamente annullati (vedi figura 7). Ovviamente si deve ancora attendere delle precipitazioni particolarmente importanti e prolungate per poter concludere che il consolidamento avvenuto con il drenaggio sia stato sufficiente a interrompere completamente il processo di pulsazione descritto.

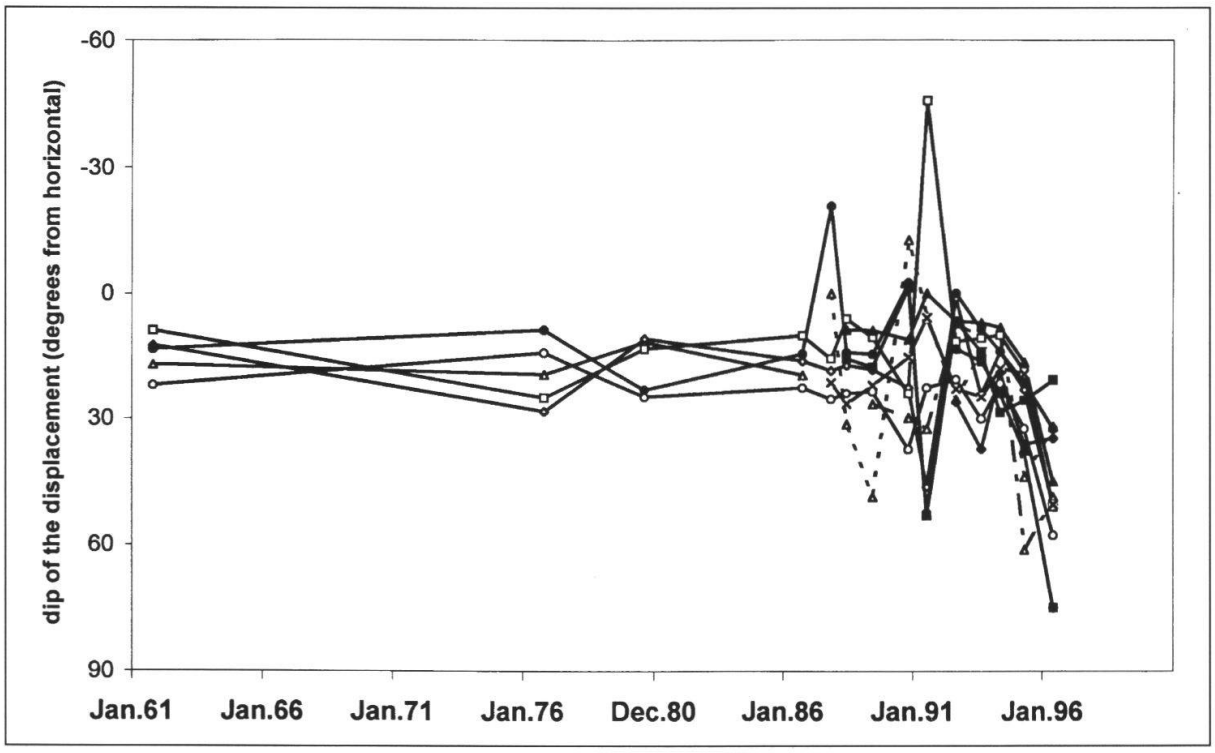


Fig. 7: Pendenza del vettore degli spostamenti. Dopo la costruzione della galleria di drenaggio si verticalizzano riducendosi a puro assestamento.

9. Riassunto degli aspetti essenziali dell'esempio citato

Lo slittamento di Campo Vallemaggia si distingue dai normali fenomeni di instabilità di pendio per le seguenti peculiarità:

- Vaste dimensioni.
- Presenza di elevate pressioni idrauliche presso le zone dove avvengono le deformazioni, che superano di parecchio la normale pressione idrostatica (sovrapressione), fino a manifestarsi con artesiani di varie decine di metri di colonna d'acqua.
- Effetto pulsante.
- Comportamento reologico complesso, a carattere misto elasto-plastico/visco-plastico, che spiega l'effetto pulsante.
- Deformazioni lungo fasce di scorrimento di qualche centimetro a qualche decina di metri di spessore, piuttosto che lungo superfici ben definite.

Le strategie di risanamento hanno dovuto essere proporzionate alla dimensione e alla complessità del fenomeno. Un cunicolo lungo quasi due chilometri nella roccia in posto sotto allo slittamento, dal quale sono stati eseguite perforazioni verso l'alto, ha permesso di abbattere sensibilmente le pressioni idrauliche, e quindi di condizionare un consolidamento della massa in movimento.

10. Importanza dello studio geologico

Il meccanismo è molto complesso e non si lascia descrivere con modelli geotecnici semplici, perché le loro condizioni limite di validità non sono rispettate.
Il geologo è portato per indole e filosofia a non confondere i modelli con la realtà. In un caso come quello di Campo Vallemaggia, l'osservazione geologica è assolutamente indispensabile per potere illustrarne le caratteristiche entro limiti di dettaglio ragionevoli. La „routine" arrischia di lasciare sfuggire gli elementi chiave del problema perché non sono sempre evidenti, e possono apparire a prima vista come dei dettagli trascurabili.

Bibliografia

BONZANIGO, L. 1988: Etude des mécanismes d'un grand glissement en terrain cristallin: Campo Vallemaggia. Proceedings of the fifth International Symposium on Landslides, Lausanne 10-15 July 1988, pp. 1313-1316. A.A. Balkema, Rotterdam.

BONZANIGO, L. 1990: Lo slittamento di Campo Vallemaggia; fenomeni artesiani e presenza di gas in ambiente cristallino. Bull. de l'Ass. Suisse des Géologues et Ingénieurs du Pétrole. Vol. 57, no. 131, pp. 65-72.

BONZANIGO, L. & FREI, W. 1992: Prospezione sismica con il metodo a riflessione sullo slittamento di Campo Vallemaggia. Bull. de l'Ass. Suisse des Géologues et Ingénieurs du Pétrole. Vol. 59, no. 134, pp. 9-17.

BONZANIGO, L. 1996: Anomales Verhalten einer Grossrutschung. Hypothesen zur Erklärung der Mechanismen und dementsprechend geeigneter Sanierungsmassnahmen. Instabile Hänge und andere risikorelevante natürliche Prozesse; Nachdiplomkurs in angewandten Erdwissenschaften / Björn Oddsson. (Monte Verità) Birkhäuser Verlag 1996, pp.243-253.

BONZANIGO, L. 1997: Rheological particularities and artesian heads in a large landslide: Successful reclaiming using undergroung drainage. Proceedings International Symposium on Engineering Geology and the Environment, Athens 23-27 june 1997, pp. 525-528. A.A. Balkema, Rotterdam.

HEIM, A. 1898: Die Bodenbewegungen von Campo im Maggiathale. Beiblatt zur Viertel-Jahrsschrift der naturforschenden Gesellschaft in Zürich.

LOMBARDI, G. 1996: Der Drainagestollen von Campo, Rovana. "wasser, energie, luft - eau, énergie, air", 88. Jahrgang, 1996, Heft 11/12, pp.281-287.