

RODRÍGUEZ GARCÍA LAURA, PRINA HOWALD ERIKA

Tecniche per l'analisi delle cause dei fenomeni franosi: il caso di studio del pendio Hohberg nelle Prealpi Svizzere

Introduzione

In Svizzera sono presenti numerose zone colpite da instabilità franosa (attiva o inattiva), si stima che più del 6% del territorio nazionale sia soggetto a tali fenomeni (NOVERRAZ E BONNARD, 1990; BONNARD, 2006a).

Questi fenomeni di instabilità franosa rappresentano una minaccia significativa, anche se in molti casi si verificano a seguito di un movimento regolare e lento, con accelerazioni occasionali e non a causa di una rottura improvvisa che conduce a una situazione di crisi (OFAT, OFEV, 2010).

Le frane sono indotte dalla forza di gravità che sposta le masse di terra o di roccia lungo i versanti (CRUDEN, 1991), mentre gli sprofondamenti di cavità o di materiali non sono inclusi in questo tipo di spostamenti (VARNES, 1978).

La classificazione delle frane dipende dai criteri utilizzati e si basa fondamentalmente sul meccanismo di rottura e propagazione del movimento. Si differenziano principalmente sei tipi fondamentali di movimento: crolli, ribaltamenti, espansioni laterali, colate, complessi e scivolamenti (rotazionali e traslativi) (VARNES, 1958; AYALA CARCEDO, 1987, COROMINAS, YAGÜE, 1997). È proprio su quest'ultima categoria che porremo la nostra attenzione nel presente lavoro.

Per quanto riguarda le caratteristiche più evidenti, le frane per scivolamento rappresentano un importante fenomeno degno di studio. Tali tipi di frana presentano delle caratteristiche di scorrimento diverse, in termini di velocità, volume e spessore del movimento franoso stesso, fattori dipendenti dalla morfologia del terreno. Per quanto

concerne lo spessore, esso varia da meno di 2 m a diverse centinaia di metri, mentre riguardo al volume il range va da qualche m³ fino a diversi km³ su superfici molto vaste.

Per la velocità può invece variare da avanzamenti lenti di 2 cm/anno ad avanzamenti di oltre 10 cm/anno (LATELTIN, 1997).

Dal punto di vista geometrico, la superficie di frattura può essere differenziata tra scivolamento rotazionale e traslazionale; quest'ultimo si definisce tale quando la superficie è rappresentata da un piano inclinato in maniera pressochè costante, mentre il primo presenta una superficie di rottura concava verso l'alto.

Le frane rotazionali si verificano soprattutto in materiali omogenei frastrati a diversa composizione litologica e in rocce fratturate (ANTOINE, 1992).

Al contrario, le frane traslazionali si producono in genere in materiali eterogenei come rocce calcaree e rocce metamorfiche. Si distinguono, inoltre, per la loro superficie discontinua (ANTOINE, 1992).

L'innesco di una frana si verifica per la concatenazione di diversi fattori. Solitamente si distinguono i fattori che influenzano la suscettibilità del terreno a fenomeni franosi (presenza di acque sotterranee, pendenza del versante, composizione morfologica del terreno) dalle cause scatenanti che portano alla rottura (precipitazioni, maggiore circolazione di acqua, aumento della pressione provocato dalle acque sotterranee, umidità ed erosione interna).

In particolare è notoriamente riconosciuto che l'acqua in tutte le sue forme svolge un ruolo importante in molti meccanismi di instabilità (BONNARD, 2006b, PARRIAUX, 2009).

I recenti cambiamenti climatici hanno inoltre portato ad un aumento delle precipitazioni invernali, la cui portata, unita ai grandi volumi di acqua sorgente, ha favorito lo slittamento delle frane (RAETZO, LATELTIN, 2002).

In molti altri casi invece è la vegetazione ad avere un ruolo fondamentale nella stabilizzazione delle frane. Le radici degli alberi e gli arbusti possono infatti contribuire a migliorare la coesione del suolo evitando così un possibile slittamento della frana.

Al contrario, un'improvvisa perdita di vegetazione (ad esempio dopo un incendio boschivo o a seguito di un uragano come quelli verificatisi in centro Europa alla fine degli anni '90) può essere notevolmente destabilizzante.

Tradizionalmente la prevenzione nei confronti delle frane comporta l'impianto di sistemi meccanici che devono ristabilire un equilibrio sul pendio soggetto a tali fenomeni. Ciò viene effettuato attraverso l'applicazione di forze specifiche o di massa, o tramite l'impianto di elementi di ingegneria civile che possono resistere ai forti movimenti franosi.

Recentemente, varie ricerche hanno messo a fuoco il comportamento delle acque sotterranee in frane instabili, facendo emergere che le condizioni idrogeologiche e le fluttuazioni giocano un ruolo fondamentale nelle attività di tipo franoso (OFAT, OFEV, 2010).

In base a queste considerazioni, la stabilizzazione delle frane attraverso interventi idrogeologici spesso fornisce significativi miglioramenti di tutta la situazione interna delle frane, a differenza delle misure geotecniche che hanno effetti di stabilizzazione solo a livello locale. I metodi di intervento idrologico costituiscono pertanto un'importante contributo alla prevenzione dei pericoli di innesco di frane (BONNARD, 2006b, PARRIAUX, 2009).

Di seguito, viene brevemente riportato un caso di studio dove la frana del monte Hohberg, situato in Svizzera, è stato scelto per intraprendere uno studio dettagliato della relazione che si stabilisce tra la dinamica di una frana e le condizioni climatiche.

Nel presente lavoro, vengono riportati i risultati delle valutazioni che sono state fatte riguardo alle cause che hanno innescato il fenomeno franoso oggetto di studio. In particolare lo studio è stato finalizzato a: (1) analizzare dettagliatamente le variabili più influenti quali morfologia, geologia, idrografia, climatologia e condizioni ed usi del suolo; (2) effettuare una sintesi delle misure riguardanti gli spostamenti avvenuti durante gli ultimi 30 anni e procedere a misure topografiche per quantificare i movimenti attuali nelle zone più attive; (3) stimare la possibile evoluzione della frana Hohberg e redigere, secondo i principi delle norme federali svizzere, una carta di pericolosità; (4) stimare il grado di rischio per le singole aree limitrofe alla frana Hohberg e, conseguentemente, stabilire i metodi di consolidamento necessari al ripristino della zona in modo da consentire una protezione permanente.

Materiali e metodi

Area di studio

La scelta dell'area di studio è ricaduta sulla regione del Lago Nero Schwarzsee, nel Cantone di Friburgo (cfr. figura 1).

Il monte Hohberg è influenzato dalla morfogenesi gravitativa ed in particolare da movimenti franosi, attivatisi dopo l'ultima glaciazione (LATELTIN *et al*, 1997; DAPPLES *et al*, 2001). Il dislivello che va dai 1025 m s.l.m., dove si trovano i quartieri abitati di Rohr e Mösl, fino ai 1790 m della cima Hohmatti. La pendenza varia tra il 11% ed il 14% tra i 1025 m ed i 1550 m, e dal 30% al 50% nelle zone prossimali alla cima.

La forma dello scivolamento franoso è a clessidra, con corridoi che si espandono agli estremi ed una zona centrale, detta zona di Mélange, più stretta.

La massa che si sposta è all'incirca di 30 milioni di m³ su una superficie di 1.6 km², ha una profondità media di 30 m per il fatto che la massa attiva si trova maggiormente concentrata nella zona di convergenza tra il corridoio a sud e la zona di transito, e da

15 a 18 m nella parte inferiore e media. Il 40% della massa è coperta da vegetazione, arborea e arbustiva mentre il resto sono prati e pascoli. La velocità di spostamento va dai 40 cm all'anno a meno di 2 cm.

Per il contesto idrologico e geologico diversificato, nel quale si trova il monte Hohberg, è difficile classificare i movimenti che si producono nelle differenti zone della frana, ma in generale il movimento è di tipo traslazionale in quasi tutta la sua estensione.

La morfogenesi della frana è pesantemente condizionata dall'assetto strutturale, ciò ci porta a suddividere la frana, dal punto di vista geologico, in tre zone: (1) Le Flysch du Gurnigel, zona sud, con materiale instabile e poco permeabile che determina un movimento rotazionale solo in questo settore; (2) Le Prealpi Medie, zona con maggiore attività, chiamata Wildflysch, dove si raggiungono le maggiori velocità di spostamento, (3) e la zona di Melange, zona nord della frana, dove si trovano numerosi corridoi molto attivi (OSWALD, 2003). Questi strati hanno lasciato segni ben visibili della loro presenza in tutta la vallata.

La distribuzione strutturale della frana può essere interpretata come una finestra stratigrafica, nella quale affiorano le formazioni rocciose dure e coesive come calcare, ardesie, arenarie, con rocce più soffici e friabili come marne o argille (RAETZO - BRÜLHART, 1997).

Fattori di instabilità

Sebbene i movimenti franosi siano spesso innescati da un singolo evento, come una pioggia intensa o un forte sisma, è anche vero che essi sono legati alla concomitanza di alcuni fattori, come litologia e idrologia, che rendono un versante suscettibile al dissesto.



Fig. 1: Situazione del fenomeno franoso Hohberg, Cantone di Friburgo. Scala 1:700'000. Coordinate geografiche: 590.100 / 169.850 (Fonte: www.geo.fr.ch).

La selezione dei fattori di instabilità che presentano una stretta correlazione con i movimenti dell'Hohberg richiede una conoscenza a priori della carta di instabilità dell'area di studio (RAETZO - BRÜLHART, 1997). Sulla base del lavoro di campagna sono state considerate 4 variabili indipendenti, che riflettono le condizioni esistenti prima del movimento franoso dell'Hohberg: idrografia, clima, vegetazione e morfologia.

Idrografia

L'Hohberg si trova nella parte destra del fiume Warme Sense, in una zona dove questo tipo di fenomeni è frequente, a causa di una grande attività glaciale nel passato. Quando una formazione di ghiacciaio si disgrega, smette di esercitare pressione sui materiali che formano i pendii delle montagne e, come conseguenza, produce la loro destabilizzazione (TULLEN, 2002).

I sondaggi geofisici che si sono effettuati sulla frana, hanno permesso la differenziazione dei settori in funzione del loro potenziale d'infiltrazione.

Nella zona del Flysch du Gurniguel, a causa della scarsa permeabilità, le infiltrazioni causano più danni che in altre zone con caratteristiche calcaree, e la topografia della zona fa sì che queste infiltrazioni di acqua favoriscano il processo di scivolamento.

Al contrario, tutti gli altri settori che compongono la frana Hohberg, situati soprattutto ai margini dello scivolamento, sono caratterizzati da una composizione più permeabile favorevole all'infiltrazione ed allo sviluppo di flussi sotterranei (OSWALD, 2003).

Clima

Un altro fattore d'instabilità è rappresentato dalle condizioni climatiche dell'area di studio. In primo luogo, sono i parametri climatici a breve termine (precipitazioni e temperatura) ad influire direttamente sulla ricarica di acqua della frana, e conseguentemente, sull'evoluzione della attività stessa. Ad esempio, alla fine dell'inverno del 1999 si visse una maggiore ripresa della frana in concomitanza con un anno nel quale le precipitazioni di neve furono molto abbondanti, e ciò determinò una primavera caratterizzata anche da precipitazioni nevose (TULLEN, 2002). I due anni seguenti, dopo l'episodio di ripresa, furono caratterizzati da una forte attività pluviometrica.

Vegetazione

La copertura vegetale è considerata un fattore di instabilità, nonostante questa agisca in maniera positiva sulla stabilità dei versanti, sia attraverso l'opera di intercettazione delle gocce di acqua da parte delle chiome, sia per mezzo delle radici che tendono a migliorare le caratteristiche meccaniche del suolo. In alcuni settori dell'Hohberg, le aree colpite dallo scivolamento vengono abitualmente rivegetate come opera di ripristino e stabilizzazione, questo non implica un aumento della suscettività al dissesto, invece la rimozione di vegetazione può creare problemi di stabilità (ATKINSON, MASSARI, 1998).

Morfologia

Le caratteristiche litologiche, strutturali e

tettoniche del Flysch du Gurniguel tendono ad innescare fenomeni di scivolamenti di terra (OSWALD, 2003). Questo tipo di materiale di origine sedimentaria, è formato dall'alternanza di strati di rocce dure, normalmente calcaree, lavagna o arenaria e strati di materiale più soffice come marne o argille. Questa composizione morfologica favorisce l'erosione differenziale oltre a provocare lo scivolamento delle cappe di rocce dure sulle più soffici.

Tutto il materiale che compone la frana è il risultato di una intensa attività glaciale di più di 14.000 anni fa, ciò è desumibile dai processi gravitativi poco permeabili e dalle profondità che presenta la frana, variando dai 30-35 m nella parte attiva, ai 50 m nella zona frontale (DAPPLES, 2002).

Cronologia degli avvenimenti

Nell'area del monte Hohberg sono avvenuti durante gli anni episodi di forte attività franosa. Le prime notizie risalgono al 1952, data nella quale si registra una forte attività dovuta alle intense nevicate. Come conseguenza si produsse un'importante saturazione nel terreno che cominciò a scivolare, causando la distruzione delle strade che conducono alla parte centrale della frana. Inoltre, un anno più tardi, una relazione dell'Inspection Cantonale des Forêts affermò che la situazione della frana si era aggravata molto durante la primavera.

Inoltre la mappa geologica a scala 1:25.000 del settore di Gurniguel risalente al 1961, indica un'alta instabilità in questa zona (TERCIER, BIERI, 1961), e come conseguenza, durante gli anni '70-'80 furono realizzati lavori di misurazione specifici riguardo la causa di questo fenomeno da parte dell'Istituto di Geologia dell'Università di Friburgo.

Nel corso degli anni si cominciò a delineare la cartografia della frana a diverse scale e si elaborarono altri studi per controllare più esaustivamente i movimenti franosi, fino a che, nel 1995 si decise di creare una rete di punti GPS (*Global Position System*) per il loro controllo, sotto gli ordini dell'Of-

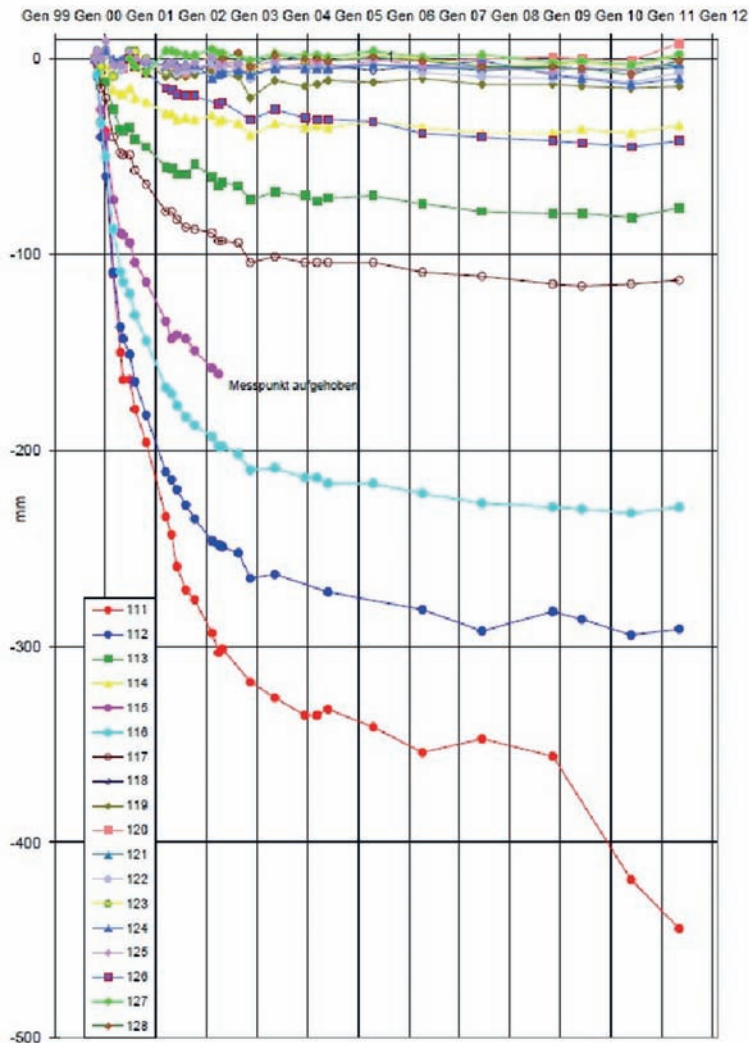


Grafico. 1: Spostamento in mm di ogni punto della rete di misurazioni effettuata con laser-distanziometro da gennaio del '99 a gennaio del '12 (Fonte: Geotest SA).

fice Cantonal des Forêts in collaborazione con l'Ufficio di Autostrade del Cantone di Friburgo. Gli studi realizzati con questa rete mostravano già indizi che si erano verificati spostamenti considerabili nella parte centrale del Hohberg (OSWALD, 2003).

Tuttavia, fu a partire dal 1999, che tale fenomeno si amplificò e cominciò a prodursi la maggiore ripresa della frana fino ad oggi, con velocità che raggiungono nel terreno più di 1,50 cm/anno.

Tutte le relazioni realizzate, mostrano indici dai quali si conclude che la frana Hohberg continua ad essere molto attiva e con un grado di pericolosità elevato.

Risultati

Analisi dello scivolamento attraverso il Laser Distanziometro (DICLAS)

Nel luglio del '97, un dispositivo basato sulla misurazione delle distanze in maniera continuata per mezzo di una luce laser proiettata su un prisma fisso (DICLAS) è stato installato nel settore di Udri-schli. La precisione delle misure è stata determinata dal calcolo di un errore di ± 4 mm nel periodo compreso tra il 1999 e il 2000, e di ± 9 mm dopo marzo 2000.

Un primo confronto tra le misure mostra come il punto 111 (cfr. grafico. 1), ha subito uno spostamento progressivo di circa 1 cm all'anno fino all'anno della seconda grande ripresa della frana nel 2009, dove subì un'accelerazione di 9,1 cm in due anni. Questo

punto si trova nella parte centrale, una zona caotica dove il Flysch du Gurniguel risulta composto da materiali calcarei provenienti dalla zona delle Pre Alpi Medie Plastiche. È da questo che si spiega il forte spostamento, ossia a causa della debolezza strutturale dei suoi componenti. Un altro punto che ha subito cambiamenti considerevoli è il 112 (cfr. grafico. 1), situato nella zona più alta della parte abitata dell'Hohberg, Ludena, arrivando a spostarsi di circa 30 cm in 13 anni.

Al contrario, nella zona più bassa della frana, la quale conta numerose edificazioni, soprattutto di carattere privato, i risultati cambiano (cfr. grafico. 1). A partire dal punto 118 (cfr. grafico. 1) lo spostamento dei punti di controllo, come ad esempio il 120, 122, 128 (cfr. grafico. 1), comincia ad essere minore, grazie alla buona stabilità che presenta il terreno in quella zona.

Analisi dello scivolamento per GPS

A seguito di un'accelerazione considerevole della frana nel '94 (RAETZO, BRÜLHART, 1997), nella primavera del '95 è stata installata una rete di punti GPS distribuiti su tutta l'area di studio. La loro finalità è stata quella di analizzare e seguire i movimenti che si sarebbero prodotti nella frana.

L'intera rete ha più di 60 punti ripartiti per tutta la sua estensione, tra questi, i punti misurati regolarmente saranno in grado di stimare meglio l'evoluzione degli spostamenti. La maggiore quantità di punti di controllo della rete si trova nella parte superiore e centrale della frana; infatti è proprio in quella zona che si verificano le variazioni di velocità e spostamento più elevate (OSWALD, 2003).

Dal 1996 fino a gennaio 2012 si sono realizzati continui studi, di periodicità annuale, che hanno preso come riferimento la rete di punti stabilita prima. La precisione delle misure è stata determinata dal calcolo di un errore di ± 2 cm sui punti più significativi (cfr. tabella. 1), distribuiti nei tre settori della frana. Le misurazioni si sono realizzate rispettivamente negli anni 2010 e 2011, ottenendo come risultato finale lo spostamento mezzo orizzontale dei punti di controllo.

I valori riferiti ai punti della rete di controllo (cfr. grafico. 2) mostrano come l'arco di tempo che va dal '96 al '99 sia stato un periodo critico nella storia della frana, dato che in questo periodo ebbe luogo una intensa ripresa in tutti i settori dell'Hohberg, con il verificarsi di cambiamenti veloci ed intensi, specialmente in riferimento ai suddetti punti di controllo che si trovano nella

zona intermedia di Ludena, la parte più attiva della frana.

Questa evoluzione si verifica per esempio nel punto M1 (cfr. grafico 2), uno dei più significativi ed in continuo controllo della frana. Il suo spostamento nella suddetta ripresa del '99 è stato di quasi 0,50 cm in solamente un anno, diversamente dall'evoluzione tranquilla che ha interessato il punto 62, situato nella zona inferiore della frana, con un spostamento totale fino al 2012 di circa 1 cm. Sulla base di tutto ciò, deriviamo che i risultati varieranno a seconda di dove sono situati i punti della rete di controllo (RAETZO, BRÜLHART, 1997).

Nella zona superiore dello scivolamento, Udrischli, i risultati dei punti 12, 301, 303, 304, 310 (cfr. tabella 1) presentano movimenti lenti dal punto di vista della velocità ma continuati, determinando così un effetto a catena nelle zone contigue alla frana e producendo movimenti nei successivi punti di controllo.

Nel settore Ludena, la zona intermedia, i dati ottenuti variano considerevolmente dato che è una zona con strati rocciosi più soffici e con una quantità maggiore di acqua superficiale canalizzata, che contribuiscono allo spostamento del terreno fino ad arrivare a quasi mezzo metro all'anno.

Per quanto concerne la zona inferiore Rohr, i dati ottenuti sono scarsi e senza grandi sintomi di spostamento. Questa parte della frana è occupata da una zona abitata composta da numerosi edifici e fattorie orientate soprattutto all'allevamento e alla selvicoltura; qui lo spostamento dei punti di controllo risulta di appena alcuni millimetri all'anno.

Creazione della carta di pericoli

Il "pericolo geologico" si considera come qualsiasi processo o evento potenziale che costituisce una minaccia per la salute, la sicurezza ed il benessere dell'uomo. Secondo questa definizione, una frana che accade in un'area desertica non costituisce un pericolo geologico, ma nel rapporto di Varnes (1984) viene ribaltato il concetto e

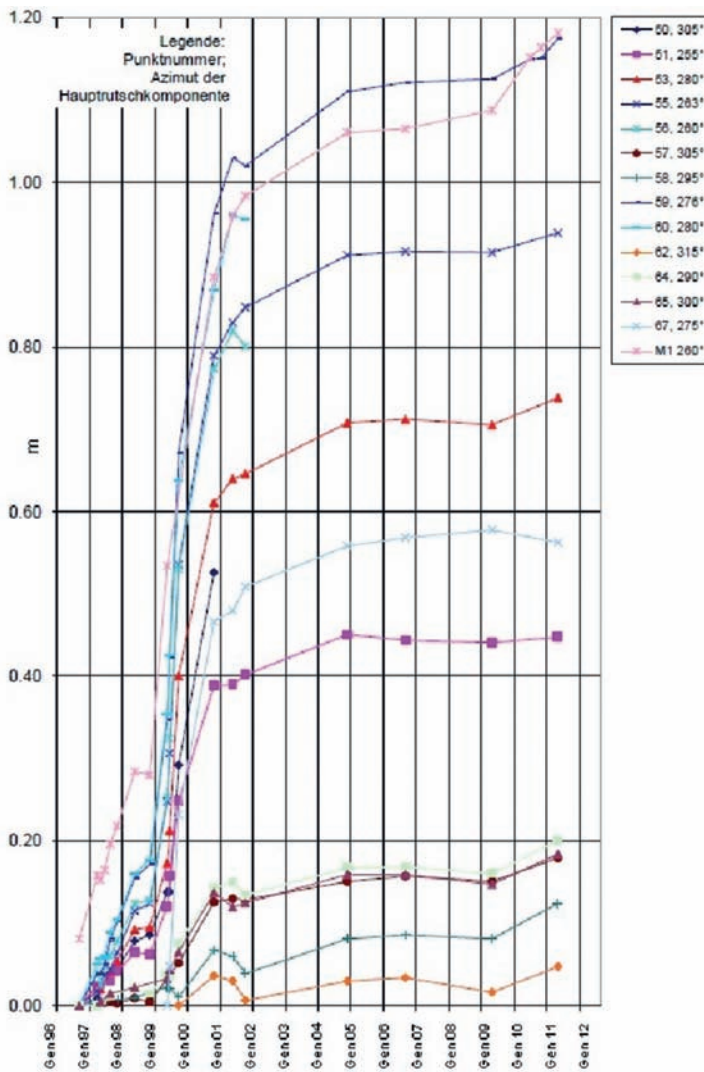


Grafico. 2: Spostamento in m dei punti della rete GPS, da gennaio del '96 a gennaio del '12 (Fonte: Geotest SA).

la pericolosità (*hazard*) viene definita come la probabilità che un fenomeno potenzialmente distruttivo si verifichi in un dato periodo di tempo ed in una data area (VARNES, 1984). Perciò un fenomeno è pericoloso a prescindere dalla presenza dell'uomo o delle sue attività ed infrastrutture.

Per quanto riguarda un fenomeno naturale quale una frana, si distinguono tre elementi fondamentali: la pericolosità o minaccia, la vulnerabilità e l'esposizione al rischio.

Le informazioni sulla pericolosità ed il rischio di frana di una certa area sono rappresentate solitamente per mezzo di carte, in cui vengono discretizzati, secondo classi diverse, i diversi livelli di pericolosità o rischio; tale differenziazione in classi è chiamata zonazione (VARNES, 1984). Questo strumento funge in particolare da base per definire le zone di pericolo nella frana.

La carta dei pericoli viene realizzata sulla base dei dati ottenuti prima, come ad esempio l'intensità e la probabilità, i dati

climatici, le caratteristiche della vegetazione di carattere protettivo e le osservazioni realizzate sul terreno.

Esiste anche una relazione diretta tra profondità, velocità e rischio. Se la frana è profonda in una zona, la velocità è lenta ed il rischio sarà minore; al contrario, in una zona dove la profondità è minore essa sarà elevata, potendo così causare a seguito degli spostamenti massivi grandi danni. Questo è stato il principale argomento di base per la creazione della carta di pericoli, la quale si basa su una metodologia empirica, di modo che si stabilisca una relazione tra il volume dello spostamento e il suo raggio d'azione.

La zonazione della pericolosità della frana rappresenta l'elaborato di sintesi più utile ai fini della pianificazione territoriale, in quanto, oltre a contenere informazioni circa l'attuale stato di dissesto di un'area, rappresenta, in senso probabilistico, la predisposizione di un territorio a un probabile dissesto. Ricordando le definizioni introdotte in precedenza, risulta ovvio che, in un qualsiasi programma di definizione delle situazioni a rischio, la zonazione della pericolosità non è solo l'elemento conoscitivo iniziale, ma anche il più importante.

Inoltre è essenziale ricordare che, a livello di pianificazione, le carte di pericolosità comportano effetti normativi di grande rilevanza, poiché sulle zone individuate vengono imposti vincoli e limitazioni d'uso distinte secondo il grado di pericolosità.

Nel caso dell'Hohberg, è noto che uno dei maggiori periodi di ripresa si verificò come conseguenza di eventi climatici; per questo si utilizzarono i metodi empirici indiretti al fine conoscere la possibile potenzialità della frana.

Questa carta dei pericoli è stata creata applicando la legislazione svizzera che tratta i pericoli naturali e basandosi sulle leggi federali riguardanti la pianificazione di corsi di acqua (LACE) e dell'organizzazione forestale (Lfo). Per determinare il grado di pericolo, tali leggi stabiliscono una combinazione tra l'intensità e la probabilità che il fenomeno franoso si verifichi.

L'esperienza maturata nel corso di questo studio ha confermato l'importanza del lavo-

ro di rilevamento geomorfologico svolto direttamente sul terreno, il quale consente di raccogliere informazioni su tipologia, severità e meccanismi di innesco dei movimenti di versante, fondamentali ai fini di una corretta valutazione di pericolosità e rischio.

Per ottenere la carta dei pericoli si è proceduto innanzitutto all'elaborazione di un modello orientativo applicato in ogni settore della frana (Udrischili, Ludena e Rohr).

In seguito, i risultati ottenuti sono stati classificati secondo il diagramma della matrice che combina l'intensità e la probabilità.

Il colore rosso rappresenta un pericolo considerevole: in queste zone le persone sono in pericolo sia dentro che fuori dagli edifici ed inoltre, nel caso in cui avesse luogo la catastrofe, la probabilità che il terreno venga completamente distrutto è molto alta. Questo colore è attribuito anche alle zone dove gli spostamenti hanno un'intensità meno forte, ma una probabilità elevata di verificarsi.

Il colore azzurro rappresenta invece una zona di pericoli di grado medio. In queste zone le persone non si trovano in un'area di pericolosità alta quando si trovano all'interno delle costruzioni, ma sono soggette ad un certo rischio quando si trovano all'esterno delle stesse. Inoltre le costruzioni sono esposte a danni ma in ogni caso non ad una distruzione totale se costruite secondo le indicazioni delle leggi svizzere. Nella zona

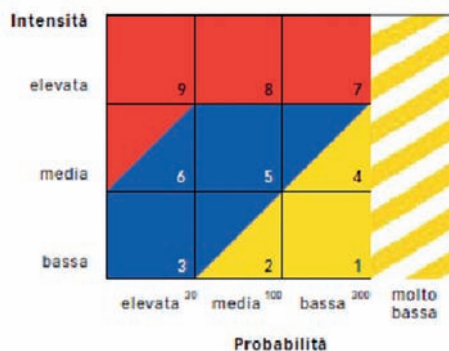


Fig. 2: Matrice coi valori classificatori in carte di pericoli di frane permanenti, calcolati in base all'intensità e alla probabilità (Fonte: Ufficio federale dell'ambiente, delle foreste e del paesaggio).

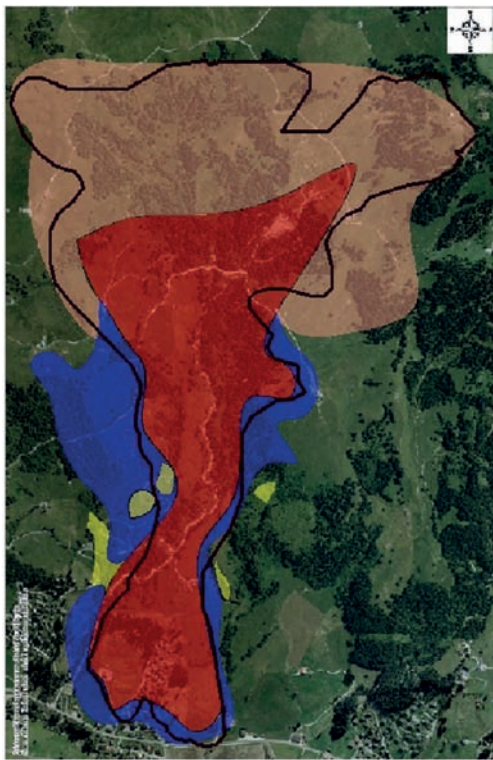


Fig. 3: Carta di pericoli del Hohberg, ottenuta mediante metodologia GIS (Fonte: elaborazione propria).

azzurra devono essere applicate tutte le misure necessarie a livello protettivo che permettono evitare danni strutturali più gravi.

Infine, il colore giallo rappresenta un pericolo basso. In queste zone le persone sono esposte ad un danno minimo tanto all'interno quanto all'esterno degli edifici. Per quanto riguarda le costruzioni invece, la parte esterna non è soggetta a grandi danni, mentre quella interna è spesso caratterizzata da ripercussioni quali crepe, fratture, sollevamento del pavimento. Queste zone sono aree sensibili e prevale la responsabilità individuale dei singoli (cfr. figura 2).

La classificazione delle aree in zonazione con un determinato livello di pericolosità si realizzò avendo in considerazione le raccomandazioni federali per i pericoli delle frane con riguardo alla pianificazione territoriale (OFAT, OFEE e OFEFP, 1997). Tali raccomandazioni propongono di associare un livello di rischio dato ad un tipo genera-

le di azione, in questo modo ogni colore è associato ad alcuni criteri e comportamenti specifici per ogni tipo di livello.

Il risultato è la seguente carta di pericolo (fig. 3), nella quale si osserva come nella zona centrale e sud della frana il pericolo sia elevato con categoria rossa. Esso infatti è caratterizzato da velocità molto alte fino a 40 cm/anno con spessori medi di 20 m. Questo tipo di caratteristiche fanno sì che sia una zona con una pericolosità alta.

Le zone azzurre sono considerate come aree dove il pericolo è minore; benché lo spessore medio vari anche da 30 m a 50 m la velocità è minore rispetto alle zone in colore rosso e, come conseguenza, i movimenti in questa zona della frana sono più prevedibili.

Le zone gialle si caratterizzano per un pericolo basso, dato che i movimenti sono minimi e gli strati di materiali hanno molto spessore nella piccola area che comprende. Si considerano relativamente zone stabili ed infatti è dove sono state costruite tutte le fattorie che si trovano nel Hohberg.

Infine, la zona rosata rappresenta una zona dove è possibile che in futuro ci sia un pericolo più evidente dato che in questa zona la frana presenta una compattazione del terreno molto superficiale.

Analisi futuro del rischio di frana

I modelli presentati non possono predire, solo sulla base delle conoscenze spaziali di vecchi movimenti, quando la frana inizierà a muoversi. Per fornire tale informazione sono necessari dati sulla frequenza dei movimenti, che possono essere ricavati dall'analisi delle serie temporali degli eventi tramite archivi storici e dall'esame di riprese aeree di anni diversi. Inoltre, è da considerare che, ogni volta che si innesca un movimento, cambiano le condizioni topografiche, geomeccaniche ed idrogeologiche della frana, e si creano nuove condizioni di instabilità, diverse da quelle iniziali.

Con le misure realizzate in questo caso di studio durante tutti questi anni, si è potuto comprovare come la frana abbia avuto

Punto	Settore del Hohberg	Data penultima misurazione	Data ultima misurazione	N. giorni	Spostamento penultima misurazione (cm)	Spostamento ultima misurazione (cm)	Spostamento medio orizzontale (cm/anno)
301	Udrischli	5.11.2010	13.5.2011	189	38,3	87,3	74,0
304	Udrischli	5.11.2010	13.5.2011	189	15	22,6	29,0
12	Udrischli	4.5.2009	13.5.2011	739	107,2	-	53,0
310	Udrischli	5.11.2010	13.5.2011	189	1,7	3,4	3,3
M1	Ludena	5.11.2010	13.5.2011	189	2,7	4,0	5,2
308	Ludena	5.11.2010	13.5.2011	189	2,8	4,5	5,4
306	Ludena	5.11.2010	13.5.2011	189	3,6	4,4	7,0
309	Ludena	5.11.2010	13.5.2011	189	14,2	22,3	27,3
59	Ludena	5.11.2010	13.5.2011	189	3,1	3,9	6,0
57	Rohr	4.5.2009	13.5.2011	739	2,9	-	1,4
53	Rohr	4.5.2009	13.5.2011	739	3,8	-	1,9
62	Rohr	4.5.2009	13.5.2011	739	3,1	-	1,5
67	Rohr	4.5.2009	13.5.2011	739	1,8	-	0,9

Tab. 1: Misurazioni della rete di controllo per GPS, con punti distribuiti nei tre settori della frana (Fonte: Geotest SA).

due periodi di ripresa tra gli anni 1996-1997 e 1998-1999 a causa della gran quantità di piogge che si erano verificate durante quegli anni. Dopo questi due periodi il movimento franoso cominciò a rallentare fino all'anno 2001 quando tornò a innescarsi un'altra accelerazione.

Quello che si è potuto comprovare fino a questo momento, è che dall'anno 1999 la frana era diventata meno sensibile ai cambiamenti climatici dato che nella primavera 2001 ci fu una stagione di grandi piogge che non provocarono un aumento della velocità della frana proporzionale alla quantità di acqua che era caduta. Questo è potuto succedere perché le temperature tra gli anni 1998-1999 furono molto più umide e fredde, con precipitazioni in forma di neve e disgelo, rispetto al 2001, anno molto più secco. Tra gli anni 2010 e 2011 vi furono zone della frana che aumentarono bruscamente

la velocità di spostamento; benché non si disponga di dati climatici di quegli anni recenti studi affermano che il clima sta cambiando: esso è infatti diventato più estremo, con aumenti della temperatura annuale e modifica delle piogge, facendo sì che in inverno aumentino ed in estate diminuiscano rispetto al passato.

Da tutto ciò, si conclude che il comportamento dello scivolamento a breve termine dipenderà soprattutto dal clima futuro, ed in particolare dalla quantità di pioggia accumulata in quell'anno. Se i prossimi inverni saranno freddi e piovosi e saranno accompagnati da primavere tardive nelle quali appare improvvisamente il caldo, il movimento della frana subirà possibilmente accelerazioni in relazione alla zona e soprattutto alla composizione del suolo.

In questo tipo di fenomeni, è quasi impossibile sapere come sarà il comportamen-

to a lungo termine, dato che è impossibile determinare in che momento vi saranno le condizioni idonee per una nuova accelerazione prima della rottura di materiali della frana.

A causa di questo tipo di difficoltà, vengono presentati modelli fisici per calcolare le distanze di propagazione di diversi tipi di frana (MIAO *et al.*, 2001); altri approcci sono di tipo empirico, correlando, ad esempio, le dimensioni della frana alle condizioni topografiche, alla rugosità della superficie o alla vegetazione (COROMINAS, 1996; RICKENMANN, 1999; McCLUNG, 2001).

Conclusioni

Oggi giorno il problema degli scivolamenti nelle frane è purtroppo comune e la società deve affrontarlo mediante lo studio di questi fenomeni per prevenire ed agire davanti a possibili catastrofi naturali. In questo caso di studio sono state classificate le aree a rischio che hanno come effetto finale l'essere un supporto alla programmazione degli interventi futuri.

L'esperienza maturata nel corso di questo studio ha confermato l'importanza del lavoro di rilevamento geomorfologico svolto direttamente sul campo, che consente di raccogliere informazioni su tipologia, severità e meccanismi di innesco dei movimenti della frana, fondamentali ai fini di una corretta valutazione di pericolosità e rischio.

Con tutti i dati ottenuti possiamo affermare che l'Hohberg è uno scivolamento attivo e che la probabilità di una possibile ripresa in alcuni dei settori della stessa è alta; in particolare bisogna tenere in conto le accelerazioni della massa instabile degli ultimi anni oltre al periodo in cui si verificavano.

L'Hohberg ha sofferto due periodi di crisi importanti negli ultimi 15 anni, cioè uno ogni 7 anni; questo è un sintomo significativo di minaccia, oltre ad un chiaro indice del rischio che si produce in tutta la frana.

Sulla base di tutto ciò, la frana è potenzialmente instabile e ci sarà necessità di attribuire un certo grado di pericolosità che si

terrà in conto nel momento di applicare le leggi, di stabilire i metodi di assicurazione e controllo, e di aggiudicare le misure di protezione necessarie affinché, in caso di riprese future, il tempo di reazione da parte delle autorità competenti sia il minimo possibile ed i danni materiali e personali siano praticamente inesistenti

Si può quindi concludere che il modello proposto svolge appieno la funzione di trasferimento dell'informazione scientifica rispetto alla pericolosità e rischio di frana a Enti ed amministratori, fornendo un valido aiuto nei compiti di governo del territorio cui sono preposti.

Ringraziamenti

Si ringrazia alla dott.ssa Sofia Ganthaler per la correzione e revisione dell'articolo.

BIBLIOGRAFIA

- ANTOINE P., 1992 - *Les problèmes posés par l'instabilité des versants de grande ampleur - Aspects géologiques*. IAEG Bull. Paris. n°45: 9-24.
- ATKINSON P. M., MASSARI R., 1998 - *Generalis ed linear modelling of susceptibility to landsliding in the Central Appennines, Italy*. Computers & Geosciences, 24 (4), 373-385.
- AYALA CARCEDO F. J., 1987 - *Introducción a los riesgos geológicos. Riesgos Geológicos*; I.G.M.E. Madrid. Vol 1, 3-21.
- BONNARD CH., 2006a - *Evaluation et prédiction des mouvements des grands phénomènes d'instabilité de pente*. Bull. angew. Geol. 11(2): 89-100.
- BONNARD CH., 2006b - *Identification des mécanismes de glissement, auscultation et modélisation de l'effet des ouvrages d'assainissement*. Publication de la Société Suisse de Mécanique des Sols et des Roches n° 153: 43-52.
- COROMINAS J., 1996 - *The angle of reach as a mobility index for small and large landslides*. Canadian Geotechnical Journal, 33, 260-271.
- Corominas J., García Yagüe A., 1997 - *Terminología de los movimientos de ladera. IV Simposio Nacional de Taldudes y Laderas Inestables*. Granada. Vol. III, 1051-1072.
- CRUDEN D. M., 1991 - *A Simple Definition of a Landslide*. Bulletin of the International Association of Engineering Geology n° 43: 27-29.
- DAPPLES F., OSWALD D., RAETZO H., 2001 - *Landslides in the western swiss alps: causes, triggers and dynamic aspects from former to present times*. In: International Conference on Landslides: causes, impacts and countermeasures (Ed. by M. Kühne, H. H. Einstein, E. Krauter, H. Klapperich and R. Pöttler), 3-11, Davos, Switzerland.
- DAPPLES F., 2002 - *Instabilités de terrain dans les Préalpes fribourgeoises (Suisse) au cours du Tardiglaciaire et de l'Holocène: influence des changements climatiques, des fluctuations de la végétation et de l'activité humaine*. Thèse de doctorat, Geofocus, Université de Fribourg.
- LATELTIN O., 1997 - *Prise en compte des dangers dus aux mouvements de terrain dans le cadre des activités de l'aménagement du territoire. Recommandations*. Office fédéral de l'aménagement du territoire (OFAT), Office fédéral de l'économie des eaux (OFEE), Office fédéral de l'environnement, des forêts et des paysages (OFEPF). 42 pp.
- MCCLUNG D. M., 2001 - *Extreme avalanche runout: a comparison of empirical models*. Canadian Geotechnical Journal, 38, 1254-1265.
- MIAO T.D., LIU Z.Y., NIU Y.H., MA C.W., 2001 - *A sliding block model for the runout prediction of high-speed landslides*. Canadian Geotechnical Journal 38,217-226.
- NOVERRAZ F., BONNARD CH., 1990 - *Mapping methodology of landslides and rockfalls in Switzerland*. ALPS 90 – Alpine Landslide Practical Seminar Sixth International Conference and Field Workshop on Landslides Università degli Studi di Milano: 43-53.
- OFAT., OFEE., OFEFP., 1997 - *Recommandations – Prise en compte des dangers dus aux mouvements de terrain dans le cadre de l'aménagement du territoire*. Office fédéral de l'aménagement du territoire OFAT, Office fédéral de l'économie des eaux OFEE, Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage OFEFP: 42 p.
- OFAT., OFEV., 2010 - *Directives-Protection contre les dangers de mouvement de terrain*. Office fédéral de l'environnement OFEV.
- OSWALD D., 2003 - *Analyse de l'activité de glissements de terrain et relation avec les conditions climatiques: exemples dans les Préalpes fribourgeoises (Suisse)*. Département de Géosciences, Université de Fribourg, GeoFocus 8.
- PARRIAUX A., 2009 - *Géologie – Bases pour l'ingénieur*. 2^{ème} édition. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes PPUR. Existe aussi en anglais: *Geology: Basics for Engineers*, CRC Press, Taylor & Francis Group, London.
- PLANAT., 2009 - *Guide de concept du risque. Stratégie «Dangers naturels» Suisse – Réalisation du plan d'action PLANAT 2005–2008*. Plate-forme nationale «Dangers naturels» PLANAT.
- RAETZO-BRÜLHART H., 1997 - *Massenbewegungen im Gurnigeblysch und Einuss der Klimaänderung*. Rapport nal du PNR31. vdf, Hochschulverlag AG an der ETH Zürich. 256 pp.
- RAETZO H., LATELTIN O., 2002 - *Hazard assessment in Switzerland -Codes of practice for mass movements*. Bull of Engineering Geol. Env., 61, 263-268.
- RICKENMANN D., 1999 - *Empirical relationships for debris flows*. Nat. Haz., 19, 47-77.
- TERCIER J., BIERI P., 1961 - *Feuille n°: 36, Gurnigel*. Atlas géol. Suisse 1:25'000. Comm. géol. suisse.
- TULLEN P., 2002 - *Méthode d'analyse de fonctionnement hydrogéologique des versants instables*. Thèse de doctorat n°: 2622, EPF de Lausanne.192 pp.
- VARNES D. J., 1958 - *Landslide types and processes*. In: *Eckel E.B., ed., Landslides and engineering practice*. National Research Council Highway Research Board Spec. Rept., Washington D.C., 29, 20-47.
- VARNES D. J., 1978 - *Slope movements, type and process*. In: *Schuster R.L., Krizel R.J., eds., Landslides analysis and control*. Trans p. Res. Board., Special report 176, Nat. Acad. Press., Washington, D.C., 11-33.
- VARNES D. J., IAEG Commission on Landslides, 1984N - *Landslide Hazard Zonation: a review of principles and practice*. UNESCO Press, Paris, 63.

Rodríguez García Laura

Laureata presso l'Università di Santiago di Compostela
in Ingegneria Ambientale, Spagna.

Prina Howald Erika

Professoressa in Ingegneria Geotecnica e Pericoli Natu-
rali della Università HEIG-VD , Svizzera.

PAROLE CHIAVE: *Frane per scivolamento
traslazionale, rischio, pericolo, Geographical Position
System (GPS), impatto ambientale, carta dei pericoli.*

RIASSUNTO

Le frane per scivolamento rappresentano un'importante fenomeno di dissesto idrogeologico nelle regioni dell'arco Alpino. Il presente contributo si pone l'obiettivo di presentare, attraverso un caso di studio, la metodologia di analisi di tali fenomeni franosi secondo l'approccio adottato nelle Prealpi Svizzere del versante Hohberg (Cantone di Friburgo). Al fine di valutare le cause che hanno innescato il fenomeno franoso oggetto di studio sono state analizzate dettagliatamente le seguenti variabili: morfologia, geologia, idrografia, condizioni del suolo ed usi ed infine la climatologia.

L'analisi di suddette variabili ha consentito di assegnare il grado di pericolosità per le singole aree mediante la carta dei pericoli e, conseguentemente, di stabilire i metodi di consolidamento necessari al ripristino della zona in modo da consentire una protezione permanente.

KEY WORDS: *translational landslides, risk, danger,
Geographical Position System (GPS), environmental
impact, landslide hazard map.*

SUMMARY

The translational landslides represent an important phenomenon of hydrogeological instability in the Alpine region. The aim of the present work is to introduce a methodological approach to analyse the landslides phenomena. The approach was applied to the landslide on the Hohberg slope in Switzerland (Canton of Fribourg). In order to evaluate the causes that have triggered the landslide phenomenon, the following variables were examined: morphology, geology, hydrography, land use and climatology. The analysis of these variables allowed to assign the degree of dangerousness for the individual areas (landslide hazard map) and, consequently, to identify the necessary engineering interventions to stabilize the area.