

Application: the Giumello Landslide

Extract from a meeting in Lecco about landslides

By M. Papini

www.engeology.eu

LA FRANA DEL GIUMELLO

EVENTO ALLUVIONALE

Novembre 2002

FINALITA' DEL LAVORO

- ✓ Riconoscere i dissesti in atto e potenziali*
- ✓ Delimitare i dissesti in atto e quelli potenziali*
- ✓ Individuare le cause predisponenti e scatenanti*
- ✓ Analisi di stabilità*

Caratterizzazione del problema: suddivisione dei fattori predisponenti ed innescanti l'evento franoso:

- Litologici: influiscono sulla resistenza meccanica della singola roccia o dei terreni;
- Tettonici: dall'analisi delle tensioni a cui è sottoposto un versante determinano le zone di debolezza e di minore resistenza. Le tensioni condizionano anche il tipo e la direzione dei movimenti;
- Morfologici: pendenze, forme dei versanti e delle valli;
- Idrogeologici: idrografia, presenza di sorgenti, condizioni di drenaggio, caratterizzazione degli acquiferi, grado di saturazione dei terreni;
- Meteorologici: Condizioni climatiche dell'area, escursione termica, intensità e durata degli eventi meteorici che condizionano anche la tipologia del dissesto;
- Antropici: alterazione degli equilibri, disboscamenti, strade...

Inquadramento dell'area di studio

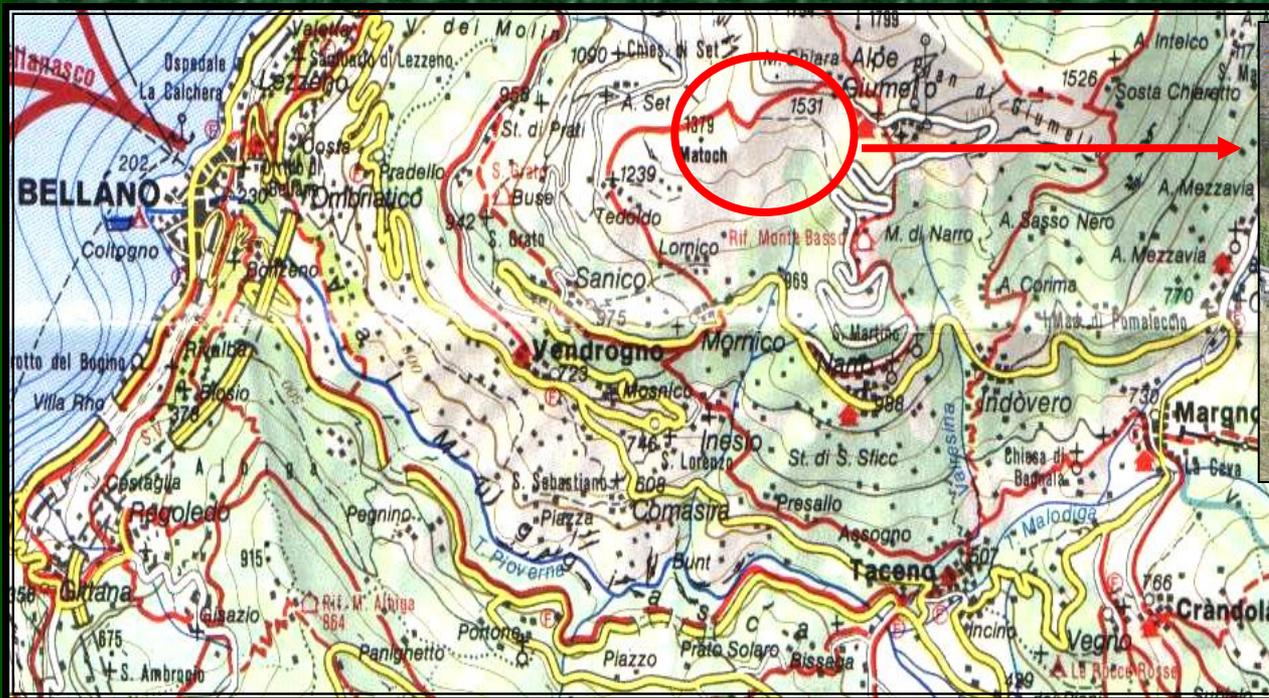
- Ubicazione geografica
- Geomorfologia
- Inquadramento geologico
- Inquadramento idrogeologico
- Analisi della documentazione storica
- Inquadramento climatico



INDAGINI

INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Dissesto in loc. Alpe Giumello



INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

Tutta la Valsassina è interessata da estesi accumuli di paleofrane ai quali si sommano diffuse coltri di detriti di versante a vario grado di cementazione.

Per quanto riguarda le paleofrane è ampiamente diffusa l'idea che tali fenomeni possano aver avuto luogo soprattutto durante le recenti (geologicamente) fasi glaciali, quando con l'ultimo ritiro glaciale, è venuta meno l'azione di contrasto esercitata dalle masse glaciali sui versanti che le contenevano lateralmente. Non più sostenute da tali spinte le valli sono state spesso sede di fenomeni di instabilità di tipo gravitativo.



Frana di Bindo-Cortenova, nelle vicinanze dell'Alpe Giumello

INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

L'area in cui si è verificato il dissesto è impostata su una probabile paleofrana le cui origine sono da ricondursi a quelle sopracitate.

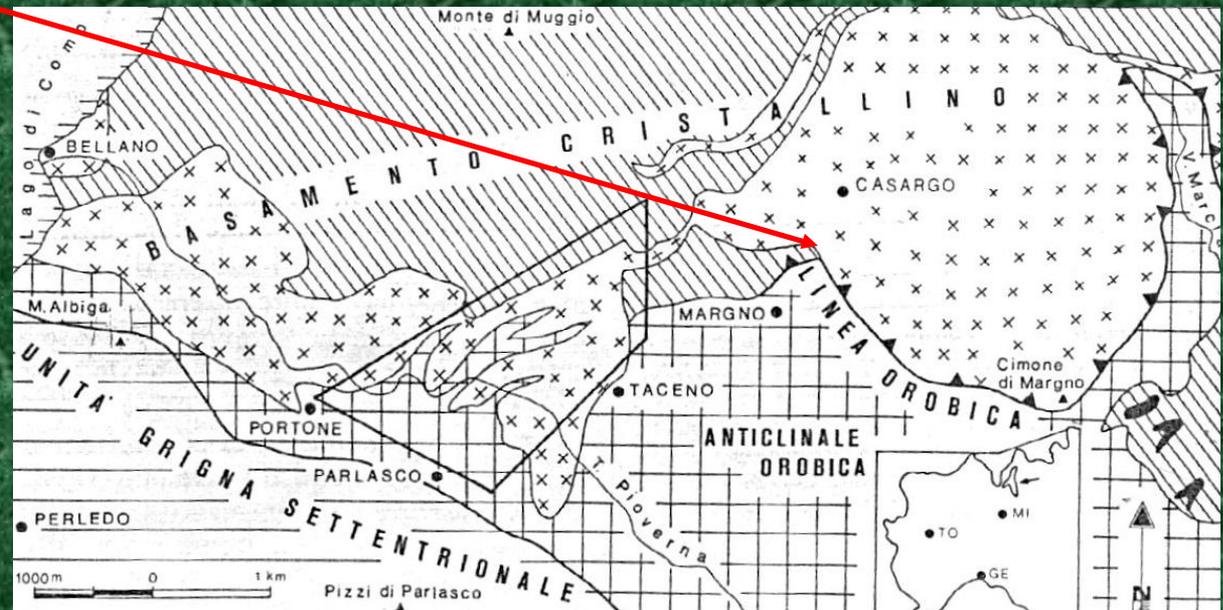
Si tratta di antiche deformazioni gravitative profonde testimoniate dalle creste sdoppiate visibili sul Monte Giumello e sul Monte Muggio.

In dettaglio la porzione di versante in frana è compresa tra la quota 1400 e 1500 m e ha una pendenza media di 25°-30°.

A monte del corpo franoso è presente un ampio terrazzo morfologico sopra il quale sorge l'abitato di Giumello.

INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE

- ❖ Zona di transizione tra le Unità Austroalpine e quelle Subalpine: Linea Insubrica
- ❖ Rocce affioranti: Gneiss di Morbegno intercalati da Gneiss Chiari milonitizzati per la vicinanza della Linea Orobica (affiora 200 m a valle rispetto al dissesto)



INQUADRAMENTO GEOLOGICO DI DETTAGLIO

- ✓ a monte della frana affiora il substrato roccioso (quota 1470 m s.l.m.)
- ✓ il dissesto avviene in un deposito sciolto
- ✓ a valle affiora nuovamente il substrato metamorfico (quota 1420 m s.l.m.)

INQUADRAMENTO IDROGRAFICO

- L'area appartiene al bacino dell'Adda, al sottobacino del T. Pioverna
- i versanti montuosi a ridosso della Val di Casargo hanno reticoli idrografici poco sviluppati. Si tratta di corsi d'acqua a regime torrentizio e a carattere stagionale
- I versanti settentrionali e meridionali del monte Muggio invece hanno invece reticoli più sviluppati (Torrenti della Val Marcia, Valresina, Valle della Madonna, ecc.) sempre a regime torrentizio

INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

- ❑ la circolazione idrica sotterranea è legata all'infiltrazione delle acque meteoriche nei settori superficiali degli ammassi rocciosi fratturati ed alterati
- ❑ le sorgenti, di portata limitata (sempre inferiore a 5 l/s) sono diffuse su tutti i versanti
- ❑ i depositi superficiali di spessore ridotto spesso, a causa di eventi meteorici esistenti, si saturano causando diffuse instabilità

Analisi storica

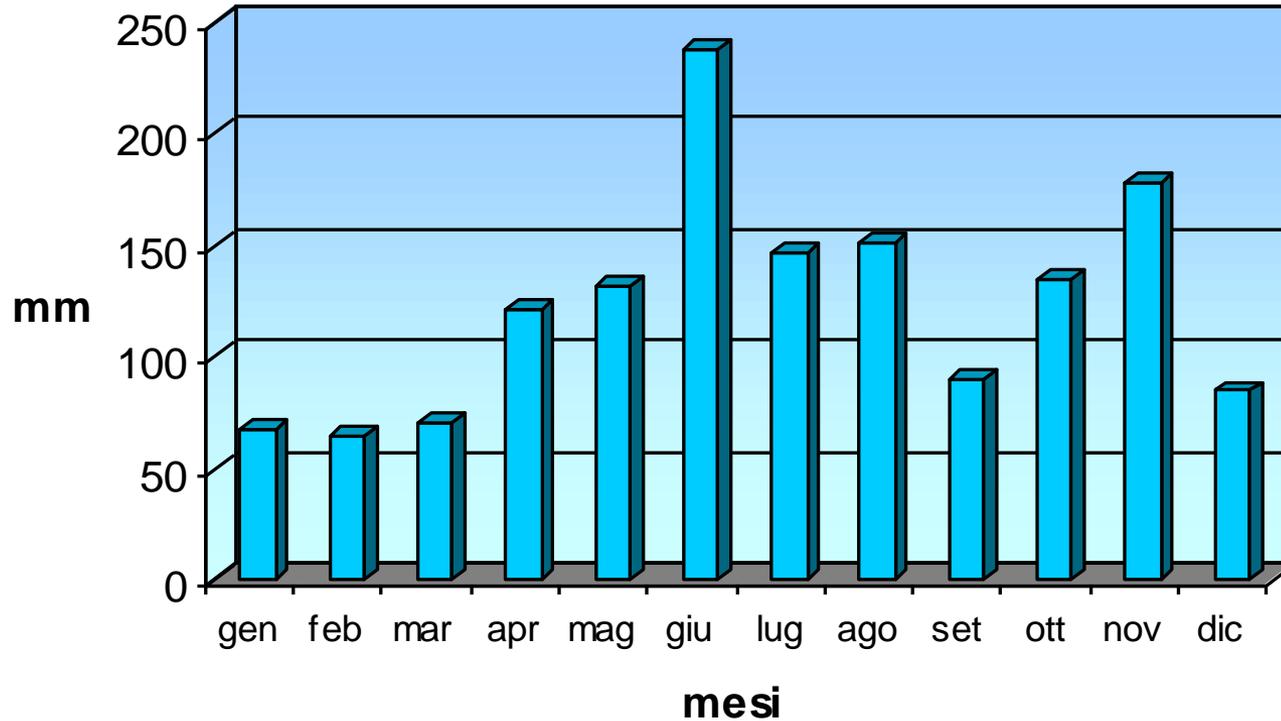
Nel corso degli ultimi anni '50 questa parte della Valsassina è stata più volte soggetta a fenomeni di instabilità e di erosione. L'area intorno al Pian del Giumello era la meno interessata

Settembre 1996 in concomitanza di piogge intense il torrente Bandico ha trasportato a valle ingenti quantitativi di detrito. Lungo il corso d'acqua furono numerosi i casi di franamenti e smottamenti. La zona colpita si trova nel comune di Margno, a pochi Km in linea d'aria dall'Alpe del Giumello.

Primi giorni del mese di Dicembre 2002

Inquadramento climatico

Precipitazioni medie mensili



EVOLUZIONE DEL FENOMENO FRANOSO

- **29/11/02 ore 15.00**: Primo avvistamento: modesta frattura sulla strada
- **30/11/02 ore 8.00**: allargamento della frattura sulla strada di 7 cm, abbassamento di 10 cm
- **01/12/04 ore 8.00**: apertura di tutta la frattura che arriva ad estendersi ai prati circostanti con rigetti ovunque di almeno 10 cm. Apertura ulteriore di 4 cm, abbassamenti di altri 10 cm.
- **02/12/04 ore 8.00**: apertura di altri 17 cm
- **03/12/04 ore 8.00**: apertura di altri 12 cm
- **04/12/04 ore 8.00**: apertura di altri 8.5 cm

- **05/12/04 ore 8.00**: le misure vengono fatte su 4 punti (aperture di + 2.7, +1.0, +3.0 e +1 cm)
- **06/12/04 ore 8.00**: le misure vengono fatte su 4 punti (aperture di + 1.0, +1.0, +1.5 e +1 cm)
- **07/12/04 ore 8.00**: le misure vengono fatte su 4 punti (apertura di 1.0 cm solo in un punto, le altre non registrano aperture ulteriori)
- **08/12/04**: le misure non sono più manuali, ma viene installata una rete di monitoraggio

Frana del Giumello-
Novembre 2002

SEGNALE
PREMONITORE:

formazione di una
fenditura continua
per oltre 150m.



Fenditure sulla strada



Fessura di 70 cm di
profondità in
corrispondenza della
nicchia



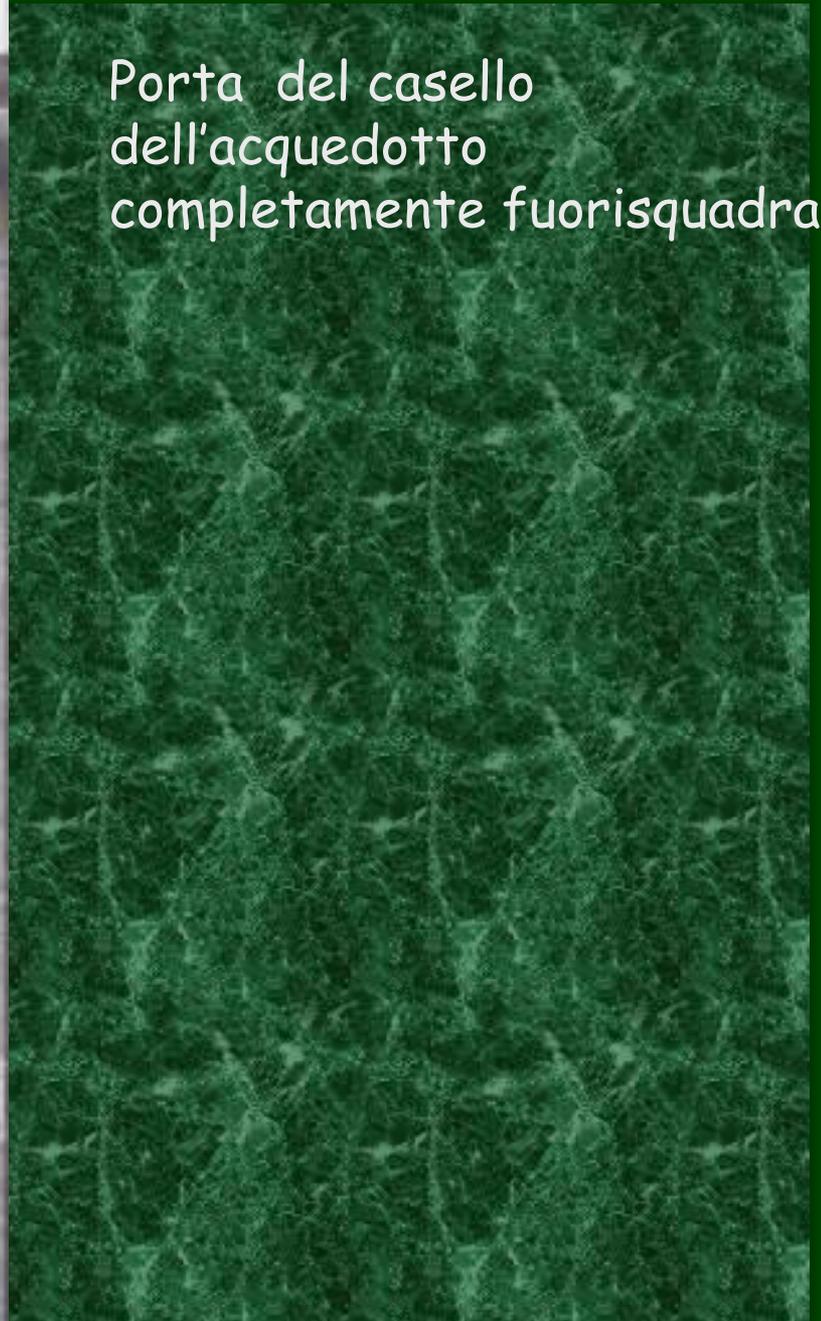


Frattura in una trave in calcestruzzo armato nel casello di raccolta delle acque situato nel probabile corpo frana





Porta del casello
dell'acquedotto
completamente fuorisquadra



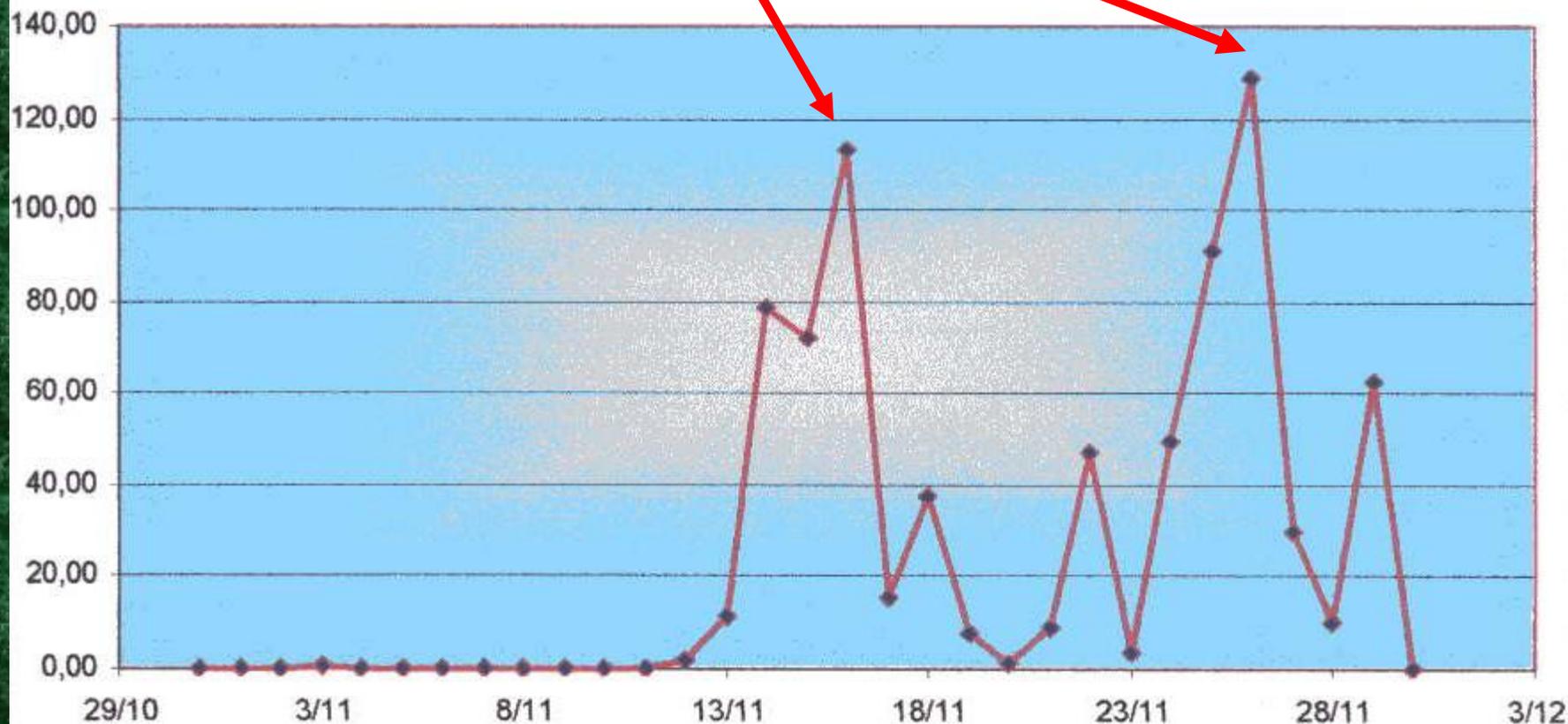


Notare le lesioni sulla
pavimentazione e sulle
case

EVENTO METEOROLOGICO DEL NOVEMBRE 2002

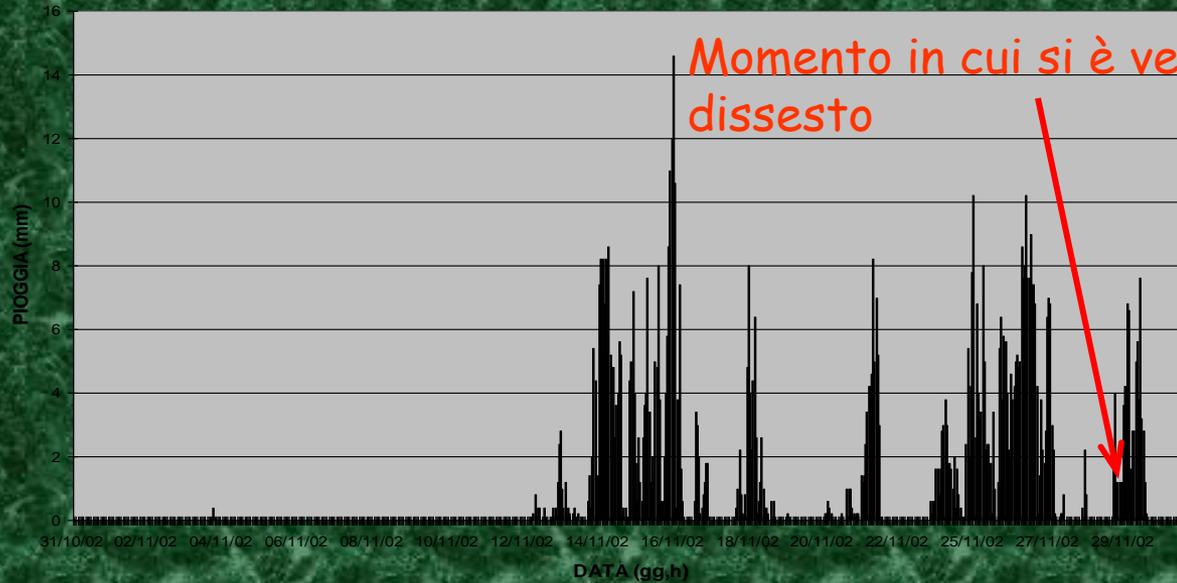
.800 mm di pioggia in 18 giorni: per due volte si sono superati i 100 mm di pioggia in 24 ore

PIOGGIA GIORNALIERA (mm/d)

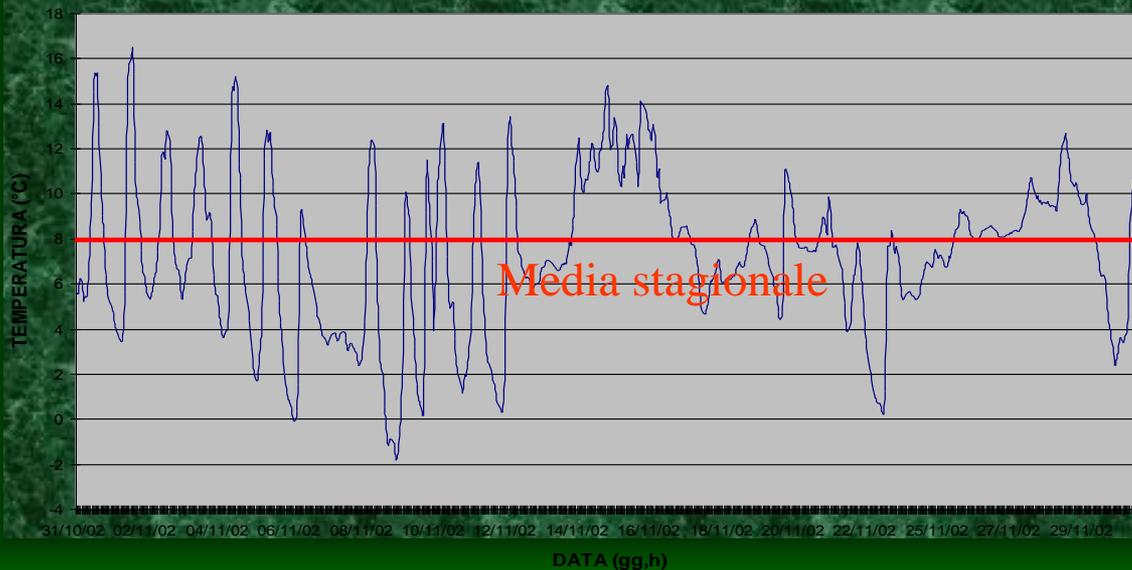


DATI PLUVIOMETRICI

Eccezionalità della situazione meteorologica precedente al dissesto



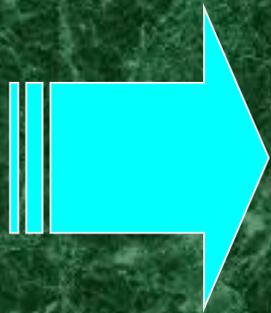
Andamento delle precipitazioni giornaliere orarie (mm/h)



Andamento delle temperature giornaliere orarie (°C)

Primo intervento

- Prima di iniziare le indagini in aree franose sono state eliminate le infiltrazioni di acqua presenti alla sommità del coronamento del corpo franoso.



**Organizzazione delle indagini
da eseguire per lo studio della
Frana del Giumello**

Sopralluoghi

Rilievi superficiali dell'area

Basi distometriche
ed estensimetri

Indagini profonde

Sondaggi meccanici

ANALISI DI STABILITA'

LE TECNICHE DI PROSPEZIONE DIRETTE

- **sondaggi meccanici** stratigrafia
↳ determinazione delle **proprietà dei materiali** coinvolti, volume del dissesto
- **installazione piezometri** → monitoraggio dei **livelli di falda**
- **installazione inclinometri** → controllo dei **cinematismi** presenti

Fasi del lavoro:

- Opere di captazione e smaltimento delle acque sorgive
- Rilievi di superficie
- Esecuzione dei sondaggi
- Monitoraggio:
 - installazione di piezometri
 - posa dei tubi inclinometrici
 - basi distometriche
 - estensimetro a filo



INDAGINI



MONITORAGGIO

Opere di captazione e smaltimento delle acque sorgive

L'acqua che ne fuoriesce scorre liberamente lungo il versante in parte in modo superficiale e in parte infiltrandosi nel sottosuolo aumentando in modo considerevole la instabilità del versante. Al fine di migliorare la Stabilità della zona e prima di ulteriori interventi, sono state allontanate queste acque sorgive.

In prossimità delle sorgenti è stato effettuato uno scavo creando un'area depressa, una sorta di "vasca di raccolta" la cui base e i cui lati sono stati ricoperti di fogli catramati per renderla impermeabile.



Sorgenti al di sopra della nicchia del corpo franoso

Rilievi di superficie

Analisi del fenomeno:

- Fessura trasversale in prossimità di una sorgente (profondità di 70 cm)
- Frattura trasversale alla base delle abitazioni
- Crepe nei muri e fessure nelle pavimentazioni delle abitazioni
- Abbassamento della sede stradale di 60 cm.



I SONDAGGI MECCANICI

Sono finalizzati al riconoscimento della natura dei materiali coinvolti e nell'individuazione della superficie di scorrimento



- permettono di individuare le cause scatenanti

- determinano le proprietà geotecniche dei materiali coinvolti



- angolo d'attrito (φ)

- peso in volume del terreno (γ_{saturo} γ_{secco})

- coesione (c)

Sondaggi

❖ 2 SONDAGGI A ROTAZIONE CON CAROTIERE

❖ 1 SONDAGGIO A ROTAZIONE A
DISTRUZIONE DI NUCLEO PER IL
POSIZIONAMENTO DI DUE
PIEZOMETRI

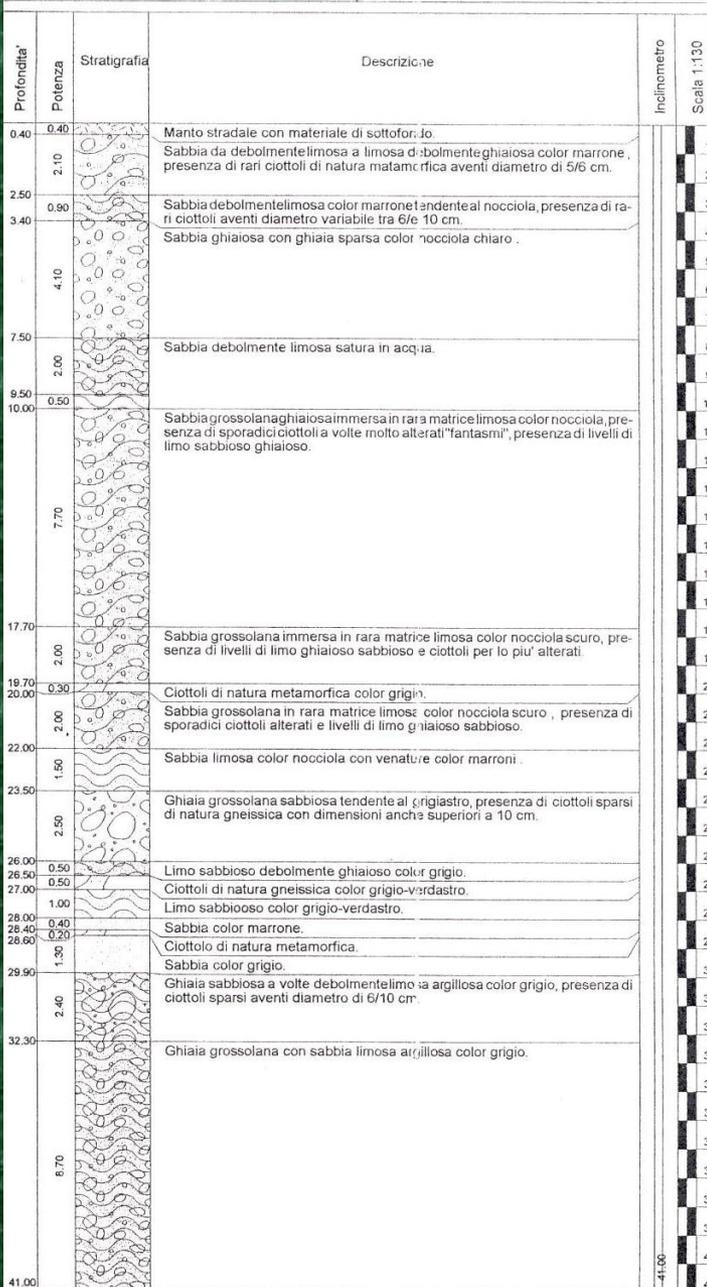


I sondaggi a rotazione con carotiere hanno raggiunto la profondità di -41 m per il sondaggio S1 e di -45 m per il sondaggio S2.

Un'altra possibile modalità di avanzamento sarebbe stata la perforazione a distruzione di nucleo. Essa è generalmente prevista per l'attraversamento di formazioni di cui non si ricerca una precisa caratterizzazione oppure per il posizionamento dei piezometri.

L'intercettazione di una falda in pressione ha richiesto il monitoraggio dell'evoluzione del livello di acqua incontrato, attraverso apposita strumentazione.

Cantiere: Casargo (Alpe Giumeleto) N Sondaggio: 1
 Committente: Comunita' Montana Scala sondaggio: 1:130
 Perforatore: Malisia Ercole Metodo perf.: Carotaggio continuo
 Coordinamento: SO.GE.TEC. S.r.l. Quota (p.c.):
 Geologo: Gianmaria Longhi Data ultimazione: Dicembre 2002



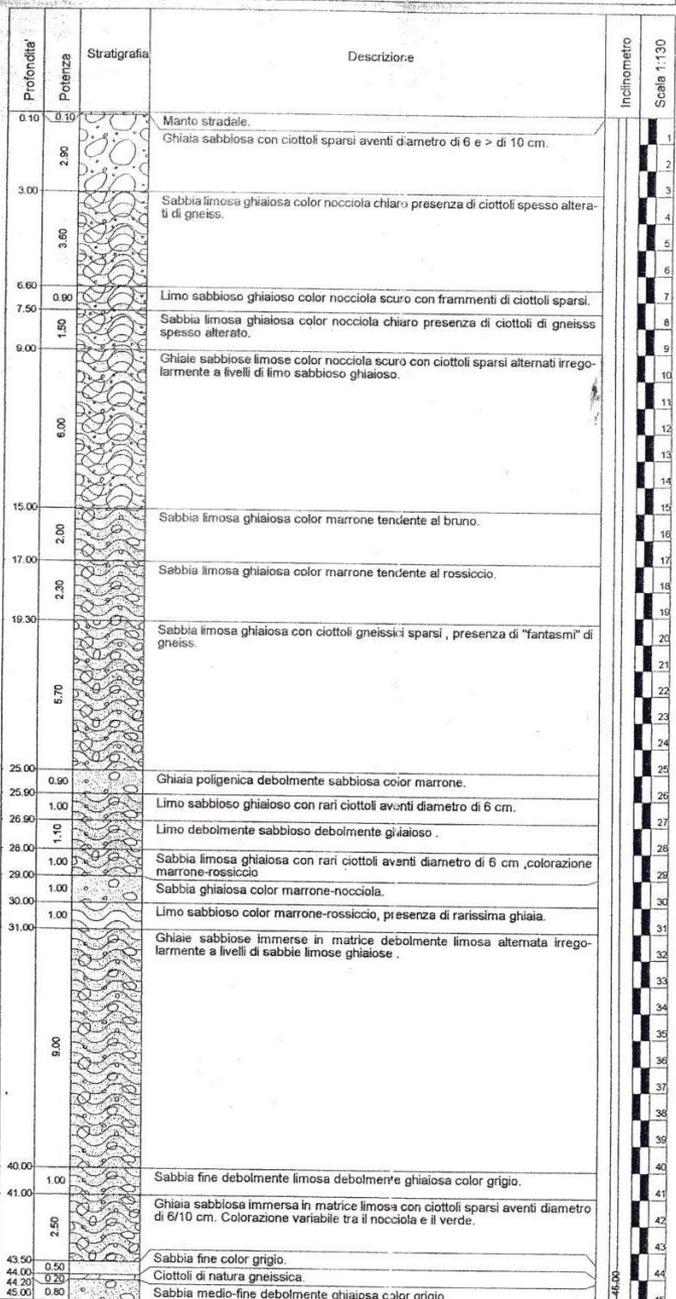
S¹

Sabbie e ghiaie

Orizzonte limoso

Livello ghiaioso con ciottoli

Commissario: Comunita' Montana Scala sondaggio: 1:130
 Perforatore: Malisia Ercole Metodo perf.: Carotaggio continuo
 Coordinamento: SO.GE.TEC. S.r.l. Quota (p.c.):
 Geologo: Gianmaria Longhi Data ultimazione: Dicembre 2002

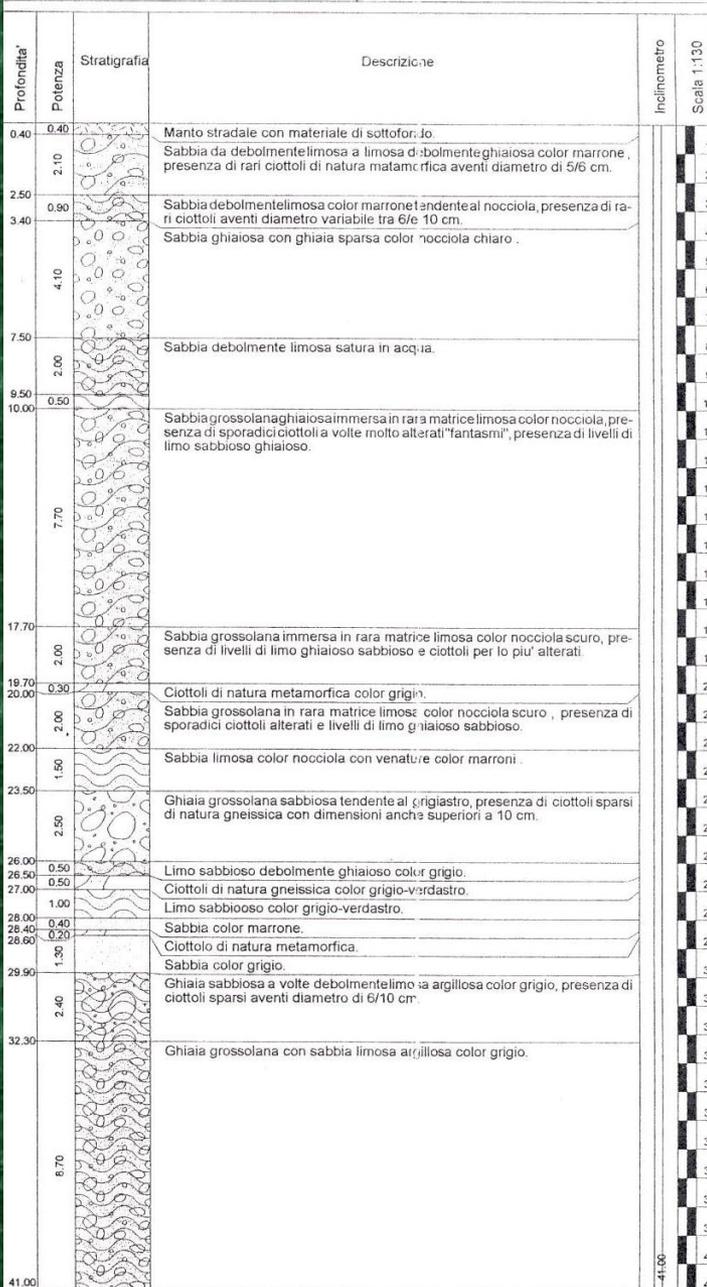


S²

INTERPRETAZIONE LOGS STRATIGRAFICI

- da una prima analisi delle stratigrafie sembrava che non si fosse intercettato (a 40 m di profondità) il substrato roccioso
- ciò appare in disaccordo con la ricostruzione geologica del territorio che vede l'affiorare di roccia poco a monte e a valle dell'area di frana
- nuova analisi delle stratigrafie e interpretazione di ghiaia e ciottoli situati a 30 m di profondità circa non come deposito sciolto, ma come cappellaccio della roccia (porzione alterata della roccia alterata e fratturata)
- sopra il cappellaccio della roccia, tra -30 m circa a - 25 m si rinviene un orizzonte limoso sabbioso che rappresenta il deposito di una sedimentazione lacustre di origine glaciale
- fino a 25 m di profondità dal piano campagna si rinvencono sabbie e ghiaie rimaneggiate a testimonianza della presenza di un potente accumulo gravitativo di versante

Cantiere: Casargo (Alpe Giumeleto) N Sondaggio: 1
 Committente: Comunita' Montana Scala sondaggio: 1:130
 Perforatore: Malisia Ercole Metodo perf.: Carotaggio continuo
 Coordinamento: SO.GE.TEC. S.r.l. Quota (p.c.):
 Geologo: Gianmaria Longhi Data ultimazione: Dicembre 2002



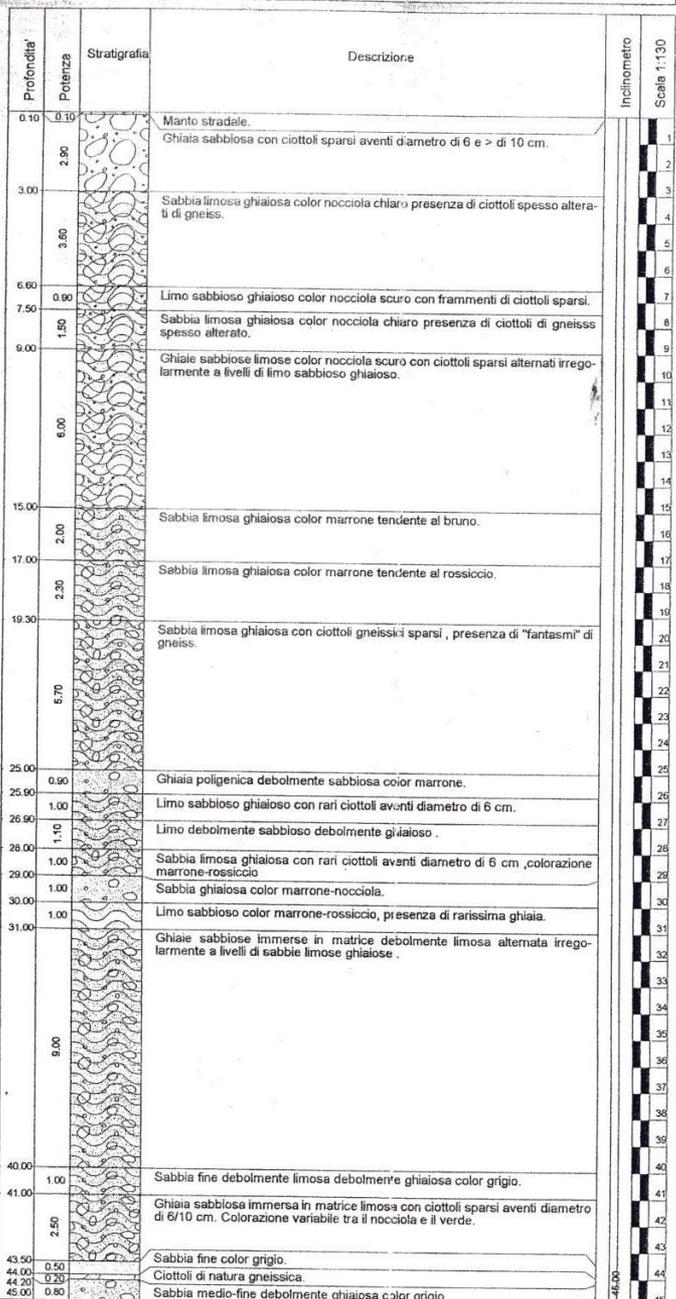
S1

Sabbie e ghiaie = DEPOSITI DI VERSANTE

Orizzonte limoso = DEP. GLACIALE

Livello ghiaioso con ciottoli = SUBSTRATO ROCCIOSO FORTEMENTE ALTERATO E FRATTURATO

Committente: Comunita' Montana Scala sondaggio: 1:130
 Perforatore: Malisia Ercole Metodo perf.: Carotaggio continuo
 Coordinamento: SO.GE.TEC. S.r.l. Quota (p.c.):
 Geologo: Gianmaria Longhi Data ultimazione: Dicembre 2002



S2

MISURE PIEZOMETRICHE

La presenza di acqua nei terreni peggiora le caratteristiche dei materiali

PIEZOMETRO:

costituito da una cavità separata dal terreno tramite un filtro, è stato inserito nei fori di carotaggio eseguiti



monitoraggio dei livelli di falda per individuare le sottopressioni che **peggiorano le condizioni di stabilità** del pendio

MISURE PIEZOMETRICHE

Nel sondaggio a distruzione di nucleo sono stati inseriti due piezometri (Casagrande e Norton) che dovevano intercettare le due probabili falde presenti (la prima libera, superficiale e la seconda, profonda, in pressione). Errori di installazione degli strumenti hanno impedito la ricostruzione precisa dell'assetto idrogeologico dell'area in esame.

MONITORAGGIO

Eseguito con l'installazione di:



- estensimetri e
distometri

- confermare i risultati delle analisi
- controllo in tempo reale del dissesto
- fornisce ulteriori dati per nuovi studi



- inclinometri

Basi distometriche

- Per quantificare l'entità dei movimenti ci si è basati sulla misura degli spostamenti superficiali, determinati dai capisaldi di misura vincolati alla superficie del terreno entro le aree dissestate, rispetto ai capisaldi di riferimento posizionati al di fuori della zona franosa.
- Lungo il coronamento: 15 coppie di basi distometriche
- Sul corpo di frana: 2 coppie di basi distometriche



Le basi distometriche hanno evidenziato i movimenti superficiali della frana sia rispetto al terreno non soggetto a movimento (basi da 1 a 15), sia i movimenti differenziali all'interno del corpo franoso (basi 16 e 17).

MISURE DISTOMETRICHE

DATI RILIEVI DISTOMETRICI al Caposaldo 8,
posizionato al centro del coronamento di frana

Letture di zero effettuata in data 07/12/2002

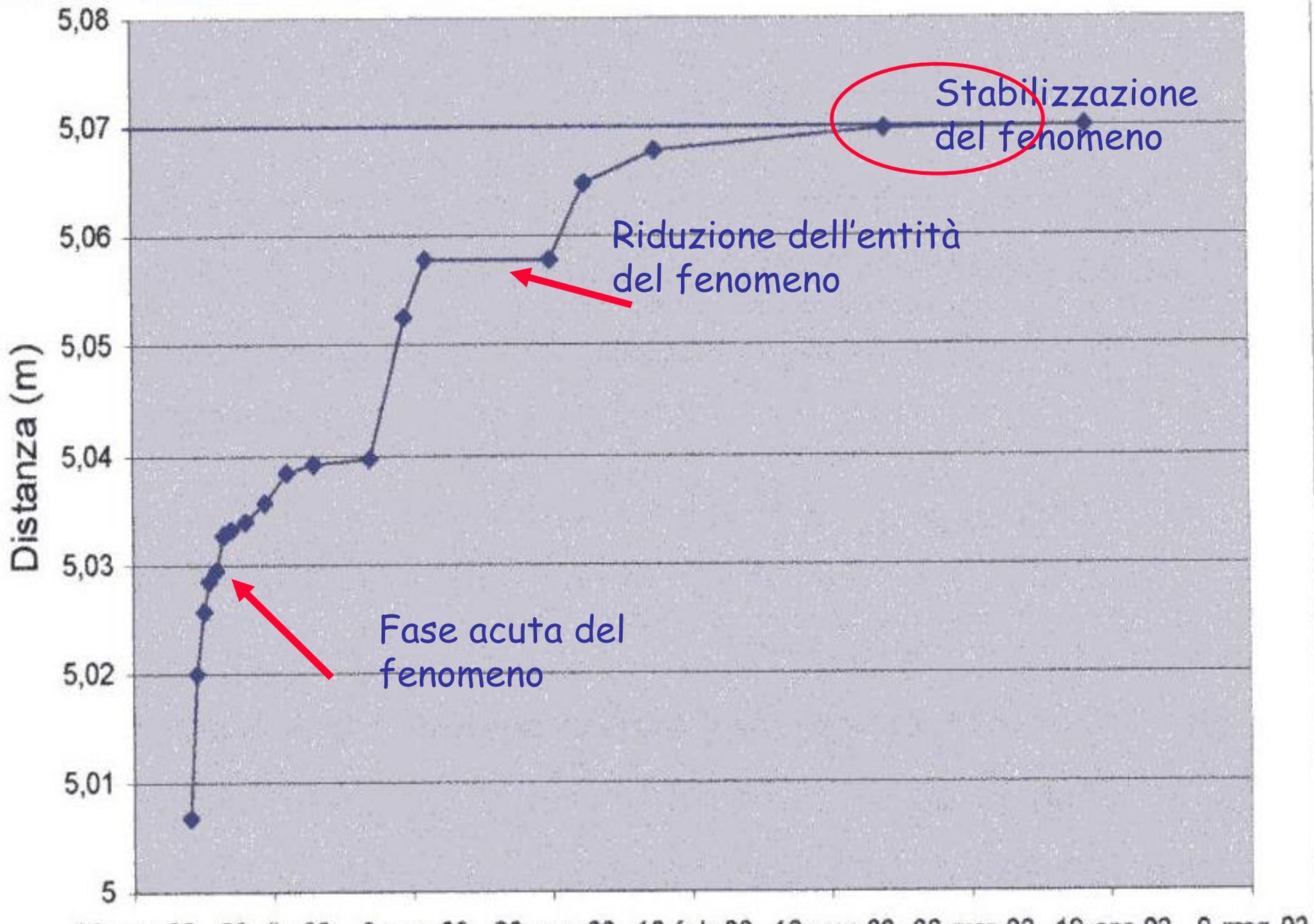
Valore di zero (m): 5,0067

	Temp. °C	Misura (m)	Diff. (cm)
8-dic-02	2	5,0200	1,33
9-dic-02	-5	5,0257	0,57
10-dic-02	-7	5,0285	0,28
11-dic-02	-4	5,0294	0,09
12-dic-02	0	5,0326	0,32
13-dic-02	2	5,0331	0,05
14-dic-02	-2	5,0338	0,07
16-dic-02	1	5,0356	0,18
19-dic-02	-1	5,0385	0,29
22-dic-02	2	5,0391	0,06
26-dic-02	3	5,0397	0,06
3-gen-03	6	5,0526	1,29
8-gen-03	-4	5,0578	0,52
11-gen-03	0	5,0578	0,00
29-gen-03	1	5,0648	0,70
3-feb-03	0	5,0677	0,29
13-feb-03	-2	5,0699	0,22
18-mar-03	12	5,0700	0,01
16-apr-03	14	5,0715	0,15

TOT
(cm)

6,48

Letture al
distometro
posizionato al
centro del
coronamento della
frana.



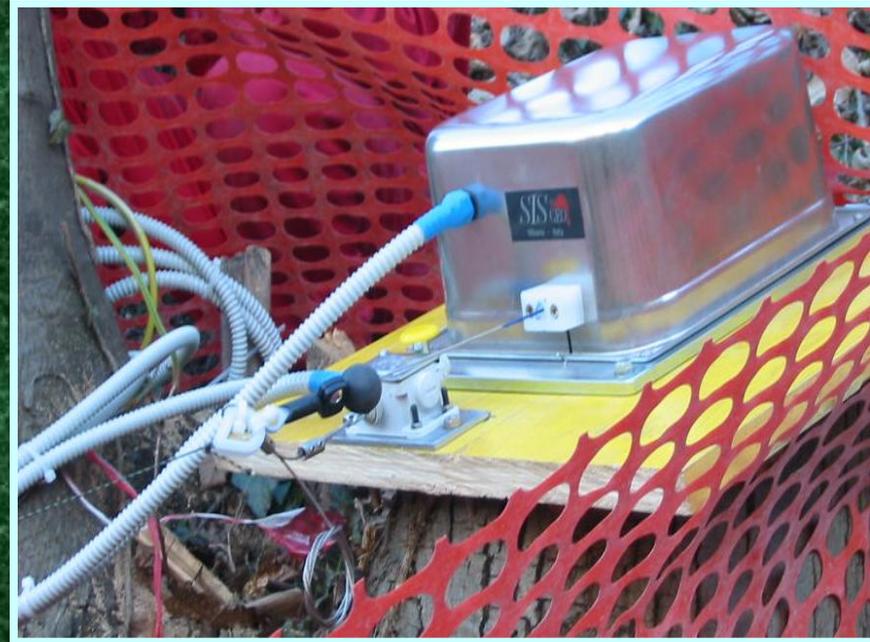
Stabilizzazione del fenomeno

Riduzione dell'entità del fenomeno

Fase acuta del fenomeno

Estensimetri a filo

- Ubicazione del dissesto al di sopra di alcune frazioni abitate
- Acclività del versante interessato
- Problematiche dovute a periodi di elevate precipitazioni



- La rete di monitoraggio è stata realizzata con alcuni estensimetri a filo posizionati secondo le direttrici principali del dissesto, per rilevare le variazioni di apertura delle fessure e in generale i movimenti della frana.

Le misure sono state effettuate mediante trasduttore potenziometrico che trasforma i movimenti del filo ad esso collegato in segnali di tensione elettrica (corrente), i quali possono essere acquisiti attraverso sistemi di lettura, sia manuali che automatici.

L'estensimetro a filo di superficie, in particolare, rileva tali variazioni a partire dal momento della sua installazione, registrandole come movimenti del cavo di acciaio teso a cavallo della frattura, tra il punto di ancoraggio e lo strumento stesso.

ESTENSIMETRI

Allungamento massimo previsto:

- ❖ 1° estensimetro = 7cm
- ❖ 2° estensimetro = 6 cm

Se si superano le soglie ammissibili, entra in funzione un sistema di allarme con sirena che allerta le popolazioni situate a Taceno (zona di probabile interazione della frana)

TECNICHE DI PROSPEZIONE INDIRETTE

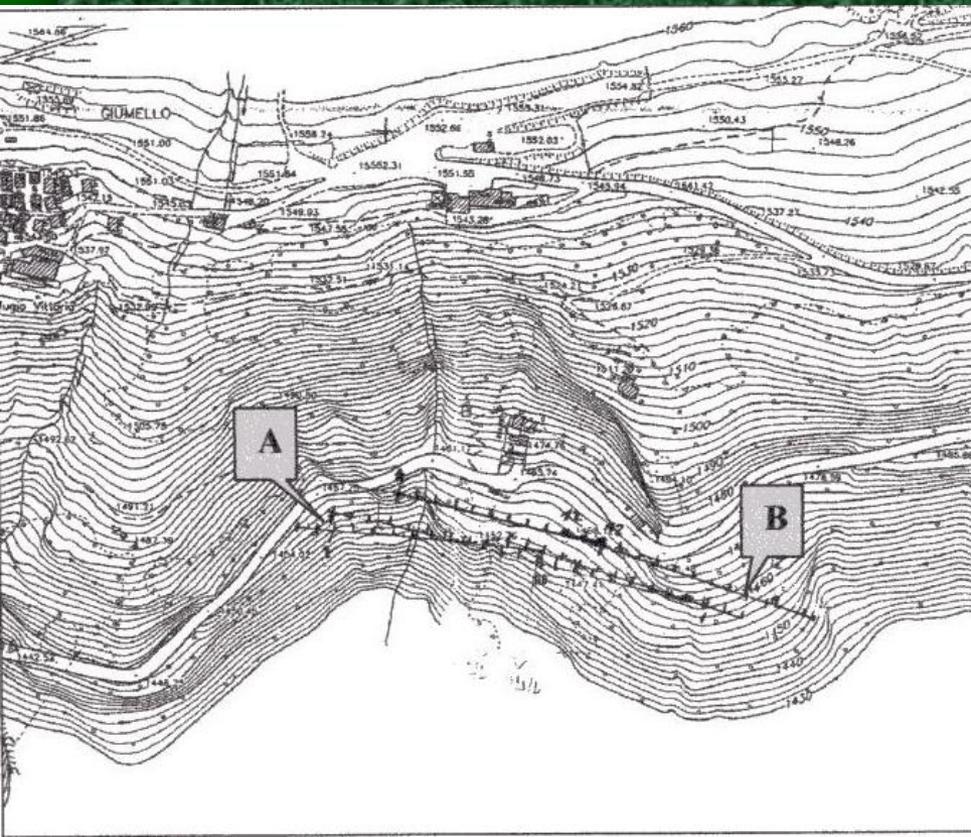
- ✓ INDAGINI SISMICHE A RIFRAZIONE
- ✓ INDAGINI ELETTRICHE SIA VERTICALI CHE ORIZZONTALI

SISMICA A RIFRAZIONE

4 Stendimenti sismici su 12 geofoni per un totale di 440 m



Ricostruzione modello fisico del versante



RISULTATI RILIEVI SISMICI

❖ 0 - 20 m

$V_p < 1400$ m/s → depositi detritici di versante



Possibile superficie di movimento

❖ 20 - 30/40 m

$V_p = 1400$ m/s - 2200 m/s → depositi a bassa densità (fluvioglaciali?)

❖ > 30-40 m

$V_p = 2800$ m/s - 4000 m/s → substrato roccioso ??

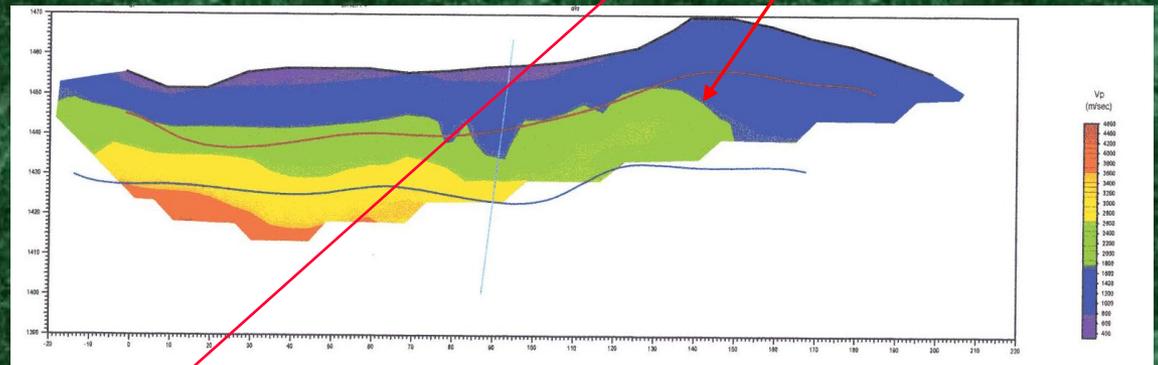


Tavola 2: ELABORAZIONE TOMOGRAFICA LINEA B (alta)

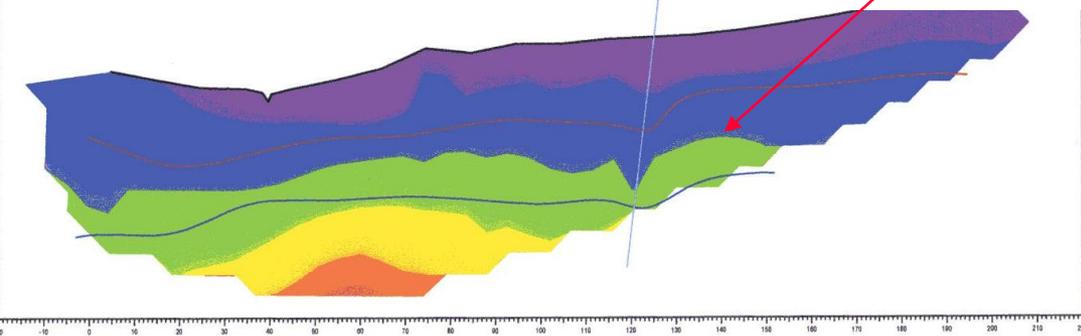


Tavola 1: ELABORAZIONE TOMOGRAFICA LINEA A (bassa)

INDAGINI GEOELETTRICHE



SONDAGGI ELETTRICI VERTICALI E ORIZZONTALI



- | | | |
|--|---|-------------------------------|
| ✓ 0 - 10 m terreni ad alta resistività > 2000 Ohm/m | ➔ | detriti incoerenti e asciutti |
| ✓ 10 - 20 m terreni a resistività più bassa 700 Ohm/m | ➔ | detriti compatti |
| ✓ 20- 30 m terreni a bassa resistività 150 - 200 Ohm/m | ➔ | materiale saturo d'acqua |
| ✓ > 20/30 m terreni a resistività alta > 2000 Ohm/m | ➔ | substrato roccioso ??? |



STRATO MOBILIZZATO SITUATO PROBABILMENTE A 20 m

RICOSTRUZIONE DEL MODELLO FISICO DEL VERSANTE

- Il dissesto è uno "scivolamento rotazionale" in detrito che poggia su substrato roccioso profondamente alterato. Parziale riattivazione di una paleofrana
- Il movimento ha prodotto nella nicchia una tipica frattura arcuata con spostamenti orizzontali di 30 cm (max) e verticali compresi tra 20 e 150 cm
- Al piede della paleofrana non ci sono indizi che delimitano l'area in dissesto
- Presenza, però, di importanti lesioni dei caselli di presa dell'acqua e piccola frana di scivolamento rotazionale, a valle dei caselli, con volumi di circa 3000 mc.

SUCCESSIONE STRATIGRAFICA

- ❖ il basamento è costituito da *Gneiss* di *Morbegno* pinzati con *Gneiss Chiari* mediamente fratturati ed alterati. Conducibilità idraulica da media a bassa. Si rinviene a profondità superiori a 40 m
- ❖ il cappellaccio di tale basamento è costituito da rocce profondamente alterate e fratturate tanto che nei sondaggi è risultato difficile distinguerle dai depositi sovrastanti. Si rinviene a partire da 30 m di profondità
- ❖ depositi di natura fluvio-glaciale che ricoprono il cappellaccio della roccia. Si rinvencono tra 30 m e 28 m di profondità
- ❖ strato limoso riconducibile ad una sedimentazione lacustre interglaciale. Si rinviene tra 28 e 26 m di profondità.
- ❖ Accumulo gravitativo di versante di circa 20-26 m di spessore

RICOSTRUZIONE IDROGEOLOGICA

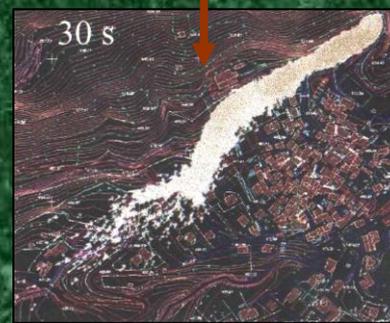
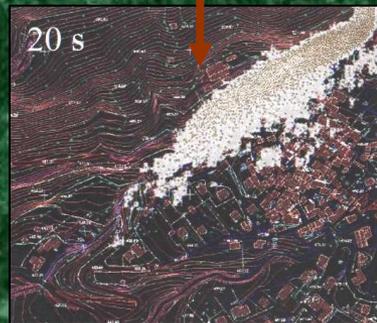
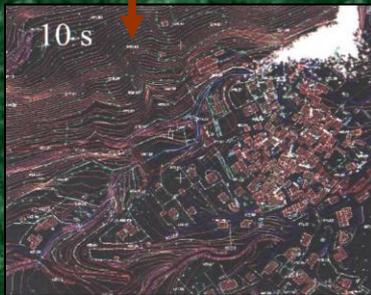
- ❖ zona di alimentazione : fianco Monte Muggio ricoperto da detriti molto permeabili-> l'acqua corre al contatto tra detriti e substrato meno alterato
- ❖ nella zona in frana presenza di una falda sospesa superficiale sostenuta dai depositi impermeabili limosi
- ❖ sotto la prima falda libera, presenza di una falda in pressione contenuta nel substrato molto alterato e pertanto limitata a letto dal substrato impermeabile e a tetto dai depositi limosi
- ❖ in prossimità della nicchia di distacco dove si ha contatto tra depositi impermeabili e substrato permeabile, quando si hanno grandi quantitativi d'acqua, la falda non riesce ad essere smaltita a valle e quindi si assiste ad un travaso. Il detrito superficiale, solitamente isolato dall'acquifero in pressione, sottostante, riceve acqua anche dalla falda inferiore e si assiste ad una rapida saturazione del materiale.

**PROSPEZIONI
GEOGNOSTICHE**

**ANALISI DI
STABILITA'**

**PARAMETRI PER
LA SIMULAZIONE**

MONITORAGGIO



Modello a elementi distinti – Particle Flow Code 3D

Analisi

di

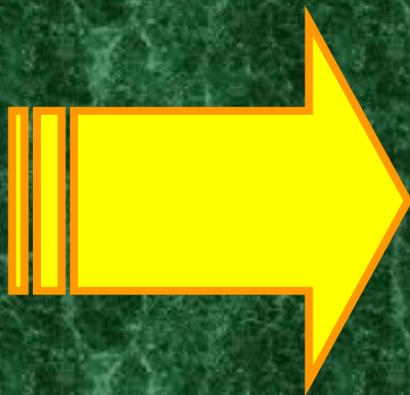
Stabilità

INPUT PROGRAMMA

- Definizione del profilo del terreno
- Definizione delle caratteristiche tecniche del suolo
- Definizione della piezometria
- Scelta metodo da utilizzare
- Carichi presenti
- Presenza acc. sismica

OUTPUT PROGRAMMA

- Fattore di sicurezza più critico
- Individuazione delle più probabili sup. di scivolamento



*File AUTOCAD...
buona gestione dei risultati*

Studio del versante

Ricostruzione del modello fisico



Studio della superficie
di scorrimento più
critica

Studio della
superficie di
scorrimento imposta

Modello deterministico
Stable

Studio della superficie di scorrimento più critica

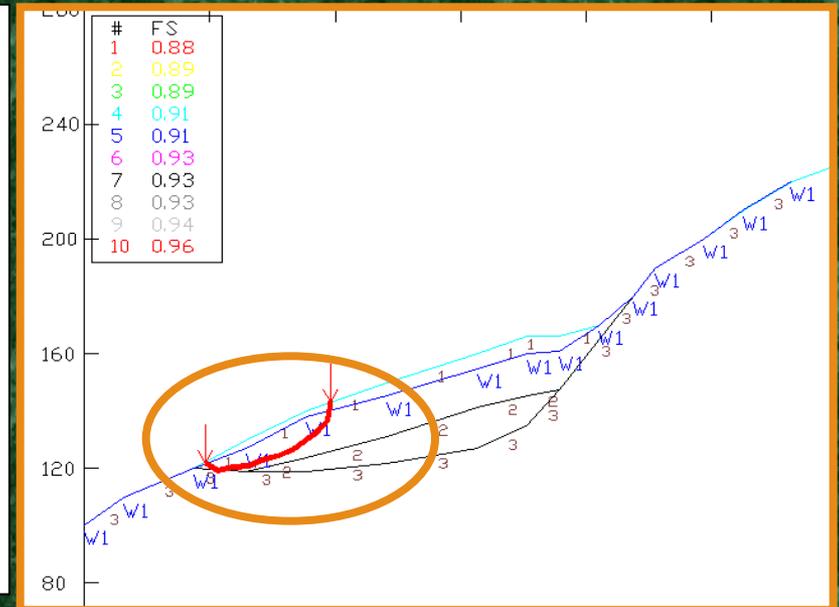
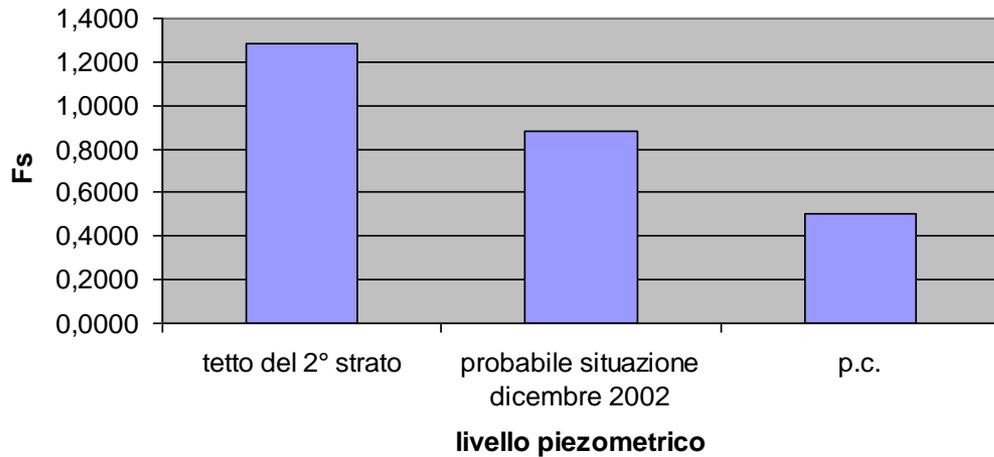
Partendo dalla ricostruzione del modello fisico del versante di Dicembre 2002 sono state effettuate varie simulazioni, in cui sono state calcolate le superfici di scorrimento più critiche.

- Probabile situazione Dicembre 2002
- Variazione della falda:
 - livello di falda all'altezza del tetto del secondo strato
 - innalzamento della falda
 - falda a livello del piano campagna

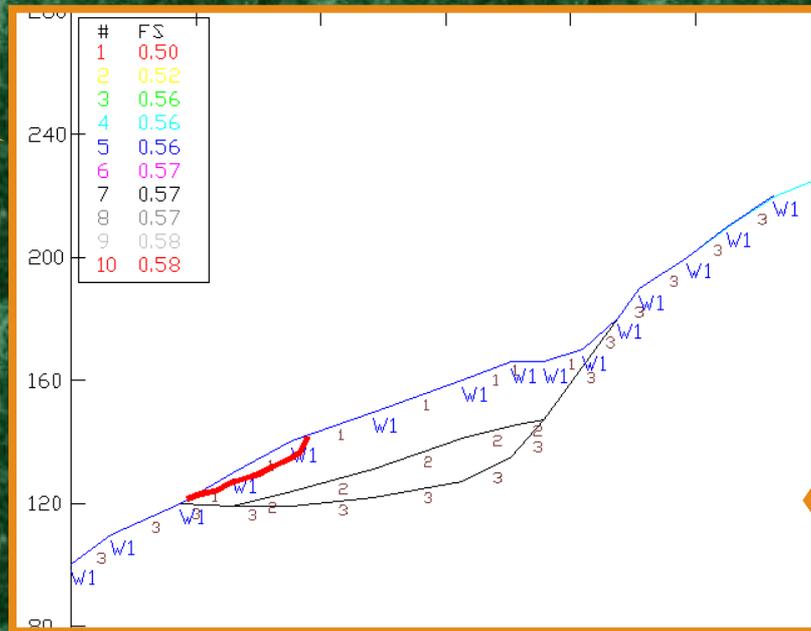
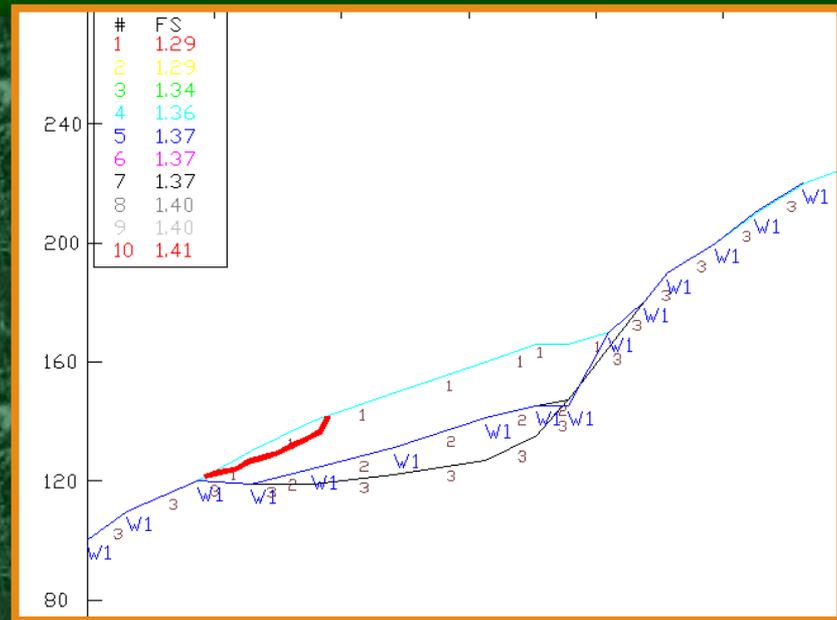
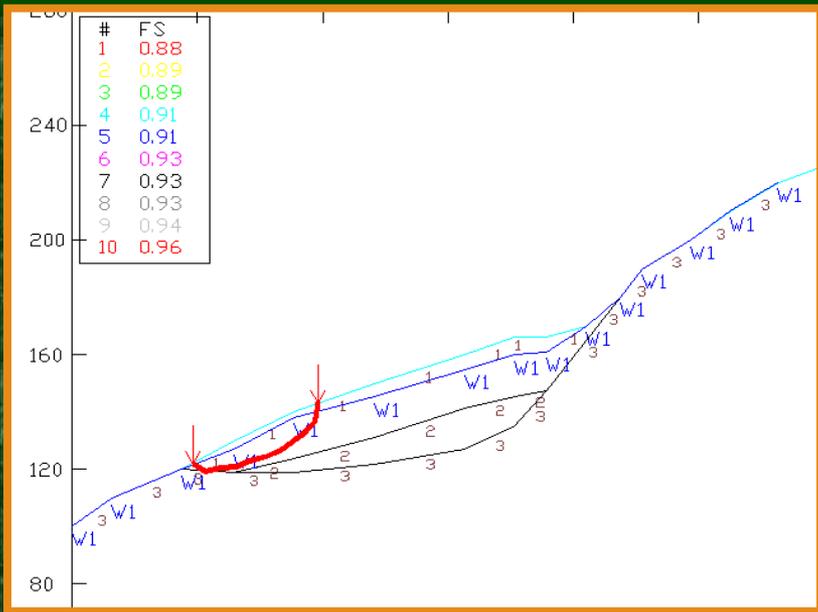
Variazione del Fattore di sicurezza

Situazioni limite

Fs variando il livello piezometrico



Situazione di Dicembre 2002



Situazione
Dicembre
2002

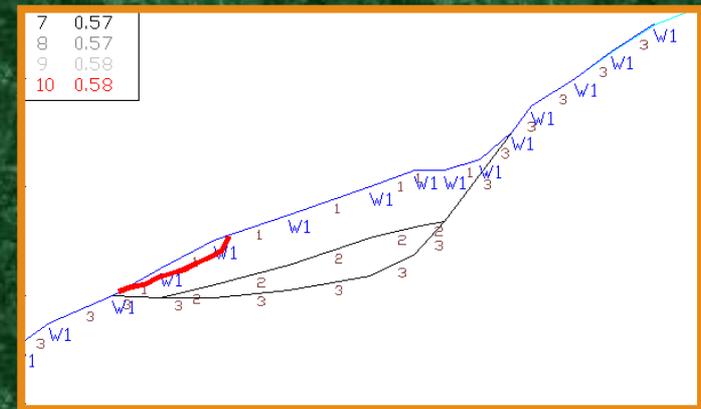
$F_s = 0.88$

Livello
Falda
Tetto
2 strato
 $F_s = 1.29$

Falda a livello
del piano
campagna

Considerazioni

- La superficie critica individuata dal programma corrisponde con l'effettivo movimento che c'è stato nel periodo Dicembre 2002. Un movimento che ha interessato 3000 mc di materiale.

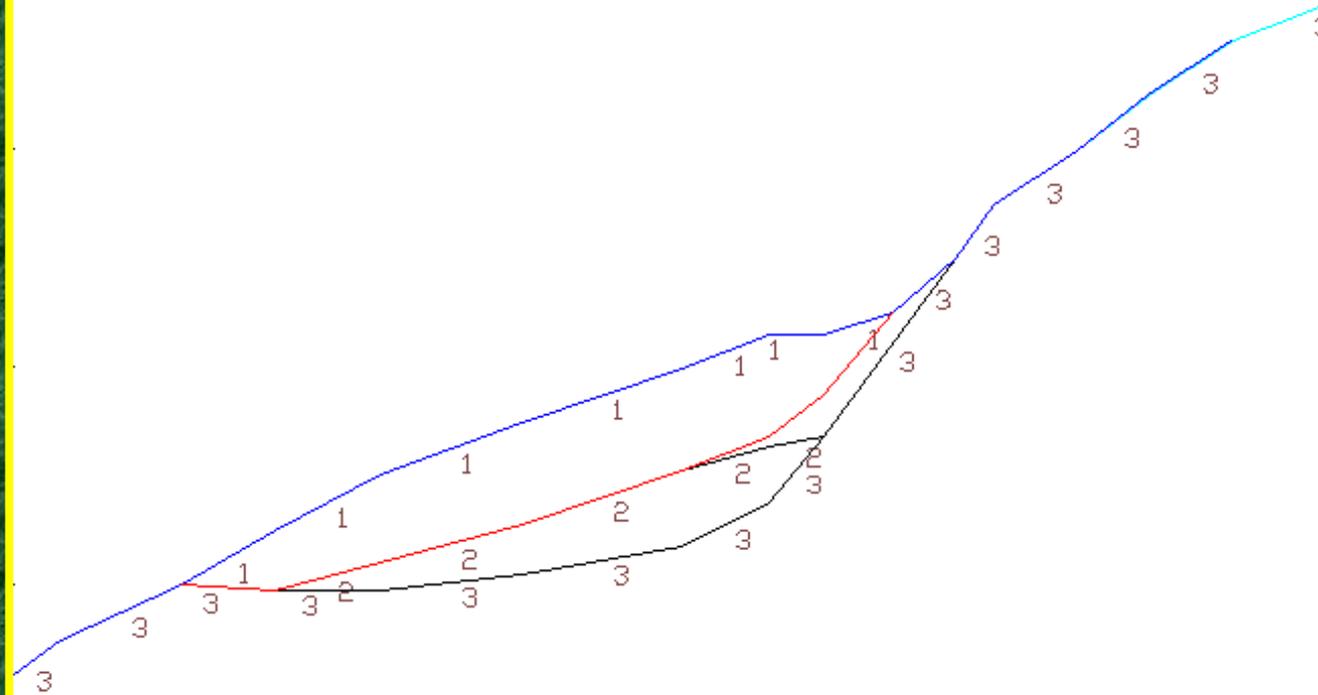


Tale riscontro mostra la correttezza dei parametri scelti per la modellazione del versante.

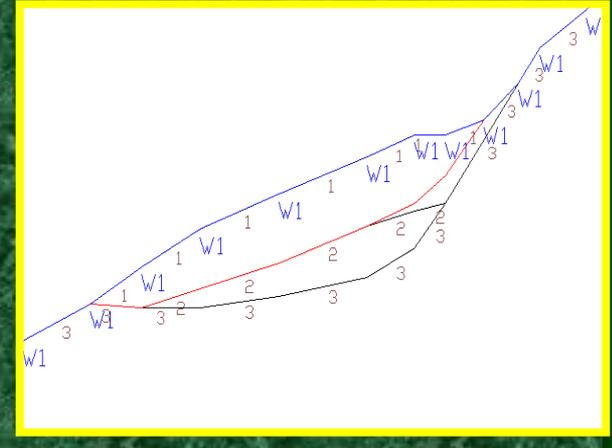
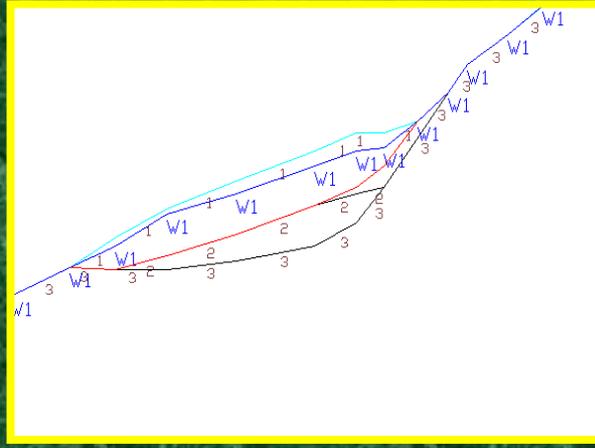
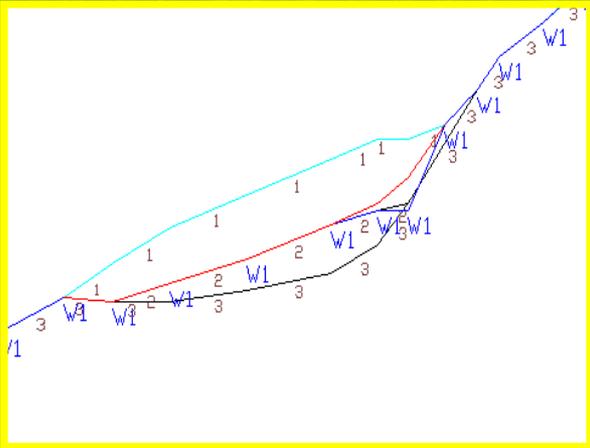
Studio della situazione più critica

- In base alla ricostruzione del modello fisico del versante è stata individuata un'altra possibile superficie di scorrimento, ben più critica per le volumetrie coinvolte.

• Sono state effettuate delle analisi di dettaglio proprio su tale superficie, che nel periodo Dicembre 2002 ha iniziato a muoversi



Variazione del livello piezometrico:



$Fs=1.761$

Livello falda=tetto 2 strato

$Fs= 1.01$

Probabile situazione Dicembre 2002

$Fs= 0.75$

Completa saturazione

$Fs=1$

Valutazioni sull'analisi di stabilità:

Indagini geognostiche

Back analysis

Modellazione
Matematica:
Analisi di stabilità

monitoraggio

Correttezza dei parametri

