

IDROGEOLOGIA DELLE AREE FRANOSE

A cura di V. Francani e L. Alberti

vincenzo.francani@polimi.it, luca.alberti@polimi.it

Indice

1	DEFINIZIONE DEI FENOMENI FRANOSI.....	2
1.1	INDIVIDUAZIONE DEL FENOMENO FRANOSO	2
1.1.1	Misura degli spostamenti del terreno	4
1.1.2	Pericolosità della struttura idrogeologica	4
2	METODOLOGIE DI CONSOLIDAZIONE DEL VERSANTE.....	7
2.1	DRENI INTERCETTORI.....	7
2.2	CANALETTE ARTIFICIALI	8
2.3	TRINCEE DRENANTI	8
3	PROBLEMI IDROGEOLOGICI DI CANTIERE	8

1 DEFINIZIONE DEI FENOMENI FRANOSI

1.1 INDIVIDUAZIONE DEL FENOMENO FRANOSO

Sono note le relazioni che regolano l'equilibrio nel caso di frane di scivolamento, ribaltamento e delle colate (si veda ad esempio il testo di Scesi, Gattinoni e Papini).

Alla base di una corretta identificazione di un fenomeno franoso, si pone la localizzazione della frana sulla base di elementi geologici e geomorfologici, per la quale si rimanda alle dispense del corso 2011 – 2012). Occorre ricostruire le relazioni che regolano l'equilibrio tra i diversi ammassi. A monte di questo, occorre pertanto conoscere i diversi volumi in gioco e i pesi delle masse instabili, insieme al livello piezometrico.

Avere a disposizione una carta geologica (schema in Figura 1) sulla quale siano indicate la giacitura del versante e la geometria delle discontinuità è di grande aiuto per prevedere i possibili spostamenti di volumi rocciosi.

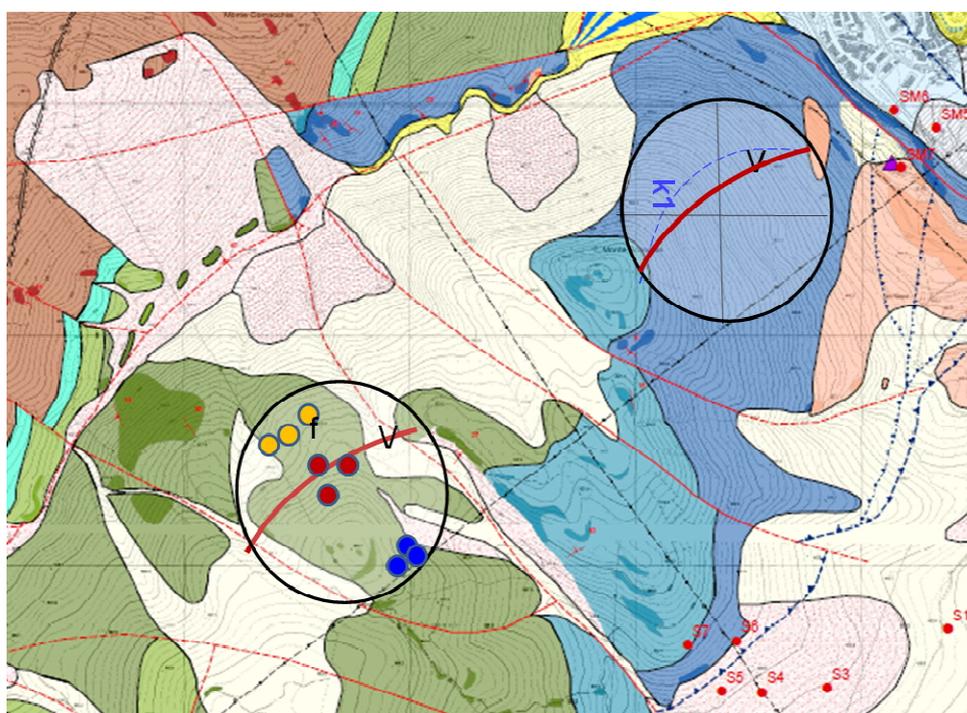


Figura 1 – Nella cartografia sono rappresentati detriti (in puntinato) sovrapposti a formazioni calcaree fratturate. I punti f rappresentano la giacitura di faglie, i punti blu delle fratture e i punti gialli la stratificazione. È evidente la presenza di discontinuità a franapoggio (in rosso) con inclinazione minore del versante (V, con tratteggio blu).

Tenuto conto del fatto che molte frane sono determinate dalle precipitazioni che influiscono sulla stabilità del versante soprattutto quando producono innalzamenti rapidi e marcati della superficie piezometrica, come indica la Figura 2, è inoltre indispensabile ricostruire la sezione geologica e la piezometria, come quella proposta di esempio in Figura 3.

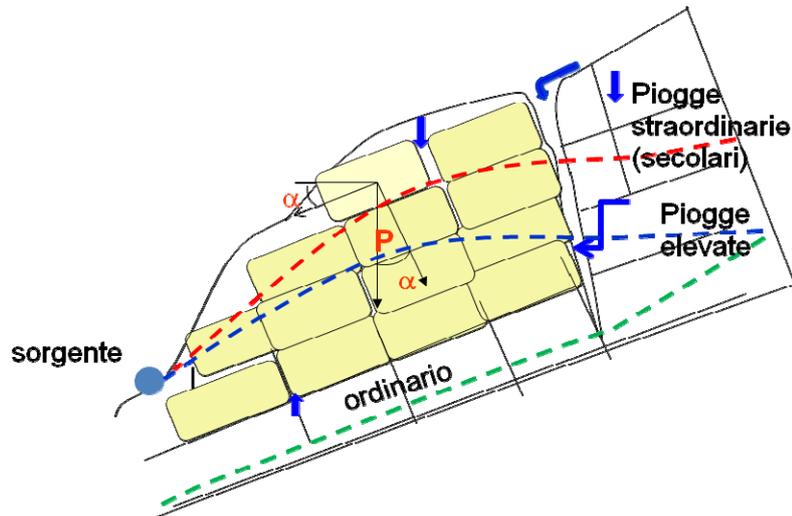


Figura 2 – Esempio dell’azione destabilizzante delle precipitazioni sul versante

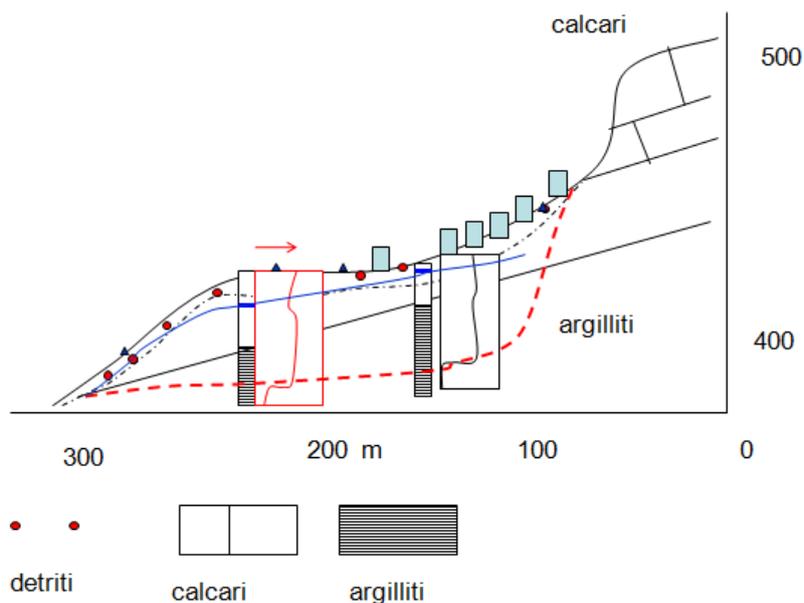


Figura 3 – Esempio di sezione idrogeologica speditiva. La linee (rossa e nera) all’interno dei riquadri rappresentano il grafico degli spostamenti dei punti del terreno alle diverse profondità rilevati tramite gli inclinometri schematicamente rappresentati

La Figura 3 mostra il corpo idrico sotterraneo che scorre nella roccia fratturata e nei detriti. Ad esso l’acqua perviene dal **sistema idrologico** sotteso dal corpo di frana, e dalle acque che **entrano nella nicchia di distacco e nelle fessure del terreno**. Le acque esercitano una considerevole pressione sulla roccia, specialmente quando le discontinuità sono aperte e si spingono dalla superficie fino a rilevanti profondità.

Questa pressione può, quando l’afflusso di acqua è eccessivo, produrre l’instabilità di uno o più comparti di roccia.

1.1.1 Misura degli spostamenti del terreno

Per misurare gli spostamenti del terreno occorre utilizzare gli inclinometri, strumenti che sono in grado di consentire l'identificazione della profondità della superficie di rottura principale, oltre cui non vi sono altre superfici di movimento attuale della frana. L'entità degli spostamenti del terreno è misurata secondo la relazione:

$$D = L \sin \beta \quad (1)$$

Dove L è la lunghezza del tratto percorso dallo strumento con inclinazione β

1.1.2 Pericolosità della struttura idrogeologica

Nei movimenti franosi ha notevole importanza della pioggia. Infatti, in tali circostanze aumenta la portata che attraversa il corpo franoso. Di conseguenza, aumentano i livelli piezometrici e il gradiente idraulico (Figura 4).

Gli interventi da compiersi riguardano quindi soprattutto il drenaggio, cioè l'eliminazione di volumi d'acqua sufficienti a ristabilire l'equilibrio piezometrico.

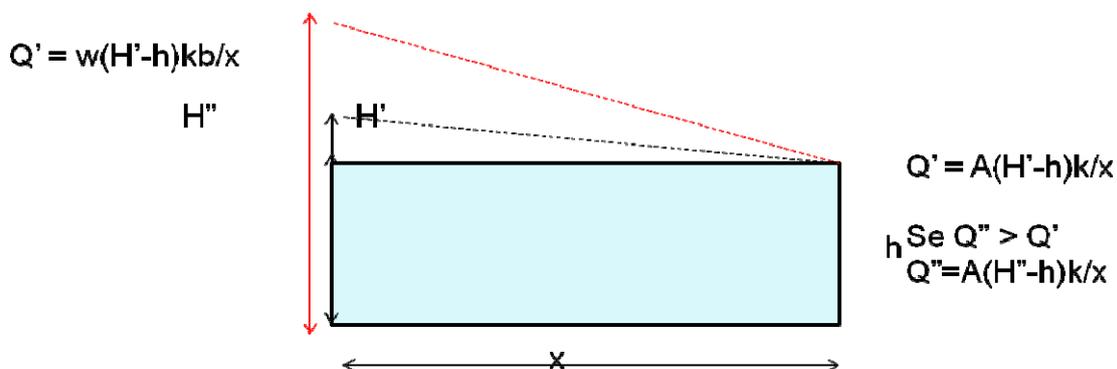


Figura 4 – Azione destabilizzante della pioggia

Alcune frane sono determinate dall'assetto piezometrico dei corpi idrici sotterranei. Quando questo avviene, il comportamento della falda, ai fini dell'innesco del movimento franoso, si distingue in tre tipi essenziali:

- Impulsivo:** un eccezionale periodo di precipitazioni porta a un rapido e catastrofico sollevamento del livello piezometrico, che agisce più facilmente quando la massa instabile è piccola. Fanno eccezione i casi di debris – flow, che coinvolgono masse estese;
- Ricorsivo:** il continuo alternarsi di sollevamento e abbassamento finisce con il produrre erosione sotterranea e indebolisce il versante fino al collasso;
- Progressivo:** soprattutto nei corpi franosi di alcune decine di metri di spessore, nei quali il rilascio delle acque immagazzinate per motivi geologici risulta difficile, il livello piezometrico sale durante stagioni molto piovose, fino al superamento dei livelli critici.

A seconda della struttura dell'ammasso roccioso, esso può avere una pericolosità alta o bassa. Ad esempio, se le discontinuità sono poche e con un'apertura ridotta, le vie di circolazione dell'acqua sono limitate, dunque è maggiore la probabilità che il pendio sia stabile. Viceversa, se le discontinuità sono molto numerose, oppure con aperture ampie e interconnesse tra di loro, l'acqua che si infila ha delle maggiori possibilità di circolazione, aumentando la probabilità di instabilità del pendio. Nel caso proposto in Figura 5, ad esempio, si ha una rapida infiltrazione in

profondità durante le precipitazioni, che forma un corpo idrico sotterraneo che viene a contatto con i livelli deboli argillosi ubicati alla base dei calcari.

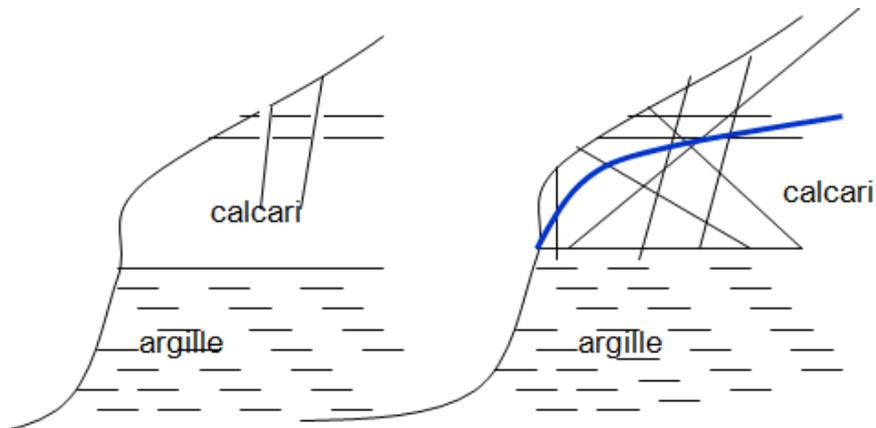


Figura 5a – Esempio di pendio che non presenta criticità (a sinistra); pendio con criticità (a destra) che, quando il sollevamento del livello piezometrico è improvviso e molto elevato può portare al collasso



Figura 5b :nel caso dell'innescamento ricorsivo, il fenomeno franoso è dovuto alla progressiva asportazione di materiale fine nel corso delle piene (erosione sotterranea). Nel corso delle precipitazioni più estese, il gradiente della falda che affluisce al corso d'acqua aumenta, e di conseguenza la velocità del flusso supera valori di soglia, oltre i quali avviene l'asportazione dal terreno di materiale fine (limo e sabbia). Il progressivo indebolimento del versante, dopo una serie anche lunga di episodi di piena ricorrenti, porta al collasso.

Nel caso di innesco **progressivo**, il versante manifesta segni di dissesto sempre più palesi con l'avanzare dello stato di instabilità

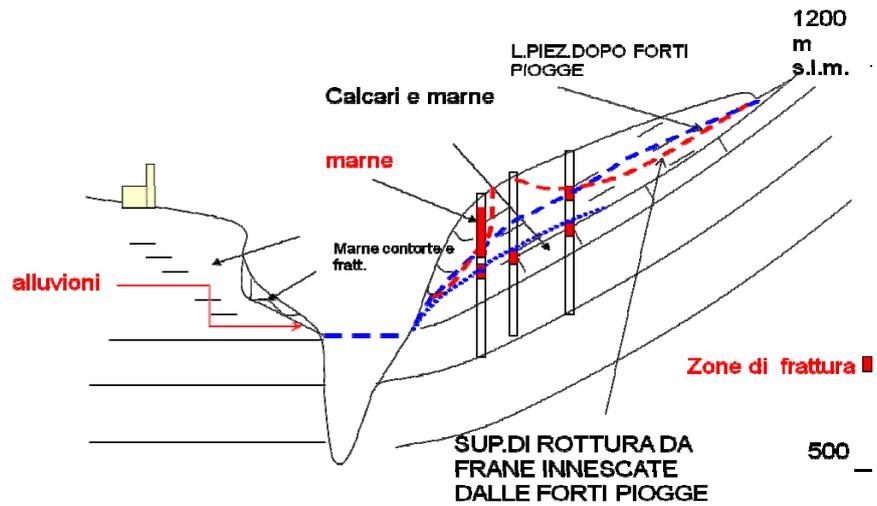


Figura 5c : innesco progressivo. La frana si manifesta in tempi lunghi, per stadi di avanzamento dei comparti di terreno collegati solitamente con episodi di erosione al piede operata dal corso d'acqua combinati con sollevamenti dei livelli piezometrici.

2 METODOLOGIE DI CONSOLIDAZIONE DEL VERSANTE

2.1 DRENI INTERCETTORI

Quando, in situazioni critiche, il fenomeno franoso avviene, il profilo del versante viene scavato, dal momento che la massa rocciosa si muove lungo una **superficie di scivolamento**. Il corpo di frana va incontro a stabilizzazione, in cui il carico in testa viene ridotto, mentre il profilo finale del versante viene alterato (Figura 6).

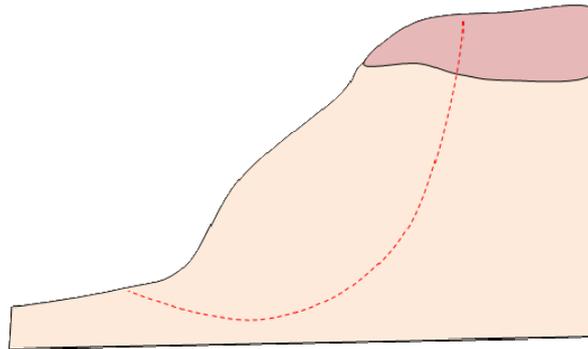


Figura 6 – Esempio schematico di stabilizzazione di un corpo di frana (in rosso la superficie di scivolamento), che ne riduce il carico in testa. La linea marcata rappresenta il profilo finale del versante, mentre l'area in grigio rappresenta la massa scavata

La presenza di uno strumento come, ad esempio, un **dreno intercettore**, può aiutare a ridurre l'azione della frana, diminuendo, ad esempio, il volume che scivola (Figura 7).

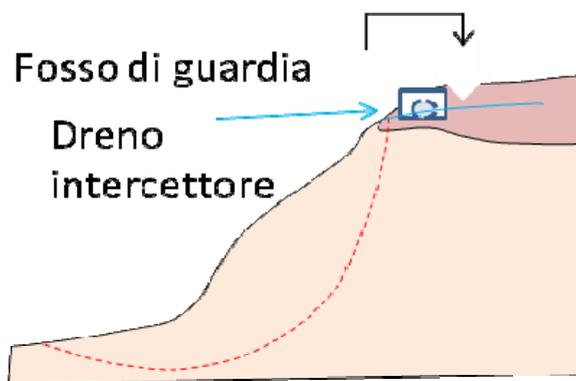


Figura 7 – Azione di mitigazione di un dreno intercettore

2.2 CANALETTE ARTIFICIALI

Un altro sistema utile per consolidare un versante in situazione di criticità può consistere nella realizzazione, sul versante, di **canalette superficiali**, di solito rivestite in calcestruzzo rigido (di solito prefabbricato), oppure in pietrame sbizzato.

2.3 TRINCEE DRENANTI

Un sistema che combina l'azione dei dreni intercettori e delle canalette superficiali, consiste nelle **trincee drenanti**, ossia delle canalette artificiali che percorrono il pendio, in diverse direzioni, raccogliendo l'acqua che scorre su di esso e accelerandone il recapito verso valle. Così facendo, si riduce il volume di acqua che si infiltra (dal momento che le trincee drenanti raccolgono assai rapidamente l'acqua, e la convogliano a valle in un tempo assai più rapido di quello che impiegherebbe a scorrere sul versante, infiltrandosi in parte), e si riduce, complessivamente, l'instabilità del versante.

3 PROBLEMI IDROGEOLOGICI DI CANTIERE

I problemi geologici di cantiere solitamente sono riassunti come:

- drenaggi di acque superficiali: Importanza fondamentale è rivestita dal sistema di drenaggio e allontanamento delle acque superficiali e sotterranee (Figura 8). Per le acque di pioggia, si utilizza il metodo di lasciarle defluire in canalette disposte parallelamente alla sede stradale e convogliarle in luoghi sicuri con tombinature passanti anche sotto la strada. Queste opere vanno accuratamente dimensionate, in funzione delle precipitazioni e dell'ampiezza del bacino di raccolta per non dare luogo ad allagamenti della sede stradale o a erosioni sul versante a valle.



Figura 8 – Drenaggio superficiale

-protezione di scavi con elevate pendenze con progettazione di muri: i muri di contenimento trovano impiego sia nella costruzione di trincee sia di rilevati; I muri a gravità, tra le prime soluzioni storiche per questa tipologia costruttiva, affidano la propria stabilità alle forze di gravità facendo in modo da dimensionare la sezione del muro in modo tale da contrastare la spinta attiva del terreno.

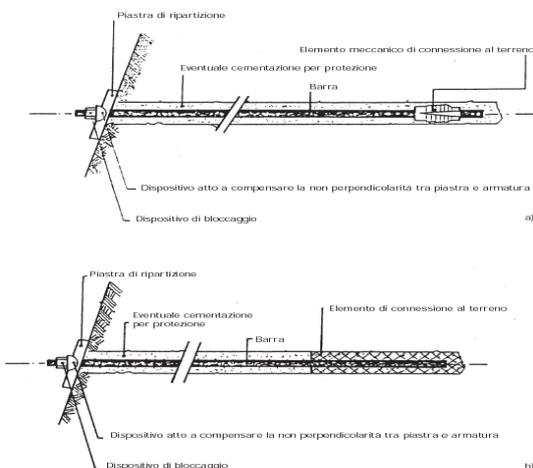
-Terre armate: Questa tecnica prevede la realizzazione di strutture per il contenimento delle terre e per la resistenza alle sollecitazioni come contenimento di rilevati o scarpate, spalle di ponti, argini. Il rinforzo della terra avviene attraverso l'attrito (sforzi di taglio) che si genera tra le lamiere di acciaio ed il terreno. I rinforzi metallici vengono posizionati ad intervalli regolari, questo determina un attrito nei punti di contatto che permette la stabilità della terra (Figura 9).



Figura 9 – Terre armate

-drenaggio acque sotterranee: il drenaggio delle acque sotterranee viene compiuto con un misto granulare disposte alle spalle dei muri di contenimento, e talora con trincee drenanti. Questo rivestimento porta le acque a una serie di tubi disposti a franapoggio, che attraversano il muro e la portano a una canaletta esterna. Un altro sistema prevede che le acque vengano raccolte da un tubo finestrato posto alla base del filtro all'interno di una canaletta di cemento, dal quale vengono portate a una tombinatura.

-protezione caduta massi che possono essere di medie e grandi dimensioni



- scelta fra chiodi, reti e tiranti (Figura 10): se la fratturazione risulta fitta ma superficiale con volumi unitari minore di 1 mc è consigliato utilizzare reti paramasso e cemento a spruzzo; se la fratturazione risulta invece solo superficiale e volumi unitari superiori a 1 mc si utilizzano per la stabilità chiodi e tiranti (talvolta anche le reti se si hanno fratturazioni fitte); infine, nel caso si abbiano sintomi di movimento come ad esempio una superficie di rottura profonda oltre alle tecniche elencate precedentemente si deve regolarizzare il pendio mediante sistema di disaggio ed iniezione, nonché rete paramassi.

Figura 10 – Chiodi a parete

È quindi importante provvedere ad un accurato rilevamento geo-strutturale dell'ammasso roccioso prima di procedere agli interventi. Due esercizi sono proposti come esempi di riflessione su queste conclusioni.

ESERCIZIO PROPOSTO 1

Muro previsto : quali indagini geognostiche? Ci sono controindicazioni e quali sono?

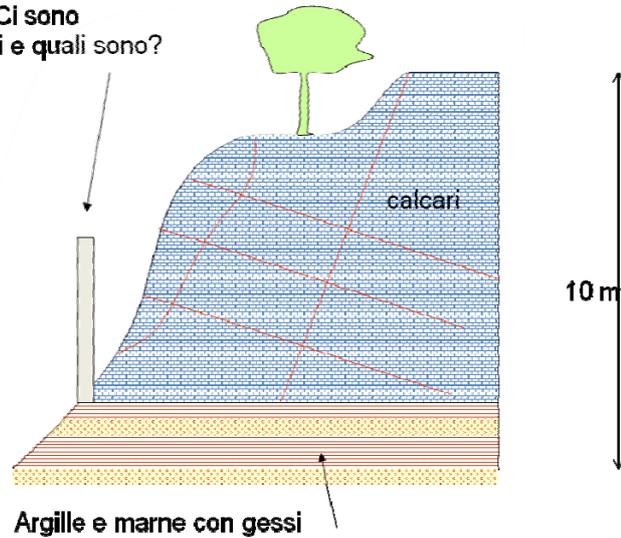


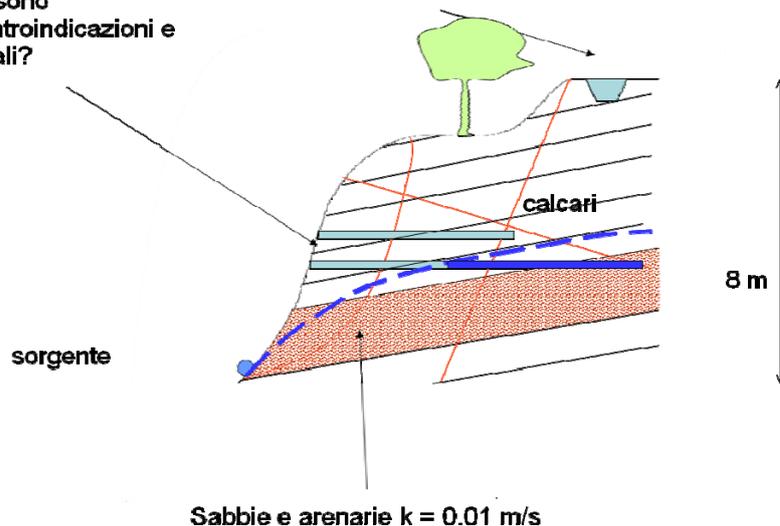
Figura 11 – Esercizio stabilità dei pendii

Muro previsto : quali indagini geognostiche? Ci sono controindicazioni e quali sono?

Solitamente il muro rappresenta un ottimo strumento di difesa dai movimenti del terreno; in questo caso appare però una misura non appropriata, e si chiede di indicare indagini da compiere e contromisure da attuare.

ESERCIZIO PROPOSTO 2

dreno previsto : quali indagini geognostiche? Ci sono controindicazioni e quali?



Dreno previsto : quali indagini geognostiche? Ci sono controindicazioni e quali?

Le frecce indicano i sistemi drenanti previsti: trincea nella parte alta per l'intercettazione delle acque di scorrimento superficiale che potrebbero infiltrarsi nell'ammasso roccioso fratturato, dreni orizzontali per l'estrazione delle acque sotterranee.

Si invita a evidenziare gli eventuali errori di questa impostazione e a suggerirne la correzione.