

Sistemazione dei versanti

Cause di instabilità e interventi di consolidamento

Giancarlo Dalla Fontana
Università di Padova

A.A. 2013/2014

Fattori che condizionano la stabilità di un versante

- A. fattori litologici: versanti in roccia si comportano in modo differente rispetto a quelli costituiti da materiale sciolto
- B. fattori strutturali: la disposizione nello spazio degli strati (orizzontali, a reggipoggio, a franapoggio) determina la maggiore o minore possibilità di instabilità
- C. fattori morfologici:
 - acclività (minore è la pendenza del versante, maggiore è la sua stabilità) –
 - conformazione (una pendenza uniforme rende il versante maggiormente dilavabile dall'acqua; un versante con forma a displuvio è più stabile rispetto ad uno con forma a compluvio) –
 - altezza: più è alto il versante, minore è la sua stabilità
- D. fattori idrogeologici:
 - permeabilità (maggiore è la permeabilità, maggiore risulta la stabilità del versante)
 - vegetazione (un versante vegetato è più stabile di uno nudo)
- E. fattori antropici:
 - disboscamento
 - scavi su versante
 - sovraccarico dovuto alla presenza di edifici
 - variazione del regime ideologico del territorio

Fattori che generano l'instabilità di un versante

1. fattori che causano un incremento degli sforzi di taglio agenti sul versante
2. fattori che riducono la resistenza al taglio

pendenze critiche dei versanti
valori massimi compatibili con la stabilità

Tipologia di suolo	Pendenza limite (°)
versanti detritici grossolani	32° - 37°
macereti con massi ciclopici	37° - 40°
versanti vegetati	37° - 42°
versanti morenici	25° - 32°
versanti con suolo filladico	20° - 25°
scarpate in terreni alluvionali	30°
versanti con suoli argillosi	20° - 25°

1 - Fattori che determinano un incremento dello sforzo di taglio

- ✓ **Asportazione del supporto laterale; è il più comune tra i fattori che generano instabilità nei versanti. Le azioni agenti responsabili sono:**
 - erosione ad opera di: corsi d'acqua; moto ondoso; agenti atmosferici, azione di gelo e disgelo
 - movimenti franosi pregressi, faglie etc. che generano nuovi pendii
 - azioni antropiche: cave, canalizzazioni, rimozione del piede del versante, rimozione di muri di sostegno già esistenti
- ✓ **Sovraccarichi sul versante; determinati da fattori sia naturali che antropici**
- ✓ **Variazione dell'inclinazione del versante**
- ✓ **Rimozione del supporto sottostante, causato da:**
 - sottoescavazione di sponda ad opera dei corsi d'acqua
 - escavazioni determinate dall'attività antropica
 - erosione al piede causata dagli agenti atmosferici (pioggia, gelo, ecc.).
- ✓ **Pressioni laterali, causate da:**
 - infiltrazioni d'acqua nel versante
 - azione del gelo e disgelo nelle fessurazioni del versante
 - pressioni dovute al rigonfiamento di strati del suolo (es. argille)

2 - Fattori che contribuiscono a diminuire la resistenza al taglio

- ✓ **Fattori legati alle caratteristiche geologiche del versante (stato iniziale), tali da favorire il franamento dello stesso; i fattori che determinano una bassa resistenza al taglio sono:**
 - composizione: materiali di natura poco resistente (rocce sedimentarie argillose, tufi, ecc.)
 - tessitura: i terreni argillosi e marnosi possiedono una tessitura definibile “sciolta”

- ✓ **Fattori variabili nel tempo:**
 - variazioni causate dall’azione degli agenti atmosferici, che si esplicano in un rammollimento o disgregazione della struttura del terreno
 - variazione delle forze di coesione intergranulare, a causa della pressione dell’acqua: gli agenti possono essere pioggia o disgelo, o blocco del drenaggio nel terreno
 - variazioni nella struttura del terreno: causate da fatturazioni di versante

Cause di instabilità in sintesi

INCREMENTO DELLO STATO TENSIONALE

Carichi esterni quali manufatti, acqua o neve

Aumento del peso per unità di volume in seguito a incremento di contenuto in acqua

Rimozione di una parte della massa a seguito di uno scavo

Undermining provocato da gallerie, crollo di cavità sotterranee o da erosione

Shock provocati da terremoti o esplosioni

DIMINUIZIONE DELLA RESISTENZA

Rigonfiamento di argille in seguito a imbibizione

Pressioni interstiziali (diminuiscono le pressioni intergranulari e l'attrito)

Deformazione e rottura progressiva

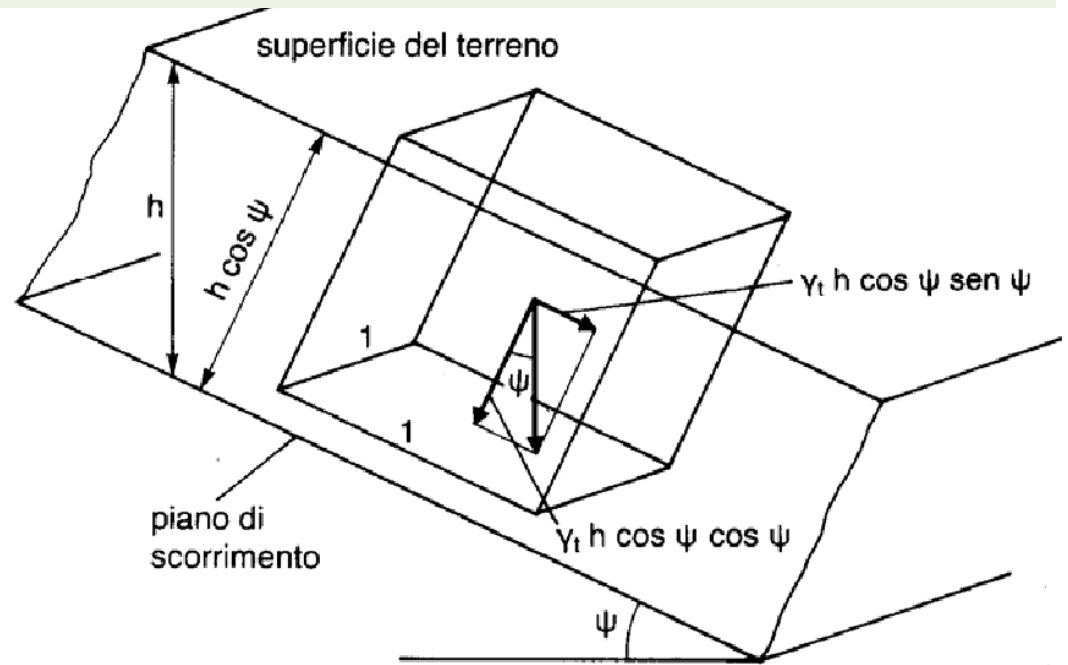
Disgelo di terreno congelato o di lenti di ghiaccio

Deterioramento del materiale cementante

Stabilità di un pendio

Fattori di stabilità di un pendio:

1. Inclinazione del pendio
2. Coesione del materiale
3. Angolo di attrito del materiale (φ)
4. Presenza di acqua (falda) nel terreno



Il pendio è stabile se:

$$\gamma_t h \cos \psi \sin \psi < \gamma_t h \cos^2 \psi \tan \varphi + c$$

Frane: descrizione e classificazione

1. frane da dilavamento: innescate per saturazione idrica dello strato superficiale di suolo
2. frane di cedimento e scoscendimento: innescate per saturazione idrica più profonda
3. frane per slittamento o scivolamento: quando l'infiltrazione idrica raggiunge strati profondi
4. frane per rotolamento: ammassi incoerente di materiale
5. frane per crollo: assenza di resistenza interna di un versante roccioso, perdita d'appoggio del piede

FRANA: qualsiasi spostamento di terreni o rocce dovuto essenzialmente alla gravità

Tipi di Frane

Tipologia di movimento	Tipo di materiale		
	roccia	detrito	terra
Crollo	Crollo di roccia	Crollo di detrito	Crollo di terra
Ribaltamento	Ribaltamento di roccia	Ribaltamento di detrito	Ribaltamento di terra
Scivolamento rotazionale	Scivolamento rotazionale di roccia	Scivolamento di detrito	Scivolamento di terra
Scivolamento traslazionale	Scivolamento traslativo di roccia	Scivolamento traslativo di detrito	Scivolamento traslativo di terra
Espansione laterale	Espansione laterale di roccia	Spandimento laterale di detrito	Spandimento laterale di terra
Colamento	Deformazione profonda da <i>creep</i> in roccia	Colata detritica	Colata di terra

Cause che predispongono alla frana

FATTORI NATURALI

- a) Condizioni climatiche: piovosità, insolazione, escursioni termiche
- b) Configurazione morfologica e, soprattutto, inclinazione del pendio e sue variazioni
- c) Composizione geolitologica
- d) Struttura tettonica e in particolare disposizione degli strati rispetto al pendio
- e) Microsismi e terremoti dei gradi più bassi
- f) Movimenti orogenici
- g) Rilassamento delle tensioni interne delle rocce
- h) Alterazione meteorica delle rocce
- i) Circolazione delle acque superficiali e sotterranee
- j) Azione erosiva dei corsi d'acqua e del moto ondoso al piede dei pendii
- k) Variazione di livello dei laghi
- l) Ritiro dei ghiacciai

FATTORI ANTROPICI

- a) Disboscamento
- b) Scavi di ogni genere, come trincee, canali, strade a mezza costa, gallerie, ecc.
- c) Costruzione di edifici sui pendii
- d) Vibrazioni prodotte dal passaggio di veicoli pesanti (treni, autocarri, ecc.)
- e) Irrigazioni
- f) Abbandono della manutenzione dei campi in aree montane e collinari

Cause che innescano la frana

FATTORI NATURALI

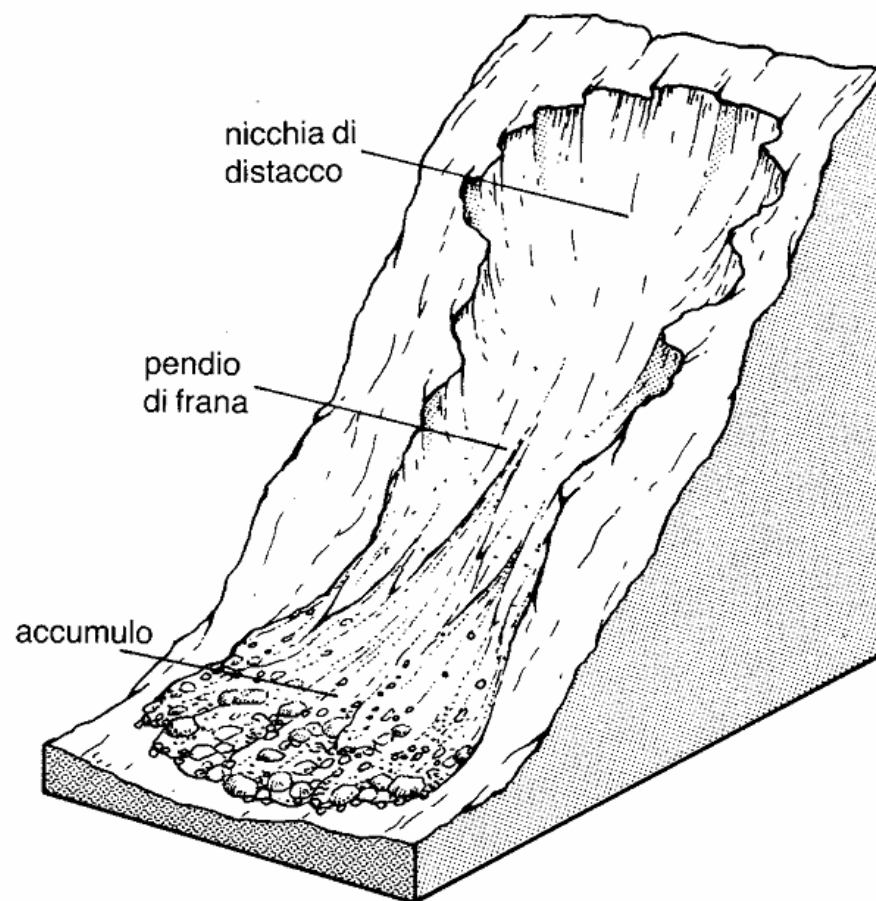
- a) Forzanti meteorologiche come precipitazioni eccezionali, sgelso improvviso
- b) Rapido scalzamento di ripe fluviali e marine per piene straordinarie dei corsi d'acqua e per mareggiate
- c) Terremoti
- d) Sovraccarichi improvvisi per caduta di massi, di valanghe o di materiali alluvionali ad opera di una alluvione localizzata

FATTORI ANTROPICI

- a) Variazioni artificiali del livello di laghi e dei serbatoi
- b) Perdite d'acqua dall'alveo di canali, acquedotti, ecc.
- c) Apertura di cave, di trincee e di gallerie
- d) Esplosione di mine
- e) Costruzioni sul ciglio delle scarpate

Elementi caratteristici di una frana

- **Scarpata principale:** superficie delimitante l'area circostante la parte sommitale della frana
- **Testata:** le porzioni più alte del materiale di frana
- **Punto sommitale:** punto più alto del limite tra materiale movimentato e scarpata principale
- **Unghia:** margine del materiale spostato, localizzato alla maggior distanza dalla scarpata principale
- **Piede:** zona di materiale mobilizzato localizzato a valle del margine inferiore della superficie di distacco
- **Corpo principale:** insieme del materiale mobilizzato che ricopre la superficie di rottura, compresa tra scarpata principale e margine inferiore della superficie di distacco
- **Fianco:** lato della frana
- **Coronamento:** materiale rimasto in loco e a monte delle parti superiori della scarpata principale
- **Superficie di separazione:** superficie che separa il materiale mobilizzato dal materiale rimasto in loco
- **Zona di distacco:** area entro cui è avvenuto il movimento del materiale, il quale si trova ad una quota inferiore rispetto a quella della superficie originaria del versante
- **Zona di accumulo:** area entro cui vi è l'accumulo del materiale franato, il quale si trova ad una quota maggiore rispetto a quella della superficie originaria del versante



Tipologie di frana

- frane superficiali
- frane superficiali per erosione al piede
- frane profonde (o di massa)

Origine delle frane superficiali

- **erosione superficiale**
- **infiltrazione di acqua nel suolo**: imbibizione dello strato di terreno e cedimento per appesantimento o sottopressioni
- **disboscamento**, mancanza di protezione dello strato superficiale del pendio
- formazione di una **discontinuità nel pendio** (es. strada, canalizzazione)
- **diminuzione della coesione del materiale superficiale**, causata in genere dall'infiltrazione di acqua (nei suoli pseudocoerenti)

Frana superficiale



frana superficiale

Frana profonda

frana profonda



Sistemazione di una frana superficiale

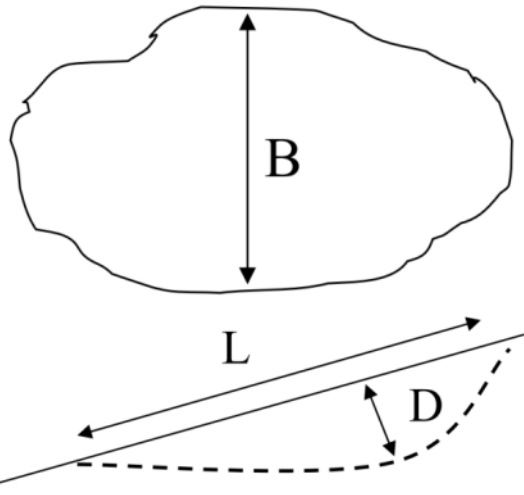
Interventi da eseguire in sequenza temporale

1. scoronamento e modellamento della frana ed eliminazione delle zone più instabili
2. scavo di un fosso di drenaggio, per acquisire le acque superficiali ed allontanarle dalla zona franata
3. realizzazione di dreni sotterranei per intercettare acque sotterranee che potrebbero affiorare nel corpo di frana: regimazione delle acque sottosuperficiali e superficiali
4. sistemazione vera e propria del corpo di frana: diminuzione della pendenza del pendio e stabilizzazione, mediante:
 - viminata, fascinate, ecc.: creazione di piccoli terrazzamenti
 - realizzazione di muretti a secco
 - realizzazione di drenaggi nel corpo frana disposti a spina di pesce lungo un collettore centrale, e di fossetti per la raccolta dell'acqua
5. realizzazione di un muro di sostegno al piede della frana
6. interventi antierosivi accessori: inerbimento e/o rimboschimento della zona di frana
7. piano di manutenzione degli interventi eseguiti, in particolare dei sistemi di drenaggio

Franamento superficiale – shallow landslide

Ai fini sistematori è opportuno porre particolare attenzione:

- alla profondità del corpo di frana;
- al rapporto profondità/ lunghezza;
- al tipo di materiale coinvolto;
- alle condizioni stratigrafico - strutturali, per l'individuazione dei piani di debolezza preferenziale



B = larghezza massima della frana

L = lunghezza massima della frana

D = profondità massima della frana

Con riferimento a D:

< 1.5 m MOLTO SUPERFICIALI

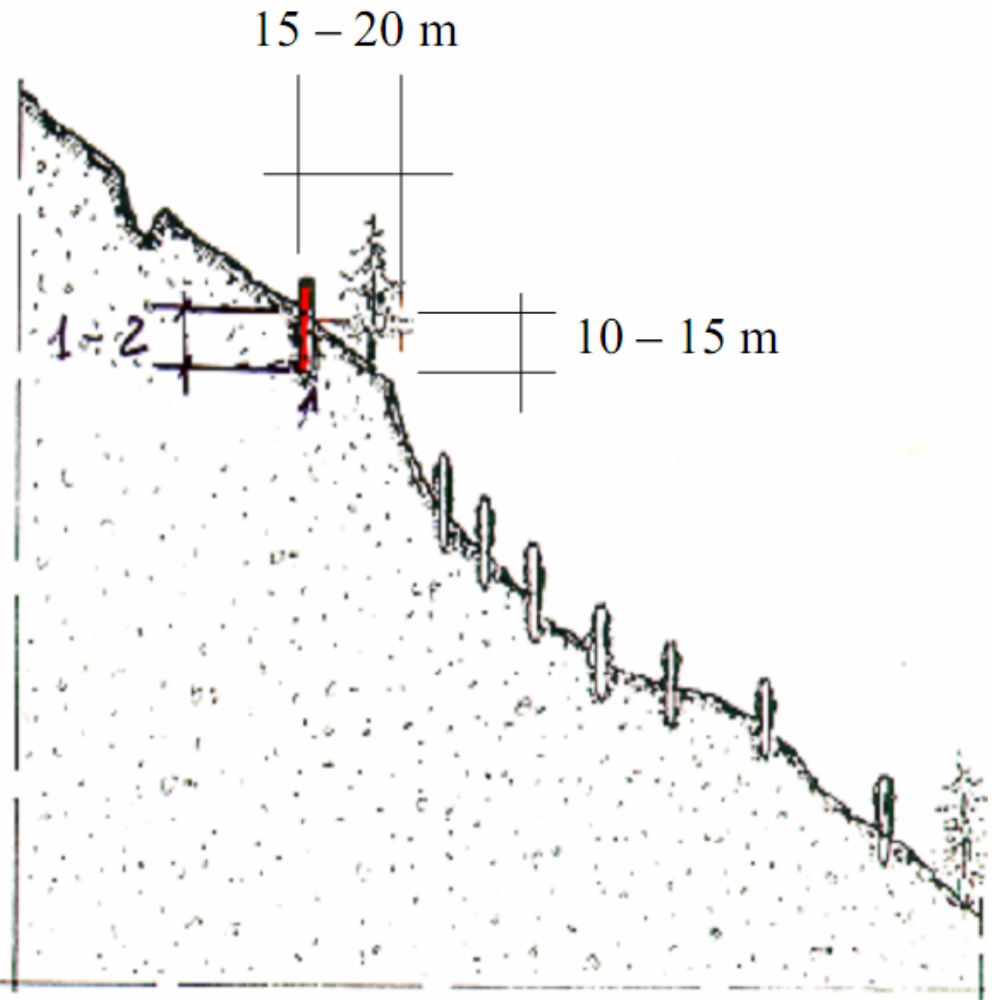
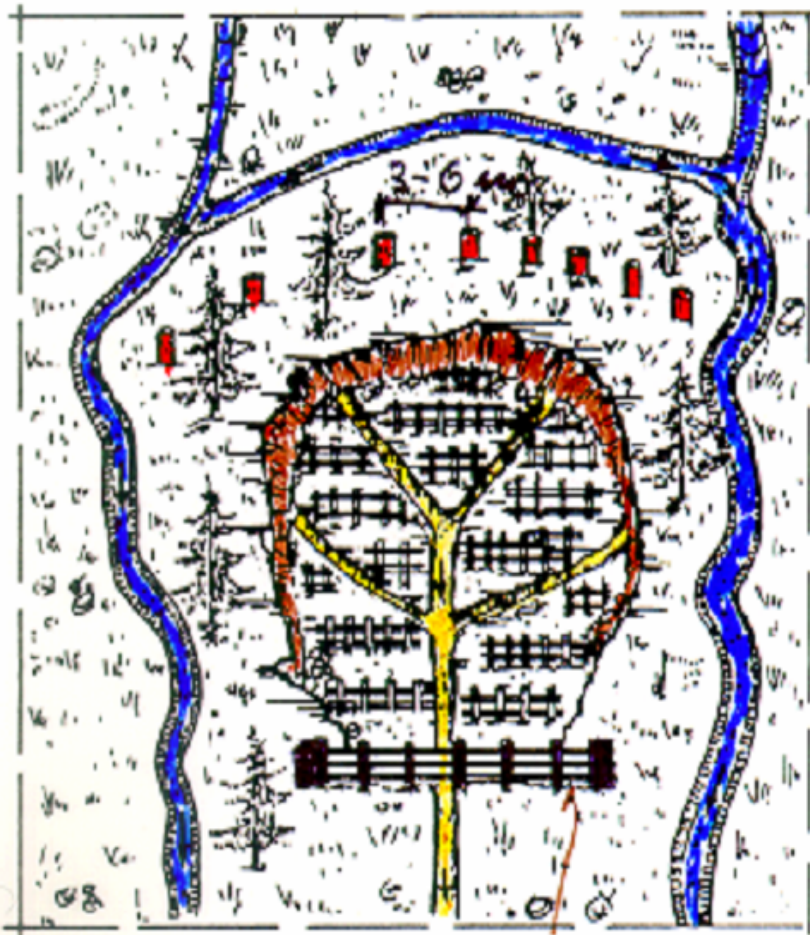
1.5 – 5 m SUPERFICIALI

5 – 20 m PROFONDE

> 20 m MOLTO PROFONDE

(Skempton e Hutchinson, 1969)

Sistemazione di una frana superficiale



Consolidamento di un versante

REGIMAZIONE IDRICA

- a) erosione al piede
- b) drenaggi superficiali
- c) drenaggi profondi

CONSOLIDAMENTO MECCANICO

a) Rimodellamento del pendio

b) scoronamento

c) gradonamento

d) tecniche varie per trasferire gli sforzi tangenziali a elementi strutturali

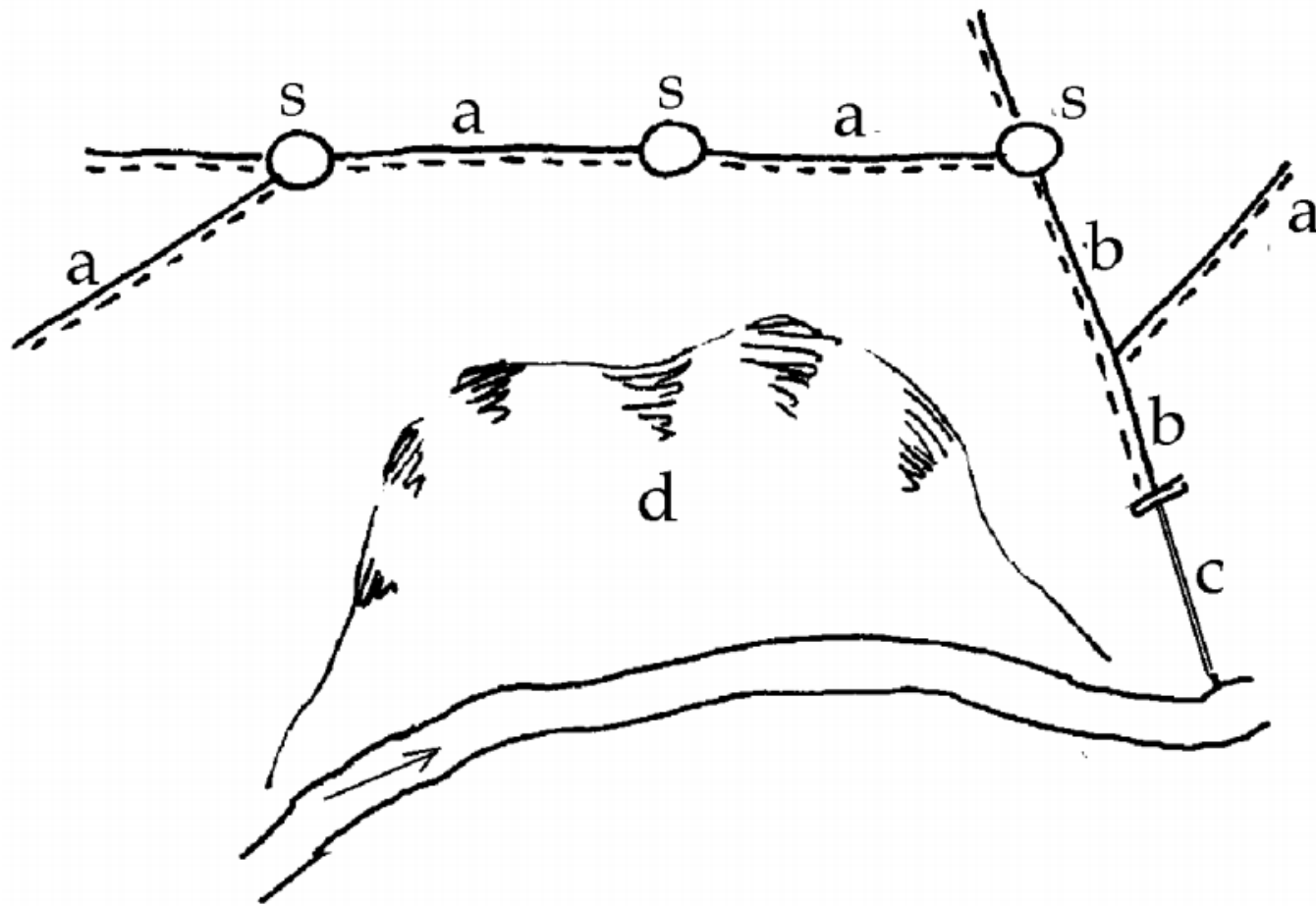
Riduzione della pendenza

Gradonate con talee o piantine, Vimate, Palificate, Grate, Terre rinforzate

RICOSTITUZIONE DELLA COPERTURA VEGETALE

- a) Inerbimenti
- b)

Drenaggio di una frana superficiale



Impianto di drenaggio con captazione della falda a monte

a-a-a, canali di raccolta; b-b, canale di scarico; c, cunetta; s-s-s, pozzetti di ispezione; d, corpo di frana

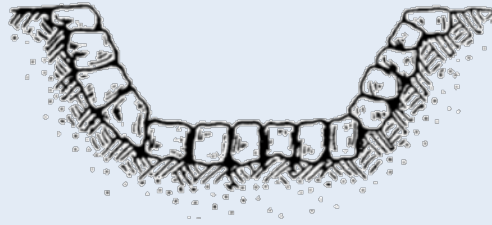
Drenaggio di una frana superficiale



Nietenbach, Svizzera. Sistema di drenaggio prima della riforestazione.

[Photo EAFV, 1970, from Zeller & Trümpler (1984), Abb. 1.3]

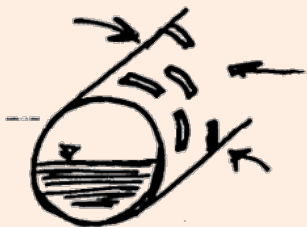
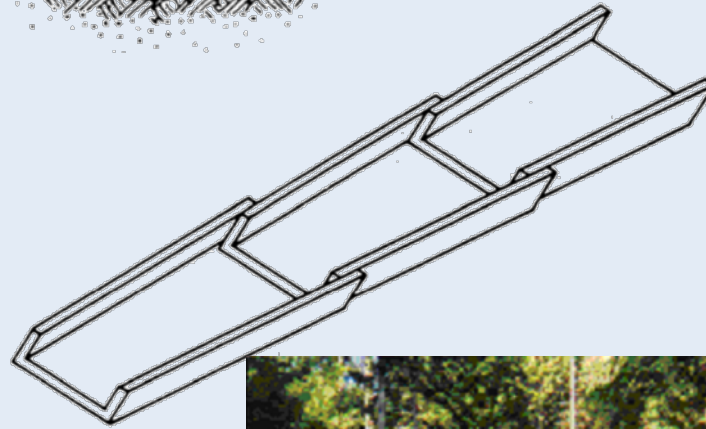
Drenaggi



Controllo delle acque
di scorrimento superficiale

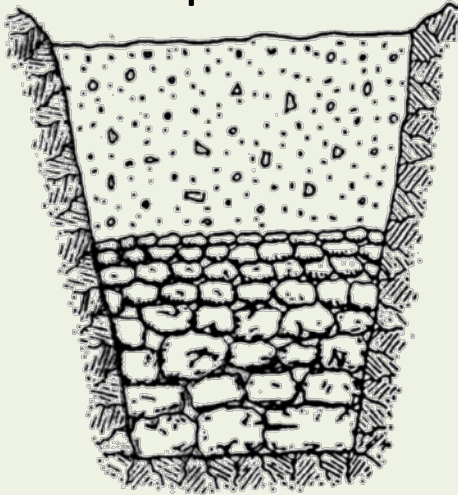
Controllo delle acque a
piccola profondità < 2m

- microdrenaggi trivellati
- trincee drenanti
- tubi forati in PVC

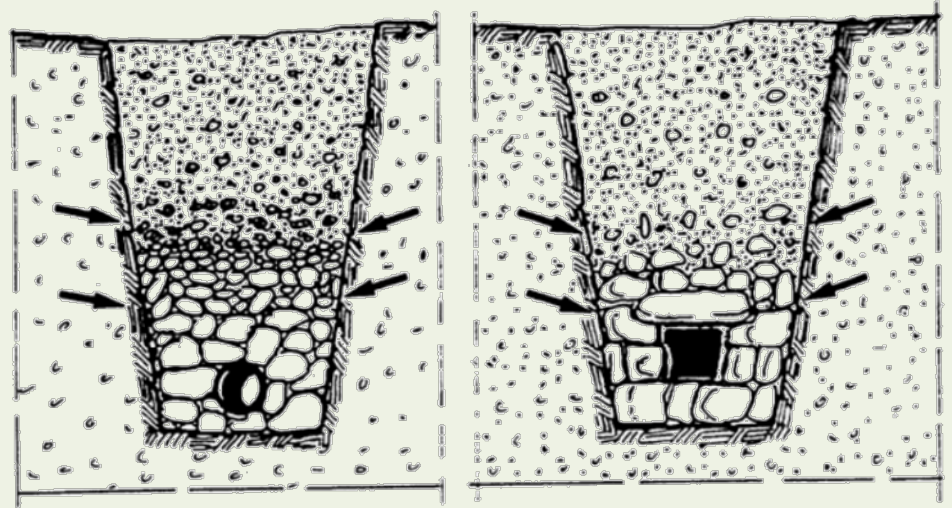


Drenaggi

vespaio



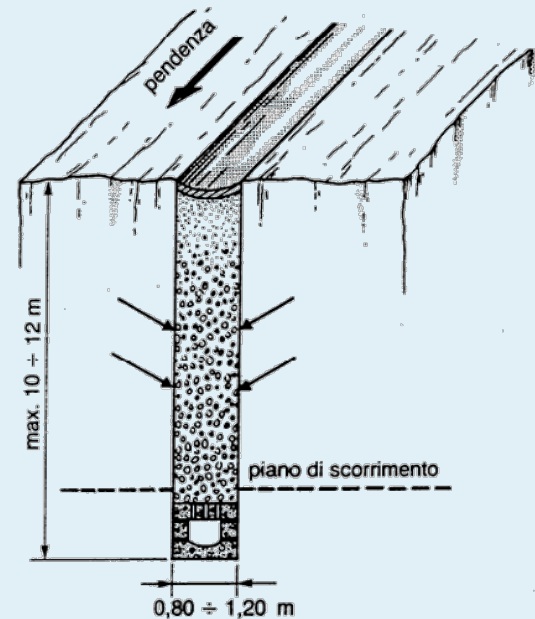
cunicolo



Drenaggi superficiali

Drenaggi profondi

- Pozzi
- Gallerie



Drenaggi

Linea di drenaggio superficiale
realizzata con pietrame
grossolano



Drenaggi

Linea di drenaggio naturale

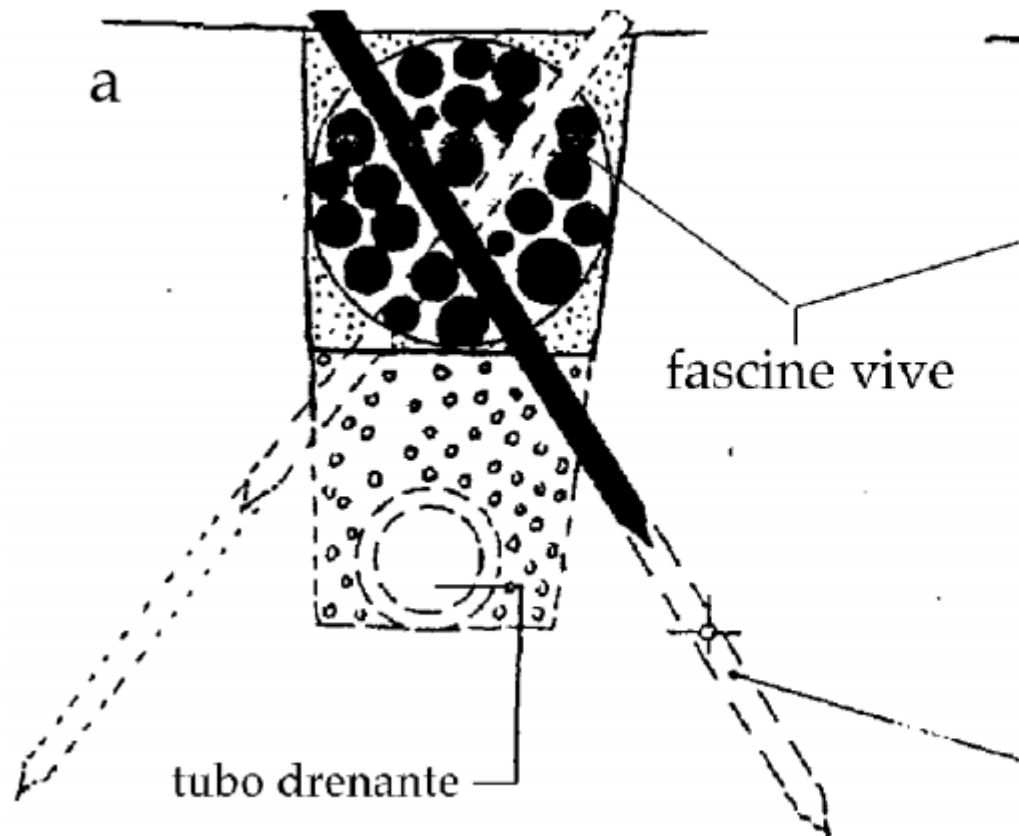


Drenaggi



I drenaggi superficiali sono spesso soggetti a danneggiamento

Drenaggi



Drenaggio con fasciname vivo

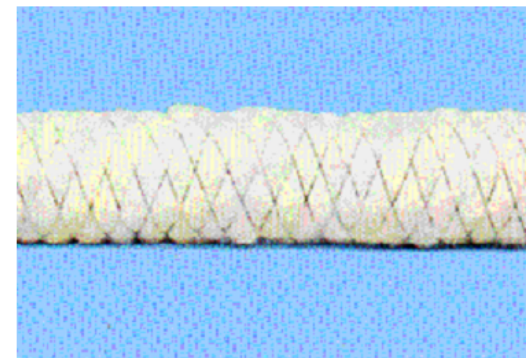
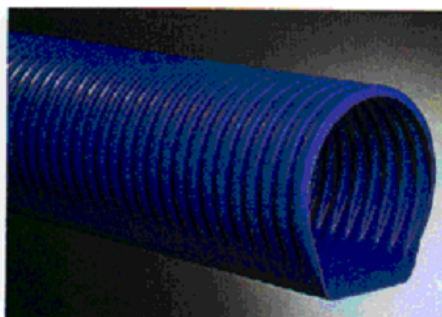
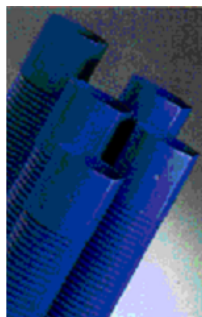
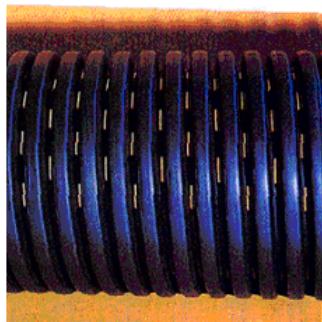
Tubi forati per drenaggi

PE: polietilene

PEBD: polietilene a bassa densità

PEHD: polietilene a alta densità.

PVC: polivinilcloruro (resina sintetica)

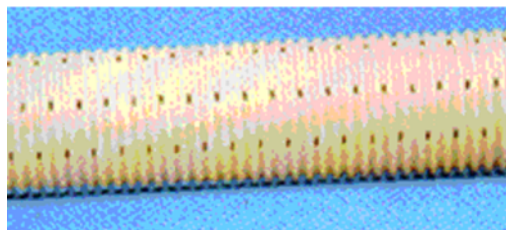


In generale, nel caso della sistemazione dei versanti franosi, le tipologie che maggiormente vengono utilizzate sono le tubazioni fessurate in PEHD (affiancate, in caso di elevate quantità d'acqua, da tubazioni in PE), i geocomposti (in caso di falde superficiali) e, in caso di linee di drenaggio abbastanza estese, tombini di ispezione.

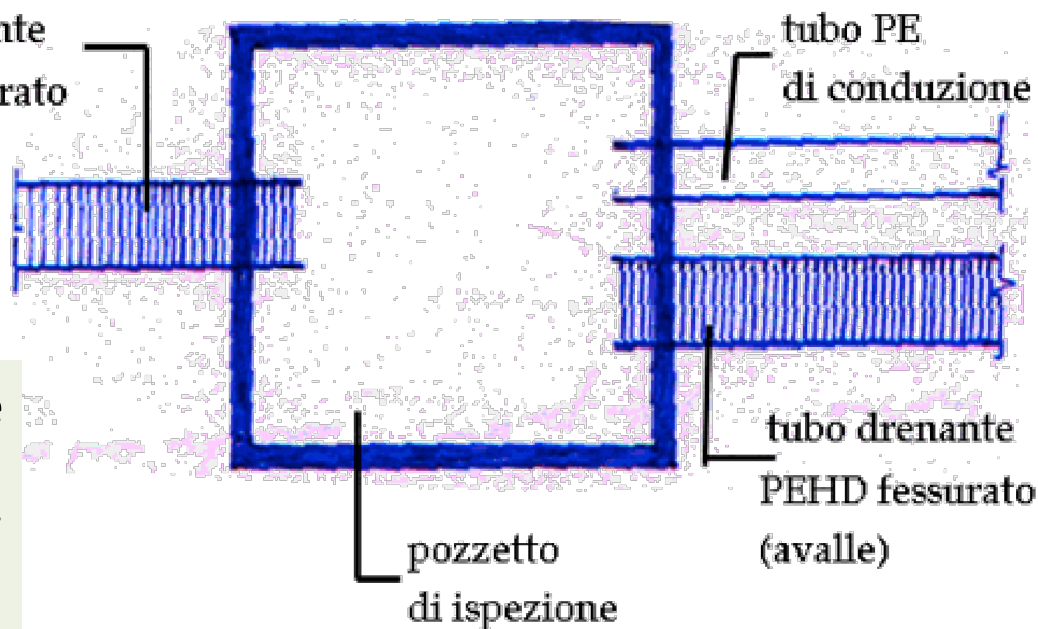
Drenaggio tubolare



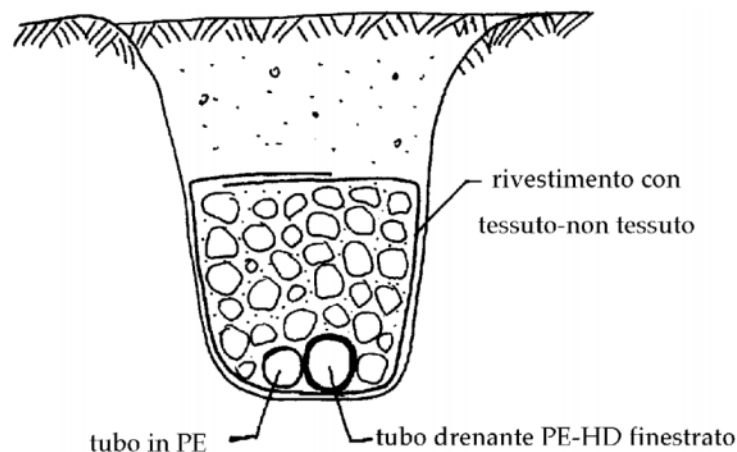
Drenaggio tubolare



tubo drenante
PEHD fessurato
(a monte)



Schema dell'inserzione delle tubazioni drenanti all'interno del pozzetto (è importante che vi entrino per almeno 10-15 cm). Da monte arriva una sola tubazione drenante, mentre a valle, oltre al tubo drenante, è presente una tubazione in PE. Questa ha la funzione di alleggerire il lavoro del tubo drenante nei casi di elevata presenza d'acqua.



Drenaggio tubolare

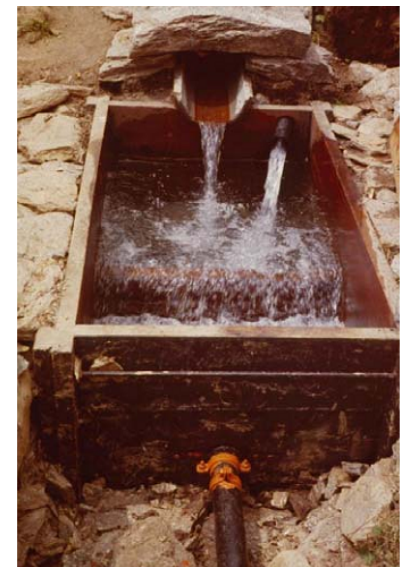
Pozzetti in calcestruzzo, PE, acciaio



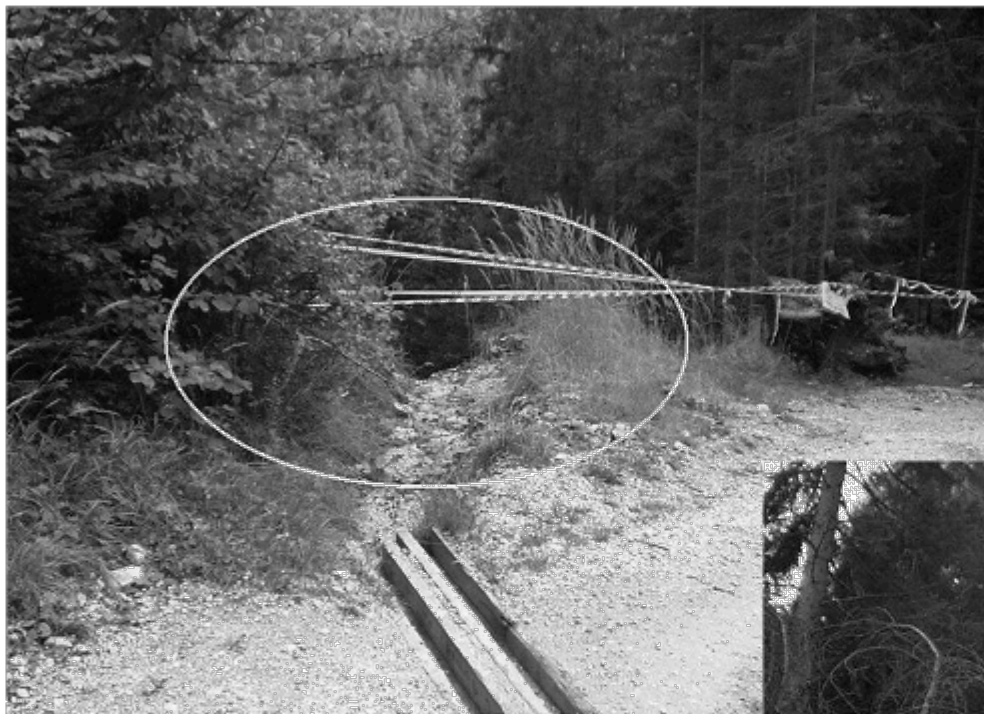
Drenaggio tubolare



La disposizione planimetrica delle linee di drenaggio imita il reticolo naturale con una struttura gerarchica ramificata. E' di fondamentale importanza organizzare la raccolta e l'allontanamento delle acque.



Dissesti di versante e strade forestali



Dissesti di versante e strade forestali



Dissesti di versante e strade forestali

