

Landslides classification

Extract from a meeting in Lecco about landslides

By M. Papini

The slides are divided in two parts

PART I

www.engeology.eu



PREVISIONE, PREVENZIONE E GESTIONE DEL DISSESTO IDROGEOLOGICO

Definizione e classificazione delle frane

Cos'è una frana?

"rapido spostamento di una massa di roccia, terreno residuale o sedimenti, adiacenti ad un pendio, con movimento del centro di gravità della massa stessa verso il basso e verso l'esterno"

[Terzaghi, 1950]

"movimento verso il basso e verso l'esterno di materiali (rocce e terreni naturali, materiali di riporto, o combinazioni di più materiali) formanti un pendio"

[Varnes, 1958]

"movimento di masse di terreno o di roccia lungo un pendio, risultante da una rottura per taglio ai limiti della massa in movimento"

[Skempton & Hutchinson, 1969]

"trasporto lungo un pendio, per azione gravitativa, di materiale terroso o roccioso in massa, ...lungo una zona confinata o una superficie di taglio"

[Bates & Jackson, 1987]

"movimento di una massa di roccia, terreno o detriti lungo un pendio sotto l'azione della gravità"

[Cruden,, Varnes 1993]

Una frana può essere:

- Rapida: la velocità del movimento è superiore a 5 m/s



crollo di un masso da una parete rocciosa

- Lenta: la velocità del movimento è inferiore a 15 mm/anno



movimento di materiale argilloso,
fenomeni gravitativi
Es. Alpi, Appennino Settentrionale

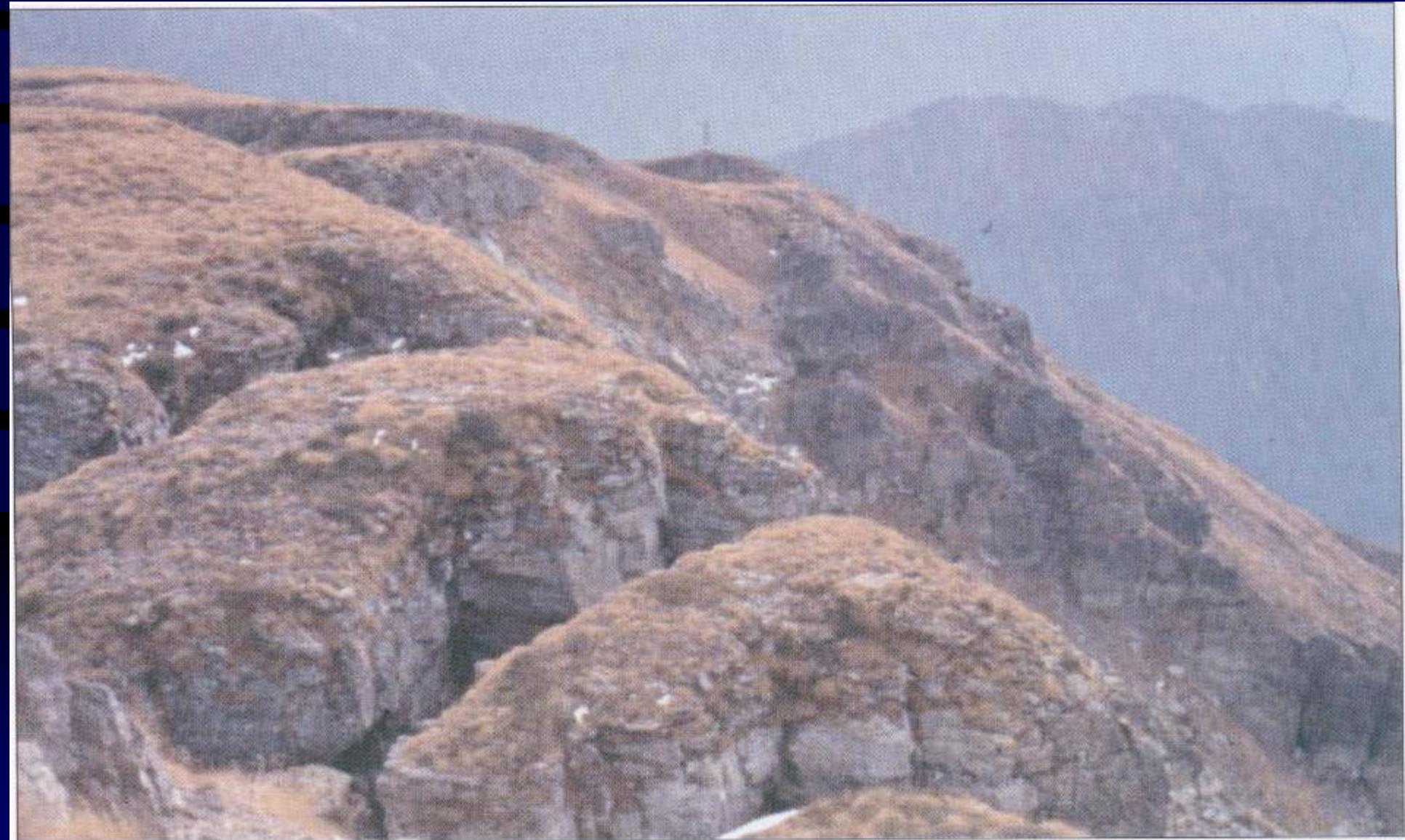
SCALA DELLE VELOCITA' E DEI DANNI PRODOTTI DALLE FRANE (da IUGS/WGL, 1995)

CLASSE	DESCRIZIONE	DANNI OSSERVABILI	SCALA DELLE VELOCITA'	
1	ESTREMAMENTE LENTO	Impercettibile senza strumenti di monitoraggio. Costruzione di edifici possibile con precauzioni.	< 16 mm/anno	< 5 · 10 ⁻¹⁰ m/s
2	MOLTO LENTO	Alcune strutture permanenti possono non essere danneggiate dal movimento.	1,6 m/anno	5 · 10 ⁻⁸ m/s
3	LENTO	Possibilità di intraprendere lavori di rinforzo e restauro durante il movimento. Le strutture meno danneggiabili possono essere mantenute con frequenti lavori di rinforzo se lo spostamento totale non è troppo grande durante una particolare fase di accelerazione.	13 m/mese	5 · 10 ⁻⁶ m/s
4	MODERATO	Alcune strutture temporanee o poco danneggiabili possono essere mantenute.	1,8 m/h	5 · 10 ⁻⁴ m/s
5	RAPIDO	Evacuazione possibile. Distruzione di strutture, immobili ed installazioni permanenti.	3 m/min	5 · 10 ⁻² m/s
6	MOLTO RAPIDO	Perdita di alcune vite umane. Velocità troppo elevata per permettere l'evacuazione delle persone.	5 m/s	5 m/s
7	ESTREMAMENTE RAPIDO	Catastrofe di eccezionale violenza. Edifici distrutti per l'impatto del materiale spostato. Molti morti. Fuga impossibile.	> 5 m/s	> 5 m/s

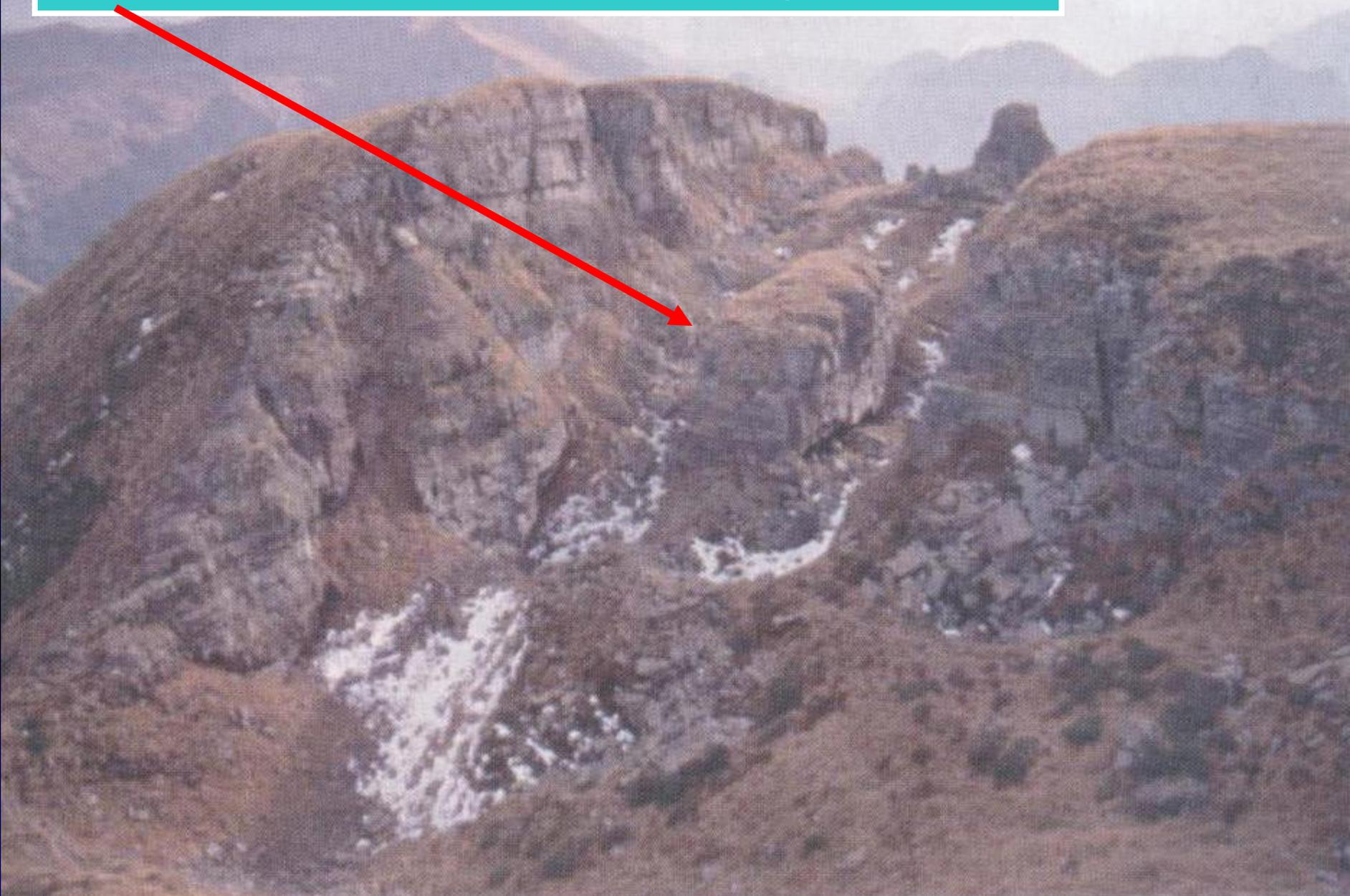
Il crollo di massi da una parete è estremamente rapido e può provocare molti danni



Movimenti lenti, appena percettibili, in Val Seriana (BG)



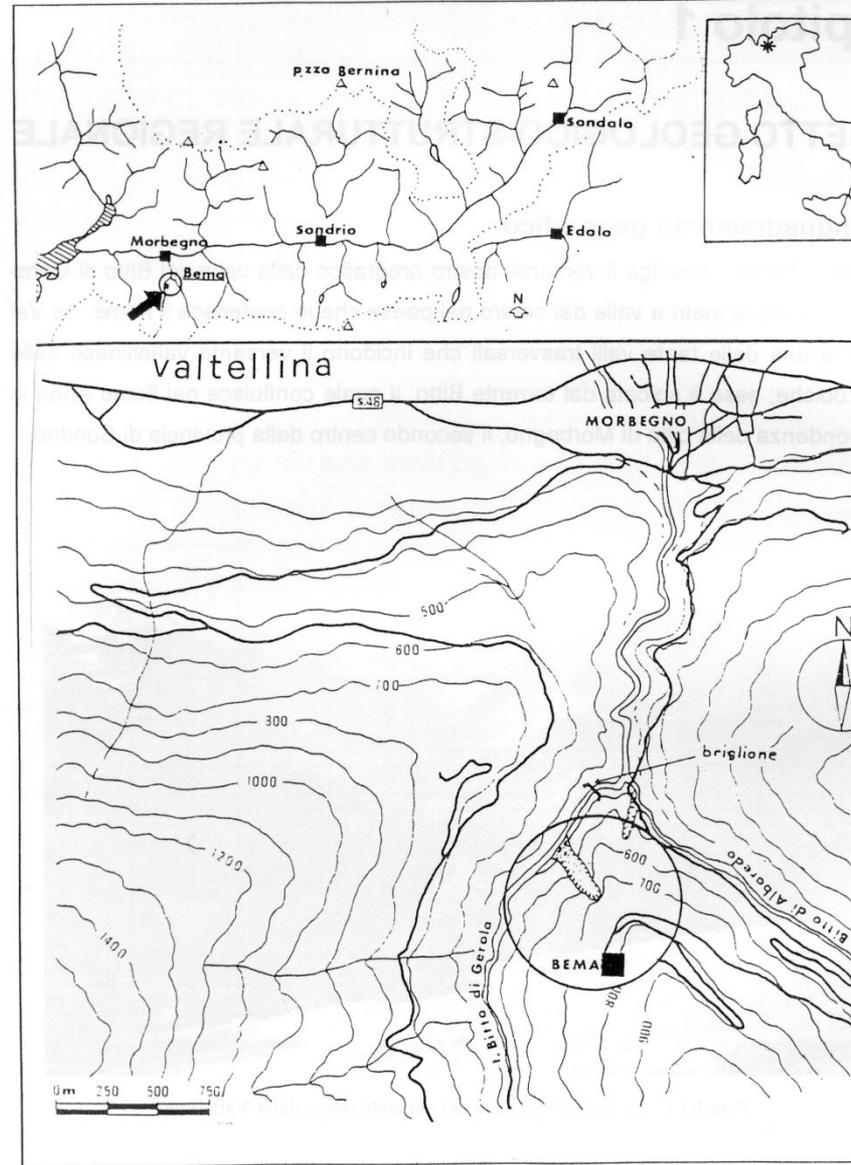
Trincea che si è formata nel corso di migliaia di anni



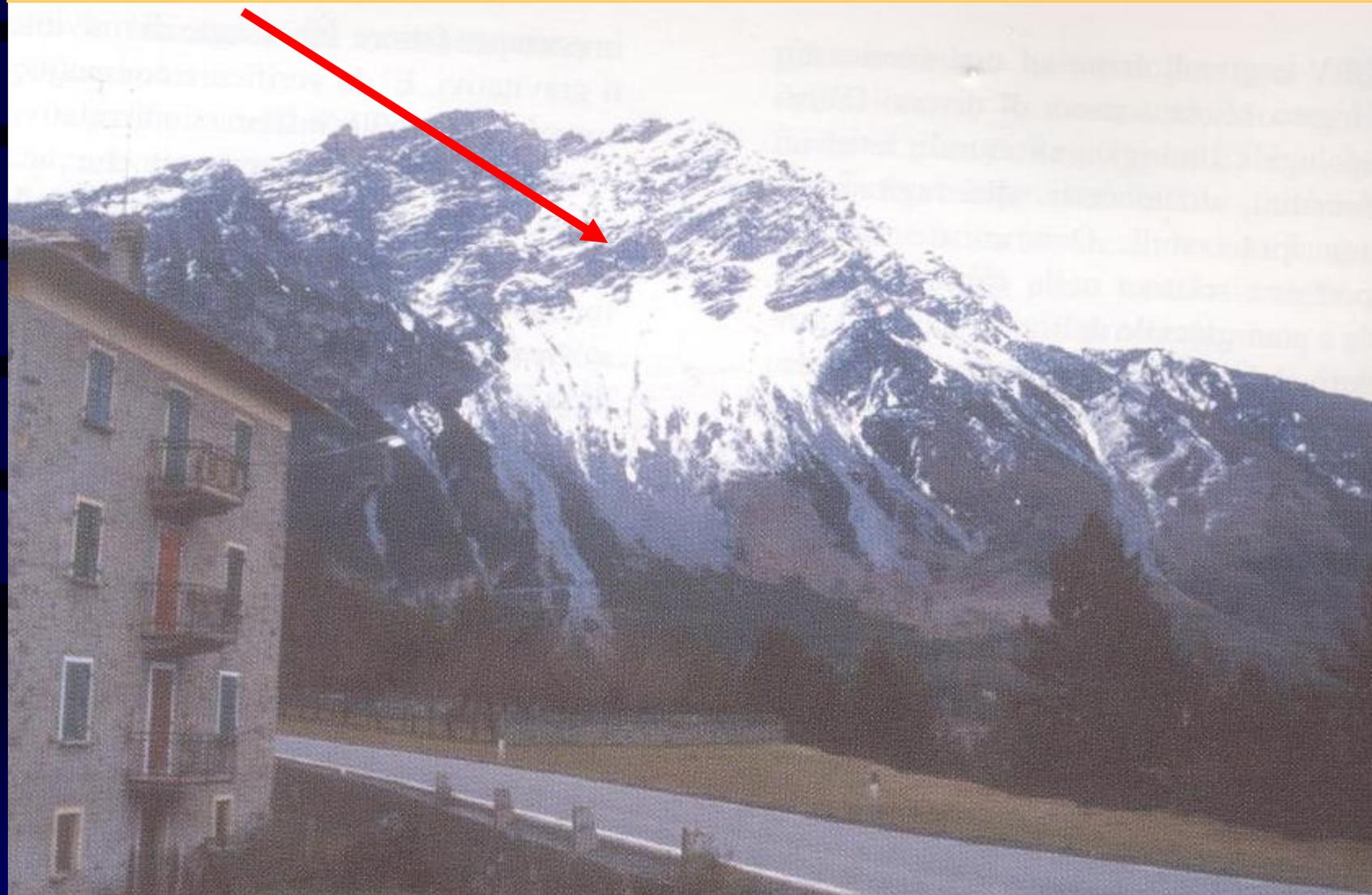
STATO DI ATTIVITA' DI UNA FRANA

- **Attiva:** il movimento è in atto
- **Quiescente:** il movimento è assente da molto tempo, ma potrebbe riattivarsi perché permangono le cause del movimento stesso
- **Relitto (paleofrana):** frana inattiva che si è sviluppata in condizioni geomorfologiche diverse da quelle attuali. Si potrebbe riattivare parzialmente o totalmente .

Frana di Bema: attiva



Antica frana (10.000 anni) che potrebbe riattivarsi



DIMENSIONE DI UNA FRANA

Descrizione	Volume (metri cubi)
Estremamente grande	$> 5 \cdot 10^6$
Molto grande	$1 \cdot 10^6 - 5 \cdot 10^6$
Mediamente grande	$2.5 \cdot 10^5 - 1 \cdot 10^6$
Media	$5 \cdot 10^4 - 2.5 \cdot 10^5$
Piccola	$5 \cdot 10^3 - 5 \cdot 10^4$
Molto piccola	$< 5 \cdot 10^3$

Frana della Val
Pola:

28 Luglio 1987

Volume:

33 milioni di
metri cubi



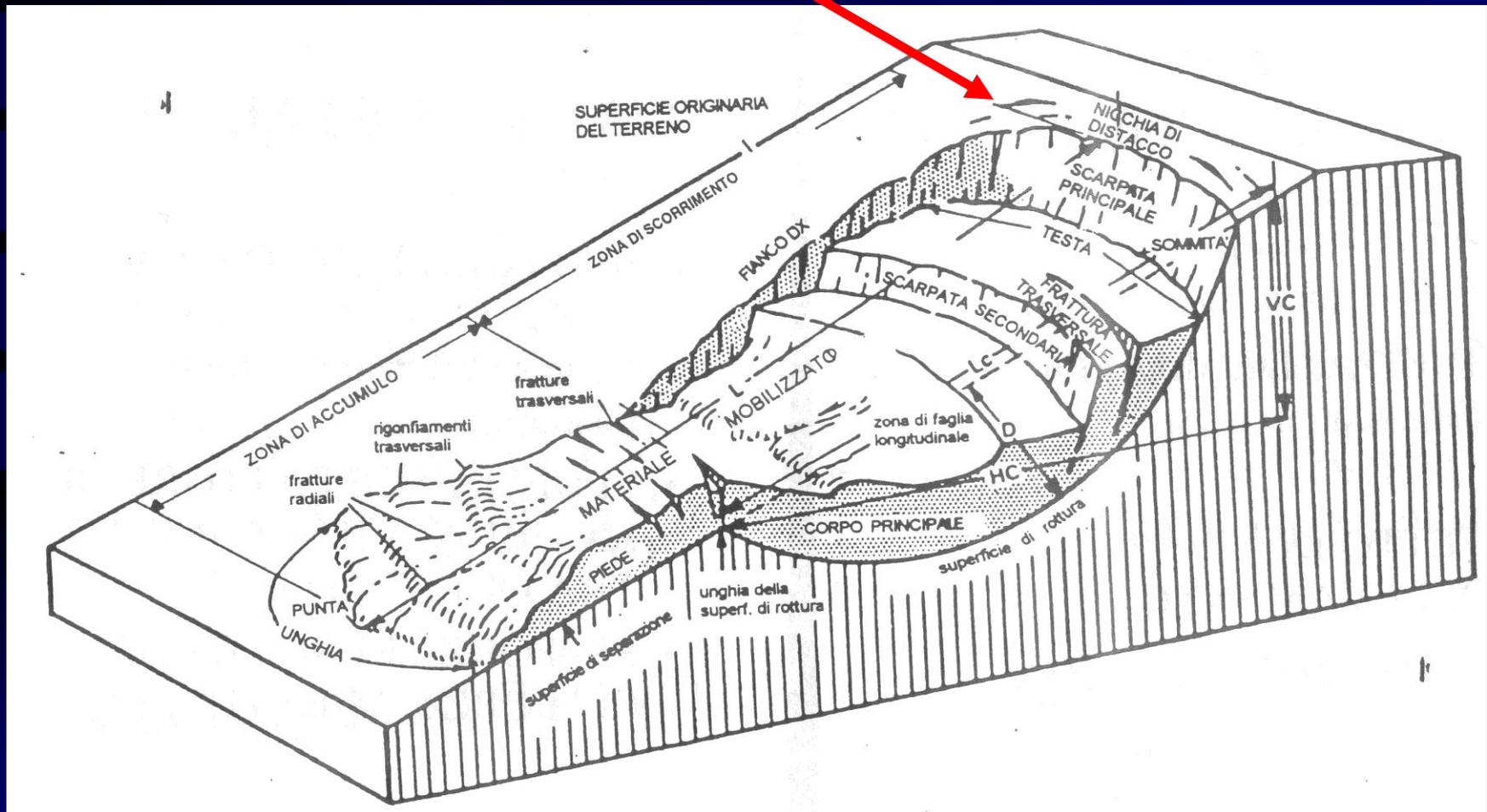
Frana del Vajont: 9 Ottobre 1963

Volume: 260 milioni di metri cubi



Parti principali di una frana:

Nicchia di distacco - zona del versante da cui ha avuto origine il distacco; è definita da una superficie generalmente molto ripida, con profilo arcuato che delimita a monte la zona di corona

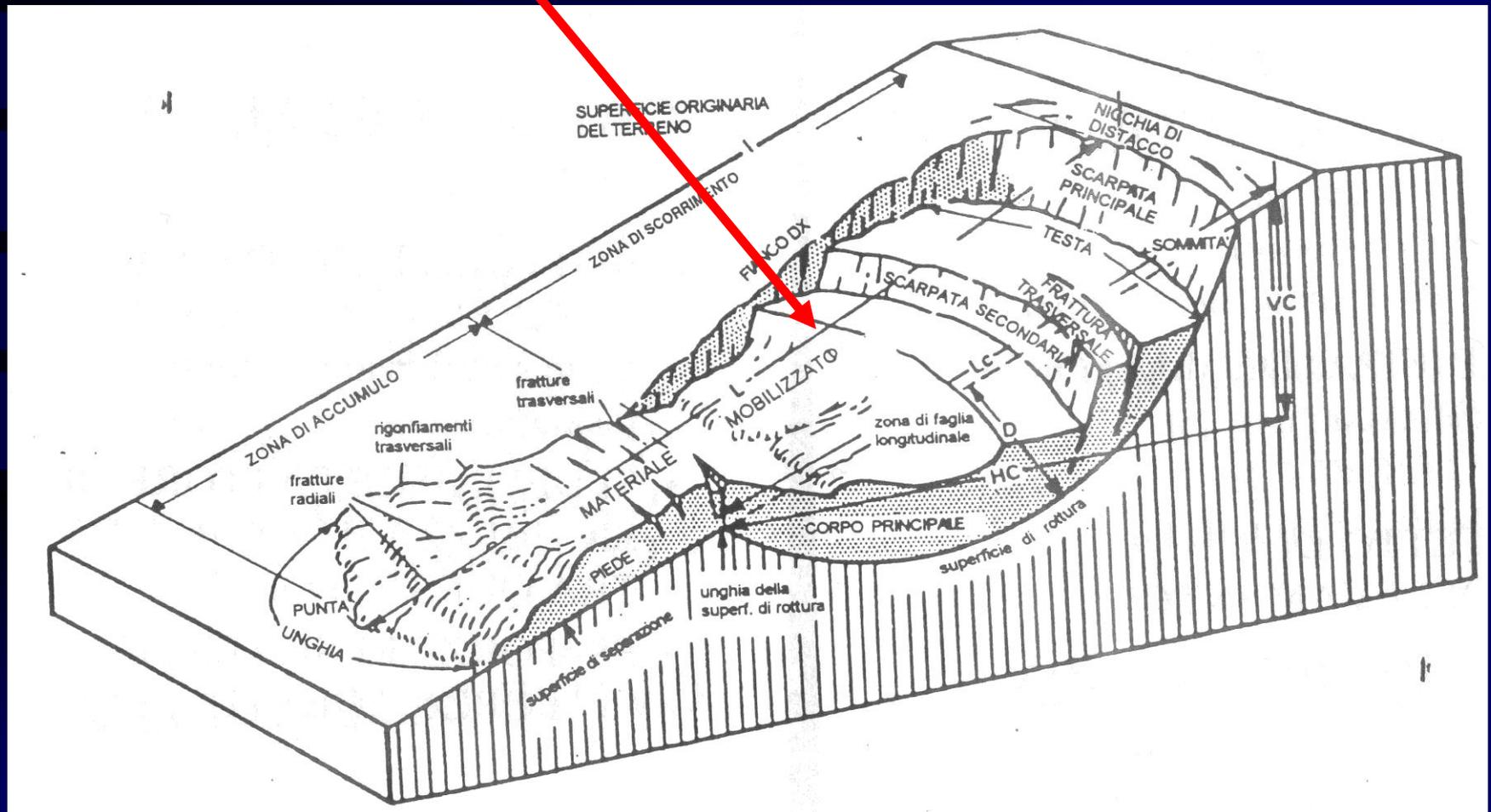


Nicchia di distacco

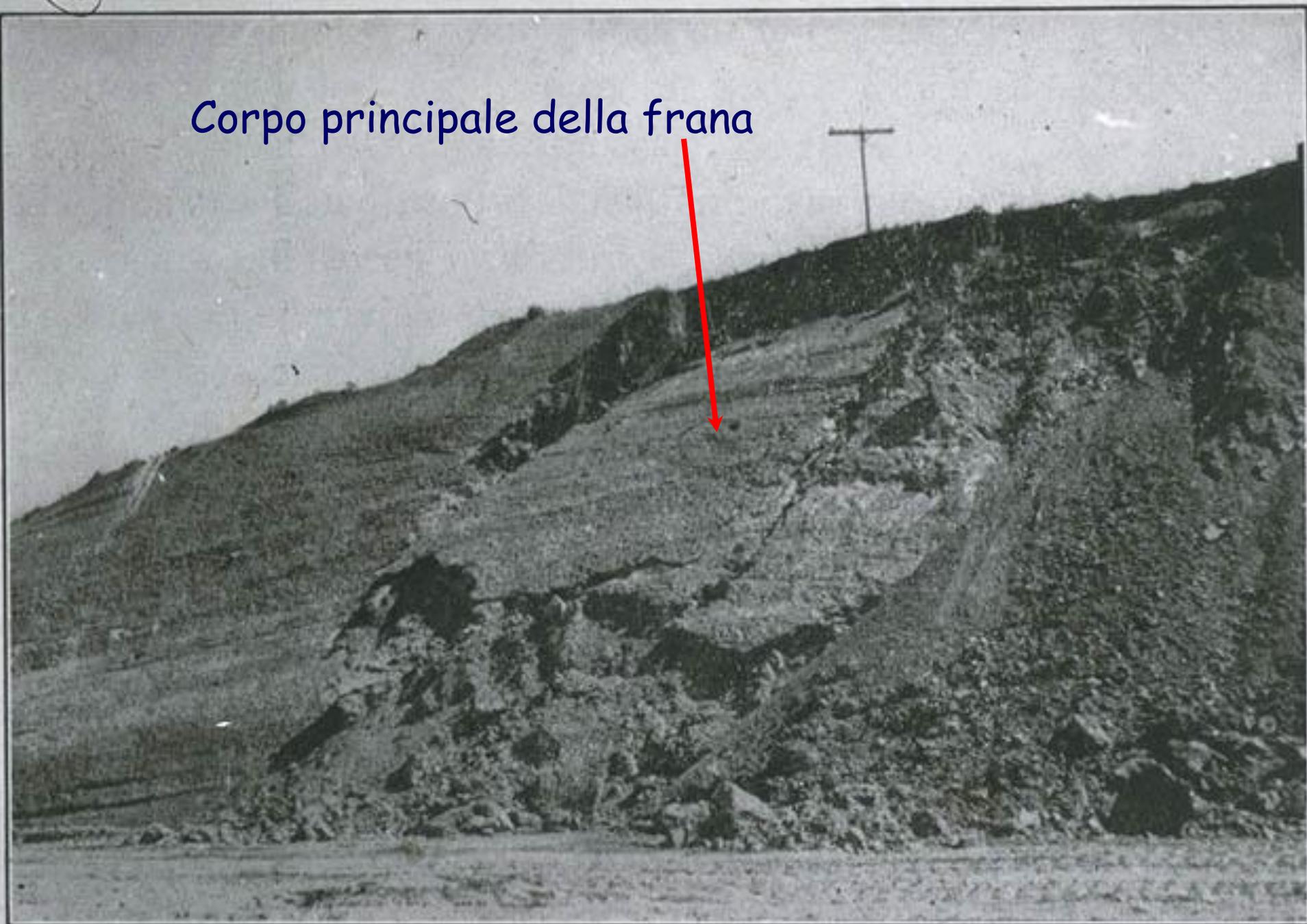


Parti principali di una frana

Corpo di frana - porzione del pendio che è franato o sta per franare.

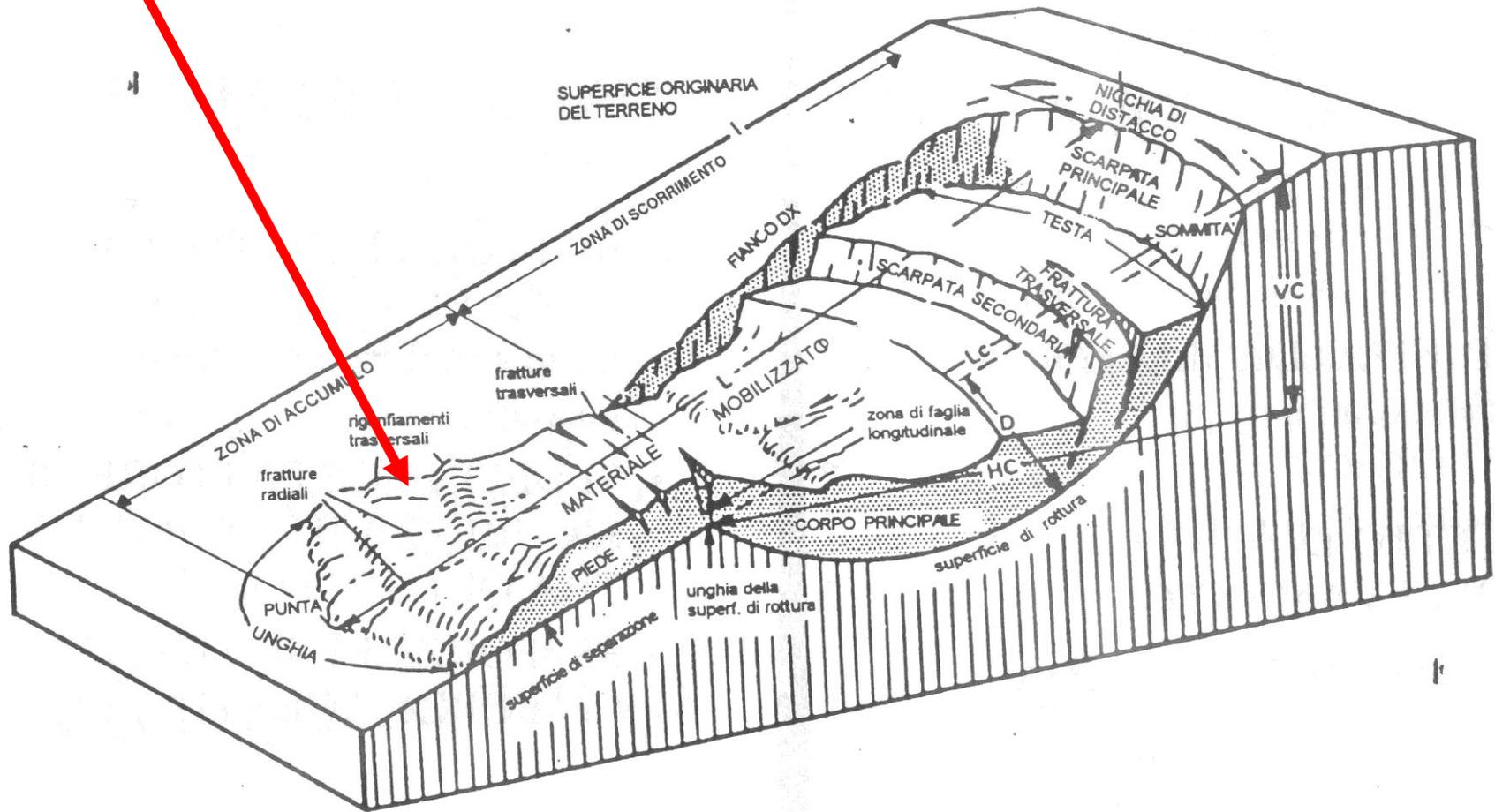


Corpo principale della frana



Parti principali di una frana

Accumulo di frana- detriti rocciosi o di materiale sciolto che, dopo aver percorso un tragitto più o meno lungo, si sono arrestati ammassandosi alla base del versante



Accumulo di frana



Nicchia di distacco



Corpo principale



Accumulo di frana



CLASSIFICAZIONE DELLE FRANE

Varnes 1978

TIPO DI MOVIMENTO		Tipo di materiale		
		Rocce	Terreni	
			grossolani	preval. fini
<u>Crolli</u>		di roccia	di detrito	di terra
<u>Ribaltamenti</u>		di roccia	di detrito	di terra
<u>Scorrimenti</u>	<u>rotazionali</u>	di roccia	di detrito	di terra
	<u>traslazionali</u>	di roccia	di detrito	di terra
<u>Espandimenti laterali</u>		di roccia	di detrito	di terra
<u>Colate</u>		di roccia	di detrito	di terra
<u>Frane complesse</u>		Combinazione di 2 o più tipi principali		

Esistono anche altre tipologie di frane che Varnes non tratta in modo esplicito:

- DGPV (deformazioni gravitative profonde di versante)
- Frane superficiali
- Sprofondamenti

Tipologie di frane più frequenti nel territorio provinciale lecchese

TIPO DI MOVIMENTO		Tipo di materiale		
		Rocce	Terreni	
			grossolani	preval. fini
<u>Crolli</u>		di roccia	di detrito	di terra
<u>Ribaltamenti</u>		di roccia	di detrito	di terra
<u>Scorrimenti</u>	<u>rotazionali</u>	di roccia	di detrito	di terra
	<u>traslazionali</u>	di roccia	di detrito	di terra
<u>Espandimenti laterali</u>		di roccia	di detrito	di terra
<u>Colate</u>		di roccia	di detrito	di terra
<u>Frane complesse</u>		Combinazione di 2 o più tipi principali		

CAUSE DI FRANAMENTO

- *Cause preparatorie o predisponenti* : fattori intrinseci di instabilità legati, essenzialmente, alle caratteristiche litologiche, strutturali, tessiturali, giaciture dei materiali costituenti il pendio.
- *Cause scatenanti* : agiscono su un pendio intrinsecamente "indebolito" e sono così definite perché innescano il movimento franoso (intense precipitazioni, attività sismica, ecc.).

CROLLI (fall)

MATERIALE COINVOLTO: **ROCCIA** (raramente detrito e terreni limoso sabbiosi parzialmente cementati)



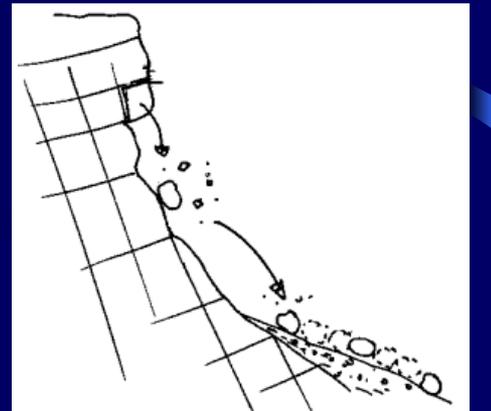
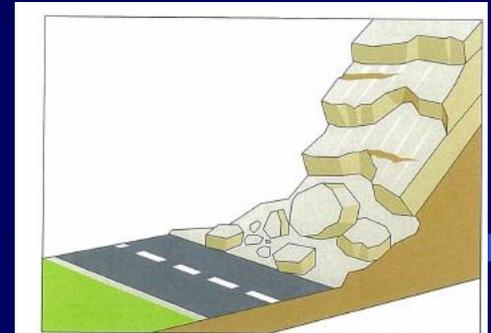
CROLLI

CINEMATISMO: distacco e caduta di una massa di materiale o di blocchi da un pendio molto ripido o da una scarpata (inclinazione non inferiore a 45°);

il materiale discende in caduta libera finché non raggiunge il versante; dopo l'impatto, il moto prosegue per rimbalzi e/o rotolamenti \Rightarrow cinematismo complesso.

La cinematica dell'evento è veloce (150-200 km/h) \Rightarrow **elevata pericolosità del fenomeno e notevole capacità distruttiva.**

Le traiettorie di caduta dipendono da molti fattori, quali la velocità iniziale, la forma, le dimensioni e la litologia del blocco; la geometria del pendio e le sue caratteristiche litologiche incidono sulla quantità di energia dissipata per effetto degli urti.



CROLLI

Si dividono in:

- Crolli primari -> distacco diretto da parete rocciosa
- Crolli secondari->distacco da impatto di corpi già in movimento a seguito della frammentazione degli stessi

Si distinguono:

- Caduta di singoli elementi di roccia (volume totale inferiore a 1000 mc)
- Crolli in massa (volume maggiore di 1000 mc)

CROLLI

- CAUSE PREDISPONENTI:

una parete verticale o molto inclinata e la presenza di numerose discontinuità che si intersecano sono le principali cause predisponenti. La presenza di riempimenti argillosi nelle discontinuità delle rocce che possono rigonfiare e quindi aumentare la pressione laterale può predisporre una parete al franamento così come l'erosione al piede e la conseguente formazione di una parete strapiombante

- CAUSE SCATENANTI:

- pressione idrostatica all'interno delle discontinuità
- crioclastesi (cicli di gelo-disgelo)
- bioclastesi (radici degli alberi)
- sforzi transitori sul terreno sia di origine naturale (terremoti, frane o vibrazioni) che antropici come esplosioni e traffico veicolare di vario genere
- scalzamento al piede (corsi d'acqua o piove)
- azione eolica



CROLLI

CARATTERI DIAGNOSTICI DI UNA FRANA DI CROLLO:

- **ZONA DI DISTACCO:**

- nicchia di distacco: parete rocciosa denudata, con presenza di fratture aperte e sistemi di discontinuità
- scarpata principale: generalmente verticale, denudata e non alterata; generalmente corrisponde a superfici di discontinuità o taglio
- fianchi: cunei di roccia denudata

- **ZONA DI ACCUMULO:**

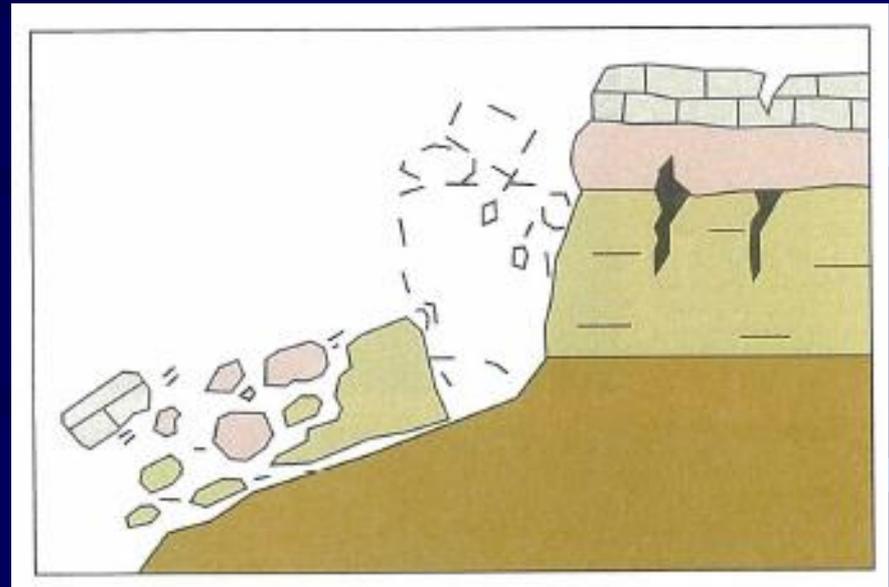
- testa: non ben definita
- corpo di frana: ha una superficie irregolare ed è costituito da detriti ed ammassi rocciosi frantumati, eventualmente arrotondati nelle fasi di rimbalzo e rotolamento



RIBALTAMENTI (Topple)

- MATERIALE COINVOLTO: **ROCCIA**
(raramente detrito)
- CINEMATISMO: rotazione di un blocco, di forma parallelepida allungata nella direzione dell'altezza, attorno a un punto o a un asse poiché la proiezione della forza peso cade al di fuori della base del blocco stesso.

Il ribaltamento può evolvere in un'altra tipologia di movimento, è spesso associato a crolli, scorrimenti e frammentazione delle masse coinvolte.



Ribaltamenti

Esistono diversi tipi di ribaltamento secondo il comportamento meccanico della roccia e delle superfici di discontinuità di cui è costituito l'ammasso.

- **Ribaltamento per flessione:** si sviluppa in ammassi rocciosi costituiti da materiale non particolarmente rigido come ad esempio in litotipi filladici, scistosi, argillitici, con fitte superfici di discontinuità
- **Ribaltamento a blocchi:** si sviluppa in ammassi rocciosi a comportamento rigido quali ad esempio calcari, basalti, e rocce intrusive dove le superfici di discontinuità si sviluppano con spaziature variabili dell'ordine dei decimetri
- **Ribaltamento misto a blocchi e per flessione:** si sviluppa in rocce a comportamento intermedio tra quelle citate o formate dall'alternanza di strati a diverso comportamento (rigido e duttile)
- **Ribaltamento a chevron:** ribaltamento a blocchi nel quale si forma una superficie di scorrimento piuttosto netta che produce un cambiamento di inclinazione della discontinuità che si trova al di sopra della superficie di scorrimento (i blocchi si flettono a franapoggio sopra la superficie di taglio)

RIBALTAMENTI



- CAUSE PREDISPONENTI: la giacitura delle famiglie di discontinuità che devono immergere dalla parte opposta del versante. L'erosione al piede, il peso delle colonne o lastre che poggiano le une sulle altre, l'apertura delle fratture.
- CAUSE SCATENANTI: pressione idrostatica all'interno delle discontinuità, crioclastesi (cicli di gelo-disgelo), bioclastesi (radici delle piante), scalzamento al piede (corsi d'acqua o moto ondoso). Sforzi transitori sul terreno sia di origine naturale che antropica

RIBALTAMENTI



CARATTERI DIAGNOSTICI DI UNA FRANA PER RIBALTAMENTO:

- **ZONA DI DISTACCO:**
 - nicchia di distacco: parete rocciosa denudata, con presenza di fratture aperte e sistemi di discontinuità prevalentemente verticali
 - scarpata principale: generalmente verticale, denudata e non alterata
 - fianchi: cunei di roccia denudata
- **ZONA DI ACCUMULO:**
 - testa: non ben definita
 - corpo di frana: è costituito da blocchi staccatisi e rovesciati dalla nicchia

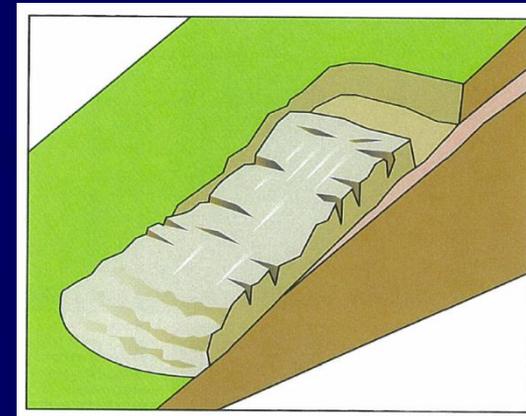
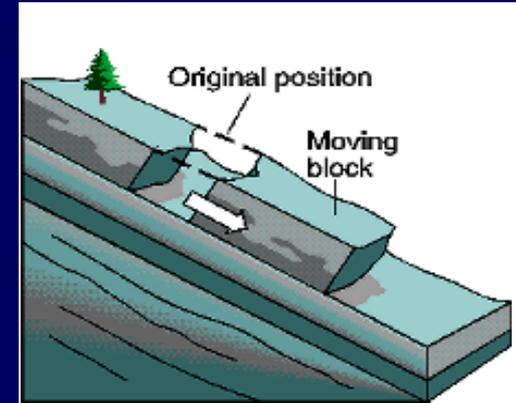
SCIVOLAMENTO TRASLAZIONALE (Slide)

- MATERIALE COINVOLTO: roccia, terreno non coesivo, detriti di versante

- CINEMATISMO: scorrimento di blocchi di roccia o di lame di terreno lungo una superficie planare, generalmente coincidente con un orizzonte di debolezza (fratture, giunti di strato, superfici di contatto tra materiale di copertura e substrato roccioso). La profondità della superficie di movimento è variabile da pochi metri a decine di metri. 2 metri è il limite di distinzione tra gli scivolamenti e i fenomeni superficiali. Le velocità sono variabili. Nel caso di grosse frane i movimenti sono lenti nel caso di frane di dimensioni contenute le velocità aumentano e possono essere anche molto elevate.

- CAUSE PREDISPONENTI: presenza di un livello di debolezza, con giacitura minore dell'inclinazione del pendio, elevata pendenza del versante

- CAUSE SCATENANTI: eventi meteorici intensi, sollecitazioni sismiche, scalzamento al piede (corsi d'acqua)



SCIIVOLAMENTO TRASLAZIONALE



SCIIVOLAMENTO TRASLAZIONALE



SCIIVOLAMENTO TRASLAZIONALE

<u>TERRENO</u>	<u>ROCCIA</u>
----------------	---------------

♦ **ZONA DI DISTACCO.** - nicchia di distacco:

fratture verticali che tendono a seguire l'andamento del pendio	roccia alterata con fratture
---	------------------------------

- scarpata principale:

<u>subverticale</u> nella parte <u>sommitale</u> , con inclinazione decrescente verso valle	a gradoni, a seconda dell'andamento delle discontinuità
---	---

- fianchi:

basse scarpate con fratture verticali divergenti verso valle	irregolari
--	------------

SCIIVOLAMENTO TRASLAZIONALE

<u>TERRENO</u>	<u>ROCCIA</u>
----------------	---------------

◆ **ZONA DI ACCUMULO:** - testa:

indisturbata, senza segni di rotazione	blocchi di roccia
--	-------------------

- corpo di frana:

composto da un'unica o poche parti, generalmente indisturbato	superficie rugosa con molti blocchi di roccia che mantengono l'orientazione originaria
---	--

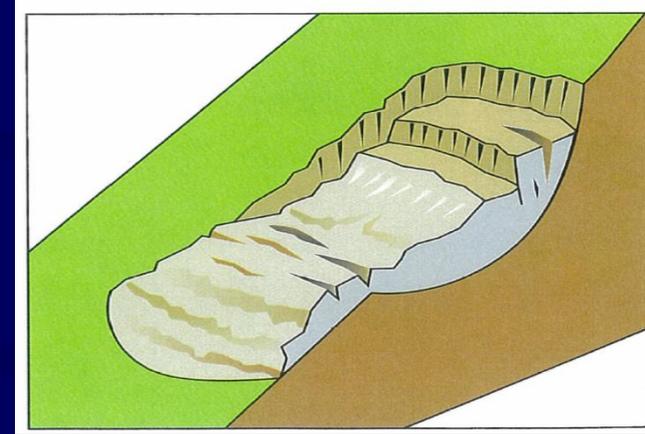
- piede:

assente	assente
---------	---------

- unghia:

superficie rugosa, sovrapposta alla superficie originaria	accumulo di frammenti di roccia
---	---------------------------------

SCIVOLAMENTO ROTAZIONALE



- MATERIALE COINVOLTO: terreno coesivo (\Rightarrow superficie di scivolamento circolare), rocce tenere (\Rightarrow superficie di scivolamento non circolare)
- CINEMATISMO: scorrimento di masse di terreno o roccia lungo una superficie curvilinea (concava verso l'alto). Si verifica spesso in seguito a rottura progressiva, che si propaga a partire dal piede del pendio. Si tratta di un cinematismo *autostabilizzante* (tende a raggiungere rapidamente una nuova condizione di equilibrio). La profondità della superficie di scorrimento è variabile da pochi a decine di metri.
- CAUSE PREDISPONENTI: presenza di un livello di debolezza
- CAUSE SCATENANTI: eventi meteorici intensi, sovraccarichi sulla sommità del pendio, sollecitazioni sismiche, scalzamento al piede (corsi d'acqua)

SCIIVOLAMENTO ROTAZIONALE

A seconda della posizione di emersione della superficie di scorrimento rispetto al versante si possono distinguere:

- Rotture circolari di pendio (la superficie emerge lungo il pendio)
- Rotture circolari di piede (la superficie emerge alla base del pendio)
- Rotture circolari di base (la superficie emerge oltre il pendio)