

Nuove tecnologie dell'agro-geo-ingegneria per
la prevenzione dei dissesti superficiali

Erosione e dissesti superficiali

Giovanni Calabresi

Ordinario f.r. di Geotecnica nella Facoltà d'Ingegneria dell'Università di
Roma "La Sapienza"

Orvieto 5 dicembre 2006

Osservazioni preliminari

Erosione e movimenti di massa dei pendii (*frane*) sono fenomeni distinti.

Erosione è la progressiva rimozione dalla superficie del suolo di strati di terreno, attraverso il distacco ed il trasporto di *singole particelle*, ad opera di vari agenti fisici: acqua, vento, ghiaccio.

Le *frane* consistono nel movimento verso valle di *porzioni di terreno* di varia forma e con diversi cinematismi, ad opera della gravità.

I due fenomeni hanno origine da fattori che in gran parte coincidono, ma sono governati da leggi diverse.

Sono i caratteri ambientali, geomorfologici, topografici e climatici dei siti e le caratteristiche geotecniche dei terreni che determinano natura e progressione dei fenomeni evolutivi della superficie del suolo.

Erosione

Nel nostro clima la pioggia è il principale agente dell'erosione di un pendio.

L'intensità della sua azione dipende da:

- intensità e durata delle precipitazioni, evoluzione termica
- caratteristiche del terreno, erodibilità intrinseca
- lunghezza e inclinazione del pendio
- vegetazione presente

L'acqua meteorica che perviene al suolo si suddivide in:

- evaporazione
- infiltrazione
- ruscellamento

Il valore di ciascuna frazione varia nel tempo e nello spazio e dipende da:

- natura e condizioni di umidità del terreno
- vegetazione
- pendenza e caratteristiche della superficie
- intensità e dalla durata della precipitazione
- temperatura e umidità dell'aria
- eventi meteorici precedenti

La pioggia erode il terreno con azioni diverse:

- energia cinetica delle gocce;
- trasporto superficiale di particelle del terreno;
- formazione di rivoli;
- formazione di solchi profondi;
- filtrazione.

Dall'inclinazione e dalla lunghezza del pendio dipendono la velocità e la quantità dell'acqua di ruscellamento e l'intensità dell'erosione.

L'erodibilità del terreno dipende da granulometria, materia organica, macrostruttura, permeabilità.

Nella granulometria incidono soprattutto le frazioni di limo (0.002 - 0.06 mm) e di sabbia (0.06 - 2.0 mm).

Il ruolo della vegetazione nella protezione dei pendii dall'erosione è stato a lungo studiato ed è documentato da ricerche sperimentali.

Gli effetti sul controllo dell'erosione prodotta dalle piogge dipendono dal tipo di vegetazione, in particolare se arborea o erbacea, ma in generale sono:

- assorbimento di una parte dell'energia cinetica delle gocce
- aumento della perdita per evaporazione
- aumento della permeabilità del terreno
- rallentamento del ruscellamento
- ritardo nella saturazione del terreno
- contenimento, filtro e contrasto del trascinamento dei granuli

Gli effetti della vegetazione arborea sono stati più studiati di quelli dell'inerbimento.

Il contenimento dell'erosione prodotto dalle radici delle erbe comuni per contenimento, filtro e contrasto del trascinamento dei granuli è infatti limitato ad una profondità di pochi decimetri.

Inoltre questi effetti si perdono per l'essiccamento estivo dovuto alla scarsa profondità delle radici delle erbe comuni.

Le ricerche degli anni recenti sulle tecniche di protezione dei pendii dall'erosione mediante l'impianto di una vegetazione selezionata hanno prodotto risultati molto positivi.

Frane

Le frane di detrito (*debris*) e di terra (*soil*) avvengono per scorrimento lungo superfici di varia forma e con cinematismi diversi. La superficie di scorrimento può essere curva o approssimativamente piana, vicina al profilo del pendio o molto profonda.

Lo scorrimento avviene se e quando lungo una potenziale superficie di scorrimento lo sforzo necessario a mantenere l'equilibrio della massa sovrastante raggiunge la resistenza del terreno.

La classificazione delle frane con riferimento alle condizioni ambientali italiane proposta nel 1985 (*Carrara, D'Elia, Semenza*), con riferimento a quella di *Varnes* (1958, 1978), è utile per inquadrare i problemi.

TIPO DI MOVIMENTO (PREVALENTE)	TIPO DI MATERIALE (PRIMA DEL MOVIMENTO)*			
	AMMASSO ROCCIOSO (BEDROCK)	PREVALENTEMENTE GROSSOLANO (GRITTY DEBRIS)	TERRENO SCIOLTO (ENGINEERING SOILS)	TERRA (EARTH)
I - CROLLI (FALLS) La massa si muove prevalentemente nell'aria. Il fenomeno comprende la caduta libera, il movimento a salti e i crolli, e il rotolamento di frammenti di roccia o di terreno sciolto.	1 CROLLO DI ROCCIA (ROCK FALL) Estremamente rapido.	1 CROLLO DI DETRITO (DEBRIS FALL)	1 CROLLO DI TERRA (EARTH FALL)	
II - RIBALTIMENTI (TOPPLES) Movimento dovuto a forze che causano un momento (balzano) attorno ad un punto di rotazione situato al di sotto del baricentro della massa interessata. Qualora il fenomeno non sia frenato può evolvere in un crollo o in uno scorrimento.	2 RIBALTAMENTO DI ROCCIA (ROCK TOPPLE)	2 RIBALTAMENTO DI DETRITO (DEBRIS TOPPLE)	2 RIBALTAMENTO DI TERRA (EARTH TOPPLE)	
III - SCORRI- MENTI (o SCIVOLA- MENTI) (SLIDES) Il movimento comporta uno spostamento per taglio lungo una o più superfici, oppure entro un elevatissimo strato sottile. Queste superfici di scorrimento sono visibili o possono essere facilmente riconoscibili. A. ROTAZIONALI (o SCOSCENDIMENTI) (ROTATIONAL) Il movimento si verifica in prevalenza lungo una superficie più o meno piana o debolmente ondulata, corrispondente tipicamente a discontinuità strutturali, quali tagli, piani di fratturazione o di stratificazione, o passaggio fra strati di diversa composizione litologica, o contatto tra roccia in posto e detrito sovrastante. B. TRASLATIVI (o SCIVOLAMENTI p.d.) (TRANSLATIONAL) Il movimento si verifica in prevalenza lungo una superficie più o meno piana o debolmente ondulata, corrispondente tipicamente a discontinuità strutturali, quali tagli, piani di fratturazione o di stratificazione, o passaggio fra strati di diversa composizione litologica, o contatto tra roccia in posto e detrito sovrastante.	3 SCORRIMENTO ROTAZIONALE DI ROCCIA (o SCOSCENDIMENTO ROTAZIONALE DI ROCCIA, o SCOSCENDIMENTO DI ROCCIA) (ROCK SLUMP) Da estremamente lento a moderato.	3 SCORRIMENTO ROTAZIONALE DI DETRITO (o SCOSCENDIMENTO DI DETRITO) (DEBRIS SLUMP)	3 SCORRIMENTO ROTAZIONALE DI TERRA (o SCOSCENDIMENTO ROTAZIONALE DI TERRA, o SCOSCENDIMENTO DI TERRA) (EARTH SLUMP)	
	4 SCORRIMENTO TRASLATIVO DI ROCCIA IN BLOCCO (o SCIVOLAMENTO DI ROCCIA IN BLOCCO) (ROCK BLOCK SLIDE) 4 SCORRIMENTO TRASLATIVO DI BLOCCHI (o SCIVOLAMENTO DI BLOCCHI) (BLOCK SLIDE)	4 SCORRIMENTO TRASLATIVO DI DETRITO (o SCIVOLAMENTO DI DETRITO) (DEBRIS BLOCK SLIDE) Da molto lento a rapido.	4 SCORRIMENTO TRASLATIVO DI TERRA IN BLOCCO (o SCIVOLAMENTO DI TERRA IN BLOCCO) (EARTH BLOCK SLIDE) (Hansen, 1968)	
IV - ESPANSIONI LATERALI (LATERAL SPREADS) Movimenti di espansione laterale, diffusi in una massa fratturata che si verificano nei casi seguenti: A. non si riconosca né una superficie basale di scorrimento, né una zona di deformazioni plastiche ben definite (prevalentemente in rocce). B. l'espansione laterale della roccia o del terreno sciolto è dovuta alla liquefazione o alle deformazioni plastiche del materiale sottostante.	5 FRANA PER ESPANSIONE LATERALE DI TERRA (tipi B) (EARTH LATERAL SPREAD) Molto rapida.			
V - COLAMENTI (FLOWS) A. IN AMMASSI ROCCIOSI (o IN BEDROCK) Il fenomeno comprende deformazioni spaziamento continue e crepe, sia superficiali che profonde. Esso comporta movimenti differenziali, che sono estremamente lenti e generalmente non accelerati, fra unità che rimangono relativamente inerte. I movimenti possono: 1) avvenire lungo più superfici di taglio che apparentemente non sono collegate; 2) provocare piegamenti o rigonfiamenti; oppure 3) rigonfiare approssimativamente simili, nella distribuzione delle velocità, ai movimenti di tipo fluidi viscosi. B. IN TERRENI SCIOLTI (o IN SOIL) Il fenomeno si esplica con movimenti entro la massa spostata, tali, per cui o la forma assunta dal materiale in movimento o la distribuzione apparente delle velocità e degli spostamenti, sono simili a quelle dei fluidi viscosi. Le superfici di scorrimento nella massa che si muove non sono generalmente visibili, oppure hanno breve durata. Il limite tra la massa in movimento e il materiale in posto può essere una superficie netta di movimento differenziale, oppure una zona di scorrimenti distribuiti. Il movimento varia da estremamente rapido a estremamente lento.	6 COLATA DI DETRITO (DEBRIS FLOW) Molto rapida.	6 COLATA DI DETRITO (DEBRIS FLOW) Molto rapida.	6 COLATA VELOCE DI TERRA (EARTH FLOW) Molto rapida (Hague, 1938)	
VI - COMPLESSI (COMPLEX) Il movimento risulta dalla combinazione di due o più dei cinque tipi principali sopra descritti. Molte frane sono complesse, ma generalmente un tipo di movimento predomina, spostamento o temporaneamente, sugli altri.	7 COLATA DI BARRA SATURA (OFTEN SAND OR SILT FLOWS) Da rapida a molto rapida.	7 COLATA DI BARRA ASCIUTTA (DRY SAND FLOW) Da rapida a molto rapida.	7 COLATA DI LOESS (LOESS FLOW) Accelerata, provocata da terremoti; estremamente rapida; anche onnicolora e bigliata.	7 COLATA DI TERRA (EARTH FLOW) Da lentissima a rapida (Chamberlain & Weaver, 1956)

TAV. 1
TIPOLOGIA DEI MOVIMENTI DI VERSANTE
(TYPES OF SLOPE MOVEMENTS)

Lievemento modificata, da David J. Varnes, Slope Movement Types and Processes, in: Landslide: Analysis and Control, Transportation Research Board, National Academy of Sciences, Special Report 176, Chicago, 1978.

Copia di questa tavola possono essere ordinate presso l'Ufficio di Geologia Applicata e Geotecnica dell'Università, via Po 24, 00198 Roma, oppure all'Ufficio di Geologia dell'Università, C. Ugoletti 1, 00146 Firenze. Ciascuna tavola originale stampata separatamente costa Lit. 2.100 (Costituzione Italiana, N. W., Washington, D.C. 20548, allegando il prezzo di 2 righe copiate).



NOMENCLATURA

SCARPATA PRINCIPALE (MAIN SCARP) - Superficie generalmente epica, che delimita l'area quasi indurata circostante la parte sommitale della frana, provocata dall'allontanamento del materiale di frana da quello non scostato. Questa è il suo prolungamento di sotto del materiale spostato costituendo la superficie di rottura.

SCARPATA SECONDARIA (MINOR SCARP) - Ripida superficie che incassa il materiale spostato, prodotta da movimenti differenziali all'interno della massa di frana.

TESTATA (HEAD) - La parte più alta del materiale di frana; lungo il limite tra il materiale spostato e la scarpata principale.

PUNTO SOMMITALE (TOP) - Il punto più alto del limite di materiale spostato e la scarpata principale.

MARGINE INFERIORE DELLA SUPERFICIE DI ROTTURA (TOE OF SURFACE OF RUPTURE) - Il limite (spesso sempre inclinato) tra la parte inferiore della superficie di rottura e la superficie originale del versante.

LINEA DI COLLA (PINKA, TOE) - Il margine del materiale spostato, situato alla maggior distanza dalla scarpata principale.

PUNTO INFERIORE (TOE) - Il punto dell'angolo situato a maggior distanza dal punto sommitale della frana.

PIEDE (FOOT) - Qualora parte del materiale spostato che si trova a valle del margine inferiore della superficie di rottura.

CORPO PRINCIPALE (MAIN BODY) - Quella parte del materiale spostato che ricopre la superficie di rottura, tra la scarpata principale e il margine inferiore della superficie di rottura.

FRANCO (FLANK) - Lato della frana.

CONRONAMENTO (CROWN) - Il materiale rimasto in posto, e quasi indurato, adiacente alle parti più alte della scarpata principale.

SUPERFICIE ORIGINARIA DEL VERSANTE (ORIGINAL GROUND SURFACE) - La superficie del versante che si estende prima che avvenisse il movimento frangente preso in esame. Che possa essere preceduta da altre superfici è rilevabile ad un precedente fenomeno frangente.

SUPERFICIE DI SEPARAZIONE (SURFACE OF SEPARATION) - Termine generale per indicare la superficie che separa il materiale spostato dal materiale in posto, dopo il verificarsi del fatto che lungo di essa vi sia o non vi sia stata rottura.

MATERIALE SPOSTATO, O FRANTO (DISPLACED MATERIAL) - Il materiale che è allontanato dalla sua posizione originale nel versante. Può essere deformato o non deformato.

ZONA DI DISTACCO (ZONE OF DEPLETION) - L'area entro la quale il materiale spostato si trova a quota inferiore a quella della superficie originale del versante.

ZONA DI ACCUMULO (ZONE OF ACCUMULATION) - L'area entro la quale il materiale spostato si trova a quota superiore a quella della superficie originale del versante.

GINETTIVA E DESTRA (LEFT/RIGHT) - Nella descrizione di un corpo frangente il meglio usare le direzioni orientate con le bussola, quando si adoperino i termini «destra» o «sinistra», quindi nominare riferiti a chi guarda la superficie di rottura.

VC - Componente verticale di Lc.

HC - Componente orizzontale di Lc.

D - Massimo spessore del corpo di frana, all'inizio del movimento.

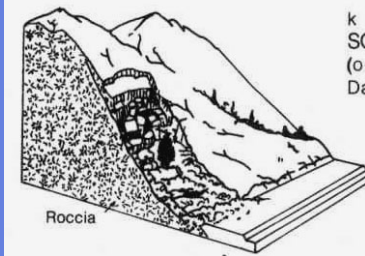
L - Lunghezza totale dell'area interessata dal movimento frangente.

Scala della velocità dei movimenti

10 ⁰	Estremamente lento
10 ¹	10 tra - 3 m/s
10 ²	Molto rapido
10 ³	10 m/s - 0,3 m/min.
10 ⁴	10 ³ m/s - 1,5 m/giorno
10 ⁵	Molto rapido
10 ⁶	10 m/s - 1,5 m/min.
10 ⁷	Molto rapido
10 ⁸	Molto rapido
10 ⁹	10 ⁸ m/s - 1,0 m/min.
10 ¹⁰	Estremamente rapido

Quasi tutte le colate lente di terreni soffici coerenzi sono complesse, in quanto lungo i fianchi e la superficie basale è presente una netta superficie di taglio, mentre la distribuzione delle velocità entro il materiale spostato può essere tipica delle deformazioni viscosi.

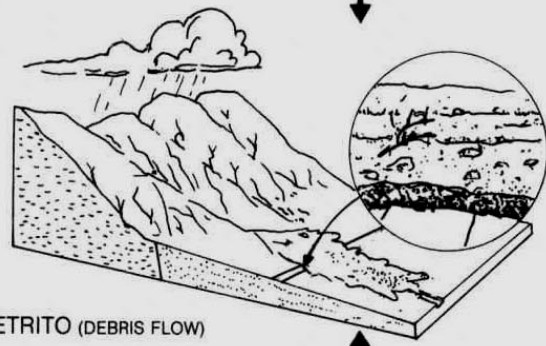
Frane di detriti



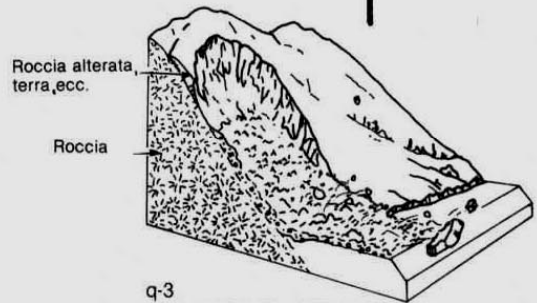
k
SCORRIMENTO TRASLATIVO DI DETRITO
(o SCIVOLAMENTO DI DETRITO) (DEBRIS SLIDE)
Da molto lento a rapido

B

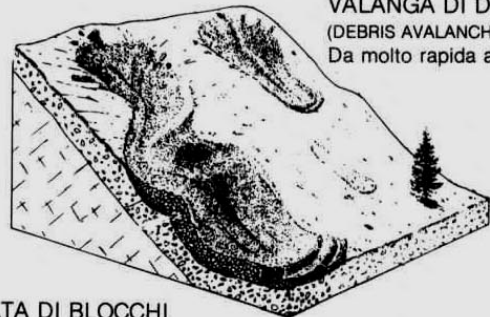
q COLATE D SATURC



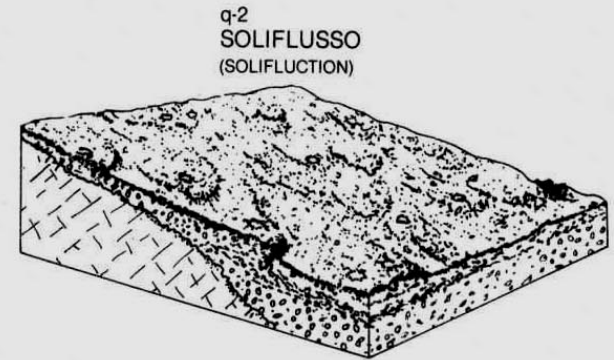
q-1
COLATA DI DETRITO (DEBRIS FLOW)
Molto rapida



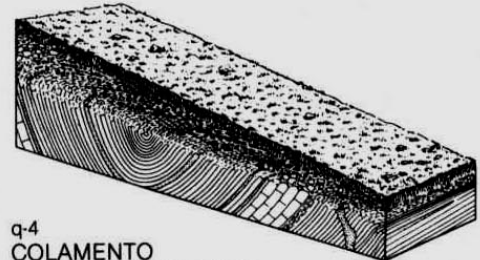
q-3
VALANGA DI DETRITO
(DEBRIS AVALANCHE)
Da molto rapida a estremamente rapida



q-5
COLATA DI BLOCCHI
(BLOCK STREAM)



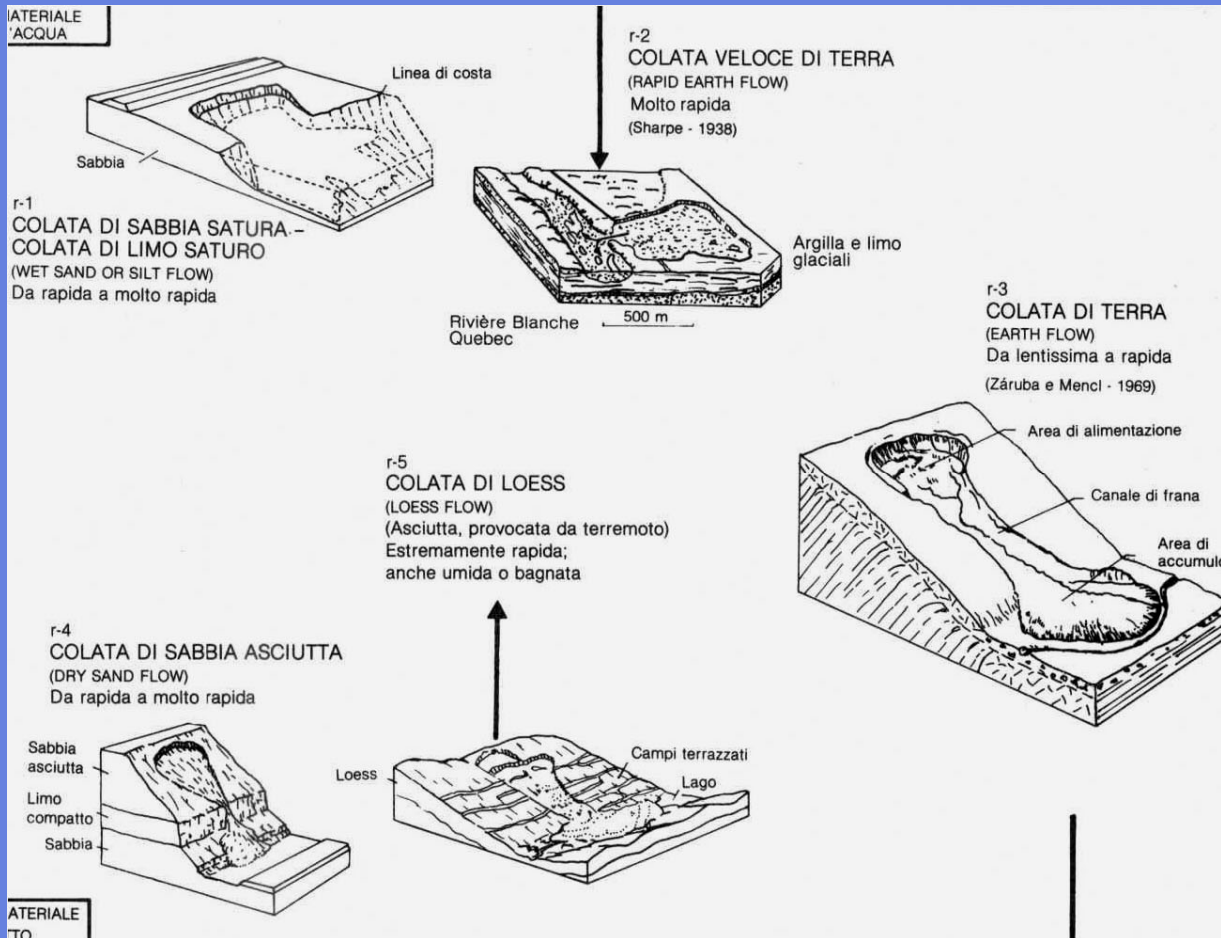
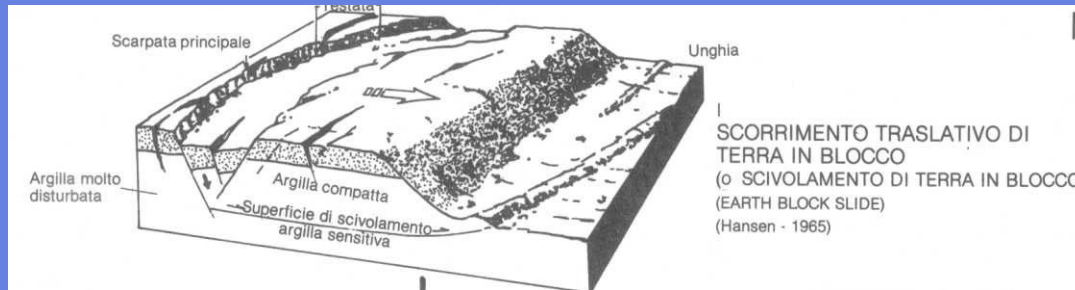
q-2
SOLIFLUSSO
(SOLIFLUCTION)



q-4
COLAMENTO
SUPERFICIALE LENTO
(SOIL CREEP)
Estremamente lento

COLATE D ASC

Frane di terra



ATERIALE
TO

La vegetazione è uno dei fattori che influenzano l'equilibrio di un pendio e la sua suscettibilità al franamento.

Gli effetti della vegetazione sulle condizioni di equilibrio dei pendii sono:

- aumento dell'evaporazione delle precipitazioni
- conferimento di resistenza attraverso gli apparati radicali
- diminuzione dell'infiltrazione
- diminuzione del grado di saturazione del terreno
- diminuzione della pressione interstiziale

La resistenza delle terre dipende solo dalla *tensione efficace* (*principio delle tensioni efficaci*)

Definizioni

tensione totale

$$\sigma = N/a$$

pressione interstiziale o neutra

$$u$$

tensione efficace

$$\sigma' = \sigma - u$$

resistenza al taglio

$$\tau_f = c' + \sigma' \tan \varphi' = c' + (\sigma - u) \tan \varphi'$$

Fattore di sicurezza di un pendio

$$F = \frac{\int \tau_f \, dl}{\int \tau \, dl} = \frac{\int [c' + (\sigma - u) \tan \varphi'] \, dl}{\int \tau \, dl}$$

Questa relazione spiega la grande influenza della pressione interstiziale **u** sulla stabilità dei pendii.

STRATEGIE DI INTERVENTO PER LA MITIGAZIONE DEL RISCHIO DI FRANA

Linee Guida redatte col finanziamento del Ministero dell'Università e della Ricerca

INDICE

1. Premessa
2. Meccanismi e classificazione dei movimenti di versante; rischio di frana (L. Picarelli)
3. Ambienti geologici principali e franosità in Italia (F. Esu)
4. Metodologie di indagine e monitoraggio (G. Calabresi, A. Sciotti)
5. Valutazione delle condizioni di sicurezza e strategie di gestione del territorio (L. Picarelli, G. Urciuoli)
6. Mitigazione del rischio di frana (A. Evangelista, A. Pellegrino e G. Urciuoli)

Conclusioni

La vegetazione ha sempre un effetto positivo nella protezione dall'erosione dei pendii in terra ed in detriti.

L'impiego di piantagioni erbacee speciali, dotate di apparati radicali molto lunghi, per protezione di scarpate dall'erosione è molto recente ed è oggi oggetto di studio e di ricerca: le prime esperienze hanno dato finora risultati molto incoraggianti.

L'inerbimento può avere una influenza positiva sull'equilibrio locale di pendii in terra, o detriti, soggetti a fenomeni di instabilità di tipo scivolamento o colamento (*translational slides, flows*), nel caso di superfici potenziali di scorrimento a piccola profondità, soprattutto indirettamente per riduzione del grado di saturazione, dell'infiltrazione e della pressione interstiziale nel terreno.