

PIER GIORGIO NICOLETTI (*) & MARINO SORRISO-VALVO (*)

STIMA DELLA PERICOLOSITÀ DI UN POSSIBILE ROCKSLIDE-DEBRIS FLOW INCOMBENTE SU PLATÌ (REGGIO CALABRIA)

ABSTRACT: NICOLETTI P.G. & SORRISO-VALVO M., *Estimate of the risk induced by a possible rockslide-debris flow overhanging Platì (Southern Calabria, Italy)* (IT ISSN 0084-8948, 1987).

This paper deals with the prediction of the possible reach of a 40×10^6 m³ rockslide-debris flow which could get detached from a mountain side in the Aspromonte Range (South. Calabria, Italy) and move downwards at high speed for a unknown but presumably long distance.

The village of Platì lies along the possible path of the landslide, 2.9 to 3.5 km from the top of the breakaway scar. Obviously, it would be of utmost importance to establish whether or not it is within the reach of the landslide.

Four simple mathematical models available from the literature (SCHEIDEGGER, 1973; HSÜ, 1975; DAVIES, 1982; LI TIANCHI, 1983) are employed in the attempt of making such a prediction. The results nearly agree in indicating that the quick-moving debris can reach the village.

As far as we know it is the first time that these models are practically used.

Since the geo-environmental conditions are favourable to the development of rockslide-debris flows (similar phenomena took already place in the area) it would be advisable to undertake a campaign of monitoring.

RIASSUNTO: NICOLETTI P.G. & SORRISO-VALVO M., *Stima della pericolosità di un possibile rockslide-debris flow incombente su Platì (Reggio Calabria)* (IT ISSN 0084-8948, 1987).

L'evidenza morfologica indica che da un versante soggetto a *Sackung* in Aspromonte (Calabria) potrebbe generarsi un *rockslide-debris flow*, che è un tipo di frana molto pericoloso per la sua velocità e capacità di coprire grandi distanze. Il sito in cui sorge il comune di Platì (RC) si trova lungo il potenziale percorso del detrito in rapido movimento, circa 3 km a valle del *Sackung*. È ovviamente di vitale importanza stabilire se il centro abitato potrebbe essere investito. Quattro semplici modelli matematici, già noti in letteratura (SCHEIDEGGER, 1973; HSÜ, 1975; DAVIES, 1982; LI TIANCHI, 1983), vengono impiegati nel tentativo prevedere quanto lontano la frana potrà spingersi. I risultati indicano quasi concordemente che il detrito roccioso potrebbe investire in tutto o in parte l'abitato di Platì.

TERMINI CHIAVE: Geomorfologia, frana, danni da catastrofe, modello matematico, Calabria.

INTRODUZIONE

Decine o centinaia di milioni di metri cubi di detrito roccioso che muovano per chilometri lungo pendii anche debolmente inclinati, e con velocità di alcune decine di metri al secondo, costituiscono sicuramente una forma tra le più grandiose di movimento in massa. Le centinaia di vittime di Elm (HEIM, 1882a), Goldau (HEIM, 1882b), Mayunmarca (KOJAN & HUTCHINSON, 1978) e le migliaia di Yungay e Ranrahirca (PLAFKER & ERICKSEN, 1978) non dovrebbero lasciare alcun dubbio circa il fatto che ne siano anche una forma tra le più pericolose.

Rockslide- e rockfall-debris flow (VARNES, 1978), *rock avalanche* (HOWARD, 1973; MCSAVENEY, 1978), *sturzstrom* (HSÜ, 1975) sono alcuni dei termini, più o meno sinonimi, impiegati o suggeriti per designare questa classe di fenomeni; in questo lavoro ci uniformeremo alla classificazione di VARNES, (1978).

Scenario di queste frane sono sempre le catene montuose di recente orogenesi. In queste parti della superficie della Terra operano infatti congiuntamente e spesso con grandissima efficacia tutti i fattori che governano il movimento in massa.

Nel 1973 una frana di questo tipo si è prodotta in Aspromonte (GUERRICCHIO & MELIDORO, 1973) e indagini successive hanno evidenziato l'esistenza in Calabria di numerosi altri casi già occorsi (SORRISO-VALVO, rilievi inediti). Inoltre, circa 3 km a monte di Platì (RC) vi è un versante attualmente coinvolto in un vistoso fenomeno di *Sackung* (SORRISO-VALVO, 1984b) ed è noto che l'evoluzione di questo tipo di deformazione può condurre alla generazione di *rockslide-debris flow* (RADBRUCH-HALL, 1978; DRAMIS & alii, 1983) (fig. 1).

Sebbene in un certo senso ciò esuli dal tema del presente lavoro, è il caso di ricordare che non c'è ancora accordo circa la dinamica di questo tipo di *debris flow* tra gli Autori che se ne sono occupati ed hanno tentato di giungere alla sua comprensione. In particolare, per quanto interessa qui, la capacità mostrata da queste frane di coprire ad alta velocità percorsi dell'ordine dei chilometri sfugge a spiegazioni basate su leggi fisiche semplici.

(*) CNR-IRPI, Via Verdi 1, 87030 Rogos di Rende (CS).

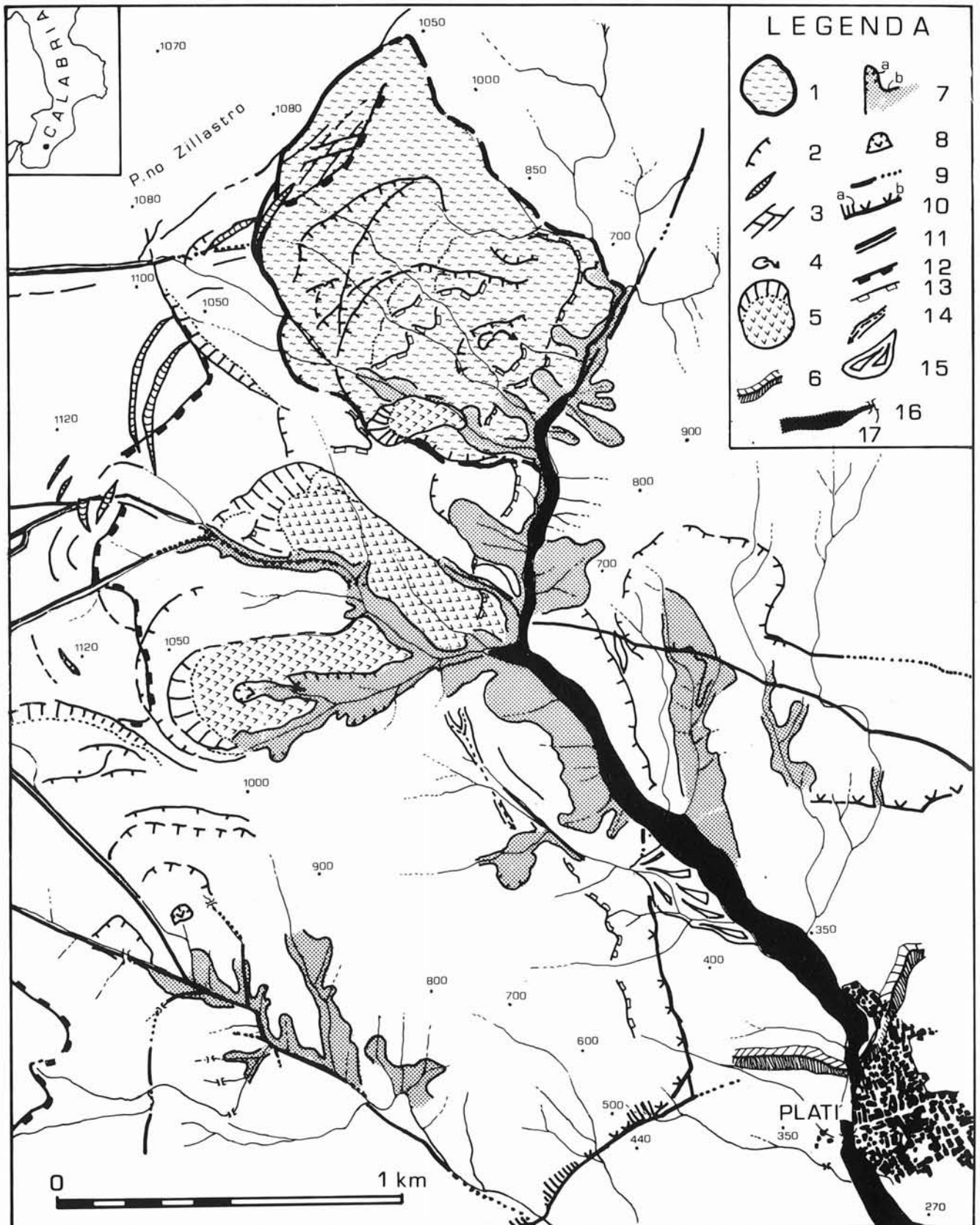


FIG. 1 - Schema morfologico della zona interessata dal Sackung di Platì: 1) Sackung; 2a) scarpate; 2b) scarpate da *creep* (*trench*); 3) reticolo di gradini corrispondenti a fratture; 4) depressione drenata; 5) frana di scorrimento, antica; 6) cresta rocciosa; 7) zona di intensa erosione, 7a) con fenomeni franosi, 7b) con margine di espansione; 8) frana di tipo scorrimento, recente; 9) faglia; 10) base della scarpata, 10a) faglia con liscione, 10b) faglia; 11) scarpata di faglia secondaria; 12) margine della spianata d'erosione dei «Piani»; 13) rottura di pendenza (convessa); 14) alveo relitto; 15) conoide; 16) letto della Fiumara di Platì; 17) ponte.

Il Sackung è probabilmente più esteso della zona mostrata in figura, come suggerito dalla presenza di *trench* in prossimità del margine della spianata di erosione e, sul versante, di antichi corpi e corone di frana. Si è però preferito indicare come Sackung solo la zona in cui coesistono ulteriori elementi morfologici indicatori di un più elevato grado di evoluzione del fenomeno.

Tutta la zona, con l'esclusione delle aree dove affiora il substrato roccioso e di gran parte del Piano Zillastro, è soggetta al *creep* superficiale del grolite.

In questo articolo definiremo *elongazione* il percorso planimetrico dei *debris flow*, intendendo con ciò la distanza orizzontale, misurata lungo il percorso della frana, tra il punto più elevato della scarpata e l'estremità dell'unghia. È la dimensione di volta in volta denominata *reach* o *travel distance* o in altro modo ancora dagli Autori di lingua inglese.

Vari Autori hanno elaborato modelli matematici volti a prevedere l'elongazione di un *rockslide-debris flow* previa stima del suo volume e della differenza di quota tra il punto più elevato della scarpata e l'estremità dell'unghia. In particolare SCHEIDEGGER (1973) e LI TIANCHI (1983) hanno presentato modelli di tipo probabilistico mentre HSÜ (1975) e DAVIES (1982) hanno proposto modelli probabilistico-deterministici.

A fronte dei tentativi per realizzare modelli previsionali si pone, per quanto a nostra conoscenza, una pressoché assoluta mancanza di tentativi di impiego degli stessi *a priori*. La sola eccezione sembra essere un'applicazione del modello di SCHEIDEGGER (1973) al *Sackung* di Platì, contenuta in un lavoro di SORRISO-VALVO (1984a). In tale articolo, dedicato prevalentemente ad altro argomento, la potenziale pericolosità del sito veniva per la prima volta evidenziata e brevemente discussa. Data la delicatezza e l'importanza della questione abbiamo ritenuto opportuno spingere più a fondo l'analisi.

Il *Sackung* di Platì, l'elongazione del *rockslide-debris flow* che potrebbe derivarne ed il rischio che esso costituirebbe per il sottostante centro abitato formano l'argomento di questa nota. Tre dei quattro modelli di cui ci siamo valse indicano che Platì può essere raggiunto dalla frana che derivi dal collasso del vicino versante.

GEOLOGIA E MORFOLOGIA DELL'AREA

Nell'area di studio (fig. 1) affiorano estesamente le metamorfite di medio ed alto grado e le rocce granitiche dell'Unità di Stilo su cui giacciono in trasgressione i conglomerati e le arenarie del *Flysch* di Capo d'Orlando, a loro volta sormontati dalla falda delle Argille Varicolori (AMODIO-MORELLI & alii, 1976). A NW affiorano sottili e discontinui lembi di conglomerati che formano un terrazzo calabriano a quote intorno ai 1 000-1 100 m (Piano Zillastro). Depositi alluvionali recenti costituiscono lo spesso letto della Fiumara di Platì e le conoidi pedemontane che si trovano ai piedi di un versante costituito da una grande scarpata di faglia con direzione N-S, alta fino a 900 m, solcata da ripidi canali e torrenti tributari di destra nella parte montana della fiumara. Una brusca convessità segna il limite tra la scarpata ed il soprastante terrazzo. La pendenza media del versante è del 50% ed il profilo longitudinale è fortemente convesso. Nel tratto settentrionale della zona studiata, per tutta la lunghezza del versante sono presenti forme tipiche delle zone soggette a *Sackung* (ZISCHINSKY, 1969): fratture di trazione nella parte sommitale, spianate deformate e rigonfiate nel tratto mediano, frane nella zona di piede. L'area interessata dalle for-

me più evidenti è di circa 0,55 km², ma altre forme simili si possono rinvenire nelle adiacenze meridionali della zona suddetta. Il fenomeno principale insiste su un tratto a forte pendenza (12%) dell'asta principale della fiumara. La distanza tra il paese di Platì ed il culmine della zona in *Sackung* è tra 2,9 e 3,5 km (figg. 1 e 3) mentre il corrispondente dislivello è di circa 750 m. Platì è fondato lungo la sponda sinistra e sul letto della fiumara stessa. Una cresta rocciosa alta circa 30 m e costituita da quarzareniti inglobate nelle Argille Varicolori, si trova subito a monte dell'abitato e costringe la fiumara in una breve strettoia.

Le condizioni attuali del *Sackung* sembrano essere di minima attività o di quiescenza (SORRISO-VALVO, 1984b). Tuttavia, è da rimarcare che: a) la roccia si presenta fittamente fratturata ed intensamente alterata; b) la pendenza del versante è elevata; c) il clima è caratterizzato da eventi meteorici estremi (piogge prolungate fino a 700 - 800 mm in 3 giorni e piovosità media annua superiore a 2 000 mm) (CALOIERO, 1975); d) la sismicità è elevata, con possibili eventi di intensità fino al IX grado MSK (PANZA & CALCAGNILE, 1977). Pertanto, il *Sackung* in questione potrebbe evolvere entro tempi storici da condizioni di *creep* secondario a condizioni di *creep* terziario (EMERY, 1978) e quindi collassare (come già avvenuto in parte; vedansi le frane in fig. 1) mobilizzando un volume di roccia stimabile in almento 30×10^6 m³, il che corrisponde ad un volume di detrito di circa 40×10^6 m³ (si veda il paragrafo successivo).

MODELLI PER LA PREVISIONE DELL'ELONGAZIONE DEI ROCKSLIDE-DEBRIS FLOW

Nel movimento dei *debris-flow* il coefficiente d'attrito sembra essere funzione inversa del volume. È, questo, uno dei pochi punti su cui concordano abbastanza gli Autori che hanno investigato sul problema. Va tuttavia precisato che tale coefficiente d'attrito viene misurato come un rapporto il cui numeratore è la differenza di quota fra il punto più elevato della scarpata e l'estremità dell'unghia (*H*) ed il denominatore è l'elongazione (*L*) (fig. 2). Uniformandoci ad un uso corrente in letteratura definiremo tale grandezza *coefficiente d'attrito equivalente*. Si tratta, come si vede, di una misura fisicamente inesatta, poiché in realtà si dovrebbero misurare gli spostamenti orizzontali e verticali del baricentro della massa; accade tuttavia che tale valore improprio sembri correlarsi abbastanza bene con il volume (*V*), al punto che SCHEIDEGGER (1973) e LI TIANCHI (1983) lo hanno scelto come parametro su cui impostare i loro modelli. Vi sono però Autori che, pur non negando genericamente l'esistenza di una tale correlazione, ritengono più opportuno e significativo studiarne altre: è il caso, come si vedrà, di HSÜ (1975) e di DAVIES (1982).

Un'opportuna precisazione riguarda il volume delle frane in questione. Non è quasi mai chiaro se i volumi riportati nei diagrammi e nelle tabelle degli studi citati, e di altri ancora, siano quelli degli ammassi rocciosi prima del franamento o quelli delle masse detritiche. Dall'analisi com-

parativa di quanto pubblicato si ricava anzi l'impressione che dati dei due tipi siano mescolati, con prevalenza di quelli relativi al detrito. Questo vale anche per i modelli di cui ci varremo.

Si tratta di un problema dalla soluzione non semplice, poiché stimare simili volumi (sia pre- che post-franamento) è oggettivamente difficile, specie per frane molto antiche, e le misure effettuate con i sistemi più moderni sono poche. D'altra parte le frane di questa categoria che siano state in qualche modo studiate non sono molte (azzardando una stima potremmo dire intorno a 200 - 300), le fonti primarie sono spesso di difficile reperimento (e non sempre in accordo tra loro) ed i dati ivi riportati non sono stati raccolti con criteri omogenei. Da tutto ciò la necessità, per chi ha tentato di elaborare un modello, di utilizzare il materiale disponibile per quanto insoddisfacente ed insufficiente esso fosse.

Non siamo a conoscenza di lavori in cui sia stata affrontata a fondo la questione delle variazioni di volume indotta dal movimento. Vari Autori che più o meno brevemente se ne sono occupati concordano abbastanza nell'affermare che vi è un incremento del 30 per cento circa, il volume finale essendo uguale a circa i 4/3 di quello iniziale (McCONNEL & BROCK, 1904; HADLEY, 1978; MCSAVENEY, 1978; PLAFKER & ERICKSEN, 1978).

Forse il miglior modo di porgere i dati volumetrici è quello seguito da ABELE (1974) che nelle tabelle alla fine del suo libro offre in molti casi il modo di distinguere tra volume della nicchia e volume dell'accumulo.

Terminiamo osservando che per l'elaborazione di modelli previsionali ci parrebbe consigliabile utilizzare, per coerenza, i volumi degli ammassi prima del collasso.

APPLICAZIONE DEI MODELLI AL CASO DI PLATÌ

Per il nostro studio applicheremo al versante in *Sackung* presso Platì i modelli di SCHEIDEGGER (1973), LI TIANCHI (1983), HSÜ (1975) e DAVIES (1982).

Per il volume (V) della frana verrà inserito nei calcoli un valore di $40 \times 10^6 \text{ m}^3$. Sarà cioè il volume del detrito e non quello dell'ammasso roccioso, conformemente alle osservazioni del paragrafo precedente.

Nei primi tre casi poveremo a definire da monte a valle lungo il percorso del potenziale *debrisflow*, tre zone che chiameremo: *zona di distruzione* (Dz), *zona a rischio* (Rz) e *zona di sicurezza* (Sz). È tuttavia opportuno ricordare che tale distinzione viene effettuata su base statistica e che quindi, come si vedrà, la parte prossimale della zona di «sicurezza» va intesa come area «a basso o bassissimo rischio» e non certo come area di «assoluta sicurezza».

Nel quarto caso la carenza di dati non consentirà di effettuare distinzioni del genere: verranno quindi definite solo una Dz e una Sz .

Per un raffronto visivo tra i parametri geometrici utilizzati dai diversi Autori si veda la fig. 2; per l'esame comparativo dei risultati ottenuti con l'applicazione dei quattro modelli si veda invece la fig. 3.

MODELLO DI SCHEIDEGGER (1973)

SCHEIDEGGER suppone che esista un legame diretto tra volume e coefficiente d'attrito equivalente. Egli pone in un grafico logaritmico i coefficienti d'attrito di 33 frane in funzione dei volumi rispettivi. Ottiene poi, col metodo dei minimi quadrati, una retta di regressione di equazione:

$$\log (H/L) = -0,15666 \log V + 0,62419$$

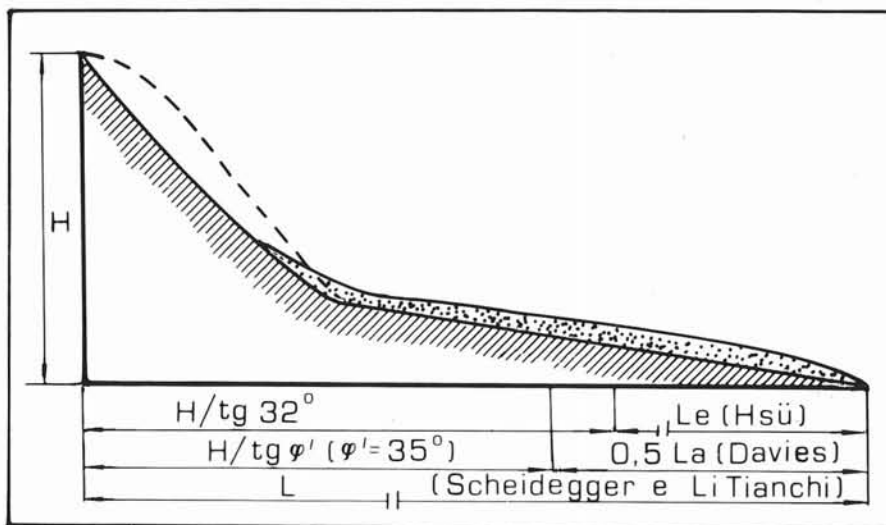


FIG. 2 - Schema di *rockslide-debris flow* con indicazione dei parametri geometrici utiliz-

zati dagli autori dei quattro modelli descritti nel testo. H è, in tutti i casi, la differenza

di quota tra il punto più elevato della scarpata e l'estremità dell'unghia. SCHEIDEGGER e LI TIANCHI impiegano poi il paramentro L , definito come la distanza orizzontale tra gli stessi due punti (elongazione nel testo). HSÜ definisce un'elongazione totale costituita da due parti: $H/\text{tg } 32^\circ$ ed L_e . Il primo termine rappresenta l'elongazione attesa nel caso di un normale movimento lungo un piano inclinato con coefficiente d'attrito di $\text{tg } 32^\circ$; L_e è lo spostamento orizzontale che eccede quello dato dal termine precedente. Anche DAVIES definisce un'elongazione costituita da due membri: $H/\text{tg } \varphi'$ e $0,5 L_a$. Il termine $H/\text{tg } \varphi'$ (con φ' di «circa 35° ») è l'elongazione attesa, definita come sopra salvo il diverso valore dell'angolo di attrito; L_a è la lunghezza dell'accumulo da un estremo all'altro (*end to end deposit length*). Nella configurazione rappresentata, a pari valore del volume di roccia franata, i valori delle componenti dell'elongazione sono matematicamente esatti per il caso di DAVIES mentre potrebbero essere diversi negli altri tre casi. Solo per semplicità grafica le elongazioni previste dai diversi modelli sono state rese eguali.

ove H e L sono espresse in metri e V in metri cubi. Il coefficiente di correlazione vale $-0,82$; la deviazione standard dei dati dalla linea di correlazione è: $\sigma_{\log(H/L)} = 0,14298$.

La probabilità che ha un valore misurato di $\log(H/L)$ cada nell'intervallo dato da $[\log(H/L) \pm \sigma_{\log(H/L)}]$ è del 68%.

Questo intervallo verrà usato per definire la zona a rischio.

Va a questo punto osservato che il residuo 32% si ripartisce tra i casi in cui L assume valori tali da collocare il rapporto al di qua oppure al di là dell'intervallo e che da ciò deriva la possibilità, teoricamente il 16%, che la massa franata in moto si spinga entro la zona di «sicurezza».

Nel caso di Platì, dati $V = 40 \times 10^6 \text{ m}^3$ ed $H = 750 \text{ m}$, si ottiene Dz da 0 a 2 000 m e Rz da 2 000 a 3 800 m, con il centro abitato interamente entro la zona a rischio.

MODELLO DI LI TIANCHI (1983)

Questo Autore considera 76 frane delle Alpi. Egli trova che esistano marcate correlazioni tra il volume e grandezze quali il coefficiente d'attrito equivalente, la lunghezza dell'accumulo e la superficie coperta dal detrito.

Per quanto attiene alla relazione tra V ed H/L la retta di regressione, ottenuta anche qui col metodo dei minimi quadrati, è:

$$\log(H/L) = -0,1529 \log V + 0,6640$$

ove H ed L sono espresse in metri, V in metri cubi. Il coefficiente di correlazione vale $-0,7784$ e la deviazione standard $0,1180$.

La probabilità viene in questo caso data al 71%. Valgono ovviamente le considerazioni sulla probabilità fatte trattando del modello di SCHEIDEGGER.

Nel caso di Platì si ottiene Dz da 0 a 1 800 m e Rz da 1 800 a 3 100 m con il centro abitato parzialmente compreso nella zona a rischio.

Il modello di LI TIANCHI offre anche la possibilità di prevedere la superficie (S) che verrebbe coperta dal detrito.

L'equazione è:

$$\log S = 0,5667 \log V + 1,8807$$

ove S è in metri quadrati e V in metri cubi. Il coefficiente di correlazione è $0,88$; la deviazione standard è in questo caso di $0,2806$ e la probabilità ammonta al 70%.

Nel caso in esame verrebbe coperta una superficie compresa tra circa $0,8$ e circa $2,9 \text{ km}^2$, il che implicherebbe spessori medi del detrito compresi tra circa 50 e circa 15 m .

MODELLO DI HSÜ (1975)

Sulla base dell'esame e dell'elaborazione di dati relativi a 35 eventi e con il conforto di una serie di esperimenti di laboratorio HSÜ giunge all'equazione:

$$L = H/\text{tg } 32^\circ + Le$$

in cui L è la ormai usuale distanza orizzontale, $H/\text{tg } 32^\circ$ ($= H/0,62$) è l'elongazione attesa nel caso di un normale movimento lungo un piano inclinato con coefficiente d'attrito pari a quello statico ed Le è l'eccedenza di elongazione (*excessive travel distance*) cioè tutto il cammino in più rispetto a quello atteso. Come si vede questo Autore non ritiene che il coefficiente di attrito equivalente sia il parametro più adatto per quantificare la mobilità di questi *debris flow*.

Diagrammando i valori osservati e sperimentali di Le in funzione dei logaritmi del volumi HSÜ osserva che:

- a) Le è praticamente trascurabile per $V < 5 \times 10^6 \text{ m}^3$;
- b) I *debris flow* risultano suddivisibili in due gruppi, uno ad alta mobilità ed uno, più numeroso, a bassa mobilità (fig. 4).

Per ciascuno di tali gruppi egli traccia una retta di regressione.

Con gli stessi dati noi abbiamo ottenuto due rette molto prossime a quelle originarie, come si vede in fig. 4, e il valor medio dei due volumi corrispondenti ad $Le = 0$ non si discosta di molto dai $5 \times 10^6 \text{ m}^3$ indicati da HSÜ. Precisiamo che nell'effettuare i nostri calcoli abbiamo corretto i dati riguardanti l'evento di Huascarán, sul quale HSÜ era stato indotto in errore da una delle sue fonti; per questa frana noi abbiamo posto $V = 75 \times 10^6 \text{ m}^3$ ed $Le = 9,2 \text{ km}$.

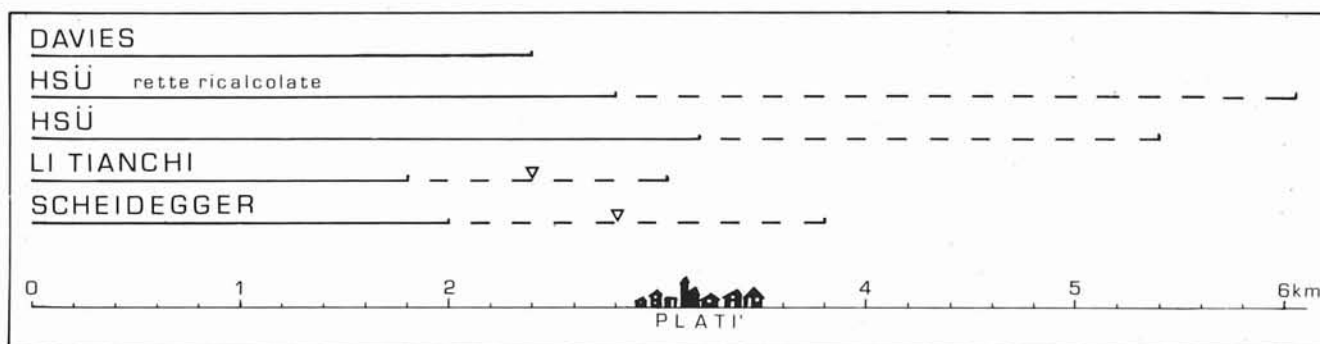


FIG. 3 - Le elongazioni previste con l'applicazione dei diversi modelli. Per i casi di SCHEIDEGGER e LI TIANCHI i triangoli indicano i valori di L ottenuti tramite le equazioni di regressione riportate nel testo. Il tratto pieno indica la zona di distruzione, il tratteggio (quando presente) la zona a rischio.

Le equazioni che abbiamo ottenuto sono:

- retta di alta mobilità: $Le = 4,7671 \log V - 2,7475$
- retta di bassa mobilità: $Le = 2,6193 \log V - 2,5985$.

Qui V è in milioni di metri cubi ed Le in chilometri.

La particolarità dell'approccio di Hsü rende necessario, a nostro avviso, definire in maniera un po' diversa le tre zone in cui abbiamo suddiviso il percorso della frana. Parleremo di «zona di distruzione», «zona a rischio» e «zona di sicurezza» secondo che al termine $H/\text{tg } 32^\circ$ si sommino i valori di Le ricadenti rispettivamente, in fig. 4, al di sotto della retta di bassa mobilità o tra le due rette o al di sopra della retta di alta mobilità.

Vale comunque anche qui l'avvertenza riguardante la parte prossimale della zona di sicurezza, sebbene non sia possibile in questo caso esprimere la probabilità in termini numerici.

Le due linee che in fig. 3 descrivono la situazione nel caso di Platì sono state ottenute applicando le definizioni date sopra. Con i valori di Le letti sul diagramma originario si ottiene Dz compreso tra 0 e 3 200 m (quindi con un parziale coinvolgimento dell'abitato) e Rz compreso tra 3 200 e 5 400 m; usando invece le rette di regressione ottenute da noi Dz si estende da 0 a 2 800 m e Rz da 2 800 a 6 100 m, e l'abitato risulta interamente compreso in Rz .

MODELLO DI DAVIES (1982)

Questo Autore ritiene che la variabile più appropriata per caratterizzare i *debris flow* sia la lunghezza della zona di accumulo (La). Egli diagramma tale parametro in funzione del volume per 22 casi ed ottiene, con la regressione

di potenza, la seguente linea media:

$$La = 9,98 \times V^{0,32}$$

ove La è in metri e V in metri cubi. Il coeff. di determinazione vale 0,96.

Questo Autore non indica il valore della deviazione standard né quello della probabilità.

Egli congettura poi che il centro dell'accumulo disti dall'orlo della corona quanto ci si attenderebbe nel caso di un normale movimento con attrito statico e perviene geometricamente a definire la lunghezza totale L come segue:

$$L = H/\text{tg}\varphi' + 0,5 (9,98 \times V^{0,32})$$

ove φ' è di «circa 35 gradi».

Su tali basi e posto $\varphi' = 35^\circ$, per il caso di Platì si ottiene Dz compreso tra 0 e 2 400 m ed Sz da 2 400 m in poi. Non essendo indicato il valore della deviazione standard risulta impossibile definire una Rz e non essendo questa definita diviene necessaria una tanto maggiore cautela nel trattare della parte prossimale della zona di sicurezza.

DISCUSSIONE

Ciascuno dei quattro modelli di cui ci siamo valse presenta punti di forza e di debolezza che discutiamo brevemente.

Semplicità formale ed assenza di ipotesi iniziali, salvo quella della relazione inversa tra V ed H/L , sono i punti forti del modello di SCHEIDEGGER. Il punto debole è nel

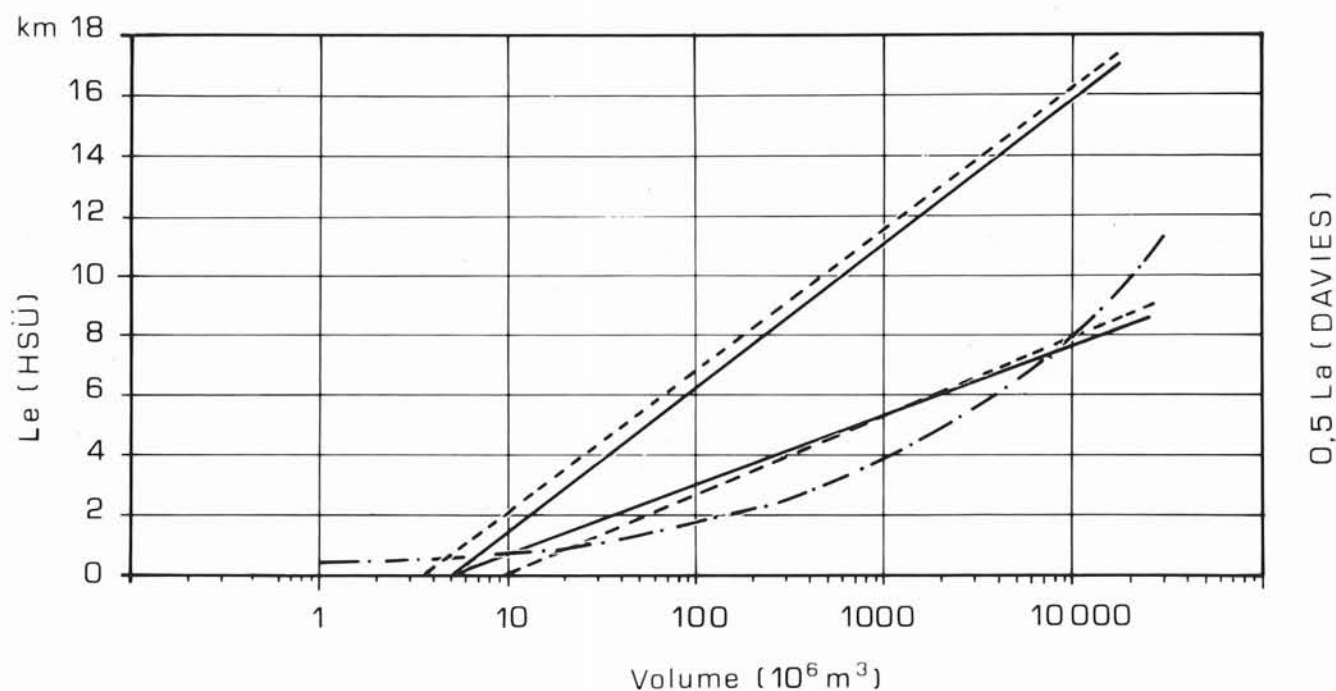


FIG. 4 - Diagramma di Hsü (1975) modificato. Le due linee a tratto pieno sono quelle originarie; quelle tratteggiate sono le rette di regressione calcolate da noi; come si vede vi è buon accordo tra le prime e le seconde. La linea a tratti e punti rappresenta l'andamento della funzione $0,5 La$ studiata da DAVIES (1982).

fatto che l'operatore è costretto ad effettuare una valutazione a priori di H oltre che, ovviamente, di V : un errore in tale stima implica un errore nel valore di $\log(H/L)$ e conduce quindi ad una previsione sbagliata di L .

Concettualmente identico al modello di SCHEIDEGGER, quello di LI TIANCHI ne riprende pregi e difetti. Offre in più, però, la possibilità di correlare V con altre grandezze e propone anche un diagramma $V-L$ con un fascio di curve di previsione.

Hsü postula una relazione semilogaritmica tra V ed Le ed è questa l'unica ipotesi. Il modello è tale per cui un errore nella stima di H non invalida tutto il calcolo ma solo il termine $H/\text{tg } 32^\circ$.

Il modello di DAVIES poggia su alcune ipotesi, a nostro avviso piuttosto restrittive, riguardanti la geometria della frana ed in particolare dell'accumulo. Presenta anch'esso il vantaggio che un errore nella valutazione di H non inficia completamente i calcoli successivi. Un grosso difetto risiede nella mancanza di dati che consentano di valutare il campo di variabilità dell'elongazione e la probabilità. Esso comporta, secondo noi, una grave diminuzione dell'utilità pratica del modello e quindi della sua fruibilità per fini come quelli che noi ci siamo proposti. Addirittura, un impiego men che critico e cauto del modello può condurre ad illusorie conclusioni di sicurezza.

La fig. 3 mostra come i quattro modelli applicati giungano a risultati sensibilmente dissimili circa l'elongazione, il suo campo di variabilità e l'estensione della zona in pericolo. È facile identificare la causa della diversità di risultati cui pervengono i modelli statistici di SCHEIDEGGER e LI TIANCHI. Data l'identità dell'impostazione, questa differenza dipende infatti solo dalla quantità e distribuzione dei dati nei campioni di partenza: SCHEIDEGGER considera 33 frane, LI TIANCHI 76 e la distribuzione dei dati in ambedue i casi non è normale né per $\log V$ né per $\log H/L$. Lontani nell'impostazione come nei risultati, i modelli probabilistico-deterministici di Hsü e DAVIES non sembrano consentire raffronti tra loro né con i due già trattati. Si può tuttavia osservare (fig. 4) che la curva di DAVIES, rappresentativa del termine $0,5 (9,98 \times V^{0,32})$ della sua equazione, si colloca al di sotto delle rette $Le = f(V)$ di Hsü per quasi tutto il campo di valori di interesse pratico. Poiché il termine $H/\text{tg } 32^\circ$ di Hsü non differisce molto da quello $H/\text{tg } \varphi'$ ($\varphi' \approx 35^\circ$) di DAVIES, se ne può concludere che il modello di DAVIES tende a prevedere quasi sistematicamente elongazioni minori di quelle previste dal modello di Hsü.

Nonostante vi sia una considerevole discordanza tra le elongazioni previste dai quattro modelli, tre di essi convergono verso un'allarmante conclusione: Platì si trova in un sito che può essere raggiunto dal detrito in moto. Il fatto che secondo due modelli solo una parte dell'insediamento sia effettivamente compreso in R_z appare relativamente secondario. Non va infatti dimenticato che le elongazioni previste possono venire superate e che tutti i calcoli sono impostati su una stima del volume mobilizzabile tutt'altro che esagerata.

Accenniamo infine brevemente al confinamento topo-

grafico della frana, fattore che potrebbe rivelarsi importante, forse anche determinante, ma che non siamo in grado di valutare a priori. Dall'osservazione della fig. 1 si nota che la frana ipotizzata, precipitandosi in una angusta valle, andrebbe in primo luogo ad urtare contro il versante opposto. Il detrito poi dovrebbe, per raggiungere Platì, incanalarsi nel letto dell'omonima fiumara effettuando una svolta di circa 60° e muovere lungo un percorso piuttosto curvo. Tutto ciò introduce un indubbio elemento di complicazione dell'intero problema. Per quanto a nostra conoscenza nessuno ha mai affrontato sistematicamente lo studio degli effetti che il confinamento topografico produce sul moto di questo tipo di frane. Tuttavia secondo Hsü (1975) la tortuosità del percorso e l'urto contro l'opposto versante possono avere un effetto frenante sul *debris flow*, mentre secondo MOORE & MATHEWS (1978) sono possibili grosse variazioni di direzione non accompagnate da sensibili perdite di velocità e secondo EISBACHER (1979) e DAVIES (1982) la canalizzazione può favorire il raggiungimento di grandi distanze.

CONCLUSIONI

Il *Sackung* di Platì si trova sul versante jonico dell'Aspromonte, catena montuosa di recente orogenesi costituita da terreni diffusamente fratturati ed alterati e caratterizzata da una grande frequenza di fenomeni di frana e di intensa erosione. La zona è caratterizzata inoltre da elevata sismicità (grado IX MSK) e da un clima mediterraneo che unisce a precipitazioni medie elevate e fortemente stagionali la possibilità di eventi idrologici estremi.

Il versante in *Sackung* si presenta molto acclive e con forte energia di rilievo. Fenomeni di collasso di versanti sono avvenuti, in un passato anche recente, in aree contigue e comparabili per geologia, morfologia e clima.

Abbiamo voluto verificare quali fossero le condizioni di pericolosità per l'abitato di Platì nell'ipotesi di un collasso del vicino *Sackung*. Tre dei quattro modelli applicati concordano nel collocare il centro abitato almeno parzialmente entro la zona a rischio, anche se forniscono previsioni numericamente discordanti sul valore dell'elongazione dell'eventuale *debris flow*. Il quarto modello colloca Platì in un sito sicuro ma, per le ragioni già esposte, questa previsione ci sembra la meno attendibile.

Indagini di maggior dettaglio possono condurre ad una stima più accurata del volume e del grado di attività del *Sackung*.

A proposito del grado di attività, crediamo che si impongano due considerazioni. Esso appare al momento molto basso o addirittura nullo ma va tenuto presente che il clima e la sismicità della zona possono portare repentinamente l'ammasso roccioso a condizioni di instabilità. Inoltre va ricordato che, come posto in luce da TERZAGHI (1950) a proposito del disastro di Goldau, le semplici ma millenarie azioni di processi unidirezionali quali il sollevamento tettonico e l'alterazione della roccia possono condurre al collasso anche in assenza di inneschi di carattere eccezionale.

BIBLIOGRAFIA

- ABELE G. (1974) - *Bergstürze in den Alpen*. Wiss. Alpenvereinshefte, H 25, München, 230 pp.
- AMODIO-MORELLI L., BONARDI G., COLONNA V., DIETRICH D., GIUNTA G., IPPOLITO F., LIGUORI V., LORENZONI S., PAGLIONICO A., PERRONE V., PICCARRETTA G., RUSSO M., SCANDONE P., ZANETTIN-LORENZONI E., & ZUPPETTA A., (1976) - *L'Arco Calabro-Peloritano nell'orogene appenninico-maghrebide*. Mem. Soc. Geol. Ital., 17, 1-60.
- CALOIERO D. (1975) - *Le precipitazioni in Calabria nel cinquantennio 1921-1970*. CNR-IRPI Geodata, 2, 26 pp.
- DAVIES T.R.H. (1982) - *Spreading of rock avalanche debris by mechanical fluidization*. Rock Mechanics, 15, 9-24.
- DRAMIS F., MAIFREDI P. & SORRISO-VALVO M. (1983) - *Deformazioni gravitative profonde di versante. Aspetti geomorfologici e loro diffusione in Italia*. Geol. Appl. Idrogeol., 18 (III), 355-368.
- EISBACHER G.H. (1979) - *Cliff collapse and rock avalanches (Sturzstroms) in the Mackenzie Mountains, northwestern Canada*. Can. Geotech. Journ., 16, 309-334.
- EMERY J.J. (1978) - *Simulation of slope creep*. In: «VOIGHT B. (ed.) - ROCKSLIDES AND AVALANCHES, 1, Dev. Geotech. Eng. 14A, 669-691. Elsevier, Amsterdam».
- GUERRICCHIO A. & MELIDORO G. (1973) - *Segni premonitori e collassi delle grandi frane nelle metamorfiti della valle della Fiumara Buonomico (Aspromonte Calabria)*. Geol. Appl. Idrogeol., 8 (II), 315-346.
- HADLEY J.B. (1978) - *Madison Canyon rockslide, Montana, U.S.A.* In: «VOIGHT B. (ed.) *Rockslides and avalanches, 1*, Dev. Geotech. Eng. 14A, 167-180. Elsevier, Amsterdam».
- HEIM A. (1882a) - *Der Bergsturz von Elm*. Zeitsch. Deutsch. Geol. Ges., 34, 74-115.
- HEIM A. (1882b) - *Über Bergstürze*. Naturf. Ges. Zürich, Neujarsbl., 84.
- HOWARD K.A. (1973) - *Avalanche mode of motion: implications from lunar examples*. Science, 180, 1052-1055.
- HSÜ K.J. (1975) - *Catastrophic debris streams (Sturzstroms) generated by rockfalls*. Geol. Soc. Am. Bull. 86, 129-140.
- KOJAN E. & HUTCHINSON J.N. (1978) - *Mayunmarca rockslide and debris flow, Peru*. In: «VOIGHT B. (ed.) - *Rockslides and avalanches, 1*. Dev. Geotech. Eng. 14A, 315-364. Elsevier, Amsterdam».
- LI TIANCHI. (1983) - *A mathematical model for predicting the extent of a major rockfall*. Zeitsch. Geomorph., 27, 473-482.
- MCCONNELL R.G. & BROCK R.W. (1904) - *Report on the great rockslide at Frank, Alberta, Canada*. Can. Dept. Int., Ann. Rep., 1902-1903, 8, 17 pp.
- MCSAVENEY M.J. (1978) - *Sherman Glacier rock avalanche, Alaska, U.S.A.*. In: «VOIGHT B. (ed.) - *Rockslides and avalanches, 1*. Dev. Geotech. Eng. 14A, 197-258. Elsevier, Amsterdam».
- MOORE D.P. & MATHEWS W.H. (1978) - *The Rubble Creek landslide, southwestern British Columbia*. Can. Journ. Earth. Sc., 15, 1039-1052.
- PANZA G.F. & CALCAGNILE G. (1977) - *Seismic risk in Southern Italy*. Proc. Symp. «Analysis Seismicity and Seism. Risk», Liblice (1977), 437-442.
- PLAFKER G. & ERICKSEN G.E. (1978) - *Nevados Huascarán avalanches, Peru*. In: «VOIGHT B. (ed.) - *Rockslides and avalanches, 1*. Dev. Geotech. Eng. 14A, 277-314. Elsevier, Amsterdam».
- RADBRUCH-HALL D.H. (1978) - *Gravitational creep of rock masses on slopes*. In: «VOIGHT B. (ed.) - *Rockslides and avalanches, 1*. Dev. Geotech. Eng. 14A, 607-657. Elsevier, Amsterdam».
- SCHEIDEGGER A. (1973) - *On the prediction of the reach and velocity of catastrophic landslides*. Rock Mechanics, 5, 231-236.
- SORRISO-VALVO M. (1984a) - *«Sackungen» and deep-seated rockslide/debris flows: evolution model*. Proc. Meet. CNR-PAN «Progress in Mass Movement and Sediment transport Studies», Torino (1984), 119-134.
- SORRISO-VALVO M. (1984b) - *Un caso di deformazione gravitativa profonda nel bacino della Fiumara di Platì (Reggio Calabria)*. Boll. Soc. Geol. It., 103, 701-706.
- TERZAGHI K. (1950) - *Mechanism of landslides*. In: «PAIGE S. (ed.) - *Application of Geology to Engineering Practice (Berkey Volume)*, 83-123. Geol. Soc. Am., Washington D.C.».
- VARNES D.J. (1978) - *Slope movement types and processes*. In: «SCHUSTER R.L. & KRIZEK R.J. (eds.) - *Landslides: analysis and control* Spec. Rep. 176, 11-33. Transp. Res. Board, Nat. Acad. Sc., Washington D.C.».
- ZISCHINSKY U. (1969) - *Über Sackungen*. Rock Mechanics 1, 30-52.