

Le condizioni idrologiche che determinano lo sviluppo delle frane superficiali nell'area sannita: gli esempi del gennaio 2003 e del marzo 2005.

Francesco Fiorillo¹, Paola Revellino

Dipartimento di Studi Geologici ed Ambientali, Università degli Studi del Sannio, via Port'Arso n.11, 82110 Benevento.

¹francesco.fiorillo@unisannio.it, fax: 0824 23013

Hydrological condition leading shallow landslides in the Sannio area (Southern Italy): the examples of the January 2003 and March 2005 storms.

ABSTRACT: Specific hydrological analysis and application of the *Leaky Barrel Model* and *Shalstab* have been carried out to understand triggering condition of the shallow landslides in the Sannio area. During the storms of January 2003 and March 2005 this area were hit by thousands of landslides, developed along clayey slopes, constituted mainly by argillaceous sequences of flysch and foredeep deposits of the Apennine chain. The landslides are characterised by shallow movements, involving the colluvium cover, and stopped after some meters. Deep seated landslides also occurred, and were characterised by reactivations of previous instabilities. Flood phenomena occurred in many places, mainly along the high-order drainage lines. This study is based on detailed surveys in test area of 40 km², where more than 130 shallow landslides occurred during storms of January 2003 and March 2005, and reported on a 1:5000-scale topographic base map. Specific geotechnical laboratory and in situ tests were carried out, in order to characterise colluvium material. Hydrological analysis have shown that storms occurred after a wet period, which probably caused the reaching of field capacity of the soil. These conditions have been allowed to applied the *Leaky Barrel Model* and to define the hydrological triggering threshold in this area. Some factors have supported the application of *Shalstab* in this area: geological and morphological conditions, typology and high number of instabilities occurred, good quality of the hydrological data. The results have shown that *Shalstab* can help to redact a susceptibility map of the shallow landslides in the area analysed.

Key terms: shallow landslides, Leaky Barrel, Shalstab, Southern Italy.

Termini chiave: frane superficiali, Leaky Barrel, Shalstab, Sannio, Italia.

Riassunto

Sulla base di specifiche elaborazioni idrologiche e di rilievi in sito, lo studio definisce le condizioni d'insacco delle frane superficiali in un settore dell'area sannita, interessato recentemente da numerosissime instabilità superficiali. In particolare, sono stati considerati gli eventi di pioggia del gennaio 2003 e del marzo 2005 che hanno colpito un vasto settore dell'Italia centro-meridionale, causando notevoli danni al comparto agricolo ed infrastrutturale.

Le condizioni d'insacco sono state definite in maniera deterministica applicando il *Leaky Barrel Model*. Parallelamente è stato applicato il modello *Shalstab* ad un'area campione di circa 40 km², grazie ad un accurato rilievo delle frane superficiali, alla determinazione delle caratteristiche tecniche dei materiali coinvolti, nonché ai risultati dell'analisi idrologica dei dati a scala oraria.

Numerosi aspetti concorrono nel favorire l'applicazione dei modelli utilizzati e, quindi, l'attendibilità dei risultati: uniformità dell'ambiente geomorfologico dell'area campione, tipologia ed elevato numero di instabilità verificatesi, buona qualità dei dati idrologici.

1. Introduzione

Nel gennaio 2003 un intenso evento piovoso ha colpito un'area ricadente in un vasto settore dell'Italia centro-meridionale, causando notevoli danni al comparto agricolo e viario delle regioni Abruzzo, Molise, Campania e Puglia (Fiorillo e Simeone, 2004). Durante lo scorso marzo 2005, un altro intenso evento meteorico ha causato analoghe problematiche in un vasto settore della Campania, area sannita inclusa (Fig.1).

Le zone prevalentemente coinvolte presentano una morfologia di tipo collinare e sono caratterizzate da affioramenti di sequenze argillose flyshioidi e da argille azzurre del settore di avanfossa della catena.

Migliaia di frane sono state innescate lungo pendii argillosi, generalmente caratterizzate da spessori e spostamenti limitati.

Lo studio è stato concentrato in un'area campione di circa 40 km² a nord di Benevento (Fig.1), ove sono stati effettuati rilievi di dettaglio delle instabilità verificatesi, prove in laboratorio ed in sito per la determinazione delle caratteristiche tecniche dei terreni, raccolta ed analisi dei dati idrologici.

In particolare, lo studio applica il *Leaky Barrel Model* (Wilson & Wiezorek, 1995) e analizza le condizioni idrologiche d'innescò delle frane superficiali nel settore considerato. Le caratteristiche idrologiche dell'area, unitamente alla disponibilità di cartografia numerica a scala 1:5000, sono state trasferite nel modello *Shalstab* (Montgomery & Dietrich, 1994), per la valutazione della suscettibilità a franare dell'area considerata.

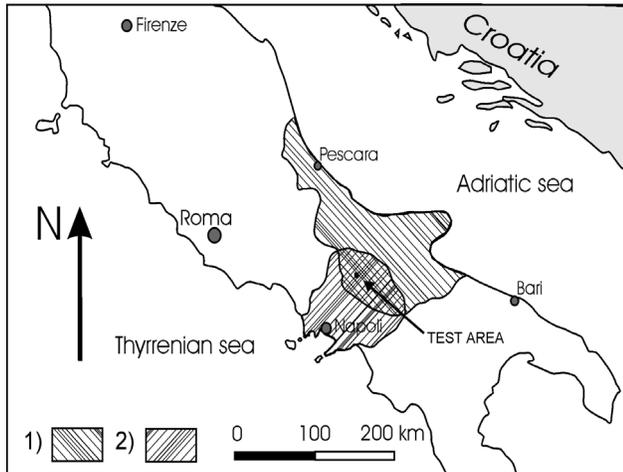


Figura 1 - Ubicazione dell'area di studio e settori interessati da frane ed alluvionamenti (aree tratteggiate) in conseguenza degli eventi di pioggia del gennaio 2003 (1) e del marzo 2005 (2).

Test area location and sectors interested (sketched area) by landslides and floods as consequence of the 24-26 January 2003 and 4 March storms.

2. Aspetti geologici e geomorfologici

Nell'area affiorano terreni riconducibili alla falda sannitica, costituita da una successione di argille policrome e calcari (Flysch Rosso), e da quarzareniti (Flysch Numidico), su cui poggiano torbiditi della formazione di San Giorgio (Pescatore et al., 2000; Massa et al., 2002).

L'assetto strutturale di questi terreni consta di una complessa associazione di pieghe e faglie, la cui ricostruzione geometrica è resa ardua dalla scarsità di affioramenti in relazione alla grande variabilità degli assesti litostrutturali.

Diffusamente presenti sono le coperture eluvio-colluviali, mentre i depositi alluvionali sono ridotti a limitate fasce di fondovalle.

Dal punto di vista morfologico, i pendii sono caratterizzati da lieve inclinazione, con eccezione delle zone di affioramento dei litotipi arenacei. In figura 2 è riportata la distribuzione dell'angolo d'inclinazione nell'area campione. La distribuzione è monomodale, con picco in corrispondenza dei valori 10-12°. Il range $<2^\circ$, pari all'8% dell'intera area campione, rappresenta le aree terrazzate o alluvionali di fondovalle. I valori di $\beta > 30^\circ$ sono rappresentativi delle scarpate nei depositi arenaceo-conglomerati, affioranti alla sommità dei pendii. Il range 2-

4° rappresenta i tratti di raccordo tra la zona alluvionale di fondovalle e le zone a più alto angolo d'inclinazione dei pendii; la sua bassa frequenza (3,3%) è indice di intensa attività erosiva al piede, come riscontrato anche in altre aree dell'Appennino (Fiorillo, 2004), con profilo tipicamente rettilineo o convesso nella parte bassa dei pendii.

Lungo i pendii sono diffuse le forme legate a movimenti plastici superficiali tipo "creep", spesso mascherati dalle attività agricole, quali l'intensa aratura meccanizzata che precede la semina. Inoltre, i solchi stagionali lasciati dalle stesse pratiche agricole lungo le linee di massima pendenza, hanno probabilmente un grande ruolo nell'accelerare i fenomeni di erosione superficiale.

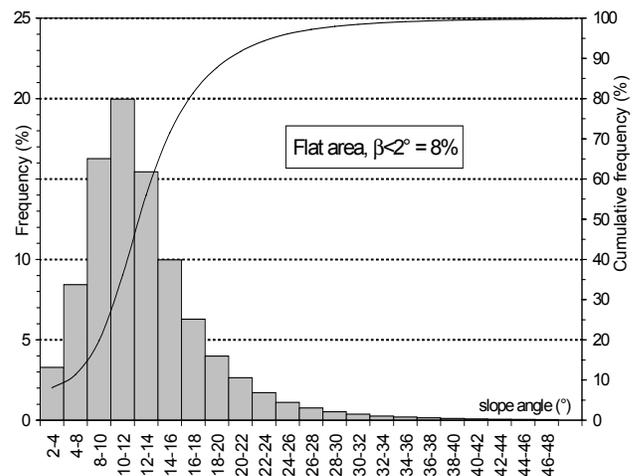


Figura 2 - Distribuzione dell'angolo d'inclinazione del pendio per l'area campione.

Slope angle distribution in the test area.

3. Caratteristiche tecniche dei materiali coinvolti

Sono state effettuate prove di laboratorio su campioni prelevati lungo le scarpate di frana del marzo 2005, ad una profondità di 50-100 cm.

Le caratteristiche granulometriche (Tab.1) indicano che il materiale è costituito da una grande variazione dei fusi granulometrici, con presenza di argilla sempre superiore a 15%, unitamente alla frazione sabbiosa e ghiaiosa sempre superiore a 24%.

Il materiale è pertanto poco selezionato, coerentemente con la natura prevalentemente colluviale che lo caratterizza.

Le caratteristiche di plasticità fanno ricadere i campioni prevalentemente nel campo CH e CL della classica USCS, e nel campo delle argille normalmente attive secondo l'indice di Attività di Skempton.

In sito sono state effettuate prove di permeabilità con l'ausilio del permeometro di *Guelph*. Le prove sono state eseguite a 30 e 60 cm di profondità, per un numero totale di prove pari a 12; il coefficiente di permeabilità risulta prevalentemente all'interno del range 10^{-6} - 10^{-4} cm/s, con tendenza a diminuire in profondità (Tab.1).

Tab.1 – Alcune principali caratteristiche geotecniche dei materiali colluviali: N, numero di prove; C, frazione argillosa (<0,002 mm); L, frazione limosa (0,002÷0,06 mm); S, frazione sabbiosa (0,06÷2 mm); G, frazione ghiaiosa (>2mm); w_L , limite liquido; IP, indice plastico; A, indice d'attività; K, coefficiente di permeabilità (condizioni sature); σ , deviazione standard.

Some geotechnical characteristics of the colluvial material: N, number of tests; C, clay fraction (<0,002 mm); L, silty fraction (0,002÷0,06 mm); S, sandy fraction (0,06÷2 mm); G, gravel fraction (>2mm); w_L , liquid limit; IP, plastic index; A, Skempton index; K, permeability coefficient (saturated material); σ , standard deviation.

Granulometry and plasticity								Guelph permeameter test			
N=10	C (%)	L (%)	S (%)	G (%)	w_L (%)	IP (%)	A	Depth (cm)	N	K (cm/s)	σ (cm/s)
min	15	30	24	0	37	13	0,5	30	6	$2,8 \cdot 10^{-4}$	$4,5 \cdot 10^{-4}$
max	43	47	41	4	70	40	1,3	60	6	$5,8 \cdot 10^{-5}$	$3,0 \cdot 10^{-4}$

permeability coefficient (saturated material); σ , standard deviation.

4. Descrizione delle instabilità

Nell'area campione (Fig.1) sono state rilevate le instabilità superficiali prodotte dagli eventi del gennaio 2003 e del marzo 2005, per un totale di oltre 130 frane.

La geometria di superficie di ciascuna instabilità è caratterizzata da un rapporto lunghezza/larghezza variabile in genere tra 2 e 4, con lunghezza prevalentemente compresa tra i 20 e 100 m.

In base al materiale coinvolto e alla tipologia di movimento, la gran parte delle frane verificatesi è riconducibile allo *earth-slide* (Cruden & Varnes, 1996). Le frane si sono sviluppate lungo pendii argillosi, con angolo del pendio compreso tra 10° e 15°. Il materiale coinvolto nel movimento ricade all'interno dello spessore della copertura colluviale e la profondità della superficie di scorrimento è variabile tra 1 e 2 m. Il movimento è cessato dopo alcuni metri di spostamento, con materiale traslato in toto, più raramente evoluto in colata.

Alcune frane profonde si sono mobilitate qualche giorno dopo l'evento del gennaio 2003, ed hanno interessato settori esterni a quello dell'area campione (Fiorillo & Simeone, 2004). Per queste frane l'angolo medio del pendio è minore di 10° e la profondità del movimento è stata in alcuni casi superiori a 10 m. Lo spostamento è stato di lieve entità nella parte sommitale e con movimento di tipo scorrimento; nel settore di piede ha raggiunto valori fino ad alcune decine di metri, con tipologia di flusso. Questi fenomeni costituiscono riattivazioni di preesistenti corpi di frana.

Il rilevamento completo delle frane nella provincia di Benevento è stato oggetto di una recente apposita cartografia e memoria (Guadagno, 2006).

5. Aspetti idrologici ed applicazione del Leaky Barrel Model

Le analisi idrologiche effettuate si riferiscono alle registrazioni del pluviometro di Colle Sannita, ubicato nell'area interessata dagli eventi di frana del gennaio 2003 e del marzo 2005.

L'area è caratterizzata da clima mediterraneo, con calde e secche estati tra giugno ed agosto, e periodo umido in

autunno, inverno e primavera. Dicembre è il mese più piovoso con media di circa 125 mm, mentre agosto quello più secco, con media di circa 38 mm. La media annuale è di circa 920 mm.

La figura 3 mostra la pioggia giornaliera e cumulata a partire dal 1 settembre per ciascuno degli eventi considerati. La pioggia media cumulata (linea tratteggiata) è stata valutata sulla base dei dati storici (1927-2004). In figura 3, dopo la prima settimana del dicembre 2002, la pioggia cumulata risulta maggiore della media dello stesso periodo, indicando che l'evento del gennaio 2003 si è verificato dopo un periodo particolarmente umido. Le stesse considerazioni possono almeno in parte essere fatte per l'evento del marzo 2005 (Fig.3), che comunque si è verificato in un periodo tipicamente umido.

In figura 4 sono riportati gli ietogrammi degli eventi di gennaio 2003 e marzo 2005, unitamente alla variabile "acqua trattenuta", Z , desunta dall'applicazione del *Leaky Barrel Model* per differenti valori del coefficiente di drenaggio, k_d . Noto l'intervallo temporale durante il quale si sono attivate le frane, è stato fissato il valore di k_d per l'area di studio, ed i valori soglia di acqua trattenuta, Z_t , secondo le modalità descritte in Fiorillo & Wilson (2004). Come è osservabile dalla tabella 2, l'evento del gennaio 2003 è stato più potente, con $Z > Z_t$ per circa 28 ore, coerentemente con il numero notevolmente maggiore di instabilità prodotte.

Sulla base dei dati idrologici disponibili, è stata effettuata un'analisi statistica, finalizzata a valutare la ricorrenza della pioggia cumulata per diversi intervalli temporali. I valori massimi annuali per intervalli di 1, 3, 6, 12, e 24 ore e 2, 5, 10, 20, 30 giorni sono stati regolarizzati usando la funzione di distribuzione di Gumbel I-type (Fig. 5). Su tali curve di probabilità sono stati riportati i dati degli eventi del gennaio 2003 e del marzo 2005. Il primo raggiunge il tempo di ritorno massimo (25 anni) per pioggia cumulata a 2 giorni; in particolare, fino a 12 ore di pioggia cumulata, l'evento non è eccezionale, indicando una notevole distribuzione della pioggia, come osservabile anche dallo ietogramma di figura 4. Con caratteristiche simili, anche se meno potente, appare l'evento del marzo 2005, che raggiunge il massimo tempo di ritorno (15 anni) per pioggia cumulata a 24 ore.

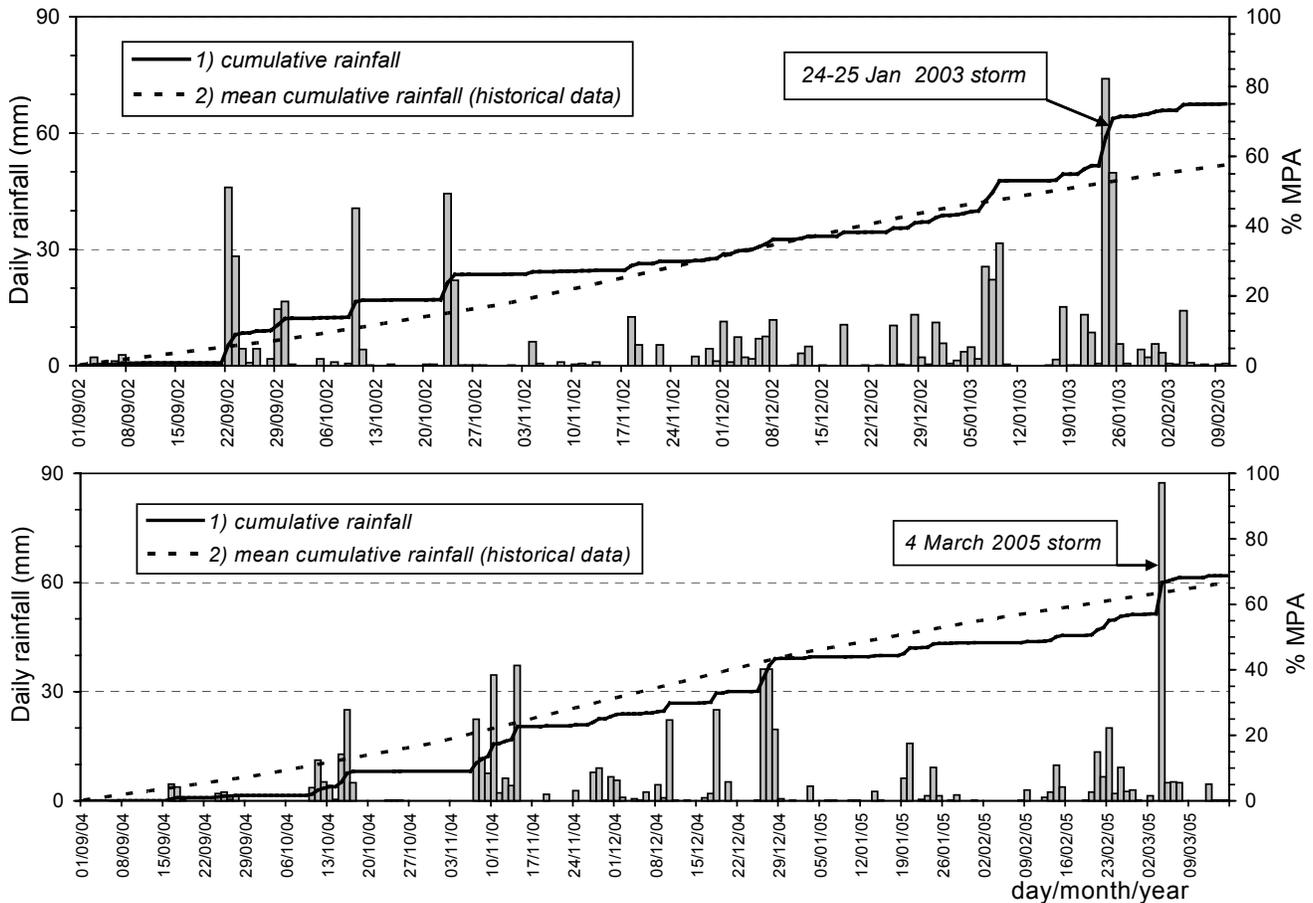


Figura 3 – Pioggia giornaliera e cumulata (% della media annuale) dal 1 settembre 2002 e dal 1 settembre 2004.
Daily and cumulative rainfall (% MPA) from 1st September 2002 and from 1st September 2004.

Tab.2 – Risultati ottenuti dall’applicazione del *Leaky Barrel Model*: K_d , coefficiente di drenaggio; Z_t , quantità minima di pioggia trattenuta necessaria per indurre l’innesco delle frane; Z_{max} , massimo valore della pioggia trattenuta; T , periodo durante il quale $Z > Z_t$.
Results from Leaky Barrel Model application: K_d , discharge coefficient; Z_t , minimum retained rainfall needed to debris flows initiation; Z_{max} , maximum value of retained water; T , period of time for $Z > Z_t$.

Storm	K_d (h^{-1})	Z_t (mm)	Z_{max} (mm)	$Z_{max}-Z_t$ (mm)	$T; Z > Z_t$ (h)
Mar 2005	0,02	70	71,1	1,1	2
Jan 2003	0,02	70	79,3	9,3	28

6. Applicazione di Shalstab

Le informazioni cartografiche numeriche alla scala 1:5000 dell’area campione sono state elaborate per la determinazione del DTM, sul quale è stato applicato l’estensione *Shalstab* del software *ArcView*. Come noto, *Shalstab* si basa sulla combinazione di due modelli. Uno è il modello di stabilità di pendio infinito, in cui il rapporto tra altezza della falda temporanea e profondità della potenziale superficie di scorrimento, h/z , è relazionata con i parametri meccanici dei terreni (angolo d’attrito, ϕ' e coesione, c') e l’inclinazione del pendio, β . L’altro è un modello idrologico

del pendio, in cui h/z è relazionata sia al rapporto tra pioggia effettiva e trasmissività (q/T), sia alle caratteristiche topografiche che determinano il flusso d’acqua attraverso le sezioni normali alle direttrici del deflusso sub-superficiale (Dietrich & Montgomery, 1998).

In figura 6 è riportata l’applicazione di *Shalstab* al quadrante sud-orientale dell’area analizzata.

È interessante osservare che le condizioni geologiche e morfologiche dell’area oggetto di studio presentano caratteristiche ottimali per l’applicazione del modello, del tutto confrontabili con quelle nordamericane sulle quali si basano i principi teorici di *Shalstab*, come la omogeneità dei

caratteri litologici dei pendii all'interno dell'area campione, la distribuzione della copertura colluviale lungo i pendii in funzione dell'inclinazione del pendio, il decremento della

permeabilità con la profondità, lo scorrimento delle acque in superficie limitato alle linee di drenaggio, le condizioni di stabilità valutabili secondo il modello del pendio infinito.

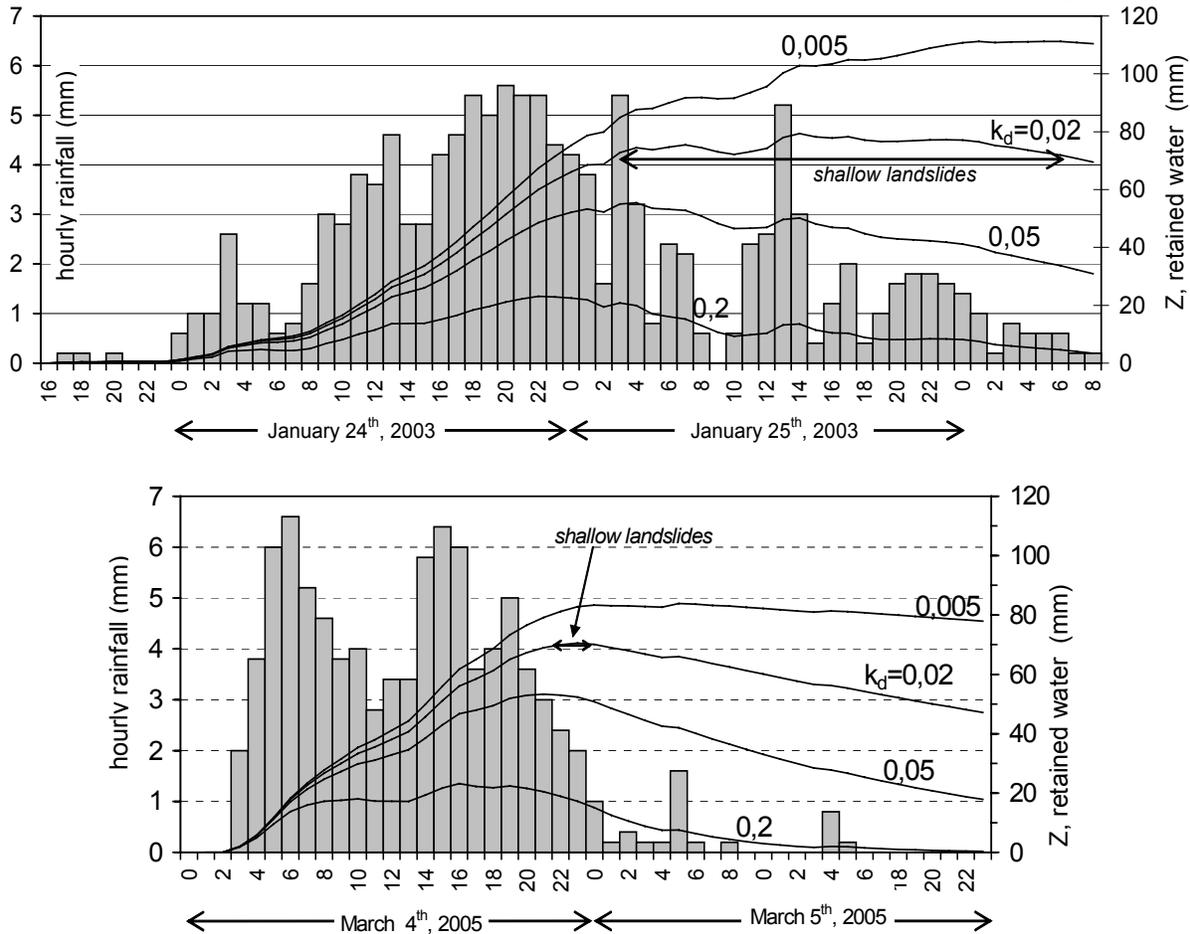


Figura 4 – Pioggia oraria dell'evento del gennaio 2003 e marzo 2005 e parametro Z, come funzione del coefficiente di drenaggio, K_d , calcolato mediante applicazione del *Leaky Barrel Model*.
Hourly rainfall of the January 2003 and March 2005 storm and retained rainfall, Z, as a function of the drainage coefficient, K_d , computed by Leaky Barrel Model.

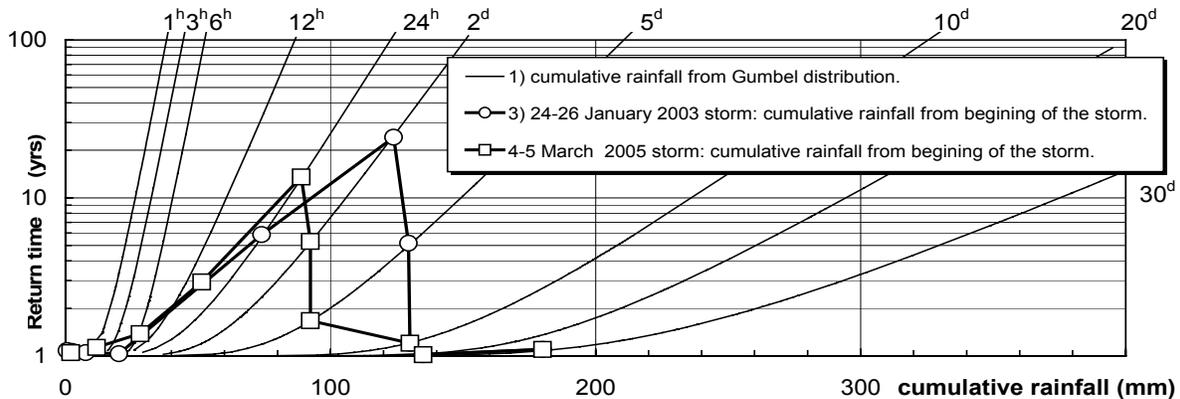


Figure 5 - Tempi di ritorno della pioggia cumulata secondo la funzione di distribuzione di Gumbel (pluviometro di Colle Sannita). Sono plottati anche i valori riferiti agli eventi del gennaio 2003 e marzo 2005
Gumbel function of cumulative rainfall for different rainfall duration (Colle Sannita rain gauge). Return period of the cumulative rainfall

of January 2003 and March 2005 storm are also shown

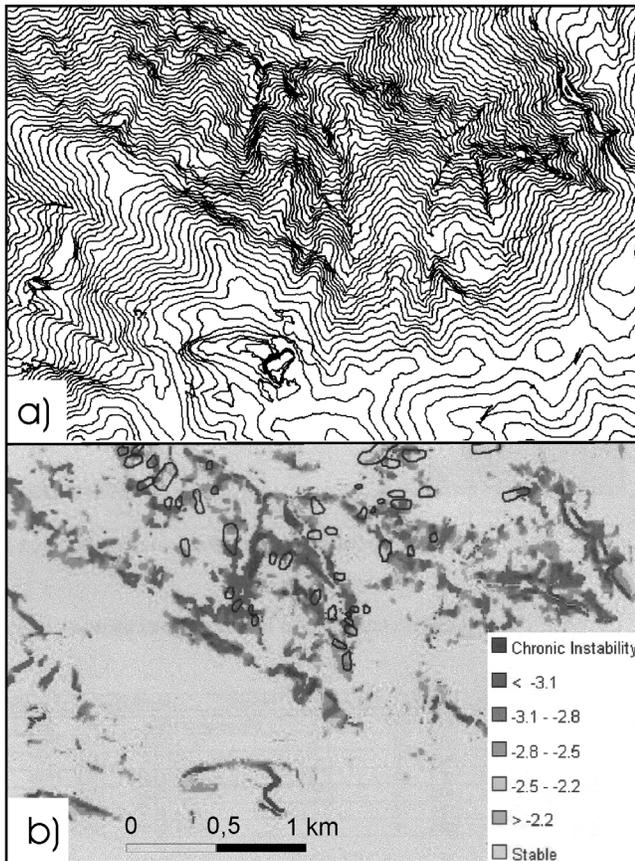


Figura 6 – a) Quadrante sud-orientale dell’area campione, isoipse ogni 5 m; b) risultati dell’applicazione di *Shalstab* (parametri utilizzati dedotti dalla figura 7a) e ubicazione delle frane rilevate a) *South-Eastern quadrant of test area, 5 m contour lines*; b) *results of the Shalstab application (parameters used extracted from figure 7a) and location of landslides surveyed*

Per la definizione dei valori dei parametri da utilizzare, il modello è stato calibrato mediante la variazione dell’angolo d’attrito, ϕ , e la coesione, c' . I risultati sono riportati in figura 7a, ove si osserva che per valori della coesione $c'=1$ kPa e dell’angolo d’attrito $\phi=20^\circ$, si ottiene la più alta frequenza di instabilità nei settori $\log(q/T)<-3,1$. In figura 7b sono riportate le frequenze sia delle instabilità che del totale delle aree elementari (celle) per i diversi settori individuati da *Shalstab*; la distribuzione delle frane si riferisce alla scelta ottimale dei valori dei parametri meccanici ($\phi'=20^\circ$; $c'=1$ kPa) ed è prevalentemente concentrata nel settore $\log(q/T)<-3,1$.

7. Discussioni e considerazioni finali

L’evento del marzo 2005 e, soprattutto, quello del gennaio 2003 hanno indotto migliaia di instabilità superficiali, con spostamenti verificatisi in pochi minuti o poche ore e caratterizzati da singoli ben definiti corpi di frana che hanno

coinvolto il materiale colluviale. L’anomalo sviluppo di migliaia di frane su una vasta area deve essere connesso con le singolari caratteristiche degli eventi di pioggia: distribuzione oraria, durata, totali cumulati, pioggia antecedente. È rilevante osservare che nell’area gli eventi di pioggia più potenti si verificano durante il mese di novembre, nel corso della prima parte della stagione piovosa, quando, in genere, la copertura colluviale non ha raggiunto la capacità di campo.

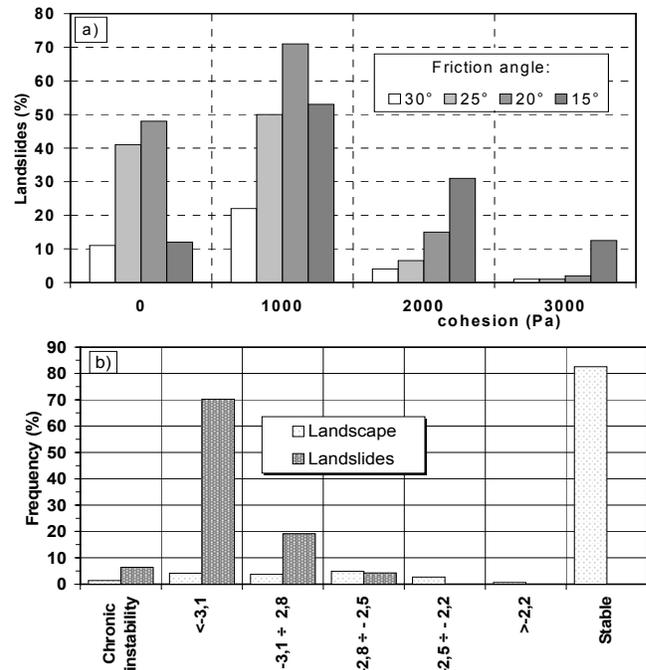


Figura 7 – a) Percentuale delle instabilità che ricadono nelle zone $\log(q/T)<-3,1$ al variare dei parametri meccanici del materiale; b) distribuzione delle sole aree instabili (*landslides*) e di tutte (*landscape*) secondo le zone individuate da *Shalstab* a) *Landslides percentage within $\log(q/T)<-3,1$ zones, in relation to the mechanical parameters of the materials*; b) *Landslides and all (landscape) areas within Shalstab zones*

È noto che le frane superficiali sono relazionate ad eventi di pioggia intensi (Caine, 1990; Tierlen, 1998; Van Asch et al., 1999) ed, in alcune regioni, anche alla pioggia antecedente necessaria per incrementare il contenuto d’acqua nei terreni (Campbell, 1975; Wiezoreck e Sarmiento, 1985; Crozier, 1999; Fiorillo & Wilson, 2004; Wiezoreck & Glade 2005). Gli eventi del marzo 2005 e, soprattutto, del gennaio 2003 si sono verificati dopo un periodo antecedente piovoso. Inoltre, osservando gli ietogrammi di figura 4 e le caratteristiche di ricorrenza della pioggia cumulata, l’intensità oraria risulta molto bassa all’inizio degli eventi. Queste condizioni hanno facilitato l’infiltrazione e lo sviluppo di pressioni di poro positive, consentendo l’applicazione dei modelli utilizzati. Sulla base della conoscenza dell’intervallo temporale in cui si sono

innescate le frane superficiali, l'applicazione del *Leaky Barrel Model* consente di individuare la soglia d'innescio delle frane superficiali nell'area in esame attraverso la seguente relazione (Wilson, 1989):

$$I = Z_t/D + K_d Z_t C$$

dove I rappresenta l'intensità della pioggia, D la durata e C un fattore computazionale adimensionale.

In figura 8, unitamente alla soglia riferita al pluviometro considerato ed indicativa del settore sannita analizzato, sono riportate altre soglie analogamente definite, con esclusione di quella di Caine (1980) che, come noto, è una soglia empirica desunta da numerosi eventi di *debris flows* verificatisi in diverse località del mondo.

La soglia di Colle Sannita risulta coerentemente più bassa di quella di Lauro, per ragioni sia climatiche sia tecniche dei materiali coinvolti. Fino a 30 ore di durata, invece, la soglia di Colle Sannita risulta superiore a quella della località La Honda, caratterizzata da un piovosità media annua minore (710 mm).

La soglia definita in figura 8 è applicabile quando il suolo è in condizioni di capacità di campo; in tal caso, gli eventi di pioggia capaci di provocare una $Z \geq Z_t$ (con $Z_t = 70$ mm; Tab.2) risultano ubicati sopra la soglia ed appaiono essere caratterizzati da pioggia distribuita e continua nel tempo, con durata di almeno 12 ore e tempi di ritorno significativi per cumulate di pioggia via via crescenti (figura 5).

I risultati dell'applicazione del modello *Shalstab* indicano che un'elevata percentuale d'instabilità è localizzata nei settori predetti dal modello. Tuttavia, è necessario considerare che non tutti questi settori sono stati interessati da instabilità nel corso degli eventi di pioggia del gennaio 2003 e del marzo 2005. Ciò, comunque, solo apparentemente può determinare una sovrastima delle aree potenzialmente instabili. Infatti, sono proprio le zone non coinvolte dalle recenti instabilità che attualmente appaiono,

per ragioni evidentemente geomorfologiche ed idrologiche, le più suscettibili all'instabilità a seguito di eventi idrologici capaci di indurre una $Z > Z_t$.

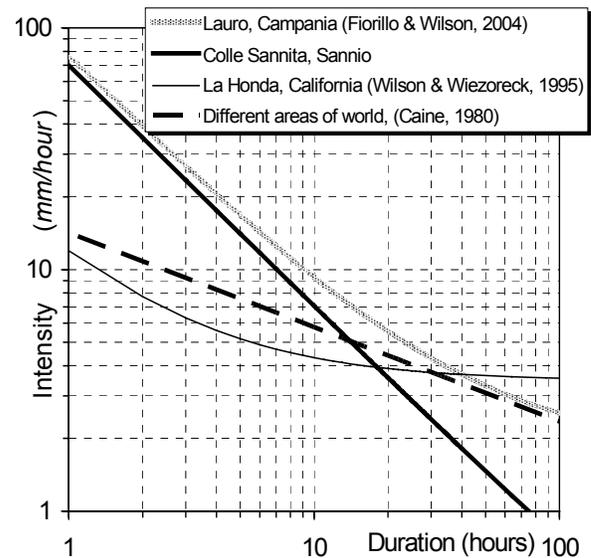


Figura 8 – Soglie idrologiche d'innescio per frane superficiali in Campania e nel mondo

Hydrological threshold for shallow landslide triggering in Campania and in the world

8. Ringraziamenti

Si ringrazia il *Centro funzionale per la previsione meteorologica ed il monitoraggio meteo-idro-pluviometrico* della Regione Campania per aver concesso i dati termopluviometrici a partire dal 2000 ed il dott. Antonio Melillo, per la collaborazione fornita durante i rilievi in sito e le prove in laboratorio.

Bibliografia

Caine, N. (1980). *The rainfall intensity-duration control of shallow landslides and debris flows*. Geografiska Annaler, 62A, 23-27.

Campbell R.H. (1975). *Soil slip, debris flows, and rainstorms in the Santa Monica Mountains and vicinity, Southern California*. U.S. Geological Survey Professional Paper, n.851.

Cruden D.M., Vames D.J. (1996). *Landslide Types and Processes*. In *Landslides: Investigation and Mitigation*, Transportation Research Board, Special Report 247, Washington, 36-72.

Dietrich W.E., Montgomery D.R. (1998). *SHALSTAB: a digital terrain model for mapping shallow landslide potential*. <http://ist-socrates.berkeley.edu/~geomorph/shalstab/>

Fiorillo F. (2004). *Blue clay slope angle in relation to some geological and geotechnical characteristics, Italy*. Q. Journal of Eng. Geology and Hydrogeology, 37, 49-59.

Fiorillo F., Simeone V. (2004). *Analysis of rainfall related to landslide activity during January-February 2003, South-Eastern sector of Italy*. BALWOIS Conference on "Water Observation and Information System for Decision Support", Ohrid, Republic of Macedonia, 25-29 May, 2004.

Fiorillo F., Wilson R.C. (2004) - *Rainfall induced debris flows in pyroclastic deposits, Campania (southern Italy)*. Engineering Geology, 75/3-4, 263-289.

Guadagno F.M. (2006). *Le frane della provincia di Benevento*. Dipartimento di Studi Geologici ed Ambientali, Università degli Studi del Sannio – Provincia di Benevento; in stmpa.

Massa B., Russo M., Torrente M.M., Zuppeta A. (2002). *Piegamenti sovrapposti nella Formazione di S.Giorgio (Appennino sannita)*. Studi Geologici Camerti, 2, 127-134.

Montgomery D.R., Dietrich W.E. (1994). *A*

physically based model for the topographic control on shallow landsliding. Water Resources Research, 30 (4), 1153-1171.

Pescatote T., Di Nocera S., Matano F., Pinto F. (2000). *L'unità del Fortore nel quadro della geologia del settore orientale dei monti del Sannio (Appennino meridionale)*. Boll. Soc. Geol., 119, 587-601.

Terlien M.T.J. (1998). *The determination of statistical and deterministic hydrological landslide-triggering thresholds*. Environmental Geology, 35, 124-130.

Van Asch T.W.J., Buma J., Van Beek L.P.H. (1999). *A view on some hydrological triggering system in landslides*. Geomorphology, 30, 25-32.

Wiezoreck G. F., Glade T. (2005). *Climatic Factors influencing occurrence of debris flows*. In "Debris-flow Hazards and Related Phenomena", M. Jakob and O. Hungr eds; Springer Berlin Heidelberg, 325-362.

- Wieczorek, G.F., Sarmiento, J. (1988). *Rainfall, piezometric levels, and debris flows near La Honda, California, in storms between 1975 and 1983*. In: Ellen, S.D., Wieczorek, G.F. (Eds.), *Landslides, Floods, and Marine effects of the Storm of January 3-5, 1982, in the San Francisco Bay Region, California*, U.S. Geol. Surv. Prof. Pap., vol. 1434, pp. 43-62.
- Wilson R.C. (1989). *Rainstorms, pore pressures, and debris flows: a theoretical framework*. In Sadler P.M. and Norton D.M. (editors), "Landslides in the Semiarid Environmental", Publication of the Inland Geological Society, Riverside CA, vol.2, 101-117.
- Wilson R.C., Wieczorek G. F. (1995). *Rainfall thresholds for the initiation of debris flows at La Honda, California*. *Env. & Eng. Geoscience*, 1 (1), 11-27.