

MARIA SABATINO & SALVATORE MONTELEONE

DEFINIZIONE DI SCENARI CRITICI DI INNESCO PER SOIL SLIPS MEDIANTE L'APPLICAZIONE DI UN MODELLO DI STABILITÀ DEI VERSANTI

RIASSUNTO

Una delle conseguenze più diffuse e, talvolta, drammatiche degli eventi idrologici estremi è l'attivazione di numerose frane superficiali, nella maggior parte dei casi di dimensioni ridotte, nelle coltri eluvio - colluviali. Tali dissesti sono stati per lungo tempo identificati con il termine di *soil slips* o *disintegrating soil slips* e come tali sono descritti ancora in molti lavori recenti.

Il presente studio vuole contribuire ad acquisire maggiori conoscenze su tali fenomeni di dissesto; grazie a rilevamenti condotti in campo, alle analisi fotogeologiche e pluviometriche, nonché all'utilizzo di metodi analitici di stabilità dei versanti, sono stati ipotizzati degli scenari critici di innesco per frane superficiali nell'area di Monte di Corvo, ricadente nel bacino idrografico del Fiume Acqua Amara – Salso, versante meridionale delle Madonie (Sicilia centro-settentrionale).

In particolare, mediante l'organizzazione in una banca dati delle informazioni relative all'assetto geolitologico, alle caratteristiche fisiche, meccaniche e idrauliche delle coltri, all'acclività dei versanti, alla distribuzione spaziale di tali fenomenologie è stato creato un GIS che, grazie all'applicazione di un modello teorico di stabilità dei versanti, ha permesso l'elaborazione di una carta delle precipitazioni critiche per l'innesco di tali fenomenologie franose. Il confronto tra l'andamento pluviometrico e la relativa evoluzione reale dei versanti per fenomeni di soil slips ha permesso di valutare il grado di attendibilità del modello applicato.

ABSTRACT

Definition of critical triggering scenarios of shallow landslides through the use of a model of slope stability. One of the most common and sometimes dramatic effects of extreme hydrological events is the activation of several shallow landslides, in most cases of reduced size, on the eluvial-colluvial layers. The landslides have been for long time named as soil slips or disintegrating soil slips and are still described with these terms in many recent papers.

The present study aims to acquire more data on such instability events through field surveys,

photo-geologic and pluviometric analysis as well as the use of analytic methods of slope stability. Some critical triggering scenarios of shallow landslides have been hypothesised in the area of Monte di Corvo, within the hydrographic basin of Fiume Acqua Amara-Salso on the southern side of Madonie Mountains (central-northern Sicily).

The introduction in a data base of geo-lithologic informations, physic, mechanic and hydraulic characteristics of the strata, slope acclivity and spatial distribution of this landslides made possible the creation of a GIS. The application to this GIS of a theoretic model of slope stability permitted the elaboration of a critical precipitation map for the triggering of these landslide events. The comparison of the pluviometric trend and the relative real evolution of the slopes under soil slip events during the periods in which was possible to map the shallow landslides, permitted to evaluate the degree of confidence of the applied methodology.

ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

Nell'area di Monte di Corvo affiorano terreni la cui età è compresa tra il Cretaceo superiore e il Messiniano (Fig.1); i terreni più antichi appartengono alla Fm. Olistostroma Lavanche (Cretaceo sup. – Eocene), nota in letteratura anche con il nome di Argille Scagliose, costituita da argille marnose con inclusi litici di differente età e dimensione; seguono le argille limose del Flysch Numidico (Oligocene sup. - Miocene inf.) e, in discordanza, i terreni tardo-rogeni afferenti alla Fm. Terravecchia (Tortoniano sup. - Messiniano inf.), alla Fm. Gessoso – solfifera e alle Argille Brecciate (ABIII) del Messiniano (SABATINO, 2004).

Generalmente, questi terreni sono ricoperti da estese coltri di natura eluvio - colluviale il cui spessore medio è compreso tra pochi decimetri e 1,5 metri circa; tale spessore è funzione della litologia del substrato alle spese del quale la copertura stessa si è formata, nonché dell'assetto morfologico locale; in particolare, esso è maggiore in corrispondenza degli affioramenti a prevalente componente argillo - limosa e delle zone che rappresentano le aree di accumulo dei dissesti, mentre spessori più modesti si riscontrano sui substrati litoidi di calcare e gessi ed in corrispondenza delle aree interessate da intensi e diffusi processi di denudazione dei versanti.

Anche la loro composizione litologica dipende, ovviamente, dal substrato dal quale si sono evolute e/o dalle zone di origine dei materiali che le hanno generate; nel complesso, comunque, sono costituite da una massa di natura argillo – limosa in cui la componente arenitica si fa più significativa in corrispondenza degli affioramenti delle arenarie limose della Formazione Terravecchia, mentre aumentano gli inclusi litoidi, anche di dimensioni decimetriche, nei substrati calcarei e gessosi del Messiniano ed in quelli argillo-ghiaiosi del Tortoniano sup. - Messiniano inf. (SABATINO & MONTELEONE, 2006).

Dal punto di vista geomorfologico, l'evoluzione di quest'area risente del-

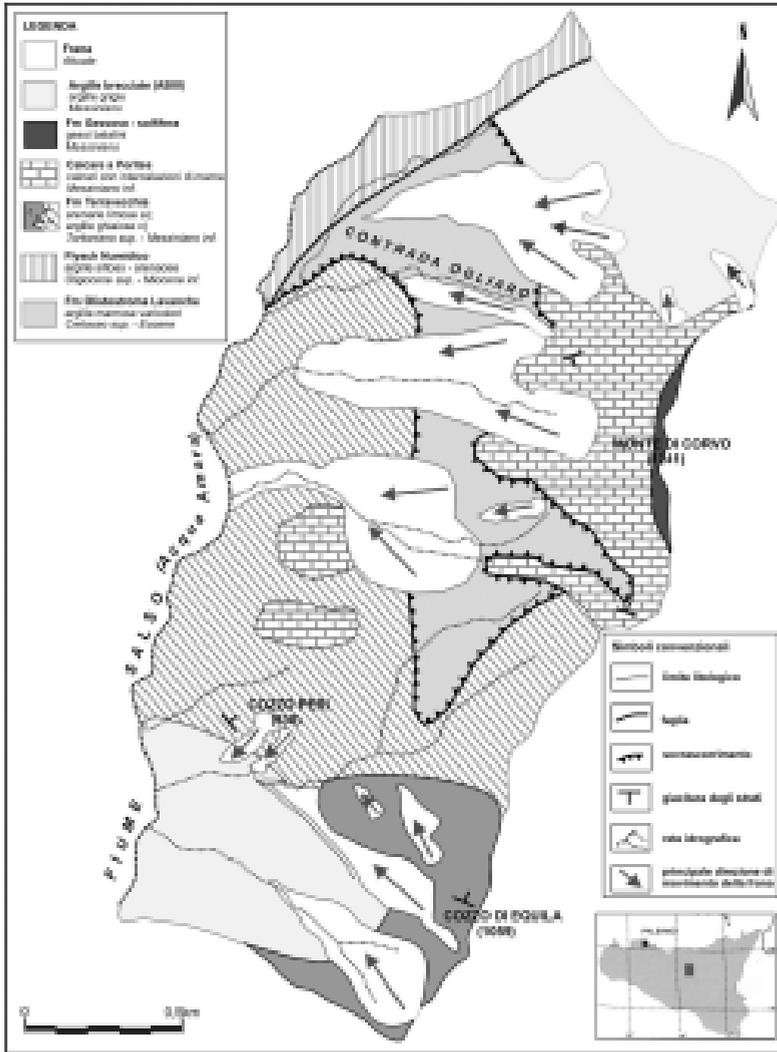


Fig. 1 — Schema geologico-strutturale (da SABATINO & MONTELEONE, 2006, modificato).

l'assetto geologico - strutturale ed è regolata, principalmente, da movimenti in massa la cui superficie di rottura coinvolge i terreni del substrato e da frane superficiali; le prime risultano localizzate, prevalentemente, nella porzione centro - settentrionale dell'area e la loro nicchia di distacco si attesta spesso in corrispondenza del contatto tra le Argille Scagliose ed i soprastanti calcari del Messiniano inferiore. Più numerosi, ma con minori volumi di materiale mobilizzato per singolo fenomeno, risultano le frane superficiali del tipo soil

slip; questi fenomeni coinvolgono uno spessore limitato e non sembrerebbero legati alla presenza di particolari pratiche agricole e/o uso del suolo, anche se nella distribuzione areale paiono, tuttavia, prediligere le aree a coltivo rispetto quelle incolte da più anni consecutivi.

La superficie di scorrimento dei dissesti superficiali osservati nell'area di Monte di Corvo si origina generalmente al contatto tra i terreni di copertura ed il substrato anche se, talvolta, il substrato non è visibile, originandosi tale superficie di taglio all'interno della copertura eluvio – colluviale stessa.

I soil slips riconosciuti e cartografati sono stati distinti secondo la classificazione di PARONUZZI *et al.* (PARONUZZI *et al.*, 2002) come “*scorrimento di tipo A*” e “*scorrimento di tipo C*”; l'analisi dei periodi investigati (1976, 1987, 1997, 2003) ha messo in evidenza come diverso sia il numero complessivo dei soil slips, nonché il rapporto tra le due differenti tipologie (SABATINO & MONTELEONE, 2006).

La rete idrografica risulta mediamente sviluppata ed è rappresentata dall'asta principale del Fiume Salso che rappresenta il limite occidentale dell'area di studio, e da una serie di aste secondarie con direzione prevalentemente E-W.

ANALISI PLUVIOMETRICA

La complessità che esiste nell'affrontare la modellazione dei processi di infiltrazione e movimento dell'acqua nel sottosuolo rende particolarmente utile il ricorso all'informazione indiretta mediante l'analisi dei dati pluviometrici per cercare di delineare scenari critici di pioggia ed indirizzare, in maniera più efficace, gli studi all'identificazione dei meccanismi di innesco dei dissesti in generale, ed in modo particolare di quelli superficiali.

La definizione delle cosiddette “*soglie pluviometriche*”, ovvero delle soglie di intensità e durata degli eventi piovosi oltre le quali si innescano fenomeni franosi di neoformazione o si riattivano dissesti preesistenti, rappresenta il problema maggiore nell'utilizzo dei dati pluviometrici con finalità di previsione delle frane. Considerata la grande variabilità delle condizioni geologiche ed idrogeologiche dei pendii, è di norma difficile individuare relazioni empiriche tra piogge critiche e dissesti oltre i contesti locali (TORTA *et al.*, 2000).

La loro individuazione per ampie porzioni di territorio risulta ancora più difficoltosa, a causa delle relazioni complesse che esistono tra afflussi, infiltrazione efficace e risposta delle pressioni interstiziali nel terreno. L'unico approccio che può essere adottato è la ricerca di una correlazione diretta fra altezza o intensità di precipitazione in un determinato intervallo e innesco dei

movimenti, tralasciando le leggi fisiche che regolano le trasformazioni afflussi - infiltrazione - risposta piezometrica (GALLIANI *et al.*, 2001).

Questo tipo di approccio se risulta valido per tutte le tipologie di dissesti, ancor più lo è per fenomeni di dissesto che coinvolgono soltanto le coperture detritiche ed eluvio - colluviali; infatti, presentando queste dei valori di permeabilità da media a medio - alta, sono caratterizzate da una rapida risposta delle pressioni interstiziali agli eventi di precipitazione.

Inoltre, focalizzando l'attenzione sull'andamento pluviometrico di un'area, gli scenari che sono riconosciuti essere tipici dell'innesco d'instabilità di pendio, possono essere ricondotti in termini generali ai seguenti casi:

- 1) eventi pluviometrici brevi caratterizzati da scrosci con intensità molto elevata, preceduti da consistenti piogge cumulate;
- 2) eventi pluviometrici brevi caratterizzati da scrosci con intensità molto elevata, preceduti da modeste piogge cumulate;
- 3) anni idrologici con elevati valori di pioggia totale, preceduti da consistenti piogge cumulate su più anni;
- 4) anni idrologici con elevati valori di pioggia totale preceduti da modeste piogge cumulate su più anni (CLARIZIA *et al.*, 1996).

Nella prima di queste ipotesi è ragionevole che si verifichino instabilità superficiali diffuse; nella seconda che si abbiano instabilità superficiali isolate, mentre nelle ultime due che si abbiano rimobilizzazioni di instabilità profonde o mediamente profonde (TERRANOVA & GULLÀ, 2002). Pertanto, i fenomeni franosi che si impostano sulle coltri eluvio-colluviali sono influenzati da piogge brevi ed intense (CAINE, 1980; GOVI & SORZANA, 1980; CANCELLI & NOVA, 1985; GOVI *et al.*, 1985; BELLINI & MARTINI, 1997).

Essendo nel presente lavoro l'analisi pluviometrica finalizzata ad ipotizzare degli scenari critici di innesco dei fenomeni di dissesto superficiale, essa è stata, quindi, rivolta alla individuazione di quegli eventi di breve intensità che si sono verificati negli intervalli temporali per i quali vi era la disponibilità di coperture aerofotogrammetriche a scala adeguata per eseguire degli studi di fotointerpretazione e redigere le relative carte tematiche.

Per la loro cartografazione ci si è basati sul fatto che tali fenomeni possono essere riconosciuti per la freschezza delle forme e, pertanto, possono essere molto verosimilmente collocati temporalmente durante l'ultimo ciclo stagionale; quindi, le analisi delle serie pluviometriche giornaliere hanno riguardato i seguenti periodi:

- ottobre 1975 - aprile 1976 (carta dei soil slip redatta mediante fotointerpretazione delle foto aeree del giugno 1976);
- settembre 1986 - aprile 1987 (carta dei soil slip redatta mediante fotointerpretazione delle foto aeree del giugno 1987);

– agosto 1997 - aprile 1998 (carta dei soil slip redatta mediante fotointerpretazione delle foto aeree del novembre 1997).

La stazione pluviometrica di riferimento è stata quella di Gangi che si trova ad una quota di 1000 metri slm, mentre per gli anni 1986 e 1987, in mancanza delle registrazioni in quella di riferimento, sono stati utilizzati i dati registrati, rispettivamente, alle stazioni di Raffo (741 m slm) e Gangi bis (1050 metri slm).

Il profilo climatico dell'area in oggetto identifica precipitazioni medie annue, nel trentennio 1969 - 2000, pari a 624 mm; soltanto negli anni 1973 e 1987 si superano gli 800 millimetri annui, mentre il record di pioggia cumulata in un anno si è avuto negli anni 1969, 1977, 1997 con valori superiori a 1000 millimetri (Fig. 2).

L'analisi delle precipitazioni medie mensili nello stesso periodo evidenzia come le stesse si concentrino nel periodo che va da ottobre ad aprile; il mese di dicembre è il mese più piovoso dell'anno con quasi 96 mm di pioggia, seguito dal mese di gennaio con 88 mm circa. Proprio questi mesi hanno fatto registrare precipitazioni medie mensili superiori a 200 millimetri, ed in particolare nel dicembre 1969 si ebbero 206 mm e nello stesso mese del 1996 si sono registrati 248 mm. Il maggiore valore in assoluto durante il periodo di osservazione si è avuto nel gennaio 1973 con 266 mm di pioggia. Non mancano precipitazioni eccezionali durante il mese di aprile del 1969 in cui caddero ben 204 mm di pioggia. Viceversa l'anno che ha fatto registrare il minimo storico è il 1970 con 409 mm, mentre i valori minimi relativamente alla media mensile, escludendo i mesi aridi, sono di 3 mm registrati nel mese di ottobre degli anni 1977 e 1995 e di solo 4 mm nel dicembre del 1985; spetta, invece, a marzo del 1994 il record di mese in cui non si è avuto nessun afflusso meteorico.

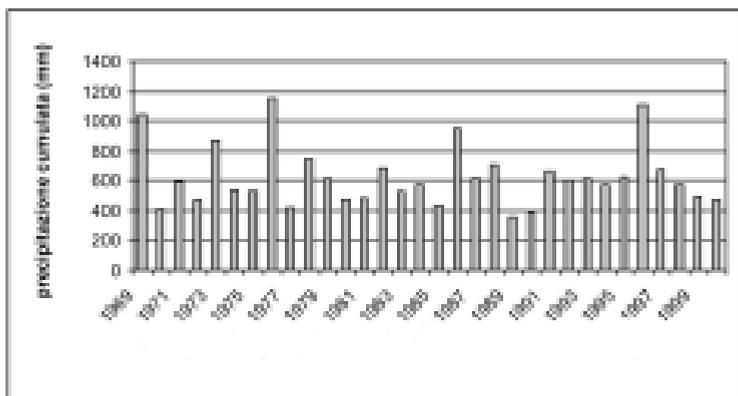


Fig. 2 — Andamento delle precipitazioni cumulate annuali nel periodo 1969 - 2000.

Vengono di seguito esaminati gli andamenti delle precipitazioni medie giornaliere riferite ai periodi per i quali sono state redatte le carte dei dissesti superficiali.

Studio idrologico del periodo ottobre 1975 – aprile 1976

L'analisi delle precipitazioni medie giornaliere del periodo ottobre 1975-aprile 1976 (non è stato considerato il mese di settembre in quanto non si sono verificate precipitazioni medie giornaliere significative) ha messo in evidenza i seguenti dati (Fig. 3):

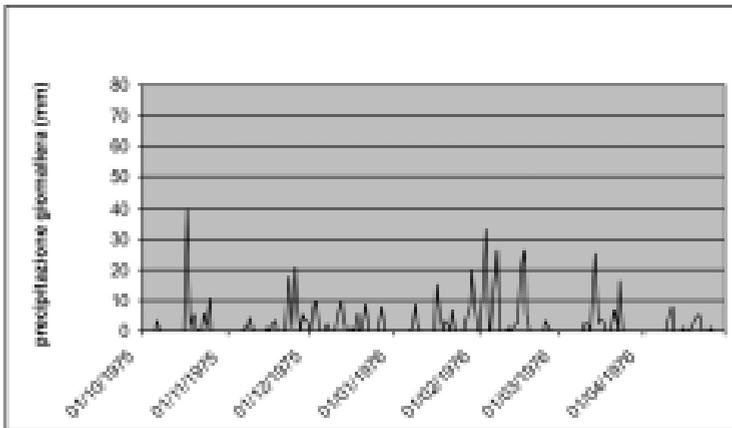


Fig. 3 — Andamento delle precipitazioni medie giornaliere nel periodo ottobre 1975 - aprile 1976.

- l'evento di massima intensità giornaliera è risultato pari a 40 mm, con precipitazioni di massima intensità registrate alla I, III, VI, XII ora; tale evento non è stato preceduto da piogge cumulate significative;

- diversi eventi caratterizzati da intensità di precipitazione variabile, distribuita in diversi giorni, consecutivi e non, con picchi maggiori di 20 mm/g.

Studio idrologico del periodo settembre 1986 - aprile 1987

Le precipitazioni registrate in questo intervallo mostrano valori mensili sempre e abbondantemente superiori rispetto alla media del trentennio 1969-2000, mentre l'analisi delle precipitazioni medie giornaliere (Fig. 4) permette di fare le seguenti considerazioni:

- i due eventi di massima intensità, avvenuti a ottobre ed a gennaio, sono contraddistinti da valori rispettivamente di 64 e 67 mm di pioggia cumulata

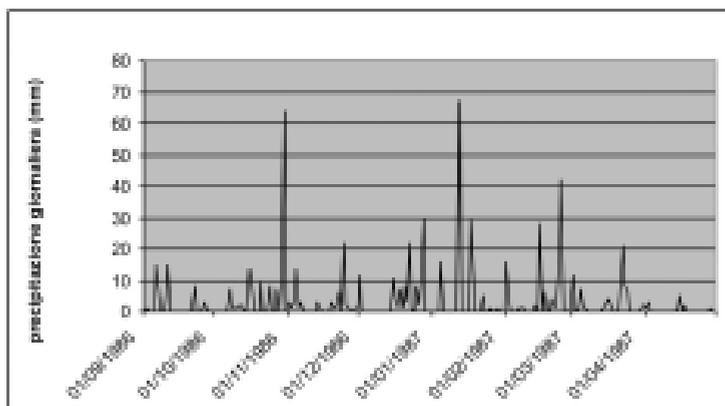


Fig. 4 — Andamento delle precipitazioni medie giornaliere nel periodo settembre 1986 - aprile 1987.

nelle 24 ore; entrambi gli eventi sono stati preceduti da precipitazioni distribuite in più giorni consecutivi e con valori compresi tra 10 e 30 mm;

– il periodo tra febbraio e marzo si caratterizza per precipitazioni abbondanti distribuite su più giorni consecutivi che, a loro volta, precedono un evento che ha fatto registrare valori di pioggia giornaliera superiore a 40 mm.

Studio idrologico del periodo agosto 1997 - aprile 1998

Esso si caratterizza per il verificarsi di precipitazioni mensili ben al di sopra dei valori medi calcolati per il trentennio di riferimento; nel mese di agosto si è registrato addirittura il più alto valore di precipitazione mai avuto; per questo mese, durante tutto il periodo di osservazione e per i mesi successivi si ha avuto un aumento progressivo sia dell'afflusso meteorico che del numero di giorni piovosi.

Quindi, l'intervallo in oggetto è identificato da un andamento pluviometrico eccezionale con valori che rappresentano o massimi storici per il periodo di funzionamento della stazione Gangi o che superano del 40 - 50 % i valori medi.

Per quanto riguarda l'analisi degli afflussi medi giornalieri (Fig. 5) è possibile fare le seguenti considerazioni:

– gli eventi che hanno fatto registrare intensità giornaliera elevata sono risultati quelli del 24 novembre e del 13 agosto, rispettivamente, con 35 e 28 mm di pioggia; quest'ultimo evento ha compreso anche il valore di precipitazione critica alla III ora;

– si verifica, poi, un altro evento iniziato il 16 settembre durante il quale su dieci giorni piovosi 6 hanno fatto registrare precipitazioni superiori a 5

mm; di questi uno ha avuto un afflusso meteorico superiore a 20 mm e 3 hanno fatto registrare valori di precipitazione superiore a 10 mm;

– dall’inizio di ottobre fin quasi alla fine di novembre si sono verificati una serie di eventi meteorici di differente entità; in particolare, tale periodo si distingue per l’elevato numero di giorni piovosi;

– l’andamento pluviometrico osservato nel periodo successivo alla esecuzione del volo (25/11/1997) non ha evidenziato eventi meteorici con apporti giornalieri superiori a 22 mm.

VERIFICA DI STABILITÀ DEI VERSANTI

La valutazione della stabilità dei pendii è ordinariamente effettuata sulla base di analisi deterministiche svolte tramite il calcolo di un coefficiente di sicurezza, espresso come rapporto tra resistenza e azione (CHERUBINI, 1996). Poiché l’interesse è quello di valutare lo stato di saturazione locale, l’approccio deve necessariamente essere di tipo distribuito, operando un bilancio del contenuto d’acqua nel versante a livello di ogni singola cella (ROSSI, 1998).

Pertanto, il modello di Montgomery e Dietrich (MONTGOMERY & DIETRICH, 1994), che combina il classico modello all’equilibrio limite per la stabilità dei versanti con un modello idrologico, appare idoneo alla modellazione dei fenomeni di soil slip. Le ipotesi alla base della formulazione di questo modello sono:

- pendio indefinito;
- superficie di rottura piana e parallela alla superficie topografica;

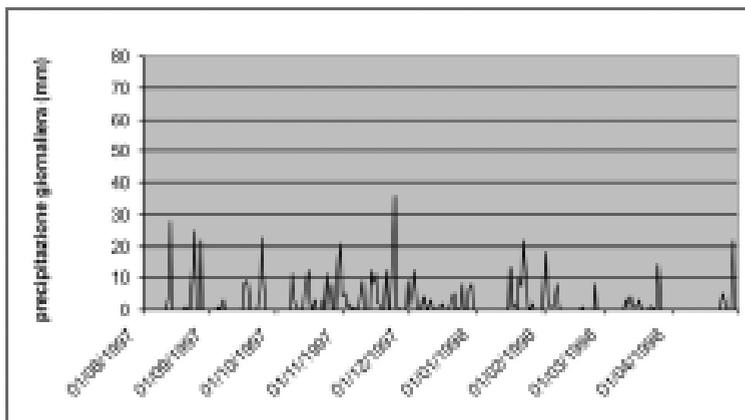


Fig. 5 — Andamento delle precipitazioni medie giornaliere nel periodo agosto 1997 - aprile 1998.

- criterio di resistenza del terreno alla Mohr-Coulomb espresso in termini di tensioni efficaci;
- flusso stazionario parallelo al pendio;
- assenza di drenaggio profondo e di flusso nel substrato.

In base a quest'ultima ipotesi il modello non verrà applicato alle aree in cui affiorano le coltri eluvio-colluviali evolutesi sui terreni litoidi (calcare e gessi), poichè la permeabilità del substrato può localmente risultare maggiore rispetto quella della coltre, impedendo di fatto, in seguito all'instaurarsi di un drenaggio nel substrato, la formazione di una falda freatica temporanea con deflusso parallelo al versante.

Tale modello prevede, inoltre, la discretizzazione del dominio di studio in celle elementari di lato b e superficie A per ciascuna delle quali sono note le variabili ed i parametri in ingresso; in particolare, le *variabili* sono gli attributi che derivano automaticamente dal Modello Digitale del Terreno (pendenza del versante θ , area di drenaggio A e larghezza di deflusso b), mentre i *parametri* (Tab.1) sono le grandezze fisico-meccaniche che devono essere attribuite alla coltre superficiale (spessore ξ , peso saturo dell'unità di volume γ_{sat} , coesione c , angolo di resistenza al taglio φ_{sat} , conducibilità idraulica T e altezza di pioggia infiltrata i_e).

L'organizzazione di tutte queste informazioni in una banca dati ha permesso, grazie all'utilizzo di un sistema GIS, l'applicazione automatica del modello di stabilità che calcola per ogni cella la quantità d'acqua infiltrata necessaria a rendere unitario il fattore di sicurezza. Quindi, il concetto di pioggia critica è legato direttamente a quello di coefficiente di sicurezza; infatti, alla classe di pendii caratterizzati da un certo valore di pioggia critica corrisponde, per definizione, un valore del coefficiente di sicurezza pari ad uno (BORGHA & DALLA FONTANA, 1999).

L'equazione utilizzata si caratterizza, quindi, per dare direttamente il valore dell'afflusso efficace alla falda i_e che, a parità di tutte le altre variabili, innesca condizioni di instabilità per la cella in esame:

$$i_e \geq \frac{b}{A} T \text{sen} \theta \frac{\gamma_{\text{sat}}}{\gamma_a} \left[1 - \frac{1}{\tan \varphi} \left(\tan \theta - \frac{c}{\gamma_{\text{sat}} \xi \cos^2 \theta} \right) \right]$$

in cui γ_a rappresenta il peso specifico dell'acqua.

Ipotizzando che l'afflusso meteorico non subisca perdite nella sua trasformazione in afflusso efficace alla falda, il termine i_e identifica anche l'afflusso meteorico indicato di seguito come precipitazione critica (i_{crit}).

L'applicazione di tale equazione porterà, quindi, alla individuazione di zone caratterizzate ognuna da differenti valori di *precipitazione critica* che

crea condizioni di disequilibrio nei versanti mediante l'innesco di fenomeni franosi del tipo soil slip; in tal modo si potranno individuare immediatamente le aree per le quali il coefficiente di sicurezza, espresso in funzione di un assegnato valore di pioggia (reale o potenziale), è maggiore o minore dell'unità, essendo necessario confrontarlo con quello della *precipitazione critica* prevista dal modello.

Tabella 1
Parametri utilizzati nel modello di stabilità dei versanti

<i>Litologia del substrato</i>	<i>c</i> kPa	φ °	γ_{sat} g/cm ³	ξ m	<i>T</i> m ² /g
Argille scagliose (Fm Olistostroma Lavanche)	7,0	24	2,8	1,5	0,013
Argille siltoso-arenacee (Flyscht Numidico)	11,0	23	2,7	1,5	0,022
Arenarie limose (Fm Terravecchia)	16,0	26	2,5	0,8	0,127
Argille ghiaiose (Fm Terravecchia)	13,0	24	2,6	0,7	0,011
Argille brecciate (ABIII)	10,0	28	2,6	1,0	0,009

Carta delle precipitazioni critiche

L'applicazione del modello precedentemente illustrato ha portato alla elaborazione di una "carta delle precipitazioni critiche" dalla quale è possibile risalire direttamente alla quantità di pioggia, espressa come millimetri al giorno, necessaria a destabilizzare la cella di riferimento (Fig. 6).

Una prima analisi mostra come la distribuzione dei valori di precipitazione critica rifletta l'assetto geolitologico dell'area: valori di precipitazione compresi tra 10 – 24 mm/g sono necessari a destabilizzare le coltri regolitiche evolute sulle argille ghiaiose della Fm. Terravecchia, valori compresi tra 40 – 70 mm/g sono sufficienti a creare condizioni di disequilibrio nelle aree in cui sono presenti le coltri evolute sulle argille della Fm. Olistostroma Lavanche e sulle Argille brecciate (ABIII), mentre le aree con valori di precipitazione critica superiori a 110 mm/g si identificano, quasi totalmente, con l'affioramento delle arenarie limose della Fm. Terravecchia.

In particolare, per le coltri che si sono evolute sui substrati argillo – ghiaiosi della Fm. Terravecchia il modello prevede valori di precipitazione critica, generalmente, inferiori a 24 mm/g; tali valori di afflusso meteorico

In corrispondenza delle coltri evolutesi sui substrati a prevalente componente argillosa e argillo - marnosa, quali le argille della Fm. Olistostroma Lavanche e le Argille brecciate (ABIII), il modello ha evidenziato, invece, che la precipitazione critica per questi litotipi è compresa, prevalentemente, tra 40 e 70 mm/g; valori più elevati si possono rilevare nell'affioramento sudoccidentale delle Argille brecciate, nei pressi della località Cava di Sale. Sulla congruenza tra la capacità previsionale del modello e la reale evoluzione per fenomeni di soil slips osservata su questi versanti verrà discusso nel prossimo paragrafo.

In corrispondenza delle coltri che si sono evolute sui substrati arenacei della Fm Terravecchia, infine, le condizioni necessarie all'innesco di soil slips si creano per precipitazioni, generalmente, maggiori di 110 mm/g, e solo localmente sono necessarie precipitazioni di intensità più bassa (comunque compresa tra 70 e 110 mm/g). Tali condizioni meteopluviometriche difficilmente si verificano nell'area di Monte di Corvo; il massimo valore di precipitazione giornaliera, per tutto il periodo di osservazione (1969-2000), è risultato pari a 103 mm. L'analisi morfodinamica retrospettiva dei soil slips relativa alle varie epoche di riferimento avvalorava questo dato; infatti, essa ha

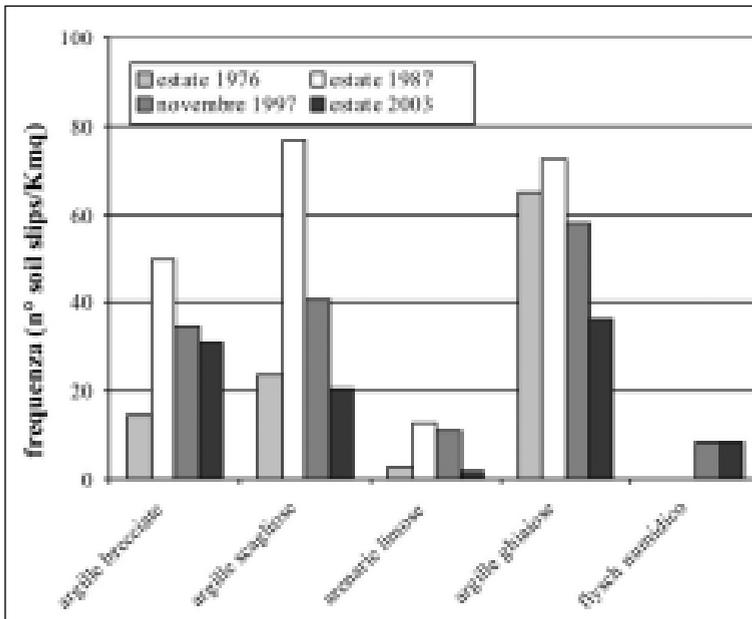


Fig. 7 — Frequenza dei soil slips, in funzione del substrato sul quale poggia la coltre eluvio-colluviale, nei periodi: estate 1976, estate 1987, novembre 1997, estate 2003 (da SABATINO & MONTELEONE, 2006, modificato).

evidenziato una frequenza sempre molto bassa, con un massimo (12%) registrato nel 1987, periodo in cui più abbondanti e con intensità giornaliera elevata sono risultate le precipitazioni meteoriche. La seppur sporadica presenza di soil slips in questo contesto va, quindi, correlata o ad una permeabilità della coltre decrescente con l'aumento della profondità, in seguito al venir meno della lavorazione agricola con mezzi meccanici, oppure alla possibilità che, localmente, si crei una falda temporanea sospesa all'interno della coltre stessa in seguito a intercalazioni limoso - argillose, molto frequenti in questa litofacies, che possono determinare delle variazioni nette del coefficiente di permeabilità.

INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI

Al fine di testare ulteriormente l'affidabilità del modello applicato, è stato effettuato un confronto tra la carta delle precipitazioni critiche e la carta della distribuzione reale dei soil slips; tra le carte dei dissesti superficiali relative ai periodi 1976, 1987, 1997 e 2003, si è ritenuto più opportuno scegliere quella relativa al maggio 1987, in quanto derivante da interpretazione di fotogrammi a scala adeguata e corredata da una puntuale e completa analisi pluviometrica. Pertanto, di seguito verrà fatto un riesame delle precipitazioni critiche derivanti dall'applicazione del modello e, quindi, degli eventi idrologici ritenuti determinanti per l'insacco dei soil slips nell'area di studio alla luce del relativo andamento pluviometrico registrato dalle stazioni meteopluviometriche di Raffo e Gangi bis. In particolare, dall'analisi del grafico relativo all'andamento delle precipitazioni medie giornaliere del periodo settembre 1986 - aprile 1987 (Fig. 4) si possono ipotizzare degli scenari critici di insacco per fenomeni del tipo soil slip in relazione alle differenti coltri eluvio - colluviali.

In particolare, tre sono stati gli eventi meteorici la cui intensità è risultata essere compresa tra i 40 ed i 70 mm/g; dall'analisi della carta delle precipitazioni critiche si evidenzia come questo intervallo di precipitazione meteorica è sufficiente a determinare instabilità superficiale sui versanti costituiti da litologie a prevalente componente argillo - marnosa, quali le Argille scagliose e le Argille brecciate. Analizzando la figura 7 si evince come proprio su queste due litologie si siano verificate una quantità notevole di dissesti, sia in numero assoluto (complessivamente 110) che come frequenza (76 e 50 soil slips per kmq, nelle Argille scagliose e nelle Argille brecciate, rispettivamente). Questi valori non sono più stati registrati negli altri periodi investigati; il massimo valore di pioggia giornaliera è risultato, infatti, sempre inferiore a 40 mm.

Non si è avuto, invece, per le coltri evolutesi sulle argille limo - ghiaiose

della Formazione Terravecchia nessun significativo aumento del numero complessivo di fenomeni di dissesto superficiale, sia rispetto al periodo antecedente (1976) che a quelli successivi (1997, 2003); ciò conferma il fatto che su tali coltri sono sufficienti eventi di intensità da bassa a moderata (inferiori a 24 mm/g) a determinare l'innesco di frane superficiali; eventi con questa intensità si registrano con regolarità nell'area in oggetto durante tutto l'anno idrologico.

Se i risultati ottenuti per le coltri eluviali evolutesi su substrati a prevalente componente argillosa suggeriscono che il modello applicato sia stato sufficientemente accurato nel descrivere e modellare il fenomeno, per le coltri poggianti su substrati arenacei i risultati non appaiono altrettanto accurati.

Infatti, l'analisi della distribuzione dei valori di precipitazione critica in corrispondenza delle aree in cui sono presenti coltri di natura arenaceo-limosa (coltri che, secondo il modello, si destabilizzano per valori di precipitazione giornaliera maggiori di 70 mm), farebbe supporre che nessun fenomeno di dissesto superficiale debba essersi verificato in tali aree. La presenza di soil slips in queste aree potrebbe, però, essere correlata alle modalità con cui gli eventi meteorici si sono verificati, in particolare agli eventi pluviometrici che fanno registrare intensità orarie elevate, nonché alle caratteristiche degli eventi meteorici che li precedono. Difficile risulta, al momento, una valutazione realistica in tal senso; nuove fasi integrative di studio, comprendenti una più puntuale caratterizzazione fisico-meccanica e idraulica sia delle coltri che del substrato ed un'analisi pluviometrica riferita alle precipitazioni di massima intensità, sono da considerarsi necessari per apportare significativi miglioramenti alle capacità previsionali del modello per quanto riguarda questo tipo di coltre regolitica ed, in generale, per quelle coltri che presentano valori di permeabilità da medi ad elevati.

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Il problema della valutazione della pericolosità da frana ha conosciuto un interesse sempre crescente negli ultimi decenni; infatti, se da un lato tale interesse scaturisce dall'esigenza di garantire un livello di rischio accettabile agli insediamenti nuovi e a quelli già presenti in aree a rischio, dall'altro esso trova ulteriore giustificazione nella necessità di preservare siti di interesse sociale, artistico, culturale ed economico dall'accadimento di eventi catastrofici, quali per esempio i fenomeni franosi, che potrebbero comprometterli.

Tra i molteplici fattori predisponenti l'instabilità dei versanti, ed in particolare la loro evoluzione per mezzo di fenomeni franosi del tipo soil slip, vi sono le proprietà geotecniche ed idrogeologiche dei materiali, il regime delle

pressioni interstiziali e la geometria del pendio; la precipitazione meteorica, invece, è il principale fattore di innesco in quanto, generando pressioni interstiziali positive e conseguente risalita del livello di falda, determina la riduzione delle condizioni generali di stabilità del pendio.

Pertanto, nel presente lavoro si è cercato di individuare delle possibili relazioni tra eventi meteorici e frane, grazie alla creazione di un Sistema Informativo Territoriale che ha consentito di immagazzinare, organizzare e gestire una serie di dati relativi ai fattori responsabili dell'instabilità nell'area di Monte di Corvo, quali le caratteristiche fisiche, meccaniche ed idrauliche delle coltri evolutesi su differenti substrati, nonchè quelle legate alla morfometria dei versanti.

Un approccio di tipo deterministico per la definizione della stabilità dei versanti ha permesso, poi, di individuare le soglie pluviometriche oltre le quali si può avere mobilitazione di frane superficiali nella stessa area; i risultati ottenuti mediante la modellazione utilizzata hanno rafforzato l'ipotesi secondo la quale fenomeni di franamento superficiale, con le peculiarità di soil slip, si verificano allorquando all'interno della coltre eluvio - colluviale, in seguito ad intense precipitazioni, si viene a creare una falda idrica superficiale con deflusso parallelo al versante stesso.

L'accurata ricostruzione della distribuzione dei fenomeni di dissesto superficiale in epoche passate confrontata con il relativo andamento delle precipitazioni giornaliere ha rappresentato, infine, un elemento di verifica per la taratura e la validazione del modello applicato che, sebbene semplifichi la descrizione del processo di formazione di queste forme di dissesto, ha fornito risultati interessanti e compatibili con la reale evoluzione morfologica dell'area in esame, soprattutto relativamente alle coltri eluvio - colluviali evolutesi su substrati a prevalente componente argillosa e argillo - marnosa.

BIBLIOGRAFIA

- BELLINI S. & MARTINI C., 1997 — Clima e dissesti idrogeologici. — *Acqua e Aria*, 6: 95-110.
- BORGA M. & DALLA FONTANA G., 1999 — Modellazione distribuita dei franamenti superficiali innescati da eventi meteorici intensi. — *Quaderni di Idronomia Montana*, 19 (1): 149-158.
- CANCELLI A. & NOVA R., 1985 — Landslides in soil debris cover triggered by rainstorms in Valtellina. — *Proc. 4th Intern. Conf. and Field Workshop on Landslides*, Tokyo, 1: 267-272.
- CAINE N., 1980 — The rainfall intensity-duration control of shallow landslides and debris flows. — *Geografiska Annal*, 62 A: 3-27.
- CHERUBINI C., 1996 — La valutazione della sicurezza nella stabilità dei versanti. — *Atti del Convegno Internazionale "La prevenzione delle catastrofi idrogeologiche: il contributo della ricerca scientifica"*, 1: 117-124.
- CLARIZA M., GULLÀ G. & SORBINO G., 1996 — Sui meccanismi di innesco dei soil slip. — *Atti del Convegno Internazionale "La prevenzione delle catastrofi idrogeologiche: il contributo della ricerca scientifica"*, 1: 585-597.

- GALLIANI G., POMI L., ZINONI F. & CASAGLI N., 2001 — Analisi meteoroclimatologica e soglie pluviometriche di innesco delle frane nella Regione Emilia Romagna negli anni 1994 – 1996. — *Quad. Geol. Appl.*, 8 (1): 76-91.
- GOVI M., MORTARA G. & SORZANA P.F., 1985 — Eventi idrologici e frane. — *Geol. Appl. Idrogeol.*, 20 (II): 359-375.
- GOVI M. & SORZANA P.F., 1980 — Landslide susceptibility as a function of critical rainfall amount in Piedmont Basin (North-Western Italy). — *Studia Geomorph. Carpatho-Balcanica*, 14: 43-61.
- MONTGOMERY D. R. & DIETRICH W.E., 1994 — A physically based model for the topographic control of shallow landsliding. — *Water Resour. Res.*, 30: 1153-1171.
- PARONUZZI P., DEL FABBRO M. & MADDALENI P., 2002 — Frane superficiali tipo slide-debris flow causate dal nubifragio del 21/22 giugno 1996 nella Val Chiarsò (Alpi Carniche-Friuli). — *Mem. Soc. Geol. It.*, 57: 443-452.
- ROSSI F., 1998 — Idrologia e controllo degli eventi estremi. — *Atti del XXVI Convegno di idraulica e costruzioni idrauliche*, 5: 92-99.
- SABATINO M., 2004 — Aspetti geomorfologici del bacino idrografico del Fiume Acqua Amara - Salso (Sicilia centro-settentrionale). — *Naturalista sicil.*, Palermo, 28 (1-2): 371-379.
- SABATINO M. & MONTELEONE S., 2006 — Analisi dei dissesti che interessano le coperture regolitiche in un'area del territorio di Petralia Soprana (Sicilia centro-settentrionale). — *Naturalista sicil.*, Palermo, 30: 431-444
- TERRANOVA O. & GULLÀ G., 2002 — Scenari di pioggia critici per le instabilità di pendio in Calabria. Metodologie d'approccio ed analisi di serie storiche. — *Atti del Convegno Nazionale "Conservazione dell'Ambiente e rischio idrogeologico"*, Assisi 11-12 dicembre 2002: 45-54.
- TORTA D., BOTTINO G. & MANDRONE G., 2000 — Valutazione delle condizioni di rischio dei centri storici delle Langhe tramite l'analisi dell'influenza delle precipitazioni sui meccanismi di innesco dei dissesti. — *Atti del Convegno GeoBen 2000*, 1, Torino 7-9 giugno: 809-816.

Indirizzo degli Autori — M. SABATINO, S. MONTELEONE, Dipartimento di Geologia e Geodesia dell'Università di Palermo, Via Archirafi, 20 – 90123 Palermo (I); e-mail: sabatino@unipa.it; monteleo@unipa.it

