

PIERLUIGI BRANDOLINI (\*), FRANCESCO FACCINI (\*), PAOLO NICCHIA (\*\*)  
& REMO TERRANOVA (\*\*\*)

## DISSESTI GEOMORFOLOGICI, EVENTI ALLUVIONALI ED INSEDIAMENTI ANTROPICI: IL CASO DI TRIBOGNA IN VAL FONTANABUONA (APPENNINO LIGURE)

**ABSTRACT:** BRANDOLINI P., FACCINI F., NICCHIA P. & TERRANOVA R., *Geomorphological instability, floods and communities: the case of Tribogna in Fontanabuona valley (Ligurian Apennines)*. (IT ISSN 1724-4757, 2005).

Erosion and instability triggered by brief, but heavy rainfall are processes that represent one of the most frequently occurring environmental problems of very recent decades. These processes have serious repercussions on land management, often jeopardizing infrastructures and communities.

Considering the 21 landslides that affected the middle section of Fontanabuona valley (eastern Liguria) during the November 6th flood in 2000, this study focused on the analysis of the Aveno-Geppotti slope in the village of Tribogna. The landslide took place on the left side of the Rio del Culeio drainage area. It involved a volume of about 28,000 m<sup>3</sup> of soil and rock into motion, was 240 m long and had an average width of 40 m.

The lower part of the town of Aveno lies at the edge of the point of detachment. The central part of the landslide skimmed past several buildings located on the adjacent ridge and also destroyed two sections of the roadway. In the lower part, the landslide material passed over a third section of the road and reached the bed of the Rio del Culeio.

The investigation first consisted of a detailed geological and geomorphological survey, which allowed to draw up a geomorphological map and two interpretative geological sections. This work was followed by seismic refraction surveys and geotechnical laboratory testing. Geophysical prospecting revealed a variable thickness of the debris up to 8 m thick covering a very altered bedrock of slate.

Laboratory tests allowed us to classify the topsoil as inorganic silt characterized by medium compressibility (ML according to the unified system procedures) and a liquid limit between 35 and 46. The unit weight soil proved to be in the 17.5-18 kN/m<sup>3</sup> range; permeability was very low, as the coefficient was equal to  $2.73 \times 10^{-7}$  cm/s.

An analysis of the pluviometric data available for the study area and surroundings was carried out. Rainfall in November 2000 was more than two times higher than the average for that month, with a maximum peak of almost 100 mm in less than 12 hours on the day of the landslide.

Among the predisposing factors, in addition to those of geomorphological and structural nature, human activities carried out over the last

few decades are held to be a determining factor. These activities led to the almost total abandonment of the area, which, in turn, led to the degradation of the dry-stone walls, above and underground, connected with the ancient system of terraced slope cultivation.

The landslide involved the loose soil, which is characterized by a silty-clayey particle size with minor coarse-grained component, and also the altered and fractured surface portion of the underlying slates. The stratum joint's landslide position certainly contributed to the planar sliding of the debris cover.

The landslide started up by means of a mechanism characterized by residual strength state and then the movement developed into a complex type, which is partly attributable to translation and partly to earthflow.

**KEY WORDS:** Landslide, Heavy Rainfall, Flood, Ligurian Apennines.

**RIASSUNTO:** BRANDOLINI P., FACCINI F., NICCHIA P. & TERRANOVA R., *Dissesti geomorfologici, eventi alluvionali ed insediamenti antropici: il caso di Tribogna in val Fontanabuona (Appennino ligure)*. (IT ISSN 1724-4757, 2005).

Il territorio del comune di Tribogna e i suoi dintorni, nell'Appennino ligure, sono stati interessati da numerosi fenomeni franosi in concomitanza all'evento alluvionale del 6 Novembre 2000.

In particolare, è stato studiato il dissesto di versante in località Aveno-Geppotti, attraverso un rilevamento geologico e geomorfologico di dettaglio dell'area e di un adeguato intorno, realizzando una carta geomorfologica e due sezioni geologiche interpretative. Contemporaneamente è stata condotta un'analisi approfondita dei dati pluviometrici disponibili nella zona investigata.

Sono state effettuate prospezioni sismiche a rifrazione, che hanno evidenziato la presenza di una coltre detritica di spessore fino a 8 m ed un substrato roccioso ardesiaco molto alterato. Prove geotecniche di laboratorio su campioni di terreno sciolto prelevato nell'area di frana hanno permesso di definire il livello più superficiale come limo di media compressibilità (ML).

La frana è di tipo complesso (movimento rototraslativo nella porzione superiore e colata in terra nei settori mediano e terminale) ed ha interessato il terreno sciolto terrazzato ed un potente spessore di roccia ardesiaca alterata e fratturata. Il movimento franoso ha interessato alcuni tornanti della strada d'accesso all'abitato di Aveno-Geppotti, coinvolgendo alcuni edifici sia nella zona di distacco sia di accumulo.

**TERMINI CHIAVE:** Frana, Precipitazione intensa, Alluvione, Appennino ligure.

(\*) *Università di Genova, Dipartimento di Scienze dell'Ambiente, dell'Antichità e del Medioevo, via Balbi 2 - 16123 Genova.*

(\*\*) *Geologo, via Martiri della Liberazione 126 - 16043 Chiavari (GE).*

(\*\*\*) *Università di Genova.*

## INTRODUZIONE

I processi erosivi ed i fenomeni di dissesto, innescati da piogge intense e di breve durata, rappresentano una delle problematiche ambientali più ricorrenti nel corso degli ultimi anni. In Liguria investono sia la fascia costiera, sia l'entroterra alpino ed appenninico e comportano importanti ripercussioni sulla gestione del territorio, compromettendo in molti casi la viabilità e la stabilità dei centri abitati.

In questo contributo è analizzato, come esempio caratteristico di queste problematiche, l'evento alluvionale del novembre 2000, che ha colpito la media Val Fontanabuona (Liguria orientale), ove si sono verificati decine di fenomeni franosi di varie dimensioni, che hanno coinvolto porzioni di versante con diverse destinazioni d'uso, quali terrazzamenti agricoli, aree boschive, insediamenti accentrati e sparsi, strade carrabili.

In particolare è stato studiato il versante di Aveno-Geppotti nel comune di Tribogna, oggetto di un rilevante fenomeno di dissesto riconducibile alle forti piogge.

Attraverso l'analisi ed il confronto dei dati pluviometrici dell'evento e di quelli storici, nonché delle caratteristiche geologico-geomorfologiche generali e delle aree in frana, supportate da indagini geofisiche sul versante e da analisi geotecniche puntuali sulle coltri, si è ricostruito il quadro evolutivo dei dissesti individuando le cause predisponenti ed innescanti, sia di origine naturale, sia di origine antropica.

## CARATTERI GEOLOGICI E GEOMORFOLOGICI

Il versante di Aveno-Geppotti è ubicato sulla sinistra orografica del Rio del Culeio laddove esso confluisce nel T. Litteglia. Il comparto, rivolto a S-SE su un'area di 12 ha, è delimitato da due crinali che da 425 m degradano verso valle fino a 175 m, con una pendenza abbastanza regolare, senza impluvi ben marcati, con inclinazione media di circa 25°.

La zona è costituita dalle ardesie della Val Fontanabuona, individuate e attribuite all'Albiano-Cenomaniano per la prima volta da Casella & Terranova (1963), nell'ambito di varie suddivisioni litostratigrafiche operate nell'insieme assai vasto e complesso di argilloscisti dell'Appennino ligure.

Il Foglio Rapallo (1:100.000) della Carta Geologica d'Italia (Boni & *alii*, 1969) riporta gli affioramenti delle ardesie designandoli col termine «Membro delle Ardesie del M. Verzi» dal nome di un monte nel quale le ardesie compaiono nella facies più rappresentativa. Più recentemente Marroni & Perilli (1990) hanno attribuito la formazione al Campaniano.

La formazione delle ardesie è caratterizzata dalla presenza solitamente abbondante e diffusa della componente marnosa, alla quale si associano in fitte alternanze strati di arenarie quarzose feldspatiche e micacee, di scisti argillosi e siltosi e di calcareniti (Brandolini, 1988; Marini, 1993; Terranova, 1994; 1996).

Le Ardesie del M. Verzi appartengono all'Unità del M. Gottero nell'ambito delle Liguridi Interne e sovrastano stratigraficamente gli argilloscisti manganiferi (Casella & Terranova, 1963; Terranova, 1966). A tetto presentano due condizioni diverse nei versanti della valle: in sinistra orografica mostrano una copertura di scisti argillosi con lenti policrome e passaggio verso l'alto alle Arenarie di M. Gottero; sul versante destro hanno al tetto il Flysch calcareo-marnoso di M. Antola (Brandolini, 1999).

L'area del Comune di Tribogna si estende in gran parte sulle ardesie del versante destro della valle, ove queste giacciono sopra gli argilloscisti manganiferi.

Nell'area centrale del versante il substrato ardesiaco non è affiorante, ad eccezione del tratto denudato dal movimento franoso conseguente alle piogge dell'evento alluvionale del Novembre 2000, come esposto nel paragrafo successivo (fig. 1).

La zona di Aveno-Geppotti presenta, nel suo insieme, delle evidenze geomorfologiche tipiche di un versante oggetto in tempi diversi di processi gravitativi, con episodi di distacco di roccia e di coltre che hanno dato luogo all'accumulo di un vasto deposito detritico. Nella parte sommitale del versante è riconoscibile la traccia di un'antica scarpata di frana in roccia, oggi quiescente, che si sviluppa per circa 200 m intorno a 425 m s.l.m., sotto alla quale si possono tuttora rilevare numerosi affioramenti del substrato, parzialmente ricoperti da materiale detritico, quale testimonianza residua della nicchia di svuotamento.

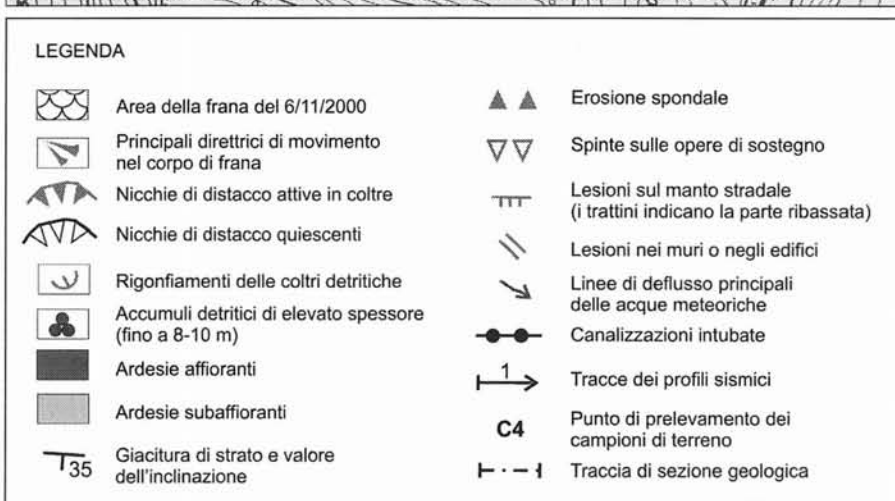
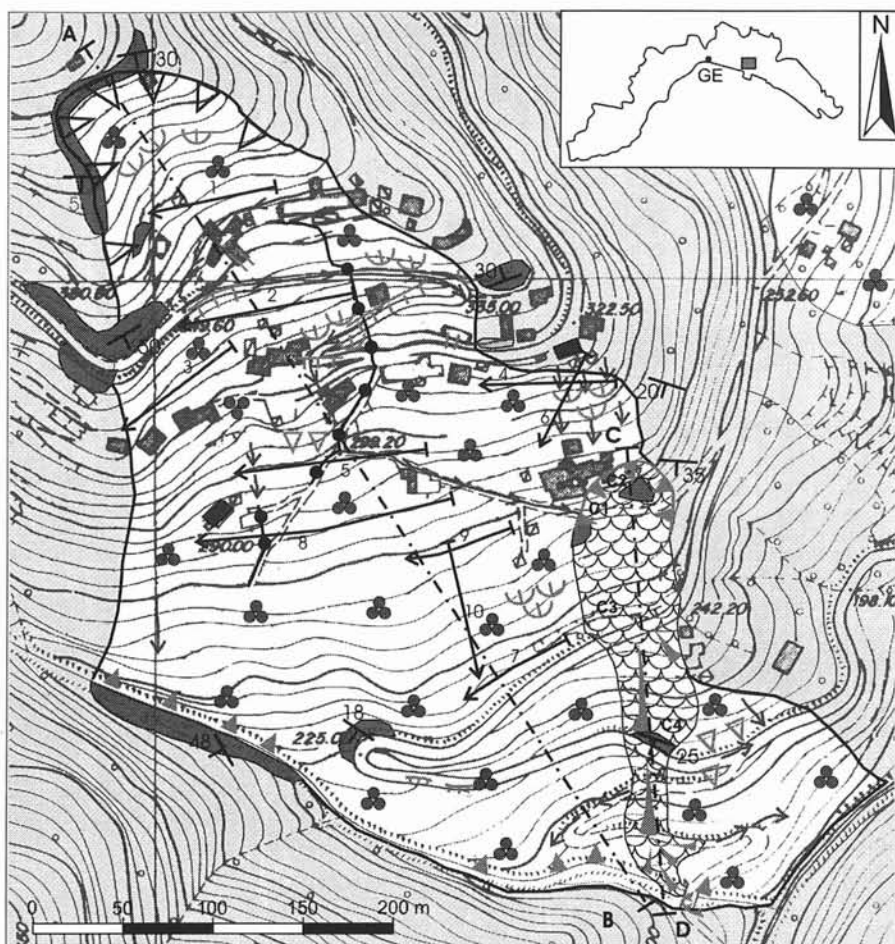
Da circa 375 m s.l.m., gli spessori delle coltri detritiche, rimaneggiate e sistemate a terrazze agricole, aumentano gradualmente, come ricavato dalle indagini sismiche, sino a raggiungere spessori plurimetrici (fino a 8-10 m) nella parte centrale ed inferiore del versante (figg. 2 e 3).

Ai fini della migliore comprensione della genesi dei fenomeni di dissesto, l'attenzione è stata rivolta in particolare allo studio del deflusso delle acque superficiali e sotterranee: si è osservato che l'idrografia del versante su cui sorge l'abitato di Aveno è mal definita e difficilmente individuabile. Inoltre, in corrispondenza delle aree meno acclivi, dove le acque superficiali scorrono con velocità inferiore, si rilevano infiltrazioni efficaci che saturano la coltre detritica defluendo verso valle per lo più lungo l'interfaccia con il sottostante substrato ardesiaco.

Il Rio del Culeio esercita un'intensa azione erosiva alla base della coltre detritica accelerando i processi gravitativi (fig. 1). Le linee principali di deflusso superficiale delle acque meteoriche si concentrano prevalentemente sulle strade carrabili, sulle mulattiere e sui sentieri.

In particolare è stato osservato che il sentiero che si sviluppa a 360 m s.l.m., a monte delle abitazioni di Aveno, intercetta quasi interamente le acque superficiali provenienti da monte e le convoglia sulla strada provinciale; inoltre, in alcuni settori sono presenti tratti di canalizzazioni e di tubazioni in totale stato di abbandono o prive di manutenzione, che non consentono in ogni caso il corretto deflusso idraulico.

FIG. 1 - Carta geomorfologica del versante di Aveno-Geppotti (Tribogna).



## EVENTO ALLUVIONALE E DISSESTI GEOMORFOLOGICI

Secondo l'analisi sinottica del Centro Meteo Idrologico della Regione Liguria, nel periodo compreso tra il 3 ed il 6 Novembre 2000 una vasta area ciclonica ha interessato l'Europa occidentale; venti sino a 70 km/h e piogge intense hanno interessato il 3° ed il 4 Novembre la Francia e le

Isole Britanniche e sull'Atlantico settentrionale si sono registrate altezze d'onda fino a 8 m.

L'area d'influenza del ciclone ha interessato nei giorni 5 e 6 Novembre il Nord Italia. In particolare, la Liguria e tutto l'arco alpino sono stati interessati da un intenso flusso da SW dovuto alla circolazione ciclonica e da conseguenti valori elevati della convergenza del flusso di aria umida nei bassi strati dell'atmosfera.

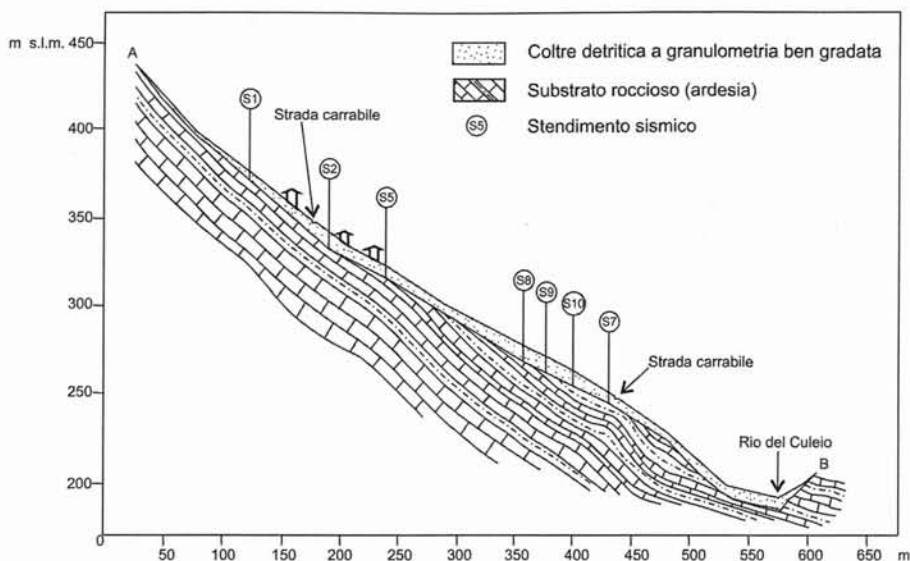


FIG. 2 - Sezione geologica A-B dal medio-alto versante fino al Rio Litteglia.

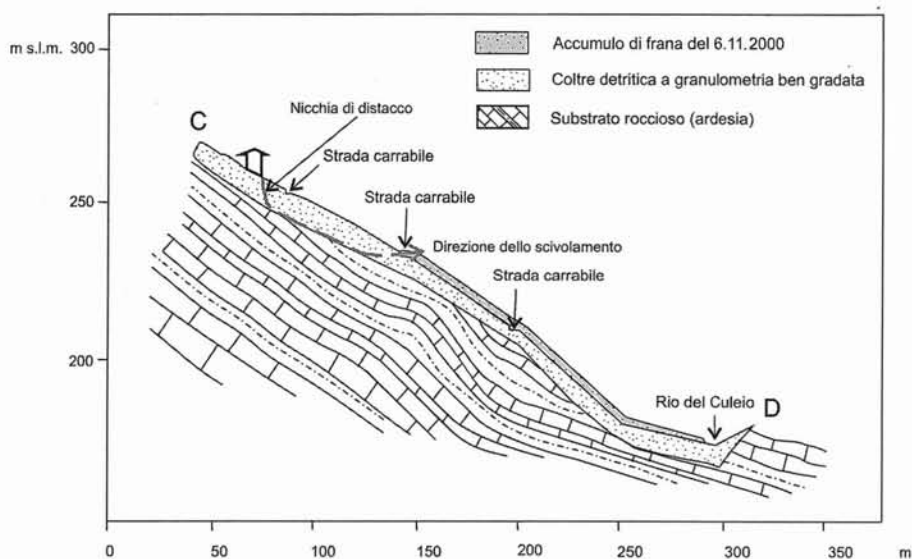


FIG. 3 - Sezione geologica C-D dell'area di frana del 6.11.2000.

L'evento alluvionale ha raggiunto il suo apice il 6 Novembre, con particolare insistenza nelle province di Imperia, Savona e Genova, con precipitazioni in spostamento da W verso E, che fin dalle prime ore della giornata hanno insistito su terreni già saturi a causa delle piogge occorse nei giorni precedenti.

Dall'analisi delle precipitazioni cumulate nelle prime dodici ore del 6 Novembre, nell'area compresa tra la media Val Fontanabuona e l'alta Val Trebbia, emerge che si sono raggiunti valori superiori a 90 mm di pioggia (fig. 4). L'evento alluvionale ha comportato significative ondate di piena in molti corsi d'acqua e dissesti geomorfologici hanno colpito numerosi bacini idrografici, soprattutto nell'entroterra della Riviera di Levante.

Il territorio comunale di Tribogna è stato interessato da 21 fenomeni franosi di varie dimensioni e gravità, dei

quali solo 2 si sono verificati il 3 Novembre, mentre nella giornata del 6 Novembre le frane sono state ben 19, concentrate in 6 km<sup>2</sup> di territorio.

Il pluviometro più vicino all'area di studio è situato a Colonia Arnaldi, in prossimità del crinale spartiacque meridionale della Val Fontanabuona, ma nel 2000 purtroppo non era funzionante; è stato fatto pertanto riferimento ai dati raccolti presso la stazione di Piana di Soglio, situata nel fondovalle circa 5 km ad E di Tribogna ed a quella della Scoffera, posta circa 15 km a nord a 800 m s.l.m., nella parte alta della valle.

La stazione di Piana di Soglio ha registrato una pioggia cumulata, negli otto giorni precedenti l'evento alluvionale, pari a 232 mm (fig. 5a), quantità notevole che ha saturato la coltre detritica e ha innescato numerosi eventi franosi nel bacino idrografico del T. Lavagna.

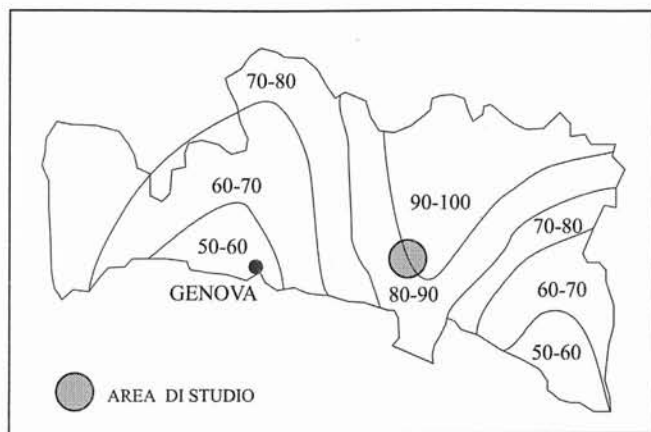


FIG. 4 - Isoiete di pioggia cumulata dalle ore 00:00 alle ore 12:00 del 06.12.2000 nella Provincia di Genova, in mm. Nell'area di Tribogna, evidenziata nella figura, si sono registrati valori tra 80 e 100 mm di pioggia.

Più in generale, il totale delle precipitazioni a Novembre è stato di 768 mm, superiore del 235% rispetto alla media mensile del periodo 1988-2000 (pari a 230 mm); ottobre è stato più piovoso di quasi il 70% rispetto alla stessa media (fig. 5b).

Anche analizzando i dati della stazione della Scoffera (fig. 5c) si riscontra un notevole incremento rispetto alle medie mensili per le precipitazioni di Ottobre (399 mm rispetto ai 287 mm di media dal 1985 al 2000) e di Novembre (459 mm rispetto ai 241 mm di media dal 1985 al 2000).

Dal confronto dei grafici annuali delle due stazioni (fig. 5d) è da rilevare che nel 2000 a Piana di Soglio sono stati registrati 1960 mm di precipitazioni (la media dal 1988 al 2000 è di 1279 mm), ovvero quasi le stesse piogge rilevate presso la Scoffera (2004 mm) che è situata in un'area più piovosa, con una media di 1869 mm/anno.

Nell'ambito dell'evento alluvionale, l'episodio franoso più imponente si è verificato nel pomeriggio del 6 Novembre 2000 (Federici & alii, 2004) determinando un dissesto sul versante sinistro del bacino del rio del Culeio, per una lunghezza di 240 m ed una larghezza media di 40 m, con un volume di terra e roccia movimentato di circa 28.000 m<sup>3</sup>.

La nicchia di distacco lambisce il nucleo insediativo di Aveno basso (fig. 1). Nella parte centrale la frana ha sfiorato alcune abitazioni poste sul crinale ad E ed ha distrutto la strada carrabile in due tratti distinti; il materiale colato nella parte inferiore del pendio ha oltrepassato la strada in un terzo tratto raggiungendo l'alveo del Rio del Culeio (fig. 3).

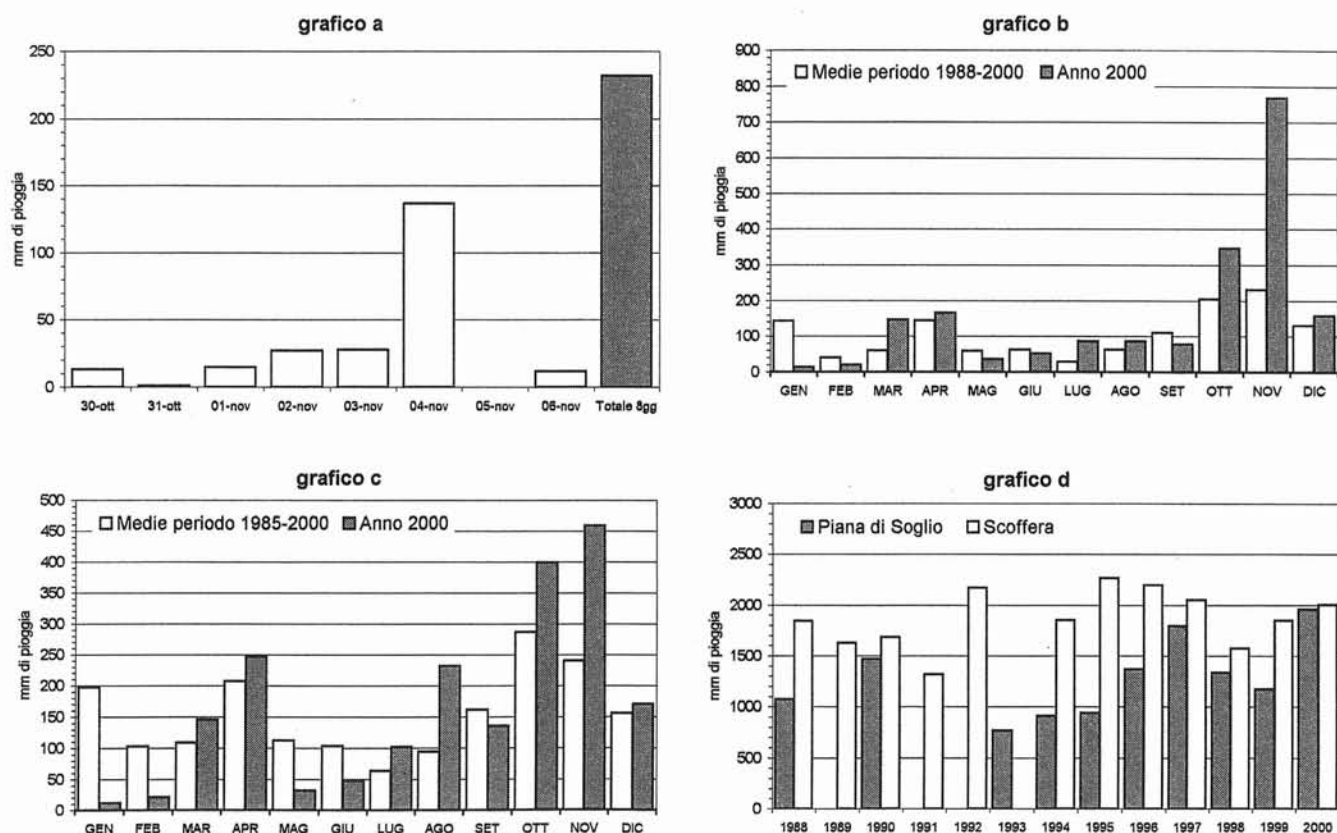





FIG. 5 - Grafico a: precipitazioni giornaliere alla stazione di Piana di Soglio negli 8 giorni prima dell'evento franoso; grafico b: dati pluviometrici alla stazione di Piana di Soglio; grafico c: dati pluviometrici alla stazione di Scoffera; grafico d: precipitazioni annue 1988-2000 alle stazioni di Piana di Soglio e di Scoffera.

Strato	Velocità delle onde prime	Interpretazione
1 	330 - 590 m/sec	Coltre detritica e detritico-colluviale rimaneggiata e sistemata a terrazze
2 	700 - 1250 m/sec	Coltre detritica con blocchi rocciosi (velocità minori) o corpo roccioso intensamente fratturato (velocità maggiori)
3 	2230 - 3950 m/sec	Ammasso roccioso compatto

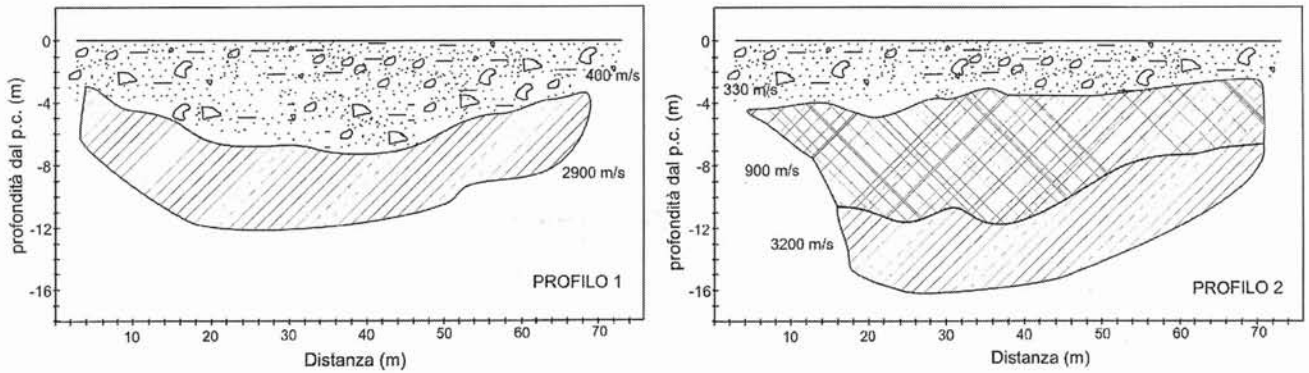


FIG. 6 - Legenda delle sezioni sismostratigrafiche e profili sismici nn. 1-2.

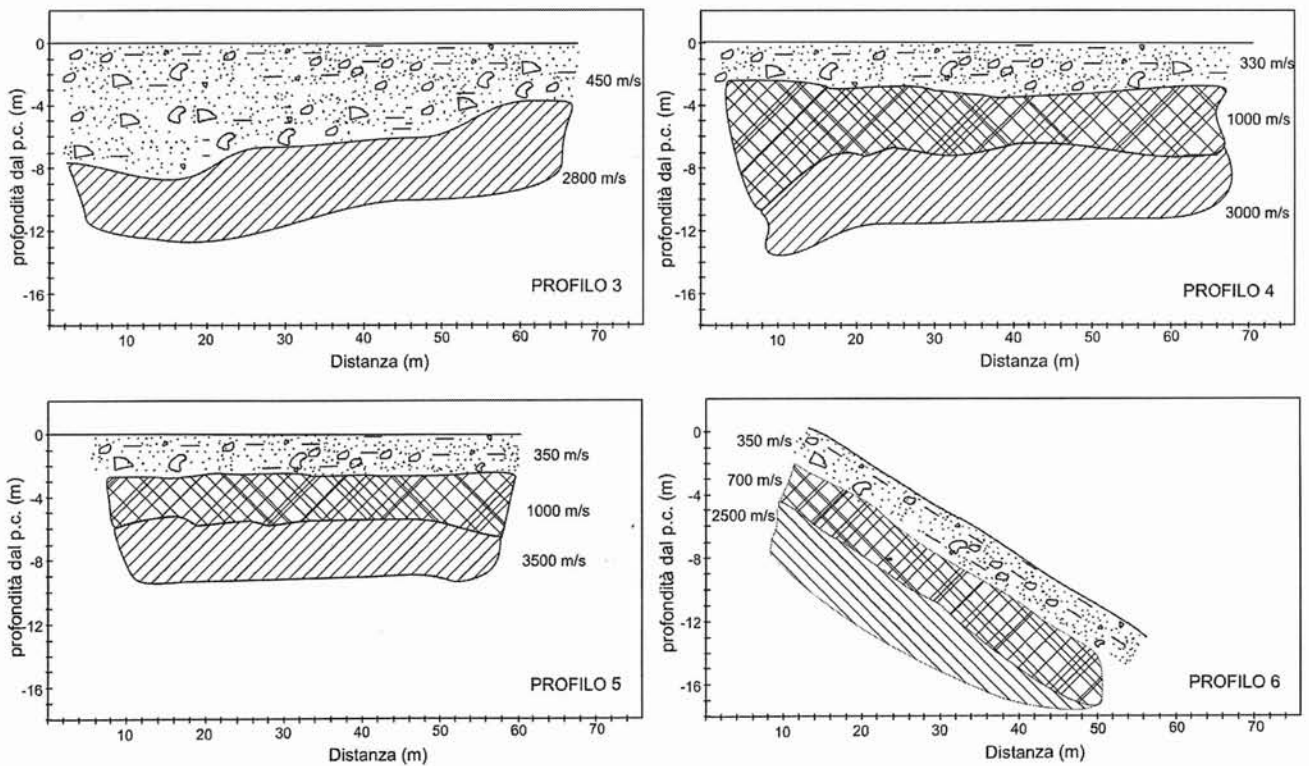


FIG. 7 - Profili sismici nn. 3-4-5-6.

La frana ha interessato il terreno di copertura, che presenta un fuso granulometrico ben gradato ed influente frazione a grana fine e la porzione superficiale, alterata e fratturata, della sottostante formazione delle ardesie; la giacitura a franapoggio del giunto di strato ha certamente contribuito allo scivolamento planare della coltre detritica.

Adottando le classificazioni di Varnes (1978) e di Sassa (1985) la frana ha preso avvio secondo un meccanismo di scivolamento per sollecitazione al taglio in condizioni residue (*residual state slide*) e successivamente il movimento è avvenuto secondo una tipologia riconducibile ad uno scivolamento roto-traslattivo nella porzione superiore, in corrispondenza della zona di distacco e ad una colata in terra nel settore mediano ed inferiore del versante.

## INDAGINI GEOGNOSTICHE

### Sondaggi sismici a rifrazione

Sul versante sono state eseguite dieci stese di sismica a rifrazione, ritenuto un efficace metodo di indagine al fine di ottenere la miglior conoscenza spaziale del sottosuolo e per individuare la profondità del substrato roccioso, delle coltri detritiche soprastanti e di eventuali superficie di scivolamento.

Sulle dromocrone dei profili nn. 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 (figg. 6, 7 e 8) è riconoscibile un modello a tre strati, con passaggi netti sia fra primo e secondo layer, sia fra secondo e terzo strato, mentre nei profili 1, 3 (figg. 6 e 7) si possono individuare due orizzonti.

Nei profili interpretati a tre strati, il primo livello presenta velocità tra 330 m/s e 450 m/s, mentre il secondo mostra velocità tra 700 m/s e 1.100 m/s. Nei profili interpretati a due strati, la velocità del primo orizzonte rappresenta una media dei due strati più superficiali e varia nell'intervallo 400-450 m/s.

Il livello profondo (secondo strato nei profili a due strati, terzo layer nei profili a tre strati) presenta velocità abbastanza elevate, variabili da 2.500 a 3.950 m/s; in alcune zone (in genere in prossimità della frana), la velocità tuttavia si abbassa sensibilmente, raggiungendo localmente valori di 2.300 m/s.

Nei profili interpretati a tre strati il primo layer presenta uno spessore medio di 2 m, talora fino a 4 m (profilo 2). Il secondo strato nelle parti centrale e bassa del versante mostra profondità variabili tra 5 m e 8 m; nella zona corrispondente al profilo n. 2 la profondità raggiunge valori di 12 m, mentre nelle porzioni più alte la profondità è molto variabile, con minimi di 2,5 m in corrispondenza delle due dorsali morfologiche, e massimi pari a 8 m in corrispondenza delle parti centrali del versante.

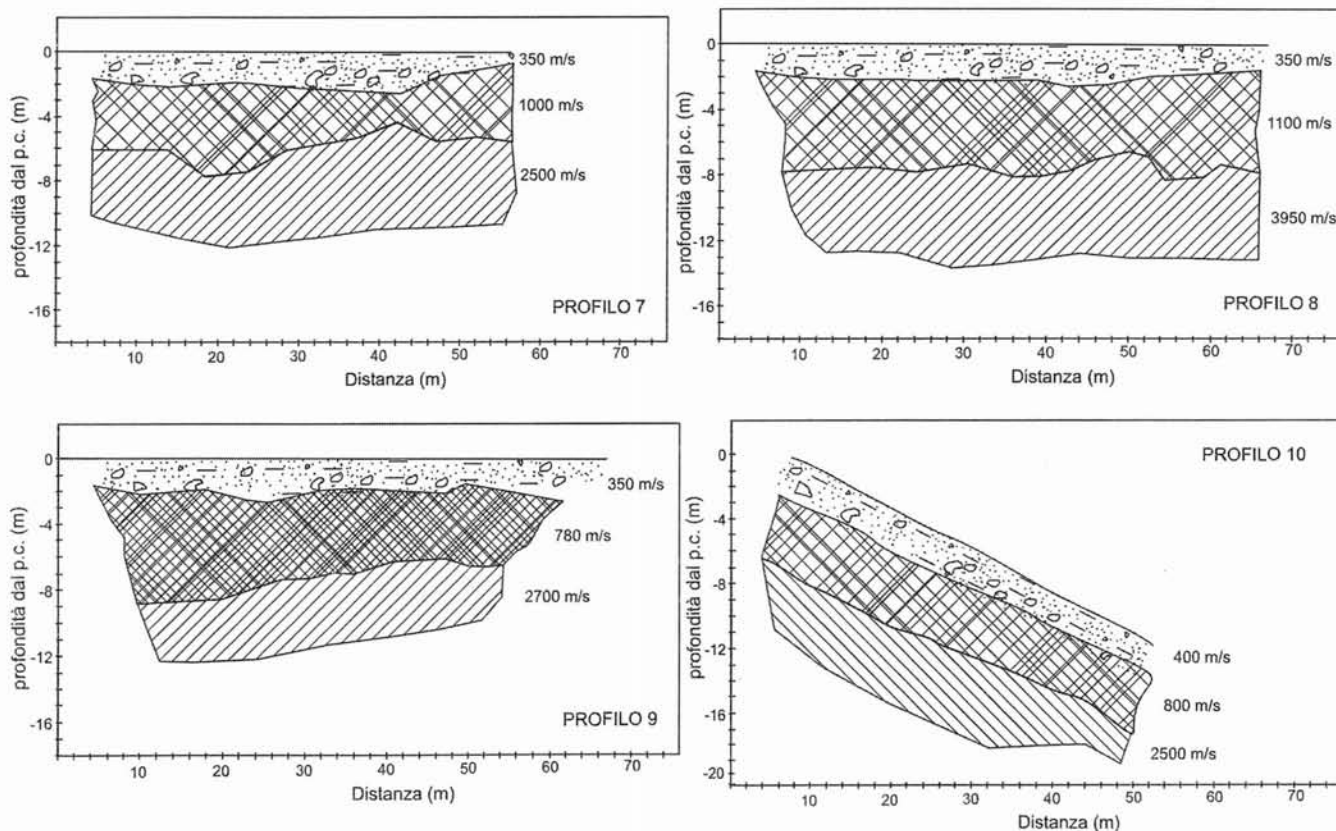


FIG. 8 - Profili sismici nn. 7-8-9-10.

Analizzando il sottosuolo partendo dal piano di campagna possono essere individuati i seguenti strati:

- il primo è rappresentato da terreno insaturo;
- il secondo, con velocità intermedia fra gli altri due strati, sulla base dei dati sismici non può essere attribuito con sicurezza ad un particolare tipo di terreno; probabilmente si tratta di un mezzo costituito da blocchi sconnessi derivante dall'alterazione e/o fratturazione dell'ammasso roccioso;
- il terzo, stante l'elevata velocità, è riferibile al substrato roccioso, le cui caratteristiche tuttavia sono variabili nell'area in esame: si passa da zone ad alta velocità (dai 3.000 m/s ai 3.950 m/s), corrispondenti ad una migliore qualità geomeccanica (profili nn. 2, 4, 5 e 8), a zone a bassa velocità (dai 2.500 m/s ai 2.900 m/s), che denotano condizioni di alterazione e/o fratturazione più o meno marcata (profili nn. 1, 3, 6, 7, 9 e 10).

### Analisi geotecniche di laboratorio

In corrispondenza dell'area di frana del 6/11/2000 sono stati prelevati, con l'ausilio di un mezzo meccanico, a mezzo di fustella tipo Shelby, n. 4 campioni di terreno (C1÷C4), sui quali sono state condotte quattro analisi granulometriche, due prove di taglio diretto ed una prova di permeabilità a carico variabile; la sintesi di quanto ottenuto è riportata in tab. 1.

Sulla base delle analisi effettuate il terreno interessato dalla frana si può definire come limo sabbioso argilloso con debole frazione a grana grossa, mentre i campioni di terra sono classificati attraverso la carta di plasticità di Casagrande come «limo inorganico di media compressibilità - ML» (fig. 9).

I campioni C1 e C2, prelevati nella parte superiore del corpo di frana, presentano bassa frazione in ghiaia (inferiore a 13%), mentre questa aumenta nel campione C3, prelevato nella parte centrale e nel campione C4, proveniente dalla base della frana (fig. 1).

Il passante al vaglio ASTM #200 è comunque da significativo a dominante, tra 33% e 66%, ed influenza inevitabilmente le caratteristiche di resistenza e di permeabilità del mezzo: la prova condotta a carico variabile sul campione C2 ha consentito la determinazione del coefficiente  $k$  pari a  $2,73 \times 10^{-7}$  cm/s, a conferma del grado di permeabilità molto basso della copertura sciolta.

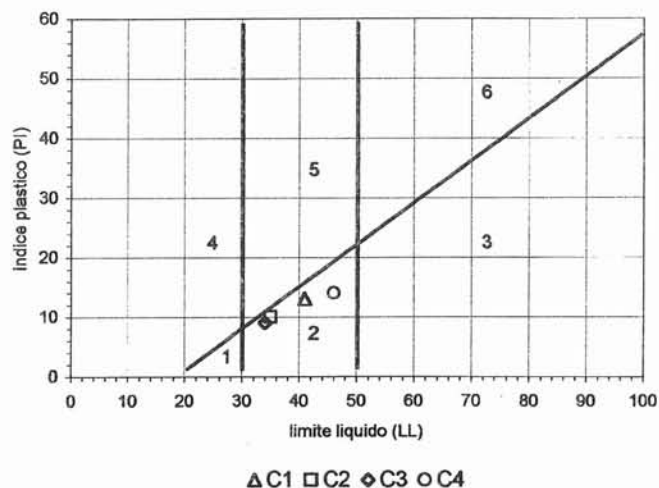


FIG. 9 - Carta di plasticità di Casagrande (legenda: 1. Limi inorganici di bassa compressibilità; 2. Limi inorganici di media compressibilità e limi organici; 3. Limi inorganici di alta compressibilità e argille organiche; 4. Argille inorganiche di bassa plasticità; 5. Argille inorganiche di media plasticità; 6. Argille inorganiche di alta plasticità).

Il peso di volume naturale, prossimo alla saturazione, oscilla tra 17,5 e 18 kN/m<sup>3</sup>, mentre il peso specifico assoluto calcolato è di 2,68.

Le prove meccaniche hanno consentito di determinare un angolo di resistenza al taglio di 29°-31°, valido per condizioni di picco; la coesione efficace è nulla in quanto il terreno è normalconsolidato.

Stante il grado di plasticità ottenuto con le prove di laboratorio si può ritenere che l'angolo d'attrito in condizioni residue sia compreso tra 25° e 26° (Skempton, 1964; Lupini & alii, 1981), pertanto dello stesso ordine della resistenza al taglio mobilitata in condizioni di equilibrio limite del movimento franoso e determinata attraverso verifiche di stabilità in back-analysis.

### CONCLUSIONI

Il territorio intorno a Tribogna è stato interessato, in un periodo di tempo molto ridotto, per lo più nelle ore centrali del 6 Novembre 2000, da 21 fenomeni franosi. Le condizioni morfologiche di questo settore dell'entroterra ligure,

TABELLA 1 - Prospetto delle prove geotecniche di laboratorio (legenda: z = profondità di prelievo del campione dal p.c.; c = identificazione del campione; USCS = classe di appartenenza secondo il Sistema Unificato; G = ghiaia; S = sabbia, M+L = limo ed argilla; w = contenuto in acqua; LL = limite liquido; PI = indice plastico; UW = peso di volume; SG = peso specifico assoluto; DW = densità secca; e = indice dei vuoti; S = grado di saturazione; k = coefficiente di permeabilità;  $\varphi'$  = angolo di resistenza al taglio efficace)

z	c	descrizione	USCS	G	S	M+L	w	LL	PI	UW	SG	DW	e	S	k	$\varphi'$
m	n			%	%	%	%	%	%	kN/m <sup>3</sup>		kN/m <sup>3</sup>		%	cm/s	deg
1,5	C1	limo sabbioso	ML	13	28	59	18	41	13	18,02	—	14,5	—	—	—	31°
1,5	C2	limo sabbioso	ML	9	25	66	31	35	10	18,03	2.684	13,74	0,92	91	2,73E-07	—
1	C3	limo sabbioso	ML	23	17	60	23	34	9	17,55	—	16,5	—	—	—	29°
1	C4	ghiaia limosa con sabbia	GM	36	31	33	24	46	14	—	—	—	—	—	—	—

con versanti ripidi e piccoli bacini idrografici, la natura del substrato roccioso e del terreno di copertura e, soprattutto, le intense precipitazioni hanno determinato una notevole concentrazione di dissesti di natura geomorfologica.

Il rilevamento di campagna, iniziato nei giorni immediatamente successivi l'evento alluvionale, ha consentito una valutazione sulle modalità e le tipologie delle principali frane verificatesi in rapporto alle caratteristiche geomorfologiche e geologiche dell'area. Quasi tutti i dissesti sono riconducibili a frane di scorrimento superficiale delle coltri mentre per l'episodio principale, verificatosi in località Aveno, si tratta di una frana di tipo complesso che ha interessato oltre al terreno di copertura anche il livello superiore di roccia alterata.

I dieci stendimenti sismici a rifrazione hanno evidenziato la presenza di una coltre sciolta di spessore variabile tra 2 e 8 m, e in diversi settori del versante si riscontra uno strato di roccia molto alterata che può raggiungere una potenza di 6 m.

Le analisi geotecniche definiscono il terreno coinvolto dalla frana di Aveno-Geppotti come limo inorganico di media compressibilità (ML), con peso di volume di 17,5-18 kN/m<sup>3</sup> ed una permeabilità caratterizzata da un coefficiente  $k$  di  $2,73 \cdot 10^{-7}$  cm/s.

Nonostante la permeabilità molto bassa del mezzo, le intense e persistenti precipitazioni hanno saturato la coltre e la porzione alterata del substrato roccioso, riducendo le tensioni efficaci del terreno e movimentando, con una superficie di scorrimento situata al livello del substrato ardesiaco, un volume di terra e roccia di circa 28.000 m<sup>3</sup>.

La causa d'innescio del movimento franoso è certamente da ascrivere alle intense precipitazioni, mentre i fattori predisponenti sono rappresentati dalla condizione geomorfologica, dall'assetto geologico-strutturale e dall'equilibrio idrogeologico.

Per quanto attiene all'azione antropica, che in genere rappresenta la causa ultima in un quadro di condizioni geologico-geomorfologiche e climatiche naturalmente franose (Carrara & alii, 1987), si ritiene che nel caso in esame abbia influito con un peso superiore a quello solo predisponente l'instabilità del pendio.

Infatti, l'attività umana degli ultimi decenni ha comportato dapprima l'abbandono del territorio, con il conseguente degrado delle opere di canalizzazione in pietra a secco (superficiali e sotterranee) connesse all'originaria sistemazione dei versanti a terrazze agricole, determinanti per la salvaguardia degli equilibri statici ed idrogeologici (Brandolini & Ramella, 1999; Brandolini & Nicchia, 2000).

In tempi più recenti è stato alterato il reticolo di drenaggio superficiale, spesso ridotto in canali sottodimensionati e artificialmente deviati, mentre la realizzazione di strade, o vie di comunicazione minori, prive delle opere di regimazione idraulica ha comportato la concentrazione di flussi incanalati, vera e propria concausa dei dissesti geomorfologici osservati.

- BONI A., BRAGA G., CONTI S., GELATI R., MARCHETTI G. & PASSE-RI L.D. (1969) - *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia 1:100.000, Foglio 83 «Rapallo»*. Min. Ind. Comm. Artig., Serv. Geol. d'It., Roma.
- BRANDOLINI P. (1988) - *L'utilizzazione dell'ardesia in Liguria*. Studi e Ric. Geogr., 11, 31-85.
- BRANDOLINI P. (1999) - *Due esempi di analisi geomorfologica di dettaglio nelle valli dell'Appennino ligure*. Boll. Soc. Geogr. It., Serie XII, 4, 139-148.
- BRANDOLINI P. & RAMELLA A. (1999) - *Processi erosivi e fenomeni di dissesto su versanti terrazzati nelle valli genovesi*. Atti Convegno Geografico Internazionale «I valori dell'agricoltura nel tempo e nello spazio», Rieti 1-4 Novembre 1995, vol. II, 495-510.
- BRANDOLINI P. & NICCHIA P. (2000) - *Rapporti tra condizioni geologico-geomorfologiche e terrazzamenti agricoli nell'Appennino ligure*. Atti del Convegno «Ambiente e sviluppo sostenibile», Rossiglione (GE), 14-16, Settembre 2000.
- CARRARA A., CARTON A., DRAMIS F., PANIZZA M. & PRESTININZI A. (1987) - *Cartografia della pericolosità connessa ai fenomeni di instabilità dei versanti*. Boll. Soc. Geol. It., 106 (2), 199-221.
- CASELLA F. & TERRANOVA R. (1963) - *Studio stratigrafico e tettonico dei terreni cretacei nella Valle Lavagna e nelle zone limitrofe (Appennino ligure orientale)*. Atti Ist. Geol. Univ. Genova, 1, 347-472.
- FEDERICI P.R., CAPITANI M., CHELLI A., DEL SEPPIA N. & SERANI A. (2004) - *Atlante dei Centri Abitati Instabili della Liguria. II. Provincia di Genova*. Programma Speciale SCAI del CNR-GNDICI - Regione Liguria. Tipolitografia ATA, Genova.
- LUPINI J.F., SKINNER A.E. & VAUGHAN P.R. (1981) - *The drained residual strength of cohesive soils*. Geotechnique, 31, n. 2, 181-213.
- MARINI M. (1993) - *Litologia, stratimetria e sedimentologia delle Ardesie del Monte Verzi (Unità del M. Göttero AUCT., Appennino ligure)*. Boll. Soc. Geol. It., 112, 333-352.
- MARRONI M. & PERILLI N. (1990) - *The age of the ophiolite sedimentary cover from the Mt. Göttero Unit (Internal Ligurian Units, Northern Apennines): new data from calcareous nanofossils*. Ofioliti, 13, 29-42.
- SASSA K. (1985) - *The geotechnical classification of landslides*. Proc. IVth International Conference and Workshop on Landslides, Tokyo, 31-40.
- SKEMPTON A.W. (1964) - *Long term stability of clay slopes*. Geotechnique, 14 (2), 77-102.
- TERRANOVA R. (1966) - *La serie cretacea degli «argilloscisti» fra le valli Entella e Petronio (Appennino ligure)*. Atti Ist. Geol. Univ. Genova, 4, 109-174.
- TERRANOVA R. (1994) - *Le ardesie della Liguria: dalla geologia agli aspetti ambientali e culturali*. Atti VIII Congresso del Cons. Naz. dei Geol., Roma, 313-324.
- TERRANOVA R. (1996) - *Le cave d'ardesia in Liguria: geologia, coltivazioni, lavorazioni e utilizzazioni*. Mem. Soc. Geol. It., 51, 1165-1177.
- VARNES D.J. (1978) - *Slope movements types and processes*. In Schuster R.L. & Krizek R.J. (eds.), «Landslides, analysis and control». Transportation Research Board Sp. Rep. No. 176, Nat. Acad. of Sciences, 11-33.