

## **INFLUENZA DI ALCUNI PARAMETRI GEOTECNICI NELL'INNESCO DI FRANE SUPERFICIALI: RISULTATI PRELIMINARI NELLA ZONA DI CARDOSO (ALPI APUANE)**

Roberto Giannecchini - Alberto Pochini

*Dipartimento di Scienze della Terra - Università di Pisa - Via S. Maria, 53 - 56126 Pisa*

*rgiannecchini@dst.unipi.it - pochini@dst.unipi.it*

### **Sommario**

Il 19 giugno 1996 un eccezionale evento meteorico colpì le Alpi Apuane meridionali, mobilizzando centinaia di frane superficiali. Molteplici indagini hanno evidenziato la ricorrenza di alcune caratteristiche geologiche e geomorfologiche dei versanti coinvolti. Tuttavia, poiché non tutti i pendii aventi tali caratteristiche hanno avuto simili comportamenti in merito alla stabilità, sono stati eseguiti ulteriori studi nei dintorni dell'abitato di Cardoso (l'area maggiormente colpita), volti ad accertare eventuali differenze in alcuni parametri geotecnici dei materiali di copertura coinvolti nei movimenti franosi. In particolare, sia su versanti interessati da frane che in quelli rimasti stabili, sono state effettuate prove penetrometriche, prove di permeabilità e sono stati raccolti campioni rimaneggiati al fine di individuare caratteristiche granulometriche e limiti di Atterberg.

### **Introduzione**

A seguito del violento nubifragio del 19 giugno 1996 (quasi 500 mm/12h), nella zona meridionale delle Alpi Apuane si sono attivate diverse centinaia di frane superficiali (*soil slip-debris flows*, Campbell, 1975), che hanno contribuito alla formazione di irruenti "torrenti di detrito", causando la parziale distruzione di due abitati (Cardoso e Fornovolasco) e la perdita di 14 vite umane. L'area maggiormente coinvolta è risultata il bacino del Torrente del Cardoso, sottobacino montano del Fiume Versilia.

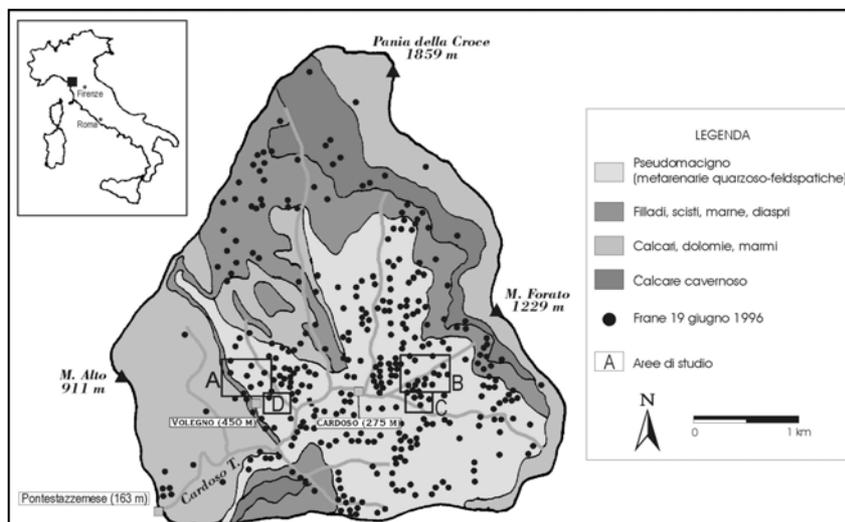
Studi effettuati su tali frane (D'Amato Avanzi et al., 2000, 2004) hanno evidenziato la ricorrenza di alcuni fattori geologici e geomorfologici nei versanti coinvolti. Si tratta, infatti, di movimenti rapidi di scorrimento di terra e detrito evoluti in colata di terra e detrito (classificazione di Cruden & Varnes, 1996) ed hanno interessato materiali di copertura (spessore 0,5-2 m) al di sopra di un substrato generalmente impermeabile o poco permeabile. La morfologia del versante è in genere concava, con profilo rettilineo e pendenza di 30-45°. Poiché non tutti i versanti aventi tali condizioni sono stati mobilizzati da frane, ulteriori indagini sono state effettuate su versanti-campione nei dintorni di Cardoso, sia coinvolti in movimenti franosi, sia rimasti stabili durante l'evento del giugno 1996. Tali indagini miravano ad individuare eventuali differenze in alcuni aspetti geotecnici.

### **Assetto geologico-geomorfologico del bacino del Torrente del Cardoso**

Il bacino del Torrente del Cardoso (Fig. 1), di estensione di circa 13 km<sup>2</sup>, è delimitato da uno spartiacque che raggiunge i 1859 m nel M. Pania della Croce, mentre la sezione di chiusura è posta in località Pontestazzemese (163 m). Ciò determina versanti decisamente ripidi e valli molto strette e incise. Tale morfologia è influenzata dall'assetto geologico; in questa zona si rinvengono infatti litologie appartenenti all'Autoctono *Auctt.*, tra cui lo Pseudomacigno

(arenaria metamorfica intervallata a scisti), che affiora a quote medio-basse (fino a 800-900 m), e alcune formazioni carbonatiche, che formano prevalentemente i crinali del bacino (Carmignani et al., 2000), con pendenze anche superiori ai 60°, talora subverticali.

I versanti alle quote medio-basse del bacino, formati in rocce metarenacce e scistoso-filladiche, sono ricoperti da una copertura colluviale quasi continua, pedogenizzata (spessore da alcuni decimetri a un paio di metri), spesso interessata da un fitto bosco (prevalentemente castagneto); tale copertura è stata particolarmente coinvolta nei dissesti del giugno 1996.



*Figura 1. Carta geologica schematica del bacino del T. del Cardoso, con indicazione delle aree di innesco delle frane del 19 giugno 1996 e delle aree interessate dalle indagini.*

### **Metodologia di indagine**

Al fine di individuare eventuali differenze in alcuni parametri geotecnici dei materiali di copertura dello Pseudomacigno, che potrebbero aver influenzato l'innesco o meno di movimenti franosi, sono stati effettuati ulteriori rilievi su aree interessate da frane a seguito dell'evento del 1996 e su altre rimaste stabili, ma in condizioni geologiche e geomorfologiche apparentemente simili. In particolare, sono state eseguite indagini in situ (19 prove penetrometriche e 15 prove di permeabilità) e in laboratorio (17 campioni raccolti su cui sono state effettuate analisi granulometriche e limiti di Atterberg). Le zone prescelte (8 versanti coinvolti e 4 non coinvolti in movimenti franosi), considerate rappresentative delle situazioni più tipiche di innesco, sono indicate con le lettere A, B, C e D in Fig. 1.

### *Indagini in situ: prove penetrometriche e di permeabilità*

Le 19 prove penetrometriche (eseguite con penetrometro statico-dinamico medio) hanno indicato un materiale prevalentemente granulare (angolo di attrito 28-33°).

Informazioni significative sembrano derivare dall'analisi degli spessori delle coperture e dalla presenza o meno di una porzione alterata e/o fratturata del substrato. In particolare, è stato osservato che gli 8 versanti coinvolti nei movimenti franosi presentavano spessori di copertura (ricostruiti sulla base delle prove penetrometriche) quasi sempre di 0,5-2 m (media: 1,5 m), mentre quelli rimasti stabili avevano uno spessore di 1,8-3,4 m (media: 2,6 m). Inoltre, i versanti coinvolti in frane presentavano una porzione di substrato alterato solitamente di 10-20 cm di spessore, mentre in quelli non coinvolti tale spessore era in genere superiore a 20 cm.

Al fine di valutare la permeabilità dei materiali di copertura, sono stati effettuati 15 test di

assorbimento in pozzetto superficiale (lato 30-40 cm), che, seppur con una certa approssimazione, forniscono dati utili alla caratterizzazione idrogeologica, soprattutto considerando i modesti spessori dei terreni. I risultati dei test, realizzati a carico variabile (AGI, 1977), hanno mostrato un valore medio di  $K = 2,1 \times 10^{-5}$  m/s per i versanti interessati da frane e un valore medio di  $K = 3,0 \times 10^{-5}$  m/s per quelli non coinvolti in fenomeni di instabilità.

### Prove di laboratorio: analisi granulometriche e limiti di Atterberg

Le prove di laboratorio sono state eseguite su 17 campioni rimaneggiati..

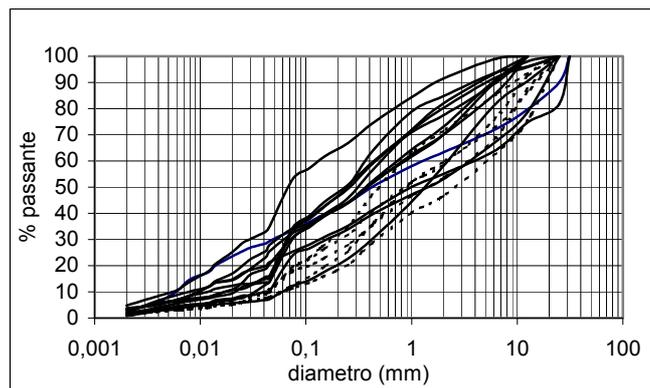


Figura 2. Fuso granulometrico. Linea continua: curve granulometriche dei campioni raccolti su pendii in frana; linea tratteggiata: curve granulometriche dei campioni raccolti su pendii non coinvolti in frane.

In Fig. 2 sono mostrate le curve granulometriche (norme AGI, 1994) dei campioni raccolti sia sui versanti coinvolti nei movimenti franosi, sia in quelli rimasti stabili, emergendo una sostanziale eterogeneità dei materiali ( $D_{60}/D_{10} > 20$ ), con prevalenza di sabbie e carenza di argille. Il confronto evidenzia una granulometria complessivamente minore per le coperture dei versanti interessati da fenomeni franosi.

L'individuazione dei limiti di Atterberg ha permesso di evidenziare le caratteristiche di plasticità del materiale. I valori del limite di liquidità (WL) e dell'indice di plasticità (IP) ricavati per i 17 campioni raccolti sono stati inseriti nella Carta di Plasticità di Casagrande, differenziando ancora una volta quelli riferiti ad aree coinvolte e non coinvolte in fenomeni di instabilità. I risultati sono mostrati in Fig. 3.

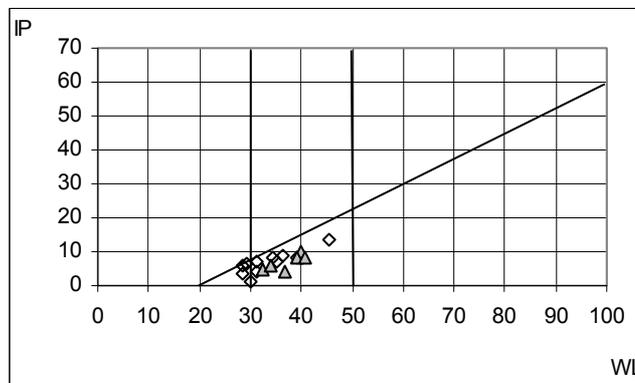


Figura 3: Carta di plasticità di Casagrande. Rombi: campioni raccolti su pendii in frana; triangoli: campioni raccolti su pendii non coinvolti in frane.

I dati elaborati non mostrano differenze particolarmente significative, anche se, con una certa approssimazione, può essere ravvisato un limite di liquidità minore per le coperture dei versanti coinvolti in movimenti franosi.

### **Conclusioni**

Le indagini geotecniche preliminari sulle coperture dello Pseudomacigno nell'area di Cardoso hanno mostrato alcuni interessanti aspetti in merito alle caratteristiche dei versanti maggiormente interessati dalle frane del 19 giugno 1996.

I dati penetrometrici hanno evidenziato che, in generale, i pendii destabilizzati da frane sembrano avere una copertura colluviale più sottile al di sopra di un substrato caratterizzato da una porzione alterata/fratturata meno spessa di quelli rimasti stabili. La presenza di una più consistente alterazione/fratturazione del *bedrock* potrebbe aver favorito una maggiore capacità di drenaggio sotterraneo di tali pendii, limitando lo sviluppo di pressioni neutre positive. Inoltre, sembra emergere una minore permeabilità delle coperture destabilizzate.

I test di laboratorio (analisi granulometriche e limiti di Atterberg) hanno infine mostrato che i versanti interessati da frane sembrano essere costituiti da materiali a grana più fine rispetto a quelli non coinvolti, e con un limite di liquidità inferiore. In questo caso, le condizioni di saturazione potrebbero essere sopraggiunte più velocemente, destabilizzando il pendio.

Tutte le informazioni acquisite richiedono certamente ulteriori studi, alcuni dei quali sono in corso; inoltre, la possibilità di disporre di campioni indisturbati permetterà di individuare con maggior precisione i parametri di resistenza al taglio delle coperture. Essi consentiranno di effettuare opportune verifiche di stabilità nelle varie condizioni ipotizzate.

Al fine di quantificare la risposta piezometrica delle coperture dello Pseudomacigno, sono state installate anche due stazioni di monitoraggio (con pluviometro e piezometro) su versanti analoghi a quelli mobilizzati il 19 giugno 1996 (D'Amato Avanzi et al., 2003).

I risultati ottenuti, se confermati dal proseguo della ricerca, contribuiranno significativamente alla definizione della pericolosità di frana in Alta Versilia, particolarmente esposta a intensi eventi alluvionali (D'Amato Avanzi & Giannecchini, 2003; Giannecchini, 2006).

### **Bibliografia**

- A.G.I. (1977) - *Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche*. Associazione Geotecnica Italiana, Roma, 96 pp.
- A.G.I. (1994) - *Raccomandazioni sulle prove geotecniche di laboratorio*. Associazione Geotecnica Italiana, Roma, 56 pp.
- Campbell R.H. (1975) - *Soil slips, debris flows and rainstorms in the Santa Monica Mountains and vicinity, Southern California*. U.S. Geological Survey Professional Paper 851, 51 pp.
- Carmignani L., Conti P., Disperati L., Fantozzi P.L., Giglia G. & Meccheri M. (2000) - *Carta geologica del Parco delle Alpi Apuane*. Parco Regionale delle Alpi Apuane e Università degli Studi di Siena. S.El.Ca., Firenze.
- Cruden D.M. & Varnes D.J. (1996) - *Landslide Types and Processes*. In: "Landslide: Investigation and Mitigation", Special Report 247, Transportation Research Board, National Academy of Sciences, Washington, 36-75.
- D'Amato Avanzi G. & Giannecchini R. (2003) - *Eventi alluvionali e fenomeni franosi nelle Alpi Apuane (Toscana): primi risultati di un'indagine retrospettiva nel bacino del Fiume Versilia*. Rivista Geografica Italiana, 110, 527-559.
- D'Amato Avanzi G., Giannecchini R., Nannini D., Pochini A. & Puccinelli A. - (2003). *Esperienze di*

*monitoraggio di versanti potenzialmente instabili in Alta Versilia (Toscana): metodologia d'indagine e risultati preliminari. Atti Convegno Nazionale "Conservazione dell'ambiente e rischio idrogeologico". Assisi (PG), 11-12 dicembre 2002, 450-457.*

D'Amato Avanzi G., Giannecchini R. & Puccinelli A. (2000) - *Geologic and geomorphic factors of the landslides triggered in the Cardoso T. Basin (Tuscany, Italy) by the June 19, 1996 intense rainstorm.* Proc. of 8<sup>th</sup> International Symposium on Landslides, Cardiff (Galles), 381-386.

D'Amato Avanzi G., Giannecchini R. & Puccinelli A. (2004) - *The influence of the geological and geomorphological settings on the shallow landslides. A typical example in a temperate climate environment: the June 19th, 1996 catastrophe in the north-western Tuscany (Italy).* Engineering Geology, 73 (3-4), 215-228.

Giannecchini R. (2006) - *Relationship between rainfall and shallow landslides in the southern Apuan Alps (Italy).* Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 6, 357-364.