

## **CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOTECNICA DI UNA FRANA IN TERRENI A STRUTTURA COMPLESSA. PRIMI RISULTATI**

Massimo Ramondini, Diego Di Martire, Domenico Calcaterra  
Dipartimento di Ingegneria Geotecnica, Università di Napoli Federico II,  
ramondin@unina.it, d.dimartire@tin.it, domenico.calcaterra@unina.it

Mario Parise  
Consiglio Nazionale delle Ricerche (IRPI), Bari,  
m.parise@ba.irpi.cnr.it

### **Sommario**

La nota è incentrata sullo studio del fenomeno franoso verificatosi in località Colle Lapponi – Piano Ovetta nel comune di Agnone (IS) nel gennaio 2003, situato in un ambiente geologico tipico dell'Appennino Meridionale, caratterizzato dalla presenza di formazioni strutturalmente complesse. Il fenomeno franoso è caratterizzato da una notevole complessità, sia per quanto attiene le caratteristiche fisico-meccaniche dei litotipi presenti, che per la morfologia dei luoghi, le dimensioni planimetriche ed il regime della falda. In particolare, si è cercato di definire le relazioni tra le piogge e gli eventi franosi avvenuti in tali luoghi. Per cercare di pervenire ad un modello cinematico quanto più adeguato possibile, si è quindi tentato di trovare i parametri significativi che regolano la frana in studio; pertanto, in via preliminare, si è eseguito uno studio della stabilità locale lungo tutto il pendio attraverso il semplice modello del pendio indefinito. I risultati ottenuti indicano la buona "direzione" del modello, ma si prospetta un futuro perfezionamento per considerare anche gli aspetti viscosi del problema utilizzando modelli costitutivi del terreno più sofisticati supportati da ulteriori e più approfondite indagini sia di laboratorio che in sito.

### **Inquadramento dell'area di studio**

La zona analizzata corrisponde al bacino del Vallone San Nicola, dove nel Gennaio 2003 si è verificato un movimento franoso di grandi dimensioni, che si è aggiunto ai tanti innescatisi in quello stesso periodo, oltre che in Molise, anche nell'Abruzzo Meridionale e nella Puglia Settentrionale, come conseguenza dell'evento pluviometrico verificatosi tra il 23 ed il 27 gennaio 2003.

Per effetto degli ingenti apporti di acqua al suolo, che hanno raggiunto punte massime di circa 50 mm di pioggia in 72 ore, le formazioni affioranti nell'area esaminata si sono mobilitate lungo il Vallone San Nicola, tributario in destra idrografica del torrente Verrino, e, come conseguenza del movimento gravitativo, alcune abitazioni sono state seriamente danneggiate, così come la viabilità locale. Il movimento ha subito ulteriori riprese nel Marzo 2004 ed al termine dell'inverno 2004-2005, causando una notevole estensione dell'area coinvolta, nonché l'interruzione dell'ex-S.S.86 Istonia all'altezza del ponte sul Vallone San Nicola. Essendo l'area di Agnone storicamente interessata da fenomeni franosi, è ipotizzabile che l'evento del Gennaio 2003 sia stato una riattivazione di un precedente fenomeno.

### **Indagini effettuate**

Per lo studio del fenomeno franoso sono state eseguite due campagne di indagini tra il 2004 ed il 2006 consistite in:

- 22+4 sondaggi a carotaggio continuo, con profondità variabili da 20 m a 40 m, condizionati successivamente con 6 tubi spia, 7+4 inclinometri, 10 celle Casagrande;
- 7+6 sondaggi a distruzione di nucleo, con profondità variabili tra i 10,50 m e 21 m, attrezzati con 7 tubi spia, 2 inclinometri e 3 piezometri con celle Casagrande ed un piezometro a tubo aperto;
- prelievo di 20+16 campioni indisturbati, sottoposti a prove di laboratorio.
- 6 prove SPT nei sondaggi S3 e S4;
- 58 picchetti per la misura di spostamenti superficiali.

Inoltre, un altro inclinometro (S6) è stato ubicato a monte della strada interpoderale di Colle Lapponi, per valutare le condizioni di stabilità della zona subito a monte del ciglio.

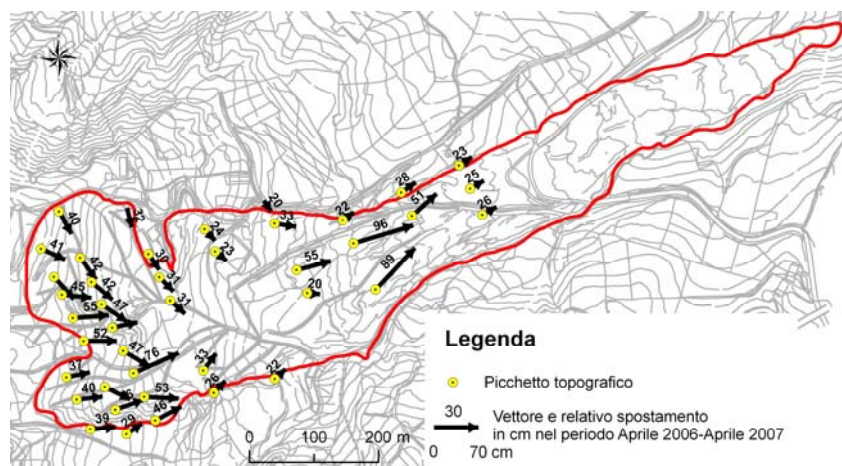
## **Il monitoraggio della frana**

### *Spostamenti di superficie*

Gli spostamenti superficiali misurati nel periodo aprile 2006 ÷ aprile 2007 hanno confermato l'attività della frana di Colle Lapponi – Piano Ovetta.

Gli spostamenti complessivi, misurati nel periodo aprile 2006 ÷ aprile 2007 (Fig. 1) variano da un minimo di 20 ad un massimo di 89÷96 cm, anche se questi ultimi valori sono da imputare al “disturbo” connesso al transito nelle vicinanze dei mezzi d'opera utilizzati per le opere di presidio in fase di realizzazione.

La frana nel periodo considerato si è spostata in superficie con una velocità di 2,5 cm/mese nella parte alta, e di circa 1,9 cm/mese nella zona medio-bassa, mostrando quindi un netto decremento rispetto alle velocità rilevate nel periodo aprile 2006÷giugno 2006 (20÷30 cm/mese nella parte alta, 10÷20 cm/mese nella zona centrale, 15÷20 cm/mese nella parte bassa).



*Figura 1. Spostamenti superficiali registrati nel periodo aprile 2006- aprile 2007.*

### Misure inclinometriche

In base alle ultime letture effettuate in data 22 maggio 2007 nei vari inclinometri ancora funzionanti, sono stati registrati i seguenti spostamenti (Fig. 2):

- S1 - spostamento registrato alla profondità di circa 7 m dal p.c., successiva interruzione a circa 14,5 m;
- S2 - spostamento registrato alla profondità di circa 10 m, successiva interruzione a circa 10 m;
- S3 - spostamento registrato alla profondità di circa 12 m dal p.c., successiva interruzione a circa 14,5 m;
- S4 - spostamento registrato alla profondità di circa 27 m dal p.c., successiva interruzione a 15 m.

Le letture inclinometriche individuano con sufficiente chiarezza l'andamento della superficie di scorrimento, ubicate nella zona di valle al contatto tra la coltre di alterazione e le argille marnose di base; evidenziano altresì che dette superfici si approfondiscono ulteriormente nella zona della nicchia interessando la formazione di base, nella quale sono presenti interruzione fino ad oltre 20 m dal piano campagna.

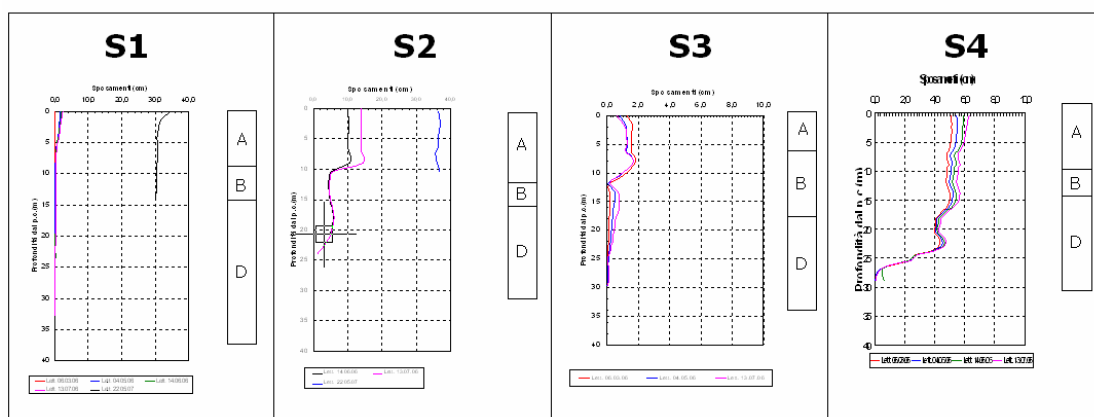


Fig. 2. Letture inclinometriche: depositi prevalentemente argillosi fortemente rimaneggiati (A); Argille, argille limose, argille sabbiose, sabbie limose (B); Argille marnose, marne argillose, marne da fogliettate a scagliose (D).

### Misure piezometriche

Dal grafico di Fig. 3 si nota che nel corso delle osservazioni ci sono state delle oscillazioni di

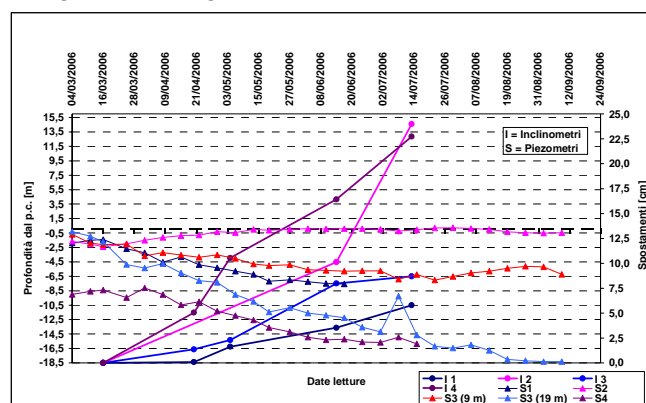


Figura 3. Relazione tra falda e spostamenti.

falda da una profondità di circa 18.95 m dal p.c. fino, in alcuni casi, a risalire al piano campagna.

La forte variabilità dei livelli piezometrici tra le diverse verticali dipende da vari fattori. Tra questi, in primo luogo è da evidenziare la marcata articolazione morfologica del versante, per effetto del movimento franoso, caratterizzato da forti rotture di pendenza alternate a

tratti di versante con acclività più dolci. Bisogna poi ricordare la forte eterogeneità idrogeologica dei vari complessi litologici. Dal confronto tra le letture piezometriche e le precipitazioni giornaliere, misurate dalla stazione di Colle Lapponi, nel

breve periodo di osservazione di cui si hanno informazioni non si nota una corrispondenza tra i picchi di pioggia e le risalite della falda, ma c'è un ritardo notevole. Da ciò si deduce che probabilmente la falda è alimentata attraverso livelli ad elevata permeabilità da un potente acquifero a monte e per questo i piezometri non risentono in maniera marcata dei picchi pluviometrici.

In Figura 3 è confrontato l'andamento della profondità del pelo libero della falda con gli spostamenti misurati negli inclinometri. Si può notare che, relativamente al periodo di osservazione nel quale si è registrato un progressivo abbassamento della falda, gli spostamenti aumentano soprattutto nella zona di monte.

In particolare per la verticale S2, caratterizzata da spostamenti elevati, la falda sembra non subire spostamenti significativi, ma in realtà è la zona in cui essa è risalita al di sopra del piano campagna. Nell'I4 ci troviamo nella zona di nicchia, dove la falda è profonda per le caratteristiche morfologiche, ma gli spostamenti (profondi) sono regolati dalla morfologia molto acclive.

### Analisi cinematica della frana

PARAMETRI	TERRENO A	TERRENO B	TERRENO D
w [%]	0,27	0,22	0,10
$\gamma$ [g/cm <sup>3</sup> ]	1,9	1,97	2,3
$\gamma_d$ [g/cm <sup>3</sup> ]	1,5	1,61	2,12
$\gamma_{sat}$ [g/cm <sup>3</sup> ]	2,0	2,02	2,34
$\gamma_s$ [g/cm <sup>3</sup> ]	2,7	2,73	2,7
e [I]	0,8	0,69	0,28
n [%]	0,44	0,41	0,22
$\psi$ [°]	19,3	23,23	22
c' [kg/cm <sup>2</sup> ]	0,2	0,29	0,6
$\psi_{res}$ [°]	17,2	21,90	9,4
c'_{res} [kg/cm <sup>2</sup> ]	0	0	0
Sr [%]	0,93	0,87	0,99
wf [%]	0,60	0,60	0,44
w <sub>p</sub> [%]	0,26	0,25	0,20
lp [%]	0,34	0,35	0,24

Per cercare di pervenire ad un modello cinematico quanto più adeguato possibile, si sono ricercati i parametri significativi che regolano la frana in studio; pertanto, in via preliminare, si è eseguito uno studio della stabilità locale lungo tutto il pendio attraverso il semplice modello di pendio indefinito, ritenuto sufficientemente approssimabile al caso in esame per la geometria della sezione (frana con notevole sviluppo longitudinale e con spessori ridotti rispetto alla lunghezza,  $s/L \ll 1$ ).

Nella *back-analysis* si è fatto riferimento al profilo pre-evento suddividendolo in tratti a pendenza costante; e calcolando il

*Tabella 1. Caratteristiche geotecniche.* coefficiente di sicurezza FS per ciascuno di essi. In questo modo si sono individuate le zone in cui FS, al variare della posizione della falda, risulta essere minore dell'unità. La falda idrica è stata portata in conto imponendo un moto di filtrazione che si sviluppa parallelamente al piano campagna.

Sono state fatte tre ipotesi per la profondità  $z$  della giacitura considerata, pari a 5 m, 10 m e 20 m; per ognuna di queste condizioni si è ricavato l'andamento del coefficiente di sicurezza in funzione della distanza ed al variare della piezometrica, sia considerando la resistenza di picco sia quella residua (Fig. 4).

Si osserva che la parte di monte è in condizione di equilibrio limite, mentre verso valle il coefficiente di sicurezza è superiore all'unità. Si può inoltre osservare che, per giustificare i movimenti registrati, devono essere presenti tratti caratterizzati da resistenze residue, in quanto per  $\phi = \phi'_{picco}$  si ha che il coefficiente di sicurezza è sempre maggiore dell'unità. Per quanto riguarda la falda, si osserva che le condizioni critiche si raggiungono per una posizione della falda prossima al piano campagna per  $\phi = \phi'_{picco}$ , mentre facendo riferimento  $\phi'_{residuo}$  si ha un coefficiente di sicurezza prossimo all'unità per una profondità di falda dal piano campagna tra i 2 m e gli 8 m.

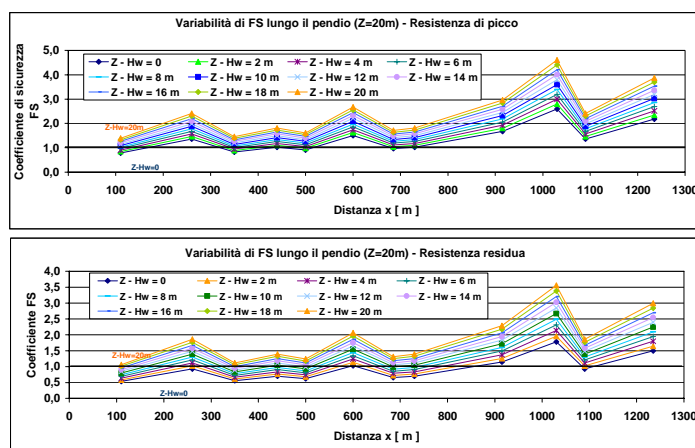


Fig.4. Variabilità del coefficiente di sicurezza FS lungo il pendio al variare del livello di falda (Z=20m)

Sulla base di tali risultati si sono oggettivati i risultati precedenti utilizzando i valori di Hw misurati dai piezometri installati (Fig. 3).

I risultati ottenuti sono riportati in Figura 5 da cui si può osservare che il coefficiente di sicurezza è ridotto a monte, mentre è più elevato nella zona di valle dove la frana ha cambiato le proprie caratteristiche reologiche evolvendo in colata. Inoltre, si vede che sul tratto attivo si ha il movimento anche con i soli valori di picco. È ipotizzabile, quindi, che almeno localmente ci siano dei fenomeni di riconsolidazione.

Alla luce di questo studio preliminare, si prospetta un futuro perfezionamento per considerare anche gli aspetti viscosi del problema utilizzando modelli costitutivi del terreno più sofisticati supportati da ulteriori e più approfondite indagini sia di laboratorio che in sito, concentrando l'attenzione sulla zona "attiva" compresa tra circa gli 830 m e 745 m s. l. m..

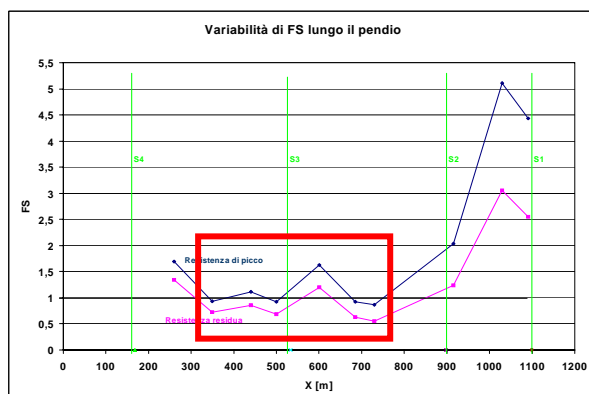


Fig.5. Variabilità del coefficiente di sicurezza lungo il pendio; in evidenza la zona studiata per la modellazione.

## Bibliografia

- Calcaterra D., Ramondini M., Di Martire D., (2006). "Studi preliminari sulla frana di Colle Lapponi - Piano Ovetta nel comune di Agnone (IS). Incontro Annuale dei Ricercatori di Geotecnica 2006 - IARG 2006 Pisa, 26÷28 giugno 2006.
- Calcaterra D., Calò F., Cappelletti M., de' Gennaro M., Di Martire D., Parise M., Ramondini M., (2007), "Mineralogical and geotechnical characterization of a large earthflow in weathered structurally complex terrains of the Molise region, Italy", Session NH3.09 – Slope movements in weathered materials: recognition, analysis and hazard assessment" General Assembly of the European Geosciences Union Vienna, 15 - 20 April 2007.
- Palumbo C. (2007), "Modellazione di una frana in formazioni strutturalmente complesse dell'appennino meridionale". Tesi di Laurea, Università di Napoli Federico II.