

EVOLUZIONE DI UN FENOMENO DI INSTABILITÀ IN FORMAZIONI STRUTTURALMENTE COMPLESSE NEL CORSO DELLA REALIZZAZIONE DELL'IMBOCCO DI UNA GALLERIA

Alessandro Vita
Università Politecnica delle Marche
a.vita@univpm.it

David Segato, Paolo Ruggeri, Viviene M.E. Fruzzetti,
Evghenia Sakellariadi, Giuseppe Scarpelli
Università Politecnica delle Marche

Sommario

Durante i lavori di scavo dell'imbocco di una galleria in Calabria, prevista lungo la nuova "Strada Statale Jonica", le opere di imbocco sono risultate soggette a spostamenti di entità tale da portare alla sospensione precauzionale dei lavori. In questa nota si descrive, attraverso l'interpretazione dei dati di monitoraggio, l'evoluzione temporale e cinematica del fenomeno sviluppatosi all'interno di formazioni strutturalmente complesse.

Introduzione

Nell'ambito dei lavori di potenziamento e ammodernamento della viabilità calabrese sono stati aperti negli ultimi anni alcuni grandi cantieri comprendenti ampi tratti funzionali di strada e numerose opere d'arte. Il maxilotto DG21 si estende dallo svincolo di Squillace allo Svincolo di Simeri Crichi, per la tratta corrispondente alla SS106 "Strada Statale Jonica", con annesso prolungamento della SS 280 "dei Due Mari", dallo svincolo di S. Sinato allo svincolo di Germaneto. I lavori porteranno alla realizzazione di una nuova strada a due corsie per senso di marcia che collegherà Taranto a Reggio Calabria sviluppandosi parallelamente alla costa Jonica.

Data la morfologia del terreno nel tratto in questione e la quota dell'asse stradale, il progetto ha previsto la realizzazione di gallerie di breve sviluppo sotto basse coperture, con la conseguenza di dover eseguire un gran numero di scavi importanti per la realizzazione delle opere di imbocco.

La formazione geologica presente è quella pliocenica della fossa di Catanzaro, piuttosto omogenea, ma interessata da numerose strutture tettoniche, riconducibili alla dinamica estensionale dell'area ed in grado di condizionare la risposta dell'ammasso alla scala del pendio.

Nell'aprile del 2008, durante i lavori di scavo dell'imbocco sud della galleria Baldaia I, si sono registrati elevati valori di spostamento delle opere di sostegno che hanno indotto alla sospensione precauzionale dei lavori e ad una revisione delle modalità di completamento della galleria dopo uno studio dei dati di monitoraggio.

Inquadramento geologico

Alla scala regionale la geologia della Calabria è caratterizzata da una serie di strutture cristalline, denominata nell'insieme Arco Calabro, derivanti dalla deformazione di crosta oceanica e continentale.

Durante il Neogene, una serie di fasi tettoniche distensive e trascorrenti hanno generato la cosiddetta segmentazione a blocchi dell'Arco Calabro. A seguito di tali deformazioni l'Arco Calabro risulta attraversato da importanti sistemi di faglie in senso longitudinale e trasversale

(v. figura 1). Tali sistemi di faglie sono i principali responsabili dell'apertura di importanti bacini sedimentari continentali e marini, sia longitudinali (bacino del Crati, del Mesima, di Crotone-Capo Spartivento, di Paola Gioia) sia trasversali (fossa del basso Crati-Sibari, fossa di Catanzaro, fossa di Siderno).

L'area in esame ricade nella fossa di Catanzaro (n. 11, figura 1) caratterizzata principalmente da unità argillose limose grigio azzurre intercalate con areniti da debolmente a mediamente cementate e fortemente tettonizzate, secondo una dinamica estensionale avente direzione SE.

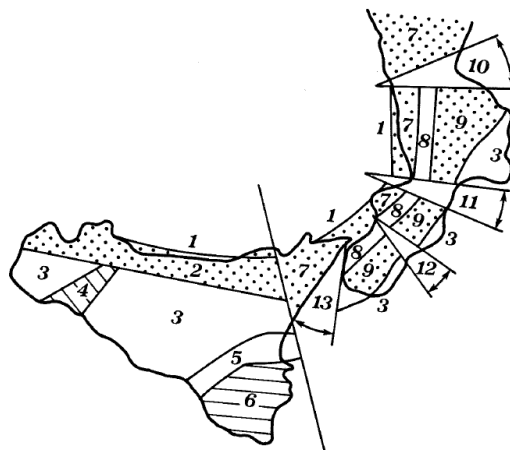


Fig. 1. Schema di segmentazione a blocchi dell'Arco Calabro-Peloritano.

Descrizione dell'opera

L'imbocco Sud della galleria Baldaia I è ubicato a mezza costa sulla sinistra orografica di un versante ad andamento concavo con pendenza media pari a circa 20° in direzione ENE.

La paratia a protezione dei due imbocchi, sfalsati planimetricamente ed altimetricamente, presenta una geometria articolata (v. figura 2, AS). L'opera è costituita da 98 pali di grande diametro (120 cm), di lunghezza variabile da 15 a 23 m e vincolata a tergo da 3 ordini di tiranti di lunghezza variabile da 26 a 31 m.

Descrizione degli eventi

Durante la fase di ribasso fino alla quota del terzo ordine di tiranti, le mire topografiche installate sul cordolo sommitale della paratia hanno registrato un improvviso incremento degli spostamenti verso valle (v. figura 2, AD); per la persistenza dei movimenti anche in assenza di lavorazioni specifiche e nonostante la realizzazione di tiranti integrativi, l'impresa costruttrice ha deciso di ritombare gran parte dell'area scavata ed installare nuovi strumenti di monitoraggio. Gli inclinometri hanno messo in luce un movimento del versante, nella direzione di massima pendenza, su precisi piani di scorrimento, di cui il più profondo è localizzato al di sotto del piede della paratia. Visti i risultati delle misure è stato redatto un nuovo piano di indagini e monitoraggio (v. figura 2, AS) con lo scopo di ricostruire, in modo più esauriente, la cinematica, i volumi di terreno in gioco, la sequenza stratigrafica ed infine caratterizzare il comportamento meccanico del terreno con le sue discontinuità mediante attività di laboratorio e di sito. Inoltre tre rilievi strutturali, effettuati su fronti di scavo aperti, hanno permesso di determinare la giacitura delle strutture stratigrafiche e tettoniche presenti.

Interpretazione dei dati di monitoraggio

Le mire topografiche presenti sulla sommità della paratia sono uno strumento essenziale per valutare l'evoluzione temporale del fenomeno in relazione alle lavorazioni eseguite. Il fenomeno si è evidenziato al termine del completamento degli scavi di ribasso avvenuto

nell'aprile 2008. Dopo una repentina accelerazione (v. figura 2, AD), la progressione del movimento ha subito una decelerazione nel corso dell'estate, per poi riaccelerare verso la fine del mese di novembre, periodo corrispondente ad una fase di precipitazioni intense. Nella primavera del 2009, per la persistenza dei movimenti, sono state rinterrate gran parte delle aree scavate, in particolare quella a ridosso della paratia. Nello stesso periodo è stato completato lo scavo della galleria più lontana, canna Nord, mentre si è arrestato lo scavo in canna Sud a 45 m dall'imbocco instabile.

La disposizione planimetrica delle mire, associata ai relativi vettori spostamento, mostra come il cinematismo della trave sommitale della paratia sia conseguente alla sovrapposizione di due componenti di spostamento:

- una traslazione rigida nella direzione della massima pendenza del versante;
- una rotazione avente fulcro attorno all'imbocco della canna Nord.

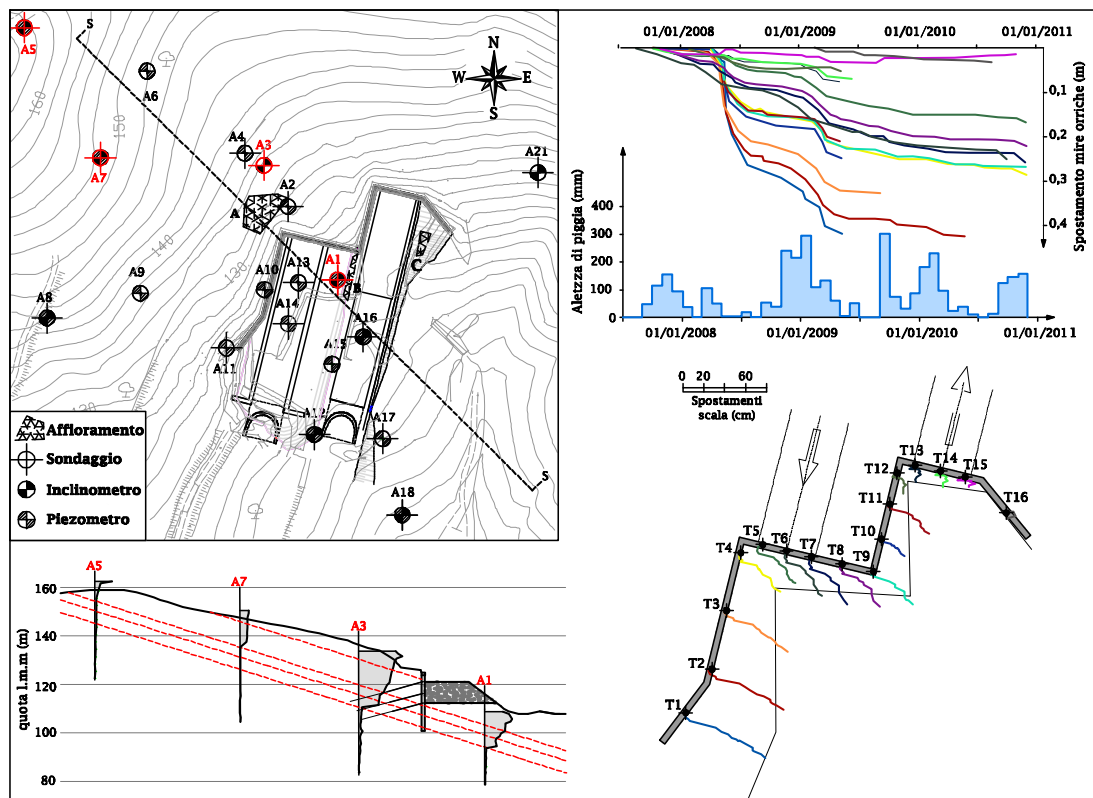


Fig. 2. AS, ubicazione strumenti di indagine; AD storico spostamenti e piogge mensili; BS, letture inclinometriche; BD, spostamenti planimetrici delle mire ottiche.

Le verticali inclinometriche mostrano un cinematismo di tipo a blocchi in quanto gli scorrimenti si concentrano a precise profondità su bande di taglio di modesto spessore e il terreno contenuto tra le due discontinuità trasla rigidamente nella direzione del movimento. L'inclinometro A3, prossimo alla paratia, individua tre principali superfici di scorrimento, di cui la più profonda (-23 m da p.c.) coinvolge l'intera opera di sostegno. Il confronto delle letture inclinometriche a tale quota con il trend delle mire ottiche, fornisce risultati congruenti in termini di direzione e valore assoluto dello spostamento.

I dati raccolti dalle celle piezometriche individuano la presenza di un livello freatico di base a circa 25 m da p.c. nella parte alta del pendio che risale in prossimità della superficie verso il piede del versante, andandosi a collocare al di sotto dell'arco rovescio della galleria.

Ricostruzione stratigrafica

L'osservazione del materiale estratto lungo le verticali di indagine ha permesso di ricostruire la stratigrafia del versante, che risulta pertanto caratterizzato da una formazione argillosa grigio azzurra, fortemente sovraconsolidata, intercalata da lenti sabbiose, talvolta debolmente cementate, di spessore da decimetrico a metrico. Alla scala del problema, l'estensione degli orizzonti incoerenti è tale da consentire di schematizzarli come strati aventi generale immersione verso SE (120 - 140°) con inclinazione media pari a 18-20°. Nei tratti coesivi della carota, diverse sono e le superfici lisce e traslucide rilevate, interpretabili come discontinuità; la loro presenza è confermata anche dai risultati delle verticali penetrometriche (CPTu) che presentano, alle medesime quote, repentini crolli della resistenza alla punta attribuibili all'attraversamento di questi piani di debolezza (v. figura 3).

Il sondaggio A4 è stato oggetto di un attento studio. Si è proceduto alla determinazione del contenuto d'acqua, dei limiti di Atterberg e analisi granulometrica lungo tutta la verticale indagata. Lo scopo era quello di rilevare le variazioni di contenuto d'acqua lungo l'altezza del sondaggio relazionandoli ai risultati delle prove di classificazione.

Contrariamente a quanto ci si poteva attendere (v. figura 3) si evince che il contenuto d'acqua si mantiene pressoché costante per tutta l'altezza con valore prossimo al limite plastico. Alla quota della superficie principale di scorrimento non si riscontrano contenuti d'acqua anomali e i test effettuati con il penetrometro tascabile sulle diverse discontinuità individuate nel sondaggio forniscono valori di resistenza non drenata intorno a 500 kPa, paragonabile a quella del materiale intatto.

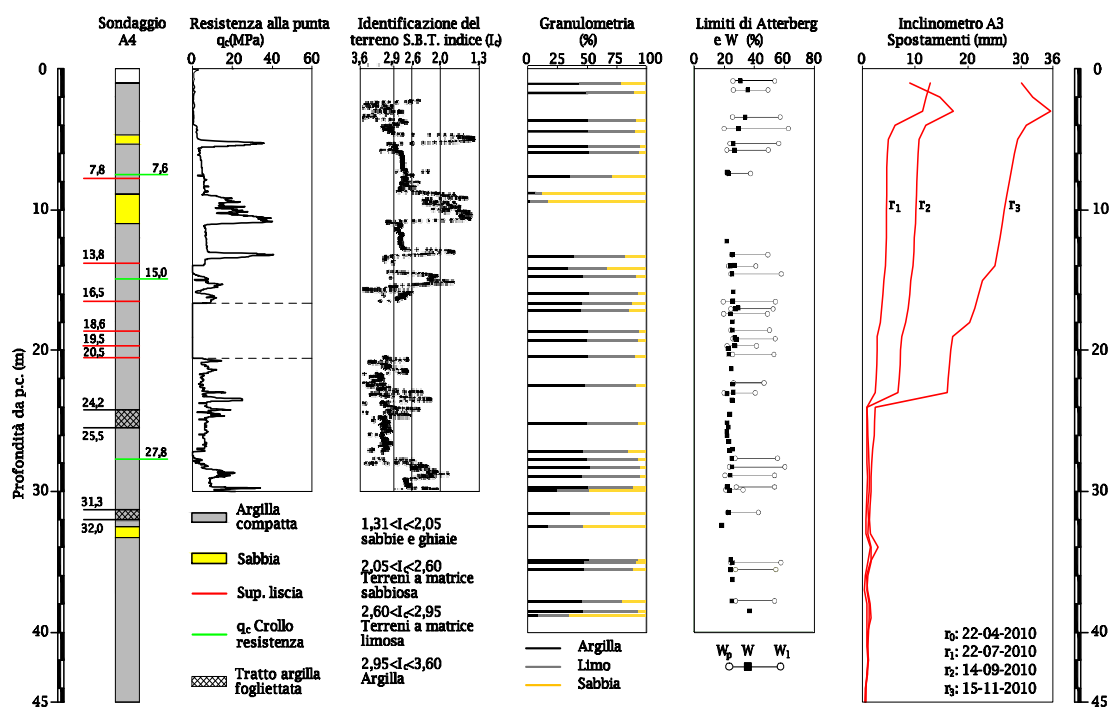


Fig. 3. Sovrapposizione dei dati ottenuti nel sondaggio A4 con le corrispondenti letture inclinometriche A3.

Caratterizzazione strutturale

La definizione delle caratteristiche strutturali del versante è essenziale per comprendere i cinematismi attivati durante le lavorazioni di scavo. La struttura principale nei blocchi coesivi (v. figura 4) è riconducibile a bande di scorrimento tipo "Riedel shear". Tali fenomeni deformativi avvengono all'interno di uno strato compreso fra due livelli più rigidi quando questi scorrono reciprocamente. In generale, le estremità di tali discontinuità vanno a disporsi

parallelamente ai livelli più sabbiosi, quando questi hanno uno spessore importante; altrimenti gli strati di sabbia vengono attraversati e dislocati dalle discontinuità.

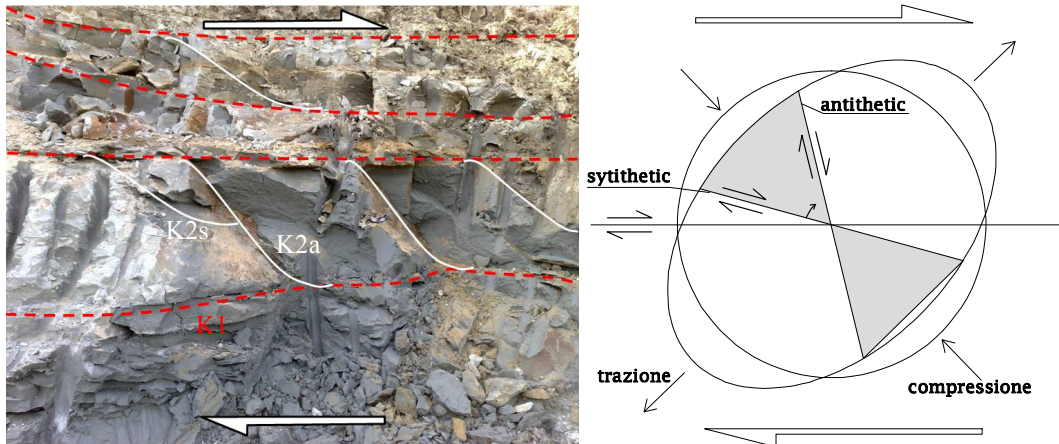


Fig. 4. Riedel shear (bianco), giunti di strato (rosso)

In base al rilievo strutturale, le strutture possono essere raggruppate in 5 famiglie:

- K1 giunti di stato immergenti 135/18° spaziatura variabile da 10 a 150 cm;
- K2_s “synthetic” bande di scorrimento Riedel shear 085/32°;
- K2_a “antithetic” bande di scorrimento Riedel shear 090/75°;
- K3 giunti sub verticali 065/85° or 248/82°;
- K4 giunti immergenti verso l'ammasso ortogonalmente ai piani di stratificazione 300/64°.

Modello geotecnico

In figura 4 si propone il modello geotecnico di riferimento. La sezione (S-S) coincide con la direzione dello scorrimento. I giunti di stratificazione e le superfici di scorrimento rilevate dagli inclinometri identificano una massa instabile delimitata dalle strutture K1, da fessure di trazione appartenenti alla famiglia K2 e da linee di chiusura a valle.

Essendo la stabilità del pendio governata da discontinuità è essenziale caratterizzare la resistenza a taglio lungo le interfacce, facendo riferimento alle condizioni residue. La valutazione della resistenza residua è stata effettuata con apparecchiatura di taglio diretto di tipo Casagrande seguendo tre differenti procedure di preparazione del campione:

- Procedura A: cicli di scorrimento relativo fra le superfici del campione, post rottura;
- Procedura B: cicli di scorrimento relativo fra le superfici del campione su discontinuità preesistenti;
- Procedura C: resistenza valutata su discontinuità prodotte artificialmente mediante levigatura.

Il valore dell'angolo di attrito residuo risulta praticamente indipendente dalla procedura adottata e, con buona approssimazione, pari a 20°, in pieno accordo con le correlazioni di letteratura (v. figura 4) in funzione dell'indice plastico ($I_p=20-30\%$).

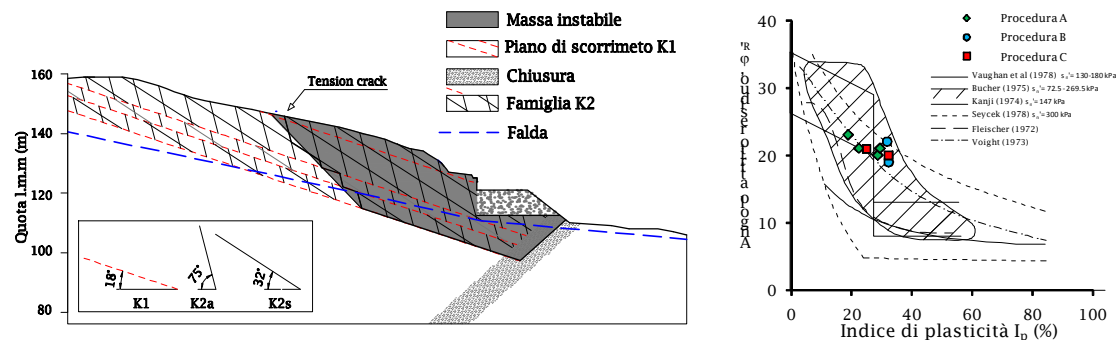


Fig. 5. sx, Modello geotecnico proposto- Sezione S-S; dx, risultati delle prove di resistenza residua.

Il valore dell'attrito residuo non giustifica da solo il fenomeno di instabilità osservato; è necessario aggiungere un'ulteriore forza instabilizzante affinché si inneschi il cinematisma e il blocco scorra sulla discontinuità K1. L'andamento temporale delle mire ottiche evidenzia un'accelerazione degli spostamenti nei periodi più piovosi; pertanto vista la presenza di fessure di trazione, appare ragionevole ipotizzare il loro riempimento d'acqua durante tali periodi con la conseguente generazione di una spinta idrostatica sulle discontinuità K2.

Conclusioni

L'analisi approfondita delle verticali indagate in relazione alle evidenze cinematiche ed i rilievi strutturali hanno permesso la definizione di un modello geotecnico di riferimento in grado di cogliere gli aspetti essenziali del movimento di versante sviluppatosi a seguito degli scavi dell'imbocco in formazioni strutturalmente complesse.

Il comportamento meccanico, alla scala del pendio, è interpretabile come un insieme di blocchi che scorrono lungo discontinuità preesistenti, pressoché planari. Ad oggi, l'evoluzione del fenomeno è governata dalla resistenza al taglio residua lungo tali discontinuità (K1) e dalle fessure di trazione (K2) che favoriscono l'accumulo di acqua meteorica.

Ringraziamenti

Gli autori vogliono ringraziare Astaldi S.p.A. per aver reso disponibili i dati.

Bibliografia

- A.G.I. (1979) Some Italian experiences on the mechanical characterization of structurally complex formations. *Proceedings of 4th Int. Cong. on Rock Mechanics*, Montreux, vol. 2, pp. 827-846.
- Calabresi G., Scarpelli G. (1985). Argille sovraconsolidate e fessurate: fenomeni franosi. *Geol. Appl. & Idrogeol.*, 20(2): 93-126.
- Henkel D.J. (1956). Discussion on earth movement affecting L.T.E. Railway in deep cutting East of Uxbridge, Proc. *Institution of Civil Engineers*, Pt.II (5), pp. 320-323.
- Hoek, E., Bray, J.W. (1981). Graphical presentation of geological data. *Rock Slope Engineering. Institution of Mining and Metallurgy, Spon Press. London.* (ISBN 0419160108). 368p.
- Lupini J.F., Skinner A. E., Vaughan P. R. (1981). The drained residual strength of cohesive soils. *Géotechnique*, 31, n.2, pp. 181-213.
- Markland, J.T. (1972). A useful technique for estimating the stability of rock slopes when the rigid wedge sliding type of failure is expected. *Imp. Coll. Rock Mech. Res. Rep.* 19.
- Riedel, W. (1929). Zur Mechanik Geologischer Brucherscheinungen. *Zentralblatt für Mineralogie. Geologie und Paläontologie B*: pp. 354-368.
- Skempton A.W. (1964). Long-term stability of clay slopes. Fourth Rankine Lecture, *Géotechnique*, 14, pp. 77-101.
- Tansi C., Muto F., Critelli S., Iovoini G., (2007). Neogene-Quaternary strike-slip tectonics in the central calabrian Arc (southern Italy). *Journal of Geodynamics*, vol 43, pp. 393-414.