

ANALISI DEL MECCANISMO DI ROTTURA IN UN RILEVATO AUTOSTRADALE FONDATA SU UN VERSANTE MARNOSO

Luca Comegna

*Dipartimento di Ingegneria, Università della Campania “Luigi Vanvitelli”
luca.comegna@unicampania.it*

Alessandro Mandolini

*Dipartimento di Ingegneria, Università della Campania “Luigi Vanvitelli”
alessandro.mandolini@unicampania.it*

Cecilia Calvanese

*Dipartimento di Ingegneria, Università della Campania “Luigi Vanvitelli”
cecilia.calvanese@unicampania.it*

Denise Manna

*Dipartimento di Ingegneria, Università della Campania “Luigi Vanvitelli”
denise.manna@unicampania.it*

Sommario

La pavimentazione di un tratto di rilevato autostradale dell’A24 ricadente nel comune di Roviano (RM), fondato su un pendio marnoso-arenaceo, è stata interessata dal 1988 da continui fenomeni di avvallamento. I dati inclinometrici a disposizione hanno evidenziato che tale spostamento è il risultato di movimenti lenti sviluppatisi lungo superfici di rottura interne sia al rilevato sia ai terreni di fondazione. La nota descrive i principali caratteri cinematici del fenomeno evidenziati dal monitoraggio ed i risultati di alcune analisi finalizzate alla comprensione del meccanismo di rottura osservato.

1. Introduzione

Oggetto della presente nota è un tratto in rilevato dell’Autostrada A24 Roma - L’Aquila – Teramo (Fig. 1a, 1b), realizzato lungo una porzione della dorsale appenninica laziale posta tra i comuni di Roviano (RM) ed Arsoli (RM). Tale rilevato risulta fondato in parte su una formazione marnoso-arenacea ed in parte su depositi detritici di conoide alluvionale, a loro volta poggianti sulla formazione di base (Fig. 1c). A partire dal 1988, per un tratto di rilevato della lunghezza di circa 70 m si sono manifestati cedimenti della pavimentazione stradale che hanno richiesto negli anni l’esecuzione di interventi di ripristino tesi al recupero della quota di progetto. L’osservazione di una serie di lesioni presenti in corrispondenza del ciglio destro della corsia di marcia lenta in direzione L’Aquila (Fig. 1d), in uno con l’evidenza derivante dal monitoraggio degli spostamenti profondi eseguito a partire dal 1998, ha in particolare evidenziato che tali lesioni sono la conseguenza di meccanismi deformativi che hanno interessato non solo il rilevato ma anche il versante su cui esso poggia.

Verranno di seguito fornite una descrizione delle campagne di indagine ed i risultati di alcune analisi finalizzate alla comprensione del fenomeno osservato.

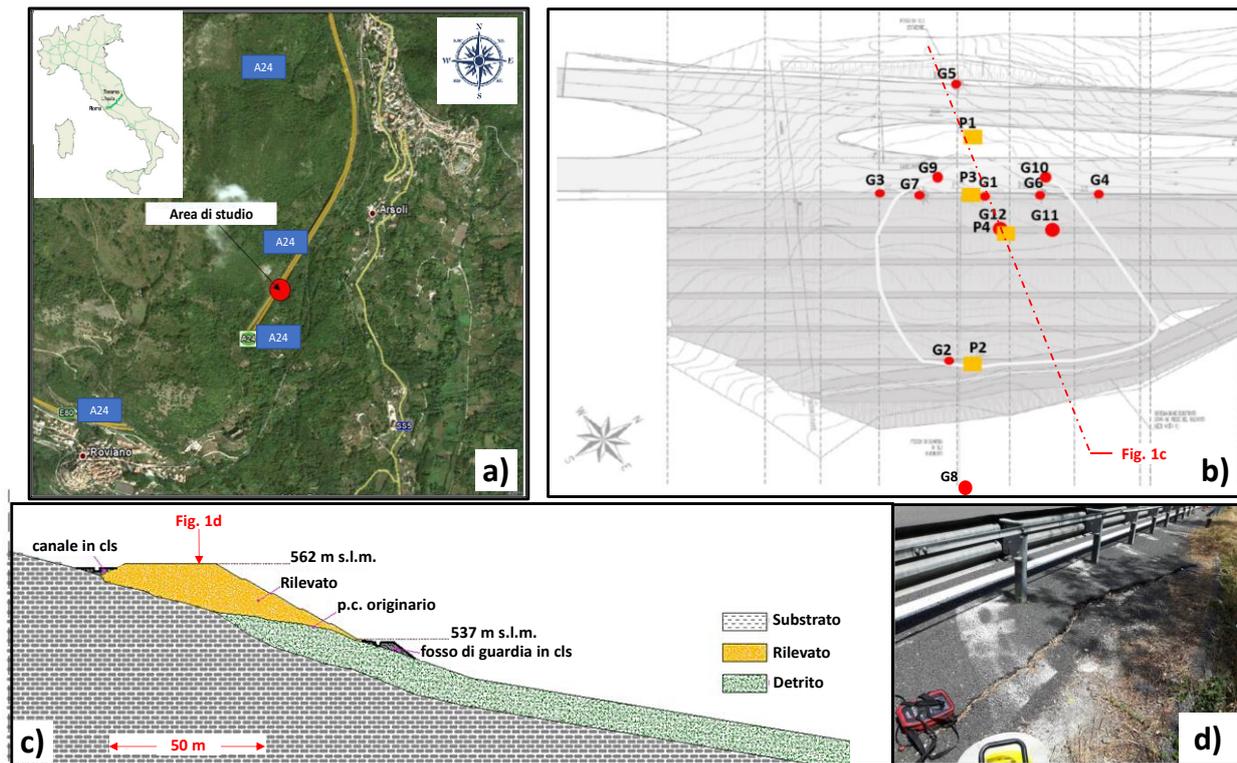


Fig 1. Il caso di Roviano: a) area di studio (fonte Google Earth); b) posizione planimetrica dei sondaggi; c) sezione di riferimento; d) lesioni osservate sulla pavimentazione stradale.

2. Risultati delle indagini

L'area di studio è ubicata nel comune di Roviano (RM) in corrispondenza della dorsale appenninica laziale appartenente alla catena montuosa dei Monti Sabini. Il versante presenta una morfologia dolce nella parte superiore (da +700 a +966 m s.l.m.) ed in corrispondenza del fondovalle (posto a +317 m s.l.m.) lungo il quale scorre il fiume Aniene, mentre le maggiori pendenze si riscontrano superiormente al tracciato autostradale. Il rilevato, di spessore massimo pari a 16 m, angolo di inclinazione delle scarpate mediamente pari a 28° e ingombro della piattaforma stradale di 30 m, si sviluppa tra le quote di +562 e +537 m s.l.m. lungo un tratto di versante mediamente inclinato di 15° (Fig. 1c).

Il sottosuolo è costituito prevalentemente da sedimenti dolomitici, calcarei, calcareo marnosi e marnoso argillosi. Tali unità sedimentarie, caratterizzate da un'intensa fratturazione, fanno parte di formazioni litologiche strutturalmente complesse la cui evoluzione si esplica attraverso chiari elementi quali linee tettoniche, faglie trascorrenti e sovrascorrimenti che esercitano un controllo strutturale sull'evoluzione geomorfologica dell'area.

I risultati di quattro campagne di indagine realizzate tra il 1998 ed il 2019 (Fig. 1b, Tab. 1) hanno consentito di ricavare informazioni sulle proprietà fisiche e meccaniche dei terreni interessati, sugli aspetti cinematici del fenomeno e sul regime piezometrico (Anibaldi, 2018; Calvanese, 2021) che verranno descritte di seguito. In particolare, sono stati realizzati complessivamente 16 sondaggi, che hanno consentito l'installazione di inclinometri e piezometri a tubo aperto, l'esecuzione di prove SPT e prove pressiometriche, nonché il prelievo di campioni indisturbati.

Tab. 1. Sondaggi eseguiti dal 1998 al 2019.

Campagna indagini	Sondaggio	Profondità [m]	Inclinometro	Piezometro	Prova SPT	Prova pressiometrica	Prelievo campioni
1998-2003	G1	20	x		x		
	G2	15	x				
	P1	20		x			
	P2	12		x			
2006	G3	25	x				
	G4	25	x		x		x
2015	G5	25	x				x
	G6	35	x				
	G7	35	x				
	G8	40	x				
	P3	20			x		
2019	G9	40			x	x	x
	G10	40			x	x	x
	G11	38					
	G12	20					
	P4	20			x		

2.1 Proprietà fisiche e meccaniche dei terreni coinvolti

Le indagini in sito ed in laboratorio hanno permesso di distinguere tre unità principali coinvolte: rilevato autostradale, formazione di base, deposito detritico.

Il rilevato autostradale risulta costituito dall'alternanza di ghiaie in matrice limosa-sabbiosa e sabbie limose. L'elaborazione delle prove SPT ha permesso di riconoscere un grado di addensamento mediamente pari a 65 % ed un angolo d'attrito $\varphi' = 35^\circ$.

La formazione di base, descrivibile come un flysch marnoso-arenaceo, si presenta intensamente fratturata e tettonizzata. La sua porzione alterata, riconosciuta fino alla profondità di circa 24 m, si presenta prevalentemente come un limo con sabbia argilloso e ghiaioso di bassa plasticità ($I_p = 6\%$). L'elaborazione di 26 prove di compressione triassiale CID e CIU, eseguite su campioni indisturbati prelevati nella porzione alterata, ha restituito i seguenti parametri di resistenza: coesione $c' = 14$ kPa, angolo di attrito $\varphi' = 37^\circ$. Il valore piuttosto elevato dell'angolo di attrito è giustificato dalla presenza di elementi litoidi. La struttura complessa tipica di tale formazione è stata evidenziata anche da alcune prove di taglio diretto che hanno riscontrato valori di angolo di attrito residuo φ'_{res} variabili tra 13.4° e 26.3° in ragione della percentuale di argilla CF (Fig. 2).

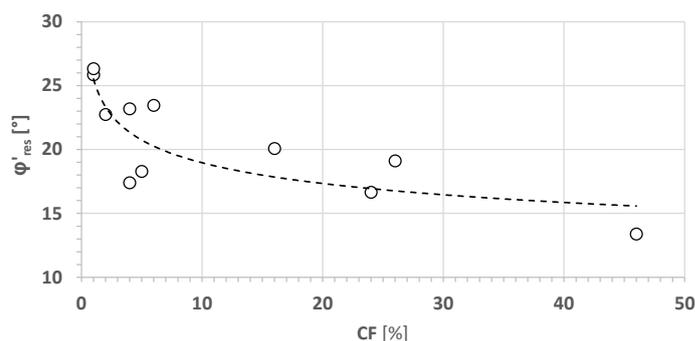


Fig. 2. Formazione di base: valori dell'angolo residuo φ'_{res} misurati in funzione della percentuale di argilla CF.

Il deposito detritico posto al piede del rilevato è ascrivibile ad un'antica coltre di frana. Esso presenta uno spessore massimo di 8 m ed è formato da ghiaia alterata mista a sabbia limosa molto alterata. Non si hanno a disposizione risultati di prove penetrometriche o prove di laboratorio per ricavare informazioni su parametri meccanici.

2.2 Spostamenti

Le misure inclinometriche hanno permesso di riconoscere la presenza di almeno due superfici di taglio continue poste a differenti profondità (Fig. 3). Lungo entrambe le superfici, gli spostamenti evidenziano azimut preferenziali compatibili con la direzione di massima pendenza Ovest-Est del versante. Quella più superficiale (profondità compresa tra 11 m e 16 m dal p.c.) si sviluppa a partire dal ciglio destro della carreggiata direzione L'Aquila in corrispondenza della frattura osservata sulla pavimentazione stradale (rappresentandone quindi il coronamento), attraversa il rilevato e prosegue fino al piede dello stesso lungo il contatto stratigrafico posto tra il deposito detritico e la formazione di base. A valle del rilevato non si hanno chiare evidenze di una chiusura a piano campagna della superficie di rottura. La superficie più profonda presenta invece una forma tendenzialmente planare (inclinazione media pari a 20°) e si trova posta a distanze dal p.c. variabili tra 12 m e 22 m. Essa risulta completamente immersa nella porzione alterata della formazione di base. La lunghezza rilevata a partire dal ciglio sinistro della carreggiata è di circa 120 m.

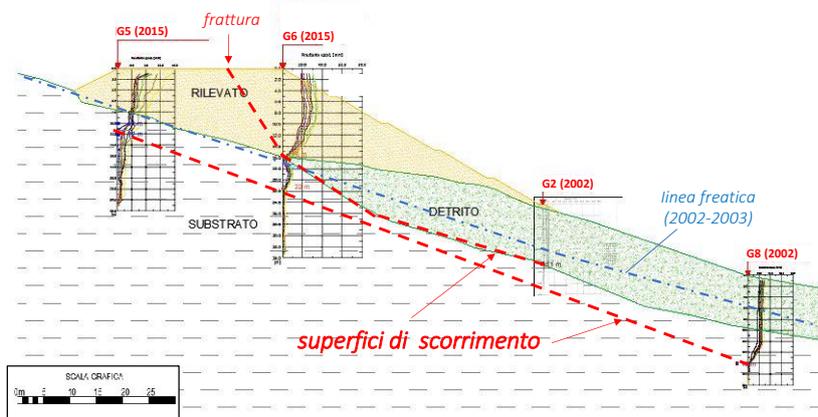


Fig. 3. Posizione superfici di scorrimento individuate dalle misure inclinometriche.

Le velocità misurate risultano mediamente comprese tra 8 e 10 mm/anno, presentando valori medi mensili variabili tra 1.8 e 4.0 mm/mese (Fig. 4). I valori più elevati sono stati registrati dall'inclinometro G6 installato in corrispondenza del ciglio destro della carreggiata. È interessante notare come gli andamenti delle velocità siano in buon accordo con le precipitazioni antecedenti cumulate su scala mensile registrate presso la vicina stazione meteo di Arsoli, rivelando una probabile influenza sulla risposta cinematica da parte delle variazioni meteo-indotte subite dalle pressioni interstiziali. Sfortunatamente, le informazioni più significative a disposizione sul regime piezometrico riguardano solo quelle eseguite tra il 2002 ed il 2003 dai piezometri a tubo aperto P1 e P2 installati nella formazione di base. Come evidenziato in Fig. 3, la linea freatica risulta essenzialmente coincidente con il piano campagna originario a monte del detrito, mentre a valle risulta interna al deposito detritico stesso.

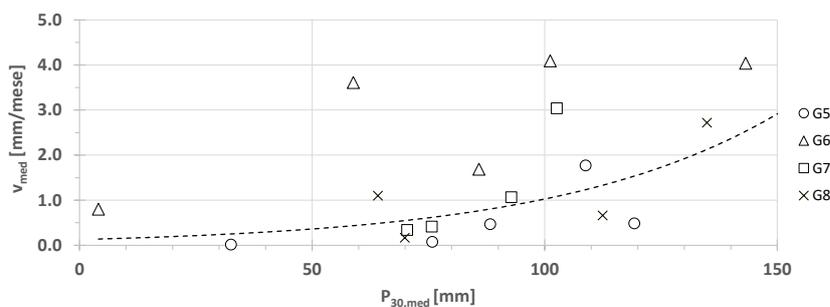


Fig. 4. Relazione tra i valori medi delle velocità di spostamento, v_{med} e le precipitazioni cumulate mensili $P_{30,med}$

3. Analisi del meccanismo di rottura

Le misure inclinometriche hanno messo in luce la presenza di movimenti profondi che interessano non solo il rilevato, ma anche i terreni di fondazione. Al fine di comprendere il meccanismo osservato, sono state eseguite alcune analisi di stabilità in condizioni 2D mediante l'impiego del software SLOPE/W (Geoslope International Ltd), basato sui metodi delle strisce. Il coefficiente di sicurezza globale FS è stato calcolato con il metodo semplificato proposto da Janbu. I parametri geotecnici assegnati ai materiali sono riportati in Tabella 2. Non avendo informazioni specifiche, per il detrito è stata ipotizzata coesione nulla ed un angolo di attrito di 28°, tipico di un deposito scarsamente addensato.

Tab. 2. Parametri geotecnici assegnati per l'implementazione delle analisi di stabilità.

Terreno	γ [kN/m ³]	c' [kPa]	ϕ' [°]
Rilevato	18.0	0	35
Detrito	20.5	0	28
Formazione di base	21.0	0	variabile

I calcoli sono stati eseguiti ipotizzando entrambe le superfici di scorrimento osservate (Fig. 5). Per quanto riguarda il regime piezometrico, data la granulometria prevalentemente grossolana del deposito detritico, si è ipotizzato che la linea freatica possa oscillare da un livello minimo, corrispondente al contatto stratigrafico tra il deposito detritico e la formazione di base, ad un livello massimo coincidente con il piano campagna.

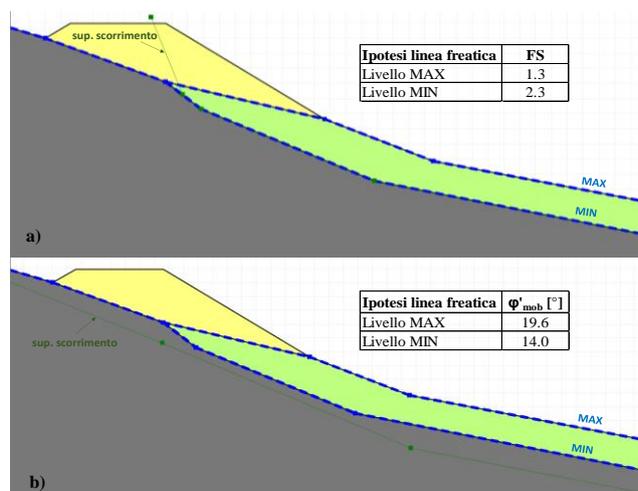


Fig. 5. Risultati delle analisi di stabilità in funzione della posizione superficie di scorrimento: a) superficiale; b) profonda.

I valori di FS ottenuti assumendo la posizione meno profonda della superficie di scorrimento (Fig. 5a) risultano maggiori dell'unità indipendentemente dal livello piezometrico. Le analisi non sembrerebbero pertanto interpretare tale cinematiso attraverso un meccanismo di rottura globale. Al contrario, la rottura lungo la superficie posta a maggiore profondità (Fig. 5b) sembrerebbe giustificata da valori di angolo d'attrito mobilitati variabili tra 14.0° e 19.6°: tale intervallo risulta compatibile con quello relativo agli angoli d'attrito residuo ricavati dalle prove di taglio diretto (Fig. 2).

L'ipotesi più attendibile è pertanto che il rilevato, interessato da fenomeni di rottura locale, sia stato realizzato su un versante soggetto a fenomeni di riattivazione lungo una superficie preesistente e governati dalle oscillazioni della falda. I punti plastici rilevati dai risultati preliminari di alcune analisi

FEM, eseguite con il codice di calcolo PLAXIS in ipotesi di mezzo elastico-lineare perfettamente plastico, sembrerebbero confermare tale ipotesi (Fig. 6).

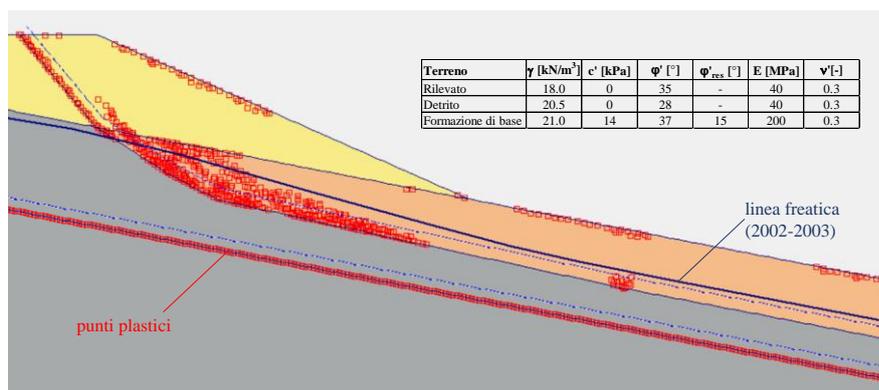


Fig. 6. Risultati delle analisi FEM.

4. Conclusioni

Il quadro delle informazioni raccolte dalle indagini e dalle analisi descritte evidenzia che gli spostamenti subiti dal rilevato autostradale oggetto di studio sono la combinazione di effetti complessi dovuti ad un meccanismo di rottura locale interno all'opera (associato alle caratteristiche geotecniche del rilevato stesso) e alla riattivazione di un movimento franoso lento interno alla formazione di base.

Dato il ruolo degli effetti meteo-indotti evidenziato dal monitoraggio, è in corso una sperimentazione di tipo numerico finalizzata ad individuare la relazione tra il regime piezometrico del versante e la cinematica del fenomeno. I risultati di tale studio potrebbero essere successivamente impiegati ai fini di una valutazione dell'efficacia dei necessari interventi di consolidamento.

Bibliografia

Anibaldi G. (2018). Frana Roviano - Risultati delle indagini in sito e di laboratorio. Interventi di adeguamento e messa in sicurezza urgente (M.I.S.U.) delle autostrade A24 e A25.

Calvanese C. (2021). Analisi della risposta meccanica di versanti soggetti a fenomeni di frana lenta. Relazione finale assegno di ricerca, Programma VALERE 2019, Università della Campania Luigi Vanvitelli, Dipartimento di Ingegneria.