

Studio geologico – geotecnico della frana di Corniolo, Comune di S.Sofia (FC)

Pier Luigi Torreggiani

Laureato in Scienze Geologiche, Università di Bologna, secondo a pari merito del Premio di Laurea “Gianfranco Bruzzi” – edizione 2009

1) INTRODUZIONE

L'obiettivo della presente tesi è la caratterizzazione geologico – tecnica dei movimenti franosi di tipo scorrimento traslativo presenti nell'Appennino Emiliano Romagnolo nei pressi dell'abitato di Corniolo (FC). L'area di studio è caratterizzata dalla Formazione Marnoso – Arenacea, in particolare dei membri di Corniolo e di Premilcuore. Il versante è interessato da 3 corpi di frana di tipo traslativo lungo piani di strato (Figura 1). Particolare attenzione è stata data alla frana di Corniolo che coinvolge direttamente il paese omonimo. Tale frana è composta da due corpi distinti, separati da substrato in roccia affiorante nei pressi dell'abitato. È stato eseguito un modello geologico – tecnico sulla base di analisi geognostiche predisposte dal servizio tecnico di bacino dal 1997 ad oggi. Infine è stata prodotta un'analisi di stabilità all'equilibrio limite sul corpo di frana superiore del versante di Corniolo, tenendo conto delle caratteristiche sismiche locali.

2) INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'area considerata è interamente interessata dalla Formazione Marnoso Arenacea. Tale formazione è un corpo sedimentario sviluppatosi tra il Burdigagliano superiore (16,6 Ma) e il Tortoniano (6,5 Ma) ed è costituito da torbiditi marnoso arenacee depositatesi in un bacino di avanfossa migrante verso NE. Nella sua porzione romagnola, la formazione raggiunge una lunghezza di 400 km per uno spessore di circa 3000-4000 m e affiora per una lunghezza di 180 km e una larghezza di 40 km (Ricci Lucchi, 1975). Associate alle torbiditi prevalentemente silicoclastiche si trovano depositi di mare profondo (emipelagiti) e corpi caotici (noti come *megaslumpings*). L'area in studio è presente nell'elemento n.° 265062, in scala 1:5000 della Carta Tecnica della Regione Emilia-Romagna (CTR) e nel Foglio n.° 265 S.Piero in Bagno.

L'area è interessata da un assetto monoclinatico con giaciture che evidenziano un angolo di immersione degli strati variabile da 15° a 45° in direzione SO (Figura 2). Lo schema tettonico presenta 2 importanti faglie:

- Linea del Garella, una *faglia incerta* a rigetto prevalentemente orizzontale;
- Linea di S. Benedetto in Alpe (sovrascorrimento). Localmente, le deformazioni sono accentuate dalla pre-



Figura 1 - Ubicazione delle frane in esame, da sinistra: frana di Verghereto, frana di Corniolo, frana delle Capanne. Fonte: Google Earth.

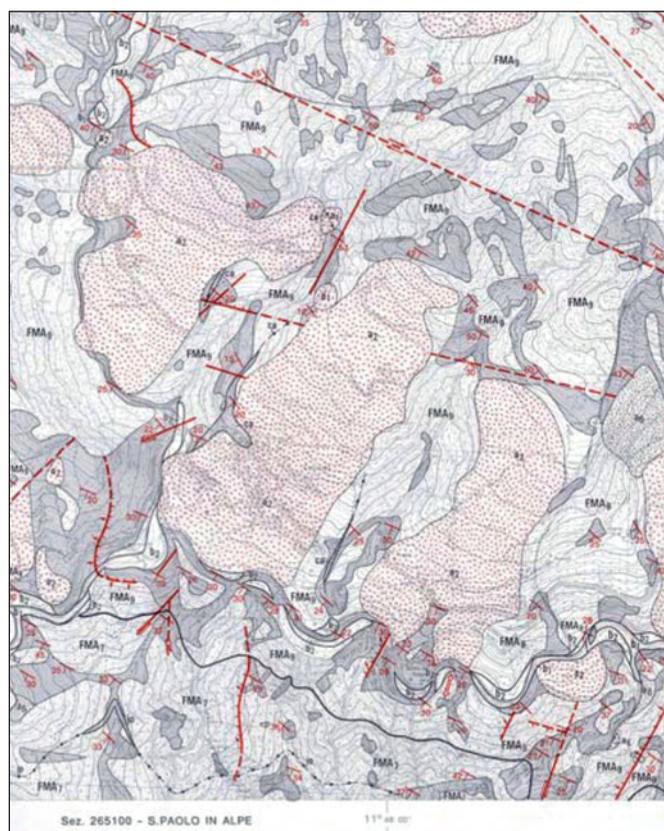


Figura 2 - Stralcio della carta geologica dell'Appennino Emiliano - Romagnolo alla scala 1:10000, sezione 265060 (Corniolo).

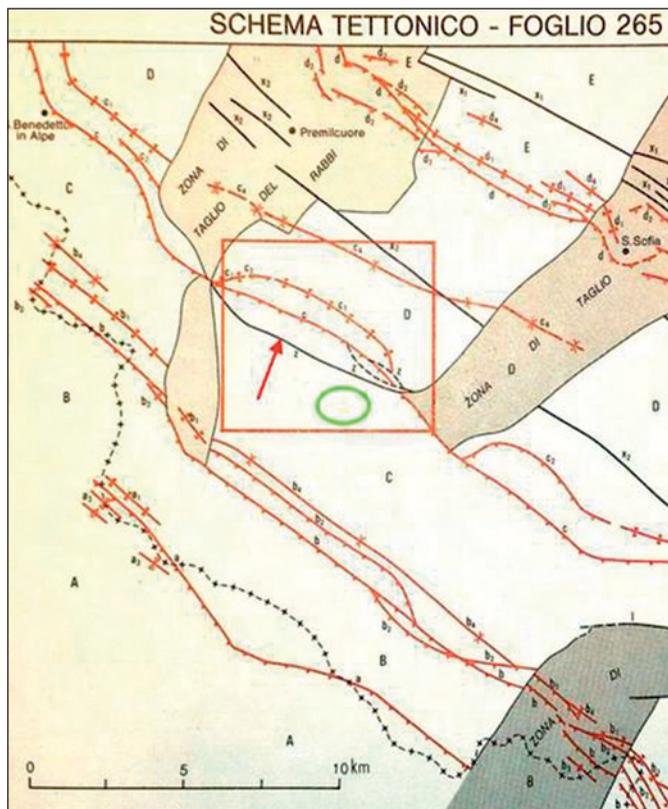


Figura 3 - Assetto tettonico locale: è evidenziata in verde l'area in esame; la freccia rossa indica le strutture tettoniche più importanti.

senza della parte inferiore della faglia sinclinale di S. Benedetto in Alpe, con strati rovesci di inclinazione variabile, da 75° as 35° (Figura 3). L'assetto geomorfologico è stato determinato dalle analisi delle foto aeree a colori RER 7615144 e RER 7615143bis dell'anno 1973 (scala 1:15000). La morfologia generale del versante di Corniolo rispecchia l'andamento strutturale degli strati. Il versante è isostrutturale e immerge verso Sud Ovest con una inclinazione circa costante, senza rotture di pendenza evidenti. La lunghezza complessiva del versante (dalla corona all'estremità inferiore dell'accumulo) misura circa 1200 metri; l'estremità superiore dell'accumulo è a quota 770 metri (s.l.m.), l'estremità inferiore è a quota 495 metri (s.l.m.), a pochi metri dal fiume Bidente, corso d'acqua principale. La disposizione strutturale del substrato favorisce l'infiltrazione delle acque nel sottosuolo, siano esse provenienti da fonte meteorica che da perdita fognaria o acquedottistica nella zona dell'abitato. Sono presenti venute d'acqua vicino alle case sorte a ridosso di blocchi di roccia affiorante, nel centro abitato di Corniolo. Negli ultimi decenni sono state registrate portate consistenti in occasione di maggiori eventi piovosi che hanno destato notevoli preoccupazioni nella popolazione.

3) CARATTERISTICHE DEI FENOMENI FRANOSI

In base alla classificazione di Cruden e Varnes (1996) le tre frane in esame sono state classificate come *scivolamenti traslativi in roccia* (Tabella 1).

Tabella 1 - Classificazione delle frane secondo Cruden e Varnes (1996), termini in italiano e corrispettivi in inglese.

Tipo di movimento	Tipo di materiale		
	Roccia	Suoli	
		Grossolani	Fini
Caduta	Rock fall	Debris flow	Eart flow
Ribaltamento	Rock topple	Debris topple	Earth topple
Scivolamento	Rotazione	Rock slide	Debris slide
	Traslativo		
Espandimento laterale	Rock spread	Debris spread	Earth spread
Colate	Rock flow	Debris flow	Earth flow

4) LA FRANA DI CORNIOLO

Il centro abitato di Corniolo è stato inserito negli elenchi degli abitati dichiarati da consolidare, ai sensi della Legge 9 luglio 1908, n.°445 con Decreto Luogotenenziale del 2 febbraio 1916, n.°299, a seguito di un evento franoso avvenuto presumibilmente tra il 1914 e il 1915, che coinvolse la parte di versante a valle dell'attuale S.P. n.°4, mettendo in pericolo la frazione. È stata approvata la perimetrazione dell'abitato ed incluso nel Piano Stralcio per il Rischio Idrogeologico con D.G.R. 17 marzo 2003, n.° 350 (2007). Eventi franosi successivi non sono stati segnalati, a parte locali movimenti superficiali con danni prevalentemente lievi ai manufatti. In Figura 4 è mostrato lo stralcio dell'elemento CTR 265062: dall'analisi delle foto aeree del 1973 in scala 1:10000 è stato evidenziato il corpo di frana e la roccia affiorante.

Il versante di Corniolo sembra essere interessato da un unico grande deposito di frana quiescente che si estende da quota 770 metri al fondovalle, a quota 495 metri. Il corpo di frana ha una lunghezza di circa 850 metri e una larghezza variabile da un minimo di 340 metri a monte ad un massimo di 520 metri a valle. Il piede della frana presenta una completa copertura vegetativa costituita da alberi ad alto fusto. A monte del corpo di frana è presente un'area parzialmente vegetata con roccia affiorante o subaffiorante. La superficie di distacco che viene messa a nudo è coperta da detrito, probabilmente proveniente da fenomeni di trasporto superficiale, e non mostra segni di attività recenti.

5) FRANA DELLE CAPANNE

Il versante delle Capanne (Figura 5) si trova ad est del versante di Corniolo, separato dal fosso di Riforno. La quota all'estremità superiore dell'accumulo, ben visibile anche da un netto cambiamento della vegetazione, si trova a 725 metri circa; l'estremità inferiore si trova a 500 metri. La lunghezza del corpo di frana è di 950 metri, la larghezza varia da 250 metri (a monte) e 350 metri (a valle) con inclinazione media del versante di 15°. La zona di distacco è completamente nascosta da una fitta vegetazione boschiva, e non mostra nessuna morfologia evidente. Il corpo di frana è largo 270 metri lungo tutto il versante. Gli strati vergono in direzione Sud Est

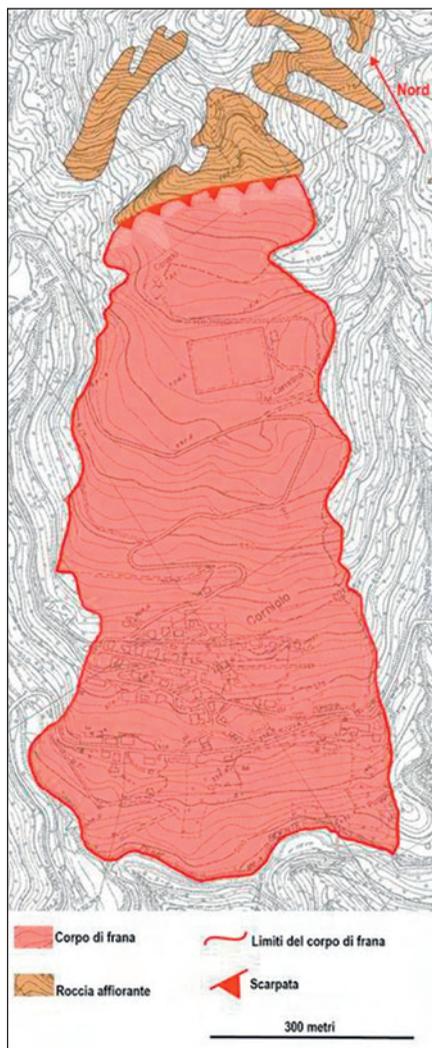


Figura 4 - Frana di Corniolo. Tratta da foto aerea R.E.R. 7615144.

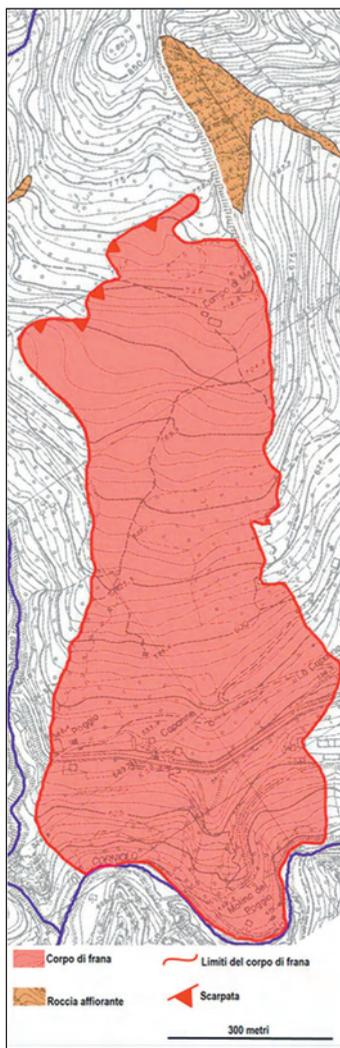


Figura 5 - Frana delle Capanne. Tratta da foto aerea R.E.R. 7615144.

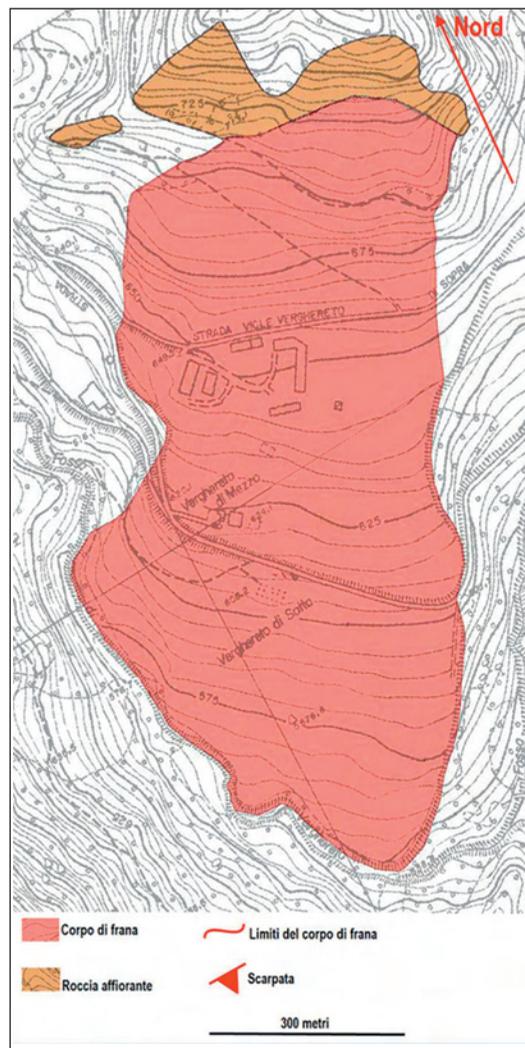


Figura 6 - Frana di Verghereto. Tratta da foto aerea R.E.R. 7615144.

mediamente di un angolo di 30°. A monte del corpo di frana è presente una faglia incerta subverticale (Figura 2).

6) LA FRANA DI VERGHERETO

Il versante di Verghereto (Figura 6) si trova a Ovest del versante di Corniolo, delimitato a destra dal fosso dell'Alpicella e a sinistra dal fosso di Verghereto. L'analisi delle foto aeree del 1973 mostra la presenza di un corpo di frana quiescente. La quota all'estremità superiore dell'accumulo si trova a 730 metri, l'estremità inferiore si trova a quota 555 metri. La lunghezza del corpo di frana varia da 730 metri lungo il fianco sinistro a 535 metri lungo il fianco destro, con inclinazione media del versante di 16°. La zona di distacco, originariamente di forma subtriangolare, mette in luce una porzione di roccia a forma di "M"; presenta un solco d'erosione centrale ricoperta da una fitta vegetazione boschiva. Sul corpo di frana sono presenti due piccoli nuclei abitativi raggiungibili da strade

asfaltate. La Carta Geologico Regionale (fig.14) conferma la presenza di un corpo di frana quiescente. Gli strati vergono in direzione Sud Est di un angolo variabile da 25° a 45°.

7) SISMICITÀ

L'alto Appennino Forlivese è considerato a più alto rischio sismico dell'Emilia-Romagna, con sismicità medio - alta rispetto all'Italia. Dai cataloghi storici risulta che terremoti di questa entità hanno colpito le alte valli del Bidente e del Savio nel 1584, nel 1661, nel 1768 e, recentemente, nel 1918. La zona è interessata più frequentemente anche da una sismicità di grado inferiore, con magnitudo stimata compresa tra 4,5 e 5, come ad esempio la crisi sismica della prima metà degli anni '50 e il recente terremoto del 26 gennaio 2003. Inoltre l'alto Appennino romagnolo risente anche della sismicità del Mugello dove, ad esempio nel 1919, si sono verificati terremoti di magnitudo superiore a 6. Per questo motivo il Comune di S. Sofia

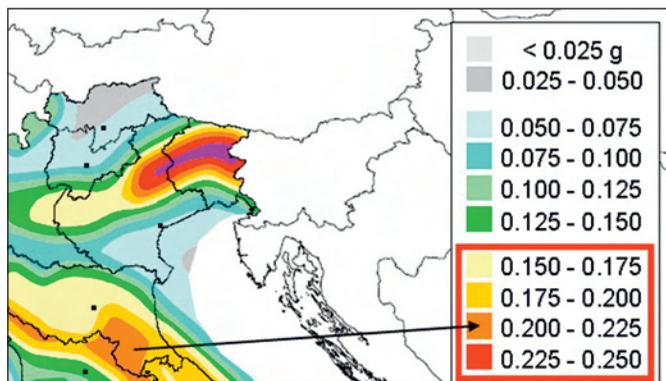


Figura 7 - Stralcio della mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale (2006).

è classificato in “zona 2” in base alla normativa sismica vigente (OPCM 3274/2003) ed era classificato sismico di II categoria (Figura 7) già nella precedente classificazione nazionale¹. A seguito della nuova classificazione sismica nazionale, con il D.M. 14 settembre 2005 sono state emanate nuove Norme Tecniche per le Costruzioni, che recepiscono gli allegati 2 e 3 dell’OPCM 3274/2003 e s.m.i. come specificato in queste nuove norme tecniche, l’azione sismica sulle costruzioni dipende dalle caratteristiche sismiche e dalle condizioni geologiche e geomorfologiche locali. Si ricorda infine che nuove disposizioni normative regionali in materia sismica sono state approvate con Deliberazione Assemblea Legislativa n. 112 del 2 maggio 2007 e che nuovi studi di valutazioni della pericolosità sismica del territorio regionale sono stati condotti dall’Istituto per la Dinamica dei processi Ambientali del CNR (sede di Milano) e dal Diparti-

¹ La zona 2 della nuova classificazione sismica nazionale comprende i comuni in cui esiste il 10% di probabilità in 50 anni che si verifichi un terremoto con accelerazione orizzontale al suolo (a_g) compresa tra 0,15g e 0,25g.

mento di Ingegneria Strutturale del Politecnico di Milano, su incarico della Regione.

8) MODELLO GEOLOGICO DELLA FRANA DI CORNIOLO

Il versante di Corniolo è stato oggetto di due campagne geognostiche, una ad opera del Comune di S. Sofia nel 1997, l’altra dal Servizio Tecnico Bacino Fiumi Romagnoli Sede di Forlì nel 2002. Per l’adeguamento della perimetrazione alle vigenti disposizioni (anno 1997) dell’art. 29 delle Norme del Piano Territoriale Paesaggistico Regionale l’Amministrazione Comunale di S. Sofia al fine di acquisire maggiori informazioni, eseguì una campagna geognostica con la realizzazione di 7 sondaggi con sonda a rotazione e 5 trincee esplorative con escavatore (Tabella 2). Dei 7 sondaggi a rotazione, le cui profondità di perforazione variano da 12 m a 25,00 m, 5 sono stati realizzati a carotaggio continuo e 2 a distruzione di nucleo; dei 5 a carotaggio continuo, 2 sono stati attrezzati con tubo inclinometrico (CS1 e CS2) e 3 con piezometro a tubo aperto in PVC finestrati e rivestiti con tessuto non tessuto (CS3, CS4 ed CS5). Sono stati realizzati 20 sondaggi (Tabella 3) con sonda a rotazione, dei quali 13 a carotaggio continuo con profondità che variano dai 12 ai 59,8 m e 7 a distruzione di nucleo con profondità che variano da 7,4 m a 27 m. Tutti i sondaggi a carotaggio continuo sono stati attrezzati con tubo inclinometrico (n.12) ad esclusione del SP102 che è stato attrezzato con cella piezometrica tipo Casagrande. Nei sondaggi con perforazione a distruzione, normalmente sono state generalmente inserite, a quote diverse, 2 celle casagrande per un totale di 14 celle. Fanno eccezione SP102 e SP108B nei quali è stata installata una sola cella.

Nella tabella 3 sono stati evidenziati in giallo alcuni dei valori di profondità del substrato dal piano campagna, ricavati dalle analisi dei carotaggi. In realtà la profondità minima indicata rappresenta il tetto di un ammas-

sondaggio	anno	Profondità massima(m)	Spessore coltre	spessore roccia alterata	Profondità substrato
T1	1997	1	0,80	0,20	1
T2	1997	1,30	1	0,30	1,30
T3	1997	1,90	1,40	0,50	1,90
T4	1997	>6,50	>6,50	non presente	non raggiunto
T5	1997	2	1,70	0,30	2

Tabella 2 - Analisi geognostiche (trincee) eseguite con escavatore, finanziati dalla Regione Emilia-Romagna.

Sondaggio	anno	Profondità (m)	*Tipo analisi	Inclinometro	Piezometro	Profondità substrato (m) dal p.c.	
						Profondità minima	Profondità massima
SI101	2002	30	a	x		8	8
SP101	2002	19,30	[a,b]		x	7,8	7,8
SP107	2002	12,00	b		x	3,4	3,7
SI108	2002	31	a	x		12,4	21,2
SP108A	2002	21,50	b		x	12,20	21,5
SP108B	2002	13	b		x	12,4	13
SI109	2002	59,80	a	x		8,15	23,40

Tabella 3 - Alcune analisi geognostiche eseguite, committente R.E.R. - S.T.B Fiumi Romagnoli Sede di Forlì.

* Tipo di analisi: a= carotaggio continuo, b= carotaggio a distruzione.

so roccioso molto fratturato, la profondità massima rappresenta la roccia in posto. Nel complesso sono state quindi individuate 3 unità geologiche rappresentate nelle figure 8 e 9:

- coltre detritica, composta prevalentemente da argilla siltosa e/o sabbiosa con diffusi piccoli elementi lapidei;
- ammasso roccioso molto fratturato, composto prevalentemente da marna ed arenaria, secondariamente da siltite. L'indice R.Q.D. è mediamente molto basso o prossimo allo zero. Il tetto e la base di questo ammasso roccioso sono stati individuati dai log stratigrafici e riportati come esempio in tabella 3 sotto le voci rispettivamente di "profondità minima" e "profondità massima".
- ammasso roccioso poco fratturato (profondità massima in Tabella 3), composto prevalentemente da marna ed arenaria, secondariamente da siltite. L'indice R.Q.D. è mediamente molto elevato.

I dati raccolti hanno permesso di individuare due corpi di frana distinti con caratteristiche differenti, una a monte dell'abitato e una a valle (Figura 10). L'area a valle dell'abitato è interessata da un corpo di frana quiescente, con larghezza 560 metri e lunghezza 220 metri. La superficie di scorrimento interessa la coltre detritica per una profondità massima di 4,5 metri (Figura 8: SI104). L'area a monte dell'abitato è interessata da un corpo di frana quiescente, con una lunghezza di 640 metri. Gli inclinometri indicano movimenti a profondità massima di 23 metri, all'interfaccia l'ammasso roccioso molto fratturato e l'ammasso roccioso poco fratturato (roccia in posto).

9) DATI INCLINOMETRICI

L'area monitorata è pari a circa 420.000 m² con 14 inclinometri installati, un rapporto di 1 inclinometro ogni 30.000 m² (Figura 11).

La tabella 4 indica il tipo di deformata inclinometrica (presenza di una superficie di scorrimento o movimento distribuito lungo l'intera verticale) e la profondità dell'eventuale superficie di rottura.

Gli spostamenti nel corpo di frana superiore (Figura 12) risultano prevalentemente alla base dell'ammasso roccioso molto fratturato, come testimoniato dagli inclinometri SI108, SI109, SI110 (Tabella 4, freccia

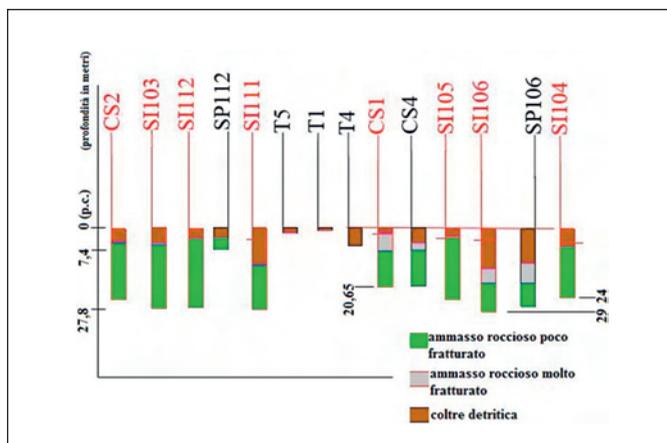


Figura 8 - Sondaggi stratigrafici della metà superiore del versante di Corniolo.

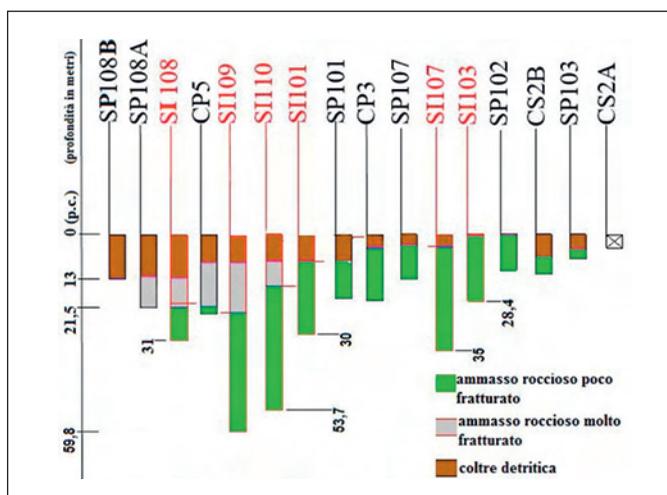


Figura 9 - Sondaggi stratigrafici della metà inferiore del versante di Corniolo.

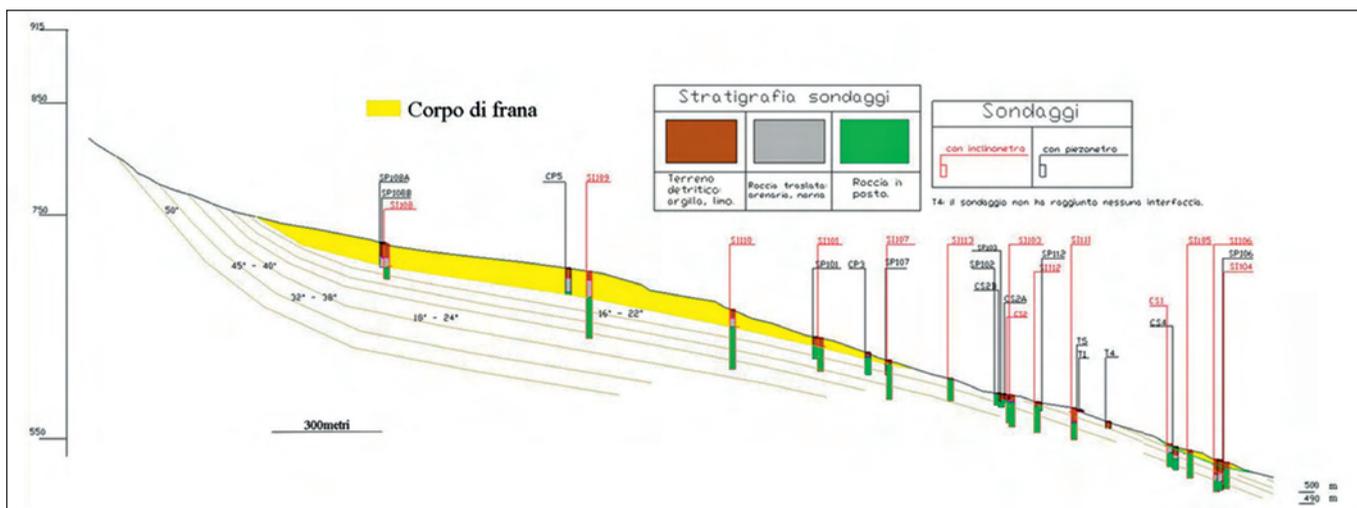


Figura 10 - Sezione geologica della frana di Corniolo.

Sigla sondaggio	Zona	Profondità della superficie di scorrimento (m)	Tipo di deformata	
			Superficie di scorrimento	Spostamento distribuito
SI108	A monte dell'abitato (dall'alto verso il basso)	20	x	
SI109		23	x	
SI110		16	x	
SI101		8	x	
SI107		3,5	x	
CS2	A quota ... (da Est ad ...)	-		x
SP103		-		x

Tabella 4 - Alcuni intervalli di spostamento degli inclinometri (confronta Tabella 3).

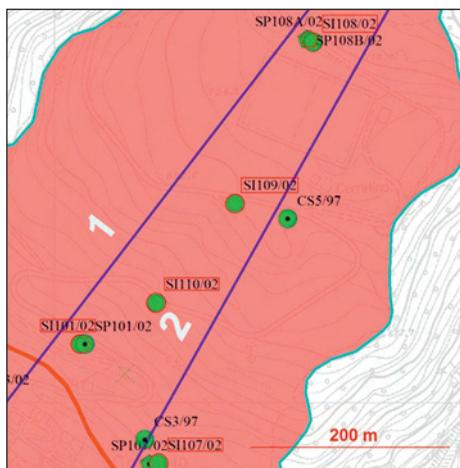


Figura 11 - Disposizione degli inclinometri a monte dell'abitato di Corniolo.

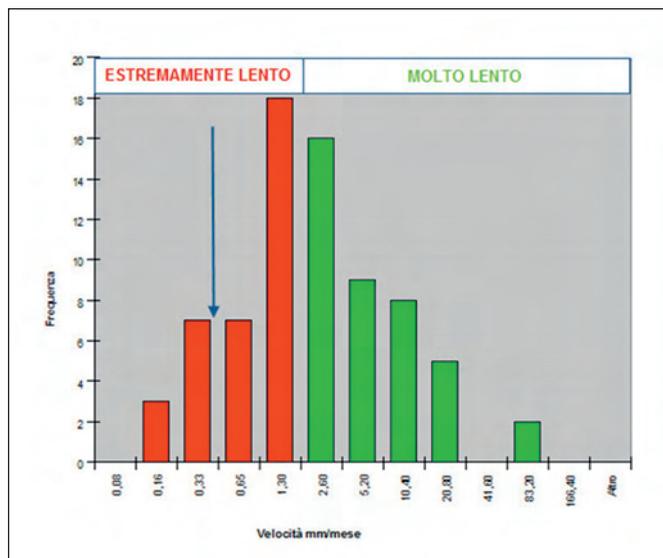


Figura 13 - Velocità medie mensili degli inclinometri installati su frane nella valle del Reno e del Savena.

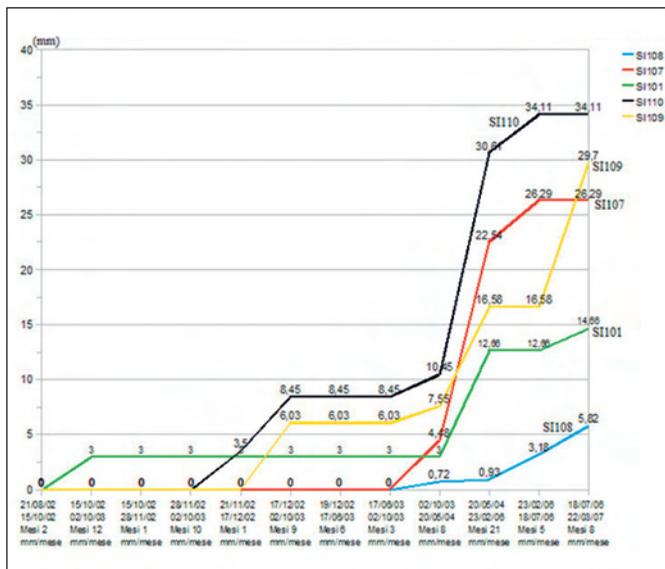


Figura 12 - Spostamenti registrati a monte dell'abitato.

rossa). Gli spostamenti del corpo di frana a valle dell'abitato presentano movimenti superficiali. La velocità media del corpo di frana superiore è di 0,35 millimetri/mese; risulta pertanto una frana con movimento *estremamente lento*. Nella Figura13 (Dallapozza, 2009), si evidenzia l'andamento medio della velocità di movimento mensile di frane caratterizzate da litologia prevalentemente argillosa e presenti nella Valle del Reno. È stata indicata con una freccia azzurra la velocità media del corpo di frana superiore del versante di Corniolo.

10) DATI PIEZOMETRICI

È doveroso evidenziare che, vista la natura discontinua del dato, con ogni probabilità non si è riusciti a cogliere il massimo livello che la falda ha raggiunto a seguito degli eventi meteorici. Questo anche a causa della permeabilità relativamente elevata della coltre detritica e dell'ammasso roccioso fortemente fratturato. Oltre al livello massimo, non si conosce nemmeno la curva di "carico" e quella di "scarico" della falda, che può influire fortemente sulla stabilità del sito. Nella zona a monte dell'abitato si può notare che una certa circolazione idrica permane in modo più costante all'interno del livello dell'ammasso roccioso molto fratturato e del substrato: nel sondaggio SP108B non si hanno segni di variazione della falda se non la presenza di deboli segni di umidità a fondo cella. I sondaggi SP101 e SP107 mostrano una situazione diversa con il livello prossimo al piano campagna. Nella zona a quota dell'abitato il dato sembra avere una certa dispersione, ciò è in relazione ad una alternanza di zone con il substrato roccioso affiorante e altre in cui si hanno spessori della coltre detritica più consistenti. I piezometri SP103 e SP112 indicano che il livello della falda rimane quasi costantemente all'interno della coltre. Solo i dati del piezometro SP102 mostrano che il livello rimane all'interno del substrato roccioso con un intervallo di variazione piccolissimo. Nella zona a valle dell'abita-

to le misurazioni mostrano che nella coltre detritica la falda non è sempre presente, mentre è sempre presente, seppure con variazioni significative, nella zona dell'ammasso roccioso molto fratturato (Tabella 5).

11) ANALISI DI STABILITÀ

È stata eseguita l'analisi di stabilità all'equilibrio limite tramite il programma Geostudio Slope/W sul corpo di frana superiore del versante di Corniolo. È stato scelto il metodo di Morgestern e Price (1965) che prevede la scelta arbitraria della funzione interconco. Il fatto che le funzioni $f(x)$ siano arbitrarie e debbano essere assunte "a priori" riflette l'indeterminazione statica del problema (numero di incognite maggiore del numero di equazioni).

Nel nostro caso è stato utilizzata la funzione costante. Infatti è plausibile scegliere una funzione sulla base della forma della superficie di rottura (superficie di rottura piana = $f(x):constant$, Figura 14).

Nella frana di Corniolo, sono stati valutati i valori di fattore di sicurezza a monte dell'abitato facendo variare le condizioni idrauliche, utilizzando una gamma di valori di angolo d'attrito residuo (Φ') da 20° a 30° in condizioni di coesione efficace pari a 0. I parametri di resistenza al taglio dei livelli marnosi, su cui si è ragionevolmente impostata la superficie di scorrimento, sono stati presi da uno studio eseguito su frane nei pressi di Casola Valsenio in provincia di Ravenna (Bussi, 2008). Viene attribuito all'ammasso roccioso una densità di 2300 Kg/m³.

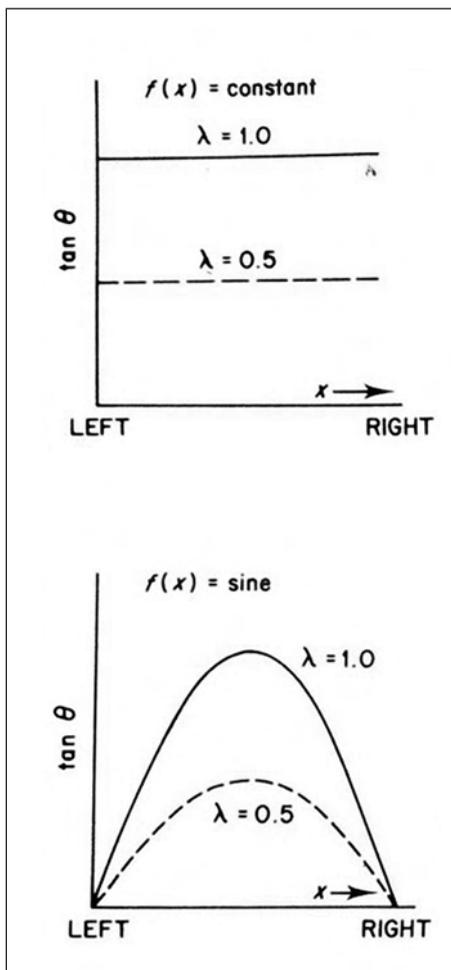


Figura 14 - Schemi risolutivi utilizzati nel calcolo delle forze di interconco.

zona	Sigla sondaggio	Profondità sondaggio	Profondità piezometro m.		Prof. limite coltre/ammasso rocc. Poco fratturato (m)	Prof. limite coltre/ammasso roccioso molto fratturato (m)	Prof. limite ammasso rocc. molto fratturato/poco fratturato (m)	Data inizio lettura	Profondità falda dal p.c.	
			Tubo aperto	Cella casagrande					Min.	Max.
A monte dell'abitato (dall'alto verso il basso)	SP108A	21,5	/	I-16,80	/	12,2	21,5	15/10/02	I	16,58
				II-21,20					II	16,22
	SP108B	13	/	I-12,35	/	12,4	/	15/10/02	Fondo cella	Fondo cella
	CP5	24	24	/	/	3,5	21,8	10/06/98	21,10	24,00
	SP101	19,3	/	I-7,60	/	7,8	13,3	21/08/02	3,92	7,50
				II-13,10					3,92	7,50
	SP107	13,5	/	I-3,35	/	3,5	3,8	15/10/02	1,29	3,35
II-13,25				1,29					3,35	
CP3	20	20	/	/	3,8	4,3	10/06/98	5,84	18,12	
A quota dell'abitato (da Est a Ovest)	SP103	7,5	/	I-4,40	4,8	/	/	21/08/02	1,4	4,40
				II-13,10					1,4	4,40
	SP102	12	/	I-9,20 vedere prof affettiva	0,45	/	/	21/08/02	8,75	8,80
	SP112	7,4	/	I-3,25	3,4	/	/	15/10/02	2,5	2,90
II-7,30				2,5					2,90	
A valle dell'abitato (da Est a Ovest)	SP106	27	/	I-5,35	/	12	19	15/10/02	2,75	5,35
				II-26,70					2,75	5,35
	CP4	20,5	20,5	/	/	8	13,3	10/06/98	10,23	12,40

Tabella 5 - Quadro riepilogativo comparativo sondaggi con piezometri (periodo di rilevamento giugno 1998 - settembre 2007).

falda	Φ residuo					
	20°	22°	24°	26°	28°	30°
0	1,76	1,95	2,15	2,36	2,57	2,79
1/4	1,56	1,76	1,89	2,12	2,3	2,49
1/2	1,37	1,55	1,68	1,87	2,04	2,24
3/4	1,16	1,28	1,43	1,55	1,69	1,9

Tabella 6 - Valori di F.S. Dati dalla relazione tra l'altezza della falda e Phi residuo, dati ricavati tramite metodo di calcolo Morgenstern - Price.

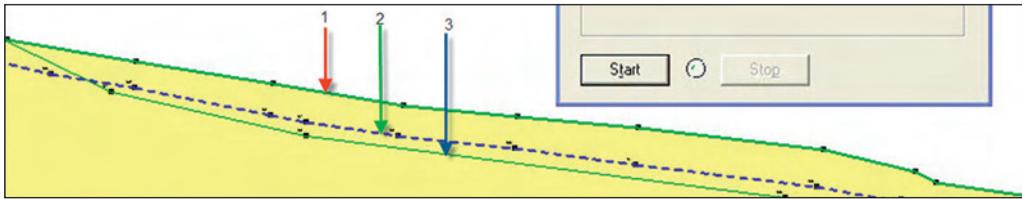


Figura 15 - Analisi con Geostudio Slope/W con angolo d'attrito residuo=24°, c'=0, falda 1/4 dello spessore del corpo di frana. La freccia rossa (1) indica il p.c., la freccia verde (2) la falda, la freccia blu (3) il bedrock (roccia in posto).

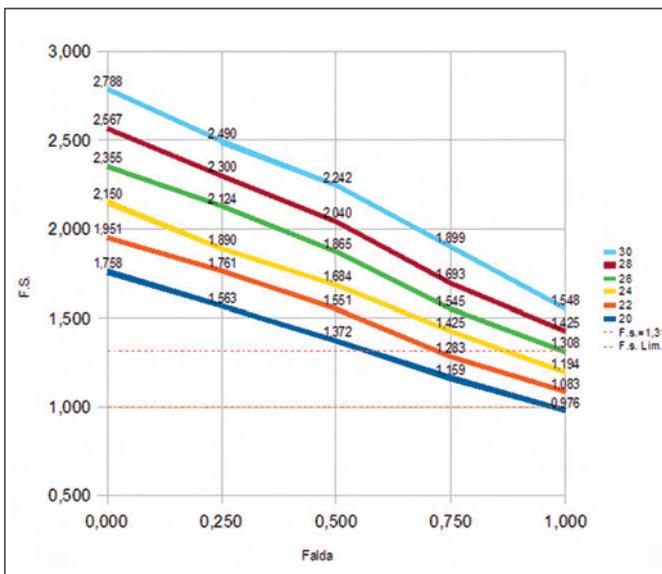


Figura 16 - Rapporto tra F.s. e livello di falda al variare dell'angolo di attrito residuo.

L'analisi di stabilità è stata eseguita considerando differenti scenari, di condizioni idrauliche:

1. Livello piezometrico a profondità minima, in corrispondenza della superficie di scorrimento;
2. Livello piezometrico a quota 1/4 dello spessore del corpo di frana;
3. Livello piezometrico a metà dello spessore del corpo di frana;
4. Livello piezometrico a quota 3/4 del corpo di frana;
5. Livello piezometrico a quota massima, coincidente quindi con il p.c.

Per ognuno di questi scenari sono stati utilizzati vari valori di Φ^r (20°, 22°, 24°, 26°, 28°, 30°) mantenendo invariato il valore di $c'=0$.

E' importante sottolineare che si è considerato il corpo di frana esaminato come un *unico blocco rigido*

do (Figura 15), ignorando possibili deformazioni locali. I fattori di sicurezza ricavati sono da considerare indicativi per la frana nel suo complesso, mentre studi più approfonditi e di dettaglio devono essere eseguiti per determinare le condizioni di stabilità locali nelle diverse aree.

Come si può notare dalla figura 16, le analisi hanno evidenziato alcune situazioni di probabile instabilità del corpo di frana. In particolare, la condizione con Φ^r (angolo d'attrito residuo) pari a 20 e falda a piano campagna risulta essere la più pericolosa, con Fattore di sicurezza < 1.

12) VARIAZIONE DEL FATTORE DI SICUREZZA IN FUNZIONE DELL'ACCELERAZIONE SISMICA

Il versante di Corniolo ricade in un'area ad alta sismicità classificabile come *zona 2* dalla nuova carta sismica nazionale (2006), con il 10% di probabilità in 50 anni che si verifichi un terremoto con accelerazione orizzontale al suolo (a_g) compresa tra 0,15 g e 0,25 g. Risulta quindi necessario considerare l'influenza di una probabile accelerazione sismica nell'analisi di stabilità del versante. Sono state considerate accelerazioni sismiche a partire da 0,02 g fino a 0,2 con incrementi di 0,02 g; in ognuno di questi casi sono stati utilizzati parametri Φ^r di 20° e 22° facendo variare il livello di falda a partire dalla superficie di rottura fino a piano campagna, ad intervalli regolari di 1/4 per volta (Tabella 7).

Come è evidenziato (Figure 17, 18) risultano condizioni di modesta instabilità nell'area dei grafici delimitata dalla linea superiore in blu e inferiore rossa, indicante rispettivamente il Fattore di sicurezza pari a 1,31 e a 1. Il presentarsi simultaneo di condizioni di falda sfavorevoli ed eventi sismici oltre il valore 0,04 g, possono portare a condizioni globali di instabilità più o meno critiche. Va evidenziato comunque che solo i

Falda 0		falda ¼		Falda ½		Falda ¾		Falda 1	
F.s.	Kh								
1,758	0,000	1,569	0,000	1,412	0,000	1,193	0,000	0,976	0,000
1,597	0,02	1,424	0,02	1,282	0,02	1,082	0,02	0,884	0,02
1,462	0,04	1,304	0,04	1,172	0,04	0,989	0,04	0,806	0,04
1,355	0,06	1,207	0,06	1,079	0,06	0,909	0,06	0,741	0,06
1,257	0,08	1,119	0,08	0,999	0,08	0,841	0,08	0,684	0,08
1,174	0,1	1,042	0,1	0,936	0,1	0,782	0,1	0,635	0,1
1,096	0,12	0,974	0,12	0,875	0,12	0,729	0,12	0,592	0,12
1,029	0,14	0,915	0,14	0,861	0,14	0,683	0,14	0,553	0,14
0,970	0,16	0,861	0,16	0,773	0,16	0,642	0,16	0,519	0,16
0,917	0,18	0,814	0,18	0,730	0,18	0,605	0,18	0,489	0,18
0,869	0,2	0,771	0,2	0,691	0,2	0,572	0,2	0,461	0,2

Tabella 7 - Variazione del Fattore sicurezza in funzione dell'accelerazione sismica con angolo d'attrito residuo pari a 20°.

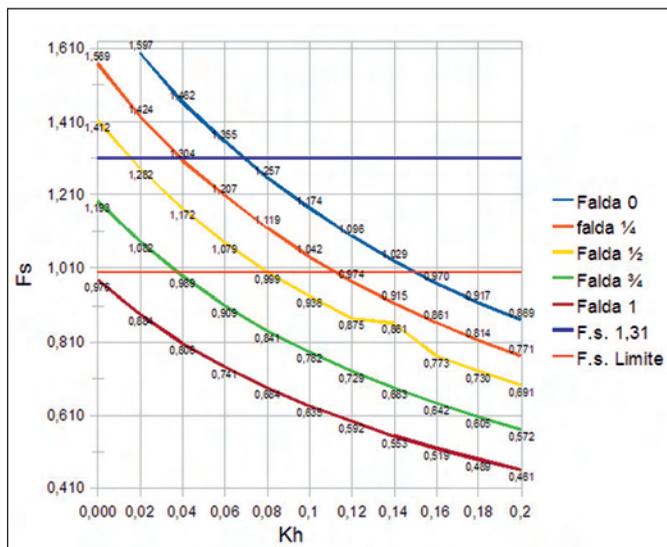


Figura 17 - Variazione del fattore di sicurezza con l'accelerazione sismica orizzontale (Kh) e angolo di attrito residuo pari a 20°.

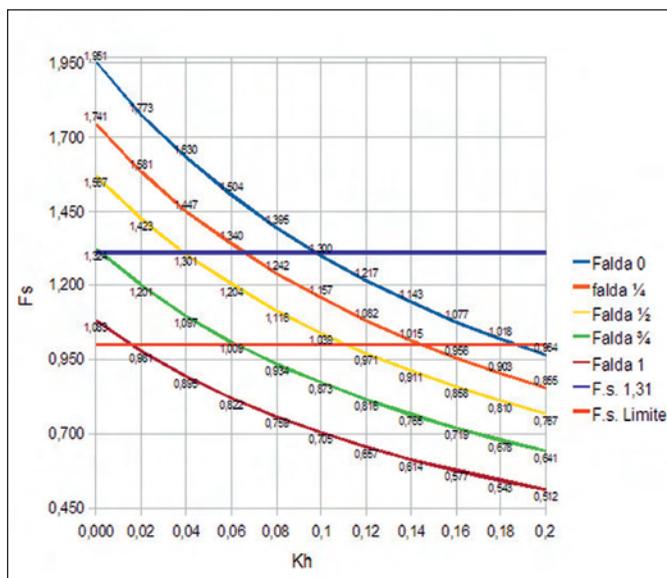


Figura 18 - Variazione del fattore di sicurezza con l'accelerazione sismica orizzontale (Kh) e angolo di attrito residuo pari a 22°.

piezometri SP101 e SP107 hanno registrato altezze di falda significative per la stabilità di versante.

13) CONCLUSIONI

I dati ottenuti con i rilievi di campo, la ricerca bibliografica, l'analisi dei dati di carotaggio e lo studio sulla stabilità di versante hanno permesso di ottenere un sufficiente grado di conoscenza sul corpo di frana superiore del versante di Corniolo. In particolare, è emerso che:

- il versante presenta una disposizione strutturale monoclinica, con una giacitura degli strati uguale o prossima a quella del pendio, che è fattore predisponente di uno stato di precario equilibrio;
- allo stato attuale è presente un esteso corpo di

frana quiescente che dalla zona prossima al culmine del versante si sviluppa fino in adiacenza alla zona urbanizzata; la frana è classificabile come scioglimento traslativo in roccia, ed è attivo su base strumentale, (dati dall'agosto 2002 a settembre 2007); la velocità media di movimento è estremamente lenta (0,35 mm/mese), e in sito, a livello morfologico, non si notano segni di movimento;

- la distribuzione delle velocità non è comunque omogenea e diversi settori sono caratterizzati da velocità di movimento piuttosto diverse. La zona a maggiore velocità di movimento risulta essere quella monitorata dall'inclinometro SI110;
- la falda non ha mostrato significative variazioni, durante i periodi di rilevamento. I motivi di una certa costanza dei livelli piezometrici sono da ricercarsi sia in una certa permeabilità della coltre detritica sia, probabilmente, nel rilevamento discontinuo e periodico dei dati.
- le analisi di stabilità hanno evidenziato una situazione di potenziale instabilità dovuta ad aumento dell'altezza della falda oltre i 3/4 dello spessore del corpo di frana.

Il quadro generale che deriva da quanto sopra esposto è piuttosto complesso e richiederebbe successive ed approfondite analisi. Allo stato attuale i risentimenti dei fenomeni in atto non producono effetti evidenti sulle strutture e infrastrutture o sono abbastanza contenuti, tuttavia esiste uno stato di attività strumentale che non può essere ignorato. Inoltre va detto che allo stato attuale nell'area a monte dell'abitato non vi sono le conoscenze per spingersi ad una determinazione di quando potrà verificarsi un evento di tipo parossistico e di che entità potrà essere, ma si è nella ragionevole certezza che la massa detritica, con profondità che superano i 20 m, manifesta uno stato di attività strumentale. I possibili interventi da inserire nei futuri programmi di difesa del versante, potrebbero essere opere di drenaggio tramite trincee, ai fini di abbattere il livello di falda alla base dell'ammasso roccioso poco fratturato. Si dovrà anche valutare l'opportunità di effettuare analisi più approfondite, basate ad esempio su modelli numerici di calcolo che meglio approssimano le caratteristiche e il comportamento dei fenomeni presenti, in particolare analizzando il grado di sicurezza dei settori a diversa velocità di movimento.

14) BIBLIOGRAFIA

Per la bibliografia si rimanda alla Tesi "Studio geologico - tecnico della frana di Corniolo, Comune di S.Sofia (FC)" (Torreggiani, 2009).

15) RINGRAZIAMENTI

Ringrazio il Professore Matteo Berti (Università di Bologna) per la professionalità e la disponibilità. Ringrazio il Dott. Geol. Andrea Benini per avermi fornito l'enorme mole di dati da lui prodotti in tanti anni di lavoro.