

PROGETTO DEFINITIVO - ESECUTIVO
PER LA MESSA IN SICUREZZA DELL'AREA A MONTE
DELL'ABITATO DI FARRA D'ALPAGO IN VIA XVII APRILE
CUP: F61B21006410003

**COMMITTENTE****PROVINCIA DI BELLUNO**

Via Sant'Andrea, n. 5 – 32100 Belluno

RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO

dott.ssa Stefania Bassani

**PROGETTAZIONE GENERALE
E DIREZIONE LAVORI:**studio di ingegneria
Mazzoran Tiloca De Lottopiazza dei Martiri, 29
32100 - Belluno
tel. 0437.659236via Roma, 59
32043 - Cortina d'Ampezzo (BL)
tel. 0436.2764 - fax 0436.870416
studiomtd.it - info@studiomtd.it

ing. Ludovico De Lotto

RELAZIONE GEOLOGICA**Sede operativa di Alpago**Viale al lago, 10 - località
Farra - 32016 Alpago (BL)mobile +39 340 9824957
e-mail: studio@geopadovan.it

dott. geol. Tiziano Padovan

RELAZIONE GEOLOGICA**DATA**

31/08/2022

AGGIORNAMENTI**ALLEGATO****R2**

COMUNE DI ALPAGO
PROVINCIA DI BELLUNO

RELAZIONE GEOLOGICA

LAVORI DI MESSA IN SICUREZZA DEL VERSANTE A MONTE DI VIA XXVII
APRILE IN LOCALITÀ FARRA IN COMUNE DI ALPAGO



**COMMITTENTE: PROVINCIA DI BELLUNO
SERVIZIO DIFESA DEL SUOLO**



Sede operativa di Alpago
Viale al lago, 10 - località
Farra - 32016 Alpago (BL)
mobile +39 340 9824957
e-mail: studio@geopadovan.it

DATA: 23 AGOSTO 2022



INDICE

1. PREMESSA.....	1
2. MODELLO GEOLOGICO.....	2
2.1. Riferimenti geografici	2
2.2. Cenni geomorfologici e condizioni di stabilità.....	2
2.3. Litologia	3
2.4. Cenni idrogeologici	3
3. CARATTERISTICHE E DINAMICA DEL MOVIMENTO FRANOSO.....	4
4. SISMICITÀ DELL'AREA	5
5. ASPETTI GEOLOGICO TECNICI	8
5.1. Interventi di progetto	8
5.2. Caratterizzazione geotecnica di massima.....	8
6. VERIFICHE RAFFORZAMENTO CORTICALE	11
7. CONCLUSIONI.....	17

1. PREMESSA

La presente relazione valuta gli aspetti geologici riguardanti il progetto, affidato allo Studio MTD, per i **“lavori di messa in sicurezza del versante a monte di Via XXVII Aprile in località Farra in Comune di Alpago (BL)”**, come previsto dal punto 6.2.1 del DM 17/01/2018 ¹e successiva Circolare 21/01/2019², n. 7 C.S.LL.PP. e dall'art. 23, comma 1, del D.lgs. n° 50/2016 ³.

Nell'area oggetto di questi lavori e nelle zone circostanti sono stati condotti svariati sopralluoghi. In occasione delle stesse visite è stata ripresa l'allegata documentazione fotografica.

In questa fase progettuale non sono state programmate specifiche indagini geognostiche dirette; si sono comunque utilizzate le risultanze delle indagini sia dirette (sondaggi geognostici) che indirette (indagini geofisiche) realizzate nel 2020 a cura del dott. geol. Federico Tonet su incarico del Comune.

Di seguito sono illustrati i lineamenti geologici generali della zona in esame, i caratteri sismici, gli aspetti geologico-tecnici preliminari, comprese specifiche analisi di stabilità, relativi alla realizzazione dei lavori in programma.

¹ D.M. 17/01/2018 del Ministero Infrastrutture e Trasporti (*Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni*)

² Circolare 21 gennaio 2019, n. 7 (Istruzioni per l'applicazione dell' "Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni 2018") del Consiglio Superiore LL.PP. pubblicata su GU Serie Generale n.35 del 11-02-2019 - Suppl. Ordinario n. 5

³ Decreto legislativo 18 aprile 2016, n. 50 *“Attuazione delle direttive 2014/23/UE, 2014/24/UE e 2014/25/UE sull'aggiudicazione dei contratti di concessione, sugli appalti pubblici e sulle procedure d'appalto degli enti erogatori nei settori dell'acqua, dell'energia, dei trasporti e dei servizi postali, nonché per il riordino della disciplina vigente in materia di contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture”*

2. MODELLO GEOLOGICO

2.1. Riferimenti geografici

L'area di intervento è ubicata nella porzione settentrionale del centro abitato di Farra d'Alpago, lungo un parallela secondaria di via XXVII Aprile, ai piedi della dorsale occidentale del Col Piai (cfr. Inquadramento topografico - All. n° 1).

La stessa zona, in corrispondenza degli interventi in progetto, ha i seguenti riferimenti geografici (da CTR Sezione, 064050):

Quota	Coordinate	Latitudine	Longitudine
428 - 394 ms.l.m.	Nazionali Gauss-Boaga, fuso Ovest	N 5113348	E 1759338
	Geografiche piane (ED50)	46.125077°	12.357395°
	Geografiche (WGS 84)	46° 07' 27,10"	12° 21' 23,10"

In riferimento ai vincoli ambientali presenti, l'area si trova in gran parte compresa nelle zone soggette a vincolo idrogeologico, così come definito dal R.D. 3267/1923 e successive modificazioni, mentre è esterna ai Siti di Importanza Comunitaria (S.I.C.) e alle Zone di Protezione Speciale (Z.P.S.).

2.2. Cenni geomorfologici e condizioni di stabilità

L'area di intervento è ubicata a monte di via XXVII Aprile, ai piedi della dorsale occidentale del Col Piai, nel settore settentrionale dell'abitato di Farra d'Alpago (cfr. Carta geologica - All. n° 2 e cfr. Documentazione fotografica – All. n° 4).

Si tratta di un modesto pendio di raccordo tra il crinale roccioso ed il fondovalle, caratterizzato da una morfologia piuttosto articolata, indizio di un'attiva dinamica in cui si riconoscono forme concave, che corrispondono a zone di distacco, e convesse, che rappresentano aree di accumulo.

In prossimità del dissesto in questione il versante presenta pendenze naturali accentuate, dell'ordine di 30° - 50° di inclinazione sull'orizzontale.

A questo riguardo la stessa area è compresa tra le zone classificate "*terreno non idoneo*" e "*terreno idoneo a condizione*" nella *Carta delle Fragilità* allegata al PATI⁴, con le rispettive NT.

Inoltre la stessa zona non rientra nelle aree soggette ad eventuali vincoli previsti dal PTCP⁵ e/o dal PAI⁶ e/o dal PGRA⁷.

⁴ PATI - Piano di Assetto del Territorio Intercomunale dei Comuni di Chies d'Alpago, Farra d'Alpago, Pieve d'Alpago, Puos d'Alpago e Tambre (artt. 14, 15 e 16 della L.R. 11/2004).

⁵ PTCP - Piano Territoriale di Coordinamento della Provincia di Belluno, approvato con Deliberazione della Giunta Regionale n. 1136 del 23 marzo 2010, pubblicata sul BUR Bollettino Ufficiale della Regione del Veneto n. 39 del 11 maggio 2010

⁶ PAI - Progetto di Piano Stralcio per l'assetto idrogeologico del bacino del Piave, adottato di nuovo dal Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino dell'Alto Adriatico (delibera n° 3 del 09/11/2012, pubblicata nella Gazzetta Ufficiale n. 280 del 30/11/2012, con le rispettive norme di salvaguardia

2.3. Litologia

Come accennato ed indicato nella Carta geologica (cfr. All. n° 2), lungo il versante oggetto degli interventi e nelle aree circostanti affiorano sia terreni di copertura che le rocce del substrato, così distinti:

- a) *Limi argillosi e sabbiosi con elementi di ghiaia e ciottoli, spigolosi o poco arrotondati.* Si tratta dei depositi eluviali e colluviali o di frana, dovuti essenzialmente alla degradazione ed alterazione delle rocce marnose e calcarenitiche del substrato e che rappresentano i principali materiali mobilizzati/mobilizzabili dai dissesti dell'area;
- b) *Ghiaie, ciottoli e blocchi con sabbie limose ed argillose.* Si tratta dei depositi alluvionali antichi e recenti del Torrente Tesa;
- c) *Marne argillose grigie sottilmente stratificate con intercalazioni di calcareniti grigie o nocciola.* Sono i citati litotipi, riferibili alla Formazione del "Flysch" (Eocene), messi in luce dalla frana da sistemare e che affiorano anche lungo il versante in questione.

2.4. Cenni idrogeologici

L'area in esame è caratterizzata da un'unità geologico-idrogeologica prettamente marnoso-argillosa poco permeabile o quasi impermeabile per fessurazione caratterizzata da una copertura argilloso-limosa con basso grado di permeabilità.

Questa situazione idrogeologica sembrerebbe giustificare un sistema di circolazione idrica la cui componente principale è caratterizzata da deflussi superficiali, vista la scarsa capacità di infiltrazione dell'acqua nel sottosuolo.

Tuttavia, le indagini geognostiche condotte in contesti analoghi mettono in luce in vari punti l'esistenza di zone molto conduttive all'interno del substrato, attribuibili ad un ammasso roccioso molto fratturato e caratterizzato da una circolazione idrica sotterranea non trascurabile.

Tale circolazione è da attribuirsi quindi a un complesso *framework* di infiltrazioni di acque nel substrato roccioso attraverso fratture o livelli più permeabili e localmente carsificati (calcareniti) che per ragioni non determinabili date le informazioni disponibili, tendono a risalire al piano campagna in punti localizzati.

In questo contesto evolutivo, di tipo franoso, la circolazione idrica superficiale non risulta peraltro ben definita, per cui si riscontrano zone con spiccata tendenza erosiva intervallate da aree a ristagno idrico, nel settore di valle, che vanno ad alimentare e a riattivare i depositi di frana.

La stessa situazione idrogeologica, che presenta quindi un equilibrio precario, può facilmente essere alterata per opera di eventi meteorici anche non necessariamente intensi.

7 PGRA - "Piano di gestione del rischio di alluvioni 2021/2027" adottato dal Comitato Istituzionale Permanente dell'Autorità di bacino distrettuale delle Alpi Orientali in data 21/12/2021

3. **CARATTERISTICHE E DINAMICA DEL MOVIMENTO FRANOSO**

Come accennato, a causa delle piogge intense che si sono verificate il 5-6 dicembre 2020, a monte dei fabbricati lungo via XXVII Aprile si è staccata una frana, essenzialmente di scivolamento roto-traslativo con evoluzione in colata di fango, per un fronte di circa $10 \div 15$ metri, che ha coinvolto i depositi eluviali e di alterazione superficiale del substrato e la vegetazione arbustiva.

Durante l'evento si è registrato anche il crollo di alcuni blocchi rocciosi dal crinale soprastante, con un volume valutato di circa $0,3 - 0,5 \text{ m}^3$ (cfr All. n° 4 – Scheda per la segnalazione dei dissesti A05 – Farra).

Parte della frana ha raggiunto quindi due edifici residenziali posti ai piedi del pendio in questione.

L'innescò del dissesto è da attribuirsi al forte aumento delle pressioni neutrali all'interno del primo metro dei terreni della copertura e/o di alterazione del substrato roccioso.

La superficie interessata complessiva è di circa 100 m^2 con un volume mobilitato complessivo stimabile in circa $100 - 150 \text{ m}^3$.

4. SISMICITÀ DELL'AREA

Il territorio del Comune di Alpagò risulta classificato sismico fin dal 1937 (R.D.L. 22.11.1937, n° 2105) a seguito dell'evento tellurico del 18 ottobre 1936, successivamente definito sismico di 2° categoria (Legge 25.11.1962, n° 1684) e quindi confermato con grado di sismicità $S = 9$ (D.M. 14.05.1982). Con Delibera della Giunta Regionale ⁸ n. 244/2021 il Comune di Alpagò è stato inserito tra le zone 1.

In merito alla "pericolosità sismica di base" (Ordinanza n. 3519/2006 ⁹ ripresa nell'Allegato A del DM 14/01/2008¹⁰), la località oggetto dell'intervento risulta compresa, come da citate coordinate geografiche (cfr. Figura n° 1) tra punti con accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (riferita a suoli rigidi caratterizzati da $V_{S30} > 800$ m/s) di $a_g = 0,225 - 0,250$ g (cod. ID 9641) e di $a_g = 0,250 - 0,275$ g (cod. ID 9642, 9863, 9864).

Figura n° 1

FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

☒ Ricerca per coordinate

LONGITUDINE: 12.35740 LATITUDINE: 46.12508

☐ Ricerca per comune

REGIONE: Veneto PROVINCIA: Belluno COMUNE: Farra d'Alpagò

Elaborazioni grafiche

Grafici spettri di risposta

Variabilità dei parametri

Elaborazioni numeriche

Tabella parametri

Nodi del reticolo intorno al sito

Reticolo di riferimento

Controllo sul reticolo

Sito esterno al reticolo

Interpolazione su 3 nodi

Interpolazione corretta

Interpolazione

media ponderata

La "Ricerca per comune" utilizza le ... coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che ... all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuali e si consiglia, quindi, la "Ricerca per coordinate".

INTRO **FASE 1** FASE 2 FASE 3

Da programma sperimentale "Spettri di risposta versione 1.03" – Fase 1 individuazione della pericolosità del sito

- ⁸ Delibera della Giunta Regionale n. 244 del 09 marzo 2021 (*Aggiornamento dell'elenco delle zone sismiche del Veneto. D.P.R. 6 giugno 2001, n. 380, articolo 83, comma 3; D. Lgs. 31 marzo 1998, n. 112, articoli 93 e 94 G.G.R./CR n. 1 del 19/01/2021.*)
- ⁹ Ordinanza n. 3519 del 28.04.2006 della Presidenza del Consiglio dei Ministri (*Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone*)
- ¹⁰ D.M. 14/01/2008 e succ. Circolare 2/2/2009 del Ministero Infrastrutture e Trasporti (*Nuove norme tecniche ed istruzioni per le costruzioni*)

Tali coordinate sono associate ai valori dei parametri a_g (accelerazione orizzontale massima al sito), F_o (valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e T_C^* (periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale) così come riportati nella Tabella n° 1 per i specifici periodi di ritorno T_R .

Tabella n° 1

T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
30	0.064	2.495	0.238
50	0.088	2.443	0.255
72	0.106	2.434	0.267
101	0.126	2.411	0.279
140	0.147	2.399	0.288
201	0.174	2.380	0.305
475	0.251	2.409	0.327
975	0.340	2.404	0.347
2475	0.485	2.413	0.375

Sulla base dell'attuale suddivisione del territorio italiano (ZS9) ¹¹ in zone sismogenetiche, la località in oggetto si trova all'interno della zona 905 (fascia pedemontana tra Bassano del Grappa ed il Friuli-Venezia Giulia).

Per una stima della “*magnitudo momento*” attesa al sito M_w , per il prefissato periodo di ritorno di 475 anni, si può far riferimento ai dati forniti dall'INGV ed ottenuti attraverso il processo della disaggregazione della pericolosità sismica. Tale procedimento fornisce il terremoto che domina lo scenario di pericolosità (terremoto di scenario) inteso come l'evento di magnitudo M a distanza R , dal sito oggetto di studio, che contribuisce maggiormente alla pericolosità sismica del sito stesso.

In particolare, con riferimento al nodo con cod. ID 9641, i valori medi di M e R risultano, rispettivamente, pari a 5,28 e 7,38 km.

Le azioni sismiche di progetto sono determinate a partire dalla stessa “*pericolosità sismica locale*” ed in base alla vita di riferimento V_R dell'opera in progetto, a sua volta determinata dal prodotto V_N (vita nominale) x C_u (coefficiente d'uso).

Nel caso in esame, come da stesse NTC 2018, gli interventi in questione possono essere classificati come segue:

VITA NOMINALE (V_N): “Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale ≥ 50 anni”.

CLASSE D'USO II (C_u): “Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali,

¹¹ Gruppo di Lavoro MPS (2004). *Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003. Rapporto Conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma, aprile 2004*

reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti." $C_U = 1$.

Il periodo di riferimento V_R può quindi essere considerato dunque pari a:

$$V_R = V_N \times C_U = 50 \text{ anni}$$

L'accelerazione massima orizzontale di progetto a_{max} viene inoltre ottenuta amplificando l'accelerazione massima attesa a_g per degli effetti topografici (S_t) e stragigrafici (S_s):

$$a_{max} = a_g \times S_s \times S_t$$

In riferimento alla stessa normativa (punto 3.2.2 del DM 17/01/2018), i terreni di fondazione possono essere inseriti, come dalle risultanze delle indagini geofisiche condotte dal Dott. Geol. Federico Tonet (2020), nella *categoria di sottosuolo B* (...rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s) e, per quanto riguarda le *condizioni topografiche*, nella categoria **T2** (pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$).

Con il programma sperimentale "*Spettri di risposta versione 1.03*" del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici ¹² si ottiene un'accelerazione massima attesa $a_g = 0,251 \text{ g}$, $S_s = 1,334$ e $S_t = 1,0$.

L'accelerazione orizzontale massima di progetto a_{max} risulta perciò pari a:

$$a_{max} = a_g \times S_s \times S_t = 0,251 \text{ g} \times 1,158 \times 1,2 = 0,349 \text{ g}$$

¹² Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, programma sperimentale "*Spettri di risposta versione 1.03*"

5. ASPETTI GEOLOGICO TECNICI

5.1. Interventi di progetto

Gli interventi in progetto, prevedono, da monte verso valle, le seguenti attività:

- ✓ rafforzamento corticale tramite chiodatura della nicchia di distacco, previa riprofilatura ed eventuale disgaggio della stessa;
- ✓ rimozione del materiale franato subito a valle;
- ✓ creazione di un bacino di raccolta con la realizzazione di una briglia filtrante;
- ✓ realizzazione di un canale trapezoidale a cielo aperto;
- ✓ realizzazione di un bacino di laminazione delle piene, con apposito manufatto di scarico sulla condotta delle acque bianche comunale esistente.

Negli allegati n° 2 e n°3 si riportano in planimetria ed in sezione i principali interventi in progetto.

5.2. Caratterizzazione geotecnica di massima

Gli interventi in esame sono previsti lungo un versante dove sono distribuiti depositi di frana e/o colluviali di scadenti caratteristiche meccaniche, depositi alluvionali antichi e recenti ed il substrato roccioso (§ 2.3).

Depositi eluviali e colluviali o di frana

Per questi terreni, che interessano le porzioni intermedie delle aree di intervento (cfr. All. n° 2), si possono stimare in base alle indagini realizzate in sito e su dati bibliografici, i seguenti parametri di resistenza al taglio (in termini di pressioni effettive e totali):

-	<i>angolo d'attrito interno (effettive)</i>	ϕ'	=	22° ÷ 23°
-	<i>coesione (effettive).....</i>	c'	=	5 ÷ 10 kPa
-	<i>angolo d'attrito interno (tot.).....</i>	ϕ_u	=	0°
-	<i>coesione (totali)</i>	c_u	=	20 ÷ 30 kPa
-	<i>peso di volume.....</i>	γ	=	18 ÷ 19 kN/m ³
-	<i>modulo di elasticità</i>	E	=	10 ÷ 15 MPa

Depositi alluvionali antichi e recenti

Per questi terreni, che interessano la porzione di valle (cfr. All. n° 2), si possono stimare su dati bibliografici, i seguenti parametri di resistenza al taglio (in termini di pressioni effettive):

-	angolo d'attrito interno	ϕ'	=	$34^\circ \div 35^\circ$
-	coesione.....	c'	=	0 kPa
-	peso di volume.....	γ	=	$19 \div 20 \text{ kN/m}^3$
-	peso di volume immerso	γ	=	$10 \div 11 \text{ kN/m}^3$
-	modulo di elasticità.....	E	=	$20 \div 30 \text{ MPa}$

Substrato roccioso alterato e fratturato

Per questi litotipi costituiti, come già detto, da *marne argillose grigie sottilmente stratificate con intercalazioni calcarenitiche grigie e nocciola molto alterate e fratturate*, si possono riepilogare, le seguenti proprietà meccaniche indicative (a livello di ammasso roccioso), estrapolate tramite il software *Roclab* della *Rocscience*:

Hoek Brown Classification			Mohr-Coulomb Fit		
	sigci	3.5 MPa		c	0.038366 MPa
	GSI	10		phi	18.4453 degrees
	mi	7	Rock Mass Parameters		
	D	0		sigt	-0.00056 MPa
Hoek Brown Criterion				sigc	0.010044 MPa
	mb	0.281288		sigcm	0.150179 MPa
	s	4.54E-05		Em	187.083 MPa
	a	0.585357			
Failure Envelope Range					
	Application	Slopes			
	sig3max	0.48421 MPa			
	Unit Weight	0.026 MN/m3			
	Slope Height	30 m			

Rocce del substrato

Per i litotipi del substrato costituiti, come già detto, da *marne argillose grigie sottilmente stratificate con intercalazioni calcarenitiche grigie e nocciola* (Formazione del "*Flysch*" - Eocene), si possono riepilogare le seguenti proprietà meccaniche indicative (a livello di ammasso roccioso), estrapolate tramite il software *Roclab* della *Rocscience*:

Hoek Brown Classification			Mohr-Coulomb Fit			
	sigci	8 MPa		c	0.136712 MPa	
	GSI	40		phi	34.5959 degrees	
	mi	7	Rock Mass Parameters			
	D	0		sigt	-0.0124 MPa	
Hoek Brown Criterion				sigc	0.264561 MPa	
	mb	0.821234		sigcm	0.937345 MPa	
	s	0.001273		Em	1590.54 MPa	
	a	0.511368				
Failure Envelope Range						
	Application	Slopes				
	sig3max	0.570965 MPa				
	Unit Weight	0.026 MN/m3				
	Slope Height	30 m				

6. VERIFICHE RAFFORZAMENTO CORTICALE

Lungo la sezione di progetto dell'intervento di rafforzamento corticale sono state eseguite specifiche analisi di stabilità globale considerando gli interventi di consolidamento in progetto (tipo *soil-nailing*), come da NTC 2018.

Queste verifiche, fatte salve in ogni caso specifiche indagini geognostiche in sede esecutiva, sono state condotte seguendo le citate NTC – 18, confrontando il valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione E_d con quello di progetto della resistenza del sistema geotecnico R_d , utilizzando l'approccio 1 con la combinazione 2:

$$A2 + M2 + R2$$

tenendo quindi conto dei coefficienti parziali riportati nelle tabella 6.2.I, 6.2.II e 6.8.I delle stesse NTC, riportati di seguito.

Tab. 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni

	Effetto	Coefficiente Parziale γ_F (o γ_E)	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti G_1	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	γ_{Qk}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

Tab. 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ_V	γ_V	1,0	1,0

Le stesse verifiche, implementate con il codice di calcolo *Slide* (ver. 6.0) della *Rocscience*, sono state condotte utilizzando il metodo di Jambu che permette il calcolo della stabilità su superfici di scorrimento di forma qualsiasi (vedi schema riportato in Figura n° 2 a pagina seguente).

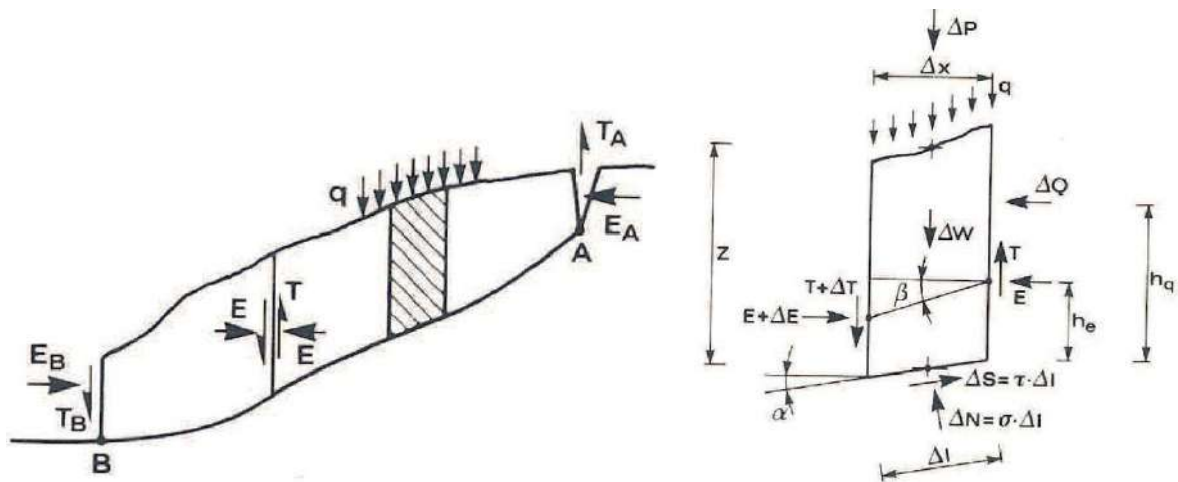


Figura n. 2 - Schema analisi di stabilità.

Lo stesso metodo semplificato, che ignora le forze di taglio d'interfaccia, permette di ricavare lo sforzo normale alla base di ogni striscia imponendo l'equilibrio alla traslazione verticale:

$$N = [W - c'l \sin \alpha / F + ul \tan \phi' \sin \alpha / F] / m\alpha$$

dove:

$$m\alpha = \cos \alpha + (\sin \alpha \tan \phi' / F)$$

Imponendo l'equilibrio alla traslazione orizzontale dell'intera massa si può ricavare l'espressione del coefficiente di sicurezza F:

$$F = \frac{\Sigma [c'l \sec \alpha + (N - ul) \tan \phi' \sec \alpha]}{\Sigma W \tan \alpha}$$

Per le NTC 2018 il valore di F_s deve risultare $\geq 1,1$.

Le verifiche in condizioni sismiche sono state condotte mediante l'analisi di tipo pseudo-statico che considera un sistema di forze orizzontali e verticali applicate ai volumi di terreno coinvolti. Le forze orizzontali di inerzia, dovute all'azione sismica, sono state considerate con intensità pari a:

$$F_h = \beta_s \times \frac{a_{\max}}{g} \times W$$

β_s = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima al sito riportato nella seguente tabella 7.11.I (§ 7.11.3.5 “*Stabilità dei pendii*”, NTC 2018) in funzione della categoria di sottosuolo;

Tab. 7.11.I – Coefficienti di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito

	Categoria di sottosuolo	
	A	B, C, D, E
	β_s	β_s
$0,2 < a_g (g) \leq 0,4$	0,30	0,28
$0,1 < a_g (g) \leq 0,2$	0,27	0,24
$a_g (g) \leq 0,1$	0,20	0,20

a_{max} = accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

W = peso del materiale;

g = accelerazione di gravità.

Le forze verticali sono state considerate pari a:

$$F_v = \pm 0,5 \times F_h$$

In particolare i coefficienti sismici orizzontale e verticale k_h e k_v , utilizzati nelle modellazioni, risultano rispettivamente pari a 0,098 e $\pm 0,049$.

Per le verifiche di stabilità sono stati assegnati ai terreni i seguenti parametri geotecnici in termini di pressioni effettive (cfr. § 5.2), a cui devono essere applicati i coefficienti di tabella 6.2.II:

litotipo	descrizione	angolo d'attrito		coesione		peso di volume
1	depositi eluviali e di frana	23,00°	18,76° (*)	10 kPa	8 kPa (*)	19 kN/m ³
(*) valore con coefficiente parziale in condizioni non sismiche						

Sono stati assegnati al substrato roccioso più o meno alterato i seguenti parametri geomeccanici (criterio generalizzato Hoek-Brown):

litotipo	descrizione	UCS	mb	s	a	peso di volume
2	roccia alterata	3.500 kPa	0,281	$4,54 \times 10^{-5}$	0,585	22 kN/m ³
3	marne e calcareniti	8.000 kPa	0,821	$1,27 \times 10^{-3}$	0,511	26 kN/m ³

Per le verifiche di stabilità in condizioni sismiche i coefficienti parziali sui pa-

parametri geotecnici vengono posti pari all'unità (punto 7.11.1 NTC 2018) e il coefficiente parziale per le verifiche di sicurezza γ_r pari a 1,2 (punto 7.11.4 NTC 2018).

Come accennato per la messa in sicurezza del versante è prevista la posa in opera di reti ed ancoraggi con la tecnica del "soil nailing".

Per le verifiche di stabilità sono stati quindi utilizzati i seguenti parametri tecnici per dette opere di "supporto", così come individuati nelle schede tecniche e secondo le indicazioni contenute nel manuale "Soil Nail Walls" del U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration del 2015:

- Soil nail, caratteristiche dei chiodi:

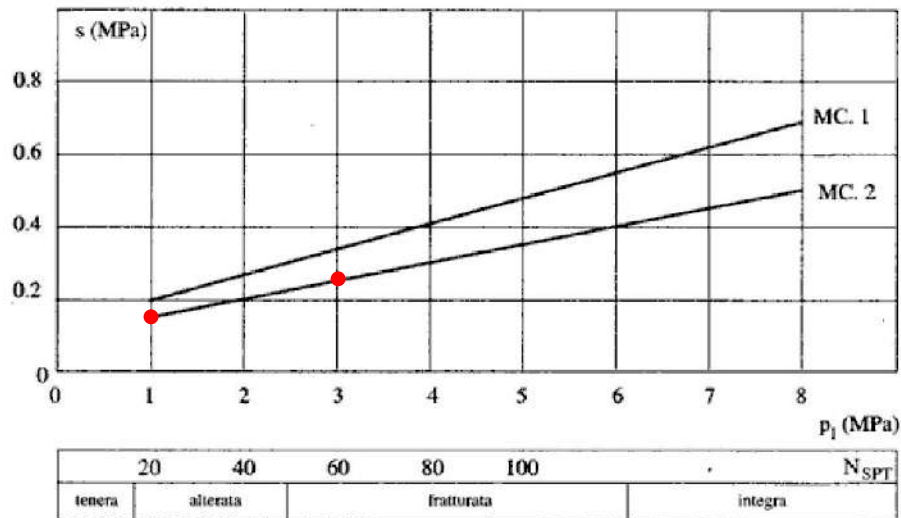
- diametro.....	24 mm
- lunghezza	3.0 m
- maglia.....	3x3
- tipo di ancoraggio.....	passivo
- tensile capacity.....	175 kN
- plate capacity.....	5 kN
- bond strenght.....	10,0 kN/m ÷ 16,8 kN/m

Per la valutazione della *bond strenght* è stata utilizzata la seguente formula:

$$R_{a,c} = D \cdot \alpha \cdot \pi \cdot q_s$$

dove:

- D diametro nominale di perforazione (42 mm);
- α coefficiente maggiorativo del diametro di perforazione funzione del tipo di terreno, della pressione di iniezione e della tecnica di iniezione, assunto pari a 1.1;
- q_s resistenza di attrito laterale unitaria a rottura pari a 150 kPa per la roccia alterata e 250 kPa per la roccia non alterata (AGI, AICAP, "Ancoraggio nei terreni e nelle Rocce", 2012, Abachi di Bustamante).



Abaco per la stima di q_s per marne e calcari fratturati; curva di riferimento MC.2 per iniezioni a bassa pressione

Dalla resistenza di calcolo si ricava la resistenza caratteristica $R_{a,k}$:

$$R_{a,k} = \frac{R_{a,c}}{\xi_{a,3}}$$

dove $\xi_{a,3}$ è il fattore di correlazione da applicare al valor medio della resistenza $R_{a,c}$ e che dipende dal numero di indagini effettuate: nel presente caso, vista l'assenza di indagini dirette, risulta $\xi_{a,3}=1.8$

Dalla resistenza caratteristica si ricava infine la resistenza di progetto $R_{a,d}$:

$$R_{a,d} = \frac{R_{a,k}}{\gamma_R}$$

dove γ_R è il coefficiente parziale del set "R3" che per tiranti permanenti vale $\gamma_R=1.2$, da cui risulta una *bond strenght* pari a 10,0 kN/m per la roccia alterata e 16,8 kN/m per la roccia non alterata.

Da questi dati si è poi passati a calcolare, secondo NTC 2018, la *shear capacity* dei chiodi come previsto al punto [4.2.17] da utilizzare nel modello.

Di seguito si riepilogano i fattori di sicurezza valutati con le verifiche di stabilità sul profilo di progetto.

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} \quad A_v = 2A / \pi$$

Dove rispettivamente:

A =sezione trasversale [mm^2]

f_{yk} =tensione di snervamento [N/mm^2]

γ_{MO} = coefficiente di sicurezza che vale 1,15

Dai calcoli, eseguiti secondo la metodologia sopra esposta, si è ottenuto un valore di *shear capacity* pari a 65 kN.

RIEPILOGO RISULTATI

Di seguito si riepilogano i fattori di sicurezza valutati con le verifiche di stabilità sulla sezione di progetto.

Analisi	Sezione di progetto	Sisma	Coefficiente di sicurezza calcolato	Coefficiente di sicurezza NTC 2018
n° 1	Sezione di progetto		1,440	1,1
n° 2	Sezione di progetto	k+	1,220	1,2
n° 3	Sezione di progetto	k-	1,254	1,2

Dalle analisi condotte risulta verificata la stabilità con i valori di resistenza al taglio ipotizzati e le opere di rafforzamento corticale in progetto, sia in condizioni non sismiche che sismiche (analisi n° 1, 2, 3 – cfr. All. n° 5).

7. CONCLUSIONI

Come illustrato nei paragrafi precedenti, gli interventi in esame riguardano un pendio caratterizzato dalla presenza di depositi perlopiù coesivi di scadenti caratteristiche meccaniche, a cui seguono le rocce più o meno alterate e fratturate del substrato roccioso, e soggetti a fenomeni franosi diffusi sia di tipo roto-traslattivo che di crollo, con una circolazione idrica sotterranea discontinua e disomogenea ed una rete di drenaggio superficiale assente.

I lavori in progetto consistono in interventi di consolidamento corticale della zona di distacco, la rimozione del materiale di frana, la realizzazione di una briglia filtrante con bacino di accumulo a monte, la costruzione di un canale trapezoidale di collettamento delle acque verso un nuovo bacino di laminazione ubicato subito a monte della viabilità.

Con i lavori in progetto non si rilevano particolari problematiche dal punto di vista geologico, geomorfologico e della stabilità, in quanto si tratta di interventi di mitigazione di fenomeni franosi e di regimazione idraulica.

In conclusione non si riscontrano specifiche pregiudiziali di carattere geologico alla realizzazione dei lavori in progetto.

Alpago, 23 agosto 2022



dott. geol. Tiziano Padovan

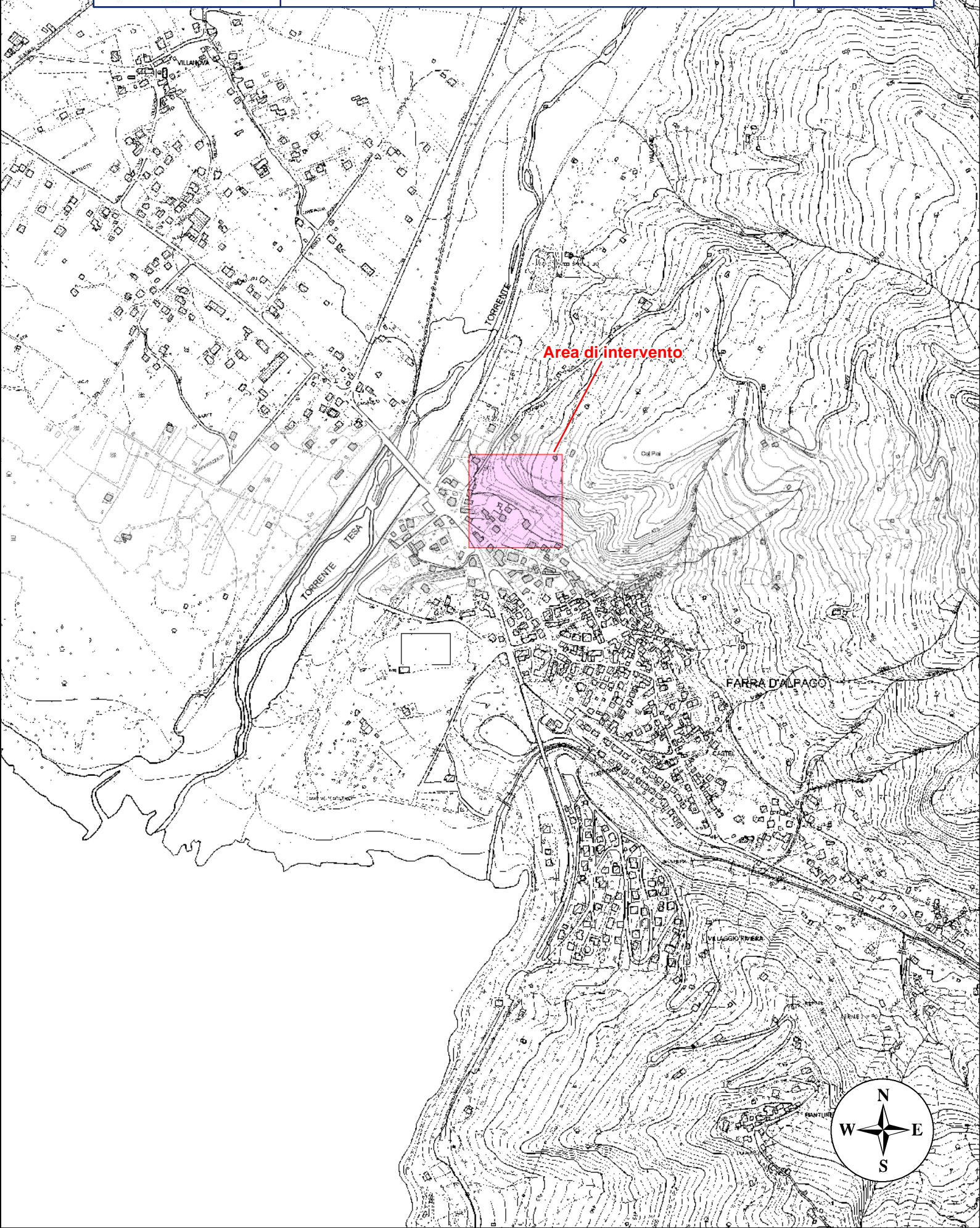


dott. geol. Alessandro Pontin



A L L E G A T I



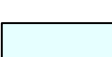

- 1) *Inquadramento topografico – scala 1:10.000*
- 2) *Carta geologica – scala 1:1.000*
- 3) *Sezione geologica – scala 1:500*
- 4) *Scheda rilevamento Provincia*
- 5) *Tabulati e grafici analisi di stabilità globale*
- 6) *Documentazione fotografica*





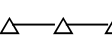


Legenda







Litologia

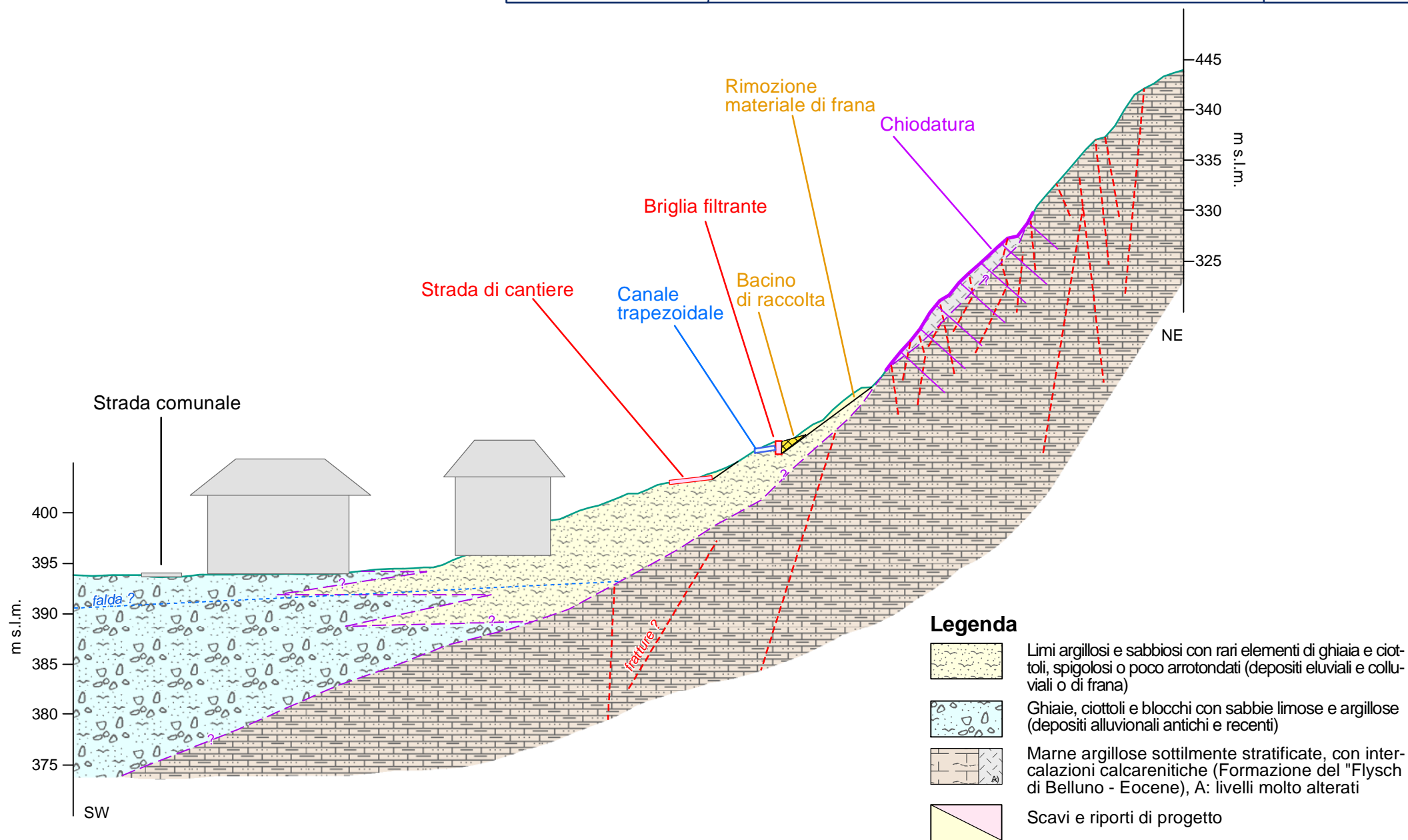
-  Depositi di frana generica quiescente
-  Limi argillosi e sabbiosi con rari elementi di ghiaia e ciottoli, spigolosi o poco arrotondati (depositi eluviali e colluviali o di frana)
-  Ghiaie, ciottoli e blocchi con sabbie limose e argillose (depositi alluvionali antichi e recenti)
-  Marne argillose sottilmente stratificate, con intercalazioni calcarenitiche (Formazione del "Flysch di Belluno - Eocene")

Geomorfologia

-  Scarpata soggetta ad erosione
-  Scarpata soggetta a crolli
-  Dorsale

Altri simboli

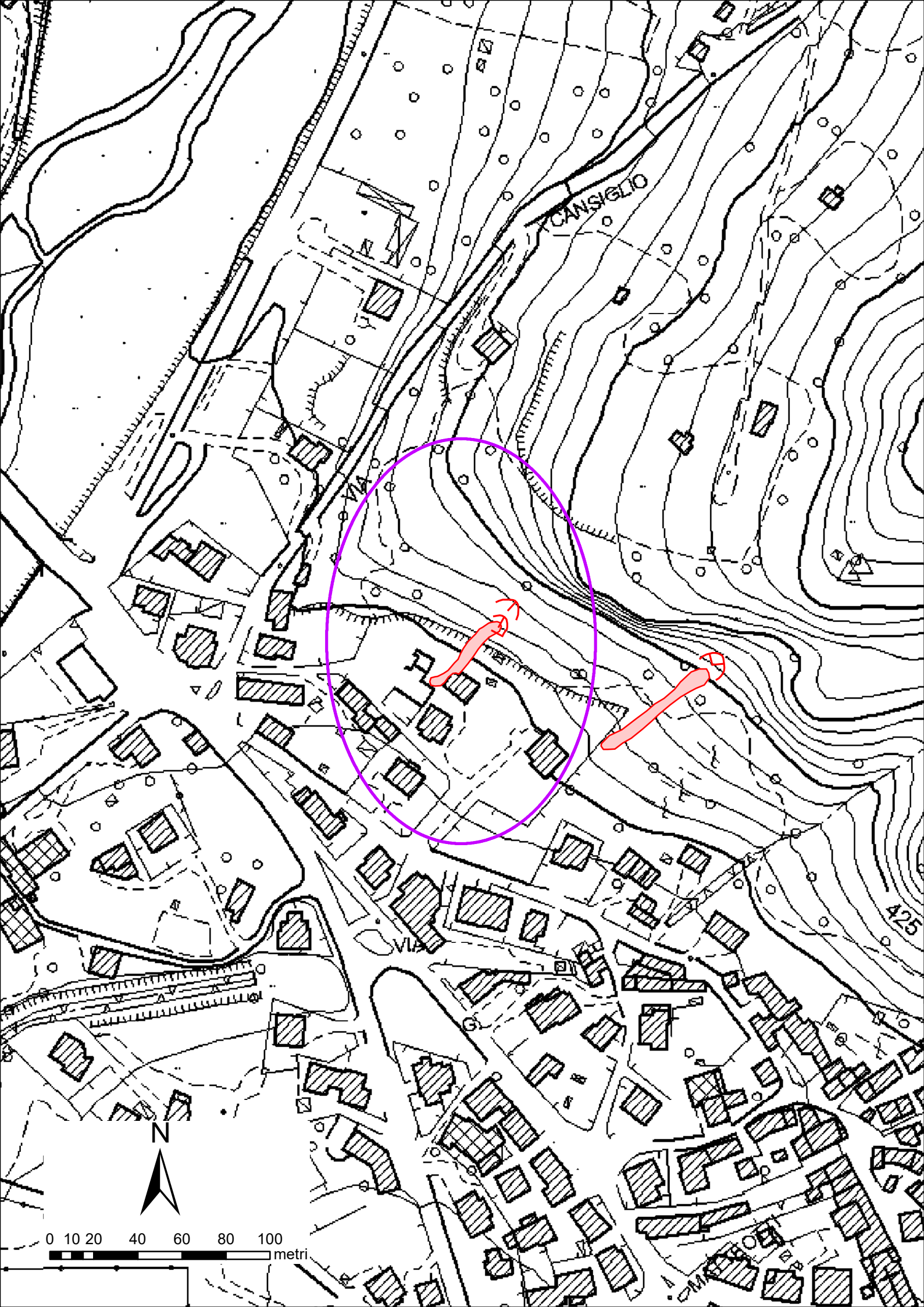
-  Venute d'acqua/ristagni
-  Giacitura degli strati
-  Indagine geofisica tipo HVSR (Tonet, 2020)
-  Sondaggio con piezometro (Tonet, 2020)
-  Limite colata Dicembre 2020
-  Traccia della sezione geologica



SCHEDA RILEVAMENTO PROVINCIA

**SCHEDA PER LA SEGNALAZIONE DI DISSESTI
A05 - FARRA**

DATA	10/12/2020
COMUNE DI ALPAGO	
Località – via	VIA XXVII APRILE
Riferimento di chi fa la segnalazione	GEOL. TIZIANO PADOVAN
Fenomeno nuovo o riattivazione	FENOMENO NUOVO (RISCHIO CADUTA MASSI GIA' CONOSCIUTO)
DESCRIZIONE DISSESTO	
TIPOLOGIA	<i>Frana per scivolamento roto-traslativo con evoluzione in colata di fango, fronte di circa 10 m; crollo di alcuni blocchi (0,3 – 0,5 mc)</i>
Crollo di porzioni rocciose	X
Colata di detrito, terra e/o fango	X
Frana superficiale	X
Frana profonda	
Cedimenti infrastrutturali	
Cedimento strutturale di opere di sostegno	
ACCERTAMENTO DANNI	
Descrizione del danno a cose e/o persone o potenziale	COINVOLGIMENTO DI DUE ABITAZIONI (ACQUA E FANGO)
EVENTUALI PROVVEDIMENTI IN SOMMA URGENZA	
Ordinanza per la gestione della emergenza, altro...	POSIZIONATI ALCUNI SACCHI DI SABBIA DAVANTI ALLA PORTA DI INGRESSO, INDICAZIONE DI DORMIRE AL PRIMO PIANO
Ipotesi di intervento	INSTALLAZIONE BARRIERE PARAMASSI/PARACOLATE, REALIZZAZIONE DRENAGGI (SOMMA URGENZA) RIPROFILATURA, DISGAGGIO, TAGLIO PIANTE, CONSOLIDAMENTO DEL VERSANTE (A COMPLETAMENTO)
STIMA COSTI	
Quantificazione interventi	150.000 € (SOMMA URGENZA), 200.000 € (A COMPLETAMENTO)





ZONA DI DISTACCO FRANA PER SCIVOLAMENTO (07/12/2020)



ZONA CENTRALE (COLATA) (07/12/2020)



VEDUTA DA MONTE DELLA COLATA (07/12/2020)

TABULATI E GRAFICI ANALISI DI STABILITÀ

Analisi di stabilità 1 - sezione A-A'

Stato di progetto

Slide Analysis Information

Project Summary

- File Name: sezione_param.slim
- Slide Modeler Version: 6.009
- Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
- Date Created: 23/08/2022, 14:22:25

General Settings

- Units of Measurement: Metric Units
- Time Units: days
- Permeability Units: meters/second
- Failure Direction: Right to Left
- Data Output: Standard
- Maximum Material Properties: 20
- Maximum Support Properties: 20

Analysis Options

Analysis Methods Used

- Janbu simplified
- Number of slices: 25
- Tolerance: 0.005
- Maximum number of iterations: 50
- Check $\alpha < 0.2$: Yes
- Initial trial value of FS: 1
- Steffensen Iteration: Yes

Groundwater Analysis

- Groundwater Method: Water Surfaces
- Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m³
- Advanced Groundwater Method: None




Random Numbers

- Pseudo-random Seed: 10116
- Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Surface Options

- Search Method: Auto Refine Search
- Divisions along slope: 10
- Circles per division: 10
- Number of iterations: 10
- Divisions to use in next iteration: 50%
- Number of vertices per surface: 12
- Minimum Elevation: Not Defined
- Minimum Depth: 1

Material Properties

Property	marne e calcareniti	roccia alterata	depositi eluvio-colluviali
Color			
Strength Type	Generalised Hoek-Brown	Generalised Hoek-Brown	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m ³]	26	22	19
Cohesion [kPa]			8
Friction Angle [deg]			18.76
Unconfined Compressive Strength (intact) [kPa]	8000	3500	
nmb	0.821234	0.281288	
ns	0.00127263	4.53999e-005	
na	0.511368	0.585357	
Water Surface	None	None	None
Ru Value	0	0	0

Support Properties

Soil Nail

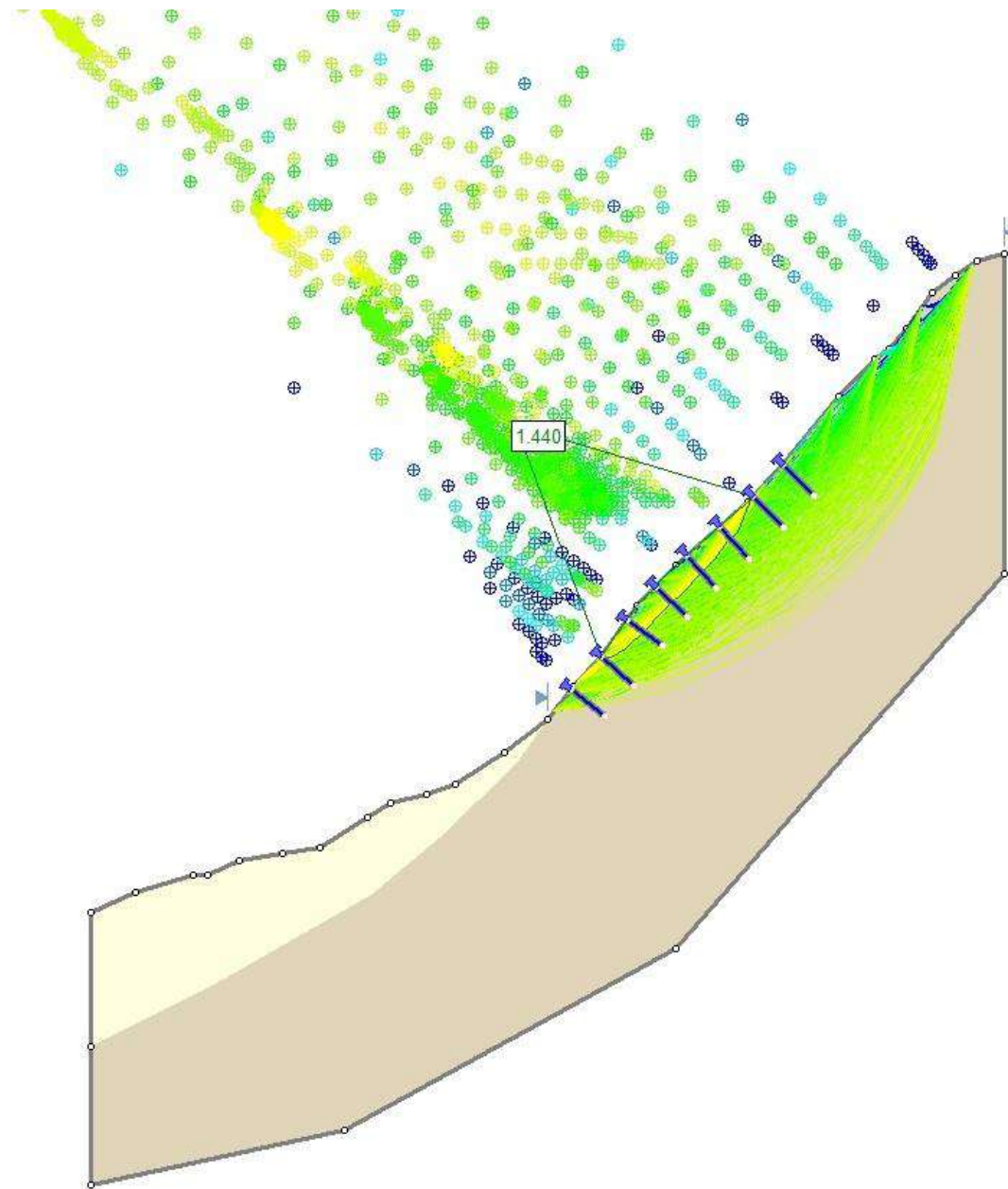
- Support Type: Soil Nail
- Force Application: Passive

- Out-of-Plane Spacing: 3 m
- Tensile Capacity: 175 kN
- Plate Capacity: 5 kN
- Bond Strength: 0 kN/m
- and Material Dependent
- Shear Capacity: 65 kN

Global Minimums

Method: janbu simplified

- FS: 1.439720
- Axis Location: 85.945, 58.862
- Left Slip Surface Endpoint: 91.671, 43.178
- Right Slip Surface Endpoint: 101.928, 54.032
- Resisting Horizontal Force=290.543 kN
- Driving Horizontal Force=201.804 kN



Analisi di stabilità 2 – sezione A-A'
Stato di progetto – condizioni sismiche k+

Slide Analysis Information

Project Summary

- File Name: sezione sisma+.slim
- Slide Modeler Version: 6.009
- Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
- Date Created: 23/08/2022, 14:22:25

General Settings

- Units of Measurement: Metric Units
- Time Units: days
- Permeability Units: meters/second
- Failure Direction: Right to Left
- Data Output: Standard
- Maximum Material Properties: 20
- Maximum Support Properties: 20

Analysis Options

Analysis Methods Used

- Janbu simplified
- Number of slices: 25
- Tolerance: 0.005
- Maximum number of iterations: 50
- Check malpha < 0.2: Yes
- Initial trial value of FS: 1
- Steffensen Iteration: Yes

Groundwater Analysis

- Groundwater Method: Water Surfaces
- Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m3
- Advanced Groundwater Method: None

Random Numbers

- Pseudo-random Seed: 10116
- Random Number Generation Method: Park and Miller v.3




Surface Options

- Search Method: Auto Refine Search
- Divisions along slope: 10
- Circles per division: 10
- Number of iterations: 10
- Divisions to use in next iteration: 50%
- Number of vertices per surface: 12
- Minimum Elevation: Not Defined
- Minimum Depth: 1

Loading

- Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.098
- Seismic Load Coefficient (Vertical): 0.049

Material Properties

Property	marne e calcareniti	roccia alterata	depositi eluvio-colluviali
Color			
Strength Type	Generalised Hoek-Brown	Generalised Hoek-Brown	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m3]	26	22	19
Cohesion [kPa]			10
Friction Angle [deg]			23
Unconfined Compressive Strength (intact) [kPa]	8000	3500	
nmb	0.821234	0.281288	
ns	0.00127263	4.53999e-005	
na	0.511368	0.585357	
Water Surface	None	None	None
Ru Value	0	0	0

Support Properties

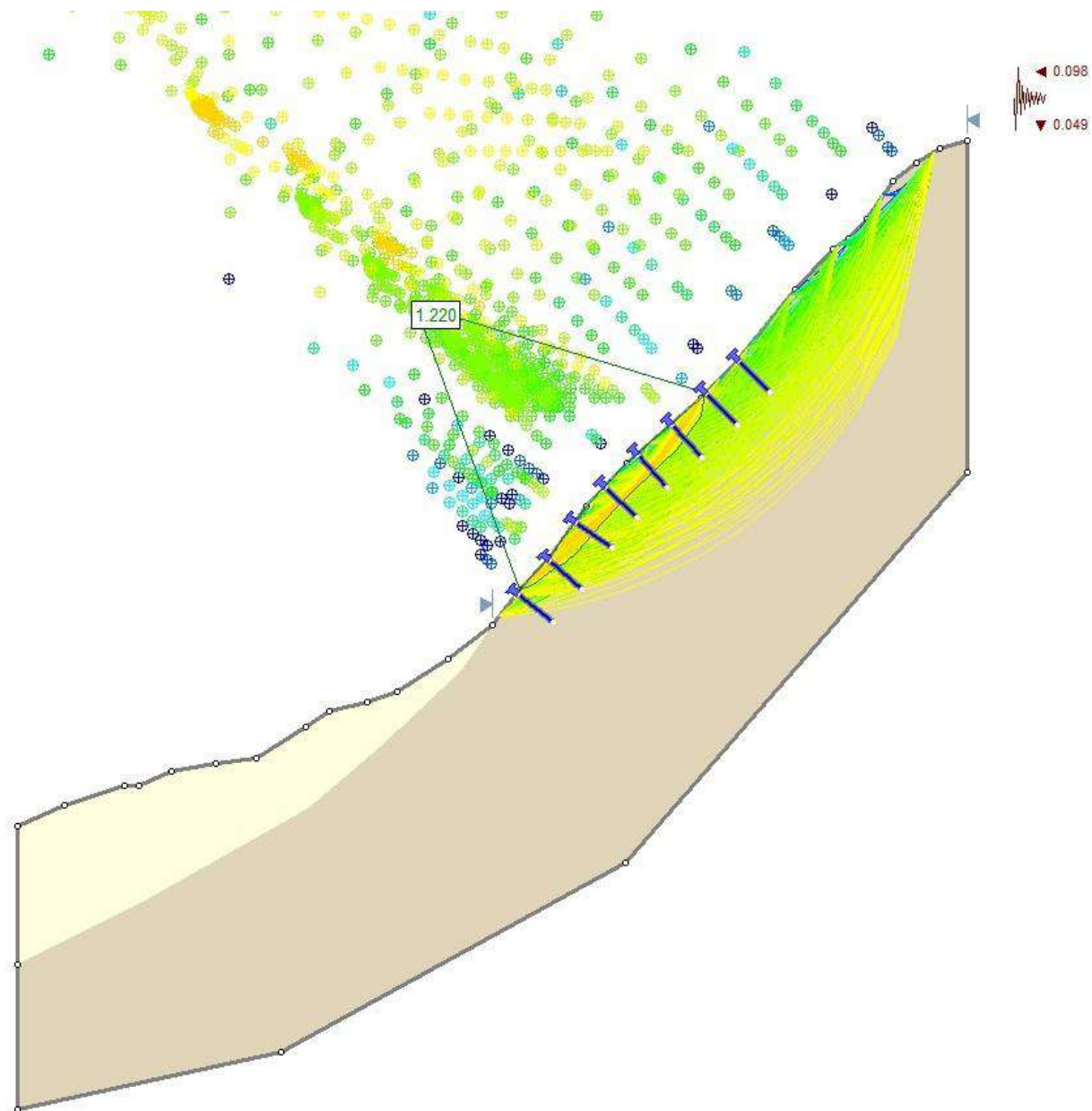
Soil Nail

- Support Type: Soil Nail
- Force Application: Passive
- Out-of-Plane Spacing: 3 m
- Tensile Capacity: 175 kN
- Plate Capacity: 5 kN
- Bond Strength: 0 kN/m
- and Material Dependent
- Shear Capacity: 65 kN

Global Minimums

Method: janbu simplified

- FS: 1.219960
- Axis Location: 83.046, 59.688
- Left Slip Surface Endpoint: 89.851, 41.189
- Right Slip Surface Endpoint: 101.928, 54.032
- Resisting Horizontal Force=331.231 kN
- Driving Horizontal Force=271.51 kN



Analisi di stabilità 2 – sezione A-A'
Stato di progetto – condizioni sismiche k-

Slide Analysis Information

Project Summary

- File Name: sezione sisma-.slim
- Slide Modeler Version: 6.009
- Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
- Date Created: 23/08/2022, 14:22:25

General Settings

- Units of Measurement: Metric Units
- Time Units: days
- Permeability Units: meters/second
- Failure Direction: Right to Left
- Data Output: Standard
- Maximum Material Properties: 20
- Maximum Support Properties: 20

Analysis Options

Analysis Methods Used

- Janbu simplified
- Number of slices: 25
- Tolerance: 0.005
- Maximum number of iterations: 50
- Check malpha < 0.2: Yes
- Initial trial value of FS: 1
- Steffensen Iteration: Yes

Groundwater Analysis

- Groundwater Method: Water Surfaces
- Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m3
- Advanced Groundwater Method: None

Random Numbers

- Pseudo-random Seed: 10116
- Random Number Generation Method: Park and Miller v.3




Surface Options

- Search Method: Auto Refine Search
- Divisions along slope: 10
- Circles per division: 10
- Number of iterations: 10
- Divisions to use in next iteration: 50%
- Number of vertices per surface: 12
- Minimum Elevation: Not Defined
- Minimum Depth: 1

Loading

- Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.098
- Seismic Load Coefficient (Vertical): -0.049

Material Properties

Property	marne e calcareniti	roccia alterata	depositi eluvio-colluviali
Color			
Strength Type	Generalised Hoek-Brown	Generalised Hoek-Brown	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m3]	26	22	19
Cohesion [kPa]			10
Friction Angle [deg]			23
Unconfined Compressive Strength (intact) [kPa]	8000	3500	
nmb	0.821234	0.281288	
ns	0.00127263	4.53999e-005	
na	0.511368	0.585357	
Water Surface	None	None	None
Ru Value	0	0	0

Support Properties

Soil Nail

- Support Type: Soil Nail
- Force Application: Passive
- Out-of-Plane Spacing: 3 m
- Tensile Capacity: 175 kN
- Plate Capacity: 5 kN
- Bond Strength: 0 kN/m
- and Material Dependent
- Shear Capacity: 65 kN

Global Minimums

Method: janbu simplified

- FS: 1.254060
- Axis Location: 85.945, 58.862
- Left Slip Surface Endpoint: 91.671, 43.178
- Right Slip Surface Endpoint: 101.928, 54.032
- Resisting Horizontal Force=283.645 kN
- Driving Horizontal Force=226.181 kN

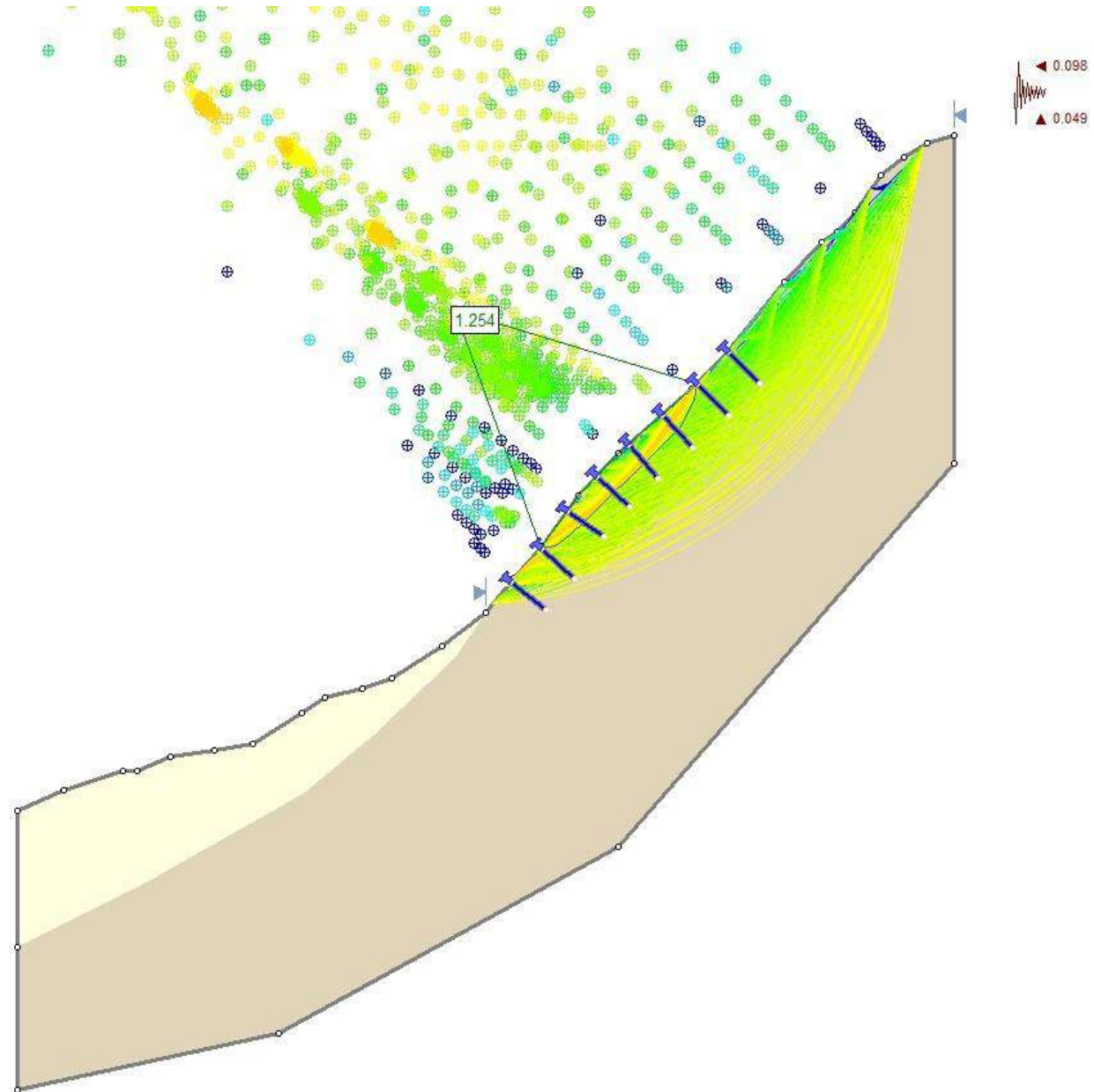




FOTO n° 1 (07/12/2020)

Vista da valle della colata che ha interessato i fabbricati in oggetto a dicembre 2020.



FOTO n° 2 (07/12/2020)

Vista da monte della colata che ha interessato i fabbricati in oggetto a dicembre 2020.



FOTO n° 3 (07/12/2020)

Affioramento del substrato roccioso molto alterato che ha dato origine alla colata e che sarà oggetto di consolidamento corticale.



FOTO n° 4 (19/02/2021)

Zona di monte della colata e zona di distacco.



FOTO n° 5 (19/02/2021)

Affioramento del substrato roccioso molto alterato in prossimità della superficie di distacco.



FOTO n° 6 (19/02/2021)

La colata di fango e detriti sul retro del fabbricato.

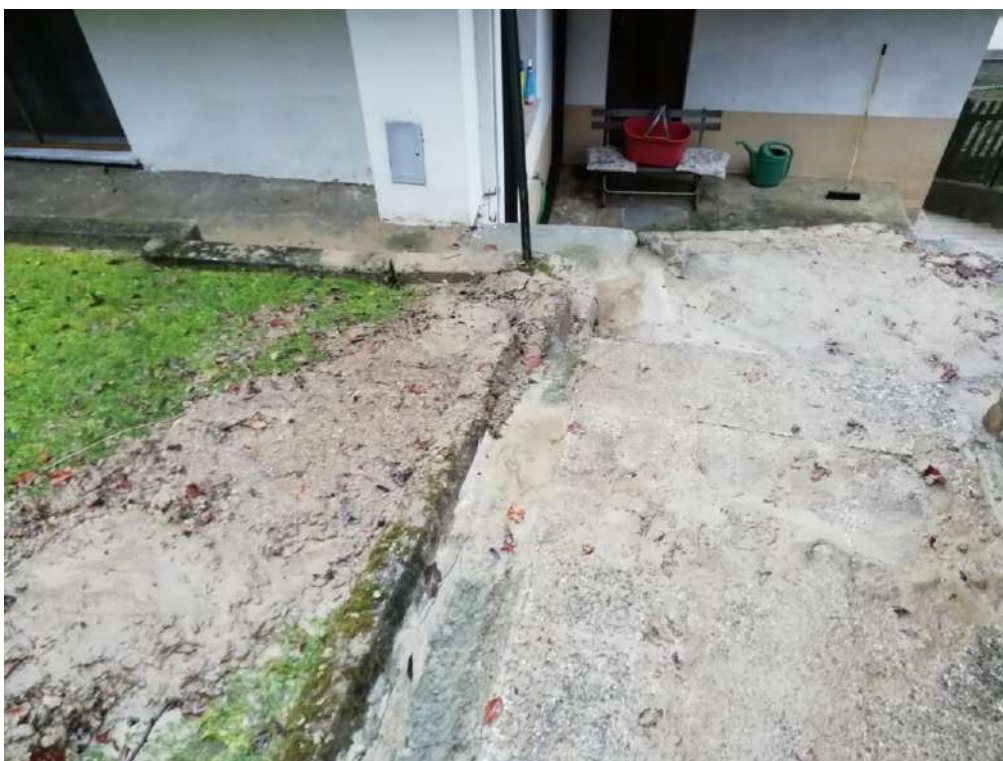


FOTO n° 7 (07/12/2020)
Retro del fabbricato investito dalla colata.



FOTO n° 8 (19/02/2021)
Zona ad ovest del fabbricato interessato dalla colata dove è prevista la realizzazione del bacino di laminazione in progetto.



FOTO n° 9 (24/02/2021)

Vista aerea dell'area di intervento. (freccia rossa – bacino di laminazione in progetto, freccia gialla – movimento franoso).

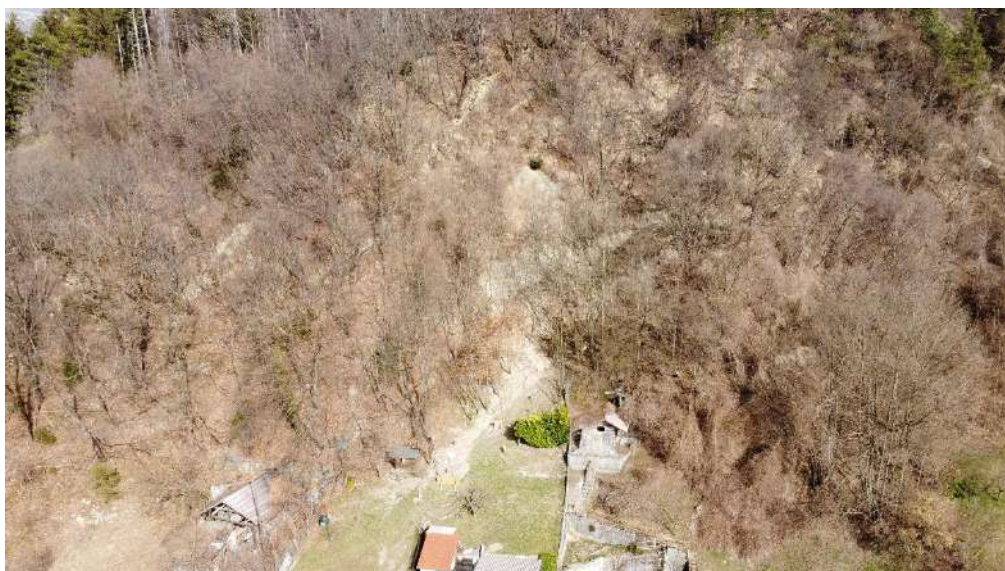


FOTO n° 10 (24/02/2021)

Vista aerea con dettaglio sul movimento franoso.