



PROGETTO FINANZIATO DALL' UNIONE EUROPEA- NEXT GENERATION EU

REGIONE MARCHE
PROVINCIA DI PESARO E URBINO
COMUNE DI FANO

**OGGETTO: PNRR - M2C4 - TUTELA DEL TERRITORIO E DELLA RISORSA IDRICA –
2.2: INTERVENTI PER LA RESILIENZA, LA VALORIZZAZIONE DEL TERRITORIO E
L'EFFICIENZA ENERGETICA DEI COMUNI. INTERVENTO DI SISTEMAZIONE
IDROLOGICA DEL TERRITORIO COMUNALE COMPRESA LA SISTEMAZIONE ACQUE
SUPERFICIALI PRESENTI NEL COMUNE DI FANO CUP E32H18000290004**

FASE PROGETTUALE

PROGETTO ESECUTIVO

© G G E T T O

RELAZIONE GEOLOGICA - GEOTECNICA

ELABORATO

data:

1 settembre 2022

03

PROGETTISTA:

COMMITTENTE:

ING. GEOL. TALOZZI DIEGO

COMUNE DI FANO

REV.	DATA	OGGETTO	RED.	CONT.	APP.
			AO	EP	GF

COMUNE DI FANO

PROGETTO: PNRR - M2C4 - TUTELA DEL TERRITORIO E DELLA RISORSA IDRICA – 2.2: INTERVENTI PER LA RESILIENZA, LA VALORIZZAZIONE DEL TERRITORIO E L'EFFICIENZA ENERGETICA DEI COMUNI. INTERVENTO DI SISTEMAZIONE IDROLOGICA DEL TERRITORIO COMUNALE COMPRESA LA SISTEMAZIONE ACQUE SUPERFICIALI PRESENTI NEL COMUNE DI FANO: MOVIMENTO FRANOSO IN LOC. CARIGNANO – CUP E32H18000290004 (PRIMO STRALCIO) - PROGETTO DEFINITIVO ESECUTIVO.

Missione 2
Componente M2C4
Investimento 2.2

- Rivoluzione verde e transizione ecologica
- Tutela del territorio e della risorsa idrica
- Interventi per la resilienza, la valorizzazione del territorio e l'efficienza energetica dei Comuni

RELAZIONE GEOLOGICA-GEOTECNICA

Il Progettista
Ing. Geol. Diego Talozzi



TALOZZI DIEGO: Geologo e Ingegnere libero professionista con studio tecnico a Urbania in Via XXIV Maggio n° 19
Tel. 0722/317881; C.F. TLZDGI69L12C794P; P. IVA 01248290411;
Iscritto ai seguenti ordini professionali:
1) Ordine Professionale degli Ingegneri di Pesaro e Urbino al n°1189.
2) Ordine Professionale dei Geologi delle Marche al n° 509.

Sommario

1. Premessa.....	3
2. Ubicazione	4
3. Studi esistenti.....	6
4. Interventi di messa in sicurezza	9
5. Inquadramento geologico, idrogeologico e geotecnico	10
6. Descrizione del movimento franoso	10
7. Indagini di caratterizzazione geotecnica.....	16
8. Vita nominale, Classe d'uso e Periodo di riferimento	20
9. Categoria Topografica	20
10. Categoria di sottosuolo.	20
11. Modello geotecnico e dati sismici di progettazione.	22
12. Verifica al Potenziale di Liquefazione	25
13. Proposte d'intervento.....	25
14. Sintesi delle verifiche di stabilità del versante.....	27
15. Sintesi verifiche di stabilità delle gabbionate	38
16. Conclusioni.	39

MOVIMENTO FRANOSO IN LOC. CARIGNANO

1. Premessa

Il presente progetto definitivo-esecutivo tratta gli interventi di consolidamento di Primo Stralcio di un vasto movimento franoso, attivatosi a partire dal mese febbraio 2015, che ha coinvolto la strada comunale di Bevano ubicata in località Carignano nel Comune di Fano.

Il movimento franoso è stato oggetto di diversi studi, eseguiti sia su incarico dell'Amministrazione Comunale, sia su incarico di privati risultati danneggiati. Tali studi risultano fondamentali per comprendere la dinamica dei vari cinatismi di cui è composto il movimento franoso, soprattutto perché nel tempo si sono susseguiti diversi interventi di messa in sicurezza che hanno in parte rimodellato la geomorfologia locale cancellando le tracce dei primi dissesti la cui ricostruzione resta legata alla sola documentazione fotografica.

La presente relazione geologica, pertanto, costituisce una sintesi di tali studi cioè la raccolta dei principali dati strettamente necessari ai fini della redazione del progetto esecutivo. Per tutti gli approfondimenti di carattere geologico, idrogeologico, idrografico e cartografico, ampiamente trattati nei predetti studi, si rimanda alla visione degli stessi che vengono riportati in allegato.

A completamento degli studi disponibili sono stati eseguiti un dettagliato rilievo topografico dell'intera area interessata dal movimento gravitativo, il rilievo completo dei sottoservizi con particolare riferimento alla rete di raccolta delle acque superficiali, e ulteriori prove geotecniche in sito laddove ritenuto necessario per un approfondimento di carattere geotecnico-stratigrafico.

2. Ubicazione

L'area in studio è posta ad un'altezza di circa 150 m s.l.m. a nord del crinale su cui sorge l'abitato di Carignano lungo una pendice esposta a N-NW, appartenente al bacino idrografico del Torrente Arzilla che scorre a circa 500 metri a nord del sito di esame. Alle diverse scale l'area trova i seguenti riferimenti:

- scala 1:10.000 Carta Tecnica Regionale, Sez. 268160 "Carignano";
- scala 1:10.000 Estratto cartografia P.A.I. Tav. RI19 c;
- scala 1:25.000 Carta Topografica d'Italia - Foglio 268;
- scala 1:2.000 NCU di Fano - Foglio 28 particelle 313 e 315;
- geolocalizzazione: 43.824387,12.933167

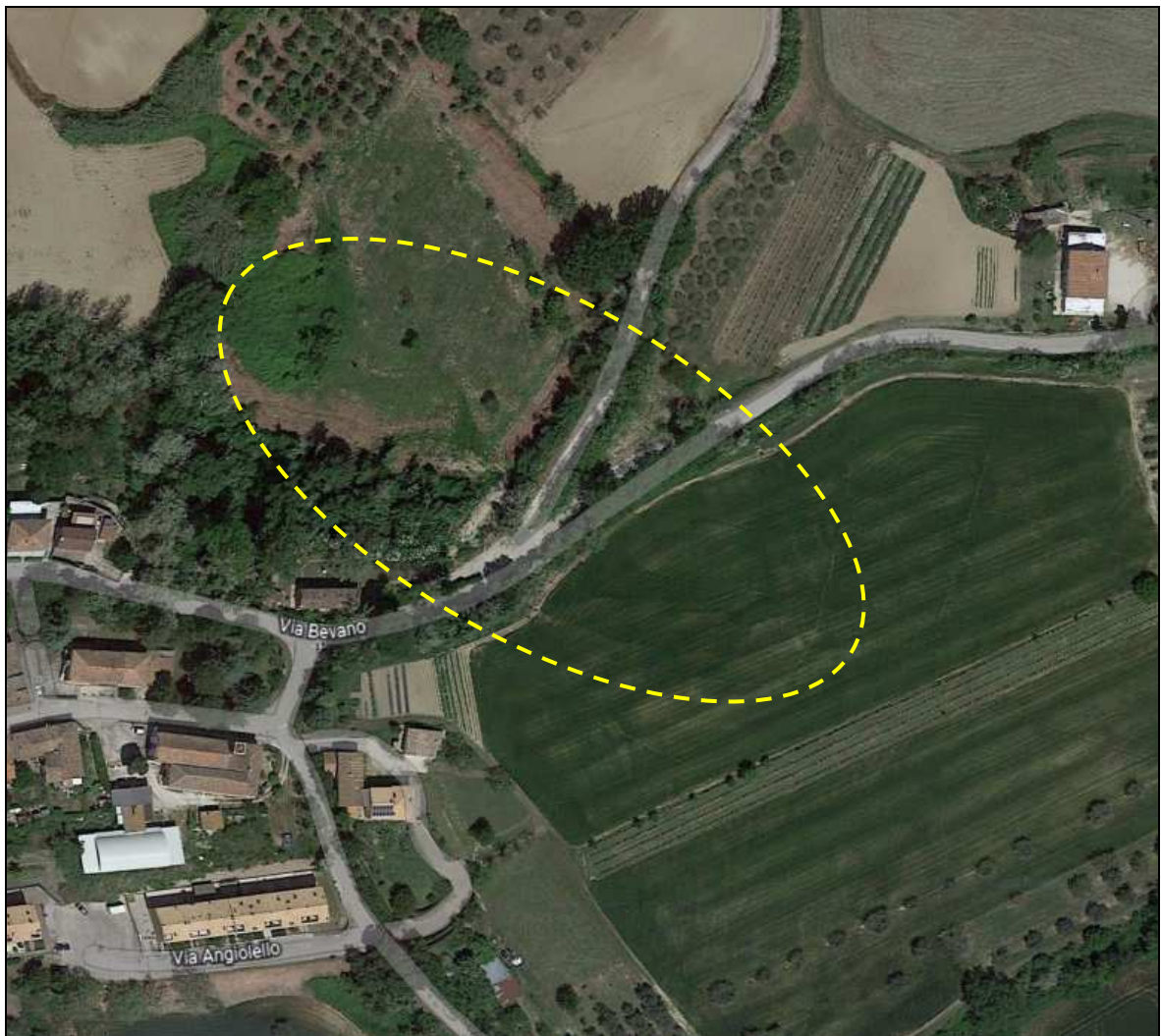


Figura 1: localizzazione dell'area interessata da movimenti franosi.

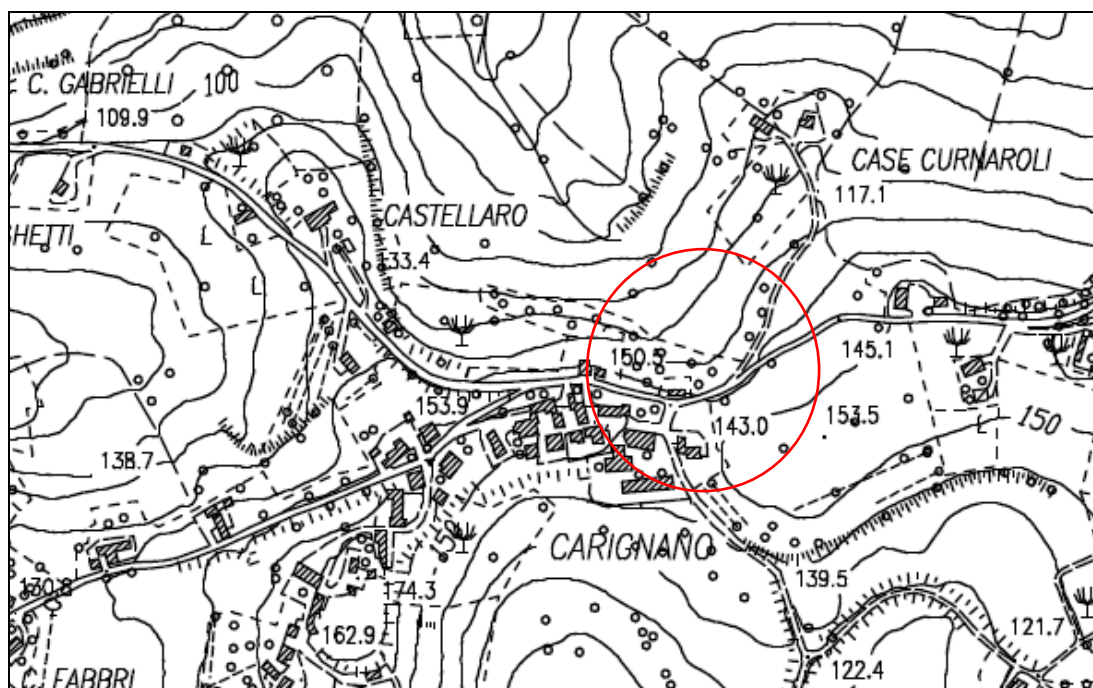


Figura 2: Carta Tecnica Regionale, Sez. 268160 "Carignano"

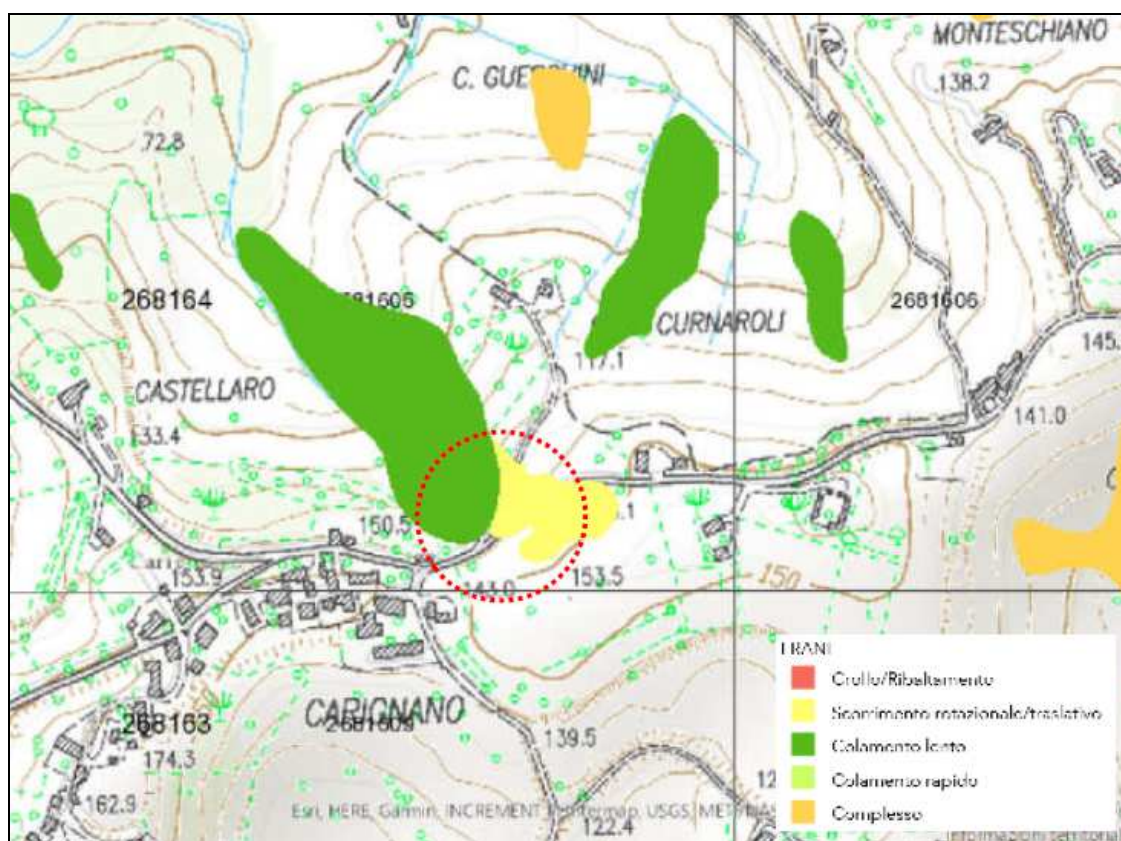
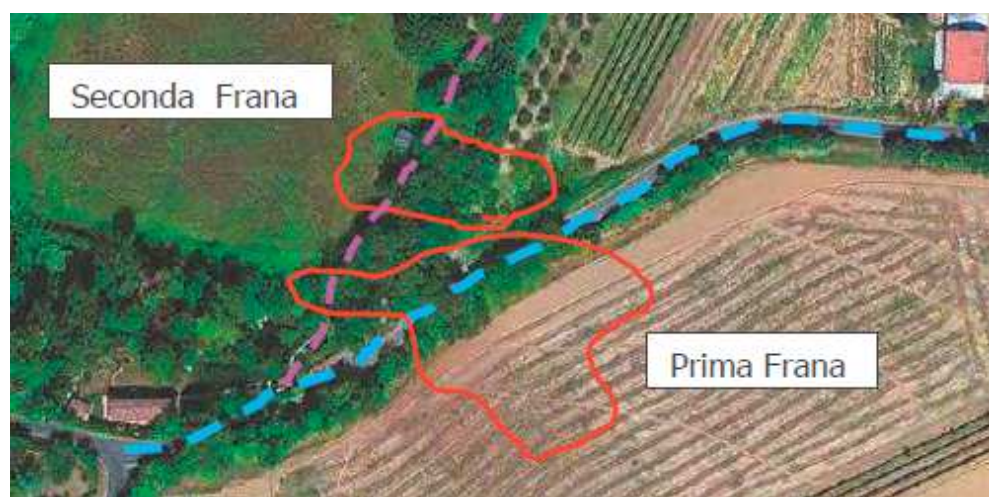


Figura 3: Estratto da Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia (IFFI), il cerchio rosso indica l'area di esame. L'area in oggetto non risulta mappata in ambito PAI; tuttavia sulla base dei dati contenuti nel "Progetto I.F.F.I." di ISPRA indicante la situazione dei dissesti noti per la zona in studio risulta che l'area di esame è interessata da fenomeni franosi di tipo scorrimento rotazionale/traslattivo e da colamento lento.

3. Studi esistenti

Il movimento franoso è stato oggetto di diversi studi, eseguiti sia su incarico dell'Amministrazione Comunale, sia su incarico dei privati, già a partire dal mese di aprile 2015 cioè poco dopo gli eventi franosi del mese di febbraio 2015. Tali studi risultano fondamentali per comprendere la dinamica dei vari cinematismi di cui è composto il movimento franoso, soprattutto perché nel tempo si sono susseguiti diversi interventi di messa in sicurezza che hanno in parte rimodellato la geomorfologia locale cancellando le tracce dei primi dissesti la cui ricostruzione resta legata alla sola documentazione fotografica. Per tutti gli approfondimenti di carattere geologico, idrogeologico, idrografico e cartografico, ampiamente trattati nei predetti studi, si rimanda alla visione degli stessi che vengono riportati in allegato. Nell'ordine tali studi sono:

20/04/2015: *Relazione Geologica e Sismica a firma dei Geologi Laura Pelonghini e Maria Vittoria Castellani finalizzata alla realizzazione dei lavori di somma urgenza per sistemazione movimenti franosi nella frazione di Carignano e lungo la Strada Sant'Elia.* Scopo dello studio è la ricostruzione della geologia e stratigrafia locale dell'area per la definizione dei primi interventi di messa in sicurezza. A corredo vengono eseguite prove geotecniche in sito (CPT) e prove di caratterizzazione sismica dell'area. Nelle tavole A3, A4 è stata riportata l'ubicazione delle indagini eseguite. Vengono essenzialmente individuati due corpi di frana, rispettivamente definiti Prima e Seconda Frana. La prima frana avrebbe interessato il versante agricolo e la strada sottostante, la seconda frana avrebbe determinato il collasso di parte della strada sottostante.



Le indagini eseguite nel giorno 2 aprile 2015 evidenziarono la presenza di terreni fortemente saturi, con presenza di livelli piezometrici relativamente superficiali, sia sulla

parte più alta del movimento franoso sia nella strada comunale immediatamente sottostante (misurazioni in CPT 1,2,3,4,6 e 8).



Foto 1: Prima Frana



Foto 2: Seconda Frana

Nella relazione sono stati indicati gli interventi ritenuti necessari per la messa in sicurezza dell'area. Si proponeva la regimazione delle acque superficiali nel campo a monte della strada e la realizzazione di drenaggi tipo "Gabbiodren" lungo il lato a monte della strada, a fianco dei sottoservizi presenti (acquedotto), con lo scopo di intercettare le acque sotterranee che drenano dalla collina sovrastante, convogliarle nella rete di smaltimento delle acque bianche ed evitare così che vadano a saturare i terreni già coinvolti nel movimento franoso più a valle. In particolare si riteneva indispensabile la realizzazione di drenaggi nel campo a monte della strada per un corretto drenaggio del

corpo di frana. Vengono inoltre suggeriti possibili interventi di stabilizzazione definitiva delle scarpate mediante l'utilizzo di opere di appesantimento del piede (gabbioni o terre armate) e palificate come base di ancoraggio non meglio definite. Entrambe le tipologie (pali e terre armate) dovranno essere accompagnate dalla realizzazione di elementi drenanti perpendicolari alla linea di massima pendenza.

30/01/2020: *Report dei rilievi in sito e dei dati geognostici eseguiti nell'area in Loc. Carignano nel comune di Fano, Via Bevano 24, a firma dello Studio Associato Rondoni e Darderì, su incarico di Signorini Elvino e Paolo.* In tale studio si evidenzia un diffuso degrado ad opera delle acque di scorrimento superficiale, in particolare di quelle provenienti dalla adiacente strada comunale di Bevano. Questo studio ha come obiettivo quello di esaminare le condizioni geologiche e morfologiche dell'area interessata dal dissesto geomorfologico attraverso rilievi in sito e di individuare le caratteristiche litologiche e stratigrafiche del terreno sede della strada di accesso al fabbricato di proprietà Signorini attraverso indagini geognostiche puntuali (n° 1 Carotaggio continuo con prelievo di campioni, n° 1 CPT, e n° 1 DL). Viene inoltre eseguita una dettagliata descrizione dell'assetto geomorfologico locale, che viene di seguito interamente riportato. Si legge: «L'accesso carrabile alla proprietà Signorini situato a confine con la strada comunale, verso valle, è stato realizzato in parte con riporto di terreno e si raccorda con la sottostante pendice attraverso una ripida scarpata. Il fenomeno franoso occorso che, come premesso, si è innescato lungo il pendio a monte di Via Bevano ha interessato sia un tratto della strada sia l'accesso carrabile al fabbricato di proprietà della committenza rendendolo di fatto inaccessibile. L'area dell'accesso alla proprietà Signorini è caratterizzata oggi da un diffuso degrado ad opera sia dell'accumulo del terreno franato sia delle acque di scorrimento superficiale, in particolare di quelle provenienti dalla adiacente strada comunale di Bevano che, nei lavori di ripristino della strada comunale sono state convogliate verso la scarpata già interessata dalla frana e scaricate senza alcuna protezione e regimazione. Il terreno a monte della strada comunale in cui si è innescato lo scoscendimento di terreno mostra ancora i segni del fenomeno occorso; nella foto seguente si osserva parte della corona di frana e del suo rigetto, che è di circa 2 metri e il fosso che raccoglie le acque lateralmente al corpo di frana e le dirige verso la Via Bevano. Si osserva tuttavia un diffuso degrado del corpo di frana».



Foto 3: rigetto di quasi 2 m direttamente a monte della strada di Via Bevano

4. Interventi di messa in sicurezza

A seguito del movimento franoso del febbraio 2015, su iniziativa dell'Amministrazione Comunale e degli Enti gestori delle reti, sono state eseguite le seguenti opere urgenti di messa in sicurezza:

1. ripristino della sede stradale franata di Via del Boschetto;
2. realizzazione di drenaggio a monte della strada di Via Bevano, parallelamente alla sede stradale cioè in senso longitudinale al versante e per una profondità pari a 3m;
3. ripristino della rete di raccolta delle acque piovane;
4. realizzazione di by-pass temporanei dell'acquedotto e della fognatura acque nere;
5. eliminazione dall'area in frana della rete di gas metano.

In merito al drenaggio realizzato a monte di Via Bevano si osserva quanto segue: - attualmente non si conosce l'estensione esatta dell'intervento per mancanza di documentazione progettuale - alla realizzazione del drenaggio è seguito un assestamento del terreno a monte causato dallo stesso scavo, come dimostrato dallo schiacciamento di alcuni pozzetti, causando molto probabilmente una riduzione dell'efficacia del drenaggio stesso; - nel presente progetto tale intervento è stato preso in considerazione come opera interferente, come evidenziato nella tav. A4; risulta tuttavia di difficile gestione in termini di manutenzione a causa delle limitate informazioni sulle modalità costruttive.

La distribuzione dei sottoservizi allo stato attuale è riportata nelle Tavole grafiche in allegato (acquedotto, rete gas metano, fognatura nera, rete di raccolta acque bianche).

5. Inquadramento geologico, idrogeologico e geotecnico

Nella carta geologica regionale risulta la presenza della *Formazione di San Donato* (Messiniano) costituita da un'alternanza di peliti e arenarie. Sopra al substrato geologico è presente una coltre di alterazione eluvio-colluviale spessa fino a 9 m, caratterizzata da litotipi limoso-argillosi e argilloso-sabbiosi. In particolare a monte della strada comunale lo spessore della coltre argillosa è pari a circa 9m (CPT 1); direttamente a valle della strada lo spessore è pari a circa 4 m (CPT 8).

Nei fori delle prove CPT non è stata rilevata la presenza di livelli idrici permanenti a confermare che il livello di falda rinvenibile all'interno dei piezometri, anche prossimi al p.c., non sono unicamente riconducibili a circolazione idrica sotterranea ma anche a quella superficiale. D'altronde ad una situazione di completa saturazione dei terreni corrisponderebbe uno stato di instabilità generalizzata ben più grave del quadro attualmente osservabile. Nella relazione geologica del 2015 viene riportata l'osservazione di diverse venute idriche superficiali riconducibili a linee di deflusso idrico sotterraneo corrispondenti, molto probabilmente, a lenti detritiche ad alta permeabilità provenienti dall'alterazione del substrato roccioso, appunto costituito da peliti ed arenarie.

Nella Tav. A4 sono riportate le sezioni geologiche, sia allo stato attuale che di progetto. Nella Tav. A2-b vengono riportati il piano quotato con rilievo delle reti (idrica, fognaria, gas) e l'ubicazione dei punti d'indagine geognostica.

La stratigrafia può essere essenzialmente suddivisa in n° 3 strati: A, B, C. Lo strato A è relativo a terreni di riporto rilevabili sul ciglio della strada di Via Bevano. Lo strato B è relativo ai terreni eluvio colluviali di copertura; all'interno dello strato B è possibile individuare due livelli, B1 e B2, che si caratterizzano per un diverso grado di resistenza R_p rilevabile nelle prove CPT. Lo strato C è relativo al substrato lapideo; in termini di modellazione geotecnica si è fatto riferimento allo strato più superficiale di alterazione.

6. Descrizione del movimento franoso

L'individuazione dell'intero perimetro del corpo di frana non è immediata, trattandosi di movimento franoso complesso, caratterizzato cioè da scorrimento rotazionale/traslato e da colamento lento. Risulta chiaramente delimitabile a monte dove è presente una corona con nicchia di distacco di lunghezza pari a circa 150 ml. In corrispondenza della sede stradale di Via Bevano, in

direzione Carignano, si osserva un rigetto di circa 2 metri. Dalla parte opposta il rigetto è meno evidente ma comunque chiaramente evidenziato dalla presenza di profonde fessurazioni. Tutta la superficie del campo a monte della strada presenta diffuse linee di tension-crack a dimostrare che il movimento franoso è, nonostante le ultime stagioni siccitose e le opere di drenaggio eseguite, in costante e lenta evoluzione. Come dimostrato dalla documentazione allegata alla relazione del 2015 anche tutto il ciglio della sottostante *strada del boschetto* è stata interessata da crollo mettendo a rischio tutti i sottoservizi presenti (linea fognaria e rete gas). Di fatto la sede stradale ha subito nel tempo una lenta traslazione verso valle stimabile in 6-7m; l'evoluzione del movimento franoso registrato nel mese di febbraio 2015 costituisce pertanto l'evidenza di un'accelerazione del movimento gravitativo alimentata dalle copiose precipitazioni meteoriche invernali. Tra i dati contenuti nello studio del 2015, degna di nota è l'osservazione che dal 2009, l'inverno del 2015 è risultato più piovoso della norma, con una precipitazione totale media regionale pari a 268 mm, facendo registrare un incremento del +39% rispetto al valore medio di riferimento 1981.

Sulla base delle prove geotecniche eseguite risulta che lo spessore massimo del corpo di frana è pari a circa 5-6 m rilevabile in corrispondenza della prova CPT 1 ubicata direttamente a monte della sede stradale. La prova sismica a rifrazione eseguita nel 2015 ha sostanzialmente confermato il quadro ricostruito con le prove penetrometriche individuando la superficie di scivolamento ad una profondità di circa 5 m dal piano campagna.

Se le cause sono da ricercarsi in un incremento delle acque di versante a seguito di eventi atmosferici avversi, l'area, di per sé, presenta elementi intrinseci che favoriscono il dissesto: - in primo luogo la morfologia a impluvio che convoglia tutte le acque meteoriche in un unico punto di raccolta messo in crisi anche dal trasporto di materiale fangoso che ottura la linea fognaria di deflusso delle acque; - in secondo la mancanza di una corretta regimazione delle acque superficiali nel versante. Infatti i fossi attualmente presenti sono impostati per concentrare le acque in un unico punto a valle quando invece dovrebbero essere impostati al contrario, cioè a raggiera aperta verso valle, distribuendo in più punti le acque superficiali, per poi essere tutte colettate a valle da un unico fosso di guardia adeguatamente dimensionato.

Sulla base di quanto osservabile in superficie e dalle testimonianze degli abitanti della zona sembrerebbe che il movimento franoso sia attualmente in stato quiescenza; tale circostanza è sicuramente riconducibile alla bassa piovosità delle ultime stagioni invernali e primaverili, nonché all'efficacia dei presidi di messa in sicurezza realizzati a partire dal 2015.

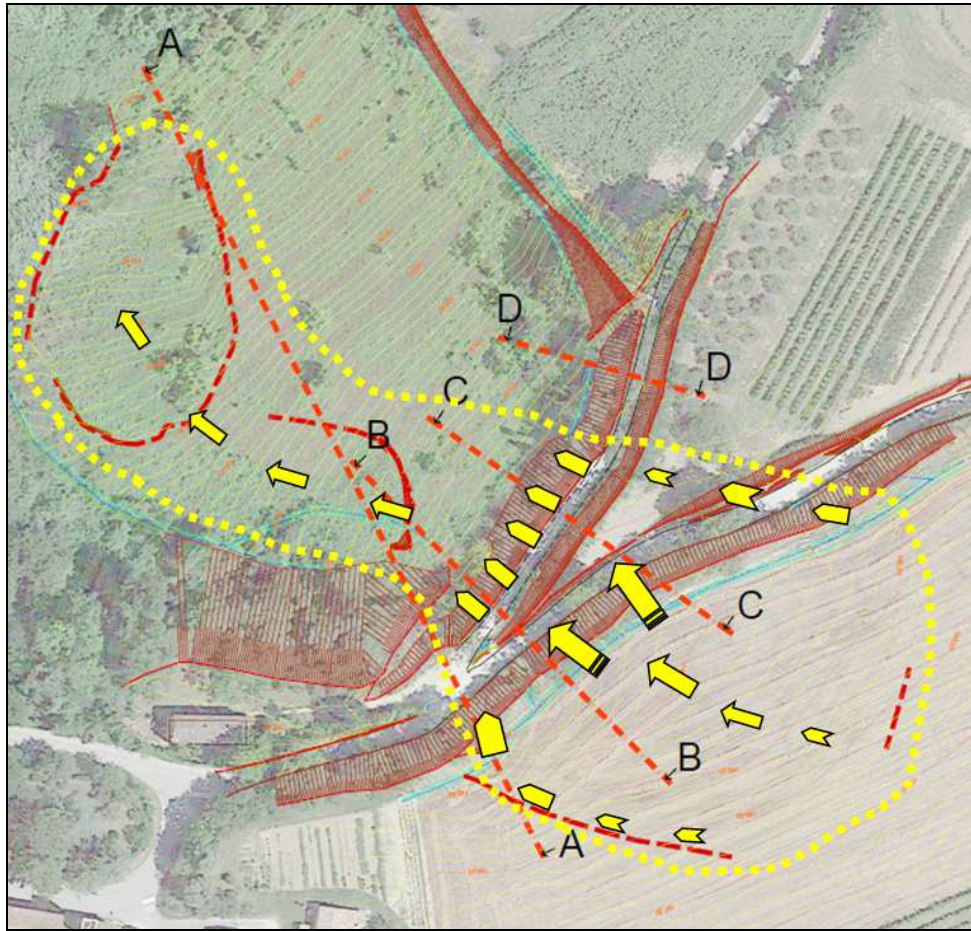


Figura 4: delimitazione dell'area in frana con indicazione schematica dei gradienti di deformazione

I fenomeni di instabilità si limitano ai depositi di copertura, mentre possono ritenersi stabili i terreni del substrato. Di conseguenza risultano stabili i settori del versante in cui gli spessori dei depositi di copertura sono minimi e l'influenza della superficie piezometrica assente. L'alto gradiente di spostamento della frana tra le zone al centro dell'impluvio e le zone marginali, quindi il conseguente effetto di taglio, è la causa principale della nicchia distacco che si è creata a monte della sede stradale, caratterizzati da spessori di copertura argillosa in graduale riduzione.

L'area non risulta perimetrata in ambito PAI. Risulta invece mappata nell'inventario dei Fenomeni Franosi in Italia (Progetto I.F.F.I. di ISPRA), e nella carta geologica-geomorfologica (progetto Carg Marche).

Premesso quanto sopra, sulla base delle risultanze delle prove in sito e dei rilievi di superficie, si ritiene che il movimento franoso sia riconducibile alla concomitante presenza di diversi fattori di seguito esposti:

1. presenza di un contesto idrogeologico instabile che si attiva a seguito di eventi piovosi persistenti,
2. tale contesto è diffuso come dimostrato dalla presenza di vaste aree in frana nei versanti limitrofi all'area in studio;

3. mancanza di una adeguata rete di regimazione delle acque superficiali che avrebbe favorito la saturazione dei depositi di copertura argillosi e, quindi, l'attivazione del fenomeno franoso retroattivo lento e costante, alimentato dal periodico cambiamento delle condizioni idrauliche che si producono in corrispondenza degli eventi piovosi stagionali;
4. presenza di un substrato siltoso-sabbioso impermeabile ovvero di un battente idraulico (strato B2-C) che favorisce l'instaurarsi di falde idriche con livelli piezometrici superficiali;
5. la forte componente argillosa dei depositi di copertura che in termini di permeabilità ostacola il deflusso delle acque di falda, e in termini minerarologici favorisce il trattenimento di acqua nei pori con la conseguente formazione di sovrappressioni neutre che favoriscono l'insorgere di fenomeni gravitativi;
6. la mancata attuazione delle semplici pratiche agricole ai fini della tutela dell'ambiente, della conservazione del suolo e della difesa dalla pericolosità, già richiamate nelle NTA del PAI con particolare riferimento alle modalità di gestione delle aree con fenomeni di dissesto attivi che comprendono *“interventi di regimazione delle acque superficiali e profonde, sistemazione a verde con associazioni vegetali autocone, con esclusione delle lavorazioni agricole”*. A tale proposito si ricorda che per il mantenimento di un assetto idrogeologico stabile, le NTA del PAI (All. B; art. 2 - Indirizzi d'uso del territorio per il settore agro-forestale) individuano apposite prescrizioni, e tra queste:
 - a. la realizzazione di **fasce di rispetto** adiacenti ai collettori ed alla viabilità anche minore, eventualmente fissando le caratteristiche delle aree caratterizzate dall'assenza di lavorazioni agrarie al fine di creare una fascia “filtro” anche con funzione antierosiva;
 - b. la **regimazione delle acque** attraverso interventi di ripristino e di manutenzione del reticolo idrografico minore al fine di garantire l'efficienza idraulica della rete scolante.

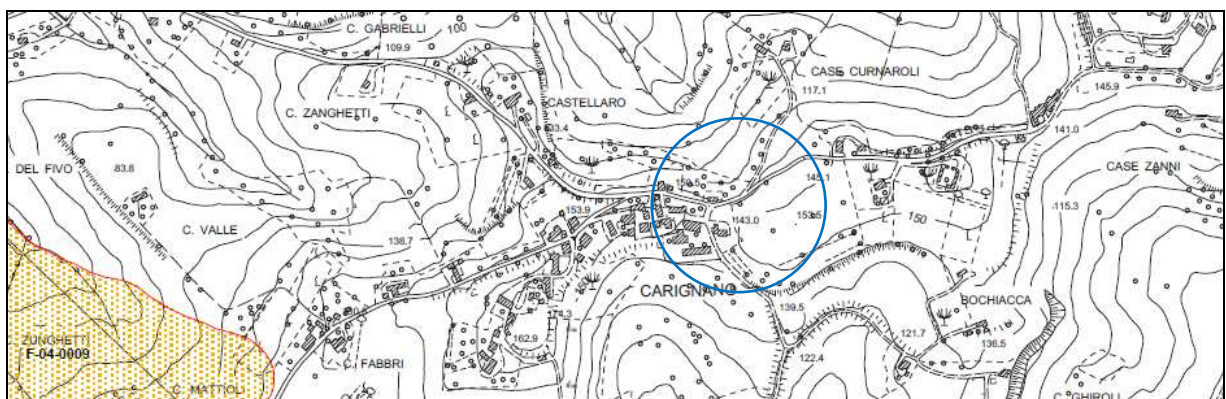


Figura 5: Estratto PAI - Tav. RI06 b.

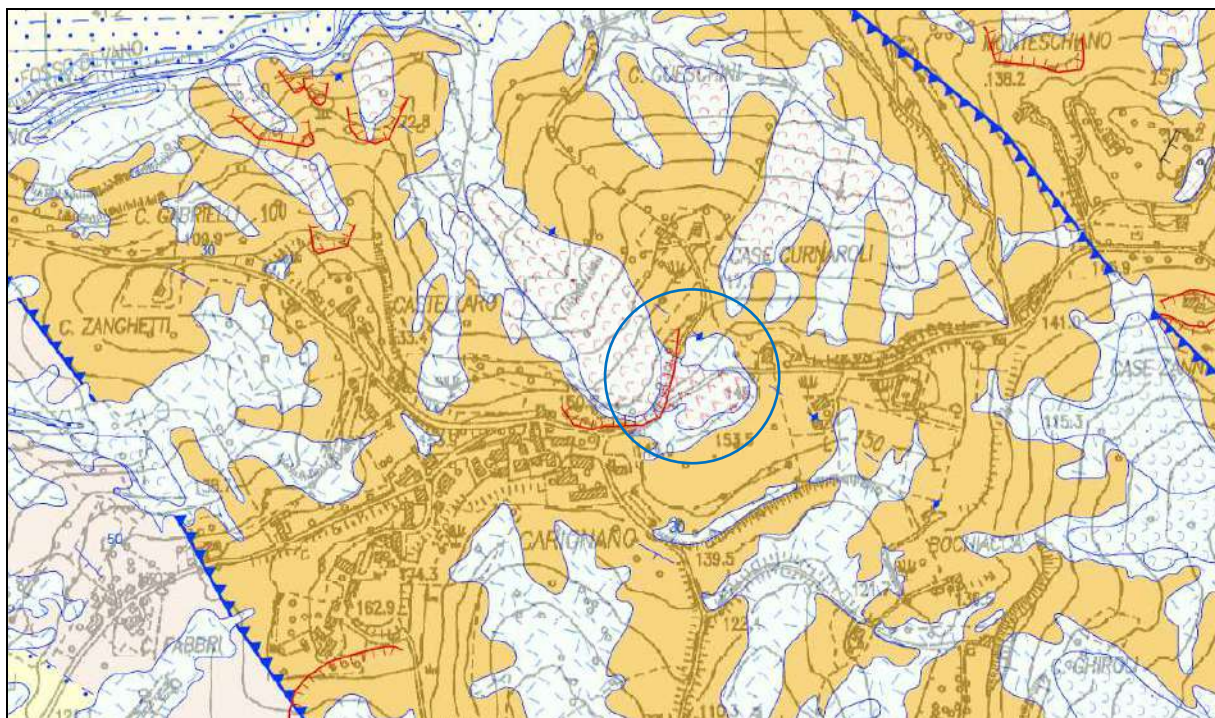
CARTA GEOLOGICA – GEOMORFOLOGICA

Figura 6: Estratto carta geologica-geomorfologica Carg Marche – Sez. 268160 CARIGNANO

LEGENDA GEOLOGICA**SUCCESSIONE UMBRO-MARCHIGIANO-ROMAGNOLA****SUCCESSIONE MIOCENICA**

FCO	FORMAZIONE A COLOMBACCI (Messiniano p.p.)
FSD	FORMAZIONE di SAN DONATO (Messiniano p.p.)
GS	GESSOSO SOLFIFERA Messiniano p.p.
SCH	SCHLIER (Burdigaliano superiore p.p. - Messiniano inferiore p.p.)

DEPOSITI CONTINENTALI QUATERNARI**(OLOCENE)**

MUSa1	Frane in evoluzione
MUSa1a	Frana antica
MUSa1q	Frana senza indizi di evoluzione
MUSa1s	Frana di scorrimento con indizi di evoluzione
MUSa1qs	Frana di scorrimento senza indizi di evoluzione
MUSa	Depositi di versante
MUSb2	Deposito eluvio colluviale

Intergeo s.r.l. - Servizi Geologici - info@intergeosm.com

Prova Penetrometrica Statica

Prova n.: CPT 1
Cantiere: Fano (PU) - Loc. Carignano
Data: Giugno 2022

Quota inizio: piano campagna
Liv.falda: assente
Note:

Classificazione orientativa dei terreni (Schmertmann - 1978)

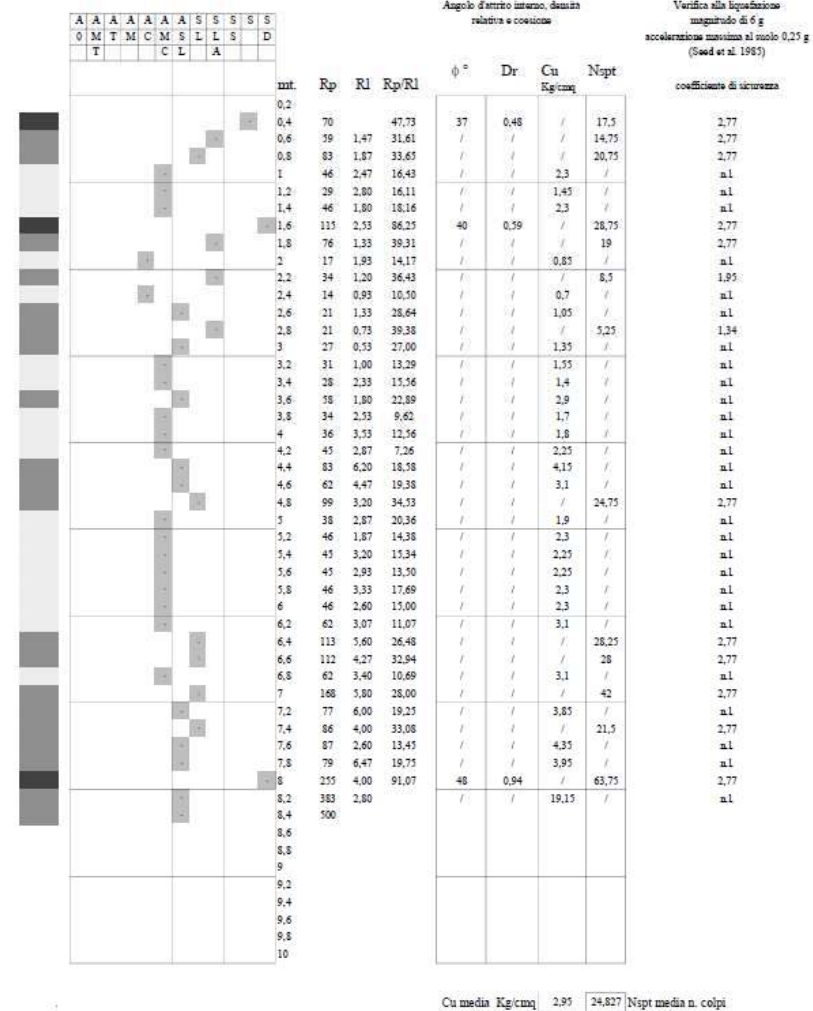
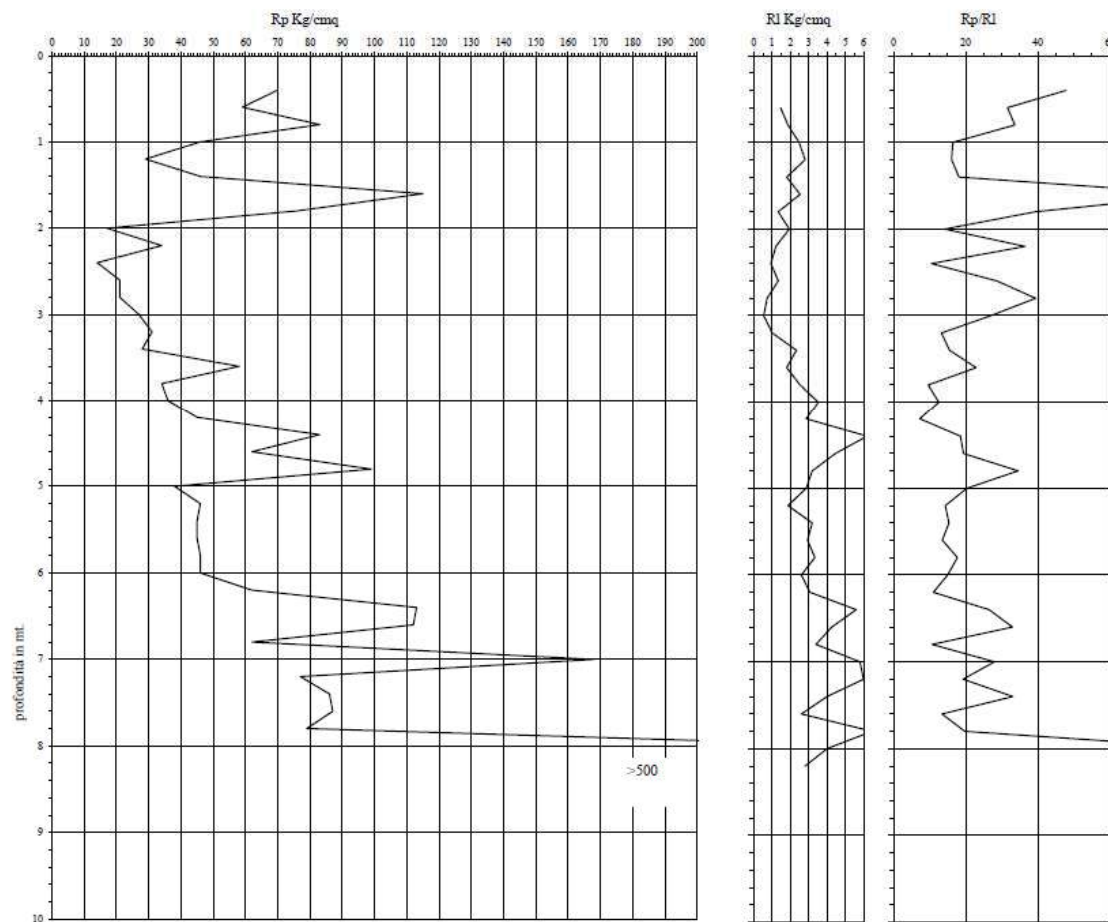


Figura 7: prova CPT 10 eseguita nel mese di giugno 2022 in prossimità del Sond. S1 (2019). Lo spessore dello strato A di riporto è pari a circa 3 m.

RELAZIONE SU INDAGINI, CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOTECNICA

7. Indagini di caratterizzazione geotecnica.

Per la caratterizzazione del modello geotecnico, in ottemperanza ai contenuti del Cap. 6 del D.M.I. 17/01/2088 si è fatto riferimento alle prove geotecniche e sismiche in sito, e al sondaggio documentati nelle relazioni del 2015 e del 2020. L'indagine è stata completata mediante la realizzazione di un rilievo topografico di dettaglio dell'area, dal rilievo dei sottoservizi presenti e dall'esecuzione di un'ulteriore prova CPT (n° 10 giu 2022) utile alla taratura dei dati prelevati nel sondaggio a carotaggio continuo realizzato nel mese di agosto 2019.

In sintesi si è proceduto come segue:

- a. Definizione della stratigrafia del versante mediante l'utilizzo di n° 10 prove penetrometriche statiche CPT da 20 kN con puntale del tipo Begemann;
- a. Ricostruzione del modello geofisico del sito indagine sismica a rifrazione, e valutazione del parametro Vs30 ovvero della velocità di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità;
- b. Esecuzione di rilievo plano-altimetrico dell'intero versante e delle verticali indagate con stazione GPS satellitare TOPCON;
- c. Rilevamento geologico, geomorfologico e idrogeologico di superficie;
- d. Mappatura di tutti i sottoservizi (fogna nera, fogna bianca, acquedotto, rete gas);

Nella figura che segue sono riportati tutti i dati di cui sopra tratti e integrati dalle relazioni geologiche redatte nel 2015 e nel 2019.

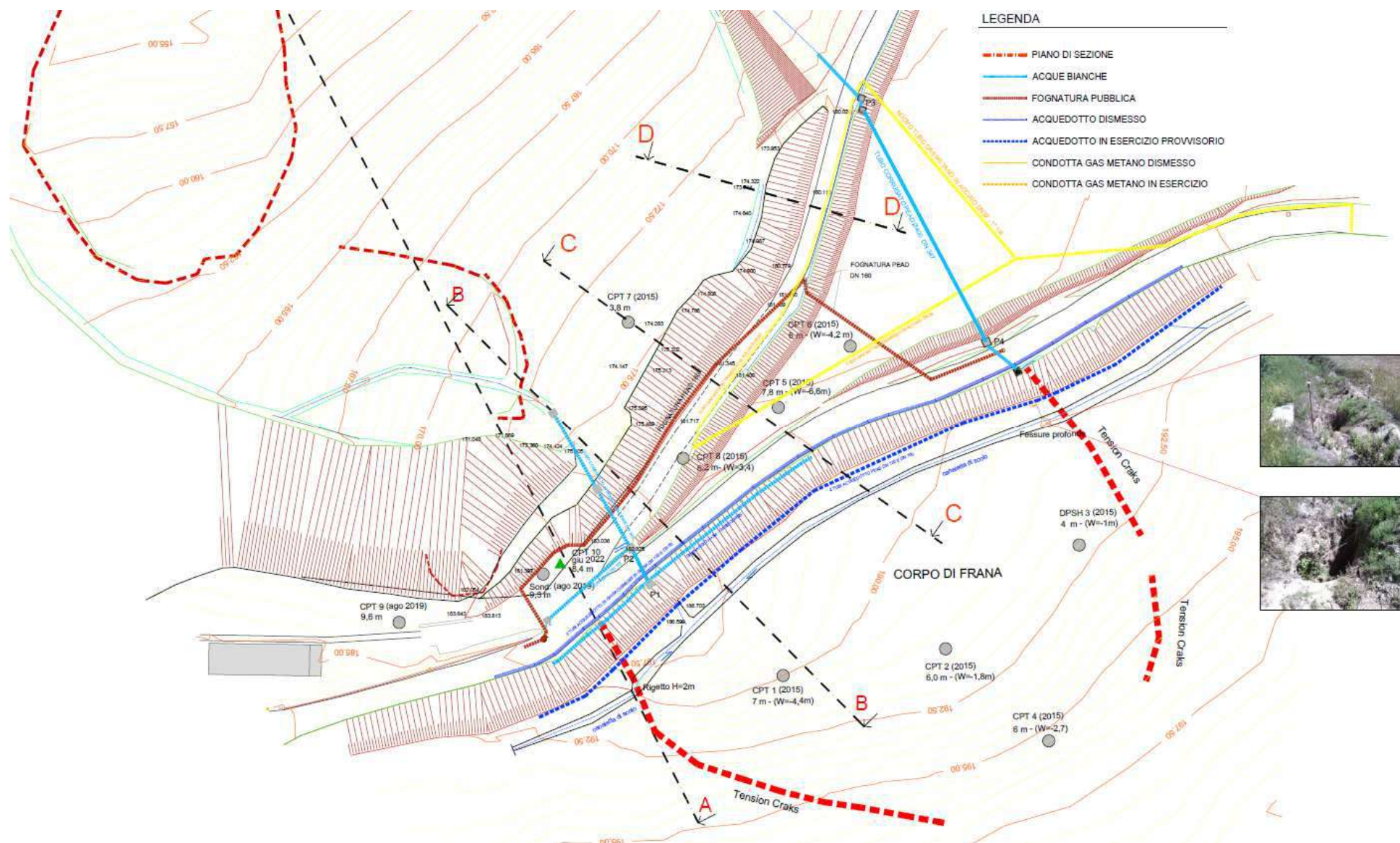


Figura 8: Planimetria generale con rilievo delle reti e ubicazione delle prove in sito CPT e del sondaggio (Tav. A2-b)

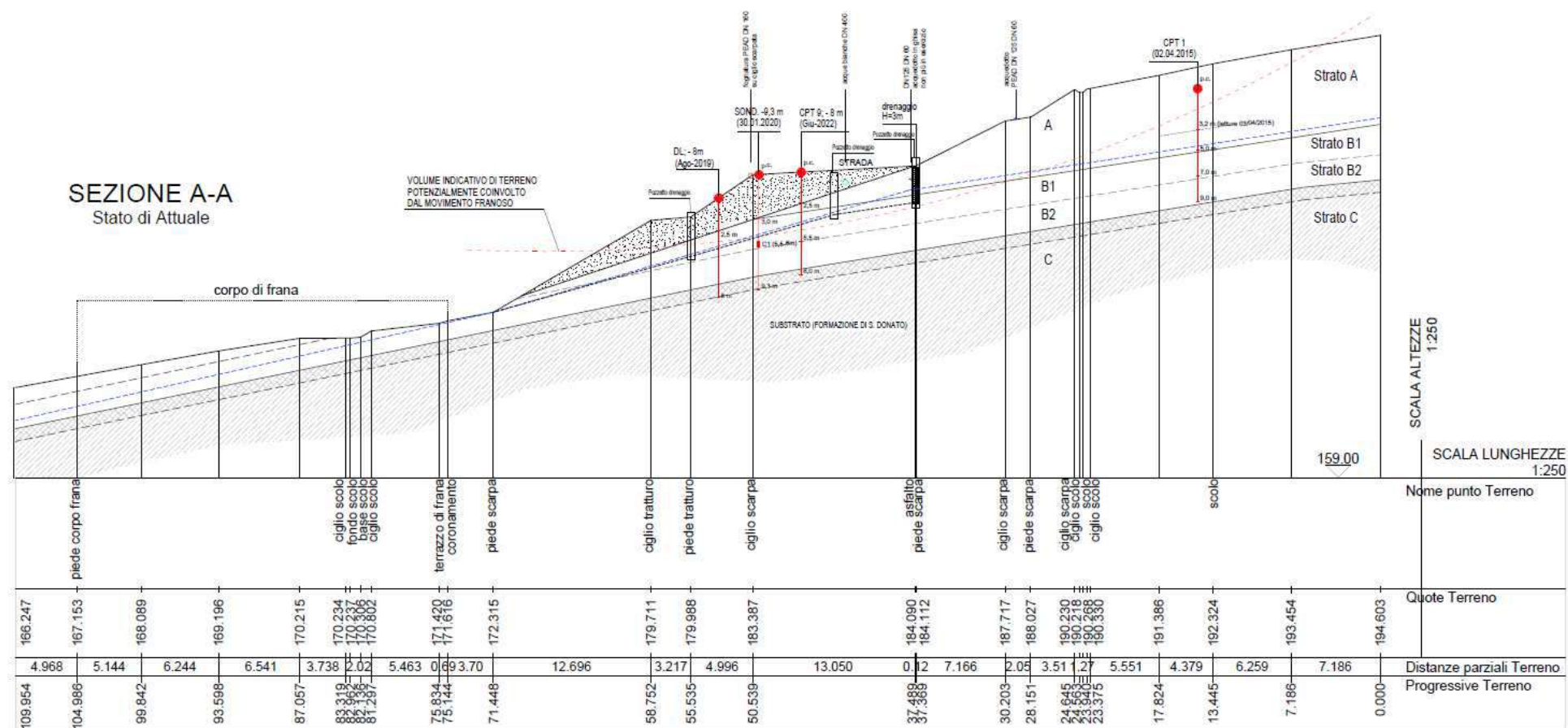


Figura 9: Sezione geologica A-A

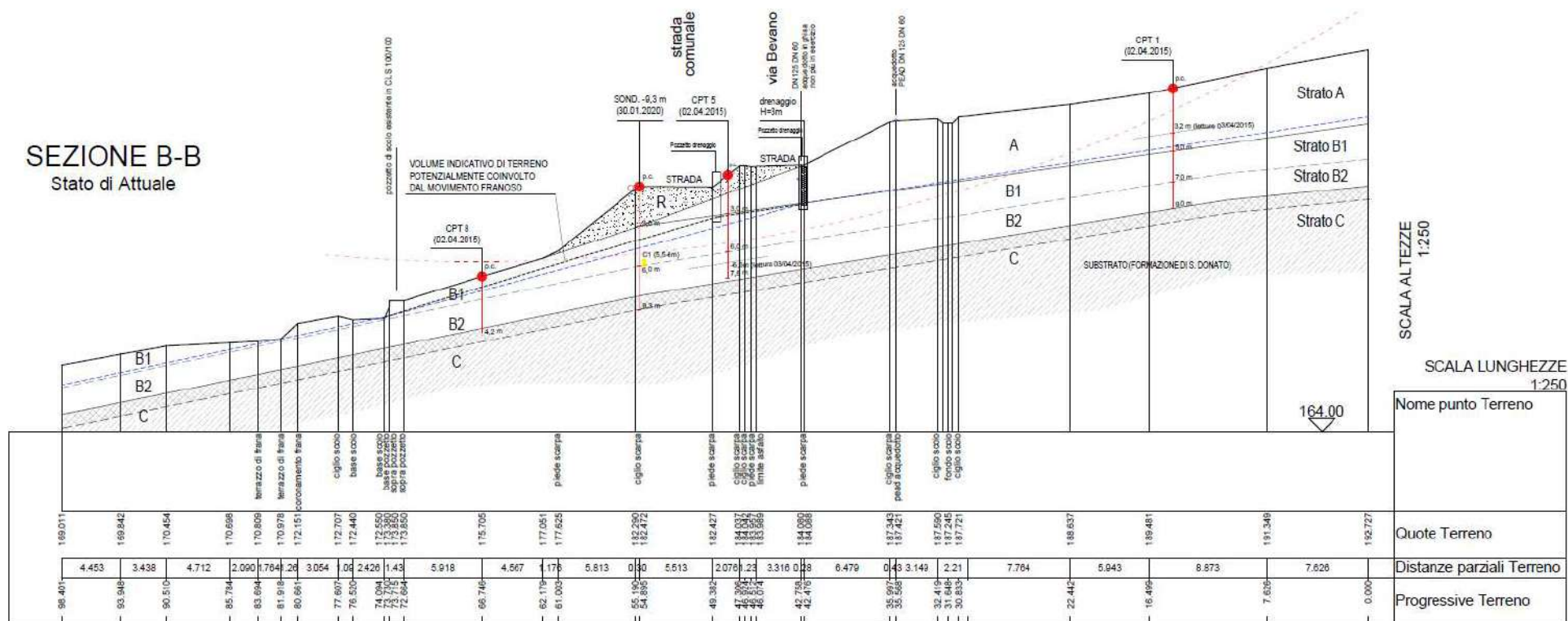


Figura 10: Sezione geologica B-B

8. Vita nominale, Classe d'uso e Periodo di riferimento

1. Vita Nominale $V_N \geq 50$ anni (§ 2.4.1).
2. Classe d'uso II (§2.4.2) e Coefficiente d'uso $C_U=1$.
3. Periodo di riferimento $V_R=50$ anni.

9. Categoria Topografica

La categoria topografica contraddistinta con sigla T è funzione della morfologia ed in particolare del grado di inclinazione e dell'eventuale distanza da un versante o parte scoscesa. Nel caso specifico si ha una situazione con inclinazione media del versante minore di 15° per cui si ricade nella categoria topografica T2. I dati sono stati tratti dalla relazione geologica Pelonghini-Castellani del 2015.

Categoria	Caratteristiche delle superfici topografiche
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in testa molto minore che alla base e inclin. media $15 \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in testa molto minore che alla base e inclin. media $i > 30^\circ$

Ad ogni categoria topografica corrisponde un coefficiente di amplificazione topografica.

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera dell'intervento	ST
T1	-	1
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1.2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1.3
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1.4

Per la categoria T2 si ha un coeff. di amplificazione topografica $ST = 1.2$

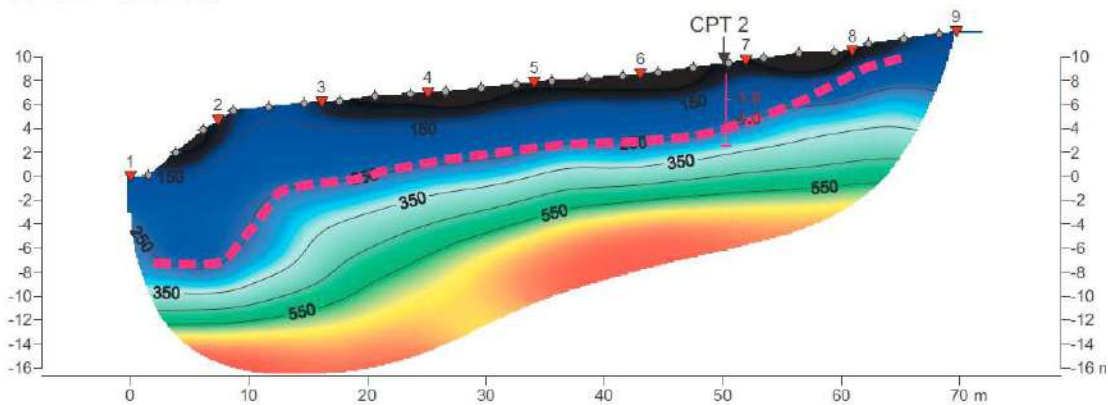
10. Categoria di sottosuolo.

I dati relativi alla categoria di sottosuolo sono stati tratti dalla relazione geologica Pelonghini-Castellani del 2015. Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{S,eq}$ è definita dal parametro $V_{S,30}$:

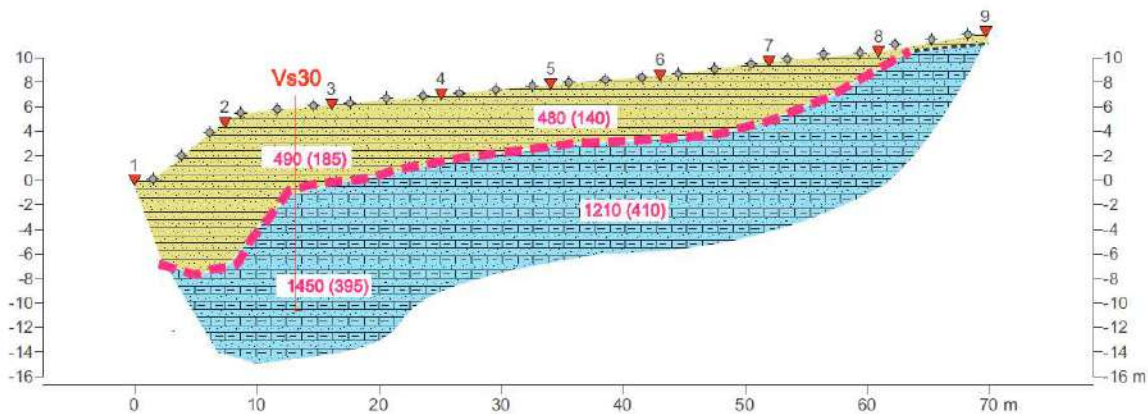
$$V_{S,30} = 312 \text{ m/sec}$$

Tale valore identifica terreni di fondazione in Categoria C (Tab. 3.2. II NTC2018).

Profilo Onde Sh



Profilo sismostratigrafico interpretativo



(N.T.C. 2018_Tabella 3.2.II):

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
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.
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

11. Modello geotecnico e dati sismici di progettazione.

Per la definizione del modello geotecnico si è fatto riferimento a quanto riportato nella Circolare 21 gennaio 2019, n° 7/C.S.LL.PP. di cui al D.M. 17 gennaio 2018.

«C.6.3.3 MODELLAZIONE GEOTECNICA DEL PENDIO:... La definizione del modello geotecnico può essere utilmente orientata a seconda che si sia in presenza di una frana o di un pendio naturale del quale occorra valutarne la stabilità. Nel primo caso, il riconoscimento della superficie di scorrimento fornisce indicazioni essenziali per l'ubicazione dei piezometri. Inoltre, poiché il fenomeno in atto comporta il valore unitario del coefficiente di sicurezza, tramite delle analisi a ritroso è possibile calibrare i valori dei parametri di resistenza del terreno compreso nella fascia di scorrimento.»

«6.3.4. VERIFICHE DI SICUREZZA Le verifiche di sicurezza devono essere effettuate con metodi che tengano conto del tipo di frana e dei possibili cinematismi, considerando forma e posizione della eventuale superficie di scorrimento, le proprietà meccaniche dei terreni e degli ammassi rocciosi e il regime delle pressioni interstiziali. Nel caso di pendii in frana le verifiche di sicurezza devono essere eseguite lungo le superfici di scorrimento che meglio approssimano quella/e riconosciuta/e con le indagini».

Trattandosi di versante con fenomeno franoso in atto, la definizione dei parametri di resistenza caratteristici (X_k) è stata eseguita per mezzo di modellazione allo stato attuale in *back analysis* lungo le superfici di scorrimento riconosciute con le indagini eseguite, assumendo un fattore di sicurezza unitario; i valori medi di resistenza ottenuti, in considerazione del volume significativo di terreno, sono approssimabili ai parametri di resistenza caratteristici (X_k).

Le condizioni di partenza per la verifica in back analysis dei terreni coinvolti dal movimento franoso sono le seguenti:

- falda prossima al piano campagna, come misurato nel corso del monitoraggio;
- verifiche eseguite lungo superfici di scorrimento che meglio approssimano quella riconosciuta in loco, ed in particolare con superfici a sviluppo variabile da 50 a 100 m;
- fattore di sicurezza unitario;

Applicando ai parametri di resistenza caratteristici i coefficienti parziali di sicurezza di cui alla Tab 6.2.II (D.M. 17.01.2018) relativamente all'Approccio 1, Combinazione (A2+M2+R2), sono stati definiti i seguenti parametri geotecnici di progetto (X_d):

Parametri caratteristici	Gamma kN/mc	gamma sat. kN/mc	Coesione kPa	Angolo attrito int. °
Riporto R	18,0	18,5	0,0	30,0
Strato A	19,0	19,5	1,5	22,0
Strato B1	19,5	20,0	2,5	24,0
Strato B2	20,0	21,0	15,0	26,0
Strato C	22,0	22,5	30,0	30,0

Parametri di progetto	Gamma kN/mc	gamma sat. kN/mc	Coesione kPa	Angolo attrito int. °
Riporto R	18,0	18,5	0,0	24,8
Strato A	19,0	19,5	0,0	17,9
Strato B1	19,5	20,0	2,0	19,6
Strato B2	20,0	21,0	12,0	21,3
Strato C	22,0	22,5	24,0	24,8

Tabella 1: Parametri caratteristici e di progetto ricavati mediante back analysis

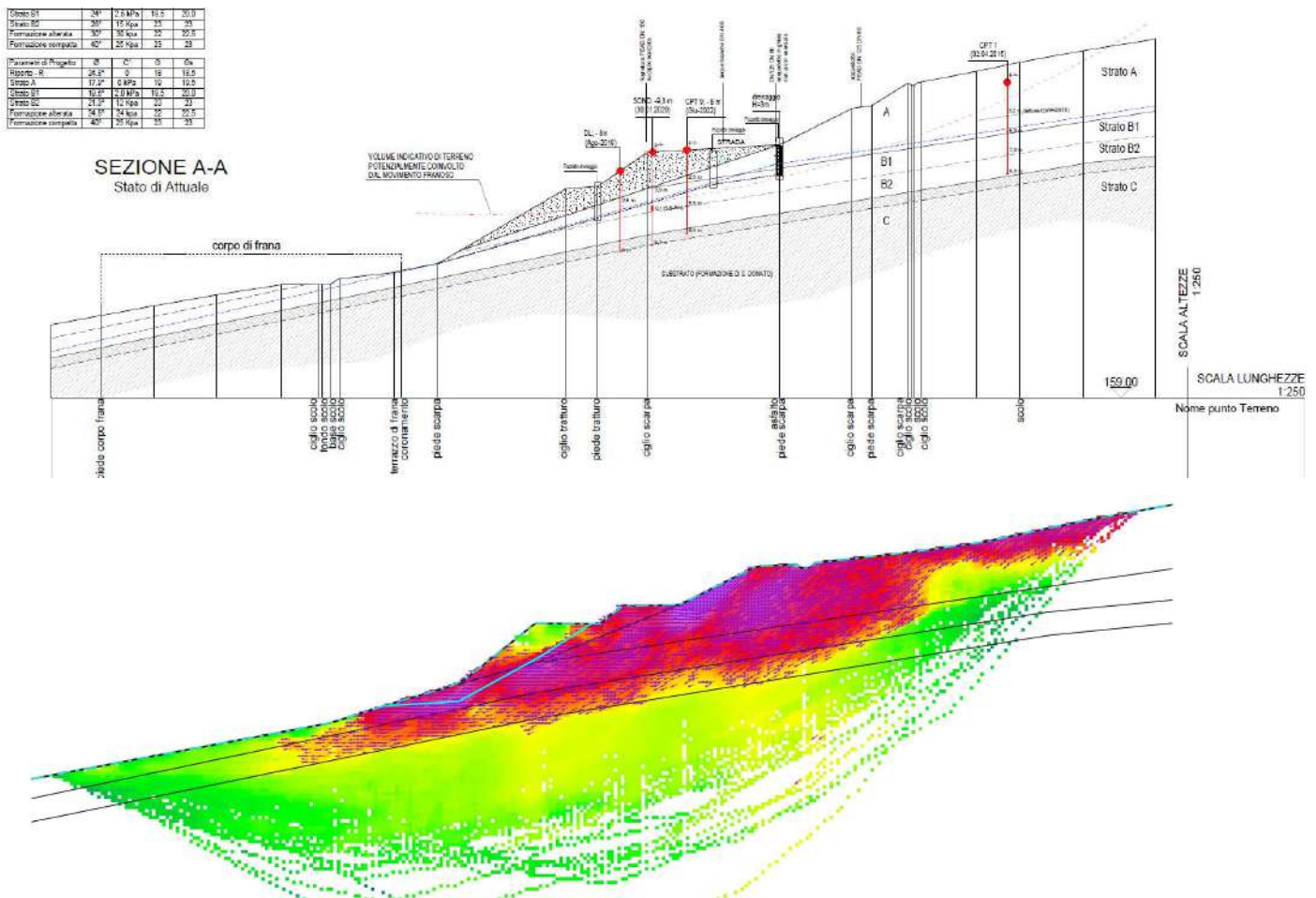


Figura 11: Modellazione della Sez. A-A mediante back analysis ($F_s=0,56-0,81$)

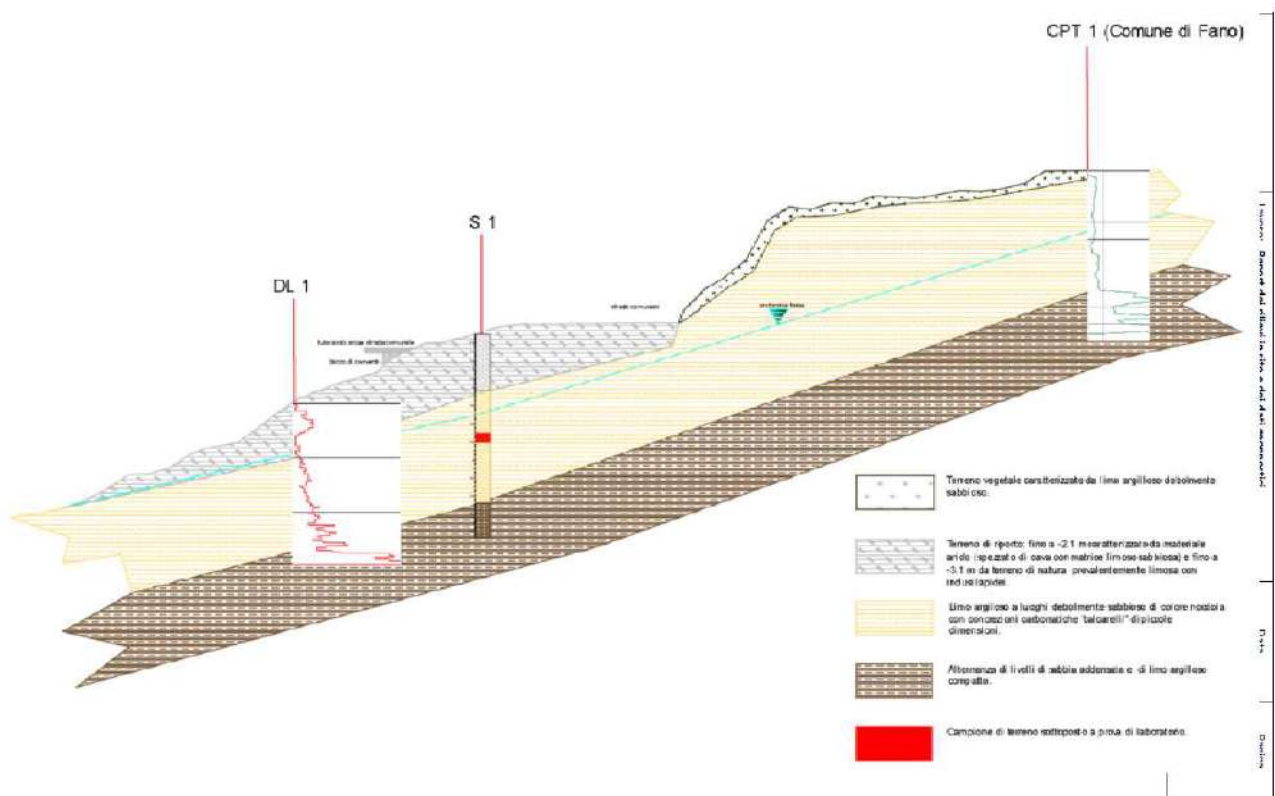


Figura 12: Sezione Geologica tratta dallo studio Rondoni e Darderi.

Per le verifiche di sicurezza allo stato attuale e di progetto, in condizioni statiche e sismiche, è stato utilizzato un coefficiente $\gamma_{R2} = 1,1$.

I coefficienti sismici utilizzati nell'analisi sismica allo SLV sono i seguenti.

Sito in esame:

latitudine: 43.824387
 longitudine: 12.933167
 Classe: 2
 Vita nominale: 50
 Categoria di sottosuolo C
 Categoria Topografica T2

Parametri sismici Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %
 T_r : 475 [anni]
 a_g : 0,184 g
 F_o : 2,483
 T_c^* : 0,298 [s]

Coefficienti Sismici Stabilità dei pendii (SLV):

S_s : 1,430
 C_c : 1,570

St:	1,200
Kh:	0,076
Kv:	0,038
Amax:	3,099
Beta:	0,240

Coefficienti Sismici Opere di sostegno (SLV):

Ss:	1,430
Cc:	1,570
St:	1,200
Kh:	0,120
Kv:	0,060
Amax:	3,099
Beta:	0,380

Il metodo di analisi utilizzato è il metodo di Morgenstern-Price (1965). Il codice di calcolo utilizzato è SSAP 4.9.9 - Slope Stability Analysis Program (1991,2018). Nelle figure che seguono si riportano le sezioni oggetto di verifica.

12. Verifica al Potenziale di Liquefazione

I terreni presenti sono terreni coesivi limoso-argillosi, da compatti a molto compatti. Vista la natura e le caratteristiche di compattazione si può ritenere che non vi siano le condizioni affinché si possa verificare il fenomeno della liquefazione nel corso di un evento sismico. Non si ritiene pertanto necessario eseguire la verifica del potenziale alla liquefazione del sito in esame.

13. Proposte d'intervento

Partendo dal basso, gli interventi di **Primo Stralcio** prevedono quanto segue (Tavv. A3-A4-A5):

- realizzazione di pista di accesso a valle di via del boschetto;
- pulizia delle scarpate da alberi e arbusti limitatamente alle zone d'intervento e preparazione delle aree per l'operatività di cantiere;
- pulizia del fosso a valle del pozzetto n° 3 e realizzazione di opere di protezioni con materassini Reno o geogriglie antierosione;
- livellamento dei movimenti franosi a valle del punto attuale di scarico delle acque meteoriche;
- realizzazione di nuovo fosso di scolo protetto con materassini Reno o geogriglie antierosione in cui saranno immesse le acque di cui al punto precedente;
- realizzazione in progressione delle gabbionate G1-G2-G3, dotate di fondazione a platea su pali.

Le gabbionate G1 e G3 saranno dotate di tiranti passivi;

STUDIO DI INGEGNERIA E GEOLOGIA GEOL. ING. DIEGO TALOZZI

Via XXIV Maggio n. 19 - 61049 URBANIA (PU) - ☎ (0722) 317881 - E.mail: dtalozzi@libero.it

- g) realizzazione di drenaggi sub-orizzontali a tergo delle gabbionate per garantire l'abbattimento della superficie piezometrica alle quote di progetto;
 - h) realizzazione di nuova rete di raccolta delle acque meteoriche e di drenaggio. In particolare le acque provenienti da monte saranno collettate ed inviate al vicino fosso demaniale. Solamente le acque provenienti dal sistema di drenaggio Gabbiodren, saranno convogliate a valle mantenendo le condotte esistenti; infatti la quota alla base del drenaggio (3 m rispetto al piano stradale), non permette soluzioni alternative. Si stima tuttavia che tali portate siano minime e occasionali, cioè presenti solo in occasione di eventi piovosi persistenti. Al fine di proteggere il punto di uscita in superficie rispetto a potenziali fenomeni erosivi, e comunque al fine di evitare ogni tipo di aggravio in termini di apporti idrici in zone con movimenti franosi, sarà realizzato un nuovo fosso di scolo protetto con materassini tipo dreno o geogriglie antierosione, previo livellamento dei movimenti franosi;
 - i) ripristino dei sottoservizi; in particolare la rete delle acque nere e l'acquedotto saranno a carico dell'Ente gestore;
 - j) realizzazione di un fosso di guardia a monte della strada di Via Bevano e protezione del punto di confluenza delle acque meteoriche superficiali con materassini Reno;
 - k) realizzazione, a cura del conduttore del fondo, di un efficace sistema di raccolta delle acque superficiali mediante la realizzazione di una fitta rete di solchi acquai come schematicamente indicato nella Tav. A3.**
- Interventi di Secondo Stralcio**

Gli interventi di **Secondo Stralcio**, non oggetto del presente appalto, partono appunto da tale principio e prevedono la realizzazione di una rete di trincee drenanti che garantiranno, unitamente alla realizzazione dei dreni sub-orizzontali e agli interventi di regimazione delle acque superficiali, il completo drenaggio del corpo di frana. Gli interventi si completano con la gabbionata G4 in prosecuzione della gabbionata G3. Si stima che l'importo dei lavori di secondo stralcio sia paragonabile al primo. Nella Tav. 3 sono riportati gli interventi di Primo e Secondo Stralcio.

SI PRECISA CHE GLI INTERVENTI DI PRIMO E SECONDO STRALCIO SONO STRETTAMENTE INTERCONNESSI AI FINI DEL CONFERIMENTO DI UN ASSETTO IDROGEOLOGICO STABILE DELL'INTERA AREA.

14. Sintesi delle verifiche di stabilità del versante

Le verifiche di stabilità sono state eseguite utilizzando i parametri di progetto di cui all'Approccio 1 combinazione (A2+M2+R2), cioè riducendo parametri geotecnici caratteristici con i coefficienti parziali di cui alla Tab 6.2.II. delle NTC 2018.

Per le verifiche di sicurezza, in condizioni statiche e sismiche, è stato utilizzato un coefficiente $\gamma_{R2}=1,1$. I parametri geotecnici utilizzati nella verifica di stabilità sono i seguenti:

Parametri di progetto	Gamma kN/mc	gamma sat. kN/mc	Coesione kPa	Angolo attrito int. °
Riporto R	18,0	18,5	0,0	24,8
Strato A	19,0	19,5	0,0	17,9
Strato B1	19,5	20,0	2,0	19,6
Strato B2	20,0	21,0	12,0	21,3
Strato C	22,0	22,5	24,0	24,8

Tabella 2: Modello geotecnico con parametri geotecnici di progetto

I coefficienti utilizzati per la verifica di stabilità del versante in condizioni sismiche sono i seguenti.

- Categoria di sottosuolo C
- Categoria Topografica T2
- Coefficienti Sismici Stabilità dei pendii (SLV) Kh: 0,076

Il metodo di analisi utilizzato è il metodo di Morgenstern-Price (1965). Il codice di calcolo è SSAP 4.9.9 - Slope Stability Analysis Program (1991,2018).

I risultati numerici ottenuti dalle verifiche di stabilità sono strettamente funzione delle ipotesi di modellazione implementate nel software di calcolo, pertanto vanno interpretate alla luce di quello che effettivamente rappresentano e cioè una “stima del livello di sicurezza allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita”. D'altronde si può certamente affermare che nel curare il modello di calcolo si è cercato di rappresentare nel modo migliore possibile il presunto comportamento del versante, ricorrendo anche a diversi livelli di modellazione, in modo da identificare una sorta di “dominio dei comportamenti” in campo statico e sismico, all'interno del quale si possa ragionevolmente credere che si trovi la situazione “reale”.

Tutto questo ovviamente deve tener conto del fatto che la natura di un versante naturale non potrà mai essere conosciuta in modo completo e che quindi è lecito aspettarsi delle incertezze che dovrebbero comunque essere “coperte” dai coefficienti di sicurezza utilizzati nel calcolo.

Sono state quindi verificate le seguenti configurazioni:

▪ **STATO ATTUALE**

- | | |
|---|--------------|
| 1. Cond. Statiche con falda a p.c.: | $F_s = 0,56$ |
| 2. Cond. Statiche con falda sotto Strato A | $F_s = 0,76$ |
| 3. Cond. Statiche con falda sotto Strato B1 | $F_s = 1,23$ |

▪ **STATO DI PROGETTO**

- | | |
|--|-------------------|
| 4. Cond. Statiche, senza pali, falda p.c.: | $F_s = 0,56$ |
| 5. Cond. Statiche, falda p.c.: | $F_s = 0,42-0,97$ |
| 6. Cond. Statiche, falda – 3m: | $F_s = 1,49$ |
| 7. Cond. Sismiche ($K_h = 0,076$), falda – 3m: | $F_s = 1,28$ |
| 8. Cond. Sismiche ($K_h = 0,120$), falda – 3m: | $F_s = 1,11$ |

Alla luce dei risultati delle verifiche analitiche eseguite sono emerse le seguenti criticità:

- per il mantenimento di un assetto idrogeologico stabile risulta necessario controllare il regime delle pressioni interstiziali, cioè evitare che si instaurino condizioni per cui il livello piezometrico si approssimi al piano campagna e che si abbia la completa saturazione dei terreni di copertura;
- allo stato attuale si osserva che alla graduale riduzione della superficie piezometrica, corrisponde un graduale aumento del fattore di sicurezza. In particolare la Verifica n° 3 dimostra come con la sola riduzione del livello piezometrico sotto lo Strato B1, evitando cioè che si saturino i terreni di copertura più superficiali (Strato A e B1), si ha una sostanziale stabilità del versante come di fatto ad oggi riscontrabile (primavera-estate 2022), cioè in periodi siccitosi, in cui il movimento franoso risulta in stato di quiescenza. La verifica n° 2 dimostra altresì come il versante si instabilizzi già con superficie piezometrica prossima allo Strato B1. L'attuale stato di quiescenza dimostra anche che la falda è di tipo stagionale, cioè attiva soprattutto nei periodi con precipitazioni persistenti;
- allo stato di progetto risulta quindi di fondamentale importanza realizzare opere di contenimento drenate, evitare la saturazione dei terreni di copertura, e impedire l'innalzamento della superficie piezometrica. Le opere di contenimento saranno quindi costituite da tre ordini di gabbionate con platee di fondazione su pali e tiranti (Tav. A4-A5). Le strutture di fondazioni sono state dimensionate per offrire un adeguato incremento di resistenza al taglio lungo le potenziali superfici di scorrimento, non inferiore a 150 kN/m (Verifica 1). In particolare, nella configurazione di progetto, a condizione che si mantenga un

livello piezometrico al di sotto di - 3 m dal p.c. (ottenibile per effetto delle opere di drenaggio e delle opere di regimazione superficiale), si raggiungono le condizioni di stabilità, con un fattore di sicurezza F_s superiore a 1,5 in condizioni statiche (verifica n° 6);

- Le verifiche eseguite allo stato di progetto evidenziano altresì la necessità di eseguire opere di rafforzamento corticale per la stabilizzazione della coltre superficiale a monte della Gabbionata G1 realizzabili mediante la posa di Geocompositi preaccoppiati, oppure con biostuoie idroseminate, entrambe idatte per impedire l'infiltrazione di acque piovane.

Le verifiche di stabilità, in conclusione, mettono in evidenza l'importanza di mantenere il corpo di frana il più possibile in condizioni drenate, evitare cioè la saturazione dei terreni di copertura e impedire l'innalzamento della superficie piezometrica.

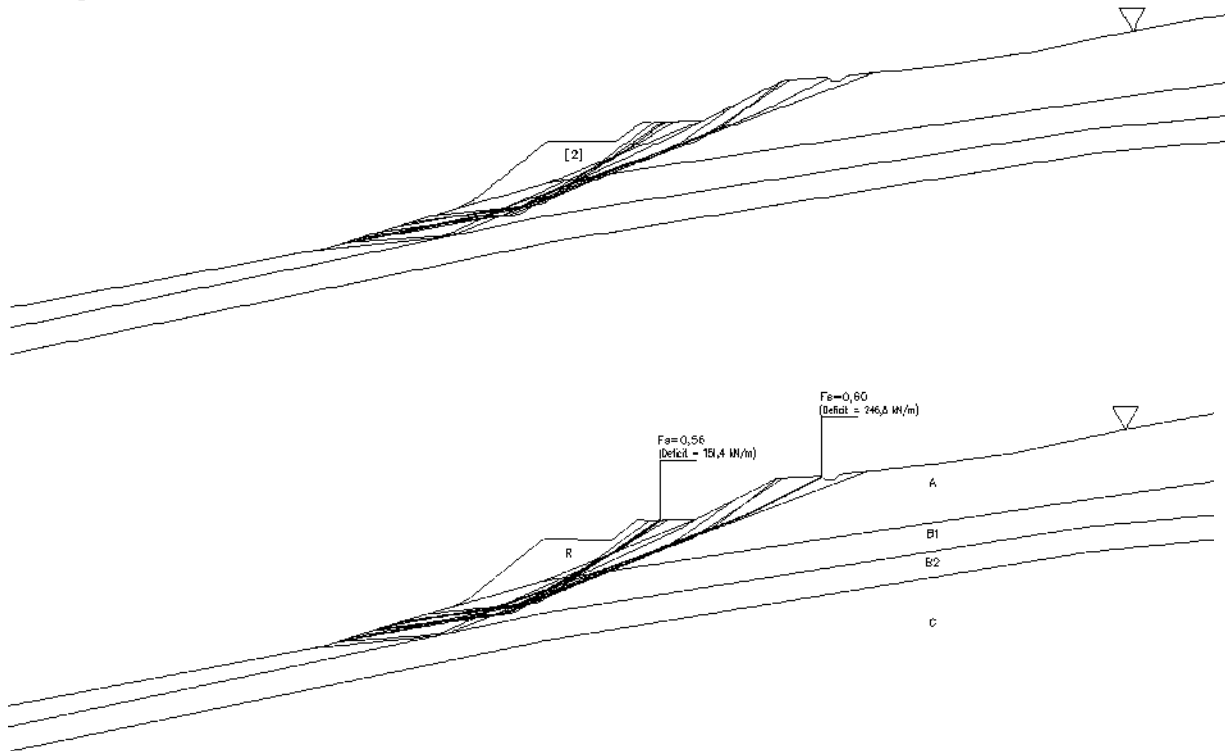
L'esperienza maturata in simili contesti dimostra che la realizzazione di un efficace sistema di raccolta delle acque superficiali mediante la realizzazione di una fitta rete di solchi acquai (come schematicamente indicato nella Tav. A3), risulta determinante. In tal senso sarà fondamentale la corretta attuazione delle semplici pratiche agricole ai fini della prevenzione dei fenomeni di dissesto, della conservazione del suolo e della difesa dalla pericolosità.

Risulta altresì determinante la realizzazione di opere di contenimento drenanti e la realizzazione di dreni suborizzontali al fine di evitare la saturazione degli strati più profondi. Le condizioni di stabilità di un pendio naturale sono infatti regolate dal rapporto tra la resistenza al taglio disponibile sulla superficie di scorrimento e le tensioni tangenziali agenti su di essa.

L'intervento di stabilizzazione di tutto il versante a monte sarà definitivo solo a seguito della realizzazione delle trincee drenanti previste nel Secondo Stralcio che, pertanto, costituisce un intervento di completamento. Si prevede infatti la realizzazione di una serie di trincee drenanti di profondità variabile da 3 a 4 m dal piano campagna come mostrato nell'elaborato grafico A3.

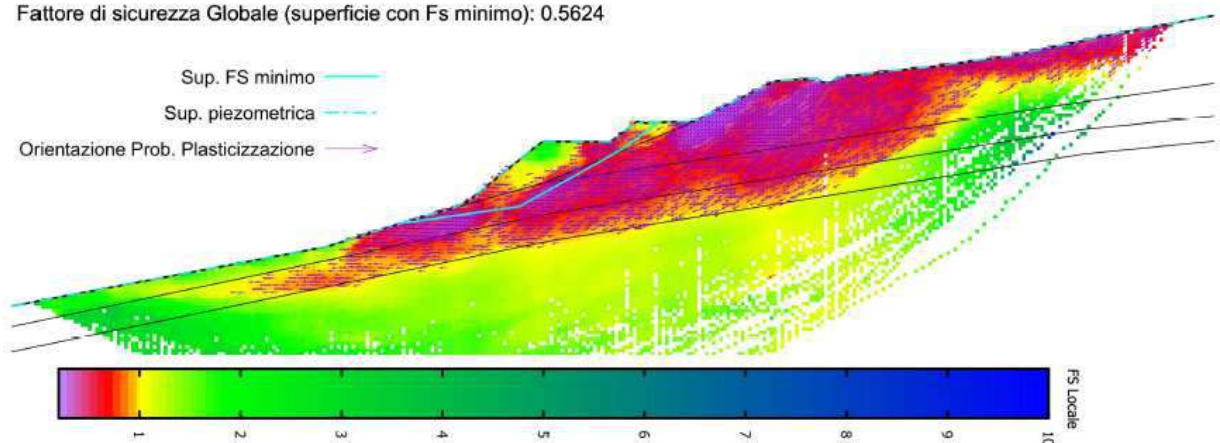
VERIFICA di STABILITA' n° 1
STATO ATTUALE
 Verifica in condizione statiche
 Falda piano campagna
 $F_s = 0,56 - 0,64$
 (Fattore di sicurezza minimo di 10 superfici su 1000 analizzate)

SSAP 5.0 (2020) – Slope Stability Analysis Program
 F_s minima : 0.5624
 Range F_s : 0.5624 0.6424



Fattore di sicurezza Globale (superficie con F_s minimo): 0.5624

Sup. F_s minimo —
 Sup. piezometrica —
 Orientazione Prob. Plasticizzazione →



ANALISI DEFICIT DI RESISTENZA RELATIVI ALLE 10 SUPERFICI GENERATE CON MINOR F_s

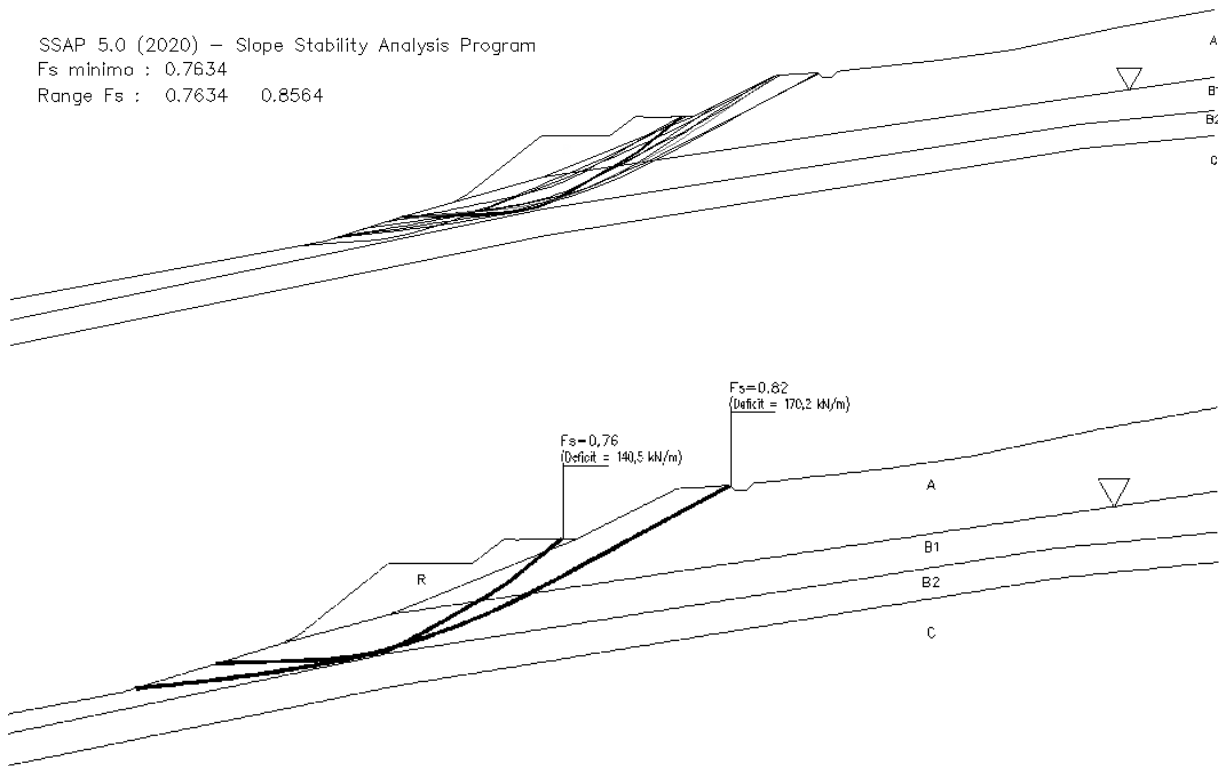
Analisi Deficit in riferimento a $F_s(\text{progetto}) = 1.100$

Valore di DEFICIT di RESISTENZA(kN/m): minimo -151,4 kN/m; massimo -246.8 kN/m

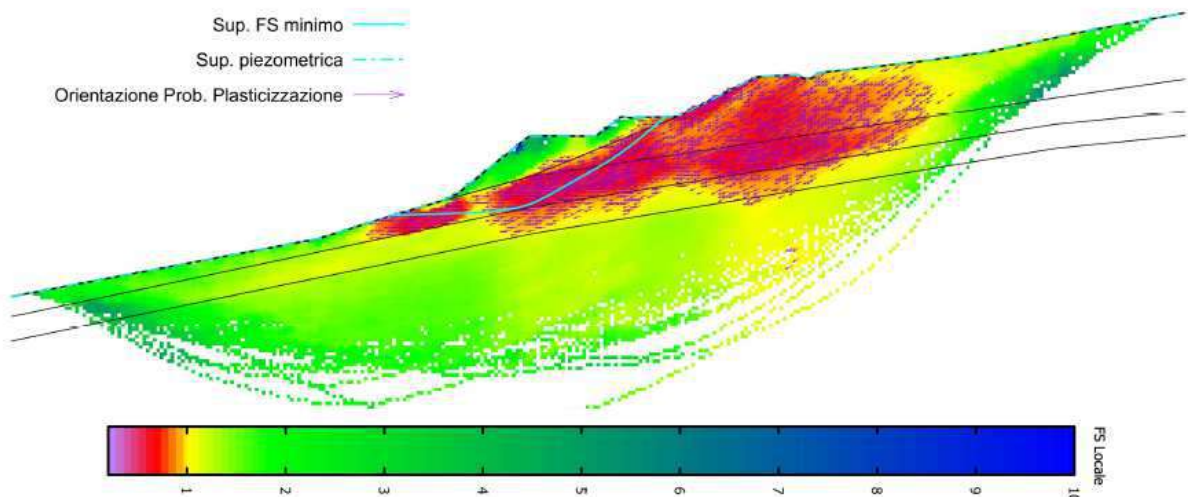
Il Deficit o il Surplus di resistenza viene espresso in kN/metro di LARGHEZZA rispetto al fronte della scarpata

VERIFICA di STABILITA' n° 2
STATO ATTUALE
 Verifica in condizione statiche
 Falda su B1-B2-C (strati A ed R drenati)
 $F_s = 0,76 - 0,85$
 (Fattore di sicurezza minimo di 10 superfici su 1000 analizzate)

SSAP 5.0 (2020) – Slope Stability Analysis Program
 F_s minimo : 0.7634
 Range F_s : 0.7634 0.8564



Fattore di sicurezza Globale (superficie con F_s minimo): 0.7634



ANALISI DEFICIT DI RESISTENZA RELATIVI ALLE 10 SUPERFICI GENERATE CON MINOR F_s

Analisi Deficit in riferimento a $F_s(\text{progetto}) = 1.100$

Valore DEFICIT di RESISTENZA(kN/m): Sup. 1 = -140,5 kN/m ; Sup. 2 = -170.2 kN/m

Il Deficit o il Surplus di resistenza viene espresso in kN/metro di LARGHEZZA rispetto al fronte della scarpata

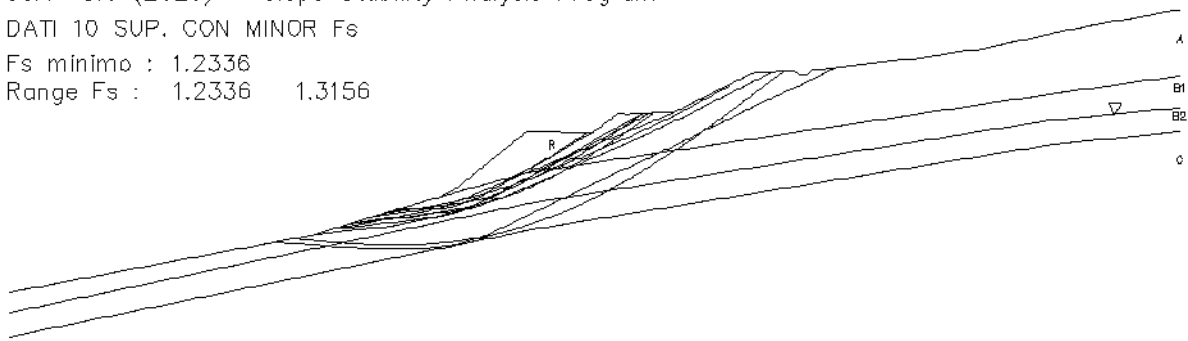
VERIFICA di STABILITA' n° 3
STATO ATTUALE
 Verifica in condizione statiche
 Falda su B2-C (strati A, B1 ed R drenati)
 $F_s = 1,23 - 1,31$
 (Fattore di sicurezza minimo di 10 superfici su 1000 analizzate)

SSAP 5.0 (2020) – Slope Stability Analysis Program

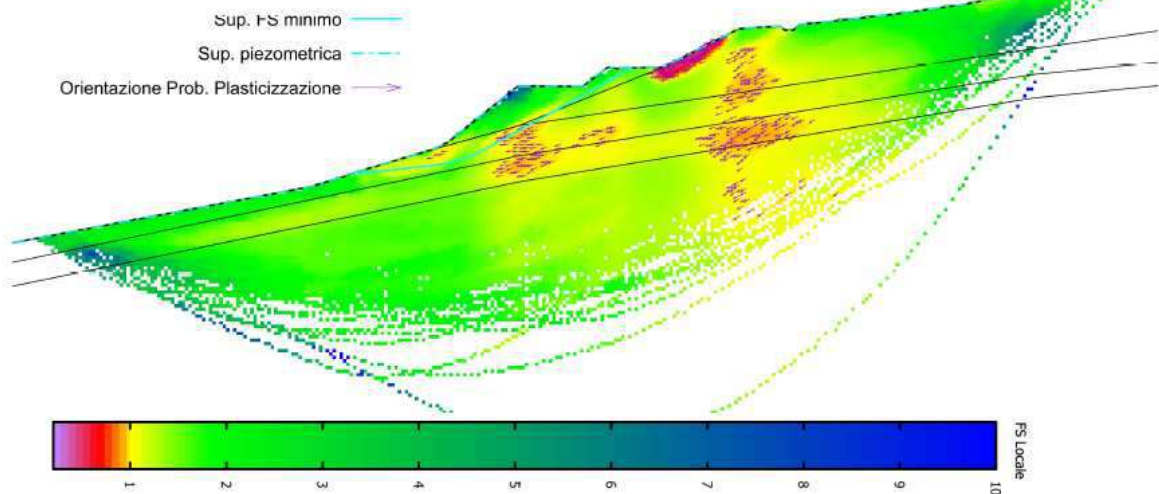
DATI 10 SUP. CON MINOR F_s

F_s minimo : 1.2336

Range F_s : 1.2336 1.3156

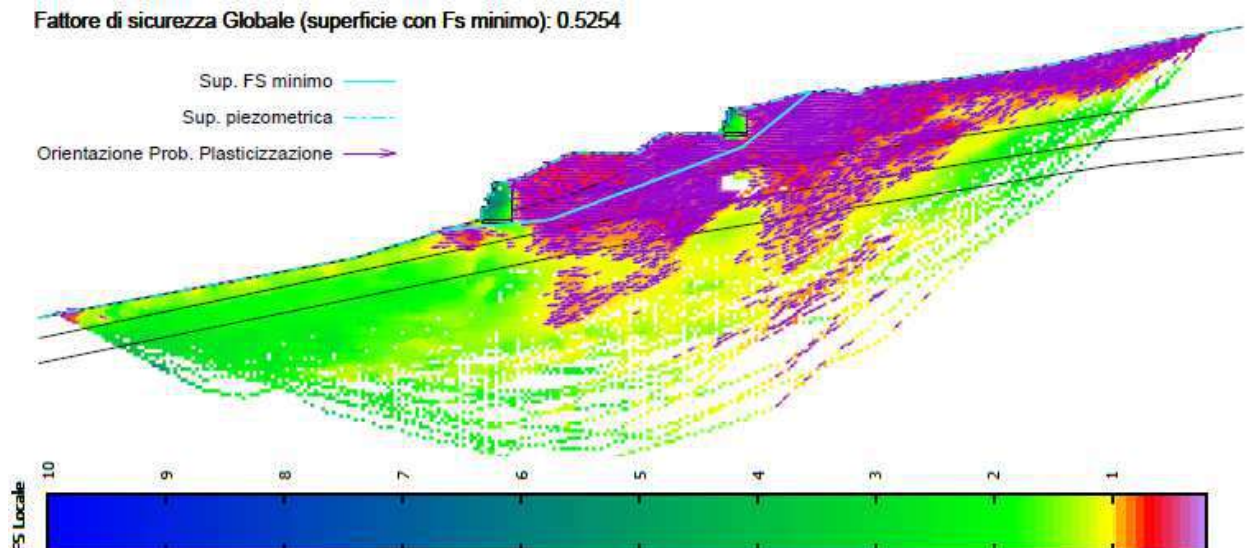


Fattore di sicurezza Globale (superficie con F_s minimo): 1.2336



OSSERVAZIONE: LA PRESENTE VERIFICA DIMOSTRA COME ALLO STATO ATTUALE E SUPERFICIE PIEZOMETRICA ASSENTE ALMENO NEGLI STRATI PIU' SUPERFICIALI (TERRENO DI RIPORTO E STRATI A-B1) SI HA UNA SOSTANZIALE STABILITA' DEL VERSANTE, COME DI FATTO RISCONTRABILE NEI PERIODI SICCATOSI IN CUI IL MOVIMENTO FRANOSO RISULTA ESSERE IN STATO DI QUIESCENZA. LA VERIFICA DI STABILITA' N° 2, IN CUI SI IPOTIZZA LA FALDA PROSSIMA AL P.C., DIMOSTRA ALTRESI' CHE IL VERSANTE SI INSTABILIZZA IN OCCASIONE DI EVENTI PIOVOSI PERSISTENTI CHE CAUSANO LA COMPLETA SATURAZIONE DEI TERRENI.

VERIFICA di STABILITA' n° 4
STATO DI PROGETTO
 Verifica in condizione statiche
 Gabbionate senza palificate
 Falda Piano Campagna
 $F_s = 0,52$
 (Fattore di sicurezza minimo di 10 superfici su 1000 analizzate)



ANALISI DEFICIT DI RESISTENZA RELATIVI ALLE 10 SUPERFICI GENERATE CON MINOR F_s

Analisi Deficit in riferimento a $F_s(\text{progetto}) = 1.200$

Valore massimo di DEFICIT di RESISTENZA(kN/m): massimo -267,4 kN/m (configurazione senza pali)

Il Deficit o il Surplus di resistenza viene espresso in kN/metro di LARGHEZZA rispetto al fronte della scarpata

OSSERVAZIONE: LA PRESENTE VERIFICA VIENE RIPORTATA SOLO A TITOLO DIMOSTRATIVO PER GIUSTIFICARE LA NECESSITA' DI REALIZZARE I GABBIONI CON FONDAZIONI SU PALI AL FINE DI OFFRIRE UNA MAGGIORE RESISTENZA AL TAGLIO LUNGO LE POTENZIALI SUPERFICI DI SCORRIMENTO, E DI REALIZZARE UN ADEGUATO SISTEMA DRENANTE PER IL CONTROLLO DELLA SUPERFICIE PIEZOMETRICA. LE VERIFICHE SUCCESSIVE SONO ESEGUITE IN TALE CONFIGURAZIONE. IN PARTICOLARE:

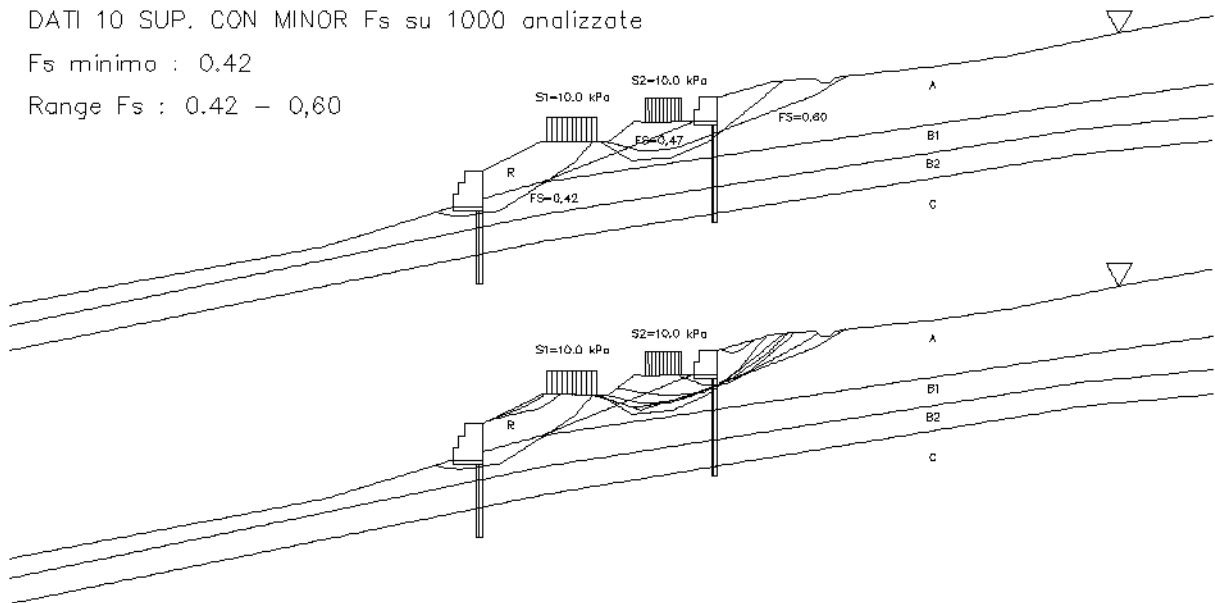
- **VERIFICA N° 5** - CONFIGURAZIONE DI PROGETTO, CARICHI STRADALI E FALDA A P.C. : SI OSSERVA UN GENERALE MIGLIORAMENTO DELLE CONDIZIONI DI STABILITA' CON UNA NOTEVOLE RIDUZIONE DEL DEFICIT DI RESISTENZA. PERMANE UN FATTORE DI SICUREZZA NON ADEGUATO IN RELAZIONE ALL'IPOTESI DI FALDA A P.C. E QUINDI COMPLETA SATURAZIONE DEI TERRENI.
- **VERIFICA N° 6** - CONFIGURAZIONE DI PROGETTO, CARICHI STRADALI E FALDA ABBATTUTA PER EFFETTO DELLE OPERE DI DRENAGGIO E REGIMAZIONE SUPERFICIALE. IN TALE CONFIGURAZIONE SI RAGGIUNGONO LE CONDIZIONI MINIME DI STABILITA', PASSANDO A SURPLUS DI RESISTENZA E FATTORI DI SICUREZZA SUPERIORI A 1,2 (IN CONDIZIONI STATICHE E SISMICHE).

VERIFICA di STABILITA' n° 5
 Verifica in condizione statiche
STATO DI PROGETTO
 Gabbionate con palificate e carichi stradali
 Falda Piano Campagna
 $F_s = 0,42 - 0,97$
 (Fattore di sicurezza minimo di 10 superfici su 1000 analizzate)

DATI 10 SUP. CON MINOR F_s su 1000 analizzate

F_s minimo : 0,42

Range F_s : 0,42 - 0,60

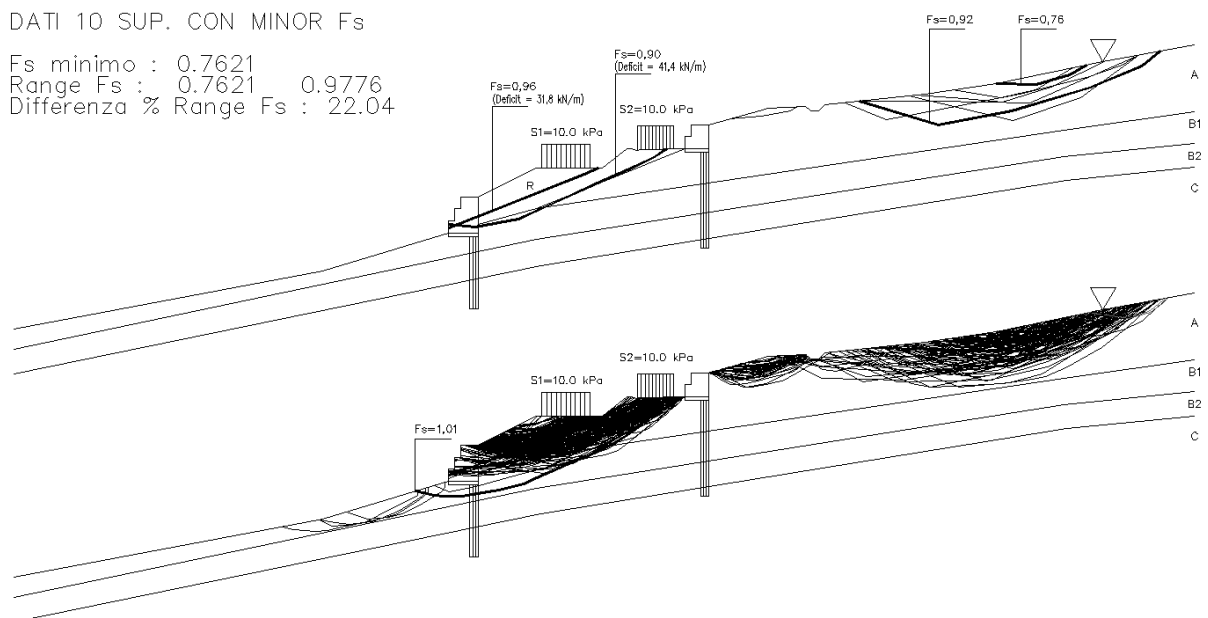


DATI 10 SUP. CON MINOR F_s

F_s minimo : 0,7621

Range F_s : 0,7621 - 0,9776

Differenza % Range F_s : 22,04



ANALISI DEFICIT DI RESISTENZA RELATIVI ALLE 10 SUPERFICI GENERATE CON MINOR F_s

Analisi Deficit in riferimento a $F_s(\text{progetto}) = 1.200$

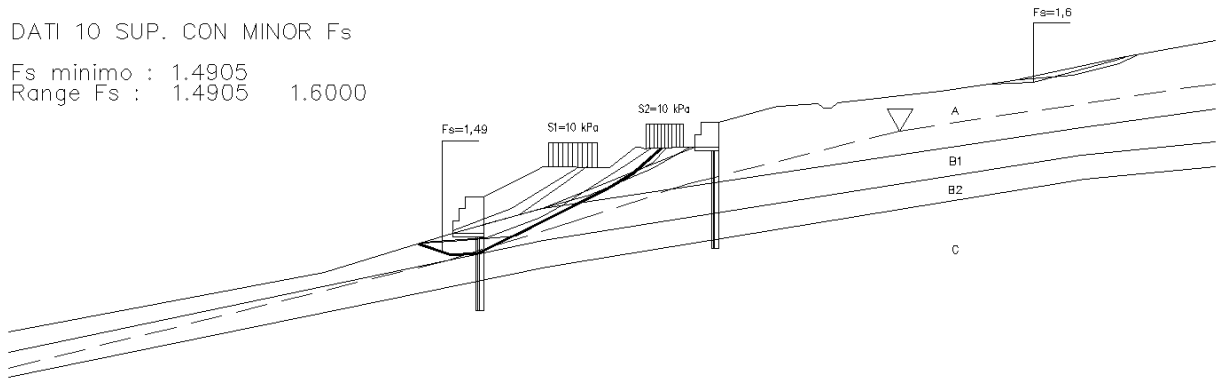
Valore massimo di DEFICIT di RESISTENZA(kN/m): massimo -41,4 kN/m (configurazione con pali)

Il Deficit o il Surplus di resistenza viene espresso in kN/metro di LARGHEZZA rispetto al fronte della scarpata

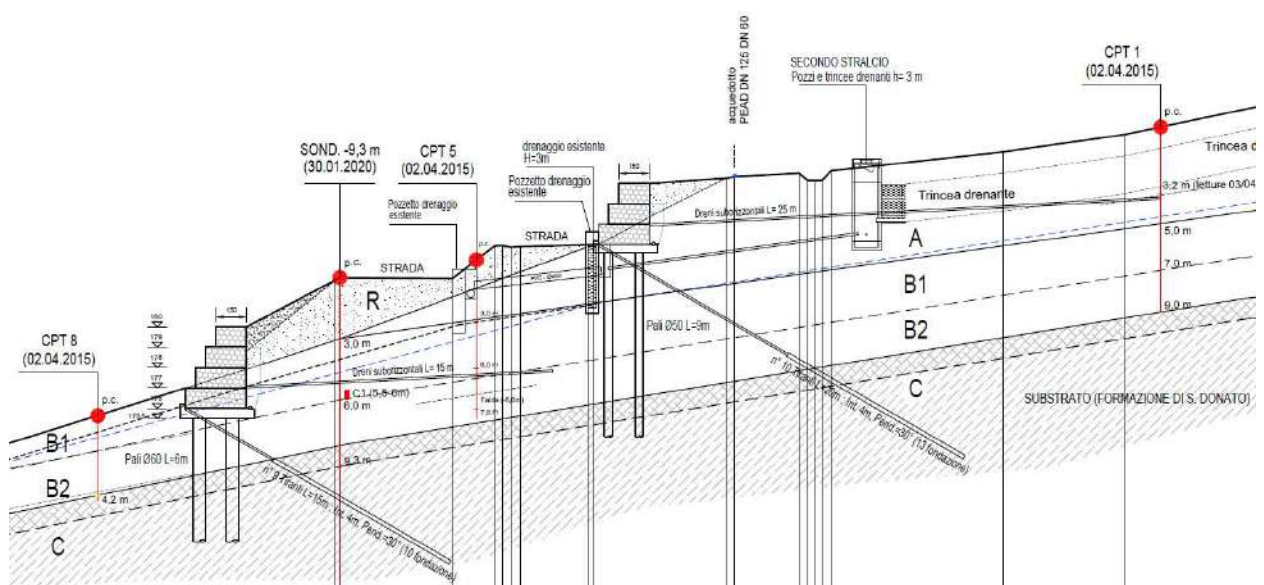
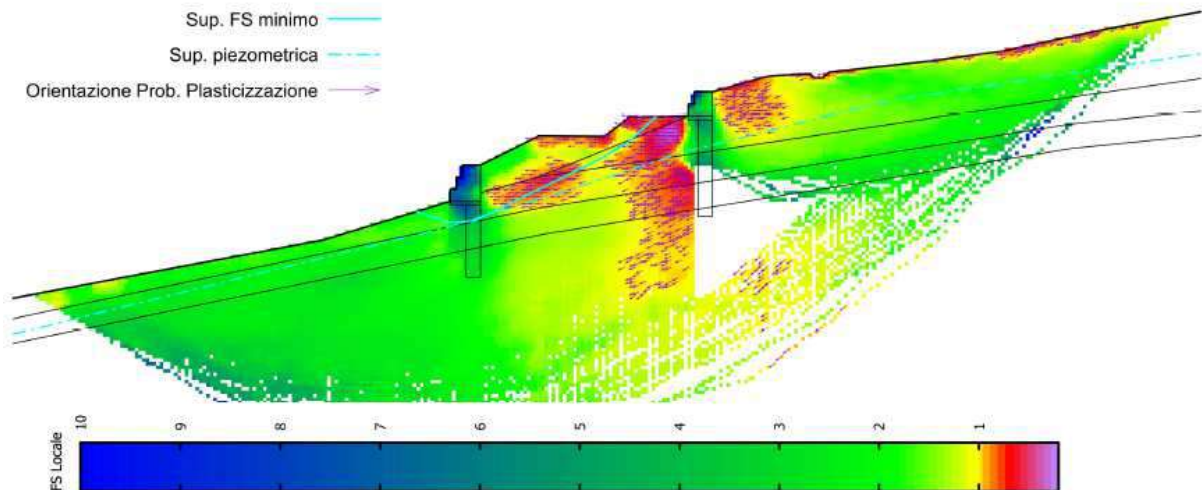
VERIFICA di STABILITA' n° 6
STATO DI PROGETTO – CONDIZIONI STATICHE
 Gabbionate con palificate, dreni sub-orizzontali e carichi stradali
 Falda -3 m dal P.C. per effetto dreni sub-orizzontali e gabbioni
 $F_s \text{ min} = 1,5 - 1,6$
 (Fattore di sicurezza minimo di 10 superfici su 1000 analizzate)

DATI 10 SUP. CON MINOR F_s

F_s minimo : 1.4905
 Range F_s : 1.4905 1.6000



Fattore di sicurezza Globale (superficie con F_s minimo): 1.4905



VERIFICA di STABILITA' n° 7
STATO DI PROGETTO - CONDIZIONI SISMICHE
 ($K_h = 0,076$ – Coeff. Sismici Stabilità Pendii SLV), Falda -3 m
 Range $F_s = 1,11 - 1,28$
 (Fattore di sicurezza minimo di 10 superfici su 1000 analizzate)

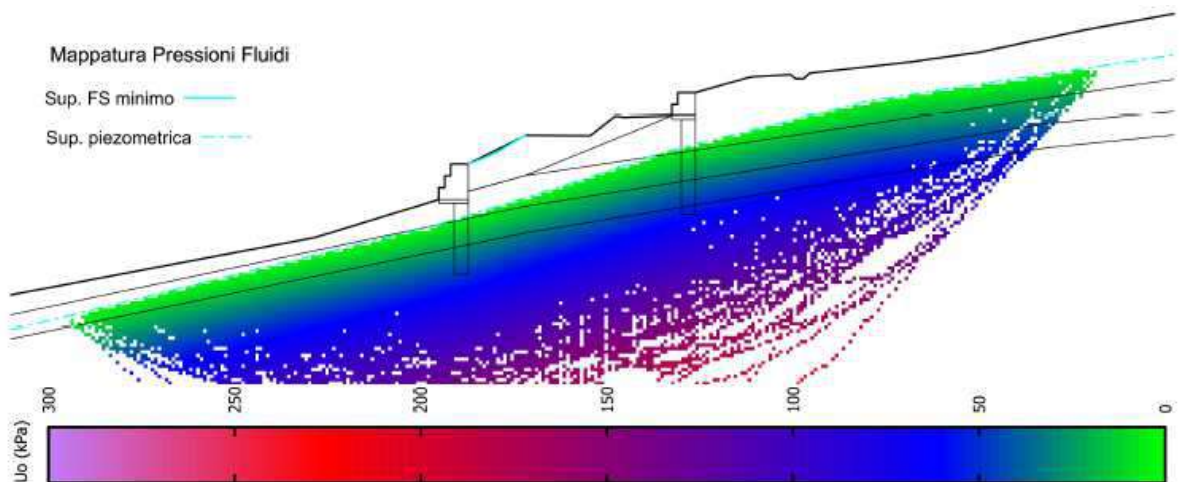
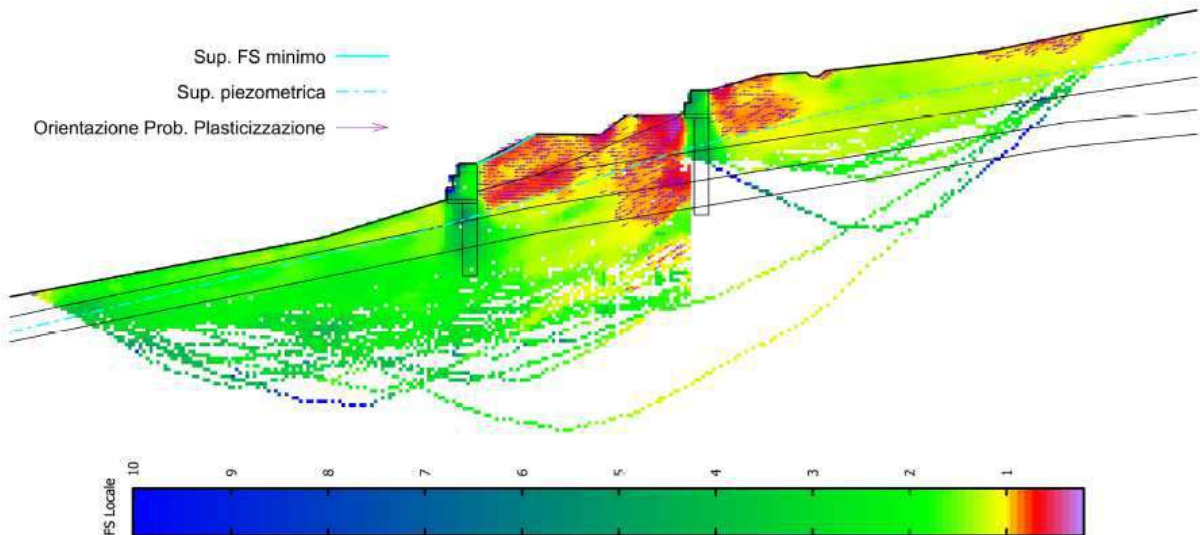
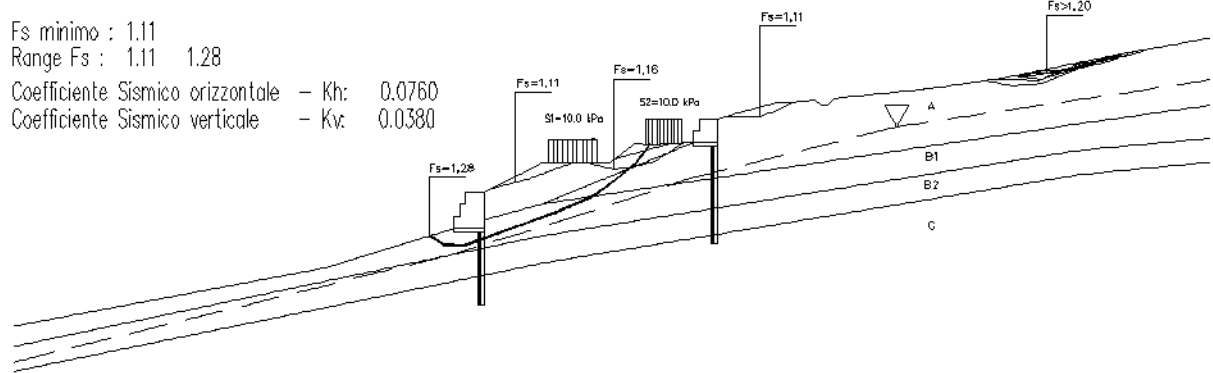
DATI 10 SUP. CON MINOR F_s

F_s minimo : 1,11

Range F_s : 1,11 1,28

Coefficiente Sismico orizzontale – K_h : 0.0760

Coefficiente Sismico verticale – K_v : 0.0380



VERIFICA di STABILITA' n° 8
STATO DI PROGETTO - CONDIZIONI SISMICHE
 ($K_h = 0,120$ – Coeff. Sismici Opere di Sostegno SLV), Falda -3 m
 Range $F_s = 1,11 - 1,13$

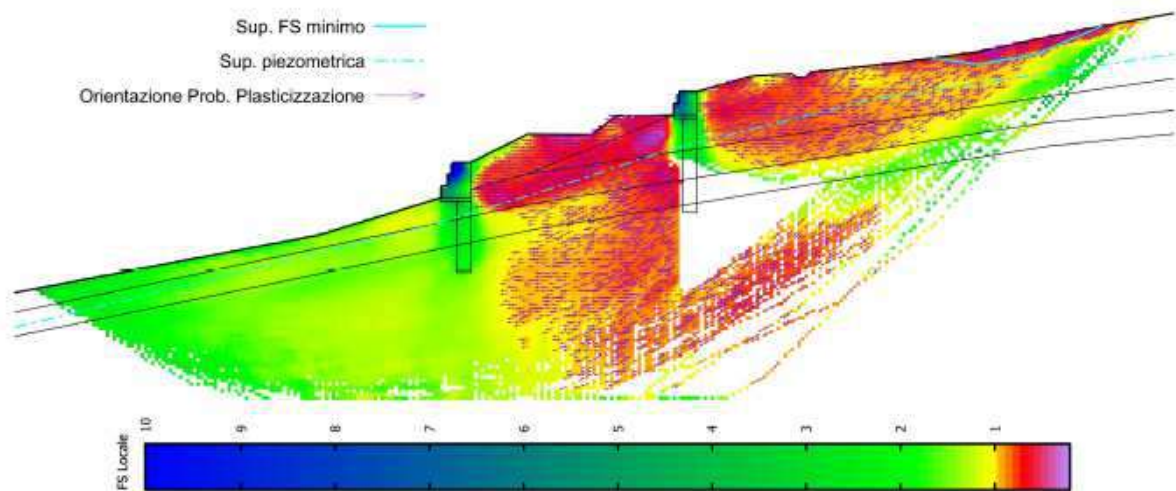
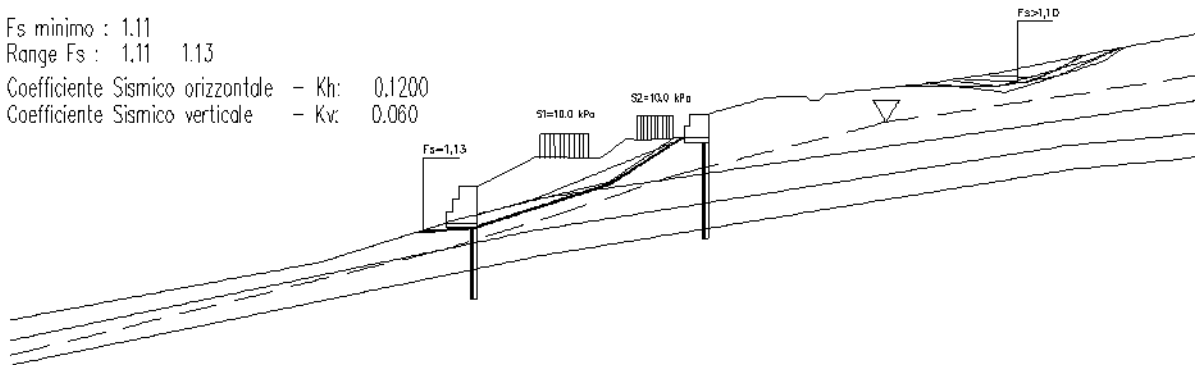
DATI 10 SUP. CON MINOR F_s

F_s minimo : 1.11

Range F_s : 1.11 1.13

Coefficiente Sismico orizzontale – K_h : 0.1200

Coefficiente Sismico verticale – K_v : 0.060



15. Sintesi verifiche di stabilità delle gabbionate

Poiché nel calcolo si introducono sia i coefficienti di sicurezza parziali che fattori di amplificazione dei carichi, è sufficiente che i fattori di sovradimensionamento siano maggiori od uguali a 1,00 per garantire la sicurezza nei confronti del criterio considerato. I valori minimi ottenuti nella struttura in oggetto sono riportati in dettaglio nei tabulati di calcolo allegati.

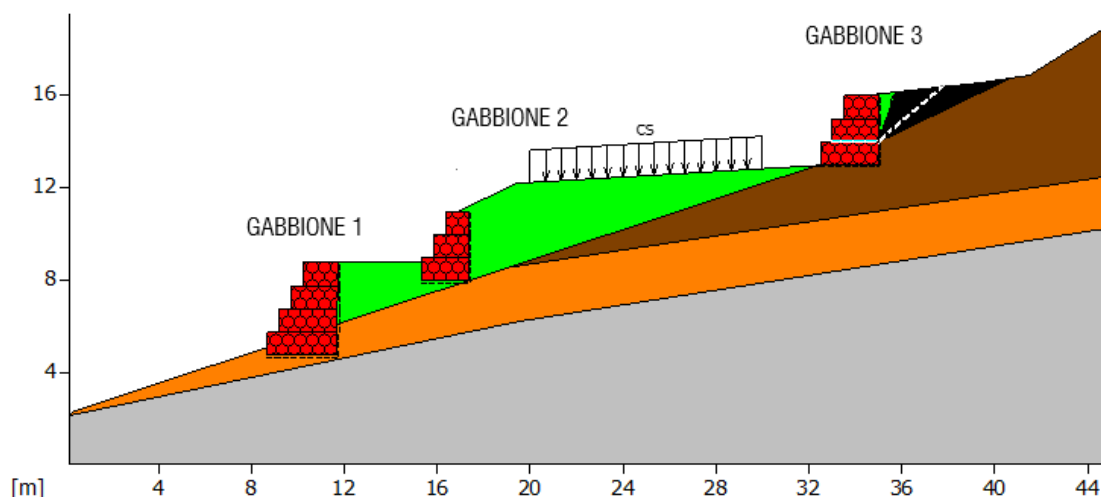


Figura 13: sezione A-A di verifica

Sezione	Coefficienti Minimi di Sovradimensionamento (+kv)				
	Stabilità Esterna				Stabilità Interna
	Globale	Scorrimento	Ribaltamento	Capacità Portante	
Muro 1-sismica	/	0.81	2.27	1.42	3.18
Muro 2-sismica	/	0.90	2.15	1.79	2.11
Muro 3-sismica	/	0.94	4.74	0.79	3.59
Muro 1-statica	/	1.44	2.46	2.18	4.28
Muro 2-statica	/	0.94	1.66	2.09	1.73
Muro 3-statica	/	1.24	4.69	0.94	5.03
Condizione da soddisfare	≥ 1.00	≥ 1.00	≥ 1.00	≥ 1.00	≥ 1.00

Tabella 3: Risultati verifiche di sicurezza gabbionata

Si osserva che le verifiche di stabilità e di scorrimento non risultano verificate in quanto nella modellazione non è stata considerata la presenza delle fondazioni a platea su pali; l'esito di tali verifiche giustifica quindi la realizzazione, come effettivamente previsto, di una platea su pali di cui è stata eseguita la verifica strutturale applicando il massimo Deficit di Spinta (150 kN/m) risultante dalle verifiche di stabilità globale n° 1 allo stato attuale (Relazione di Calcolo - Doc. 04).

16. Conclusioni.

Il presente progetto definitivo-esecutivo tratta gli interventi di consolidamento un vasto movimento franoso, attivatosi a partire dal mese febbraio 2015, in località Carignano nel Comune di Fano; è prevista la realizzazione di almeno due stralci funzionali.

Per il mantenimento di un assetto idrogeologico stabile risulta necessario controllare il regime delle pressioni interstiziali, cioè evitare che si instaurino condizioni per cui il livello piezometrico si approssimi al piano campagna e che si abbia la completa saturazione dei terreni di copertura.

L'esperienza maturata in simili contesti dimostra che la realizzazione di un efficace sistema di raccolta delle acque superficiali mediante la realizzazione di una fitta rete di solchi acquai risulta determinante. In tal senso sarà fondamentale la corretta attuazione delle semplici pratiche agricole ai fini della prevenzione dei fenomeni di dissesto e della difesa dalla pericolosità.

Sarà onere dell'Amministrazione comunale, in quanto primo Ente chiamato in causa in occasione di eventi calamitosi, assicurarsi che tali pratiche siano effettivamente e rigorosamente osservate nel tempo; anche mediante l'eventuale imposizione di una fascia di rispetto per la messa a dimora permanente di sistemazioni a verde, e il divieto di lavorazioni agricole profonde.

Si prevede quindi la realizzazione di opere di contenimento drenanti costituite da tre ordini di gabbionate con platee di fondazione su pali e tiranti. Tali opere sono state dimensionate per offrire un adeguato incremento di resistenza al taglio lungo le potenziali superfici di scorrimento.

L'intervento di stabilizzazione di tutto il versante a monte sarà definitivo solo a seguito della realizzazione delle trincee drenanti previste nel Secondo Stralcio.

Per ogni dettaglio e approfondimento si rimanda alle tavole grafiche in allegato.

Urbania, 07.07.2022

Il tecnico

(Geol. Ing. Diego Talozzi)

