Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti

FSC Fondo per lo Sviluppo e la Coesione

REGIONE CAMPANIA

PIANO OPERATIVO INFRASTRUTTURE FSC 2014-2020
PROGETTO FINANZIATO CON LA DELIBERAZIONE CIPE N.54/2016

Accordo Quadro triennale per l'Affidamento di Servizi di Ingegneria ed Architettura:

Progetto di fattibilità tecnica ed economica e/o progettaz. Definitiva e/o esecutiva e/o attività di supporto per l'esecuzione nella Regione Campania di interventi sui sistemi di mobilità ex Delib. G.R. 104/2018 -109/2018 e ss.mm.ii

Lotto n. 2 - CUP B49J18002160001 - CIG 7518817412

CONTRATTO ATTUATIVO: COMUNE DI CASTELFRANCO IN MISCANO (BN)
TITOLO INTERVENTO: RIQUALIFICAZIONE DELLA VIABILITÀ COMUNALE: VIA SOTTO LE CUPE - LA ZAZZERA
CUP H77H17001490002
Responsabile del procedimento: Arch. Michele De Iura

PROGETTO ESECUTIVO

PROGETTAZIONE A CURA DEL RTI:

MANDATARIA:

ING. D. BONADIES
Via Strada del colle, 1A
06132 Perugia (PG)
P.Iva 02776790541

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI PERUGIA
Sezione A N° A829
DOTTORE INGEGNERE
DINO BONADIES
SETTORE CIVILE E AMBIENTALE
SETTORE INDUSTRIALE
SETTORE DELL'INFORMAZIONE

MANDANTI:

ING. N. SARACA
Via A. Gramsci,34
00197 Roma (RM)
P.Iva 00987261005

ING. D. ROMANO
Via Masone, 5
24121 Bergamo (BG)
P.Iva 02141540167

Responsabile delle integrazioni fra le diverse prestazioni specialistiche: **ING. D. BONADIES**

Elaborato:		data: MAGGIO 2022
R.08	**Relazione geologica e geotecnica**	scala: N.A.

Codice Commessa: 19025

REV.	data	verificato	approvato
00	MAGGIO 2022		D. Bonadies

R.U.P. Arch. Paolo Freschi

Direttore dell'esecuzione del contratto: Ing. Umberto Pisapia

IL PRESENTE DOCUMENTO NON PUO' ESSERE RIPRODOTTO O COMUNICATO A TERZI SENZA PREVENTIVA AUTORIZZAZIONE SCRITTA

Sommario

Premessa 2
2 Progetto 4
3 Inquadramento geografico 6
4 Vincoli PAI - Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale (ex AdB deiFiumi Liri – Garigliano e Volturno) 7
5 Inquadramento geologico 9
5.2 Tettonica 11
6 Geomorfologia e stabilità dei versanti 13
6.1 Dissesti della strada 16
7 Caratteri idrografici e idrogeologici 21
8 Indagini 21
8.1 Caratteristiche geotecniche da indagini pregresse 21
8.2 Indagini geofisiche 23
Sismica 1 23
Sismica 2 25
9 Sismicità del territorio 26
10 Amplificazione sismica 26
INTERVENTO TRATTO A 30
11 Modellazione geolitologica – geotecnica 33
12 Verifiche di stabilità 33
13 Conclusioni e indicazioni di intervento 34

Premessa

La presente relazione illustra il risultato dello studio geologico eseguito dallo scrivente per il progetto di "Riqualificazione della viabilità comunale: via Sotto Le Cupe– La Zazzera" nel Comunedi Castelfranco in Misciano (BN).

Tale progetto si propone di riqualificare, mettere in sicurezza e rendere fruibile un percorso stradale esistente deteriorato a causa di numerosi dissesti di natura idrogeologica.

Gli studi e le indagini eseguiti sono stati condotti in ottemperanza a quanto richiesto nelle seguentidisposizioni:

- L. 02/02/74 n. 64 e successive (norme tecniche per la costruzione in zone sismiche)
- D.M. 21/01/81 e successive (norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, ecc.)
- Norme Tecniche per le Costruzioni: NTC 2018
- Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche" (A.G.I.1977).
- Norme di Attuazione – Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale

La presente relazione è finalizzata ad individuare e classificare le pericolosità geologiche presentilungo il tracciato oggetto di intervento.

E' stato eseguito il rilevamento geologico e geomorfologico, integrato dallo studio di aerofoto, di un'ampia area a cavallo della strada per meglio comprendere i rapporti geometrici tra i terreni affioranti e l'evoluzione geomorfologica dei versanti.

I dati acquisiti con il rilevamento di superficie sono stati rappresentati nella carta geolitologica allegata. Questo elaborato dà indicazioni sulle caratteristiche litologiche e i rapporti geometrici dei terreni affioranti e consente di acquisire informazioni sulle caratteristiche tecniche, permeabilità e grado di erodibilità dei terreni. Contiene, inoltre, informazioni sulle forme e i depositi connessi all'azione morfoevolutiva della gravità e delle acque superficiali. In particolare sono cartografati i fenomeni gravitativi e gli elementi geomorfologici fondamentali che strutturano il paesaggio.

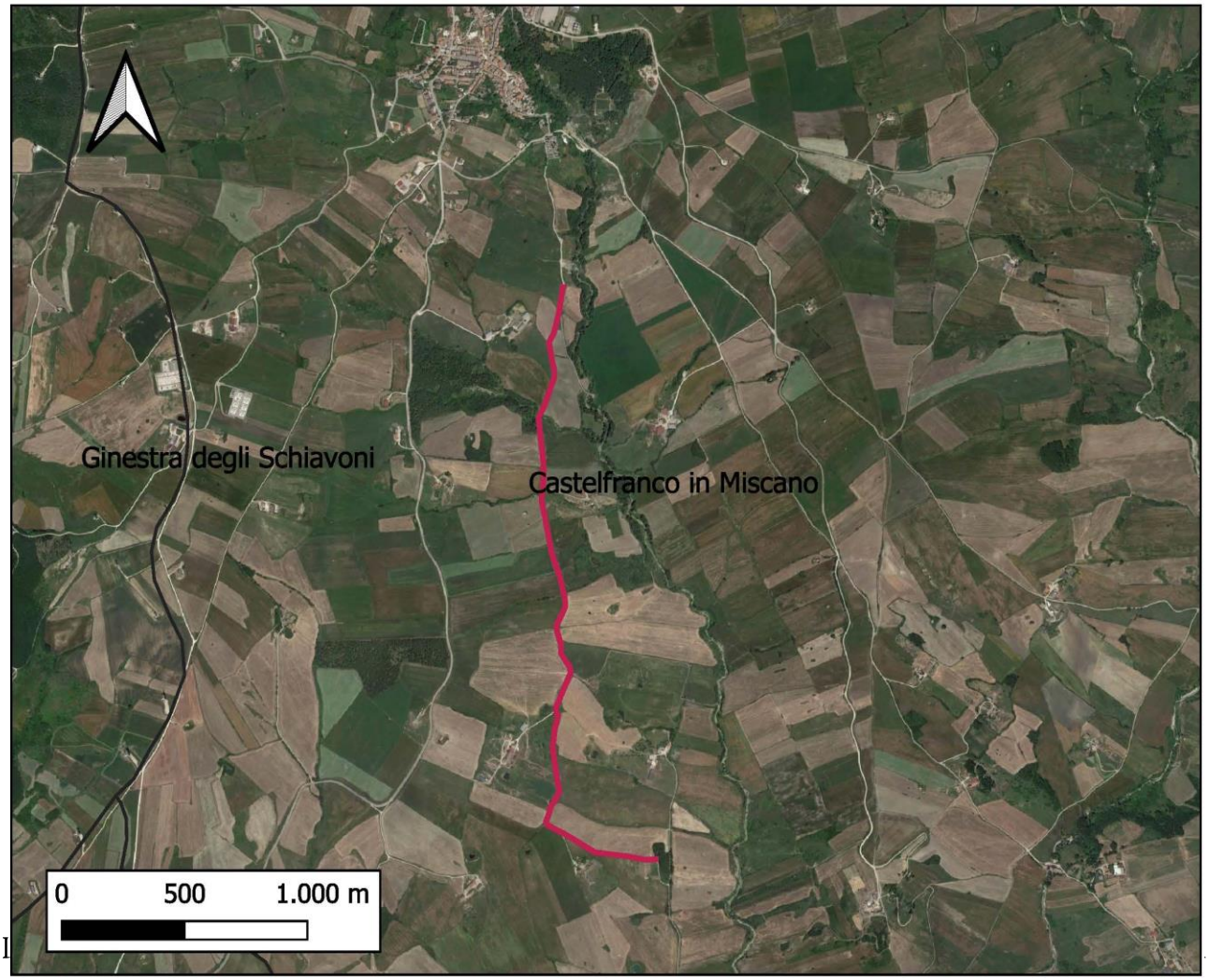
Per la caratterizzazione litostratigrafica, geotecnica e sismiche dei terreni è stata eseguita una campagna d'indagini indirette, preceduta da un'analisi di alcune campagne geognostiche pregresse eseguite lungo la strada o in sua prossimità.

Gli elaborati e gli allegati prodotti sono i seguenti:

- Elaborato 1: Tavole carta geologica
- Allegato 1: Indagine geofisica
- Allegato 2: Verifiche di stabilità

2 Progetto

Il tratto di rete stradale oggetto dei lavori si snoda nel territorio del Comune di Castelfranco in Misciano per una lunghezza totale di circa 2.75 km.



l terreno. Si rilevano notevoli segni di usura e ammaloramento del manto stradale nonché dissesti per instabilità geologica del territorio. In più punti del tracciato l'asfalto si presenta notevolmente danneggiato ed usurato da agenti atmosferici e carichi transitanti e si rileva la presenza in quasi tutta la lunghezza di intervento di fessurazioni che provocano l'infiltrazione dell'acqua con conseguente formazione di buche. La regimazione idraulica attualmente è assente e lo smaltimento e il recapito delle acque meteoriche avviene spontaneamente tramite gli impluvi naturali che attraversano anche la piattaforma, senza interventi antropici, formando dei guadi che rendono disagevole il transito e rappresentano un serio pericolo non segnalato per le autovetture.

L'obiettivo principale del progetto consiste nella riqualificazione, miglioramento e messa in

sicurezza del manto stradale.

Il progetto prevede principalmente i seguenti interventi:

- Sistemazione delle cunette/zanelle laterali e dei fossi di guardia;
- Realizzazione opere di smaltimento delle acque e drenaggi di attraversamento;
- Rinforzo delle pavimentazioni con geogriglie;

3 Inquadramento geografico

L'area interessata dal tracciato di progetto è posta nella porzione orientale della Regione Campania, nella Provincia di Benevento. La strada oggetto di intervento ricade nel territorio dei Comune di Castelfranco in Miscano (Fig. 2). Si sviluppa all'interno del bacino del Torrente Vallone, affluente del Fiume Miscano.

A seguire si riporta uno stralcio della carta IGM con indicazione del tracciato stradale interessato dall'intervento in progetto.

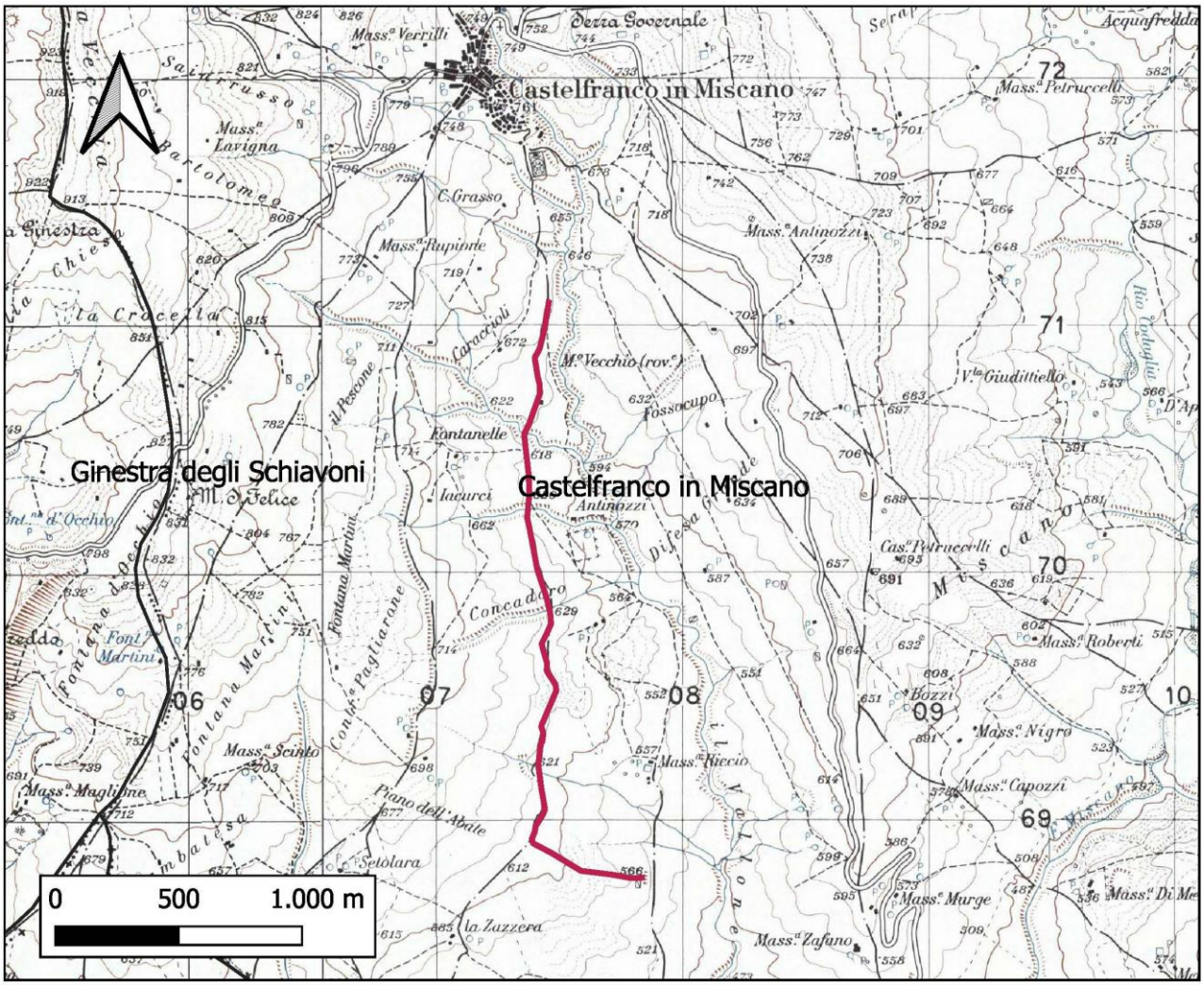
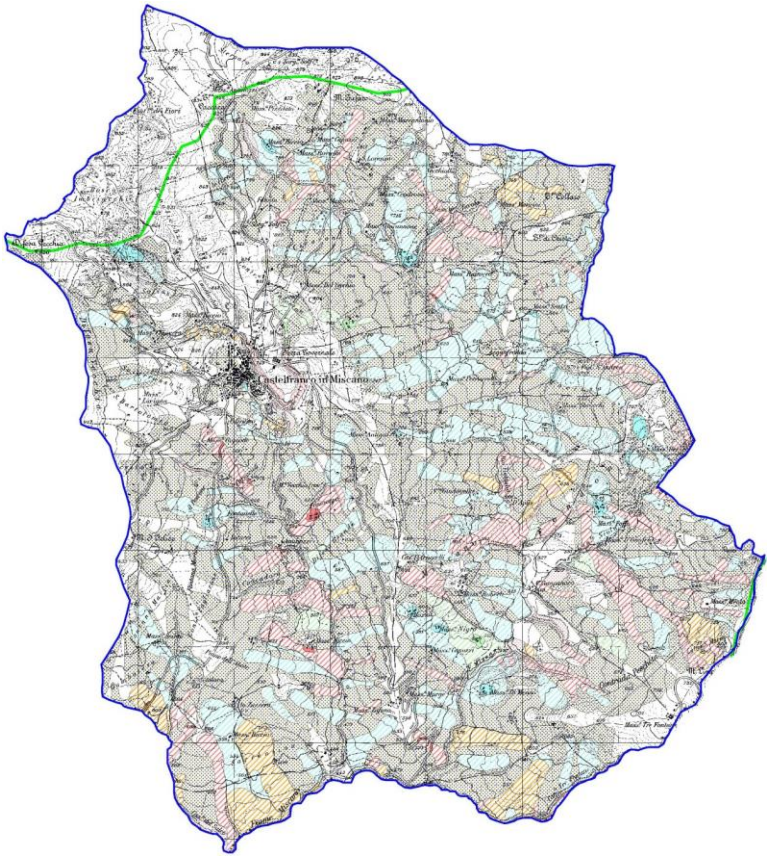
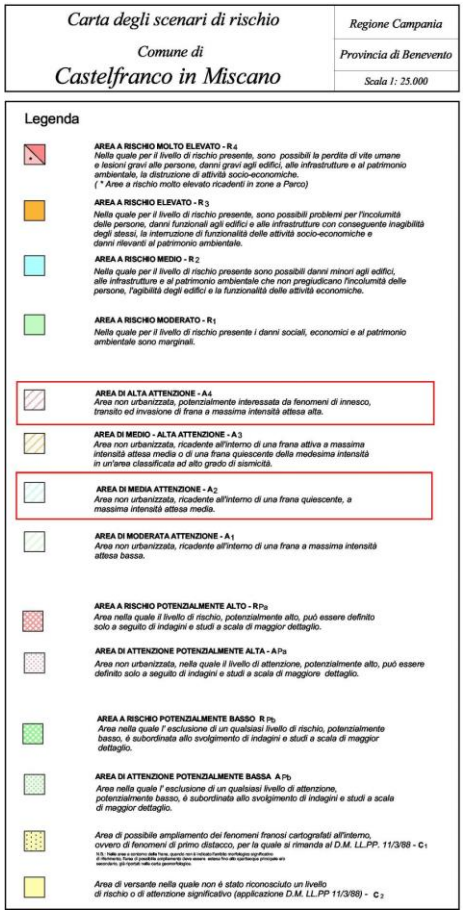


Figura 2: Stralcio IGM con indicazione del tracciato della strada oggetto di intervento

4 Vincoli PAI - Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale (ex AdB deiFiumi Liri – Garigliano e Volturno)

Dalla sovrapposizione del tracciato dell'elettrodotto con il Piano Stralcio per l'assetto idrogeologico – Rischio Frane dell'Autorità di Bacino dei Fiumi Liri – Garigliano e Volturno, aggiornato al 11/04/2017, risulta che la strada oggetto di intervento è interessata da più vincoli di diverso grado di rischio. A seguire si riportano lo stralcio relativo alla perimetrazione della AdB e relativa legenda (Fig. 3, 4 e 5)





A seguire si riporta l'immagine con al sovrapposizione dei vincoli PAI con il tracciato stradale.

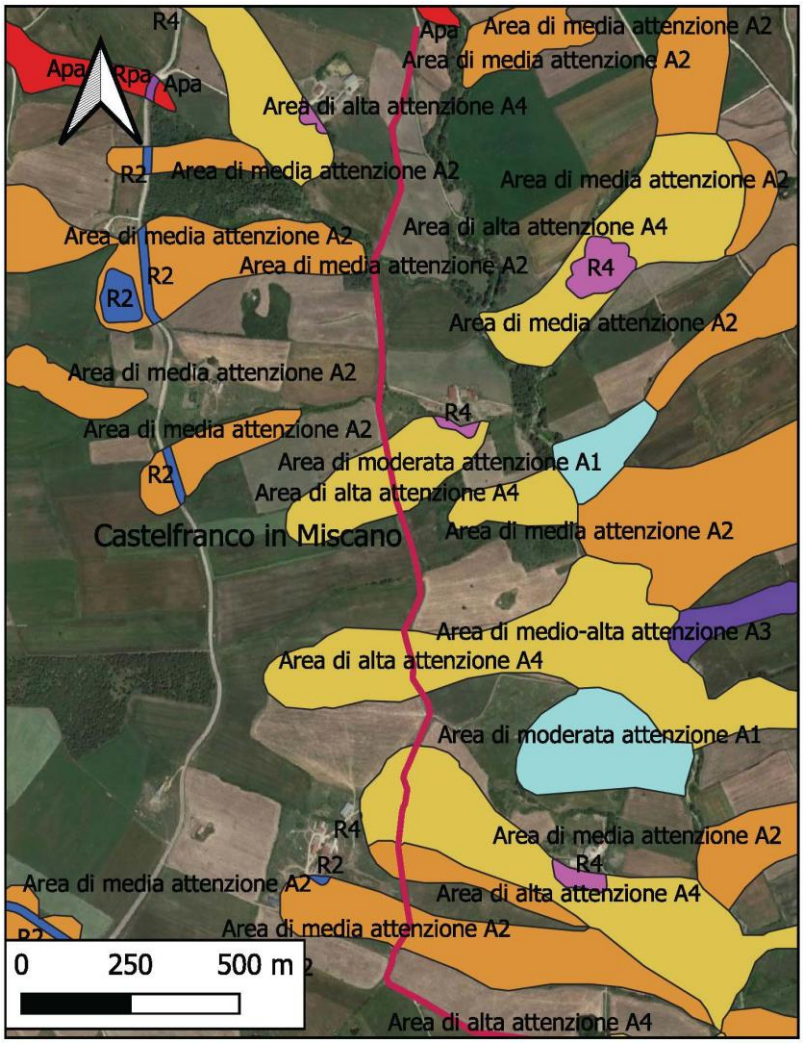


Figura 3: ortofoto con in vincoli dell'Autorità di Bacino

Dalla sovrapposizione della Carta degli Scenari di Rischio con il tracciato della strada oggetto di intervento si riscontrano i seguenti livelli di Rischio e di Attenzione:

- Area di Media Attenzione – A2
- Area di Alta Attenzione – A4

Secondo le Norme di Attuazione e Misure di Salvaguardia del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico – Rischio Frana dell'Ex Bacino dei Fiumi Liri-Garigliano e Volturno, gli interventi previsti in progetto rientrano fra quelli contemplati al comma B, F e G dell'art. 3 e agli artt. 4, e 9. Per questi interventi, come indicato all'art. 17 delle Norme, è necessario eseguire uno studio di Compatibilità idrogeologica .

5 Inquadramento geologico

L'area indagata ricade geologicamente a ridosso del margine esterno dell'Appennino Dauno, prolungamento dell'Appennino Campano, e del margine orientale della Fossa Bradanica (Fig. 4).

Il margine esterno dell'Appennino vede l'affioramento di depositi fliscioidi miocenici, rappresentati essenzialmente da una formazione marnosa – argillosa alternati a flysch prevalentemente argillosi (Argille Varicolori e Flysch Rosso).



Figura 4: distinzione dei domini geologi (da Bruno G. et alii 2006)

L'Appennino Dauno rappresenta la porzione più orientale dell'Appennino meridionale. E' caratterizzato geologicamente da una serie di accavallamenti a vergenza adriatica, all'interno dei quali sono presenti più unità tettoniche accavallatesi verso Est dall'Oligocene al Pliocene. L'Appennino Dauno è costituito da rocce sedimentarie, nelle quali prevalgono sia unità prevalentemente lapidee (Tufiti di Tusa), sia successione argilloso – marnose sia unità prevalentemente argillitiche, molto destrutturate (Argille Varicolori e Flysch Rosso). Nelle aree di affioramento di questi ultimi terreni è maggiormente diffusa la presenza di frane e/o movimenti gravitativi superficiali.

Sui depositi miocenici, in fase di avanzamento del margine esterno appenninico e contemporanea formazione della Fossa Bradanica e subsidenza del margine interno dell'Avampaese Apulo, si ha la sedimentazione in trasgressione dei depositi pliocenici durante le ultime fasi dell'orogenesi appenninica.

Le tavole geolitologiche, allegate alla presente relazione, sono state redatte per un intorno

significativo dell'opera in progetto. Sono stati cartografati gli affioramenti principali distinti litologicamente e sulla base della letteratura scientifica.

5.1 Stratigrafia

Nell'area di studio si rilevano tre diversi tipi di terreni:

1. depositi marini appenninici
2. depositi continentali.

I primi sono rappresentati dalle formazioni fliscioidi appenninici, mentre i depositi continentali sono costituiti da terreni quaternari di spessore ridotto ma d'importante area di affioramento

Depositi marini appenninici

I principali depositi appenninici affioranti nell'area di studio, considerandoli dai più antichi ai più recenti, sono i seguenti:

Formazione delle Argille Varicolori (Cretacico superiore – Oligocene)

La formazione delle Argille Varicolori affiora estesamente lungo tutto l'Appennino meridionale. È presente soprattutto in modo quasi costante lungo il suo margine esterno. In affioramento si presenta come una formazione argillosa caotica, molto tettonizzata per il notevole trasporto tettonico subito durante l'orogenesi appenninica. In alcuni casi si rileva con pezzame litoide inglobato, proveniente da fenomeni gravitativi recenti e superficiali.

I termini basali sono costituiti da argille, marne silicifere e calcilutiti con rare intercalazioni di diaspri grigi e rossastri.

Verso l'alto si ha un'alternanza di argille e argille marnose di colore rosso e verde (foto 1), spesso scagliose, associate a calcareniti micacee, calcilutiti torbiditiche e talora diaspri. Le calcareniti sonodi colore grigio scuro e presentano impronte da carico e da corrente alla base degli strati.

Nella parte sommitale sono frequenti le intercalazioni di arenarie micacee e arenarie tufitiche che presentano un caratteristico colore marrone scuro.

La letteratura scientifica indica per questa formazione, per quanto l'elevato grado di tettonizzazione non consenta misurazioni precise, uno spessore dell'ordine dei 500 metri.

Le Argille Varicolori affiorano estesamente su grana parte del tracciato stradale oggetto di

intervento.



Foto 1: esposizione dei livelli pelitici delle Argille Varicolori

Depositi continentali

I depositi continentali rilevati nell'area di studio sono rappresentati prevalentemente da depositidi frana e da detriti eluvio – colluviale.

I depositi di frana sono presenti soprattutto sui versanti appenninici, nelle aree di affioramento delle Argille Varicolori. Sono caratterizzati da terreni privi di coesione, destrutturati e con struttura caotica. La loro litologia è funzione della natura del substrato coinvolto nel dissesto; in gran parte prevalgono terreni sabbioso – argillosi con isolati elementi lapidei di varie dimensioni.

I detriti superficiali eluvio – colluviali si riscontrano su tutti i versanti presenti nell'area indagata. Si sono formati a seguito di processi di erosione e/o alterazione del substrato; pertanto la loro natura litologica dipende da quella del substrato. Si presentano in gran parte come detriti sabbioso - argillosi in matrice argillosa con frequenti elementi lapidei polidimensionali. Lo spessore del detrito varia, in funzione della pendenza dei versanti, dai pochi decimetri ad alcuni metri.

5.2 Tettonica

L'area di studio ricade sul margine esterno dell'Appennino Campano - Lucano, caratterizzato da una tettonica disturbata, interessata da un sistema di faglie inverse e da uno di faglie normali, entrambi orientate NNO-SSE.

Dal rilievo geologico eseguito in campagna, dalla consultazione della letteratura scientifica e del

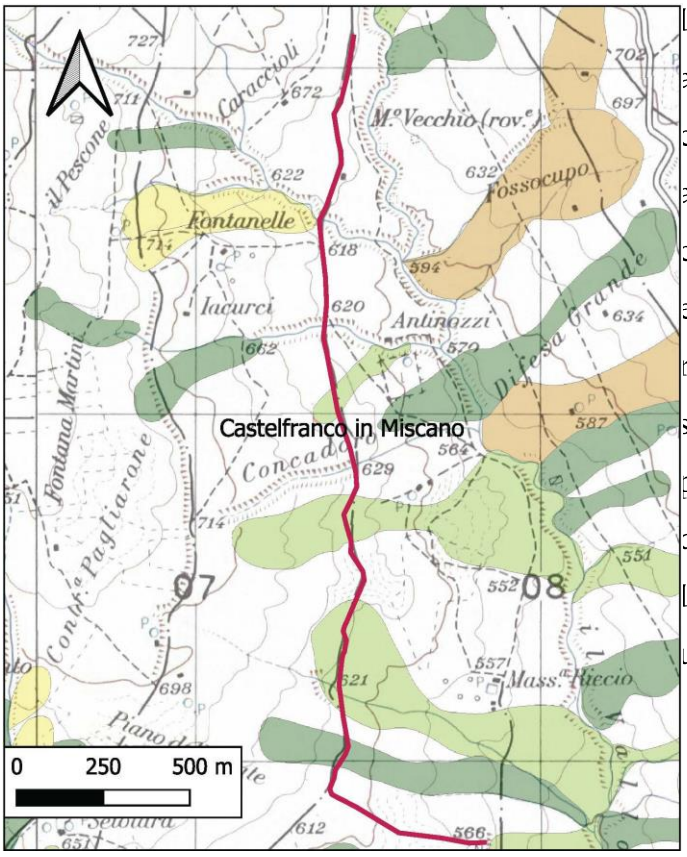
catalogo dell'ISPRA (progetto ITHACA (ITaly HAzard from CApable faults) non risultano presenti nell'area di studio faglie attive o capaci.

6 Geomorfologia e stabilità dei versanti

Il tracciato stradale si sviluppa sui versanti orientali della dorsale morfologica che, con un andamento circa nord – sud, si sviluppa dal Monte Difesa Vecchia (950 m s.l.m.) alla Serra Ginestra (922 m s.l.m.) a Monte Freddo. Interessa una porzione meridionale del territorio di Castelfranco in Misciano, a valle dell'area cimiteriale.

Il tracciato si sviluppa sul versante a mezza costa attraversando più incisioni torrentizie che confluiscono nel sottostante torrente "*Il Vallone*". Il tratto oggetto di intervento inizia subito a valle del Cimitero, ad una quota di circa 656m s.l.m., dopo un tratto interessato da un'ampia frana attiva. Si sviluppa verso sud disponendosi su quote minori fino a 572 m s.l.m.

Il versante interessato dall'attraversamento della strada oggetto di intervento è caratterizzato da superfici a pendenza variabile e da un substrato prevalentemente argilloso.



I rilievi morfologici, condotti tramite aerofotointerpretazione e rilevamenti di campagna, hanno consentito di evidenziare aree caratterizzate da attività franosa. Sulla carta geologica redatta a seguito dei rilievi effettuati su tutta l'area d'indagine, sono state riportate tutte le aree in frana distinte per stato di attività. Tali rilievi sono stati preceduti dalla consultazione delle tavole dell'IFFI (Inventario dei fenomeni franosi in Italia -ISPRA) delle quali a seguire si riporta uno stralcio.

La gran parte dei movimenti rilevati e riportati in cartografia possono essere classificati come frane attive, altre come frane quiescenti, che attualmente non sono attive ma che sono ancora potenzialmente riattivabili. Altri dissesti sono stati classificati come inattivi o naturalmente stabilizzati, nel senso che l'agente morfogenetico che ha provocato il dissesto ha esaurito la propria attività. Queste frane si presentano con una morfologia molto degradata: la zona di alimentazione è di difficile identificazione, la zona di accumulo può anche mancare perché ormai morfologicamente cancellata dall'attività erosiva o dall'attività antropica.

Particolare attenzione è stata rivolta al rilevamento delle frane attive nel periodo di rilevamento (luglio 2021), classificate come tali perché interessate da processi ancora in atto. Mentre le frane attive di prima generazione sono morfologicamente ben evidenti e quindi facilmente rilevabili, quelle antiche riattivate sono classificabili come tali solo sulla base di un rilevamento dello stato di fessurazione delle strutture ed infrastrutture.

La stabilità e la dinamica evolutiva dei versanti dipendono da fattori legati al clima, alle condizioni idrogeologiche, alla sismicità e variano notevolmente in funzione della natura litologica e della storia tettonica delle varie unità affioranti nell'area.

Sulla base delle zone di affioramento delle diverse litologie è possibile distinguere, pertanto, aree caratterizzate da una diversa evoluzione morfologica dei versanti, da ben definite tipologie franosee da una differente estensione e intensità dei dissesti.

Nelle aree dove affiorano terreni fliscioidi a diverso contenuto pelitico (Argille Varicolori), la tipologia di frana prevalente è strettamente connessa alla natura litologica ed al grado di fratturazione. Dove prevale la **frazione pelitica della successione, la propensione al dissesto è notevole ed è determinata dalle caratteristiche geomeccaniche delle argille. I dissesti tipici di questi terreni sono rappresentati da frane per scorrimento traslazionale e per colamento.**

Nelle aree dove affiorano i terreni argilloso - marnosi e strutturalmente complessi, la franosità è diffusa e intensa ed è caratterizzata da frane generalmente attive, specie a seguito di eventi di pioggia critici. Tale rilevante propensione al dissesto è determinata dalla natura prevalentemente argillosa dei terreni e dalla intensa e diffusa fessurazione e deformazione, dovute alla complessa storia geologica.

Le tipologie di frana più diffuse nei terreni argilloso - marnosi delle Argille Varicolori sono rappresentate dai colamenti. Particolarmente presenti sono le colate di terra che presentano

meccanismi di movimento prevalentemente traslazionale (mudslides). In questo caso il materiale coinvolto nel movimento è costituito da terreni argillosi fortemente degradati e destrutturati. Lo spessore del materiale di frana è molto variabile e il movimento avviene su una superficie di scorrimento ben definita. Sulla base della morfologia delle zone di accumulo, prevalentemente estesa in lunghezza e con scorrimento in linee d'impluvio, la maggior parte delle colate traslazionali può essere classificata come colamenti incanalati. Meno frequenti sono le colate di fango. Queste si presentano di spessore limitato e con superfici di scorrimento non ben definite. Hanno minori dimensioni rispetto alle precedenti e pertanto sono più facilmente soggette a degradazione morfologica e quindi di difficile individuazione. Sono state riscontrate sui versanti distanti dall'asse stradale.

Dove i versanti argillosi presentano basse pendenze, sono presenti fenomeni di creep che coinvolgono i livelli più superficiali e più degradati dell'affioramento.

6.1 Dissesti della strada

I rilievi eseguiti hanno consentito di riconoscere e cartografare le principali morfologie e quindi i principali dissesti che coinvolgono la sede stradale. Gran parte dei dissesti rilevati ha coinvolto essenzialmente il lato valle della strada e parzialmente la sede stradale.

Alcune delle aree in dissesto, oggetto di questa indagine, ricadono all'interno di movimenti franosi più vasti, storicamente noti e morfologicamente già delimitati. Si tratta, in alcuni casi, di riattivazioni parziali e/o più superficiali, che hanno prodotto l'interruzione della strada. In alcuni punti la sede stradale è stata ribassata e/o traslata verso valle, interrompendone la normale circolazione. Gran parte di questi dissesti è stata determinata dalla cattiva regimentazione delle acque superficiali che scorrono a monte e lungo la sede stradale.

I principali dissesti che hanno coinvolto la sede stradale sono stati rilevati alle seguentiprogressive:

Tratto A: in corrispondenza

della pk 0+675**Tratto B**: fra le

pk 0+725 e pk 0+775 **Tratto**

C: fra le pk 0+950 e pk 1+025

Tratto D: fra le pk 1+175 e pk

1+225 **Tratto E**: fra le pk 1+325

e pk 1+350 **Tratto F**: fra le pk

1+475 e pk 1+525 **Tratto G**: fra

le pk 1+600 e pk 1+650

Nel **tratto A** (in corrispondenza della pk 0+675) il dissesto, determinato essenzialmente dalla cattiva regimentazione delle acque, ha determinato un abbassamento e una traslazione verso valle

della sede stradale.



Nel **tratto B** (fra le pk 0+725 e pk 0+775) è presente un'ampia area in frana che coinvolge l'intero versante fino al sottostante torrente. All'interno di questo dissesto quiesciente si è attivata una nuova frana che ha determinato uno scorrimento di alcuni decimetri verso valle della sede stradale.



Nel **Tratto C** (pk 0+950 e pk 1+025), come nel tratto precedente, è presente una frana quiesciente che coinvolge tutto il versante fino al sottostante fosso, all'interno della quale si è riattivata la porzione più a valle. La frana riattivata coinvolge la sede stradale determinando una sua traslazione verso valle di alcuni decimetri.



Nel **Tratto D** (pk 1+175 e pk 1+225) è presente una frana di prima attivazione che coinvolge la sede stradale per una lunghezza di circa 50 m. Il dissesto ha determinato un abbassamento di quota ed una traslazione verso valle di alcuni decimetri della sede stradale.



Il **Tratto E** (pk 1+325 e pk 1+350) è caratterizzato da una frana che si è attivata a ridosso di un tombino e che ha coinvolto la sede stradale, determinando un abbassamento ed una traslazione della stessa.



Lungo il **Tratto F**, fra le pk 1+475 e pk 1+525, è presente una frana attiva formatasi all'interno di un corpo di frana più ampio quiesciente. Il dissesto attivo si è formato lungo una linea di impluvio in corrispondenza di un tombino stradale.



Il **Tratto G** (1+600 e pk 1+650) è caratterizzato da una frana attiva di prima generazione che ha coinvolto circa 50 m della sede stradale. In questo tratto la gabbionata posta a monte della strada è parzialmente ruotata e traslata verso valle.



L'attivazione di tutte le frane rilevate lungo al strada è da ricercare nella cattiva o assente regimentazione delle acque superficiali e nell'assenza di manutenzione delle canalette preesistenti. Come si evince dalla foto, le acque provenienti da monte non sono adeguatamente captate e regimentate verso un tombino, ma scorrono in modo incontrollato sul versante.

7 Caratteri idrografici e idrogeologici

L'area di studio ricade all'interno bacino idrografico del Torrente Vallone, affluente in destra idrografica del Fiume Miscano, tributario del Fiume Calore, a sua volta affluente del Fiume Volturno. Il Torrente nasce nel territorio comunale di Castelfranco, sulle pendici del Monte Difesa Vecchia, si sviluppa in direzione sud fino ad immettersi nel Fiume Miscano, che formatosi sui monti della Daunia, nel territorio di Faeto, attraversa in minima parte la Puglia per poi scorrere in Campania fino ad immettersi nel Fiume Calore che a nord di Benevento sfocia nel Fiume Volturno. Il Torrente Vallone, come tutti i fiumi appenninici, presenta un regime torrentizio, con piene in autunno e inverno e magre in estate. Comprende alcuni affluenti, fra i quali il principale che interessa l'area di studio è il fosso Concadoro.

Il reticolo idrografico evidenziato riflette la permeabilità dei terreni affioranti. È presente un reticolo idrografico molto ramificato in gran parte dell'area studiata determinato dalla presenza di terreni con una bassa permeabilità primaria o secondaria.

8 Indagini

Per la corretta programmazione delle indagini si è tenuto conto principalmente della natura geologica dei terreni affioranti lungo le strade oggetto di intervento. Si è tenuto conto, inoltre, di tutti i dissesti rilevati che coinvolgono la sede stradale.

Sono stati, pertanto, programmati ed eseguiti:

- n. 2 Tomografie sismiche in onde P
- n. 2 Masw

Sono state considerate, inoltre, le indagini eseguite per il progetto di sistemazione della strada comunale Sotto Le Cupe– La Zazzera a valle del cimitero.

8.1 Caratteristiche geotecniche da indagini pregresse

Per la caratterizzazione geotecnica dei terreni affioranti lungo il tracciato stradale oggetto di intervento si fa riferimento al risultato delle prove geotecniche eseguite sui campioni prelevati nei sondaggi terebrati su un'area in frana che ha interessato la strada Comunale *Le Cupe– La Zazzera,*a valle del cimitero.

Le litologie sono state individuate attraverso la lettura della stratigrafia del sondaggio

meccanico eseguito. Nelle tabelle sottostanti si riportano i principali risultati delle analisi di laboratorio eseguite sui 3 campioni analizzati.

campioni	Classe litologica di appartenenza	W (%)	γ_v (Kn/m³)	γ_{sat} (Kn/m³	Sr (%)
S1 C1	Deposito di frana	24.87	19.26	19.4	95.7
S1 C2	Argille scagliose	14.73	20.48	21.0	83.6
S2 C1	Deposito di frana	12.37	19.80	20.8	67.8
S2 C2	Argille scagliose	13.42	21.39	21.6	90.8

campioni	tg cd			E.L.L.
	c' KPa	⊠'	⊠'r	c_u KPa
S1 C1	19.74	23.76	13.87	100.5
S1 C2				322.6
S2 C1	26.19	23.28	12.07	168.81
S2 C2	14.86	24.30		239.44

8.1.1 Caratteristiche geotecniche rappresentative

Nelle tabelle seguente vengono riportate le caratteristiche geotecniche, distinte per classi litologiche, ottenute dalle prove di laboratorio effettuate sui campioni prelevati nel sondaggio eseguito.

Principali parametri geotecnici rappresentativi			Taglio diretto CD			ELL
	☒v	☒sat	c'	☒'	☒'r	c_u
Litologia	KN/m³	KN/m³	KPa	°	°	kPa
Depositi di frana sulle argille scagliose	19.5	20.1	23.3	23.4	13	134
Argille scagliose	20.9	21.3	14.8	24.3		280

8.2 Indagini geofisiche

Le indagini geofisiche sono state eseguite con la finalità principale di ricostruire la geometria del substrato geologico interessato dal dissesto. Contestualmente all'utilizzo dei dati provenienti dai rilievi geologici e geomorfologici eseguiti, le indagini geofisiche hanno contribuito alla definizione del modello geolitologico e quindi geotecnico in corrispondenza delle singole aree indagate.

L'intera campagna geofisica è consistita, pertanto, in:

- n. 2 indagini sismiche a rifrazione;
- n. 2 indagini sismiche tipo MASW;

In sintesi si riporta a seguire una descrizione dei risultati ottenuti, mentre i risultati di questa campagna geofisica sono dettagliati nell'Allegato delle indagini (**Allegato 1**)

8.2.1 Prospezioni sismiche a rifrazione

Le Prospezioni sismiche a rifrazione ad onde longitudinali (Vp) hanno interessato alcune parte dei tratti in dissesto della strada oggetto di intervento. Sono stati eseguiti n. 2 stendimenti di sismica a rifrazione. Tutte le prospezioni sono state realizzate con 24 canali d'acquisizione. I risultati delle sismiche a rifrazione, incrociati con quelli derivanti dalle indagini dirette, hanno consentito di individuare gli spessori delle coperture detritiche e dei livelli meno addensati del substrato. Su tutti gli stendimenti sono stati ricostruiti i modelli tomografici, utilizzati per la definizione del modello geolitologico. A seguire si riportano le immagini ottenute con l'elaborazione tomografica di ogni sismica.

Sismica 1

L'indagine sismica 1 è stata eseguita fra le pk 1+000 e 1+100 circa. Ha restituito una sezione tomografica che mostra un primo livello a bassa velocità, con spessore compreso tra **3,00 e 6,00m**, delimitato dalla linea di isovelocità pari a 1100 m/s. Segue un lento e graduale aumento della velocità

con passaggio a terreni a maggiore rigidità contrassegnato dalle linee di isovelocità pari a 1700 – 2000 m/s, ad una profondità compresa tra 8,00 m e 20,00 m da p.c..

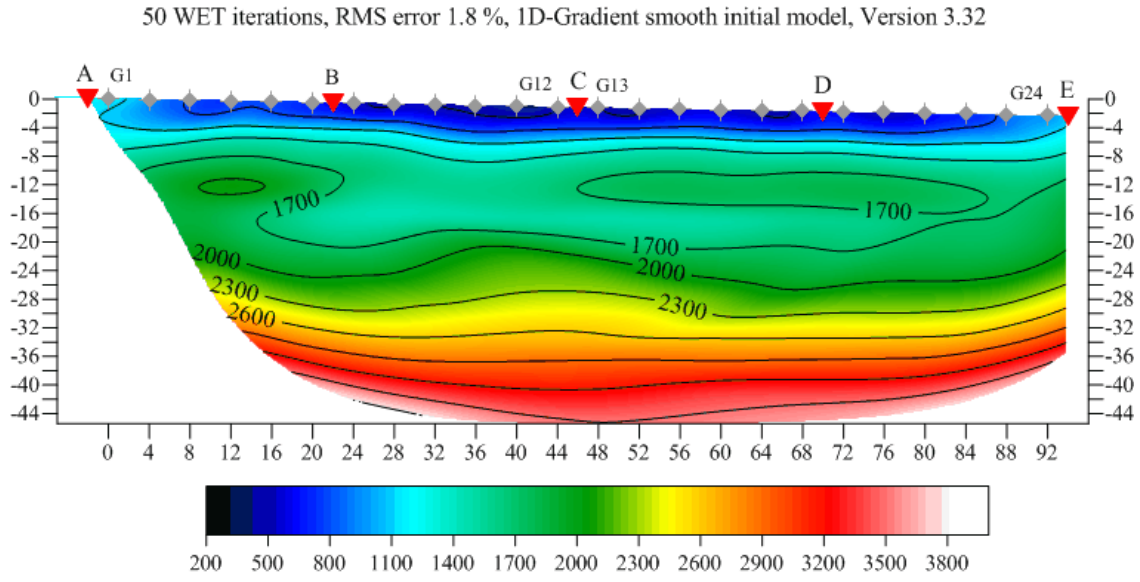


Immagine tomografica della velocità delle onde P (i triangoli rossi indicano gli shot)

Sismica 2

L'indagine sismica 2 è stata eseguita fra le pk 0+650 e 0+750 circa. Ha restituito una sezione tomografica con un primo livello a bassa velocità, con spessore compreso tra 2,00 e 6,00m, delimitato dalla linea di isovelocità pari a 1100 m/s. Segue un lento e graduale aumento della velocità con passaggio a terreni a maggiore rigidità contrassegnato dalle linee di isovelocità pari a 1700 – 2000 m/s, ad una profondità compresa tra 10,00 m e 18,00 m da p.c..

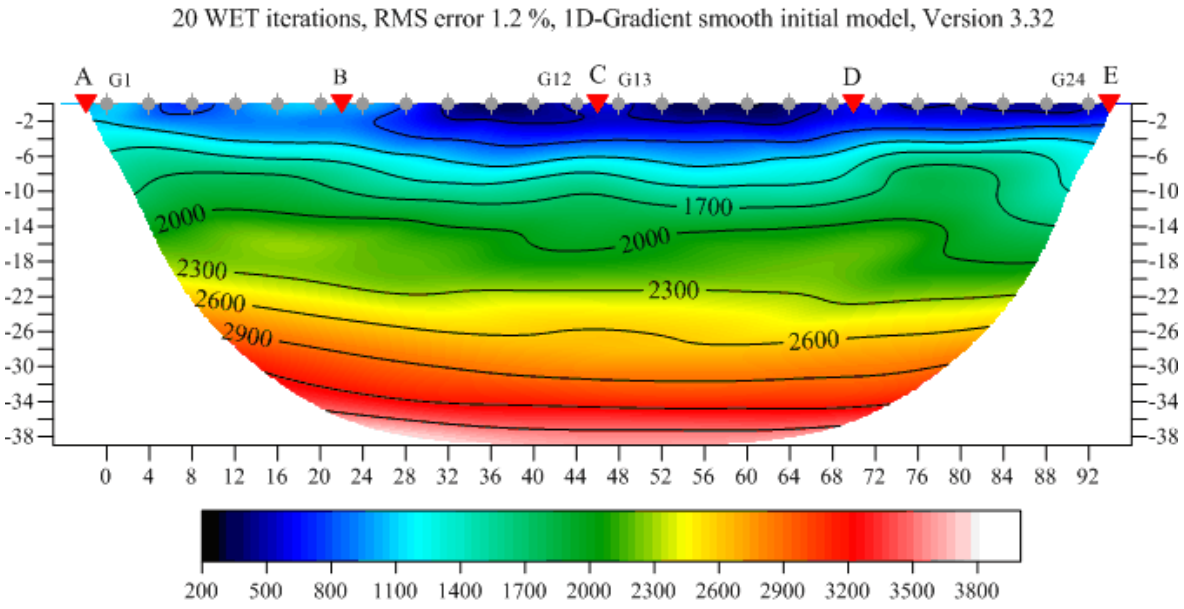


Immagine tomografica della velocità delle onde P (i triangoli rossi indicano gli shot)

8.2.2 MASW

Le prove sismiche con metodologia MASW hanno consentito di determinare, nei terreni indagati, il parametro di Vs_{eq}, così come richiesto nelle NTC 2018. Sono state eseguite n. 2 prove Masw. Le prove sono state realizzate con 24 canali d'acquisizione.

I valori di Vs_{eq} individuati hanno consentito di riconoscere le seguenti Categorie di sottosuolo sismico (tabella che segue)

MASW	Vs_{eq} (m/sec)	Categoria di sottosuolo (NTC 2018)
Masw 1	264	C
Masw 2	253	C

Categorie di suolo sismico ottenute con le prove Masw

L'indagine Masw ha consentito di ricostruire, inoltre, i profili con la variazione della velocità Vs con la profondità per ogni stendimento eseguito. Questi profili contribuiscono, contestualmente alle informazioni ottenute dalle tomografie sismiche, ad individuare lo spessore dei livelli superficiali con terreni meno consistenti.

9 Sismicità del territorio

L'area di studio, posta a ridosso del fronte della catena appenninica e in prossimità d'importanti lineazioni tettoniche, a carattere trascorrente e attive, risente di un'importante sismicità.

L'ultimo evento sismico significativo, in ordine temporale, è stato il terremoto con epicentro in Molise del 31.10.2002. La magnitudo di questo evento è stata stimata pari a 5.4 della scala Richter. Come evidenziato dal lavoro pubblicato nel 2006 da Bruno G, et alii gli eventi sismici più forti, verificatisi in epoca storica nelle vicinanze dell'area in studio, sono:

- La sequenza appenninica del dicembre 1456, di cui si ricordano danni gravi a Casacalenda;
- La sequenza garganica del luglio/agosto 1627, che ha provocato, fra l'altro, danni di grado VIII- IXa Termoli e di grado VIII a Campomarino;
- Il terremoto del 30 marzo 1731, che raggiunse gli effetti del X grado con la distruzione di granparte delle costruzioni del territorio comunale di Troia nonché parti della cattedrale;
- L'evento del luglio 1805, nel Matese, i cui effetti peraltro non hanno superato il grado VI

Nello stesso lavoro si riporta la notizia che nell'area della Daunia potrebbe essere localizzato un terremoto dell'11 ottobre 1125, che avrebbe prodotto danni attribuibili al VIII grado. Cataloghi sismici precedenti a quelli attualmente in uso, inoltre, riportano un terremoto distruttivo, localizzato a Larino che sarebbe avvenuto nel 1120. Studi recenti hanno dimostrato che, con buona probabilità, si tratterebbe di una duplicazione di un evento avvenuto nello stesso anno 1120 in un'area limitrofa (Bruno G. et alii 2006).

10 Amplificazione sismica

L'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n° 3274 del 20/03/2003, "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica", ha disposto i seguenti criteri per la valutazione preliminare della risposta sismica del sottosuolo:

- una nuova classificazione dei comuni italiani secondo quattro zone di pericolosità sismica (Tabella a), espressa in termini di accelerazione massima orizzontale al suolo (ag) su terreni duri e differenti tempi di ritorno, funzione della vita nominale della struttura e della sua destinazione d'uso

Tabella a - Suddivisione delle zone sismiche in relazione all'accelerazione di picco su terreno rigido

ZONA	ACCELERAZIONE (A_G) CON PROBABILITÀ DI SUPERAMENTOPARI AL 10% IN 50 ANNI	AG MAX
1	$0,25 < ag \leq 0,35$ g	0,35 g
2	$0,15 < ag \leq 0,25$ g	0,25 g
3	$0,05 < ag \leq 0,15$ g	0,15 g
4	$\leq 0,05$ g	0,05 g

- la classificazione del sottosuolo in categorie di suolo di fondazione (Tabella b), sulla base della stima di vari parametri del terreno (Vs, NSPT,cu, e profondità del bedrock). Ad ognicategoria sono stati attribuiti i valori dei parametri dello spettro di risposta per la stima delle azioni sismiche di progetto.

Tabella b - Classificazione del sottosuolo in categorie di suolo di fondazione

CATEGORIA SUOLO DI FONDAZIONE	PROFILO STRATIGRAFICO	PARAMETRI		
		Vs30 (m/s)	Nspt	Cu (kPa)
A	Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi	> 800		
B	Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti, con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	< 800 > 360	> 50	> 250
C	Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate, o di argille di media consistenza	< 360 > 180	< 50 > 15	< 250 > 70
D	Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti	< 180	< 15	< 70
E	Profili di terreno costituiti da strati superficiali alluvionali, con valori di VS30 simili a quelli dei tipi C o D e spessore compreso tra5 e 20 m, giacenti su di un substrato di materiale più rigido con VS30 > 800m/s			
S1	Depositi costituiti da, o che includono, uno strato spesso almeno 10 m di argille/limi di bassa consistenza, con elevato indice di plasticità (PI > 40) e	< 100		< 20 > 10
S2	Depositi di terreni soggetti a liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di terreno non classificabile nei tipi precedenti			

Le Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. del 14/01/2008) propongono una nuova zonazione fondata su un reticolo di punti di riferimento con intervalli di a_g pari a 0.025 g, costruito per l'intero territorio nazionale. Ai punti del reticolo sono attribuiti, per nove differenti periodi di ritorno del terremoto atteso, i valori di ag e dei principali "parametri spettrali" riferiti all'accelerazione orizzontale e verticale su suoli rigidi e pianeggianti, da utilizzare per il calcolo dell'azione sismica (fattore di amplificazione massima F_0 e periodo di inizio del tratto dello spettro a velocità costante T*C). Il reticolo di riferimento ed i dati di pericolosità sismica vengono forniti dall'INGV e pubblicati nel sito http://esse1.mi.ingv.it/. attraverso le coordinate geografiche del sito Anche le Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. del 14/01/2008), così come l'OPCM n° 3274 del 20/03/2003, considerano come valore di accelerazione sismica di riferimento, l'accelerazione massima su un suolo di categoria A. Il valore di accelerazione massima del terreno varia, in realtà, in funzione delle caratteristiche topografiche e stratigrafiche dell'area oggetto di studio.

La campagna d'indagine geofisica eseguita ha consentito di evidenziare le caratteristiche sismiche dell'area di studio e di individuare, in particolare, la categoria di suolo presente. Con le Masw eseguite lungo i tratti di strada in dissesto sono stati registrati valori di V_{seq} che hanno identificato categorie di suolo pari a **C.**

Dalle NTC 2018 sulla base dell'ubicazione delle opere in progetto e delle loro caratteristiche progettuali è possibile ricavare i parametri sismici (a_g e F_o) necessari per la definizione della sismicità.

Si riportano a seguire i parametri rappresentativi dell'area indagata.

INTERVENTO TRATTO A

Ubicazione della strada		Latitudine	Longitudine
Comune di Castelfranco in Misciano (BN)	(Coord. WGS84)	Lat 41.281521 - Lng 15.087328	
	(Coord. ED50)	Lat 41.282505 - Lng 15.088187	

Da progetto				
Classe dell'edificio		I		
Cu		0.7		
Vita nominale		50		
Periodo di riferimento per l'azione sismica:		35		
Caratteristiche sismiche				
Stato Limite	Tr [anni]	ag [g]	Fo	Tc* [s]
Operatività (SLO)	30	0.052	2.405	0.288
Danno (SLD)	35	0.056	2.413	0.299
Salvaguardia vita (SLV)	332	0.158	2.503	0.402
Prevenzione collasso (SLC)	682	0.218	2.458	0.430

Dalla categoria di suolo utilizzando le caratteristiche sismiche riportate nella tabella precedente, si ottiene l'amplificazione stratigrafica secondo la formula riportata nelle Norme Tecniche delle Costruzioni (cap. 3.2.3.2.1).

Per l'amplificazione topografica si considera un valore riferita alla categoria topografica T1.

Per il calcolo dell'amplificazione stratigrafica Ss e del coefficiente Cc si fa riferimento alla seguente tabella riportata nel DM del 14/01/2008:

Tabella 3.2.V – *Espressione di S_s e di C_c*

Categoria sottosuolo	S_s	C_c
A	1,00	1,00
B	$1{,}00 \le 1{,}40 - 0{,}40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \le 1{,}20$	$1{,}10 \cdot (T_c)^{-0.20}$
C	$1{,}00 \le 1{,}70 - 0{,}60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \le 1{,}50$	$1{,}05 \cdot (T_c)^{-0.33}$
D	$1{,}00 \le 2{,}40 - 1{,}50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \le 1{,}80$	$1{,}25 \cdot$
E	$1{,}00 \le 2{,}00 - 1{,}10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \le 1{,}60$	$1{,}15 \cdot$

In sintesi, si riportano a seguire i coefficienti sismici dell'area di ubicazione dell'opera

Categoria di suolo	C
Amplificazione topografica (S_t)	T = 1

	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1.50	1.50	1.46	1.38
CC Coeff. funz categoria	1.58	1.56	1.42	1.39
ST Amplificazione topografica	1	1	1	1

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.016	0.017	0.055	0.084
kv	0.008	0.008	0.028	0.052
Amax [m/s²]	0.768	0.825	2.255	2.954
Beta	0.200	0.200	0.240	0.280

11 Modellazione geolitologica – geotecnica

Le informazioni derivanti da tutti i rilievi condotti e le indagini eseguite hanno permesso di ricostruire in dettaglio le geometrie dei principali corpi litologici individuati in tutte le zone di intervento. Le diverse litologie presenti nell'area di studio, sono rappresentate essenzialmente dai seguentiterreni:

- Terreno di frana
- Argille scagliose.

A seguire si riporta uno schema di modellazione geolitologica – geotecnica di riferimento ricostruito per le principali area di intervento.

Schema geolitologico - geotecnico

	Stratigrafia	Caratteristiche litologiche	Caratteristiche geotecniche	Categoria di suolo e topografica (NTC 2018)
0.00 m		Terreno argilloso _frana	γ =19.5 KN/m³ γ_{sat} =20.1 KN/m³ ϕ = 23.4° c = 23.3 kPa ϕ_r = 13° c_r = 4.2 kPa cu = 134 kPa	– categoria di sottosuolo: C – categoria topografia: T1
–5.00 m		Argille scagliose	γ =20.9 KN/m³ γ_{sat} =21.3 KN/m³ ϕ = 24.3° c = 14.8 kPa cu =280 kPa	

12 Verifiche di stabilità

A completamento delle indagini sono state eseguite delle verifiche di stabilità lungo i profili passanti per i principali dissesti rilevati. Sono state considerate, in particolare, le aree in dissesto con maggiore grado di pericolosità. Le sezioni ricostruite per le verifiche analitiche della stabilità sono quelle passanti per le aree in dissesto del tratto A, B, D

Le verifiche sono state eseguite nella situazione attuale del versante, ipotizzando la falda a piano campagna e in condizioni modificate, abbassando il livello della falda.

Le verifiche di stabilità sono state eseguite con il software SLOPE della Gesotru (codice cliente 2116).

Nell'input dei dati sono state considerate le modellazioni geolitologiche – geotecniche riportate in questa relazione.

Nelle impostazioni generali, si è inoltre tenuto conto delle caratteristiche sismiche del sito (secondo quanto riportato nelle NTC 2018), con una categoria del suolo pari a C e un coefficiente topografico T1.

Fatte tali premesse, si è proceduto con il calcolo utilizzando il metodo di FELLENIUS.

A seguire si riporta la tabella con i valori del coefficiente di sicurezza (F) individuato in condizioni ante e post opera. Tale confronto evidenzia l'efficacia di una buona regimentazione delle acque sul pendio e degli interventi di stabilizzazione.

Intervento	Verifica	Coefficiente di sicurezza (F) ante opera	Coefficiente di sicurezza (F) post opera
Tratto A	Profilo 1	0.77	1.1
Tratto B	Profilo 2	0.67	1.02
Tratto D	Profilo 3	0.59	1.02

I risultati della verifica di stabilità sono riportati nell'**Allegato 2.**

13 Conclusioni e indicazioni di intervento

Considerando le condizioni di stabilità morfologica attuale dei versanti attraversati e le tipologie di dissesto delle aree esaminate, appare evidente che per ridare e garantire la stabilità nei tratti di strada considerati, è necessario intervenire essenzialmente con opere che favoriscano il veloce drenaggio controllato delle acque superficiali.

Si riportano a seguire, per i principali dissesti analizzati, le indicazioni da tener presente ai fini dellaprogettazione delle opere di sistemazione dei tratti di strada considerati.

Tratto A (in corrispondenza della pk 0+675)

Per il versante interessato da questo tratto di strada, caratterizzato da una frana attiva, le verifiche di stabilità del pendio hanno dimostrato che le condizioni di equilibrio possono essere notevolmente migliorate abbassando il livello della superficie piezometrica. Si propongono, pertanto, interventi finalizzati alla regimentazione delle

acque superficiali ripristinando i tombini attualmente presenti ripulendo le canalette sul lato monte della strada.

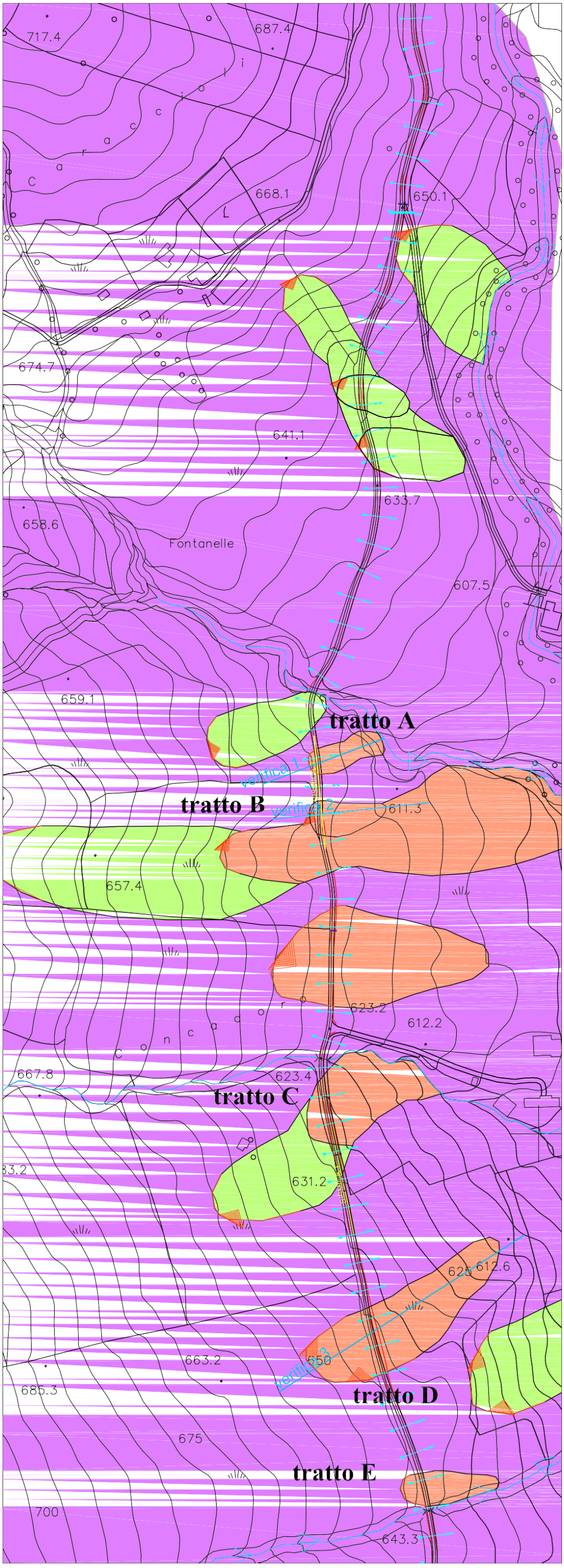
Tratto B: (pk 0+725 e pk 0+775)
Il dissesto presente in questo tratto è stato determinato principalmente da una non adeguata regimentazione delle acque superficiali. Gli interventi da prevedere consistono, pertanto, in drenaggi superficiali. È necessario, inoltre, il ripristino dei tombini presenti.

Tratto C: (pk 0+950 e pk 1+025)
Per questo tratto, caratterizzato dalla presenza di alcune frane che hanno coinvolto la sede stradale, sono da prevedere interventi di stabilizzazione della sottoscarpa stradale e interventi di drenaggio. Per la regimentazione delle acque superficiali è opportuna la realizzazione di canalette da ubicare sul margine di monte della strada e sistemare le cunette/zanelle laterali e i fossi di guardia.

Tratto D: (pk 1+175 e pk 1+225)
Come nei precedenti tratti, per eliminare le criticità gravitative rilevate risultano necessari la sistemazione delle cunette/zanelle laterali e dei fossi di guardia. Sono fondamentali, inoltre, le opere di smaltimento delle acque e drenaggi di attraversamento.

Tratto E: (pk 1+325 e pk 1+350)
La criticità rilevata in questo tratto è determinata dall'assenza della regimentazione superficiale delle acque. Un'opera fondamentale, pertanto, da realizzare deve essere finalizzata essenzialmente al drenaggio delle acque superficiali.

Tratto F: (pk 1+475 e pk 1+525)
Per ridare e garantire la stabilità a questo tratto di strada sarà necessario intervenire essenzialmente con interventi di regimentazione delle acque superficiali attraverso la sistemazione delle cunette/zanelle laterali e dei fossi di guardia e la realizzazione di opere di smaltimento delle acque e drenaggi di attraversamento.



CARTA GEOLOGICA E GEOMORFOLOGICA

LEGENDA

- Deposito di frana attiva
- Deposito di frana quiesciente
- Argille Varicolori
- Ciglio di distacco di frana
- Fosso in erosione
- Indagine sismica
- Tracce di sezioni per le verifiche di stabilità