

PROVINCIA DI PARMA
SERVIZIO PIANIFICAZIONE TERRITORIALE
UFFICIO SISTEMI INFORMATIVI TERRITORIALI (SIT)
SICUREZZA TERRITORIALE E PIANIFICAZIONE D'EMERGENZA

Consolidamento di versante interessato da dissesto idrogeologico in loc. Fragno - (Comune di Calestano) CUPD11B21004570003



PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO

approvato	 Dott. Ing. Giuseppe Campi
verificato	Dott. Geol. Giovanni Carra
elaborato	Dott. Geol. Giovanni Carra

VISTO: Il Responsabile del procedimento
Dott. Ing. Andrea CORRADI

Il gruppo di lavoro:
Arch. Sara SANDEI
Geol. Martino PIAZZA
Dott. Carlos BORDINI

ELABORATO 02

Relazione geologica e sismica

01	GV	GV	GC	Maggio 2022
00	GV	GV	GC	Aprile 2022
rev.	sigla			data

codice elaborato 0977-05-04-201R-01



01PQ-Mod07

Rev. 1

Data emissione: 02.2018

Indice

1	Premessa	1
1.1	Iter amministrativo e progettuale	1
1.2	Normativa di riferimento	2
2	Inquadramento dell'area di intervento	4
3	Opere in progetto	6
3.1	Canalizzazioni e sistemi drenanti	6
3.2	Opere in legname	7
3.2.1.	Palificate semplici.....	7
3.2.1.	Palificate doppie.....	7
3.3	Difese in gabbioni metallici	8
3.4	Inerbimento.....	8
4	Inquadramento geologico e geomorfologico	9
4.1	Descrizione del dissesto	10
5	Sismicità.....	15
5.1	Elementi di sismotettonica regionale.....	15
5.2	Sismicità storica dell'area	15
5.3	Sorgenti sismogenetiche	16
5.4	Zonazione Sismogenetica	18
5.5	Azioni sismiche	20
5.5.1.	Spettro di risposta elastico.....	24
6	Stabilità	26
6.1	Premessa	26
6.2	Note metodologiche.....	26
6.2.1.	Metodo di Bishop (1955)	27
6.3	Risultati e conclusioni.....	28
7	Conclusioni	32

1 Premessa

La presente relazione geologica e sismica riguarda il “Progetto di Consolidamento versanti in dissesto nei Comuni di Calestano (Loc. Fragno) Bardi (Loc. Saliceto) CUP D11B21004570003” ed è riferita nello specifico all’insieme degli interventi sul dissesto in località Fragno del Comune di Calestano.

Il progetto è stato redatto dalla scrivente Società ART srl sulla base dello Studio di Fattibilità Tecnica Economica per consolidamento versanti interessati da dissesto idrogeologico completato nell’ottobre 2021 dalla Committente PROVINCIA DI PARMA – Servizio Pianificazione Territoriale – Ufficio Sistemi Informativi Territoriali – Sicurezza Territoriale e Pianificazione d’Emergenza.

L’incarico della presente progettazione è stato conferito ad ART srl mediante Determinazione Dirigenziale n. 1609 del 19/11/2021.

I dati di riferimento sono costituiti dalle informazioni riportate negli studi di supporto al Piano Strutturale Comunale e nei database della Regione Emilia-Romagna (Servizio geologico, sismico e dei suoli) e di ISPRA.

Il contenuto degli elaborati oggetto dei servizi è quanto ritenuto necessario per descrivere l’assetto geologico-geomorfologico generale e di dettaglio e gli aspetti sismici dell’area (inquadramento sismotettonico, sismicità storica e pericolosità sismica).

1.1 Iter amministrativo e progettuale

In riferimento all’ Allegato A del DPR. 5 ottobre 2010, n. 207 i lavori da realizzare rientrano nella categoria “OG13 - Opere di ingegneria naturalistica” che riguarda la costruzione, la manutenzione o la ristrutturazione di opere o lavori puntuali, e di opere o di lavori diffusi, necessari alla difesa del territorio ed al ripristino della compatibilità fra sviluppo sostenibile ed ecosistema, comprese tutte le opere ed i lavori necessari per attività botaniche e zoologiche. Tale categoria comprende, in via esemplificativa, i processi di recupero naturalistico, botanico e faunistico, la conservazione ed il recupero del suolo utilizzato per cave e torbiere e bacini idrografici, l’eliminazione del dissesto idrogeologico per mezzo di piantumazione, le opere necessarie per la stabilità dei pendii, la riforestazione, i lavori di sistemazione agraria e le opere per la rivegetazione di scarpate stradali, ferroviarie, cave e discariche.

La realizzazione di tali opere sarà articolata in due fasi procedurali distinte:

- la prima si riferisce all’espletamento delle prestazioni relative allo Studio di Fattibilità Tecnica-Economica (approvato con Decreto del Presidente della Provincia ed inserito nella programmazione triennale dei lavori pubblici 2021-2023 dell’amministrazione) e alla progettazione definitiva/esecutiva in un’unica soluzione, in quanto, per progetti inerenti opere di ingegneria naturalistica, il grado di dettaglio dei due elaborati progettuali è molto simile;

- la seconda, di successivo affidamento, si riferisce allo svolgimento della gara per l’esecuzione dei lavori che sarà effettuata sulla base del progetto esecutivo ai sensi dell’art. 59 comma 1 del D.Lgs n. 50/2016.

Nella prima fase verranno richiesti i pareri/nullaosta/autorizzazioni agli Enti preposti alla tutela ambientale, idraulica e paesaggistica quali:

- Arpae;
- Agenzia Regionale Per La Sicurezza Territoriale E La Protezione Civile;
- AUSL;
- Consorzio della Bonifica Parmense;
- Comune di Calestano

e sarà fatta richiesta, ai proprietari dei terreni interessati dalle opere, di occupazione temporanea, non preordinata all’esproprio, per il tempo necessario all’esecuzione dei lavori.

1.2 Normativa di riferimento

La progettazione delle opere e degli interventi dovrà essere conforme alle norme di settore vigenti quali quelle relative a:

Contratti pubblici

- D.Lgs. n. 50/2016 “Codice dei contratti pubblici (Testo aggiornato con il decreto legislativo 19 aprile 2017, n. 56 e la legge 21 giugno 2017, n. 96);
- Linee Guida Anac;
- D.P.R. n. 207/2010 “Regolamento di esecuzione ed attuazione del D. Lgs. 163/2006” e ss.mm.ii Limitatamente agli Articoli che restano in vigore nel periodo transitorio fino all'emanazione delle linee guida ANAC e dei decreti del MIT attuativi del d.lgs. n. 50 del 2016 (tutti gli altri articoli sono abrogati dal 19 aprile 2016);
- D.M. n. 145/2000 “Regolamento recante il Capitolato generale d'appalto dei lavori pubblici” e ss.mm.ii.;
- D.P.R. n. 327/2001 “Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia di espropriazione per pubblica utilità” e ss.mm.ii.;
- Ministero della Giustizia - Decreto ministeriale 31 ottobre 2013, n. 143 – “Regolamento recante determinazione dei corrispettivi da porre a base di gara nelle procedure di affidamento di contratti pubblici dei servizi relativi all'architettura ed all'ingegneria”;

Tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro

- D. Lgs. n. 81/2008 “Attuazione dell'art. 1 L. 123/2007 in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro”;

Tutela ambientale e paesaggistica

- D. Lgs. n. 152/2006 “Norme in materia ambientale” e ss.mm.ii.;
- D.Lgs. n. 42/2004 “Codice dei beni culturali e del paesaggio” e ss.mm.ii.;
- D.P.C.M. 12/12/2005 “Individuazione della documentazione necessaria alla verifica della compatibilità paesaggistica degli interventi proposti, ai sensi dell'art. 146 comma 3 del Codice dei beni culturali e del paesaggio” e ss.mm.ii.;
- D.P.R. n. 120 del 13 giugno 2017 “Regolamento recante la disciplina semplificata della gestione delle terre e rocce da scavo, ai sensi dell'articolo 8 del Decreto Legge 12 settembre 2014, n. 133, convertito, con modificazioni, dalla Legge 11 novembre 2014, n. 164”

Norme per le costruzioni

- Legge 05/11/1971 n. 1086: “Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato normale e precompresso ed a struttura metallica”;
- D.M. 14/01/2008: “Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni”;
- Circolare 2 febbraio 2009, n. 617 - Istruzioni per l'applicazione delle “Nuove norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 14 gennaio 2008;
- D.M. 11/03/1988: “Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione”.
- Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018– Testo Unitario – Norme tecniche per le costruzioni (G.U. del 20.02.2018) e Circolare 21 gennaio 2019 n. 7” Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018”;
- Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici – Allegato al voto n°36 del 27/07/2007 – Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale;

- Delibera dell'Assemblea legislativa della Regione Emilia-Romagna n°112 del 02/05/2007 - Approvazione dell'atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art. 16, comma 1, della L.R. 20/2000 "Disciplina generale sulla tutela e l'uso del territorio", in merito a indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica". (Proposta della Giunta regionale in data 10 gennaio 2007, n°1);
- L.R. Regione E.R. n°19 del 30/10/2008 "Norme per la riduzione del rischio sismico";
- L.R. Regione E.R. n°20 del 24/03/2000 inerente la "Disciplina generale sulla tutela e l'uso del territorio".
- DGR n. del 2193 del 21 dicembre 2015 "Aggiornamento degli indirizzi regionali per studi di microzonazione sismica (MS) per la pianificazione urbanistica, atto d'indirizzo ai sensi dell'art. 16 della LR 20/2000 (deliberazione dell'Assemblea Legislativa n. 112 del 2 maggio 2007).

Difesa del suolo

- R.D. 23 dicembre 1923, n. 3267 "Riordinamento e riforma della legislazione in materia di boschi e di terreni montani" e ss.mm.ii.;
- L. n. 183/1989 "Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo" e ss.mm.ii.;
- D.P.R. 14/04/1993 "Atto di indirizzo e coordinamento alle regioni recante criteri e modalità per la redazione dei programmi di manutenzione idraulica e forestale".

2 Inquadramento dell'area di intervento

L'area dove ricadono gli interventi previsti nel presente progetto è ubicata in località Fragno in Comune di Calestano (PR), a valle della Strada Provinciale n°61.



Fig. 1 Ubicazione intervento

L'area in questione è stata interessata da diversi movimenti franosi nel corso degli anni che hanno portato alla formazione di un deposito originato dal movimento verso la base del versante di una massa di terra e roccia.

Storicamente è stata segnalata una attivazione del movimento franoso nei primi mesi del 2009 a causa di forti piogge e nevicate; successivamente nel 2014 è avvenuto un primo cedimento del piano viario della SP 61 a monte dell'abitato di Fragno per poi ripetersi in tempi più recenti.

Per queste tipologie di frane sussistono oggettive possibilità di riattivazione poiché le cause preparatorie e scatenanti che hanno portato all'origine e all'evoluzione del movimento gravitativo non hanno, nelle attuali condizioni morfo-climatiche, esaurito la loro potenzialità.

Strutturalmente, si tratta di un deposito di frana attiva di tipo indeterminato, presente nella Carta del Dissesto della Regione Emilia-Romagna, costituito dalla combinazione di due o più tipologie di movimento, riconducibile a scivolamenti accompagnati da colamenti di fango o detriti. Il deposito detritico ha inoltre manifestato evidenze di movimenti nel corso dell'ultimo ciclo stagionale, con la formazione di lesioni/fratture e smottamenti del terreno oltre ad evidenti segni sulla vegetazione circostante.

Attualmente l'area risulta priva di vegetazione in quanto i ripetuti movimenti franosi e le diverse riattivazioni, anche recenti, hanno generato un disboscamento della porzione di terreno che ha portato ad una situazione di zona rada interclusa da vegetazione ai lati del versante. La superficie della frana è stata inoltre oggetto di interventi rimodellamento morfologico e di regimazione delle acque superficiali, costituiti da una rete di canali recapitanti nel fosso di guardia della sottostante strada comunale (Fig. 2), nonché dai più recenti interventi di consolidamento della massicciata stradale, la cui realizzazione è in corso.



Fig. 2 Area di frana – Foto aerea luglio 2021

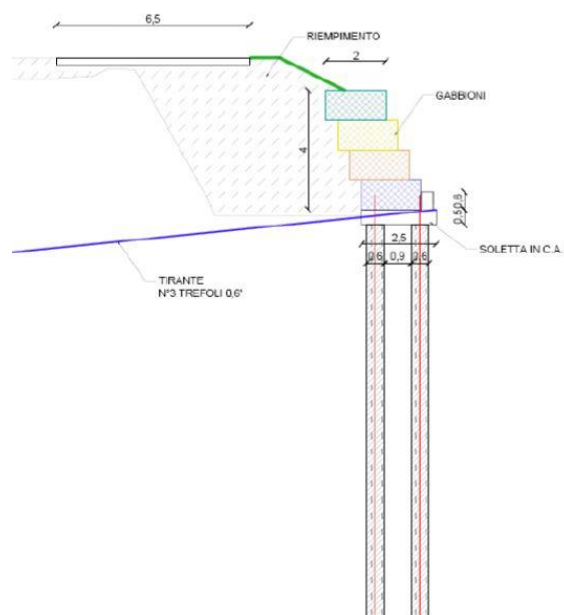
La recente riattivazione del fronte di frana avvenuta nel periodo invernale a causa delle copiose piogge e nevicate ha portato al crollo parziale della sede stradale della SP 61 di Calestano, creando disagi e pericoli alla percorrenza dei mezzi in transito.

A seguito di tale movimento franoso, il Servizio Viabilità della Provincia di Parma, dopo aver eseguito interventi in somma urgenza per ripristinare la sicurezza stradale ha prodotto uno studio di fattibilità tecnico ed economica, approvato con Decreto Presidenziale n. 88/2021, e successivamente ha affidato la progettazione per il ripristino della sede stradale della SP 61.

Nello specifico è stata realizzata un'opera di sostegno, a valle della strada, composta da pali in cemento armato diametro 60cm collegati da una soletta in c.a. tirantata; il rilevato franato è stato ricostruito in ghiaia, sostenuta da un muro a gravità in gabbioni a scatola metallica. Completeranno l'intervento il ripristino della pavimentazione in conglomerato bituminoso, la posa di barriera stradale metallica e la formazione di segnaletica orizzontale.

Si riporta il particolare costruttivo delle opere di ripristino realizzate.

Ad integrazione dei lavori strutturali realizzati, nell'ambito del presente progetto, si prevede di intervenire sul versante sottostante attraverso opere di ingegneria naturalistica funzionali a limitare il movimento franoso della porzione superficiale del terreno.



3 Opere in progetto

Il quadro dei dissesti precedentemente descritto può essere affrontato con opere di consolidamento che prevedono l'utilizzo di materiali naturali inerti (legno, pietrame e terreno) e sistemi di raccolta delle acque di infiltrazione.

Attraverso le tecniche di ingegneria naturalistica è infatti possibile risolvere problemi di instabilità delle porzioni superficiali di terreno, dove risulta di maggior importanza nell'intervento:

- ottenere il massimo effetto drenante;
- impiegare opere relativamente leggere per non sovraccaricare il terreno;
- assicurare la massima protezione antierosiva;
- ridurre l'infiltrazione e la saturazione di terreni instabili.

La finalità dell'intervento non è quella di bloccare l'intero movimento franoso ma di migliorare l'attuale situazione attraverso opere di mitigazione ambientale e paesaggistica funzionali al rinverdimento dell'intera area.

In sintesi, gli interventi proposti in progetto sono i seguenti:

- canalizzazioni e sistemi drenanti;
- opere in legname (palificate semplici e palificate doppie);
- difese in gabbioni metallici;
- idrosemina.

3.1 Canalizzazioni e sistemi drenanti

L'intervento prevede la formazione di una rete di raccolta e smaltimento delle acque di sottosuolo.

La rete è composta da trincee drenanti che si sviluppano lungo le linee di massima pendenza del versante e ripercorrono per buona parte il tracciato dell'attuale sistema di canalizzazioni in terra di cui è prevista la chiusura.

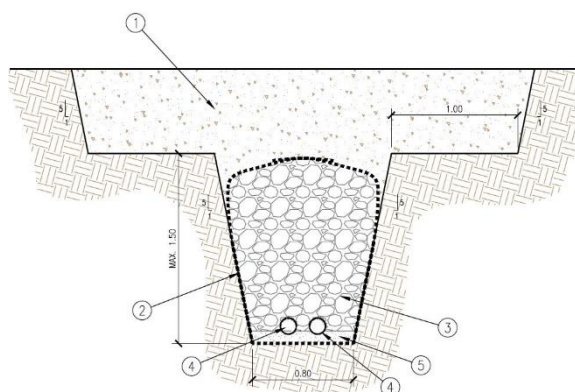
Le trincee drenanti sono costituite da uno scavo di larghezza minima al fondo pari a 80 cm e di profondità media pari a 2.5 m, da eseguire in due fasi successive per ragioni di stabilità delle pareti di scavo. Sul fondo e sulle pareti dello scavo è previsto il rivestimento con geotessile non tessuto ad azione filtrante.

Alla base dello scavo è prevista la posa di due tubi in PVC DN100 microfessurati. Infine, è previsto il riempimento dello scavo con ciottoli di dimensioni 15-20 cm da ricoprire con i risvolti del geotessile. Per la chiusura completa dello scavo si prevede il riutilizzo di terreno di risulta dalle attività di realizzazione delle trincee e dalla riprofilatura del versante.

In merito alla raccolta delle acque di ruscellamento superficiale si prevede la riprofilatura di fossi in terra nei seguenti tratti:

- lato di monte sotto alla SP61;
- lato destro del versante in frana;
- lato di monte dalla strada comunale.

La sezione attuale di riprofilatura dei fossi presenta geometria trapezia con larghezza al fondo pari a 50 cm, profondità pari a 50 cm e pendenza delle sponde pari a 1/1.



3.2 Opere in legname

3.2.1. Palificate semplici

Nell'ambito degli interventi è previsto il consolidamento e la stabilizzazione superficiale del terreno mediante la realizzazione di palificate semplici in legname. Queste sono previste in corrispondenza della rampa della pista di servizio collocata in prossimità della immissione sulla SP61.

Nella parte di valle è prevista la disposizione di palificate su linee parallele su versante, con dislivello tra ogni linea pari a 1 m.

Nel settore di monte è prevista la disposizione di palificate su due porzioni del fronte di distacco della frana, in particolare sulla parte sinistra e sulla parte destra. Il dislivello previsto tra ogni linea è pari a 2 m.

Per la formazione delle palificate è previsto l'utilizzo di tondame scortecciato idoneo e durabile di latifoglia (castagno) o conifera (larice). Nella parte emergente si prevede la disposizione di n.3 file di pertiche con diametro 15 cm, collocate perpendicolarmente alla linea di massima pendenza del versante, sostenute da pali verticali (pilotti) costituiti da elementi di diametro 200 cm infissi nel terreno per almeno 1 m, ad interasse pari a 100 cm.

Subito a monte della palificata, dopo la formazione della banchina in terra, è previsto l'inserimento di talee disposte in numero di almeno 10-20 al metro lineare e insieme a queste o in alternativa è possibile inserire piantine radicate in numero pari a 4-5 al metro lineare.

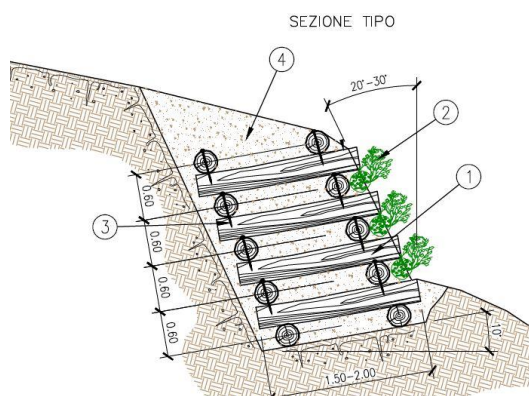
Per i dettagli grafici e quantità delle lavorazioni si rimanda agli elaborati di progetto.

3.2.1. Palificate doppie

Per il ripristino morfologico e il consolidamento nel settore sinistro di monte del corpo di frana, si prevede la realizzazione di una classica palificata di sostegno a due pareti composta da correnti e trasversi scortecciati di legno idoneo e durabile di larice, castagno o quercia, di diametro minimo 20 - 25 cm, fra loro fissati con barre ad aderenza migliorata (diam. min 12 mm) o chiodi, staffe e caviglie, ancorata al piano di base con coppie di piloti in pali di castagno scortecciato di 20 cm di diametro e in acciaio ad aderenza migliorata (diametro minimo mm 24-36). La struttura di progetto presenta larghezza pari a 2 m e altezza pari a 2.4 m.

Per il sostegno del versante si prevede la realizzazione di due ordini di palificate, ciascuno di sviluppo pari a 6m.

Completata la struttura ed eseguito il riempimento con materiale di risulta dagli scavi si prevede l'inserimento, lungo il paramento esterno, di talee di specie arbustive e/o arboree (n. 5 talee a m²) ad elevata capacità vegetativa e capaci di emettere radici avventizie dal fusto posate contigue in ogni strato.



Per i dettagli grafici e quantità delle lavorazioni si rimanda agli elaborati di progetto.

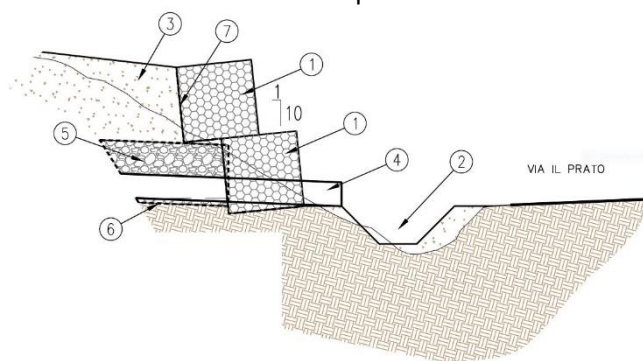
3.3 Difese in gabbioni metallici

A protezione della strada Comunale che transita a valle del versante in dissesto si prevede la realizzazione di un'opera di sostegno al piede della frana.

La difesa è composta da gabbioni metallici riempiti con pietrame di cava, di sezione 1x1 m e posati con inclinazione di 10° verso monte.

E' prevista la posa di uno o due ordini di gabbioni in funzione dell'altezza del fronte da sostenere.

Per i dettagli grafici e quantità delle lavorazioni si rimanda agli elaborati di progetto.



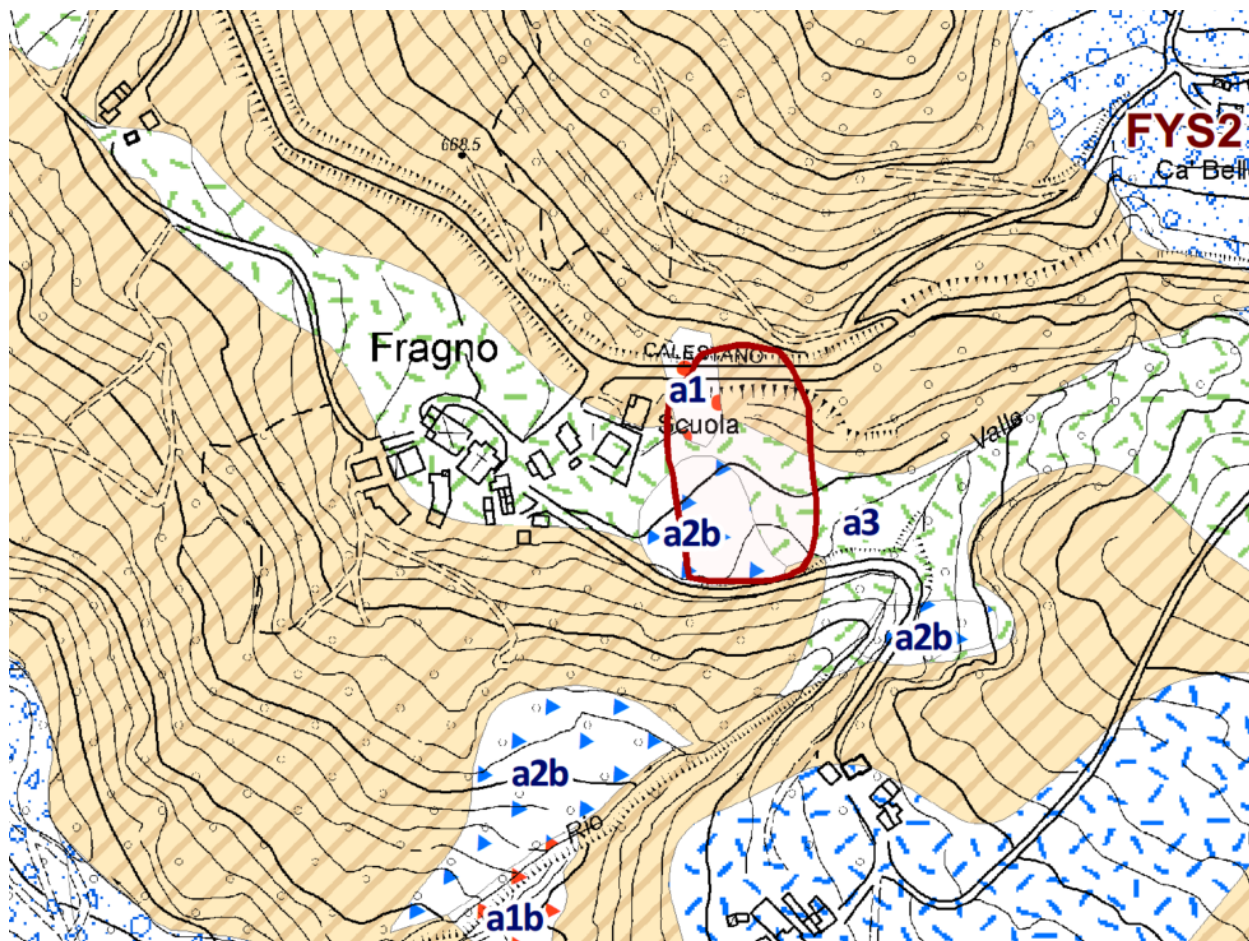
3.4 Inerbimento

Con lo scopo di proteggere il terreno dall'erosione superficiale dovuta all'azione battente delle precipitazioni e dal ruscellamento si prevede l'inerbimento della superficie del corpo di frana mediante l'utilizzo della semina idraulica o idrosemina.


La tecnica dell'idrosemina prevede l'impiego di una miscela composta da acqua, miscuglio di sementi idonee, concime, collanti e sostanze miglioratrici del terreno.

4 Inquadramento geologico e geomorfologico

L'area di intervento ricade in corrispondenza di un dissesto gravitativo segnalato dalla cartografia geologica alla scala 1:10.000 della regione Emilia - Romagna (Fig. 3). Tale dissesto si sviluppa in corrispondenza di un esteso deposito detritico di versante sovrapposto alla Formazione del Flysh di Monte Sporno (FYS2 in carta). La zona di accumulo della frana, individuabile in corrispondenza della interferenza con la strada comunale, è situata a sua volta in corrispondenza del ciglio di una ripida scarpata in cui la formazione risulta in affioramento. Lo spessore complessivo del deposito di versante oggetto di scivolamento non è chiaramente visibile in affioramento, ma è stimabile in base alle caratteristiche geometriche del versante nell'ordine dei 3 – 5 metri nella zona di accumulo.



Unità geologiche

 FYS2 - Flysch di Monte Sporno - membro di Armorano

Coperture quaternarie







-  a2b - Deposito di frana quiescente per scivolamento
-  a2d - Deposito di frana quiescente per colamento di fango
-  a2g - Deposito di frana quiescente complessa
-  a2h - Deposito di frana quiescente per scivolamento in blocco o DGPV
-  a3 - Deposito di versante s.l.
-  a4 - Deposito eluvio-colluviale

Fig. 3 Stralcio fuori scala della carta Geologica alla scala 1:5.000 allegata al presente documento

Il Flysh di Monte Sporno è una successione calcareo marnosa e pelitico arenacea spessa complessivamente circa 1800 metri e copre l'intervallo temporale compreso tra il Paleocene superiore e l'Eocene medio. Essa è composta da due membri definiti rispettivamente Membro di Rio Brugnara e Membro di Armorano. L'area di intervento è situata in corrispondenza di quest'ultimo che stratigraficamente si trova sovrapposto all'altro.

Il Membro di Armorano (FYS2) è composto prevalentemente da calcari marnosi e marne di colore grigio e grigio chiaro, talora con focature rosate, in strati molto spessi e banchi con intervalli basali calcarenitici laminati e con liste di selce. Si interpongono interstrati argillosi grigio scuri e verdastri, nonché arenarie fini feldspato-litiche grigie e calcari micritici biancastri in strati spessi, unitamente ad arenarie quarzose fini laminate in strati sottili. Lo spessore complessivo di questo membro è stimabile in circa 1300 metri.

4.1 Descrizione del dissesto

Come già ricordato l'area è interessata dalla presenza di un deposito di frana attiva di tipo indeterminato, censito dalla Carta del Dissesto della Regione Emilia-Romagna, costituito dalla combinazione di due o più tipologie di movimento, riconducibili a scivolamenti accompagnati da colamenti di fango o detriti. Il deposito detritico ha inoltre manifestato evidenze di movimenti nel corso dell'ultimo ciclo stagionale, con la formazione di lesioni/fratture e smottamenti del terreno oltre ad evidenti segni sulla vegetazione circostante.

Nel corso degli ultimi anni sono avvenute diverse riattivazioni del movimento che hanno portato alla formazione di un deposito alla base del versante costituito da una massa di terra e roccia. Storicamente è stata segnalata una attivazione del movimento franoso nei primi mesi del 2009 a causa di forti piogge e nevicate; successivamente nel 2014 è avvenuto un primo cedimento del piano viario della sede stradale della SP 61 a monte dell'abitato di Frago per poi ripetersi in tempi più recenti.

Per queste tipologie di frane sussistono oggettive possibilità di riattivazione poiché le cause preparatorie e scatenanti che hanno portato all'origine e all'evoluzione del movimento gravitativo non hanno, nelle attuali condizioni morfo-climatiche, esaurito la loro potenzialità.

Il Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale individua tale area nella Tav. C2 – Carta del Dissesto alla sezione CTR n. 217020 classificandola, in parte, come “Area a pericolosità geomorfologica molto elevata – Frana Attiva” normata dall'art. 21 delle NTA del piano stesso e in parte come “Area a pericolosità geomorfologica elevata – Frana Quiescente”.

L'area in questione, dal punto di vista paesaggistico-ambientale, non è interessata dal vincolo idrogeologico e pertanto non deve essere richiesto il rilascio dell'autorizzazione ai sensi del R.D. n. 3267/1923.

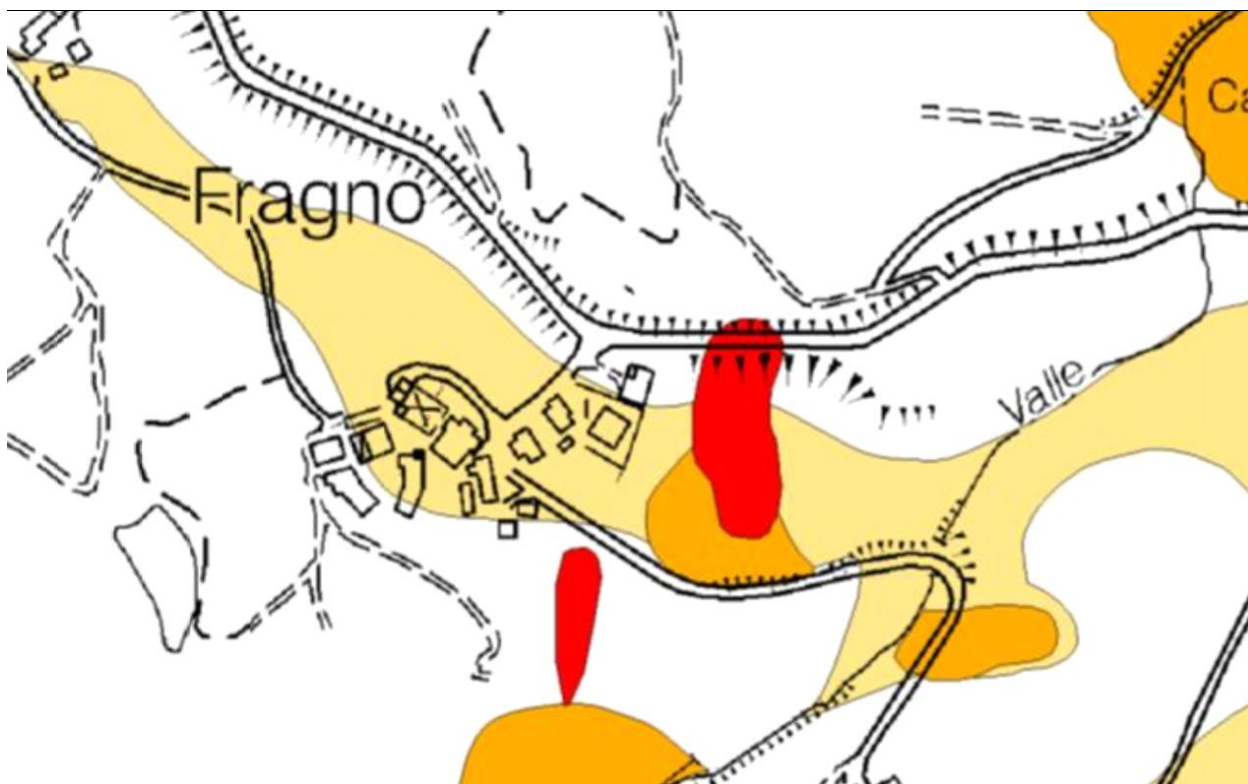


Fig. 4 Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale Tav. C2 – Carta del Dissesto

Il Piano Strutturale Comunale, approvato con Del di C.C. n. 07 del 18.02.2019, classifica l'area, in parte, come Area a pericolosità geomorfologica elevata (Frane quiescenti e Parti di versante inglobati in corpi di frana quiescenti) ed in parte in Area a pericolosità geomorfologica moderata (Versanti interessati da scivolamenti planari o rotazionali in massa, Frane relitte, Detriti di versante e Depositi di conoide alluvionale) in parziale difformità al Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale della Provincia di Parma che indica una porzione di tale area come Area a pericolosità geomorfologica elevata (Frana attiva).

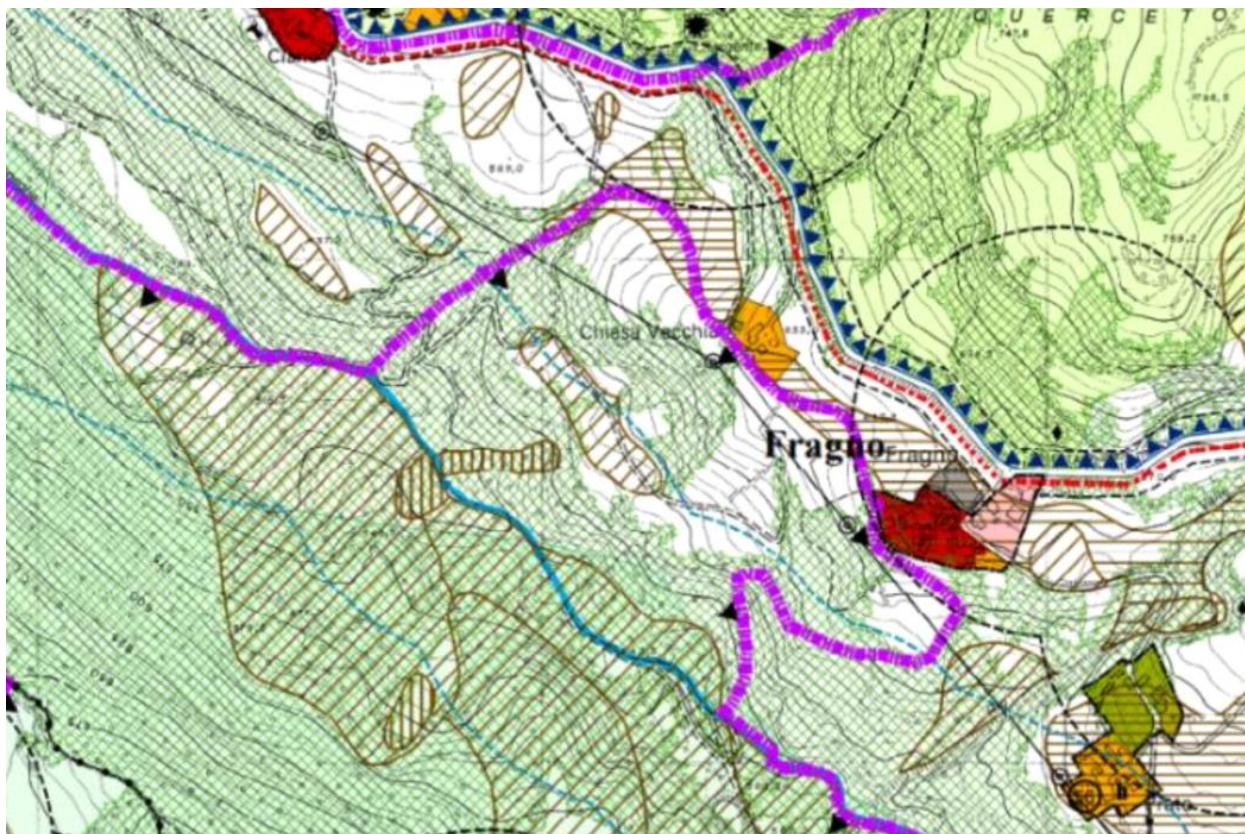


Fig. 5 Piano Strutturale Comunale – Carta del dissesto

Attualmente l'area risulta priva di vegetazione in quanto i ripetuti movimenti franosi e le diverse riattivazioni, anche recenti, hanno generato un disboscamento della porzione di terreno che ha portato ad una situazione di zona rada interclusa da vegetazione ai lati del versante.

La recente riattivazione del fronte di frana avvenuta nel periodo invernale a causa delle copiose piogge e nevicate ha portato al crollo parziale della sede stradale della SP 61 di Calestano, creando disagi e pericoli alla percorrenza dei mezzi in transito. A seguito di tale movimento franoso, il Servizio Viabilità della Provincia di Parma, dopo aver eseguito interventi in somma urgenza per ripristinare la sicurezza stradale e aver movimentato il terreno con la creazione di fossi drenanti per la regimazione delle acque, ha prodotto uno studio di fattibilità tecnico ed economica, approvato con Decreto Presidenziale n. 88/2021, e successivamente ha affidato la progettazione per il ripristino della sede stradale della SP 61.

Il progetto di consolidamento della SP 16 prevede il consolidamento della sede stradale attraverso la realizzazione di pali in cemento armato diametro 60cm collegati da una soletta in c.a. tirantata; il rilevato, da realizzarsi in ghiaia in natura, sarà sostenuto da un muro a gravità in gabbioni a scatola metallica. A massicciata stradale conclusa, si prevede la realizzazione della pavimentazione strada composta da strato di base sp.8cm, binder sp.7cm e tappeto d'usura sp.3 cm; oltre al posizionamento di barriera stradale tipo "H2" bordo rilevato e l'esecuzione di segnaletica orizzontale.

L'archivio storico delle frane della Regione Emilia-Romagna raccoglie informazioni sulle date di attivazione/riattivazione di frane con relativa localizzazione, in un intervallo di tempo che va dal Medioevo sino ad oggi.

In corrispondenza dell'area di intervento vengono segnalati due eventi distinti con i cod. 152411 in corrispondenza della strada provinciale e 222604 in corrispondenza della sottostante strada comunale.

Le informazioni riportate sono le seguenti:

- Fragnolo - Segnalazione del 2014 - 1 Evento
- Loc. Fragno SP per Langhirano loc. - Segnalazioni dal 2009 al 2014 - 2 Eventi

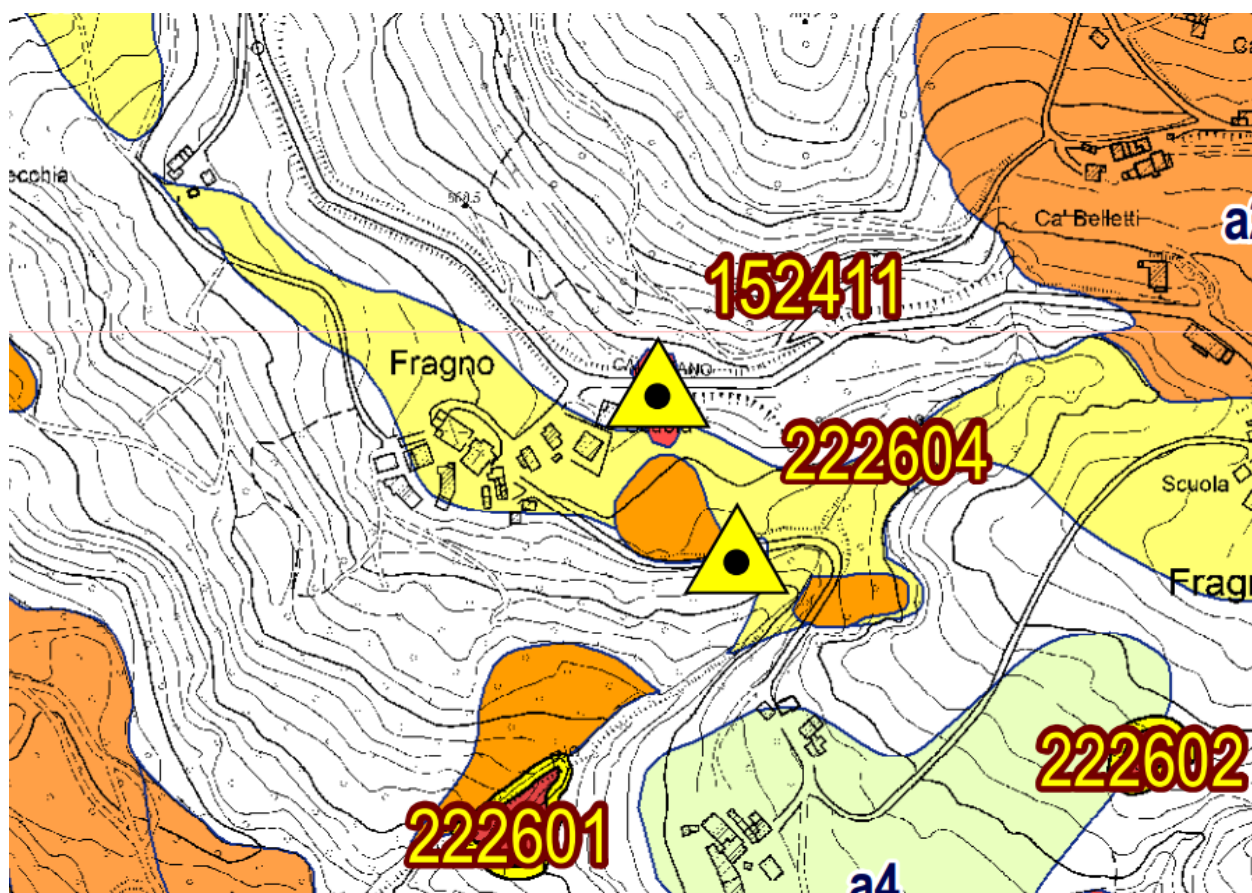


Fig. 6 Stralcio fuori scala della Carta Inventario delle Frane del Comune di Calestano (Tav.1)

La ripresa aerea effettuata dall'amministrazione Provinciale nel corso del 2021 evidenzia come gli effetti del fenomeno gravitativo risultino ancora particolarmente evidenti e come siano chiaramente distinguibili l'area di distacco, quella di scivolamento dei materiali e l'area di accumulo.



Fig. 7 Nicchia di distacco (Ortofoto digitale Provincia di Parma - 2021)

La nicchia di distacco si origina a quota 674 m s.l.m ed interessa una fascia di larghezza massima pari a circa 70 metri coincidente con il tratto stradale. A monte dello stesso il versante pur presentando pendenza elevata non manifesta segnali di instabilità.

La base della nicchia è posta a 660 metri circa di quota e la pendenza è pari mediamente al 30%. La zona di scorrimento mantiene una larghezza sostanzialmente costante e coincidente con quella della nicchia.



Fig. 8 Zona di accumulo (Ortofoto digitale Provincia di Parma - 2021)

La zona di accumulo, che insiste direttamente sulla strada comunale, presenta una morfologia convessa piuttosto regolare con una altezza non superiore ai 2,5 metri rispetto alla sede stradale.

5 Sismicità

5.1 Elementi di sismotettonica regionale

Nella Carta Sismotettonica pubblicata dalla Regione Emilia-Romagna sono stati rappresentati gli elementi strutturali attivi di superficie e profondi sia in catena che in pianura, tenendo conto dei regimi di stress e, per quanto concerne i terremoti, anche la loro distribuzione ipocentrale secondo intervalli di profondità.

Dal confronto tra il quadro sismotettonico emerso e la distribuzione di alcune manifestazioni superficiali di idrocarburi, salse, sorgenti termali e idrotermali e di alcuni rischi geologici (emissioni di radon, subsidenza e franosità) risulta evidente, anche se a carattere solo indicativo, una connessione tra questi fenomeni e le principali strutture attive.

Gli elementi di maggiore interesse ai fini della rappresentazione del quadro delle sollecitazioni tettoniche che hanno agito nel corso degli ultimi 450.000 anni circa di storia geologica sul margine appenninico padano, sono sintetizzati nell'immagine di Fig. 9.

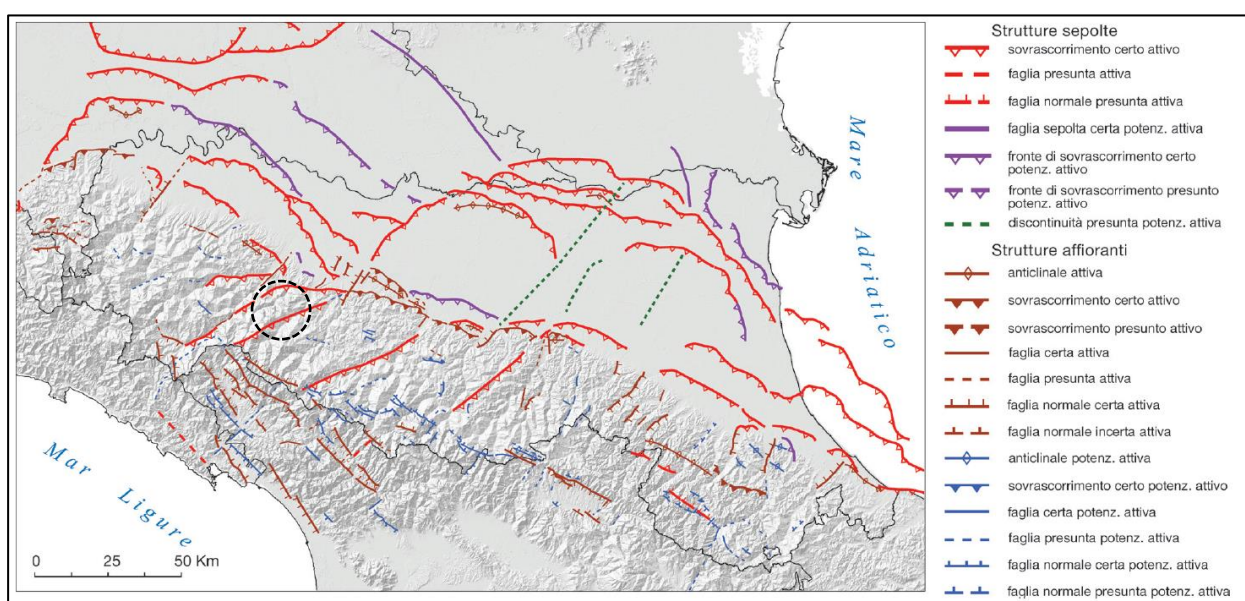


Fig. 9 Principali strutture tettoniche dell'area emiliano romagnola (tratta dalle Note Illustrative della Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna)

5.2 Sismicità storica dell'area

La sismicità rappresenta uno strumento indispensabile per le analisi sismotettoniche e un utile supporto alla geologia strutturale, in quanto varie tipologie di dati sismici, ottenuti attraverso differenti metodologie, possono fornire indicazioni per l'identificazione e la caratterizzazione delle strutture geologicamente attive.

L'insieme delle informazioni disponibili sui terremoti avvenuti in passato, ottenute secondo metodi di analisi di tipo sia strumentale che non, consistono essenzialmente in registrazioni del moto del terreno dalle quali è possibile ricavare l'ipocentro (in termini di latitudine, longitudine, profondità e relative incertezze), così come la dimensione (in termini di magnitudo o momento sismico) e la tipologia del meccanismo del terremoto (in termini di parametri di faglia o di tensore momento). I dati strumentali sono integrati da informazioni sulla distribuzione spaziale degli effetti indotti dal terremoto sulle persone, sulle cose e sull'ambiente, dalle quali, attraverso la codifica di una scala macrosismica, è possibile ricavare la localizzazione, la magnitudo equivalente, le dimensioni fisiche ed anche l'orientazione della struttura sismogenetica.

Le informazioni riguardanti gli eventi sismici avvenuti nell'area in esame sono state ricavate dall'ultima versione del Database Macrosismico Italiano chiamata "DBMI15" v.4.0 rilasciata a gennaio 2022 (Locati

et. al., 2022) (<http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15>), e dal Bollettino Sismico Italiano elaborato da ISIDe Working Group (<http://iside.rm.ingv.it/>).

Nella tabella sottostante è rappresentata la storia sismica della località di Fragno con l'indicazione dei terremoti più significativi che hanno coinvolto il territorio.

Considerando i valori esposti in tabella si può notare come l'unico terremoto più significativo, avvenuto nell'area parmense, produssero effetti fino al 6° grado della scala MCS (Mercalli-Cancani-Sieberg), la quale considera gli effetti distruttivi su persone e cose per misurare l'intensità del sisma.

Nella tabella il termine "Is" è riferito all'intensità al sito per ogni evento sismico e per ognuno di essi è indicata l'ora, il giorno, l'area e l'intensità macrosismica epicentrale, e la magnitudo del momento sismico (MMS – Moment Magnitude Scale). Quest'ultima è stata sviluppata come aggiornamento della scala Richter.

Tab. 1 Elenco degli eventi sismici che hanno interessato la località di Fragno.

Effetti Is (MCS)	Data	Area epicentrale	Punti di osservazione macrosismiche	Intensità macrosismica epicentrale	Magnitudo momento Mw
6	2008-12-23	Parmense	291	6-7	5,36

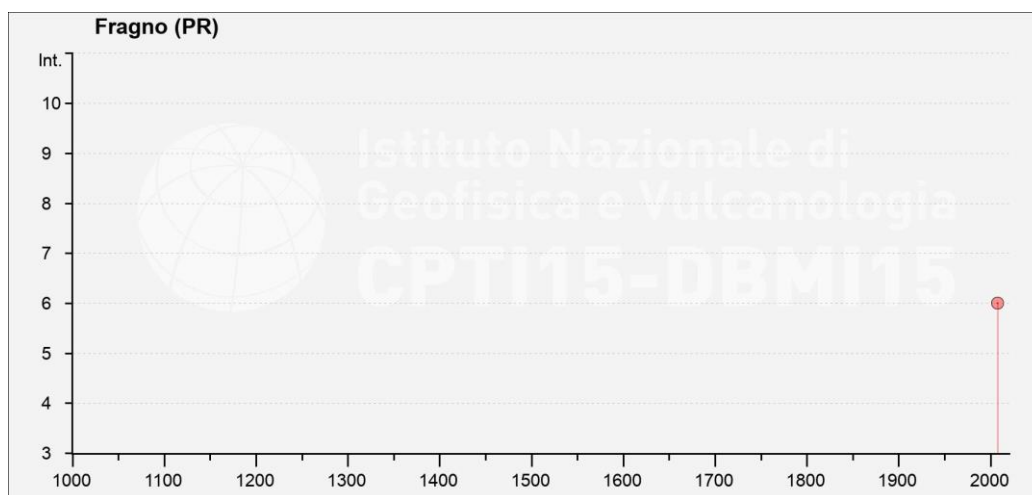


Fig. 10 Rappresentazione degli eventi sismici significativi percepiti a Fragno (fonte: DBMI15)

In Fig. 10 sono invece rappresentati i terremoti recenti (2020-2022) con magnitudo superiore a 4,5 e avvenuti entro un raggio di 50 km dal comune di Calestano. La ricerca non ha evidenziato la presenza di eventi significativi.



Fig. 11 Risultato della ricerca di eventi sismici recenti entro un raggio di 50 km dal comune di Calestano (fonte: INGV)

5.3 Sorgenti sismogenetiche

L'Istituto Nazionale di Geofisica e di Vulcanologia ha diffuso, nell'ambito del Progetto DISS (Database of Individual Seismogenic Sources), le informazioni riguardanti la distribuzione spaziale e le caratteristiche

sismico-tettoniche delle Sorgenti Sismogenetiche presenti sul territorio nazionale. La Fig. 12 mostra le aree riferite alla versione più aggiornata DISS 3.3.0 “A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas” del 2021 (<http://diss.rm.ingv.it/diss/>).

L’area oggetto di studio si trova in corrispondenza della Sorgente Sismogenetica Composita (CSS) classificate come:

- “ITCS046: Langhirano-Sassuolo” in cui la massima magnitudo momento attesa è pari a 6,8. La geometria è compresa tra i 2 e i 8 Km dalla superficie. Si trova a cavallo tra le valli del Secchia e del torrente Enza, e appartiene al fronte di spinta pedeappenninico.

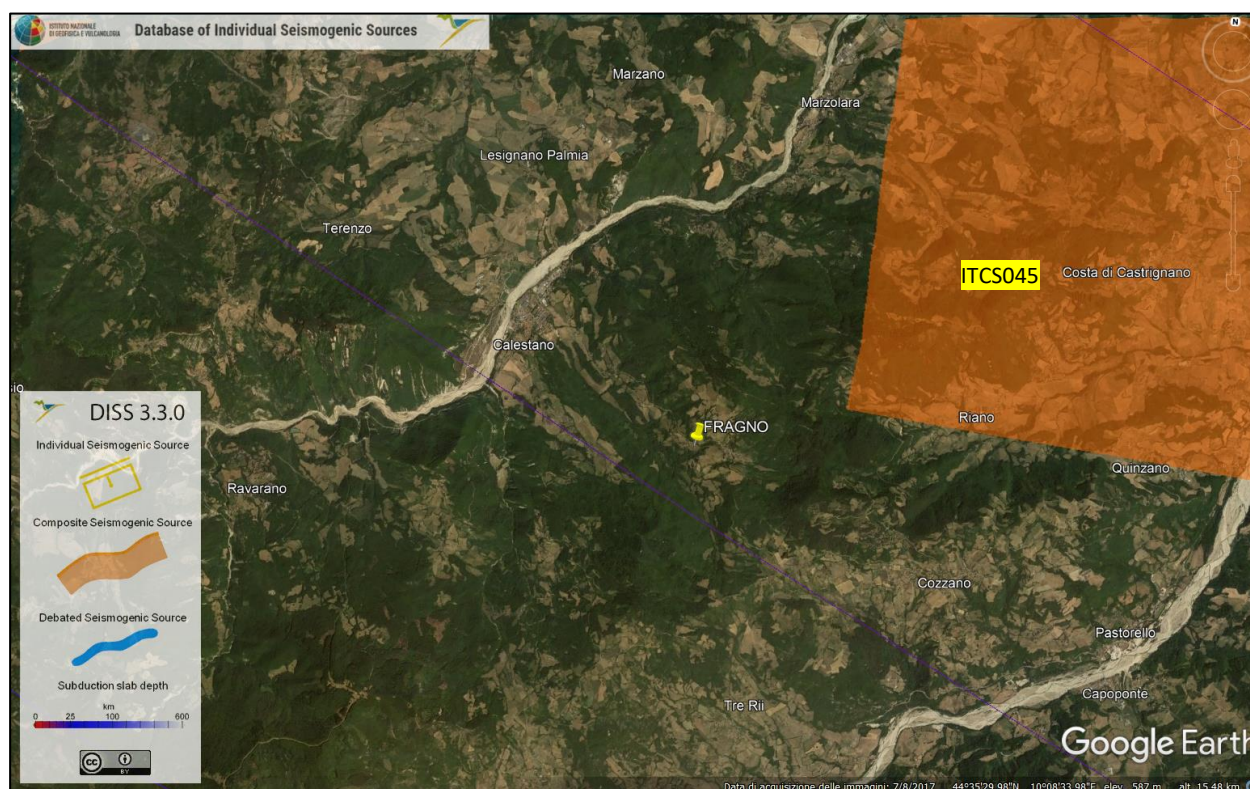


Fig. 12 Database zone sismogenetiche INGV (DISS3.2): rappresentazione cartografica della CSS (Composite Seismogenic Source) (Google Earth)

La sorgente sismogenetica composta è essenzialmente una struttura identificata sulla base dell’analisi di dati geologici di superficie e sotterranei, ed in particolare sulla base dell’identificazione delle tracce e delle caratteristiche delle faglie attive. La lunghezza della rottura attesa in conseguenza del terremoto, tuttavia, è scarsamente definibile in quanto, normalmente, le sorgenti sismogenetiche composite derivano da un numero imprecisato di singole fonti vicine tra loro ma sostanzialmente discontinue. Ad una CSS non è possibile attribuire una specifica dimensione del terremoto atteso per il futuro, ma il loro potenziale sismico è stimato dai cataloghi dei terremoti avvenuti nel passato.

Da un punto di vista geometrico la CSS rappresenta la proiezione sulla superficie terrestre della superficie di faglia. Nella Fig. 13 è riportato uno schema di lettura delle caratteristiche geometriche della CSS.

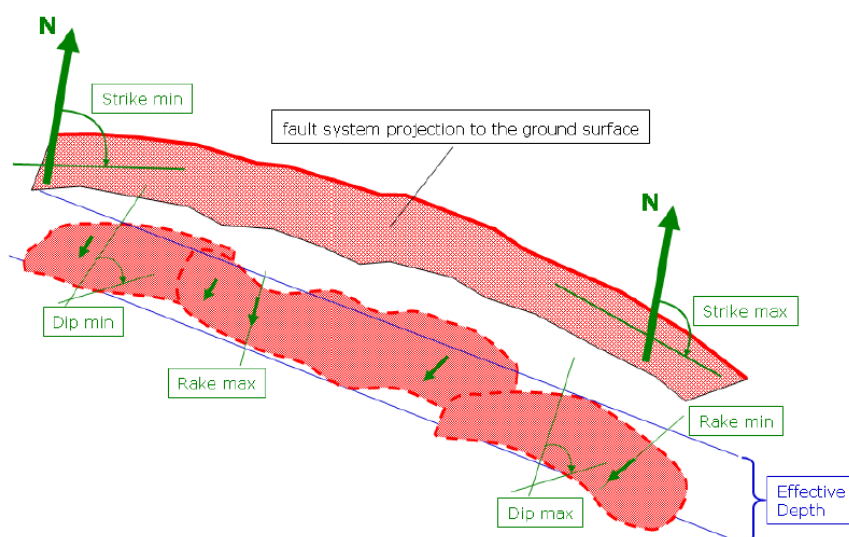


Fig. 13 Schema geometrico di una sorgente sismogenetica composta (CSS)

5.4 Zonazione Sismogenetica

L'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) ha realizzato una zonazione sismogenetica (ZS9) del territorio nazionale per recepire le conoscenze più recenti sulla tettonica attiva della penisola e sulla distribuzione delle sorgenti sismogenetiche, fornire per ogni zona una stima della profondità efficace dei terremoti (ovvero l'intervallo di profondità nel quale viene rilasciato il maggior numero di terremoti) e per la descrizione del meccanismo di fagliazione prevalente attraverso l'analisi cinematica di eventi geologici importanti che interessano la crosta superficiale e anche strutture profonde (INGV, Rapporto Conclusivo per il Dipartimento di Protezione Civile, 2004).

La ZS9 rappresenta la più recente zonizzazione sismogenetica del territorio nazionale ed è stata elaborata tenendo in considerazione i principali riferimenti informativi sui terremoti: progetto DISS e il Database Macrosismico Italiano (DBMI11) che contiene i dati di intensità utilizzati per la compilazione dei parametri del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani rilasciato nel dicembre 2011 (CPTI11).

Il territorio italiano è suddiviso in 36 aree differenti numerate da 901 a 936 cui vanno aggiunte 6 zone non utilizzate in quanto non contribuiscono alla pericolosità del territorio italiano o hanno un numero di eventi interno molto basso. Si possono distinguere le seguenti porzioni (vedi Fig. 14):

- Arco alpino: 901 ÷ 910
- Appennino settentrionale e centrale: 911 ÷ 923
- Appennino meridionale e avampaese apulo: 924 ÷ 928 e 931
- Calabria: 929 – 930
- Sicilia: 932 ÷ 936

Se si osserva Fig. 15, l'area in esame si trova su limite sud-ovest della zona 913 nel settore dell'Appennino settentrionale. Insieme alle zone 914 e 918 rappresenta una fascia in cui si verificano terremoti prevalentemente compressivi nel settore in esame e distensivi nella porzione più sud-orientale. Le profondità ipocentrali sono mediamente superiori rispetto alla fascia più esterna e le magnitudo raggiunte presentano di rado valori elevati.

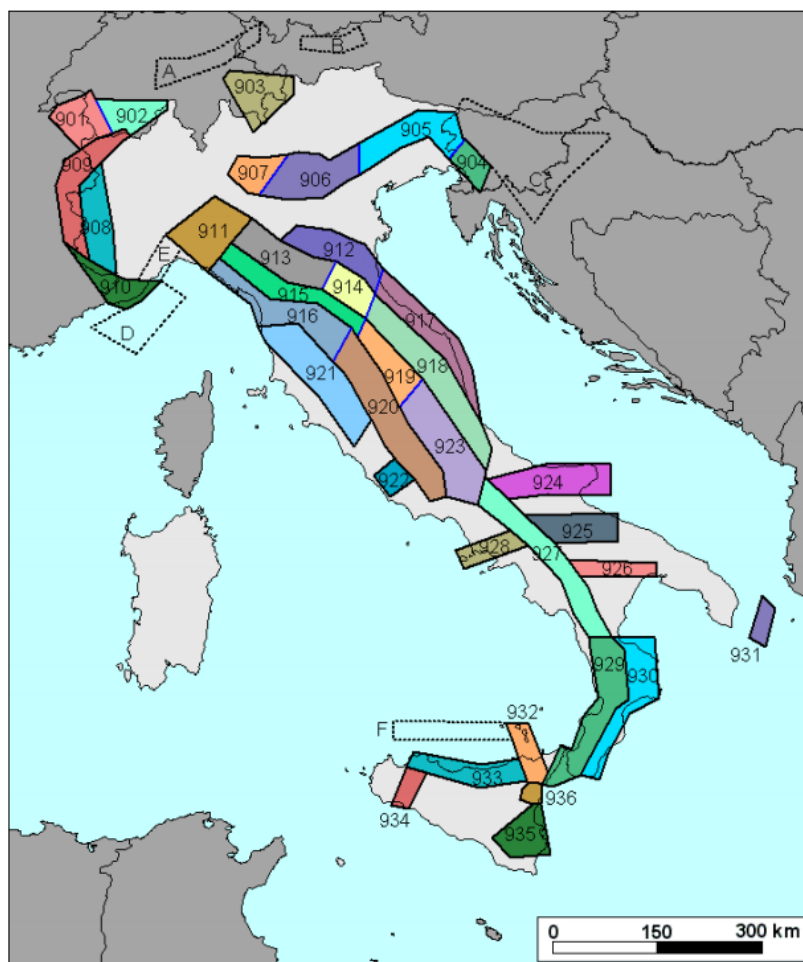


Fig. 14 Zonazione sismogenetica ZS9. I limiti blu separano zone con analogo significato cinematico ma diverse caratteristiche sismiche (fonte: INGV, Rapporto Conclusivo per il Dipartimento di Protezione Civile, 2004)

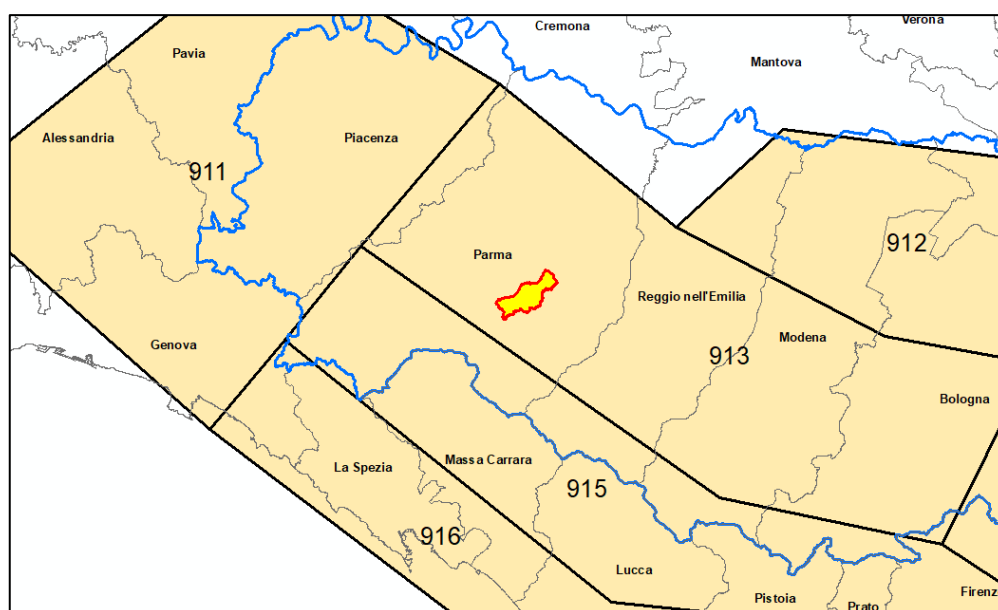


Fig. 15 Particolare di Fig. 14 in cui viene evidenziato il comune di Calestano

5.5 Azioni sismiche

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati dalle NTC 2018, si definiscono a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione. Essa costituisce l’elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche.

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PVR, nel periodo di riferimento VR. In alternativa è ammesso l’uso di accelerogrammi, purché correttamente commisurati alla pericolosità sismica del sito.

Le NTC 2018 stabiliscono che le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR, a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- a_g : accelerazione orizzontale massima al sito;
- F_o : valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T^*c : periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

In allegato alla norma, per tutti i siti considerati, sono forniti i valori di a_g , F_o e T^*c necessari per la determinazione delle azioni sismiche.

L’area di studio è indicativamente ubicata alle coordinate (ED50) Lat: 44,587610° Long: 10,153736° e ricade pertanto all’interno del reticolo di riferimento tra i 4 vertici indicati nella Fig. 16 per i quali le NTC definiscono i parametri necessari per definire l’azione sismica.

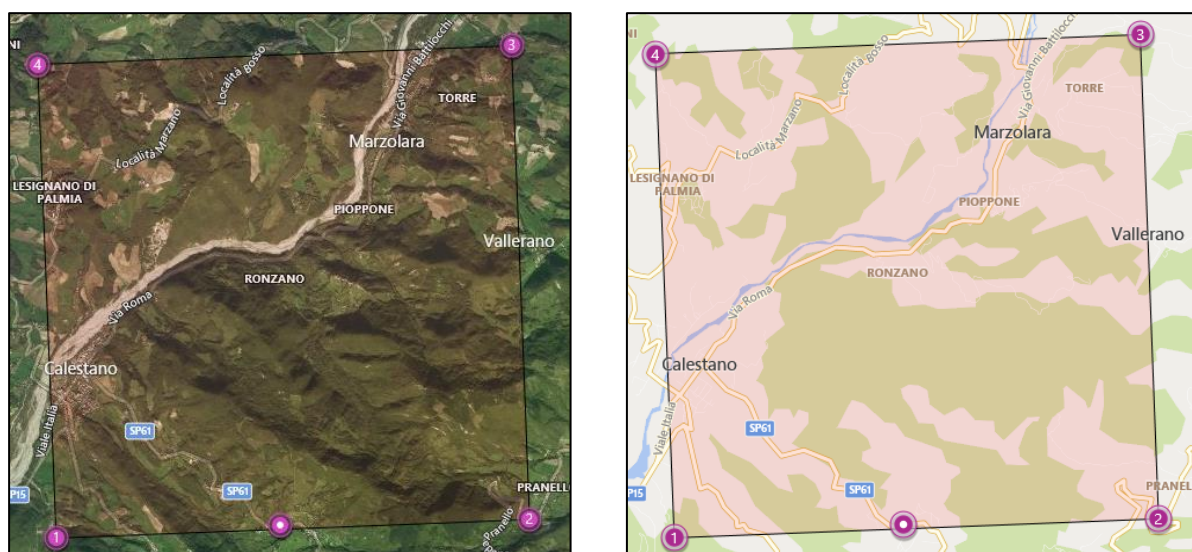


Fig. 16 Rappresentazione dei punti della maglia del reticolo di riferimento riportati nella Tab.1 allegata alle NTC 2018

La classificazione dell’area rispetto alle zone sismiche, ai sensi dell’Ord. 3274/2003 (aggiornata con DGR n.1435 del 21 luglio 2003 e successiva n.1164 del 23 luglio 2018), individuata secondo valori di accelerazione di picco orizzontale al suolo (a_g) con probabilità di superamento del 10% (SLV) in 50 anni (periodo di riferimento VR), è attribuibile alla **Zona 3**.

Tab. 2 Tabella di riferimento per l'individuazione delle zone sismiche

zona	accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10 % in 50 anni [a _g /g]	accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (Norme Tecniche) [a _g /g]
1	> 0,25	0,35
2	0,15-0,25	0,25
3	0,05-0,15	0,15
4	<0,05	0,05

La seguente Tab. 3 riporta i parametri sismici relativi all'area in esame, così come definiti dalle NTC 2018:

Tab. 3 Parametri sismici dell'area di intervento (Tabella 1 allegata alle NTC 2018)

Stato limite	Tr [anni]	Ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,055	2,468	0,240
SLD	35	0,058	2,468	0,245
SLV	332	0,140	2,503	0,283
SLC	682	0,178	2,520	0,291

Per quanto riguarda inoltre la definizione dei coefficienti sismici sono state operate a livello preliminare le seguenti classificazioni tipologiche sia per quanto concerne le opere in esame, sia per quanto riguarda la stratigrafia del sito.

In primo luogo, è stata definita a livello preliminare la classe prevalente delle opere, facendo riferimento alla **I Classe**, così come definita dalle NTC 2018 (Tab. 4).

Tab. 4 Classi degli edifici secondo le NTC 2018

Classe	Descrizione
I.	Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.
II.	Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.
III.	Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.
IV.	Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

È stata quindi definita la "Vita nominale" dell'opera, facendo riferimento al valore di **50 anni**, così come definito dalle NTC 2018 (Tab. 5).

Tab. 5 Vita nominale delle opere secondo le NTC 2018

Tipo opera	Vita Nominale
Opere provvisorie	≤ 10 ,
Opere ordinarie	≥ 50 ,
Grandi opere	≥ 100

È stata inoltre definita, sempre con riferimento ai criteri classificativi introdotti dalle NTC 2018, e alle caratteristiche stratigrafiche, la categoria di sottosuolo del sito in esame, facendo riferimento alla **Categoria E**, così come definita dalle NTC 2018 (Tab. 6).

Tab. 6 Categorie di sottosuolo secondo le NTC 2018

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> 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	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , 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	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> 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	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , 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	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</i> , con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Per quanto riguarda infine la definizione della categoria topografica dell'area in esame è stato fatto riferimento alla categoria **T1** in ragione della morfologia dell'area e così come definita dalle NTC 2018 (Tab. 7).

Tab. 7 Categorie topografiche secondo le NTC 2018

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
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 cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Sulla base delle classificazioni sopra riportate è stato possibile calcolare i coefficienti sismici che permetteranno di definire gli spettri di accelerazione sia orizzontali che verticali, così come definiti dalle relazioni riportate nel paragrafo 3.2.3.2 delle NTC.

Le seguenti tabelle riportano i coefficienti sismici orizzontali e verticali, l'accelerazione massima attesa al sito e il coefficiente di riduzione dell'accelerazione stessa nei diversi stati limite.

Tab. 8 Calcolo dei coefficienti sismici**Coefficienti sismici stabilità di pendii e fondazioni**

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0,017	0,019	0,054	0,065
kv	0,009	0,009	0,027	0,032
Amax [m/s ²]	0,858	0,918	2,197	2,642
Beta	0,200	0,200	0,240	0,240

Fronti di scavo e rilevati

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	--	0,044	0,085	--
kv	--	0,022	0,043	--
Amax [m/s ²]	0,858	0,918	2,197	2,642
Beta	--	0,470	0,380	--

Coefficienti sismici per muri di sostegno

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	--	0,044	0,085	--
kv	--	0,022	0,043	--
Amax [m/s ²]	0,858	0,918	2,197	2,642
Beta	--	0,470	0,380	--

Coefficienti sismici per muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0,087	0,094	0,224	0,269
kv	0,044	0,047	0,112	0,135
Amax [m/s ²]	0,858	0,918	2,197	2,642
Beta	1,000	1,000	1,000	1,000

Coefficienti sismici per paratie

Altezza paratia (H): 3,0[m]

Spostamento ammissibile us: 0,015[m]

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0,068	0,073	0,174	0,209
kv	--	--	--	--
Amax [m/s ²]	0,858	0,918	2,197	2,642
Beta	0,776	0,776	0,776	0,776

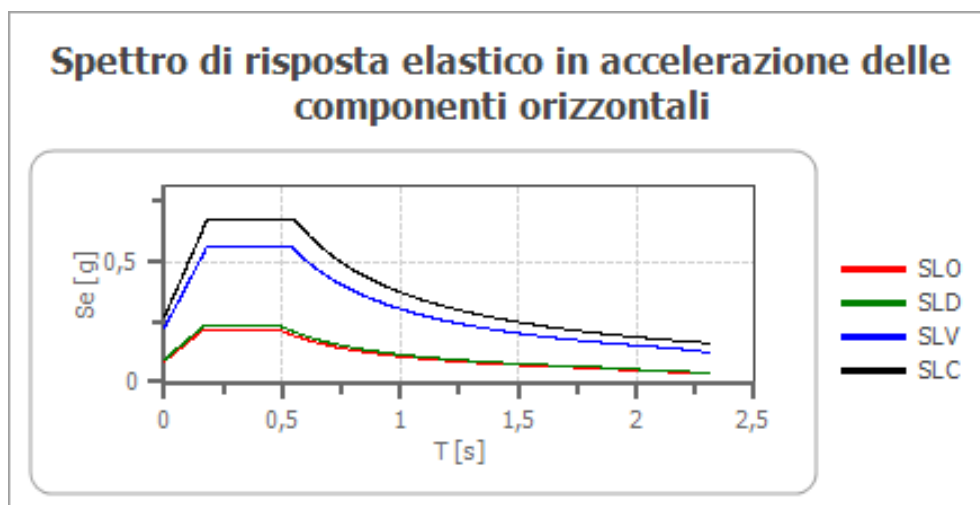
5.5.1. Spettro di risposta elastico

Sono stati definiti gli spettri relativi alle componenti orizzontale e verticale, con riferimento agli stati limite contemplati dalle NTC-18 ed in particolare:

SLE Stati limite di esercizio	SLO	Stato limite di operatività
	SLD	Stato limite di danno
SLU Stati limite ultimi	SLV	Stato limite di salvaguardia della vita
	SLC	Stato limite di prevenzione del collasso

I grafici riportati nelle seguenti figure rappresentano i valori di accelerazione spettrali attesi (S_d [g]) rispetto ad un di periodo di oscillazione di riferimento (T [s]).

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali



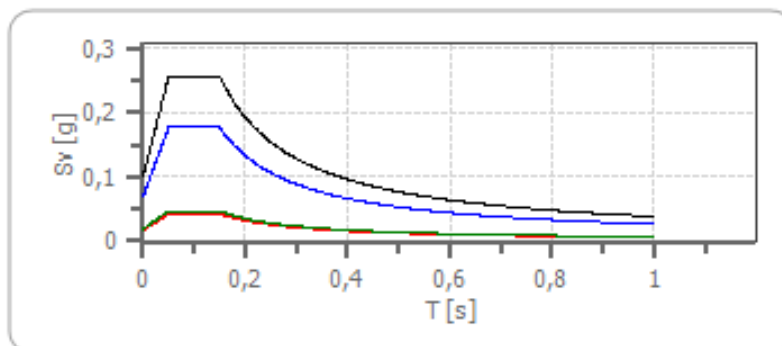
	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	0,7	0,055	2,468	0,240	1,600	2,040	1,000	1,600	1,000	0,163	0,490	1,819	0,087	0,216
SLD	0,7	0,058	2,468	0,245	1,600	2,020	1,000	1,600	1,000	0,165	0,495	1,834	0,094	0,231
SLV	0,7	0,140	2,503	0,283	1,600	1,910	1,000	1,600	1,000	0,180	0,540	2,160	0,224	0,561
SLC	0,7	0,178	2,520	0,291	1,510	1,890	1,000	1,510	1,000	0,183	0,549	2,314	0,269	0,679

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali

Coefficiente di smorzamento viscoso ξ : 5 %

Fattore di alterazione dello spettro elastico $\eta = [10/(5+\xi)]^{(1/2)}$: 1

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	0,7	0,055	2,468	0,240	1	2,040	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,017	0,043
SLD	0,7	0,058	2,468	0,245	1	2,020	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,019	0,047
SLV	0,7	0,140	2,503	0,283	1	1,910	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,071	0,177
SLC	0,7	0,178	2,520	0,291	1	1,890	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,102	0,256

6 Stabilità

6.1 Premessa

È stato affrontato uno studio di stabilità dell'insieme opera terreno con riferimento all'unica tipologia di intervento potenzialmente interferente, costituita da gabbioni in rete metallica riempiti in pietrame. Pur non rappresentando un elemento rigido e soprattutto non essendo finalizzata al sostegno della frana bensì alla stabilizzazione della scarpata presente al piede del movimento, rappresenta infatti l'unica opera tra quelle previste che implica la movimentazione di terreno e la costruzione di un manufatto di altezza significativa. A tale scopo è stata selezionata una sola sezione tipologica situata nel tratto con le condizioni di pendenza più svantaggiose.

Secondo quanto previsto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni 2018, la valutazione del coefficiente di sicurezza dei pendii naturali deve essere valutata sulla base del rapporto tra la resistenza al taglio disponibile (τ_f) e lo sforzo di taglio mobilitato lungo la superficie di scorrimento (effettiva o potenziale) sotto l'azione dei carichi (τ_m) ($Fs = \tau_f / \tau_m$).

Al fine di rappresentare tutte le possibili condizioni critiche per l'opera in esame sono stati considerati i seguenti scenari:

Scenario	Descrizione
A	Pendio nelle condizioni attuali (condizioni drenate)
B	Pendio con carico distribuito di 20 kPa dovuto ai gabbioni in progetto (condizioni drenate)
C	Pendio con carico distribuito di 20 kPa dovuto ai gabbioni in progetto (condizioni NON drenate)
D	Pendio con carico distribuito di 20 kPa dovuto ai gabbioni in progetto (condizioni NON drenate + sisma)

Nello scenario A è stata condotta una verifica in back analysis finalizzata all'individuazione dei parametri di equilibrio limite del terreno, utilizzati per le successive verifiche relative agli ulteriori scenari individuati.

Si è ritenuto infatti conveniente valutare gli effetti della costruzione dell'opera rispetto a condizioni di equilibrio limite, nonostante le caratteristiche del terreno possano essere migliori rispetto a quanto ipotizzato. In tutti gli scenari è stata considerata la completa saturazione dei depositi sia a monte che a valle dell'intervento.

6.2 Note metodologiche

La risoluzione di un problema di stabilità richiede la presa in conto delle equazioni di campo e dei legami costitutivi. Le prime sono di equilibrio, le seconde descrivono il comportamento del terreno. Tali equazioni risultano particolarmente complesse in quanto i terreni sono dei sistemi multifase, che possono essere ricondotti a sistemi monofase solo in condizioni di terreno secco, o di analisi in condizioni drenate.

A causa delle suddette difficoltà vengono introdotte delle ipotesi semplificative:

- Si usano leggi costitutive semplificate: modello rigido perfettamente plastico. Si assume che la resistenza del materiale sia espressa unicamente dai parametri coesione (c) e angolo di resistenza al taglio (φ), costanti per il terreno e caratteristici dello stato plastico; quindi, si suppone valido il criterio di rottura di Mohr-Coulomb.

- In alcuni casi vengono soddisfatte solo in parte le equazioni di equilibrio.

Quando si verifica la stabilità di un rilevato o pendio, si possono considerare diversi tipi di superfici di rottura. Queste ultime possono avere forme diverse: circolare, piana e forme più complesse. Nel caso in cui il terreno sia relativamente omogeneo e isotropo nei riguardi della resistenza, è di solito sufficiente considerare superfici di rottura circolari. In terreni molto stratificati invece, con notevoli variazioni delle caratteristiche geotecniche, va data particolare attenzione agli strati con resistenza al taglio più bassa, e quindi è necessario considerare superfici di rottura non circolari. In sostanza quindi le verifiche di sicurezza devono essere eseguite lungo superfici di scorrimento cinematicamente possibili, in numero sufficiente per determinare la superficie critica alla quale corrisponde il grado di sicurezza più basso.

L'analisi di stabilità è stata condotta mediante il programma di calcolo Geostru - Slope, basato sulla teoria dell'equilibrio limite, che effettua la ricerca automatica delle superfici di rottura con coefficiente di sicurezza minimo. Questa teoria studia l'equilibrio di un corpo rigido (pendio e superficie di scorrimento) calcolandone le tensioni di taglio τ e la resistenza disponibile τ_f , valutata secondo il criterio di rottura di Coulomb.

Il grado di sicurezza ritenuto accettabile deve essere giustificato sulla base del livello di conoscenze raggiunto, dell'affidabilità dei dati disponibili e del modello di calcolo adottato in relazione alla complessità geologica e geotecnica, nonché sulla base delle conseguenze di un'eventuale frana.

Tra i metodi dell'equilibrio limite alcuni considerano l'equilibrio globale del corpo rigido (Culman), altri a causa della non omogeneità dividono il corpo in conci considerando l'equilibrio di ciascuno (Fellenius, Bishop, Janbu ecc.). In alternativa, la stabilità può essere verificata ricercando un campo di tensioni statisticamente ammissibile oppure impiegando il metodo degli elementi finiti.

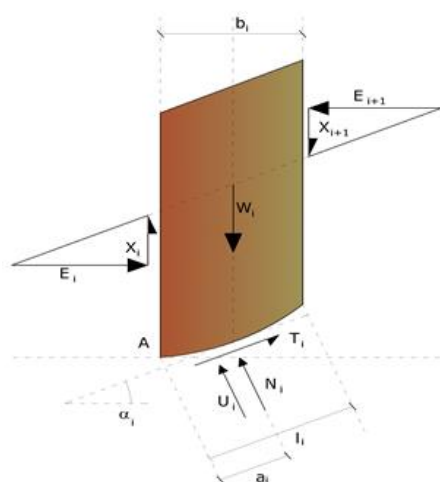
I vari metodi di calcolo dell'equilibrio limite disponibili in lettura, si basano tutti su due ipotesi fondamentali:

- Il coefficiente di sicurezza (F_s) è definito come rapporto tra la resistenza al taglio e lo sforzo di taglio mobilitato lungo un'ipotetica superficie di scorrimento;
- Il coefficiente di sicurezza (F_s) è considerato costante in tutti i punti della superficie di scorrimento;

Nel nostro caso di studio il fattore di sicurezza viene calcolato utilizzando il metodo di Bishop, valido per superfici di scorrimento circolare.

6.2.1. Metodo di Bishop (1955)

Con tale metodo non viene trascurato nessun contributo di forze agenti sui blocchi e fu il primo a descrivere i problemi legati ai metodi convenzionali. Le equazioni usate per risolvere il problema sono:



$$\sum F_y = 0, \quad \sum M_0 = 0 \quad \text{Criterio di rottura}$$

$$F = \frac{\sum \{ c_i \times b_i + (W_i - u_i \times b_i + \Delta X_i) \times \tan \varphi_i \} \times \frac{\sec \alpha_i}{1 + \tan \alpha_i \times \tan \varphi_i / F}}{\sum W_i \times \sin \alpha_i}$$

Fig. 17 Rappresentazione delle forze considerate per ogni concio-i-esimo secondo le ipotesi di Bishop.

I valori di F e di DX per ogni elemento che soddisfano questa equazione danno una soluzione rigorosa al problema. Come prima approssimazione conviene porre $DX = 0$ ed iterare per il calcolo del fattore di sicurezza, tale procedimento è noto come metodo di Bishop ordinario, gli errori commessi rispetto al metodo completo sono di circa 1 %.

In cui:

c' = coesione efficace

b_i = larghezza della base del concio i-esimo

W_i = peso del concio i-esimo

α_i = inclinazione della base del concio

u_i = pressione interstiziale agente alla base del concio i-esimo

φ_i = angolo di resistenza al taglio

6.3 Risultati e conclusioni

Come indicato in premessa attraverso la verifica in back analysis sono stati ricavati i parametri geotecnici del terreno, così come riportati nella seguente figura.

Stratigrafia											
Anisotropia X											
Nr.	DB	Peso unità di volume (kN/m ³)	Peso saturo (kN/m ³)	Coesione (kN/m ²)	Coesione non drenata (kN/m ²)	Angolo resistenza al taglio picco (°)	Angolo resistenza al taglio residuo (°)	Permeabilità (m/s)	Dati aggiuntivi ...	Texture ...	Descrizione
1	▼	18	19.5	7	20	27		Permea ▼	Corpo di frana

Fig. 18 Estratto dei parametri geotecnici ricavati attraverso back analysis mediante il software SLOPE – GeoStru per le verifiche di stabilità

Dopo aver posizionato la maglia di centri, il programma utilizzato ha esaminato tutte le superfici aventi per centro il generico nodo della maglia e raggio variabile in un determinato range di valori tale da esaminare superfici cinematicamente ammissibili.

Nelle seguenti figure sono riportati gli schemi geometrici e l'indicazione dell'opera in progetto; In Tab. 10, sono riportati i valori di F_s ottenuti nelle varie ipotesi e condizioni indicate.

I parametri sismici considerati nella verifica dello scenario D sono quelli indicati nella seguente Tab. 9.

Tab. 9 Coefficienti sismici impiegati nelle verifiche di stabilità

Coefficienti sismici stabilità di pendii e fondazioni

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0,017	0,019	0,054	0,065
kv	0,009	0,009	0,027	0,032
Amax [m/s ²]	0,858	0,918	2,197	2,642
Beta	0,200	0,200	0,240	0,240

Nelle seguenti figure sono sintetizzati i risultati delle verifiche condotte per i differenti scenari analizzati. Sono evidenziate in particolari le potenziali superfici di scorrimento che hanno manifestato i valori minimi del coefficiente di sicurezza, così come sintetizzati nella Tab. 10

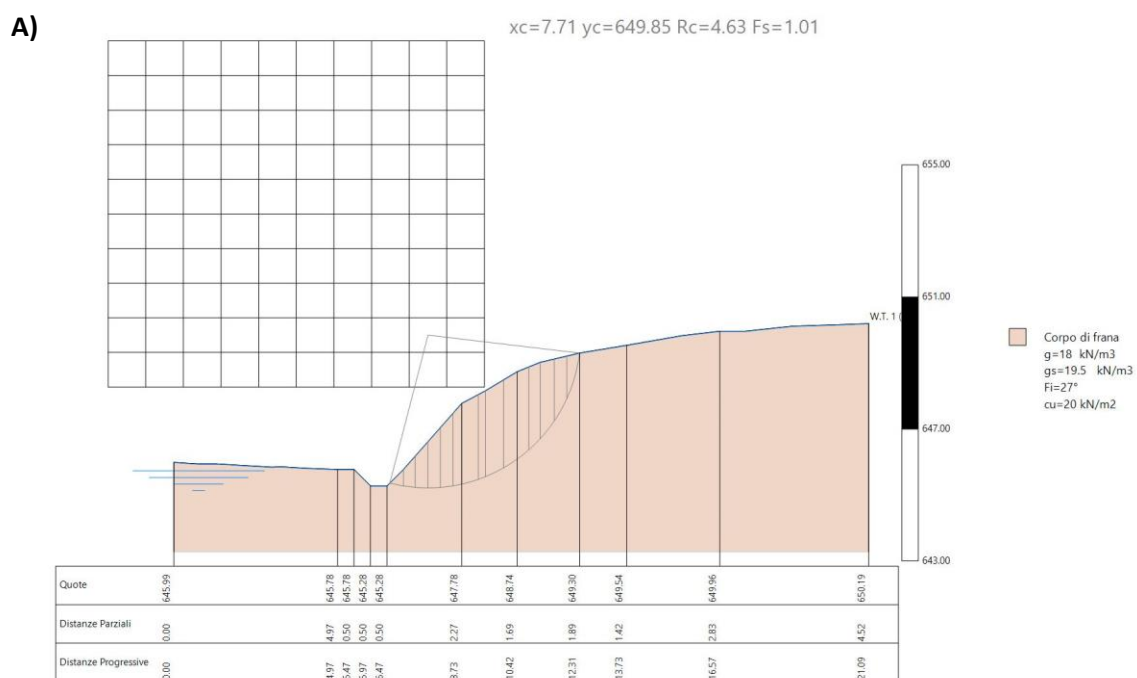


Fig. 19 Rappresentazione della verifica di stabilità nello scenario A con indicata la superficie a minor fattore di sicurezza

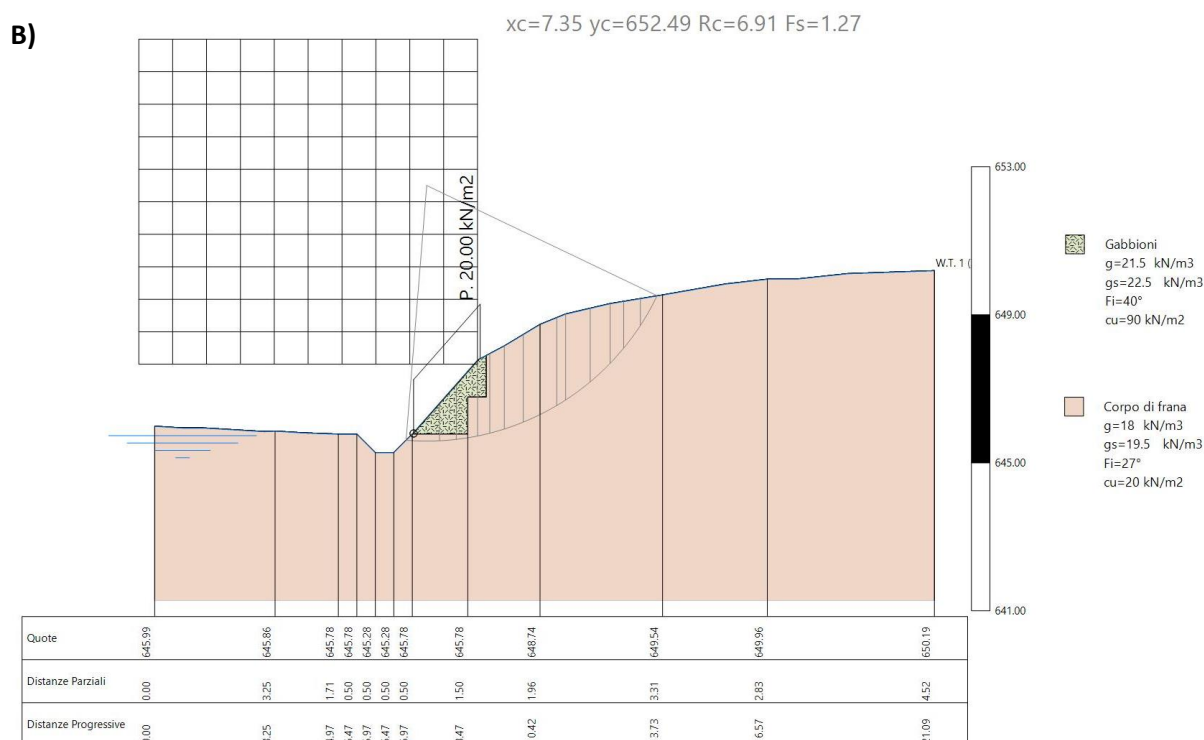


Fig. 20 Rappresentazione della verifica di stabilità nello scenario B con indicata la superficie a minor fattore di sicurezza

c)

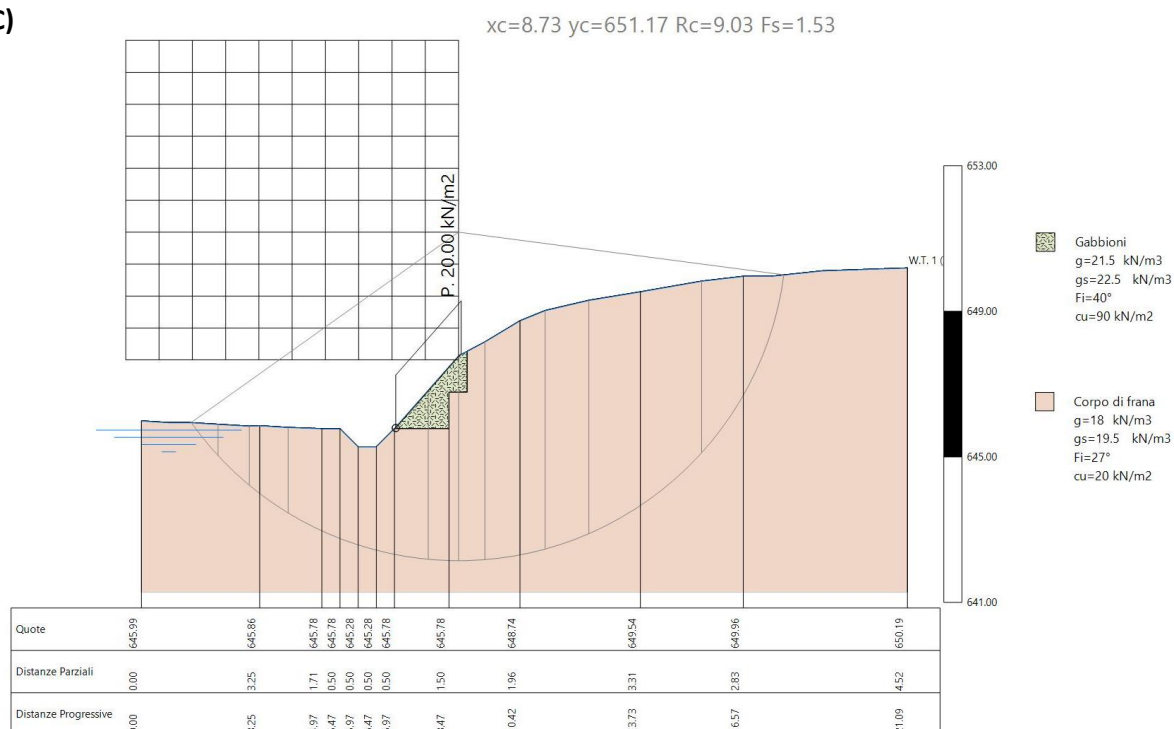


Fig. 21 Rappresentazione della verifica di stabilità nello scenario C con indicata la superficie a minor fattore di sicurezza

D)

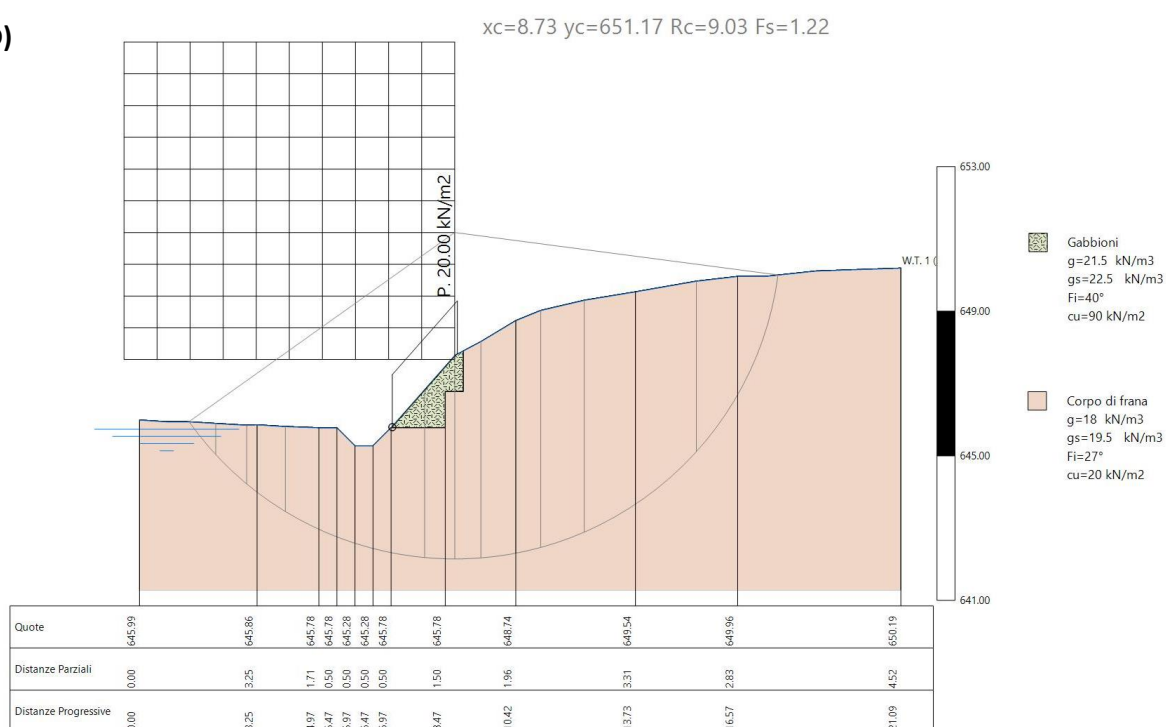


Fig. 22 Rappresentazione della verifica di stabilità nello scenario D con indicata la superficie a minor fattore di sicurezza

Tab. 10 Valori di F_s determinati lungo i profili di verifica

Scenario di verifica	F_s
A	1,01
B	1,27
C	1,53
D	1,22

Gli scenari analizzati evidenziano come l'opera in progetto, soprattutto in considerazione delle proprie caratteristiche dimensionali e del limitato sovraccarico sul terreno, non determini un peggioramento della stabilità globale del complesso opera - terreno sia nel breve che nel lungo termine. Si osserva al contrario che il maggiore carico determinato dall'opera sulla superficie di scorrimento determini un leggero miglioramento della resistenza al taglio con un beneficio sul fattore di sicurezza.

7 Conclusioni

Gli interventi previsti dal progetto vengono realizzati in corrispondenza di un dissesto gravitativo di versante attualmente attivo. I recenti e ripetuti cedimenti della sede stradale evidenziano come le condizioni morfologiche e la saturazione dei depositi detritici movimentati rappresentino gli elementi su cui agire allo scopo di stabilizzare il movimento e rendere percorribile la strada provinciale in condizioni di sicurezza. Gli interventi strutturali in avanzata fase di realizzazione conferiscono le necessarie condizioni di stabilità del rilevato stradale, mentre gli interventi previsti dal presente progetto si riferiscono al versante nel suo complesso, intervenendo sul drenaggio delle acque sotterranee e proteggendo la superficie dagli effetti del ruscellamento delle acque meteoriche, sia in termini di erosione diffusa che di instabilizzazione della coltre detritica.

Gli interventi di sostegno sono rappresentati in primo luogo da palificate singole e doppie in legname, integrate attraverso l'inserimento di specie arbustive ed arboree. Esse sono finalizzate a conferire maggiore stabilità alle scarpate senza aumentare le sollecitazioni sul versante in termini di peso, garantendo lo sviluppo della vegetazione a lungo termine. Completano il quadro degli interventi di sostegno le gabbionate realizzate alla base della zona di accumulo, poco a monte della strada comunale. I gabbioni, oltre a presentare una elevata resistenza meccanica funzionale al sostegno delle terre, garantiscono un elevato effetto drenante sul terreno, diminuendo le sollecitazioni trasmesse dallo stesso sull'opera.

La realizzazione dei dreni profondi determina infine un effetto di controllo delle condizioni di saturazione dell'ammasso sia nella zona di scorrimento che in quella di accumulo controllando, allo stesso tempo, lo smaltimento delle stesse verso l'idrografia di superficie.