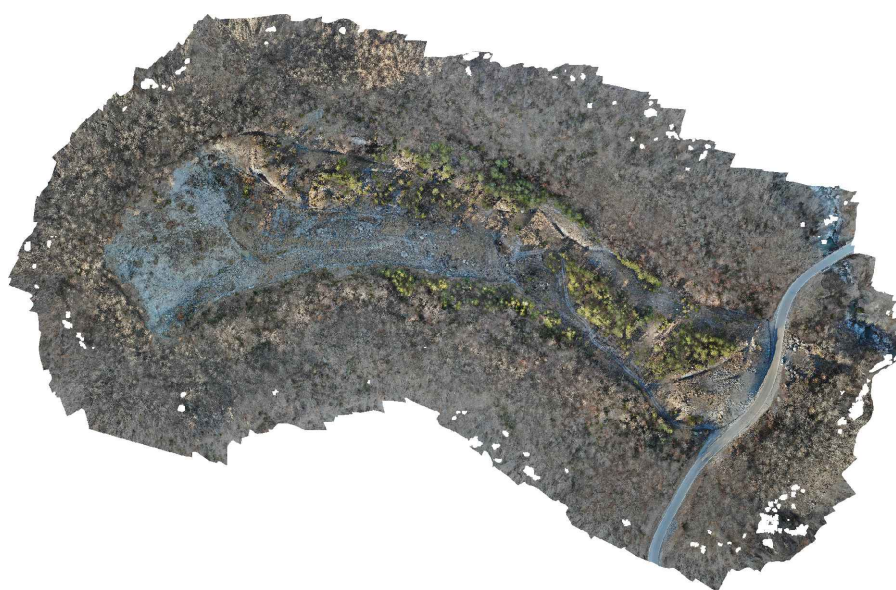




PROVINCIA DI PARMA
SERVIZIO PIANIFICAZIONE TERRITORIALE
UFFICIO SISTEMI INFORMATIVI TERRITORIALI (SIT)
SICUREZZA TERRITORIALE E PIANIFICAZIONE D'EMERGENZA

**Consolidamento di versante interessato da
dissesto idrogeologico in loc. Saliceto
(Comune di Bardi)
CUPD11B21004570003**



PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO

approvato

Dott. Ing. Giuseppe Campi

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

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

verificato
Dott. Geol. Giovanni Carrà

ELABORATO 02

Relazione geologica e sismica

elaborato
Dott. Geol. Giovanni Carrà

rev.	sigla	data
01	GV	GV
00	GV	GV

codice elaborato 0977-05-04-101R-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	5
3.1	Premessa	5
3.2	Canalizzazioni	5
3.3	Opere in legname	6
3.3.1.	Palificate semplici.....	6
3.3.1.	Briglie in legname e pietrame	6
3.4	Rivegetazione	6
4	Inquadramento geologico e geomorfologico	7
4.1	Inquadramento del dissesto.....	8
5	Sismicità.....	13
5.1	Elementi di sismotettonica regionale.....	13
5.2	Sismicità storica dell'area	13
5.3	Sorgenti sismogenetiche	15
5.4	Zonazione Sismogenetica	17
5.5	Azioni sismiche	19
5.5.1.	Spettro di risposta elastico.....	23
6	Verifiche di stabilità	25
6.1	Premessa	25
6.2	Note metodologiche.....	25
6.2.1.	Metodo di Bishop(1955)	26
6.3	Risultati e conclusioni.....	27
6.3.1.	Verifiche di stabilità briglia in legname	27
6.3.2.	Verifiche di stabilità argine	30

elaborato	verificato	approvato	commessa	attività	prodotto	elaborato	revisione
ART	GV	GV	GC	977	05	04	101R 01

1 Premessa

La presente relazione geologica e sismica riguarda il Progetto Definitivo-Esecutivo relativo al “consolidamento di versante interessate da dissesto idrogeologico in Loc. Saliceto”, nel Comune di Bardi (PR).

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 del Comune 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, l'assetto idrogeologico 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 e da inserire 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;
- Unione dei Comuni Valli Taro e Ceno
- Consorzio della Bonifica Parmense;
- Comune di Bardi
- Soprintendenza Archeologia Belle Arti e Paesaggio;
- Unione Montana Appennino Parma Est (in caso di vincolo idrogeologico);

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 Saliceto in Comune di Bardi (PR), a monte della strada provinciale n°28.

L'area in esame è interessata da un esteso fenomeno franoso che si estende lungo per una lunghezza di circa 450 m e per una larghezza media di 60 m.

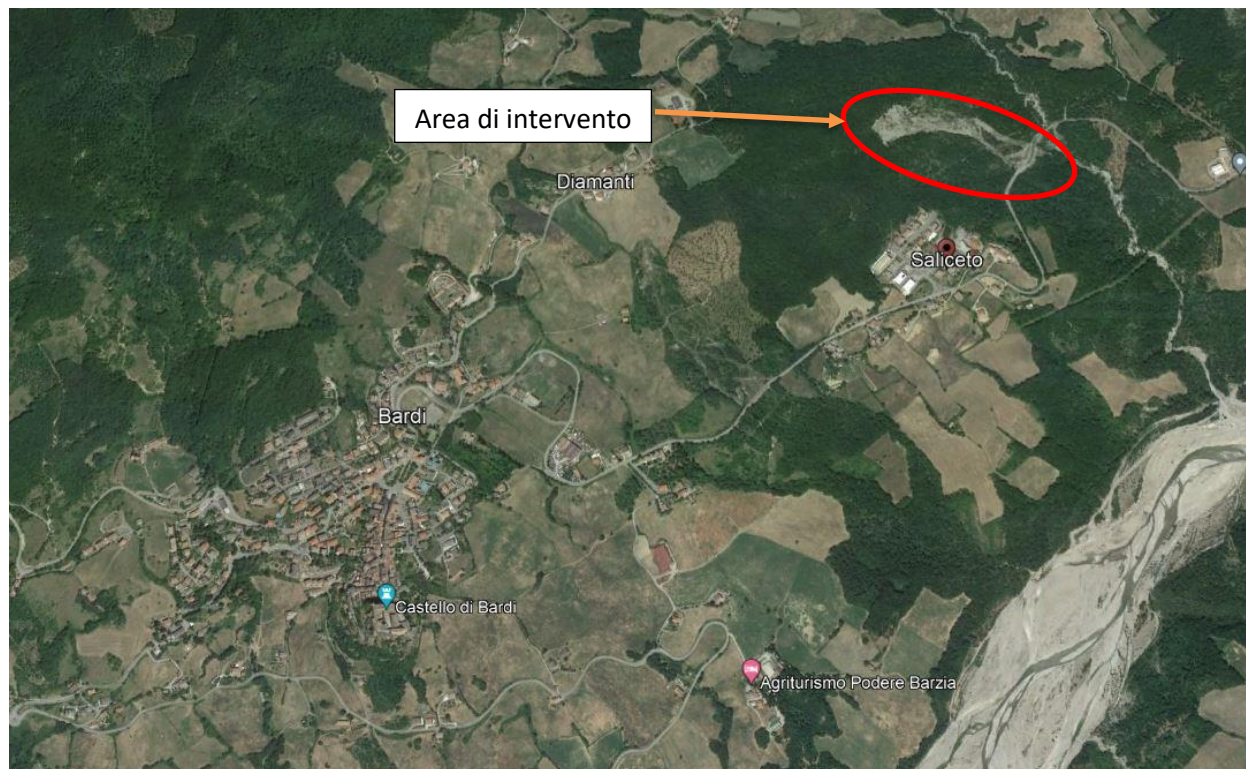


Fig. 1 Ubicazione intervento

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.

Si tratta di un deposito che ha manifestato evidenze di movimenti in atto nell'ultimo ciclo stagionale, con la formazione di lesioni/fratture e smottamenti del terreno oltre ad evidenti segni sulla vegetazione circostante.

Nel 2013 sono stati segnalati movimenti evolutivi del versante che hanno interessato la strada provinciale SP28 di Bardi in cui sono stati documentati danni alla sede stradale che hanno comportato la ricostruzione del manto stradale.

3 Opere in progetto

3.1 Premessa

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

L'obiettivo dell'intervento qui proposto è quello di limitare il movimento franoso con particolare attenzione all'interessamento diretto della strada provinciale SP28 di Bardi.

Con questo tipo di intervento non ci si propone come finalità l'arresto dell'intero movimento franoso ma operare un miglioramento dell'attuale situazione e soprattutto ricreare un contesto paesaggistico ambientale che tenda a ricostruire una situazione di copertura boscata dell'intera area.

Considerata quindi la finalità dell'intervento, si opererà per la definizione di un piano di miglioramento della regimazione delle acque di superficie al fine di ridurre l'infiltrazione e la saturazione delle porzioni di terreno metastabili attraverso il risezionamento di fossi esistenti parzialmente occlusi, realizzazione di canali e trincee drenanti, interventi di riprofilatura del versante oltre ad interventi di rinverdimento mediante idrosemina e piantumazione.

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 piante vive.

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 alla riforestazione dell'intera area.

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

- canalizzazioni in terra;
- opere in legname (palificate semplici e briglie);
- messa a dimora di specie arbustive e arboree.

3.2 Canalizzazioni

L'intervento prevede la formazione di un sistema di regimazione delle acque meteoriche che si sviluppa principalmente nella porzione di valle del corpo di frana. Le acque superficiali vengono recapitate, tramite fosso in terra da risgomare che corre in affiancamento alla SP28, nel torrente Corsenna.

Si prevede la formazione di fossi in terra con geometria trapezia, lungo il cui tracciato è prevista la realizzazione di briglie in legname e pietrame, descritte di seguito, che consentono la riduzione della pendenza longitudinale del sistema di drenaggio tramite l'inserimento di salti di fondo.

3.3 Opere in legname

3.3.1. 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 del fronte di frana, a lato della SP, e nella zona di distacco.

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 latifolia (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 (piloti) 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.

3.3.1. Briglie in legname e pietrame

Lungo il tracciato dei fossi di smaltimento delle acque superficiali saranno posizionate briglie in legname e pietrame funzionali per la stabilizzazione e la correzione del profilo di fondo nonché per la trattenuta del materiale solido o legnoso trasportato dalle acque.

Le briglie sono composte da un cassone di contenimento ottenuto mediante la incastellatura di pali in legno scortecciato intasato di pietrame di provenienza locale.

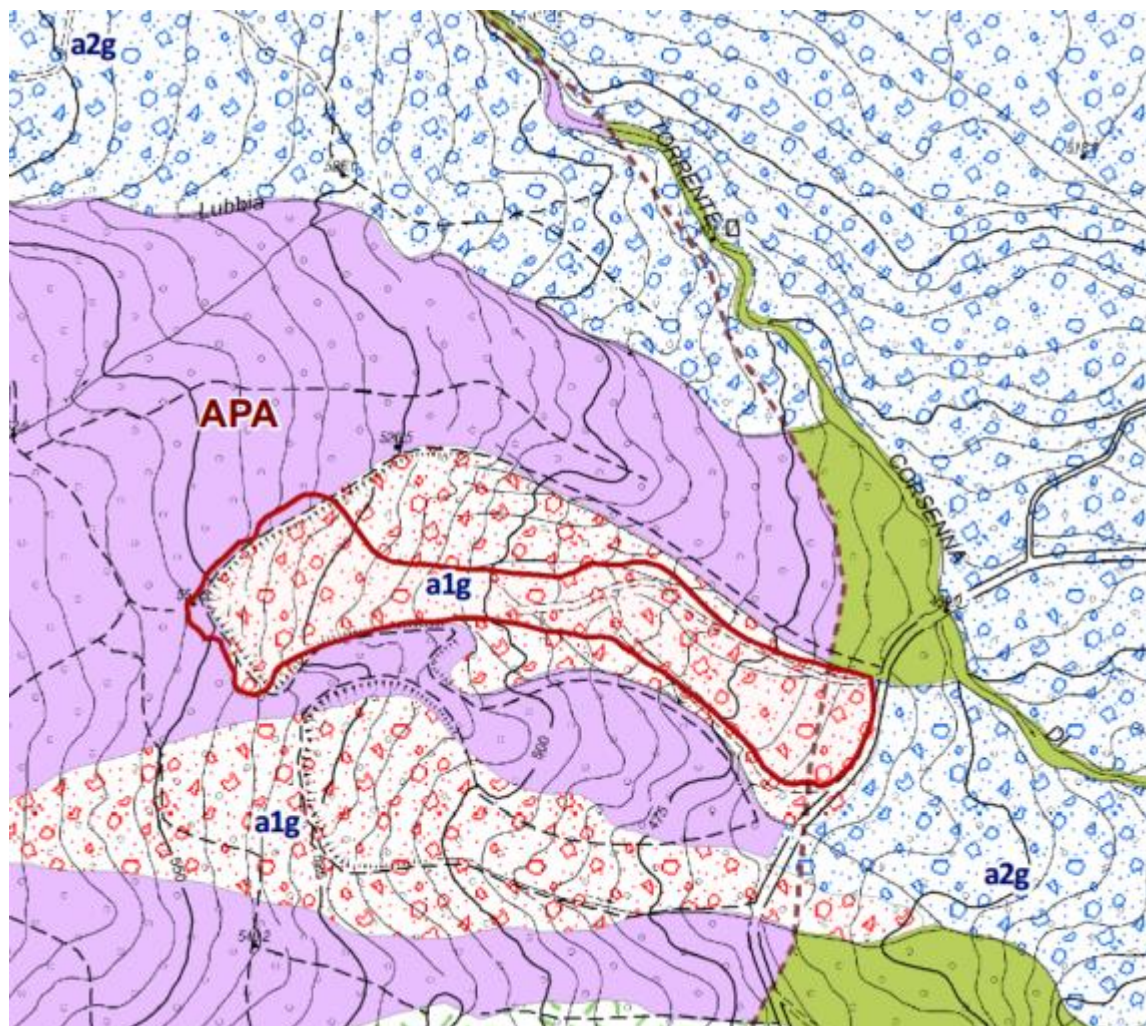
3.4 Rivegetazione

La rivegetazione è affidata all'inserimento di macchie aventi dimensioni planimetriche di 90 m² costituite da elementi arborei ed arbustivi organizzati in modo da costituenti il nucleo a partire dal quale potrà svilupparsi con maggiore facilità la rivegetazione spontanea del terreno grazie all'azione di ombreggiamento ed alla protezione dall'erosione superficiale.




Per i dettagli si rimanda alla planimetria allegata al progetto indicante anche l'elenco delle specie previste.

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. 2). Tale dissesto si sviluppa in corrispondenza di un esteso affioramento della Formazione delle Argille a Palombini (APA in carta). La zona di accumulo della frana, individuabile in corrispondenza della interferenza con la strada provinciale, è situata a sua volta in corrispondenza del contatto con la formazione delle Arenarie di Scabiazza (SCB in carta). Il contatto tra le due unità non è chiaramente distinguibile in affioramento e viene di conseguenza indicato come incerto nella cartografia.



Unità geologiche

-  SCB - Arenarie di Scabiazza (Cretacico)
-  CCVb - Complesso di Casanova - litofacies a brecce mono e poligeniche a matrice pelitica (Cretacico)
-  APA - Argille a palombini

Coperture quaternarie



-  a1g - Deposito di frana attiva complessa
-  a2g - Deposito di frana quiescente complessa

Fig. 2 Stralcio fuori scala della carta Geologica alla scala 1:5.000 allegata al presente documento

Le argille a Palombini (Argille a Palombini di Monte Rizzone - AMR della Carta Geologica d'Italia) sono caratterizzate da un'alternanza di argilliti grigio scure, verdastre e nocciola e calcari micritici grigi o grigio verdini, raramente biancastri e strati sottili e medi, talora spessi, rivestiti di patine giallastre e in qualche caso da incrostazioni di ossidi neri. Gli strati calcarei mostrano frequentemente una base calcarenitica fine laminata ed un tetto marnoso. Localmente si intercalano arenarie fini grigio scure laminate in sottili alternanze e argilliti marnose grigie in strati spessi.

La litofacies delle Arenarie di Scabiazza non è sempre uniforme, ma presenta delle variazioni irregolari riconducibili a fenomeni di eteropia. La facies più diffusa è rappresentata da una fitta successione di strati arenacei, marno-siltosi e argillosi con tinta grigio cinerea, passante a giallo tabacco per alterazione. Nei letti arenacei più sottili è caratteristica la presenza di lamelle micacee concentrate soprattutto in corrispondenza dei giunti di stratificazione. Le altre litofacies che caratterizzano la formazione derivano da quella sopra descritta per graduale variazione della granulometria. Dove la granulometria pelitica è prevalente si osservano argilliti generalmente variegata che costituiscono lenti irregolarmente distribuite nel corpo della formazione. Dove prevalgono le granulometrie grossolane le arenarie passano a breccie o a veri conglomerati. Anche queste facies grossolane hanno una giacitura lentiforme e risultano concentrate nella parte basale o alla sommità della formazione.

I rapporti stratigrafici tra le due unità descritte sono di complessa interpretazione. La sezione B-B' della Carta Geologica d'Italia (Foglio 198 Bardi) tracciata nei pressi dell'area di intervento evidenzia come il contatto tra le due sia di carattere tettonico e come le Arenarie di Scabiazza siano stratigraficamente sovrapposte alle Argille a Palombini (Fig. 3).

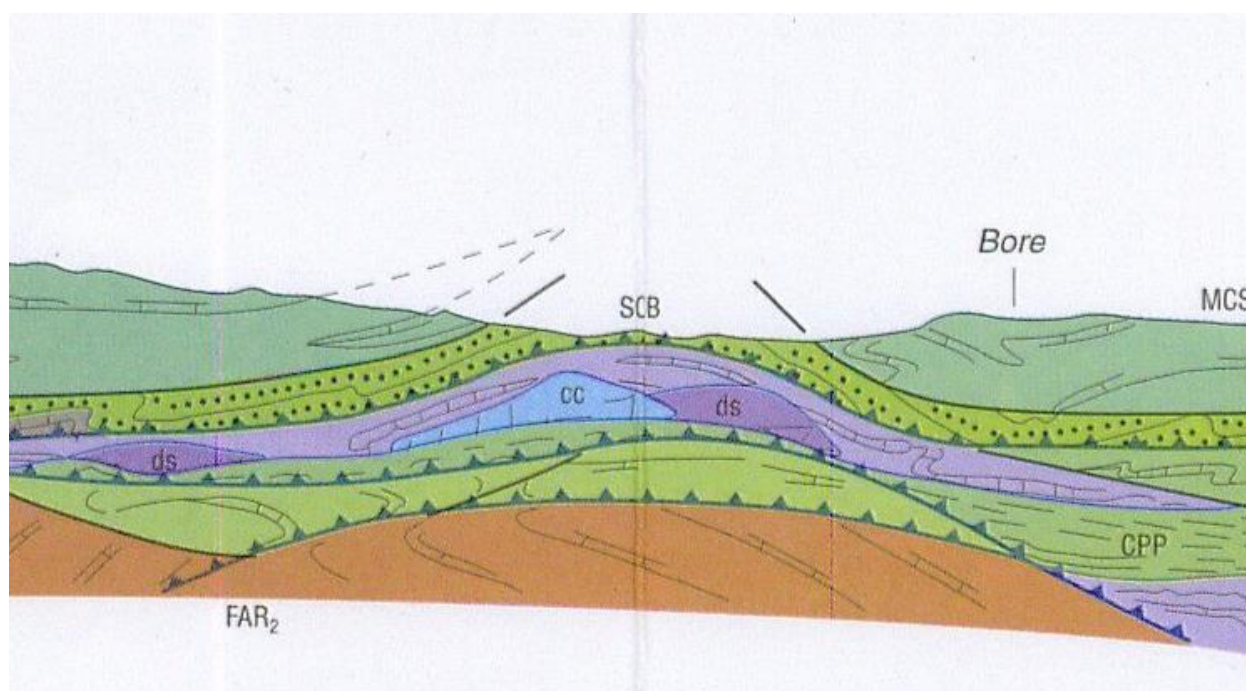


Fig. 3 Stralcio fuori scala della sezione B-B' della Carta Geologica d'Italia (Foglio 198 Bardi)

4.1 Inquadramento del dissesto

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.

Si tratta di un deposito che ha manifestato evidenze di movimenti in atto nell'ultimo ciclo stagionale, con la formazione di lesioni/fratture e smottamenti del terreno oltre ad evidenti segni sulla vegetazione circostante.

Nel 2013 sono stati segnalati movimenti evolutivi del versante che hanno interessato la strada provinciale SP28 di Bardi in cui sono stati documentati danni alla sede stradale che hanno comportato la ricostruzione del manto stradale.

Il Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale individua tale area nella Tav. C2 – Carta del Dissesto alla sezione CTR n. 198140 scala 1:5.000 classificandola come “Area a pericolosità geomorfologica molto elevata – Frana Attiva” normata dall’art. 21 delle NTA del piano stesso.

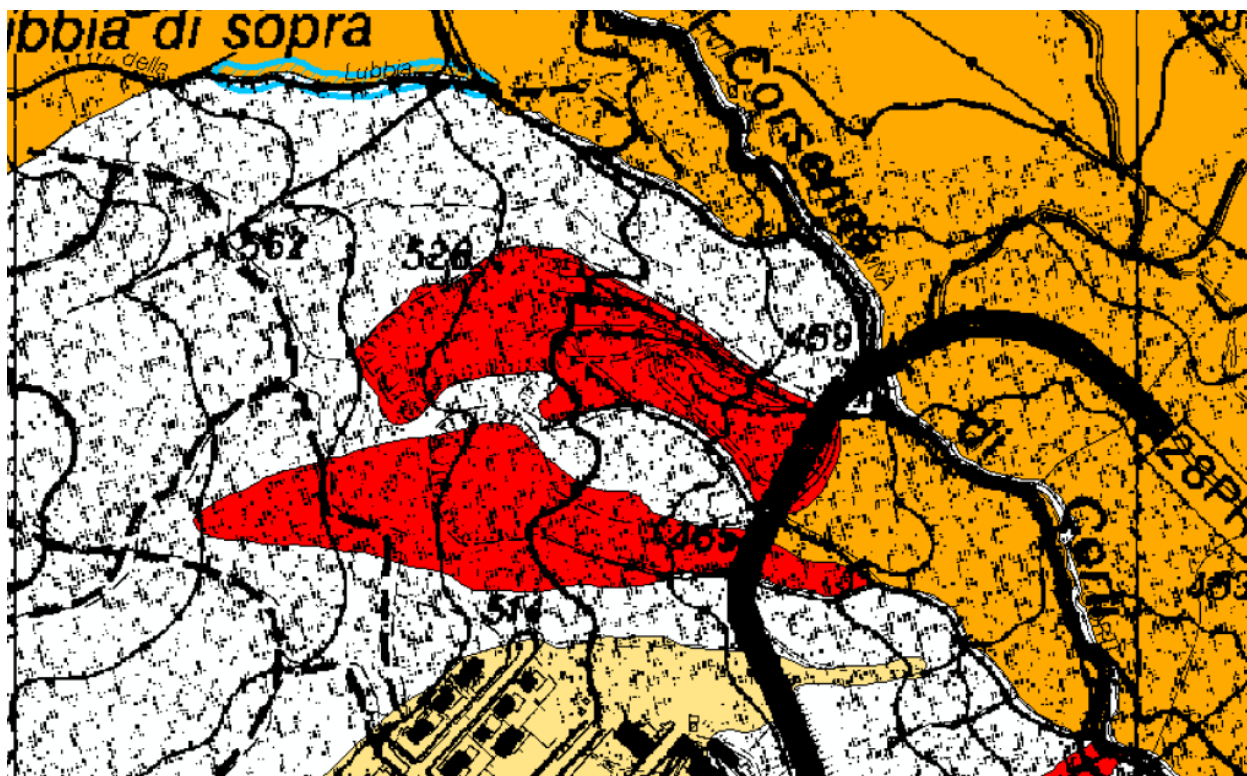


Fig. 4 Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale Tav. C2 – Carta del Dissesto

L’area in questione, dal punto di vista paesaggistico-ambientale, ricade in Zona I del vincolo idrogeologico e pertanto dovrà essere richiesto il rilascio dell’autorizzazione (R.D. n. 3267/1923) all’Unione dei Comuni Valli Taro e Ceno che ne ha la competenza ai sensi della L.R. n. 3 del 21 aprile 1999. Lo scopo principale del Vincolo idrogeologico è infatti quello di preservare l’ambiente fisico e, pur non essendo preclusivo della possibilità di trasformazione o di nuova utilizzazione del territorio, mira alla tutela degli interessi pubblici e alla prevenzione del danno pubblico. Le autorizzazioni sono richieste per le opere e gli interventi di trasformazione urbanistica ed edilizia del territorio e di trasformazione degli ecosistemi vegetali, che comportano movimenti di terreno o modificano il regime delle acque.

Il Piano Strutturale Comunale, approvato con Del di C.C. n. 41 del 29.09.2014, classifica l’area come Area a pericolosità geomorfologica molto elevata in conformità al Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale della Provincia di Parma.

Con l’utilizzo delle foto aeree 2018 fornite dalla Regione Emilia Romagna, sezione CTR 198140, è stato ridelimitato e aggiornato il perimetro della frana che è stato successivamente preso a riferimento per il rilievo effettuato con drone in data 5 agosto 2021.



Fig. 5 Piano Strutturale Comunale – Carta del dissesto

Attraverso il rilievo effettuato con la tecnologia SAPR del versante in frana e con la successiva elaborazione dei dati acquisiti, sono stati generati diversi livelli informativi tra cui un ortomosaico delle foto aeree, un DEM e una Dense Cloud Point che permette una lettura plano-altimetrica di tutta la zona indagata.

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 viene segnalato un singolo evento con il cod. 221639 - SP28 Km 33+800 Saliceto.

Le informazioni riportate sono le seguenti:

Data Evento: 10/04/2013

Descrizione: riattivazione di frana a monte strada con detriti e fango che hanno invaso la sede stradale

Cause innesco: precipitazioni periodo precedente

Danni e interventi: danni alla sede stradale rimozione della massa di fango e detriti e ricostituzione del manto stradale.

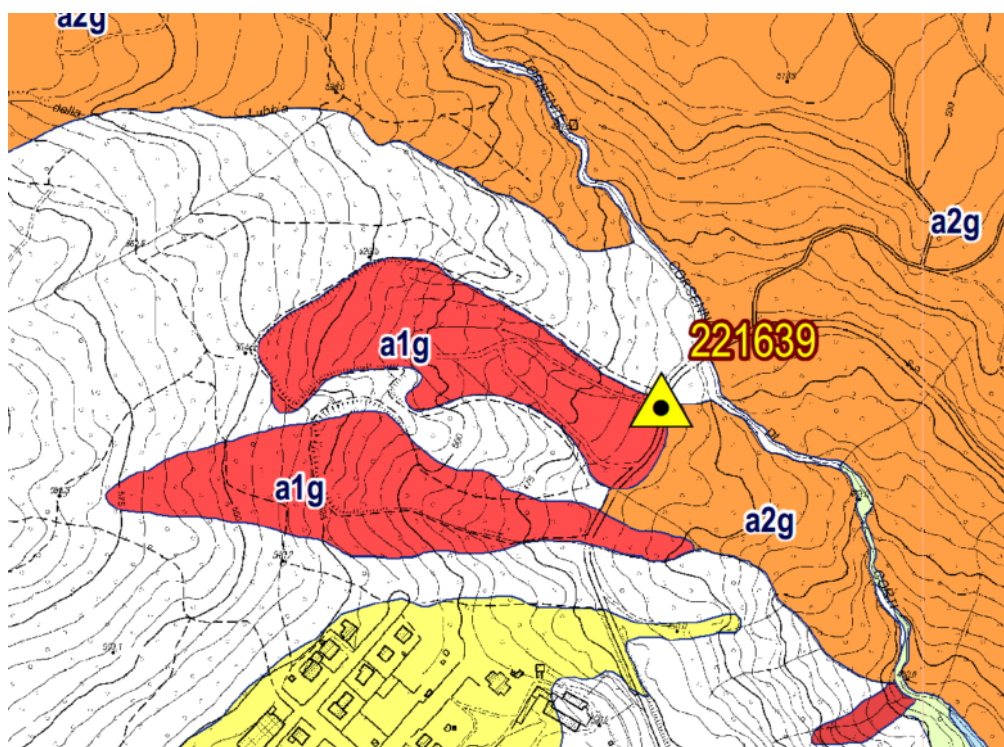


Fig. 6 Stralcio fuori scala della Carta Inventario delle Frane del Comune di Bardi (Tav.4)

L'insieme degli interventi previsti dal progetto si concentra sull'area interessata dalla riattivazione del fenomeno riferibile al 2013.

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 550 m s.l.m ed interessa una fascia di larghezza massima pari a circa 90 metri. La base della nicchia è posta a 525 metri circa e la pendenza è pari mediamente al 30%. La

zona di scorrimento si restringe ad una quarantina di metri ed è fiancheggiata da versanti che manifestano segnali di instabilità latente legata al movimento avvenuto alla loro base.



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

La zona di accumulo, che insiste direttamente sulla SP 28, presenta una morfologia articolata in senso trasversale. Sui fianchi, infatti, sono presenti due fasce depresse alla base delle quali si sono sviluppati due rii per concentrazione dei deflussi, mentre al centro la quota risulta più elevata.

L'assetto attuale, soprattutto con riferimento all'assetto complessivo del versante ed alle informazioni riportate dalle cartografie ufficiali del dissesto, testimonia come il movimento di riattivazione del 2013 abbia riguardato prevalentemente la porzione sommitale di un precedente dissesto che interessava una porzione più ampia del versante. Risulta assai probabile che il movimento abbia tratto origine dalla riattivazione regressiva della nicchia di distacco con un modesto coinvolgimento dell'area di accumulo.

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.

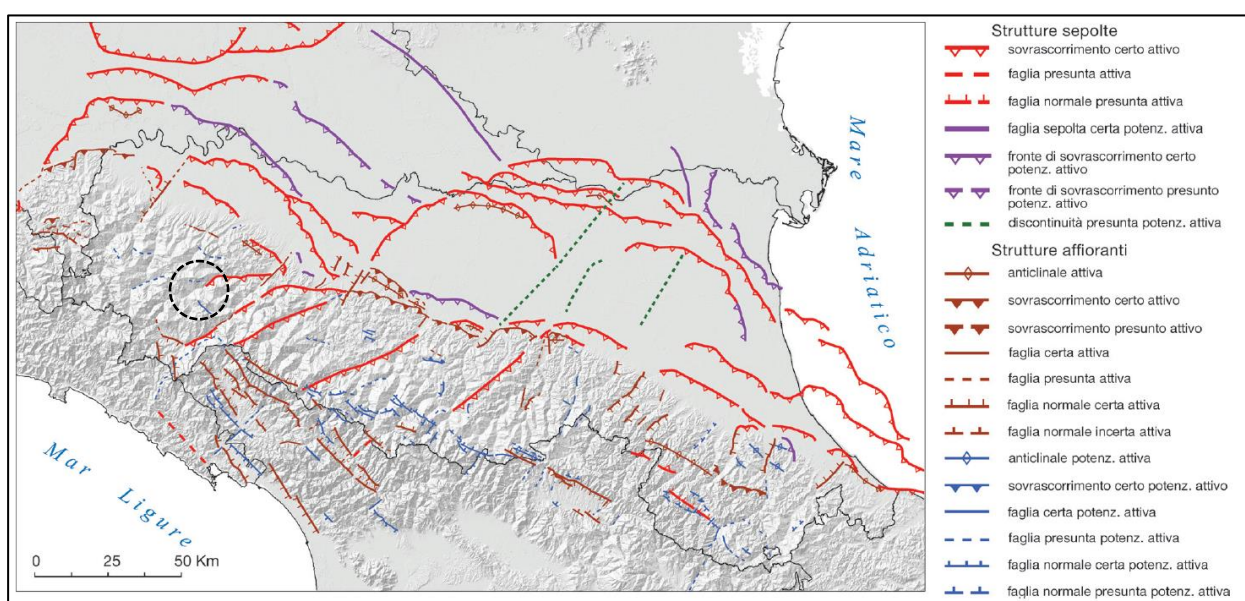


Fig. 9 Principali strutture tettoniche dell'area emiliano romagnola (tratta dalle Note Illustrative della Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna)

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 del comune di Bardi con l'indicazione dei terremoti più significativi che hanno coinvolto il territorio.

Considerando i valori esposti in tabella si può notare come i terremoti più significativi, avvenuti nell'appennino parmense, produssero effetti fino al 7° 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 il comune di Bardi. (Nella prima colonna, in alcuni casi, sono presenti le seguenti sigle: "NF" ovvero "non segnalato", quindi non esprimibile in termini di intensità macrosismica; "F" ovvero "avvertito")

Effetti Is (MCS)	Data	Area epicentrale	Punti di osservazione macrosismiche	Intensità macrosismica epicentrale	Magnitudo momento Mw
F	1802-5-12	Valle dell'Oglio	94	8	5,6
5	1834-2-14	Val di Taro-Lunigiana	112	9	5,96
6	1834-7-4	Val di Taro-Lunigiana	24	6-7	5,08
4-5	1835-4-25	Val di Taro	6	5-6	4,77
4	1898-3-4	Parmense	313	7-8	5,37
3	1906-8-25	Parmense	31	5	4,25
3	1906-11-10	Alta Val di Taro	43	5	4,22
4	1910-1-23	Piacentino	118	5	4,39
3	1910-9-6	Appennino ligure	19	5	4,13
4-5	1913-11-25	Appennino parmense	73	4-5	4,65
3-4	1913-12-7	Valle Scrivia	56	5	4,57
4	1914-10-27	Lucchesia	660	7	5,63
NF	1921-5-7	Lunigiana	19	6	4,64
4	1927-10-28	Alta Val di Taro	39	6	4,66
4-5	1928-2-21	Alta Val di Taro	8	5	4,16
2	1930-5-24	Appennino toso-emiliano	43	5	4,91
5-6	1934-6-13	Val di Taro-Lunigiana	29	6	5,14
NF	1937-9-17	Parmense	34	7	4,77
NF	1937-12-10	Frignano	28	6	5,3
2-3	1939-10-15	Garfagnana	62	6-7	4,96
4-5	1959-1-26	Alta Val di Taro	14	5	4,27
6	1971-7-15	Parmense	228	8	5,51
5	1974-4-15	Alta Val di Taro	13	5	4,14
5-6	1975-11-13	Appennino piacentino	7	5-6	4,36
4	1983-11-9	Parmense	850	6-7	5,04
5-6	1985-7-10	Appennino parmense	1	5-6	3,76

Effetti Is (MCS)	Data	Area epicentrale	Punti di osservazione macrosismiche	Intensità macrosismica epicentrale	Magnitudo momento Mw
5-6	1985-7-21	Appennino parmense	1	5-6	3,67
6	1985-8-8	Appennino parmense	2	5	3,66
6-7	1985-8-15	Appennino parmense	7	7	4,51
6	1986-5-12	Appennino parmense	2	5	3,8
NF	1986-12-6	Ferrarese	604	6	4,43
NF	1989-10-3	Appennino parmense	91	4	4,04
3	1995-10-10	Lunigiana	341	7	4,82
NF	2000-8-21	Monferrato	595	6	4,94
NF	2005-4-13	Valle del Trebbia	163	4	3,68
3-4	2005-4-18	Valle del Trebbia	284	4	3,97

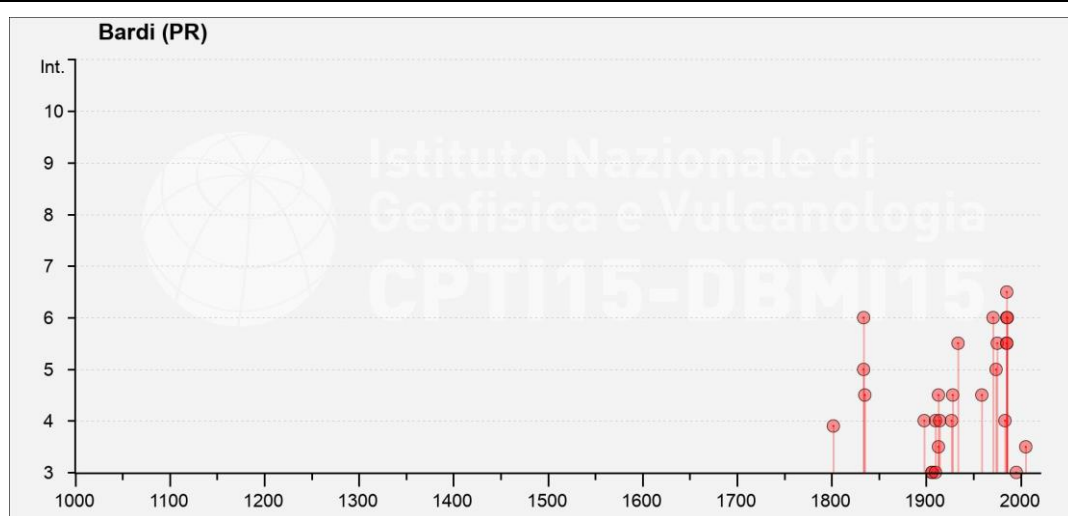


Fig. 10 Rappresentazione degli eventi sismici significativi avvenuti a Bardi (fonte: DBM115)

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 Bardi. 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 in esame (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 di due Sorgente Sismogenetica Composita (CSS) classificate come:

- “ITCS026: Lunigiana” in cui la massima magnitudo momento attesa è pari a 7,0. La geometria è compresa tra i 1 e i 10 Km dalla superficie. Si estende da Sud-Est di Reggio Emilia, proseguendo in direzione Nord-ovest fino a Fiorenzuola d’Arda e appartiene al fronte esterno del *thrust* Nord Appenninico. È caratterizzato da un sistema a faglie inverse Nord-Est vergenti;
- “ITCS045: San Giorgio Piacentino – Fornovo di Taro”: si trova a cavallo tra la zona a nord ovest della valle del Taro e tra thrust pedeappenninico e il fronte di spinta esterno dell’Appennino settentrionale, e in cui la massima magnitudo attesa è 7,2 Mw. È caratterizzato da un sistema di faglie vergenti verso NE.

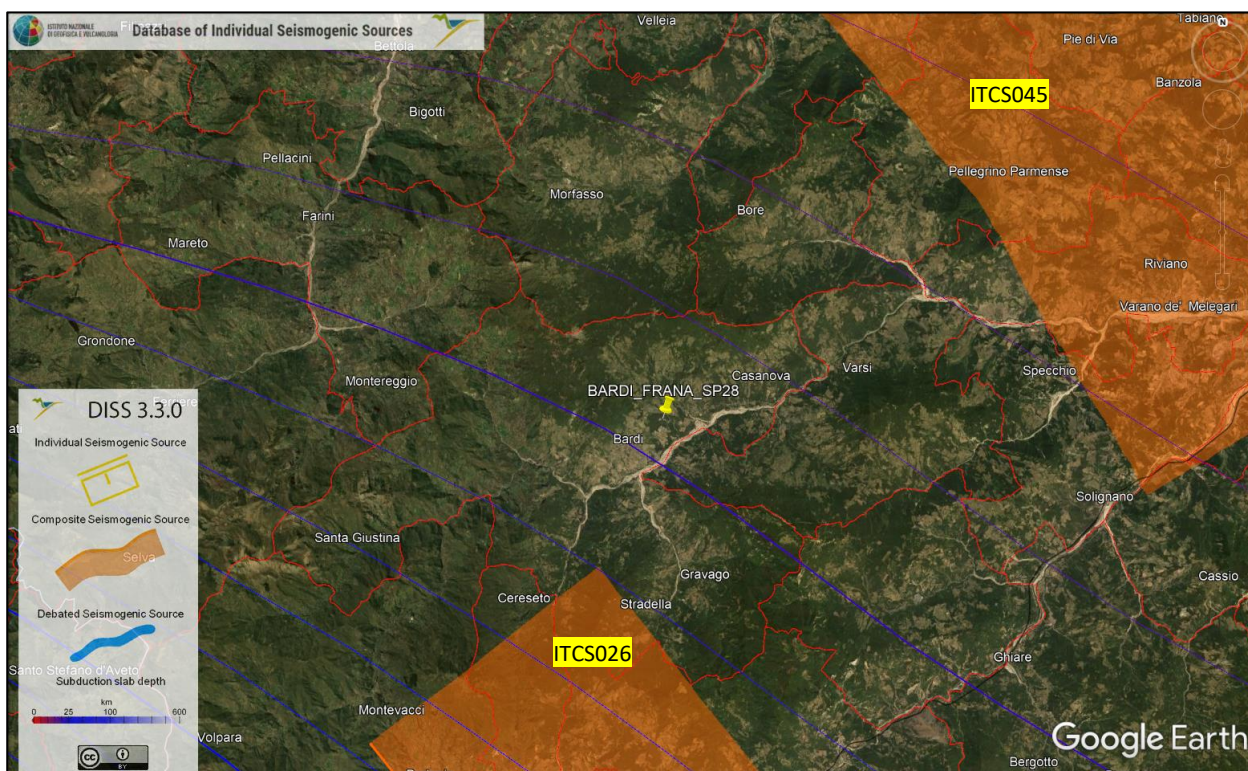


Fig. 12 Database zone sismogenetiche INGV (DISS3.2): rappresentazione cartografica della CSS (Composite Seismogenic Source) (Google Earth)

La sorgente sismogenetica composita 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.

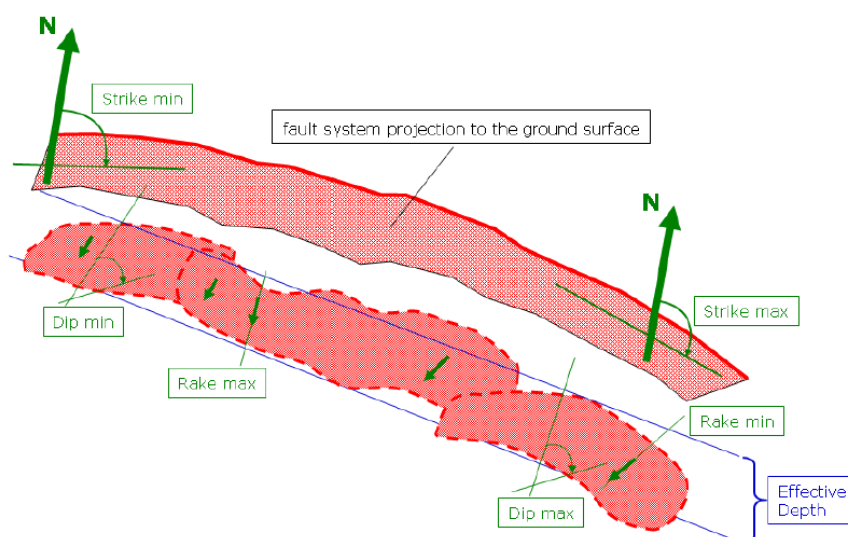


Fig. 13 Schema geometrico di una sorgente sismogenetica composta (CSS)

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.

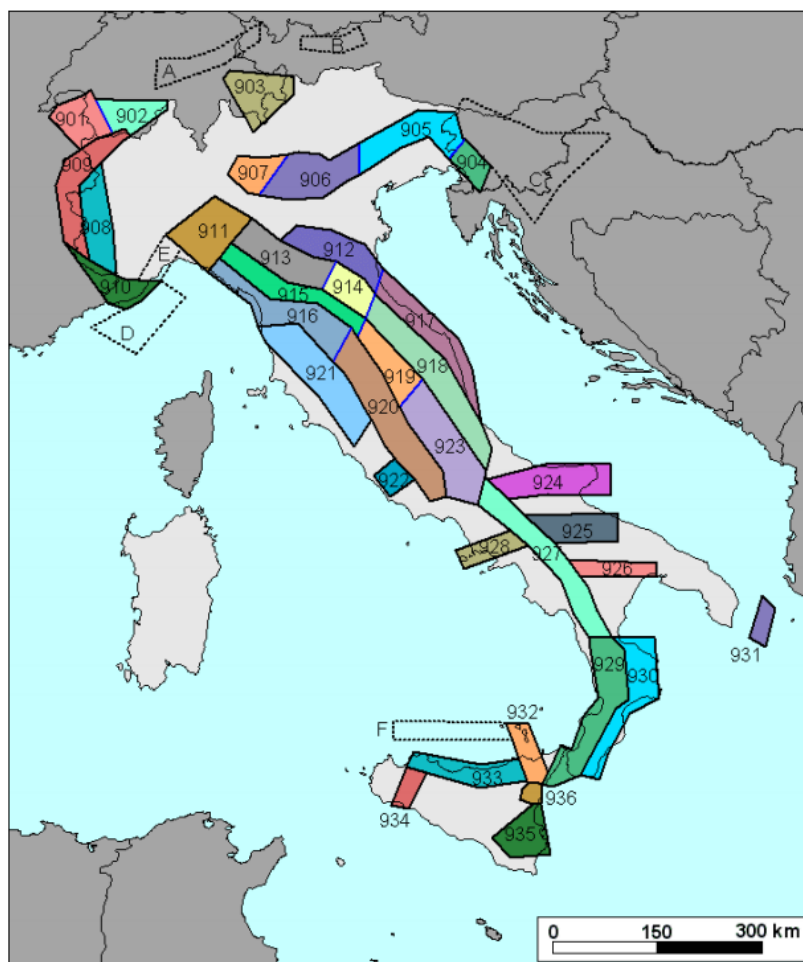


Fig. 14 Zonazione sismogenetica ZS9. I limiti blu separano zone con analogo significato cinematico ma diverse caratteristiche sismiche (fonte: INGV, Rapporto Conclusivo per il Dipartimento di Protezione Civile, 2004)

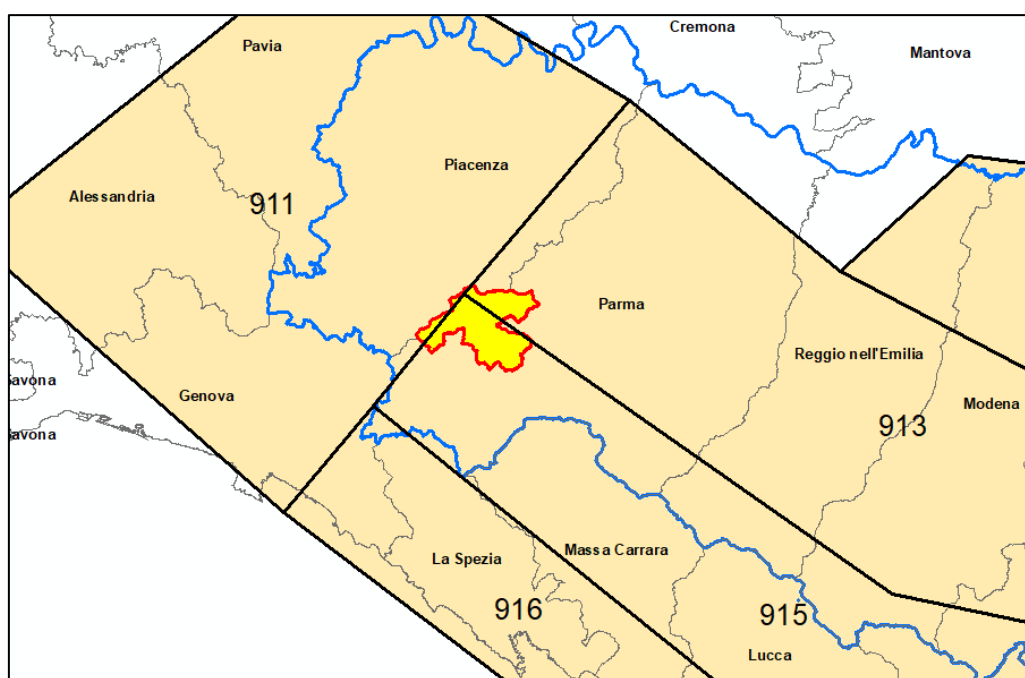


Fig. 15 Particolare di Fig. 14 in cui viene evidenziato il comune di Bardi

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: 44,641017° Long: 9,750176° 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.

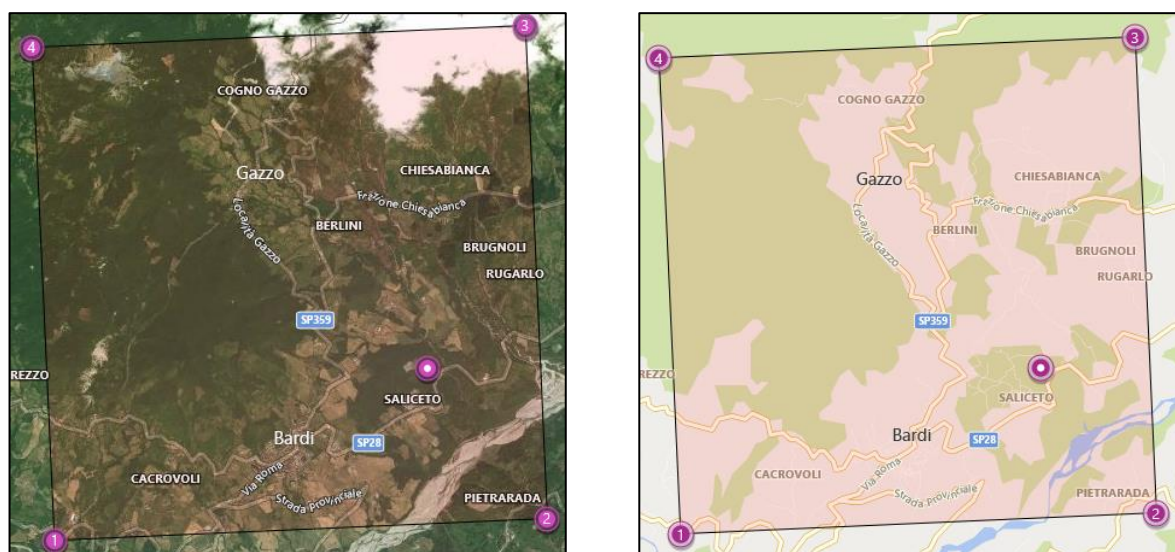


Fig. 16 Rappresentazione dei punti della maglia del reticolo di riferimento riportati nella Tab.1 allegata alle NTC 2018

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	0,052	2,415	0,233
SLD	35	0,056	2,417	0,238
SLV	332	0,150	2,417	0,275
SLC	682	0,194	2,421	0,285

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	0,018	0,058	0,069
kv	0,008	0,009	0,029	0,035
Amax [m/s ²]	0,819	0,884	2,360	2,820
Beta	0,200	0,200	0,240	0,240

Fronti di scavo e rilevati

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	--	0,042	0,091	--
kv	--	0,021	0,046	--
Amax [m/s ²]	0,819	0,884	2,360	2,820
Beta	--	0,470	0,380	--

Coefficienti sismici per muri di sostegno

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	--	0,042	0,091	--
kv	--	0,021	0,046	--
Amax [m/s ²]	0,819	0,884	2,360	2,820
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	0,083	0,090	0,241	0,288
kv	0,042	0,045	0,120	0,144
Amax [m/s ²]	0,819	0,884	2,360	2,820
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	0,065	0,070	0,187	0,223
kv	--	--	--	--
Amax [m/s ²]	0,819	0,884	2,360	2,820
Beta	0,776	0,776	0,776	0,776

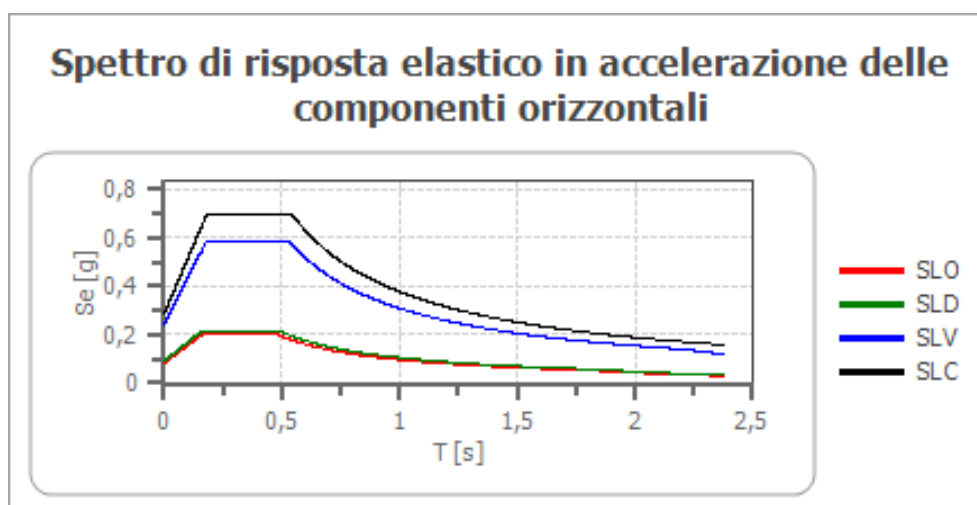
5.5.1. Spettro di risposta elastico

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



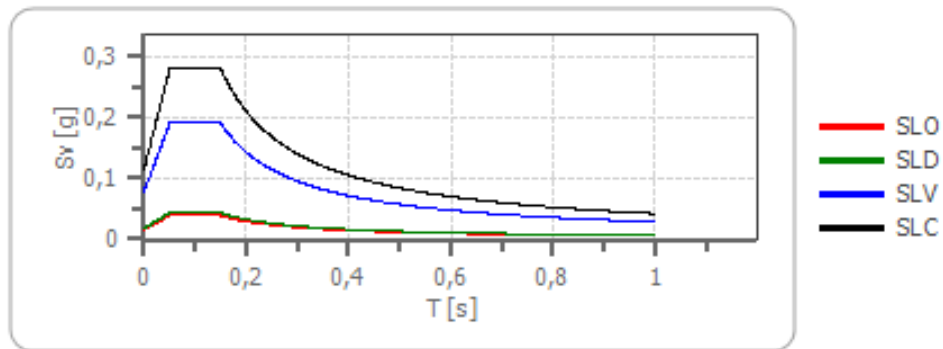
	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	0,7	0,052	2,415	0,233	1,600	2,060	1,000	1,600	1,000	0,160	0,479	1,809	0,083	0,202
SLD	0,7	0,056	2,417	0,238	1,600	2,040	1,000	1,600	1,000	0,162	0,485	1,825	0,090	0,218
SLV	0,7	0,150	2,417	0,275	1,600	1,930	1,000	1,600	1,000	0,177	0,532	2,202	0,241	0,582
SLC	0,7	0,194	2,421	0,285	1,480	1,900	1,000	1,480	1,000	0,181	0,542	2,377	0,288	0,696

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	0,052	2,415	0,233	1	2,060	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,016	0,039
SLD	0,7	0,056	2,417	0,238	1	2,040	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,018	0,044
SLV	0,7	0,150	2,417	0,275	1	1,930	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,079	0,190
SLC	0,7	0,194	2,421	0,285	1	1,900	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,116	0,280

6 Verifiche di stabilità

6.1 Premessa

E' stato affrontato lo studio di stabilità dell'insieme opera terreno con riferimento alle tipologie di interventi potenzialmente interferenti, costituiti dalla briglia in legname e pietrame e dal rilevato in terreno sciolto. Pur non rappresentando elementi rigidi e soprattutto non essendo finalizzati al sostegno della frana bensì alla stabilizzazione dell'alveo dei rii nel loro tratto terminale, rappresentano infatti opere che implicano la movimentazione di terreno e la costruzione di manufatti di altezza significativa. A tale scopo sono state selezionate opere tipo situate nei tratti con le condizioni morfologiche 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:

Per quanto riguarda la verifica effettuata in corrispondenza della briglia in legname e pietrame sono stati analizzati i seguenti scenari di verifica:

Scenario	Descrizione
A	Pendio nelle condizioni attuali (condizioni drenate)
B	Pendio con carico distribuito di 10 kPa dovuto alla briglia in progetto (condizioni drenate)
C	Pendio con carico distribuito di 10 kPa dovuto alla briglia in progetto (condizioni NON drenate)
D	Pendio con carico distribuito di 10 kPa dovuto alla briglia in progetto e soggetto a sollecitazioni sismiche (condizioni NON drenate)

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.

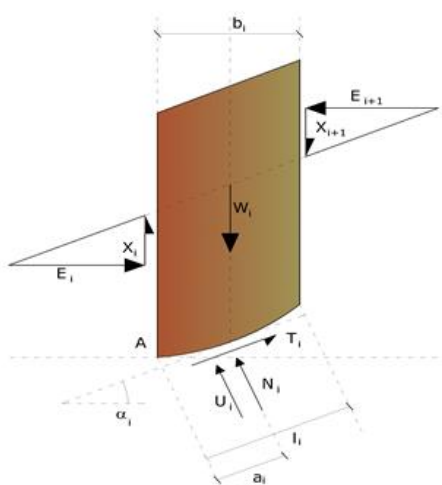
I vari metodi di calcolo dell'equilibrio limite disponibili in letteratura, si basano tutti su due ipotesi fondamentali:

- 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

6.3.1. Verifiche di stabilità briglia in legname

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 ✕											
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	▼	21.5	22.5	20	90		40	Permea ▼	Briglia
2	▼	18	19.5	2	25		24	Permea ▼	Corpo di frana

Fig. 18 Estratto dei parametri geotecnici ricavati attraverso 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	0,018	0,058	0,069
kv	0,008	0,009	0,029	0,035
Amax [m/s ²]	0,819	0,884	2,360	2,820
Beta	0,200	0,200	0,240	0,240

A)

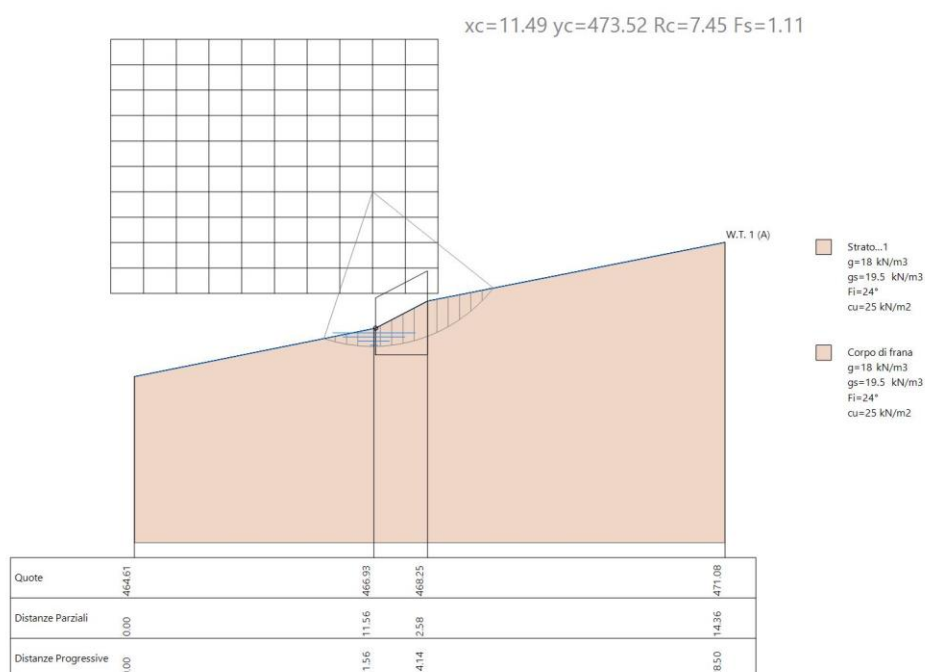


Fig. 19 Rappresentazione della verifica di stabilità nello scenario A con indicata la superficie a minor fattore di sicurezza

B)

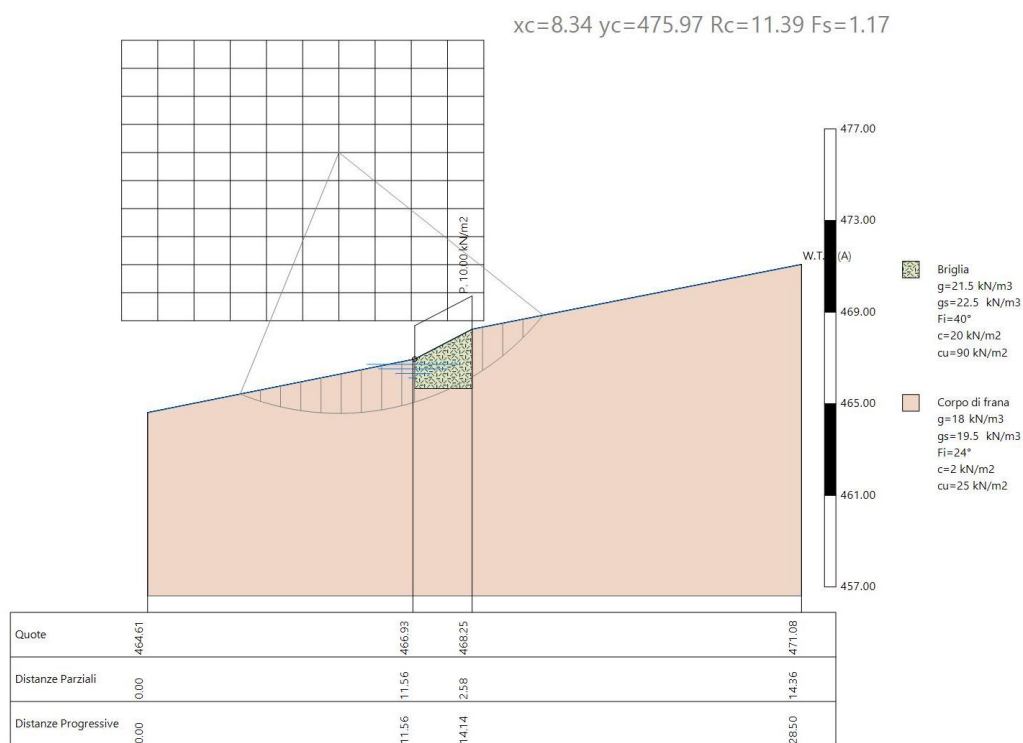


Fig. 20 Rappresentazione della verifica di stabilità nello scenario B con indicata la superficie a minor fattore di sicurezza

c)

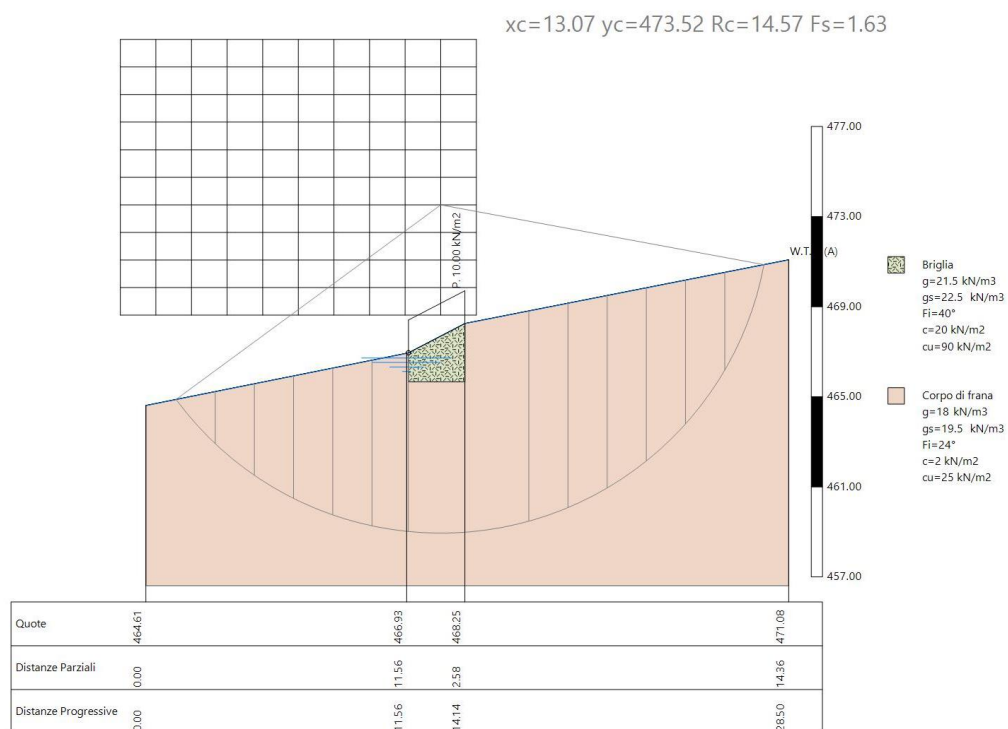


Fig. 21 Rappresentazione della verifica di stabilità nello scenario C con indicata la superficie a minor fattore di sicurezza

D)

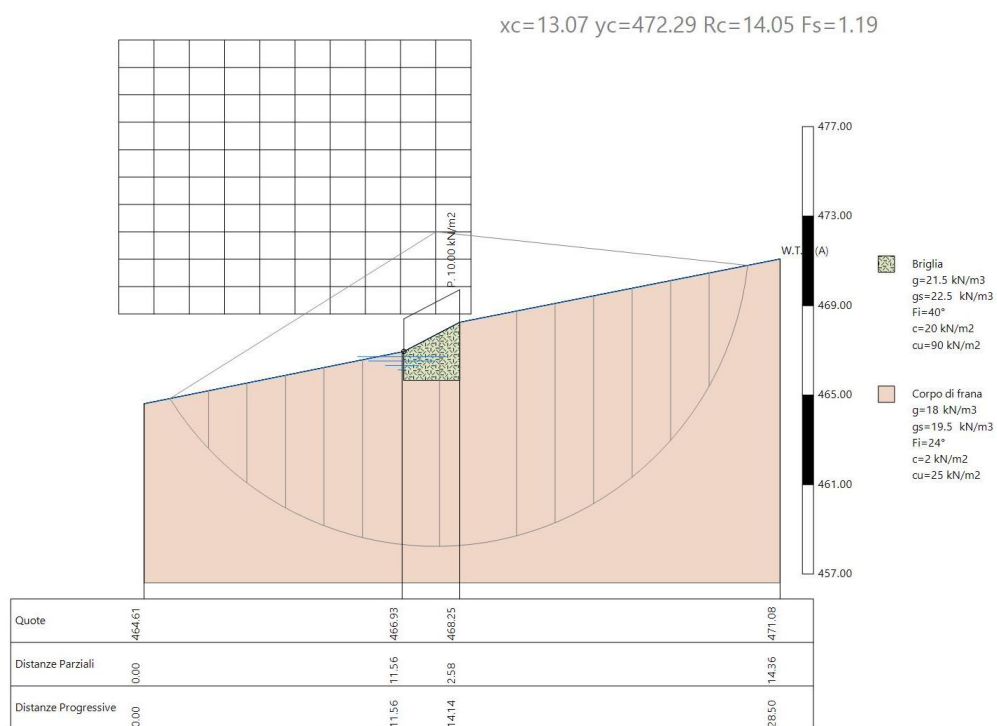


Fig. 22 Rappresentazione della verifica di stabilità nello scenario D con indicata la superficie a minor fattore di sicurezza

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

Scenario di verifica	F_s
A	1,11
B	1,17
C	1,63
D	1,19

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.

6.3.2. Verifiche di stabilità argine

Secondo quanto previsto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni 2018, le verifiche di sicurezza allo stato ultimo (SLU) delle opere in materiali sciolti, a differenza delle verifiche sui pendii naturali, devono essere effettuate secondo l'Approccio 1 – Combinazione 2 (A2+M2+R2) e quindi tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle seguenti tabelle.

Tab. 11 Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni

	Effetto	Coefficiente Parziale γ_F (o γ_E)	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti G_1	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	γ_{Q1}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

Tab. 12 Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

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

Tab. 13 Coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza di opere in materiali sciolti e di fronti di scavo

Coefficiente	R2
γ_R	1.1

Al fine di rappresentare tutte le possibili condizioni critiche per gli argini in esame sono stati considerati i seguenti scenari:

Scenario	Descrizione
A	<u>Rilevato arginale in condizioni drenate:</u> verifica allo stato limite ultimo SLV, Approccio 1 – Combinazione 2 (A2+M2+R2);
B	<u>Rilevato arginale in condizioni non drenate:</u> verifica allo stato limite ultimo SLV, Approccio 1 – Combinazione 2 (A2+M2+R2);
C	<u>Rilevato arginale in condizioni sismiche:</u> verifica allo stato limite ultimo SLV, Approccio 1 – Combinazione 2 (A2+M2+R2) ma con $\gamma_A = 1$, $\gamma_M = 1$ e $\gamma_R = 1,2$ come indicato nelle NTC18; e applicando metodi pseudostatici

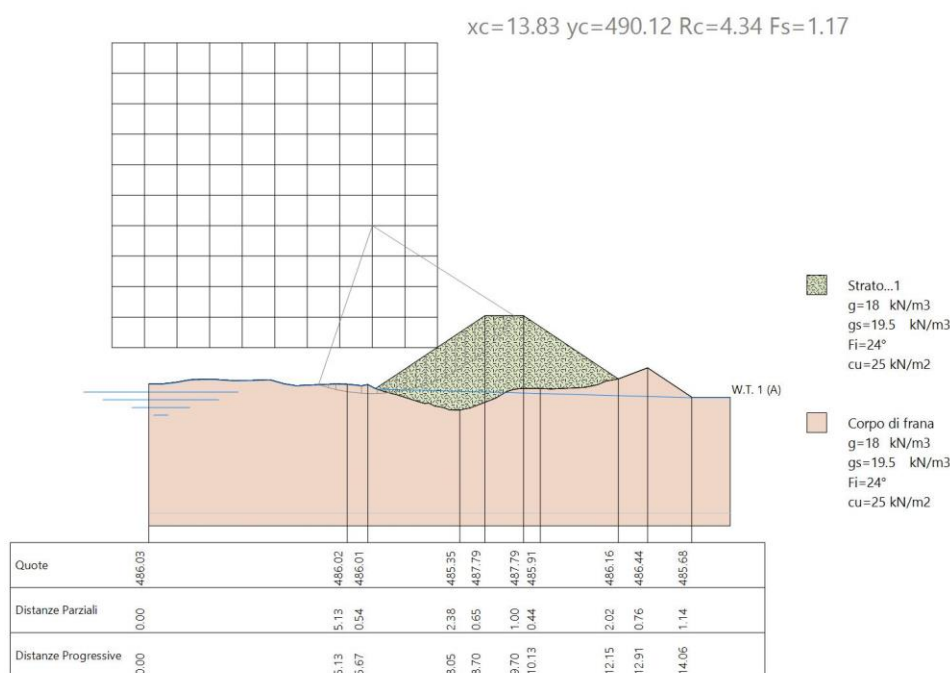


Fig. 23 Rappresentazione della verifica di stabilità nello scenario A con indicata la superficie a minor fattore di sicurezza

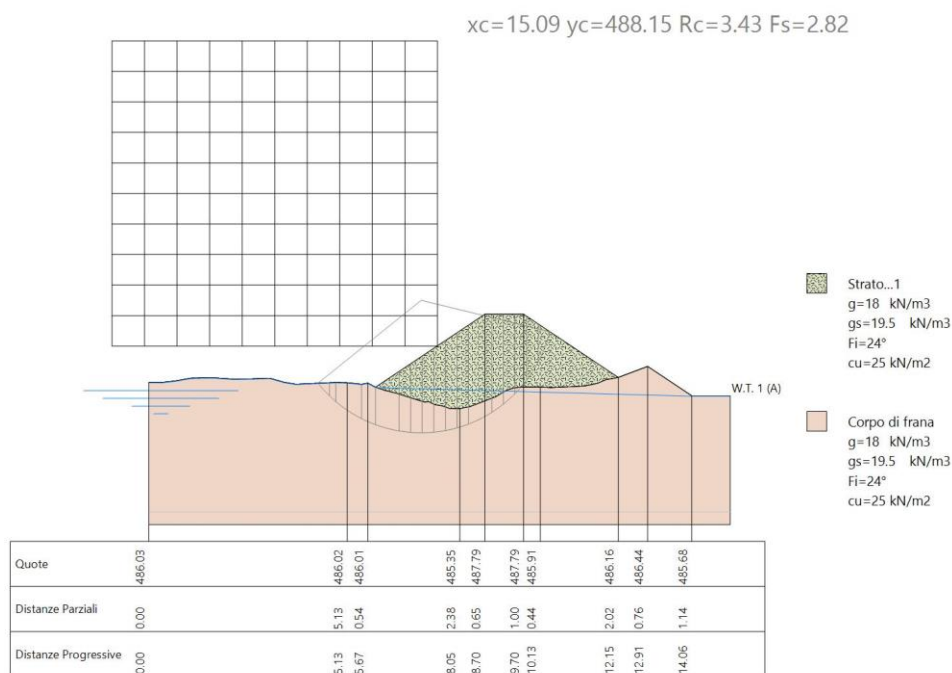


Fig. 24 Rappresentazione della verifica di stabilità nello scenario B con indicata la superficie a minor fattore di sicurezza

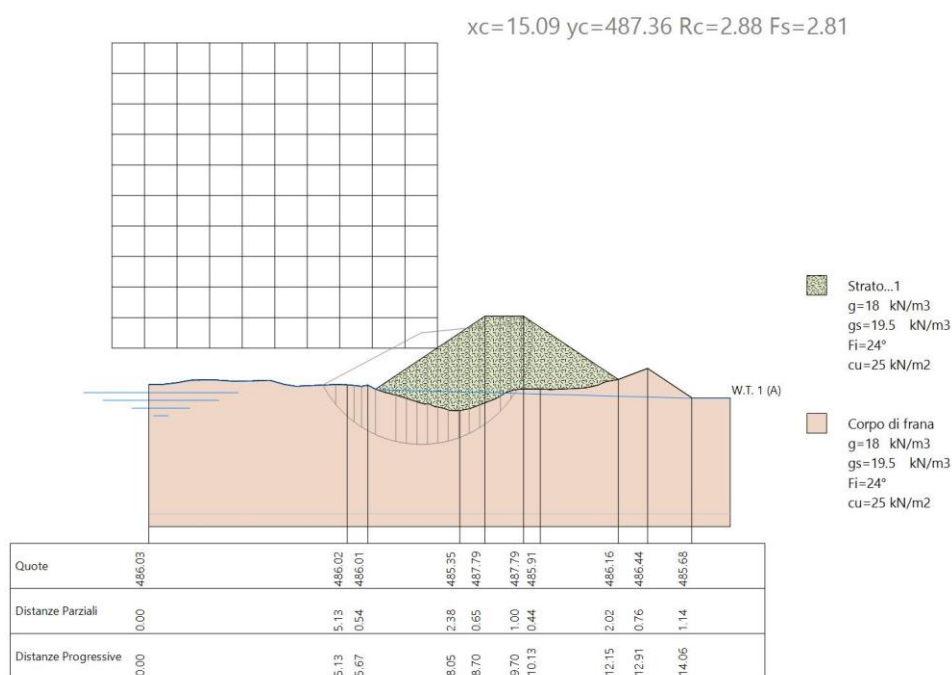


Fig. 25 Rappresentazione della verifica di stabilità nello scenario C con indicata la superficie a minor fattore di sicurezza

Tab. 14 Valori di F_s determinati lungo i profili di verifica

Scenario di verifica	F_s
A	1,17
B	2,82
C	2,81

Gli scenari analizzati evidenziano come l'opera in progetto, soprattutto in considerazione delle proprie caratteristiche dimensionali e di quelle dei materiali che lo costituiscono, risulti caratterizzata da stabilità sia nel breve che nel lungo termine.