



CITTA' METROPOLITANA DI BOLOGNA

Area Sviluppo delle Infrastrutture
Settore Strade, Sicurezza e Ciclovie

via San Felice, 25 - 40131 BOLOGNA

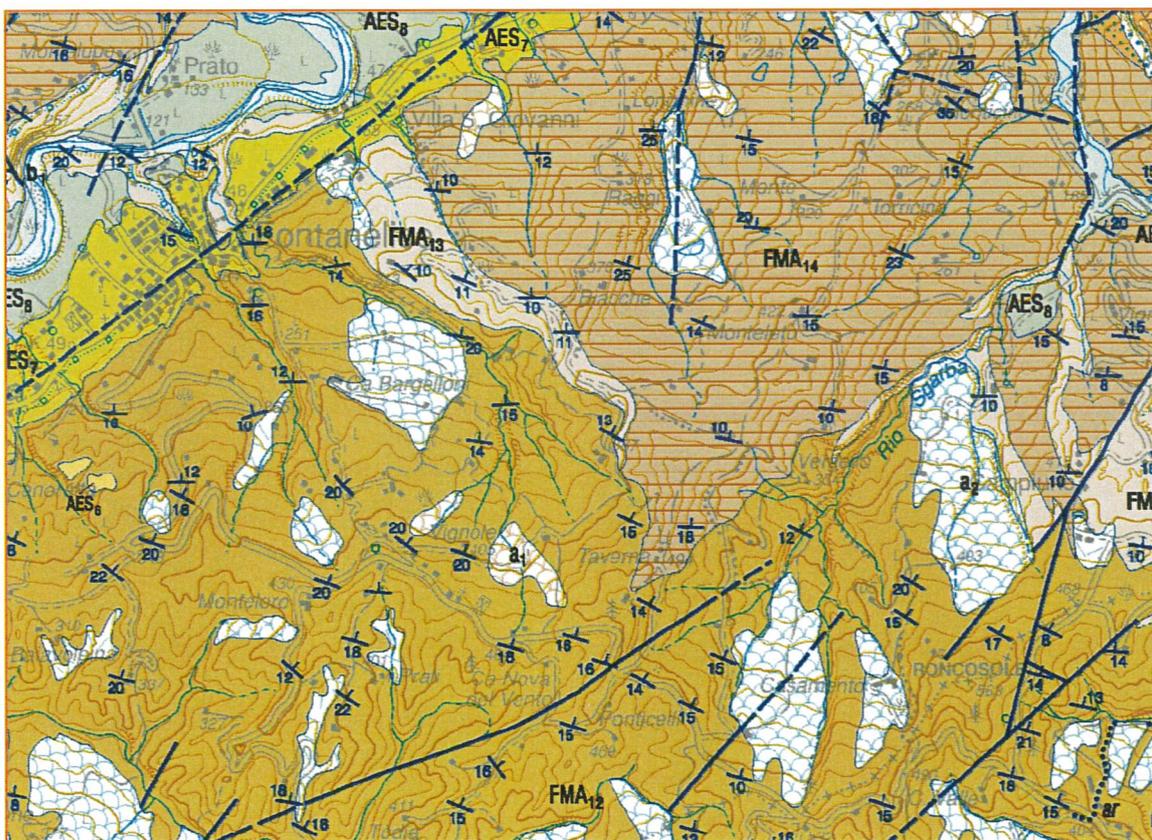
LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 33 CASOLANA IN COMUNE DI FONTANELICE (cod. intervento 2024VIMASMS13 - ID ER-000616) CUP C57H23002280001 - CIG A03DCC88A6



Proprietà e diritti del presente disegno sono riservati - In riproduzione e' vietata copyright and copyright are reserved - reproduction is strictly forbidden	COMMITTENTE:	 Area Sviluppo delle Infrastrutture Settore Strade, Sicurezza e Ciclovie via San Felice, 25 - 40131 BOLOGNA	PROGETTO - CSP - CSE:	 THESISENGINEERING Studio Tecnico di Ingegneria 40037 Sasso Marconi (BO) - via Castello n.7 tel. +39.51.6750312 fax. +39.51.6750370 E-mail, thesis@studiothesis.it																				
	FUNZIONI PROCEDIMENTO:	Responsabile Unico Procedimento: Ing. MAURIZIO MARTELLI Assistenza al RUP: ing. SARA DESTRO		Prof. Ing. CLAUDIO COMASTRI Firmato digitalmente da Maria Angela Cazzoli CN = Cazzoli Maria Angela O = Ordine dei Geologi dell'Emilia Romagna C = IT																				
REVISIONI/ AGGIORNAMENTI:	<table border="1"> <tr><td>4</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>3</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>1</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>	4					3					2					1							
4																								
3																								
2																								
1																								
1^ EMISS.	CITTA' METROPOLITANA DI BOLOGNA	Relazione geologica per sviluppo idrogeologica	THS2024001-V02 Cb.III.04_R19	31/03/2024																				
	RICHIEDENTE/APPLICANT:	OGGETTO:	FILE:	DATA:																				
	ELABORATO/DRAWN BY: Ing. C.Comastri	CONTROLLATO/ CHECKED BY: Ing. E. Comastri	APPROVATO/APPROVED BY: Ing. Claudio Comastri																					
	FIRMA/SIGNATURE	DATA/DATE	FIRMA/SIGNATURE	DATA/DATE																				
PROGETTO:	STRADA PROVINCIALE N. 33 "CASOLANA"																							
UBICAZ: OPERA:	COMUNE DI FONTANELICE																							
ELAB. Titolo	RELAZIONE GEOLOGICA PER SVINCOLO IDROGEOLOGICO		SCALA: [-]	REVISIONE.: -																				
Titolo 2			TAVOLA N.:	DATA: 31/03/2024																				
			R19																					

CITTÀ METROPOLITANA DI BOLOGNA
COMUNE DI FONTANELICE

LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE E DELLE
SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 33 CASOLANA IN
COMUNE DI FONTANELICE
(COD. INTERVENTO 2024VIMASMS13 - ID ER-000616)



RELAZIONE GEOLOGICA

DOTT. GEOL. MARIA ANGELA CAZZOLI

INDICE

1. PREMESSA.....	3
1.1. <i>NORMATIVA DI RIFERIMENTO</i>	3
2. GEOLOGIA, STRATIGRAFIA, GEOMORFOLOGIA E IDROGEOLOGIA DELL'AREA.	5
2.1. GEOLOGIA E STRATIGRAFIA DELLE UNITÀ AFFIORANTI	5
2.2. GEOMORFOLOGIA E STABILITÀ DEI VERSANTI	8
2.3. IDROGEOLOGIA.....	10
3. RILIEVO GEOMORFOLOGICO DEI DISSESTI OGGETTO DI INTERVENTO	12
4. INDAGINI DI SISMICA PASSIVA A FINI SISMICI ESTRATIGRAFICI	22
A. CARATTERISTICHE TECNICHE DELLA STRUMENTAZIONE UTILIZZATA	22
B. GRAFICI HVSR E LETTURE DELLE AMPIEZZE	23
IL CASO IN ESAME	23
5. AZIONE SISMICA.....	25
5.1. PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE	27
5.1. CATEGORIA TOPOGRAFICA E COEFFICIENTE STRATIGRAFICO	29
6. CONCLUSIONI	30
7. BIBLIOGRAFIA	31

ALLEGATI

1. PREMESSA

La relazione che segue illustra i risultati della campagna geognostica svolta in Comune di Fontanelice, per caratterizzare dal punto di vista geologico, stratigrafico, geomorfologico, idrogeologico e sismico i tratti di versante della SP 33 Casolana interessati da dissesti che hanno coinvolto la sede stradale, sia a monte che a valle della stessa, durante gli eventi alluvionali del maggio 2023. I movimenti franosi più importanti sono del tipo scivolamento planare in roccia lungo strato.

Per la definizione del modello geotecnico e le verifiche di stabilità, si fa integralmente riferimento alle relazioni redatte dall'Ing. Claudio Comastri, allegate al progetto.

Lo studio si è articolato nelle seguenti fasi:

- inquadramento ed esame delle caratteristiche geologiche, geomorfologiche e idrogeologiche dell'area;
- misurazione, a fini sismici e stratigrafici, delle frequenze di risonanza del sito con tromografo digitale Tromino e stima della velocità di propagazione delle onde s "Vs30" tramite il programma di calcolo *Grilla*;

Nella relazione che segue sono descritte le metodologie di indagine, i risultati delle prospezioni di sismica passiva, l'analisi delle condizioni sismiche del sito.

L'area indagata e l'ubicazione delle indagini di sismica passiva si individuano nella cartografia allegata, ricavata dalla Carta Tecnica Regionale (C.T.R.) alla scala 1:10.000, sezione 238110 – Fontanelice, 238150 – Castel del Rio e 238160 – Casola Val Senio.

1.1. **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

Lo studio geologico-geotecnico svolto e la stesura della seguente relazione rispettano le disposizioni indicate nella normativa di riferimento elencata di seguito:

- “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 fondazioni”. D.M. 11 Marzo 1988;
- Istruzioni relative alle “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”. Circ. Min. LL.PP. n° 30483, 24 Settembre 1988;
- AGI: raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche, Giugno 1977;
- AGI: raccomandazioni sulle prove geotecniche di laboratorio, Maggio 1990 (edizione provvisoria);
- Eurocodice Ec7 per l'ingegneria geotecnica, Settembre 1988;
- ISO 31-11: Quantities and units, Mathematical signs and symbols for use in the physical sciences and

technology, 1992.

- UNI ISO 2955: Rappresentazione delle unità SI e di altre unità usate nei sistemi con insiemi limitati di caratteri, 1987
- ASTM: norme relative alla descrizione di una terra, all'esecuzione di analisi granulometrica per via umida con sedimentazione ed aerometria, alla esecuzione di prova di compressione monoassiale, alla esecuzione di S.P.T., alla esecuzione di C.P.T.;
- Eurocodice 8 (1998) – Indicazioni progettuali per la resistenza fisica delle strutture - Parte 5: Fondazioni, strutture e aspetti geotecnici.
- "Norme Tecniche per le Costruzioni", D.M. 14 gennaio 2008;
- Circolare 2 febbraio 2009 Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le Costruzioni;
- L.R. 30 ottobre 2008, n. 19 "Norme per la riduzione del rischio sismico" e documenti correlati.
- Ordinanza n. 35 del 20/03/ 2013 – Modalità di applicazione dell'Art. 3 Comma 10 della legge 122 di conversione del D.L. 74/2012;
- Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni» D.L. 17 gennaio 2018;
- Circolare applicativa NTC 2018;
- “Indirizzi Guida per la gestione delle Terre e Rocce da Scavo “ APAT Maggio 2005;
- “Norme in Materia Ambientale” D.Lgs. n. 152 del 3 Aprile 2006;
- Regolamento recante la disciplina delle terre e rocce da scavo D.Lgs. n.161 del 10 Agosto 2012;
- Regolamento recante la disciplina semplificata delle terre e rocce da scavo D.P.R. n.120 del 13 Giugno 2017.

2. GEOLOGIA, STRATIGRAFIA, GEOMORFOLOGIA E IDROGEOLOGIA DELL'AREA.

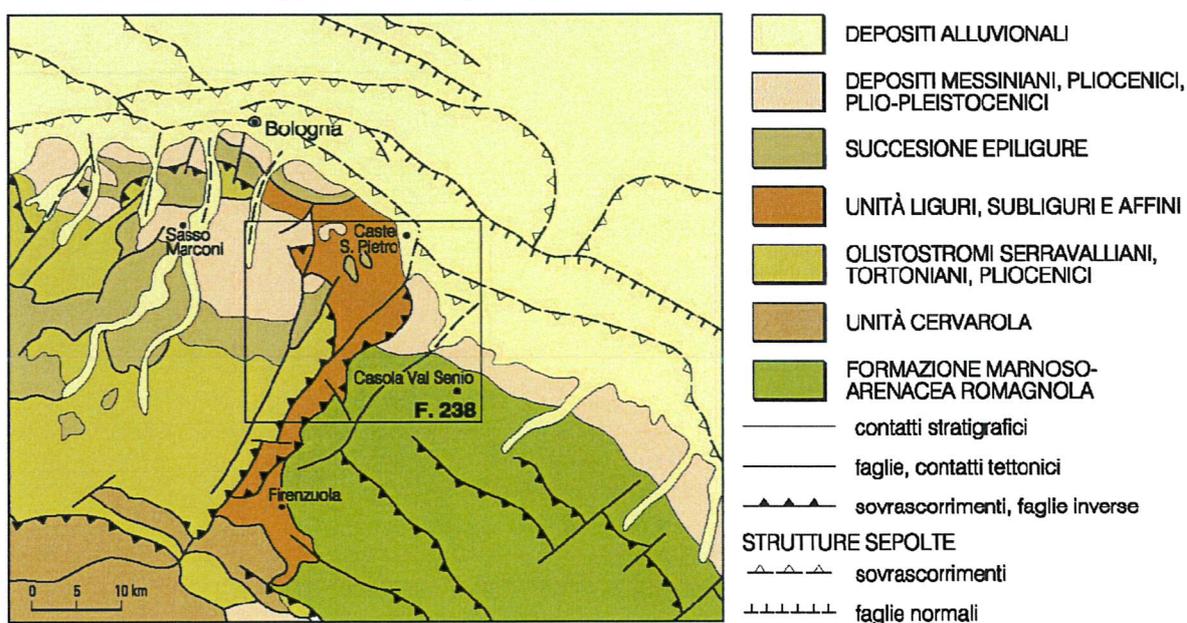
L'area oggetto dell'intervento è situata a quote comprese tra 150 e 500 m s.l.m. circa, lungo il versante destro del fiume Santerno percorso dalla SP 33 Casolana, dal fondovalle sino al crinale con il Senio, in località Salustra, dove si approfondisce verso nord la testata valliva del rio Sgarba, affluente in destra idrografica del F. Santerno a valle di Borgo Tossignano.

2.1. Geologia e stratigrafia delle unità affioranti

La descrizione della struttura geologica dell'area esaminata adotta le suddivisioni e le interpretazioni contenute nella carta geologica dell'Appennino emiliano-romagnolo (Progetto Nazionale CarG – Cartografia Geologica) edita in rete al sito <https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/geologia/servizi-e-strumenti/cartografie-webgis/cartografia-geologica-1> dall'Area Geologia, Suoli e Sismica Regione Emilia Romagna, di cui gli stralci relativi alla zona in esame sono riportati di seguito. Questi dati geologici di base sono stati integrati da osservazioni e i rilievi puntuali svolti sul campo nel corso dell'indagine.

Nell'area si osservano litologie riferite alla Formazione Marnoso-Arenacea, unità geologica che affiora estesamente a est della valle del Sillaro in tutto l'Appennino romagnolo, il cui nome formazionale deriva dalla composizione litologica, costituita da una alternanza ritmica di arenarie e marne in strati piano paralleli.

SCHEMA DI INQUADRAMENTO REGIONALE



(da: CNR 1983-Structural Model of Italy-1:50000, modificato)

Inquadramento regionale delle unità geologiche in affioramento nel Foglio 238 CASTEL SAN PIETRO TERME – CARTA GEOLOGICA D'ITALIA.

Questa successione stratigrafica si depositò durante il Miocene, tra il Burdigaliano superiore e il Tortoniano superiore, su fondali marini profondi, in ambienti di piana bacinale.

In questo periodo il sollevamento dell'Appennino era già iniziato ma la catena montuosa ancora non emergeva dal mare e al suo fronte, verso NE si era venuto a creare un bacino marino stretto e profondo, allungato sino ai piedi delle Alpi, detto avanfossa.

Su questi fondali, per un lungo periodo, la sedimentazione fu dominata dal sopraggiungere di correnti sottomarine dette correnti di torbida, in grado di trasportare enormi volumi di detriti sabbiosi e argillosi in un tempo geologicamente istantaneo.

Ogni strato della Formazione Marnoso-Arenacea rappresenta quindi il prodotto di questo processo di trasporto e sedimentazione ed è generalmente costituito da una "coppia" di rocce diverse: alla base il detrito grossolano, sabbioso, forma un letto di arenarie, mentre verso l'alto il sedimento più fine, argilloso, forma un letto di marne. Le rocce derivate da questo tipo di sedimentazione sono chiamate torbiditi. Molti dei granuli sabbiosi della Marnoso Arenacea derivavano dall'erosione di rocce alpine, testimoniando che queste montagne erano già emerse dal mare ed erano solcate da fiumi che finivano nello stesso mare che bordava l'Appennino. La Formazione Marnoso Arenacea rappresenta una delle successioni sedimentarie torbiditiche più studiate a mondo e i suoi affioramenti sono una riconosciuta "palestra" per lo studio di questi particolari depositi sedimentari.

A partire dagli studi di Ricci Lucchi (1967) e Ruggieri (1970), si sono via via operate ricostruzioni sempre più dettagliate della fisiografia del bacino di sedimentazione, l'avanfossa che si identificò nel Miocene e che si colmò con sedimenti torbiditici provenienti in massima parte dalle coste che bordavano le Alpi e secondariamente dal margine umbro-laziale.

Studi più recenti (Servizio Geologico della Regione Emilia-Romagna) hanno portato a suddividere questa formazione in diverse unità e sottounità stratigrafiche, con la definizione di membri e litofacies tra loro distinti principalmente sulla base dei caratteri litologici e della posizione stratigrafica.

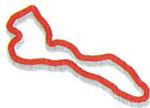
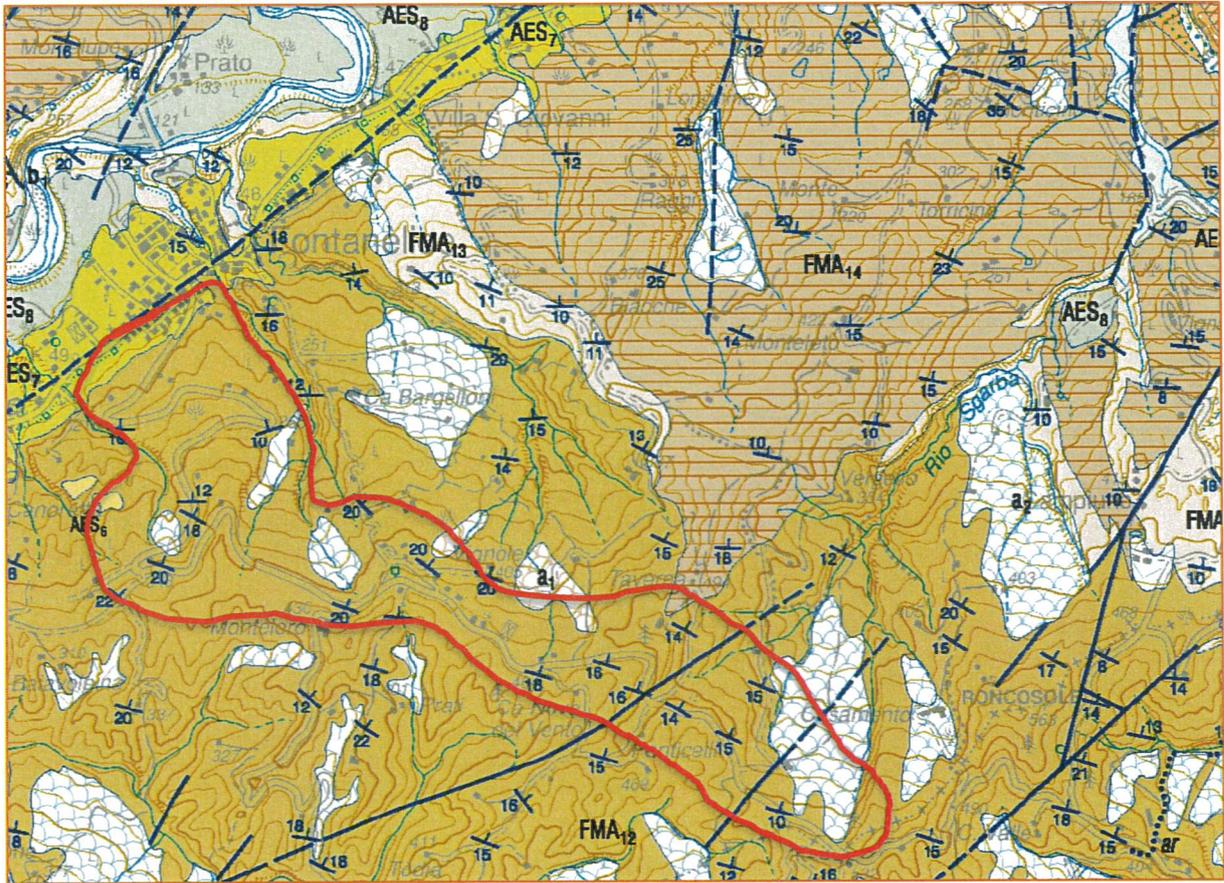
Nella successione della Marnoso-Arenacea si osservano numerosi orizzonti guida, formati da singoli strati o da gruppi di strati che si distinguono per la composizione, lo spessore o la provenienza. Si tratta spesso di megatorbiditi, ossia torbiditi di dimensioni eccezionali per il volume di sedimento trasportato, che si possono seguire per diversi chilometri lungo i versanti dell'Appennino e che permettono quindi di operare le più significative correlazioni tra affioramenti anche molto distanti tra loro.

Nell'area attraversata dalla SP 33 affiora la sotto-unità di questa formazione denominata Membro di Castel del Rio (FMA12), i dissesti si sviluppano interamente in questa unità e nelle coltri detritiche che la rivestono. FMA12 è caratterizzata da una litologia più pelitica, arrivando ad avere un rapporto arenaria-pelite, A/P, sino a 1/3.

Rispetto ad altre porzioni della Formazione Marnoso-Arenacea, la presenza di una composizione ricca in peliti, unitamente a quella di strati torbiditici sottili (torbiditi sottili) favorisce lo sviluppo di una compagine di insieme meno compatta e cementata rispetto ad altri membri e lo sviluppo, lungo i versanti modellati lungo le superfici di strato, di fenomeni franosi come quello che si osserva nei dissesti manifestatisi con scivolamenti lungo strato della SP33 – Casolana, dove la giacitura della stratificazione è a franapoggio.

INQUADRAMENTO GEOLOGICO DELLA SP 33.

Stralcio della Carta Geologica d'Italia, Foglio 238 CASTEL SAN PIETRO TERME.



Area di interesse



Frane quiescenti

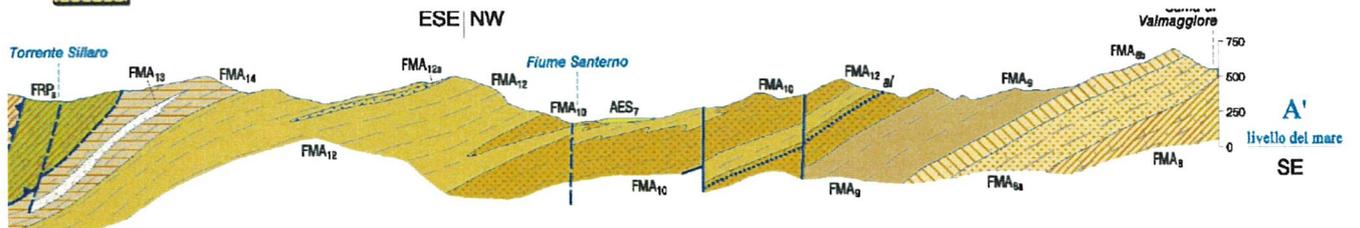
Accumuli gravitativi apparentemente assestati, dati da blocchi litici in matrice pelitica, a tessitura caotica.



FMA₁₂ Membro di Castel del Rio

Strati medi e spessi arenaceo-pelitici, A/P variabile da 1/1 a 4/1. Intercalazioni di pacchi decametrici di strati con rapporto A/P compreso tra 4/1 e 20/1 (differenziati nella litofacies FMA_{12a}); localmente presente l'orizzonte *ar*. Potenza variabile tra 600 e 850 m. Limite inferiore graduale su FMA₁₀, con parziale eteropia.

FMA_{12a} TORTONIANO



Stralcio della Sezione Geologica A - Foglio 238 CASTEL SAN PIETRO TERME della Carta Geologica d'Italia, tra le valli del Sillaro e del Santerno, dove stratigrafia e geometrie dei diversi membri della Formazione Marnoso Arenacea.

2.2. Geomorfologia e stabilità dei versanti

L'assetto geomorfologico e idrogeologico dei versanti indagati è strettamente legato alla struttura geologica e alle condizioni litotecniche dell'area. I processi in atto sono governati dall'erosione lineare che segna i corsi d'acqua, ai quali si deve la tendenza evolutiva che porta all'approfondimento dei solchi vallivi e il procedere di correlati dissesti gravitativi. Diversi sono i corsi d'acqua minori a cui si può imputare questi processi, intersecati lungo i versanti e presso le testate dal tracciato della SP 33, tutti affluenti in destra idrografica del Fiume Santerno.

La compatta successione stratigrafica della Marnoso Arenacea ha guidato l'evoluzione geomorfologica della zona, determinando con le diverse giaciture degli strati i profili dei rilievi, con l'evoluzione e le tipologie dei dissesti.

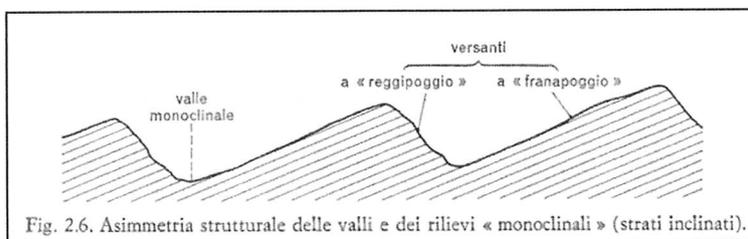


Fig. 2.6. Asimmetria strutturale delle valli e dei rilievi « monoclinali » (strati inclinati).

Nel territorio indagato si osserva una tipica successione di dorsali asimmetriche, nelle quali gli strati sono disposti a reggipoggio lungo un fianco più ripido e a franapoggio lungo il

fianco opposto.

La strada SP 33 attraversa un settore nel quale la giacitura della stratificazione è costantemente immersa verso NE con inclinazioni che variano da 10° a 20° (vedi stralcio cartografico nella pagina precedente).

Si sottolinea inoltre che nei versanti indagati si riconoscono le morfologie tipiche delle frane quiescenti e attive (vedi stralci cartografici presenti in relazione).

Si ricorda che per frane attive s'intendono i depositi "*associati a processi gravitativi in atto al momento del rilevamento, o che ricorrono con un ciclo il cui periodo massimo non supera quello stagionale*", mentre per frane senza indizi di evoluzione, o frane quiescenti, si intendono gli accumuli di terreno dovuti a processi gravitativi "*non attivi al momento del rilevamento, per le quali però esistono indizi che ne dimostrino un'oggettiva possibilità di riattivazione, in quanto esse non hanno esaurito la loro potenzialità di evoluzione*" (VARNES, 1978; GNGFG, 1987, CRUDEN & VARNES, 1996).

Una definizione più esaustiva e con indirizzo più applicativo è quella tratta dai documenti del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna, secondo la quale per frana quiescente si intende un:

"Deposito gravitativo senza evidenze di movimenti in atto o recenti. Generalmente si presenta con profili regolari, vegetazione con grado di sviluppo analogo a quello delle aree circostanti non in frana, assenza di terreno smosso e assenza di lesioni recenti a manufatti, quali edifici e strade. Per queste 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 morfoclimatiche, esaurito la loro potenzialità. Sono quindi frane ad attività intermittente con tempi di ritorno lunghi, generalmente superiori a vari anni. Rientrano in questa categoria anche i corpi franosi oggetto di interventi di consolidamento, se non supportati da adeguate campagne di monitoraggio o da evidenze di drastiche modifiche all'assetto dei luoghi"

Dal punto di vista litologico le frane sono composte da materiali incoerenti a composizione eterogenea e granulometria molto varia, accumulati per gravità e con assetto caotico.

Frequentemente i corpi di frane quiescenti presentano, al loro interno, riattivazioni più o meno estese. I depositi di versante sono costituiti invece da materiale roccioso eterogeneo e di dimensione molto varia, mescolati tra loro, formando accumuli con una tessitura peculiare, costituita da clasti di dimensioni variabili immersi e sostenuti da una matrice pelitica e/o sabbiosa (che può essere alterata per ossidazione e pedogenesi). La genesi dei depositi di versante può essere gravitativa (serie di piccole frane, soliflusso e creeping), e/o da ruscellamento superficiale.

Ciò premesso, in tutte le frane mobilizzate lungo la SP33, sotto ad un primo spessore di suolo (30-50 cm) si osserva una coltre detritica, in alcuni casi non è rappresentata nella cartografia CarG.

In più punti, presso le nicchie di distacco, affiora una successione stratigrafica alterata, fratturata, detensionata ma intatta, con strati sottili arenacei e pelitici ritmicamente alternati.

In questo contesto litologico, le frane che interessano la sede stradale della SP 33 sono essenzialmente di tre tipi, così come sono stati individuati e classificati nella cartografia:

"Alluvione maggio 2023 – Dissesti di versante" edita in rete all'indirizzo:

<https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/geologia/servizi-e-strumenti/cartografie-webgis/alluvione-maggio-2023-dissesti-di-versante-1>.

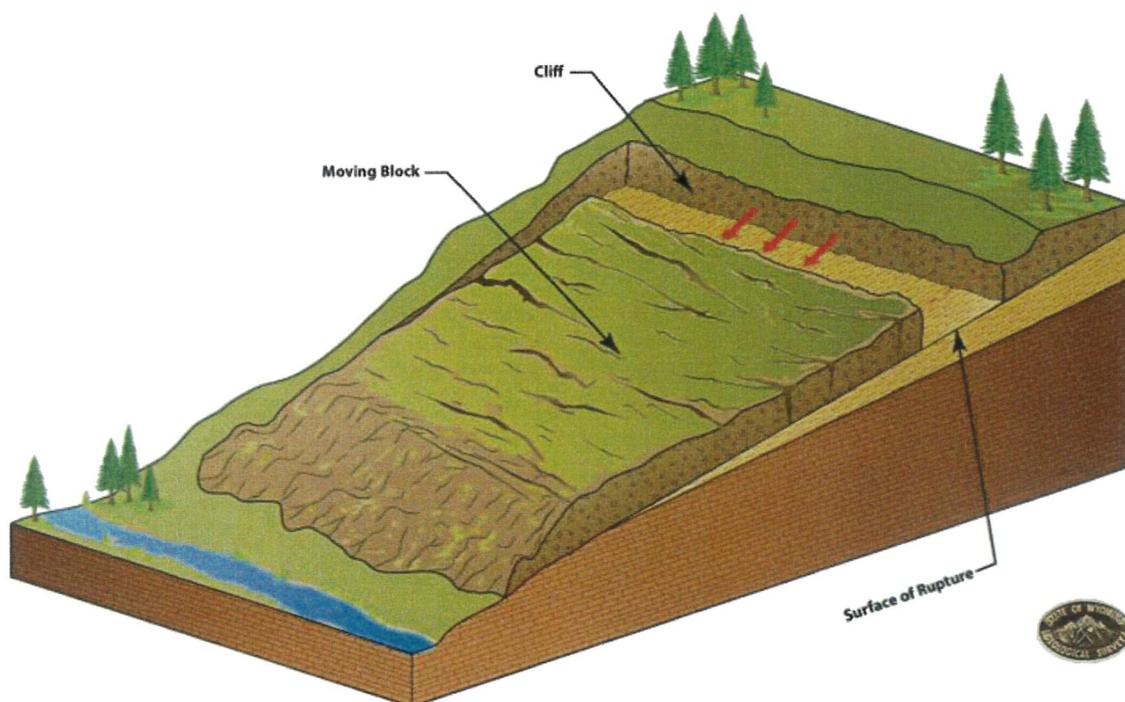
Conformemente a quanto rappresentato in questa cartografia vengono riconosciute le seguenti tipologie di dissesto:

- colate di fango;
- scorrimenti traslativi e/o rotazionali;
- scorrimenti traslativi in roccia su piani di strato.

In particolare, i dissesti manifestatisi al Km 2+100 (presso la località Serafaccio) e al Km 6+500 (presso la località Salustra) si sono mossi distintamente lungo una superficie di strato, con spessori di terreno e roccia scivolati in corrispondenza di livelli (strati, letti e/o orizzonti) di natura pelitica (marne), compatti e/o finemente laminati. Si tratta di livelli della successione stratigrafica lungo i quali avviene la percolazione preferenziale dell'acqua infiltratasi nello spessore di terreni soprastanti. Le peliti, a contatto con l'acqua, subiscono una importante

diminuzione dei parametri di resistenza, innescando il fenomeno di scivolamento dello spessore di strati soprastanti e/o del materiale detritico associato.

Scivolamenti di questo tipo si possono manifestare lungo una o più superfici di strato (orizzonti) in seguito a piogge intense, quando l'infiltrazione apporta acqua a un livello pelitico plasticizzabile, lungo cui avviene lo scorrimento.



DISEGNO ESPLICATIVO DI UNO SCIVOLAMENTO PLANARE

Gli scorrimenti traslativi in roccia su piani di strato segnano tipicamente i versanti lungo cui la giacitura della stratificazione è disposta a franapoggio con direzione parallela come il pendio e inclinazione conforme a quella del pendio.

Nel primo tratto della SP33, tra Vidiceto di sopra e Vidiceto di Sotto, si sono mobilizzate colate di fango e detriti.

2.3. Idrogeologia

Per il loro carattere stratificato, la natura granulare delle colti detritiche, la presenza di reticoli di fratture (joints), i terreni che formano tutti i tratti di versante esaminati possono ospitare a diverse profondità una circolazione idrica ipogea, con il possibile sviluppo di falde acquifere localizzate.

In questa fase di studio non è stato possibile installare piezometri, ma una certa circolazione idrica sotterranea è ben visibile nelle sezioni esposte dalle frane, dove, in seguito alle precipitazioni, uno scorrimento idrico viene restituito in corrispondenza delle nicchie di distacco e/o lungo i piani di scivolamento.

Occorre ricordare che per falda acquifera s'intende un accumulo di acqua nel sottosuolo che si verifica qualora rocce permeabili siano limitate da un sottostante strato di rocce impermeabili, l'orizzonte pelitico lungo cui si è prodotta la frana rappresenta per le acque più superficiali un primo limite impermeabile.

3. RILIEVO GEOMORFOLOGICO DEI DISSESTI OGGETTO DI INTERVENTO

Si descrivono di seguito le frane di maggiore sviluppo che interessano la SP 33, partendo dal fondovalle Santerno.



FMA12 - Formazione Marnoso-Arenacea - membro di Castel del Rio

Torbidenti arenaceo-siltitico-marnose (A/P variabile). Arenarie medie e fini, talora grossolane. Siltiti e marne, rare emipelagiti. Possono abbondare i letti arenacei spessi (A/P fino a >20), con strati talora amalgamati; per il resto prevalgono quelli medi e sottili. Talora si inseriscono pacchi di strati decametrici più pellici con A/P < 3 (fino a 1/2) talora cartografati (ap - orizzonte arenaceo-pellico). Localmente distinta una litofacies pellico-arenacea (FMA12c). Possono essere presenti riempimenti di canali arenacei (rc). Limite inferiore su FMA11 o su FMA10. Potenza fino a 850 m. (Tortoniano)

a3 - Deposito di versante s.l.

Accumulo di detrito su versante sulla cui attribuzione genetica permane un grado di incertezza, non escludendo che sia dovuto a fenomeni franosi, mancando spesso i caratteri di forma tipici delle frane stesse. Solo una indagine più approfondita del semplice rilevamento sul terreno potrebbe chiarire la natura dei processi che hanno generato il deposito. Generalmente l'accumulo si presenta con una tessitura costituita da clasti di dimensioni variabili immersi e sostenuti da una matrice pellica e/o sabbiosa (che può essere alterata per ossidazione e pedogenesi), solo localmente stratificato e/o cementato. Come indicato sopra la genesi può essere gravitativa, da ruscellamento superficiale, da soliflusso

a2b - Deposito di frana quiescente per scivolamento

Deposito originato dal movimento verso la base del versante di una massa di terra o roccia, che avviene in gran parte lungo una superficie di rottura o entro una fascia, relativamente sottile, di intensa deformazione di taglio.

a2d - Deposito di frana quiescente per colamento di fango

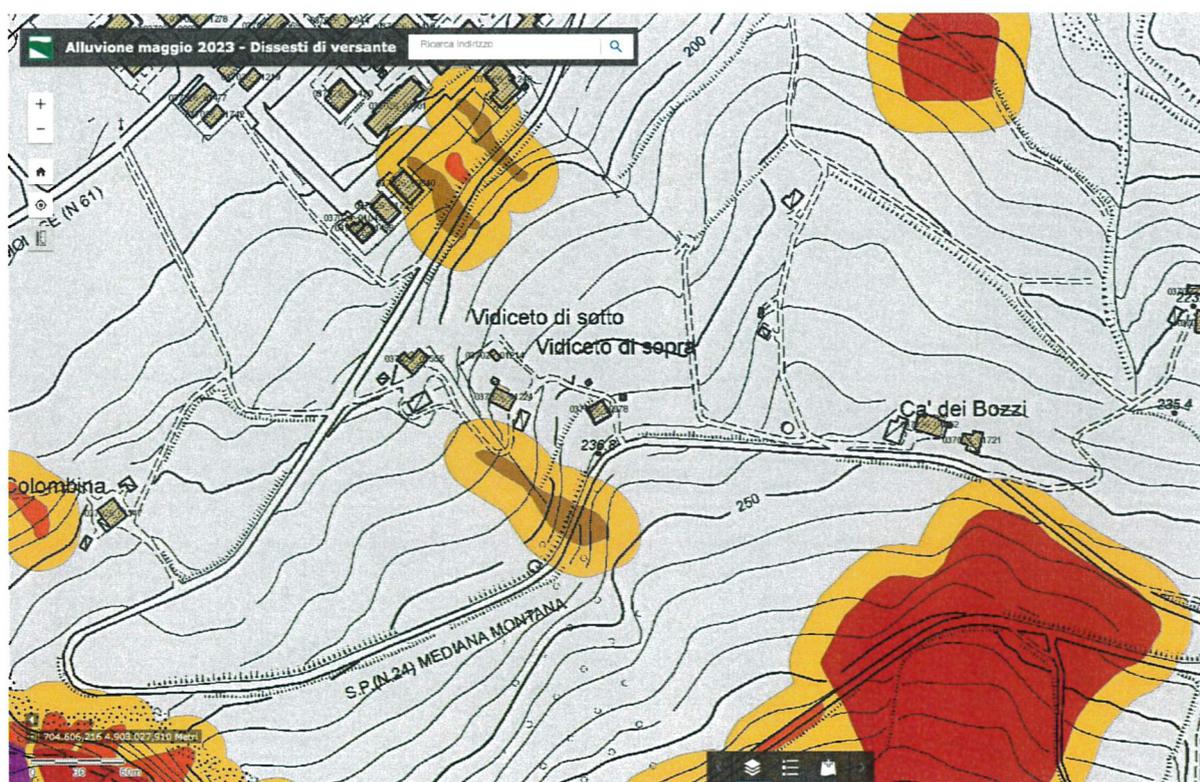
Deposito messo in posto da movimento distribuito in maniera continuata all'interno della massa spostata. Le superfici di taglio all'interno di questa sono multiple, temporanee e generalmente non vengono conservate. I materiali coinvolti sono per lo più coesivi. I depositi più frequenti sono costituiti in prevalenza da una matrice pellica e/o pellico-sabbiosa che include clasti di dimensioni variabili.

a2g - Deposito di frana quiescente complessa

Deposito messo in posto in seguito alla combinazione nello spazio e nel tempo di due o più tipi di movimento.

Frane in località Vidiceto – Km 1+00, Km 1+300

Nel primo tratto della SP33 si sono manifestate alcune colate di fango che hanno attraversato la sede stradale, e un limitato scorrimento traslativo rotazionale a valle della sede stradale, così come rappresentato nella cartografia sottostante.



Modifiche all'inventario dei fenomeni franosi effettuate nel luglio 2024

-  frane modificate
-  frane eliminate
-  frane inserite

Inventario dei fenomeni franosi verificatisi nel maggio 2023 (aggiornamento Luglio 2024)

-  A - Scivolamenti rapidi di terra e/o detrito
-  B - Colate di terra e/o detrito non canalizzate
-  C - Colate di terra e/o detrito canalizzate
-  F - Colate di fango
-  CR - Crolli o crolli/scivolamenti
-  R - Scorrimenti traslativi e/o rotazionali
-  SCST - Scorrimenti traslativi in roccia su piano di strato
-  SCSTI - Scorrimenti traslativi in roccia su piano di strato incipienti
-  CMPL - Frane complesse

Aree interessate da indirizzi normativi e misure temporanee di salvaguardia (agg.)

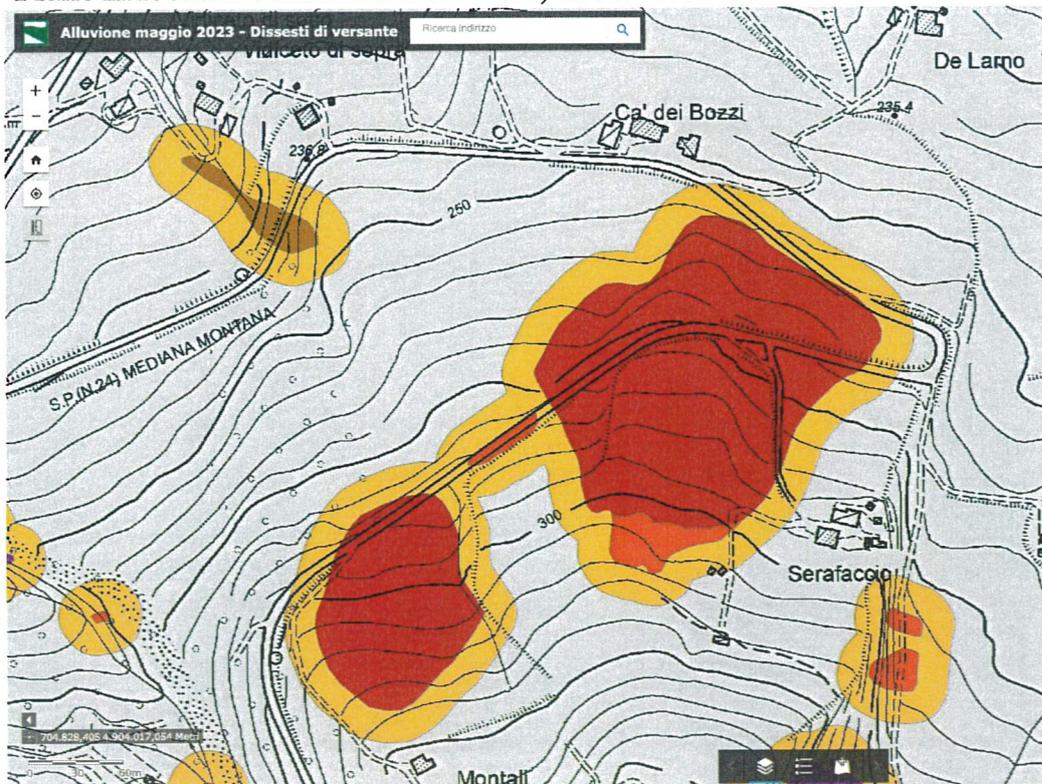
-  Frana
-  Intorno

LEGENDA DELLA CARTA
"ALLUVIONE MAGGIO 2023 –
DISSESTI DI VERSANTE",
RIFERIMENTO PER TUTTI GLI
STRALCI CARTOGRAFICI CHE
SEGUONO TRATTI DA QUESTO
DOCUMENTO.

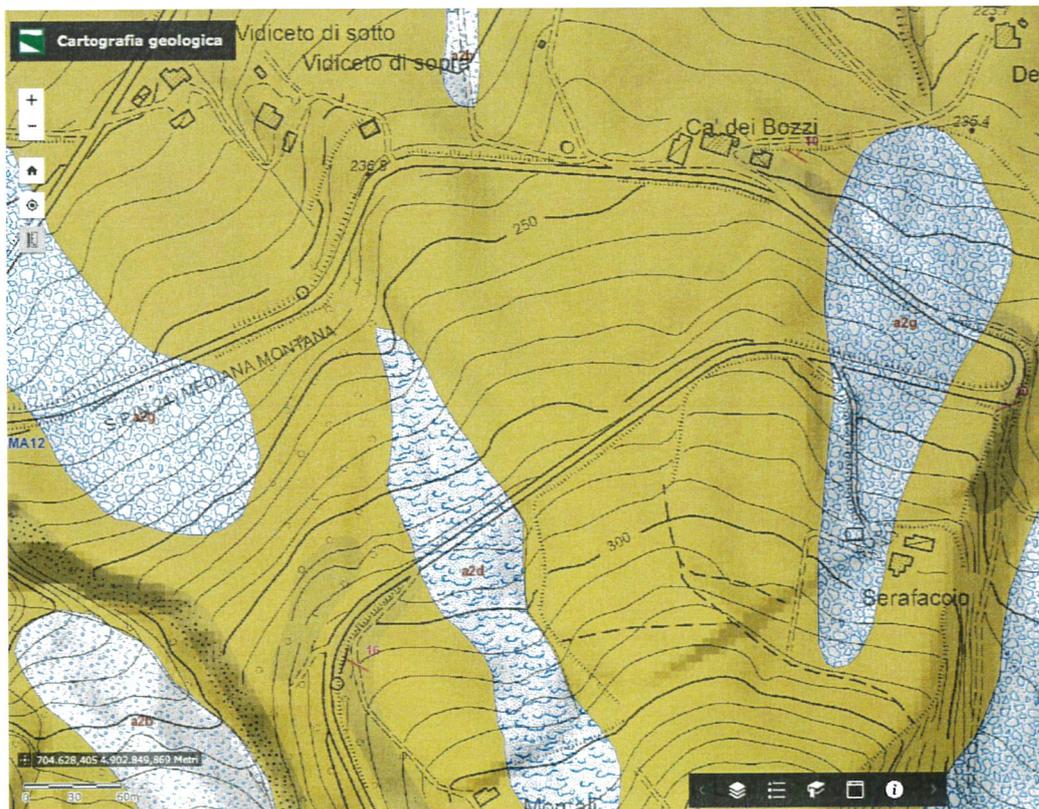


Stato di fatto delle scarpate stradali presso Vidiceto marzo 2025.

Frane in località Serafaccio Km 1+600, Km 2+100



Confronto tra i dissesti riportati nella carta geologica CarG e la carta "Alluvione maggio 2023 – Dissesti di versante", si nota la parziale corrispondenza a dissesti quiescenti preesistenti.





Ortofoto AGEA 2023 con ubicazione della prospezione di sismica passiva .

Nella cartografia "Alluvione 2023 – Dissesti di versante", redatta dall'Area Geologia, Sismica e Suoli della Regione Emilia Romagna, i dissesti presso la località Serafaccio località sono classificati tra gli "Scorrimenti traslativi in roccia su piani di strato", con una parte alta attribuita a "Scorrimenti traslativi e/o rotazionali", così come riportato nello stralcio cartografico precedente. Questi dissesti hanno causato una dislocazione traslativa limitata ma che ha coinvolto in pieno la sede stradale, deformando con avvallamenti e fessure di trazione importanti tutta la superficie interessata dalla frana.

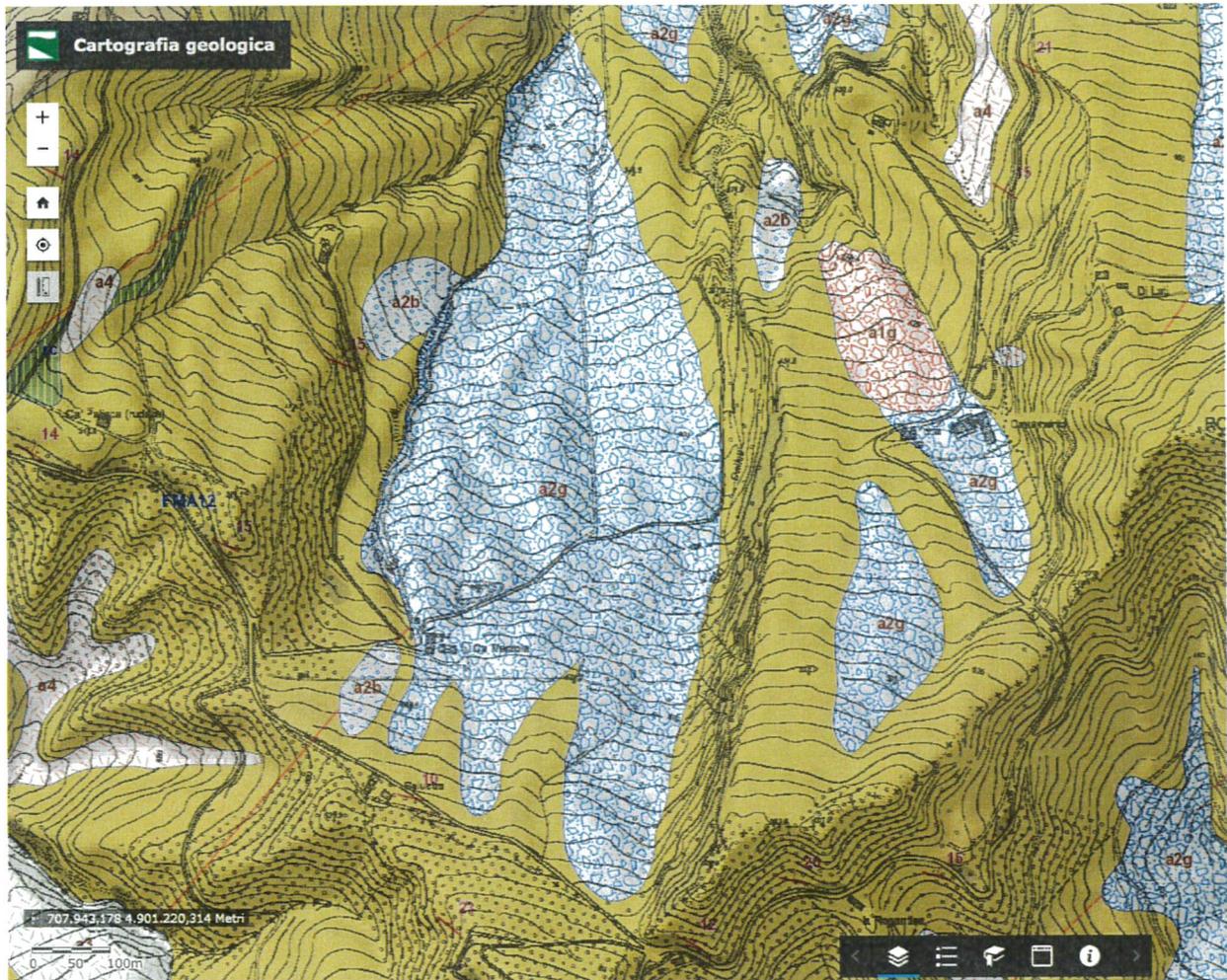
In questo dissesto è stata svolta una prospezione di sismica passiva (PSP1) tramite tromografo digitale Tromino (report tra gli allegati). Questa indagine consente una stima indiretta del passaggio tra la coltre detensionata e le rocce sottostanti, si tratta di una stima che, pur non essendo precisa, valuta questo contrasto di impedenza sismica a – 2.4 m di profondità. Allo stato attuale la sede stradale è stata ripristinata, il corpo di frana è stato in parte risagomato e sono stati svolti interventi di regimazione superficiale delle acque nel corpo di frana e lungo il lato a monte della sede stradale.



Stato di fatto della frana presso Serafaccio marzo 2025, si osserva come il corpo di frana sia stato risagomato e come siano stati effettuati interventi di regimazione superficiale delle acque. Nella foto sotto la PSP1 in fase di registrazione.



Frana in località Salustra – Km 6+500



FMA12 - Formazione Marnoso-Arenacea - membro di Castel del Rio

Torbiditi arenaceo-siltitico-marnose (A/P variabile). Arenarie medie e fini, talora grossolane. Siltiti e marne, rare emipelagiti. Possono abbondare i letti arenacei spessi (A/P fino a >20), con strati talora amalgamati; per il resto prevalgono quelli medi e sottili. Talora si inseriscono pacchi di strati decametrici più pellici con A/P < 3 (fino a 1/2) talora cartografati (ap - orizzonte arenaceo-pellico). Localmente distinta una litofacies pellico-arenacea (FMA12c). Possono essere presenti riempimenti di canali arenacei (rc). Limite inferiore su FMA11 o su FMA10. Potenza fino a 850 m. (Tortoniano)



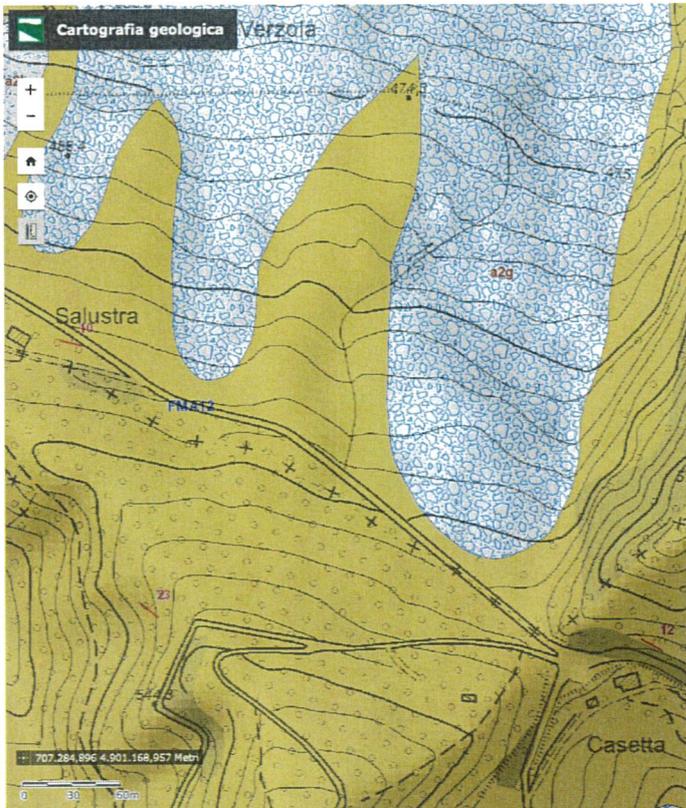
a2b - Deposito di frana quiescente per scivolamento

Deposito originato dal movimento verso la base del versante di una massa di terra o roccia, che avviene in gran parte lungo una superficie di rottura o entro una fascia, relativamente sottile, di intensa deformazione di taglio.

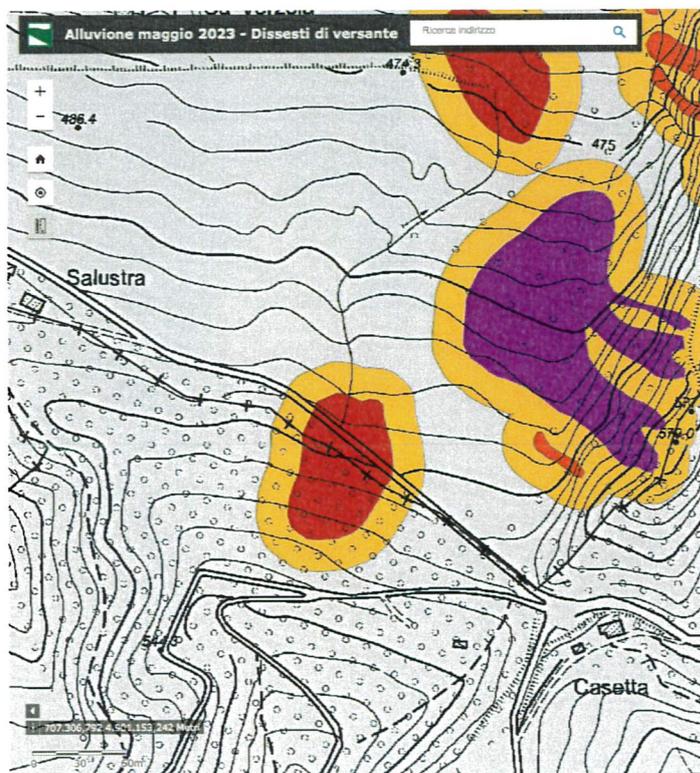


a2g - Deposito di frana quiescente complessa

Deposito messo in posto in seguito alla combinazione nello spazio e nel tempo di due o più tipi di movimento.



Confronto tra i dissesti riportati nella carta geologica CarG e la carta "Alluvione maggio 2023 – Dissesti di versante", si nota come l'area mobilizzatasi nel maggio 2023, tipicamente classificabile come scorrimento traslativo in roccia su piani di strato, sia esterna al dissesto quiescente preesistente (a2g; deposito di frana quiescente complessa).





Ortofoto AGEA 2023 con ubicazione della prospezione di sismica passiva.



Stato di fatto della frana presso Salustra marzo 2025, il corpo di frana è stato rimosso dalla sede stradale. Nella foto sotto la PSP 2 in fase di registrazione.



4. INDAGINI DI SISMICA PASSIVA A FINI SISMICI ESTRATIGRAFICI

La modellazione sismica (ai fini della verifica di stabilità) e stratigrafica dell'area è stata svolta tramite misure di sismica passiva utilizzando il tromografo digitale TROMINO, misurando e analizzando il rumore sismico (detto anche microtremore). Il rumore sismico è causato perlopiù dalle perturbazioni atmosferiche e/o dalle onde marine ed è costituito principalmente da onde superficiali, ovvero da onde elastiche prodotte dall'interferenza costruttiva di onde P ed S che si propagano negli strati superficiali. Anche l'attività industriale e il traffico veicolare possono generare rumore sismico, soprattutto in alta frequenza (alcuni Hz); questo si attenua rapidamente allontanandosi dalla sorgente. Il rumore sismico è presente ovunque sulla superficie terrestre e agisce come sorgente di eccitazione per le risonanze del sottosuolo e degli edifici. Per esempio, se il sottosuolo ha come frequenze proprie 0.8 e 20 Hz, il rumore di fondo ecciterà queste frequenze di vibrazione rendendole chiaramente visibili nello spettro del rumore sismico misurato alla superficie. I metodi che misurano il microtremore sismico sono indicati come "sismica passiva" perché utilizzano le perturbazioni esistenti, senza energizzare "ad hoc" il terreno. Il tipo di stratigrafia che le tecniche di sismica passiva possono restituire si basa sul concetto di **contrasto di impedenza nella velocità di propagazione delle onde sismiche**.

La tecnica che si è maggiormente consolidata è quella dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale del microtremore sismico (Horizontal to Vertical Spectral Ratio, HVSR o H/V), metodo reso popolare da Nakamura a partire dal 1989 come strumento per la determinazione dell'amplificazione sismica locale e nel fornire stime affidabili delle frequenze principali di risonanza dei sottosuoli.

La tecnica HVSR ha raggiunto la sua massima popolarità in **Giappone** già nei **primi anni '70**. Dai primi studi di **KANAI** [1957] in poi, diversi metodi sono stati proposti per estrarre l'informazione relativa al sottosuolo a partire dagli spettri sismici del rumore di sito. Tra questi, la tecnica che si è maggiormente consolidata nell'uso è la tecnica dei rapporti spettrali (HVSR) applicata da **NOGOSHI** e **IGARASHI** [1970]. Il metodo fu in seguito reso popolare principalmente da **NAKAMURA** [1989] come strumento per la determinazione delle discontinuità sismiche presenti nel sottosuolo. Con la realizzazione di un progetto europeo denominato **SESAME** (2005) (*Site EffectS Assessment using Ambient Excitations*), che si è occupato di stabilire delle linee guida per la corretta esecuzione delle misure di microtremore ambientale in stazione singola e array, si certificata l'affidabilità delle misure spettrali per la ricostruzione sismica del sottosuolo.

a. Caratteristiche tecniche della strumentazione utilizzata

L'apparecchiatura impiegata è il tromografo digitale TROMINO (Micromed) che ottimizza la misura del microtremore nell'intervallo di frequenza compreso fra 0,1 e 512 Hz con conversione A/D > 24 bit equivalenti a 128 Hz. I sensori sono costituiti da una terna di velocimetri smorzati criticamente, che trasmettono il segnale ad un sistema di acquisizione digitale a basso rumore a dinamica non inferiore a 23 bit. La caratteristica dello strumento consentono un'accuratezza relativa maggiore di 10^{-4} sulle componenti spettrali al di sopra di 0,1 Hz.

b. Grafici HVSR e letture delle ampiezze

Il grafico HVSR è un grafico frequenza (x) – ampiezza del rapporto HV (y). Poiché la frequenza è relazionata alla profondità, il grafico HVSR può tramutarsi in un grafico ampiezza del rapporto HV (x) – profondità (y), dove l'ampiezza del rapporto HV (x) descrive in modo relativo l'ampiezza del contrasto di impedenza tra i mezzi sopra e sotto quella determinata profondità (y).

Ciascun picco nel grafico HV corrisponde ad un livello stratigrafico che presenta un contrasto di impedenza rispetto al livello sottostante. Maggiore è il contrasto di impedenza, maggiore è l'ampiezza attesa del picco HV sebbene la relazione tra le due variabili non sia lineare.

Il numero di picchi visibili in un grafico HVSR dipende dal contrasto, dalla distanza tra le due discontinuità e dalla funzione di lisciamiento impiegata dal programma di elaborazione dei dati. Un contrasto basso tra due discontinuità vicine le rende difficilmente individuabili singolarmente ed allo stesso tempo un lisciamiento ampio, agendo da filtro passa basso, nasconde le discontinuità minori.

La caratterizzazione sismica dei terreni tramite la **tecnica sismica passiva** è finalizzata all'individuazione della frequenza caratteristica di risonanza di sito e delle **discontinuità sismiche che sono correlabili ai cambi litologici** presenti sia **all'interno della copertura** che **al contatto copertura-bedrock**. Per la determinazione delle velocità delle onde di taglio (V_s) e per una corretta caratterizzazione dei litotipi investigati si utilizza un codice di calcolo appositamente creato per interpretare i rapporti spettrali (HVSR) basati sulla simulazione del campo d'onde di superficie (Rayleigh e Love) secondo la teoria descritta in AKI (1964) e Ben-Menahem e Singh (1981).

La stratigrafia del sottosuolo viene indagata con un range compreso tra 0.5 e 700 m di profondità, anche se il dettaglio maggiore si ha nei primi 50 – 70 metri. Il principio su cui si basa la presente tecnica, in termini di stratigrafia del sottosuolo, è rappresentato dalla definizione di strato inteso come unità distinta da quelle sopra e sottostanti per un contrasto di impedenza, ossia per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e densità del mezzo stesso.

La velocità media delle onde di taglio V_s viene calcolata tramite un apposito codice di calcolo. È necessario conoscere, anche in maniera indicativa, la profondità di un riflettore noto dalla stratigrafia e riconoscibile nella curva H/V. La stima di tale parametro caratterizza al meglio, dal punto di vista geofisico, i vari litotipi presenti. È inoltre possibile valutare la velocità di propagazione delle onde di taglio all'interno del bedrock e stabilire il tipo di roccia presente. La tecnica HVSR può essere applicata, a differenza delle classiche tecniche d'indagine sismiche (sismica a rifrazione), anche in presenza di inversioni di velocità (materiali più competenti che poggiano sopra materiali meno competenti).

Il caso in esame

Nell'area indagata sono state svolte 2 prospezioni di sismica passiva (ubicato come riportato nelle pagine precedenti, con sigla **PSP**). PSP1- Serafaccio mostra un ampio picco intorno a 24-25 Hz, attribuibile a passaggi stratigrafici superficiali che causano contrasti di impedenza sismica, interpretabile come contatti tra il primo spessore di F. Marnoso-Arenacea detensionato e la roccia in posto. Nel caso della PSP2 – Salustra, il grafico mostra un due picchi ad alte frequenze attribuibili a passaggi stratigrafici superficiali che generano contrasti di

impedenza sismica, tra cui si individua probabilmente il passaggio tra la coltre della frana e il substrato roccioso sottostante.

A maggiori profondità si assiste in entrambe le registrazioni a rialzo della curva H/V che porta a pensare un graduale aumento della compattezza di FMA con la profondità.

Tra gli allegati sono presenti i risultati della registrazione e l'elaborazione effettuata con il software *Grilla*, su cui si basa la modellazione che ha permesso di stimare la velocità delle onde S nei primi 30 m come velocità dello strato equivalente, secondo l'espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

con:

h_i spessore dell'*i*-esimo strato;

$V_{S,i}$ velocità delle onde di taglio nell'*i*-esimo strato;

N numero di strati;

H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

pari a:

Posizione indagata	V_s	Principale picco H/V
PSP1 – Frana in località Serafaccio	$V_{s_eq}(0.0-30.0)=361m/s$	Picco H/V a 6.41 ± 1.49 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).
PSP2 – Frana in località Salustra	$V_{s_eq}(0.0-30.0)=420m/s$	Picco H/V a 49.69 ± 25.43 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

Nell'ambito delle categorie stabilite dalle norme, nelle sue posizioni indagate, il sottosuolo è risultato essere ascrivibile alla categoria **B**:

Tab. 3.2.II – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.

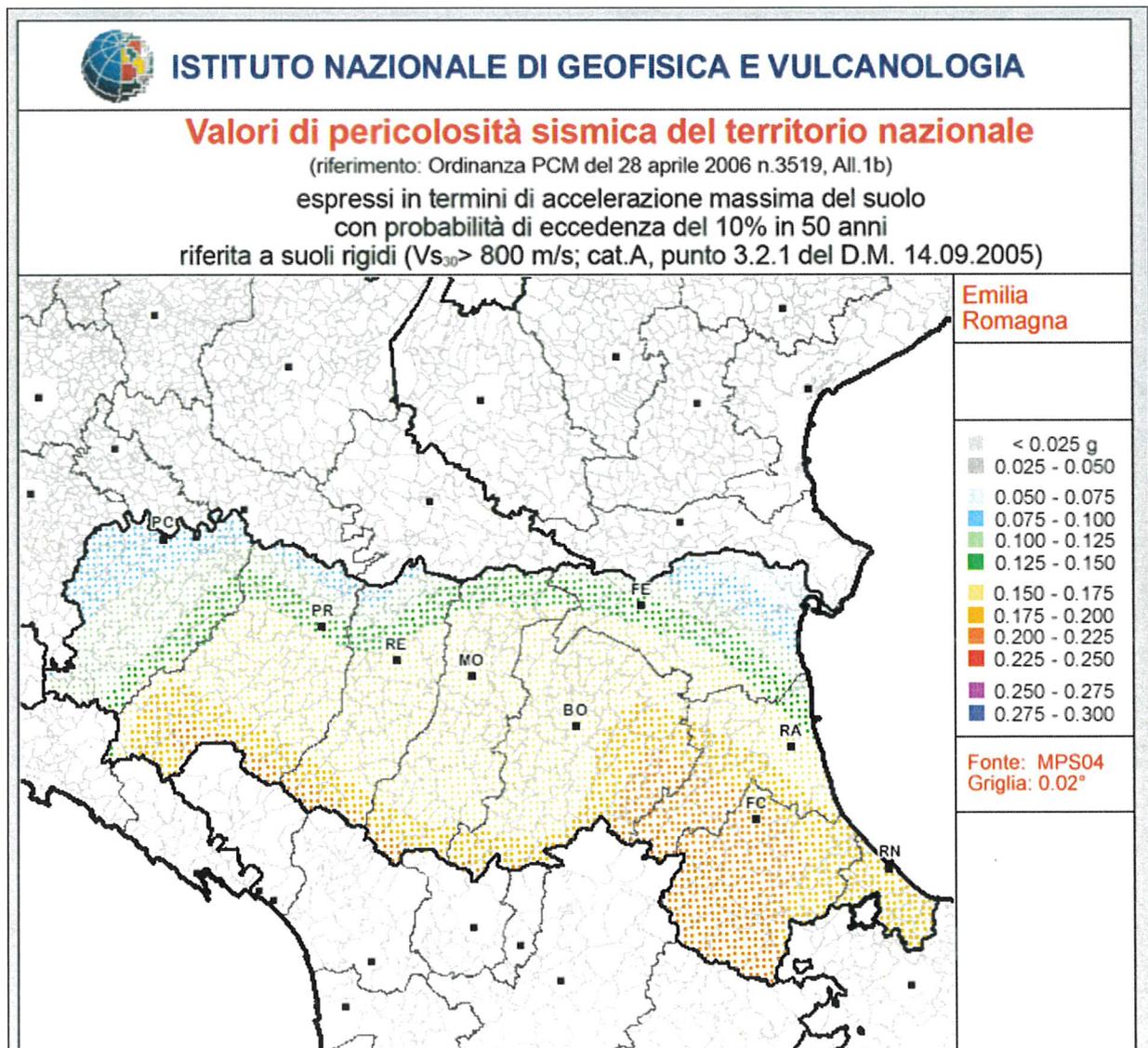
Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo 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.

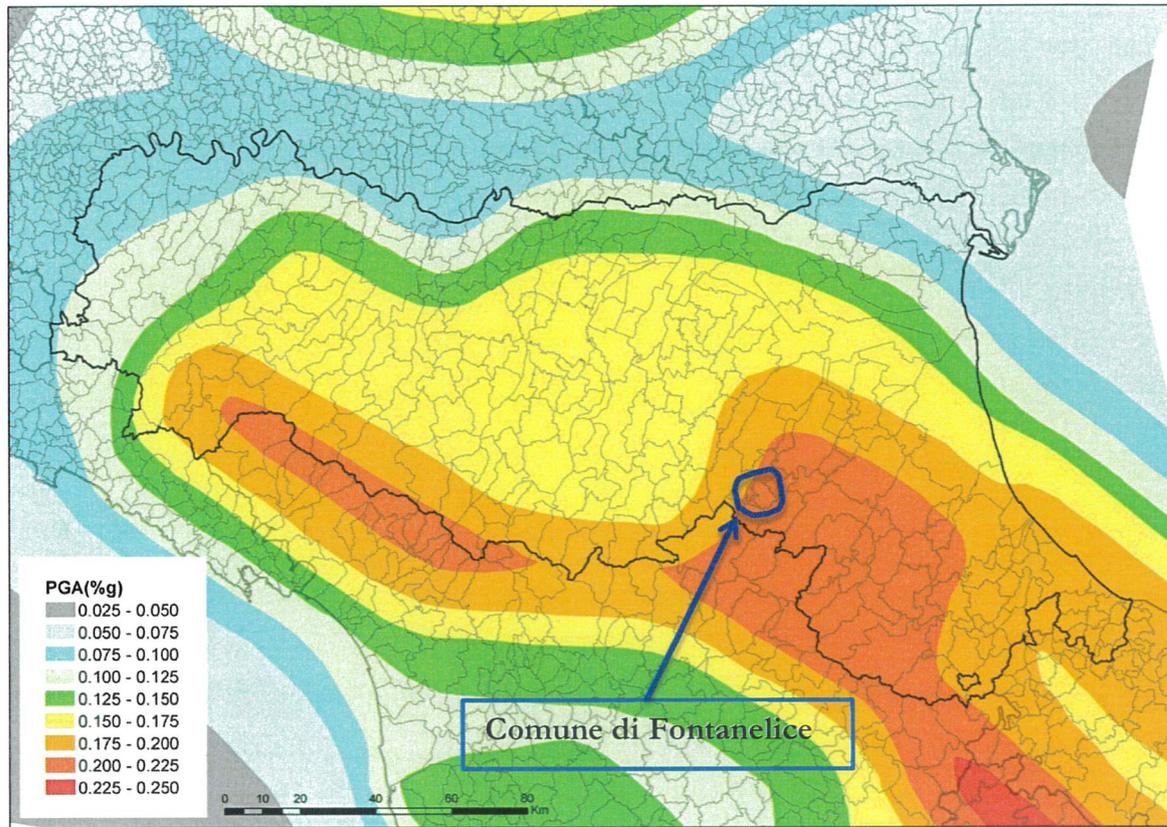
5. AZIONE SISMICA

L'azione sismica viene valutata a partire da una "pericolosità sismica di base", definita come la probabilità (P_{VR}) che in un fissato lasso di tempo (periodo di riferimento V_R) si verifichi, nel sito studiato, un evento sismico di entità almeno pari al valore prestabilito.

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa ag in condizioni di campo libero su terreni rigidi (Categoria A) con superficie topografica orizzontale (categoria T1). Nella definizione della pericolosità sismica di base si considerano anche le ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_E(T)$.

Di seguito riportata nel documento cartografico di riferimento relativo alla Regione Emilia Romagna per $T_R=475$ anni, elaborata nel 2004 dall'INGV (MPS04), dove viene rappresentato il valore dell'accelerazione di picco attesa su suolo di riferimento, ovvero su suolo rigido e pianeggiante, ed è l'attuale riferimento ufficiale per analisi della pericolosità sismica ai fini della progettazione (OPCM 3519/2006). Nel 2015 INGV ha avviato la revisione e aggiornamento di tale mappa.





Mappa di pericolosità sismica di base MPS04 (OPCM 3519/2006) per l'Emilia-Romagna e aree limitrofe (per TR=475 anni)

L'area in esame, situata lungo il versante nord dell'Appennino romagnolo, si trova secondo la mappa di pericolosità sismica del territorio italiano e basata in termini di accelerazione orizzontale di picco (PGA) in zona con valori compresi tra 0.20 – 0.225 %g. Viene riportato il valore di PGA che ha una probabilità del 90% di non venire superata (ovvero ha una probabilità del 10% di essere superata) in un intervallo di tempo di 50 anni. La stessa PGA ha un periodo medio di ritorno di 475 anni sulla base dell'assunzione di distribuzione poissoniana della sismicità.

Dopo l'approvazione da parte della Commissione Grandi Rischi del Dipartimento della Protezione Civile nella seduta del 6 aprile 2004, la mappa MPS04 è diventata ufficialmente la mappa di riferimento per il territorio nazionale con l'emanazione dell'Ordinanza del 2006 (Stucchi et al. 2004).

Per ridurre gli effetti del terremoto, esiste una classificazione del territorio, basata sull'intensità e sulla frequenza dei terremoti del passato, e sull'applicazione di speciali norme per le costruzioni nelle zone classificate sismiche (Sito del Dipartimento della Protezione Civile). Sino al 2003 il territorio nazionale era classificato in tre categorie sismiche. Nel 2003 sono stati emanati i criteri di nuova classificazione sismica del territorio nazionale, basati sugli studi e le elaborazioni più recenti relative alla pericolosità sismica del territorio, ossia sull'analisi della

probabilità che il territorio venga interessato in un periodo di tempo di 50 anni da un evento che superi una determinata soglia di scuotimento. A tal fine è stata pubblicata l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n.3274 del 20 marzo 2003. Un aggiornamento dello studio di pericolosità di riferimento nazionale è stato adottato con l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n.3519 del 28 aprile 2006. Il nuovo studio di pericolosità ha introdotto degli intervalli di accelerazione massima su suolo rigido (a_g), con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni, da attribuire alle 4 zone sismiche. Secondo questa Ordinanza i comuni italiani sono stati classificati in 4 categorie principali:

1. Zona 1: sismicità alta, $a_g > 0.25$. E' la zona più pericolosa, possono verificarsi fortissimi terremoti.
2. Zona 2: sismicità media, $0.15 < a_g < 0.25$. In questa zona possono verificarsi forti terremoti.
3. Zona 3: sismicità bassa, $0.05 < a_g < 0.15$. In questa zona possono verificarsi forti terremoti ma rari.
4. Zona 4: sismicità molto bassa, $a_g < 0.05$. E' la zona meno pericolosa, i terremoti sono rari.

Attualmente però tali valori **non sono di riferimento per la progettazione** e rimangono validi solo per la gestione e il controllo del territorio da parte degli enti locali.

5.1. Pericolosità sismica locale

L'amplificazione del moto sismico al suolo è un fenomeno localizzato e temporaneo, che termina quando cessa il terremoto. Tra i fattori che determinano l'amplificazione del moto sismico si riconoscono quelli dovuti alla stratigrafia del sottosuolo, che causano la cosiddetta "amplificazione stratigrafica". I terreni che maggiormente provocano amplificazione del moto sismico sono quelli che in superficie mostrano una bassa velocità di propagazione delle onde sismiche di taglio (V_s), molto inferiore a 800 m/s, e spessori di almeno 3 m. Si tratta in genere di materiali soffici e scarsamente consistenti, come i detriti di versante, i sedimenti granulari sciolti e scarsamente addensati, le argille e i limi scarsamente consistenti e consolidati.

L'amplificazione può avvenire anche per cause topografiche, in genere nelle parti alte dei rilievi con acclività maggiore di $15^\circ \div 20^\circ$ e dislivello maggiore di 30 m, dove le interazioni delle onde sismiche con la superficie causano significative modificazioni del moto sismico. Le morfologie che più alterano il moto sismico sono: le creste; le dorsali allungate; i picchi; i cocuzzoli; le scarpate alte.

L'analisi della pericolosità sismica locale consiste quindi nell'identificazione delle condizioni geologiche e morfologiche che possono determinare effetti locali con amplificazione del moto sismico. In presenza poi di particolari criticità, come frane, terreni liquefacibili, sedimenti soffici, vengono stimati anche gli indici di instabilità dei terreni e gli eventuali cedimenti e spostamenti attesi.

La Pericolosità sismica locale (Pl) descrive, quindi, le condizioni geologiche e morfologiche che possono modificare il moto sismico in superficie.

Una stima realistica della pericolosità sismica di un'area deve quindi valutare lo scuotimento in superficie, quale risultato della pericolosità sismica di base incrementata dell'amplificazione data dalle condizioni litostratigrafiche e morfologiche. La procedura di calcolo del moto sismico in superficie è detta *analisi della risposta sismica locale* e il risultato finale è generalmente espresso in termini di grafici rappresentativi degli scuotimenti attesi in superficie in funzione della frequenza, in termini di accelerazione, velocità, fasi.

Quando si analizzano le sollecitazioni applicate agli edifici (e alle loro frequenze), svolgendo l'analisi per ciascun possibile edificio (quindi per ciascuna frequenza propria) si ottiene un valore della massima risposta per ciascuna frequenza propria, costruendo lo spettro di risposta del sistema edilizio, detto spettro di risposta elastico.

Le forme spettrali previste dalle NTC 2018 sono segnate da prescelte probabilità di superamento e vite di riferimento, per le quali sono stati fissati la vita di riferimento V_R e le probabilità di superamento nella vita di riferimento P_{VR} associate a ciascun degli stati limite considerati, per individuare infine, a partire dai dati di pericolosità sismica disponibili, le corrispondenti azioni sismiche.

Ai fini progettuali l'azione sismica di progetto quindi si modula in relazione alle condizioni stratigrafiche del sottosuolo e dalla morfologia della superficie, identificando la risposta sismica locale.

I risultati dei rilievi effettuati permettono di definire le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni in modo chiaro, tali per cui, ai fini della definizione dell'azione sismica nella verifica di stabilità, l'effetto della risposta sismica locale può essere svolto utilizzando l'approccio semplificato, anche considerando che i terreni indagati sono chiaramente riconducibili alle categorie definite dalle Norme Tecniche 2018, Tabella 3.2.II riportata in precedenza.

In ottemperanza alle NTC 2018, le azioni di progetto si ricavano dalle accelerazioni a_g e dalle relative forme spettrali, queste ultime definite in funzione di tre parametri:

a_g accelerazione orizzontale massima del terreno

F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale

T^* periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale

La stima della pericolosità sismica si basa su una griglia di 10.751 punti, nei quali vengono definiti i valori dei parametri a_g , F_0 e T^*_c per 9 distinti periodi di ritorno T_R .

Per ciascun nodo del reticolo di riferimento e per ciascuno dei periodi di ritorno T_R considerati dalla pericolosità sismica, i tre parametri si ricavano riferendosi ai valori corrispondenti al 50esimo percentile ed attribuendo a:

a , il valore previsto dalla pericolosità sismica

F_0 e T^* , valori ottenuti imponendo che le forme spettrali in accelerazione, velocità e spostamento previste dalle NTC scartino al minimo dalle corrispondenti forme spettrali previste dalla

pericolosità sismica (la condizione di minima è impostata operando ai minimi quadrati, su spettri di risposta normalizzati ad uno, per ciascun sito e ciascun periodo di ritorno).

I valori dei parametri sismici sono ricavati dal software GeoStru Parametri Sismici riportatiil considerando impostando una categoria di suolo sismico **B**.

Nei tabulati saranno stimati anche gli altri coefficienti di amplificazione per i diversi stati limite, tra cui quelli di amplificazione stratigrafica e topografica **S_s** e **S_t**, definiti come da normativa.

5.1. Categoria topografica e coefficiente stratigrafico

L'area in esame è ubicata in corrispondenza di una situazione morfologica riconducibile alla Categoria Topografica T2, come indicato nella tabella seguente.

Tab. 3.2.III – *Categorie topografiche*

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 $i > 30^\circ$

Il valore del fattore di amplificazione topografica S_T è uguale ad 1,2, corrispondente alla Categoria Topografica T2, come indicato nella tabella 3.2.V.

Tab. 3.2.V – *Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica S_T*

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a 30°	1,2
T4	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di 30°	1,4

In relazione alle categorie del sottosuolo riconosciute tramite le indagini svolte, il coefficiente stratigrafico S_s e il coefficiente C_c , che modifica il valore del periodo T_c , si schematizzano come definito nella tabella 3.2.IV.

Tab. 3.2.IV – <i>Espressioni di S_s e di C_c</i>		
Categoria sottosuolo	S_s	C_c
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_c^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_c^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_c^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_c^*)^{-0,40}$

6. CONCLUSIONI

Lo studio delle caratteristiche geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche e sismiche dei versanti lungo cui si sono mobilizzate le frane che hanno coinvolto la sede stradale della SP 33 Casolana durante gli eventi alluvionali del maggio 2023, in comune di Fontanelice, ha permesso di ricostruire la natura dei fenomeni e le caratteristiche geomorfologiche che li hanno presieduti.

L'area è caratterizzata dall'affioramento della Formazione Marnoso-Arenacea, in particolare della sotto-unità denominata Membro di Castel del Rio (FMA12), formato da un'alternanza ritmica di torbiditi sottili con rapporto A/P mediamente pari a 1/3.

Per la definizione del modello geotecnico e le verifiche di stabilità, si fa integralmente riferimento alle relazioni geotecniche redatte dall'Ing. Claudio Comastri, allegate al progetto.

Lo svolgimento di 2 prospezioni di sismica passiva tramite tromografo digitale (Tromino), ha permesso di definire la sismica dell'area e di individuare indirettamente la profondità di alcuni passaggi stratigrafici. Le prospezioni sono state svolte nelle due frane principali presso le località Serafaccio e Salustra. I terreni indagati sono ascrivibili in entrambe i casi alla categoria di sottosuolo B.

Nelle condizioni di tutti i dissesti esaminati risulta inoltre molto importante la corretta regimazione delle acque di ruscellamento che provengono da monte, con un rapido allontanamento dalle aree prossime alle frane.

Date le condizioni geologiche dell'area, la morfologia dell'area, le caratteristiche sismiche, considerando il modello geotecnico e le verifiche di stabilità redatte dall'Ing. Claudio Comastri, Tecnico Progettista degli interventi, si ritiene che gli interventi previsti siano compatibili con le caratteristiche geologiche dei luoghi, portando a un miglioramento delle condizioni di stabilità dei dissesti esaminati.

Bologna, marzo 2025



The image shows a handwritten signature in black ink over a circular professional stamp. The stamp is from the 'ORDINE DEI GEOLOGI REGIONE EMILIA-ROMAGNA' and identifies the holder as 'Dott.ssa Maria Angela Cazzoli' with the number 'N. 590'. The stamp also includes the text 'Emilia Romagna', 'GEOLOGO', and 'SEZ. A'.

7. BIBLIOGRAFIA

- AA. VV., A cura di: G. Bettelli, M. Boccaletti, U. Cibin, F. Panini, C. Poccianti, S. Rosselli, F. Sani, (2002) - NOTE ILLUSTRATIVE della CARTA GEOLOGICA D'ITALIA alla scala 1:50.000, FOGLIO 252 - BARBERINO DI MUGELLO.
- Associazione Geotecnica Italiana (2005) - *Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica*. Linee Guida.
- ALMAGIA' R. (1910) - *Studi geografici sulle frane in Italia* - Memorie della Società Geografica Italiana, 2 voll., Società Geografica Italiana, Roma 1907 e 1910.
- CESTARI F. (1990) - *Prove geotecniche in sito*. Geo-Graph Ed., Segrate.
- C.N.R. - G.N.D.C.I. - R.E.R. (1993) - *Atlante dei centri abitati instabili dell'Emilia Romagna, 5 - Provincia di Bologna*. In: Previsione e prevenzione di eventi franosi a grande rischio, Programma Speciale SCAI. C.N.R. -
- CRUDEN D.M & VARNES D.J. (1996) - *Landslide types and processes*. In: TURNER A.K. & SCHUSTER L. (Eds.) *Landslides: investigation and mitigation*, Special Report 247, Transp. Res. Board, National Research Council: 36-75, Washington.
- D'AMICO V., PICOZZI M., ALBARELLO D., NASO G. e TROPENSCOVINO S. (2004) - *Quick estimates of soft sediment thicknesses from ambient noise horizontal to vertical spectral ratios: a case study in southern Italy* - J. Earthq. Eng., 8, p. 895-908.
- ELMI C., MARTINA M.L.V., ZAGHINI M. (2007) - *Pericolosità da frana e pianificazione territoriale* - Il geologo dell'Emilia Romagna, anno VII, n° 27.
- G.N.D.C.I. - R.E.R. (1994) - *Fenomeni Franosi e Centri abitati*. Atti del Convegno di Bologna del 27 Maggio 1994.
- LAMBE W.T., WHITMANN R.V.: *Meccanica dei terreni*. Dario Flaccovio Ed., Palermo, 1997.
- LANCELLOTTA R. (1997) - *Geotecnica* - Zanichelli, Bologna.
- MULARGIA F., CASTELLARO S., ROSSI P.L., (2007) - *Effetti di sito e V_s30 : una risposta alla normativa antisismica* – Il geologo - Ordine dei Geologi Regione Emilia Romagna.
- PIZZIOLO M. (1996) - *Carta inventario del dissesto - Regione Emilia Romagna*.
- SESAME Project: "Site Effects Assessment Using Ambient Excitations", 2005.
- VARNES D.J. (1978) - *Slope movements. Types and processes*. In: R.L. & KRIZKER R.J. (Eds.) "Landslides: Analysis and Control" Special Report 176: 11-33. Transp. Res. Board, National Research Council, Washington.

ALLEGATI

REGISTRAZIONI DI SISMICA PASSIVA PARAMETRI SISMICI

SP33 Casolana - Salustra

Strumento: TRZ-0079/01-10

Formato dati: 16 byte

Fondo scala [mV]: n.a.

Inizio registrazione: 19/03/25 12:58:06 Fine registrazione: 19/03/25 13:18:07

Tipo di lisciamento: Triangular window

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 98% tracciato (selezione manuale)

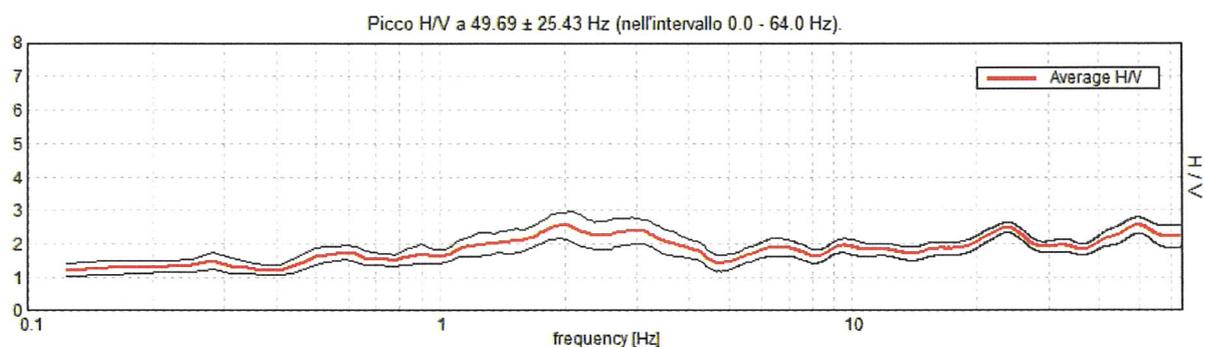
Freq. campionamento: 128 Hz

Lunghezza finestre: 20 s

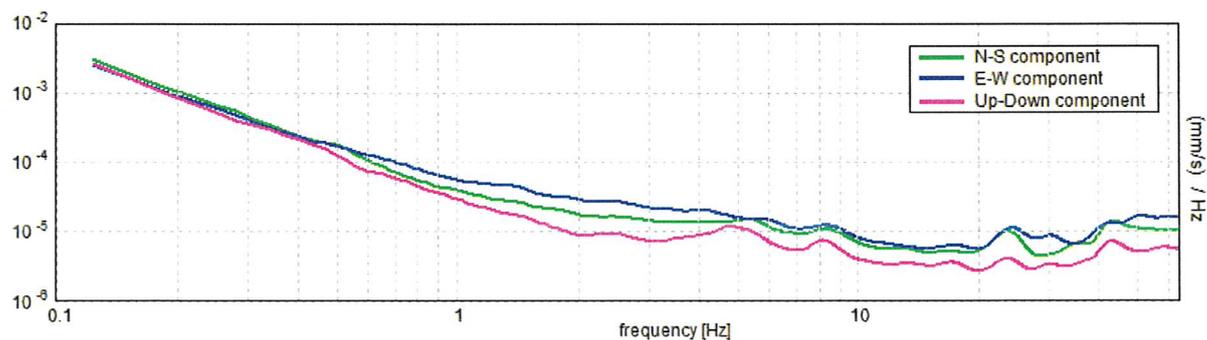
Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 10%

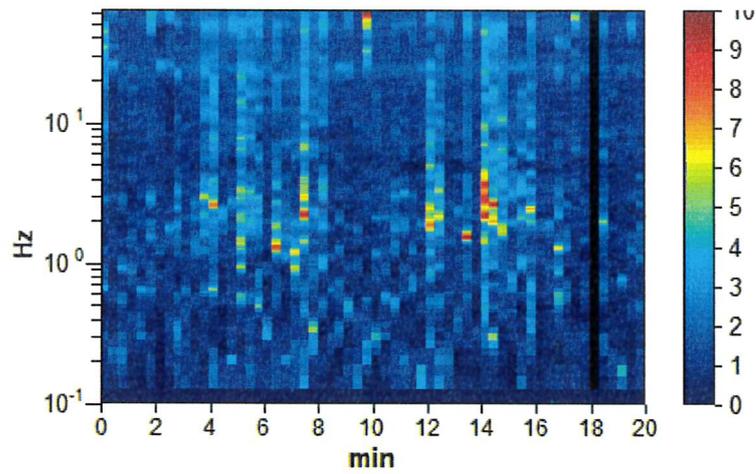
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



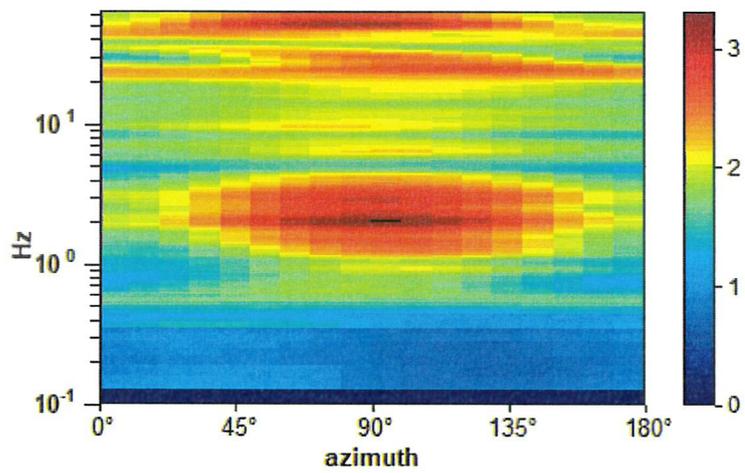
SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



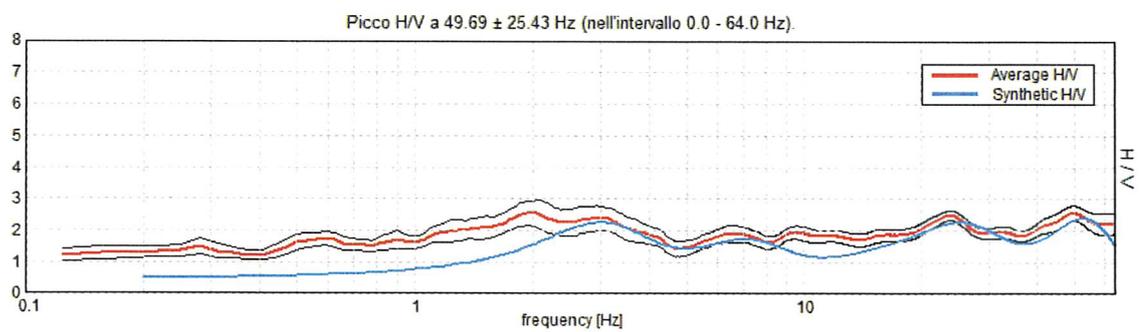
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V

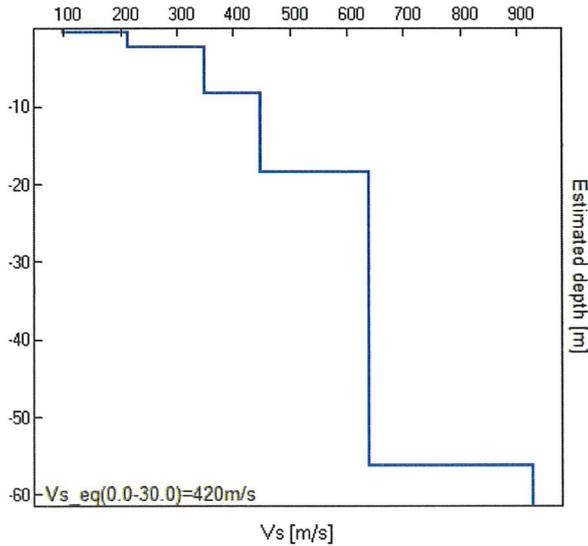


H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
0.50	0.50	98	0.42
2.40	1.90	215	0.42
8.40	6.00	350	0.42
18.40	10.00	450	0.42
56.40	38.00	640	0.42
inf.	0.00	930	0.42

$Vs_{eq}(0.0-30.0)=420\text{m/s}$



LINEE GUIDA SESAME (2005)

Picco H/V a 49.69 ± 25.43 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

$f_0 > 10 / L_w$: $49.69 > 0.50$ [OK]

$nc(f_0) > 200$: $58631.3 > 200$ [OK]

$sA(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$

$sA(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$ Superato 0 volte su 1254 [OK]

-1.0 Hz [NO]

Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$: -1.0 Hz [NO]

$A_0 > 2$: $2.55 > 2$ [OK]

$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm sA(f)] = f_0 \pm 5\%$: $|0.51173| < 0.05$ [NO]

$sf < e(f_0)$: $25.42654 < 2.48438$ [NO]

$sA(f_0) < q(f_0)$: $0.239 < 1.58$ [OK]

L_w	lunghezza della finestra
n_w	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
f	frequenza attuale
f_0	frequenza del picco H/V
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	ampiezza della curva H/V alla frequenza f_0
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza f
f^-	frequenza tra $f_0/4$ e f_0 alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequenza tra f_0 e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Intervallo di freq. [Hz]	Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$				
	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

Parametri sismici frane in località Località Serafaccio

Tipo di elaborazione: Stabilità dei pendii

Muro rigido: 0
 Sito in esame.
 latitudine: 44,252746
 longitudine: 11,561593
 Classe: 2
 Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 17843	Lat: 44,2687	Lon: 11,5357	Distanza: 2719,723
Sito 2	ID: 17844	Lat: 44,2699	Lon: 11,6055	Distanza: 3977,302
Sito 3	ID: 18066	Lat: 44,2199	Lon: 11,6071	Distanza: 5145,742
Sito 4	ID: 18065	Lat: 44,2187	Lon: 11,5373	Distanza: 4247,351

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: B
 Categoria topografica: T2
 Periodo di riferimento: 50anni
 Coefficiente cu: 1
 Operatività (SLO):
 Probabilità di superamento: 81%
 Tr: 30 [anni]
 ag: 0,069 g
 Fo: 2,407
 Tc*: 0,259 [s]
 Danno (SLD):
 Probabilità di superamento: 63%
 Tr: 50 [anni]
 ag: 0,088 g
 Fo: 2,399
 Tc*: 0,267 [s]
 Salvaguardia della vita (SLV):
 Probabilità di superamento: 10%
 Tr: 475 [anni]
 ag: 0,207 g
 Fo: 2,476
 Tc*: 0,300 [s]
 Prevenzione dal collasso (SLC):
 Probabilità di superamento: 5%
 Tr: 975 [anni]
 ag: 0,259 g
 Fo: 2,526
 Tc*: 0,312 [s]



Coefficienti Sismici Stabilità dei pendii

SLO:

Ss:1,200
Cc:1,440
St:1,200
Kh:0,020
Kv:0,010
Amax:0,979
Beta:0,200
SLD:

Ss:1,200
Cc:1,430
St:1,200
Kh:0,025
Kv:0,013
Amax:1,244
Beta:0,200
SLV:

Ss:1,190
Cc:1,400
St:1,200
Kh:0,083
Kv:0,041
Amax:2,898
Beta:0,280
SLC:

Ss:1,140
Cc:1,390
St:1,200
Kh:0,099
Kv:0,050
Amax:3,470
Beta:0,280

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50
 Geostru Coordinate WGS84
 latitudine: 44.251803
 longitudine: 11.560609

SP33 Casolana – Serafaccio

Strumento: TRZ-0079/01-10

Formato dati: 16 byte

Fondo scala [mV]: n.a.

Inizio registrazione: 19/03/25 14:12:13 Fine registrazione: 19/03/25 14:32:14

Tipo di lisciamento: Triangular window

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 97% tracciato (selezione manuale)

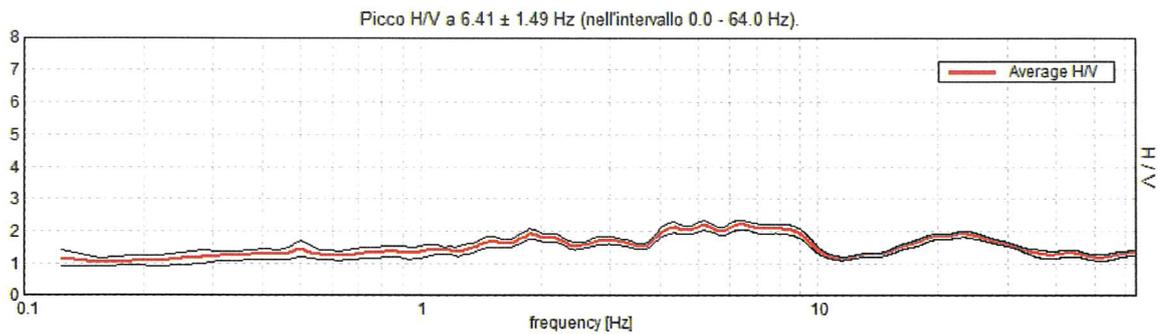
Freq. campionamento: 128 Hz

Lunghezza finestre: 20 s

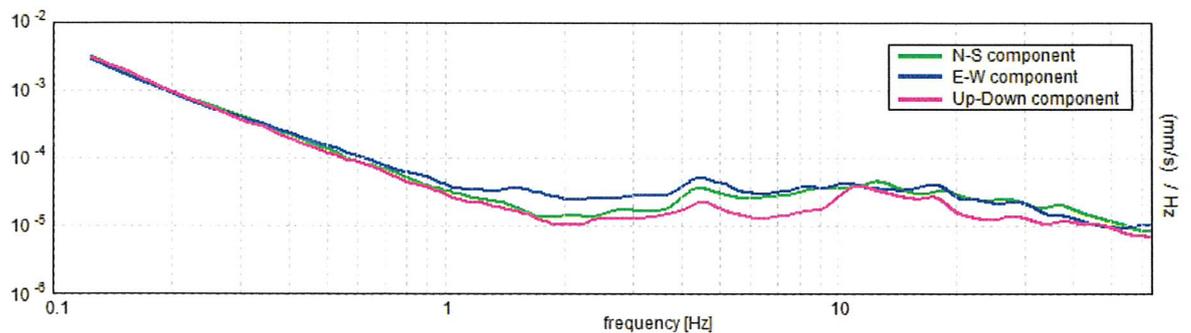
Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 10%

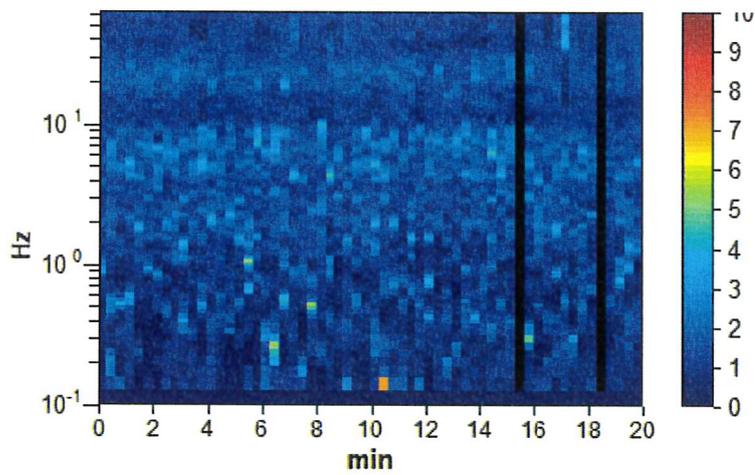
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



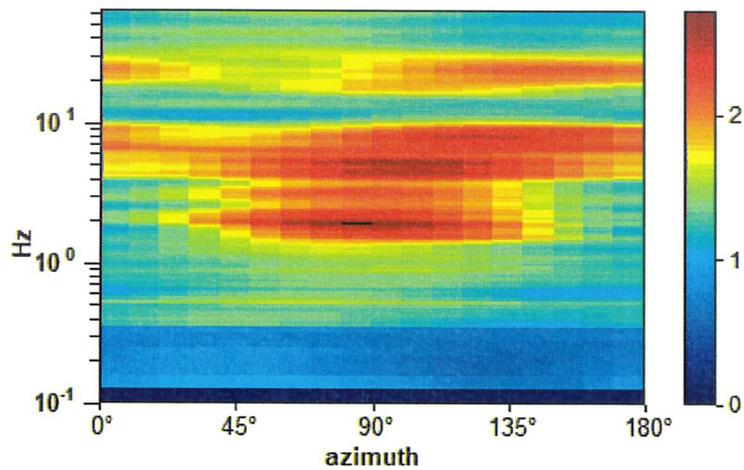
SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



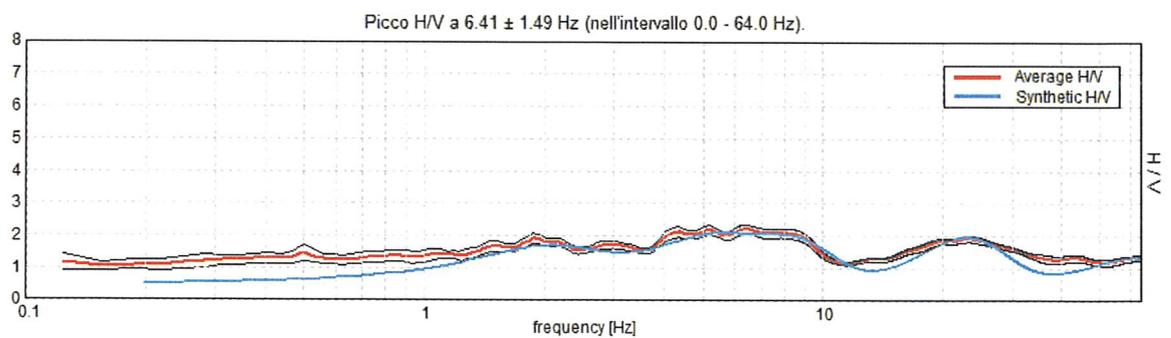
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V

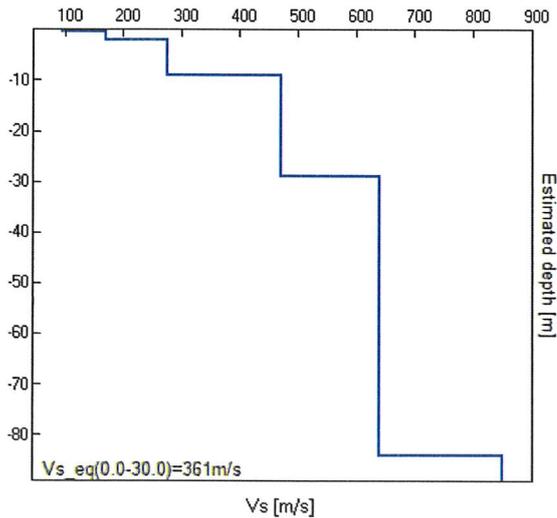


H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
0.40	0.40	97	0.45
2.00	1.60	170	0.45
9.00	7.00	275	0.42
29.00	20.00	470	0.42
84.00	55.00	640	0.42
inf.	0.00	850	0.42

$Vs_{eq}(0.0-30.0)=361m/s$



LINEE GUIDA SESAME (2005)

Picco H/V a 6.41 ± 1.49 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

$f_0 > 10 / L_w$: $6.41 > 0.50$ [OK]

$nc(f_0) > 200$: $7431.3 > 200$ [OK]

$sA(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5$ Hz

$sA(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5$ Hz Superato 0 volte su 308 [OK]

-1.0 Hz [NO]

Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$: -1.0 Hz [NO]

$A_0 > 2$: $2.21 > 2$ [OK]

$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm sA(f)] = f_0 \pm 5\%$: $|0.23279| < 0.05$ [NO]

$sf < e(f_0)$: $1.49134 < 0.32031$ [NO]

$sA(f_0) < q(f_0)$: $0.148 < 1.58$ [OK]

L_w	lunghezza della finestra
n_w	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
f	frequenza attuale
f_0	frequenza del picco H/V
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\epsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \epsilon(f_0)$
A_0	ampiezza della curva H/V alla frequenza f_0
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza f
f^-	frequenza tra $f_0/4$ e f_0 alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequenza tra f_0 e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$					
Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0
$\epsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

Parametri sismici frana in località Salustra

Tipo di elaborazione: Stabilità dei pendii
Muro rigido:0

Sito in esame.
latitudine:44,2368803690355
longitudine:11,5933478622596
Classe:2
Vita nominale:50

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 18065	Lat: 44,2187	Lon: 11,5373	Distanza: 4897,815
Sito 2	ID: 18066	Lat: 44,2199	Lon: 11,6071	Distanza: 2183,941
Sito 3	ID: 17844	Lat: 44,2699	Lon: 11,6055	Distanza: 3791,723
Sito 4	ID: 17843	Lat: 44,2687	Lon: 11,5357	Distanza: 5795,976

Parametri sismici

Categoria sottosuolo:B
Categoria topografica: T2
Periodo di riferimento: 50anni
Coefficiente cu:1

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81%
Tr:30 [anni]
ag:0,070 g
Fo:2,404
Tc*:0,258 [s]

Danno (SLD):

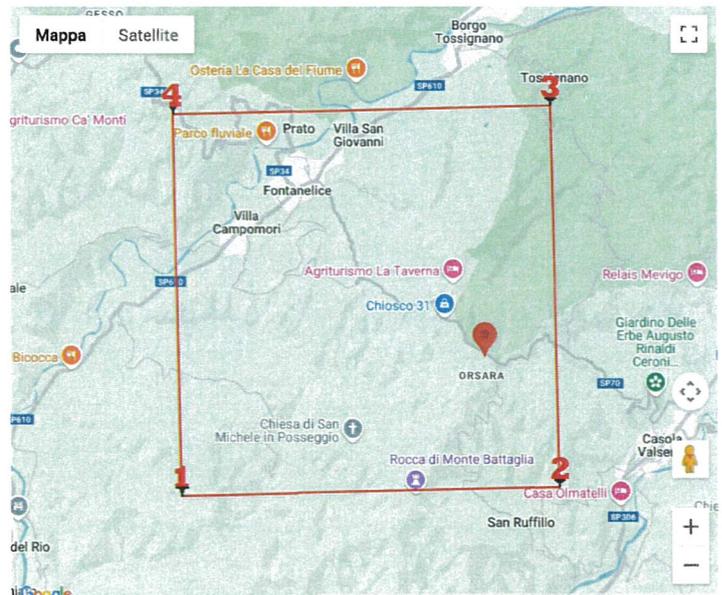
Probabilità di superamento: 63%
Tr:50 [anni]
ag:0,089 g
Fo:2,397
Tc*:0,267 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10%
Tr:475 [anni]
ag:0,208 g
Fo:2,475
Tc*:0,301 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5%
Tr:975 [anni]
ag:0,260 g
Fo:2,528
Tc*:0,313 [s]



Coefficienti Sismici Stabilità dei pendii

SLO:
Ss:1,200
Cc:1,440
St:1,200
Kh:0,020
Kv:0,010
Amax:0,986
Beta:0,200

SLD:
Ss:1,200
Cc:1,430
St:1,200
Kh:0,026
Kv:0,013
Amax:1,253
Beta:0,200

SLV:
Ss:1,190
Cc:1,400
St:1,200
Kh:0,083
Kv:0,042
Amax:2,912
Beta:0,280

SLC:
Ss:1,140
Cc:1,390
St:1,200
Kh:0,099
Kv:0,050
Amax:3,485
Beta:0,280

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50
Geostru Coordinate WGS84
latitudine:44.235937
longitudine: 11.592365