

S.S.45 DELLA VAL DI TREBBIA

AMMODERNAMENTO DELLA STRADA STATALE N. 45 DELLA VAL TREBBIA NEL TRATTO CERNUSCA-RIVERGARO

PROGETTO DEFINITIVO

PROGETTAZIONE: ANAS DPRL

SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE:

I PROGETTISTI:

ing. Antonio SCALAMANDRÉ
Ordine Ing. di Frosinone n. 1063



IL GEOLOGO:

geol. Maurizio MARTINO
Ordine Geol. del Lazio ES n. 457



IL RESPONSABILE DEL SIA:

Ing. Laura TROIANI
Ordine Arch. di Roma n.A-31890



IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:

geom. E PAIELLA

VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:

ing. Anna Maria NOSARI



PROTOCOLLO

DATA

DOTT. GEOL.
DANILO GALLO

ING. RENATO
DEL PRETE

BD01

B - GEOLOGIA E GEOTECNICA

BD – SISMICA

RELAZIONE SISMICA

CODICE PROGETTO

PROGETTO LIV. PROG. N. PROG.

BO0067 D 1801

NOME FILE

BD01-T00GE00GETRE04_A.dwg

REVISIONE

SCALA:

CODICE ELAB. T00GE00GETRE04

A

-

C					
B					
A	EMISSIONE A SEGUITO ISTRUTTORIA	LUGLIO 2020			
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

SOMMARIO

1	Premessa.....	2
2	Inquadramento geografico.....	2
3	Inquadramento sismico	2
4	Aspetti normativi.....	7
5	Magnitudo attese.....	7
6	Ricerca storica	11
7	Studi di microzonazione sismica comunali	13
8	Indagini sismiche lungo il tracciato	18
9	Pericolosità sismica di base	23
10	Accelerazione massima attesa al sito.....	27
11	Stabilità alla liquefazione	29
12	Approfondimenti nei tratti interferenti con aree instabili	31
13	Ubicazione delle indagini geofisiche.....	46

1 PREMESSA

La presente relazione forma parte integrante del "Progetto definitivo per l'ammmodernamento della S.S. n. 45 "della Val Trebbia" nel tratto Cernusca-Rivergaro" (codice intervento B067), avente una lunghezza totale di circa 11 Km.

Per la redazione del presente elaborato si è fatto riferimento alle banche dati nazionali e regionali, alle NTC 2018, alla documentazione relativa alle campagne di indagini geognostiche e geofisiche effettuate, corredate da prove in sito e in laboratorio.

2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area d'intervento, posta sul fondovalle del Fiume Trebbia, nei comuni di Travo e Rivergaro (PC), si sviluppa per una lunghezza complessiva di circa 11 Km. Nella Carta Tecnica Regionale, il tracciato è identificato negli elementi, alla scala 1:5000, n°179083 "Rivergaro", n°179111 "Cisiano, n°179112 "Travo", n°179124 "Fabbiano", n°179151 "Grilli" e n°179154 "Quadrelli".

L'analisi geologica di dettaglio, di supporto alla presente Relazione, è stata sviluppata entro una fascia significativa nel contesto della quale si esplica la dinamica geologica, geomorfologica e idrogeologica, estesa in un intorno di 500 metri dall'asse del tracciato in progetto.

3 INQUADRAMENTO SISMICO

Nella Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna, presentata nel 2017 a cura del Servizio Sismico e dei Suoli regionale, le strutture attive e potenzialmente attive vengono distinte in:

- affioranti, in quanto hanno deformato la superficie topografica (o, in pianura, hanno deformato la parte di sottosuolo fino a profondità inferiori di 100 m dal piano campagna);
- sepolte, con evidenze di attività recenti o in atto (es. associazione con eventi sismici) a carico di orizzonti stratigrafici profondi almeno alcune centinaia di metri e non arrivano a deformare i livelli superficiali del sottosuolo (≥ 100 m da p.c.).

L'analisi dei meccanismi focali disponibili, riportati nella Carta Sismotettonica, individuano un meccanismo di tipo trascorrente con direzione di compressione NE-SW relativamente ad evento sismico del 24/2/1980 (MW=4.39), localizzato in val Trebbia, nelle prime colline a SW di Rivergaro, ad una profondità di circa 6 km; più a sud, tra Bobbio e Bettola, viene segnalato un evento, localizzato a circa 20 km di profondità, che ha fornito un meccanismo focale transtensivo, con direzione di estensione N-S.

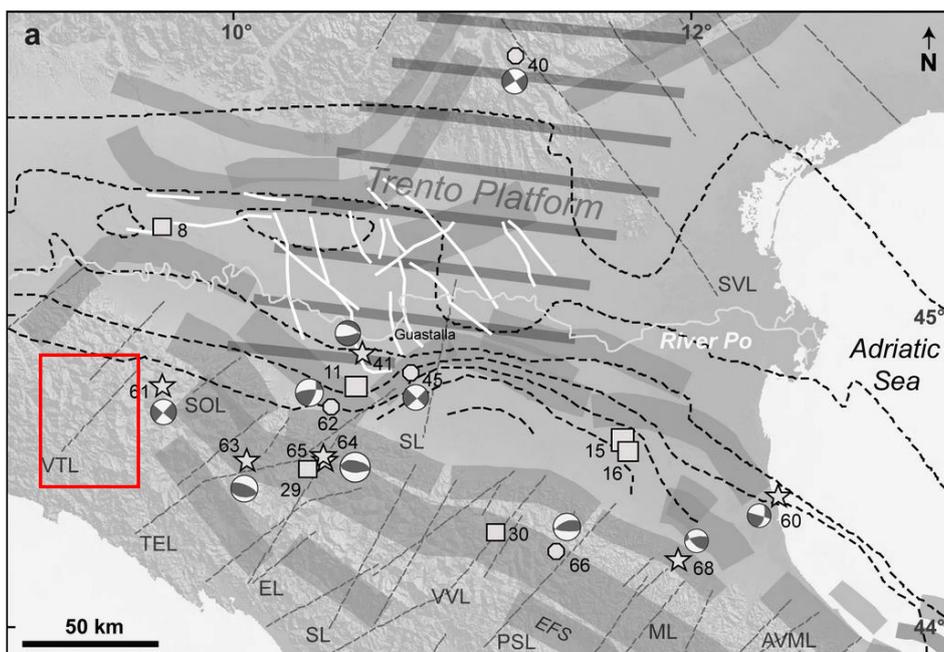


Figura 1 – Zone sismogenetiche, terremoti con $M > 4.5$ e profondità > 15 km; fasce grigie: sorgenti sismogenetiche composite; linee grigie tratteggiate: strutture trasversali; VTL, Val Trebbia Line. (Fonte: Pure and Applied Geophysics, May 2015, Volume 172, Issue 5, pp 1105–1142: *The Seismotectonics of the Po Plain (Northern Italy): Tectonic Diversity in a Blind Faulting Domain*).

Parallelamente al tracciato in esame è individuata una linea di faglia presunta, in continuità con quella definita più a Nord la faglia di Rivergaro, denominata "Trebbia Line" negli studi dell'INGV.

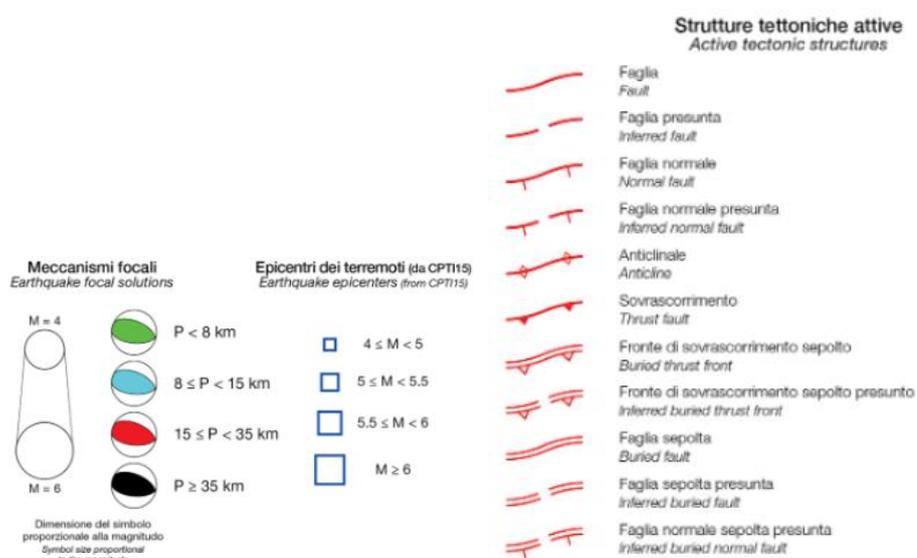
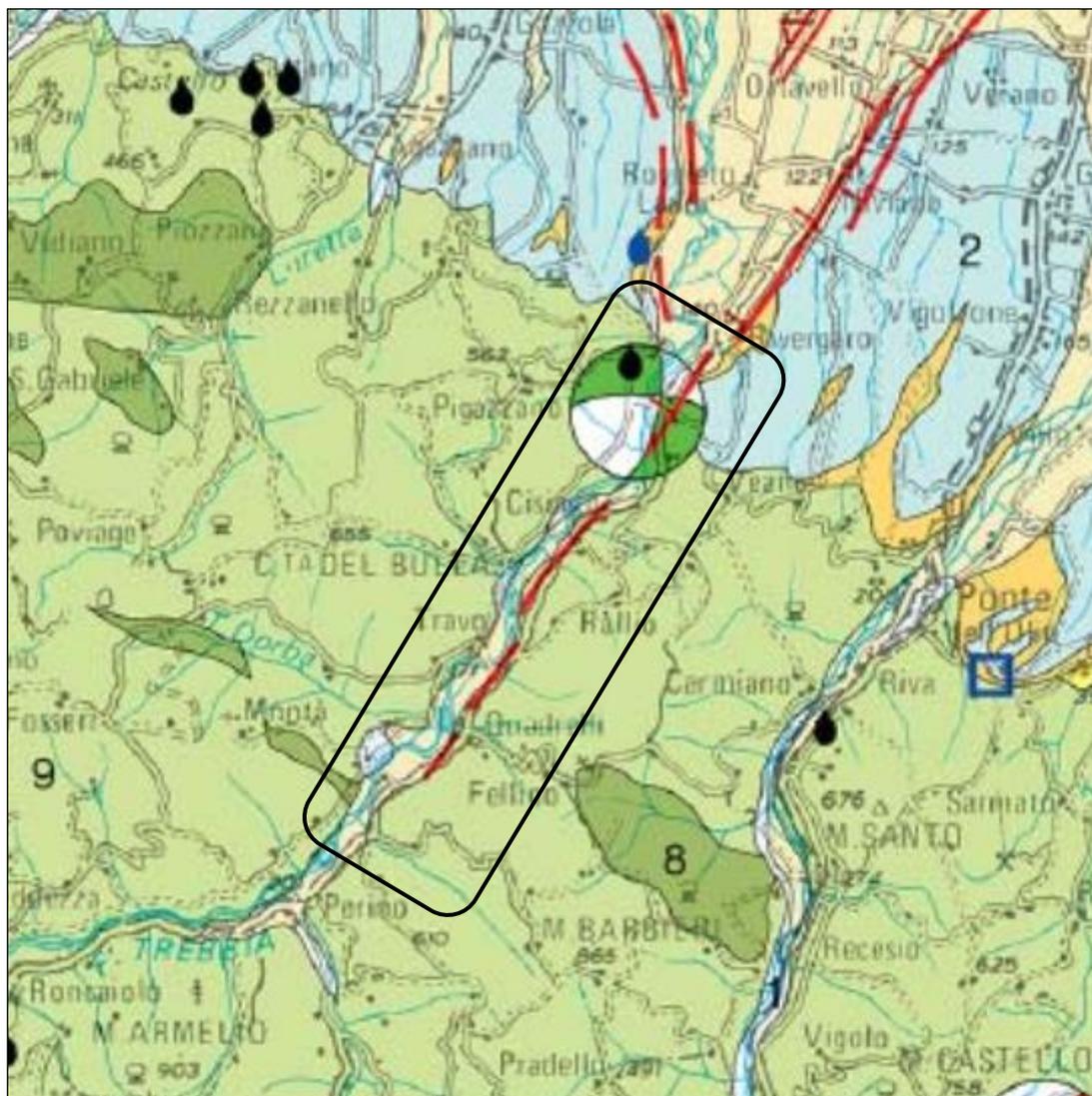


Figura 2 – Stralci dalla Carta sismotettonica della Regione Emilia-Romagna ed elementi di legenda; nel riquadro la zona di studio.

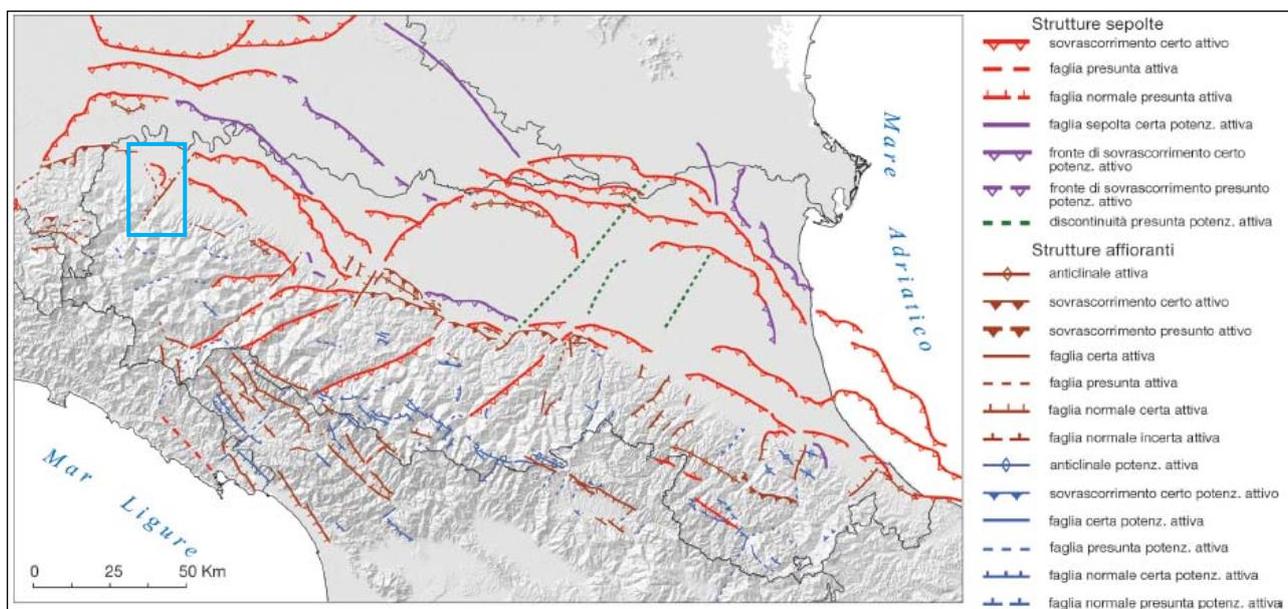


Figura 3 – Principali strutture attive e potenzialmente attive (fonte Carta Sismotettonica della Regione E.R., 2017); nel riquadro azzurro la zona di indagine

Da un punto di vista della zonazione sismogenetica, si ricade nella "ZS9" (Fonte: App.2 al Rapporto Conclusivo a cura di C. Meletti e G. Valensise, marzo 2004, con contributi di R. Azzaro, S. Barba, R. Basili, F. Galadini, P. Gasperini, M. Stucchi e G. Vannucci).

La zona sismogenetica 911 ("Tortona-Bobbio"), include l'"arco di Pavia" e le strutture ad esso relative, che rappresentano il limite settentrionale dell'arco appenninico, costituendo un ruolo di svincolo tra il sistema alpino e quello appenninico; il meccanismo di fagliazione prevalente risulta essere trascorrente.

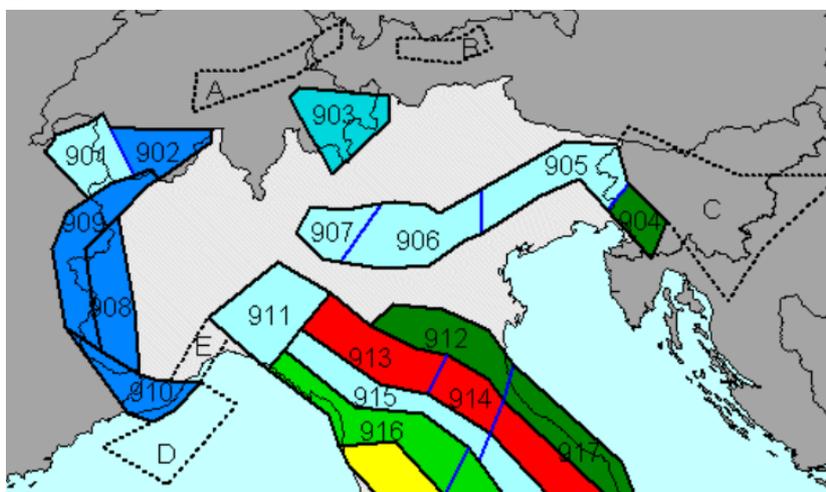


Figura 4 – Zone sismogenetiche da Meletti e. Valensise (2004).

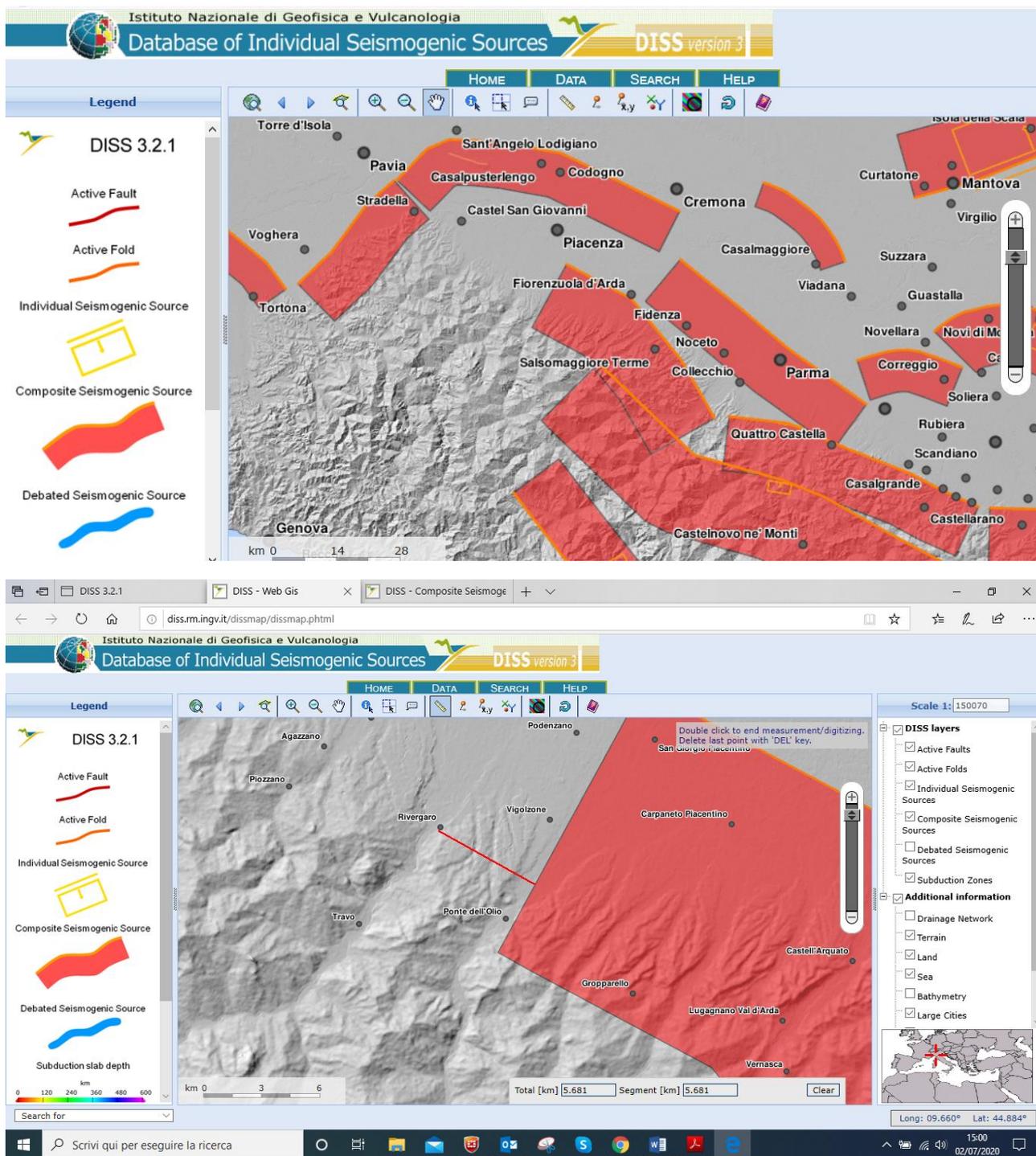


Figura 5 – Stralci dal Database of Individual Seismogenic Sources dell'INGV.

In questo database sono censite alcune strutture sismogenetiche composite, riconducibili, in un intorno significativo di circa 30 km di raggio:

- ad Est della zona di studio, nella zona di raccordo tra Appennino e alta pianura, alla sorgente San Giorgio Piacentino-Fornovo di Taro (IT CS 045)
- a Nord della zona di studio, all'arco sepolto Pavia-Piacenza-Cremona (IT CS 044)
- adiacente a questa, in posizione valliva più interna, alla "Bore-Montefeltro-Fabriano-Laga" (IT CS 027)
- a Sud di quest'ultima, alla Lunigiana (IT CS 026)

4 ASPETTI NORMATIVI

Ai sensi della D.G.R. 1164 del 23/07/2018 della Regione Emilia Romagna, a seguito dell'aggiornamento della classificazione sismica di prima applicazione disposta con propria deliberazione n. 1435 del 2003, è confermata la classificazione in zona sismica 3 dei Comuni di Rivergaro e Travo.

5 MAGNITUDO ATTESE

La definizione della pericolosità sismica di base del territorio nazionale trae le sue origini dalla Carta delle Zone Sismogenetiche, elaborata dal Gruppo di Lavoro 2004, nella quale sono individuate le zone caratterizzate da diversi valori della Magnitudo momento massima $M_{w_{max}}$.

La Zonazione Sismogenetica ZS9 è stata recentemente implementata dal database sulle sorgenti sismiche individuali (o studio, in base agli elementi reperibili al seguente link: <http://diss.rm.ingv.it/diss/index.php/DISS321> dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, riportando per le stesse la Magnitudo massima M_w .

Alla zona sismogenetica composita San Giorgio Piacentino-Fornovo di Taro (IT CS 045), che si localizza a una distanza minima di circa 6 km dal tracciato in progetto, viene associata una magnitudo massima $M_{w_{max1}}$ pari a 5,5.

È possibile stimare la magnitudo M , relativa agli eventi sismici attesi per l'area in cui si localizza il tracciato in progetto, con il processo di disaggregazione desunto dal sito internet dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (2007), con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni:

“Il sistema consente di visualizzare e interrogare mappe probabilistiche della pericolosità sismica del territorio nazionale, espressa con diversi parametri dello scuotimento su una griglia regolare a passo 0.05° . Le mappe riportano due parametri dello scuotimento: $a(g)$ (accelerazione orizzontale massima del suolo, come definita dall'OPCM 3519/2006, corrispondente a quella che in ambito internazionale viene chiamata PGA) e $Se(T)$ (Spettro di risposta Elastico in funzione del periodo T , in accelerazione); l'unità di misura è g . Le mappe in $a(g)$ sono state calcolate per differenti probabilità di superamento in 50 anni (in totale 9, dal 2% all'81%). Per ogni stima è disponibile la distribuzione del 50mo percentile (mappa mediana, che è la mappa di riferimento per ogni probabilità di superamento) e la distribuzione del 16mo e dell'84mo percentile che indicano la variabilità delle stime. Le mappe in $Se(T)$ sono state pure calcolate per le stesse probabilità di superamento in 50 anni (in totale 9, dal 2% all'81%) e per differenti periodi (in totale 10, da 0.1 a 2 secondi). Anche in questo caso per ogni stima è disponibile la distribuzione del 50mo percentile (mappa mediana, che è la mappa di riferimento per ogni probabilità di superamento) e la distribuzione del 16mo e dell'84mo percentile che indicano la variabilità delle stime. L'analisi della disaggregazione dei valori di $a(g)$ riporta, per ogni nodo della griglia di calcolo, la valutazione del contributo percentuale alla stima di pericolosità fornito da tutte le possibili coppie di valori di magnitudo e distanza; questa informazione è riportata sia in forma grafica sia in forma tabellare. Per ogni nodo della griglia sono anche riportati, dopo la tabella, i valori medi di $M-D-\epsilon$. Questo tipo di analisi è utile nell'individuazione della sorgente sismogenetica che contribuisce maggiormente a produrre il valore di scuotimento stimato in termini probabilistici ed è utile in analisi di micro zonazione” (INGV, 2007).

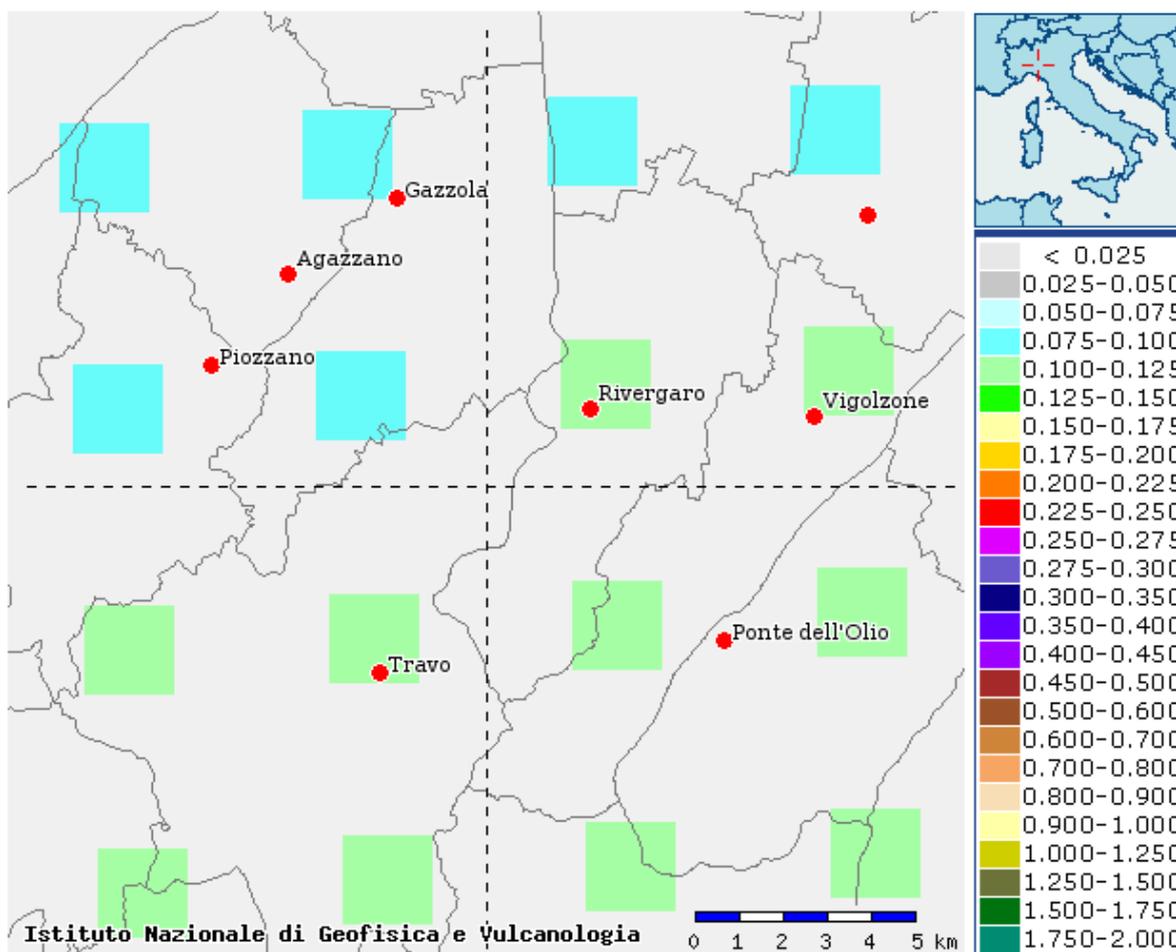


Figura 6 – Mappa interattiva di pericolosità sismica, tratta dal sito dell'INGV.

Nel caso specifico, si osservano due punti della griglia che ricadono rispettivamente in corrispondenza dei centri abitati dei Comuni di Rivergaro e di Tarso e le cui magnitudo calcolate con il metodo della disaggregazione risultano essere pari a 4.84 e 4.85.

Distanza in km	Disaggregazione del valore di a(g) con probabilita' di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto lat: 44.9219, lon: 9.6087, ID: 14708)										
	Magnitudo										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.000	16.400	22.000	7.740	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10-20	0.000	6.830	12.900	7.150	0.009	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20-30	0.000	2.320	6.460	5.440	1.590	0.015	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000
30-40	0.000	0.214	1.820	2.640	1.510	0.393	0.062	0.000	0.000	0.000	0.000
40-50	0.000	0.000	0.167	0.890	0.841	0.447	0.079	0.000	0.000	0.000	0.000
50-60	0.000	0.000	0.008	0.256	0.432	0.287	0.056	0.000	0.000	0.000	0.000
60-70	0.000	0.000	0.000	0.072	0.212	0.160	0.034	0.000	0.000	0.000	0.000
70-80	0.000	0.000	0.000	0.013	0.100	0.109	0.025	0.000	0.000	0.000	0.000
80-90	0.000	0.000	0.000	0.001	0.048	0.076	0.018	0.000	0.000	0.000	0.000
90-100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.019	0.049	0.013	0.000	0.000	0.000	0.000
100-110	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.029	0.009	0.000	0.000	0.000	0.000
110-120	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.016	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000
120-130	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.008	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000
130-140	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000
140-150	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
150-160	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
160-170	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
170-180	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
180-190	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
190-200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Valori medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
4.840	14.900	0.888

Figura 7 – Valori di magnitudo ottenuti con il processo di disaggregazione.

Distanza in km	Disaggregazione del valore di a(g) con probabilita' di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto lat: 44.8697, lon: 9.5415, ID: 14929)										
	Magnitudo										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.000	16.600	22.300	7.880	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10-20	0.000	6.760	12.800	7.180	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20-30	0.000	2.070	6.030	5.280	1.510	0.210	0.030	0.000	0.000	0.000	0.000
30-40	0.000	0.166	1.770	2.790	1.670	0.640	0.101	0.000	0.000	0.000	0.000
40-50	0.000	0.000	0.157	0.940	0.919	0.514	0.091	0.000	0.000	0.000	0.000
50-60	0.000	0.000	0.001	0.175	0.348	0.248	0.049	0.000	0.000	0.000	0.000
60-70	0.000	0.000	0.000	0.040	0.154	0.119	0.026	0.000	0.000	0.000	0.000
70-80	0.000	0.000	0.000	0.008	0.072	0.081	0.019	0.000	0.000	0.000	0.000
80-90	0.000	0.000	0.000	0.000	0.033	0.059	0.015	0.000	0.000	0.000	0.000
90-100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.014	0.040	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000
100-110	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.024	0.008	0.000	0.000	0.000	0.000
110-120	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.014	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000
120-130	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.008	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000
130-140	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000
140-150	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
150-160	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
160-170	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
170-180	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
180-190	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
190-200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Valori medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
4.850	14.700	0.892

Figura 8 – Valori di magnitudo ottenuti con il processo di disaggregazione.

6 RICERCA STORICA

In termini di sismicità storica, il Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani restituisce per i comuni in esame gli elementi riportati nel seguito. (Fonte: Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli, B., Gasperini P., 2019. *Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15)*, versione 2.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/CPTI/CPTI15.2>); per ciascun comune vengono riportate nelle tabelle degli eventi selezionati l'intensità macrosismica osservata (Io) e la "magnitudo momento (Mw)" del sisma.

Rivergaro

PlaceID	IT_35484
Coordinate (lat, lon)	44.907, 9.598
Comune (ISTAT 2015)	Rivergaro
Provincia	Piacenza
Regione	Emilia-Romagna
Numero di eventi riportati	18

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
NF	1905	04	29	01	46	4	Haute-Savoie, Vallorcine	267	7-8	5.10
NF	1906	08	25	03	11		Parmense	31	5	4.25
NF	1907	04	25	04	52		Veronese	122	6	4.79
5	1910	01	23	01	50		Piacentino	118	5	4.39
NF	1912	05	31	21	40		Canavese	51	5-6	4.71
2	1912	10	01	18	10		Piacenza	23	4	3.70
4	1913	03	27	02	25	4	Val Trebbia	58	4-5	4.24
NF	1913	11	25	20	55		Appennino parmense	73	4-5	4.65
NF	1915	01	13	06	52	4	Marsica	1041	11	7.08
NF	1919	06	29	15	06	1	Mugello	565	10	6.38
4	1920	09	07	05	55	4	Garfagnana	750	10	6.53
5	1951	05	15	22	54		Lodigiano	179	6-7	5.17
NF	1986	12	06	17	07	1	Ferrarese	604	6	4.43
NF	1991	10	31	09	31	1	Emilia occidentale	134	5	4.33
NF	1995	10	10	06	54	2	Lunigiana	341	7	4.82
NF	1995	12	31	21	29	4	Appennino reggiano	96	4-5	4.51
NF	2005	04	13	18	46	0	Valle del Trebbia	163	4	3.68
3-4	2005	04	18	10	59	1	Valle del Trebbia	284	4	3.97

Travo

PlaceID	IT_35606
Coordinate (lat, lon)	44.861, 9.544
Comune (ISTAT 2015)	Travo
Provincia	Piacenza
Regione	Emilia-Romagna
Numero di eventi riportati	5

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
NF	1986	12	06	17	07	1	Ferrarese	604	6	4.43
NF	1991	10	31	09	31	1	Emilia occidentale	134	5	4.33
1-2	1995	10	10	06	54	2	Lunigiana	341	7	4.82
NF	2005	04	13	18	46	0	Valle del Trebbia	163	4	3.68
3	2005	04	18	10	59	1	Valle del Trebbia	284	4	3.97

Figura 9 – Terremoti storici per i Comuni di Rivergaro e di Travo.

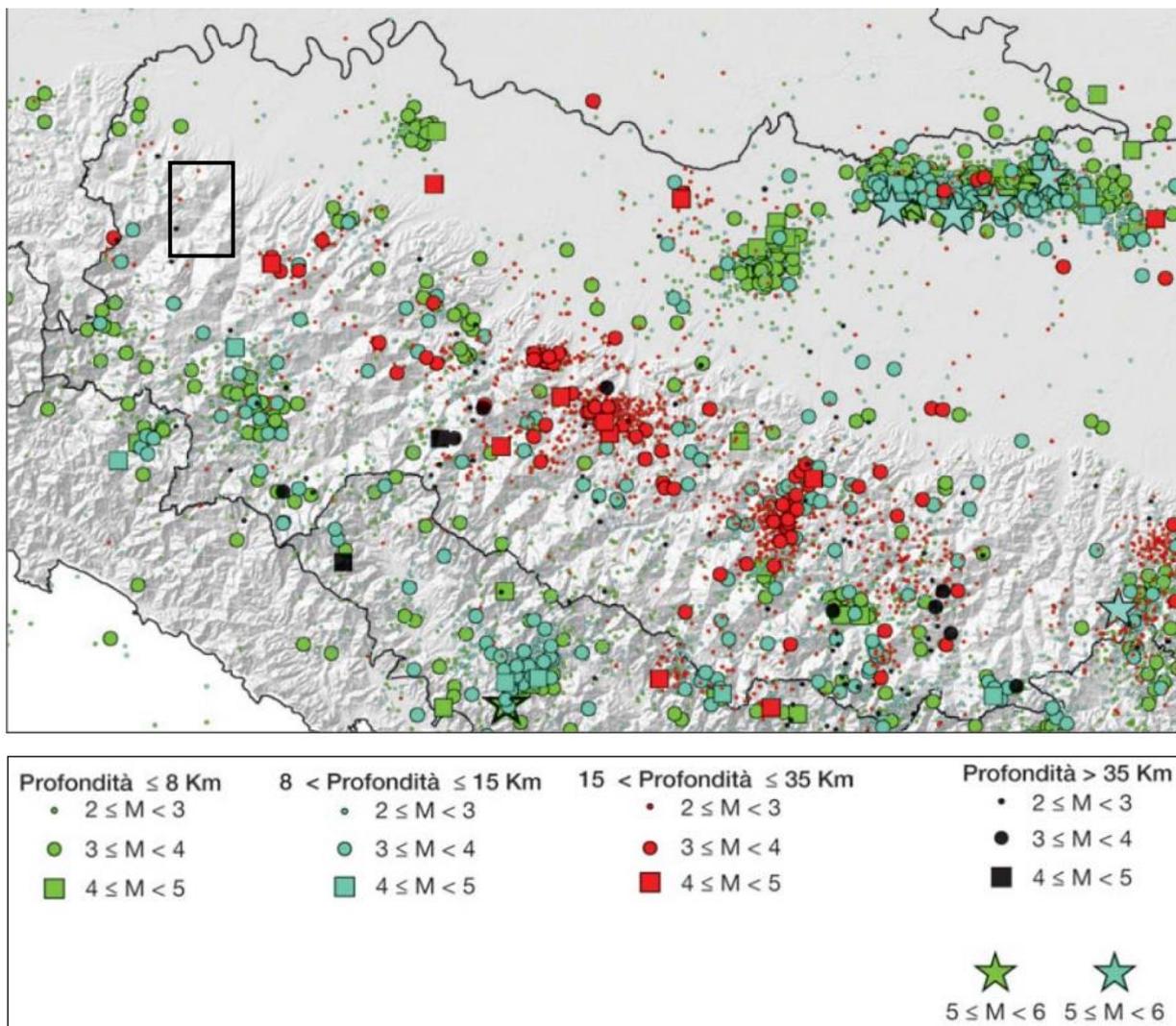


Figura 10 – Mappa dei terremoti strumentali con MW > 2 (fonte: Carta Sismotettonica Regione E.R., 2017)

7 STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA COMUNALI

I Piani Strutturali Comunali di Rivergaro e Travo sono corredati degli studi di Microzonazione sismica (MZS) di Livello 1 e 2, dall'analisi dei quali è possibile acquisire elementi concernenti il tracciato dell'infrastruttura in progetto. In particolare gli studi di MZS, evidenziano che le zone suscettibili di instabilità riscontrate lungo il tracciato (frane attive e quiescenti) sono zone in cui gli effetti sismici attesi e predominanti, oltre ai fenomeni di amplificazione, sono riconducibili a deformazioni permanenti del territorio.

Si riportano nel seguito la legenda e alcuni stralci delle carte di MZS nel comune di Travo relativi alla porzione di tracciato in progetto ricadente in tale territorio comunale.

	Substrato roccioso rigido	
	Zone di ciglio di scarpata	Amplificazione topografica
	Zone di crinale	Amplificazione topografica
	Zone di contatto tettonico o presunto tale	Amplificazione litologica Effetti differenziali
	Zone con presenza di depositi alluvionali più o meno coesivi	Amplificazione litologica
	Aree con inclinazione critica (pendenza >15° e dislivello > 30 m)	Amplificazione topografica
	Zone con terreni particolarmente ricchi di H ₂ O	Amplificazione litologica Liquefazione Effetti differenziali
	Zona con presenza di depositi granulari con coesione limitata (depositi di versante, depositi eluvio-colluviali, detriti di falda, conoidi)	Amplificazione litologica
	Frane attive	Amplificazione litologica Instabilità di versante
	Frane quiescenti	Amplificazione litologica Instabilità di versante
	Zone di contatto tettonico o presunto tale (fascia di deformazione del Fiume Trebbia)	Amplificazione litologica Cedimenti Effetti differenziali

Figura 11 – Legenda della carta di MZS del comune di Travo

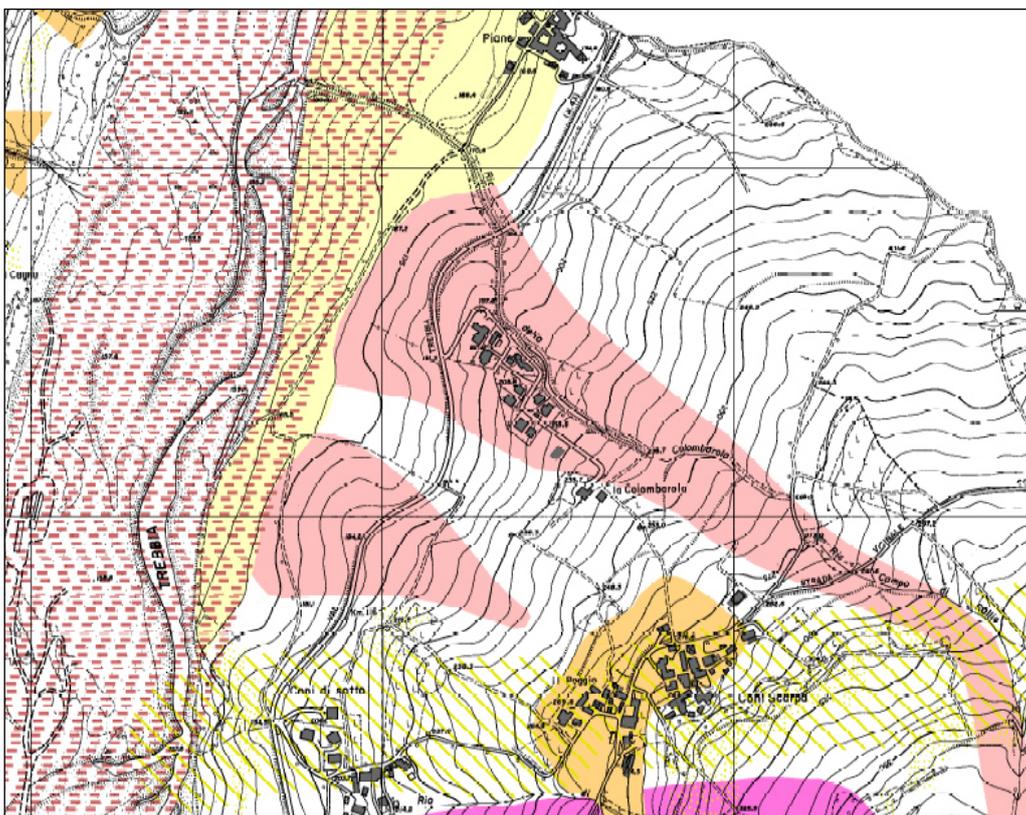


Figura 12 – Stralcio della carta di MZS del comune di Travo: tratto di progetto Coni di Sotto-Piane.

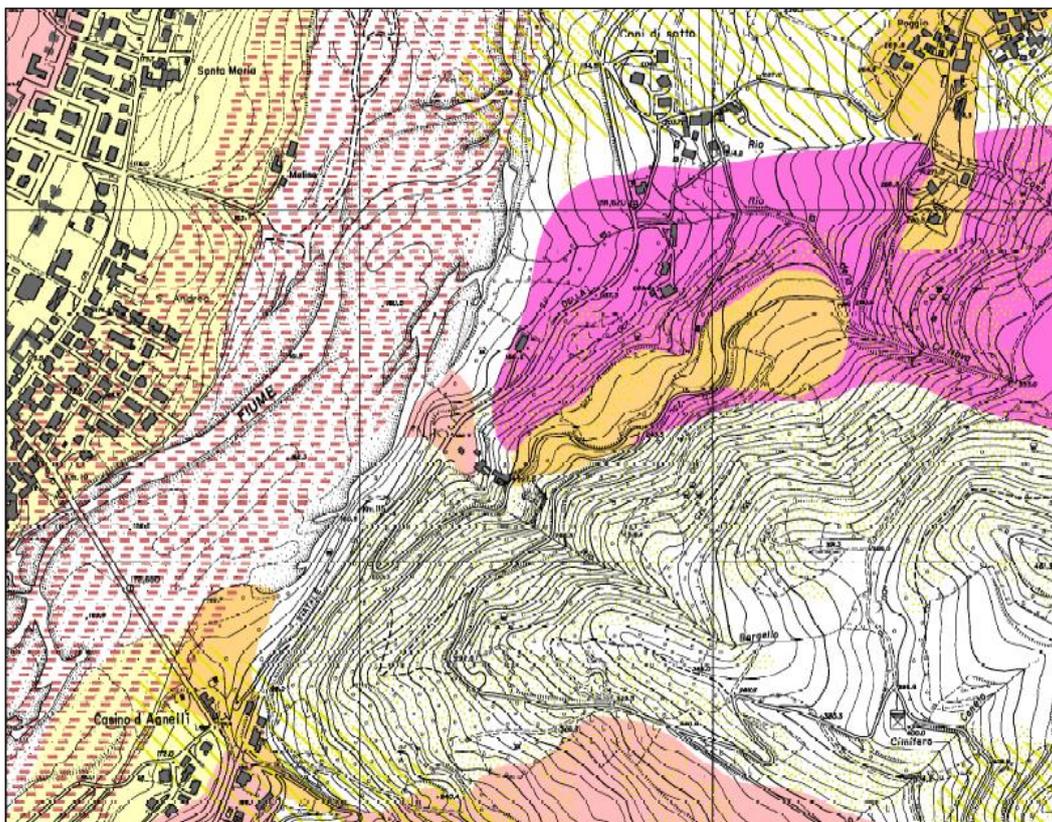


Figura 13 – Stralcio della carta di MZS del comune di Travo: tratto di progetto Casino di Agnelli - Coni di Sotto.

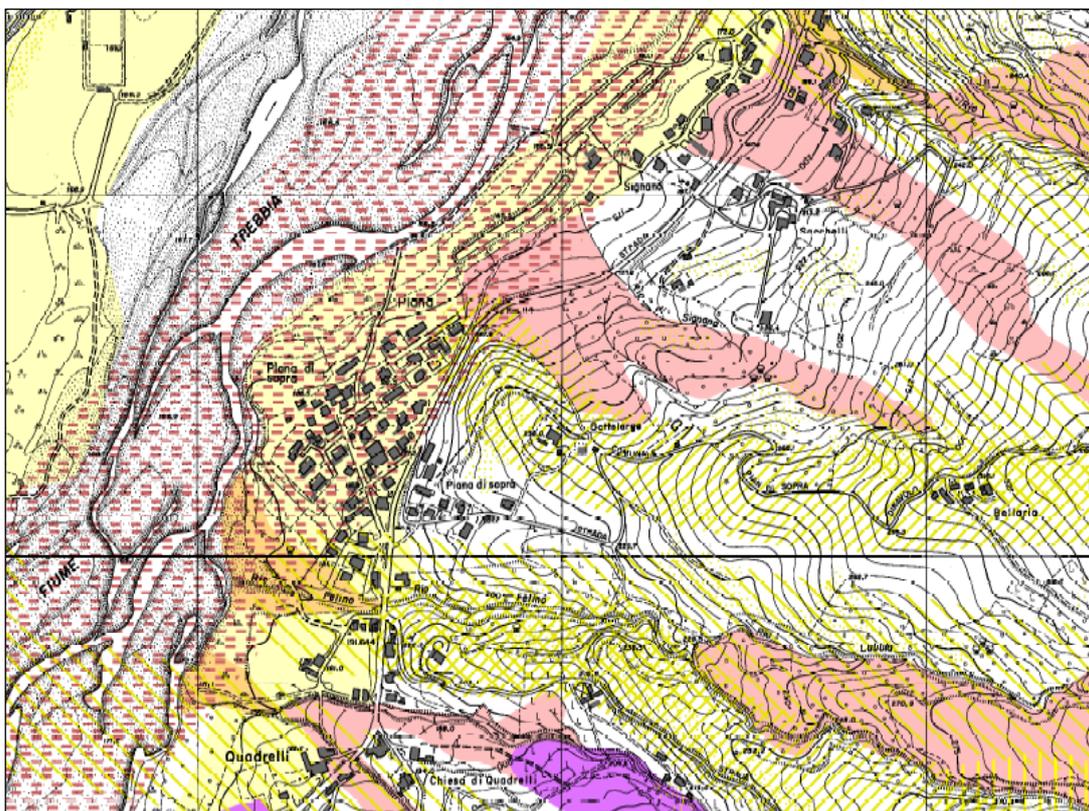


Figura 14 – Stralcio della carta di MZS del comune di Travo: tratto di progetto Quadrelli-Casino di Agnelli.

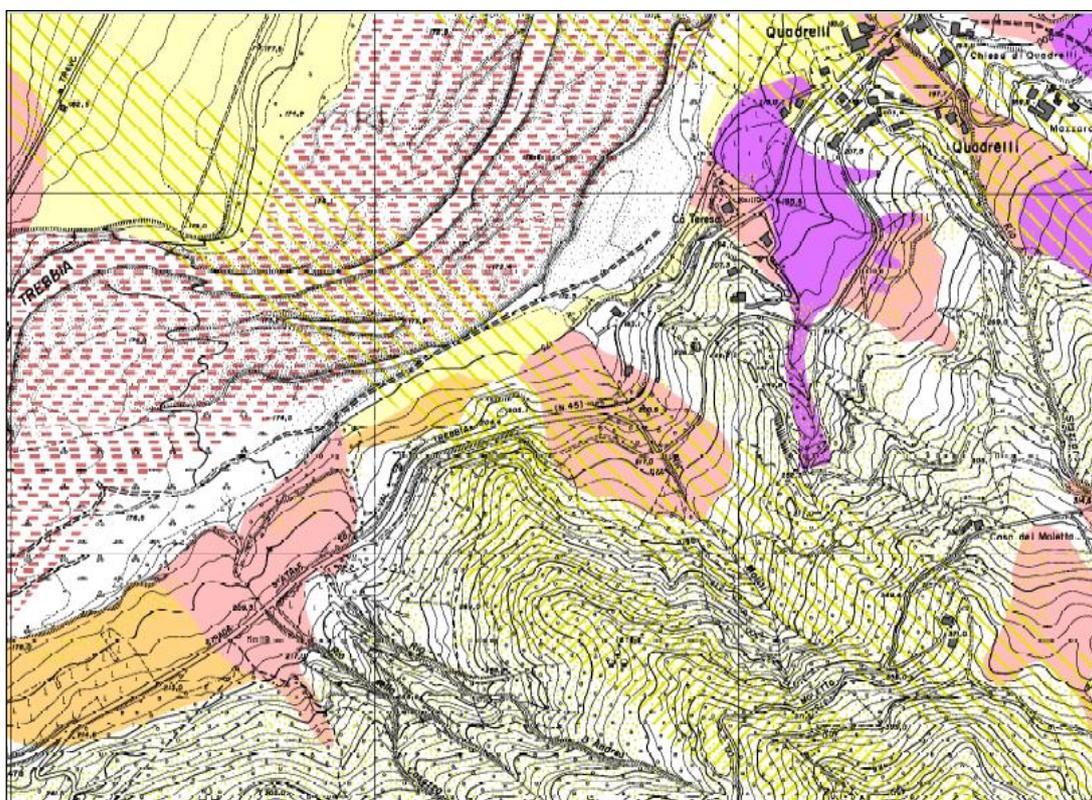


Figura 15 – Stralcio della carta di MZS del comune di Travo: tratto di progetto a Sud di Quadrelli.

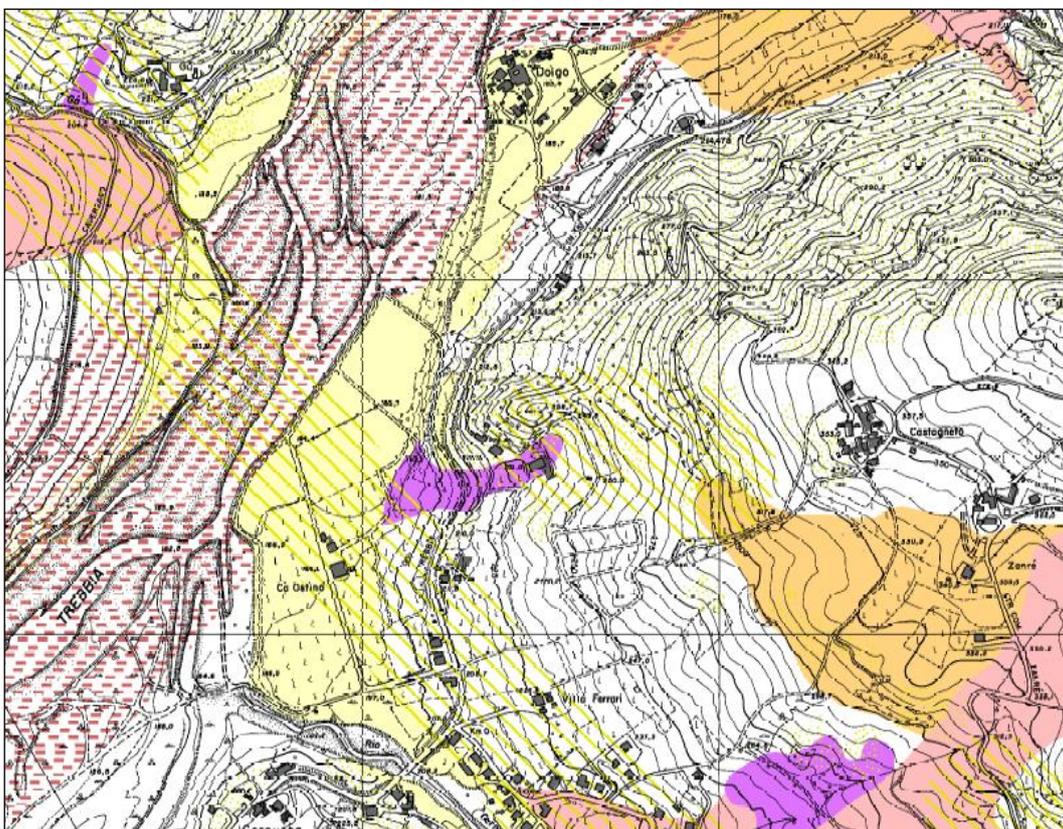
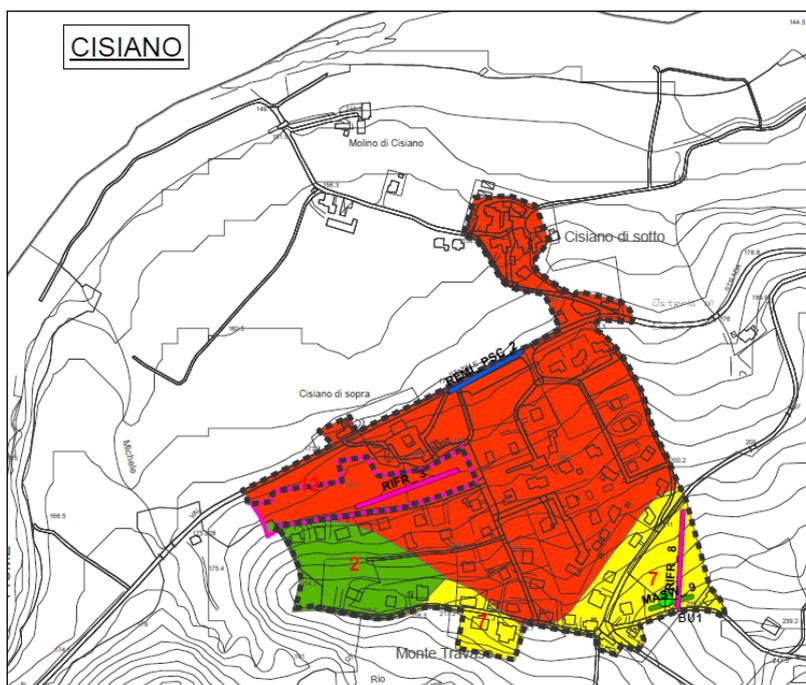


Figura 16 – Stralcio della carta di MZS del comune di Travo: tratto di progetto Cernusca-Dolgo.

Come indicato nella Relazione geologica del presente progetto: “Rispetto alla segnalazione di zone con terreni particolarmente ricchi di acqua (ritenuti suscettibili di amplificazione litologica, liquefazione ed effetti differenziali), i risultati del piano di indagine eseguito nell’ambito del progetto non confermano queste evidenze; il piezometro S22-PZ individua infatti una superficie piezometrica a 4.27 metri da p.c., simile a diverse altre situazioni lungo il tracciato oggetto di indagini piezometriche”.

Nel caso del comune di Rivergaro, gli allegati cartografici agli studi di MZS si riferiscono a tratti specifici del territorio urbanizzato comunale, in particolare alla zona di Cisiano.



Zone stabili suscettibili di amplificazione sismica

	F _A gga	FA(0,1-0,5s)	FA(0,5-1,0s)	Ambiente
1	1.1	1.2	1.5	Pianura 2
2	1.2	1.2	1.2	Appennino Vs>800 m/s - Pendenza 15-30°
3	1.2-1.4	1.3-1.5	1.4-1.6	Pianura 1
4	1.3-1.4	1.3-1.4	1.7	Pianura 2
5	1.4	1.5-1.7	1.8-2.0	Pianura 2
7	1.5	1.4	1	Appennino Vs>800 m/s Coltre
8	1.5-1.6	1.6-1.7	1.7-1.9	Pianura 1
9	1.6-1.7	1.5-1.8	1.4-1.5	Appennino Vs<800 m/s Coltre
11	1.8-1.9	1.9-2.0	2.0-2.3	Pianura 1 - Pendenza 15-30°
12	1.9	2.2	1.5	Appennino Vs>800 m/s Coltre
13	2.1	2.3-2.5	1.9-2.2	Appennino Vs<800 m/s Coltre

Figura 17 – Stralci della carta di MZS del comune di Rivergaro: tratto di progetto presso Cisiano.

8 INDAGINI SISMICHE LUNGO IL TRACCIATO

Il piano delle indagini indirette – di tipo geofisico – eseguite in supporto alla progettazione dell’opera include, nelle due fasi comprese tra il 2017 e il 2018-2019:

- n. 11 prove geofisiche MASW (campagna 2017),
- n. 5 prove sismiche in foro Down Hole (campagna 2018-2019),
- n. 31 profili sismici a rifrazione (campagna 2018-2019),
- n. 4 prove HVSR.

Sulla scorta di tali indagini, è stata eseguita un’elaborazione dei dati, riferendo ciascun orizzonte sismico individuato dalle diverse tipologie di prova con il relativo dato di velocità delle onde (P, S per i profili sismici a rifrazione e per le prove “Down-Hole”, S per le MASW) alle unità litologiche individuate nel modello di riferimento geologico.

Successivamente, è stato analizzato il data-base suddetto per ottenere una sintesi statistica riferita alle onde di taglio o onde S, a sua volta correlata secondo intervalli di letteratura ad un comportamento caratteristico dei diversi mezzi.

Tabella 2.6. Rapporto V_p/V_s per tipi di terreno (fonte: Keceli, 2012)

Tipo di terreno	V_p (m/s)	V_s (m/s)	V_p/V_s
Roccia dura e massiccia	6000÷4200	4000÷2700	1,45÷1,50
Suolo molto rigido	4200÷3000	2700÷1500	1,5÷2,0
Suolo rigido	3000÷2000	1500÷700	2÷3
Suolo moderatamente rigido o alterato	2000÷1500	700÷400	3÷4
Suolo sciolto e soffice	1500÷600	400÷100	4÷6
Suolo soffice e saturo	> 1300	> 100	5÷8

Tabella 1 – Modello di comportamento riferito ai diversi tipi di terreno, in base ai risultati delle indagini sismiche.

Si riportano quindi nel seguito i risultati dell'analisi suddetta.

Unità	Valore V_s (m/s)			Min	Max	Media-dev.st
	Numero	Media	Dev.st.			
a1b	3	401	100	300	500	301
a1d	4	400	115	300	500	285
a1g	10	332	101	215	450	231
a2b	2	447	30	425	468	416
a2d	8	422	117	275	600	305
a2g	30	365	92	225	500	273
a3	3	332	141	201	481	192
AES8	5	593	173	302	700	419
APA	2	370	41	341	399	329
VLU1a-cop	3	665	83	570	725	582
VLU2	2	875	0	875	875	875
VLU2-cop	4	703	5	700	710	698
VLU3	30	886	222	419	1843	664
VLU3-cop	32	578	159	250	775	419

Tabella 2 – Sintesi dei dati acquisiti con le indagini sismiche, espressi in termini di velocità delle onde S.

Unità	Significato geologico	Mod. comportamento (riferito a med)	Mod. comportamento (riferito a med-ds)
a1b	Frana attiva, scivolamento	sciolto e soffice	sciolto e soffice
a1d	Frana attiva, colamento	sciolto e soffice	sciolto e soffice
a1g	Frana attiva, complessa	sciolto e soffice	sciolto e soffice
a2b	Frana quiescente, scivolamento	moderatamente rigido o alterato	moderatamente rigido o alterato
a2d	Frana quiescente, colamento	moderatamente rigido o alterato	sciolto e soffice
a2g	Frana quiescente, complessa	sciolto e soffice	sciolto e soffice
a3	Deposito di versante s.l.	sciolto e soffice	sciolto e soffice
AES8	Sub-sintema di Ravenna	moderatamente rigido o alterato	moderatamente rigido o alterato
APA	Argille a Palombini	sciolto e soffice	sciolto e soffice
VLU1a-cop	Copertura Val Luretta - membro di Poviago	moderatamente rigido o alterato	moderatamente rigido o alterato
VLU2	Copertura Val Luretta - membro di Monteventano	rigido	rigido
VLU2-cop	Val Luretta - membro di Monteventano	rigido	moderatamente rigido o alterato
VLU3	Val Luretta - membro di Genepreto	rigido	moderatamente rigido o alterato
VLU3-cop	Copertura Val Luretta - membro di Genepreto	moderatamente rigido o alterato	moderatamente rigido o alterato

Tabella 3 – Modello di comportamento dei terreni, riferito ai valori medi e alla differenza (media-dev.standard).

Dall'osservazione delle tabelle sopra riportate è possibile formulare le seguenti considerazioni per quanto riguarda i terreni Quaternari (azzurri), adottando i criteri suddetti si ottiene una buona concordanza nella stima del modello di comportamento;

- le frane attive, in quanto tali, e cioè trattandosi di depositi con basso grado di addensamento, presentano velocità delle onde sismiche mediamente inferiori a 400 m/s, proprie di un comportamento sciolto e soffice;
- le frane quiescenti, riferibili a depositi con una maggiore consistenza acquisita nell'arco di tempo successivo alla messa in posto, presentano in media velocità delle onde sismiche leggermente superiori a 400 m/s, proprie di un comportamento da sciolto e soffice (nei valori minimi) a moderatamente rigido; nell'ambito dei depositi quaternari, le frane quiescenti sono quelle più numericamente rappresentate in termini di determinazioni sperimentali;
- i depositi riferibili al sub-sintema di Ravenna, più antichi dei precedenti e con una componente prevalente grossolana, presentano un comportamento moderatamente rigido (V_s prossima a 600 m/s);

- nell'ambito dei terreni riferibili al substrato terziario e alle relative coltri di copertura, i minori valori di velocità delle onde sismiche < 400 m/s connotano i litotipi del Complesso di Pietra Parcellara, con comportamento soffice;
- le coltri di copertura ed alterazione del substrato terziario in facies di Flysch presentano un comportamento da moderatamente rigido ad alterato, con velocità delle onde sismiche di norma comprese tra 500 e 700 m/s; tra queste, solo le coperture del Membro di Monteventano si connotano per intervalli di velocità propri di terreni rigidi;
- il substrato terziario Flyschoidale, al quale è riferita la maggiore quantità di sismostrati oggetto di interpretazione, mostra comportamento da propriamente rigido (velocità superiori a 800 m/s) a moderatamente rigido o alterato (se si considera la dispersione delle misure, espressa mediante la deviazione standard).

Alle medesime conclusioni si perviene tramite l'analisi delle distribuzioni statistiche di velocità delle onde P, come evidenziato nelle tabelle seguenti.

Unità	Valore V_p (m/s)			Min	Max	Media-dev.st
	Numero	Media	Dev.st.			
a1b	2	1200	424	900	1500	776
a1d	4	1244	360	875	1600	884
a1g	10	1048	353	625	1500	695
a2b	2	1177	109	1100	1254	1068
a2d	8	1250	372	700	1750	878
a2g	25	1108	374	600	1700	733
a3	3	1257	435	914	1747	822
AES8	4	2119	335	1625	2350	1784
VLU1a-cop	3	1900	260	1600	2050	1640
VLU2	2	2775	106	2700	2850	2669
VLU2-cop	4	2088	131	1950	2200	1956
VLU3	29	2574	335	1935	3356	2239
VLU3-cop	32	1702	567	700	2400	1135

Tabella 4 – Sintesi dei dati acquisiti con le indagini sismiche, espressi in termini di velocità delle onde P.

Unità	Significato geologico	Mod. comportamento (riferito a med)	Mod. comportamento (riferito a med-ds)
a1b	Frana attiva, scivolamento	sciolto e soffice	sciolto e soffice
a1d	Frana attiva, colamento	sciolto e soffice	sciolto e soffice
a1g	Frana attiva, complessa	sciolto e soffice	sciolto e soffice
a2b	Frana quiescente, scivolamento	sciolto e soffice	sciolto e soffice
a2d	Frana quiescente, colamento	sciolto e soffice	sciolto e soffice
a2g	Frana quiescente, complessa	sciolto e soffice	sciolto e soffice
a3	Deposito di versante s.l.	sciolto e soffice	sciolto e soffice
AES8	Sub-sintema di Ravenna	rigido	moderatamente rigido o alterato
VLU1a-cop	Copertura Val Luretta facies arenaceo-pelitica	moderatamente rigido o alterato	moderatamente rigido o alterato
VLU2	Val Luretta - membro di Monteventano	rigido	rigido
VLU2-cop	Copertura Val Luretta - membro di Monteventano	rigido	moderatamente rigido o alterato
VLU3	Val Luretta - membro di Genepreto	rigido	rigido
VLU3-cop	Copertura Val Luretta - membro di Genepreto	moderatamente rigido o alterato	sciolto e soffice

Tabella 5 – Modello di comportamento dei terreni, riferito ai valori medi e alla differenza (media-dev.standard)

È stata quindi stimata la velocità V_{sH} equivalente, in accordo alla formula

$$V_{sH} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N h_i / V_{s_i}}$$

in cui

- V_{sH} = velocità equivalente delle onde di taglio per lo spessore considerato del deposito di copertura
- N = numero di strati del profilo sismico corrispondenti alla copertura,
- H = spessore totale (in m) dei terreni di copertura o profondità del tetto del substrato rigido
- h_i = spessore (in m) dello strato i-esimo (fino al substrato rigido),
- V_{s_i} = velocità (in m/s) dello strato i-esimo (fino al substrato rigido);

Ricavando contestualmente la categoria di sottosuolo ai sensi delle NTC 2018.

Si riporta inoltre la stima delle V_{s30} ottenuta tramite la campagna di indagini MASW del 2017.

Codice	Vseq	Cat.
	m/s	
MASW01-P1	327	C
MASW01-S1	419	B
MASW04	319	C
MASW05	345	C
MASW07	374	B
MASW08	402	B
MASW08bis	399	B
MASW09	302	C
MASW10	341	C
MASW11	422	B

Tabella 6 – Risultati delle prove MASW.

Errore. Il collegamento non è valido. Tabella 7 – Risultati delle prove geofisiche rapportati alle unità litologiche.

Sono inoltre disponibili i risultati di n. 4 prove HVSR realizzate dalla Ditta CAM Perforazioni. Il metodo dei rapporti spettrali ("metodo di Nakamura" o metodo HVSR da Horizontal to Vertical Spectral Ratios o semplicemente H/V) è basato sullo studio dei valori medi del rapporto di ampiezza fra le componenti spettrali del rumore sismico misurate sul piano orizzontale e verticale. In particolare, oggetto di analisi è la cosiddetta "funzione H/V" che rappresenta i rapporti spettrali medi in funzione della frequenza di vibrazione. L'idea di base è quella secondo cui il rapporto H/V consente in media di eliminare il ruolo delle variazioni di intensità delle sorgenti nel corso della registrazione mettendo in evidenza il ruolo della struttura.

Si osserva anche una certa correlazione (fortemente non lineare) fra l'entità della variazione di velocità responsabile dei fenomeni di risonanza e l'ampiezza del massimo della funzione H/V (maggiore è il contrasto di impedenza sismica, maggiore è l'entità del massimo). Perché la misura di rumore sia utilizzabile per l'applicazione della tecnica H/V a fini geognostici è necessario che:

- la sensibilità dell'apparato di misura nel campo delle frequenze di interesse (solitamente 0.5-10 Hz) sia adeguata alla bassa entità del segnale;
- venga garantito un campionamento statisticamente rappresentativo del campo medio di rumore;
- la misura sia effettuata in presenza di un campo di rumore diffuso.

Di seguito sono riportate le Frequenze fondamentali di risonanza e relativa Ampiezza (F_0 ed A_0), ed eventualmente le Frequenze secondarie e relativa Ampiezza (F_1 ed A_1) delle indagini eseguite, nell'intervallo di campionamento d'interesse ingegneristico tra 0 Hz e 20 Hz ed Ampiezza superiore a 1, ricordando che la frequenza di risonanza fondamentale è quella relativa alla frequenza più bassa.

Indagine n.	F_0	A_0	F_1	A_1
HVSR1	3.65 ± 0.28 Hz	2.40	-	-
HVSR2	4.40 ± 0.37 Hz	2.20	-	-
HVSR3	3.35 ± 0.30 Hz	2.43	-	-
HVSR4	5.30 ± 0.27 Hz	2.30	-	-

Tabella 8 – Risultati delle prove HVSR.

9 PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

In termini di pericolosità sismica di base, riferendosi alle Mappe interattive di PS dell'INGV – Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, per la zona compresa di Rivergaro e Travo è possibile dedurre valori di accelerazione sismica su suolo rigido con probabilità di superamento del 10% in 50 anni compresi tra 0.100-0.125 g

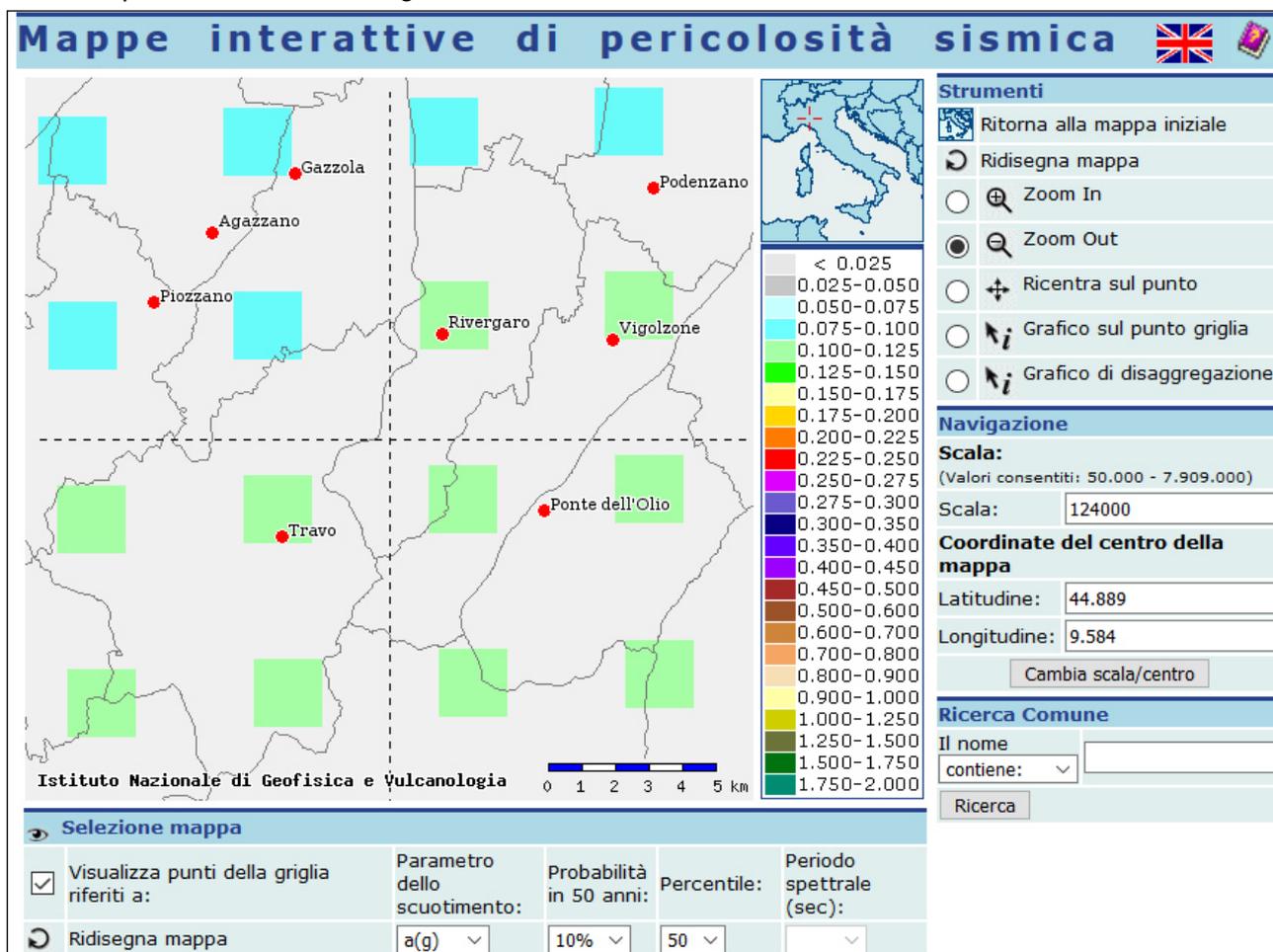


Figura 18 – Estratto della Mappa interattiva di pericolosità sismica (fonte: INGV)

La pericolosità sismica di un sito è descritta dalla probabilità che, in un fissato lasso di tempo, in detto sito si verifichi un evento sismico di entità almeno pari ad un valore prefissato. Nelle NTC, tale lasso di tempo, espresso in anni, è denominato “periodo di riferimento” VR e la probabilità è denominata “probabilità di eccedenza o di superamento nel periodo di riferimento” PVR . Le tabelle dei parametri che definiscono l’azione sismica specifica nei vari siti sono contenute nell’Allegato B al D.M. 17/01/2018 *Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni*.

Stati limite		PVr: Probabilità di superamento nel periodo di riferimento Vr
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

Tabella 9 – Stati limite e P_{Vr}.

dove:

- SLO: Stato limite di operatività
- SLD: Stato limite di danno
- SLV: Stato limite di salvaguardia della vita
- SLC: Stato limite ultimo di prevenzione del collasso

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 termini di pericolosità sismica di base, riferendosi alle Mappe interattive di PS dell'INGV – Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, è possibile dedurre per la zona di Rivergaro e Travo valori di accelerazione sismica su suolo rigido con probabilità di superamento del 10% in 50 anni compresi tra 0.100 e 0.125 g.

Nelle tabelle 10 e 11 sono indicati i valori dei parametri a_g , F_o , T_c^* per il periodo di ritorno T_R associato e il relativo stato limite, ricavati mediante il software Spettri del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

Nella tabella 12 sono indicati i valori di accelerazione ridefiniti a scala locale dalla Regione Emilia-Romagna

T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_c^* [s]
30	0.035	2.525	0.209
50	0.043	2.537	0.233
72	0.050	2.528	0.247
101	0.056	2.549	0.259
140	0.064	2.550	0.269
201	0.074	2.537	0.275
475	0.101	2.522	0.288
975	0.131	2.487	0.295
2475	0.177	2.496	0.300

Tabella 10 – Comune di Rivergaro. Parametri a_g , F_o e T_c^* riferiti ai diversi stati limite.

T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_c^* [s]
30	0.035	2.522	0.209
50	0.043	2.527	0.233
72	0.051	2.528	0.246
101	0.057	2.550	0.259
140	0.065	2.547	0.268
201	0.075	2.539	0.274
475	0.102	2.517	0.288
975	0.132	2.484	0.294
2475	0.178	2.493	0.300

Tabella 11 – Comune di Travo. Parametri a_g , F_o e T_c^* riferiti ai diversi stati limite.

Valore di a_g per T_R 475 anni			
Comune	Elaborazione con foglio di calcolo Spettri NTC	Allegato 4 alla Delibera Giunta Regionale n. 630 del 29 aprile 2019	Abachi per la valutazione dei fattori di amplificazione per le indagini di microzonazione sismica di secondo livello in Emilia-Romagna (IDPA, 2015)
Rivergaro	0.101	0.101	0.1005
Travo	0.102	0.1017	0.102

Tabella 12 – Confronto tra i valori di a_g (g) calcolati dal C.S.L.L. e la Regione Emilia-Romagna.

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, sono stabilite a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione: questa 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 (categoria di sottosuolo **A**), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_c(T)$, con riferimento a prefissate possibilità di eccedenza P_{vr} nel periodo di riferimento V_R (“Vita di riferimento”).

L’opera in progetto ricade nel tipo 2 e nella classe d’uso IV.

TIPI DI COSTRUZIONE		Vita Nominale V_N (in anni)
1	Opere provvisorie – Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva ¹	≤ 10
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	≥ 50
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	≥ 100

Tabella 13 – Tipi di costruzione e relativa vita nominale.

<p><i>Classe I:</i> Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.</p> <p><i>Classe II:</i> 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.</p> <p><i>Classe III:</i> 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.</p> <p><i>Classe IV:</i> 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 D.M. 5 novembre 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.</p>

Tabella 14 – Classi d’uso delle costruzioni.

Il periodo o vita di riferimento V_R è dato dal prodotto della vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_U :

$$V_R = V_N * C_U$$

dove:

- V_R = Vita di riferimento,
- V_N = Vita Nominale
- C_U = Coefficiente d'uso

Il coefficiente d'uso, per la classe IV è pari a 2 e pertanto:

$$V_R = 50 * 2 = 100$$

STATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_c^* [s]
SLO	60	0.046	2.532	0.240
SLD	101	0.056	2.549	0.259
SLV	949	0.129	2.488	0.294
SLC	1950	0.164	2.493	0.298

Tabella 15 – Comune di Rivergaro. Parametri a_g , F_o e T_c^* riferiti ai diversi stati limite riferiti all'opera in progetto.

STATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_c^* [s]
SLO	60	0.047	2.528	0.239
SLD	101	0.057	2.550	0.259
SLV	949	0.131	2.485	0.294
SLC	1950	0.165	2.491	0.299

Tabella 16 – Comune di Travo. Parametri a_g , F_o e T_c^* riferiti ai diversi stati limite riferiti all'opera in progetto.

A fini cautelativi, verrà preso a riferimento il valore più elevato di a_g (g) pari a 0,131 e relativo allo SLV del Comune di Travo.

10 ACCELERAZIONE MASSIMA ATTESA AL SITO

Fatta salva la necessità della caratterizzazione geotecnica dei terreni nel volume significativo, ai fini della identificazione della categoria di sottosuolo, la classificazione si effettua in base ai valori della velocità equivalente V_{seq} di propagazione delle onde di taglio.

Per le fondazioni superficiali, tale profondità è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

Per le categorie di sottosuolo **A, B, C, D, E** le azioni sismiche sono definite al § 3.2.II del D.M. 17/01/2018.

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 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.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.</i>
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</i>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.</i>
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.</i>

Figura 19 – Categorie di sottosuolo individuate nel D.M. 17/01/2018.

La variazione del coefficiente di amplificazione stratigrafica S_s in funzione della pericolosità sismica di base del sito (ovvero del prodotto $F_0 a_g$) è illustrata nel diagramma che segue per le cinque categorie di sottosuolo:

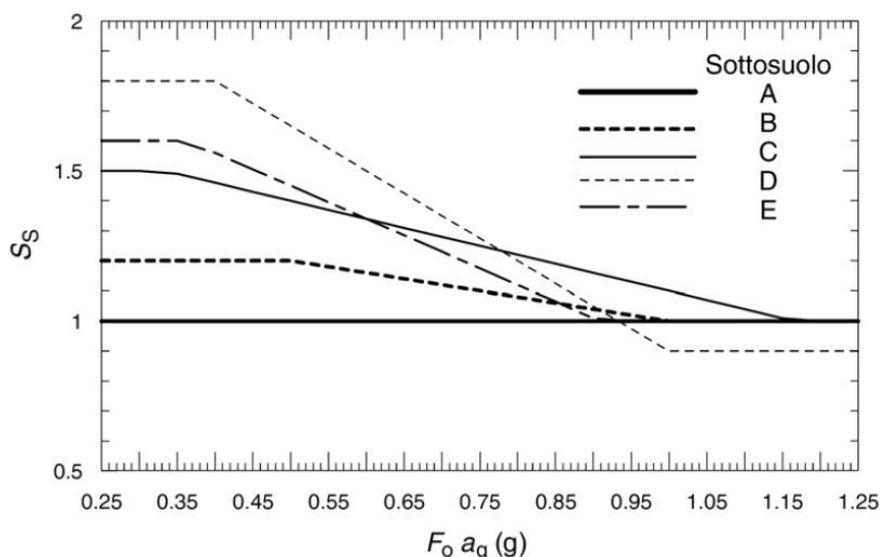


Figura 20 – Variazione del coefficiente di amplificazione stratigrafica S_s in funzione della pericolosità sismica di base del sito (ovvero del prodotto $F_0 a_g$)

A parità di categoria di sottosuolo, l'andamento di S_s con $F_0 \cdot a_g$ è caratterizzato da due tratti orizzontali, rispettivamente per bassi ed elevati valori di pericolosità sismica; tali tratti sono raccordati da un segmento di retta che descrive il decremento lineare di S_s con $F_0 \cdot a_g$. A parità di pericolosità del sito ($F_0 \cdot a_g$), i valori di S_s si incrementano al decrescere della rigidità del sottosuolo, passando dal sottosuolo di categoria A al sottosuolo di categoria E. In particolare, per $F_0 \cdot a_g < 0.78g$, il sottosuolo di categoria D mostra amplificazioni maggiori delle altre categorie di sottosuolo, mentre, per $0.78g \leq F_0 \cdot a_g < 1.17g$ i fenomeni di amplificazione sono più marcati per il sottosuolo di categoria C. Per elevati livelli di pericolosità sismica del sito, caratterizzati da valori del prodotto $F_0 \cdot a_g > 0.93g$, le accelerazioni massime su sottosuolo di categoria D sono inferiori a quelle su sottosuolo di categoria A, si verifica quindi una deamplificazione del moto in termini di accelerazione massima e quindi l'amplificazione stratigrafica diminuisce all'aumentare dell'azione sismica (Commissione Interregionale Ordine dei Geologi, 2011).

Per queste cinque categorie di sottosuolo, le azioni sismiche sono definibili come descritto al § 3.2.3 delle NTC 2018 mentre, per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche. Nel caso specifico del tracciato in progetto, tutte le indagini sismiche realizzate conducono all'individuazione di categorie di sottosuolo **B** e localmente **C**.

Per sottosuolo di categoria A i coefficienti S_s e C_c valgono 1. Per le categorie di sottosuolo B e C i coefficienti S_s e C_c possono essere calcolati, in funzione dei valori di F_0 e T^*c relativi al sottosuolo di categoria A, mediante le espressioni fornite nella Tab. 3.2.IV delle NTC 2018, nelle quali $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ è l'accelerazione di gravità e T^*c è espresso in secondi.

Tab. 3.2.IV – Espressioni di S_s e di C_c

Categoria sottosuolo	S_s	C_c
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_c^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_c^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_c^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_c^*)^{-0,40}$

Tabella 17 – espressioni di S_s e C_c .

In merito agli effetti di amplificazione imputabili alla topografia, per configurazioni superficiali semplici come quelle osservate lungo il tracciato in progetto si può ricorrere alla tabella seguente e si ricade pertanto nelle categorie **T1** e localmente **T2**.

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

Tabella 18 – Categorie caratteristiche della superficie topografica.

11 STABILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE

L'entità delle deformazioni che subisce il terreno dipende dal grado di addensamento. Se la sabbia è sciolta la pressione dei pori aumenterà molto velocemente, se la sabbia è densa le deformazioni avvengono più lentamente e sono associate ad un aumento di volume (dilatanza). Per effetto della dilatazione la pressione interstiziale subisce una caduta ed il terreno riesce a sviluppare una resistenza al taglio sufficiente a sostenere le sollecitazioni indotte dai carichi ciclici. A tale proposito Casagrande afferma che sabbie sciolte con densità relative minori del 40% possono essere soggette a liquefazioni; nelle sabbie fortemente dilatanti, con densità relative maggiori del 70 % è invece normalmente impossibile che le pressioni neutre raggiungano quelle di confinamento, per cui si possono attendere solo assestamenti di lieve entità. La Commissione Interregionale Ordine dei Geologi (2011) evidenzia che, al di là dei risultati della verifica, occorre valutare le conseguenze della eventuale liquefazione degli strati sabbiosi tenendo sempre presente che:

- lo strato liquefacibile deve avere spessore maggiore di 3 m oppure due contorni impermeabili;
- la liquefazione può avere effetti sulle fondazioni superficiali solo se lo strato superficiale non soggetto a liquefazione è più sottile di 3 m.

Secondo il D.M. 17/01/2018 la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1 g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna suborizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata* $(N1)_{60} > 30$ oppure $qc_{1N} > 180$ dove $(N1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e qc_{1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 7.11.1(a) delle NTC nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ ed in Figura 7.11.1(b) delle NTC nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$

Quando nessuna delle condizioni precedenti risulti soddisfatta ed il terreno di fondazione comprenda strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda (in genere vanno considerati livelli con spessore superiore a 3 m), occorre valutare il coefficiente di sicurezza alla liquefazione alle profondità in cui sono presenti i terreni potenzialmente liquefacibili.

In considerazione dei bassi valori di ag attesi, delle velocità delle onde di taglio nei sedimenti superficiali, della composizione granulometrica dei terreni desunta dalle analisi di laboratorio effettuate su numerosi campioni e caratterizzata da importante frazione limoso-argillosa, nonché del comportamento generalmente coesivo degli stessi, sono in generale da ritenersi poco probabili fenomeni di liquefazione.

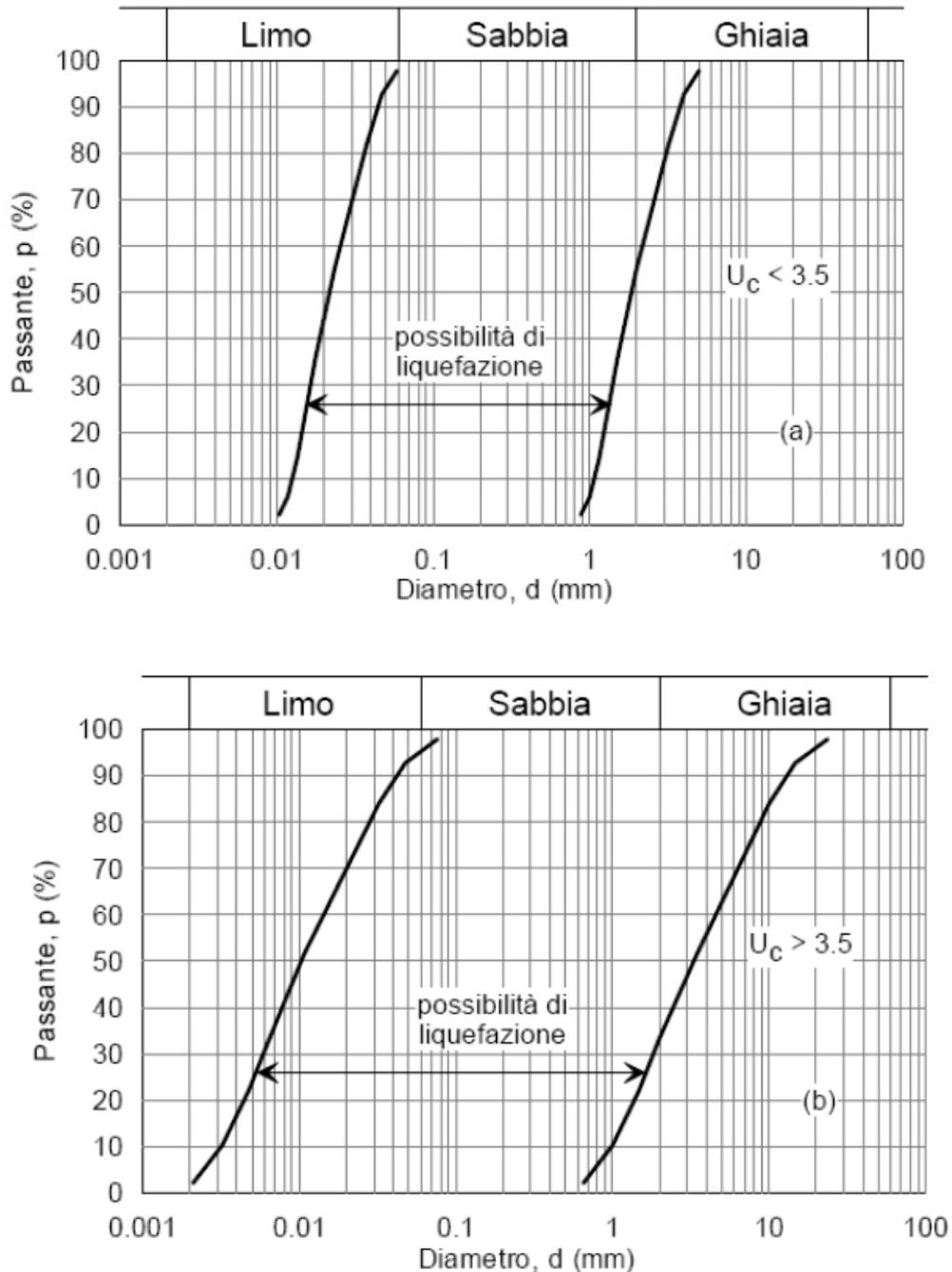


Figura 21 – Fusi granulometrici dei terreni suscettibili di liquefazione.

12 APPROFONDIMENTI NEI TRATTI INTERFERENTI CON AREE INSTABILI

Frana attiva presso Rivergaro, a Nord di Osteria Bellaria

Assetto geomorfologico e stratigrafico

Tale frana è definita complessa, e si caratterizza per la presenza di importanti rigonfiamenti alternati a depressioni e contropendenze, in un contesto a bassa acclività.



Figura 22 - Frana attiva presso Osteria Bellaria (Rivergaro)

Lo spessore massimo presunto dell'accumulo di frana nel tratto di intersezione con il tracciato è di circa 14 m, come risulta dalle stratigrafie e dalle indagini geofisiche.

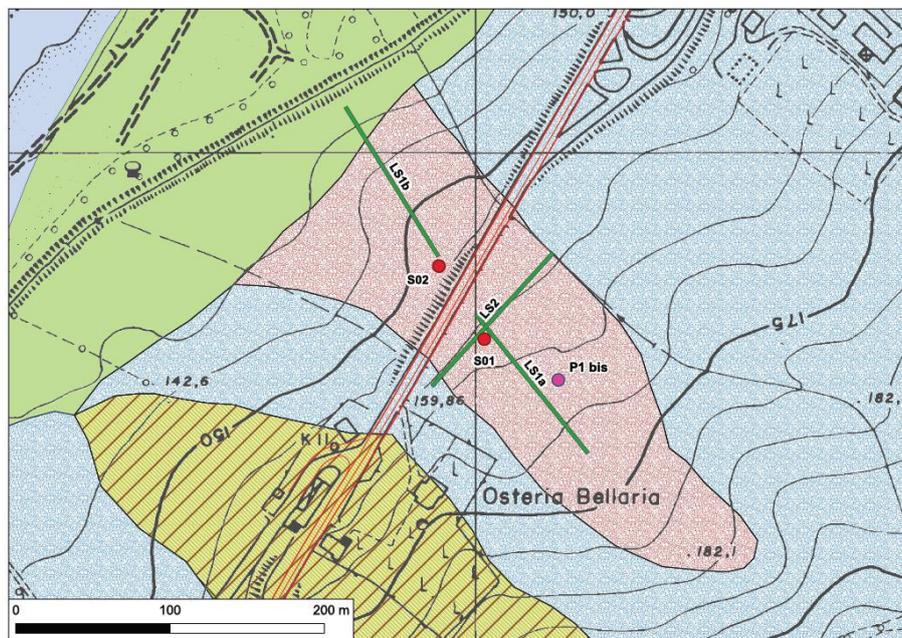


Figura 23 – Indagini realizzate in corrispondenza della frana.

Assetto sismostratigrafico e fattore di amplificazione (FA)

Come risulta dalle tomografie di sismica a rifrazione realizzata dalla TecnoCoin Geosolutions, sono stati individuati 3 sismostrati e, in particolare, dalla sezione Ls1b risulta che: "il primo sismostrato si attesta ad una quota media di circa 142 m s.l.m., è costituito da limo sabbioso argilloso. La velocità delle onde di taglio è compresa tra 200 e 300 m/s, mentre la velocità delle onde P è compresa tra 600 e 1.200 m/s.

Il secondo sismostrato si attesta ad una quota media di circa 133 m s.l.m., è costituito da argilla marnosa. La velocità delle onde di taglio è compresa tra 300 e 450 m/s, mentre la velocità delle onde P è compresa tra 900 e 1.500 m/s. In profondità, è presente un'argilla marnosa, caratterizzata da velocità delle onde elastiche superiori rispetto ai litotipi sovrastanti ovvero comprese tra 550 e 690 m/s per le onde di taglio, mentre la velocità delle onde P è compresa tra 1.400 e 1.700 m/s".

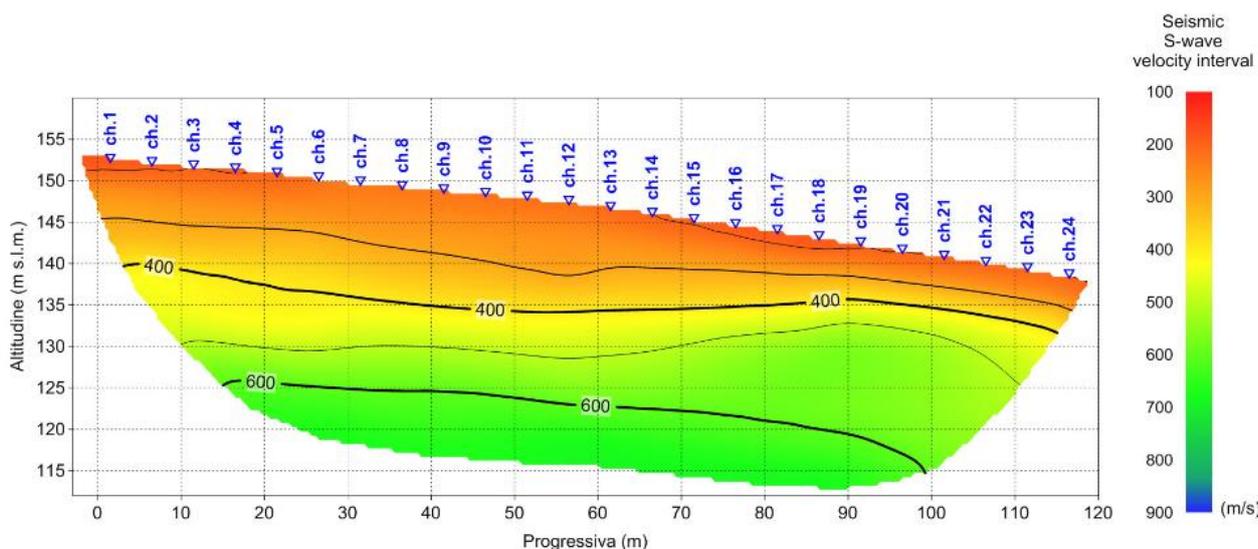


Figura 24 – Sezione sismica tomografica in onde s. Profilo LS1b.

La categoria di sottosuolo desunta dalle indagini geofisiche è la B, a cui è riferibile un coefficiente di amplificazione stratigrafica S_s massimo pari a 1,2. Tuttavia, a fini cautelativi si ritiene di applicare gli "Abachi per la valutazione dei fattori di amplificazione per le indagini di microzonazione sismica di secondo livello in Emilia-Romagna" contenuti nella Deliberazione della Giunta Regionale dell'Emilia-Romagna n. 630 del 29/04/2019.

Nel caso specifico si farà riferimento alle tabelle relative all'Appennino e con substrato marino caratterizzato da $v_s < 800$ m/s.

	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	2.3	2.0	1.6	1.5	1.4	1.3	1.3	1.2	1.2	
10	2.3	2.2	2.0	1.8	1.6	1.4	1.3	1.3	1.2	
15	2.2	2.2	2.1	2.0	1.8	1.6	1.4	1.3	1.2	
20	2.1	2.1	2.1	2.0	1.9	1.7	1.5	1.4	1.2	
25	2.1	2.1	2.1	2.0	1.9	1.8	1.6	1.4	1.3	
30		2.1	2.1	2.0	1.9	1.8	1.6	1.4	1.3	
35		2.1	2.1	2.0	1.9	1.8	1.6	1.5	1.4	1.2
40		2.0	2.0	2.0	1.9	1.8	1.6	1.5	1.4	1.2
50		1.9	1.9	1.9	1.9	1.8	1.6	1.5	1.4	1.2

Tabella 4: Substrato marino caratterizzato da $V_s < 800$ m/s. Fattori di Amplificazione PGA. Colonna 1 $H(m)$, riga 1 $V_{sH}(m/s)$

Tabella 19 – Fattori di Amplificazione PGA

Codice indagine	Vs Terreni copertura	H	FA PGA
LS1a	383	12	1.6-1.8
LS1b	330	14	1.8-2.0
LS02	363	5	1.3-1.4

Tabella 20 – Fattori di Amplificazione PGA per il sito specifico.

In conclusione, per il sito in oggetto si ritiene ampiamente cautelativo l'utilizzo di un coefficiente S_s pari a 1,6 in luogo di 1,2 come calcolato per la categoria di sottosuolo B.

Effetti topografici

In merito agli effetti topografici, stante la modestissima inclinazione del pendio ci si può riferire alla condizione T1.

Valutazione della possibilità di occorrenza della liquefazione

Le analisi granulometriche effettuate sui campioni prelevate nei fori di sondaggi S01 ed S02 indicano elevati contenuti in limo e argilla e le curve granulometriche non sono interamente contenute nei fusi granulometrici dei terreni suscettibili di liquefazione di cui al D.M. 17/01/2018.

Come specificato nell'Allegato 3 della Deliberazione della Giunta Regionale dell'Emilia-Romagna n. 630 del 29/04/2019, la probabilità che si manifestino fenomeni di liquefazione è bassa o nulla nel caso di terreni con caratteristiche ricadenti in una delle tre seguenti categorie:

- frazione di fine¹, FC¹, superiore al 20%, con indice di plasticità IP>10%;
- FC > 35% e resistenza $(N_1)_{60}>20$ oppure $q_{c1N}>95$ oppure $V_{S1}>200$ m/s;
- FC < 5% e resistenza $(N_1)_{60}>25$ oppure $q_{c1N}>160$ oppure $V_{S1}>220$ m/s.

$(N_1)_{60}$, q_{c1N} , V_{S1} sono i valori normalizzati dell'indice NSPT della Standard Penetration Test, della resistenza di punta q_c della prova CPT e della velocità di propagazione delle onde di taglio da prove geofisiche. In prima approssimazione tali valori possono essere calcolati con le seguenti equazioni:

$$(N_1)_{60} = N_{SPT} \cdot \left(\frac{p_a}{\sigma'_{v0}} \right)^{0.5}$$

$$q_{c1N} = q_c \cdot \left(\frac{p_a}{\sigma'_{v0}} \right)^{0.5}$$

$$V_{S1} = V_S \cdot \left(\frac{p_a}{\sigma'_{v0}} \right)^{0.25}$$

essendo p_a la pressione atmosferica e σ'_{v0} la pressione efficace litostatica verticale.

¹ La frazione fine FC è definita come la frazione passante al setaccio 200 ASTM (0.074 mm).

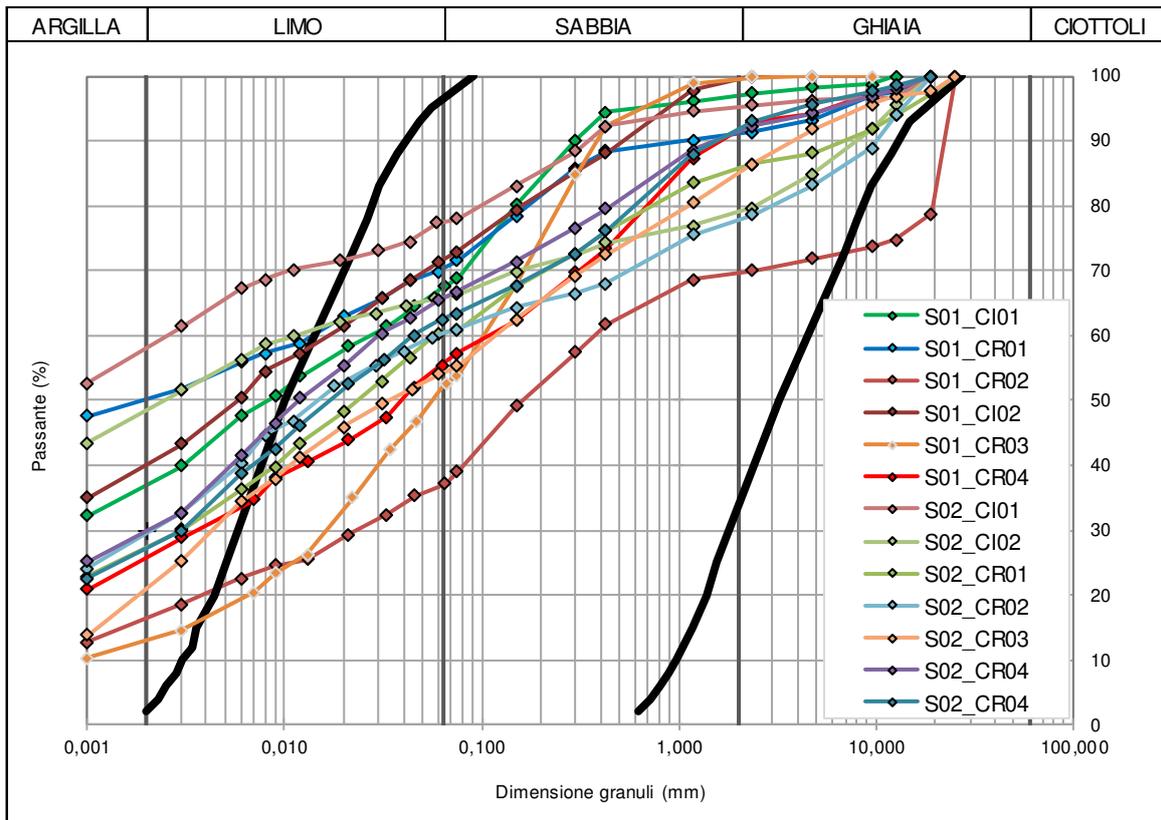


Figura 25 – Curve granulometriche e fuso ei terreni suscettibili di liquefazione per $U_c > 3,5$.

In merito alla velocità delle onde di taglio, nei terreni costituenti l'accumulo di frana, che mostrano un contenuto in frazione fine $FC > 35\%$, osserviamo valori di V_{s1} normalizzati superiori a 200 m/s e pertanto è possibile escludere fenomeni di liquefazione.

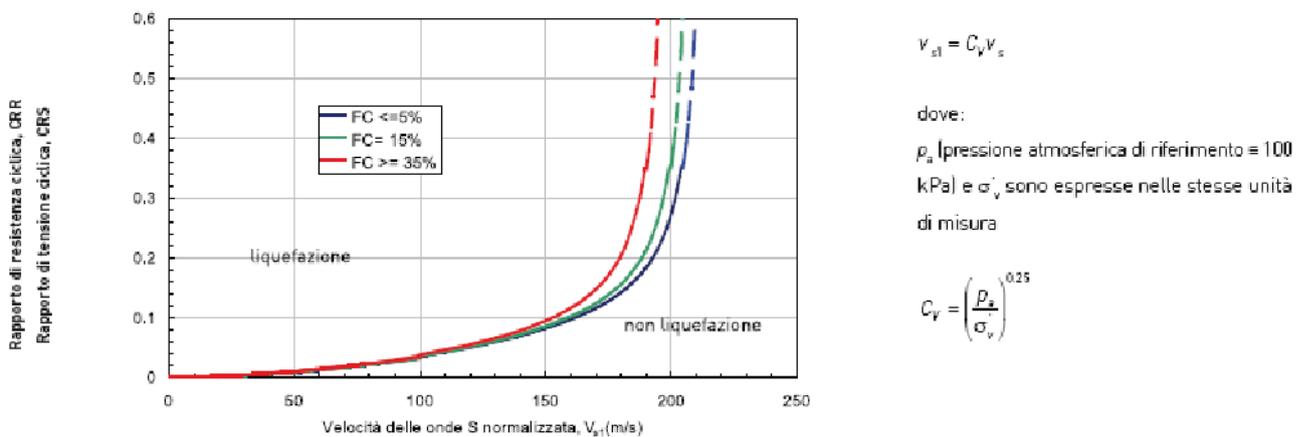


Figura 2.7-2 - Carte per la stima della resistenza normalizzata alla liquefazione CRR di un terreno sabbioso saturo in funzione della percentuale di fino FC e sulla base dei valori di N_{200} , q_c e V_s corretti.

Figura 26 – Carte per la stima della resistenza normalizzata alla liquefazione CRR di un terreno sabbioso saturo sulla base dai risultati di profili di Vs.

Frana attiva presso località Ca Ostino, a Nord di Cernusca

Descrizione assetto geomorfologico e stratigrafico

Tale fenomeno, riconducibile a una frana attiva per scivolamento, si colloca in corrispondenza del contatto tettonico tra il Complesso di Pietra Parcellara (CPP) e il Flysch della Val Luretta (VLU) ed è verosimilmente connessa alle particolari condizioni di fratturazione del substrato roccioso lungo la zona di sovrascorrimento.

Un ruolo non secondario è ascrivibile altresì alla circolazione idrica sotterranea, in quanto i litotipi del Complesso di Pietra Parcellara determinano un limite di permeabilità nei confronti del deflusso profondo nelle alternanze del Flysch.

Lo spessore massimo presunto dell'accumulo di frana nel tratto di intersezione con il tracciato è di circa 9 m, come risulta dalle indagini geofisiche.



Figura 27 - Frana attiva a Nord di Cernusca, sul versante a monte di Ca Ostino

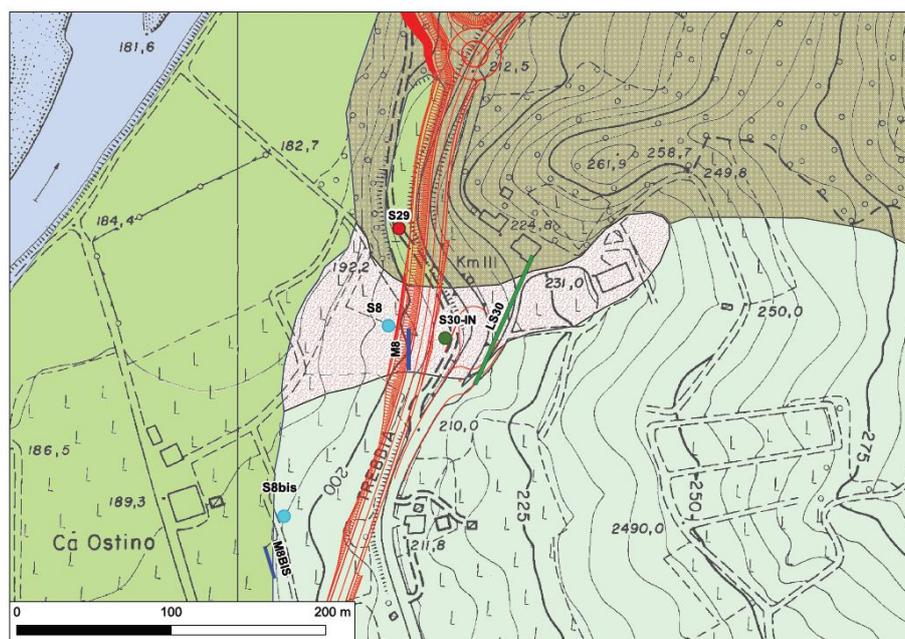


Figura 28 – Indagini realizzate in corrispondenza della frana.

Assetto sismostratigrafico e fattore di amplificazione (FA)

Sul corpo di frana è stato realizzato uno stendimento sismico a rifrazione dalla Tecnocoin Geosolutions, che ha permesso di delineare il seguente assetto sismostratigrafico: “le pseudosezioni elaborate per il profilo sismico LS30 hanno permesso di evidenziare quattro sismostrati. Il primo sismostrato si attesta ad una quota variabile compresa tra 218 e 210 m s.l.m., è costituito da limo sabbioso che passa ad argilla limosa. La velocità delle onde di taglio è compresa tra 200 e 400 m/s, mentre la velocità delle onde P è compresa tra 600 e 1.200 m/s. Il secondo sismostrato si attesta ad una quota variabile compresa tra 215 e 200 m s.l.m., è costituito da argilla limosa; presenta velocità delle onde di taglio comprese tra 400 e 600 m/s, mentre la velocità delle onde P è compresa tra 1.200 e 1.800 m/s. Il terzo sismostrato si attesta ad una quota variabile compresa tra 198 e 190 m s.l.m., è costituito da argilla limosa più consistente di quella sovrastante; presenta velocità delle onde di taglio comprese tra 600 ed 800 m/s, mentre la velocità delle onde P è compresa tra 1.800 e 2.600 m/s. In profondità, è presente una argilla marnosa, caratterizzata da velocità delle onde di taglio comprese tra 800 e sino a 950 m/s e velocità delle onde P comprese tra 2.600 e 2.800 m/s”.

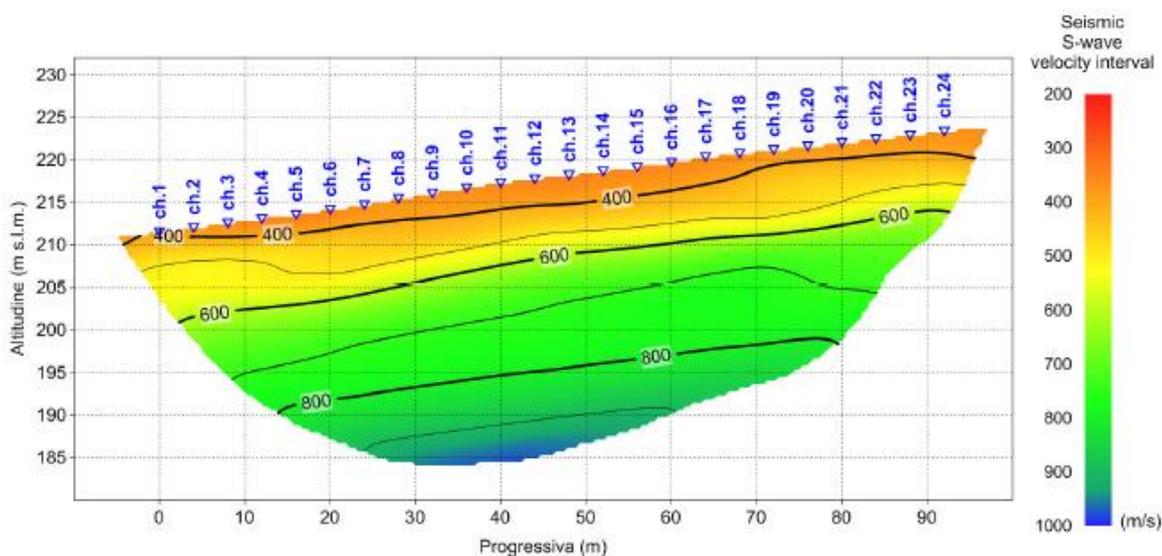


Fig. 2.188 – S.S. n° 45 di Val Trebbia. Pseudosezione sismica tomografica in onde S. Profilo LS30.

Figura 29 – Sezione sismica tomografica in onde s. Profilo LS30.

La categoria di sottosuolo desunta dalle indagini geofisiche è la B, a cui è riferibile un coefficiente di amplificazione stratigrafica S_s massimo pari a 1,2. Tuttavia, a fini cautelativi si ritiene di applicare gli “Abachi per la valutazione dei fattori di amplificazione per le indagini di microzonazione sismica di secondo livello in Emilia-Romagna” contenuti nella Deliberazione della Giunta Regionale dell’Emilia-Romagna n. 630 del 29/04/2019.

Nel caso specifico si farà riferimento alle tabelle relative all’Appennino e con substrato marino caratterizzato da $V_s > 800$ m/s.

	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	1.8	1.7	1.4	1.2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
10	2.0	2.0	1.9	1.7	1.5	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0
15	2.0	2.0	2.0	1.9	1.8	1.6	1.4	1.3	1.2	1.0
20	2.0	2.0	2.0	2.0	1.9	1.7	1.6	1.4	1.3	1.0
25	2.0	2.0	2.0	1.9	1.8	1.8	1.6	1.5	1.3	1.0
30		1.9	1.9	1.9	1.8	1.7	1.6	1.5	1.4	1.2
35		1.9	1.9	1.9	1.9	1.7	1.6	1.4	1.4	1.2
40		1.9	1.9	1.9	1.9	1.7	1.6	1.4	1.4	1.2
50		1.9	1.9	1.9	1.9	1.8	1.6	1.4	1.4	1.2

Tabella 1: Substrato marino caratterizzato da $V_s \geq 800m/s$. Fattori di Amplificazione PGA. Colonna 1 $H(m)$, riga 1 $V_{sH}(m/s)$

Tabella 21 – Fattori di Amplificazione PGA

Codice indagine	Vs Terreni copertura	H	FA PGA
LS30	580	15	1.2-1.3

Tabella 22 – Fattori di Amplificazione PGA per il sito specifico.

In conclusione, per il sito in oggetto si ritiene ampiamente cautelativo l'utilizzo di un coefficiente S_s pari a 1,3 in luogo di 1,2 come calcolato per la categoria di sottosuolo B.

Effetti topografici

In merito agli effetti topografici, stante la media inclinazione del pendio ci si può riferire alla condizione T1 o, più cautelativamente rispetto alle opere di sostegno in progetto, alla categoria T2.

Valutazione della possibilità di occorrenza della liquefazione

Le analisi granulometriche effettuate sui campioni prelevate nei fori di sondaggi S08 ed S30 indicano elevati contenuti in limo e argilla e le curve granulometriche non sono interamente contenute nei fusi granulometrici dei terreni suscettibili di liquefazione di cui al D.M. 17/01/2018.

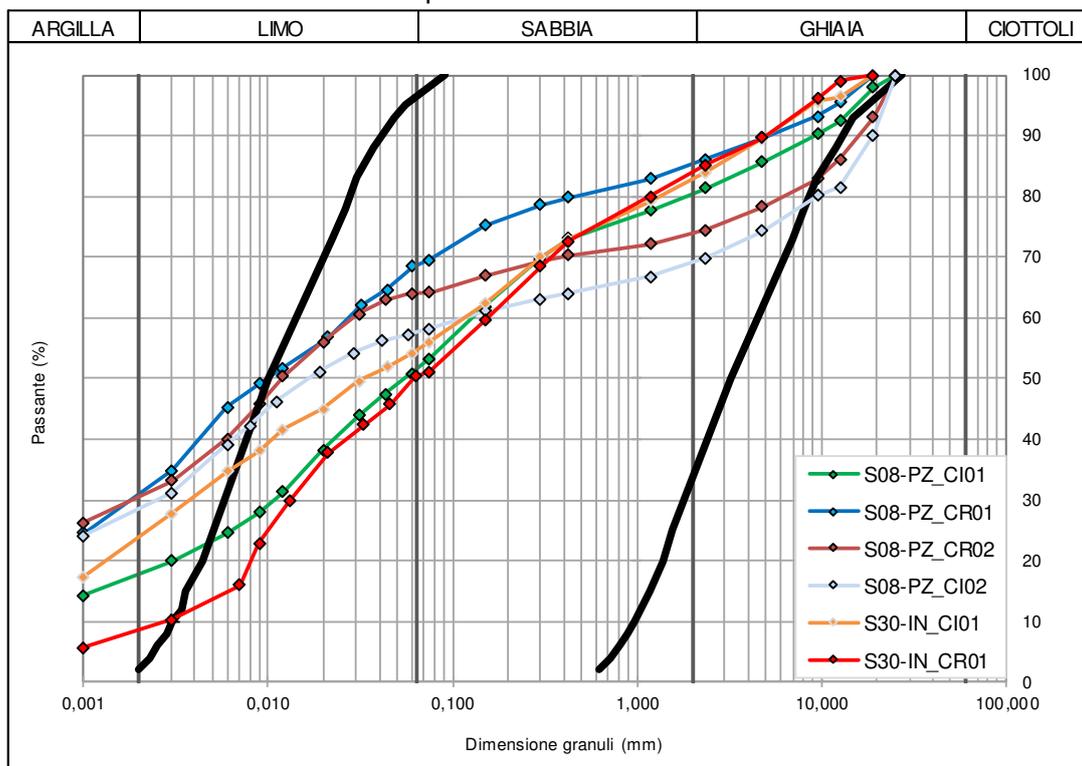


Figura 30 – Curve granulometriche e fuso ei terreni suscettibili di liquefazione per $U_c > 3,5$.

Come specificato nell'Allegato 3 della Deliberazione della Giunta Regionale dell'Emilia-Romagna n. 630 del 29/04/2019, la probabilità che si manifestino fenomeni di liquefazione è bassa o nulla nel caso di terreni con caratteristiche ricadenti in una delle tre seguenti categorie:

- frazione di fine¹, FC^2 , superiore al 20%, con indice di plasticità $IP > 10\%$;
- $FC > 35\%$ e resistenza $(N1)_{60} > 20$ oppure $qc_{1N} > 95$ oppure $V_{S1} > 200$ m/s;
- $FC < 5\%$ e resistenza $(N1)_{60} > 25$ oppure $qc_{1N} > 160$ oppure $V_{S1} > 220$ m/s.

$(N1)_{60}$, qc_{1N} , V_{S1} sono i valori normalizzati dell'indice NSPT della Standard Penetration Test, della resistenza di punta qc della prova CPT e della velocità di propagazione delle onde di taglio da prove geofisiche. In merito alla velocità delle onde di taglio, nei terreni costituenti l'accumulo di frana, che mostrano un contenuto in frazione fine $FC > 50\%$, osserviamo valori di V_{S1} normalizzati superiori a 200 m/s e pertanto è possibile escludere fenomeni di liquefazione.

² La frazione fine FC è definita come la frazione passante al setaccio 200 ASTM (0.074 mm).

Frana attiva presso località Ca' Teresa, a Sud di Quadrelli

Assetto geomorfologico e stratigrafico

Trattasi di una frana attiva per colamento che si inserisce in un contesto già sede in passato di fenomeni analoghi, identificati in un'area anche più vasta con carattere "quiescente", ed è alimentata e connessa con fenomeni di colamento in corrispondenza di piccoli impluvi.

In un contesto di evidenza morfologica bassa, è ancora osservabile un quadro deformativo lungo la carreggiata per avvallamenti; sono presenti gabbionate.



Figura 31 - Frana attiva presso località Ca' Teresa, Quadrelli

Lo spessore massimo presunto dell'accumulo di frana nel tratto di intersezione con il tracciato è di circa 14 m, come risulta dal sondaggio S25, mentre lo spessore massimo nel settore a monte della sede viaria raggiunge almeno 19 m, come risulta dalle indagini geofisiche.

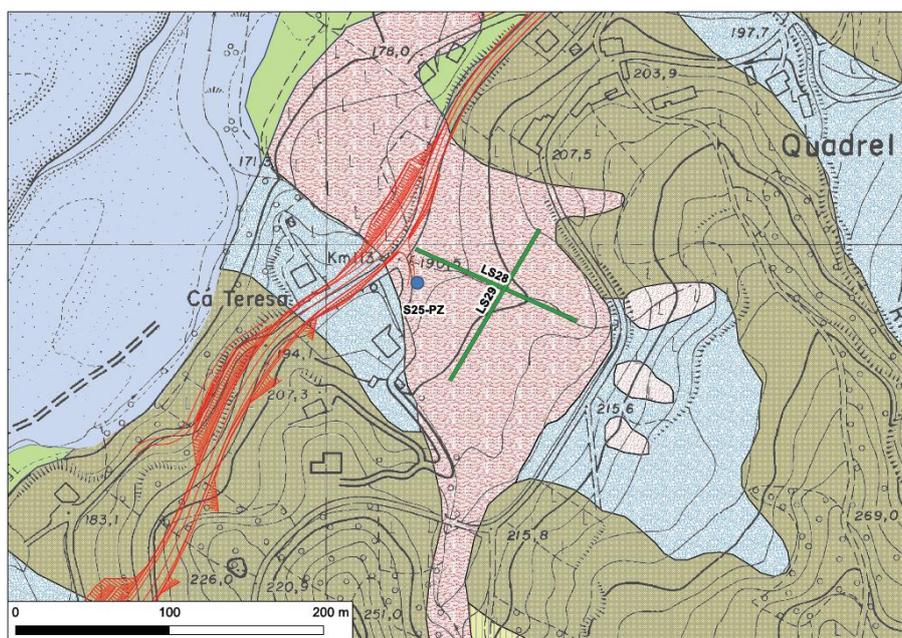


Figura 32 – Indagini realizzate in corrispondenza della frana.

Assetto sismostratigrafico e fattore di amplificazione (FA)

Sul corpo di frana sono stati realizzati due stendimenti sismici a rifrazione dalla Tecnocoin Geosolutions, di cui quello maggiormente rappresentativo (LS28) ha permesso di delineare il seguente assetto sismostratigrafico: “il primo sismostrato si attesta ad una quota variabile tra 195 e 190 m s.l.m., è costituito da limo sabbioso argilloso. La velocità delle onde di taglio è compresa tra 200 e 400 m/s, mentre la velocità delle onde P è compresa tra 550 e 1.200 m/s. Il secondo sismostrato, che si attesta ad una quota variabile tra 180 e circa 172 m s.l.m., è costituito da argilla sabbiosa. Presenta velocità delle onde di taglio comprese tra 400 e 600 m/s, mentre la velocità delle onde P è compresa tra 1.200 e 1.800 m/s. In profondità, è presente una argilla sabbiosa che passa ad argilla marnosa, caratterizzata da velocità delle onde di taglio comprese tra 600 e 820 m/s e velocità delle onde P comprese tra 1.600 e 2.200 m/s”.

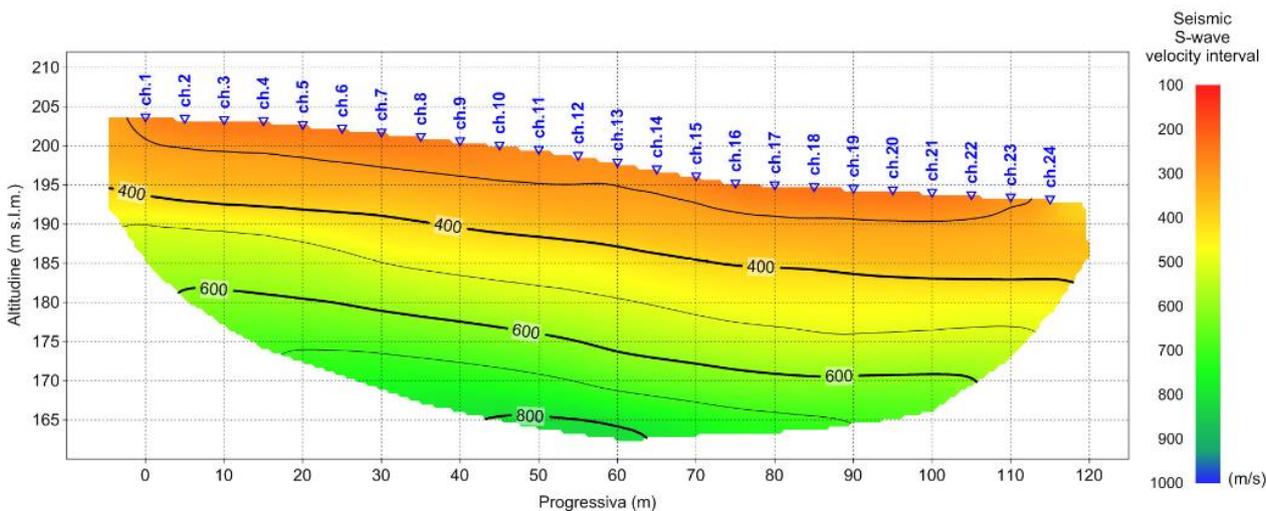


Figura 33 – Sezione sismica tomografica in onde s. Profilo LS28.

Effetti topografici

In merito agli effetti topografici, stante la media inclinazione del pendio ci si può riferire alla condizione T1 o, più cautelativamente rispetto alle opere di sostegno in progetto, alla categoria T2.

Valutazione della possibilità di occorrenza della liquefazione

Le analisi granulometriche effettuate sui campioni prelevate nel foro di sondaggio S25 indicano elevati contenuti in limo e argilla e le curve granulometriche non sono interamente contenute nei fusi granulometrici dei terreni suscettibili di liquefazione di cui al D.M. 17/01/2018.

Come specificato nell’Allegato 3 della Deliberazione della Giunta Regionale dell’Emilia-Romagna n. 630 del 29/04/2019, la probabilità che si manifestino fenomeni di liquefazione è bassa o nulla nel caso di terreni con caratteristiche ricadenti in una delle tre seguenti categorie:

- frazione di fine¹, FC³, superiore al 20%, con indice di plasticità IP>10%;
- FC > 35% e resistenza (N₁)₆₀>20 oppure qc_{1N}>95 oppure V_{S1}>200 m/s;
- FC < 5% e resistenza (N₁)₆₀>25 oppure qc_{1N}>160 oppure V_{S1}>220 m/s.

³ La frazione fine FC è definita come la frazione passante al setaccio 200 ASTM (0.074 mm).

$(N1)_{60}$, $qc1N$, V_{s1} sono i valori normalizzati dell'indice NSPT della Standard Penetration Test, della resistenza di punta qc della prova CPT e della velocità di propagazione delle onde di taglio da prove geofisiche. In merito alla velocità delle onde di taglio, nei terreni costituenti l'accumulo di frana, che mostrano un contenuto in frazione fine $FC > 50\%$, osserviamo valori di V_{s1} normalizzati superiori a 200 m/s e pertanto è possibile escludere fenomeni di liquefazione.

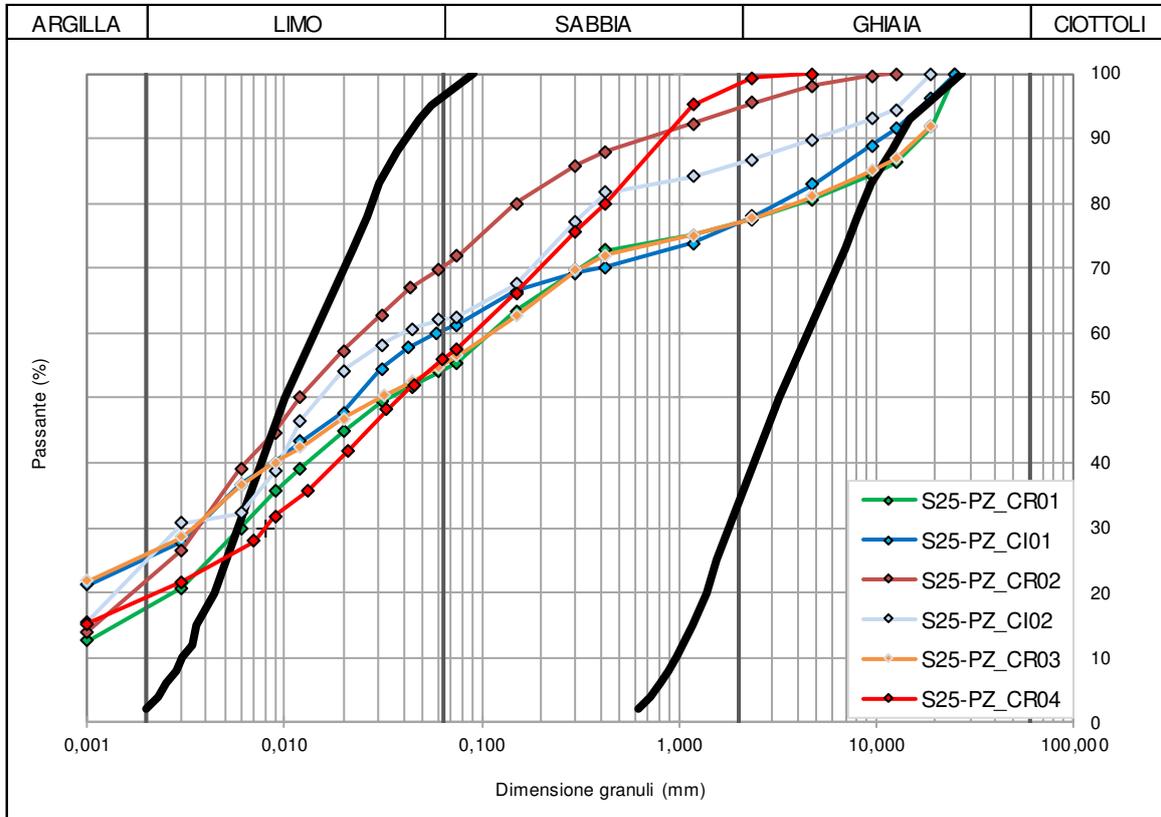


Figura 34 – Curve granulometriche e fuso ei terreni suscettibili di liquefazione per $U_c > 3,5$.

Frana attiva presso Fabbiano

Assetto geomorfologico e stratigrafico

Anche tale frana è definita "complessa" e la sua riconoscibilità sul terreno è anche legata alle frequenti ricariche stradali, alla deformazione per ribassamento della banchina lato valle, alla presenza di opere flessibili a sostegno della scarpata di monte e di opere di drenaggio delle acque.



Figura 35 - Frana attiva presso Fabbiano

La documentazione dell'Archivio Storico delle Frane dell'Emilia - Romagna riporta quanto segue.

Data: 07/03/1963 [breve periodo certo (1-7gg)]

Descrizione: un tratto della statale 45 presso Fabbiano di Rivergaro è sottoposto a continua pressione da parte di masse di terreno e di sacche d'acqua che lo spingono verso il greto con movimento lento ma richiede assidua sorveglianza e ripetuti riempimenti per mezzo di carichi di ghiaia. La frana in quel punto non è nuova; già ripetute volte si era mossa in concomitanza con piogge insistenti o periodi di disgelo. Anche il livello stradale si è molto abbassato per una lunghezza di circa 30 metri. Un muricciolo che sorgeva su un tombino è stato portato a valle per circa 5 metri e sta lentamente scomparendo nel fango. Gli operai dell'ANAS diretti dal cantoniere continuano a "caricare" la strada nei punti in cui si manifesta più veloce l'abbassamento; vengono richiuse le crepe mentre il traffico viene regolato da appositi segnali di prudenza e di deviazione parziale. La scorsa notte le buche e gli abbassamenti si sono prodotti in misura superiore dato il progredire dello scioglimento delle nevi. A monte della strada si notano rigonfiamenti di terreno coltivato ed è presumibile che si siano formate anche imponenti sacche d'acqua che gravano con peso enorme spingendo sempre più in basso la strada ed i cumuli di ghiaia che vengono continuamente scaricati per mantenere libero il transito. Date le condizioni meteorologiche e la quantità di neve ancora presente sul terreno, si prevede un ulteriore aggravamento della situazione nelle prossime ore. Si pensa anzi che solo un complesso intervento che liberi le sacche di acqua verso il greto del Trebbia possa arrestare la frana che potrà in seguito essere eliminata mediante opere di profondità [Localizzazione: Verificata da documentazione tecnica]

Dimensioni del fenomeno: larghezza circa 30 m

Cause innesco: fusione manto nevoso

Concomitante alle intense e prolungate precipitazioni che hanno caratterizzato la seconda metà del mese di novembre 2019, si è verificata una ripresa di movimento lungo la parte settentrionale, coinvolgente un colamento di terra fluidificata anche per mancanza di adeguata regimentazione delle acque provenienti dalle superfici agricole sovrastanti. Nel corso dei sopralluoghi è risultato in fase di rifacimento e prolungamento una gabbionata a più file.



Figura 36 – Evoluzione recente (novembre 2019) della frana attiva presso Fabbiano e nuove sistemazioni

Lo spessore massimo presunto dell'accumulo di frana nel tratto di intersezione con il tracciato è di circa 16 m, come risulta dalle indagini geofisiche.

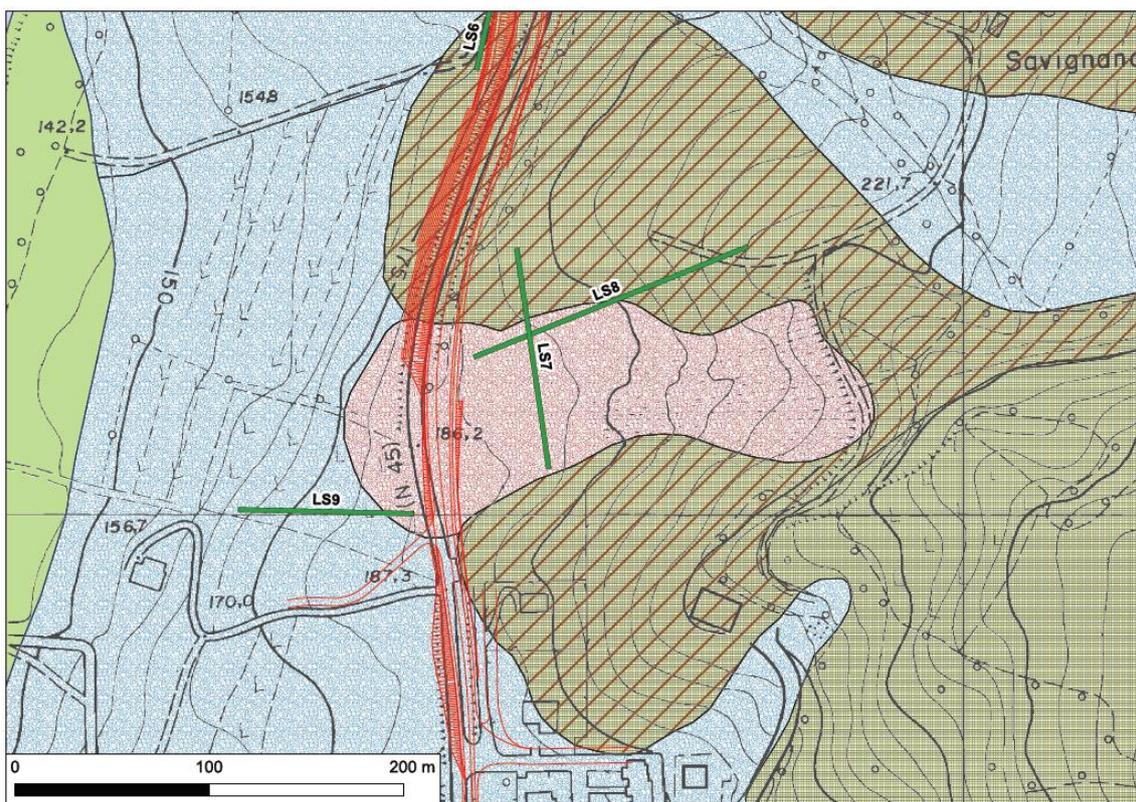


Figura 37 - Indagini realizzate in corrispondenza della frana.

Assetto sismostratigrafico e fattore di amplificazione (FA)

Sul corpo di frana sono stati realizzati tre stendimenti sismici a rifrazione dalla Tecnocoin Geosolutions, di cui quello maggiormente rappresentativo (LS07) ha permesso di delineare il seguente assetto sismostratigrafico: “il primo sismostrato si attesta ad una quota media di circa 188 m s.l.m., è costituito da limo sabbioso argilloso. La velocità delle onde di taglio è compresa tra 180 e 300 m/s, mentre la velocità delle onde P è compresa tra 550 e 700 m/s. Il secondo sismostrato si attesta ad una quota media di circa 182 m s.l.m., è costituito da argilla limosa. La velocità delle onde di taglio è compresa tra 300 e 600 m/s, mentre la velocità delle onde P è compresa tra 700 e 1.800 m/s. Il terzo sismostrato, si attesta ad una quota compresa tra circa 177 m s.l.m., è costituito da argilla limosa che passa ad argilla marnosa; presenta velocità delle onde di taglio comprese tra 600 e 800 m/s, mentre la velocità delle onde P è compresa tra 1.800 e 2.600 m/s. In profondità, si rinviene un quarto sismostrato costituito da argilla marnosa; presenta velocità delle onde di taglio comprese tra 800 m/s e 1.050 m/s, mentre la velocità delle onde P è compresa tra 2.600 e 2.900 m/s”.

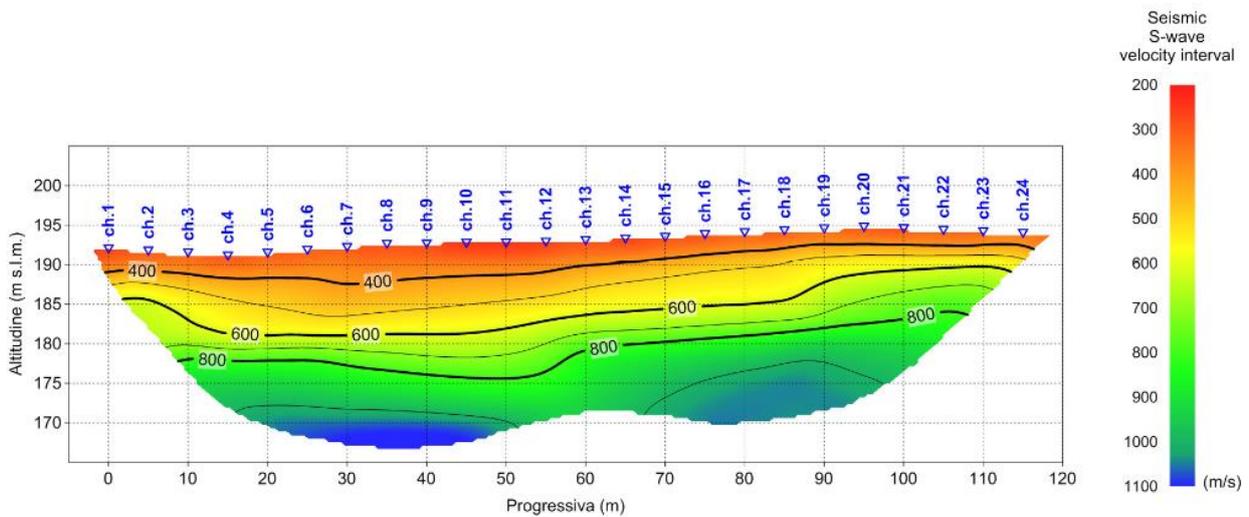


Fig. 2.73 – S.S. n° 45 di Val Trebbia. Pseudosezione sismica tomografica in onde S. Profilo LS7.

Figura 38 – Sezione sismica tomografica in onde s. Profilo LS28.

La categoria di sottosuolo desunta dalle indagini geofisiche è la B, a cui è riferibile un coefficiente di amplificazione stratigrafica S_s massimo pari a 1,2. Tuttavia, a fini cautelativi si ritiene di applicare gli “Abachi per la valutazione dei fattori di amplificazione per le indagini di microzonazione sismica di secondo livello in Emilia-Romagna” contenuti nella Deliberazione della Giunta Regionale dell’Emilia-Romagna n. 630 del 29/04/2019.

Nel caso specifico si farà riferimento alle tabelle relative all’Appennino e con substrato marino caratterizzato da $v_s > 800$ m/s.

	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	1.8	1.7	1.4	1.2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
10	2.0	2.0	1.9	1.7	1.5	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0
15	2.0	2.0	2.0	1.9	1.8	1.6	1.4	1.3	1.2	1.0
20	2.0	2.0	2.0	2.0	1.9	1.7	1.6	1.4	1.3	1.0
25	2.0	2.0	2.0	1.9	1.8	1.8	1.6	1.5	1.3	1.0
30		1.9	1.9	1.9	1.8	1.7	1.6	1.5	1.4	1.2
35		1.9	1.9	1.9	1.9	1.7	1.6	1.4	1.4	1.2
40		1.9	1.9	1.9	1.9	1.7	1.6	1.4	1.4	1.2
50		1.9	1.9	1.9	1.9	1.8	1.6	1.4	1.4	1.2

Tabella 1: Substrato marino caratterizzato da $V_s \geq 800m/s$. Fattori di Amplificazione PGA. Colonna 1 $H(m)$, riga 1 $V_{sH}(m/s)$

Tabella 23 – Fattori di Amplificazione PGA

Codice indagine	Vs Terreni copertura	H	FA PGA
LS07	428	14	1.4-1.6
LS08	571	13	1.2-1.3
LS09	512	4	1.0

Tabella 24 – Fattori di Amplificazione PGA per il sito specifico.

Poiché la sezione tomografica LS07 è da considerarsi maggiormente rappresentativa dell'accumulo di frana, mentre le altre sono localizzate in posizioni marginali, per il sito in oggetto si ritiene ampiamente cautelativo l'utilizzo di un coefficiente S_s pari a 1,5 in luogo di 1,2 come calcolato per la categoria di sottosuolo B.

Effetti topografici

In merito agli effetti topografici, stante la media inclinazione del pendio ci si può riferire alla condizione T1 o, più cautelativamente rispetto alle opere di sostegno in progetto, alla categoria T2.

Valutazione della possibilità di occorrenza della liquefazione

Per tale sito non sono disponibili analisi granulometriche su campioni in quanto non sono stati realizzati sondaggi geognostici. Stante la tipologia di terreni e le velocità delle onde di taglio, simili a quelle trattate in precedenza per le altre frane, si può ipotizzare che non siano soggetti a liquefazione.

13 UBICAZIONE DELLE INDAGINI GEOFISICHE

Per l'individuazione delle ubicazioni delle indagini geofisiche si rimanda agli elaborati riportati in seguito.

B - GEOLOGIA E GEOTECNICA														
BB - INDAGINI														
T	00	GE	00	GEO	PU	01	A	T00GE00GEOPU01_A.pdf	GEOLOGIA E GEOTECNICA	BB - INDAGINI	PLANIMETRIA UBICAZIONI INDAGINI - TAV 1 DI 6	12.000	BB09	A0
T	00	GE	00	GEO	PU	02	A	T00GE00GEOPU02_A.pdf	GEOLOGIA E GEOTECNICA	BB - INDAGINI	PLANIMETRIA UBICAZIONI INDAGINI - TAV 2 DI 6	12.000	BB10	A0
T	00	GE	00	GEO	PU	03	A	T00GE00GEOPU03_A.pdf	GEOLOGIA E GEOTECNICA	BB - INDAGINI	PLANIMETRIA UBICAZIONI INDAGINI - TAV 3 DI 6	12.000	BB11	A0
T	00	GE	00	GEO	PU	04	A	T00GE00GEOPU04_A.pdf	GEOLOGIA E GEOTECNICA	BB - INDAGINI	PLANIMETRIA UBICAZIONI INDAGINI - TAV 4 DI 6	12.000	BB12	A0
T	00	GE	00	GEO	PU	05	A	T00GE00GEOPU05_A.pdf	GEOLOGIA E GEOTECNICA	BB - INDAGINI	PLANIMETRIA UBICAZIONI INDAGINI - TAV 5 DI 6	12.000	BB13	A0
T	00	GE	00	GEO	PU	06	A	T00GE00GEOPU06_A.pdf	GEOLOGIA E GEOTECNICA	BB - INDAGINI	PLANIMETRIA UBICAZIONI INDAGINI - TAV 6 DI 6	12.000	BB14	A0