

(M2C4-I3.3) PROGETTAZIONE A LIVELLO ESECUTIVO DELLE OPERE DI PROTEZIONE ARGINALE PER IL MANTENIMENTO DELL'ASSETTO AMBIENTALE E IDRAULICO-MORFOLOGICO (SCHEDA 16 LINEA PT) NELL'AMBITO DELL'INVESTIMENTO PNRR M2C4 - I3.3 RINATURAZIONE DELL'AREA DEL PO, FINANZIATO DALL'UNIONE EUROPEA NEXTGENERATIONEU

CUP: B41G21000010006

PROGETTO ESECUTIVO

SCHEDA N° 16 CAORSO (PC) - PROGETTO DIAFRAMMATURE

CODICE ELABORATO

PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.2.B

TITOLO DELL'ELABORATO

Relazione sismica

SCALA	COMMESSA	WBS			CODICE			REVISIONE
-	M2C4 I3.3	Fase	Scheda	Opera	Argomento	Tipo elab.	Progressivo	Rev.
		PE	016	GEO	GE	RT	002	B

PROGETTAZIONE

Raggruppamento temporaneo di professionisti

Mandataria



Mandanti



Ing. Andrea Marzi

STUDIO TECNICO
ING. PUCCINELLI
www.puccinelli.webs.com



STAZIONE APPALTANTE

**Agenzia Interregionale
per il Fiume Po**
Strada G. Garibaldi n.75
43121 Parma (PR)

**Responsabile Unico
del Procedimento**
Ing. Mirella Vergnani

Responsabile dell'Integrazione delle Prestazioni Specialistiche

Ing. Andrea Marzi

Ing. Andrea Pettinaroli

Responsabile dell'elaborato

Geol. Giancarlo Bonini

Rev.	Data	Descrizione	Redatto	Verificato	Approvato
B	Maggio 2025	Recepimento Rapporto di Verifica	SP	GB	GB
A	12/03/2025	Prima Emissione	SP	GB	GB

SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE

Codice elaborato: **PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.2.B**

Titolo elaborato: **Relazione sismica**

pag. 3 / 82

PNRR - M2C4 Investimento 3.3 - RINATURAZIONE DELL'AREA DEL PO	
Progetto Esecutivo	
SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE	
Codice elaborato:	PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.2.B
Titolo elaborato:	Relazione sismica

pag. 4 / 82

Sommario

1	PREMESSA.....	6
1.1	Normative di riferimento.....	7
1.2	Localizzazione del sito.....	8
2	QUADRO SISMICO DI RIFERIMENTO	10
3	SINTESI INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO	14
3.1	Quadro geologico	14
3.2	Stratigrafia	15
3.2.1	Subsistema di Ravenna (AES8)	15
3.2.1.1	Unità di Modena (AES8a)	15
4	SINTESI DATI GEOGNOSTICI.....	16
4.1	Prova sismica Down Hole	16
4.2	Prova sismica MASW	21
4.3	Prova sismica MASW 2D.....	23
4.4	Tomografia elettrica 2D.....	25
4.5	Prove geotecniche di laboratorio.....	26
4.5.1	Prove di colonna risonante	26
5	SINTESI DEL MODELLO GEOLOGICO E SCHEMA LITOLOGICO	27
5.1	Indagini geofisiche e ricostruzione profilo geologico	29
6	MODELLAZIONE SISMICA CONCERNENTE LA “PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE” DEL SITO DI COSTRUZIONE	35
6.1	Sismicità	35
6.1.1	Zonazione sismica e pericolosità	35
6.1.2	Classificazione sismica	37
6.2	Elementi di microzonazione sismica	39
6.2.1	Rischio sismico da PTCP di Piacenza	39
6.2.2	Microzonazione sismica del Comune di Caorso.....	40
6.3	Azioni sismiche ai sensi NTC2018.....	44
6.3.1	Categorie di sottosuolo	44
6.3.2	Categorie topografiche.....	45
6.3.3	Parametri sismici di calcolo.....	46
7	ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE - RSL	49
7.1	Modello geologico del sottosuolo e bedrock sismico	49
7.2	Parametri analisi RSL	52
7.3	Curve di decadimento del modulo di taglio e di incremento del damping	52
7.4	Definizione del moto di input per SLV	54

SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE*Codice elaborato:* **PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.2.B***Titolo elaborato:* **Relazione sismica**

pag. 5 / 82

7.5	Risultati dell'analisi di risposta sismica locale	57
8	STABILITÀ NEI CONFRONTI DELLA LIQUEFAZIONE	64
8.1	La piezometria	65
8.2	Prove geotecniche di laboratorio.....	66
8.2.1	Classificazione granulometrica	66
8.3	Verifica della suscettività dei terreni alla liquefazione.....	68
8.3.1	FALDA -1.5 m da p.c.	70
8.3.2	FALDA -2.5 m da p.c.	71
8.4	Considerazioni	72
9	CONSIDERAZIONI FINALI	74
	Allegato 1 – Spettri di risposta ottenuti con RSL	82

PNRR - M2C4 Investimento 3.3 - RINATURAZIONE DELL'AREA DEL PO	
Progetto Esecutivo	
SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE	
<i>Codice elaborato:</i>	PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.2.B
<i>Titolo elaborato:</i>	Relazione sismica

pag. 6 / 82

1 PREMESSA

Il presente studio costituisce la relazione sismica a corredo del Progetto Esecutivo - PNRR - M2C4 Investimento 3.3 - RINATURAZIONE DELL'AREA DEL PO per la specifica scheda n°16 CAORSO (PC).

Nella precedente fase di Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica PFTE, attraverso l'elaborazione dei dati ottenuti dalle prove geofisiche eseguite nel 2024 è stato possibile ricavare le caratteristiche sismiche dell'area interessata dalle opere in progetto presso il comune di Caorso, lungo l'argine destro del Fiume Po in corrispondenza dell'abitato di Roncarolo. Le elaborazioni svolte hanno evidenziato le condizioni di fattibilità geologica e sismica.

Con riferimento alle modalità tecnico-esecutive delle opere in progetto, attraverso il presente studio si conferma la compatibilità esecutiva delle opere previste con l'assetto sismico dell'area di studio.

Il presente elaborato riporta i dati e le informazioni relative a:

- ✓ Quadro sismico di riferimento
- ✓ Sintesi inquadramento geologico e geomorfologico
- ✓ Sintesi delle indagini geognostiche reperite ed eseguite
- ✓ Sintesi del modello geologico locale
- ✓ Modellazione sismica di base del sito in esame
- ✓ Analisi di Risposta Sismica Locale
- ✓ Analisi di fattibilità geologica e sismica

PNRR - M2C4 Investimento 3.3 - RINATURAZIONE DELL'AREA DEL PO	
Progetto Esecutivo	
SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE	
Codice elaborato:	PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.2.B
Titolo elaborato:	Relazione sismica

pag. 7 / 82

1.1 Normative di riferimento

- O.P.C.M. 3274 del 20.03.2003 *Costruzioni in zona sismica*
- D.M. 14 Gennaio 2008. *Nuove Norme Tecniche per le costruzioni*
- D.M 17 gennaio 2018. *Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"*.
- Circolare del Ministero delle Infrastrutture e dei trasporti n.7 del 21/01/2019 "Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018".
- D.A.L. 112/2007. Atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art.16, c.1 della L.R. 20/2000 per "*Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica*"
- L.R. 19 del 30.10.2008. *Norme per la riduzione del rischio sismico.*
- D.G.R. 1373/2011. *Atto di indirizzo recante l'individuazione della documentazione attinente alla riduzione del rischio sismico necessaria per il rilascio del permesso di costruire e per gli altri titoli edilizi, alla individuazione degli elaborati costitutivi e dei contenuti del progetto esecutivo riguardante le strutture e alla definizione delle modalità di controllo degli stessi ai sensi dell'art. 12, comma 1 e dell'art. 4, comma 1 della L.R. 19 del 2008 e smi per la riduzione del rischio sismico.*
- DGR.2193/2015 "Approvazione aggiornamento dell'atto di coordinamento tecnico denominato "*Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica*" di cui alla DAL 2/05/2007 n.112".
- D.G.R. n.146 del 06/02/2023 "*Aggiornamento della classificazione sismica di prima applicazione dei comuni dell'Emilia-Romagna*"
- D.G.R. n.630 del 29/04/2019 "*Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (Artt.22 e 49, L.R. 24/2017)*".
- DGR 476/2021 (e DGR integrativa n. 564/2021) "*Aggiornamento dell'atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (artt. 22 e 49, L.R. n. 24/2017)*" di cui alla Deliberazione della Giunta Regionale 29 aprile 2019, n. 630"

SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE

Codice elaborato: PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.2.B

Titolo elaborato: Relazione sismica

pag. 8 / 82

1.2 Localizzazione del sito

L'area è ubicata nella Carta Tecnica Regionale elemento 162111 "S. NAZZARO" alla scala 1:5.000; il sito in esame si colloca ad una quota di circa 44-45 m s.l.m. e le coordinate di un punto baricentrale dell'area sono rispettivamente 45.069808° di latitudine e 9.839217° di longitudine (ED50).

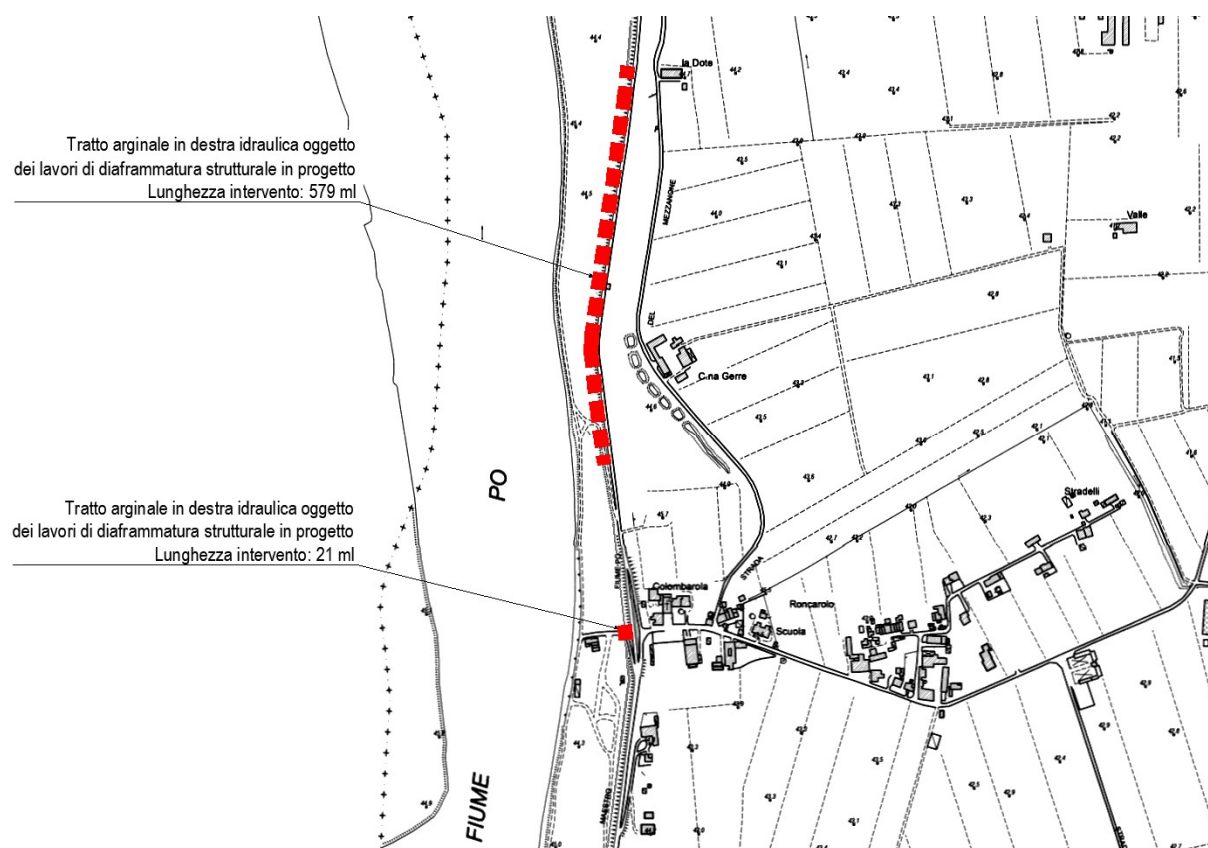


Figura 1. Ubicazione dell'area su CTR, non in scala.

SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE

Codice elaborato: **PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.2.B**

Titolo elaborato: **Relazione sismica**

pag. 9 / 82

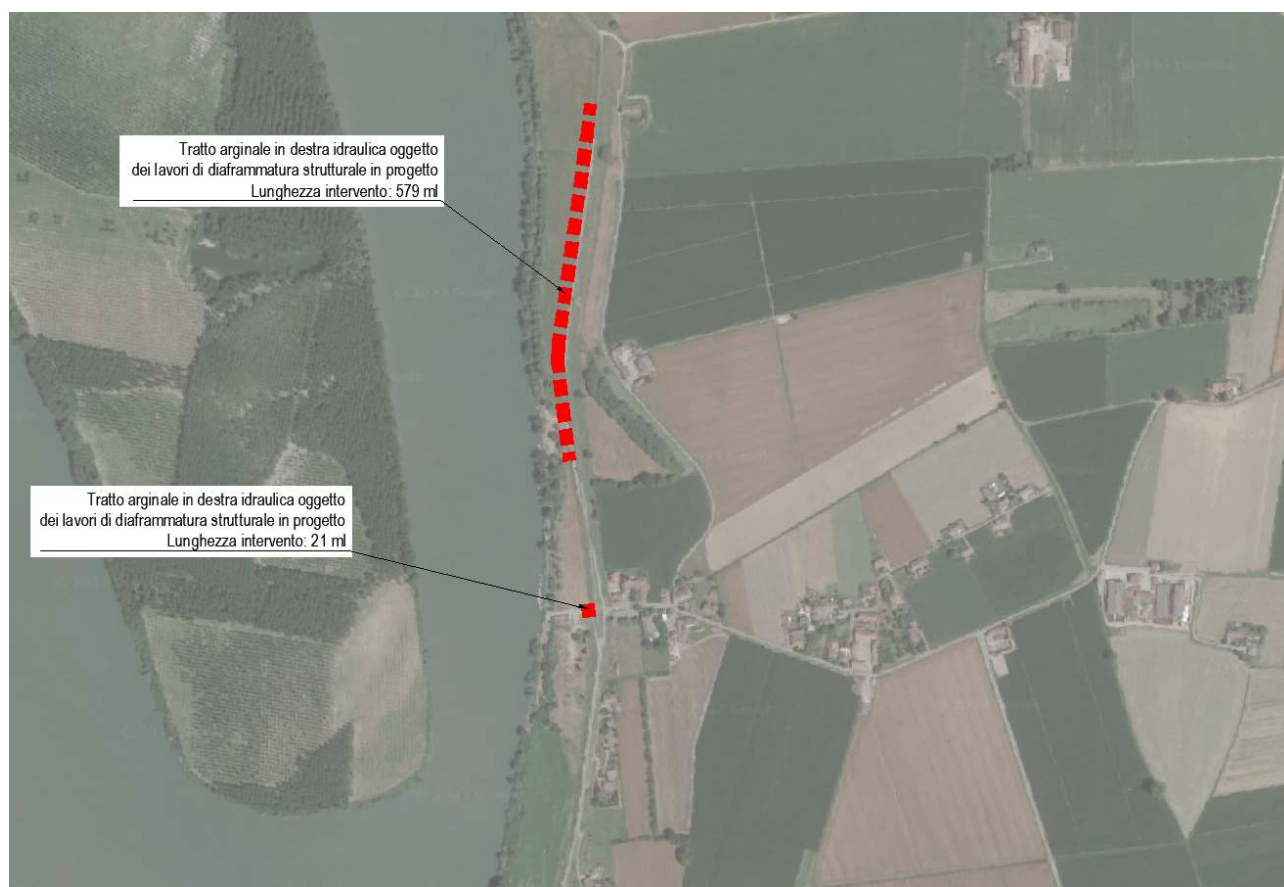


Figura 2. Individuazione area in esame su ortofoto Google Earth.

2 QUADRO SISMICO DI RIFERIMENTO

L'area in esame è inserita in un contesto sismo-tettonico caratteristico della pianura padano-emiliana. L'evoluzione della pianura emiliano-romagnola è condizionata dall'attività dei thrust del fronte pedeappenninico e delle strutture padane sepolte (PIERI E GROPPi, 1981) ed in particolare, per l'area in esame, dalle pieghe emiliane.

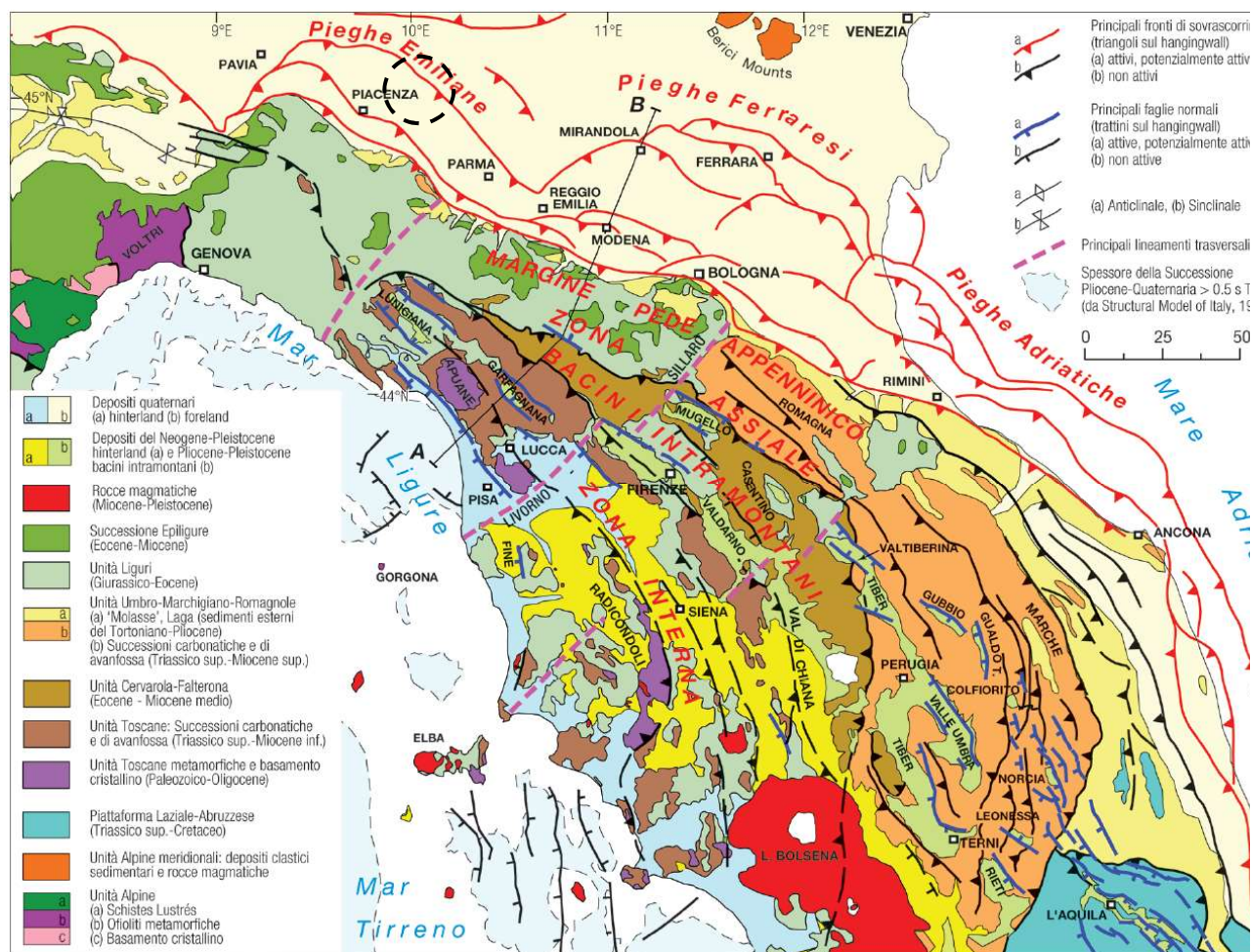


Figura 2. Estratto dalle note illustrative della "Carta sismo-tettonica della Regione Emilia-Romagna e zone limitrofe" Ed.2016. Martelli et. al. 2016¹. Nel cerchio nero tratteggiato è compresa l'area in esame.

L'area di interesse è caratterizzata da strutture compressive (fronte di sovrascorrimento sepolto) di cui "presentano evidenze di attività tettonica recente le faglie che non coincidono con il margine ma quelle strutture che corrispondono al fronte sepolto delle Pieghe Emiliane" (Note Illustrative, 2004 - Carta Sismo-tettonica della Regione Emilia-Romagna).

¹ Martelli L., Bonini M., Calabrese L., Corti G., Ercolessi G., Molinari F.C., Piccardi L., Pondrelli S., Sani F., Severi P. (2016) "Carta sismotettonica della Regione Emilia-Romagna e zone limitrofe" Edizione 2016, Regione Emilia Romagna, Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli.

Nella “Carta sismo-tettonica della Regione Emilia-Romagna e zone limitrofe” edizione 2016, di cui nella figura seguente si riporta un estratto, è evidenziato a sud dell’area di studio un fronte di sovrascorrimento sepolto.

L'area di studio è compresa tra le isobate della base del Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore di -50 e -100 m s.l.m.

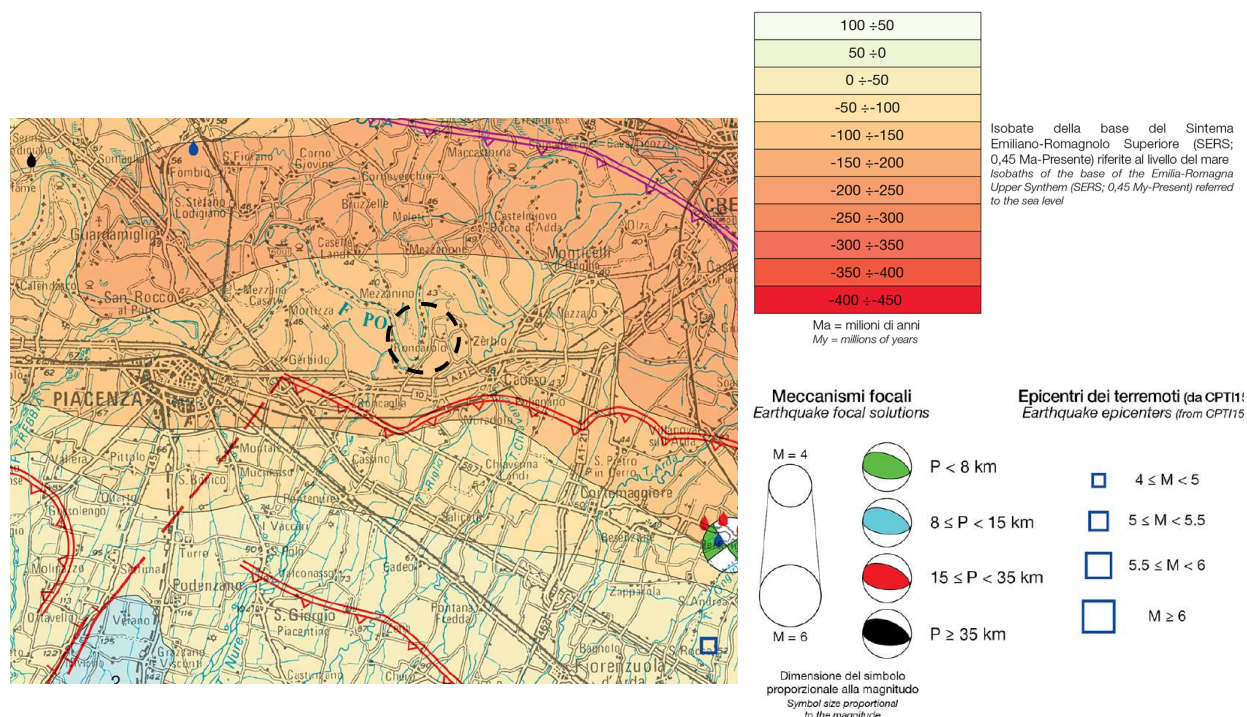


Figura 3. Estratto dalla “Carta sismo-tettonica della Regione Emilia-Romagna e zone limitrofe” edizione 2016 Martelli et. al. Nel cerchio nero tratteggiato è compresa l’area in esame.

SCHEMA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE

Codice elaborato: PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.2.B

Titolo elaborato: Relazione sismica

pag. 12 / 82

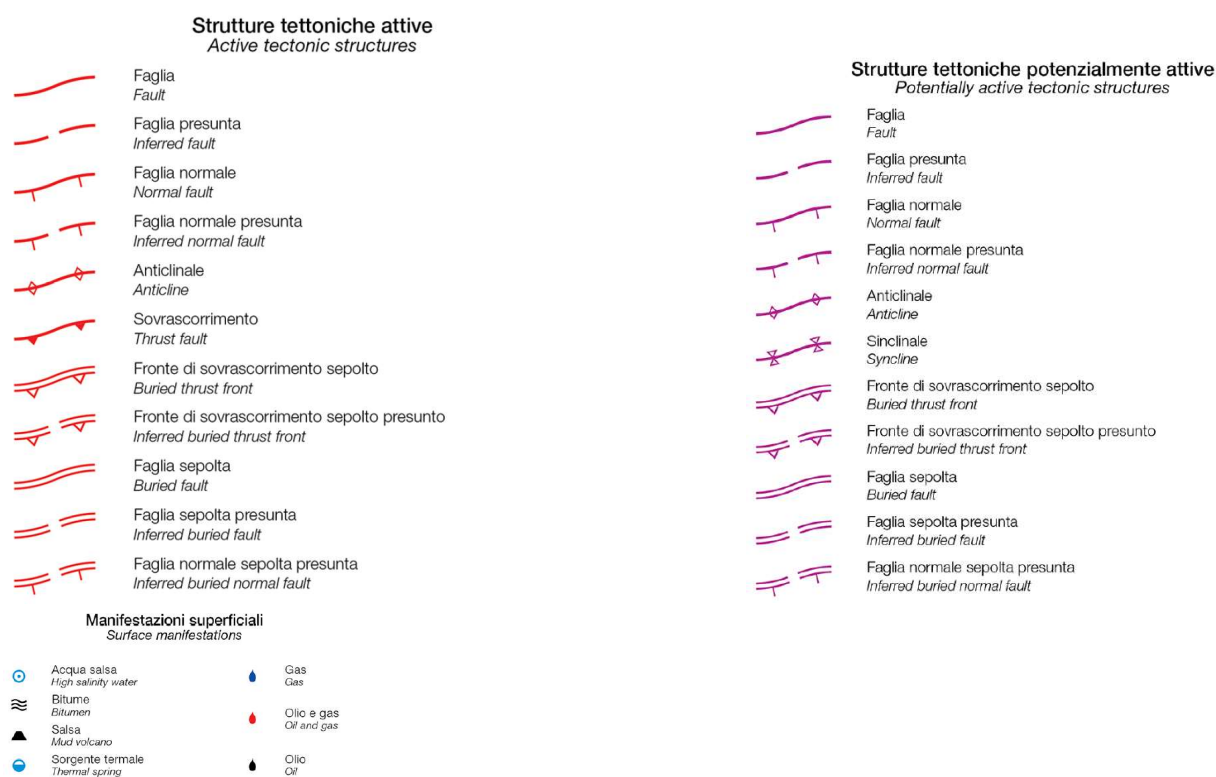


Figura 4. Porzione legenda da “Carta sismo-tettonica della Regione Emilia-Romagna e zone limitrofe” edizione 2016 Martelli et. al.

Per quanto concerne le faglie capaci e attive il censimento del progetto ITHACA (disponibile al sito <http://sgi.isprambiente.it/ithaca/viewer/index.html> e di cui nella figura seguente si riporta un estratto) non individua faglie attive e capaci in corrispondenza dell'area in esame. Si segnala a sud del sito la presenza della faglia: ID 90413 “Piacenza-Busseto”.

ISPRA

ITHACA - CATALOGO DELLE FAGLIE CAPACI

ISPRA-Dipartimento per il Servizio Geologico d'Italia



Figura 5. Estratto database del progetto ITHACA.

Nella tabella che segue si riportano alcune informazioni riguardanti le faglie indicate (informazioni reperite sul sito <https://sgi.isprambiente.it/ithacaweb>).

ID 90413 - Piacenza-Busseto			
GEOMETRY AND KINEMATICS		ACTIVITY	
Segmentation	Single Segment	Surface Evidence	ND
Average Strike (°)	115	Last Activity	Early Pleistocene
Dip (°)	Undefined	Applied Technique	Instrumental seismicity
Dip Direction	SSW	Evidence for Capability	Displacement of Quaternary deposits and/or land forms
Fault Length (km)	14.9	Lithology	Marnoso-Arenacea Formation
Mapping Scale	1:250000		
Fault Depth (m)			
Kinematics	Reverse		

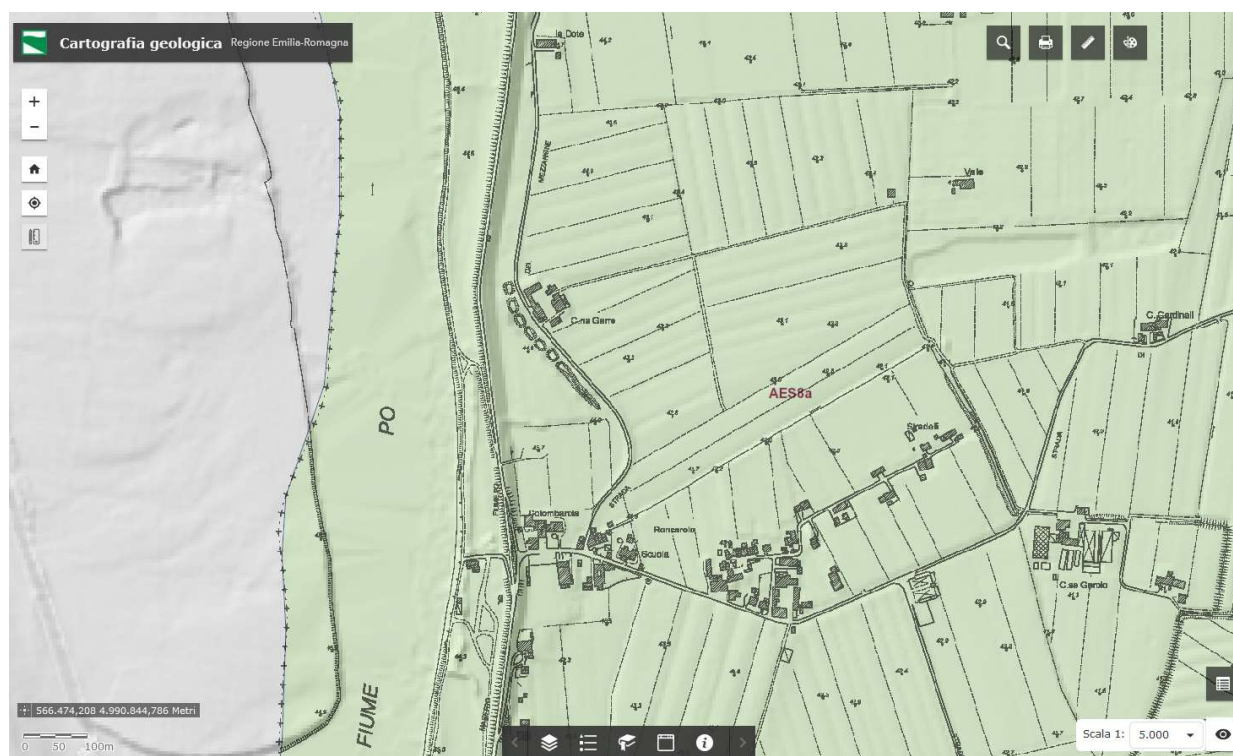
Tabella 1. Informazioni riguardanti la faglia capace presente a sud dell'area di studio, reperite sul sito <https://sgi.isprambiente.it/ithacaweb>

3 SINTESI INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO

Nei paragrafi seguenti si riporta una sintesi dell'inquadramento geologico, geomorfologico e idrogeologico dell'area in esame.

3.1 Quadro geologico

La zona in esame ricade nel Foglio 162 "PIACENZA" della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 ed è caratterizzata principalmente dalla presenza di depositi di piana alluvionale appartenenti al Subsistema di Ravenna (AES8) ed in particolare all'Unità di Modena (AES8a).



Coperture quaternarie (10K)

AES8a - Unità di Modena

Figura 6. Estratto dalla carta geologica del progetto CARG disponibile nel sito <http://geo.regione.emilia-romagna.it>.

PNRR - M2C4 Investimento 3.3 - RINATURAZIONE DELL'AREA DEL PO	
Progetto Esecutivo	
SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE	
<i>Codice elaborato:</i>	PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.2.B
<i>Titolo elaborato:</i>	Relazione sismica

pag. 15 / 82

3.2 Stratigrafia

3.2.1 Subsintema di Ravenna (AES8)

Questa unità è composta da ghiaie sabbiose, sabbie e limi stratificati, ricoperti da una coltre limoso-argillosa discontinua e da limi, talora sabbiosi, di limitato spessore (3-4 m), interpretabili rispettivamente come depositi di conoide alluvionale, di interconoide e del reticolo idrografico minore. Il contatto di base è discontinuo, spesso erosivo e discordante sul sub-strato pliocenico e su AES3, AES7.

Nei settori intravallivi il subsintema è costituito da depositi alluvionali terrazzati che occupano porzioni ormai abbandonate dal corso d'acqua e risultano terrazzati in vari ordini a diverse quote al di sopra dell'alveo, in relazione all'età del deposito; tali depositi possono essere rimobilizzati solo in casi di piene eccezionali e solo per gli ordini di terrazzi più giovani, sono quindi fissati da vegetazione stabile. Questi depositi sono in genere ricoperti da sedimenti fini siltoso-argillosi con subordinate sabbie, che presentano differente grado di pedogenesi a seconda dell'età del deposito. Il suolo al tetto dell'unità è localmente ricoperto da una sottile coltre colluviale (0.5-1 m).

3.2.1.1 Unità di Modena (AES8a)

L'unità è costituita da ghiaie prevalenti con livelli e lenti di sabbie, ricoperte da una coltre limoso-argillosa discontinua. Il fronte di alterazione è di limitato spessore (poche decine di cm) ed a profilo A-C (Entisuoli) e, localmente, A-Bw-C (Inceptisuoli); Hue dell'orizzonte Bw 10YR-2.5Y. Lo spessore massimo dell'unità è di qualche metro. In contesto intravallivo e di pianura questi sedimenti costituiscono depositi alluvionali terrazzati, adiacenti all'alveo di piena degli attuali corsi d'acqua. La scarpata fluviale che la separa dalla parte più antica del Subsintema di Ravenna varia da 1 a 2 m di altezza, mentre la scarpata fluviale che la separa dalle alluvioni attuali varia da 0.5 a 3 m di altezza. Localmente è sede di attività agricola e talora di insediamenti produttivi.

PNRR - M2C4 Investimento 3.3 - RINATURAZIONE DELL'AREA DEL PO	
Progetto Esecutivo	
SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE	
Codice elaborato:	PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.2.B
Titolo elaborato:	Relazione sismica
pag. 16 / 82	

4 SINTESI DATI GEOGNOSTICI

Come riportato in dettaglio all'interno della Relazione Geologica nei mesi tra Gennaio e Aprile 2024 è stata eseguita una campagna geognostica che ha visto l'esecuzione delle seguenti prove:

- n° 8 prove penetrometriche statiche con piezocono CPTu(n) con esecuzione di prove di dissipazione;
- n°5 sondaggi a carotaggio continuo S(n) (uno dei quali attrezzato per l'esecuzione di n°1 prova sismica Down Hole);
- n°2 perforazioni per la costruzione di n°2 pozzi per le prove di emungimento;
- n°4 sondaggi a distruzione di nucleo per la costruzione di piezometri in corrispondenza dei pozzi suddetti.

Nei successivi paragrafi si riportano in dettaglio i risultati e le tecniche di indagine delle indagini sismiche eseguite quali:

- indagine Down-Hole eseguita nel foro S3-DH fino alla profondità di 45 m;
- indagine Masw;
- indagine Masw 2D;
- indagine di Tomografia elettrica 2D.

4.1 Prova sismica Down Hole

La prova Down Hole è stata eseguita nel foro di sondaggio S3-DH su tutta la profondità del foro pari a 45 m da piano campagna.

Lo scopo della prova sismica consiste nel determinare la velocità di propagazione delle onde di volume, di compressione (onde P) e di taglio (S), misurando il tempo che esse impiegano nel tragitto tra la sorgente, posta in superficie, e i ricevitori, posti all'interno di fori di sondaggio, considerando nota la distanza sorgente-ricevitori.

Le modalità di esecuzione della prova sono state le seguenti:

- posizionamento e bloccaggio del ricevitore (in foro) a fondo foro;
- generazione dell'impulso da superficie (con eventuale somma di più impulsi) su piastra di battuta e registrazione dei tempi di arrivo delle onde di compressione;
- generazione dell'impulso da superficie (con eventuale somma di più impulsi) su blocco per la generazione di impulsi di taglio e registrazione dei tempi di arrivo delle onde di taglio;
- ripetizione delle medesime operazioni con posizione del doppio geofono da foro in risalita per ogni mezzo metro di profondità.

L'analisi dei dati sismici provenienti da una prova Down-Hole consiste nel diagrammare i tempi di tragitto t misurati lungo il percorso sorgente-ricevitore in funzione della profondità z . Le procedure di interpretazione della prova sismica possono essere ricondotte a due tipologie principali di metodo: metodo diretto e metodo intervallo.

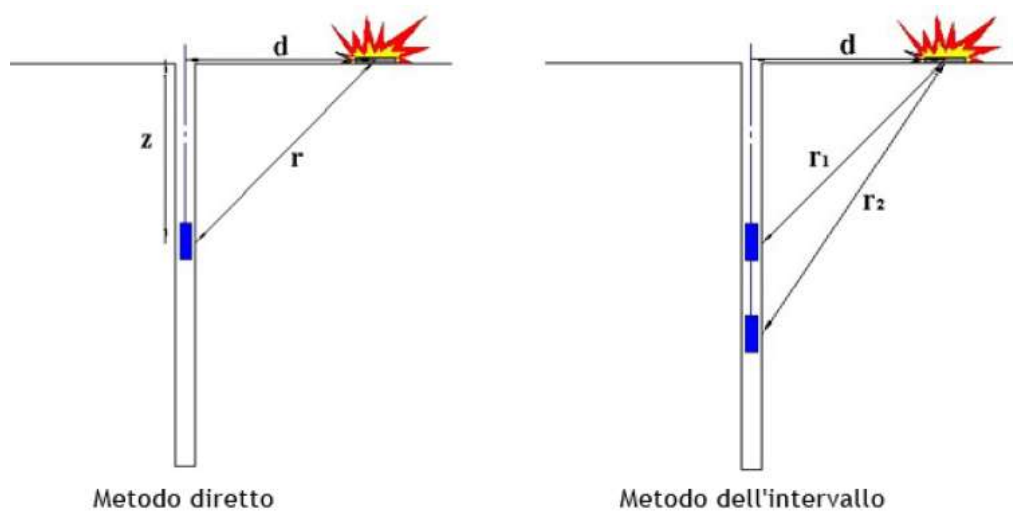


Figura 32. Metodi di interpretazione della prova sismica Down Hole.



Figura 32. Esecuzione prova sismica Down Hole.

I dati ottenuti sono di seguito riportati.

Profondità (m)	Vp (m/sec)	Vs (m/sec)
1	514	202
2	865	205
3	772	232
4	873	240
5	976	244
6	984	328
7	1110	329
8	1224	325
9	1241	337
10	1243	331
11	1214	356
12	1277	383
13	1246	356
14	1247	352
15	1348	388
16	1313	416
17	1426	399
18	1349	395
19	1314	389
20	1372	416
21	1486	434
22	1368	454
23	1332	416

Profondità (m)	Vp (m/sec)	Vs (m/sec)
24	1388	384
25	1427	400
26	1469	416
27	1470	476
28	1561	500
29	1666	526
30	1428	500
31	1448	555
32	1639	588
33	1136	526
34	1219	613
35	1249	637
36	1250	625
37	909	454
38	862	588
39	1191	476
40	1428	714
41	1428	769
42	1250	833
43	1428	909
44	1666	1111
45	1851	1052

Figura 7. Variazione dei valori di velocità Vs e Vp con la profondità, ottenuti dalla prova sismica Down Hole eseguita in foro di sondaggio S3-DH.

Il valore di V_{s30} ottenuto dalla prova Down Hole calcolato in sommità arginale è risultato pari a **349 m/s**.

SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE

Codice elaborato: PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.2.B

Titolo elaborato: Relazione sismica

pag. 19 / 82

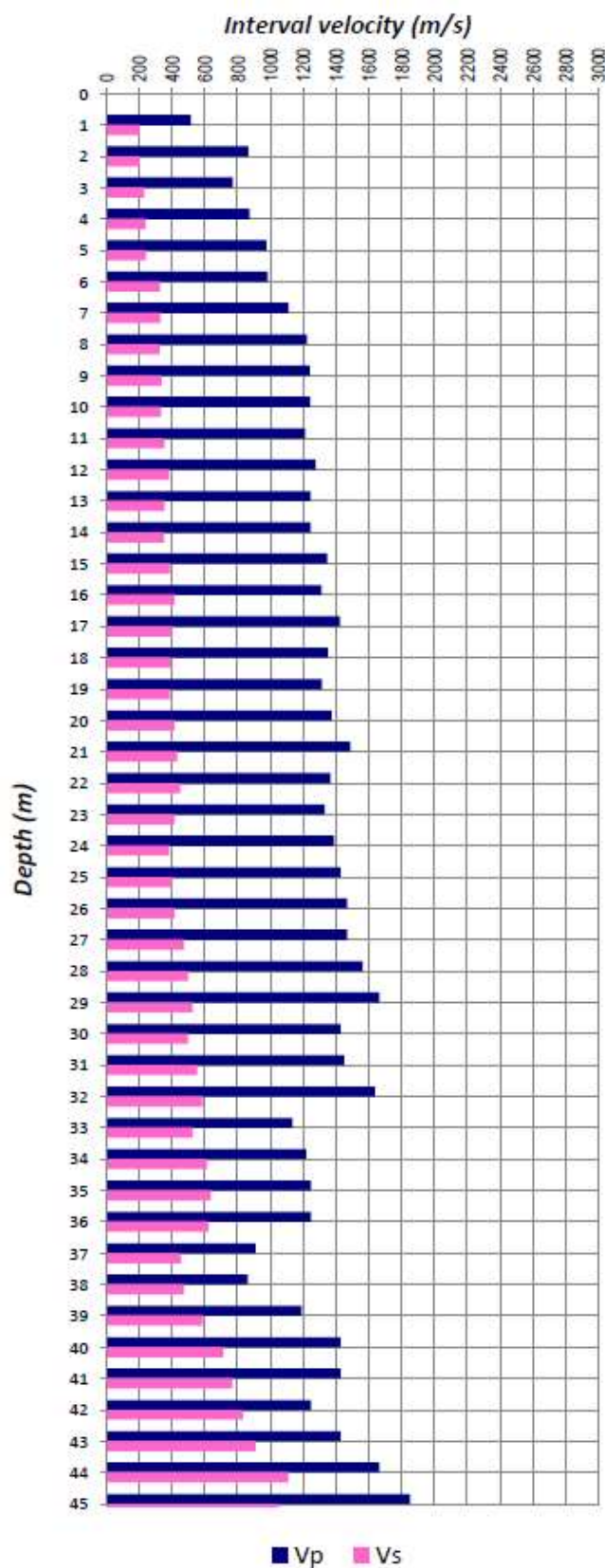


Figura 8. Grafico variazione dei valori di velocità Vs (in rosa) e Vp (in blu) delle onde di superficie con la profondità, ottenuti dalla prova sismica Down Hole eseguita in foro di sondaggio S3-DH.

SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE

Codice elaborato: **PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.2.B**

Titolo elaborato: **Relazione sismica**

pag. 20 / 82

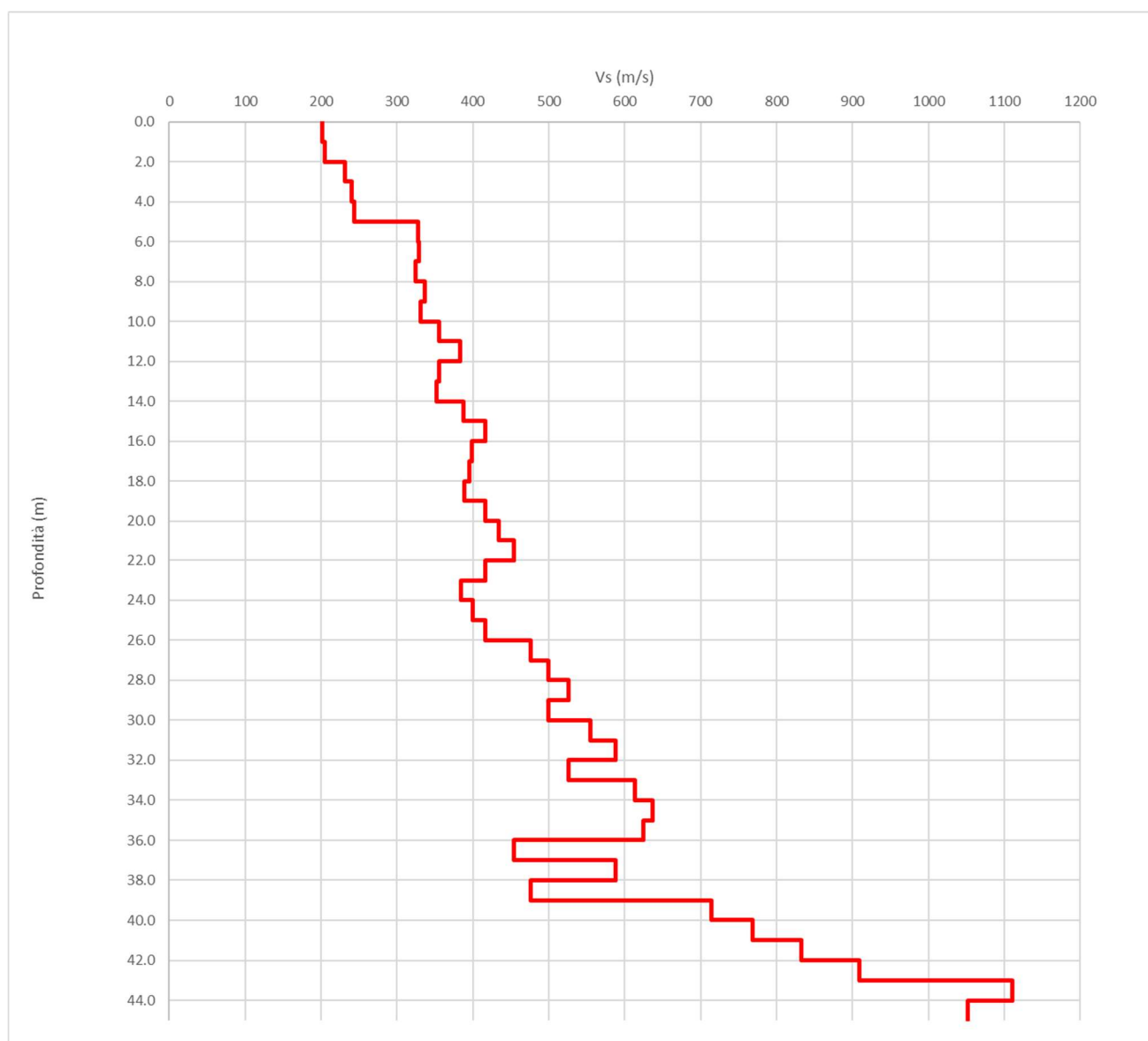


Figura 9. Variazione dei valori di velocità Vs con la profondità, ottenuti dalla prova sismica Down Hole eseguita in foro di sondaggio S3-DH.

4.2 Prova sismica MASW

La tecnica MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves) utilizza le onde sismiche di superficie generate con sorgente meccanica (tipicamente massa battente) al fine di determinare un modello del sottosuolo della velocità delle onde di taglio (S). Questa tipologia d'indagine analizza la dispersione delle onde di superficie e si basa sul principio che le varie componenti (frequenze) del segnale sismico che si propaga, viaggiano ad una velocità che dipende dalle caratteristiche del mezzo.

La dispersione è una deformazione di un treno d'onde dovuta ad una variazione di propagazione di velocità con la frequenza. Le componenti a frequenza minore penetrano più in profondità rispetto a quelle a frequenza maggiore, per un dato modo, e presentano normalmente velocità di fase più elevate.

Tradizionalmente le MASW sono effettuate tramite analisi delle onde di Rayleigh, che vengono registrate tramite geofoni a componente verticale e utilizzando una sorgente ad impatto verticale (massa battente). Le onde di Rayleigh costituiscono un particolare tipo di onde di superficie che si trasmettono sulla superficie libera di un mezzo isotropo e omogeneo e sono il risultato dell'interferenza tra onde di pressione (P) e di taglio verticali (Sv). In un mezzo stratificato queste onde sono di tipo guidato e dispersivo, e vengono definite pseudo-Rayleigh.

L'analisi spettrale delle onde di superficie è stata eseguita mediante energizzazione del terreno dalla superficie con registrazione delle onde di superficie (di tipo Rayleigh) in corrispondenza di un allineamento di n. 24 geofoni equispaziati di 2 m.



Figura 10. Ubicazione indagine MASW – G1



Figura 11. Stendimento sismico MASW

SCHEMA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE

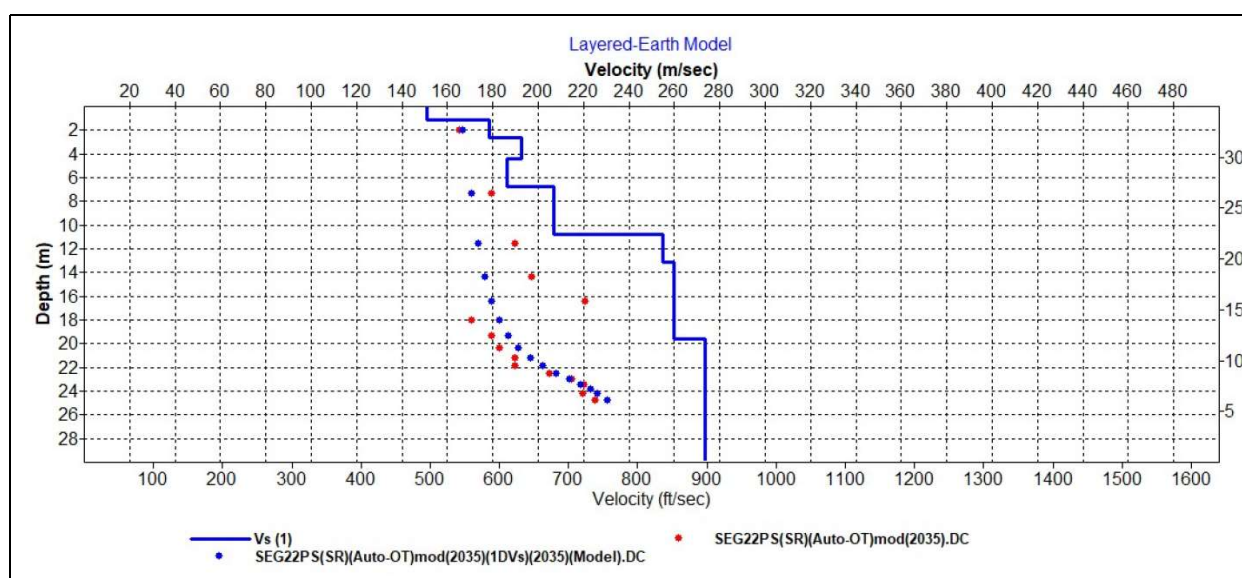
Codice elaborato: PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.2.B

Titolo elaborato: Relazione sismica

pag. 22 / 82

Sismostrati	Profondità(m)	Spessore(m)	Vs(m/s)	Vp(m/s)	Poisson	Density
1	1.2	1.2	151	605	0.47	1.75
2	2.6	1.5	178	715	0.47	1.75
3	4.4	1.8	193	772	0.47	1.75
4	6.7	2.3	186	747	0.47	1.75
5	10.8	4.1	207	828	0.47	1.75
6	13.1	2.3	255	763	0.44	2.00
7	19.6	6.5	260	778	0.44	2.00
8	30.0	10.4	274	819	0.44	2.00

ID	V _{seq} (m/s)	TIPOLOGIA DI TERRENO
MASW01	232	C

Figura 12. Sismostrati e valore di Vs₃₀ da indagine MASW – G1.Figura 13. Variazione di Vs₃₀ con la profondità da indagine MASW – G1.

Il valore di Vs₃₀ ottenuto dalla prova MASW calcolato in sommità arginale è risultato pari **232 m/s** (calcolato al piano campagna/base argine il valore di Vs₃₀ risulta pari a 288 m/s).

La prova sismica MASW G1 ha permesso di individuare terreni con valori di Vs crescenti con la profondità in un range compreso tra 150 e 270 m/s.

In particolare la prova MASW G1 individua bene il salto tra due sismostrati a circa 10 m di profondità da sommità arginale (passaggio tra 200 e 260 m/s), procedendo poi con una certa uniformità fino alla massima profondità indagate.

4.3 Prova sismica MASW 2D

Il rilievo sismico è stato eseguito con n. 24 geofoni in modalità streamer con interdistanza pari ad 2 m e con le posizioni di energizzazione ad una estremità con offset pari a 4 m. L'array è stato spostato di 4 m lungo il profilo da acquisire con ripetizione dell'array fino a fine tratta. Di seguito si riporta lo schema di esempio della geometria di acquisizione della Masw 2D.

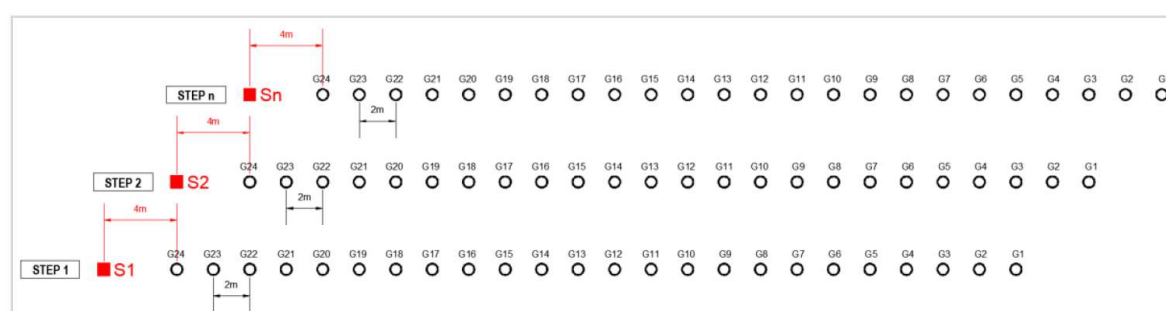


Figura 14. Geometria di acquisizione Masw 2D con l'utilizzo dello streamer a 24 canali.

Per l'ubicazione degli stendimenti Masw 2D si rimanda all'elaborato PE.0.1.6.GET.GE.P.L.0.0.1.

Sono stati effettuati due stendimenti L1 ed L2 di lunghezza rispettivamente 480 m e 240 m.

Stendimento	Lunghezza
L1	480
L2	240
TOT	720

La metodologia MASW 2D ha previsto tre step di elaborazione mediante l'utilizzo del software di elaborazione ParkSEIS della Park Seismic LLC. L'impiego di un modello di calcolo che utilizzi nel dominio continuo le curve di dispersione permette la costruzione di un modello 2D del valore di velocità Vs.

La restituzione dei risultati prevede la creazione di una sezione 2D in Vs su mappa continua in scala di colore. Di seguito si elencano gli step di elaborazione effettuati:

PNRR - M2C4 Investimento 3.3 - RINATURAZIONE DELL'AREA DEL PO	
Progetto Esecutivo	
SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE	
<i>Codice elaborato:</i>	PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.2.B
<i>Titolo elaborato:</i>	Relazione sismica
pag. 24 / 82	

- elaborazione della curva di dispersione che rappresenta la velocità delle onde di superficie (Vs) delle diverse frequenze presenti nel record sismico acquisito (passaggio dal dominio tempo-spazio al dominio frequenza-numero d'onda);
- per ogni record sismico acquisito si ricava tramite inversione la curva di dispersione, un profilo verticale di velocità delle onde S che fornisce informazioni sulla distribuzione in profondità delle proprietà meccaniche della zona indagata (1D).
- dai modelli 1D ottenuti per tutti i record sismici, si ricava un modello 2D della distribuzione delle Vs lungo gli stendimenti. Il modello è il risultato delle informazioni (curve di dispersione e profili 1D) di tutta l'acquisizione effettuata sui singoli profili così da ottenere un modello in continuo della distribuzione delle Vs.

I dati delle matrici di Vs sono rappresentati in contouring 2D (con opportuna scala colore) mediante il software Surfer 13.

Nel report riportato nell'elaborato PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.3 sono visualizzabili i profili ricostruiti attraverso gli stendimenti MASW 2D

Gli stendimenti di sismica MASW 2D lungo il profilo dell'area in esame hanno permesso di riconoscere una certa omogeneità laterale in termini di Vs registrate per i primi 20 m da sommità arginale; sono riconoscibili, attraverso anche i risultati delle prove geognostiche come sondaggi e CPTu strati sub orizzontali, a basso angolo di pendenza.

PNRR - M2C4 Investimento 3.3 - RINATURAZIONE DELL'AREA DEL PO	
Progetto Esecutivo	
SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE	
<i>Codice elaborato:</i>	PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.2.B
<i>Titolo elaborato:</i>	Relazione sismica

pag. 25 / 82

4.4 Tomografia elettrica 2D

Le indagini geoelettriche costituiscono un metodo geofisico che permette di ricostruire la distribuzione della resistività elettrica nel sottosuolo.

La grandezza che viene comunemente misurata è la resistività elettrica, ma possono essere misurati altri parametri quali il potenziale spontaneo e la polarizzazione indotta.

Il principio sul quale si basa questa metodologia è così schematizzabile: una corrente viene immessa nel mezzo attraverso una coppia di elettrodi AB (dipolo di immissione) e la differenza di potenziale risultante viene misurata attraverso un'altra coppia di elettrodi MN (dipolo di ricezione). Un voltmetro consente la misura della differenza di potenziale.

L'indagine ha previsto l'esecuzione di n. 3 profili di rilievo eseguiti con metodologia di acquisizione in tomografia elettrica con interdistanza elettrodica di 2 m. Nella tabella che segue si riassumono le lunghezze di ciascun stendimento eseguito.

<i>Stendimento</i>	<i>Lunghezza</i>
L1	480
L2	240
T1	160
TOT	880

Il profilo di rilievo T1 è rappresentato dalla sezione trasversale al profilo L1 in corrispondenza di una zona segnalata come interessata da fontanazzi.

Per l'ubicazione degli stendimenti di tomografia elettrica si rimanda all'elaborato PE.0.1.6.GET.GE.P.L.0.0.1.

Come riportato nel Profilo geologico (elaborati PE.0.1.6.GEO.GE.P.F.0.0.1 e PE.0.1.6.GEO.GE.P.F.0.0.3) e nel paragrafo 5.1 gli stendimenti di geoelettrica eseguiti nell'area in esame hanno permesso di individuare bene lo spessore dell'argine, dove si concentrano valori di resistività medio bassi (40-70 ohm*m) e si è in una condizione di presenza di terreno insaturo (la falda si trova, per quasi tutto il profilo in esame, a profondità maggiori della base arginale). I primi livelli al di sotto dell'argine presentano resistività più basse (<50/40 ohm*m), si passa da un insaturo (livello rappresentato dall'argine) ad un terreno sotto falda (saturo).

Negli elaborati suddetti ed al paragrafo 5.1 sono state segnalate inoltre le anomalie di resistività individuate lungo gli stendimenti (queste possono essere attribuibili a differenti cause, legate a differenze litologiche, presenza di riempimenti dovuti ad eventi erosivi alluvionali, presenza di canali sepolti o paleoalvei).

4.5 Prove geotecniche di laboratorio

Di seguito si riportano unicamente i risultati della prova di colonna risonante eseguita sul campione S1_CI2; questi sono stati utilizzati come dati relativi alla curva di decadimento del modulo di taglio e di incremento del damping per i livelli costituiti da terreni a granulometria fine (limo e argilla) nell’Analisi di Risposta Sismica Locale (vedasi paragrafo 7).

4.5.1 Prove di colonna risonante

La prova di Colonna Risonante si utilizza per misurare i parametri dinamici dei terreni a livelli deformativi bassi determinando le leggi di decadimento della rigidezza G e dell'incremento del fattore di smorzamento D in funzione della deformazione tangenziale in condizioni di frequenza di risonanza.

Nella figura seguente sono riportati i diagrammi della prova eseguita che ha interessato il livello L4 (campione analizzato S5_CI1 (prelevato tra 25 e 26 m da p.c.)).

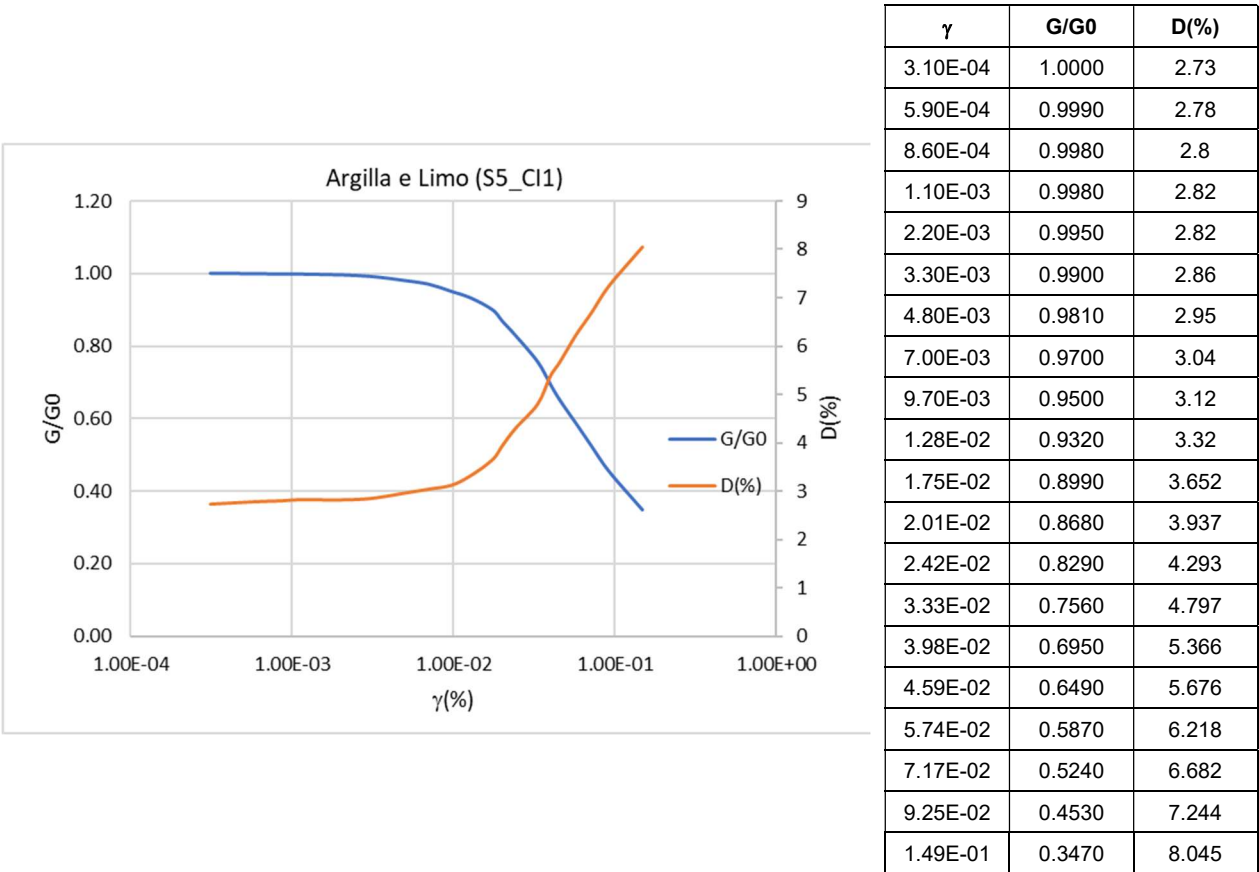


Figura 15. Risultati della prova in colonna risonante (eseguita su S5_CI1).

PNRR - M2C4 Investimento 3.3 - RINATURAZIONE DELL'AREA DEL PO		
Progetto Esecutivo		
SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE		
Codice elaborato:	PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.2.B	
Titolo elaborato:	Relazione sismica	pag. 27 / 82

5 SINTESI DEL MODELLO GEOLOGICO E SCHEMA LITOLOGICO

Le informazioni ottenute attraverso i risultati delle prove geognostiche eseguite nella campagna di indagini di Gennaio-Aprile 2024 hanno permesso di ricostruire il seguente modello geologico-geotecnico per l'area in esame.

Sulla base delle informazioni reperite ed elaborate è possibile definire il seguente schema litologico:

		Profondità base livello	
		DA SOMMITÀ ARGINALE	DA P.C.
L1	<p>- <i>Argine – L1</i>: rilevato arginale, costituito da terreno di riporto limo-argilloso; in superficie le prove hanno attraversato anche un livello di circa 1 m di materiale che costituisce il sottofondo stradale. Il livello è stato riconosciuto sia lungo le verticali delle prove CPTu, eseguite tutte a partire dalla sommità arginale, che in corrispondenza dei sondaggi S3_DH e S4, eseguiti in sommità arginale. È costituito prevalentemente da terreni limosi/limo sabbiosi. Il livello è presente sino a -4/-4.5 m da sommità arginale.</p> <p><i>Parametri caratteristici del livello: $q_c = 0.6/0.9$ MPa; $V_s = <200$ m/s;</i></p> <p><i>Resistività $< 70-50$ ohm*m</i></p>	-4/4.5 m da sommità arginale	-
L2	<p>- <i>Livello L2</i>: coltre alluvionale di superficie prevalentemente limosa-argillosa con presenza di sabbia. Questo livello, prevalentemente limo argilloso, è stato attraversato da tutte le prove, è presente a partire da p.c. (quindi si trova al di sotto dell'argine sopra descritto/a partire dalla base arginale) sino a profondità di -4/7.5 m da p.c.</p> <p><i>Parametri caratteristici del livello: $q_c = 0.7/1.1$ MPa; $V_s = 190/200$ m/s;</i></p> <p><i>Resistività $< 70-30$ ohm*m</i></p>	-7/11 m da sommità arginale	-4/7.5 m da p.c.
L3	<p>- <i>Livello L3</i>: livello prevalentemente costituito da sabbia e sabbia limosa. Il livello è presente a partire da -4/7.5 m da p.c. sino a circa -8/13 m da p.c.</p> <p><i>Parametri caratteristici del livello: $q_c = 1.2/4.7$ MPa; $V_s = 200-250$ m/s;</i></p> <p><i>Resistività $= 70-30$ ohm*m</i></p>	-12/16.5 m da sommità arginale	-8/13 m da p.c.
L4	<p>- <i>Livello L4</i>: livello prevalentemente costituito da sabbia/sabbia limosa con presenza di orizzonti di ghiaia fine. Il livello è presente a partire dai 8/13 m da p.c. sino a circa 23.5/26.0 m da p.c. La maggior parte delle prove penetrometriche statiche raggiunge il rifiuto in corrispondenza di questo livello. Attraverso i sondaggi a carotaggio continuo eseguiti è stato possibile verificare che la base del livello è presente a circa 23-26 m da p.c.</p> <p><i>Parametri caratteristici del livello: $q_c = 6/12.7$ MPa; $V_s = 250-350$ m/s;</i></p> <p><i>Resistività $> 70-90$ ohm*m</i></p>	-29/-30 m da sommità arginale	-23.5/26 m da p.c.

SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE

Codice elaborato: PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.2.B

Titolo elaborato: Relazione sismica

pag. 28 / 82

		Profondità base livello	
		DA SOMMITÀ ARGINALE	DA P.C.
L5	<p>- <i>Livello L5</i>: livello prevalentemente costituito da argilla limosa. Il livello è presente a partire da 23.5/26 m da p.c. <i>Parametri caratteristici del livello</i>: Vs = 350-400 m/s.</p>	-35/-39 m da sommità arginale	
L6	<p>- <i>Livello L6</i>: A partire da profondità superiori ai 35/38.6 m da sommità arginale la litologia prevalente risulta essere costituita da limo sabbioso con presenza di sacche decimetriche di sabbia/sabbia limosa debolmente ghiaiosa. Il livello è stato riconosciuto in corrispondenza dei sondaggi geognostici che hanno raggiunto la profondità massima di -45 m da sommità arginale. <i>Parametri caratteristici del livello</i>: Vs (prova DH)= >400 m/s.</p>	-31/33 m da p.c.	

PNRR - M2C4 Investimento 3.3 - RINATURAZIONE DELL'AREA DEL PO	
Progetto Esecutivo	
SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE	
<i>Codice elaborato:</i>	PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.2.B
<i>Titolo elaborato:</i>	Relazione sismica

pag. 29 / 82

5.1 Indagini geofisiche e ricostruzione profilo geologico

Le indagini sismiche precedentemente descritte hanno permesso, unitamente alle altre indagini geognostiche eseguite nella campagna di indagini eseguiti tra Gennaio e Aprile 2024 di ricostruire il profilo geologico (oltre che geotecnico) e le sezioni geologiche interpretative presenti nelle tavole PE.0.1.6.GEO.GE.S.Z.0.0.1 e PE.0.1.6.GEO.GE.P.F.0.0.1. (Il profilo e le sezioni geotecniche sono presenti nelle tavole PE.0.1.6.GET.GE.S.Z.0.0.1 e PE.0.1.6.GET.GE.P.F.0.0.1).

Di seguito si riportano e commentano in dettaglio alcuni estratti del profilo geologico interpretativo in corrispondenza dell'ubicazione delle principali indagini sismiche. (Le immagini estratte dalle tavole suddette e riportate di seguito non sono in scala). A fine paragrafo si riporta una legenda sommatoria della simbologia presente negli estratti del profilo geologico riportati in relazione.

In particolare le immagini riportate di seguito riguardano i seguenti tratti del profilo:

Figura 16	- profilo geologico (Tratto SUD) progressive stendimento sismico pk 0.0-250.0 L2 – Sovrapposizione con MASW 2D
Figura 17	+ dettaglio del profilo geologico ricostruito tra le progressive dello stendimento sismico pk 30.0-130.0
Figura 18	- profilo geologico ricostruito (Tratto SUD) - progressive tomografia elettrica pk 0.0-250.0 L2 – Sovrapposizione con Tomografia elettrica
Figura 19	- profilo geologico ricostruito (Tratto NORD) presso prova sismica Down Hole.
Figura 20	- profilo geologico ricostruito (Tratto NORD) - progressive stendimento tomografia elettrica pk 0.0-150.0 L1 – Sovrapposizione Tomografia elettrica.
Figura 21	- profilo geologico ricostruito (Tratto NORD) - progressive stendimento tomografia elettrica pk 220-400 L1 – Sovrapposizione Tomografia elettrica.

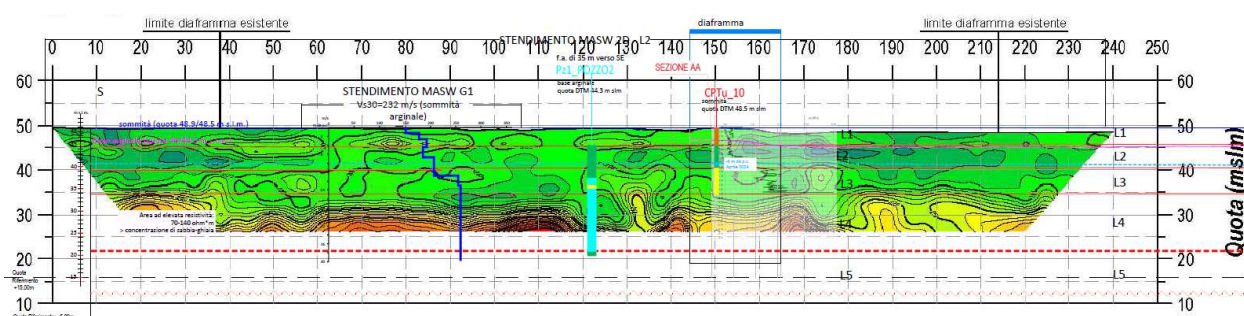


Figura 16. Profilo geologico (Tratto SUD) progressive stendimento sismico pk 0.0-250.0 L2 – Sovrapposizione con MASW 2D

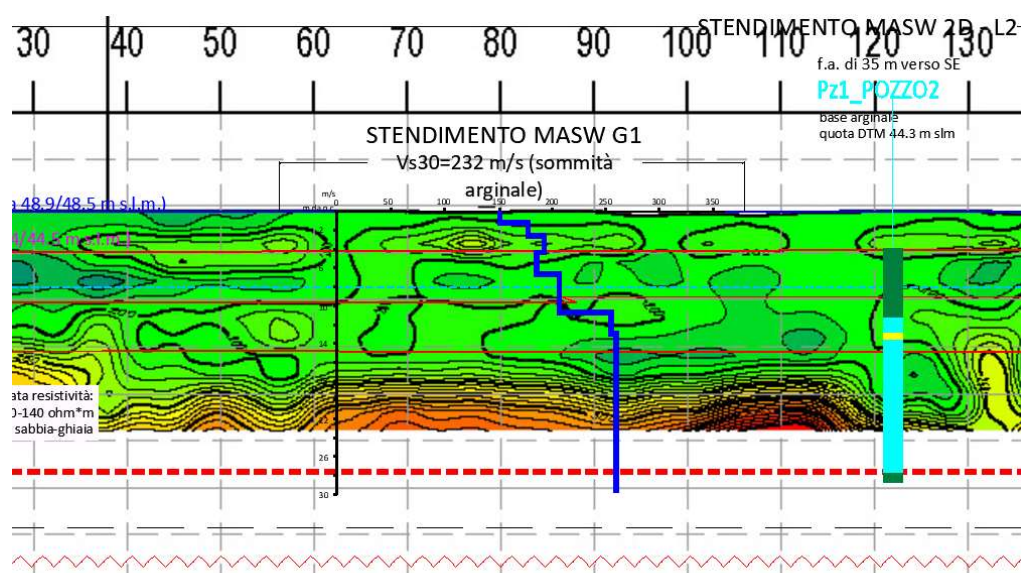


Figura 17. Dettaglio del profilo geologico ricostruito tra le progressive dello stendimento sismico pk 30.0-130.0

Nel tratto del profilo geologico ricostruito tra le progressive dello stendimento sismico 0.0-250.0 (Tratto SUD) le prove sismiche MASW G1 e lo stendimento di sismica MASW 2D (L2) permettono di individuare terreni con valori di Vs crescenti con la profondità in un range compreso tra 150 e 300/350 m/s.

In particolare la prova MASW G1 individua bene il salto tra due sismostrati, e due litologie costituite da limi/argille (L2) e sabbie prevalenti (L3) a circa 10 m di profondità da sommità arginale (passaggio tra 200 e 260 m/s), procedendo poi con una certa uniformità fino alla massima profondità indagate.

Come detto sopra le prove hanno indagato in quest'area terreni con una velocità Vs relativamente uniforme (e sempre inferiore a 300/350 m/s).

SCHEMA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE

Codice elaborato: PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.2.B

Titolo elaborato: Relazione sismica

pag. 31 / 82

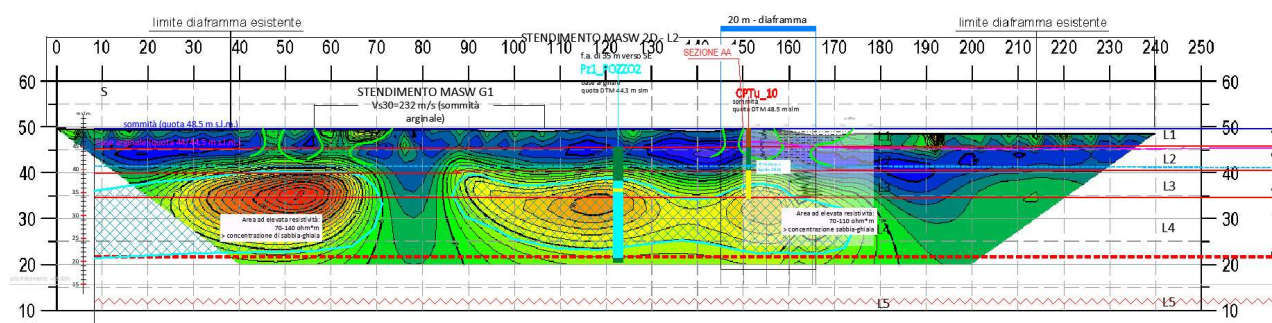


Figura 18. Profilo geologico ricostruito (Tratto SUD) - progressive tomografia elettrica pk 0.0-250.0 L2 – Sovrapposizione con Tomografia elettrica.

Nel tratto del profilo geologico ricostruito tra le progressive dello stendimento sismico 0.0-250.0 (Tratto SUD) la prova geoelettrica eseguita permettono di individuare due principali anomalie tra le progressive dello stendimento geoelettrico pk 20-70 e pk 90-170.

In generale gli stendimenti di geoelettrica eseguiti nell'area in esame hanno permesso di individuare bene lo spessore dell'argine, dove si concentrano valori di resistività medio bassi (40-70 ohm*m) e si è in una condizione di presenza di terreno insaturo (la falda si trova, per quasi tutto il profilo in esame, a profondità maggiori della base arginale).

I primi livelli al di sotto dell'argine presentano resistività più basse (<50/40 ohm*m), si passa da un insaturo (livello rappresentato dall'argine) ad un terreno sotto falda (saturo).

Sono state segnalate inoltre le anomalie di resistività individuate lungo gli stendimenti.

In particolare sono state individuate 2 aree ad elevata resistività (compresa tra 70-110/140 ohm*m dove potrebbe essere presente una maggiore compattazione dei livelli di sabbia-ghiaia (L3-L4) (a partire da circa 40 m slm).

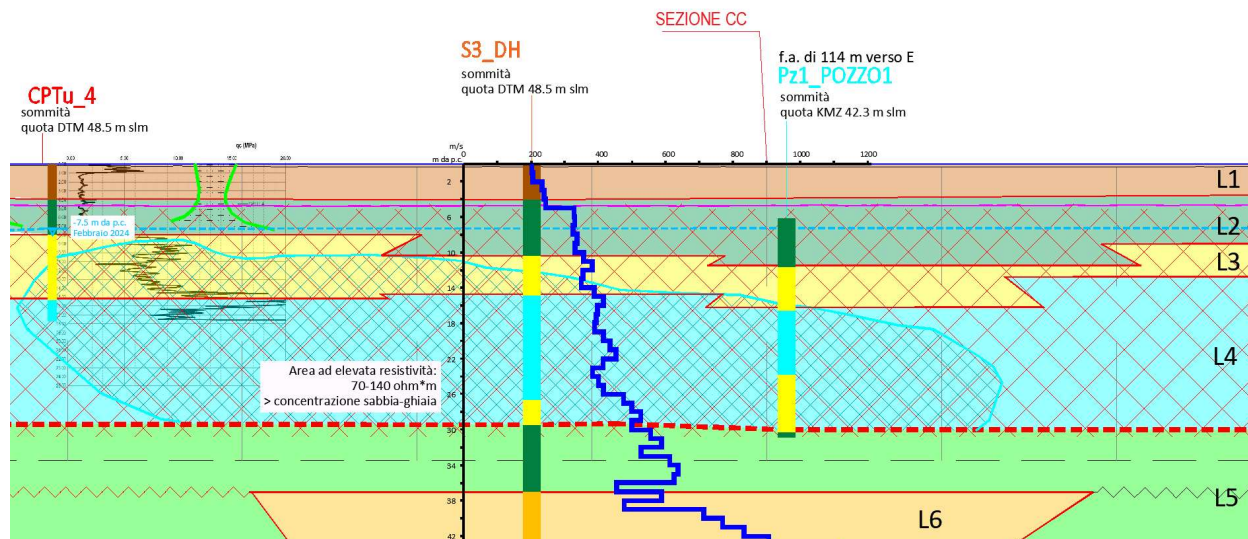


Figura 19. Profilo geologico ricostruito (Tratto NORD) presso prova sismica Down Hole.

Il tratto del profilo geologico sopra indicato è stato ricostruito anche attraverso i dati della prova sismica Down Hole eseguita nel foro di sondaggio S3-DH. La prova ha permesso di distinguere valori decisamente bassi di Vs per quanto riguarda il livello che costituisce l'argine (L1 0-4 m da sommità arginale); il livello L2 è caratterizzato in quest'area da un valore di Vs medio di circa 330 m/s (4-10 m da sommità arginale). I livelli costituenti l'acquifero presente nell'area in esame (L3 e L4 da 10 a 30 m da sommità arginale) presentano valori di Vs medi variabili tra 370/435 m/s. La prova ha raggiunto la profondità massima di 45 m da sommità arginale ed ha individuato, a partire da circa 39/40 m da sommità arginale anche valori superiori a 800 m/s.

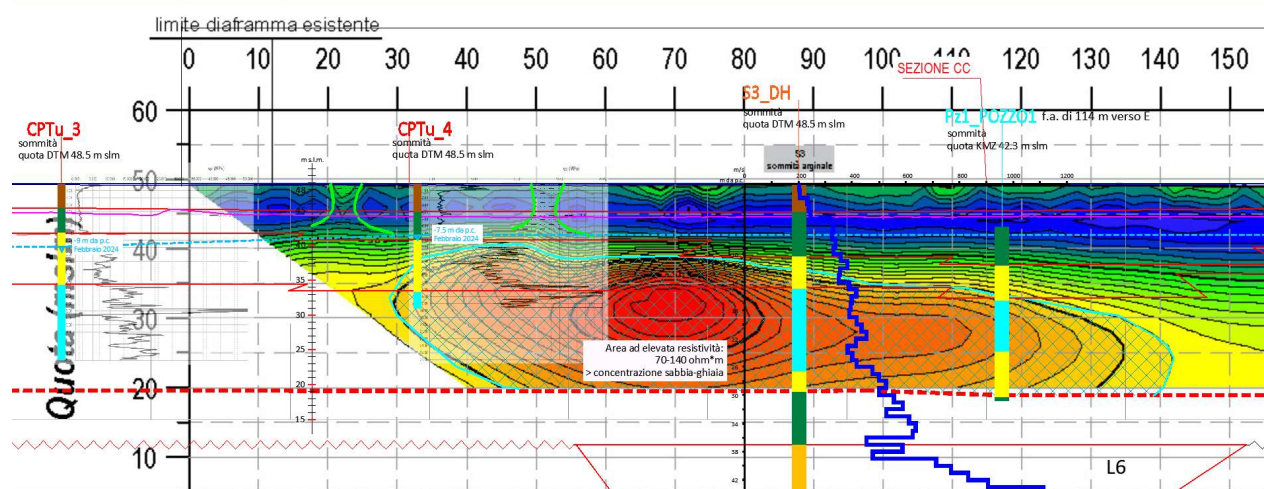


Figura 20. Profilo geologico ricostruito (Tratto NORD) - progressive stendimento tomografia elettrica pk 0.0-150.0 L1 – Sovrapposizione Tomografia elettrica.

SCHEMA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE

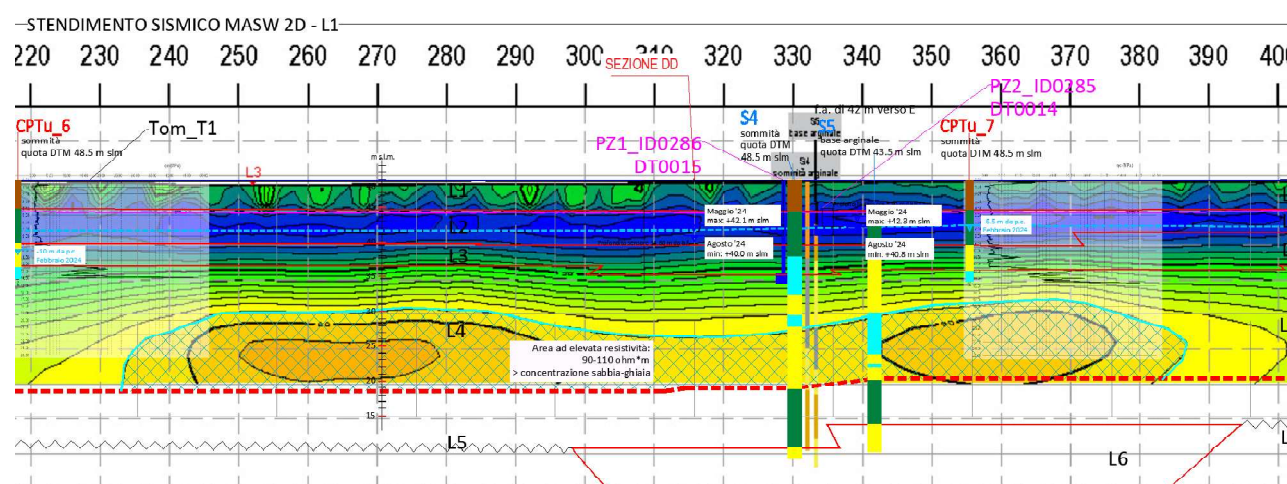
Codice elaborato: PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.2.B

Titolo elaborato: Relazione sismica

pag. 33 / 82

Si segnala inoltre che la tomografia elettrica ha individuato, presso l'area in cui è stata eseguita la prova sismica Down Hole, lungo la verticale del foro di sondaggio S3-DH, una estesa anomalia: in particolare tra le pk dello stendimento di tomografia elettrica 30-130 è stata individuata un'area ad elevata resistività, compresa tra 70-140 ohm*m che può essere attribuita alla presenza di sabbia e ghiaia e ad una loro maggiore compattazione (a profondità > 10 m da sommità arginale).

In ultimo si riporta e commenta il profilo geologico nel tratto compreso tra le progressive dello stendimento tomografia elettrica pk 220-400 L1 (Tratto NORD). Anche in questo tratto la tomografia elettrica ha individuato, subito a nord dell'area in cui è stata eseguita la prova sismica Down Hole la seguente anomalia: tra le pk 230-380 dello stendimento di tomografia elettrica è stata individuata un'area ad elevata resistività, compresa tra 90-110 ohm*m anch'essa attribuibile alla presenza di sabbia e ghiaia (livello L4 a partire da circa 18 m di profondità da sommità arginale) e ad una loro maggiore compattazione e/o addensamento.

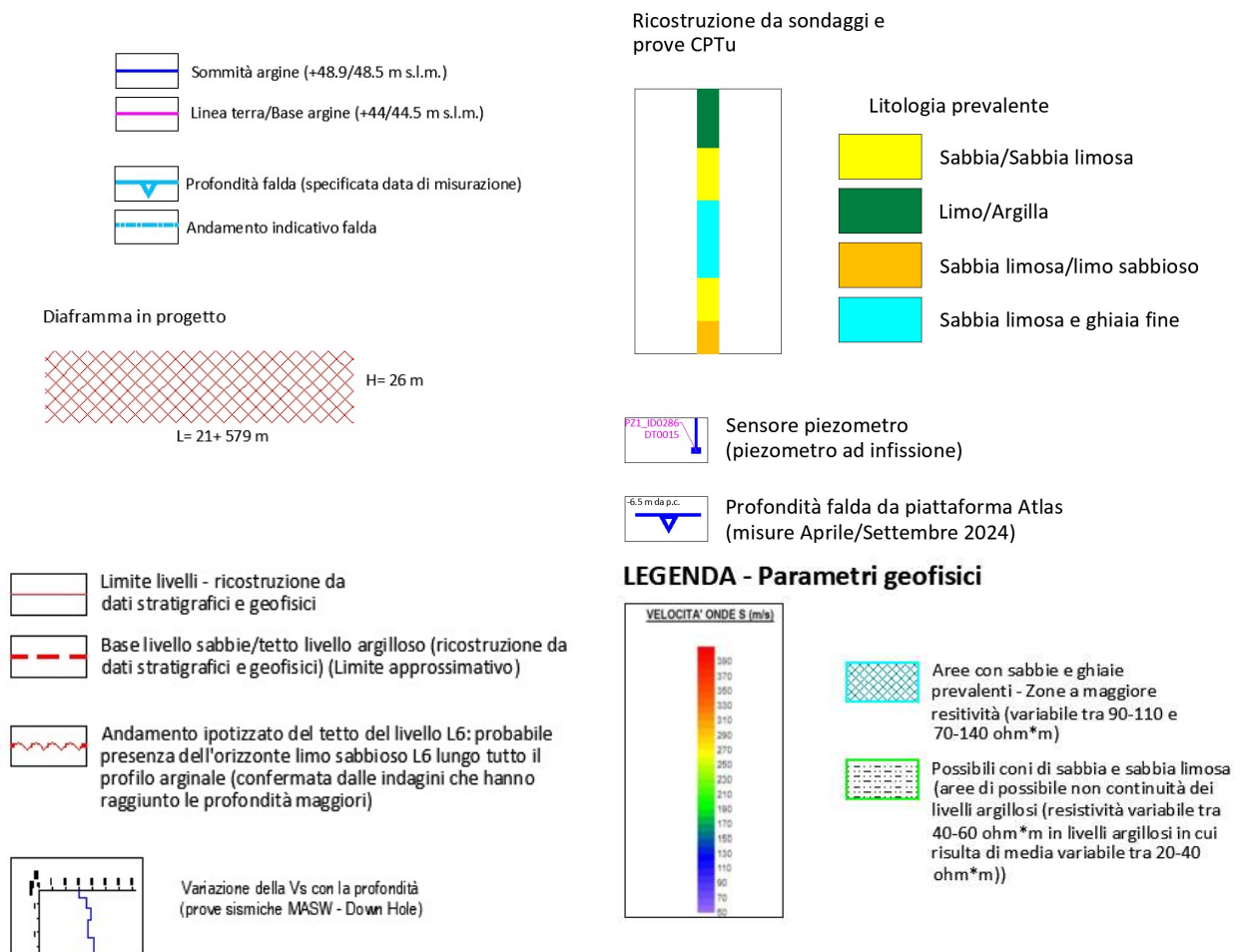


SCHEMA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE

Codice elaborato: PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.2.B

Titolo elaborato: Relazione sismica

pag. 34 / 82



Modello stratigrafico ricostruito per l'area in esame

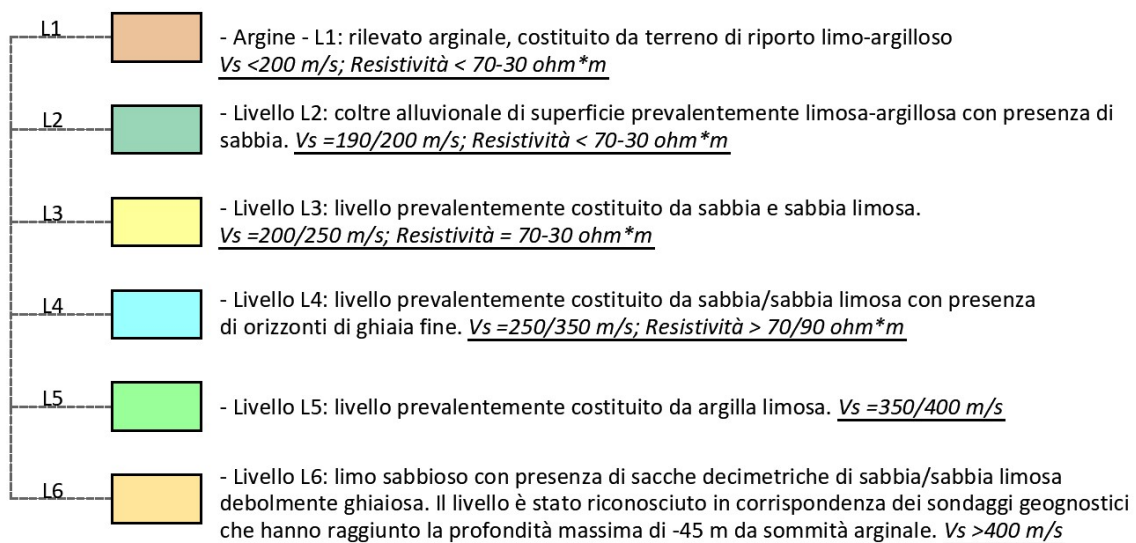


Figura 22. Porzione Legenda profilo geologico

6 MODELLAZIONE SISMICA CONCERNENTE LA “PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE” DEL SITO DI COSTRUZIONE

6.1 Sismicità

6.1.1 Zonazione sismica e pericolosità

L'area in esame, nella zonazione sismogenetica pubblicata sul sito <http://zonesismiche.mi.ingv.it/> (G.d L., 2004²), ricade all'interno della zona sismogenetica 911.

Le zona sismogenetica 911 limita a nord l'arco appenninico settentrionale e comprende il cosiddetto “Arco di Pavia” e le strutture a esso relative. In realtà, si suppone che la funzione delle strutture comprese all'interno della 911 sia di svincolo cinematico del sistema supposto in migrazione (Patacca et al. 1990). Lo smembramento di tale zona nelle diverse zone appenniniche longitudinali non avrebbe consentito la corretta valutazione della pericolosità nell'area da essa racchiusa, a fronte di una non trascurabile sismicità propria dell'area stessa.

Nel “*Database of individual seismogenic sources - DISS*”³ disponibile al sito www.ingv.it l'area in esame ricade internamente alle sorgenti sismogenetiche individuate, in particolare si colloca in parte lungo la sorgente sismogenetica composita **ITCS044** - Portalbera-Cremona. Sono riportate a lato le informazioni relative alle sorgenti sismogenetiche citate nelle tabelle seguenti.

GENERAL INFORMATION			
DISS-ID	ITCS044		
Name	Portalbera-Cremona		
Compiler(s)	Burrato P.(1)		
Contributor(s)	Burrato P.(1), D'Ambrogi C.(2), Maesano F.E.(1), Toscani G.(3)		
Affiliation(s)	1) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; Sezione Roma 1; Via di Vigna Murata, 605, 00143 Roma, Italy 2) Istituto superiore per la protezione e la ricerca ambientale; Servizio Geologico d'Italia; Via Vitaliano Brancati, 48, 00144 Roma, Italy 3) Università di Pavia; Dipartimento di Scienze della Terra e dell'Ambiente; Via Ferrara, 1, 27100 Pavia, Italy		
Created	17/10/2013		
Updated	19/06/2015		
PARAMETRIC INFORMATION			
Parameter	Quality	Evidence	
Min depth [km]	2.0	OD	Based on geological data from various authors.
Max depth [km]	7.0	OD	Based on geological data from various authors.
Strike [deg] min... max	30...115	OD	Based on geological data from various authors.
Dip [deg] min... max	20...40	OD	Based on geological data from various authors.
Rake [deg] min... max	80...100	EJ	Inferred from geological data.
Slip Rate [mm/yr] min... max	0.4800...0.5400	OD	Based on geological data from Maesano et al. (2015).
Max Magnitude [Mw]	6.7	ER	Estimated from Leonard's (2014) scaling relations.

² Gruppo di Lavoro (2004): Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003. Rapporto conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma.

³ DISS 3.3.0- DISS Working Group (2021). Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.3.0: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/diss3.3.0>

PNRR - M2C4 Investimento 3.3 - RINATURAZIONE DELL'AREA DEL PO	
Progetto Esecutivo	
SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE	
Codice elaborato:	PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.2.B
Titolo elaborato:	Relazione sismica
pag. 36 / 82	

Nel “*Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani*” (Gruppo di lavoro CPTI15 versione 4.0, 2022⁴) per un intorno significativo dell’area in esame (un quadrato di 30 Km di lato con centro nell’area in esame) sono stati identificati 13 eventi significativi, dei quali si riportano alcuni dati nella tabella successiva.

N	Sect	Year	Mo	Da	Ho	Mi	Se	EpicentralArea	MainRef	TLDef	LatDef	LonDef	DepDef	IoDef	TioDef	MwDef	ErMwDef	TMwDef
288	MA	1522	10	05	00	10		Pianura Padana	CFTI4med	MM	44.982	10.050		5	bx	4.71	0.40	Mdm
379	MA	1586	01	12				Parmense	MOLAL008	MM	44.866	10.061		5	bx	4.16	0.46	Mdm
707	MA	1738	11	05	00	30		Emilia occidentale	ENEL985	MM	44.906	10.028		7	bx	5.10	0.46	Mdm
1087	MA	1829	09	06	19	30		Cremona	ENEL985	MM	45.135	10.023		5-6	bx	4.40	0.46	Mdm
1913	MA	1906	08	25	03	11		Parmense	CFTI4med	MM	44.812	10.079		5	bx	4.25	0.33	Mdm
2005	MA	1910	01	23	01	50		Piacentino	CFTI4med	MM	44.857	9.659		5	bx	4.39	0.17	Mdm
2067	MA	1912	10	01	18	10		Piacenza	CFTI4med	MM	45.052	9.693		4	bx	3.70	0.46	Mdm
2681	MA	1951	05	15	22	54		Lodigiano	CAMA014	MI	45.226	9.620		6-7	bx	5.17	0.08	Wmim
3300	MA	1980	12	23	12	01	06.00	Piacentino	MOLAL008	MI	44.808	9.787		6-7	bx	4.57	0.10	InsO
3670	MA	1991	10	31	09	31	18.63	Emilia occidentale	CSTI1.1	IM	44.939	9.997	9.9	5	bx	4.33	0.10	Wmim
4320	MA	2007	07	30	19	05	43.08	Pianura emiliana	BSINGV	II	44.898	10.003	20.5			4.45	0.07	InsO
4409	MA	2009	10	19	10	08	49.64	Piacentino	BSINGV	II	44.814	9.772	23.6			4.12	0.07	InsO
4777	MA	2018	05	19	16	41	21.94	Piacentino	BSI019c	II	44.823	9.682	28.7			4.16	0.07	InsO

Field	Description	TLDef	Type of default location:
N	Record number (in chronological order)		- MI = macroseismic (alternative to instrumental)
Sect	Catalogue section, related to a specific seismological context MA = main NV = Phlegraean volcanic area EV = Etna volcanic area CA = Calabrian arc (subduction)		- IM = instrumental (alternative to macroseismic)
			- II = instrumental (only choice)
			- MM = macroseismic (only choice)
			- PC = from parametric catalogue
			- NP = location not defined
Year	Origin time: year	LatDef	Default epicentral latitude (WGS84)
Mo	Origin time: month	LonDef	Default epicentral longitude (WGS84)
Da	Origin time: day	DepDef	Default depth in km (instrumental; only when TLDef = II or IM)
Ho	Origin time: hour	IoDef	Default epicentral intensity
Mi	Origin time: minutes	TioDef	Source of the default epicentral intensity:
Se	Origin time: seconds		- bx = from macroseismic data, determined using Boxer
EpicentralArea	Epicentral area or area of the largest macroseismic effects		- pc = from parametric catalogue
			- dm = from macroseismic data according to the referenced study (RefM)
MainRef	Main bibliographical reference: - equal to RefM when TLDef = MM, MI, ND - equal to RefIns when TLDef = II or IM - code of the reference parametric catalogue when TLDef = PC	MwDef	Default moment magnitude
		ErMwDef	Error associated to the default moment magnitude
		TMwDef	Default moment magnitude determination code:
			- InsO = instrumental, recorded
			- InsC = instrumental, converted from other magnitude scales
			- Mdm = macroseismic, from intensity data
			- Mlo = macroseismic, converted from epicentral intensity
			- Mpc = from the source parametric catalogue
			- Wmim = mean of MwIns and MwM, weighted with the inverse of the related variances

Tabella 2. Estratto dal Catalogo Parametrico dei Terremoti italiani.

4 Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli, B., Gasperini P., Antonucci A. 2022. *Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15)*, versione 4.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/CPTI/CPTI15.4>.

Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli, B., Gasperini P., 2020. *The Italian earthquake catalogue CPTI15. Bulletin of Earthquake Engineering* 18, 2953-2984. <https://doi.org/10.1007/s10518-020-00818-y>.

PNRR - M2C4 Investimento 3.3 - RINATURAZIONE DELL'AREA DEL PO	
Progetto Esecutivo	
SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE	
Codice elaborato:	PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.2.B
Titolo elaborato:	Relazione sismica

pag. 37 / 82

6.1.2 Classificazione sismica

Nell'“Aggiornamento della classificazione sismica dei comuni dell'Emilia-Romagna” (DGR n. 146 del 06/02/2023) il Comune di **Caorso** viene classificato in **zona 3**. Nella figura seguente viene riportata la classificazione sismica a scala regionale.

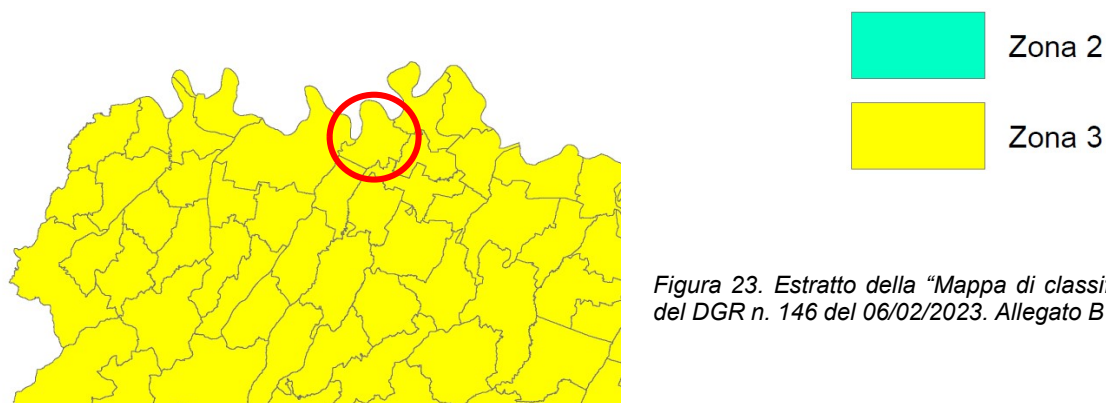


Figura 23. Estratto della “Mappa di classificazione sismica” del DGR n. 146 del 06/02/2023. Allegato B – DGR 146/2023.

Nel D.M 17 gennaio 2018. “*Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”* per il calcolo della pericolosità si fa riferimento agli allegati delle “*Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni*” (G.U. n°29 del 04/02/08) in cui in particolare è fornita la pericolosità sismica su reticolo di riferimento per diversi intervalli di riferimento (sito <http://esse1.mi.ingv.it/>). Poiché l'area in esame non ricade precisamente su uno di tali punti, i valori dei parametri di interesse per la definizione dell'azione sismica di progetto possono essere calcolati come media pesata dei valori assunti da tali parametri nei quattro vertici della maglia elementare del reticolo di riferimento attraverso la seguente espressione:

$$p = \frac{\sum_{i=1}^4 \frac{p_i}{d_i}}{\sum_{i=1}^4 \frac{1}{d_i}}$$

dove p è il valore del parametro di interesse nel punto in esame; p_i è il valore del parametro di interesse nell'iesimo punto della maglia elementare contenente il punto esame; d è la distanza del punto in esame dall'iesimo punto della maglia suddetta.

Di seguito si riportano i parametri a_g , F_0 e T_c' per diversi periodi di ritorno T_R ottenuti con il programma “Spettri-NTC ver 1.3” disponibile sul sito del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici <http://www.cslp.it/cslp/>.

SCHEMA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE

Codice elaborato: PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.2.B

Titolo elaborato: Relazione sismica

pag. 38 / 82

FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate: LONGITUDINE 9.83922 LATITUDINE 45.06981

Ricerca per comune: REGIONE Emilia-Romagna PROVINCIA COMUNE

Elaborazioni grafiche: Grafici spettri di risposta Variabilità dei parametri

Elaborazioni: Tabella parametri

Nodi del reticolo intorno al sito

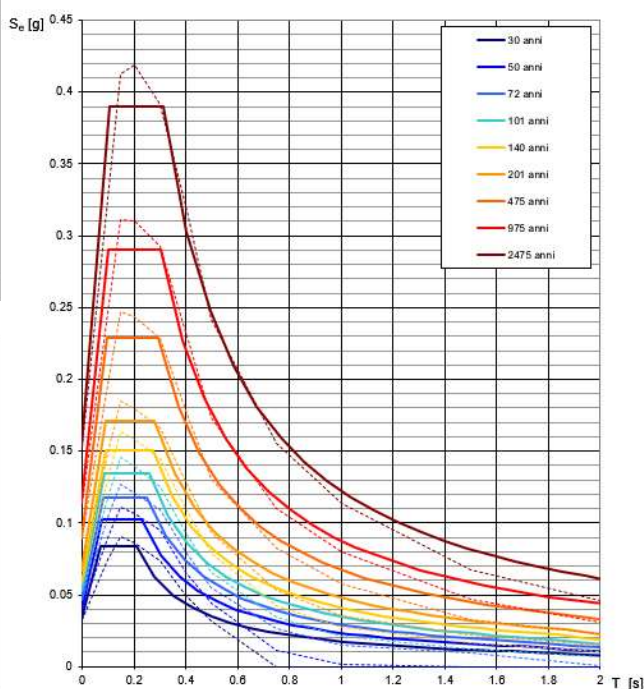
Reticolo di riferimento

Controllo sul reticolo: Sito esterno al reticolo Interpolazione su 3 nodi Interpolazione media ponderata

La "Ricerca per comune" utilizza le coordinate (STAT) del comune per identificare il sito. Si sottolinea che all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, la "Ricerca per coordinate".

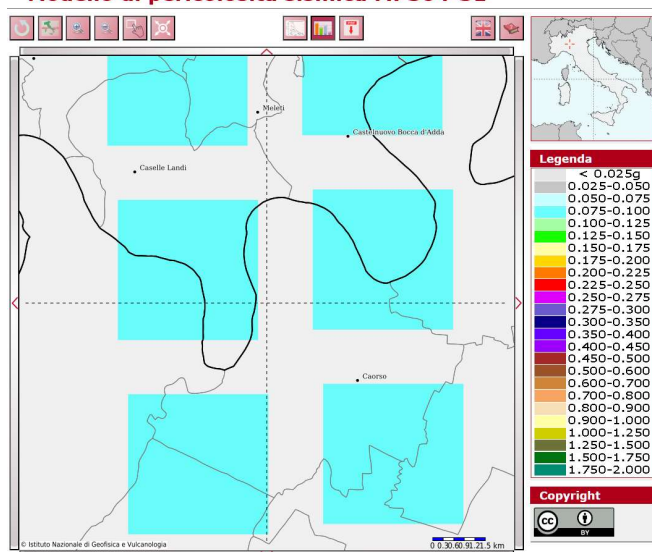
INTRO **FASE 1** FASE 2 FASE 3

T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_c^* [s]
30	0.033	2.541	0.209
50	0.040	2.576	0.230
72	0.046	2.546	0.251
101	0.052	2.567	0.259
140	0.058	2.584	0.272
201	0.067	2.568	0.281
475	0.090	2.559	0.294
975	0.114	2.548	0.303
2475	0.153	2.547	0.313

Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno T_R di riferimento

I dati di disaggregazione riportati nel sito <http://esse1.mi.ingv.it/> per i vertici identificati riferiscono valori di magnitudo (M) per $a(g)$ con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni media comprese tra 4-6 e distanze (D) comprese tra 0-30 km.

Modello di pericolosità sismica MPS04-S1



	14045	14046	14267	14267
M	4.9	4.95	4.86	4.88
D	22.3	25	17.3	17.7
Epsilon	1.05	1.25	0.89	0.944

Figura 24. Dati di disaggregazione estratti dal sito <http://esse1.mi.ingv.it/> per i nodi relativi all'area in esame per una probabilità del 10% in 50 anni.

Figura 25. Estratto dalla tavola Tavola A4.3 “Carta delle aree suscettibili di effetti sismici locali” del PTCP della provincial di Piacenza.

PNRR - M2C4 Investimento 3.3 - RINATURAZIONE DELL'AREA DEL PO	
Progetto Esecutivo	
SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE	
Codice elaborato:	PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.2.B
Titolo elaborato:	Relazione sismica
pag. 40 / 82	

Le stesse informazioni sono riportate nelle Tavole B_09a e B09c del PSC del comune di Caorso.

6.2.2 Microzonazione sismica del Comune di Caorso

Il comune di Caorso è provvisto di studio di microzonazione sismica di II livello (DGR2245/2018 MS2). L'area in corrispondenza dell'abitato di Roncarolo rientra nelle aree di studio di MZS di II livello. Nel presente paragrafo si riportano e commentano alcune cartografie degli studi di MZS che riportano informazioni di interesse per l'area di studio.

Nella “Carta geologico tecnica” della Microzonazione sismica (II Livello) del Comune di Caorso i terreni di copertura presenti nell'area sono classificati come SM pi – sabbie limose, miscela di sabbie e limo, poco addensati – depositi di piana inondabile. L'area in esame è attraversata dalla traccia della sezione geologica C-D “Roncarolo-Zerbio” di cui si riporta un estratto di seguito.



Figura 26. Estratto dalla “Carta geologico tecnica” della Microzonazione sismica II del comune di Caorso.

SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE

Codice elaborato: PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.2.B

Titolo elaborato: Relazione sismica

pag. 41 / 82

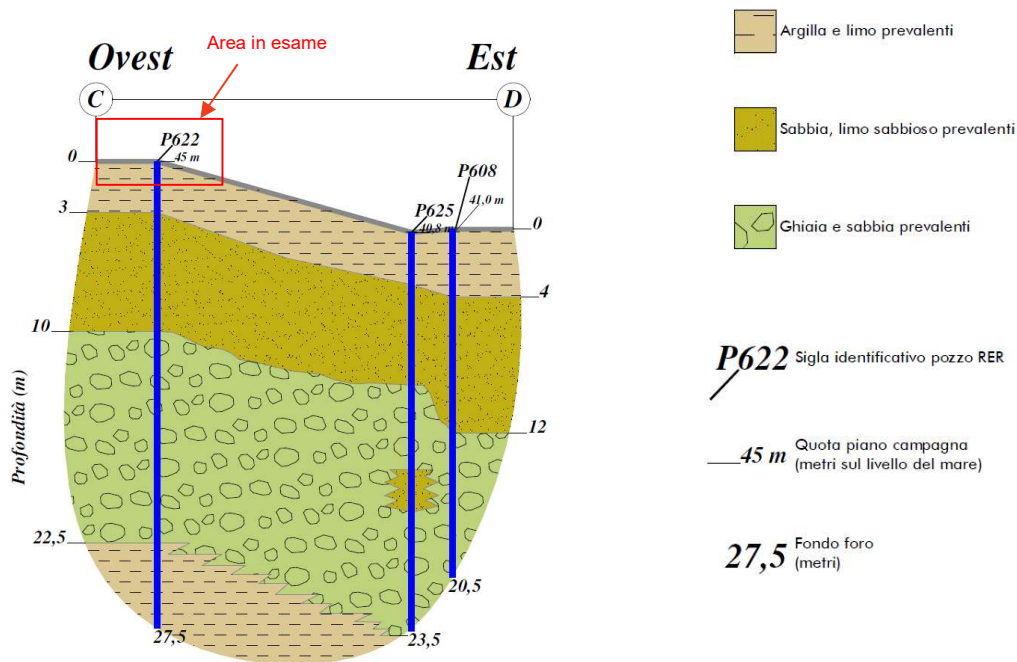


Figura 27. Sezione Roncarolo-Zerbio da MZS di Caorso.

La sezione sopra riportata individua, in corrispondenza dell'area in esame, circa 3 m di argilla e limo prevalenti, seguiti da circa 7 m di sabbia e successivi 12-15 m di sabbia e ghiaia; l'argilla prevalente torna ad essere presente oltre i 22.5 m da p.c.

L'immagine seguente riporta un estratto della "Carta delle indagini" della MZSII del comune di Caorso. In corrispondenza dell'abitato di Roncarolo sono indicate le seguenti indagini geognostiche e sismiche: n°1 pozzo per acqua 033010P34, n°1 registrazione di rumore sismico a stazione singola 033010P18, n°1 prova penetrometrica CPT 033010P11 e n°1 stendimento Re.Mi. 033010L1.

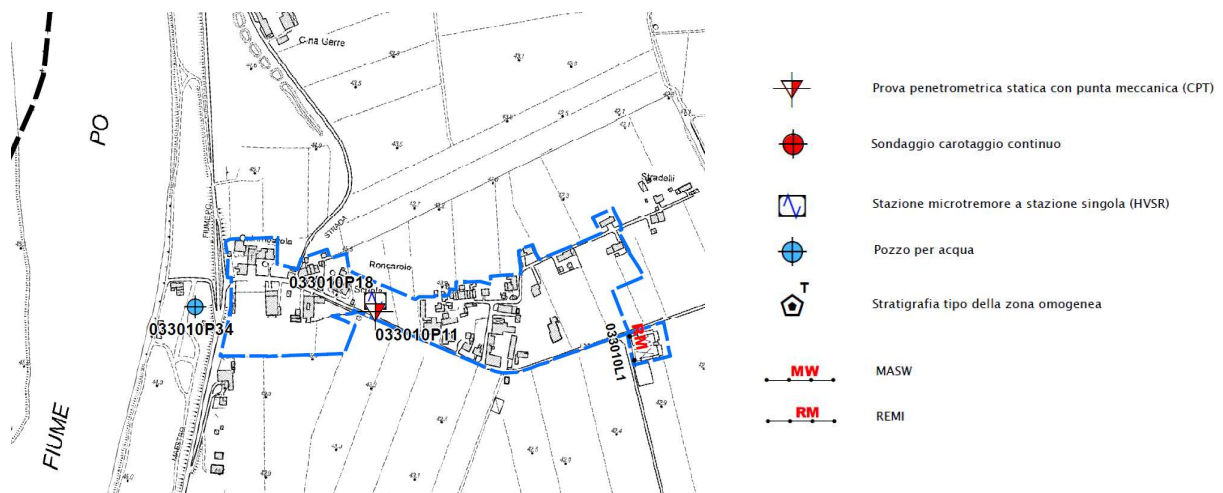


Figura 28. Estratto dalla "Carta delle indagini" della Microzonazione sismica II del comune di Caorso.

SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE

Codice elaborato: PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.2.B

Titolo elaborato: Relazione sismica

pag. 42 / 82

Nella Relazione Illustrativa della MZS del comune di Caorso viene indicato per la prova 033010P18 una frequenza del picco F_0 pari a 3.5 Hz (con ampiezza pari a 1.5).

Nella “Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs)” viene segnalato un valore di Vs30 pari a 202 m/s in corrispondenza della registrazione HVSR ed un valore di Vs30 pari a 265 m/s in corrispondenza della prova Re.Mi.

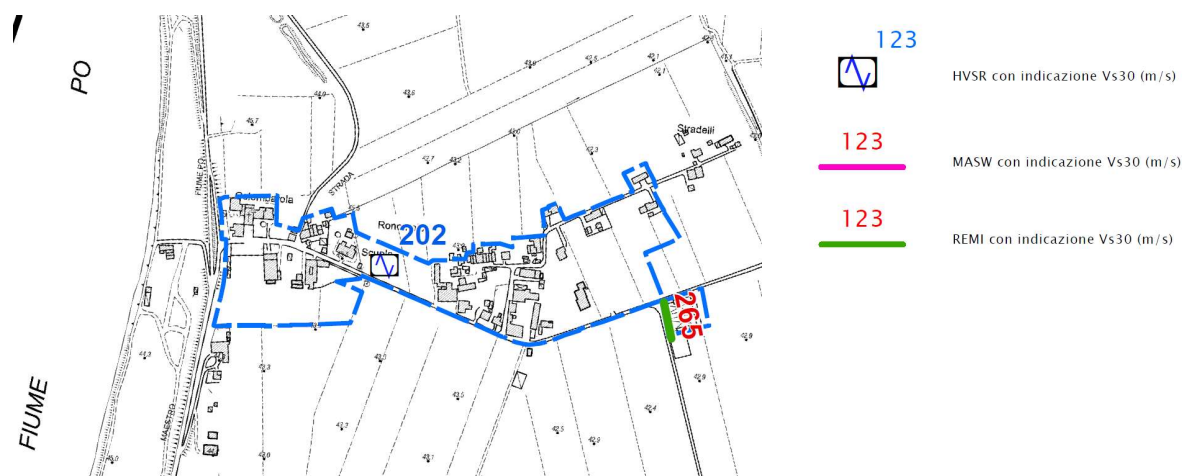


Figura 29. Estratto dalla “Carta delle velocità delle onde di taglio” – MZS comune di Caorso.

Nella “Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica” si osserva come il sito in esame interessato da studi di MZS II ricada all’interno della zona di attenzione per instabilità “ZALQ: Zona di attenzione per liquefazione - Zona 30502002” caratterizzata da “Successione stratigrafica costituita da depositi prevalentemente argilloso - limoso di spessore variabile tra 3 e 4 metri che ricoprono sabbie limose con spessore variabile tra 7 e 10 metri, seguiti da ghiaie con sabbia di spessore variabile tra 9 e 10 m, che ricoprono argille che si estendono fino a - 30 da p.c.”.

SCHEMA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE

Codice elaborato: PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.2.B

Titolo elaborato: Relazione sismica

pag. 43 / 82

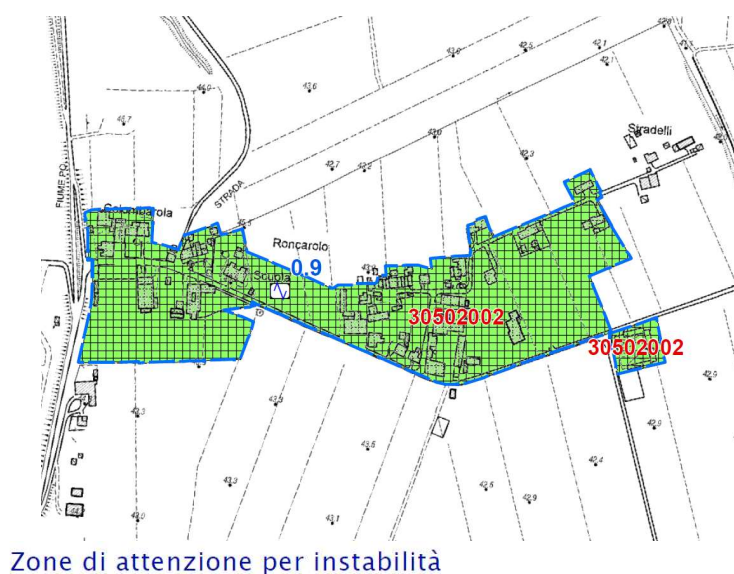


Figura 30. Estratto dalla "Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica" della Microzonazione sismica del comune di Caorso.

30502002

ZALQ: Zona di attenzione per liquefazione – Zona 30502002
 Successione stratigrafica costituita da depositi prevalentemente argilloso – limoso di spessore variabile tra 3 e 4 metri che ricoprono sabbie limose con spessore variabile tra 7 e 10 metri, seguiti da ghiaie con sabbia di spessore variabile tra 9 e 10 m, che ricoprono argille che si estendono fino a – 30 da p.c.

Nella "Carta di Microzonazione sismica Fa di PGA" e nelle altre carte di microzonazione che indicano i valori di amplificazione per le aree oggetto di studio di MZS di II livello sono indicati i seguenti valori di fattori di amplificazione per l'area soggetta a studi di MZSII:

Fattore di amplificazione	Valore
Fa di PGA	1.7
FA _{IS} 0.1-0.5s	1.8
FA _{IS} 0.4-0.8s	2.7
FA _{IS} 0.5-1.5s	3.1
FA _{IS} 0.7-1.1s	3.2

Fattore di amplificazione	Valore
FH _{IS} 0.1-0.5 s	2
FH _{IS} 0.5-1.0 s	3
FH _{IS} 0.5-1.5 s	3.3

Fattore di amplificazione	Valore
HSM	0.36
HSM 0.4-0.8s	0.54
HSM 0.7-1.1s	0.64

6.3 Azioni sismiche ai sensi NTC2018

6.3.1 Categorie di sottosuolo

Per la definizione dell'azione sismica si è fatto riferimento all'approccio semplificato riportato nelle **NTC2018**.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{s,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione:

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

Dove 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.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro $V_{s,30}$, ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Sulla base dei valori di V_s ricavati dalle indagini sismiche eseguite si individua una categoria di sottosuolo di **tipo C**. Il valore di V_s ottenuto dalla prova sismica MASW è risultato pari a 232 m/s calcolato in sommità arginale e pari a 288 m/s calcolato al piano campagna (V_{s30} da D. Hole = 349 m/s).

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

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	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.
B	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.
C	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.
D	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.
E	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.

PNRR - M2C4 Investimento 3.3 - RINATURAZIONE DELL'AREA DEL PO	
Progetto Esecutivo	
SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE	
Codice elaborato:	PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.2.B
Titolo elaborato:	Relazione sismica

pag. 45 / 82

6.3.2 Categorie topografiche

Per la definizione delle categorie topografiche si è anche fatto riferimento all'approccio semplificato riportato nelle NTC2018 che si basa sull'individuazione di categorie topografiche di riferimento così come riportate nelle tabelle 3.2.III. e 3.2.V.

Le categorie topografiche si riferiscono a configurazioni topografiche bidimensionali e devono essere considerate per altezza maggiore a 30m.

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 $i > 30^\circ$

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

Si evidenzia come ai sensi delle NTC la variazione spaziale del coefficiente di amplificazione topografica sia definita da un decremento lineare con l'altezza del pendio o rilievo, dalla sommità o cresta fino alla base dove S_T assume valore unitario. Gli effetti della topografia possono essere trascurati per pendii con inclinazione media inferiore a 15° e devono essere calcolati nel caso di configurazioni geometriche bidimensionali e tridimensionali di altezza superiore a 30m.

Per quello che riguarda le categorie topografiche il sito in esame si colloca in un'area pianeggiante quindi è possibile classificare l'area come T1 "Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$ " ed il coefficiente di amplificazione topografica **$S_T = 1.0$** .

6.3.3 Parametri sismici di calcolo

A titolo esemplificativo l'opera è definita con Vita Nominale **$V_N=100$** (vedasi tabella 2.4.1 delle NTC 2018), **Classe d'uso IV**, da cui deriva un coefficiente **$C_u = 2.0$** (vedasi tabella 2.4.II delle NTC 2018).

Sulla base delle definizioni precedenti le azioni sismiche si possono calcolare in relazione ad un periodo di riferimento V_R , che si ricava moltiplicando la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_u secondo la relazione riportata nella formula 2.4.1 delle NTC 2018 e di seguito riportata.

$$V_R = V_N \cdot C_u$$

Per l'opera in esame il valore di V_R risulta pari a 200 anni.

Tab. 2.4.I – Valori minimi della Vita nominale V_N di progetto per i diversi tipi di costruzioni

TIPI DI COSTRUZIONI		Valori minimi di V_N (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

Tab. 2.4.II – Valori del coefficiente d'uso C_u

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_u	0,7	1,0	1,5	2,0

Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.

Classe II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

Classe III: Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.

Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

Come parametro caratterizzante della pericolosità sismica è utilizzato il periodo di ritorno dell'azione sismica T_R espresso in anni e calcolato secondo la formula (1) dell'allegato A delle NTC 2008, riportata di seguito:

$$T_R = - \frac{V_R}{\ln(1 - P_{V_R})}$$

Il valore di probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{V_R} cui riferirsi per individuare l'azione sismica in ciascuno degli stati limite è riportato nella tabella 3.2.I delle NTC2018.

Tab. 3.2.I – Probabilità di superamento P_{V_R} in funzione dello stato limite considerato

Stati Limite	P_{V_R} : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R	
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE

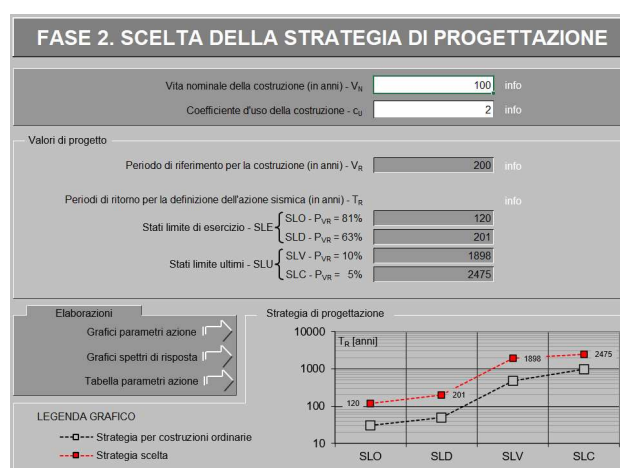
Codice elaborato: PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.2.B

Titolo elaborato: Relazione sismica

pag. 47 / 82

Il valore del tempo di ritorno T_R in anni per l'opera in esame è risultato pari a **1898 anni**.

Di seguito si riportano i dati relativi all'area di interesse per una costruzione con Vita Nominale 100 anni e coefficiente d'uso $C_u = 2.0$ ottenuti con il programma "Spettri-NTC ver 1.3" disponibile sul sito del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici <http://www.cslp.it/cslp/>.



Comune di	Caorso		
Longitudine	9.839217	°	
Latitudine	45.069808	°	
Zona sismogenetica	911		
Magnitudo attesa	M	6.14	
Vita nominale	VN	100	anni
Coefficiente d'uso	C _U	2	
Periodo di riferimento	VR	200	
Tempo di ritorno	Tr	1898	anni

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_c^* [s]
SLO	120	0.055	2.576	0.266
SLD	201	0.067	2.568	0.281
SLV	1898	0.141	2.547	0.310
SLC	2475	0.153	2.547	0.313

L'accelerazione orizzontale massima attesa al sito a_{max} è stata determinata con la seguente relazione:

$$a_{max} = S_s \times S_t \times a_g$$

dove: a_g = accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido; S_s = coefficiente di amplificazione stratigrafica; S_t = coefficiente di amplificazione topografica. Il prodotto $S_s \times S_t = S$ = coefficiente di amplificazione locale. Nelle seguenti tabelle si riportano i valori dei coefficienti di amplificazione topografica e stratigrafica, rispettivamente in funzione della categoria topografica e del tipo di terreno.

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

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

Categoria sottosuolo	S_s	C_c
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_c^*)^{-0,20}$
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	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_c^*)^{-0,40}$

PNRR - M2C4 Investimento 3.3 - RINATURAZIONE DELL'AREA DEL PO			
Progetto Esecutivo			
SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE			
Codice elaborato:	PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.2.B		
Titolo elaborato:	Relazione sismica		pag. 48 / 82

In sintesi si riportano i dati:

Zona sismica		3	
Zona sismogenetica		911	
Magnitudo attesa	M	6.14	
Vita nominale	VN	100	anni
Coefficiente d'uso	CU	2	
Periodo di riferimento	VR	200	
Tempo di ritorno	Tr	1898	anni
Categoria di sottosuolo		C	
Stato Limite Ultimo		SLV	
accelerazione di progetto	ag	0.141	g
Parametro spettrale	F0	2.547	-
Parametro spettrale	Tc'	0.31	s
Stato Limite di Esercizio		SLD	
accelerazione di progetto	ag	0.067	g
Parametro spettrale	F0	2.563	-
Parametro spettrale	Tc'	0.281	s
Stato Limite Ultimo		SLV	
Coefficiente di amplificazione dipendente dal tipo di sottosuolo	Ss	1.48	di progetto
Categoria topografica		T1	
Coefficiente di amplificazione topografica	St	1.00	
Coefficiente di amplificazione sismica locale	$S = St * Ss$	1.485	
Amax	$Amax = Ag * S$	0.2093	g
Stato Limite di Esercizio		SLD	
Coefficiente di amplificazione dipendente dal tipo di sottosuolo	Ss	1.50	di progetto
Categoria topografica		T1	
Coefficiente di amplificazione topografica	St	1.00	
Coefficiente di amplificazione sismica locale	$S = St * Ss$	1.500	
Amax	$Amax = Ag * S$	0.1005	g

PNRR - M2C4 Investimento 3.3 - RINATURAZIONE DELL'AREA DEL PO	
Progetto Esecutivo	
SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE	
Codice elaborato:	PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.2.B
Titolo elaborato:	Relazione sismica

pag. 49 / 82

7 ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE - RSL

È stata eseguita un'analisi di Risposta Sismica Locale secondo i paragrafi 3.2.2 e 7.11.3 delle NTC2018. L'analisi è stata effettuata attraverso analisi numerica monodimensionale in campo lineare equivalente attraverso il software di calcolo STRATA⁵.

La ricostruzione del modello geologico del sito, riportata in dettaglio nell'elaborato PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1, viene presentata in sintesi al paragrafo 5.

Per l'analisi di RSL è stato utilizzato un modello geologico semplificato come riportato di seguito (Figura 32).

L'analisi di risposta sismica locale è stata eseguita sulla verticale S3-DH.

7.1 Modello geologico del sottosuolo e bedrock sismico

Il modello geologico utilizzato prevede la presenza, al di sotto del rilevato arginale, di un'alternanza di limo argilloso e sabbie, in particolare la successione stratigrafica è costituita da depositi prevalentemente argilloso - limoso di spessore variabile tra 3 e 4 metri che ricoprono sabbie limose con spessore variabile tra 7 e 10 metri, seguiti da ghiaie con sabbia di spessore variabile tra 9 e 10 m, segue poi un livello prevalentemente costituito da limo e argilla che si estende fino a - 30 da p.c. I livelli costituiti da sabbie limose e ghiaie con sabbia evidenziano valori di Vs molto variabili anche in funzione delle condizioni di addensamento delle stesse.

In generale il bedrock sismico è definito come *“Sequenza litostratigrafica caratterizzata da una velocità delle onde di taglio Vs maggiore o uguale a 800 m/s.”* (da Glossario di Indirizzi e criteri per la Microzonazione sismica, GdL, 2008) e rappresenta uno degli elementi fondamentali per la valutazione della risposta sismica locale sito specifica.

I dati ottenuti attraverso la prova sismica Down Hole individuano a partire da -34 m da p.c. valori variabili tra 700-900 m/s (e valori superiori a 900 m/s oltre i 39 m da p.c. (44 m di profondità da sommità arginale). I valori di Vs medi dei sismostrati presenti e individuati tra il p.c. e -34 m di profondità variano da 330-560 m/s (vedasi modelli in Figura 31).

Attraverso i dati della Down Hole che ha indagato una profondità massima di 45 m da sommità arginale il contrasto di impedenza più importante è stato individuate a -34 m da p.c., dove è stato considerato anche presente il tetto del sismostrato con valore di Vs medio pari a 800 m/s, quindi a partire da -34.0 m da p.c. si è scelto di considerare il bedrock sismico.

In corrispondenza del sondaggio S3-DH che ha raggiunto una profondità di 45 m da sommità arginale è stato individuato il livello L6 (a partire da 34 m da p.c.), costituito da limo sabbioso; questo livello potrebbe rappresentare un terreno più antico consistente e addensato dei livelli sovrastanti e come orizzonte potrebbe essere presente lungo tutto il profilo arginale; la sua presenza è stata individuate appunto dal sondaggio S3-DH e dalle altre prove geognostiche spinte a profondità superiori (35/40 m da sommità arginale raggiunti da S5 ed S4).

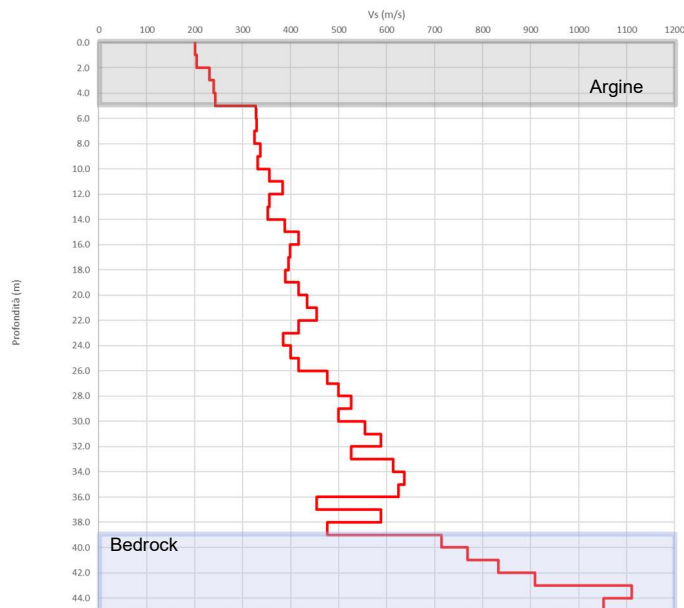
⁵ STRATA - Version: 0.8.0 by Albert Kottke and Professor Ellen Rathje at the University of Texas at Austin.

SCHEMA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE

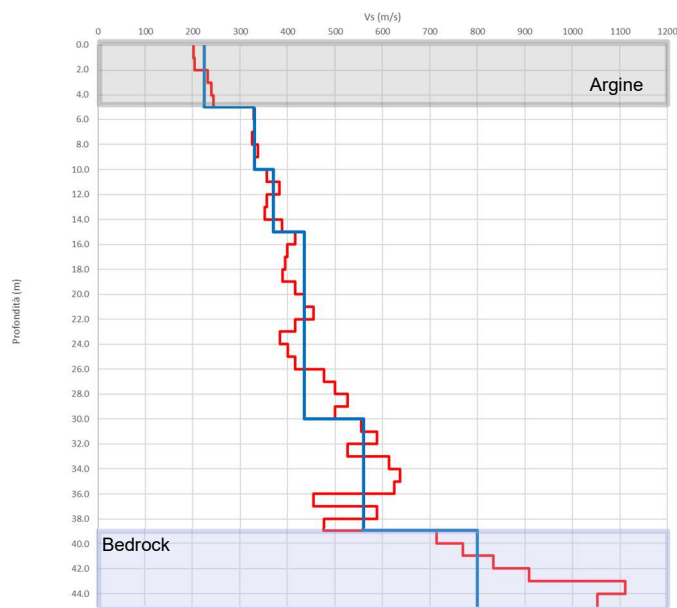
Codice elaborato: PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.2.B

Titolo elaborato: Relazione sismica

pag. 50 / 82



profondità m da sommità arginale	spessore	Vs m/s	Litologia	Livello
0	5	225	Argine	L1
5	5	330	Limo e argilla	L2
10	5	370	Sabbie limose	L3
15	15	435	Sabbie e Ghiaie	L4
30	9	560	Limo e argilla	L5
39	inf	800	Bedrock	



profondità m da p.c.	spessore	Vs m/s	Litologia	Livello
0	5	330	Limo e argilla	L2
5	5	370	Sabbie limose	L3
10	15	435	Sabbie e Ghiaie	L4
25	9	560	Limo e argilla	L5
34	inf	800	Bedrock	

Figura 31. Modello geologico semplificato. Nel grafico a sinistra in rosso i valori di Vs misurati dalla prova sismica Down Hole ed in blu i valori di Vs medi per ogni livello individuato.

SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE

Codice elaborato: PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.2.B

Titolo elaborato: Relazione sismica

pag. 51 / 82

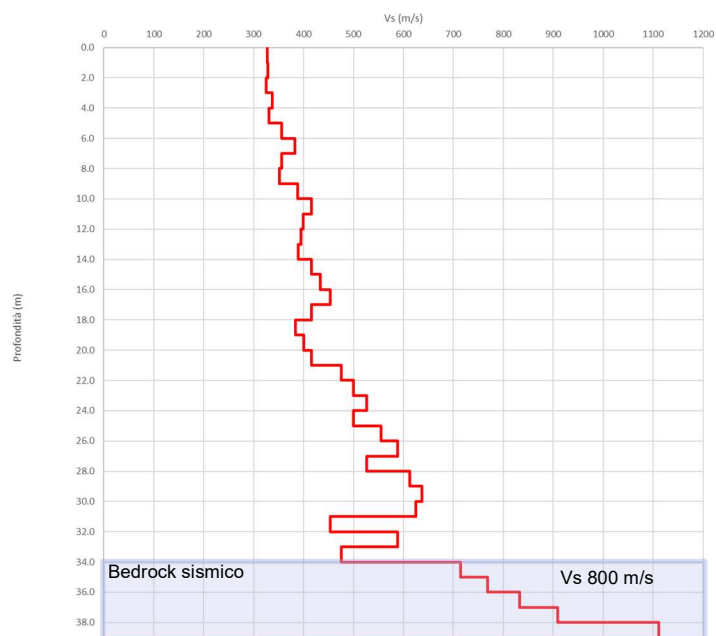


Figura 32. Modello geologico semplificato utilizzato per l'analisi di RSL.

Nel grafico sopra in rosso i valori di Vs misurati dalla prova sismica Down Hole per il bedrock, a partire da -34 m da p.c. è stato considerato un valore di 800 m/s.

<i>profondità</i>	<i>Vs</i>	<i>Litologia</i>
<i>m dal p.c.</i>	<i>m/s</i>	
1	328	Limo
2	329	Limo
3	325	Limo
4	337	Limo
5	331	Limo
6	356	Sabbia
7	383	Sabbia
8	356	Sabbia
9	352	Sabbia
10	388	Sabbia
11	416	Sabbia e ghiaie
12	399	Sabbia e ghiaie
13	395	Sabbia e ghiaie
14	389	Sabbia e ghiaie
15	416	Sabbia e ghiaie
16	434	Sabbia e ghiaie
17	454	Sabbia e ghiaie
18	416	Sabbia e ghiaie
19	384	Sabbia e ghiaie
20	400	Sabbia e ghiaie
21	416	Sabbia e ghiaie
22	476	Sabbia e ghiaie
23	500	Sabbia e ghiaie
24	526	Sabbia e ghiaie
25	500	Sabbia e ghiaie
26	555	Limo e argilla
27	588	Limo e argilla
28	526	Limo e argilla
29	613	Limo e argilla
30	637	Limo e argilla
31	625	Limo e argilla
32	454	Limo e argilla
33	588	Limo e argilla
34	476	Limo e argilla
Bedrock	800	

PNRR - M2C4 Investimento 3.3 - RINATURAZIONE DELL'AREA DEL PO	
Progetto Esecutivo	
SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE	
<i>Codice elaborato:</i>	PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.2.B
<i>Titolo elaborato:</i>	Relazione sismica

pag. 52 / 82

L'analisi di RSL eseguita, ed i cui risultati sono riportati nei sotto paragrafi seguenti, è stata realizzata considerando il modello geologico riportato in Figura 32.

Si precisa che è stata inoltre eseguita un'analisi RSL speditiva e di verifica secondo il modello semplificato riportato in Figura 31 che ha portato a determinare un valore di FA di PGA in linea rispetto a quello determinato attraverso la RSL eseguita considerando i singoli valori di Vs per ciascun metro al di sopra del bedrock sismico individuato, come rilevato da prova Down Hole (FA=1.5).

7.2 Parametri analisi RSL

I parametri utilizzati per la verifica di RSL locale eseguita sono indicati nel paragrafo 6.3.3. Di seguito si riassumono le informazioni principali:

Coordinate (ED50)	Lat. 45.069808° Long. 9.839217°
Vita nominale (Vn)	100 anni
Classe uso	IV
Coefficiente uso (Cu)	2.0
Vita di riferimento	200 anni
Periodo di ritorno (SLV)	1898 anni
a_g	0.141 g

7.3 Curve di decadimento del modulo di taglio e di incremento del damping

Per quanto riguarda le curve di decadimento del modulo di taglio e di incremento del damping, sono stati utilizzati per i materiali fini i dati provenienti dalla prova di laboratorio (prova di colonna risonante) che ha interessato il livello L4 (campione analizzato S5_CI1 (prelevato tra 25 e 26 m da p.c.)).

Nella figura seguente sono riportati i diagrammi della prova eseguita che ha interessato il livello L4 (campione analizzato S5_CI1 (prelevato tra 25 e 26 m da p.c.)).

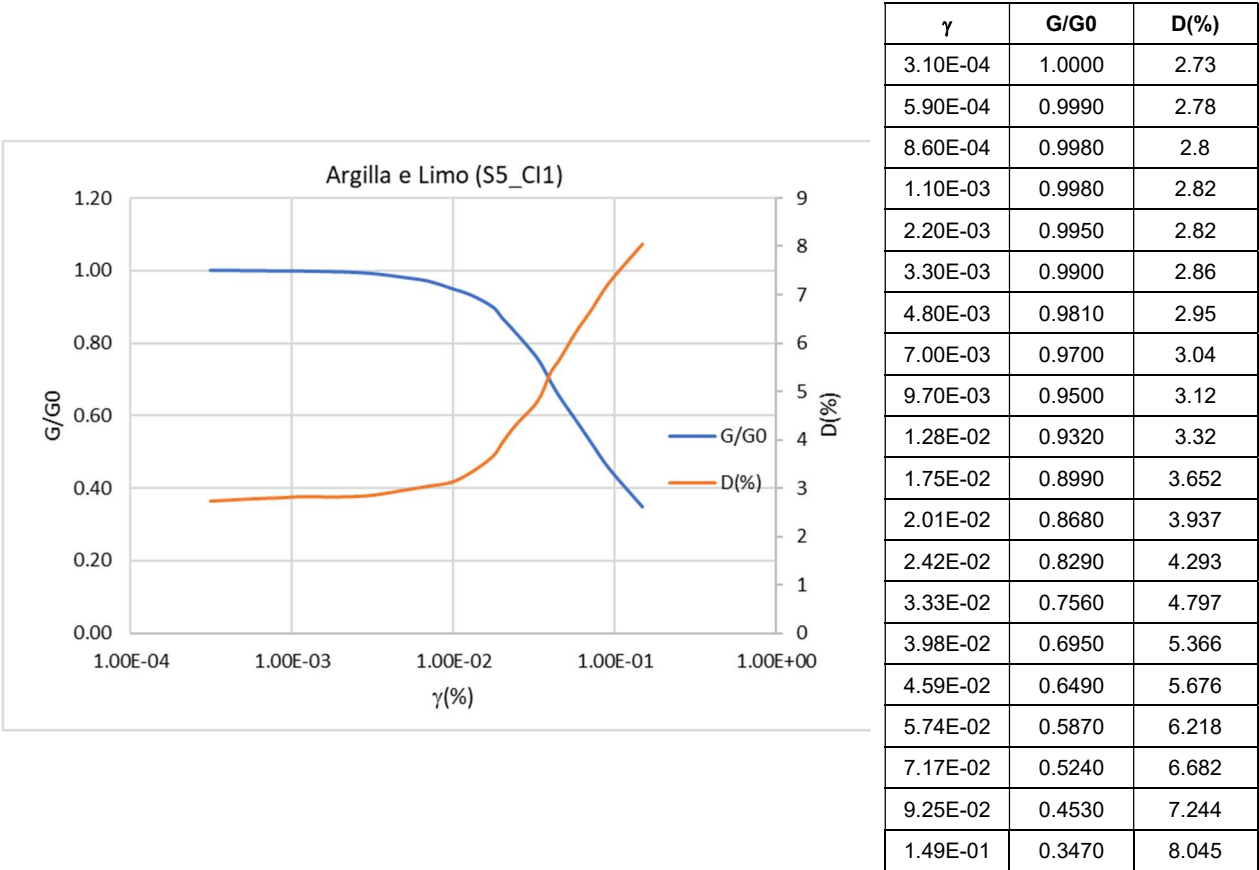


Figura 33. Risultati della prova in colonna risonante (eseguita su S5_CI1).

Sono inoltre stati consultati i dati relativi alle curve di decadimento del modulo di taglio e di incremento del damping reperiti in bibliografia: per quanto riguarda le ghiaie sono stati utilizzati i dati relativi alle ghiaie in Rollins et al. (1998).

Per quanto riguarda le *sabbie* sono stati utilizzati i dati relativi alle curve di decadimento del modulo di taglio e di incremento del damping derivati dalla Regione Lombardia (da Regione Lombardia, PoliMi2008).

Litologia	Fonte dei dati
Ghiaie in matrice limo-sabbiosa	Rollins et al. 1998 ⁶
Sabbie	PoliMi2008

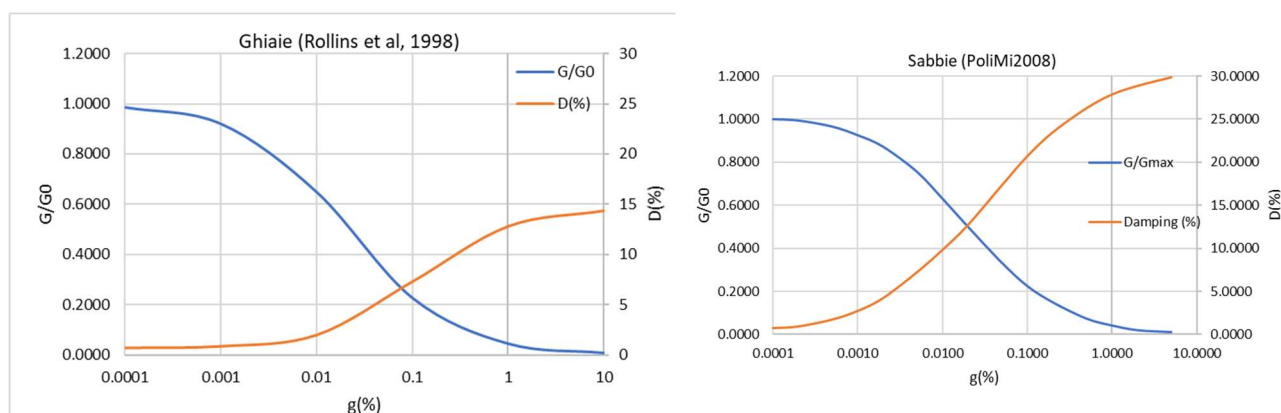
⁶ Rollins K.M., Evans M.D., Diehl N.B., Daily W.D. (1998) "Shear Modulus and Damping Relationships for Gravel" *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, May 1998

SCHEMA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE

Codice elaborato: PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.2.B

Titolo elaborato: Relazione sismica

pag. 54 / 82

Figura 34. Curve D e G/G_0 utilizzate.

7.4 Definizione del moto di input per SLV

La scelta dei segnali di input (accelerogrammi) necessari allo sviluppo del modello di calcolo monodimensionale Equivalente-Lineare (EQL) ha considerato gli accelerogrammi forniti dal software REXEL v 3.5⁷, predisposto dalla ReLUIS di Napoli con i seguenti parametri.

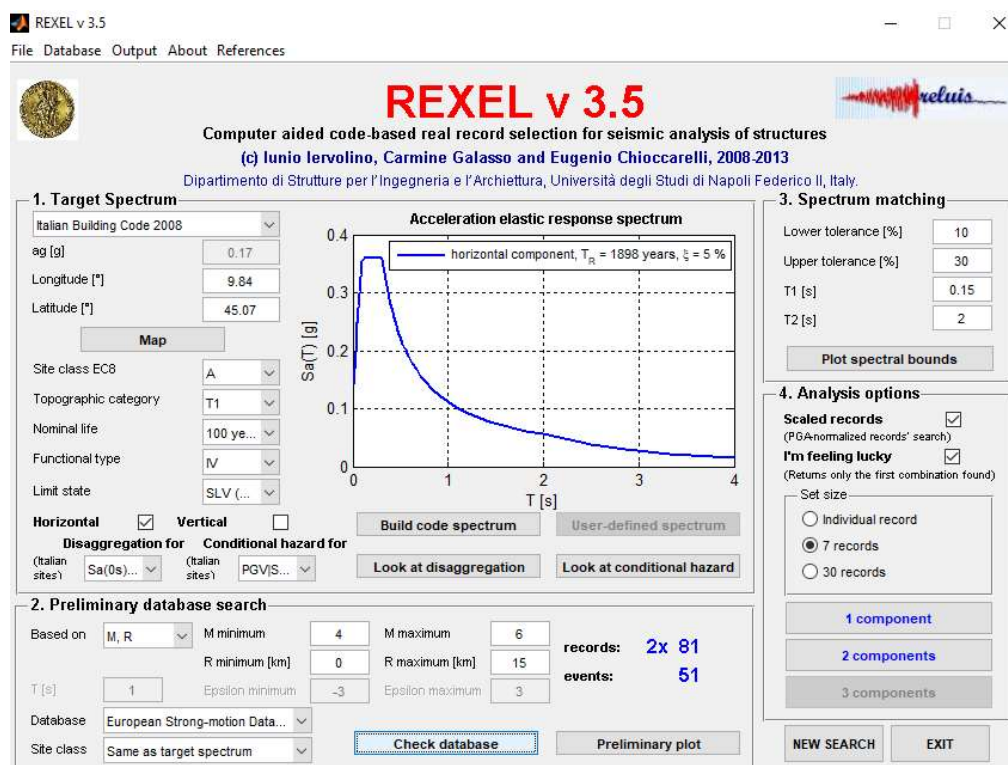


Figura 35. Interfaccia software per selezione accelerogrammi.

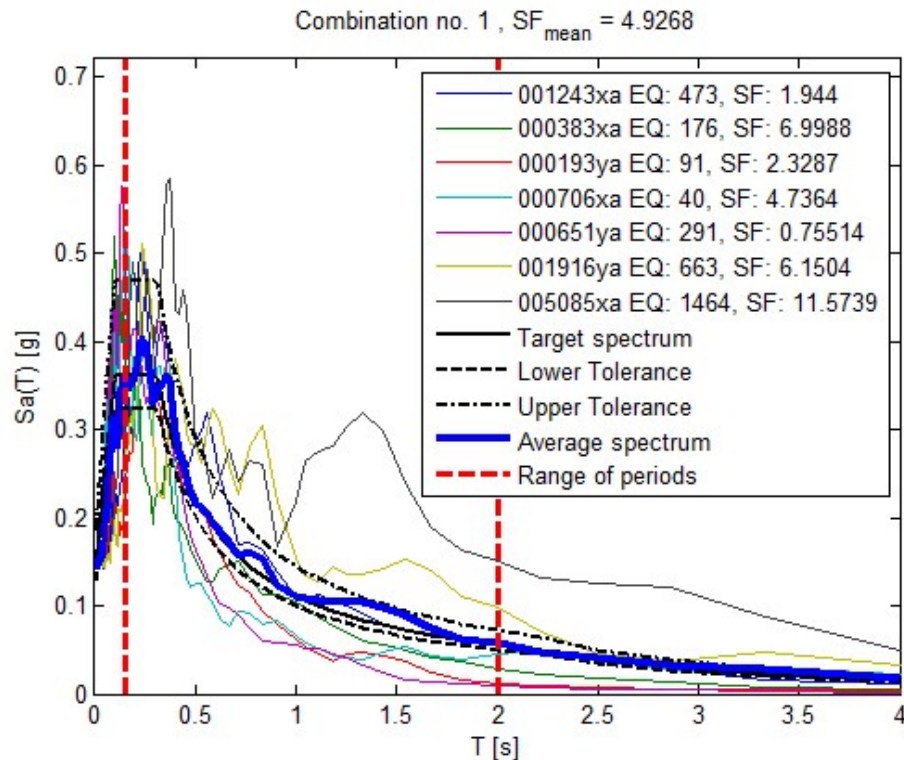
⁷ Iervolino, I., Galasso, C., Cosenza, E. REXEL: computer aided record selection for code-based seismic structural analysis. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 8:339-362, 2010 DOI 10.1007/s10518-009-9146-1

SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE

Codice elaborato: PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.2.B

Titolo elaborato: Relazione sismica

pag. 55 / 82



Per il sito in esame sono stati utilizzati i sismi riferiti alle coordinate dell'area in esame e selezionati dal software Rexel in funzione dei parametri riportati al paragrafo 6.3.3. Si riportano di seguito alcune generali informazioni degli accelerogrammi selezionati.

Waveform ID	Earthquake ID	Station ID	Earthquake Name	Date	Mw	Fault Mechanism	Epicentral	PGA_X [m/s ²]	PGA_Y [m/s ²]	PGV_X [m/s]	PGV_Y [m/s]	ID_X	ID_Y	Np_X	Np_Y	EC8 Site class
1243	473	ST575	Izmit (aftershock)	13/09/1999	5.8	oblique	15	0.7138	3.112	0.0551	0.1454	5.8117	4.0128	0.7206	0.42541	A
383	176	ST153	Lazio Abruzzo (aftershock)	11/05/1984	5.5	normal	14	0.1983	0.2012	0.0143	0.009	8.2592	10.2276	0.85738	0.73207	A
193	91	ST64	Montenegro	09/04/1979	5.4	thrust	15	0.4279	0.5959	0.0162	0.0394	7.4737	3.8812	0.59687	0.60542	A
706	40	ST20	Friuli (aftershock)	11/05/1976	4.9	thrust	14	0.2938	0.2802	0.0152	0.0149	12.7497	8.3515	0.74342	0.727	A
651	291	ST236	Umbria Marche (aftershock)	06/10/1997	5.5	normal	5	2.2292	1.8377	0.1007	0.0842	6.0098	11.1199	0.90021	0.57384	A
1916	663	ST1328	Ierissos (foreshock)	14/06/1983	4.4	strike slip	13	0.1794	0.2256	0.0207	0.0232	9.6277	8.0882	0.79298	0.92054	A
5085	1464	ST2497	Mt. Hengill Area	04/06/1998	5.4	strike slip	15	0.1199	0.1714	0.0188	0.0234	8.3003	5.8882	0.8689	1.0397	A

Tabella 3. Informazioni generali sismi selezionati

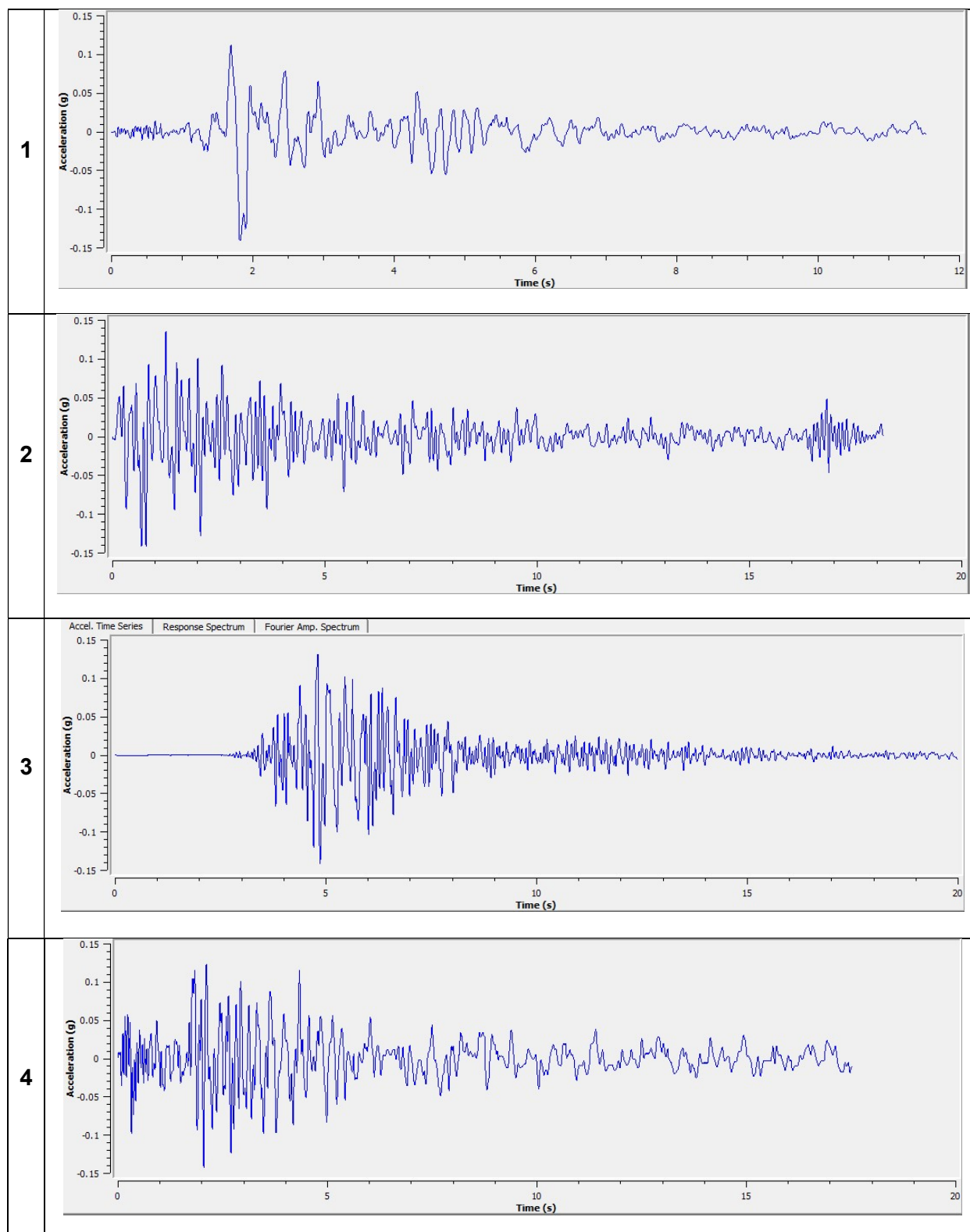
SCHEMA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE

Codice elaborato: PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.2.B

Titolo elaborato: Relazione sismica

pag. 56 / 82

Seguono i grafici dei 7 input sismici scalati in funzione della a_g del sito in esame, alle condizioni indicate al paragrafo 6.3.3 e riassunte nel paragrafo 7.2.

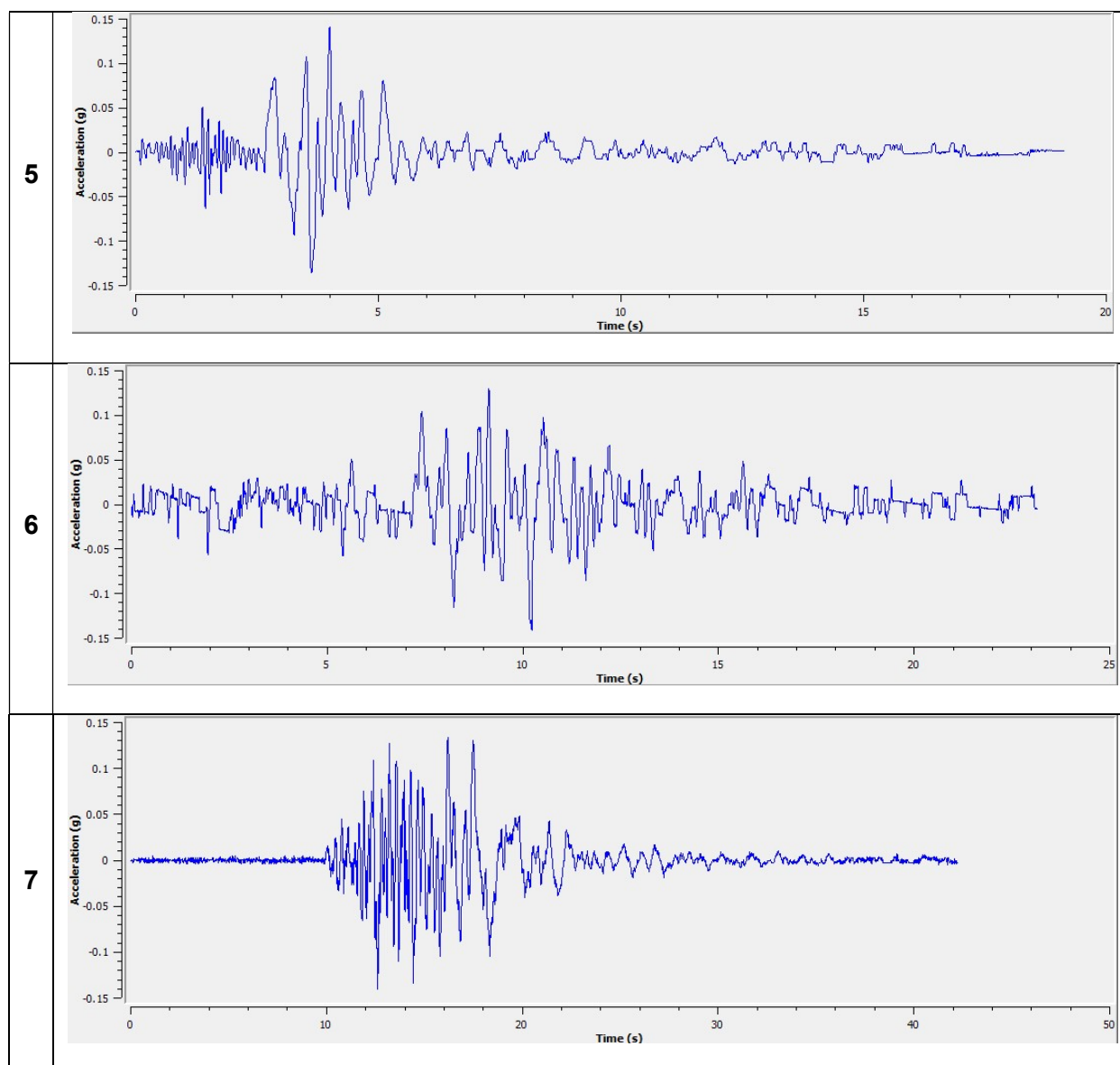


SCHEMA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE

Codice elaborato: PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.2.B

Titolo elaborato: Relazione sismica

pag. 57 / 82



7.5 Risultati dell'analisi di risposta sismica locale

La modellazione quantitativa degli effetti di amplificazione specifici dell'area in esame è stata eseguita tramite l'ausilio del software Strata⁸ (Kottke et al., 2010), che calcola la risposta sismica di un deposito stratificato orizzontalmente, a comportamento visco-elastico lineare, poggiante su bedrock deformabile a superficie orizzontale soggetto alla propagazione verticale delle onde di taglio, valido pertanto per modellare situazioni piano-parallele ad uno o più strati (1D).

⁸ Albert Kottke; Ellen M. Rathje (2010), "Strata," <http://nees.org/resources/692>.

SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE

Codice elaborato: **PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.2.B**

Titolo elaborato: **Relazione sismica**

pag. 58 / 82

Il valore di effective strain ratio (impostato a 0.51) è stato calcolato sulla base della magnitudo di riferimento per l'area sismogenetica 911, ovvero 6.14. È stata poi eseguita un'analisi lineare equivalente, che considera quindi le variazioni di G e D con le deformazioni durante l'evento sismico. Gli spettri di risposta sono stati calcolati con un damping pari al 5%.

L'analisi eseguita ha fornito i risultati sintetizzati nelle tabelle e grafici seguenti.

	1	2	3	4	5	6	7	Median
PGA	0.23	0.20	0.19	0.19	0.25	0.21	0.24	0.21
PGV	14.59	13.55	10.79	10.27	14.28	19.65	23.61	14.66
PGD	1.36	4.22	0.62	7.13	3.16	8.06	8.82	3.44

Nelle figure successive sono riportati i grafici dell'accelerazione (g), della velocità (m/sec) e dello spostamento (cm) in funzione della profondità.

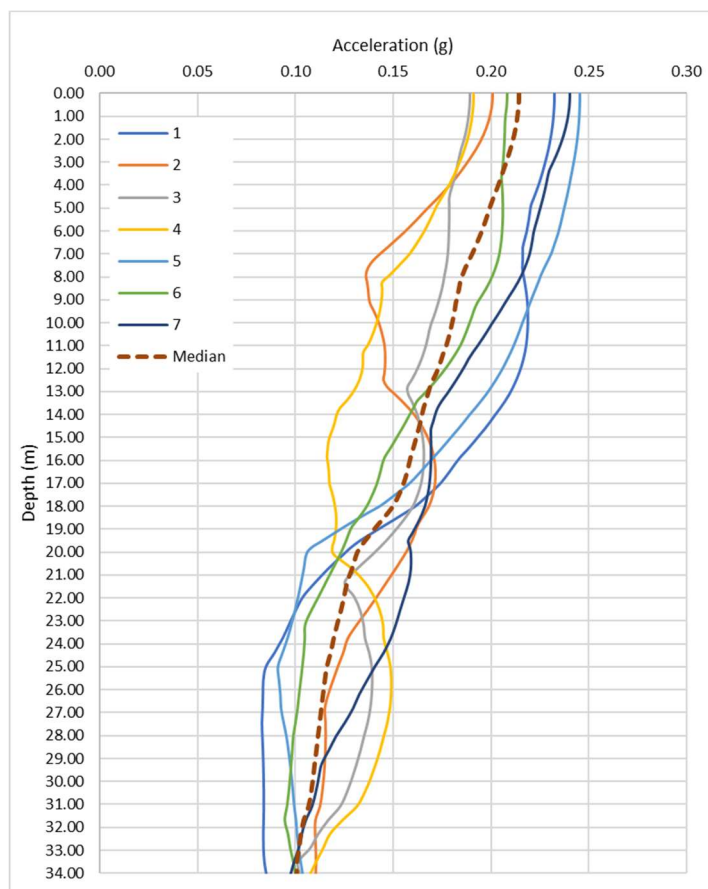


Figura 36. Grafico di accelerazione (g) in funzione della profondità.

SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE

Codice elaborato: PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.2.B

Titolo elaborato: Relazione sismica

pag. 59 / 82

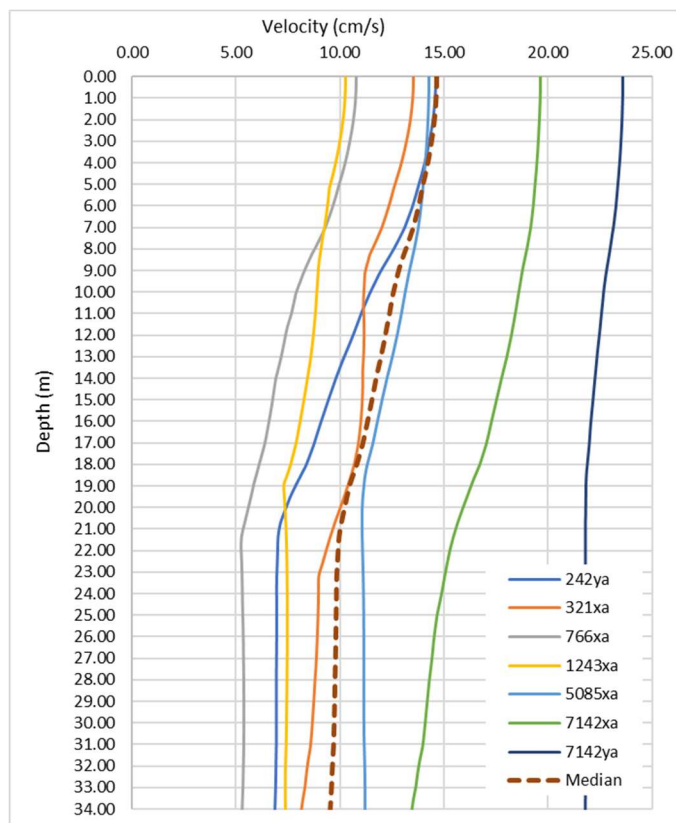


Figura 37. Grafico di velocità (cm/s) in funzione della profondità.

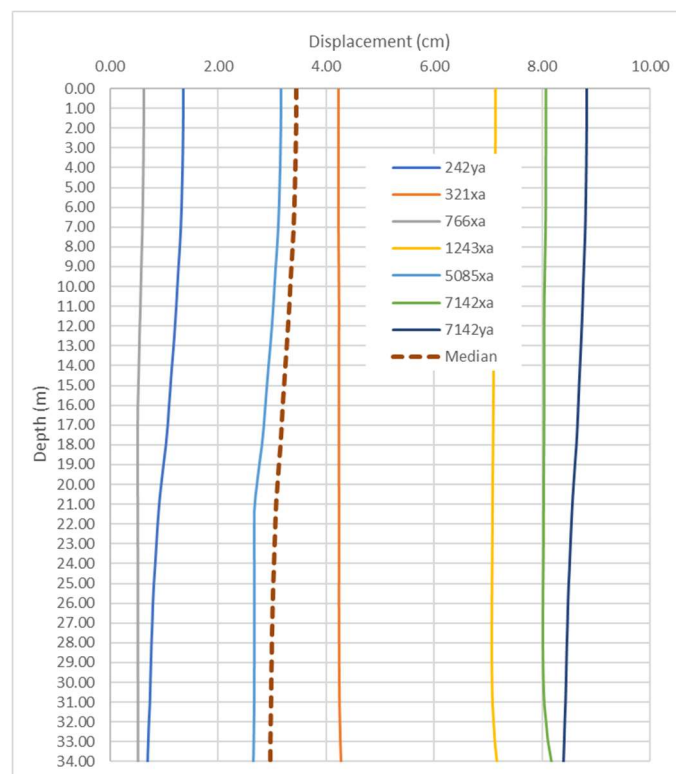


Figura 38. Grafico di spostamento (cm) in funzione della profondità.

SCHEMA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE

Codice elaborato: PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.2.B

Titolo elaborato: Relazione sismica

pag. 60 / 82

Dall'analisi eseguita si ottengono i seguenti valori di PGA (ag_{max}) ed i relativi coefficienti di amplificazione in termini di accelerazione massima orizzontale (PGA/PGA0 – Ss delle NTC2018) a livello del piano campagna.

	FA-PGA	PGA
1	1.65	0.233
2	1.42	0.201
3	1.34	0.189
4	1.36	0.191
5	1.74	0.246
6	1.48	0.208
7	1.71	0.241
Median	1.52	0.214
Media	1.53	0.216
min	1.34	0.189
max	1.71	0.241

Dall'analisi della tabella precedente si evidenzia come il fattore di amplificazione Fa di PGA al piano campagna sia variabile tra 1.34 e 1.71 con un valore medio pari a **1.52**.

Nella figura seguente è riportata la funzione di trasferimento ottenuta come rapporto tra gli spettri di Fourier calcolati per il bedrock e per il piano campagna (outcrop).

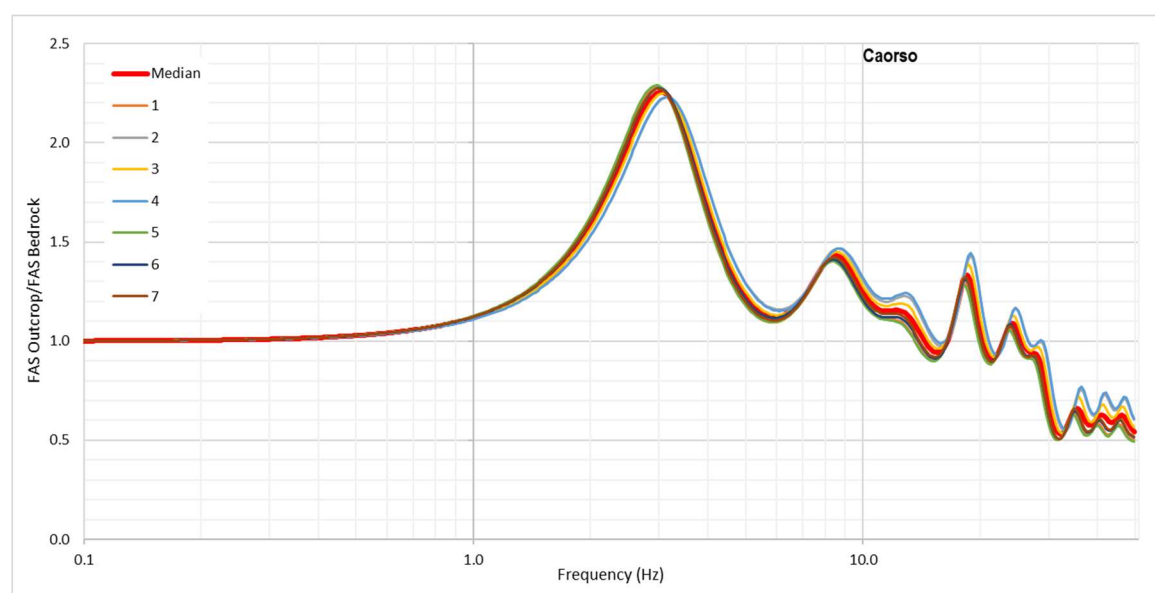


Figura 39. Andamento della funzione di amplificazione in funzione della frequenza.

La funzione di trasferimento ottenuta evidenzia la presenza di un picco principale con valore massimo di ampiezza di circa 2.2/2.3, rilevato alla frequenza di circa 3.0 Hz. I picchi a frequenze maggiori risultano avere ampiezze inferiori a due, si segnala comunque il picco secondario a frequenza di circa 9.0 Hz ed ampiezza 1.4.

SCHEMA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE

Codice elaborato: PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.2.B

Titolo elaborato: Relazione sismica

pag. 61 / 82

Sulla base delle risultanze dello studio RSL, la frequenza caratteristica del deposito studiato risulta circa 3.0 Hz.

Nelle figure seguenti si riportano i risultati ottenuti dalle simulazioni effettuate in termini di spettri di risposta al piano campagna. Per confronto sono riportati gli spettri di risposta ottenuti per diverse categorie di sottosuolo con il metodo semplificato delle NTC2018.

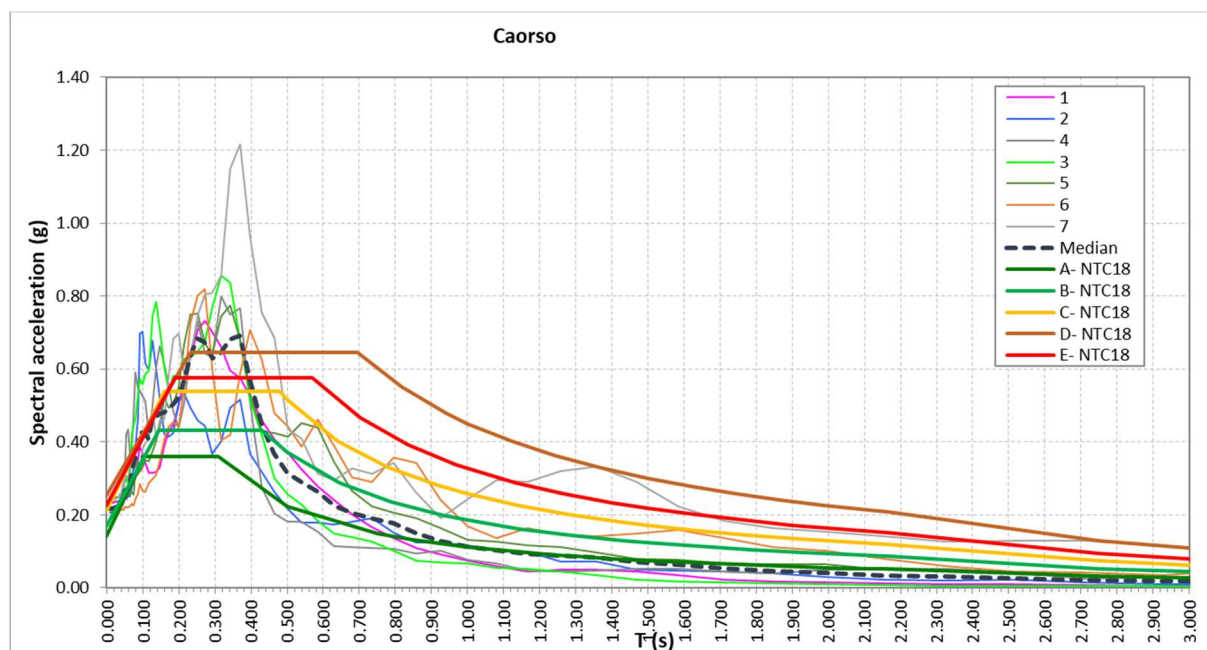


Figura 40. Spettro di risposta al p.c. ottenuto da RSL e spettri di risposta per diverse categorie di sottosuolo (NTC2018).

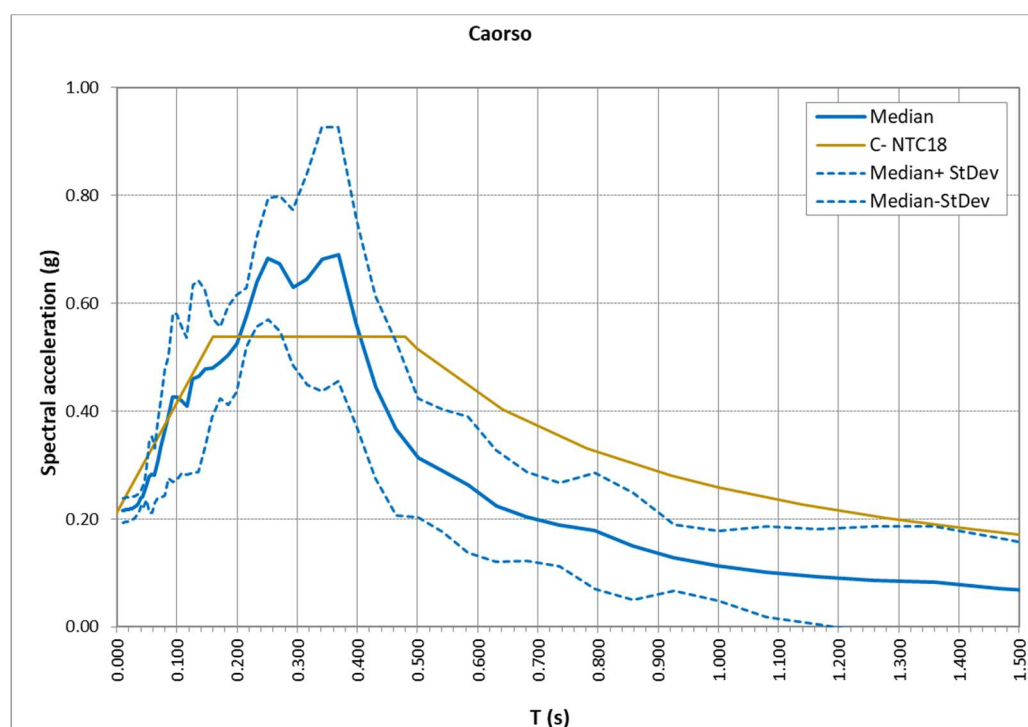


Figura 41. Spettri di risposta in accelerazione mediano e deviazione standard (accelerazione in g) al piano campagna, per diverse categorie di sottosuolo (NTC2018).

SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE

Codice elaborato: **PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.2.B**

Titolo elaborato: **Relazione sismica**

pag. 62 / 82

Come è possibile notare dai grafici riportati nelle figure precedenti i valori mediани ottenuti dalla RSL risultano più elevati rispetto a quelli ottenuti con una categoria di sottosuolo di tipo C (di riferimento per quanto reperito in sito) per periodi compresi tra 0.21 e 0.57s circa (lo spettro mediano ottenuto dalla RSL risulta inferiore allo spettro di categoria C per il tratto $>0.57s$).

Per la regolarizzazione degli spettri ottenuti con la Risposta Sismica Locale (RSL) si è fatto riferimento all'appendice 1 dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 55 del 24 aprile 2018.

La procedura di normalizzazione permette di trasformare lo spettro di risposta ottenuto con la RSL in uno spettro standard (secondo le vigenti Norme Tecniche delle Costruzioni); la procedura permette di ottenere tutti i parametri per l'inserimento dello spettro elastico nei codici di calcolo per la progettazione e verifica delle costruzioni. In sintesi i valori ottenuti sono i seguenti:

T_c	0.493
T_b	0.164
T_d	2.378
a_{max}	0.194
F_0	2.838

Per completezza si potranno utilizzare i seguenti valori dei parametri richiesti $a_g=a_{max}$; $\xi=5\%$; $\eta=1$; $S_s=1$; $S_T=1$, sottolineando che i valori di a_g e S_s sono fittizi in quanto lo spettro ottenuto con la RSL è già comprensivo degli effetti dell'amplificazione stratigrafica.

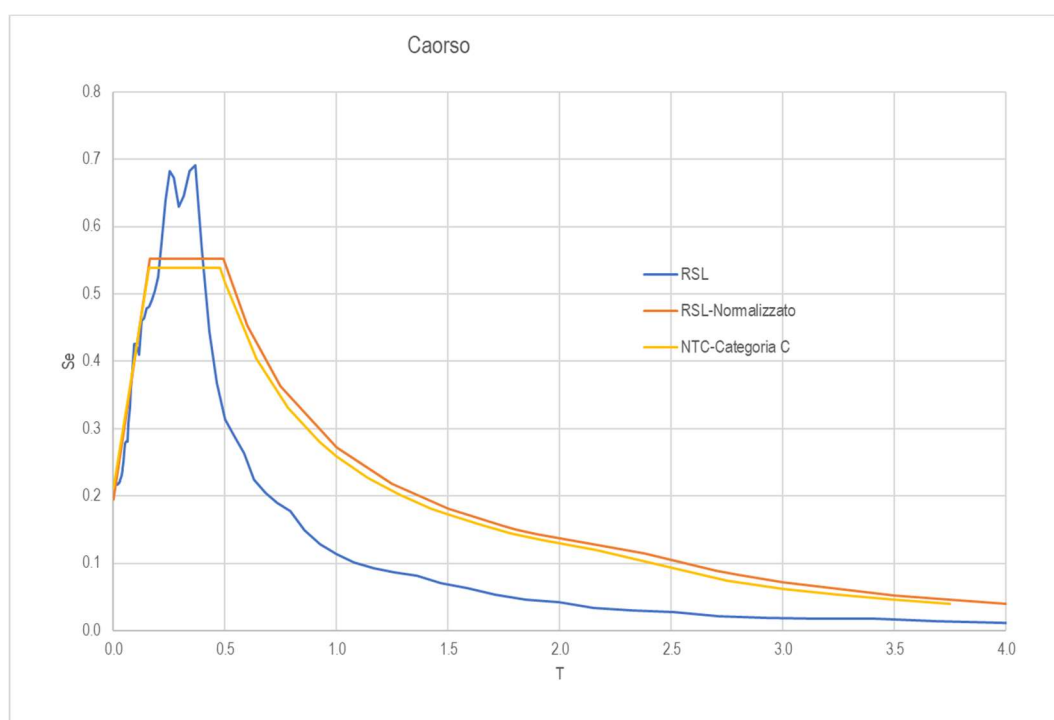


Figura 42. Normalizzazione dello spettro di risposta.

PNRR - M2C4 Investimento 3.3 - RINATURAZIONE DELL'AREA DEL PO			
Progetto Esecutivo			
SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE			
Codice elaborato:	PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.2.B		
Titolo elaborato:	Relazione sismica		
			pag. 63 / 82

Nella figura precedente è riportata la sovrapposizione grafica dello spettro ottenuto con la RSL e dello spettro di normativa riferito alla categoria di sottosuolo C. Per l'area in esame lo spettro ottenuto dalla RSL normalizzato risulta sostanzialmente in linea con lo spettro di normative di tipo C, di poco maggiormente cautelativo per periodi >0.16s.

In sintesi:

- in corrispondenza dell'area in esame la FA PGA determinata dalla RSL (1.52) è risultata in linea e di poco maggiormente cautelativa rispetto a quella ottenuta con l'approccio semplificato (1.48, parametro S delle NTC2018 per terreni di categoria C); lo spettro di risposta ottenuto con la RSL risulta di poco superiore allo spettro di normativa oltre 0.16 s.

Il valore di amplificazione (S nelle NTC218) comprensivo di amplificazione stratigrafica e topografica ottenuto dall'analisi di RSL risulta **1.52** [$S_s=1.52$ (da RSL) e $S_t=1.0$ (da NTC2018)]; pertanto il valore di a_{max} risulta 0.2143 g.

Stato Limite Ultimo		SLV	
accelerazione di progetto	ag	0.141	g
Parametro spettrale	F0	2.547	-
Parametro spettrale	Tc'	0.31	s
Stato Limite di Esercizio		SLD	
accelerazione di progetto	ag	0.067	g
Parametro spettrale	F0	2.563	-
Parametro spettrale	Tc'	0.281	s
Stato Limite Ultimo		SLV	
Coefficiente di amplificazione dipendente dal tipo di sottosuolo	S_s	1.52	RSL
Categoria topografica		T1	
Coefficiente di amplificazione topografica	S_t	1.00	
Coefficiente di amplificazione sismica locale	$S = S_t * S_s$	1.520	
Amax	$A_{max} = A_g * S$	0.2143	g
Stato Limite di Esercizio		SLD	
Coefficiente di amplificazione dipendente dal tipo di sottosuolo	S_s	1.52	RSL
Categoria topografica		T1	
Coefficiente di amplificazione topografica	S_t	1.00	
Coefficiente di amplificazione sismica locale	$S = S_t * S_s$	1.520	
Amax	$A_{max} = A_g * S$	0.1018	g

In conclusione i risultati ottenuti attraverso l'analisi di risposta sismica locale risultano quindi confrontabili con il valore di amplificazione (S_s per le NTC2018) risultante considerando una categoria di sottosuolo tipo C, secondo il valore di V_{s30} ottenuto dalla prova sismica MASW (vedasi paragrafo 6.3.3 dove sono riportati i parametri sismici ottenuti attraverso il metodo semplificato delle NTC2018).

PNRR - M2C4 Investimento 3.3 - RINATURAZIONE DELL'AREA DEL PO	
Progetto Esecutivo	
SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE	
Codice elaborato:	PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.2.B
Titolo elaborato:	Relazione sismica

pag. 64 / 82

8 STABILITÀ NEI CONFRONTI DELLA LIQUEFAZIONE

Sulla base di quanto riportato al paragrafo 7.11.3.4.2. delle NTC2018 la verifica di liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

	Condizione e quesito	Risposta	Motivazione	Verifica liquefazione si o no
1	accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1 g;	No	$a_{g \max} = 0.21$ (da RSL)	Si
2	profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;	No	profondità falda media: - 2.5 m da p.c.	Si
3	depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata ($N1)_{60} > 30$ oppure $qc1N > 180$ 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 $qc1N$ 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) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ ed in Figura 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.	-	Vedasi grafici paragrafo 8.2.1	--

Sono state eseguite le verifiche di liquefazione lungo le verticali delle prove penetrometriche statiche con piezocono.

Si precisa che le verifiche di liquefazione sono state eseguite considerando i parametri dell'opera in progetto: nel caso del sito di Caorso (PC) si tratta di un'opera strutturale e i parametri sismici utilizzati per le verifiche di liquefazione sono quelli utilizzati per il progetto, calcolati considerando una $V_n = 100$ ed una classe d'uso pari a IV e quindi un tempo di ritorno di 1898 anni.

In corrispondenza dell'area in esame la campagna di indagini svolta ha permesso di ricostruire il modello litologico riassunto brevemente di seguito (riportato al paragrafo 5).

Le prove geognostiche eseguite e i risultati ottenuti dalla loro elaborazione comprovano una discreta omogeneità stratigrafica-litologica dell'area dal punto di vista stratigrafico-litologico: è stato riconosciuto uno spessore del livello arginale di circa 4/5 m (L1); a partire dal piano campagna è presente un livello prevalentemente coesivo (L2), costituito da limo-argilla con presenza di sabbia che presenta spessori variabili tra i 3 e i 5 m (sino ad una profondità di circa 7.5/8 m da p.c.). A partire da 7.5/8 m da p.c. sono stati riconosciuti due livelli costituiti prevalentemente da sabbia (L3) e sabbia e ghiaia (L4) che presentano spessori variabili e la base del livello L4 si trova ad una profondità massima di 26 m da p.c.

Segue poi un livello prevalentemente argillo-limoso sino almeno ad una profondità di 31/33 m da p.c.

La stratigrafia ricostruita attraverso i risultati delle indagini permette di individuare un acquifero di sabbia e sabbia e ghiaia confinato entro un sovrastante livello costituito prevalentemente da limo e argilla di spessore variabile tra i 3 e i 5 m.

Di seguito si riporta una sintesi dei dati relativi alla piezometria dell’area in esame.

8.1 La piezometria

Lo studio dei dati piezometrici relativi al sito oggetto di studi ha tenuto in considerazione diverse fonti. Per il presente capitolo si riportano le informazioni relative alla soggiacenza della falda ottenute attraverso il monitoraggio da remoto tramite un sistema di monitoraggio costituito da piezometri ad infissione.

La campagna di indagini eseguita tra Gennaio e Aprile 2024 ha visto infatti l’installazione di un sistema di monitoraggio della falda, costituito da piezometri ad infissione. La soluzione individuata e scelta per l’area in esame ha visto l’infissione nel terreno di n°2 sonde piezometriche a corda vibrante VW attraverso il dispositivo di spinta del penetrometro statico utilizzato per le prove CPTu.

I piezometri ad infissione installati sono stati collegati ad un sistema di monitoraggio in continuo e da remoto.



Figura 43. Ubicazione e ID piezometri ad infissione installati presso il sito di Caorso.

Di seguito si riassumono le principali informazioni relative ai piezometri ad infissione installati.

Piezometro	Centralina	Posizione	Quota (m s.l.m.) del piano campagna in corrispondenza del punto di infissione del piezometro. (m s.l.m.)
DT0015	ID0286	Sommità arginale	+48.5
DT0014	ID0258	Piano campagna	+43.5

Piezometro	Centralina	Profondità del sensore (m da p.c.)	Elevazione del sensore (m s.l.m.)
DT0015	ID0286	14.80	+33.70
DT0014	ID0258	3.9	+39.6

Tabella 4. Informazioni relative ai piezometri di infissione installati presso il sito di Caorso.

PNRR - M2C4 Investimento 3.3 - RINATURAZIONE DELL'AREA DEL PO	
Progetto Esecutivo	
SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE	
Codice elaborato:	PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.2.B
Titolo elaborato:	Relazione sismica
pag. 66 / 82	

È stata periodicamente consultata la piattaforma che permette il controllo da remoto dei dati piezometrici. Nel periodo tra Aprile 2024 e Settembre 2024 la profondità della falda in corrispondenza dell’area in esame è variata tra:

- Sommità arginale: +42.09 ÷ 40.0 m s.l.m. (livello massimo e minimo registrato in corrispondenza del piezometro DT0015)
- Piano campagna: +42.3 ÷ 40.6 m s.l.m. (livello massimo e minimo registrato in corrispondenza del piezometro DT0014)

Piezometro	Centralina	Posizione	Quota p.c.	Livello massimo m slm	Livello minimo m slm
DT0015	ID0286	Sommità arginale	+48.5	+42.09 Maggio 2024	+40.0 Agosto 2024
DT0014	ID0258	Piano campagna	+43.5	+42.3 Maggio 2024	+40.6 Agosto 2024

Tabella 5. Valori di soggiacenza (m slm) minimo e massimo.

8.2 Prove geotecniche di laboratorio

Durante l’esecuzione dei sondaggi a carotaggio continuo sono stati prelevati campioni indisturbati e rimaneggiati per l’esecuzione di prove geotecniche in laboratorio. Si riassumono di seguito alcuni risultati delle prove eseguite.

8.2.1 Classificazione granulometrica

Le analisi granulometriche eseguite sia sui campioni indisturbati che sui campioni disturbati hanno permesso di classificare i materiali reperiti come segue:

Sondaggio	Classificazione granulometrica AGI	Campioni	Profondità m da b.f.		Livello	Analisi granulometrica
S4	limo con argilla deb. Sabbioso	CI1	3	3.6	L1	G=2.01% S=8.56% L=47.81% A=41.63%
S4	limo argilloso sabbioso	CR1	7	7.5	L2	G=0% S=17.2% L=61.16% A=21.65%
S4	ghiaia con sabbia limosa	CR2	11.5	12	L3	G=56.93% S=27.28% L=11.7% A=4.1%
S4	sabbia con ghiaia deb. limosa	CR3	15	15.5	L3	G=38.44% S=50.78% L=7.78% A=2.99%
S4	sabbia limosa	CI2	24	24.5	L4	G=0.63% S=70.82% L=18.08% A=10.47%
S4	sabbia limo-ghiaiosa	CR4	27.5	28	L4	G=12.02% S=64% L=16.70% A=7.28%
S5	sabbia limo ghiaiosa	CR1	7	7.5	L3	G=15.77% S=64.52% L=14.41% A=5.3%
S5	ghiaia con sabbia	CR2	15	15.5	L4	G=62.27% S=34.55% L=2.51% A=0.67%
S5	argilla con limo	CI1	25	25.6	L5	G=1.13% S=3.6% L=43.65% A=51.62%
S5	argilla con limo	CI2	28.6	29.3	L5	G=1.76% S=1.93% L=38.7% A=57.62%
S5	sabbia limosa	CR3	34	34.5	L5	G=0 % S=91.25% L=6.32% A=2.43%
S3_DH	limo con argilla	CI1	3.5	4	L1	G=0% S=2.9% L=50.6% A=46.5%
S3-DH	limo con argilla	CR1	7	7.5	L2	G=0% S=1.35% L=57.26% A=41.38%

SCHEMA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE

Codice elaborato: PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.2.B

Titolo elaborato: Relazione sismica

pag. 67 / 82

Sondaggio	Classificazione granulometrica AGI	Campioni	Profondità m da b.f.		Livello	Analisi granulometrica
S3-DH	sabbia limosa	CR2	11.5	12	L3	G=7.75% S=72.11% L=13.5% A=6.63%
S3-DH	sabbia con ghiaia, deb. limosa	CR3	15	15.5	L4	G=33.87% S=55.37% L=7.77% A=2.99%
S3-DH	sabbia deb. limosa	CR4	27.5	28	L4	G=1.86% S=91.42% L=5.27% A=1.46%
S3_DH	argilla limosa	CI2	31.5	32.2	L5	G=0% S=0.86% L=16.52% A=82.63%
PZ-Pozzo 2	limo sabbioso	CR1	4	4.5	L2	G=0% S=9.98% L+A=90.02%
PZ-Pozzo 2	sabbia limosa	CR2	8	9	L3	G=0.38% S=81.55% L+A=18.07%
PZ-Pozzo 2	sabbia con limo	CR3	14	15	L4	G=0.23% S=73.49% L+A=26.29%
PZ-Pozzo 2	sabbia con limo	CR4	20	21	L4	G=12.47% S=60.71% L+A=26.82%
PZ-Pozzo 2	limo-argilla	CR5	24	25	L5	G=0.27% S=2.19% L+A=97.54%

Tabella 6. Classificazione granulometrica.

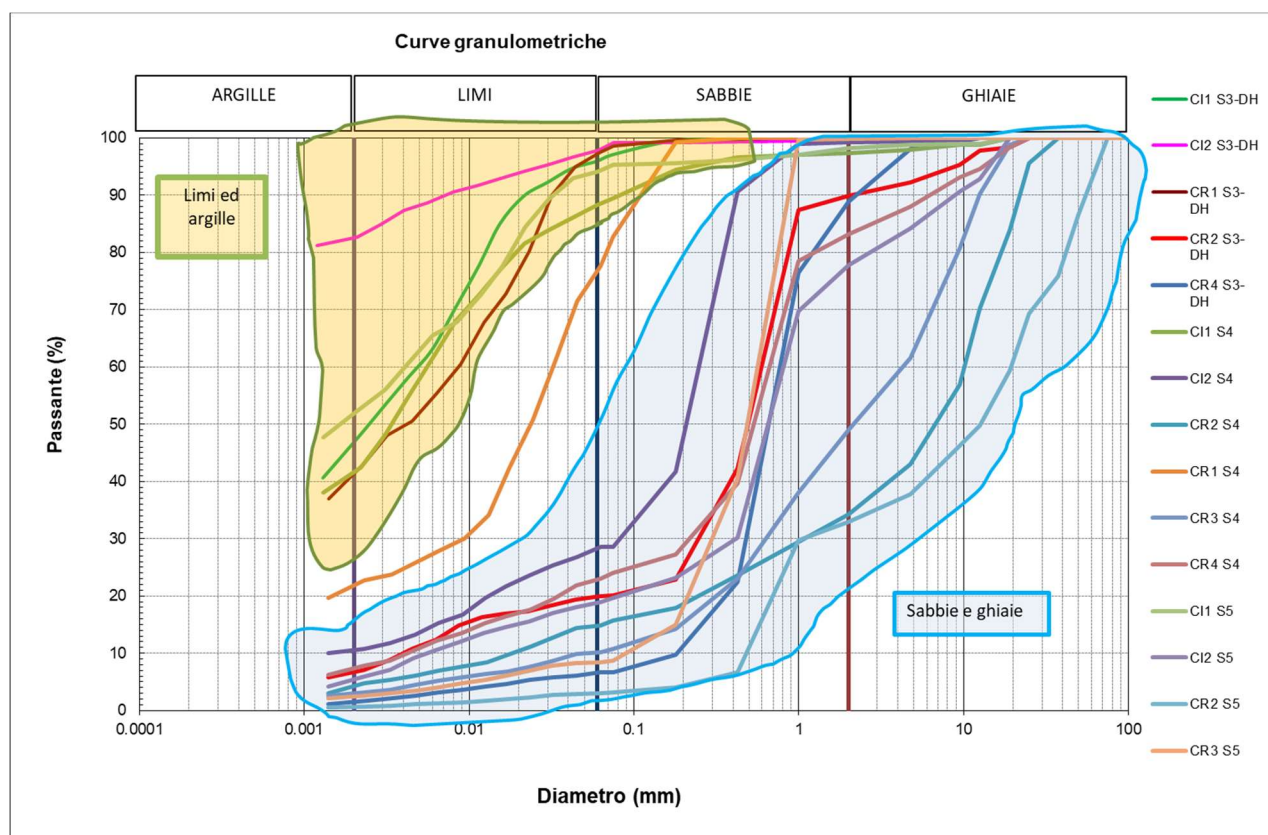


Figura 44. Analisi granulometriche – fusi granulometrici prevalentemente rappresentative di sabbie e ghiaie e di limi ed argille.

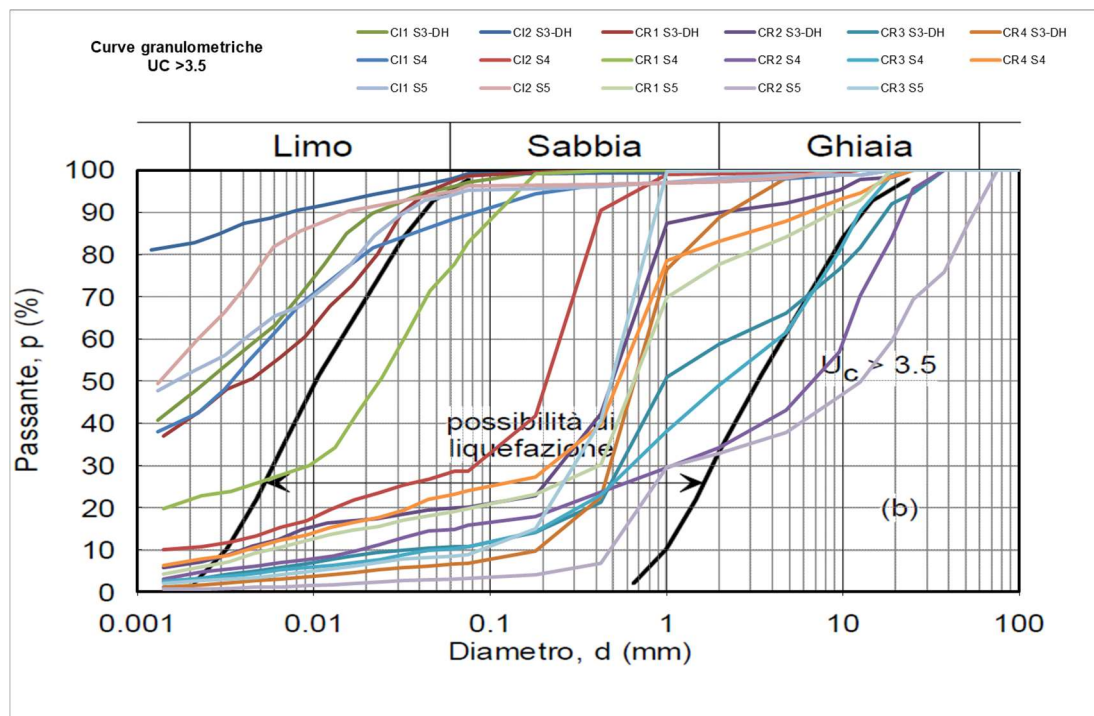


Figura 45. Fusi granulometrici inseriti nel grafico Figura 7.11.1 (b) ($U_c > 3.5$ delle NTC2018) relativo alla possibilità di liquefazione.

8.3 Verifica della suscettività dei terreni alla liquefazione

Al fine di verificare la possibilità dell'occorrenza del fenomeno della liquefazione in corrispondenza delle verticali di indagine che hanno interessato i terreni in esame sono state eseguite le verifiche di liquefazione, attraverso l'utilizzo di metodi semplificati, lungo le verticali delle prove penetrometriche statiche.

L'analisi è stata eseguita come verifica allo stato limite ultimo (SLU) considerando lo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV) per la determinazione dei coefficienti riduttivi e dell'accelerazione massima.

Per la verifica della suscettibilità alla liquefazione è necessario il calcolo di due variabili: il carico sismico, espresso tramite il carico tensionale ciclico CSR e la capacità del terreno a resistere alla liquefazione, espressa attraverso il rapporto di resistenza ciclica CRR.

Il metodo semplificato permette di esprimere la suscettibilità alla liquefazione del deposito attraverso un coefficiente di sicurezza, dato dal rapporto tra la resistenza ciclica (CRR) ed il carico tensionale ciclico (CSR).

$$F = \frac{CRR}{CSR}$$

Un deposito dovrà essere considerato suscettibile di liquefazione se il coefficiente di sicurezza è minore di **1.00**.

PNRR - M2C4 Investimento 3.3 - RINATURAZIONE DELL'AREA DEL PO	
Progetto Esecutivo	
SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE	
Codice elaborato:	PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.2.B
Titolo elaborato:	Relazione sismica
pag. 69 / 82	

La verifica a liquefazione è stata eseguita sulle prove CPTu eseguite in corrispondenza del sito in esame tramite l'utilizzo del software CLiq v.1.7.1.14 - CPT Liquefaction Assessment Software⁹ della ditta GeoLogismiki Geotechnical Software, con il metodo proposto da Idriss & Boulanger (2014)¹⁰.

Le verifiche sono state eseguite lungo le verticali delle CPTu escludendo lo spessore che costituisce il rilevato arginale (costituito da materiali a prevalente granulometria fine (limo e argilla)). Il piano campagna si trova ad una quota di +43.5 m s.l.m.

Le verifiche sono state eseguite alle seguenti condizioni:

- Magnitudo momento (Mw) = 6.14.
- FA di PGA ottenuto dall'Analisi di Risposta Sismica Locale (1.52), $a_{gmax} = 0.21$ g (ottenuto da RSL considerando una Vn= 100 ed una classe d'uso pari a IV e quindi un tempo di ritorno di 1898 anni)

Per quanto riguarda la falda sono state eseguite le verifiche sia in condizione di falda prossima al piano campagna che in condizioni di profondità della falda media.

In particolare le verifiche sono state eseguite alle seguenti 2 condizioni di soggiacenza della falda:

- **Falda a soggiacenza minima: falda posta a -1.5 m da p.c. (42 m s.l.m.);**
- **Falda a soggiacenza media: falda posta a -2.5 m da p.c. (41 m s.l.m.);**

È stato inoltre calcolato l'indice del potenziale di liquefazione I_L secondo il metodo di Iwasaki et al. (1982)¹¹.

Dove z è la profondità dal piano campagna in metri

$$I_L = \int_0^{20} F(z)w(z) dz$$

$$W(z) = 10 - 0.5z$$

$$F = 1 - FL \text{ se } FSL \leq 1.0$$

$$F = 0 \text{ se } FSL > 1.0$$

Gli autori suggeriscono che se $I_L = 0$ il potenziale di rottura è nullo, $I_L \leq 5$ il potenziale di rottura è basso, $5 < I_L \leq 15$ il potenziale di rottura è elevato, $I_L \geq 15$ il potenziale di rottura è estremamente elevato.

⁹ Il software calcola l'indice del potenziale di liquefazione I_L secondo il metodo di Iwasaki et al. (1982)⁹ e gli autori suggeriscono che se $I_L = 0$ il potenziale di rottura è nullo, $I_L < 5$ il potenziale di rottura è basso, $5 < I_L < 15$ il potenziale di rottura è elevato, $I_L > 15$ il potenziale di rottura è estremamente elevato).

¹⁰ Boulanger, R. W., and Idriss, I. M. (2014). "CPT and SPT based liquefaction triggering procedures." Report No. UCD/CGM - 14/01, Department of Civil and Environmental Engineering, University of California Davis, California.

¹¹ Iwasaki T., Tokida K., Tatsuoka F., Watanabe S. Yasuda S., Sato H. (1983) "Microzonation for soil liquefaction potential using simplified methods", III Int. Conf. In Microzon., San Francisco

SCHEMA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE

Codice elaborato: PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.2.B

Titolo elaborato: Relazione sismica

pag. 70 / 82

Nei sottoparagrafi seguenti si riporta quanto ottenuto dalle verifiche a liquefazione (metodo di Idriss & Boulanger (2014)) eseguite sulle verticali indagate dalle prove penetrometriche statiche.

8.3.1 FALDA -1.5 m da p.c.

	Metodo Idriss & Boulanger (2014)	CEDIMENTI [cm] [Zhang et al., 2004]
CPTu-3	6.17	30.83
CPTu-4	5.94	23.32
CPTu-5	3.03	14.09
CPTu-6	2.84	9.08
CPTu-7	0.94	3.18
CPTu-8	4.82	17.23
CPTu-9	3.69	10.06
CPTu-10	2.98	13.72

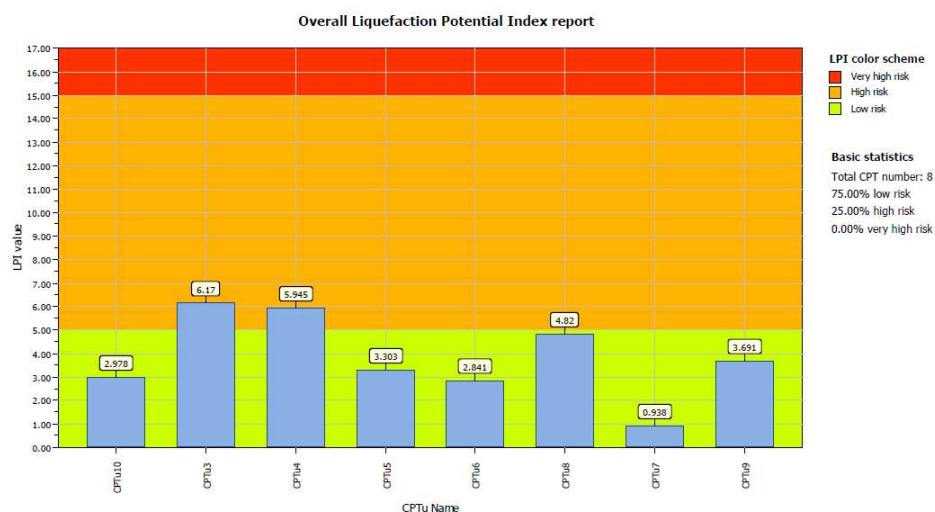


Figura 46. LPI ottenuti attraverso le verifiche di liquefazione eseguite.

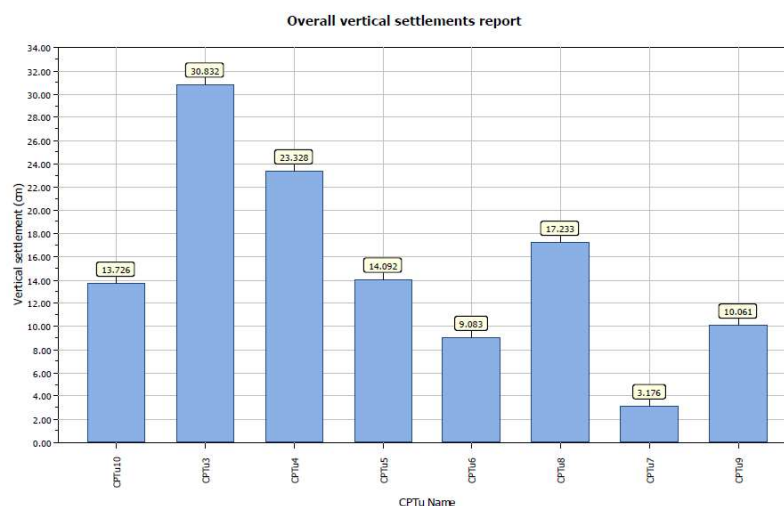


Figura 47. Valori dei cedimenti verticali stimati, ottenuti attraverso le verifiche di liquefazione eseguite.

8.3.2 FALDA -2.5 m da p.c.

	Metodo Idriss & Boulanger (2014)	CEDIMENTI [cm] [Zhang et al., 2004]
CPTu-3	4.29	27.69
CPTu-4	4.35	21.66
CPTu-5	2.56	13.26
CPTu-6	2.31	8.76
CPTu-7	0.74	2.96
CPTu-8	3.72	16.13
CPTu-9	2.82	9.55
CPTu-10	1.73	11.49

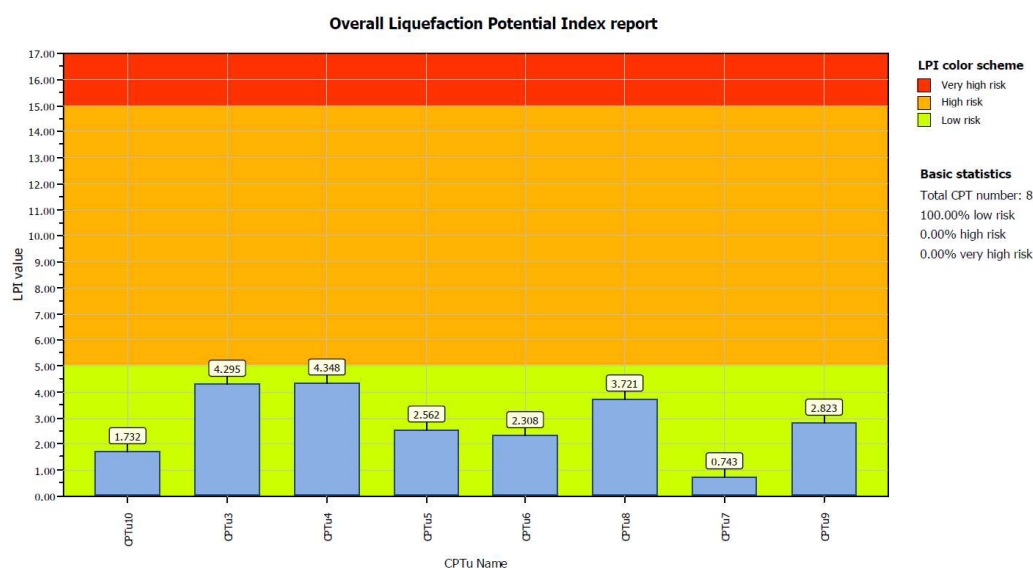


Figura 48. LPI ottenuti attraverso le verifiche di liquefazione eseguite.

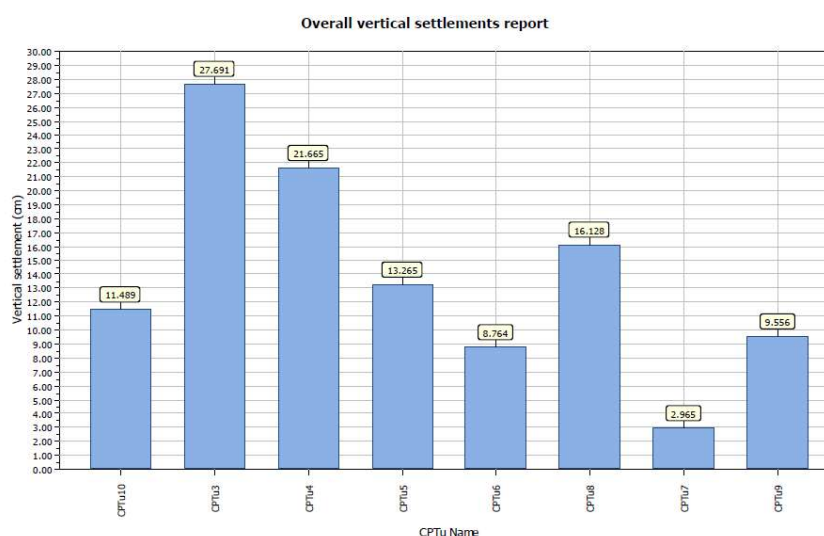


Figura 49. Valori dei cedimenti verticali stimati, ottenuti attraverso le verifiche di liquefazione eseguite.

PNRR - M2C4 Investimento 3.3 - RINATURAZIONE DELL'AREA DEL PO	
Progetto Esecutivo	
SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE	
Codice elaborato:	PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.2.B
Titolo elaborato:	Relazione sismica

pag. 72 / 82

8.4 Considerazioni

- Le verifiche di liquefazione sono state eseguite considerando i parametri dell'opera in progetto: nel caso del sito di Caorso (PC) si tratta di un'opera strutturale e i parametri sismici utilizzati per le verifiche di liquefazione sono quelli utilizzati per il progetto, calcolati considerando una $V_n = 100$ ed una Classe d'uso pari a IV (coefficiente d'uso pari a 2) e quindi un tempo di ritorno di 1898 anni.
- La stratigrafia ricostruita attraverso i risultati delle indagini permette di individuare un acquifero di sabbia e sabbia e ghiaia confinato entro un sovrastante livello costituito prevalentemente da limo e argilla di spessore variabile tra i 3 e i 5 m al tetto del livello prevalentemente limo-argilloso è presente l'argine di circa 5 m di altezza costituito da terreni di riporto prevalentemente limo argillosi.
- Le verifiche di liquefazione eseguite nelle due diverse condizioni precedentemente descritte portano a determinare valori di I_L :
 - compresi tra 0-5 per n°6 verticali su 8 e compresi tra 5-10 per n°2 verticali, eseguite considerando la falda prossima al piano campagna (n° due verifiche superano il valore di 5 e sono quelle eseguite in corrispondenza delle verticali CPTu3 e CPTu4);
 - valori inferiori al 5 per tutte le verticali considerando la soggiacenza media della falda pari a -2.5 m da p.c. (da dati piezometrici Aprile 2024-Febbraio 2025);

Allo stato dei rilievi piezometrici eseguiti si valuta ragionevole considerare come maggiormente significative le verifiche eseguite con una profondità media della falda di -2.5 m da p.c. (quota +41.0 m s.l.m.). In questo caso le verifiche di liquefazione portano a determinare valori di I_L sempre inferiori a 5, ed un valore di I_L medio pari a 2.8: potenziale di liquefazione basso (raccomandazioni AGI, 2005).

Tali verifiche, eseguite in corrispondenza delle verticali delle prove CPTu, si ritengono di valenza puntuale e locale e non sono eseguite per una verifica di liquefazione dell'intero corpo arginale.

Si sottolinea infatti che l'oggetto principale del progetto non riguarda la verifica alla liquefazione dei rilevati arginali, quanto l'individuazione ed il dimensionamento delle opere di diaframmatura per contrastare i fenomeni di filtrazione. Nei documenti di Progetto ed in particolare nella presente Relazione Sismica è stata comunque esaminata ed illustrata la valutazione delle verifiche della suscettività alla liquefazione dei terreni in corrispondenza delle verticali di indagine, in relazione agli esiti delle indagini realizzate lungo lo sviluppo dell'argine oggetto del progetto.

PNRR - M2C4 Investimento 3.3 - RINATURAZIONE DELL'AREA DEL PO	
Progetto Esecutivo	
SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE	
<i>Codice elaborato:</i>	PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.2.B
<i>Titolo elaborato:</i>	Relazione sismica
pag. 73 / 82	

Le verifiche di liquefazione sono state eseguite sulle indagini con metodologia semplificata atta ad individuare la suscettibilità alla liquefazione della verticale della prova stessa, attraverso la determinazione dell'Indice del potenziale di liquefazione I_L .

Si sottolinea che volendo determinare un I_L medio dell'area interessata dall'intervento in progetto questo risulta pari a $I_L=2.8$ per le verifiche eseguite con falda posta a -2.5 m da p.c. e risulta pari a $I_L=3.8$ con falda posta -1.5 m da p.c.: potenziale di liquefazione basso.

Si sottolinea altresì che le verifiche sono state eseguite dalla quota del piano campagna alla base del rilevato arginale (+43.5 m s.l.m.), ove sarà realizzato il diaframma in progetto. In tal senso, a titolo puramente conoscitivo, si riporta che le verifiche con $T_r= 1898$ anni (da Classe uso IV e $V_n 100$) eseguite a partire da sommità arginale (+48.5 m sl.m) considerando la falda a -6.5 m da p.c. (sommità arginale) indicano per le prove CPTu3 e CPTu4 valori di I_L inferiori a 1.

Il rischio residuo per l'arginatura a seguito di un'eventuale fenomeno sismico è ritenuto basso ed assolutamente accettabile per la tipologia di opera, ed anche qualora dovessero verificarsi cedimenti del corpo arginale essi potrebbero essere compensati con un intervento di manutenzione finalizzato al ripristino della sagoma e della quote di coronamento.

PNRR - M2C4 Investimento 3.3 - RINATURAZIONE DELL'AREA DEL PO	
Progetto Esecutivo	
SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE	
Codice elaborato:	PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.2.B
Titolo elaborato:	Relazione sismica
pag. 74 / 82	

9 CONSIDERAZIONI FINALI

Il presente studio costituisce la relazione sismica a corredo del Progetto Esecutivo - PNRR - M2C4 Investimento 3.3 - RINATURAZIONE DELL'AREA DEL PO per la specifica scheda n°16 CAORSO (PC).

Nella precedente fase di Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica PFTE, attraverso l'elaborazione dei dati ottenuti dalle prove geofisiche eseguite nel 2024 è stato possibile ricavare le caratteristiche sismiche dell'area interessata dalle opere in progetto presso il comune di Caorso, lungo l'argine destro del Fiume Po in corrispondenza dell'abitato di Roncarolo. Le elaborazioni svolte hanno evidenziato le condizioni di fattibilità geologica e sismica.

Con riferimento alle modalità tecnico-esecutive delle opere in progetto, attraverso il presente studio si conferma la compatibilità esecutiva delle opere previste con l'assetto sismico dell'area di studio.

Lo studio svolto ha permesso di determinare quanto segue:

- ⇒ La zona in esame ricade nel Foglio 162 “PIACENZA” della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 ed è caratterizzata principalmente dalla presenza di depositi di piana alluvionale appartenenti al Subsistema di Ravenna (AES8) ed in particolare all'Unità di Modena (AES8a). Questa unità è composta da ghiaie sabbiose, sabbie e limi stratificati, ricoperti da una coltre limoso-argillosa discontinua e da limi, talora sabbiosi, di limitato spessore
- ⇒ L'area è ubicata nella Carta Tecnica Regionale elemento 162111 “S. NAZZARO” alla scala 1:5.000; il sito in esame si colloca ad una quota di circa 44-45 m s.l.m. e le coordinate di un punto baricentrale dell'area sono rispettivamente 45.069808° di latitudine e 9.839217° di longitudine (ED50).
- ⇒ L'area in esame è inserita in un contesto sismo-tettonico caratteristico della pianura padano-emiliana. L'evoluzione della pianura emiliano-romagnola è condizionata dall'attività dei thrust del fronte pedeappenninico e delle strutture padane sepolte (PIERI E GROPPi, 1981) ed in particolare, per l'area in esame, dalle pieghe emiliane. L'area di interesse è caratterizzata da strutture compressive (fronte di sovrascorrimento sepolto) di cui “presentano evidenze di attività tettonica recente le faglie che non coincidono con il margine ma quelle strutture che corrispondono al fronte sepolto delle Pieghe Emiliane” (Note Illustrative, 2004 - Carta Sismo-tettonica della Regione Emilia-Romagna).

L'area di studio è compresa tra le isobate della base del Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES) di -50 e -100 m s.l.m.
- ⇒ Nell'area in esame è stata eseguita una campagna di indagini geognostiche e geofisiche, nei mesi tra Gennaio e Aprile 2024, che ha permesso di ricostruire dal punto di vista geologico e sismico la stratigrafia dell'area in esame.

PNRR - M2C4 Investimento 3.3 - RINATURAZIONE DELL'AREA DEL PO	
Progetto Esecutivo	
SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE	
Codice elaborato:	PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.2.B
Titolo elaborato:	Relazione sismica
pag. 75 / 82	

Le indagini hanno previsto l'esecuzione di prove penetrometriche, sondaggi a carotaggio continuo, e sondaggi a distruzione di nucleo e perforazioni per la costruzione di pozzi e piezometri per le prove di emungimento.

La presente relazione ha affrontato in dettaglio i risultati delle indagini sismiche eseguite quali:

- indagine Down-Hole eseguita nel foro S3-DH fino alla profondità di 45 m;
- indagine Masw G1;
- indagine Masw 2D;
- indagine di Tomografia elettrica 2D.

⇒ I risultati delle indagini geofisiche eseguite hanno permesso, assieme ai dati ottenuti dalle altre prove geognostiche, di ricostruire il modello geologico dell'area così come riportato al capitolo 275.

In particolare gli stendimenti di sismica MASW 2D lungo il profilo dell'area in esame hanno permesso di riconoscere una certa omogeneità laterale in termini di Vs registrate per i primi 20 m da sommità arginale; sono riconoscibili, attraverso anche i risultati delle prove geognostiche come sondaggi e CPTu strati sub orizzontali, a basso angolo di pendenza.

Come riportato nel Profilo geologico (elaborati PE.0.1.6.GEO.GE.P.F.0.0.1 e PE.0.1.6.GEO.GE.P.F.0.0.3) e nel paragrafo 5.1 gli stendimenti di geoelettrica eseguiti nell'area in esame hanno permesso di individuare bene lo spessore dell'argine, dove si concentrano valori di resistività medio bassi (40-70 ohm*m) e si è in una condizione di presenza di terreno insaturo (la falda si trova, per quasi tutto il profilo in esame, a profondità maggiori della base arginale).

I primi livelli al di sotto dell'argine presentano resistività più basse (<50/40 ohm*m), si passa da un insaturo (livello rappresentato dall'argine) ad un terreno sotto falda (saturo).

Negli elaborati suddetti ed al paragrafo 5.1 sono state segnalate inoltre le anomalie di resistività individuate lungo gli stendimenti.

⇒ Nell'“Aggiornamento della classificazione sismica dei comuni dell'Emilia-Romagna” (DGR n. 146 del 06/02/2023) il Comune di **Caorso** viene classificato in zona **3**.

⇒ Nella Tavola A4.3 “Carta delle aree suscettibili di effetti sismici locali” del PTCP della provincia di Piacenza l'area in esame rientra in classe “S – depositi alluvionali sabbiosi” per cui sono indicati, come effetti di sito, l'amplificazione litologica e la liquefazione. Come livelli di approfondimento il PTCP di Piacenza indica un III livello (II se si esclude il rischio di liquefazione).

⇒ Il comune di Caorso è provvisto di studio di microzonazione sismica di II livello (DGR2245/2018 MS2). L'area in corrispondenza dell'abitato di Roncarolo rientra nelle aree di studio di MZS di II livello. Al paragrafo 6.2.2 sono riportati alcuni estratti cartografici degli studi di MZS che riportano informazioni in merito all'area in esame.

⇒ Le indagini sismiche eseguite nel sito in esame consentono di individuare la presenza di un sottosuolo di **tipo C**. Il valore di Vs₃₀ ottenuto dalla prova MASW calcolato in sommità arginale è risultato pari 232 m/s (calcolato al piano campagna/base argine il valore di Vs₃₀ risulta pari a 288 m/s).

SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURECodice elaborato: **PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.2.B**Titolo elaborato: **Relazione sismica**pag. **76** / 82

- ⇒ Per quello che riguarda le categorie topografiche il sito in esame si colloca in un'area pianeggiante quindi è possibile classificare l'area come T1 "Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i < 15^\circ$ " ed il coefficiente di amplificazione topografica $ST = 1.0$.
- ⇒ Sono state determinate le azioni sismiche ai sensi delle NTC 2018 per un'opera con **$V_N = 100$ anni e Classe d'uso=IV**, che hanno permesso di determinare, sulla base delle indagini sismiche eseguite i parametri riportati al paragrafo 6.3.3.
- ⇒ È stata eseguita una analisi di RSL secondo i paragrafi 3.2.2 e 7.11.3 delle NTC2018. L'analisi è stata effettuata attraverso analisi numerica monodimensionale in campo lineare equivalente attraverso il software di calcolo STRATA. Per l'analisi di RSL è stato utilizzato un modello geologico semplificato. L'analisi di risposta sismica locale è stata eseguita sulla verticale S3-DH.

I parametri utilizzati per la verifica di RSL locale eseguita sono indicati nel paragrafo 6.3.3. Di seguito si riassumono le informazioni principali:

Coordinate (ED50)	Lat. 45.069808° Long. 9.839217°
Vita nominale (V_n)	100 anni
Classe uso	IV
Coefficiente uso (C_u)	2.0
Vita di riferimento	200 anni
Periodo di ritorno (SLV)	1898 anni
a_g	0.141 g

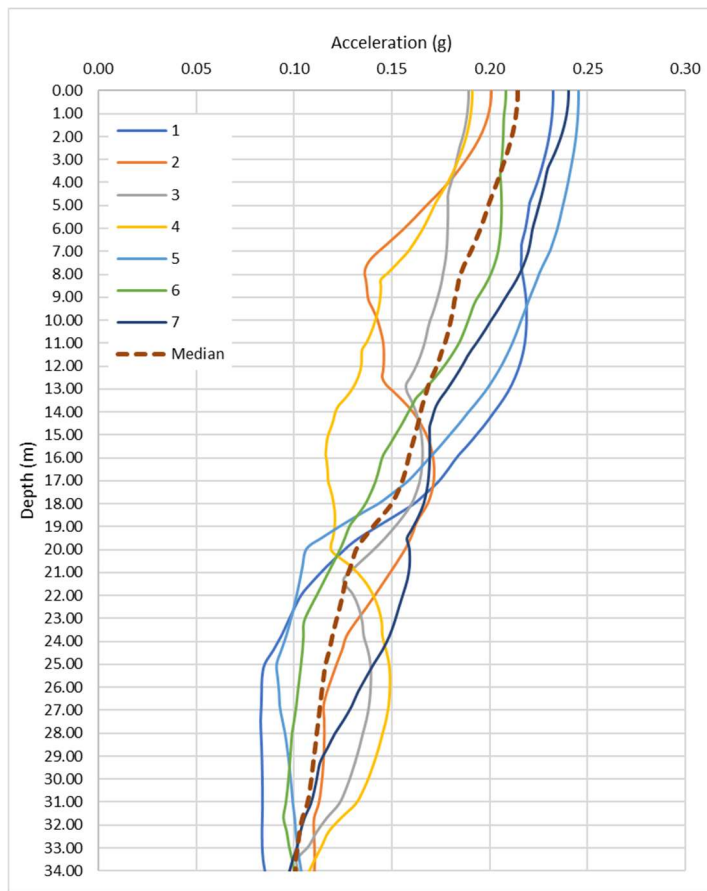
L'analisi eseguita ha fornito i risultati sintetizzati di seguito:

SCHEMA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE

Codice elaborato: PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.2.B

Titolo elaborato: Relazione sismica

pag. 77 / 82

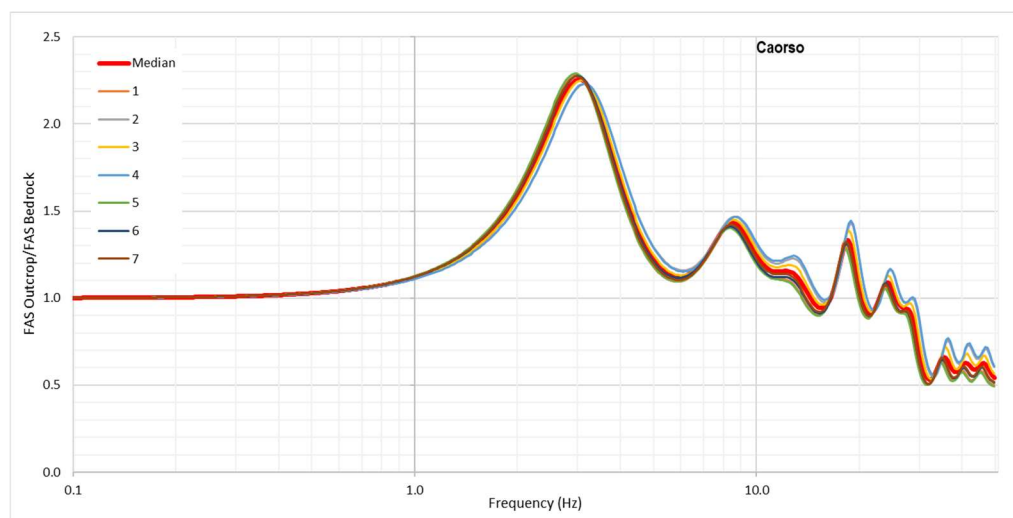


	FA-PGA	PGA
1	1.65	0.233
2	1.42	0.201
3	1.34	0.189
4	1.36	0.191
5	1.74	0.246
6	1.48	0.208
7	1.71	0.241
Median	1.52	0.214
Media	1.53	0.216
min	1.34	0.189
max	1.71	0.241

Il fattore di amplificazione F_a di PGA al piano campagna è risultato variabile tra 1.34 e 1.71 con un valore medio pari a **1.52**.

Grafico di accelerazione (g) in funzione della profondità.

Nella figura seguente è riportata la funzione di trasferimento ottenuta come rapporto tra gli spettri di Fourier calcolati per il bedrock e per il piano campagna (outcrop). La funzione di trasferimento ottenuta evidenzia la presenza di un picco principale con valore massimo di ampiezza di circa 2.2/2.3, rilevato alla frequenza di circa 3.0 Hz. I picchi a frequenze maggiori risultano avere ampiezze inferiori a due. Sulla base delle risultanze dello studio RSL, la frequenza caratteristica del deposito studiato risulta circa 3.0 Hz.



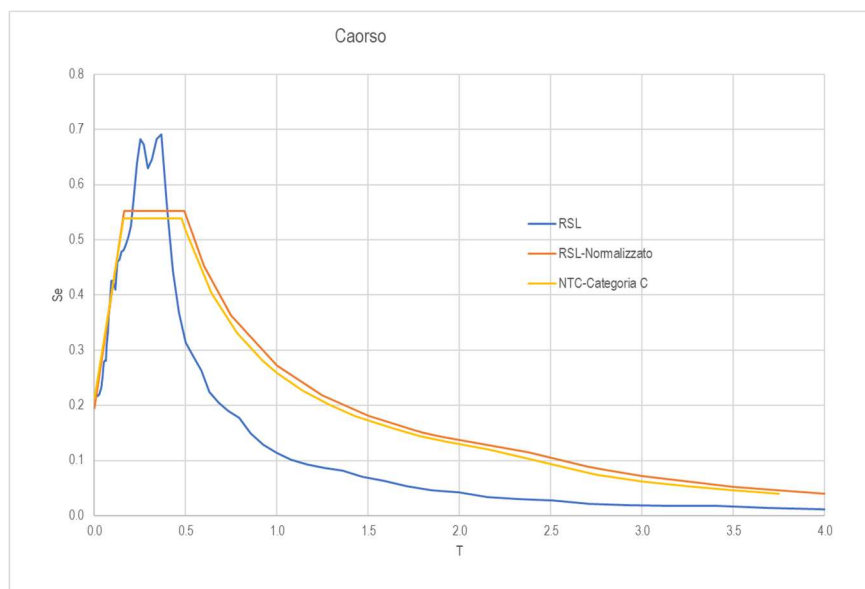
Andamento della funzione di amplificazione in funzione della frequenza.

SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE

Codice elaborato: PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.2.B

Titolo elaborato: Relazione sismica

pag. 78 / 82



Per la regolarizzazione degli spettri ottenuti con la Risposta Sismica Locale (RSL) si è fatto riferimento all'appendice 1 dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 55 del 24 aprile 2018.

La procedura permette di ottenere tutti i parametri per l'inserimento dello spettro elastico nei codici di calcolo per la progettazione e verifica delle costruzioni. In sintesi i valori ottenuti sono i seguenti:

Nella figura precedente è riportata la sovrapposizione grafica dello spettro ottenuto con la RSL e dello spettro di normativa riferito alla categoria di sottosuolo C. Per l'area in esame lo spettro ottenuto dalla RSL normalizzato risulta sostanzialmente in linea con lo spettro di normative di tipo C, di poco maggiormente cautelativo per periodi >0.16 s.

In sintesi:

- in corrispondenza dell'area in esame la FA di PGA determinata dalla RSL (1.52) è risultata in linea e di poco maggiormente cautelativa rispetto a quella ottenuta con l'approccio semplificato (1.48, parametro S delle NTC2018 per terreni di categoria C); lo spettro di risposta ottenuto con la RSL risulta di poco superiore allo spettro di normativa oltre 0.16 s.

Il valore di amplificazione (S nelle NTC218) comprensivo di amplificazione stratigrafica e topografica ottenuto dall'analisi di RSL risulta **1.52** [$S_s=1.52$ (da RSL) e $S_t=1.0$ (da NTC2018)]; pertanto il valore di a_{max} risulta 0.2143 g.

SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE

 Codice elaborato: **PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.2.B**

 Titolo elaborato: **Relazione sismica**

pag. 79 / 82

Stato Limite Ultimo		SLV	
accelerazione di progetto	ag	0.141	g
Parametro spettrale	F0	2.547	-
Parametro spettrale	Tc'	0.31	s
Stato Limite di Esercizio		SLD	
accelerazione di progetto	ag	0.067	g
Parametro spettrale	F0	2.563	-
Parametro spettrale	Tc'	0.281	s
Stato Limite Ultimo		SLV	
Coefficiente di amplificazione dipendente dal tipo di sottosuolo	Ss	1.52	RSL
Categoria topografica		T1	
Coefficiente di amplificazione topografica	St	1.00	
Coefficiente di amplificazione sismica locale	$S = St \cdot Ss$	1.520	
Amax	$A_{max} = Ag \cdot S$	0.2143	g
Stato Limite di Esercizio		SLD	
Coefficiente di amplificazione dipendente dal tipo di sottosuolo	Ss	1.52	RSL
Categoria topografica		T1	
Coefficiente di amplificazione topografica	St	1.00	
Coefficiente di amplificazione sismica locale	$S = St \cdot Ss$	1.520	
Amax	$A_{max} = Ag \cdot S$	0.1018	g

In conclusione i risultati ottenuti attraverso l'analisi di risposta sismica locale risultano quindi confrontabili con il valore di amplificazione (S_s per le NTC2018) risultante considerando una categoria di sottosuolo tipo C, secondo il valore di V_{s30} ottenuto dalla prova sismica MASW (vedasi paragrafo 6.3.3 dove sono riportati i parametri sismici ottenuti attraverso il metodo semplificato delle NTC2018).

⇒ Sono state eseguite le verifiche di liquefazione lungo le verticali delle CPTu escludendo lo spessore che costituisce il rilevato arginale (essendo sostanzialmente costituito da materiali a granulometria fine). Il piano campagna si trova ad una quota di +43.5 m s.l.m.

Si precisa che le verifiche di liquefazione sono state eseguite considerando i parametri dell'opera in progetto, nel caso del sito di Caorso (PC) si tratta di un'opera strutturale; come specificato in seguito i parametri sismici utilizzati sono stati calcolati considerando una $V_n = 100$ ed una classe d'uso pari a IV e quindi un tempo di ritorno di 1898 anni.

Le verifiche sono state eseguite alle seguenti condizioni sismiche:

- Magnitudo momento (M_w) = 6.14.
- FA di PGA ottenuto dall'Analisi di Risposta Sismica Locale (1.52), $a_{gmax} = 0.21$ g (ottenuto da RSL considerando una $V_n = 100$ ed una classe d'uso pari a IV e quindi un tempo di ritorno di 1898 anni).

PNRR - M2C4 Investimento 3.3 - RINATURAZIONE DELL'AREA DEL PO	
Progetto Esecutivo	
SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE	
Codice elaborato:	PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.2.B
Titolo elaborato:	Relazione sismica
pag. 80 / 82	

Per quanto riguarda la falda sono state eseguite le verifiche sia in condizione di falda prossima al piano campagna che in condizioni di profondità della falda media (da dati piezometrici raccolti da Aprile 2024 a Febbraio 2025).

In particolare le verifiche sono state eseguite alle seguenti 2 condizioni di soggiacenza della falda:

- Falda a soggiacenza minima: falda posta a -1.5 m da p.c. (42 m s.l.m.);
- Falda a soggiacenza media: falda posta a -2.5 m da p.c. (41 m s.l.m.);

Le verifiche di liquefazione eseguite nelle due diverse condizioni precedentemente descritte portano a determinare valori di I_L

- compresi tra 0-5 per n°6 verticali su 8 e compresi tra 5-10 per n°2 verticali, eseguite considerando la falda più prossima al piano campagna (n° due verifiche superano il valore di 5 e sono quelle eseguite in corrispondenza delle verticali CPTu3 e CPTu4);
- valori inferiori al 5 per tutte le verticali considerando la soggiacenza media della falda pari a -2.5 m da p.c. (da dati piezometrici Aprile 2024-Febbraio 2025).

Allo stato dei rilievi piezometrici eseguiti si valuta ragionevole considerare come maggiormente significative le verifiche eseguite con una profondità media della falda di -2.5 m da p.c. (quota +41.0 m s.l.m.). In questo caso le verifiche di liquefazione portano a determinare valori di I_L sempre inferiori a 5, ed un valore di I_L medio pari a 2.8: potenziale di liquefazione basso (raccomandazioni AGI, 2005).

Tali verifiche, eseguite in corrispondenza delle verticali delle prove CPTu, si ritengono di valenza puntuale e locale e non sono eseguite per una verifica di liquefazione dell'intero corpo arginale.

Si sottolinea infatti che l'oggetto principale del progetto non riguarda la verifica alla liquefazione dei rilevati arginali, quanto l'individuazione ed il dimensionamento delle opere di diaframmatura per contrastare i fenomeni di filtrazione. Nei documenti di Progetto ed in particolare nella presente Relazione Sismica è stata comunque esaminata ed illustrata la valutazione delle verifiche della suscettività alla liquefazione dei terreni in corrispondenza delle verticali di indagine, in relazione agli esiti delle indagini realizzate lungo lo sviluppo dell'argine oggetto del progetto.

Le verifiche di liquefazione sono state eseguite sulle indagini con metodologia semplificata atta ad individuare la suscettibilità alla liquefazione della verticale della prova stessa, attraverso la determinazione dell'Indice del potenziale di liquefazione I_L .

Si sottolinea che volendo determinare un I_L medio dell'area interessata dall'intervento in progetto questo risulta pari a $I_L=2.8$ per le verifiche eseguite con falda posta a -2.5 m da p.c. e risulta pari a $I_L=3.8$ con falda posta -1.5 m da p.c.: potenziale di liquefazione basso.

Si sottolinea altresì che le verifiche sono state eseguite dalla quota del piano campagna alla base del rilevato arginale (+43.5 m s.l.m.), ove sarà realizzato il diaframma in progetto. In tal senso, a titolo puramente conoscitivo, si riporta che le verifiche con $T_r=1898$ anni (da Classe uso IV e $V_n=100$) eseguite a partire da sommità arginale (+48.5 m s.l.m) considerando la falda a -6.5 m da p.c. (sommità arginale) indicano per le prove CPTu3 e CPTu4 valori di I_L inferiori a 1.

SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE

Codice elaborato: **PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.2.B**

Titolo elaborato: **Relazione sismica**

pag. 81 / 82

Il rischio residuo per l'arginatura a seguito di un'eventuale fenomeno sismico è ritenuto basso ed assolutamente accettabile per la tipologia di opera, ed anche qualora dovessero verificarsi cedimenti del corpo arginale essi potrebbero essere compensati con un intervento di manutenzione finalizzato al ripristino della sagoma e della quote di coronamento.

Maggio, 2025



Dott. Geol. Giancarlo Bonini

SCHEMA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE

Codice elaborato: PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.2.B

Titolo elaborato: Relazione sismica

pag. 82 / 82

Allegato 1 – Spettri di risposta ottenuti con RSL

Period (sec)	1	2	3	4	5	6	7	Median	logStDev	st dev	Median+ StDev	Median- StDev
0.01	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.01	0.001	0.144	0.142
0.01	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.01	0.001	0.144	0.142
0.01	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.01	0.001	0.144	0.142
0.01	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.01	0.001	0.144	0.142
0.01	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.01	0.001	0.144	0.142
0.01	0.14	0.14	0.14	0.15	0.14	0.14	0.14	0.14	0.01	0.001	0.145	0.142
0.02	0.14	0.14	0.14	0.15	0.14	0.14	0.14	0.14	0.01	0.001	0.145	0.143
0.02	0.14	0.14	0.14	0.15	0.15	0.14	0.14	0.14	0.01	0.001	0.146	0.143
0.02	0.14	0.14	0.14	0.15	0.15	0.14	0.14	0.14	0.01	0.002	0.146	0.143
0.02	0.14	0.14	0.14	0.15	0.15	0.14	0.15	0.14	0.01	0.002	0.147	0.143
0.02	0.14	0.15	0.14	0.15	0.15	0.14	0.15	0.15	0.01	0.002	0.148	0.144
0.02	0.14	0.15	0.15	0.15	0.15	0.14	0.15	0.15	0.02	0.002	0.149	0.144
0.03	0.14	0.15	0.15	0.15	0.15	0.14	0.15	0.15	0.02	0.003	0.150	0.144
0.03	0.14	0.15	0.15	0.16	0.15	0.15	0.15	0.15	0.02	0.004	0.152	0.145
0.03	0.15	0.15	0.15	0.16	0.15	0.15	0.15	0.15	0.03	0.005	0.155	0.145
0.03	0.15	0.15	0.15	0.16	0.15	0.15	0.16	0.15	0.04	0.006	0.159	0.146
0.03	0.15	0.16	0.16	0.17	0.15	0.15	0.16	0.16	0.05	0.009	0.164	0.147
0.04	0.15	0.16	0.17	0.19	0.15	0.15	0.16	0.16	0.08	0.013	0.174	0.148
0.04	0.15	0.16	0.18	0.21	0.16	0.15	0.16	0.17	0.12	0.022	0.189	0.146
0.04	0.15	0.16	0.21	0.21	0.15	0.15	0.18	0.17	0.16	0.028	0.199	0.143
0.05	0.16	0.18	0.22	0.23	0.15	0.15	0.21	0.18	0.20	0.036	0.217	0.145
0.05	0.17	0.18	0.22	0.24	0.16	0.16	0.20	0.19	0.17	0.032	0.218	0.154
0.05	0.15	0.18	0.22	0.31	0.18	0.16	0.22	0.20	0.25	0.056	0.253	0.141
0.06	0.16	0.17	0.25	0.37	0.18	0.16	0.21	0.20	0.31	0.076	0.279	0.127
0.06	0.16	0.18	0.24	0.31	0.17	0.15	0.25	0.20	0.26	0.057	0.260	0.146
0.07	0.18	0.21	0.36	0.32	0.17	0.16	0.25	0.23	0.32	0.078	0.305	0.149
0.07	0.19	0.24	0.38	0.38	0.16	0.15	0.29	0.24	0.38	0.096	0.338	0.145
0.08	0.20	0.29	0.36	0.45	0.21	0.17	0.24	0.26	0.35	0.100	0.359	0.158
0.09	0.24	0.38	0.42	0.42	0.22	0.18	0.19	0.27	0.38	0.110	0.385	0.165
0.09	0.26	0.50	0.46	0.42	0.20	0.20	0.20	0.29	0.42	0.135	0.430	0.160
0.10	0.23	0.50	0.42	0.38	0.22	0.18	0.23	0.29	0.39	0.124	0.414	0.166
0.11	0.21	0.45	0.39	0.36	0.23	0.17	0.24	0.28	0.36	0.105	0.381	0.171
0.12	0.19	0.42	0.40	0.32	0.22	0.21	0.30	0.28	0.32	0.093	0.373	0.188

SCHEMA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE

Codice elaborato: PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.2.B

Titolo elaborato: Relazione sismica

pag. 83 / 82

Period (sec)	1	2	3	4	5	6	7	Median	logStDev	st dev	Median+ StDev	Median- StDev
0.13	0.19	0.50	0.50	0.39	0.23	0.21	0.34	0.32	0.41	0.133	0.449	0.182
0.14	0.19	0.41	0.58	0.47	0.25	0.21	0.28	0.32	0.42	0.145	0.462	0.171
0.15	0.21	0.44	0.53	0.53	0.29	0.24	0.31	0.34	0.38	0.135	0.477	0.206
0.16	0.25	0.34	0.44	0.50	0.35	0.28	0.31	0.34	0.24	0.087	0.430	0.256
0.17	0.27	0.31	0.38	0.44	0.31	0.30	0.42	0.34	0.18	0.064	0.408	0.280
0.18	0.28	0.34	0.41	0.37	0.31	0.32	0.48	0.35	0.19	0.071	0.424	0.283
0.20	0.31	0.35	0.41	0.30	0.36	0.32	0.47	0.36	0.16	0.062	0.418	0.294
0.22	0.36	0.35	0.38	0.32	0.47	0.35	0.42	0.38	0.13	0.052	0.429	0.326
0.23	0.38	0.28	0.37	0.38	0.50	0.49	0.40	0.39	0.20	0.076	0.468	0.316
0.25	0.38	0.24	0.33	0.38	0.46	0.48	0.46	0.38	0.24	0.084	0.467	0.298
0.27	0.38	0.23	0.34	0.32	0.39	0.46	0.41	0.36	0.23	0.074	0.430	0.281
0.29	0.36	0.20	0.38	0.29	0.35	0.32	0.39	0.32	0.23	0.065	0.387	0.256
0.32	0.33	0.23	0.42	0.37	0.40	0.23	0.41	0.33	0.27	0.083	0.415	0.248
0.34	0.30	0.24	0.40	0.35	0.42	0.22	0.52	0.34	0.30	0.105	0.442	0.232
0.37	0.27	0.25	0.33	0.37	0.37	0.32	0.58	0.35	0.27	0.109	0.454	0.237
0.40	0.26	0.20	0.27	0.25	0.29	0.38	0.45	0.29	0.28	0.087	0.376	0.202
0.43	0.24	0.19	0.23	0.16	0.25	0.34	0.46	0.25	0.35	0.101	0.353	0.151
0.46	0.23	0.17	0.19	0.12	0.25	0.28	0.42	0.22	0.39	0.095	0.317	0.127
0.50	0.22	0.15	0.16	0.12	0.29	0.28	0.28	0.20	0.35	0.069	0.273	0.134
0.54	0.20	0.13	0.14	0.12	0.30	0.27	0.27	0.19	0.40	0.078	0.271	0.116
0.58	0.18	0.13	0.12	0.10	0.29	0.32	0.22	0.18	0.45	0.087	0.266	0.092
0.63	0.16	0.14	0.10	0.08	0.24	0.30	0.26	0.16	0.52	0.086	0.249	0.077
0.68	0.13	0.15	0.09	0.08	0.20	0.24	0.26	0.15	0.44	0.069	0.221	0.083
0.74	0.12	0.15	0.08	0.09	0.17	0.24	0.25	0.15	0.43	0.066	0.212	0.080
0.79	0.11	0.12	0.06	0.09	0.17	0.29	0.28	0.14	0.57	0.091	0.230	0.048
0.86	0.09	0.11	0.06	0.08	0.16	0.28	0.22	0.12	0.57	0.082	0.206	0.042
0.93	0.07	0.11	0.05	0.08	0.13	0.20	0.15	0.11	0.45	0.051	0.158	0.056
1.00	0.06	0.10	0.05	0.06	0.11	0.15	0.22	0.10	0.53	0.060	0.155	0.035
1.08	0.05	0.09	0.05	0.06	0.11	0.12	0.27	0.09	0.60	0.077	0.168	0.014
1.17	0.04	0.09	0.05	0.04	0.11	0.14	0.28	0.08	0.73	0.085	0.167	-0.002
1.26	0.05	0.06	0.04	0.04	0.10	0.13	0.30	0.08	0.76	0.095	0.173	-0.016
1.36	0.05	0.07	0.03	0.04	0.09	0.14	0.31	0.08	0.80	0.100	0.175	-0.024
1.47	0.04	0.05	0.02	0.05	0.08	0.14	0.28	0.07	0.86	0.089	0.156	-0.022
1.58	0.03	0.05	0.01	0.05	0.07	0.15	0.22	0.06	0.93	0.073	0.132	-0.014
1.71	0.02	0.04	0.01	0.04	0.06	0.13	0.18	0.05	0.94	0.061	0.110	-0.012
1.85	0.01	0.04	0.01	0.04	0.06	0.11	0.16	0.04	1.00	0.054	0.096	-0.013

SCHEMA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE

Codice elaborato: PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.2.B

Titolo elaborato: Relazione sismica

pag. 84 / 82

Period (sec)	1	2	3	4	5	6	7	Median	logStDev	st dev	Median+ StDev	Median- StDev
2.00	0.01	0.03	0.01	0.05	0.06	0.10	0.15	0.04	1.07	0.051	0.089	-0.013
2.15	0.01	0.02	0.01	0.05	0.05	0.08	0.14	0.03	1.12	0.046	0.077	-0.015
2.33	0.01	0.02	0.01	0.05	0.05	0.05	0.12	0.03	1.12	0.041	0.069	-0.013
2.51	0.01	0.02	0.01	0.04	0.04	0.04	0.12	0.03	1.13	0.041	0.066	-0.015
2.71	0.01	0.01	0.00	0.03	0.03	0.04	0.13	0.02	1.16	0.042	0.062	-0.022
2.93	0.00	0.01	0.00	0.03	0.03	0.03	0.11	0.02	1.20	0.038	0.057	-0.020
3.16	0.00	0.01	0.00	0.03	0.02	0.05	0.10	0.02	1.28	0.033	0.050	-0.017
3.41	0.00	0.01	0.00	0.04	0.03	0.05	0.08	0.02	1.29	0.029	0.046	-0.012
3.69	0.00	0.01	0.00	0.02	0.02	0.04	0.07	0.01	1.31	0.023	0.036	-0.011
3.98	0.00	0.01	0.00	0.03	0.01	0.03	0.05	0.01	1.29	0.018	0.028	-0.007
4.30	0.00	0.01	0.00	0.02	0.01	0.03	0.04	0.01	1.19	0.014	0.024	-0.005
4.64	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.02	0.03	0.01	1.14	0.011	0.018	-0.004
5.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.02	0.01	1.10	0.008	0.013	-0.002
5.41	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.02	0.00	1.19	0.006	0.010	-0.002
5.84	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	1.13	0.005	0.008	-0.002
6.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	1.09	0.004	0.006	-0.001
6.81	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.98	0.003	0.005	-0.001
7.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.88	0.002	0.004	0.000
7.94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.87	0.002	0.004	0.000
8.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.88	0.002	0.003	0.000
9.26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.83	0.001	0.003	0.000
10.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.76	0.001	0.003	0.000