

COMUNE DI MIRANDOLA

Provincia di Modena

PROVVEDIMENTO AUTORIZZATORIO UNICO REGIONALE

REALIZZAZIONE DI IMPIANTO DI RECUPERO RIFIUTI SPECIALI UBICATO
PRESSO L'AREA IN VIA DI MEZZO SNC

COMMITTENTE:

Costruzioni Edili Baraldini Quirino SpA
Via di Mezzo 84 - 41037
Mirandola (MO)



STAFF DI PROGETTO:

Dott. Geol. Matteo Mattioli
Dott.ssa Michela Costa
Dott.ssa Rita Costa
Ing. Gianmarco Maroncelli
Geol. Davide Sasdelli
Ing. Giusy Pellegrino

STUDIO MATTIOLI srl

Via Santo Stefano 30
40125, Bologna (BO)

studio.mattioli@studiomattioli.com

studiomattioli.com



STUDIO MATTIOLI

CONSULENTI SPECIALISTI:

Progettista idraulico: Ing. Daniele Barbetti
Progettista strutturale: Ing. Daniele Barbetti
Progettista strutturale: Ing. Nicola Bertaccini
Geologo: Dott. Geol. Sara Cafaggi
Progettista architettonico: Ing. Federica Botti
Progettista elettrico: P.I. Loris Amaduzzi

Studio
AZ srl



DEPOSITO SISMICO

PS.06.2_Relazione geotecnica

CODICE ELABORATO

SIS.08.08.R1

COMMESSA

25-C021

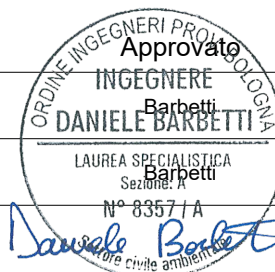
SPECIALISTICA

SIS

SCALA

-

Rev.	Data	Note	Redatto	Verificato
0	04/08/2025	Prima emissione	Bertaccini	Goy
1	01/04/2026	Aggiornamento a seguito CdS	Bertaccini	Goy
2				



r_emiro.Giunta - Prot. 16/04/2026.0385808.F
Copia conforme dell'originale sottoscritto digitalmente da Barbetti Daniele



SOMMARIO

1. PREMESSA	3
1.1. Prove geognostiche (campagne del 2012 e 2023)	4
1.2. Norme di riferimento	4
1.3. Documenti di riferimento	4
2. CAMPAGNE GEOGNOSTICHE	5
2.1. Prove penetrometriche continue	6
2.1.1. Parametri geotecnici medi e caratteristici	6
2.1.2. Parametri di progetto	7
2.2. Profilo geotecnico	8
2.3. CPTU-1	9
2.4. CPTU-2	11
2.5. Indagini geofisiche	13
2.5.1. HVSr	13
2.5.2. MASW	15
2.6. Valori $V_{s,30}$ da prove geofisiche	16
2.6.1. HVSr 1	16
2.7. Valori $V_{s,30}$ da CPT	18
3. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO	20
3.1. Pericolosità sismica di base	20
3.2. Classificazione stratigrafica e topografica	20
3.3. DETERMINAZIONE AZIONE SISMICA DI PROGETTO SECONDO NTC 2018	21
3.3.1. Fase 1 - Pericolosità del sito	21
3.3.2. Fase 2 – Scelta dei parametri di progettazione	22
3.3.3. Fase 3 – Determinazione dell'azione di progetto	22
4. STABILITÀ NEI CONFRONTI DELLA LIQUEFAZIONE	25
5. CONCLUSIONI	27

1. PREMESSA

La presente Relazione Geotecnica riguarda il progetto per la nuova tettoia ad uso ricovero mezzi sito a Mirandola (MO) in via di Mezzo snc, foglio 134 map. 544.

Il nuovo edificio presenterà una struttura in elevazione in acciaio e le fondazioni sono costituite da una platea in calcestruzzo armato gettato in opera.

Nella seguente immagine si mostra l'area di inquadramento per l'intervento oggetto di progetto.

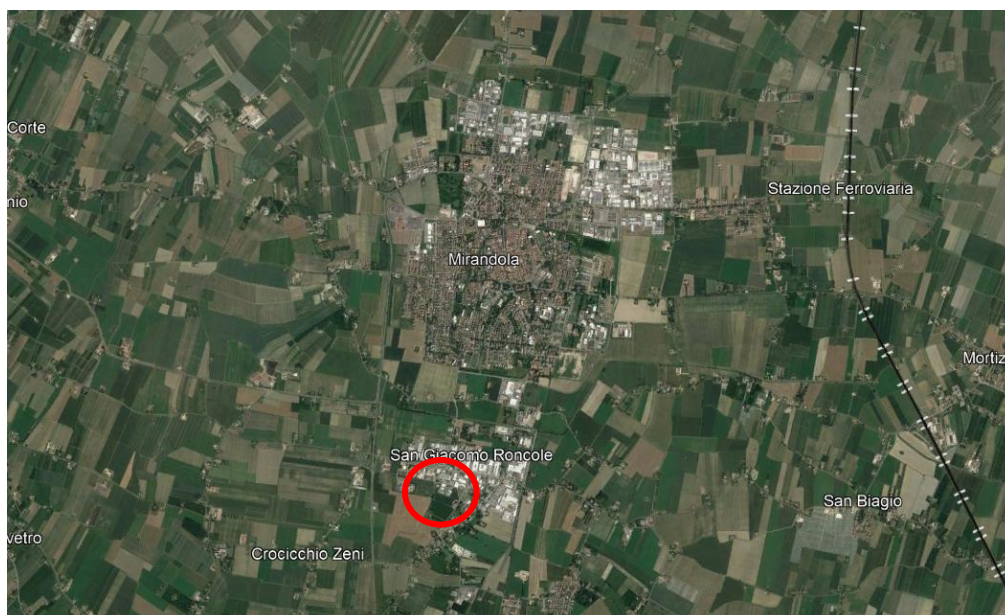


Figura 1 - Inquadramento area geografica intervento

Nella seguente immagine si mostra più nel dettaglio l'area oggetto di intervento

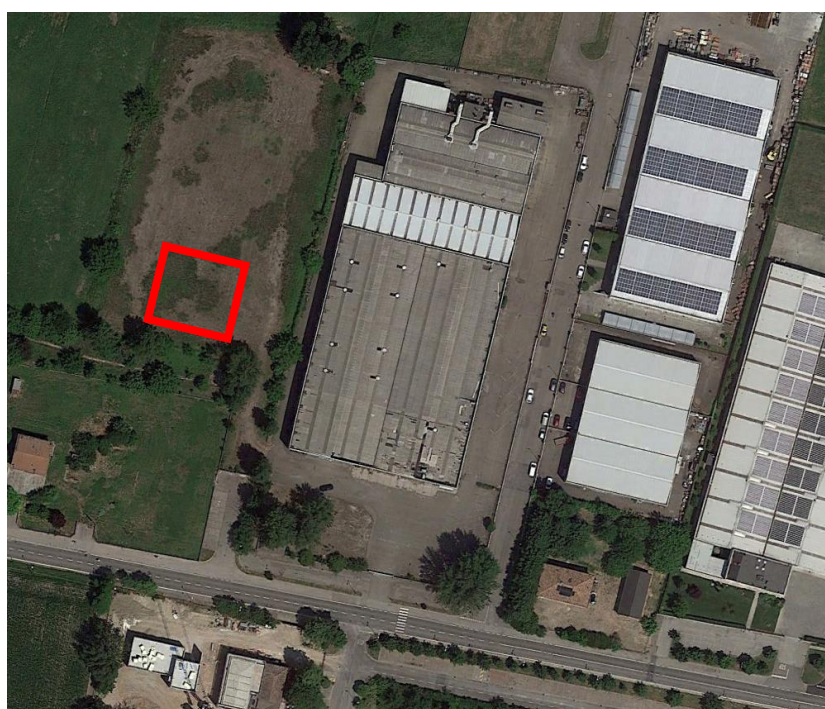


Figura 2 - Dettaglio area di intervento

1.1. Prove geognostiche (campagne del 2012 e 2023)

La presente relazione geotecnica si basa sullo studio geologico e geotecnico effettuato nel 2012 dallo studio "G.G.A. S.r.l." per la caratterizzazione del volume significativo di terreno interessato dalla messa in sicurezza di un capannone esistente. Le prove sono state effettuate per un sito adiacente (area evidenziata in verde) a quello di interesse e si ritengono adeguate per la loro vicinanza al sito della nuova costruzione (circa 100 m in linea d'aria). In particolare, si sono svolte:

- n°2 prove CPT (punti in rosso);
- n°1 prova MASW (linea in giallo);
- n°2 prove HVSR (punti in blu).

Lo studio sopra citato è stato integrato a settembre 2023 da "RdR Srl" al fine di indagare la suscettibilità nei confronti della liquefazione dei terreni interessati mediante l'esecuzione di:

- n°2 prove penetrometriche statiche a punta elettrica con piezocono CPTU (punti in arancione).

Entrambi i documenti sono presenti come allegati alla relazione geologica "PS.06.1.A0A".



Figura 3 - Ubicazione prove su stralcio CTR scala 1:5.000

1.2. Norme di riferimento

Si elencano nel seguito le principali normative vigenti prese come riferimento per la stesura della presente Relazione Geotecnica:

- D.P.R. 380/2001 – Testo Unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia;
- D.M. 17/01/2018 – Norme Tecniche per le Costruzioni;
- Circolare 21/01/2019 – Istruzioni per l'applicazione delle Nuove Norme Tecniche per le costruzioni di cui al D.M. del 17 gennaio 2018.

1.3. Documenti di riferimento

Di seguito si elencano i documenti di riferimenti utilizzati come bibliografia per la stesura della presente Relazione Geotecnica:

- Piano Strutturale Comunale di Mirandola, B – Sistema Naturale e ambientale, Microzonazione sismica.

2. CAMPAGNE GEOGNOSTICHE

Si riportano di seguito i risultati delle prove geognostiche effettuate in occasione delle due campagne di caratterizzazione geotecnica svolte in sito. Tali indagini, pur essendo state eseguite in area limitrofa al sito di intervento, sono ritenute idonee ai fini della definizione del modello geotecnico di progetto.

La prima campagna di indagine (risalente al 2012) si componeva di:

- n°2 prove penetrometriche statiche CPT;
- n°1 prova sismica attiva MASW;
- n°2 prove sismiche passive HVSR.

Ad integrazione di questa campagna, si sono effettuate in un secondo momento (2023):

- n°2 prove penetrometriche statiche a punta elettrica con piezocono CPTU.

Tramite l'elaborazione delle prove si sono ottenuti i parametri caratteristici del terreno (CPT); è stato determinato un profilo sismico del sottosuolo ed è stata calcolata la $V_{s,30}$ (interpretazione integrata di prove MASW e HVSR) ed è stata effettuata la verifica di suscettibilità nei confronti della liquefazione.

Secondo le NTC 2018, la classificazione nella **categoria di sottosuolo C** (*Tabella 3.2. II NTC 2018*) deve essere effettuata sulla base delle condizioni stratigrafiche e dei valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio $V_{s,eq}$ (m/s) definita come:

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

Con:

h_i : spessore dell' i -esimo strato;

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

N : numero di strati;

H : profondità del substrato ($V_{s,eq} > 800$ m/s).

Per depositi con profondità del substrato maggiore di 30 m, come in questo caso, in cui si è registrato il picco interpretato come passaggio al bedrock sismico a circa 70 m (vedi §2.5.1), la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro $V_{s,30}$ considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità. In questo caso, essendo la profondità del substrato maggiore di 30 m dal piano di imposta della fondazione del nuovo edificio, si considera valevole tale parametro.

2.1. Prove penetrometriche continue

2.1.1. Parametri geotecnici medi e caratteristici

Si riportano di seguito in tabella i valori meccanici del terreno derivanti dalle due prove effettuate nella campagna del 2012. Per ogni strato si riportano i valori medi; sono stati esclusi i valori di picco di livelli centimetrici considerati non rilevanti e non rappresentativi delle proprietà litologiche dello strato.

I valori di ϕ e c_u riportati vengono ricavati dai valori di q_c e f_s ottenuti in sito e valutati dallo scrivente della relazione sulle prove geognostiche. Per ulteriori approfondimenti si rimanda al consulto del paragrafo 3.5 della "Relazione geognostica sulle indagini eseguite in sito" contenuta nell'allegato A.

Tabella 1 - Valori geotecnici medi prova CPT-1

CPT-1 PARAMETRI							
PROFONDITA'			q_c	q_c/f_s	γ'	σ'_{v0}	V_s
	m	m	MPa	/	kN/m ³	kPa	m/s
1	0.20	0.60	8.4	127.5	18,1	11	196
2	0.60	5.60	1.1	21.2	12,6	51	161
3	5.60	8.00	1.9	17.4	9,4	67	166
4	8.00	13.40	10.6	98.9	10,0	125	224
5	13.40	24.20	2.4	20.6	9,4	203	170
6	24.20	35.00	22.0	136.4	11,1	314	293

Tabella 2 - Valori geotecnici medi prova CPT-1

CPT-1 PARAMETRI																
NATURA COESIVA						NATURA GRANULARE										
	C_u	OCR	Eu50	Eu25	Mo	Dr	ϕ_{Sc}	ϕ_{Ca}	ϕ_{Ko}	ϕ_{DB}	ϕ_{DM}	ϕ_{Me}	F.L.	E'50	E'25	Mo
	kPa	%	MPa	MPa	MPa	%	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)		Mpa	MPa	MPa
1	--	--	--	--	--	97	43	41	39	36	43	32	2.00	0.62	15.93	19.11
2	53	8.3	13.96	20.94	4.12	22	34	27	24	22	31	28	--	1.86	2.82	3.36
3	76	5.3	23.79	35.69	5.84	22	34	26	22	21	29	28	--	3.66	5.49	6.59
4	114	7.4	25.19	37.79	10.29	66	39	31	28	27	36	34	--	17.98	6.93	32.37
5	83	2.2	44.35	67.27	6.66	10	32	23	19	18	26	28	--	4.71	7.07	8.48
6	--	--	--	--	--	70	40	31	28	26	35	38	--	36.84	54.97	64.96

Tabella 3 - Valori geotecnici medi prova CPT-2

CPT-2 PARAMETRI							
PROFONDITA'			qc	qc/fs	γ'	σ'_{v0}	Vs
	m	m	MPa	/	kN/m ³	kPa	m/s
1	0.20	0.60	9.8	9.7	16,1	7	213
2	0.60	5.60	1.1	20.2	13,0	48	161
3	5.60	8.00	1.6	17.9	9,3	87	164
4	8.00	15.80	12.4	109.3	10,1	136	235
5	15.80	24.20	2.4	19.8	9,4	217	170
6	24.20	35.00	28.0	131.9	10,9	314	284

Tabella 4 - Valori geotecnici medi prova CPT-2

CPT-2 PARAMETRI																
NATURA COESIVA						NATURA GRANULARE										
	Cu	OCR	Eu50	Eu25	Mo	Dr	ϕ_{Sc}	ϕ_{Ca}	ϕ_{Ko}	ϕ_{DB}	ϕ_{DM}	ϕ_{Me}	F.L.	E'50	E'25	Mo
	kPa	%	MPa	MPa	MPa	%	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)		Mpa	MPa	MPa
1	327	99.9	55.53	83.30	29.40	100	43	46	43	40	45	32	--	16.33	24.50	29.40
2	53	11.6	13.16	19.77	4.06	16	33	26	22	21	29	28	--	1.80	2.70	3.23
3	66	4.7	23.76	35.54	5.17	11	33	24	20	19	27	27	--	2.81	3.92	4.70
4	74	3.8	31.01	46.51	5.50	67	39	32	29	27	36	35	--	21.19	31.79	38.15
5	86	2.1	27.74	71.61	7.20	8	32	22	19	18	26	28	--	4.34	8.51	7.81
6	96	1.8	54.01	31.01	8.23	65	39	30	27	25	34	37	--	33.27	49.90	59.88

2.1.2. Parametri di progetto

Secondo le indicazioni delle NTC 2018 la disequazione $E_d > R_d$ deve essere sempre verificata. Si riportano pertanto i coefficienti parziali di sicurezza riguardanti i parametri caratteristici dei terreni.

Tabella 5 - Tabella 6.2.II - NTC 2018

PARAMETRO	PARAMETRO	COEFFICIENTE PARZIALE	(M1)	(M2)
Tangente angolo resistenza al taglio	$\tan \phi'$	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	C'_k	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	C_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso unità di volume	γ	γ_γ	1,0	1,0

2.2. Profilo geotecnico

Si riporta nel seguito una rielaborazione dei profili stratigrafici ottenuti con la campagna di caratterizzazione geognostica del 2012 tramite prove CPT. Come si può osservare, le due stratigrafie sono del tutto simili a meno di una lieve differenza di spessore nell'Unità Geotecnica 2, che comunque non viene interessata dal piano di posa delle nuove fondazioni.

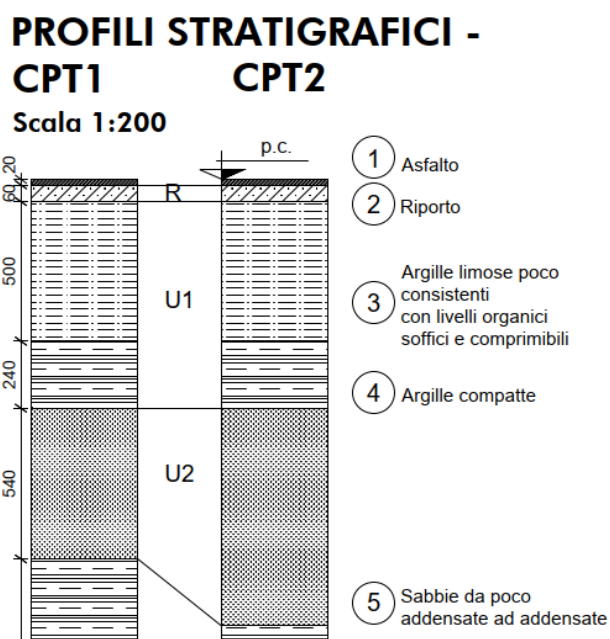


Figura 4 Profilo stratigrafico e unità geotecniche da CPT1 e CPT2

Il profilo viene suddiviso in due unità geotecniche a comportamento simile sotto lo strato di riporto. Di principale interesse per il progetto è l'unità geotecnica "U1", all'interno della quale vengono accorpati gli strati 3 e 4 (argille da limose poco consistenti a compatte) e che sarà interessata dal piano di posa delle nuove fondazioni dell'edificio.

Tabella 6 Unità geotecniche

U1	Da argille limose poco consistenti con livelli organici soffici e comprimibili ad argille compatte.
U2	Sabbie da poco addensate ad addensate.

2.3. CPTU-1

Vengono riportati di seguito i risultati ottenuti dalla prova CPTU-1 effettuata nel 2023, che a macro-scala risulta correlabile con le prove eseguite nel 2012. Per maggiore dettaglio si rimanda alla lettura dell'elaborato contenuto nell'allegato B della presente Relazione Geotecnica.

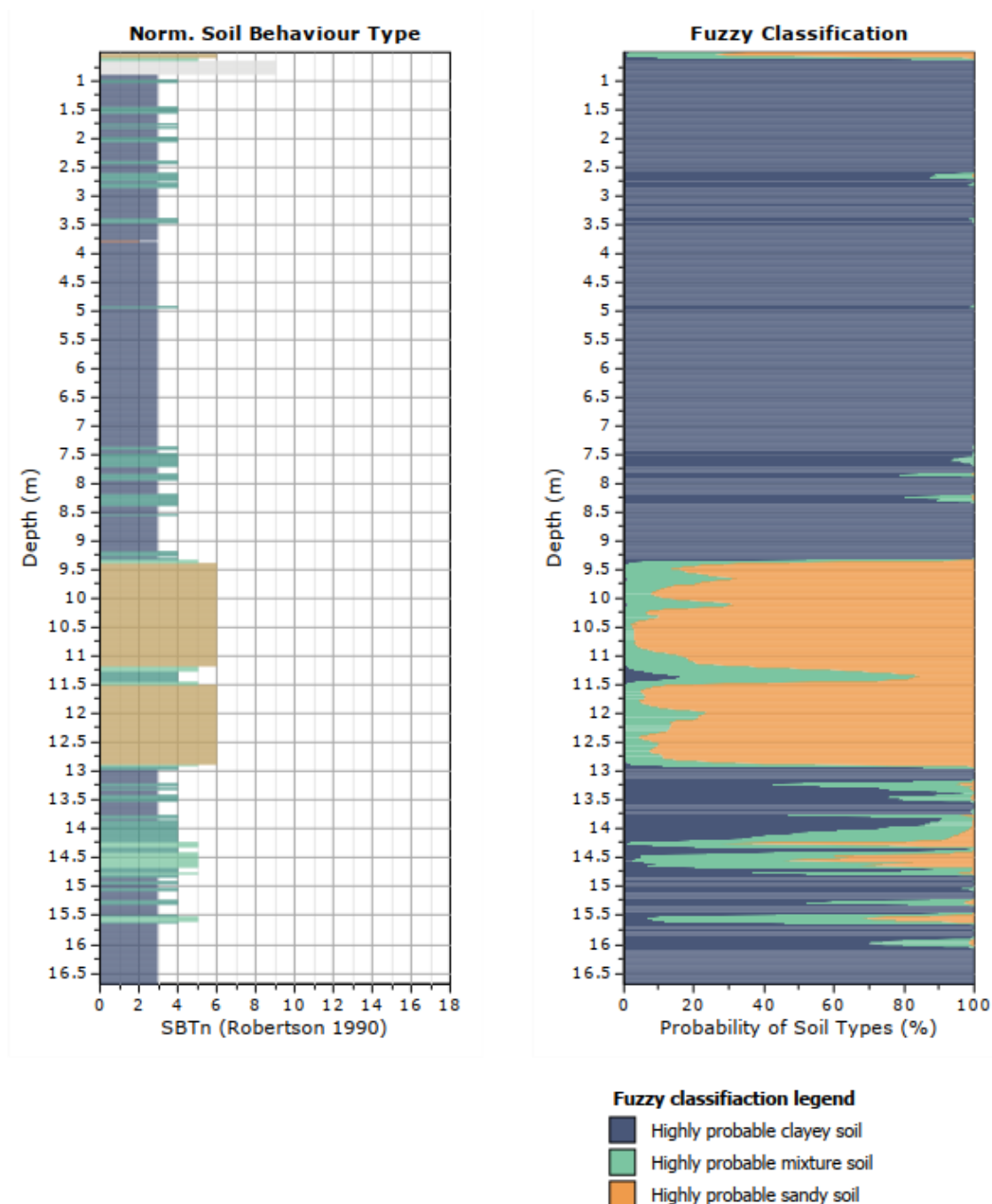


Figura 5 - Profilo stratigrafico da CPTU-1

Summary table of mean values

From depth To depth (m)	Thickness (m)	Permeability (m/s)	SPT _{N60} (blows/30cm)	E _s (MPa)	D _r (%)	Friction angle	Constrained modulus, M (MPa)	Shear modulus, G ₀ (MPa)	Undrained strength, S _u (kPa)	Undrained strength ratio	OCR	Unit weight (kN/m ³)
0.51 7.43	6.92	8.92E-07 (±9.92E-06)	5.2 (±1.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	13.5 (±4.0)	36.6 (±7.8)	69.5 (±16.9)	1.6 (±1.0)	7.2 (±4.8)	19.0 (±0.0)
7.43 9.31	1.88	4.43E-08 (±3.99E-08)	12.5 (±2.1)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	37.0 (±7.6)	80.9 (±14.4)	189.0 (±38.7)	2.0 (±0.4)	9.3 (±1.6)	19.0 (±0.0)
9.31 10.18	0.87	2.36E-05 (±2.20E-05)	18.8 (±3.8)	57.6 (±13.7)	44.7 (±5.1)	35.6 (±1.4)	71.9 (±16.1)	74.3 (±18.1)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	19.0 (±0.0)
10.18 12.91	2.73	1.07E-04 (±1.37E-04)	26.0 (±10.4)	74.2 (±23.4)	54.4 (±12.7)	37.4 (±2.5)	87.7 (±34.7)	91.2 (±32.1)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	19.0 (±0.0)
12.91 16.69	3.78	2.49E-07 (±7.92E-07)	14.3 (±7.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	40.3 (±37.0)	88.3 (±29.8)	171.8 (±108.0)	1.2 (±0.8)	5.4 (±3.6)	19.0 (±0.0)

Depth values presented in this table are measured from free ground surface

Figura 6 - Parametri geotecnici medi da CPTU-1

2.4. CPTU-2

Vengono riportati di seguito i risultati ottenuti dalla prova CPTU-2 effettuata nel 2023, che a macro-scala risulta correlabile con le prove eseguite nel 2012. Per maggiore dettaglio si rimanda alla lettura dell'elaborato contenuto nell'allegato B della presente Relazione Geotecnica.

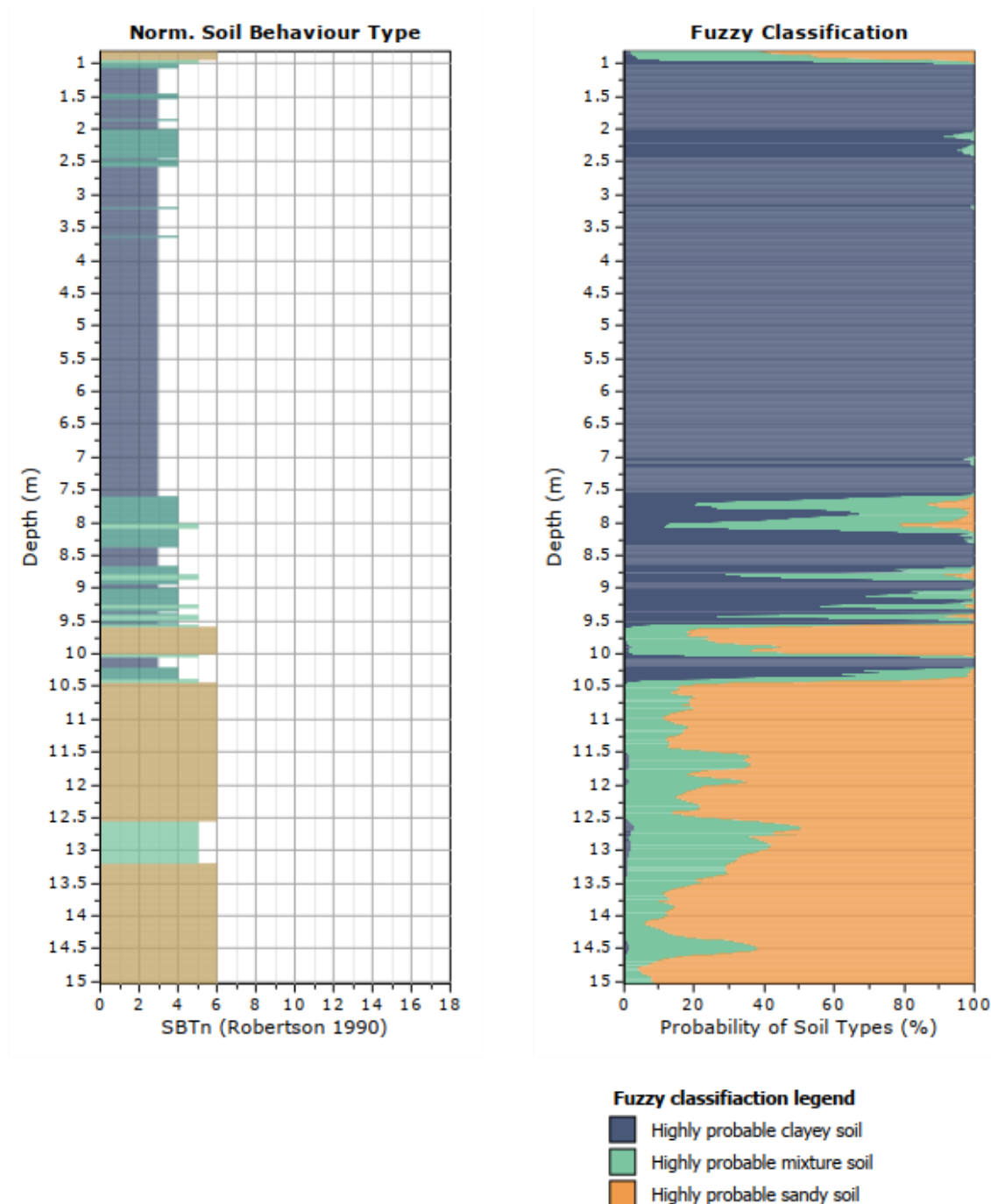


Figura 7 - Profilo stratigrafico da CPTU2

Summary table of mean values

From depth To depth (m)	Thickness (m)	Permeability (m/s)	SPT _{N60} (blows/30cm)	E _s (MPa)	D _r (%)	Friction angle	Constrained modulus, M (MPa)	Shear modulus, G ₀ (MPa)	Undrained strength, S _u (kPa)	Undrained strength ratio	OCR	Unit weight (kN/m ³)
0.81 2.65	1.84	1.43E-06 (±5.25E-06)	5.7 (±1.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	18.8 (±5.1)	35.2 (±3.5)	89.7 (±15.5)	2.6 (±0.6)	12.1 (±2.7)	19.0 (±0.0)
2.65 7.78	5.13	9.55E-09 (±1.33E-08)	5.8 (±1.3)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	14.0 (±3.9)	42.0 (±9.4)	73.2 (±17.9)	1.2 (±0.2)	5.4 (±1.1)	19.0 (±0.0)
7.78 8.70	0.92	7.22E-08 (±8.09E-08)	9.7 (±1.6)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	29.6 (±4.8)	60.8 (±11.7)	149.7 (±24.4)	1.6 (±0.2)	7.5 (±1.1)	19.0 (±0.0)
8.70 10.48	1.78	4.47E-06 (±8.04E-06)	19.2 (±6.3)	84.8 (±6.1)	49.0 (±7.7)	38.3 (±0.7)	70.4 (±29.6)	97.1 (±15.4)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	19.0 (±0.0)
10.48 12.52	2.04	2.65E-05 (±1.19E-05)	34.3 (±2.6)	102.0 (±7.6)	59.3 (±3.5)	39.3 (±0.6)	127.8 (±9.6)	130.0 (±9.7)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	19.0 (±0.0)
12.52 13.56	1.04	5.11E-06 (±3.92E-06)	21.6 (±3.8)	73.1 (±9.1)	40.9 (±4.8)	35.5 (±1.1)	91.6 (±11.6)	93.2 (±11.7)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	19.0 (±0.0)
13.56 15.03	1.47	5.23E-05 (±3.60E-05)	44.2 (±5.2)	125.6 (±10.8)	65.5 (±6.1)	40.2 (±0.8)	157.4 (±13.6)	160.1 (±13.8)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	19.0 (±0.0)

Depth values presented in this table are measured from free ground surface

Figura 8 - Parametri geotecnici medi CPTU-2

2.5. Indagini geofisiche

2.5.1.HVSR

Si riportano di seguito i risultati ottenuti dalle prove HVSR - Horizontal to Vertical Spectral Ratio. Per tutte le specifiche sulla tecnica di analisi e sulla strumentazione utilizzata si rimanda alla lettura del capitolo 4.2.1 della "Relazione geognostica sulle indagini eseguite in sito" allegata alla relazione geologica "SIS_06.01.A0A".

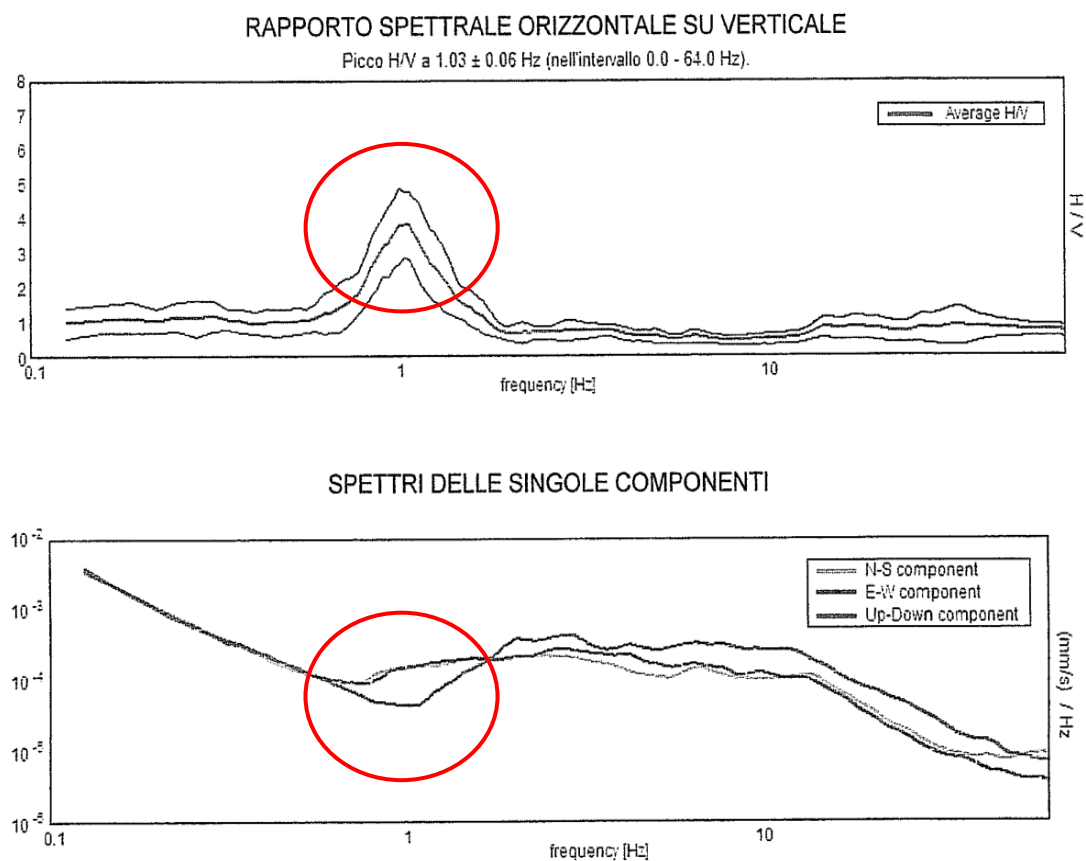


Figura 9 - HVSR 1

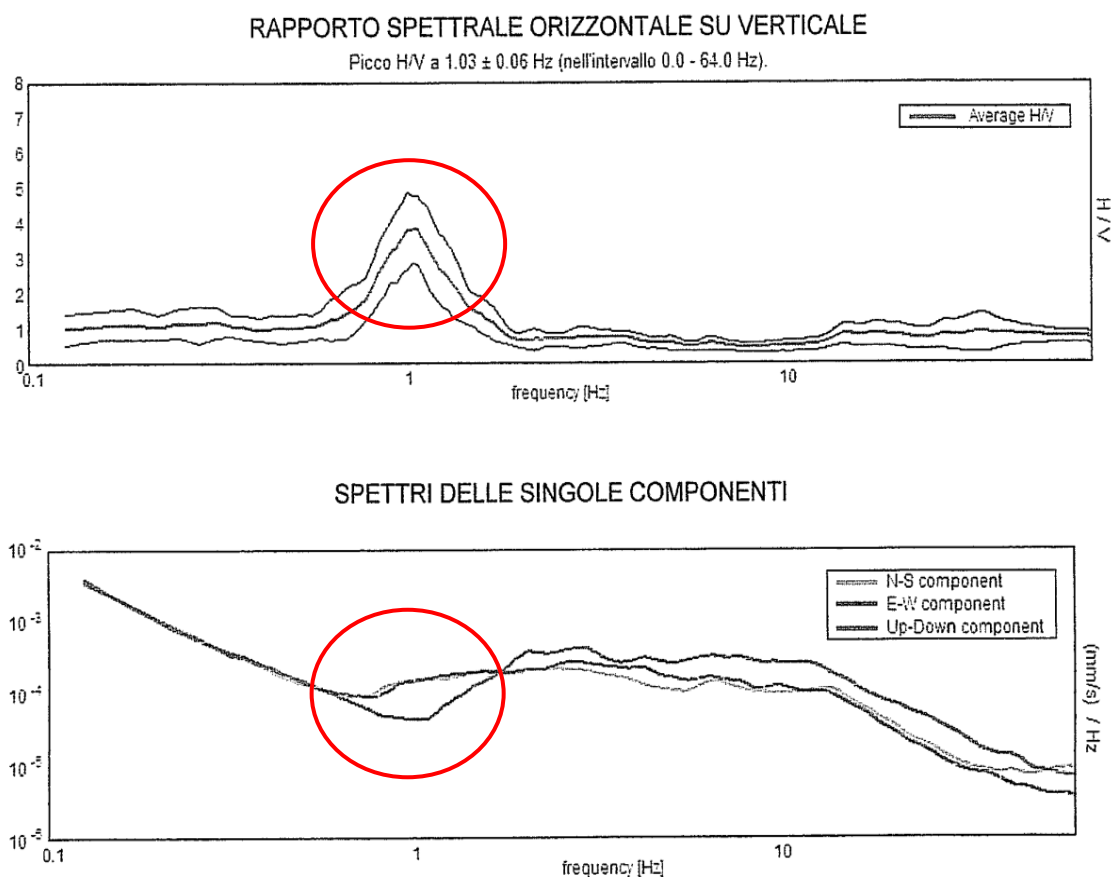


Figura 10 - HVSr 2

Si registra in entrambe le acquisizioni un picco con frequenza a circa 1 Hz che marca un contrasto di impedenza profondo (circa 70 m da p.c.) con un valore di V_s approssimabile a 450-500 m/s, valore che trova conferma nella letteratura esistente riguardante la sismo-tettonica della regione Emilia-Romagna. Il picco cerchiato in rosso presenta le caratteristiche di seguito riportate in tabella.

Tabella 7 - Caratterizzazione picco a 1 Hz

PICCHI STRATIGRAFICI	RAPPORTO H/V	FREQUENZA (HZ)	PERIODO (s)
1	4	1	1

2.5.2.MASW

Si riporta di seguito il risultato dell'unica prova di sismica attiva MASW svolta in sito. Per tutte le specifiche sulla tecnica di analisi e sulla strumentazione utilizzata si rimanda alla lettura del capitolo 4.2.2 della "Relazione geognostica sulle indagini eseguite in sito" contenuta in allegato A. La curva di dispersione MASW verrà di seguito analizzata congiuntamente ai risultati delle HVSr per la modellazione in termini di Vs del sottosuolo.

Si rimanda alla lettura del capitolo 4.2.4 della "Relazione geognostica sulle indagini eseguite in sito" contenuta in allegato A per tutte le specifiche sul fit MASW-HVSr effettuato.

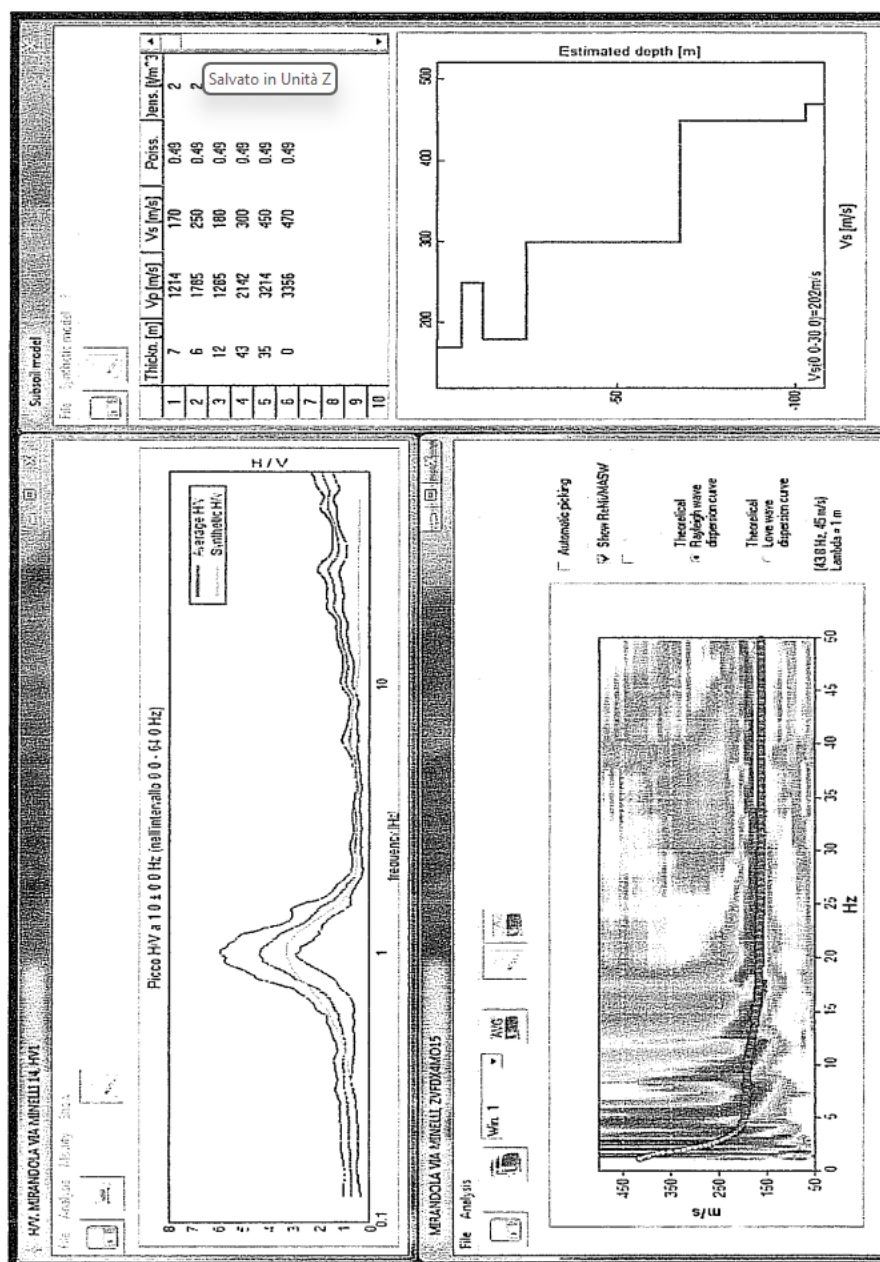


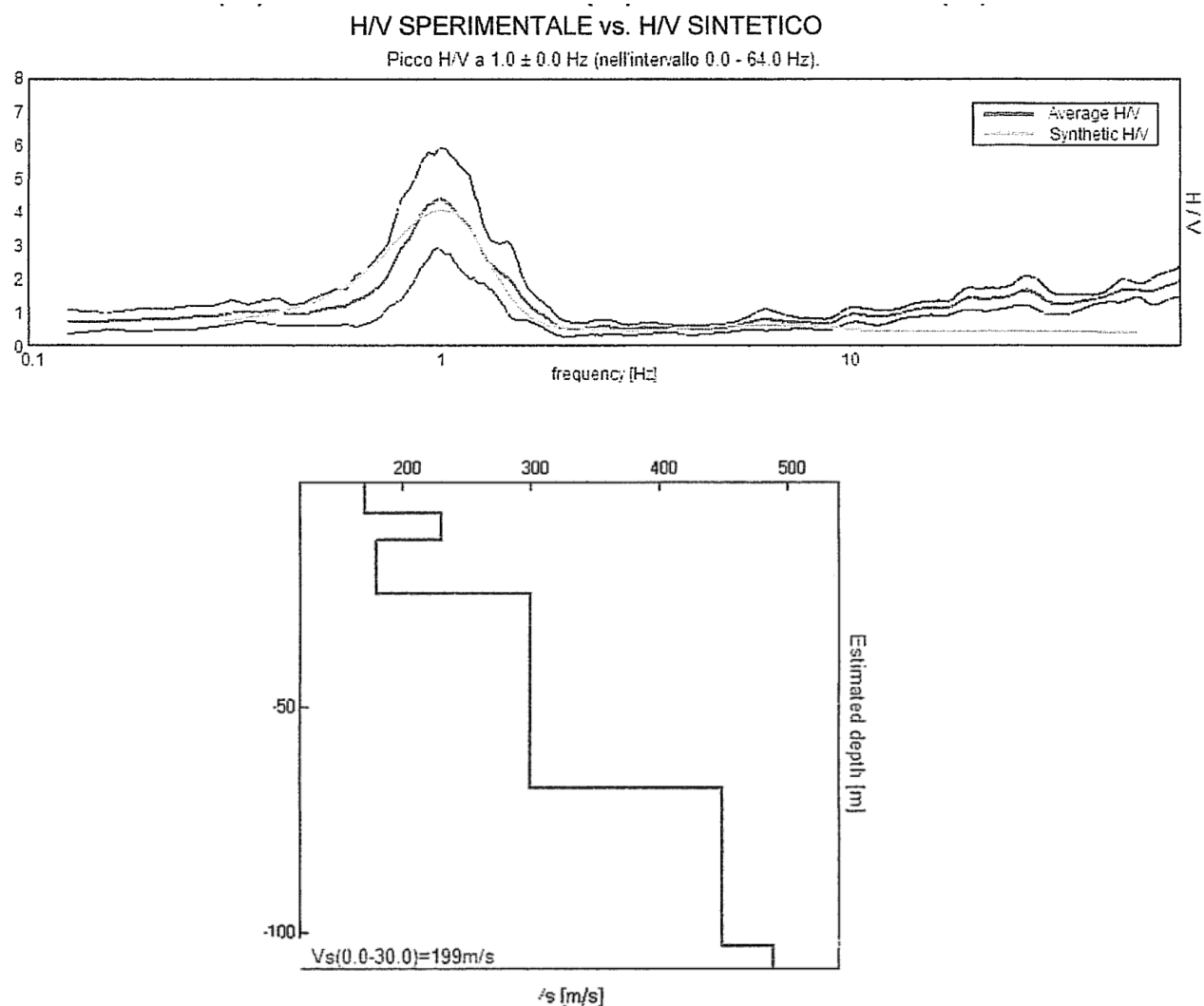
Figura 11 – FIT congiunto MASW-HVSr

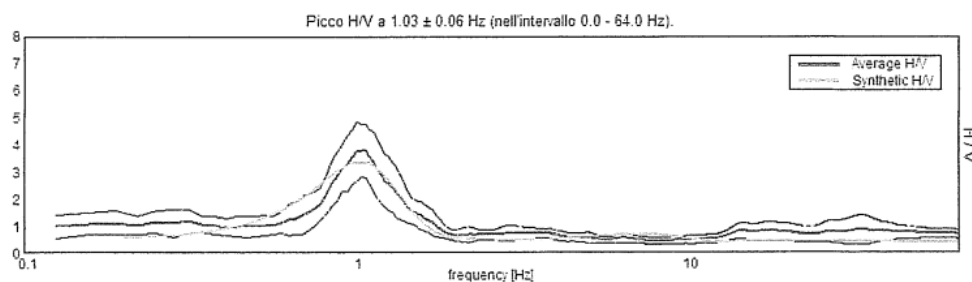
2.6. Valori $V_{s,30}$ da prove geofisiche

Si riportano i valori di $V_{s,30}$ ottenuti a partire dal p.c. mediante le prove geofisiche.

2.6.1.HVSR 1

PROFONDITÀ ALLA BASE DELLO STRATO	SPESSORE (m)	V_s (m/s)	POISSON RATIO
7.00	7.00	170	0.49
13.00	6.00	230	0.45
25.00	12.00	180	0.49
68.00	43.00	300	0.42
103.00	35.00	450	0.42
Inf.	Inf.	490	Inf.





Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
7.00	7.00	170	0.49
13.00	6.00	250	0.45
24.00	11.00	180	0.49
67.00	43.00	300	0.42
102.00	35.00	450	0.42
inf.	inf.	480	0.42

$V_s(0.0-30.0)=205\text{m/s}$

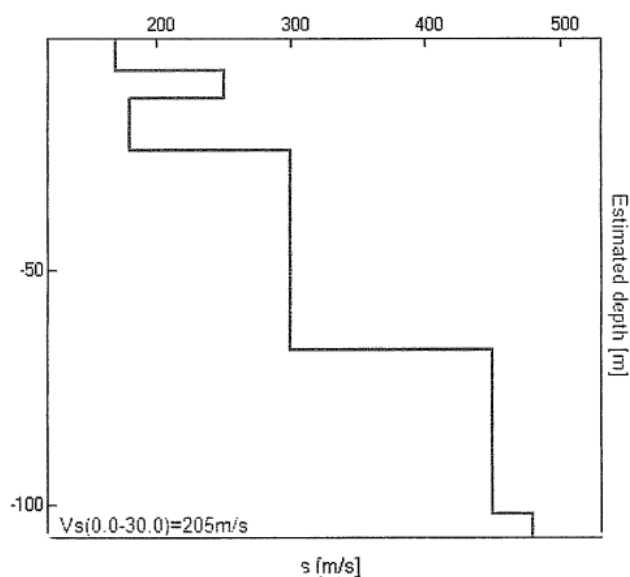


Figura 13 - HVSr 2

Si sono calcolati i valori della $V_{s,30}$ essendo il substrato posto ad una profondità maggiore di 30 m da p.c. È stata utilizzata la formulazione sotto riportata secondo quanto previsto da normativa vigente.

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

In tabella vengono riportati i risultati del calcolo:

PROVA	Vs,eq
HVSR1	199 m/s
HVSR2	205 m/s
MASW	202 m/s

2.7. Valori Vs,30 da CPT

Si riportano di seguito, per confronto con i valori ottenuti al paragrafo precedente, i risultati del calcolo delle Vs ottenute tramite correlazione indiretta dalle prove CPT, in particolare dal valore della resistenza alla punta qc.

La correlazione utilizzata è quella di lysian (1996):

$$Vs = 55.3 qc^{0.377}$$

Si è calcolato successivamente il valore della Vs,30 essendo il substrato posto ad una profondità superiore ai 30 m tramite la formulazione:

$$Vs,eq = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{hi}{Vs,i}}$$

Si riportano in tabella i risultati ottenuti per ognuna delle due prove.

CPT - 1		
STRATO	SPESSORE MEDIO (m)	Vs (m/s)
1	8	165
2	4.6	230
3	10.60	170
4	6.80	287
Vs,eq	199 m/s	

Figura 14 - Vs ricavate tramite la correlazione di lysan (1996)

CPT - 2		
STRATO	SPESSORE MEDIO (m)	Vs (m/s)
1	7.40	163
2	7.40	237
3	9.20	171
4	6	283
Vs,eq	189 m/s	

Figura 15 - Vs ricavate tramite la correlazione di lysan (1996)



Confrontando i risultati in termini di velocità delle onde di taglio ottenuti mediante l'interpretazione indiretta delle prove CPT con quelli ottenuti direttamente con le prove geofisiche, si è ottenuta un'ottima corrispondenza, che conferma la bontà dei dati.

3. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO

3.1. Pericolosità sismica di base

La caratterizzazione sismica del sottosuolo allegata alla relazione geologica "SIS_06.01.A0A", è stata eseguita secondo le NTC del 2008. Per tanto tale caratterizzazione verrà di seguito aggiornata seguendo la normativa vigente (NTC 2018).

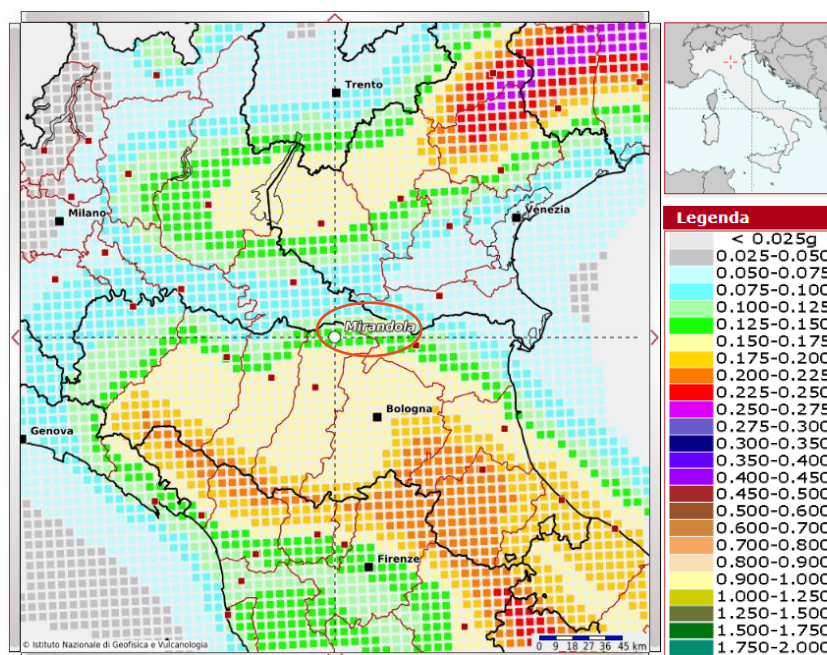


Figura 16 - Pericolosità sismica del comune di Mirandola per $V_r = 50$ anni e $P_vr = 10\%$

3.2. Classificazione stratigrafica e topografica

Al fine di considerare i fattori stratigrafici e topografici che concorrono a modificare l'azione sismica sito-specifica, i terreni vengono classificati nella **categoria di sottosuolo C** (Tabella 3.2. II NTC 2018) sulla base della $V_{s,eq}$ come richiesto dalle NTC 2018 e nella **categoria topografica T1** (Tabella 3.2.IV NTC 2018) poiché il sito oggetto di nuova edificazione si trova su terreno pianeggiante.

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.
---	--

Figura 17 - Tabella 3.2. II NTC18 - Categorie di sottosuolo

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 $i > 30^\circ$

Figura 18 - Categorie topografiche

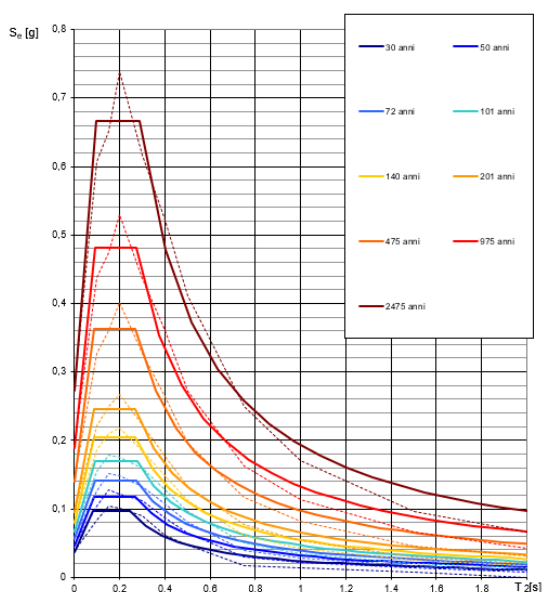
3.3. DETERMINAZIONE AZIONE SISMICA DI PROGETTO SECONDO NTC 2018

Per una trattazione esaustiva del tema della determinazione dell'azione sismica di progetto si rimanda alla Relazione sulla Modellazione Sismica, facente parte delle Relazioni Specialistiche allegate al Progetto Esecutivo.

Si è proceduto in questa fase alla determinazione dell'azione sismica di progetto utilizzando il comprovato foglio di calcolo "Spettri-NTCver.1.0.3", messo a disposizione dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

3.3.1.Fase 1 - Pericolosità del sito

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



NOTA:
Con linea continua si rappresentano gli spettri di Normativa, con linea tratteggiata gli spettri del progetto S1-INGV da cui sono derivati.

La verifica dell'adeguatezza del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

Valori dei parametri a_g , F_0 , T_C^* : variabilità col periodo di ritorno T_R

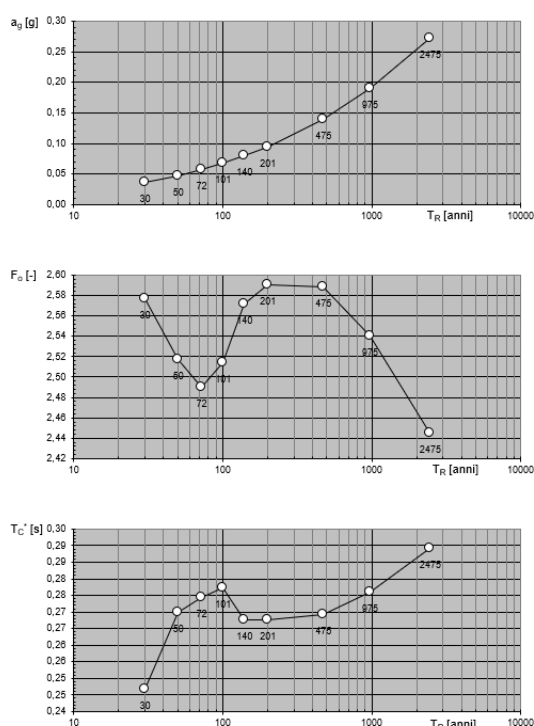


Figura 19 - Spettri di risposta elastici per i periodi T_R di riferimento; variabilità dei valori di a_g , F_0 e T_C^* con T_R .

Valori dei parametri a_g , F_0 , T_C^* per i periodi di ritorno T_R di riferimento

T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_C^* [s]
30	0,037	2,577	0,247
50	0,047	2,517	0,270
72	0,057	2,490	0,274
101	0,067	2,514	0,277
140	0,080	2,571	0,268
201	0,095	2,590	0,268
475	0,140	2,588	0,269
975	0,189	2,540	0,276
2475	0,273	2,445	0,289

Figura 20 - Tabella dai parametri a_g , F_0 e T_C^* in base a T_R

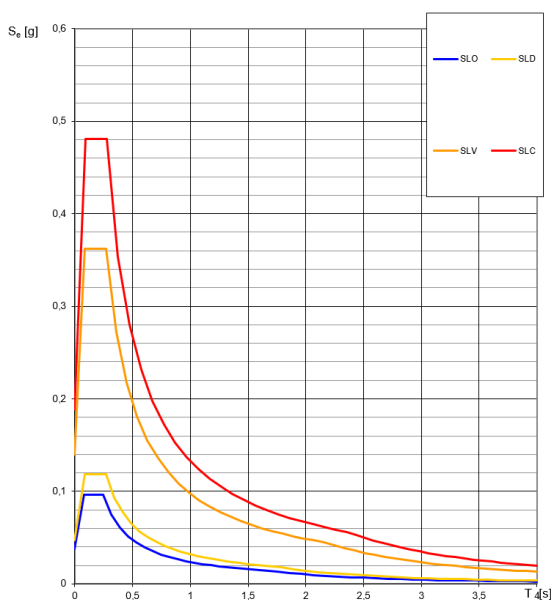
3.3.2.Fase 2 – Scelta dei parametri di progettazione

Viene impostato il valore di V_N pari a 50 anni e un coefficiente d'uso della costruzione pari a 1.0 ottenendo quindi un periodo di riferimento per la costruzione pari a 50 anni.

Tabella 8 - Periodo di ritorno per la definizione dell'azione sismica agli SLE e SLU per $V_N = 50$ anni

STATO LIMITE DI ESERCIZIO - SLE	SLO - $P_{VR} = 81\%$	975 anni
	SLD - $P_{VR} = 63\%$	475 anni
STATO LIMITE DI ESERCIZIO - SLU	SLV - $P_{VR} = 10\%$	50 anni
	SLC - $P_{VR} = 5\%$	30 anni

Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite



Valori di progetto dei parametri a_g , F_0 , T_C^* in funzione del periodo di ritorno T_R

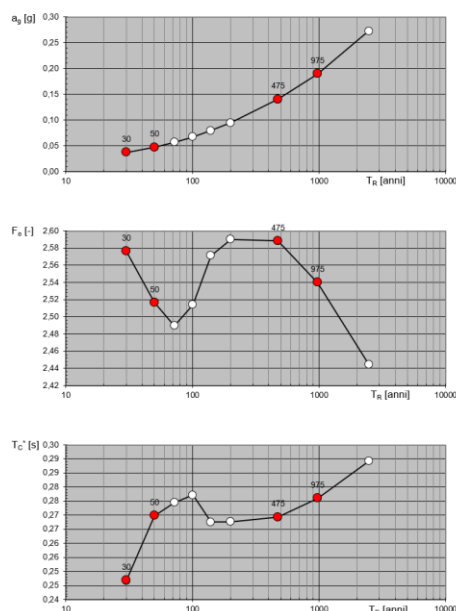


Figura 21 - Spettri di risposta elastici e valori di a_g , F_0 e T_C^*

Valori dei parametri a_g , F_0 , T_C^* per i periodi di ritorno T_R

STATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_C^* [s]
SLO	30	0,037	2,576	0,247
SLD	50	0,047	2,516	0,270
SLV	475	0,140	2,588	0,269
SLC	975	0,189	2,540	0,276

Figura 22 – Valori dei parametri a_g , F_0 e T_C^* per i periodi di ritorno T_R associati a ciascuno spettro

3.3.3.Fase 3 – Determinazione dell'azione di progetto

Come descritto precedentemente, il sito di interesse ricade nella categoria di sottosuolo C (Tabella 3.2. Il NTC 2018) e nella categoria topografica T1 (Tabella 3.2.IV NTC 2018).

Viene considerato lo spettro di progetto inelastico (SLV) con fattore di comportamento q_{ND} pari a 1.50.

Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite SLV

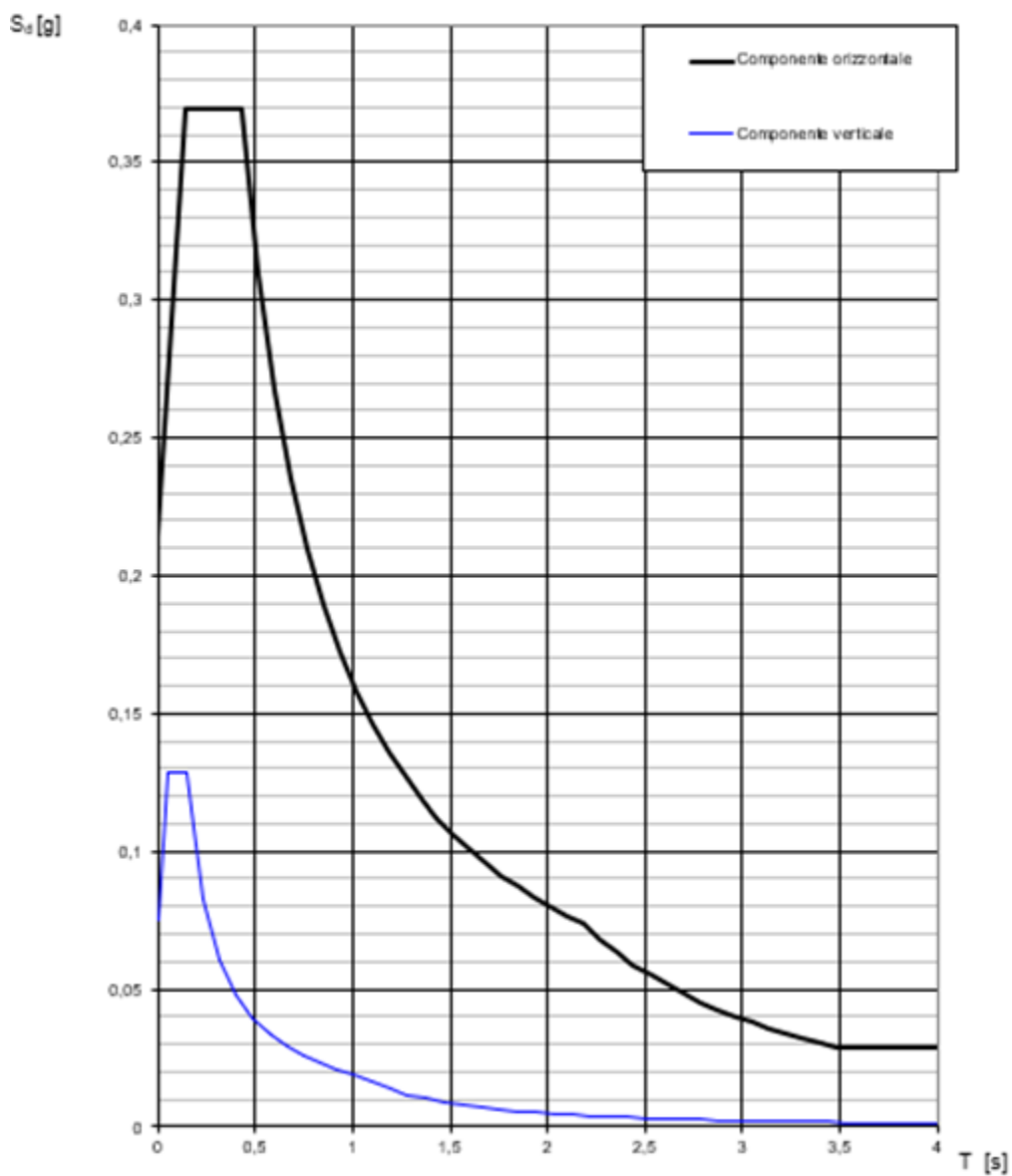


Figura 23 - Spettri di risposta per SLV

Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato IBLV

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_g	0,145 g
F_o	2,587
T_c	0,269 s
S_s	1,474
C_c	1,620
S_T	1,000
q	1,500

Parametri dipendenti

S	1,474
η	0,667
T_B	0,145 s
T_C	0,435 s
T_D	2,181 s

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_s \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(S + \xi)} \geq 0,55; \quad \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_c / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_c \cdot T_c \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto $S_d(T)$ per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico $S_e(T)$ sostituendo η con $1/q$, dove q è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

Punti dello spettro di risposta

T [s]	Se [g]
0,000	0,214
0,145	0,370
0,435	0,370
0,518	0,310
0,602	0,267
0,685	0,235
0,768	0,210
0,851	0,189
0,934	0,172
1,017	0,158
1,100	0,146
1,184	0,136
1,267	0,127
1,350	0,119
1,433	0,112
1,516	0,106
1,599	0,101
1,682	0,096
1,766	0,091
1,849	0,087
1,932	0,083
2,015	0,080
2,098	0,077
2,181	0,074
2,268	0,068
2,355	0,063
2,441	0,059
2,528	0,055
2,614	0,051
2,701	0,048
2,788	0,045
2,874	0,042
2,961	0,040
3,047	0,038
3,134	0,036
3,221	0,034
3,307	0,032
3,394	0,030
3,480	0,029
3,567	0,029
3,654	0,029
3,740	0,029
3,827	0,029
3,913	0,029
4,000	0,029

Figura 24 - Parametri e punti dello spettro orizzontale SLV

4. STABILITÀ NEI CONFRONTI DELLA LIQUEFAZIONE

L'area, come mostrato nel seguente stralcio della "Carta di Microzonazione sismica Livello 3" (sintesi per il Piano Strutturale Comunale di Mirandola), risulta interessata da effetti locali.

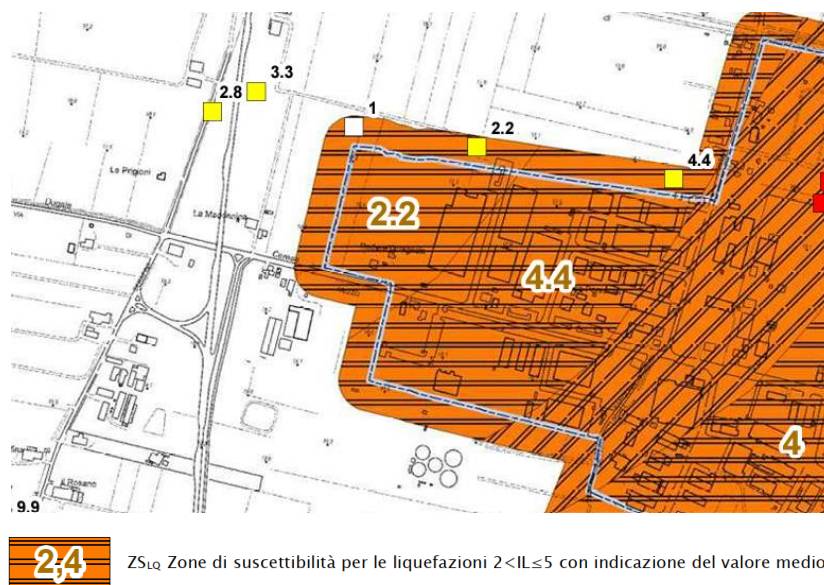


Figura 25 Stralcio carta di microzonazione sismica – Livello 3.

Non è stato di fatti possibile omettere la verifica di sicurezza nei confronti della liquefazione in quanto il sito non ricade in nessuna delle quattro condizioni previste al §7.11.3.4.2 delle NTC 2018 e presenta anzi una serie di fattori predisponenti per la probabilità di liquefazione:

- Strati limoso/sabbiosi;
- Presenza della falda;
- Accelerazioni massime attese superiori a 0.15 g.

Sono state per tanto prescritte due prove CPTU ad integrazione della campagna precedentemente svolta per lo studio di suscettibilità del sito nei confronti della liquefazione basato su dati attuali del livello di soggiacenza della falda a -1,60 da p.c. per il quale si rimanda all'allegato B.

Si riportano di seguito i grafici complessivi relativi alle prove CPTU-1 e CPTU-2 e ai valori ottenuti dell'indice di rischio del potenziale di liquefazione.

Secondo le normative europee (EC08) un terreno è suscettibile di liquefazione quando lo sforzo di taglio generato dal terremoto supera l'80% dello sforzo critico ($CSR \geq 0.80 CRR$) e FS deve risultare $\leq 1,25$. Complessivamente i grafici mostrano una situazione con basso rischio di liquefazione, salvo per un piccolo strato dello spessore di circa 0,50 m posto tra gli 11,00 e 12,00 m di profondità che supera puntualmente tale valore del Fattore di Sicurezza. Lo scrivente non ritiene comunque che tale strato sia particolarmente incisivo sul comportamento globale del volume di terreno a causa del suo scarso spessore e della profondità elevata rispetto alla quota di imposta della fondazione superficiale.

Inoltre, i valori dell'indice di Sonmez (potenziale di liquefazione) sono risultati sempre inferiori a 5, ovvero in un intervallo nel quale la liquefacibilità è considerata come poco probabile nei principali riferimenti bibliografici sul tema.

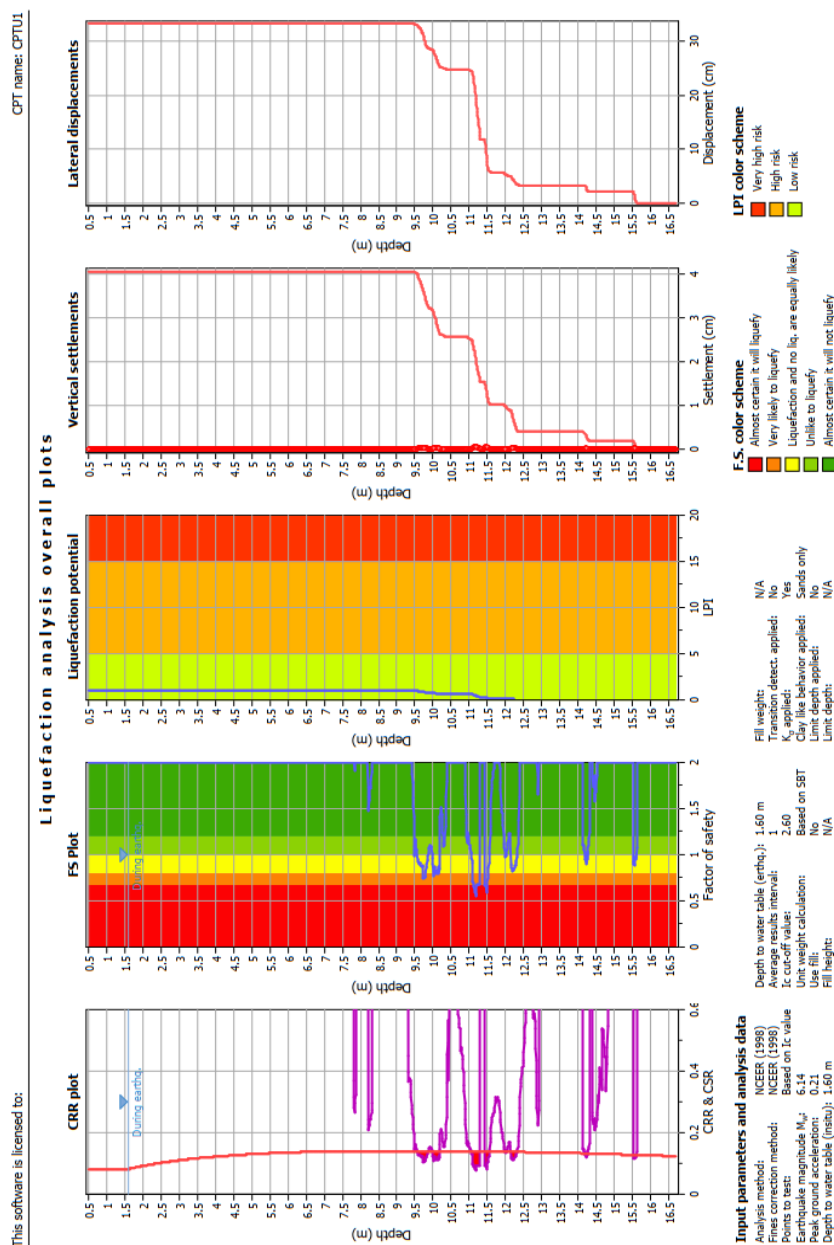


Figura 26 - Plot liquefazione CPTU-1

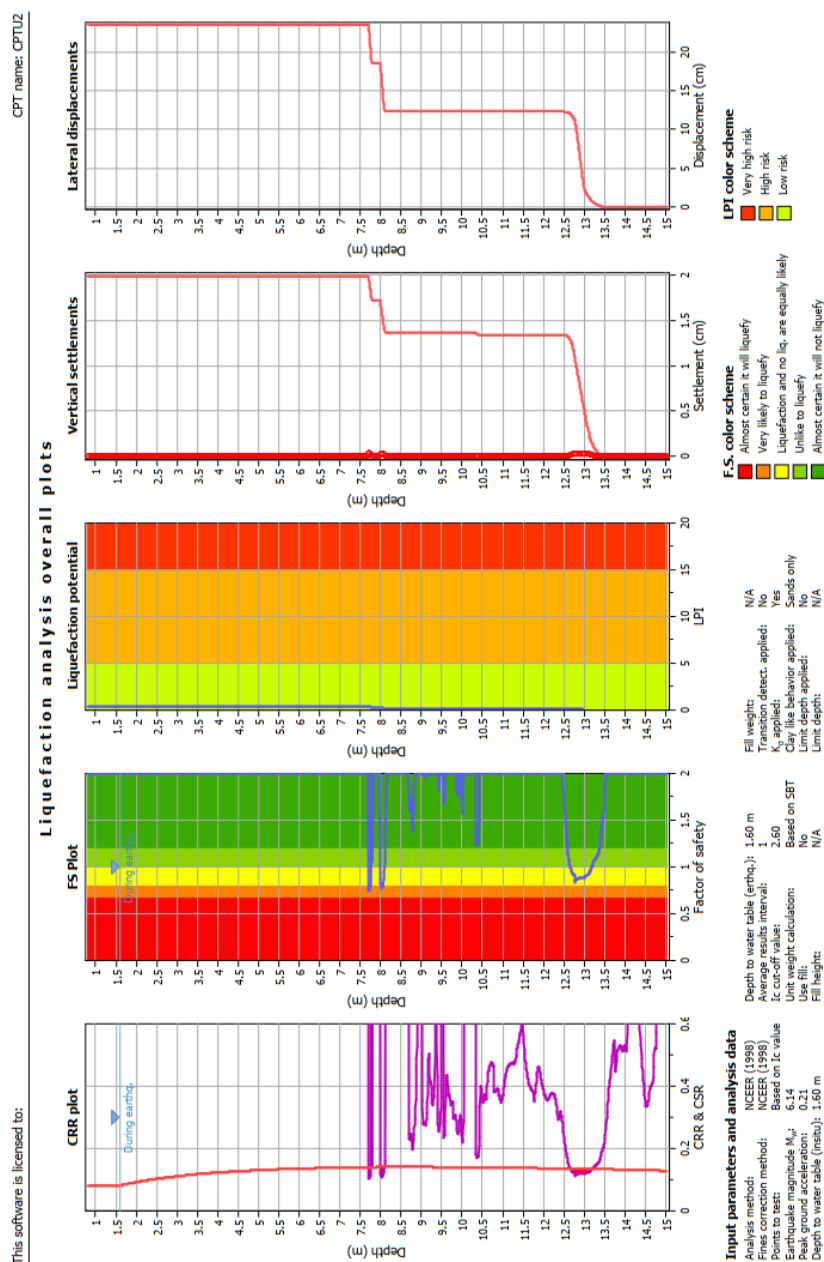


Figura 27 - Plot liquefazione CPTU-2

5. CONCLUSIONI

Dalla valutazione delle prove a disposizione si sono individuati i parametri geotecnici da impiegare nel calcolo della fondazione, che vengono riassunti di seguito in tabella. Viene caratterizzata solo l'unità geotecnica "U1" in quanto sarà quella di interesse per il piano di imposta dell'opera.

Per "U1", formata da "Argille limose da poco consistenti con livelli organici soffici e comprimibili ad argille compatte", trattandosi di un terreno di tipo principalmente coesivo, il parametro geotecnico fondamentale è C_u (coesione non drenata). Lo strato, tuttavia, presenta una frazione granulare non

trascurabile e pertanto si sceglie di caratterizzarlo anche mediante un angolo di attrito interno ϕ ottenuto dalle prove CPT del 2012.

Si riportano di seguito i valori di C_u ottenuti per ciascuna prova.

Tabella 9 – Valori di C_u ottenuti da ciascuna prova

	C_u (kPa)
CPT1	53
CPT2	53
CPTU1	69,5
CPTU2	89,7

Si è scelto di considerare il valore minimo di C_u pari a 53 kPa che, a seguito di calcolo statistico riportato in allegato A al paragrafo 3.5, si riduce a favore di sicurezza al valore caratteristico al 5° percentile:

$$C_{u_k} = 43,9 \text{ kPa.}$$

Per quanto concerne l'angolo di attrito interno dell'unità geotecnica 1, a partire dai valori ottenuti nei tabulati delle prove CPT-1 e CPT-2 del 2012, si seleziona il valore minimo pari a:

$$\phi = 21^\circ$$

Tabella 10 – Parametri geotecnici caratteristici per U1

Unità geotecnica	Profondità media	Spessore medio	γ kN/m ³	C_{u_k} kPa	ϕ °
U1	0,80 m – 5,80 m	5,00 m	19,00	43,9	21

Si sono ottenute una **categoria di sottosuolo di tipo C** e una **categoria topografica di tipo T1**.

Infine, per quanto concerne la suscettibilità a liquefazione del terreno, analizzata nel dettaglio al capitolo 4, si è stimato un **basso pericolo di liquefazione**.

Di seguito si riportano i parametri di progetto ottenuti dividendo i parametri caratteristici per i coefficienti parziali di sicurezza secondo quanto prescritto in *Tabella 6.2.II - NTC 2018*.

Tabella 11 - Parametri di progetto per U1

Unità geotecnica	Profondità media	Spessore medio	γ kN/m ³	C_{u_d} kPa	ϕ_d °
U1	0,80 m – 5,80 m	5,00 m	19,00	31.35	16.8