

**COMUNE DI MISANO ADRIATICO**  
(Provincia di Rimini)

**RICHIESTA DI ACCORDO OPERATIVO PER LA  
REALIZZAZIONE PARCHEGGIO IN TERRENO  
SITO IN VIA ROMAGNA.**

**Committente: CECCOLI Marco**

***RELAZIONE DI MODELLAZIONE GEOLOGICA***  
***NTC 2018 (D.M. 17/01/2018)***

***FIRMATA DIGITALMENTE DA:***

***Dott. Geol. Demetrio Bastianelli***  
***Iscritto al n. 294 Sez. A dell'Ordine dei Geologi dell'Emilia Romagna***

***Dicembre 2024***

***Rif. DBGeo-16***

**INDICE**

1	PREMESSA	pag. 2
2	GEOMORFOLOGIA ED IDROLOGIA	pag. 3
	2.1 Rischi geomorfologici ed idraulici – Cartografia tematica	pag. 3
3	INQUADRAMENTO GEOLOGICO	pag. 4
4	INDAGINI IN SITO	pag. 5
5	STRATIGRAFIA E PARAMETRIZZAZIONE GEOMECCANICA	pag. 10
6	ACQUE SOTTERRANEE	pag. 11
7	CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO	pag. 11
	7.1 Ambito di pericolosità sismica	pag. 11
	7.2 Magnitudo di riferimento	pag. 12
	7.3 Determinazione della $V_{seq}$ - Strumentazione e metodologia adottata	pag. 12
	7.4 Categoria di sottosuolo	pag. 13
	7.5 Coefficiente di amplificazione topografico	pag. 13
	7.6 Parametri sismici e accelerazione massima attesa al sito	pag. 14
8	POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE DELLE SABBIE	pag. 15
	8.1 Rischio di liquefazione dei terreni	pag. 15
	8.5 Calcolo del coefficiente di sicurezza e indice di liquefazione per il sito	pag. 15
9	SINTESI DELLA MODELLAZIONE GEOLOGICA	pag. 21

\* \* \*

**Elenco figure grafici e tabulati presentati nella relazione:**

FIG. 1 – Ubicazione area in studio	pag. 2
FIG. 2 – Inquadramento geologico	pag. 5
FIG. 3 – Stralcio della tavola di progetto con ubicazione delle indagini effettuate	pag. 6
Grafici e tabulati prova penetrometrica statica CPTU	pag. 7-9
FIG. 4 – Tabella “GeoStru” parametri sismici	pag. 14
Grafici e tabulati della verifica alla liquefazione	pag. 17-20

Da pag. 23 a pag. 27

**INTERPRETAZIONE DELL'INDAGINE SISMICA PASSIVA MEDIANTE TROMOGRAFO DIGITALE “TROMINO” ® (METODO NAKAMURA) – STIMA DELLA  $V_{seq}$  CON MISURA DIRETTA DELLE FREQUENZE DI RISONANZA DA STAZIONE SINGOLA - METODO H/V.**

## 1 PREMESSA

La presente relazione geologica è relativa alla “**richiesta di accordo operativo per la realizzazione parcheggio in terreno sito in Via Romagna**”, su area distinta catastalmente al Foglio 03 map. 2100, in Comune di Misano Adriatico (RN).



**FIG. 1 – Ubicazione area in studio** (Database topografico regionale)

Lo studio di modellazione geologica è sviluppato nelle seguenti fasi:

- inquadramento geomorfologico dell'area ed analisi della cartografia tematica esistente sui rischi geomorfologici ed idraulici;
- inquadramento geologico;
- determinazione della stratigrafia del sottosuolo e parametrizzazione geomeccanica media dei terreni mediante esecuzione di n° 1 prova penetrometrica statica con punta elettrica (CPTU);
- caratterizzazione sismica dei terreni interessati dal progetto con metodologia di sismica passiva HVSR.
- valutazione del potenziale di liquefazione delle sabbie dato che l'area ricade nell'ambito di terreni potenzialmente liquefacibili individuati dalla cartografia provinciale (territori con studi di MZS di III livello), pertanto per il sito sussistono le condizioni previste dalla **D.G.R. 1814 del 07/12/2020**.

*Lo studio con l'indagine geognostica effettuata, condotto in osservanza alla normativa vigente **NTC 2018 (D.M. 17/01/2018)**, ha lo scopo di definire la **caratterizzazione e modellazione geologica del sito (par. 6.2.1)**. Il Progettista in fase di modellazione geotecnica, qualora lo ritenga necessario in relazione alla tipologia dell'intervento in progetto, potrà predisporre eventuali approfondimenti d'indagine (ulteriori indagini in sito e/o specifiche analisi di laboratorio su campioni rappresentativi del terreno).*

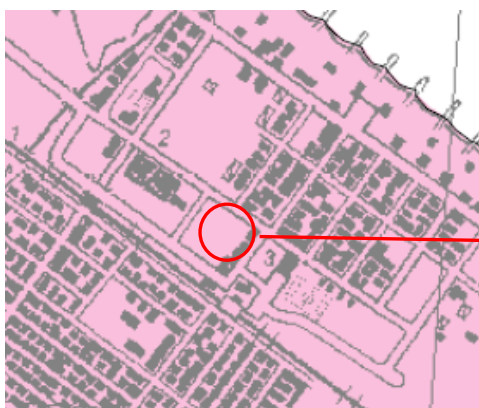
## 2 GEOMORFOLOGIA ED IDROLOGIA

Il sito in studio è ubicato nel centro di Misano Adriatico a valle della linea ferroviaria, ad una quota di circa +3 m s.l.m. L'area, subpianeggiante con leggere pendenze verso mare, è posta in destra idrografica del Rio dell'Agina che scorre 350 metri a NW, incanalato per tutto il tratto urbano fino alla foce. Il sito ricade sulla pianura costiera che rappresenta il territorio emerso dopo la regressione marina verificatasi a partire da 6.000 anni fa a seguito delle fluttuazioni eustatiche-climatiche. La scarpata visibile circa 500 a SW lungo la SS16 costituisce l'antica falesia costiera formatasi durante la massima fase di ingressione marina che, con un salto morfologico di circa 10.0 m, segna il limite tra i terreni di sedimentazione marina depositatesi nell'ultima trasgressione Flandriana a valle, dai depositi limoso-argillosi di natura continentale a monte. Le pratiche agricole prima e l'urbanizzazione poi, hanno occultato o completamente cancellato gli aspetti tipici delle zone litoranee e di transizione fluvio-marina (cordoni dunali, tomboli costieri, depressioni retrodunali), tuttavia ancora individuabili con l'analisi del micro rilievo.

### 2.1 Rischi geomorfologici ed idraulici – cartografia tematica

Per l'analisi dei rischi geomorfologici ed idraulici della zona, si fa riferimento alla seguente cartografia che si riporta di seguito in stralcio e alla cui legenda completa si rimanda:

- **Carta Rischi Ambientali del P.T.C.P. della Provincia di Rimini - Tav. D2/2**



*ambiti di vulnerabilità idrogeologica – ricarica indiretta della falda – ARI (art. 3.5 delle norme di piano - tutela della falda e della sua ricarica).*

L'area ricade al di fuori della perimetrazione delle aree inondabili con tempi di ritorno fino a 500 anni (P.A.I. Autorità Interregionale di Bacino Marecchia – Conca Variante 2016 – Tavola unica territorio del Comune di Misano Adriatico).

- **Direttiva Alluvioni 2022 (Direttiva 2007/60/CE) della Regione Emilia Romagna**



Reticolo Secondario di Pianura

- Alluvioni frequenti
- Alluvioni poco frequenti

- *Dall'analisi dei rischi geomorfologici ed idraulici della zona, attraverso la cartografica tematica soprariportata, per il sito in esame non sussistono particolari aspetti di pericolosità geomorfologica (sito pianeggiante) od idraulica.*

### 3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

La storia geologica del territorio in cui ricade l'area in esame, si riassume brevemente a partire dalla fine del *Tortoniano* (età del *Miocene* - circa 7 mil. anni B.P.) quando durante una prima fase diastrofica (di tipo compressivo) si sono formate ampie e regolari pieghe sia emerse che sommerse; tale fase si esaurisce alla fine del *Messiniano* (età finale dell'epoca miocenica – 5 mil. anni circa) con l'emersione della catena romagnolo-marchigiana e con l'ulteriore approfondimento dell'Avanfossa. I sedimenti di conoide sottomarina depositatisi durante il *Tortoniano* (età antecedente il *Messiniano*), in prevalenza arenarie molassiche, venivano ricoperti da sedimenti pelitici. Alla fine del *Pliocene inferiore* (circa 4 mil. anni B.P.), una seconda fase diastrofica provocò la compressione delle pieghe profonde e portò alla formazione di grandi faglie inverse e dirette sui fianchi delle anticlinali e alle iniezioni pseudodiapiriche dello Schlier ancora allo stato plastico. Tale fase fu seguita da una grande trasgressione marina nel *Pliocene Medio* e successivamente tutta la regione, Catena ed Avanfossa, subì un progressivo sollevamento con il ritiro definitivo del mare alla fine del *Pliocene Superiore* (2 mil. di anni circa B.P.). Nel *Pliocene superiore* si ha dunque l'emersione della media Valle del Conca. Il brusco incremento del sollevamento che si manifesta poi alla fine del *Pleistocene inferiore*, (1,7 mil. di anni circa B.P.), conduce ad un modellamento dei versanti appenninici mio-pliocenici con ampie valli in rapida erosione. Grandi conoidi si formavano in corrispondenza dello sbocco dei fiumi in pianura. La loro deposizione è radiale con apice all'interno delle rispettive valli, con il piede a ventaglio che si spinge per parecchi chilometri nella pianura antistante. Le conoidi che così si formano sono costituite da numerose lenti di materiale alluvionale a granulometria variabile, in funzione della forma e litologia degli elementi costituenti e dell'energia delle acque che li trasportavano (materiali grossolani allo sbocco della pianura e tanto più sottili quanto più lontani dall'apice della conoide. In quest'epoca i torrenti Conca, Ventena e Tavollo costituivano un unico paleofiume che sfociava tra i rilievi del Colle San Bartolo a Gabicce e del Monte Vici a Cattolica. Durante il *Quaternario* (da 2 mil. anni B.P. ad oggi), l'area marchigiano-romagnola subisce notevoli e ripetuti cambiamenti climatici a causa dei periodi glaciali ed interglaciali e periodi deposizionali ed erosivi che hanno portato alla formazione di quattro ordini di terrazzi fino all'*Olocene* (da 10.000 anni B.P. al presente).

Con riferimento alla cartografia geologica e dei suoli a scala 1: 10.000 del Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna (sezione n. 268010 "Misano Adriatico"), l'area ricade nel territorio di affioramento della Formazione AES8a Unità di Modena (v. **FIG. 2**) così descritta:

#### AES8a - Unità di Modena

Depositi alluvionali eterometrici dati da ciottoli, sabbie e limi. Limite superiore sempre affiorante e coincidente con il piano topografico dato da un suolo calcareo di colore bruno olivastro e bruno grigiastro al tetto. Limite inferiore dato da una superficie di erosione fluviale nelle aree intravallive.


*Olocene*

I terreni dell'Unità di Modena rappresentano i depositi alluvionali più recenti (*Olocene*) prevalentemente sabbiosi o sabbioso limosi, che si estendono dalla linea di costa fino alla paleofalesia costiera ubicata subito a monte della S.S. 16 Adriatica, dove affiorano invece le alluvioni continentali del T. Conca meno recenti (*pleistocene sup.* – *olocene*), ascrivibili al Subsistema di Ravenna AES8, prevalentemente argilloso-limose. Il substrato geologico è rappresentato dalla formazione argilloso-marnosa del *Pliocene medio-superiore*, che costituisce la struttura dell'anfiteatro collinare di Misano Monte – Scacciano. Dall'analisi della Banca Dati Geognostici della Regione Emilia Romagna, nell'area d'interesse si può individuare il substrato geologico a profondità attorno a 35/45 metri dal p.c. La carta geologica regionale evidenzia in prossimità dell'area, uno sovrascorrimento profondo post-tortoniano dedotto, avente direzione appenninica.



**LEGENDA DEGLI ELEMENTI D'INTERESSE:**

Coperture quaternarie

 Sabbia - Piana costiera, fronte deltizia e piana di sabbia AES8a - Unità di Modena AES8 - Subsistema di Ravenna

Punti geomorf.-antrop.

 orlo di terrazzo fluviale**FIG. 2 – Inquadramento geologico**

(estratto da: Cartografia geologica Regione Emilia Romagna Sc. 1:10.000 sezione n. 268010 "Misano Adriatico")

## 4 INDAGINI IN SITO

Per determinare la stratigrafia del sottosuolo, è stata effettuata n° 1 prova penetrometrica statica **CPTU** (**C**one **P**enetration **T**est) a punta elettrica con misura delle pressioni interstiziali (**u**), eseguita dalla Ditta R. Scaparrotti di Rimini, con strumento "Pagani – TG 63/200" da 20 ton e lettura dati ogni cm di avanzamento. La prova è stata spinta fino alla profondità di -15.0 m dal p.c.

La tipologia della prova, oltre a rilevare la stratigrafia, ha permesso di calcolare in dettaglio il potenziale di liquefazione delle sabbie (cfr. Cap. 8).

Si è inoltre effettuata una misura di sismica passiva HVSR per caratterizzazione il terreno di dl punto di vista sismico (cfr. Cap. 7).

Di seguito è riportata la planimetria di progetto con l'ubicazione delle indagini effettuate ed a seguire i tabulati interpretativi della CPTU.

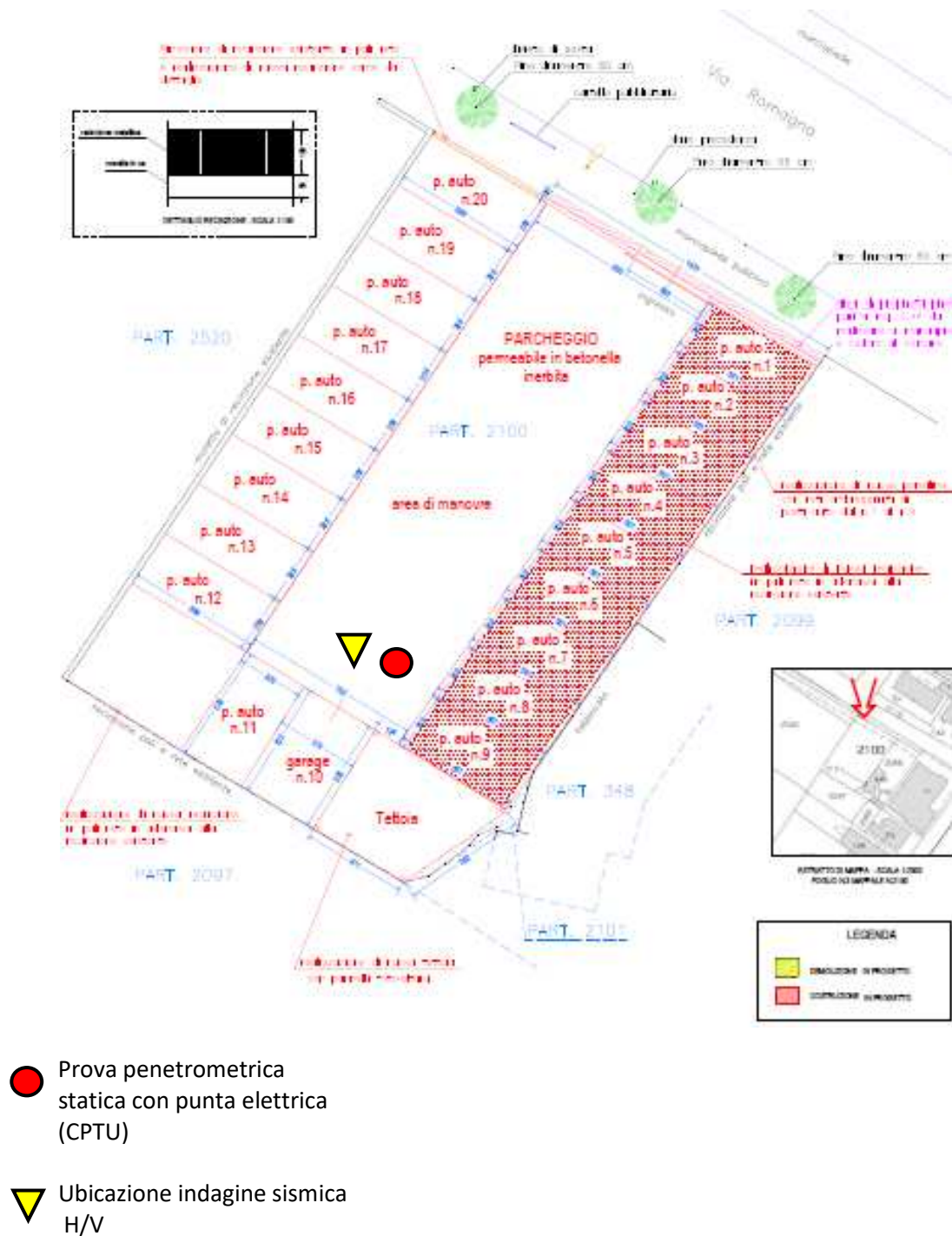
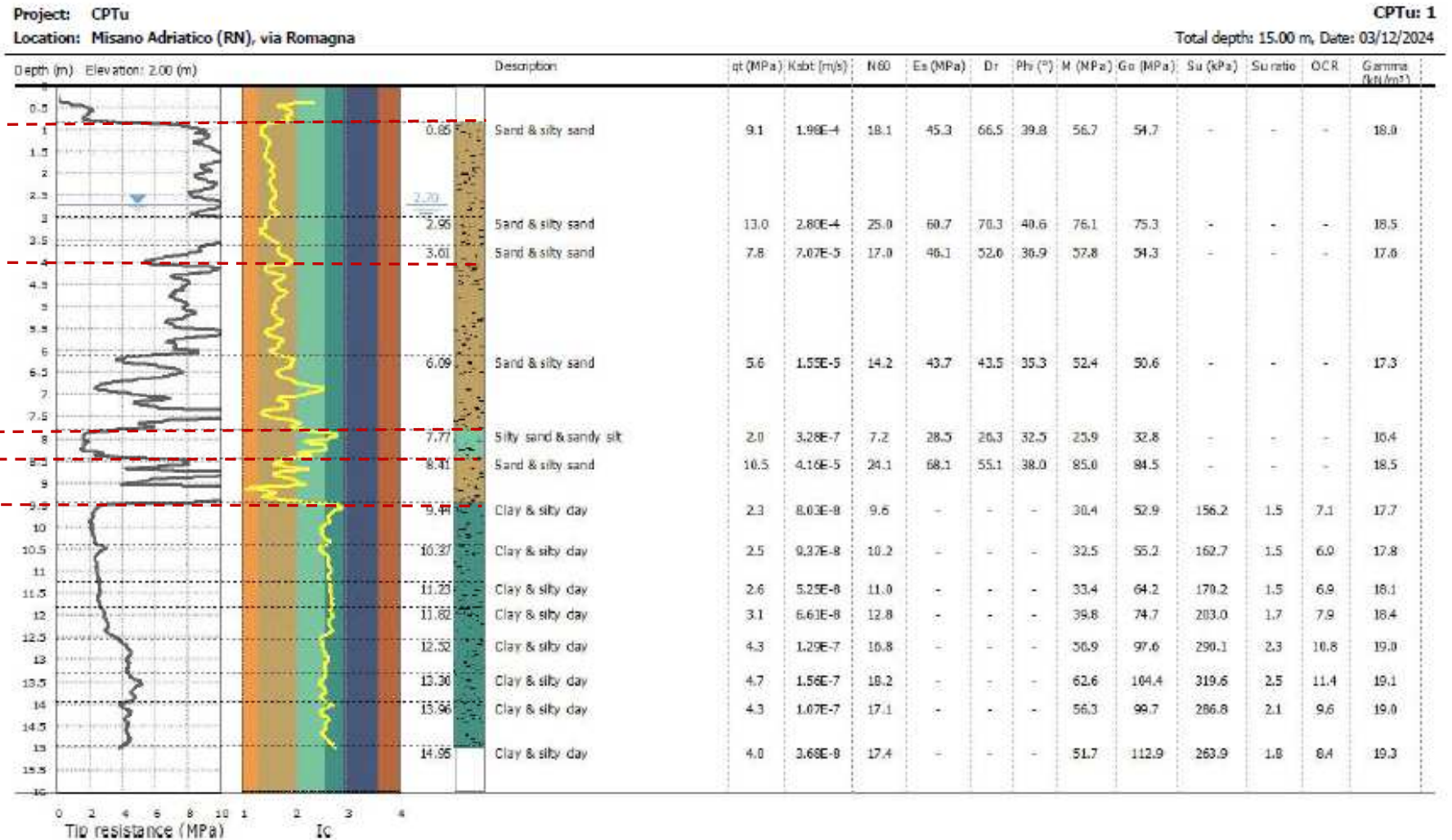


FIG. 3 – Stralcio della tavola di progetto con ubicazione delle indagini effettuate



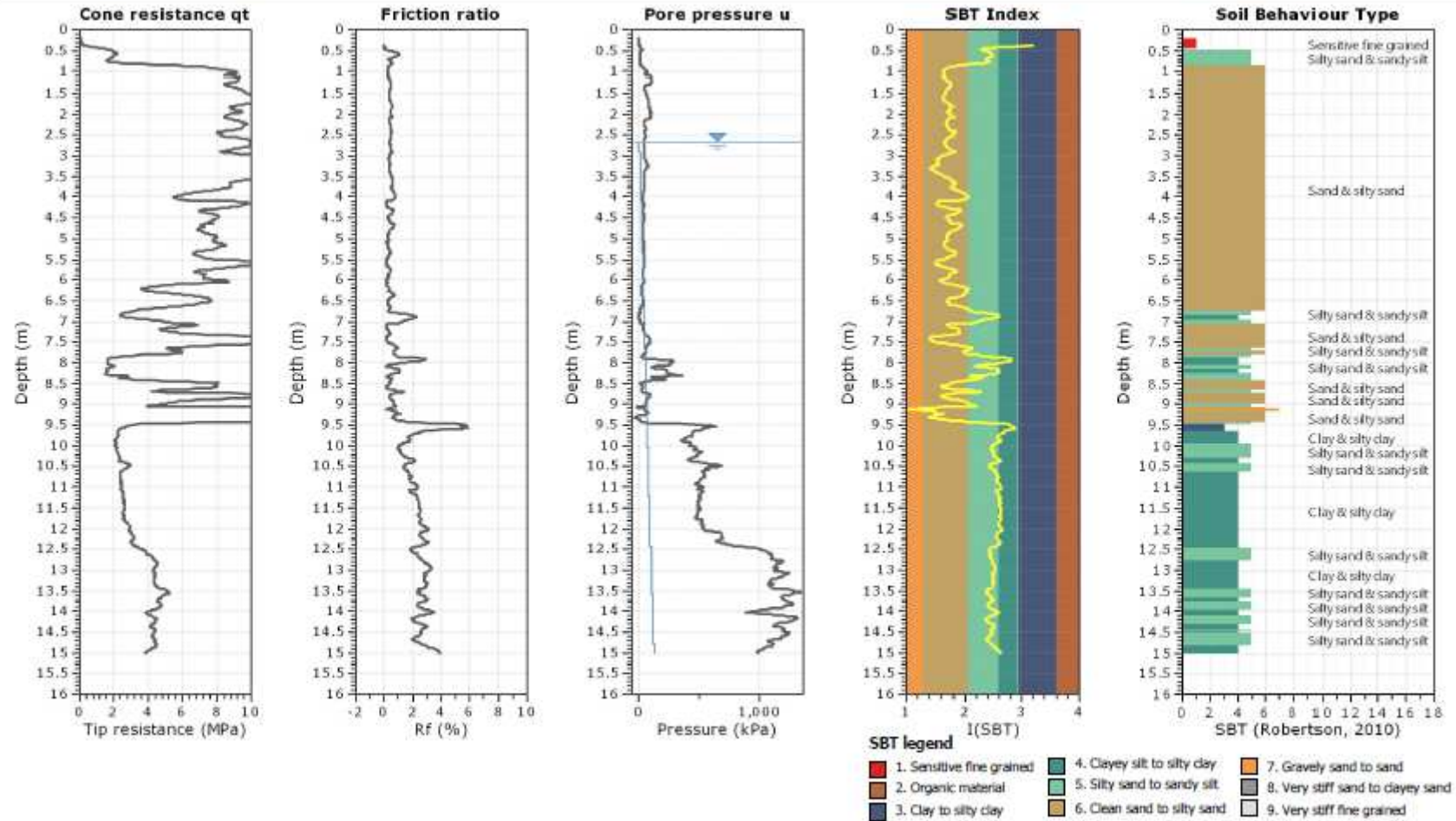
LIVELLI PRINCIPALI  
 DESCRITTI AL CAP. 5



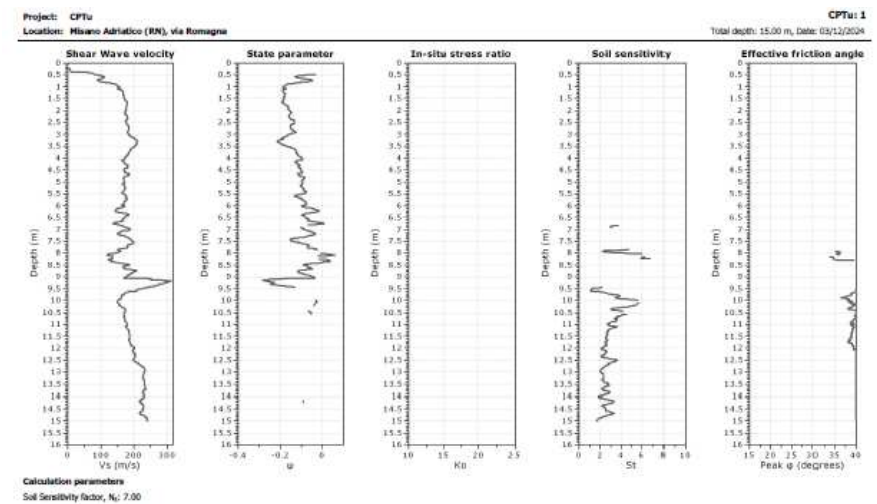
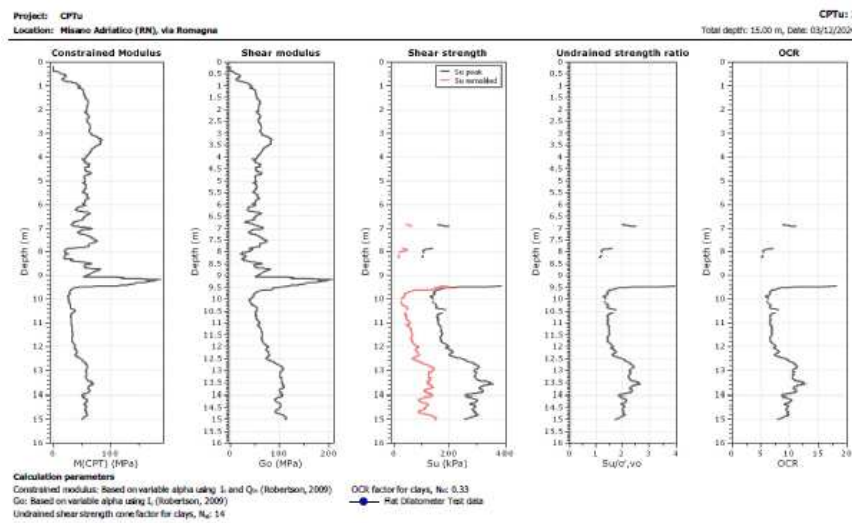
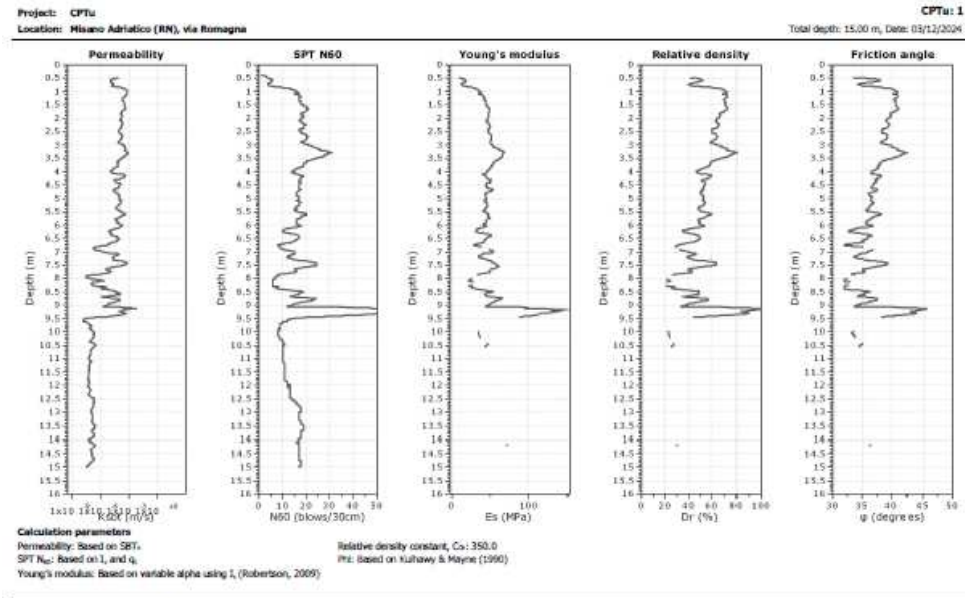


Project: CPTu  
Location: Misano Adriatico (RN), via Romagna

CPTu: 1  
Total depth: 15.00 m, Date: 03/12/2024



CPeT-IT v.3.9.2.17 - CPTu data presentation & interpretation software - Report created on: 03/12/2024, 07:35:27  
Project file: D:\Misano.cpt



## 5 STRATIGRAFIA E PARAMETRIZZAZIONE GEOMECCANICA

L'analisi geologica e l'indagine geognostica effettuata hanno consentito di definire il modello litostratigrafico del sottosuolo interessato dai manufatti in progetto fino alla profondità indagata. Sulla base dei valori del penetrometro statico a punta elettrica (*Robertson 2010*), è possibile differenziare il terreno nei litotipi principali che vengono di seguito descritti ed ai quali, sulla base delle correlazioni proposte da AA.VV. con i dati penetrometrici, si può attribuire un intervallo di valori di riferimento dei parametri geomeccanici, al fine di orientare le scelte progettuali sulle opere di fondazione (v. nota).

SCHEMA LITOSTRATIGRAFICO				PARAMETRIZZAZIONE GEOMECCANICA			
Prova	LITOTIPO	Prof. m. p.c.	DESCRIZIONE LITOLOGIA	$\gamma$ t/m <sup>3</sup>	$\phi$ gradi	Cu t/m <sup>2</sup>	Ed kg/cm <sup>2</sup>
<b>CPTu</b>	<b>A</b>	0.0 -0.9	Terreno superficiale eterogeneo	1.8	-	-	-
	<b>B</b> Rp = 55 ÷ 178	0.9 - 4.0	Sabbie e sabbie limose addensate con presenza di ghiaia sparsa o in livelli. (Dr: 65% - SPT N <sub>60</sub> : 14÷31)	1.9-2.0	36-40	0	250-350
	<b>C</b> Rp = 24 ÷ 137	4.0 - 7.8	Sabbie e sabbie limose mediamente addensate con ghiaia sparsa e intercalazioni limoso-argillose. (Dr <sub>m</sub> : 47% - SPT N <sub>60</sub> : 8÷25)	1.9	30-35	0	150-250
	<b>D</b> Rp = 15 ÷ 38	7.8 -8.4	Livello limoso-sabbioso e argilloso a bassa consistenza. (Dr <sub>m</sub> : 14% - SPT N <sub>60</sub> : 6÷20)	1.8-1.9	23-28	3 - 5	60-150
	<b>E</b> Rp = 40 ÷ 330	8.4 -9.4	Livello sabbioso-limoso e sabbioso-ghiaioso addensato. (Dr <sub>m</sub> : 78% - SPT N <sub>60</sub> : 11÷60)	2.0	33-40	0	200-400
	<b>F</b> Rp = 20 ÷ 50	9.4- <b>15.0</b>	Argille ed argille limose da mediamente consistenti a consistenti con intercalazioni limoso-sabbiose.	1.9-2.0	22-24	8-15	60-90

dove:

Rp = intervallo valori resistenza alla punta in kg/cm<sup>2</sup>; Dr<sub>m</sub> = densità relativa media dello strato sabbioso; SPT N<sub>60</sub>: = intervallo di valori Standard Penetrometer Test normalizzata;  $\gamma$  = peso di volume;  $\phi$  = angolo d'attrito interno; Cu = coesione non drenata; Ed = modulo edometrico.

COMUNE DI MISANO ADRIATICO  
Protocollo Arrivo N. 43247/2024 del 23-12-2024  
Allegato 11 - Class. 6.3 - Copia Del Documento Firmato Digitalmente



**Nota:** la modellazione geologica (art. 6.2.1. del D.M. 2018), non prevede la parametrizzazione geomeccanica caratteristica dei terreni indagati; i valori indicati in tabella, derivanti dall'interpretazione dei dati penetrometrici, sono da considerarsi orientativi al fine di permettere l'inquadramento degli aspetti geotecnici dell'area interessata dal progetto. Il Progettista, responsabile della modellazione geotecnica (art. 6.2.2. del D.M. 2018), una volta scelta la tipologia fondale più idonea per la struttura in progetto, potrà eventualmente richiedere approfondimenti di indagine (ulteriori indagini in sito e/o specifiche analisi di laboratorio su campioni rappresentativi del terreno).

- Il livello A andrà superato con il piano di posa di fondazioni superficiali e l'omogeneità del terreno andrà verificata lungo tutta l'area d'intervento.

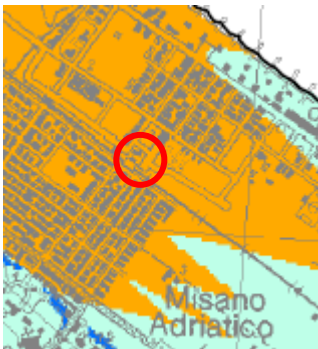
## 6 ACQUE SOTTERRANEE

La **falda freatica** è stata misurata nel sito in esame a **-2.70 m p.c.** (Dicembre 2024). Per quanto riguarda i caratteri idrogeologici dell'area, la freatica permea i depositi sabbiosi superficiali di ambiente litoraneo ed è in stretto rapporto con il livello medio marino, pertanto vista la quota topografica, si può ritenere che la falda possa subire lievi oscillazioni attorno alla quota rilevata.

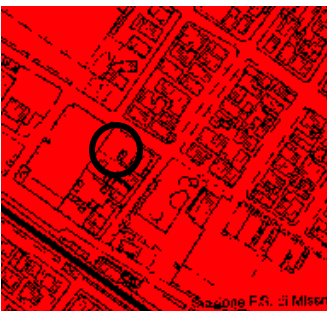
## 7 CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO

Secondo la Mappa di pericolosità sismica (O.P.C.M 20-03-2003 n. 3274), dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Zonazione sismogenetica ZS9 (Meletti e Valensise 2004), l'area in esame rientra nella zona sismogenetica 917 che comprende le sorgenti sismogenetiche principali della fascia appenninica esterna in compressione dell'arco appenninico settentrionale a cui è possibile associare la sismicità della costa romagnola e marchigiana. Nella zona sismogenetica 917 sono previsti valori di Magnitudo massima = 6.14.

### 7.1 Ambito di pericolosità sismica



Relativamente a tali ambiti, nella *Carta Sistema Ambientale del P.T.C.P. della Provincia di Rimini (Tav. S.A. 11 2/2 - rischio sismico ed effetti locali)*, qui riportata in stralcio, il sito ricade nell'ambito di "aree suscettibili di liquefazione".



L'area rientra nella fascia indicata dagli studi di Microzonazione Sismica di III livello con IL (Indice di Liquefazione) > 5 (*SITUA Provincia di Rimini: "Liquefacibilità del sito e abitati da consolidare"*).

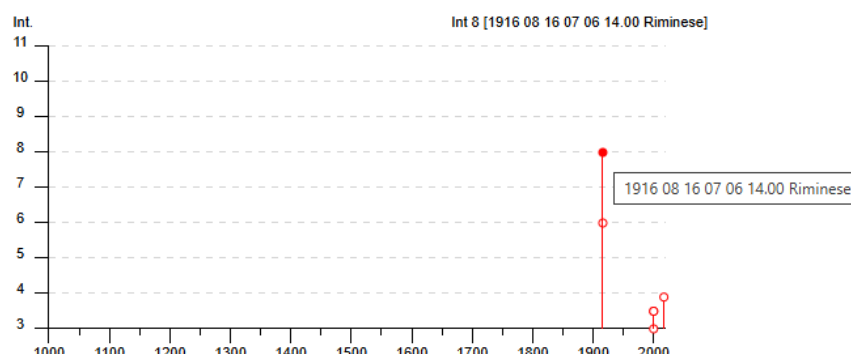
La verifica alla liquefazione delle sabbie viene svolta al **Cap. 8**.

## 7.2 Magnitudo di riferimento

La magnitudo massima storica stimata sulla base del catalogo aggiornato DBMI15 v4\* è la seguente:

### Misano Adriatico

PlaceID IT\_41863  
 Coordinate (lat, lon) 43.979, 12.694  
 Comune (ISTAT 2015) Misano Adriatico  
 Provincia Rimini  
 Regione Emilia-Romagna  
 Numero di eventi riportati 11



► CPTI15-DBMI15 v4 homepage

**1916 agosto 16 07:06:14.00**  
**Riminese**

EqID 19160816\_0706\_000

	Lat	Lon	Orig. ep.	Io	Mw	ErMw	Orig. mag.	Profond.
★ CPTI15	44.019	12.737		8	5.82 ± 0.08		Wmim	
□ Macro	44.019	12.737	bx4	8	5.71 ± 0.10		bxn	
Instr	-				6.14 ± 0.17		Pry_msmb	

Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Antonucci A. (2022). Database Macrosismico Italiano (DBMI15), versione 4.0 [Data set]. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/dbmi/dbmi15.4>

## 7.3 Determinazione della $V_{seq}$ - Strumentazione e metodologia adottata

La caratterizzazione sismica del sito con approccio semplificato, si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio ( $V_s$ ). Come previsto dalla normativa, per caratterizzare il terreno dal punto di vista sismico dalla base di fondazioni superficiali o dalla testa di pali di fondazione fino ad una profondità di 30 m o fino al bedrock sismico con  $V_s \geq 800$  m/s (qualora inferiore a 30 metri), occorre definire la categoria di sottosuolo; per la sua definizione si procede attraverso la determinazione della velocità equivalente delle onde di taglio ( $V_{seq}$ ). La caratterizzazione sismica dei terreni di fondazione, è stata svolta con metodologia di **sismica passiva a stazione singola H/V** per mezzo di strumento **Tromino®**, **MoHo S.r.l.** La prova sismica è ubicata come indicato in **FIG. 3**.

**L'interpretazione della misura sismica HVSR è riportata in calce alla relazione (pag. 23-27).**

## 7.4 Categoria di sottosuolo

Sulla base dell'indagine sismica effettuata, è possibile determinare la categoria di sottosuolo per la definizione dell'azione sismica di progetto. Ai sensi del **D.M. 17/01/2018**, viene considerata la velocità media delle onde di taglio nei primi 30 m di terreno dalla base delle fondazioni superficiali o testa dei pali, in quanto il **substrato sismico** con  $V_s \geq$  di 800 m/s è a profondità superiore ai 30 metri. La  $V_{seq}$  viene calcolata, con la seguente formula:

$$V_{seq} = \frac{30}{\sum \frac{h_i}{V_{s_i}}}$$

dove  $h_i$  e  $V_{s_i}$  sono spessori e velocità dei singoli strati.

L'analisi sismica effettuata (vedi rapporto in allegato) alle quote d'imposta delle fondazioni (o testa pali) ipotizzate, conduce alle seguenti  $V_{seq}$ :

$$V_{seq} (1.0 - 31.0) = 241 \text{ m/s}$$

$$V_{seq} (1.5 - 31.5) = 244 \text{ m/s}$$

- Tali valori di  $V_{seq}$  rientrano nella **categoria di sottosuolo di tipo C**

Tabella 3.2.II - Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato

Categoria	Descrizione
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 max pari a 3 m.
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresa tra 360 m/s e 800 m/s.
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine 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 compresa tra 180 m/s e 360 m/s.
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fine 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 compresa tra 100 m/s e 180 m/s.
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C e D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

## 7.5 Coefficiente di amplificazione topografico

Con riferimento alla *tabella 3.2.III* della normativa ed a quanto riportato al capitolo 3, la categoria topografica entro la quale ricade il sito in esame è la **T1** in quanto il sito è pianeggiante.



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	Pendii con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Pendii con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $> 30^\circ$

Alla Categoria **T1** è associabile un coefficiente topografico **St = 1.00**.

## 7.6 Parametri sismici e accelerazione massima attesa al sito

Per ricavare i parametri sismici per il sito in esame, si è utilizzato il foglio di calcolo “**Geostru - Parametri sismici 2018**” online, inserendo le coordinate, le caratteristiche dell’edificio e la categoria di sottosuolo ricavata dall’indagine sismica.

Da indicazioni progettuali, può essere posto:

- CLASSE D'USO II (par. 2.4.2. delle NTC 2018);
- VITA NOMINALE 50 anni (par. 2.4.1. tab. 2.4.I delle NTC);
- COEFFICIENTE D'USO 1.0 (par. 2.4.3. tab. 2.4.II delle NTC)

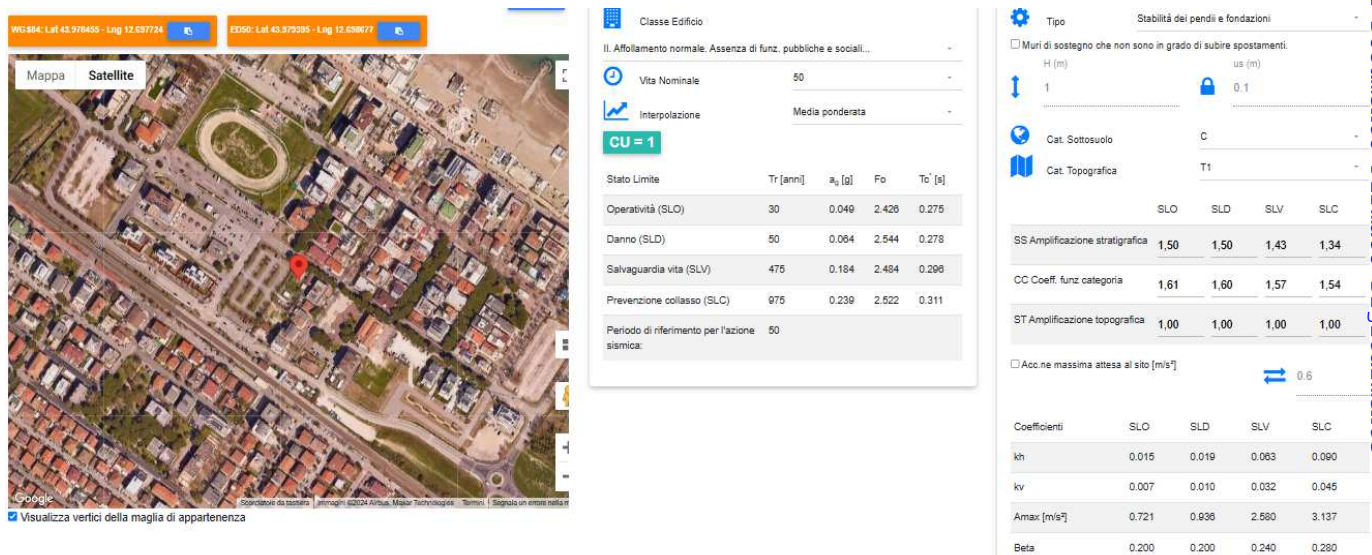


FIG. 4 – Tabella “GeoStru” parametri sismici (<https://geoapp.eu/parametrisismici2018/>)

Sito in esame.

latitudine: 43,979395  
longitudine: 12,698677  
Classe: 2  
Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 19191	Lat: 43,9820	Lon: 12,6564	Distanza: 3393,821
Sito 2	ID: 19192	Lat: 43,9824	Lon: 12,7258	Distanza: 2198,638
Sito 3	ID: 19414	Lat: 43,9324	Lon: 12,7265	Distanza: 5676,714
Sito 4	ID: 19413	Lat: 43,9320	Lon: 12,6571	Distanza: 6237,254

L'accelerazione spettrale massima attesa al sito è data da:  $a_{max} = a_g \cdot S_s \cdot S_t$

con:

$a_g$  = accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido;

$S_s$  = coefficiente di amplificazione stratigrafica;

$S_t$  = coefficiente di amplificazione topografica

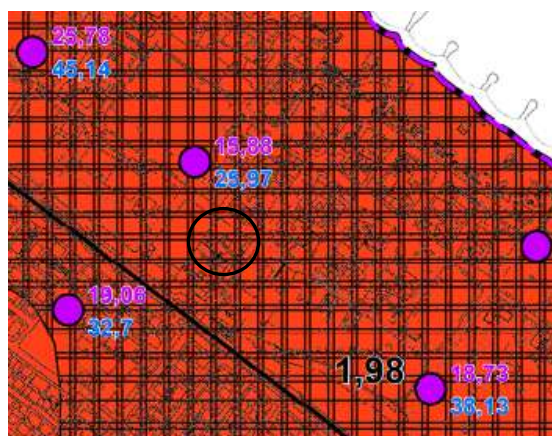
Allo stato limite di salvaguardia della vita **SLV**, sostituendo gli opportuni coefficienti ricavati dalle tabelle di FIG. 4, si ottiene:

$$a_{max} = a_g \cdot S_s \cdot S_t = 0.184 \cdot 1.43 \cdot 1.00 = 0.263 \text{ g}$$

## 8 POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE DELLE SABBIE

### 8.1 Rischio di liquefazione dei terreni

Il Comune di Misano Adriatico è dotato di studio di Microzonazione Sismica di III livello di approfondimento. Tale studio fa ricadere l'area in "Zona di suscettibilità alla liquefazione con IL (Indice di Liquefazione) > 15", come è possibile osservare nelle carte MZS di III livello (di seguito si riporta stralcio della "Carta di microzonazione sismica livello 3 – PGA"); pertanto per il sito sussistono le condizioni previste dalla **D.G.R. 1814 del 07/12/2020**.



#### Zone suscettibili di instabilità (Livello 3)

	ZSLQ - Zona di suscettibilità per liquefazione Fa.P.G.A. = 1,7 - 1,8; 5 < IL <= 15
	ZSLQ - Zona di suscettibilità per liquefazione Fa.P.G.A. = 1,7 - 1,8; IL > 15
	ZSLQ - Zona di suscettibilità per liquefazione Fa.P.G.A. = 1,9 - 2,0; 5 < IL <= 15
	ZSLQ - Zona di suscettibilità per liquefazione Fa.P.G.A. = 1,9 - 2,0; IL > 15

#### Verticale di verifica alla liquefazione (Boulanger & Idriss – 2014)

(in viola è riportato il valore di IL, mentre in blu quello di LSN)

	5 < IL <= 15
	IL > 15

### 8.2 Calcolo del coefficiente di sicurezza e indice di liquefazione per il sito

Per verificare la possibilità di occorrenza di fenomeni di liquefazione vengono impiegate le procedure che, nell'Ingegneria Geotecnica Sismica, vengono denominate "metodi semplificati". Tutti i metodi semplificati permettono di esprimere la suscettibilità alla liquefazione del deposito attraverso un **coefficiente di sicurezza  $F_s$** , dato dal rapporto fra la resistenza al taglio mobilitabile nello strato (CRR) e lo sforzo di taglio indotto dal sisma (CSR):

$$F_s = \frac{(CRR)}{(CSR)}$$

Un deposito dovrà essere considerato suscettibile di liquefazione se il coefficiente di sicurezza sarà minore di 1 (di 1.25 secondo l'Eurocodice 8).

Tra i vari metodi di calcolo, si è utilizzato il metodo di **Boulanger e Idriss 2014** (medesimo metodo utilizzato nei calcoli della MZS di III livello).

La **resistenza al taglio mobilitata nel terreno (CRR)** è funzione delle caratteristiche meccaniche dello strato e principalmente del suo stato di addensamento:

$$CRR = \exp \left[ \frac{q_{c1Ncs}}{113} + \left( \frac{q_{c1Ncs}}{1000} \right)^2 - \left( \frac{q_{c1Ncs}}{140} \right)^3 + \left( \frac{q_{c1Ncs}}{137} \right)^4 - 2.8 \right]$$

La grandezza  $q_{c1Ncs}$  deve essere stimata in maniera iterativa. Si procede secondo il seguente schema:

1. Si stima inizialmente  $q_{c1Ncs}$  ponendo  $q_{c1Ncs} = q_c / 98.1$  ( $q_c$  in Ka);
2. Si calcola il fattore correttivo  $C_q$  con la seguente espressione  $C_q = \left( \frac{98.1}{\sigma'} \right)^\alpha$   
dove  $\sigma'$  è la pressione citostatica verticale efficace in kPa e  $\alpha = 1.338 - 0.294 q_{c1Ncs}^{0.264}$
3. Si ricalcola  $q_{c1Ncs}$  con la relazione  $q_{c1Ncs} = C_q \cdot q_c / 98.1$
4. Si ripetono i passi 2 e 3 fino a quando la differenza fra valori di  $C_q$  calcolati in due cicli successivi non è inferiore a un certo valore (per es. 0.001).

Se il valore di  $C_q$  è maggiore di 1.7, si pone  $C_q = 1.7$ .

La grandezza  $q_{c1Ncs} = q_{c1N} + \Delta q_{c1N}$  dove:

$$\Delta q_{c1N} = \left( 11.9 + \frac{q_{c1N}}{14.6} \right) \exp \left( 1.63 - \frac{9.7}{FC + 2} - \left( \frac{15.7}{FC + 2} \right)^2 \right)$$

in cui  $FC = 80 \ln c - 137$ .

Lo **sforzo di taglio indotto dal sisma (CSR)** dipende dai parametri del sisma di progetto (accelerazione sismica e magnitudo di progetto indicati al capitolo precedente) e viene ricavato attraverso la relazione:

$$T = 0.65 \frac{a_{\max}}{g} \frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} r_d \frac{1}{MSF};$$

dove:

$a_{\max}$  = accelerazione sismica massima;  
 $g$  = accelerazione di gravità = 980.7 cm/s<sup>2</sup>;

$\sigma_{v0}$  = pressione verticale totale alla profondità  $z$  dal p.c.;

$\sigma'_{v0}$  = pressione verticale efficace alla profondità  $z$  dal p.c.;

$r_d$  = coefficiente funzione della profondità dal p.c., valutabile secondo le correlazioni empiriche proposte da **Boulanger & Idriss** (2014):  
 $r_d = \exp(\alpha + \beta)$

$$\alpha = -1.012 - 1.126 \operatorname{sen} \left( \frac{h_{media}}{11.73} + 5.133 \right)$$

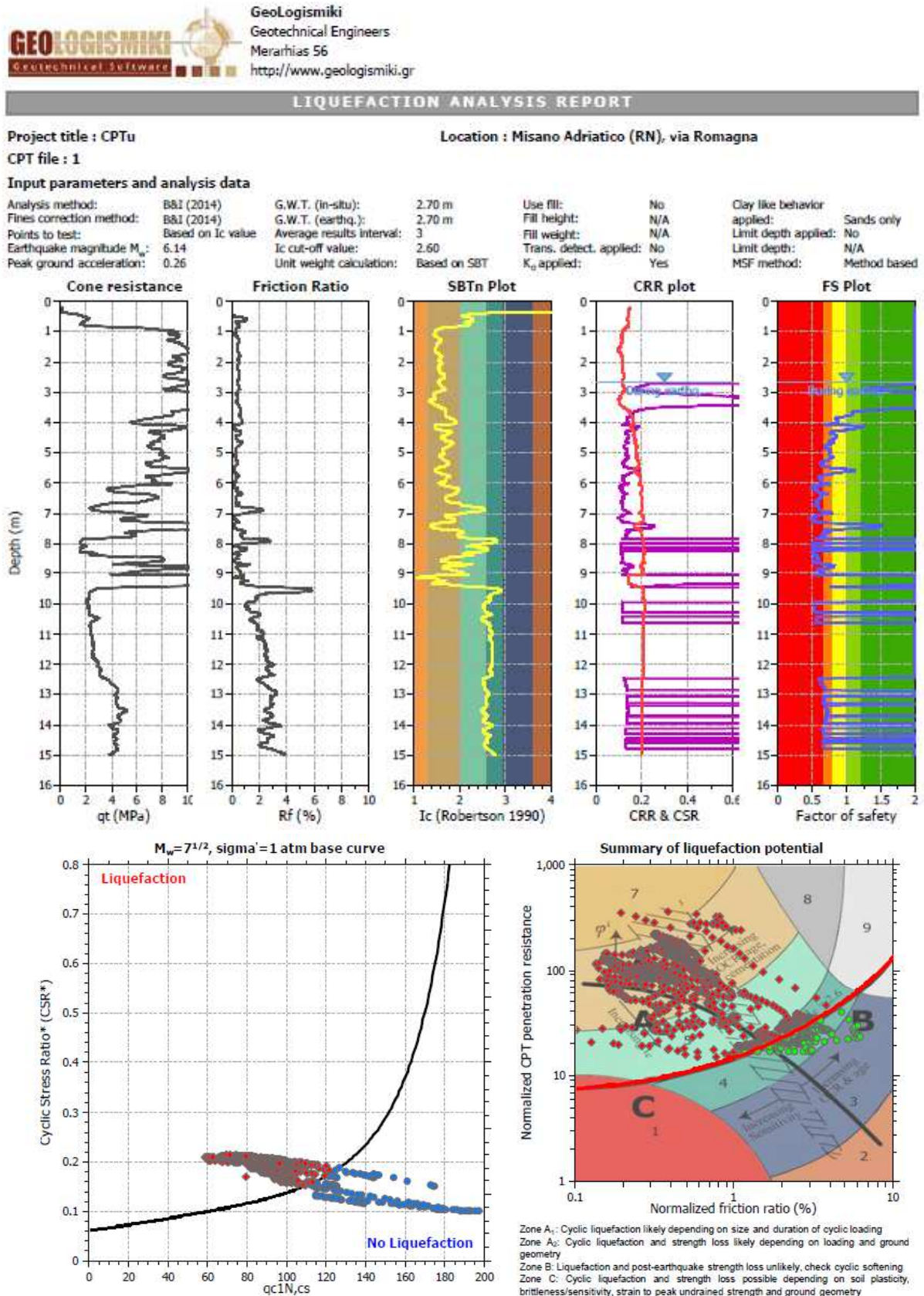
$$\beta = M_w \left[ 0.106 + 0.118 \operatorname{sen} \left( \frac{h_{media}}{11.28} \right) + 5.142 \right]$$

$MSF$  = coefficiente correttivo ricavato dalla relazione di Idriss (1995):

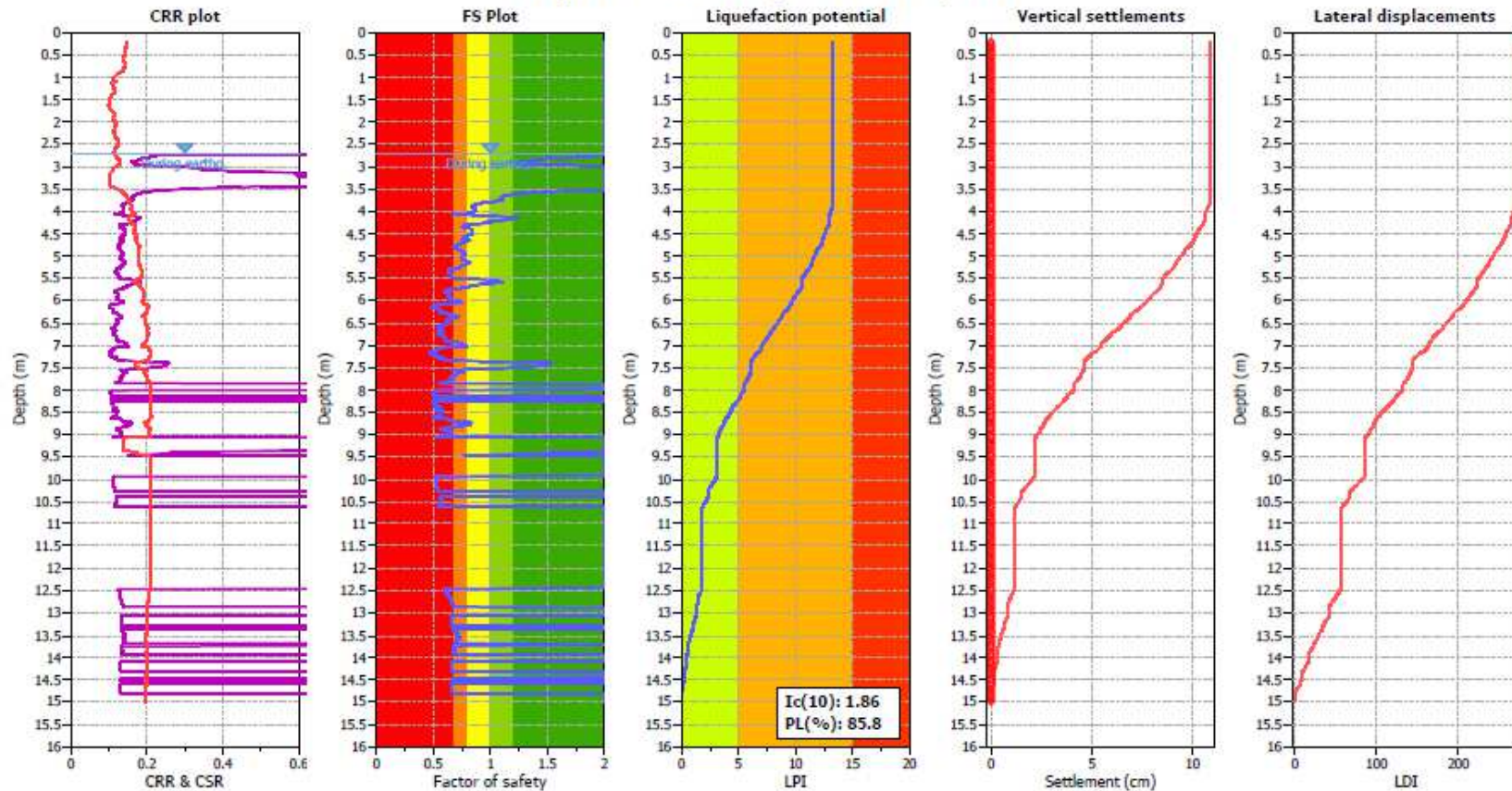
$$MSF = \left( \frac{M}{7.5} \right)^{-3.3} \quad \text{con } M \leq 7.5$$



Di seguito vengono riportati i grafici principali di calcolo riferiti alla CPTU effettuata e l'analisi dei risultati.



### Liquefaction analysis overall plots



#### Input parameters and analysis data

Analysis method: B&I (2014)  
Fines correction method: B&I (2014)  
Points to test: Based on  $I_c$  value  
Earthquake magnitude  $M_w$ : 6.14  
Peak ground acceleration: 0.26  
Depth to water table (In situ): 2.70 m

Depth to GWT (earthq.): 2.70 m  
Average results interval: 3  
 $I_c$  cut-off value: 2.60  
Unit weight calculation: Based on SBT  
Use fill: No  
Fill height: N/A

Fill weight: N/A  
Transition detect. applied: No  
 $K_0$  applied: Yes  
Clay like behavior applied: Sands only  
Limit depth applied: No  
Limit depth: N/A

#### F.S. color scheme

Red: Almost certain it will liquefy  
Orange: Very likely to liquefy  
Yellow: Liquefaction and no liq. are equally likely  
Light green: Unlike to liquefy  
Dark green: Almost certain it will not liquefy

#### LPI color scheme

Red: Very high risk  
Orange: High risk  
Yellow: Low risk

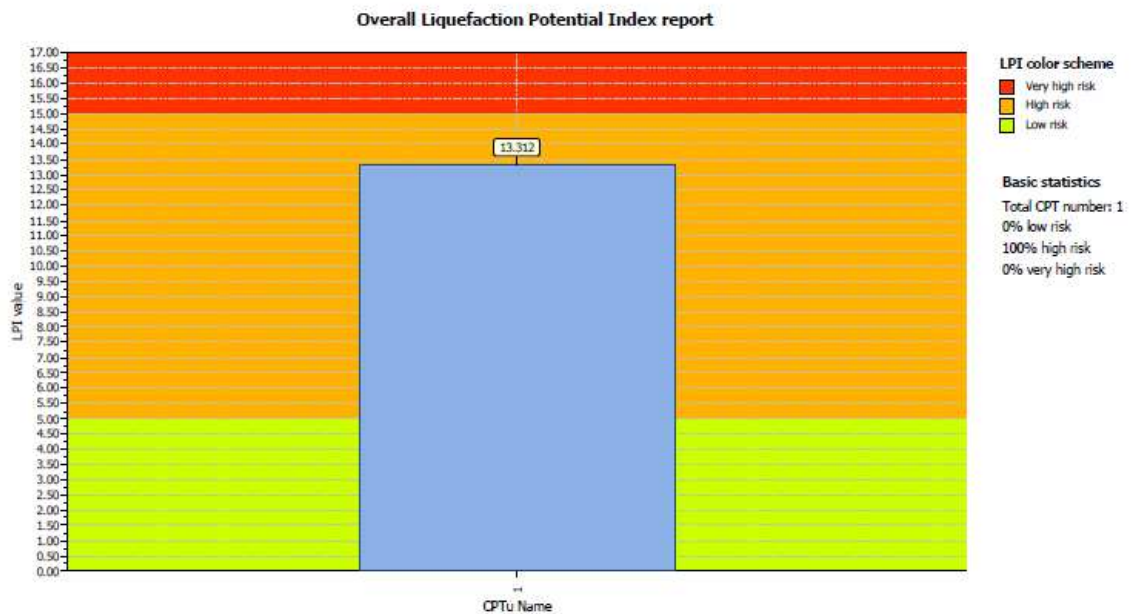


Il Livello B (0.90 – 4.00 m p.c.) presenta coefficienti di sicurezza  $F_s \gg 1.00$  per un discreto grado di addensamento delle sabbie ovvero circa tre metri di spessore di terreno non liquefacibile. La maggiore suscettibilità alla liquefazione ( $0.5 < F_s < 1.00$ ), si ha nel livello C (4.00 – 7.8 m p.c.).

Il calcolo dell'Indice di Liquefazione (IL/LPI) fornisce  $IL = 13.31$  ovvero  $5 < IL < 15$  che, puntualmente per il sito, è inferiore rispetto a quanto indicato per l'area dalla MZS di III livello,  $IL > 15$ .



Project title : CPTu  
 Location : Misano Adriatico (RN), via Romagna



CLiq v.3.5.2.14 - CPT Liquefaction Assessment Software  
 Project file: D:\misano.dq

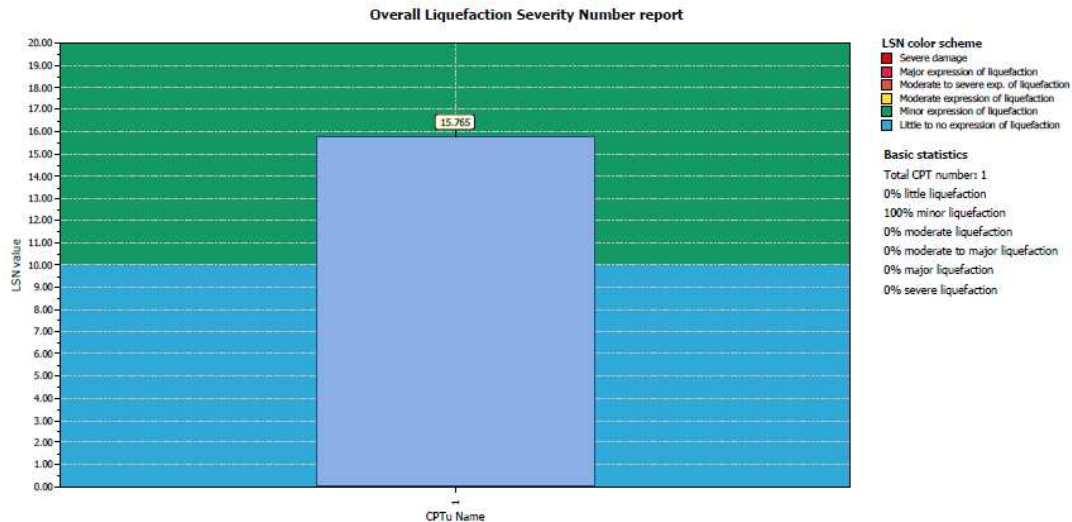
In base al valore ottenuto, è possibile fornire un'indicazione del rischio di liquefazione attraverso le seguenti classi di pericolosità (Sonmez, 2003):

IL	Rischio di liquefazione
$IL=0$	Non liquefacibile
$0 < IL \leq 2$	Potenziale basso
$2 < IL \leq 5$	Potenziale moderato
$5 < IL \leq 15$	Potenziale alto
$15 < IL$	Potenziale molto alto



Il **numero di severità alla liquefazione (LSN)** = 15.76,  $10 < \text{LSN} < 20$  indica effetti minori indotti dalla liquefazione (Tonkin & Taylor, 2013).

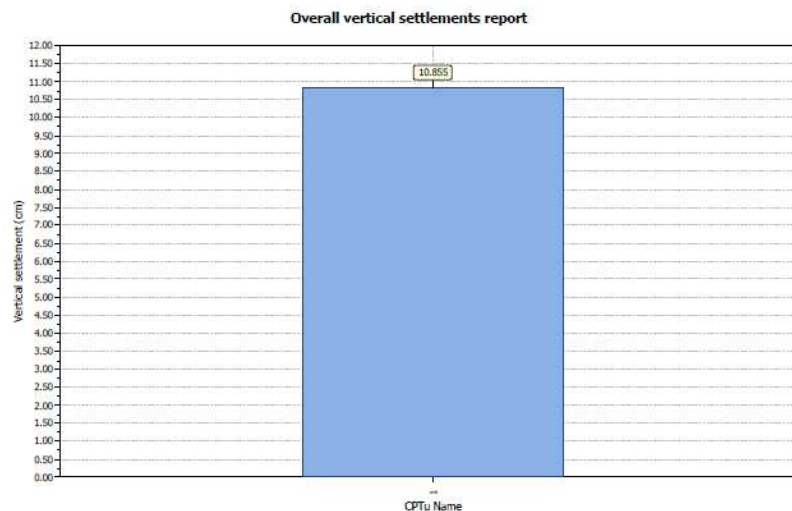
Project title : CPTu  
Location : Misano Adriatico (RN), via Romagna



CLiq v.3.5.2.14 - CPT Liquefaction Assessment Software  
Project file: D:\misano.ciq

Il **cedimento verticale post-sismico** dell'ordine di 10.85 cm (0.108 m) indica uno stato di danneggiamento indotto dalla liquefazione basso (Ishihara & Yoshimine, 1992 e modificato da Bird et al., 2006).

Project title : CPTu  
Location : Misano Adriatico (RN), via Romagna



CLiq v.3.5.2.14 - CPT Liquefaction Assessment Software  
Project file: D:\misano.ciq

## 9 SINTESI DELLA MODELLAZIONE GEOLOGICA

La relazione geologica svolta è relativa alla “**richiesta di accordo operativo per la realizzazione parcheggio in terreno sito in Via Romagna**”, su area distinta catastalmente al Foglio 03 map. 2100, in Comune di Misano Adriatico (RN) (v. **FIG. 1** a pag. 2).

*Lo studio con l'indagine geognostica effettuata, condotto in osservanza alla normativa vigente **NTC 2018 (D.M. 17/01/2018)**, ha lo scopo di definire la **caratterizzazione e modellazione geologica del sito (par. 6.2.1)**. Il Progettista in fase di modellazione geotecnica, qualora lo ritenga necessario in relazione alla tipologia dell'intervento in progetto, potrà predisporre eventuali approfondimenti d'indagine (indagini in sito e di laboratorio).*

**GEOMORFOLOGIA (Cap. 2)** – Il sito in studio è ubicato nel centro di Misano Adriatico a valle della linea ferroviaria, ad una quota di circa +3 m s.l.m. L'area, subpianeggiante con leggere pendenze verso mare, è posta in destra idrografica del Rio dell'Agina che scorre 350 metri a NW.

- Dall'analisi dei rischi geomorfologici ed idraulici della zona, attraverso la cartografia tematica riportata al par. 2.1, per il sito in esame non sussistono particolari aspetti di pericolosità geomorfologica (sito pianeggiante) od idraulica.*

**GEOLOGIA (Cap. 3)** – Con riferimento alla cartografia geologica e dei suoli a scala 1: 10.000 del Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna (sezione n. 268010 "Misano Adriatico"), l'area ricade nel territorio di affioramento della Formazione AES8a Unità di Modena (v. **FIG. 2**); i terreni dell'Unità di Modena rappresentano i depositi alluvionali più recenti (Olocene) prevalentemente sabbiosi o sabbioso limosi, che si estendono dalla linea di costa fino alla paleofalesia costiera ubicata subito a monte della S.S. 16 Adriatica.

**INDAGINI GEOGNOSTICHE E STRATIGRAFIA (Cap. 4/5)** – Per determinare la stratigrafia del sottosuolo, è stata effettuata n° 1 prova penetrometrica statica **CPTU (Cone Penetration Test)** a punta elettrica con misura delle pressioni interstiziali (**u**); la prova (v. ubicazione in **FIG. 3** a pag. 6 e tabulati penetrometrici a pag. 7 ÷ 9), è stata spinta fino alla profondità di -15.0 m dal p.c.. La tipologia della prova, oltre a rilevare la stratigrafia, ha permesso di calcolare in dettaglio il potenziale di liquefazione delle sabbie (cfr. Cap. 8). La stratigrafia rilevata è descritta in **tabella a pag. 10**; la tabella riporta inoltre un intervallo di valori di riferimento dei parametri geomeccanici dei litotipi principali, ricavati sulla base delle correlazioni proposte da AA.VV. con i dati penetrometrici, al fine di orientare le scelte progettuali sulle opere di fondazione.

- Il livello A (0.00 – 0.90 m p.c.) andrà superato con il piano di posa di fondazioni superficiali e l'omogeneità del terreno andrà verificata lungo tutta l'area d'intervento.*

**ACQUE SOTTERRANEE (Cap. 6)** – La **falda freatica** è stata misurata nel sito in esame a **-2.70 m p.c.** (Dicembre 2024). Per quanto riguarda i caratteri idrogeologici dell'area, la freatica permea i depositi sabbiosi superficiali di ambiente litoraneo ed è in stretto rapporto con il livello medio marino, pertanto vista la quota topografica, si può ritenere che la falda possa subire lievi oscillazioni attorno alla quota rilevata.

## CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO (Cap. 7)

- La **magnitudo** massima storica stimata sulla base del catalogo aggiornato DBMI15 v4 è **6.14**.
- L'analisi sismica effettuata conduce ad una **categoria di sottosuolo C** (tab.3.2. Il delle NTC)
- L'accelerazione massima attesa al sito è  **$a_{max} = 0.263$  g**

**POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE DELLE SABBIE (Cap. 8)** – Il Comune di Misano Adriatico è dotato di studio di **Microzonazione Sismica di III livello di approfondimento**; tale studio fa ricadere l'area in "Zona di suscettibilità alla liquefazione con IL (Indice di Liquefazione) > 15", come è possibile osservare nelle carte MZS di III livello (v. stralcio pag. 15), pertanto per il sito sussistono le condizioni previste dalla **D.G.R. 1814 del 07/12/2020**.

Al **par. 8.2** è svolto il calcolo del coefficiente di sicurezza utilizzando il metodo di **Boulanger e Idriss 2014** (medesimo metodo utilizzato nei calcoli della MZS di III livello); la verifica conduce ad un **Indice di Liquefazione IL(LPI)** puntuale per il sito,  $IL = 13.31$  ovvero  $5 < IL < 15$  (potenziale alto), rispetto alla MZS di III livello che indica per l'area  $IL > 15$  (potenziale molto alto).

I risultati dell'analisi indicano inoltre:

- Il **Livello B** (0.90 – 4.00 m p.c.) **presenta coefficienti di sicurezza  $F_s \gg 1.00$**  per un discreto grado di addensamento delle sabbie e presenza di ghiaia, ovvero circa tre metri di spessore di terreno non liquefacibile. La maggiore suscettibilità alla liquefazione ( $0.5 < F_s < 1.00$ ), si ha nel livello C (4.00 – 7.8 m p.c.).
- Il **numero di severità alla liquefazione (LSN)** = 15.76, indica effetti minori indotti dalla liquefazione ( $10 < LSN < 20$  - Tonkin & Taylor, 2013).
- Il **cedimento verticale post-sismico** dell'ordine di 10.85 cm (0.108 m) indica uno stato di danneggiamento indotto dalla liquefazione basso (Ishihara & Yoshimine, 1992 modificato da Bird et al., 2006).

Le indicazioni di cui sopra potranno orientare le scelte progettuali sulla tipologia di fondazione più idonea in relazione alle caratteristiche tecniche dei manufatti in progetto (tettoie e pensiline del parcheggio).

\* \* \*

IL PROFESSIONISTA  
**Dott. Geol. Demetrio Bastianelli**  
Ordine dei Geologi dell'Emilia Romagna  
n. 294 Sez. A

Misano Adriatico, Dicembre 2024

## INTERPRETAZIONE DELL'INDAGINE SISMICA PASSIVA MEDIANTE TROMOGRAFO DIGITALE "TROMINO"® (METODO NAKAMURA) – STIMA DELLA $V_{seq}$ CON MISURA DIRETTA DELLE FREQUENZE DI RISONANZA DA STAZIONE SINGOLA - METODO H/V.

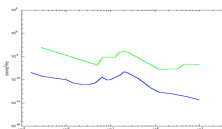
La caratterizzazione sismica dei terreni di fondazione, è stata svolta con metodologia di **sismica passiva a stazione singola H/V** per mezzo di strumento **Tromino®**, ubicato come da planimetria riportata in **FIG.3** a pag. 6.



Trattasi di un tromografo digitale progettato specificatamente per l'acquisizione del rumore sismico ambientale. Lo strumento (10x7x14 cm per 1 kg di peso) è dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati N-S, E-W e verticalmente, alimentato da 2 batterie AA da 1.5 V, fornito di GPS interno e senza cavi esterni. La tecnica si basa sulla misura del microtremore sismico ambientale come di seguito descritto.

### Oggetto della misura: il microtremore sismico ambientale

Il rumore sismico ambientale, presente ovunque sulla superficie terrestre, è generato, dall'attività dinamica terrestre, dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica. Si chiama anche microtremore poiché riguarda oscillazioni molto più piccole di quelle indotte dai terremoti nel campo vicino. I metodi che si basano sulla loro acquisizione si dicono passivi in quanto il rumore non è generato *ad hoc*, come ad esempio le esplosioni della sismica attiva. Nelle zone in cui non è presente alcuna sorgente di rumore locale e in assenza di vento, lo spettro in frequenza del rumore di fondo in un terreno roccioso e pianeggiante presenta l'andamento illustrato nella figura sottostante. A tale andamento generale, che è sempre presente, si sovrappongono le sorgenti locali, antropiche (traffico, industrie o anche il semplice passeggiare di una persona) e naturali che però si attenuano fortemente a frequenze superiori a 20 Hz, a causa dell'assorbimento anelastico originato dall'attrito interno delle rocce.



Modelli standard del rumore sismico massimo (in verde) e minimo (in blu) per la terra secondo il servizio geologico statunitense (USGS). Gli spettri di potenza sono espressi in termini di accelerazione e sono relativi alla componente verticale del sito.

### La tecnica impiegata. Cenni storici

Dai primi studi di Kanai (1957) in poi, diversi metodi sono stati proposti per estrarre l'informazione relativa al sottosuolo a partire dagli spettri del rumore sismico registrati in un sito. Tra questi, la tecnica che si è maggiormente consolidata nell'uso è la tecnica dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale (Horizontal to Vertical Spectral Ratio, HVSR o H/V), applicata da Nogoshi e Igarashi (1970). Il metodo fu in seguito reso popolare principalmente da Nakamura (1989) come strumento per la determinazione dell'amplificazione sismica locale. Mentre su questo punto non è stato raggiunto consenso, è invece ampiamente riconosciuto che la curva H/V è in grado di fornire stime affidabili delle frequenze principali di risonanza dei sottosuoli e, tramite opportuna inversione, delle profondità dei substrati rocciosi sotto le coperture sedimentarie. Studi recenti hanno dimostrato che ulteriori picchi a frequenze maggiori di quelle del bedrock sono riconducibili a contrasti di impedenza interni alla copertura sedimentaria e picchi a frequenze minori di quella del bedrock sono invece riconducibili a contrasti di impedenza interni al bedrock stesso. Riconosciuta questa capacità e dato che, se è disponibile una stima delle velocità delle onde elastiche, le frequenze di risonanza possono essere convertite in stratigrafia, ne risulta che il metodo H/V può essere usato come strumento stratigrafico. Le basi teoriche dell'H/V sono relativamente semplici in un sistema bistrato del tipo sedimenti + bedrock in cui i parametri variano solo con la profondità (1-D). In questi casi la profondità  $h$  della discontinuità sismica viene ricavata tramite la formula semplice della risonanza  $h=V/(4f_r)$  o, al più, tramite la formula [1] in cui  $v_0$  è la velocità al tetto dello strato,  $x$  un fattore che dipende dalle caratteristiche del sedimento (granulometria, coesione ecc.) e  $f_r$  la frequenza fondamentale di risonanza (cf. ad esempio Ibs-Von Seht e Wohlenberg, 1999).

$$h = \left[ \frac{V_0 (1 - x)}{4 f_r} + 1 \right]^{\frac{1}{1-x}} - 1 \quad [1]$$



Nei sistemi multistrato, teoricamente l'effetto di risonanza è sommabile, ma non in modo lineare e senza una corrispondenza 1:1. Ciò significa che la curva H/V relativa ad un sistema a più strati contiene l'informazione relativa alle frequenze di risonanza [1]. L'inversione richiede l'analisi delle singole componenti e del rapporto H/V, che fornisce un'importante normalizzazione del segnale per:

a) il contenuto in frequenza,

b) la risposta strumentale,

c) l'ampiezza del segnale quando le registrazioni vengono effettuate in momenti con rumore di fondo più o meno alto.

L'inversione delle misure di tremore a fini stratigrafici, nei casi reali, sfrutta la tecnica del confronto degli spettri singoli e dei rapporti H/V misurati con quelli "sintetici", cioè con quelli calcolati relativamente ad un modello. L'interpretazione è tanto più soddisfacente, e il modello tanto più vicino alla realtà, quanto più i dati misurati e quelli sintetici sono vicini. I modelli sintetici di inversione impiegati in questo lavoro partono dalla modellizzazione del campo d'onde superficiali (onde di Rayleigh e Love) in sistemi multistrato (Aki, 1964; Ben-Menahem e Singh, 1981). L'inversione delle curve H/V per ottenere un profilo di  $v_s$  è possibile a patto di disporre di un punto di taratura (es. penetrometria o sondaggio) che fornisca la profondità di un riflettore – anche molto superficiale – riconoscibile nella curva H/V oppure a patto di conoscere la  $v_s$  del primo strato a partire da tecniche indipendenti (Castellaro e Mulargia, 2007).

Il tipo di stratigrafia che le tecniche di sismica passiva possono restituire si basa sul concetto di *contrasto di impedenza* ovvero il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e la densità del mezzo stesso tra due diversi strati. Per *strato* si intende un'unità distinta da quella sopra o sottostante caratterizzate dunque da contrasti d'impedenza diversi. L'interpretazione della curva sperimentale (curva blu di **Fig. 4**), è stata svolta con apposito **programma "Grilla"**.

La **registrazione HVSR** è stata svolta nell'intervallo di tempo di 20 minuti (**Fig. 1**):

Instrument: TEN-0035/01-08

Data format: 16 bit

Full scale [mV]: 51

Start recording: 29/11/2024 15:09:27 End recording: 29/11/2024 15:29:28

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN

GPS data not available

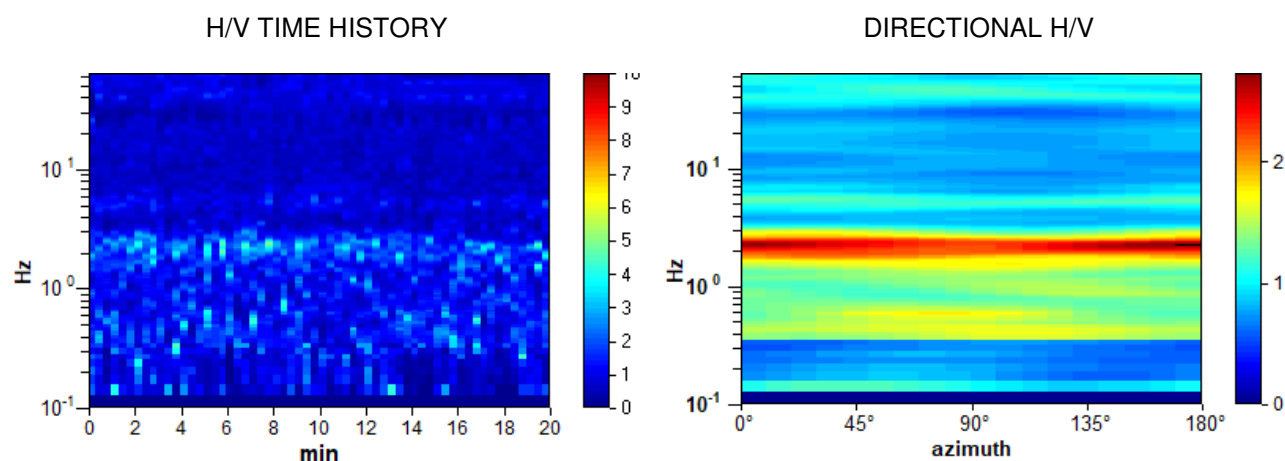
Trace length: 0h20'00". Analysis performed on the entire trace.

Sampling rate: 128 Hz

Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

Smoothing: 10%



**Fig. 1 – Sequenza temporale e direzionale di H/V**

Dalla registrazione del rumore sismico ambientale in campo libero (**Fig. 2**), viene ricavata la curva sperimentale H/V (**Fig. 3**) secondo la procedura descritta in Castellaro et al. (2005), con parametri:

- larghezza delle finestre d'analisi 20 s.,
- lisciamento secondo finestra triangolare con ampiezza pari al 10% della frequenza centrale,
- rimozione dei transienti sulla serie temporale degli H/V.

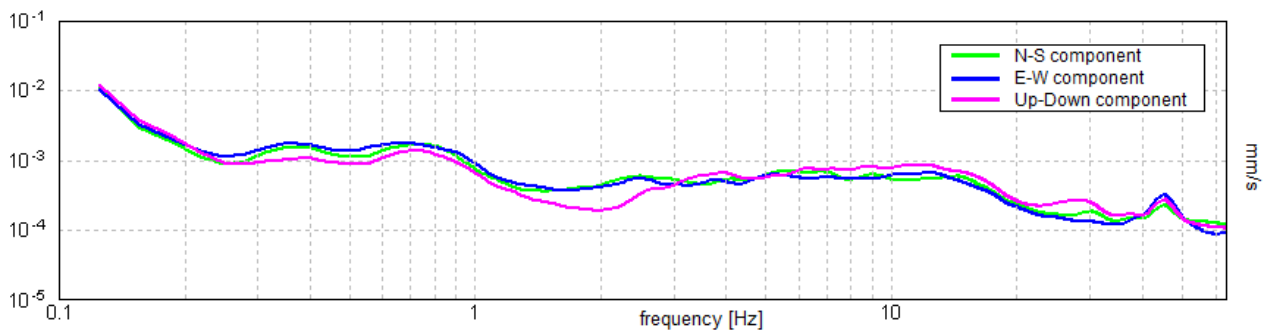


Fig. 2 – Spettri delle singole componenti

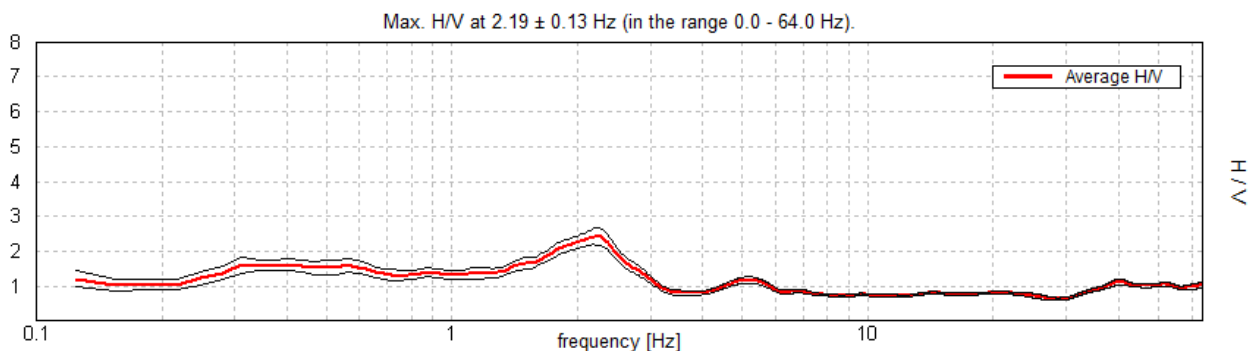


Fig. 3 – Curva H/V registrata nel sito

La curva H/V viene poi invertita creando una serie di modelli sintetici (che contemplano la propagazione delle onde di Rayleigh e di Love nel modo fondamentale e superiori in sistemi multistrato), fino a considerare per buono il modello teorico più vicino alle curve sperimentali. L'inversione delle curve H/V è possibile esclusivamente in presenza di un vincolo. Nel caso in questione tale vincolo è fornito dalla profondità del riflettore sismico noto tramite il sondaggio penetrometrico statico CPT 1 eseguito, il cui marker è riconoscibile nelle curve H/V (Castellaro e Mulargia, 2007). Dall'analisi congiunta della curva sperimentale H/V (**Fig. 3**) e degli spettri da cui essa deriva (**Fig. 2**) è stata ricavata la curva teorica di **Fig. 4** che corrisponde agli **strati di tabella 1** e al **grafico Vs di Fig. 5**.

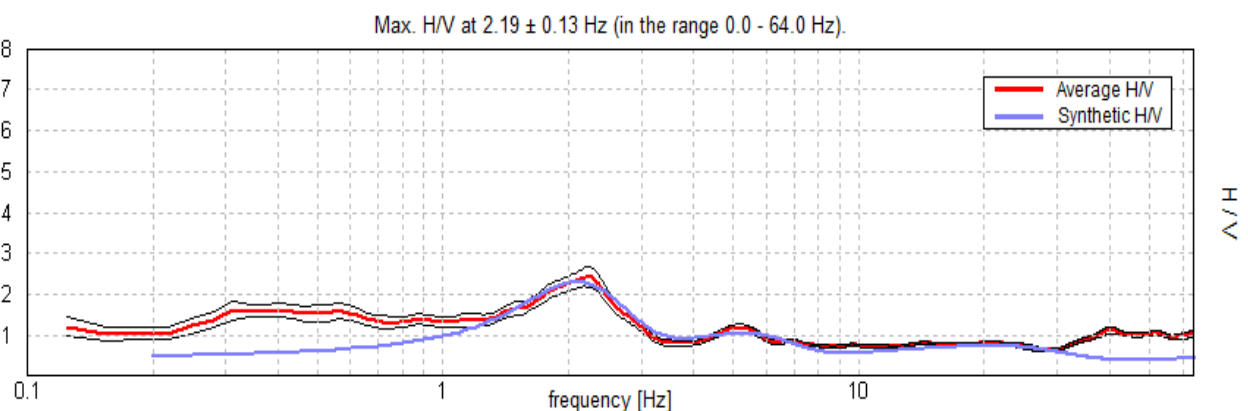
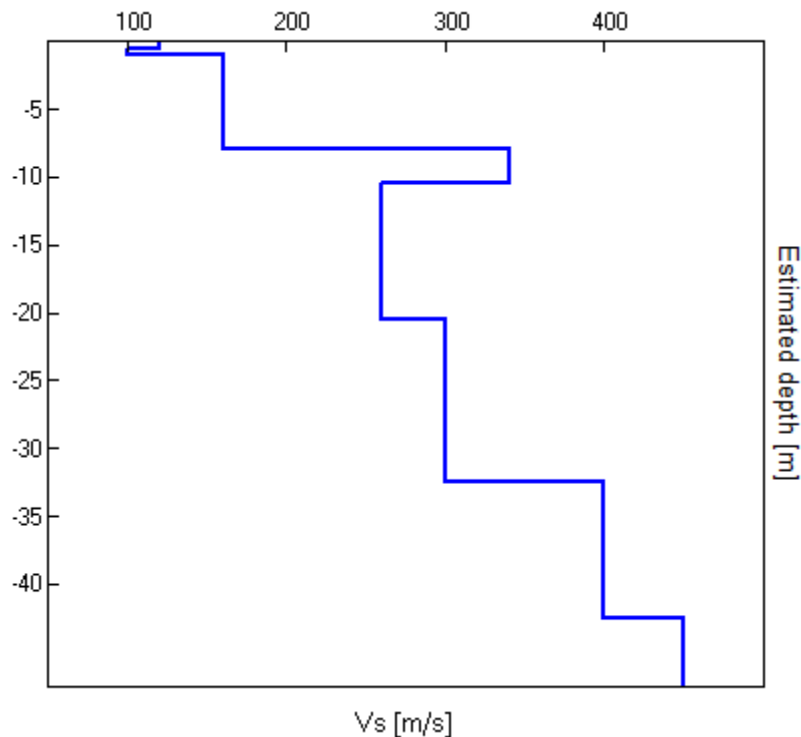


Fig. 4 – Curva teorica (blu) selezionata come rappresentativa del sito in esame

Profondità di base dello strato [m]	Spessore strato [m]	Vs [m/s]
0.50	0.50	120
1.00	0.50	100
8.00	7.00	160
10.50	2.50	340
20.50	10.00	260
32.50	12.00	300
42.50	10.00	400
inf.	inf.	450

**Tabella 1: strati e relative velocità Vs**



**Fig. 5 – Modello del sottosuolo in termini di Vs**

$V_{Seq} (1.0 - 31.0) = 241 \text{ m/s}$
$V_{Seq} (1.5 - 31.5) = 244 \text{ m/s}$

**Tabella 2: calcolo della  $V_{Seq}$  a diverse ipotesi di profondità della quota d'imposta delle fondazioni o testa dei pali:**

Di seguito si riportano i **tabulati del METODO SESAME 2005** (Site EffectS assessment using **AM**bitient **E**xitations); trattasi di un progetto di ricerca internazionale sull'utilizzo di strumentazioni sismiche idonee alla registrazione del rumore ambientale che costituisce il presupposto fondamentale per una corretta applicazione del metodo Nakamura. In tale tabulato i premi tre parametri debbono essere tutti verificati in quanto rappresentano la correttezza della misura, mentre gli ulteriori sei non debbono essere necessariamente tutti verificati in quanto evidenziano picchi non significativi dal punto di vista sismico. Un bedrock roccioso, per esempio, potrebbe dare tutti NO in quanto non presenterebbe picchi significativi.

