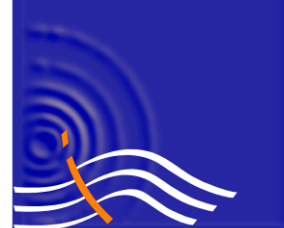


CASADIO & CO.
di Casadio Mario

Via V.Veneto 1/bis – 47100 FORLÌ
Tel: 0543 23923 – Email: studio@casadioeco.it

P.I. 04263320402

Casadio&Co



geologia
acustica
ambiente

RELAZIONE GEOLOGICA

Committente: DUEEFTE SRL

DATA: 13/06/19

**VARIANTE A PROGRAMMA INTEGRATO DI INTERVENTO
RELATIVO AD AREA DA DESTINARSI AD
ATTREZZATURE COMUNALI DI PROGETTO IN
LOCALITA' CANNUZZO IN VIA RUGGINE IN COMUNE DI
CERVIA**

Il geologo
MARIO CASADIO

COMUNE DI CERVIA
(PROVINCIA RAVENNA)

PROGETTO

VARIANTE AL PROGRAMMA INTEGRATO
approvato con delibera del consiglio comunale n° 36
del 20/04/2009 relativo ad area da destinare ad
attrezzature comunali di progetto di cui all'art. 32 delle
NTA in Località Cannuzzo in via Ruggine

COMMITTENTI

IMMOBILIARE I FENICOTTERI s.r.l. e IL GABBIANO s.r.l.

OGGETTO

relazione geologica e modellazione sismica del sito

Data

24/08/2015

IL TECNICO



Dott. Geologo Rodolfo Baroncioni

Via Cupa n° 4 – 48015 Castiglione di Cervia (RA)
Tel. 0544/951493 – 335.7075837

INDICE

1	PREMESSA	3
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	3
3	SOFTWARE UTILIZZATI	4
4	RIFERIMENTI ALTIMETRICI	4
5	VINCOLI	4
6	INQUADRAMENTO TERRITORIALE	6
7	ASPETTI GEO-MORFOLOGICI GENERALI	6
8	GEO-MORFOLOGIA LOCALE	7
9	INDAGINI GEOGNOSTICHE	8
10	CARATTERIZZAZIONE STRATIGRAFICA 10.1 modellazione geologica profonda 10.2 modellazione geologica superficiale	10
11	MODELLAZIONE GEOFISICA 11.2 prova HVSR	13
12	ESITO INDAGINE GEOFISICA 12.1 Categoria di suolo 12.2 Frequenza di sito	15
13	ASPETTI IDROLOGI ED IDROGRAFICI	16
14	VULNERABILITA' IDROGEOLOGICA DEL SITO	17
15	VALUTAZIONE DELLA PERICOLOSITA' GEOLOGICA DEL SITO	18
16	ANALISI DELLA PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE 16.1 Coefficienti sismici di base e di progetto come da metodo semplificato NTC 16.2 Secondo livello di approfondimento "Coefficienti d'amplificazione" come da delibera E.R 112 16.3 Pericolosità sismica di riferimento	19
17	LIQUEFACIBILITA' DEI TERRENI 17.1 scelta dell'accelerazione al suolo 17.2 scelta magnitudo 17.3 approccio deterministico 17.4 approccio probabilistico 17.5 cedimenti post-sismici 17.6 considerazioni sulla liquefazione	22
18	ORIENTAMENTI GEOTECNICI	27
19	CONSIDERAZIONI FINALI	30
20	PRESCRIZIONI	31
APPENDICE 1		32
	Prove penetrometriche "tabulati"	
APPENDICE 2		37
	Prove penetrometriche "grafici"	

1.PREMESSA

La presente relazione è predisposta per la progettazione di un Piano Urbanistico Attuativo con il quale si prevede uno sviluppo residenziale.

Lo scopo dell'elaborato è quindi la caratterizzazione e la modellazione geologica del sito, che consiste nella ricostruzione dei caratteri litologici, stratigrafici, geomorfologici, idrogeologici e sismici, cioè in sintesi della pericolosità geologica del territorio. Nello specifico si fornisce la ricostruzione estesa ad un adeguato intorno, degli aspetti altimetrici, geomorfologici ed idrogeologici in modo da evidenziare il contesto territoriale in cui si inserisce il piano proposto, con la finalità di verificare l'idoneità dell'area da un punto di vista geologico agli usi previsti.

La conoscenza geologica dei terreni in loco è stata raggiunta mediante delle informazioni reperite negli elaborati del Piano Strutturale Comunale (PSC) e per mezzo di indagini geognostiche quali: prove penetrometriche eseguite nel lotto in occasione di una precedente campagna conoscitiva. Per gli aspetti sismici si è integrato le indagini geognostiche con una di tipo geofisico con tomografo digitale (HVSR).

Si specifica che questo elaborato non può essere in alcun modo esaustivo, né considerato sostitutivo delle Relazioni Geologiche e Geotecniche prescritte, ai sensi della normativa vigente (NTC 2008), per le fasi di progettazione esecutiva dei singoli interventi previsti dal piano.

Nota : IL PSC del comune di Cervia non è stato approvato, ma si ritiene che le informazioni di carattere geologico, morfologico, idrogeologico e di vincolo in esso contenute siano comunque valide e per tanto saranno di seguito utilizzate.

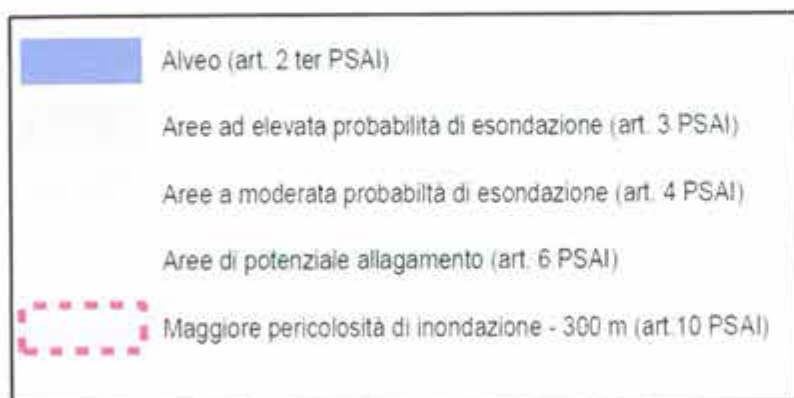
2. NORMATIVA E DOCUMENTAZIONE TECNICA DI RIFERIMENTO

2.1. normativa

- D.M. 14 GENNAIO 2008 "Nuove norme tecniche per le costruzioni"
- CIRCOLARE N° 617 del 02/02/2009 "Istruzioni per l'applicazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni"
- "Indirizzi e criteri per gli studi di microzonazione sismica in Emilia Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica" Delibera dell'Assemblea Legislativa n° 112 – Oggetto n° 2131 2 Maggio 2007

2.2 documentazione tecnica

- Raccomandazioni AGI giugno 1977 "Programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche"
- AGI, marzo 2005 "Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica, Linee Guida"
- Gruppo di Lavoro "indirizzi per la Microzonazione Sismica" Conferenza delle Regioni e Protezione Civile (2008) parti I e II



Legenda tav. QC_D.1.3 carta Tutele e vincoli alla sicurezza e vulnerabilità del territorio

6. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

La frazione di Cannuzzo è sita nell'estremità sud ovest del comune di Cervia, in una porzione di terreno compresa tra un'ansa del fiume Savio a nord, ed il canale Emiliano Romagnolo a sud. Il lotto è posto a sud del citato paese ed è limitrofo ad un'area urbana (vedi fig. 6.1 e 6.2)

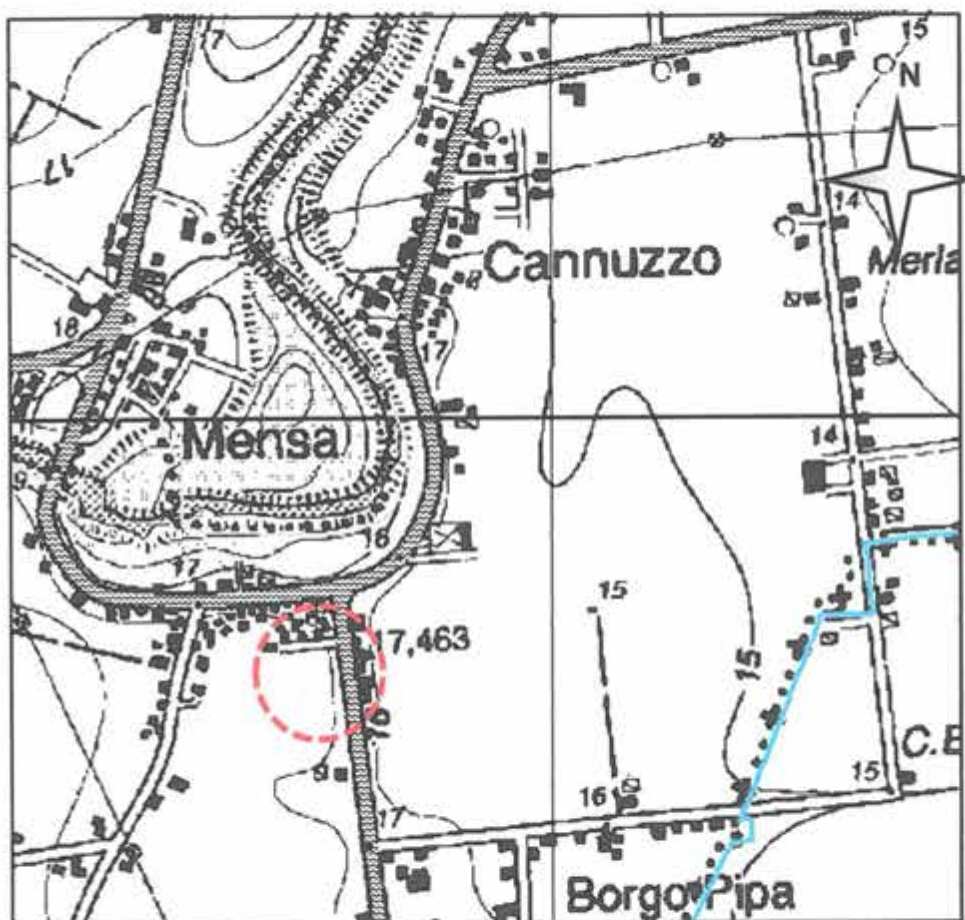


Fig. 6.1 Estratto da CTR (data base regionale)

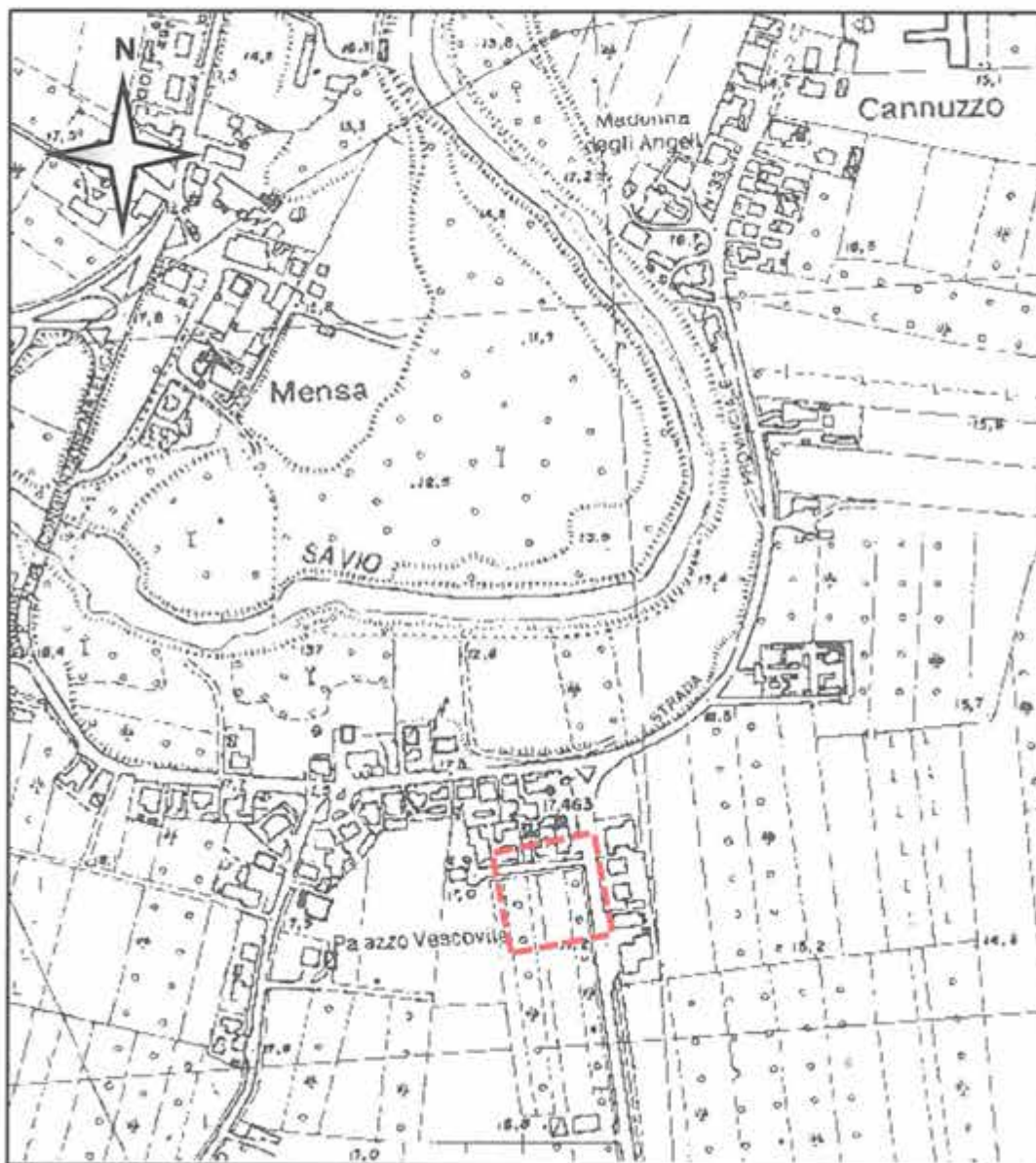


Fig. 6.2 Estratto da CTR (data base regionale)

7. ASPETTI GEO - MORFOLOGICI GENERALI

Il territorio del comune di Cervia appartiene al settore romagnolo del bacino sedimentario padano, costituito da una successione ciclica di depositi marini, deltizi, alluvionali, lagunari e palustri che poggiano su un substrato con una complessa configurazione a pieghe. Queste hanno una disposizione assiale parallela alle principali linee strutturali appenniniche, ovvero NW – SE ed hanno condizionato la successiva disposizione verticale delle coltre sedimentaria che presenta spessori notevoli e variabili dai circa 1500 m ai 2000 m. In conseguenza della molteplicità degli ambienti deposizionali i sedimenti presentano una elevata variabilità litologica degli strati, con presenza di limi, argille, sabbie, ghiaie e miscele tra di esse.

Nello stralcio riportato in fig. 7.1 sono evidenziati gli aspetti morfologici e strutturali che caratterizzano il territorio in cui è inserita l'area in oggetto. Si nota l'indicazione

di due sovrascorrimenti profondi e la presenza dell' isobata della base del pliocene, corrispondenti a -1500 m.

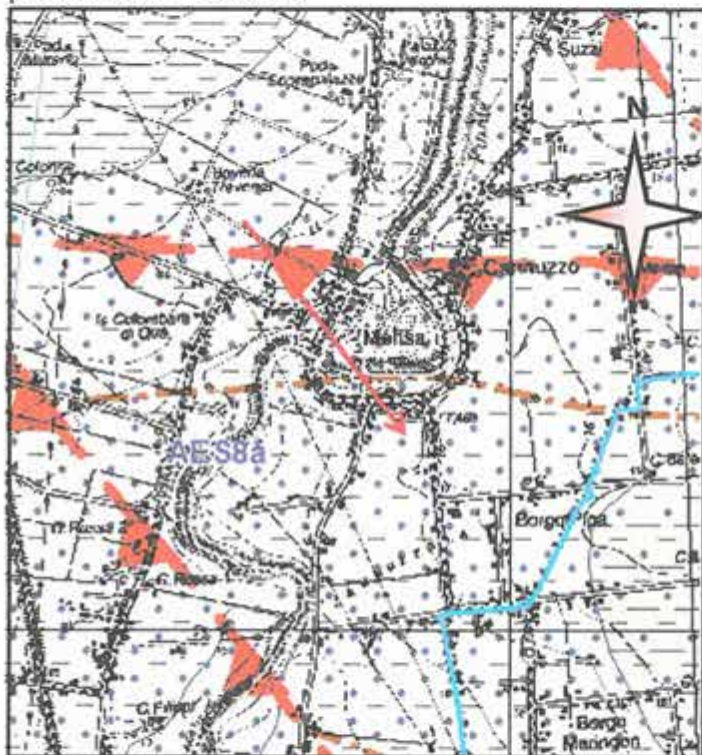


Fig 7.1 Stralcio carta geologica – geomorfologica cartografia da archivio cartografico regione E.R.

8 GEO - MORFOLOGICA LOCALE

Il lotto in oggetto ha una disposizione pianeggiante con quota di calpestio prossima a quella di via Ruggine (16 ÷ 17 m slmm). A livello generale si nota una debolissima inclinazione verso est. L'aspetto morfologico di rilievo è dovuto agli argini del fiume Savio che degradano, con dislivello di 4, 0 ÷ 5,0 m, verso il suo letto di scorrimento

L'ambiente deposizionale è riferibile a piana alluvionale con sedimenti di trascinamento fluviale indifferenziata.

L'assetto geologico è caratterizzato da un deposito di piana alluvionale limoso argilloso appartenente al Sintema Emiliano Romagnolo superiore – subsintema di Ravenna unità di Modena che è indicato con la sigla AES8. Questi costituisce l'elemento sommitale dell'Alloformazione Emiliano – Romagnolo Superiore (AES) ed è formato da sabbie, argille e limi di ambiente alluvionale, deltizio e di litorale organizzati in corpi lenticolari, nastriformi, tubolari e cuneiformi di spessore plurimetrico.

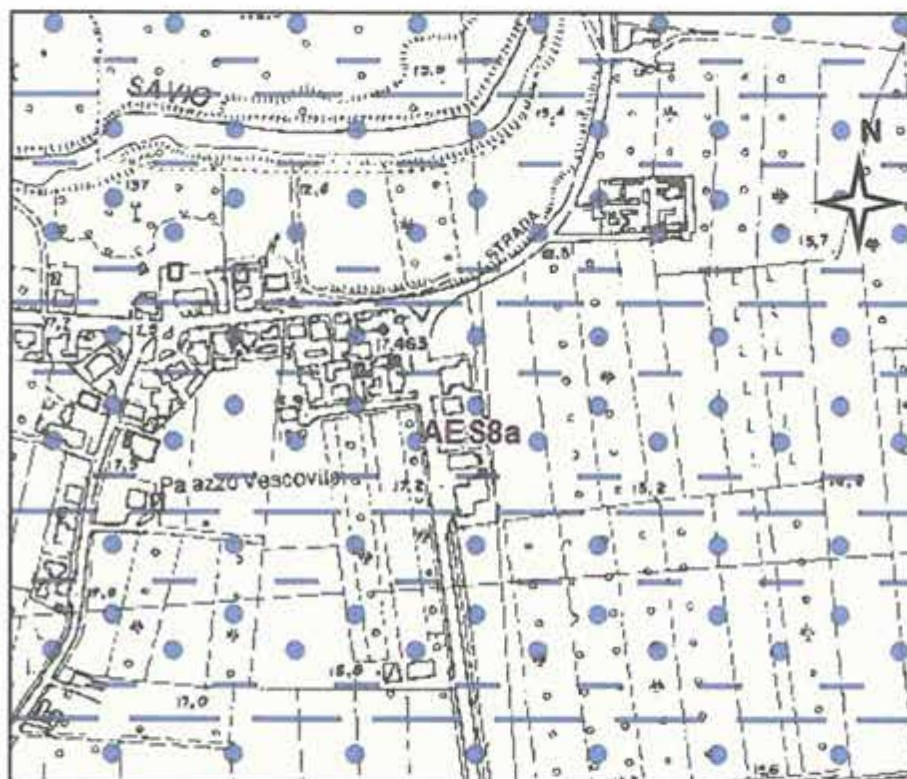


Fig. 8.1 Stralcio carta geologica da archivio cartografico regione E.R.

AES8a - Unità di Modena

Ravenna Ghiaie prevalenti e sabbie, ricoperte da una coltre limoso argillosa discontinua, talora organizzate in corpi a geometrie fenticolari, nastriformi, tabulari e cuneiformi. Depositi alluvionali intravallivi, terrazzati (primo ordine dei terrazzi nelle zone intravallive), deltizi, litorali, di conoidi e, localmente, di piana inondabile. Nella costa e nel Mare Adriatico sabbie di cordone litorale e di fronte delizia passanti ad argille e limi di prodelta e di transizione alla piattaforma. Limite superiore coincidente con il piano topografico dato da un suolo calcareo di colore bruno olivastro e bruno grigiastro. Il profilo di alterazione è di esiguo spessore (meno di 100 cm). Può ricoprire resti archeologici di età romana del VI secolo d.C. Lo spessore massimo dell'unità è generalmente di alcuni metri, talora plurimetrico. (Ducem)

9. INDAGINI GEOGNOSTICHE

Per la definizione della stratigrafia superficiale si è fatto riferimento a quattro prove penetrometriche statiche eseguite, dallo scrivente, nel lotto, in occasione di una precedente campagna d'indagine.

In questa fase si provveduto ad un'integrazione con una prova geofisica tipo HVSR.

La fig. 9.1 mostra l'ubicazione di tutte le prove effettuate nel lotto.

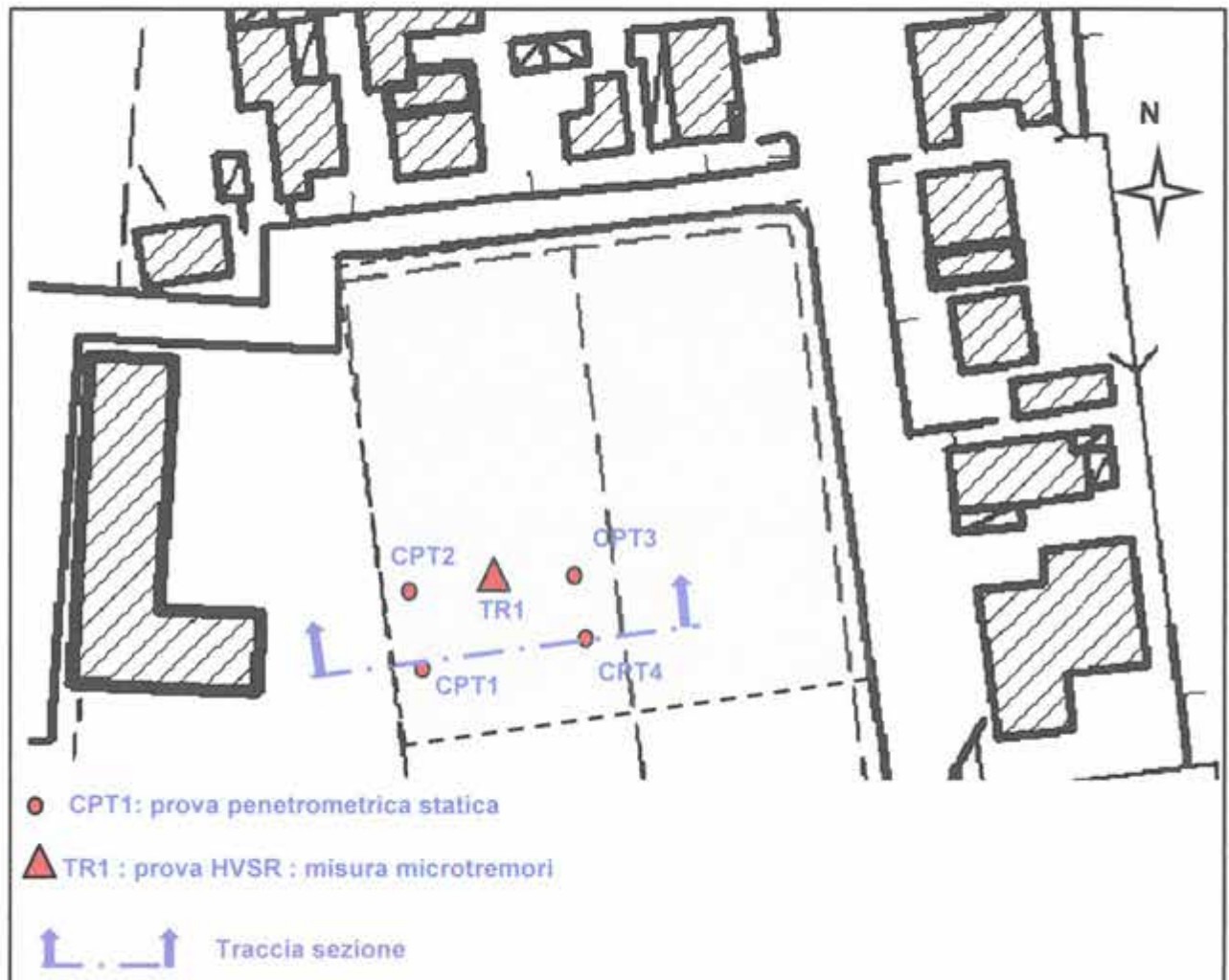


Fig. 9.1 Ubicazione delle indagini

9.1 Prova Penetrometrica CPT

La prova statica consiste nell'infissione nel terreno, prima di una punta meccanica (tipo Begemann) con area di 10 cm^2 ed angolo di apertura di 60° per la determinazione della resistenza alla punta (R_p), poi di un manicotto di frizione (superficie di 150 cm^2) per la misurazione dell'attrito laterale (R_l).

L'infissione è ottenuta forzando la punta nel terreno con avanzamento controllato (2 cm/sec) e misurando la pressione corrispondente.

I risultati della prova sono mostrati, sotto forma di tabelle nell'appendice 1 " Prove Penetrometriche Statiche *tabulati*", e nell'appendice 2 " Prove penetrometriche *grafici*" in diagrammi in cui in ascissa sono riportati i valori della resistenza alla punta (q_c) in Mpa i valori della resistenza laterale (f_s) in Mpa mentre in ordinata la profondità (in m) rispetto al p.c..

9.2 Prova sismica HVSR

La sismica passiva si basa sulla misura dei microtremori che sono sempre presenti sulla superficie terrestre e sono generati da fenomeni naturali (vento, onde marine) e artificiali (attività antropiche).

Lo strumento utilizzato per tali misurazioni è il SISMOGRAFO SLO7 C3", si tratta di un sismografo di dimensioni molto contenute che contiene tre sensori elettrodinamici ortogonali (velocimetri), un ampio intervallo frequenziale (0,1 – 300 Hz) e il sistema GPS integrato.

10. CARATTERIZZAZIONE STRATIGRAFICA

10.1 modellazione geologica profonda

La successione stratigrafica profonda è stata ricostruita sulla base delle informazioni reperibili presso l'archivio informatico della regione Emilia Romagna, nel quale sono riportati gli esiti di sondaggi geognostici ed i rapporti attinenti l'escavazione dei pozzi esplorativi AGIP. La sintesi di queste informazioni è riportata in sezioni geologiche di cui la 57, che ha il suo asse a breve distanza a sud del lotto in indagine, esemplifica la situazione locale.

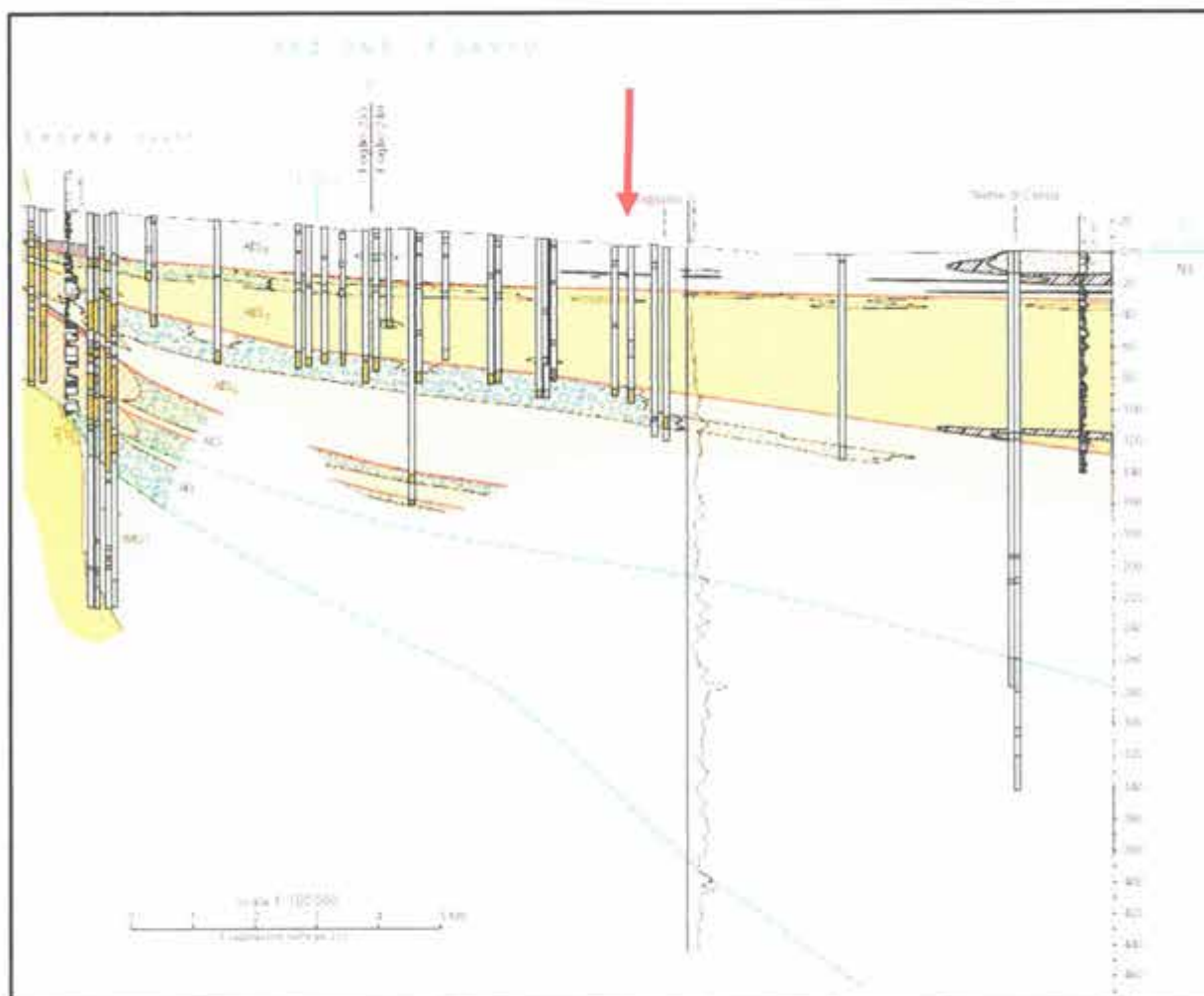


Fig. 10.1 Stralcio della sezione stratigrafica 057 (D.B. cartografico Regione E. R.)

10.2 modellazione geologica superficiale

Dal rapporto tra le resistenze (statica e laterale) misurate durante la fase d'acquisizione dati della prova penetrometrica statica con punta meccanica (CPT), è possibile stimare la struttura litologica dei terreni attraversati tramite il rapporto delle resistenze (q_c/f_s).

Il grafico sottostante mostra il rapporto resistenze (q_c/f_s) con i limiti di identificazione della composizione litologica

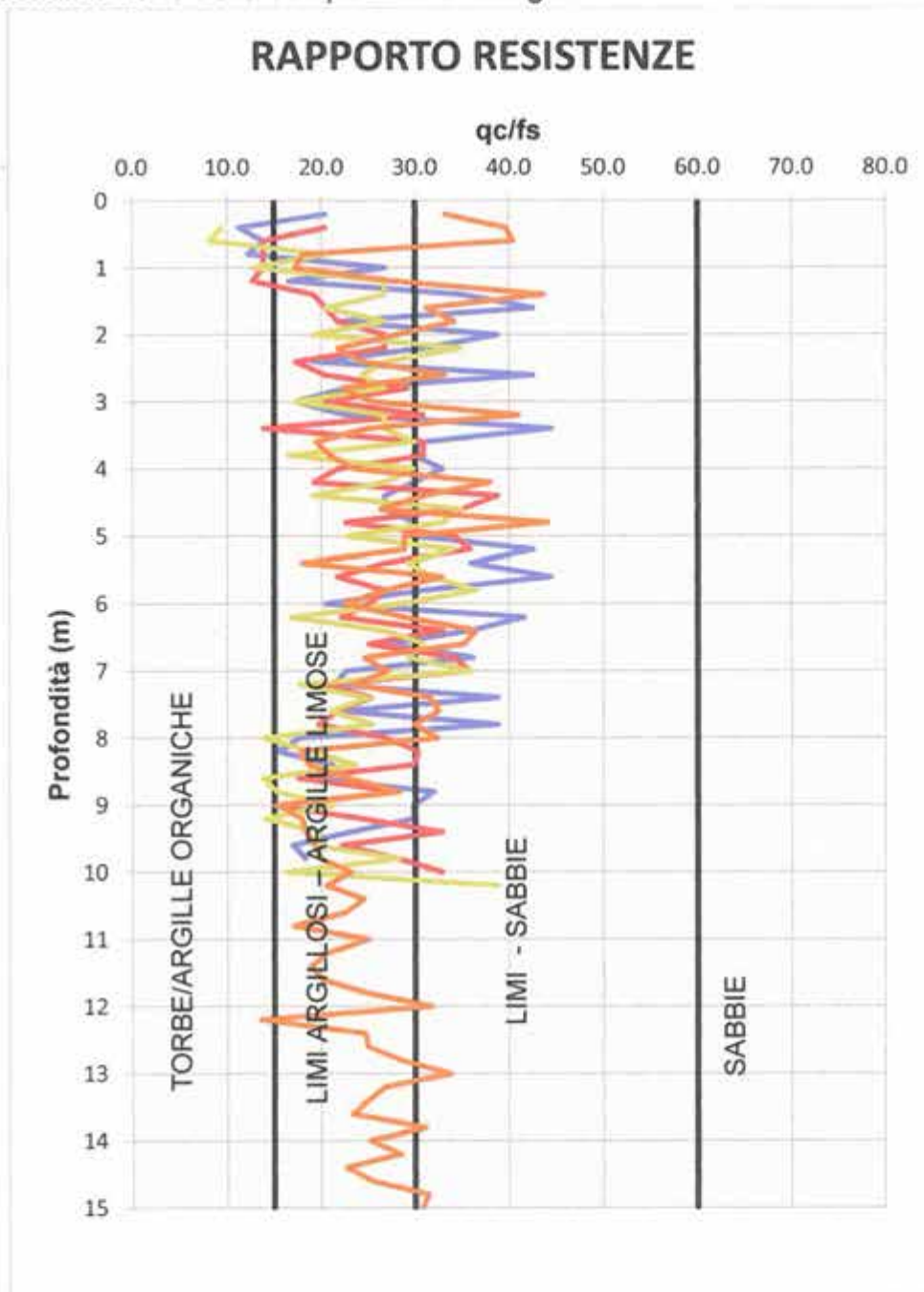


Fig.10.2

In definitiva la disposizione stratigrafica superficiale è caratterizzata da

- ◆ **Limo argilloso e/o sabbioso** da piano campagna sino alla profondità di circa 8,00 m
- ◆ **Argilla limosa e/o limo argilloso** dalla profondità di circa 8,00 m sino alla profondità di 15,00 m.

Quanto descritto è illustrato nella fig. 10.2 e nella sezione geologica di Fig. 10.3

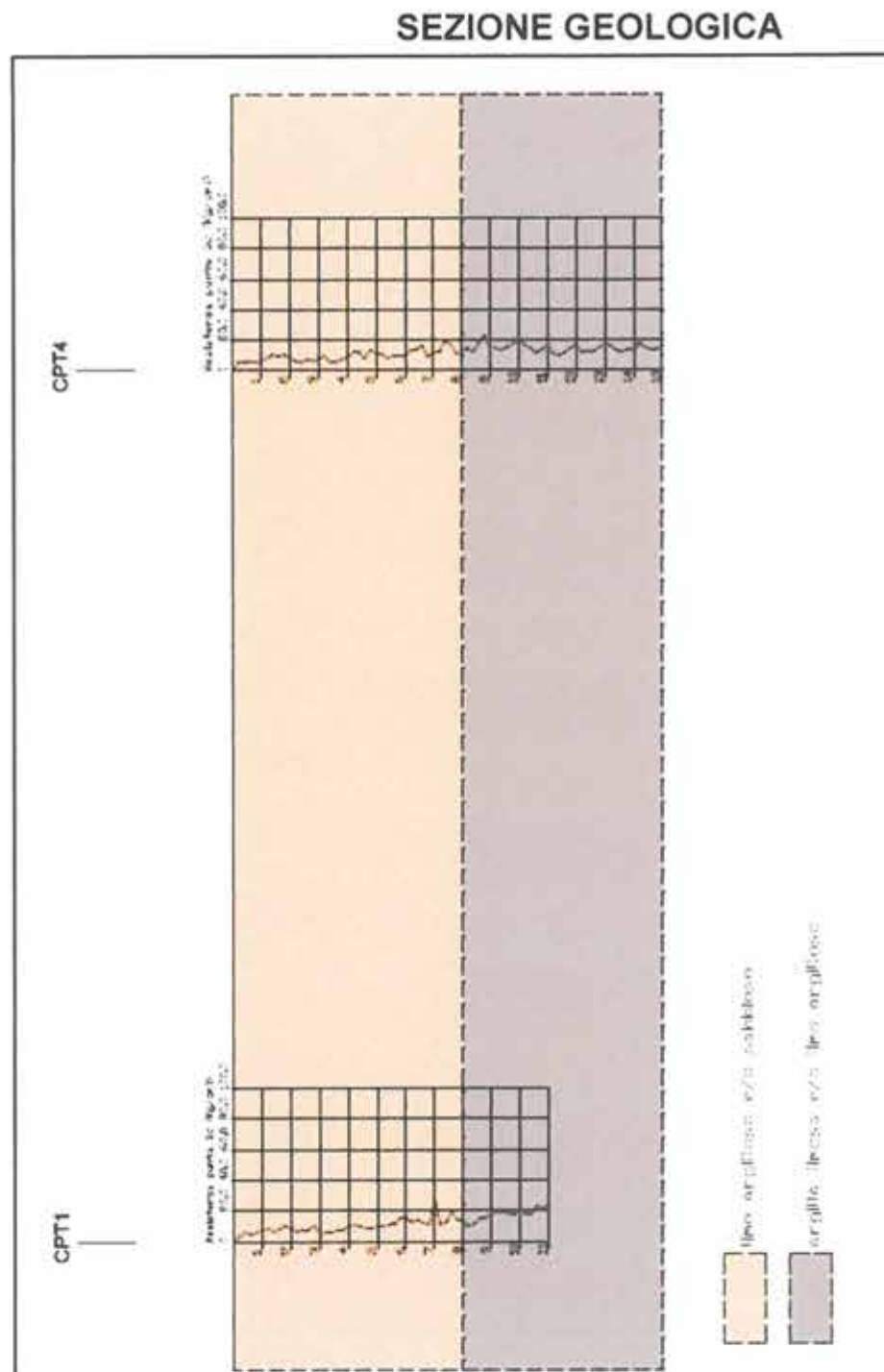


Fig. 10.3

11. MODELLAZIONE GEOFISICA

Nel lotto in indagine è stata eseguita la prova HVSR, con la quale si determina le frequenze di vibrazione del sito e mediante inversione anche la propagazione delle onde di taglio (V_s)

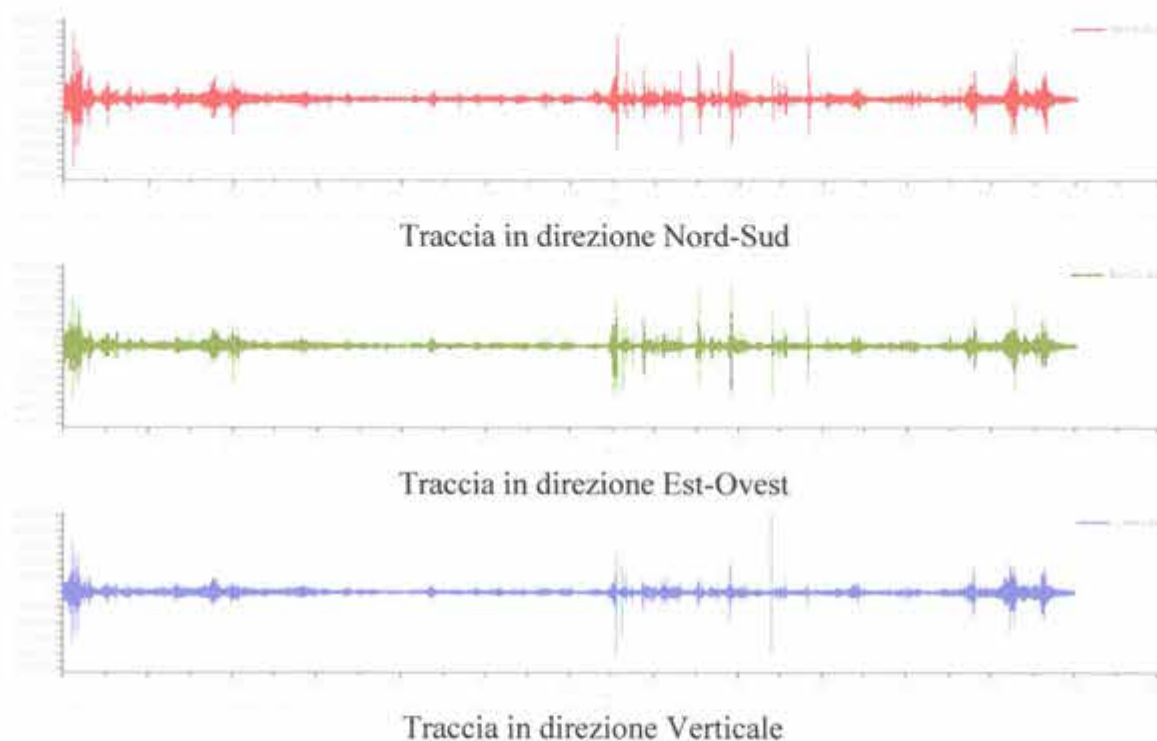
Di seguito si riporta la scheda riepilogativa della prova.

MISURA DEI MICROTREMORI : PROVA HVSR 1

Dati riepilogativi:

Numero tracce:	3
Durata registrazione:	1201 s
Frequenza di campionamento:	300.00 Hz
Numero campioni:	360300
Direzioni tracce:	Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

Grafici tracce:

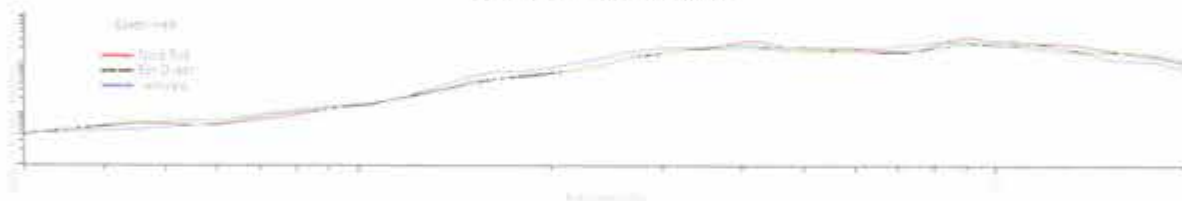


Finestre selezionate

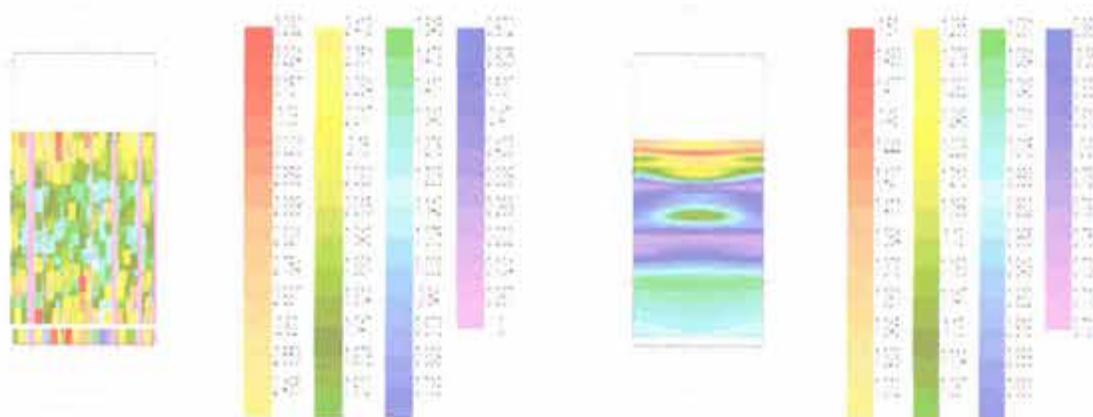
Dati riepilogativi:

Numero totale finestre selezionate:	57
Numero finestre incluse nel calcolo:	29
Dimensione temporale finestre:	20.000 s
Tipo di lisciamiento:	Konno & Ohmachi
Percentuale di lisciamiento:	10.00 %

Grafici degli spettri



Spettri medi nelle tre direzioni



Mappa della stazionarietà degli spettri

mappa della direzionalità degli spettri

Risultati:

Frequenza del picco del rapporto H/V: 15.30 Hz \pm 0.15 Hz

Grafico rapporto spettrale H/V



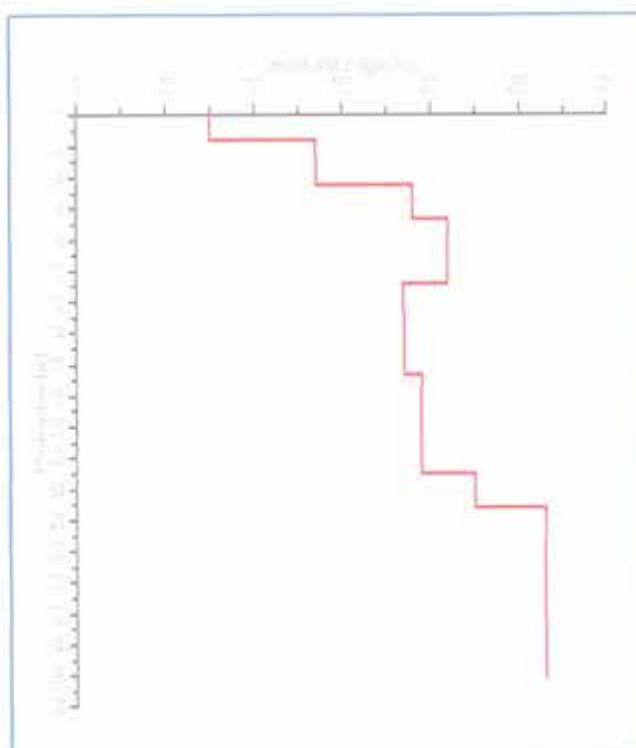
Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

Criteri per una curva H/V affidabile (tutti e 3 dovrebbero essere soddisfatti)	Esito
$f_0 > 10/l_w$	OK
$n_g(f_0) > 200$	OK
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5H$	OK
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5H$	
Criteri per un picco H/V chiaro (almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti)	
Esiste f in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f) < A_0/2$	NO
Esiste f^* in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^*) < A_0/2$	NO
$A_0 > 2$	OK
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	OK
$\sigma A(f_0) < \theta(f_0)$	OK

Modello stratigrafico

Dati della stratigrafia:

Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Velocità onde di taglio [m/s]
1	0	1.60	75
2	1.6	2.96	135
3	4.56	2.20	190
4	6.76	4.14	210
5	10.9	5.74	185
6	16.64	6.39	195
7	23.03	2.22	225
8	25.25	11,00	265



Prof fond.	VS
0,00	194 ± 19 m/sec
-1,00	196 ± 19 m/sec
-2,00	199 ± 20 m/sec

12. ESITO INDAGINE GEOFISICA

12.1 Categoria di Suolo

Con l'inversione della prova HVSR è stato definito il modello stratigrafico relativo alle Vs. In ottemperanza alle NTC è stata calcolata la velocità equivalente delle citate onde di taglio per uno spessore di 30,0 m a partire dal piano di posa delle fondazioni (0,00 m ÷ -2,00 m). La verifica dedotta dalle due prove ha identificato quanto segue:

$$\text{➤ } V_{s30} = 194 \pm 19 \text{ (m/s)} \div 199 \pm 20 \text{ (m/s)}$$

In base alla classificazione proposta nelle NTC 2008 nella Tab. 3.2. Il essendo la velocità equivalente compresa nell'intervallo 180 ÷ 360 m/s i terreni del sito in oggetto sono assimilabili alla categoria di suolo di tipo C.

C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 \leq N_{sft,30} \leq 50$ nei terreni a grana grossa e $70 \leq c_{u,30} \leq 250$ kPa nei terreni a grana fina).
---	---

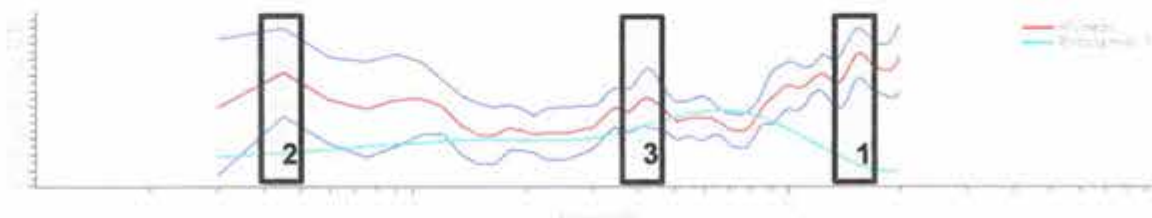
Fig. 13.1 estratto tab.3.2. Il NTC 2008

12.2 Frequenza di sito

La prova HVSR mostra esiti non concordanti specialmente nella identificazione del massimo rapporto H/V. Tale situazione non è indice di scarsa qualità delle misure, ma delle variabili incontrollabili delle stesse. L'acquisizione dei segnali di microtremori con metodologia HVSR è fortemente influenzata da vari fattori, quale le condizioni atmosferiche, la presenza di rumori antropici a rapido impulso nonché la presenza o meno di pavimentazioni rigide. Nonostante ciò la prova fornisce valide informazioni sulla risposta vibrazionale, quindi sulla frequenza, del sito.

La prova HVSR evidenziano, nell'intervallo 0,1 ÷ 20 Hz, un massimo rapporto H/V (1) pari 15,3 Hz ± 0.15 imputabile ad uno strato superficiale 3,50 ÷ 5,00 m. Si riconoscono anche altri due estremi: uno (2) pari a 0,45 ± 0.18 Hz relativo ad un riflettore sismico profondo (110,00 ÷ 120,00 m) ed uno (3) pari a 4,20 ± 0,25 Hz assimilabile ad una impedenza posta alla profondità di 15,00 m ÷ 20,00 m

Grafico rapporto spettrale H/V prova HVSR1



L'indicazione della frequenza del sito è importante per evitare l'effetto di doppia risonanza, che avviene quando la prima coincide con quella dell'edificio.

13. ASPETTI IDROGEOLOGICI ED IDROGRAFICI

I terreni presenti nel lotto, sono assimilabili ad un deposito la cui matrice predominante è la limosa argillosa e/o limosa sabbiosa. Nonostante la composizione sia tendenzialmente fine sono sede di una falda stabile attestata a quote superficiali. Al momento dell'esecuzione delle indagini in sito (maggio 2005) è stata rinvenuta una circolazione idrica alla profondità di 2,50 m da piano campagna.

Dal punto di vista idrografico ed idraulico il corso principale è il fiume Savio il quale ha il suo asse di scorrimento a poche centinaia di metri che, con il suo letto di scorrimento posto ribassato rispetto al piano campagna, costituisce un elemento di drenaggio per la zona ad esso circostante.

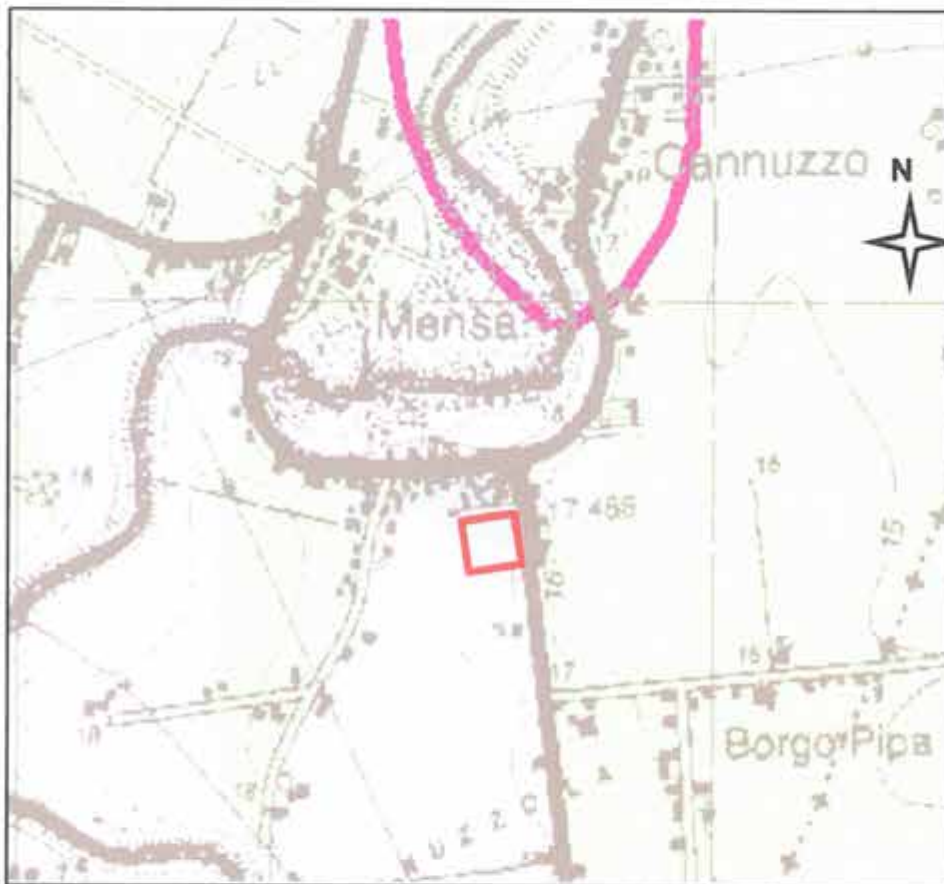


Fig 14.1 Stralcio Tav.2 All.6 "Tiranti idrici di riferimento per le aree di pianura sottoposte a rischio di allagamento" " PIANO STRALCIO OER IL RISCHIO IDROGEOLOGICO" AUTORITA DEI BACINI ROMAGNOLI

Tirante idrico di riferimento	
	Fino a 50 cm
	Da 50 a 150 cm
	Oltre 150 cm

Legenda Tav. 2 All. 6 "Tiranti idrici di riferimento per le aree di pianura sottoposte a rischio di allagamento"

15. VALUTAZIONE DELLA PERICOLOSITA' GEOLOGICA DEL SITO

Modellazione geomorfologica dell'area

L'assetto è costituito da una piana alluvionale caratterizzata da una leggera inclinazione verso est.

Stabilità della coltre superficiale

Per la valutazione del grado di stabilità delle coltri naturali in loco non si evidenziano elementi geomorfologici che denotino tendenze evolutive verso quadri di dissesto o di instabilità.

Considerazioni sulla stabilità generale dell'area.

Nel complesso, allo stato attuale, il tratto considerato è da ritenersi stabile e non interessato da dissesti. Si ritiene inoltre che le opere realizzate non vadano a generare fenomeni di dissesto o di disequilibrio geomorfologico

16. ANALISI DI PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE

16.1 Coefficienti sismici di base e di progetto come da metodo semplificato NTC 2008

I parametri generali del lotto e dell'opera sono:

Latitudine ED 50:	44.230412
Longitudine ED50 :	12.238899
Tipo opera:	edificio residenziale
Classe d'uso:	Classe II
Vita nominale:	50.0 [anni]
Vita di riferimento:	50.0 [anni]

In base alle coordinate del sito è possibile determinare i parametri sismici base di riferimento

stato limite	Tr	ag/g	Fo	Tc
	(anni)	(-)	(-)	(sec)
SLO	30	0.055	2.442	0.264
SLD	50	0.070	2.428	0.280
SLV	475	0.186	2.429	0.304
SLC	975	0.244	2.420	0.299

Tab.1

I terreni del lotto in indagine sono stati classificati (vedi par. 12.1) come di categoria "C" Questa distinzione permette di determinare l'equazione per la definizione del coefficiente stratigrafico (Ss) che è:

$$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot Fo \cdot ag/g \leq 1,50$$

Dove:

Fo = fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima

ag = accelerazione orizzontale di base

g = accelerazione di gravità (9,81 m/sec²)

Stato limite	Ss
SLO	1,50
SLD	1,50
SLV	1,43
SLC	1,35

Tab.2

Il lotto in indagine appartiene ad un ambito di pianura per cui il coefficiente topografico (S_T) è pari ad 1.

L'accelerazione massima attesa in superficie a ciascun limite è definita dalla relazione seguente:

$$a_{max} = a_g \cdot S_T \cdot S_S$$

Coefficienti sismici orizzontali e verticali per fondazioni superficiali

stato limite	a_{max}/g	beta	Kh	Kv
	(-)	(-)	(-)	(-)
SLO	0,083	0,20	0,0165	0,0083
SLD	0,105	0,20	0,0210	0,0105
SLV	0,266	0,24	0,0638	0,0319
SLC	0,329	0,28	0,0919	0,0460

Tab.3

16.2 Secondo livello di approfondimento "Coefficienti di amplificazione" come da delibera E.R. 112

La disposizione stratigrafica profonda (10.1) illustra una situazione riconducibile ad un ambito di pianura in cui si alternano sabbie e peliti, di ampi spessori che si alternano a livelli di ghiaia, con substrato profondo (>100m da p.c.). Questa situazione, nella citata delibera, è denominata PIANURA 2 per la quale i coefficienti di amplificazione di riferimento sono quelli mostrati nelle tabelle seguenti.

F.A. PGA

V_{s30}	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
F.A.	1.5	1.5	1.5	1.4	1.4	1.4	1.3	1.1	1.0	1.0

Tab.4

F.A. INTENSITA' SPETTRALE – 0.1s<T₀<0.5s

V_{s30}	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
F.A.	1.8	1.8	1.7	1.7	1.5	1.4	1.3	1.2	1.0	1.0

Tab.5

F.A. INTENSITA' SPETTRALE – 0.5s<T₀<1.0s

V_{s30}	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
F.A.	2.5	2.3	2.3	2.0	1.8	1.7	1.7	1.5	1.2	1.0

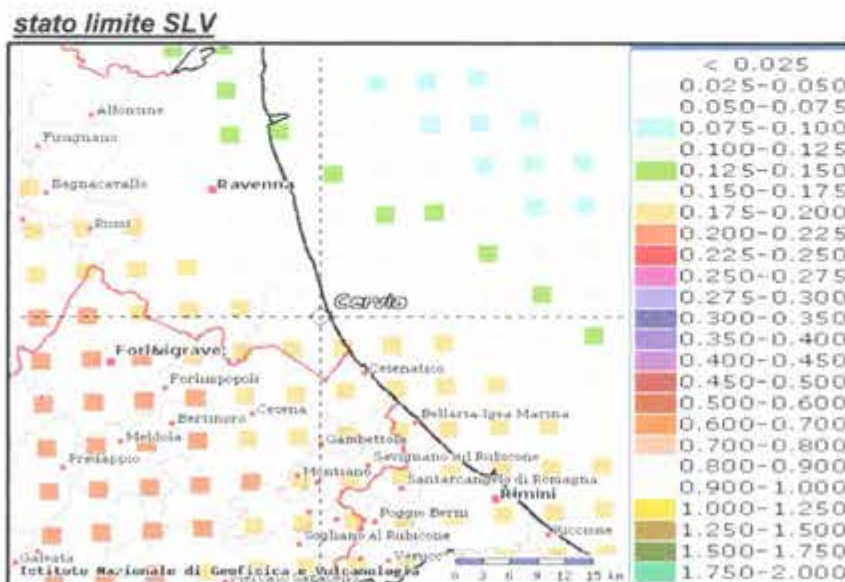
Tab.6

Il modello stratigrafico di par. 12 mostra una velocità equivalente (V_{s30}) delle onde sismiche prossime a 200 per cui, per il lotto in indagine i coefficienti da prendere in considerazione sono quelli corrispondenti a tale valore e che nelle tabelle 4,5 e 6 sono evidenziati con il colore in giallo.

16.3 Pericolosità sismica di riferimento

La pericolosità sismica di un sito, è definibile con il metodo della disaggregazione fornito dall'INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia).

L'esame della mappa evidenzia, per lo stato limite SLV, valori compresi tra 0.175 e 0.200

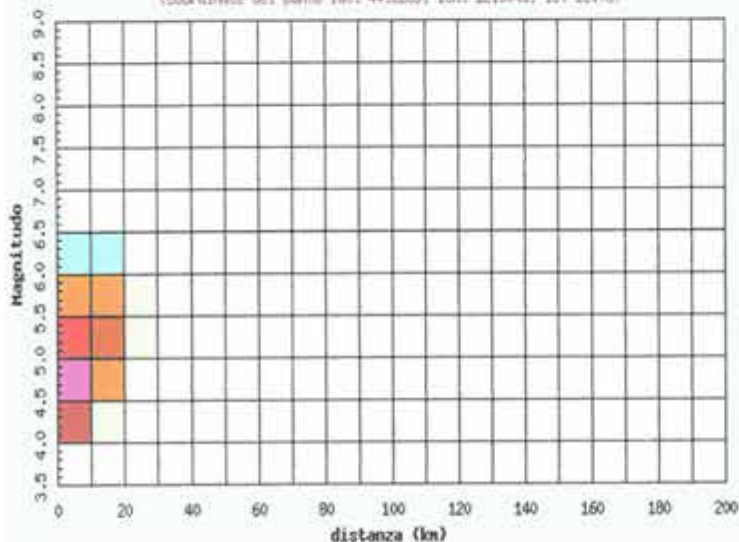


Di seguito si riportano i risultati dell'analisi di disaggregazione in forma grafica e tabellare in cui sono sintetizzati i terremoti, descritti in funzione della coppia magnitudo (M_w) – distanza (R) che contribuiscono al valore di PGA atteso al sito allo stato SLV

Distanza in km	Disaggregazione del valore di $a(g)$ con probabilita' di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto lat: 44.2289, lon: 12.3043, ID: 18076)										
	Magnitudo										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.000	12.600	24.700	15.500	8.440	1.090	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10-20	0.000	2.680	8.940	9.920	7.990	1.150	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20-30	0.000	0.019	0.661	2.030	2.520	0.559	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
30-40	0.000	0.000	0.001	0.188	0.623	0.215	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
40-50	0.000	0.000	0.000	0.003	0.117	0.087	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
50-60	0.000	0.000	0.000	0.000	0.011	0.032	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000
60-70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
70-80	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
80-90	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
90-100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
100-110	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
110-120	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
120-130	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
130-140	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
140-150	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
150-160	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
160-170	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
170-180	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
180-190	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
190-200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia
 Disaggregazione del valore di a(g) con probabilit  di eccedenza
 del 10% in 50 anni

(Coordinate del punto lat: 44.2289, lon: 12.3043, 10: 18076)



Valori medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
5.060	9.410	0.853

La sismica di base   stata aggiornata in seguito alla pi  recente revisione della macrozonazione sismogenetica del territorio (30/06/2015), prodotta dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). Attualmente, essa rappresenta il pi  recente ed aggiornato riferimento per gli studi di pericolosit  sismica del territorio italiano: la fig.16.1 mostra come l'area oggetto della presente   posta a breve distanza dalla zona sismogenetica ITCS011 ascensione - armaica e ITCS011 caratterizzata da una magnitudo (Mw) pari a 6

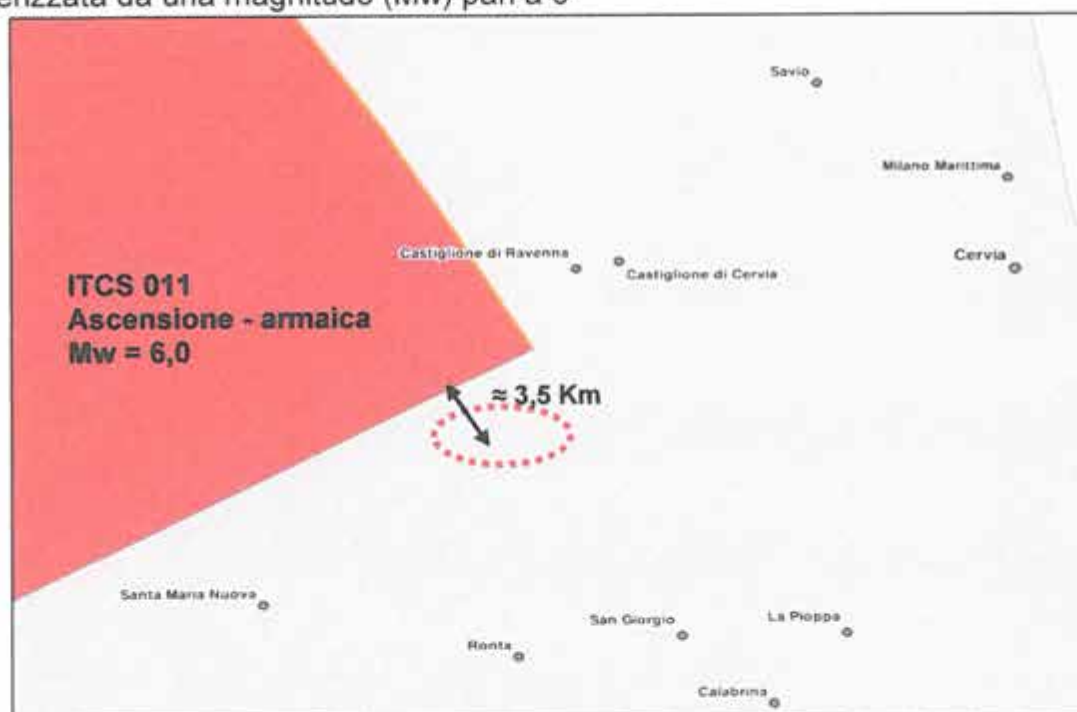


Fig. 16.1 estratto dal data base DISS 3.2 del INGV

17. LIQUEFACIBILITA' DEI TERRENI

La liquefazione è quel processo che in caso di sisma può interessare un deposito sabbioso eo sabbioso limoso saturo, in pratica l'aumento delle pressioni interstiziali, prodotto da un evento ciclico (sisma) riduce la resistenza di taglio causando la perdita di stabilità della massa di terreno. Di conseguenza s'instaurano delle deformazioni permanenti con assestamenti più o meno corposi in funzione della nuova resistenza di taglio.

Per la valutazione del potenziale di liquefazione si procede mediante la procedura semplificata secondo il metodo deterministico con il quale si definisce un coefficiente di sicurezza nei confronti della liquefazione (FSL) e quello probabilistico.

17.1. Scelta dell'accelerazione al suolo

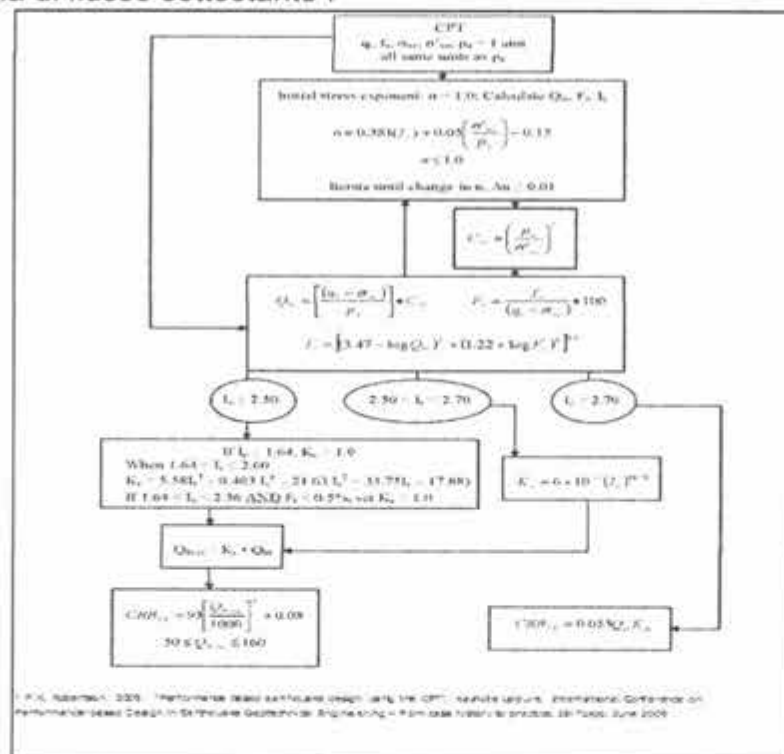
Con riferimento al coefficiente amplificativo come da delibera E.R 112 (vedi tab. 4) deriva un' accelerazione sismica al suolo pari pari a 0,279 g.

17.2. Scelta magnitudo

Il lotto in indagine è prossimo alla zona sismogenetica ITCS011 (vedi Fig. 16.1) per tanto, come suggerito dal Gruppo di Lavoro MS (2008) negli "Indirizzi e criteri per la Microzonazione Sismica" si farà riferimento alla magnitudo massima ad essa associata (Mw = 5.6).

17.3. Approccio deterministico

Il potenziale di liquefazione, di ogni strato in cui è suddiviso il sottosuolo, viene stimato mediante la definizione della capacità di resistenza (CRR) del terreno e della tensione indotta dal terremoto (CSR). Il metodo utilizzato è quello di Robertson (2009), il quale individua la CRR dalle prove penetrometriche statiche come da diagramma di flusso sottostante :



Il rapporto tra la CRR e la CSR, applicando due fattori correttivi: di scala per la magnitudo (MSF) e per tener conto delle pressioni litostatiche ($K\sigma$), costituisce il fattore di sicurezza alla liquefazione (FSL), ovvero:

$$FSL = CRR / (CSR \cdot MSF \cdot K\sigma)$$

La CSR è legata alla sismicità della zona in esame attraverso l'accelerazione massima attesa (vedi Par. 17.1), mentre la CRR si determina attraverso i risultati della prova penetrometrica statica. L'analisi è articolata con calcolo riferito alla resistenza statica alla punta (q_c) secondo il passo strumentale (20 cm d'avanzamento) con la correzione che tiene conto della quantità della frazione fine. Il fattore di scala magnitudo (MSF) è stato determinato secondo le raccomandazioni dell'autore stesso (Robertson), il quale propone l'espressione consigliata dalle NCEER che, per terremoti con magnitudo inferiore a 7,5 indicano la relazione seguente:

$$MSF = (7.5/M_w)^{2.95}$$

Di seguito si riporta il grafico del coefficiente di sicurezza (FSL) con il limite discriminante (1,25) tra liquefacibile e non liquefacibile.

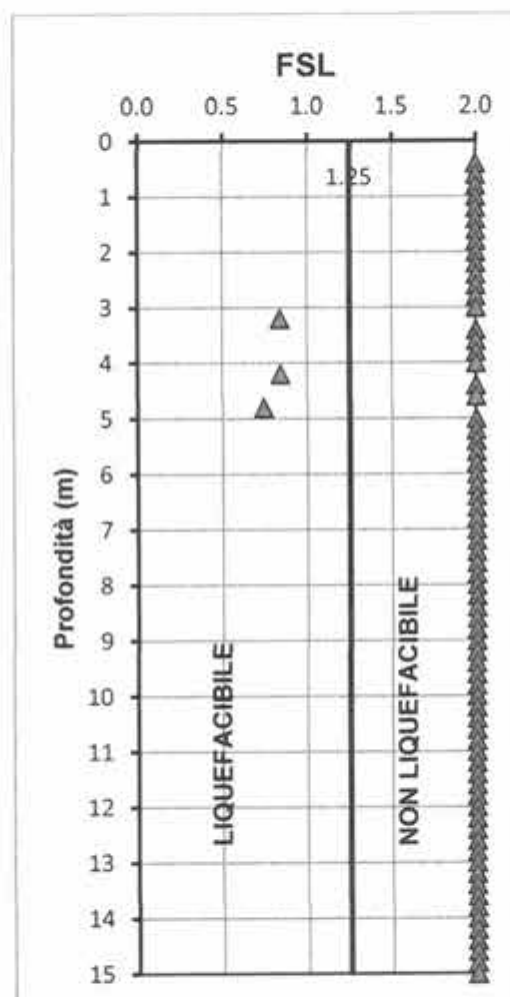


Fig. 17.1

Una misura integrale degli effetti della liquefazione per ogni singola verticale è possibile facendo riferimento agli studi di Iwasaki et al, il quale ha introdotto l'indice del potenziale di liquefazione (LPI) definito dall'equazione seguente:

$$LPI(z) = F(z) \times W(z) \times dz \quad \text{ovvero} \quad LPI = \sum LPI(z) \quad (1)$$

Dove :

F(z) = fattore funzione di FSL come da indicazioni di Sonmez (2003) riferito ad un FSL < 1,4

W(z) = 10 - 0,5 x z

z = profondità dal piano campagna

dz = spessore dello strato considerato

Il valore dell'indice del potenziale di liquefazione è associato ad una classe di pericolosità come da tabella sottostante:

classi di pericolosità di liquefazione secondo Sonmez (2003)

Indice del potenziale di liquefazione LPI	Potenziale di liquefazione
LPI = 0	nulla
0 < LPI < 2	bassa
2 < LPI < 5	moderata
5 < LPI < 15	alta
LPI > 15	molto alta

Tab.5

Nel caso in esame, a piano campagna, è emerso quanto riportato nella tabella seguente:

Prova	LPI	Pericolosità
CPT4	1.09	Bassa

Tab.6

17.4 Approccio probabilistico

Questa procedura prevede la definizione dell'indice di probabilità di liquefazione (LPbl) quale misura globale e cumulativa della probabilità di inizio di liquefazione corrispondente alla totalità della verticale esaminata. L'espressione a cui si fa riferimento è la seguente:

$$LPbl = \sum P_L(z) \cdot W(z) \cdot d(z) \quad (2)$$

Dove:

P_L(z) = fattore indicante la probabilità d'inizio liquefazione (Juang et al 2002)

W(z) = 10 - 0,5 x z

dz = spessore dello strato considerato

La relazione (2) è simile alla (1) con la differenza che, l'indice che si ottiene rappresenta la probabilità di liquefazione mediata e pesata sull'intera verticale. Il valore dell'indice è quindi associato ad una classe di probabilità, come da tabella seguente:

Classi di probabilità di liquefazione secondo CHEN e Juang (2000)

Probabilità di liquefazione LPbl	classe di probabilità
LPbl > 85	liquefazione quasi certa
65 ≤ LPbl < 85	liquefazione molto probabile
35 ≤ LPbl < 65	liquefazione e non liquefazione ugualmente probabili
15 ≤ LPbl < 35	liquefazione improbabile
LPbl < 15	non liquefazione quasi certa

Tab.6

Prova	LPbl	Classe di probabilità
CPT4	3.3	non liquefazione quasi certa

Tab. 7

17.5 Cedimenti Post-sismici

La stima dei cedimenti post-sismici si basa sulla valutazione della deformazione volumetrica [ϵ_v (%)] indotta a seguito dell'addensamento nei terreni granulari ed alla riconsolidazione per dissipazione delle pressioni interstiziali nei terreni fini. Di seguito si procede a questa verifica facendo riferimento:

per i terreni granulari

alle indicazioni di Zhang et al. il quale relaziona la deformazione volumetrica al coefficiente di sicurezza (FS) ed alla resistenza statica normalizzata $qc1N_{cs}$ come definita da Robertson, secondo il grafico seguente:

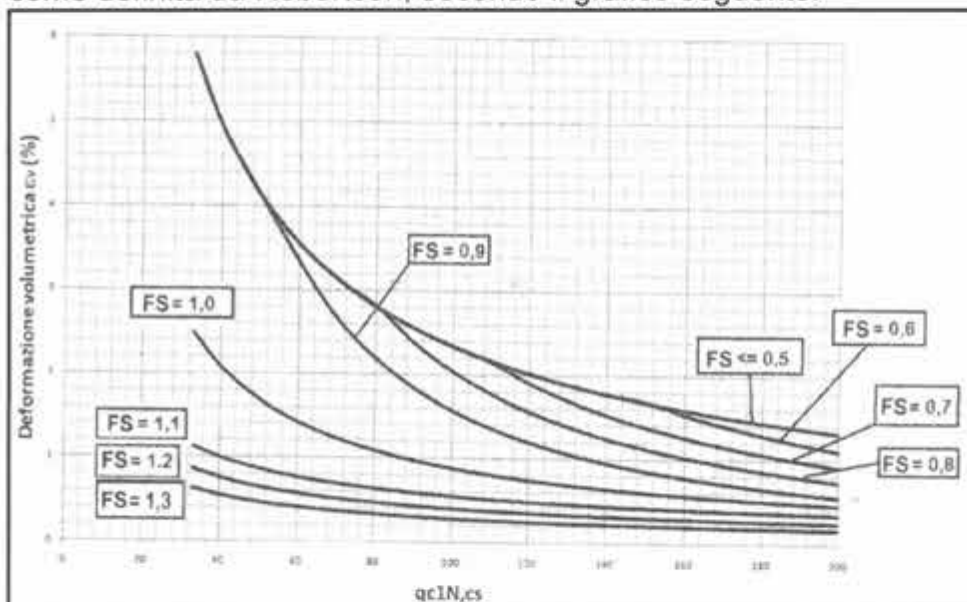


Fig.17.2

per i terreni fini

al metodo proposto da Robertson (2009) il quale prevede la definizione di un coefficiente di sicurezza nei confronti della deformazione post_sismica pari al 3%

per un terremoto di magnitudo pari a 7,5. Si procede apportando la correzione con il coefficiente MSF ed applicando le relazioni proposte dall'autore.

In entrambe le situazioni il cedimento è definito dall'espressione seguente:

$$s = \varepsilon_v \cdot H$$

dove:

ε_v = deformazione volumetrica post-sismica

H = spessore dello strato considerato

Di seguito si riporta la tabella riassuntiva

<i>Prova</i>	<i>Cedimento (cm)</i>
CPT4	2.6

Tab.8

17.6 Considerazioni sulla liquefazione

E' noto che gli effetti della liquefazione sono massimi in superficie e per la stima di essi sono stati introdotti vari indici, quali somma integrale sulla verticale. E' a questi che si fa riferimento nella formulazione di un giudizio sulla pericolosità e probabilità di liquefazione dei terreni di un sito, nonché sugli effetti indotti. Nel caso in esame l'indice derivante dalla elaborazione deterministica (LPI) fornisce una valutazione (sempre sulla intera verticale) di pericolosità bassa. Mentre la stima probabilistica evidenzia un valore di L_{pbl} (indice del potenziale di liquefazione) compreso nell'intervallo per il quale si assume una condizione di non liquefacibile. In definitiva dalle informazioni dedotte dalla elaborazione deterministica e probabilistica emerge, nei riguardi della liquefazione dei terreni del lotto indagato, la situazione seguente:

- La pericolosità sulla verticale bassa
- Il livello di probabilità: non liquefacibile quasi certa
- cedimenti contenuti

Questi effetti sono concentrati su tre livelli spessi 20 cm localizzati, in maniera non continuativa, nell'intervallo compreso tra le profondità di -3,00 m e - 5,00 m.

In ultima analisi si fa presente che: la verifica alla liquefazione è stata condotta per intervalli molto modesti (20 cm) con conseguente valutazione più critica rispetto a spessori maggiori, ritenuti da molti autori più appropriati (le informazioni bibliografiche indicano l'uso di uno spessore minimo di 1,00 m).

18. ORIENTAMENTI GEOTECNICI

Nel grafico sottostante sono rappresentati i segnali della resistenza statica alla punta (q_c) delle prove penetrometriche. Dalla loro disposizione è possibile affermare che la disposizione stratigrafica superficiale (sino a 15,0 m) è discretamente omogenea.

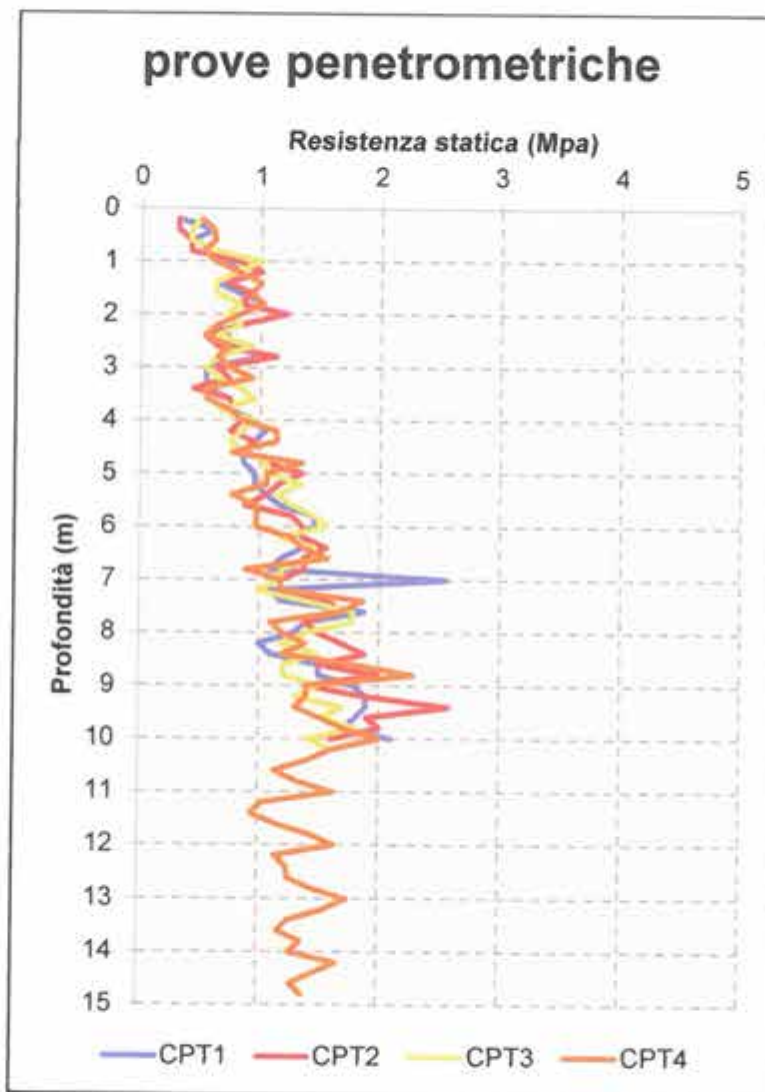


Fig. 18.1

Un assetto di questo tipo presuppone una buona correlabilità anche in termini di qualità geomeccanica. I terreni per uno spessore di circa 5,00 m sono dotati di una mediocre consistenza, infatti in questo intervallo la resistenza statica alla punta q_c è attestata su valori inferiori a 1,0 Mpa. Il livello sottostante è dotato di una resistenza superiore, mediamente compresa tra 1,0 Mpa e 2,0 Mpa.

Le penetrometriche eseguite nel comparto consentono una caratterizzazione geotecnica di massima dei terreni investigati, che dovrà essere opportunamente affinata nelle analisi geotecniche da prevedersi per le successive fasi progettuali dei singoli lotti edificabili, come d'altra parte richiede la normativa. In questa fase è possibile offrire una valutazione del comparto in termini di fattibilità di massima degli interventi previsti, sulla base delle proprietà geolitologiche, idrogeologiche e meccaniche dei sedimenti e degli esiti della analisi sismiche.

Le prove penetrometriche CPT permettono una preliminare valutazione delle pressioni ultime (Qult) del terreno, in grado di fornire un confronto della qualità geotecnica dei sedimenti estrapolabile alla totalità del sito. Le relazioni speditive per la stima delle pressioni ultime relative a fondazioni nastriformi, sono le seguenti:

$$\text{per terreni coesivi} \quad Q_{ult} = 0.26 \cdot q_m + \sigma_v' \quad (1)$$

$$\text{per terreni incoerenti} \quad Q_{ult} = 2800 - 0.52 \cdot (300 - 0.01 \cdot q_{cm})^{1.5} \quad (2)$$

dove:

q_{cm} = resistenza statica media nello strato immediatamente sotto le fondazioni per uno spessore pari a $1,5 \cdot B$ (Schmertmann)

B = larghezza della fondazione

σ_v' = tensione litostatica effettiva al piano d'appoggio della fondazione.

La stima delle pressioni ultime permette un rapido confronto della qualità geotecnica dei terreni nell'ipotesi di fondazioni superficiali sottoposte a carico verticale centrato; inoltre consente di ottenere esiti confrontabili tra loro evidenziando eventuali differenze delle caratteristiche geotecniche tra le varie prove penetrometriche.

Questa procedura consente, in definitiva, un approccio generale di valutazione geotecnica, basata sugli esiti di portanza ultima. Questo metodo prevede una distinzione in tre classi geotecniche:

1. *CLASSE I* : il sottosuolo è caratterizzato da una mediocre qualità geotecnica, con frequenti e/o potenti intervalli con resistenze alla punta $q_c < 1,0$ Mpa. Pressioni ultime in termini di rottura < 200 Kpa. Questi terreni presentano limitazioni all'adozione di fondazioni superficiali in relazione alle pressioni d'esercizio e dei cedimenti assoluti e differenziali. Ciò non preclude l'edificazione, ma questa dovrà essere preceduta da indagini geognostiche accurate e da analisi di iterazione terreno struttura dettagliate.
2. *CLASSE II* : terreni contraddistinti da qualità geotecnica media, con una resistenza statica alla punta attestata su valori compresi tra di $1,0$ Mpa e $2,2$ Mpa e con pressioni ultime in termini di rottura comprese tra 200 Kpa e 500 Kpa. Si tratta di aree edificabili con normali tecniche costruttive per edifici strutturati in modo tale da non eccedere come pressione d'esercizio 150 Kpa, con intensità maggiori sono possibili limitazioni in relazione ai cedimenti assoluti e differenziali, che dovranno essere valutati attentamente.
3. *CLASSE III* : il terreno è caratterizzato da buone qualità geotecniche con, in generale resistenza alla punta maggiori di $2,2$ Mpa e con pressioni ultime in termini di rottura maggiori di 500 Kpa. L'edificabilità in queste aree è possibile con normali tecniche costruttive anche per edifici con pressioni d'esercizio maggiori di 150 Kpa, fermo restando le doverose verifiche analitiche di geotecnica.

Nel caso in esame si è considerata l'adozione di una fondazione nastriforme ($B = 1,2$ m) con piano di posa alla profondità di $2,50$ m da piano campagna (costruzione di un edificio con un piano interrato). I risultati di portanza ultima sono presentati nel grafico sottostante il quale evidenzia che: il comportamento è ascrivibile, seppur di poco, alla zonizzazione corrispondente alla Classe II".

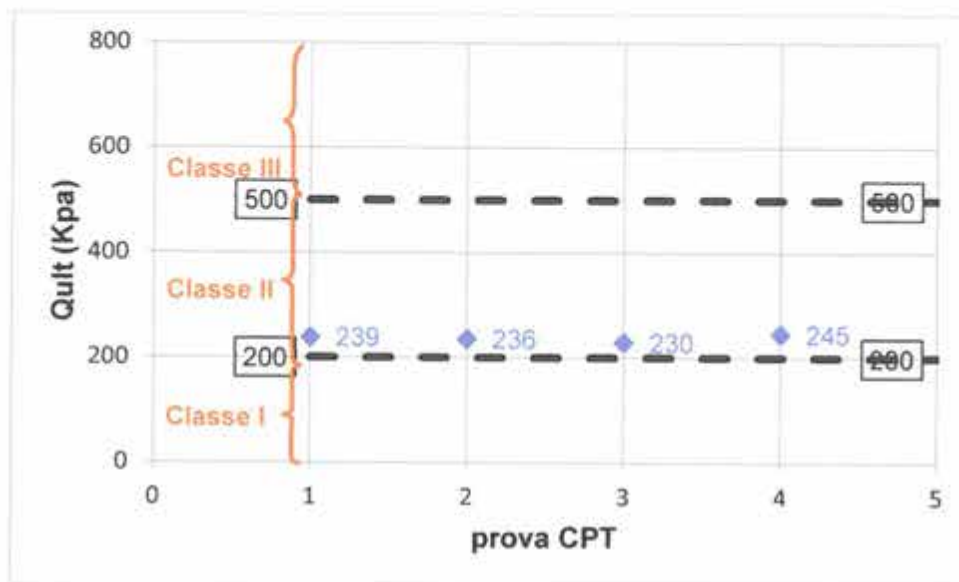


Fig. 18.2

19. CONSIDERAZIONI FINALI

Nei paragrafi precedenti sono state indicate le indagini geognostiche e geofisiche eseguite ex novo, e sono state messe in evidenza le caratteristiche geologiche, morfologiche, idrogeologiche, sismiche del sito in oggetto.

In ultima analisi si riassumono di seguito i risultati dello studio, descritti nei rispettivi capitoli, ai quali si rimanda per un maggior dettaglio.

- **CONTESTO GEOLOGICO:** le indagini geognostiche e geofisiche eseguite in questo contesto confermano l'assetto proposto dalle carte regionali. Al paragrafo 10 è descritto lo schema geologico profondo, mentre la fig. 10.3 (sezione geologica) illustra quello superficiale. In sintesi la situazione stratigrafica locale è caratterizzata dalla presenza di un deposito limoso argilloso e/o sabbioso per uno spessore di circa 8,00m m passante ad argilla limosa e/o limo argilloso sino alla profondità di 15,00 m
- **CONTESTO IDROGEOLOGICO:** il deposito è sede di una falda freatica stabile attestata alla profondità di 2,00 m. La composizione litologica dello strato superficiale gli conferisce delle proprietà idrologiche discrete, con una permeabilità ed una capacità di drenaggio medie.
- **PERICOLOSITA' SISMICA:** L'analisi di secondo livello (delibera E.R. n° 112) indica un fattore d'amplificazione locale dell'accelerazione (PGA) pari 1,50, mentre quello determinabile con il metodo semplificato di NTC è pari a 1,43. La propagazione delle onde di taglio è stata valutata con la prova Hvsr ed il loro andamento in rapporto alla profondità è riportato al par 11, ed è emerso un suolo di categoria C.
- **LIQUEFACIBILITA' DEI TERRENI:** la verifica analitica della suscettibilità alla liquefazione rapportata all'intera verticale evidenzia una potenzialità bassa ed un grado di probabilità assimilabile a non liquefacibile quasi certo. La stima dei cedimenti mostra valori contenuti, ma che, comunque, dovranno essere teneri in conto in sede di progettazione.

- **ORIENTAMENTI GEOTECNICI:** Il lotto è caratterizzato da uno strato superficiale con caratteristiche geomeccaniche medie, le quali gli conferiscono quegli aspetti da renderli idonei ad essere sede di fondazioni di edifici in genere. La stima di massima della pressione ultima in termini di rottura è pari a 230 Kpa + 245 Kpa da cui ne deriva che i terreni del lotto in indagine sono ascrivibili nella classe II, ossia ad una situazione in cui di area utilizzabile per scopi edificatori con le normali tecniche costruttive.

19. PRESCRIZIONI:

- ❖ **di carattere idrogeologico :** la falda ha un suo livello medio a quote prossime al piano campagna. Nel caso in cui i progetti prevedano la costruzione di un piano interrato si dovrà effettuare gli scavi in periodo di massima magra onde evitare un abbattimento forzato del suo livello.
- ❖ **sulla sismicità :** L'analisi di secondo livello ha individuato un coefficiente d'amplificazione maggiore di quello indicato dalle NTC. Ne deriva che la normativa è insufficiente a tenere in considerazione i possibili effetti d'amplificazione litologici locali. In fase di progettazione si dovrà fare riferimento a quanto indicato dall'analisi di secondo livello (delibera E.R. n° 112) o in alternativa procedere ad un'analisi di terzo livello.
- ❖ **Sugli orientamenti geotecnici:** In fase progettuale dovrà essere valutata con attenzione l'iterazione terreno struttura con le opportune verifiche di geotecnica e ponendo particolare attenzione alla identificazione dei cedimenti assoluti (immediati e di consolidamento) ed a quelli differenziali.



APPENDICE 1

**PROVE PENETROMETRICHE STATICHE
(CPT)**

TABULATI

Caratteristiche Strumentali PAGANI TG 63 (200 kN)

Rif. Norme	ASTM D3441-86
Diametro Punta conica meccanica	35.7
Angolo di apertura punta	60
Area punta	10
Superficie manicotto	150
Passo letture (cm)	20
Costante di trasformazione Ct	10

PROVA ... CPT1

Profondità (m)	Lettura punta (Kg/cm ²)	Lettura punta + laterale (Kg/cm ²)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertmann)
0.20	3.00	0.0	3.138	0.293	10.71	9.3
0.40	6.00	10.4	6.138	0.36	17.05	5.9
0.60	4.00	9.4	4.138	0.433	9.557	10.5
0.80	6.00	12.5	6.138	0.573	10.712	9.3
1.00	7.00	15.6	7.138	0.3	23.793	4.2
1.20	8.00	12.5	8.276	0.36	22.989	4.3
1.40	6.00	11.4	6.276	0.227	27.648	3.6
1.60	8.00	11.4	8.276	0.233	35.519	2.8
1.80	10.00	13.5	10.276	0.367	28.0	3.6
2.00	8.00	13.5	8.276	0.153	54.092	1.8
2.20	6.00	8.3	6.414	0.227	28.256	3.5
2.40	7.00	10.4	7.414	0.367	20.202	5.0
2.60	7.00	12.5	7.414	0.233	31.82	3.1
2.80	10.00	13.5	10.414	0.22	47.336	2.1
3.00	5.00	8.3	5.414	0.293	18.478	5.4
3.20	5.00	9.4	5.552	0.22	25.236	4.0
3.40	5.00	8.3	5.552	0.16	34.7	2.9
3.60	7.00	9.4	7.552	0.227	33.269	3.0
3.80	7.00	10.4	7.552	0.3	25.173	4.0
4.00	9.00	13.5	9.552	0.307	31.114	3.2
4.20	10.00	14.6	10.69	0.3	35.633	2.8
4.40	9.00	13.5	9.69	0.3	32.3	3.1
4.60	8.00	12.5	8.69	0.3	28.967	3.5
4.80	8.00	12.5	8.69	0.3	28.967	3.5
5.00	9.00	13.5	9.69	0.3	32.3	3.1
5.20	9.00	13.5	9.828	0.233	42.18	2.4
5.40	10.00	13.5	10.828	0.307	35.27	2.8
5.60	11.00	15.6	11.828	0.313	37.789	2.6
5.80	14.00	18.7	14.828	0.453	32.733	3.1
6.00	14.00	20.8	14.828	0.587	25.261	4.0
6.20	12.00	20.8	12.966	0.313	41.425	2.4
6.40	13.00	17.7	13.966	0.307	45.492	2.2
6.60	11.00	15.6	11.966	0.373	32.08	3.1
6.80	10.00	15.6	10.966	0.693	15.824	6.3
7.00	25.00	35.4	25.966	0.44	59.014	1.7
7.20	10.00	16.6	11.104	0.513	21.645	4.6
7.40	11.00	18.7	12.104	0.467	25.919	3.9
7.60	18.00	25.0	19.104	0.587	32.545	3.1
7.80	13.00	21.8	14.104	0.307	45.941	2.2
8.00	12.00	16.6	13.104	0.507	25.846	3.9
8.20	9.00	16.6	10.242	0.653	15.685	6.4
8.40	10.00	19.8	11.242	0.66	17.033	5.9
8.60	14.00	23.9	15.242	0.733	20.794	4.8
8.80	14.00	25.0	15.242	0.533	28.597	3.5
9.00	17.00	25.0	18.242	0.6	30.403	3.3
9.20	18.00	27.0	19.38	0.6	32.3	3.1
9.40	18.00	27.0	19.38	0.74	26.189	3.8
9.60	17.00	28.1	18.38	0.947	19.409	5.2
9.80	16.00	30.2	17.38	1.093	15.901	6.3
10.00	20.00	36.4	21.38	0.873	24.49	4.1
10.20	16.00	29.1	17.518	0.46	38.083	2.6
10.40	16.00	22.9	17.518	0.753	23.264	4.3
10.60	22.00	33.3	23.518	0.747	31.483	3.2
10.80	20.00	31.2	21.518	0.68	31.644	3.2
11.00	22.00	32.2	23.518	0.0		0.0

PROVA ... CPT2

Profondità (m)	Lettura punta (Kg/cm ²)	Lettura punta + laterale (Kg/cm ²)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertmann)
0.20	3.00	0.0	3.138	0.147	21.347	4.7
0.40	3.00	5.2	3.138	0.287	10.934	9.1
0.60	4.00	8.3	4.138	0.287	14.418	6.9
0.80	4.00	8.3	4.138	0.573	7.222	13.8
1.00	8.00	16.6	8.138	0.787	10.341	9.7
1.20	10.00	21.8	10.276	0.367	28.0	3.6
1.40	7.00	12.5	7.276	0.44	16.536	6.0
1.60	9.00	15.6	9.276	0.367	25.275	4.0
1.80	8.00	13.5	8.276	0.447	18.515	5.4
2.00	12.00	18.7	12.276	0.3	40.92	2.4
2.20	8.00	12.5	8.414	0.293	28.717	3.5
2.40	5.00	9.4	5.414	0.293	18.478	5.4
2.60	6.00	10.4	6.414	0.373	17.196	5.8
2.80	11.00	16.6	11.414	0.293	38.956	2.6
3.00	6.00	10.4	6.414	0.227	28.256	3.5
3.20	7.00	10.4	7.552	0.287	26.314	3.8
3.40	4.00	8.3	4.552	0.227	20.053	5.0
3.60	7.00	10.4	7.552	0.227	33.269	3.0
3.80	7.00	10.4	7.552	0.367	20.578	4.9
4.00	8.00	13.5	8.552	0.367	23.302	4.3
4.20	7.00	12.5	7.69	0.233	33.004	3.0
4.40	9.00	12.5	9.69	0.227	42.687	2.3
4.60	8.00	11.4	8.69	0.44	19.75	5.1
4.80	10.00	16.6	10.69	0.38	28.132	3.6
5.00	13.00	18.7	13.69	0.307	44.593	2.2
5.20	11.00	15.6	11.828	0.373	31.71	3.2
5.40	10.00	15.6	10.828	0.367	29.504	3.4
5.60	8.00	13.5	8.828	0.447	19.749	5.1
5.80	12.00	18.7	12.828	0.52	24.669	4.1
6.00	13.00	20.8	13.828	0.587	23.557	4.2
6.20	13.00	21.8	13.966	0.453	30.83	3.2
6.40	15.00	21.8	15.966	0.52	30.704	3.3
6.60	13.00	20.8	13.966	0.38	36.753	2.7
6.80	13.00	18.7	13.966	0.307	45.492	2.2
7.00	11.00	15.6	11.966	0.44	27.195	3.7
7.20	9.00	15.6	10.104	0.593	17.039	5.9
7.40	15.00	23.9	16.104	0.733	21.97	4.6
7.60	16.00	27.0	17.104	0.66	25.915	3.9
7.80	13.00	22.9	14.104	0.52	27.123	3.7
8.00	14.00	21.8	15.104	0.527	28.66	3.5
8.20	16.00	23.9	17.242	0.6	28.737	3.5
8.40	18.00	27.0	19.242	0.8	24.053	4.2
8.60	14.00	26.0	15.242	0.673	22.648	4.4
8.80	19.00	29.1	20.242	0.867	23.347	4.3
9.00	13.00	26.0	14.242	0.74	19.246	5.2
9.20	18.00	29.1	19.38	0.76	25.5	3.9
9.40	25.00	36.4	26.38	0.813	32.448	3.1
9.60	18.00	30.2	19.38	0.673	28.796	3.5
9.80	19.00	29.1	20.38	0.453	44.989	2.2
10.00	15.00	21.8	16.38	0.0		0.0

PROVA ... CPT3

Profondità (m)	Lettura punta (Kg/cm ²)	Lettura punta + laterale (Kg/cm ²)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertmann)
0.20	5.00	0.0	5.138	0.427	12.033	8.3
0.40	4.00	10.4	4.138	0.493	8.394	11.9
0.60	4.00	11.4	4.138	0.293	14.123	7.1
0.80	6.00	10.4	6.138	0.787	7.799	12.8
1.00	10.00	21.8	10.138	0.3	33.793	3.0
1.20	8.00	12.5	8.276	0.227	36.458	2.7
1.40	6.00	9.4	6.276	0.293	21.42	4.7
1.60	6.00	10.4	6.276	0.3	20.92	4.8
1.80	8.00	12.5	8.276	0.367	22.55	4.4
2.00	7.00	12.5	7.276	0.227	32.053	3.1
2.20	8.00	11.4	8.414	0.227	37.066	2.7
2.40	6.00	9.4	6.414	0.373	17.196	5.8
2.60	9.00	14.6	9.414	0.227	41.471	2.4
2.80	6.00	9.4	6.414	0.293	21.891	4.6
3.00	5.00	9.4	5.414	0.227	23.85	4.2
3.20	6.00	9.4	6.552	0.3	21.84	4.6
3.40	8.00	12.5	8.552	0.3	28.507	3.5
3.60	9.00	13.5	9.552	0.36	26.533	3.8
3.80	6.00	11.4	6.552	0.3	21.84	4.6
4.00	9.00	13.5	9.552	0.3	31.84	3.1
4.20	8.00	12.5	8.69	0.367	23.678	4.2
4.40	7.00	12.5	7.69	0.227	33.877	3.0
4.60	8.00	11.4	8.69	0.307	28.306	3.5
4.80	10.00	14.6	10.69	0.44	24.295	4.1
5.00	10.00	16.6	10.69	0.38	28.132	3.6
5.20	13.00	18.7	13.828	0.373	37.072	2.7
5.40	11.00	16.6	11.828	0.38	31.126	3.2
5.60	12.00	17.7	12.828	0.387	33.147	3.0
5.80	14.00	19.8	14.828	0.527	28.137	3.6
6.00	15.00	22.9	15.828	0.653	24.239	4.1
6.20	11.00	20.8	11.966	0.52	23.012	4.3
6.40	14.00	21.8	14.966	0.453	33.038	3.0
6.60	14.00	20.8	14.966	0.373	40.123	2.5
6.80	11.00	16.6	11.966	0.307	38.977	2.6
7.00	11.00	15.6	11.966	0.507	23.602	4.2
7.20	9.00	16.6	10.104	0.52	19.431	5.1
7.40	13.00	20.8	14.104	0.807	17.477	5.7
7.60	17.00	29.1	18.104	0.667	27.142	3.7
7.80	17.00	27.0	18.104	0.933	19.404	5.2
8.00	13.00	27.0	14.104	0.587	24.027	4.2
8.20	11.00	19.8	12.242	0.593	20.644	4.8
8.40	14.00	22.9	15.242	0.793	19.221	5.2
8.60	11.00	22.9	12.242	0.72	17.003	5.9
8.80	11.00	21.8	12.242	0.66	18.548	5.4
9.00	14.00	23.9	15.242	0.867	17.58	5.7
9.20	12.00	25.0	13.38	0.807	16.58	6.0
9.40	16.00	28.1	17.38	0.733	23.711	4.2
9.60	14.00	25.0	15.38	0.6	25.633	3.9
9.80	17.00	26.0	18.38	0.8	22.975	4.4
10.00	13.00	25.0	14.38	0.387	37.158	2.7
10.20	15.00	20.8	16.518	0.0		0.0

PROVA ...CPT4

Profondità (m)	Letture punta (Kg/cm ²)	Letture punta + laterale (Kg/cm ²)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertmann)
0.20	5.00	0.0	5.138	0.153	33.582	3.0
0.40	6.00	8.3	6.138	0.153	40.118	2.5
0.60	6.00	8.3	6.138	0.293	20.949	4.8
0.80	5.00	9.4	5.138	0.36	14.272	7.0
1.00	6.00	11.4	6.138	0.3	20.46	4.9
1.20	8.00	12.5	8.276	0.233	35.519	2.8
1.40	10.00	13.5	10.276	0.3	34.253	2.9
1.60	9.00	13.5	9.276	0.307	30.215	3.3
1.80	10.00	14.6	10.276	0.3	34.253	2.9
2.00	8.00	12.5	8.276	0.293	28.246	3.5
2.20	6.00	10.4	6.414	0.22	29.155	3.4
2.40	5.00	8.3	5.414	0.227	23.85	4.2
2.60	7.00	10.4	7.414	0.293	25.304	4.0
2.80	6.00	10.4	6.414	0.293	21.891	4.6
3.00	7.00	11.4	7.414	0.233	31.82	3.1
3.20	9.00	12.5	9.552	0.22	43.418	2.3
3.40	5.00	8.3	5.552	0.293	18.949	5.3
3.60	5.00	9.4	5.552	0.367	15.128	6.6
3.80	7.00	12.5	7.552	0.367	20.578	4.9
4.00	8.00	13.5	8.552	0.307	27.857	3.6
4.20	11.00	15.6	11.69	0.373	31.34	3.2
4.40	11.00	16.6	11.69	0.293	39.698	2.5
4.60	7.00	11.4	7.69	0.313	24.569	4.1
4.80	13.00	17.7	13.69	0.373	36.702	2.7
5.00	10.00	15.6	10.69	0.373	28.66	3.5
5.20	10.00	15.6	10.828	0.433	25.007	4.0
5.40	7.00	13.5	7.828	0.3	26.093	3.8
5.60	9.00	13.5	9.828	0.373	26.349	3.8
5.80	9.00	14.6	9.828	0.44	22.336	4.5
6.00	9.00	15.6	9.828	0.447	21.987	4.5
6.20	12.00	18.7	12.966	0.38	34.121	2.9
6.40	13.00	16.7	13.966	0.453	30.83	3.2
6.60	15.00	21.8	15.966	0.367	43.504	2.3
6.80	8.00	13.5	8.966	0.447	20.058	5.0
7.00	11.00	17.7	11.966	0.513	23.326	4.3
7.20	11.00	18.7	12.104	0.6	20.173	5.0
7.40	18.00	27.0	19.104	0.527	36.25	2.8
7.60	16.00	23.9	17.104	0.373	45.855	2.2
7.80	10.00	15.6	11.104	0.373	29.769	3.4
8.00	11.00	16.6	12.104	0.8	15.13	6.6
8.20	13.00	25.0	14.242	0.653	21.81	4.6
8.40	11.00	20.8	12.242	0.807	15.17	6.6
8.60	17.00	29.1	18.242	0.82	22.246	4.5
8.80	22.00	34.3	23.242	0.933	24.911	4.0
9.00	13.00	27.0	14.242	0.8	17.803	5.6
9.20	13.00	25.0	14.38	0.727	19.78	5.1
9.40	12.00	22.9	13.38	0.8	16.725	6.0
9.60	14.00	26.0	15.38	0.873	17.617	5.7
9.80	16.00	29.1	17.38	0.88	19.75	5.1
10.00	19.00	32.2	20.38	0.8	25.475	3.9
10.20	15.00	27.0	16.518	0.587	28.14	3.6
10.40	13.00	21.8	14.518	0.513	28.3	3.5
10.60	10.00	17.7	11.518	0.793	14.525	6.9
10.80	12.00	23.9	13.518	0.667	20.267	4.9
11.00	15.00	25.0	16.518	0.507	32.58	3.1
11.20	9.00	16.6	10.656	0.507	21.018	4.8
11.40	8.00	15.6	9.656	0.58	16.648	6.0
11.60	10.00	18.7	11.656	0.587	19.857	5.0
11.80	13.00	21.8	14.656	0.527	27.81	3.8
12.00	15.00	22.9	16.656	0.86	19.367	5.2
12.20	10.00	22.9	11.794	0.513	22.99	4.3
12.40	11.00	18.7	12.794	0.513	24.94	4.0
12.60	11.00	18.7	12.794	0.52	24.604	4.1
12.80	13.00	20.8	14.794	0.527	28.072	3.6
13.00	16.00	23.9	17.794	0.593	30.007	3.3
13.20	14.00	22.9	15.932	0.513	31.057	3.2
13.40	11.00	16.7	12.932	0.513	25.209	4.0
13.60	10.00	17.7	11.932	0.447	26.694	3.7
13.80	12.00	18.7	13.932	0.513	27.158	3.7
14.00	11.00	18.7	12.932	0.593	21.808	4.6
14.20	15.00	23.9	17.07	0.66	25.864	3.9
14.40	13.00	22.9	15.07	0.513	29.376	3.4
14.60	11.00	18.7	13.07	0.447	29.239	3.4
14.80	12.00	18.7	14.07	0.52	27.058	3.7
15.00	14.00	21.8	16.07	0.0		0.0

APPENDICE 2

**PROVE PENETROMETRICHE STATICHE
(CPT)**

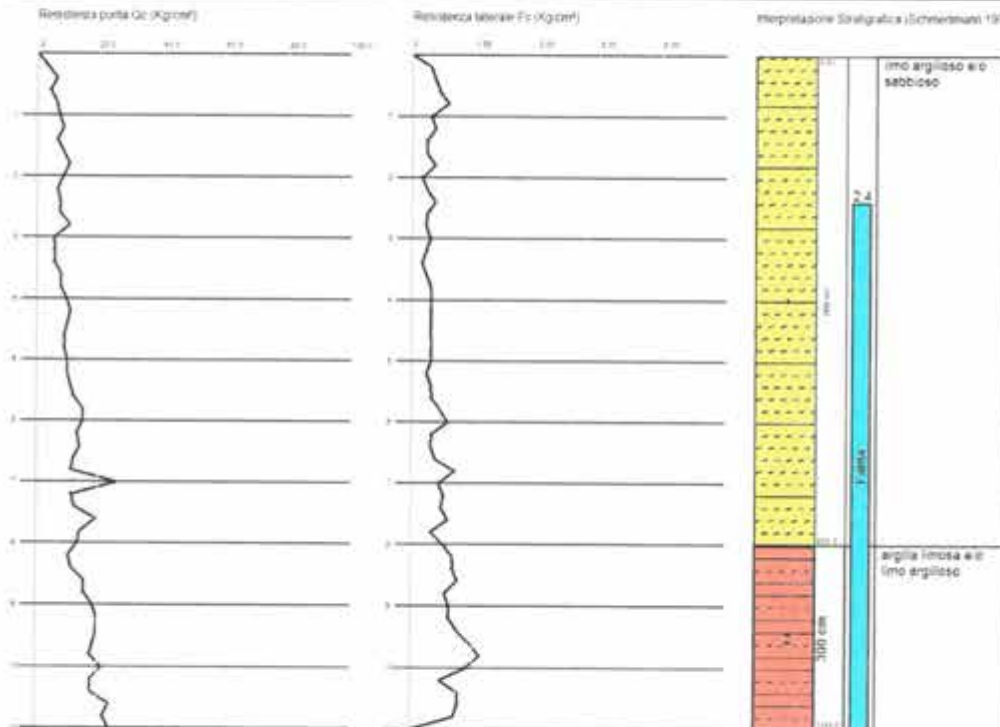
GRAFICI

STUDIO TECNICO ASSOCIATO
Baronconi & Domenichini
Via Ricasoli, 120 Cesena

Probe CPT - Cone Penetration Test
Sviluppo utilizzato PAGANI 100 KN

Committente: Immobiliare FENICOTTERI
Carivere: Via Ruggine
Località: Canuzzo (RA)

Data: 24/05/2005

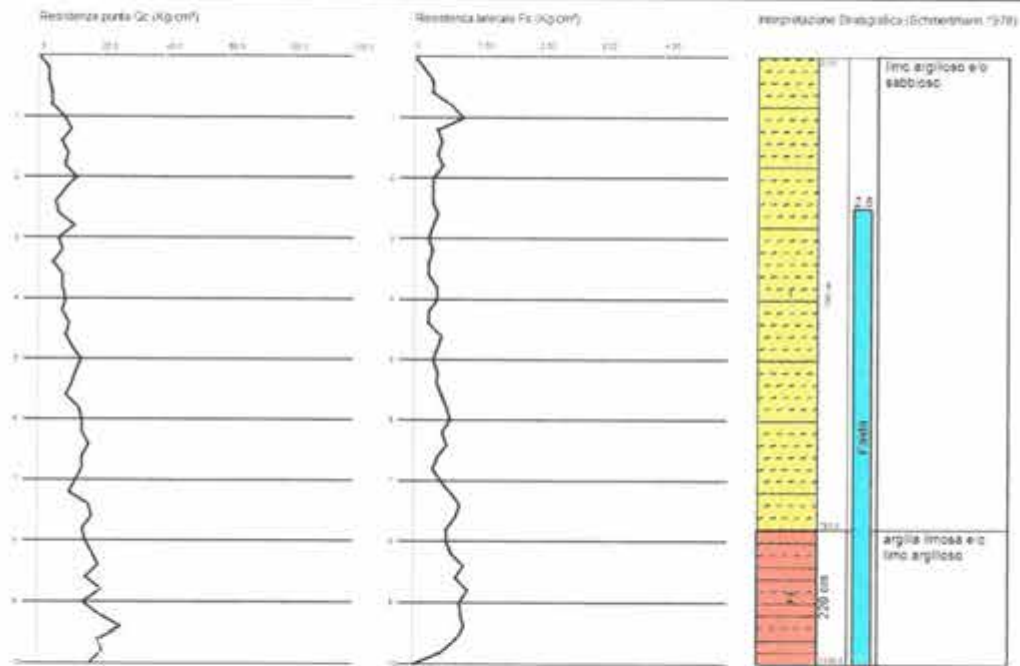


STUDIO TECNICO ASSOCIATO
Baroncini & Domenichini
Via Ricasoli, 120 Cesena

Profilo CPT - Cone Penetration Test
Strumento utilizzato PAGANI TOC M1

Committente: immobiliare FENICOTTERI
Cantiere: Via Ruggine
Località: Canuzzo (RA)

Data: 24/05/2005



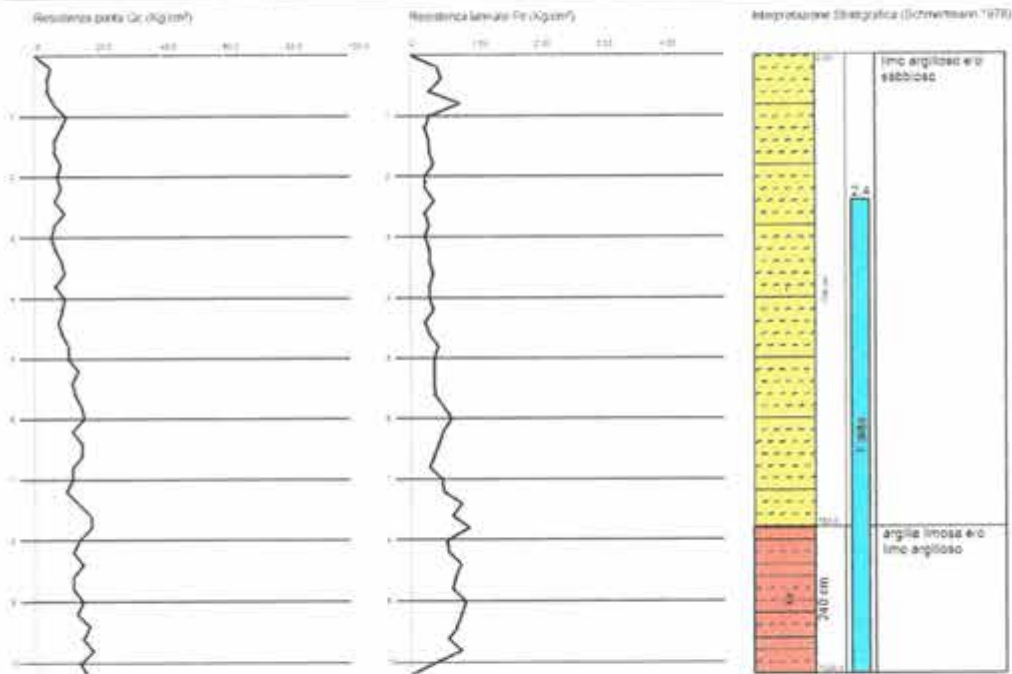
Scala profonda 1:100 - Q_c 1 cm=10.47 kg/cm² - F_s 1 cm=0.27 kg/cm²

STUDIO TECNICO ASSOCIATO
Baronconi & Domenichini
Via Ricasoli, 120 Cesena

Probe CRT - Cone Penetration Test
Strumento a puzzo FAGAN 100 KN

Committente: Immobiliare FENICOTTERE
Carobre: Via Ruggine
Località: Canuzzo (RA)

Data: 24/05/2005



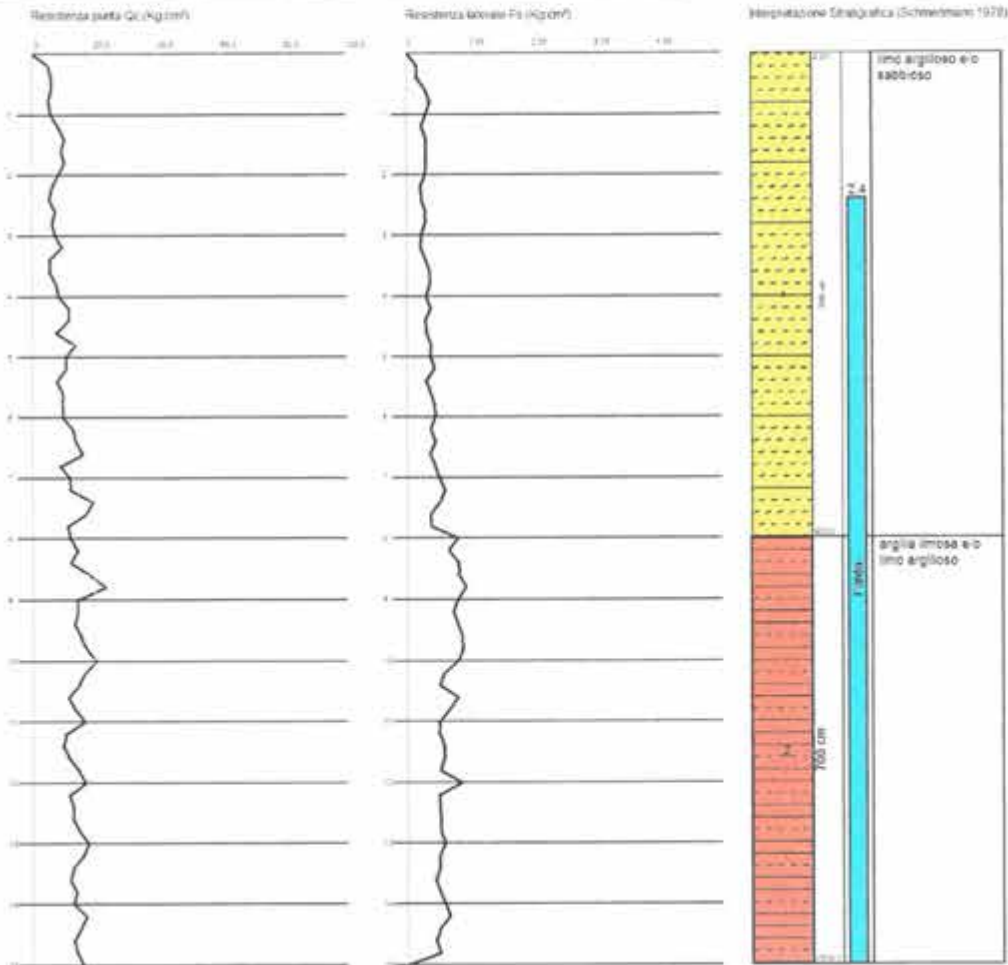
Scala profondità: 1:100 - Gc: 1 cm=10 kg/cm² - Fs: 1 cm=0.97 kg/cm²

STUDIO TECNICO ASSOCIATO
Baroncini & Domenichini
Via Ricasoli, 120 Cesena

Probe CPT - Cone Penetration Test
Strumenti utilizzati FAGAN 100 kN

Committente: Immobiliare FENICOTTERI
Cantiere: Via Ruggine
Località: Canuzzo (RA)

Data: 24/05/2005



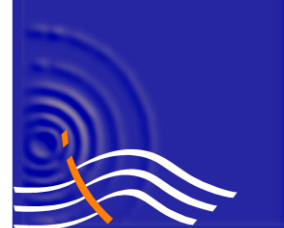
Scala profondità 1:100 - Qc: 1 cm=13.47 Kg/cm² - Fs: 1 cm=0.97 Kg/cm²

CASADIO & CO.
di Casadio Mario

Via V.Veneto 1/bis – 47100 FORLÌ
Tel: 0543 23923 – Email: studio@casadioeco.it

P.I. 04263320402

Casadio&Co



geologia
acustica
ambiente

RELAZIONE GEOLOGICA

Committente: DUEEFTE SRL

DATA: 13/06/19

**VARIANTE A PROGRAMMA INTEGRATO DI INTERVENTO
RELATIVO AD AREA DA DESTINARSI AD
ATTREZZATURE COMUNALI DI PROGETTO IN
LOCALITA' CANNUZZO IN VIA RUGGINE IN COMUNE DI
CERVIA**

Il geologo
MARIO CASADIO

RELAZIONE GEOLOGICA
PER VARIANTE A PROGRAMMA INTEGRATO DI INTERVENTO RELATIVO AD AREA DA
DESTINARSI AD ATTREZZATURE COMUNALI DI PROGETTO IN LOCALITA' CANNUZZO
IN VIA RUGGINE IN COMUNE DI CERVIA

PREMESSA

La presente relazione geologica e geotecnica è stata commissionata allo scrivente allo scopo di verificare le condizioni idrogeologiche e geotecniche di un'area sulla quale sarà realizzato un piano urbanistico che prevede oltre ad aree verdi attrezzate anche una porzione edificabile ad uso residenziale. L'area è sita in via Ruggine in località Cannuzzo di Cervia. Geograficamente l'area è inserita nel foglio n. 240150 della carta tecnica regionale.

Lo studio è finalizzato anche alla ricerca dei parametri stratigrafici e geologici che consentono l'inquadramento sismico dell'area con approfondimento sino al terzo livello secondo il DGR 630/19, a tale scopo sono state programmate le seguenti indagini:

- Esecuzione di n.1 prova penetrometrica CPTU sino a 20 metri
- Rilievo sismico mediante stendimento MASW e tomografo
- Sono inoltre state utilizzate le prove penetrometriche statiche CPT eseguite nel lotto nel 2015 dal dott. Baroncioni, che sono state messe a disposizione del sottoscritto dalla committenza.
- Ricerca bibliografica.

Alla presente relazione sono allegati:

- Inquadramento topografico a scala 1:25.000
- planimetria area d'intervento a scala 1:2.000
- planimetria area d'intervento a scala 1:500 con ubicazione prove
- grafici penetrometrici
- carta geologica alla scala 1:5.000

NORMATIVA DI RIFERIMENTO

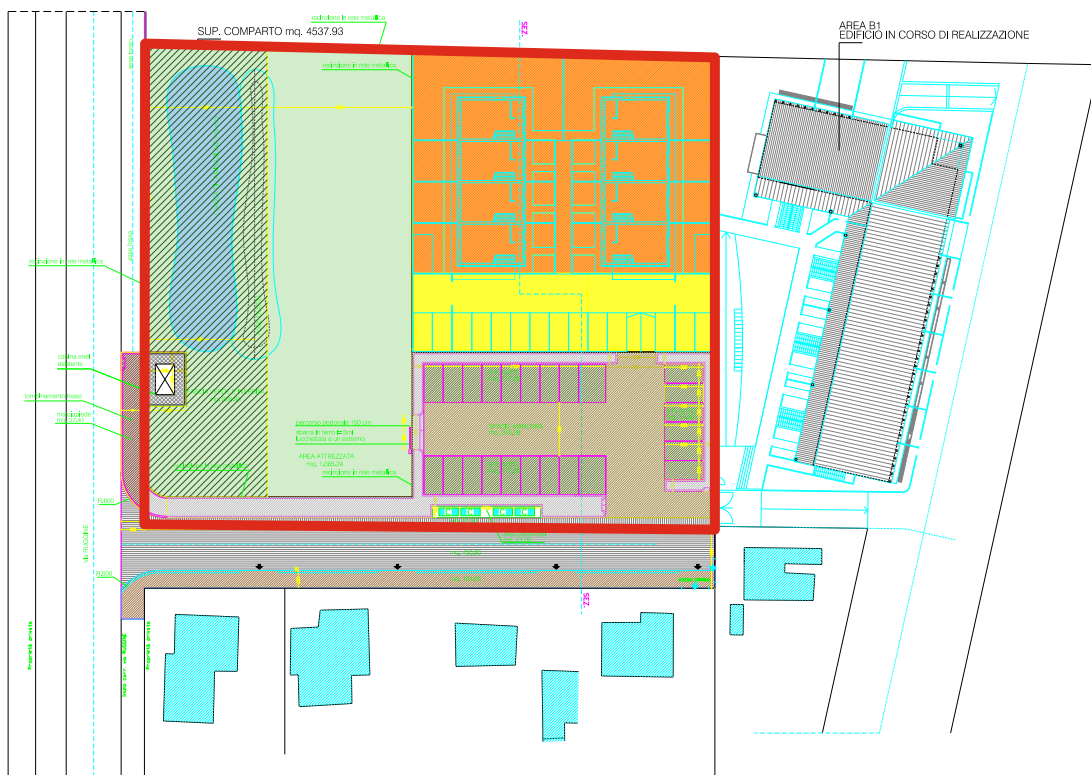
Relativamente alla parte geologica, si fa riferimento alle seguenti normative:

- Decreto Ministeriale 17.01.2018
- Decreto Ministeriale 14.01.2008
- Testo Unitario - Norme Tecniche per le Costruzioni
- Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008. Circolare 2 febbraio 2009.
- Allegato al voto n. 36 del 27.07.2007
- Eurocodice 8 (1998); Eurocodice 7.1 (1997); Eurocodice 7.2 (2002); Eurocodice 7.3 (2002)
- Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici (stesura finale 2003)

- Progettazione geotecnica – Parte I : Regole Generali . - UNI
- Progettazione geotecnica – Parte II : Progettazione assistita da prove di laboratorio (2002). UNI
- Progettazione geotecnica – Parte II : Progettazione assistita con prove in sito(2002). UNI

DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

Il piano di urbanizzazione prevede la destinazione dell'area nella metà più vicina alla via Ruggine di aree verdi attrezzate, mentre nella metà più lontana si farà una urbanizzazione composta da un lotto edificabile con antistante parcheggio.



Gli edifici previsti saranno suddivisi in due stecche che occuperanno la parte sud-ovest dell'area. E' possibile anche la realizzazione di scantinati.

MORFOLOGIA E GEOLOGIA DEL TERRITORIO

La zona qui studiata è posta a circa 16 m s.l.m., morfologicamente si presenta pianeggiante sulla sponda destra fiume Savio che scorre incassato a distanza di circa 200 metri e che ha un andamento meandriforme. Essa è delimitata a est dalla via Ruggine mentre su tutti gli altri lati da confini di proprietà.

Idrologicamente le acque superficiali sono regimate dal reticolo fognario urbano.

Geologicamente i terreni fanno parte dei depositi alluvionali olocenici costituiti da terreni a grana fine e strati ghiaiosi in profondità.

La stratigrafia dell'area è stata ottenuta dalle prove penetrometriche eseguite nel lotto.

DA PROVE PENETROMETRICHE CPT 2015

Prova n.1

Prof. Strato (m)		Descrizione
0.00	0.80	Argille organiche e terreni misti
0.80	6.90	Argille sabbiose e limose
6.90	7.20	Terre Limo sabbiose - Sabbie Arg. - Limi
7.20	8.60	Argilla inorganica compatta
8.60	11.00	Argille sabbiose e limose

Prova n.4

Prof. Strato (m)		Descrizione
0.00	0.80	Argille organiche e terreni misti
0.80	1.80	Argille sabbiose e limose
1.80	7.20	Argilla e limo compatta
7.20	7.60	Terre Limo sabbiose - Sabbie Arg. - Limi
7.60	15.00	Argilla inorganica compatta

DA PROVA PENETROMETRICA CPTU n.1

Prova n.1

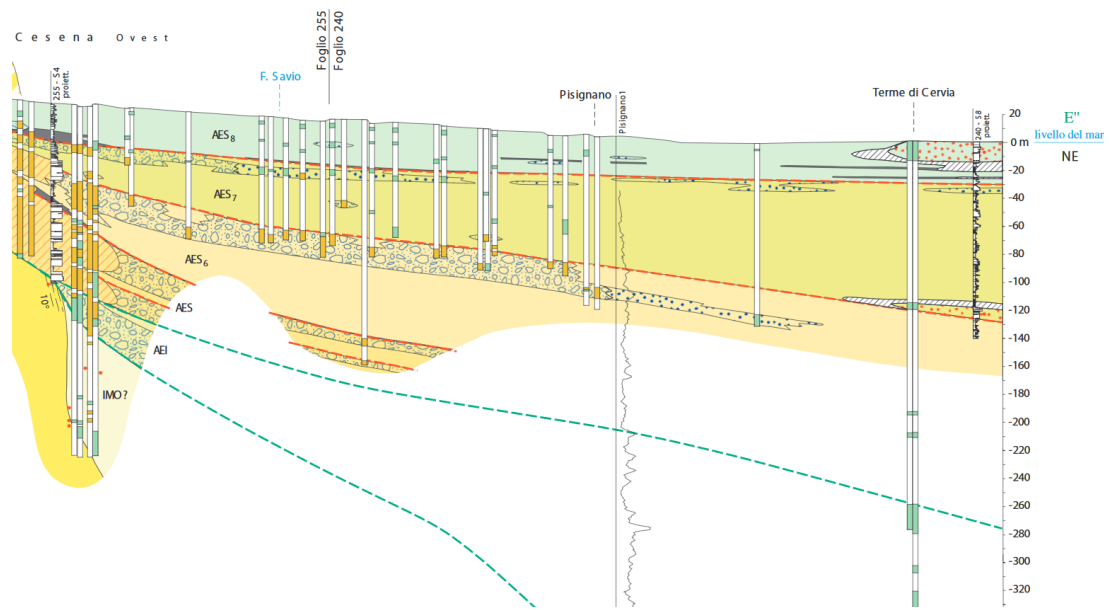
Prof. Strato (m)		Descrizione
0.00	0.80	Argille organiche e terreni misti
0.80	12.2	Argilla compatta
12.2	20.0	Argilla limosa

Si nota che sia l'interpretazione di Schmertmann (1970) delle CPT fornisce una litologia leggermente più limosa rispetto a quella (Robertson 1990) del penetrometro CPTU che invece mostra sino a 12.2 m dei terreni argillosi e solo sotto tale strato dei terreni leggermente più limosi.

Non sono però presenti in entrambe le interpretazioni, strati sabbiosi i limoso-sabbiosi immersi in falda.

La stratigrafia profonda dell'area è stata ricavata dalle stratigrafie dei pozzi presenti nelle vicinanze, in particolare il P606 che mostra sino a 165 metri di profondità terreni a grana fini per poi incontrare le sabbie e ghiaie profonde.

Lo spessore di tali depositi alluvionali è vicino ai 300 metri.

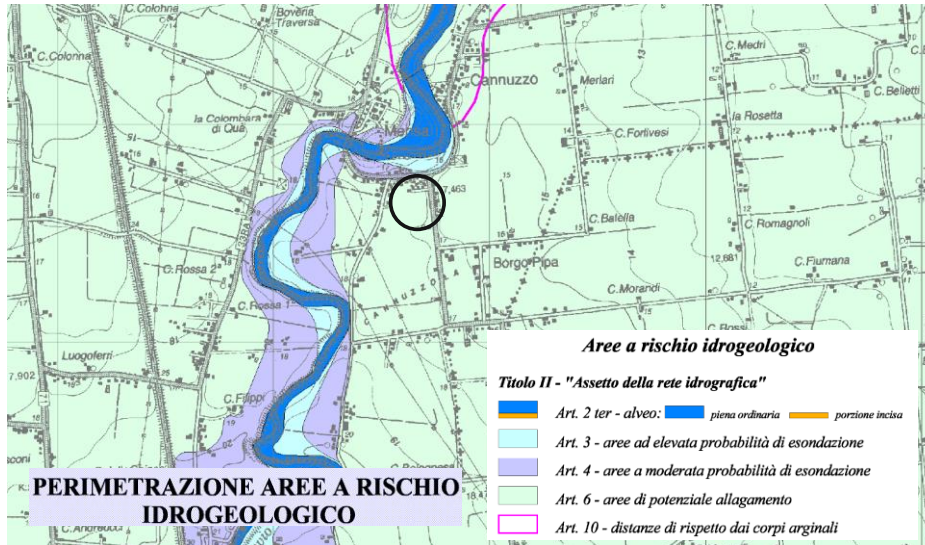


Nei fori di prova la falda è stata misurata a profondità di circa 2,4 m che mostrano una sostanziale uniformità della profondità anche se una debole pendenza in direzione nord è dovuta alla funzione drenante del fiume Savio.

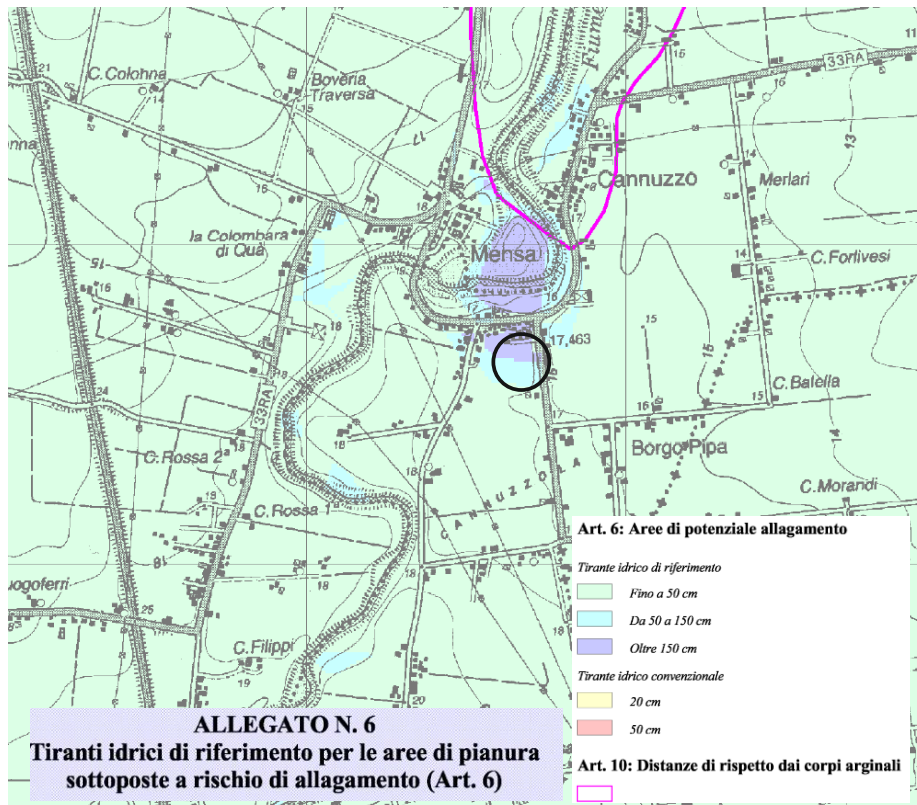
IDROLOGIA E RISCHIO IDRAULICO

Come già scritto, il corpo idrico principale è costituito dal Fiume Savio che scorre a distanza di circa 200 metri e che raccoglie le acque del reticolo fognario urbano.

La Carta del Rischio Alluvioni della Regione Emilia Romagna mostra che l'area rientra negli scenari di potenziale allagamento, che si riferisce però al reticolo secondario.



Di seguito è riportato un estratto del Piano Stralcio per il Rischio Idrogeologico redatto dall’Autorità dei Bacini Romagnoli, Allegato n. 6, “Tiranti Idrici di Riferimento per le Aree di Pianura Sottoposte a Rischio di Allagamento” (Tavola 240 E), in cui si vede che l’area è classificata con un tirante idrico convenzionale da 50 a oltre 150 centimetri.



Questo dato è però stato dimostrato non realistico in quanto l’area è pianeggiante e non vi sono depressioni del terreno ma le quote sono le stesse dei terreni circostanti.

PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CPT (CONE PENETRATION TEST)

PROVE CPT : METODOLOGIA DELL' INDAGINE

La prova penetrometrica statica CPT (di tipo meccanico) consiste essenzialmente nella misura della resistenza alla penetrazione di una punta meccanica di dimensioni e caratteristiche standardizzate, infissa nel terreno a velocità costante ($v = 2 \text{ cm / sec} \pm 0,5 \text{ cm / sec}$).

La penetrazione viene effettuata tramite un dispositivo di spinta (martinetto idraulico), opportunamente ancorato al suolo con coppie di coclee ad infissione, che agisce su una batteria doppia di aste (aste coassiali esterne cave e interne piene), alla cui estremità è collegata la punta.

Lo sforzo necessario per l'infissione è misurato per mezzo di manometri, collegati al martinetto mediante una testa di misura idraulica.

La punta conica (del tipo telescopico) è dotata di un manicotto sovrastante, per la misura dell'attrito laterale : punta / manicotto tipo "**Begemann**".

Le dimensioni della punta / manicotto sono standardizzate, e precisamente :

- diametro Punta Conica meccanica $\varnothing = 35,7 \text{ mm}$
- area di punta $A_p = 10 \text{ cm}^2$
- angolo di apertura del cono $\alpha = 60^\circ$
- superficie laterale del manicotto $A_m = 150 \text{ cm}^2$

Sulla batteria di aste esterne può essere installato un anello allargatore per diminuire l'attrito sulle aste, facilitandone l'infissione.

REGISTRAZIONE DATI.

Una cella di carico, che rileva gli sforzi di infissione, è montata all'interno di un'unità rimovibile, chiamata "selettore", che preme alternativamente sull'asta interna e su quella esterna.

Durante la fase di spinta le aste sono azionate automaticamente da un comando idraulico. L'operatore deve solamente controllare i movimenti di spinta per l'infissione delle aste.

I valori acquisiti dalla cella di carico sono visualizzati sul display di una Sistema Acquisizione Automatico (qualora presente) o sui manometri.

Le letture di campagna (che possono essere rilevate dal sistema di acquisizione sia in Kg che in Kg/cm^2) durante l'infissione sono le seguenti:

- Lettura alla punta **LP** = prima lettura di campagna durante l'infissione relativa all'infissione della sola punta
- Lettura laterale **LT** = seconda lettura di campagna relativa all'infissione della punta+manicotto
- Lettura totale **LLTT** = terza lettura di campagna relativa all'infissione delle aste esterne (tale lettura non sempre viene rilevata in quanto non è influente metodologicamente ai fini interpretativi).

METODOLOGIA DI ELABORAZIONE

I dati rilevati della prova sono quindi una coppia di valori per ogni intervallo di lettura costituiti da LP (Lettura alla punta) e LT (Lettura della punta + manicotto), le relative resistenze vengono quindi desunte per differenza, inoltre la resistenza laterale viene conteggiata 20 cm sotto (alla quota della prima lettura della punta).

Trasferiti i dati ad un PC vengono elaborati da un programma di calcolo "**STATIC PROBING**" della GeoStru

La resistenze specifiche **Qc** (Resistenza alla punta **RP**) e **Ql** (Resistenza Laterale **RL** o **fs** attrito laterale specifico che considera la superficie del manicotto di frizione) vengono desunte tramite opportune costanti e sulla base dei valori specifici dell'area di base della punta e dell'area del manicotto di frizione laterale tenendo in debito conto che:

- A_p = l'area punta (base del cono punta tipo "Begemann") = 10 cm²
- A_m = area del manicotto di frizione = 150 cm²
- C_t = costante di trasformazione =10

La loro elaborazione, interpretazione e visualizzazione grafica consente di "catalogare e parametrizzare" il suolo attraversato con un'immagine in continuo, che permette anche di avere un raffronto sulle consistenze dei vari livelli attraversati e una correlazione diretta con sondaggi geognostici per la caratterizzazione stratigrafica. La sonda penetrometrica permette inoltre di riconoscere abbastanza precisamente lo spessore delle coltri sul substrato, la quota di eventuali falde e superfici di rottura sui pendii, e la consistenza in generale del terreno. L'utilizzo dei dati dovrà comunque essere trattato con spirito critico e possibilmente, dopo esperienze geologiche acquisite in zona.

I dati di uscita principali sono RP (Resistenza alla punta) e RL (Resistenza laterale o fs, attrito laterale specifico che considera la superficie del manicotto di frizione) che il programma calcola automaticamente; inoltre viene calcolato il Rapporto RP/RL (Rapporto Begemann 1965) e il Rapporto RL/RP (Rapporto Schmertmann 1978 – FR %-).

I valori sono calcolati con queste formule:

- **Qc (RP)** = $(LP \times C_t) / 10 \text{ cm}^2$ **Resistenza alla punta**
- **Ql (RL) (fs)** = $[(LT - LP) \times C_t] / 150 \text{ cm}^2$ **Resistenza laterale**

- $Q_c (RP) = \text{Lettura alla punta } LP \times \text{Costante di Trasformazione } Ct / \text{Superficie Punta } Ap$
- $Q_l (RL) (fs) = \text{Lettura laterale } LT - \text{Lettura alla punta } LP \times \text{Costante di Trasformazione } Ct / Am \text{ area del manicotto di frizione}$

N.B.

- $Ap = 10 \text{ cm}^2$ e $Am = 150 \text{ cm}^2$
- la resistenza laterale viene conteggiata **20 cm sotto** (alla quota della prima lettura della punta)

CORRELAZIONI

Scegliendo il tipo di interpretazione litologica (consigliata o meno a seconda del tipo di penetrometro utilizzato) si ha in automatico la stratigrafia con il passo dello strumento ed interpolazione automatica degli strati. Il programma esegue inoltre il grafico (per i vari autori) Profondità/Valutazioni litologiche, per visualizzare in maniera diretta l'andamento delle litologie presenti lungo la verticale indagata.

INTERPRETAZIONI LITOLOGICHE (Autori di riferimento)

Schmertmann1978 (consigliato per CPT)

L'utilizzo della stratigrafia dovrà comunque essere trattato con spirito critico e possibilmente, dopo esperienze geologiche acquisite in zona.

CORRELAZIONI GEOTECNICHE

Scegliendo il tipo di interpretazione litologica si ha in automatico la stratigrafia con il passo dello strumento ed interpolazione automatica degli strati.

Ad ogni strato mediato il programma calcola la Q_c media, la fs media, il peso di volume naturale medio, il comportamento geotecnico (coesivo, incoerente o coesivo-incoerente), ed applica una texture.

TERRENI INCOERENTI

Angolo di Attrito (Caquot) - per sabbie N.C. e S.C. non cementate e per prof. > 2 mt. in terreni saturi o > 1 mt. non saturi

Densità relativa (%) (Jamiolkowski 1985)

Modulo di Young (ISOPT-1 1988) $E_y (50)$ - per sabbie OC sovraconsolidate e SC

Modulo Edometrico (Mitchell & Gardner 1975) – valido per sabbie

Peso di Volume Gamma

Peso di Volume Gamma (Meyerhof) -

Peso di Volume Gamma saturo (Meyerhof) -

Modulo di deformazione di taglio Imai & Tonouchi (1982) elaborazione valida soprattutto per **sabbie** e per tensioni litostatiche comprese tra 0,5 - 4,0 kg/cmq.

Fattori di compressibilità

Ramo di carico C (autori vari)

Ramo di carico medio Crm (autori vari)

OCR - Grado di Sovraconsolidazione OCR (Piacentini-Righi Inacos 1978)

MODULO DI REAZIONE Ko (Kulhawy Maine, 1990).

CORRELAZIONE NSPT Meardi – Meigh 1972

TERRENI COESIVI

Coesione Non Drenata (Baligh ed altri 1976-1980) in tale elaborazione occorre inserire il valore di Nk (generalmente 20)

Modulo Edometrico-Confinato Metodo generale del modulo edometrico.

Peso di Volume Gamma

Peso di Volume terreni coesivi (t/mq) (Meyerhof)

Peso di Volume saturo terreni coesivi (t/mq) (Meyerhof)

Modulo di deformazione di taglio Imai & Tonouchi (1982)

OCR Grado di Sovraconsolidazione OCR (Piacentini-Righi Inacos 1978)

Permeabilità Coefficiente di Permeabilità K (Piacentini-Righi, 1988) .

Si riportano i valori delle prove CPT n.1 e n.4 eseguite nel 2015 e interpretate dal sottoscritto.

In fondo sono allegati grafici degli elaborati delle prove penetrometriche statiche.

PROVA ... Nr.1

Committente: due effe srl
Strumento utilizzato: PAGANI 100 kN
Prova eseguita in data: 03/08/2015
Profondità prova: 11.00 mt
Località: via ruggine

Profondità (m)	Lettura punta (Mpa)	Lettura laterale (Mpa)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertmann)
0.20	0.29	0.0	0.294	0.029	10.138	9.9
0.40	0.59	1.0	0.588	0.035	16.8	6.0
0.60	0.39	0.9	0.392	0.042	9.333	10.7
0.80	0.59	1.2	0.588	0.056	10.5	9.5
1.00	0.69	1.5	0.686	0.029	23.655	4.2
1.20	0.78	1.2	0.785	0.035	22.429	4.5
1.40	0.59	1.1	0.588	0.022	26.727	3.7
1.60	0.78	1.1	0.785	0.023	34.13	2.9
1.80	0.98	1.3	0.981	0.036	27.25	3.7
2.00	0.78	1.3	0.785	0.015	52.333	1.9
2.20	0.59	0.8	0.588	0.022	26.727	3.7
2.40	0.69	1.0	0.686	0.036	19.056	5.2

2.60	0.69	1.2	0.686	0.023	29.826	3.4
2.80	0.98	1.3	0.981	0.022	44.591	2.2
3.00	0.49	0.8	0.49	0.029	16.897	5.9
3.20	0.49	0.9	0.49	0.022	22.273	4.5
3.40	0.49	0.8	0.49	0.016	30.625	3.3
3.60	0.69	0.9	0.686	0.022	31.182	3.2
3.80	0.69	1.0	0.686	0.029	23.655	4.2
4.00	0.88	1.3	0.883	0.03	29.433	3.4
4.20	0.98	1.4	0.981	0.029	33.828	3.0
4.40	0.88	1.3	0.883	0.029	30.448	3.3
4.60	0.78	1.2	0.785	0.029	27.069	3.7
4.80	0.78	1.2	0.785	0.029	27.069	3.7
5.00	0.88	1.3	0.883	0.029	30.448	3.3
5.20	0.88	1.3	0.883	0.023	38.391	2.6
5.40	0.98	1.3	0.981	0.03	32.7	3.1
5.60	1.08	1.5	1.079	0.031	34.806	2.9
5.80	1.37	1.8	1.373	0.044	31.205	3.2
6.00	1.37	2.0	1.373	0.058	23.672	4.2
6.20	1.18	2.0	1.177	0.031	37.968	2.6
6.40	1.27	1.7	1.275	0.03	42.5	2.4
6.60	1.08	1.5	1.079	0.037	29.162	3.4
6.80	0.98	1.5	0.981	0.068	14.426	6.9
7.00	2.45	3.5	2.452	0.043	57.023	1.8
7.20	0.98	1.6	0.981	0.05	19.62	5.1
7.40	1.08	1.8	1.079	0.046	23.457	4.3
7.60	1.77	2.5	1.765	0.058	30.431	3.3
7.80	1.27	2.1	1.275	0.03	42.5	2.4
8.00	1.18	1.6	1.177	0.05	23.54	4.2
8.20	0.88	1.6	0.883	0.064	13.797	7.2
8.40	0.98	1.9	0.981	0.065	15.092	6.6
8.60	1.37	2.3	1.373	0.072	19.069	5.2
8.80	1.37	2.5	1.373	0.052	26.404	3.8
9.00	1.67	2.5	1.667	0.059	28.254	3.5
9.20	1.77	2.6	1.765	0.059	29.915	3.3
9.40	1.77	2.6	1.765	0.073	24.178	4.1
9.60	1.67	2.8	1.667	0.093	17.925	5.6
9.80	1.57	3.0	1.569	0.107	14.664	6.8
10.00	1.96	3.6	1.961	0.086	22.802	4.4
10.20	1.57	2.9	1.569	0.045	34.867	2.9
10.40	1.57	2.2	1.569	0.074	21.203	4.7
10.60	2.16	3.3	2.157	0.073	29.548	3.4
10.80	1.96	3.1	1.961	0.067	29.269	3.4
11.00	2.16	3.2	2.157	0.0		0.0

Prof. Strato (m)	qc Media (Mpa)	fs Media (Mpa)	Gamma Medio (KN/m³)	Comp. Geotecnico	Descrizione
0.80	0.466	0.041	17.7	Coesivo	Argille organiche e terreni misti
6.90	0.86	0.03	17.7	Incoerente-Coesivo	Argille sabbiose e limose
7.20	1.716	0.047	18.6	Incoerente-Coesivo	Terre Limo sabbiose - Sabbie Arg. - Limi
8.60	1.219	0.055	18.6	Coesivo	Argilla inorganica compatta
11.00	1.765	0.066	18.6	Incoerente-Coesivo	Argille sabbiose e limose

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI MEDI

Nr:	Numero progressivo strato
Prof:	Profondità strato (m)
Tipo:	C: Coesivo, I: Incoerente, CI: Coesivo-Incoerente
Cu:	Coesione non drenata (KPa)
Eu:	Modulo di defomazione non drenato (Mpa)
Mo:	Modulo Edometrico (Mpa)
G:	Modulo di deformazione a taglio (Mpa)
OCR:	Grado di sovraconsolidazione
Puv:	Peso unità di volume (KN/m ³)
PuvS:	Peso unità di volume saturo (KN/m ³)
Dr:	Densità relativa (%)
Fi:	Angolo di resistenza al taglio (°)
Ey:	Modulo di Young (Mpa)
Vs:	Velocità onde di taglio (m/s)

Nr.	Prof.	Tipo	Cu	Eu	Mo	G	OCR	Puv	PuvS	Dr	Fi	Ey	Vs
1	0.80	C	23.5	17.2	2.6	7.1	>9	17.0	17.7	--	--	--	125.02
2	6.90	CI	43.1	30.2	4.0	10.3	<0.5	17.9	18.7	5.0	28.7	0.0	195.93
3	7.20	CI	85.3	61.4	4.6	15.8	<0.5	19.1	19.8	17.2	29.8	0.0	244.49
4	8.60	C	60.8	42.5	4.6	12.8	4.5	18.4	19.2	--	--	--	221.91
5	11.00	CI	88.3	62.3	4.5	16.1	<0.5	19.1	19.9	11.8	28.9	0.0	254.52

PROVA ... Nr.4

Committente: due effe srl
 Strumento utilizzato: PAGANI TG 63 (200 kN)
 Prova eseguita in data: 03/08/2015
 Profondità prova: 15.00 mt
 Località: via ruggine

Profondità (m)	Lettura punta (Mpa)	Lettura laterale (Mpa)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertmann)
0.20	0.49	0.0	0.49	0.015	32.68	3.1
0.40	0.59	0.8	0.588	0.015	39.216	2.6
0.60	0.59	0.8	0.588	0.029	20.478	4.9
0.80	0.49	0.9	0.49	0.035	13.889	7.2
1.00	0.59	1.1	0.588	0.029	20.0	5.0
1.20	0.78	1.2	0.785	0.023	34.335	2.9
1.40	0.98	1.3	0.981	0.029	33.333	3.0
1.60	0.88	1.3	0.883	0.03	29.316	3.4
1.80	0.98	1.4	0.981	0.029	33.333	3.0
2.00	0.78	1.2	0.785	0.029	27.304	3.7
2.20	0.59	1.0	0.588	0.022	27.273	3.7
2.40	0.49	0.8	0.49	0.022	22.026	4.5
2.60	0.69	1.0	0.686	0.029	23.891	4.2
2.80	0.59	1.0	0.588	0.029	20.478	4.9
3.00	0.69	1.1	0.686	0.023	30.043	3.3
3.20	0.88	1.2	0.883	0.022	40.909	2.4
3.40	0.49	0.8	0.49	0.029	17.065	5.9
3.60	0.49	0.9	0.49	0.036	13.624	7.3
3.80	0.69	1.2	0.686	0.036	19.074	5.2
4.00	0.78	1.3	0.785	0.03	26.059	3.8
4.20	1.08	1.5	1.079	0.037	29.491	3.4
4.40	1.08	1.6	1.079	0.029	37.543	2.7
4.60	0.69	1.1	0.686	0.031	22.364	4.5
4.80	1.27	1.7	1.275	0.037	34.853	2.9
5.00	0.98	1.5	0.981	0.037	26.81	3.7

5.20	0.98	1.5	0.981	0.042	23.095	4.3
5.40	0.69	1.3	0.686	0.029	23.333	4.3
5.60	0.88	1.3	0.883	0.037	24.129	4.1
5.80	0.88	1.4	0.883	0.044	19.868	5.0
6.00	0.88	1.5	0.883	0.044	20.134	5.0
6.20	1.18	1.8	1.177	0.037	31.579	3.2
6.40	1.27	1.8	1.275	0.044	28.698	3.5
6.60	1.47	2.1	1.471	0.036	40.872	2.4
6.80	0.78	1.3	0.785	0.044	17.897	5.6
7.00	1.08	1.7	1.079	0.05	21.442	4.7
7.20	1.08	1.8	1.079	0.059	18.333	5.5
7.40	1.77	2.6	1.765	0.052	34.156	2.9
7.60	1.57	2.3	1.569	0.037	42.895	2.3
7.80	0.98	1.5	0.981	0.037	26.81	3.7
8.00	1.08	1.6	1.079	0.078	13.75	7.3
8.20	1.27	2.5	1.275	0.064	19.908	5.0
8.40	1.08	2.0	1.079	0.079	13.631	7.3
8.60	1.67	2.9	1.667	0.08	20.732	4.8
8.80	2.16	3.4	2.157	0.091	23.58	4.2
9.00	1.27	2.6	1.275	0.078	16.25	6.2
9.20	1.27	2.5	1.275	0.071	17.882	5.6
9.40	1.18	2.2	1.177	0.091	12.862	7.8
9.60	1.37	2.7	1.373	0.086	16.037	6.2
9.80	1.57	2.9	1.569	0.086	18.182	5.5
10.00	1.86	3.2	1.863	0.078	23.75	4.2
10.20	1.47	2.6	1.471	0.058	25.554	3.9
10.40	1.27	2.1	1.275	0.05	25.341	3.9
10.60	0.98	1.7	0.981	0.078	12.61	7.9
10.80	1.18	2.3	1.177	0.065	17.991	5.6
11.00	1.47	2.5	1.471	0.05	29.586	3.4
11.20	0.88	1.6	0.883	0.05	17.751	5.6
11.40	0.78	1.5	0.785	0.057	13.793	7.3
11.60	0.98	1.8	0.981	0.058	17.036	5.9
11.80	1.27	2.1	1.275	0.052	24.668	4.1
12.00	1.47	2.2	1.471	0.084	17.442	5.7
12.20	0.98	2.2	0.981	0.05	19.493	5.1
12.40	1.08	1.8	1.079	0.05	21.442	4.7
12.60	1.08	1.8	1.079	0.051	21.154	4.7
12.80	1.27	2.0	1.275	0.052	24.668	4.1
13.00	1.57	2.3	1.569	0.058	26.981	3.7
13.20	1.37	2.2	1.373	0.05	27.29	3.7
13.40	1.08	1.8	1.079	0.05	21.442	4.7
13.60	0.98	1.7	0.981	0.044	22.371	4.5
13.80	1.18	1.8	1.177	0.05	23.392	4.3
14.00	1.08	1.8	1.079	0.058	18.55	5.4
14.20	1.47	2.3	1.471	0.065	22.727	4.4
14.40	1.27	2.2	1.275	0.05	25.341	3.9
14.60	1.08	1.8	1.079	0.044	24.609	4.1
14.80	1.18	1.8	1.177	0.052	22.77	4.4
15.00	1.37	2.1	1.373	0.0		0.0

Prof. Strato (m)	qc Media (Mpa)	fs Media (Mpa)	Gamma Medio (KN/m³)	Comp. Geotecnico	Descrizione
0.80	0.539	0.024	17.7	Coesivo	Argille organiche e terreni misti
1.80	0.843	0.028	18.6	Incoerente-Coesivo	Argille sabbiose e limose
7.20	0.868	0.035	17.7	Coesivo	Argilla e limo compatta
7.60	1.667	0.044	18.6	Incoerente-Coesivo	Terre Limo sabbiose - Sabbie Arg. - Limi
15.00	1.259	0.061	18.6	Coesivo	Argilla inorganica compatta

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI

Nr:	Numero progressivo strato
Prof:	Profondità strato (m)
Tipo:	C: Coesivo. I: Incoerente. CI: Coesivo-Incoerente
Cu:	Coesione non drenata (KPa)
Eu:	Modulo di defomazione non drenato (Mpa)
Mo:	Modulo Edometrico (Mpa)
G:	Modulo di deformazione a taglio (Mpa)
OCR:	Grado di sovraconsolidazione
Puv:	Peso unità di volume (KN/m ³)
PuvS:	Peso unità di volume saturo (KN/m ³)
Dr:	Densità relativa (%)
Fi:	Angolo di resistenza al taglio (°)
Ey:	Modulo di Young (Mpa)
Vs:	Velocità onde di taglio (m/s)

Nr.	Prof.	Tipo	Cu	Eu	Mo	G	OCR	Puv	PuvS	Dr	Fi	Ey	Vs
1	0.80	C	26.5	19.9	2.9	7.8	>9	17.2	18.0	--	--	--	128.36
2	1.80	CI	42.2	30.7	3.9	10.2	<0.5	17.9	18.7	22.1	30.7	0.0	175.76
3	7.20	C	43.1	30.3	4.0	10.4	4.2	17.9	18.7	--	--	--	196.72
4	7.60	CI	83.4	59.4	4.6	15.5	<0.5	19.0	19.8	15.1	29.5	0.0	244.10
5	15.00	C	62.8	42.8	4.7	13.1	3.7	18.5	19.2	--	--	--	234.20

La prova penetrometrica CPTU è stata eseguita con punta elettrica Pagani ed è stata spinta sino a profondità di 20 metri.

I grafici sono allegati in fondo alla presente relazione.

La stratigrafia ricavata dall'interpretazioni di Robertson è la seguente:

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI

Nr:	Numero progressivo strato	OCR:	Grado di sovraconsolidazione
Prof:	Profondità strato (m)	Puv:	Peso unità di volume (t/m ³)
Tipo:	C: Coesivo. I: Incoerente. CI: Coesivo-Incoerente	PuvS:	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
Cu:	Coesione non drenata (Kg/cm ²)	Dr:	Densità relativa (%)
Eu:	Modulo di defomazione non drenato (Kg/cm ²)	Fi:	Angolo di resistenza al taglio (°)
Mo:	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)	Ey:	Modulo di Young (Kg/cm ²)
G:	Modulo di deformazione a taglio (Kg/cm ²)	Vs:	Velocità onde di taglio (m/s)

Nr.	Prof.	Tipo	Cu	Eu	Mo	G	OCR	Puv	PuvS	Dr	Fi	Ey	Vs
1	0.06	C	123.6	92.9	5.0	19.7	>9	19.7	20.5	--	--	--	113.65
2	0.34	CI	336.4	252.3	13.5	36.4	<0.5	21.4	22.2	100.0	42.0	0.0	234.83
3	0.43	C	216.7	162.6	8.7	27.8	>9	20.7	21.4	--	--	--	187.16
4	0.44	CI	255.0	190.6	10.2	30.7	<0.5	20.9	21.7	100.0	42.0	0.0	241.72
5	0.78	C	203.0	151.9	8.1	26.7	>9	20.5	21.3	--	--	--	200.30
6	0.79	CI	251.1	187.7	10.0	30.4	0.6	20.9	21.7	93.8	41.5	0.0	260.63
7	3.08	C	81.4	59.6	4.7	15.3	>9	19.0	19.8	--	--	--	203.94
8	3.18	C	41.2	28.8	3.9	10.1	8.0	17.8	18.6	--	--	--	190.39
9	11.08	C	62.8	43.8	4.7	13.0	6.4	18.5	19.3	--	--	--	223.13
10	11.17	C	41.2	26.5	3.9	10.1	3.3	17.7	18.4	--	--	--	218.27
11	11.60	C	50.0	32.7	4.3	11.3	3.2	18.0	18.8	--	--	--	226.32
12	11.68	C	41.2	26.4	3.9	10.1	2.4	17.7	18.4	--	--	--	219.65
13	11.91	C	51.0	33.3	4.3	11.5	2.1	18.0	18.8	--	--	--	228.11
14	12.05	C	41.2	26.2	3.9	10.1	2.2	17.6	18.4	--	--	--	220.17
15	12.35	C	58.8	39.6	4.6	12.6	2.4	18.3	19.1	--	--	--	235.56
16	12.46	C	42.2	26.6	3.9	10.2	2.4	17.7	18.5	--	--	--	221.84
17	20.00	C	92.2	63.0	4.4	16.5	4.2	19.1	19.9	--	--	--	265.59

INDAGINE SISMICA

Prova MASW

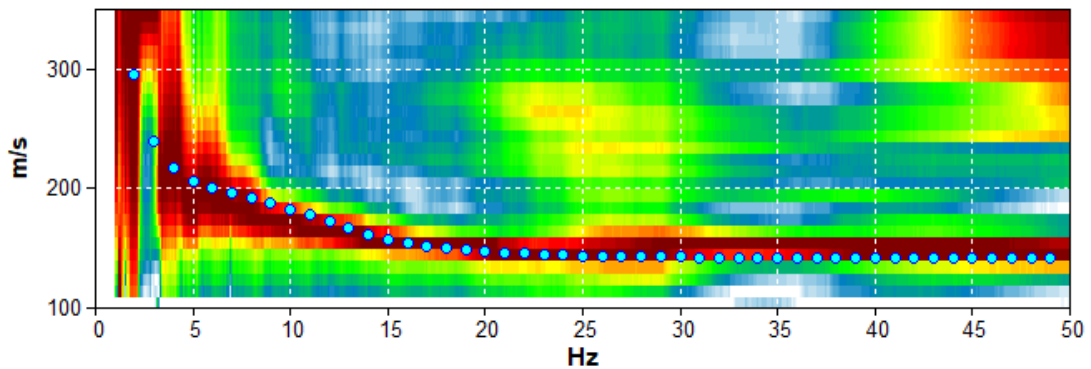


L'analisi dei microtremori viene effettuata utilizzando la strumentazione classica per la prospezione sismica a rifrazione (a geofono singolo) disposta sul terreno con array lineare, da 12 a 48 geofoni; per ottenere una buona risoluzione in termine di frequenza, oltre ad utilizzare geofoni con bassa frequenza di risonanza (4-14 Hz raccomandati), è indispensabile allungare il tempo di registrazione (15-30s) rispetto alla sismica a rifrazione tradizionale. L'uso di un sismografo digitale con elevata dinamica consente di dimezzare la frequenza utile campionabile rispetto a quella nominale dei geofoni impiegati.

Si possono così registrare onde di superficie il cui contenuto in frequenza copre un range da 25-30Hz fino a 2 Hz che, in condizioni ottimali, offre una dettagliata ricostruzione dell'andamento delle V_s relativamente ai primi venti metri di profondità.

L'elaborazione del segnale consiste nell'operare una trasformata bidimensionale "slowness-frequency"(p-f) che analizza l'energia di propagazione delle onde sismiche create mediante una massa battente ad un estremo della linea sismica e nel rappresentarne lo spettro di potenza su un grafico p-f.

A questo punto l'operatore, in maniera arbitraria ed in base all'esperienza, esegue un "picking" attribuendo ad un certo numero di punti una o più slowness (p o $1/\text{velocità di fase}$) per alcune frequenze. Tali valori vengono in seguito plottati su un diagramma frequenza-velocità di fase per l'analisi della curva di dispersione e l'ottimizzazione di un modello diretto.



Dalla prova MASW si vede l'orizzonte relativo alla velocità delle onde S nel terreno rappresentato dalla curva modale inferiore.

La stratigrafia sismica dell'area, che produce lo spettro sintetico nell'elaborazione monodimensionale (spettro H/V) e i punti azzurri nel grafico spettrale della prova in array è poi ricostruita per ogni rilievo del tromografo tenendo conto del grafico soprastante.

Risultati rilievo Tromografico

CANNUZZO, VIA RUGGINE

Instrument: TRE-0002/00-06

Data format: 16 byte

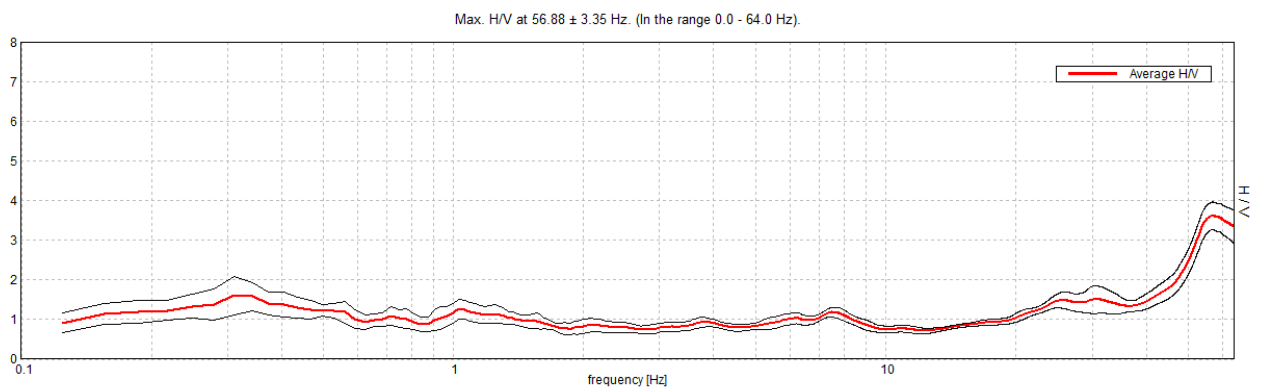
Full scale [mV]: n.a.

Start recording: 06/06/19 10:36:18 End recording: 06/06/19 10:42:19

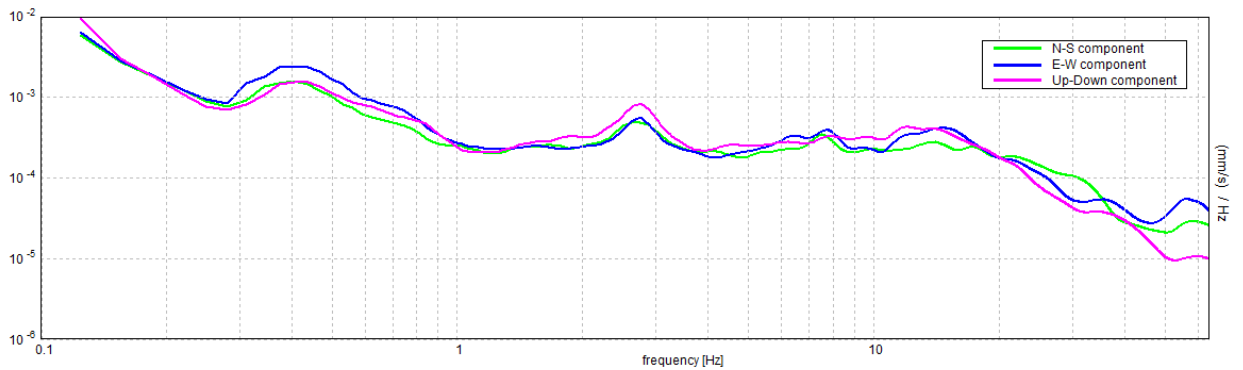
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

GPS data not available

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



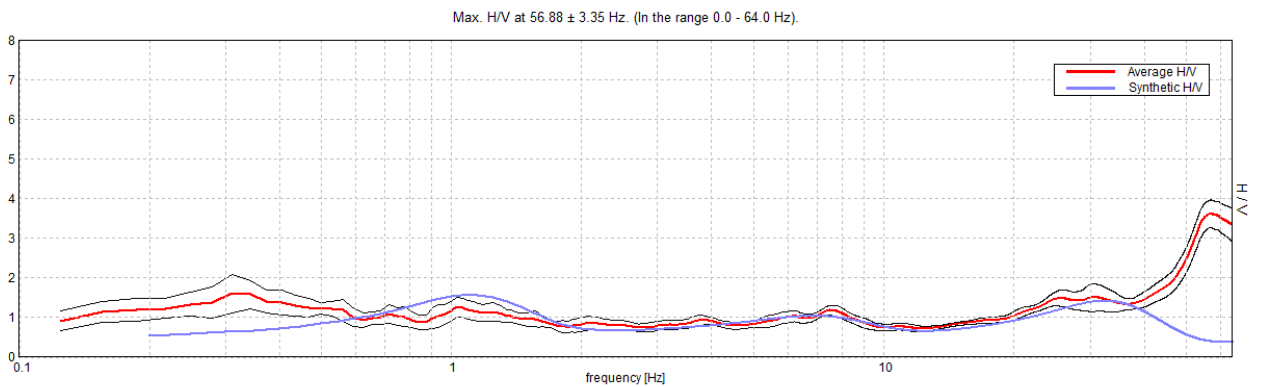
SINGLE COMPONENT SPECTRA



RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

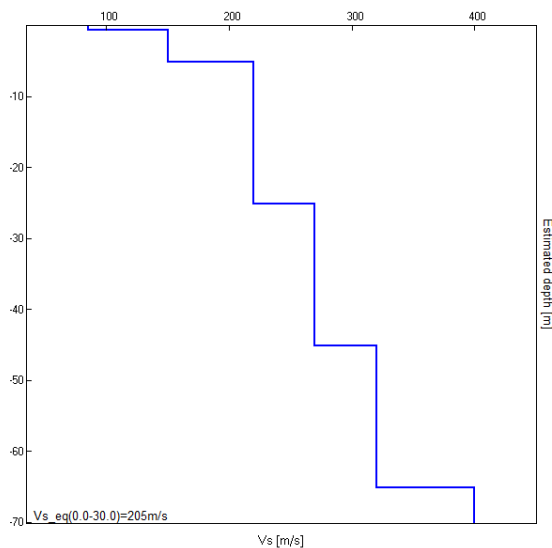
Tramite un processo di inversione dei dati, conoscendo almeno la profondità di una discontinuità, è possibile ricavare la curva sintetica (blu), da cui poi ricavare la Vs30.

EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
0.60	0.60	85	0.42
5.10	4.50	150	0.42
25.10	20.00	220	0.42
45.10	20.00	270	0.42
65.10	20.00	320	0.42
inf.	inf.	400	0.42

Vs_eq(0.0-30.0) = 205 m/s



ELEMENTI DI PROGETTAZIONE ANTISISMICA

L'attuale normativa in materia sismica impone un approccio più attento relativamente alle azioni indotte da eventi sismici di particolare entità, agenti sulla struttura degli edifici.

Le varie tipologie di sottosuolo sono discriminate sulla base delle velocità di propagazione delle onde S e sono state raggruppate in 5 categorie.

Il valore indicativo di tali velocità è definito dalla media pesata su uno spessore di 30 m delle velocità misurate $V_{s,30}$. In alternativa si utilizzano dei parametri corrispondenti, meno significativi, rappresentati dal valore della coesione non drenata c_u o del numero di colpi $NSPT$. Qui di seguito è mostrata la tabella di identificazione dei tipi di sottosuolo:

	Descrizione del profilo stratigrafico	V_{s30} (m/s)
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi Caratterizzati da $V_{s30} > 800$ m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m	> 800
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti Con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 360 e 800 m/s	360 – 800
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 180 e 360 m/s	180 – 360
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} inferiori a 180 m/s	< 180
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m	

Dai risultati della prova penetrometrica e del tromografo, il terreno di studio ricade all'interno della **classe C**.

Condizioni topografiche

Come già descritto il terreno è posto in area pianeggiante e quindi in categoria T1.

La normativa prevede le seguenti categorie topografiche

<i>Categoria</i>	<i>Caratteristiche della superficie topografica</i>
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 $i > 30^\circ$

ANALISI RISPOSTA SISMICA LOCALE

La DGR n.630 del 2019 stabilisce la procedura per la verifica della risposta sismica locale.

Come già indicato nella relazione geologica, le prove penetrometriche sono state spinte sino alla profondità di 20,00 m.

La falda è stata trovata nel foro di prova a profondità di 2.4 m.

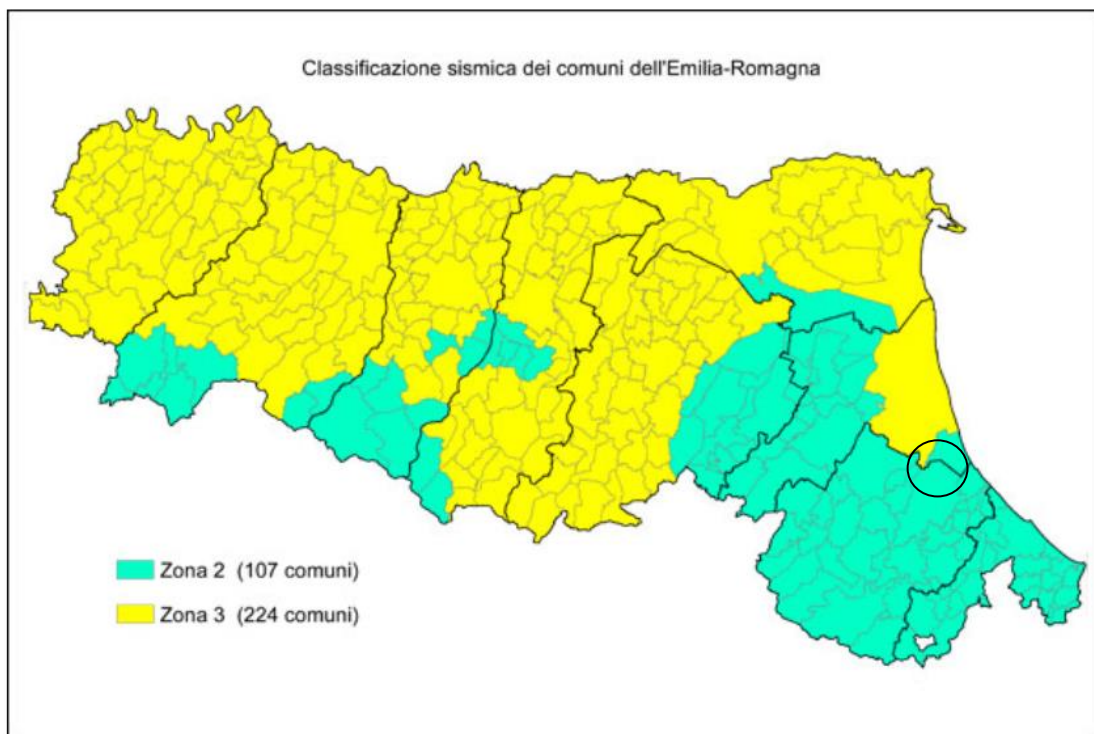
La velocità delle Vs30 è di 205 m/s.

VERIFICA SISMICA DI I° LIVELLO

Il comune di Cervia è inserito nella cella sismica del territorio Italia definita dalle seguenti coordinate geografiche:

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 16956	Lat: 44,4698	Lon: 11,5993	Distanza: 3406,962
Sito 2	ID: 16957	Lat: 44,4709	Lon: 11,6693	Distanza: 4010,273
Sito 3	ID: 17179	Lat: 44,4209	Lon: 11,6707	Distanza: 4450,700
Sito 4	ID: 17178	Lat: 44,4198	Lon: 11,6008	Distanza: 3918,096



Il comune è inserito in zona 2 con una accelerazione massima attesa di 0.174 g.

Dati sismici locali

Sito in esame.

latitudine: 44,231326
 longitudine: 12,236448
 Classe: 2
 Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1 ID: 18075 Lat: 44,2282 Lon: 12,2345 Distanza: 379,010
 Sito 2 ID: 18076 Lat: 44,2289 Lon: 12,3043 Distanza: 5408,706
 Sito 3 ID: 17854 Lat: 44,2789 Lon: 12,3033 Distanza: 7505,524
 Sito 4 ID: 17853 Lat: 44,2782 Lon: 12,2335 Distanza: 5218,619

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: C
 Categoria topografica: T1
 Periodo di riferimento: 50anni
 Coefficiente cu: 1

Operatività (SLO): Probabilità di superamento: 81% Tr: 30[anni] ag: 0,055 g Fo: 2,442 Tc*: 0,264 [s]	Danno (SLD): Probabilità di superamento: 63% Tr: 50[anni] ag: 0,070 g Fo: 2,428 Tc*: 0,280 [s]	Salvaguardia della vita (SLV): Probabilità di superamento: 1 % Tr: 475[anni] ag: 0,186 g Fo: 2,425 Tc*: 0,305 [s]	Prevenzione dal collasso (SLC): Probabilità di superamento: 5% Tr: 975[anni] ag: 0,244 g Fo: 2,417 Tc*: 0,299 [s]

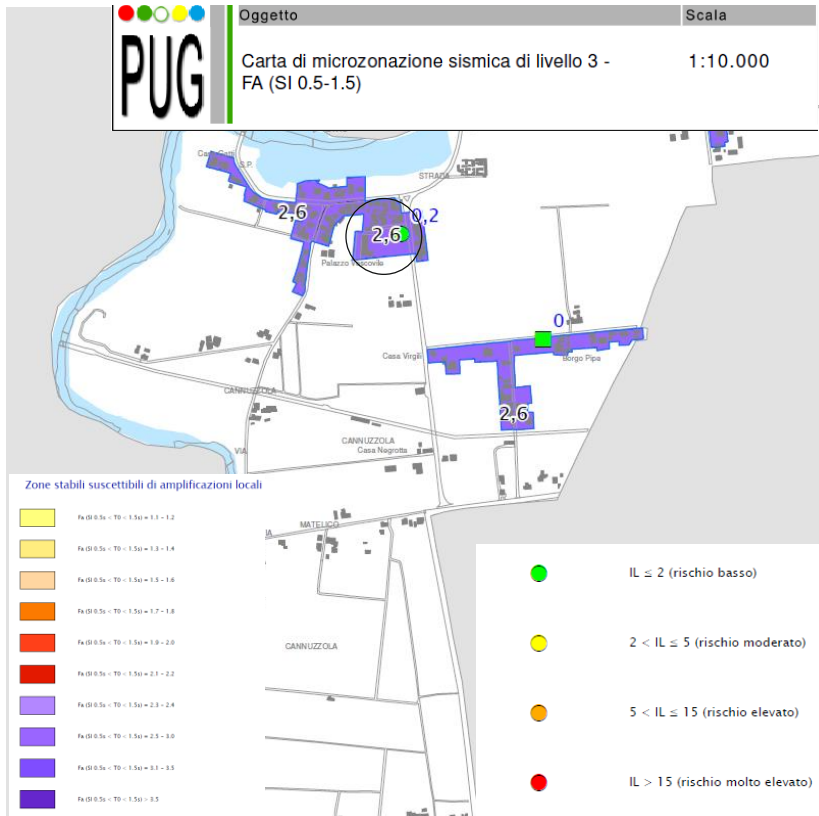
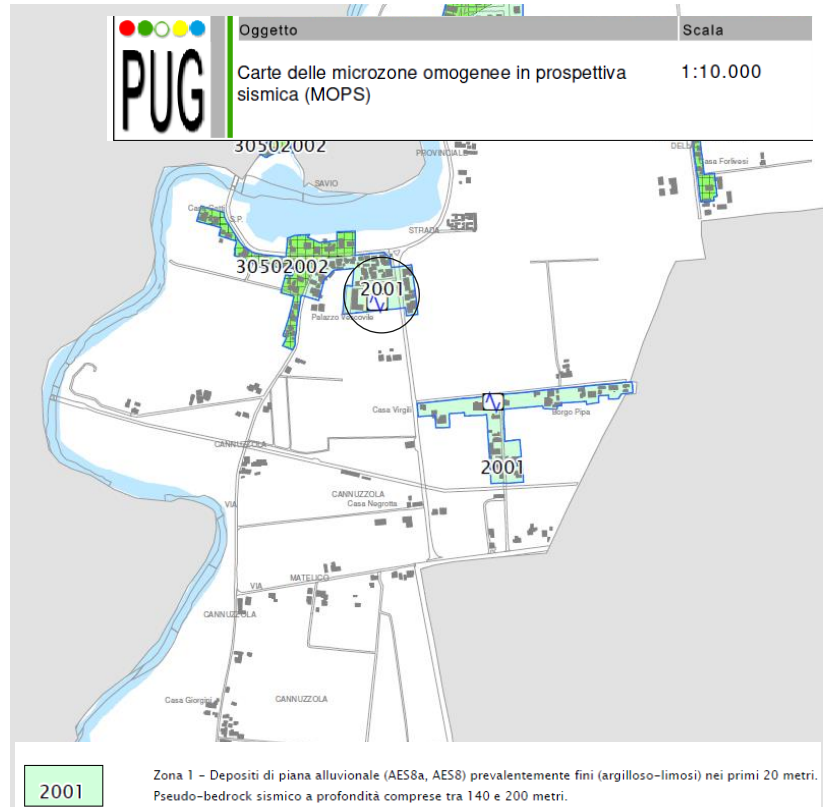
Coefficienti Sismici Stabilità dei pendii

SLO:	SLD:	SLV:	SLC:
Ss: 1,500	Ss: 1,500	Ss: 1,430	Ss: 1,350
Cc: 1,630	Cc: 1,600	Cc: 1,550	Cc: 1,560
St: 1,000	St: 1,000	St: 1,000	St: 1,000
Kh: 0,017	Kh: 0,021	Kh: 0,064	Kh: 0,092
Kv: 0,008	Kv: 0,011	Kv: 0,032	Kv: 0,046
Amax: 0,815	Amax: 1,032	Amax: 2,612	Amax: 3,231
Beta: 0,200	Beta: 0,200	Beta: 0,240	Beta: 0,280

VERIFICA SISMICA DI II° LIVELLO

La verifica di II° livello semplificata approfondisce la risposta del terreno in caso di evento sismico in termini di accelerazione sismica.

Nel PUG del Comune di Cervia vi sono gli elaborati di microzonazione sismica di cui si riportano due stralci.



Il comune di Cervia per quanto concerne le tabelle dell'allegato 2.1.2 del DGR630/2019 delle amplificazioni dell'area, appartiene alla categoria PIANURA 3: "settore di pianura caratterizzato da elevati spessori di sedimenti prevalentemente fini e poco consolidati, alternanza di limi e argille e sabbie di ambiente alluvionale e transizionale, con substrato rigido a profondità non inferiore a 300 m dal p.c."

Dalle tabelle si ricava il valore di PGA per una velocità vicina a 200 m/sec pari a 1.3, mentre i valori di SA variano da 1.3 a 2.4, infine i valori di SI variano da 1.5 a 2.6.

V_{s30} (m/s) →	150	200	250	300	350	400
PGA	1,3	1,3	1,3			

Fattore di Amplificazione **PGA**

V_{s30} (m/s) →	150	200	250	300	350	400
SA1	1,3	1,3	1,3			
SA2	2,1	2,1	2,0			
SA3	2,5	2,5	2,4			
SA4	2,4	2,4	2,3			

Fattori di Amplificazione **SA1** ($0,1s \leq T \leq 0,5s$), **SA2** ($0,4s \leq T \leq 0,8s$), **SA3** ($0,7s \leq T \leq 1,1s$), **SA4** ($0,5s \leq T \leq 1,5s$)

V_{s30} (m/s) →	150	200	250	300	350	400
SI1	1,5	1,5	1,5			
SI2	2,3	2,3	2,2			
SI3	2,6	2,6	2,4			

Fattori di Amplificazione **SI1** ($0,1s \leq T \leq 0,5s$), **SI2** ($0,5s \leq T \leq 1,0s$), **SI3** ($0,5s \leq T \leq 1,5s$)

VERIFICA SISMICA DI IIII° LIVELLO

La Regione Emilia-Romagna, con specifiche descritte nel DGR630 ha richiesto lo studio di microzonazione sismica locale con approfondimento al terzo livello.

Per tale verifica si è utilizzato un software della ditta GEOSTRU denominato RSL con il quale, una volta forniti tutti i dati inerenti le caratteristiche geotecniche e sismiche dei terreni, eseguire in automatico tutte le verifiche con i tre sisma forniti dalla regione Emilia Romagna e calibrati alla accelerazione massima attesa.

PROCEDURA DI CALCOLO

La procedura di calcolo adoperata da RSL per la valutazione della funzione di trasferimento presuppone come base di partenza uno o più accelerogrammi, od uno spettro di risposta in accelerazione, e la conoscenza della stratigrafia del sito attraverso i seguenti parametri geotecnici per ogni strato:

- peso per unità di volume;
- velocità di propagazione delle onde di taglio;
- coefficiente di spinta laterale;
- modulo di taglio iniziale (opzionale);
- spessore;
- indice di plasticità.

La non linearità del calcolo è introdotta dalla dipendenza del modulo di deformazione al taglio e del coefficiente di smorzamento viscoso dalla deformazione.

Schematicamente la procedura è riassumibile nel seguente modo:

- Valutazione dello spettro di Fourier dell'accelerogramma (omessa nel caso si debba analizzare uno spettro);
- Ricerca di un errore relativo piccolo seguendo la procedura di:
- Stima della funzione di trasferimento;
- Valutazione della deformazione indotta in ciascuno strato;
- Correzione del modulo di deformazione al taglio e del coefficiente di smorzamento viscoso per ogni strato;
- Le operazioni 2.1, 2.2 e 2.3 sono ripetute fino a quando la differenza di deformazione tra un'iterazione e la precedente non rimane al di sotto di una soglia ritenuta accettabile;
- Trasformazione inversa di Fourier dello spettro precedentemente calcolato ed opportunamente pesato per mezzo della funzione di trasferimento calcolata.

Attraverso questa procedura è possibile “trasferire” l’accelerogramma dal bedrock in superficie. La deformazione per ciascuno strato viene corretta sulla base del rapporto fra deformazione effettiva e massima come suggerito dalla letteratura scientifica, ovvero

$$\frac{\gamma_{eff}}{\gamma_{max}} = \frac{M - 1}{10}$$

dove M rappresenta la magnitudo del sisma.

Per la valutazione della funzione di trasferimento, RSL considera un suolo variamente stratificato composto da N strati orizzontali di cui l’ N -esimo è il letto di roccia (bedrock). Ponendo come ipotesi che ciascuno strato si comporti come un solido di Kelvin-Voigt

$$\left[\tau = G\gamma + \eta \frac{\partial \gamma(z, t)}{\partial z \partial t} \right],$$

la propagazione delle onde di taglio che attraversano gli strati

verticalmente può essere definita dall’equazione dell’onda:

$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = G \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + \eta \frac{\partial^3 u}{\partial z^2 \partial t} \quad (1)$$

dove: u rappresenta lo spostamento; t il tempo; ρ la densità; G il modulo di deformazione al taglio; η la viscosità. Per onde armoniche lo spostamento può essere scritto come:

$$u(z, t) = U(z)^{i\omega t} \quad (2)$$

che sostituita nella (1) pone

$$(G + i\omega\eta) \frac{d^2 U}{dz^2} = \rho\omega^2 U \quad (3)$$

dove ω rappresenta la frequenza angolare. La (3) può essere riscritta come

$$G^* \frac{d^2 U}{dz^2} = \rho\omega^2 U \quad (4)$$

avendo posto $G^* = G + i\omega\eta$, ovvero il modulo di deformazione al taglio *complesso*. Questo può essere ulteriormente riscritto come

$$G^* = G(1 + 2i\xi) \quad (5)$$

avendo posto

$$\eta = \frac{2G}{\omega} \xi \quad (6)$$

dove ξ rappresenta il coefficiente di smorzamento viscoso. Ciò posto, e fatta convenzione che l’apice * indica la natura complessa della variabili in gioco, la soluzione dell’equazione generica dell’onda è la seguente:

$$u(z, t) = E e^{i(\omega t + k^* z)} + F e^{i(\omega t - k^* z)} \quad (7)$$

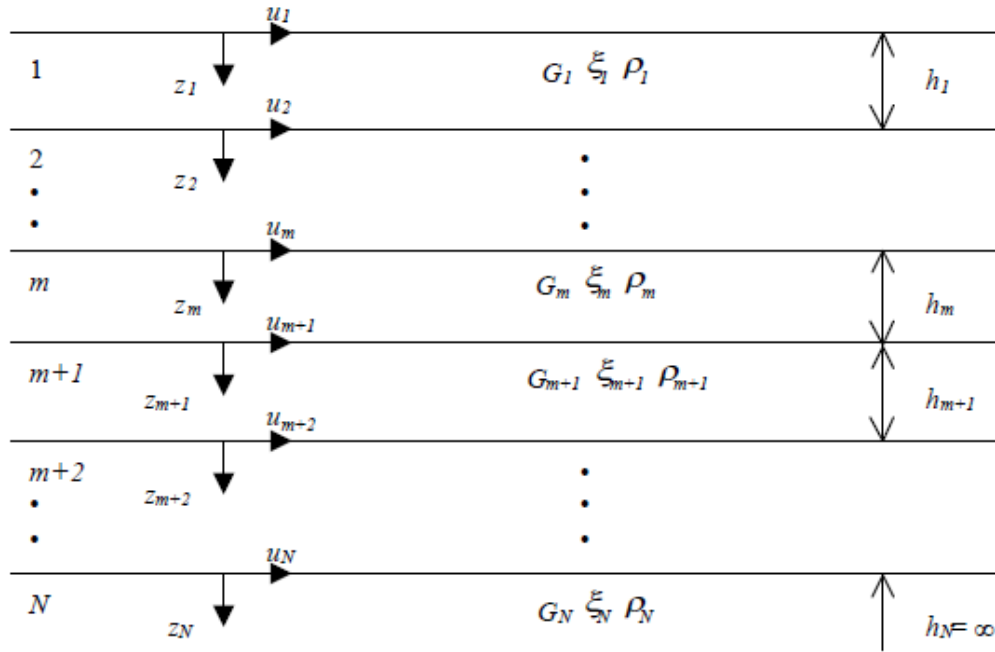


Figura 1: Esempio di stratigrafia per riferimento.

dove E e F dipendono dalle condizioni al contorno e rappresentano l'ampiezza d'onda che viaggia rispettivamente verso l'alto (-z) e verso il basso (+z), mentre k^* rappresenta il numero d'onda complesso dato dalla seguente espressione:

$$k^* = \omega \sqrt{\frac{\rho}{G^*}} \quad (8)$$

Il taglio invece è dato da:

$$\tau(z, t) = G^* \frac{dU}{dz} e^{i\omega t} = ik^* G^* [E e^{i(\omega t + k^* z)} + F e^{i(\omega t - k^* z)}] e^{i\omega t} \quad (9)$$

Per il generico strato m di spessore h_m gli spostamenti, rispettivamente in sommità ($z = 0$) ed al fondo ($z = h_m$), sono:

$$u_m(0, t) = (E_m + F_m) e^{i\omega t} \quad (10)$$

$$u_m(h_m, t) = (E_m e^{ik_m^* h_m} + F_m e^{-ik_m^* h_m}) e^{i\omega t} \quad (11)$$

Poiché deve essere rispettata la congruenza sullo spostamento all'interfaccia tra gli strati, ovvero lo spostamento in sommità ad uno strato deve essere uguale allo spostamento sul fondo di quello immediatamente sopra, se ne deduce che:

$$u_m(z = h_m, t) = u_{m+1}(z = 0, t) \quad (12)$$

Usando la (10), (11) e la (12), ne consegue che

$$E_{m+1} + F_{m+1} = E_m e^{ik_m^* h_m} + F_m e^{-ik_m^* h_m} \quad (13)$$

Il taglio in sommità ed al fondo dell' m -esimo strato è dato da:

$$\tau_m(0, t) = ik_m^* G_m^* [E_m - F_m] e^{i\omega t} \quad (14)$$

$$\tau_m(h_m, t) = ik_m^* G_m^* [E_m e^{ik_m^* h_m} - F_m e^{-ik_m^* h_m}] e^{i\omega t} \quad (15)$$

Poiché fra uno strato e l'altro il taglio deve essere continuo si ha

$$\tau_m(z = h_m, t) = \tau_{m+1}(z = 0, t) \quad (16)$$

ovvero

$$E_{m+1} - F_{m+1} = \frac{k_m^* G_m^*}{k_{m+1}^* G_{m+1}^*} (E_m e^{ik_m^* h_m} - F_m e^{-ik_m^* h_m}) \quad (17)$$

Sommando la (13) alla (17) e sottraendo la (17) alla (13) si ottiene

$$E_{m+1} = \frac{1}{2} E_m (1 + \alpha_m^*) e^{ik_m^* h_m} + \frac{1}{2} F_m (1 - \alpha_m^*) e^{-ik_m^* h_m} \quad (18)$$

$$F_{m+1} = \frac{1}{2} E_m (1 - \alpha_m^*) e^{ik_m^* h_m} + \frac{1}{2} F_m (1 + \alpha_m^*) e^{-ik_m^* h_m} \quad (19)$$

dove α_m^* rappresenta il coefficiente di impedenza complesso al contorno tra gli strati m ed $m+1$, ed è dato dalla seguente espressione:

$$\alpha_m^* = \frac{k_m^* G_m^*}{k_{m+1}^* G_{m+1}^*} \quad (20)$$

Poiché in superficie il taglio è nullo,

$$\tau_1(0, t) = ik_1^* G_1^* [E_1 - F_1] e^{i\omega t} = 0$$

si deduce che $E_1 = F_1$.

Le equazioni (18) e (19) possono essere successivamente applicate agli strati successivi da 2 ad m . La funzione di trasferimento A_{mn} che lega gli spostamenti in sommità degli strati m ed n è definita dalla seguente espressione:

$$A_{mn} = \frac{u_m}{u_n} = \frac{E_m + F_m}{E_n + F_n} \quad (21)$$

A_{mn} rappresenta la funzione di trasferimento, ovvero la funzione che mette in relazione il modulo della deformazione tra i punti m e n .

In pratica lo stato deformativo di una stratigrafia rimane definito una volta nota la deformazione di un suo qualsiasi punto. Inoltre, poiché la velocità e l'accelerazione sono legati allo spostamento,

$$\dot{u}(z, t) = \frac{\partial u}{\partial t} = i\omega u(z, t) \quad \ddot{u}(z, t) = \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = -\omega^2 u(z, t) \quad (22)$$

La funzione di trasferimento A_{mn} può essere espressa anche in funzione delle velocità e dell'accelerazione al tetto degli strati n ed m :

$$A_{mn}(\omega) = \frac{u_m}{u_n} = \frac{\dot{u}_m}{\dot{u}_n} = \frac{\ddot{u}_m}{\ddot{u}_n} = \frac{E_m + F_m}{E_n + F_n} \quad (23)$$

La deformazione tangenziale rimane definita alla profondità z e al tempo t dalla relazione:

$$\gamma(z, t) = \frac{\partial u}{\partial z} = ik^* (E e^{ik^* z} - F e^{-ik^* z}) e^{i\omega t} \quad (24)$$

E la corrispondente tensione tangenziale, dalla seguente espressione:

$$\tau(z, t) = G^* \gamma(z, t) \quad (25)$$

Ai fini di una corretta interpretazione del problema della risposta sismica locale, risulta utile riprodurre la rappresentazione schematica di Figura 2 in cui è riportata la terminologia utilizzata per lo studio del moto sismico di un deposito che poggia su un basamento roccioso.

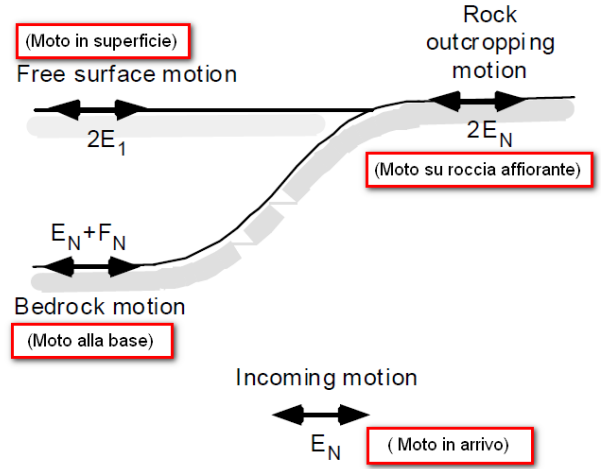


Figura 2: Schema di riferimento e terminologia utilizzata.

Le onde di taglio si propagano verticalmente attraverso il bedrock con ampiezza pari ad E_N ; al tetto del bedrock, sotto il deposito degli strati di terreno, il moto ha un'ampiezza pari a $E_N + F_N$. Sulla roccia affiorante, poiché le tensioni tangenziali sono nulle ($E_N = F_N$), il moto avrà ampiezza pari a $2E_N$. La funzione di trasferimento dal bedrock al bedrock-affiorante è la seguente:

$$A_{NN}(\omega) = \frac{2E_N}{E_N + F_N} \quad (26)$$

A è non lineare poiché G è funzione di γ . Nella procedura di calcolo infatti, da una stima iniziale del modulo di deformazione al taglio, si ottiene la tensione ipotizzando un legame lineare, per poi ottenere un nuovo valore di γ . Grazie a questo valore aggiornato si valuta un nuovo modulo G così da ripetere la procedura fino a quando la differenza tra la deformazione aggiornata e quella ottenuta dalla precedente iterazione viene ritenuta accettabile. Il modello per $G(\gamma)$ adoperato è quello suggerito da Ishibashi e Zhang (1993) che tiene conto degli effetti della pressione di confinamento e dell'indice di plasticità:

$$G = G_{max} \cdot K(\gamma, PI) (\sigma'_m)^{m(\gamma, PI) - m_0} \quad (24)$$

$$K(\gamma, PI) = 0.5 \left\{ 1 + \tanh \left[\ln \left(\frac{0.000102 + n(PI)}{\gamma} \right)^{0.492} \right] \right\} \quad (25)$$

$$m(\gamma, PI) - m_0 = 0.272 \left\{ 1 - \tanh \left[\ln \left(\frac{0.000556}{\gamma} \right)^{0.4} \right] \right\} \exp(-0.0145 PI^{1.3}) \quad (26)$$

$$n(PI) = \begin{cases} 0.0 & \text{per } PI = 0 \\ 3.37 \times 10^{-6} PI^{1.404} & \text{per } 0 < PI \leq 15 \\ 7.0 \times 10^{-7} PI^{1.976} & \text{per } 15 < PI \leq 70 \\ 2.7 \times 10^{-5} PI^{1.115} & \text{per } PI > 70 \end{cases} \quad (27)$$

dove G_{max} è dato dalla relazione

$$G_{max} = \rho V_s^2 \quad (28)$$

dove ρ è la densità del terreno e V_s la velocità di propagazione delle onde di taglio nello stesso. La (28) fornisce il valore iniziale di G per la prima iterazione.

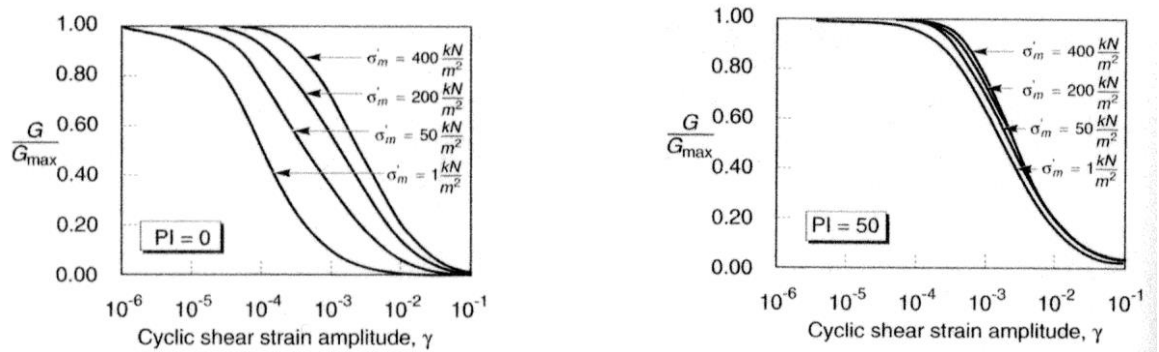


Figura 2: Influenza della pressione di confinamento e della plasticità sul modulo di deformazione al taglio.

Per quanto riguarda invece il coefficiente di smorzamento viscoso ξ , in conseguenza del modello introdotto dalla (24) si ha:

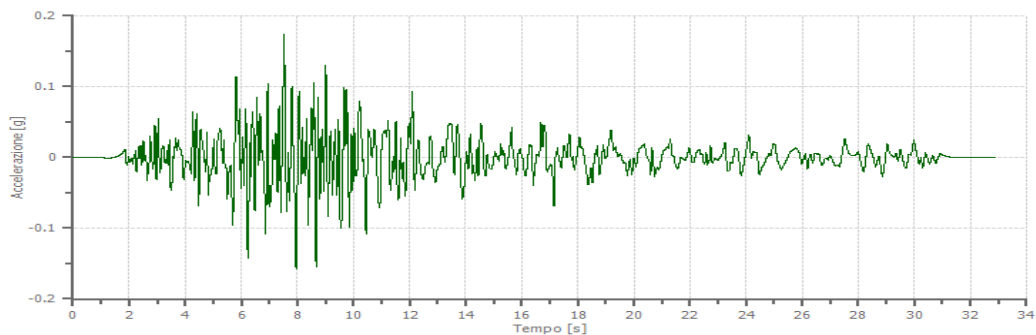
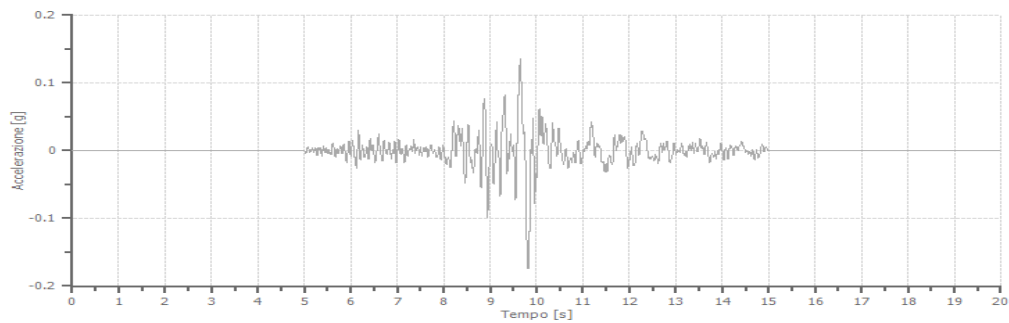
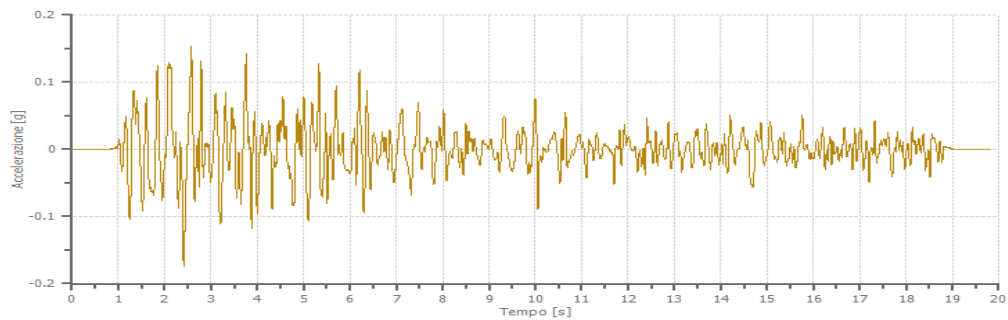
$$\xi = 0.333 \frac{1 + \exp(-0.0145 PI^{1.5})}{2} \left[0.586 \left(\frac{G}{G_{max}} \right)^2 - 1.547 \frac{G}{G_{max}} + 1 \right] \quad (29)$$

da cui si deduce che anche ξ deve essere ricalcolato ad ogni iterazione.

Dati generali

Descrizione	VARIANTE PROGRAMMA INTEGRATO VIA RUGGINE CERVIA
Committente	DUE EFFE SRL
Data della prova	d.C./06/2019
Via	via RUGGINE CANNUZZO
Latitudine	44.23039[°]
Longitudine	12.23548[°]

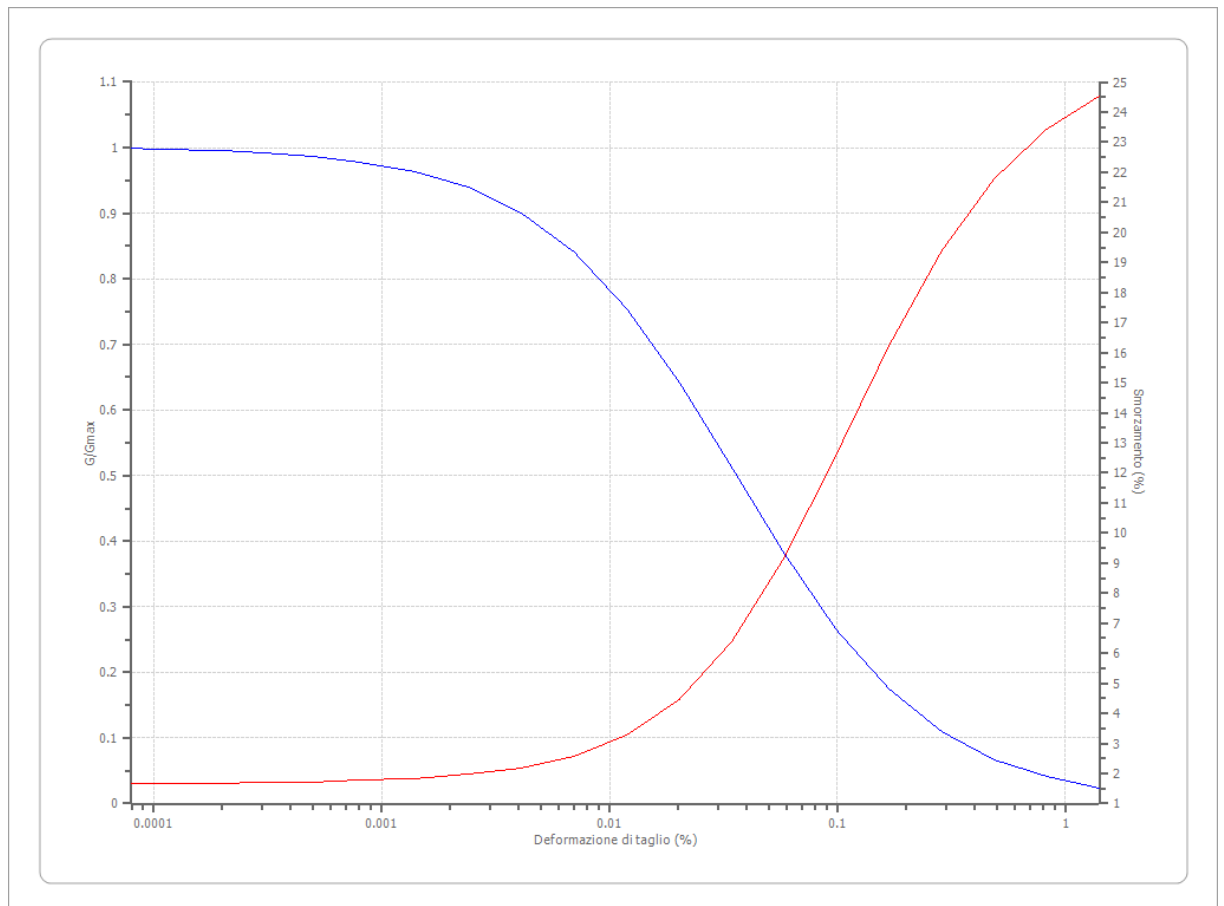
Sono stati utilizzati i tre accelerogrammi forniti dalla normativa Emilia Romagna per il comune di CERVIA (046 – 126 – 354).



Terreni

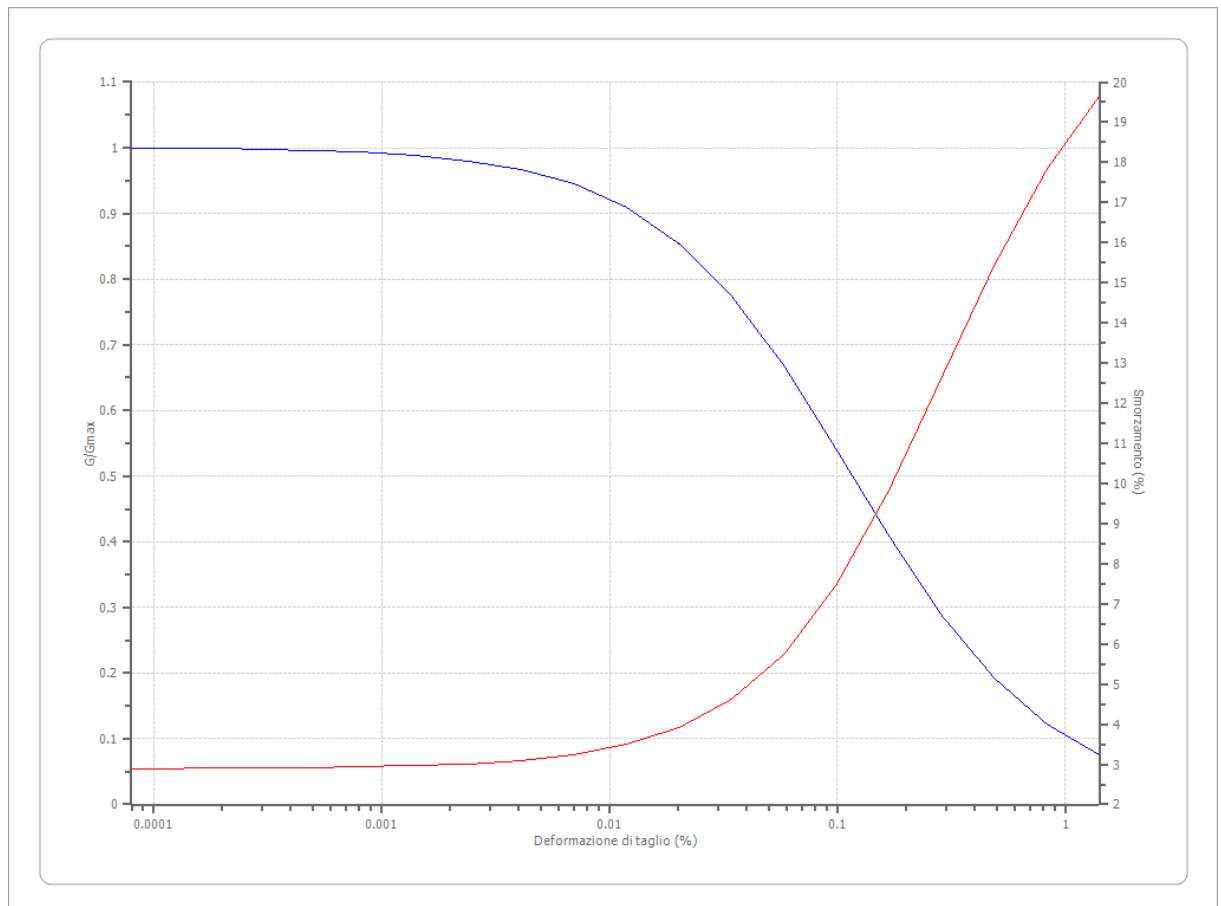
Lombardia - Limi argillosi

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.00008	1.000	0.00008	1.665475
0.0001	0.9974	0.0001	1.67745
0.0002	0.995575	0.0002	1.685925
0.0003	0.992475	0.0003	1.700375
0.0005	0.9872	0.0005	1.725175
0.0008	0.978325	0.0008	1.767775
0.0014	0.963575	0.0014	1.841375
0.0024	0.939225	0.0024	1.96895
0.0041	0.900325	0.0041	2.191675
0.007	0.8407	0.007	2.583075
0.0119	0.755075	0.0119	3.270475
0.0202	0.64305	0.0202	4.454025
0.0343	0.512875	0.0343	6.375775
0.0583	0.381	0.0583	9.167875
0.099	0.2647	0.099	12.63128
0.1684	0.173975	0.1684	16.22277
0.2862	0.109725	0.2862	19.36967
0.4866	0.0673	0.4866	21.77518
0.8272	0.040525	0.8272	23.44093
1.4063	0.024175	1.4063	24.52093



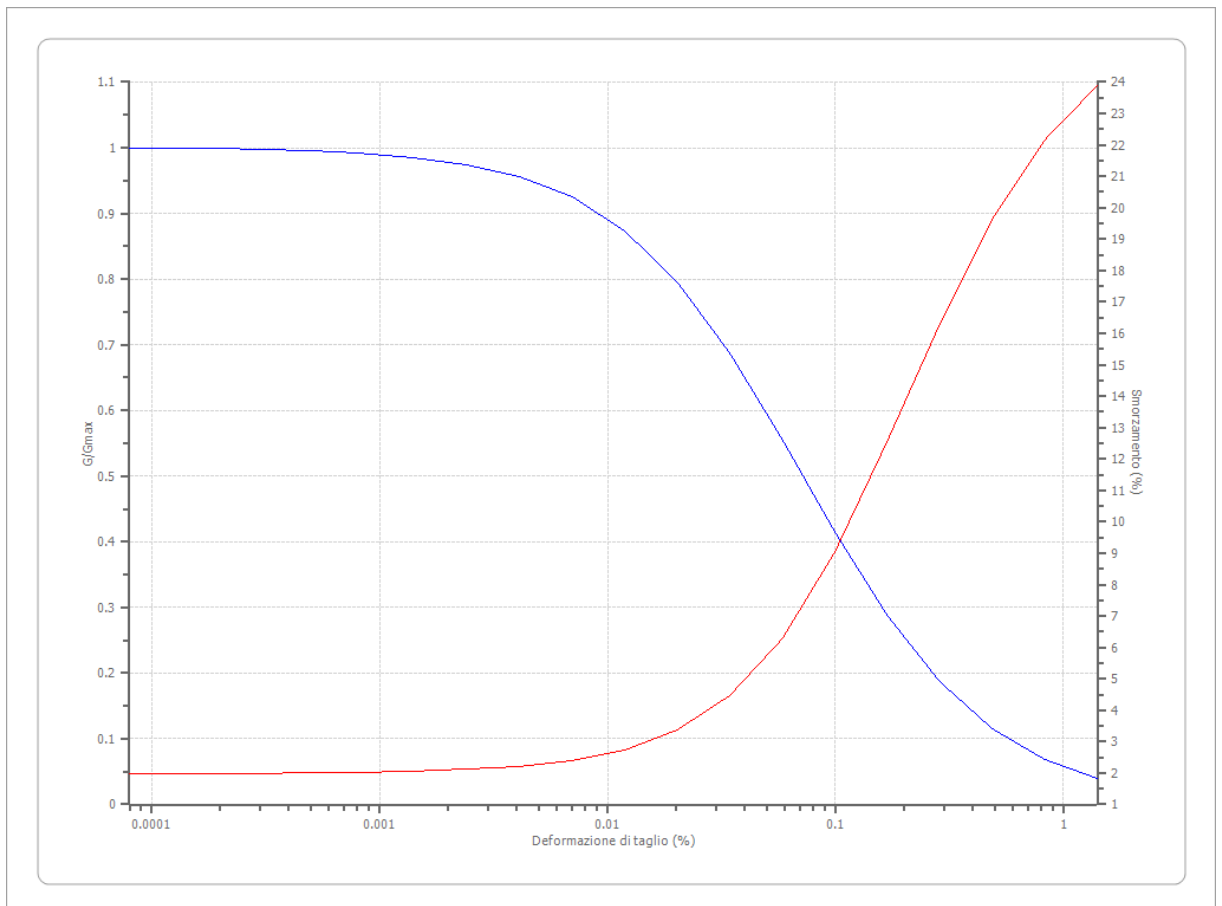
Lombardia - Argille limose

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.0008	1.000	0.0008	2.891
0.0001	0.9992	0.0001	2.8959
0.0002	0.9986	0.0002	2.8994
0.0003	0.9976	0.0003	2.9053
0.0005	0.9959	0.0005	2.9154
0.0008	0.9931	0.0008	2.9326
0.0014	0.9883	0.0014	2.962
0.0024	0.9802	0.0024	3.012
0.0041	0.9667	0.0041	3.0975
0.007	0.9445	0.007	3.2433
0.0119	0.9089	0.0119	3.4917
0.0202	0.854	0.0202	3.9125
0.0343	0.7742	0.0343	4.616
0.0583	0.6677	0.0583	5.7552
0.099	0.5408	0.099	7.4855
0.1684	0.4084	0.1684	9.848
0.2862	0.2881	0.2862	12.6362
0.4866	0.1918	0.4866	15.4287
0.8272	0.1221	0.8272	17.8243
1.4063	0.0754	1.4063	19.6357



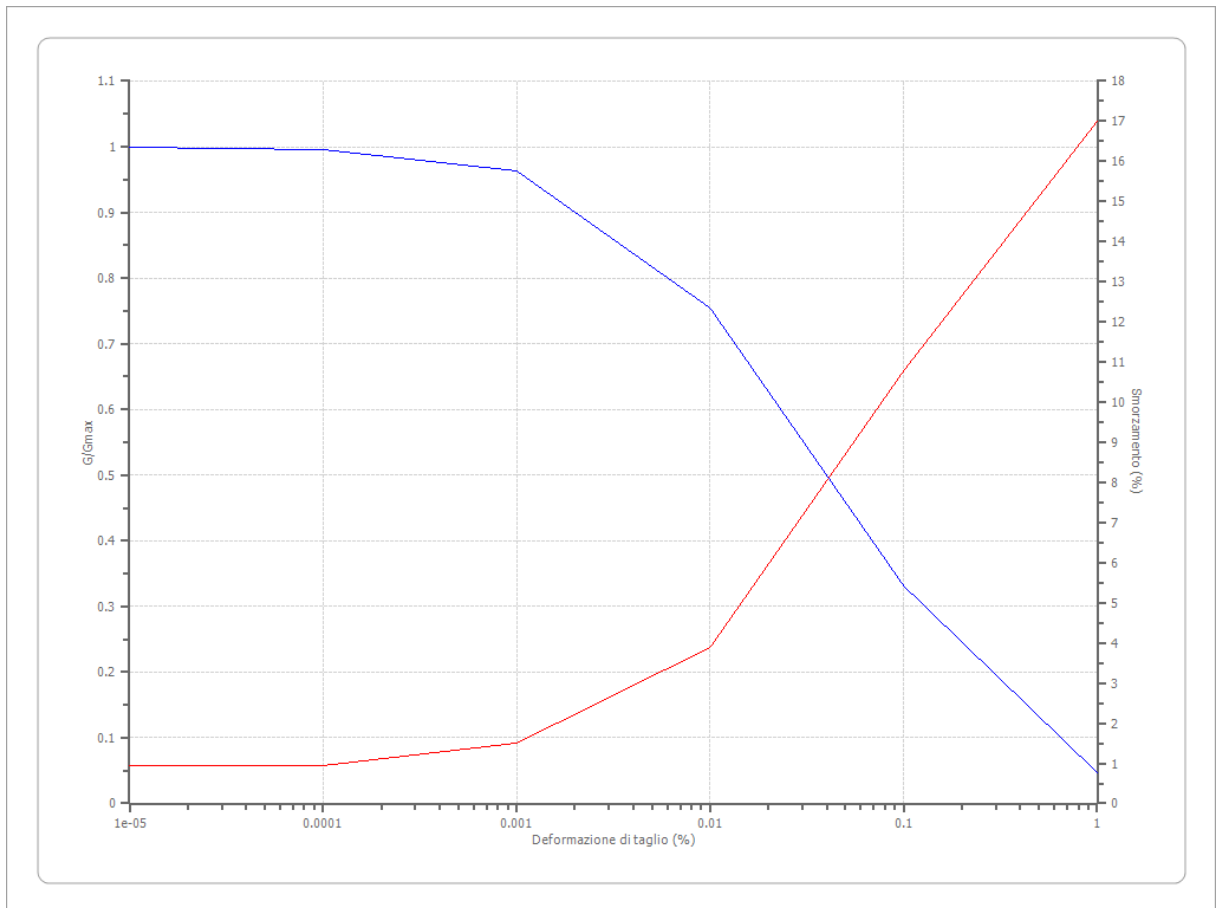
Lombardia - Limi sabbiosi

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.0008	1.000	0.0008	1.9826
0.0001	0.99915	0.0001	1.98695
0.0002	0.9985	0.0002	1.9903
0.0003	0.9974	0.0003	1.9962
0.0005	0.9953	0.0005	2.0067
0.0008	0.9918	0.0008	2.02525
0.0014	0.98555	0.0014	2.05825
0.0024	0.97465	0.0024	2.11705
0.0041	0.956	0.0041	2.222
0.007	0.9246	0.007	2.4103
0.0119	0.87385	0.0119	2.7498
0.0202	0.7964	0.0202	3.36165
0.0343	0.6886	0.0343	4.4464
0.0583	0.556	0.0583	6.2701
0.099	0.41535	0.099	9.0215
0.1684	0.2876	0.1684	12.55055
0.2862	0.1867	0.2862	16.2968
0.4866	0.11545	0.4866	19.6163
0.8272	0.0691	0.8272	22.15295
1.4063	0.0405	1.4063	23.89285



Lombardia - Ghiaie

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.00001	1.000	0.00001	0.9488
0.0001	0.996	0.0001	0.9488
0.001	0.9624	0.001	1.4981
0.010	0.754	0.010	3.8938
0.100	0.3311	0.100	10.7935
1.000	0.0476	1.000	17.0087



Stratigrafia

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Terreno	Gmax [MPa]	Smorzamento critico [%]	Peso unità vol. [kN/m ³]	Vs [m/s]	Tensione verticale [kPa]
1	--	31.0	Lombardia - Argille limose	1435.27	--	22.0	800.0	341.0
2	31.0	134.0	Lombardia - Limi sabbiosi	1435.27	--	22.0	800.0	1498.7
3	165.0	5.0	Lombardia - Limi argillosi	1435.27	--	22.0	800.0	2345.9
4	170.0	130.0	Lombardia - Ghiaie	1435.27	--	22.0	800.0	3168.8
5	oo	--	Smorzamento costante	1435.27	--	22.0	800.0	3961.1

Strato con falda: 1
 Strato rilevamento accelerogramma: 5 Interno

Elaborazione

Numero di iterazioni 8
 Rapporto tra deformazione a taglio effettiva e deformazione massima 0.5
 Tipo di modulo elastico Shake
 Massimo errore percentuale di convergenza 7.12 E-01

Fattori di amplificazione ICMS 2018

Tai	0.150 [s]
Tvi	0.700 [s]
Tao	0.230 [s]
Tvo	0.540 [s]
Sami	3.854 [m/s ²]
Svmi	0.205 [m/s]
Samo	5.882 [m/s ²]
Svmo	0.392 [m/s]
Fa	1.526 [-]
Fv	1.908 [-]
TB	0.140 [s]
TC	0.419 [s]
TD	2.458 [s]
SA(0)	0.214 [g]
SA(TB)	0.600 [g]

Fattori di amplificazione su intensità spettrale della velocità SI

Periodo minimo [s]	Periodo massimo [s]	Int. Housner input [m]	Int. Housner output [m]	FA
0.100	0.500	0.063	0.096	1.521
0.500	1.000	0.097	0.160	1.643
0.500	1.500	0.175	0.296	1.694

Fattori di amplificazione su intensità spettrale dell'accelerazione SA

Periodo minimo [s]	Periodo massimo [s]	Int. accelerazione input [m]	Int. accelerazione output [m]	FA
0.100	0.500	0.162	0.236	1.46
0.400	0.800	0.096	0.182	1.90
0.700	1.100	0.062	0.079	1.27
0.500	1.500	0.152	0.278	1.83

Si riportano i grafici su cui sono stati eseguiti i calcoli della tabella soprastante

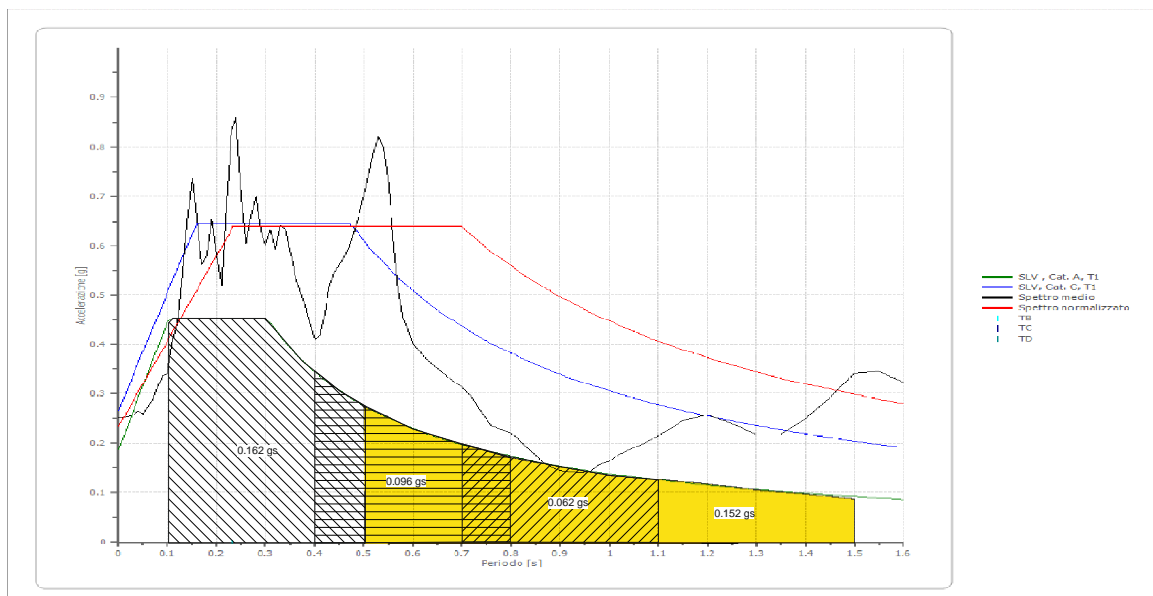


Grafico integrali input

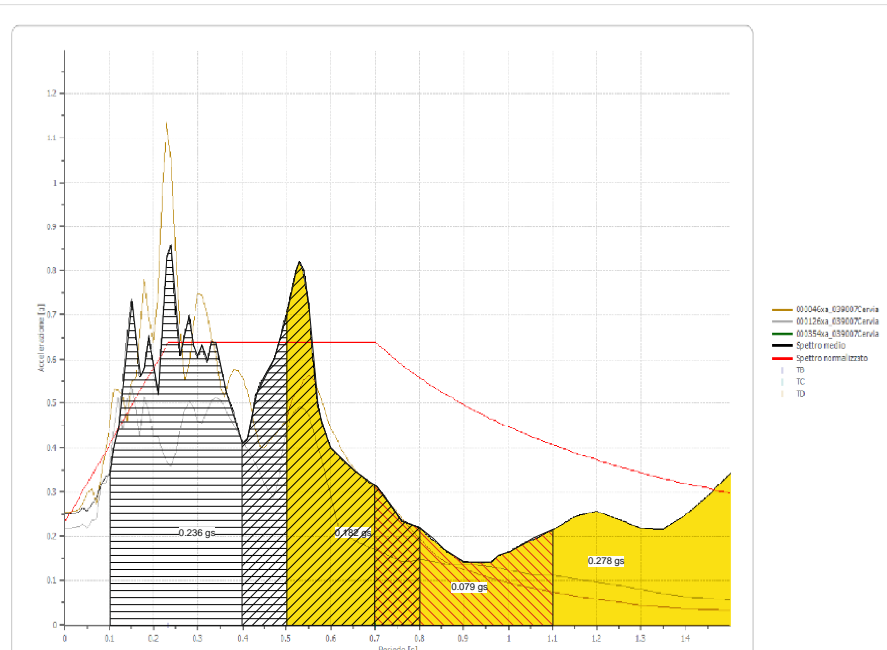


Grafico integrali output

Per quanto concerne la valutazione dei fattori di amplificazione riferiti allo scuotimento atteso al sito in valore assoluto H_{SM} , il DGR 630 fornisce la seguente formula:

$$H_{SM} = \frac{ASI_{UHS}}{\Delta T} \times FA$$

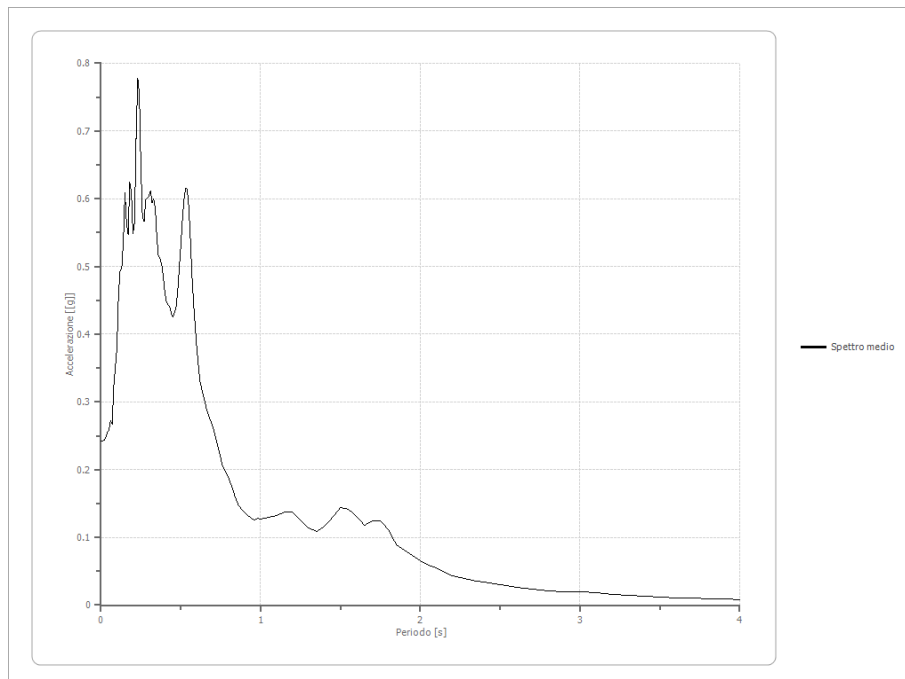
Mentre il rapporto $ASI/\Delta T$ è ricavabile dalla griglia fornita dall'allegato 4, per il quale il valore nel sito è di 403,35 cm/s^2 , per il fattore di amplificazione FA corrispondente si considerano i valori dell'accelerazione ma in valore assoluto (m/s^2).

Così si ottengono:

Periodo minimo [s]	Periodo massimo [s]	FA	H (Naso et al)	
0.100	0.500	1.46	588.89	H_{SM}
0.400	0.800	1.90	766.36	H_{0408}
0.700	1.100	1.27	512.25	H_{0711}
0.500	1.500	1.83	738.13	H_{0515}

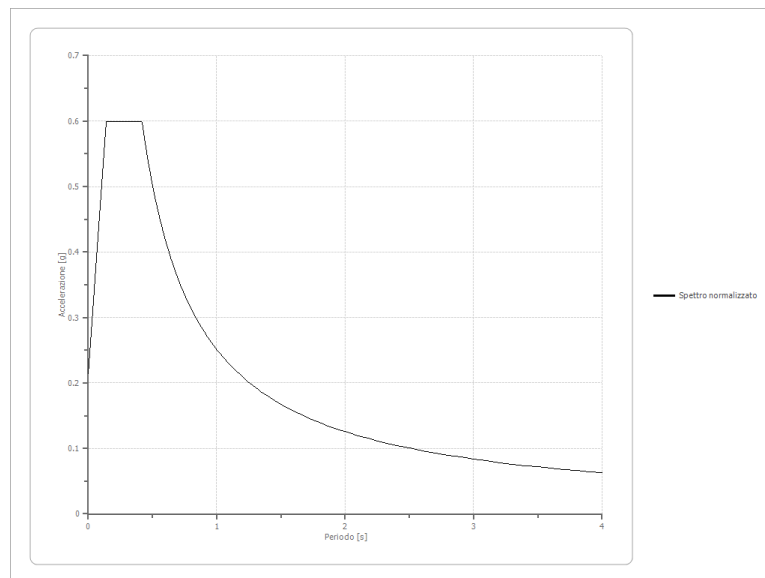
Spettro medio di risposta elastico

Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0.00	0.2420	0.26	0.5719	0.52	0.6000	0.98	0.1280	2.25	0.0405
0.01	0.2420	0.27	0.5667	0.53	0.6151	1.00	0.1276	2.30	0.0376
0.02	0.2438	0.28	0.5983	0.54	0.6138	1.05	0.1292	2.35	0.0354
0.03	0.2470	0.29	0.6007	0.55	0.5874	1.10	0.1329	2.40	0.0340
0.04	0.2549	0.30	0.6038	0.56	0.5400	1.15	0.1380	2.50	0.0304
0.05	0.2584	0.31	0.6113	0.57	0.4851	1.20	0.1371	2.60	0.0265
0.06	0.2725	0.32	0.5942	0.58	0.4448	1.25	0.1259	2.70	0.0232
0.07	0.2668	0.33	0.5999	0.60	0.3784	1.30	0.1135	2.80	0.0207
0.08	0.3239	0.34	0.5851	0.62	0.3305	1.35	0.1085	2.90	0.0199
0.09	0.3517	0.35	0.5419	0.64	0.3103	1.40	0.1166	3.00	0.0191
0.10	0.3811	0.36	0.5147	0.66	0.2907	1.45	0.1291	3.10	0.0179
0.11	0.4601	0.37	0.5123	0.68	0.2769	1.50	0.1435	3.20	0.0162
0.12	0.4942	0.38	0.5032	0.70	0.2638	1.55	0.1419	3.30	0.0142
0.13	0.4975	0.39	0.4839	0.72	0.2464	1.60	0.1313	3.40	0.0131
0.14	0.5385	0.40	0.4608	0.74	0.2259	1.65	0.1172	3.50	0.0121
0.15	0.6083	0.41	0.4475	0.76	0.2068	1.70	0.1244	3.60	0.0110
0.16	0.5645	0.42	0.4440	0.78	0.1964	1.75	0.1249	3.70	0.0101
0.17	0.5474	0.43	0.4417	0.80	0.1874	1.80	0.1108	3.80	0.0094
0.18	0.6251	0.44	0.4313	0.82	0.1747	1.85	0.0887	3.90	0.0088
0.19	0.6101	0.45	0.4259	0.84	0.1601	1.90	0.0806	4.00	0.0083
0.20	0.5490	0.46	0.4317	0.86	0.1478	1.95	0.0729		
0.21	0.5648	0.47	0.4382	0.88	0.1410	2.00	0.0657		
0.22	0.6892	0.48	0.4616	0.90	0.1357	2.05	0.0594		
0.23	0.7776	0.49	0.4975	0.92	0.1320	2.10	0.0545		
0.24	0.7560	0.50	0.5306	0.94	0.1285	2.15	0.0487		
0.25	0.6466	0.51	0.5692	0.96	0.1262	2.20	0.0429		



Spettro normalizzato di risposta elastico

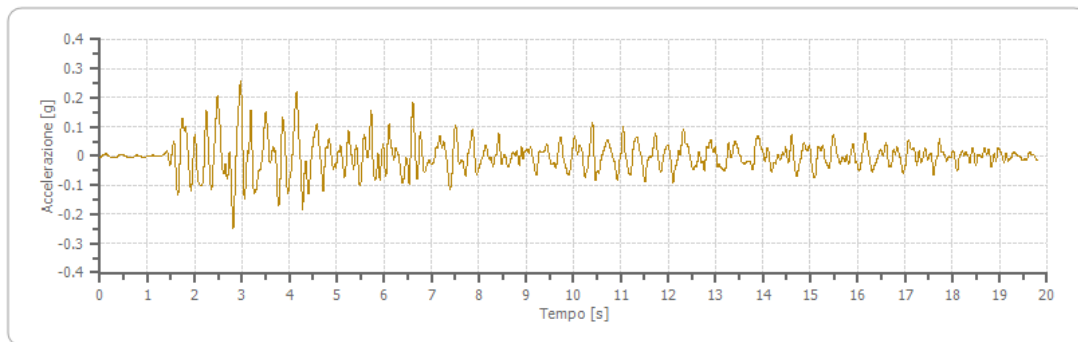
Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0.00	0.2144	0.26	0.5995	0.52	0.4829	0.98	0.2562	2.25	0.1116
0.01	0.2420	0.27	0.5995	0.53	0.4738	1.00	0.2511	2.30	0.1092
0.02	0.2696	0.28	0.5995	0.54	0.4650	1.05	0.2391	2.35	0.1069
0.03	0.2972	0.29	0.5995	0.55	0.4565	1.10	0.2283	2.40	0.1046
0.04	0.3248	0.30	0.5995	0.56	0.4484	1.15	0.2183	2.50	0.1004
0.05	0.3523	0.31	0.5995	0.57	0.4405	1.20	0.2093	2.60	0.0966
0.06	0.3799	0.32	0.5995	0.58	0.4329	1.25	0.2009	2.70	0.0930
0.07	0.4075	0.33	0.5995	0.60	0.4185	1.30	0.1932	2.80	0.0897
0.08	0.4351	0.34	0.5995	0.62	0.4050	1.35	0.1860	2.90	0.0866
0.09	0.4627	0.35	0.5995	0.64	0.3923	1.40	0.1794	3.00	0.0837
0.10	0.4903	0.36	0.5995	0.66	0.3805	1.45	0.1732	3.10	0.0810
0.11	0.5179	0.37	0.5995	0.68	0.3693	1.50	0.1674	3.20	0.0785
0.12	0.5455	0.38	0.5995	0.70	0.3587	1.55	0.1620	3.30	0.0761
0.13	0.5730	0.39	0.5995	0.72	0.3488	1.60	0.1569	3.40	0.0739
0.14	0.5995	0.40	0.5995	0.74	0.3393	1.65	0.1522	3.50	0.0717
0.15	0.5995	0.41	0.5995	0.76	0.3304	1.70	0.1477	3.60	0.0698
0.16	0.5995	0.42	0.5979	0.78	0.3219	1.75	0.1435	3.70	0.0679
0.17	0.5995	0.43	0.5840	0.80	0.3139	1.80	0.1395	3.80	0.0661
0.18	0.5995	0.44	0.5707	0.82	0.3062	1.85	0.1357	3.90	0.0644
0.19	0.5995	0.45	0.5580	0.84	0.2989	1.90	0.1322	4.00	0.0628
0.20	0.5995	0.46	0.5459	0.86	0.2920	1.95	0.1288		
0.21	0.5995	0.47	0.5343	0.88	0.2853	2.00	0.1256		
0.22	0.5995	0.48	0.5231	0.90	0.2790	2.05	0.1225		
0.23	0.5995	0.49	0.5125	0.92	0.2729	2.10	0.1196		
0.24	0.5995	0.50	0.5022	0.94	0.2671	2.15	0.1168		
0.25	0.5995	0.51	0.4924	0.96	0.2616	2.20	0.1141		



Parametri spettro normalizzato

Ag [g]	F0	Tc*	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]	S
0.214	2.796138	--	0.140	0.419	2.458	0.214	0.600	1.153

Spettro 046



$$PGA/PGA_0 = 0.256/0.174 = 1.472$$

Fattori di amplificazione su intensità spettrale

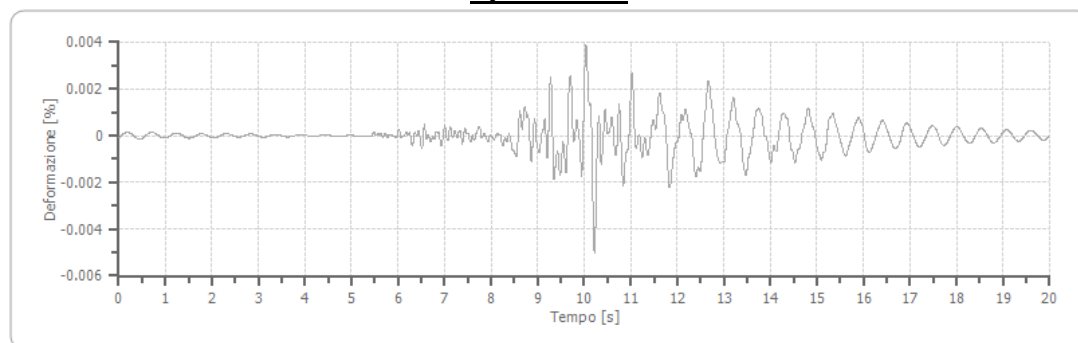
Periodo minimo [s]	Periodo massimo [s]	Int. Housner input [m]	Int. Housner output [m]	Int. Housner input/output [m]	FA
0.100	0.500	0.074	0.091	0.200	1.595
0.500	1.000	0.120	0.159	0.500	1.653
0.500	1.500	0.188	0.252	0.333	1.599

$$SI/SI_0 = 1,595/1,5 = 1.063 \text{ da } 0,1 \text{ a } 0,5 \text{ s}$$

$$SI/SI_0 = 1,653/2,3 = 0.718 \text{ da } 0,5 \text{ a } 1,0 \text{ s}$$

$$SI/SI_0 = 1,599/2,6 = 0.615 \text{ da } 0,5 \text{ a } 1,5 \text{ s}$$

Spettro 126



$$PGA/PGA_0 = 0.219/0.174 = 1.256$$

Fattori di amplificazione su intensità spettrale

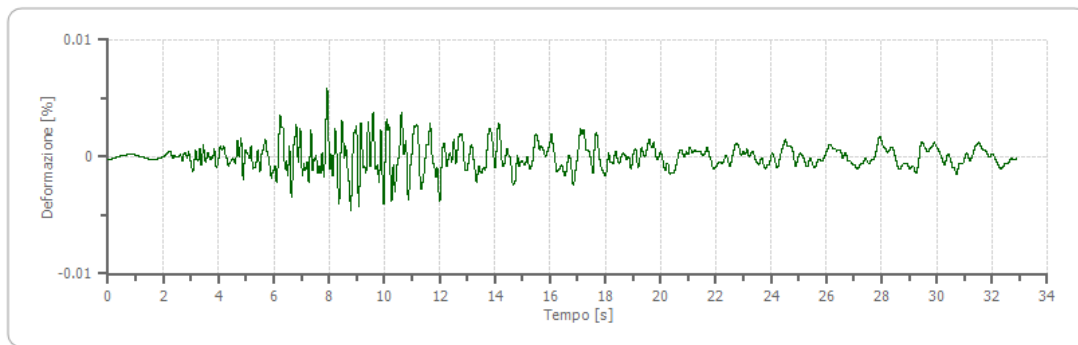
Periodo minimo [s]	Periodo massimo [s]	Int. Housner input [m]	Int. Housner output [m]	Int. Housner input/output [m]	FA
0.100	0.500	0.063	0.080	0.200	1.330
0.500	1.000	0.084	0.125	0.500	1.590
0.500	1.500	0.163	0.235	0.333	1.505

$$SI/SI_0 = 1.330/1.5 = 0.886 \text{ da } 0,1 \text{ a } 0,5 \text{ s}$$

$$SI/SI_0 = 1.590/2.3 = 0.691 \text{ da } 0,5 \text{ a } 1,0 \text{ s}$$

$$SI/SI_0 = 1.505/2.6 = 0.578 \text{ da } 0,5 \text{ a } 1,5 \text{ s}$$

Spettro 354



$$PGA/PGA_0 = 0.251/0.174 = 1.444$$

Fattori di amplificazione su intensità spettrale

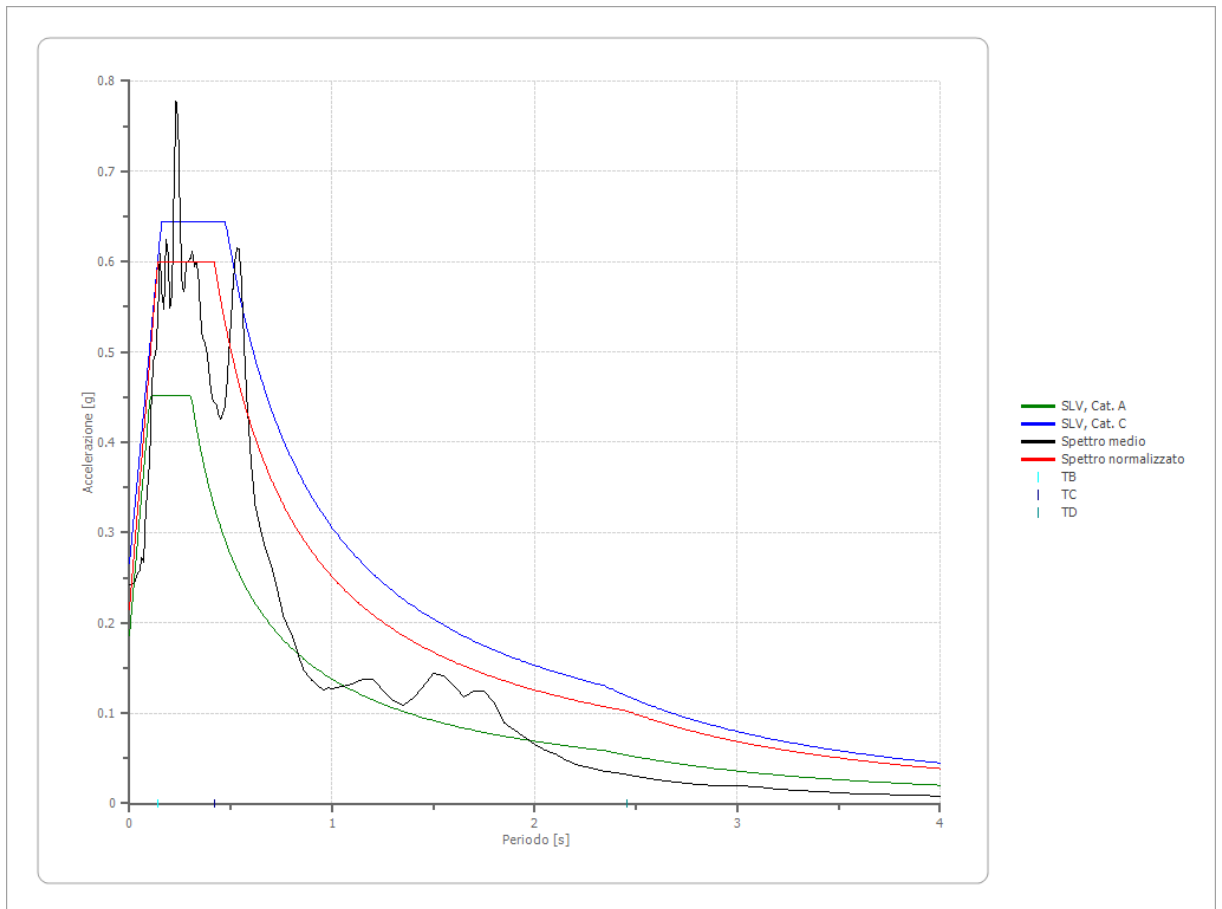
Periodo minimo [s]	Periodo massimo [s]	Int. Housner input [m]	Int. Housner output [m]	Int. Housner input/output [m]	FA
0.100	0.500	0.073	0.092	0.200	1.611
0.500	1.000	0.118	0.177	0.500	1.670
0.5	1.500	0.228	0.339	0.333	1.907

$$SI/SI_0 = 1.611/1.5 = 1.074 \text{ da } 0,1 \text{ a } 0,5 \text{ s}$$

$$SI/SI_0 = 1.670/2.3 = 0.726 \text{ da } 0,5 \text{ a } 1,0 \text{ s}$$

$$SI/SI_0 = 1.907/2.6 = 0.733 \text{ da } 0,5 \text{ a } 1,5 \text{ s}$$

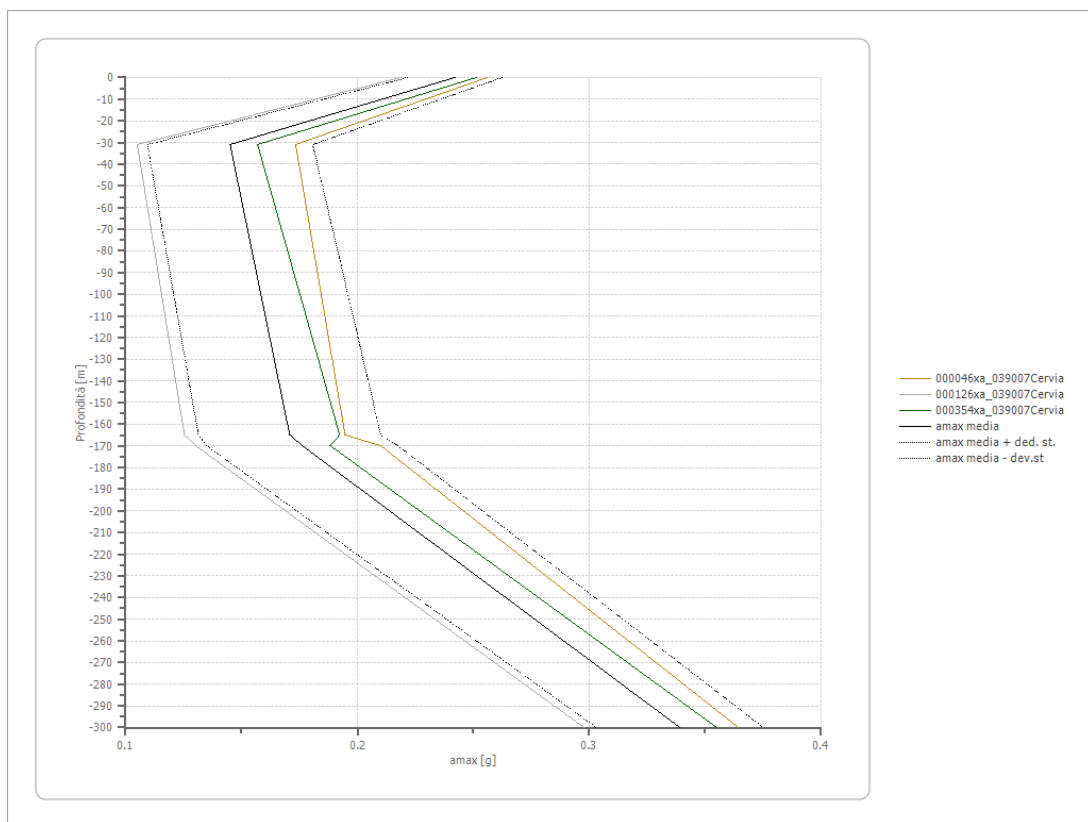
Confronto spettro normativa



Dal grafico si nota che lo spettro medio supera quello della normativa (SLV) per terreni di categoria C nel tratto To-TB e TB-TC, mentre è contenuto all'interno tratto TC-TD.

Profilo a max

	0.0	31.0	165.0	170.0	300.0
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
000046xa_039007Cervia [g]	0.256	0.173	0.195	0.210	0.364
000126xa_039007Cervia [g]	0.219	0.105	0.125	0.130	0.298
000354xa_039007Cervia [g]	0.251	0.157	0.192	0.188	0.355
media [g]	0.242	0.145	0.171	0.176	0.339
Dev. St. [g]	0.020	0.036	0.039	0.041	0.036



Il confronto tra l'elaborazione di III° livello e i dati dei fattori di amplificazione forniti dalla normativa regionale, mostrano sensibili differenze dei dati: i valori ottenuti dalla analisi di terzo livello sono leggermente più bassi ad esclusione delle PGA che in due casi superano il valore da DGR 630 così come il S11 degli spettri 046 e 354 che sono leggermente superiori al valore fornito dalle tabelle del DGR .

Si riporta in tabella il confronto tra i vari lavori.

	da DGR 630/19	Spettro 046	Spettro 126	Spettro 354
F.A. PGA	1.3	1.472	1.256	1.444
F.A. S11	1.5	1.595	1.330	1.611
F.A. S12	2.3	1.653	1.590	1.670
F.A. S13	2.6	1.599	1.505	1.907

VERIFICA SULLA LIQUEFAZIONE DELLE SABBIE

La liquefazione delle sabbie è un processo che può avvenire durante un evento sismico: essa nasce dall'incremento della pressione dell'acqua interstiziale (u) durante sollecitazioni di tipo ciclico.

Se tale aumento è tale da eguagliare la pressione litostatica totale (σ), si ha l'annullamento della resistenza al taglio (τ), secondo la seguente relazione:

$$\tau = (\sigma - u) \operatorname{tg} \varphi$$

La probabilità che si manifestino fenomeni di **liquefazione è bassa o nulla** se è verificata almeno una delle seguenti condizioni:

1. Magnitudo attesa inferiore a 5;
2. Accelerazione massima attesa in superficie in condizioni free-field minore di 0.1g;
3. Terreni sabbiosi con caratteristiche ricadenti in una delle tre seguenti categorie:
 - frazione di fine1, FC, superiore al 20%, con indice di plasticità $IP > 10\%$;
 - $FC \geq 35\%$ e resistenza $(N1)_{60} > 20$ oppure $qc_{1N} > 120$ oppure $VS1 > 200$ m/s;
 - $FC \leq 5\%$ e resistenza $(N1)_{60} > 30$ oppure $qc_{1N} > 160$ oppure $VS1 > 220$ m/s

$(N1)_{60}$, qc_{1N} , $VS1$ sono i valori normalizzati dell'indice NSPT della Standard Penetration Test, della resistenza di punta qc della prova CPT e della velocità di propagazione delle onde di taglio da prove geofisiche. In prima approssimazione tali valori possono essere calcolati con le seguenti equazioni:

$$(N1)_{60} = N_{SPT} \cdot \left(\frac{P_a}{\sigma'_{v0}} \right)^{0.5}$$

$$qc_{1N} = \frac{q_c}{P_a} \cdot \left(\frac{P_a}{\sigma'_{v0}} \right)^{0.5}$$

$$VS1 = V_S \cdot \left(\frac{P_a}{\sigma'_{v0}} \right)^{0.25}$$

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

4. Distribuzione granulometrica esterna per oltre il 50% al fuso indicato in Figura 1a nel caso di materiale con coefficiente di uniformità $U_c < 3.5$ ed in Figura 1b per coefficienti di uniformità $U_c > 3.5$.

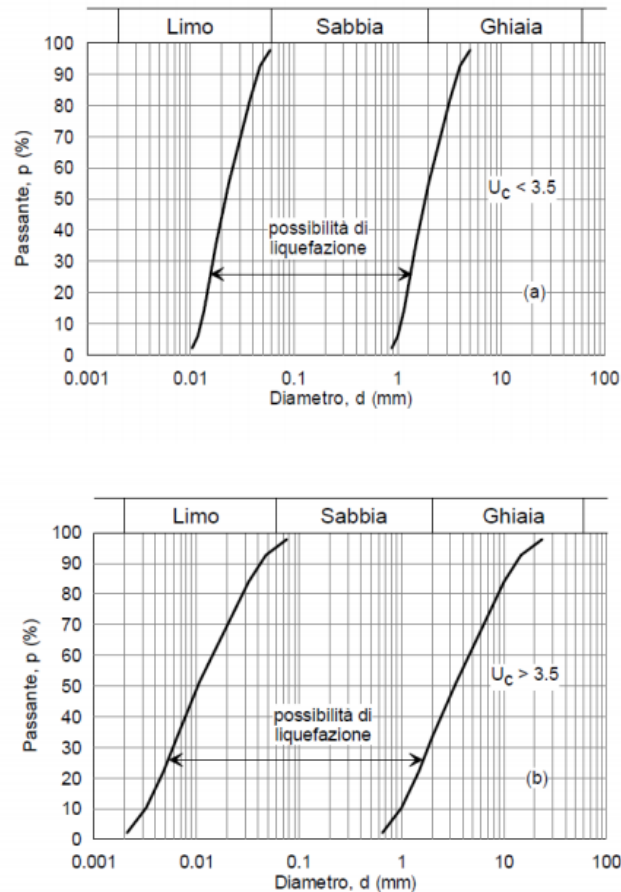
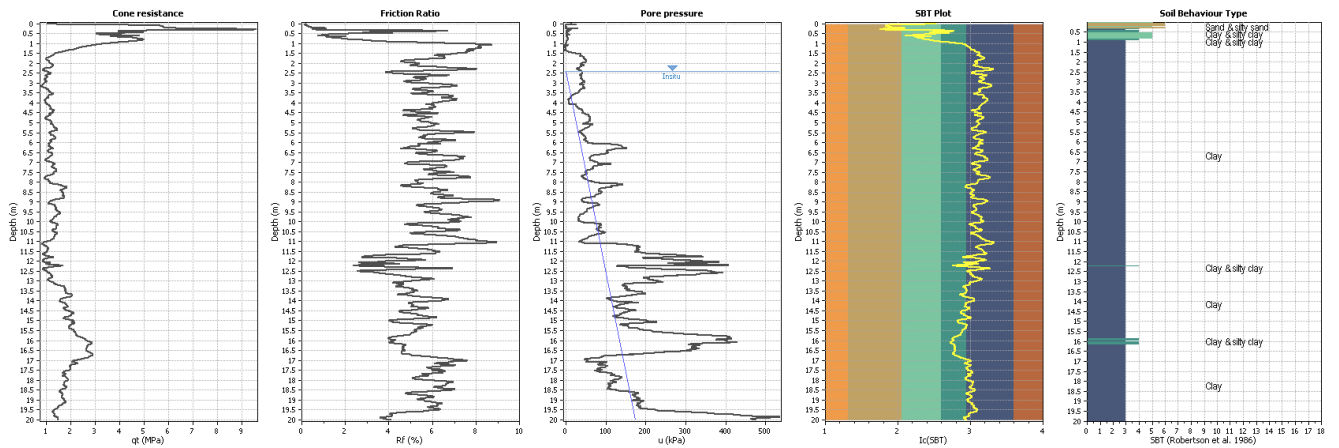


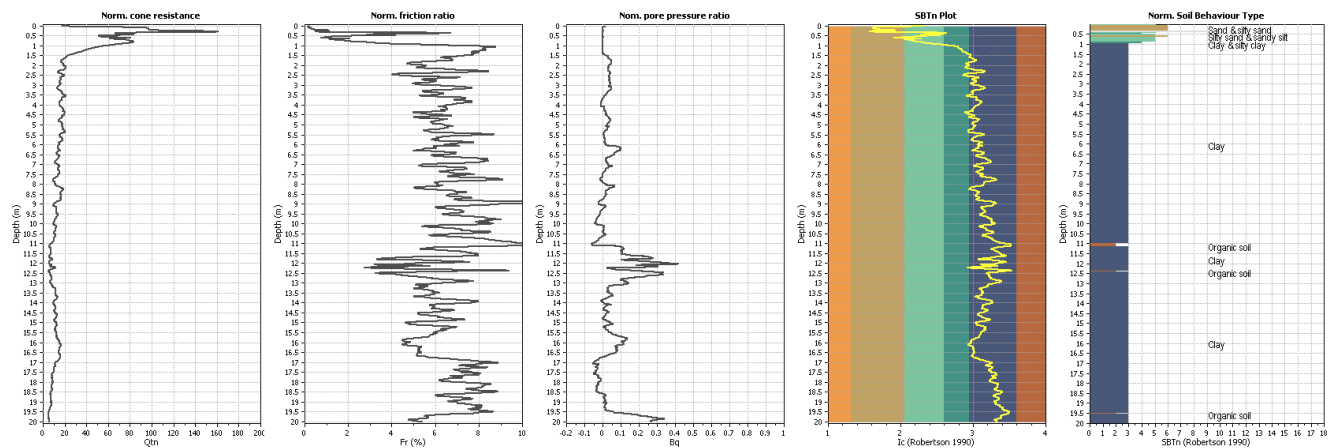
Figura 1 - Fasce granulometriche per la valutazione preliminare della suscettibilità a liquefazione di terreni a granulometria uniforme (a) ed estesa (b) (AGI, 2005)

5. Profondità media stagionale della falda superiore ai 15 m dal piano campagna.

L'elaborazione della prova CPTU ha fornito una interpretazione stratigrafica litologica così come riportata nei seguenti grafici:



Grafici di base



Grafici normalizzati

Dove si nota (grafico SBT) che la litologia dei terreni sotto falda (-2.4 m) è tutta contenuta all'interno di terreni argillosi.

Nel nostro caso è possibile evitare la verifica in quanto i terreni hanno granulometria esterna ai fusi granulometrici pericolosi.

CONCLUSIONI SULL'ANALISI SISMICA

Da quanto sopra esposto, nonostante un aumento sensibile dell'accelerazione di picco in superficie, l'intervento è fattibile e non essendoci problemi di liquefazione o di stabilità dei terreni, non sono necessarie prescrizioni particolari ma è sufficiente rispettare la normativa sismica vigente.

CALCOLO PORTANZA E CEDIMENTI DI FONDAZIONI SUPERFICIALI

Allo scopo di verificare le caratteristiche dei terreni sotto carico, si sono calcolate due tipologie fondali, considerando i parametri geotecnici ricavati dalla prova CPTU.

I seguenti calcoli hanno lo scopo di verificare la effettiva capacità dei terreni di ospitare degli edifici con fondazioni superficiali.

Le teorie di calcolo sono quelle qui di seguito esposte.

CARICO LIMITE DI FONDAZIONI SU TERRENI

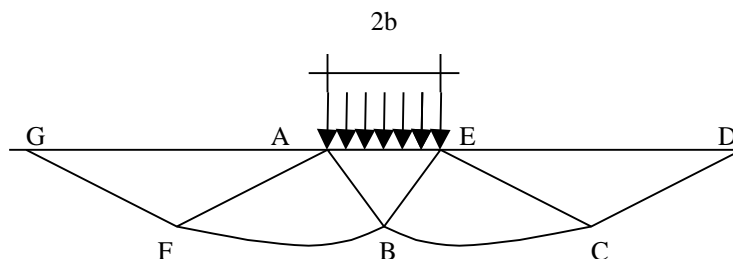
Il carico limite di una fondazione superficiale può essere definito con riferimento a quel valore del carico, maggiore del precedente, per il quale il fenomeno di rottura si è esteso ad un ampio volume del suolo (metodo di Prandtl e successivi).

All'atto della rottura si verifica la plasticizzazione del materiale racchiuso fra la superficie limite del semispazio e la superficie $GFBCD$.

Nel triangolo AEB la rottura avviene secondo due famiglie di segmenti rettilinei ed inclinati di $45^\circ + \varphi/2$ rispetto all'orizzontale.

Nelle zone ABF e EBC la rottura si produce lungo due famiglie di linee, l'una costituita da segmenti rettilinei passanti rispettivamente per i punti A ed E e l'altra da archi di spirali logaritmiche.

I poli di queste sono i punti A ed E . Nei triangoli AFG e ECD la rottura avviene su segmenti inclinati di $\pm(45^\circ + \varphi/2)$ rispetto alla verticale.



Formula Brich-Hansen (EC 7 – EC 8)

Affinché una fondazione possa resistere il carico di progetto con sicurezza nei riguardi della rottura generale, per tutte le combinazioni di carico relative allo SLU (stato limite ultimo), deve essere soddisfatta la seguente disuguaglianza:

$$V_d \leq R_d$$

Dove V_d è il carico di progetto allo SLU, normale alla base della fondazione, comprendente anche il peso della fondazione stessa; mentre R_d è il carico limite di progetto della

fondazione nei confronti di carichi normali , tenendo conto anche dell'effetto di carichi inclinati o eccentrici.

Nella valutazione analitica del carico limite di progetto R_d si devono considerare le situazioni a breve e a lungo termine nei terreni a grana fine.

Il carico limite di progetto in condizioni non drenate si calcola come:

$$R/A' = (2 + \pi) c_u s_c i_c + q$$

Dove:

$A' = B' L'$ area della fondazione efficace di progetto, intesa, in caso di carico eccentrico, come l'area ridotta al cui centro viene applicata la risultante del carico.

c_u Coesione non drenata.

q pressione litostatica totale sul piano di posa.

s_c Fattore di forma

$$s_c = 1 + 0,2 (B'/L') \quad \text{per fondazioni rettangolari}$$

$$s_c = 1,2 \quad \text{per fondazioni quadrate o circolari.}$$

i_c Fattore correttivo per l'inclinazione del carico dovuta ad un carico H .

$$i_c = 0,5 \left(1 + \sqrt{1 - H/A' c_u} \right)$$

Per le condizioni drenate il carico limite di progetto è calcolato come segue.

$$R/A' = c' N_c s_c i_c + q' N_q s_q i_q + 0,5 \gamma' B' N_\gamma s_\gamma i_\gamma$$

dove:

$$N_q = e^{\pi \tan \phi'} \tan^2 (45 + \phi' / 2)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi'$$

$$N_\gamma = 1,5 (N_q - 1) \tan \phi'$$

Fattori di forma

$$s_q = 1 + (B'/L') \sin \phi' \quad \text{per forma rettangolare}$$

$$s_q = 1 + \sin \phi' \quad \text{per forma quadrata o circolare}$$

$$s_\gamma = 1 - 0,3 (B'/L') \quad \text{per forma rettangolare}$$

$$s_\gamma = 0,7 \quad \text{per forma quadrata o circolare}$$

$$s_c = (s_q \cdot N_q - 1) / (N_q - 1) \quad \text{per forma rettangolare, quadrata o circolare.}$$

Fattori inclinazione risultante dovuta ad un carico orizzontale H parallelo a L'

$$i_q = i_\gamma = 1 - H / (V + A' c' \cot \phi')$$

$$i_c = (i_q N_q - 1) / (N_q - 1)$$

Fattori inclinazione risultante dovuta ad un carico orizzontale H parallelo a B'

$$i_q = [1 - 0,7H / (V + A \cdot c' \cdot \cot \phi')]^3$$

$$i_y = [1 - H / (V + A \cdot c' \cdot \cot \phi')]^3$$

$$i_c = (i_q \cdot N_q - 1) / (N_q - 1)$$

Oltre ai fattori correttivi di cui sopra sono considerati quelli complementari della profondità del piano di posa e dell'inclinazione del piano di posa e del piano campagna (Hansen).

FATTORI CORRETTIVI SISMICI: PAOLUCCI E PECKER

Per tener conto degli effetti inerziali indotti dal sisma sulla determinazione del q_{lim} vengono introdotti i fattori correttivi z:

$$z_q = \left(1 - \frac{k_h}{tg \phi}\right)^{0,35}$$

$$z_c = 1 - 0,32 \cdot k_h$$

$$z_y = z_q$$

Dove k_h è il coefficiente sismico orizzontale.

Calcolo coefficienti sismici

Le **NTC 2018** calcolano i coefficienti k_h e k_v in dipendenza di vari fattori:

$$k_h = \beta \times (a_{max}/g)$$

$$k_v = \pm 0,5 \times k_h$$

β = coefficiente di riduzione accelerazione massima attesa al sito;

a_{max} = accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

g = accelerazione di gravità;

Tutti i fattori presenti nelle precedenti formule dipendono dall'accelerazione massima attesa sul sito di riferimento rigido e dalle caratteristiche geomorfologiche del territorio.

$$a_{max} = S_S S_T a_g$$

S_S (effetto di amplificazione stratigrafica): $0.90 \leq S_S \leq 1.80$; è funzione di F_0 (Fattore massimo di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e della categoria di suolo (A, B, C, D, E).

S_T (effetto di amplificazione topografica) per fondazioni in prossimità di pendii.

Il valore di S_T varia con il variare delle quattro categorie topografiche introdotte:

$$T1 (S_T = 1.0) \quad T2 (S_T = 1.20) \quad T3 (S_T = 1.20) \quad T4 (S_T = 1.40).$$

Questi valori sono calcolati come funzione del punto in cui si trova il sito oggetto di analisi. Il parametro di entrata per il calcolo è il tempo di ritorno dell'evento sismico che è valutato come segue:

$$T_R = -V_R / \ln(1 - PVR)$$

Con V_R vita di riferimento della costruzione e PVR probabilità di superamento, nella vita di riferimento, associata allo stato limite considerato. La vita di riferimento dipende dalla vita nominale della costruzione e dalla classe d'uso della costruzione (in linea con quanto previsto al punto 2.4.3 delle NTC). In ogni caso V_R dovrà essere maggiore o uguale a 35 anni.

Per l'applicazione dell'**Eurocodice 8** (progettazione geotecnica in campo sismico) il coefficiente sismico orizzontale viene così definito:

$$K_h = a_{gR} \cdot \gamma_I \cdot S / (g)$$

a_{gR} : accelerazione di picco di riferimento su suolo rigido affiorante,

γ_I : fattore di importanza,

S: soil factor e dipende dal tipo di terreno (da A ad E).

$$a_g = a_{gR} \cdot \gamma_I$$

è la "design ground acceleration on type A ground".

Il coefficiente sismico verticale K_v è definito in funzione di K_h , e vale:

$$K_v = \pm 0.5 \cdot K_h$$

CEDIMENTI EDOMETRICI

Il calcolo dei cedimenti con l'approccio edometrico consente di valutare un cedimento di consolidazione di tipo monodimensionale, prodotto dalle tensioni indotte da un carico applicato in condizioni di espansione laterale impedita. Pertanto la stima effettuata con questo metodo va considerata come empirica, piuttosto che teorica.

Tuttavia la semplicità d'uso e la facilità di controllare l'influenza dei vari parametri che intervengono nel calcolo, ne fanno un metodo molto diffuso.

L'approccio edometrico nel calcolo dei cedimenti passa essenzialmente attraverso due fasi: il calcolo delle tensioni verticali indotte alle varie profondità con l'applicazione della teoria dell'elasticità;

la valutazione dei parametri di compressibilità attraverso la prova edometrica.

In riferimento ai risultati della prova edometrica, il cedimento è valutato come:

$$\Delta H = H_0 \cdot RR \cdot \log \frac{\sigma'_{v0} + \Delta \sigma_v}{\sigma'_{v0}}$$

se si tratta di un terreno sovraconsolidato ($OCR > 1$), ossia se l'incremento di tensione dovuto all'applicazione del carico non fa superare la pressione di preconsolidazione σ'_p ($\sigma'_{v0} + \Delta\sigma_v < \sigma'_p$).

Se invece il terreno è normalconsolidato ($\sigma'_{v0} = \sigma'_p$) le deformazioni avvengono nel tratto di compressione e il cedimento è valutato come:

$$\Delta H = H_0 \cdot CR \cdot \log \frac{\sigma'_{v0} + \Delta\sigma_v}{\sigma'_{v0}}$$

dove:

RR Rapporto di ricompressione;

CR Rapporto di compressione;

H_0 spessore iniziale dello strato;

σ'_{v0} tensione verticale efficace prima dell'applicazione del carico.

$\Delta\sigma_v$ incremento di tensione verticale dovuto all'applicazione del carico.

In alternativa ai parametri RR e CR si fa riferimento al modulo edometrico M ; in tal caso però occorre scegliere opportunamente il valore del modulo da utilizzare, tenendo conto dell'intervallo tensionale ($\sigma'_{v0} + \Delta\sigma_v$) significativo per il problema in esame.

L'applicazione corretta di questo tipo di approccio richiede:

la suddivisione degli strati compressibili in una serie di piccoli strati di modesto spessore (< 2.00 m);

la stima del modulo edometrico nell'ambito di ciascuno strato;

il calcolo del cedimento come somma dei contributi valutati per ogni piccolo strato in cui è stato suddiviso il banco compressibile.

Molti usano le espressioni sopra riportate per il calcolo del cedimento di consolidazione tanto per le argille quanto per le sabbie di granulometria da fina a media, perché il modulo di elasticità impiegato è ricavato direttamente da prove di consolidazione. Tuttavia, per terreni a grana più grossa le dimensioni dei provini edometrici sono poco significative del comportamento globale dello strato e, per le sabbie, risulta preferibile impiegare prove penetrometriche statiche e dinamiche.

Cedimento secondario

Il cedimento secondario è calcolato facendo riferimento alla relazione:

$$\Delta H_s = H_c \cdot C_\alpha \cdot \log \frac{T}{T_{100}}$$

in cui:

H_C è l'altezza dello strato in fase di consolidazione;

C_α è il coefficiente di consolidazione secondaria come pendenza nel tratto secondario della curva *cedimento-logaritmo tempo*;

T tempo in cui si vuole il cedimento secondario;

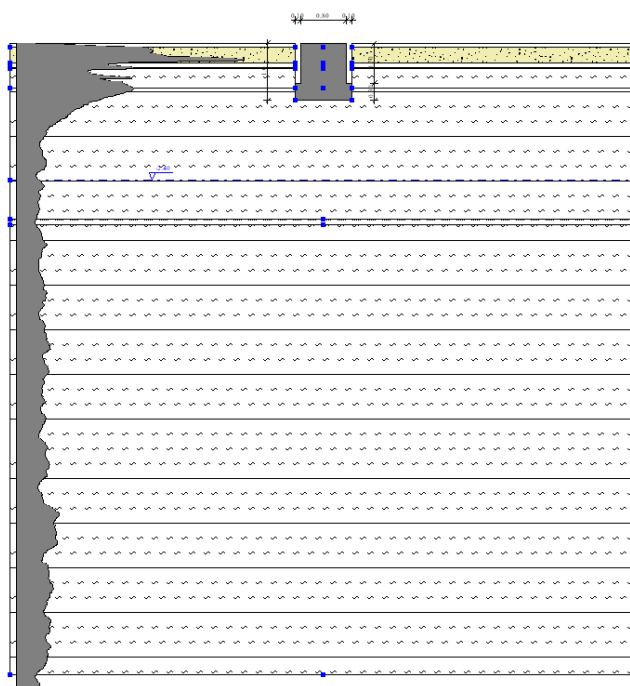
T_{100} tempo necessario all'esaurimento del processo di consolidazione primaria.

VERIFICA DEL CARICO LIMITE

Il carico limite è stato calcolato considerando le ultime norme sismiche (DM 2018). I parametri geotecnici sono quelli ricavati dalle prove penetrometriche in particolare della prova CPTU n.1 che è più cautelativa.

Si è considerata una fondazione nastriforme a -1.0 m di profondità e una platea a -3.0 m.

Fondazione Nastriforme a -1 metro



DATI GENERALI

Normativa	NTC 2018
Larghezza fondazione	1.0 m
Lunghezza fondazione	10.0 m
Profondità piano di posa	1.0 m
Altezza di incastro	1.0 m
Profondità falda	2.4

SISMA

=====

Accelerazione massima (ag/g) 0.265
 Effetto sismico secondo NTC 2018

=====

STRATIGRAFIA TERRENO

Spessore strato [m]	Peso unità di volume [kN/m ³]	Peso unità di volume saturo [kN/m ³]	Angolo di attrito [°]	Coesione [kN/m ²]	Coesione non drenata [kN/m ²]	Modulo Elastico [kN/m ²]	Modulo Edometrico [kN/m ²]
0.06	19.73	20.52	0.0	0.0	123.56	0.0	4953.92
0.28	21.38	22.16	42.0	0.0	336.37	0.0	13461.79
0.09	20.66	21.44	0.0	0.0	216.73	0.0	8683.86
0.01	20.92	21.7	42.0	0.0	254.97	0.0	10183.84
0.34	20.54	21.33	0.0	0.0	203.0	0.0	8123.87
0.01	20.89	21.68	41.49	0.0	251.05	0.0	10039.84
2.29	19.0	19.79	0.0	0.0	81.4	0.0	4666.0
0.1	17.8	18.59	0.0	0.0	41.19	0.0	3873.62
7.9	18.5	19.28	0.0	0.0	62.76	0.0	4673.75

Carichi di progetto agenti sulla fondazione

Nr.	Nome combinazione	Pressione normale di progetto [kN/m ²]	N [kN]	Mx [kN·m]	My [kN·m]	Hx [kN]	Hy [kN]	Tipo
1	A1+M1+R3	149.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Progetto
2	SISMA	149.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Progetto
3	S.L.E.	149.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Servizio
4	S.L.D.	149.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Servizio

Sisma + Coeff. parziali parametri geotecnici terreno + Resistenze

Nr	Correzione Sismica	Tangente angolo di resistenza al taglio	Coesione efficace	Coesione non drenata	Peso Unità volume in fondazione	Peso unità volume copertura	Coef. Rid. Capacità portante verticale	Coef. Rid. Capacità portante orizzontale
1	No	1	1	1	1	1	2.3	1.1
2	Si	1	1	1	1	1	1.8	1.1
3	No	1	1	1	1	1	1	1
4	No	1	1	1	1	1	1	1

CARICO LIMITE FONDAZIONE COMBINAZIONE...A1+M1+R3

Autore: Brinch - Hansen 1970

Carico limite [Qult] 447.19 kN/m²
 Resistenza di progetto [Rd] 194.43 kN/m²
 Tensione [Ed] 149.06 kN/m²
 Fattore sicurezza [Fs=Qult/Ed] 3.0
 Condizione di verifica [Ed<=Rd] Verificata

COEFFICIENTE DI SOTTOFONDAZIONE BOWLES (1982)

Costante di Winkler 17887.41 kN/m³**A1+M1+R3**

Autore: Brinch - Hansen 1970 (Condizione non drenata)

Fattore [Nq]	1.0
Fattore [Nc]	5.14
Fattore forma [Sc]	1.02
Fattore profondità [Dc]	1.0
Fattore inclinazione carichi [Ic]	1.0
Fattore inclinazione pendio [Gc]	1.0
Fattore inclinazione base [Bc]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1.0
Carico limite	447.19 kN/m ²
Resistenza di progetto	194.43 kN/m ²
Condizione di verifica [Ed<=Rd]	Verificata

SISMA

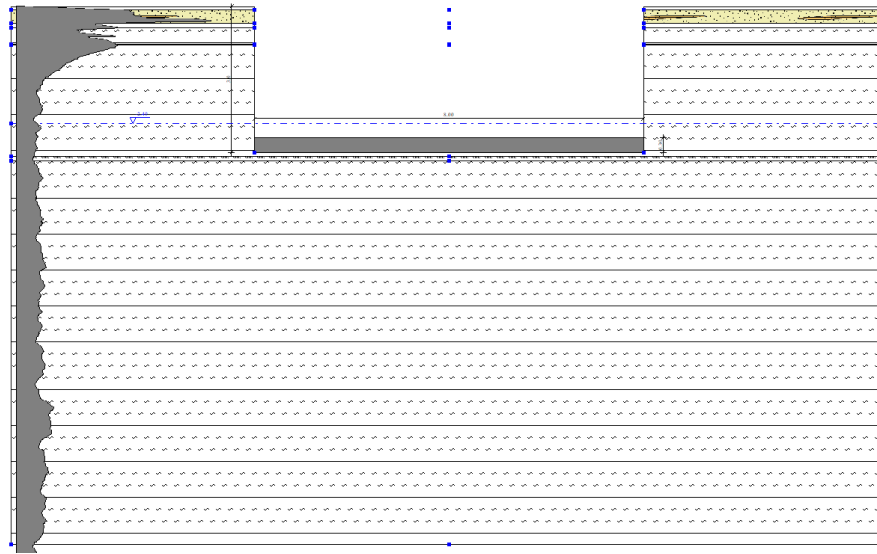
Autore: Brinch - Hansen 1970 (Condizione non drenata)

Fattore [Nq]	1.0
Fattore [Nc]	5.14
Fattore forma [Sc]	1.02
Fattore profondità [Dc]	1.0
Fattore inclinazione carichi [Ic]	1.0
Fattore inclinazione pendio [Gc]	1.0
Fattore inclinazione base [Bc]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1.0
Carico limite	447.19 kN/m ²
Resistenza di progetto	248.44 kN/m ²
Condizione di verifica [Ed<=Rd]	Verificata

CEDIMENTI PER OGNI STRATO

*Cedimento edometrico calcolato con: Metodo consolidazione monodimensionale di Terzaghi

Pressione normale di progetto	140.0 kN/m ²
Cedimento dopo T anni	10.0
Distanza	0.00 m
Angolo	0.00 °
Cedimento totale	4.649 cm

Fondazione Platea a -3 metri**DATI GENERALI**

Normativa	NTC 2018
Larghezza fondazione	8.0 m
Lunghezza fondazione	20.0 m
Profondità piano di posa	3.0 m
Altezza di incastro	1.0 m
Profondità falda	2.4

SISMA

Accelerazione massima (ag/g)	0.265
Effetto sismico secondo	NTC 2018

STRATIGRAFIA TERRENO

Spessore strato [m]	Peso unità di volume [kN/m³]	Peso unità di volume saturo [kN/m³]	Angolo di attrito [°]	Coesione [kN/m²]	Coesione non drenata [kN/m²]	Modulo Elastico [kN/m²]	Modulo Edometrico [kN/m²]
0.06	19.73	20.52	0.0	0.0	123.56	0.0	4953.92
0.28	21.38	22.16	42.0	0.0	336.37	0.0	13461.79
0.09	20.66	21.44	0.0	0.0	216.73	0.0	8683.86
0.01	20.92	21.7	42.0	0.0	254.97	0.0	10183.84
0.34	20.54	21.33	0.0	0.0	203.0	0.0	8123.87
0.01	20.89	21.68	41.49	0.0	251.05	0.0	10039.84
2.29	19.0	19.79	0.0	0.0	81.4	0.0	4666.0
0.1	17.8	18.59	0.0	0.0	41.19	0.0	3873.62
7.9	18.5	19.28	0.0	0.0	62.76	0.0	4673.75

Carichi di progetto agenti sulla fondazione

Nr.	Nome combinazione	Pressione normale di progetto	N [kN]	Mx [kN·m]	My [kN·m]	Hx [kN]	Hy [kN]	Tipo

		[kN/m ²]						
1	A1+M1+R3	135.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Progetto
2	SISMA	135.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Progetto
3	S.L.E.	135.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Servizio
4	S.L.D.	135.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Servizio

Sisma + Coeff. parziali parametri geotecnici terreno + Resistenze

Nr	Correzione Sismica	Tangente angolo di resistenza al taglio	Coesione efficace	Coesione non drenata	Peso Unità volume in fondazione	Peso unità volume copertura	Coef. Rid. Capacità portante verticale	Coef. Rid. Capacità portante orizzontale
1	No	1	1	1	1	1	2.3	1.1
2	Si	1	1	1	1	1	1.8	1.1
3	No	1	1	1	1	1	1	1
4	No	1	1	1	1	1	1	1

CARICO LIMITE FONDAZIONE COMBINAZIONE...A1+M1+R3

Autore: Brinch - Hansen 1970

Carico limite [Qult]	406.36 kN/m ²
Resistenza di progetto[Rd]	176.68 kN/m ²
Tensione [Ed]	135.45 kN/m ²
Fattore sicurezza [Fs=Qult/Ed]	3.0
Condizione di verifica [Ed<=Rd]	Verificata

COEFFICIENTE DI SOTTOFONDAZIONE BOWLES (1982)

Costante di Winkler 16254.59 kN/m³**A1+M1+R3**

Autore: Brinch - Hansen 1970 (Condizione non drenata)

Fattore [Nq]	1.0
Fattore [Nc]	5.14
Fattore forma [Sc]	1.08
Fattore profondità [Dc]	1.0
Fattore inclinazione carichi [Ic]	1.0
Fattore inclinazione pendio [Gc]	1.0
Fattore inclinazione base [Bc]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1.0

Carico limite	406.36 kN/m ²
Resistenza di progetto	176.68 kN/m ²

Condizione di verifica [Ed<=Rd] Verificata

SISMA

Autore: Brinch - Hansen 1970 (Condizione non drenata)

Fattore [Nq]	1.0
Fattore [Nc]	5.14
Fattore forma [Sc]	1.08

Fattore profondità [Dc]	1.0
Fattore inclinazione carichi [Ic]	1.0
Fattore inclinazione pendio [Gc]	1.0
Fattore inclinazione base [Bc]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1.0
=====	
Carico limite	406.36 kN/m ²
Resistenza di progetto	225.76 kN/m ²
=====	
Condizione di verifica [Ed<=Rd]	Verificata
=====	

CEDIMENTI PER OGNI STRATO

***Cedimento edometrico calcolato con: Metodo consolidazione monodimensionale di Terzaghi**

Pressione normale di progetto	60.0 kN/m ²
Cedimento dopo T anni	10.0
Distanza	0.00 m
Angolo	0.00 °
Cedimento totale	0.973 cm

CONCLUSIONI

L'intervento oggetto di questa relazione consiste nella realizzazione di un piano urbanistico che contiene all'interno un lotto edificabile.

L'area che morfologicamente appare pianeggiante è inserita nei depositi alluvionali olocenici del fiume Savio che scorre a 200 metri di distanza.

La falda freatica è posta a profondità di 2.4 metri dal piano campagna attuale.

Geologicamente i terreni sono costituiti da strati di argilla limosa sino a profondità di 30 metri.

La falda è stata misurata nel foro di prova a profondità di 2.4 m dal piano campagna attuale.

Dal punto di vista sismico il terreno appartiene alla classe C.

Le verifiche sismiche di terzo livello hanno dimostrato una amplificazione degli spettri con fattori FA che oscillano da 1.2 a 1.44.

I terreni non sono liquefacibili.

Le verifiche della portanza dei terreni hanno dimostrato che non occorrono fondazioni profonde ma possono essere adottate fondazioni superficiali.

Questi risultati geotecnici riferiti al comportamento del terreno sotto carico, hanno lo scopo di valutarne l'idoneità alla esecuzione dell'opera, ma rimangono indicativi e dovranno essere verificati dal progettista ed adattati alla tipologia edilizia da realizzare.

Da quanto sopra accertato, l'intervento è realizzabile, occorre però attenersi ai seguenti consigli operativi:

1. le fondazioni andranno impostate in tutti i casi su terreno compatto a profondità non inferiore ai 100 cm per cui andrà asportato tutto il terreno vegetale ed eventuali terreni di riporto;
2. anche i sottofondi per i parcheggi devono prevedere l'asportazione di tutto lo strato superficiale costituito da terreni vegetali o di riporto;
3. la falda è stata rintracciata a profondità più bassa rispetto al piano fondale ipotizzato per uno scantinato e quindi è necessaria l'impermeabilizzazione di tutte le pareti perimetrali e della platea di fondazione;
4. lo scavo sottofalda deve prevedere l'utilizzo di pompe per abbassarne il livello;
5. occorre eseguire correttamente le fogne e i sistemi drenanti le acque meteoriche;
6. effettuare i getti fondali in periodi stagionali favorevoli;
7. allontanare velocemente il terreno di risulta.

Qualora durante i lavori emergessero situazioni anomale non previste dal presente studio, si prega di avvisare il sottoscritto, il quale dopo sopralluogo, deciderà sugli eventuali interventi da eseguire.

Casadio Mario

PLANIMETRIA AREA D'INTERVENTO
scala 1:25.000



via ruggine



- prova penetrometrica a punta elettrica
- prova penetrometrica a punta meccanica
- rilievo sismico con tromografo
- rilievo sismico con array

PLANIMETRIA AREA D'INTERVENTO
scala 1:500

CARTA GEOLOGICA
scala 1:5.000

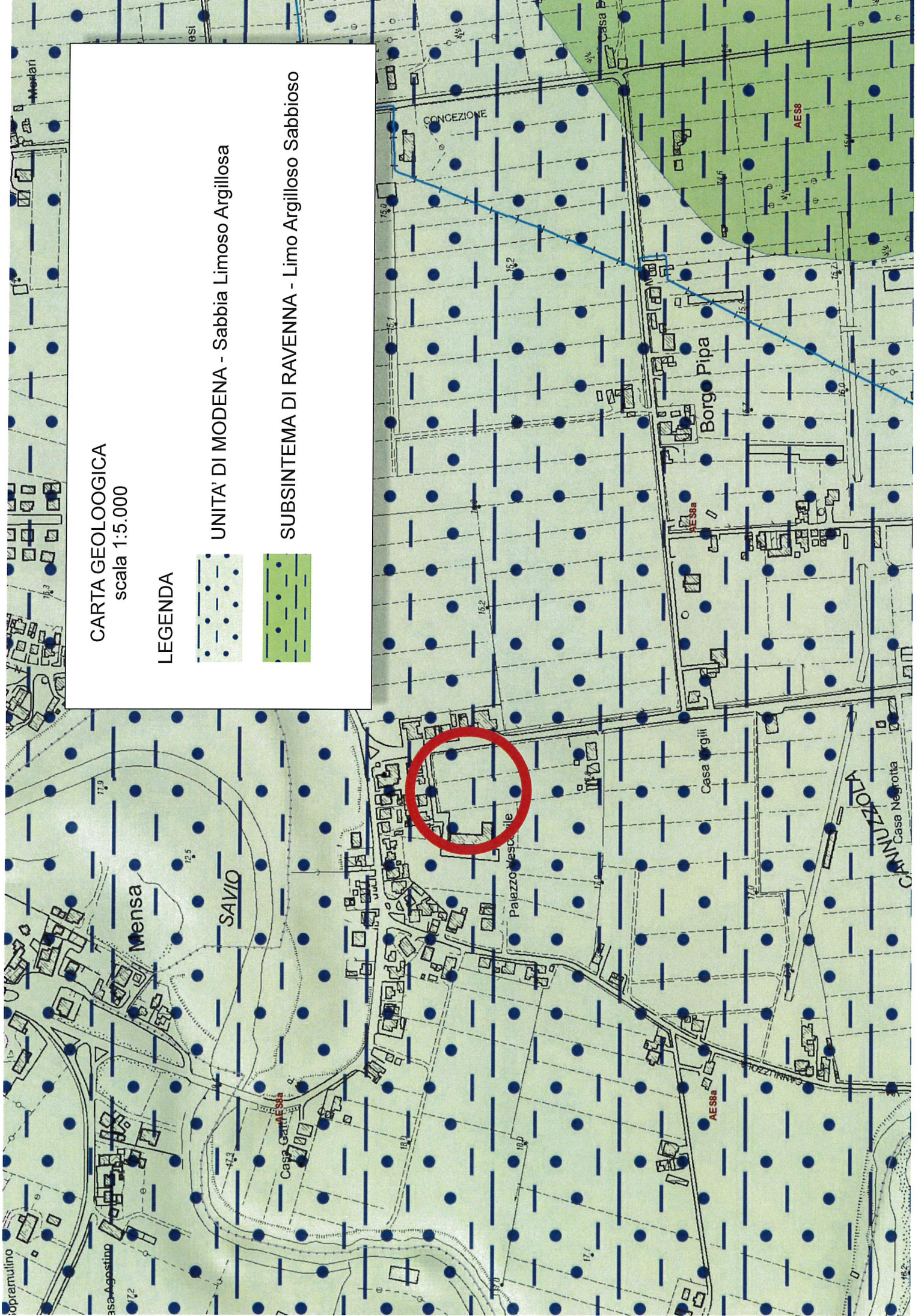
LEGENDA



UNITA' DI MODENA - Sabbia Limoso Argillosa



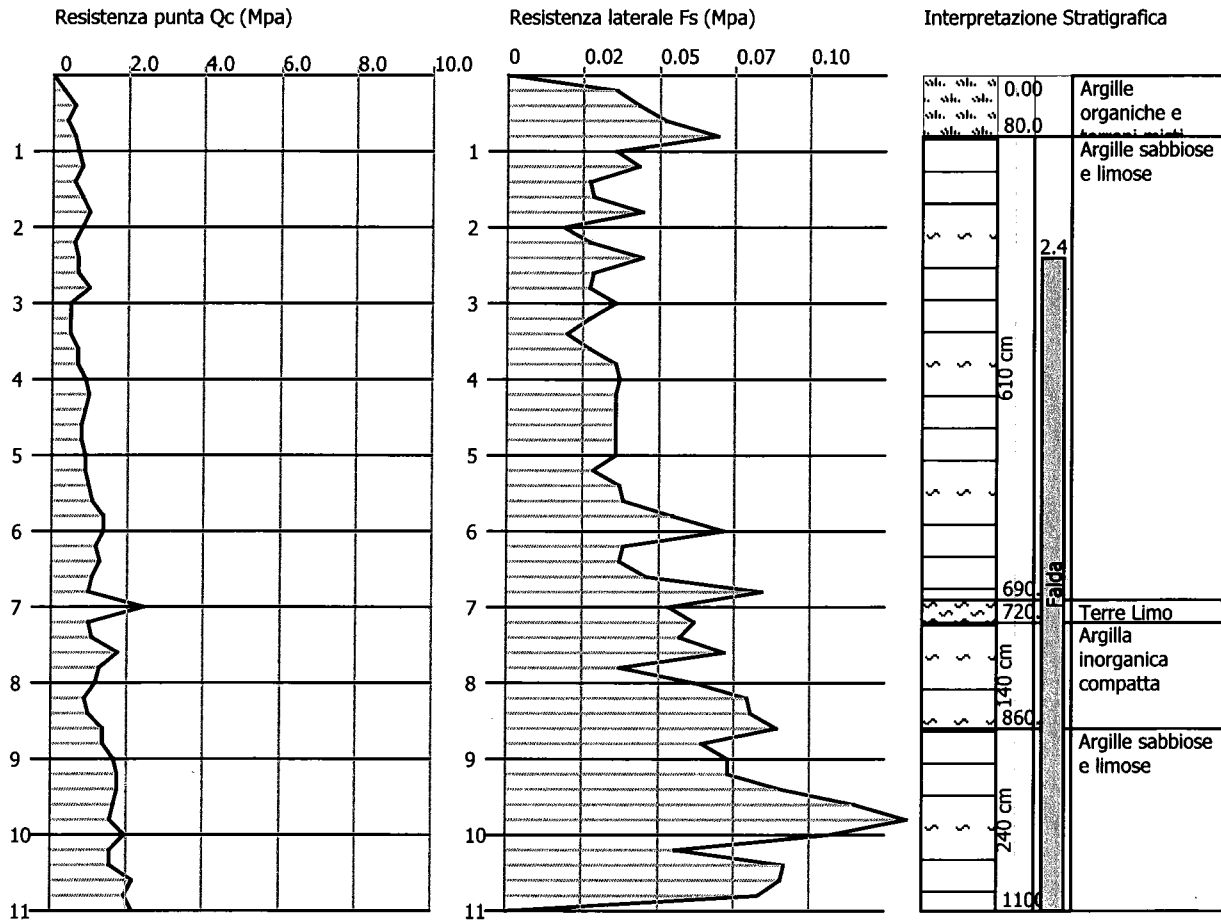
SUBSISTEMA DI RAVENNA - Limo Argilloso Sabbioso



Probe CPT - Cone Penetration Nr.1
Strumento utilizzato PAGANI 100 kN

Committente: due effe srl
 Cantiere: cannuzzo
 Località: via ruggine

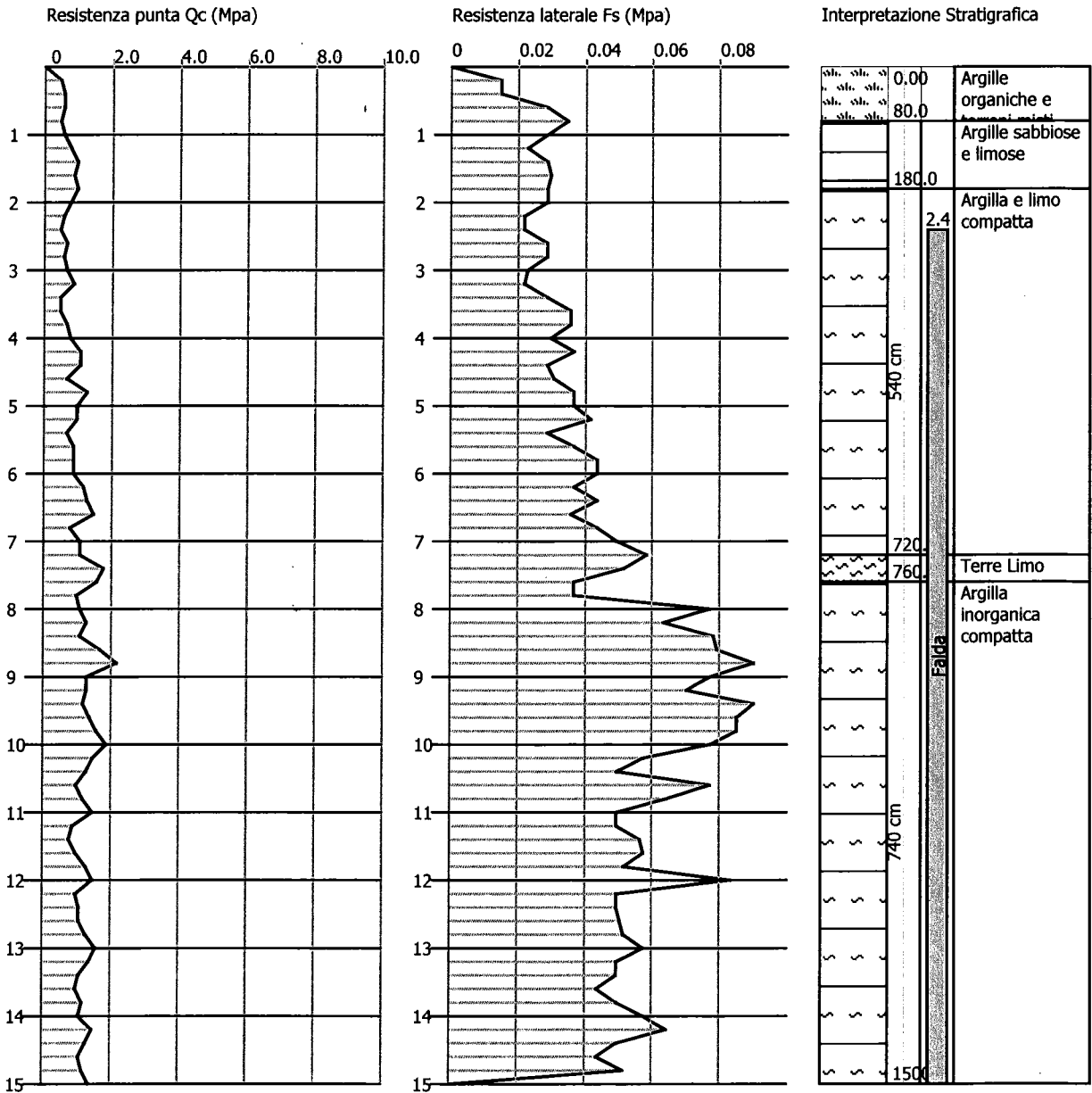
Data: 03/08/2015



Probe CPT - Cone Penetration Nr.4
Strumento utilizzato PAGANI TG 63 (200 kN)

Committente: due effe srl
 Cantiere: cannuzzo
 Località: via ruggine

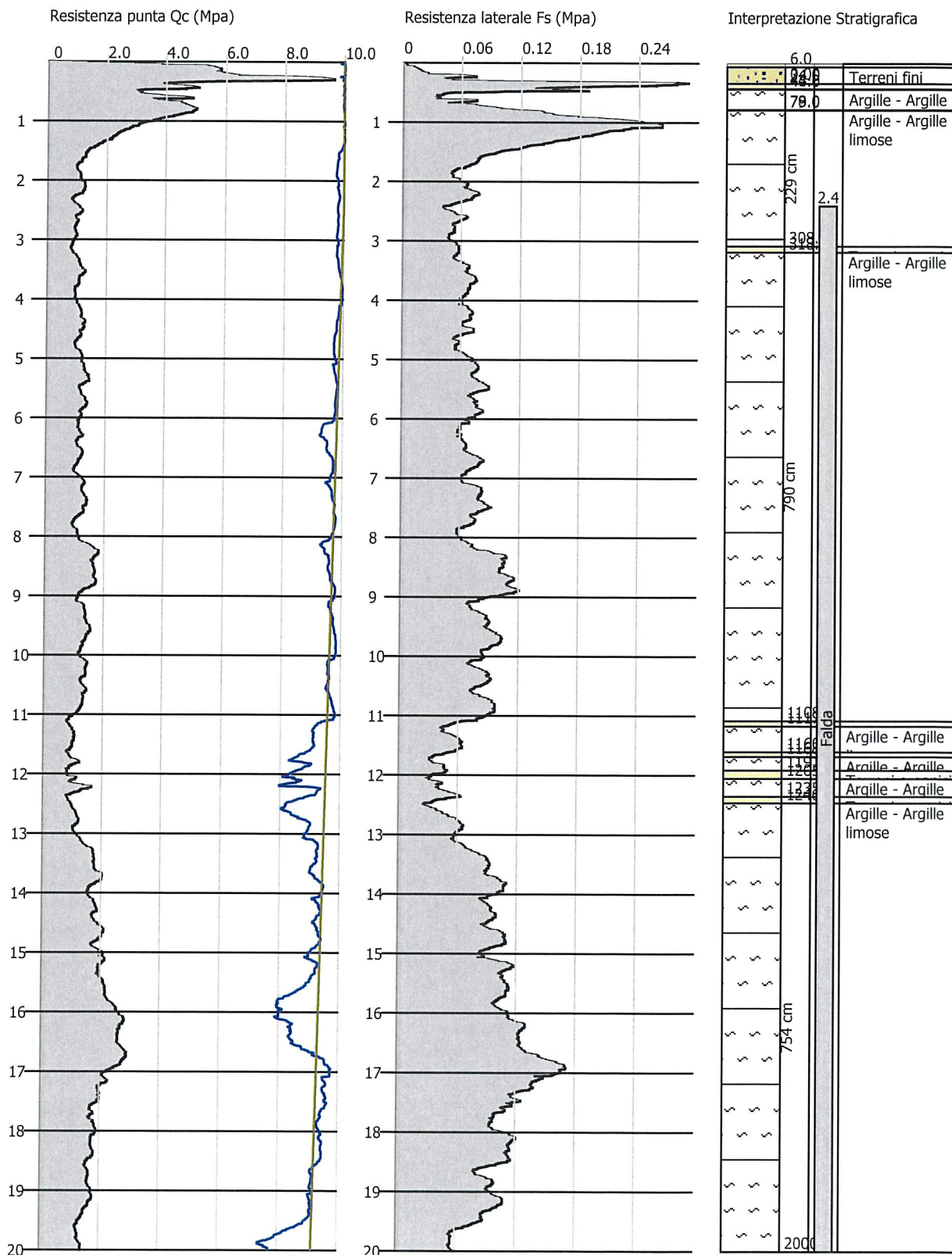
Data: 03/08/2015



Probe CPTU - Piezocone Nr.1
Strumento utilizzato PAGANI 200 kN (CPTU)

Committente: due effe srl
 Cantiere: cannuzzo
 Località: via ruggine

Data: 13/06/2019



GEOLOG S.R.L.

Cone Penetration Test (CPTU) - Date: 10/06/2019

Site: ADEGUMENTO SISMICO - Test: CPTU 1_CANNUZZO

Company information

Name: GEOLOG S.R.L.

Address: VIALE DELLA LIRICA, 15

Zip code: 48124

City: RAVENNA

P.IVA: 02194680399

E-Mail: geologsr1@virgilio.it

Phone number: 0544/202700

Fax number: 0544/202700

Site information

Name: ADEGUMENTO SISMICO

Date: 10/06/2019

Commissioner: DOTT MARIO CASADIO

Locality: CANNUZZO-RA-

Test information

Name: CPTU 1_CANNUZZO

Location: CANNUZZO-RA-

Date: 10/06/2019

Prehole mode:

Prehole depth [cm]: 0

Hydrostatic line [cm]: 240

Ground level [cm]: 0

Latitude: 0

Longitude: 0

Operator: Drapelli

Comments: Sole

Probe code: Mkj584

GEOLOG S.R.L.

Cone Penetration Test (CPTU) - Date: 10/06/2019

Site: ADEGUMENTO SISMICO - Test: CPTU 1_CANNUZZO

