
COMUNE LUGO

(Provincia di Ravenna)

RELAZIONE

- CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO
 - AZIONE SISMICA
 - INDAGINI, CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOTECNICA
-

RELAZIONE GEOLOGICA

PROGETTO DI AMPLIAMENTO CON TRASFORMAZIONE DA AREA AGRICOLA AD AREA PRODUTTIVA MEDIANTE PIANO PARTICOLAREGGIATO AI SENSI DELL'ART. 8 DELLA LEGGE REGIONALE, SITO IN LUGO, VIA ALBERICO DA BARBIANO, SU UNA SUPERFICIE DI CIRCA 0.6 ETTARI

Richiedente: **Montini di Garotti Francesco & C.** - via Alberico da Barbiano n. 10 - 48022 Lugo (RA)

Versione	Data	
1	Novembre 2020	



Società di
Geologia
Territoriale

S.G.T. sas.
di Van Zutphen Albert & C.
Via Matteotti 50
48012 Bagnacavallo (RA)
www.geo55.com



Indice

1	PREMESSA	2
2	PIANIFICAZIONE, ASSETTO URBANISTICO	6
2.1	URBANISTICA, PIANO STRUTTURALE COMUNALE (PSC)	6
2.2	PIANIFICAZIONE, TAVOLE DI MICROZONAZIONE SISMICA	8
3	LINEAMENTI GEOLOGICI GENERALI	10
3.1	GEOLOGIA	10
3.2	LINEAMENTI STRUTTURALI	15
4	LINEAMENTI CLIMATOLOGICI	17
5	IDRO - GEOMORFOLOGIA	19
6	IDROGEOLOGIA	23
7	LITOLOGIA SUPERFICIALE E PEDOLOGIA	25
8	INDAGINI GEOGNOSTICHE	26
8.1	PROVE PENETROMETRICHE	26
8.2	MISURE DEI MICROTREMORI E MASW	27
9	MICROZONAZIONE SISMICA	30
9.1	PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE	30
9.1.1	N.T.C. 17-01-2018	30
9.1.2	D.G.R. n. 630/2019	30
9.1.3	Analisi di Risposta Sismica Locale	30
9.1.4	Assetto sismotettonico, sismicità del comune di Lugo, mappe interattive di pericolosità sismica e zone sismogenetiche	31
9.2	ANALISI DEL RISCHIO DEI FENOMENI COSISMICI	35
9.3	ASSESTAMENTI TERRENI COESIVI POST-SISMA	37
9.4	CONSIDERAZIONE CONCLUSIVE IN MERITO ALLA DGR 630/2019 SUGLI APPROFONDIMENTI DEL TERZO LIVELLO	37
10	CONSIDERAZIONI GEOTECNICHE	38
10.1	METODO UTILIZZATO PER LA VALUTAZIONE DEI PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI	38
10.1.1	Parametri geotecnici caratteristici per la valutazione delle resistenze di progetto	40
10.1.2	Parametri geotecnici caratteristici delle unità litostratigrafiche del sito indagato	43
10.2	VALUTAZIONE AGLI STATI LIMITE ULTIMI (SLU) – STATO LIMITE DI RESISTENZA DEL TERRENO	46
10.2.1	Calcolo del carico limite dell'insieme fondazione-terreno - premessa	47
10.2.2	Fondazione e parametri geotecnici caratteristici utilizzati nei calcoli del carico limite dell'insieme fondazione-terreno	48
10.3	VALUTAZIONE DELLO STATO LIMITE DI ESERCIZIO (SLE) – DEFORMAZIONI IRREVERSIBILI	51
11	CONCLUSIONI	52
	APPENDICE	54
	ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE	54
	ALLEGATI	60

1 PREMESSA

Il presente elaborato, a corredo del progetto di ampliamento con trasformazione da area agricola ad area produttiva, è redatto come “*Relazione geologica e analisi di risposta sismica locale a corredo del Piano Particolareggiato ai sensi dell'art.8 della Legge Regionale*”, e come “*Relazione geologica e geotecnica*” di cui alle NTC2018.

La presente indagine è stata programmata allo scopo di fornire la base conoscitiva dei parametri geologici, sismici e geotecnici relativamente al progetto di ampliamento dell'area produttiva sita in via Alberico da Barbiano.

In altri termini il presente studio identifica gli elementi principali della geologia locale facilitandone il confronto con le singole ipotesi progettuali. Inoltre, fornisce i necessari elementi sismici e geotecnici, permettendo di operare scelte consapevoli e ragionate.

La presente relazione è stata condotta seguendo le varie normative di legge e/o direttive di interesse, in particolare si è fatto riferimento:

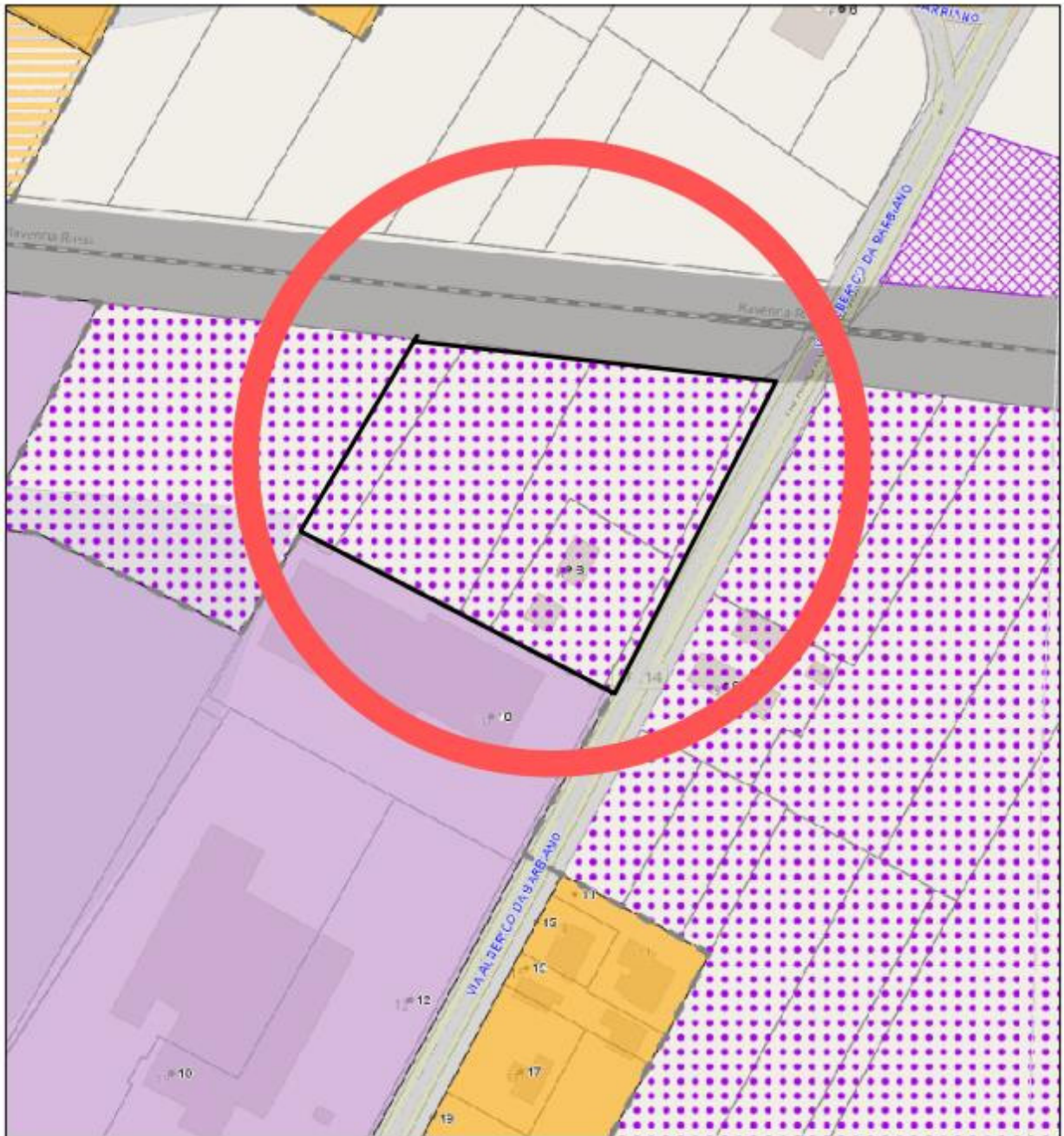
- Al D.M. 11.03.88 (sez. H) e pubblicato sul supplemento ordinario della G.U. n.127 del 01.06.88,
- Alla Circolare Regionale (Dipartimento Ambiente e Territorio) n.1288 del 11.02.1983,
- Piano Territoriale Paesistico Regionale,
- Al Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale,
- Alla Legge nazionale 236/88 sulle captazioni idriche per il consumo umano
- Al Piano di Gestione per il Rischio Alluvioni
- Alle Norme del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico dell'ex Autorità di Bacino del Reno, ora Bacino Idrografico del fiume Po.
- D.M. 17/01/2018 “Norme Tecniche per le Costruzioni”
- Circolare n.7 del 11-02-2019 relative alle NTC2018
- Del.Reg.1677/2005 con indicazioni rispetto alle norme tecniche per le costruzioni in zona sismica;
- All'atto di indirizzo e coordinamento tecnico sugli studi di microzonizzazione per la pianificazione territoriale e urbanistica, di cui alla D.G.R. n. 630 del 29-04-2019.
- Ai seguenti strumenti urbanistici comunali, tutti entrati in vigore con la pubblicazione sul BUR n. 120 del 17/04/2019.
 - Tavola dei vincoli delibera CC di Lugo n. 21 del 18/03/2019,
 - PSC delibera CC di Lugo n.19 del 21/03/2019,
 - PZA delibera CC di Lugo n. 20 del 21/03/2019,
 - RUE delibera CC di Lugo n. 21 del 21/03/2019,

Per la realizzazione dello studio in oggetto si è proceduto alla raccolta e selezione critica di tutti i dati bibliografici riguardanti il territorio di interesse ed un adeguato intorno; tali dati sono stati successivamente integrati tramite rilevamenti sul territorio. Inoltre, sono state analizzate le caratteristiche litostratigrafiche e geomeccaniche del sottosuolo del territorio oggetto di studio, elaborando, alla luce di quanto emerso, una serie di considerazioni sui possibili rischi geologici del sito di progetto e degli eventuali relativi approfondimenti necessari per completare il quadro geologico, geotecnico e idrogeologico.

Pertanto, scopo della presente relazione sarà quella di individuare le pericolosità geologiche, sismiche e geotecniche del sito oggetto di intervento, di valutare, assieme ai progettisti, le eventuali vulnerabilità e i relativi rischi. In base a tale valutazione potranno essere indicate eventuali opportune azioni di mitigazione dei rischi, a cui ci si dovrà attenere in fase di realizzazione del progetto in esame.

Brevemente si riporta la relazione del rischio a cui ci si è fatto riferimento nel presente elaborato.

$R=H*V*E$; Dove R = rischio H = pericolosità V = vulnerabilità E = elementi a rischio



ESTRATTO RUE



ESTRATTO DI MAPPA CATASTALE FOGLIO 113 MAPP. 10-181-239
FOGLIO 112 MAPP. 273





Legenda

----- Confini comunali

----- Territorio urbanizzato (art.4.1)

ASSETTO STRATEGICO DELLA MOBILITÀ

----- Ferrovie (art.3.3)

----- Autostrade (art.3.4)

----- Rete di base di interesse regionale (art.3.4)

----- Corridoi per la rete di base di interesse regionale di precisione (art.3.5)

----- Viabilità secondaria di rilievo provinciale o intercomunale (art.3.4)

----- Corridoi per la viabilità secondaria di rilievo provinciale o intercomunale di precisione (art.3.5)

----- Principali strade di penetrazione e distribuzione urbana (art.3.3)

----- Ipotesi di massima di nuove strade di penetrazione e distribuzione urbana (art.3.5)

----- Percorso ciclabile extraurbano esistente (art.3.5)

----- Percorso ciclabile extraurbano di progetto (art.3.5)

----- Percorso ferroviario antistante esistente (su sovranità regionale) (art.3.3)

----- Percorso ferroviario antistante di progetto (su sovranità regionale) (art.3.3)

----- Stazioni ferroviarie (art.3.3)

----- Principali nodi della viabilità primaria

----- Principali nodi della viabilità secondaria

AMBITI NORMATIVI ai sensi della L.R. 29/2000

ACR - Centro storico secondo la definizione della L.R. 29/2000 (art. 5.1)

ARL - Area urbana consolidata (art. 5.2)

AR - Area di riqualificazione (art. 5.3)

ASP1 - Aree specializzate per attività produttive esistenti o in corso di attuazione di rilievo territoriale "strategico" (SC), "consolidato" (SC) o di rilievo comunale (CC) (art. 5.4)

AMBT - Aree per potenziali nuovi insediamenti urbani (art. 5.5)

AROC - Aree per potenziali nuovi insediamenti urbani da destinare prevalentemente all'accoglimento delle richieste territoriali (art. 5.5)

ASP2 - Nuovi potenziali aree specializzate per attività produttive territorialmente "strategico" (SC), "consolidato" (SC) o comunale (CC) (art. 5.7)

Ambito agricolo ad alta vocazione produttiva (art.5.10)

PORDONI ED ELEMENTI PARTICOLARI INTERNI AGLI AMBITI NORMATIVI

Pordoni del Centro storico di cui al comma 4 art. 4 L.R. 29 (art. 5.1)

Pordoni degli Ambiti consolidati caratterizzati da componenti di recupero urbanistico in quanto frutto di piani attuativi urbanistici o in corso di attuazione sulla base di PUA (art.5.2)

Pordoni degli Ambiti consolidati comprendenti in contiguità a) particolari elementi di pregio storico-artistico o di pregio ambientale (art.5.2)

Ambiti consolidati della forma urbana (art.5.2)

Pordoni degli ambiti consolidati che devono essere governati e disciplinati con un PUA o un progetto urbano consolidato (art.5.2)

Aree attrezzate per attività ricreative, sportive e turistiche in ambito rurale (art.5.13)

Inquadranti produttivi in ambito rurale (art.5.13)

Aree produttive per ricerca, coltivazione e deposito di biomateriali (art.5.13)

Aree destinate ad attività ricreative, ricettive e agituristiche in ambito rurale (art.5.13)

Nuclei residenziali in ambito rurale (art.5.13)

Pordoni particolari per le quali è confermata la sua trasferta la normativa previgente (art.5.8)

PRINCIPALI DOTAZIONI TERRITORIALI

----- Centri (art.3.7)

----- Depuratori, discariche, sistemi integrati rifiuti (art.3.7; 3.9)

----- Altre dotazioni ecologiche e territoriali (art.4.3)

----- Principali sistemi di servizi e spazi collettivi urbani esistenti (art.3.3)

ELEMENTI URBANI STRUTTURANTI

----- Principali assi commerciali

----- Assi assi di riqualificazione

----- Stadi (art.3.3)

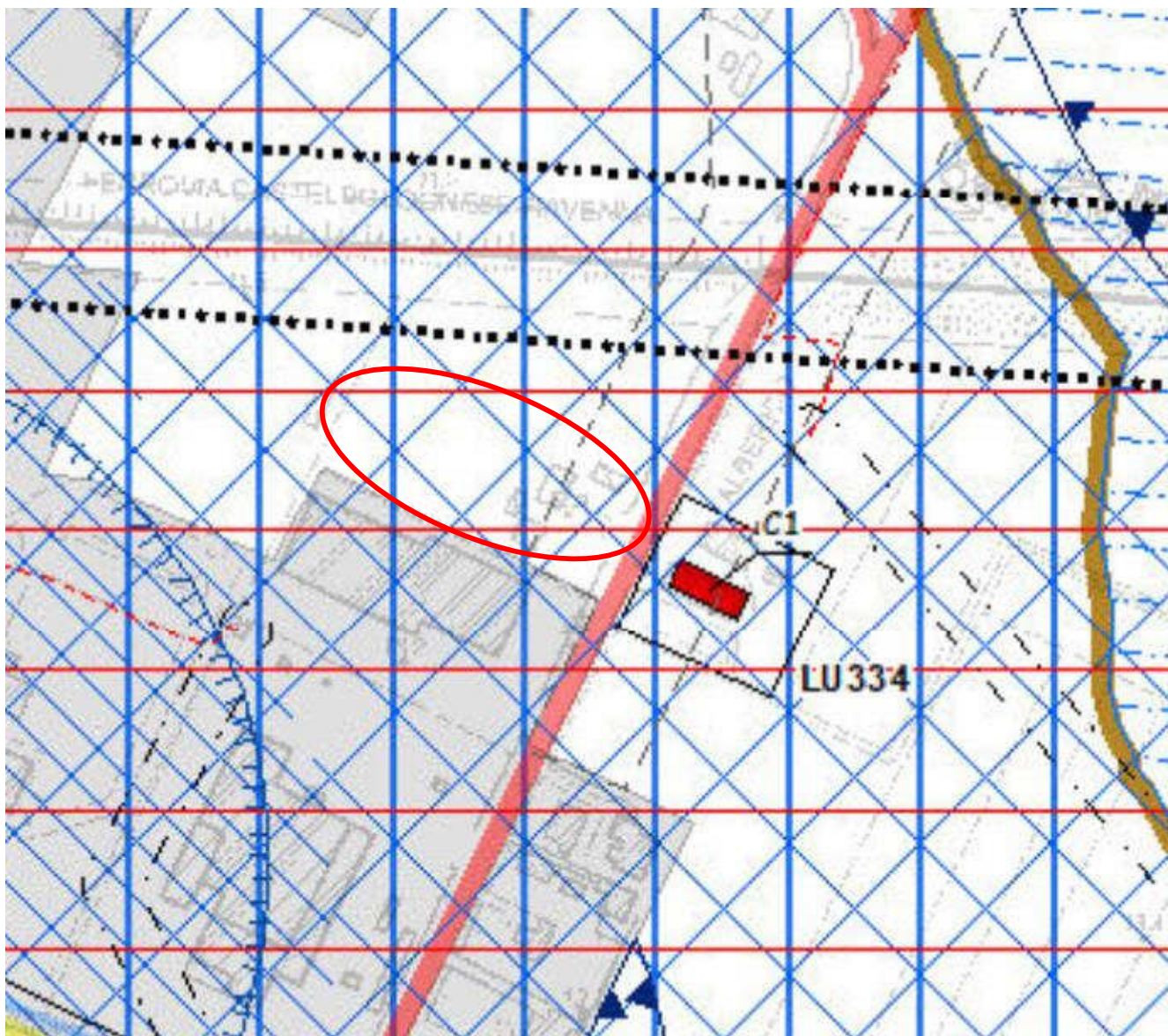
----- Filari (art.3.3)

----- Aree Rurali di cui qualificare la presenza nel paesaggio urbano

2.2 Pianificazione, Tavole di Microzonazione Sismica

Dalla tavola dei vincoli del RUE di cui alla delibera CC di Lugo n. 18 del 21/03/2019, entrati in vigore con la pubblicazione sul BUR n. 120 del 17/04/2019, si osserva che le criticità geologiche principali riguardano la presenza:

- di aree soggette ad alluvioni poco frequenti (P2) (scheda dei vincoli VS07);
- aree soggette ad approfondimento di terzo livello (studio MS) (Scheda dei vincoli VS13), per le quali il sito in esame ricade in aree caratterizzate da Indice di liquefazione $IL \leq 2$ basso.



3 LINEAMENTI GEOLOGICI GENERALI

3.1 GEOLOGIA

Le caratteristiche fisiche generali, la composizione litologica, l'assetto strutturale, il grado di stabilità attuali di un territorio sono la risultante e la sintesi della sua evoluzione geologica.

Per una migliore comprensione della geologia del territorio in esame, risulta utile avere un quadro, sia pure schematico e riassuntivo, dei lineamenti e della storia geologica della più ampia unità regionale di cui l'area in esame è parte.

Il territorio di interesse si trova nel comune di Lugo, è inserito, anche se in modo marginale, nel vasto bacino sedimentario della Valle Padana e più precisamente nel lembo sud-orientale della stessa, delimitato a Nord dal corso del Po e a Sud dalle propaggini collinare dell'Appennino Romagnolo.

La storia geologica di questa pianura, la sua genesi e le sue vicissitudini evolutive possono essere ricondotte, nel loro insieme, ad un lento e progressivo ricoprimento del settore meridionale della fossa occupata dall'alto Adriatico già a partire dalla fase centrale della orogenesi alpina, da un lato, e di quella appenninica, dall'altro, cioè nell'oligocene, come confermano le risultanze delle perforazioni condotte nell'area per ricerche di idrocarburi.

L'attuale assetto geologico è la risultante di un complesso avvicendamento di fasi erosive in alternanza a fasi prevalentemente sedimentarie, sia in senso verticale sia in senso orizzontale, in relazione al perdurare di una dinamica di abbassamenti del substrato, di fenomeni di subsidenza del materasso alluvionale che si stava formando, con conseguenti arresti della regressione marina o addirittura episodi di ingressione e formazione di fasi lagunari lungo la fascia preappenninica.

Solo nel Quaternario più recente l'assetto tettonico manifesta una sorta di equilibrio raggiunto e, alla prevalente tendenza alla subsidenza e deposizione prevalentemente marina, subentra un periodo di più estesi fenomeni sedimentari fluviali, ai quali è concomitante il progressivo ritiro del mare verso la configurazione dell'attuale costa.

Il quaternario è contraddistinto da una fase deposizionale marina iniziale (Pleistocene) e una fase deposizionale continentale (Olocene) che prosegue anche attualmente.

La stratigrafia pleistocenica presenta frequenti variazioni litologiche. Le sabbie si intercalano a sedimenti più fini limoso sabbiosi o limoso argillosi, e nelle parti sommitali si fanno sempre più frequenti litotipi di ambiente lagunare salmastro.

La stratigrafia olocenica è dominata dalla più recente regressione marina in concomitanza con le grandi glaciazioni intervallate da lunghi periodi di clima più mite durante i quali prevale l'azione di trasporto dei numerosi corsi d'acqua.

Il limite Olocene-Pleistocene, cioè alluvioni-Quaternario marino, presenta una profondità di circa 60 m ÷ 80 m in corrispondenza dell'allineamento Massa Lombarda - Lugo - Bagnacavallo, risalendo lateralmente fra i 20 m e 40 m in corrispondenza delle zone di Alfonsine e di Cotignola - Bagnara.

Da quanto esposto risulta che il bacino subsidente padano, ed in particolare il suo settore sud-orientale, è un'area geologicamente giovane e conseguentemente instabile. Questo carattere di instabilità permane tuttora.

Infatti, in base alla ripetizione delle livellazioni I.G.M., si è verificato, ed è probabilmente ancora in atto, un innalzamento delle regioni poste ad occidente dell'asse Genova-Brescia, ed un abbassamento ad oriente con epicentro nel delta del Po, ed indici più elevati nella costa adriatica.

Dalla carta geologica, risulta una base del Pliocene posto a circa -2.000 m sotto il livello mare.

I terreni d'interesse sono tipici della bassa pianura, cioè caratterizzati da depositi fini e medio-fini formati per successive fasi di esondazioni del reticolo idrografico.

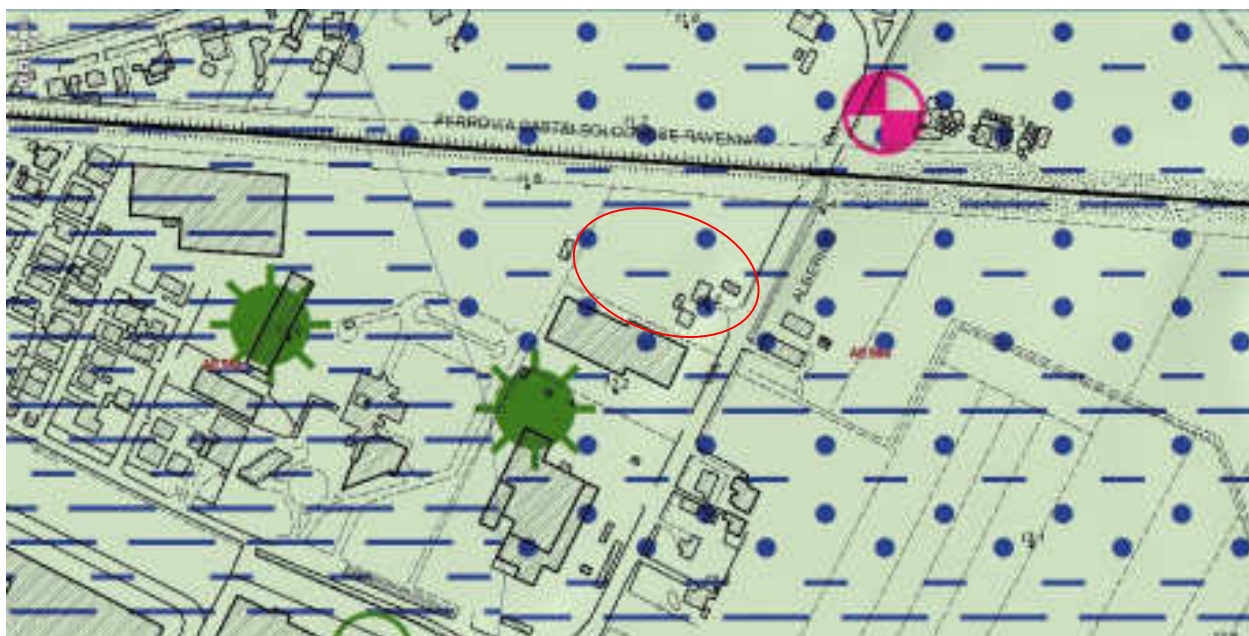
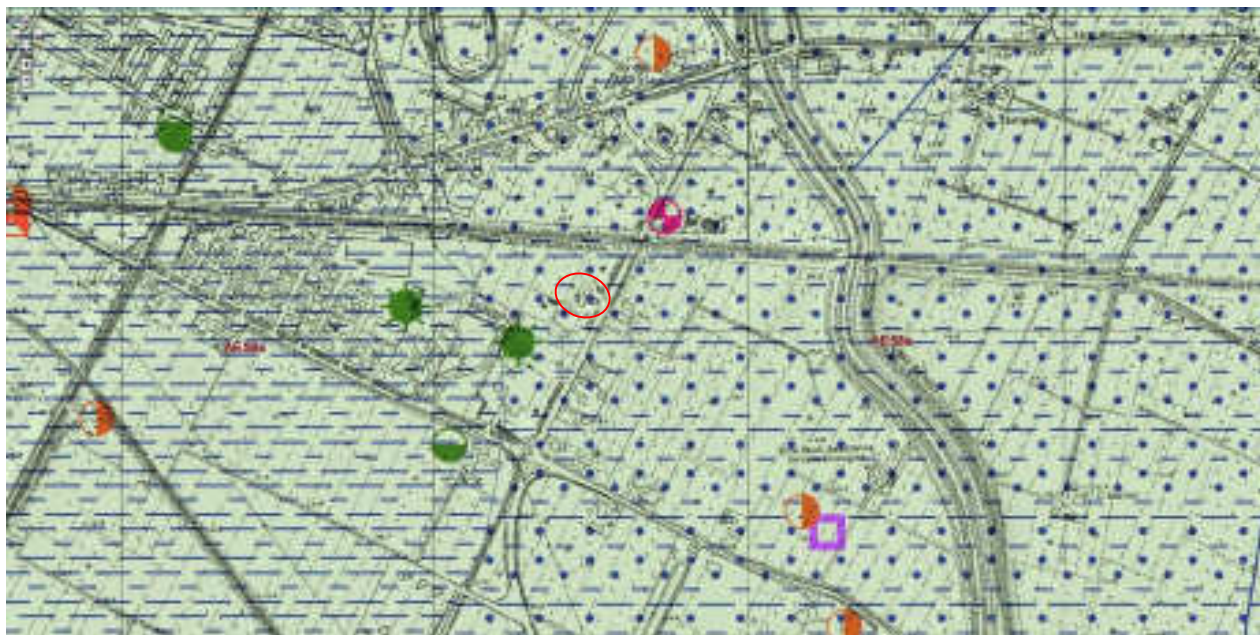
In particolare, l'area di interesse è inserita nella bassa pianura, si trova ad una quota di circa 12.5 m s.l.m., ed è costituita da alluvionali depositatesi in gran parte in età storica, in particolare età post-romana, a granulometria prevalentemente fine (sabbie, limi e argille), con suoli calcarei e poco evoluti. Essa si caratterizza, sotto l'aspetto geomorfologico, per una "freschezza" delle morfologie fluviali, tra cui sono riconoscibili soprattutto i dossi e paleodossi fluviali, cioè gli argini naturali sub-attuali o estinti dei principali corsi d'acqua.

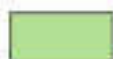
Il corso d'acqua naturale principale presente nell'area circostante il sito è il Torrente Senio che scorre alla distanza di circa 394 m a Est del sito in esame, risultando arginato e pensile, con quote arginali attorno a 22 m slm, quindi circa 9+10 m sopra al piano di campagna.

Il principale corso d'acqua principale del sistema di bonifica per il sito in esame è costituito dallo Scolo Arginello, che scorre verso Sud, alla distanza di circa 255 m dal sito di progetto.

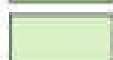
La geologia dell'area è caratterizzata da coperture quaternarie appartenenti all'Unità di Modena (AES8a): Sabbia Limoso Argillosa – Piana alluvionale - Deposito di canale, argine e rotta fluviale.

Da un punto di vista geomorfologico il sito in esame si trova ai margini di un paleodosso recente del Torrente Senio.





AES8 - Subintema di Ravenna



AES8a - Unità di Modena

AES8 - Subintema di Ravenna

Ghiaie da molto grossolane a fini con matrice sabbiosa, sabbie e limi stratificati con copertura discontinua di limi argillosi, limi e limi sabbiosi, rispettivamente depositi di conoidi ghiaiosi, intravallivi terrazzati e di interconoide. L'unità comprende più ordini di terrazzo nelle zone intravallive. Argille, limi ed alternanze limoso-sabbiose di trascinamento fluviale (piana inondabile, argine, e trascinamenti indifferenziati). Il tetto dell'unità è rappresentato dalla superficie deposizionale, per gran parte relitta, corrispondente al piano topografico. A tutto suoli, variabili da non calcarei a calcarei, a basso grado di alterazione con fronte di alterazione potente meno di 150 cm, e a luoghi parziale decarbonatazione; orizzonti superficiali di colore giallo-bruno. I suoli non calcarei e scarsamente calcarei hanno colore bruno scuro e bruno scuro giallastro, spessore dell'alterazione da 0,5 ad 1,5 m, contengono frequenti reperti archeologici di età del Bronzo, del Ferro e Romana. I suoli calcarei appartengono all'unità AES8a, nel sottosuolo della pianura: depositi argillosi e limosi grigi e grigi scuri, arricchiti in sostanza organica, di piana inondabile non drenata, palude e laguna passanti, verso l'alto, a limi-sabbiosi, limi ed argille bruni e giallastri di piana alluvion. Il contatto di base è discontinuo, spesso erosivo e discordante, sugli altri subsistemi e sulle unità più antiche. Lo spessore massimo dell'unità è circa 20m.

Pleistocene sup. - Olocene

AES8a - Unità di Modena

Ghiaie prevalenti e sabbie, ricoperte da una coltre limoso argillosa discontinua, talora organizzate in corpi a geometrie lenticolari, 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 deltizia 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 plurimetri.

Olocene

Prove puntuali

- *pozzo per acqua*
- *prova CPT con punta elettrica con piezocono*
- *prova CPT con punta meccanica*

Ambienti deposiz. e litologie (10K)



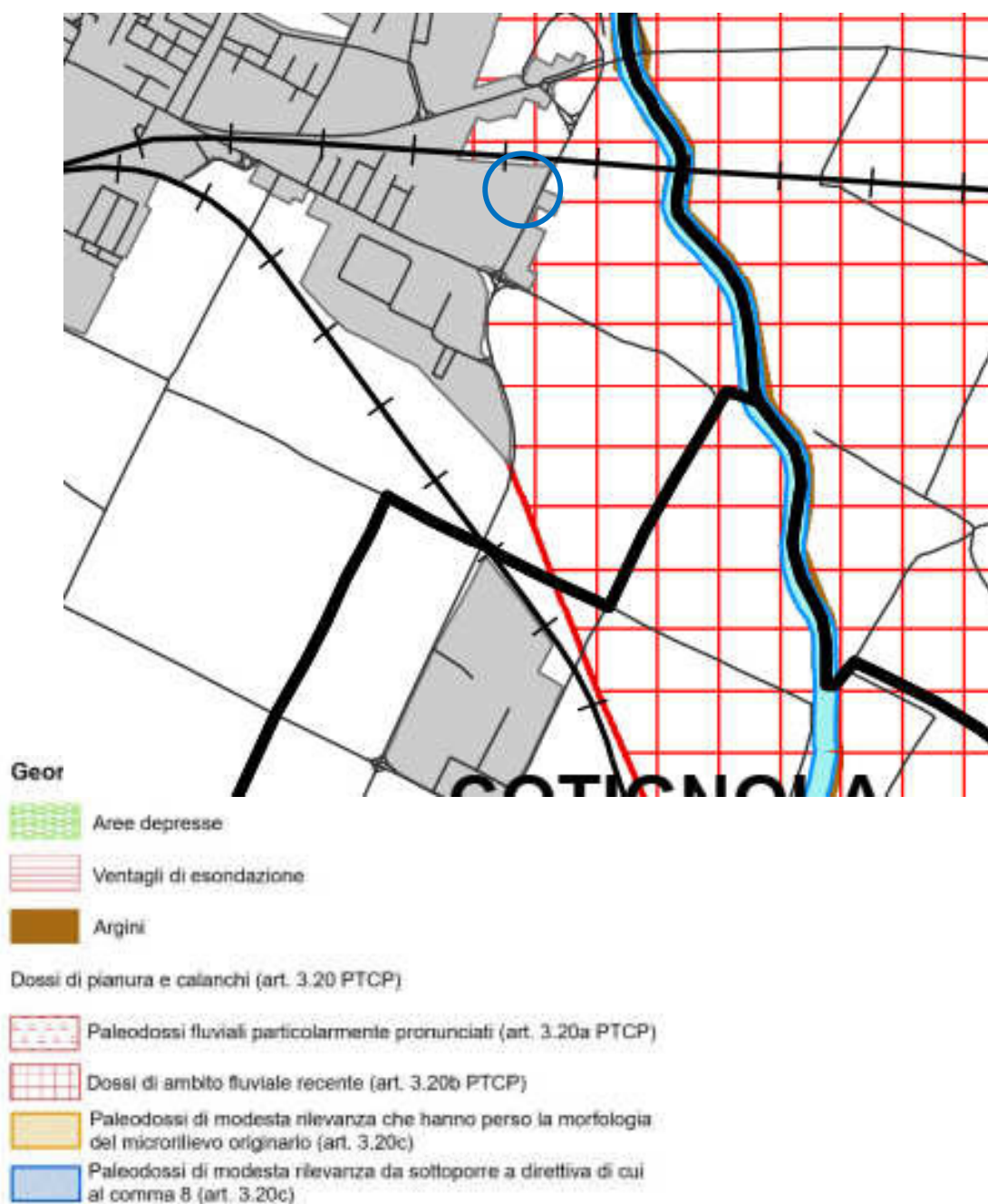
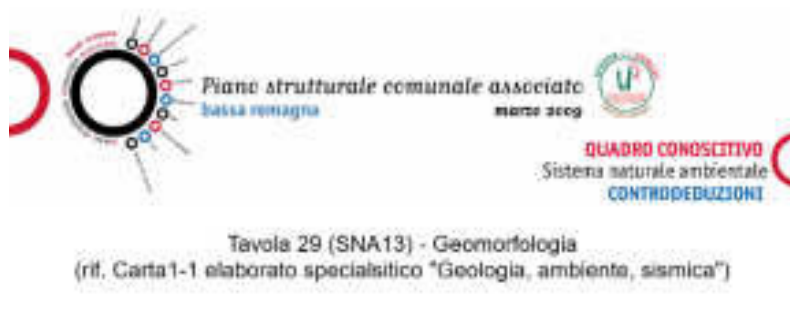
Sabbia Limoso Argillosa - Piana alluvionale

Coperture quaternarie (10K)

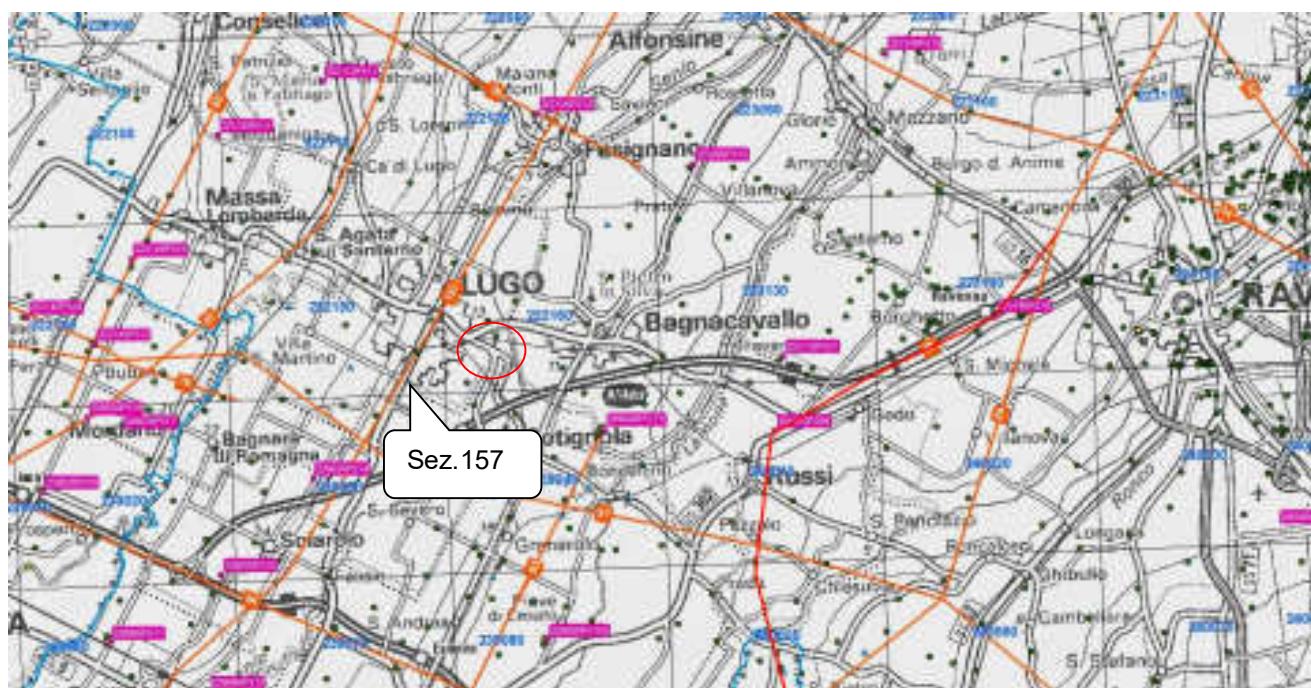


AES8a - Unità di Modena

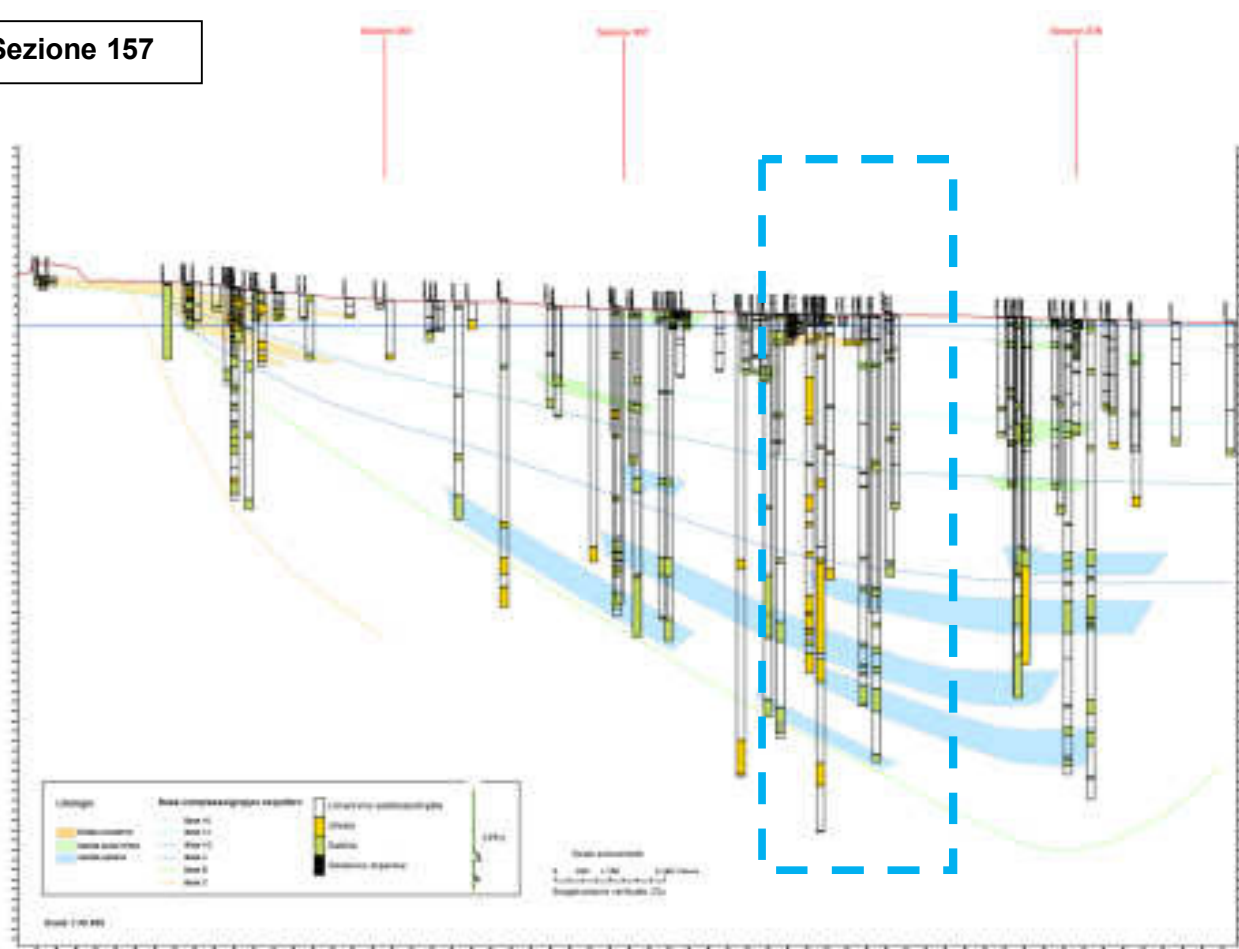
Come si può osservare il sito ricade all'interno di un dosso di ambito fluviale recente (art. 3.20b del PTCP).



Sezioni geologiche tratte dal sito del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna



Sezione 157



3.2 Lineamenti strutturali

Lo schema strutturale locale è caratterizzato da uno stile a pieghe, di norma asimmetriche con vergenza verso N, ad andamento NW-SE con frequenti ondulazioni assiali ed una immersione generale verso SE. Nei terreni neogenici il piegamento è avvenuto in due fasi distinte tra Miocene e Pliocene e prima del Pliocene medio. La seconda fase ha influito maggiormente nell'area emilano-romagnola, dove la discordanza tra i termini del Miocene e quelli del Pliocene inferiore è attenuata, mentre si osserva un più accentuato piegamento ed una maggiore erosione dei termini del pliocene inferiore.

Ai fenomeni plicativi si sovrappone la già citata subsidenza differenziale, con deposizione più intensa nelle sinclinali e minore al culmine delle anticlinali.

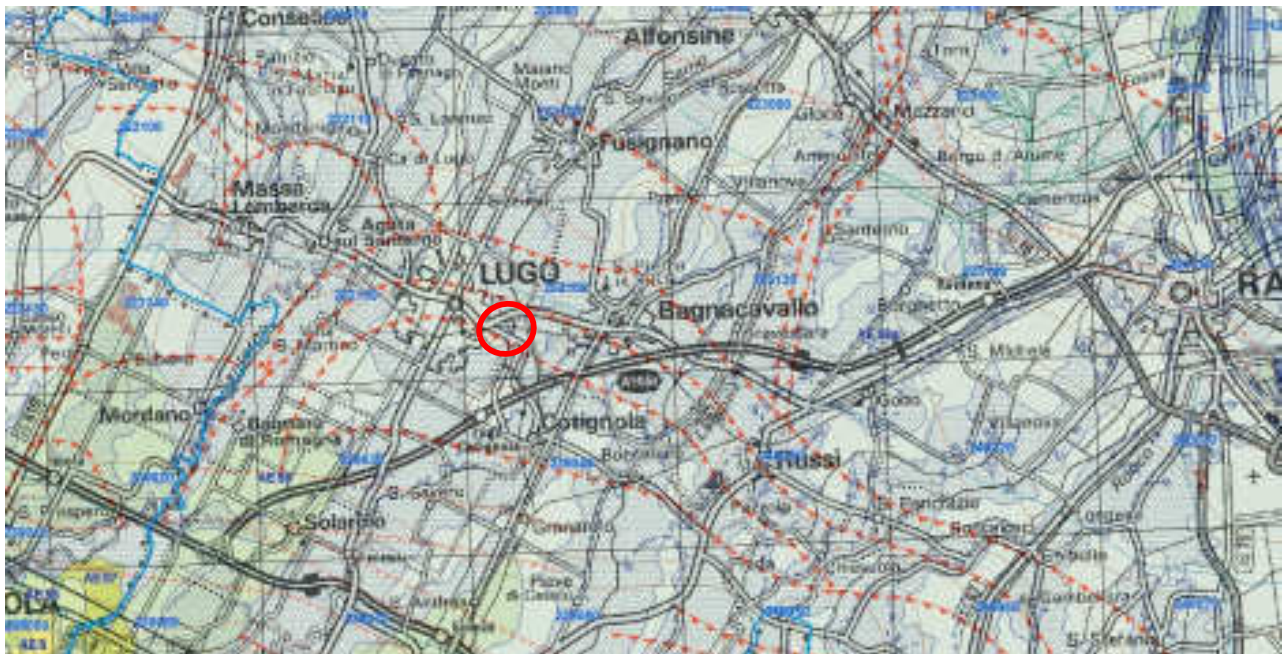
Le pieghe pedeappenniniche sono accompagnate dallo sviluppo di faglie a carattere distensivo, talora grandiose, e sono inoltre sovente interrotte da faglie con direzione NE-SW con rigetto prevalentemente orizzontale.

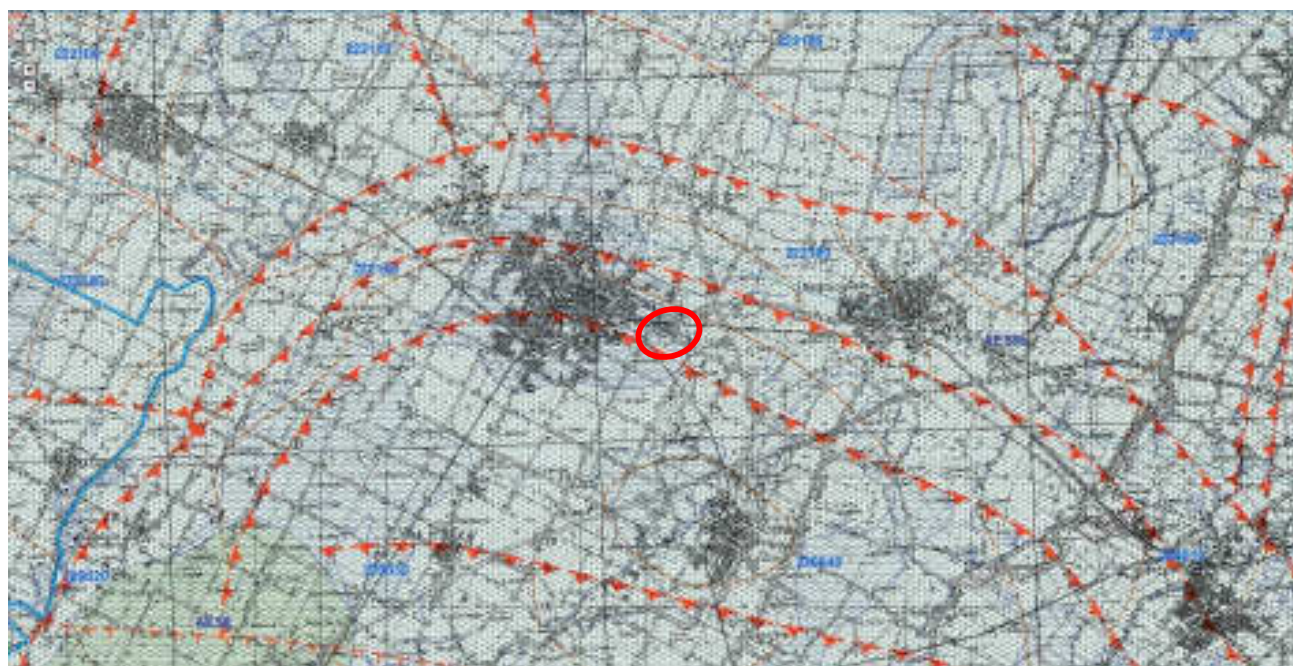
Nella più ampia unità di territorio in esame da N a S si riconoscono i seguenti motivi strutturali principali:

- Sinclinale di S.Romualdo-Piombone;
- Anticlinale di Ravenna e di Alfonsine;
- Sinclinale romagnola (asse ONO-ESE passante in corrispondenza di Fusignano);
- Anticlinale di Cotignola;
- Sinclinale di Forlì.

Le strutture sepolte plioceniche influenzano, sia pure con grado decrescente col diminuire della profondità, l'assetto dei sedimenti pleistocenici, che risultano blandamente ondulati e presentano una generale pendenza verso SE secondo l'immersione degli assi strutturali pliocenici.

I sedimenti alluvionali recenti hanno un assetto più irregolare ed articolato. Infatti, pur avendo una tendenziale e debole pendenza verso NE secondo la direzione di deflusso degli attuali corsi appenninici, presentano variazioni di potenza anche rilevanti, derivanti da ondulazioni del letto con depressioni ad andamento appenninico, probabilmente riferibili a paleoalvei.





Legenda

Province:



Comuni



Griglia 10.000



Tracciati geologici (50k)

— traccia di sezione geologica

Linee geomorf./antrop. (50K)

— traccia di alveo fluviale abbandonato
certa

— traccia di alveo fluviale abbandonato
incerta

— ventaglio di esondazione certo

Isolinee di unità del sottosuolo (50k)

— isobata della base del pliocene

Elementi strutturali (50K)

— faglia profonda indeterminata dedotta

▲ sovrascorimento profondo post-
tortoniano dedotto

Limiti di unità geologiche (50K)

— contatto con area non rilevabile

— contatto stratigrafico o litologico certo

Aree geomorf./antrop. (50K)

discerica, deposito di origine antropica

Ambienti deposiz. e litologie (50K)

argilla limosa di piano alluvionale

limo argilloso di piano alluvionale

— sabbia limosa di piano alluvionale

Unità geologiche (50K)

AE58a - Sinfema emiliano-romagnolo
superiore - Substema di Ravenna - unità
di Modena

h2 - Deposito da cere inattive

4 LINEAMENTI CLIMATOLOGICI

Il territorio comunale di Lugo è climatologicamente inquadrabile in un regime sublitoraneo padano. Il graduale passaggio da condizioni climatiche di tipo costiero, presenti lungo il litorale ravennate, a condizioni di tipo padano, si rendono sempre più manifeste procedendo verso il retroterra.

In tal modo nell'area di pianura in cui rientra il territorio di Lugo si registrano condizioni climatiche che sono tipiche della pianura interna e che vedono nella temperatura dell'aria, nell'umidità e nella ventosità, le maggiori diversificazioni rispetto alla pianura costiera.

In questa area, il clima assume una individuale fisionomia i cui aspetti significativi sono costituiti da una maggiore escursione termica giornaliera, un aumento del numero di giornate con gelo, un aumento di frequenza delle formazioni nebbiose, una attenuazione della ventosità.

Meno evidenti risultano invece le diversificazioni negli apporti pluviometrici rispetto alla pianura costiera.

All'interno del territorio comunale è ubicata una stazione pluviometriche, pertanto per valutare il regime pluviometrico si farà riferimento alla stazione di Lugo (alt. 14 m s.l.m.) e per comparazione alla stazione di Alfonsine (alt. 7.0 m s.l.m.).

Sulle prime due, considerando un periodo trentennale (01.01.1956 - 31.12.1985), l'altezza di precipitazione media annua risulta:

Lugo	814.2 mm
Alfonsine	693.8 mm

Per il sito in esame si può fare riferimento alla stazione di Lugo che presenta altezza di precipitazione media di 814 mm per il periodo di trenta anni suddetto. L'apporto annuo medio risulta quindi di 814.000 mc/kmq.

Per quanto riguarda le precipitazioni di massima intensità si riporta, a titolo esemplificativo, le tabelle elaborate da ARPA meteo della stazione meteorologica di Lugo di Romagna.

Lugo di Romagna
trentennio 1961-1990
comune di LUGO - (RA)
latitudine: 44.41; longitudine 11.91; altezza: 14;

mese	periodo	n° dati giorni	precipitazione cumulata					massima assoluta		% gg con valore (x) in mm						
			media (mm)	mediana (mm)	sqm (mm)	min (mm)	max (mm)	mm	giorno	x < 1	x >= 1	1 <= x < 5	5 <= x < 10	10 <= x < 20	x >= 20	
mese	periodo	n° dati giorni	media (mm)	mediana (mm)	sqm (mm)	min (mm)	max (mm)	mm	giorno	x < 1	x >= 1	1 <= x < 5	5 <= x < 10	10 <= x < 20	x >= 20	
precipitazione cumulata																
massima assoluta																
% gg con valore (x) in mm																
GENNAIO	prima	300	19.5	11.4	18.4	1.0	82.8	41.0	01/01/73	78.3	21.7	40.0	36.9	10.8	12.3	
	seconda	300	22.5	20.0	21.2	1.0	109.8	74.8	19/01/72	71.7	28.3	41.2	32.9	22.4	3.5	
	terza	330	13.3	8.4	12.7	1.2	63.2	34.2	23/01/73	80.0	20.0	63.6	16.7	15.2	4.5	
	mese	930	55.3	49.4	53.8	1.4	220.2	74.8	19/01/72	76.8	23.2	47.7	29.2	16.7	6.5	
FEBBRAIO	prima	300	13.2	7.6	12.8	1.6	92.0	58.4	05/02/69	83.3	16.7	50.0	26.0	20.0	4.0	
	seconda	300	21.5	16.2	19.9	1.0	85.0	30.2	19/02/71	69.7	30.3	52.7	19.8	25.3	3.3	
	terza	247	11.7	4.0	11.4	1.0	58.6	40.6	24/02/66	83.4	16.6	51.2	19.5	17.1	14.6	
	mese	847	46.4	37.4	45.1	3.4	125.2	58.4	05/02/69	78.5	21.5	51.6	21.4	22.0	6.0	
MARZO	prima	300	26.6	18.2	25.1	1.4	78.6	74.0	08/03/73	72.3	27.7	45.8	19.3	26.5	9.6	
	seconda	300	16.4	10.8	15.6	1.6	82.2	45.2	16/03/64	78.7	21.3	60.9	9.4	17.2	12.5	
	terza	330	21.9	13.8	20.7	1.6	90.2	45.8	28/03/90	77.9	22.1	47.9	21.9	17.8	12.3	
	mese	930	64.9	57.0	63.2	3.0	207.4	74.0	08/03/73	76.3	23.7	50.9	17.3	20.9	11.4	
APRILE	prima	300	22.1	16.6	20.7	1.6	63.8	38.0	04/04/64	75.0	25.0	41.3	26.7	21.3	12.0	
	seconda	300	21.9	14.2	20.8	1.0	110.6	64.2	17/04/72	73.3	26.7	51.3	20.0	20.0	8.8	
	terza	300	22.4	13.4	21.2	1.4	85.8	48.0	23/04/67	74.7	25.3	50.0	28.9	6.6	14.5	
	mese	900	66.5	57.0	64.6	16.6	198.8	64.2	17/04/72	74.3	25.7	47.6	25.1	16.0	11.7	
MAGGIO	prima	300	16.9	16.6	15.9	1.0	58.6	33.2	10/05/80	79.0	21.0	44.4	28.6	19.0	7.9	
	seconda	300	24.4	18.6	22.9	1.0	82.6	40.2	13/05/68	74.7	25.3	42.1	22.4	25.0	10.5	
	terza	330	20.1	12.6	19.0	1.4	75.4	44.6	22/05/65	75.5	24.5	54.3	25.9	12.3	7.4	
	mese	930	61.4	50.8	59.7	14.4	144.2	44.6	22/05/65	76.3	23.7	47.3	25.5	18.6	8.6	
GIUGNO	prima	300	24.1	15.6	22.9	6.2	85.2	53.6	06/06/63	75.7	24.3	41.1	31.5	15.1	12.3	
	seconda	300	19.4	9.6	18.6	1.0	129.2	57.8	13/06/67	78.0	22.0	53.0	22.7	12.1	12.1	
	terza	300	17.4	8.2	17.1	1.2	158.4	78.6	23/06/81	82.0	18.0	48.1	20.4	22.2	9.3	
	mese	900	60.9	50.8	59.3	11.4	191.6	78.6	23/06/81	78.6	21.4	47.2	25.4	16.1	11.4	
LUGLIO	prima	300	11.4	2.2	11.7	1.0	70.8	69.2	06/07/65	91.0	9.0	37.0	22.2	18.5	22.2	
	seconda	300	22.2	7.6	21.7	1.0	111.4	61.4	14/07/76	82.7	17.3	51.9	17.3	7.7	23.1	
	terza	330	16.9	2.2	16.4	1.2	91.6	46.8	30/07/61	87.9	12.1	40.0	12.5	25.0	22.5	
	mese	930	50.5	47.6	49.4	1.2	121.6	69.2	06/07/65	87.2	12.8	44.5	16.8	16.0	22.7	
AGOSTO	prima	300	15.8	4.6	15.5	1.8	123.4	51.0	10/08/84	87.3	12.7	42.1	18.4	21.1	18.4	
	seconda	300	17.0	5.8	16.7	1.0	82.8	70.0	17/08/66	86.0	14.0	40.5	19.0	21.4	19.0	
	terza	330	33.7	23.8	31.8	1.8	95.0	58.0	27/08/78	76.7	23.3	36.4	19.5	19.5	24.7	
	mese	930	66.4	56.8	64.7	2.4	186.0	70.0	17/08/66	83.1	16.9	38.9	19.1	20.4	21.7	
SETTEMBRE	prima	300	30.8	7.4	30.5	1.0	151.6	114.2	04/09/76	79.7	20.3	52.5	14.8	14.8	19.7	
	seconda	300	24.3	13.6	23.6	1.0	180.6	75.6	16/09/72	83.0	17.0	41.2	9.8	25.5	23.5	
	terza	300	20.8	8.6	20.3	2.4	195.0	74.0	24/09/79	82.3	17.7	45.3	18.9	18.9	17.0	
	mese	900	75.9	44.8	74.1	2.4	260.6	114.2	04/09/76	81.7	18.3	46.7	14.5	19.4	20.0	
OTTOBRE	prima	300	22.9	9.2	21.8	1.2	84.2	69.0	05/10/90	78.7	21.3	42.2	20.3	21.9	15.6	
	seconda	300	23.9	11.4	23.3	1.0	215.2	92.6	12/10/75	78.7	21.3	53.1	17.2	12.5	17.2	
	terza	330	25.0	12.4	23.6	1.4	143.6	43.4	27/10/64	78.5	21.5	38.0	21.1	25.4	15.5	
	mese	930	71.9	54.4	70.0	13.0	269.8	92.6	12/10/75	78.6	21.4	44.2	19.6	20.1	16.1	
NOVEMBRE	prima	300	30.0	21.2	28.4	1.4	127.6	91.2	04/11/66	76.7	23.3	35.7	20.0	28.6	18.6	
	seconda	300	30.0	17.0	28.4	1.4	143.4	88.0	17/11/66	73.0	27.0	35.8	32.1	19.8	12.3	
	terza	300	31.6	20.2	29.6	1.6	118.6	61.8	29/11/78	74.0	26.0	33.3	29.5	19.2	17.9	
	mese	900	91.5	65.6	89.0	4.2	284.8	91.2	04/11/66	74.6	25.4	34.9	27.5	22.3	16.2	
DICEMBRE	prima	300	24.2	11.4	23.4	1.0	121.2	93.0	05/12/66	80.0	20.0	45.0	25.0	11.7	18.3	
	seconda	300	20.5	14.4	19.1	1.0	57.2	29.0	11/12/67	75.3	24.7	40.5	24.3	29.7	5.4	
	terza	330	22.9	14.8	21.5	2.0	96.8	29.2	28/12/61	78.5	21.5	38.0	22.5	28.2	11.3	
	mese	930	67.6	68.2	65.7	1.0	152.8	93.0	05/12/66	78.0	22.0	41.0	23.9	23.9	11.2	

5 IDRO - GEOMORFOLOGIA

Il territorio di interesse è situato in sinistra idrografica del Torrente Senio, arginato e pensile, alla distanza di circa 354 m.

Mentre, rispetto allo Scolo Arginello si trova in destra idrografica, verso Nord, alla distanza di circa 255 m.

I principali elementi emergenti antropici del territorio sono costituiti dal rilevato della Ferrovia, Ravenna-Castelbolognese, che si trova a circa 84 m Nord del sito di interesse. Il rilevato presenta una quota di circa 20 m slm e in corrispondenza della via Alberico da Barbiano è presente un sottopasso.

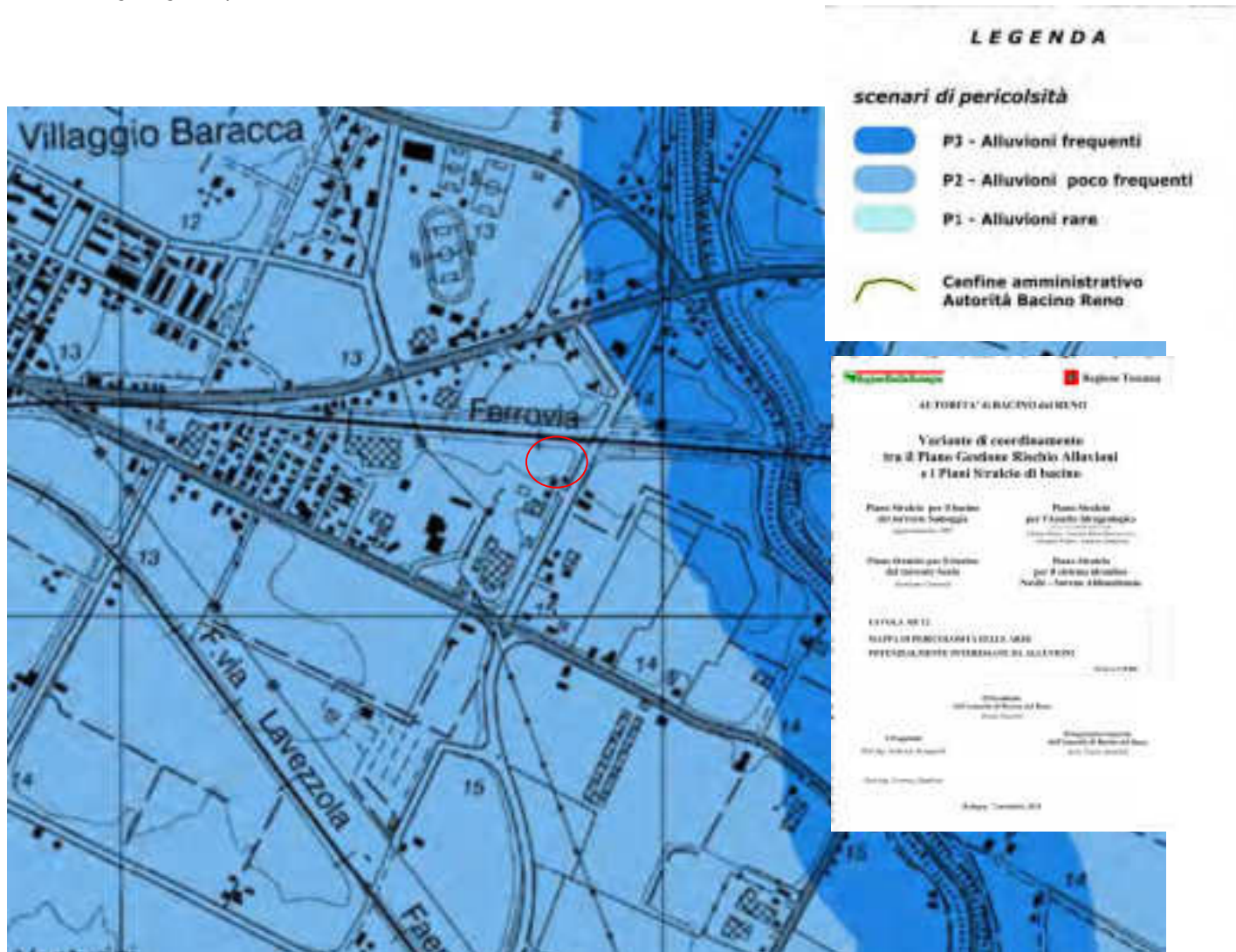
L'esame della carta ipsometrica evidenzia una superficie topografica costituita da un piano inclinato in direzione NNE con pendenza media di circa il 0.8÷1 per mille.

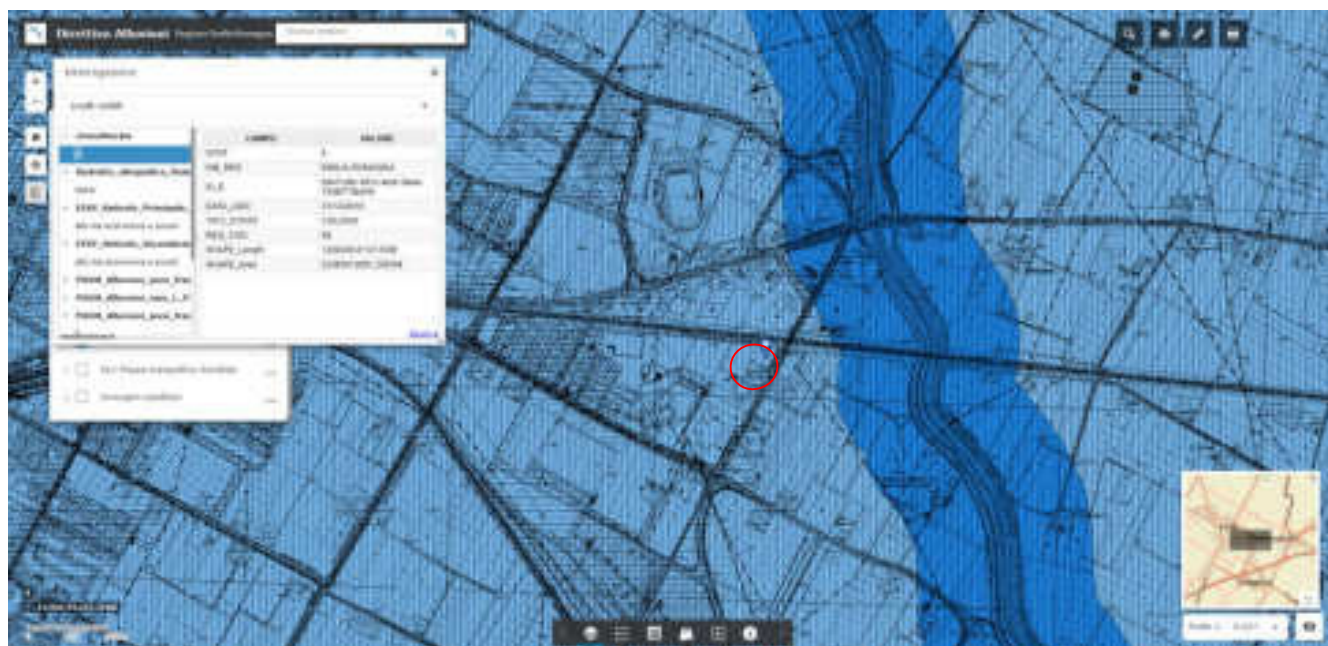
Considerando il Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (cartografia di pericolosità predisposta nel dicembre 2013), realizzato ai sensi della Direttiva 2007/60/CE e del D.lgs 49/2010, il sito in esame risulta appartenere allo scenario di allagamento poco frequente (T=100-200 anni), con acque provenienti dal reticolo di bonifica e dal reticolo principale.

Conseguentemente, la Variante di coordinamento tra il Piano di Gestione del Rischio Alluvioni i Piani Stralcio di bacino, dell'ex Autorità di Bacino del Reno, Piano Stralcio per il Torrente Senio, per la zona in esame evidenzia uno scenario di pericolosità P2 – alluvioni poco frequenti.

In base a tale pericolosità e a quanto disposto dalla normativa di settore, sarà il Consorzio di Bonifica competente che dovrà indicare i tiranti idrici di riferimento per il sito in esame.

Infine, si osserva che il trend di subsidenza della zona, ricavato dalla cartografica di ARPAE, risulta attorno a 5÷7.5 mm/anno.





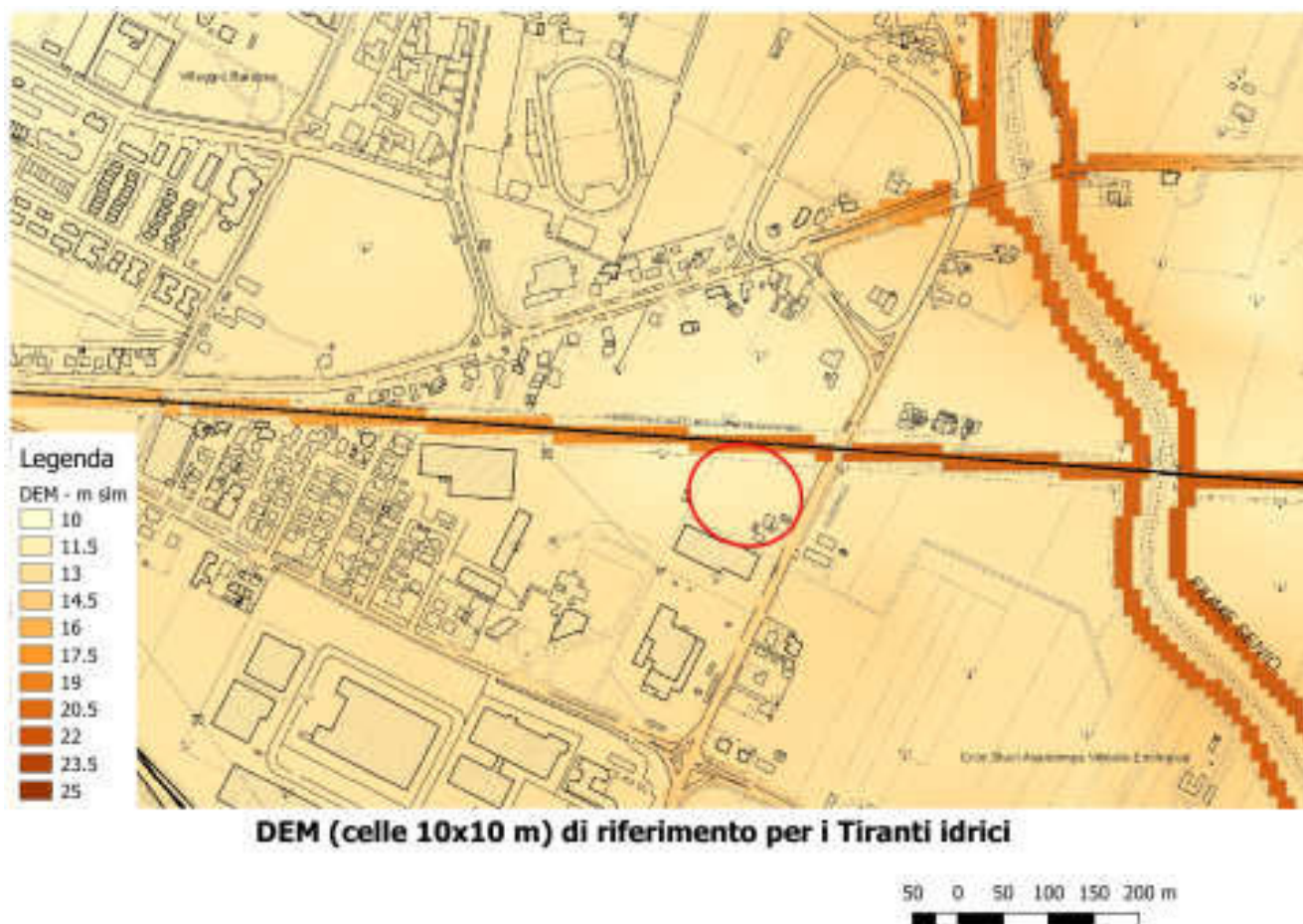
Art. 32 (aree interessate da alluvioni frequenti, poco frequenti o rare)

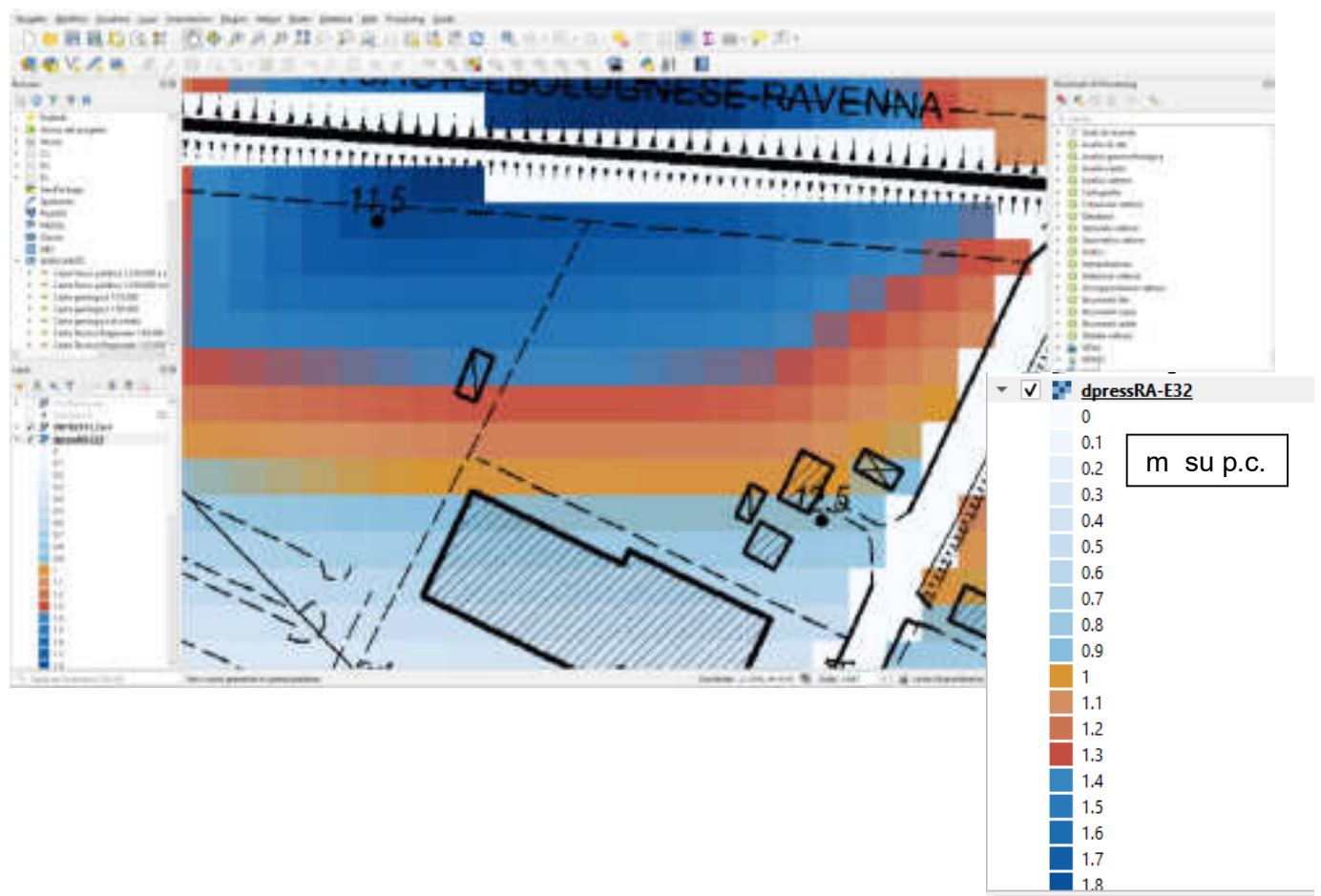
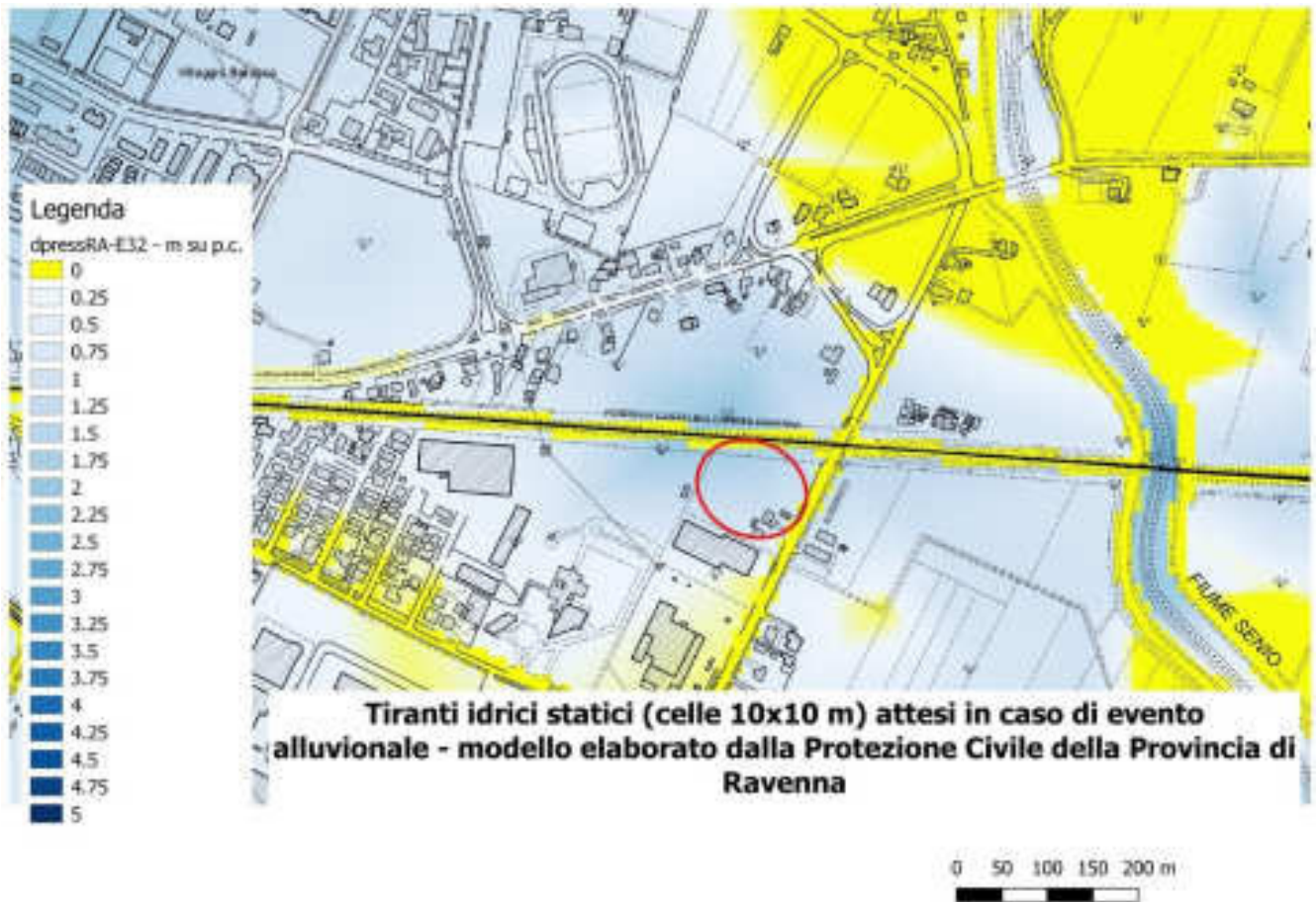
1. Nelle aree potenzialmente interessate da alluvioni frequenti (P3) o poco frequenti (P2), le amministrazioni comunali, oltre a quanto stabilito dalle norme di cui ai precedenti Titoli del presente piano, nell'esercizio delle attribuzioni di propria competenza opereranno in riferimento alla strategia e ai contenuti del PGRA e, a tal fine, dovranno:
 - a) aggiornare i Piani di emergenza ai fini della Protezione Civile, conformemente a quanto indicato nelle linee guida nazionali e regionali, specificando lo scenario d'evento atteso e il modello d'intervento per ciò che concerne il rischio idraulico;
 - b) assicurare la congruenza dei propri strumenti urbanistici con il quadro della pericolosità d'inondazione caratterizzante le aree facenti parte del proprio territorio, valutando la sostenibilità delle previsioni relativamente al rischio idraulico, facendo riferimento alle possibili alternative localizzative e all'adozione di misure di riduzione della vulnerabilità dei beni e delle persone esposte;
 - c) consentire, prevedere o promuovere, anche mediante meccanismi incentivanti, la realizzazione di interventi finalizzati alla riduzione della vulnerabilità alle inondazioni di edifici e infrastrutture.
2. Nelle aree potenzialmente interessate da alluvioni rare (P1), le amministrazioni comunali, in ottemperanza ai principi di precauzione e dell'azione preventiva, dovranno sviluppare le azioni amministrative di cui al punto a) del precedente comma 1.
3. In relazione al fenomeno di inondazione generata dal senolo di bonifica, oltre a quanto stabilito nel presente piano, si applica la Direttiva per la sicurezza idraulica nei sistemi idrografici di pianura nel bacino del Reno approvata con Delibera C.I. n° 1/3 del 23/04/2008, (Avviso di adozione BUR n° 74 del 07/05/2008) e modificata con Delibera C.I. n° 1/2 del 25/02/2009 (Avviso di adozione BUR n° 40 del 11/03/2009).
4. Nel caso in cui, a seguito di rilievi e di studi specifici, le caratteristiche morfologiche delle aree o le prestazioni idrauliche dei corsi d'acqua configurino le aree potenzialmente interessate da alluvioni diversamente da quanto indicato nelle tavole MP "Mappe di pericolosità delle aree potenzialmente interessate da alluvioni", tali tavole potranno essere modificate secondo la procedura di cui all'art. 24 comma 2 del presente piano, anche su proposta delle Amministrazioni comunali. Nel caso in cui la realizzazione di interventi strutturali configuri le aree potenzialmente interessate da alluvioni diversamente da quanto indicato nelle tavole MP "Mappe di pericolosità delle aree potenzialmente interessate da alluvioni", il Comitato Istituzionale, previo parere del Comitato Tecnico, prende atto dell'avvenuta verifica funzionale delle opere e determina la decorrenza della nuova perimetrazione.

Facendo riferimento al modello digitale del terreno (DEM) elaborato dalla Protezione Civile della Provincia di Ravenna, e appositamente predisposto per la modellazione del tirante idrico, si è provveduto a valutare il tirante idrico di dettaglio per la zona in esame facendo utilizzando l'algoritmo Hydro di Wang & Liu (fill sink), considerando un gradiente idraulico pari a 0.001. L'elaborazione valuta il massimo livello di acqua statico sul piano di campagna prevedibile in caso di allagamento.

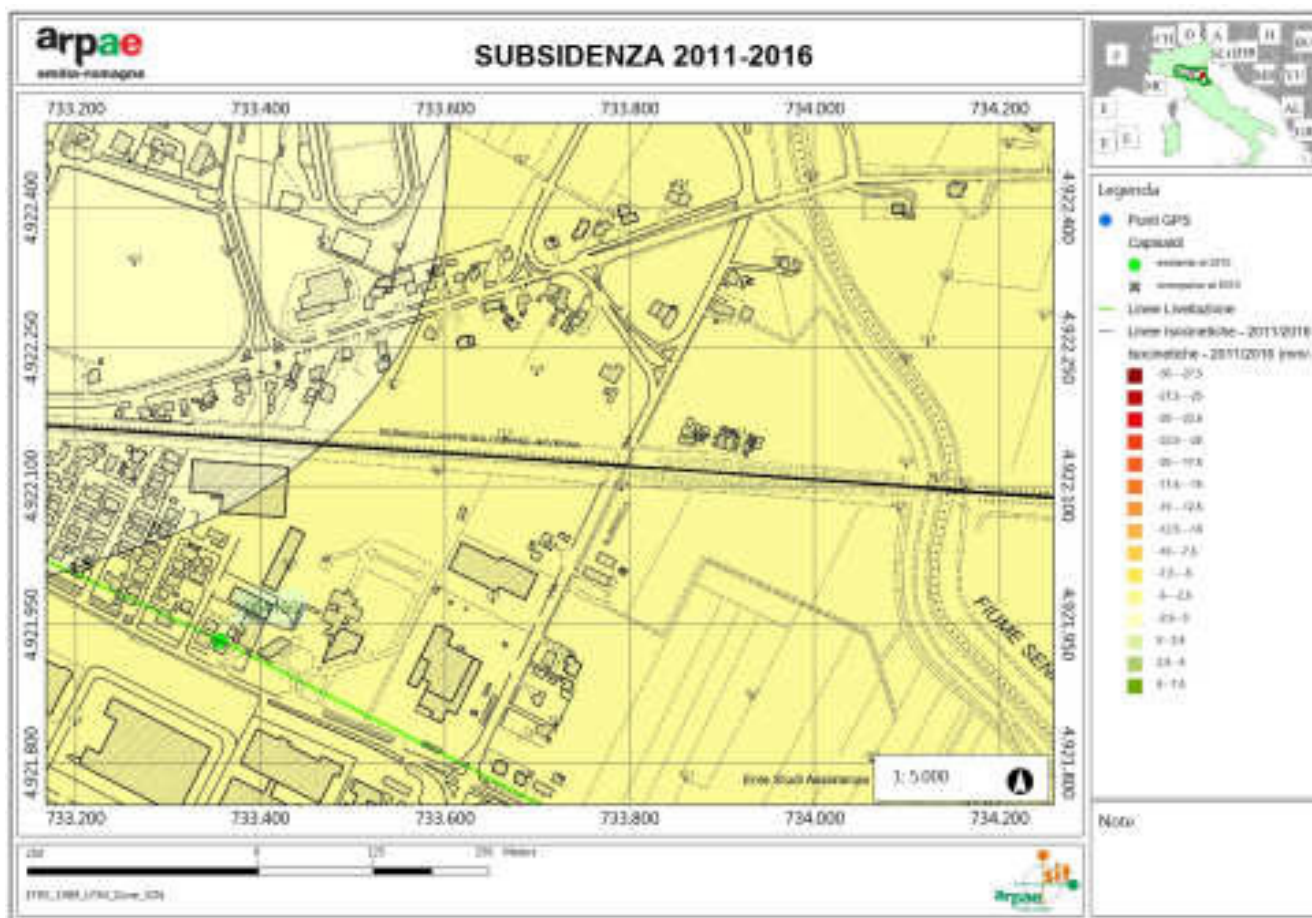
Sottostante si riporta l'elaborazione del tirante idrico e il modello digitale del terreno della zona in esame, appositamente predisposto per l'elaborazione dei "fill sink".

Dall'interrogazione del GIS, per il sito di progetto, risulta un in tirante idrico risulta compreso tra 0.6 m e 1.4 m sull'attuale piano di campagna, con livelli crescenti da Sud verso Nord e ONO.





Come si può osservare dalla sottostante cartografia, la subsidenza nella zona in esame è compresa tra 2.5 mm e 5 mm all'anno.



6 IDROGEOLOGIA

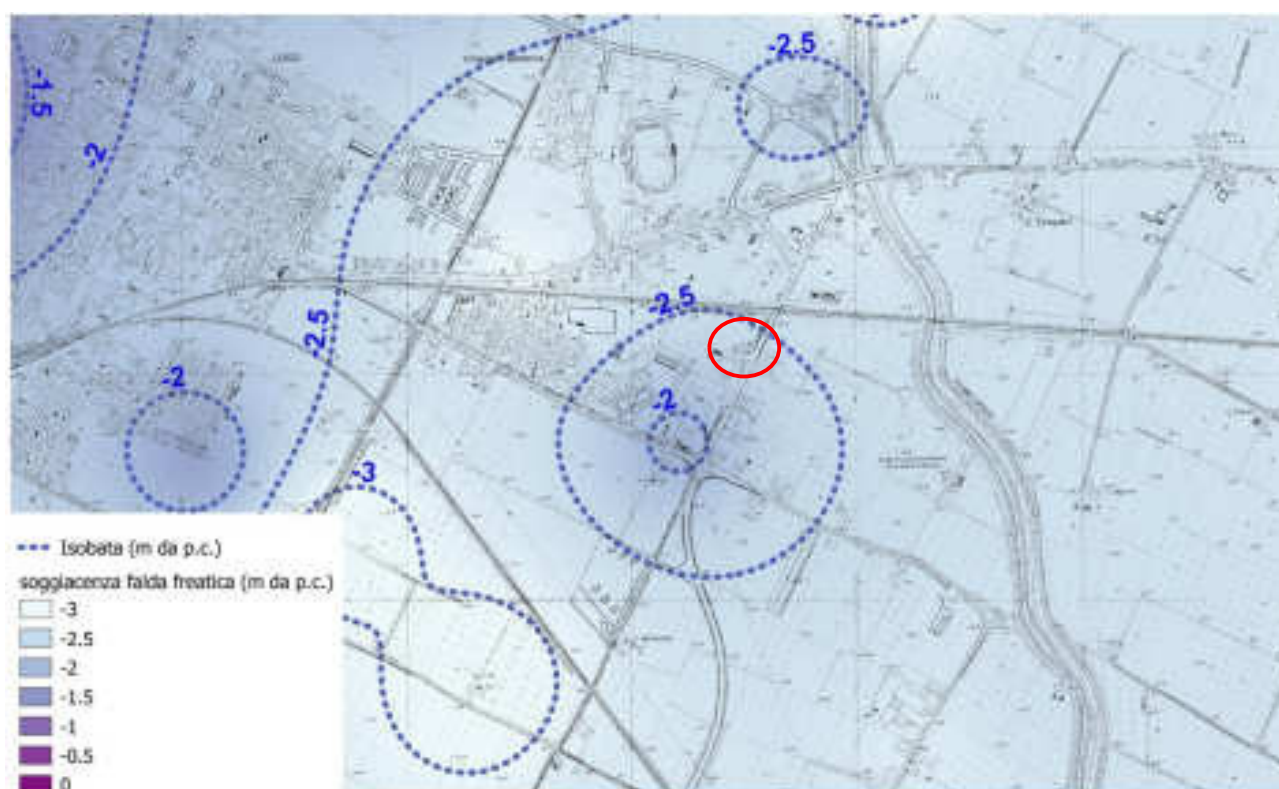
Per quanto riguarda le acque sotterranee, sul sito in esame si possono distinguere:

- *falda freatica superficiale*, prevalentemente alimentata dalle acque meteoriche, con livello statico a profondità variabili fra 3.0 e 2.6 m rispetto al piano campagna attuale, in condizioni di massimo idrogeologico e attorno a 3÷4 m in condizioni di minimo idrogeologico;
- *falde artesiane*, poste a diverse profondità rispetto al piano di campagna, si trovano all'interno di acquiferi di natura sabbiosa, separati da livelli impermeabili argilloso limosi, e la loro alimentazione avviene, essenzialmente, tramite l'infiltrazione di acqua dalla fascia pedecollinare, o di alta pianura, dove i sedimenti a granulometria più grossolana si trovano a profondità minori se non in affioramento. Per la zona di interesse i primi livelli sabbiosi in pressione, si trovano alla profondità a partire da circa -90÷100 m rispetto al piano di campagna.

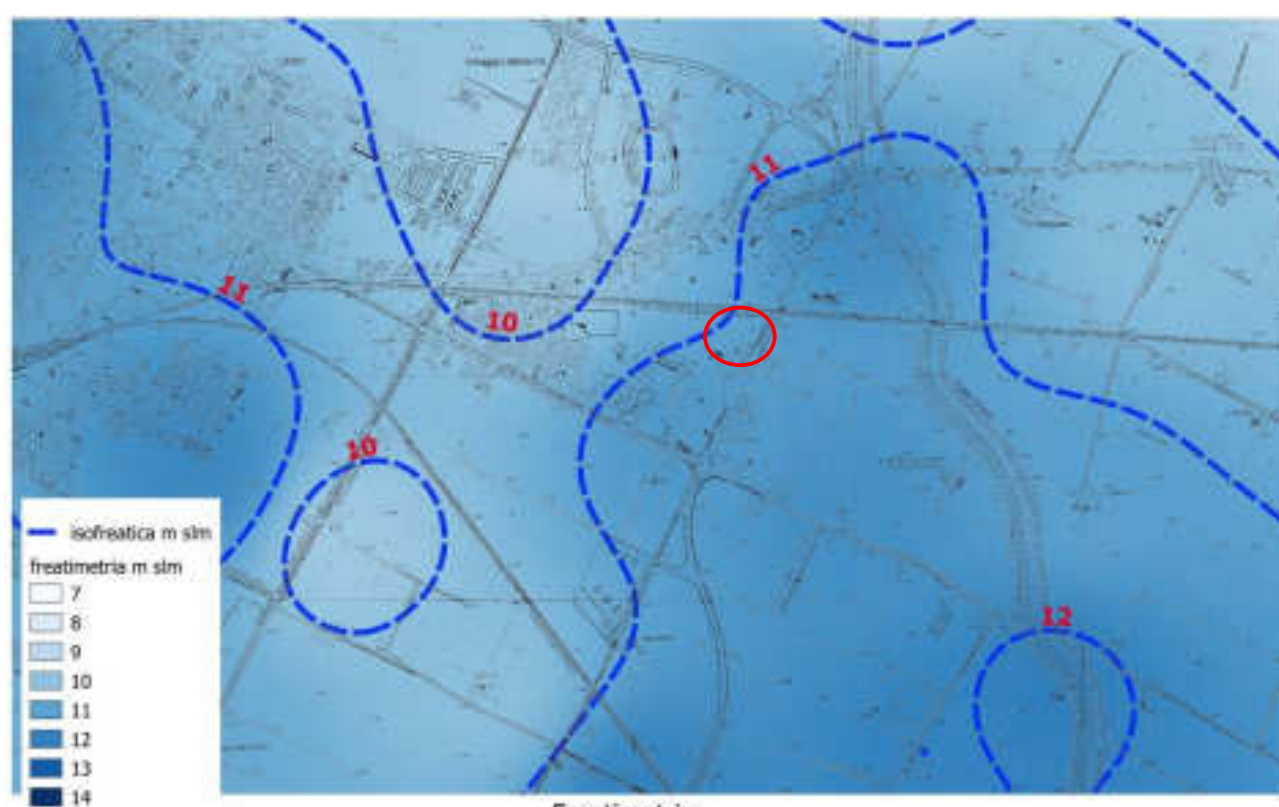
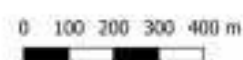
La falda libera superficiale ha una particolare incidenza ed un ruolo peculiare ai fini progettuali, in relazione alla sua possibile influenza sui parametri del carico ammissibile e sugli effetti cosismici che possono manifestarsi nel suolo.

Al fine di caratterizzare la falda freatica del territorio in esame si è fatto riferimento agli studi freatimetrici eseguiti per la pianificazione urbanistica comunale, eseguendo opportune verifiche in campagna che hanno confermato i caratteri idrogeologici del territorio emersi dal precedente studio.

Nella zona di interesse i livelli statici della soggiacenza hanno valori compresi tra -2 e -2.5÷3.0 m dal piano di campagna e i livelli freatici evidenziano un deflusso verso Nord e NNE.



Soggiacenza della falda freatica dal piano di campagna

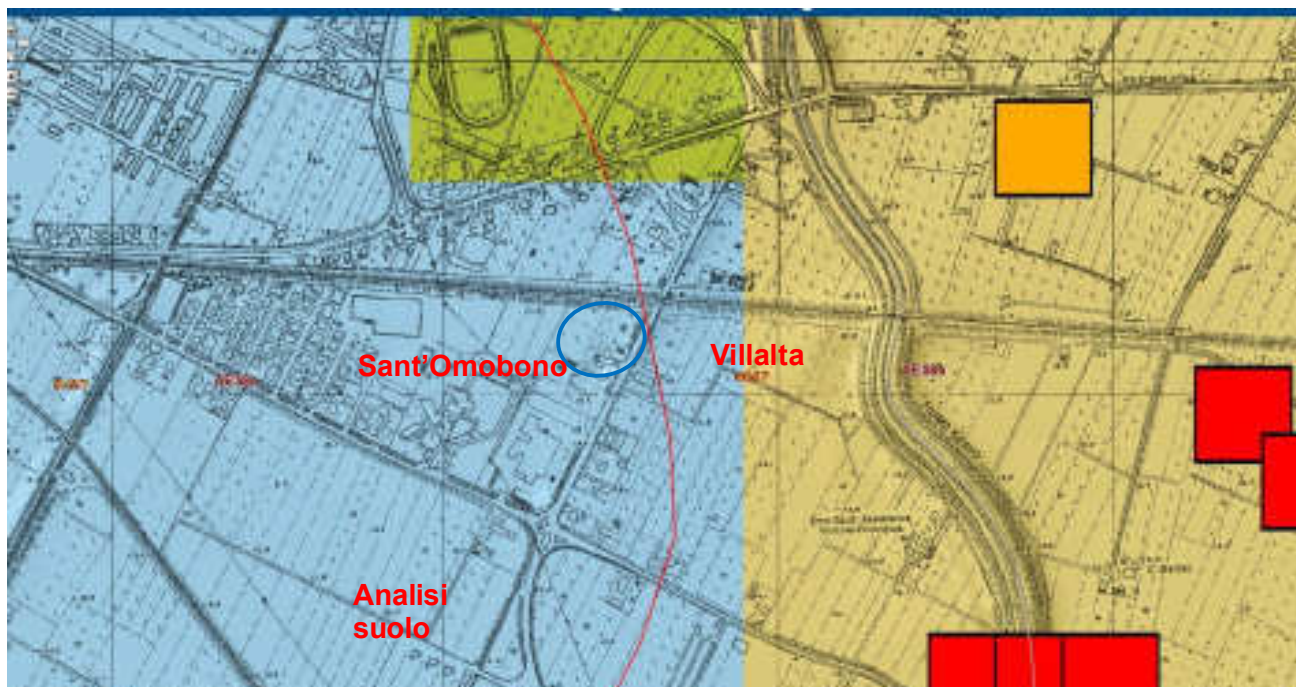


Freatimetria




7 LITOLOGIA SUPERFICIALE E PEDOLOGIA


La carta Geologica e dei Suoli Regionale evidenzia litologie franco limose argillose (FLA) appartenenti alla consociazione dei suoli SANT'OMOBONO (SIMB1/SIMB2).



Legenda

Carta Suoli 1:50.000


 delineazione di suolo


 corpi d'acqua

Tessitura 0-30cm

 AL - argilloso limosa

 FLA - franco limosa argillosa

 F - franca

 FS - franco sabbiosa

8 INDAGINI GEOGNOSTICHE

Al fine di verificare le caratteristiche geomeccaniche del terreno interessato all'intervento ed in considerazione del rilievo effettuato, sono state realizzate n. 2 prove penetrometriche statiche con punta elettrica e piezocono (CPTU), di cui n.1 spinta fino a -30 m dal piano di campagna, e n.1 spinta fino a -20 m. Inoltre, è stata realizzata anche n. 1 misura HVSR e una MASW.

Infine, si è fatto riferimento anche alle penetrometrie realizzate nell'adiacente area già urbanizzata.

8.1 PROVE PENETROMETRICHE

Per le prove penetrometriche si è utilizzato un penetrometro con spinta di 30 tonnellate, montato su sottocarro (peso complessivo 5500 kg), dotato di punta elettrica costruita secondo la tipologia "Gouda" che ha permesso l'acquisizione dei dati ogni 2 cm di avanzamento.

La punta rispetta le dimensioni standard europee:

- Punta conica per la misura della resistenza alla punta con area pari a cmq 10 ed angolo di 60°;
- Manicotto per la misura dell'attrito laterale di cmq 150;
- Sensore inclinometrico per controllare la deviazione delle aste dalla verticale;
- Sensore di temperatura per correggere deriva dovuta al cambiamento di temperatura.

Dall'esame dei dati di lettura sono state costruite le curve che si riferiscono alla resistenza alla punta (Q_c), alla resistenza all'attrito laterale (F_s) le cui rappresentazioni grafiche vengono riportate nei diagrammi allegati.

Dall'indice di comportamento I_c , che è funzione di Q_c e F_s/Q_c , si è giunti alla classificazione dei terreni seguendo la metodologia suggerita dal Robertson in 1990 e utilizzando le metodologie suggerite dal tipo di indagine adottata (test penetrometrici) è stato possibile ricostruire le caratteristiche meccanico-fisiche di ciascuna porzione di terreno presa in considerazione, traducendo in termini meccanici i risultati penetrometrici seguendo criteri suggeriti dalla letteratura.

Unità A	<i>Da 0.0 m a -0.3÷0.5 m dal piano di campagna.</i> terreni di alterazione superficiale di natura limoso sabbiosa argillosa
Unità B	<i>Da -0.3÷0.5 m a circa -1.9÷2.3 m dal piano di campagna</i> Sabbia limosa mediamente addensata. I valori penetrometrici risultano mediamente compresi tra 2.5MPa e 5.0 MPa.
Unità C	<i>Da circa -1.9÷2.3 m a -18.8÷19.0 m dal piano di campagna.</i> Limi argillosi a consistenza prevalentemente plastica, localmente molle-plastica, con rare intercalazioni di livelli limoso-argillosi. I valori penetrometrici risultano mediamente compresi tra 1.0 MPa e 1.5 MPa.
Unità D	<i>Da -18.8÷19.0 m a -30.0 m dal piano di campagna, massima profondità indagata</i> Alternanza tra depositi sabbioso-limosi e limoso-argillosi. I depositi sabbiosi risultano mediamente addensati, mentre quelli limoso-argillosi mostrano una consistenza da plastica a semi-solida. Per i depositi sabbiosi i valori penetrometrici risultano mediamente compresi tra 5 MPa e 12 MPa. Mentre per quelli limoso-argillosi si osservano valori compresi tra 1.7 MPa e 2.5 MPa.

Il livello della falda freatica, misurato all'interno dei fori penetrometrici alla data delle prove, dopo un lasso di tempo sufficiente a stabilizzarne il livello idrico, si attestava attorno a -2.7 m dal piano campagna. Sottostante si riportano i livelli riscontrati nelle prove penetrometriche realizzate sul sito di indagine e sull'area limitrofa già urbanizzata.

Prova n.	Data misura	Livello idrico m da p.c.
CPTU 1	19-10-2020	-2.7 m
CPTU 2	19-10-2020	-2.7 m
CPTE 1	06-07-1996	-2.0 m
CPTE 2	06-07-1996	-2.0 m
CPTE 3	05-10-2017	-2.6 m

In generale, dal confronto tra le prove eseguite, si osserva che le caratteristiche areali litostratigrafiche del substrato dell'area di interesse risultano nel complesso omogenee.

8.2 MISURE DEI MICROTREMORI E MASW

Per la valutazione dell'amplificazione sismica di risonanza del substrato di interesse e della Vs30 si è utilizzato il TROMINO, uno strumento in grado di misurare i microtremori, e, inoltre, è stato eseguito uno stendimento sismico SASW-MASW.

Metodo dei microtremori HVSR

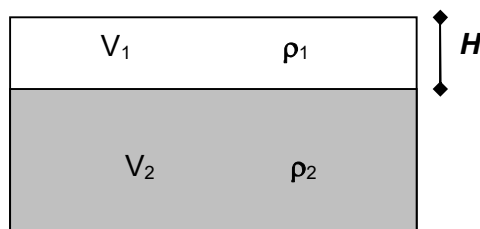
Il tremore sismico, comunemente definito "rumore sismico", esiste ovunque sulla superficie della terra. Esso è principalmente costituito da onde superficiali, ovvero da onde elastiche prodotte dall'interferenza costruttiva di onde P ed S che si propagano negli strati superficiali. Il rumore sismico è prodotto essenzialmente dal vento o dalle onde marine. A questo rumore di fondo, che è sempre presente, si sovrappongono le sorgenti locali, antropiche (traffico, industrie ecc.) e naturali. I microtremori sono solo in parte costituiti da onde di volume, P o S. In essi giocano un ruolo fondamentale le onde superficiali, che hanno velocità prossima a quella delle onde S, il che spiega la dipendenza di tutta la formulazione della velocità di queste ultime.

Dai primi studi di Kanai (1957) in poi, diversi metodi sono stati proposti per estrarre l'informazione relativa al sottosuolo da rumore sismico registrato in un sito. Tra questi, la tecnica che si è maggiormente consolidata nell'uso è quella dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale (Horizontal to Vertical Spectral Ratio, HVSR o H/V), proposta da Nogoschi e Igaraschi (1970). La tecnica è universalmente riconosciuta come efficace nel fornire stime affidabili della frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo.

Le basi teoriche dell'H/V sono relativamente facili da comprendere in un mezzo del tipo strato + bedrock (o strato assimilabile al bedrock) in cui i parametri sono costanti in ciascuno strato. Considerando lo schema della figura sottostante in cui gli strati 1 e 2 si distinguono per le diverse densità (ρ_1 e ρ_2) e le diverse velocità delle onde sismiche (V_1 e V_2). Un'onda così riflessa interferisce con quelle incidenti, sommandosi e raggiungendo le ampiezze massime (condizioni di risonanza) quando la lunghezza dell'onda incidente (λ) è 4 volte (o suoi multipli dispari) lo spessore H del primo strato. La frequenza fondamentale di risonanza (fr) dello strato 1 relativa alle onde S è pari a

$$fr = \frac{V_{s1}}{4 * H}$$

Questo effetto è sommabile, anche se non in modo lineare e senza corrispondenza 1:1. Ciò significa che la curva H/V relativa ad un sistema a più strati contiene l'informazione relativa alle frequenze di risonanza (e quindi dello spessore) di ciascuno di essi, ma non è interpretabile semplicemente applicando la sopra riportata equazione.

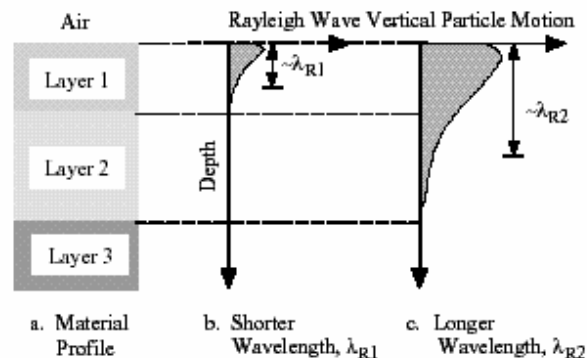


L'inversione richiede l'analisi delle singole componenti e del rapporto H/V, che fornisce un'importante normalizzazione del segnale per a) in contenuto di frequenza, b) la risposta strumentale e c) l'ampiezza del segnale quando le registrazioni vengono effettuate in momenti con rumore di fondo più o meno alto. Un aspetto assai importante è che il rumore sismico agisce come sorgente di eccitazione per la risonanza del sottosuolo e degli edifici più o meno come una luce bianca diffusa illumina gli oggetti eccitando le lunghezze d'onda tipiche di ciascun oggetto e dandogli il suo tipico colore.

Questo risulta molto importante a livello ingegneristico perché se un edificio ha frequenze proprie di vibrazione uguali a quelle del substrato su cui è fondato, durante un sisma, si assiste al fenomeno dell'accoppiamento delle vibrazioni. Questo effetto di amplificazione sismica produrrà un grande aumento della sollecitazione sugli edifici.

Metodo dei MASW

Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine non invasiva che individua il profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s , basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori (accelerometri o geofoni) posti sulla superficie del suolo. Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidezza della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo (Achenbach, J.D., 1999, Aki, K. and Richards, P.G., 1980) o detto in maniera equivalente la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione. La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli strati più profondi del suolo.



Le onde superficiali generate in un punto sulla superficie del suolo sono misurate da uno stendimento lineare di sensori. Nel metodo SASW-MASW si mantiene fisso il sensore di misura e si sposta a intervalli regolari il punto di generazione delle onde.

Il metodo attivo generalmente consente di ottenere una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente nel range di frequenze compreso tra 5Hz e 70Hz, quindi dà informazioni sulla parte più superficiale del suolo, generalmente circa 8÷15 m, in funzione della rigidezza del suolo.

Il metodo MASW consiste in tre fasi (Roma, 2002): (1) la prima fase prevede il calcolo della velocità di fase (o curva di dispersione) apparente sperimentale, (2) la seconda fase consiste nel calcolare la velocità di fase apparente numerica, (3) la terza ed ultima fase consiste nell'individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s , modificando opportunamente lo spessore h , le velocità delle onde di taglio V_s e di compressione V_p (o in maniera alternativa alle velocità V_p è possibile assegnare il coefficiente di Poisson μ), la densità di massa ρ degli strati che costituiscono il modello del suolo, fino a raggiungere una sovrapposizione ottimale tra la velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale e la velocità di fase (o curva di dispersione) numerica corrispondente al modello di suolo assegnato.

Combinazione del metodo HVSr e MASW e risultati.

La combinazione tra le misure HVSr e quelle MASW permettono di ottimizzare la ricostruzione del modello di velocità delle onde di taglio V_{s30} .

Infatti, le MASW permettono di ottenere le misure di velocità di taglio nei primi metri che servono da base per interpretare gli strati più profondi osservabili solo dalle misure HVSr.

Inoltre, si è provveduto ad eseguire anche la calibrazione delle misure HVSr e MASW in base alle indagini geonostiche eseguite sul sito di indagine.

La prova eseguita impiegando la suddetta metodologia dei microtremiti, combinata con la MASW, utilizzando l'inversione H/V con il metodo proposto da Nakamura, secondo la teoria descritta da Aki (1964) e Ben-Menahem & Sing (1981), ha evidenziato una **$V_{seq}(0-30m) = 201 \text{ m/s}$** .

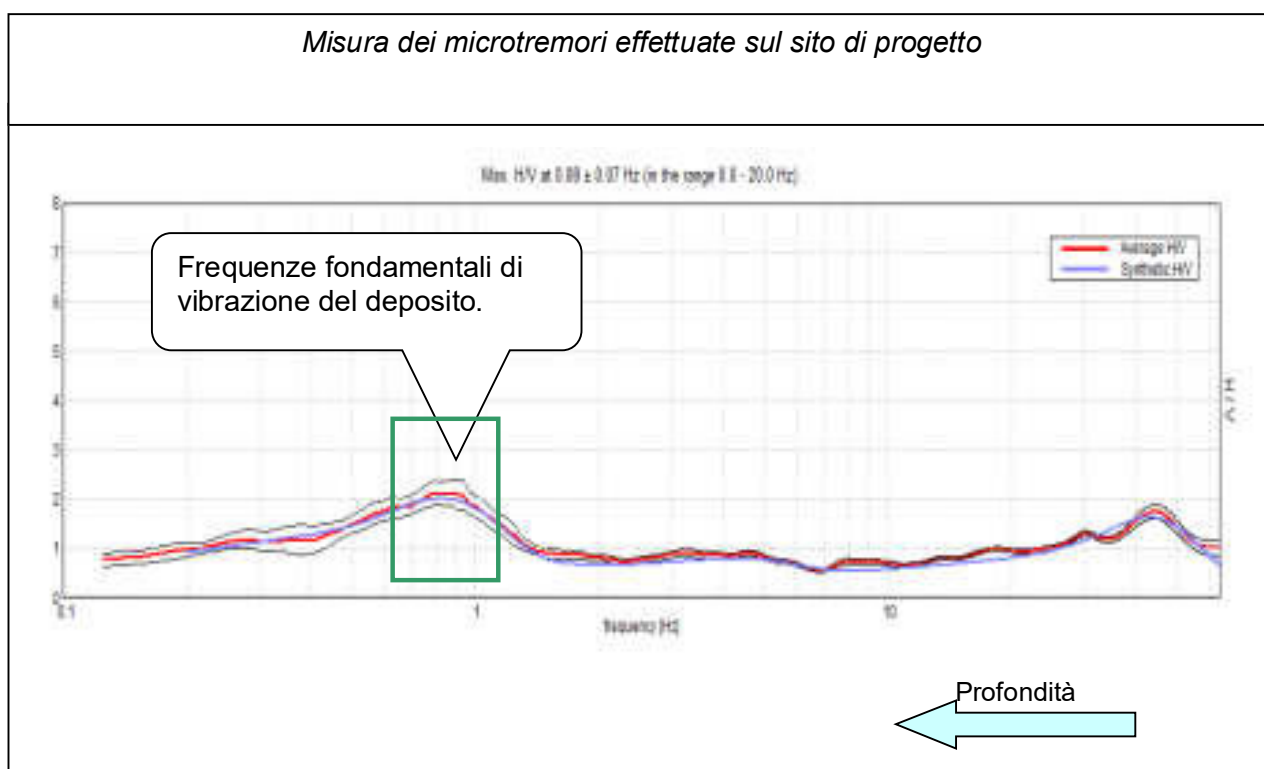
L'analisi delle frequenze fondamentali di amplificazione del sito evidenzia l'amplificazione di risonanza tipica del terreno e, di conseguenza, l'altezza critica degli edifici che in caso di sisma possono entrare in risonanza con il terreno.

Nel caso specifico si osserva una sostanziale assenza di contrasti di impedenza nel campo di frequenze di interesse per l'ingegneria ($\text{Hz} < 10 \div 20$), risultando molto molto bassi, appena superiori all'unità. Comunque, è possibile individuare, le sottostanti frequenze fondamentali per il deposito esaminato, pur considerando la loro modestissima amplificazione.

Misura HVSR	Frequenze fondamentali di vibrazione del deposito	
Numero misura	Frequenza – f (Hz)	Periodo – T (sec)
T1	0.8÷0.95	1.25÷1.05

Le verifiche del modello sismico delle opere in esame potranno essere utilmente confrontate con la frequenza fondamentale del sito indagato.

Dal confronto tra le due misure HVSR effettuate sull'area in esame, si osserva una risposta sismicamente omogenea del sottosuolo del sito di interesse, con contrasti di impedenza sostanzialmente assenti per le frequenze di specifico interesse per l'ingegneria.



9 MICROZONAZIONE SISMICA

9.1 Pericolosità sismica di base

9.1.1 N.T.C. 17-01-2018

In base alle NTC 2018, considerando un sisma di progetto con tempi di ritorno di 475 anni, per l'area di interesse risulta un valore di $a_{rif}g = 0.184g$, le velocità $V_{seq(0-30m)} = 201 \text{ m/s}$, quindi può considerarsi un substrato appartenente alla categoria di suolo **C**. Di conseguenza risulta un coefficiente di amplificazione sismica per tipo di suolo $S = 1.43$ e, essendo in zona pianeggiante, il coefficiente di amplificazione morfologico risulta $S_T = 1$, quindi l'accelerazione massima al suolo risulterà di $a_{max} = 0.263g$.

9.1.2 D.G.R. n. 630/2019

il sito di interesse ricade nel settore di pianura 2.

PIANURA 2: settore di pianura con sedimenti alluvionali prevalentemente fini, alternanze di limi, argille e sabbie, caratterizzato dalla presenza di una importante discontinuità stratigrafica responsabile di un significativo contrasto di impedenza a circa 100 m da p.c. e dal tetto del substrato rigido a circa 150 m da p.c.;

$V_{s30} \text{ (m/s)} \rightarrow$	150	200	250	300	350	400
PGA	1,7	1,7	1,7	1,6	1,5	1,5

Fattore di Amplificazione **PGA**

$V_{s30} \text{ (m/s)} \rightarrow$	150	200	250	300	350	400
SA1	1,8	1,8	1,8	1,7	1,6	1,5
SA2	2,7	2,7	2,4	2,1	1,9	1,8
SA3	3,3	3,2	2,8	2,5	2,3	2,1
SA4	3,3	3,1	2,7	2,4	2,1	1,9

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** ($0,5s \leq T \leq 1,5s$)

$V_{s30} \text{ (m/s)} \rightarrow$	150	200	250	300	350	400
SI1	2,0	2,0	1,9	1,8	1,7	1,6
SI2	3,1	3,0	2,7	2,4	2,1	2,0
SI3	3,6	3,3	2,9	2,5	2,2	2,0

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

Considerando le suddette V_{s30} , considerando una velocità equivalente $V_{s30}=201 \text{ m/s}$, si ottengono le seguenti amplificazione dello spettro elastico:

- F.A. P.G.A. = 1.7
- F.A. INTENSITA' SPETTRALE $0.1s < T_o < 0.5s = 2.0$
- F.A. INTENSITA' SPETTRALE $0.5s < T_o < 1.0s = 3.0$
- F.A. INTENSITA' SPETTRALE $0.5s < T_o < 1.5s = 3.3$

Per quanto riguarda l'ag al suolo attribuita al sito in esame, facendo sempre riferimento alla già citata D.G.R., considerando un sisma di progetto di 475 anni, come previsto dalla D.G.R. in parola, si ha un valore pari a $ag=0.184 \cdot 1.7=0.313g$, quindi superiore rispetto a quanto ottenuto seguendo le procedure della normativa nazionale considerando un sisma di progetto con tempi di ritorno di 475 anni.

9.1.3 Analisi di Risposta Sismica Locale

In appendice è riportata l'analisi di Risposta Sismica Locale (RSL)

L'analisi evidenzia valori medio di $ag=0.273g$ al suolo, di poco superiore a quanto proposto dalle NTC2018. Anche lo spettro elastico coerente con quello delle NTC2018, evidenziando comunque valori superiori tra $T=0.2 \text{ sec}$ e $T=0.3 \text{ sec}$.

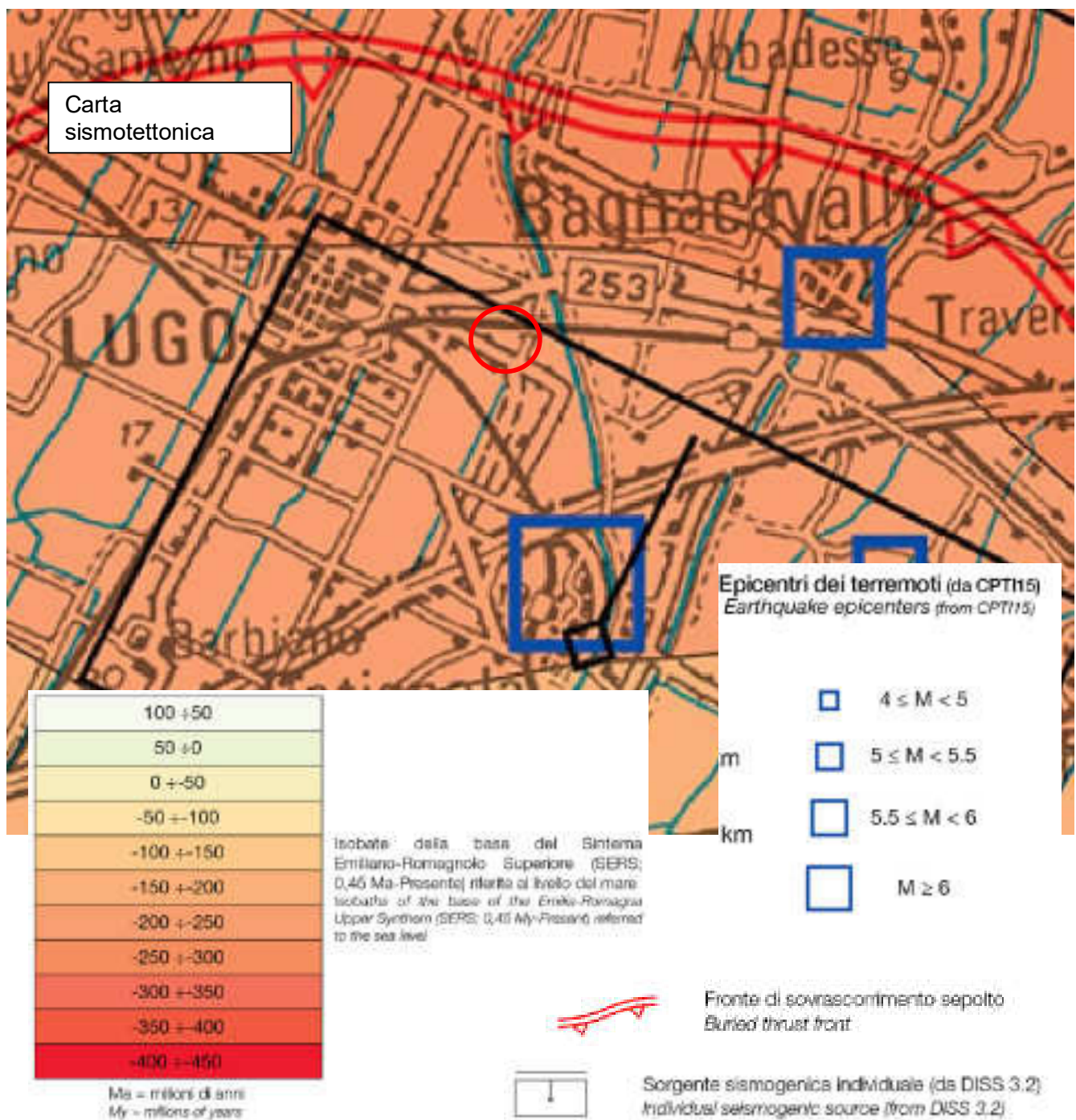
9.1.4 Assetto sismotettonico, sismicità del comune di Lugo, mappe interattive di pericolosità sismica e zone sismogenetiche

Dalla carta sismotettonica della Regione Emilia-Romagna, si osserva che in corrispondenza del sito di progetto la base del Sintema Emiliano-Romagnolo superiore, un riflettore sismostratigrafico, si trova alla profondità di circa 250 m sotto al livello del mare. Ulteriormente, a Nord del sito in esame, si osserva una struttura sepolta corrispondente ad un sovrascorrimento.

Gli epicentri dei sismi più prossimi al sito in esame evidenziano magnitudo $5.5 < M < 6.0$.

Il sito in esame, in base alla zonizzazione sismogenetica ZS9, il sito ricade all'interno della macrozona sismogenetica 912 che presenta una magnitudo massima $M_w = 6.14$.

Dalla carta sismogenetica, si osserva che il sito in esame si trova nella zona sismogenetica ITCS011–Ascensione-Armaia, la quale presenta una magnitudo momento massima $M_w = 6.0$, e ITCS100 – Bagnacavallo, con $M_w = 5.8$.

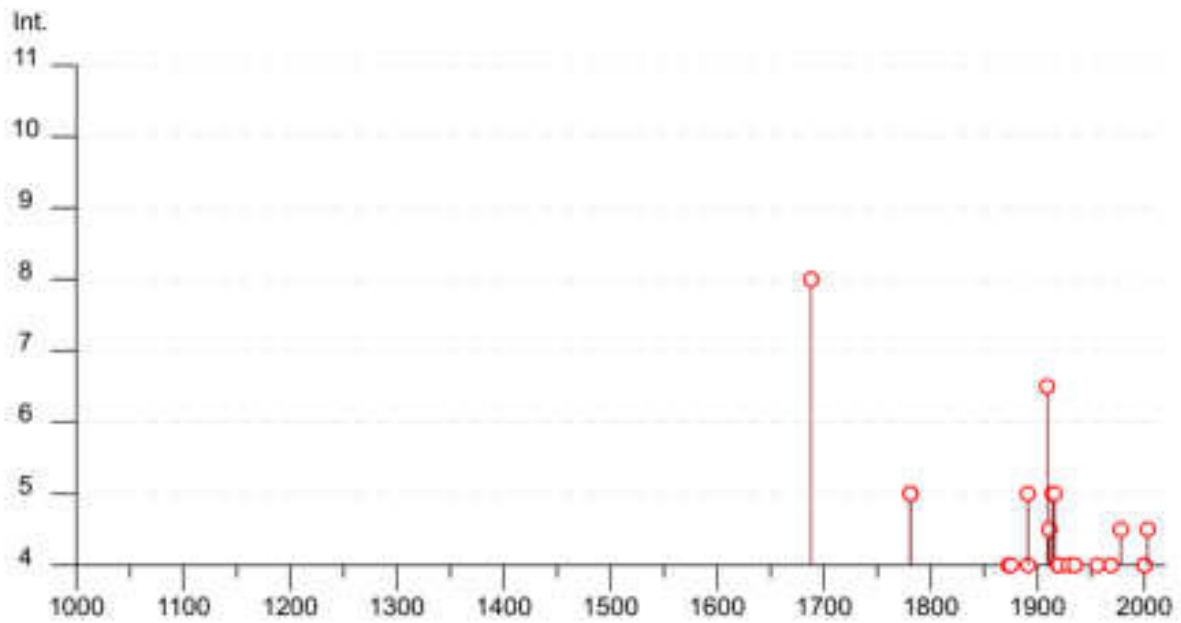


Storia sismica del comune di Lugo (RA)

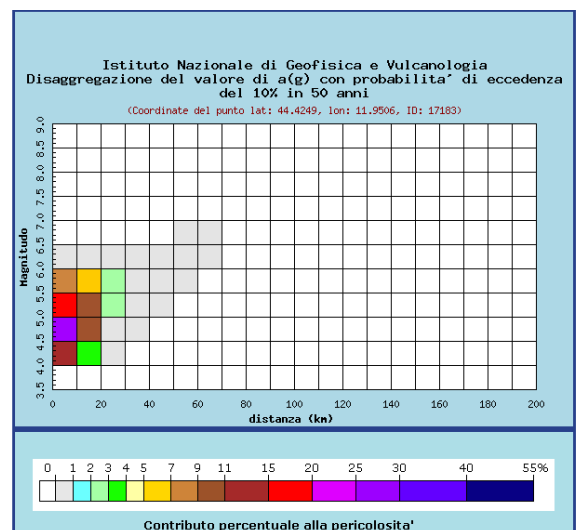
Lugo

PlaceID: IT_41227
 Coordinate (lat, lon): 44.419, 11.919
 Comune (ISTAT 2013): Lugo
 Provincia: Ravenna
 Regione: Emilia-Romagna
 Numero di sverdi riportati: 48

Sfasci	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Bo	Mi	Se	Area epicentrale	MDF	Io	Mw
0	1570	01	01	02			Bolognese	11	0	5.62
00	1570	11	17	18	18		Ferrarese	18	7-8	5.44
0	1599	04	11	12	20		Romagno	19	8-9	5.84
0	1781	04	04	21	26		Faentino	66	9-10	5.12
3	1781	07	17	08	40		Faentino	40	0	5.41
4	1871	01	12	30	04		Appennino bolognese	198	0	5.85
2-3	1876	10	07				Imolese	66	7	4.96
4	1878	03	17	23	50		Costa romagnola	144	0	5.74
0	1878	02	12	21	54		Asinara	21	0	4.84
3	1887	04	20	13	53		Forlivese	18	0	4.10
4	1881	06	07	01	04	1	Valle d'Illes	480	8-9	5.87
0	1881	08	01	13	31	2	Lugo	15	4-5	4.39
00	1897	11	18	07	24	2	Alta Valdinievole	132	7	5.04
00	1898	01	14	15	18		Emilia settentrionale	110	4	4.59
00	1904	04	10	11	13	2	Friolesi	101	4	4.80
00	1904	11	17	05	01		Pistoiese	104	7	5.10
4-7	1908	01	13	04	45		Emilia Romagna orientale	867	6-7	5.39
4-5	1911	03	13	07	18	3	Forlivese	181	7	5.26
5	1918	10	27	09	28		Carabesola	440	7	5.63
0	1918	08	18	07	04	1	Rimini	257	8	5.80
4	1919	04	23	13	08	1	Modena	300	10	6.38
4	1920	09	07	02	55	0	Castagnaro	750	10	6.23
0	1929	04	10	03	44		Asinara	47	0	5.80
2	1919	07	19	31	31		Modena	56	6-7	4.99
1	1930	10	30	07	13		Castigallio	168	8	5.83
4	1935	04	02	11	48		Faentino	27	0	5.23
00	1948	04	13	04	31	2	Alta Valdinievole	143	7	5.04
3	1953	12	14	07	11	0	Appennino forlivese	88	5-6	4.70
0	1958	02	20	01	29	0	Argenta	17	5-6	4.99
00	1959	04	24	03	03	0	Appennino bolognese	89	0	5.74
00	1961	05	08	22	43	5	Parma	42	5	4.37
0	1965	11	18	04	21	2	Pianura romagnola	15	5	4.54
0	1968	01	10	18	17	3	Pianura ravennate	22	0	4.38
00	1972	11	30	11	25	3	Costa padovana	90		4.32
4-5	1978	12	03	12	28	0	Romagno	24	4-5	4.61
2-3	1983	11	08	16	28	0	Parma	850	4-7	5.94
3	1984	04	19	03	01	0	Emilia settentrionale	109	7	5.62
00	1986	12	08	17	07	1	Ferrarese	104	0	4.42
3	1988	08	13	21	54	0	Prealpi Vicentine	779	6-7	4.89
00	1990	12	27	21	44	2	Forlivese	27	0	3.87
00	1998	01	29	22	48	0	Appennino forlivese	87	5	4.36
4	2000	09	08	22	07	0	Faentino	85	5	4.88
4	2008	05	08	12	29	3	Faentino	128	5	4.67
2-3	2010	06	10	14	51	3	Faentino	151	5-6	4.80
00	2010	11	01	10	57	4	Ferrarese	79	4	4.31
4-6	2010	09	14	21	42	0	Appennino bolognese	133	0	5.24
00	2013	12	07	14	20	3	Forlivese	103	5	4.38
00	2015	07	15	13	17	1	Forlivese	173	4-5	4.19



Mappe di pericolosità sismica



Distanza in km	Disaggregazione del valore di $\epsilon(t)$ con probabilità di accadimento del 10% in 10 anni (Coordinate del punto focale: 44.4243, lat: 11.9306, ID: 17383)									
	Magnitudo									
0-10	0.000	14.300	26.700	15.200	3.170	0.753	0.000	0.000	0.000	0.000
10-15	0.000	3.853	6.890	6.700	4.815	0.166	0.000	0.000	0.000	0.000
15-20	0.000	0.613	0.670	2.110	2.200	0.257	0.000	0.000	0.000	0.000
20-25	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
25-30	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
30-35	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
35-40	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
40-45	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
45-50	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
50-55	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
55-60	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
60-65	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
65-70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
70-75	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
75-80	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
80-85	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
85-90	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
90-95	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
95-100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
100-105	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
105-110	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
110-115	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
115-120	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
120-125	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
125-130	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
130-135	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
135-140	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
140-145	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
145-150	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
150-155	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
155-160	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
160-165	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
165-170	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
170-175	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
175-180	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
180-185	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
185-190	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
190-195	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
195-200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Valori medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
5.000	9.150	0.933

Zone sismogenetiche

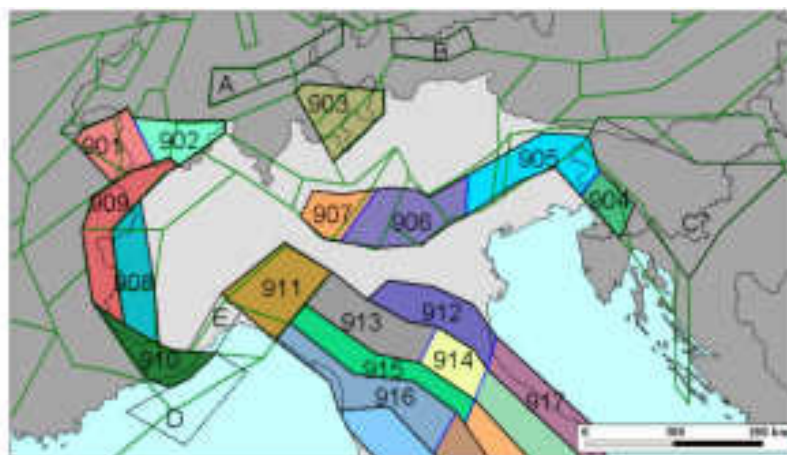


Figura 7 - Zonazione sismogenetica Z59 per il Nord Italia (bordi in nero e blu) a confronto con la zonazione adottata dal progetto SESAME (1991).

Database of Individual Seismogenic Sources

General Information

Source ID: IT0011

Name: Alessandro-Arco

Coordinates: 44.4243, 11.9306

Created: 11 Apr 2011

Updated: 11 Apr 2011

Revised version: 11 Apr 2011

Parameters Information

Parameter	Value	Source
Min depth (km)	3.0	Based on geological data from various authors
Max depth (km)	40.0	Based on geological data from various authors
Strike (deg) min... max	110... 140	Based on geological data from various authors
Slip (deg) min... max	30... 45	Based on geological data from various authors
Slip rate (mm/yr) min... max	0.15... 0.33	Inferred from regional tectonic data
Slip rate (mm/yr) min... max	0.15... 0.33	Based on geological data from various authors
Max Magnitude (Mw)	6.0	Based on the strongest earthquake recorded in this region

Database of Individual Seismogenic Sources

General Information

Source ID: IT0011

Name: Alessandro-Arco

Coordinates: 44.4243, 11.9306

Created: 11 Apr 2011

Updated: 11 Apr 2011

Revised version: 11 Apr 2011

Parameters Information

Parameter	Value	Source
Min depth (km)	3.0	Based on geological data from various authors
Max depth (km)	40.0	Based on geological data from various authors
Strike (deg) min... max	110... 140	Based on geological data from various authors
Slip (deg) min... max	30... 45	Based on geological data from various authors
Slip rate (mm/yr) min... max	0.15... 0.33	Inferred from regional tectonic data
Slip rate (mm/yr) min... max	0.15... 0.33	Based on geological data from various authors
Max Magnitude (Mw)	6.0	Based on the strongest earthquake recorded in this region

9.2 Analisi del rischio dei fenomeni cosismici

Al fine di comprendere al meglio il possibile rischio a cui potranno essere soggette le future strutture di progetto relativamente alla pericolosità cosismica di liquefazione dei terreni del substrato del fabbricato in esame, si analizza il concetto di Rischio.

Per la valutazione del Rischio si utilizza la seguente relazione:

$$R = P \times V \times E$$

Dove:

- R = rischio
- P = pericolosità: probabilità di accadimento di un determinato evento di una certa intensità in un determinato sito e in un determinato momento.
- V = vulnerabilità: capacità di un certo elemento strutturale e/o non strutturale di resistere a quel determinato evento.
- E = elemento a rischio: valore dell'elemento strutturale e/o non strutturale.

Suscettibilità

Una sollecitazione sismica provoca una messa in accelerazione delle particelle del suolo che possono determinare liquefazione e/o modificazioni topografiche dell'area.

Ciò avviene in misura maggiore per quei terreni incoerenti poiché i granuli sottoposti a vibrazione perdono resistenza di attrito e quindi vengono favoriti fenomeni di scorrimento con assestamenti e rifluimenti, con possibili processi di liquefazione in caso di terreni saturi di acqua.

La coesione conserva invece la sua efficacia, indipendentemente dalla vibrazione; quindi i terreni coerenti presentano, praticamente, inalterata la resistenza alle azioni taglienti rapide e con essi sono più rari cedimenti delle opere per assestamenti e rifluimenti generati da azioni dinamiche quali quelle sismiche.

Con metodo più analitico, al fine di valutare la suscettibilità, cioè la propensione di un determinato deposito di essere soggetto a un determinato fenomeno (ovviamente questo non implica che il fenomeno avvenga per forza), alla liquefazione, si è fatto riferimento al metodo AGI 2006, Boulanger & Idriss (2014) e Robertson & Cabal (2009) che utilizzano una metodologia di tipo storico-empirico in cui il coefficiente di sicurezza è definito dal rapporto tra la resistenza disponibile alla liquefazione e alla sollecitazione indotta dal terremoto di progetto.

La suddetta analisi, escludendo gli strati sottili, cioè quelli inferiori al metro e frapposti tra strati coesivi, non soggetti a liquefazione, considerando a favore della sicurezza l'accelerazione al suolo ricavata con la metodologia proposta dalla DGR 630/2019, in una scala che va da 0 a >15 per l'indice del potenziale di liquefazione, quindi per la suscettività del sedimento al fenomeno della liquefazione per quel determinato sisma di riferimento, presenta valori che vanno in generale da un massimo $IL=1.5$ ad un minimo di $IL=0.3$. Quindi, il sito in esame presenta un **potenziale di liquefazione basso**.

(Sonmez, 2003):

$I_L = 0$	Non liquefacibile ($F_L \geq 1.2$)
$0 < I_L \leq 2$	Potenziale basso
$2 < I_L \leq 5$	Potenziale moderato
$5 < I_L \leq 15$	Potenziale alto
$15 < I_L$	Potenziale molto alto

Pericolosità

Con il metodo proposto da Facciorusso & Vannucchi (2009) è poi stata definita la pericolosità della liquefazione del deposito in esame. Ovviamente nei grafici si riporta anche la suddivisione delle categorie di suscettività come indicato da Facciorusso per i diversi valori dell'Indice del potenziale di liquefazione.

Si evidenzia che la procedura proposta dai suddetti autori è basata sull'“approccio bayesano” e, utilizzando il teorema della probabilità totale, consente di associare ad ogni valore del fattore di sicurezza calcolato con il metodo deterministico, FSL, un valore di probabilità di inizio liquefazione, PL (“Bayesian mapping function”). Tale funzione, con riferimento al metodo proposto da Robetson e Wride (1998) assume la forma (Juang et al. 2002):

$$PL = \frac{1}{1 + \left(\frac{FSL}{A}\right)^B}$$

Dove A=1 e B=3.3.

Da tale analisi si osserva che la probabilità, in una scala 0-100%, attorno a 3÷5%, cioè, secondo quanto proposto da Facciorusso, per il deposito in esame risulta il giudizio “***non liquefazione quasi certa***”.

Vulnerabilità

In questo caso si deve esaminare quale tipo di danno potenziale è possibile che occorra a seguito di quel determinato evento, ad esempio sugli edifici. Nel caso specifico, in base alle NTC 2018, stiamo parlando S.L.V. (Stato Limite della Vita), cioè di salvaguardia della vita. Cioè, l'opera può subire dei danni a seguito di un sisma di progetto, ma in ogni caso non ci devono essere perdite di vite umane.

Nel caso in esame i cedimenti massimi post-sisma (compresi tra 3 e 5 cm), come sopra riportati, presentano valori ampiamente compatibili sia agli SLV sia agli SLD per le future opere in progetto. Si ricorda poi che l'assestamento del terreno sarà generalizzato e quindi i cedimenti differenziali potrebbero essere ridotti al minimo e inferiori rispetto al massimo cedimento prevedibile.

Pertanto, la vulnerabilità in riferimento agli SLV e SLD, cioè di salvaguardia della vita, risulterà molto basso, prossimo a zero. Inoltre, si osserva, che anche rispetto agli SLD la vulnerabilità presenterà un valore molto basso, potendo essere assunto pari a zero.

Elementi a rischio

Perciò, per le valutazioni del rischio connesso a fenomeni cosismici, causati da un sisma di progetto con tempi di ritorno di 475 anni, quindi per gli SLV, si dovranno considerare i potenziali danni causati alla vita umana dal suddetto fenomeno alle persone che transito sulla strada in progetto.

Analisi del rischio

Per tale analisi può essere assunto un valore della probabilità di accadimento massimo del fenomeno della liquefazione pari a P=0.05.

Considerando che si tratta di valutare il rischio dell'incolumità della vita, in base alle probabili opere in progetto, non si avranno conseguenze sulla vita, essendo le deformazioni massime indotte dai potenziali fenomeni cosismici ampiamente compatibili con la funzionalità dell'opera, quindi senza conseguenze sulla incolumità delle persone presente sull'asse viario, cioè l'opera non crollerà e i frequentatori potranno allontanarsi da essa. Pertanto, può essere assunto il valore di vulnerabilità V=0.

Per quanto riguarda il valore della vita, si assume il valore massimo pari a E=1.

In questo caso il rischio risulta $R=0.05 \times 0 \times 1 = 0$.

Per quanto sopra descritto la valutazione del rischio post sismico relativamente ai fenomeni cosismici risulta sostanzialmente nullo, essendo nulla la vulnerabilità dell'opera rispetto ai fenomeni cosismici corrispondente alle azioni sismiche rispetto agli SLV e SLD.

9.3 Assestamenti terreni coesivi post-sisma

Dall'analisi geostatica dei dati ricavati dalla prova penetrometrica CPTU, osservabili dai cross-plot, riportati nei grafici penetrometrici e di interpretazione, si nota che le variabili dei terreni fini indagati presentano un maggiore addensamento nel campo di quelli relativamente sovraconsolidati. Nessun punto ricade in quello dei terreni sensibili. **Pertanto, i terreni fini del substrato indagato non sono sensibili** e quindi non sono potenzialmente soggetti a significativi importanti cedimenti in caso di un sisma di progetto.

Per quanto riguarda gli assestamenti post sismici dei terreni fini è stata condotta un'analisi utilizzando la metodologia di Robertson & Cabal (2009), considerando una $M_w=6.14$. Tale analisi ha evidenziato valori compatibili con le previste opere in progetto, essendo dell'ordine di 2 cm.

9.4 Considerazione conclusive in merito alla DGR 630/2019 sugli approfondimenti del terzo livello

Concludendo, in base alle considerazioni geotecniche, in riferimento al substrato dell'area indagata, si osserva:

- i terreni del substrato in esame è attribuibile un giudizio di pericolosità, in base a quanto proposto da Facciorusso & Vannucchi (2009), corrispondente a **non liquefazione quasi certa**.
- i terreni fini e granulari non sono soggetti, in termini generali, a cedimenti post-sisma incompatibili con gli SLV e SLD.

Pertanto, per il sito in esame non si avranno rischi connessi a fenomeni cosismici per un sisma di progetto con tempi di ritorno di 475 anni, corrispondente alla valutazione degli Stati Limite della Vita (SLV). Inoltre, risulteranno anche assenti rischi rispetto ad un sisma di progetto relativo agli SLD.

10 CONSIDERAZIONI GEOTECNICHE

10.1 METODO UTILIZZATO PER LA VALUTAZIONE DEI PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI

Un aspetto essenziale del metodo degli stati limite riguarda la scelta dei parametri da introdurre nel modello di calcolo. Riguardo ai calcoli geotecnici con il criterio degli stati limite si devono considerare nelle relazioni i parametri caratteristici.

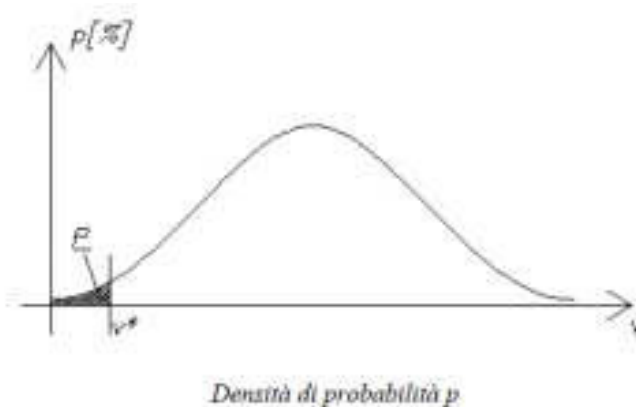
In base all'EC7, al punto 2.4.5.2.2(P), il valore caratteristico di un parametro geotecnico sarà scelto come una stima cautelativa del valore di influenza all'insorgere dello stato limite.

Da ciò discende:

- *Stima cautelativa*: si tratta di una stima che deve essere a favore della sicurezza. Cioè si deve tenere conto dell'incertezza esistente in geotecnica dovuta alla notevole variabilità delle proprietà dei depositi e all'incertezza dovuta alle informazioni non complete generalmente a disposizione tramite prove in situ e di laboratorio;
- *Valore che influenza l'insorgere dello stato limite*: il valore caratteristico è in funzione dello stato limite considerato, ad esempio la rottura al collasso verticale della fondazione. Si osserva che se invece della rottura al collasso verticale, esaminiamo la rottura allo slittamento, il valore del parametro geotecnico sarà generalmente diverso.

L'unica metodologia delineata dall'EC7 per la definizione dei valori caratteristici è di natura statistica, anche se questa non è resa obbligatoria, cioè non deve necessariamente essere adottata dai singoli stati membri.

Nel caso specifico utilizzando il metodo statistico il valore caratteristico di un particolare parametro di calcolo è definito come quel valore al quale è associato una determinata probabilità di non superamento.



Osservando la sopra riportata figura si rileva che P è la probabilità di non superamento della variabile v connessa al valore v^* (valore caratteristico cercato se $P=5\%$). v^* viene quindi calcolato imponendo che l'area P sia uguale a 5%.

In particolare in funzione del volume di terreno coinvolto nello stato limite considerato si possono presentare le seguenti situazioni:

1. Elevati volumi di terreno;
2. Piccoli volumi di terreno;
3. Campioni di scarsa numerosità.

1. Elevati volumi di terreno

Quando la zona di influenza coinvolge elevati volumi di terreno bisogna selezionare un 5° percentile della distribuzione media.

$$x_k = \bar{x} \pm t_{n-1}^{0.95} \left(\frac{s}{\sqrt{n-1}} \right)$$

Dove:

x_k = valore caratteristico desiderato

\bar{x} = valore medio (ignoto) della popolazione, ipotizzato essere uguale al valore medio del campione

t = valore della distribuzione di student ad n-1 gradi di libertà con probabilità u=95%
(ossia $1-\alpha=0.95$ o alternativamente, $\alpha=0.05$)

s = deviazione standard del campione

n = numero di dati

2. Piccoli volumi di terreno

Nel caso che la rottura sia locale, ossia interessi volumi relativamente piccoli del terreno, la formula da applicare è la seguente.

$$x_k = \bar{x} \pm z_{0.05} \bullet s \approx \bar{x} \pm 1.645 \bullet s$$

Dove:

x_k = valore caratteristico desiderato

\bar{x} = valore medio (ignoto) della popolazione, ipotizzato essere uguale al valore medio del campione

z = distribuzione normale standardizzata

s = deviazione standard del campione

3. Campioni di scarsa numerosità

Per campioni di scarsa numerosità è possibile utilizzare anche la più generica equazione di Schneider, che offre la seguente formula semplificata:

$$x_k = \bar{x} * 1 - \frac{COV}{2}$$

Dove:

x_k = valore caratteristico desiderato

\bar{x} = valore medio (ignoto) della popolazione, ipotizzato essere uguale al valore medio del campione

COV = covarianza

Diversi autori propongono valori di covarianza per i vari parametri geotecnici

Shneider (1997)

Angolo di attrito = 10%

Coesione = 40%

Modulo di comprimibilità = 40%

Phoon et al. 1995

Peso di volume naturale = 7%

Valore di qc (MPa) per sabbie = 38%

Valore di qc (MPa) per argille limose = 27%

Valore di qT (MPa) per argille = 8%

Densità relativa (%) per sabbie = 10-40%

10.1.1 Parametri geotecnici caratteristici per la valutazione delle resistenze di progetto

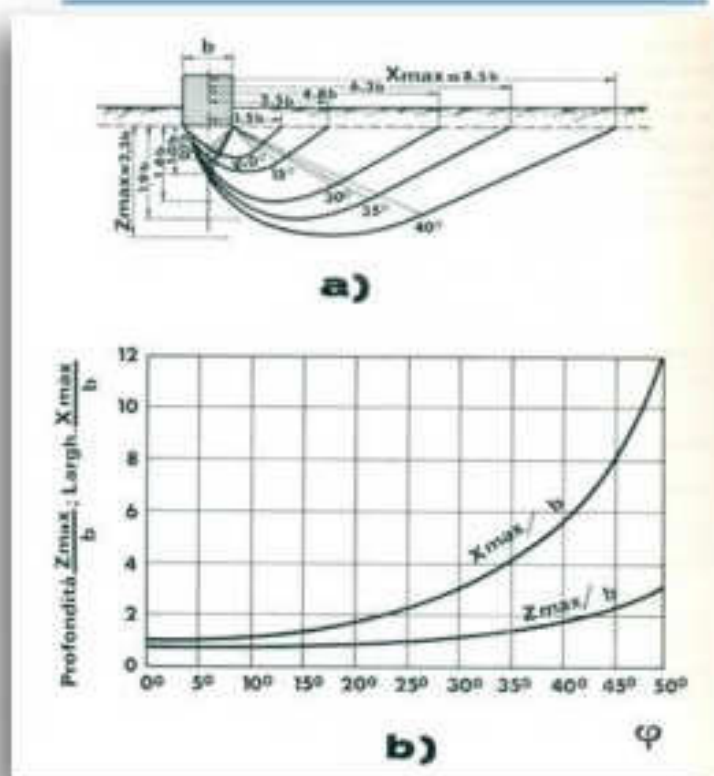
Nel caso in esame, considerando le sopra riportate relazioni, si riportano i valori caratteristici dei parametri geotecnici ricavati dall'elaborazione delle prove penetrometriche.

In considerazione della destinazione urbanistica del sito in esame, in prima analisi si considereranno fondazioni a plinti con dimensioni di circa 3x3 m, pur evidenziando che, allo stato attuale, la destinazione finale dell'area sarà quella di un piazzale per le prove dei prodotti dell'azienda committente.

Considerando fondazioni superficiali a plinti, meccanismo di rottura di tipo generale e il volume interessato dall'involuppo di rottura, dovranno utilizzarsi i seguenti valori per valutare le resistenze di progetto

Si evidenzia che in considerazione del tipo di prova, penetrometrie, per i terreni a grana fine risultano più attendibili i parametri geotecnici in condizioni non drenate.

Metodo utilizzato per la valutazione del volume interessato dalla rottura



- a) Superfici di rottura per valori diversi dell'angolo di attrito;
- b) Corrispondenti variazioni dell'approfondimento (z_{max}) e dell'estensione (x_{max}) della superficie di scorrimento.

PER FONDAZIONI SUPERFICIALI A PLATEA

MECCANISMO DI ROTTURA DEL TERRENO PER FONDAZIONI SUPERFICIALI IN CONDIZIONI drenate

B = 3m

Indice di Rigidezza Ir: $Ir = G_0 / (C' + q \tan(\phi)) =$					
		Elevati Volumi	Piccoli Volumi	Media	
		562.49	753.25	552.99	
in cui:					
		Elevati Volumi	Piccoli Volumi	Media	
Go = Modulo di Taglio iniziale	=	350	244	356	daN/cm ²
C' = Coesione Drenata	=	0.40	0.20	0.41	daN/cm ²
q = Tensione Effettiva litostatica media a metri D + B/2 = (D = profondità fondazione; B = larghezza fondazione (m))	=	0.448	0.448	0.448	daN/cm ²
φ = Angolo d'attrito	=	26.5	15.8	27.4	
Indice di Rigidezza Ir critica: $Ir_{crit} = 0.5 \exp \{ [3.3 - 0.45 (B/L)] * \cotan[(\pi/4) - (\phi/2)] \}$					
		Elevati Volumi	Piccoli Volumi	Media	
		50.14	21.59	54.28	
in cui:					
B/L = larghezza / lunghezza della fondazione	=	1.000			
Meccanismo di Rottura		Rottura Generale	Rottura Generale	Rottura Generale	

MECCANISMO DI ROTTURA DEL TERRENO PER FONDAZIONI SUPERFICIALI IN CONDIZIONI NON DRENATE

B = 3m

Indice di Rigidezza Ir: $Ir = G_0 / (C' + q \tan(\phi)) =$					
		Elevati Volumi	Piccoli Volumi	Media	
		448.78	436.44	458.41	
in cui:					
		Elevati Volumi	Piccoli Volumi	Media	
Go = Modulo di Taglio iniziale	=	347	243	355	daN/cm ²
Cu = Coesione Non Drenata	=	0.77	0.56	0.77	daN/cm ²
q = Tensione Effettiva litostatica media a metri D + B/2 = (D = profondità fondazione; B = larghezza fondazione (m))	=	0.448	0.448	0.448	daN/cm ²
φ = Angolo d'attrito	=	0.0	0.0	0.0	
Indice di Rigidezza Ir critica: $Ir_{crit} = 0.5 \exp \{ [3.3 - 0.45 (B/L)] * \cotan[(\pi/4) - (\phi/2)] \}$					
		Elevati Volumi	Piccoli Volumi	Media	
		8.64	8.64	8.64	
in cui:					
B/L = larghezza / lunghezza della fondazione	=	1.000			
Meccanismo di Rottura		Rottura Generale	Rottura Generale	Rottura Generale	

		Condizioni drenate / non drenate			
Parametro per verifica scorrimento fondazione superficiale profondità di posa D = 0.5 ~ 0.6 m		Valore Caratteristico per Elevati Volumi	Valore Caratteristico per Piccoli Volumi	Valore Media	Deviazione Standard
ANGOLO DI ATTRITTO	φ	33.8 °	27.0 °	34.8 °	4.7 °
COESIONE DRENATA	C'	-	-	-	-
COESIONE NON DRENATA	Cu	1.08 daN/cm ²	1.02 daN/cm ²	1.08 daN/cm ²	0.04 daN/cm ²
ANGOLO DI ATTRITTO A VOLUME COSTANTE	φ cv	32.3 °	29.5 °	32.7 °	2.0 °

		Condizioni non drenate			
Parametri per fondazioni superficiali di larghezza $B = 3 \text{ m}$ e profondità di posa $D = 1 \sim 1 \text{ m}$		Valore Caratteristico per Elevati Volumi	Valore Caratteristico per Piccoli Volumi	Valore Media	Deviazione Standard
ANGOLO DI ATTRITTO	ϕ	n/a	n/a	n/a	n/a
COESIONE DRENATA	C'	n/a	n/a	n/a	n/a
COESIONE NON DRENATA	C_u	0.77 daN/cm ²	0.56 daN/cm ²	0.77 daN/cm ²	0.13 daN/cm ²
ANGOLO DI ATTRITTO A VOLUME COSTANTE	ϕ_{cv}	n/a	n/a	n/a	n/a
COEFFICIENTE DI POISSON	P			0.34	0.06
MODULO DI TAGLIO INIZIALE G_o	G_o	347 daN/cm ²	243 daN/cm ²	355 daN/cm ²	68 daN/cm ²
MODULO ELASTICO	E	262 daN/cm ²	71 daN/cm ²	276 daN/cm ²	125 daN/cm ²
K_i DI WINKLER VERTICALE PER PIASTRA 30 CM	K_i			3.24 daN/cm ³	1.32 daN/cm ³
K_w DI WINKLER VERTICALE PER FONDAZIONE $B = 3 \text{ m}$ Vesic	K_w			1.05 daN/cm ³	
DENSITA' DEL TERRENO	γ	1796 daN/m ³	1712 daN/m ³	1802 daN/m ³	55 daN/m ³
DENSITA' SECCO DEL TERRENO	γ_s	1396 daN/m ³	1312 daN/m ³	1402 daN/m ³	55 daN/m ³
OVER CONSOLIDATION RATIO	OCR			6.15	2.84

		Condizioni drenate			
Parametri per fondazioni superficiali di larghezza $B = 3 \text{ m}$ e profondità di posa $D = 1 \sim 1 \text{ m}$		Valore Caratteristico per Elevati Volumi	Valore Caratteristico per Piccoli Volumi	Valore Media	Deviazione Standard
ANGOLO DI ATTRITTO	ϕ	26.5 °	15.8 °	27.4 °	7.1 °
COESIONE DRENATA	C'	0.398 daN/cm ²	0.198 daN/cm ²	0.411 daN/cm ²	0.130 daN/cm ²
COESIONE NON DRENATA	C_u	n/a	n/a	n/a	n/a
ANGOLO DI ATTRITTO A VOLUME COSTANTE	ϕ_{cv}	31.9 °	28.7 °	32.3 °	2.2 °
COEFFICIENTE DI POISSON	P			0.36	0.06
MODULO DI TAGLIO INIZIALE G_o	G_o	350 daN/cm ²	244 daN/cm ²	356 daN/cm ²	68 daN/cm ²
MODULO ELASTICO	E	241 daN/cm ²	68 daN/cm ²	252 daN/cm ²	111 daN/cm ²
K_i DI WINKLER VERTICALE PER PIASTRA 30 CM	K_i			3.02 daN/cm ³	1.16 daN/cm ³
K_w DI WINKLER VERTICALE PER FONDAZIONE $B = 3 \text{ m}$ Vesic	K_w			0.97 daN/cm ³	
DENSITA' DEL TERRENO	γ	1798 daN/m ³	1712 daN/m ³	1803 daN/m ³	55 daN/m ³
DENSITA' SECCO DEL TERRENO	γ_s	1398 daN/m ³	1312 daN/m ³	1403 daN/m ³	55 daN/m ³
OVER CONSOLIDATION RATIO	OCR			5.24	2.53

MODULO DI REAZIONE DI WINKLER

Si ricorda che il modulo di reazione non dipende unicamente dalle caratteristiche del terreno di fondazione, ma anche dalle dimensioni della struttura e dall'entità e posizione dei carichi applicati. Esso è un parametro di interazione struttura-terreno che deve essere valutato specificatamente dal progettista anche sulla base delle peculiarità della struttura in progetto.

Nel caso specifico il valore riportato nelle sopra riportate tabelle è stato valutato utilizzando la formula di Vesic (1961).

$$k = E/B \cdot (1 - \mu^2)$$

dove

k = modulo di reazione di Winkler

E = modulo elastico

B = larghezza della fondazione

μ = coefficiente di Poisson

Ad ogni modo valori indicativi del modulo di reazione possono essere, ad esempio, ricavati dalla seguente tabella proposta da vari autori

Terreno	Valore minimo	Valore massimo
Sabbia sciolta	0.48	1.60
Sabbia mediamente compatta	0.96	8.00
Sabbia compatta	6.40	12.80
Sabbia argillosa mediamente compatta	2.40	4.80
Sabbia limosa mediamente compatta	2.40	4.80
Sabbia e ghiaia compatta	10.00	30.00
Terreno argilloso con $q_u < 2 \text{ Kg/cm}^2$	1.20	2.40
Terreno argilloso con $2 < q_u < 4 \text{ Kg/cm}^2$	2.20	4.80
Terreno argilloso con $q_u > 2 \text{ Kg/cm}^2$	>4.80	

Valori indicativi della costante di Winkler K in Kg/cm³

Il progettista potrà valutare il valore più opportuno anche in base alle caratteristiche dell'opera di fondazione in progetto, oltre a quelle relative al terreno del substrato, essendo il valore specificatamente influenzato dalla interazione struttura-terreno.

10.1.2 Parametri geotecnici caratteristici delle unità litostratigrafiche del sito indagato

Si stimano i parametri geotecnici caratteristici delle varie unità litostratigrafiche considerando, in funzione delle prove geognostiche eseguite, i parametri geotecnici con comportamento geotecnico a breve termine, quindi in condizioni non drenate, risultano, nel caso specifico, più attendibili rispetto a quelle drenate, a lungo termine.

Attenzione, i parametri geotecnici dell'unità geotecnica A devono essere presi con cautela in quanto terreni rimaneggiati e alterati.

Per la valutazione dei cedimenti, nel caso specifico, si è fatto opportunamente riferimento ai valori del modulo edometrico (M) ricavato ogni 2 cm di avanzamento e graficati nel modulo di calcolo allegato.

ANGOLO DI ATTRITO Searly (argille) e Kulhawy Mayne (sabbie)	ANGOLO DI ATTRITO A VOLUME CONSTANTE	DENSITA' RELATIVA Tatsuoka 1990	COESIONE DRENATA	COESIONE NON DRENATA programma Robertson 2013	COEFFICIENTE DI POISSON Manuale di uso C.D.G.	MODULO DI TAGLIO INIZIALE Robertson 2013	MODULO ELASTICO autori vari	MODULO EDOMETRICO Benassi	Ki di Winkler per piastra di 30cm	Kh di Winkler per pali di diametro 30cm	DENSITA' DEL TERRENO	DENSITA' DEL TERRENO SECCO	OVER CONSOLIDATION RATIO Marchi / SGT 2014
---	---	------------------------------------	------------------	--	---	---	--------------------------------	---------------------------	--------------------------------------	--	----------------------	----------------------------	---

VALORI CARATTERISTICI PER PICCOLI VOLUMI

ϕ	ϕ_{cv}	Dr	\bar{c}	Cu	P valori medie	Go	E	M	Ki	Kh	γ valori medie	γ_s valori medie	OCR valori medie
$^{\circ}$	$^{\circ}$	%	daN/cmq	daN/cmq		daN/cmq	daN/cmq	daN/cmq	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/m ³	kg/m ³	
24.6	21.7	38.7			0.32	319	124	85	0.00	1.06	1838	1438	143.27
28.9	26.3	36.1			0.32	268	214	73	1.80	2.27	1787	1387	11.57
18.8			0.31	0.51	0.37	255	144	48	2.04	2.04	1818	1418	5.13
21.3			0.00	0.40	0.40	205	112	37	1.66	1.70	1719	1319	2.81
24.8	23.8	19.7			0.34	264	141	48	0.87	1.64	1746	1346	3.72
21.0			0.00	0.38	0.40	243	122	40	1.98	1.99	1753	1353	2.15
21.1			0.00	0.66	0.37	463	190	91	0.91	1.29	1849	1449	2.58
34.3	32.0	33.1			0.33	636	261	170	0.76	1.44	1897	1497	
21.1			0.00	0.70	0.40	415	248	83	3.02	3.02	1843	1443	1.64
22.5			0.00	0.42	0.40	272	86	25	2.70	2.74	1794	1394	1.68
20.9			0.00	1.70	0.37	759	276	178	1.53	2.21	1931	1531	2.91

UNITA' GEOTECNICA	CPT 1		CPT 2		Ic	ZONA	LITOTIPO PREVALENTE
DA	A	DA	A		MEDIANA	ROBERTSON	ROBERTSON 1990
A	0.00	1.00	0.00	1.00	2.46	5	sabbia limosa-limo sabbioso
B	1.00	2.20	1.00	2.00	2.29	5	sabbia limosa-limo sabbioso
C	2.20	5.00	2.00	5.00	2.95	3	argilla-argilla limosa
D	5.00	6.40	5.00	6.80	2.97	3	argilla-argilla limosa
E	6.40	7.00	6.80	6.90	2.60	5	sabbia limosa-limo sabbioso
F	7.00	19.00	6.90	18.50	2.99	3	argilla-argilla limosa
G	19.00	21.00	18.50	20.00	2.72	4	limo argilloso-argilla limosa
H	21.00	22.00			2.19	5	sabbia limosa-limo sabbioso
I	22.00	23.20			3.13	3	argilla-argilla limosa
J	23.20	29.20			2.84	4	limo argilloso-argilla limosa
K	29.20	30.00			2.66	4	limo argilloso-argilla limosa

VALORI CARATTERISTICI PER GRANDI VOLUMI

UNITA' GEOTECNICA	CPT 1		CPT 2		Ic	ZONA ROBERTSON	LITOTIPO PREVALENTE	ϕ	ϕ_{cv}	Dr	\bar{C}	Cu	P valori medie	Go	E	M	Ki	Kh	γ valori medie	γ_s valori medie	OCR valori medie
	DA	A	DA	A																	
A	0.00	1.00	0.00	1.00	2.46	5	sabbia limosa-limo sabbioso	33.3	28.5	52.8			0.32	424	440	141	6.00	5.03	1838	1438	143.27
B	1.00	2.20	1.00	2.00	2.29	5	sabbia limosa-limo sabbioso	34.5	30.8	45.3			0.32	349	385	106	4.02	3.66	1787	1387	11.57
C	2.20	5.00	2.00	5.00	2.95	3	argilla-argilla limosa	21.2			0.44	0.75	0.37	358	207	69	2.65	2.65	1818	1418	5.13
D	5.00	6.40	5.00	6.80	2.97	3	argilla-argilla limosa	23.8			0.14	0.60	0.40	267	155	52	2.17	2.18	1719	1319	2.81
E	6.40	7.00	6.80	6.90	2.60	5	sabbia limosa-limo sabbioso	28.9	27.8	21.3			0.34	324	197	67	2.40	2.72	1746	1346	3.72
F	7.00	19.00	6.90	18.50	2.99	3	argilla-argilla limosa	24.4			0.04	0.81	0.40	357	208	69	2.81	2.81	1753	1353	2.15
G	19.00	21.00	18.50	20.00	2.72	4	limo argilloso-argilla limosa	27.4			0.12	1.56	0.37	573	342	133	3.27	3.40	1849	1449	2.58
H	21.00	22.00			2.19	5	sabbia limosa-limo sabbioso	36.0	32.5	43.8			0.33	740	416	230	2.61	3.48	1897	1497	
I	22.00	23.20			3.13	3	argilla-argilla limosa	22.4			0.00	0.86	0.40	519	294	98	3.39	3.39	1843	1443	1.64
J	23.20	29.20			2.84	4	limo argilloso-argilla limosa	25.4			0.01	1.20	0.40	503	319	108	3.78	3.79	1794	1394	1.68
K	29.20	30.00			2.66	4	limo argilloso-argilla limosa	26.8			0.11	2.40	0.37	843	514	221	3.89	4.18	1931	1531	2.91

VALORI MEDI

UNITA' GEOTECNICA	CPT 1		CPT 2		Ic	ZONA ROBERTSON	LITOTIPO PREVALENTE	ϕ	ϕ_{cv}	Dr	\bar{C}	Cu	P valori medie	Go	E	M	Ki	Kh	γ valori medie	γ_s valori medie	OCR valori medie
	DA	A	DA	A																	
A	0.00	1.00	0.00	1.00	2.46	5	sabbia limosa-limo sabbioso	34.7	29.5	55.5			0.32	446	490	150	6.98	5.67	1838	1438	143.27
B	1.00	2.20	1.00	2.00	2.29	5	sabbia limosa-limo sabbioso	35.3	31.4	46.7			0.32	360	409	111	4.33	3.85	1787	1387	11.57
C	2.20	5.00	2.00	5.00	2.95	3	argilla-argilla limosa	21.4			0.45	0.76	0.37	366	212	71	2.69	2.69	1818	1418	5.13
D	5.00	6.40	5.00	6.80	2.97	3	argilla-argilla limosa	24.1			0.15	0.62	0.40	274	159	53	2.22	2.23	1719	1319	2.81
E	6.40	7.00	6.80	6.90	2.60	5	sabbia limosa-limo sabbioso	30.0	28.7	23.9			0.34	341	212	73	2.81	3.01	1746	1346	3.72
F	7.00	19.00	6.90	18.50	2.99	3	argilla-argilla limosa	24.5			0.04	0.82	0.40	361	211	71	2.84	2.84	1753	1353	2.15
G	19.00	21.00	18.50	20.00	2.72	4	limo argilloso-argilla limosa	28.1			0.16	1.67	0.37	585	358	137	3.52	3.62	1849	1449	2.58
H	21.00	22.00			2.19	5	sabbia limosa-limo sabbioso	36.5	32.6	46.7			0.33	767	456	245	3.09	4.01	1897	1497	
I	22.00	23.20			3.13	3	argilla-argilla limosa	22.7			0.00	0.89	0.40	539	303	101	3.46	3.46	1843	1443	1.64
J	23.20	29.20			2.84	4	limo argilloso-argilla limosa	25.8			0.03	1.28	0.40	527	343	117	3.89	3.90	1794	1394	1.68
K	29.20	30.00			2.66	4	limo argilloso-argilla limosa	28.4			0.19	2.64	0.37	866	580	233	4.54	4.73	1931	1531	2.91

10.2 VALUTAZIONE AGLI STATI LIMITE ULTIMI (SLU) – STATO LIMITE DI RESISTENZA DEL TERRENO

Nel caso specifico si considerano gli approcci delle NTC 2018, nei termini agli SLU. Considerando i seguenti simboli, riportati nelle NTC 2018.

A = azioni
M = parametri geotecnici
R = resistenze
G1 = azioni strutturali
G2 = azioni non strutturali permanenti
Q = Azioni variabili

Approccio 2, A1+M1+R3, nel caso specifico si applicano i coefficienti riduttivi solo sulle resistenze R3 e amplificazione sulle azioni statiche A1.

AZIONI: secondo tab. 6.2.I (A1) delle NTC 2018: $G1 \times 1.3 + G2 \times 1.5 + Q \times 1.5$

PARAMETRI: secondo tab. 6.2.II (M1) delle NTC 2018

Peso unità di volume $\gamma_k = 1$
Coesione non drenata $c_{uk} = \gamma_{cu} = 1$
Coesione drenata $c'_k = \gamma_{cu} = 1$
Tangente angolo di attrito interno $\tan(\phi'_k) = \gamma_\phi = 1$

PARAMETRI: secondo tab. 6.4.I (R3) delle NTC 2018

capacità portante: $\gamma_R = 2.3$
scorrimento: $\gamma_R = 1.1$

In riferimento alle verifiche sismiche, la progettazione delle fondazioni è condotta unitamente alla progettazione dell'opera alla quale appartengono e richiede preliminarmente:

1. la valutazione della risposta sismica locale del sito, secondo quanto indicato al § 7.11.3.1;
2. la valutazione della sicurezza del sito nei confronti della liquefazione e della stabilità globale, secondo quanto indicato rispettivamente ai §§ 7.11.3.4. e 7.11.3.5;

le analisi al punto (1) devono consentire di motivare la scelta dell'azione sismica adottata nella progettazione dell'intera opera; le analisi al punto (2) devono indicare esplicitamente gli interventi eventualmente necessari a garantire la stabilità globale del sito.

Per le azioni trasmesse in fondazione, nonché per i requisiti e i criteri di modellazione della stessa, si rinvia ai precedenti §§ 7.2.5 e 7.2.6.

Le resistenze sono i corrispondenti valori limite che producono il collasso del complesso fondazione-terreno; esse sono valutabili mediante l'estensione di procedure classiche al caso di azione sismica, tenendo conto dell'effetto dell'inclinazione e dell'eccentricità delle azioni in fondazione. Il corrispondente valore di progetto si ottiene applicando il coefficiente γ_R di Tabella 7.11.II.

Tab. 7.11.II - Coefficienti parziali γ_R per le verifiche degli stati limite (SLV) delle fondazioni superficiali con azioni sismiche

Verifica	Coefficiente parziale γ_R
Carico limite	2.3
Scorrimento	1.1
Resistenza sulle superfici laterali	1.3

Se, nel calcolo del carico limite, si considera esplicitamente l'effetto delle azioni inerziali sul volume di terreno significativo (e.g. Richards et al., Paolucci e Pecker), il coefficiente γ_R può essere ridotto a 1.8.

Il progettista dovrà verificare la congruenza delle presenti valutazioni sulla base della peculiarità dell'opera in progetto, ed eventualmente verificare in modo più opportuno le resistenze del terreno agli SLU, agli SLV e agli SLE, come previsto dalle NTC2018.

10.2.1 Calcolo del carico limite dell'insieme fondazione-terreno - premessa

La determinazione della pressione ultima del terreno permette di individuare l'instaurarsi o meno di fenomeni con riferimento a meccanismi di rottura per carico limite determinata nel terreno di fondazione dalle azioni trasmesse al terreno al piano di posa della fondazione.

La valutazione della capacità portante di fondazione superficiale è stata effettuata con i criteri suggeriti da Terzaghi ed introducendo i più recenti suggerimenti per il calcolo dei coefficienti correttivi per le condizioni di carico eccentrico. I calcoli sono stati effettuati adottando sia la condizione drenata di lungo periodo, sia la condizione non drenata.

In particolare, si farà riferimento alla formulazione di Brinch-Hansen:

per condizioni drenate: $q_{ult} = \frac{1}{2} \gamma' B N_{\gamma} \cdot s_{\gamma} \cdot i_{\gamma} \cdot b_{\gamma} \cdot g_{\gamma} + c' N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot b_c \cdot g_c + q' N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot b_q \cdot g_q$

e per condizioni non drenate: $q_{ult} = 5.14 c_u (1 + s'_c + d'_c - i'_c - b'_c - g'_c) + q'$

con: N_{γ}, N_c, N_q = fattori di capacità portante, s_{γ}, s_c, s_q = fattori di forma della fondazione, i_{γ}, i_c, i_q = fattori correttivi che considerano l'inclinazione del carico, b_{γ}, b_c, b_q = fattori correttivi che considerano l'inclinazione della base della fondazione, g_{γ}, g_c, g_q = fattori correttivi che considerano l'inclinazione del piano campagna, d_c, d_q = fattori che dipendono dalla profondità del piano di posa.

Per la verifica della resistenza allo scorrimento si applica la seguente relazione generale:

$$Ed = H \leq Rd = \frac{1}{\gamma_R} * [c_k / \gamma_c * B * L + Nd * \tan(\phi_k') / \gamma_{\phi}]$$

Che nel caso di valutazione delle resistenze in condizioni non drenate diventa:

$$Ed = H \leq Rd = \frac{1}{\gamma_R} * [c_{uk} / \gamma_{cu} * B * L]$$

Dove

$Ed = H$ = azione orizzontale sulla fondazione

Rd = resistenza allo scorrimento

B = larghezza fondazione

L = lunghezza fondazione

Nd = azione verticale sulla fondazione

Mentre gli altri simboli hanno il significato già sopra riportato.

A favore della sicurezza, per tenere conto dell'attrito fondazione-terreno, si applicherà un coefficiente riduttivo ai parametri geotecnici caratteristici pari a 0.66.

Considerando che le azioni orizzontali si riferiscono alle azioni sismiche, agendo queste ultime per breve tempo ed essendo il terreno resistente di natura argillosa, nella valutazione delle resistenze allo scorrimento si farà riferimento alle condizioni non drenate, tra l'altro più cautelative di quelle drenate.

Per le verifiche in parola viene adottato l'Approccio 2, combinazione 1: (A1+M1+R3).

In generale, per i terreni coesivi (in particolare sotto falda) in condizioni sismiche è consono l'utilizzo dei parametri geotecnici non drenati di breve termine.

Per le condizioni statiche di lungo termine in generale per i terreni incoerenti è consono l'utilizzo dei parametri geotecnici drenati.

Per i terreni coesivi in condizioni statiche di lungo termine è necessario adottare i parametri più cautelativi tra quelli drenati e non drenati in base alla singola verifica da effettuare.

Per i terreni coesivi, in condizioni sismiche, ovvero con azioni di breve durata, si dovrà fare riferimento specifico ai parametri geotecnici e alle resistenze in condizioni non drenate di breve termine. Mentre per i terreni granulari si considerano le sole condizioni a lungo termine.

Considerato l'approccio e la combinazione di calcolo adottata, per l'analisi geotecnica, i parametri geotecnici saranno fattorizzati ponendo pari all'unità i coefficienti parziali, e la resistenza di progetto è calcolata con il valore del coefficiente parziale pari a $\gamma_R=2,3$. Le azioni saranno fattorizzate dal progettista in relazione alla combinazione adottata A1+M1+R3.

Nel caso specifico, nei calcoli a seguire, si applicherà l'effetto delle azioni inerziali sul volume di terreno significativo (Al-Karni & Budhu, 1993), considerando, come previsto dalla normativa, il valore del coefficiente a $\gamma_R=1,8$.

10.2.2 Fondazione e parametri geotecnici caratteristici utilizzati nei calcoli del carico limite dell'insieme fondazione-terreno

Nei calcoli a seguire si farà riferimento ad una fondazione a plinti con dimensioni equivalenti di circa 3x3 m, con incastro terreno-fondazione di almeno 1.0 m.

A favore della sicurezza si utilizzeranno i seguenti parametri geotecnici caratteristici:

per verifica carico limite, rottura generale

- condizioni non drenate
 - coesione non drenata: $c_u=70$ kPa
- condizioni drenate
 - angolo di attrito interno: $\phi' = 26^\circ$
 - coesione drenata: $c'=30$ kPa

per verifica slittamento:

- condizioni non drenate
 - coesione non drenata: $c_u=100$ kPa
- condizioni drenate
 - angolo di attrito interno: $\phi' = 29^\circ$
 - coesione drenata: $c'=0$ kPa

Condizione non drenata

PARAMETRI GEOTECNICI PER IL CALCOLO DEL CARICO LIMITE		Valore caratteristico
Angolo di resistenza al taglio	ϕ_k	0.0
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	0.00
Resistenza non drenata (kPa)	c_{uk}	70.00
Densità efficace sopra la fondazione (kN/mc)	γ_1	20.00
Densità efficace sotto la fondazione (kN/mc)	γ_2	10.00

PARAMETRI GEOTECNICI PER SCORRIMENTO SUL PIANO DI POSA		Valore caratteristico
Angolo di resistenza al taglio	ϕ_k	0.0
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	0.00
Fattore riduttivo del angolo di resistenza al taglio terreno - fondazione	MM%	0.67
Resistenza non drenata terreno-fondazione (kPa)	c_{ak}	100.00
Fattore riduttivo resistenza non drenata terreno - fondazione	MC%	0.66
Densità efficace sopra la fondazione (kN/mc)	γ_1	10.00

FONDAZIONE DI 3 X 3 M CON INCASTRO TERRENO-FONDAZIONE ' DI 1 M

Verifiche in condizioni non drenate

Resistenza di progetto verticale 'terreno+fondazione'; approccio 2 dinamico

Carico Limite	$N_{lim} =$	398 kPa
Coefficiente Parziale per Approccio 2	$\gamma_r =$	1.8
Limiti di non superamento delle azioni $Ed \leq Rd =$	$N_{lim} / \gamma_r =$	221 [kPa] x B * L

Resistenza di progetto allo scorrimento 'terreno+fondazione'; approccio 2 dinamico

Carico Limite	$T_{lim} =$	66 kPa
Coefficiente Parziale per Approccio 2	$\gamma_r =$	1.1
Limiti di non superamento delle azioni $Ed \leq Rd =$	$T_{lim} / \gamma_r =$	60 [kPa] x B * L

Resistenza di progetto verticale 'terreno+fondazione'; approccio 2 statico

Carico Limite	$N_{lim} =$	505 kPa
Coefficiente Parziale per Approccio 2	$\gamma_r =$	2.3
Limiti di non superamento delle azioni $Ed \leq Rd =$	$N_{lim} / \gamma_r =$	220 [kPa] x B * L

Condizione drenate

PARAMETRI GEOTECNICI PER IL CALCOLO DEL CARICO LIMITE		Valore caratteristico
Angolo di resistenza al taglio	ϕ_k	26.0
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	0.49
Coesione efficace (kPa)	c'_k	30.00
Densità efficace sopra la fondazione (kN/mc)	γ_1	20.00
Densità efficace sotto la fondazione (kN/mc)	γ_2	10.00

PARAMETRI GEOTECNICI PER SCORRIMENTO SUL PIANO DI POSA		Valore caratteristico
Angolo di resistenza al taglio	ϕ_k	29.0
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	0.55
Fattore riduttivo del angolo di resistenza al taglio terreno - fondazione	MM%	0.67
Coesione efficace terreno-fondazione (kPa)	c'_k	0.00
Fattore riduttivo resistenza non drenata terreno - fondazione	MC%	0.66
Densità efficace sopra la fondazione (kN/mc)	γ_1	10.00

FONDAZIONE DI 3 X 3 M CON INCASTRO TERRENO-FONDAZIONE ' DI 1 M

Verifiche in condizioni drenate

Resistenza di progetto verticale 'terreno+fondazione'; approccio 2 dinamico

Carico Limite	$N_{lim} =$	1023 kPa
Coefficiente Parziale per Approccio 2	$\gamma_r =$	1.8
Limiti di non superamento delle azioni $Ed \leq Rd =$	$N_{lim} / \gamma_r =$	569 [kPa] x B * L

Resistenza di progetto allo scorrimento 'terreno+fondazione'; approccio 2 dinamico

Carico Limite	$T_{lim} =$	20 kPa
Coefficiente Parziale per Approccio 2	$\gamma_r =$	1.1
Limiti di non superamento delle azioni $Ed \leq Rd =$	$T_{lim} / \gamma_r =$	18 [kPa] x B * L

Resistenza di progetto verticale 'terreno+fondazione'; approccio 2 statico

Carico Limite	$N_{lim} =$	1551 kPa
Coefficiente Parziale per Approccio 2	$\gamma_r =$	2.3
Limiti di non superamento delle azioni $Ed \leq Rd =$	$N_{lim} / \gamma_r =$	674 [kPa] x B * L

10.3 VALUTAZIONE DELLO STATO LIMITE DI ESERCIZIO (SLE) – DEFORMAZIONI IRREVERSIBILI

Per la verifica dei cedimenti, in base al progetto è stata ipotizzata una fondazione a plinti con dimensioni equivalente rispettivamente di circa 3x3 m, posta alla profondità di almeno 1.0 m dal piano campagna attuale.

La valutazione dei carichi per lo Stato Limite di Esercizio è stata condotta in modo iterativo sulla base degli ipotizzati cedimenti ammissibili dalla struttura, facendo riferimento a quanto proposto da BJERRUM (1963) e da WILUN & STARZEWSKI (1975), ponendosi in ogni caso a favore della sicurezza.

Per la distribuzione dei carichi in profondità si è fatto uso del metodo di Steinbrenner con soluzione di Ohde.

Mentre i relativi assestamenti del terreno sono stati verificati applicando la teoria dei cedimenti a tempo infinito e all'80% del costipamento dei pori.

Per la $\Sigma s = \Sigma(\Delta h \cdot m_v \cdot \Delta p)$

con

s = entità del cedimento (cm)

Δh = spessore del terreno sottoposto al calcolo (cm)

Δp = carico agente sullo spessore considerato (Kg/cmq)

Mv = coefficiente di compressibilità volumetrica (cmq/Kg)

si ottengono i risultati riportati nelle tabelle allegate.

Pertanto, le resistenze del terreno in riferimento al carico medio distribuito su tutta la base della fondazione, e ricavato iterativamente sulla base dei cedimenti ammissibili dalla fondazione, valutazione degli effetti delle **deformazioni irreversibili** – SLE - risultano:

<i>Stato Limite di esercizio – deformazioni irreversibili</i> Tipologia fondazioni: plinti 3x3 m	$N_k \leq$	Cd = 130 [kPa] x B*L
--	------------	-----------------------------

limite delle azioni caratteristiche (N_k) che risulta opportuno non superare al fine di non avere assestamenti non tollerabili dalla struttura.

11 CONCLUSIONI

La morfologia dell'area di interesse è pianeggiante e non presenta particolari degni di nota. Uno sguardo complessivo alle risultanze della prova effettuata evidenzia la presenza di terreni di alterazione superficiale fino a circa 0.3÷0.5 m dal piano di campagna attuale, seguono, fino a circa -2.0 m dal piano di campagna, da sabbie limose; al di sotto, fino a -19 m dal piano di campagna, si incontrano terreni limoso-argillosi, con rare intercalazioni di livelli di sabbioso-limosi; oltre, fino a -30 m dal piano di campagna, massima profondità indagata, si osservano intercalazioni tra depositi sabbioso-limosi e limoso-argillosi.

Il livello della falda freatica, alla data delle indagini geognostiche, presentata un livello attorno a -2.7 m dal piano di campagna.

In considerazione del livello della falda idrica dal piano di campagna e della sua potenziale risalita, dovranno essere predisposti gli opportuni accorgimenti atti ad impedire la risalita capillare lungo i muri di eventuali futuri fabbricati.

L'area è soggetta ad allagamenti poco frequenti ($T=100-200$ anni), con acque provenienti dal reticolo di bonifica e dal reticolo principale (Torrente Senio).

Il Consorzio di Bonifica competente, come da specifica Direttiva Idraulica dell'ex Autorità di Bacino del Reno, dovrà fornire il tirante idrico di riferimento a cui attenersi per la mitigazione del rischio idraulico.

Le misure dei microtremori hanno evidenziato frequenze significative per l'ingegneria nei confronti dei fenomeni di risonanza del substrato del sito in esame, uniformi per le aree oggetto di variante, e, in ogni, caratterizzati da bassissima amplificazione.

<i>Misura HVSR</i>	<i>Frequenze fondamentali di vibrazione del deposito</i>	
Numero misura	Frequenza – f (Hz)	Periodo – T (sec)
T1	0.8÷0.95	1.25÷1.05

NTC – 17-01-2018

In base alla NTC 2018 il sito in esame è caratterizzato, considerando tempi di ritorno di **475 anni**, da accelerazione al bedrock sismico di $a_{rif}=0.184g$ e da **$Vs30=201$ m/s**, quindi **categoria di suolo C** con fattore stratigrafico pari a **$S_s=1.43$** . Considerando che l'area presenta un fattore topografico pari ad uno, l'accelerazione massima alla superficie del sito in esame sarà pari **$a_{max}=0.263g$** .

D.G.R. n. 630/2019

il sito di interesse ricade in zona di pianura 2.

Considerando le suddette $Vs30$, si ottengono le seguenti amplificazione dello spettro elastico:

- F.A. P.G.A. = 1.7
- F.A. INTENSITA' SPETTRALE $0.1s < T_0 < 0.5s = 2.0$
- F.A. INTENSITA' SPETTRALE $0.5s < T_0 < 1.0s = 3.0$
- F.A. INTENSITA' SPETTRALE $0.5s < T_0 < 1.5s = 3.3$

Per quanto riguarda l'ag al suolo attribuita al sito in esame, facendo sempre riferimento alla già citata D.G.R., considerando un sisma di progetto di 475 anni, come previsto dalla D.G.R. in parola, si ha un valore pari a **$ag=0.184 \cdot 1.7=0.313g$** , quindi superiore rispetto a quanto ottenuto seguendo le procedure della normativa nazionale considerando un sisma di progetto con tempi di ritorno di 475 anni.

L'analisi di Risposta Sismica Locale (RSL), riportata in appendice, considerando un sisma di progetto con tempi di ritorno di 475 anni, ha evidenziato un valore medio $ag = 0.273g$, in linea con le risultanze ottenute con il metodo semplificato proposto dalle NTC2018.

Il substrato dell'area in esame, considerando tempi di ritorno di 475 anni non presenta rischio di liquefazione ed i cedimenti post sisma risultano ammissibili in riferimento agli stati limite previsti dalle NTC 2018.

Alla luce delle indagini e delle valutazioni sopra esposte, si ammette l'idoneità dell'area di interesse ai fini della fattibilità geologica, sismica e geotecnica per la realizzazione delle previste opere della richiesta di variante urbanistica, facendo menzione delle indicazioni riportate nella presente relazione.

Si rammenta che, in ogni caso, il progetto definitivo ed esecutivo delle future opere dovrà essere corredato da opportuna relazione tecnica, come prescritto dalle Norme Tecniche sulle Costruzioni e dalle relative circolari esplicative che saranno in vigore all'atto degli esecutivi.

Novembre, 2020

Appendice

Analisi di Risposta Sismica Locale

LA MODELLAZIONE STRATA

La modellazione numerica dei dati, ottenuti dalle diverse prove dirette ed indirette, è stata realizzata tramite l'ausilio del software STRATA (2008), sviluppato da Albert Kottke.

Nel corso dei passati terremoti, si è osservato che il comportamento dei terreni dipende dalle condizioni locali. Le amplificazioni dovute agli effetti locali sono simulate usando numerosi programmi che assumono condizioni di suolo semplificate, come strati di terreno orizzontali ed estesi infinitamente.

Uno dei programmi sviluppati per questo scopo è stato STRATA che calcola la risposta dinamica monodimensionale (1D) di una colonna di terreno utilizzando un modello di propagazione lineare delle onde, con proprietà variabili in funzione del livello deformativo. Il programma permette di eseguire analisi lineari elastiche (EL), dove le proprietà elastiche e lo smorzamento sono mantenuti costanti, o analisi equivalenti lineari (EQL) dove le proprietà elastiche e lo smorzamento vengono fatti variare in funzione del livello deformativo.

Il progenitore dei programmi 1D che utilizzano il metodo EQL è il programma SHAKE di Schnabel et al. (1972).

La verifica monodimensionale dell'amplificazione locale, tramite l'utilizzo di STRATA si compone di due fasi: elaborazione del modello, simulazione degli effetti indotti dal sisma di progetto. La prima fase consiste nell'inserire i dati (accelerazione, intervalli di tempo), relativi ai segnali di riferimento.

Le analisi di RSL sono state condotte considerando lo SLV con un sisma di progetto con tempi di ritorno di 712 anni.

Per lo SLV si è fatto riferimento ai tre accelerogrammi, selezionati dalla banca dati accelerometrica "European Strong Motion database" dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli regionale e forniti per le analisi regionali di RSL, le cui tracce sismiche sono rappresentative del territorio della Regione Emilia-Romagna e che possono verificarsi sul sito oggetto di indagine.

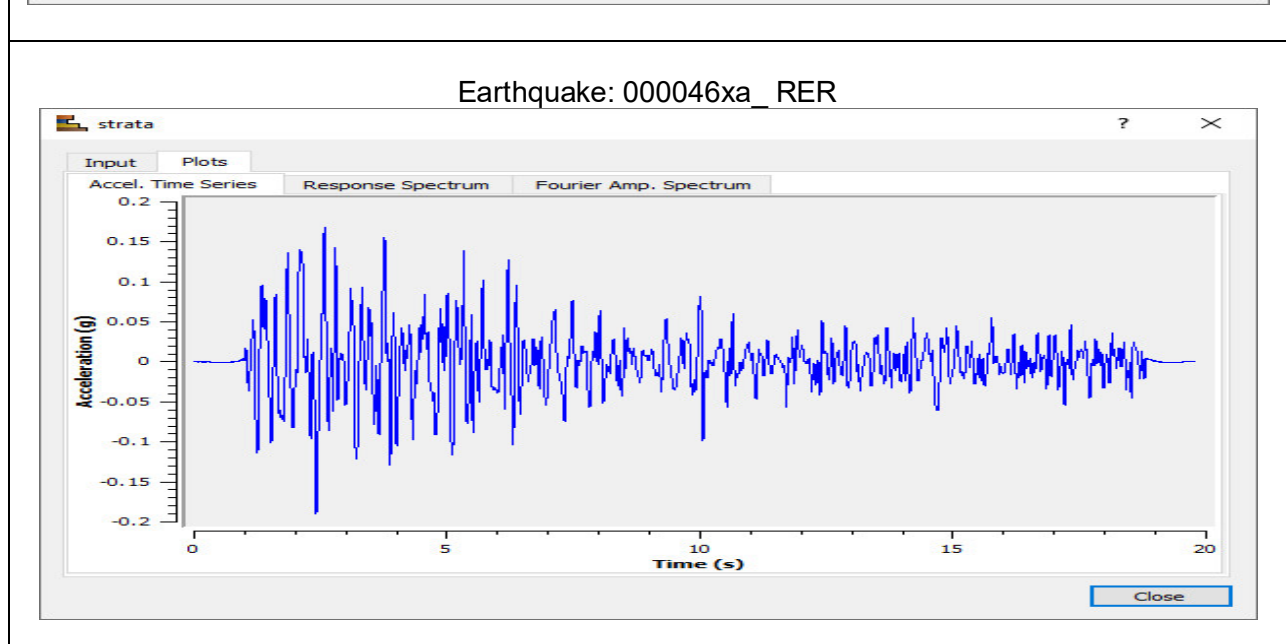
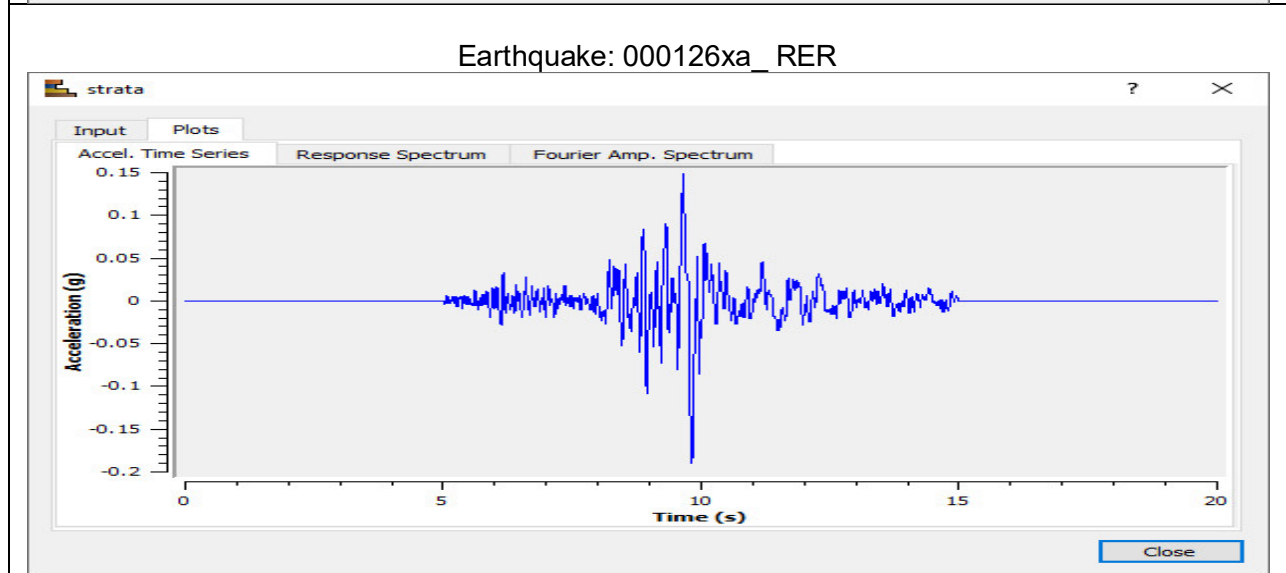
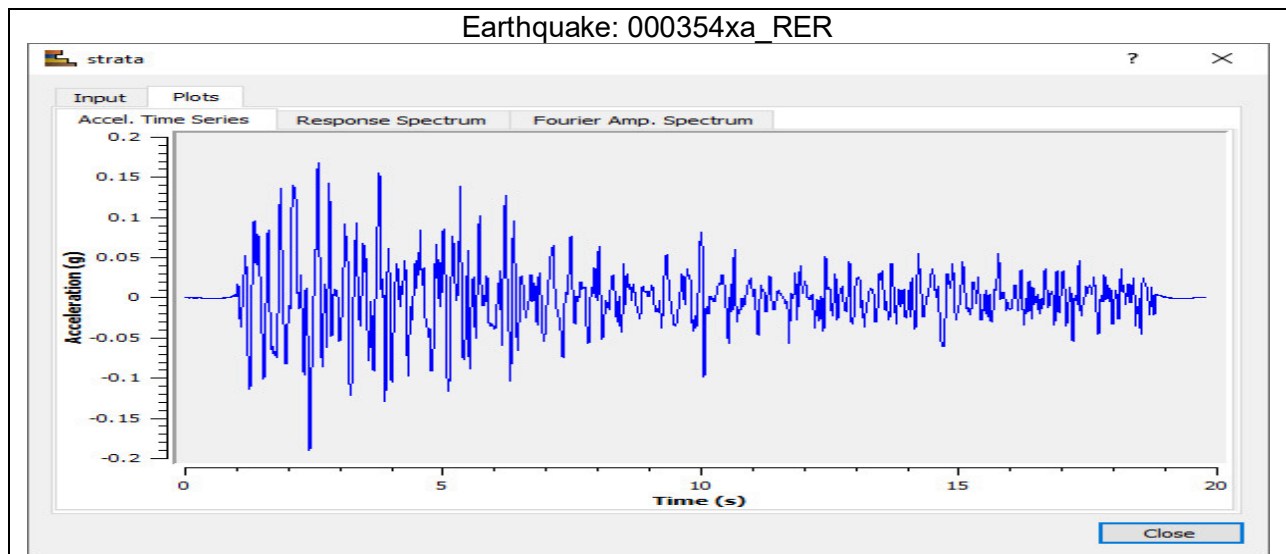
I tre accelerogrammi di riferimento, forniti dalla RER, sono relativi a tre diversi possibili scenari:

- 1) impulsivo;
- 2) con componente predominante alle alte frequenze;
- 3) con ampio contenuto in frequenze.

Dopo aver determinato gli input sismici, si è proceduto alla costruzione della colonna di sottosuolo di riferimento rappresentata da strati (layer) a differente tessitura e da diversi valori delle onde di taglio S (V_s).

La stratigrafia che caratterizza il profilo stratigrafico è stata derivata dalle indagini geognostiche e geofisiche realizzate nel sito di interesse e ricavate dai dati del sottosuolo della zona in esame riportati in letteratura.

Sismogrammi per SLV



Dopo aver determinato gli input sismici, si è proceduto alla costruzione della colonna di riferimento rappresentata da strati (layer) a differente tessitura e da diversi valori delle onde di taglio S (Vs).

La stratigrafia di input che caratterizza il profilo stratigrafico è stata derivata dalle indagini geognostiche e geofisiche realizzate sul sito di interesse e ricavate dai dati del sottosuolo della zona in esame riportati in letteratura.

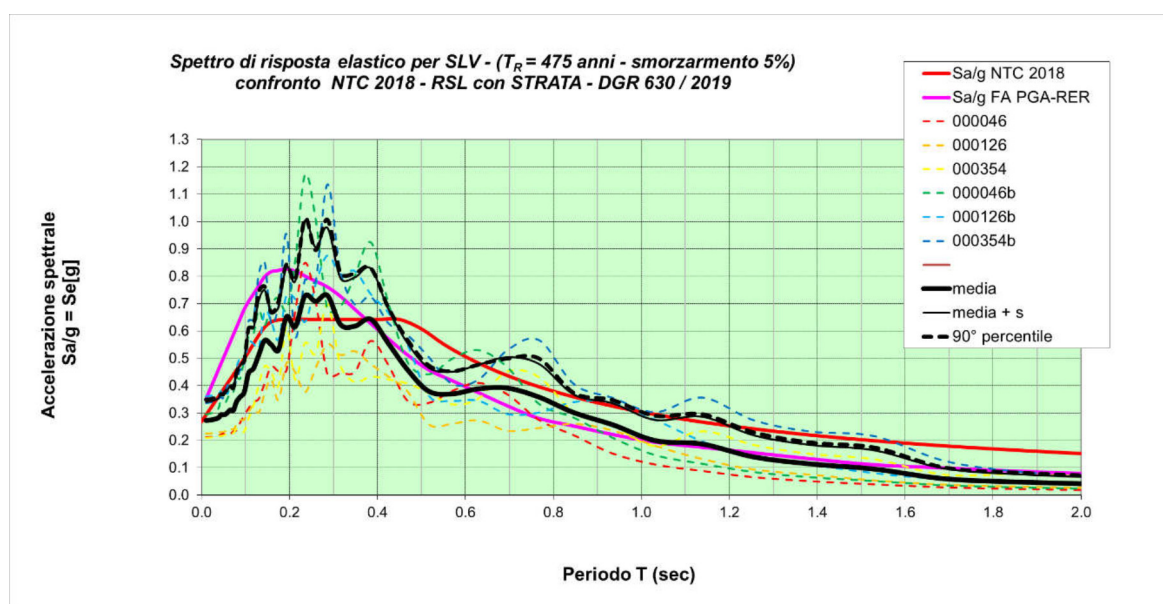
Nel caso specifico, in considerazione delle caratteristiche litologiche delle formazioni della zona di interesse, si è fatto riferimento al seguente modello litostratigrafico.

Site Profile							
	Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Vs (m/s)	Minimum (m/s)	Maximum (m/s)	Varied
1	0.00	0.43	Clay (idriess)	80.00	<input type="checkbox"/> 0.00	<input type="checkbox"/> 0.00	<input type="checkbox"/>
2	0.43	8.00	Clay (idriess)	160.00	<input checked="" type="checkbox"/> 150.00	<input checked="" type="checkbox"/> 170.00	<input checked="" type="checkbox"/>
3	8.43	30.00	Clay (idriess)	230.00	<input checked="" type="checkbox"/> 210.00	<input checked="" type="checkbox"/> 250.00	<input checked="" type="checkbox"/>
4	38.43	45.00	Clay (medium)	320.00	<input checked="" type="checkbox"/> 280.00	<input checked="" type="checkbox"/> 350.00	<input checked="" type="checkbox"/>
5	83.43	60.00	Clay (medium)	460.00	<input checked="" type="checkbox"/> 400.00	<input checked="" type="checkbox"/> 500.00	<input checked="" type="checkbox"/>
6	143.43	90.00	Clay (medium)	490.00	<input checked="" type="checkbox"/> 450.00	<input checked="" type="checkbox"/> 550.00	<input checked="" type="checkbox"/>
7	233.43	290.00	Clay (deep)	560.00	<input checked="" type="checkbox"/> 500.00	<input checked="" type="checkbox"/> 600.00	<input checked="" type="checkbox"/>
8	523.43	150.00	Clay (deep)	650.00	<input checked="" type="checkbox"/> 600.00	<input checked="" type="checkbox"/> 700.00	<input checked="" type="checkbox"/>
9	673.43	Half-Space	Bedrock	800.00	<input checked="" type="checkbox"/> 750.00	<input checked="" type="checkbox"/> 900.00	<input checked="" type="checkbox"/>

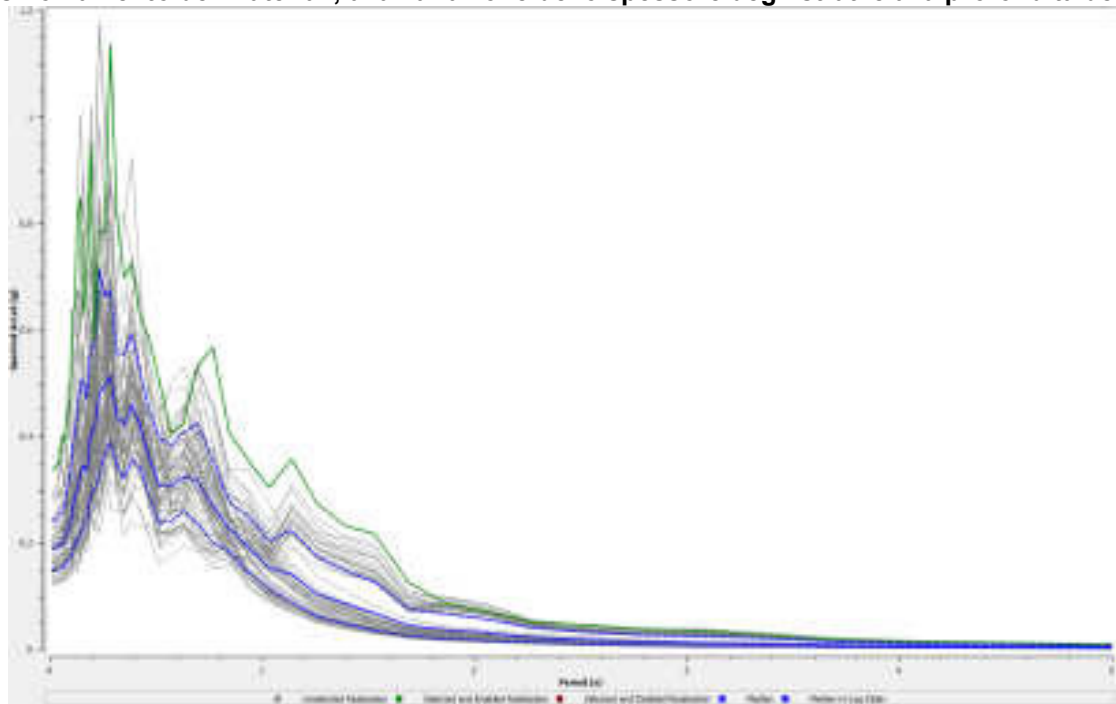
Utilizzando il programma STRATA si riportano i dati ricavati dalla modellazione numerica monodimensionale. Nella modellazione si è proceduto ad una analisi probabilistica facendo variare in modo automatico le velocità delle onde di taglio per ogni strato, il profilo stratigrafico, le caratteristiche dei terreni e le caratteristiche e la profondità del bedrock.

Sono poi stati scelti i profili con scenario più conservativi e coerenti con l'assetto sismostratigrafico del sito in esame, sui quali sono state eseguite analisi statistiche.

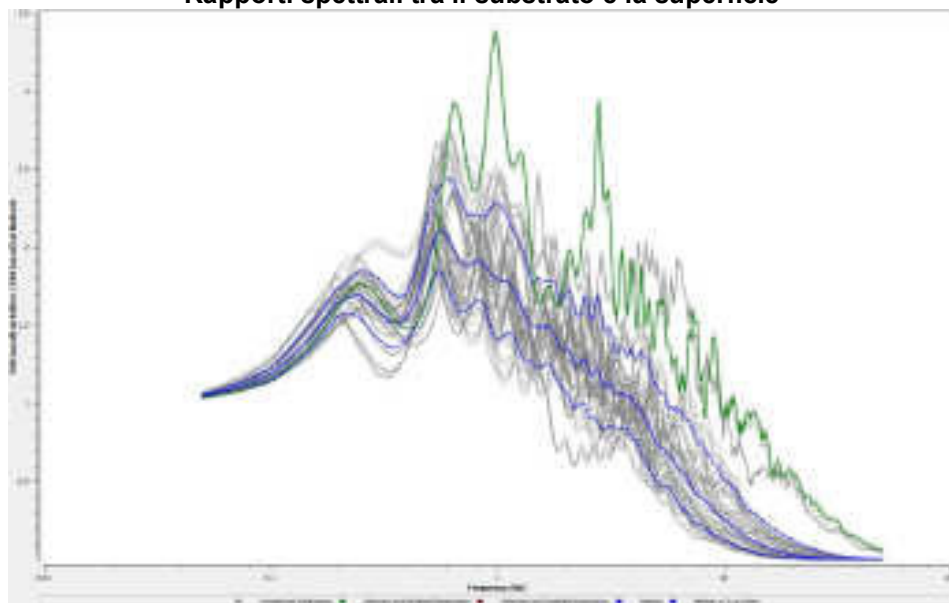
Stato Limite della Vita – SLV



Spettri elastici relativi a tutti possibili scenari calcolati con STRATA in base alla variazione della V_s , delle curve di smorzamento dei materiali, alla variazione dello spessore degli strati e alla profondità del bedrock

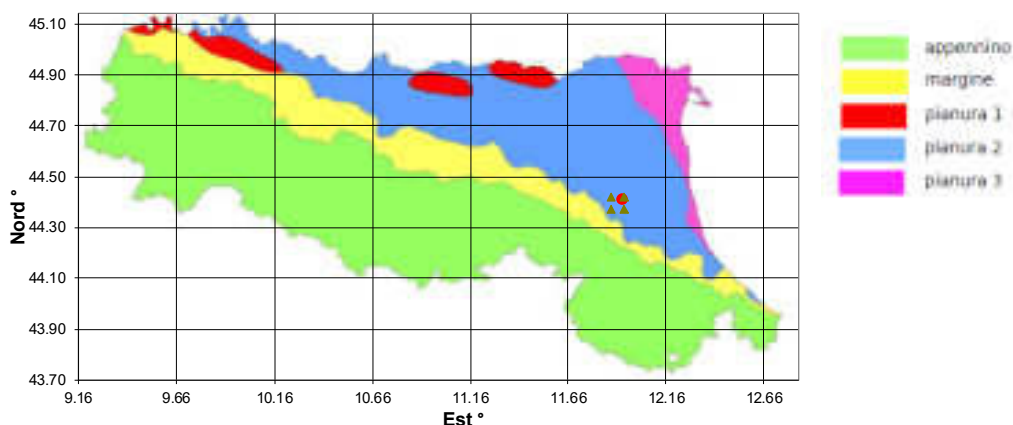


Rapporti spettrali tra il substrato e la superficie



Di seguito si valutano i rapporti spettrali PGA / PG_{ao} e SI / S_{lo} in riferimento a quanto proposto dalla DGR 630 / 2019 rispetto al metodo semplificato di II° livello ed al III° livello con elaborazione delle tracce sismiche fornite dalla RER utilizzando il codice di calcolo STRATA e il profilo del suolo emerso dalle indagini geofisiche sull'area per la valutazione degli effetti in superficie.

Assumendo che il sito ricada in ambito di PIANURA 2, come definito dal rapporto "Abachi per la valutazione dei fattori di amplificazione per le indagini di microzonazione sismica di secondo livello in Emilia-Romagna" (A. Tento, L. Martelli, A. Marcellini, 2015), e considerando una classe di Vs30 = 201m/s, si ottengono i parametri sotto riportate.



VALUTAZIONE PARAMETRI SISMICI DEL SITO			
Decreto Ministeriale NTC 2018		Regione Emilia-Romagna DGR 630 / 2019	
Latitude (gradi decimali ED50)	44.414800	44.414800	Latitude (gradi decimali ED50)
Longitude (gradi decimali ED50)	11.941100	11.941100	Longitude (gradi decimali ED50)
Accelerazione su suolo di riferimento rigido - SLV (ag/g)	0.184	0.184	Accelerazione massima orizzontale di picco al suolo per T ₀ (a _{mlg})
Tipo di opera	2	PIANURA 2	Riferimento territoriale / Suolo di riferimento
Classe d'uso	2	Pianura con sedimenti alluvionali prevalentemente fini, alternanze di limi, argille e sabbie, caratterizzato dalla presenza di un importante discontinuità stratigrafica responsabile di un significativo contrasto di impedenza a circa 100m dal piano campagna e dal tetto del substrato rigido a circa 150m dal piano campagna	
Vita Nominale (V _N)	50 anni		
Coefficiente d'uso (C _U)	1		
Vita di riferimento (V _N x C _U)	50 anni		
Tempi di ritorno (SLV)	475 anni		
		800	Velocità di taglio di riferimento del substrato marino (V _s) (m/s), oppure Velocità onde di taglio Bedrock like (V _s) (m/s)
Velocità equivalente delle onde di taglio nei primi 30 m (Vs30)	201	201	Velocità equivalente delle onde di taglio nei primi 30m (Vs30) (m/s)
Categoria di sottosuolo	C		
Coefficiente di amplificazione per tipo di suolo (S _s)	1.43	1.7	Fattore di Amplificazione del PGA (Peak Ground Acceleration)
		2.0	Fattore di Amplificazione Intensità Spettrale (F.A. 0.1s < T ₀ < 0.5s)
		3.0	Fattore di Amplificazione Intensità Spettrale (F.A. 0.5s < T ₀ < 1.0s)
		3.3	Fattore di Amplificazione Intensità Spettrale (F.A. 0.5s < T ₀ < 1.5s)
Categoria topografica	T1		
Coefficiente di amplificazione per categoria topografica (S _T)	1.00	1.0	Coefficiente di amplificazione per categoria topografica (S _T)
Accelerazione massima orizzontale al suolo (a _{max} /g) = a _g /g * S _s * S _T	0.263	0.312	Accelerazione massima orizzontale al suolo (a _g /g = a _{ref} * F.A. PGA * S _T)

Dal modello STRATA è stato possibile anche ricavare gli spettri delle pseudo velocità relative che sono state utilizzate per la valutazione dell'intensità di Housner, utilizzata dalla RER nella definizione dello spettro elastico, successivamente utile per le considerazioni sulle opere ingegneristiche.

L'intensità di Housner è stata calcolata utilizzando un foglio di calcolo excel implementando l'integrazione della pseudo-velocity (calcolate dalle accelerazioni ottenute dalla modellazione con STRATA) per intervalli di dT = 0.11 a 0.52 sec, dT = 0.52 a 1.03 sec e dT = 0.52 a 1.53 sec.

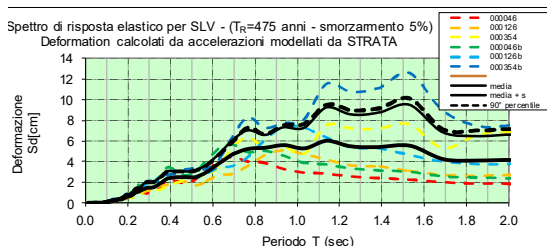
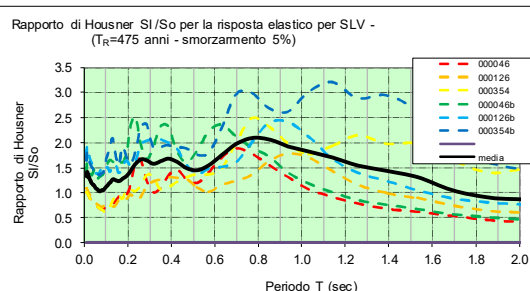
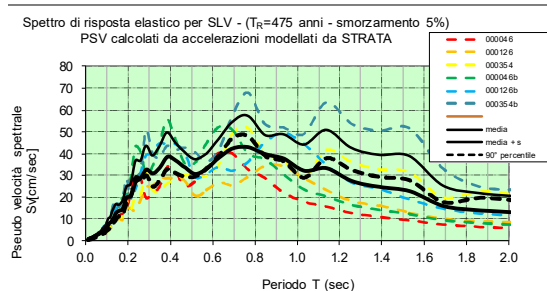
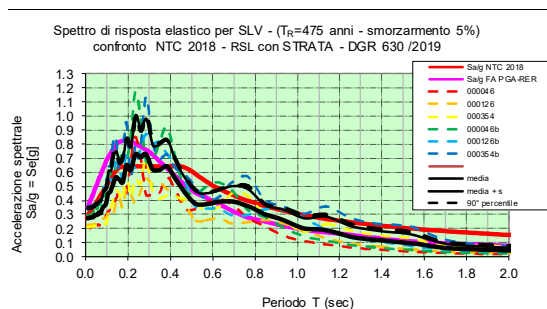
I valori sono stati confrontati con S_{lo} proposti dalla RER. I valori del rapporto sono osservabili nelle sotto riportate tabelle.

Si riporta anche la tabella del rapporto dei valori PGA del modello STRATA e quello della DGR 630 / 2019.

Riferimento accellogramma	Intensità di Housner (SI) (cm) per intervalli ottenuto dalle PSV (Sv) SI = j PSV d(T)		Rapporto Intensità di Housner SI/SIo		Intensità di Housner (SI) (cm) per intervalli ottenuto dalle PSV (Sv) SI = j PSV d(T)		Rapporto Intensità di Housner SI/SIo		Intensità di Housner (SI) (cm) per intervalli ottenuto dalle PSV (Sv) SI = j PSV d(T)		Rapporto Intensità di Housner SI/SIo	
	S1: 0.1 < T < 0.5		S2: 0.5 < T < 1.0		S3: 0.5 < T < 1.5							
000046	0.31	1.19	0.26	1.50	0.31	1.28						
000126	0.27	1.05	0.23	1.35	0.31	1.28						
000354	0.28	1.10	0.31	1.83	0.46	1.88						
000046b	0.49	1.92	0.32	1.86	0.38	1.55						
000126b	0.45	1.77	0.31	1.84	0.41	1.69						
000354b	0.49	1.91	0.42	2.49	0.64	2.62						
media	0.38	1.49	0.31	1.81	0.42	1.72						
So	0.26	2.00	0.17	3.00	0.24	3.30						

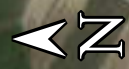
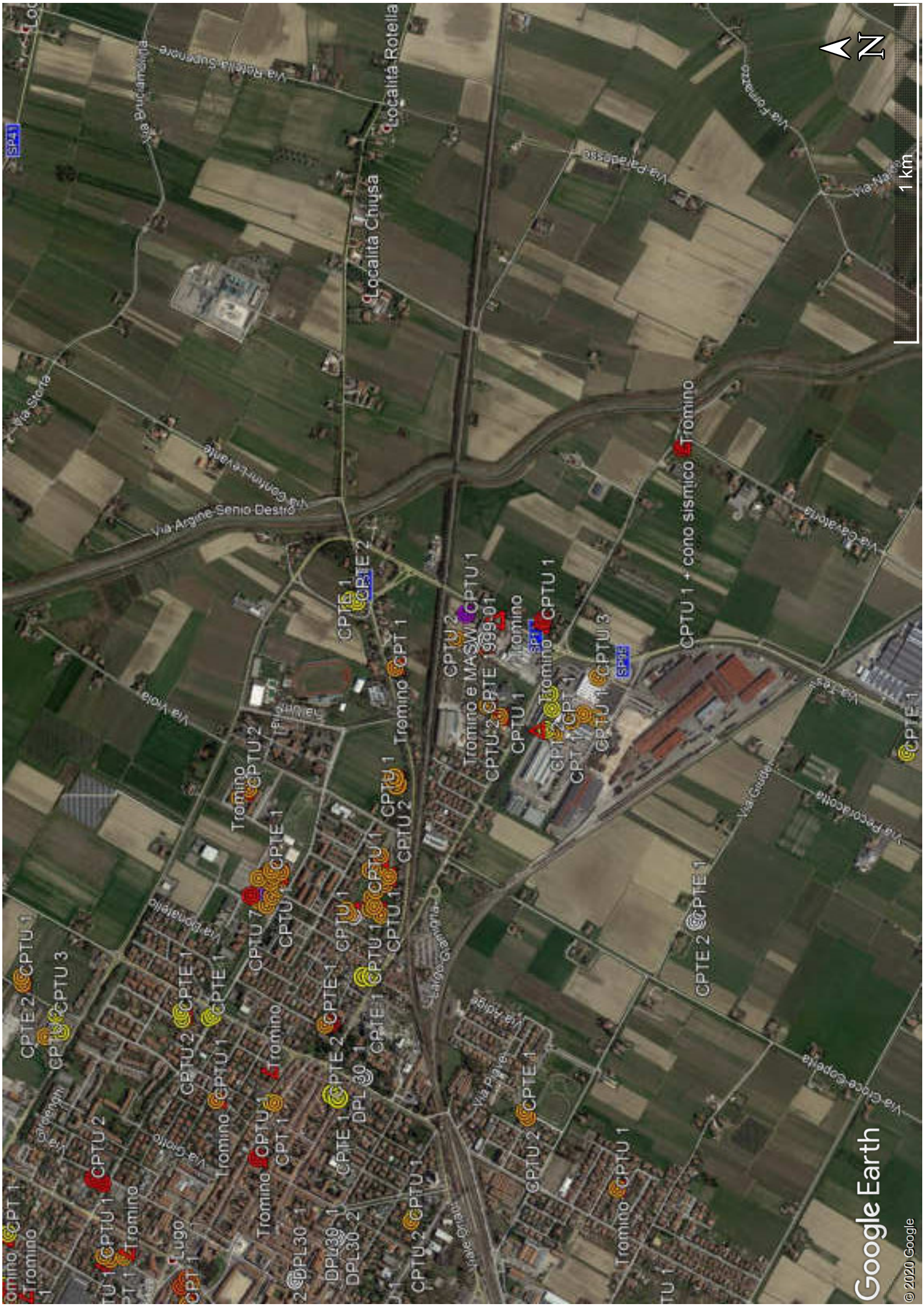
Riferimento accellogramma	PGA a To secondo la modellazione STRATA	Rapporto PGA/PGAo con PGAo secondo NTC2018 e DGR 630 / 2019
000046	0.211	1.149
000126	0.224	1.222
000354	0.210	1.142
000046b	0.296	1.610
000126b	0.361	1.965
000354b	0.337	1.835
media	0.273	1.487
PGAo	0.184	

Grafici degli spettri elastici di confronto ed il grafico delle amplificazioni SI / SIo per ogni intervallo dT considerato nella sopra citata integrazione.



ALLEGATI

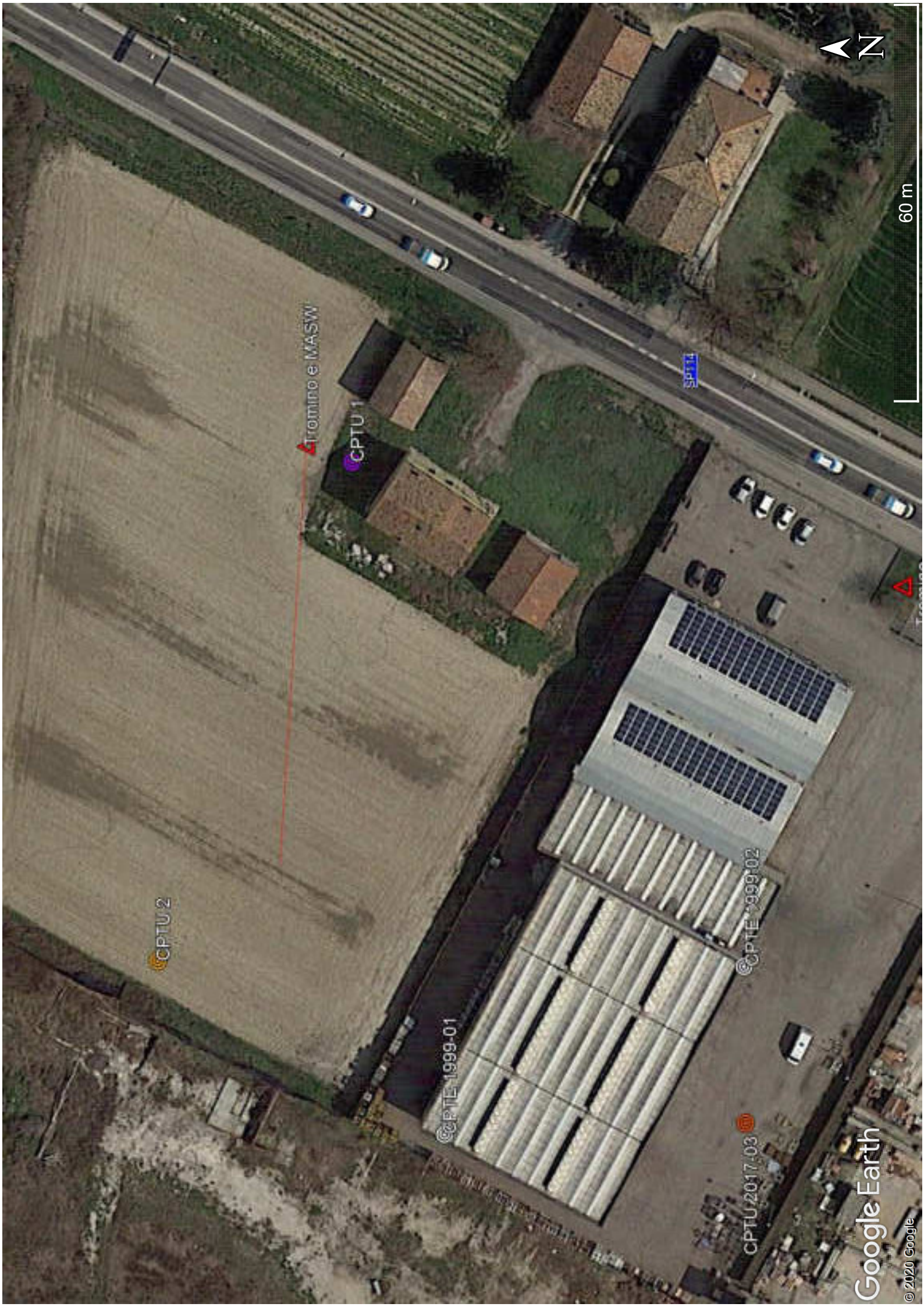
ALLEGATI



1 km

Google Earth

© 2020 Google



60 m

Tromino e MASW

CPTU 1

CPTU 2

CPTU 1999-01

CPTU 1999-02

CPTU 2017-03

Google Earth

© 2020 Google

Comune
Via
Localita'
Committente
Data

Lugo
Alberico di Barbiano
Lugo
Montini di Garotti Francesco
19/10/2020

Falda

2.70 m

Sigla della Punta
Azzeramento
Ultimo taratura guadagno
Ultimo taratura per deriva termica

Tecnopenta 100707
Inizio prova
14-ago-2020
14-ago-2020



S.G.T. sas
di Van Zutphen Albert & C.

www.geo55.com

CPTU

1

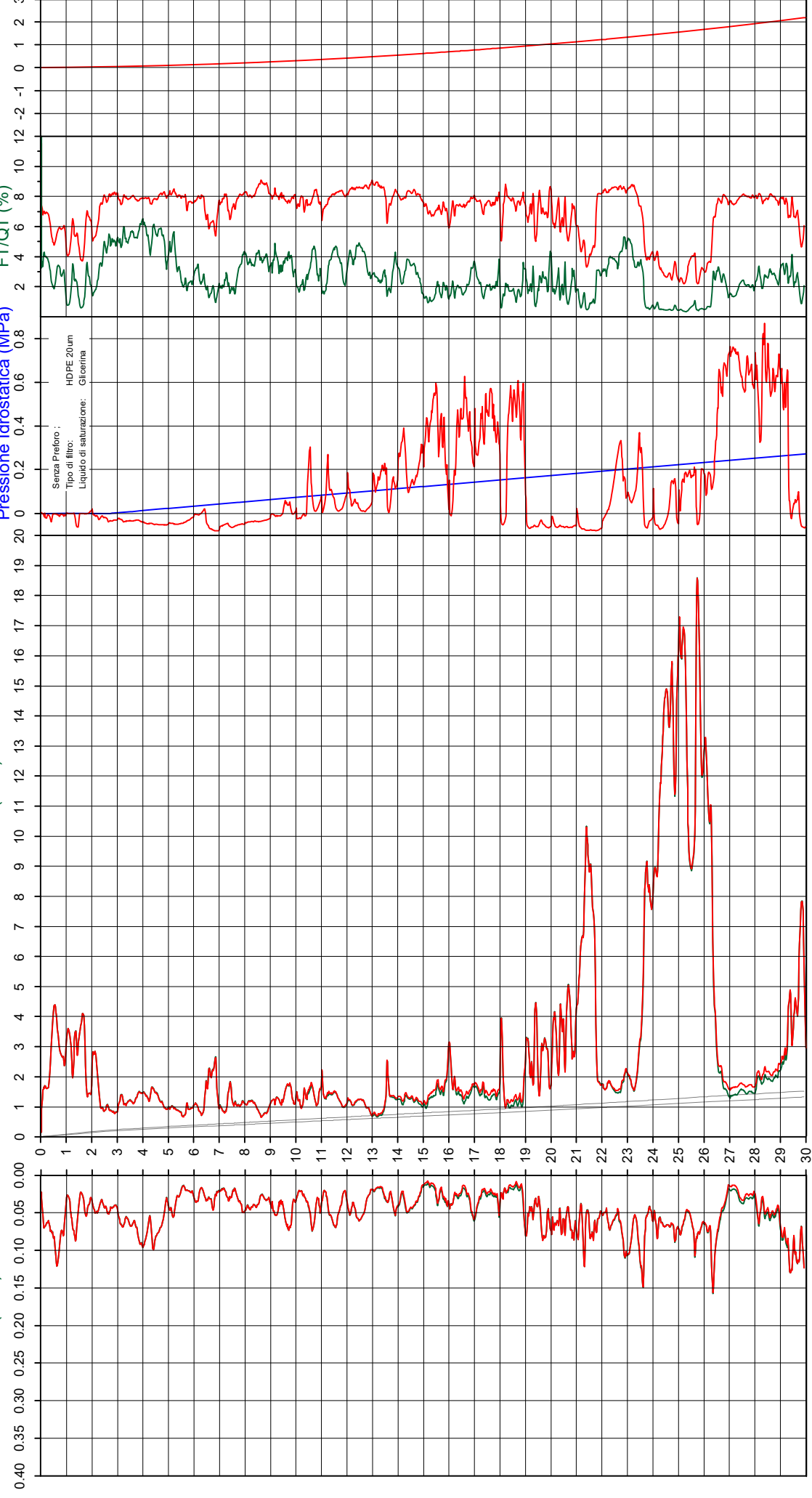
Profondità
(m)

Attrito Laterale corretto FT (MPa)
Attrito Laterale Fs (MPa)

Resistenza alla Punta corretta QT (MPa)
Resistenza alla Punta Qc (MPa)

Pressione Interstiziale
Penetrometrica (MPa)
Indice di Comportamento Ic
FT/QT (%)

Pressione Idrostatica (MPa)
Deviiazione (m)



CPTU

1

Data
Cantiere / Via
Località
Comune
Profondità falda idrica m.

19/10/2020
Alberico di Barbiano
Lugo
Lugo
2.70



**Società di
Geologia
Territoriale**

S.G.T. sas.
di Van Zutphen Albert & C.

www.geo55.com

Vs30
162

qt	Qc1N Idriss & Boulanger 2004	ft	FT/Qnet	lc	Litologia Idriss iterazione basato su Fr vs Qc1N	H m	Litologia grafica	Falda idrica	Addensamento (Sabbia) Consistenza (Argilla)	Densità Relativa Tatsuoka 1990	Angolo Attrito Kulhawy & Mayne 1990	Coesione non drenata Cu Benassi	OCR Marchi / SGT	Modulo Edometrico M Benassi	Velocità Vs Robertson & Cabal 2009 m/sec
daN/cm ²		daN/cm ²	%	Idriss iterazione						%		daN/cm ²		daN/cm ²	
11.0	18.7	0.43	5.8	2.99	argilla-argilla limosa	0.00	=====		Plastica	.	.	0.70	243.61	62.0	152
16.4	27.9	0.66	4.0	2.73	limo argilloso-argilla limosa	0.10	=====		Plastica	.	.	0.94	100.67	94.9	157
31.3	53.2	0.82	2.7	2.40	sabbia limosa-limo sabbioso	0.30	=====		Mediamente Addensata	46.1	39.1	.	.	163.6	174
34.9	59.4	0.28	0.8	2.04	sabbia-sabbia limosa	1.00	=====		Mediamente Addensata	49.8	38.5	.	.	110.1	148
29.6	50.2	0.61	2.2	2.34	sabbia limosa-limo sabbioso	1.10	=====		Mediamente Addensata	44.3	37.2	.	.	129.2	164
38.3	64.8	0.28	0.7	1.98	sabbia-sabbia limosa	1.50	=====		Mediamente Addensata	52.7	37.9	.	.	119.6	149
23.9	40.6	0.51	2.4	2.45	sabbia limosa-limo sabbioso	1.70	=====		Mediamente Addensata	37.3	35.5	.	.	112.9	159
14.6	24.7	0.37	2.6	2.64	limo argilloso-argilla limosa	1.80	=====		Plastica	.	.	0.86	9.16	74.6	139
23.7	39.7	0.46	2.1	2.42	sabbia limosa-limo sabbioso	2.00	=====		Mediamente Addensata	36.5	34.9	.	.	100.9	153
9.0	15.3	0.42	5.0	2.98	argilla-argilla limosa	2.30	=====		Molle-plastica (Soffice)	.	.	0.60	4.73	51.7	134
11.6	17.9	0.62	5.6	2.97	argilla-argilla limosa	3.00	=====		Plastica	.	.	0.73	4.36	65.9	150
14.1	20.0	0.80	5.9	2.95	limo argilloso-argilla limosa	3.70	=====		Plastica	.	.	0.85	4.80	79.5	163
13.2	18.0	0.77	6.2	3.00	argilla-argilla limosa	4.40	=====		Plastica	.	.	0.81	5.02	74.2	162
9.6	12.9	0.44	5.1	3.04	argilla-argilla limosa	4.80	=====		Molle-plastica (Soffice)	.	.	0.63	2.99	54.9	140
7.9	10.3	0.22	3.1	3.00	argilla-argilla limosa	5.30	=====		Molle-plastica (Soffice)	.	.	0.54	2.58	46.3	121
10.1	12.7	0.25	2.8	2.89	limo argilloso-argilla limosa	5.70	=====		Plastica	.	.	0.66	2.88	54.2	130
8.7	10.7	0.24	3.2	2.99	argilla-argilla limosa	6.10	=====		Molle-plastica (Soffice)	.	.	0.58	2.67	50.6	125
15.3	18.2	0.31	2.3	2.72	limo argilloso-argilla limosa	6.40	=====		Plastica	.	.	0.89	4.03	69.4	146
21.2	24.5	0.34	1.7	2.54	sabbia limosa-limo sabbioso	6.50	=====		Sciolta	20.6	32.7	.	.	81.0	154
10.8	12.5	0.21	2.3	2.85	limo argilloso-argilla limosa	6.90	=====		Plastica	.	.	0.69	2.88	48.6	129
8.5	9.8	0.21	2.9	2.99	argilla-argilla limosa	7.10	=====		Molle-plastica (Soffice)	.	.	0.58	2.05	47.9	124
13.1	14.7	0.26	2.2	2.79	limo argilloso-argilla limosa	7.30	=====		Plastica	.	.	0.80	3.46	58.9	138
11.1	12.0	0.42	4.4	3.03	argilla-argilla limosa	7.70	=====		Plastica	.	.	0.71	2.32	63.8	146
7.7	8.0	0.31	5.1	3.21	argilla-argilla limosa	8.50	=====		Molle-plastica (Soffice)	.	.	0.53	1.71	43.7	130
12.1	12.2	0.44	4.2	3.01	argilla-argilla limosa	8.90	=====		Plastica	.	.	0.75	2.02	69.8	150
17.3	17.0	0.68	4.4	2.91	limo argilloso-argilla limosa	9.60	=====		Plastica	.	.	0.97	3.31	99.5	172
12.5	12.2	0.41	3.8	2.99	argilla-argilla limosa	9.80	=====		Plastica	.	.	0.78	2.58	72.8	150
						10.00	=====								

H2O

CPTU

1

Data
Cantiere / Via
Località
Comune
Profondità falda idrica m.

19/10/2020
Alberico di Barbiano
Lugo
Lugo
2.70



**Società di
Geologia
Territoriale**

S.G.T. sas.
di Van Zutphen Albert & C.

www.geo55.com

Vs30
162

qt	Qc1N Idriss & Boulanger 2004	ft	FT/Qnet	lc	Litologia Idriss iterazione basato su Fr vs Qc1N	H	Litologia grafica	Falda idrica	Addensamento (Sabbia) Consistenza (Argilla)	Densità Relativa Tatsuoka 1990	Angolo Attrito Kulhawy & Mayne 1990	Coesione non drenata Cu Benassi	OCR Marchi / SGT	Modulo Edometrico M Benassi	Velocità Vs Robertson & Cabal 2009 m/sec
daN/cm ²		daN/cm ²	%	Idriss iterazione		m				%		daN/cm ²		daN/cm ²	
13.4	12.6	0.38	3.3	2.93	limo argilloso-argilla limosa	0.00	=====		Plastica	.	.	0.81	2.48	78.2	149
						10.90	=====								
14.8	13.3	0.46	3.7	2.93	limo argilloso-argilla limosa		=====		Plastica	.	.	0.87	2.73	85.9	158
						11.70	=====								
11.4	9.8	0.43	4.6	3.11	argilla-argilla limosa		=====		Plastica	.	.	0.72	1.81	65.8	150
						12.80	=====								
8.2	6.6	0.20	3.4	3.18	argilla-argilla limosa		=====		Molle-plastica (Soffice)	.	.	0.56	1.40	48.0	125
						13.50	=====								
19.5	16.0	0.34	2.2	2.75	limo argilloso-argilla limosa	13.60	=====		Plastica	.	.	1.05	2.85	85.4	164
14.7	11.9	0.29	2.4	2.88	limo argilloso-argilla limosa	13.80	=====		Plastica	.	.	0.87	2.29	68.6	150
							=====								
13.0	10.1	0.38	3.6	3.04	argilla-argilla limosa		=====		Plastica	.	.	0.79	1.87	75.4	152
						14.90	=====								
14.9	11.1	0.19	1.5	2.79	limo argilloso-argilla limosa		=====		Plastica	.	.	0.88	1.47	53.4	139
						15.90	=====								
26.4	20.0	0.38	1.7	2.61	limo argilloso-argilla limosa	16.10	=====		Solido-plastica (Duro)	.	.	1.27	3.27	100.0	175
15.7	11.0	0.29	2.3	2.89	limo argilloso-argilla limosa		=====		Plastica	.	.	0.91	2.07	70.7	152
						18.00	=====								
34.9	25.3	0.27	0.9	2.37	sabbia limosa-limo sabbioso	18.10	=====		Sciolti	21.7	33.4	.	.	111.1	174
12.6	8.2	0.16	1.8	2.94	limo argilloso-argilla limosa		=====		Plastica	.	.	0.78	1.63	48.9	136
						18.90	=====								
24.9	16.9	0.57	2.7	2.79	limo argilloso-argilla limosa		=====		Solido-plastica (Duro)	.	.	1.23	2.24	132.5	186
						19.30	=====								
32.0	22.3	0.40	1.7	2.56	sabbia limosa-limo sabbioso	19.50	=====		Sciolti	17.4	32.8	.	.	121.7	188
16.5	10.6	0.40	3.1	2.99	argilla-argilla limosa	19.60	=====		Plastica	.	.	0.94	1.76	96.2	166
29.8	20.1	0.72	2.7	2.72	limo argilloso-argilla limosa		=====		Solido-plastica (Duro)	.	.	1.36	3.15	157.6	199
						19.90	=====								
17.2	10.9	0.66	4.9	3.09	argilla-argilla limosa	20.00	=====		Plastica	.	.	0.97	1.80	98.5	181

CPTU

1

Data
Cantiere / Via
Località
Comune
Profondità falda idrica m.

19/10/2020
Alberico di Barbiano
Lugo
Lugo
2.70



**Società di
Geologia
Territoriale**

S.G.T. sas.
di Van Zutphen Albert & C.

www.geo55.com

Vs30
162

qt	Qc1N Idriss & Boulanger 2004	ft	FT/Qnet	lc	Litologia Idriss iterazione basato su Fr vs Qc1N	H m	Litologia grafica	Falda idrica	Addensamento (Sabbia) Consistenza (Argilla)	Densità Relativa Tatsuoka 1990	Angolo Attrito Kulhawy & Mayne 1990	Coesione non drenata Cu Benassi	OCR Marchi / SGT	Modulo Edometrico M Benassi	Velocità Vs Robertson & Cabal 2009 m/sec
daN/cm ²		daN/cm ²	%	Idriss iterazione						%		daN/cm ²		daN/cm ²	
31.7	21.4	0.67	2.5	2.68	limo argilloso-argilla limosa	0.00	==:==:==		Semi solida (Molto duro)	.	.	1.41	3.31	157.0	201
36.2	24.5	0.62	2.1	2.58	sabbia limosa-limo sabbioso	20.10	==:==:==		Sciolta	20.6	33.3	.	.	155.1	200
						20.80	==:==:==								
30.5	19.9	0.74	2.9	2.74	limo argilloso-argilla limosa	21.00	==:==:==		Semi solida (Molto duro)	.	.	1.38	2.75	169.6	203
58.9	41.5	0.69	1.3	2.27	sabbia limosa-limo sabbioso	21.30	==:==:==		Mediamente Addensata	38.0	35.5	.	.	202.8	215
91.7	69.0	0.70	0.8	1.97	sabbia-sabbia limosa	21.60	==:==:==		Mediamente Addensata	54.8	37.6	.	.	289.9	226
59.0	41.4	0.73	1.6	2.34	sabbia limosa-limo sabbioso	21.80	==:==:==		Mediamente Addensata	37.9	35.5	.	.	219.3	221
17.8	10.2	0.67	4.8	3.11	argilla-argilla limosa	23.40	==:==		Plastica	.	.	0.99	1.74	101.9	183
						23.60	==:==								
34.6	21.0	1.13	3.8	2.81	limo argilloso-argilla limosa	23.60	==:==:==		Semi solida (Molto duro)	.	.	1.47	2.58	200.7	224
86.5	60.8	0.64	0.8	2.02	sabbia-sabbia limosa	24.30	==:==:==		Mediamente Addensata	50.6	37.1	.	.	273.9	224
						24.30	==:==:==								
146.5	114.9	0.68	0.5	1.68	sabbia-sabbia limosa	25.30	==:==:==		Addensata	71.6	39.5	.	.	447.0	238
						25.30	==:==:==								
105.2	75.1	0.66	0.7	1.91	sabbia-sabbia limosa	25.70	==:==:==		Mediamente Addensata	57.5	37.9	.	.	326.5	231
						25.70	==:==:==								
122.4	90.9	0.83	0.9	1.88	sabbia-sabbia limosa	26.40	==:==:==		Mediamente Addensata	63.8	38.6	.	.	390.6	241
						26.40	==:==:==								
28.6	15.3	0.71	3.0	2.86	limo argilloso-argilla limosa	26.70	==:==:==		Solido-plastica (Duro)	.	.	1.33	2.92	168.0	203
						26.70	==:==:==								
17.1	8.2	0.25	2.0	2.96	argilla-argilla limosa	28.00	==:==		Plastica	.	.	0.97	1.47	70.9	158
						28.00	==:==								
21.1	10.1	0.47	2.9	2.98	argilla-argilla limosa	28.80	==:==		Solido-plastica (Duro)	.	.	1.11	1.46	118.7	183
						28.80	==:==								
25.2	12.2	0.63	3.1	2.93	limo argilloso-argilla limosa	29.20	==:==:==		Solido-plastica (Duro)	.	.	1.23	1.62	151.9	197
						29.20	==:==:==								
40.3	21.1	1.07	3.1	2.75	limo argilloso-argilla limosa	29.70	==:==:==		Semi solida (Molto duro)	.	.	1.59	2.40	235.5	232
						29.70	==:==:==								
71.6	42.2	0.92	1.4	2.29	sabbia limosa-limo sabbioso	29.90	==:==:==		Mediamente Addensata	38.5	35.7	.	.	254.1	240
						29.90	==:==:==								
43.5	33.1	1.23	2.3	2.51	sabbia limosa-limo sabbioso		==:==:==		Sciolta	30.5	33.3	.	.	198.5	209

Comune Lugo
Via Alberico di Barbiano
Localita' Lugo
Committente Montini di Garotti Francesco
Data 19/10/2020

Numero prova 1
Quota falda 2.70

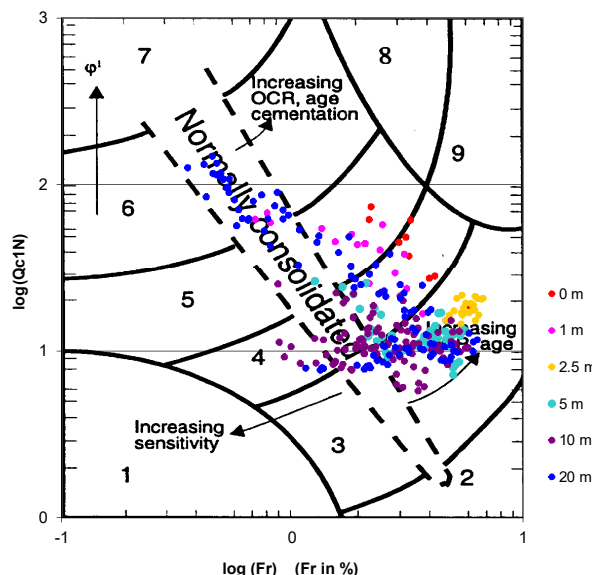


**Società di
Geologia
Territoriale**

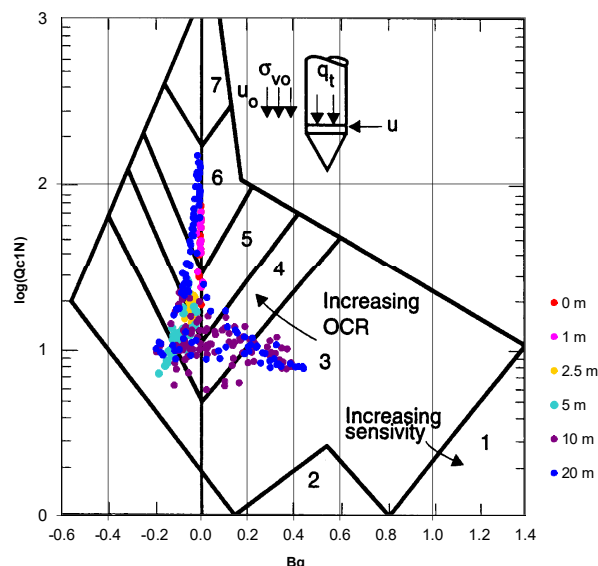
S.G.T. sas.
di Van Zutphen Albert & C.

www.geo55.com

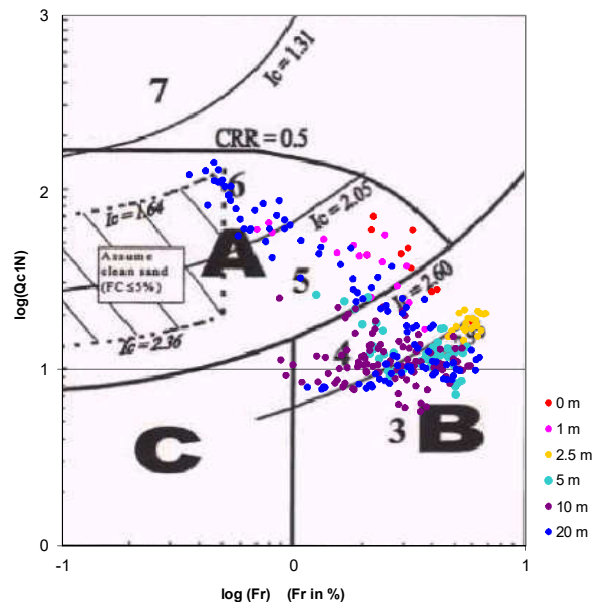
**Cross-plot Qc1N verso Fr
(Robertson 1990)**



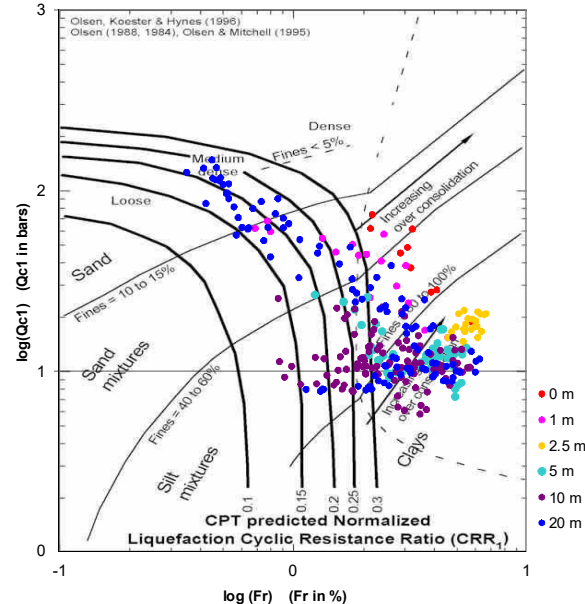
**Cross-plot Qc1N verso Bq
(Robertson 1990)**



**Cross-plot Qc1N verso Fr
per la verifica della liquefazione
secondo Robertson 1996**



**Cross-plot Qc1N verso Fr
per la verifica della liquefazione
secondo Olsen 1996**



Litotipo secondo Robertson 1990

Zone	Tipo di comportamento
9	Terreni molto duri a grana fine
8	Sabbia molto densa e sabbia argillosa
7	Sabbia ghiaiosa – sabbia densa
6	Sabbia – sabbia limosa
5	Sabbia limosa – limo sabbioso
4	Limo argilloso – argilla limosa
3	Argilla limosa – argilla
2	Torba
1	Terreni fini sensibili

Potenziale di liquefacibilità

Zone A	Liquefazione ciclica possibile - dipendente da ampiezza e tempo del carico ciclico.
Zone B	Liquefazione improbabile.
Zone C	Liquefazione fluida e liquefazione ciclica possibile - dipendente da plasticità e sensibilità, da ampiezza e tempo del carico ciclico.

Comune
Via
Localita'
Committente
Data

Lugo
Alberico di Barbiano
Lugo
Montini di Garotti Francesco
19-ott-20

Falda

2.50 m

Sigla della Punta
Azzeramento
Ultimo taratura guadagno
Ultimo taratura per deriva termica

Tecnopenta 100707
Inizio prova
14-ago-2020
14-ago-2020

CPTU

2

Profondità
(m)

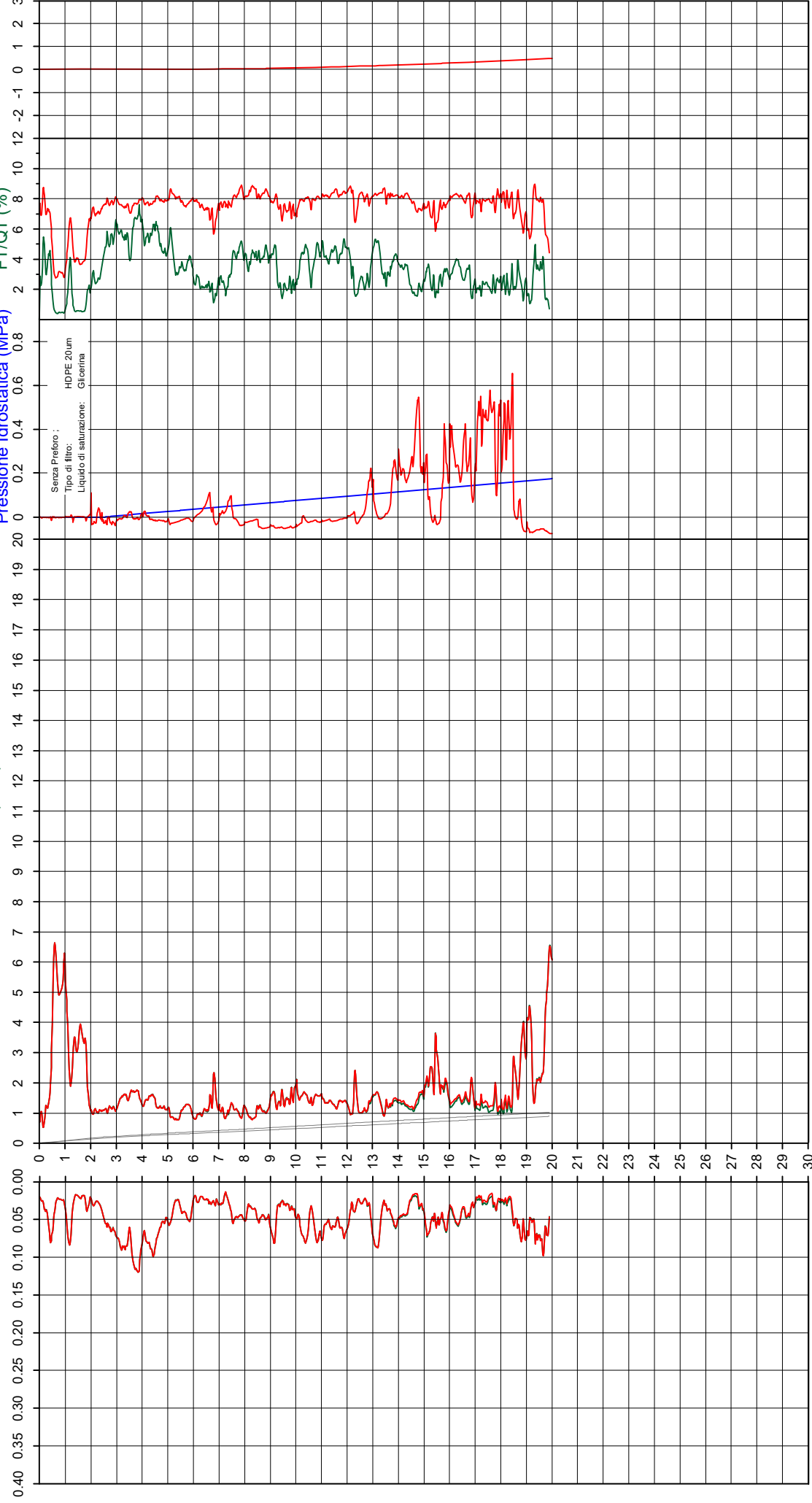
Attrito Laterale corretto FT (MPa)
Attrito Laterale Fs (MPa)

Resistenza alla Punta corretta QT (MPa)
Resistenza alla Punta Qc (MPa)

Pressione Interstiziale
Penetrometrica (MPa)
Pressione Idrostatica (MPa)

Indice di Comportamento Ic
FT/QT (%)

Deviiazione (m)



CPTU

2

Data
Cantiere / Via
Località
Comune
Profondità falda idrica m.

19 ottobre 2020
Alberico di Barbiano
Lugo
Lugo
2.50



**Società di
Geologia
Territoriale**

S.G.T. sas.
di Van Zutphen Albert & C.

www.geo55.com

Vs20
153

qt	Qc1N Idriss & Boulanger 2004	ft	FT/Qnet	lc	Litologia Idriss iterazione basato su Fr vs Qc1N	H m	Litologia grafica	Falda idrica	Addensamento (Sabbia) Consistenza (Argilla)	Densità Relativa Tatsuoka 1990	Angolo Attrito Kulhawy & Mayne 1990	Coesione non drenata Cu Benassi	OCR Marchi / SGT	Modulo Edometrico M Benassi	Velocità Vs Robertson & Cabal 2009 m/sec
daN/cm ²		daN/cm ²	%	Idriss iterazione						%		daN/cm ²		daN/cm ²	
7.8	13.2	0.27	3.7	2.95	limo argilloso-argilla limosa	0.00	=====		Molle-plastica (Soffice)	.	.	0.53	114.34	45.2	123
12.3	20.8	0.47	3.9	2.81	limo argilloso-argilla limosa	0.20	=====		Plastica	.	.	0.76	47.63	71.0	143
48.8	82.9	0.50	1.5	2.02	sabbia-sabbia limosa	0.40	=====		Mediamente Addensata	60.8	41.7	.	.	175.7	167
51.7	87.9	0.32	0.6	1.82	sabbia-sabbia limosa	0.70	=====		Mediamente Addensata	62.7	40.8	.	.	159.9	157
30.5	51.8	0.34	1.3	2.15	sabbia limosa-limo sabbioso	1.10	=====		Mediamente Addensata	45.3	37.1	.	.	105.4	147
11.2	18.9	0.47	4.3	2.86	limo argilloso-argilla limosa	1.90	=====		Plastica	.	.	0.71	6.48	64.4	138
15.4	23.0	0.89	6.0	2.91	limo argilloso-argilla limosa	3.10	=====		Plastica	.	.	0.90	5.75	86.7	167
11.7	16.3	0.60	5.5	2.99	argilla-argilla limosa	4.50	=====		Plastica	.	.	0.74	4.25	66.5	151
8.3	11.2	0.33	4.5	3.05	argilla-argilla limosa	5.10	=====		Molle-plastica (Soffice)	.	.	0.56	2.67	47.5	129
12.0	15.5	0.44	4.0	2.92	limo argilloso-argilla limosa	5.50	=====		Plastica	.	.	0.75	3.19	69.7	146
10.9	13.5	0.25	2.6	2.86	limo argilloso-argilla limosa	5.90	=====		Plastica	.	.	0.70	2.64	56.3	131
18.6	21.8	0.28	1.7	2.57	sabbia limosa-limo sabbioso	6.80	=====		Sciolta	16.8	32.1	.	.	69.9	147
10.9	12.5	0.37	4.0	2.98	argilla-argilla limosa	6.90	=====		Plastica	.	.	0.70	2.87	62.9	140
8.9	9.7	0.36	4.9	3.13	argilla-argilla limosa	8.10	=====		Molle-plastica (Soffice)	.	.	0.59	2.03	50.8	136
12.5	13.1	0.55	5.0	3.04	argilla-argilla limosa	8.50	=====		Plastica	.	.	0.77	2.51	71.6	155
15.3	15.1	0.45	3.3	2.87	limo argilloso-argilla limosa	9.30	=====		Plastica	.	.	0.90	2.54	89.4	156

H2O

qt	Qc1N	ft	FT/Qnet	lc	Litologia Idriss iterazione	H	Litologia grafica	Falda	Addensamento (Sabbia)	Densità Relativa	Angolo Attrito	Coesione non drenato Cu	OCR	Modulo Edometrico M	Velocità Vs
daN/cm ²	Idriss & Boulanger 2004	daN/cm ²	%	Idriss iterazione	basato su Fr vs Qc1N	m		idrica	Consistenza (Argilla)	Tatsuoka 1990 %	Kulhawy & Mayne 1990	Benassi daN/cm ²	Marchi / SGT	Benassi daN/cm ²	Robertson & Cabal 2009 m/sec
						0.00	===== == == == ==								
14.0	12.7	0.61	5.1	3.05	argilla-argilla limosa	10.60	===== == == == == == == == == == ==	Plastica	.	.	0.84	2.27	79.7	165	
10.9	9.4	0.45	5.1	3.15	argilla-argilla limosa	12.00	=====	Plastica	.	.	0.70	1.93	62.1	149	
17.7	15.4	0.35	2.5	2.80	limo argilloso-argilla limosa	12.20	=====	Plastica	.	.	0.99	2.42	87.3	160	
10.7	9.0	0.26	3.1	3.04	argilla-argilla limosa	12.40	===== == == ==	Plastica	.	.	0.69	1.69	63.5	137	
15.3	12.8	0.63	4.7	3.02	argilla-argilla limosa	12.80	===== == ==	Plastica	.	.	0.89	2.04	87.7	168	
13.2	10.5	0.44	4.1	3.06	argilla-argilla limosa	13.20	===== == == == == == == == == == ==	Plastica	.	.	0.80	2.17	76.1	156	
13.2	10.1	0.18	1.8	2.87	limo argilloso-argilla limosa	14.50	===== == ==	Plastica	.	.	0.80	1.63	50.8	138	
17.7	13.6	0.39	2.6	2.85	limo argilloso-argilla limosa	14.80	===== == ==	Plastica	.	.	0.99	2.27	88.9	162	
21.6	16.6	0.59	3.2	2.83	limo argilloso-argilla limosa	15.10	===== == ==	Solido-plastica (Duro)	.	.	1.13	2.71	126.2	180	
28.1	21.8	0.53	2.1	2.64	limo argilloso-argilla limosa	15.40	=====	Solido-plastica (Duro)	.	.	1.32	3.95	121.8	185	
19.2	14.3	0.53	3.3	2.89	limo argilloso-argilla limosa	15.60	===== == ==	Plastica	.	.	1.04	2.34	112.1	174	
14.9	10.6	0.44	3.7	3.02	argilla-argilla limosa	15.90	===== == == == == == ==	Plastica	.	.	0.88	1.99	86.4	162	
20.4	14.6	0.32	1.9	2.74	limo argilloso-argilla limosa	16.90	=====	Solido-plastica (Duro)	.	.	1.09	2.46	81.1	164	
13.3	9.1	0.23	2.2	2.96	argilla-argilla limosa		===== == == ===== == == =====	Plastica	.	.	0.81	1.68	59.4	144	
17.2	11.8	0.31	2.3	2.87	limo argilloso-argilla limosa	17.80	=====	Plastica	.	.	0.97	1.98	77.5	160	
12.9	8.5	0.25	2.7	3.03	argilla-argilla limosa		===== == == == ==	Plastica	.	.	0.79	1.48	67.3	146	
20.1	13.6	0.48	2.9	2.89	limo argilloso-argilla limosa	18.30	===== == ===== ==	Solido-plastica (Duro)	.	.	1.07	1.55	113.8	172	
34.6	24.3	0.67	2.2	2.60	limo argilloso-argilla limosa	18.80	=====	Semi solida (Molto duro)	.	.	1.47	4.12	155.0	201	
41.9	29.8	0.59	1.5	2.44	sabbia limosa-limo sabbioso	19.00	=====	Sciolta	27.0	34.1	.	.	153.1	201	
19.6	12.8	0.68	4.4	3.01	argilla-argilla limosa	19.20	===== == ==	Plastica	.	.	1.06	2.08	112.8	186	
34.5	23.7	0.78	3.0	2.68	limo argilloso-argilla limosa	19.60	=====	Semi solida (Molto duro)	.	.	1.47	2.64	199.8	205	
58.5	42.5	0.63	1.2	2.24	sabbia limosa-limo sabbioso	19.80	=====	Mediamente Addensata	38.7	35.6	.	.	196.0	212	

Comune Lugo
Via Alberico di Barbiano
Localita' Lugo
Committente Montini di Garotti Francesco
Data 19-ott-20

Numero prova 2
Quota falda 2.50

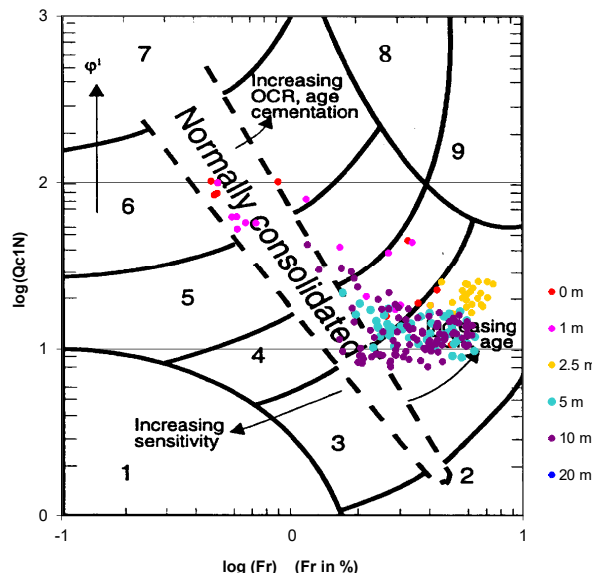


**Società di
Geologia
Territoriale**

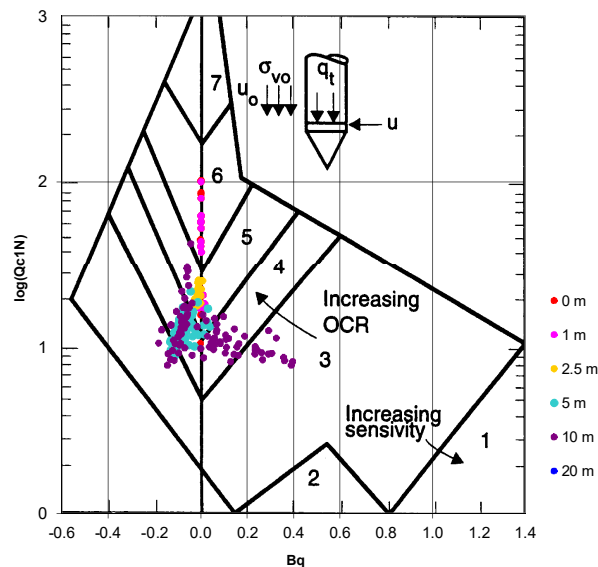
S.G.T. sas.
di Van Zutphen Albert & C.

www.geo55.com

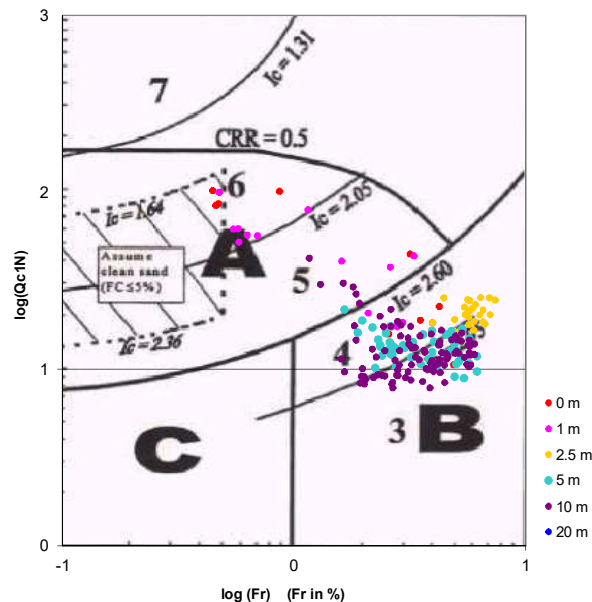
**Cross-plot Qc1N verso Fr
(Robertson 1990)**



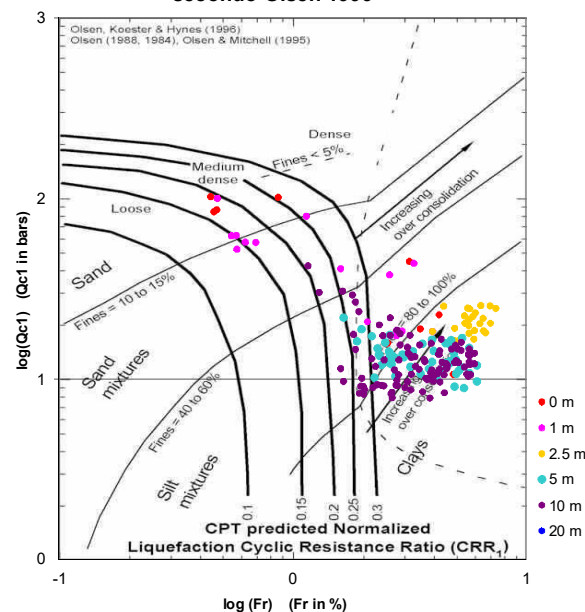
**Cross-plot Qc1N verso Bq
(Robertson 1990)**



**Cross-plot Qc1N verso Fr
per la verifica della liquefazione
secondo Robertson 1996**



**Cross-plot Qc1N verso Fr
per la verifica della liquefazione
secondo Olsen 1996**



Litotipo secondo Robertson 1990

Zone	Tipo di comportamento
9	Terreni molto duri a grana fine
8	Sabbia molto densa e sabbia argillosa
7	Sabbia ghiaiosa – sabbia densa
6	Sabbia – sabbia limosa
5	Sabbia limosa – limo sabbioso
4	Limo argilloso – argilla limosa
3	Argilla limosa – argilla
2	Torba
1	Terreni fini sensibili

Potenziale di liquefacibilità

Zone A	Liquefazione ciclica possibile - dipendente da ampiezza e tempo del carico ciclico.
Zone B	Liquefazione improbabile.
Zone C	Liquefazione fluida e liquefazione ciclica possibile - dipendente da plasticità e sensibilità, da ampiezza e tempo del carico ciclico.

Comune Lugo
Via Alberico di Barbier
Localita' Lugo
Committente Montini di Garotti f



**Società di
Geologia
Territoriale**

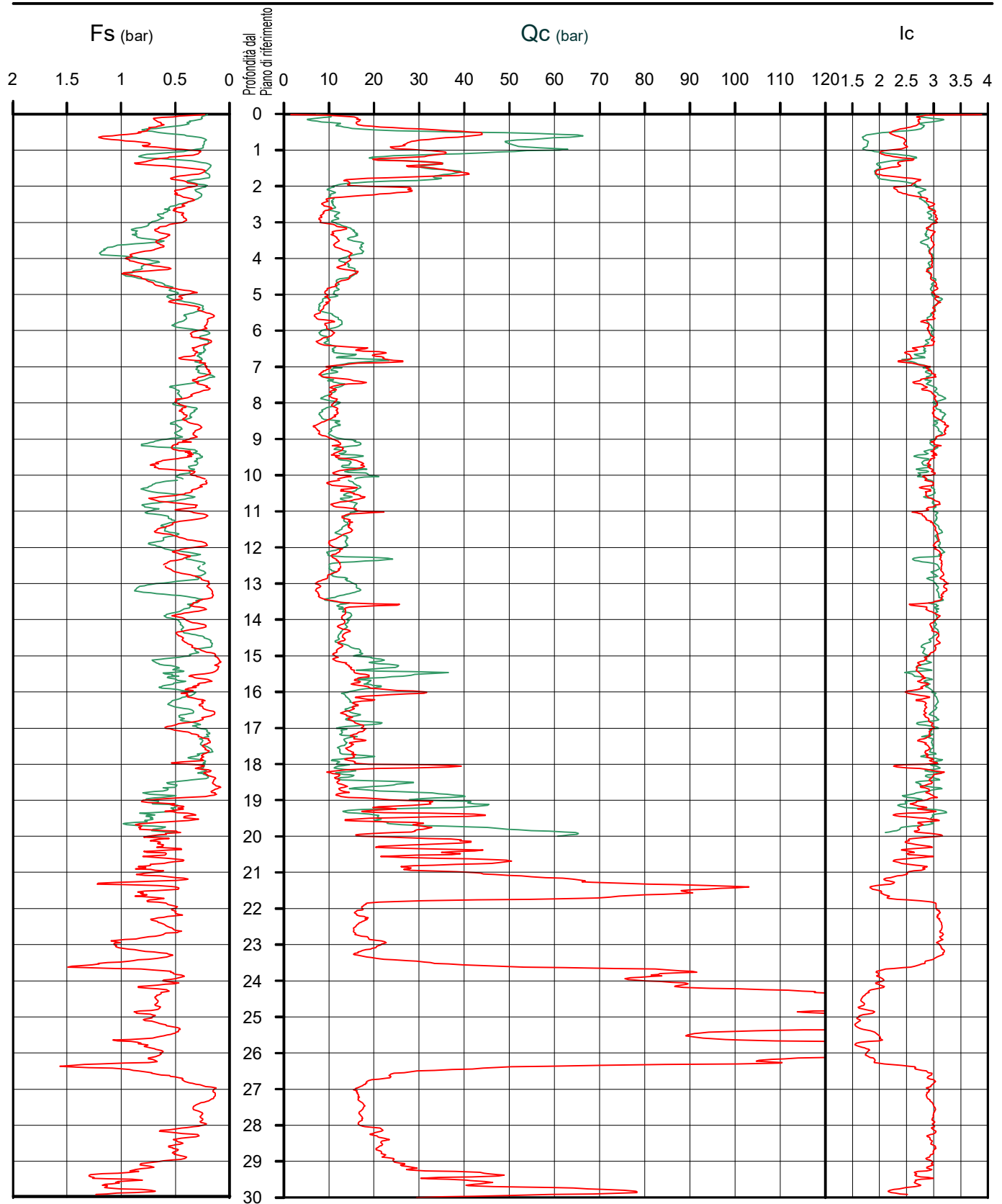
S.G.T. sas
di Van Zutphen Albert & C.

Via Matteotti 50
48012 Bagnacavallo (RA)

www.geo55.com

LEGENDA


CPT 1
CPT 2



PARAMETRI GEOTECNICI

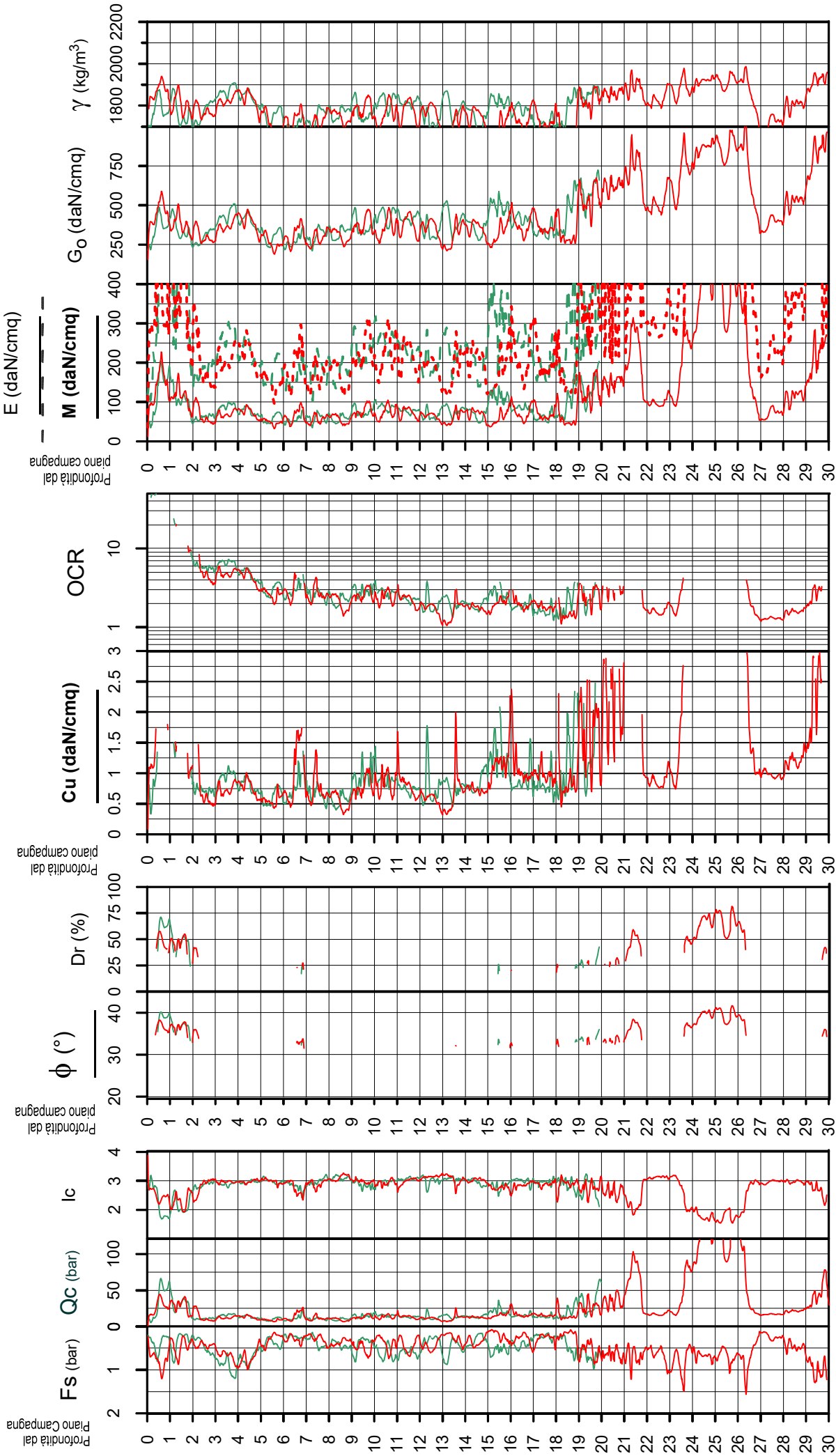
Comune Lugo
Via Alberico di Barbier
Localita' Lugo
Committente Montini di Garotti I

SGT



Società di
Geologia
Territoriale

S.G.T. sas
di Van Zutphen Albert & C.
Via Matteotti 50
48012 Bagnacavallo (RA)
www.geo55.com



Comune
Via
Localita'
Commitente
Data

Lugo
Via Alberico da Barbiano
Cooperativa ITER
Montini
06-lug-99

Falda

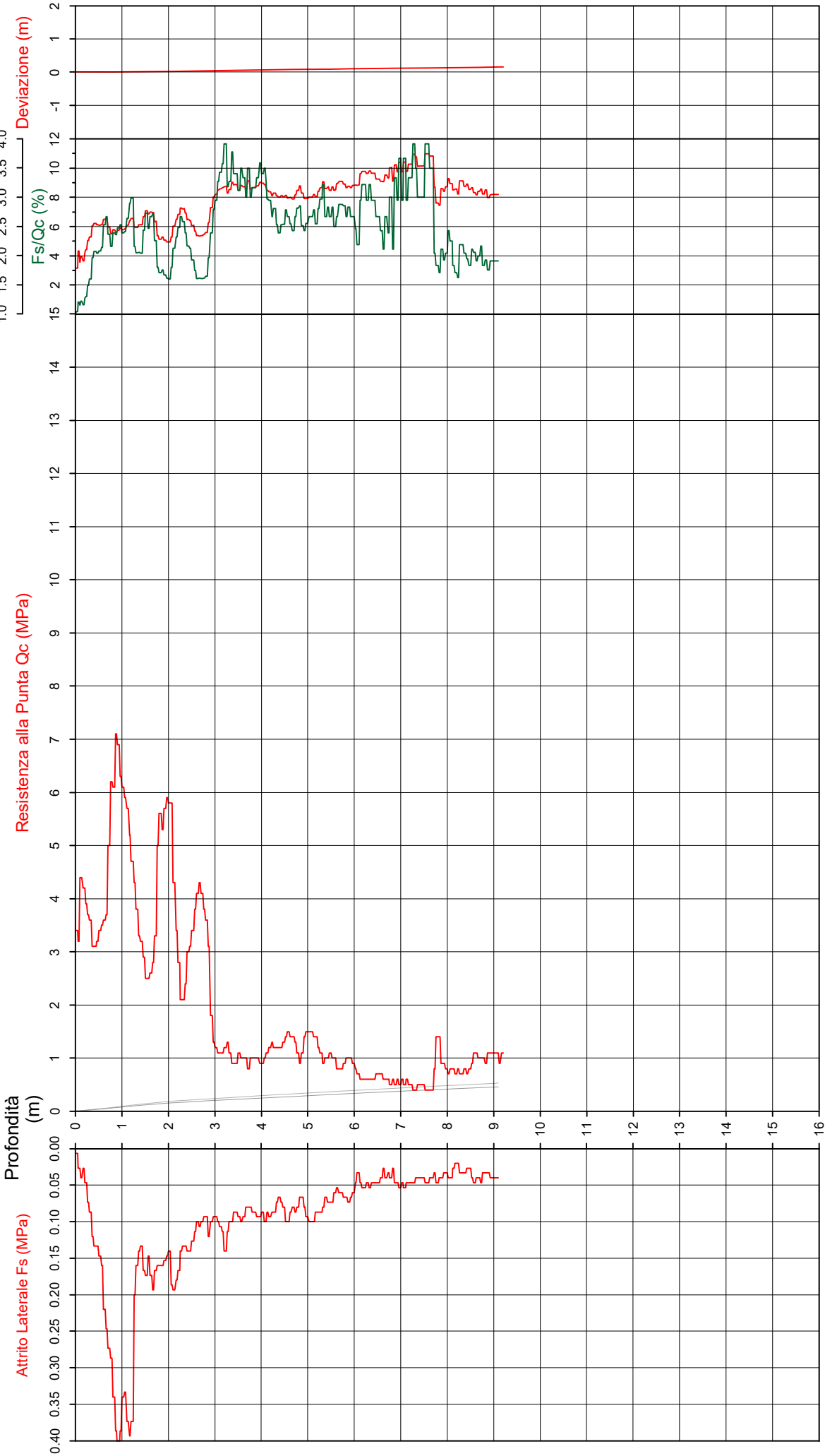
Sigla della Punta	Sunda
Azzeramento	Inizio prova
Ultimo taratura guadagno	na
Ultimo taratura per deriva termica	na

S.G.T. sas
di Van Zutphen Albert & C.
Via Matteotti 50
48012 Bagnacavallo (RA)
www.geo55.com



CPTE

1



CPTE

1

Data
Cantiere / Via
Località
Comune
Profondità falda idrica m.

6 luglio 1999
Via Alberico da Barbiano
Cooperativa ITER
Lugo
2.00



**Società di
Geologia
Territoriale**

S.G.T. sas.
di Van Zutphen Albert & C.
Via Matteotti 50
48012 Bagnacavallo (RA)
www.geo55.com

Vs9
201

qc	Qc1N kN/m ² a Boulangier 2004	fs	Fs/Qnet	lc	Litologia SGT 2004 basato su Fr vs Qc1N	H	Litologia grafica	Falda idrica	Addensamento (Sabbia) Consistenza (Argilla)	Densità Relativa Tatsuoka 1990 %	Angolo Attrito Kulhawy & Mayne 1990	Coesione non drenato Cu Benassi daN/cm ²	OCR Marchi / SGT	Modulo Edometrico M Benassi daN/cm ²	Velocità Vs Robertson & Cabal 2009 m/sec
daN/cm ²		daN/cm ²	%	SGT 2004		m									
38.5	65.5	0.40	1.0	2.01	sabbia-sabbia limosa	0.30			Mediamente Addensata	53.0	43.6	.	.	126.2	152
33.3	56.6	1.37	4.1	2.77	limo argilloso-argilla limosa	0.60			Semi solida (Molto duro)	.	.	1.44	89.22	192.2	229
54.8	93.2	3.25	6.0	2.90	terreni duri a grana fine	1.30			fortemente sovraconsolidato	.	.	1.81	48.09	308.6	317
29.4	50.0	1.61	5.7	3.00	argilla-argilla limosa	1.70			Solida-plastica (Duro)	.	.	1.35	26.70	166.3	249
49.8	74.3	1.64	3.5	2.59	sabbia limosa-limo sabbioso	2.20		H2O	Mediamente Addensata	57.2	38.6	.	.	289.5	248
23.9	38.7	1.42	6.1	3.13	argilla-argilla limosa	2.40			Solida-plastica (Duro)	.	.	1.20	12.59	134.2	243
34.1	51.4	1.27	3.9	2.75	limo argilloso-argilla limosa	2.60			Semi solida (Molto duro)	.	.	1.46	15.66	197.7	228
37.0	53.9	1.01	2.9	2.57	sabbia limosa-limo sabbioso	2.90			Mediamente Addensata	46.6	36.7	.	.	210.2	212
12.4	20.0	1.08	9.4	3.59	argilla-argilla limosa	3.30			Plastica	.	.	0.77	6.46	64.3	229
9.7	15.1	0.90	10.1	3.72	argilla-argilla limosa	4.10			Molle-plastica (Soffice)	.	.	0.64	3.80	49.0	219
13.0	18.0	0.85	7.1	3.43	argilla-argilla limosa	5.20			Plastica	.	.	0.80	3.83	71.6	210
10.4	13.7	0.74	8.0	3.58	argilla-argilla limosa	5.60			Plastica	.	.	0.67	3.37	56.2	204
9.0	11.5	0.64	8.1	3.65	argilla-argilla limosa	6.00			Molle-plastica (Soffice)	.	.	0.60	2.25	48.5	195
6.0	7.3	0.45	9.7	3.88	argilla-argilla limosa	7.20			Molle-plastica (Soffice)	.	.	0.43	1.89	48.7	175
4.4	5.1	0.43	14.6	4.27	argilla-argilla limosa	7.70			Fluido-plastica (Molto Soffice)	.	.	0.33	1.03	34.3	178
11.3	12.5	0.41	4.4	3.25	argilla-argilla limosa	7.90			Plastica	.	.	0.72	2.62	65.1	170
7.7	8.3	0.31	5.0	3.45	argilla-argilla limosa	8.50			Molle-plastica (Soffice)	.	.	0.53	1.83	43.8	152
10.5	10.9	0.39	4.5	3.31	argilla-argilla limosa				Plastica	.	.	0.68	2.11	60.2	167

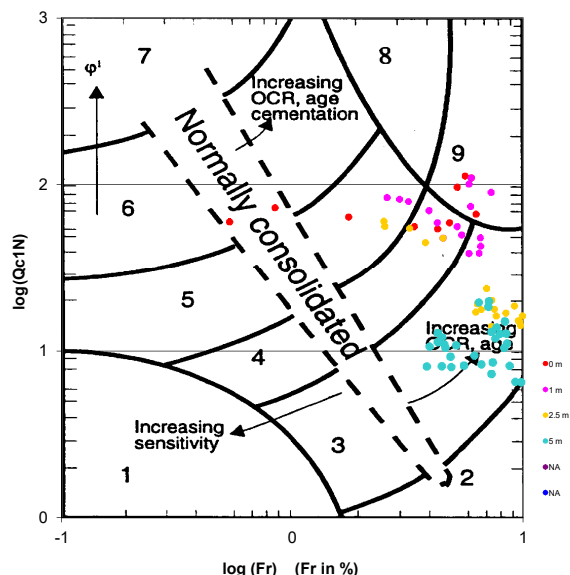
Comune Lugo
Via Via Alberico da Barbiano
Localita' Cooperativa ITER
Committente Montini
Data 06-lug-99

Numero prova 1
Quota falda 2.00

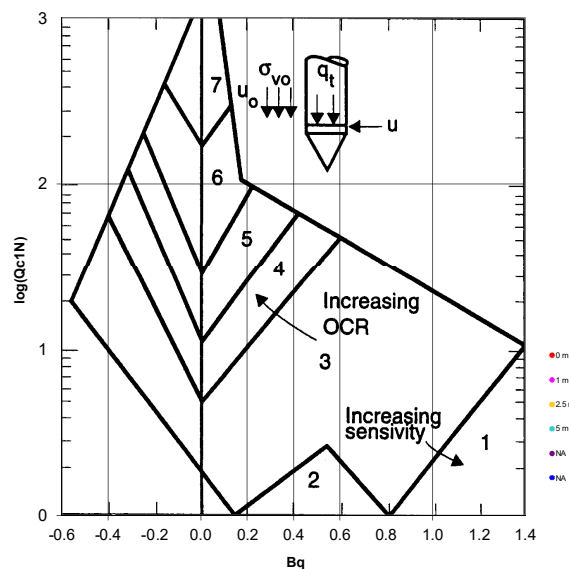


S.G.T. sas.
di Van Zutphen Albert & C.
Via Matteotti 50
48012 Bagnacavallo (RA)
www.geo55.com

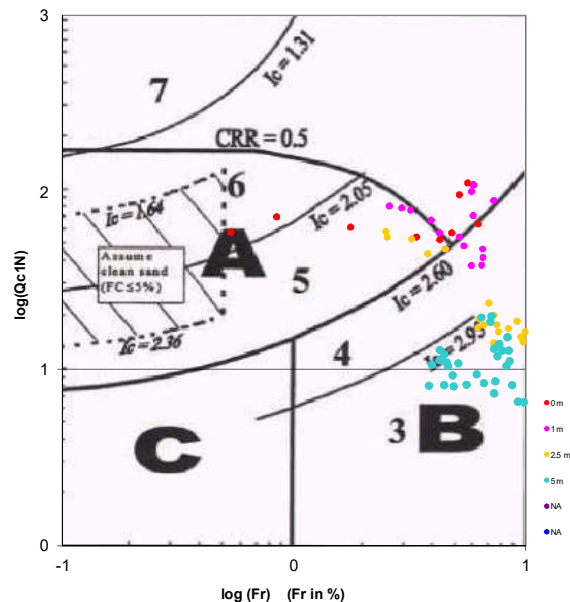
Cross-plot Qc1N verso Fr
(Robertson 1990)



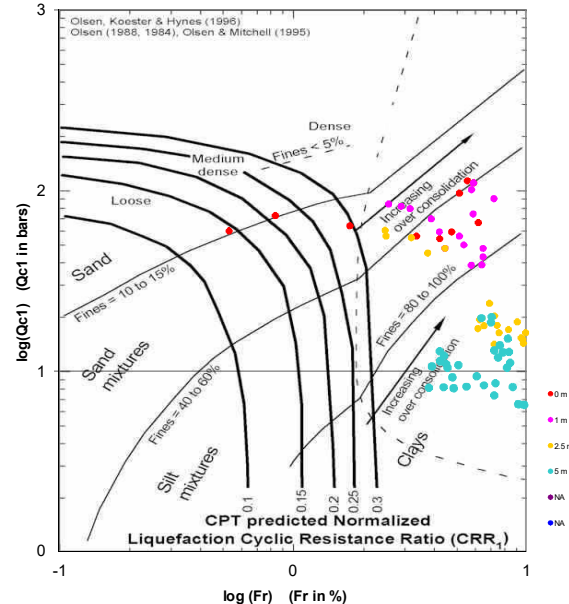
Cross-plot Qc1N verso Bq
(Robertson 1990)



Cross-plot Qc1N verso Fr
per la verifica della liquefazione
secondo Robertson 1996



Cross-plot Qc1N verso Fr
per la verifica della liquefazione
secondo Olsen 1996



Litotipo secondo Robertson 1990

Zone	Tipo di comportamento
9	Terreni molto duri a grana fine
8	Sabbia molto densa e sabbia argillosa
7	Sabbia ghiaiosa – sabbia densa
6	Sabbia – sabbia limosa
5	Sabbia limosa – limo sabbioso
4	Limo argilloso – argilla limosa
3	Argilla limoso – argilla
2	Torba
1	Terreni fini sensibili

Potenziale di liquefacibilità

Zone A	Liquefazione ciclica possibile - dipendente da ampiezza e tempo del carico ciclico.
Zone B	Liquefazione improbabile.
Zone C	Liquefazione fluida e liquefazione ciclica possibile - dipendente da plasticità e sensibilità, da ampiezza e tempo del carico ciclico.

Comune
Via
Localita'
Committente
Data

Lugo
Via Alberico da Barbiano
Cooperativa ITER
Montini
06-lug-99

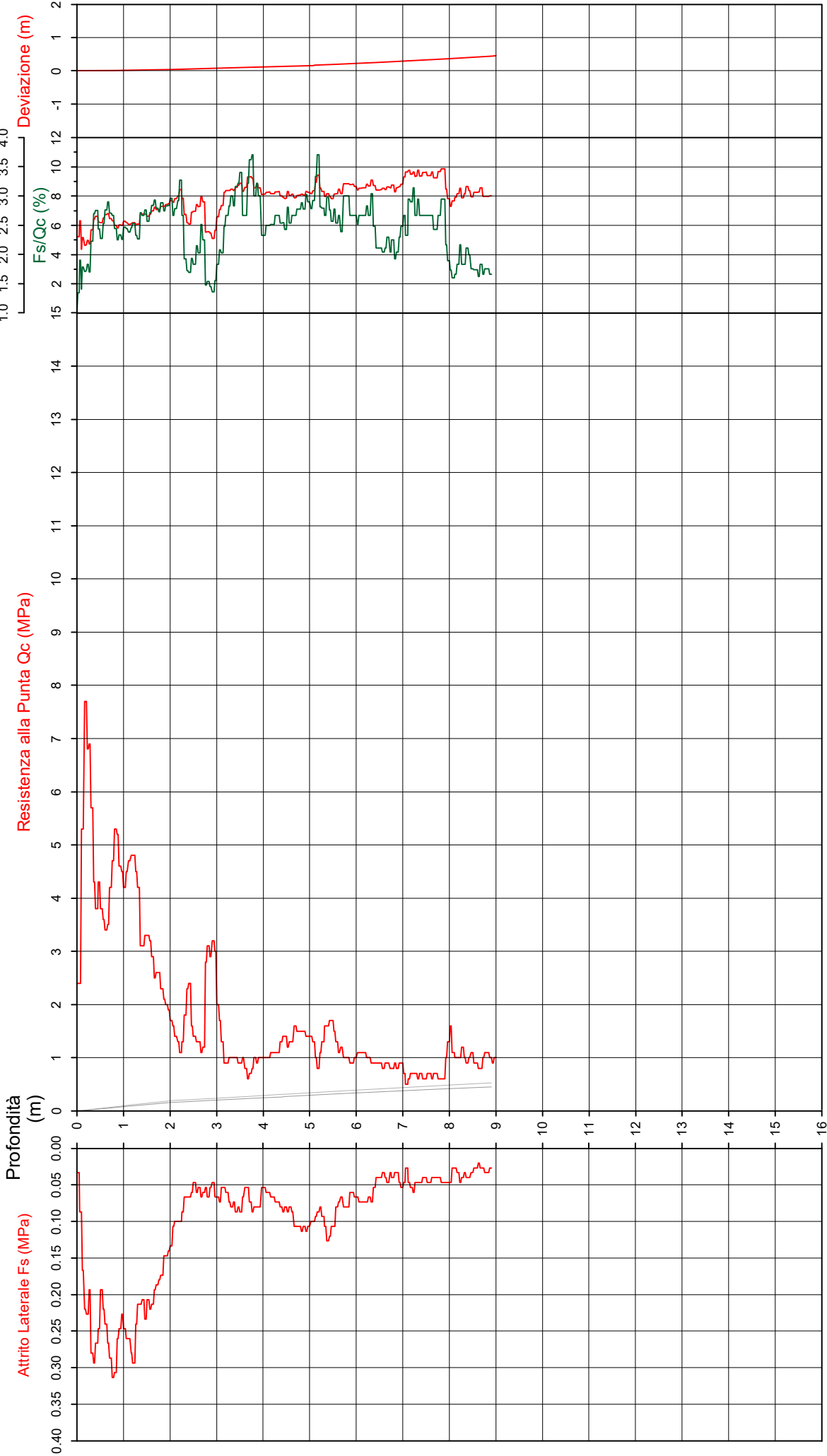
Falda	2.00 m			
Sigla della Punta	Sunda			
Azzeramento	Inizio prova			
Ultimo taratura guadagno	na			
Ultimo taratura per deriva termica	na			



S.G.T. sas
di Van Zutphen Albert & C.
Via Matteotti 50
48012 Bagnacavallo (RA)
www.geo55.com

CPTE

2



CPTE

2

Data
Cantiere / Via
Località
Comune
Profondità falda idrica m.

6 luglio 1999
Via Alberico da Barbiano
Cooperativa ITER
Lugo
2.00



**Società di
Geologia
Territoriale**

S.G.T. sas.
di Van Zutphen Albert & C.
Via Matteotti 50
48012 Bagnacavallo (RA)
www.geo55.com

Vs9
201

qc	Qc1N kN/m ² a Boulangier 2004	fs	Fs/Qnet	lc	Litologia SGT 2004 basato su Fr vs Qc1N	H	Litologia grafica	Falda idrica	Addensamento (Sabbia) Consistenza (Argilla)	Densità Relativa Tatsuoka 1990 %	Angolo Attrito φ Kulhawy & Mayne 1990	Coesione non drenato Cu Benassi daN/cm ²	OCR Marchi / SGT	Modulo Edometrico M Benassi daN/cm ²	Velocità Vs Robertson & Cabal 2009 m/sec
daN/cm ²		daN/cm ²	%	SGT 2004		m									
54.5	92.6	1.63	2.9	2.44	sabbia limosa-limo sabbioso	0.30			Mediamente Addensata	64.5	45.0	.	.	308.7	228
44.0	74.7	2.60	6.0	2.95	terreni duri a grana fine	1.30			fortemente sovraconsolidato	.	.	1.65	66.88	247.4	295
28.9	49.1	1.97	7.0	3.16	argilla-argilla limosa	1.90			Solido-plastica (Duro)	.	.	1.34	24.95	159.5	272
15.3	26.0	1.11	7.6	3.38	argilla-argilla limosa	2.30		H2O	Plastica	.	.	0.90	10.53	83.4	225
20.0	32.8	0.63	3.3	2.80	limo argilloso-argilla limosa	2.50			Solido-plastica (Duro)	.	.	1.07	10.87	116.7	180
12.7	21.6	0.57	4.7	3.12	argilla-argilla limosa	2.70			Plastica	.	.	0.78	6.56	72.8	174
24.7	37.5	0.60	2.9	2.65	limo argilloso-argilla limosa	3.10			Solido-plastica (Duro)	.	.	1.22	10.18	137.1	180
9.2	14.7	0.72	8.7	3.61	argilla-argilla limosa	3.90			Molle-plastica (Soffice)	.	.	0.61	4.31	48.7	198
12.7	18.0	0.85	7.1	3.44	argilla-argilla limosa	5.10			Plastica	.	.	0.78	3.42	70.1	208
8.8	12.0	0.89	11.6	3.88	argilla-argilla limosa	5.20			Molle-plastica (Soffice)	.	.	0.59	2.72	41.4	225
13.4	17.4	0.93	7.6	3.49	argilla-argilla limosa	5.80			Plastica	.	.	0.82	3.59	73.3	219
10.2	12.8	0.69	7.6	3.58	argilla-argilla limosa	6.30			Plastica	.	.	0.66	2.57	55.6	200
8.7	10.5	0.43	5.8	3.46	argilla-argilla limosa	7.00			Molle-plastica (Soffice)	.	.	0.58	2.29	49.0	168
6.4	7.4	0.44	8.8	3.83	argilla-argilla limosa	7.90			Molle-plastica (Soffice)	.	.	0.46	1.36	50.3	175
10.4	11.1	0.34	3.9	3.22	argilla-argilla limosa				Plastica	.	.	0.67	2.52	60.3	157

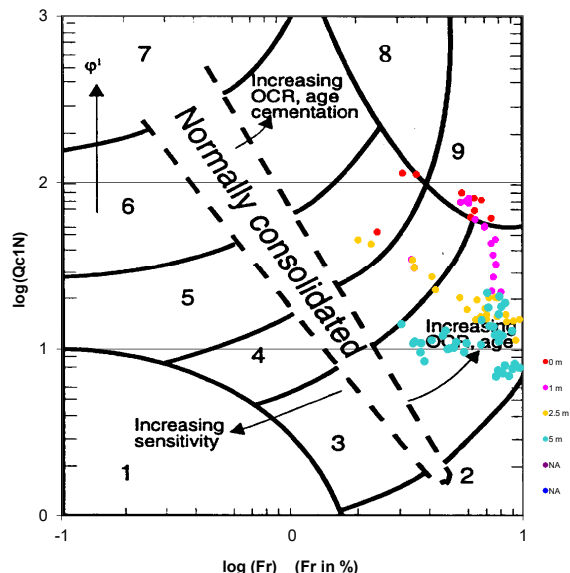
Comune Lugo
Via Via Alberico da Barbiano
Localita' Cooperativa ITER
Committente Montini
Data 06-lug-99

Numero prova 2
Quota falda 2.00

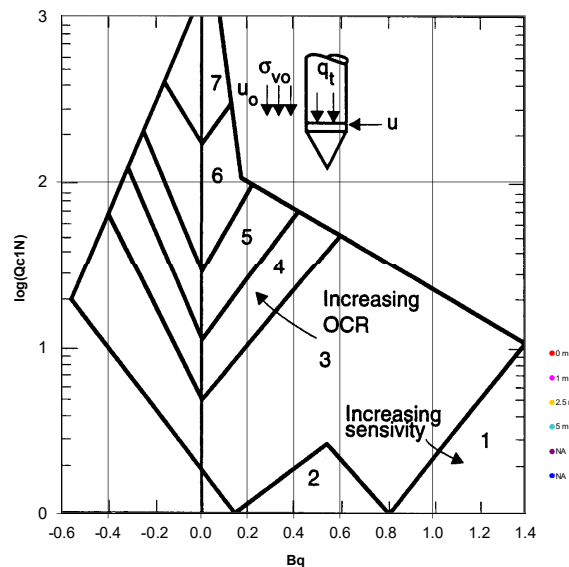


S.G.T. sas.
di Van Zutphen Albert & C.
Via Matteotti 50
48012 Bagnacavallo (RA)
www.geo55.com

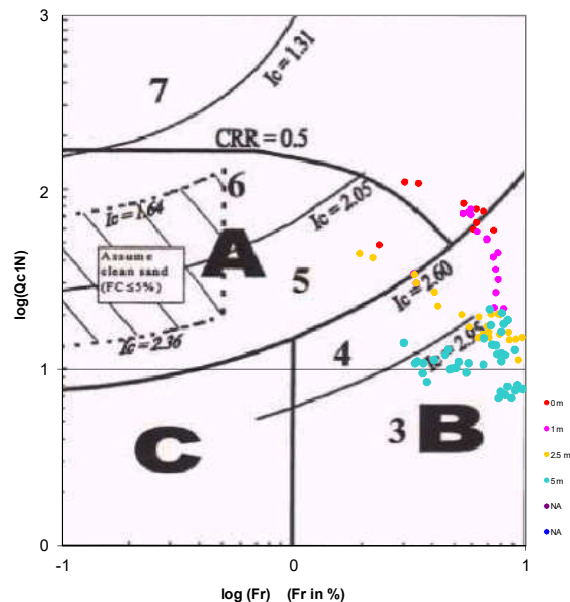
Cross-plot Qc1N verso Fr
(Robertson 1990)



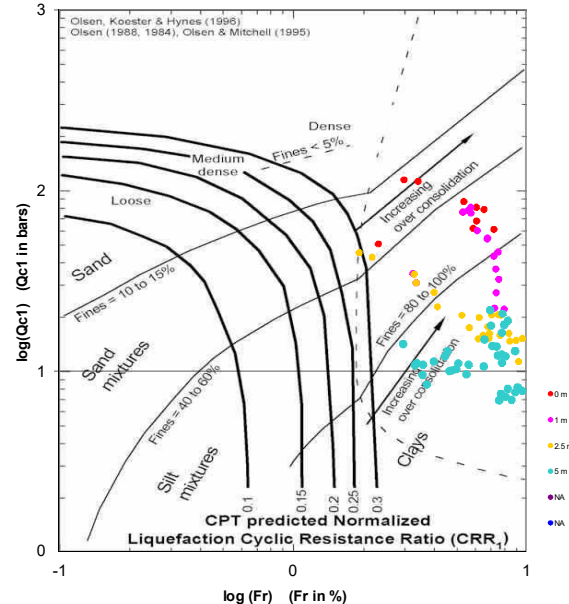
Cross-plot Qc1N verso Bq
(Robertson 1990)



Cross-plot Qc1N verso Fr
per la verifica della liquefazione
secondo Robertson 1996



Cross-plot Qc1N verso Fr
per la verifica della liquefazione
secondo Olsen 1996



Litotipo secondo Robertson 1990

Zone	Tipo di comportamento
9	Terreni molto duri a grana fine
8	Sabbia molto densa e sabbia argillosa
7	Sabbia ghiaiosa – sabbia densa
6	Sabbia – sabbia limosa
5	Sabbia limosa – limo sabbioso
4	Limo argilloso – argilla limosa
3	Argilla limoso – argilla
2	Torba
1	Terreni fini sensibili

Potenziale di liquefacibilità

Zone A	Liquefazione ciclica possibile - dipendente da ampiezza e tempo del carico ciclico.
Zone B	Liquefazione improbabile.
Zone C	Liquefazione fluida e liquefazione ciclica possibile - dipendente da plasticità e sensibilità, da ampiezza e tempo del carico ciclico.

Comune
Via
Localita'
Committente
Data

Lugo
Via Alberico da Barbiano 8
Lugo
Montini di Garotti Francesco & C s
05-oct-17

Falda
foro chiuso a 2.50m

Sigla della Punta
Azzeramento
Ultimo taratura guadagno
Ultimo taratura per deriva termica

Tecnopenta 010104
Inizio prova
28-mar-2017
28-mar-2017

CPTU

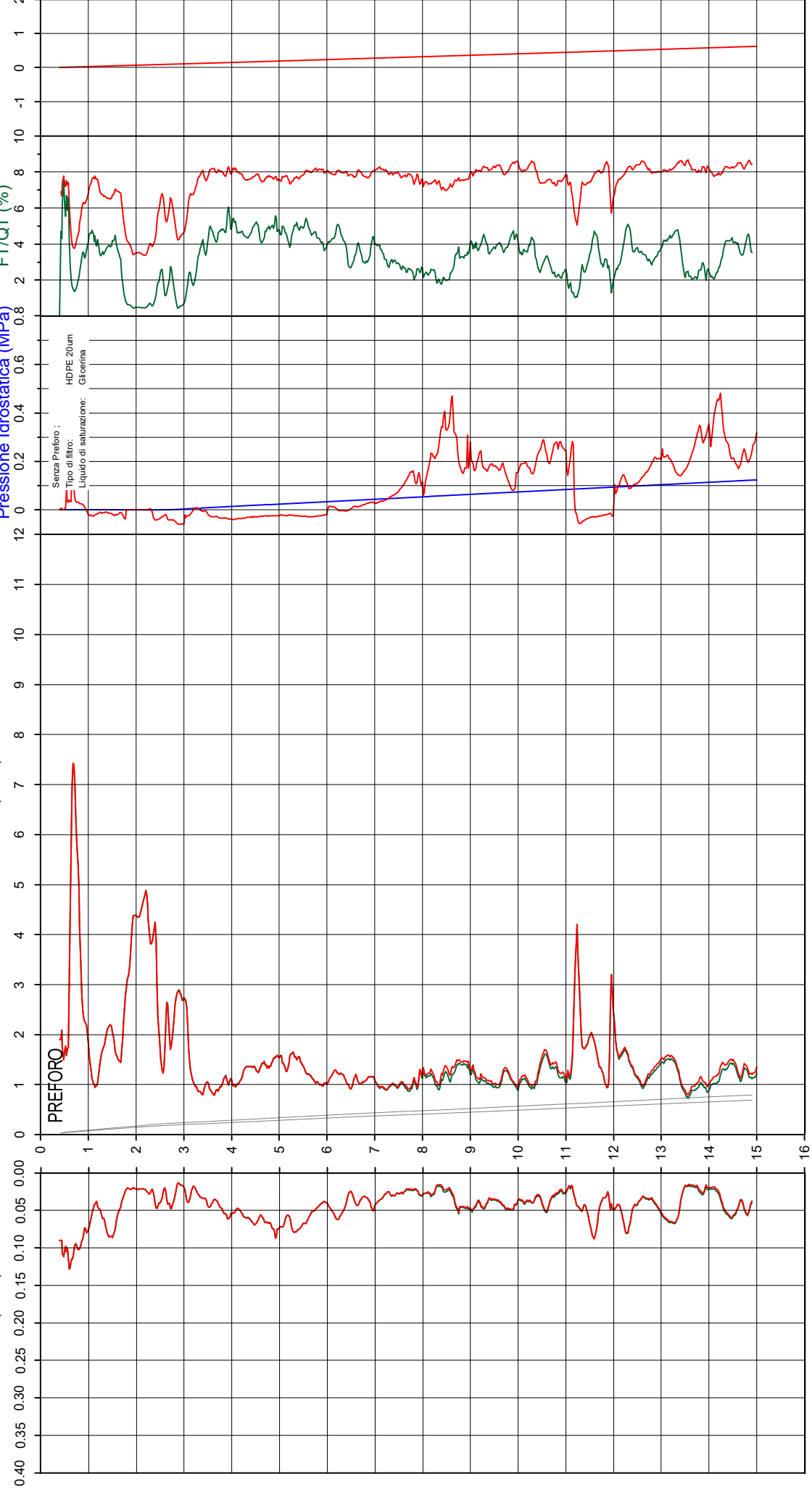
3

Profondità
(m)

Attrito Laterale corretto FT (MPa)
Attrito Laterale Fs (MPa)

Resistenza alla Punta corretta QT (MPa)
Resistenza alla Punta Qc (MPa)

Pressione Interstiziale
Penetrometrica (MPa)
Pressione Idrostatica (MPa)
Indice di Comportamento Ic
FT/QT (%)
Deviazione (m)



CPTU

3

Data
Cantiere / Via
Località
Comune
Profondità falda idrica m.

5 ottobre 2017
Via Alberico da Barbiano 8
Lugo
Lugo
2.60 foro chiuso a 2.50m



**Società di
Geologia
Territoriale**

S.G.T. sas.
di Van Zutphen Albert & C.
Via Matteotti 50
48012 Bagnacavallo (RA)
www.geo55.com

Vs 0 - 15
166

qt	Qc1N kurs a Boullanger 2004	ft	FT/Qnet	lc	Litologia SGT 2004 basato su Fr vs Qc1N	H	Litologia grafica	Falda idrica	Addensamento (Sabbia) Consistenza (Argilla)	Densità Relativa Tatsuoka 1990 %	Angolo Attrito Kulhawy & Mayne 1990	Coesione non drenato Cu Benassi daN/cm ²	OCR Marchi / SGT	Modulo Edometrico M Benassi daN/cm ²	Velocità Vs Robertson & Cabal 2009 m/sec
18.8	31.9	1.05	5.8	3.14	argilla-argilla limosa	0.60			Plastica	.	.	1.03	43.73	106.1	218
61.6	104.7	1.06	1.8	2.12	sabbia limosa-limo sabbioso	0.80			Addensata	68.5	42.1	.	.	240.4	207
25.8	43.8	0.84	3.4	2.73	limo argilloso-argilla limosa	1.00			Solido-plastica (Duro)	.	.	1.25	41.02	150.1	196
11.3	19.3	0.50	4.5	3.14	argilla-argilla limosa	1.20			Plastica	.	.	0.72	14.21	65.3	167
17.6	30.0	0.66	3.8	2.90	limo argilloso-argilla limosa	1.70			Plastica	.	.	0.99	12.80	102.3	179
37.9	58.9	0.26	0.8	1.97	sabbia-sabbia limosa	2.50			Mediamente Addensata	49.5	37.2	.	.	119.4	145
14.2	23.5	0.28	2.1	2.67	limo argilloso-argilla limosa	2.60			Plastica	.	.	0.85	6.98	60.7	139
23.3	35.8	0.37	1.6	2.42	sabbia limosa-limo sabbioso	2.70			Sciolti	33.1	34.4	.	.	87.0	153
19.8	30.8	0.43	2.3	2.62	limo argilloso-argilla limosa	2.80			Plastica	.	.	1.06	9.27	89.6	159
26.3	38.9	0.23	1.0	2.18	sabbia limosa-limo sabbioso	3.10			Mediamente Addensata	35.8	34.9	.	.	84.8	139
10.8	17.3	0.25	2.5	2.85	limo argilloso-argilla limosa	3.30			Plastica	.	.	0.69	5.30	52.6	134
9.0	14.2	0.39	4.6	3.24	argilla-argilla limosa	3.80			Molle-plastica (Soffice)	.	.	0.60	3.37	51.7	156
10.5	15.8	0.55	5.6	3.33	argilla-argilla limosa	4.10			Plastica	.	.	0.68	4.22	59.5	178
13.9	18.9	0.66	5.1	3.21	argilla-argilla limosa	5.50			Plastica	.	.	0.84	3.45	79.3	190
11.1	13.7	0.45	4.5	3.23	argilla-argilla limosa	7.00			Plastica	.	.	0.71	3.39	64.0	169
9.8	11.2	0.28	3.3	3.13	argilla-argilla limosa	7.90			Molle-plastica (Soffice)	.	.	0.64	2.36	57.4	146
12.3	13.2	0.25	2.3	2.91	limo argilloso-argilla limosa	8.70			Plastica	.	.	0.76	2.67	56.2	143
11.8	11.8	0.41	4.1	3.24	argilla-argilla limosa	10.40			Plastica	.	.	0.74	2.92	68.0	170

CPTU

3

Data
Cantiere / Via
Località
Comune
Profondità falda idrica m.

5 ottobre 2017
Via Alberico da Barbiano 8
Lugo
Lugo
2.60
foro chiuso a 2.50m



**Società di
Geologia
Territoriale**

S.G.T. sas.
di Van Zutphen Albert & C.
Via Matteotti 50
48012 Bagnacavallo (RA)
www.geo55.com

Vs 0 - 15
166

qt	Qc1N kursis o Boulanger 2004	ft	FT/Qnet	lc	Litologia SGT 2004 basato su Fr vs Qc1N	H	Litologia grafica	Falda idrica	Addensamento (Sabbia) Consistenza (Argilla)	Densità Relativa Tatsuoka 1990 %	Angolo Attrito Kulhawy & Mayne 1990	Coesione non drenato Cu Benassi daN/cm ²	OCR Marchi / SGT	Modulo Edometrico M Benassi daN/cm ²	Velocità Vs Robertson & Cabal 2009 m/sec
15.1	14.2	0.40	3.0	3.01	argilla-argilla limosa	10.70			Plastica	.	.	0.89	2.53	87.6	169
12.7	11.8	0.24	2.3	2.95	limo argilloso-argilla limosa	11.10			Plastica	.	.	0.78	2.52	57.7	147
28.5	26.4	0.35	1.4	2.48	sabbia limosa-limo sabbioso	11.30			Sciolti	23.0	33.3	.	.	99.6	168
16.8	15.1	0.57	3.9	3.12	argilla-argilla limosa	11.80			Plastica	.	.	0.95	2.99	97.4	190
9.9	8.6	0.30	3.8	3.30	argilla-argilla limosa	11.90			Molle-plastica (Soffice)	.	.	0.65	1.62	57.3	156
21.9	19.4	0.45	2.4	2.81	limo argilloso-argilla limosa	12.10			Solido-plastica (Duro)	.	.	1.13	4.15	104.6	181
14.8	12.8	0.57	4.5	3.26	argilla-argilla limosa	12.50			Plastica	.	.	0.88	2.58	85.4	193
10.7	9.0	0.36	4.2	3.34	argilla-argilla limosa	12.60			Plastica	.	.	0.69	1.67	61.6	167
13.7	11.4	0.49	4.3	3.27	argilla-argilla limosa	13.40			Plastica	.	.	0.83	1.60	79.2	183
9.0	7.2	0.19	2.8	3.22	argilla-argilla limosa	13.70			Molle-plastica (Soffice)	.	.	0.60	1.37	49.5	136
10.6	8.4	0.21	2.5	3.12	argilla-argilla limosa	14.10			Plastica	.	.	0.68	1.51	52.7	142
13.3	10.3	0.44	4.1	3.27	argilla-argilla limosa				Plastica	.	.	0.81	1.64	76.8	178

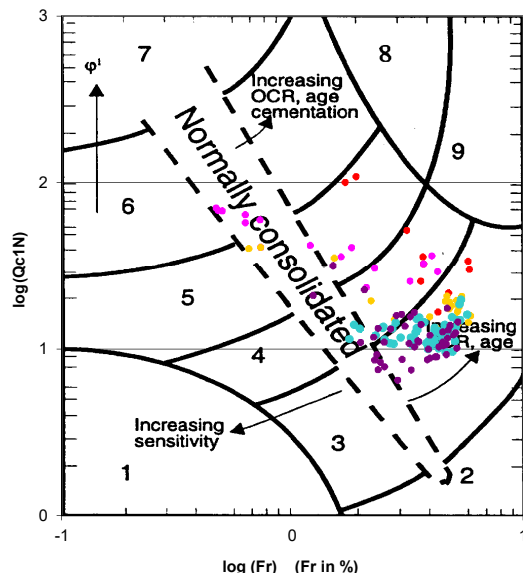
Comune Lugo
Via Via Alberico da Barbiano 8
Localita' Lugo
Committente Montini di Garotti Francesco & C snc
Data 05-ott-17

Numero prova 3
Quota falda 2.60

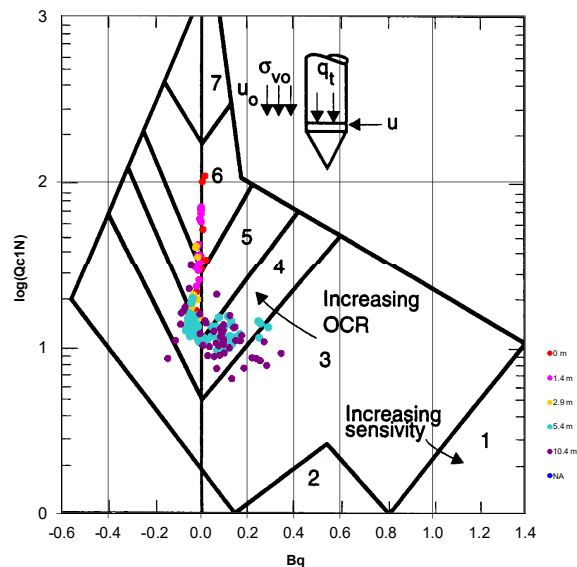


S.G.T. sas.
di Van Zutphen Albert & C.
Via Matteotti 50
48012 Bagnacavallo (RA)
www.geo55.com

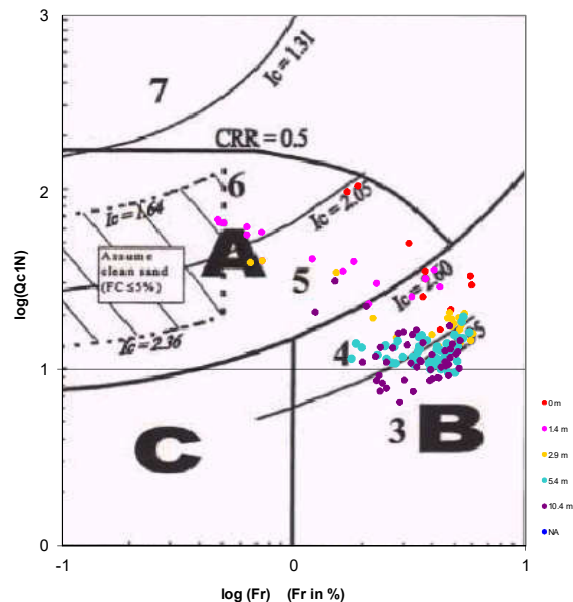
Cross-plot Qc1N verso Fr
(Robertson 1990)



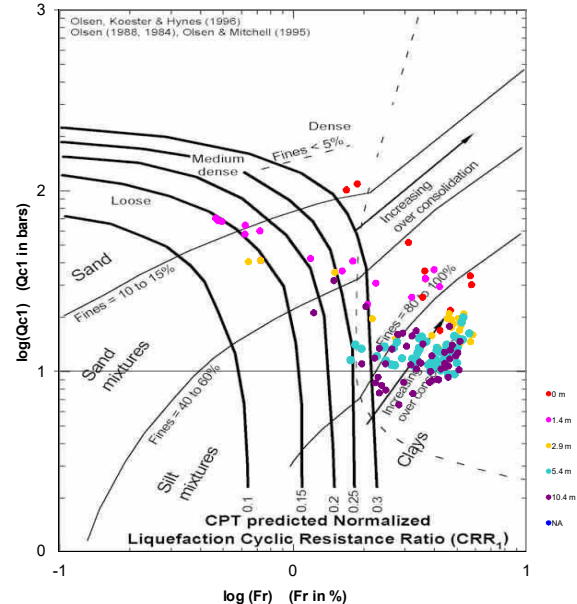
Cross-plot Qc1N verso Bq
(Robertson 1990)



Cross-plot Qc1N verso Fr
per la verifica della liquefazione
secondo Robertson 1996



Cross-plot Qc1N verso Fr
per la verifica della liquefazione
secondo Olsen 1996



Litotipo secondo Robertson 1990

Zone	Tipo di comportamento
9	Terreni molto duri a grana fine
8	Sabbia molto densa e sabbia argillosa
7	Sabbia ghiaiosa – sabbia densa
6	Sabbia – sabbia limosa
5	Sabbia limosa – limo sabbioso
4	Limo argilloso – argilla limosa
3	Argilla limoso – argilla
2	Torba
1	Terreni fini sensibili

Potenziale di liquefacibilit 

Zone A	Liquefazione ciclica possibile - dipendente da ampiezza e tempo del carico ciclico.
Zone B	Liquefazione improbabile.
Zone C	Liquefazione fluida e liquefazione ciclica possibile - dipendente da plasticit� e sensitivit�, da ampiezza e tempo del carico ciclico.

Comune

Lugo

Via Alberico di Barbiano

Localita' Lugo

CPT 1



Società di
Geologia
Territoriale

S.G.T. sas

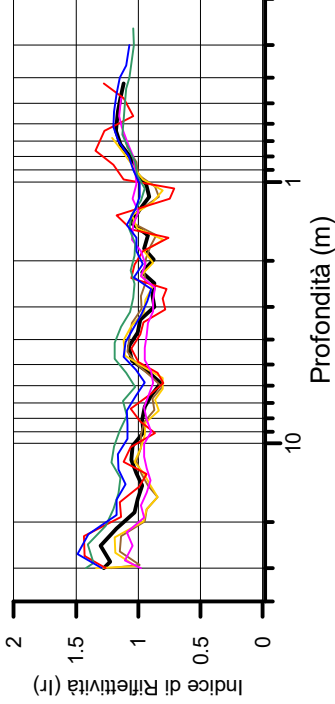
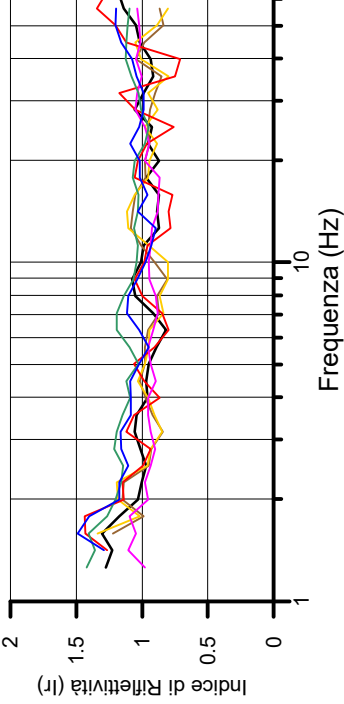
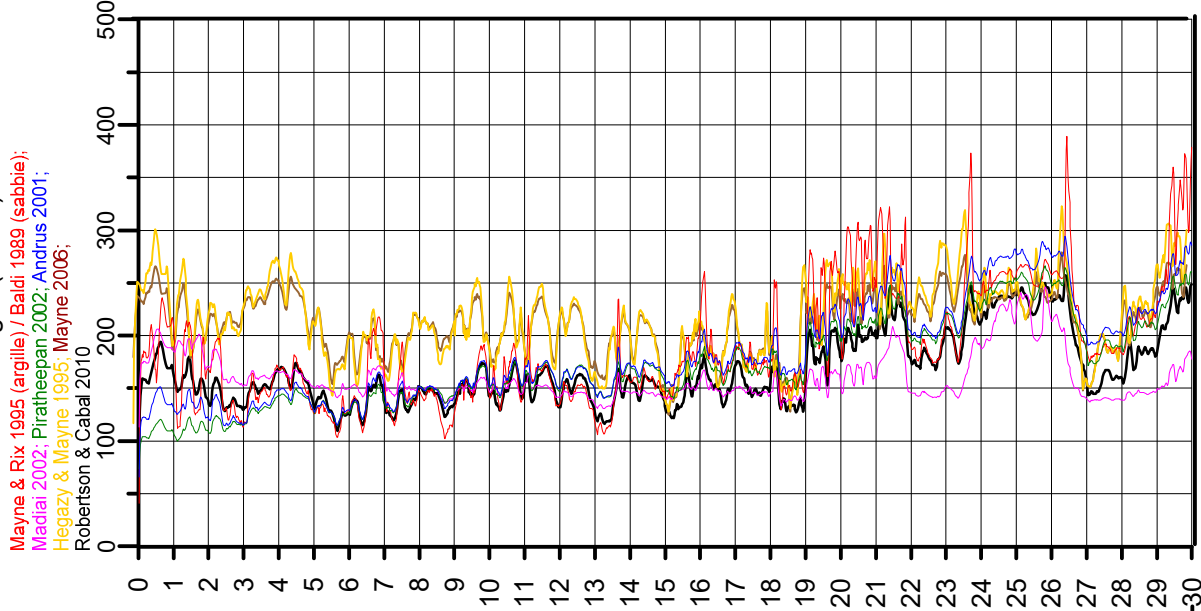
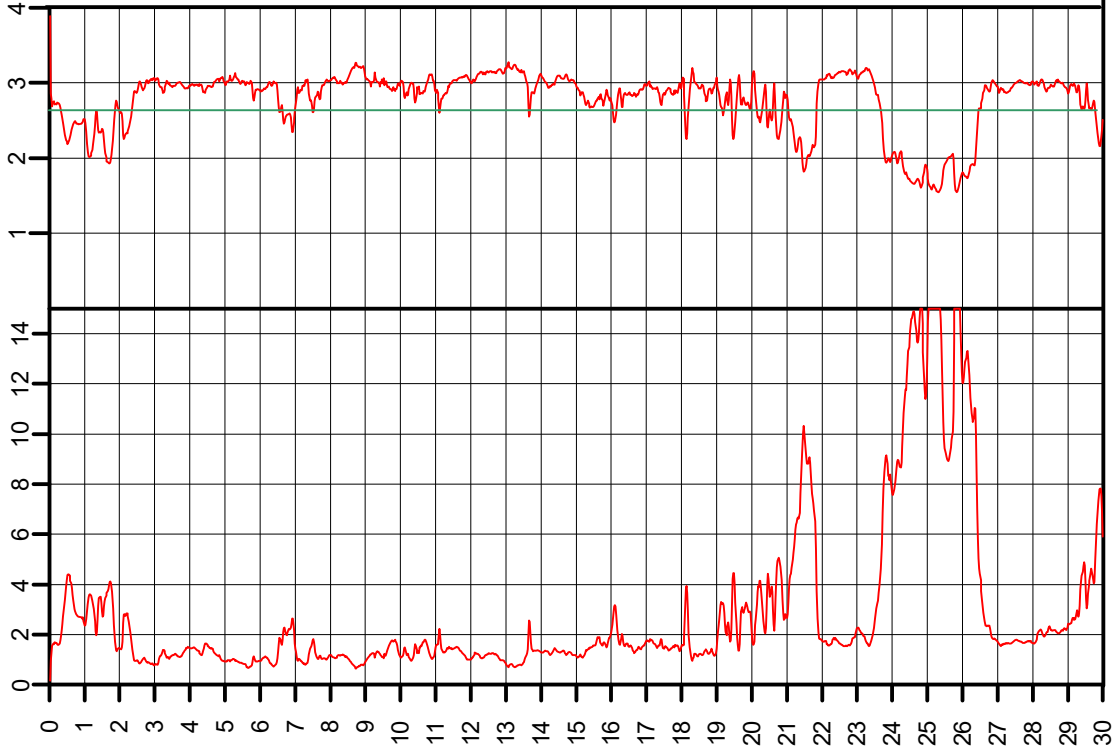
www.geo55.com

Velocità Onde di Taglio (m/sec)

Mayne & Rix 1995 (argille) / Baldi 1989 (sabbie);
Madiai 2002; Piratheeapan 2002; Andrus 2001;
Hegazy & Mayne 1995; Mayne 2006;
Robertson & Cabal 2010

Qc (MPa)

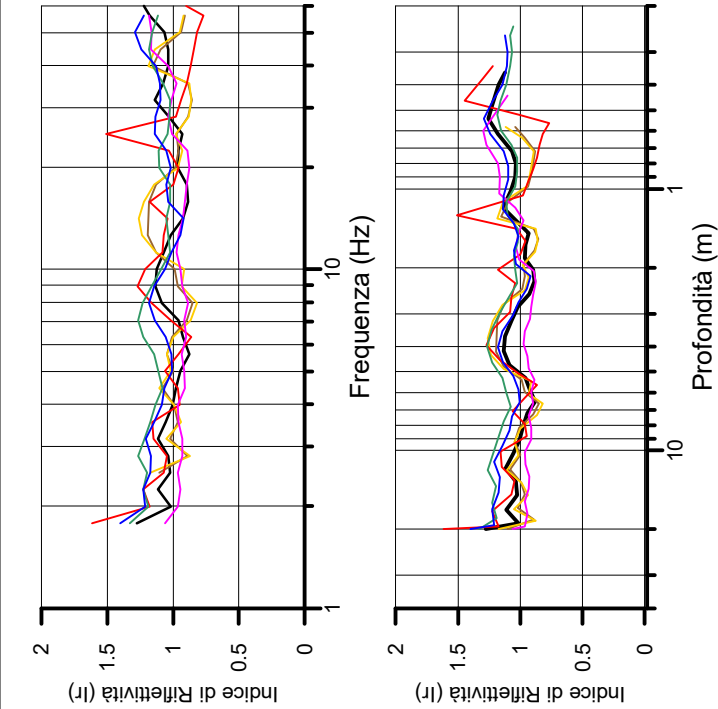
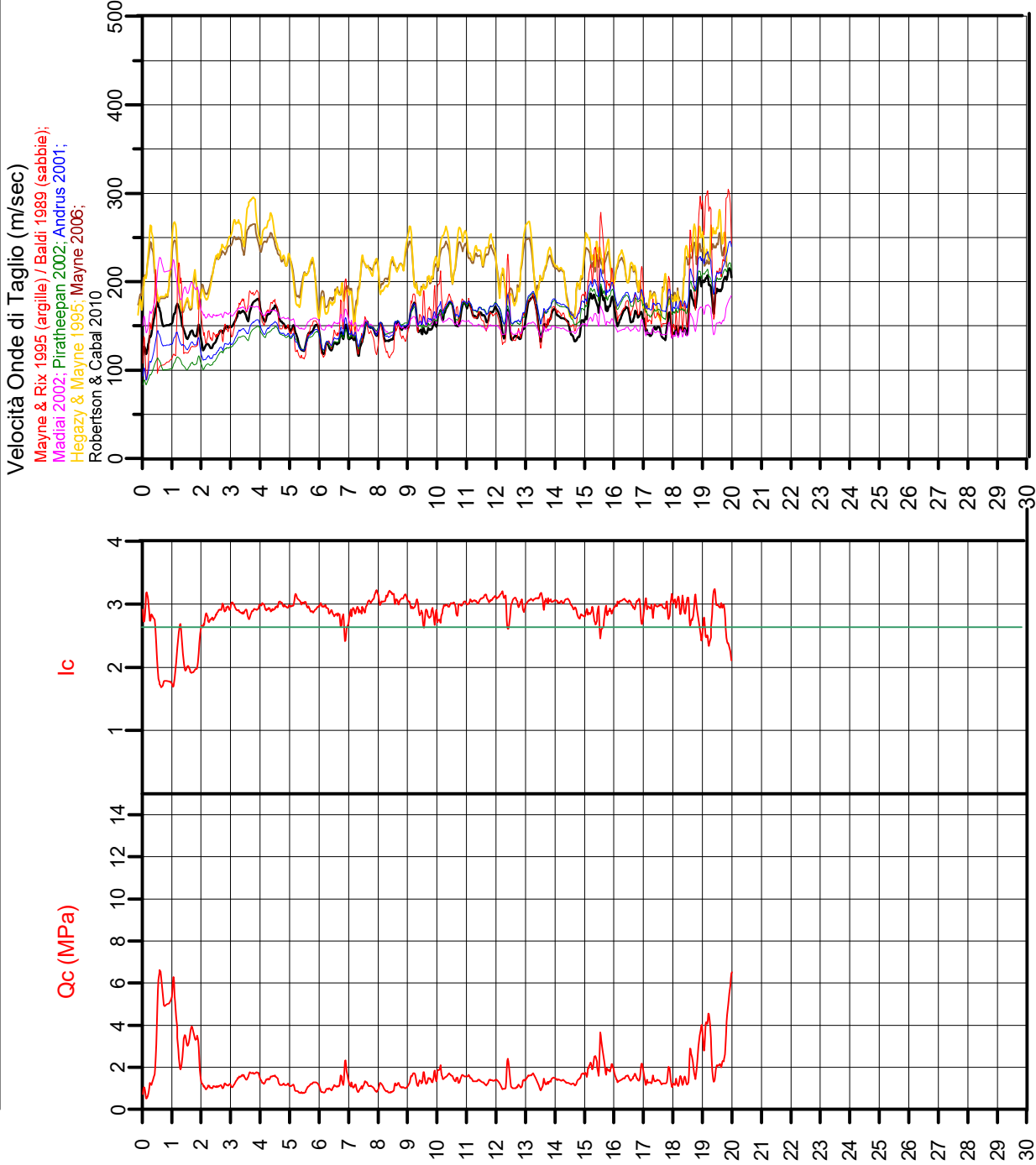
Ic



Autore	Vs30.02
Andrus et.al. 2001SF = 1	173
Piratheeapan 2002	164
Madiai 2002	158
Mayne & Rix 1995 (clays) / Baldi 1989 (sands)	174
Hegazy & Mayne 1995	208
Mayne 2006	210
Robertson Cabal 2010	162

Comune Lugo
Via Alberico di Barbiano
Localita' Lugo

CPT 2



Autore	Vs20
Andrus et.al. 2001SF = 1	155
Piratheepan 2002	148
Madiai 2002	156
Mayne & Rix 1995 (clays) / Baldi 1989 (sands)	157
Hegazy & Mayne 1995	209
Mayne 2006	211
Robertson Cabal 2010	153

VALUTAZIONE PARAMETRI SISMICI DEL SITO

CON RIFERIMENTO AL PROGETTO

SECONDO LE DGR Emilia-Romagna 630 / 2019



Ubicazione del sito

Comune
Località

Lugo
Lugo

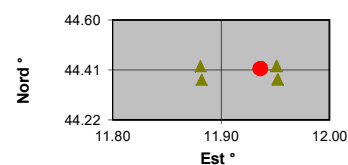
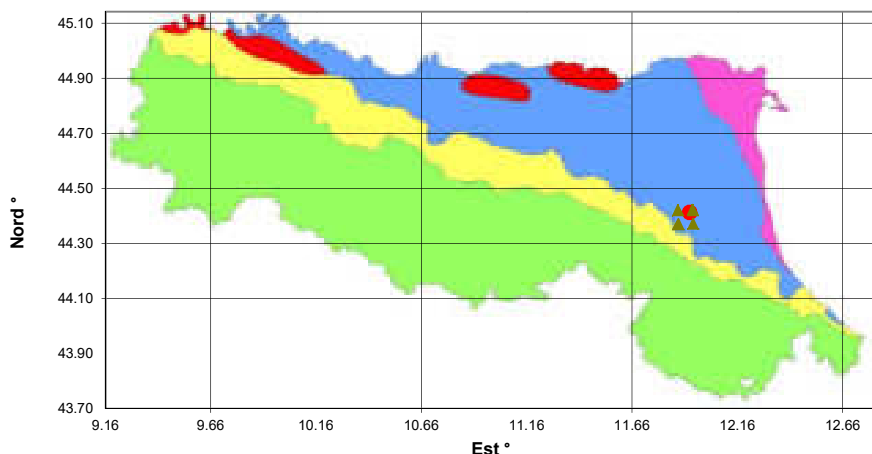
Google Earth (WSG84)

NTC2018 (ED50)

Longitudine (° decimali)
Latitudine (° decimali)

11.9351
44.4141

11.9362
44.4158



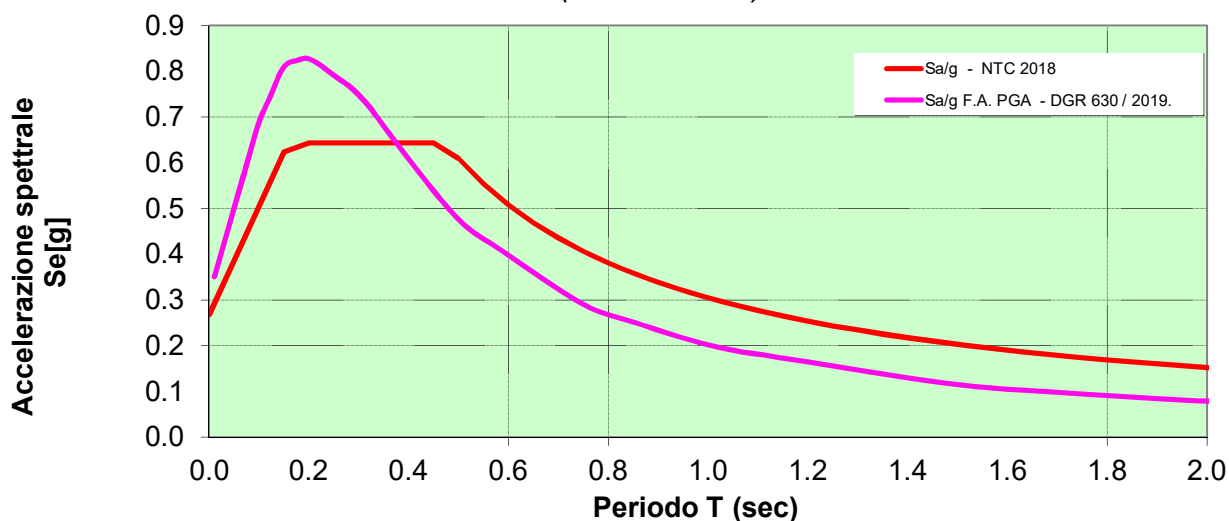
I 4 nodi del reticolo di riferimento per l'azione sismica intorno il punto di interesse

ID	Distanza al punta di interesse di (km)	Longitudine	Latitudine
17183	1.556	11.951	44.425
17182	4.476	11.881	44.424
17405	4.710	11.952	44.375
17404	6.339	11.882	44.374

Valori sismici

Accelerazione massima al bedrock sismico	0.184	a_g/g
Accelerazione massima al bedrock sismico	1.839	a_g (in g/10)
Suolo di Riferimento	Pianura 2	
Fattore di amplificazione	1.7	
Accelerazione massima al piano campagna	3.127	m/sec^2

Spettro di risposta elastico (smorzamento 5%)



VALUTAZIONE PARAMETRI SISMICI DEL SITO
CON RIFERIMENTO AL PROGETTO
SECONDO LE NTC 2018



Ubicazione del sito

Comune
Località

Lugo
Lugo

Google Earth (WGS84)

NTC2018 (ED50)

Longitudine (° decimali)

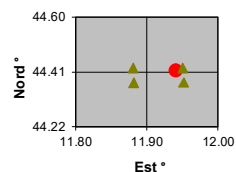
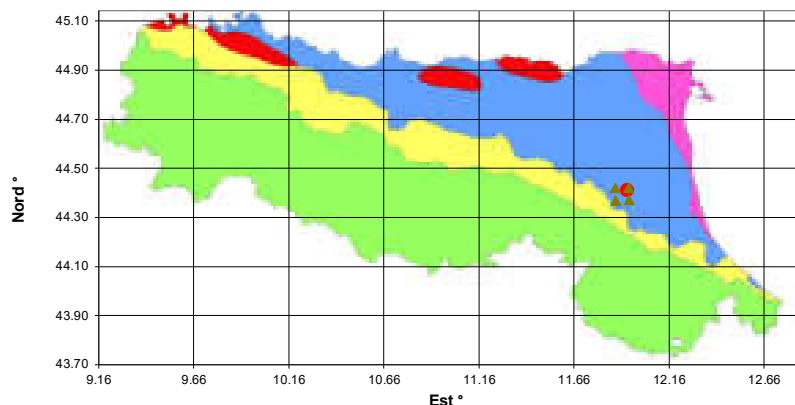
11.9395

11.9406

Latitudine (° decimali)

44.4141

44.4159



I 4 nodi del reticolo di riferimento per l'azione sismica intorno al punto di interesse

ID	Distanza al punta di interesse di (km)	Longitudine	Latitudine
17183	1.308	11.951	44.425
17405	4.630	11.952	44.375
17182	4.822	11.881	44.424
17404	6.585	11.882	44.374

Tipi di Costruzione			
1	Costruzione Temporanee e provvisorie	< = 10	50
2	Costruzioni con livelli de prestazioni ordinari	> = 50	
3	Costruzioni con livelli de prestazioni elevati	> = 100	

Classe d'uso		Coefficiente Cu	Progetto Coefficiente Cu
1	Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.	0.7	1
2	Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.	1	
3	Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.	1.5	
4	Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/1 1/2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.	2	

Periodo di riferimento per l'azione sismica $V_r = V_n * C_u = 50$ anni

Stati Limiti		Probabilità di superamento nel periodo di riferimento $V_r = 50$ anni P_v	Periodo di ritorno dell'azione sismica T_r (anni)
SLO	Stato Limite di Operatività	81%	30
SLD	Stato Limite di Danno	63%	50
SLV	Stato Limite di salvaguardia della Vita	10%	475
SLC	Stato Limite di prevenzione del Colasso	5%	975

Valori sismici Decreto Ministeriale 14-01-2018

	a_g (in g/10)	a_g/g	F_o	T_c^*
1. STATO LIMITE DI OPERATIVITA'	0.563	0.056	2.449	0.260
2. STATO LIMITE DEL DANNO	0.711	0.071	2.439	0.270
3. STATO LIMITE SALVAGUARDIA DELLA VITA	1.836	0.184	2.396	0.304
4. STATO LIMITE DI PREVENZIONE DEL COLASSO	2.386	0.239	2.400	0.313

Valori applicati	a_g (in g/10)	a_g/g	F_o	T_c^*
3. STATO LIMITE SALVAGUARDIA DELLA VITA	1.836	0.184	2.396	0.304

VALUTAZIONE DEL TIPO DI SUOLO BASATO SU CPT 1

			TIPO DI SUOLO SUGGERITO
Velocità di propagazione onde di taglio Vs (Andrus 2001)		173 m/sec	D
Velocità di propagazione onde di taglio Vs (Piratheepan 2002)		164 m/sec	D
Velocità di propagazione onde di taglio Vs (Madiat 2002)		158 m/sec	D
Velocità di propagazione onde di taglio Vs (Mayne & Rix 1995 (argille) / Baldi 1989 (sabbie))		174 m/sec	D
Velocità di propagazione onde di taglio Vs (Hegazy & Mayne 1995)		210 m/sec	C
Velocità di propagazione onde di taglio Vs (Mayne 2006)		208 m/sec	C
Velocità di propagazione onde di taglio Vs (Robertson Cabal 2009) (m/sec)		162 m/sec	D

TIPO DI SUOLO STIMATO
C

ACCELERAZIONE ED AMPLIFICAZIONE SECONDO NTC 2018

3. STATO LIMITE SALVAGUARDIA DELLA VITA Tr = 475

Accelerazione massima al substrato sismico		amax al substrato sismico	1.836 m/sec2	0.184 g
Amplificazione per tipo di suolo	C	Ss	1.43	
Amplificazione topografica		ST	1.00	
S totale		Ss * ST	1.43	
Accelerazione massima in superficie		amax in superficie	2.627 m/sec2	0.263 g

ξ (%) coefficiente di smorzamento viscoso equivalente	5	fattore η	1.00
---	---	-----------	------

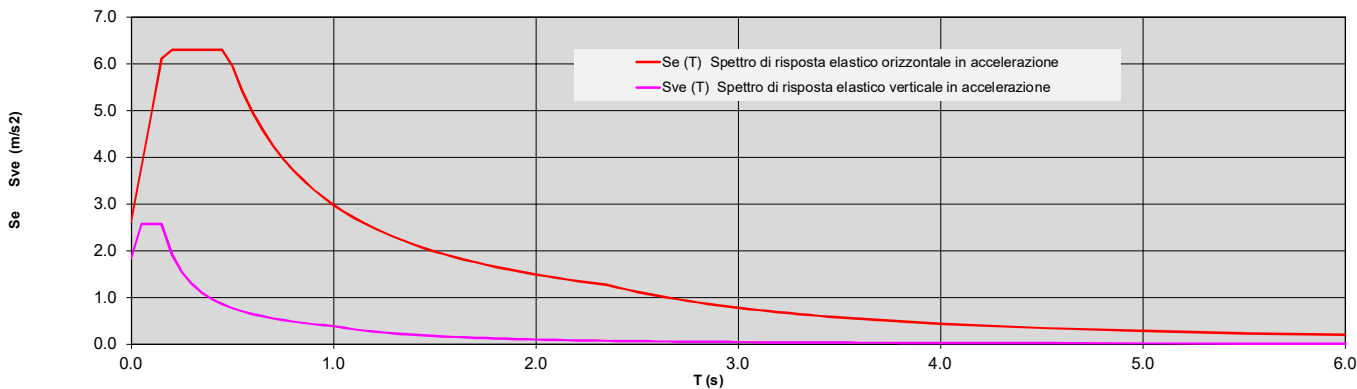
PERIODI DI SEPARAZIONI DEI RAMI DELLO SPETTRO

TIPO DI SUOLO	C	ORIZZONTALE	VERTICALE
Tb		0.16	0.05
Tc		0.47	0.15
Td		2.35	1.00
Te		6.00	
Tf		10.00	

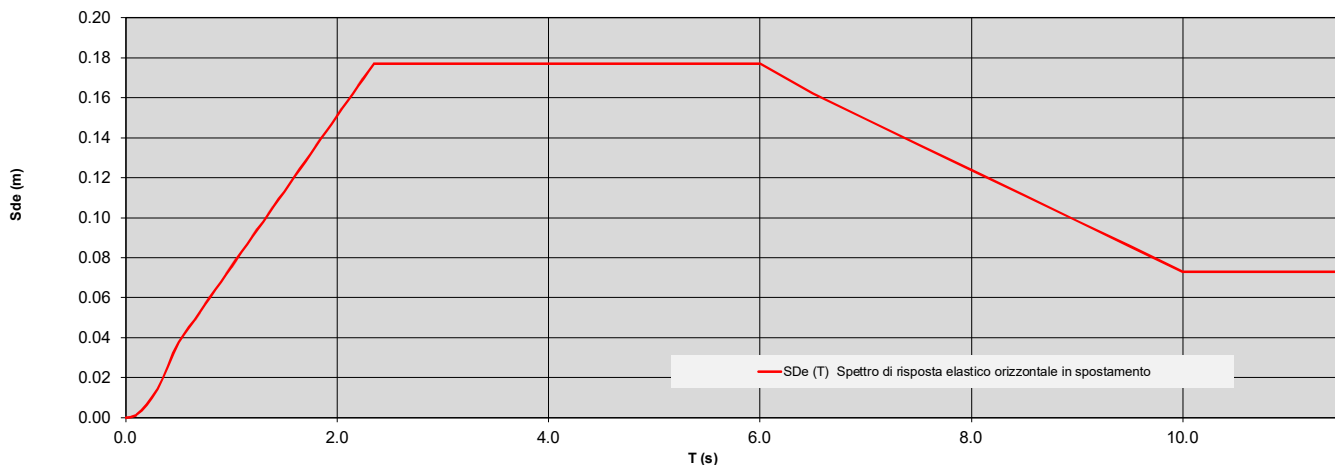
PARAMETRI DI PICCO

Accelerazione orizzontale massima	ag	2.627 m/sec²
Velocità orizzontale massima	vg	0.20 m/sec
Spostamento orizzontale massimo	dg	0.07 m

Spettro di risposta elastico allo 3. STATO LIMITE SALVAGUARDIA DELLA VITA in accelerazione (m/sec2)



Spettro di risposta elastico allo 3. STATO LIMITE SALVAGUARDIA DELLA VITA in spostamento (m)



PARAMETRI SISMICI PER CATEGORIA DEL SUOLO C

STATO LIMITE	ag / g	Fo	Tc*	SS Amplificazione Stratigrafica	ST Amplificazione Topografica	ag / g * SS * ST Accelerazione totale	Tb (sec)	Tc (sec)	Td (sec)	Te (sec)	Tf (sec)	Fondazioni e Pendii			Opere di Sostegno		
												βs Coefficiente di riduzione per as/g	Kh terreno Coefficiente sismico orizzontale	Kv terreno Coefficiente sismico verticale	βs Coefficiente di riduzione per as/g	Kh terreno Coefficiente sismico orizzontale	Kv terreno Coefficiente sismico verticale
di Operatività	0.056	2.449	0.260	1.50	1.00	0.084	0.13	0.39	1.83	6.00	10.00	0.20	0.017	0.008	0.18	0.015	0.008
del Danno	0.071	2.439	0.270	1.50	1.00	0.107	0.15	0.44	1.88	6.00	10.00	0.20	0.021	0.011	0.24	0.026	0.013
Salvaguardia della Vita	0.184	2.396	0.304	1.44	1.00	0.264	0.16	0.47	2.33	6.00	10.00	0.24	0.063	0.032	0.31	0.082	0.041
Prevenzione del Colasso	0.239	2.400	0.313	1.36	1.00	0.324	0.16	0.48	2.55	6.00	10.00	0.28	0.091	0.045	0.31	0.100	0.050

Comune	Lugo	CPT	1	NTC 2018	DGR Emilia-Romagna 630 / 2019			
					latitudine 44.415831° longitudine 11.9362°	amax substrato (m/sec2) 1.839	latitudine 44.415831° longitudine 11.9362°	amax substrato (m/sec2) 1.839
Via	Falda presunta	Lugo	1.5 metri	tipo di suolo	C	fattore amplificazione 1.430	Suolo di riferimento Planura 2	fattore amplificazione 1.700
Localita'								
Committente	Montini di Garotti Frances	19/10/2020		amplificazione topografica	1.000	amax al p.c. (m/sec2) 2.630	amplificazione topografica 1.000	amax al p.c. (m/sec2) 3.127
Data								
				S. STATO LIMITE SALVAGUARDIA DELLA VITA		magnitudine 6.140		magnitudine 6.140

SGT

Società di Geologia Territoriale

S.G.T. sas
di Van Zutphen Albert & C.
Via Matteotti 50
48012 Bagnacavallo (RA)
www.geo55.com

PROCEDURA

VERIFICA DI LIQUEFAZIONE SECONDO LE LINEE GUIDA AGI 2005

- * amax e fattore di amplificazione secondo DGR Emilia-Romagna 630 / 2019
- * CSR 6.14 calcolato con MSF secondo triss & Boulanger 2004 (correzione per magnitudine)
- * CRR (Cyclic Resistance Ratio) calcolato con
 - Qc1N secondo Qc1N secondo Robertson & Wride 1998
 - Fattore Kc per la correzione di Qc1N to Qc1Ns per granulometria calcolato da tc e Qc1N secondo Robertson & Wride 1998
 - Fattore Kh per la correzione di Qc1Ns per strati sottili di sabbia in mezzo argilla
- * Applicazione di criteri di esclusione di liquefazione secondo Robertson & Wride 1998:
 - lc > 2.60 e Fr > 1% e spessori sopra falda presunta
- * Fattore di sicurezza per liquefazione: Fslq = CRR 7.5 / CSR 6.14

CALCOLO DEL CEDIMENTO E DELL' INDICE DI SPOSTAMENTO LATERALE (ISHIHARA & YOSEMINE 1993)

- Parametri utilizzati:
- * Densità Relativa Dr secondo Tutsaaki 1990
 - * Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento ed indice di spostamento laterale e calcolato tra piano campagna e massima profondità della prova	Cedimento (cm)	Indice di spostamento laterale LDI (cm)
7	5	45
Cedimento totale	5	6
Cedimento totale considerando strati sottili		

VALUTAZIONE DELL' INDICE IL DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

(IWASAKI 1982) (Riferimento Linee Guida AGI 2005; pagina 105)

Metodo di valutazione degli effetti di liquefazione basato su Fslq e la profondità.

INDICE IL DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE AGI 2005		POTENZIALE DI ROTTURA
senza correzione per strati sottili	3.1	BASSO
con correzione per strati sottili	1.1	ELEVATO
	5 < IL <= 15	ESTREMAMENTE ELEVATO
	IL > 15	

VALUTAZIONE DELL' INDICE IL DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

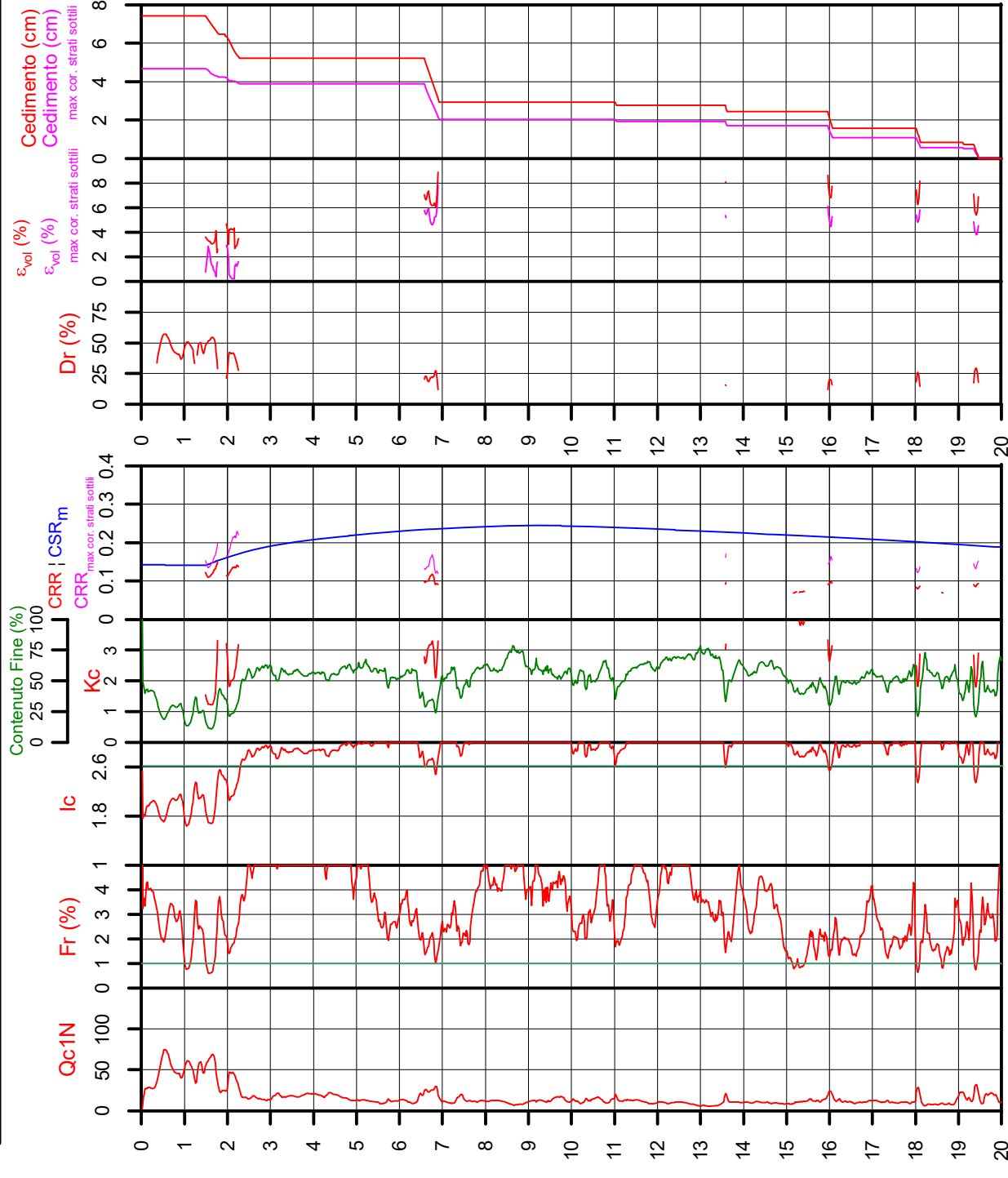
E LA PROBABILITA' DI LIQUEFAZIONE PPBI (FACCIORUSSO & VANNUCCHI 2009)

Metodo di valutazione degli effetti di liquefazione basato su Fslq e la profondità.

INDICE IL DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE (Facciorusso 2009)		POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE
senza correzione per strati sottili	3.1	BASSA
con correzione per strati sottili	1.1	MODERATA
	2 < IL <= 5	ELEVATA
	5 < IL <= 15	MOLTO ALTA
	IL > 15	

INDICE PPBI DI PROBABILITA' DI LIQUEFAZIONE (Facciorusso 2009)

INDICE PPBI DI PROBABILITA' DI LIQUEFAZIONE (Facciorusso 2009)		GUIDIZIO DI PERICOLISITA'
senza correzione per strati sottili	7	%
con correzione per strati sottili	5	PPBI <= 15 NON LIQUEFAZIONE QUASI CERTA
		15 < PPBI <= 35 LIQUEFAZIONE IMPROBABILE
		35 < PPBI <= 65 LIQUEFAZIONE ENON LIQUEFAZIONE
		65 < PPBI <= 85 LIQUEFAZIONE MOLTO PROBABILE
		PPBI > 85 LIQUEFAZIONE QUASI CERTA



Comune	Lugo	CPT	2	Falda presunta	1.5 metri	NTC 2018				DGR Emilia-Romagna 630 / 2019			
						latitudine 44.415831° longitudine 11.9362°		amax substrato (m/sec2) 1.839		latitudine 44.415831° longitudine 11.9362°		amax substrato (m/sec2) 1.839	
						tipo di suolo		fattore amplificazione 1.430		Suolo di riferimento		fattore amplificazione 1.700	
						amplificazione topografica amax al p.c. (m/sec2) 1.000		amplificazione topografica amax al p.c. (m/sec2) 2.630		amplificazione topografica amax al p.c. (m/sec2) 1.000		amplificazione topografica amax al p.c. (m/sec2) 3.127	
						3. STATO LIMITE SALVAGUARDIA DELLA VITA		magnitudine 6.140		magnitudine 6.140		magnitudine 6.140	

SGT

Società di Geologia Territoriale

S.G.T. sas

di Van Zutphen Albert & C.

Via Matteotti 50

48012 Bagnacavallo (RA)

www.geo55.com

PROCEDURA

VERIFICA DI LIQUEFAZIONE SECONDO LE LINEE GUIDAAGI 2005

- * amax e fattore di amplificazione secondo DGR Emilia-Romagna 630 / 2019
- * CSR 6.14 calcolato con MSF secondo triss & Boulanger 2004 (correzione per magnitudine)
- CRR (Cyclic Resistance Ratio) calcolato con
- * Qc1N secondo Qc1N secondo Robertson & Wride 1998
- Fattore Kc per la correzione di Qc1N to Qc1Ncs per granulometria calcolato da tc e Qc1N secondo Robertson & Wride 1998
- Fattore Kh per la correzione di Qc1Ncs per strati sottili di sabbia in mezzo agilia
- * Applicazione di criteri di esclusione di liquefazione secondo Robertson & Wride 1998:
 - lc > 2.60 e Fr > 1% e spessori sopra falda presunta
- * Fattore di sicurezza per liquefazione: Fslq = CRR 7.5 / CSR 6.14

CALCOLO DEL CEDIMENTO E DELL' INDICE DI SPOSTAMENTO LATERALE (ISHIHARA & YOSEMINE 1993)

- Parametri utilizzati:
- * Densità Relativa Dr secondo Tutsaaki 1990
 - * Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento ed indice di spostamento laterale e calcolato tra piano campagna e massima profondità della prova	Cedimento (cm)	Indice di spostamento laterale LDI (cm)
5	5	44
Cedimento totale	4	38
Cedimento totale considerando strati sottili		

VALUTAZIONE DELL' INDICE I_L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

(IWASAKI 1982) (Riferimento Linee Guida AGI 2005; pagina 105)

Metodo di valutazione degli effetti di liquefazione basato su Fslq e la profondità.

INDICE I _L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE AGI 2005	POTENZIALE DI ROTTURA
con correzione per strati sottili	
1.5	BASSO
0.9	ELEVATO
5 < IL <= 15	ESTREMAMENTE ELEVATO
IL > 15	

VALUTAZIONE DELL' INDICE I_L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

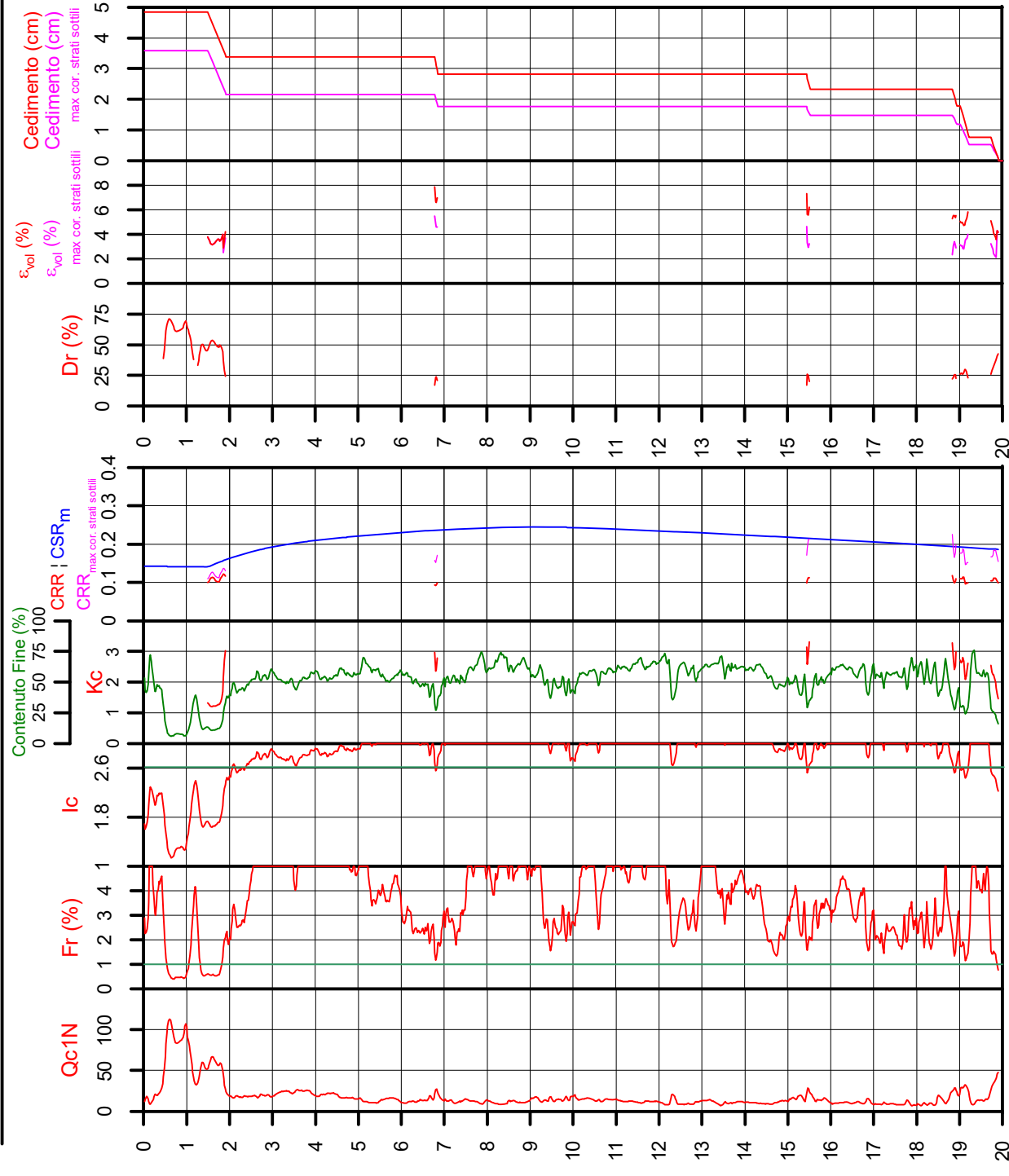
E LA PROBABILITA' DI LIQUEFAZIONE PPBI (FACCIORUSSO & VANNUCCHI 2009)

Metodo di valutazione degli effetti di liquefazione basato su Fslq e la profondità.

INDICE I _L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE (Facciorusso 2009)	POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE
con correzione per strati sottili	
1.5	BASSA
0.9	MODERATA
2 < IL <= 5	ELEVATA
5 < IL <= 15	MOLTO ALTA
IL > 15	

INDICE PPBI DI PROBABILITA' DI LIQUEFAZIONE (Facciorusso 2009)

INDICE PPBI DI PROBABILITA' DI LIQUEFAZIONE (Facciorusso 2009)	GUIDIZIO DI PERICOLISITA'
con correzione per strati sottili	
4	%
3	PPBI <= 15
	15 < PPBI <= 35
	35 < PPBI <= 65
	65 < PPBI <= 85
	PPBI > 85





Comune

Via

Localita'

Committente

Data

Lugo

Alberico di Barbiano

Lugo

Montini di Garotti Francei

19/10/2020

CPT

1

Falda presunta 1.5 metri

NTC 2018

DGR Emilia-Romagna 630 / 2019

latitudine 44.415831°

longitudine 11.936196°

tipo di suolo C

amplificazione topografica al p.c. (m/sec2)

3. STATO LIMITE SALVAGUARDIA DELLA VITA

amax substrato (m/sec2)

fattore amplificazione

amax al p.c. (m/sec2)

magnitudo

44.415831°

11.936196°

1.000

1.000

6.140

latitudine 44.415831°

longitudine 11.936196°

Stato di riferimento

amplificazione topografica al p.c. (m/sec2)

amax substrato (m/sec2)

fattore amplificazione

amax al p.c. (m/sec2)

magnitudo

44.415831°

11.936196°

1.000

1.000

6.140

SGT

Società di Geologia Territoriale

S.G.T. sas

di Van Zutphen Albert & C.

Via Matteotti 50

48012 Bagnacavallo (RA)

www.geo55.com

PROCEDURA

VERIFICA DI LIQUEFAZIONE SECONDO ROBERTSON & CABAL 2009

- * amax e fattore di amplificazione secondo DGR Emilia-Romagna 630 / 2019
- * CSR 6.14 calcolato MSF secondo Idriss & Boulanger 2004 (correzione per magnitudine)
- * CRR (Cyclic Resistance Ratio) calcolato con
 - Qc1N secondo Idriss & Boulanger 2004
 - Fattore Kc per la correzione di Qc1N da Qc1Ncs per granulometria calcolato da Ic secondo Robertson & Cabal 2009
 - Fattore Kh per la correzione di Qc1Ncs per strati sottili di sabbia in mezzo argilla
- * Fattore di sicurezza per liquefazione: Fslq = CRR 7.5 / CSR 6.14

CALCOLO DEL CEDIMENTO E DELL' INDICE DI SPOSTAMENTO LATERALE PER TERRENI GRANULARI (ISHIHARA & YOSEMINE 1993)

Parametri utilizzati:

- * Densità Relativa Dr secondo Tutsaoki 1980
- * Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento ed indice di spostamento laterale calcolato tra piano campagna e massima profondità della prova per terreni granulari	Cedimento terreni granulari (cm)	Indice di spostamento laterale LD (cm)
Cedimento	6	23
Cedimento considerando strati sottili	2	3

CALCOLO DEL CEDIMENTO PER TERRENI FINI (ROBERTSON 2009)

Parametri utilizzati:

- * Qc1N secondo Idriss & Boulanger 2004
- * Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

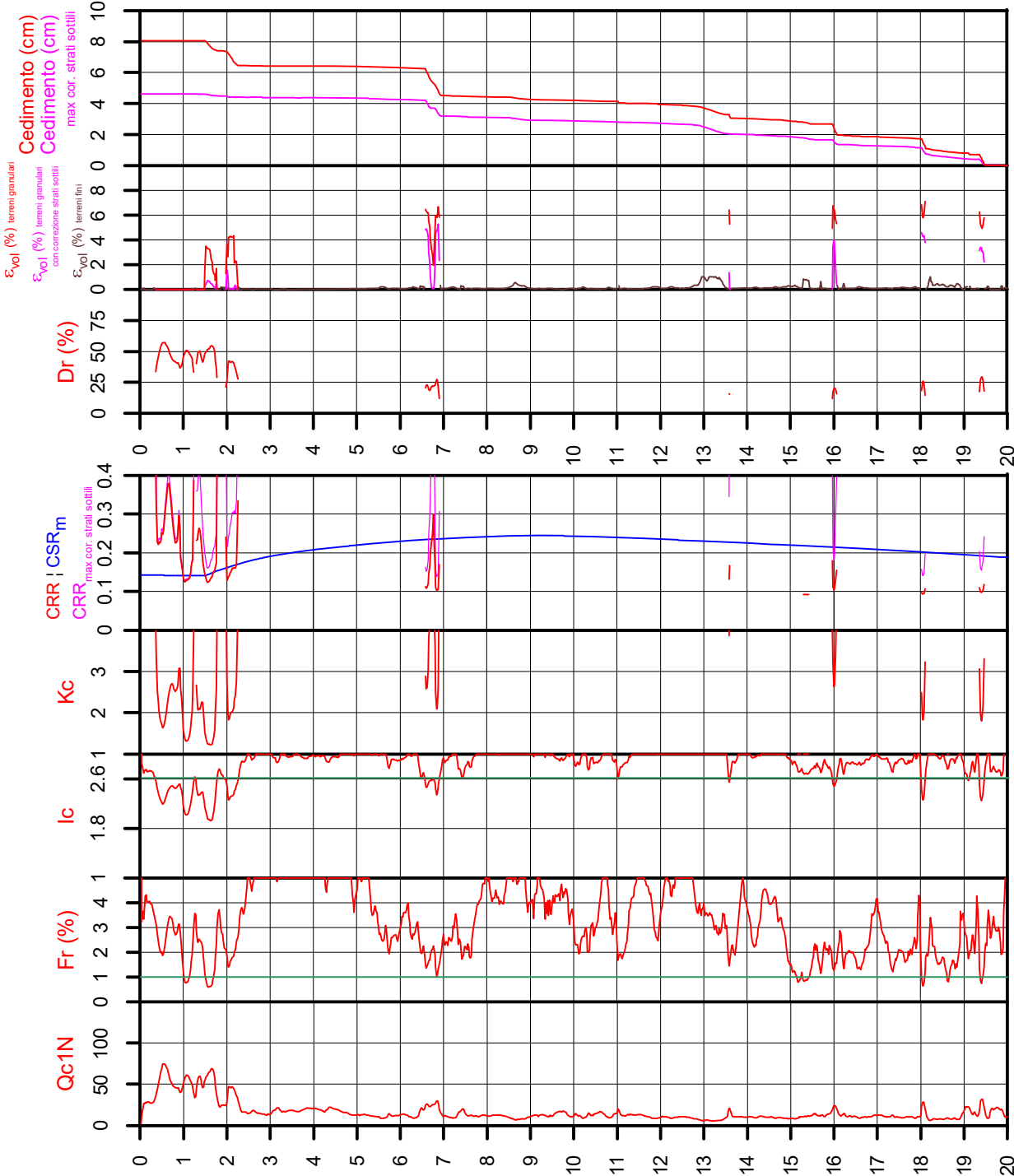
Cedimento laterale calcolato tra piano campagna e massima profondità della prova per terreni fini	Cedimento terreni fini (cm)	Cedimento totale fini + granulari (cm)
Cedimento	2	8
Cedimento considerando strati sottili	2	5

VALUTAZIONE DELL' INDICE I_L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE (WASAKI 1982) (Riferimento Linee Guida AGI 2005; pagina 105)

Metodo di valutazione degli effetti di liquefazione basato su Fslq e la profondità.

- * Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra
- * Profondità

INDICE I _L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE senza correzione per strati sottili	con correzione per strati sottili	POTENZIALE DI ROTTURAZIONE	
		IL <= 2	BASSO
3.0	0.4	2 < IL <= 5	MODERATO
		5 < IL <= 15	ELEVATO
		IL > 15	ESTREMAMENTE ELEVATO



Comune

Via

Localita'

Committente

Data

Lugo

Alberico di Barbiano

Lugo

Montini di Garotti Francei

19-ott-20

CPT

2

Falda presunta 1.5 metri

NTC 2018

DGR Emilia-Romagna 630 / 2019

latitudine 44.415831°
longitudine 11.936196°
tipo di suolo C

amplificazione topografica
amplificazione al p.c. (m/sec2)
3. STATO LIMITE
SALVAGUARDIA DELLA VITA

amax substrato (m/sec2)
1.839
fattore amplificazione
1.430
amax al p.c. (m/sec2)
2.630
magnitudo
6.140

latitudine 44.415831°
longitudine 11.936196°
Stato di riferimento

Planura 2

amplificazione topografica
amax al p.c. (m/sec2)
1.000
magnitudo
6.140

S.G.T. sas
di Van Zutphen Albert & C.
Via Matteotti 50
48012 Bagnacavallo (RA)
www.geo55.com

SGT

Società di
Geologia
Territoriale

PROCEDURA

VERIFICA DI LIQUEFAZIONE SECONDO ROBERTSON & CABAL 2009

- amax e fattore di amplificazione secondo DGR Emilia-Romagna 630 / 2019
- CSR 6.14 calcolato MSF secondo Idriss & Boulanger 2004 (correzione per magnitudine)
- CRR (Cyclic Resistance Ratio) calcolato con
 - Qc1N secondo Idriss & Boulanger 2004
 - Fattore Kc per la correzione di Qc1N to Qc1Ncs per granulometria calcolato da Ic secondo Robertson & Cabal 2009
 - Fattore Kh per la correzione di Qc1Ncs per strati sottili di sabbia in mezzo argilla
- Fattore di sicurezza per liquefazione: Fslq = CRR 7.5 / CSR 6.14

CALCOLO DEL CEDIMENTO E DELL' INDICE DI SPOSTAMENTO LATERALE PER TERRENI GRANULARI (ISHIHARA & YOSEMINE 1993)

Parametri utilizzati:

- Densità Relativa Dr secondo Tutsaoki 1990
- Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento ed indice di spostamento laterale calcolato tra piano campagna e massima profondità della prova per terreni granulari	Cedimento terreni granulari (cm)	Indice di spostamento laterale LD (cm)
Cedimento	4	38
Cedimento considerando strati sottili	2	19

CALCOLO DEL CEDIMENTO PER TERRENI FINI (ROBERTSON 2009)

Parametri utilizzati:

- Qc1N secondo Idriss & Boulanger 2004
- Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento laterale calcolato tra piano campagna e massima profondità della prova per terreni fini	Cedimento terreni fini (cm)	Cedimento totale fini + granulari (cm)
Cedimento	2	6
Cedimento considerando strati sottili	2	4

VALUTAZIONE DELL' INDICE I_L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE (WASAKI 1982) (Riferimento Linee Guida AGI 2005; pagina 105)

Metodo di valutazione degli effetti di liquefazione basato su Fslq e la profondità.

- Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra
- Profondità

INDICE I _L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE con correzione per strati sottili		POTENZIALE DI ROTTURA
0.3	IL <= 2	BASSO
2.6	2 < IL <= 5	MODERATO
	5 < IL <= 15	ELEVATO
	IL > 15	ESTREMAMENTE ELEVATO

Qc1N

Fr (%)

Ic

Kc

CRR | CSR_m

CRR_{max cor. strati sottili}

Dr (%)

ε_{vol} (%) terreni granulari

ε_{vol} (%) terreni granulari con correzione strati sottili

ε_{vol} (%) terreni fini

Cedimento (cm)

Cedimento (cm) max cor. strati sottili

RIEPILOGO CEDIMENTI (calcolati con M secondo Benassi)

Comune	Lugo	Distanze tra le prove (m) / Distanza ipotizzata della variabilità litotecnica (m)	Prova 1	Prova 2
Località	Lugo			
Committente	Montini di Garotti Francesco		Prova 1	12.0
Fondazione rettangolare	3 X 3 m		Prova 2	12.0
Piano di posa	0.5 -- 0.5 m			
Carico applicato	1.30 daN/cm2			

CEDIMENTI DIFFERENZIALI PER CAUSA DI DIFFERENZE TRA LE PROVE

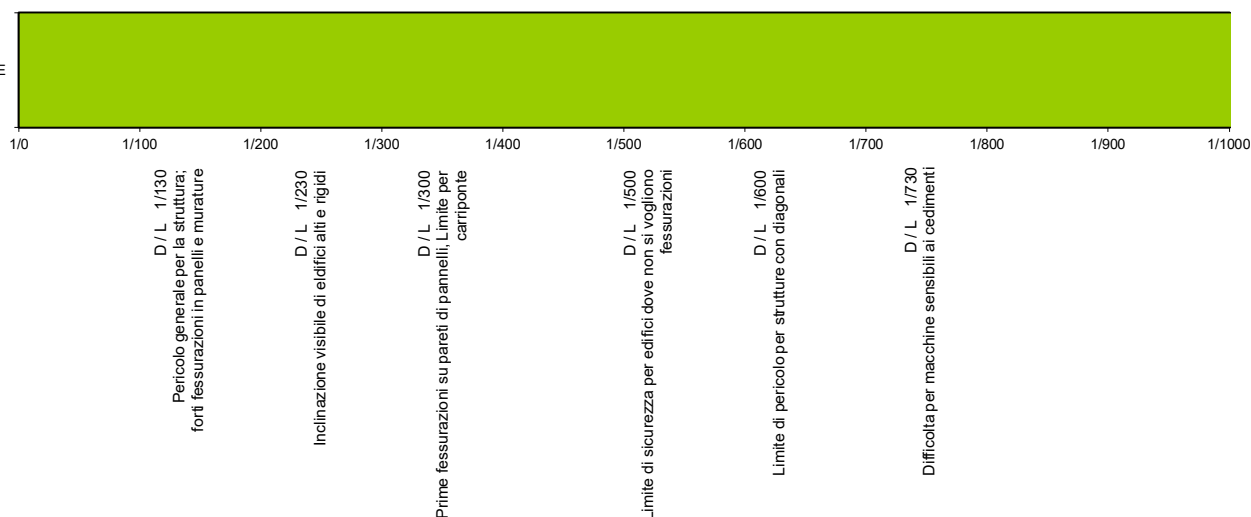
Centro di una pianta rettangolare rigida	Cedimenti cumulativo in cm			Cedimenti differenziali (cm)	Prova 1	Prova 2	Cedimenti differenziali (%)	Prova 1	Prova 2	Cedimenti differenziali massimi		
	Elastici	Edometrici	Totale							cm	%	L / Δ
Prova 1	1.34	3.97	5.31	Prova 1		0.18	Prova 1		0.01	0.18	0.01	6697
Prova 2	1.19	3.79	4.98	Prova 2	0.18		Prova 2	0.01				

LIMITI DELLE DISTORSIONI ANGOLARI (BJERRUM 1963)

DISTORSIONE MASSIMA TRA PROVE

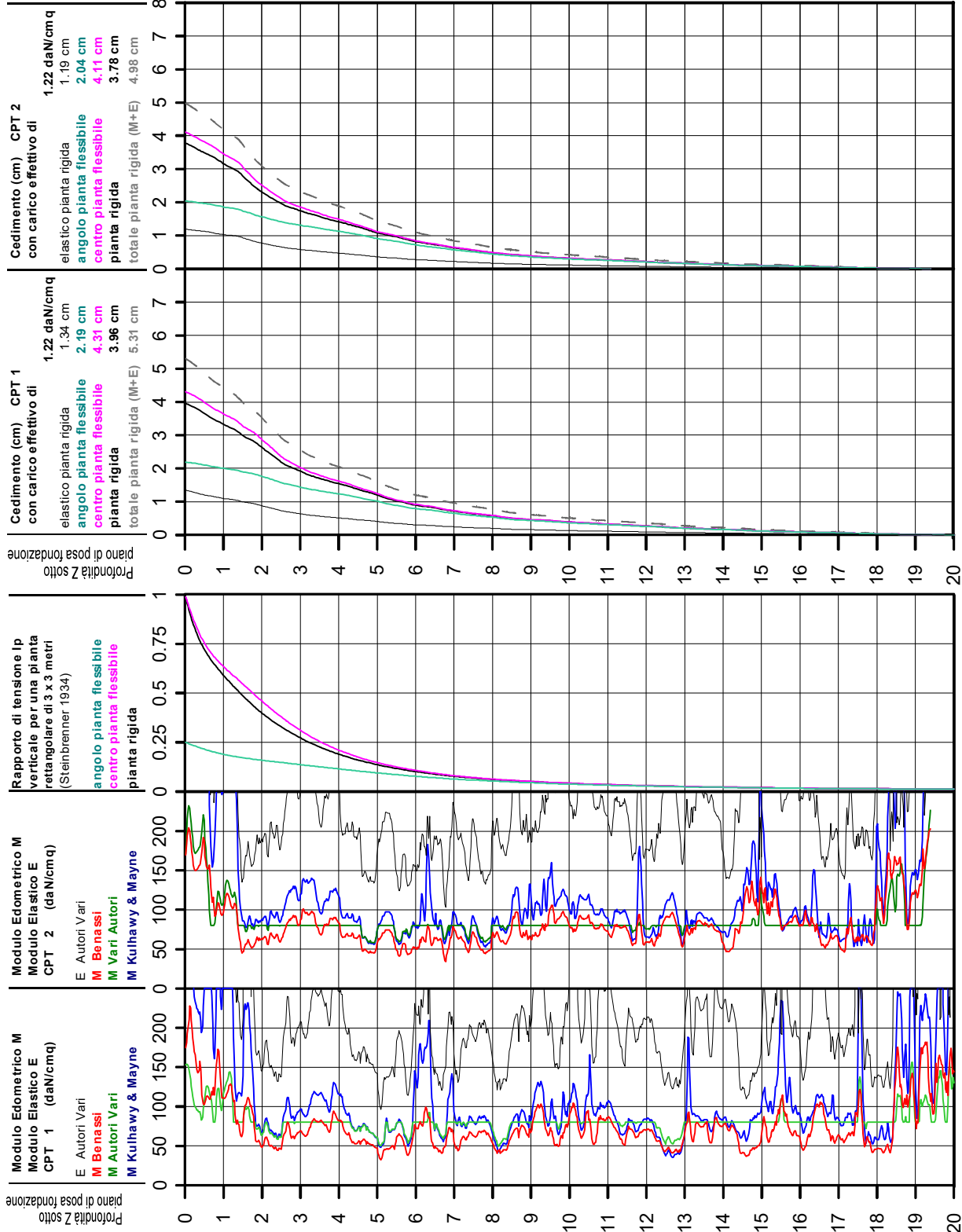
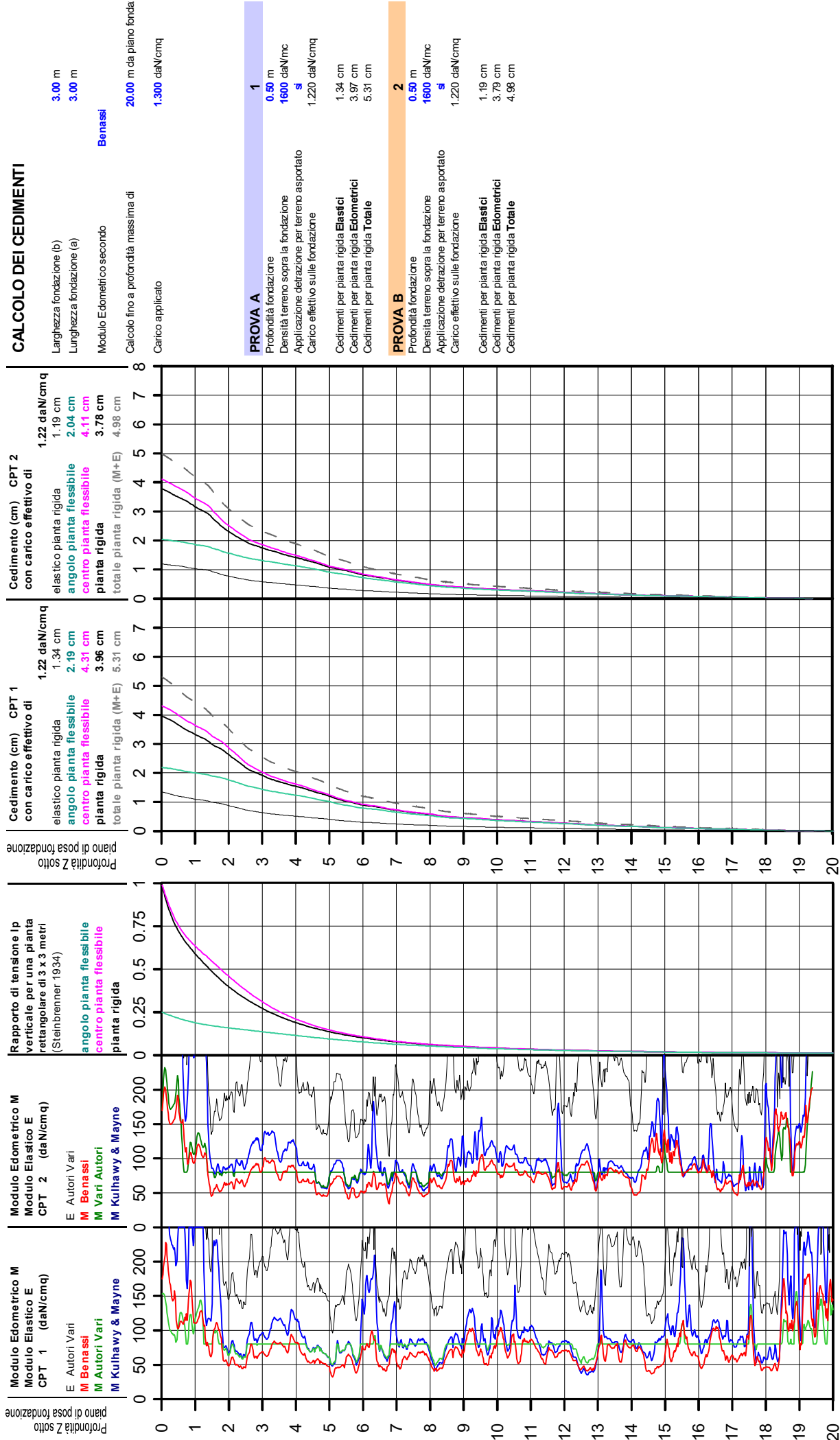
D / L

TRA PROVE



LIMITI DEI CEDIMENTI E DISTORSIONI ANGOLARI AMMISSIBILE (WILUN & STARZEWSKI 1975)

Classe edificio e struttura	Tipo di edificio e strutture	Cedimento massimo totale ammissibile (cm)	Deformazione angolare massima ammissibile calcolata per tre punti allineati e connessi della fondazioni di una struttura
1	strutture massicce di notevole rigidità rispetto agli assi orizzontale, con fondazioni massicce in calcestruzzo non armato o fondazioni cellulari o graticci rigidi in calcestruzzo armato.	15 - 20	Le differenze massime tra i cedimenti dei vari punti della struttura non dovrebbero causare inclinazioni della fondazioni maggiori di 1/100 - 1/200 del rapporto tra la dimensione minore in pianta della fondazione e l'altezza della struttura.
2	strutture isostatiche con giunti e cerniere e strutture in legno.	10 - 15	1/100 - 1/200
3	strutture iperstatiche in acciaio e strutture portanti in laterizio con cordoli in cemento armati ad ogni piano, con fondazioni continue in cemento armato e con pareti trasversali con almeno 25 cm di spessore con interassi minori di 6 m e strutture a telaio in calcestruzzo armato con le colonne ad interassi minori di 6 m, con fondazioni continue o a platea.	8 - 10	1/200 - 1/300
4	strutture della classe 3, ma che non soddisfano una delle condizioni imposte e strutture in cemento armato con fondazioni a plinti.	6 - 8	1/300 - 1/500
5	strutture prefabbricate costituite da grandi pareti o elementi a blocchi.	5 - 6	1/500 - 1/700



LUGO VIA ALBERICO DA BARBIANO, MONTINI DI GAROTTI F. T1

Instrument: TEN-0017/01-07

Data format: 16 byte

Full scale [mV]: 51

Start recording: 19/10/20 16:06:54 End recording: 19/10/20 16:27:05

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

GPS data not available

Trace length: 0h20'00". Analyzed 93% trace (manual window selection)

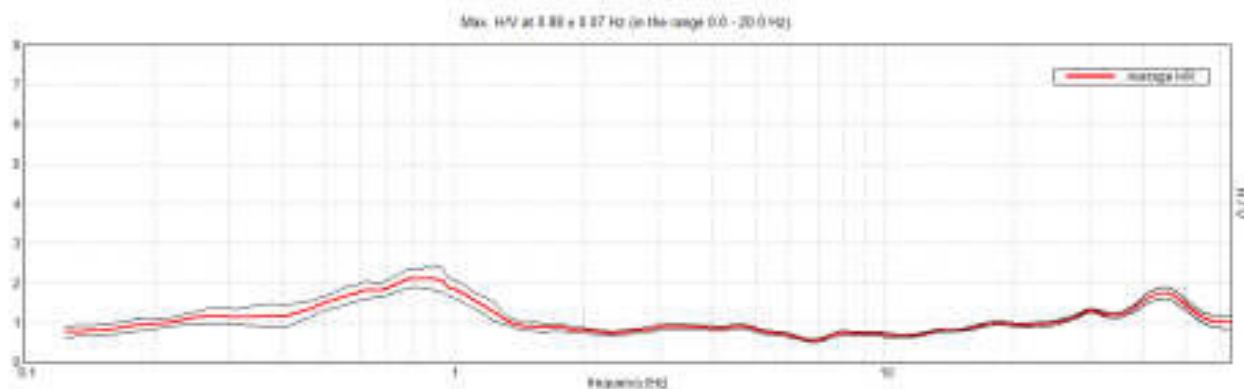
Sampling rate: 128 Hz

Window size: 20 s

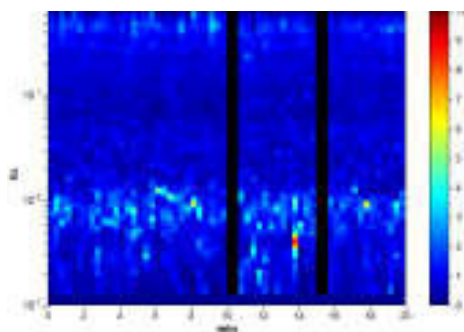
Smoothing type: Triangular window

Smoothing: 10%

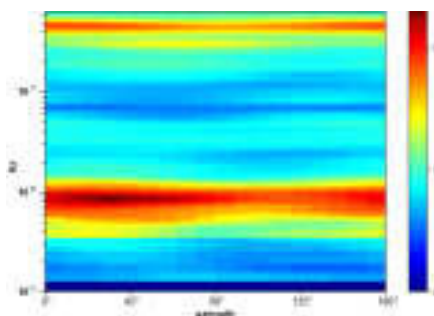
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



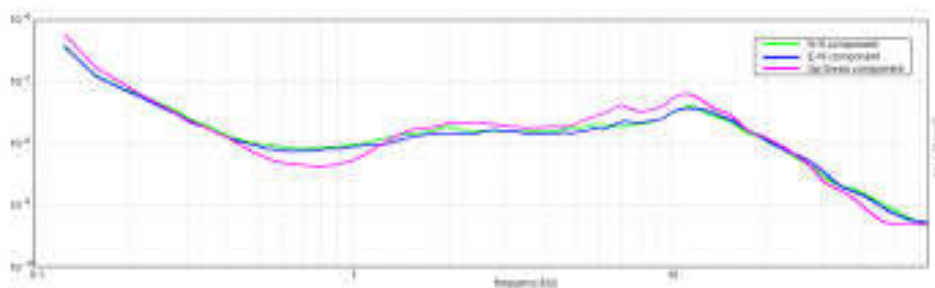
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 0.88 ± 0.07 Hz (in the range 0.0 - 20.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.88 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$980.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 43 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.219 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.344 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$2.14 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.07591 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.06642 < 0.13125$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.2621 < 2.0$	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

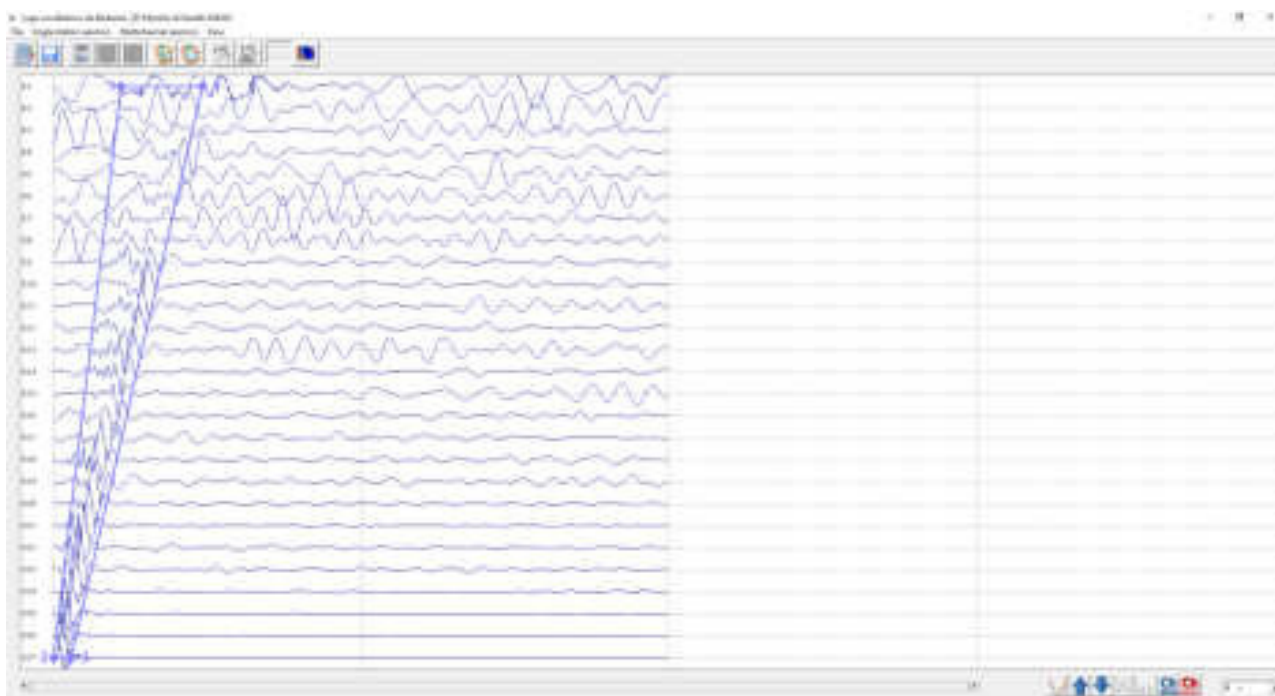
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

LUGO VIA ALBERICO DA BARBIANO, [Z] MONTINI DI GAROTTI MASW

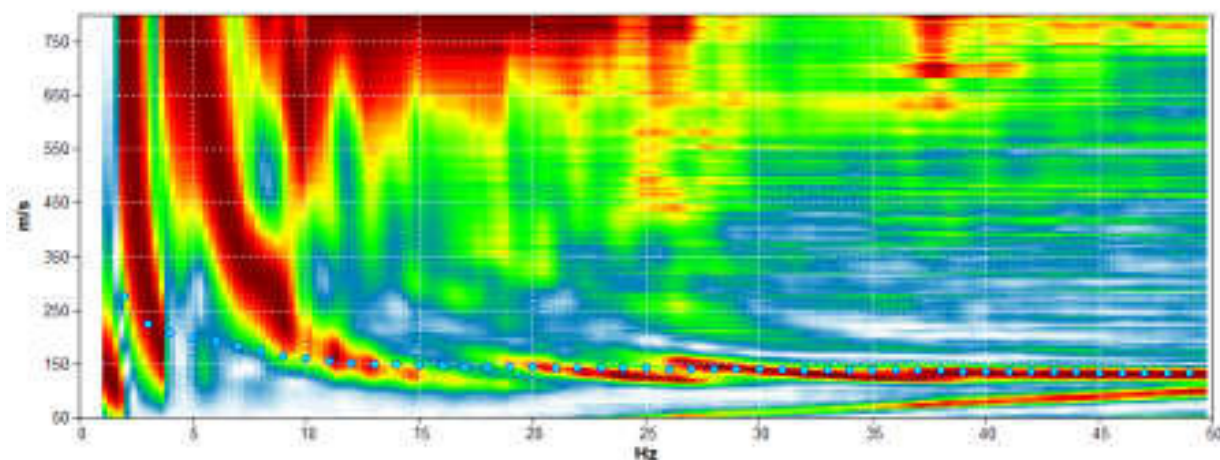
Start recording: 19/10/20 16:34:57 End recording: 19/10/20 16:42:56
Trace length: 0h00'02". Analyzed 93% trace (manual window selection)
Sampling rate: 512 Hz

Channel labels: B1 ; B2 ; B3 ; B4 ; B5 ; B6 ; B7 ; B8 ; B9
; B10 ; B11 ; B12 ; B13 ; B14 ; B15 ; B16 ; B17 ; B18 ;
B19 ; B20 ; B21 ; B22 ; B23 ; B24 ; B25 ; B26 ; B27

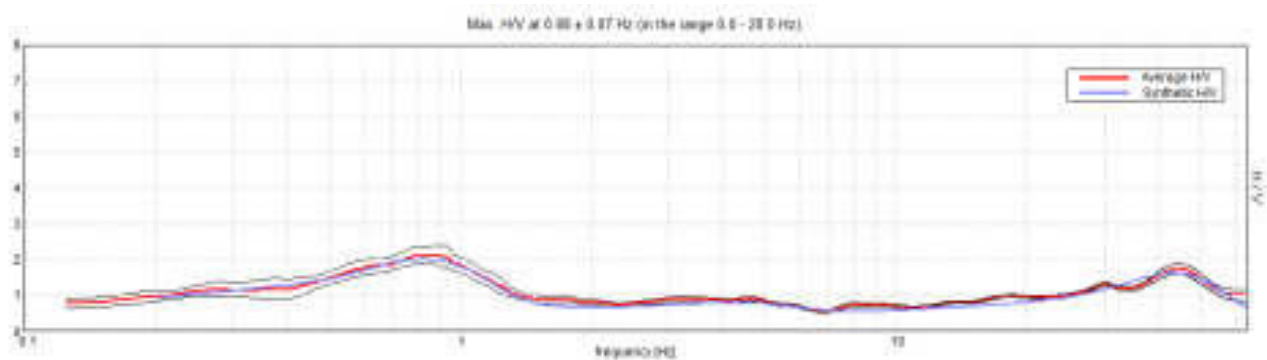
Array geometry (x): 0.0 2.0 4.0 6.0 8.0 10.0 12.0 14.0 16.0 18.0 20.0 22.0 24.0 26.0 28.0 30.0 32.0 34.0 36.0
38.0 40.0 42.0 44.0 46.0 48.0 50.0 52.0 m.



MODELLED RAYLEIGH WAVE PHASE VELOCITY DISPERSION CURVE



EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
0.43	0.43	80	0.35
8.43	8.00	160	0.40
38.43	30.00	230	0.40
83.43	45.00	320	0.40
143.43	60.00	460	0.40
233.43	90.00	490	0.40
523.43	290.00	560	0.40
inf.	inf.	650	0.40

Vs_eq(0.0-30.0)=201m/s

