

CAPOGRUPPO MANDATARIO

TECO + Partners

studio tecnico associato con sede in via Tiarini 20/2b,
40129 Bologna, tel / fax: 051352493 / 051379161
e-mail: teco@studioteco.it

**Progettazione e DL generale
ed operativa**

Ing. Carlo Rotellini



**Progettazione e DLO impianti idro-termo-
sanitari, antincendio, energetici, ambientali,
elettrici e speciali**

ing. Massimo Savini

**Coordinamento alla sicurezza in fase di
progettazione ed esecuzione**

arch. Patrizio Chiavarini

MANDANTE

MYND Ingegneria Srl



Via Andrea Costa 144 - 40067
Rastignano (Bo)
tel. +39-051-744362
fax. +39-051-744362
http: www.myndingegneria.it
@: info@myndingegneria.it

Progettazione e DL struttura

ing. Nicola Somà



MANDANTE

Dott. Geol. Luca Tondi

via P.G.Martini, n. 38/F - 40134 Bologna (BO)
tel +39 051 6144617, fax +39 051 6144617;
E-mail: luca@studio-tondi.it, PEC studio-tondi@pec.it.

**Responsabile della Redazione della
Relazione Geologica**

MANDANTE GIOVANE PROFESSIONISTA

Arch. Elena Melegari (collaboratore)

Progettazione Opere Architettoniche

**COMUNE DI
MARZABOTTO
(BO)**



Progetto esecutivo per la ristrutturazione importante della nuova palestra di Marzabotto

responsabile del procedimento

Geom. Maurizio Sonori

COMMITTENTE:

Comune di Marzabotto

DATI GARA:

Committente: Unione dei Comuni dell'Appennino Bolognese
CUP. G69H17000000001, CIG. 7685448851, CPV. 71221000-3

TECO + Partners

Progetto Esecutivo

Relazione geologica

scala:
--

GEOST

20/05/2019

data di emissione:

20/05/2019

disegnato da:

A.T.

approvato da:

M.S.



StudioTondi

Via P.G. Martini n° 38/F
40134 Bologna
Tel. - Fax: +39 051 6144617
Mob: +39 339 2587461
www.studio-tondi.it - luca@studio-tondi.it

COMUNE DI BOLOGNA

PROVINCIA DI BOLOGNA

**PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DELLA NUOVA PALESTRA
NELLE VICINANZE DI VIA NEROZZI**

STUDIO GEOLOGICO

Committente

COMUNE DI MARZABOTTO

Redazione

DR. GEOLOGO LUCA TONDI



BOLOGNA – aprile 2019



PREMESSA	1
INQUADRAMENTO GEOLOGICO MORFOLOGICO.....	1
INDAGINI DI CAMPAGNA E STRATIGRAFIA.....	2
• UBICAZIONE DELLE INDAGINI.....	2
• PROVE PENETROMETRICHE STATICHE C.P.T.....	2
• SONDAGGI A CAROTAGGIO CONTINUO.....	3
• PROVE S.P.T. ESEGUITE DURANTE I SONDAGGI A CAROTAGGIO CONTINUO	3
PROVE GEOTECNICHE DI LABORATORIO.....	4
DETERMINAZIONE DEI PARAMETRI GEOTECNICI DA PROVE S.P.T.....	4
INDICAZIONI SUI PARAMETRI GEOTECNICI DEI TERRENI	5
CONDIZIONI IDROGEOLOGICHE	5
INDAGINI SISMICHE.....	6
• INDAGINI ESEGUITE	6
• CARATTERISTICHE STRUMENTAZIONE UTILIZZATA	6
• PROVA MASW.....	7
• TEORIA ONDE DI SUPERFICIE.....	7
• STRATIGRAFIA SISMICA	8
• ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DATI DA PROVA MASW	9
• INTERPRETAZIONE PROVA MASW	9
• MISURA DI SISMICA PASSIVA CON TROMOGRAFO DIGITALE	10
• TECNICA HVSR	10
• STRATIGRAFIA SISMICA	11
• ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DATI DA SISMICA PASSIVA A STAZIONE SINGOLA	11
STUDIO DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE	12
• METODOLOGIA DI STUDIO	12
• DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE.....	12
• SEGNALE DI INPUT.....	13
• PROFILO DI VELOCITÀ.....	14
• SINTESI DEI DATI DI INPUT	15
• RISULTATI.....	16
CONSIDERAZIONI SULLA SISMICITA' DELL'AREA.....	23
• CLASSIFICAZIONE SISMICA SECONDO L'O.P.C.M. N° 3274 DEL 20 MARZO 2003	23
• COORDINATE GEOGRAFICHE DEL SITO IN ESAME	23
• CATEGORIA TOPOGRAFICA	23
• STORIA SISMICA DELL'AREA.....	23
• ZONE E SORGENTI SISMOGENETICHE.....	24
• PERICOLOSITÀ SISMICA DA PTCP.....	25
SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE DEI TERRENI E RELATIVE VERIFICHE.....	27
PERICOLOSITA' IDRAULICA	28
• CONSULTAZIONE DEL PIANO DI GESTIONE DEL RISCHIO ALLUVIONI E DEL PTCP	28
CONSIDERAZIONI STRUTTURE FONDALI	30
CONSIDERAZIONI E CONCLUSIONI	30

ALLEGATI A FINE TESTO

PREMESSA

A seguito di incarico professionale ricevuto dal Comune di Marzabotto è stata effettuata un'indagine geologica su terreno sito nel Comune di Marzabotto, situato nelle vicinanze di Via Nerozzi.

Scopo dell'indagine è stato quello di ricostruire il modello geologico del comparto, in quanto è prevista la realizzazione di una nuova palestra previa la demolizione dell'esistente.

Le indagini sono state realizzate attraverso sopralluoghi atti a riconoscere il quadro geologico generale e sono proseguite mediante la realizzazione di:

- n° 3 prove penetrometriche statiche C.P.T. (cone penetration test).
- n°1 sondaggi a carotaggio continuo
- n°2 prove SCPT eseguite durante sondaggi a carotaggio continuo
- n° 1 prove di laboratorio su campioni di terreno indisturbato

Per l'inquadramento della zona dal punto di vista sismico si è proceduto alla realizzazione di:

- n°1 indagine sismica passiva a stazione singola con tecnica HVSR
- n°1 indagine di sismica attiva in array con tecnica MASW.

In ultimo, si è proceduto con la consultazione del materiale utile disponibile on line (Cartografia geologica, ortofoto con CTR, P.S.C., P.T.C.P. ecc.).

Lo studio geologico è stato eseguito in accordo con "Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni». (18A00716) (GU Serie Generale n.42 del 20-02-2018 - Suppl. Ordinario n. 8) Decreto 17/01/2018 del Ministero delle Infrastrutture"

INQUADRAMENTO GEOLOGICO MORFOLOGICO

Il lotto oggetto di studio, inserito nella C.T.R. n. 237074, ricade nella zona di fondovalle del Fiume Reno, ad una quota compresa tra circa 127 e 128 m s.l.m. ed è caratterizzato da una morfologia molto regolare, tipica del contesto di primo terrazzo, in cui ricade il lotto oggetto del presente studio.

Infatti l'area d'indagine è posta nel settore medio della vallata del Fiume Reno, che è il maggiore degli elementi geomorfologici per la zona. In particolare dalla consultazione della Tav.1 (posta a fine testo) si può notare come tutto l'abitato di Marzabotto sorga in parte a ridosso di un versante ed in parte nella zona pianeggiante compresa tra i due fianchi della vallata. Il Fiume arriva da S allineato su una direzione circa da S verso N, dà vita ad un'ampia curvatura verso E (seguendo una direzione O-E) per poi curvare nuovamente e riallineandosi circa S-N. Questo tipo di evoluzione, avanzata anche in tempi recentissimi, ha determinato gli attuali macro-assetti, su cui poi ha agito l'opera di urbanizzazione, che ha avuto l'effetto di regolarizzare il territorio ai propri fini di utilizzo.

Per quanto concerne la stabilità dei luoghi, il sito in esame si vede la sostanziale planarità del contesto, con terreni molto recenti, impostati sul primo terrazzo del Fiume Reno, per cui non ci sono le premesse o particolari strutture che possano determinarne problemi legati alla stabilità dei terreni. Ponendo l'attenzione invece sugli aspetti più strettamente geologici, è stata consultata la Carta Geologica regionale, di cui viene riportato uno stralcio nella Tav. 3, in cui è possibile osservare come per la zona di studio sia indicata la presenza di depositi quaternari, appartenenti all'Unità di Modena (AES8a), che viene descritta come: "nei settori intravallivi ghiaie prevalenti organizzate in 2 ordini di terrazzi alluvionali. Limite superiore sempre affiorante dato da un suolo calcareo privo di reperti archeologici romani, o più antichi, non rimaneggiati. Limite inferiore dato da una superficie di erosione fluviale nelle aree intravallive. Spessore massimo in pianura 7 metri, nel sottosuolo circa 10 m" i termini della formazione di Cigarellino (CIG), descritta come: "Marne siltoso-sabbiose, talora argillose, bioturbate e fossilifere. La stratificazione è generalmente poco evidente per l'assenza di livelli grossolani e per la bioturbazione. Ambiente di deposizione di piattaforma esterna e scarpata di bacino. Il limite inferiore è per alternanza o sfumato con PAT. La potenza varia da qualche decina di metri a circa 500 metri."

INDAGINI DI CAMPAGNA E STRATIGRAFIA

• Ubicazione delle indagini

L'ubicazione delle indagini è stata condizionata sia dall'accessibilità del sito ai mezzi, in quanto buona parte della palestra in progetto ricade in un'area già edificata, sia dalla massiccia presenza di sottoservizi nelle aree libere (attuale parcheggio, strada di accesso ecc.).

In ogni modo le indagini sono state ubicate in modo da essere rappresentative per la zona indagata (per l'ubicazione indagini vedi Tav. 4).

• Prove penetrometriche statiche C.P.T.

Le prove sono state eseguite con apparecchiatura statica di tipo "Gouda" dotata di punta standard tipo Begemann (punta conica con angolo di apertura di 60° ed una sezione di 10 cm²) e del manicotto di frizione "Friction Jacket", per la misura della resistenza di attrito laterale locale. I valori ottenuti sono riportati nei diagrammi a fine testo dove figurano:

1. La curva di resistenza alla punta **qc** che si riferisce ai valori della resistenza offerta dal terreno all'avanzamento della punta conica.
2. La curva **fs** che si riferisce alla resistenza di attrito locale misurata mediante il manicotto di frizione.

Dai risultati si può risalire alla litologia dei terreni attraversati secondo la teoria di Begemann in base ai rapporti tra **qc** e **fs** (vedi anche tabelle e grafici a fine testo).

ASSETTO LITOSTRATIGRAFICO (PROVE C.P.T.)				
Unità litostrat.	Litologia	Id. Prova	Profondità (m dal p.c.)	Qc (Kg/cm ²)
T/R	Terreno vegetale, rimaneggiato con materiali di riporto di origine antropica	CPT1	0,0 ÷ -0,6	21 ÷ 29
		CPT2	0,0 ÷ -0,6	17 ÷ 26
		CPT3	0,0 ÷ -0,6	16 ÷ 74
A	Limi argillosi e limi sabbiosi da poco a mediamente consistenti	CPT1	-0,6 ÷ -4,2	6 ÷ 57
		CPT2	-0,6 ÷ -3,4	5 ÷ 21
		CPT3	-0,6 ÷ -2,6	7 ÷ 20
B	Ghiaie sabbiose e sabbie ghiaiose da mediamente addensate ad addensate	CPT1	-4,2 ÷ -5,0	288 ÷ 620
		CPT2	-3,4 ÷ -5,0	25 ÷ 620
		CPT3	-2,6 ÷ -6,4	95 ÷ 554
C	Prime propaggini del substrato appartenente alla Formazione del Cigarellò (marne argillose e sabbiose)	CPT1	-	-
		CPT2	-	-
		CPT3	-6,4 ÷ -7,6	208 ÷ 620

Tabella 1: stratigrafia prove CPT.

Il quadro stratigrafico che emerge dall'elaborazione delle prove, mostra un buon grado di correlazione, con una variabilità negli spessori, mentre risultano abbastanza confrontabili i profili di resistenza misurati. Oltrepassato il primo orizzonte di terreno rimaneggiato frammisto a materiali di origine antropica, si arriva in corrispondenza dell'unità A costituita prevalentemente da limi argillosi e sabbiosi, dotati di valori di resistenza da bassi a medi; tali litologie sono presenti da circa -2,5 m a -4,0 m dal p.c. nei diversi punti d'indagine.

L'unità B è rappresentata dalle ghiaie di terrazzo, che hanno costituito un limite invalicabile nelle prime due posizioni di prova (CPT1 e CPT2), mentre nella terza verticale si è riusciti ad oltrepassarle, arrivando così sui primi termini del substrato locale (unità C), che mostra dei

valori di resistenza molto alti e porta a rifiuto strumentale il penetrometro ad una quota di circa 7,5 m dal p.c.

- **Sondaggi a carotaggio continuo**

In data 02/04/2019 si è eseguito un sondaggio a carotaggio continuo spinto sino alla profondità di -20 m circa dal p.c.

La campagna di indagini è stata realizzata dalla ditta SOGEO s.r.l. con l'assistenza di cantiere effettuata dallo scrivente.

Per i sondaggi sono stati utilizzati carotieri semplici di 101 mm di diametro e 1500 mm di lunghezza, muniti di corona al widia e tubi di rivestimento provvisorio di diametro 127 mm.

Sui materiali coesivi appena carotati sono state eseguite misure con Pocket Penetrometer e Scissometro tascabile (vane test).

Le carote di terreno sono state conservate in apposite cassette catalogatrici.

Durante l'esecuzione dei sondaggi, si è provveduto al prelievo di n° 1 campioni indisturbati tipo Shelby da sottoporre a prove di laboratorio e si sono eseguite n° 2 prove NSPT. (Vedi tabelle e allegati).

Nelle seguenti tabelle, si è schematizzata la situazione litostratigrafica riscontrata nel carotaggio eseguito.

ASSETTO LITOSTRATIGRAFICO (CAROTAGGIO CONTINUO)				
Unità litostrat.	Litologia	Id. Prova	Profondità (m dal p.c.)	Poket Pen. (Kg/cm ²)
TR	Asfalto e sottofondo costituito da ghiaia, sabbia e frammenti di laterizio	S1	0,0 ÷ -0.3	-
A	Argilla limosa di colore grigio verde e limi debolmente sabbiosi colore grigioverde	S1	-0.3÷ -2.7	0.8÷3.3
B	Ghiaia eterometrica, da arrotondata a subangolare, con sabbia limosa di colore grigio marrone	S1	-3.9 ÷ -5.1	-
C	Argilla marnosa e marne argillose di colore grigio verde molto consistenti	S1	-5.1÷ -20.0	-

Tabella 2: stratigrafia sondaggio a carotaggio continuo.

Il quadro stratigrafico riscontrato risulta in linea quello rilevato nelle prove CPT.

- **Prove S.P.T. eseguite durante i sondaggi a carotaggio continuo**

Allo scopo di caratterizzare le litologie non campionabili rinvenute durante il sondaggio, sono state eseguite n° 2 prove S.P.T. con maglio standard avente peso di 63.5Kg ed altezza di caduta costante di 0.76 m. Data la natura dei terreni di è utilizzata una punta conica chiusa di diametro di 51 mm ed angolo di apertura 60°

Le prove sono state eseguite in osservanza delle norme A.G.I- 06/1977

I risultati delle prove presenti sulle stratigrafie dei sondaggi, sono riassunti nelle seguenti tabelle:

Prove S.P.T.						
Sondaggi	QUOTA (m dal p.c.)	Unità Litostr.	N1	N2	N3	
Sond. n° 1	da - 4.80 a - 5.25	B	21	18	82	
Sond. n° 1	da - 13.0 a - 13.4	C	> 50			Rif. a 4 cm

Tabella 3: Prove S.P.T. eseguite nel sondaggio a carotaggio continuo.

PROVE GEOTECNICHE DI LABORATORIO

Durante l'esecuzione dei sondaggi a carotaggio continuo, si è proceduto al prelievo di un campione di terreno indisturbato da sottoporre ad analisi di laboratorio nell'unità A, a -1.5 m dal p.c.. Si fa presente che nelle altre unità sottostanti non è stato possibile prelevare campioni di terreno indisturbati a causa dell'elevata compattezza dei materiali.

Sui campioni si sono eseguiti:

- Prove di taglio diretto consolidate drenate (C.D.) per la determinazione dell'angolo di attrito interno e coesione drenata
- Prove edometriche

I risultati delle prove sono riportati nei certificati in allegato; vengono riassunti nella seguente tabella i risultati delle prove di taglio diretto consolidate drenate (C.D.):

PROVA DI TAGLIO DIRETTA (C.D.)				
Campione	Unità Litostr.	Quota prelievo (m dal p.c.)	Coes.drenata c' (kPa)	angolo di attrito int. ($^{\circ}$)
S1/C1	A	- 1.50 - 2.00	28.55	26.63

Tabella 4: Risultati analisi di laboratorio.

DETERMINAZIONE DEI PARAMETRI GEOTECNICI DA PROVE S.P.T.

Per l'interpretazione delle prove SPT si è utilizzato il seguente procedimento:

Litologie granulari

- Correzione del valore misurato utilizzando un fattore di riduzione (Jamilkowski) che tiene conto del carico litostatico
- Correzione del valore misurato utilizzando un fattore di riduzione per la presenza della falda
- Materiali granulari; calcolo dei parametri geotecnici nominali utilizzando il valore di NSPT secondo la correlazione proposta da Owasaki & Iwasaki per quanto riguarda l'angolo di resistenza al taglio

Si fa presente che la prima S.P.T. è terminata sui depositi dell'unità C (argille marnose e marne argillose) per cui si è tenuto conto dei valori N1 e N2, considerati più rappresentativi per le litologie ghiaiose

Dalle correlazioni si ottiene:

Sondaggi	QUOTA (m dal p.c.)	Unità Litostr.	N ₃₀ S.P.T.	ϕ°
Sond. n° 1	da - 4.40 a - 4.85	C	39	39

Tabella 5: Interpretazione prove S.P.T. eseguite nel sondaggio a carotaggio continuo.

INDICAZIONI SUI PARAMETRI GEOTECNICI DEI TERRENI

Nella seguente tabella vengono riassunti i principali parametri geotecnici. Visto il tipo di indagini eseguite, occorre tener presente che tali parametri sono stati desunti mediante correlazioni ai risultati delle C.P.T., dalla consultazione di bibliografia specialistica e tabelle (Bowles Fondazioni Progetto e analisi e Head e Jardine 1992).

In questo caso non sono stati dati parametri per la prima unità di terreno in quanto le correlazioni utilizzate non risultano attendibili nelle unità superficiali per la composizione con materiale eterogeneo.

PARAMETRI GEOTECNICI							
Unità litostr.	Quota (m)	γ (t/m ³)	Dr (%)	Cu (Kg/cm ²)	C' (Kg/cm ²)	M ₀ (Kg/cm ²)	ϕ (°)
T/R	0,0 ÷ -0,6 0,0 ÷ -0,6 0,0 ÷ -0,6	1,75 ÷ 1,85	-	-	-	-	-
A	-0,6 ÷ -4,2 -0,6 ÷ -3,4 -0,6 ÷ -2,6	1,85 ÷ 2,00	-	0,40 ÷ 0,80	0,03 ÷ 0,28	35 ÷ 78	21 ÷ 26
B	-4,2 ÷ -5,0 -3,4 ÷ -5,0 -2,6 ÷ -6,4	2,00 ÷ 2,20	80 ÷ 100	-	-	300 ÷ 900	35 ÷ 40
C	- - -6,4 ÷ -7,6	2,00 ÷ 2,20		>5	0.2 ÷ 0.4	>1000	25 ÷ 27

γ = peso di volume del terreno

M₀ = modulo edometrico

Cu = coesione non drenata

ϕ = angolo di attrito interno

C' = coesione drenata

Tabella 6: parametri geotecnici estrapolati dall'elaborazione delle indagini.

CONDIZIONI IDROGEOLOGICHE

Nel foro di prova è stata effettuata un'apposita misura del livello piezometrico mediante freatimetro, ottenendo i seguenti risultati:

MISURA DEL LIVELLO DI FALDA		
Posizione	Data	Livello da p.c. (m)
CPT1	20/03/2019	-3,10
CPT2	20/03/2019	-3,20
CPT3	20/03/2019	-3,20

Il livello freatico riscontrato alla data dell'esecuzione delle prove penetrometriche rivelano la presenza della falda ad una quota minima di circa -3,10 m dal p.c.

Tale falda risulta contenuta nelle litologie Ghiaioso-sabbiose dell'unità B che sovrasta la formazione marnosa (CIG) che risulta dotata di scarsa permeabilità.

Si segnala che la prima falda superficiale è legata al ciclo meteo-climatico stagionale, pertanto presenterà livelli statici a quote più alte in corrispondenza di periodi con maggiore incidenza di eventi meteorici (mesi primaverili), e livelli più bassi in corrispondenza di assenza di manifestazioni atmosferiche (periodo fine estate/inizio delle piogge autunnali), come nel nostro caso. In particolare, in questo periodo, può risultare particolarmente depressa, a seguito di un lungo periodo siccitoso ed a un anno non particolarmente ricco in precipitazioni.

INDAGINI SISMICHE

- **Indagini eseguite**

Nel sito è stata realizzata un'indagine geofisica MASW (sismica attiva in array) abbinata ad una misura HVSR con tromografo digitale (sismica passiva).

- **Caratteristiche strumentazione utilizzata**

Per le indagini è stato utilizzato un tromografo digitale portatile TROMINO, prodotto da Micromed S.p.A., nella versione *Engineering*, al quale è stato collegato un cavo trigger della lunghezza di 50 m, unito ad un geofono con puntale, con frequenza propria di 4,5 Hz.

Di seguito sono riportate le principali caratteristiche tecniche dello strumento, secondo le indicazioni fornite dalla ditta costruttrice.

SPECIFICHE TECNICHE	
Costruttore	Micromed S.P.A.
Apparato	TROMINO® sistema ultraportatile di acquisizione del rumore sismico
Classificazione	CISPR 11 - EN 55011; Gruppo1 ; Classe B.
Conformità agli standard	EN 55011; IEC 61000-4-2; EC 61000-4-4; , IEC 61000-4-3
Voltaggio interno	+3.3 V, +3.6 V per la sezione analogica
Numero di canali	3+1 analogici
Amplificatori	tutti canali con input differenziali
Rumore	< 0.5 μ V r.m.s. @128 Hz sampling
Impedenza dell'input	10 ⁶ Ohm
Range di frequenze	DC - 360 Hz
Frequenza di campionamento	16384 Hz per canale
Frequenze di sovracampionamento	32x, 64x, 128x
Conversione A/D	equivalente a 24 bit
Massimo input analogico	51.2 mV (781 nV/digit)

Display grafico	grafico, 128 x 64 pixel, retroilluminato
GPS	12 canali con time-marker (precisione 1 μ s), può essere visualizzato anche durante l'acquisizione
Livella	a bolla d'aria, elevata precisione orizzontale, sensibilità 5' d'arco (0.083°)
Registrazione dati	memoria interna, standard 512 Mb, opzionale fino a 2 Gb
Accoppiamento col terreno	su punte e cuscinetto reologico
Impermeabilità	indice di protezione IP = 65 (resistente alla polvere, resistente agli spruzzi)
Sensori	3 velocimetri elettrodinamici ortogonali ad alta risoluzione autobloccaggio quando non in acquisizione

Tabella 7: Principali specifiche tecniche dello strumento di acquisizione.

• Prova MASW

L'analisi multicanale delle onde superficiali di Rayleigh MASW (*Multichannel Analysis of Surface Waves*) è un'affidabile ed accreditata metodologia sismica che consente di determinare il profilo di velocità delle onde di taglio S nel sottosuolo. Tale metodo consiste nell'analisi delle onde di superficiali di Rayleigh, registrate da una serie di geofoni posizionati a formare uno stendimento. Le usuali e consolidate tecniche di elaborazione delle onde sismiche utilizzano unicamente i tempi di primo arrivo delle onde sismiche di volume indagate (P e S), considerando come "disturbo" la restante parte del segnale caratterizzato dalla presenza delle onde di superficie (Rayleigh e Love). Nuovi studi hanno dimostrato la possibilità di elaborare un modello matematico dall'analisi ed interpretazione di tale "disturbo".

Inoltre, a differenza di tutte le altre tecniche di indagine sismica, i metodi basati sull'analisi delle onde di superficie di Rayleigh non risultano limitati dalle inversioni di velocità e, essendo la loro propagazione funzione innanzitutto delle onde S e solo in parte legata alla V_p e alla densità del mezzo, risultano un ottimo strumento per la caratterizzazione sismica del sito tramite la ricostruzione del profilo di V_s , come previsto dalla normativa vigente.

• Teoria onde di superficie

Le onde di Rayleigh sono onde polarizzate su di un piano verticale (Fig. 10) generate in corrispondenza della superficie libera del mezzo dall'interazione delle onde di volume P e S. Il movimento delle particelle mobilitate da tali onde è di tipo ellittico con ampiezza dello spostamento che decresce con la distanza dalla superficie libera.

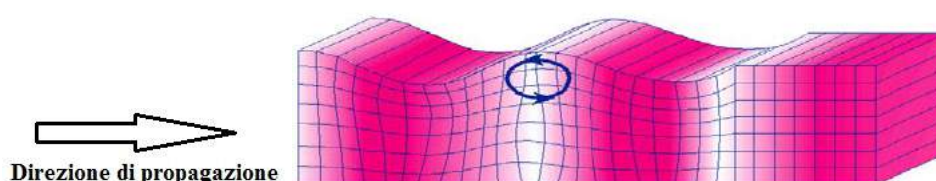


Figura 1: Rappresentazione grafica della propagazione delle onde superficiali di Rayleigh, caratterizzata dall'oscillazione polarizzata in un piano verticale e con movimento retrogrado delle particelle rispetto alla direzione di propagazione dell'onda.

Quando si applica una sollecitazione sismica in aria libera più del 65% dell'energia sismica prodotta è distribuita alle onde di Rayleigh, mentre per le onde P e S corrisponde rispettivamente al 7% e al 26%.

In un mezzo stratificato le onde di superficie sono dispersive (fenomeno della dispersione geometrica), cioè onde con diversa lunghezza d'onda di propagano con diverse velocità di fase

(Achenbach, J.D., 1999, Aki, K. And Richards, P.G., 1980) o detto in maniera equivalente la velocità di fase apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione. Le onde superficiali di Rayleigh, quando si propagano in un mezzo omogeneo, non presentano dispersione e la loro velocità è uguale a $0.92 V_s$. In un mezzo disomogeneo, quale la Terra, la loro velocità varia in funzione della lunghezza d'onda tra i limiti 0 e $0.92 V_s$ (Fig. 11). La teoria della propagazione delle onde superficiali è ben conosciuta ed è descritta dettagliatamente da Ewing et al. (1957).

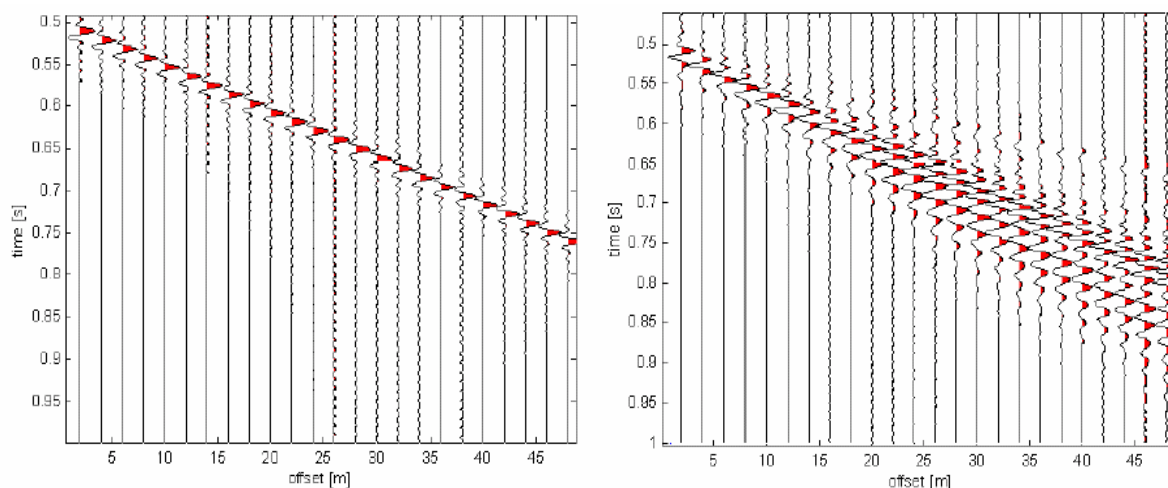


Figura 2: Segnali sismici che evidenziano (in rosso) le onde di Rayleigh in un mezzo non stratificato (a sinistra) e in un mezzo stratificato (a destra). Risulta evidente il fenomeno della dispersione di tali onde sismiche.

Tramite l'analisi e l'elaborazione numerica del segnale è possibile costruire la curva di dispersione, ovvero la variazione della velocità di fase delle onde di Rayleigh in funzione della frequenza, dalla quale è possibile determinare il profilo di velocità delle onde S tramite il processo di inversione.

• **Stratigrafia sismica**

La tecnica MASW può essere applicata in campo geologico per fornire una prospezione del sottosuolo.

La definizione di un modello che consenta di descrivere il profilo sismico del sito, prevede la costruzione di una curva sintetica di dispersione che riesca a riprodurre la curva sperimentale.

Sono però presenti alcune limitazioni dovute a:

- dimensioni dello stendimento;
- tipo di energizzazione;
- limiti di conoscenze del mezzo geologico;
- limitazioni intrinseche della misura.

È fondamentale, ai fini di una corretta interpretazione, la determinazione della profondità di indagine massima raggiunta dalla misura. Per fare ciò si individua la frequenza minima che la curva di dispersione ha raggiunto e si applica la formula elaborata da Stokoe et al. (1994):

$$h_{max} \cong 0,5\lambda_{max}$$

dove: - h_{\max} indica la massima profondità di indagine

- λ_{\max} indica la massima lunghezza d'onda registrata (ricordando che $\lambda=v/f$ con v che corrisponde alla velocità e f è la frequenza dell'onda).

Secondo questa formula l'indagine ha investigato i terreni fino ad una profondità di circa 10 m.

- **Acquisizione ed elaborazione dati da prova MASW**

L'abbinamento tra Tromino Engineering ed un geofono consente di effettuare stendimenti sismici di dimensioni massime pari a 50 m. La presenza di un unico geofono, detto starter in quanto registra i primi arrivi delle onde sismiche, impone il suo spostamento continuo secondo le posizioni dello schema prestabilito (Fig. 12). L'interdistanza tra le varie posizioni del geofono è di 3 metri e l'energizzazione, ottenuta tramite il salto e la caduta dell'operatore, è stata effettuata a 1 m di distanza dallo starter lungo l'asse geofono-Tromino.



Figura 3: Schema dello stendimento per la registrazione della prova MASW. G1, G2, G3, ... corrispondono alle posizioni nelle quali il geofono starter viene spostato ad ogni energizzazione del terreno. L'interdistanza tra le posizioni del geofono è di 3,0 metri.

Da tale stendimento viene elaborato un sismogramma definito "virtuale" in quanto non deriva dalla registrazione simultanea di più geofoni, ma i segnali di ogni energizzazione vengono composti in un unico sismogramma tramite il *software* dedicato.

L'elaborazione del segnale registrato si compone dei seguenti passaggi:

1. *picking* dei primi arrivi sulla traccia di registrazione del geofono;
2. ricostruzione del sismogramma delle tracce registrate dal sismografo (Tromino) tramite *software* Grilla;
3. selezione per ogni traccia delle finestre temporali contenenti onde superficiali di Rayleigh;
4. calcolo della curva di dispersione sperimentale tramite *software* dedicato.

La curva di dispersione fornisce con una scala cromatica l'intensità della risonanza delle onde di Rayleigh alle varie frequenze (asse delle ascisse) e la relativa velocità delle onde (asse delle ordinate). A questo punto è possibile procedere con l'interpretazione della misura.

- **Interpretazione prova MASW**

Il grafico risultante dalla misura consente lo studio e l'elaborazione dei dati relativi al primo modo di vibrare del terreno, individuato come la curva definita dai colori caldi con velocità e frequenza minore (Fig. 4). Nel grafico sono visibili tratti di curva rossa relativi al modo fondamentale di vibrare e a modi superiori. La curva non risulta particolarmente visibile, in quanto il sito analizzato è affetto da particolare rumore ambientale, dovuto alla posizione in contesto urbano ed alla presenza di sottoservizi ed orizzonti importanti di terreni rimaneggiati.

Premesso ciò, l'interpretazione è stata focalizzata sulla definizione del modo fondamentale, individuato alle frequenze comprese tra 50 e 20 Hz, per poi integrare il modello per le frequenze più basse attraverso l'interpretazione della traccia acquisita con tecnica HVSR; in ultimo la curva tende all'infinito. Il modello ha permesso di ricostruire una successione sismo-stratigrafica

composta da due unità più superficiali: la prima presente fino a 2,0 m dal p.c. caratterizzata da Vs medie di 120 m/s, dove possiamo individuare un passaggio di impedenza sismica abbastanza leggero, con il livello sottostante che si estende fino a -8,8 m dal p.c. con Vs medie di 200 m/s, raffrontabile con le caratteristiche dei terreni indagati in sito. Da questo punto in poi l'interpretazione prosegue con l'ausilio della traccia sperimentale ricavata dalla misura di H/V, proposta di seguito.

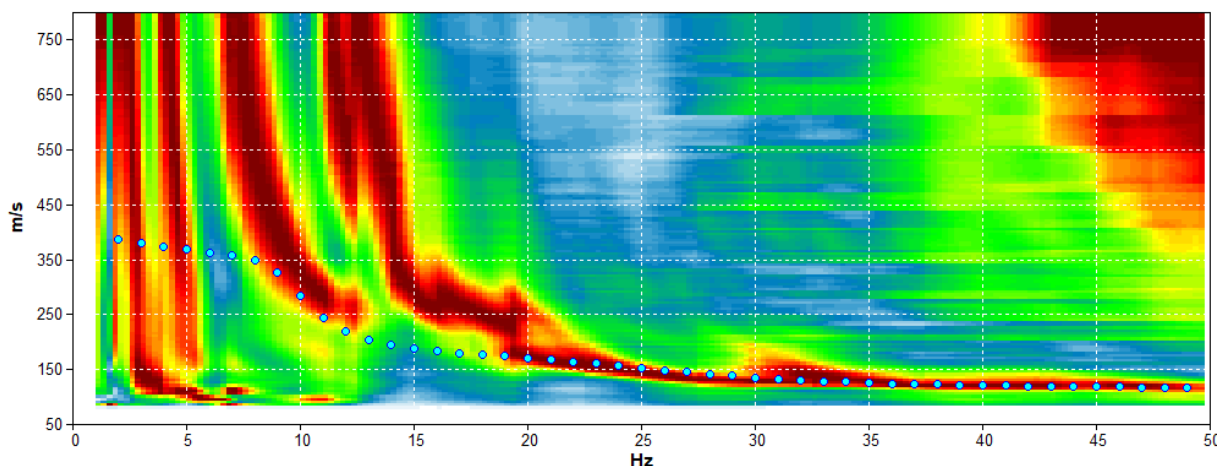


Figura 4: Curva di dispersione del sito e la curva sintetica ricostruita.

- **Misura di sismica passiva con tromografo digitale**

La sismica tromografica è una tecnica passiva che studia le onde a bassa frequenza e di bassa entità del terreno (microtremori) tramite misure puntuali sul suolo.

Il rumore sismico ambientale è generato da:

- fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento);
- dall'attività dinamica terrestre;
- dall'attività antropica.

I metodi che si basano sulla sua acquisizione ed elaborazione si dicono passivi in quanto le vibrazioni non risultano quindi localizzate e fornite *ad hoc*, come per le tecniche di sismica attiva.

Le onde sismiche, durante il loro tragitto dalla sorgente al sito di misura, subiscono riflessioni, rifrazioni, intrappolamenti per fenomeni di "guida d'onda", attenuazioni che dipendono dalla natura dei terreni attraversati. Questo significa che, mentre sono perse tutte le informazioni che riguardano la sorgente, l'onda conserva le informazioni relative alla struttura del terreno nelle vicinanze del punto di misura. Attraverso tecniche opportune è possibile recuperare i dati contenuti nel rumore sismico ambientale e ricostruire un modello puntuale del terreno.

- **Tecnica HVSR**

La tecnica HVSR (Horizontal to Vertical Spazial Ratio), applicata da Nogoshi e Igarashi (1970) e poi da Nakamura (1989), è quella maggiormente utilizzata. Essa consiste nello studio dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale, per la determinazione dell'amplificazione sismica locale. È ormai ampiamente riconosciuto in letteratura che l'HVSR è in grado di fornire stime affidabili delle frequenze principali di risonanza dei sottosuoli. Inoltre si riconosce che le singole componenti del rumore ambientale possono registrare ampie variazioni

in funzione dei disturbi naturali e antropici, mentre il rapporto delle componenti orizzontali con la componente verticale risulta stabile, conservando il picco della frequenza di risonanza fondamentale.

- **Stratigrafia sismica**

La tecnica HVSr può essere applicata in campo geologico per fornire una prospezione geologica del sottosuolo.

In un modello ideale di terreno costituito da due strati (1 e 2) con diversa densità (ρ_1 e ρ_2) e diverse velocità delle onde S (V_{s1} e V_{s2}) è possibile mettere in relazione la frequenza di risonanza dello strato superficiale con il suo spessore e con la velocità delle onde S al suo interno. Tale relazione è espressa in maniera semplificata dalla seguente formula:

$$f_r = \frac{V_{s1}}{4h}$$

dove:

- f_r è la frequenza di risonanza dello strato 1;
- V_{s1} è la velocità delle onde S nello strato 1;
- h è lo spessore dello strato 1;

Questo metodo, nella sua forma estesa e completa, viene utilizzato per la ricostruzione di modelli multistrato complessi, in grado di fornire parametri fisici del terreno.

Come è possibile notare, all'interno dell'equazione sono presenti tre incognite. Dalla misura tomografica si ottiene unicamente il valore della frequenza di risonanza degli strati (f_r), per cui l'equazione risulta indeterminata. È necessario fornire un valore di riferimento (V_{s1} o h), detto "vincolo", che ne consenta la soluzione. Tale valore può giungere da altre indagini o da bibliografia.

- **Acquisizione ed elaborazione dati da sismica passiva a stazione singola**

Nel sito di indagine è stata effettuata una misura di sismica passiva a stazione singola della durata di 20' allo scopo di individuare le frequenze di risonanza fondamentali dei terreni e il profilo di velocità delle onde di taglio, per poter procedere all'identificazione della categoria di sottosuolo. L'utilizzo di un appropriato programma di inversione ha permesso di ricostruire il profilo di velocità in onde S del sottosuolo sulla base del confronto tra stratigrafia e curve H/V e spettrali.

In sintesi:

- Alle frequenze di interesse ingegneristico (1Hz-11 Hz), si segnala la presenza della frequenza fondamentale dell'intera misura, nel range di frequenze compreso tra i 6 ed i 7 Hz. Si tratta del passaggio di impedenza sismica più che rilevante sia per l'intera misura (frequenza fondamentale), sia in assoluto, in quanto il rapporto di H/V approssima i 10, a testimonianza di un passaggio di impedenza netto che caratterizza il modo di amplificare dei terreni, che sarà poi oggetto della risposta sismica locale.
- In corrispondenza del sito i terreni presentano velocità V_{seq} di 293 m/s.

STUDIO DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE

• **Metodologia di studio**

Lo studio della Risposta Sismica Locale viene svolto utilizzando un software per modellazioni numeriche monodimensionali di propagazione dell'onda sismica; in particolare il software STRATA calcola, partendo da una serie di eventi sismici nel dominio del tempo, la risposta lineare equivalente o lineare elastica di un modello del sito oggetto di studio nel dominio delle frequenze. Si tratta, in sintesi, di una moderna implementazione di concetti ben noti di analisi lineare equivalente della risposta di sito. Per maggiori dettagli si rimanda alla descrizione del software STRATA¹.

Per svolgere il calcolo sono necessari:

- Un segnale di input;
- Un profilo di velocità del sottosuolo di indagine;
- Le curve di decadimento del modulo di rigidezza al taglio e di variazione dello smorzamento per i diversi terreni costituenti il sottosuolo in studio.

• **Definizione della Pericolosità Sismica di Base**

I parametri relativi alla progettazione a cui si può fare riferimento per l'intervento in progetto sono:

Vita nominale struttura in progetto	50 [anni]
Coefficiente d'uso	2.0
Periodo di riferimento azione sismica	100 [anni]
Periodo di ritorno azione sismica alla SLV	949 [anni]
Classe d'uso dell'edificio	IV

Stato Limite	Tr [anni]	a_g [g]	Fo	T_c^* [s]
Operatività (SLO)	60	0.076	2.493	0.272
Danno (SLD)	101	0.093	2.490	0.281
Salvaguardia vita (SLV)	949	0.200	2.531	0.306
Prevenzione collasso (SLC)	1950	0.244	2.567	0.315
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	100			

Figura 5: parametri legati alla tipologia di progetto oggetto di studio.

¹Technical **Manual** for **Strata**. Albert R. Kottke. Department of Civil, Architectural and Environmental Engineering. University of Texas, Austin. Ellen M. Rathje. Department of Civil, Architectural and Environmental Engineering. University of Texas (https://nees.org/resources/1507/download/Strata_Manual.pdf)

Per quanto concerne la definizione del valore di accelerazione sismica di base del sito di progetto (a_g) è necessaria al fine della corretta introduzione dei segnali di input all'interno del software di calcolo. Nella figura 1 viene riportata una parte del report ottenuto con l'elaborazione della risorsa resa disponibile online *Geostru Ps Parametri sismici 2018*.

- **Segnale di input**

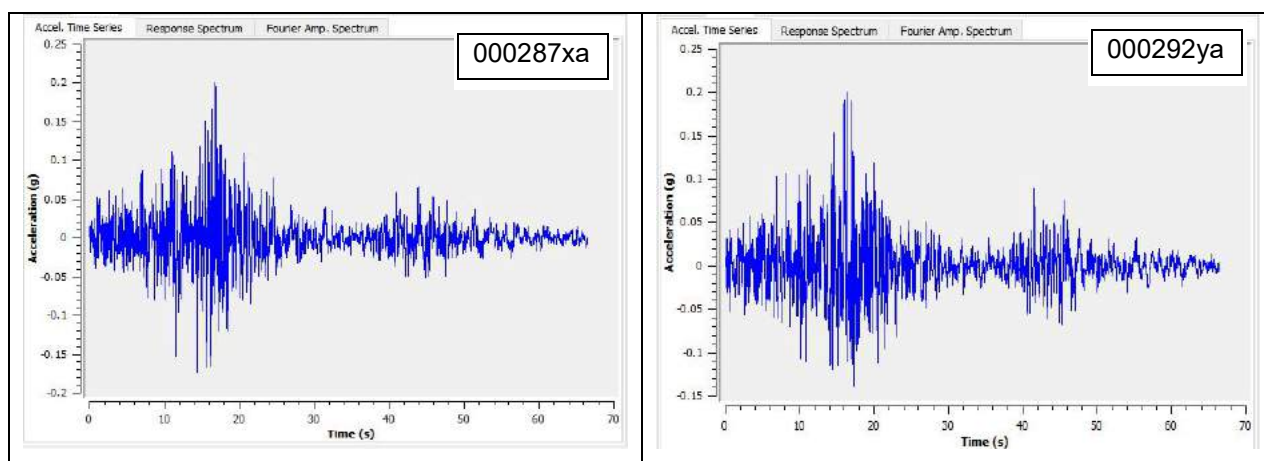
I segnali scelti come input sismico per il modello di terreno (presentato nei prossimi paragrafi) sono relativi ad eventi con tempo di ritorno pari a 949 anni, ossia con una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, corrispondenti ai parametri imposti dalle vigenti Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 14/01/2008 e successivi aggiornamenti fino al D.M. 17/01/2018) per le verifiche allo stato limite di salvaguardia della vita (SLV) nel caso di edifici con vita nominale di 50 anni (coefficiente d'uso $C_u=2.0$) e classe d'uso IV.

La scelta degli input è stata effettuata attraverso l'utilizzo del software *Rexel* (*Iervolino I., Galasso C., Cosenza E. (2009). REXEL: computer aided record selection for code-based seismic structural analysis. Bulletin of Earthquake Engineering, 8:339-362. DOI 10.1007/s10518-009-9146-1*), calibrando la scelta sulla tipologia di parametri progettuali (specificati poco sopra) e sulle caratteristiche sismiche della zona di studio.

Dato che gli accelerogrammi sono rappresentativi dello scuotimento atteso, per un periodo di ritorno di 949 anni (10% di probabilità di superamento in 50 anni), sul suolo di riferimento relativo alla categoria di sottosuolo A, definita dal D.M. 17/01/2018, e quindi tarati sullo stesso *background* progettuale del caso oggetto di studio, si è proceduto all'analisi con questi segnali sismici.

Questi segnali di riferimento sono stati selezionati dalla banca dati accelerometrica "*European Strong Motion Database*", attraverso una procedura che valuta la similarità tra forma spettrale di riferimento (ovvero uno spettro di risposta isoprobabile con il 10% di probabilità di eccedenza in 50 anni) e la forma degli spettri di risposta dei segnali contenuti nella banca dati ISED.

Il valore di a_{refg} relativo al sito analizzato è stato ottenuto interpolando i valori nei punti della griglia nazionale più prossimi al sito in esame. Il moto sismico (periodo di ritorno di 949 anni) in termini di accelerogrammi relativi al sito analizzato è ottenuto moltiplicando le accelerazioni normalizzate dei segnali di riferimento per il valore di a_{refg} , ottenuto dall'analisi del sito.



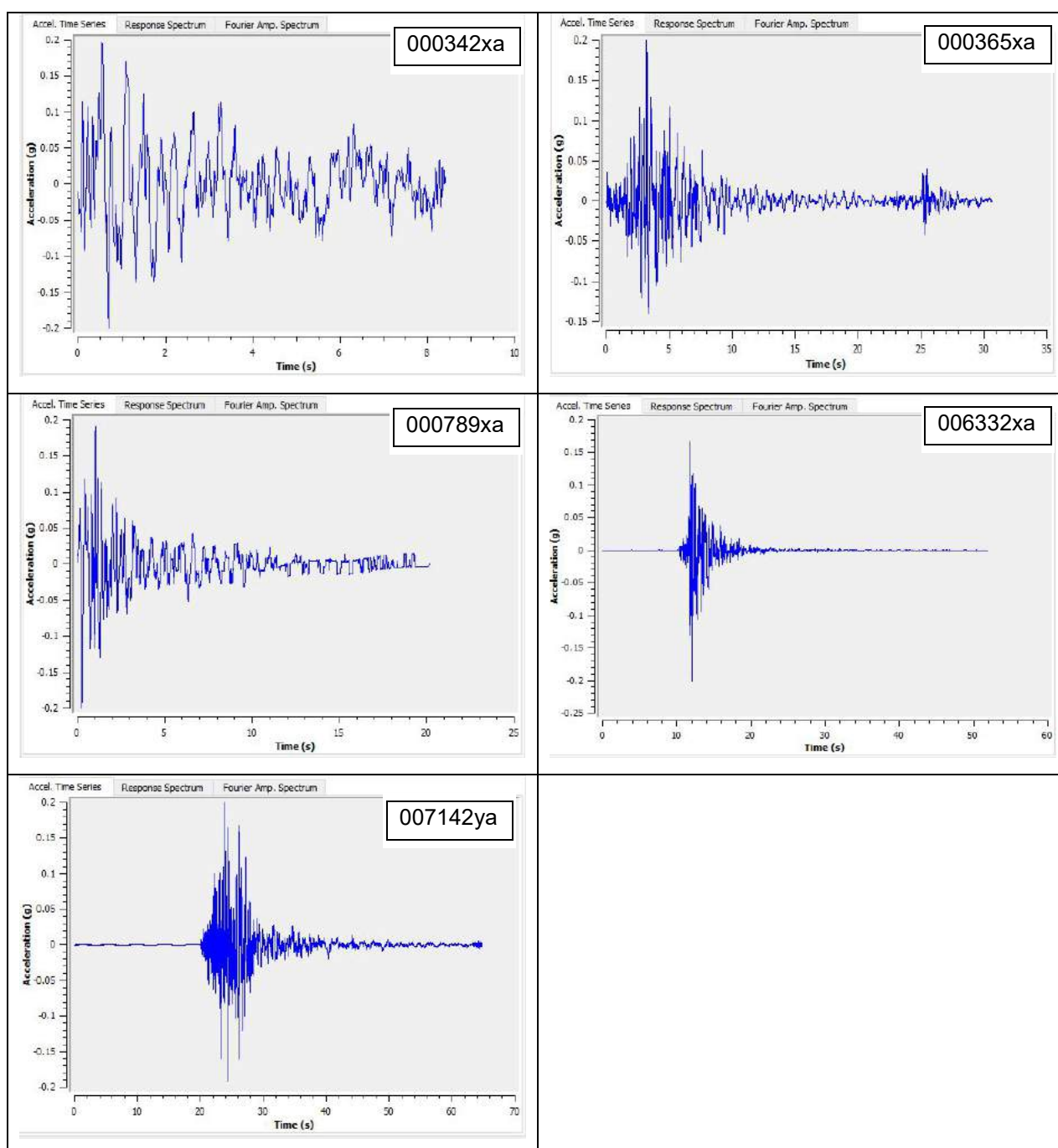


Figura 6: 7 accelerogrammi utilizzati come segnale sismico in input.

- **Profilo di velocità**

Il profilo di velocità deriva dall'interpretazione del risultato delle indagini, eseguite in data 18/03/2019, in cui sono stati elaborati i risultati sotto forma di profilo di velocità a partire dalle indagini di sismica con tecnica passiva a stazione singola (HVSR), di sismica attiva in array con tecnica MASW. Si è poi proceduto a valutare il profilo di velocità ottenuto dall'interpretazione delle indagini, da cui è stato elaborato il parametro V_{seq} per il lotto indagato (visto che il substrato sismico, definito da una velocità delle onde di taglio superiore agli 800 m/s, non è stato possibile individuarlo con certezza), in quanto ritenuto maggiormente rappresentativo e fruibile per la ricostruzione della successione nel software per il calcolo di modelli monodimensionali.

Di seguito viene presentato in forma tabellare il profilo utilizzato per le iterazioni.

PROFILO SISMOSTRATIGRAFICO				
Id. Strato	Profondità	Spessore	Soil Type	Vs (m/s)
1	0.00	2.00	Riporto	120
2	2.00	6.80	Copertura fine	200
3	8.80	Inf.	Bedrock	425

Tabella 8: Profilo di velocità utilizzato nel software STRATA. Nella colonna delle profondità viene indicata la quota del tetto dello strato considerato; in "Soil Type" viene indicata la tipologia di materiale (di cui si tratterà nel prossimo paragrafo).

Il modello di terreno è stato ricostruito dall'interpretazione delle prove sismiche eseguite in sito. Questa modalità di indagine ha reso possibile la corretta definizione delle velocità delle onde di taglio e delle profondità a cui sono stati individuati i passaggi di impedenza sismica. Da segnalare il fatto che per il sito oggetto di studio, si ritenga l'orizzonte in cui le onde S sono trasmesse a 425 m/s come substrato sismico per il modello implementato nel software di calcolo. Un'evidenza avvalorata dagli esiti delle indagini sismiche.

- **Sintesi dei dati di input**

Al fine di fornire un modello maggiormente plausibile ed aderente alla realtà, si è deciso di procedere con una modellazione di tipo "*Lineare Equivalente*"; questa tipologia di scelta determina le modalità in cui caratteristiche dei terreni vengono utilizzate per i calcoli. Il modello scelto fa riferimento a parametri di modulo di rigidezza e di smorzamento variabili, che seguono delle storie deformative presenti nel database del programma utilizzato per le verifiche.

Per quanto sia difficile trovare delle storie deformative che potessero rappresentare al meglio i materiali indagati, è stato scelto di utilizzare le funzioni presenti nel database del programma, in quanto si ritiene sarebbe stato ancor più approssimativo procedere con una verifica con metodo "lineare elastico", in cui le caratteristiche rimangono costanti al variare della deformazione. Quindi si è preferito presentare un modello di terreno più verosimile dal punto di vista della risposta ad un input dinamico, nel quale è stato effettuato uno studio dell'amplificazione di sito tramite l'indagine sismica (fornendo così un raffronto ai risultati delle modellazioni), piuttosto che optare per un modello affetto da semplificazioni eccessive, come la costanza dei parametri al progredire della deformazione.

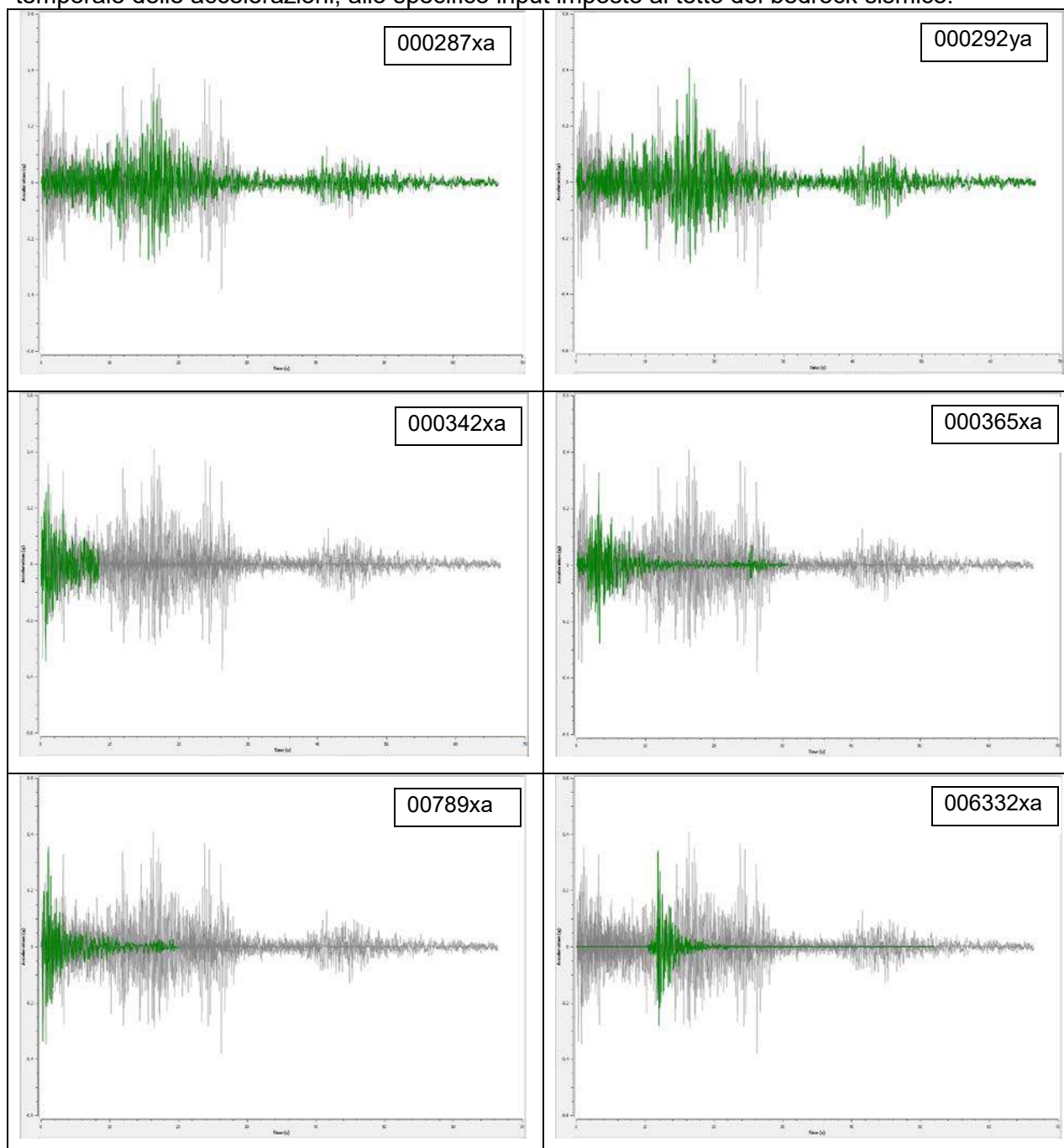
Di seguito in forma tabellare viene riportata la discretizzazione del terreno introdotta nel programma STRATA:

TIPOLOGIA DI TERRENO				
Id. Strato	Nome	Peso dell'unità di volume (kN/m ³)	Decadimento Modulo di rigidezza	Aumento smorzamento
1	Riporto	18.00	Darendeli & Stokoe (2001)	Darendeli & Stokoe (2001)
2	Copertura fine	18.50	Vucetic & Dobry, PI=15	Vucetic & Dobry, PI=15

Tabella 9: Tipi di terreno utilizzati e discretizzazione del modello sismostratigrafico utilizzato per i calcoli.

• Risultati

Le analisi monodimensionali sono state svolte utilizzando i segnali definiti con il software Rexel, con i riferimenti teorici e le caratterizzazioni di sito esposte nelle pagine precedenti. I risultati sono in prima approssimazione sintetizzabili nei sette accelerogrammi definiti di output esposti di seguito, i quali costituiscono la risposta alla quota del piano campagna, in termini di storia temporale delle accelerazioni, allo specifico input imposto al tetto del bedrock sismico.



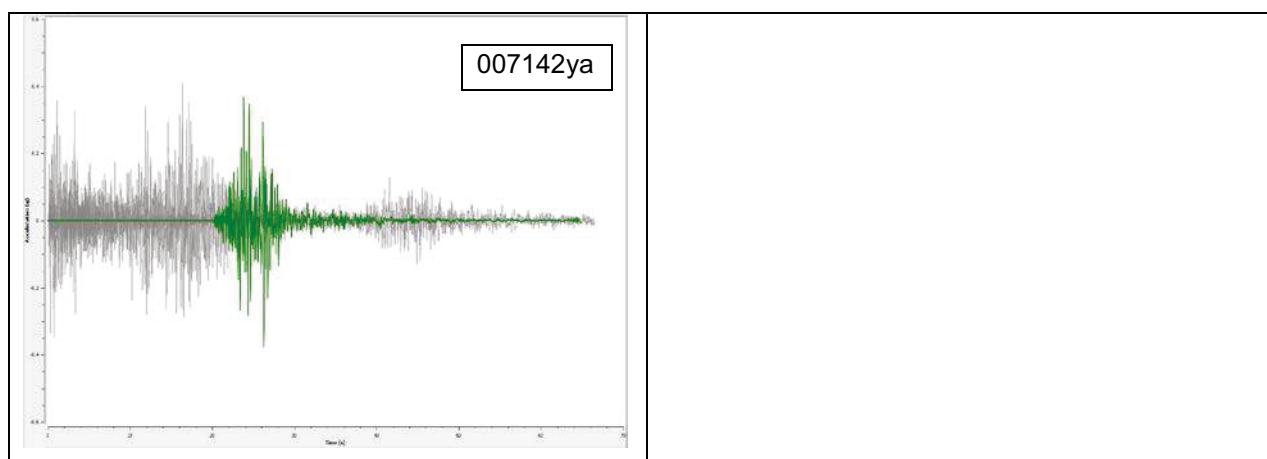


Figura 7: singoli segnali di output ottenuti come risultato del passaggio all'interno del modello (dal bedrock verso la superficie) di terreno dei segnali di input.

Passando all'analisi dei risultati per quanto concerne lo spettro di risposta, viene espressa dapprima in termini di trasformata di Fourier e quindi in spettro di risposta per un dato smorzamento, che nel caso in questione è variabile e differente per i diversi terreni al di sopra del bedrock, mentre nel substrato sismico è stato imposto come costante, pari all'1%.

Lo spettro di risposta in accelerazione relativo alla modellazione monodimensionale è riportato nella figura seguente. Nel grafico sono stati riportati gli spettri di risposta ottenuti dalla metodologia di calcolo "lineare equivalente", proponendo il confronto con lo spettro delle categorie di sottosuolo B, C (che sarebbe stata quella da assegnare al sito in esame sulla base della velocità equivalente delle Vs) e D, derivato dall'applicazione della procedura semplificata delle NTC ed elaborato con il Foglio di calcolo "Spettri NTC ver. 1.0.3", reso disponibile dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

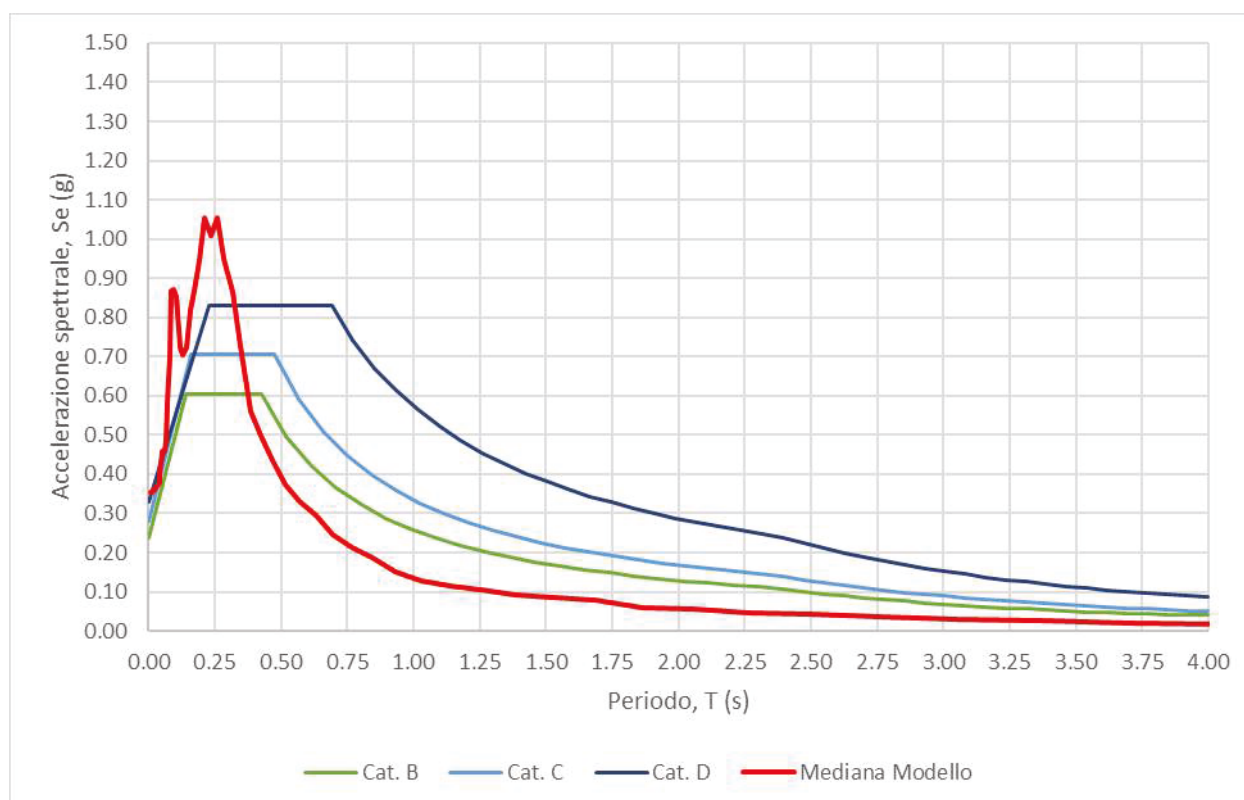


Figura 8: spettro di risposta dal modello "lineare equivalente", indicato come "Mediana Modello", confrontato con gli spettri di normativa delle categorie di sottosuolo B, C e D.

A partire da quanto riportato nel grafico soprastante, dove sono stati posti in confronto lo spettro di risposta (indicato come "Mediana Modello") con gli spettri di normativa per la classe d'uso di riferimento, tempo di ritorno, categoria topografica di sottosuolo B, C e D.

Lo spettro di risposta del terreno in esame, calcolata con la metodologia precedentemente esplicitata, ha restituito un risultato abbastanza peculiare; in particolare lo spettro calcolato mostra un andamento nettamente più ricco in contenuto di frequenza, discostandosi sensibilmente dallo spettro di tutte le categorie semplificate rappresentate nel grafico. Infatti a partire da $T=0$ fino a circa 4,0 secondi, la curva supera abbondantemente gli spettri delle categorie di sottosuolo, con un massimo dell'accelerazione spettrale di circa 1,055 (g) raggiunto tra 0,21 e 0,24 secondi. Da questi picchi in poi lo spettro decresce molto velocemente, rientrando nella categoria D a partire da 0,31 s, per poi diminuire ulteriormente fino ad essere compreso nello spettro di categoria B a partire da 0,40 secondi di periodo, fino al termine della rappresentazione dello spettro.

Per quantificare la differenza tra lo spettro di normativa e quello calcolato, nella tabella seguente sono riportati il valore di accelerazione di picco definito dalla pericolosità di base (accelerazione su suolo rigido) per la specifica area di studio (PGA_0), la massima accelerazione media risultante dalla modellazione lineare-equivalente (PGA_1) ed il rapporto di amplificazione della PGA (FA_{PGA}) che consegue dal rapporto tra le due.

MODELLAZIONE LINEARE – EQUIVALENTE (EQ)

PGA_0	0,200
PGA_1	0,354
FA_{PGA}	1,770

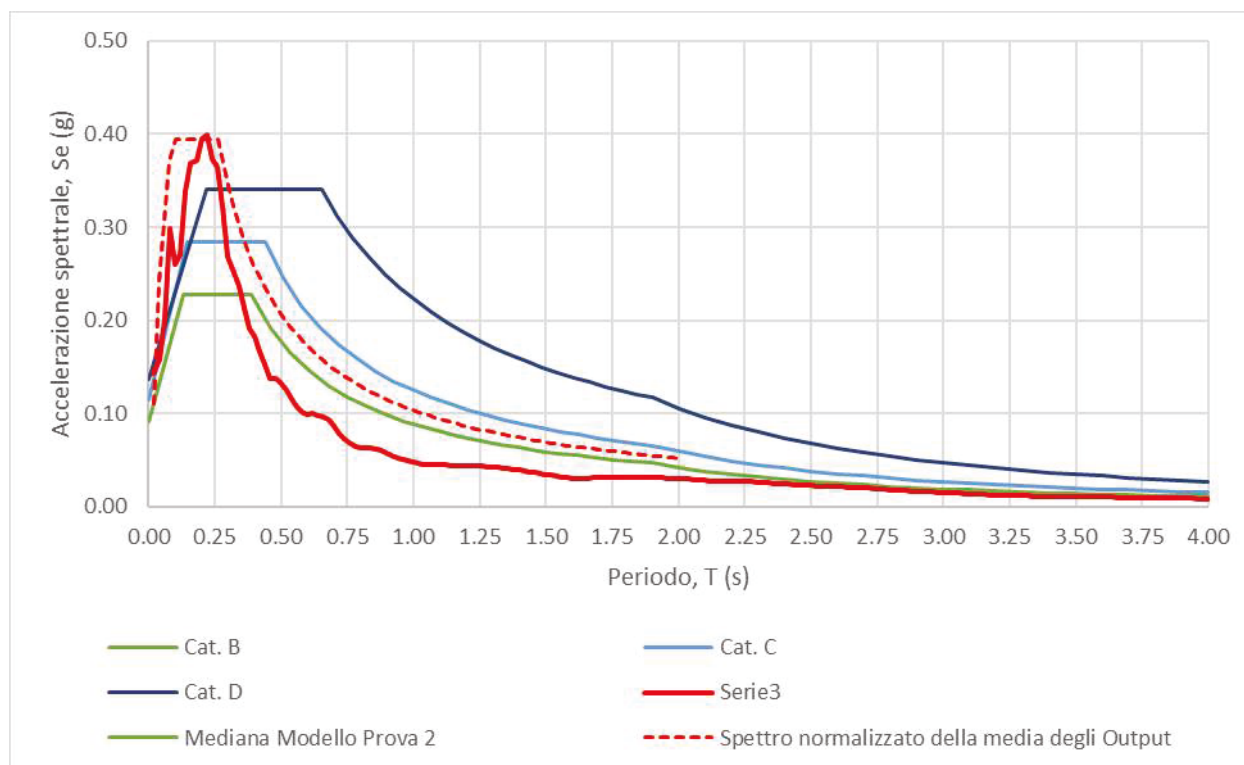
Di seguito vengono forniti i dati relativi allo spettro di risposta, con rapporto spettrale nella colonna $Se(g)$ e periodo (misurato in secondi) nella colonna T .

$T (s)$	$Se (g)$	$T (s)$	$Se (g)$	$T (s)$	$Se (g)$	$T (s)$	$Se (g)$
0.010	0.354	0.048	0.428	0.235	1.010	1.139	0.116
0.011	0.354	0.053	0.457	0.259	1.053	1.257	0.106
0.012	0.355	0.059	0.459	0.286	0.951	1.387	0.092
0.013	0.355	0.065	0.487	0.316	0.865	1.531	0.085
0.015	0.356	0.072	0.579	0.349	0.726	1.689	0.078
0.016	0.357	0.079	0.704	0.385	0.559	1.864	0.060
0.018	0.357	0.088	0.867	0.425	0.499	2.058	0.055
0.020	0.358	0.097	0.871	0.469	0.436	2.271	0.047
0.022	0.359	0.107	0.853	0.517	0.373	2.507	0.042
0.024	0.361	0.118	0.723	0.571	0.330	2.766	0.036
0.027	0.363	0.130	0.703	0.630	0.294	3.053	0.028
0.030	0.366	0.143	0.722	0.695	0.245	3.370	0.026
0.033	0.369	0.158	0.818	0.767	0.215	3.719	0.022
0.036	0.375	0.175	0.867	0.847	0.187	4.105	0.016
0.040	0.381	0.193	0.946	0.935	0.152	4.530	0.011
0.044	0.401	0.213	1.055	1.032	0.128	5.000	0.008

Tabella 10: punti dello spettro calcolato.

Si riportano a seguito gli spettri normalizzati calcolati nei vari stati limiti.

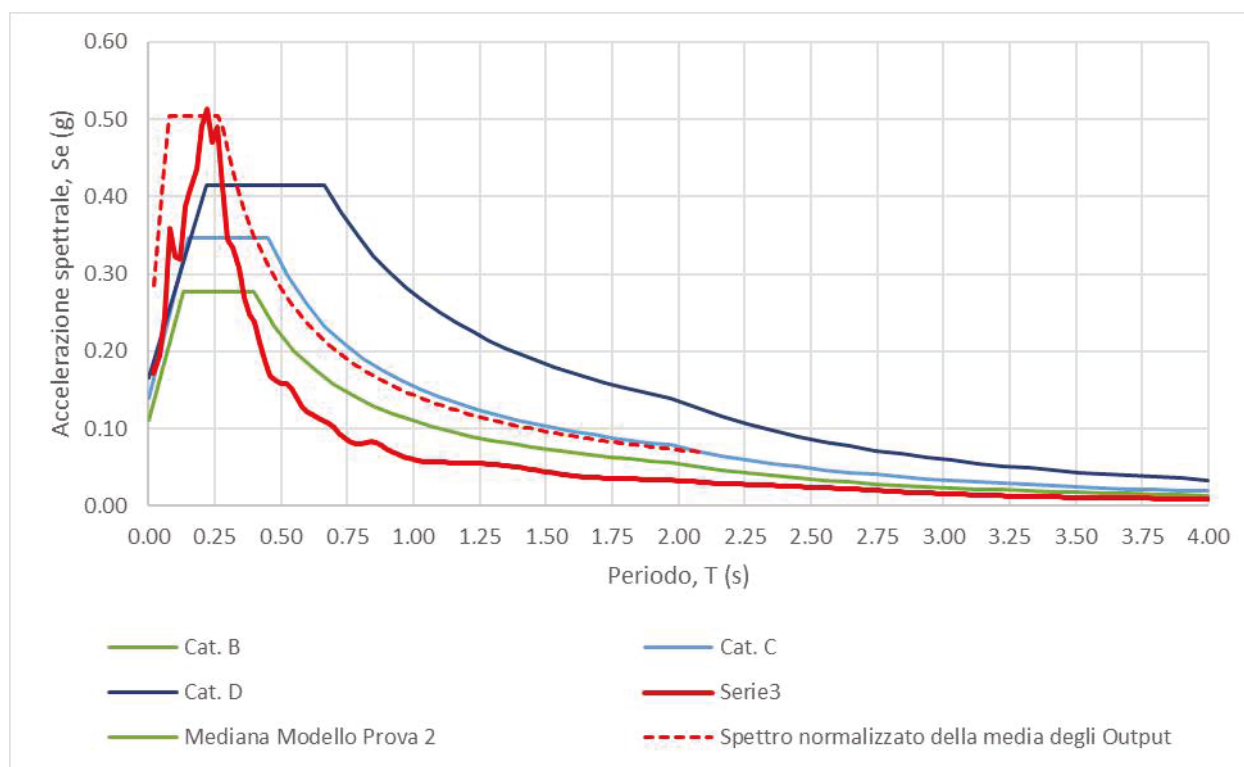
SLO



Stato Limite Operatività (SLO)	Tr [anni]	amax [g]	F_0	SS	CC	ST	T_C	T_B	T_D
	60	0.111	3.563	1.000	1.150	1.000	0.262	0.087	2.043

Spettro di risposta da modellazione numerica allo SLO confrontato con gli spettri di normativa

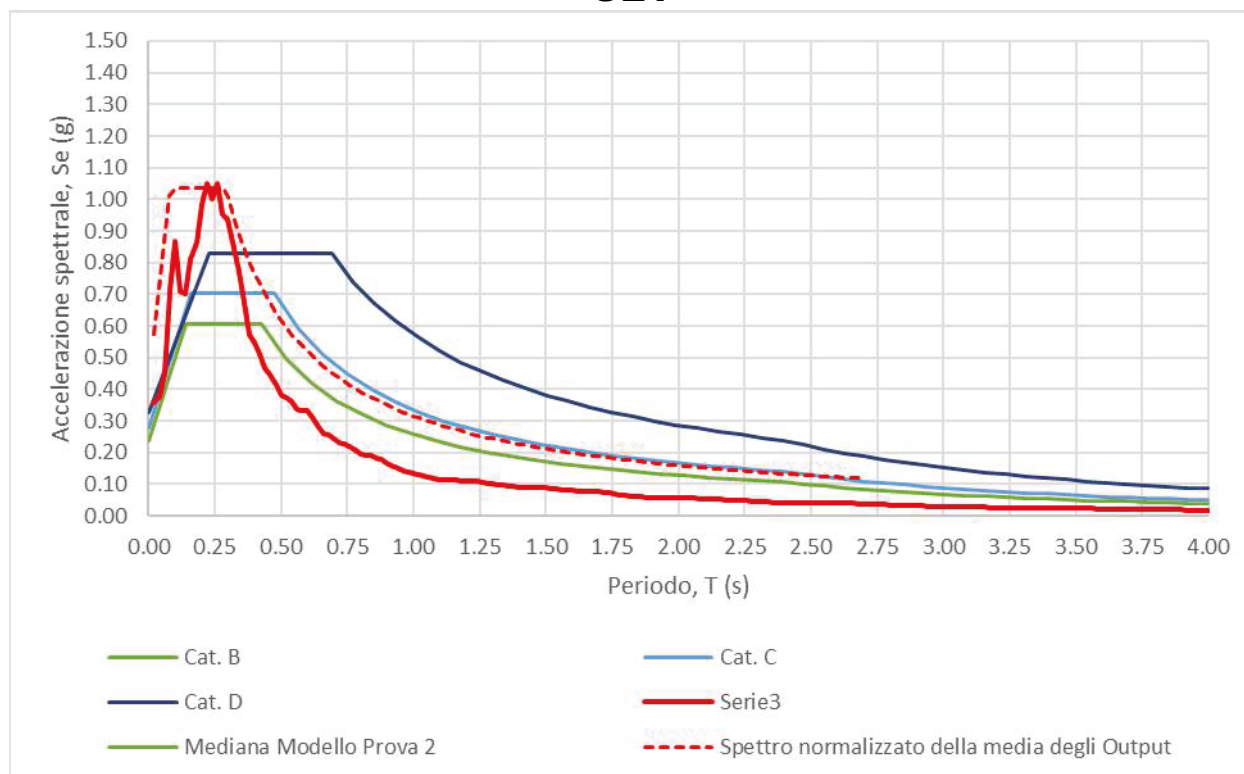
SLD



Stato Limite Danno (SLD)	T_r [anni]	a_{max} [g]	F_0	SS	CC	ST	T_C	T_B	T_D
	101	0.133	3.784	1.000	1.000	1.150	0.291	0.097	2.132

Spettro di risposta da modellazione numerica allo SLD confrontato con gli spettri di normativa

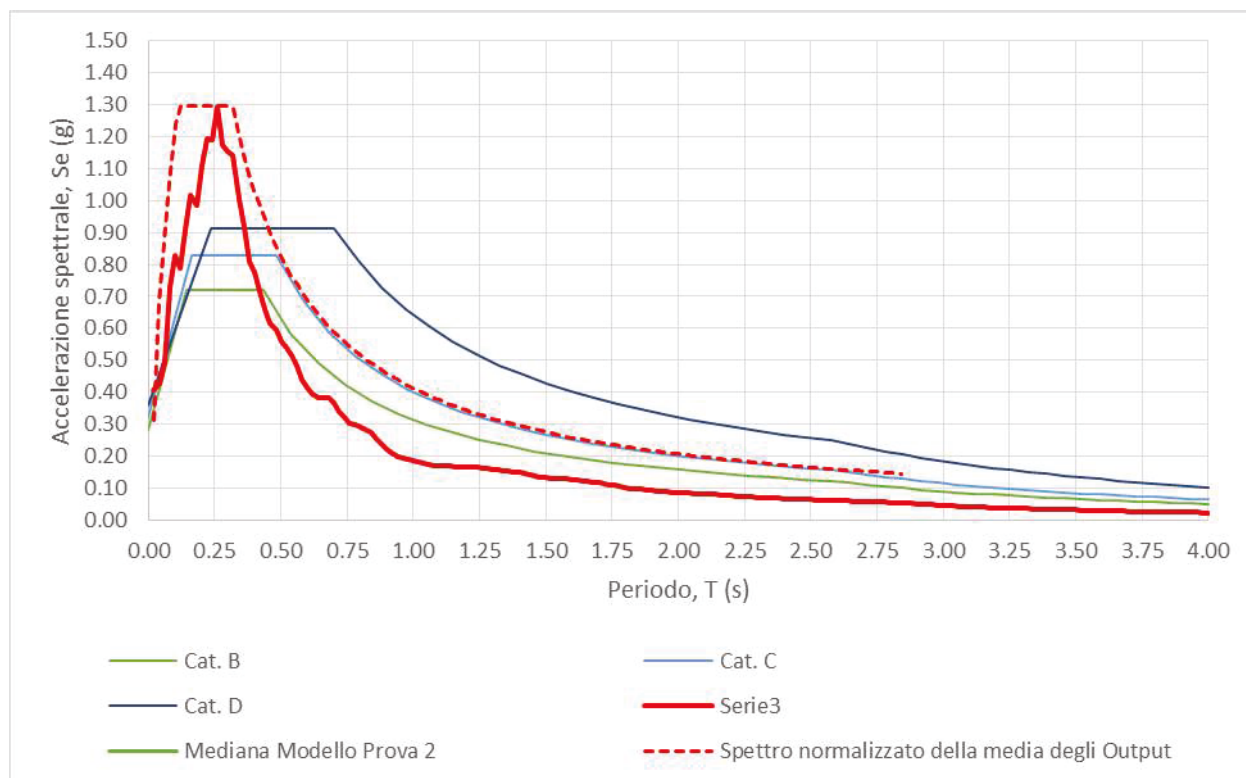
SLV



Stato Limite Vita (SLV)	Tr [anni]	amax [g]	F ₀	SS	CC	ST	T _C	T _B	T _D
	949	0.284	3.656	1.000	1.00	1.15000	0.31051	0.1035	2.735

Spettro di risposta da modellazione numerica allo SLV confrontato con gli spettri di normativa

SLC



Stato Limite	Tr [anni]	a_{max} [g]	F_0	SS	CC	ST	T_C	T_B	T_D
Vita (SLV)	1950	0.312	4.161	1.000	1.00	1.15000	0.31792	0.1060	2.847

Spettro di risposta da modellazione numerica allo SLC confrontato con gli spettri di normativa

CONSIDERAZIONI SULLA SISMICITA' DELL'AREA

- **Classificazione sismica secondo l'O.P.C.M. n° 3274 del 20 marzo 2003**

Secondo la classificazione sismica dei comuni dell'Emilia-Romagna, ai sensi dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 20 marzo 2003, n° 3274, poi rivista ed aggiornata nel DGR n°1164 del 23/07/2018 della Regione Emilia-Romagna, il Comune di Bologna viene classificato in Zona 3.

- **Coordinate geografiche del sito in esame**

Per trovare lo spettro di progetto necessario per i calcoli geotecnici secondo si potrà fare riferimento alle seguenti coordinate geografiche del sito:

Coordinate sistema WGS84	Latitudine:	44.338404	Longitudine:	11.205338
Coordinate sistema ED50	Latitudine:	44,339348	Longitudine:	11,206330

Tabella 11: coordinate geografiche del sito in due sistemi di riferimento.

- **Categoria topografica**

Visto il contesto geologico e morfologico dell'area, come coefficiente per gli effetti di amplificazione topografica, si potrà far riferimento ad una categoria T1, che esprime la sostanziale assenza di fenomeni di amplificazione sismica dovuti a fattori topografici.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Tabella 12: categorie topografiche individuate in normativa e relativa descrizione.

- **Storia sismica dell'area**

Dalla consultazione della mappa interattiva dei sismi storici (dal 217 A.C – 2002, tratto da "Portale Abruzzo"), si evince che il comune oggetto di studio non è stato interessato storicamente da terremoti di alta intensità.

Dall'elenco dei terremoti storici tratto da Portale Abruzzo, si può osservare che tra gli eventi sismici più importanti, avvenuti in un raggio di 30 km dalla zona oggetto di studio, il movimento tellurico più significativo è avvenuto nel comune di Monteveglio nel 1929 dove si sono avute magnitudo di 5,55 (Mw), ad una distanza di circa 15,5 km dal lotto in esame.

Passando all'analisi della situazione sismica recente, il terremoto più significativo, nello stesso intorno, si è verificato a circa 5 km a E di Loiano, con magnitudo durata (Md) di 5.0, registrata nel Settembre 2003. Di seguito sono riportate le mappe dei terremoti storici e di quelli attuali ed i rispettivi elenchi dei principali eventi sismici, con relativa data, magnitudo, zona epicentrale e distanza di quest'ultima dal comune in cui ricade l'intervento in progetto.

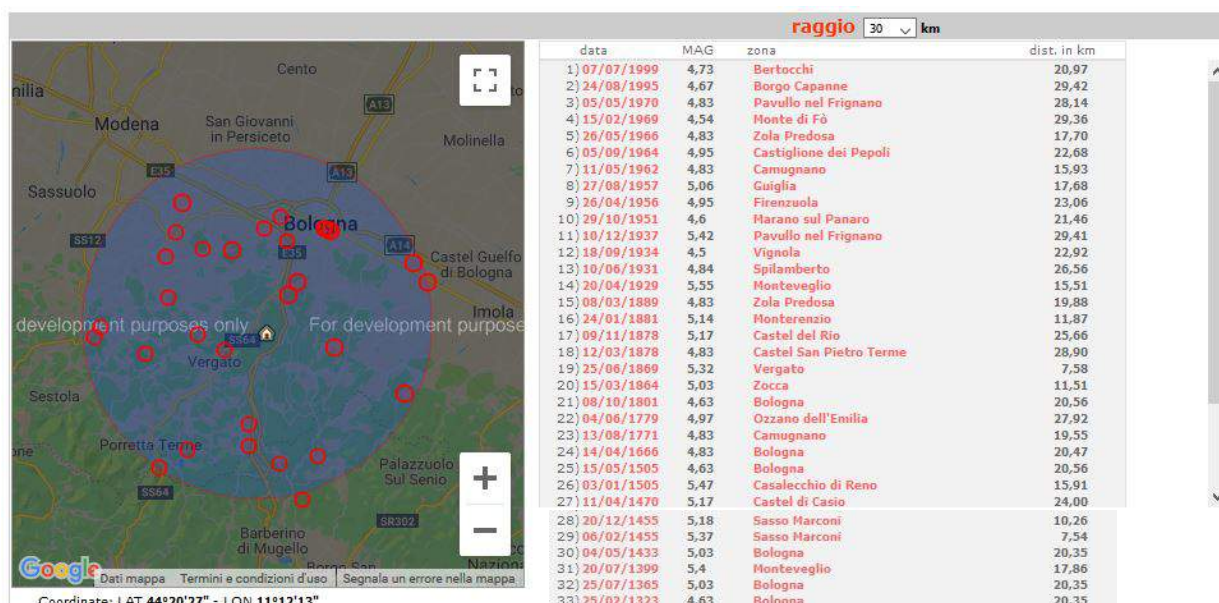


Figura 9: mappa delle zone epicentrali ed elenco dei terremoti storici nel raggio di 30 km dal comune oggetto di intervento, tratto da Portale Abruzzo.

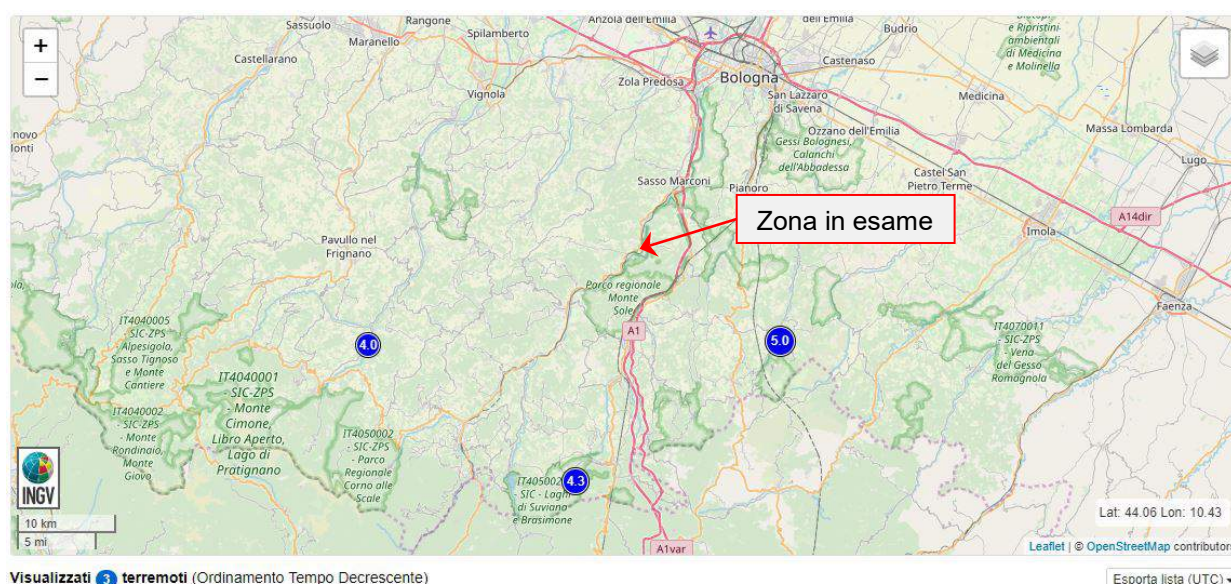


Figura 10: mappa delle zone epicentrali ed elenco dei terremoti recenti nel raggio di 30 km dal comune oggetto di intervento, tratto da INGV – Gruppo di lavoro ISiDe presso Centro Nazionale Terremoti.

• Zone e sorgenti sismogenetiche

Dalla consultazione della on line della mappa sismogenetica (zonazione sismogenetica ZS9 e distribuzione delle sorgenti sismogenetiche DISS 3) si evince che l'area oggetto di studio risulta ubicata in una zona abbastanza peculiare, in cui l'area di studio ricade al di fuori di circa 0.5 Km

in direzione N dalla fascia d'interesse della zona sismogenetica denominata: "ITCS027: Bore-Montefeltro-Fabriano-Laga", una struttura sismogenetica a carattere regionale su cui la massima magnitudo attesa è di 6,2 e a circa 7 Km in direzione S dalla fascia d'interesse della zona sismogenetica denominata: "ITCS047: Castelvetro di Modena-Castel San Pietro Terme" una struttura sismogenetica a carattere regionale su cui la massima magnitudo attesa è di 6,0. Di seguito viene riportata l'ubicazione geografica delle strutture sismogenetiche.

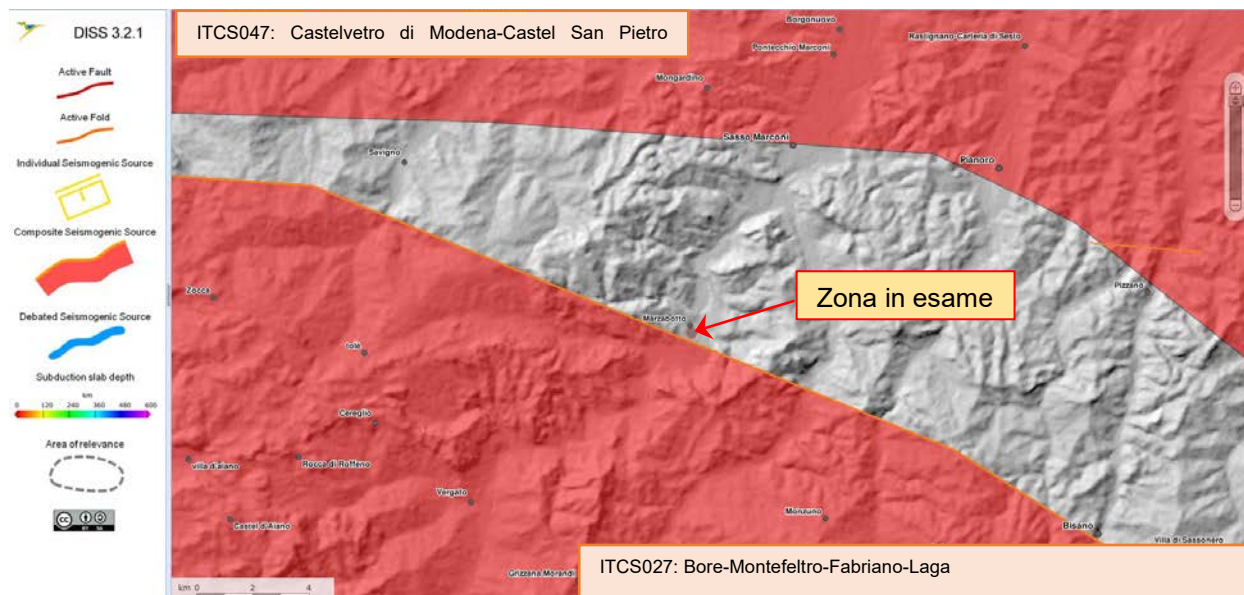


Figura 11: Mappa delle zone (ITCS) e sorgenti (ITIS) sismogenetiche collocate nell'intorno del comune oggetto di intervento.

- **Pericolosità sismica da PTCP**

Al fine di offrire una più completa connotazione sismica del contesto in cui ricade l'area in oggetto, si è proceduto alla consultazione dello studio di microzonazione sismica messo a disposizione dalla Provincia di Bologna, con la recente revisione del PTCP, in cui è inclusa una variante in materia sismica.

In particolare è stata consultata la carta di "Rischio sismico: carta delle aree suscettibili di effetti locali" (Tav.2c). In questa tavola l'area in oggetto ricade all'interno di un'ampia zona omogenea, caratterizzata da una campitura che viene descritta come: "A - Area potenzialmente soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche". Con questa campitura sottoposta, si intende segnalare la possibilità di amplificazione sismica per cause litologiche.

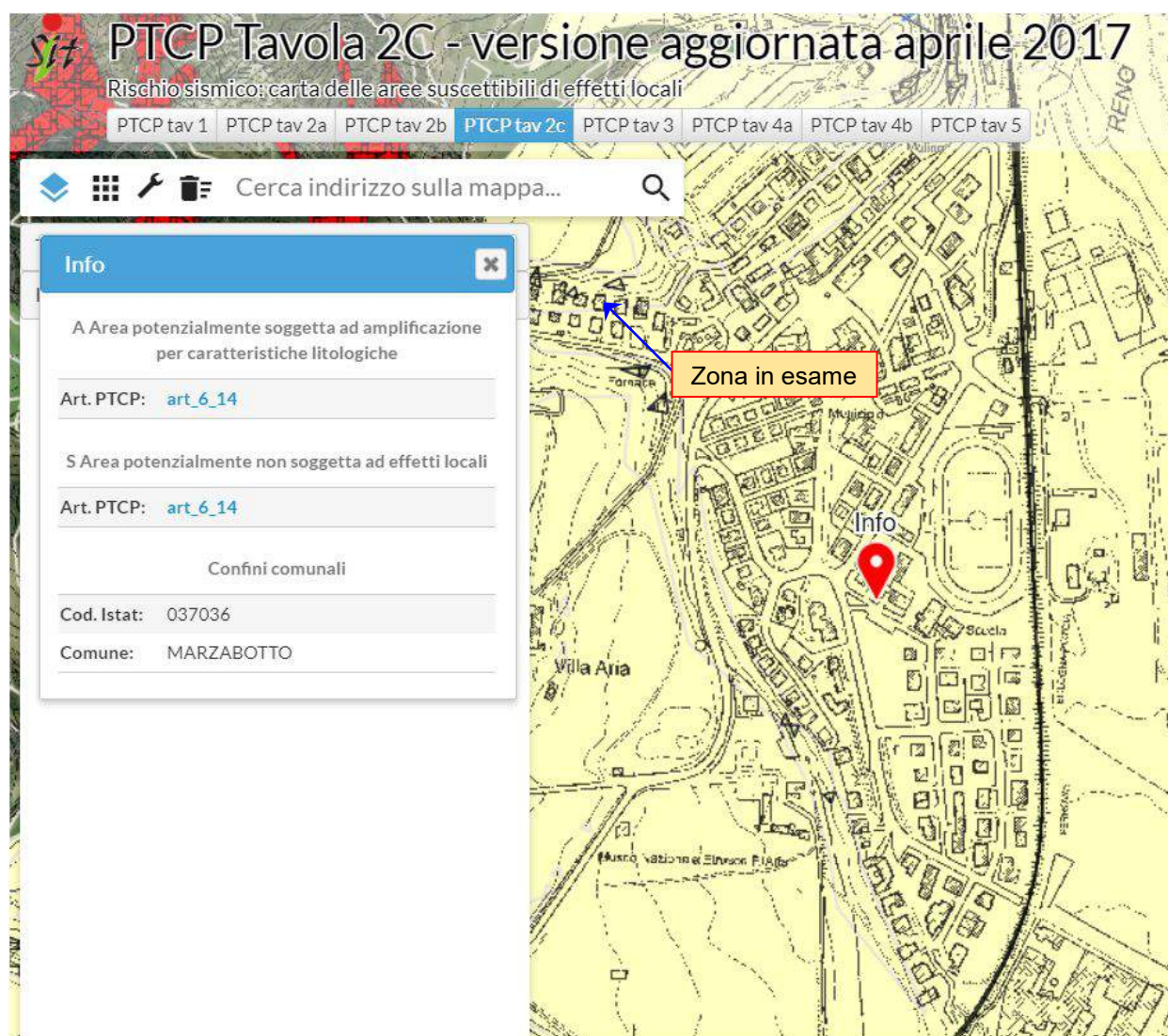


Figura 12: estratto della carta di "Rischio sismico" (Tav. 2c): carta delle aree suscettibili di effetti locali.

SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE DEI TERRENI E RELATIVE VERIFICHE

In condizioni sismiche, il termine “liquefazione” comprende una serie di fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate. Tali fenomeni sono collegati allo sviluppo di sovrappressioni interstiziali che, se positive, causano una riduzione della tensione media efficace presente nel terreno e, quindi, una riduzione della resistenza a taglio. La riduzione della resistenza può rappresentare solo una condizione temporanea, seguita da un successivo recupero, o può indurre nel terreno una condizione di collasso generalizzata e definitiva.

L'avvenuta liquefazione si manifesta, in condizioni di *free-field* (cioè in assenza di manufatti sulla superficie del deposito), attraverso la formazione di vulcanelli di sabbia, rotture o spostamenti laterali del terreno, ovvero in presenza di manufatti, attraverso la perdita di capacità portante e/o lo sviluppo di elevati cedimenti e rotazioni.

Durante l'evento sismico, se la superficie del piano campagna è orizzontale questo può subire oscillazioni di grande ampiezza. Al termine della sollecitazione, la dissipazione delle sovrappressioni interstiziali e il conseguente riassetto dei grani possono dar luogo a fenomeni di subsidenza. I fattori principali che rendono i terreni suscettibili alla liquefazione sono legati alle caratteristiche geologiche, geotecniche e sismiche del territorio.

In base alla normativa vigente la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

- eventi sismici attesi di magnitudo M inferiore a 5;
- accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di $0,1g$;
- profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
- depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)_{60} > 30$ oppure $qc_{1N} > 180$ dove $(N1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 KPa e qc_{1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 KPa;
- distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ ed in Figura 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.

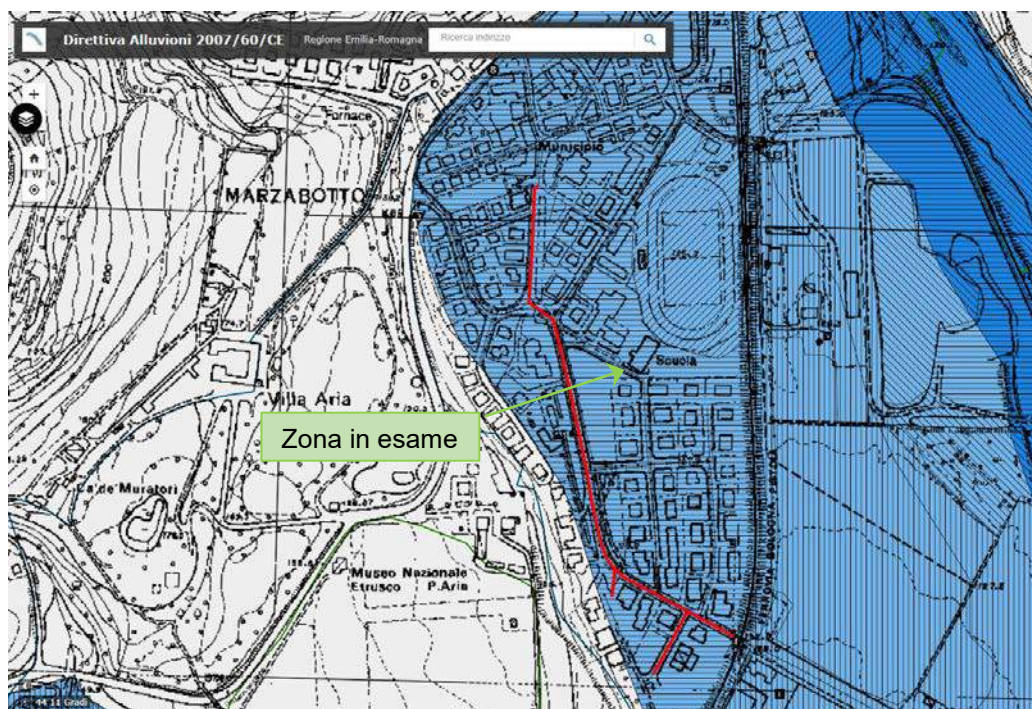
Nel caso in esame, non si ravvisa la presenza di tutti gli elementi predisponenti il fenomeno.

PERICOLOSITA' IDRAULICA

- **Consultazione del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni e del PTCP**

L'area oggetto d'intervento si colloca in una zona contigua al territorio urbanizzato di Marzabotto, nelle vicinanze del Fiume Reno, per cui si è proceduto alla consultazione del nuovo Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA), che ha integrato e recepito l'impianto normativo del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PSAI).

È stata consultata la tavola in cui si riporta la zonazione del reticolo naturale principale e secondario, con scala 1:25.000, Tavola 237-NE Sasso Marconi.



Scenari di Pericolosità

- P3 – H (Alluvioni frequenti: tempo di ritorno tra 20 e 50 anni - elevata probabilità)
- P2 – M (Alluvioni poco frequenti: tempo di ritorno tra 100 e 200 anni - media probabilità)
- P1 – L (Scarsa probabilità di alluvioni o scenari di eventi estremi)

Elementi Potenzialmente Esposti

- | | areali | puntuali |
|---------------------|---|----------|
| Zone urbanizzate | | |
| Attività produttive | | |

Figura 13: estratto dalla Mappa della pericolosità e degli elementi potenzialmente esposti, in cui sono riportati gli scenari di pericolosità (PGRA).

Dall'osservazione dell'elaborato di fig. 1 “Mappa della pericolosità e degli elementi potenzialmente esposti” si apprende che i terreni in oggetto ricadono in una zona P2, lo scenario di pericolosità intermedio: è previsto un tempo di ritorno di 200 anni, ovvero alluvioni poco frequenti.

Un'ulteriore analisi è stata fatta dal PTCP della provincia di Bologna, nella sua tavola riguardante i sistemi ambientali e delle risorse naturali e storico-culturali (tavola 1 – versione aggiornata ad Aprile 2017), ci restituisce l'informazione che la zona di studio ricada all'interno di un'area di pertinenza fluviale, senza però rientrare in aree ad alta probabilità di inondazione, si tratta di una zona normata dall'articolo 4.4 delle note a corredo del PTCP.

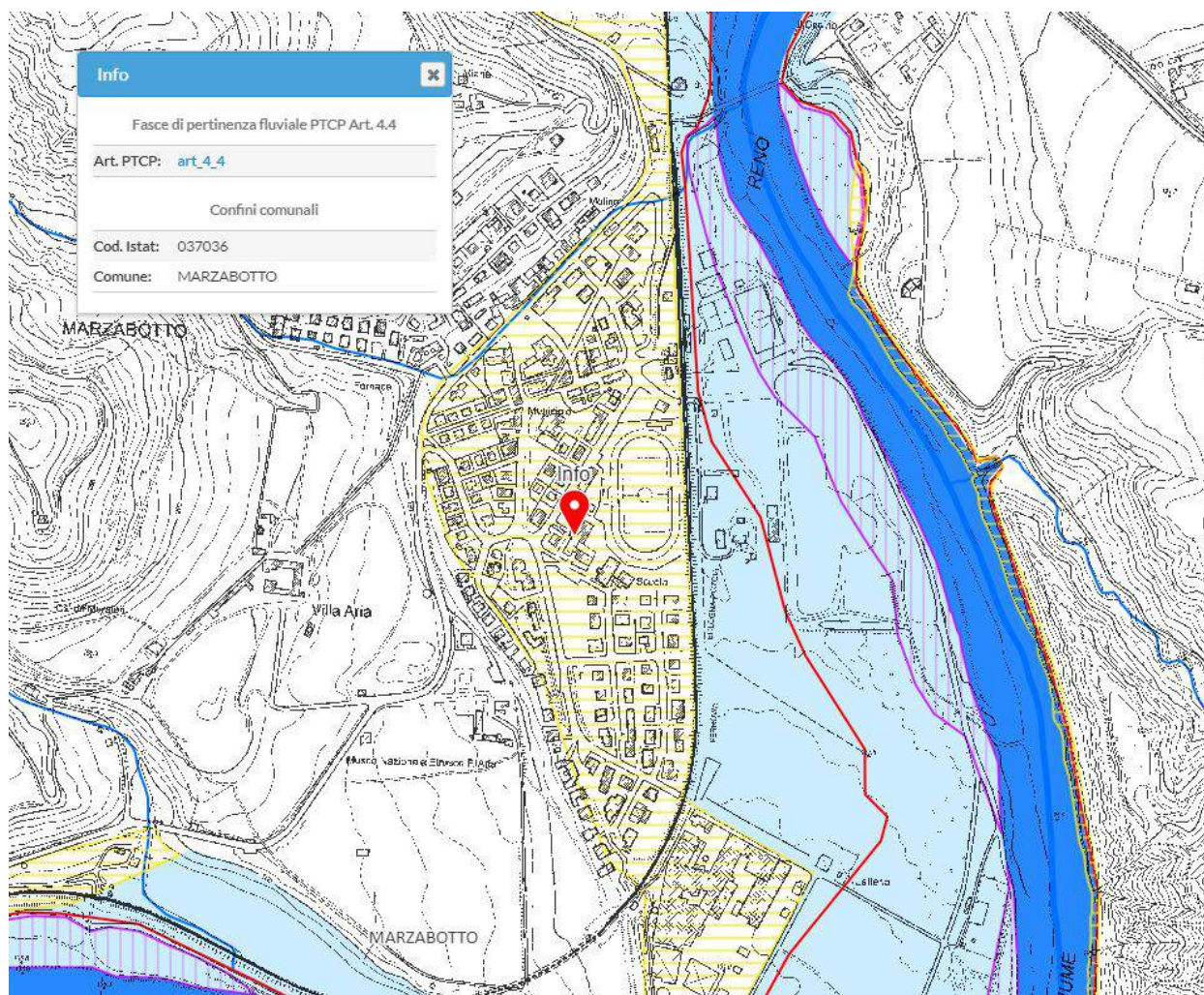


Figura 14: estratto della Tav 1 del PTCP.

CONSIDERAZIONI STRUTTURE FONDALI

Viste le condizioni riscontrate, per le strutture in progetto si ritengono idonee fondazioni superficiali impostate sull'unità A, al di sotto dello strato vegetale/riporto. Tenendo conto che nell'unità A sono presenti livelli dotati di scarse caratteristiche geotecniche, le fondazioni dovranno essere dotate di un adeguato grado di rigidità ed i carichi, dovranno essere di entità limitata.

Nel caso si rendesse necessario scaricare sul terreno carichi importanti, occorrerà impostare le fondazioni sull'unità B, caratterizzata da buone caratteristiche geotecniche.

In ogni caso, si consiglia di impostare le fondazioni ad almeno – 1.00 m dal p.c., anche per anche per far fronte alle problematiche legate ai cambiamenti di umidità correlate alle condizioni climatiche stagionali (disseccamento ecc.) che inducono variazioni volumetriche nei terreni coesivi, più significative in superficie.

Considerando che parte del nuovo fabbricato ricadrà nell'area dove attualmente è in essere un edificio, nell'eventualità che durante gli scavi di fondazione si riscontrino posizioni con materiale particolarmente alterato o strutture al di sotto del p.d.f., occorrerà provvedere all'asportazione delle stesse ed alla sostituzione con c.l.s. magro o idoneo materiale.

CONSIDERAZIONI E CONCLUSIONI

Dagli studi eseguiti è emerso che al di sotto del primo strato di riporti e pavimentazioni, sono presenti limi argillosi e limi sabbiosi da poco a mediamente consistenti, che lasciano il posto a ghiaie sabbiose dalla quota di – 2.6 ÷ -4.2 m dal p.c.. Tale strato di ghiaia sabbiosa, avente spessore di poco superiore al metro, sovrasta il substrato appartenente alla Formazione del Cigarellino, costituito da marne argillose e argille marnose molto consistenti.

Durante le indagini è stata rilevata la presenza della prima falda nell'intorno – 3.10 m dal p.c..

Viste le condizioni riscontrate, per le strutture in progetto si ritengono idonee fondazioni superficiali impostate sull'unità A, al di sotto dello strato vegetale/riporto. Le fondazioni dovranno essere dotate di un adeguato grado di rigidità ed i carichi trasmessi al terreno, dovranno essere di entità limitata.

Nel caso si rendesse necessario scaricare sul terreno carichi importanti, occorrerà impostare le fondazioni sull'unità B, caratterizzata da buone caratteristiche geotecniche.

In ogni caso, si consiglia di impostare le fondazioni ad almeno – 1.00 m dal p.c..

Considerando che parte del nuovo fabbricato ricadrà nell'area dove attualmente è in essere un edificio, nell'eventualità che durante gli scavi di fondazione si riscontrino posizioni con materiale particolarmente alterato o strutture al di sotto del p.d.f., occorrerà provvedere all'asportazione delle stesse ed alla sostituzione con c.l.s. magro o idoneo materiale.

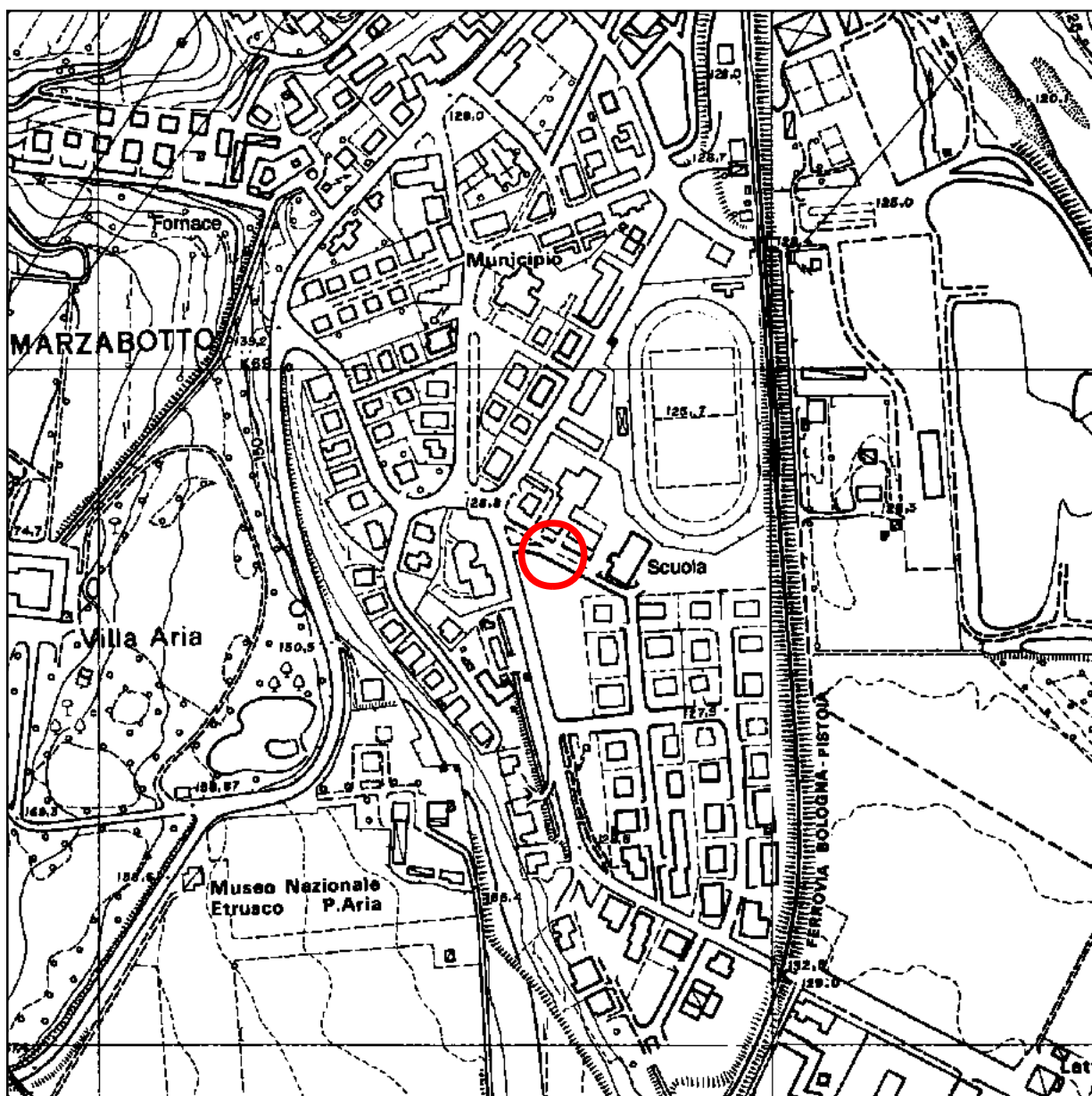
Bologna, 18 aprile 2019

dott. Luca Tondi



TAVOLE

- **Tav. 1 Corografia 1:25.000**
- **Tav. 2 Corografia 1:5.000**
- **Tav. 3 Carta geologica 1:5.000**
- **Tav. 4 Ubicazione indagini planimetria**



Legenda

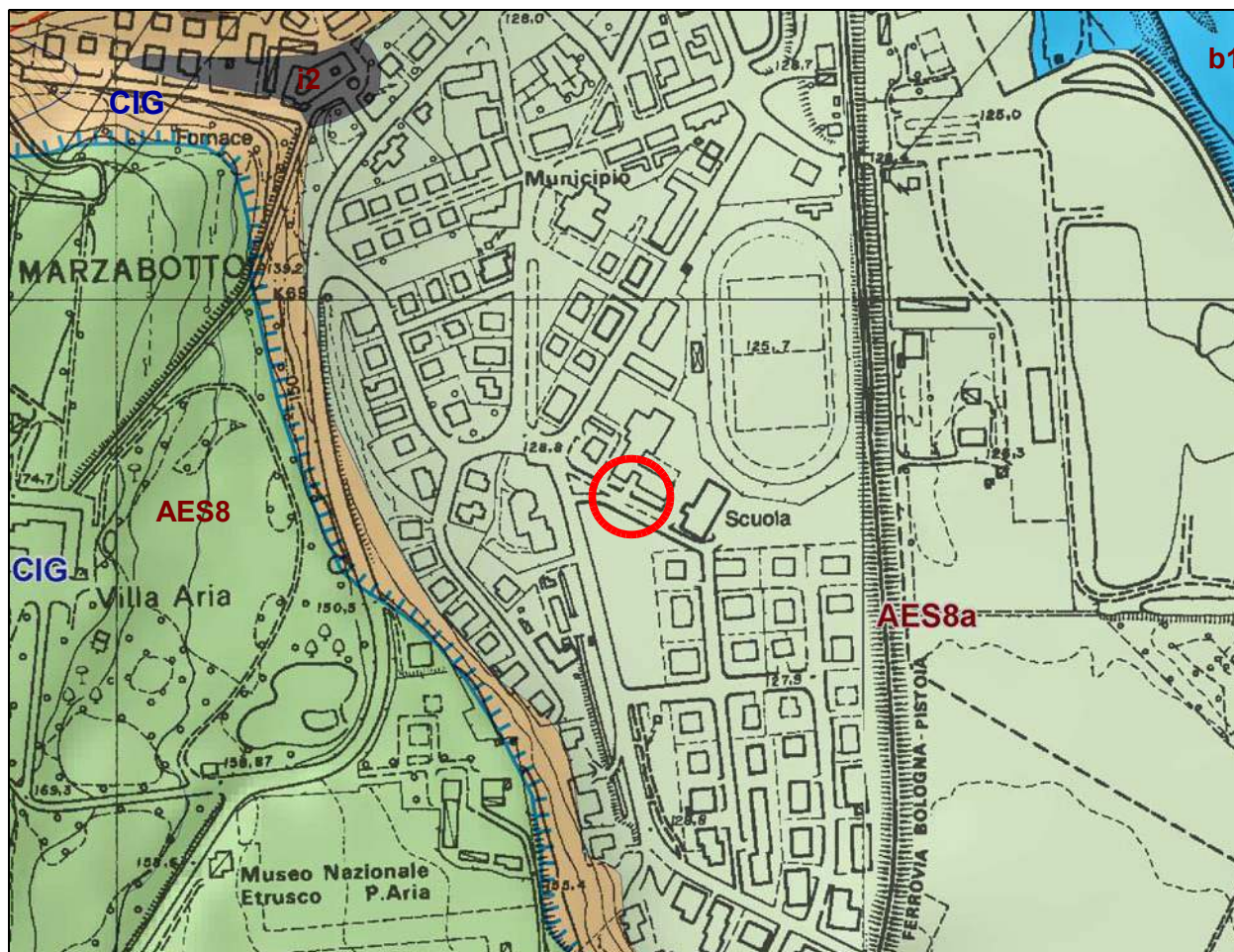


Area in oggetto

INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Carta Geologica della Regione Emilia-Romagna

SCALA 1:5.000

**LEGENDA**

Area in oggetto



i2 - Conoide torrentizia inattiva



b1 - Deposito alluvionale in evoluzione



AES8a - Unità di Modena



AES8 - Subsistema di Ravenna



CIG - Formazione di Cigarelllo



Orlo di terrazzo fluviale

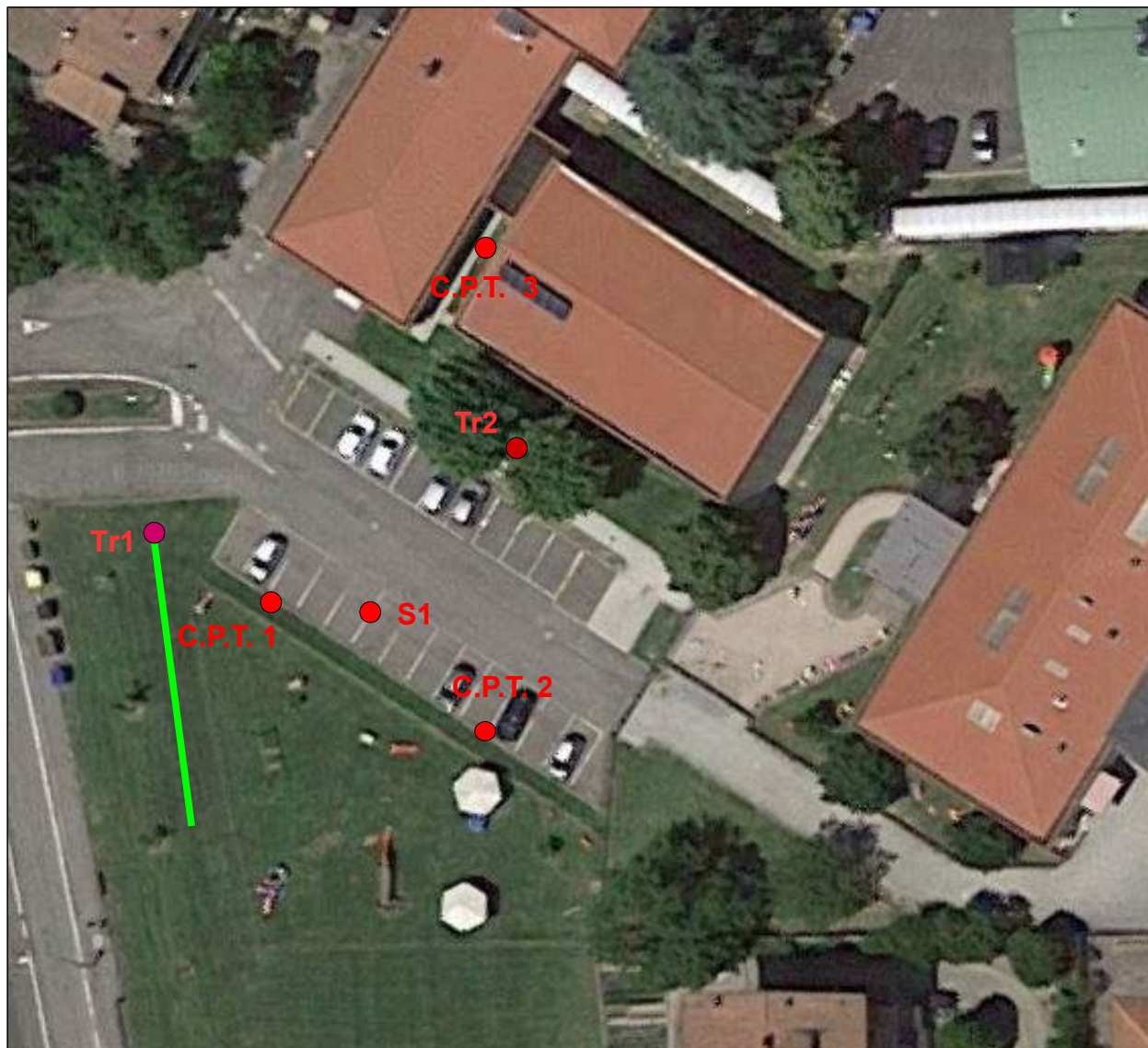


Affioramento

UBICAZIONE INDAGINI

STRALCIO GOOGLE EARTH

SCALA 1:500



Legenda

- **P** Prove penetrometriche CPT/DPSH
- **S** Sondaggio a carotaggio continuo
- **Tr1** Indagine sismica passiva a stazione singola (HVSr)
- Indagine sismica in array attivo (MASW)

INDAGINI GEOGNOSTICHE

PROVE PENETROMETRICHE

CONE PENETRATION TEST (C.T.P.)

PENETROMETRO STATICO TG 63-200 (PAGANI)

Caratteristiche Tecniche-Strumentali

Rif. Norme	ASTM D3441-86
Lecture	Punta-Laterale
Baricentro punta lungo l'altezza	30 cm
Area punta	10 cm ²
Area interna punta cono	8.5 cm ²
Angolo di apertura punta	60°
Diametro punta conica meccanica	35.7 mm
Altezza manicotto laterale	13.3 cm
Sistema di misura:	Meccanico
Passo:	20 cm
Peso manicotto ancoraggio	2 Kg
Superficie manicotto	150 cm ²
Anello allargatore:	Sì
Costante di trasformazione	10

LEGENDA VALUTAZIONI LITOLOGICHE CORRELAZIONI GENERALI

Valutazioni in base al rapporto: $F = (q_c / f_s)$

Begemann 1965 - Raccomandazioni A.G.I. 1977

Valide in via approssimata per terreni immersi in falda :

$F = q_c / f_s$	NATURA LITOLOGICA	PROPRIETA'
$F \leq 15 \text{ kg/cm}^2$	TORBE ED ARGILLE ORGANICHE	COESIVE
$15 \text{ kg/cm}^2 < F \leq 30 \text{ kg/cm}^2$	LIMI ED ARGILLE	COESIVE
$30 \text{ kg/cm}^2 < F \leq 60 \text{ kg/cm}^2$	LIMI SABBIOSI E SABBIE LIMOSE	GRANULARI
$F > 60 \text{ kg/cm}^2$	SABBIE E SABBIE CON GHIAIA	GRANULARI

**Vengono inoltre riportate le valutazioni stratigrafiche fornite da Schmertmann (1978),
ricavabili in base ai valori di q_c e di $FR = (f_s / q_c) \%$:**

- AO	= argilla organica e terreni misti
- Att	= argilla (inorganica) molto tenera
- At	= argilla (inorganica) tenera
- Am	= argilla (inorganica) di media consistenza
- Ac	= argilla (inorganica) consistente
- Acc	= argilla (inorganica) molto consistente
- ASL	= argilla sabbiosa e limosa
- SAL	= sabbia e limo / sabbia e limo argilloso
- Ss	= sabbia sciolta
- Sm	= sabbia mediamente addensata
- Sd	= sabbia densa o cementata
- SC	= sabbia con molti fossili, calcareniti

Secondo Schmertmann il valore della resistenza laterale da usarsi, dovrebbe essere pari a:

- $1/3 \pm 1/2$ di quello misurato , per depositi sabbiosi
- quello misurato (inalterato) , per depositi coesivi.

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

DIAGRAMMI DI RESISTENZA

CPT

referimento

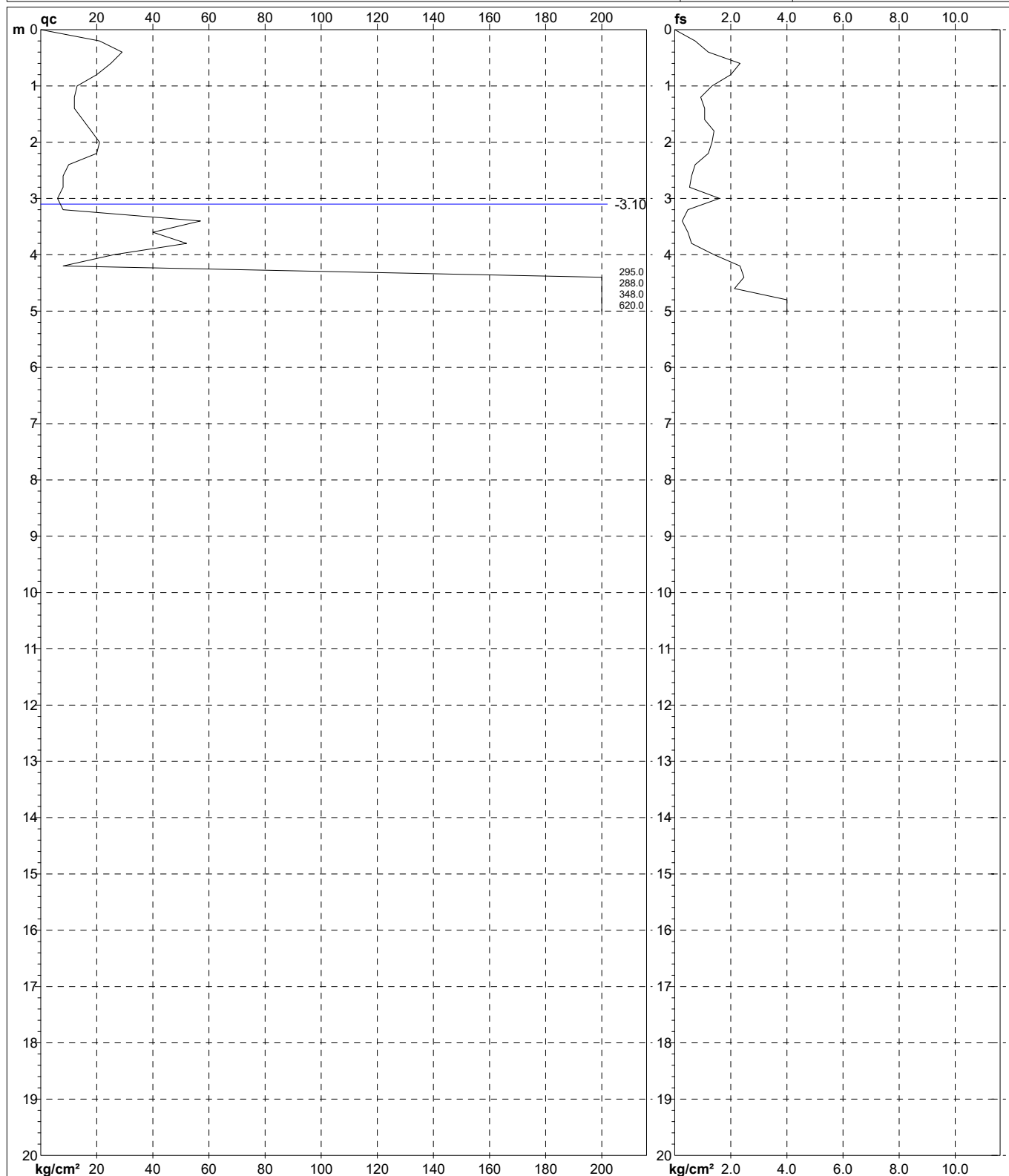
1

010-2019

Committente: **Comune**
 Cantiere: **Via A. Nerozzi - Scuola**
 Località: **Marzabotto**

U.M.: **kg/cm²**
 Scala: **1:100**
 Pagina: **1**
 Elaborato:

Data esec.: **20/03/2019**
 Quota inizio:
 Falda: **-3.10 m** da p.c.



Penetrometro: **TG63-200**
 Responsabile:
 Assistente:

Preforo: **m**
 Corr.astine: **kg/ml**
 Cod.ISTAT: **037036**
 Cod. punta:

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI

CPT

riferimento

1**010-2019**

Committente: **Comune**
 Cantiere: **Via A. Nerozzi - Scuola**
 Località: **Marzabotto**

U.M.: **kg/cm²**

Data esec.: 20/03/2019

Pagina: 1

Elaborato:

Falda: -3.10 m da p.c.

H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc kg/cm²	fs kg/cm²	F -	Rf %	H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc kg/cm²	fs kg/cm²	F -	Rf %
0.20	21.0	28.0		21.0	0.73	29	3.5								
0.40	29.0	40.0		29.0	1.20	24	4.1								
0.60	25.0	43.0		25.0	2.33	11	9.3								
0.80	20.0	55.0		20.0	2.00	10	10.0								
1.00	13.0	43.0		13.0	1.33	10	10.2								
1.20	12.0	32.0		12.0	0.93	13	7.8								
1.40	12.0	26.0		12.0	1.07	11	8.9								
1.60	15.0	31.0		15.0	1.07	14	7.1								
1.80	18.0	34.0		18.0	1.40	13	7.8								
2.00	21.0	42.0		21.0	1.33	16	6.3								
2.20	20.0	40.0		20.0	1.20	17	6.0								
2.40	10.0	28.0		10.0	0.73	14	7.3								
2.60	8.0	19.0		8.0	0.60	13	7.5								
2.80	8.0	17.0		8.0	0.53	15	6.6								
3.00	6.0	14.0		6.0	1.60	4	26.7								
3.20	8.0	32.0		8.0	0.47	17	5.9								
3.40	57.0	64.0		57.0	0.27	211	0.5								
3.60	40.0	44.0		40.0	0.47	85	1.2								
3.80	52.0	59.0		52.0	0.60	87	1.2								
4.00	26.0	35.0		26.0	1.40	19	5.4								
4.20	8.0	29.0		8.0	2.33	3	29.1								
4.40	295.0	330.0		295.0	2.47	119	0.8								
4.60	288.0	325.0		288.0	2.13	135	0.7								
4.80	348.0	380.0		348.0	4.00	87	1.1								
5.00	620.0	680.0		620.0	4.00	155	0.6								

H = profondità

L1 = prima lettura (punta)

L2 = seconda lettura (punta + laterale)

Lt = terza lettura (totale)

CT = 10.00 costante di trasformazione

qc = resistenza di punta

fs = resistenza laterale calcolata
alla stessa quota di qc

F = rapporto Begemann (qc / fs)

Rf = rapporto Schmertmann (fs / qc)*100

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

DIAGRAMMI LITOLOGIA

CPT

riferimento

1

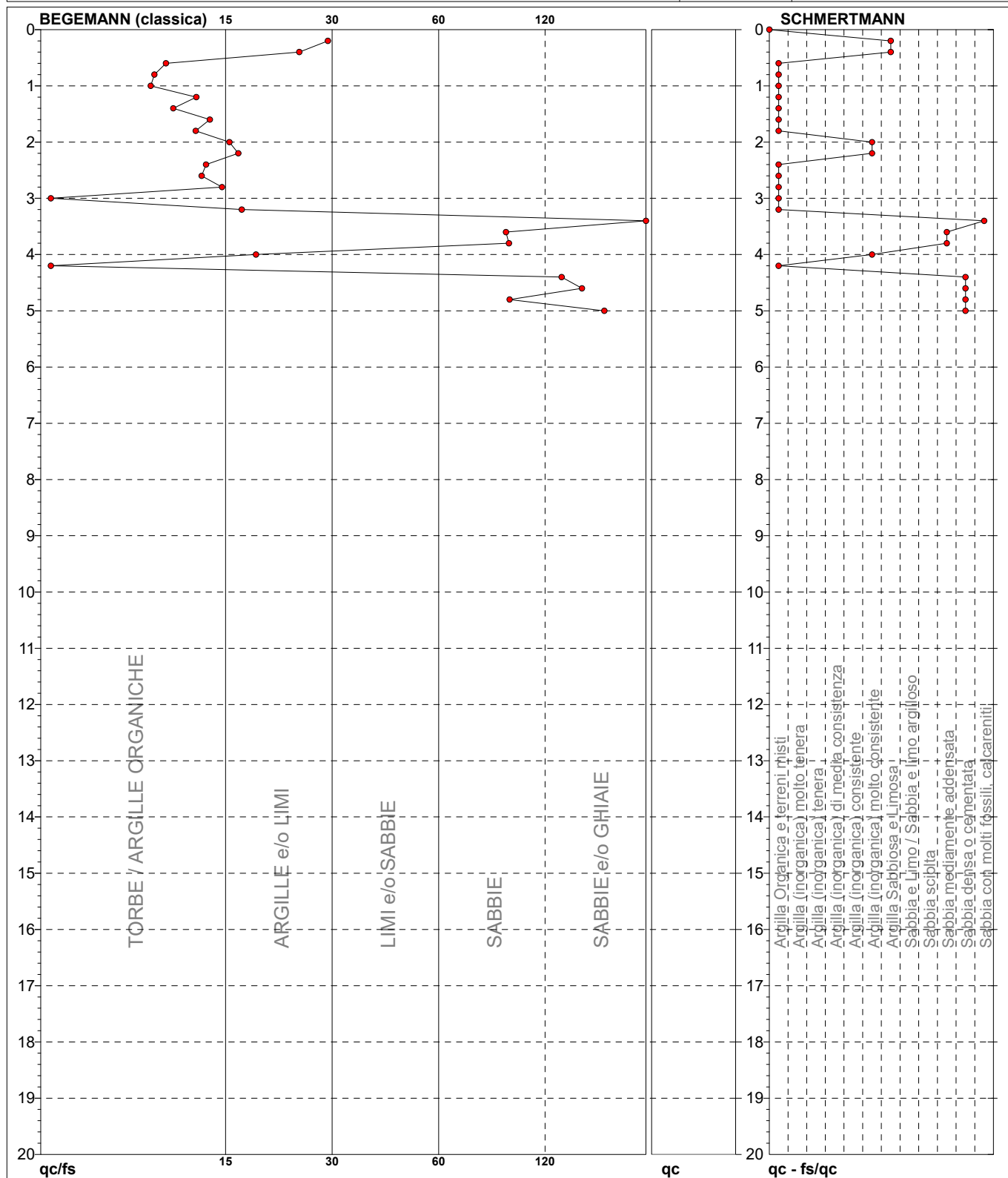
010-2019

Committente: **Comune**
Cantiere: **Via A. Nerozzi - Scuola**
Località: **Marzabotto**

U.M.: **kg/cm²**
Scala: **1:100**
Pagina: **1**
Elaborato:

Data esec.: **20/03/2019**

Falda: **-3.10 m** da p.c.



Torbe / Argille org. : 86 punti, 86.87%
Argille e/o Limi : 7 punti, 7.07%

Sabbie: 4 punti, 4.04%
Sabbie e/o Ghiaie : 3 punti, 3.03%

Argilla Organica e terreni misti:
Argilla (inorganica) molto consist.:

13 punti, 13.13%
3 punti, 3.03%

Argilla Sabbiosa e Limosa:
Sabbia mediamente addensata:
Sabbia densa o cementata:
Sabbia con molti fossili, calcareniti:

2 punti, 2.02%
2 punti, 2.02%
4 punti, 4.04%
1 punti, 1.01%

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

DIAGRAMMI DI RESISTENZA

CPT

referimento

2

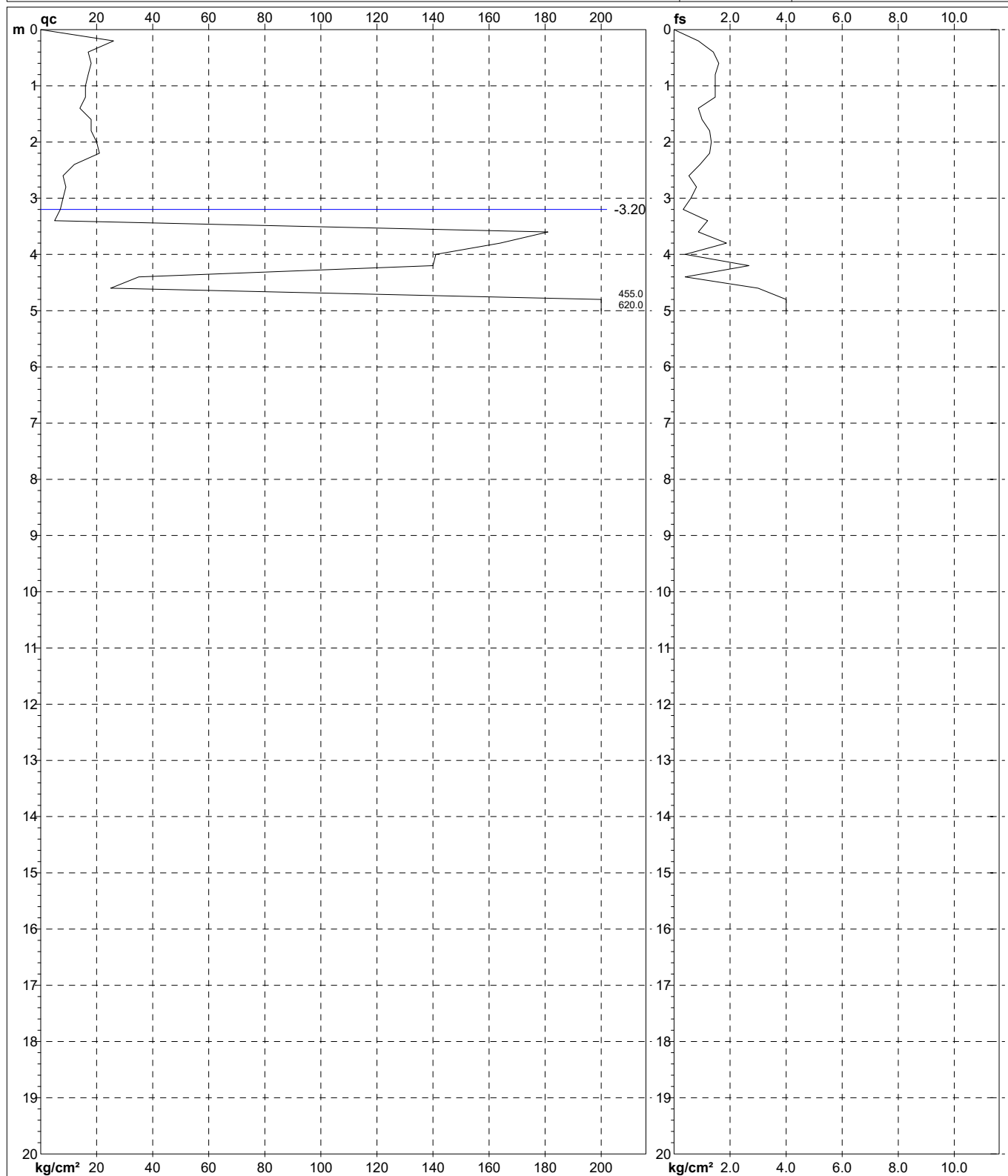
010-2019

Committente: **Comune**
 Cantiere: **Via A. Nerozzi - Scuola**
 Località: **Marzabotto**

U.M.: **kg/cm²**
 Scala: **1:100**
 Pagina: **1**
 Elaborato:

Data esec.: **20/03/2019**

Quota inizio:
 Falda: **-3.20 m** da p.c.



Penetrometro: **TG63-200**
 Responsabile:
 Assistente:

Preforo: **m**
 Corr.astine: **kg/ml**
 Cod.ISTAT: **037036**
 Cod. punta:

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI	CPT	2
	riferimento	010-2019

Committente: Comune	U.M.: kg/cm²	Data esec.: 20/03/2019
Cantiere: Via A. Nerozzi - Scuola	Pagina: 1	
Località: Marzabotto	Elaborato:	Falda: -3.20 m da p.c.

H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc kg/cm²	fs kg/cm²	F -	Rf %	H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc kg/cm²	fs kg/cm²	F -	Rf %
0.20	26.0	33.0		26.0	0.87	30	3.3								
0.40	17.0	30.0		17.0	1.40	12	8.2								
0.60	18.0	39.0		18.0	1.60	11	8.9								
0.80	17.0	41.0		17.0	1.47	12	8.6								
1.00	16.0	38.0		16.0	1.47	11	9.2								
1.20	16.0	38.0		16.0	1.47	11	9.2								
1.40	14.0	36.0		14.0	0.87	16	6.2								
1.60	18.0	31.0		18.0	1.00	18	5.6								
1.80	18.0	33.0		18.0	1.27	14	7.1								
2.00	20.0	39.0		20.0	1.33	15	6.7								
2.20	21.0	41.0		21.0	1.27	17	6.0								
2.40	12.0	31.0		12.0	0.93	13	7.8								
2.60	8.0	22.0		8.0	0.53	15	6.6								
2.80	9.0	17.0		9.0	0.80	11	8.9								
3.00	8.0	20.0		8.0	0.60	13	7.5								
3.20	7.0	16.0		7.0	0.33	21	4.7								
3.40	5.0	10.0		5.0	1.20	4	24.0								
3.60	181.0	199.0		181.0	0.87	208	0.5								
3.80	164.0	177.0		164.0	1.87	88	1.1								
4.00	141.0	169.0		141.0	0.40	353	0.3								
4.20	140.0	146.0		140.0	2.67	52	1.9								
4.40	35.0	75.0		35.0	0.40	88	1.1								
4.60	25.0	31.0		25.0	3.00	8	12.0								
4.80	455.0	500.0		455.0	4.00	114	0.9								
5.00	620.0	680.0		620.0	4.00	155	0.6								

H = profondità	qc = resistenza di punta
L1 = prima lettura (punta)	fs = resistenza laterale calcolata
L2 = seconda lettura (punta + laterale)	alla stessa quota di qc
Lt = terza lettura (totale)	F = rapporto Begemann (qc / fs)
CT = 10.00 costante di trasformazione	Rf = rapporto Schmertmann (fs / qc)*100

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

DIAGRAMMI LITOLOGIA

CPT

riferimento

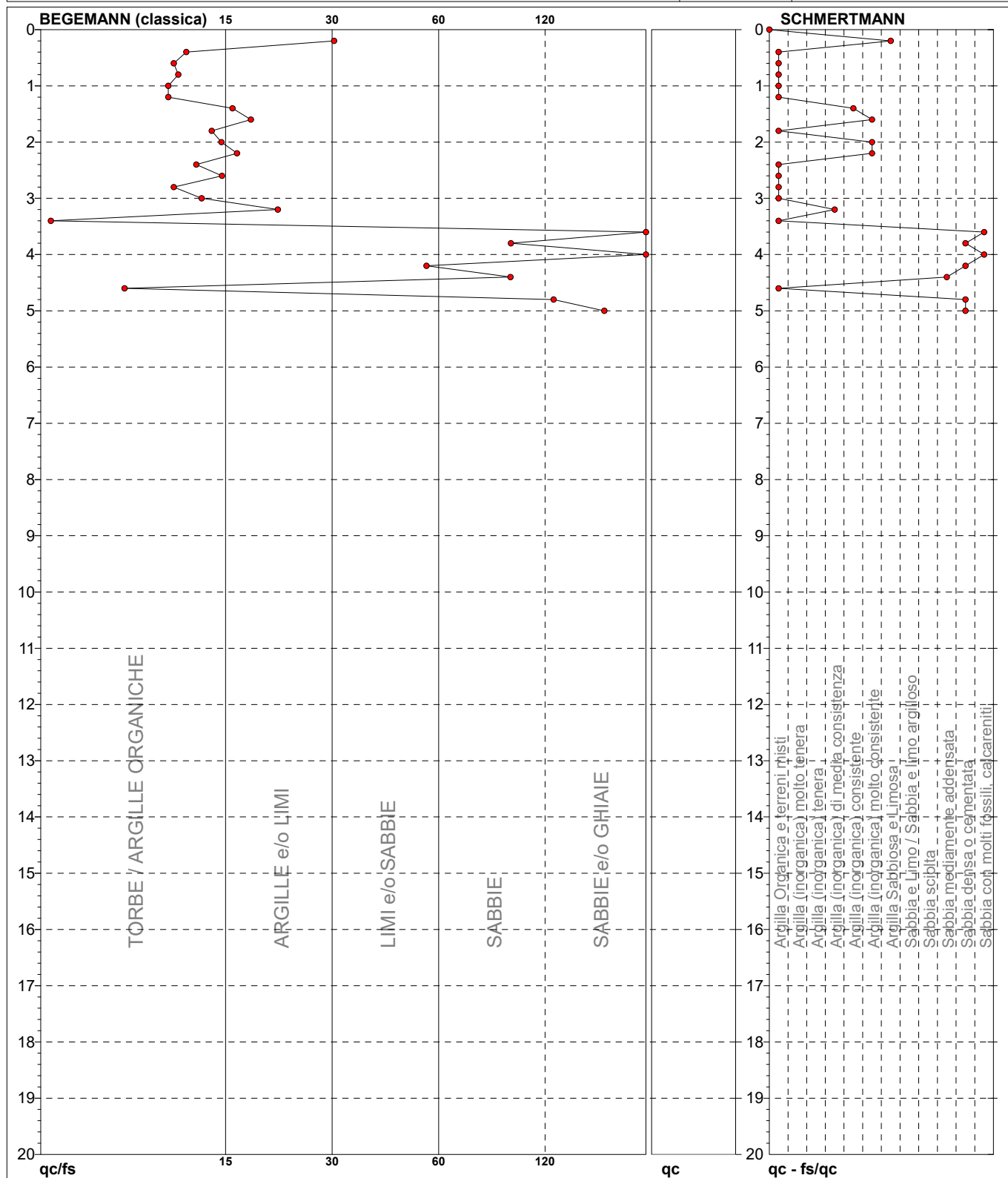
2

010-2019

Committente: **Comune**
Cantiere: **Via A. Nerozzi - Scuola**
Località: **Marzabotto**

U.M.: **kg/cm²**
Scala: **1:100**
Pagina: **1**
Elaborato:

Data esec.: **20/03/2019**
Falda: **-3.20 m** da p.c.



Torbe / Argille org. :	86 punti, 86.87%	Argilla Organica e terreni misti:	12 punti, 12.12%	Argilla Sabbiosa e Limosa:	1 punti, 1.01%
Argille e/o Limi :	7 punti, 7.07%	Argilla (inorganica) media consist.:	1 punti, 1.01%	Sabbia mediamente addensata:	1 punti, 1.01%
Limi e/o Sabbie :	1 punti, 1.01%	Argilla (inorganica) consistente:	1 punti, 1.01%	Sabbia densa o cementata:	4 punti, 4.04%
Sabbie:	3 punti, 3.03%	Argilla (inorganica) molto consist.:	3 punti, 3.03%	Sabbia con molti fossili, calcareniti:	2 punti, 2.02%
Sabbie e/o Ghiaie :	3 punti, 3.03%				

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

DIAGRAMMI DI RESISTENZA

CPT

referimento

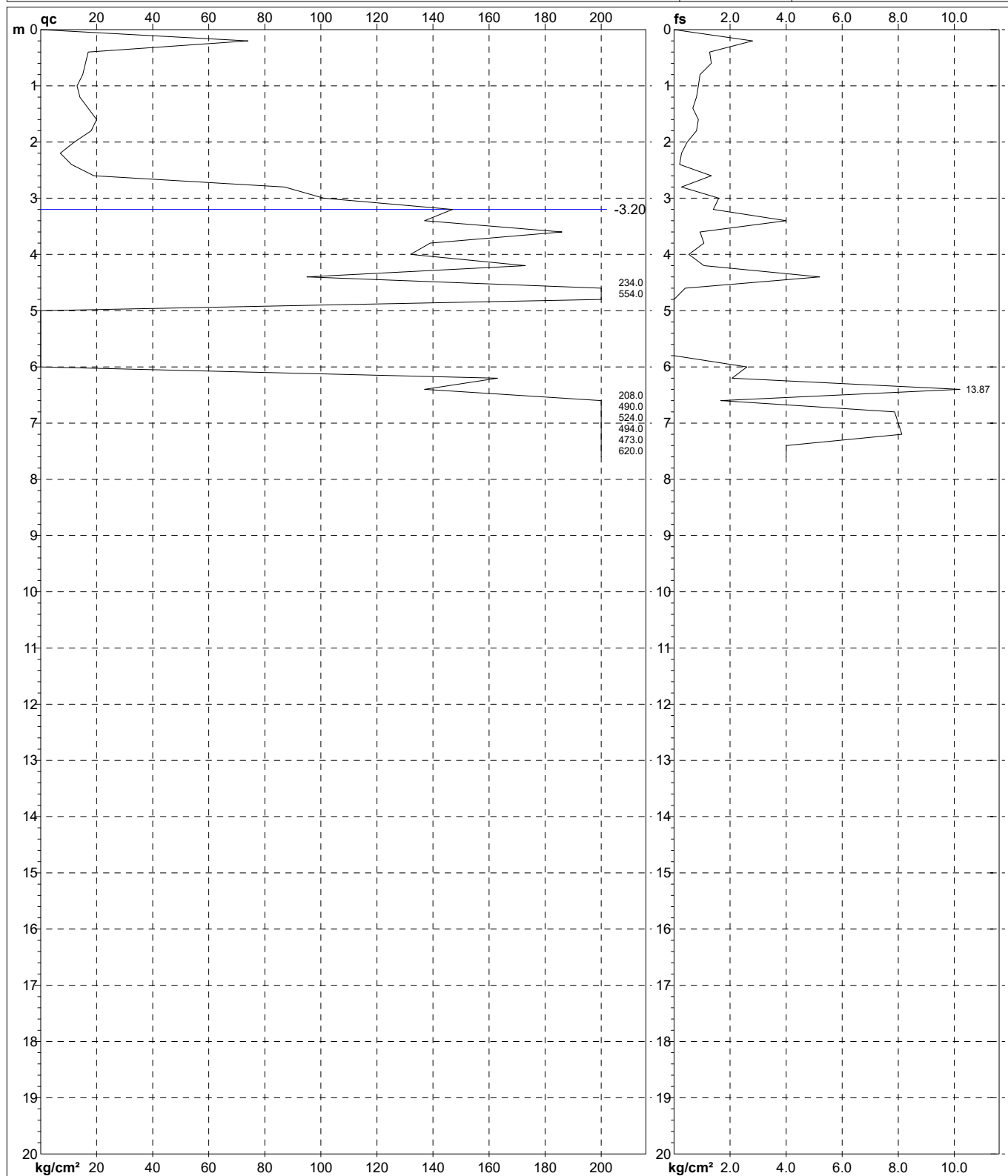
3

010-2019

Committente: **Comune**
 Cantiere: **Via A. Nerozzi - Scuola**
 Località: **Marzabotto**

U.M.: **kg/cm²**
 Scala: **1:100**
 Pagina: **1**
 Elaborato:

Data esec.: **20/03/2019**
 Quota inizio:
 Falda: **-3.20 m** da p.c.



Penetrometro: **TG63-200**
 Responsabile:
 Assistente:

Preforo: **m**
 Corr.astine: **kg/ml**
 Cod.ISTAT: **037036**
 Cod. punta:

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI	CPT	3
	riferimento	010-2019

Committente: Comune	U.M.: kg/cm²	Data esec.: 20/03/2019
Cantiere: Via A. Nerozzi - Scuola	Pagina: 1	
Località: Marzabotto	Elaborato:	Falda: -3.20 m da p.c.

H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc kg/cm²	fs kg/cm²	F -	Rf %	H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc kg/cm²	fs kg/cm²	F -	Rf %
0.20	74.0	88.0		74.0	2.80	26	3.8								
0.40	17.0	59.0		17.0	1.27	13	7.5								
0.60	16.0	35.0		16.0	1.33	12	8.3								
0.80	15.0	35.0		15.0	0.93	16	6.2								
1.00	13.0	27.0		13.0	0.87	15	6.7								
1.20	14.0	27.0		14.0	0.80	18	5.7								
1.40	17.0	29.0		17.0	0.67	25	3.9								
1.60	20.0	30.0		20.0	0.87	23	4.4								
1.80	18.0	31.0		18.0	0.80	23	4.4								
2.00	12.0	24.0		12.0	0.47	26	3.9								
2.20	7.0	14.0		7.0	0.27	26	3.9								
2.40	11.0	15.0		11.0	0.20	55	1.8								
2.60	19.0	22.0		19.0	1.33	14	7.0								
2.80	87.0	107.0		87.0	0.27	322	0.3								
3.00	101.0	105.0		101.0	1.60	63	1.6								
3.20	147.0	171.0		147.0	1.40	105	1.0								
3.40	137.0	158.0		137.0	4.00	34	2.9								
3.60	186.0	246.0		186.0	0.93	200	0.5								
3.80	139.0	153.0		139.0	1.07	130	0.8								
4.00	132.0	148.0		132.0	0.53	249	0.4								
4.20	173.0	181.0		173.0	1.07	162	0.6								
4.40	95.0	111.0		95.0	5.20	18	5.5								
4.60	234.0	312.0		234.0	0.40	585	0.2								
4.80	554.0	560.0		554.0	0.00	585	0.0								
5.00															
5.20															
5.40															
5.60															
5.80															
6.00															
6.20	163.0	202.0		163.0	2.07	79	1.3								
6.40	137.0	168.0		137.0	13.87	10	10.1								
6.60	208.0	416.0		208.0	1.67	125	0.8								
6.80	490.0	515.0		490.0	7.87	62	1.6								
7.00	524.0	642.0		524.0	8.00	66	1.5								
7.20	494.0	614.0		494.0	8.13	61	1.6								
7.40	473.0	595.0		473.0	4.00	118	0.8								
7.60	620.0	680.0		620.0	4.00	155	0.6								

H = profondità

L1 = prima lettura (punta)

L2 = seconda lettura (punta + laterale)

Lt = terza lettura (totale)

CT = 10.00 costante di trasformazione

qc = resistenza di punta

fs = resistenza laterale calcolata

0.20 m sopra quota qc

F = rapporto Begemann (qc / fs)

Rf = rapporto Schmertmann (fs / qc)*100

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

DIAGRAMMI LITOLOGIA

CPT

riferimento

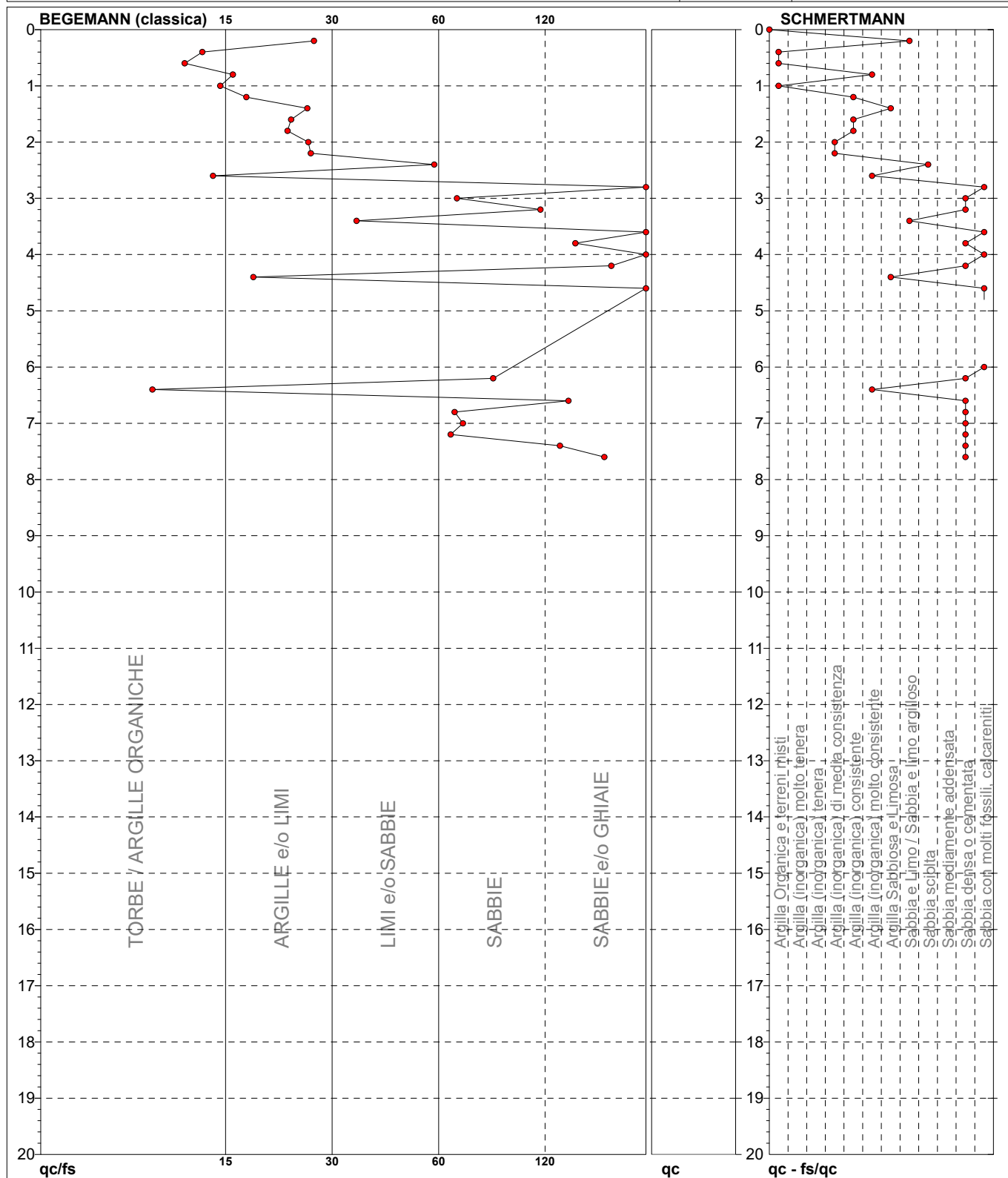
3

010-2019

Committente: **Comune**
Cantiere: **Via A. Nerozzi - Scuola**
Località: **Marzabotto**

U.M.: **kg/cm²**
Scala: **1:100**
Pagina: **1**
Elaborato:

Data esec.: **20/03/2019**
Falda: **-3.20 m da p.c.**



Torbe / Argille org. :	74 punti, 74.75%	Argilla Organica e terreni misti:	3 punti, 3.03%	Argilla Sabbiosa e Limosa:	2 punti, 2.02%
Argille e/o Limi :	9 punti, 9.09%	Argilla (inorganica) media consist.:	2 punti, 2.02%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo arg.:	2 punti, 2.02%
Limi e/o Sabbie :	2 punti, 2.02%	Argilla (inorganica) consistente:	3 punti, 3.03%	Sabbia sciolta:	1 punto, 1.01%
Sabbie:	7 punti, 7.07%	Argilla (inorganica) molto consist.:	3 punti, 3.03%	Sabbia densa o cementata:	11 punti, 11.11%
Sabbie e/o Ghiaie :	8 punti, 8.08%			Sabbia con molti fossili, calcareniti:	4 punti, 4.04%

INDAGINI SISMICHE

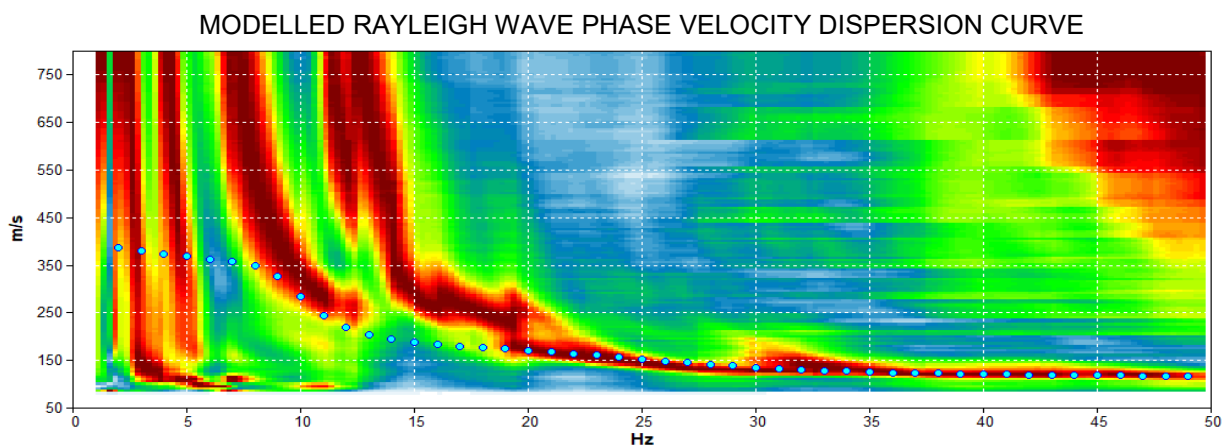
- Indagine sismica in array attivo MASW
- sismica passiva a stazione singola HVSR

MARZABOTTO, [Z] VIA A. NEROZZI MASW

Inizio registrazione: 18/03/19 11:38:24 Fine registrazione: 18/03/19 11:47:45
Durata registrazione: 0h00'02". Analisi effettuata sull'intera traccia.
Freq. campionamento: 512 Hz

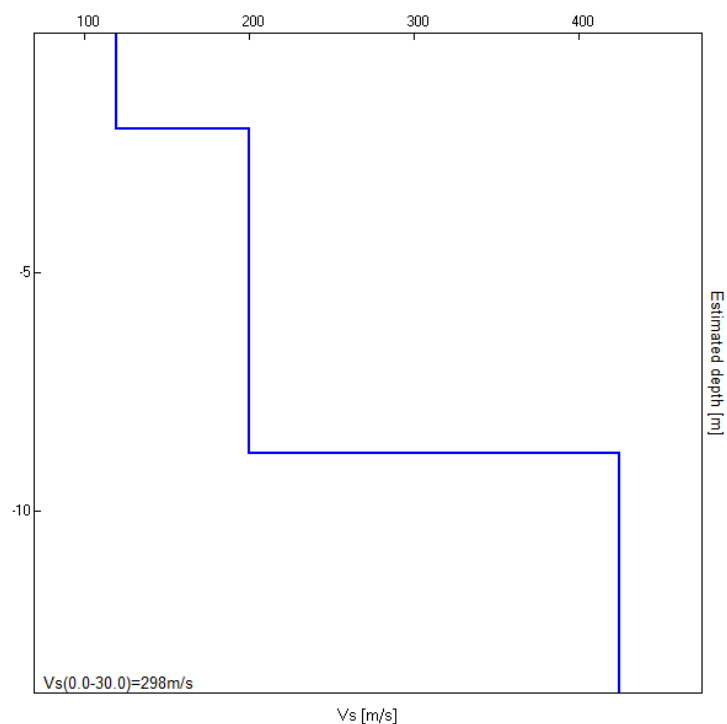
Nomi canali: B1 ; B2 ; B3 ; B4 ; B5 ; B6 ; B7 ; B8 ; B9
; B10 ; B11 ; B12 ; B13 ; B14 ; B15 ; B16 ; B17

Array geometry (x): 0.0 3.0 6.0 9.0 12.0 15.0 18.0 21.0 24.0 27.0 30.0 33.0 36.0 39.0 42.0 45.0 48.0 m.



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
2.00	2.00	120	0.48
8.80	6.80	200	0.45
inf.	inf.	424	0.42

Vs(0.0-30.0)=298m/s



MARZABOTTO, VIA A. NEROZZI TR1

Formato dati: 16 byte

Fondo scala [mV]: n.a.

Inizio registrazione: 18/03/19 11:12:01 Fine registrazione: 18/03/19 11:32:02

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h20'00".

Analisi effettuata sull'intera traccia.

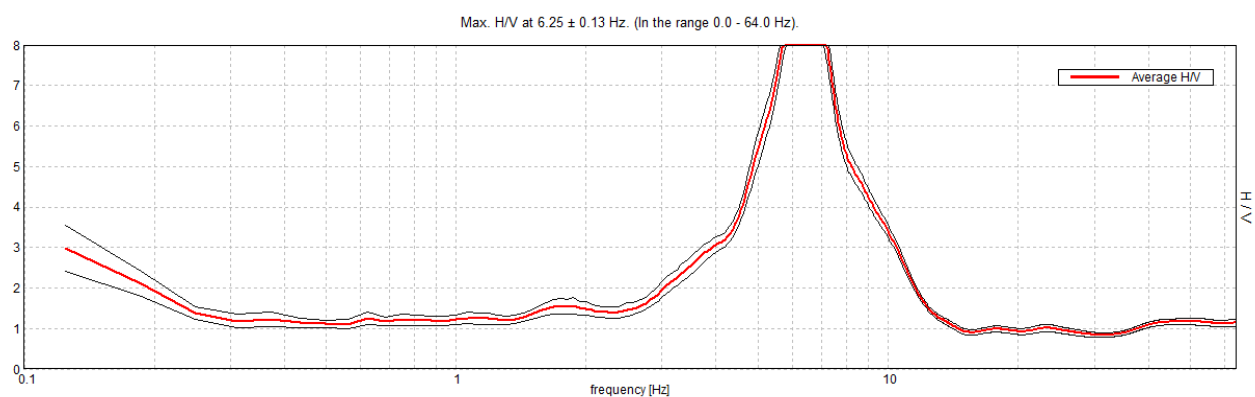
Freq. campionamento: 128 Hz

Lunghezza finestre: 10 s

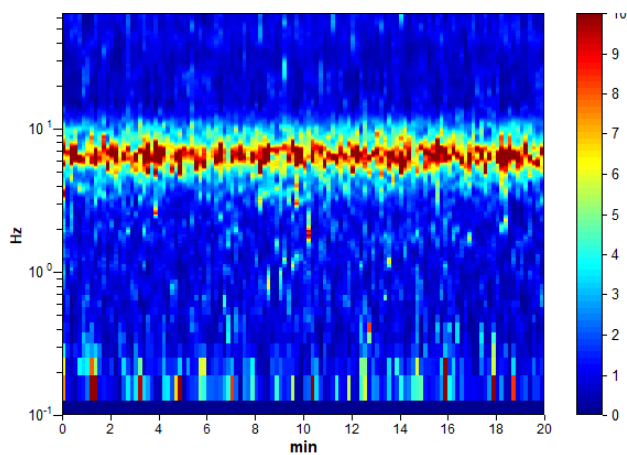
Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 10%

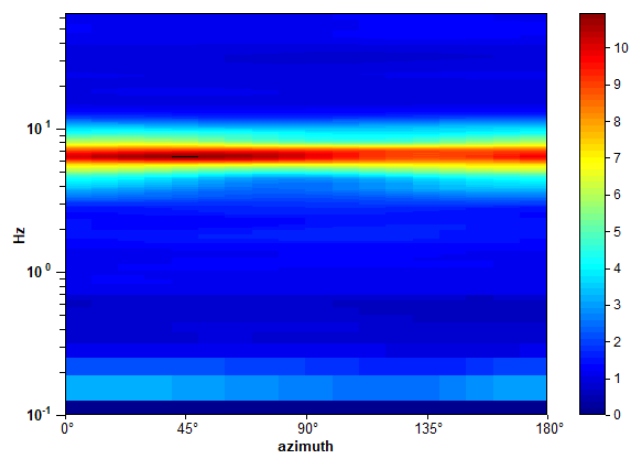
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



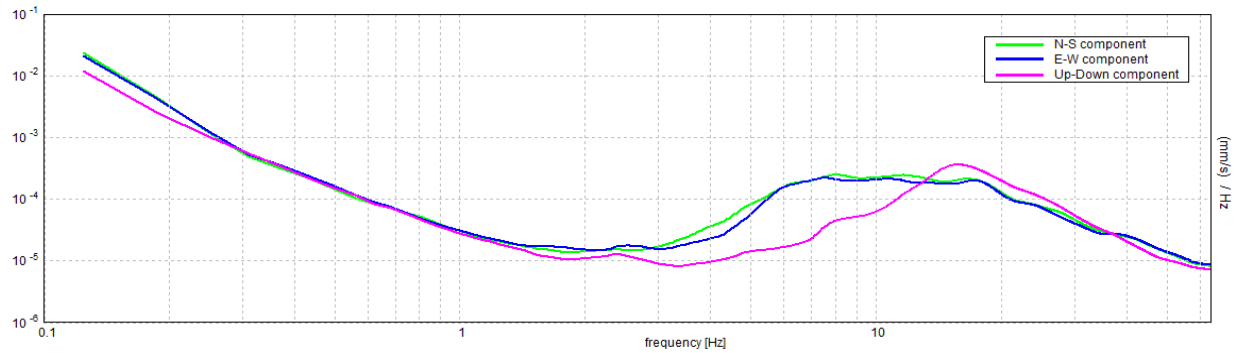
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V

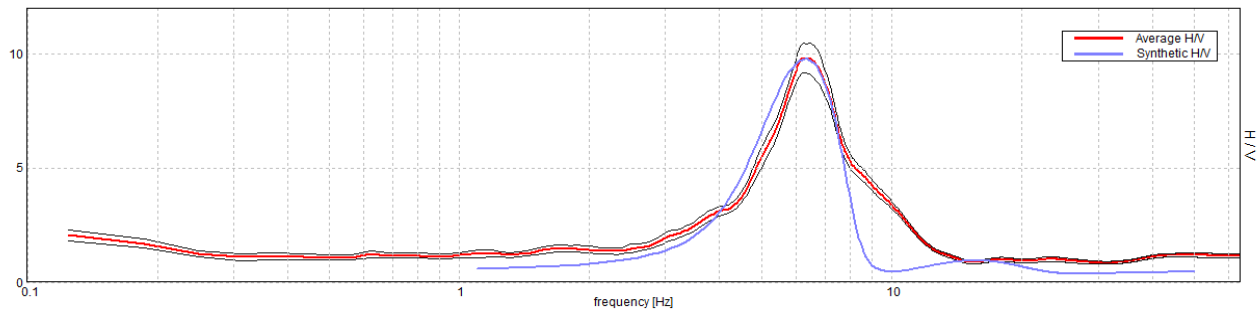


SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



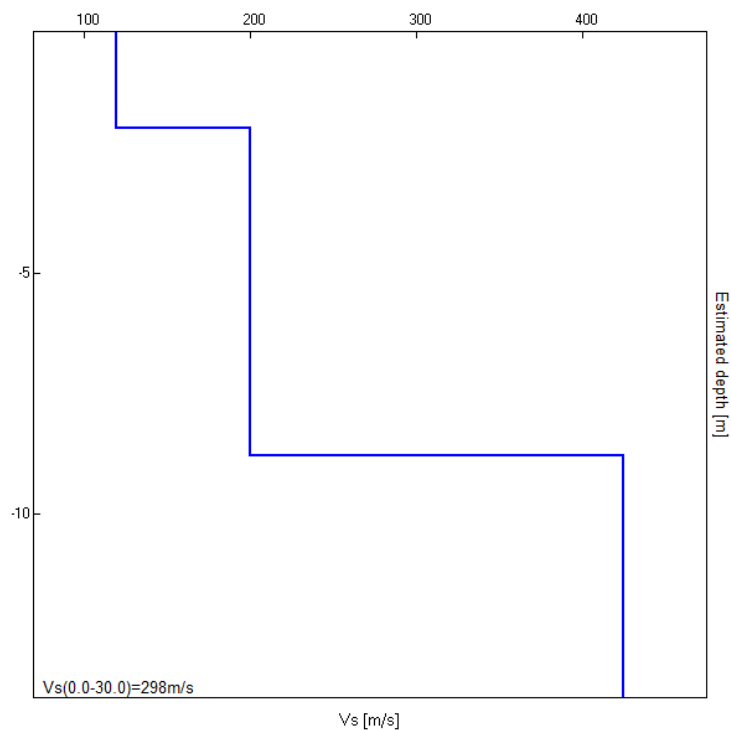
H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO

Picco H/V a 6.25 ± 0.18 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
2.00	2.00	120	0.48
8.80	6.80	200	0.45
inf.	inf.	424	0.42

$V_s(0.0-30.0)=298\text{m/s}$



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. **Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di Grilla prima di interpretare la tabella seguente**].

Picco H/V a 6.25 ± 0.13 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$6.25 > 1.00$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$7500.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 151	OK	

Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	4.813 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	8.313 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$9.93 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.02143 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.13393 < 0.3125$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.6198 < 1.58$	OK	





L_w	lunghezza della finestra
n_w	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
f	frequenza attuale
f_0	frequenza del picco H/V
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	ampiezza della curva H/V alla frequenza f_0
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza f
f^-	frequenza tra $f_0/4$ e f_0 alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequenza tra f_0 e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$

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

SONDAGGI A CAROTAGGIO CONTINUO

<div><div>SOGEO[®] S.R.L. <small>INDAGINI GEOGNOSTICHE ED AMBIENTALI Via S. Potito n. 43 - 48022 S. Potito di LUGO (RA) Tel. 054522042 - Fax 054534443 - E-mail: sogeo@sogeo-srl.com Concessione Ministero Infrastrutture e Trasporti - Settore C Decr. n. 005754 del 05/07/2010</small></div></div>		COMMITTENTE: Dott. Geol. Tondi Luca	SOND.N°: S.1	PROF.(m): 20.00
		CANTIERE: Marzabotto (BO) - Via Nerozzi	QUOTA (m): p.d.c.	
		PERFORATRICE: Ellettari EK200/STR	LATITUDINE (°):	
		METODO PERFORAZ.: Carotaggio continuo	LONGITUDINE (°):	
RIVESTIMENTO: Ø 127 mm		ATTREZZO PERFORAZ.: Carotiere semplice Ø 101 mm	DATA INIZ-FINE: 02/04/2019-02/04/2019	
PIEZOMETRO:			SCALA: 1:100	
RIF.PREV.N°: 056-19	CERTIFICATO N°: C19-033-1	RAPPORTO N°: -----	DATA DI EMISSIONE: 05/04/2019	PAGINA N°: 1 di 1

Scala 1:100	P.P. I [daN/cm²]	Vane Test [daN/cm²]	Profondita'	Stratigrafia	Descrizione	Falda	Campioni	Campioni Rim.	S.P.T. [n. colpi] P.A.	Pz.Norton	Inclinometro
1	2.4 3.3	0.80	0.10 0.30		Asfalto		1.50 660 2.00		4.80 21/18/82 5.25		
					Materiale di riporto costituito da ghiaia sabbiosa con limo						
	2.1 1.8	0.40 0.40	1.50		Argilla limosa di colore grigio-verde						
2					Campione indisturbato						
	1.3 0.8	0.40 0.20	2.00		Limo argilloso, debolmente sabbioso, di colore grigio-marrone con screziature ocra						
3			2.70								
4					Ghiaia eterometrica, da arrotondata a subangolare, con sabbia limosa di colore grigio-mar-rone						
5			5.10								
6	> 6 > 6 > 6										
7											
8									13.00 50 (*1) 13.04		
9											
10											
11											
12											
13					Argilla marnosa e marne argillose di colore grigio-verde, molto consistenti						
14											
15											
16											
17											
18											
19											
20			20.00								
21											
22											
23											
24											
25											

Note: Variazione litologica a -5.10 m desunta perchè all'interno della prova S.P.T. da -4.80 a -5.25 m. ----- (*1) Prova S.P.T. da -13.00 a -13.04 m: rifiuto = 4 cm per 50 colpi.	C.I. = campione indisturbato
---	------------------------------

Lo Sperimentatore

Il Direttore del Laboratorio



SOGEO s.r.l.
INDAGNI GEOTECNICHE ED AMBIENTALI
Via S. Pietro n. 43 - 48022 S. Pietro di Lupo (RA)
Tel. 054522042 - Fax 054534443 - E-mail: sogeo@sogeo-srl.com

COMMITTENTE: Dott. Geol. Tondi Luca
RIF. N° : 056-19

LOCALITA': Marzabotto (BO) - Via Nerozzi
ALLEGATO A: C19-033-1

SONDAGGIO N.: S.1
DATA: 02/04/2019



Cassa 2 da -5.0 a -10.0 m



Cassa 4 da -15.0 a -20.0 m



Cassa 1 da 0.0 a -5.0 m



Cassa 3 da -10.0 a -15.0 m

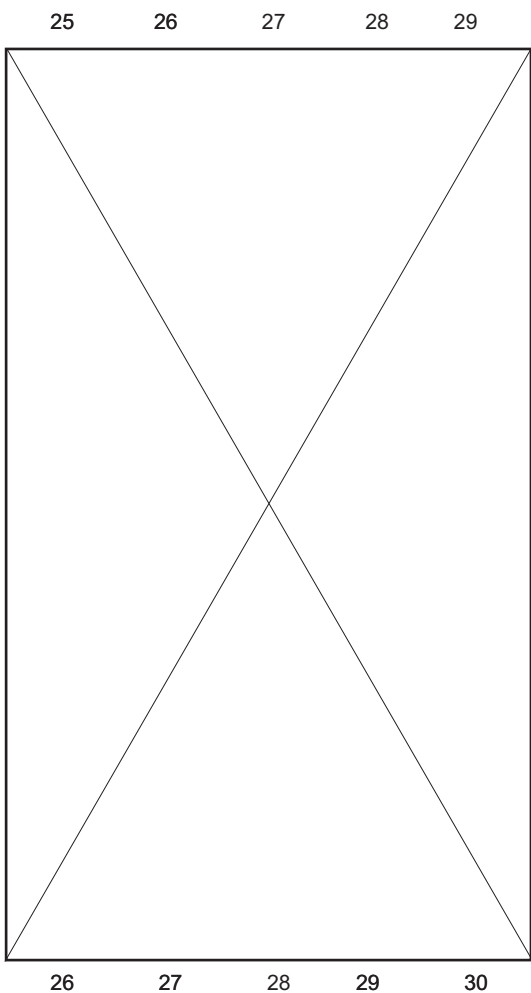


SOGEO s.r.l.
INGEGNI GEOTECNICI ED AMBIENTALI
Via S. Polito n. 43 - 48022 S. Polito di Lugo (RA)
Tel. 054522042 - Fax 054534443 - E-mail: sogeo@sogeo-srl.com

COMMITTENTE: Dott. Geol. Tondi Luca
RIF. N° : 056-19

LOCALITA': Marzabotto (BO) - Via Nerozzi
ALLEGATO A: C19-033-1

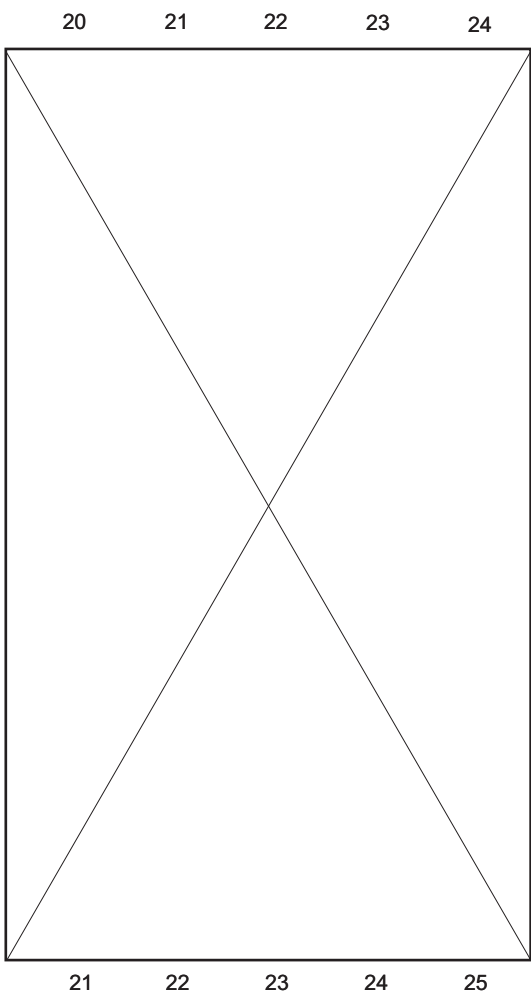
SONDAGGIO N: S.1
DATA: 02/04/2019



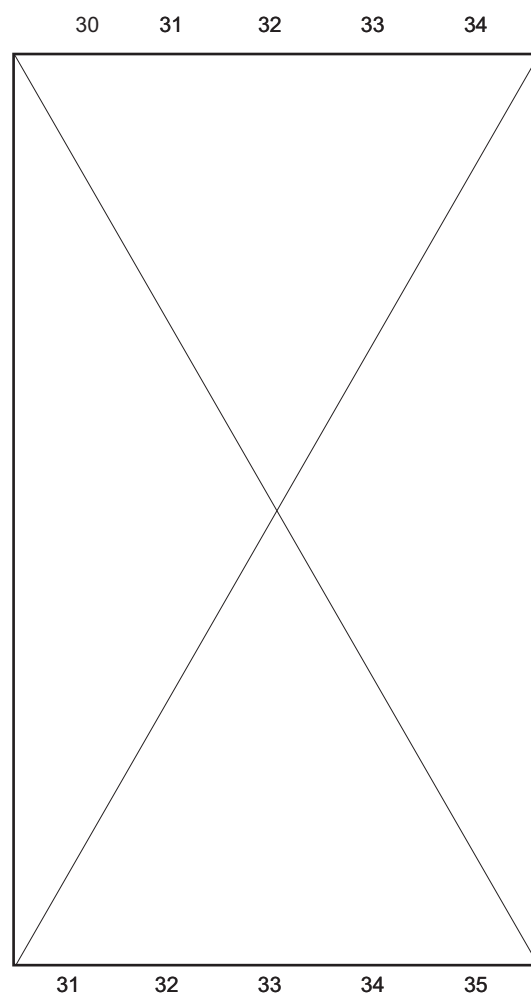
Cassa 6 da -25.0 a -30.0 m



Posizionamento



Cassa 5 da -20.0 a -25.0 m



Cassa 7 da -30.0 a -35.0 m

PROVE DI LABORATORIO



000

pagine del documento - *document pages*

4

1870
TONDI GEOL. LUCA
MARZABOTTO (BO)
PALESTRA VIA NEROZZI

Samples identification and performed tests

[illegible]

Note - Remarks:

Il nostro laboratorio esegue le prove commissionate secondo le norme di riferimento riportate su ogni certificato; il laboratorio segue inoltre le raccomandazioni contenute nella norma UNI EN 17025 "Requisiti generali per la competenza dei laboratori di prova e taratura".

Questi risultati sono per uso esclusivo del cliente per il quale sono stati ottenuti. Essi sono applicabili solamente ai campioni testati e non sono indicativi di campioni apparentemente simili.

These results are for the exclusive use of the client for whom they were obtained. They apply only to the tested samples and are not

Via della Tecnica 57/A4 - 40068 San Lazzaro di Savena (BO)
Tel. +39 051 6255377; fax +39 051 4998378
e-mail laboratorio.geotea@database.it
Autorizzazione del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici
Ministero Infrastrutture e Trasporti - Settore Terre



**GEOTEA s.r.l.**AZIENDA CON SISTEMA DI GESTIONE QUALITÀ CERTIFICATO
9001:2015 CERTIFICATO DA CERTIQUALITY**TAGLIO DIRETTO**

DIRECT SHEAR TEST

Normativa di riferimento: UNI CEN ISO/TS 17892-10

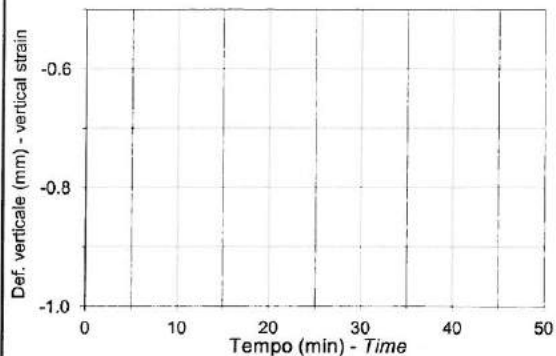
Technical specification

Certificato - Test report 1870 - 19.125 - 001
Verbale - Acceptance report 1870
Committente - Commissioner TONDI GEOL. LUCA
Località - Locality MARZABOTTO (BO)
Cantiere - Site PALESTRA VIA NEROZZI
Sondaggio - Borehole S1
Campione - Sample C1
Profondità - Depth 1.50 - 2.00 m
Data ricevimento - Receiving date 03/04/2019.
Data inizio prove - Test starting date 03/04/2019
Data fine prove - Test ending date 19/04/2019
Data certificazione - Report date 19/04/2019
Data apertura campione - Sample opening date 03/04/2019
Classe del campione - Sample quality Q5

Umidità iniziale - Initial water content	%	27.52		
Densità naturale iniziale - Initial wet density	kg/m ³	1961.17		
Densità secca iniziale - Initial dry density	kg/m ³	1537.89		
Provino - Specimen id	n°	1	2	3
Lato - Specimen side	mm	60.0	60.0	60.0
Altezza iniziale - Initial specimen height	mm	20.0	20.0	20.0
Velocità di taglio utilizzata - Strain rate	mm/min	0.006	0.006	0.006
Press. di consolidazione	kPa	98.1	196.1	294.2
Consolidation pressure				
Umidità finale - Final water content	%	25.21	24.19	22.98

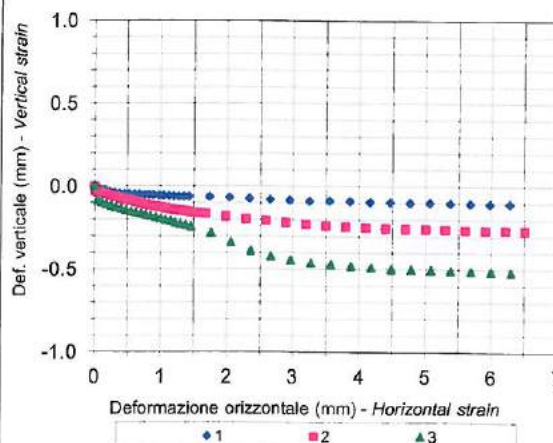
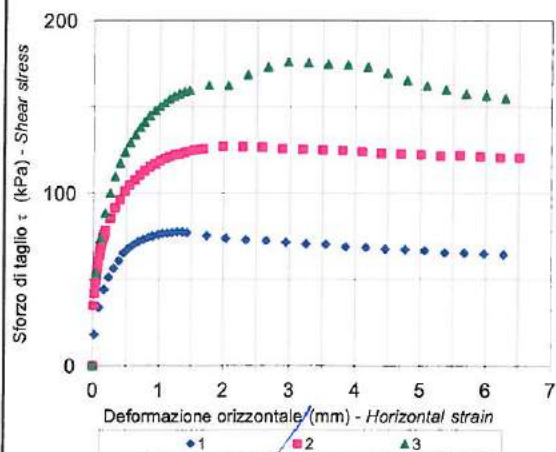
Fase di consolidazione - Consolidation test

Note - Remarks



Limo argilloso molto consistente di colore grigio scuro.

Pocket Penetrometer	>6	kg/cm ²
Tor Vane	>2	kg/cm ²

Direttore *Manager*Sperimentatore *Technician*

Grado di incertezza delle misure degli strumenti di forza: ± 0,13%

Via della Tecnica 57/A4 - 40068 San Lazzaro di Savena (BO)
Tel. +39 051 6255377; fax +39 051 4998378
e-mail laboratorio.geotear@database.it
Autorizzazione del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici



GEOTEKA s.r.l.

AZIENDA CON SISTEMA DI GESTIONE QUALITÀ UNI EN ISO 9001:2015 CERTIFICATO DA CERTIQUALITY

TAGLIO DIRETTO

DIRECT SHEAR TEST

Normativa di riferimento: UNI CEN ISO/TS 17892-10

Technical specification

Certificato - Test report 1870 - 19.125 - 001
Verbale - Acceptance report 1870

Consolidation test (0-100 kPa)		Provino 1 - Specimen 1			Provino 2 - Specimen 2			Provino 3 - Specimen 3		
time (s)	def. ↓ (mm)	def. → (mm)	def. ↓ (mm)	shear stress (kPa)	def. → (mm)	def. ↓ (mm)	shear stress (kPa)	def. → (mm)	def. ↓ (mm)	shear stress (kPa)
1	-	0.03	0.01	18.15	0.01	0.03	35.02	0.04	0.08	53.70
6	-	0.09	0.02	33.84	0.02	0.03	42.09	0.11	0.10	73.54
12	-	0.16	0.03	44.29	0.04	0.03	47.75	0.18	0.11	88.33
24	-	0.23	0.03	51.37	0.05	0.03	52.35	0.25	0.12	100.00
30	-	0.31	0.04	56.60	0.06	0.03	56.60	0.32	0.13	109.73
60	-	0.38	0.04	60.90	0.08	0.04	60.49	0.40	0.13	117.51
90	-	0.45	0.04	65.21	0.09	0.04	64.03	0.47	0.14	123.74
120	-	0.53	0.05	67.98	0.10	0.04	66.86	0.55	0.15	129.18
180	-	0.61	0.05	70.44	0.12	0.04	69.69	0.63	0.16	133.85
240	-	0.68	0.05	71.98	0.13	0.04	72.16	0.70	0.16	138.13
300	-	0.75	0.05	73.21	0.15	0.04	74.64	0.77	0.17	141.25
360	-	0.82	0.05	74.13	0.16	0.04	76.41	0.85	0.18	145.14
420	-	0.89	0.05	75.05	0.18	0.05	78.53	0.92	0.18	147.86
480	-	0.98	0.05	75.98	0.25	0.05	85.60	1.00	0.19	150.19
540	-	1.04	0.05	76.59	0.32	0.06	91.62	1.07	0.20	152.14
600	-	1.12	0.06	76.90	0.40	0.07	96.57	1.15	0.21	154.47
900	-	1.20	0.06	77.21	0.47	0.08	101.17	1.22	0.22	156.03
1200	-	1.27	0.06	77.61	0.54	0.09	104.70	1.30	0.22	157.59
1500	-	1.35	0.06	77.51	0.62	0.09	107.89	1.37	0.23	158.75
1800	-	1.42	0.06	77.21	0.70	0.10	110.72	1.45	0.24	159.53
2100	-	1.74	0.06	75.36	0.77	0.11	113.19	1.76	0.28	162.26
2400	-	2.04	0.07	73.82	0.85	0.11	115.32	2.06	0.34	162.26
2700	-	2.34	0.07	72.90	0.93	0.12	117.09	2.36	0.39	168.48
3000	-	2.65	0.08	72.59	1.00	0.12	118.85	2.66	0.42	173.15
3300	-	2.95	0.08	71.67	1.08	0.13	120.27	2.96	0.44	175.88
3600	-	3.25	0.09	70.75	1.15	0.14	121.33	3.27	0.46	175.49
4200	-	3.55	0.09	70.44	1.23	0.14	122.39	3.57	0.47	174.71
4800	-	3.86	0.09	68.90	1.30	0.14	122.74	3.87	0.48	174.32
5400	-	4.16	0.09	68.59	1.38	0.15	123.81	4.18	0.49	173.15
6000	-	4.46	0.09	67.67	1.45	0.15	124.51	4.48	0.50	169.65
7200	-	4.76	0.10	67.36	1.53	0.16	125.22	4.78	0.50	165.37
8400	-	5.06	0.10	66.75	1.60	0.16	125.57	5.08	0.50	162.26
9600	-	5.37	0.10	65.52	1.68	0.16	125.93	5.38	0.51	159.92
10800	-	5.67	0.10	65.21	1.98	0.18	127.34	5.69	0.51	157.59
12000	-	5.97	0.10	64.90	2.28	0.19	126.99	5.99	0.51	156.42
13200	-	6.27	0.10	64.29	2.58	0.21	126.64	6.29	0.52	154.86
14400	-				2.89	0.22	125.93			
16800	-				3.19	0.23	125.57			
19200	-				3.50	0.23	125.22			
21600	-				3.80	0.24	124.87			
28800	-				4.10	0.25	124.16			
36000	-				4.40	0.25	123.10			
45600	-				4.70	0.25	122.74			
54000	-				5.00	0.26	122.39			
72000	-				5.30	0.26	121.68			
79200	-				5.60	0.26	122.04			
82800	-				5.91	0.26	121.33			
86400	-				6.21	0.26	120.62			
					6.51	0.26	120.62			

Note - Remarks

Direttore Manager

Sperimentatore Technician

Via della Tecnica 57/A4 - 40068 San Lazzaro di Savena (BO)

Tel. +39 051 6255377; fax +39 051 4998378

e-mail laboratorio.geoteka@database.it

Autorizzazione del Consiglio Superiore dei Lavori

TAGLIO DIRETTO

Committente: TONDI GEOL. LUCA
Località: MARZABOTTO (BO)
Cantiere: PALESTRA VIA NEROZZI

Sondaggio: S1
Campione: C1
Profondità: 1.50 - 2.00 m

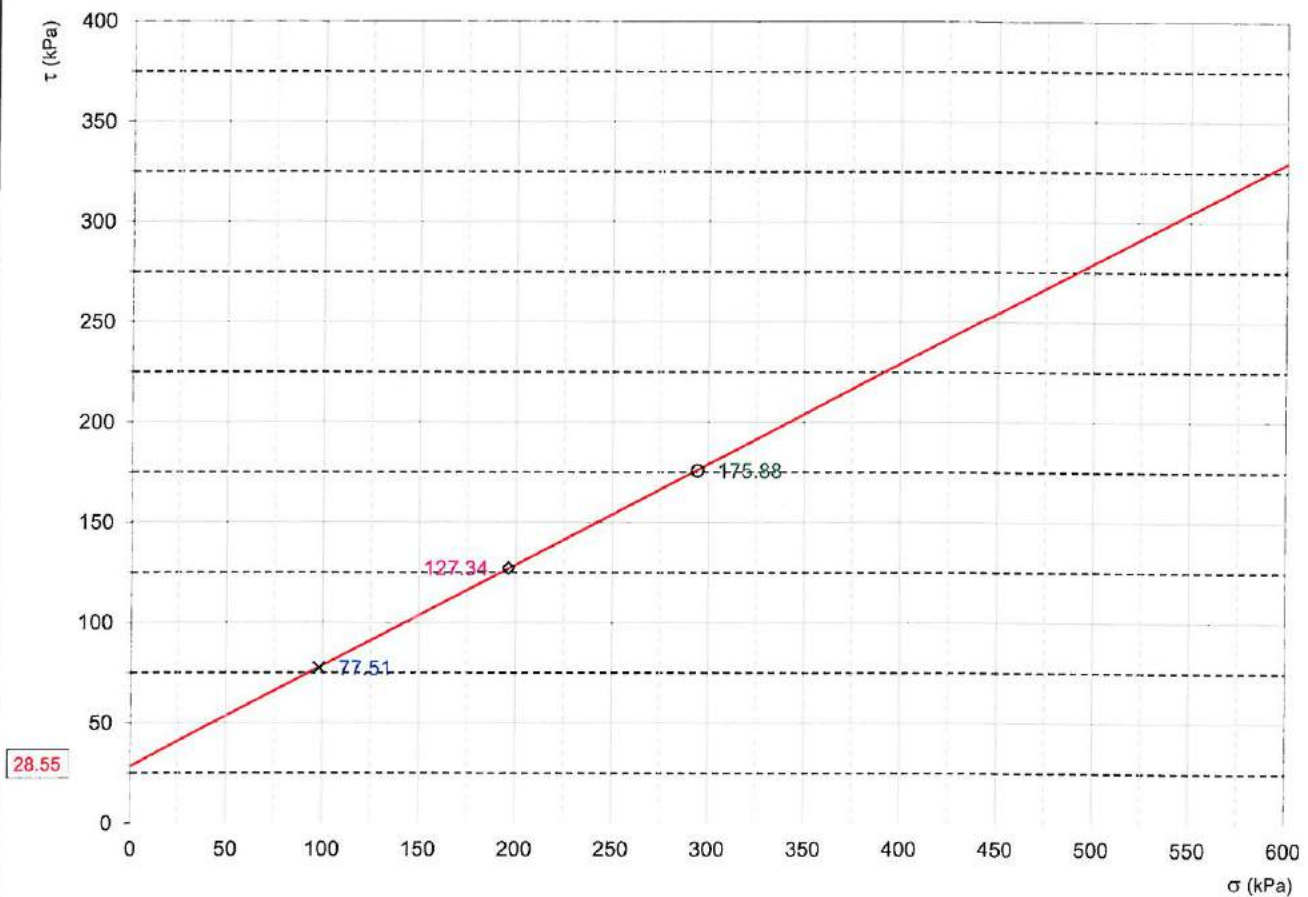
REGRESSIONE LINEARE DEI TRE VALORI DI SFORZO MASSIMO

Lato provino	60.00	mm
Altezza iniziale	20.00	mm

Limo argilloso molto consistente di colore grigio scuro.

Valori dei provini a rottura				
Provino	n°	1	2	3
Sforzo a rottura	kPa	77.51	127.34	175.88
Intercetta C'	KPa	28.55		
ϕ'	° sess	26.63		

Velocità di prova
0.006
mm/min



x1

◇2

◇3

La coesione efficace e l'angolo di resistenza al taglio si riferiscono alla elaborazione della prova di taglio diretto eseguita mediante una semplice regressione lineare sui tre punti di sforzo massimo e per il campo tensionale nel quale i vari provini sono stati sottoposti a taglio.

**GEOTEA s.r.l.**

AZIENDA CON SISTEMA DI GESTIONE QUALITÀ UNI EN ISO 9001:2015 CERTIFICATO DA CERTQUALITY

PROVA EDOMETRICA I.L.

INCREMENTAL LOADING OEDOMETER TEST

Normativa di riferimento: UNI CEN ISO/TS 17892-5

Technical specification

Certificato - Test report

Verbale - Acceptance report

Committente - Commissioner

Località - Locality

Cantiere - Site

Sondaggio - Borehole

Campione - Sample

Profondità - Depth

Data ricevimento - Receiving date

Data inizio prove - Test starting date

Data fine prove - Test ending date

Data certificazione - Report date

Data apertura campione - Sample opening date

Classe campione - Sample quality

1870 - 19.125 - 002

1870

TONDI GEOL. LUCA

MARZABOTTO (BO)

PALESTRA VIA NEROZZI

S1

C1

1.50 - 2.00 m

03/04/2019.

03/04/2019

19/04/2019

19/04/2019

03/04/2019

Q5

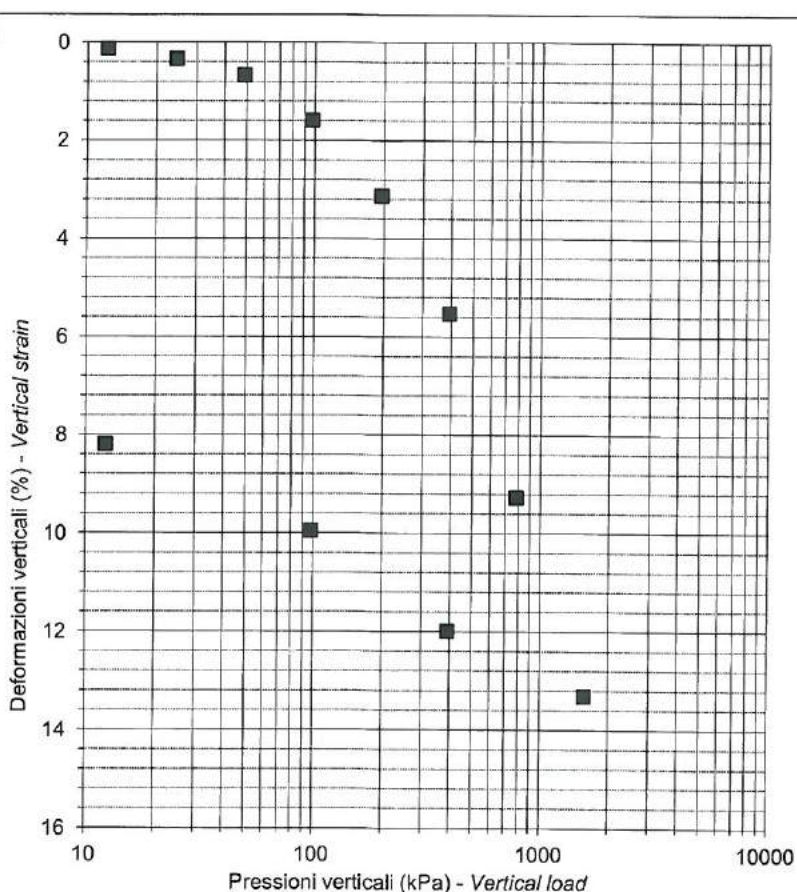
Area (cm²) - Cross-sectional area of specimen

20.00

Altezza provino (cm) - Specimen height

2.00

σ_v (kPa)	ε_v (mm)	ε_v (%)	e
Carichi Vert. load	Deformazione verticale Vertical strain		Indice vuoti Void ratio
12.2	0.027	0.14	0.713
24.5	0.067	0.34	0.709
49.0	0.133	0.67	0.703
98.0	0.317	1.59	0.688
196.0	0.626	3.13	0.661
392.0	1.106	5.53	0.620
784.0	1.853	9.27	0.556
1568.0	2.661	13.31	0.487
392.0	2.397	11.99	-
98.0	1.990	9.95	-
12.2	1.637	8.19	-

Pocket Penetrometer >6 kg/cm²Tor Vane >2 kg/cm²Umidità naturale iniziale
Initial water content 27.52 %Densità naturale
Bulk density 1.96 t/m³Densità secca
Dry density 1.54 t/m³Peso specifico dei grani
Specific gravity 2.64 t/m³Umidità finale
Final water content 25.81 %Indice dei vuoti iniziale
Original void ratio 0.71

Note - Remarks

Direttore

Manager

Sperimentatore Technician

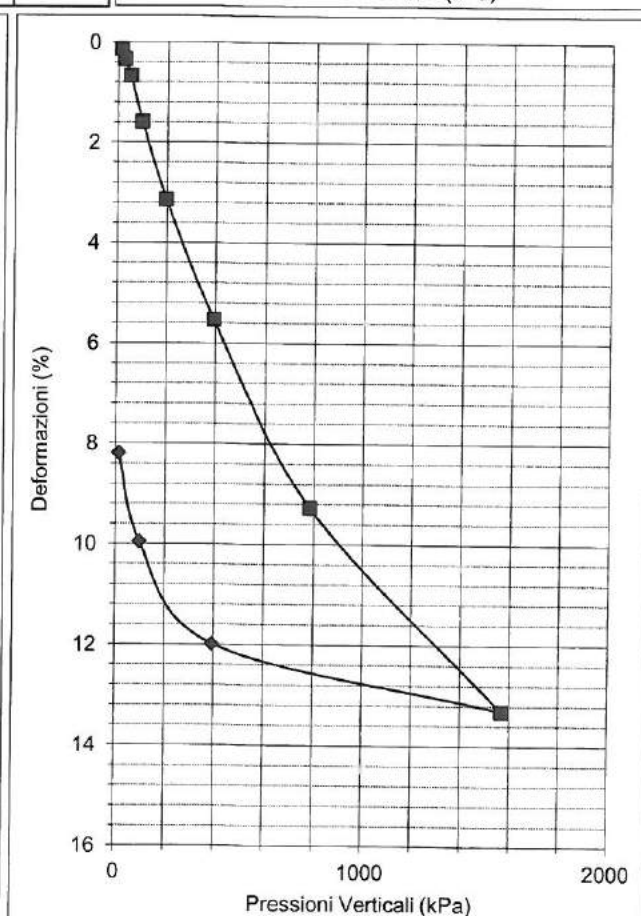
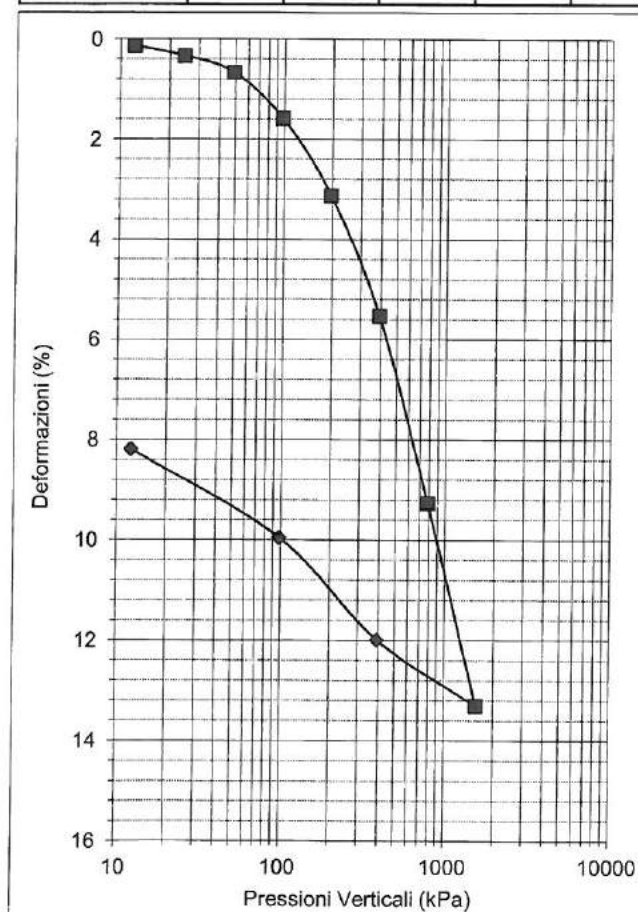
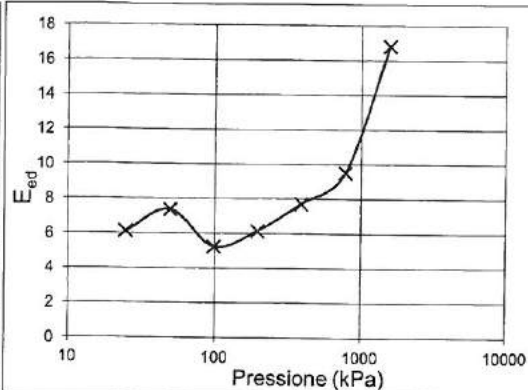
Via della Tecnica 57/A4 - 40068 San Lazzaro di Savena (BO)
Tel. +39 051 6255377; fax +39 051 4998378
e-mail laboratorio.geotea@database.it
Autorizzazione del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici
Ministero Infrastrutture e Trasporti - Settore Terre

Committente: TONDI GEOL. LUCA
Località: MARZABOTTO (BO)
Cantiere: PALESTRA VIA NEROZZI

Sondaggio: S1
Campione: C1
Profondità: 1.50 - 2.00 m

ELABORAZIONE PROVA EDOMETRICA

Pressione kPa	dv mm	dv %	e	E_{ed} MPa	mv kPa^{-1}	Cc
12.2	0.03	0.14	0.713	-		0.0113
24.5	0.07	0.34	0.709	6.13	1.6E-04	0.0188
49	0.13	0.67	0.703	7.37	1.3E-04	0.0524
98	0.32	1.59	0.688	5.24	1.9E-04	0.088
196	0.63	3.13	0.661	6.14	1.6E-04	0.1367
392	1.11	5.53	0.620	7.72	1.2E-04	0.2128
784	1.85	9.27	0.556	9.52	9.5E-05	0.2301
1568	2.66	13.31	0.487	16.82	5.2E-05	
392	2.40	11.99	-			
98	1.99	9.95	-			
12.2	1.64	8.19	-			



Legenda: D_v = deformazione verticale; d_h = deformazione percentuale; e = indice dei vuoti; E_{ed} = modulo edometrico; m_v = indice di compressibilità; C_c = coefficiente di compressibilità.