

COMUNE DI BOLOGNA

CITTA' METROPOLITANA DI BOLOGNA

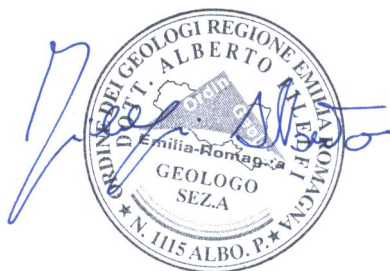
NUOVO POLO DINAMICO DA COSTRUIRSI NELL'AREA
DEL LICEO COPERNICO DI BOLOGNA
CUP C39H18000170001 - CIG 758739004E

RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA

Committente: Città Metropolitana di Bologna

Redazione: Dott. Geol. Alberto Filelfi

Spazio riservato all'Ufficio Tecnico



Dott. Geol. Alberto Filelfi
Studio di Geologia Applicata ed Ambientale
Ordine dei Geologi dell'Emilia-Romagna - Sez. A - n°1115

Data:
DICEMBRE 2018

Prot. Int.: RG151012181

INDICE

1 - INTRODUZIONE.....	1
2 - INQUADRAMENTO TOPOGRAFICO.....	2
3 - INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO E GEOLOGICO.....	2
4 - INDAGINI GEOGNOSTICHE.....	2
5 - MODELLO GEOLOGICO.....	3
6 - MODELLO SISMICO	6

In allegato:

Tavola 1 - Corografia, scala 1:25.000

Tavola 2 - Inquadramento Territoriale, scala 1:3.000

Tavola 3 - Inquadramento Geologico, scala 1:10.000

Tavola 4 - Ubicazione Indagini, scala 1:1.000

Allegato A – Indagini Geognostiche: tabulati e grafici

Allegato B – Certificati prove di laboratorio

Allegato C – Relazione geofisica

Allegato D – Risposta Sismica Locale (RSL)

1 - **INTRODUZIONE**

Nella relazione seguente sono presentati i risultati dell'indagine geologica e sismica realizzata in un'area adiacente alla palestra del liceo scientifico N. Copernico, in via Garavaglia, a Bologna.

Scopo del lavoro è quello di ricostruire il *modello geologico* e il *modello sismico* del sito, propedeutici al progetto per la costruzione di un nuovo edificio adibito a "Polo dinamico".

Lo studio è stato impostato nel seguente modo:

- Rilievo di dettaglio dell'area e di un suo significativo intorno per accertare il quadro geologico e geomorfologico generale.
- Consultazione della cartografia tematica dell'area:
 - Carta Geologica della Regione Emilia-Romagna, scala 1:10.000.
 - Foto aeree (Ortofoto AIMA-RER ; foto aerea Google maps).
 - Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (Carte tematiche).
 - Piano Strutturale Comunale di Bologna (Carte tematiche).
 - Carta sismo-tettonica della Regione Emilia-Romagna.
- Esecuzione di n°5 prove penetrometriche statiche con punta meccanica (CPT) per definire la successione litostratigrafica del primo sottosuolo e ottenere indicazioni sulle caratteristiche geotecniche ed idrogeologiche dei depositi presenti.
- Realizzazione di un indagine geofisica MASW abbinata ad un indagine HVSr.
- Ricostruzione del modello geologico del sottosuolo.
- Ricostruzione del modello sismico del sottosuolo.
- Elaborazione dati e relative conclusioni.

La stesura della seguente relazione è stata eseguita in accordo con le normative di seguito elencate:

- D.M. 17 gennaio 2018, "Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni" e codici normativi in esso richiamati (Eurocodici 7 e 8);
- EUROCODICE 7 – Geotechnical design – Part 1: *General rules* UNI EN 1997-1 (Novembre 2004);
- EUROCODICE 8 – Design of structures for earthquake resistance – Part 1: *General rules, seismic actions and rules for buildings* UNI EN 1998-1 (Dicembre 2004); Part 5: *Fundations, retaining structures and geotechnical aspects* UNI EN 1998-5 (Novembre 2004);
- Ordinanza O.P.C.M. n. 3274 del 20 marzo 2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e normative tecniche per le costruzioni in zona sismica".
- Legge regionale 30 ottobre 2008, n.19 "Norme per la riduzione del rischio sismico" con le modifiche apportate dalla L.R. 6 luglio 2009, n.6 e dalla L.R. 23 dicembre 2016, n. 25. Contenuto nel B.U.R 44 del 12/03/2010.

2 - INQUADRAMENTO TOPOGRAFICO

Il comparto è identificato nella seguente cartografia:

- Tavola 221-NO della Carta Tecnica Regionale a scala 1:25.000 (Vedi tav. 1).
- Elemento n° 221053 della Carta Tecnica Regionale a scala 1:5.000 (Vedi tav. 2).

3 - INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO E GEOLOGICO

Il comparto studiato si trova nella zona nord orientale della città di Bologna, nei pressi del quartiere fieristico, in un contesto urbanizzato (vedi tavola 2).

L'area dove sorgerà il nuovo polo dinamico si trova in adiacenza alla palestra del liceo scientifico N. Copernico ed è attualmente utilizzata per attività sportive all'aperto (campo da calcetto, campo da baseball, pista per il lancio del peso, pista per salto in lungo, ecc).

Il settore dove verrà costruito il fabbricato è pianeggiante ma si trova ad una quota più bassa di circa 1,6÷1,7 m rispetto al piano campagna di Via Zacconi. Il piano campagna di via Zacconi si trova a circa 46 m sul livello del mare, mentre il lotto oggetto dell'intervento si trova a circa 44,5 m s.l.m.. I due piani si raccordano quasi ovunque tramite delle scarpate caratterizzate da modeste pendenze, solo nel settore dove sorge il campo da baseball è presente un muro in c.a. che sorregge il terreno.

La geologia dell'area è costituita dai depositi quaternari appartenenti al Subsistema di Ravenna - Unità di Modena (AES8a). Tali terreni derivano prevalentemente dalla sedimentazione dei materiali trasportati dal Torrente Savena e dal torrente Aposa nei vari eventi di tracimazione dell'argine o di rotta fluviale in un contesto di conoide alluvionale.

Da quel che si evince dalla lettura della Carta Geologica di pianura dell'Emilia-Romagna (a cura di R.E.R. – Servizio Sistemi Informativi Geografici – Ufficio Geologico - scala 1:250.000) la zona studiata si trova in corrispondenza di *“Depositati di conoide e di terrazzo”* costituiti da *“Sabbie, limi sabbiosi e limi - ghiaie sabbiose e sabbie in corpi canalizzati e lenticolari.”*

La Carta della Litologia Superficiale (Carta del Territorio di Pianura del Comune di Bologna - Università di Bologna - a cura del Dott. Carlo Elmi e del Dott. Andrea Bergonzoni) indica nell'area terreni superficiali costituiti da sabbia (SW e SM) sovrapposti a ghiaia (GW, GP) o miscele varie di ghiaia e frazioni fini (GM, GC). Nella carta il tetto delle litologie ghiaiose è indicato a quote attorno ai -12 m dal p.c. attuale.

4 - INDAGINI GEOGNOSTICHE

Per individuare puntualmente la litostratigrafia, l'idrogeologia e le caratteristiche geotecniche dei terreni presenti nel sottosuolo sono state realizzate n°5 prove penetrometriche statiche con punta meccanica (CPT). Nei pressi di ciascuna prova è stato realizzato anche uno scavo, profondo circa 1÷1,2 m, per escludere la presenza di sotto-servizi. I vari saggi sono stati realizzati utilizzando un mini escavatore dotato di benna. Sul fondo dello scavo realizzato nei pressi della prova CPT2 è stato prelevato un campione di terreno inalterato mediante l'utilizzo di una fustella tipo shelby. Il campione è stato prelevato tra la profondità di -1,4 m e -1,7 m dal piano campagna.

Le prove CPT1-2-3 sono state eseguite il giorno 26/10/2018 con un penetrometro Deep-Drill SP100-C e hanno raggiunto il tetto di una prima lente ghiaiosa, impermeforabile dalle strumentazioni utilizzata (valori di punta > 600 kg/cm²), situato tra i -2 e i -3,4 m di profondità.

Le prove CPT4 e CPT5 sono state realizzate il giorno 08/11/2018 con un penetrometro Geo-Pan 200 e sono state spinte fino alla profondità di -22 m (CPT4) e di -14,6 m (CPT5). L'utilizzo del penetrometro Geo-Pan ha permesso di superare le lenti di ghiaia addensata (valori di punta > 450 kg/cm²) trivellando i ciottoli con una punta speciale attaccata ad una testa di rotazione. Negli intervalli dove non erano presenti le ghiaie o le ghiaie presentavano valori di $Q_p < 450$ kg/cm², si è sempre utilizzata la punta meccanica. La prova CPT3 è stata realizzata circa 1,5 m più in lato rispetto al piano campagna delle altre prove (piano campagna via Zacconi).

La prova penetrometrica statica con punta meccanica consiste essenzialmente nella misura della resistenza alla penetrazione di una punta di dimensioni e caratteristiche standardizzate, infissa nel terreno a velocità costante ($v = 2$ cm/sec). Nella prova la penetrazione avviene attraverso un dispositivo di spinta idraulica, che agisce su una batteria doppia di aste alla cui estremità inferiore è collegata una punta conica dotata di un manicotto sovrastante per la misura dell'attrito laterale (punta/manicotto tipo Begemann). La lettura dei valori di Q_c (resistenza di punta) – f_s (resistenza laterale) vengono effettuate mediante un manometro idraulico e vengono registrate ad intervalli regolari di 20 cm (vedi grafici e tabulati nell'allegato A a fine testo).

Le lenti di ghiaia superate tramite trivellazione sono state riportate negli elaborati a fine testo assumendo un valore standard di punta Q_p (L1) = 420 Kg/cm² e di attrito laterale Q_l (L2) = 430 Kg/cm².

5 - MODELLO GEOLOGICO

ANALISI DEI RISULTATI DELLE PROVE

Le indagini geognostiche mostrano una successione litostratigrafica caratterizzata in superficie da circa 0,6÷1 m di terreno vegetale e/o di riporto a matrice sabbioso limosa con inglobate radici (unità litostratigrafica TV/TR). Nello scavo realizzato vicino alla prova CPT1 i primi 0,4 m sono composti da terreno di riporto con inglobati rari frammenti litoidi e laterizi. Da -0,4 m a -0,8 m è presente il vecchio terreno vegetale impostato sopra a delle sabbie e sabbie limose color marrone gialognolo.

Da circa 0,6÷1,0 m di profondità, fino a circa -2,5÷-3,6 m, si incontra uno strato prevalentemente sabbioso / sabbioso limoso (unità litostratigrafica A) caratterizzato da valori di Q_c compresi tra 23 e 45 Kg/cm². Sotto l'unità litostratigrafica A, tra i - 2,5÷-3,5 m e -6,2 m dal p.c., è presente una lente di materiali molto addensati costituiti da ghiaie e ghiaie sabbiose (unità litostratigrafica B). Da -6,2 m dal p.c. fino a circa -11÷-12 m dal p.c. sono presenti limi ed argille con consistenza da media a buona (unità litostratigrafica C), caratterizzato da valori di Q_c compresi tra 23 e 45 Kg/cm². L'unità C è impostata direttamente sopra a una lente di ghiaia sabbiosa con ciottoli eterogenei, ben addensata, impermeforabile dalla strumentazione utilizzata (unità litostratigrafica D). La lente ghiaiosa si trova tra -12 m dal p.c. e -14,6÷-15 m dal p.c.. Nella sola prova CPT4 è stata oltrepassata utilizzando l'apposita punta a rotazione. Sotto la ghiaia, tra -14,6 m dal p.c. e -21,4 m dal p.c. sono presenti limi ed argille con consistenza da media a buona (unità litostratigrafica E), caratterizzato da valori di Q_c compresi tra 16 e 54 Kg/cm². Da -21,4 m dal p.c. a -22,0 m dal p.c. (fine prova) si incontrano terreni prevalentemente sabbiosi, ben addensati, con valori di Q_c compresi tra 110 e 163 Kg/cm² (unità litostratigrafica F).

DEFINIZIONE DELLE UNITA' LITOSTRATIGRAFICHE

Nella seguenti tabelle sono riassunte le principali unità litostratigrafie del comparto:

UNITA' LITOSTRATIGRAFICHE SCUOLA MATERNA					
Unità litostratigrafica	Descrizione litologia	Indagine	Profondità (m dal p.c.)	Qc min (Kg/cm ²)	Qc max (Kg/cm ²)
TVR	Terreno vegetale e/o di riporto a matrice limoso sabbiosa a tratti più sabbiosa, con inglobate radici. Nella prova CPT1 presenti frammenti litoidi e di laterizi fino a -0,4 m dal p.c.	CPT1	Da 0 a -1,0	6	110
		CPT2	Da 0 a -0,6	4	24
		CPT3	Da 0 a -0,8	15	21
		CPT4	Da 0 a -0,6	35	44
		CPT5	Da 0 a -0,8	27	52
A	Sabbie fini e sabbie limose	CPT1	Da -1,0 a -2,8	26	44
		CPT2	Da -0,6 a -2,4	24	40
		CPT3	Da -0,8 a -3,6	24	110
		CPT4	Da -0,6 a -2,2	23	37
		CPT5	Da -0,8 a -3,0	33	45
B	Ghiaie sabbiose e sabbie ghiaiose con intercalati rari livelli di limi o argille	CPT1	Da -2,8 a -3,4*	280	>600
		CPT2	Da -2,4 a -3,8*	300	>600
		CPT3**	Da -3,6 a -4,6*	120	>460
		CPT4	Da -2,2 a -6,2	37	>450
		CPT5	Da -3,0 a -6,2	47	>420
C	Argille e Limi con livelli di limi sabbiosi e sabbia	CPT4	Da -6,2 a -11,2	11	34
		CPT5	Da -6,2 a -11,8	6	45 (110)
D	Ghiaie sabbiose con ciottoli eterogenei con intercalati rari livelli di limi/argille	CPT4	Da -11,2 a -14,6	75	>420
		CPT5	Da -11,8 a -14,6*	34	>420
E	Argille e Limi con rari livelli di limi sabbiosi e sabbia	CPT4	Da -14,6 a -21,4	16	54
F	Sabbia addensata / sabbia ghiaiosa	CPT4	Da -21,4 a -22,0*	110	163

Tabella 1: Unità litostratigrafiche. (*) Fine prova. (**) Piano campagna della prova CPT3 più alto di circa 1,5 m rispetto al p.c. delle altre prove.

PROVA DI LABORATORIO

Sul campione di terreno indisturbato, prelevato nei pressi della prova CPT2, è stata eseguita una prova di taglio diretto consolidato drenato (C.D.).

Tutti i risultati sono riportati nei certificati visibili in copia nell'allegato B a fine testo. Le analisi sono state realizzate dal laboratorio geotecnico Geote S.r.l. con sede in via via della Tecnica 57/A4 a San Lazzaro di Savena (BO).

Di seguito vengono riportati in forma schematica i vari risultati:

PROVA DI TAGLIO DIRETTA (C.D.)				
Campione	Quota prelievo (m dal p.c.)	Descrizione A.G.I.	Coesione drenata di picco c' (KPa)	angolo di attrito int. di picco ϕ' (°)
S2-C1	- 1,4 - 1,7	Sabbia e sabbia debolmente limosa colore marrone scuro	2,96	30,11

Tab. 2: Risultati prove di laboratorio

INDICAZIONI SUI PARAMETRI GEOTECNICI

L'utilizzo delle penetrometriche statiche ha permesso di ricavare una serie di parametri geotecnici, differenti in base al tipo di materiale attraversato. In particolare: per terreni a comportamento principalmente coesivo è stato possibile fornire i valori della coesione non drenata (C_u); per terreni con un comportamento principalmente incoerente, possono essere stimati i valori di angolo d'attrito (ϕ); per terreni dalla composizione mista, di cui risulta difficoltosa un'univoca definizione del comportamento alla deformazione, vengono stimati tutti i diversi parametri, per poi scegliere quelli che meglio descrivono la situazione reale.

Per la sola unità litostratigrafica A si può fare riferimento anche ai valori emersi dalla prova di laboratorio realizzata sul campione S2-C1, opportunamente ridotti a favore di sicurezza (vedi allegato B). In particolare per la sola unità litostratigrafica A si potrà considerare anche il valore della coesione drenata $c'=0,02\pm 0,03$ Kg/cm².

Nella seguente tabella sono riportati i vari parametri geotecnici delle varie unità litostratigrafiche:

INDICAZIONI SUI PARAMETRI GEOTECNICI								
Unità litostratigrafiche	Descrizione litologia	γ (t/m ³)	ϕ (°)		Cu (Kg/cm ²)		Mo (Kg/cm ²)	
			Terreni incoerenti		Terreni coesivi		Terreni incoerenti /coesivi	
		med	min	max	min	max	min	max
A	Sabbie fini e sabbie limose	1,85	28	32	-	-	60	110
B	Ghiaie sabbiose e sabbie ghiaiose con intercalati rari livelli di limi o argille	1,90	32	35	-	-	150	>500
C	Argille e Limi con livelli di limi sabbiosi e sabbia	1,85	-	-	0,5	0,7	40	70
D	Ghiaie sabbiose con ciottoli eterogenei con intercalati rari livelli di limi/argille	1,90	32	35	-	-	150	>500
E	Argille e Limi con rari livelli di limi sabbiosi e sabbia	1,85	-	-	0,65	0,85	50	80
F	Sabbia / sabbia ghiaiosa	1,90	30	34	-	-	135	490

Tabella 3 – Parametri geotecnici estrapolati dalle indagini geognostiche (Legenda: γ =peso di volume naturale; ϕ = angolo di attrito; Cu=Coesione non drenante; c=Coesione drenante)

IDROLOGIA E IDROGEOLOGIA

Il lotto studiato ricade tra il torrente Aposa e il torrente Savena. I depositi quaternari presenti nell'area sono di conoide alluvionale e sono composti da alternanze di sabbie, limi, argille e ghiaie. In passato nei pressi del lotto studiato passava l'alveo del torrente Savena, non a caso a N del quartiere fieristico, inizia il rio Savena Abbandonato. Nei corsi dei secoli il torrente Savena è stato deviato verso San Lazzaro di Savena.

La Carta Piezometrica della Falda superficiale del Comune di Bologna (*redatta nel 2001*) indica la presenza nell'area della falda superficiale "SUP4" e stima il livello piezometrico medio dell'acqua tra i -5 e -6 m dal p.c. del lotto studiato.

Durante le terebrazioni è stata rilevata presenza d'acqua nei fori delle prova CPT4 e CPT5, a circa -5,2 m dal p.c.. Le altre prove sono terminate tutte a quote più superficiali per cui non hanno raggiunto la quota dell'acqua. La quota della falda a circa 5 m è in linea con la Carta Piezometrica del Comune.

Si fa presente che il livello di soggiacenza della falda è soggetto a oscillazioni correlabili direttamente con le precipitazioni meteoriche stagionali. Si avranno quindi degli incrementi positivi di quota durante i periodi con intense precipitazioni meteoriche e negativi nei mesi caratterizzati da siccità.

6 - MODELLO SISMICO

CLASSIFICAZIONE SISMICA

In base alla classificazione sismica dei Comuni dell'Emilia Romagna, ai sensi dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri del 20 marzo 2003 n° 3274, il Comune di Bologna è inserito in *Zona 3 (Comune a sismicità medio-bassa)*.

SISMI STORICI RELATIVI ALL'AREA (DAL 217 A.C. AL 2002)

Il Comune di Bologna è stato storicamente interessato solo da terremoti di moderata entità con intensità massime comprese tra il VII e VII-VIII grado scala Mercalli (MCS).

I terremoti più importanti di cui si ha testimonianza storica nel Bolognese sono avvenuti nei seguenti anni :

Home « TERREMOTI - elenco sismico storico - » Fonte: INGV (rielaborazione CPT104) con le mappe dei sismi								
tutte le colonne			regione prov limite anno mese giorno					
			tutte	BO	ness	tutti	tutti	tutti
			1-20 di 30					
n.	Naz	zona sismica	Prov	Regione	ora UTC (mm/gg/aaaa)	orario in formato italiano	maw	LAT - LON
14)	🇮🇹	Molinella	BO	Emilia Romagna	10/22/1796 04:00:00	22/10/1796 04:00:00	5,6	44.620, 11.670
26)	🇮🇹	Monteveglia	BO	Emilia Romagna	04/20/1929 01:09:46	20/04/1929 01:09:46	5,6	44.470, 11.130
8)	🇮🇹	Casalecchio di Reno	BO	Emilia Romagna	01/03/1505 02:00:00	03/01/1505 02:00:00	5,5	44.480, 11.250
24)	🇮🇹	Molinella	BO	Emilia Romagna	01/13/1909 00:45:00	13/01/1909 00:45:00	5,5	44.579, 11.688
3)	🇮🇹	Monteveglia	BO	Emilia Romagna	07/20/1399 23:00:00	20/07/1399 23:00:00	5,4	44.470, 11.070
5)	🇮🇹	Sasso Marconi	BO	Emilia Romagna	02/06/1455 00:00:00	06/02/1455 00:00:00	5,4	44.400, 11.250
17)	🇮🇹	Vergato	BO	Emilia Romagna	06/25/1869 00:00:00	25/06/1869 00:00:00	5,3	44.314, 11.116
6)	🇮🇹	Sasso Marconi	BO	Emilia Romagna	12/20/1455 20:45:00	20/12/1455 20:45:00	5,2	44.420, 11.270
7)	🇮🇹	Castel di Casio	BO	Emilia Romagna	04/11/1470 00:00:00	11/04/1470 00:00:00	5,2	44.161, 11.037
19)	🇮🇹	Castel del Rio	BO	Emilia Romagna	11/09/1878 17:49:00	09/11/1878 17:49:00	5,2	44.250, 11.500
20)	🇮🇹	Monterenzio	BO	Emilia Romagna	01/24/1881 16:04:00	24/01/1881 16:04:00	5,1	44.320, 11.350
2)	🇮🇹	Bologna	BO	Emilia Romagna	07/25/1365 18:00:00	25/07/1365 18:00:00	5,0	44.500, 11.330
4)	🇮🇹	Bologna	BO	Emilia Romagna	05/04/1433 08:05:00	04/05/1433 08:05:00	5,0	44.500, 11.330
12)	🇮🇹	Ozzano dell'Emilia	BO	Emilia Romagna	06/04/1779 07:00:00	04/06/1779 07:00:00	5,0	44.450, 11.520
28)	🇮🇹	Castiglione dei Pepoli	BO	Emilia Romagna	09/05/1964 21:09:00	05/09/1964 21:09:00	5,0	44.138, 11.233
13)	🇮🇹	Argelato	BO	Emilia Romagna	02/06/1780 04:00:00	06/02/1780 04:00:00	4,9	44.620, 11.320
10)	🇮🇹	Bologna	BO	Emilia Romagna	04/14/1666 18:58:00	14/04/1666 18:58:00	4,8	44.500, 11.333
11)	🇮🇹	Camugnano	BO	Emilia Romagna	08/13/1771 00:00:00	13/08/1771 00:00:00	4,8	44.167, 11.167
18)	🇮🇹	Castel San Pietro Terme	BO	Emilia Romagna	03/12/1878 21:26:00	12/03/1878 21:26:00	4,8	44.420, 11.550
21)	🇮🇹	Zola Predosa	BO	Emilia Romagna	03/08/1889 02:47:00	08/03/1889 02:47:00	4,8	44.518, 11.237

Fig. 1– Database terremoti storici avvenuti in provincia di Bologna dal 217 a.c. Al 2002 dc

Le date dei vari terremoti sono state ricavate dal catalogo parametrico dei terremoti CPT104 dell'Istituto Nazionale di Geofisica (INGV)

SISMI RECENTI RELATIVI ALL'AREA (DAL 2002 AL 2012)

Di terremoti recenti con magnitudo $M_w > 5$ che hanno interessato la provincia di Bologna, si segnalano il terremoto del 14 settembre 2003 di magnitudo 5,3 con epicentro tra i Comuni di Loiano e Monghidoro ed il recente terremoto avvenuto nel maggio 2012 tra le Province di Modena, Ferrara e Bologna con magnitudo dei sismi più significativi di 5,9 e 5,8 M_w (vedi meccanismi focali nella figura sottostante).

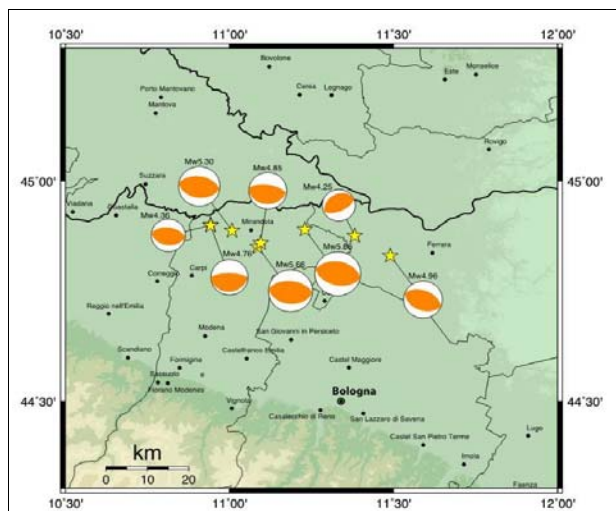


Fig. 2– Sequenza sismica principale ($M_w > 4$) del Maggio 2012 con relativa magnitudo e movimenti focali (Fonte INGV)

ZONE SISMOGENETICHE IN PROVINCIA DI BOLOGNA

Nella figura 3 sono riportate le zone sismogenetiche individuate dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia sotto l'appennino Emiliano e la Pianura Padana con relative analisi di pericolosità sismica con approccio probabilistico (Database DISS “Database of Individual Seismogenic Sources” 3.2 - INGV 2015).

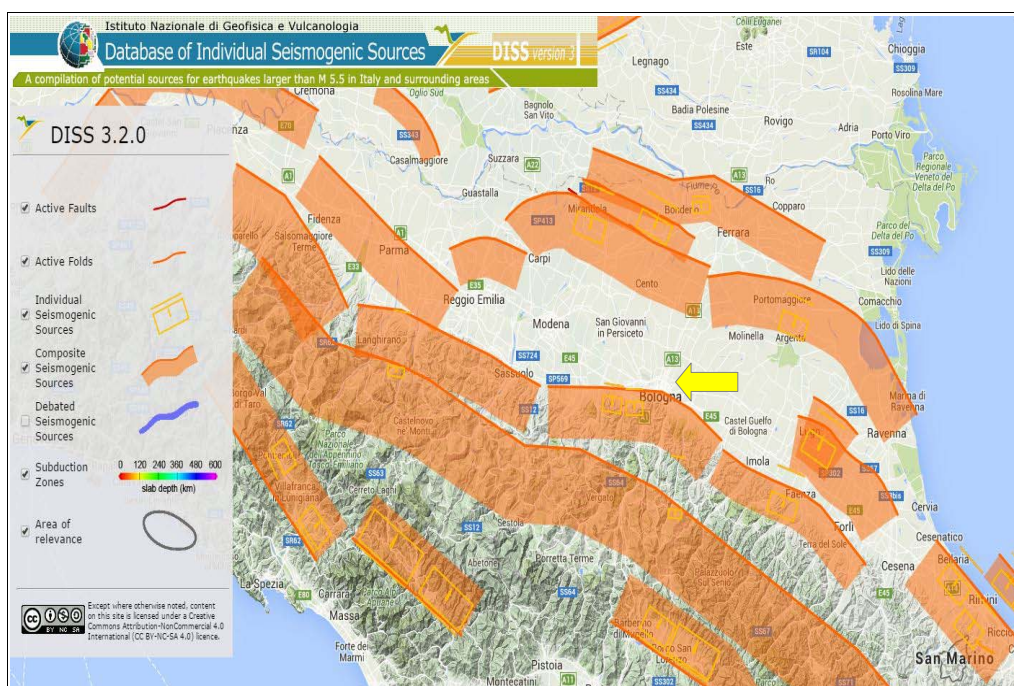


Fig. 3 – Zone sismogenetiche pianura padana (Fonte: INGV)

Le zone sismogenetiche nel territorio Bolognese sono:

- ITCS001: Castel San Pietro - Meldola con magnitudo massima attesa di 5,8 Mw.
- ITCS012: Malalbergo-Ravenna con magnitudo massima attesa di 6 Mw.
- ITCS027: Bore-Montefeltro-Fabriano-Laga, con magnitudo massima attesa di 6,2 Mw.
- ITCS047: Castelvetro di Modena-Castel San Pietro Terme con magnitudo massima attesa di 6 Mw.
- ITCS051: Carpi-Poggio Renatico con magnitudo massima attesa di 6,0 Mw (magnitudo raggiunta dal sisma verificatosi nel maggio 2012: 5,9 Mw).

Il lotto analizzato ricade immediatamente a nord della zona ITCS047: Castelvetro di Modena-Castel San Pietro Terme con magnitudo massima attesa di 6 Mw.

STUDI SISMICI E VINCOLI NORMATIVI PRESENTI SULL'AREA

Dalla consultazione delle carte allegare al PTCP della Città Metropolitana di Bologna e del PSC del Comune di Bologna si sono ricavate le seguenti informazioni / vincoli di carattere sismico esistenti sull'area studiata:

Nome carta	Sigla carta	Scala	Legende carta
PTCP - Città metropolitana di Bologna - Rischio sismico	Tav. 2c	1:25.000	A - Area potenzialmente soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche
PSC - Comune di Bologna Rischio Sismico <i>- Carta comunale delle aree suscettibili di effetti locali</i>	Tav. E2	1:20.000	AREA SOGGETTA AD AMPLIFICAZIONE PER CARATTERISTICHE LITOLOGICHE E A POTENZIALI CEDIMENTI - - Studi: valutazione del coefficiente di amplificazione litologica e dei cedimenti attesi. - Microzonazione sismica: sono ritenuti sufficienti approfondimenti di II livello per la valutazione del coefficiente di amplificazione litologica e sono richiesti approfondimenti di III livello per la stima degli eventuali cedimenti.
PSC - Comune di Bologna Rischio Sismico <i>- Carta di sintesi dei livelli di approfondimento -</i>	Tav. E3	1:20.000	Aree che necessitano di approfondimenti di livello 2.

Tabella 4 – Riassunto schematico studi sismici e vincoli normativi di carattere sismico presenti sull'area.

EFFETTI DI AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA RELATIVI AL SITO

Visto il contesto geomorfologico dell'area, si possono escludere condizioni topografiche che possano amplificare l'azione di un eventuale sisma, per cui si potrà utilizzare una classe topografica T1.

SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE DEI TERRENI

La liquefazione di un terreno è dovuta alla diminuzione di resistenza a taglio e/o di rigidità causata dall'aumento di pressione interstiziale in un terreno saturo non coesivo durante lo scuotimento sismico.

La verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata ($N1$) $60 > 30$ oppure $qc1N > 180$ 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 $qc1N$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Fig. 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ e in Fig. 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$ (vedi figura 4).

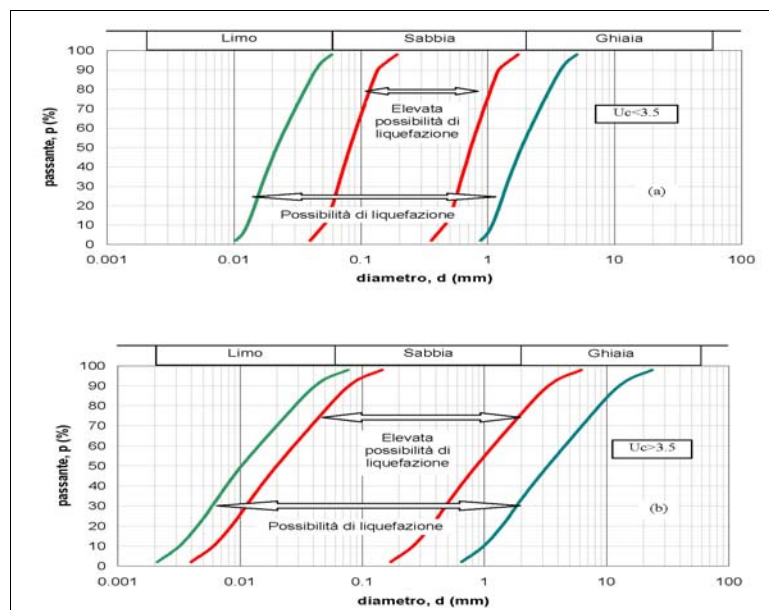


Fig. 4 - Norme tecniche sulle Costruzioni 2018 - Fig. 7.11.1 a/b – Fusi granulometrici dei terreni soggetti a liquefazione.

Nell'area in esame non sono state individuate lenti di sabbia e/o sabbia limosa sciolta di spessore significativo in falda, pertanto le verifiche di liquefazione sono state omesse. Il sito non presenta rischio di liquefazione del terreno in caso di sisma con magnitudo $M > 5$. Nel sottosuolo sono presenti spesse lenti di ghiaie e ghiaie sabbiose ben addensate (tra -3 e -6 m dal p.c. e tra -12 e -15 m dal p.c.) in grado di dissipare le sovrappressioni dell'acqua prodotte dai vari tagli ciclici delle onde sismiche nel terreno.

CEDIMENTI POST-SISMICI

Nel comparto studiato i terreni presenti nei primi 5 m di profondità sono di tipo incoerente, non in falda, pertanto soggetti a cedimenti post-sismici minimi. Lo strato limoso argilloso situato sotto la prima lente di ghiaia, tra circa -6 m e -12 m dal p.c. presenta una consistenza generalmente medio - buona ed è confinato tra due spesse lenti di ghiaia sabbiosa, pertanto anche esso è soggetto a cedimenti post sismici di entità trascurabile.

RICOSTRUZIONE DEL PROFILO SISMO STRATIGRAFICO DEI PRIMI 30 M DI PROFONDITÀ

Per la ricostruzione del profilo sismostartigrafico del sito necessario per il calcolo della velocità equivalente (V_{s_eq}) delle onde di taglio nei primi 30 m di profondità è stata realizzata una MASW (sismica attiva) e una misura del rumore ambientale (sismica passiva). Lo studio geofisico è visibile integralmente nell'allegato C.

Di seguito vengono riportate le considerazioni finali dello studio geofisico :

- Il picco principale del sito è posto a 0,81 Hz e presenta un rapporto H/V pari a 2,2.
- Nel campo delle frequenze di interesse ingegneristico (0,7 Hz ÷ 11 Hz) si segnalano le frequenze comprese tra 3 Hz e 1.5 Hz e le frequenze comprese tra 0.9 Hz e 0.7 Hz, in grado di generare effetti di risonanza nel terreno.
- Il parametro V_{s_eq} (0÷-30 m) del sito risulta pari a 241 m/s ($\pm 15\%$).

SISMA DI PROGETTO

Il sisma di progetto dell'area, necessario per i calcoli geotecnici con il N.T.C. 2018, è il seguente:

Coordinate ED50 [°]	Longitudine	11,364845	Latitudine	44,510000
Coordinate WGS84 [°]	Longitudine	11,363852	Latitudine	44,505603
Categoria topografica	T1			
Vita nominale - V_n [anni]	50			
Classe d'uso	III			
Coefficiente d'uso - C_u	1,5			
ag [g]	SLO	0,064		
	SLD	0,079		
	SLV	0,191		
	SLC	0,242		

Tabella 5 – Dati per il calcolo del sisma di progetto

La vita nominale e la classe d'uso del fabbricato sono stati forniti allo scrivente dal progettista strutturale.

ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE

Per definire le azioni sismiche di progetto è stata realizzata un'analisi di risposta sismica locale del sito (RSL) seguendo le indicazioni riportate nelle NTC 2018.

Lo studio della risposta sismica locale del sito è riportato integralmente nell'allegato D.

Di seguito si riporta lo spettro di risposta elastico in accelerazione calcolato da RSL allo stato limite di salvaguardia della vita SLV, confrontato con le curve B-C-D-E dell'approccio semplificato della normativa vigente (NTC 2018).

Nell'allegato D sono riportati anche gli spettri di risposta elastici in accelerazione calcolati da RSL allo Stato Limite di Operatività (SLO), allo Stato Limite di Danno (SLD) e allo Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC).

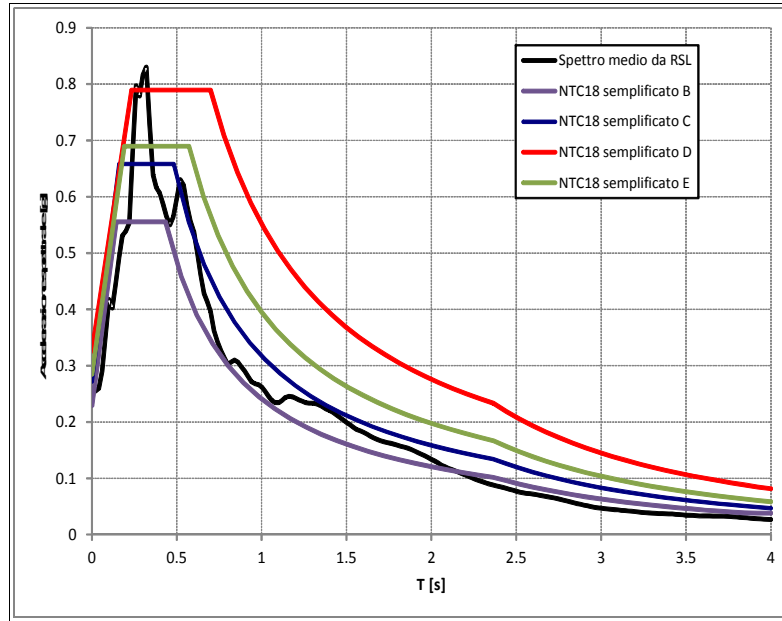


Fig. 6 – Confronto tra lo spettro di risposta ottenuto dai 7 accelerogrammi di input e gli spettri dell'approccio semplificato di normativa agli SLV.

Bologna, li 18 Dicembre 2018

Dott. Geol. Alberto Filelfi
(O.G.E.R. - SEZ. A - A.P. n°1115)



COROGRAFIA

Stralcio C.T.R. n° 221-NO

Scala 1:25.000



Legenda

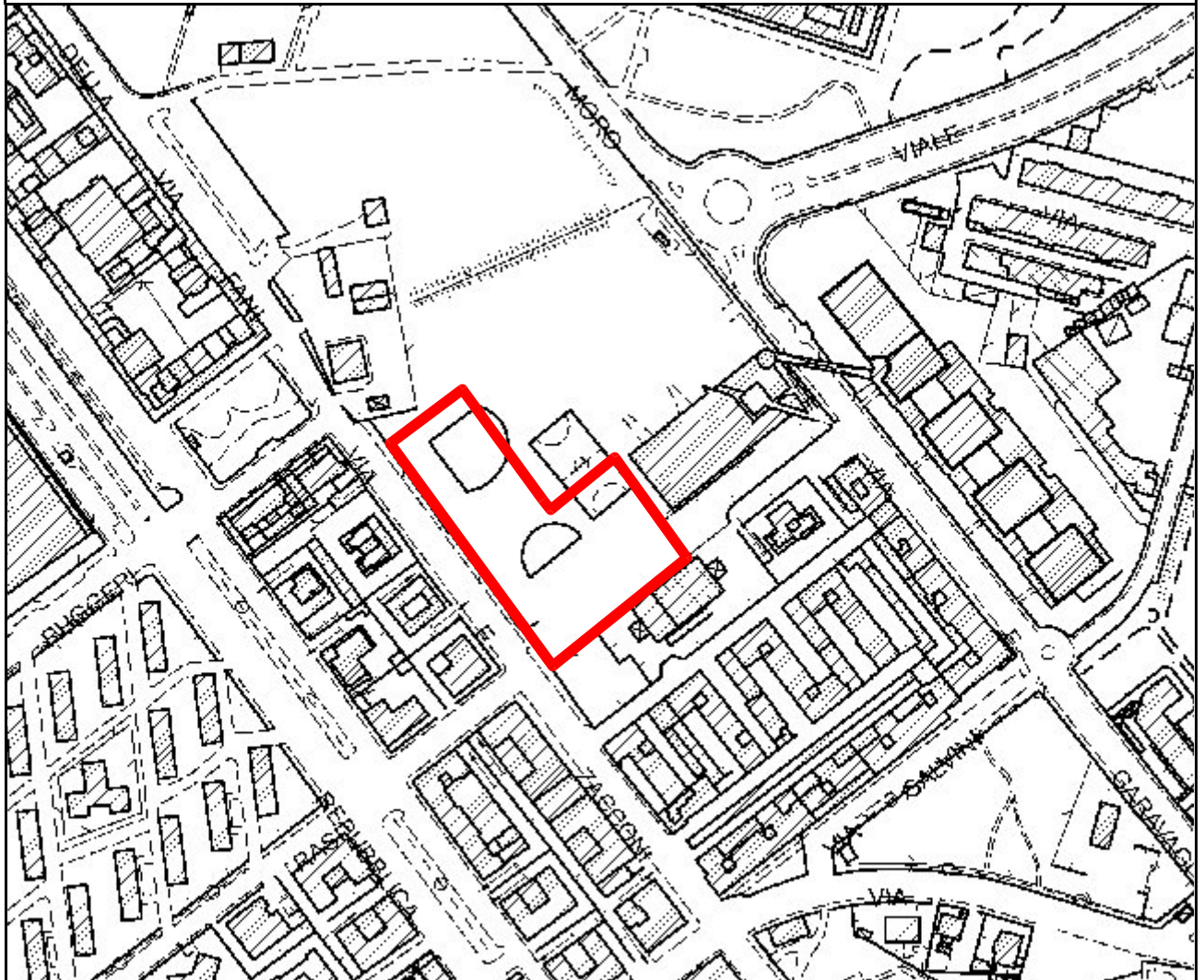


Edificio in oggetto

INQUADRAMENTO TERRITORIALE

CTR – DBTR - Elemento n° 221053

Scala 1:3.000



Legenda

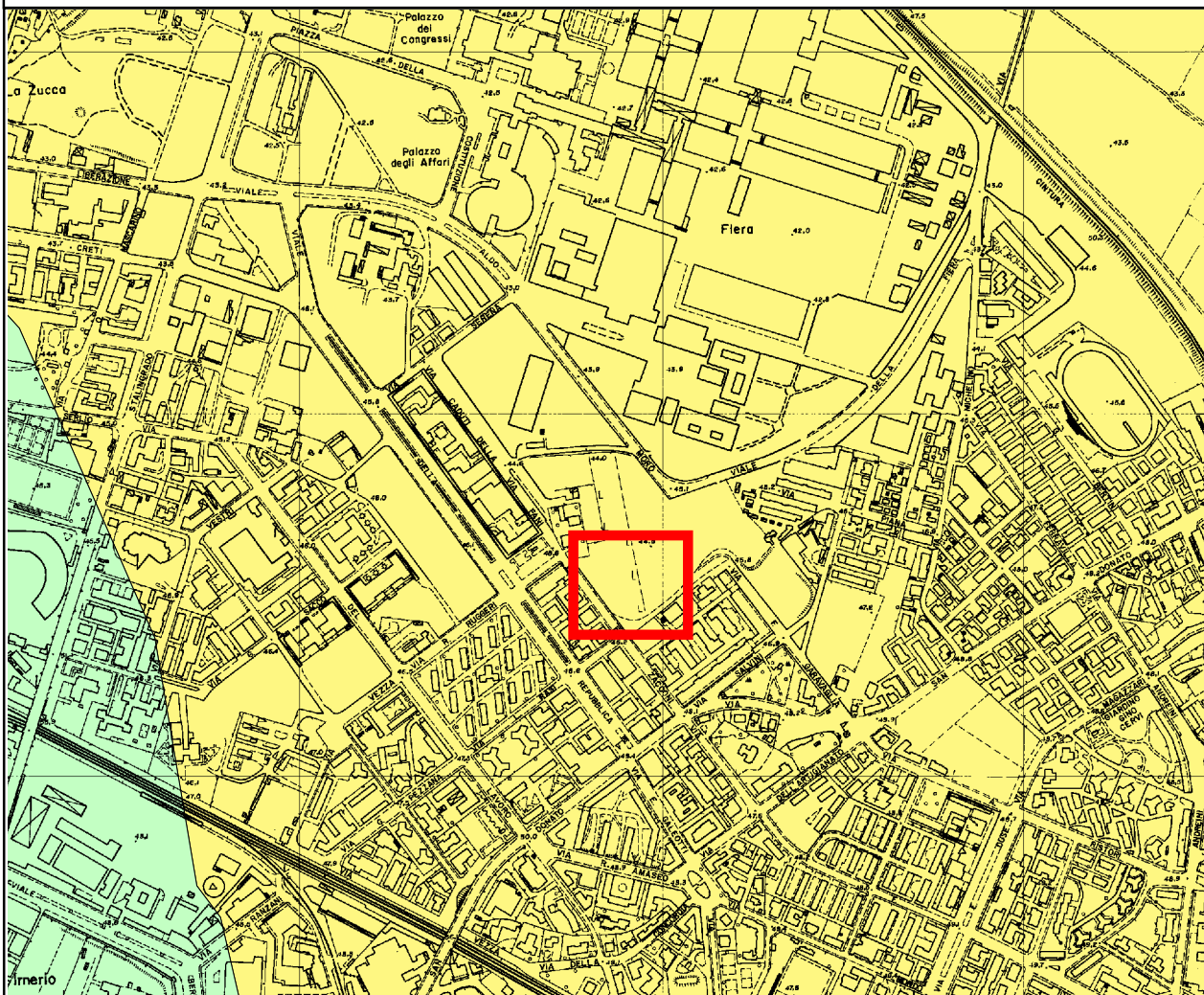


Area in oggetto

CARTA GEOLOGICA DI PIANURA DELLA REGIONE EMILIA-ROMAGNA*

*Sovrapposizione dei tematismi
alla CTR n°221050*

Ingrandimento a scala 1:10.000



Legenda



Area in oggetto



Sabbie, limi sabbiosi e limi - ghiaie sabbiose e sabbie in corpi canalizzati e lenticolari.
Depositi di conoide e di terrazzo.

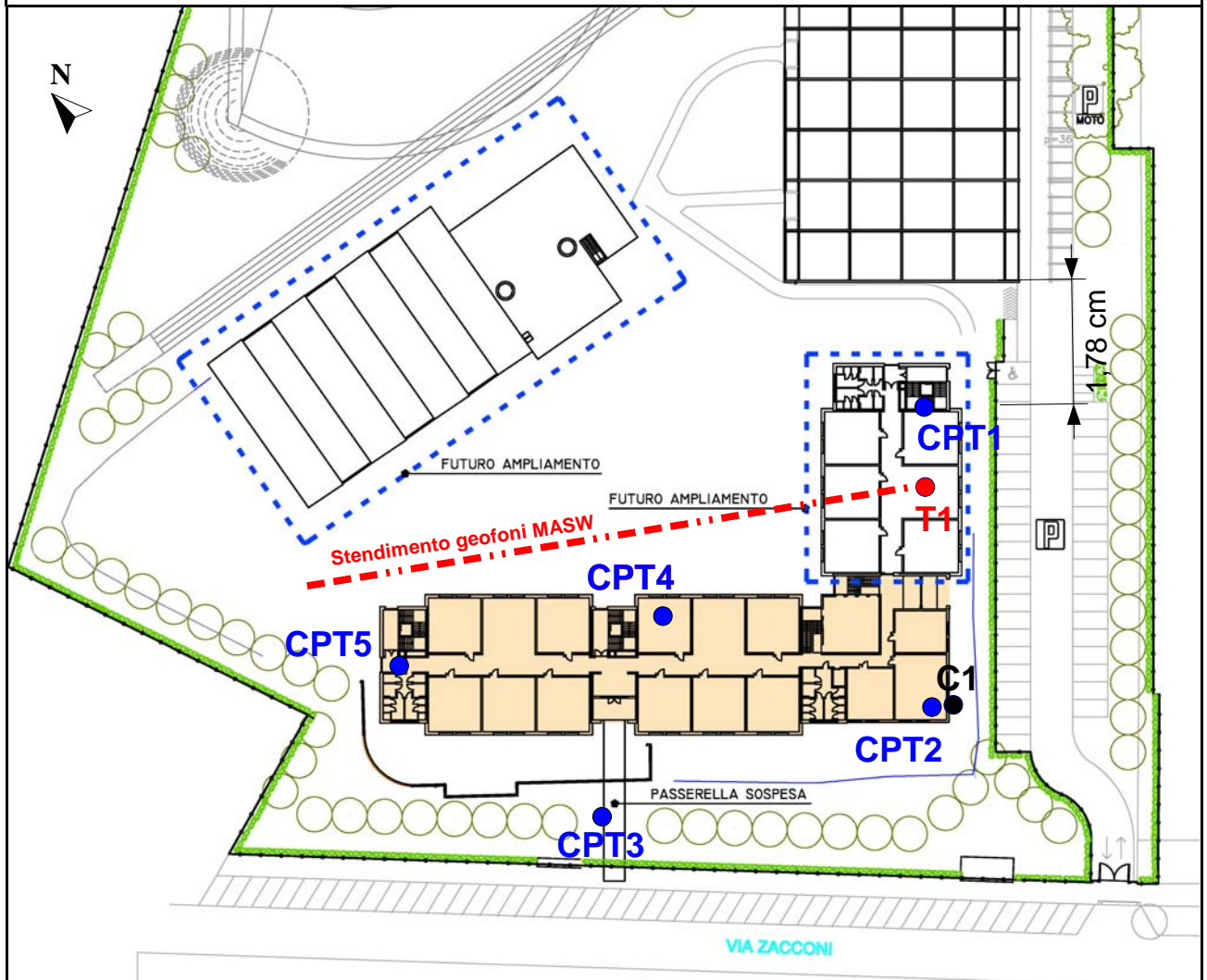


Limi e limi argillosi in strati di spessore decimetrico, subordinatamente ghiaie e ghiaie sabbiose in corpi canalizzati e lenticolari.
Depositi di conoide e di terrazzo.

UBICAZIONE INDAGINI GEOGNOSTICHE

PLANIMETRIA DI PROGETTO

Scala 1:1000



Legenda

- **CPT1-5** Prove penetrometriche statiche (CPT)
- **C1** Punto di prelievo campione di terreno inalterato
- **T1** Indagine sismica MASW+HVSr
- Stendimento geofoni MASW

ALLEGATO A

INDAGINI GEOGNOSTICHE

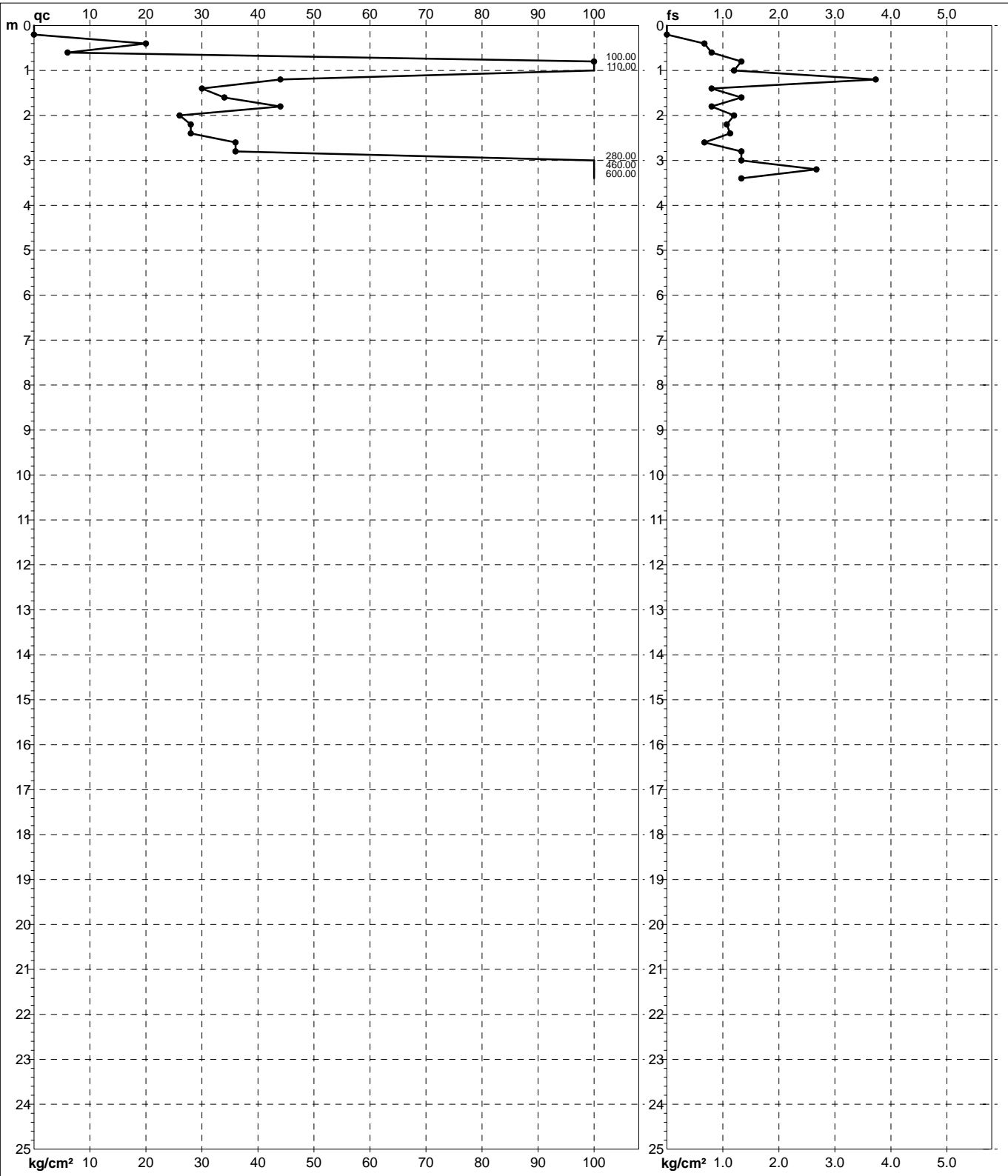
**TABULATI E GRAFICI PROVE PENETROMETRICHE
STATICHE (CPT)**



PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
DIAGRAMMI DI RESISTENZA

CPT	1

Committente: Città Metropolitana di Bologna	U.M.: kg/cm²	Data exec.: 26/10/2018
Cantiere: Liceo Scientifico N. Copernico	Scala: 1:125	Quota inizio:
Località: Via Garavaglia n° 11 - Bologna	Pagina: 1	Falda: Non rilevata
	Elaborato: 	



	Penetrometro: SP 100-C	Preforo: -0.20 m
	Responsabile: 	Corr.astine: kg/ml
	Assistente: 	Cod.ISTAT: 037006
		Cod. punta:



PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI

CPT 1

Committente: **Città Metropolitana di Bologna**
 Cantiere: **Liceo Scientifico N. Copernico**
 Località: **Via Garavaglia n° 11 - Bologna**

U.M.: **kg/cm²** Data eseg.: **26/10/2018**
 Pagina: **1**
 Elaborato: Falda: **Non rilevata**

H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc kg/cm ²	fs kg/cm ²	F -	Rf %	H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc kg/cm ²	fs kg/cm ²	F -	Rf %
0.20	0.0	0.0	-	0.00	0.00	-	-								
0.40	10.0	15.0	-	20.00	0.67	30	3.4								
0.60	3.0	9.0	-	6.00	0.80	8	13.3								
0.80	50.0	60.0	-	100.00	1.33	75	1.3								
1.00	55.0	64.0	-	110.00	1.20	92	1.1								
1.20	22.0	50.0	-	44.00	3.73	12	8.5								
1.40	15.0	21.0	-	30.00	0.80	38	2.7								
1.60	17.0	27.0	-	34.00	1.33	26	3.9								
1.80	22.0	28.0	-	44.00	0.80	55	1.8								
2.00	13.0	22.0	-	26.00	1.20	22	4.6								
2.20	14.0	22.0	-	28.00	1.07	26	3.8								
2.40	14.0	22.5	-	28.00	1.13	25	4.0								
2.60	18.0	23.0	-	36.00	0.67	54	1.9								
2.80	18.0	28.0	-	36.00	1.33	27	3.7								
3.00	140.0	150.0	-	280.00	1.33	211	0.5								
3.20	230.0	250.0	-	460.00	2.67	172	0.6								
3.40	300.0	310.0	-	600.00	1.33	451	0.2								

H = profondità
 L1 = prima lettura (punta)
 L2 = seconda lettura (punta + laterale)
 Lt = terza lettura (totale)
 CT = 20.00 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

nota:



PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

DIAGRAMMI LITOLOGIA

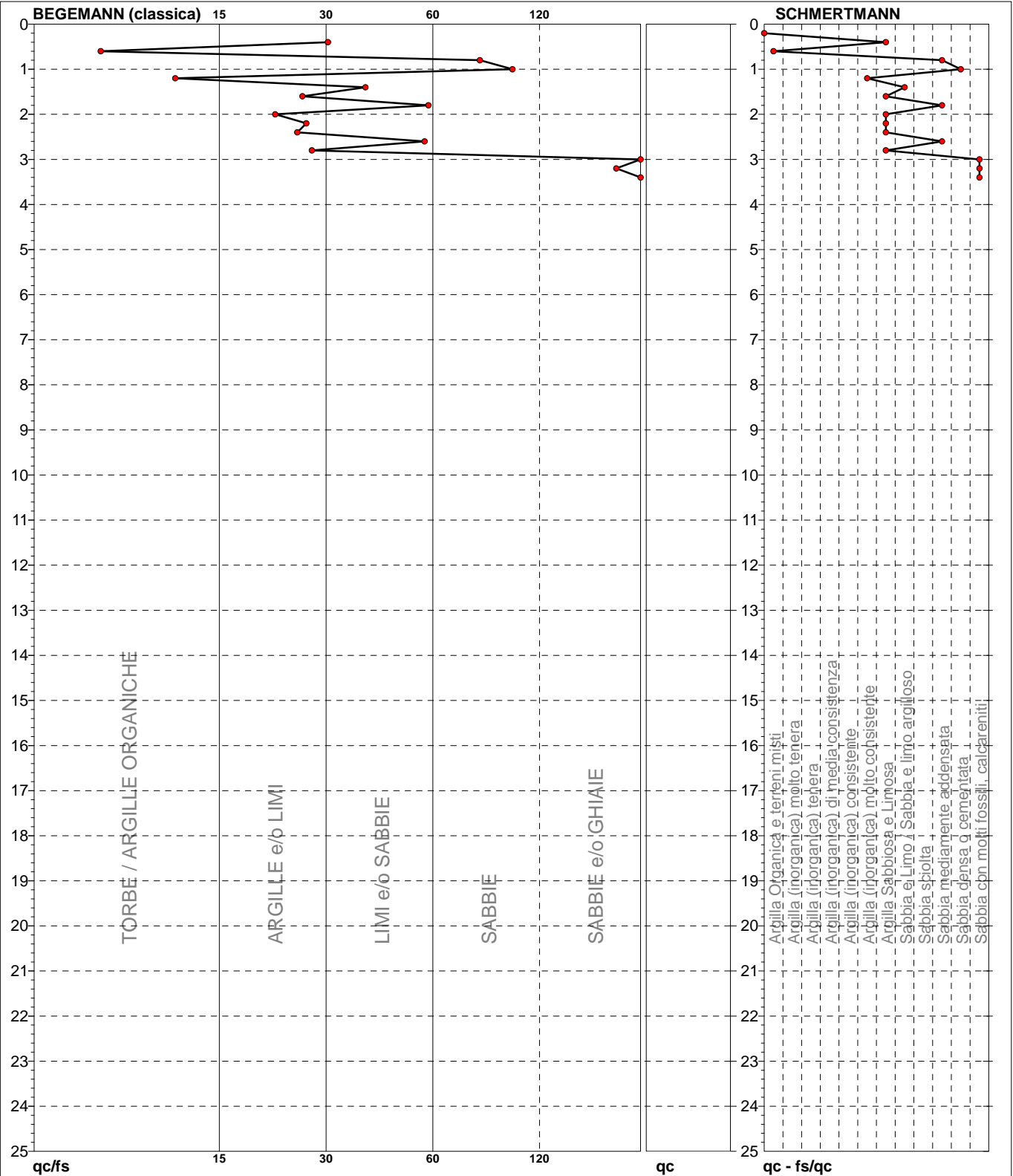
CPT

1

Committente: **Città Metropolitana di Bologna**
Cantiere: **Liceo Scientifico N. Copernico**
Località: **Via Garavaglia n° 11 - Bologna**

U.M.: **kg/cm²**
Scala: **1:125**
Pagina: **1**
Elaborato:

Data eseg.: **26/10/2018**
Falda: **Non rilevata**



Torbe / Argille org. :	111 punti, 89.52%	Argilla Organica e terreni misti:	1 punti, 0.81%	Argilla Sabbiosa e Limosa:	6 punti, 4.84%
Argille e/o Limi :	6 punti, 4.84%	Argilla (inorganica) molto consist.:	1 punti, 0.81%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo arg.:	1 punti, 0.81%
Limi e/o Sabbie :	3 punti, 2.42%			Sabbia mediamente addensata:	3 punti, 2.42%
Sabbie:	2 punti, 1.61%			Sabbia densa o cementata:	1 punti, 0.81%
Sabbie e/o Ghiaie :	3 punti, 2.42%			Sabbia con molti fossili, calcareniti:	3 punti, 2.42%

nota:

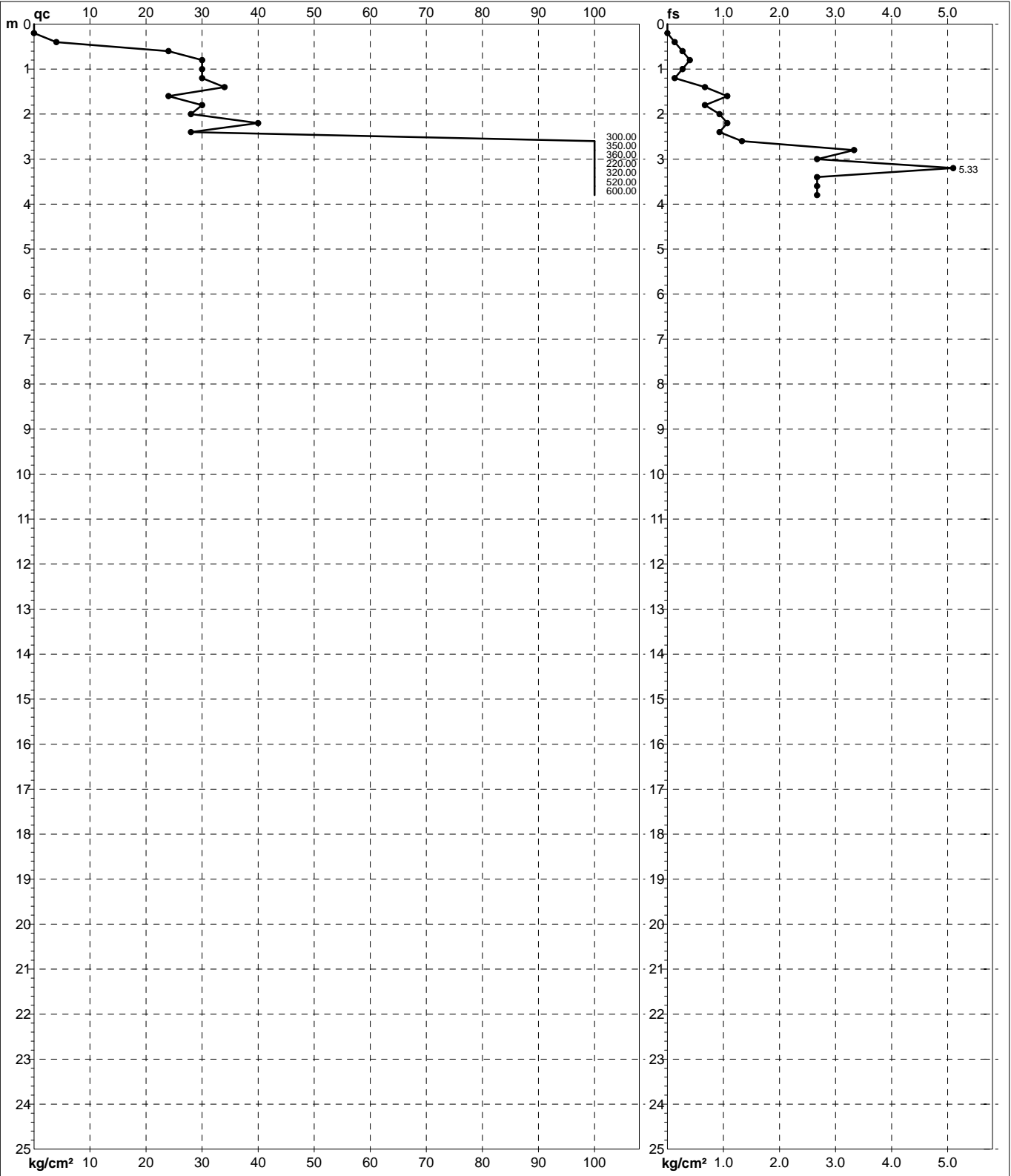


PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

DIAGRAMMI DI RESISTENZA

CPT	2

Committente: Città Metropolitana di Bologna	U.M.: kg/cm²	Data exec.: 26/10/2018
Cantiere: Liceo Scientifico N. Copernico	Scala: 1:125	Quota inizio:
Località: Via Garavaglia n° 11 - Bologna	Pagina: 1	Falda: Non rilevata
	Elaborato: 	



	Penetrometro: SP 100-C	Preforo: -0.20 m
	Responsabile: 	Corr.astine: kg/ml
	Assistente: 	Cod.ISTAT: 037006
		Cod. punta:



PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI

CPT 2

Committente: **Città Metropolitana di Bologna**
 Cantiere: **Liceo Scientifico N. Copernico**
 Località: **Via Garavaglia n° 11 - Bologna**

U.M.: **kg/cm²** Data eseg.: **26/10/2018**
 Pagina: **1**
 Elaborato: Falda: **Non rilevata**

H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc kg/cm ²	fs kg/cm ²	F -	Rf %	H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc kg/cm ²	fs kg/cm ²	F -	Rf %
0.20	0.0	0.0		0.00	0.00										
0.40	2.0	3.0		4.00	0.13	31	3.3								
0.60	12.0	14.0		24.00	0.27	89	1.1								
0.80	15.0	18.0		30.00	0.40	75	1.3								
1.00	15.0	17.0		30.00	0.27	111	0.9								
1.20	15.0	16.0		30.00	0.13	231	0.4								
1.40	17.0	22.0		34.00	0.67	51	2.0								
1.60	12.0	20.0		24.00	1.07	22	4.5								
1.80	15.0	20.0		30.00	0.67	45	2.2								
2.00	14.0	21.0		28.00	0.93	30	3.3								
2.20	20.0	28.0		40.00	1.07	37	2.7								
2.40	14.0	21.0		28.00	0.93	30	3.3								
2.60	150.0	160.0		300.00	1.33	226	0.4								
2.80	175.0	200.0		350.00	3.33	105	1.0								
3.00	180.0	200.0		360.00	2.67	135	0.7								
3.20	110.0	150.0		220.00	5.33	41	2.4								
3.40	160.0	180.0		320.00	2.67	120	0.8								
3.60	260.0	280.0		520.00	2.67	195	0.5								
3.80	300.0	320.0		600.00	2.67	225	0.4								

H = profondità
 L1 = prima lettura (punta)
 L2 = seconda lettura (punta + laterale)
 Lt = terza lettura (totale)
 CT = 20.00 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

nota:



PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

DIAGRAMMI LITOLOGIA

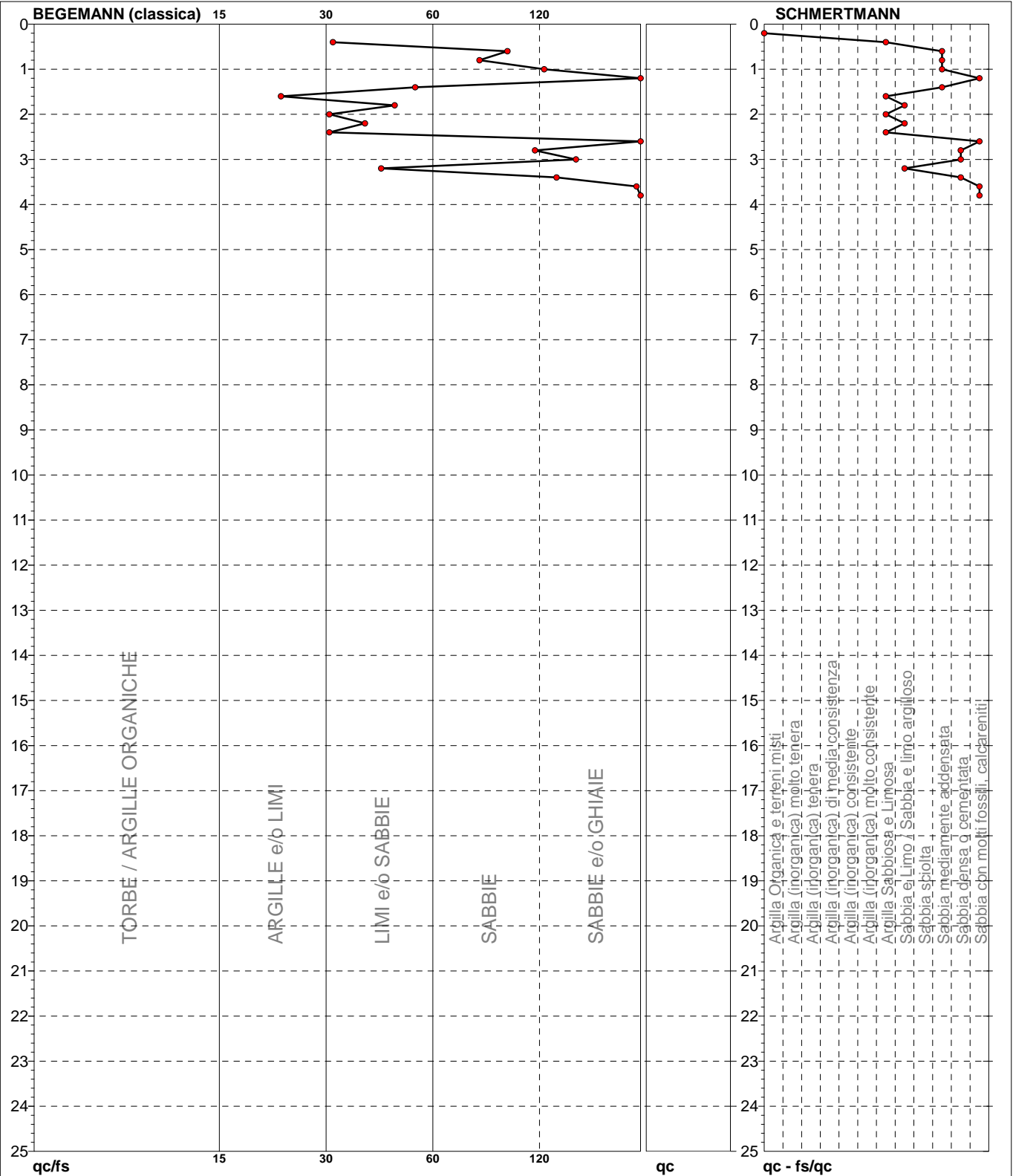
CPT

2

Committente: **Città Metropolitana di Bologna**
Cantiere: **Liceo Scientifico N. Copernico**
Località: **Via Garavaglia n° 11 - Bologna**

U.M.: **kg/cm²**
Scala: **1:125**
Pagina: **1**
Elaborato:

Data eseg.: **26/10/2018**
Falda: **Non rilevata**



Torbe / Argille org. :	107 punti,	86.29%
Argille e/o Limi :	1 punti,	0.81%
Limi e/o Sabbie :	7 punti,	5.65%
Sabbie:	5 punti,	4.03%
Sabbie e/o Ghiaie :	5 punti,	4.03%

Sabbia e Limo / Sabbia e limo arg.:	3 punti,	2.42%
Sabbia mediamente addensata:	4 punti,	3.23%
Sabbia densa o cementata:	3 punti,	2.42%
Sabbia con molti fossili, calcareniti:	4 punti,	3.23%

nota:

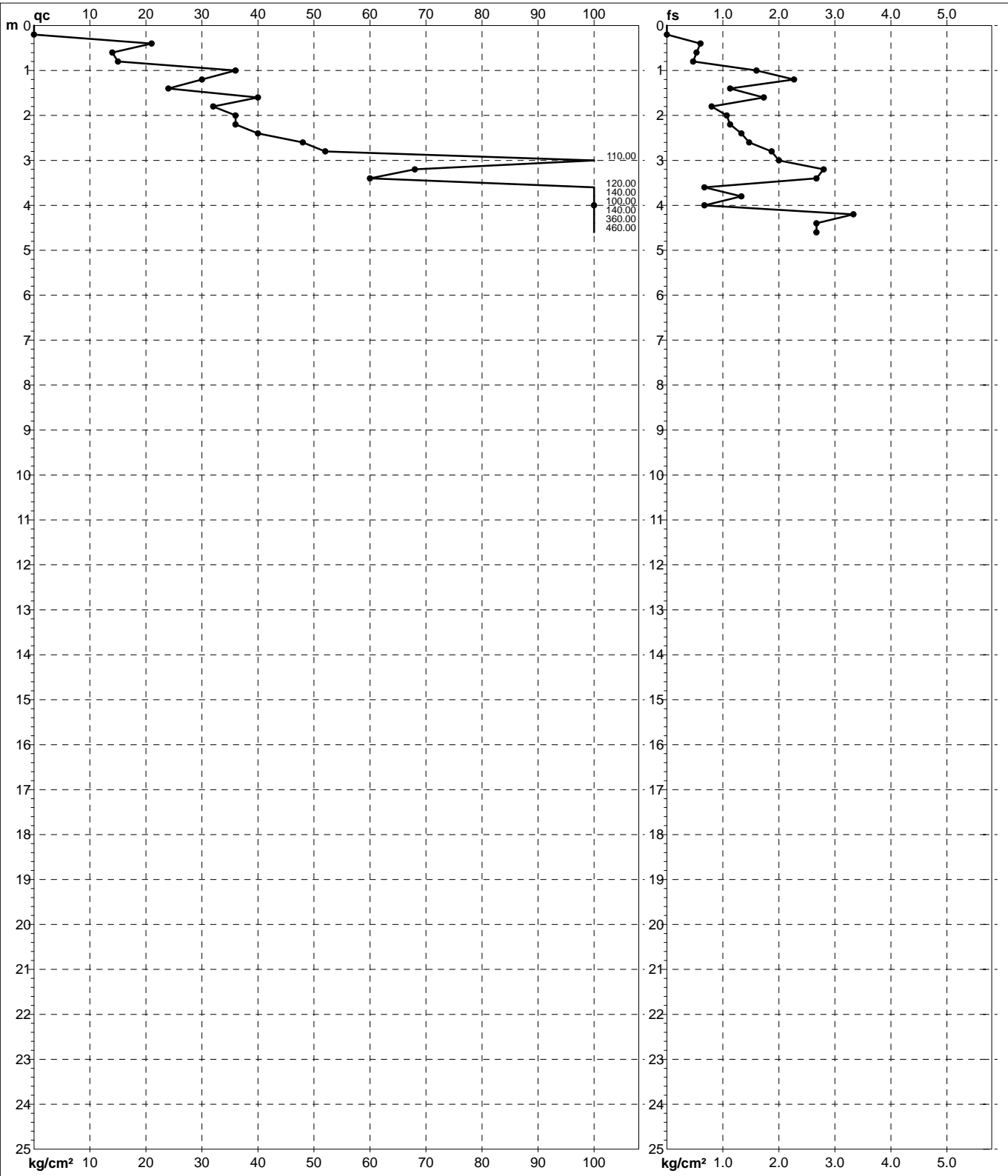


PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

DIAGRAMMI DI RESISTENZA

CPT	3

Committente: Città Metropolitana di Bologna	U.M.: kg/cm²	Data exec.: 26/10/2018
Cantiere: Liceo Scientifico N. Copernico	Scala: 1:125	Quota inizio:
Località: Via Garavaglia n° 11 - Bologna	Pagina: 1	Falda: Non rilevata
	Elaborato: 	



Penetrometro: SP 100-C	Preforo: -0.20 m
Responsabile: 	Corr.astine: kg/ml
Assistente: 	Cod.ISTAT: 037006
	Cod. punta:



PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI

CPT

3

Committente: **Città Metropolitana di Bologna**
Cantiere: **Liceo Scientifico N. Copernico**
Località: **Via Garavaglia n° 11 - Bologna**

U.M.: **kg/cm²**

Data eseg.: **26/10/2018**

Pagina: **1**

Elaborato:

Falda: **Non rilevata**

H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc kg/cm ²	fs kg/cm ²	F -	Rf %	H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc kg/cm ²	fs kg/cm ²	F -	Rf %
0.20	0.0	0.0	-	0.00	0.00	-	-								
0.40	10.5	15.0	-	21.00	0.60	35	2.9								
0.60	7.0	11.0	-	14.00	0.53	26	3.8								
0.80	7.5	11.0	-	15.00	0.47	32	3.1								
1.00	18.0	30.0	-	36.00	1.60	23	4.4								
1.20	15.0	32.0	-	30.00	2.27	13	7.6								
1.40	12.0	20.5	-	24.00	1.13	21	4.7								
1.60	20.0	33.0	-	40.00	1.73	23	4.3								
1.80	16.0	22.0	-	32.00	0.80	40	2.5								
2.00	18.0	26.0	-	36.00	1.07	34	3.0								
2.20	18.0	26.5	-	36.00	1.13	32	3.1								
2.40	20.0	30.0	-	40.00	1.33	30	3.3								
2.60	24.0	35.0	-	48.00	1.47	33	3.1								
2.80	26.0	40.0	-	52.00	1.87	28	3.6								
3.00	55.0	70.0	-	110.00	2.00	55	1.8								
3.20	34.0	55.0	-	68.00	2.80	24	4.1								
3.40	30.0	50.0	-	60.00	2.67	22	4.5								
3.60	60.0	65.0	-	120.00	0.67	179	0.6								
3.80	70.0	80.0	-	140.00	1.33	105	1.0								
4.00	50.0	55.0	-	100.00	0.67	149	0.7								
4.20	70.0	95.0	-	140.00	3.33	42	2.4								
4.40	180.0	200.0	-	360.00	2.67	135	0.7								
4.60	230.0	250.0	-	460.00	2.67	172	0.6								

H = profondità
L1 = prima lettura (punta)
L2 = seconda lettura (punta + laterale)
Lt = terza lettura (totale)
CT = 20.00 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

nota:



PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

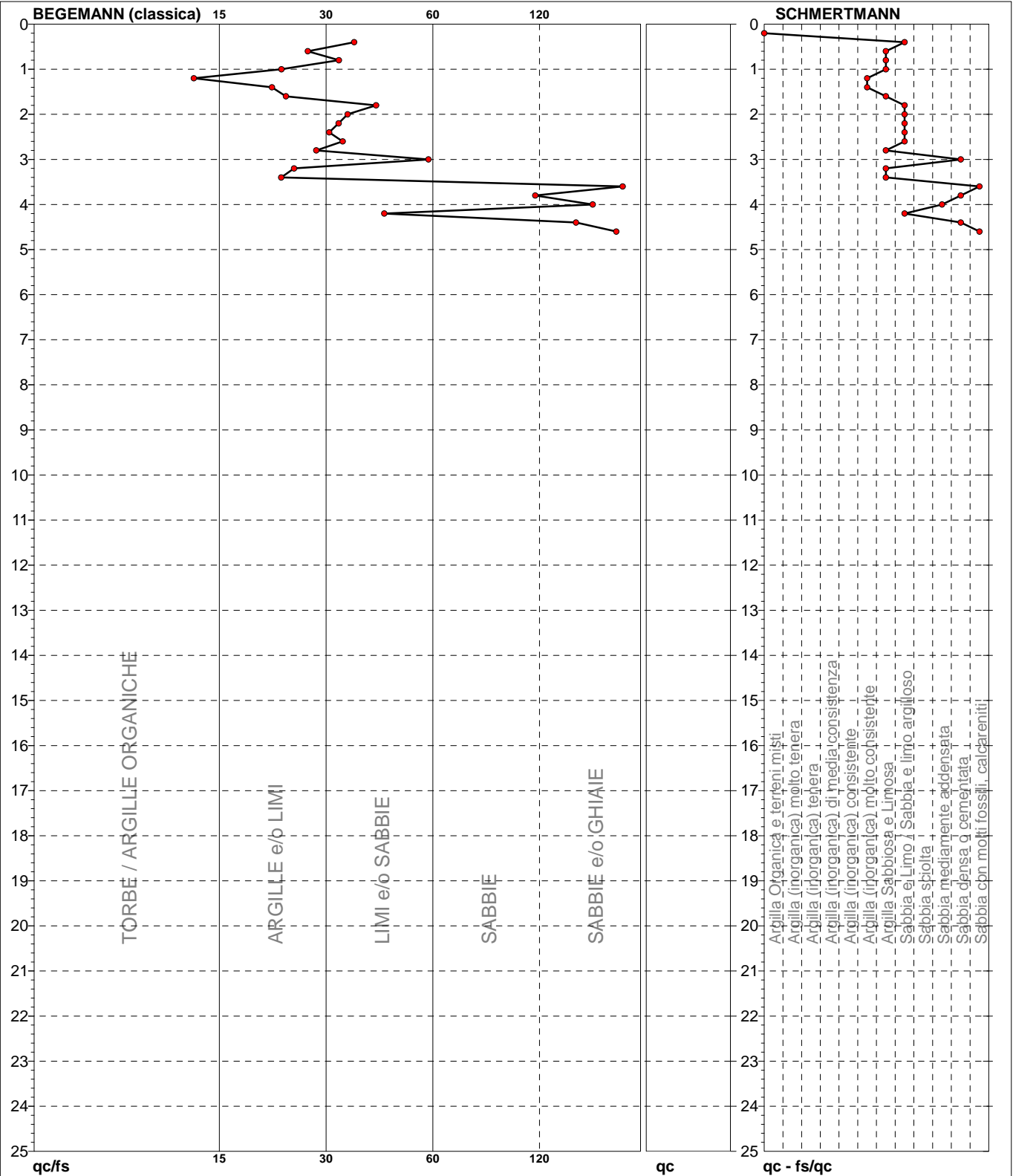
DIAGRAMMI LITOLOGIA

CPT**3**

Committente: **Città Metropolitana di Bologna**
Cantiere: **Liceo Scientifico N. Copernico**
Località: **Via Garavaglia n° 11 - Bologna**

U.M.: **kg/cm²**
Scala: **1:125**
Pagina: **1**
Elaborato:

Data exec.: **26/10/2018**
Falda: **Non rilevata**



Torbe / Argille org. :	104 punti, 83.87%	Argilla (inorganica) molto consist.:	2 punti, 1.61%	Argilla Sabbiosa e Limosa:	7 punti, 5.65%
Argille e/o Limi :	7 punti, 5.65%			Sabbia e Limo / Sabbia e limo arg.:	7 punti, 5.65%
Limi e/o Sabbie :	9 punti, 7.26%			Sabbia mediamente addensata:	1 punto, 0.81%
Sabbie:	1 punti, 0.81%			Sabbia densa o cementata:	3 punti, 2.42%
Sabbie e/o Ghiaie :	4 punti, 3.23%			Sabbia con molti fossili, calcareniti:	2 punti, 1.61%

nota:

Software by dott. Geol. Diego Merlin 0425-840820

FON042



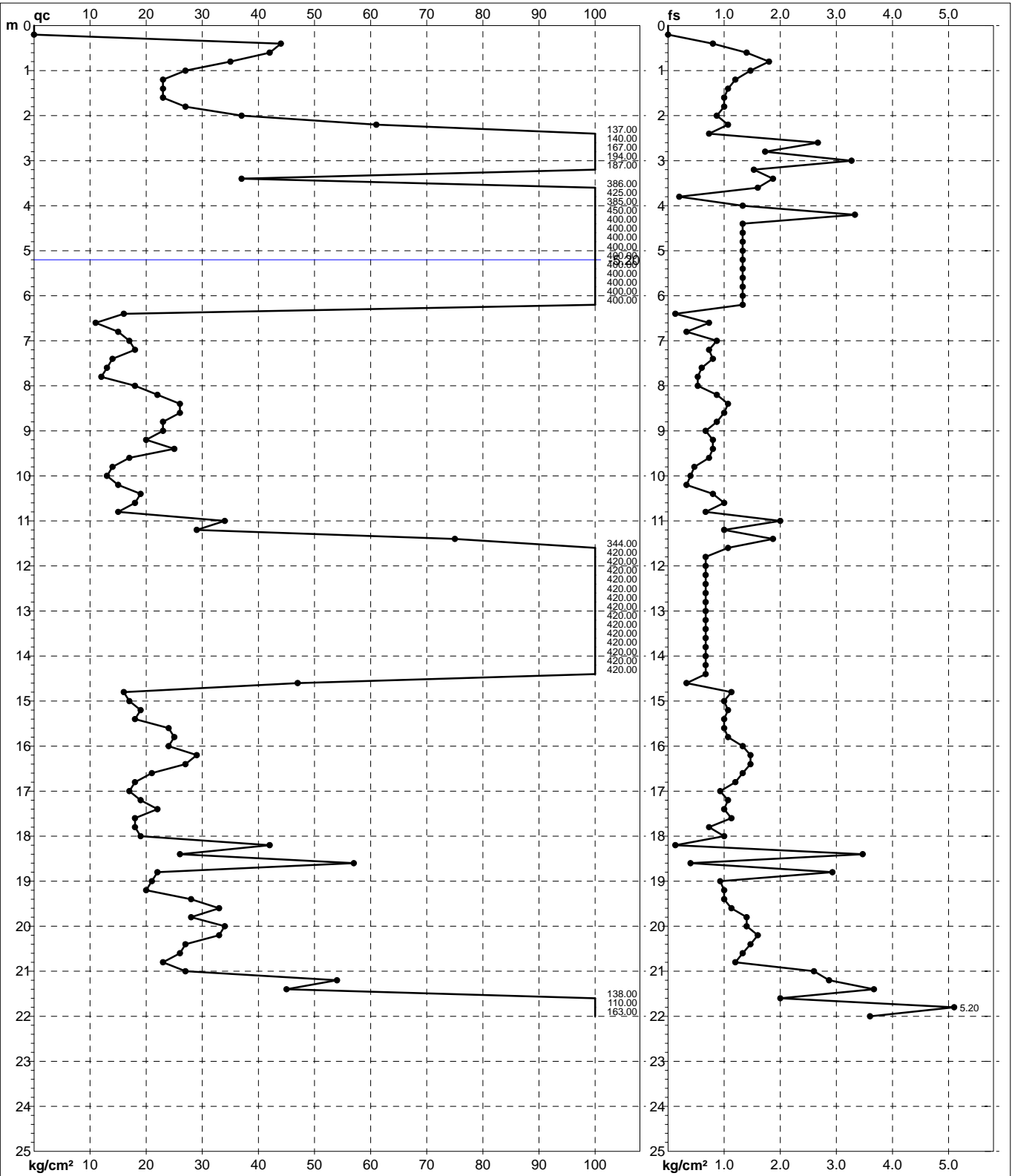
PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

DIAGRAMMI DI RESISTENZA

CPT 4

Committente: **Città Metropolitana di Bologna**
 Cantiere: **Liceo Scientifico N. Copernico**
 Località: **Via Garavaglia n° 11 - Bologna**

U.M.: **kg/cm²** Data eseg.: **08/11/2018**
 Scala: **1:125**
 Pagina: **1** Quota inizio:
 Elaborato: Falda: **-5.20 m da p.c.**



Penetrometro: TG63-200	Preforo: -0.20 m
Responsabile:	Corr.astine: kg/ml
Assistente:	Cod.ISTAT: 037006
	Cod. punta:



PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI

CPT**4**

Committente: **Città Metropolitana di Bologna**
Cantiere: **Liceo Scientifico N. Copernico**
Località: **Via Garavaglia n° 11 - Bologna**

U.M.: **kg/cm²** Data eseg.: **08/11/2018**
Pagina: **1**
Elaborato: **Falda: -5.20 m da p.c.**

H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc kg/cm ²	fs kg/cm ²	F -	Rf %	H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc kg/cm ²	fs kg/cm ²	F -	Rf %
0.20	0.0	0.0	-	0.00	0.00	-	-	15.20	19.0	35.0	-	19.00	1.07	18	5.6
0.40	44.0	56.0	-	44.00	0.80	55	1.8	15.40	18.0	33.0	-	18.00	1.00	18	5.6
0.60	42.0	63.0	-	42.00	1.40	30	3.3	15.60	24.0	39.0	-	24.00	1.00	24	4.2
0.80	35.0	62.0	-	35.00	1.80	19	5.1	15.80	25.0	41.0	-	25.00	1.07	23	4.3
1.00	27.0	49.0	-	27.00	1.47	18	5.4	16.00	24.0	44.0	-	24.00	1.33	18	5.5
1.20	23.0	41.0	-	23.00	1.20	19	5.2	16.20	29.0	51.0	-	29.00	1.47	20	5.1
1.40	23.0	39.0	-	23.00	1.07	21	4.7	16.40	27.0	49.0	-	27.00	1.47	18	5.4
1.60	23.0	38.0	-	23.00	1.00	23	4.3	16.60	21.0	41.0	-	21.00	1.33	16	6.3
1.80	27.0	42.0	-	27.00	1.00	27	3.7	16.80	18.0	36.0	-	18.00	1.20	15	6.7
2.00	37.0	50.0	-	37.00	0.87	43	2.4	17.00	17.0	31.0	-	17.00	0.93	18	5.5
2.20	61.0	77.0	-	61.00	1.07	57	1.8	17.20	19.0	35.0	-	19.00	1.07	18	5.6
2.40	137.0	148.0	-	137.00	0.73	188	0.5	17.40	22.0	37.0	-	22.00	1.00	22	4.5
2.60	140.0	180.0	-	140.00	2.67	52	1.9	17.60	18.0	35.0	-	18.00	1.13	16	6.3
2.80	167.0	193.0	-	167.00	1.73	97	1.0	17.80	18.0	29.0	-	18.00	0.73	25	4.1
3.00	194.0	243.0	-	194.00	3.27	59	1.7	18.00	19.0	34.0	-	19.00	1.00	19	5.3
3.20	187.0	210.0	-	187.00	1.53	122	0.8	18.20	42.0	44.0	-	42.00	0.13	323	0.3
3.40	37.0	65.0	-	37.00	1.87	20	5.1	18.40	26.0	78.0	-	26.00	3.47	7	13.3
3.60	386.0	410.0	-	386.00	1.60	241	0.4	18.60	57.0	63.0	-	57.00	0.40	143	0.7
3.80	425.0	428.0	-	425.00	0.20	2125	0.0	18.80	22.0	66.0	-	22.00	2.93	8	13.3
4.00	385.0	405.0	-	385.00	1.33	289	0.3	19.00	21.0	35.0	-	21.00	0.93	23	4.4
4.20	450.0	500.0	-	450.00	3.33	135	0.7	19.20	20.0	35.0	-	20.00	1.00	20	5.0
4.40	400.0	420.0	-	400.00	1.33	301	0.3	19.40	28.0	43.0	-	28.00	1.00	28	3.6
4.60	400.0	420.0	-	400.00	1.33	301	0.3	19.60	33.0	50.0	-	33.00	1.13	29	3.4
4.80	400.0	420.0	-	400.00	1.33	301	0.3	19.80	28.0	49.0	-	28.00	1.40	20	5.0
5.00	400.0	420.0	-	400.00	1.33	301	0.3	20.00	34.0	55.0	-	34.00	1.40	24	4.1
5.20	400.0	420.0	-	400.00	1.33	301	0.3	20.20	33.0	57.0	-	33.00	1.60	21	4.8
5.40	400.0	420.0	-	400.00	1.33	301	0.3	20.40	27.0	49.0	-	27.00	1.47	18	5.4
5.60	400.0	420.0	-	400.00	1.33	301	0.3	20.60	26.0	46.0	-	26.00	1.33	20	5.1
5.80	400.0	420.0	-	400.00	1.33	301	0.3	20.80	23.0	41.0	-	23.00	1.20	19	5.2
6.00	400.0	420.0	-	400.00	1.33	301	0.3	21.00	27.0	66.0	-	27.00	2.60	10	9.6
6.20	400.0	420.0	-	400.00	1.33	301	0.3	21.20	54.0	97.0	-	54.00	2.87	19	5.3
6.40	16.0	18.0	-	16.00	0.13	123	0.8	21.40	45.0	100.0	-	45.00	3.67	12	8.2
6.60	11.0	22.0	-	11.00	0.73	15	6.6	21.60	138.0	168.0	-	138.00	2.00	69	1.4
6.80	15.0	20.0	-	15.00	0.33	45	2.2	21.80	110.0	188.0	-	110.00	5.20	21	4.7
7.00	17.0	30.0	-	17.00	0.87	20	5.1	22.00	163.0	217.0	-	163.00	3.60	45	2.2
7.20	18.0	29.0	-	18.00	0.73	25	4.1								
7.40	14.0	26.0	-	14.00	0.80	18	5.7								
7.60	13.0	22.0	-	13.00	0.60	22	4.6								
7.80	12.0	20.0	-	12.00	0.53	23	4.4								
8.00	18.0	26.0	-	18.00	0.53	34	2.9								
8.20	22.0	35.0	-	22.00	0.87	25	4.0								
8.40	26.0	42.0	-	26.00	1.07	24	4.1								
8.60	26.0	41.0	-	26.00	1.00	26	3.8								
8.80	23.0	36.0	-	23.00	0.87	26	3.8								
9.00	23.0	33.0	-	23.00	0.67	34	2.9								
9.20	20.0	32.0	-	20.00	0.80	25	4.0								
9.40	25.0	37.0	-	25.00	0.80	31	3.2								
9.60	17.0	28.0	-	17.00	0.73	23	4.3								
9.80	14.0	21.0	-	14.00	0.47	30	3.4								
10.00	13.0	19.0	-	13.00	0.40	33	3.1								
10.20	15.0	20.0	-	15.00	0.33	45	2.2								
10.40	19.0	31.0	-	19.00	0.80	24	4.2								
10.60	18.0	33.0	-	18.00	1.00	18	5.6								
10.80	15.0	25.0	-	15.00	0.67	22	4.5								
11.00	34.0	64.0	-	34.00	2.00	17	5.9								
11.20	29.0	44.0	-	29.00	1.00	29	3.4								
11.40	75.0	103.0	-	75.00	1.87	40	2.5								
11.60	344.0	360.0	-	344.00	1.07	321	0.3								
11.80	420.0	430.0	-	420.00	0.67	627	0.2								
12.00	420.0	430.0	-	420.00	0.67	627	0.2								
12.20	420.0	430.0	-	420.00	0.67	627	0.2								
12.40	420.0	430.0	-	420.00	0.67	627	0.2								
12.60	420.0	430.0	-	420.00	0.67	627	0.2								
12.80	420.0	430.0	-	420.00	0.67	627	0.2								
13.00	420.0	430.0	-	420.00	0.67	627	0.2								
13.20	420.0	430.0	-	420.00	0.67	627	0.2								
13.40	420.0	430.0	-	420.00	0.67	627	0.2								
13.60	420.0	430.0	-	420.00	0.67	627	0.2								
13.80	420.0	430.0	-	420.00	0.67	627	0.2								
14.00	420.0	430.0	-	420.00	0.67	627	0.2								
14.20	420.0	430.0	-	420.00	0.67	627	0.2								
14.40	420.0	430.0	-	420.00	0.67	627	0.2								
14.60	47.0	52.0	-	47.00	0.33	142	0.7								
14.80	16.0	33.0	-	16.00	1.13	14	7.1								
15.00	17.0	32.0	-	17.00	1.00	17	5.9								

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

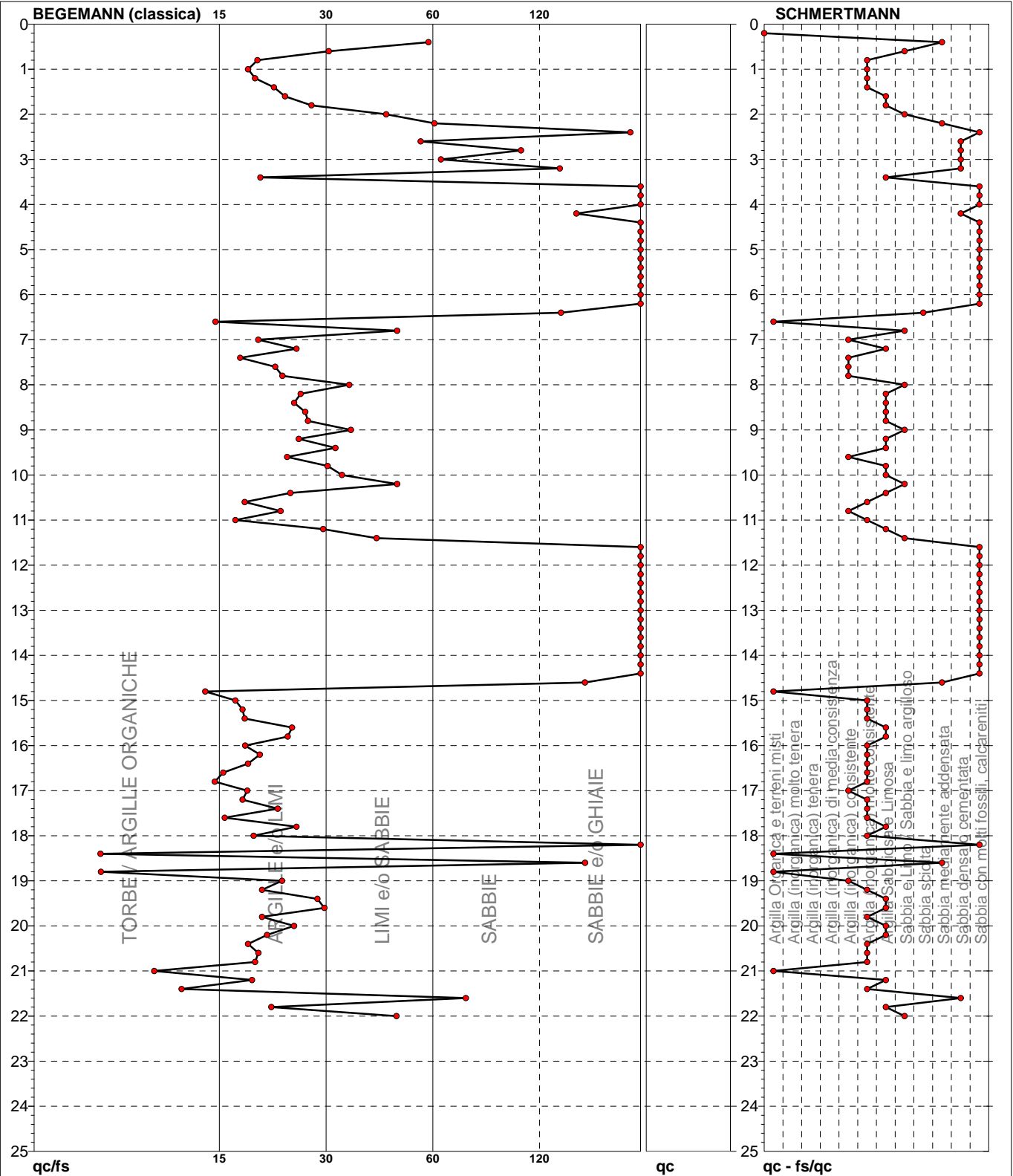
CPT

4

Committente: **Città Metropolitana di Bologna**
Cantiere: **Liceo Scientifico N. Copernico**
Località: **Via Garavaglia n° 11 - Bologna**

U.M.: **kg/cm²**
Scala: **1:125**
Pagina: **1**
Elaborato:

Data eseg.: **08/11/2018**
Falda: **-5.20 m da p.c.**



Torbe / Argille org. :	22 punti, 17.74%	Argilla Organica e terreni misti:	5 punti, 4.03%	Argilla Sabbiosa e Limosa:	23 punti, 18.55%
Argille e/o Limi :	53 punti, 42.74%	Argilla (inorganica) consistente:	8 punti, 6.45%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo arg.:	8 punti, 6.45%
Limi e/o Sabbie :	13 punti, 10.48%	Argilla (inorganica) molto consist.:	24 punti, 19.35%	Sabbia sciolta:	1 punto, 0.81%
Sabbie:	2 punti, 1.61%			Sabbia mediamente addensata:	4 punti, 3.23%
Sabbie e/o Ghiaie :	35 punti, 28.23%			Sabbia densa o cementata:	6 punti, 4.84%
				Sabbia con molti fossili, calcareniti:	30 punti, 24.19%

nota:



PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA	CPT	4

Committente: Città Metropolitana di Bologna	U.M.: kg/cm²	Data eseg.: 08/11/2018
Cantiere: Liceo Scientifico N. Copernico	Pagina: 2	
Località: Via Garavaglia n° 11 - Bologna	Elaborato:	Falda: -5.20 m da p.c.

Prof. m	qc U.M.	qc/fs	zone	γ' t/m ³	σ'_{vo} U.M.	Vs m/s	NATURA COESIVA					NATURA GRANULARE											
							Cu U.M.	OCR %	Eu50 U.M.	Eu25 U.M.	Mo U.M.	Dr %	Sc (°)	Ca (°)	Ko (°)	DB (°)	DM (°)	Me (°)	FLs	FLI	E'50 U.M.	E'25 U.M.	Mo U.M.
20.00	34.00	24.29		0.98	2.45		1.13	2.4	608.2	912.4	102.0	13	33	23	19	18	26	29	0.75	1.13	56.7	85.0	102.0
20.20	33.00	20.63		0.97	2.47		1.10	2.3	598.0	896.9	99.0	12	33	23	19	18	26	29	0.75	1.12	55.0	82.5	99.0
20.40	27.00	18.37		0.95	2.49		0.95	1.9	536.4	804.7	81.0	5	32	22	18	17	25	28	0.72	1.08	45.0	67.5	81.0
20.60	26.00	19.55		0.95	2.51		0.93	1.8	528.7	793.1	78.0	3	32	21	18	17	25	28	0.71	1.08	43.3	65.0	78.0
20.80	23.00	19.17		0.94	2.52		0.87	1.7	500.7	751.1	69.0	--	31	21	17	16	25	28	0.70	1.06	38.3	57.5	69.0
21.00	27.00	10.38		0.95	2.54		0.95	1.8	538.9	808.3	81.0	4	32	22	18	17	25	28	0.73	1.10	45.0	67.5	81.0
21.20	54.00	18.82		1.01	2.56		1.80	4.0	715.2	1072.8	162.0	28	35	25	22	20	28	31	0.88	1.34	90.0	135.0	162.0
21.40	45.00	12.26		1.00	2.58		1.50	3.2	717.5	1076.3	135.0	21	34	24	21	20	27	31	0.84	1.26	75.0	112.5	135.0
21.60	138.00	69.00		1.06	2.60		--	--	--	--	--	60	38	29	26	25	33	36	1.47	>2.00	230.0	345.0	414.0
21.80	110.00	21.15		1.06	2.63		3.67	9.5	631.1	946.7	330.0	52	37	28	25	24	32	34	1.23	1.84	183.3	275.0	330.0
22.00	163.00	45.28		1.09	2.65		--	--	--	--	--	65	39	30	27	26	34	36	1.69	>2.00	271.7	407.5	489.0



PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA	CPT	5
LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI		

Committente: Città Metropolitana di Bologna	U.M.: kg/cm²	Data esec.: 08/10/2018
Cantiere: Liceo Scientifico N. Copernico	Pagina: 1	
Località: Via Garavaglia n° 11 - Bologna	Elaborato:	Falda: -5.10 m da p.c.

H	L1	L2	Lt	qc	fs	F	Rf	H	L1	L2	Lt	qc	fs	F	Rf
m	-	-	-	kg/cm ²	kg/cm ²	-	%	m	-	-	-	kg/cm ²	kg/cm ²	-	%
0.20	0.0	0.0		0.00	0.00										
0.40	27.0	39.0		27.00	0.80	34	3.0								
0.60	41.0	58.0		41.00	1.13	36	2.8								
0.80	52.0	70.0		52.00	1.20	43	2.3								
1.00	45.0	74.0		45.00	1.93	23	4.3								
1.20	43.0	74.0		43.00	2.07	21	4.8								
1.40	42.0	70.0		42.00	1.87	22	4.5								
1.60	46.0	70.0		46.00	1.60	29	3.5								
1.80	40.0	70.0		40.00	2.00	20	5.0								
2.00	40.0	65.0		40.00	1.67	24	4.2								
2.20	46.0	70.0		46.00	1.60	29	3.5								
2.40	40.0	70.0		40.00	2.00	20	5.0								
2.60	33.0	59.0		33.00	1.73	19	5.2								
2.80	38.0	59.0		38.00	1.40	27	3.7								
3.00	43.0	62.0		43.00	1.27	34	3.0								
3.20	64.0	90.0		64.00	1.73	37	2.7								
3.40	53.0	76.0		53.00	1.53	35	2.9								
3.60	47.0	67.0		47.00	1.33	35	2.8								
3.80	138.0	157.0		138.00	1.27	109	0.9								
4.00	236.0	254.0		236.00	1.20	197	0.5								
4.20	375.0	400.0		375.00	1.67	225	0.4								
4.40	420.0	430.0		420.00	0.67	627	0.2								
4.60	420.0	430.0		420.00	0.67	627	0.2								
4.80	420.0	430.0		420.00	0.67	627	0.2								
5.00	420.0	430.0		420.00	0.67	627	0.2								
5.20	10.0	50.0		10.00	2.67	4	26.7								
5.40	289.0	337.0		289.00	3.20	90	1.1								
5.60	298.0	334.0		298.00	2.40	124	0.8								
5.80	208.0	234.0		208.00	1.73	120	0.8								
6.00	115.0	120.0		115.00	0.33	348	0.3								
6.20	87.0	174.0		87.00	5.80	15	6.7								
6.40	6.0	16.0		6.00	0.67	9	11.2								
6.60	140.0	187.0		140.00	3.13	45	2.2								
6.80	27.0	32.0		27.00	0.33	82	1.2								
7.00	45.0	64.0		45.00	1.27	35	2.8								
7.20	33.0	45.0		33.00	0.80	41	2.4								
7.40	33.0	48.0		33.00	1.00	33	3.0								
7.60	15.0	27.0		15.00	0.80	19	5.3								
7.80	16.0	29.0		16.00	0.87	18	5.4								
8.00	16.0	22.0		16.00	0.40	40	2.5								
8.20	16.0	26.0		16.00	0.67	24	4.2								
8.40	20.0	33.0		20.00	0.87	23	4.4								
8.60	21.0	36.0		21.00	1.00	21	4.8								
8.80	26.0	41.0		26.00	1.00	26	3.8								
9.00	29.0	46.0		29.00	1.13	26	3.9								
9.20	30.0	48.0		30.00	1.20	25	4.0								
9.40	32.0	53.0		32.00	1.40	23	4.4								
9.60	30.0	51.0		30.00	1.40	21	4.7								
9.80	28.0	49.0		28.00	1.40	20	5.0								
10.00	22.0	39.0		22.00	1.13	19	5.1								
10.20	16.0	31.0		16.00	1.00	16	6.3								
10.40	13.0	23.0		13.00	0.67	19	5.2								
10.60	14.0	19.0		14.00	0.33	42	2.4								
10.80	17.0	26.0		17.00	0.60	28	3.5								
11.00	27.0	43.0		27.00	1.07	25	4.0								
11.20	20.0	39.0		20.00	1.27	16	6.4								
11.40	27.0	30.0		27.00	0.20	135	0.7								
11.60	38.0	57.0		38.00	1.27	30	3.3								
11.80	43.0	57.0		43.00	0.93	46	2.2								
12.00	139.0	168.0		139.00	1.93	72	1.4								
12.20	308.0	327.0		308.00	1.27	243	0.4								
12.40	344.0	375.0		344.00	2.07	166	0.6								
12.60	287.0	314.0		287.00	1.80	159	0.6								
12.80	153.0	195.0		153.00	2.80	55	1.8								
13.00	130.0	153.0		130.00	1.53	85	1.2								
13.20	193.0	234.0		193.00	2.73	71	1.4								
13.40	350.0	373.0		350.00	1.53	229	0.4								
13.60	240.0	283.0		240.00	2.87	84	1.2								
13.80	110.0	143.0		110.00	2.20	50	2.0								
14.00	34.0	59.0		34.00	1.67	20	4.9								
14.20	65.0	130.0		65.00	4.33	15	6.7								
14.40	305.0	314.0		305.00	0.60	508	0.2								
14.60	397.0	420.0		397.00	1.53	259	0.4								
14.80	420.0	450.0		420.00	2.00	210	0.5								

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



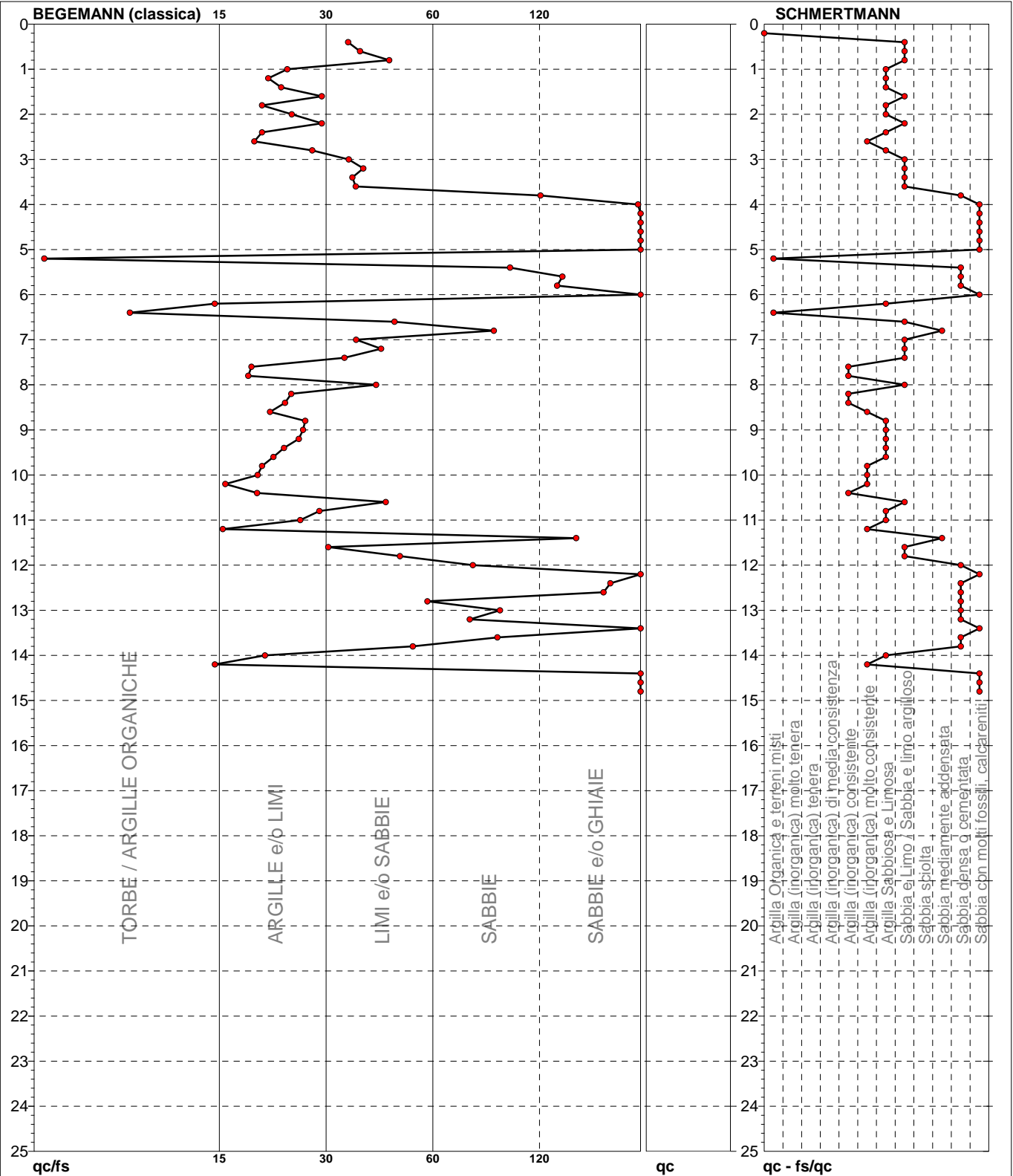
PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

DIAGRAMMI LITOLOGIA

CPT 5

Committente: **Città Metropolitana di Bologna**
Cantiere: **Liceo Scientifico N. Copernico**
Località: **Via Garavaglia n° 11 - Bologna**

U.M.: **kg/cm²** Data eseg.: **08/10/2018**
Scala: **1:125**
Pagina: **1**
Elaborato: **Falda: -5.10 m da p.c.**



Torbe / Argille org. :	55 punti, 44.35%	Argilla Organica e terreni misti:	2 punti, 1.61%	Argilla Sabbiosa e Limosa:	16 punti, 12.90%
Argille e/o Limi :	30 punti, 24.19%	Argilla (inorganica) consistente:	5 punti, 4.03%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo arg.:	17 punti, 13.71%
Limi e/o Sabbie :	16 punti, 12.90%	Argilla (inorganica) molto consist.:	7 punti, 5.65%	Sabbia mediamente addensata:	2 punti, 1.61%
Sabbie:	7 punti, 5.65%			Sabbia densa o cementata:	12 punti, 9.68%
Sabbie e/o Ghiaie :	17 punti, 13.71%			Sabbia con molti fossili, calcareniti:	12 punti, 9.68%

nota:



PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

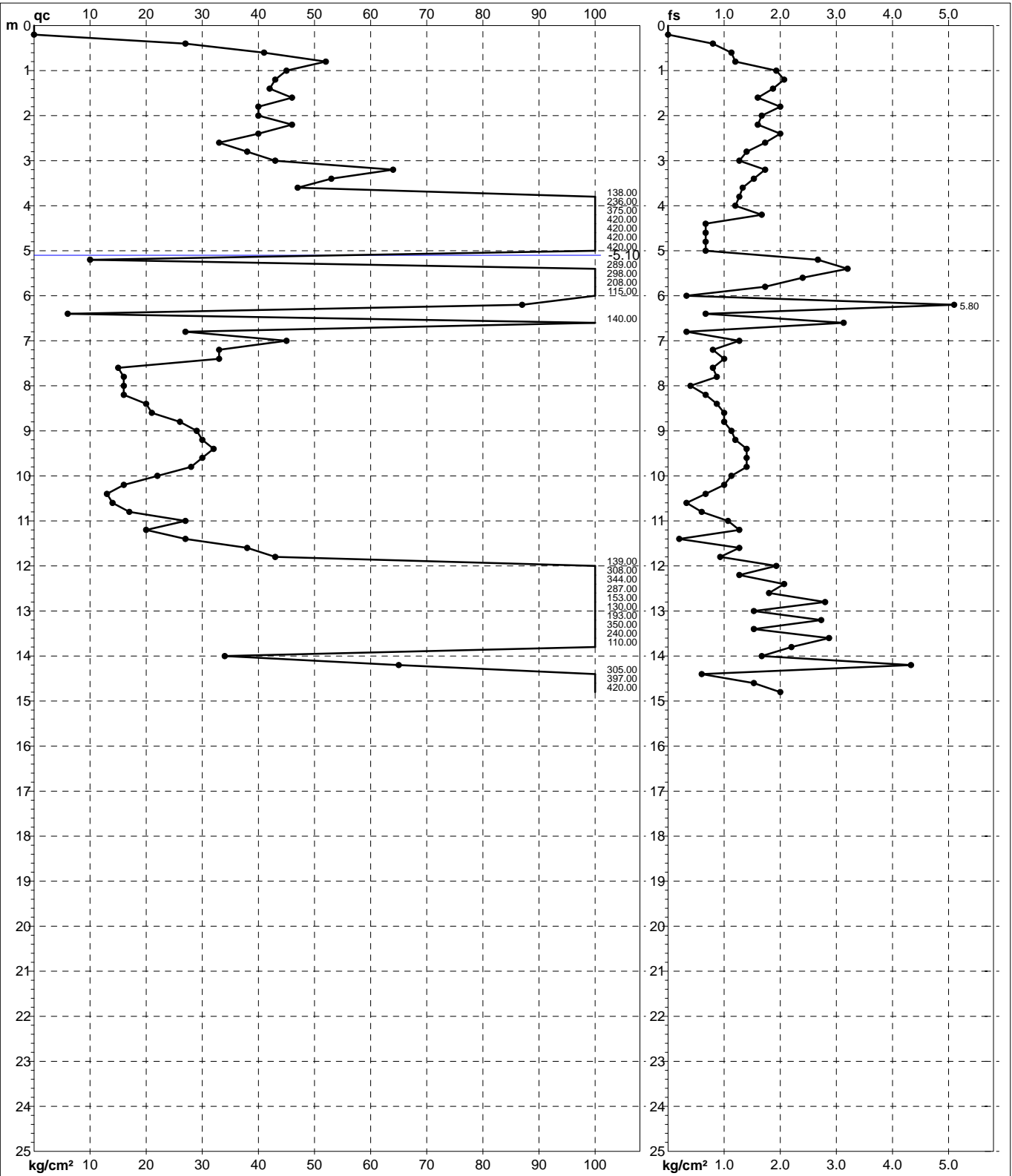
DIAGRAMMI DI RESISTENZA

CPT 5

Committente: **Città Metropolitana di Bologna**
 Cantiere: **Liceo Scientifico N. Copernico**
 Località: **Via Garavaglia n° 11 - Bologna**

U.M.: **kg/cm²**
 Scala: **1:125**
 Pagina: **1**
 Elaborato:

Data eseg.: **08/10/2018**
 Quota inizio:
 Falda: **-5.10 m** da p.c.



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

Preforo: **-0.20 m**
 Corr.astine: **kg/ml**
 Cod.ISTAT: **037006**
 Cod. punta:

nota:



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.



LEGENDA VALUTAZIONI SISMICHE INDICAZIONI GENERALI (parte 1)

INTRODUZIONE

Secondo la definizione data nell'Eurocodice 8, la liquefazione denota una diminuzione di resistenza a taglio e/o di rigidezza causata dall'aumento di pressione interstiziale in un terreno saturo non coesivo durante lo scuotimento sismico, tale da generare deformazioni permanenti significative o persino all'annullamento degli sforzi efficaci nel terreno.

In questo contesto, il problema principale che si pone in fase di progettazione è la suscettibilità alla liquefazione quando la falda freatica si trova in prossimità della superficie, ed il terreno di fondazione comprende strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda, anche se contenenti una frazione fine limo-argillosa.

In altre parole è necessario valutare il potenziale di liquefazione del terreno ove deve essere realizzata la costruzione.

Le ricerche che hanno portato all'evoluzione delle conoscenze sul tipo di parametri più significativi e alla formulazione di metodi empirici e di analisi dinamica hanno preso avvio a partire dai terremoti di Niigata dell'Alaska (1964).

Sono emersi così i primi criteri empirici di previsione, basati sulle caratteristiche granulometriche e sullo stato di addensamento, cui hanno fatto seguito criteri e metodi più raffinati e complessi capaci di tenere conto di un numero di parametri sempre più elevato.

Il quadro dei metodi oggi disponibili è quanto mai vario e va da criteri basati su soli dati geologici qualitativi (età del deposito, origine, stratigrafia, profondità della falda, ecc.) a metodi di analisi dinamica molto sofisticati, basati sulla valutazione in termini di pressione effettive della risposta sismica locale e su prove di laboratorio molto sofisticate e complesse.

Questi metodi si basano sul confronto fra le sollecitazioni di taglio che producono liquefazione e quelle indotte dal terremoto, ovvero fra gli stati tensionali che producono liquefazione o livelli di deformazione critici e quelli indotti dalle onde sismiche nella loro propagazione.

A tal fine richiedono la precisazione di parametri relativi sia all'evento sismico sia al deposito, valutati questi ultimi o con prove dinamiche di laboratorio o con prove in situ.

La loro applicazione richiede quindi:

- la valutazione della resistenza del terreno agli sforzi di taglio ciclici in condizioni non drenate, mediante correlazioni basate su prove in situ e in laboratorio;
- calcolo delle sollecitazioni di taglio indotte;

Essi sono basati sui concetti di rapporto tensionale ciclico (CSR), che esprime il carico sismico, e di rapporto di resistenza ciclica (CRR), che esprime la capacità del terreno di resistere alla liquefazione.

Ove si usi il metodo delle correlazioni di campagna, un terreno deve essere considerato suscettibile a liquefazione allorché lo sforzo di taglio generato dal terremoto a una data profondità supera l'80% dello sforzo critico che ha provocato liquefazione durante terremoti passati alla medesima profondità; il livello di sforzo di taglio pari all'80% implica un fattore di sicurezza pari a 1,25

Metodo di Robertson e Campanella 1998

Tra i metodi semplificati il più noto è quello di Robertson - Campanella, basato sulla conoscenza di pochi parametri geotecnici:

granulometria, resistenza di punta della prova standard CPT, densità relativa, peso di volume.

ALLEGATO B

INDAGINI GEOGNOSTICHE

CERTIFICATI PROVE DI LABORATORIO



GEOTECA s.r.l.

AZIENDA CON SISTEMA DI GESTIONE QUALITÀ UNI EN ISO 9001:2008 CERTIFICATO DA CERTIQUALITY

DESCRIZIONE DEL CAMPIONE

SAMPLE DESCRIPTION

Normativa di riferimento: UNI CEN ISO/TS 14688-1/2 - Racc. AGI

Technical specification

Certificato - <i>Test report</i>	1739 - 18.356 - 001
Verbale - <i>Acceptance report</i>	1739
Committente - <i>Commissioner</i>	FILELFI GEOL. ALBERTO
Località - <i>Locality</i>	BOLOGNA
Cantiere - <i>Site</i>	VIA GARAVAGLIA - LICEO COPERNICO
Sondaggio - <i>Borehole</i>	S2
Campione - <i>Sample</i>	C1
Profondità - <i>Depth</i>	1.40 - 1.70 m
Data ricevimento - <i>Receiving date</i>	30/10/2018
Data inizio prove - <i>Test starting date</i>	30/10/2018
Data fine prove - <i>Test ending date</i>	08/11/2018
Data certificazione - <i>Report date</i>	12/11/2018
Data apertura campione - <i>Sample opening date</i>	30/10/2018
Classe campione - <i>Sample quality</i>	Q4



Pocket Penetrometer Test (kg/cm²) -

Vane Test (kg/cm²) -

Sabbia e sabbia debolmente limosa poco addensata, colore marrone scuro (10YR 4/4 dark yellowish brown)

Note - Remarks

Direttore  Manager

Spesimentatore  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





GEOTEA s.r.l.

AZIENDA CON SISTEMA DI GESTIONE QUALITÀ UNI EN ISO 9001:2008 CERTIFICATO DA CERTIQUALITY

ANALISI GRANULOMETRICA

PARTICLE SIZE ANALYSIS

Normativa di rif: UNI CEN ISO/TS 17892-4 CNR UNI A. V n° 23

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

1739 - 18.356 - 002
 1739
 FILELFI GEOL. ALBERTO
 BOLOGNA
 VIA GARAVAGLIA - LICEO COPERNICO
 S2
 C1
 1.40 - 1.70 m
 30/10/2018
 30/10/2018
 08/11/2018
 12/11/2018
 30/10/2018

SETACCIATURA - SIEVES TEST

Massa campione (g) - Specimen weight 861.18

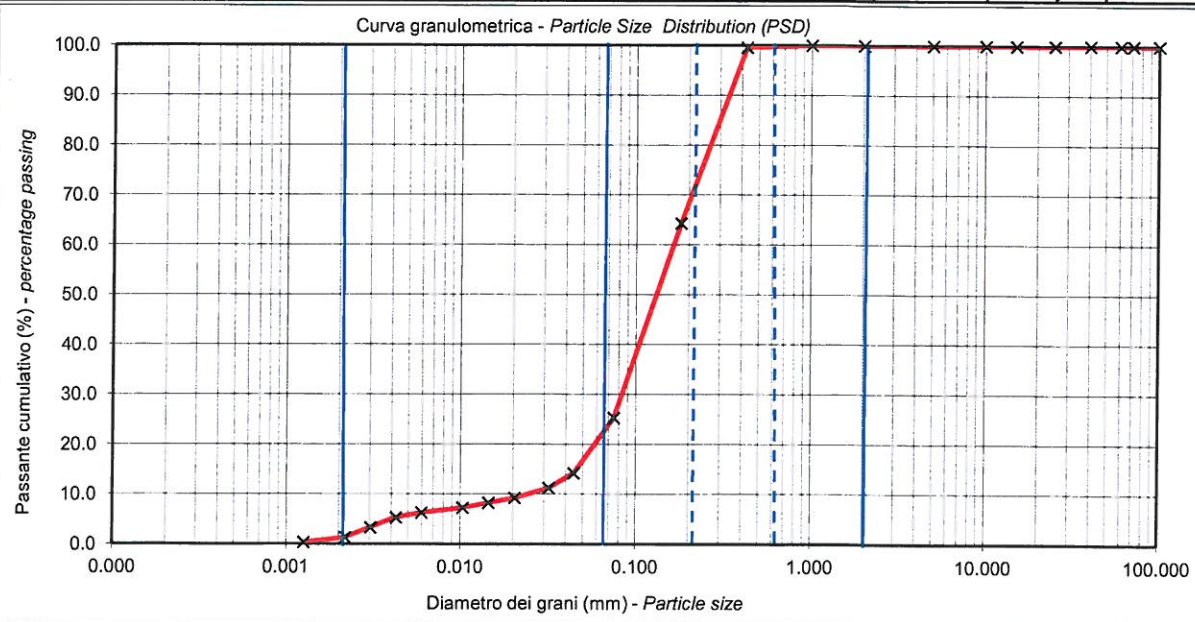
Setaccio (mm) Sieve diameter	Peso (g) Mass retained	Passante (%) Percentage passing
100	0.00	100.00
71	0.00	100.00
60	0.00	100.00
40	0.00	100.00
25	0.00	100.00
15	0.00	100.00
10	0.00	100.00
5	0.00	100.00
2	0.00	100.00
1	0.00	100.00
0.425	3.75	99.56
0.18	303.68	64.30
0.075	336.08	25.28

SEDIMENTAZIONE - HYDROMETER TEST

Massa campione (g) - Specimen weight 41.41

Diametro (mm) Particle size	Lettura Data	Passante (%) Percentage passing
0.044	18.0	14.19
0.032	15.0	11.22
0.020	13.0	9.23
0.014	12.0	8.24
0.010	11.0	7.25
0.006	10.0	6.25
0.004	9.0	5.26
0.0030	7.0	3.28
0.0022	5.0	1.29
0.0013	4.0	0.30

Granulometria A.G.I. PSD	Ghiaia (%) Gravel	0.00	Sabbia (%) Sand	80.14	Limo (%) Silt	18.76	Argilla (%) Clay	1.10
-----------------------------	----------------------	------	--------------------	-------	------------------	-------	---------------------	------



D₁₀ (mm) 0.012

D₆₀ (mm) 0.856

Agente disperdente - dispersing agent: Sodium hexametaphosphate

temperatura di prova (°) - temperature 21

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





GEOTECA s.r.l.

AZIENDA CON SISTEMA DI GESTIONE QUALITÀ UNI EN ISO 9001 2008 CERTIFICATO DA CERTIQUALITY

TAGLIO DIRETTO

DIRECT SHEAR TEST

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

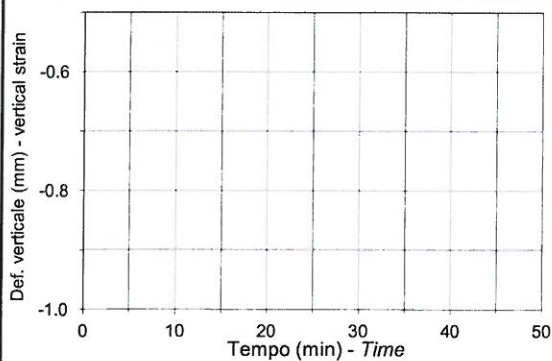
Technical specification

Certificato - Test report	1739 - 18.356 - 003
Verbale - Acceptance report	1739
Committente - Commissioner	FILELFI GEOL. ALBERTO
Località - Locality	BOLOGNA
Cantiere - Site	VIA GARAVAGLIA - LICEO COPERNICO
Sondaggio - Borehole	S2
Campione - Sample	C1
Profondità - Depth	1.40 - 1.70 m
Data ricevimento - Receiving date	30/10/2018
Data inizio prove - Test starting date	30/10/2018
Data fine prove - Test ending date	08/11/2018
Data certificazione - Report date	12/11/2018
Data apertura campione - Sample opening date	30/10/2018
Classe del campione - Sample quality	Q4

Umidità iniziale - Initial water content	%	8.94		
Densità naturale iniziale - Initial wet density	kg/m ³	1497.58		
Densità secca iniziale - Initial dry density	kg/m ³	1374.63		
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 - Consolidation pressure	kPa	98.1	196.1	294.2
Umidità finale - Final water content	%	24.88	23.69	22.16

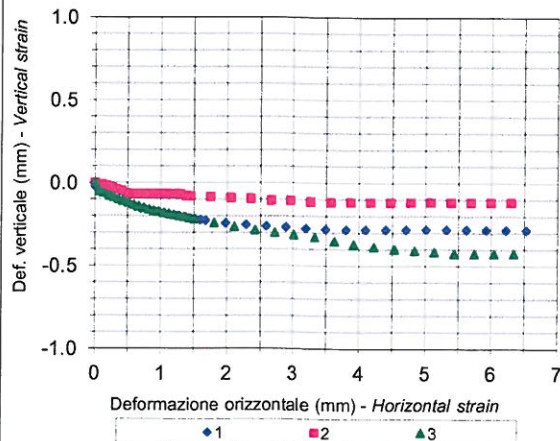
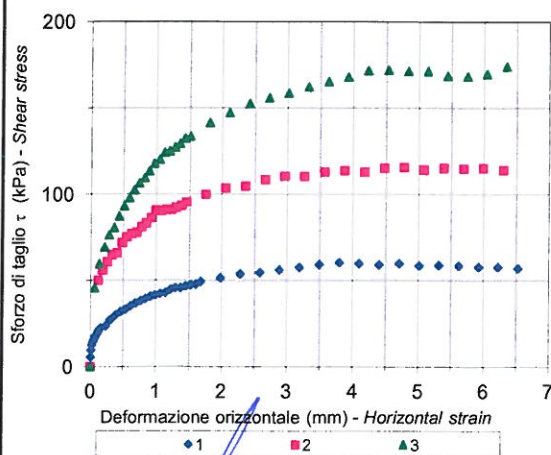
Fase di consolidazione - Consolidation test

Note - Remarks



Sabbia e sabbia debolmente limosa poco addensata, colore marrone scuro (10YR 4/4 dark yellowish brown)

Pocket Penetrometer	-	kg/cm ²
Tor Vane	-	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.geotea@database.it
 Autorizzazione del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici



GEOTECA s.r.l.

AZIENDA CON SISTEMA DI GESTIONE QUALITÀ UNI EN ISO 9001:2008 CERTIFICATO DA CERTIQUALITY

TAGLIO DIRETTO

DIRECT SHEAR TEST

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

Technical specification

Certificato - Test report 1739 - 18.356 - 003
Verbale - Acceptance report 1739

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	-	0.00	0.03	5.56	0.11	0.01	50.14	0.06	0.05	45.74
6	-	0.01	0.03	9.60	0.18	0.02	55.98	0.13	0.06	59.46
12	-	0.02	0.03	12.63	0.26	0.03	60.72	0.21	0.08	69.22
24	-	0.03	0.03	14.15	0.33	0.04	64.90	0.28	0.08	76.24
30	-	0.05	0.04	15.67	0.40	0.05	66.01	0.35	0.10	80.50
60	-	0.07	0.04	16.93	0.48	0.06	71.86	0.43	0.11	87.21
90	-	0.08	0.05	17.94	0.55	0.07	75.20	0.51	0.12	93.01
120	-	0.10	0.05	18.95	0.63	0.07	77.15	0.59	0.13	97.89
180	-	0.11	0.06	19.96	0.70	0.07	77.99	0.66	0.14	102.46
240	-	0.13	0.06	20.72	0.78	0.07	81.05	0.73	0.15	106.42
300	-	0.14	0.06	21.73	0.85	0.07	83.28	0.82	0.16	109.47
360	-	0.15	0.07	22.23	0.92	0.07	86.34	0.89	0.17	113.44
420	-	0.23	0.08	23.50	0.99	0.07	90.80	0.96	0.17	117.71
480	-	0.30	0.10	27.04	1.07	0.07	90.52	1.04	0.18	120.15
540	-	0.38	0.11	29.81	1.15	0.07	91.08	1.11	0.19	124.11
600	-	0.46	0.12	31.84	1.23	0.07	91.08	1.19	0.19	125.03
900	-	0.53	0.13	33.10	1.29	0.07	92.47	1.27	0.20	127.16
1200	-	0.61	0.14	35.12	1.37	0.08	93.59	1.35	0.21	129.30
1500	-	0.69	0.15	36.89	1.45	0.08	95.54	1.42	0.21	132.34
1800	-	0.76	0.16	38.15	1.75	0.08	99.99	1.50	0.22	133.56
2100	-	0.83	0.17	39.42	2.05	0.09	103.61	1.80	0.24	141.49
2400	-	0.91	0.17	40.68	2.35	0.09	104.73	2.10	0.26	147.29
2700	-	0.98	0.18	41.44	2.66	0.10	108.63	2.41	0.28	152.47
3000	-	1.06	0.19	42.45	2.96	0.10	110.58	2.71	0.30	155.82
3300	-	1.14	0.19	42.95	3.26	0.11	110.58	3.01	0.31	158.57
3600	-	1.21	0.20	44.72	3.56	0.11	113.08	3.32	0.33	162.23
4200	-	1.29	0.20	45.73	3.87	0.11	113.92	3.62	0.35	165.28
4800	-	1.37	0.21	45.73	4.17	0.11	113.08	3.92	0.37	168.02
5400	-	1.44	0.21	46.74	4.48	0.11	115.31	4.22	0.39	171.68
6000	-	1.52	0.22	47.50	4.78	0.11	115.59	4.53	0.40	171.99
7200	-	1.59	0.22	47.75	5.08	0.11	114.20	4.83	0.41	171.38
8400	-	1.67	0.23	49.27	5.38	0.11	115.31	5.13	0.42	171.38
9600	-	1.97	0.24	51.54	5.69	0.11	115.03	5.43	0.42	168.63
10800	-	2.28	0.25	53.82	5.99	0.11	115.31	5.74	0.42	168.33
12000	-	2.58	0.26	54.58	6.30	0.11	114.20	6.04	0.42	169.55
13200	-	2.88	0.27	56.09				6.34	0.42	174.12
14400	-	3.18	0.27	57.61						
16800	-	3.49	0.28	59.38						
19200	-	3.80	0.28	60.39						
21600	-	4.10	0.28	59.88						
28800	-	4.40	0.28	59.12						
36000	-	4.71	0.28	59.88						
45600	-	5.01	0.28	58.62						
54000	-	5.32	0.28	58.87						
72000	-	5.62	0.28	58.62						
79200	-	5.92	0.28	57.86						
82800	-	6.22	0.28	57.86						
86400	-	6.53	0.28	57.10						

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



TAGLIO DIRETTO

Committente: FILELFI GEOL. ALBERTO Sondaggio: S2
 Località: BOLOGNA Campione: C1
 Cantiere: VIA GARAVAGLIA - LICEO COPERNICO Profondità: 1.40 - 1.70 m

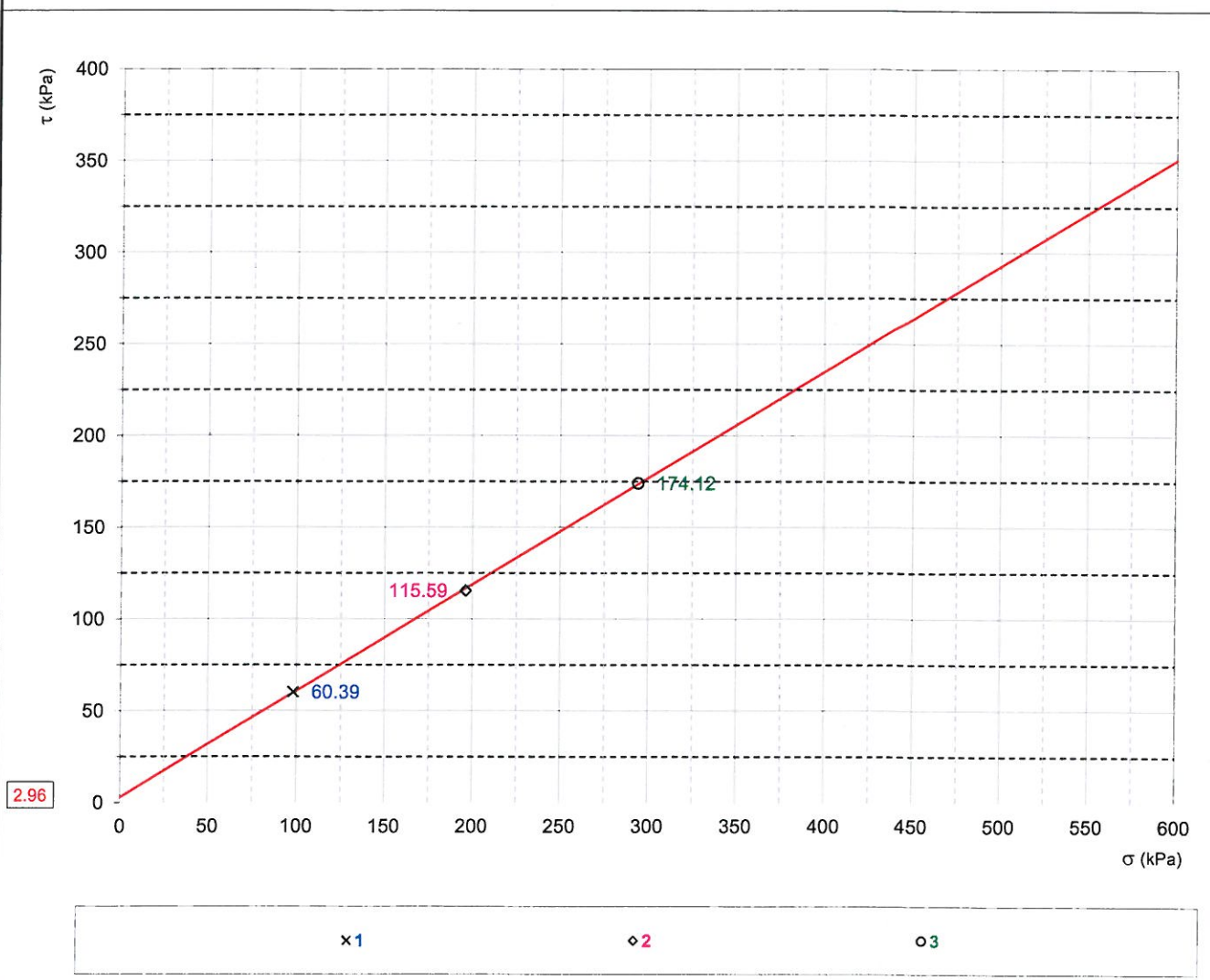
REGRESSIONE LINEARE DEI TRE VALORI DI SFORZO MASSIMO

Lato provino	60.00	mm
Altezza iniziale	20.00	mm

Sabbia e sabbia debolmente limosa poco

Valori dei provini a rottura				
Provino	n°	1	2	3
Sforzo a rottura	kPa	60.39	115.59	174.12
Intercetta C'	KPa	2.96		
ϕ'	° sess	30.11		

Velocità di prova
 0.006
 mm/min



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.

ALLEGATO C

STUDIO GEOFISICO

RELAZIONE TECNICA

- MASW
- HVSR

INDICE

1	PREMESSA	2
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	2
3	INDAGINI GEOFISICHE	2
3.1	CARATTERISTICHE STRUMENTAZIONE UTILIZZATA	2
3.2	MASW (MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVES).....	5
3.2.1	<i>Descrizione tipologia d'indagine</i>	5
3.2.2	<i>Acquisizione dei dati da prova MASW</i>	5
3.2.3	<i>Acquisizione dei dati da sismica passiva a stazione singola</i>	7
3.3	INTERPRETAZIONE COMBINATA DELLE MISURE SISMICHE	9
4	DEFINIZIONE DEL PARAMETRO VS_EQ	11
5	CONCLUSIONI	12

1 PREMESSA

Nella relazione seguente sono presentati i risultati dello studio geofisico realizzato in un lotto situato in adiacenza alla palestra del liceo scientifico N. Copernico, in via Garavaglia a Bologna, dove è in progetto la costruzione di un nuovo polo dinamico.

Lo scopo dello studio è quello di ricostruire il profilo sismo-stratigrafico del lotto come previsto dalle norme tecniche sulle costruzioni attualmente vigenti (NTC 2018). Nel lotto sono state realizzate due indagini geofisiche: una prova MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) ed una registrazione del rumore sismico ambientale mediante tromografo digitale.

2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

L'elaborato è stato eseguito in accordo con le normative di seguito elencate:

- Ordinanza O.P.C.M. n. 3274 del 20 marzo 2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e normative tecniche per le costruzioni in zona sismica".
- Delibera Assembleare della Regione Emilia Romagna del 2 maggio 2007 - Prog. n° 112 - Oggetto n° 2131: Approvazione dell'atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art. 16, comma 1, della L.R. 20/2000 "Disciplina generale sulla tutela e l'uso del territorio", in merito a "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica".
- Norme tecniche per le costruzioni: D.M. 14/01/2008 del Ministero delle Infrastrutture (GU n.29 del 04/02/2008).
- Circolare Cons. Sup.LL.PP. N° 617/2009 del 02-02-2009: Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008.

3 INDAGINI GEOFISICHE

Nel lotto studiato è stata effettuata un'indagine sismica MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) e una registrazione del rumore sismico ambientale, utilizzando un tromografo digitale portatile TROMINO ENGY e lo stendimento sismico SoilSpy.

3.1 CARATTERISTICHE STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

Indagine Tromografica

Per l'indagine passiva è stato utilizzato un tromografo digitale portatile TROMINO, prodotto da Micromed S.p.A., nella versione Engineering. 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 µV 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
Orologio	interno, permanente con datario e allarme
GPS	12 canali con time-marker (precisione 1 µs)
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
Condizioni ambientali per l'uso	temperatura - 10 / +70°C / umidità 0-90% senza condensa
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 1: Principali specifiche tecniche dello strumento di acquisizione.

Lo strumento è dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati secondo le tre componenti spaziali (N-S, E-W e Up-Down), che consentono di acquisizione digitale in alta definizione delle vibrazioni del terreno (ampiezze d'onda inferiori a 10 µm), nel campo delle frequenze 0 – 200 Hz. In seguito ad una registrazione di un determinato tempo t, tale segnale digitalizzato viene elaborato tramite un software dedicato, Grilla, il quale esegue un'elaborazione per ognuna delle componenti del moto e ne fornisce i grafici relativi.

Indagine multicanale attiva

Per la realizzazione della misura di sismica attiva di tipo MASW è stato utilizzato lo stendimento SoilSpy (prodotto da MoHo s.r.l.) dotato di 25 canali in cui il segnale è digitalizzato in corrispondenza dei singoli geofoni anziché alla fine dell'array, consentendo una miglior facilità di utilizzo e realizzazione dello stendimento e di qualità del dato raccolto (sono ridotti al massimo problemi di interferenze nel segnale elettrico).

Nella seguente tabella sono riportati tutte le caratteristiche tecniche dello strumento, secondo le indicazioni fornite dalla ditta costruttrice.

SPECIFICHE TECNICHE	
Costruttore	Micromed S.P.A.
Apparato	SoilSpy
Descrizione	Sistema portatile di acquisizione sismico digitale multicanale
Connessione Array-PC	interfaccia USB
Connessione Sensor-Array	bipolare, uno per ogni modulo
impedenza di input	20 k Ω (12 k Ω modalità attenuata)
Dynamic range	142 dB, da ± 3.2 mV a ± 665 mV (8 opzioni)
Risoluzione	da 0.1 μ V/digit a 20 μ V/digit (8 opzioni)
Frequenza di campionamento	89 kHz su ogni canale
Valori di output:	[C/S]: 256 Hz, 512 Hz, 1 kHz su ogni canale [S]: da 2 kHz a 32 kHz su ogni canale
Conversione	sincronizzata su ogni canale
Massimo tempo di registrazione in continuo	limitata solo dalla capacità di memoria del PC
Trasmissione dati	asynchronous bidirectional serial, 1Mbaud
Cross-talk	non-existent
Media di consumo	7.5 mA @256 Hz per canale (120 mA @256 Hz su 16 canali)
	8.1 mA @512 Hz per canale (130 mA @512 Hz su 16 canali)
	9.4 mA @1024 Hz per canale (130 mA @1024 Hz su 16 canali)
Modalità di ricarica	Direttamente via USB da PC
Voltaggio interno	+3.3V
Numero di Canali	Uno per ogni modulo, analog band DC-360 Hz
Numero di Moduli	Gruppi di 8 o multipli (8, 16, 24, 32...)
Distanza tra i moduli	5,3 m
Dimensioni	Modulo singolo: 53(L) x 63(W) x 22(H) mm Raccogli cavo: 0.24 (L) x 0,24 (W) x 0,22 (H) m
Peso	< 200 g per modulo + 5 m di cavo (circa 3,2 kg per sistema a 16 moduli e 5 m di interdistanza)
Lunghezza	75 m + 5 m x 2 (terminatore) = 85 m per un sistema a 16 moduli con 5 m di interspazio
Condizioni ambientali per l'uso	Temperatura 0 – 50° Umidità 0 – 100%
Condizioni ambientali per il trasporto e la conservazione	Temperatura -20 – 50° Umidità 0 – 95% (senza condensa)
Impermeabilità	Indice di protezione IP 65

Tabella 2: Principali specifiche tecniche dello strumento di acquisizione.

3.2 MASW (*multichannel analysis of surface waves*)

3.2.1 Descrizione tipologia d'indagine

L'analisi multicanale delle onde superficiali di Rayleigh MASW-SASW 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 superficie 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 ed, 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_eq} , come previsto dalla normativa vigente (NTC 2018).

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).

3.2.2 Acquisizione dei dati da prova MASW

Lo strumento SoilSpy, costituito da un cavo dotato di 25 moduli a cui collegare altrettanti geofoni, permette di realizzare stendimenti sismici tradizionali di una lunghezza massima di 120 m (25 x 5 m di interdistanza), con ogni configurazione spaziale possibile.

In particolare nel sito si è predisposto uno stendimento dotato di 25 geofoni con interdistanza di 3 m (totale lunghezza stendimento = 75 m) ed energizzazione realizzata con mazza da 5 Kg a circa 3 m dal primo geofono (detto starter). Il software di acquisizione dei dati (Rosina) permette di realizzare una serie di colpi e di mediare i risultati tra loro per ottenere un'attenuazione del rumore di fondo lasciando risaltare le onde legate alle energizzazioni.

Di seguito è riportata una tabella riassuntiva dei principali parametri relativi all'analisi della misura.

M1	
Inizio registrazione	Data 23/10/18 Ore 17:23:22
Fine registrazione	Data 23/10/18 Ore 17:24:09
Frequenza di campionamento	512 Hz
N° geofoni	24+1

Tabella 3: Descrizione tecnica della misura.

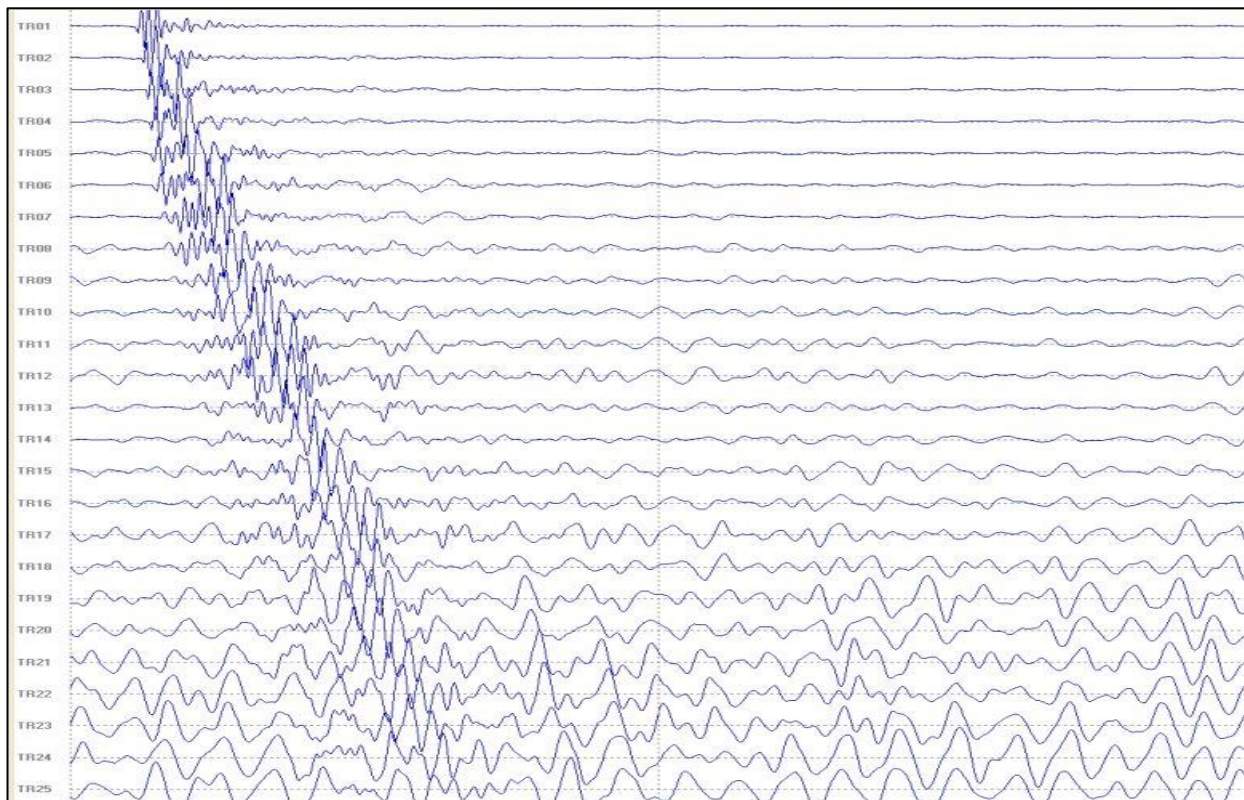


Fig. 1: Segnali sismici registrati

La curva di dispersione (vedi fig. 2) 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.

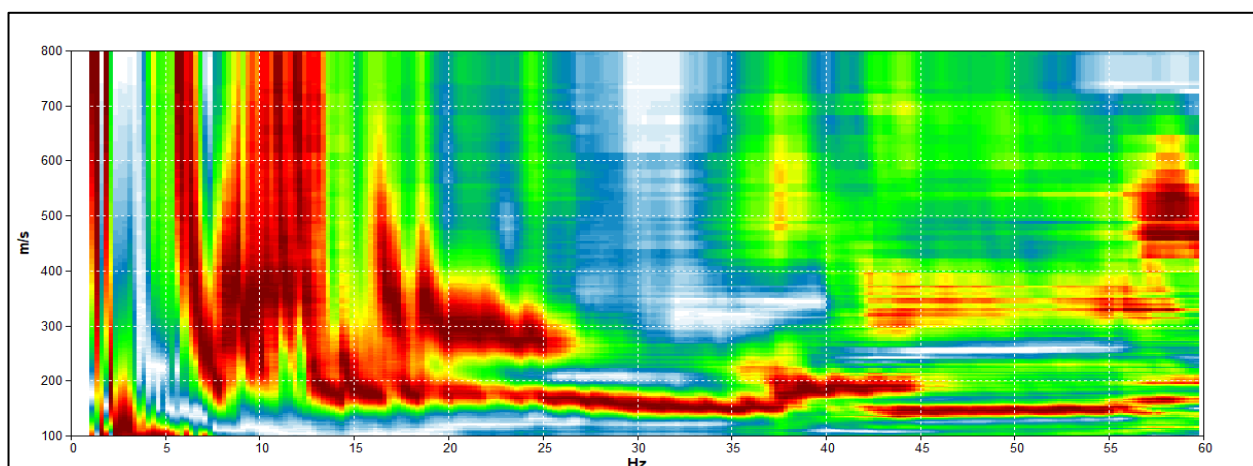


Fig. 2: Curva di dispersione del sito.

Il modo fondamentale del sito è ben visibile nel tratto compreso tra 55 Hz e 8 Hz, poi le Vs tendono a velocità infinite raggiungendo il rifiuto strumentale della misura.

3.2.3 Acquisizione dei dati da sismica passiva a stazione singola

È stata effettuata una misura di sismica passiva ubicata in modo tale da risultare rappresentativa per l'area indagata. Lo strumento è stato posizionato sul terreno nei pressi della prova CPT1. Nella tabella seguente viene riportata la descrizione tecnica della misura effettuata.

Tr1	
Inizio registrazione	Data 23/10/18 Ore 14:38:42
Fine registrazione	Data 23/10/18 Ore 14:58:42
Lunghezza della traccia	20'00"
Frequenza di campionamento	128 Hz
Dimensione della finestra di suddivisione del tracciato	12 sec
Percentuale di traccia analizzata	86%
Lisciamento	10%

Tabella 4: Descrizione tecnica della misura.

La misura è stata elaborata in studio mediante il software dedicato Grilla fornito dalla Micromed.

L'elaborazione del segnale ha previsto i seguenti passaggi:

1. analisi delle tre componenti del segnale con suddivisione in finestre opportunamente dimensionate (Windows Size);
2. depurazione del segnale da rumori anomali (Detrend);
3. calcolo dello spettro di ampiezza per ciascuna finestra;
4. lisciamento dello spettro di ogni finestra (Smoothing);
5. Calcolo della trasformata di Fourier (FFT) per ciascuna finestra
6. calcolo del rapporto spettrale HVSR per ogni frequenza e per ogni finestra.

Osservando gli spettri delle singole componenti è possibile notare, dall'andamento uniforme delle tre linee nel tratto a basse frequenze (fig. 3), come la misura sia stata eseguita correttamente, effettuando un buon accoppiamento tra strumento e terreno.

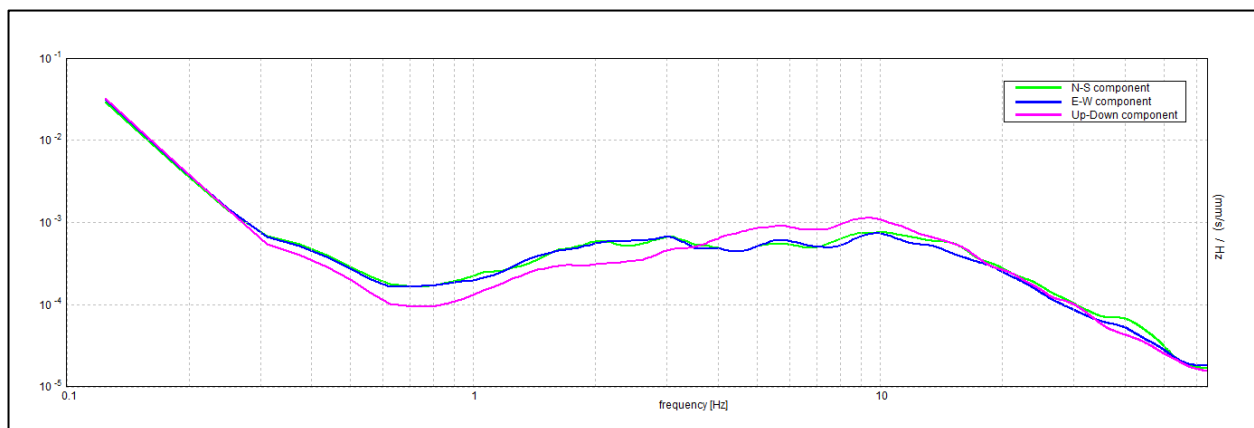


Fig. 3: Grafico delle singole componenti ortogonali della misura Tr1.

Per procedere con l'interpretazione della misura tomografica eseguita, è stata effettuata una selezione delle finestre da utilizzare per l'analisi, in quanto alcune di esse presentano disturbi che interferiscono e rendono poco chiari i grafici risultanti.

Il grafico "DIRECTIONAL H/V" mostra con una scala cromatica l'intensità dei picchi alle diverse frequenze (ordinate), fornendo una distribuzione spaziale di 180° nell'intorno del punto di misura partendo dal nord (0°).

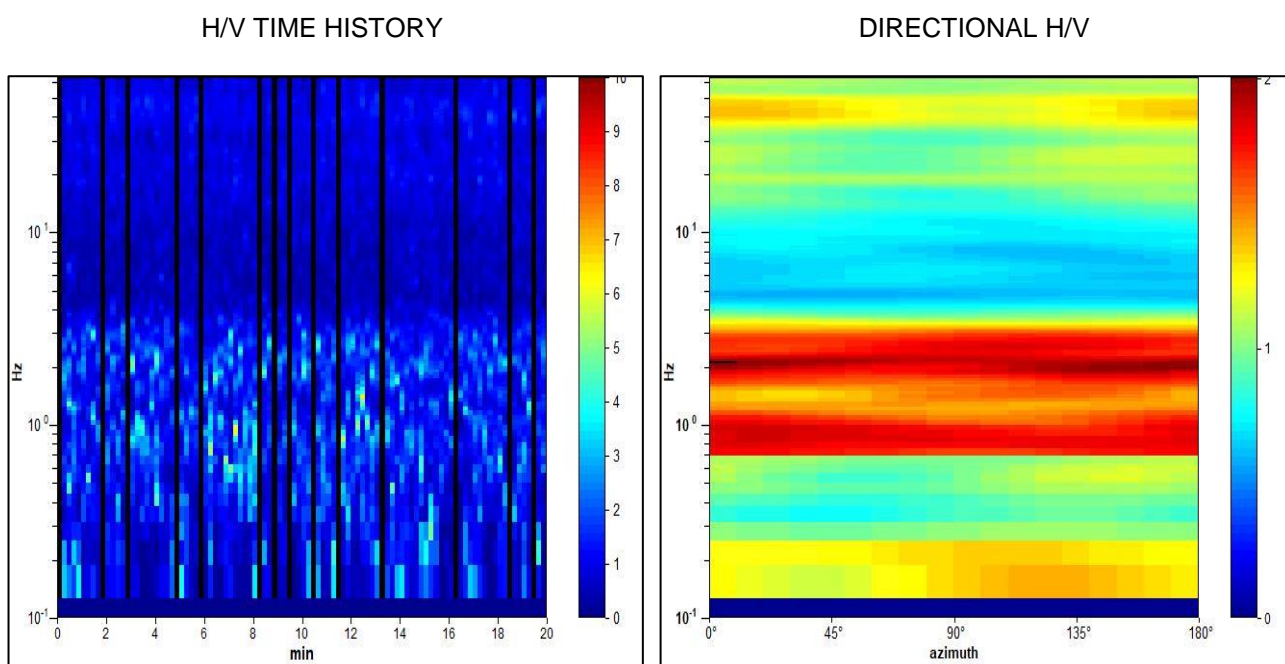


Fig. 4: Grafici della storia HVSr (sinistra) e grafici della HVSr direzionale (destra) relativi alla misura Tr1.

Di seguito si riporta il grafico HVSR derivante dall'elaborazione della misura.

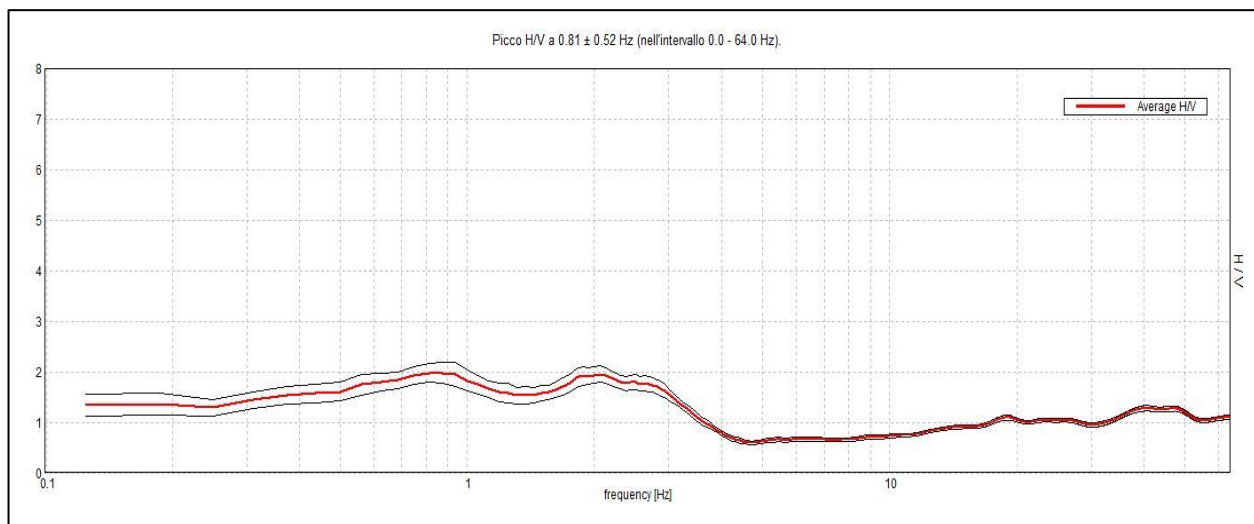


Fig. 5: Diagramma HVSR relativo alla misura Tr1.

3.3 INTERPRETAZIONE COMBINATA DELLE MISURE SISMICHE

Di seguito viene riportata l'interpretazione congiunta delle due misure sismiche (attiva e passiva) in modo tale da ovviare alla limitata profondità di indagine della prova MASW utilizzando anche come indicazioni i dati forniti dalle indagini geognostiche eseguiti nell'area (CPT4 e CPT5).

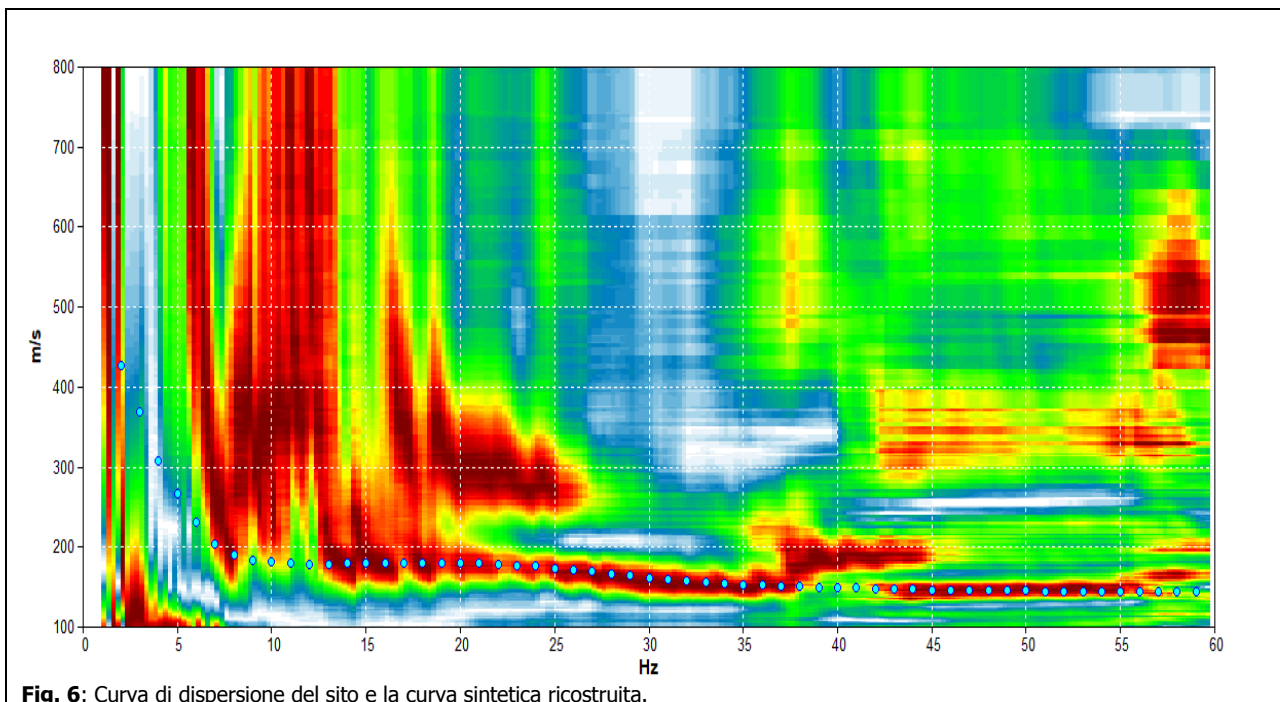


Fig. 6: Curva di dispersione del sito e la curva sintetica ricostruita.

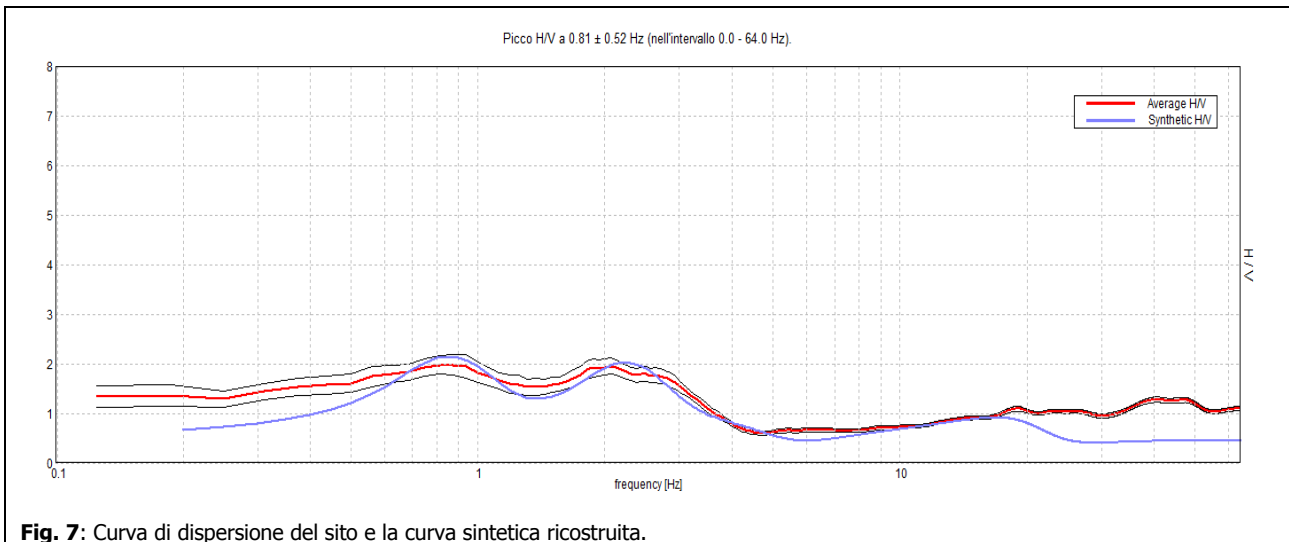


Fig. 7: Curva di dispersione del sito e la curva sintetica ricostruita.

La misura mostra picchi di risonanza generalmente modesti, concentrati per lo più a medio-basse frequenze.

Il grafico della curva di dispersione mostra ad alte frequenze velocità di circa 150 m/s che si mantengono stabili fino a 37 Hz dove è presente un incremento delle Vs fino a 230 m/s. tali passaggi corrispondono a due superfici sismiche poste a -2,6 m e a - 5,6 m. nel grafico HVSR tali unità corrispondono al picco di risonanza presente a 17 Hz. A frequenze minori si osserva una inversione delle velocità sismiche indicata come un calo della curva HVSR al di sotto del valore di 1. Nel modello viene riportato uno strato con vs di 170 m/s che si spinge fino a -12,0 m, corrispondenti al picco di risonanza presente tra 1,8 e 3,2 Hz. Tale passaggio è registrato anche dalla curva di dispersione con un passaggio delle Vs a velocità di 320 m/s alla frequenza di 8 Hz. A frequenze minori non è più possibile interpretare la misura. Nel grafico HVSR tale picco è interpretato con la coalescenza di un altro passaggio posto a -40,1 m dal piano campagna.

Il picco di risonanza principale e fondamentale del sito ha frequenza di 0,8 Hz nel grafico HVSR, con un rapporto $H/V=2.2$, e corrisponde ad un passaggio stratigrafico presente alla profondità di -145,1 m. Oltre tale frequenza non sono presenti picchi significativi.

Nella tabella e nel grafico seguenti vengono evidenziati gli strati sismici con le relative velocità delle onde S.

Strati sismici	Profondità [m]	Vs [m/s]
1	0 – 2.60	150
2	2.60 – 5.60	230
3	5.60 – 12.10	170
4	12.10 – 40.10	320
5	40.10 – 145.10	480
6	145.10 – inf.	800

Tabella 5 : Modello sismo – stratigrafico del sito

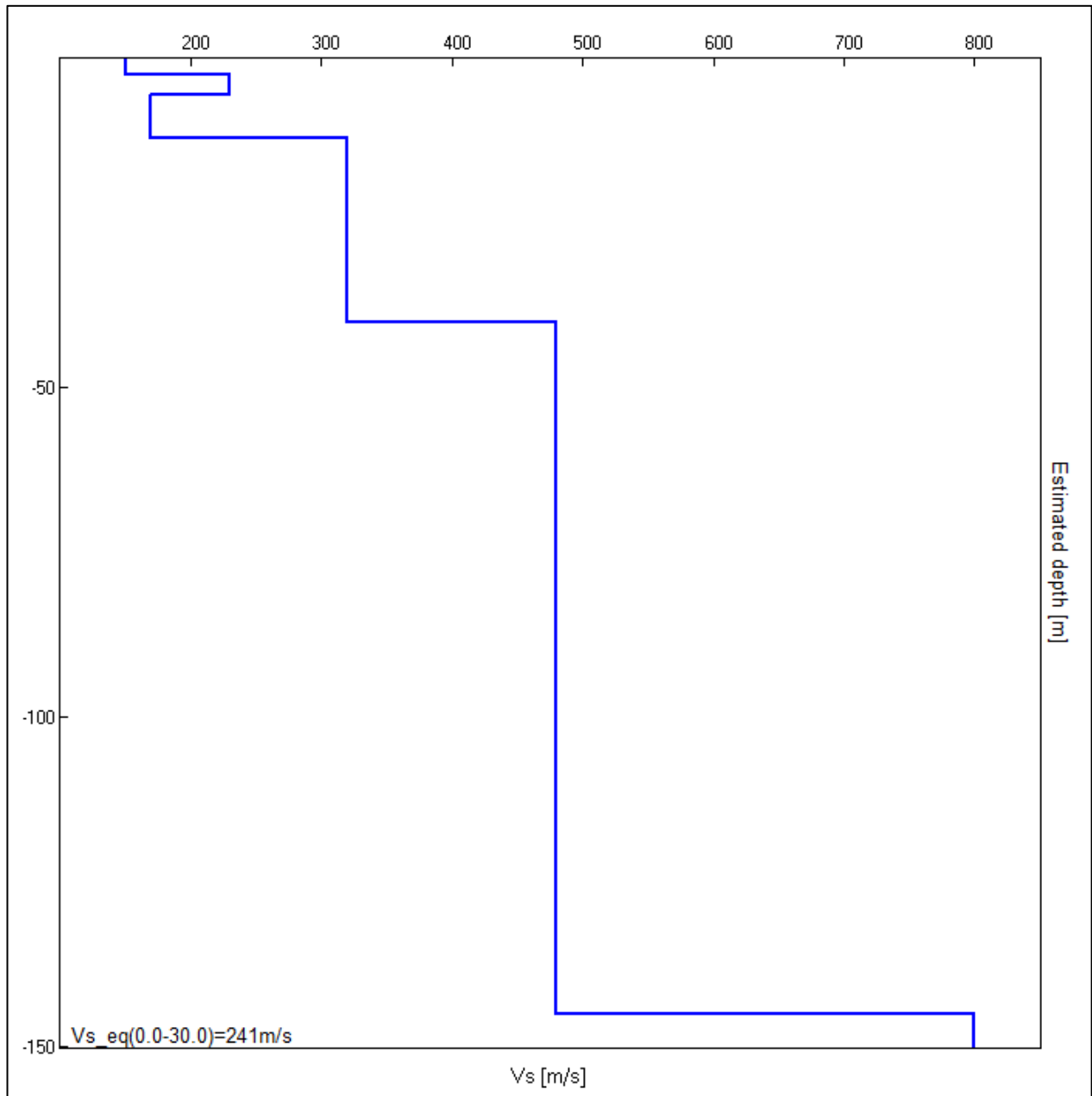


Fig. 8 : Modello sismo – stratigrafico del sito

4 DEFINIZIONE DEL PARAMETRO VS_EQ

Alla luce degli elementi emersi dall'indagine sismica la velocità equivalente $V_{s_{30}}$ di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità riferita al piano campagna della misura risulta:

$$\mathbf{V_{s_{eq}}(0.00 \div -30.00 \text{ m}) = 241 \text{ m/s } (\pm 15\%)}$$

5 CONCLUSIONI

In sintesi vengono riportati i risultati dello studio sismico effettuato:

- Il picco principale del sito è posto a 0.81 Hz e presenta un rapporto H/V pari a 2,2.
- Nel campo delle frequenze di interesse ingegneristico (0.7 Hz ÷ 11 Hz) si segnalano le frequenze comprese tra 3 e 1.5 Hz e le frequenze comprese tra 0.9 Hz e 0.7 Hz, in grado di generare effetti di risonanza nel terreno.
- Il parametro V_{s_eq} (0÷30 m) del sito derivante dall'elaborazione della misura effettuata risulta pari a 241 m/s ($\pm 15\%$).

Bologna, 22 Novembre 2018



Dott. Alberto Filelfi
(O.G.E.R –Sez. A - A.P. 1115)

ALLEGATO D

RISPOSTA SISMICA LOCALE

RELAZIONE TECNICA

ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE (RSL)

METODOLOGIA UTILIZZATA

Come previsto dalle NTC 2018, è stata realizzata un'analisi di risposta sismica locale del sito per definire le azioni sismiche di progetto (§ 3.2.2. NTC2018).

Lo studio è stato svolto utilizzando il software Strata che permette una modellazione numerica 1D della propagazione dell'onda sismica a partire da segnali sismici di input. In particolare il software conduce un'analisi lineare equivalente di risposta del sito nel dominio delle frequenze usando come input degli specifici accelerogrammi.

Gli accelerogrammi di input sono stati ricavati attraverso l'utilizzo del software Rexel, che consulta un data-base di terremoti registrati nazionali e mondiali (banca dati European Strong-motion Data-base) e ricerca accelerogrammi compatibili con gli spettri delle NTC 2018.

Per la ricerca dei 7 sismi spettro compatibili (numero minimo di sismi richiesti dalla normativa) si è prima definito lo spettro di risposta elastico in accelerazione del sito studiato, facendo riferimento ai parametri progettuali forniti dal progettista architettonico/strutturale per l'opera (dati di input riportati in tabella 1). Nella ricerca dei sismi si è tenuto conto anche della pericolosità sismica locale tramite la consultazione del Database of Individual Seismogenic Sources - DISS. Version 3.2.1 - dell'INGV, in modo tale da individuare il più correttamente possibile le caratteristiche in magnitudo e distanza epicentrale di un possibile sisma atteso.

Coordinate ED50 [°]	Longitudine	11,364845	Latitudine	44,506542
Coordinate WGS84 [°]	Longitudine	11,363852	Latitudine	44,505603
Categoria sottosuolo	A			
Categoria topografica	T1			
Vita nominale - Vn [anni]	50			
Classe d'uso	III			
Coefficiente d'uso - Cu	1,5			
Stato Limite	SLV			
ag [g]	SLO	0,064		
	SLD	0,079		
	SLV	0,191		
	SLC	0,242		
Magnitudo	min	6	max.	7
Distanza epicentrale [km]	min	0	max.	30

Tabella 1: Dati per il calcolo della pericolosità sismica di base utilizzati anche nel software Rexel.

La ricerca con Rexcel ha individuato i seguenti 7 segnali sismici spettro-compattibili con il sito (banca dati European Strong-motion Data-base) visibili in figura 1 e 2.

Nell'immagine che segue è riportato lo spettro di normativa di riferimento (target spectrum), con il limite inferiore e superiore (Lower e Upper Tolerance) per la ricerca dei sismi "spettro-compatibili" all'interno dell'intervallo di 0,10 s e 2,0 s (Range of Period), gli spettri dei sismi individuati, con i relativi fattori di scala (SF – scale factor), e il loro spettro medio (Average Spectrum).

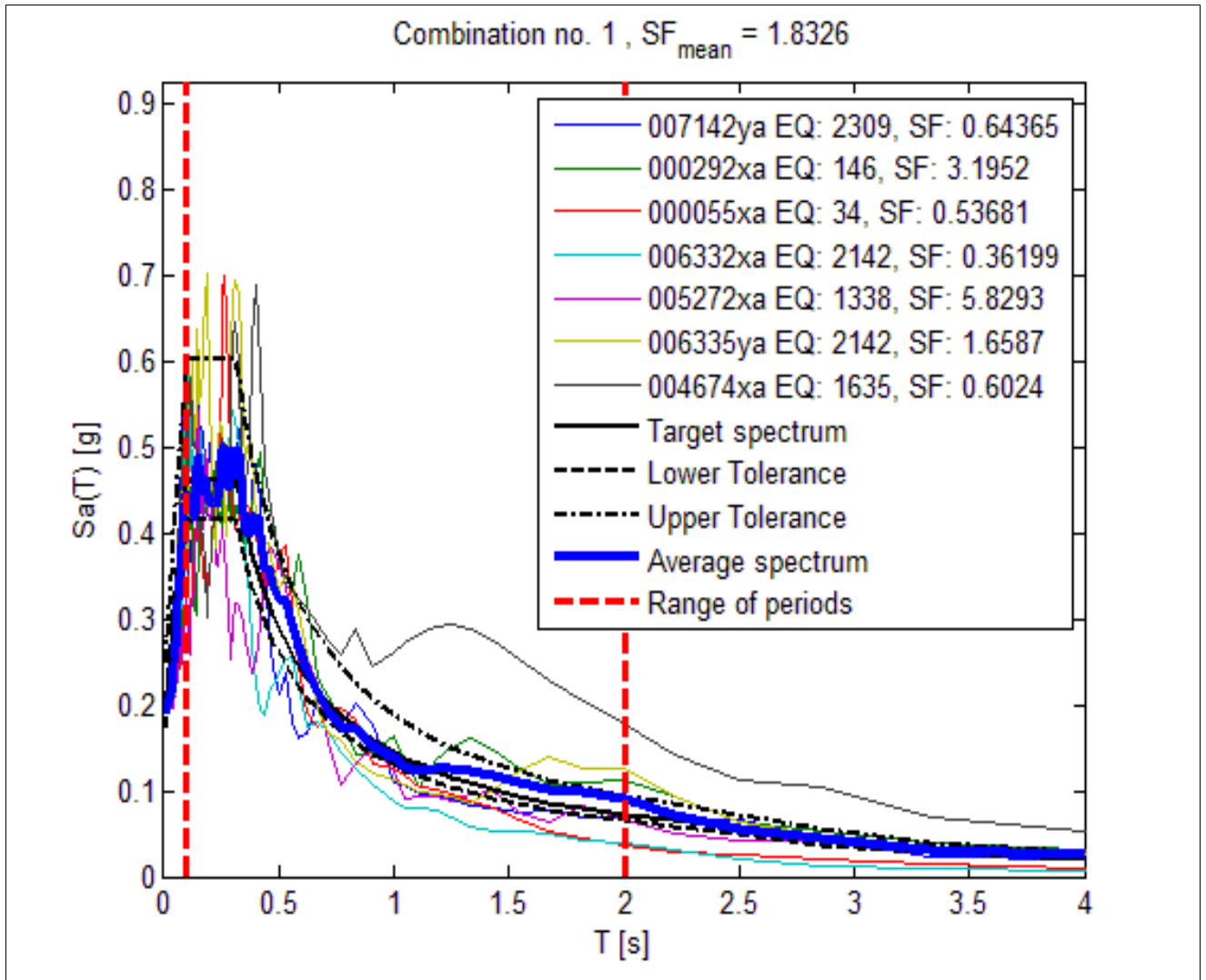
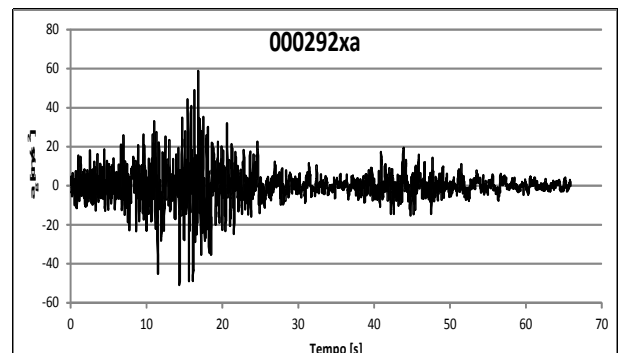
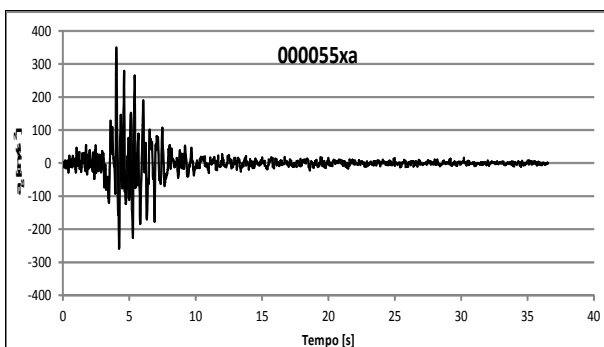


Fig 1 – Accelerogrammi di riferimento spettro compatibili ottenuti dal software Rexcel..

I 7 accelerogrammi non scalati utilizzati per l'analisi numerica sono i seguenti:



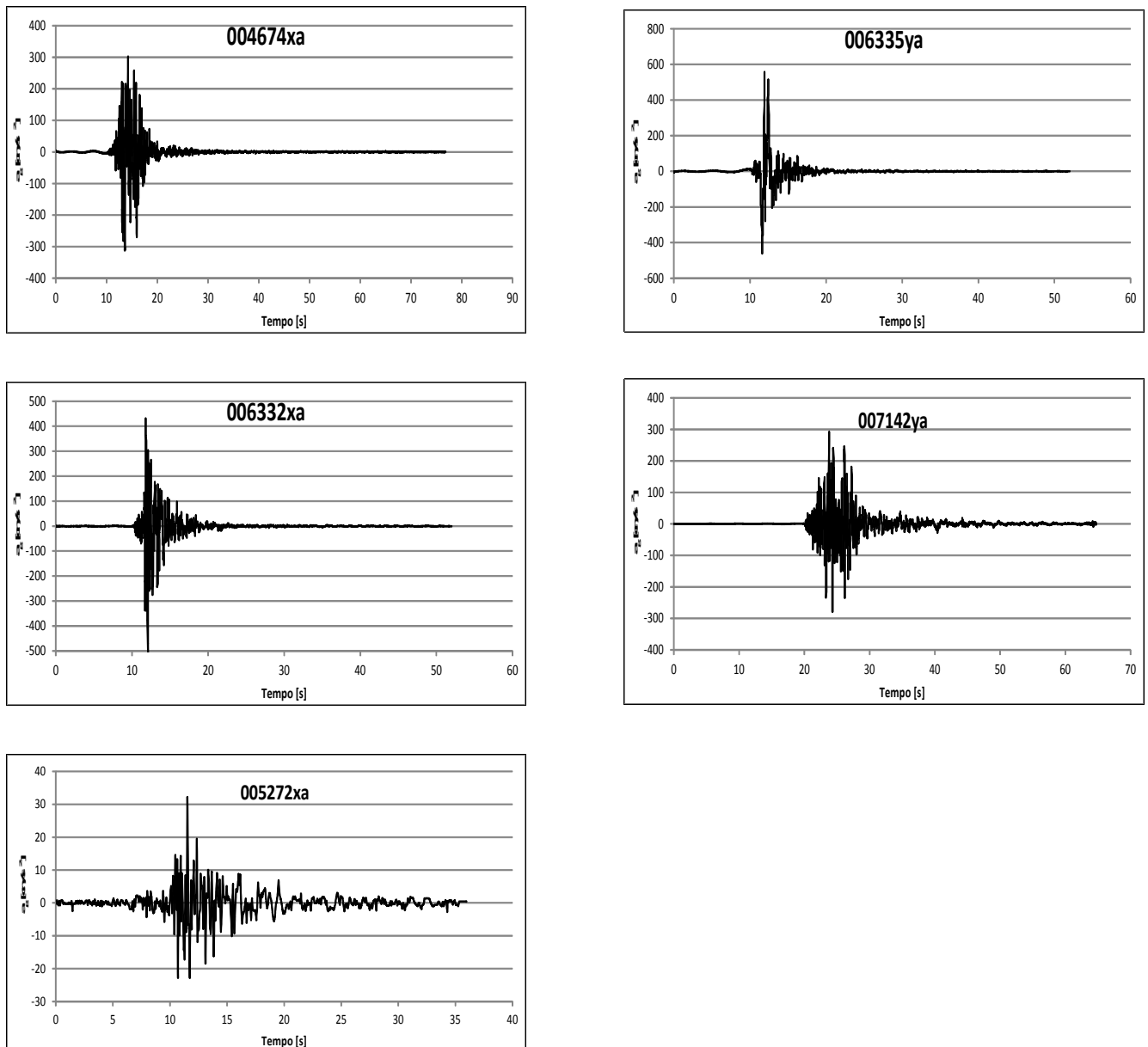


Fig. 2 – Accelerogrammi non scalati di riferimento generato dal software Rexcel allo stato limite SLV.

Una volta definiti i segnali di input dal software Rexel, si è utilizzato il software STRATA per elaborare i dati ed ottenere la risposta sismica locale del sito.

I 7 sismi sono stati importati in STRATA e scalati per poterli ricondurre al valore di PGA di interesse per i ciascun stato limite (SLO-SLD-SLV-SLC).

Il modello sismico e geotecnico del sottosuolo utilizzato è quello ottenuto dalle indagini geofisiche realizzate nell'area (MASW+HVSr).

Per ogni litologia è stata definita la curva di smorzamento e del modulo di rigidità utilizzando apposite curve riportate in bibliografia. Al bedrock sismico (ultimo strato del profilo sismico) viene riferito un valore di smorzamento pari a 1,0 %.

Di seguito sono riportate le suddette curve di smorzamento e del modulo di rigidità.

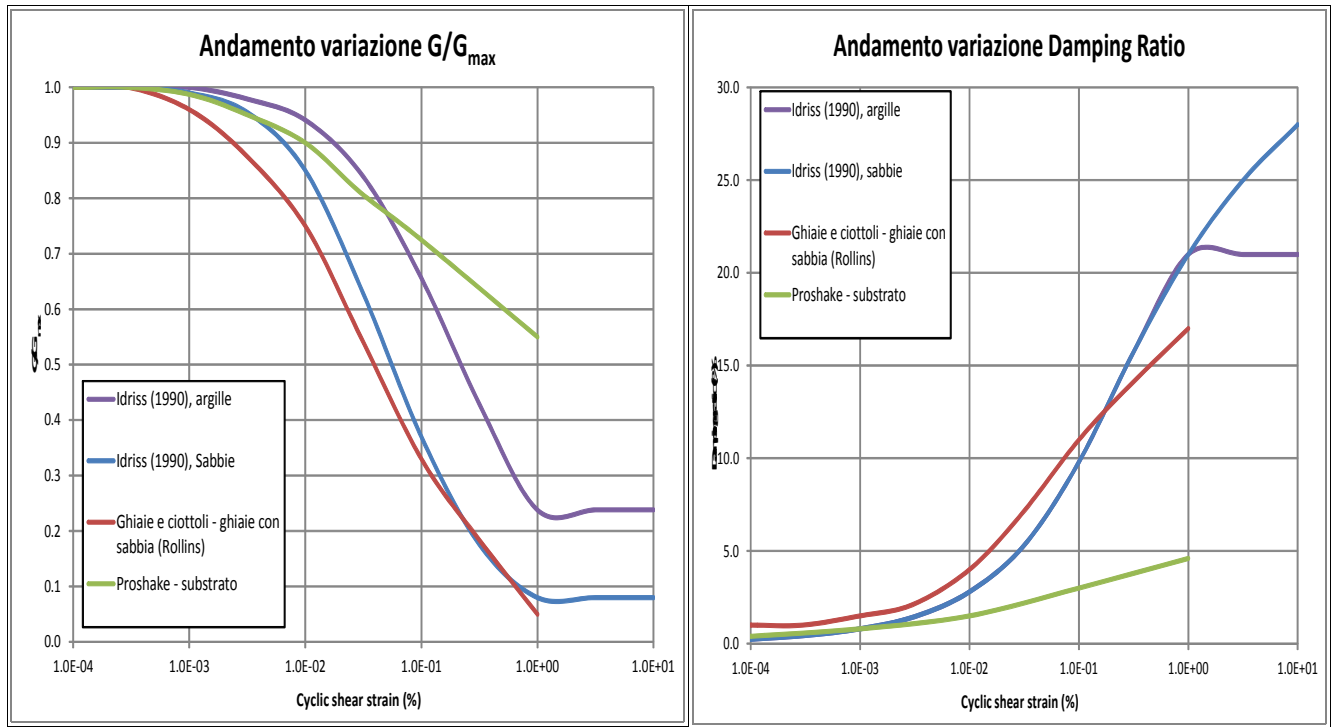


Fig 3 - Grafici delle curve di smorzamento e del modulo di rigidezza.

Di seguito si riporta il profilo sismico-stratigrafico ottenuto dallo studio geofisico (MASW + HVSR) e completato da tutte le informazioni necessarie al programma STRATA.

Strati sismici	Profondità [m dal p.c.]	Vs [m/s]	Materiale	Peso unità di volume [kN/m ³]	Curva di degrado	Curva di smorzamento
1	0 – 2,6	150	Sabbie	18,50	Idriss (1990), Sabbie	Idriss (1990), Sabbie
2	2,6 - 5,6	230	Ghiaie sabbiose	19,00	Ghiaie e ciottoli - ghiaie con sabbia (Rollins)	Ghiaie e ciottoli - ghiaie con sabbia (Rollins)
4	5,6 – 12,1	170	Argille	18,50	Idriss (1990), Argille	Idriss (1990), Argille
5	12,1 - 40,10	320	Ghiaie	19,00	Ghiaie e ciottoli - ghiaie con sabbia (Rollins)	Ghiaie e ciottoli - ghiaie con sabbia (Rollins)
6	40,10 - 145,10	480	Substrato alterato	22,00	Proshake -substrato	Proshake -substrato
5	145,10 – inf.	800	Badrock	24,00	-	1%

Tabella 2 – Modello sismo-stratigrafico del sito

ANALISI RISPOSTA SISMICA LOCALE ALLO STATO LIMITE DI OPERATIVITA' (SLO)

I 7 sismi sono stati scalati per poterli ricondurre al valore di PGA di interesse: $A_g/g=0,064$ (SLO).

Dal software STRATA si è ricavata la *funzione di trasferimento*, la *trasformata di Fourier* e lo *spettro di risposta in accelerazione*.

Funzione di trasferimento

Nella figura 4 è riportato il rapporto atteso tra lo spettro al bedrock e quello atteso in superficie in funzione della frequenza, per ogni sisma di input, ed il loro valore medio.

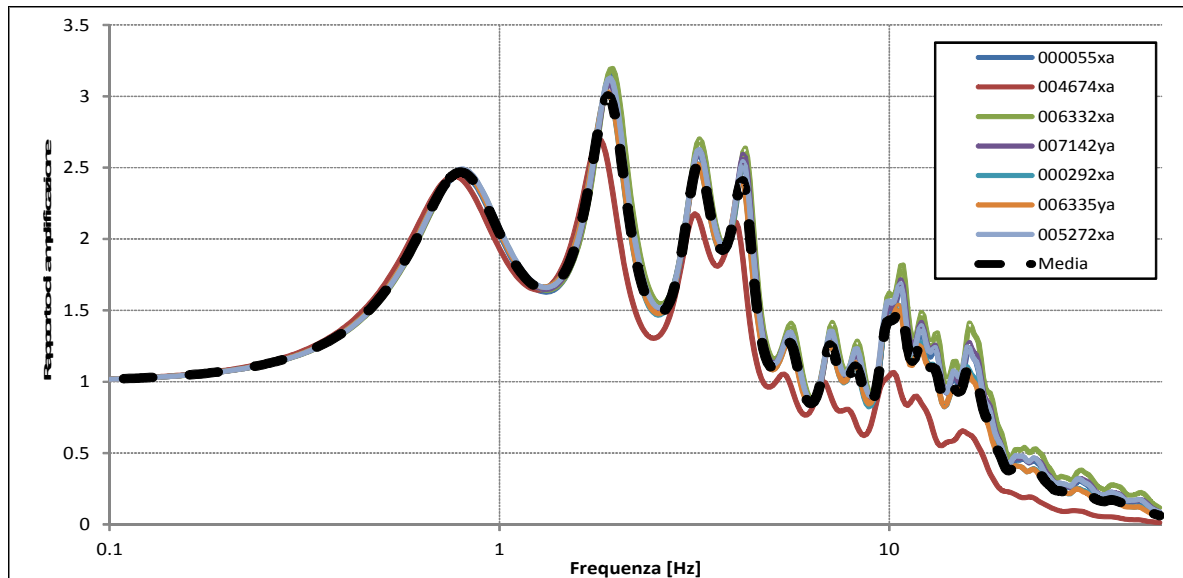


Fig. 4 – Funzione di trasferimento (rapporto tra lo spettro del moto tra la quota di 0 m ed il bedrock)

Spettro di risposta

Nella figura 5 sono riportati gli spettri di risposta in accelerazione relativi alle modellazioni eseguite per ciascuno dei 7 sismi, e il valore medio generato dalle sette modellazioni (curva nera segmentata).

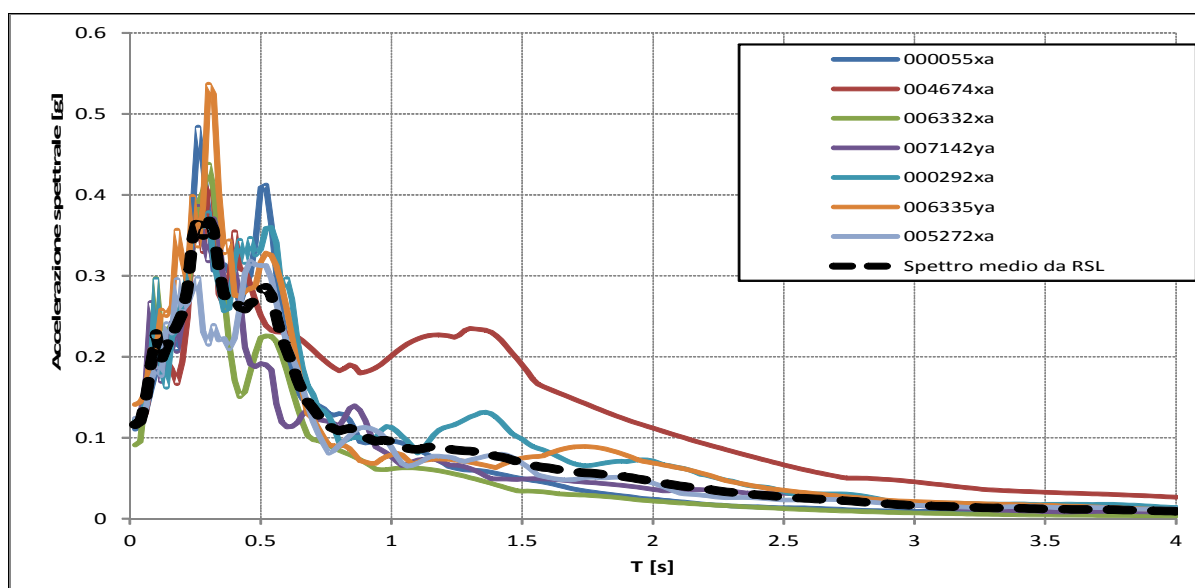


Fig. 5 – Confronto tra lo spettro di risposta ottenuto dai 7 accelerogrammi di input e la loro media (SLO)

In tabella 3 è riportato lo spettro di risposta medio in forma numerica:

T (s)	Sd [g]	T (s)	Sd [g]	T (s)	Sd [g]	T (s)	Sd [g]
0,02	0,1162182744	1,02	0,0928054324	2,02	0,0452656991	3,02	0,0163554377
0,04	0,1205834557	1,04	0,0892854375	2,04	0,0439834679	3,04	0,016137805
0,06	0,1458286361	1,06	0,0872359866	2,06	0,0429295411	3,06	0,0159277918
0,08	0,1912334407	1,08	0,0858649936	2,08	0,0419067408	3,08	0,0157240247
0,1	0,2288545271	1,1	0,0855983167	2,1	0,0408631968	3,1	0,0155216267
0,12	0,1964702536	1,12	0,0866284631	2,12	0,0401176942	3,12	0,0153132721
0,14	0,2135403981	1,14	0,0884882411	2,14	0,0393963098	3,14	0,0151121577
0,16	0,2271197278	1,16	0,0892011445	2,16	0,038566253	3,16	0,0148892925
0,18	0,2392730381	1,18	0,0888440907	2,18	0,0376173703	3,18	0,0146471909
0,2	0,2538061266	1,2	0,0876936573	2,2	0,0367843033	3,2	0,0143961402
0,22	0,2826290045	1,22	0,0861758416	2,22	0,0359136964	3,22	0,0141485666
0,24	0,3472221863	1,24	0,0852990083	2,24	0,035018409	3,24	0,0139171016
0,26	0,3727831755	1,26	0,0843988916	2,26	0,0340939505	3,26	0,013710779
0,28	0,3499526313	1,28	0,0838932267	2,28	0,0333041985	3,28	0,0135468984
0,3	0,3707515691	1,3	0,0836036672	2,3	0,0326913723	3,3	0,0134206974
0,32	0,3568127769	1,32	0,0828866411	2,32	0,0320425861	3,32	0,013321099
0,34	0,3088645768	1,34	0,0819787781	2,34	0,0313480605	3,34	0,0132404954
0,36	0,276266808	1,36	0,0806107294	2,36	0,030666415	3,36	0,0131701114
0,38	0,2696761733	1,38	0,0788560573	2,38	0,0301339059	3,38	0,0130926831
0,4	0,2707915152	1,4	0,0774312802	2,4	0,0296167294	3,4	0,0129949016
0,42	0,2614380618	1,42	0,07636521	2,42	0,0291398023	3,42	0,0128688532
0,44	0,2589631363	1,44	0,0747897208	2,44	0,0285808099	3,44	0,0127134107
0,46	0,2664413921	1,46	0,072866051	2,46	0,0280216556	3,46	0,0125348876
0,48	0,2694860401	1,48	0,0710227055	2,48	0,0274055897	3,48	0,0123601156
0,5	0,2829226051	1,5	0,0696669852	2,5	0,0268077026	3,5	0,0122242649
0,52	0,2858248203	1,52	0,0680625066	2,52	0,0262806948	3,52	0,0121016666
0,54	0,2760039752	1,54	0,0662683918	2,54	0,0258700829	3,54	0,0119809816
0,56	0,2503905765	1,56	0,0646447232	2,56	0,025590187	3,56	0,0118666669
0,58	0,2234018085	1,58	0,0636379765	2,58	0,0253439238	3,58	0,0117620241
0,6	0,208139526	1,6	0,0628250445	2,6	0,0250280947	3,6	0,0117257934
0,62	0,1906138373	1,62	0,0617851954	2,62	0,0246655882	3,62	0,0117069011
0,64	0,1719621391	1,64	0,0606606418	2,64	0,0242714535	3,64	0,0116882546
0,66	0,1570580812	1,66	0,0596089815	2,66	0,0238581364	3,66	0,011662627
0,68	0,1441881934	1,68	0,0587204489	2,68	0,0234690844	3,68	0,0116243895
0,7	0,1366195576	1,7	0,0579313779	2,7	0,0230650393	3,7	0,0115987321
0,72	0,1273306314	1,72	0,0573569122	2,72	0,0226440807	3,72	0,0115392232
0,74	0,1210097965	1,74	0,0568768385	2,74	0,0222061617	3,74	0,0114430809
0,76	0,1142598076	1,76	0,056421262	2,76	0,0217759677	3,76	0,0113122029
0,78	0,111407953	1,78	0,0559170281	2,78	0,021308164	3,78	0,0111533437
0,8	0,1084812156	1,8	0,0552569593	2,8	0,0208203808	3,8	0,0109738509
0,82	0,110646392	1,82	0,0546242443	2,82	0,0203285483	3,82	0,0107830321
0,84	0,1119486532	1,84	0,0540574614	2,84	0,0198428143	3,84	0,0106205435
0,86	0,1097026045	1,86	0,0533954618	2,86	0,0193682043	3,86	0,0104517468
0,88	0,1044630262	1,88	0,0525797345	2,88	0,0189033167	3,88	0,010280334
0,9	0,1014699794	1,9	0,0515788042	2,9	0,0184424039	3,9	0,0101087415
0,92	0,0980245098	1,92	0,0505888231	2,92	0,0179863073	3,92	0,0099399769
0,94	0,0955432458	1,94	0,0495402868	2,94	0,0175450767	3,94	0,0097768065
0,96	0,096817043	1,96	0,0484821096	2,96	0,0170962329	3,96	0,0096375816
0,98	0,0968882259	1,98	0,0474906361	2,98	0,0168239135	3,98	0,0095096246
1	0,0954222294	2	0,0464266688	3	0,0165789839	4	0,0093913563

Tab. 3 – Spettro di risposta medio calcolato per il sito riferito (linea nera tratteggiata in fig. 6)

Di seguito si riporta la curva media calcolata confrontata con le curve di categoria B-C-D-E da approccio semplificato (NTC 2018).

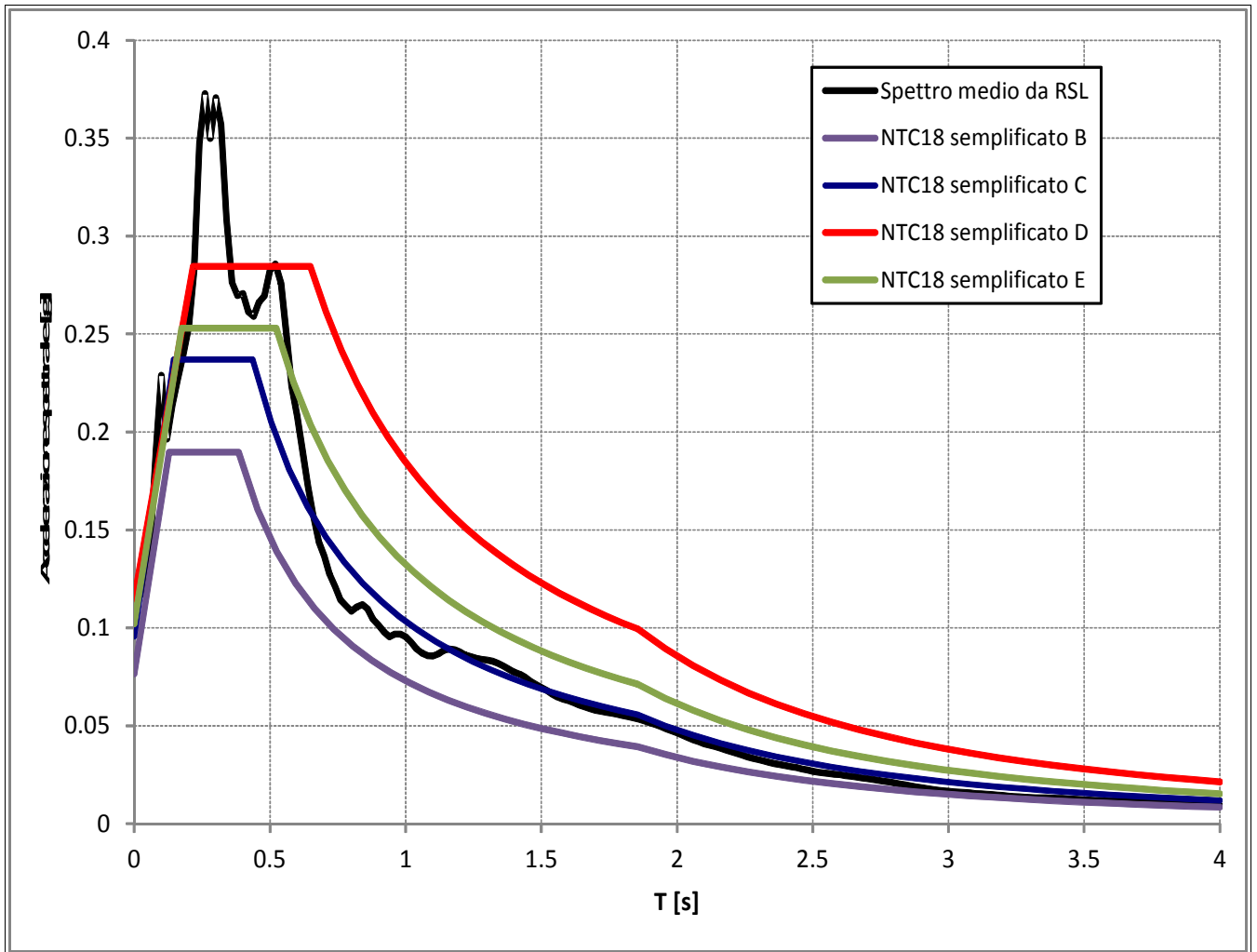


Fig. 6 – Confronto tra lo spettro di risposta ottenuto dai 7 accelerogrammi di input e gli spettri di normativa (SLO)

ANALISI RISPOSTA SISMICA LOCALE ALLO STATO LIMITE DI DANNO (SLD)

I 7 sismi sono stati scalati per poterli ricondurre al valore di PGA di interesse: $A_g/g=0,079$ (SLD). Dal software STRATA si è ricavata la *funzione di trasferimento*, la *trasformata di Fourier* e lo *spettro di risposta in accelerazione*.

Funzione di trasferimento

Nella figura 7 è riportato il rapporto atteso tra lo spettro al bedrock e quello atteso in superficie in funzione della frequenza, per ogni sisma di input, ed il loro valore medio.

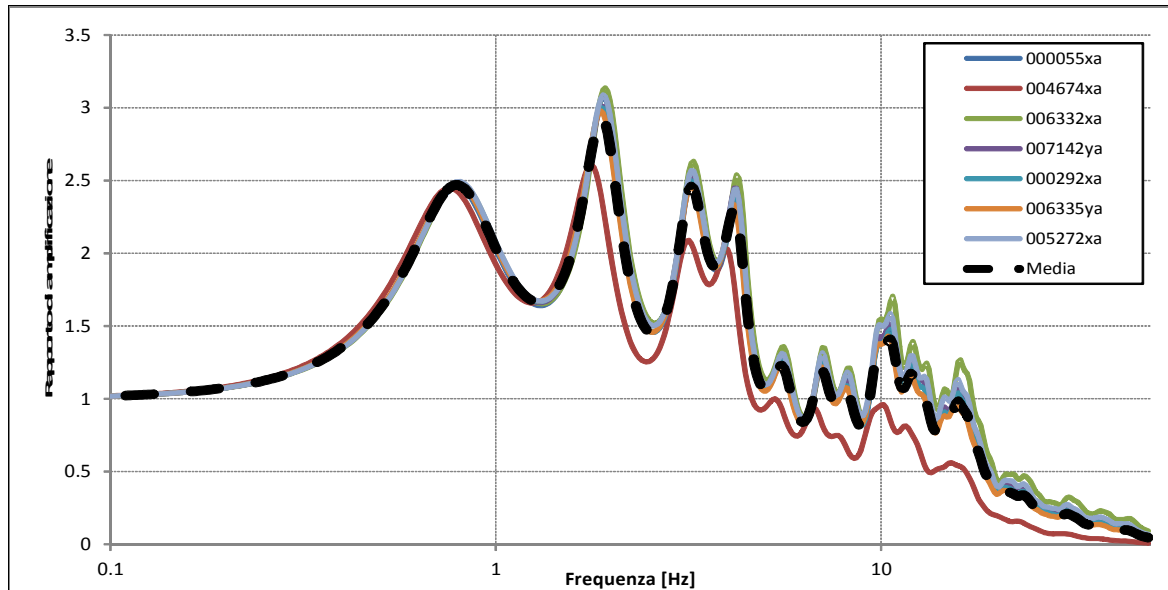


Fig. 7 – Funzione di trasferimento (rapporto tra lo spettro del moto tra la quota di 0 m ed il bedrock)

Spettro di risposta

Nella figura 8 sono riportati gli spettri di risposta in accelerazione relativi alle modellazioni eseguite per ciascuno dei 7 sismi, e il valore medio generato dalle sette modellazioni (curva nera segmentata).

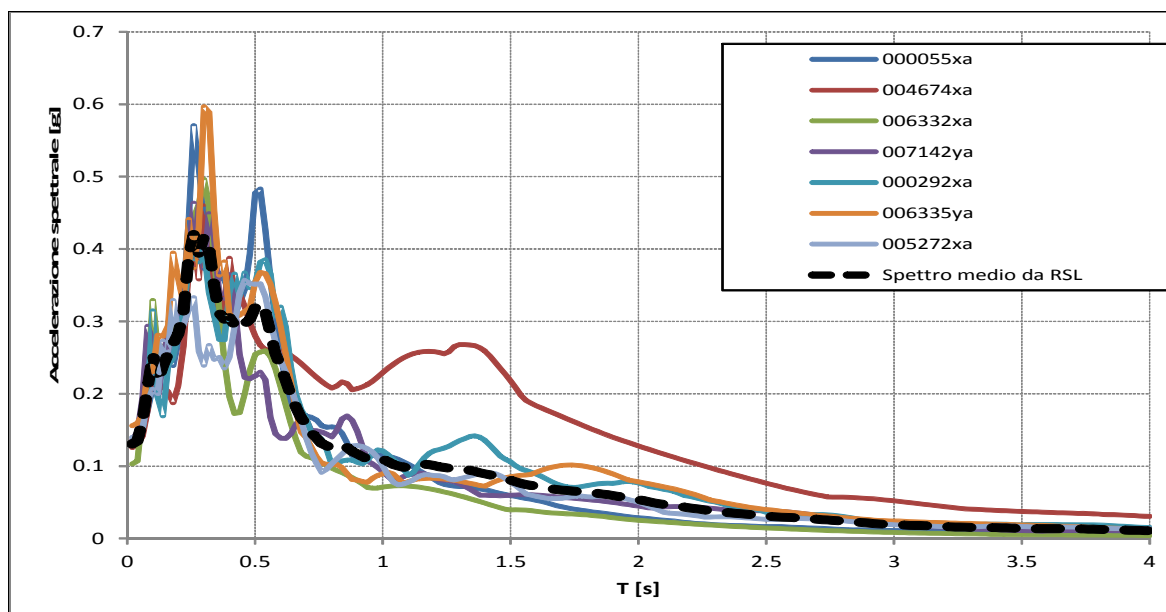


Fig. 8 – Confronto tra lo spettro di risposta ottenuto dai 7 accelerogrammi di input e la loro media (SLD)

In tabella 4 è riportato lo spettro di risposta medio in forma numerica:

T (s)	Sd [g]	T (s)	Sd [g]	T (s)	Sd [g]	T (s)	Sd [g]
0,02	0,1304987585	1,02	0,1065083536	2,02	0,0522222601	3,02	0,0188591421
0,04	0,1346701868	1,04	0,1024923718	2,04	0,0507386918	3,04	0,0186096455
0,06	0,1618052253	1,06	0,1002117703	2,06	0,0495015254	3,06	0,0183690035
0,08	0,2085772148	1,08	0,0986127977	2,08	0,0483256858	3,08	0,0181353306
0,1	0,2542797911	1,1	0,0983592844	2,1	0,0471237033	3,1	0,0179030934
0,12	0,2183417264	1,12	0,0995398205	2,12	0,0462596353	3,12	0,0176624029
0,14	0,2390054112	1,14	0,1017027232	2,14	0,0454273792	3,14	0,0174266278
0,16	0,2561446318	1,16	0,1025399616	2,16	0,0444716985	3,16	0,0171702015
0,18	0,2693509954	1,18	0,1021471448	2,18	0,0433797178	3,18	0,0168917804
0,2	0,2834006786	1,2	0,100838994	2,2	0,0424206577	3,2	0,0166028517
0,22	0,3128804419	1,22	0,0991488262	2,22	0,0414175744	3,22	0,0163180683
0,24	0,3883748404	1,24	0,0981046547	2,24	0,0403853699	3,24	0,0160515348
0,26	0,4200738465	1,26	0,0970772387	2,26	0,0393211412	3,26	0,0158137864
0,28	0,3943067517	1,28	0,0965312425	2,28	0,0384080971	3,28	0,0156220156
0,3	0,4161335083	1,3	0,0962097357	2,3	0,0376989073	3,3	0,0154764558
0,32	0,4038176837	1,32	0,0954169807	2,32	0,0369512237	3,32	0,0153616046
0,34	0,3501862287	1,34	0,0944045758	2,34	0,0361498065	3,34	0,0152680811
0,36	0,3113811958	1,36	0,0928212811	2,36	0,0353554178	3,36	0,0151848395
0,38	0,3030867734	1,38	0,0907822656	2,38	0,034772487	3,38	0,0150955064
0,4	0,3050810465	1,4	0,0892185128	2,4	0,0341817516	3,4	0,0149829698
0,42	0,2949458329	1,42	0,0879973684	2,42	0,0336348992	3,42	0,0148375504
0,44	0,2894838656	1,44	0,0861899929	2,44	0,0329937754	3,44	0,0146588109
0,46	0,2965055421	1,46	0,0840004089	2,46	0,0323517524	3,46	0,0144531312
0,48	0,3029041091	1,48	0,0819551907	2,48	0,0316428829	3,48	0,0142472707
0,5	0,3188980044	1,5	0,080326944	2,5	0,0309195914	3,5	0,0140918541
0,52	0,3242988288	1,52	0,0784984076	2,52	0,0303204169	3,52	0,0139505027
0,54	0,3137259637	1,54	0,0764574222	2,54	0,0298486106	3,54	0,0138113577
0,56	0,2847032321	1,56	0,0745857459	2,56	0,0295246707	3,56	0,0136794641
0,58	0,2555207831	1,58	0,0734114241	2,58	0,0292440667	3,58	0,0135588505
0,6	0,2387849717	1,6	0,0724609643	2,6	0,0288820615	3,6	0,01351892
0,62	0,2190439748	1,62	0,0712650269	2,62	0,0284655491	3,62	0,0134976134
0,64	0,1976329125	1,64	0,0699749431	2,64	0,0280137464	3,64	0,0134766854
0,66	0,1811465626	1,66	0,0687634827	2,66	0,0275388266	3,66	0,0134478471
0,68	0,1666198335	1,68	0,0677430974	2,68	0,027091003	3,68	0,0134038058
0,7	0,1578400215	1,7	0,0668416032	2,7	0,0266260193	3,7	0,0133750744
0,72	0,1462466966	1,72	0,0661753976	2,72	0,0261373655	3,72	0,0133075311
0,74	0,1391945511	1,74	0,0656228943	2,74	0,0256033994	3,74	0,0131976879
0,76	0,1314320462	1,76	0,0650957738	2,76	0,0250965058	3,76	0,0130478039
0,78	0,1282707091	1,78	0,0645150663	2,78	0,0245573567	3,78	0,0128655107
0,8	0,12461549	1,8	0,0637549046	2,8	0,0239953856	3,8	0,0126593857
0,82	0,1268959253	1,82	0,0630214638	2,82	0,0234290913	3,82	0,0124382847
0,84	0,1285180003	1,84	0,0623675943	2,84	0,0228698161	3,84	0,012251321
0,86	0,1260897607	1,86	0,0616062602	2,86	0,0223237474	3,86	0,0120574856
0,88	0,1203122022	1,88	0,0606658905	2,88	0,0217889718	3,88	0,0118603513
0,9	0,1170242276	1,9	0,0595129748	2,9	0,0212585227	3,9	0,0116631677
0,92	0,1130484955	1,92	0,0583708233	2,92	0,0207324238	3,92	0,0114690187
0,94	0,109656955	1,94	0,0571665474	2,94	0,0202139752	3,94	0,0112811716
0,96	0,1110211881	1,96	0,0559229713	2,96	0,0196985461	3,96	0,0111214047
0,98	0,1111749842	1,98	0,0547850611	2,98	0,0193844812	3,98	0,0109738455
1	0,1094922241	2	0,0535578289	3	0,019114916	4	0,0108372391

Tab. 4 – Spettro di risposta medio calcolato per il sito riferito (linea nera tratteggiata in fig. 9)

Di seguito si riporta la curva media calcolata confrontata con le curve di categoria B-C-D-E da approccio semplificato (NTC 2018).

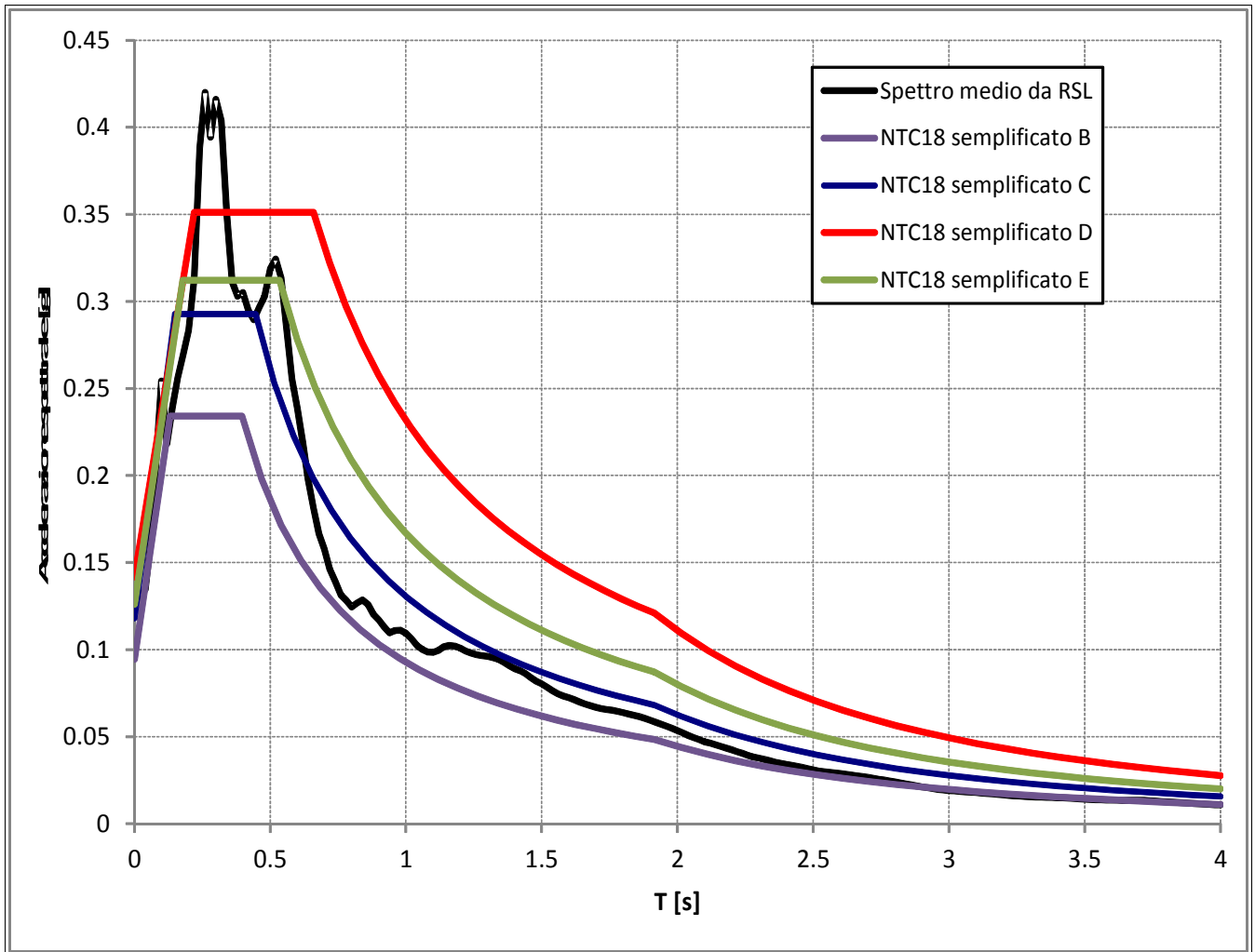


Fig. 9 – Confronto tra lo spettro di risposta ottenuto dai 7 accelerogrammi di input e gli spettri di normativa (SLD)

ANALISI RISPOSTA SISMICA LOCALE ALLO STATO LIMITE DI SALVAGUARDIA DELLA VITA (SLV)

I 7 sismi sono stati scalati per poterli ricondurre al valore di PGA di interesse: $A_g/g=0,191$ (SLV). Dal software STRATA si è ricavata la *funzione di trasferimento*, la *trasformata di Fourier* e lo *spettro di risposta in accelerazione*.

Funzione di trasferimento

Nella figura 10 è riportato il rapporto atteso tra lo spettro al bedrock e quello atteso in superficie in funzione della frequenza, per ogni sisma di input, ed il loro valore medio.

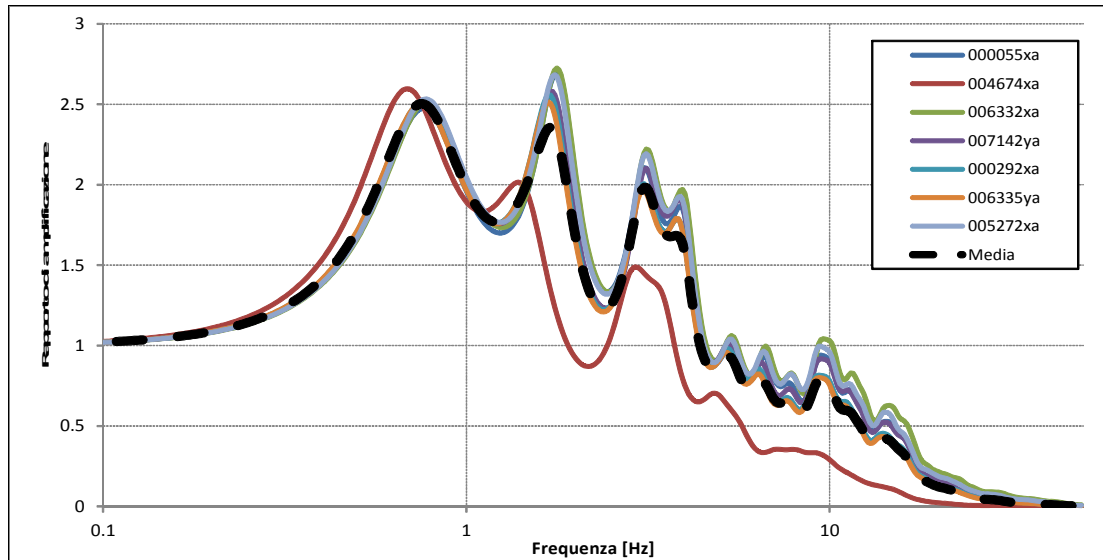


Fig. 10 – Funzione di trasferimento (rapporto tra lo spettro del moto tra la quota di 0 m ed il bedrock)

Spettro di risposta

Nella figura 11 sono riportati gli spettri di risposta in accelerazione relativi alle modellazioni eseguite per ciascuno dei 7 sismi, e il valore medio generato dalle sette modellazioni (curva nera segmentata).

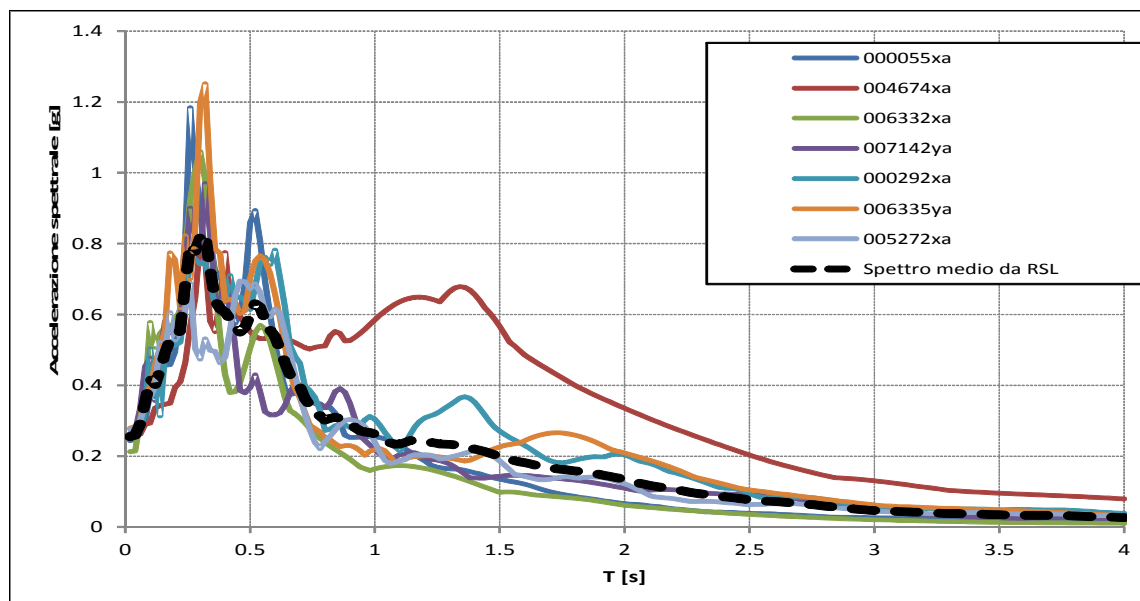


Fig. 11 – Confronto tra lo spettro di risposta ottenuto dai 7 accelerogrammi di input e la loro media (SLV)

In tabella 5 è riportato lo spettro di risposta medio in forma numerica:

T (s)	Sd [g]	T (s)	Sd [g]	T (s)	Sd [g]	T (s)	Sd [g]
0,02	0,25488456	1,02	0,2550017771	2,02	0,1306974698	3,02	0,0461064496
0,04	0,2592062551	1,04	0,245772212	2,04	0,1272633478	3,04	0,0455007953
0,06	0,2903395339	1,06	0,2379503583	2,06	0,1236061383	3,06	0,04494692
0,08	0,352278627	1,08	0,2340417783	2,08	0,1208431343	3,08	0,044410196
0,1	0,4175085474	1,1	0,2343014373	2,1	0,1178866567	3,1	0,0438755106
0,12	0,4023366364	1,12	0,2383473375	2,12	0,1153126803	3,12	0,0433197565
0,14	0,4440451451	1,14	0,2435773285	2,14	0,113122081	3,14	0,0427682141
0,16	0,4920923634	1,16	0,2457343538	2,16	0,110711757	3,16	0,0421632887
0,18	0,5312355931	1,18	0,2450157442	2,18	0,1082764625	3,18	0,0415043965
0,2	0,5388456409	1,2	0,2423778201	2,2	0,1059133468	3,2	0,0408166183
0,22	0,5537266258	1,22	0,2392185886	2,22	0,1034531908	3,22	0,0401363481
0,24	0,6800369936	1,24	0,2370399238	2,24	0,1009287242	3,24	0,0394987151
0,26	0,7972026254	1,26	0,2341206204	2,26	0,0983254819	3,26	0,0389291526
0,28	0,7787460096	1,28	0,2335551691	2,28	0,0959416446	3,28	0,0384423851
0,3	0,816521523	1,3	0,2332977628	2,3	0,0940270744	3,3	0,03804073
0,32	0,8301138789	1,32	0,2321837869	2,32	0,0920389459	3,32	0,0377645377
0,34	0,730086119	1,34	0,2302756098	2,34	0,0901277468	3,34	0,0375413132
0,36	0,6391712212	1,36	0,2266371947	2,36	0,0882746666	3,36	0,037337936
0,38	0,6158995887	1,38	0,222667281	2,38	0,0866025929	3,38	0,0371145185
0,4	0,606568584	1,4	0,2204104548	2,4	0,0852180352	3,4	0,0368365715
0,42	0,5868470433	1,42	0,2168979481	2,42	0,083889798	3,42	0,0364815969
0,44	0,5648581954	1,44	0,212761351	2,44	0,0823001361	3,44	0,0360468239
0,46	0,5502544389	1,46	0,2085066287	2,46	0,0805536017	3,46	0,035547073
0,48	0,5644020992	1,48	0,203735925	2,48	0,0787940192	3,48	0,0350085489
0,5	0,5981786789	1,5	0,1990221745	2,5	0,0770035615	3,5	0,0345719655
0,52	0,6303427389	1,52	0,1953955668	2,52	0,0755622595	3,52	0,0342281175
0,54	0,6205886012	1,54	0,1909858401	2,54	0,0742718861	3,54	0,0338899958
0,56	0,5848865873	1,56	0,1867152327	2,56	0,0733863504	3,56	0,0335708195
0,58	0,5572715618	1,58	0,184276191	2,58	0,07271634	3,58	0,0332797034
0,6	0,5388008982	1,6	0,181554367	2,6	0,0718772163	3,6	0,0331525297
0,62	0,5017235707	1,62	0,1784354459	2,62	0,0708917029	3,62	0,0331091575
0,64	0,4624856222	1,64	0,1749877651	2,64	0,0698273783	3,64	0,0330680646
0,66	0,4292560878	1,66	0,1717675562	2,66	0,068713014	3,66	0,033011354
0,68	0,4140398881	1,68	0,1691217893	2,68	0,0675703425	3,68	0,0329113167
0,7	0,3957711716	1,7	0,1668346209	2,7	0,0664710536	3,7	0,0328443464
0,72	0,3619266954	1,72	0,165024288	2,72	0,0652693134	3,72	0,0326963912
0,74	0,3425812234	1,74	0,163526197	2,74	0,0639407748	3,74	0,0324424525
0,76	0,3265497553	1,76	0,1621391428	2,76	0,0624890096	3,76	0,0320891934
0,78	0,3136355419	1,78	0,160649594	2,78	0,0609611356	3,78	0,0316567792
0,8	0,3019346297	1,8	0,1587710049	2,8	0,0593898148	3,8	0,0311678262
0,82	0,3066563531	1,82	0,156827006	2,82	0,0578397252	3,82	0,0306437411
0,84	0,3099880841	1,84	0,1553241564	2,84	0,0563271523	3,84	0,0301488217
0,86	0,3064550046	1,86	0,1535623217	2,86	0,0549932018	3,86	0,0296900647
0,88	0,2980589555	1,88	0,1513697884	2,88	0,0536993644	3,88	0,0292221469
0,9	0,290533579	1,9	0,1486484667	2,9	0,052417059	3,9	0,0287521359
0,92	0,2811155268	1,92	0,1456202613	2,92	0,0511194748	3,92	0,0283157004
0,94	0,2716079678	1,94	0,1429138115	2,94	0,0497953531	3,94	0,0279060264
0,96	0,2681461369	1,96	0,1400938292	2,96	0,0485050545	3,96	0,0275178436
0,98	0,2667276282	1,98	0,1370856342	2,98	0,0475331466	3,98	0,0271554016
1	0,2622071471	2	0,1338393356	3	0,0467889897	4	0,0268166756

Tab. 5 – Spettro di risposta medio calcolato per il sito riferito (linea nera tratteggiata in fig. 12)

Di seguito si riporta la curva media calcolata confrontata con le curve di categoria B-C-D-E da approccio semplificato (NTC 2018).

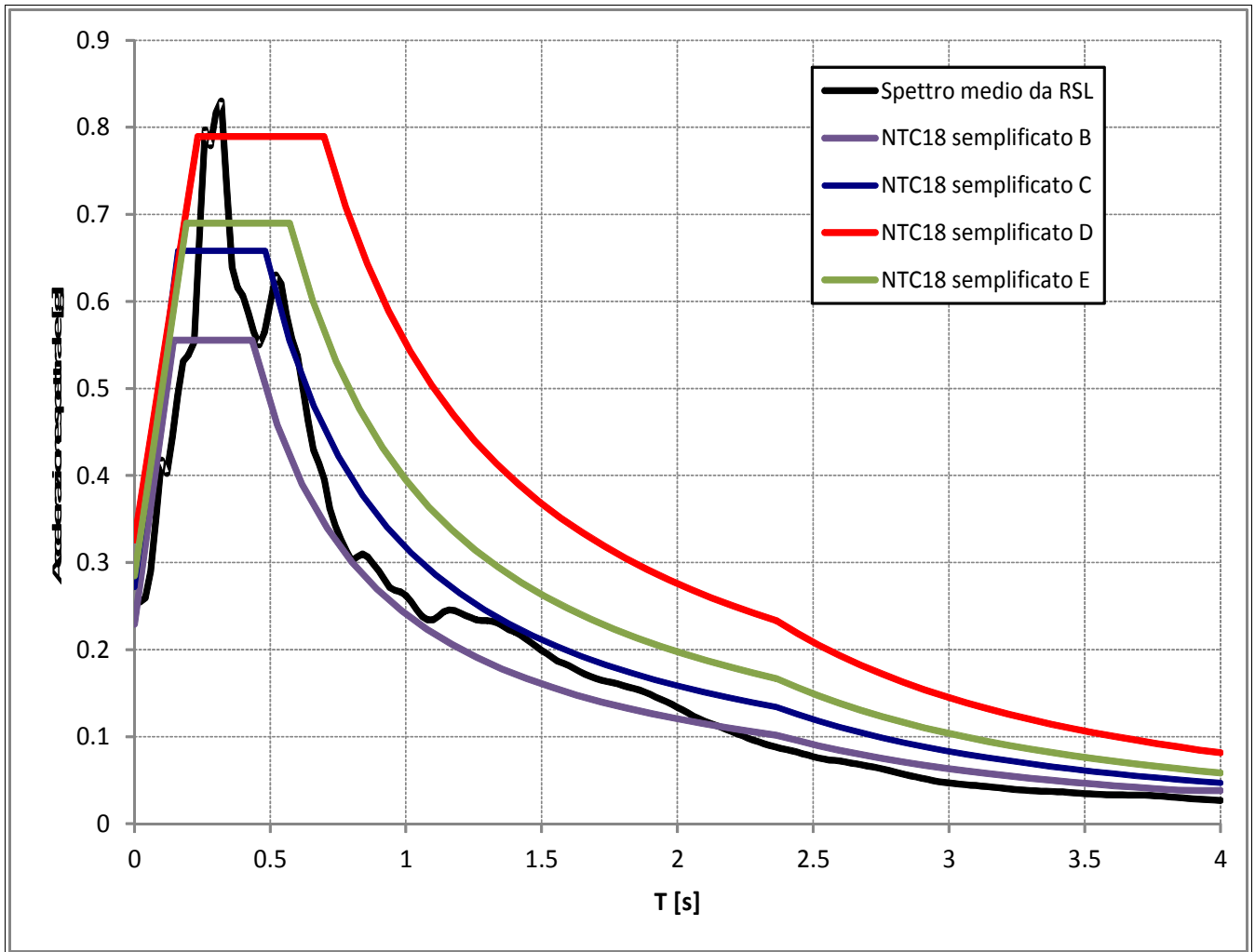


Fig. 12 – Confronto tra lo spettro di risposta ottenuto dai 7 accelerogrammi di input e gli spettri di normativa (SLV)

ANALISI RISPOSTA SISMICA LOCALE ALLO STATO LIMITE DI PREVENZIONE DEL COLLASSO (SLC)

I 7 sismi sono stati scalati per poterli ricondurre al valore di PGA di interesse: $A_g/g=0,242$ (SLC). Dal software STRATA si è ricavata la *funzione di trasferimento*, la *trasformata di Fourier* e lo *spettro di risposta in accelerazione*.

Funzione di trasferimento

Nella figura 13 è riportato il rapporto atteso tra lo spettro al bedrock e quello atteso in superficie in funzione della frequenza, per ogni sisma di input, ed il loro valore medio.

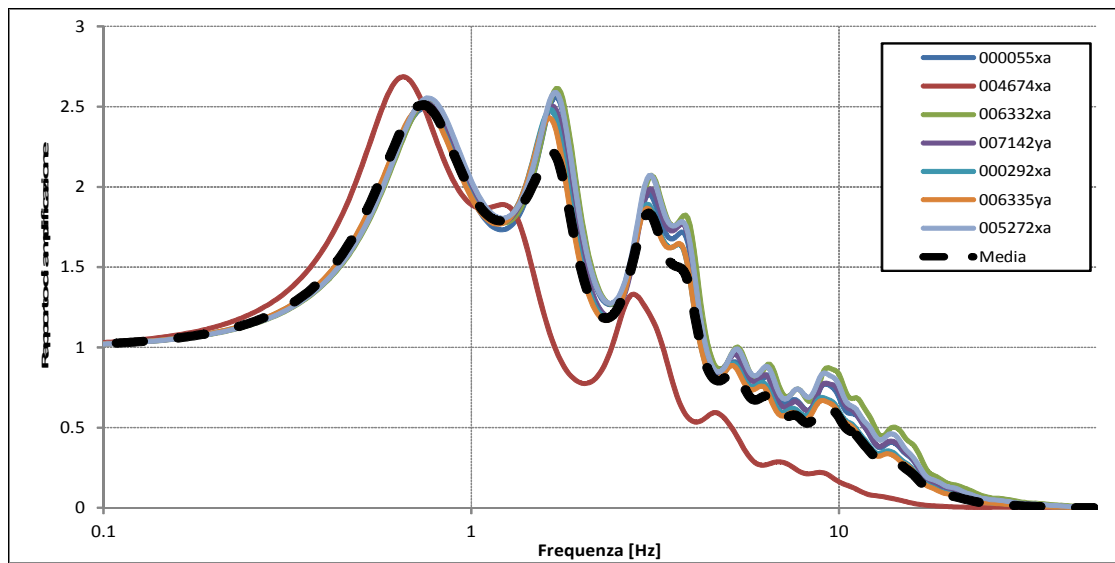


Fig. 13 – Funzione di trasferimento (rapporto tra lo spettro del moto tra la quota di 0 m ed il bedrock)

Spettro di risposta

Nella figura 14 sono riportati gli spettri di risposta in accelerazione relativi alle modellazioni eseguite per ciascuno dei 7 sismi, e il valore medio generato dalle sette modellazioni (curva nera segmentata).

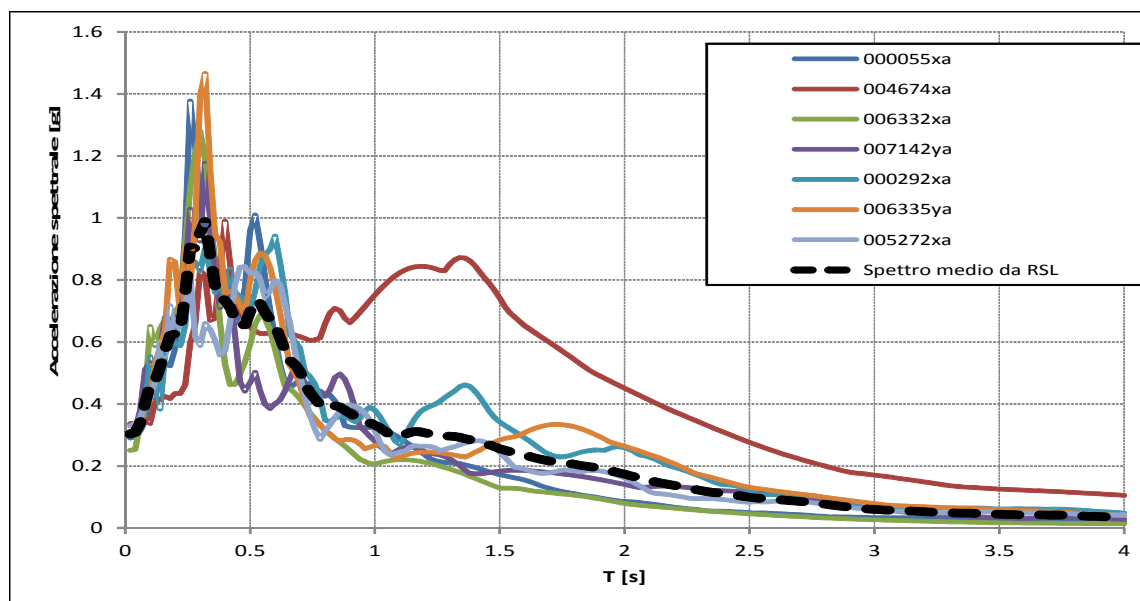


Fig. 14 – Confronto tra lo spettro di risposta ottenuto dai 7 accelerogrammi di input e la loro media (SLC)

In tabella 6 è riportato lo spettro di risposta medio in forma numerica:

T (s)	Sd [g]	T (s)	Sd [g]	T (s)	Sd [g]	T (s)	Sd [g]
0,02	0,3031638474	1,02	0,3230223364	2,02	0,1692593744	3,02	0,0591485327
0,04	0,307951977	1,04	0,3115581402	2,04	0,1648760102	3,04	0,0583076015
0,06	0,3382821444	1,06	0,301119567	2,06	0,1600477159	3,06	0,05752688
0,08	0,4008120125	1,08	0,2958982167	2,08	0,1563529487	3,08	0,0568498915
0,1	0,4668060689	1,1	0,2967584649	2,1	0,1525543873	3,1	0,0561766416
0,12	0,4733585802	1,12	0,3019750045	2,12	0,1491175474	3,12	0,055490715
0,14	0,5219959996	1,14	0,3085294229	2,14	0,1462973957	3,14	0,0548068604
0,16	0,572976145	1,16	0,3113538806	2,16	0,1432075922	3,16	0,0540445676
0,18	0,6208807636	1,18	0,3105349395	2,18	0,1400712551	3,18	0,0532114372
0,2	0,6266556371	1,2	0,3074229701	2,2	0,1370407228	3,2	0,0523420602
0,22	0,6320737736	1,22	0,3037319889	2,22	0,1338879576	3,22	0,0514804672
0,24	0,7531387931	1,24	0,3014444382	2,24	0,1306568635	3,24	0,050671559
0,26	0,9061655577	1,26	0,2978798594	2,26	0,1273265151	3,26	0,0499497597
0,28	0,9019876558	1,28	0,2965281113	2,28	0,1242019045	3,28	0,0493342048
0,3	0,9518688954	1,3	0,2963671562	2,3	0,1217518921	3,3	0,0488271304
0,32	0,988146678	1,32	0,2951194248	2,32	0,1191402772	3,32	0,0484218285
0,34	0,8832488962	1,34	0,2929071603	2,34	0,116413985	3,34	0,0481388832
0,36	0,778345297	1,36	0,2884627742	2,36	0,114087327	3,36	0,0478816346
0,38	0,7505983071	1,38	0,284692029	2,38	0,111940998	3,38	0,0476006385
0,4	0,7324286629	1,4	0,2819483963	2,4	0,1101158063	3,4	0,0472500766
0,42	0,712728535	1,42	0,2776065735	2,42	0,1084104717	3,42	0,0468002385
0,44	0,6712961373	1,44	0,2727410034	2,44	0,1063744782	3,44	0,0462484235
0,46	0,6534119463	1,46	0,2675092775	2,46	0,1040741506	3,46	0,0456127323
0,48	0,6557035297	1,48	0,2617160519	2,48	0,1017165863	3,48	0,0449267771
0,5	0,6972617401	1,5	0,255884458	2,5	0,0995232317	3,5	0,0443159373
0,52	0,7343223959	1,52	0,2511095716	2,52	0,0976279394	3,52	0,0438779227
0,54	0,725234545	1,54	0,2460550661	2,54	0,0959197947	3,54	0,0434476551
0,56	0,6955537647	1,56	0,2411139135	2,56	0,0948170946	3,56	0,0430415883
0,58	0,6732094139	1,58	0,2382599144	2,58	0,0938205711	3,58	0,0426719562
0,6	0,6560405351	1,6	0,2348553424	2,6	0,0927798083	3,6	0,0424781422
0,62	0,6147799374	1,62	0,2309186071	2,62	0,0915416173	3,62	0,0424278166
0,64	0,5713676801	1,64	0,226469177	2,64	0,090198249	3,64	0,0423801536
0,66	0,5395226651	1,66	0,2223316248	2,66	0,0887886065	3,66	0,0423128478
0,68	0,5269928971	1,68	0,2188548696	2,68	0,0873200768	3,68	0,0421923346
0,7	0,5048314675	1,7	0,2158990219	2,7	0,0858953592	3,7	0,0421049939
0,72	0,4632944009	1,72	0,2135682089	2,72	0,0843694272	3,72	0,041925786
0,74	0,4364841644	1,74	0,2115736046	2,74	0,0826678871	3,74	0,0416101477
0,76	0,4157264693	1,76	0,2097251784	2,76	0,080800926	3,76	0,0411641965
0,78	0,3973450429	1,78	0,2077685193	2,78	0,0788242091	3,78	0,040614353
0,8	0,3863249698	1,8	0,2052729991	2,8	0,0768069471	3,8	0,0399920684
0,82	0,3903501642	1,82	0,2024911334	2,82	0,0748088962	3,82	0,0393258365
0,84	0,3943752744	1,84	0,2004291155	2,84	0,0728605763	3,84	0,0386736546
0,86	0,3903489333	1,86	0,1980481237	2,86	0,0709764665	3,86	0,0380911399
0,88	0,3798692705	1,88	0,1952920125	2,88	0,0691509761	3,88	0,0374970238
0,9	0,3698680181	1,9	0,1918637333	2,9	0,0673594804	3,9	0,0369176287
0,92	0,3583467591	1,92	0,187945257	2,92	0,0656452599	3,92	0,0363796566
0,94	0,3466720415	1,94	0,1845525066	2,94	0,0639474935	3,94	0,035859202
0,96	0,3427182231	1,96	0,1811019623	2,96	0,0623421742	3,96	0,035365258
0,98	0,3389822545	1,98	0,1773750126	2,98	0,0611070429	3,98	0,034903652
1	0,332143646	2	0,1734743392	3	0,0600148969	4	0,0344722585

Tab. 6 – Spettro di risposta medio calcolato per il sito riferito (linea nera tratteggiata in fig. 15)

Di seguito si riporta la curva media calcolata confrontata con le curve di categoria B-C-D-E da approccio semplificato (NTC 2018).

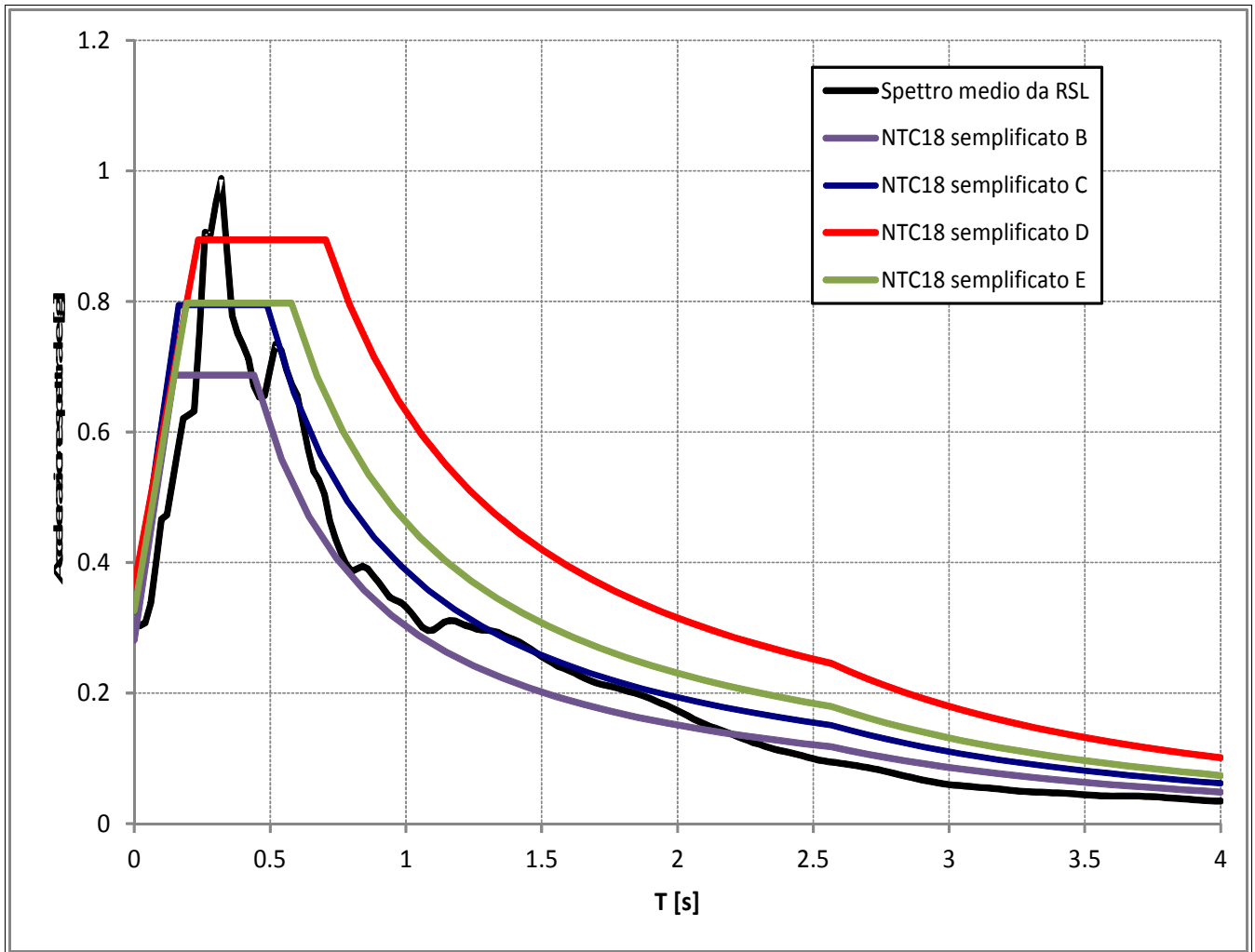


Fig. 15 – Confronto tra lo spettro di risposta ottenuto dai 7 accelerogrammi di input e gli spettri di normativa (SLC)

Bologna, li 18 Dicembre 2018

Dott. Geol. Alberto Filelfi

(O.G.E.R. - SEZ. A - A.P. n°1115)

