

ALESSANDRA BISERNA GEOLOGA
Via dei Bevilacqua, 133/e, S. Quirico di Moriano
55100 LUCCA
CELL. 333 6744960
C.F.: BSRLSN60R43E715B - P. IVA: 01357840469
e-mail: alessandrabiserna@gmail.com
alo484a@geologitoscana.net

PROVINCIA DI LUCCA

COMUNE DI LUCCA


 VALUTAZIONI SULLA
VULNERABILITA' SISIMICA PER
LAVORI DI RESTAURO E
RISANAMENTO CONSERVATIVO
DELLE SERRE ORTO BOTANICO



Immagine tratta da Google Earth

Ubicazione: **via del giardino Botanico**

Committenza: **Comune di Lucca**

Progettista:
STUDIO INTRE

RELAZIONE GEOLOGICA PRELIMINARE

Tecnico incaricato:
GEOL. ALESSANDRA BISERNA

Dicembre 2025

INDICE

1- PREMESSA E NORMATIVA DI RIFERIMENTO	3
2- INQUADRAMENTO TERRITORIALE E PIANIFICATORIO	3
2.1- Lineamenti geografici e idrografia	3
2.2- Pianificazione sovracomunale.....	4
2.3- Pianificazione comunale	4
3- INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO.....	6
4- MODELLO GEOLOGICO E PARAMETRIZZAZIONE GEOTECNICA.....	7
4.1- Stratigrafia da prove penetrometriche	7
4.2- Modello stratigrafico del sottosuolo.....	9
5- MODELLO SISMICO LOCALE	10
5.1- Indagini geofisiche	10
6- CONSIDERAZIONI SULLA SISMICITÀ DEL SITO	12
6.1- Sismicità storica	12
6.2 - Classificazione sismica.....	13
6.3 - Classificazione sismica di sito	14
6.4 - Coefficiente di amplificazione topografica.....	19
6.5- Individuazione dei nodi del reticolo di riferimento e calcolo dei parametri sismici.	19
6.5 - Suscettibilità alla liquefazione.....	20
7 - CONCLUSIONI	21

TAVOLE

TAV. 1- Inquadramento topografico	scala 1:10.000
TAV. 2- Carta geologica	scala 1:10.000

ALLEGATI

- ALL.1- Indagini geognostiche e sismiche pregresse
- ALL. 2: Sezione geologica estratta dalla Tav. QG. 09 – Sezioni geologico-tecniche (fuori scala)
- ALL. 3 - Parametri sismici

1- Premessa e normativa di riferimento

Il presente elaborato realizzato per conto del Comune di Lucca, si propone di fornire una ricostruzione geologica, geomorfologica, idrogeologica, stratigrafica e sismica del sito come inquadramento preliminare a supporto della **valutazione della vulnerabilità sismica** nell'ambito di una molteplicità di interventi di recupero per il complesso di edifici collocati con varie funzioni – alcune di queste di tipo museale - all'interno delle aree di pertinenza dell'ORTO BOTANICO di Lucca.

Gli interventi in oggetto saranno sotto la progettazione dello **Studio INTRE di Lucca**.

Il modello geologico di riferimento è stato elaborato in questa fase utilizzando le informazioni disponibili da bibliografia e/o dagli strumenti urbanistici vigenti. In particolare sono state considerate, le seguenti indagini eseguite sempre nell'area urbana del centro storico della città, ad una distanza di ca. 200 m a NW, dal sito di interesse (Piazza S. Maria Forisportam):

- n. 4 prove penetrometriche -dinamiche (DPSH);
- n. 3 prove penetrometriche statiche (CPT);
- n. 1 sondaggio geognostico con prelievo di campioni in terra indisturbati e indagini di laboratorio
- n. 1 prova down hole - DH
- n. 1 misure di rumore ambientale (HVSR)
- n. 1 stesa sismica a rifrazione per onde P e onde Sh

Le indagini acquisite (v. ALL. 1) assumono un valore indicativo, in coerenza con la valenza "preliminare" dello **studio di vulnerabilità**, e sono state acquisite dal Quadro Conoscitivo disponibile dagli strumenti urbanistici comunali.

La categoria di intervento che dovrà essere considerata nel Progetto di Fattibilità Tecnico ed Economica –PFTE, è la **classe di indagine 4** - ai sensi dell'art. 5 "Classi di indagine geologiche, geofisiche e geotecniche" del D.P.G.R. 19 gennaio 2022, n. 1/R "Disciplina sulle modalità di svolgimento dell'attività di vigilanza e verifica delle opere e delle costruzioni in zone soggette a rischio sismico", in quanto l'edificio più importante dell'intero complesso immobiliare dell'Orto botanico, pur essendo di classe III, con riferimento alla sua volumetria, in virtù del suo carattere di **opera rilevante** (Allegato 1 del summenzionato D.P.G.R. n. 1/R), viene automaticamente inserito nella *classe di indagine n. 4*. Pertanto in sede di PFTE, dovranno essere eseguiti tutti i necessari approfondimenti sul modello geologico e sulla caratterizzazione geofisica locale.

Per il presente rapporto tecnico, il quadro normativo di riferimento è il seguente:

- ✓ *D.M. 17 gennaio 2018 "Nuove norme tecniche per le costruzioni";*
- ✓ *D.P.G.R. 19 gennaio 2022, n. 1/R;*
- ✓ *D.G.R. 8 ottobre 2012 n. 878 "Aggiornamento della classificazione sismica regionale in attuazione dell'O.P.C.M. 3519/2006 ed ai sensi del D.M. 14/01/2008 – Revoca della DGRT 431/2006" e s.m.i. (D.G.R.T. n°421 del 26/05/2014);*
- ✓ *Elaborati del Piano Strutturale e del Piano Operativo vigenti, aggiornati al DPGR n.53/R del 25/10/2011 e alla pianificazione prima del Bacino del Serchio – PAI e successivamente a quella dell'Autorità di distretto dell'Appennino settentrionale.*

2- Inquadramento territoriale e pianificatorio

2.1- Lineamenti geografici e idrografia

L'ambito territoriale della pianura alluvionale di Lucca è rappresentato da una zona, piuttosto vasta, contrassegnata da due importanti e contigui bacini imbriferi: quello del Serchio e quello dell'ex lago di Bientina.

Le aree collinari, poste al margine della pianura lucchese sono individuabili nelle pendici meridionali delle Apuane, a ovest nord-ovest, nelle alture del subappennino, a nord - monti delle Pizzorne -, e in quelle del monte Pisano, a sud.

La pianura lucchese è fortemente caratterizzata dal sistema idrico dell'alveo del Serchio e dalla complessa rete dei suoi tributari, a cui si aggiunge il diffuso reticolo di fossi campestri e talvolta di canali artificiali.

L'area in esame, a quota di ca. **16.5 m s.l.m.** ed inclusa nel Foglio 261110 del CTR 10k, si colloca come già puntualizzato, in corrispondenza del centro storico delle città di Lucca, in adiacenza all'imponente manufatto della cerchia muraria, nel settore di SE.

2.2- Pianificazione sovracomunale

Dalle cartografie riguardanti la *pianificazione sovracomunale* dell'**AUTORITA' di DISTRETTO APPENNINO SETTENTRIONALE**, ma in particolare, trattandosi di un'area di pianura, dal **PGRA** - Del. C.l. n. 184, 3/03/2016 - si ha per il sito in studio una **pericolosità da alluvioni fluviali P1**. Pertanto non si ravvedono particolari problematiche ai fini della presente valutazione tecnica.

2.3- Pianificazione comunale

PS e PO comunale

Facendo riferimento alla cartografia presente nel **Piano Strutturale vigente** (approvato con Deliberazione C.C. n. 39 del 24/04/2017), redatto in conformità al D.P.G.R. 53/R/2011 ed al PAI del F. Serchio, si riassumono nella successiva tabella i principali vincoli e le classi di pericolosità che interessano l'area in esame, considerando aspetti geologici e sismici e/o ad essi correlati.

SCHEMA RIASSUNTIVO DEI VINCOLI DA PIANO STRUTTURALE (2016)	
Tavola	Vincolo – Classe di pericolosità
Carta geologica (Tav.QG01)	Il sito ricade su depositi alluvionali di età olocenica – all, all1 : Ghiaie, sabbie e limi di composizione poligenica, ghiaie monogeniche a ciottoli di arenaria Macigno in matrice sabbiosa, di colore rosso oca in più ordini di terrazzi (bnb). Età: Olocene;
Carta geomorfologica (Tav.QG02)	Il sito si colloca al disopra di depositi alluvionali e più precisamente sulla traccia di un paleoalveo fluviale;
Carta litologico-tecnica (Tav.QG03)	I terreni di imposta del sito in studio sono descritti come sabbie limose, miscela di sabbia e limo;
Carta idrogeologica (Tav.QG04)	I terreni presenti sono descritti ad ALTA VULNERABILITA': Falda acquifera libera in materiali a granulometria mista, con scarsa o nulla copertura. Inoltre buona parte dell'are dell'Orto botanico viene ad essere inclusa nella fascia di rispetto per punti di prelievo ad uso acquedottistico;
Carta della pericolosità geomorfologica (Tav.QG05)	L'area ricade in classe di Pericolosità geomorfologica bassa – G1 : aree in cui i processi geomorfologici e le caratteristiche litologiche, giaciture non costituiscono fattori predisponenti al verificarsi di processi morfo-evolutivi;
Carta delle microzone omogenee (MOPS) (Tav.QG08)	La zona di interesse è definita come zona stabile suscettibile di amplificazione topografica- zona Z7.
Carta delle categorie di sottosuolo	Il sito ricade in aree sia di tipo B nel settore N-orientale e C in quello S-occidentale; entrambe le zone sono a carattere presunto;

(Tav.QG10)	
Carta della pericolosità sismica (Tav.QG11)	L'area ricade in classe di Pericolosità sismica media – S2: zone stabili suscettibili di amplificazioni locali (che non rientrano tra quelli previsti per la classe di pericolosità sismica S.3);

In seguito all'approvazione del **Piano Operativo**, avvenuta in tempi recenti (2024) il quadro geologico-tecnico (QG) è stato altresì corredato e supportato da approfondimenti di indagine, studi specialistici ed analisi che integrano ed aggiornano il PS vigente. In particolare successivamente attraverso una tabella di sintesi si riportano in elenco le mappe tematiche ritenute significative per il presente rapporto tecnico e si precisa l'elenco degli elaborati del PS che non hanno subito alcuna variazione:

- QG 01 Nord, centro e sud - Carta geologica
- QG 04 Nord, centro e sud - Carta idrogeologica e della vulnerabilità degli acquiferi
- QG 10 Nord, centro e sud – Carta delle categorie di sottosuolo

SCHEMA RIASSUNTIVO DEI VINCOLI DA PIANO OPERATIVO COMUNALE (2024)	
Tavola	Vincolo – Classe di pericolosità
Carta delle indagini e dei dati di base QG 03°.4	Nell'area in esame non sono presenti misure di rumore sismico (H.V.S.R. -Stazione microtremore a stazione singola); si riscontrano invece nelle vicinanze;
Carta geologico tecnica QG 03b.4	I terreni di copertura sui quale ricade l'area in esame, sono costituiti da ghiaie limose, miscela di ghiaia e sabbia (GW);
Carta della pericolosità geologica QG 05.4	L'area ricade in classe di Pericolosità geomorfologica bassa – G1 : aree in cui i processi geomorfologici e le caratteristiche litologiche, giaciture non costituiscono fattori predisponenti al verificarsi di processi morfo-evolutivi;
Carta delle frequenze fondamentali dei terreni QG 06.4	L'area in esame non presenta misure di rumore sismico (H.V.S.R.), tuttavia); si riscontrano nelle vicinanze; la zona è inserita nella Zona 18: Sabbie limose, miscela di sabbia e limo - SM (5-10m) su ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaia e sabbia - GW (10-30m) su coesivo sovra-consolidato - CO (10->100m) (>30 m nel complesso) su substrato lapideo stratificato - LPS (>100 m) ;
Carta di Microzonazione Sismica di livello 2: FHa 0.1- 0.5 QG 07a.4	L'area in esame ricade al limite di due zone stabili suscettibili di amplificazioni locali: B e C . In particolare una piccola porzione del sito, a SW, presenta una Fattore di Amplificazione – FA compreso tra 1,1 e 1,4 (B) , mentre la restante porzione decisamente prevalente presenta un FA tra i valori di 1,3 -1,4 (C) ;
Carta di Microzonazione Sismica di livello 2: FHa 0.5 – 1.0 QG 07b.4	L'area in esame ricade al limite di due zone stabili suscettibili di amplificazioni locali: F e C . In particolare una piccola porzione del sito, a SW, presenta una FA compreso tra 1.3 e 1,4 (C), mentre la restante porzione decisamente prevalente presenta un FA tra i valori di 1,9 -2,0 (F) ;
Carta di Microzonazione Sismica di livello 2: FHa MAX QG 07c.4	L'area in esame ricade al limite di due zone stabili suscettibili di amplificazioni locali: F e C . In particolare una piccola porzione del sito, a SW, presenta una Fattore di Amplificazione – FA compreso tra 1,3 e 1,4 (C) , mentre la restante porzione decisamente prevalente presenta un FA tra i valori di 1,9 -2,0 (F) ;
Carta delle nuove MOPS (Microzonazione sismica di livello 1) QG 08.4	L'area in esame ricade in zone stabili suscettibili di amplificazioni locali: Zona 18 ; come riportato anche nella Carta delle frequenze fondamentali dei terreni, la misura di rumore sismico di riferimento è siglata Tr99 ;
Carta della pericolosità sismica locale QG 11.4	Pericolosità sismica locale media - S.2. estratto da Relazione illustrativa indagini geologiche- QG19: a) <i>zone stabili suscettibili di amplificazioni locali connessi con contrasti di impedenza sismica attesa oltre alcune decine di metri dal piano campagna e con frequenza fondamentale del terreno indicativamente inferiore a 1hz; (ZONE MOPS 2018 E 2019)</i>

	<p>b) <i>zone stabili suscettibili di amplificazione locali con fattore di amplificazione (F_x) < 1.4; (ZONE MOPS 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2009, 201, 2017, 2018, 2019, 2020, 2022)</i></p> <p>c) <i>[...]</i></p> <p>d) <i>zone stabili suscettibili di amplificazione locali, non rientranti tra quelli previsti nelle classi di pericolosità sismica S.3.</i></p>
ALL. G1	Dati geognostici e geofisici: da questo documento sono state ottenute le indagini di riferimento

Oltre a questa documentazione per il quadro geologico e sismico dell'area in studio è stata considerata la **Tavola QG 09 delle sezioni geologiche** “finalizzate ad esplicitare i rapporti tra le formazioni rocciose ed i depositi quaternari, anche nell’ottica della pericolosità sismica e ad illustrare il passaggio tra le zone con substrato roccioso posto a profondità <30 m e zone con substrato posto a profondità >30 m”.

Un estratto del tratto della sezione di interesse è riportato in ALL. 2.

3- Inquadramento geologico, geomorfologico e idrogeologico

I terreni presenti nell'area di indagine sono riconducibili a **depositi alluvionali attuali e recenti – all1 – b1**, connessi con le recenti vicende geologiche che hanno interessato la pianura di Lucca, alla cui formazione hanno concorso le attività di erosione e di sedimentazione del F. Serchio e dei suoi tributari. In particolare come indicato dalla **Carta geologica - Centro - QG01** del PS comunale, i depositi suddetti, sono caratterizzati, a partire dalla superficie, da una copertura di materiale fine, costituita in genere da **alternanze di livelli limo-argillosi e limo-sabbiosi** (Bellettone), seguiti a profondità di alcuni metri da **sedimenti a granulometria più grossolana di facies francamente fluviale a composizione sabbiosa e ghiaiosa (Tav. 1)**.

- ✓ **All1 - b1-** *Ghiaie eterometriche, sabbie e limi di composizione generalmente poligenica dei terrazzi fluviali recenti – età Olocene.*

A questi terreni, di età quaternaria, succedono poi a quote dal p.c. di ca. 25÷30 metri, gli antichi *depositi alluvionali* di natura argillosa e sabbioso-conglomeratica, riconducibili ai cicli fluviali e fluvio-lacustri del Villafranchiano (v. ALL. 2).

In TAV. 2 è riportata la **Carta Geologica** in scala 1:5.000, acquisita dal QC del PS – 2015, del Comune di Lucca.

Dal punto di vista geomorfologico, il sito trattandosi di una zona di pianura, **non presenta indizi di instabilità legati a pericolosità da frana, mentre si rileva la presenza di un percorso di paleoalveo dalla Carta geomorfologica di Tav. QG.02.4.**

Relativamente agli aspetti *idrogeologici*, i terreni alluvionali in questione sono sede di una falda, confinata in corrispondenza dei depositi sabbioso-ghiaiosi, alimentata nella zona essenzialmente dalla circolazione idrica del subalveo del F. Serchio e subordinatamente dalle locali infiltrazioni di acque meteoriche.

L'idrografia della zona in studio si inserisce nel quadro del sistema idrografico della piana di Lucca, ed è quindi rappresentata localmente da una rete di canalette, spesso tombate locate in genere lungo le viabilità del centro urbano, preposte all'allontanamento delle acque meteoriche. Più in generale si precisa che la Piana di Lucca è comunque caratterizzata da una rete artificiale di fossati a cielo aperto, di origine storica, riferibili al vecchio sistema di drenaggio e di alimentazione della pianura stessa, come il canale del Pubblico Condotto, che con il tratto denominato “il fosso” costeggia l'area dell'Orto botanico. Questo canale dopo

essere uscito dalle mura urbane attraversa gli spalti delle mura e da qui in poi lo stesso, denominato C. Piscilla, nella zona della fraz. di Pontetetto, arriva infine a confluire nel Canale Ozzeri.

Secondo la **Carta idrogeologica e della vulnerabilità** (QC del PS comunale – QG04), nella zona studiata la falda freatica si trova tra 13,0 e 13,5 m s.l.m., con una **soggiacenza di circa 3 m**. Il dato del maggio 2007, tratto dal Progetto Life "Serial Wellfir", pur essendo relativo a un periodo normalmente piovoso, rappresenta un anno relativamente siccitoso, quindi con una ridotta ricarica della falda.

Considerando un'oscillazione stagionale media di circa 2 m, si può ritenere che nei periodi di maggiore ricarica il livello della falda possa risalire fino a circa 1–1,5 m dal piano campagna, soprattutto nelle parti più basse del giardino, come confermato anche dalle indagini effettuate.

4- Modello geologico e parametrizzazione geotecnica

4.1- Stratigrafia da prove penetrometriche

Il locale assetto stratigrafico è stato ricostruito prendendo in considerazione alcune prove geognostiche eseguite nelle vicinanze all'area di interesse. In particolare si tratta di **n. 4 prove dinamiche, DPSH**, e **n. 3 prove statiche, CPT**, eseguita in Piazza S. Maria FORISPORTAM (v. ALL. 1). La loro ubicazione è visibile in planimetria dell'ALL. 3. La loro esecuzione risale al marzo 2007 dalla ditta GEOPROVE Sas. La loro ubicazione è riportata in TAV.3. Tutte le prove sono state eseguite da GEOPROVE di Pietro Barsanti, Alessandro Petroni e C. S.a.s. - via Buiamonti 29 LUCCA.

Nella successiva tabella si riassume la stratigrafia come ricostruita per le diverse verticali di indagine CPT-DPSH1.

Tipologia di prova	Profondità dal p.c. (m)	Stratigrafia	Nspt	Rd (kg/cm ²)
DPSH	0.00 – 1.80 (PD1bis)	Terreni di riporto	Variabile	Variabile
	0.00 - 3.00 (PD2)			
	0.00— 2.00 (PD3)			
	0.00- 0.40 (PD4)			
	1.80 - 5.00 (PD1bis)	Sabbie e limi argillosi, sciolte	1.0	4.5
	3.00- 4.60 (PD2)			
	-			
	0.40- 6.00 (PD4)			
	5.00- 7.20 (PD1bis)	Alternanza di terreni prevalentemente sabbiosi, sia moderatamente addensati, che addensati, talvolta con orizzonti di sabbie limose, poco addensate	4.0÷29.0	14.0 – 92.0
	4.60- 4.60 (PD2)			
	-			
	6.00- 8.20 (PD4)			
				10.0÷57.0
			-	
			10.0÷46.0	35.0-154.0

(nessuno dei punti indagine, ad eccezione della prova PD3, ha raggiunto il substrato resistente per rifiuto strumentale)

Tipologia di prova	Profondità dal p.c. (m)	Stratigrafia	Rp (kg/cm ²)	correlazioni di Bergemann			
				ϕ°	Dr %	Cu (kg/cm ²)	mv
CPT	2.4 – 5.8 (P1)	Alternanza di orizzonti prevalentemente sabbiosi-limosi, sciolti e poco addensati, e orizzonti prevalentemente limoso-argillosi poco consistenti	5.0 / 25.0	25.0/30.0	25÷45	0.4÷0.6	0.028
	3.0- 6.2 (P2)						
	1.8 – 5.0 (P3)						
	5.8 – 6.4 (P1)	Sabbie limoso argillose da poco addensate a mediamente addensate, talvolta con livelli mediamente consistenti di limi-argillosi	14.0 / 43.0	26.0/27.0	55.0	1.0	0.010
	6.2- 6.6 (P2)		(in corrispondenza delle quote di 6.4, 6.6 e 5.40 m si ha un netto incremento della resistenza alla punta: 70/80 Kg/cm ²)				
	5.0- 5.6 (P3)						

Dove: R_d = resistenza dinamica alla punta (kg/cm²)
 Nspt = numero colpi Standard Penetration Test
 Dr (%) = densità relativa
 Φ = angolo d'attrito interno (°)
 Cu = coesione non drenata (Kg/cm²)
 mv = coefficiente di compressibilità volumetrica (cm²/Kg)

Oltre alle prove penetrometriche come già precisato è stato considerato un **sondaggio geognostico** a carotaggio continuo spinto fino alla profondità di 40.0 m eseguito nel 2009; il suo report grafico è visibile nell'ALL. 2. Durante la sua esecuzione è stato inoltre prelevato un **campione indisturbato di terreno** - C1- alla profondità di 3.0 m, per il quale sono state svolte le seguenti prove certificate:

- 1 - Umidità naturale (CNR - UNI 10008)
- 2 - Peso di volume naturale (Boll. Uff. CNR n. 40)
- 3 - Limiti di Atterberg (ASTM D 4318/84)
- 4 - Analisi granulometrica per setacciatura: per via umida (ASTM D 421/85)
- 5 - Analisi granulometrica della frazione fine: metodo del densimetro (ASTM D 1140/71)
- 6 - Prova edometrica a gradini di carico costante (ASTM 2435)
- 7 - Peso specifico dei grani (Boll. Uff. CNR n. 64)
- 8 - Prova di espansione laterale libera (ASTM D 2166/85)
- 9 - Prova di taglio (ASTM D 3080/72)

In sintesi, il campione è descritto come un **limo con sabbie debolmente argilloso** (CL - argille inorganiche di bassa plasticità secondo la Carta di Casagrande) ed è riconducibile ai terreni della copertura superficiale che, pur essendo costituita da materiale essenzialmente fine, presenta una discreta variabilità nelle frazioni sabbiose e limose.

Per quanto riguarda i dati geotecnici acquisiti e riportati nella tabella successiva, si precisa che le prove di laboratorio eseguite sono da considerarsi altamente affidabili sotto il profilo tecnico; tuttavia, occorre evidenziare che esse restituiscono una valutazione puntuale, riferita a un campione di terreno di spessore limitato a poche decine di centimetri.

Diversamente, le prove penetrometriche – sia dinamiche sia statiche – pur presentando un grado di precisione inferiore rispetto alle prove di laboratorio, forniscono in questo caso una caratterizzazione

maggiormente continua e rappresentativa dell'intero volume di terreno indagato e, in questa fase preliminare, rivestono un ruolo informativo e di inquadramento di indubbia utilità.

TABELLA RIASSUNTIVA CERTIFICATI DI PROVA N. 1054-1059/2006

CAMPIONE	S1C1
Profondità metri	3.0 - 3.6
Prova E.L.L.	
Cu (kPa)	2,8
Eti (kPa)	98
Prova di taglio	
C (kPa)	0,5
ϕ (°)	35,9
Prova edometrica	
Cr (indice di ricomprensione)	0,05984
Cr1 (indice di ricomprensione)	0,01046
Cc (indice di compressione)	0,21769
Cs (indice di rigonfiamento)	0,02152
Cv (cm ² /sec)	1,1218E-02
K (cm/sec)	8,98E-08
Cv (cm ² /sec)	1,7570E-02
K (cm/sec)	1,191E-07
Metodo di Schmertmann	
σ_v max (kPa)	140,2
Cr (indice di ricomprensione)	0,01046
Cc (indice di compressione)	0,23615
Parametri fisici	
Peso volume naturale (kN/m ³)	18,7
Peso volume secco (kN/m ³)	14,2
Peso specifico dei grani (kN/m ³)	26,60
Indice dei vuoti	0,816
Grado di saturazione (%)	97,26
Limiti di Atterberg	
Umidità naturale (%)	30,18
Limite liquido (%)	30,2
Limite plastico (%)	22,5
Indice plastico (%)	7,7
Indice di consistenza	0,00
Indice di attività	0,93
Classificaz. Casagrande	CL
Granulometria	
Ghiaia (%)	3,3
Sabbia (%)	33,6
Limo (%)	55,3
Argilla (%)	7,8

Michele


4.2- Modello stratigrafico del sottosuolo

Le indagini geognostiche considerate (v. ALL.1) e prossimi alle vicinanze del sito di interesse consentono di ritenere, con ragionevole attendibilità, che il sottosuolo nella zona in studio possa essere rappresentato dal seguente modello geologico-stratigrafico:

- ✓ Al disotto di uno strato di **terreni di riporto**, con spessore che può essere anche di alcuni metri, è presente una **copertura di sedimenti fini, con spessore di 5.0/6.6 m, composta da sabbie limoso- argillose sciole, soprattutto in prossimità della superficie, e di medio-bassa densità a profondità più elevate; tra i -**

5.0/-7.0 m di quota ha inizio un orizzonte prevalentemente sabbioso e sabbioso-limoso più addensato e/o un livello di terreni prevalentemente coesivi più consistenti.

Solo le prove penetrometriche statiche sono andate a rifiuto strumentale, intercettando uno strato che ne impedisce la penetrazione.

Infatti tutte le prove effettuate, negli ultimi tratti dell'investigazione (quote intorno ai 5.0 /6.0 metri) intercettano un livello decimetrico più granulare – **sabbie grossolane e sabbie ghiaiose** - dotato di migliori proprietà geotecniche che preclude l'inizio dei **depositi più grossolani di composizione prevalentemente ghiaioso-ciottolosa**, di facies francamente fluviale, presenti fino alla profondità di ca. **22 m**.

Altro dato da considerare e ottenuto unicamente dal campione di terreno indisturbato, è certamente quello fisico dei *pesi di volume per questi sedimenti di copertura*.

- ✓ γ_n - peso di volume naturale del terreno di **1870 kg/m³**
- ✓ γ_d peso di volume secco del terreno **1420 kg/m³**

✓ Superato questo orizzonti di depositi olocenici, il "materasso" di ghiaie e sabbie sopradetto, si appoggia sui sedimenti **alluvionali antichi**, di età villafranchiana, **consistenti ed addensati** (velocità di avanzamento alta e continua). La loro composizione, come evidenzia il sondaggio, è prevalentemente **limoso-argillosa**, con talvolta orizzonti sabbioso-ghiaiosi.

Questi depositi definiti dalla sezione geologica del PO, TAV. QG - 09, per tutto il territorio della pianura lucchese, come substrato coesivo sovraconsolidato di spessore superiore a 100 m.

5- MODELLO SISMICO LOCALE

Per la caratterizzazione geofisica dei terreni di fondazione è stata considerata una campagna di indagini geofisiche indirette, eseguite nelle vicinanze del lotto in esame e acquisite dal QC del Comune.

Le indagini considerate assumono un valore indicativo, in coerenza con la natura preliminare dello studio di vulnerabilità. Tuttavia, considerando la sostanziale omogeneità tra i terreni di fondazione interessati dalle indagini pregresse e quelli dell'area in esame, si ritiene che tali dati possano fornire informazioni significative.

In fase di progettazione dovranno comunque essere eseguiti tutti i necessari approfondimenti sul modello sismico, affinché esso non presenti interpretazioni dubbie o incoerenti con quanto emerge dal QC, e risultati conforme alle norme regionali e alle prescrizioni di fattibilità del Piano Operativo.

5.1- Indagini geofisiche

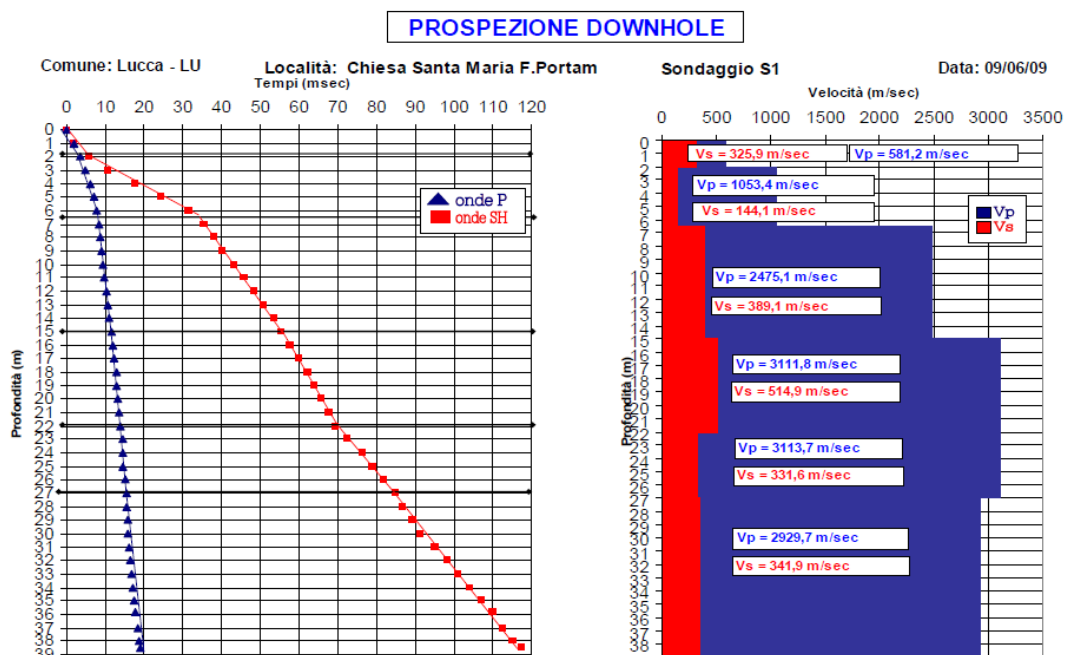
Al fine di giungere ad un modello sismico di riferimento per l'area in esame, si è proceduto come già accennato nel considerare indagini pregresse ottenute dal QC comunale, rimandando la sua accurata definizione e approfondimento nella successiva fase della progettazione.

La ricostruzione bidimensionale della locale sismo - stratigrafia del sito di interesse, mediante una **linea sismica a rifrazione**, effettuata in data 16/11/2004, con passo inter-geofonico di 4.0 m **per onde P e Sh**, si colloca ad una distanza di ca. 400 m dal sito di interesse. In particolare evidenzia uno strato a partire dal p.c. descritto come **terreni di riporto e sedimenti limoso-argillosi e sabbie da poco a mediamente addensate** di spessore fino ai **5.0 m ca.** (con V_p 720÷ 1280 m/sec; con V_h 220÷ 280 m/sec), seguito poi da uno strato spinto fino alla profondità di ca. 20 m di materiale prevalentemente granulare, costituito da **sabbie e ghiaie da mediamente addensate ad addensate e/o argille molto compatte** (con V_p 1965 m/sec; con V_h 430 m/sec).

Le lievi differenze di spessore osservate tra le indagini sismiche con onde P e con onde S, per la copertura, sono da attribuire al diverso comportamento delle due tipologie d'onda nei mezzi porosi in caso di circolazione idrica o saturazione. In particolare, l'acqua aumenta notevolmente la velocità delle onde di compressione (P) ma incide poco o negativamente sulla velocità di taglio (S), generando quindi contrasti apparenti nello spessore o nella profondità del limite stratigrafico.

Si osserva inoltre che per il profilo delle onde Sh **non è stato possibile intercettare il cosiddetto substrato sismico di riferimento** ($V_s > 800$ m/sec), dal momento che la V_{smax} alla massima profondità è risultata 430 m/sec).

A conferma di quanto già affermato, si riportano anche i reports grafici dell'indagine DH effettuata nel sondaggio geognostico considerato (v. ALL.1), reports che evidenziano i modesti valori delle onde sismiche in corrispondenza della copertura dei sedimenti fini (5/6 metri ca.) e il salto delle stesse all'intercettazione del materasso ghiaioso-sabbioso.



Per le informazioni circa la **frequenza fondamentale del sito**, è stata considerata una misura di **rumore sismico passivo** mediante tromografo (H.V.S.R.) eseguita sempre nel centro storico della città in prossimità della chiesa di *Santa Maria Forisportam*, ad una distanza di alcune centinaia di metri, dove peraltro ricadono anche le prove geognostiche di riferimento.

La misura di rumore sismico eseguita con il metodo H.V.S.R. ha permesso di ricavare la *frequenza fondamentale* del sito investigato.-In particolare, con riferimento all'Abaco tratto da *Albarello D. e Castellano S. (2011)*, qui sotto riportato.

Attraverso una stima semi qualitativa il dato disponibile, si evidenzia per il punto indagine considerato (v. in ALL.1) le seguenti osservazioni:

- ✓ un picco ad elevata frequenza, $f_0 < 1$ Hz (0.75 ± 0.01 Hz ca.), riferibile a un contrasto di rigidità molto profondo: maggiore di 100 m, riferibile con molta probabilità al passaggio sedimenti alluvionali e substrato litoide;
- ✓ un secondo picco, peraltro corrispondente a quello evidenziato dalla mappa delle indagini sismiche pari alla frequenza f_0 di 1.09 Hz, con *ampiezza di risonanza* $A_0 = 2.23$ del picco principale del rapporto H/V. Questo dato evidenzia un contrasto di velocità delle onde intorno alla profondità di 50 m ca.;
- ✓ un terzo picco intorno a $5.0 \div 6.0$ Hz di frequenza rappresentativo per la profondità di ca. 20 m del passaggio sedimenti alluvionali olocenici - depositi fluvio-lacustri. A questo corrisponde un periodo fondamentale del terreno pari a $T=0,02$ sec. Il picco del rapporto H/V, evidenzia un valore di 1.8 del rapporto H/V;
- ✓ infine una frequenza di risonanza con picco di 13 Hz, peraltro molto stretto, correlabile solo ad alcuni metri di profondità ($5 \div 10$ m), identificativo con molta probabilità del contrasto dei terreni sciolti in affioramento, e quelli più addensati sottostanti.

f_0 (Hz)	h (m)	
< 1	> 100	Centinaia di metri
1 - 2	50 - 100	
2 - 3	30 - 50	Decine di metri
3 - 5	20 - 30	
5 - 8	10 - 20	
8 - 20	5 - 10	Qualche metro
> 20	< 5	

H/V > 3 Alto contrasto
2 < H/V < 3 Basso Contrasto



Area in studio



Area di ubicazione della stesa sismica a rifrazione - SR



Area di ubicazione della misura di rumore sismico (HVSR) - TR099



Nella foto sopra tratta da Google Earth pro sono riportate le ubicazioni delle indagini sismiche considerate rispetto al sito di interesse

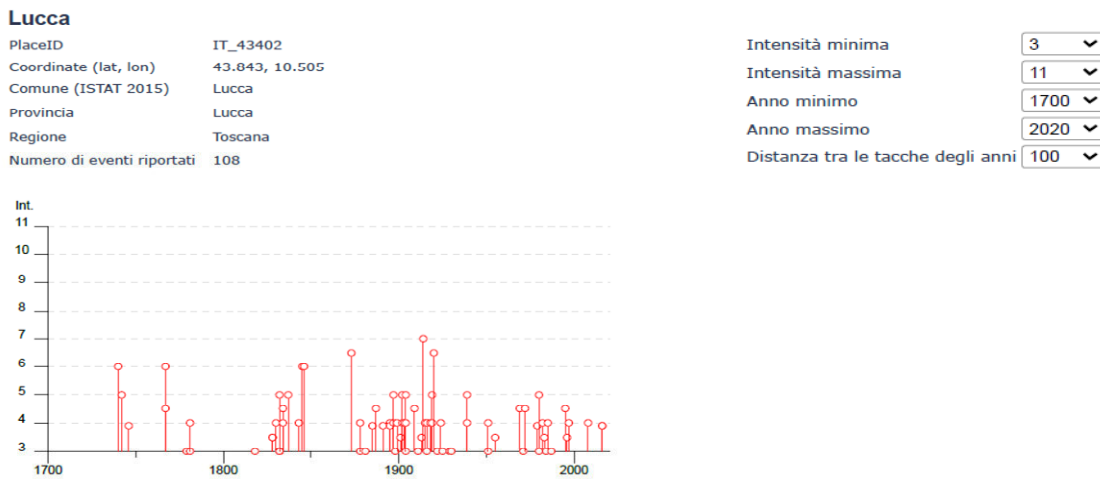
6 - CONSIDERAZIONI SULLA SISMICITÀ DEL SITO

6.1- Sismicità storica

La sismicità storica del Comune di LUCCA è stata desunta dal database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani utilizzate per la compilazione del catalogo parametrico **CPTI15 v. 4.0 - Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani** -Parametri dei terremoti: Rovida A., Locati M., Camassi R., Lollì B., Gasperini P., Antonucci A. (2022). *Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15), versione 4.0 [Data set]*.

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/cpti/cpti15.4>). Intensità macrosismiche - Rovida A., Locati M., Camassi R., Loli B., Gasperini P. (2020). The Italian earthquake catalogue CPTI15. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 18(7), 2953-2984. <https://doi.org/10.1007/s10518-020-00818-y>

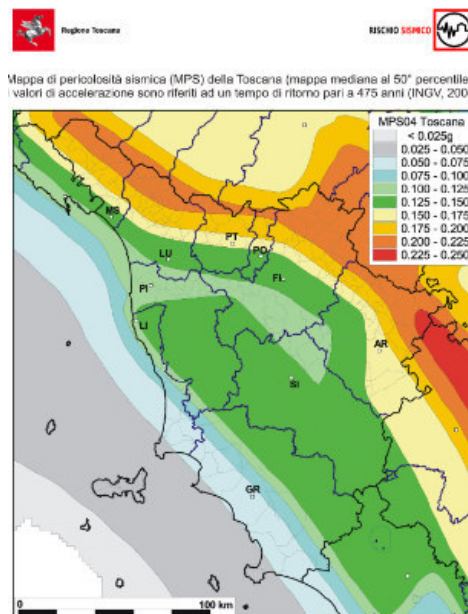
La sismicità del territorio comunale è riassunta graficamente nel diagramma riportato qui sotto. In questa tabella sono indicate oltre alla stessa intensità al sito (IMCS), l'anno, il mese (Me), il giorno (Gi) e l'orario, in cui si è verificato, l'intensità massima epicentrale in scala MCS (Io), e la magnitudo momento (Mw). Di seguito nella figura successiva sono riportati gli eventi sismici, aventi intensità superiori a M=3 a partire dall'anno 1700, per il territorio comunale di Lucca.



6.2 - Classificazione sismica

Secondo l'aggiornamento della classificazione sismica della Regione Toscana realizzato nel 2012, il territorio comunale di **LUCCA ricade nella Zona 3**.

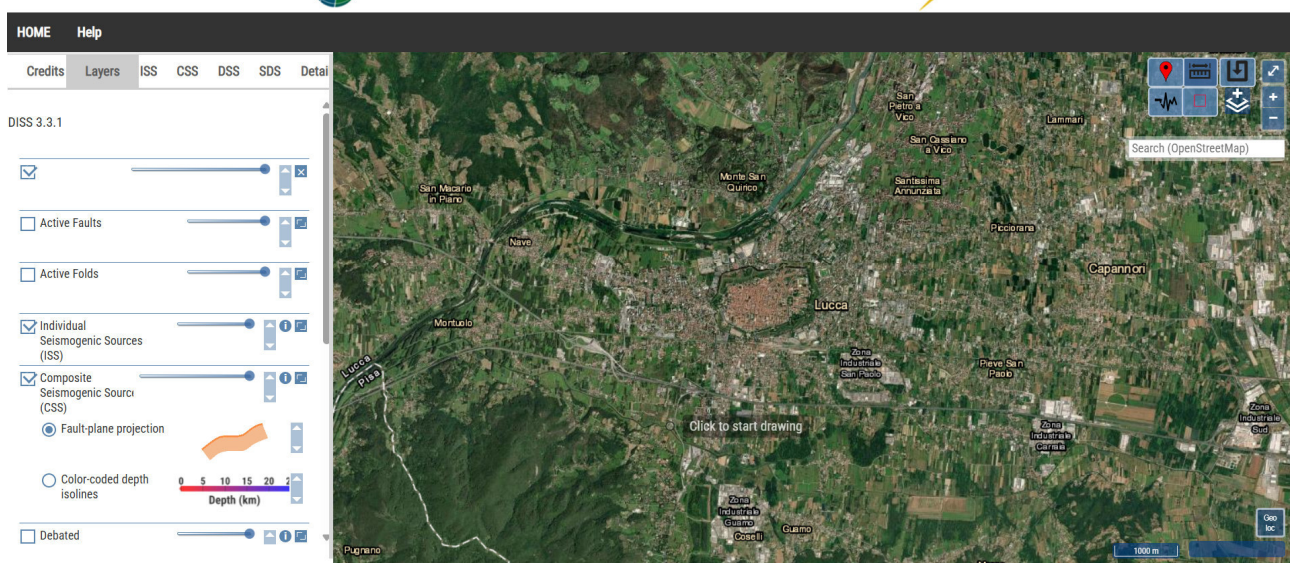
- (http://www.rete.toscana.it/sett/pta/sismica/03normativa/classificazione/classificazione_toscana/imgclassificazione/class_elenco2012.pdf).



Nell'ambito di questa classificazione, il territorio di LUCCA viene quindi indicato come soggetto a classificazione sismica ma caratterizzato da livelli di pericolosità relativamente ridotti: **zona sismica 3**.



Database of Individual Seismogenic Sources



Anche in riferimento al *Data base of Individual Seismogenic Sources* (INGV) nell'area in studio non sono rilevate strutture sismo-geneticamente attive, con Faglie capaci.

6.2 - Classificazione sismica di sito

Con l'entrata in vigore del D.M. 17 gennaio 2018 "Nuove norme tecniche per le costruzioni" (revisione del D.M. 14 gennaio 2008) la stima della pericolosità sismica viene definita mediante un approccio "sito dipendente" e non più tramite un criterio "zona dipendente"; per questo motivo l'azione sismica di progetto in base alla quale valutare il rispetto dei differenti stati limite presi in esame, viene definita a partire dalla pericolosità sismica di base del sito di costruzione quale elemento fondamentale per la determinazione dell'azione sismica stessa.

Per descrivere la **pericolosità sismica** di un generico sito con precisione sufficiente sia in termini geografici sia temporali nonché secondo quanto disciplinato dalla suddetta normativa, i risultati dello studio

di pericolosità saranno forniti in corrispondenza dei punti di un reticolo di riferimento, per differenti probabilità di superamento in 50 anni o diversi periodi di ritorno (ricadenti in un intervallo compreso almeno tra 30 e 2475 anni) ed in termini di accelerazione orizzontale massima a_g e dei parametri (a_g , F_0 , T_c^*) che permettono di definire gli spettri di risposta ai sensi delle suddette NTC nelle condizioni di sottosuolo rigido affiorante.

Tale condizione di scuotimento sismico del suolo sarà corretta per tenere conto delle modifiche prodotte dalle condizioni locali del sottosuolo (coefficienti di amplificazione stratigrafica SS) e dalla morfologia della superficie (coefficienti di amplificazione topografica ST) effettivamente presenti nel sito di costruzione.

Per definire l'azione sismica di progetto, infatti, si valuta l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi o, in assenza di tali analisi, facendo riferimento ad un **approccio semplificato che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento**.

Per quanto riguarda la categoria di sottosuolo le NTC18 alla tabella 3.2.II evidenziano le seguenti classi:

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

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreno molto rigido caratterizzati da valori di V_{s30} superiori a 800 m/sec, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3m</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 360 m/sec e 800 m/sec (ovvero $N_{spt,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $Cu_{,30} > 250KPa$ nei terreni a grana fina)</i>
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 180 m/sec e 360 m/sec (ovvero $15 < N_{spt,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < Cu_{,30} < 250KPa$ nei terreni a grana fina)</i>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} inferiori a 180 m/sec ($N_{spt,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $Cu_{,30} < 70KPa$ nei terreni a grana fina)</i>
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_{s30} > 800$ m/sec)</i>

Le NTC forniscono per ciascuna **categoria di suolo** come sopra definito nella tab. 3.2.II, espressioni dei **coefficienti correttivi di amplificazione** (SS e CC); in funzione dell'ubicazione morfologica del sito vengono altresì distinte nella tabella 3.2. III le seguenti categorie ciascuna caratterizzata da un proprio **coefficiente di amplificazione topografica** (ST).

Tab. 3.2.III – Categorie topografiche

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

Per la definizione della *categoria di suolo* al momento è stata considerata la mappa del PO comunale che per l'area di interesse si assegna la classificazione di area con **categoria di sottosuolo C, presunta** da dati stratigrafici. È evidente che trattandosi di un'area posta in prossimità del limite con area di categoria superiore, indispensabili saranno i necessari approfondimenti.



Estratto cartografico da tavola:

QG 10 - Centro

CARTA DELLE CATEGORIE DI SOTTOSUOLO

PS 2016

- | | |
|---|---|
| <p>C Aree con categoria di sottosuolo C accertato tramite indagine sismica</p> <p>C Aree con categoria di sottosuolo C presunto da dati stratigrafici</p> | <p>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati, o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_s 30$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s</p> |
|---|---|

Questa valutazione risulta mancante a livello di PO in quanto il QC dello stesso è stato supportato da specifici studi di **microzonazione - MS- di II° livello**, di cui riportiamo gli esiti cartografici nelle pagine successive.

Lo **studio di MS di I° livello**, in ogni caso, ha avuto l'obiettivo di supportare la pianificazione attuativa garantendo scelte orientate alla riduzione del rischio sismico e individuando l'eventuale necessità di ulteriori approfondimenti.

Dalla Carta della MOPS – elaborato **TAV. QG 08.4 del PO** – l'area di interesse è così descritta:

- **Zona 18:** Sabbie limose, miscela di sabbia e limo - SM (5-10m) su ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaia e sabbia - GW (10-30m) su coesivo sovraconsolidato - CO (10->100m) (>30 m nel complesso) su substrato lapideo-stratificato - LPS (>100 m)



Estratto cartografico da tavola:

QG 08.4 - CARTA DELLE MOPS

PO - 2024

Tr8 Punto di misura di rumore ambientale con numero d'ordine

B. Zone stabili suscettibili di amplificazioni stratigrafiche



Aggiungendo ulteriori informazioni per gli aspetti sismici, di seguito si mostrano, mediante opportune mappe per l'area in esame, gli esiti degli studi di **MS di II° livello**, ossia la redazione della **Carte delle frequenze fondamentali dei terreni – TAV. QG.06.4**.

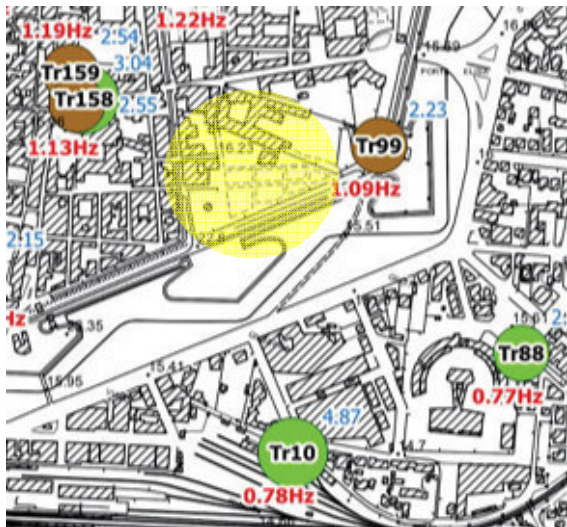
L'elaborazione delle carte di *Microzonazione Sismica di II° livello* si basa sulla caratterizzazione stratigrafica e sismica dei terreni di *copertura* e *del bedrock*, seguita dal calcolo del **parametro Ha**, definito come rapporto tra lo spessore dei depositi e la lunghezza d'onda sismica di riferimento.

Sulla base dei valori di *Ha*, della velocità equivalente delle onde di taglio (*Vs30* o *Vsh*, qualora il bedrock si trovi a meno di 30 m) e della *frequenza fondamentale di risonanza dei depositi* (f_0), i **fattori di amplificazione - FHa** vengono determinati per le diverse verticale di indagine considerate (HVSr), tramite gli abachi della Regione Toscana, distinti per gli intervalli di **periodo 0.1–0.5 s e 0.5–1.0 s**.

I valori di FHa così ottenuti vengono quindi associati alle diverse zone della Carta delle MOPS, permettendo di ottenere una o più microzone di II° livello. Pertanto le carte tematiche forniscono un quadro sintetico e coerente del comportamento sismico locale (aree stabili, stabili con amplificazione, suscettibili di instabilità) e supportano l'eventuale necessità di approfondimenti mediante analisi numeriche specifiche.

Estratto cartografico da tavola:

CARTA DELLE FREQUENZE FONDAMENTALI DEI TERRENI – QG.06.4 – PO 2024



Frequenza di risonanza del picco principale (Hz)

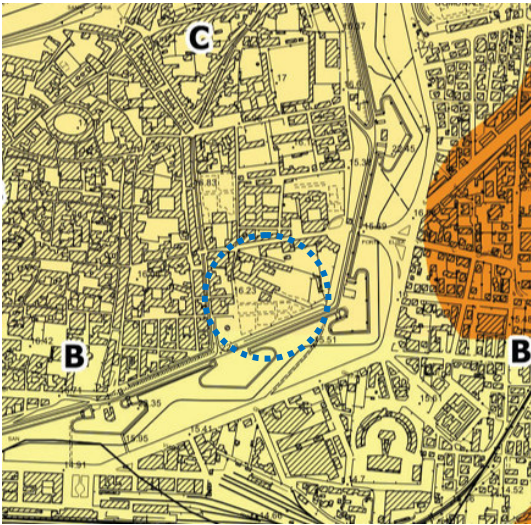
- nessuna risonanza
- 0.1 ≤ f₀ < 0.5
- 0.5 ≤ f₀ < 1.0
- 1.0 ≤ f₀ < 2.5
- 2.5 ≤ f₀ < 5.0
- 5.0 ≤ f₀ < 7.5
- 7.5 ≤ f₀ < 10.0
- 10.0 ≤ f₀ < 15.0
- 15.0 ≤ f₀ < 20.0

Ampiezza di risonanza del picco principale (H/V)

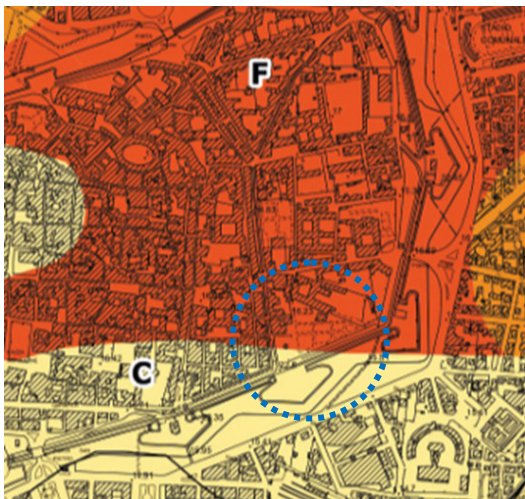
- nessuna risonanza
- 1.1 ≤ A₀ < 2.0
- 2.0 ≤ A₀ < 3.0
- 3.0 ≤ A₀ < 5.0
- 5.0 ≤ A₀

10.25 Hz
Tr8
3.4 In nero il numero d'ordine delle stazioni, in rosso i valori di frequenza ed in blu i valori di ampiezza di risonanza

Estratto cartografico da tavola: **CARTA MS 2 - QG 07a.4 - FHa 0.1- 0.5**



Estratto cartografico da tavola: **CARTA MS 2 - QG 07b.4 - FHa 0.5- 1.0**



Zone stabili

A FA = 1

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

B FA = 1.1 - 1.2

C FA = 1.3 - 1.4

D FA = 1.5 - 1.6

E FA = 1.7 - 1.8

F FA = 1.9 - 2.0

G FA = 2.1 - 2.2

Estratto cartografico da tavola: **CARTA MS 2 - QG 07c.4 - FHa Max**



Si puntualizza che i **fattori di amplificazione, F**, derivanti dalla cartografia comunale di Microzonazione Sismica di Livello 2 possono variare anche in presenza di una medesima successione stratigrafica. Ciò dipende dal **parametro Ha**, utilizzato negli abachi regionali, che esprime il rapporto tra lo spessore dei terreni di copertura e la lunghezza d'onda sismica di riferimento.

Poiché Ha riflette il comportamento dinamico del deposito (rigidezza, Vs media, frequenza fondamentale), valori differenti di Ha comportano diversi livelli di amplificazione: per Ha più bassi si ottengono amplificazioni contenute, mentre per Ha più elevati possono manifestarsi condizioni più favorevoli alla risonanza, con conseguente incremento del fattore F. Pertanto, le **variazioni di F riportate nella cartografia non dipendono esclusivamente dalla stratigrafia, ma dal comportamento dinamico del sistema copertura-bedrock sintetizzato nel parametro Ha.**

Nel caso specifico, per valori bassi del parametro Ha (0.1–0.5), i terreni di copertura — caratterizzati da uno spessore ridotto e da una rigidezza piuttosto modesta — non sono in grado di generare fenomeni significativi di risonanza. In tali condizioni, l'amplificazione risultante risulta generalmente contenuta ($F \approx 1.1-1.2$).»

Per valori più elevati di Ha (0.5–1.0), lo spessore e la deformabilità dei depositi sono invece tali da favorire l'innescio di condizioni risonanti tra copertura e bedrock, con conseguente incremento dei valori di amplificazione (F fino a 1.9–2.0).

Come già puntualizzato, una stessa stratigrafia è quindi in grado di produrre valori di F differenti che derivano non solo dalla composizione litotecnica dei terreni, ma principalmente dal comportamento dinamico del sistema copertura-bedrock, espresso dal parametro Ha. Gli abachi regionali non restituiscono dunque un valore litologico univoco, ma una stima della risposta sismica locale basata sulla relazione tra spessore dei depositi, velocità Vs, frequenza fondamentale e condizioni dinamiche del sito.

6.3 - Coefficiente di amplificazione topografica

Per quanto riguarda il coefficiente di **amplificazione topografica** così come riportato nella tabella 3.2.V delle N.T.C. si evidenzia come l'area in esame oggetto di verifica della vulnerabilità sismica, sia ubicato nell'ambito della pianura lucchese, in un contesto dove la topografia risulta praticamente orizzontale, con una inclinazione media $i < 15^\circ$.

Per questo motivo si potrà applicare cautelativamente una **categoria topografica T1 a cui corrisponde un coefficiente di amplificazione topografica ST =1,00.**

6.4- Individuazione dei nodi del reticolo di riferimento e calcolo dei parametri sismici.

Dalle informazioni fornite dalla progettazione, l'intervento in esame rientra nel tipo di costruzione 2 secondo quanto riportato nella tab. 2.4.I delle NTC (costruzioni con livelli di prestazioni ordinari), per il quale è stata prevista una vita nominale $VN=50$ anni.

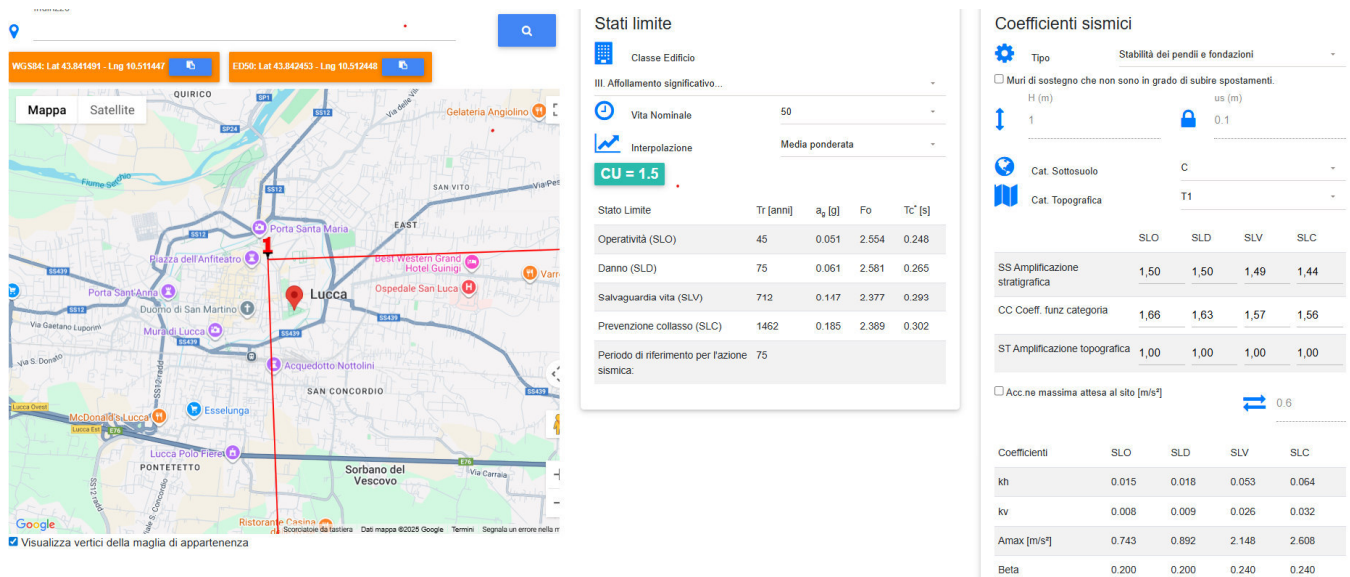
Analogamente è stato definito che tale intervento possa ricadere in classe d'uso III (costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità...). La tab. 2.4.II delle NTC prevede che per tale classe d'uso sia computabile un relativo coefficiente d'uso pari a $C_u=2,0$ parametro necessario per poter ricavare il periodo di riferimento VR in relazione al quale saranno valutate le azioni sismiche sulla costruzione.

Nella successiva tabella si riassumono i parametri sismici necessari per determinare i coefficienti sismici sul sito di riferimento come forniti dal Progettista Strutturale:

Tabella riepilogativa parametri sismici

Tipo di costruzione		2
Vita nominale	V_N	50 anni
Classe d'uso		III
Coefficiente d'uso	C_U	1.5
Periodo di riferimento per l'azione sismica	$V_R = V_N \cdot C_U$	75
Categoria di sottosuolo individuata da indagine sismica		C
Categoria topografica individuata		T1

Indicativamente in questa sede, abbiamo comunque deciso di procedere la definizione dei parametri sismici per l'area in esame. In particolare per il calcolo dei *parametri sismici* e l'interpolazione degli stessi nei nodi del reticolo (ag, FO, T*C) di riferimento, è stato fatto ricorso al software on line (<https://geoapp.eu/parametrisismici2018/>) *GeoStru PS Advance*, inserendo le coordinate del sito ed i dati relativi alla Classe dell'edificio, alla Vita nominale, Periodo di riferimento nonché la Categoria di sottosuolo e la Categoria topografica. Questo permette di ricavare per i vari *stati limite* sia di esercizio (SLO, SLD) sia *ultimi* (SLV, SLC) e relativi e prefissati tempi di ritorno dell'azione sismica TR, i coefficienti sismici del sito in esame (v. ALL. 3)



6.5 - Suscettibilità alla liquefazione

Dal PO del comune di Lucca si riporta quanto segue.

[...]

Il D.M. 17 gennaio 2018 – *Norme tecniche per le costruzioni*, prescrive che la verifica alla liquefazione non sia eseguita qualora si verifichi almeno una delle seguenti condizioni:

- 1) accelerazione massima attesa in superficie in condizioni free-field (assenza di manufatti) minore di 0.1 g;
- 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 valore della resistenza determinata con prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione verticale efficace di 100 kPa e $qc1N$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione verticale efficace di 100 kPa;

4) *distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nelle Fig. 7.11.1 delle norme.*

Per il territorio in esame, assunto che non si verifichi alcuna delle condizioni suddette, si ritiene comunque che non sussistano le condizioni per cui possano verificarsi fenomeni di liquefazione, sia in relazione alla bassa energia del terremoto atteso, sia in relazione all'assenza di depositi di sabbie pulite.

[...]

Sulla base di queste considerazioni e in assenza, al momento, di dati sito-specifici, per il caso in esame si è ritenuto opportuno non eseguire la verifica della suscettibilità al fenomeno di liquefazione. Tale aspetto potrà essere approfondito in sede di PFTE mediante l'utilizzo di un software adeguato, integrato da informazioni stratigrafiche, idrogeologiche e geofisiche di dettaglio e da una corretta valutazione della magnitudo di riferimento.

7 - CONCLUSIONI

Su incarico della Committenza – Comune di Lucca, si è proceduto alla realizzazione del presente studio preliminare di supporto alla *Valutazione della vulnerabilità sismica* per i LAVORI DI RESTAURO E RISANAMENTO CONSERVATIVO DELLE SERRE ORTO BOTANICO del Comune, suddetto, via del Giardino Botanico.

Il presente studio ha esaminato la modellazione geologica, idrogeologica e sismica preliminare del sito, basandosi su indagini geognostiche e sismiche eseguite in aree caratterizzate da terreni con composizione e assetto geologico-strutturale analoghi.

Considerato il carattere preliminare dell'analisi, si evidenzia la necessità che, durante la fase progettuale, tutti gli aspetti trattati vengano approfonditi nel dettaglio mediante l'esecuzione di una campagna di indagini geognostiche e geofisiche commisurata alla classe di intervento, ai sensi dell'art. 5 'Classi di indagini geologiche, geofisiche e geotecniche' del D.P.G.R. 19 gennaio 2022, n. 1/R 'Disciplina sulle modalità di svolgimento dell'attività di vigilanza e verifica delle opere e delle costruzioni in zone soggette a rischio sismico'.

Eventuali impedimenti che dovessero rendere difficoltosa l'esecuzione delle indagini, per indisponibilità degli spazi di esecuzione operativa o altre evenienze, al momento non definibili, saranno valutati in sede di progettazione, in accordo con i tecnici degli uffici competenti.

Lucca, 04.12.2025

Geologa Alessandra Biserna



Regione Toscana



Regione Toscana - SIPT: Cartoteca

Scala 1 :10,000

622,137.9



TAV. 1 – Inquadramento topografico



area di interesse

TAV. 2 – Carta geologica

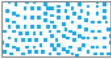


Estratto cartografico dal QUADRO GEOLOGICO -
tav. QG 01 Centro - Carta geologica



scala 1: 10 000

DEPOSITI QUATERNARI

Depositi alluvionali attuali e recenti

- b2**  *Ghiaie eterometriche, sabbie e limi di composizione generalmente poligenica dei letti fluviali attuali. Età: Olocene*
- b1**  *Ghiaie eterometriche, sabbie e limi di composizione generalmente poligenica dei terrazzi fluviali recenti (b1). Età: Olocene*
-  Area di interesse

ALL.1- Indagini geognostiche e sismiche pregresse

Prove Penetrometriche Dinamiche DPSH

(Classifica ISSMFE 1988)

Committente : Parrocchia di S. Maria Forisportam
 Località: Piazza S. Maria Forisportam - LU
 Data: 1/23/2007
 N° totale di prove: 4

Cartella: S.MariaForisportam060926Parrocchia

Penetrometro dinamico superpesante tipo "Emilia"

Ditta produttrice: PAGANI GEOTHECNICAL EQUIPMENT
 Modello: TG63-100

Caratteristiche

M = 63,5 kg peso massa battente
 H = 75 cm altezza di caduta del maglio
 Ms = 0,7 kg peso sistema di battuta (massa passiva)
 d = 5,1 cm diametro punta conica
 A = 20 cmq sezione della punta conica
 ϕ = 60° angolo apertura punta
 L = 1,0 m lunghezza aste
 da = 3,2 cm diametro delle aste
 dr = 4,8 cm diametro eventuale rivestimento
 Pa = 6,25 kg peso delle aste
 δ = 20 cm penetrazione standard

Legenda

N_{20} = numero di colpi/penetrazione standard
 Rd = resistenza dinamica alla punta (kg/cmq)
 Nriv = numero di colpi/avanzamento rivestimento
 N_{20}^* = numero di colpi corretto in funzione dell'attrito sulle aste
 (solo con punta a perdere in prove senza rivestimento)
 Rd* = resistenza dinamica alla punta corretta in funzione
 dell'attrito sulle aste (kg/cmq) (solo con p.a p. in pr. s. riv.)
 β = fattore di corr. con il numero di colpi della prova SPT
 Nspt = numero di colpi della prova SPT

N.B.: I valori derivati del numero di colpi della prova SPT si basano sulle correlazioni empiriche o semiempiriche proposte da vari Autori. Si declina qualsiasi responsabilità sull'uso di tali dati senza adeguate verifiche dirette (sondaggi, prove SPT)

GEOPROVE S.a.S.
 Il Socio Accomandatario
 e Direttore Tecnico
 Dr. Geol. Pietro Barsanti
 (n° 193 Albo dei Geologi della Toscana)

Prova penetrometrica N° 1 bis

Committente : Parrocchia di S. Maria Forisportam Data: 23/01/07
 Località: Piazza S. Maria Forisportam - LU

Quota: p.c.

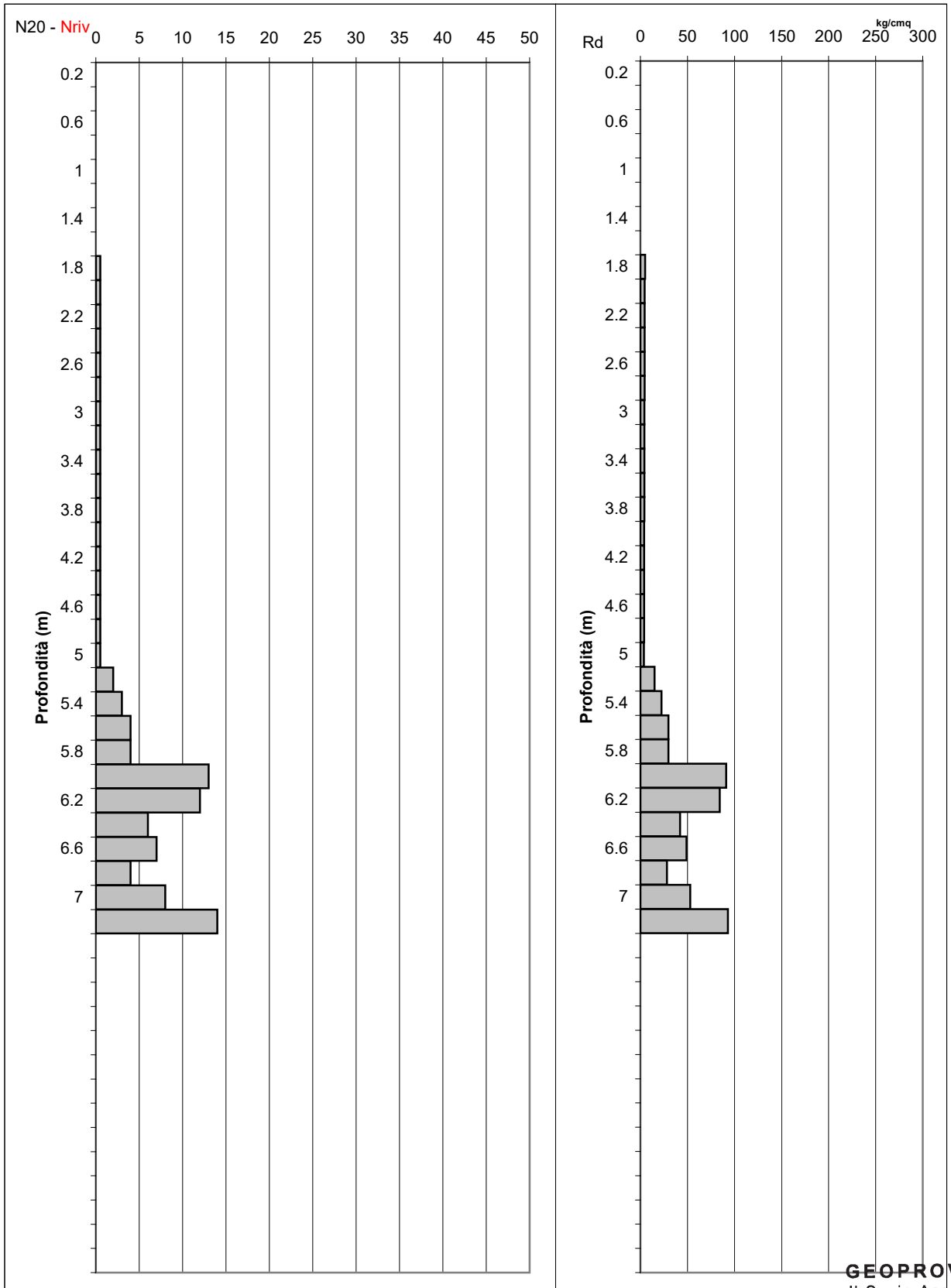
Livello della falda: non mis.

Letture di camp.			Valori derivati				
profond.	N ₂₀	Nriv	Rd	N ₂₀ *	Rd*	β	Nspt
0.2							
0.4							
0.6							
0.8							
1							
1.2							
1.4							
1.6							
1.8	0.5		4.94	1	4.94	2.12	1
2	0.5		4.57	1	4.57	2.12	1
2.2	0.5		4.57	1	4.57	2.12	1
2.4	0.5		4.57	1	4.57	2.12	1
2.6	0.5		4.57	1	4.57	2.12	1
2.8	0.5		4.57	1	4.57	2.12	1
3	0.5		4.25	1	4.25	2.12	1
3.2	0.5		4.25	1	4.25	2.12	1
3.4	0.5		4.25	1	4.25	2.12	1
3.6	0.5		4.25	1	4.25	2.12	1
3.8	0.5		4.25	1	4.25	2.12	1
4	0.5		3.97	1	3.97	2.12	1
4.2	0.5		3.97	1	3.97	2.12	1
4.4	0.5		3.97	1	3.97	2.12	1
4.6	0.5		3.97	1	3.97	2.12	1
4.8	0.5		3.97	1	3.97	2.12	1
5	0.5		3.72	1	3.72	2.12	1
5.2	2		14.90	2	14.90	2.12	4
5.4	3		22.35	3	22.35	2.12	6
5.6	4		29.79	4	29.79	2.12	8
5.8	4		29.79	4	29.79	2.12	8
6	13		91.22	13	91.22	2.12	27
6.2	12		84.20	12	84.20	2.12	25
6.4	6		42.10	6	42.10	2.12	12
6.6	7		49.12	7	49.12	2.12	14
6.8	4		28.07	4	28.07	2.12	8
7	8		53.06	8	53.06	2.12	16
7.2	14		92.85	14	92.85	2.12	29
Prova riferita al piano della pavimentazione interna							

GEOPROVE S.a.S.
 Il Socio Accomandatario
 e Direttore tecnico
 Dr. Geol. Pietro Barsanti
 (n° 193 Albo dei Geologi della Toscana)

Prova penetrometrica N° 1 bis

Committente :	Parrocchia di S. Maria Forisportam	Data:	1/23/2007
Località:	Piazza S. Maria Forisportam - LU	File:	pdp0701231bis



GEOPROVE S.a.S.
 Il Socio-Accomandatario
 e Direttore Tecnico
 Dr. Geol. Pietro Barsanti
 (n° 193 Albo dei Geologi della Toscana)

Prova penetrometrica N° 2

Committente : Parrocchia di S. Maria Forisportam Data: 26/09/06
 Località: Piazza S. Maria Forisportam - LU

Quota: p.c.

Livello della falda: non mis.

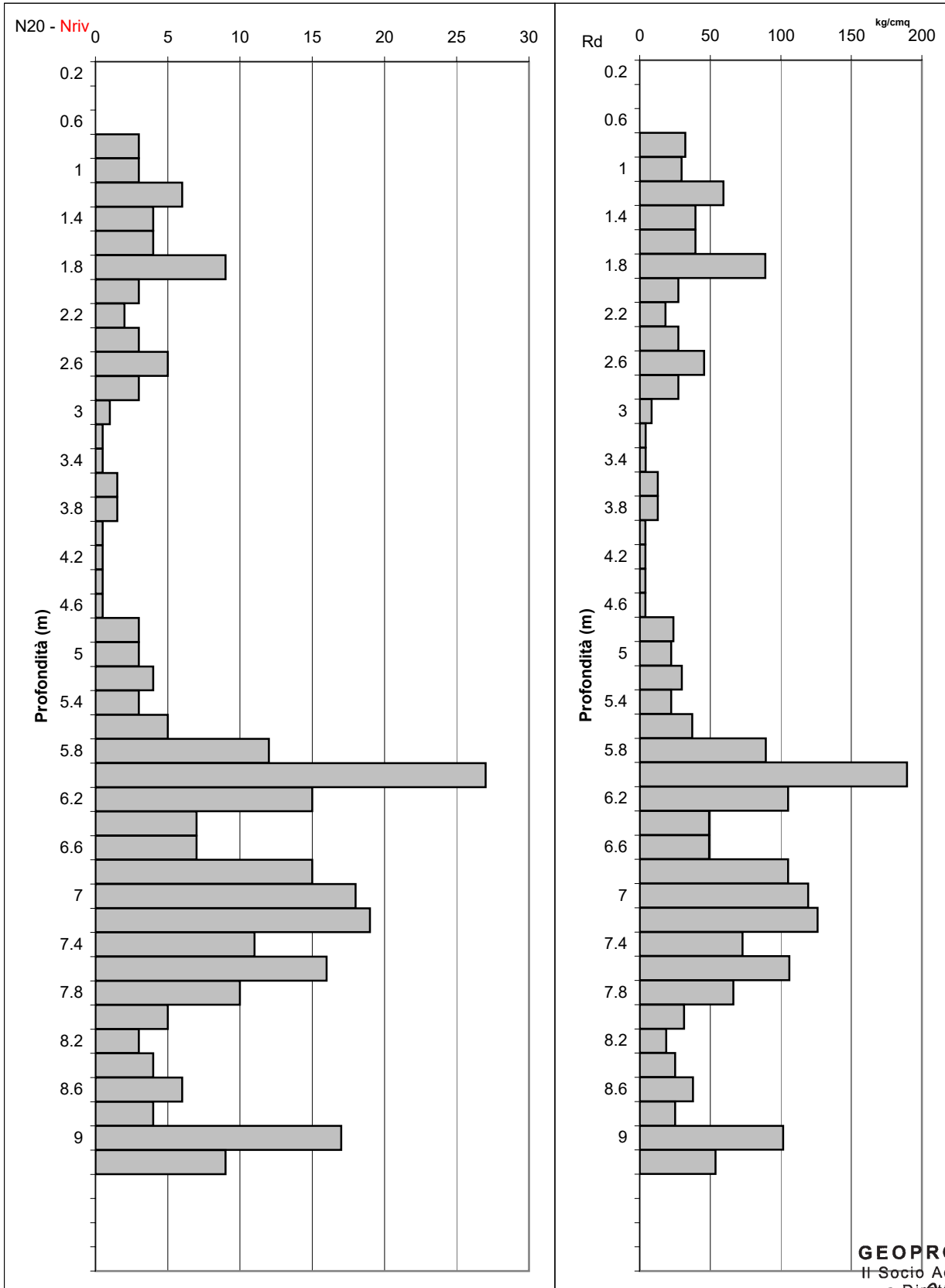
Letture di camp.			Valori derivati				
profond.	N ₂₀	Nriv	Rd	N ₂₀ *	Rd*	β	Nspt
0.2	0		0.00	0	0.00	2.12	0
0.4	0		0.00	0	0.00	2.12	0
0.6	0		0.00	0	0.00	2.12	0
0.8	3		32.29	3	32.29	2.12	6
1	3		29.65	3	29.65	2.12	6
1.2	6		59.30	6	59.30	2.12	12
1.4	4		39.53	4	39.53	2.12	8
1.6	4		39.53	4	39.53	2.12	8
1.8	9		88.95	9	88.95	2.12	19
2	3		27.41	3	27.41	2.12	6
2.2	2		18.27	2	18.27	2.12	4
2.4	3		27.41	3	27.41	2.12	6
2.6	5		45.68	5	45.68	2.12	10
2.8	3		27.41	3	27.41	2.12	6
3	1		8.49	1	8.49	2.12	2
3.2	0.5		4.25	1	4.25	2.12	1
3.4	0.5		4.25	1	4.25	2.12	1
3.6	1.5		12.74	2	12.74	2.12	3
3.8	1.5		12.74	2	12.74	2.12	3
4	0.5		3.97	1	3.97	2.12	1
4.2	0.5		3.97	1	3.97	2.12	1
4.4	0.5		3.97	1	3.97	2.12	1
4.6	0.5		3.97	1	3.97	2.12	1
4.8	3		23.81	3	23.81	2.12	6
5	3		22.35	3	22.35	2.12	6
5.2	4		29.79	4	29.79	2.12	8
5.4	3		22.35	3	22.35	2.12	6
5.6	5		37.24	5	37.24	2.12	10
5.8	12		89.38	12	89.38	2.12	25
6	27		189.45	27	189.45	2.12	57
6.2	15		105.25	15	105.25	2.12	31
6.4	7		49.12	7	49.12	2.12	14
6.6	7		49.12	7	49.12	2.12	14
6.8	15		105.25	15	105.25	2.12	31
7	18		119.38	18	119.38	2.12	38
7.2	19		126.01	19	126.01	2.12	40
7.4	11		72.95	11	72.95	2.12	23
7.6	16		106.11	16	106.11	2.12	33
7.8	10		66.32	10	66.32	2.12	21
8	5		31.44	5	31.44	2.12	10
8.2	3		18.86	3	18.86	2.12	6
8.4	4		25.15	4	25.15	2.12	8
8.6	6		37.72	6	37.72	2.12	12
8.8	4		25.15	4	25.15	2.12	8
9	17		101.60	17	101.60	2.12	36
9.2	9		53.79	9	53.79	2.12	19

Prova eseguita senza rivestimento

GEOPROVE S.a.S.
 Il Socio Accomandatario
 e Direttore Tecnico
 Dr. Geol. Pietro Barsanti
 (n° 193 Albo dei Geologi della Toscana)

Prova penetrometrica N° 2

Committente :	Parrocchia di S. Maria Forisportam	Data:	9/26/2006
Località:	Piazza S. Maria Forisportam - LU	File:	pdp0609262



GEOPROVE S.a.S.
 Il Socio Accomandatario
 e Direttore Tecnico
 Dr. Geol. Pietro Barsanti
 (n° 193 Albo dei Geologi della Toscana)

Prova penetrometrica dinamica pesante DPSH

Prova penetrometrica N° 3

Committente : Parrocchia di S. Maria Forisportam Data: 26/09/06
 Località: Piazza S. Maria Forisportam - LU

Quota: p.c.

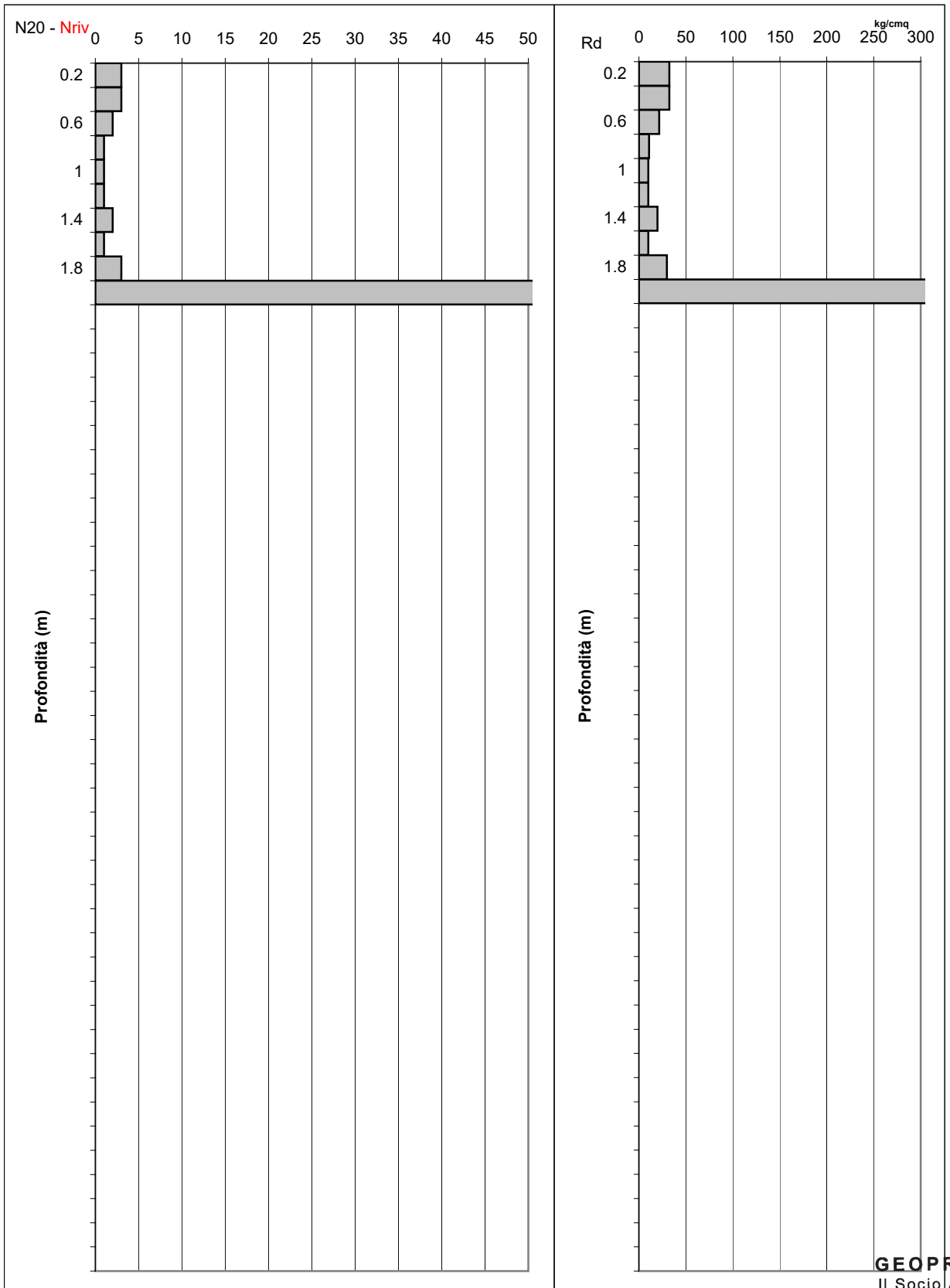
Livello della falda: non mis.

Lecture di camp.			Valori derivati				
profond.	N ₂₀	Nriv	Rd	N ₂₀ *	Rd*	β	Nspt
0.2	3		32.29	3	32.29	2.12	6
0.4	3		32.29	3	32.29	2.12	6
0.6	2		21.52	2	21.52	2.12	4
0.8	1		10.76	1	10.76	2.12	2
1	1		9.88	1	9.88	2.12	2
1.2	1		9.88	1	9.88	2.12	2
1.4	2		19.77	2	19.77	2.12	4
1.6	1		9.88	1	9.88	2.12	2
1.8	3		29.65	3	29.65	2.12	6
2	80		730.92	80	730.92	2.12	169

GEOPROVE S.a.S.
 Il Socio Accomandatario
 e Direttore Tecnico
 Dr. Geol. Pietro Barsanti
 (n° 193 Albo dei Geologi della Toscana)

Prova penetrometrica N° 3

Committente :	Parrocchia di S. Maria Forisportam	Data:	9/26/2006
Località:	Piazza S. Maria Forisportam - LU	File:	pdp0609263



GEOPROVE S.a.S.
Il Socio Accomandatario
e Direttore Tecnico
Dr. Geol. Pietro Barsanti
(n° 193 Albo dei Geologi della Toscana)

Prova penetrometrica N° 4

Committente : Parrocchia di S. Maria Forisportam Data: 23/01/07
 Località: Piazza S. Maria Forisportam - LU

Quota: p.c.

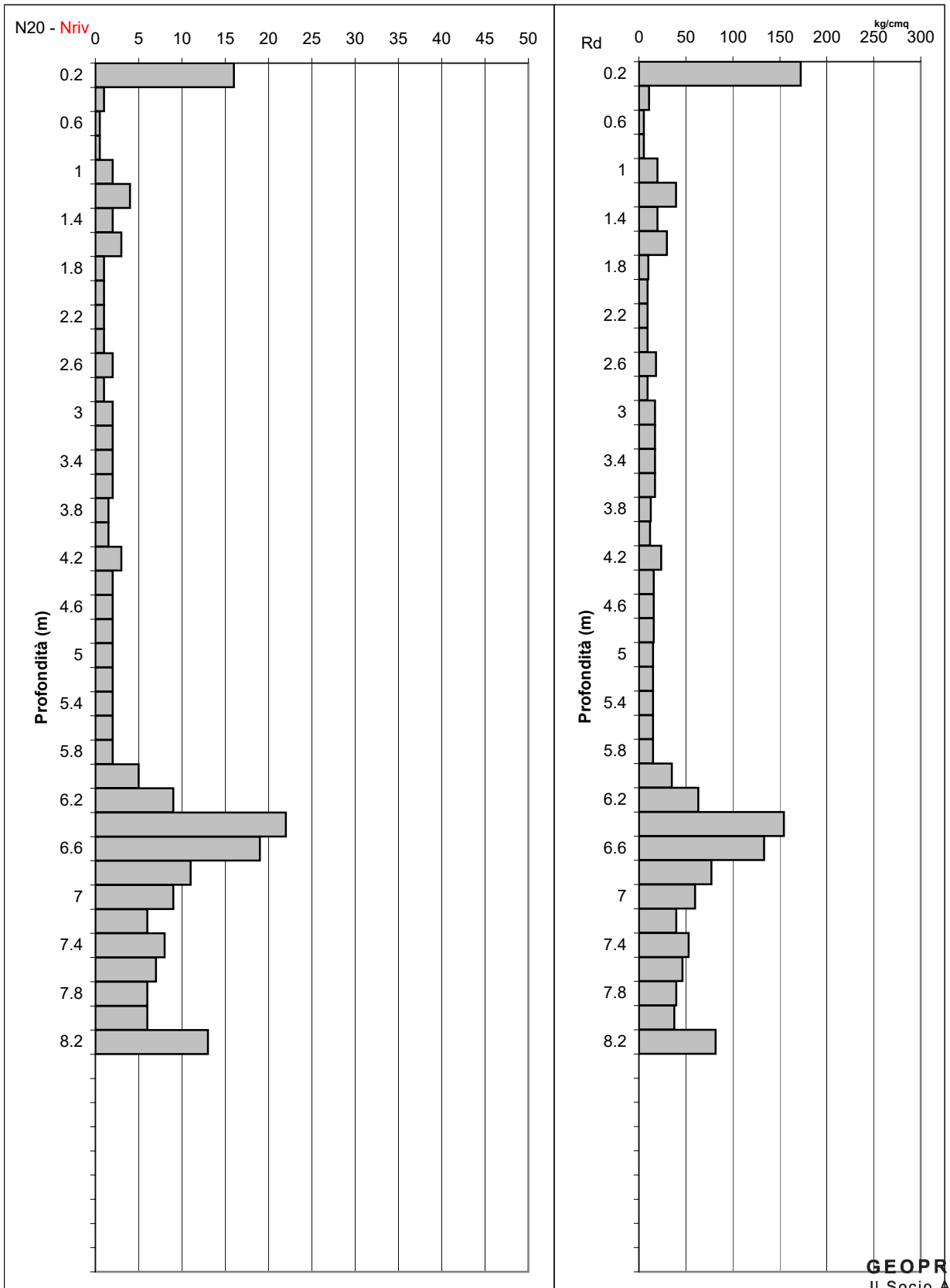
Livello della falda: non mis.

Letture di camp.			Valori derivati				
profond.	N ₂₀	Nriv	Rd	N ₂₀ *	Rd*	β	Nspt
0.2	16		172.20	16	172.20	2.12	33
0.4	1		10.76	1	10.76	2.12	2
0.6	0.5		5.38	1	5.38	2.12	1
0.8	0.5		5.38	1	5.38	2.12	1
1	2		19.77	2	19.77	2.12	4
1.2	4		39.53	4	39.53	2.12	8
1.4	2		19.77	2	19.77	2.12	4
1.6	3		29.65	3	29.65	2.12	6
1.8	1		9.88	1	9.88	2.12	2
2	1		9.14	1	9.14	2.12	2
2.2	1		9.14	1	9.14	2.12	2
2.4	1		9.14	1	9.14	2.12	2
2.6	2		18.27	2	18.27	2.12	4
2.8	1		9.14	1	9.14	2.12	2
3	2		16.99	2	16.99	2.12	4
3.2	2		16.99	2	16.99	2.12	4
3.4	2		16.99	2	16.99	2.12	4
3.6	2		16.99	2	16.99	2.12	4
3.8	1.5		12.74	2	12.74	2.12	3
4	1.5		11.91	2	11.91	2.12	3
4.2	3		23.81	3	23.81	2.12	6
4.4	2		15.88	2	15.88	2.12	4
4.6	2		15.88	2	15.88	2.12	4
4.8	2		15.88	2	15.88	2.12	4
5	2		14.90	2	14.90	2.12	4
5.2	2		14.90	2	14.90	2.12	4
5.4	2		14.90	2	14.90	2.12	4
5.6	2		14.90	2	14.90	2.12	4
5.8	2		14.90	2	14.90	2.12	4
6	5		35.08	5	35.08	2.12	10
6.2	9		63.15	9	63.15	2.12	19
6.4	22		154.37	22	154.37	2.12	46
6.6	19		133.32	19	133.32	2.12	40
6.8	11		77.18	11	77.18	2.12	23
7	9		59.69	9	59.69	2.12	19
7.2	6		39.79	6	39.79	2.12	12
7.4	8		53.06	8	53.06	2.12	16
7.6	7		46.42	7	46.42	2.12	14
7.8	6		39.79	6	39.79	2.12	12
8	6		37.72	6	37.72	2.12	12
8.2	13		81.73	13	81.73	2.12	27
Prova riferita al piano della strada							

GEOPROVE S.a.S.
 Il Socio Accomandatario
 e Direttore tecnico
 Dr. Geol. Pietro Barsanti
 (n° 193 Albo dei Geologi della Toscana)

Prova penetrometrica N° 4

Committente :	Parrocchia di S. Maria Forisportam	Data:	1/23/2007
Località:	Piazza S. Maria Forisportam - LU	File:	pdp0701234



GEOPROVE S.a.S.
 Il Socio Accomandatario
 e Direttore Tecnico
 Dr. Geol. Pietro Barsanti
 (n° 193 Albo dei Geologi della Toscana)



Prove Penetrometriche Statiche

Committente : Parrocchia di S. Maria Forisportam
 Località: Piazza S. Maria Forisportam - LU
 Data: 26/09/06
 N° totale di prove: 3

Cartella: S.MariaForisportam060926Parrocchia

Penetrometro

Ditta produttrice: PAGANI GEOTHECNICAL EQUIPMENT
 Modello: TG63-100
 Spinta: 100 KN
 Punta: meccanica tipo Begemann
 Cella di carico di sommità: Hottinger - Classe: 0,2
 Centralina elettronica di rilevamento dati

Legenda

A	= resistenza totale alla punta	(Kg)
B	= resistenza totale alla punta + manicoto	(Kg)
T	= resistenza totale	(Kg)
Rp	= resistenza alla punta	(Kg/cmq)
Rf	= resistenza laterale	(Kg/cmq)
Rp/Rf	= rapporto Begemann	

Valori derivati

Φ	= angolo d'attrito interno	(°)
Dr	= densità relativa	(%)
Cu	= coesione non drenata	(Kg/cmq)
mv	= coefficiente di compressibilità volumetrica	(cmq/Kg)

N.B.: I valori derivati si basano sulle correlazioni empiriche o semiempiriche proposte da Begemann, Searle, Shmertmann e Altri. Si declina qualsiasi responsabilità sull'uso di tali dati senza adeguate verifiche dirette (sondaggi, prove di laboratorio su campioni indisturbati etc.)

GEOPROVE S.a.S.
 Il Socio Accomandatario
 e Direttore Tecnico
 Dr. Geol. Pietro Barsanti
 (n° 193 Albo dei Geologi della Toscana)

Legende della stratigrafia schematica

Begemann (1965)	
Torbe e arg. organiche	#-#-#-#-#
Argille	=====
Limi argillosi	~~~~~=====
Limi	~~~~~
Limi argille sabbie	~~~~~=====.....
Sabbie limose~~~~~.....
Sabbie fini
Sabbie grossolane
Sabbie e ghiaie	0**0**0**0**0

Searle (1979)	
Torbe	#####
Argille torbose	#-#-#-#-#
Argille	=====
Argille limose	=====
Limi argillosi	~~~~~=====
Limi argillosi sabbiosi	~~~~~=====.....
Sabbie limose argillose~~~~~.....
Sabbie fini
Sabbie
Sabbie ghiaiose	0**0**0**0**0
Ghiaie sabbiose	00*00*00*00*00
Ghiaie	0000*0000*0000

Riporto	vengono indicati nei livelli per i quali sono disponibili
Substrato roccioso	informazioni derivanti da altri mezzi di indagine

Prova penetrometrica statica

Prova N° 1

Geoprove S.a.s.

Committente : Fondazione Cassa di Risparmio
Località: Lucca P.zza S.Maria Forisportam

Data: 14/03/2006
File: ps0603141

Quota:	p.c.			Livello della falda:			Parametri meccanici del terreno							
	Letture di campagna			Valori derivati			(Searle 1979)				(Begemann 1968)			
profond.	A	B	T	Rp	Rf	Rp/Rf	ϕ	Dr	Cu	mv	ϕ	Dr	Cu	mv
0,2	0			0										
0,4	0			0										
0,6	0			0										
0,8	0			0										
1	0			0										
1,2	0			0										
1,4	0			0										
1,6	0			0										
1,8	0			0										
2	0			0										
2,2	0			0										
2,4	0			0	0,6	0,0	--	--	--	--	--	--	--	--
2,6	90	180	210	9	0,3	27,0	25,6	24%	--	0,028	--	--	0,4	0,028
2,8	70	120	180	7	0,3	26,3	25,5	21%	--	0,036	--	--	0,3	0,036
3	60	100	170	6	0,1	45,0	27,9	8%	--	0,056	27,9	8%	--	0,056
3,2	70	90	150	7	0,3	26,3	25,5	21%	--	0,036	--	--	0,3	0,036
3,4	60	100	160	6	0,2	30,0	25,7	20%	--	0,042	25,0	20%	--	0,042
3,6	90	120	170	9	0,3	27,0	25,6	24%	--	0,028	--	--	0,4	0,028
3,8	100	150	200	10	0,5	21,4	--	--	0,4	0,025	--	--	0,5	0,025
4	180	250	350	18	0,7	27,0	26,1	37%	--	0,014	--	--	0,7	0,014
4,2	340	440	600	34	0,4	85,0	32,7	26%	--	0,015	32,7	26%	--	0,015
4,4	110	170	500	11	0,5	23,6	25,5	27%	--	0,023	--	--	0,6	0,023
4,6	90	160	450	9	0,5	19,3	--	--	0,4	0,028	--	--	0,5	0,028
4,8	80	150	450	8	0,4	20,0	--	--	0,3	0,031	--	--	0,4	0,031
5	70	130	350	7	0,4	17,5	--	--	0,3	0,036	--	--	0,4	0,036
5,2	70	130	350	7	0,5	15,0	--	--	0,4	0,041	--	--	0,4	0,041
5,4	90	160	370	9	0,5	16,9	--	--	0,4	0,028	--	--	0,5	0,028
5,6	100	180	380	10	0,5	18,8	--	--	0,4	0,025	--	--	0,5	0,025
5,8	140	220	400	14	0,5	26,3	26,0	31%	--	0,018	--	--	0,6	0,018
6	280	360	450	28	1,3	21,0	--	--	1,1	0,012	--	--	1,4	0,012
6,2	380	580	700	38	1,3	28,5	26,9	54%	--	0,009	26,2	54%	--	0,009
6,4	800	1000	1200	80										

Prova penetrometrica statica

Prova N° 2

Geoprove S.a.s.

Committente : Fondazione Cassa di Risparmio
Località: Lucca P.zza S.Maria Forisportam

Data: 14/03/2006
File: ps0603142

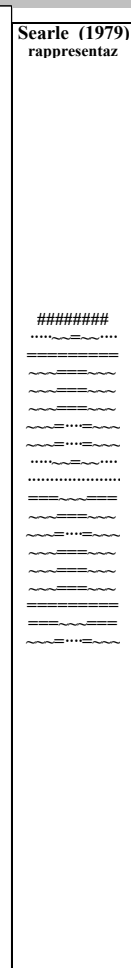
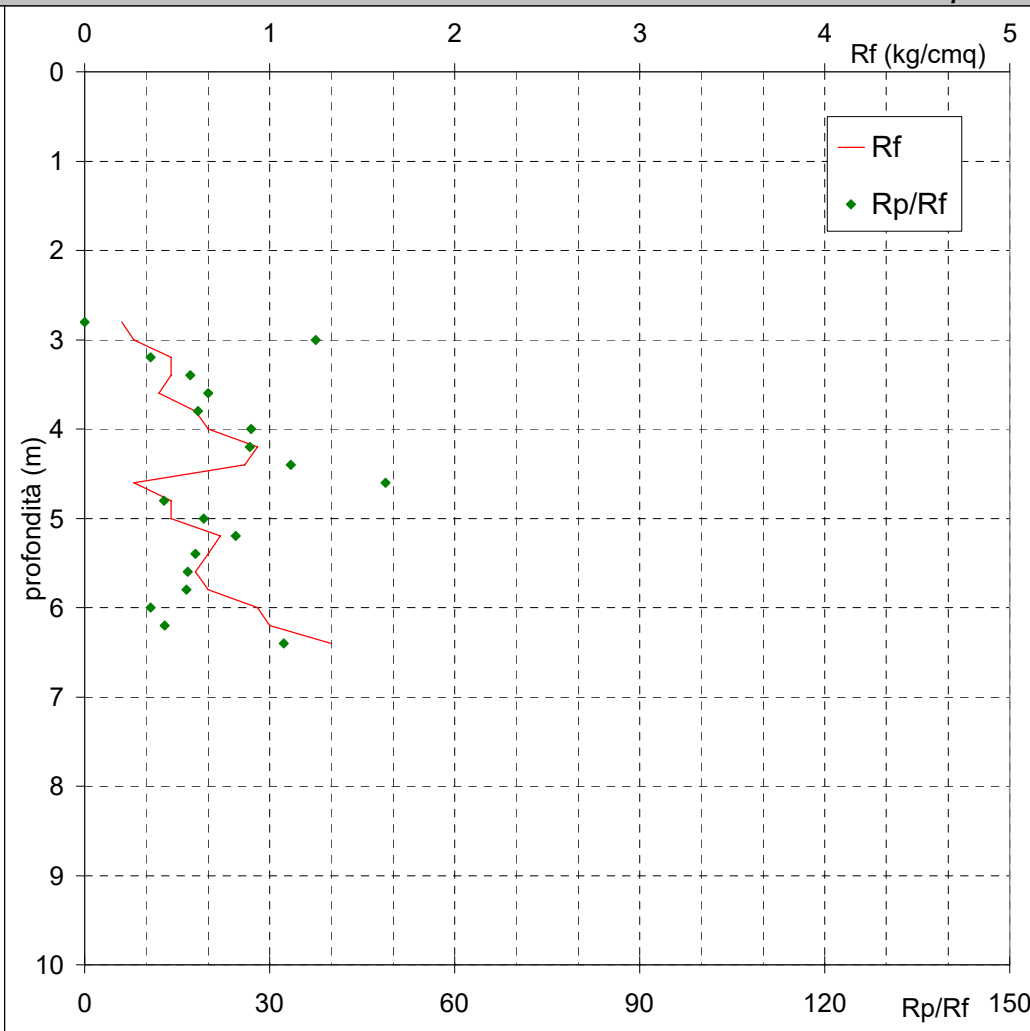
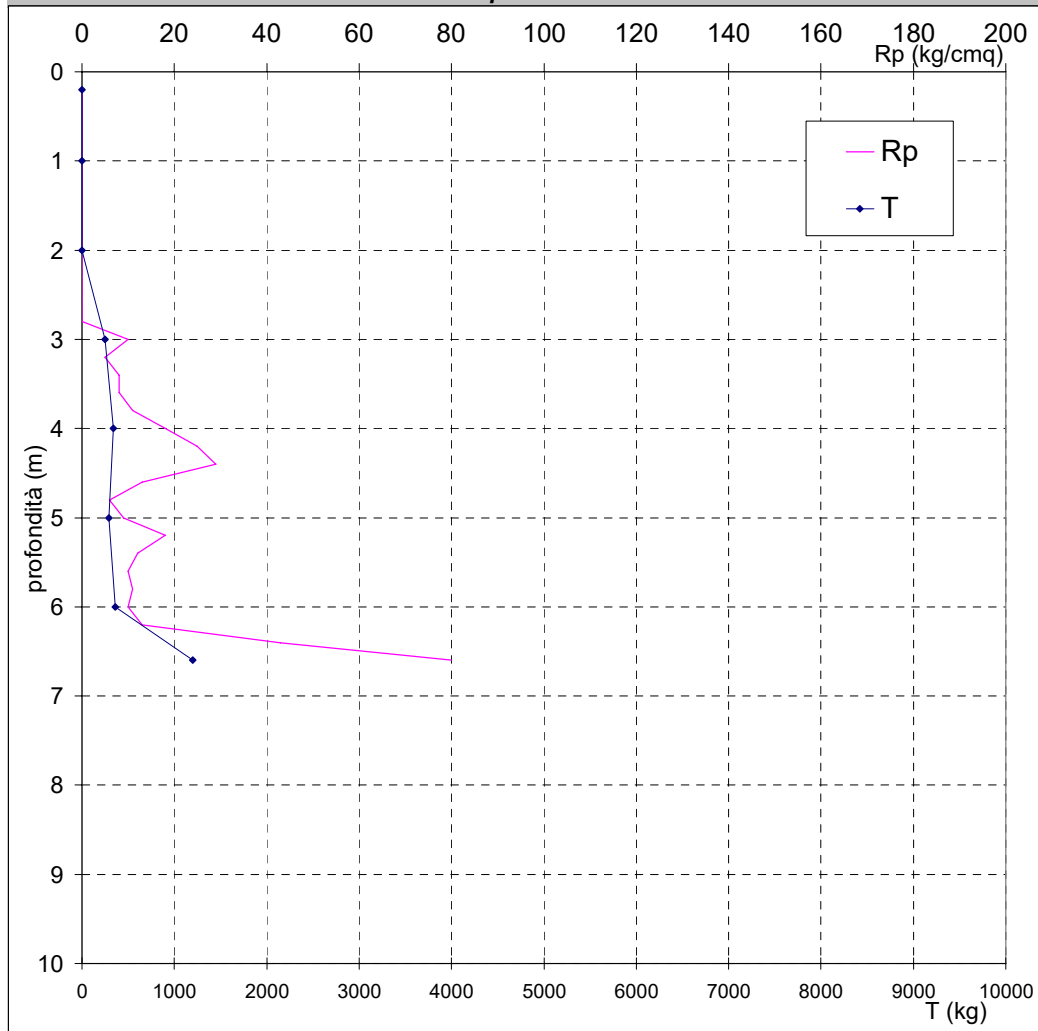
Quota: p.c.	Livello della falda:			Parametri meccanici del terreno										
	Letture di campagna			Valori derivati			(Searle 1979)				(Begemann 1968)			
profond.	A	B	T	Rp	Rf	Rp/Rf	ϕ	Dr	Cu	mv	ϕ	Dr	Cu	mv
0,2	0			0										
0,4	0			0										
0,6	0			0										
0,8	0			0										
1	0			0										
1,2	0			0										
1,4	0			0										
1,6	0			0										
1,8	0			0										
2	0			0										
2,2	0			0										
2,4	0			0										
2,6	0			0										
2,8	0			0	0,2	0,0	--	--	--	--	--	--	--	--
3	100	130	250	10	0,3	37,5	27,5	25%	--	0,025	26,8	25%	--	0,025
3,2	50	90	200	5	0,5	10,7	--	--	0,3	0,050	--	--	0,3	0,050
3,4	80	150	250	8	0,5	17,1	--	--	0,3	0,031	--	--	0,4	0,031
3,6	80	150	300	8	0,4	20,0	--	--	0,3	0,031	--	--	0,4	0,031
3,8	110	170	320	11	0,6	18,3	--	--	0,4	0,023	--	--	0,6	0,023
4	180	270	340	18	0,7	27,0	26,1	37%	--	0,014	--	--	0,7	0,014
4,2	250	350	350	25	0,9	26,8	26,6	44%	--	0,013	--	--	1,0	0,013
4,4	290	430	370	29	0,9	33,5	27,8	47%	--	0,011	27,1	47%	--	0,011
4,6	130	260	400	13	0,3	48,8	29,2	18%	--	0,038	29,2	18%	--	0,038
4,8	60	100	250	6	0,5	12,9	--	--	0,3	0,033	--	--	0,4	0,033
5	90	160	290	9	0,5	19,3	--	--	0,4	0,028	--	--	0,5	0,028
5,2	180	250	400	18	0,7	24,5	25,7	37%	--	0,014	--	--	0,9	0,014
5,4	120	230	380	12	0,7	18,0	--	--	0,5	0,021	--	--	0,6	0,021
5,6	100	200	370	10	0,6	16,7	--	--	0,4	0,025	--	--	0,5	0,025
5,8	110	200	370	11	0,7	16,5	--	--	0,4	0,023	--	--	0,6	0,023
6	100	200	360	10	0,9	10,7	--	--	0,7	0,025	--	--	0,7	0,025
6,2	130	270	380	13	1,0	13,0	--	--	0,7	0,022	--	--	0,9	0,022
6,4	430	580	800	43	1,3	32,3	28,4	56%	--	0,008	27,5	56%	--	0,008
6,6	800	1000	1200	80										

Committente : **Fondazione Cassa di Risparmio**

Data: **14/03/2006**

Località: **Lucca P.zza S.Maria Forisportam**

File: **ps0603142**



Prova penetrometrica statica

Prova N° 3

Geoprove S.a.s.

Committente : Parrocchia di S. Maria Forisportam

Data: 26/09/2006

Località: Piazza S. Maria Forisportam - LU

File: ps0609261

Piezometro fondo foro

Livello della falda: -3.07

Quota: p.c.	Livello della falda: -3.07						Parametri meccanici del terreno							
	Letture di campagna			Valori derivati			(Searle 1979)				(Begemann 1968)			
profond.	A	B	T	Rp	Rf	Rp/Rf	ϕ	Dr	Cu	mv	ϕ	Dr	Cu	mv
0.2														
0.4														
0.6														
0.8														
1														
1.2														
1.4														
1.6					0.9	0.0	--	--	--	--	--	--	--	--
1.8	140	280	300	14	0.3	42.0	28.7	19%	--	0.024	28.7	19%	--	0.024
2	160	210	310	16	0.7	24.0	25.6	34%	--	0.016	--	--	0.8	0.016
2.2	210	310	320	21	0.6	35.0	28.1	41%	--	0.016	27.4	41%	--	0.016
2.4	230	320	330	23	0.3	69.0	31.5	27%	--	0.022	31.5	27%	--	0.022
2.6	70	120	340	7	0.3	21.0	--	--	0.3	0.036	--	--	0.4	0.036
2.8	100	150	350	10	0.3	37.5	27.5	25%	--	0.025	26.8	25%	--	0.025
3	100	140	330	10	1.3	7.5	--	--	1.0	0.025	--	--	0.7	0.025
3.2	200	400	340	20	0.3	75.0	31.1	25%	--	0.025	31.1	25%	--	0.025
3.4	100	140	350	10	0.7	15.0	--	--	0.5	0.029	--	--	0.5	0.029
3.6	240	340	360	24	0.5	51.4	30.0	28%	--	0.021	30.0	28%	--	0.021
3.8	110	180	320	11	0.3	41.3	28.6	16%	--	0.030	28.6	16%	--	0.030
4	110	150	380	11	0.5	23.6	25.5	27%	--	0.023	--	--	0.6	0.023
4.2	190	260	420	19	1.0	19.0	--	--	0.8	0.013	--	--	1.0	0.013
4.4	270	420	490	27	0.9	28.9	27.0	45%	--	0.012	26.3	45%	--	0.012
4.6	210	350	570	21	0.9	22.5	--	--	0.8	0.016	--	--	1.1	0.016
4.8	130	270	540	13	0.5	24.4	25.7	30%	--	0.019	--	--	0.7	0.019
5	220	300	510	22	0.9	25.4	26.3	42%	--	0.015	--	--	0.9	0.015
5.2	330	460	560	33	1.3	24.8	26.2	50%	--	0.010	--	--	1.7	0.010
5.4	480	680	630	48										
5.6	700		800	70										

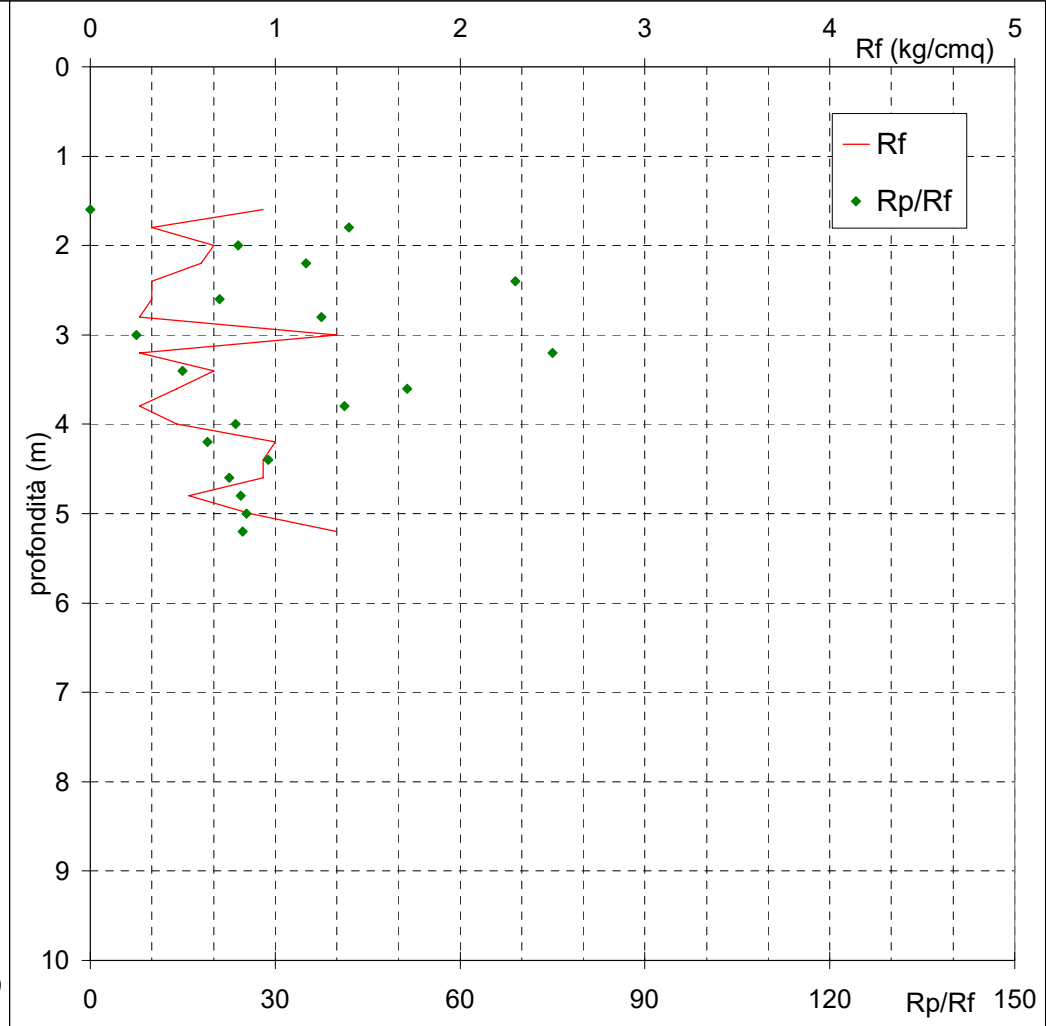
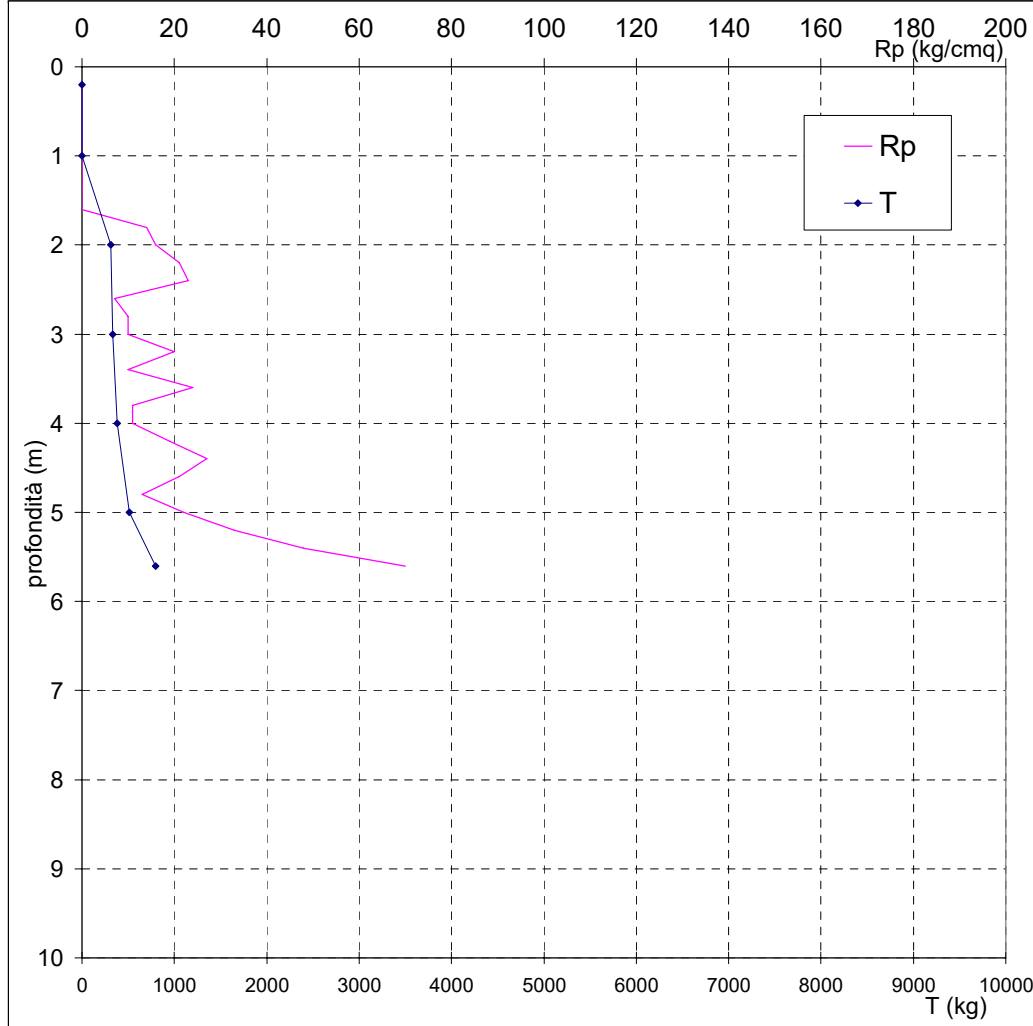
Prova riferita al piano della pavimentazione interna alla Chiesa

Committente : Parrocchia di S. Maria Forisportam

Data: 26/09/2006

Località: Piazza S. Maria Forisportam - LU

File: ps0609261



Searle (1979) rappresentaz



IGETECMA s.a.s.

Istituto Sperimentale di Geotecnica e Tecnologia dei Materiali
Concessione ministeriale D.M. 54143 del 7/11/05

002

Certificati di prova n. 1054-1059/2006

Firenze li 26/05/2006

SETTORE: meccanica delle terre

V.A. n. 96/2006 del 04/05/06

COMMITTENTE: Geoprove s.a.s.

LOCALITA': Chiesa S. Maria Forisportam, Lucca

DATA ESECUZIONE PROVE: 05/05/06 - 22/05/06

CAMPIONI:

S2C1 profondità 3.0 - 3.6 m

Prove eseguite

- 1 - Umidità naturale (CNR - UNI 10008)
- 2 - Peso di volume naturale (Boll. Uff. CNR n. 40)
- 3 - Limiti di Atterberg (ASTM D 4318/84)
- 4 - Analisi granulometrica per setacciatura: per via umida (ASTM D 421/85)
- 5 - Analisi granulometrica della frazione fine: metodo del densimetro (ASTM D 1140/71)
- 6 - Prova edometrica a gradini di carico costante (ASTM 2435)
- 7 - Peso specifico dei grani (Boll. Uff. CNR n. 64)
- 8 - Prova di espansione laterale libera (ASTM D 2166/85)
- 9 - Prova di taglio (ASTM D 3080/72)

Lo sperimentatore

Michele Calm



Il Direttore del Laboratorio
ing. Francesco Politi

Francesco Politi



IGETECMA s.a.s.

Istituto Sperimentale di Geotecnica e Tecnologia dei Materiali

Concessione ministeriale D.M. 54143 del 7/11/05

Pag. 1 di 2

CERTIFICATO DI PROVA N. 1054/2006

CAMPIONE: S2C1 profondità 3.0 - 3.6 m

Firenze li 26/05/2006

COMMITTENTE: Geoprobe s.a.s.

V.A. n. 96/2006 del 04/05/06

LOCALITA': Chiesa S. Maria Forisportam, Lucca

Data apertura campione: 05/05/06

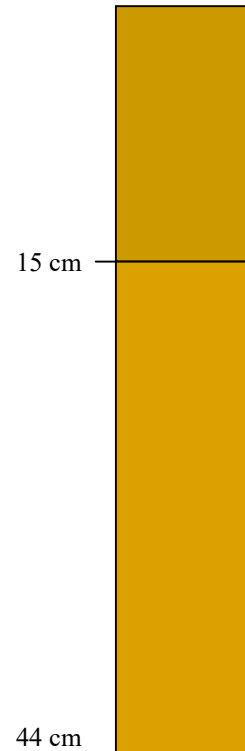
Descrizione del campione

Campione indisturbato prelevato con campionatore Shelby di diametro di 88.9 mm da sondaggio eseguito a rotazione a carotaggio continuo

0 - 15 cm: elementi litici in matrice limo argillosa, presenti frammenti di laterizi, colore marrone

15 - 44 cm: limo sabbioso colore marrone

prove eseguite: umidità naturale, peso di volume, granulometria, limiti, taglio, E.L.L., peso specifico dei grani e edometria



Lo sperimentatore
Michele Calmo



Il direttore del Laboratorio
Ing. Francesco Politi

Francesco Politi



IGETECMA s.a.s.

Istituto Sperimentale di Geotecnica e Tecnologia dei Materiali
Concessione ministeriale D.M. 54143 del 7/11/05

Pag. 2 di 2

CERTIFICATO DI PROVA N. 1054/2006

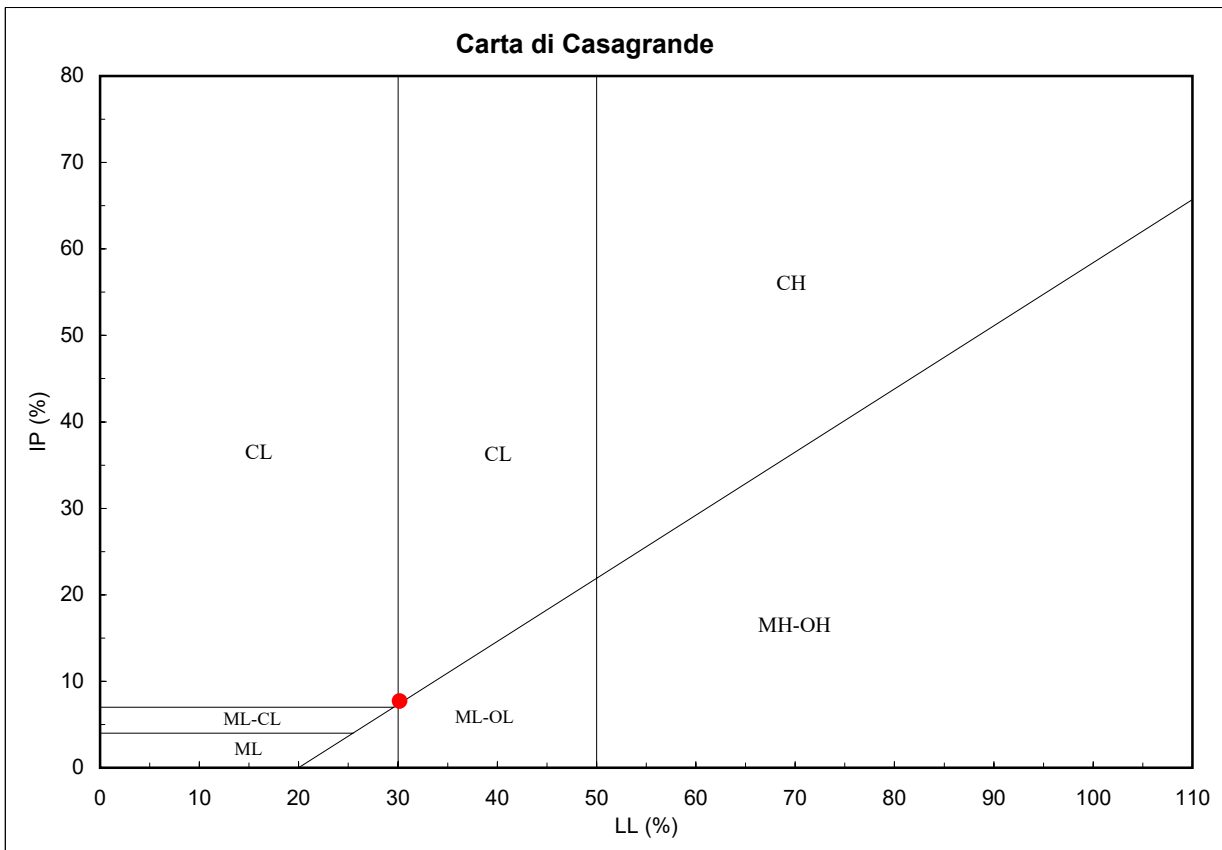
CAMPIONE: S2C1 profondità 3.0 - 3.6 m
COMMITTENTE: Geoprobe s.a.s.
LOCALITA': Chiesa S. Maria Forisportam, Lucca

Firenze li 26/05/2006
V.A. n. 96/2006 del 04/05/06
Data prova: 08/05/06 - 16/05/06

Contenuto d'acqua (CNR - UNI 10008)
Limiti di Atterberg (CNR-UNI 10014)

Contenuto d'acqua (Wn) =	30,18%	Limite di liquidità (LL) =	30,2%
Limite di plasticità (LP) =	22,5%	Indice di plasticità (IP) =	7,7%
Indice di consistenza (Ic) =	0,00	Indice di attività (Iat) =	0,93

CL = argille inorganiche di media plasticità



Lo sperimentatore

Michele Calmo



Il direttore del Laboratorio
Ing. Francesco Politi

Francesco Politi



IGETECMA s.a.s.

Istituto Sperimentale di Geotecnica e Tecnologia dei Materiali

Concessione ministeriale D.M. 54143 del 7/11/05

Pag. 1 di 1

CERTIFICATO DI PROVA N. 1055/2006

CAMPIONE: S2C1 profondità 3.0 - 3.6 m

COMMITTENTE: Geoprove s.a.s.

LOCALITA': Chiesa S. Maria Forisportam, Lucca

Firenze li 26/05/2006

V.A. n. 96/2006 del 04/05/06

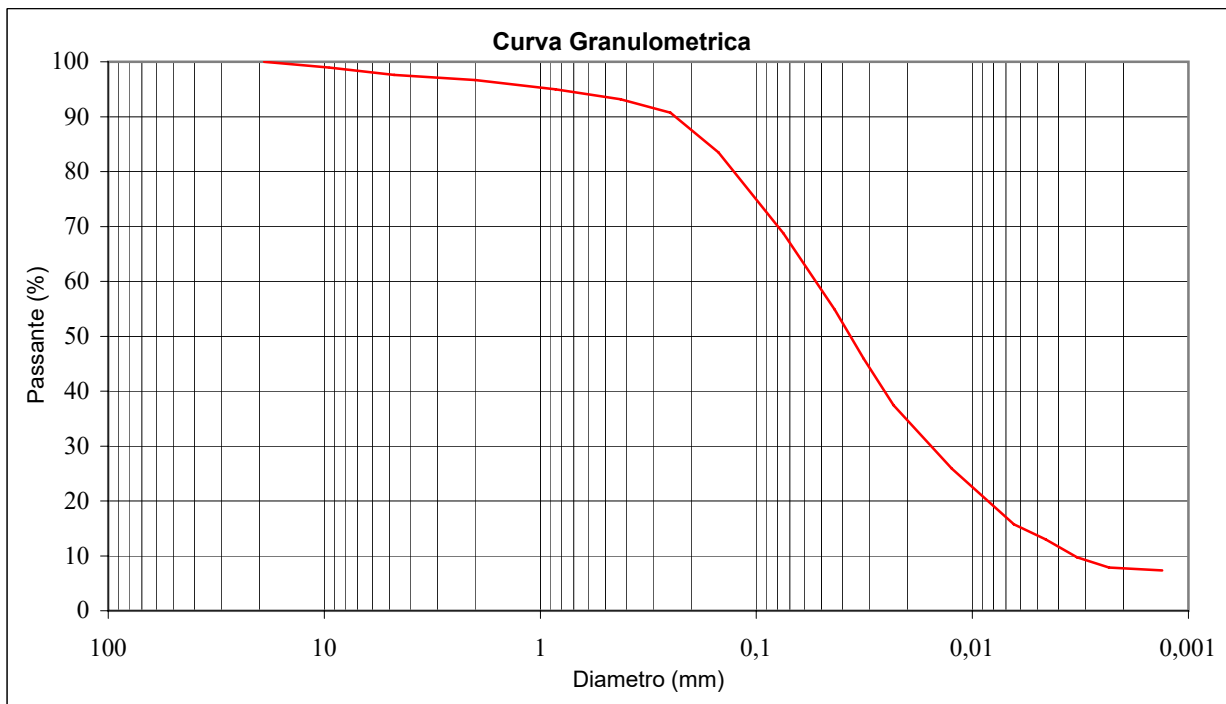
Data prova: 08/05/06 - 16/05/06

Analisi granulometrica

Setacciatura: per via umida (ASTM D 421)

Frazione fine: metodo del densimetro (ASTM D 422)

Setacciatura		Sedimentazione	
Diametro (mm)	Passante (%)	Diametro (mm)	Passante (%)
19	100	0,0434	54,8
9,5	99,0	0,0318	45,9
4,75	97,6	0,0232	37,4
2	96,7	0,0124	25,9
0,850	95,0	0,0064	15,7
0,425	93,2	0,0046	13,0
0,250	90,7	0,0033	9,7
0,150	83,5	0,0023	7,9
0,075	68,8	0,0013	7,4



Ghiaia: 3,3%

Sabbia: 33,6%

Limo: 55,3%

Argilla: 7,8%

Limo con sabbia debolmente argilloso

Lo sperimentatore

Michèle Calmo



direttore del Laboratorio
Ing. Francesco Politi

Francesco Politi



CERTIFICATO DI PROVA N. 1056/2006

CAMPIONE: S2C1 profondità 3.0 - 3.6 m

Firenze li 26/05/2006

COMMITTENTE: Geoprove s.a.s.

V.A. n. 96/2006 del 04/05/06

LOCALITA': Chiesa S. Maria Forisportam, Lucca

Data prova: 19/05/06 - 22/05/06

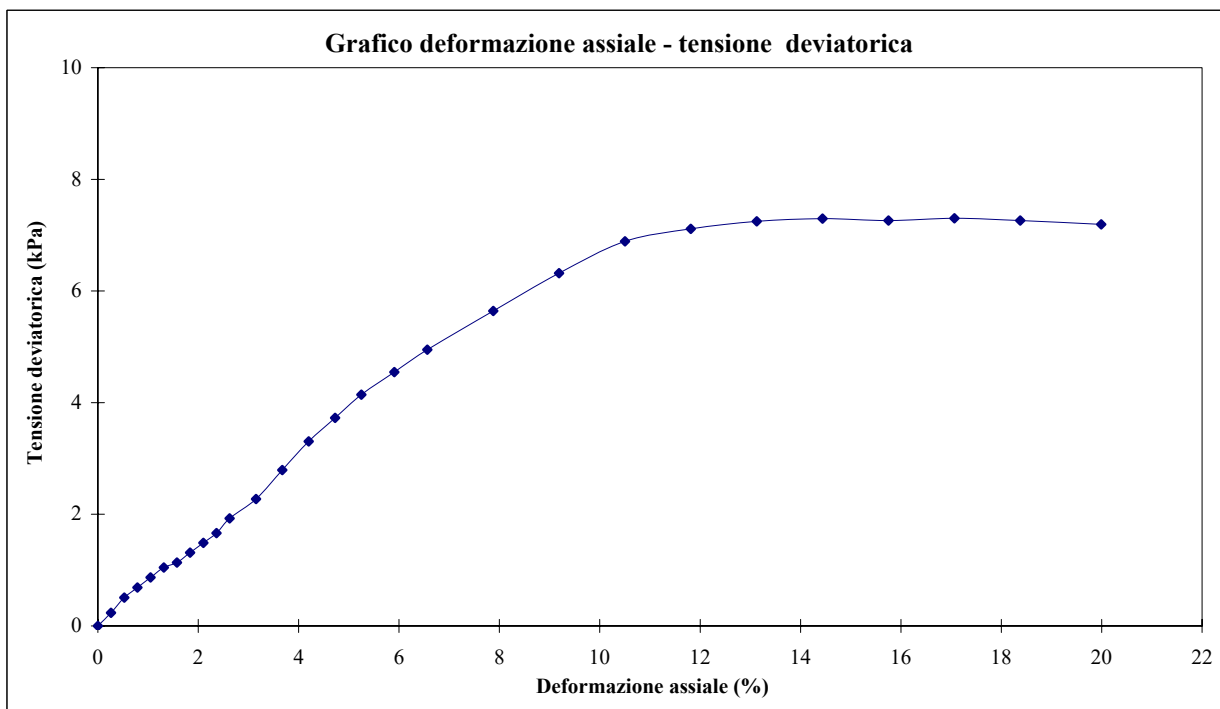
Contenuto d'acqua (ASTM D 2216)

Peso di volume (BS 1377 T15/e)

Prova di espansione laterale libera (ASTM D 2166)

Peso di volume naturale (kN/m ³)	18,3	Sigma a rottura (kPa)	5,6
Peso di volume secco (kN/m ³)	14,0	Coesione non drenata (kPa)	2,8
Contenuto d'acqua (%)	31,43	Modulo elastico	
Vel. def. (mm/min)	1,27	tangente iniziale (kPa)	98

ϵ (%)	σ (kPa)	ϵ (%)	σ (kPa)	ϵ (%)	σ (kPa)
0,26	0,2	2,63	1,9	9,19	6,3
0,53	0,5	3,15	2,3	10,50	6,9
0,79	0,7	3,68	2,8	11,81	7,1
1,05	0,9	4,20	3,3	13,13	7,2
1,31	1,0	4,73	3,7	14,44	7,3
1,58	1,1	5,25	4,1	15,75	7,3
1,84	1,3	5,91	4,5	17,06	7,3
2,10	1,5	6,56	4,9	18,38	7,3
2,36	1,7	7,88	5,6	19,99	7,2



Lo sperimentatore

Michele Calmo



Il direttore del Laboratorio
Ing. Francesco Polini

Francesco Polini



IGETECMA s.a.s.

Istituto Sperimentale di Geotecnica e Tecnologia dei Materiali

Concessione ministeriale D.M. 54143 del 7/11/05

Pag. 1 di 1

CERTIFICATO DI PROVA N. 1057/2006

CAMPIONE: S2C1 profondità 3.0 - 3.6 m

COMMITTENTE: Geoprobe s.a.s.

LOCALITA': Chiesa S. Maria Forisportam, Lucca

Firenze li 26/05/2006

V.A. n. 96/2006 del 04/05/06

Data prova: 09/05/06 - 16/05/06

Peso specifico dei grani (CNR-UNI 10013)

Peso specifico dei grani (kN/m³) 26,60

Peso di volume secco (kN/m³) 14,6

Indice dei vuoti = 0,816

Grado di saturazione (%) = 97,26

Contenuto d'acqua (%) = 29,22

Lo sperimentatore

Michèle Calm



Il direttore del Laboratorio
Ing. Francesco Politi

Francesco Politi



IGETECMA s.a.s.

Istituto Sperimentale di Geotecnica e Tecnologia dei Materiali

Concessione ministeriale D.M. 54143 del 7/11/05

Pag. 1 di 3

CERTIFICATO DI PROVA N. 1058/2006

CAMPIONE: S2C1 profondità 3.0 - 3.6 m

Firenze li 26/05/2006

COMMITTENTE: Geoprove s.a.s.

V.A. n. 96/2006 del 04/05/06

LOCALITA': Chiesa S. Maria Forisportam, Lucca

Data prova: 05/05/06 - 22/05/06

Contenuto d'acqua (ASTM D 2216)

Peso di volume (BS 1377 T15/e)

Prova edometrica a gradini di carico costante (ASTM 2435)

	Iniziale	Finale
Altezza (mm)	19,795	17,057
Volume (cmc)	39,331	33,892
Peso di volume naturale (kN/m ³)	18,9	20,8
Peso di volume secco (kN/m ³)	14,6	17,0
Contenuto d'acqua (%)	29,22	22,14
Indice dei vuoti	0,816	0,678

Pressione (kPa)	Cedimento (%)	Indice dei vuoti	Mv (m²/kN)	Av (m²/kN)
24,5	0,816	0,801	--	--
49,0	1,562	0,788	0,0003039	0,0005520
98,1	2,800	0,765	0,0002526	0,0004587
196,1	4,813	0,729	0,0002052	0,0003727
98,1	4,726	0,730	0,0000089	0,0000161
49,0	4,579	0,733	0,0000298	0,0000542
98,1	4,658	0,732	0,0000160	0,0000290
196,1	5,009	0,725	0,0000358	0,0000650
392,3	7,629	0,678	0,0001336	0,0002426
784,6	11,065	0,615	0,0000876	0,0001591
1569,1	14,845	0,547	0,0000482	0,0000875
392,3	14,481	0,553	0,0000031	0,0000056
98,1	13,830	0,565	0,0000221	0,0000402
24,5	13,055	0,579	0,0001054	0,0001914

Lo sperimentatore

Michele Colm



Il direttore del Laboratorio
Ing. Francesco Politi

Francesco Politi



IGETECMA s.a.s.

Istituto Sperimentale di Geotecnica e Tecnologia dei Materiali

Concessione ministeriale D.M. 54143 del 7/11/05

CERTIFICATO DI PROVA N. 1058/2006

CAMPIONE: S2C1 profondità 3.0 - 3.6 m

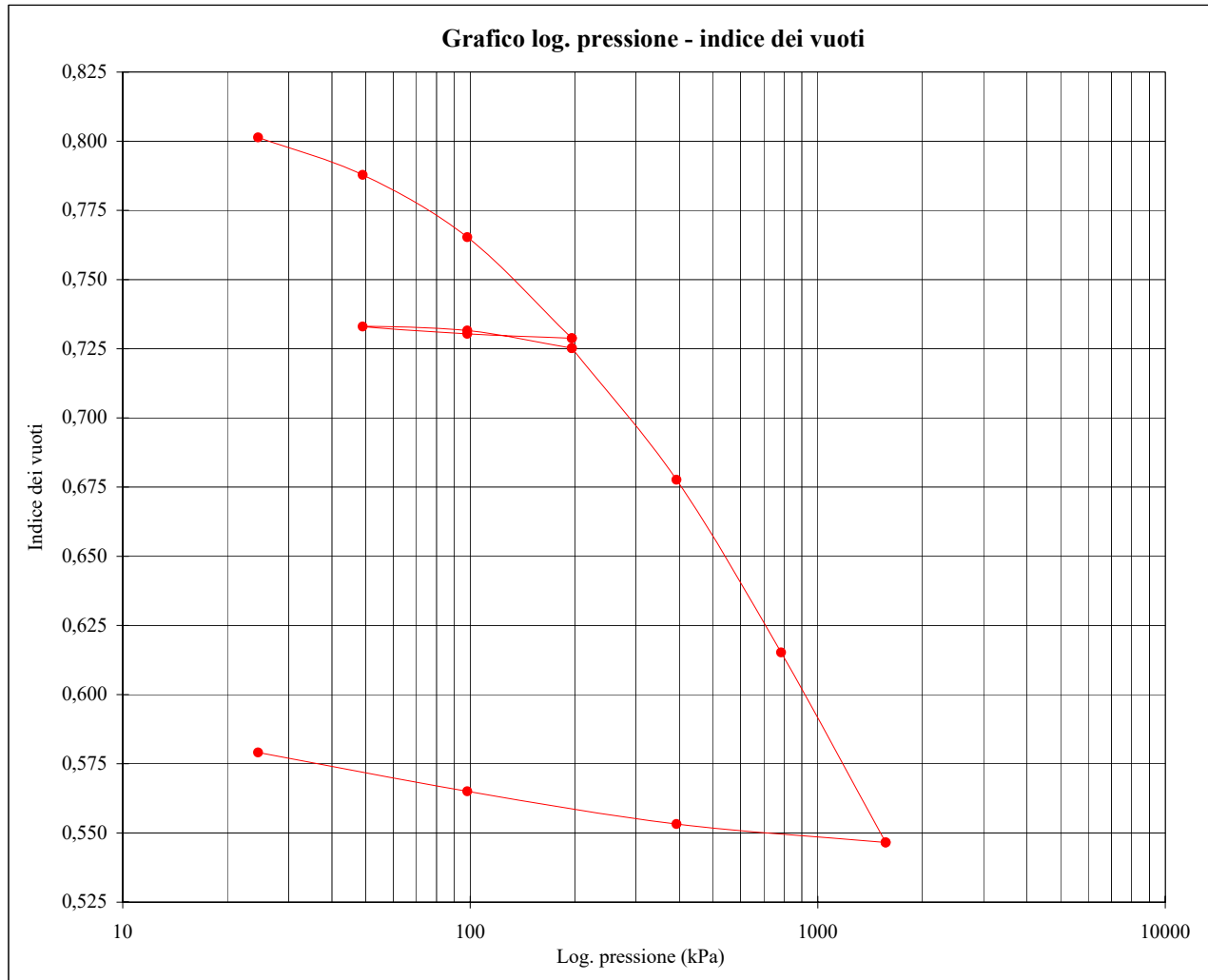
COMMITTENTE: Geoprove s.a.s.

LOCALITA': Chiesa S. Maria Forisportam, Lucca

Firenze li 26/05/2006

V.A. n. 96/2006 del 04/05/06

Data prova: 05/05/06 - 22/05/06



Lo sperimentatore
Michèle Colan



Il direttore del Laboratorio
Ing. Francesco Polini

Francesco Polini



IGETECMA s.a.s.

Istituto Sperimentale di Geotecnica e Tecnologia dei Materiali

Concessione ministeriale D.M. 54143 del 7/11/05

CERTIFICATO DI PROVA N. 1058/2006

CAMPIONE: S2C1 profondità 3.0 - 3.6 m

Firenze li 26/05/2006

COMMITTENTE: Geoprove s.a.s.

V.A. n. 96/2006 del 04/05/06

LOCALITA': Chiesa S. Maria Forisportam, Lucca

Data prova: 05/05/06 - 22/05/06

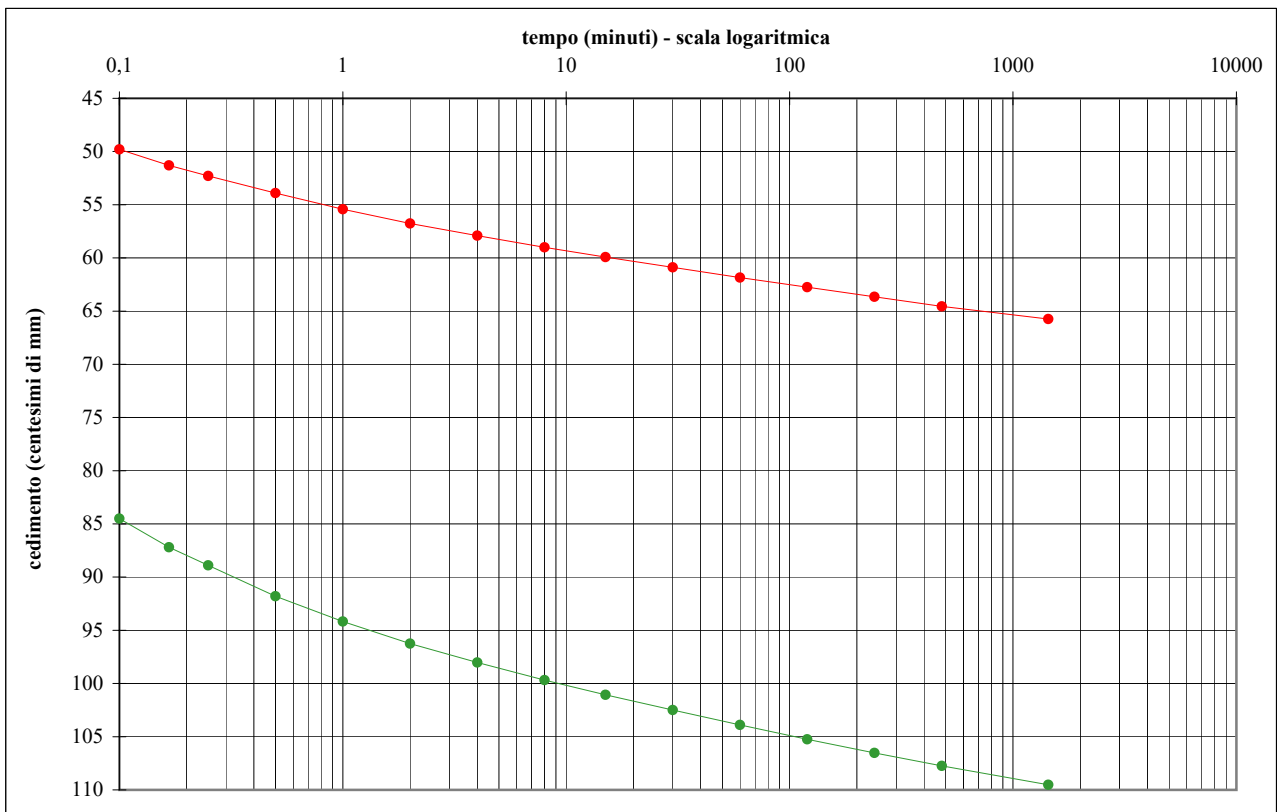
Cedimento in funzione del tempo

carico da 49.0 a 98.1 kPa

carico da 98.1 a 196.1 kPa

tempo (minuti)	Cedimento (10^{-2} mm)
0,10	49,800
0,17	51,300
0,25	52,300
0,50	53,900
1	55,425
2	56,760
4	57,900
8	59,000
15	59,915
30	60,890
60	61,855
120	62,750
240	63,660
480	64,555
1440	65,750

tempo (minuti)	Cedimento (10^{-2} mm)
0,10	84,500
0,17	87,200
0,25	88,900
0,50	91,800
1	94,175
2	96,250
4	98,030
8	99,680
15	101,070
30	102,500
60	103,900
120	105,245
240	106,525
480	107,750
1440	109,515



Lo sperimentatore
Michele Calmo



Il direttore del Laboratorio
Ing. Francesco Politi

Francesco Politi



CERTIFICATO DI PROVA N. 1059/2006

CAMPIONE: S2C1 profondità 3.0 - 3.6 m

Firenze li 26/05/2006

COMMITTENTE: Geoprobe s.a.s.

V.A. n. 96/2006 del 04/05/06

LOCALITA': Chiesa S. Maria Forisportam, Lucca

Data prova: 08/05/06 - 16/05/06

Contenuto d'acqua (ASTM D 2216)

Peso di volume (BS 1377 T15/e)

Prova di taglio (ASTM D 3080/72)

	Provino 1	Provino 2	Provino 3
Peso di volume naturale iniziale (kN/m ³)	18,8	18,7	18,6
Peso di volume umido finale (kN/m ³)	18,9	19,3	20,0
Peso di volume secco iniziale (kN/m ³)	14,2	14,2	14,2
Peso di volume secco finale (kN/m ³)	14,8	15,2	15,7
Contenuto d'acqua iniziale (%)	31,81	31,53	31,47
Contenuto d'acqua finale (%)	27,55	27,00	26,85
Velocità di deformazione (mm/min.)	0,0020	0,0020	0,0020
Sigma (kPa)	49,0	98,1	147,1
Tau a rottura (kPa)	36,1	71,4	107,2

Provino 1		Provino 2		Provino 3	
Scorrimento	Tau	Scorrimento	Tau	Scorrimento	Tau
(mm)	(kPa)	(mm)	(kPa)	(mm)	(kPa)
0,11	5,3	0,06	5,0	0,26	18,6
0,17	7,7	0,12	8,6	0,49	35,6
0,24	10,0	0,18	11,7	0,75	49,1
0,43	15,3	0,25	15,3	1,02	58,6
0,64	18,6	0,50	27,5	1,29	65,3
0,84	21,4	0,76	37,0	1,56	71,4
1,06	23,6	1,04	43,6	1,84	76,7
1,27	25,8	1,32	48,6	2,12	81,1
1,48	27,5	1,59	53,1	2,39	85,2
1,69	29,1	1,87	57,0	2,67	88,1
1,91	30,6	2,16	60,0	2,96	91,1
2,12	32,0	2,44	62,8	3,25	94,1
2,34	32,8	2,72	64,7	3,54	96,4
2,56	33,6	3,02	67,2	3,83	98,1
2,78	34,1	3,31	68,8	4,12	99,7
3,00	35,3	3,60	70,3	4,40	101,4
3,22	35,8	3,89	70,8	4,69	102,8
3,44	36,1	4,18	71,4	4,97	104,7
3,73	35,8	4,53	70,8	5,26	105,5
3,95	35,6	4,82	70,3	5,55	106,1
4,17	35,0	5,11	69,4	5,99	107,2

Lo sperimentatore

Michele Calmo



Il direttore del Laboratorio
Ing. Francesco Politi

Francesco Politi



IGETECMA s.a.s.

Istituto Sperimentale di Geotecnica e Tecnologia dei Materiali

Concessione ministeriale D.M. 54143 del 7/11/05

CERTIFICATO DI PROVA N. 1059/2006

CAMPIONE: S2C1 profondità 3.0 - 3.6 m

COMMITTENTE: Geoprove s.a.s.

LOCALITA': Chiesa S. Maria Forisportam, Lucca

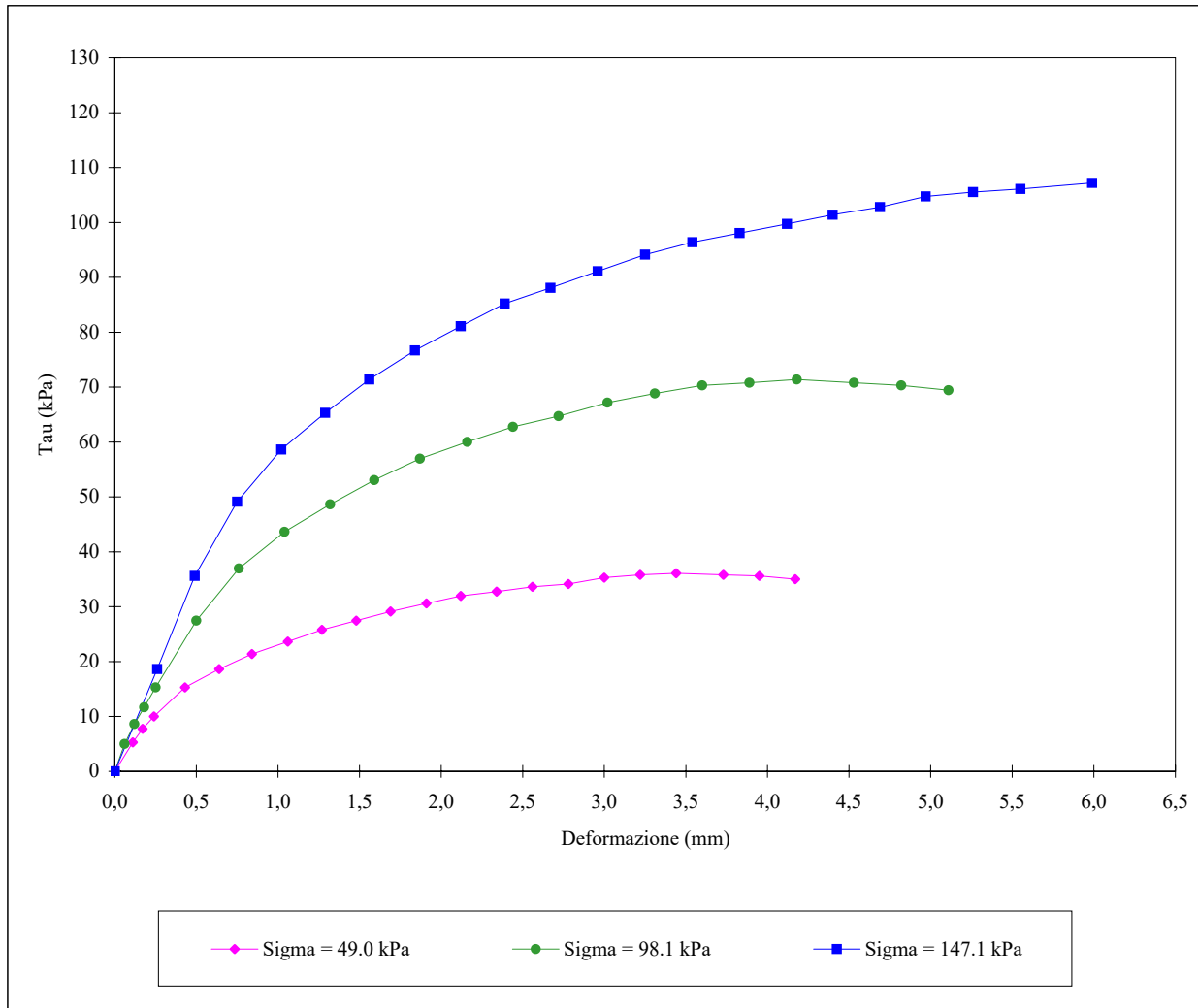
Firenze li 26/05/2006

V.A. n. 96/2006 del 04/05/06

Data prova: 08/05/06 - 16/05/06

Prova di taglio (ASTM D 3080/72)

Grafico Deformazione - Tau



Lo sperimentatore
Michele Calm



Il direttore del Laboratorio
Ing. Francesco Polini
Francesco Polini



IGETECMA s.a.s.

Istituto Sperimentale di Geotecnica e Tecnologia dei Materiali

Concessione ministeriale D.M. 54143 del 7/11/05

LOCALITA': Chiesa S. Maria Forisportam, Lucca
COMMITTENTE: Geoprove s.a.s.

Firenze li 26/05/2006
V.A. n. 96/2006 del 04/05/06

TABELLA RIASSUNTIVA CERTIFICATI DI PROVA N. 1054-1059/2006

CAMPIONE	S1C1
Profondità metri	3.0 - 3.6
Prova E.L.L.	
Cu (kPa)	2,8
Eti (kPa)	98
Prova di taglio	
C (kPa)	0,5
ϕ (°)	35,9
Prova edometrica	
Cr (indice di ricompressione)	0,05984
Cr1 (indice di ricompressione)	0,01046
Cc (indice di compressione)	0,21769
Cs (indice di rigonfiamento)	0,02152
Cv (cm ² /sec)	1,1218E-02
K (cm/sec)	8,98E-08
Cv (cm ² /sec)	1,7570E-02
K (cm/sec)	1,191E-07
Metodo di Schmertmann	
σ'_{vmax} (kPa)	140,2
Cr (indice di ricompressione)	0,01046
Cc (indice di compressione)	0,23615
Parametri fisici	
Peso volume naturale (kN/m ³)	18,7
Peso volume secco (kN/m ³)	14,2
Peso specifico dei grani (kN/m ³)	26,60
Indice dei vuoti	0,816
Grado di saturazione (%)	97,26
Limiti di Atterberg	
Umidità naturale (%)	30,18
Limite liquido (%)	30,2
Limite plastico (%)	22,5
Indice plastico (%)	7,7
Indice di consistenza	0,00
Indice di attività	0,93
Classificaz. Casagrande	CL
Granulometria	
Ghiaia (%)	3,3
Sabbia (%)	33,6
Limo (%)	55,3
Argilla (%)	7,8



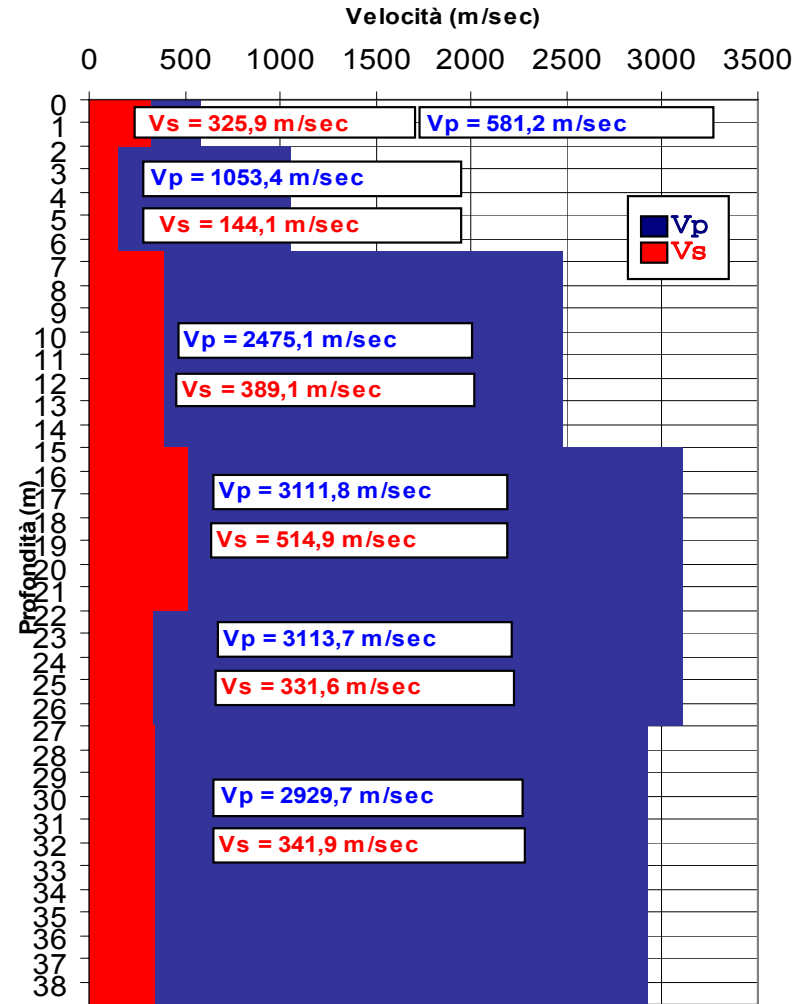
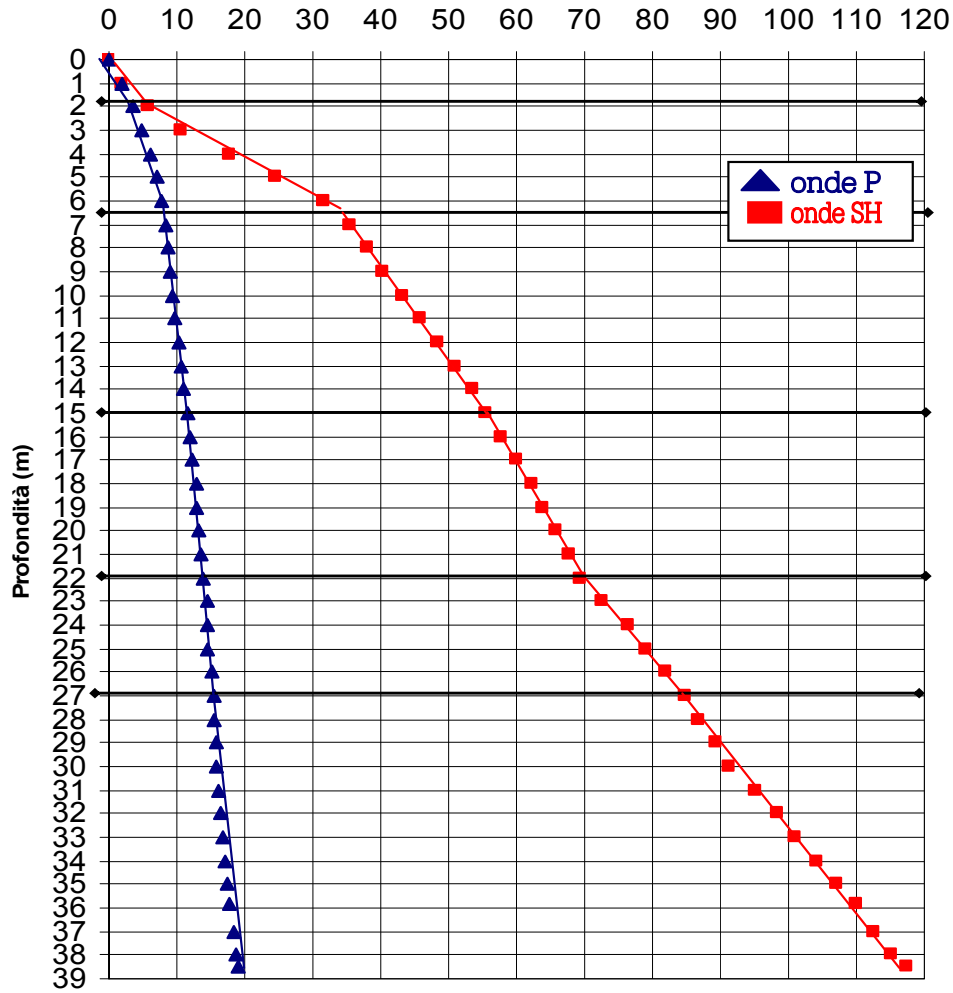

PROSPEZIONE DOWNHOLE

Comune: Lucca - LU

Località: Chiesa Santa Maria F.Portam

Sondaggio S1

Data: 09/06/09



Profondità da m	Vp	Vs	Poisson	Vp/Vs
0-2	581,22	325,87	0,27	1,78
2-6,5	1.053,41	144,11	0,49	7,31
6,5-15	2.475,13	389,06	0,49	6,36
15-22	3.111,80	514,94	0,49	6,04
22-27	3.113,73	331,63	0,49	9,39
27-38,5	2.929,74	341,94	0,49	8,57

Data: 19-20/5/2009		Committente: Ministero per i Beni e le Attività Culturali		Quota: 15.6 m s.l.m.	
Sistema di foro: Carotaggio Continuo		Località: P.zza S.Maria Forisportam		Ditta esecutrice: Methodo srl	
Sondaggio n° 1/2009		Cantiere: Chiesa parrocchiale		Sondatore: Sig. Antonio Golino	
		Geologo di cantiere: Dr. G. Matraia			

Diametro foro (mm)	Carotiere	Velocità di avanzamento	Rivestimento	Manovre	CAROTAGGIO % recupero	Campioni	Quota campioni (m)	Quota assoluta	Profondità dal p.c. (m)	Spessore strato (m)	Scala riferimento (m)	STRATIGRAFIA	DESCRIZIONE DEI TERRENI ATTRAVERSATI	PROVE IN SITU			RQD	Scala riferimento (m)	
														Profondità dal p.c.	Pocket penetrometer (kg/cm ²)	Vane test (kg/cm ²)			Numero colpi S.P.T.
101	S-V	A-C					3.0 3.5	12.8	2.8	2.8	2	Terreno di riporto: Sabbie con limo marrone e pezzame di laterizi.				N ₁ = 02 N ₂ = 03 N ₃ = 07 N _{tot} = 10	2		
								10.2	5.4	2.6	4	Sabbia limosa marrone.	3.5 P.A.					4	
								8.8	6.8	1.4	6	Sabbia limosa talora debolmente argillosa grigia.						6	
								8.6	7.0	0.2	8	Sabbia limosa marrone.	7.5 P.C.					8	
									9.0		10	Ghiaia e sabbia limosa nocciola. La ghiaia ha un buon indice dia arrotondamento e appiattimento con $\phi_{med}=2-3$ cm di natura prevalentemente arenacea.						10	
									11.5		12	Come sopra avana. Presenti sporadici ciottoli ($\phi=7-8$ cm).	11.5 P.C.					12	
									14.5		14	Come sopra nocciola.						14	
	S-V	B-D						15.4	15.4	15.1	15.1	16	Limo e sabbia con sporadiche ghiaie sparse di piccolo diametro.	15.5 P.C.			N ₁ = 16 N ₂ = 34 N ₃ = 41 N _{tot} = 75	16	
										18.0		18	Sabbia grossolana e ghiaia nocciola. Ghiaia a buon indice di arrotondamento e appiattimento $\phi_{med}=1-2$ cm e $\phi_{max}=3-4$ cm. Molto saltuariamente ciottoli.	21.0 P.C.				20	
									-6.5	22.1		22	Limo sabbioso e debolmente argilloso nocciola.	22.4 P.C.	2.2	0.8			22
									-7.9	23.5	1.4	24	Sabbia limosa avana.	23.4 P.C.	1.5	0.8			24
									-8.4	24.0	0.5	26	Sabbia grossolana limosa grigia.						26
									-10.0	25.6	1.6	28	Sabbia limosa dabolmente argillosa nocciola/ocra.						28
									-11.2	26.8	1.2	30	Sabbia limosa debolmente argillosa marrone /ocra e ghiaia. La ghiaia è arrotondata appiattita di natura arenacea, completamente alterata, calcarea quarzifica e marmorea.	27.0 P.C.					30
	S-V	A-C						32.8	-13.8	29.4	2.6	32	Sabbia limosa grossolana ocra.				N ₁ = 07 N ₂ = 10 N ₃ = 18 N _{tot} = 28	32	
									-17.2	32.8	3.4	34	Sabbia limosa ocra e ghiaia poligenica di piccolo diametro.	33.0 P.C.					34
									-17.4	33.0	0.2	36	Limo argilloso e sabbioso ocra e ghiaie sparse spesso concentrate in livelli (15-20 cm) poligeniche di piccolo diametro.	34.5 P.C.	1.8	0.8			36
									-19.4	35.0	2.0	38	Sabbia limosa nocciola.						38
									-19.9	35.5	2.0	40	Sabbia limosa più o meno argillosa ocra e ghiaie sparse poligeniche $\phi_{med}<1$ cm.						40
									-21.2	36.8	1.3		Sabbia grossolana limosa celeste con ghiaie sparse arenacee $\phi_{med}>1$ cm.	37.5 P.C.	2.8	1.8			
									-21.8	37.4	0.6		Limo sabbioso celeste.						
	-22.0	37.6	0.2		Sabbia limosa talora debolmente argillosa a bande ocra e celeste.	39.5 P.C.	2.0	1.0											
	-23.6	39.2	1.6																
	-24.4	40.0																	

CAMPIONI INDISTURBATI:

Shelby Denison

Osterberg Percussione

Mazier Disturbato

SPT:
P.A.=punta aperta
P.C.=punta chiusa

Velocità di avanzamento:
B = bassa
M = media
A = alta
C = continua
D = discontinua

Carotiere:
S = semplice
WL=Wire Line
T6=Carotiere doppio
T6S=Carotiere doppio

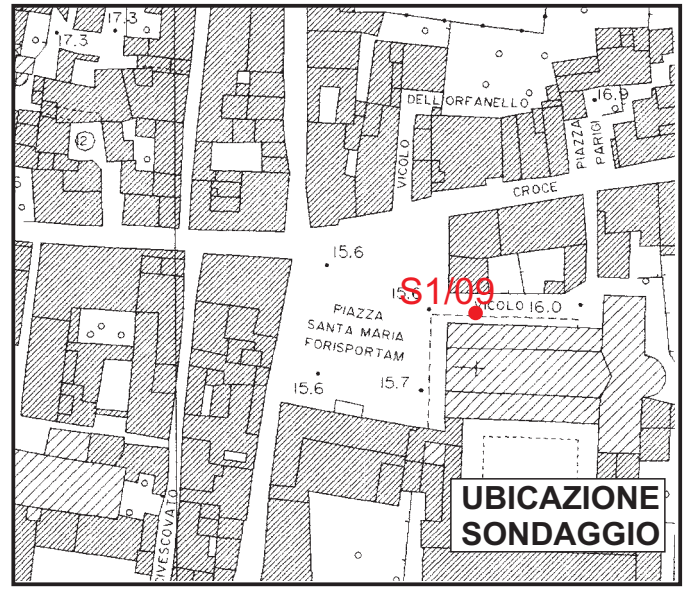
Corona:
D = diamante
V = vidia

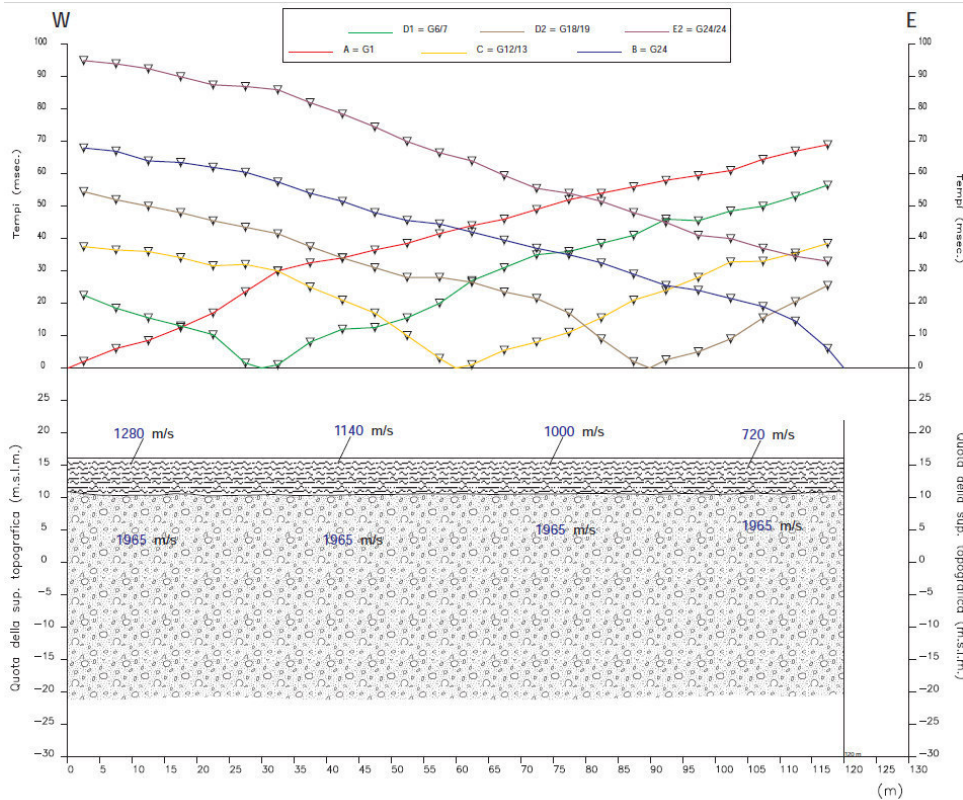
MISURA FALDA ACQUIFERA (m. dal p.c.)

Data	Prof. foro	Quota rivest.	Liv. acqua
20/5/09	25.5	22.5	3.5

NOTE

-Posa in opera di tubo inclinometrico di 40 m





GEOPROVE
 di PAOLO SANI, PIETRO BARSANTI & C.
 GEONOSTICA - GEOFISICA
 PROVE PENE TROMETRICHE
 via Buzameri, 29 LUCCA - tel. 0583467427 fax. 0583910500
 http://www.geoprove.com e-mail: info@geoprove.com n. 01085070461

PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE CON ONDE P

LEGENDA

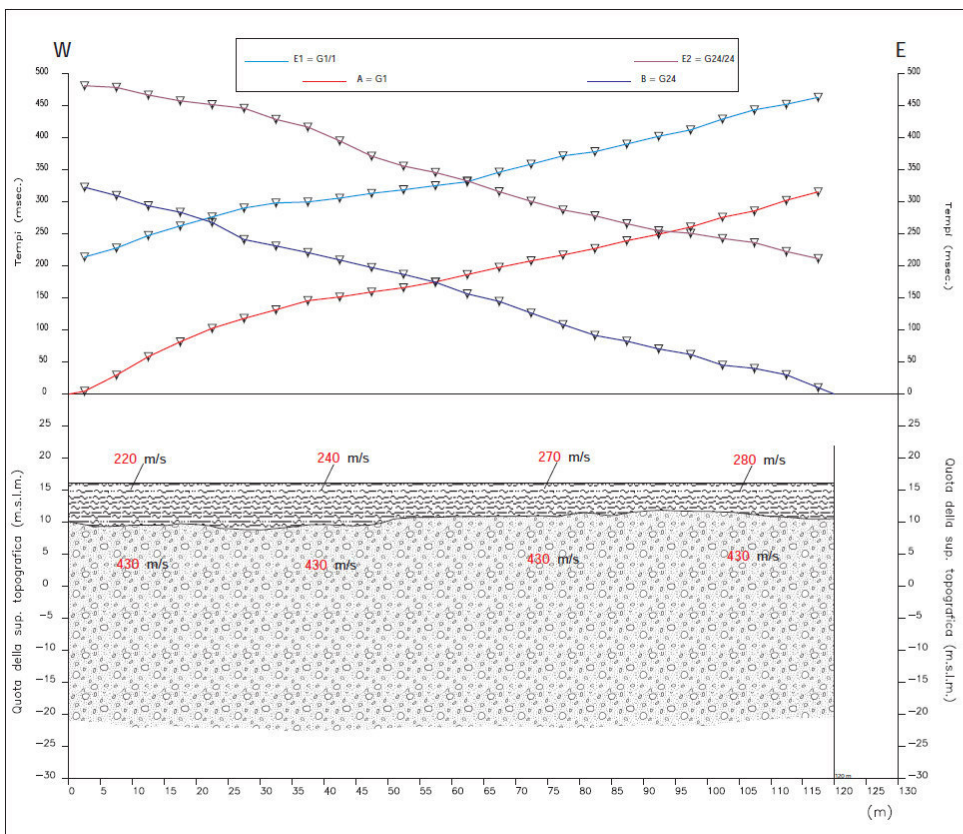
- Tempi dei primi arrivi ai geofoni
- Profilo topografico
- Distanza dalla superficie topografica del limite di strato
- 2500 m/s Velocità sismica dello strato in metri al secondo
- Massicciata stradale, riporto, limi, limi argillosi, sabbie mediamente addensate, parzialmente sature
- Sabbie, ghiaie e ciottoli da mediamente addensati ad addensati e sotto falda; argille molto compatte/dure

Committente:
 Fondazione Lucchese per l'Alta Formazione e la Ricerca

Località: Lucca

Profilo: ST 1 **Scala:** 1:500

File: 0411161 **Data:** 16/11/04



GEOPROVE
 di PAOLO SANI, PIETRO BARSANTI & C.
 GEONOSTICA - GEOFISICA
 PROVE PENE TROMETRICHE
 via Buzameri, 29 LUCCA - tel. 0583467427 fax. 0583910500
 http://www.geoprove.com e-mail: info@geoprove.com n. 01085070461

PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE CON ONDE SH

LEGENDA

- Tempi dei primi arrivi ai geofoni
- Profilo topografico
- Distanza dalla superficie topografica del limite di strato
- 2500 m/s Velocità sismica dello strato in metri al secondo
- Massicciata stradale, riporto, limi, limi argillosi, sabbie mediamente addensate
- Sabbie, ghiaie e ciottoli da mediamente addensati ad addensati; argille molto compatte/dure

Committente:
 Fondazione Lucchese per l'Alta Formazione e la Ricerca

Località: Lucca

Profilo: ST 1 **Scala:** 1:500

File: 0411162 **Data:** 16/11/04

LUCCA COMUNE, CENTRO STORICO
 Coordinate (WGS84): N 43,84161°; E 10,51339°

TR099

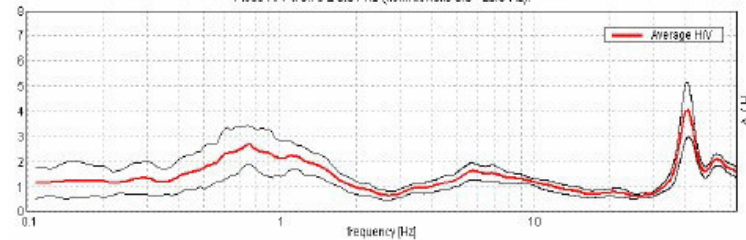


Strumento: TRZ-0101/01-10
 Inizio registrazione: 11/08/14 09:45:58
 Fine registrazione: 11/08/14 10:25:58

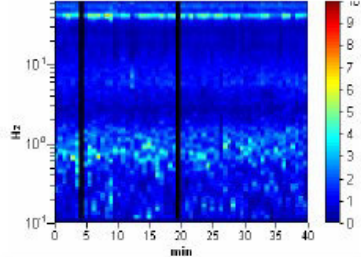
Durata registrazione: 0h40'00".
 Freq. campionamento: 128 Hz
 Lunghezza finestre: 40 s
 Tipo di lisciamento: Triangular window
 Lisciamento: 5% (*) e 10% (**)
 Analizzato 97% tracciato (selezione manuale)
 Condizioni meteo: sereno, calma di vento
 Tipo di superficie: terreno naturale
 Disturbi: rari transienti ed artefatti

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE (**)

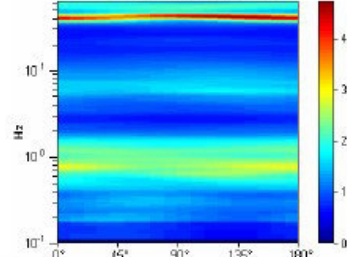
Picco HV a 0.75 ± 0.01 Hz (nell'intervallo 0.0 - 20.0 Hz).



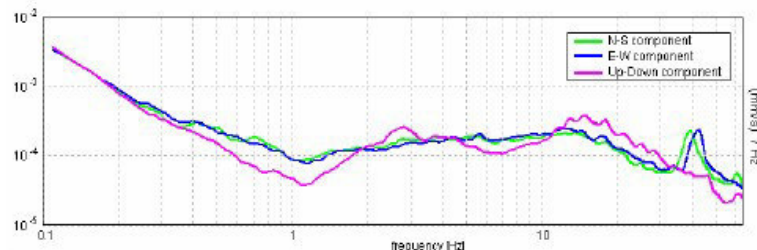
SERIE TEMPORALE HV



DIREZIONALITA' HV



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI (*)



CRITERI SESAME (2004) (1)

Picco HV a 0.75 ± 0.01 Hz (nell'intervallo 0.0 - 20.0 Hz).

Criteri per una curva HV affidabile [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]			
$f_0 > 10 / L_w$	0.75 > 0.25	OK	
$n_w(f_0) > 200$	1740.0 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5$ Hz	Superato 0 volte su 73	OK	
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5$ Hz			
Criteri per un picco HV chiaro [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]			
Esiste f^* in $[f_0/4, f_0] A_{HV}(f) < A_0/2$	0.375 Hz	OK	
Esiste f^* in $[f_0, 4f_0] A_{HV}(f) < A_0/2$	1.703 Hz	OK	
$A_0 > 2$	2.66 > 2	OK	
$f_{picco} A_{HV}(f) \pm \sigma_A(f) = f_0 \pm 5\%$	[0.00393] < 0.05	OK	
$\sigma_f < \epsilon(f_0)$	0.00295 < 0.1125	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.3793 < 2.0	OK	

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

Intervallo di freq. [Hz]	Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$				
	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0
$\epsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{logHV}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

CLASSIFICAZIONE DELLA CURVA HV (2) (3)

CLASSE	B
TIPO	1

La classificazione delle curve HV prevede le seguenti tre classi di qualità:

Classe A (HV affidabile, può essere utilizzata anche da sola)

1)-La forma dell'HV nell'intervallo di frequenze di Interesse rimane stazionaria per almeno il 30% della durata della misura; 2)-le variazioni azimutali di ampiezza non superano il 30% del massimo; 3)-assenza di disturbi elettromagnetici nella banda di frequenza di Interesse; 4)-i massimi sono caratterizzati da una diminuzione localizzata dello spettro della componente verticale; 5)-i primi 3 criteri SESAME per una curva HV attendibile sono verificati; 6)-durata della misura di almeno 15-20 minuti.

Eccezione: nel caso di assenza di contrasti di Impedenza sufficientemente marcati, la condizione 5) non sarà soddisfatta anche se la misura è affidabile (HV tipo 2, v. sotto).

Classe B (HV da "interpretare": va utilizzata con cautela e solo se coerente con altre misure vicine)

Almeno una delle 6 condizioni della classe A non è soddisfatta (a meno che non si rientri nell'eccezione sopra citata)

Classe C (HV scadente e di difficile interpretazione: non va utilizzata)

1)-Misura di tipo B con curva HV che mostra ampiezza crescente al diminuire della frequenza (deriva) indice di movimento dello strumento durante la misura; 2)-misura di tipo B con presenza di rumore elettromagnetico nell'intervallo di frequenze di Interesse.

Per le classi A e B si possono inoltre definire le seguenti due sottoclassi:

Tipo 1: HV con almeno un picco "chiaro" secondo i criteri SESAME (possibile risonanza)

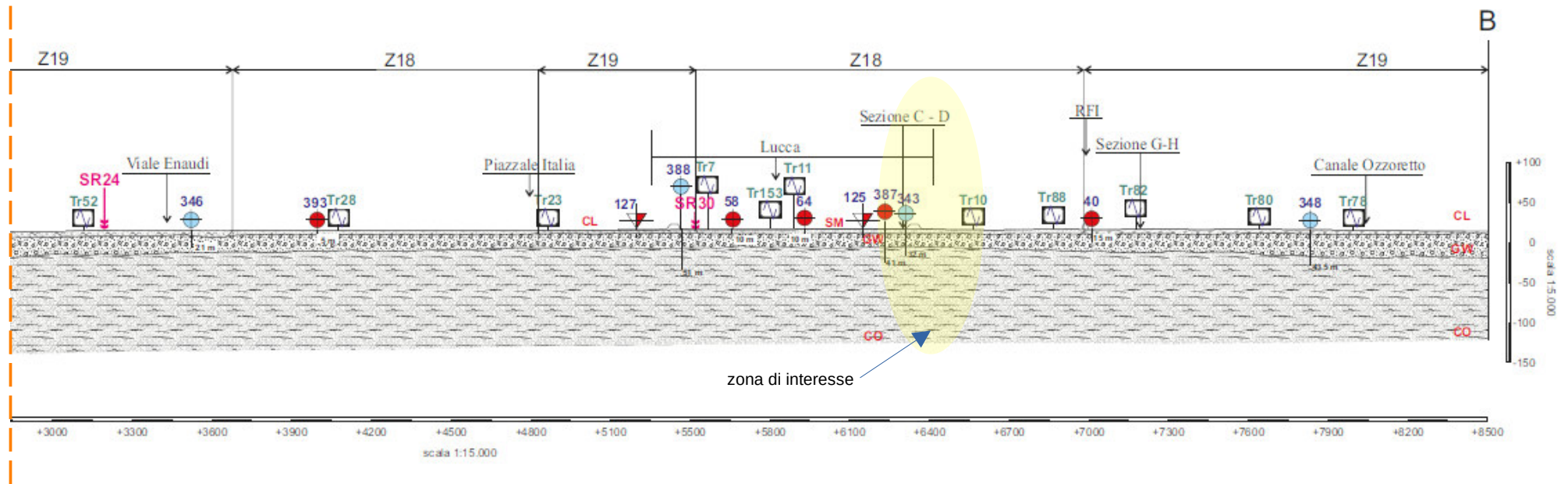
Tipo 2: HV senza picchi "chiaro" nell'intervallo di frequenze di Interesse (ampiezza della curva circa uguale ad 1: assenza di risonanza)

NOTE

Risonanza del sottosuolo anche a 1,1 Hz. Possibilità di debole risonanza anche alla frequenza di 6 Hz.

(1) - SESAME - Smart (2004) - Guidelines for the Implementation of the HV spectral ratio technique on ambient vibration Measurements: progressive and

ALL. 2: Sezione geologica estratta dalla Tav. QG. 09 – Sezioni geologico-tecniche del PIANO OPERATIVO del comune di LUCCA (fuori scala)



Dati geognostici di base

15	Prova penetrometrica statica con punta meccanica (con ID in rosso: dai dati allegati al P.S. 2003)
19	Sondaggio a carotaggio continuo
Tr7	Misura di microtremore a stazione singola
SR6	Profilo sismico a rifrazione
41	Pozzo per acqua

Legenda I.C.M.S. Legenda P.A.I. Legenda C.A.R.G.

RI	rp	h5
GM	c	bn
SM	all1	b1
CL	all1	e3a
GW	all2, cg	b2
CO	arg, fl	VIL

DEPOSITI PLIO-QUATERNARI

	Terreno contenente resti di attività antropica (1-3 m)
	Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo (0-30 m)
	Sabbie limose, miscela di sabbie e limo (0-10 m)
	Argille inorganiche di media-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre (0-12 m)
	Ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaia e sabbie (0-30 m)
	Substrato coesivo sovraconsolidato (0->100 m)

ALL. 3 - Parametri sismici

Parametri sismici

Tipo di elaborazione: Stabilità dei pendii
Muro rigido: 0

Sito in esame.

latitudine: 43,842453
longitudine: 10,512448
Classe: 3
Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 19604	Lat: 43,8471	Lon: 10,5092	Distanza:
575,789				
Sito 2	ID: 19605	Lat: 43,8488	Lon: 10,5785	Distanza:
5339,712				
Sito 3	ID: 19827	Lat: 43,7988	Lon: 10,5808	Distanza:
7322,579				
Sito 4	ID: 19826	Lat: 43,7971	Lon: 10,5117	Distanza:
5044,532				

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: C
Categoria topografica: T1
Periodo di riferimento: 75anni
Coefficiente cu: 1,5

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %
Tr: 45 [anni]
ag: 0,051 g
Fo: 2,554
Tc*: 0,248 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %
Tr: 75 [anni]
ag: 0,061 g
Fo: 2,581
Tc*: 0,265 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %
Tr: 712 [anni]
ag: 0,147 g
Fo: 2,377
Tc*: 0,293 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %
Tr: 1462 [anni]
ag: 0,185 g
Fo: 2,389
Tc*: 0,302 [s]

Coefficienti Sismici Stabilità dei pendii

SLO:

Ss: 1,500
Cc: 1,660
St: 1,000

Kh: 0,015
Kv: 0,008
Amax: 0,743
Beta: 0,200

SLD:

Ss: 1,500
Cc: 1,630
St: 1,000
Kh: 0,018
Kv: 0,009
Amax: 0,892
Beta: 0,200

SLV:

Ss: 1,490
Cc: 1,570
St: 1,000
Kh: 0,053
Kv: 0,026
Amax: 2,148
Beta: 0,240

SLC:

Ss: 1,440
Cc: 1,560
St: 1,000
Kh: 0,064
Kv: 0,032
Amax: 2,608
Beta: 0,240

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50
Geostru

Coordinate WGS84
latitudine: 43.841491
longitudine: 10.511447