

STUDIO DI GEOLOGIA

BARSANTI, SANI & ASSOCIATI

via Buiamonti 29 - 55100 LUCCA - Partita IVA: 01134410461
Tel. 0583/467427 Fax. 0583/91090 e-mail: bar-sani@geoprove.com

COMUNE DI LUCCA

**INDAGINI GEOLOGICHE, SISMICHE E GEOTECNICHE DI SUPPORTO AL
PROGETTO DELLA NUOVA VIABILITÀ DI COLLEGAMENTO TRA S.S.439 E
VIA DEI SILLORI NELLE FRAZIONI NAVE - S. ANGELO ED ALLA
CONTESTUALE VARIANTE AL REGOLAMENTO URBANISTICO EX ART. 34
DELLA L.R 65/2014 (L. R. 65/2014 - D.P.G.R. 5/R/ 2020)**

Relazione tecnica

Ottobre 2021

Il Geologo:

INDICE

PREMESSA	3
1. INQUADRAMENTO GEOLOGICO ED IDROGEOLOGICO	7
2. CARATTERIZZAZIONE STRATIGRAFICA DEI TERRENI	8
2.1. Prove penetrometriche statiche meccaniche e con punta elettrica- piezocono CPTU	8
2.2. Prove penetrometriche statico - dinamiche pesanti (CPT-DPSH)	8
2.3. Prove penetrometriche dinamiche pesanti	9
2.4. Prospezione sismica con onde superficiali tipo MASW	10
3. VALUTAZIONI SISMICHE	14
3.1.1. Parametri sismici	14
3.1.2. Categoria di sottosuolo	16
3.1.3. Spettro di risposta elastico	17
4. LE CONDIZIONI DI FATTIBILITA' DELLA VARIANTE	18
4.1 Generalità	18
4.1.1 Le condizioni di fattibilità in relazione agli aspetti geologici	19
4.1.2 Le condizioni di fattibilità in relazione agli aspetti sismici	19
4.1.3 Le condizioni di fattibilità in relazione agli aspetti idraulici	20
4.1.4 Le condizioni di fattibilità in relazione a problematiche idrogeologiche	20

ELENCO DEGLI ALLEGATI E DELLE FIGURE

ALL. N° 1 - ESTRATTI DEL REGOLAMENTO URBANISTICO DEL PS DEL PAI
DEL F. SERCHIO E DEL PGRA

ALL. N° 2 - TAVOLE E DIAGRAMMI PROVE PENETROMETRICHE
CPTU/CPT/DPSH

ALL. N° 3 - PROSPEZIONE SISMICA MASW

Fig. 1 - CARTA GEOLOGICA - Scala 1:5.000

Fig. 2 - PLANIMETRIA - Scala 1:2000

Fig. 3 - SEZIONI STRATIGRAFICHE E GEOTECNICHE - Scala 1:100

PREMESSA

Nell'ambito dell'incarico del Comune di Lucca (Determinazione n. 1662 del 2/10/2020) è stata redatta una relazione geologica e sismica di supporto al progetto della strada di collegamento tra la S.S. 439 e la via dei Sillori nelle frazioni Nave - S. Angelo del Comune di Lucca e relativa variante al Regolamento Urbanistico.

La riclassificazione sismica del territorio nazionale intervenuta a seguito dell'emanazione della O.P.C.M. n° 3274/03 del 20 Marzo 2003, pubblicata sulla G.U. n° 105 dell'8 Maggio 2003, e delle successive proroghe, ha definito il territorio del Comune di Lucca sismico di Zona 3. Tale classificazione è stata riconfermata dalla O.P.C.M. n° 3519 del 28 Aprile 2006, in base alla quale la Regione Toscana pone il Comune di Lucca, secondo la "Proposta di riclassificazione sismica RT4" del Giugno 2006, in Zona 3 con accelerazione su suolo rigido $ag = 0.15$ ed ulteriormente confermata dalla Delibera GRT n° 878 dell'8 Ottobre 2012.

Con Decreto del 17 Gennaio 2018, pubblicato sulla G.U. n. 42 del 20/2/2018 suppl. ord. n° 8, sono state inoltre approvate le nuove *Norme tecniche per le costruzioni*, entrate in vigore lo scorso 22 Marzo 2018. Da tale data, peraltro come per le precedenti NTC 2008, la stima della pericolosità sismica, intesa come accelerazione massima orizzontale su suolo rigido, viene definita mediante un approccio "sito dipendente" e non più "zona dipendente": in altre parole, definite le coordinate del sito interessato dal progetto, questo sarà sempre compreso tra quattro punti della griglia di accelerazioni (Allegato A del D.M. 14 Gennaio 2008), e, tramite media pesata, ad esso competerà un valore specifico di accelerazione che dipenderà anche dalla tipologia della costruzione (vita di riferimento V_r) e dal tipo di verifica progettuale (Stati Limite di Esercizio SLO e SLD; Stati limite Ultimi SLV e SLC).

Il Regolamento Urbanistico del 2004 del Comune di Lucca e succ. integrazioni (di cui alcuni estratti sono contenuti in All.1) ha definito per l'area in esame le seguenti classi di pericolosità.

- Classe di pericolosità geomorfologica e geotecnica: pericolosità geotecnica delle aree di pianura **classe 2l -Bassa**,
- Classe di Pericolosità idraulica: **classe 2i -Bassa**,
- Pericolosità da fenomeni sismici: **classe 3t -Media**,

Poiché l'intervento in oggetto (strada) ha un'esposizione media (definibile come mobilità meccanizzata in elementi di viabilità locale), ai sensi delle tabelle contenute nelle N.T.A., della Matrice per la valutazione della fattibilità, nonché della carta della fattibilità del R.U., il previsto intervento assume le seguenti classi di fattibilità:

- Classe di Fattibilità geotecnica **2l**,
- Classe di Fattibilità idraulica **2i**,
- Classe di Fattibilità sismica **3tt**.

Inoltre il sito, come dedotto dalle ulteriori carte allegate al R.U., è così caratterizzato:

- *Carta della vulnerabilità degli acquiferi A2.8 - **Grado di vulnerabilità Alto;***
- *Carta degli ambiti A1 e B e delle aree di pertinenza fluviale AP.8 – **Area esterna a qualsiasi ambito;***
- *Carta delle categorie di suolo di fondazione A4.8 – **Area con profilo stratigrafico C presunto da dati stratigrafici.***

Per tale intervento non sono previste limitazioni, ma solo prescrizioni.

Secondo il P.S. adottato in data 31 maggio 2016 l'area ricade in classe di **pericolosità geomorfologica G1**, in classe di **pericolosità idraulica elevata I.3** ed in classe di **pericolosità sismica S.3** (salvo il primo tratto settentrionale ricadente in **S2**). L'intervento risulta compatibile con le norme del Piano Strutturale, ancorché condizionato alla realizzazione dell'infrastruttura in condizioni di sicurezza idraulica rispetto allo scenario alluvionale duecentennale.

Le cartografie PAI del F. Serchio in linea idraulica e le relative norme non sono più in vigore dal 26/11/2019, data di entrata in vigore della Variante PAI di Adeguamento al Piano di Gestione Rischio Alluvioni del Distretto Idrografico dell'Appennino Settentrionale, comunque, come risulta dalla Cartografia dall'Autorità di Bacino Distrettuale, l'area ricade in classe di pericolosità da alluvione P2, soggetta ad essere allagata da eventi con tempo di ritorno (Tr) pari a **200 anni** con un tirante idrico di 14.19 m s.l.m. a fronte di una quota della strada in corrispondenza della Sarzanese di 14.10 / 14.20 m s.l.m., e di una quota in corrispondenza della via Pellegrini di circa 12.95 m s.l.m. mentre la quota in corrispondenza della via dei Sillori è di circa 12.70 m s.l.m..

c) Classi di pericolosità da alluvione ai sensi del PGRA Distretto Appennino Settentrionale

L'area oggetto di intervento risulta, nella cartografia del PGRA in classe **P2** (media) di pericolosità da alluvione. Per quanto riguarda le prescrizioni il PGRA rimanda alla LR 41/2018.

d) L.R. 41/2018

L'intervento in studio prevede la realizzazione del collegamento tra la S.S. Sarzanese e via Pellegrini, all'interno del centro abitato di Nave, proseguendolo verso sud fino a via dei Sillori dove sarà realizzata una rotatoria, con allargamento della strada verso ovest fino alla sede di Sistema Ambiente di S. Angelo. Questi due ultimi tratti sono in ambito extra urbano. Il tratto centrale, tra via Pellegrini e via dei Sillori, nei primi 150 mc.a. a partire da via Pellegrini, corre tra il Fosso Casale ed alcune abitazioni. Tale Fosso è un corso d'acqua inserito nel reticolo idrografico di cui all'art. 22, comma 2, lettera e)

della L.R. 27/12/2012 n. 79, per cui si rientra nei dettami dell'art. 3 della LR 41/2018 – Tutela dei corsi d'acqua.

Dovendo porre la strada in sicurezza idraulica sopra battente è previsto di portarla alla quota di 14.40 m s.l.m., ritenendo un franco di 20 cm sufficiente stante per il raggiungimento di un grado di rischio basso. Sarà pertanto realizzato un rilevato di circa 1.8 m di altezza.

A causa della presenza di fabbricati a sud di via dei Pellegrini la strada dovrà necessariamente correre in vicinanza (circa 4 m) del Fosso Casale, vale a dire ad una distanza inferiore a 10 m dal ciglio di sponda dello stesso e quindi all'interno della fascia di tutela.

L'intervento dovrà essere preventivamente valutato e autorizzato dalla struttura Regionale competente che verificherà la compatibilità idraulica dell'intervento secondo i disposti del comma 5. dell'art. 3 della LR 41/2018 e successive modifiche e integrazioni.

In merito alla gestione del rischio alluvioni (Capo II, II e IV della LR 41/2018) l'intervento ricade all'interno delle aree a pericolosità da alluvioni poco frequenti con magnitudo idraulica molto severa, in quanto è previsto un battente compreso tra 0.9 e 1.5 m c.a..

Per il tratto di strada a nord, tra via Sarzanese e via Pellegrini, ricadendo il tracciato (secondo quanto indicato nel progetto del Comune di Lucca) all'interno del territorio urbanizzato e in area a pericolosità da alluvioni poco frequenti, secondo i disposti del comma 2. dell'art.13 (Infrastrutture lineari o a rete), l'infrastruttura lineare può essere realizzata a condizione che sia assicurato il non aggravio delle condizioni di rischio in altre aree, che non sia superato il livello di rischio medio R2 e che siano previste le misure preventive atte a regolarne l'uso in caso di eventi alluvionali. In altre parole potrà essere realizzata anche sotto tirante (quindi ad una quota inferiore a 14.19 m s.l.m.) purchè la lama d'acqua considerata sia tale da produrre danni minori all'infrastruttura, che non pregiudichi l'incolumità delle persone e l'agibilità dell'infrastruttura. Ovviamente la delimitazione dell'ingombro della strada deve essere sempre visibile e percettibile mediante appositi segnalazioni (gard rail o ad es. "paline colorate").

Sempre seguendo il progetto il nuovo tracciato di collegamento nel tratto tra via Pellegrini e Via dei Sillori si posiziona al di fuori del territorio urbanizzato (strada extraurbana secondaria) e pertanto secondo i disposti dell'art. 16 comma 4 in tali zone "possono essere realizzate nuove infrastrutture a sviluppo lineare a condizione che sia realizzata almeno una delle opere di cui all'art. 8, comma 1, lettere a), b) o c). In questo caso sono previste opere di cui alla lettera c), vale a dire la sopraelevazione, senza aggravio delle condizioni di rischio in altre aree, garantendo quindi la cosiddetta trasparenza idraulica mediante una serie di collettori alla base del rilevato, che permettano il collegamento idraulico tra le parti opposte, aventi una sezione rettangolare variabile tra 0.8 x 1.0 m e 1.0 x 1.2 m (dimensioni interne).

In corrispondenza dell'incrocio con via dei Sillori è previsto un semplice allargamento di questa via e pertanto in questo caso si rientra nella fattispecie di un ampliamento e adeguamento di infrastrutture a sviluppo lineare esistente e non di una nuova infrastruttura. L'intervento non rientrando nell'art. 16 (ed in particolare nel comma 4) è realizzabile alle condizioni dell'art. 13, in questo caso il comma 3., vale a dire a condizione che sia assicurato il non aggravio delle condizioni di rischio in altre aree, che non sia superato il livello di rischio medio R2 e che siano previste le misure preventive atte a regolarne l'uso in caso di eventi alluvionali. In questo caso però innalzare la quota strada comporterebbe notevoli problemi di accesso alla sede di Sistema ambiente e ai campi coltivati limitrofi che sono serviti da una serie di passi che si dipartono dalla strada. Considerato inoltre che tutta la viabilità collegata attorno è alla stessa quota di Via dei Sillori, che tutta la zona servita da questa strada compreso tutto il complesso di Sistema Ambiente è alla stessa quota della Via o più bassa, e che l'ampliamento in progetto ha il solo scopo di permettere un più agevole transito degli ingombranti mezzi pesanti da e per Sistema Ambiente verso la nuova viabilità ponendo fine alle criticità ed alle problematiche connesse al transito degli stessi sulle strette strade attuali (via Ducceschi e via dei Sillori) costrette tra file laterali di case e problemi di scambio con altri mezzi, si ritiene ammissibile in questa situazione particolare mantenere su questo tratto di via da ampliare la stessa quota dell'esistente con lo stesso grado di rischio attuale, che tra l'altro consentirà di non aggravare le condizioni di rischio in altre aree e mantenere la perfetta trasparenza idraulica.

Ovviamente questa struttura dovrà essere inserita nel piano della Protezione Civile Comunale e siano previste misure preventive per regolarne l'uso quali delimitare i lati della strada con paletti laterali di opportuna altezza e visibilità e di prevedere apposite segnalazioni acustiche di allarme che consentano in caso di piena ai fruitori della strada di portarsi sul nuovo tracciato ad poco a Est realizzato sopra battente.

Il presente rapporto, redatto a norma del D.M. 17 Gennaio 2018, del DPRG n° 36/R del 9 luglio 2009 della Regione Toscana e del Regolamento 5/R/2020 illustra la metodologia delle indagini eseguite, l'elaborazione dei dati ed i risultati conseguiti.

1. INQUADRAMENTO GEOLOGICO ED IDROGEOLOGICO

L'area delle indagini (vedi CARTA GEOLOGICA di Fig. 1 alla Scala 1:5.000) ricade nel settore occidentale della pianura lucchese, in sinistra orografica del F. Serchio, in località Nave – S. Angelo, tra la S.S. Sarzanese e la via dei Sillori fino a Sistema Ambiente, su terreno pianeggiante alla quota media compresa tra 12.5 e 13.2 m s.l.m.

Dal punto di vista geologico il sito ricade su depositi alluvionali recenti trasportati e deposti dal fiume Serchio.

Secondo le ipotesi geotettoniche correnti la pianura lucchese e le aree adiacenti fanno parte di un'ampia depressione tettonica iniziata a formarsi nel Miocene Superiore. Essa è stata sede di una sedimentazione di ambiente prevalentemente salmastro a SudEst (*colline delle Cerbaie*), mentre a Nord la depressione era occupata, almeno fino al Pleistocene Inferiore, da un vasto lago con conseguente sedimentazione di origine lacustre e fluviolacustre.

Tali sedimenti lacustri e fluviolacustri, suddivisi in due successivi cicli di sedimentazione interrotti da episodi di sollevamento e traslazione, si ritrovano oggi dislocati ai margini della pianura sulle prime propaggini delle Pizzorne e sulle colline di Porcari, Montecarlo ed Altopascio, mentre nella pianura stessa si ritrovano coperti da altri sedimenti alluvionali più recenti.

La coltre alluvionale deriva dai fenomeni evolutivi che hanno interessato la piana lucchese ed il corso del Serchio a partire dalle variazioni climatiche collegate alle glaciazioni quaternarie, quando il Serchio confluiva nell'Arno all'altezza di Calcinaia.

Successivamente il progressivo innalzamento del letto dell'Arno impedì il deflusso delle acque del Serchio che, attraverso alterni episodi di alluvionamento ed impaludamento, trovò infine uno sbocco al mare indipendente tracimando dalla soglia di Ripafratta. L'assetto attuale della piana è il risultato della regimazione fluviale e delle bonifiche operate in epoca storica a partire dal XII secolo d.C..

I depositi alluvionali della piana di Lucca sono quasi ovunque caratterizzati da una successione stratigrafica monotona, che, per quanto accertato attraverso i dati di sondaggi e pozzi per acqua, nella zona risulta così costituita:

- depositi prevalentemente fini (limo-argilloso-sabbiosi) in superficie per uno spessore di circa 9 m;
- depositi prevalentemente grossolani (ghiaie, ciottoli e sabbie) fin oltre 35 m di profondità.

Nei depositi alluvionali recenti trova sede un ricco acquifero a pelo libero intensamente sfruttato ad uso idropotabile ed industriale, caratterizzato da ottimi parametri idrodinamici (**Trasmissività** dell'ordine di $T = 5 \times 10^{-2}$ m/sec), il cui livello piezometrico mediamente fluttua nel corso dell'anno tra la profondità di -1 e -3 m sotto il piano campagna naturale.

2. CARATTERIZZAZIONE STRATIGRAFICA DEI TERRENI

Per la ricostruzione del profilo stratigrafico e geotecnico dei terreni sono state effettuate n. 4 prove penetrometriche statico-dinamiche pesanti, ed utilizzate n. 2 prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTU) oltre ad una prova penetrometrica statica fornitaci dalla Committenza. L'ubicazione delle prove è riportata nella Planimetria di Fig. 2 alla scala 1:2.000.

Per la determinazione della categoria di sottosuolo ai sensi delle NTC 2018 è stata utilizzata una prospezione sismica con onde superficiali (MASW) ubicata come nella Planimetria di Fig. 2.

2.1. Prove penetrometriche statiche meccaniche e con punta elettrica-piezocono CPTU

Lo strumento utilizzato è un penetrometro statico prodotto dalla PAGANI GEOTHECNICAL EQUIPMENT, modello TG63/200 da 200 kN di spinta, con punta meccanica per le prove CPT e con punta digitale con sistema di acquisizione TGAS06 e trasduttore di profondità per le CPTU.

Per le caratteristiche strumentali e le modalità di acquisizione dei dati e la loro elaborazione si rimanda al relativo rapporto della Geoprobe S.a.S. di cui all'All.to n. 2

Le prove CPTU hanno raggiunto le profondità di 9.5 m (P1) e 9.5 m (P2). Entrambe le prove sono state approfondite mediante prova dinamica pesante

2.2. Prove penetrometriche statico - dinamiche pesanti (CPT-DPSH)

Lo strumento utilizzato è un penetrometro statico prodotto dalla PAGANI GEOTHECNICAL EQUIPMENT, modello TG63/200 da 200 kN di spinta, con punta meccanica tipo Begemann, cella di carico di sommità Hottinger classe 0,2 e centralina elettronica di rilevamento dati.

Nei diagrammi e nelle tavole dell'All. n° 3 sono riportate le misure effettuate ogni 20 cm di avanzamento della punta. Sono stati rilevati i valori di:

- Rp: resistenza alla punta, a rottura (kg/cm²)
- Rf: " di attrito laterale locale (kg/cm²)
- Ft: " all'avanzamento totale della colonna (kg)
- Ft: " all'avanzamento totale della colonna (kg)

E' stato inoltre calcolato il valore del rapporto Rp/Rf, noto con il nome di rapporto Begemann: esso dipende dalla granulometria dei terreni attraversati e permette pertanto la ricostruzione della stratigrafia dei terreni, come riportato a fianco dei diagrammi con simbologia internazionale secondo l'interpretazione di SEARLE (1979).

Nelle tavole sono inoltre riportati i valori derivati di:

- angolo di attrito interno (ϕ in $^{\circ}$);
- densità relativa (D_r in %);
- coesione non drenata (c_u in kg/cm²);
- coefficiente di compressibilità volumetrica (mv in cm²/kg).

Le prove hanno raggiunto le seguenti profondità: P1 = 9.2 m, P2 = 9.2 m, P3 = 7.8 m, P4 = 10 m.

Tutte le prove si sono arrestate in corrispondenza del tetto dello strato giaioso – ciottoloso. Le prove n. 1, 2 e 3 sono state approfondite con metodologia dinamica superpesante.

2.3. Prove penetrometriche dinamiche pesanti

Lo strumento utilizzato per le prove è un penetrometro dinamico modello PAGANI TG63/200 KN (tipo “Emilia” superpesante DPSH) avente le seguenti caratteristiche:

- peso del maglio: 63.5 kg
- altezza di caduta: 75 cm
- sezione della punta conica: 20 cmq
- angolo di apertura della punta: 60°
- intervallo di lettura del numero di colpi (penetrazione Standard): 20 cm

Dal numero di colpi N_{20} si ricava la resistenza dinamica di punta R_d in kg/cmq attraverso la già citata *Formula Olandese*:

$$R_d = \frac{M^2}{M + M_s + \Sigma P} \times \frac{h}{A \cdot e}$$

dove:

M :	peso del maglio	(kg 63.5)
M_s :	peso del sistema di battuta	(0.5 kg)
P :	peso delle aste	(kg 6.25 cad.)
h :	alzata del maglio	(cm 75)
A :	sezione della punta	(cm ² 20)
e :	avanzata per colpo o rifiuto	(cm)

I valori di N_{20} e di R_d sono tabulati e diagrammati in funzione della profondità in metri.

I valori del numero di colpi registrato ogni 20 cm di avanzamento della punta (N_{20}) vengono inoltre correlati al numero di colpi della prova di penetrazione standard (N_{spt}) secondo le esperienze di Borowczyk e Frankowsky (1981) attraverso un fattore di correlazione β .

Le prove, in prosecuzione delle statiche, sono state spinte fino alla profondità di 10 m.

Nel foro delle prove è stato inserito un piezometro in pvc per rilievo della falda idrica.

2.4. Prospezione sismica con onde superficiali tipo MASW

La campagna geofisica è stata effettuata per la definizione della categoria di sottosuolo ex D.M. 17 Gennaio 2018 – *Norme tecniche per le costruzioni*, ovvero per individuare la velocità media di propagazione delle onde di taglio nei primi trenta metri sotto la superficie del terreno (V_{s30}), così come prescritto dal RU e dal D.M. 17/1/2018, nonché dal recente DPGR 9 Luglio 2009, n. 36/R entrata in vigore il 14/8/09.

Lo strumento utilizzato è un prospettore sismico EG & GEOMETRICS STATAVISOR NZXP a 48 canali.

Per i principi della sismica e le modalità operative si rimanda al relativo rapporto della Geoprobe S.a.S. di cui all'All.to n. 3. Di seguito si riassumono soltanto le conclusioni in merito all'assetto sismostratigrafico locale derivante dalle onde superficiali (metodo MASW), come riportato nel profilo di velocità V_s in funzione della profondità in m.

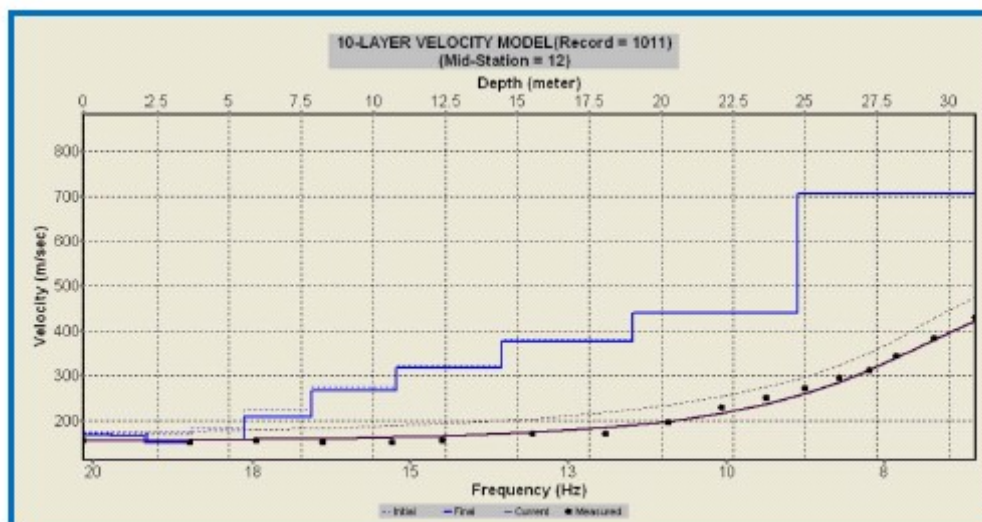


Fig. 3 – Profilo di velocità Vs.

Spessore strati (m)	Profondità (m)	Velocità Vs (m/sec)
1.0	1.0	167.4
1.2	2.2	165.1
1.5	3.7	150.0
1.9	5.5	156.2
2.3	7.9	207.2
2.9	10.8	266.5
3.7	14.5	317.8
4.6	19.0	376.1
5.7	24.8	438.59
0.0	24.8	705.36

Tab. 2 – Spessore, profondità della base e velocità delle onde S degli strati individuati nel profilo di figura 3.

2.5. Stratigrafia dei terreni

Di seguito si riporta la stratigrafia media del terreno con la caratterizzazione geotecnica media dei vari strati individuati dall'interpretazione delle prove eseguite. La modellazione stratigrafica e geotecnica puntuale relativa a ciascuna prova effettuata è riportata nelle sezioni stratigrafiche di Fig. 3 alla Scala 1:100.

Nel complesso si nota la presenza di un pacco superficiale di terreni normalconsolidati o leggermente sovransolidati, dello spessore di circa 9 m (7.6 m in P3), con una certa variabilità stratigrafica lungo il tracciato, soprattutto legata alla presenza discontinua al suo interno di orizzonti sabbioso limosi, riposante sopra un materasso ghiaioso sabbioso ciottoloso di una ventina di metri di spessore.

Il pacco superficiale di terreni è costituito prevalentemente da alternanze di limi argillosi più o meno sabbiosi mediamente consistenti e compatti, con interstrati e/o lenti sabbiose o sabbiose limose sciolte. La presenza degli strati sabbiosi diminuisce da Nord verso Sud.

La stratigrafia media indicativa del sito risulta la seguente:

- In superficie, al di sotto dei primi 30 cm circa di terreno agrario areato, fino alla profondità di 7.8 m in P1 (Sez. 3), di 9 m in P2 (Sezione 4), 6 m in P3 (Sez. 6), 8 m in P2 CPTU (Sez. 8) e 6.8 m in P4, si incontrano dei **limi argillosi più o meno sabbiosi** che si susseguono in strati alternati di consistenza variabile da mediamente consistente a compatta, e da mediamente consistente a molle in P2 CPTU (Sez. 8). Gli strati *compatti* mostrano una resistenza alla punta del penetrometro statico $q_c=R_p = 9/10\div 12/16$ kg/cm² ai quali corrispondono valori di coesione non drenata $c_u = 0.5\div 0.6/0.8$ kg/cm² ed un coefficiente di compressibilità volumetrica $mv=0.032\div 0.016$ cm²/kg. Gli strati *mediamente consistenti* mostrano una $q_c=R_p = 4/5\div 8/9/10$ kg/cm² ai quali corrispondono valori di $c_u = 0.25/0.3\div 0.4/0.5$ kg/cm² ed un $mv=0.063/0.040\div 0.033/0.023$ cm²/kg. Lo strato *molle* si rinviene in P 2 (CPTU) tra la profondità di 6.2 e 8 m e presenta una $q_c=4\div 5$ valori con valori di $c_u = 0.20\div 0.25$ kg/cm² ed un $mv=0.038$ cm²/kg. secondo il metodo generale del modulo edometrico e 0.069 secondo Buisman – Sanglerat. Il peso di volume naturale per questo strato è $\gamma = 1.80\div 1.85$ t/m³, il peso di volume saturo $\gamma_{sat} = 1.95$ t/m³. Da analisi di laboratorio effettuate nelle vicinanze su alcuni campioni indisturbati di terreno si ricavano i seguenti valori: F.A. = 17.2÷20.4; I.P. = 14.06÷18.45; parametri di resistenza a lungo termine $\phi' = 31.6^\circ$ e coesione $c' = 0.018$ kg/cm².

- All'interno di questo strato limoso argilloso più o meno sabbioso si incontrano a luoghi (in P1, in P2 e in P4) **degli orizzonti o lenti sabbioso limosi** di spessore variabile tra 0.8 e 1.4 m, caratterizzate da una $R_p = 9\div 16$ kg/cm², densità relativa $D_r = 20/25\div 30/35\%$, angolo di attrito interno $\phi=\phi' = 27/28^\circ\div 30^\circ$ ed un coefficiente di compressibilità volumetrico $mv=0.030\div 0.019$ cm²/kg. A questo strato può essere attribuito un peso di volume naturale $\gamma = 1.85$ t/m³ e un peso di volume saturo $\gamma_{sat} = 1.95$ t/m³.

- Segue dalle profondità suddette fino a 9 m in P1 (Sez. 3), 7.6 m in P3 (Sez. 6), 8.8 m in P2 CPTU (Sez. 8) e 9.4 m in P4, assente in P2, uno strato di **sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi sciolti** caratterizzati da valori di $R_p=q_c$ (CPTU) = $9/15\div 25/28$ kg/cm², cui corrisponde una densità relativa $D_r = 15\div 25/40\%$, un angolo di attrito interno $\phi=\phi' = 28^\circ\div 32^\circ$ ed un coefficiente di compressibilità volumetrico $mv=0.033/0.025\div 0.012$ cm²/kg. A questo strato può essere attribuito un peso di volume naturale $\gamma = 1.85$ t/m³ e un peso di volume saturo $\gamma_{sat} = 1.95$ t/m³.

- Dalla profondità di 9 m in P1 e P2, 7.6 m in P3, 8.8 m in P2 cptu e 9.4 m in P4 segue infine un potente strato di **ghiaie, sabbie e ciottoli** continuo, secondo i dati di un sondaggio geognostico eseguito a sud della “montagnola” di Sistema Ambiente, sino a 29.3 m di profondità ed indagato dalle prove di riferimento fino a 10÷15 m. Tale strato è caratterizzato da una $R_p > 300$ kg/cm², da un numero di colpi del penetrometro dinamico superpesante riportato al numero di colpi dello Standard Penetration Test $N_{spt}=22/25\div 35 > 10060$, e da un numero di colpi N_{spt} in foro nel sondaggio = $44\div > 100$, valori cui corrisponde un grado di addensamento *da medio ad addensato*, a cui si fa corrispondere secondo vari Autori una densità relativa $D_r=55/60\div 80\%$, un angolo di attrito interno $\phi=\phi' =$ di $35^\circ\div 40^\circ$ ed un coefficiente di compressibilità volumetrico $mv =$

0.004÷0.002 cm²/kg. A tale strato può essere attribuito un peso di volume naturale $\gamma = 1.95/2.0$ t/m³, peso di volume saturo $\gamma_{\text{sat}} = 2.05/2.10$ t/m³.

Per la copertura si tratta nel complesso di depositi normalconsolidati (o leggermente sovraconsolidato) di scadenti caratteristiche geotecniche che necessitano di una cautela progettuale sia per quanto concerne la resistenza al taglio (e quindi la capacità portante), sia per l'entità degli assestamenti sotto carico. Ottime caratteristiche geomeccaniche presentano invece i sottostanti depositi ghiaioso-ciottolosi.

3. VALUTAZIONI SISMICHE

3.1 Azione sismica

Per effetto della propagazione delle onde sismiche, il terreno trasmette sulle opere il moto sismico ovvero l'*azione sismica*, alla quale le strutture reagiscono con una *risposta dinamica* che va verificata negli aspetti di sicurezza e di prestazioni attese dell'opera in progetto.

3.1.1. Parametri sismici

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, sono stabilite a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione: questa è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (categoria A), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate possibilità di eccedenza P_{Vr} (vedi tabella) nel periodo di riferimento V_r ("Vita di riferimento").

Le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{Vr} , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

a_g : accelerazione orizzontale massima al sito

F_0 : valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale

T_c : periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale

Nei confronti delle azioni sismiche gli stati limite, di esercizio ed ultimi, sono i seguenti

Stati limite		PVr: Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_r
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite Ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

SLO: Stato limite di operatività

SLD: Stato limite di danno

SLV: Stato limite di salvaguardia della vita

SLC: Stato limite ultimo di prevenzione del collasso

$V_r = V_n * C_u$ vita di riferimento, data dal prodotto della Vita Nominale V_n per il Coefficiente d'uso C_u

La nuova normativa definisce l'azione sismica per quattro classi d'uso delle strutture:

2.4.2. Classi d'uso

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso così definite:

Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.

Classe II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

Classe III: Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.

Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_U	0,7	1,0	1,5	2,0

Nel caso in studio e per le coordinate WGS84 lat. 43°,847029 e long. 10°,457536; coordinate ED 50 del sito lat. 43,84799 e 10,45834 long (zona centrale dell'intervento) si otterranno i valori di accelerazione di base in base alla relazione sottoriportata:

$$a_g = \frac{\sum_{i=1}^4 \frac{a_{gi}}{d_i}}{\sum_{i=1}^4 \frac{1}{d_i}}$$

Valori dei parametri a_g , F_o , T_C^* per i periodi di ritorno T_R di riferimento

T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
30	0,042	2,551	0,235
50	0,052	2,551	0,250
72	0,059	2,576	0,264
101	0,068	2,559	0,271
140	0,076	2,567	0,276
201	0,090	2,491	0,281
475	0,128	2,370	0,289
975	0,163	2,388	0,294
2475	0,217	2,394	0,309

Per quanto concerne i parametri da assumere nella progettazione, secondo le indicazioni del Progettista, per una vita nominale dei manufatti $V_N = 50$ anni ed una Classe d'uso II, si ha una vita di riferimento $V_R = C_u \cdot V_N = 1.0 \cdot 50 = 50$ anni, il che determina i seguenti valori dei parametri da assumere per la progettazione agli stati limite, ottenuti con il programma “Spettri – NTC” pubblicato dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici:

Valori dei parametri a_g , F_o , T_C^* per i periodi di ritorno T_R associati a ciascuno SL

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
SLO	30	0,042	2,551	0,235
SLD	50	0,052	2,551	0,251
SLV	475	0,128	2,370	0,289
SLC	975	0,163	2,388	0,294

3.1.2. Categoria di sottosuolo

Ai fini della definizione delle azioni sismiche di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi di risposta sismica locale. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella tabella 3.2.II, si può fare riferimento ad un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, V_s .

Ciò in quanto nelle nuove norme (come le precedenti del resto) viene data importanza sostanziale ai diversi profili stratigrafici del sottosuolo, i quali, in base alle loro caratteristiche di spessore e di rigidità sismica, possono amplificare il moto sismico in superficie rispetto a quello indotto alla loro base.

La classificazione di sottosuolo si effettua in base alle condizioni topografiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{s,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}} \quad [3.2.1]$$

con:

- h_i spessore dell'i-esimo strato;
- $V_{s,i}$ velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;
- N numero di strati;
- H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro $V_{s,30}$, ottenuto ponendo $H=30$ nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Per la determinazione della “*Categoria di suolo di fondazione*” si è fatto riferimento ai risultati della prospezione sismica MASW ubicata lungo il tratto terminale suddet del previsto intervento: nel caso in esame, considerando ipoteticamente e prelieve verifiche nelle successive fasi di progettazione, l'appoggio della struttura alla profondità di circa 0.3 m sotto il piano campagna, si calcola un valore di una velocità equivalente V_{s30} di circa 299 m/sec

Nel caso specifico trattasi di categoria di sottosuolo tipo C:

Sottosuolo tipo C) : Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/sec e 360 m/sec.

Per quanto concerne invece le condizioni topografiche, il sito è classificabile in Categoria T1, come da tabella sottostante:

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 $i > 30^\circ$

La verifica alla liquefazione sarà effettuata dal Progettista nella Relazione Geotecnica.

3.1.3. Spettro di risposta elastico

Lo spettro di risposta elastico in accelerazione è espresso da una forma spettrale (spettro normalizzato) riferita ad uno smorzamento convenzionale del 5% moltiplicata per il valore della accelerazione orizzontale massima a_g su sito di riferimento rigido orizzontale: sia la forma spettrale che il valore di a_g variano al variare della probabilità di superamento nel periodo di riferimento.

In particolare, lo spettro di risposta elastico varia in funzione di alcuni coefficienti, tra i quali, riferibili al “fattore terreno” (vedi tabella)

$S = S_s * S_t$: è il coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo (S_s) e delle condizioni topografiche (S_t)

C_c = coefficiente funzione della categoria di sottosuolo

Categoria sottosuolo	S_s	C_c
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_E}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_C^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_E}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_C^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_E}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_C^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_E}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_C^*)^{-0,40}$

Definita la categoria di sottosuolo C e la categoria topografica T1, il Progettista, una volta determinato il fattore di struttura e la “regolarità o meno in altezza”, potrà giungere a definire i parametri e spettri di risposta per lo stato limite SLV.

4. LE CONDIZIONI DI FATTIBILITA' DELLA VARIANTE

4.1 Generalità

Le direttive per la formazione del piano operativo e delle relative varianti dettate dal regolamento di cui al DPGR 5/R/2020 stabiliscono che *“Nel disciplinare l'attività urbanistica ed edilizia nel territorio comunale, il piano operativo definisce le condizioni di fattibilità per la gestione degli insediamenti esistenti e per le trasformazioni degli assetti insediativi, infrastrutturali ed edilizi, in coerenza con il quadro conoscitivo e con i contenuti statutari e strategici del piano strutturale.*

Le condizioni di fattibilità sono definite in funzione delle situazioni di pericolosità e di rischio e specificano gli studi e le indagini da effettuare a livello attuativo ed edilizio e le eventuali opere da realizzare per la mitigazione del rischio. La mitigazione del rischio è perseguita attraverso azioni combinate per la riduzione della pericolosità e della vulnerabilità degli elementi esposti. Le condizioni di fattibilità sono individuate secondo i criteri di seguito elencati:

- *Criteri generali di fattibilità in relazione agli aspetti geologici;*
- *Criteri generali di fattibilità in relazione al rischio da alluvioni;*
- *Criteri generali di fattibilità in relazione a problematiche idrogeologiche;*
- *Criteri generali di fattibilità in relazione agli aspetti sismici”.*

Lo stesso regolamento 5/R/2020 stabilisce poi che la variante venga corredata da una relazione in cui *“è descritto il processo diagnostico condotto per determinare le diverse condizioni di attuazione e sono altresì illustrati gli approfondimenti di indagine eseguiti a tal scopo, come indicati a livello di piano*

strutturale e nelle presenti direttive. Con specifico riferimento alla tipologia di fenomeno che ha determinato le condizioni di fattibilità, sono fornite precise indicazioni in merito alle indagini e agli approfondimenti da effettuarsi prima della redazione del piano attuativo o della realizzazione degli interventi. La relazione deve contenere anche le schede finalizzate a individuare le condizioni di attuazione delle trasformazioni. Per quanto riguarda la realizzazione di eventuali opere di mitigazione o messa in sicurezza, esse sono definite e individuate nel piano operativo, sulla base di idonei studi e verifiche”.

Premesso quanto sopra alla luce sia delle condizioni di pericolosità del piano strutturale e del PGRA, sia degli approfondimenti svolti, nei paragrafi che seguono vengono dettagliate le condizioni di fattibilità delle trasformazioni previste nell’area di variante.

4.1.1 Le condizioni di fattibilità in relazione agli aspetti geologici

Il tracciato stradale ricade interamente in classe di pericolosità geologica bassa (G.1). Le condizioni di attuazione degli interventi previsti dalla variante non presentano limitazioni o prescrizioni di carattere geomorfologico.

Le condizioni di attuazione dell’intervento conseguono gli approfondimenti di carattere geotecnico eseguiti a supporto del progetto definitivo sulla base di indagini svolte in maniera commisurata a quanto stabilito dalle NTC 2018, finalizzate ad una corretta progettazione dell’intervento stesso.

In particolare le indagini eseguite hanno portato pervenire alla definizione del modello geologico di riferimento, comprensivo della relativa caratterizzazione stratigrafico-geotecnica e idrogeologica.

4.1.2 Le condizioni di fattibilità in relazione agli aspetti sismici

Il tracciato stradale ricade per lo più in classe di pericolosità sismica S3 ed in misura minore in pericolosità sismica S2; in entrambi i casi in quanto zone stabili caratterizzate da fenomeni di amplificazione sismica di origine stratigrafica.

Le condizioni di attuazione dell’intervento in variante non presentano limitazioni, rimanendo solo assoggettate a prescrizioni di approfondimento di carattere sismico. Nel caso in esame l’approfondimento è stato condotto a mezzo di apposita campagna geognostica e geofisica, la quale ha portato (cfr. §3) alla definizione dell’azione sismica.

4.1.3 Le condizioni di fattibilità in relazione agli aspetti idraulici

L'intero tracciato stradale ricade in classe di pericolosità idraulica P2 (alluvioni poco frequenti), caratterizzata da un tirante idraulico di 14.19 m s.l.m. che genera un battente massimo di circa 1.5 m in corrispondenza di Via dei Sillori.

La condizione di fattibilità imposta dalla L.R. 41/2018 è che l'infrastruttura lineare di progetto preveda la realizzazione di una delle opere di cui all'art. 8, comma 1, lettere a), b) o c).

Come in dettaglio illustrato in premessa (pagg. 4÷6) il progetto prevede la realizzazione dell'opera c), sopraelevando la strada fino a quota 14.40 m s.l.m. Quanto sopra ad esclusione dei punti di intersezione con le viabilità esistenti (Via Sarzanese e Via dei Pellegrini), dove necessariamente ci dovranno essere dei tratti di raccordo di quota.

Al fine di non aggravare le condizioni di pericolosità idraulica in altre aree il progetto prevede di assicurare la trasparenza idraulica del rilevato stradale, realizzando una serie di varchi nel rilevato stesso (scatolari di dimensioni variabili tra 0.8 x 1.0 m e 1.0 x 1.2 m).

4.1.4 Le condizioni di fattibilità in relazione a problematiche idrogeologiche

In riferimento alla natura e tipologia dell'opera da realizzare, priva di interferenze con le condizioni idrogeologiche dell'area, non si ravvisano prescrizioni o limitazioni alcune.

Lucca, ottobre 2021

STUDIO DI GEOLOGIA BARSANTI, SANI & ASSOCIATI

Dott. Geol. Pietro Barsanti

**STUDIO DI GEOLOGIA
BARSANTI, SANI & ASSOCIATI**
via Buiamonti 29 - 55100 LUCCA - Partita IVA: 01134410461
Tel. 0583/467427 Fax. 0583/91090 e-mail: bar-sani@geoprove.com

COMUNE DI LUCCA

**INDAGINI GEOLOGICHE, SISMICHE E GEOTECNICHE DI SUPPORTO AL
PROGETTO DELLA NUOVA VIABILITÀ DI COLLEGAMENTO TRA S.S.439 E
VIA DEI SILLORI NELLE FRAZIONI NAVE - S. ANGELO ED ALLA
CONTESTUALE VARIANTE AL REGOLAMENTO URBANISTICO EX ART. 34
DELLA L.R 65/2014 (L. R. 65/2014 - D.P.G.R. 5/R/ 2020)**

**ALL. N° 1 – ESTRATTI DEL REGOLAMENTO URBANISTICO DEL PS
DEL PAI DEL FIUME SERCHIO E DEL PGRA**

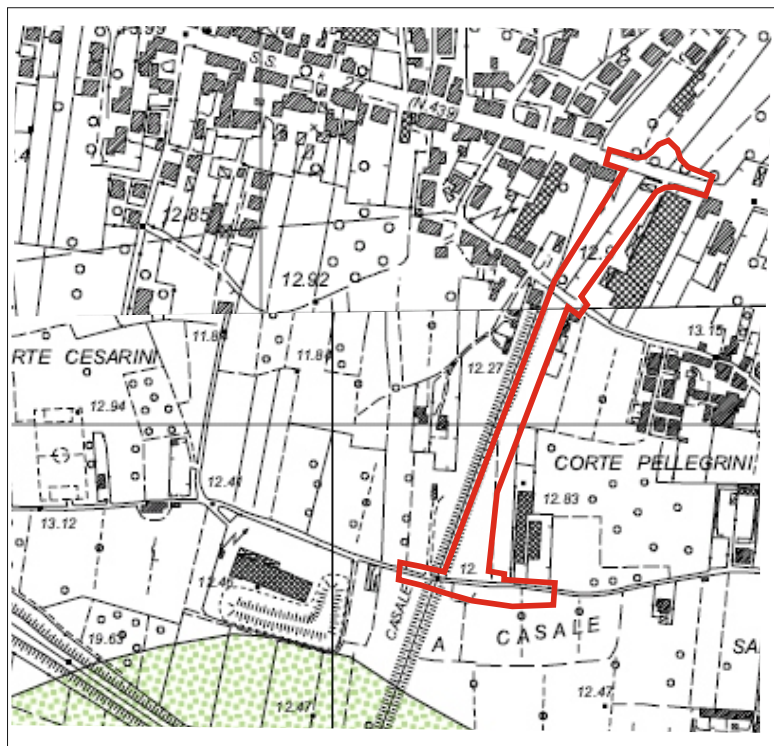


COMUNE DI LUCCA

REGOLAMENTO URBANISTICO

ai sensi della L. R. 16/01/1995 n° 5

CARTA GEOLOGICA E GEOMORFOLOGICA

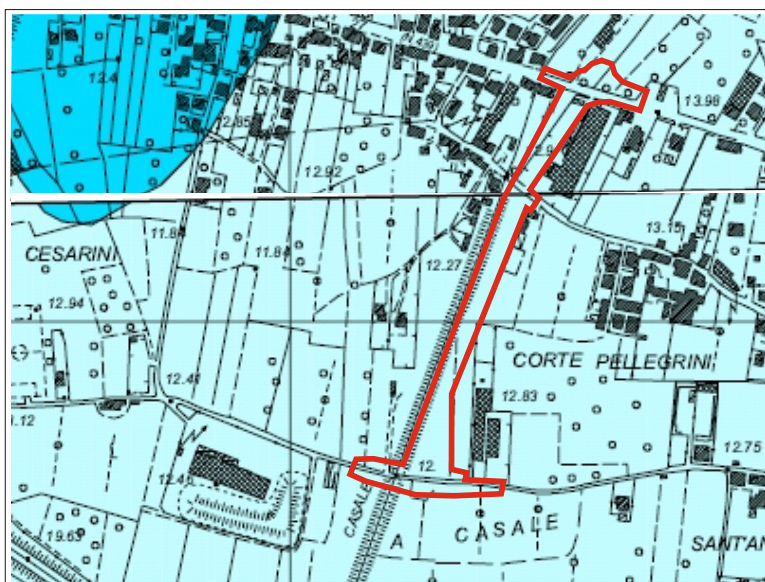


DEPOSITI QUATERNARI

Depositi dovuti all'azione delle acque superficiali

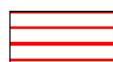
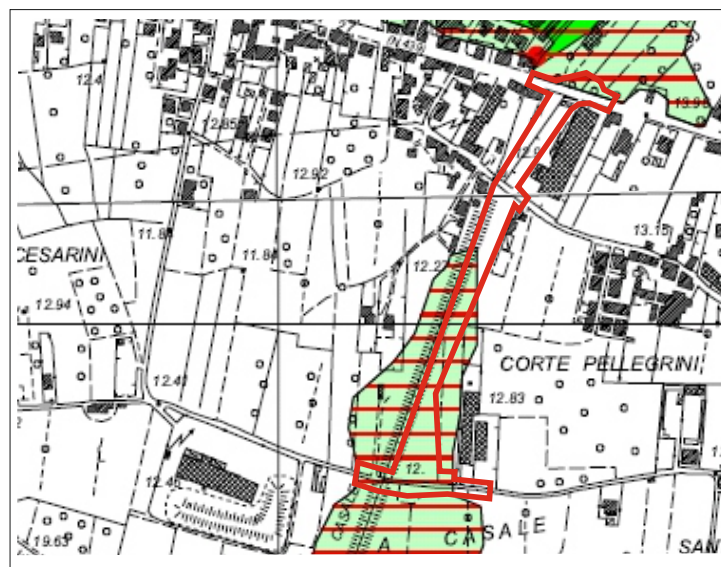
☒ all Depositi alluvionali o colluviali attuali

CARTA DELLA VULNERABILITÀ DEGLI ACQUIFERI

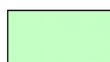


AREE COLLINARI E VALLIVE		PIANA DI LUCCA
Metodologia impiegata: zonazione per aree omogenee		Metodologia impiegata: parametrica a punteggi e pesi (SINTACS)
Grado di vulnerabilità	Tipo di acquifero	Punteggio grezzo
 A Alto	Rete acquifera in complessi carbonatici stratificati, interessati da un moderato carsismo e da interstrati argillitici e/o mamosi. Falda acquifera libera in materiali alluvionali a granulometria mista, con scarsa o nulla copertura	186÷140

CARTA DELLA DISTRIBUZIONE E DELLA FREQUENZA DEGLI EVENTI ALLUVIONALI

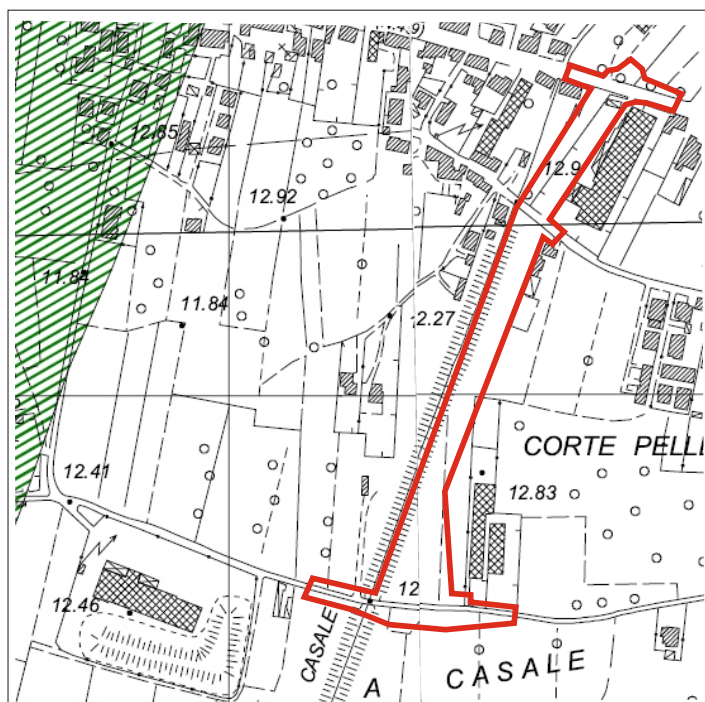


10-50 anni

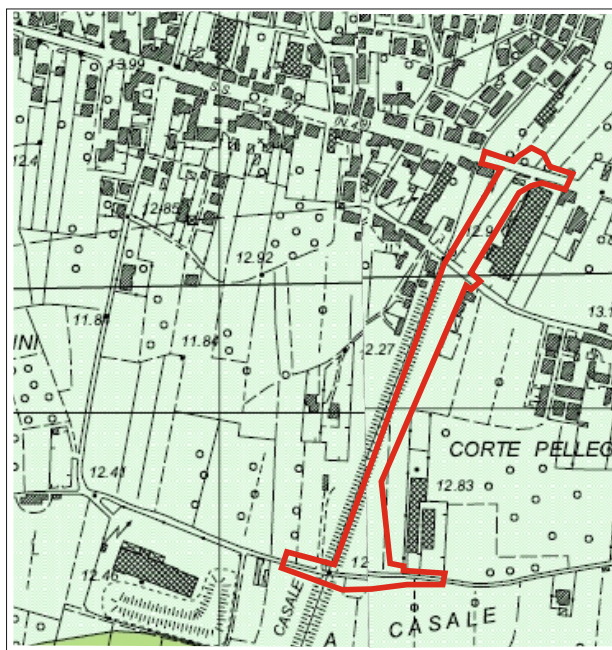


0-20 cm

CARTA DEGLI AMBITI A1 E B E DELLE AREE DI PERTINENZA FLUVIALE



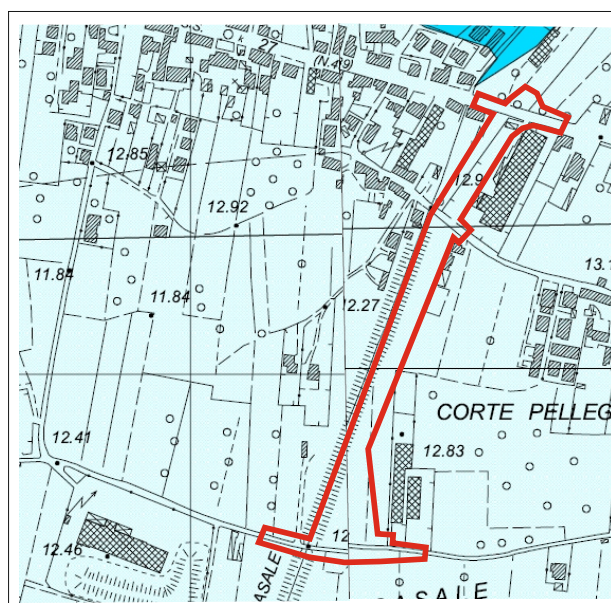
CARTA DELLA PERICOLOSITÀ GEOMORFOLOGICA E GEOTECNICA



Pericolosità geotecnica delle aree di pianura

	2i	BASSA	Corrisponde ad una situazione geologico--tecnica apparentemente stabile sulla quale tuttavia permangono alcuni dubbi, prevalentemente di carattere geotecnico in relazione alle opere edilizie che potranno essere realizzate nell'area stessa, che comunque potranno essere chiariti a livello di indagine geognostica di supporto alla progettazione edilizia, svolta anche in riferimento ai fenomeni di ritiro e rigonfiamento dei terreni superficiali a prevalente componente argillosa.
--	----	-------	--

CARTA DELLA PERICOLOSITÀ IDRAULICA



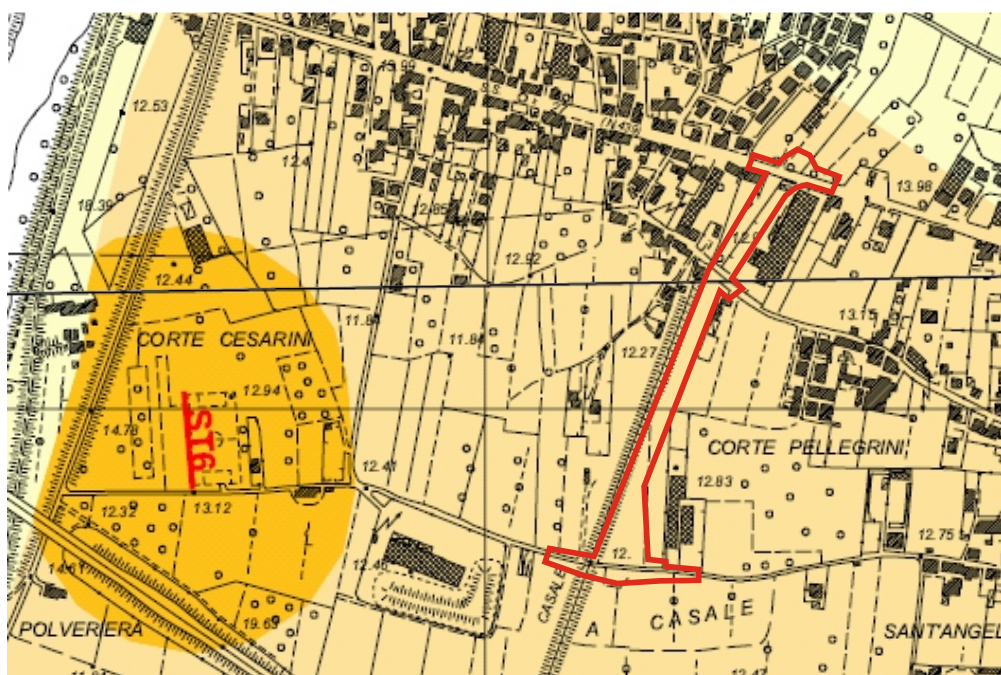
	2i	BASSA	Aree di pianura: - prive di notizie storiche di precedenti inondazioni; - con notizie storiche di ristagni con frequenza ricorrente o inferiore di classe I.
---	----	-------	--



COMUNE DI LUCCA

VARIANTE AI REGOLAMENTO URBANISTICO ADEGUAMENTO ALLA NORMATIVA SISMICA ai sensi del D. M. 14/09/2005 (Norme tecniche per le costruzioni)

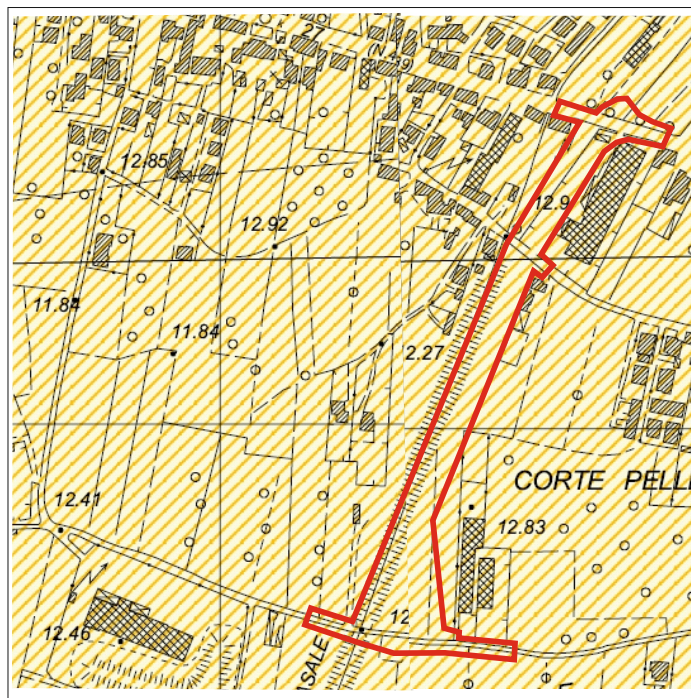
CARTA DELLE CATEGORIE DI SUOLO DI FONDAZIONE



Profilo C:

Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate, o di argille di media consistenza, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori di V_{s30} compresi tra 180 m/sec e 360 m/sec ($15 < N_{spt} < 50$, $70 < c_u < 250$ kPa).

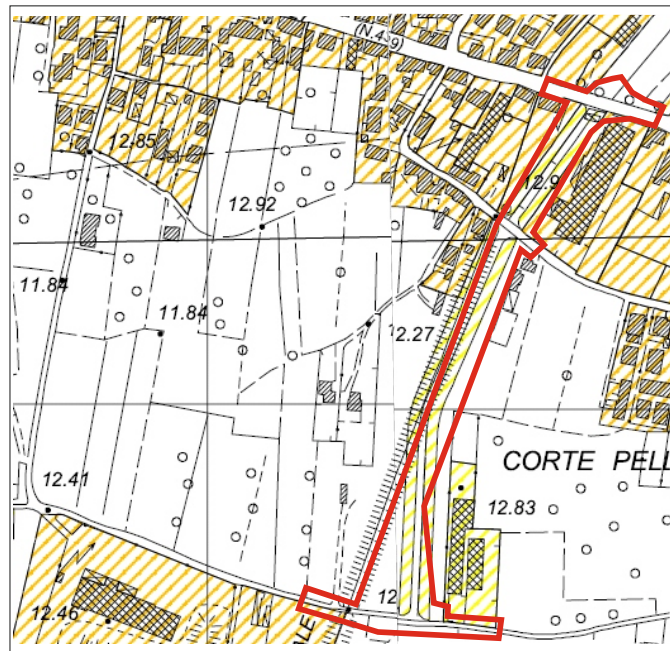
CARTA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA



Pericolosità da fenomeni sismici

	3t	MEDIA	Aree non interessate da fenomeni attivi, suscettibili, per costituzione geologica e/o morfologica, di subire fenomeni di moderata amplificazione della sollecitazione sismica, senza deformazioni permanenti del suolo.
---	----	-------	---

CARTA DELLA FATTIBILITA' SISMICA



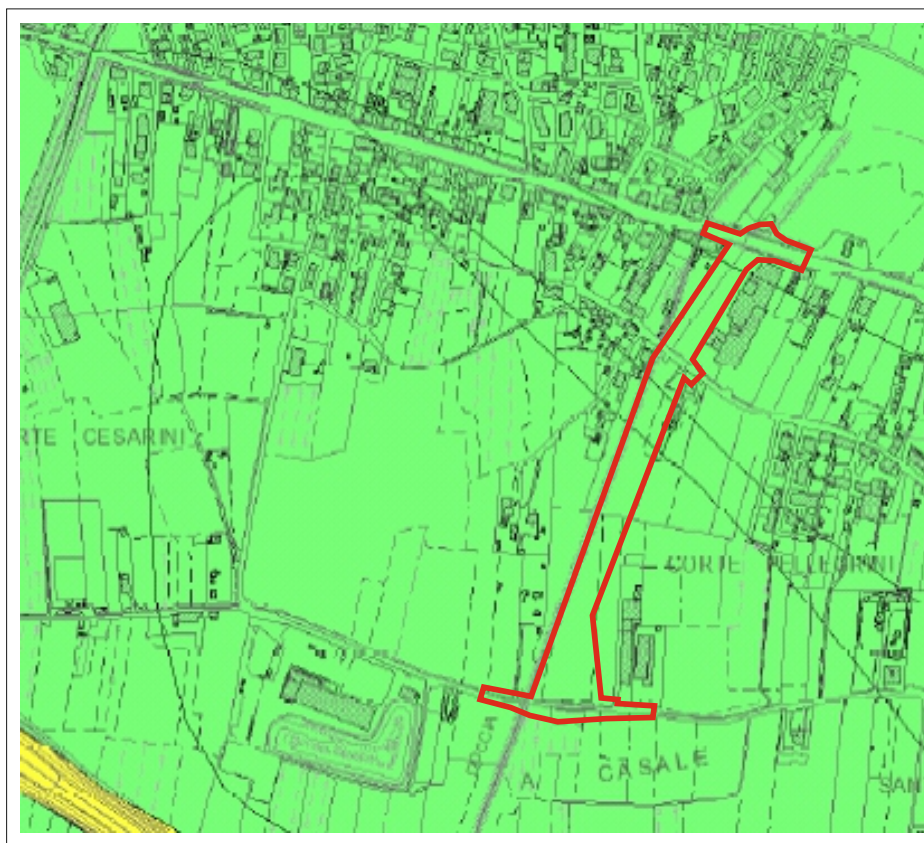
CLASSI DI FATTIBILITA' SISMICA

Classe	Caratteri
 3t	FATTIBILITA' CONDIZIONATA PER FENOMENI SISMICI
 3tt	

il Piano Strutturale

Aprile 2017

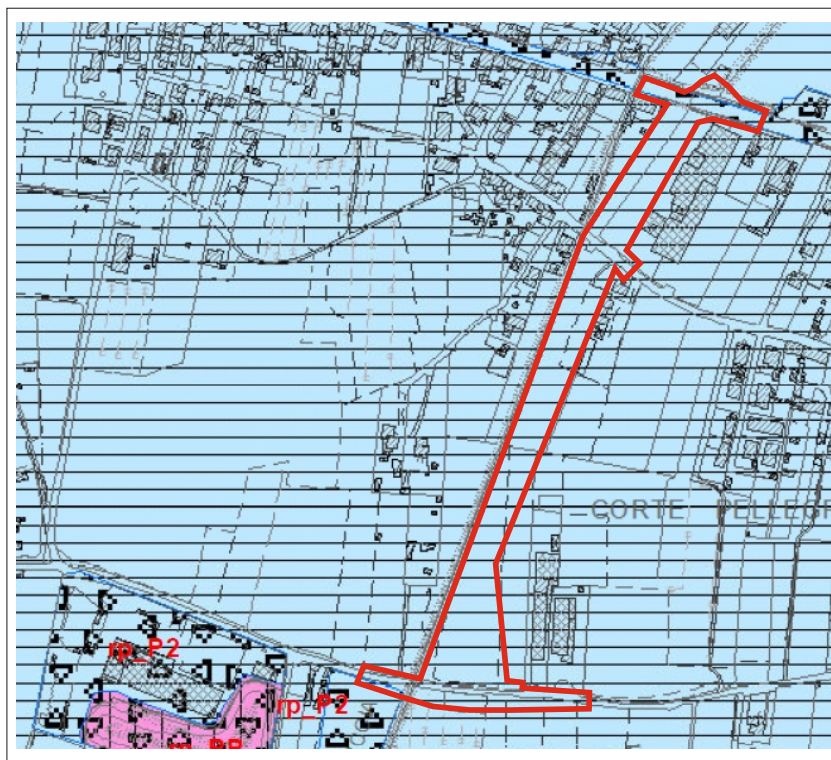
CARTA DELLA PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA



CLASSI DI PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA

	Classe	Pericolosità	Caratteri
	G.1	BASSA	Aree in cui i processi geomorfologici e le caratteristiche litologiche, giaciture non costituiscono fattori predisponenti al verificarsi di processi morfoevolutivi.

CARTA DELLA PERICOLOSITA' IDRAULICA



I.3 ELEVATA	Pc	Aree a pericolosità idraulica elevata con $30 > Tr > 200$ anni
	MP	
	P2	
	P2g	

CARTA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA



	S.2	MEDIA	Zone suscettibili di instabilità di versante inattiva e che pertanto potrebbero subire una riattivazione dovuta ad effetti dinamici quali possono verificarsi in occasione di eventi sismici; zone stabili suscettibili di amplificazioni locali (che non rientrano tra quelli previsti per la classe di pericolosità sismica S.3);
	S.3	ELEVATA	Zone suscettibili di instabilità di versante quiescente che pertanto potrebbero subire una riattivazione dovuta ad effetti dinamici quali possono verificarsi in occasione di eventi sismici; zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti che possono dar luogo a cedimenti diffusi; terreni suscettibili di liquefazione dinamica; zone di contatto tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche significativamente diverse; zone stabili suscettibili di amplificazioni locali caratterizzati da un alto contrasto di impedenza sismica atteso tra copertura e substrato rigido entro alcune decine di metri;

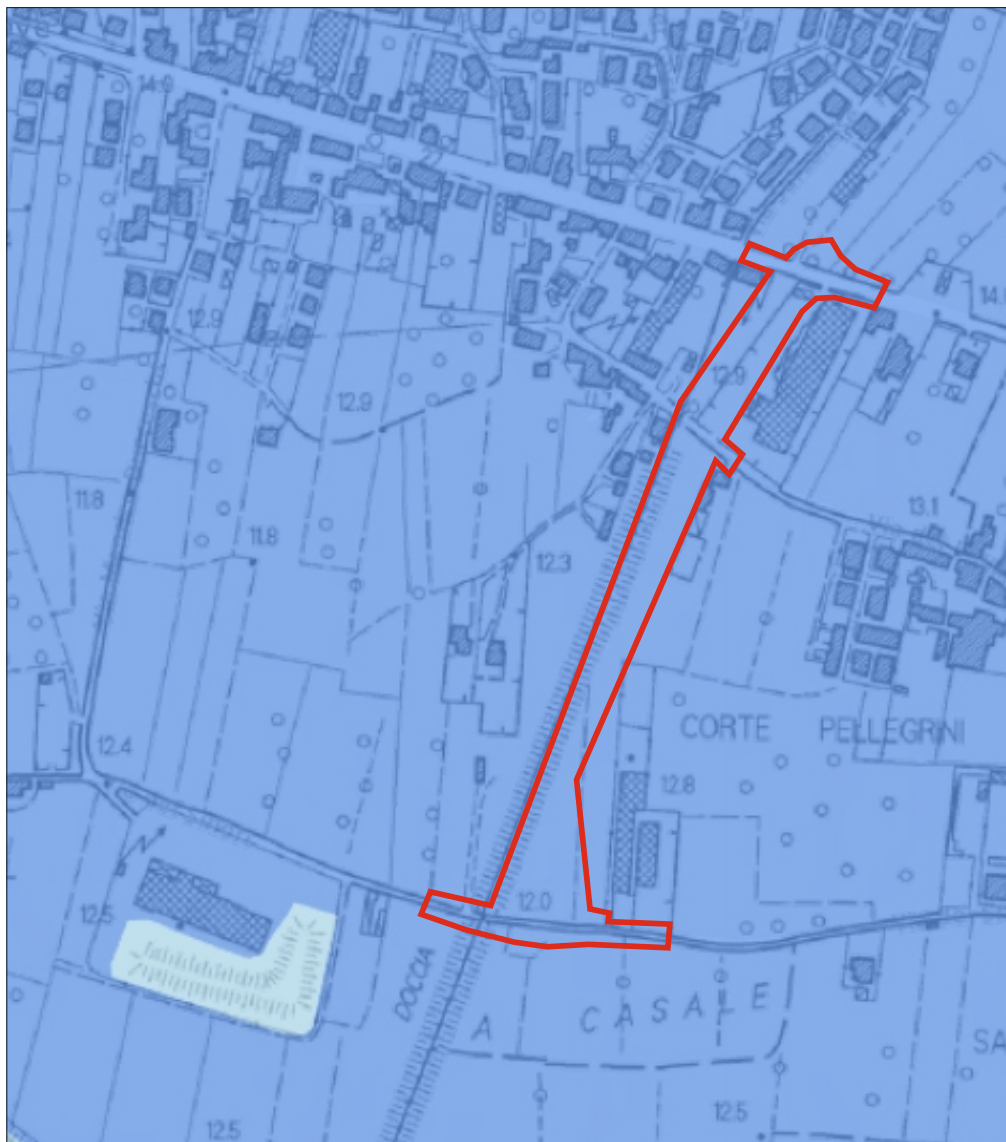
CARTA DELLE AREE ALLAGABILI PER TR200



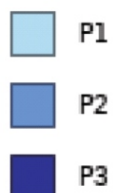
Battenti

 0.00 - 0.25	 1.75 - 2.00
 0.25 - 0.50	 2.00 - 2.50
 0.50 - 0.75	 2.50 - 3.00
 0.75 - 1.00	 3.00 - 3.50
 1.00 - 1.25	 3.50 - 4.00
 1.25 - 1.50	 4.00 - 10.00
 1.50 - 1.75	

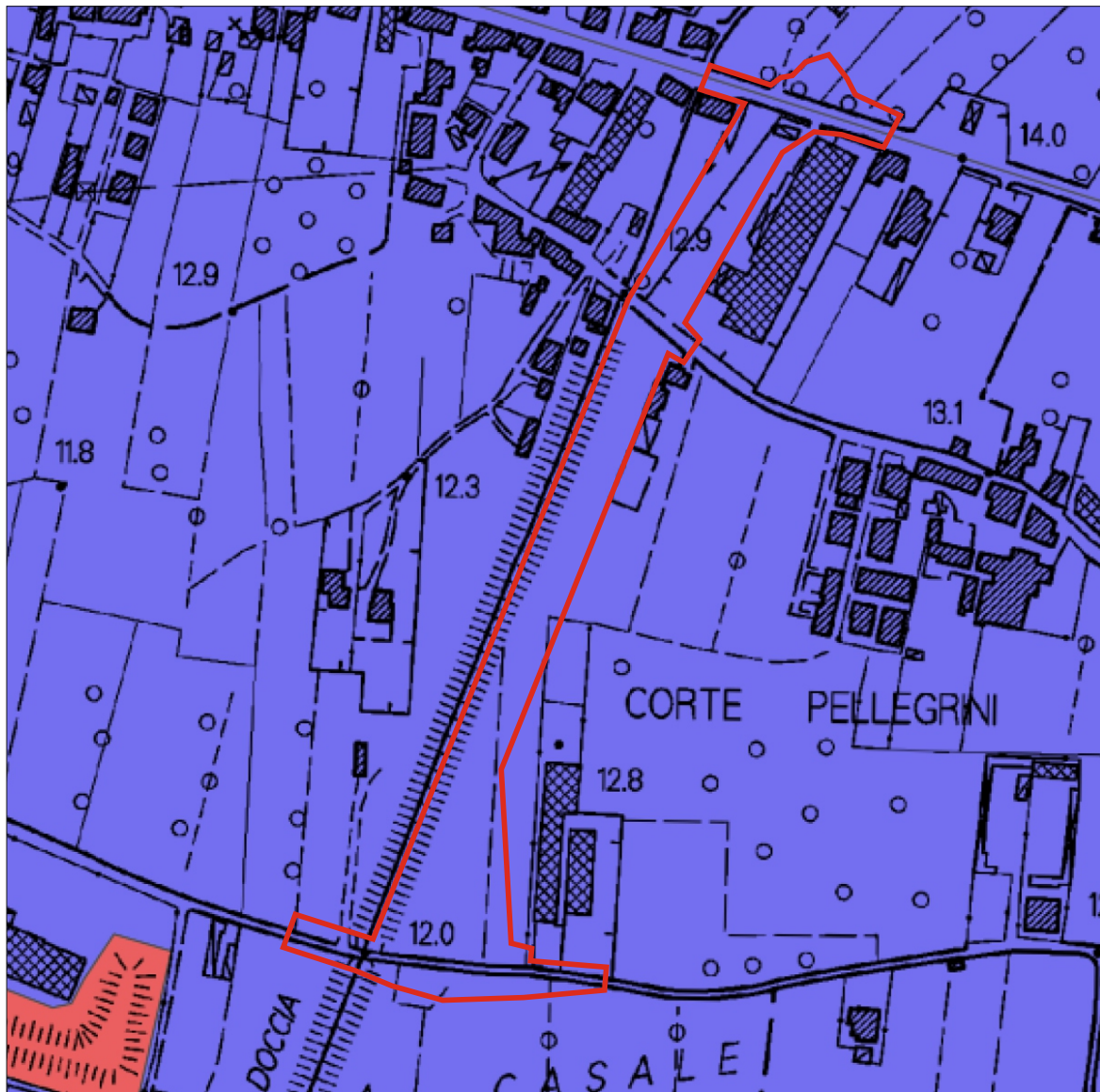
Pericolosità idraulica variante PAI



Pericolosità Idraulica fluviale



Carta dei battenti

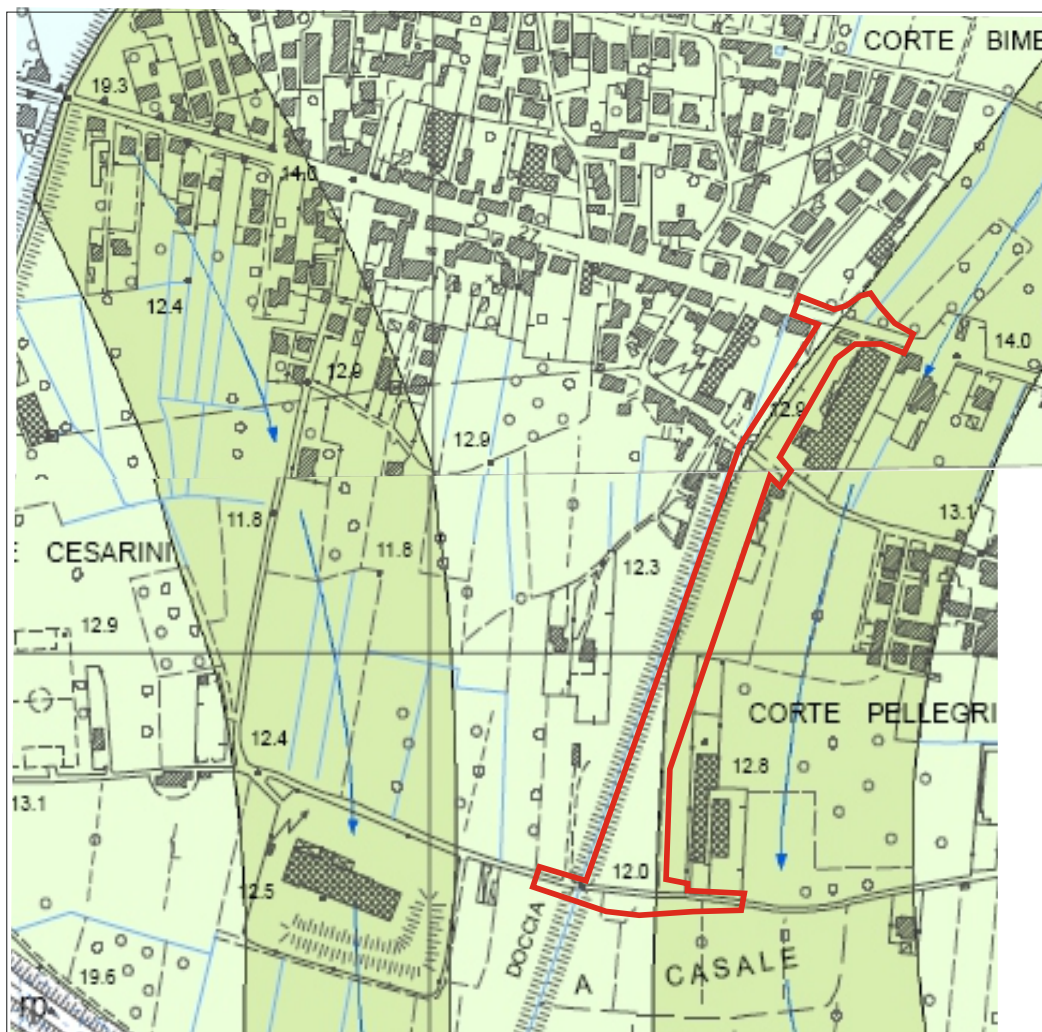


Tirante idraulico = 14.19 m s.l.m.

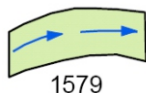


Autorità di Bacino del Fiume Serchio

CARTA DELLA FRANOSITÀ DEL BACINO DEL FIUME SERCHIO



AREE DI FONDOVALLE E/O PIANEGGIANTI, con eventuali problemi relativi alla capacità portante dei terreni ed ai cedimenti



Paleoalvei (anno di rettifica)



dc Sabbie eoliche

**STUDIO DI GEOLOGIA
BARSANTI, SANI & ASSOCIATI**
via Buiamonti 29 - 55100 LUCCA - Partita IVA: 01134410461
Tel. 0583/467427 Fax. 0583/91090 e-mail: bar-sani@geoprove.com

COMUNE DI LUCCA

**INDAGINI GEOLOGICHE, SISMICHE E GEOTECNICHE DI SUPPORTO AL
PROGETTO DELLA NUOVA VIABILITÀ DI COLLEGAMENTO TRA S.S.439 E
VIA DEI SILLORI NELLE FRAZIONI NAVE - S. ANGELO ED ALLA
CONTESTUALE VARIANTE AL REGOLAMENTO URBANISTICO EX ART. 34
DELLA L.R 65/2014 (L. R. 65/2014 - D.P.G.R. 5/R/ 2020)**

**ALL. N° 2 – TAVOLE E DIAGRAMMI PROVE PENETROMETRICHE
CPT/CPTU/DPSH**



Prove Penetrometriche Statiche CPT

ELABORAZIONE DATI

Committente : Sistema Ambiente S.p.a.
Località: S. Angelo - Lucca
Data: 04/04/16
N° totale di prove: 2

Cartella: S.Angelo160404SistemaAmbiente

Penetrometro

Ditta produttrice: PAGANI GEOTHECNICAL EQUIPMENT
Modello: TG63-200
Spinta: 200 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

F	= 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.p.A.
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

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
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

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

Committente : Sistema Ambiente S.p.a.
Località: S. Angelo - Lucca

Data: 04/04/2016
File: ps1604041

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	f	Dr	Cu	mv	f	Dr	Cu	mv
0.2	140			14										
0.4	160			16										
0.6	180			18	0.8	22.5	--	--	0.7	0.014	--	--	0.9	0.014
0.8	200	320		20	0.9	23.1	--	--	0.8	0.017	--	--	1.0	0.017
1	230	360	450	23	0.6	38.3	28.7	42%	--	0.014	28.0	42%	--	0.014
1.2	200	290		20	0.5	42.9	28.7	25%	--	0.017	28.7	25%	--	0.017
1.4	150	220		15	0.3	45.0	28.9	20%	--	0.022	28.9	20%	--	0.022
1.6	70	120		7	0.4	17.5	--	--	0.3	0.036	--	--	0.4	0.036
1.8	70	130		7	0.3	26.3	25.5	21%	--	0.036	--	--	0.3	0.036
2	70	110	250	7	0.5	15.0	--	--	0.4	0.041	--	--	0.4	0.041
2.2	60	130		6	0.5	12.9	--	--	0.3	0.033	--	--	0.4	0.033
2.4	60	130		6	0.5	12.9	--	--	0.3	0.033	--	--	0.4	0.033
2.6	70	140		7	0.3	21.0	--	--	0.3	0.036	--	--	0.4	0.036
2.8	70	120		7	0.4	17.5	--	--	0.3	0.036	--	--	0.4	0.036
3	80	140	250	8	0.3	30.0	26.2	23%	--	0.031	25.5	23%	--	0.031
3.2	80	120		8	0.5	17.1	--	--	0.3	0.031	--	--	0.4	0.031
3.4	60	130		6	0.3	18.0	--	--	0.2	0.042	--	--	0.3	0.042
3.6	40	90		4	0.3	15.0	--	--	0.2	0.050	--	--	0.2	0.050
3.8	70	110		7	0.3	26.3	25.5	21%	--	0.036	--	--	0.3	0.036
4	50	90	480	5	0.4	12.5	--	--	0.3	0.040	--	--	0.3	0.040
4.2	60	120		6	0.7	9.0	--	--	0.4	0.042	--	--	0.4	0.042
4.4	120	220		12	0.8	15.0	--	--	0.6	0.024	--	--	0.6	0.024
4.6	140	260		14	0.9	16.2	--	--	0.6	0.018	--	--	0.7	0.018
4.8	130	260		13	0.7	17.7	--	--	0.5	0.019	--	--	0.7	0.019
5	100	210	450	10	0.6	16.7	--	--	0.4	0.025	--	--	0.5	0.025
5.2	80	170		8	0.3	24.0	25.1	23%	--	0.031	--	--	0.4	0.031
5.4	80	130		8	0.3	24.0	25.1	23%	--	0.031	--	--	0.4	0.031
5.6	90	140		9	0.6	15.0	--	--	0.5	0.032	--	--	0.5	0.032
5.8	100	190		10	0.5	18.8	--	--	0.4	0.025	--	--	0.5	0.025
6	80	160	560	8	0.5	17.1	--	--	0.3	0.031	--	--	0.4	0.031
6.2	70	140		7	0.5	15.0	--	--	0.4	0.041	--	--	0.4	0.041
6.4	70	140		7	0.5	15.0	--	--	0.4	0.041	--	--	0.4	0.041
6.6	100	170		10	0.5	21.4	--	--	0.4	0.025	--	--	0.5	0.025
6.8	120	190		12	0.7	18.0	--	--	0.5	0.021	--	--	0.6	0.021
7	90	190	650	9	0.4	22.5	--	--	0.4	0.028	--	--	0.5	0.028
7.2	130	190		13	0.8	16.3	--	--	0.5	0.019	--	--	0.7	0.019
7.4	130	250		13	0.7	19.5	--	--	0.5	0.019	--	--	0.7	0.019
7.6	100	200		10	0.3	30.0	26.2	25%	--	0.025	25.5	25%	--	0.025
7.8	140	190		14	0.5	26.3	26.0	31%	--	0.018	--	--	0.6	0.018
8	220	300	1020	22	0.5	47.1	29.6	27%	--	0.015	29.6	27%	--	0.015
8.2	330	400		33	0.5	70.7	31.7	35%	--	0.015	31.7	35%	--	0.015
8.4	220	290		22	0.7	30.0	27.2	42%	--	0.015	26.5	42%	--	0.015
8.6	240	350		24	0.4	60.0	30.8	28%	--	0.021	30.8	28%	--	0.021
8.8	340	400		34	0.2	170.0	36.1	12%	--	0.015	36.1	12%	--	0.015
9	290	320	1250	29	0.7	43.5	29.3	32%	--	0.011	29.3	32%	--	0.011
9.2	300	400		30	0.6	50.0	29.9	33%	--	0.017	29.9	33%	--	0.017
9.4	300	390		30	0.9	34.6	28.0	48%	--	0.011	27.3	48%	--	0.011
9.6	320	450		32	0.3	120.0	34.1	24%	--	0.016	34.1	24%	--	0.016
9.8	120	160		12	0.5	22.5	--	--	0.5	0.021	--	--	0.6	0.021
10	300	380	1110	30	0.3	112.5	33.8	23%	--	0.017	33.8	23%	--	0.017
10.2	350	390		35	0.3	131.3	34.6	26%	--	0.014	34.6	26%	--	0.014
10.4	220	260		22	0.3	82.5	32.6	17%	--	0.023	32.6	17%	--	0.023
10.6	380	420		38	0.8	47.5	29.7	39%	--	0.009	29.7	39%	--	0.009
10.8	320	440		32	0.7	43.6	29.3	34%	--	0.010	29.3	34%	--	0.010
11	200	310	1350	20	0.7	27.3	26.2	40%	--	0.017	--	--	0.8	0.017
11.2	220	330		22	1.0	22.0	--	--	0.9	0.015	--	--	1.1	0.015
11.4	420	570		42	1.2	35.0	28.9	56%	--	0.008	28.1	56%	--	0.008
11.6	700	880		70	2.4	29.2	27.7	65%	--	0.005	26.9	65%	--	0.005
11.8	990	1350		99										
12	3000		4000	300										

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

Geoprove S.a.s.

File: ps1604041



Geoprove S.a.S.

Cone Penetration Test (CPTU) - Date: 13/05/2020

Site: S.Angelo - Test: P1



Company information

Name: Geoprove S.a.S.

Address: via Buiaumonti 29

Zip code: 55100

City: Lucca

P.IVA: 01066010461

E-Mail: info@geoprove.com

Phone number: 0583 467427

Fax number: 0583 91090

Site information

Name: S.Angelo

Date: 13/05/2020

Commissioner: Sistema Ambiente

Locality: S.Angelo LUCCA

Test information

Name: P1

Location: P1

Date: 13/05/2020

Prehole mode:

Prehole depth [cm]: 0

Hydrostatic line [cm]: 230

Ground level [cm]: 0

Latitude: 0

Longitude: 0

Operator:

Comments:

Probe code: MKJ544

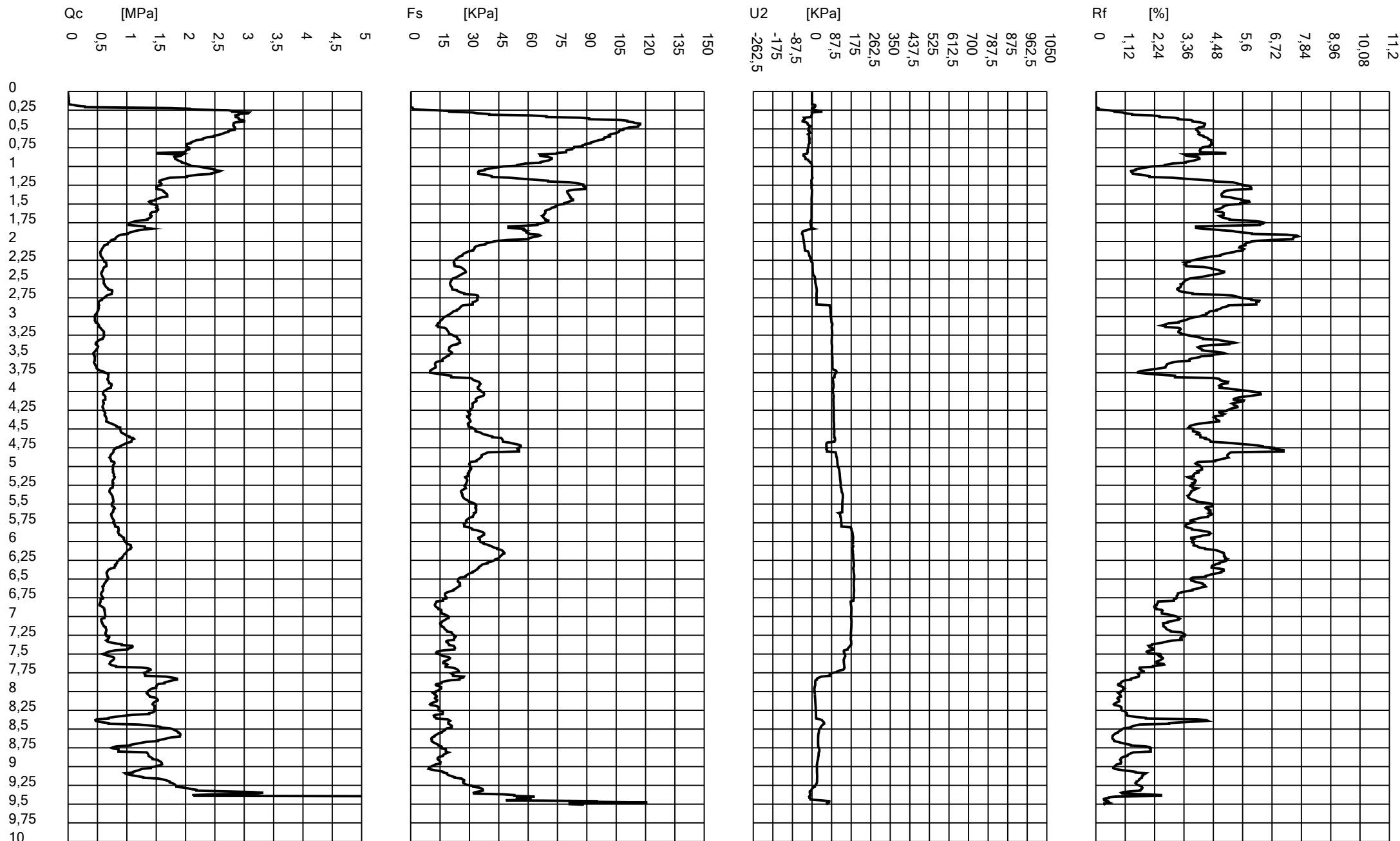
Depth [cm]	Qc [MPa]	Fs [KPa]	U2 [KPa]	Rf [%]	Tilt [°]	Speed [cm/sec]
5	0	0	0	0	0,774833	1,7
10	0,010455	0	0	0	0,869265	1,8
15	0,015682	0	0,091912	0	0,999418	1,7
20	0,162049	0	14,522059	0	0,93798	1,8
25	2,070047	1,275185	0,091912	0,061602	0,97848	1,8
30	3,068479	33,728641	-0,643382	1,099197	1,079078	1,7
35	2,854156	69,338179	-2,205882	2,429376	1,179866	1,8
40	3,000523	110,65417	-40,073529	3,68783	1,123707	1,8
45	2,817564	117,285131	-18,382353	4,162643	1,079078	1,7
50	2,843701	110,303494	-14,430147	3,878871	1,137444	1,8
55	2,728698	106,350421	-10,845588	3,897478	1,137444	1,7
60	2,488238	101,887274	-12,591912	4,094755	1,137444	1,9
65	2,289597	98,348636	-10,294118	4,295455	1,137444	1,9
70	2,090957	92,06835	-10,477941	4,403169	1,137444	1,8
75	2,017773	83,58837	-15,716912	4,142605	1,137444	1,9
80	2,007318	79,475899	-19,393382	3,959307	1,137444	1,9
85	1,949817	65,958939	-36,397059	3,382827	1,197289	1,9
90	1,82436	72,079827	-28,216912	3,950966	1,197289	1,8
95	1,939362	66,341495	-7,077206	3,420789	1,197289	2
100	2,070047	54,482275	-0,919118	2,631934	1,197289	1,8
105	2,498693	37,809232	0,091912	1,51316	1,197289	1,9
110	2,441192	34,65315	0,091912	1,419518	1,159978	2
115	2,023001	41,443509	0	2,048616	1,159978	1,8
120	1,557763	70,167049	-2,757353	4,504348	1,159978	1,9
125	1,578672	88,210916	0,827206	5,587665	1,159978	1,9
130	1,505489	89,326702	-1,654412	5,933402	1,159978	1,9
135	1,630946	79,985973	-0,183824	4,904268	1,222958	2
140	1,688447	81,229278	-1,102941	4,810886	1,222958	2
145	1,489807	82,918898	-1,746324	5,565749	1,190809	1,9
150	1,42185	78,328233	-1,5625	5,508894	1,190809	1,9
155	1,521171	73,928845	-1,5625	4,859996	1,190809	1,9
160	1,505489	68,764346	-1,838235	4,567576	1,190809	1,9
165	1,395714	67,999235	-1,838235	4,872005	1,162228	2
170	1,380031	68,158633	-1,930147	4,938919	1,162228	2,1
175	1,097752	69,625096	-6,801471	6,342515	1,162228	1,9
180	1,170936	58,339709	-4,6875	4,982315	1,162228	2,1
185	1,30162	58,180311	-15,716912	4,469837	1,162228	2
190	1,014114	60,316246	-43,014706	5,947679	1,137483	2
195	0,825928	62,802856	-38,419118	7,603915	1,205946	2
200	0,726607	45,045907	-35,477941	6,199483	1,205946	2
205	0,669106	38,064269	-34,191176	5,688824	1,205946	2
210	0,585468	32,676613	-31,433824	5,581282	1,186486	2,1

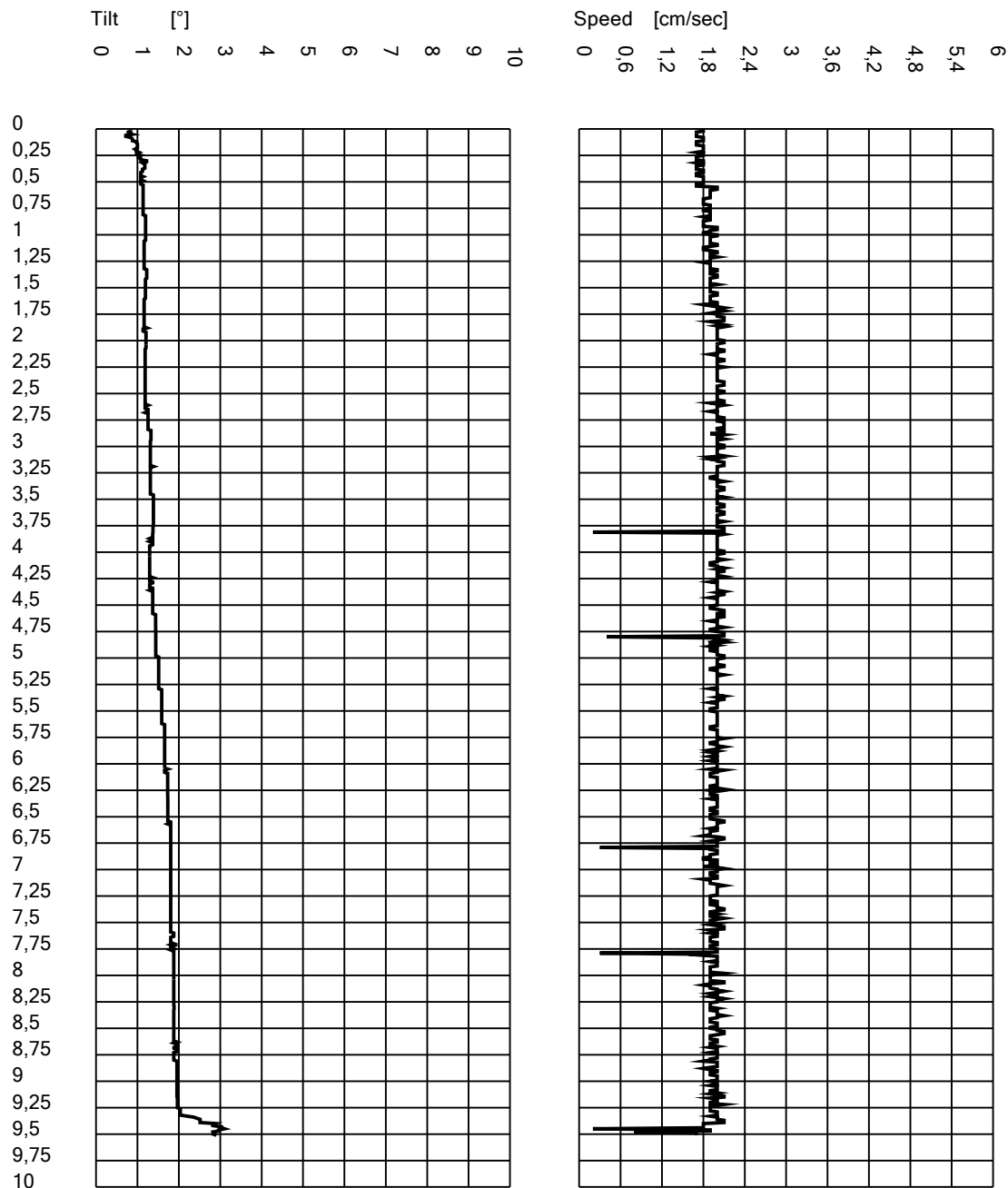
Depth [cm]	Qc [MPa]	Fs [KPa]	U2 [KPa]	Rf [%]	Tilt [°]	Speed [cm/sec]
215	0,548876	28,978577	-15,716912	5,279621	1,186486	2
220	0,554104	26,300689	-12,132353	4,74653	1,186486	2,1
225	0,595923	22,889569	-5,147059	3,84103	1,186486	2
230	0,648197	22,379495	2,022059	3,452579	1,186486	2
235	0,616832	25,439939	2,297794	4,124288	1,186486	2
240	0,585468	27,83091	2,849265	4,753619	1,186486	2,1
245	0,569786	25,854374	4,779412	4,537561	1,186486	2
250	0,60115	21,678143	12,959559	3,606112	1,186486	2,1
255	0,606377	20,402958	14,154412	3,364729	1,186486	2
260	0,632514	20,498597	17,371324	3,240811	1,186486	1,9
265	0,684788	21,263708	19,852941	3,105151	1,186486	2
270	0,74229	27,384596	19,577206	3,689206	1,256401	2
275	0,632514	34,111196	19,393382	5,392952	1,256401	2,1
280	0,538421	33,569243	19,485294	6,234753	1,256401	2,1
285	0,517512	31,688345	19,669118	6,123212	1,256401	2
290	0,522739	24,993624	78,125	4,78128	1,326532	2,1
295	0,496602	21,391227	78,860294	4,307518	1,326532	2
300	0,46001	18,55394	80,238971	4,033374	1,312814	2,1
305	0,46001	16,003571	82,352941	3,478958	1,312814	2
310	0,50183	13,899515	86,856618	2,769768	1,312814	2,1
315	0,527967	13,995154	85,018382	2,650765	1,312814	2
320	0,595923	18,872737	86,213235	3,166978	1,383828	2
325	0,611605	20,817394	85,9375	3,403733	1,312814	2
330	0,585468	23,909717	85,110294	4,083865	1,312814	1,9
335	0,486147	25,089263	84,283088	5,160834	1,312814	2
340	0,50183	20,976792	86,397059	4,180063	1,312814	2,1
345	0,48092	19,478449	85,9375	4,050247	1,312814	2
350	0,428646	20,976792	85,661765	4,893732	1,383828	2
355	0,454783	18,043866	87,316176	3,967577	1,383828	2
360	0,454783	16,258607	87,132353	3,575025	1,383828	2
365	0,46001	12,433053	87,591912	2,702776	1,383828	2,1
370	0,486147	11,891099	88,235294	2,445986	1,383828	2
375	0,616832	9,882683	104,503676	1,602167	1,383828	2
380	0,684788	20,657995	96,415441	3,016698	1,374453	2,1
385	0,669106	31,720224	89,246324	4,740687	1,368797	2
390	0,70047	35,195103	90,900735	5,024495	1,368797	2
395	0,726607	34,270594	91,911765	4,716521	1,294964	2
400	0,62206	35,673298	88,511029	5,734707	1,294964	2,1
405	0,595923	37,490436	90,625	6,291158	1,294964	2
410	0,632514	33,7924	92,371324	5,34255	1,294964	2
415	0,595923	32,772252	92,555147	5,499414	1,294964	2
420	0,590695	31,624586	92,555147	5,35379	1,294964	2

Depth [cm]	Qc [MPa]	Fs [KPa]	U2 [KPa]	Rf [%]	Tilt [°]	Speed [cm/sec]
425	0,60115	30,668197	93,198529	5,101588	1,366906	2
430	0,632514	30,126243	93,014706	4,762934	1,366906	2
435	0,642969	28,882938	93,106618	4,492119	1,366906	2
440	0,648197	30,508799	93,566176	4,70672	1,366906	2,1
445	0,773654	29,265493	94,761029	3,782763	1,366906	2
450	0,878202	31,783984	94,025735	3,619212	1,366906	2
455	0,899111	34,748789	95,588235	3,864793	1,366906	2
460	1,008887	40,200204	95,496324	3,984611	1,438849	2
465	1,087297	46,799286	98,988971	4,304184	1,438849	2
470	0,987977	51,613109	62,408088	5,22412	1,438849	2
475	0,883429	56,235654	61,305147	6,36561	1,438849	1,9
480	0,773654	55,406784	64,0625	7,161701	1,440645	2,1
485	0,731835	36,789084	103,400735	5,026966	1,440645	2
490	0,716153	35,386381	107,077206	4,941179	1,440645	1,9
495	0,784109	30,508799	108,915441	3,890889	1,440645	2
500	0,763199	30,38128	110,569853	3,98078	1,512502	2,1
505	0,757972	30,700077	116,360294	4,050293	1,512502	2
510	0,773654	29,233614	118,566176	3,778642	1,512502	2
515	0,794564	27,767151	119,852941	3,494642	1,512502	2
520	0,757972	28,882938	121,507353	3,810556	1,512502	2
525	0,763199	28,054068	123,161765	3,675851	1,512502	2
530	0,726607	28,149707	125,735294	3,874129	1,512502	1,9
535	0,705698	25,663096	127,205882	3,636556	1,584366	2
540	0,752744	26,332568	132,077206	3,498209	1,584366	2,1
545	0,768427	28,149707	131,25	3,663292	1,584366	2
550	0,747517	32,294058	130,055147	4,320177	1,584366	1,9
555	0,784109	33,091048	130,055147	4,220212	1,584366	2
560	0,773654	33,409844	129,503676	4,318448	1,584366	2
565	0,731835	32,262178	120,404412	4,408396	1,656238	2
570	0,757972	29,679929	123,988971	3,915704	1,656238	2
575	0,768427	28,596021	125,459559	3,721373	1,656238	2
580	0,799791	27,384596	126,286765	3,423969	1,656238	2
585	0,857292	31,401428	168,933824	3,662862	1,656238	2,1
590	0,857292	37,522316	174,080882	4,376841	1,656238	1,9
595	0,930476	35,195103	176,378676	3,782485	1,656238	2
600	0,96184	35,386381	175,367647	3,67903	1,656238	2
605	1,045478	39,020658	176,746324	3,732326	1,656238	2
610	1,06116	44,185157	173,069853	4,163852	1,728115	1,9
615	0,993204	47,373119	175,183824	4,769725	1,728115	2
620	0,94093	46,193573	176,5625	4,90935	1,728115	2
625	0,872974	43,06937	177,481618	4,933635	1,728115	2,1
630	0,831155	39,275695	179,136029	4,725434	1,728115	1,9

Depth [cm]	Qc [MPa]	Fs [KPa]	U2 [KPa]	Rf [%]	Tilt [°]	Speed [cm/sec]
635	0,789336	34,844427	177,941176	4,414397	1,732596	2
640	0,674334	32,867891	178,768382	4,87413	1,732596	2
645	0,663879	29,074216	180,606618	4,379447	1,732596	1,9
650	0,679561	24,674828	180,606618	3,630996	1,732596	1,9
655	0,637742	24,419791	179,319853	3,829103	1,732596	2,1
660	0,606377	25,184902	179,319853	4,153338	1,8043	2
665	0,595923	21,99694	180,606618	3,691241	1,8043	1,9
670	0,564558	17,661311	179,503676	3,128341	1,8043	2
675	0,585468	18,043866	179,963235	3,081957	1,8043	2
680	0,554104	16,481765	178,033088	2,974492	1,8043	0,3
685	0,533194	12,337414	167,1875	2,31387	1,8043	2
690	0,611605	14,090793	169,025735	2,303905	1,8043	1,8
695	0,62206	15,589135	168,566176	2,506052	1,8043	1,9
700	0,632514	18,840857	167,922794	2,978724	1,8043	2,1
705	0,564558	17,884468	169,025735	3,167869	1,8043	1,9
710	0,585468	15,015302	168,933824	2,564667	1,8043	1,8
715	0,637742	16,768681	168,75	2,629384	1,8043	2
720	0,648197	18,55394	167,463235	2,862394	1,8043	2
725	0,637742	21,678143	167,095588	3,399204	1,8043	2
730	0,690016	22,251977	166,452206	3,224851	1,8043	1,9
735	0,695243	18,235144	168,106618	2,622844	1,8043	2
740	1,092525	21,93318	162,316176	2,007568	1,8043	2
745	1,008887	22,283856	152,849265	2,208757	1,8043	1,9
750	0,648197	12,975006	137,5	2,001709	1,8043	1,9
755	0,763199	19,032135	140,625	2,493731	1,8043	2,1
760	0,747517	17,884468	136,121324	2,392517	1,8043	2
765	0,72138	18,777098	137,5	2,602941	1,8043	1,9
770	1,353894	22,570773	138,694853	1,6671	1,8043	2
775	1,348667	24,642948	109,007353	1,827208	1,8043	1,9
780	1,312075	21,614384	76,286765	1,647343	1,876022	0,3
785	1,855724	24,866106	21,047794	1,339968	1,876022	2
790	1,641401	15,652895	13,602941	0,95363	1,876022	2
795	1,500261	15,557256	10,9375	1,03697	1,876022	1,9
800	1,369577	13,612599	10,661765	0,993928	1,876022	2
805	1,359122	12,273655	12,040441	0,903058	1,876022	1,9
810	1,500261	12,337414	13,235294	0,822351	1,876022	1,8
815	1,474124	12,305534	14,338235	0,834769	1,876022	2
820	1,474124	12,68809	15,349265	0,86072	1,876022	2
825	1,474124	14,250191	16,084559	0,966689	1,876022	2
830	1,380031	16,322367	16,819853	1,182753	1,882896	1,9
835	0,778881	12,050497	17,463235	1,547154	1,876022	2
840	0,470465	20,084162	44,761029	4,269	1,876022	2

Depth [cm]	Qc [MPa]	Fs [KPa]	U2 [KPa]	Rf [%]	Tilt [°]	Speed [cm/sec]
845	1,197073	19,988523	46,783088	1,669784	1,876022	1,9
850	1,735494	18,490181	34,650735	1,065413	1,876022	1,9
855	1,876634	15,716654	29,044118	0,837492	1,876022	2,1
860	1,902771	12,114257	26,654412	0,636664	1,876022	1,9
865	1,589127	10,807192	25,919118	0,680071	1,882896	1,9
870	1,2023	12,592451	26,286765	1,047363	1,882896	2
875	0,773654	15,876052	27,205882	2,052087	1,876022	2
880	0,857292	17,916348	31,525735	2,089876	1,876022	1,9
885	1,364349	16,86432	28,308824	1,236071	1,954381	2
890	1,437533	13,740117	25,919118	0,955813	1,954381	1,9
895	1,5839	15,270339	22,794118	0,964098	1,954381	1,9
900	1,531626	11,317266	20,680147	0,738905	1,954381	2
905	1,228437	10,647794	21,231618	0,866776	1,954381	1,9
910	0,972295	18,55394	21,691176	1,908263	1,954381	1,9
915	1,280711	22,507014	22,150735	1,757384	1,954381	2,1
920	1,698902	27,288957	21,507353	1,60627	1,963614	2
925	1,819132	28,213466	17,463235	1,55093	1,963614	1,9
930	2,038683	36,023973	1,470588	1,767022	2,034806	2
935	3,141662	33,154807	-9,742647	1,055327	2,35648	2
940	2,132776	52,983933	-8,639706	2,484271	2,512682	2,1
945	20,125457	61,176996	-6,066176	0,303978	3,029253	1,8
950	24,934658	81,197399	63,878676	0,325641	2,828647	1,7





Geoprove S.a.S.

Cone Penetration Test (CPTU) - Date: 13/05/2020

Site: S.Angelo - Test: P2



Company information

Name: Geoprove S.a.S.

Address: via Buiamonti 29

Zip code: 55100

City: Lucca

P.IVA: 01066010461

E-Mail: info@geoprove.com

Phone number: 0583 467427

Fax number: 0583 91090

Site information

Name: S.Angelo

Date: 13/05/2020

Commissioner: Sistema Ambiente

Locality: S.Angelo LUCCA

Test information

Name: P2

Location: P2

Date: 13/05/2020

Prehole mode:

Prehole depth [cm]: 0

Hydrostatic line [cm]: 230

Ground level [cm]: 0

Latitude: 0

Longitude: 0

Operator:

Comments:

Probe code: MKJ544

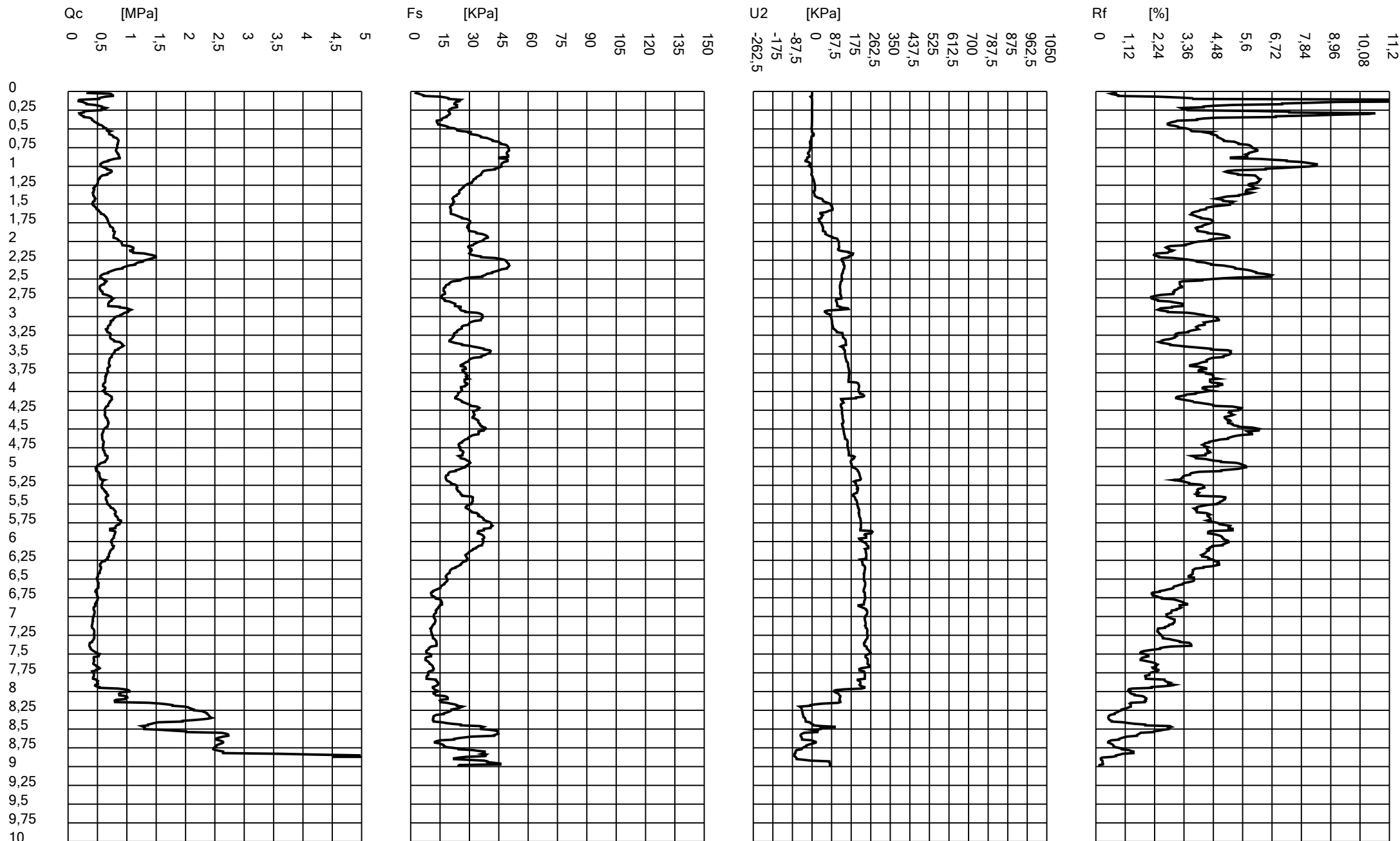
Depth [cm]	Qc [MPa]	Fs [KPa]	U2 [KPa]	Rf [%]	Tilt [°]	Speed [cm/sec]
5	0,752744	5,164499	0,183824	0,686089	0,359712	1,8
10	0,527967	19,350931	0	3,665181	0,523747	1,8
15	0,250915	23,080847	0,275735	9,198679	0,437608	1,8
20	0,517512	23,367763	0	4,515407	0,359712	1,8
25	0,564558	19,765366	-0,275735	3,501032	0,359712	1,8
30	0,188186	20,052283	0,183824	10,65556	0,28777	1,8
35	0,266597	18,298903	0,275735	6,863883	0,215827	1,9
40	0,428646	13,293803	0,091912	3,101347	0,227502	1,9
45	0,512284	14,027034	-0,367647	2,738134	0,227502	1,9
50	0,648197	22,124458	-2,113971	3,413233	0,227502	1,9
55	0,690016	30,221882	-0,275735	4,379883	0,160868	1,9
60	0,757972	35,067585	6,25	4,626503	0,203484	1,9
65	0,846837	40,933435	-3,676471	4,833683	0,203484	1,9
70	0,846837	46,066055	-8,363971	5,439775	0,203484	1,8
75	0,836383	49,79597	-8,823529	5,953731	0,203484	1,9
80	0,815473	50,242285	-9,834559	6,161121	0,203484	1,9
85	0,86252	49,317776	-13,878676	5,717873	0,259391	1,8
90	0,878202	45,237184	-20,220588	5,151115	0,321735	1,8
95	0,606377	47,628156	-14,430147	7,85454	0,296626	1,8
100	0,554104	46,352971	-13,327206	8,365399	0,227502	2
105	0,663879	43,005611	-1,194853	6,477932	0,259391	2
110	0,695243	36,215251	-0,735294	5,209006	0,321735	2
115	0,548876	33,76052	2,113971	6,150845	0,321735	2
120	0,512284	31,943382	7,444853	6,235479	0,321735	1,9
125	0,491375	28,627901	11,580882	5,826082	0,321735	2,1
130	0,428646	26,20505	12,224265	6,113446	0,387421	1,9
135	0,433873	24,802346	7,720588	5,716493	0,387421	2
140	0,428646	23,399643	11,397059	5,458965	0,387421	2
145	0,454783	21,646264	44,577206	4,75969	0,387421	2
150	0,412964	21,454986	71,415441	5,195366	0,387421	1,9
155	0,46001	20,116042	86,397059	4,372953	0,387421	2
160	0,522739	20,626116	72,702206	3,945776	0,387421	1,9
165	0,606377	21,96506	40,716912	3,622341	0,387421	2
170	0,653424	26,14129	39,522059	4,000663	0,387421	1,9
175	0,679561	30,349401	32,352941	4,466031	0,387421	2
180	0,716153	29,074216	44,577206	4,059779	0,387421	2
185	0,768427	29,775567	47,058824	3,874875	0,387421	1,9
190	0,789336	33,633002	57,996324	4,260923	0,387421	1,9
195	0,773654	39,403213	87,040441	5,093132	0,366836	1,9
200	0,857292	37,076001	110,569853	4,32478	0,437608	1,9
205	0,925248	31,720224	115,441176	3,428293	0,437608	1,9
210	1,113434	30,190003	115,533088	2,711431	0,437608	2

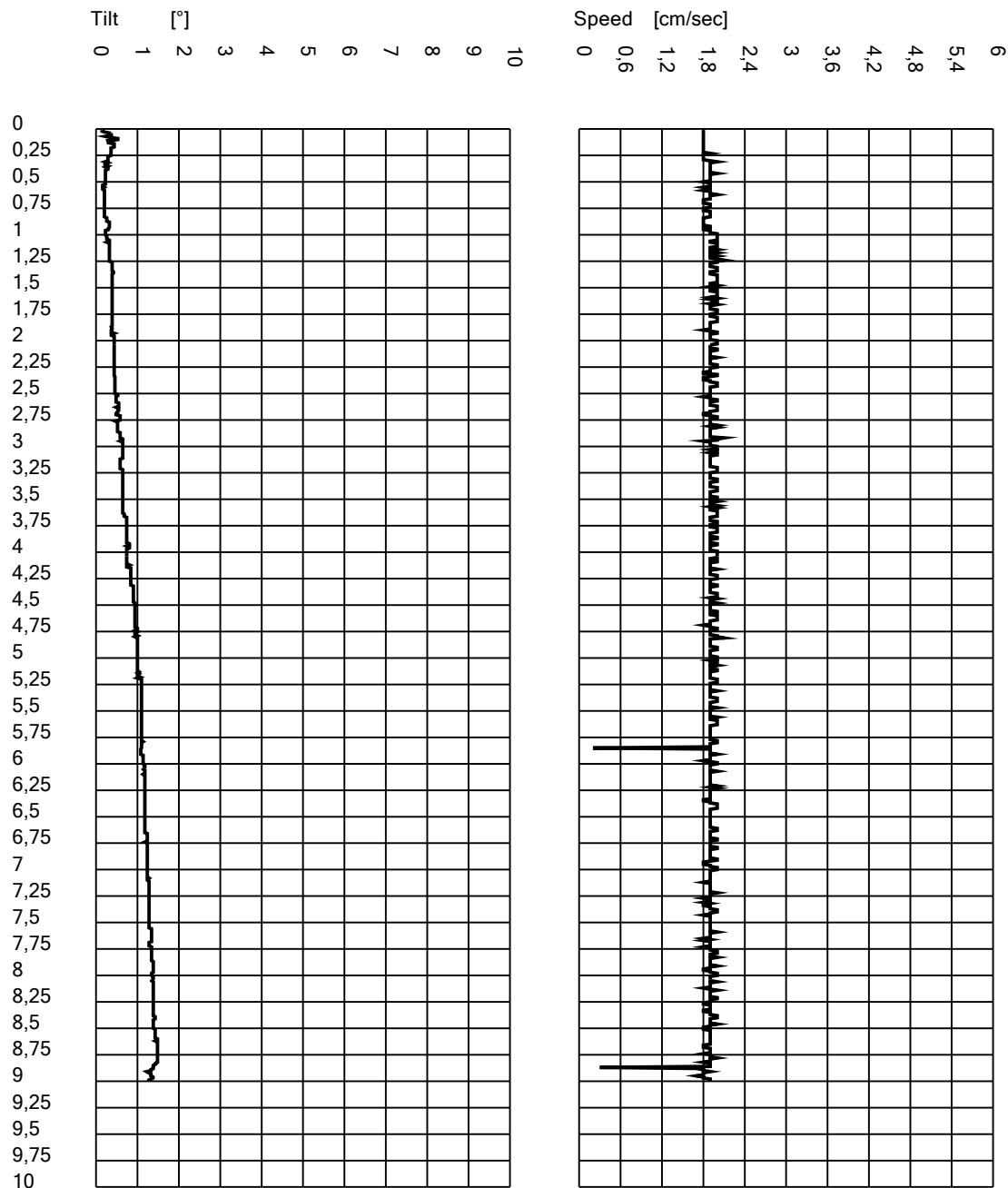
Depth [cm]	Qc [MPa]	Fs [KPa]	U2 [KPa]	Rf [%]	Tilt [°]	Speed [cm/sec]
215	1,108207	30,317521	157,352941	2,735727	0,437608	1,9
220	1,474124	33,377965	164,613971	2,264257	0,437608	1,9
225	1,359122	47,436878	126,011029	3,49026	0,437608	2
230	1,165708	49,572813	135,661765	4,252592	0,437608	1,9
235	0,956613	49,82785	138,878676	5,20878	0,455002	1,9
240	0,747517	44,376435	133,639706	5,936512	0,455002	1,9
245	0,585468	38,478704	128,033088	6,5723	0,455002	1,9
250	0,575013	28,054068	128,584559	4,878857	0,455002	1,9
255	0,642969	20,562357	122,794118	3,198032	0,482601	1,9
260	0,554104	17,916348	120,036765	3,233394	0,547893	1,9
265	0,543649	16,800561	121,047794	3,090334	0,547893	2
270	0,590695	17,470033	120,955882	2,957537	0,482601	1,8
275	0,737062	15,525376	125,643382	2,106386	0,580011	1,9
280	0,737062	17,406274	102,573529	2,361575	0,518778	1,9
285	0,684788	22,634532	108,363971	3,305333	0,518778	1,9
290	1,008887	24,834226	153,768382	2,461548	0,580011	1,9
295	1,019341	27,89467	55,514706	2,736539	0,643464	2
300	0,888657	36,629686	77,481618	4,121917	0,643464	1,9
305	0,763199	35,800816	84,283088	4,690888	0,643464	2
310	0,72138	29,903086	86,397059	4,145261	0,643464	1,9
315	0,679561	26,013772	89,522059	3,828027	0,580011	1,9
320	0,658651	23,750319	104,044118	3,605902	0,580011	1,9
325	0,726607	22,028819	131,433824	3,031736	0,643464	2
330	0,72138	21,13619	137,867647	2,929966	0,643464	1,9
335	0,878202	21,072431	145,3125	2,399498	0,643464	1,9
340	0,946158	29,839327	131,433824	3,153737	0,643464	2
345	0,852065	37,426677	136,397059	4,392468	0,643464	1,9
350	0,784109	40,391482	140,349265	5,15126	0,643464	2
355	0,74229	36,055853	143,014706	4,857384	0,643464	1,9
360	0,70047	29,648049	147,794118	4,232591	0,643464	1,9
365	0,70047	26,17317	154,871324	3,736513	0,678691	2
370	0,669106	28,181586	157,444853	4,211826	0,740678	1,9
375	0,669106	27,320837	159,742647	4,083184	0,740678	1,9
380	0,648197	29,042336	158,823529	4,480483	0,740678	2
385	0,632514	27,543994	156,617647	4,354683	0,740678	1,9
390	0,611605	28,659781	197,334559	4,685997	0,740678	1,9
395	0,62206	25,663096	201,838235	4,125504	0,740678	1,9
400	0,595923	26,20505	200,091912	4,397391	0,740678	2
405	0,695243	24,005356	222,334559	3,4528	0,740678	2
410	0,74229	22,730171	188,970588	3,06217	0,740678	2
415	0,710925	26,236929	132,8125	3,690533	0,740678	1,9
420	0,679561	30,44504	123,621324	4,480105	0,838963	1,9

Depth [cm]	Qc [MPa]	Fs [KPa]	U2 [KPa]	Rf [%]	Tilt [°]	Speed [cm/sec]
425	0,62206	33,82428	128,492647	5,437466	0,838963	2
430	0,627287	32,389697	128,860294	5,163457	0,838963	1,9
435	0,642969	31,592706	131,158088	4,913565	0,90141	1,9
440	0,674334	34,58939	134,283088	5,129419	0,90141	2
445	0,679561	35,354501	129,595588	5,202551	0,90141	2
450	0,627287	38,351186	134,283088	6,113818	0,93798	1,9
455	0,595923	34,685029	136,580882	5,820391	0,93798	1,9
460	0,58024	31,018873	140,073529	5,345865	0,93798	1,9
465	0,585468	27,767151	148,805147	4,742729	0,93798	2
470	0,60115	25,025504	153,216912	4,162938	0,93798	1,8
475	0,590695	25,184902	154,136029	4,263603	0,93798	1,9
480	0,616832	26,236929	157,169118	4,253495	0,999418	2
485	0,632514	26,460087	158,088235	4,183318	0,999418	1,9
490	0,669106	25,567457	180,422794	3,821136	0,999418	1,9
495	0,627287	29,934966	166,360294	4,772132	0,999418	1,9
500	0,496602	28,372864	170,955882	5,713399	0,999418	2
505	0,475693	24,48355	193,014706	5,146927	0,999418	2
510	0,533194	19,319051	202,022059	3,623269	0,999418	1,9
515	0,538421	17,820709	206,525735	3,309807	0,999418	1,9
520	0,585468	18,55394	187,5	3,169079	0,999418	1,9
525	0,569786	22,698291	188,143382	3,983654	1,0981	1,9
530	0,58024	23,431523	197,242647	4,038243	1,0981	1,9
535	0,648197	24,993624	193,566176	3,855871	1,0981	1,9
540	0,679561	26,268809	175,183824	3,865556	1,0981	2
545	0,642969	31,560826	186,121324	4,908607	1,0981	1,9
550	0,669106	31,018873	194,117647	4,635867	1,0981	1,9
555	0,726607	28,085947	197,794118	3,865354	1,0981	1,9
560	0,799791	30,604438	201,5625	3,826555	1,0981	2
565	0,799791	34,812548	202,481618	4,352706	1,0981	1,9
570	0,846837	37,012242	207,077206	4,370643	1,0981	1,9
575	0,899111	40,232084	209,375	4,47465	1,0981	1,9
580	0,815473	41,794185	209,834559	5,125146	1,137444	2
585	0,716153	37,362918	207,720588	5,217172	1,0981	1,9
590	0,799791	34,238715	255,055147	4,280958	1,079078	1,9
595	0,778881	37,554195	232,352941	4,821555	1,137444	1,9
600	0,737062	37,17164	215,625	5,043216	1,137444	2
605	0,752744	36,406529	235,569853	4,836506	1,137444	1,9
610	0,768427	33,346085	241,636029	4,339528	1,179866	1,9
615	0,710925	29,743688	231,158088	4,1838	1,179866	1,9
620	0,695243	28,245346	232,996324	4,062658	1,179866	1,9
625	0,648197	28,75542	208,915441	4,436219	1,179866	1,9
630	0,559331	26,013772	216,727941	4,650873	1,179866	1,9

Depth [cm]	Qc [MPa]	Fs [KPa]	U2 [KPa]	Rf [%]	Tilt [°]	Speed [cm/sec]
635	0,559331	22,953328	227,297794	4,103712	1,179866	1,8
640	0,543649	20,147921	225,551471	3,706055	1,179866	2
645	0,507057	18,55394	222,977941	3,659143	1,179866	1,9
650	0,491375	18,362663	222,426471	3,736997	1,179866	1,9
655	0,507057	18,011987	227,573529	3,552261	1,179866	1,9
660	0,512284	15,844172	227,665441	3,092847	1,179866	1,9
665	0,486147	13,261923	222,426471	2,727963	1,179866	1,9
670	0,486147	10,360877	226,746324	2,131221	1,237659	1,9
675	0,507057	12,082377	228,400735	2,382844	1,179866	1,9
680	0,491375	15,557256	224,540441	3,166067	1,237659	2
685	0,46001	16,003571	221,966912	3,478958	1,237659	1,9
690	0,433873	13,899515	224,264706	3,203587	1,237659	1,9
695	0,449556	12,911247	236,948529	2,872002	1,237659	1,8
700	0,433873	11,699821	229,6875	2,696597	1,237659	2
705	0,418191	12,560571	226,838235	3,003547	1,237659	1,9
710	0,412964	12,114257	230,422794	2,93349	1,237659	1,9
715	0,407737	10,743433	230,790441	2,634896	1,280798	1,9
720	0,444328	10,424637	237,408088	2,346156	1,280798	1,9
725	0,444328	10,99847	237,040441	2,475303	1,280798	1,9
730	0,444328	11,349146	237,683824	2,554225	1,280798	1,9
735	0,407737	13,070645	228,216912	3,20566	1,280798	1,8
740	0,36069	13,134404	225	3,641466	1,280798	2
745	0,397282	8,766896	240,073529	2,20672	1,280798	1,9
750	0,48092	8,161183	251,654412	1,696994	1,280798	1,9
755	0,439101	8,288702	229,779412	1,887653	1,280798	1,9
760	0,444328	8,320581	239,522059	1,87262	1,338096	2
765	0,444328	10,456516	242,371324	2,353331	1,338096	1,9
770	0,538421	11,699821	210,661765	2,172986	1,280798	1,9
775	0,412964	8,958174	224,632353	2,169239	1,338096	1,9
780	0,439101	8,256822	227,573529	1,880393	1,338096	2
785	0,486147	12,719969	196,323529	2,616484	1,338096	1,9
790	0,507057	13,963275	207,536765	2,753788	1,381842	1,9
795	0,533194	11,317266	224,540441	2,122542	1,381842	1,8
800	1,045478	13,803877	94,485294	1,320341	1,338096	2
805	0,872974	12,911247	117,555147	1,478995	1,338096	1,9
810	0,977522	18,808977	119,209559	1,924148	1,381842	1,9
815	0,799791	15,270339	121,783088	1,909291	1,381842	2
820	1,777313	23,590921	-6,801471	1,327336	1,381842	1,9
825	2,143231	20,849273	-43,75	0,972797	1,381842	1,9
830	2,368008	16,92808	-40,073529	0,714866	1,381842	1,9
835	2,409827	11,667942	-37,132353	0,484182	1,381842	1,8
840	1,949817	11,731701	-26,930147	0,601682	1,427872	2

Depth [cm]	Qc [MPa]	Fs [KPa]	U2 [KPa]	Rf [%]	Tilt [°]	Speed [cm/sec]
845	1,359122	25,567457	4,411765	1,881175	1,381842	1,9
850	1,296393	35,992094	37,224265	2,776326	1,381842	1,8
855	2,007318	44,535833	23,161765	2,218673	1,427872	1,9
860	2,728698	42,718694	-49,264706	1,565534	1,427872	1,9
865	2,514375	22,188217	-42,647059	0,882454	1,482973	1,9
870	2,618923	14,409589	6,985294	0,55021	1,482973	1,9
875	2,498693	18,267024	-34,466912	0,731063	1,482973	1,8
880	2,577104	34,143076	-68,933824	1,324862	1,482973	1,9
885	4,171458	38,701862	-75,735294	0,927778	1,43871	1,9
890	11,70413	22,092578	-65,808824	0,188759	1,326437	1,8
895	15,441715	39,116297	73,345588	0,253316	1,326437	1,8
900	18,562467	24,356032	77,022059	0,131211	1,272688	1,9





Prove Penetrometriche Dinamiche DPSH

ELABORAZIONE DATI

Committente : Comune di Lucca
Località: S.Angelo - LU
Data: 13/05/2020
N° totale di prove: 2

Cartella: S.Angelo200513ComuneLucca

Penetrometro dinamico superpesante tipo "Emilia"

Ditta produttrice: PAGANI GEOTHECNICAL EQUIPMENT
Modello: TG63-200

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/cm²)
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/cm²) (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

GEOPROVE S.p.A.

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

N.B.: I valori derivati dal 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)

Prova penetrometrica N° 1

Committente : Comune di Lucca
Località: S.Angelo - LU

Data: 13/05/20

Quota: p.c.

Livello della falda:

Letture di camp.			Valori derivati				
profond.	N ₂₀	Nriv	Rd	N ₂₀ *	Rd*	β	Nspt
0,2	C						
0,4							
0,6							
0,8							
1							
1,2							
1,4							
1,6							
1,8							
2							
2,2	P						
2,4							
2,6							
2,8							
3							
3,2							
3,4							
3,6							
3,8							
4							
4,2	T						
4,4							
4,6							
4,8							
5							
5,2							
5,4							
5,6							
5,8							
6							
6,2	U						
6,4							
6,6							
6,8							
7							
7,2							
7,4							
7,6							
7,8							
8							
8,2							
8,4							
8,6							
8,8							
9							
9,2							
9,4							
9,6	31		185,28	31	185,28	2,12	65
9,8	24		143,44	24	143,44	2,12	50
10	26		148,08	26	148,08	2,12	55

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

Committente : Comune di Lucca Data: 13/05/20
Località: S.Angelo - LU

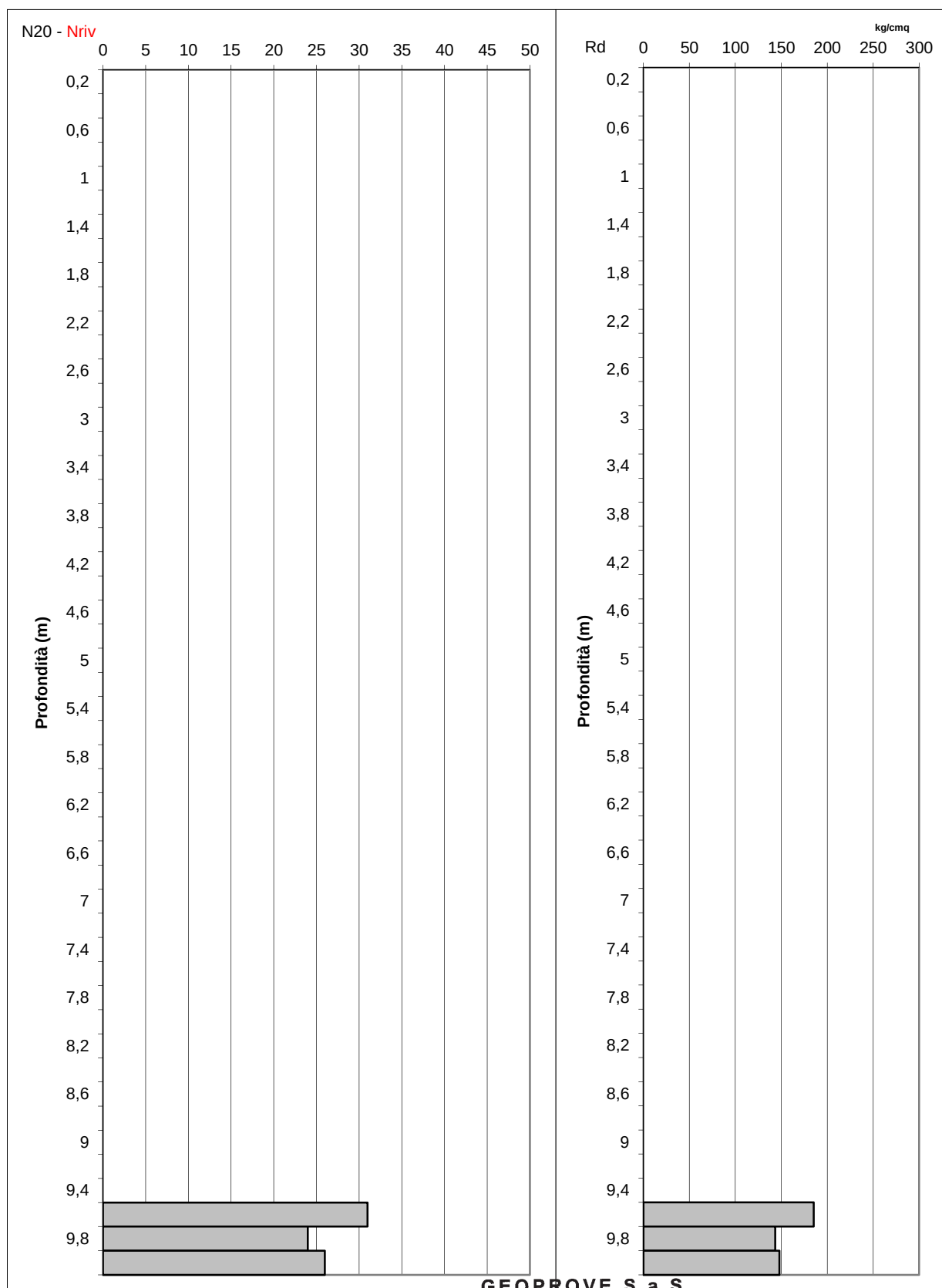
Letture di camp.		Valori derivati					
profond.	N ₂₀	Nriv	Rd	N ₂₀ *	Rd*	β	Nspt
10,2	21		119,60	21	119,60	2,12	44
10,4	14		79,73	14	79,73	2,12	29
10,6	13		74,04	13	74,04	2,12	27
10,8	12		68,34	12	68,34	2,12	25
11	27		146,86	27	146,86	2,12	57
11,2	28		152,30	28	152,30	2,12	59
11,4	21		114,22	21	114,22	2,12	44
11,6	17		92,47	17	92,47	2,12	36
11,8	21		114,22	21	114,22	2,12	44
12	24		124,92	24	124,92	2,12	50
12,2	24		124,92	24	124,92	2,12	50
12,4	16		83,28	16	83,28	2,12	33
12,6	30		156,15	30	156,15	2,12	63
12,8	27		140,54	27	140,54	2,12	57
13	21		104,80	21	104,80	2,12	44
13,2	14		69,87	14	69,87	2,12	29
13,4	17		84,84	17	84,84	2,12	36
13,6	21		104,80	21	104,80	2,12	44
13,8	19		94,82	19	94,82	2,12	40
14	15		71,89	15	71,89	2,12	31
14,2	17		81,48	17	81,48	2,12	36
14,4	16		76,68	16	76,68	2,12	33
14,6	21		100,65	21	100,65	2,12	44
14,8	15		71,89	15	71,89	2,12	31
15	10		46,10	10	46,10	2,12	21
15,2	14		64,54	14	64,54	2,12	29

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

Committente : Comune di Lucca
Località: S.Angelo - LU

Data: 13/05/2020
File: 2005131



GEOPROVE S.a.S.

Il Socio Accomandatario
e Direttore tecnico

Dr. Geo. Pietro Barsanti
(n° 193 Albo dei Geologi della Toscana)

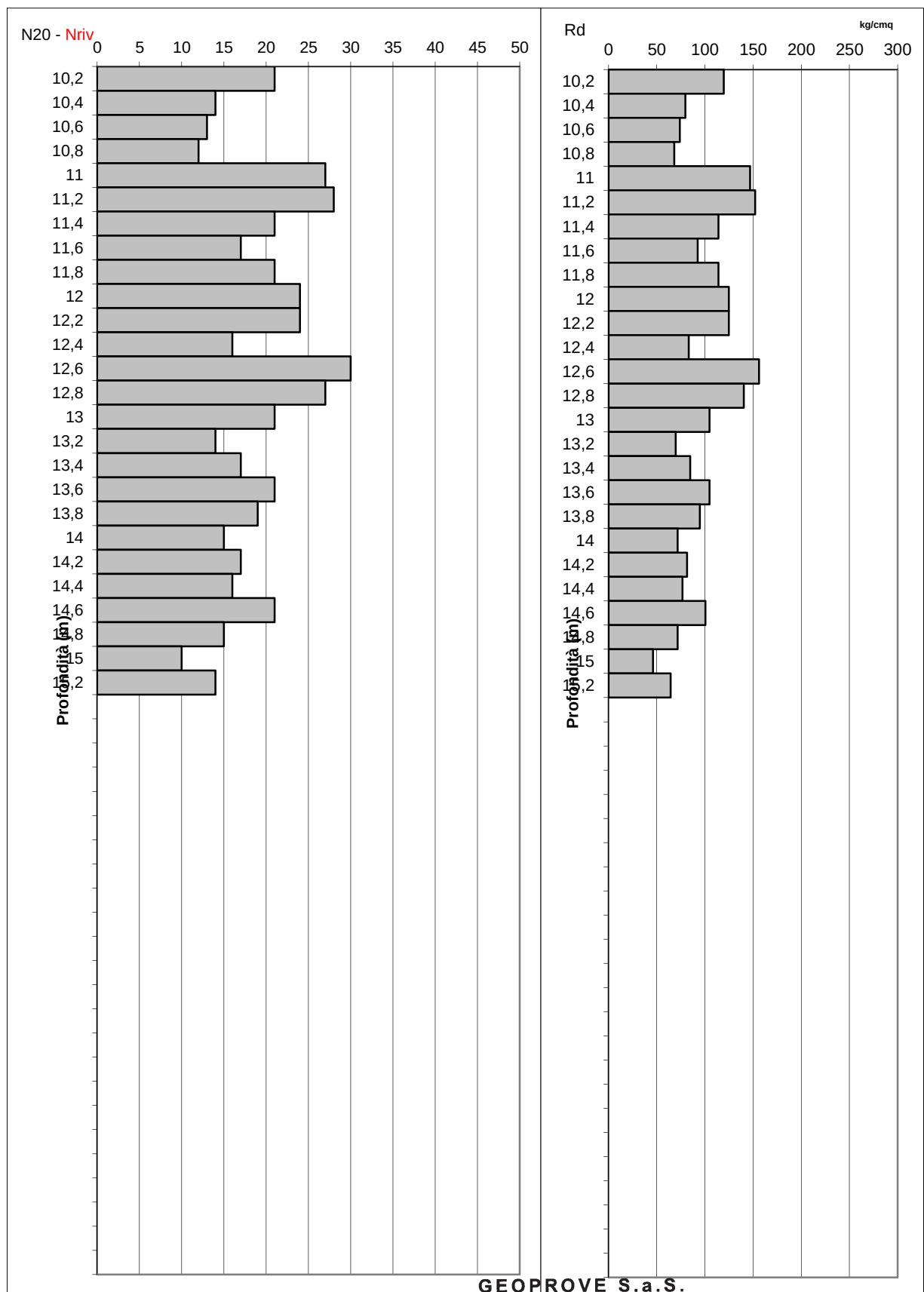
Prova penetrometrica N° 1

Committente : Comune di Lucca

Data: 13/05/2020

Località: S. Angelo - LU

File: 2005131



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 : Comune di Lucca
Località: S.Angelo - LU

Data: 13/05/20

Quota: p.c.

Livello della falda: -2,3

Letture di camp.			Valori derivati				
profond.	N ₂₀	Nriv	Rd	N ₂₀ *	Rd*	β	Nspt
0,2	C						
0,4							
0,6							
0,8							
1							
1,2							
1,4							
1,6							
1,8							
2							
2,2	P						
2,4							
2,6							
2,8							
3							
3,2							
3,4							
3,6							
3,8							
4							
4,2	T						
4,4							
4,6							
4,8							
5							
5,2							
5,4							
5,6							
5,8							
6							
6,2	U						
6,4							
6,6							
6,8							
7							
7,2							
7,4							
7,6							
7,8							
8							
8,2							
8,4							
8,6							
8,8							
9	9		53,79	9	53,79	2,12	19
9,2	15		89,65	15	89,65	2,12	31
9,4	19		113,56	19	113,56	2,12	40
9,6	20		119,53	20	119,53	2,12	42
9,8	29		173,32	29	173,32	2,12	61
10	31		176,55	31	176,55	2,12	65

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 : Comune di Lucca Data: 13/05/20
Località: S.Angelo - LU

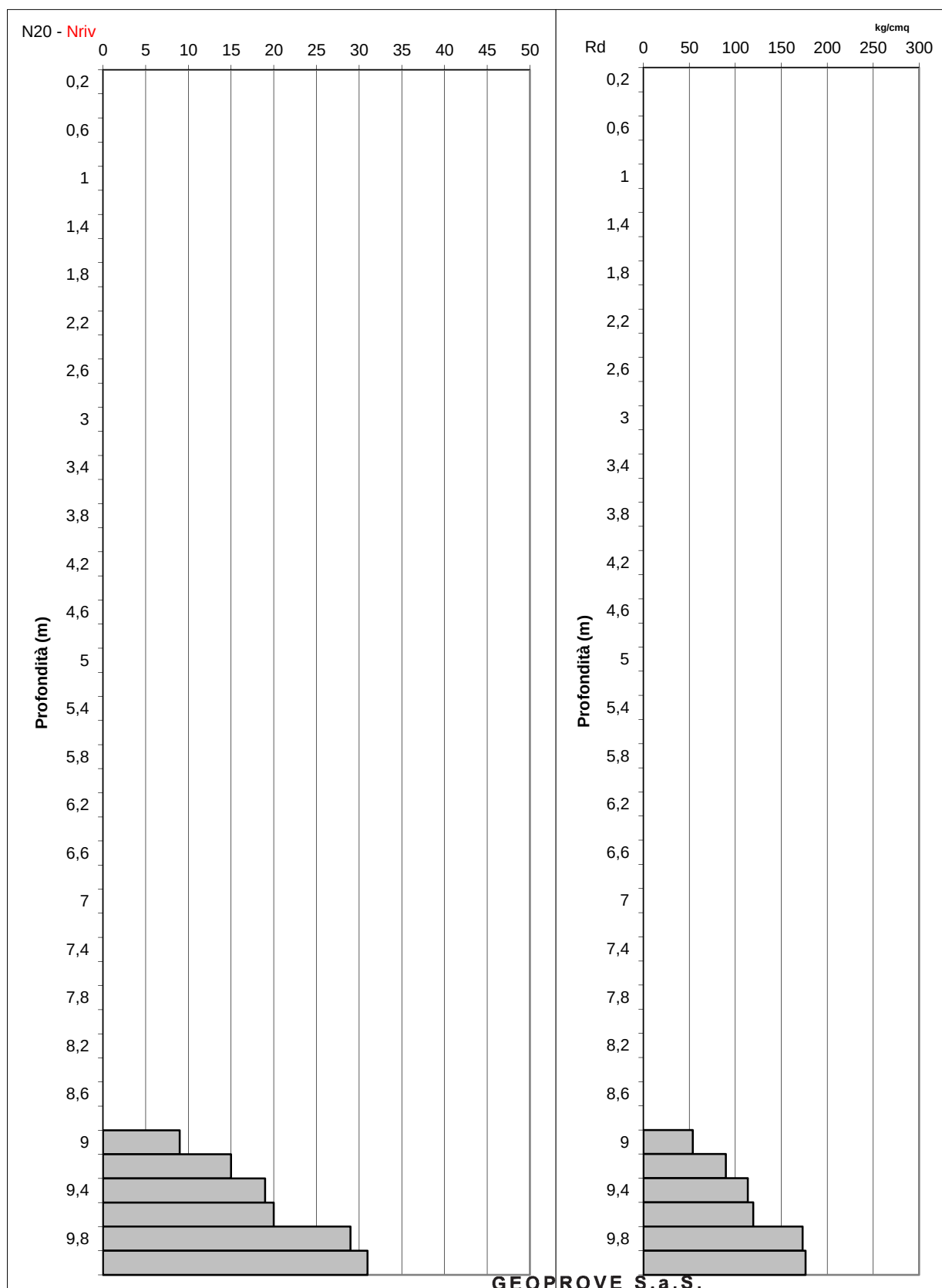
Letture di camp.		Valori derivati					
profond.	N ₂₀	Nriv	Rd	N ₂₀ *	Rd*	β	Nspt
10,2	28		159,47	28	159,47	2,12	59
10,4	15		85,43	15	85,43	2,12	31
10,6	16		91,12	16	91,12	2,12	33
10,8	14		79,73	14	79,73	2,12	29
11	12		65,27	12	65,27	2,12	25
11,2	12		65,27	12	65,27	2,12	25
11,4	13		70,71	13	70,71	2,12	27
11,6	21		114,22	21	114,22	2,12	44
11,8	17		92,47	17	92,47	2,12	36
12	19		98,90	19	98,90	2,12	40
12,2	17		88,49	17	88,49	2,12	36
12,4	18		93,69	18	93,69	2,12	38
12,6	24		124,92	24	124,92	2,12	50
12,8	23		119,72	23	119,72	2,12	48
13	21		104,80	21	104,80	2,12	44
13,2	13		64,88	13	64,88	2,12	27
13,4	13		64,88	13	64,88	2,12	27
13,6	14		69,87	14	69,87	2,12	29
13,8	17		84,84	17	84,84	2,12	36
14	20		95,85	20	95,85	2,12	42
14,2	19		91,06	19	91,06	2,12	40
14,4	20		95,85	20	95,85	2,12	42
14,6	21		100,65	21	100,65	2,12	44
14,8	14		67,10	14	67,10	2,12	29
15	12		55,32	12	55,32	2,12	25

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 : Comune di Lucca
Località: S.Angelo - LU

Data: 13/05/2020
File: dpsh2005132



GEOPROVE S.a.S.

Il Socio Accomandatario
e Direttore Tecnico

Dr. Geol. Pietro Barsanti

(n° 193 Albo dei Geologi della Toscana)

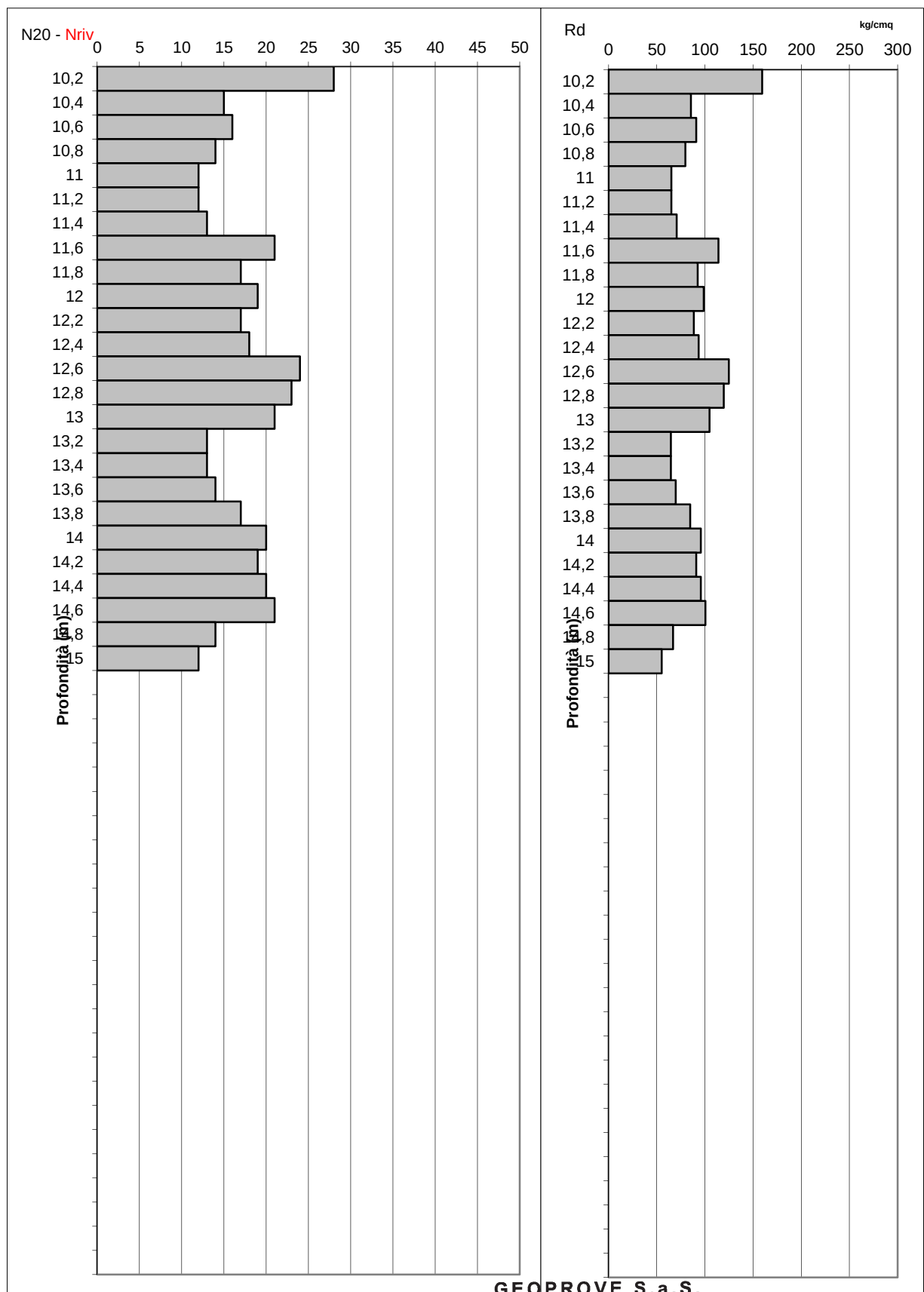
Prova penetrometrica N° 2

Committente : Comune di Lucca

Data: 13/05/2020

Località: S. Angelo - LU

File: dpsh2005132



GEOPROVE S.a.S.

Il Socio Accomandatario
e Direttore Tecnico

Dr. Geo. Pietro Barsanti
(n° 193 Albo dei Geologi della Toscana)

**STUDIO DI GEOLOGIA
BARSANTI, SANI & ASSOCIATI**
via Buiamonti 29 - 55100 LUCCA - Partita IVA: 01134410461
Tel. 0583/467427 Fax. 0583/91090 e-mail: bar-sani@geoprove.com

COMUNE DI LUCCA

**INDAGINI GEOLOGICHE, SISMICHE E GEOTECNICHE DI SUPPORTO AL
PROGETTO DELLA NUOVA VIABILITÀ DI COLLEGAMENTO TRA S.S.439 E
VIA DEI SILLORI NELLE FRAZIONI NAVE - S. ANGELO ED ALLA
CONTESTUALE VARIANTE AL REGOLAMENTO URBANISTICO EX ART. 34
DELLA L.R 65/2014 (L. R. 65/2014 - D.P.G.R. 5/R/ 2020)**

ALL. N° 3 – PROSPEZIONE SISMICA MASW



COMUNE DI LUCCA

PROVINCIA DI LUCCA

Località: S. Angelo – Ponte via Sillori

ANALISI MULTICANALE DELLE ONDE SUPERFICIALI (MASW)
MISURE DI RUMORE SISMICO AMBIENTALE A STAZIONE SINGOLA

Committente: Comune di Lucca

RELAZIONE TECNICA

Maggio 2020

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

I N D I C E

PREMESSA.....	3
1. IL METODO MASW	4
1. SISTEMA DI ACQUISIZIONE.....	5
2.1. Sismografo.....	5
2.2. Sistema energizzante	6
2.3. Trigger.....	6
2.4. Apparecchiatura di ricezione.....	7
3. ELABORAZIONE DATI	7
4. COMMENTO AI RISULTATI DELLE PROSPEZIONI SISMICHE	9
4.1. MASW (Multichannel Analysis Surface Waves)	9
5. MISURE DI RUMORE AMBIENTALE A STAZIONE SINGOLA	12

COMUNE DI LUCCA
Località: S. Angelo – Ponte via Sillori

ANALISI MULTICANALE DELLE ONDE SUPERFICIALI

MISURE DI RUMORE SISMICO AMBIENTALE A STAZIONE SINGOLA

PREMESSA

Per incarico del Comune di Lucca sono state effettuate indagini sismiche in loc. S. Angelo presso il ponte di Via Sillori mediante analisi multicanale delle onde superficiali (MASW). Le indagini hanno avuto lo scopo di caratterizzare il sottosuolo ai sensi del vigente D.M. 17 Gennaio 2018 – *Norme tecniche per le costruzioni*.

L'ubicazione della linea è riportata nell'immagine Google che segue:



Le presenti note illustrano la metodologia delle indagini ed i risultati conseguiti.

1. IL METODO MASW

Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine sismica di recente introduzione (Parker, Miller e Xia - 1999) che, attraverso l'analisi di onde superficiali di tipo Rayleigh registrate contemporaneamente da 12 o più sensori (geofoni o accelerometri), mira ad ottenere profili V_{sv} -Z (velocità delle onde di taglio verticali – profondità) mono o bidimensionali. Questo metodo di indagine può essere sia attivo che passivo. La metodologia qui usata è di tipo attivo, ossia la perturbazione sismica viene generata da una massa battente, costituita da una mazza o da un grave in caduta libera, e misurata da uno stendimento lineare di sensori.

In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase: la velocità di fase dipende dalla frequenza e tale dipendenza è esprimibile attraverso una *curva di dispersione*. La natura dispersiva di questo tipo di onde è correlabile con il fatto che onde ad alta frequenza (lunghezza d'onda corta) si propagano negli strati più superficiali di terreno mentre onde a bassa frequenza (lunghezza d'onda lunga) si propagano negli strati più profondi. Generalmente il range di frequenze di interesse è compreso tra 2 e 100 Hz.

Le profondità di esplorazione del sottosuolo massima (Z) e minima (z) che si possono raggiungere con questo tipo di indagine dipendono dal range di lunghezze d'onda (e quindi di frequenze) misurato. In prima approssimazione $Z \approx \frac{1}{2} \lambda_{\max}$ e $z \approx \frac{1}{2} \lambda_{\min}$ dove $\lambda_{\max}$ è la lunghezza d'onda massima misurata (corrispondente alla minima frequenza) e $\lambda_{\min}$ è la lunghezza d'onda minima (massima frequenza). E buona norma, inoltre, utilizzare una geometria di acquisizione che preveda uno stendimento di lunghezza adeguata, orientativamente almeno il doppio della profondità che si vuole indagare, in modo da ottenere una buona definizione degli spettri di velocità anche alle basse frequenze.

Nella prospezione MASW attiva è particolarmente importante l'uso di una sorgente di energia idonea a generare onde a bassa frequenza con λ circa doppie della profondità di indagine massima che si vuole raggiungere. E' preferibile, inoltre, adottare una distanza intergeofonica non troppo grande (orientativamente inferiore ai 3 metri) in modo da evitare fenomeni di aliasing che un'eccessiva distanza tra i geofoni potrebbe generare.

Il processing dei dati, qui eseguito con il programma SURFSEIS, permette di ottenere un'immagine (*spettro di velocità*) dove sono rappresentati, nel campo velocità di fase - frequenza, diversi modi delle onde di Rayleigh. L'analisi e l'interpretazione degli spettri di velocità consente l'estrazione delle curve di dispersione dalla cui inversione si ottengono i profili di velocità delle onde Sv.

1. SISTEMA DI ACQUISIZIONE

L'acquisizione dei dati in campagna è stata eseguita utilizzando un sistema composto dalle seguenti parti:

- sismografo
- sorgente energizzante
- trigger
- apparecchiatura di ricezione

2.1. Sismografo

Lo strumento utilizzato per la presente indagine è un prospektore sismico EG&G GEOMETRICS *STRATAVISOR NZXP* a 48 canali avente le seguenti caratteristiche:

- Impedenza di ingresso diff. 20 Kohm
- Impedenza di ingresso common mode: 20 Kohm
- Range dinamico: 144 dB
- Larghezza di banda 1.75÷20.000 Hz
- Digitalizzatore a 24 bit
- Filtri in acquisizione ed in uscita:
- Sommatoria dei segnali fino ad un massimo di 8.000 stacks
- Intervallo di campionamento selezionabile a: 20.0, 31.25, 62.5, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000, 16000 μ s
- Durata della registrazione: 16384 campioni
- Possibilità di registrazione continua per controllo vibrazioni
- Possibilità di registrazione Autostack e Preview
- Possibilità di inversione della polarità (Stack polarity)
- CDP Roll Along
- Visore grafico a cristalli liquidi colore
- Stampante a plotter su carta termica
- Memoria su HD interno 40 Mb o su floppy 3.5" 1.44 Mb
- Sistema Windows XP
- Porta USB

2.2. Sistema energizzante

Come sorgente energizzante per le onde di Rayleigh è stata utilizzata la massa battente (63.5 Kg) di un penetrometro dinamico superpesante tipo “Emilia” (Pagani, modello Tg63-200).



Vista dello stendimento MASW: sullo sfondo il penetrometro utilizzato per l'energizzazione

2.3. Trigger

Il trigger utilizzato consiste in un circuito elettrico che viene chiuso mediante un apparecchio starter (geofono starter, starter a lamelle, piezoelettrico od altro) nell'istante in cui il sistema energizzante (maglio, mazza, etc.) colpisce la base di battuta, consentendo ad un condensatore di scaricare la carica precedentemente immagazzinata e la produzione di un impulso della durata di qualche secondo che viene inviato al sensore collegato al sistema di acquisizione dati.

2.4. Apparecchiatura di ricezione

Per la registrazione delle onde superficiali sono stati adottati 24 geofoni verticali con frequenza propria di 4,5 Hz.

3. ELABORAZIONE DATI

Il risultato finale della fase di acquisizione è costituito da una serie di files in formato SEG 2.

L'elaborazione MASW si effettua attraverso le seguenti fasi principali:

1. Importazione e formattazione dei dati.
2. Generazione, per ogni registrazione, di un'immagine di dispersione (chiamata *overtone*) che rappresenta, con una scala colorimetrica, le ampiezze delle onde registrate in funzione della velocità di fase e della frequenza.
3. analisi delle immagini *overtone* con individuazione del modo fondamentale e dei modi superiori delle onde di Rayleigh e la conseguente estrazione delle curve di dispersione.
4. Inversione delle curve di dispersione a partire da un modello basato sulle informazioni stratigrafiche, geotecniche e sismiche disponibili. Si tratta essenzialmente di un metodo iterativo con il quale il programma compara le curve di dispersione estratte (sperimentali) con delle curve teoriche (modelli) per la ricerca della curva di dispersione ottimale, usando l'RMSE (*root-mean-square error*) come guida e *constrain*. In pratica le iterazioni continuano automaticamente fino a che non viene raggiunto il minimo RMSE (ovvero il "*best fitting*" tra curva sperimentale e curva teorica) o, in alternativa, un numero massimo di iterazioni scelto dall'utente. Il risultato finale del processo di elaborazione è un profilo V_{sv} -Z monodimensionale (corrispondente all'incirca alla verticale al disotto del centro dello stendimento), nel caso di una sola registrazione, o bidimensionale, nel caso di più registrazioni.

Allo stato attuale delle conoscenze il metodo MASW appare una metodologia che, pur presentando innegabili vantaggi rispetto alla sismica a rifrazione (possibilità di operare anche in contesti con elevato rumore ambientale ed in spazi limitati, possibilità di individuare inversioni di velocità etc.), è tuttavia soggetta a limitazioni di carattere teorico (strati pian paralleli, etc.) e pratico (necessità di fonti

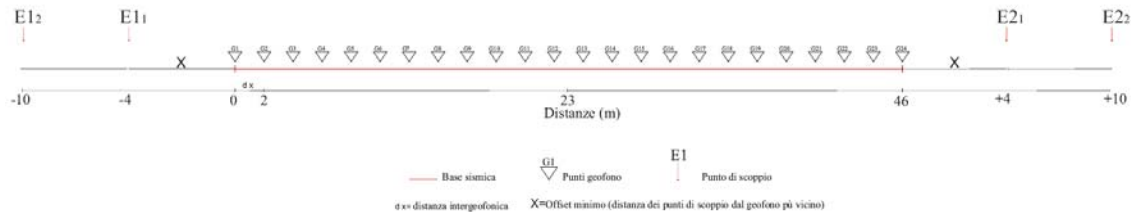
energetiche a bassa frequenza per poter scendere in profondità, geofoni a bassa frequenza, etc.) che, unitamente alle difficoltà interpretative in assenza di un attendibile modello stratigrafico e sismico di riferimento, impongono la massima attenzione e cautela per il suo utilizzo come unico metodo di analisi.

Nella fattispecie tuttavia, avendo a disposizione dati stratigrafici, derivanti da una prova penetrometrica statica CPT eseguita nello stesso contesto d'indagine, e dati sia stratigrafici sia sismici, acquisiti in precedenti campagne geognostiche e geofisiche in aree limitrofe caratterizzate da contesti geologico-stratigrafici simili a quelle del sito in studio nel presente lavoro, è stato possibile ricostruire un modello sismo-stratigrafico di riferimento sufficientemente attendibile.

4. COMMENTO AI RISULTATI DELLE PROSPEZIONI SISMICHE

4.1. MASW (Multichannel Analysis Surface Waves)

E' stata eseguita una prospezione con il metodo MASW utilizzando un sistema di acquisizione a 24 geofoni con la seguente configurazione sorgente-ricevitori:



Sono state eseguite 12 energizzazioni, ovvero 3 registrazioni con offset 4 e 10 m sia dal geofono 1 sia dal geofono 24, in modo da poter valutare, nella fase di elaborazione dati, diversi spettri di velocità derivanti da diverse configurazioni sorgente-ricevitori ed ottenere dal loro confronto un quadro più completo che agevoli il riconoscimento dei modi delle onde di Rayleigh effettivamente presenti, non essendo possibile stabilire a priori, in campagna, quale sia la migliore configurazione.

Un esempio delle registrazioni effettuate (n° 11 utilizzata poi per l'elaborazione) è riportato nella figura 1 seguente:

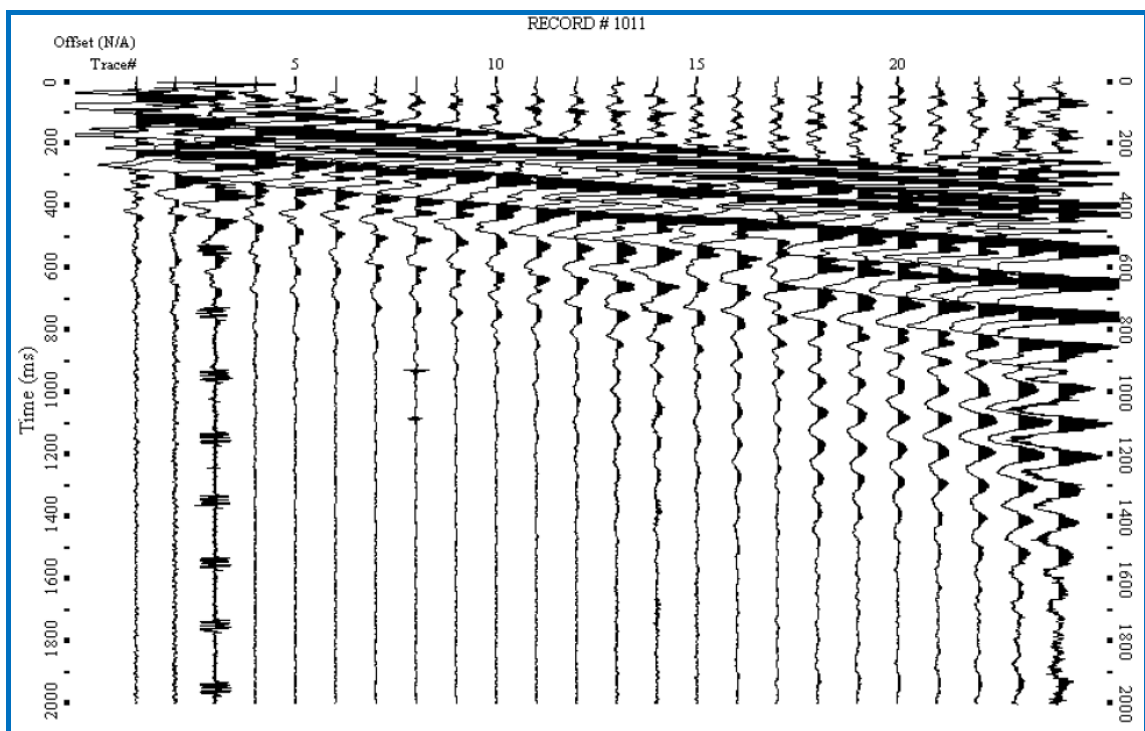


Fig. 1 - Registrazione di campagna delle onde superficiali: risultato dell'energizzazione a 10 metri dal geofono 1

I dati stratigrafici e sismici disponibili, costituiti sia da prove penetrometriche CPTU/DPSH eseguite nello stesso contesto di indagine, sia una prospezione Downhole eseguita per l'ampliamento dell'adiacente complesso di Sistema Ambiente, sono stati molto utili per l'elaborazione delle onde superficiali (MASW). Essi infatti hanno consentito l'impostazione di un modello di base (tabella 1) per la generazione di una curva di dispersione teorica attendibile e ragionevolmente compatibile con la curva sperimentale, riportata in figura 2.

Layer	Thickness	S-Vel (Vs)	P-Vel (Vp)	POs Ratio
1	0.959	171	872	0.480
2	1.199	171	872	0.480
3	1.499	169	860	0.480
4	1.873	183	935	0.480
5	2.342	225	1145	0.480
6	2.927	275	1400	0.480
7	3.659	323	1071	0.450
8	4.573	380	1262	0.450
9	5.717	441	1080	0.400
10	Infinity	706	1730	0.400

Tab. 1 – Modello utilizzato per la generazione della curva di dispersione teorica.

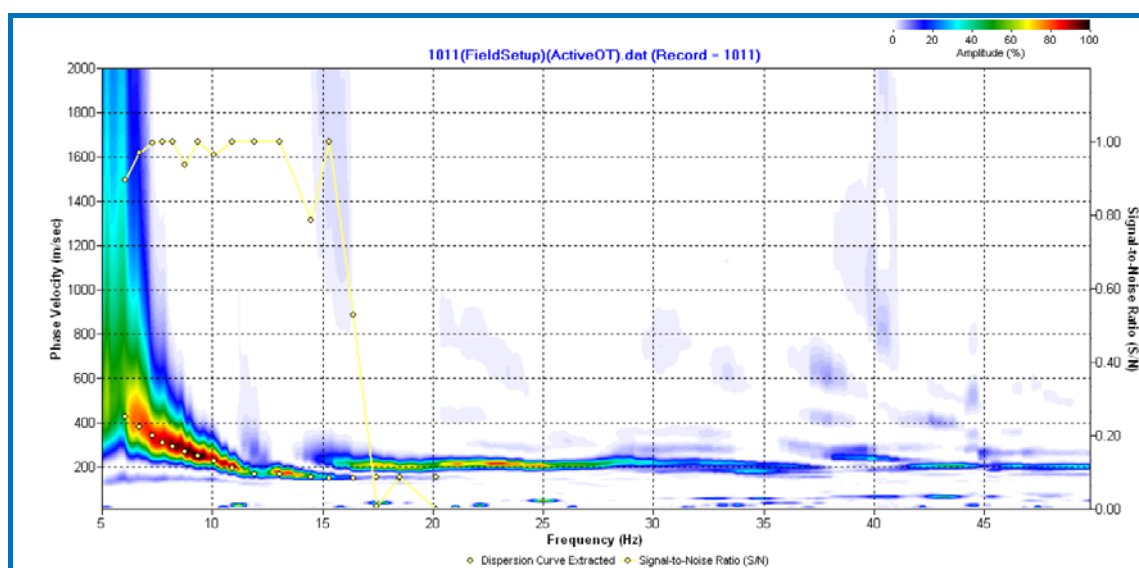


Fig. 2 – Spettro di velocità con sovrapposta la curva di dispersione utilizzata per l'elaborazione MASW.

Il profilo di velocità Vs di Fig. 3 e la Tabella 2 sono i risultati finali dei processi iterativi operati dal programma SURFSEIS alla ricerca del *best fitting* tra curva di dispersione sperimentale e teorica.

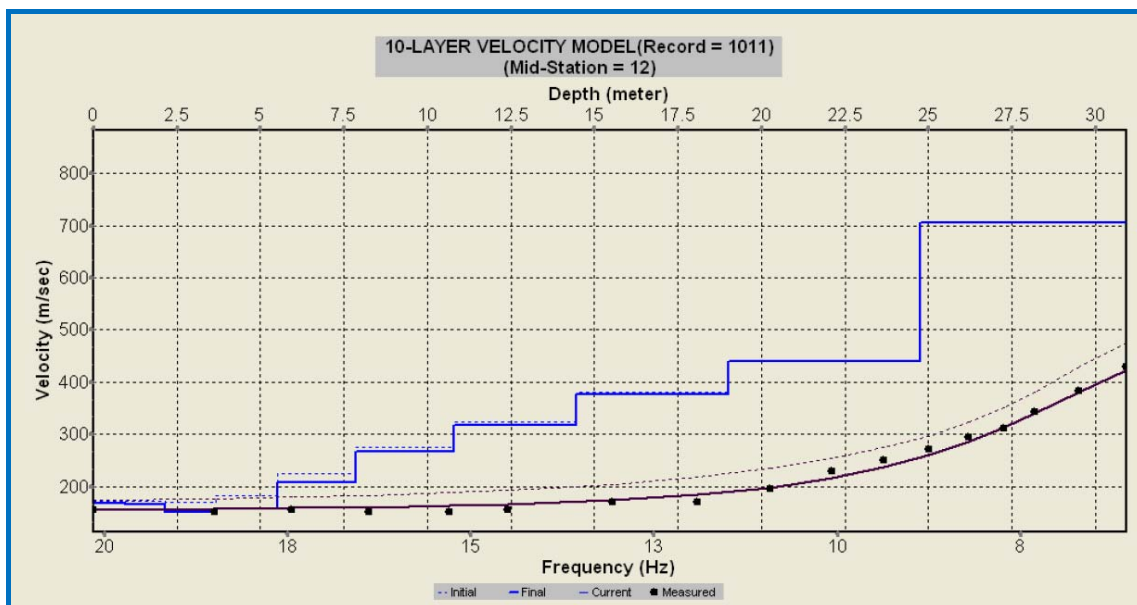


Fig. 3 – Profilo di velocità Vs.

Spessore strati (m)	Profondità (m)	Velocità Vs (m/sec)
1.0	1.0	167.4
1.2	2.2	165.1
1.5	3.7	150.0
1.9	5.5	156.2
2.3	7.9	207.2
2.9	10.8	266.5
3.7	14.5	317.8
4.6	19.0	376.1
5.7	24.8	438.59
0.0	24.8	705.36

Tab. 2 – Spessore, profondità della base e velocità delle onde S degli strati individuati nel profilo di figura 3.

5. MISURE DI RUMORE AMBIENTALE A STAZIONE SINGOLA

Sono state effettuate due misure di rumore sismico ambientale a stazione singola (TR1-TR2) ubicate come nell'immagine satellitare di Google Earth.

Le misure hanno avuto lo scopo di misurare le frequenze di vibrazione naturali del sottosuolo del sito.

Metodologia e strumentazione

È stata utilizzata la tecnica HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) con tromografo digitale (indagine sismica con metodologia dei microtremori). La misura del rumore sismico ambientale è stata acquisita con strumentazione tromografica portatile, dotata di tre canali di acquisizione connessi a tre velocimetri elettrodinamici ad alta risoluzione, in grado di misurare le componenti della velocità (moto) di ogni strato lungo le direzioni N-S; E-W; H-V.

L'elaborazione del microtremore registrato fornisce i rapporti spettrali HVSR o H/V (Nogoshi & Igarashi, 1970) e consente di stimare le frequenze fondamentali di risonanza del sottosuolo.

Per gli aspetti teorici essenziali e le principali applicazioni si veda, fra gli altri, Nakamura (1989), SESAME projet (2004), Castellaro e Mulargia (2009a, 2009b), Albarello et alii (2011), Albarello e Castellaro (2011), Mucciarelli e Gallipoli (2011).

Il microtremore sismico è stato registrato con un tromografo digitale della ditta Micromed (*TROMINO* modello TRZ-0101/01-10) e successivamente analizzato ed elaborato attraverso il software dedicato *GRILLA*.

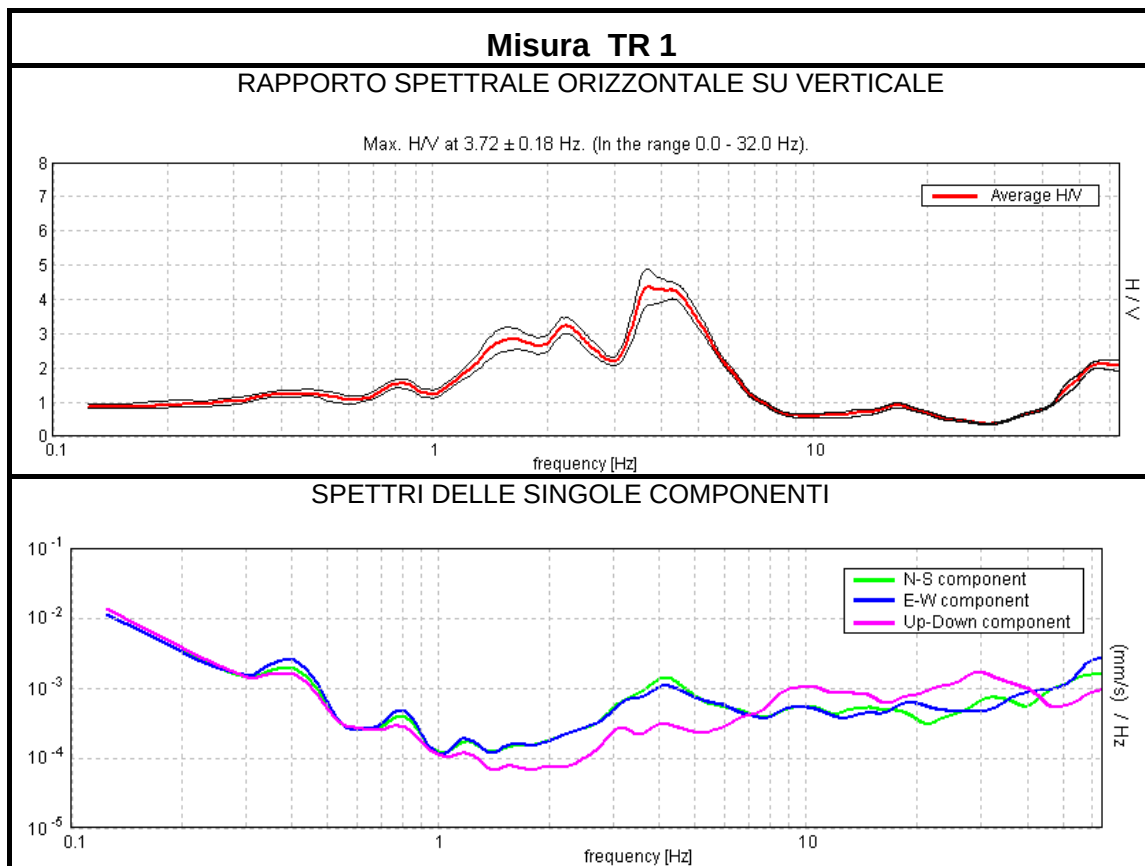
Dalle registrazioni del rumore sismico sono state ricavate le curve H/V utilizzando i seguenti parametri:

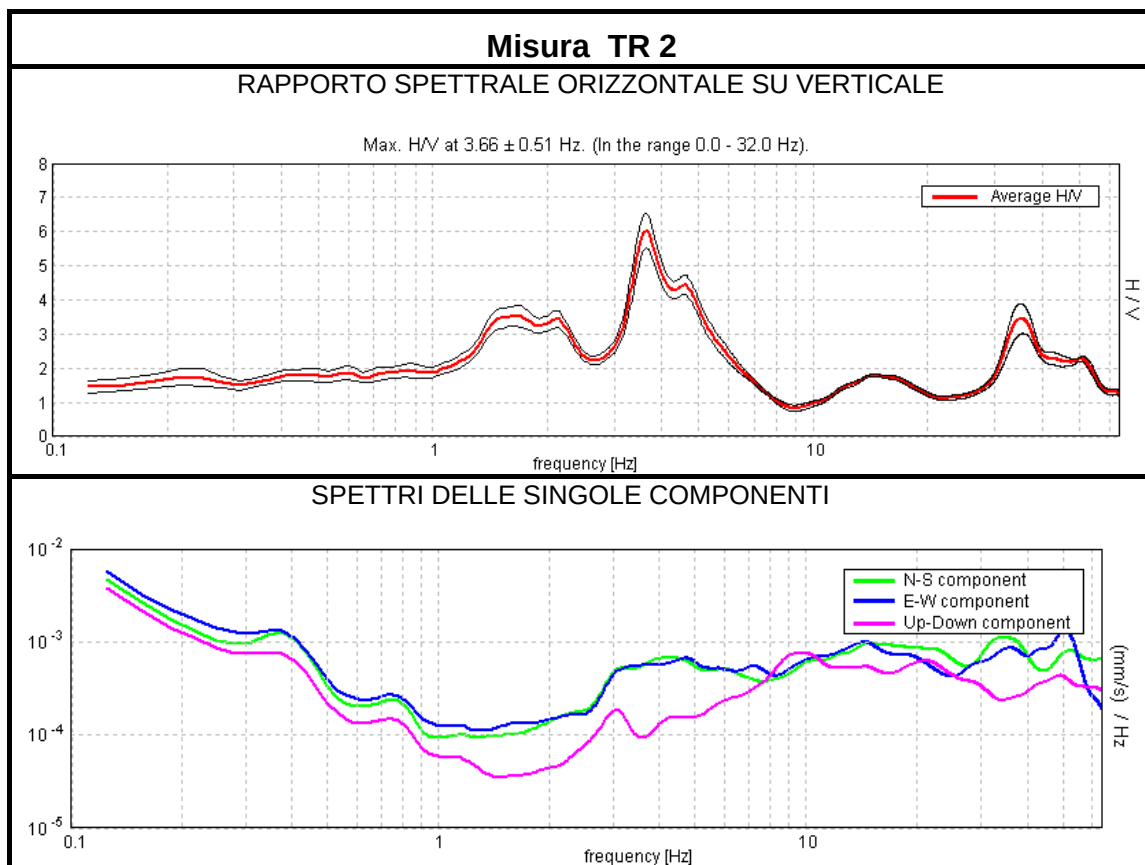
- Tempo di acquisizione: 40 min
- Frequenza di campionamento: 128 Hz
- Larghezza delle finestre d'analisi: 40-45 s
- Lisciamento secondo finestra triangolare con ampiezza pari al 5% e al 10% della frequenza centrale.

Per ulteriori informazioni sulle misure effettuate (condizioni ambientali, tipo di superficie di misura, "pulizia" dei dati, processing, spettri ottenuti, ecc.) si rimanda alle tavole di sintesi allegate.

Risultati

Di seguito sono riportati, per ogni misura eseguita, soltanto i grafici delle analisi lisce al 10% che mostrano, in funzione della frequenza, i valori dei rapporti spettrali H/V e l'ampiezza delle singole componenti. Tutti i dettagli sulle misure sono contenuti nelle schede allegate.



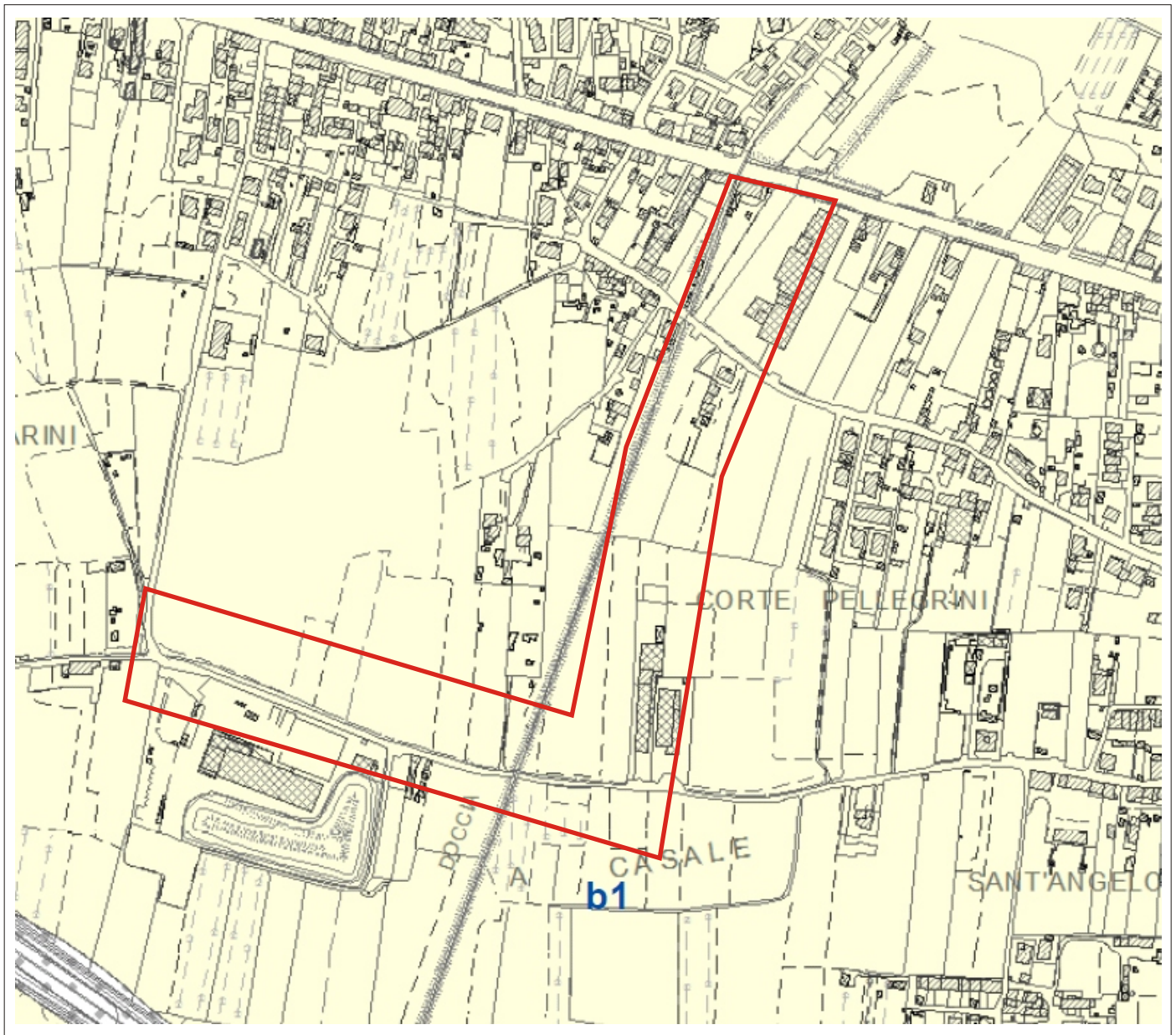


Entrambe le curve sono caratterizzate da diversi picchi, sia di origine stratigrafica, sia dovuti ad artefatti connessi con l'attività della vicina centrale di Sistema Ambiente: il picco principale intorno a 3.7 Hz con ampiezza H/V di $4.5 \div 6$, corrisponde al passaggio argille-ghiaie intorno a 10 m di profondità; gli altri picchi individuabili a 2.3 e 1.6 Hz sono correlabili con contrasti di impedenza sismica più profondi, rispettivamente intorno a 30 e 60÷70 m, presumibilmente tra la copertura alluvionale ed i sottostanti depositi fluviolacustri e/o il bedrock.

Lucca, 18/05/20

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

Fig. 1 - Carta geologica e sezione geologica - scala 1:5.000

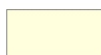


*Sigle formazionali
ex cartografia PAI*

DEPOSITI QUATERNARI

all, all1

b1



Ghiaie eterometriche, sabbie e limi di composizione generalmente poligenica dei terrazzi fluviali recenti (b1). Età: Olocene



Area delle indagini

Fig. 2 - Planimetria - scala 1:2.000

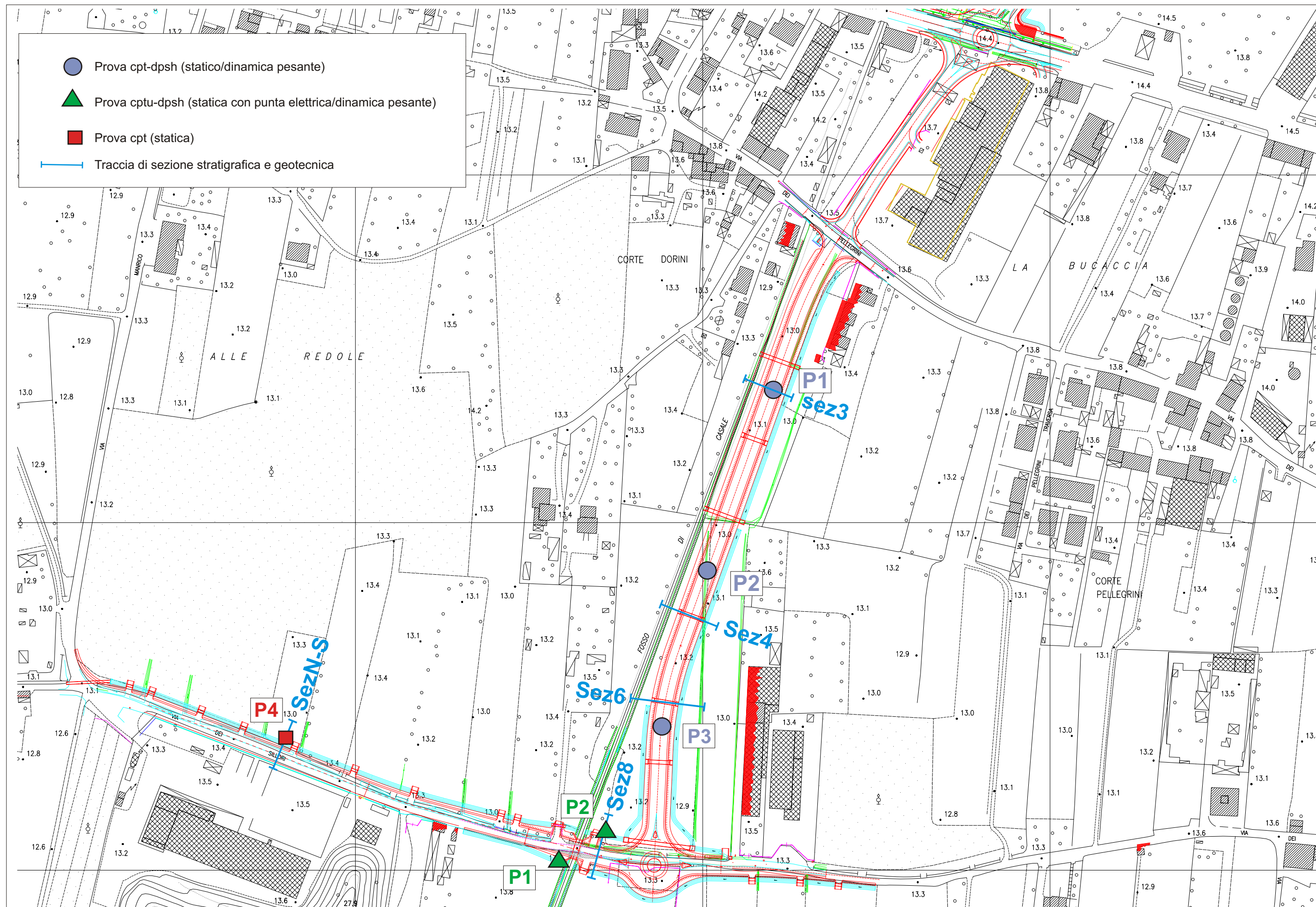
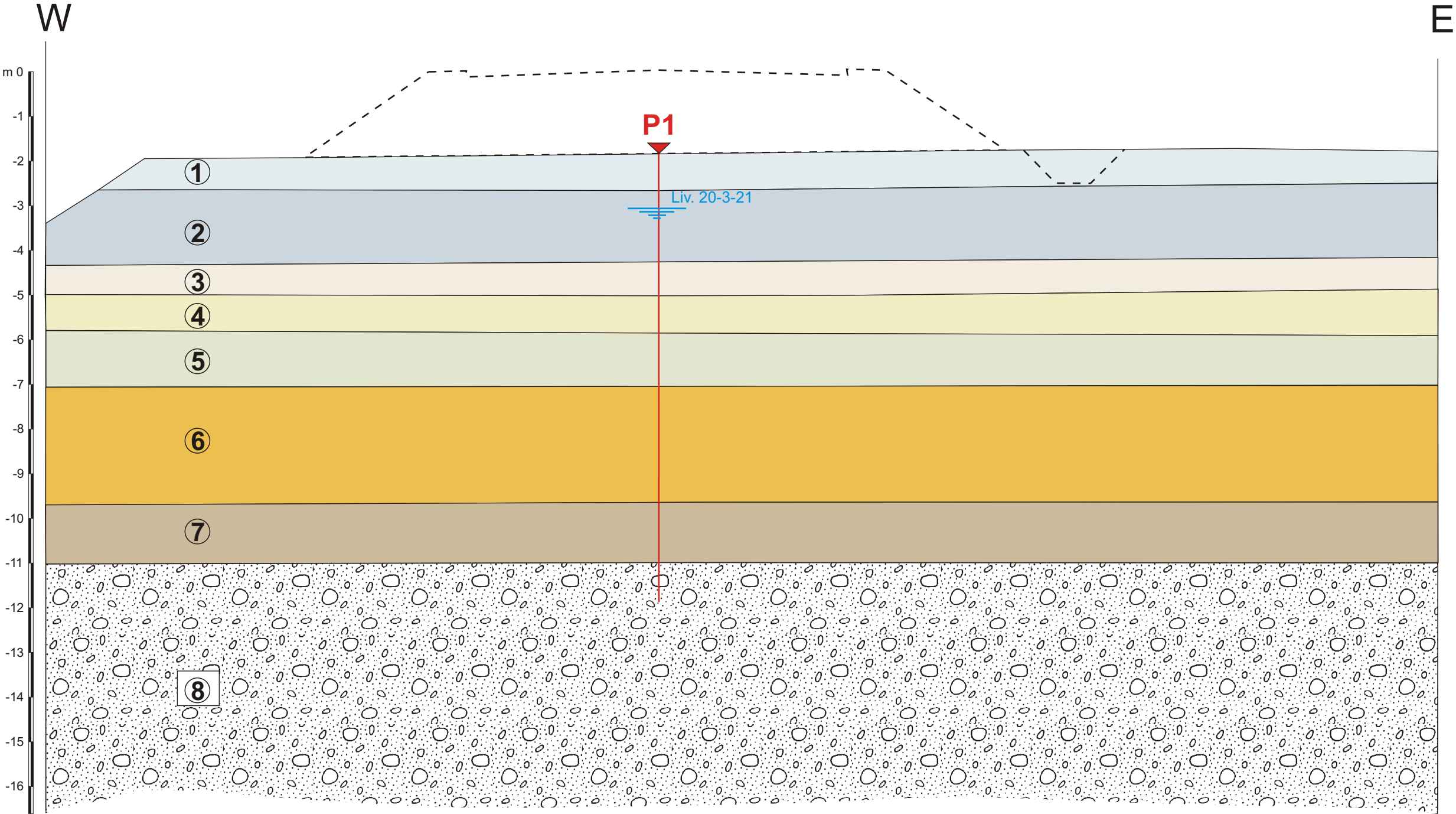


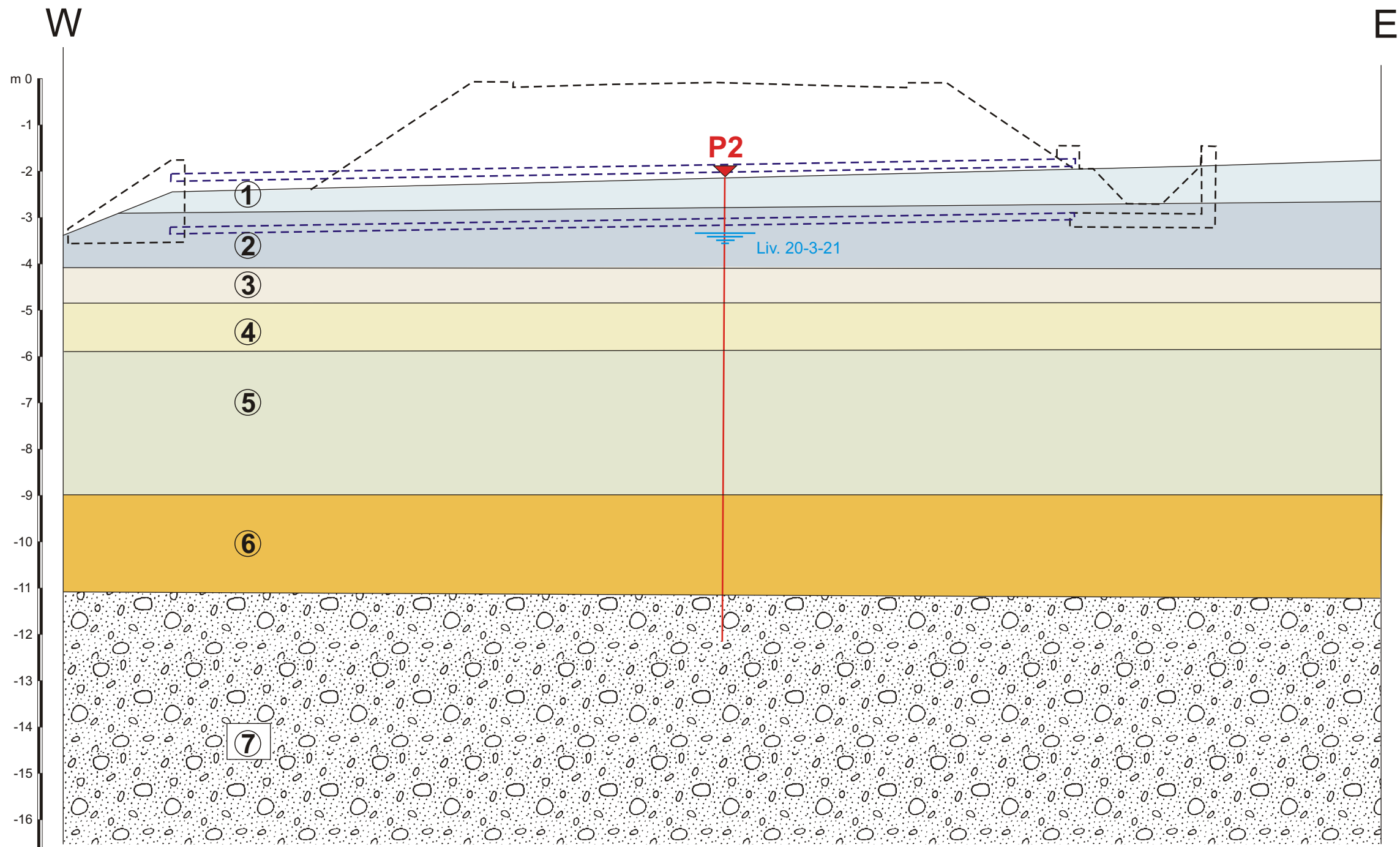
Fig. 3 - Sezione stratigrafica e geotecnica n°3 - scala: 1:100



Stima del campo di variabilità dei parametri geotecnici		γ (kg/dm ³)	γ' (kg/dm ³)	cu (kg/cm ²)	Dr(%)	ϕ' (°)	c' (kg/cm ²)	mv (cm ² /kg)
①	Limi argillosi più o meno sabbiosi compatti.	1.85	0.95	0.5÷0.6		28°	0.02	0.028÷0.017
②	Limi argillosi più o meno sabbiosi di media consistenza con livelletti molli.	1.80	0.90	0.2÷0.4		27°	0.02	0.063÷0.040
③	Sabbie e sabbie limose sciolte.	1.80	0.90		25	28÷29°		0.030÷0.028
④	Limi argillosi più o meno sabbiosi di media consistenza.	1.80	0.90	0.3÷0.4		27°	0.02	0.050÷0.031
⑤	Limi argillosi più o meno sabbiosi compatti.	1.85	0.95	0.5÷0.7		28°	0.02	0.021÷0.016
⑥	Limi argillosi più o meno sabbiosi media consistenza.	1.80	0.90	0.3÷0.5		27°	0.02	0.050÷0.023
⑦	sabbie sciolte.	1.85	0.95		25÷40	29÷30°		0.022÷0.013
⑧	Ghiaie sabbie e ciottoli.	1.95÷2.0	1.05÷1.10		52÷63	33÷38°		0.004÷0.003

P1 Prova penetrometrica CPT/DPSH

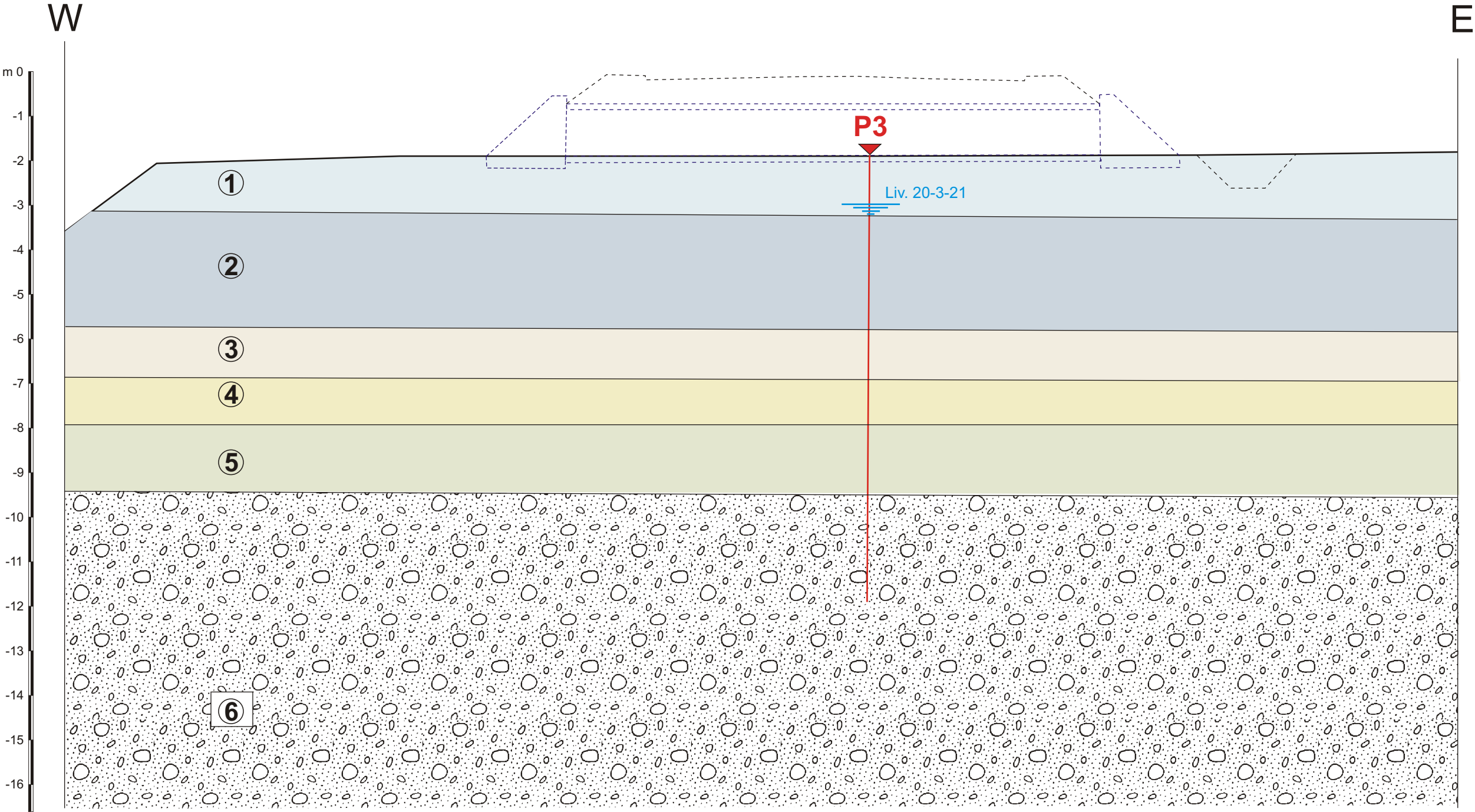
Fig. 3 - Sezione stratigrafica e geotecnica n°4 - scala: 1:100



Stima del campo di variabilità dei parametri geotecnici		γ (kg/dm ³)	γ' (kg/dm ³)	cu (kg/cm ²)	Dr (%)	ϕ' (°)	c' (kg/cm ²)	mv (cm ² /kg)
①	Limi argillosi più o meno sabbiosi compatti.	1.85	0.95	0.7		27÷28	0.02	0.018
②	Sabbie limose e limi sabbiosi sciolti.	1.80	0.90		28÷35	29÷30		0.023÷0.016
③	Limi argillosi più o meno sabbiosi di media consistenza.	1.80	0.90	0.3÷0.5		27	0.00÷0.02	0.028÷0.025
④	Sabbie e sabbie limose sciolte.	1.80	0.90		20÷28	28÷29		0.030÷0.021
⑤	Limi argillosi più o meno sabbiosi compatti.	1.85	0.95	0.5÷0.8		27÷28	0.00÷0.02	0.032÷0.016
⑥	Limi argillosi più o meno sabbiosi di media consistenza.	1.80	0.90	0.3÷0.4		27	0.00÷0.02	0.042÷0.033
⑦	Ghiaie sabbie e ciottoli da mediamente addensati ad addensati.	1.95÷2	1.05÷1.1		60÷70	35÷38		0.003÷0.0025

P1
Prova penetrometrica CPT/DPSH

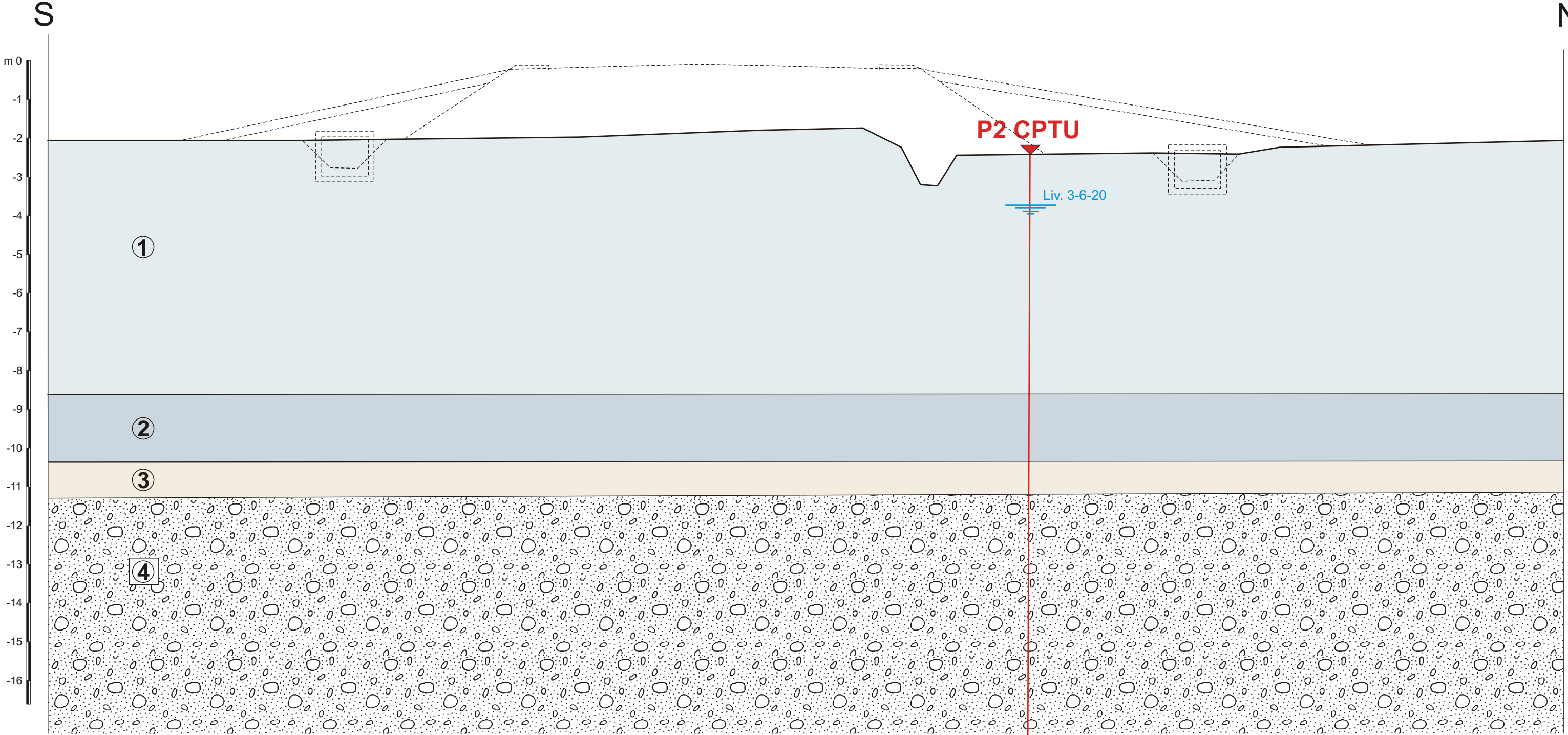
Fig. 3 - Sezione stratigrafica e geotecnica n°6 - scala: 1:100



Stima del campo di variabilità dei parametri geotecnici		γ (kg/dm ³)	γ' (kg/dm ³)	cu (kg/cm ²)	Dr (%)	φ' (°)	c' (kg/cm ²)	mv (cm ² /kg)
①	Limi argillosi più o meno sabbiosi compatti.	1.85	0.95	0.5+0.6		27+28	0.00+0.02	0.029+0.021
②	Limi argillosi più o meno sabbiosi di media consistenza.	1.80	0.90	0.3+0.5		27	0.00+0.02	0.042+0.028
③	Limi argillosi più o meno sabbiosi compatti.	1.85	0.95	0.5+0.8		28+29	0.00+0.02	0.025+0.017
④	Limi argillosi più o meno sabbiosi di media consistenza.	1.80	0.90	0.3+0.4		27	0.00+0.02	0.063+0.030
⑤	Sabbie e sabbie limose sciolte.	1.80	0.90		15+25	29+32		0.033+0.025
⑥	Ghiaie sabbie e ciottoli da mediamente addensati ad addensati.	1.95+2	1.05+1.1		52+70	34+38		0.004+0.0025

P1
▼ Prova penetrometrica CPT/DPSH

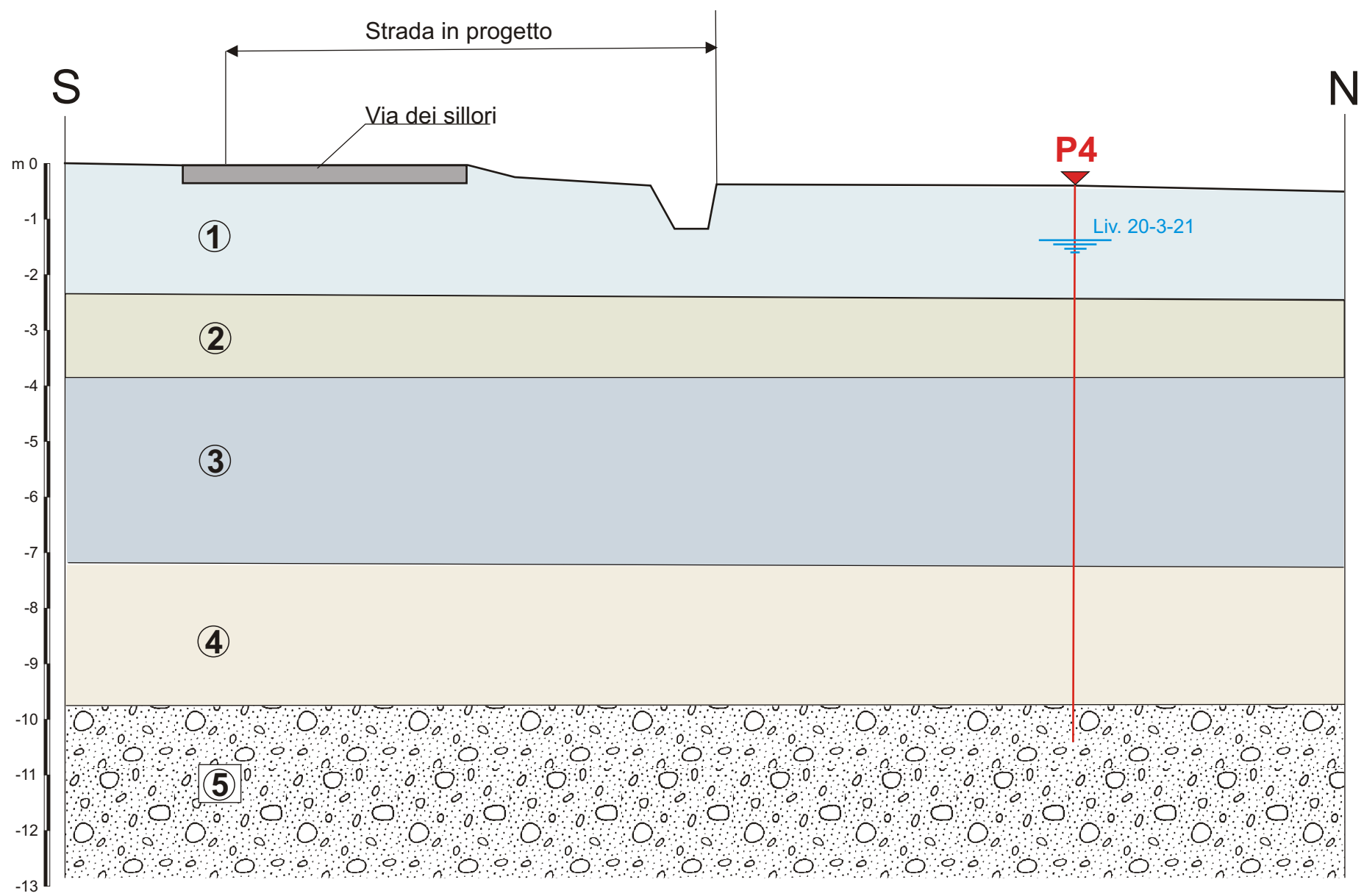
Fig. 3 - Sezione stratigrafica e geotecnica n°8 - scala: 1:100



Stima del campo di variabilità dei parametri geotecnici		γ (kg/dm ³)	γ' (kg/dm ³)	cu (kg/cm ²)	Dr (%)	φ' (°)	c' (kg/cm ²)	mv (cm ² /kg)
①	Limi argillosi più o meno sabbiosi di media consistenza.	1.80	0.90	0.3+0.6		27+28	0.02	0.040+0.025
②	Limi argillosi più o meno sabbiosi di consistenza molle.	1.80	0.90	0.2+0.25		26+27	0.01	0.040
③	Sabbie e sabbie limose sciolte.	1.80	0.90		15+30	28+30		0.018+0.012
④	Ghiaie sabbie e ciottoli da mediamente addensate ad addensate.	1.95/2.00	1.05/1.10		60+80	35+40		0.003+0.002

P2
▼ Prova penetrometrica statica con piezocono - dinamica pesante

Fig. 3 - Sezione stratigrafica e geotecnica S-N - scala: 1:100



Stima del campo di variabilità dei parametri geotecnici		γ (kg/dm ³)	γ' (kg/dm ³)	cu (kg/cm ²)	Dr (%)	ϕ' (°)	c' (kg/cm ²)	mv (cm ² /kg)
①	Limi argillosi più o meno sabbiosi compatti.	1.85	0.95	0.5÷0.6		27÷28	0.02	0.023÷0.021/17
②	Limi sabbiosi e sabbie limose sciolte.	1.80	0.90		25÷31	27÷29		0.028÷0.018
③	Limi argillosi più o meno sabbiosi compatti.	1.85	0.95	0.5÷0.6		27÷28	0.01	0.028÷0.019
④	Sabbie limose e limi sabbiosi sciolti.	1.85	0.95		25÷35	29÷31		0.021÷0.013
⑤	Ghiaie sabbie e ciottoli.	1.95/2.00	1.05/1.10		65÷80	34÷38		0.004÷0.002

P4 Prova penetrometrica statica