

Dott. Geol. STEFANIA MARTINA
Via Lepanto n° 69 - 55049 Viareggio (LU)
tel. 0584/45369/51143 cell 339 7920600
E-mail geosmartina@gmail.com
PEC: geosmartina@epap.sicurezzapostale.it c.f.
MRTSFN63E58L833C P.IVA 01679960466



A06 - RELAZIONE GEOTECNICA
A16 - INDAGINI GEOGNOSTICHE

PROGETTO PER LA RISTRUTTURAZIONE DI
EX EDIFICIO TECNICO: REALIZZAZIONE DI
N. 1 ALLOGGI ERP
LOCALITÀ PARCO DEI PINI

(incarico n° 120 del 6/07/2018 CIG ZD8244453B
CUP H16C12000010002-Determinazione del
Dirigente Unico di APES Nr. 122 del 27/06/2018)

COMUNE DI SAN GIULIANO TERME
PROVINCIA DI PISA

COMMITTENTE: Azienda Pisana Edilizia Sociale S.c.p.a.

RESP. DEL PROCEDIMENTO: Geom. Claudio Pietrini

PROGETTO: Arch. Stefano Giovannoni (APES)
Geom. Claudio Pietrini (APES)

PROGETTO STRUTTURALE: Ing. Beatrice Carmassi (Pisa)

ottobre 2018

PREMESSA

LOCALIZZAZIONE

ELABORATO A05

RELAZIONE GEOLOGICA.....PAGINA 4

VINCOLI E SALVAGUARDIE AMBIENTALI

MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO

GEOLOGIA GEOMORFOLOGIA IDROGEOLOGIA E RISCHI CONNESSI

DATI DI PROGETTO

INDAGINI GEOGNOSTICHE

CARATTERISTICHE GEOMECCANICHE E STRATIGRAFICHE

STABILITÀ DELL'AREA

CONSIDERAZIONI RELATIVE ALLA PERICOLOSITA' IDRAULICA

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE SUL MODELLO GEOLOGICO

ELABORATO A15

RELAZIONE SISMICA.....PAGINA 17

ASPETTI GEODINAMICI E SISMICITÀ

CATEGORIA DI SUOLO DI FONDAZIONE

AZIONE SISMICA

VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE SUL MODELLO SISMICO

ELABORATO A16

ALLEGATO 1 PROVA PENETROMETRICA CPT E INDAGINI NOTE

ALLEGATO 2 INDAGINI SISMICHE MASW E HVRS

PREMESSA

Su incarico della *Azienda Pisana Edilizia Sociale s.c.p.a.* a seguito dell' *AFFIDAMENTO AI SENSI DELL'ART. 36 C 2 LETT.A) DEL D.LGSL. 50/2016, SELEZIONE DI GEOLOGO PER RECUPERO IMMOBILE IN PARCO DEI PINI SAN GIULIANO TERME* (incarico n° 120 del 6/07/2018 CIG ZD8244453B CUP H16C12000010002 - Determinazione del Dirigente Unico di APES Nr. 122 del 27/06/2018) è stata redatta la seguente Relazione Geologica e Sismica relativa al progetto per la ristrutturazione di ex edificio tecnico e realizzazione di n. 1 alloggi ERP in località Parco Dei Pini, Comune di San Giuliano Terme, Provincia di Pisa (vedi **COROGRAFIA di Fig.1** in scala 1:10.000).

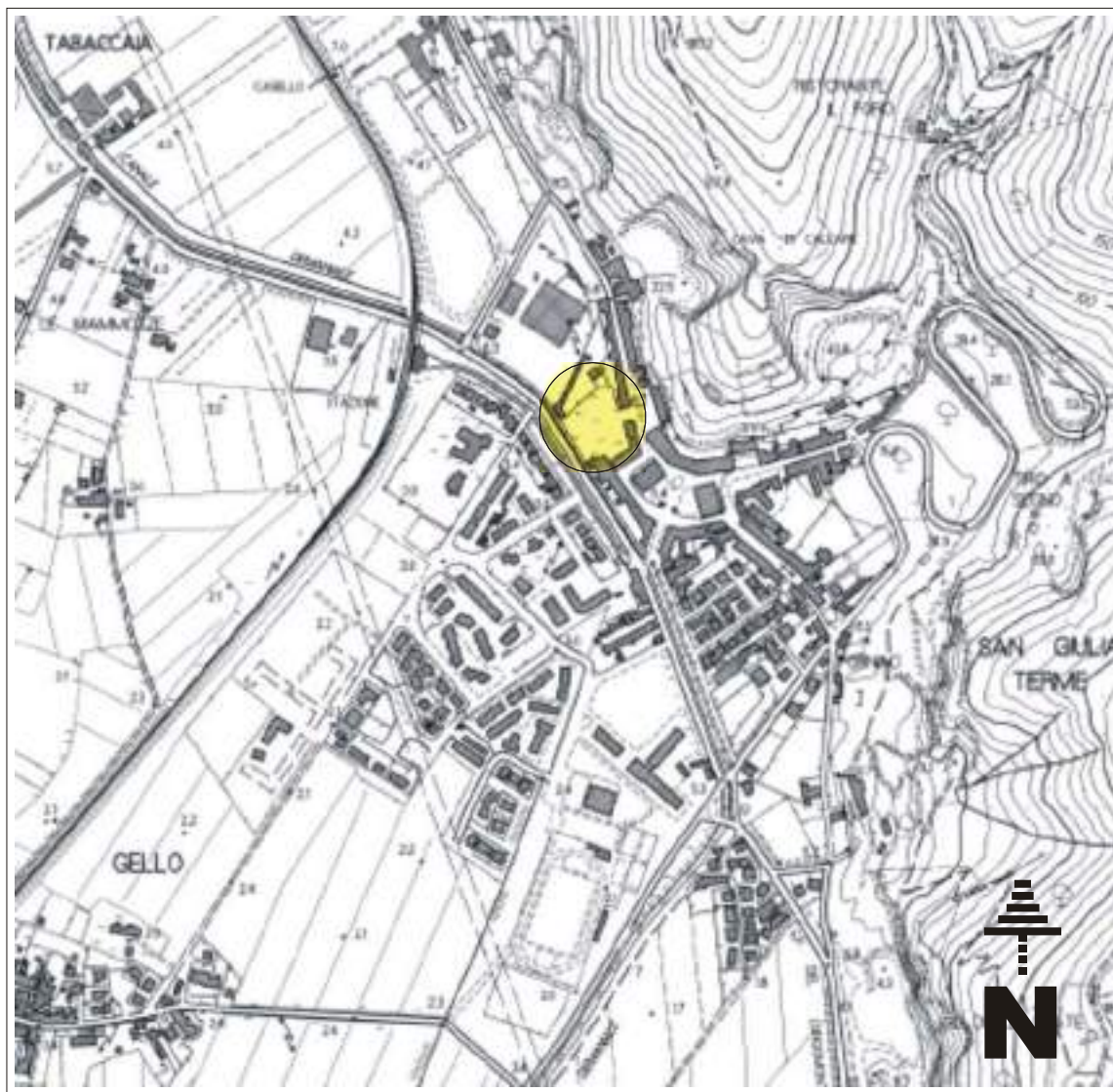


Fig. 1 - COROGRAFIA scala 1:10.000

 - area di indagine

Il seguente lavoro è stato svolto in ottemperanza alle leggi vigenti in materia, e con particolare riferimento a:

- OPCM n. 3274 del 20 Marzo 2003 e successive mod. e integraz, DGRT n. 421 del 26/05/2014, che classificano l'area in **zona sismica 3 (Bassa Sismicità)**

- D.M. 17/01/2018 - Norme Tecniche per le Costruzioni
- Eurocodice 8 (1998) indicazioni progettuali per la resistenza fisica delle strutture – Parte 5: fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnica (stesura finale 2003)
- Eurocodice 7.1 (1997-2002) – progettazione geotecnica: parte I: Regole Generali – parte II: progettazione assistita da prove di laboratorio - parte III progettazione assistita con prove in sito UNI
- DPGRT 36/R 2009 Regolamento di attuazione dell'articolo 117, commi 1 e 2 della Legge Regionale n. 1/05. Disciplina sulle modalità di svolgimento delle attività di vigilanza e verifica delle opere e delle costruzioni in zone soggette a rischio sismico.
- D.P.C.M. 6 maggio 2005 P.A.I. Bacino del Fiume Arno e succ. varianti
- PGRA (Direttiva alluvioni DIRETTIVA 2007/60/CE)
- D.C.P. n°100 del 27.07.2006. - PTC – Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale e succ. Varianti
- Cartografia di P.S. e norme urbanistiche comunali.

LOCALIZZAZIONE

Il sito in esame si trova nell'abitato di San Giuliano Terme in località Parco dei Pini, si tratta di un edificio adibito a cabina elettrica attualmente dismessa, ed è identificato al Catasto Terreni del comune di San Giuliano Terme nel **Foglio 78 mappale 45**

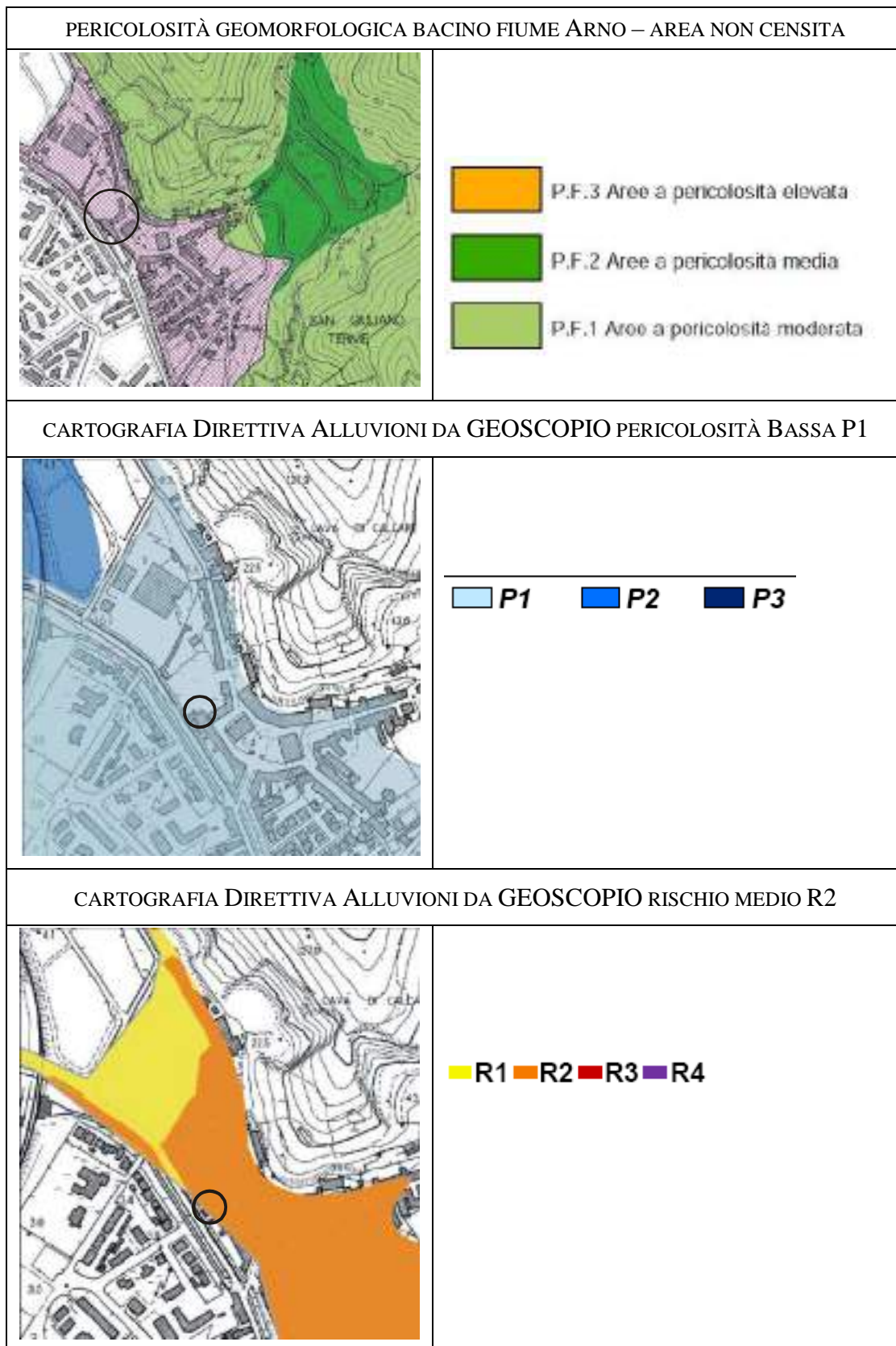
Coordinate WGS84: latitudine 43.763707 longitudine: 10.439974

ELABORATO A05

RELAZIONE GEOLOGICA

VINCOLI E SALVAGUARDIE AMBIENTALI

L'area di progetto è sottoposta ai seguenti vincoli comunali e sovraordinati del PAI ex Arno ora Distretto Appennino Settentrionale



PERICOLOSITÀ PS. IDRAULICA3 GEOMORFOLOGICA2



Pericolosità

-  2 (1,2) - Pericolosità bassa.
-  2 (2,2) - Pericolosità bassa.
-  3 (1,3) - Pericolosità media.
-  3 (3,2) - Pericolosità media.
-  3 (3,3) - Pericolosità media.
-  4 (1,4) - Pericolosità elevata.
-  4 (4,4) - Pericolosità elevata.

Il primo numero indica la pericolosità dell'area, i numeri piccoli tra parentesi indicano: il primo la classe di pericolosità idraulica, il secondo la classe di pericolosità geologico-geomorfologica.

FATTIBILITÀ RU. 2 CON NORMALI VINCOLI



Piano Regolatore Generale
Regolamento Urbanistico
Carta della fattibilità

CLASSI di FATTIBILITÀ*

- 1 FATTIBILITÀ SENZA PARTICOLARI LIMITAZIONI
- 2 FATTIBILITÀ CON NORMALI VINCOLI DA PRECISARE A LIVELLO DI PROGETTO
- 3 FATTIBILITÀ CONDIZIONATA
- 4 FATTIBILITÀ LIMITATA

Come comunicato a mezzo posta elettronica dall'ufficio Urbanistica del Comune di San Giuliano Terme, l'Amministrazione Comunale sta redigendo il Piano Operativo Comunale con le indagini geologico-idrauliche di supporto aggiornate. Esse potranno essere consultate all'adozione del Piano, ma ad oggi è possibile consultare solo le cartografie del vigente PS, sopra riportate.

Non emergono da quadro conoscitivo, particolari criticità in relazione all'area e all'immobile di intervento. Si ritiene che una normale campagna geognostica eseguita ai sensi delle normative vigenti possa dare un esaustivo quadro del modello geologico e geotecnico dell'area di intervento.

MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO

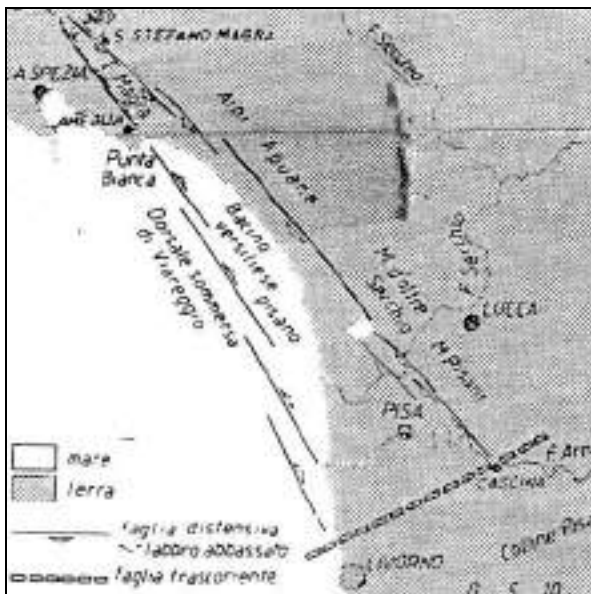
GEOLOGIA GEOMORFOLOGIA IDROGEOLOGIA E RISCHI CONNESSI

Il lotto è ubicato nel centro di San Giuliano Terme, in vicinanza del limite fra i Monti Pisani e la piana di Pisa, fra la SS per l'Abetone e la via XX Settembre, in una zona pianeggiante con quota del p.c. a circa m.+2,20 sul livello medio marino (da CTR 1:2.000 fonte GEOSCOPIO Regione Toscana).

Assetto geologico-strutturale

L'assetto di questa zona è legato alla storia evolutiva dell'Appennino Settentrionale derivato, quest'ultimo, dalla deformazione terziaria di un settore del paleomargine continentale della microplacca adriatica prospiciente il Dominio Oceanico Ligure (Boccaletti et al., 1971; Alvarez et al., 1974; Kligfield, 1979). A partire dal Miocene la deformazione compressiva si è propagata da W ad E fino all'Adriatico (Merla, 1952) e, contemporaneamente, nella parte interna della catena, si è avuta una importante fase distensiva che ha interessato le precedenti strutture compressive.

I movimenti tettonici distensivi hanno abbassato il margine occidentale dei Monti d'Oltre Serchio e dei Monti Pisani creando il bacino versiliese-pisano (vd. schema tettonico seguente da R.Mazzanti e M.Pasquinucci 1983) dove, durante il quaternario, si sono alternate oscillazioni climatiche legate al glacialismo, che hanno determinato fasi trasgressive marine (interglaciali), con sommersione della pianura fino ai primi contrafforti collinari e regressioni (fasi glaciali), con denudamento ed innalzamento delle terre per accumulo di sedimenti continentali e marini.



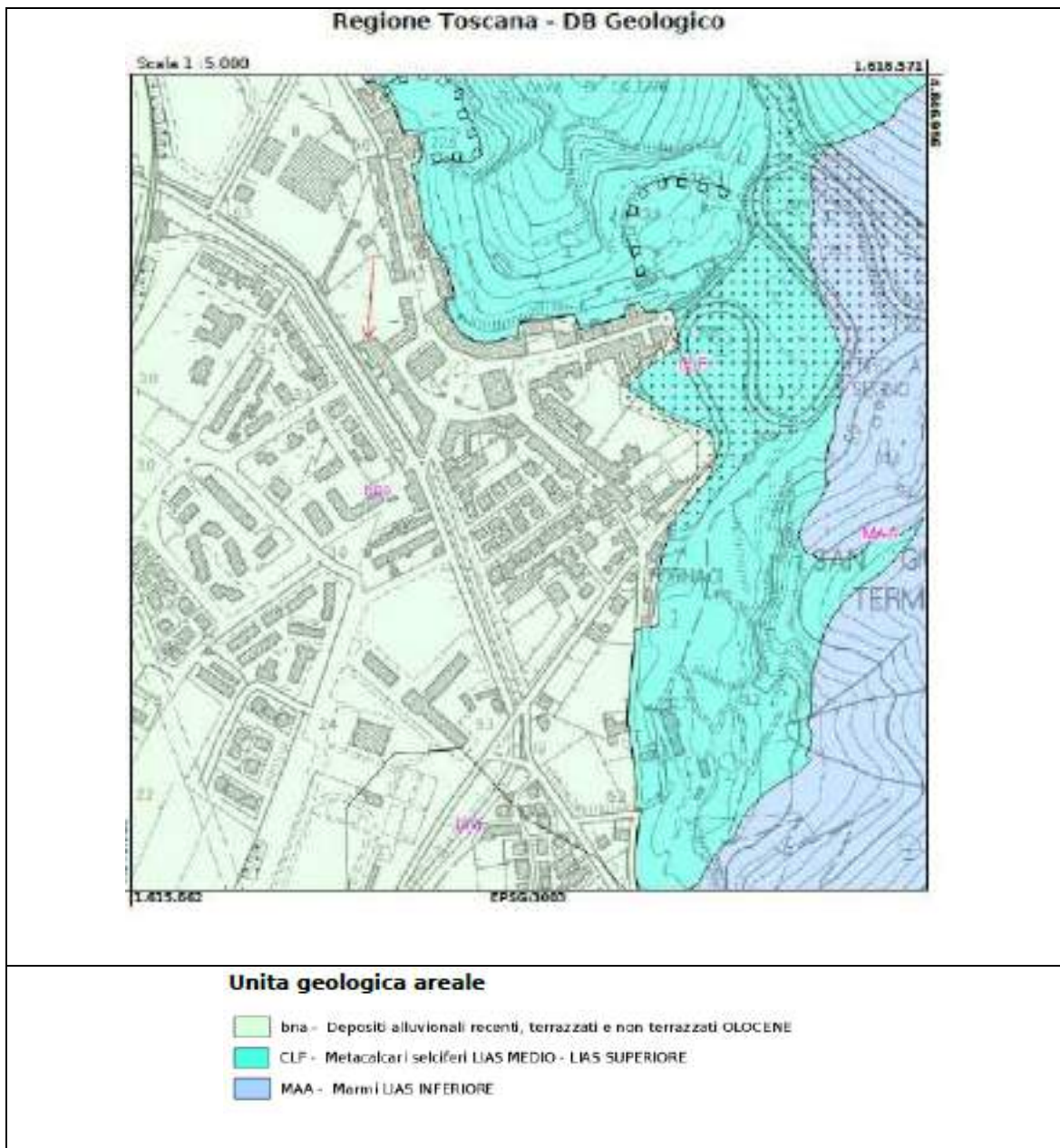
Con la fine dell'ultima glaciazione wurmiana e l'inizio della trasgressione Versiliana (circa 8.000 anni fa), su tutta la piana dal Magra fino all'Arno ed oltre, si è verificato l'avanzamento delle spiagge. Il meccanismo naturale di sviluppo della linea di costa si è esplicato con ampi lidi e barre sabbiose (tomboli o cotoni) che separavano zone depresse (lagune), inizialmente collegate al mare attraverso ristretti passaggi, in seguito isolate e impaludate (lame). I lidi emersi e le dune parallele alla linea di riva hanno costituito una barriera all'ingressione delle acque marine e favorito la separazione di ampi specchi d'acqua interni.

La pianura pisana ha inoltre subito importanti trasformazioni per opera dell'uomo sin dall'epoca romana, con opere di bonifica e sistemazione idraulica che hanno reso il drenaggio superficiale per lo più artificiale. La maggior parte dei corsi d'acqua ha tracciati imposti dall'uomo, con la rete idrica minore destinata per lo più allo smaltimento degli afflussi meteorici locali. Tra le opere idrauliche più importanti va ricordata la rettifica dell'Arno tra Montecchio e San Giovanni alla Vena che ha determinato l'abbandono del meandro che arrivava fino a Bientina, le bonifiche del Fiume Morto e di Coltano, il prosciugamento del Lago di Bientina, l'escavazione del Canale Demaniale dei Molini o di Ripafratta ecc..

L'attuale situazione geologica e stratigrafica più superficiale della Pianura di Pisa è quindi prevalentemente il risultato di attività di trasporto ed esondazione dei corsi d'acqua principali e delle divagazioni del loro corso, compresa la presenza di aree più o meno vaste di zone paludose venutesi a creare in rapporto alle variazioni eustatiche e alla dinamica costiera.

Nelle zone più depresse, un tempo permanentemente o temporaneamente paludose, si sono deposte anche argille organiche e torbe frequentemente alterate a depositi limo sabbiosi incoerenti.

Come si osserva nella **CARTA GEOLOGICA di Fig. 2** (tratta da Carta Geologica Regionale 1:10.000), il sito in studio si trova in zona pedecollinare di raccordo fra i rilievi collinari ad est (Monti Pisani) e la pianura, su depositi alluvionali recenti terrazzati e non dell'Olocene (**bn**) costituiti da sedimenti compressibili, prevalentemente argillosi. Sulle prime pendici collinari affiorano i Metacalcari selciferi (CLF) del Lias Medio e Superiore appartenente alla Successione Submetamorfica Del Monte Pisano



Idrografia e idrogeologia

L'idrografia di superficie è rappresentata dal Canale Demaniale dei Molini o di Ripafratta identificato nell' *Elenco della Regione Toscana dei corsi d'acqua secondo la ricognizione degli Elenchi delle acque pubbliche di cui ai regi Decreti e alle Gazzette Ufficiali* contenuto nell'Allegato E del PIT, con il numero 3245, che scorre con direzione NW-SE e, a causa della sua arginatura più elevata rispetto al piano di campagna, non esplica funzione di collettore per i numerosi fossi drenanti dell'area; funzione esplicita invece da numerosi canali di bonifica presenti nell'area.

Nella pianura ha sede una complessa struttura idrogeologica composta, oltre che da discontinui livelli freatici superficiali, da un Acquifero Multistrato Confinato (Amc di Baldacci et al. 1994). I livelli acquiferi superficiali sono freatici o semiconfinati e costituiti da limi più o meno sabbioso argillosi, e/o sabbie limose che formano un insieme di corpi lentiformi discontinui a permeabilità maggiore di quella dei terreni circostanti. L'Acquifero multistrato confinato descritto da Baldacci et al. 1994 è costituito sostanzialmente da due orizzonti acquiferi principali denominati:

“1° acquifero artesiano in sabbie” (superiore);

“1° acquifero artesiano in ghiaie” (inferiore).

L'acquifero freatico è generalmente poco produttivo, specie dove sono presenti terreni più fini, mentre l'acquifero confinato, più profondo che si attesta nelle ghiaie, è molto produttivo ed è quello maggiormente sfruttato.

La struttura idrogeologica di cui sopra è rappresentata nella sottostante sezione litostratigrafica tratta da: “Struttura e piezometria del 1° acquifero artesiano in ghiaie della pianura di Pisa” (F. Baldacci et. al. 1994)

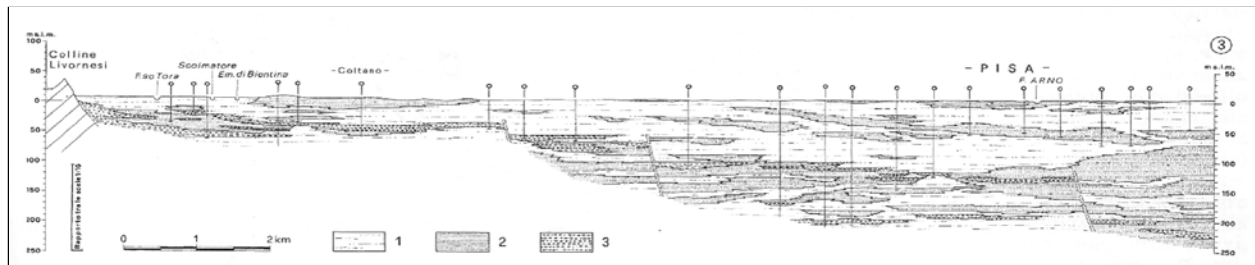


Fig. 2 - Sezione litostratigrafica interpretativa attraverso la Pianura pisana.

Legenda:1. *Argille e limi*: argille limose, talvolta torbose, e limi argillosi, passanti a limi sabbiosi con lenti e straterelli sabbiosi; 2. *Sabbie*: sabbie prevalentemente medio fini, talvolta limose, con intercalazioni sia limose che sabbiose grossolane, fino a ghiaiose-ciottolose; 3. *Ghiaie*: ciottoli e ghiaie, talvolta con matrice sabbiosa in varie proporzioni, con intercalazioni di livelli francamente sabbiosi.

Per le caratteristiche di permeabilità delle Unità idrogeologiche si veda la Tabella 5 in Baldacci et al., 1994; la traccia della sezione è nella Fig. 3.

Questa ricostruzione risulta in accordo con la stratigrafia rilevata (vd. in seguito), costituita da alternanze di sedimenti argilloso limosi poco permeabili e intercalazioni limo sabbiose possibili sedi di acquiferi semiconfinati o confinati con modesta circolazione idrica. La porzione superficiale di terreno può tuttavia comportarsi come un acquitardo, ossia avere una bassa conduttività idraulica nonostante sia saturo di acqua proveniente in questo caso da precipitazioni intense e prolungate o da infiltrazioni provenienti dalla rete idrica minore.

Durante la campagna geognostica realizzata nella seconda settimana di luglio 2018, il foro del sondaggio CPT (11 m. dal p.c.) è stato attrezzato con un piezometro che ha permesso di rilevare la falda a circa -m. 1.60 dal piano di campagna ;

La vulnerabilità intrinseca dell'area risulta medio elevata, tuttavia il potenziale di rischio dell'intervento, è piuttosto basso nelle fasi di cantiere vista l'assenza di vani interrati e quindi

di scavi consistenti, ed anche a lungo termine vista la destinazione d'uso del fabbricato oggetto di intervento.

Alla luce dei dati raccolti e dall'esame del quadro conoscitivo si rileva che nell'area in oggetto non sono presenti particolari situazioni di pericolosità di carattere geologico, idrogeologico, geomorfologico, litotecnico o sismico.

DATI DI PROGETTO

Il progetto prevede la realizzazione di un nuovo solaio interno collocato nell'attuale vano scale sostenuto da un pilastro fondato su di un plinto (salvo modifiche progettuali conseguenti allo studio geotecnico/strutturale di dettaglio), e lo spostamento delle scale attuali. Le altre strutture verranno mantenute e l'intervento si tradurrà in un miglioramento dal punto di vista sismico. La destinazione d'uso dell'edificio (attualmente edificio tecnico) verrà cambiata in civile abitazione per alloggio ERP.

Per maggiori dettagli si rimanda alle tavole progettuali, per quanto concerne la presente indagine si indica che (in base alle informazioni fornite dalla progettista strutturale) in prima istanza le fondazioni ipotizzate sono a plinto impostate all'interno del primo metro dal p.c..

INDAGINI GEOGNOSTICHE

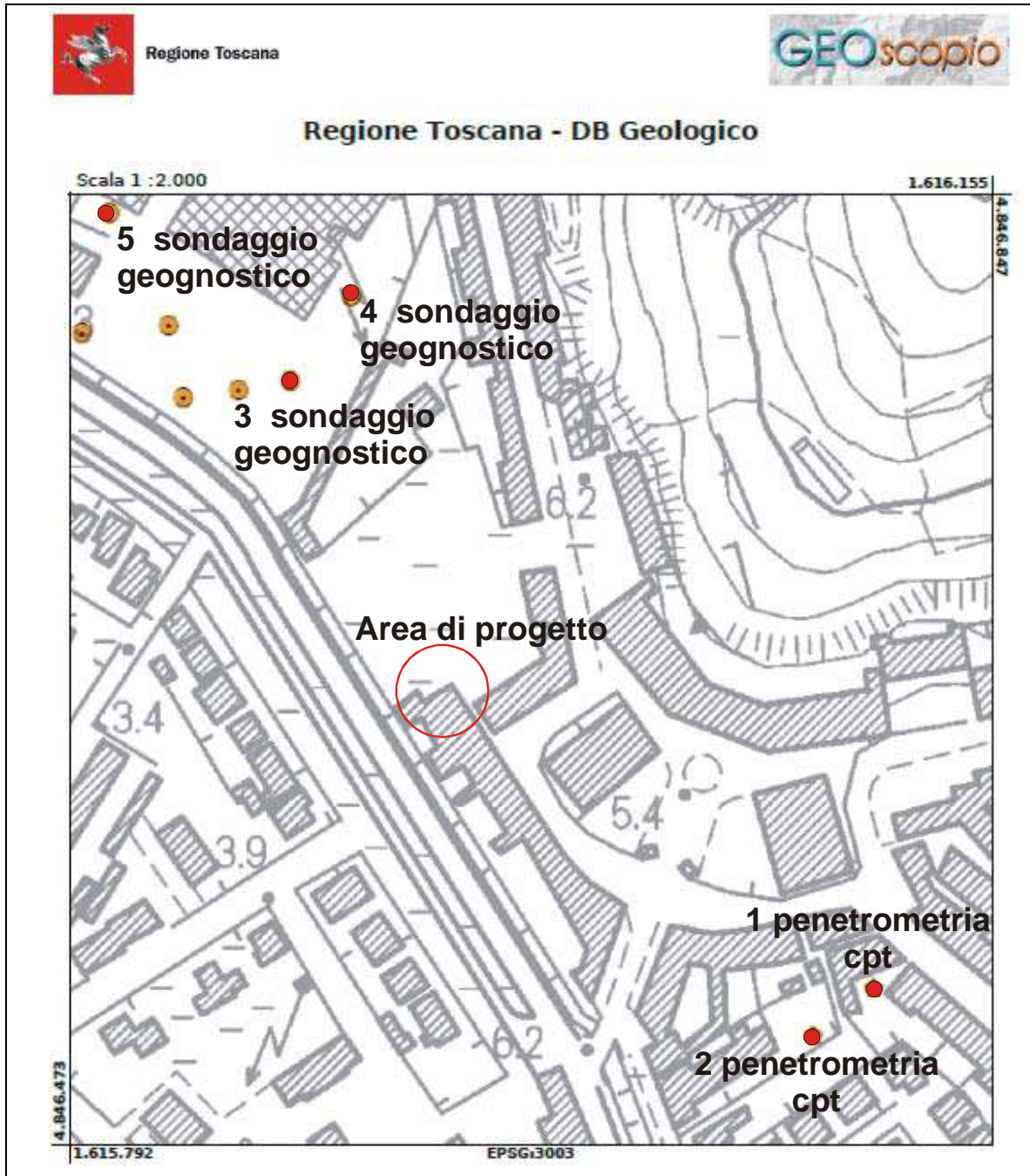
Alla luce dei dati progettuali sopra descritti sommariamente è stata pianificata una campagna geognostica che consentisse una sufficiente definizione del Modello Geologico di Riferimento, che fosse funzionale alla definizione del Modello Geotecnico e Sismico di riferimento entro i limiti previsti dai regolamenti e dalle normative vigenti.

L'intervento riguarda una volumetria inferiore a 1500 mc che rientra nella categoria di indagine 2 a norma del Regolamento 36/R/09 e si può definire di modesta rilevanza nel contesto geologico geomorfologico locale.

Il piano delle indagini geognostiche è stato definito al fine di ottenere un attendibile modello dei volumi significativi in funzione del tipo di opera. A tale fine, di concerto con il progettista ed al fine di supportare anche la definizione del Modello Geotecnico e Sismico del sito (vd in seguito) conformemente a quanto indicato al punto 6.2.2 del DM 17.01.2018, trattandosi di intervento di modesta rilevanza che ricade in zona ben conosciuta dal punto di vista geotecnico e sismico, sono state realizzate in situ le seguenti indagini di campagna supportate da indagini da archivio:

indagini di archivio

allo scopo di inquadrare preventivamente l'area dal punto di vista litostratigrafico sono state reperite mediante il portale GEOSCOPIO sezione DB geologico, alcune indagini geognostiche realizzate nelle vicinanze dell'area di cui si allegano le più significative individuate in rosso e con la numerazione da uno a cinque nella seguente STRALCIO PLANIMETRICO in scala 1:2000



indagini in situ eseguite il 12/07/2018

caratterizzazione litostratigrafica e geotecnica – è stata realizzata una prova penetrometrica CPT, spinta a –m 11,20 dal p.c., ubicata di seguito in **Fig. 3 PLANIMETRIA** scala 1:200, spinta all'interno del volume geotecnico significativo con lo scopo di rilevare le discontinuità stratigrafiche, la granulometria e la definizione dei principali parametri geotecnici dei terreni di fondazione. Questo tipo di prova applicata alla situazione locale è un elemento di indagine che fornisce informazioni di miglior grado rispetto ad altri (carotaggi o prove penetrometriche dinamiche), consentendo anche l'individuazione di eventuali livelli decimetrici con scadenti caratteristiche geotecniche e fornendo una parametrizzazione dei terreni più che sufficiente agli scopi prefissati. La prova è inoltre utilizzabile per la verifica del coefficiente di

liquefazione dei terreni sull'area. Per maggiori dettagli si rimanda all'Allegato 1 dell'Elaborato A16

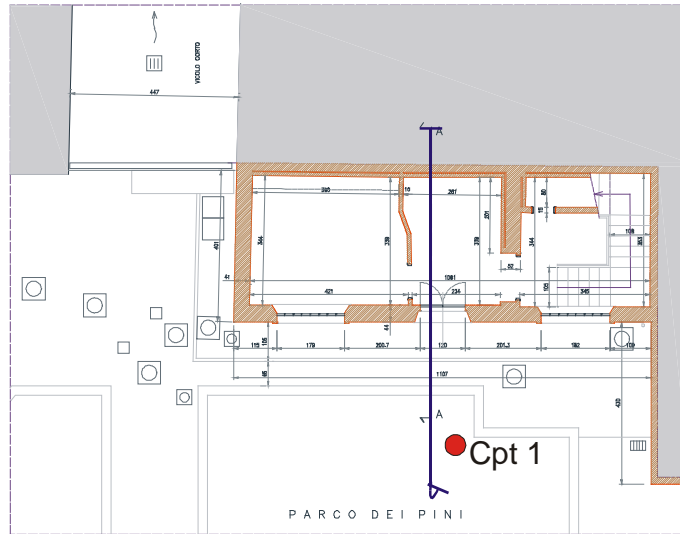


Fig. 3a - PLANIMETRIA scala 1: 200

— | — - traccia di sezione

▨ - fabbricato di progetto

● - ubicazione prova penetrometrica CPT



POSTAZIONE PENETROMETRIA CPT DI FRONTE AL
FABBRICATO DI PROGETTO

caratterizzazione sismica – per la definizione dell'azione sismica, vista l'ampia conoscenza e la semplicità del modello sismostratigrafico dell'area, in accordo con quanto stabilito con la progettista strutturale si farà di seguito riferimento all'approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento (Tab. 3.2.II e 3.2.III). Per la

caratterizzazione sismica dell'area sono state eseguite una indagini geofisica MASW e una prova tomografica digitale HVSR, in un'area libera vicina al fabbricato Vd PLANIMETRIA scala 1:1000 di seguito riportata estratta dall'**Allegato 2** dell'**Elaborato A16**. Mediante l'indagine MASW si è inoltre stimata la velocità di propagazione delle onde di taglio velocità equivalente ($V_{s,eq}$ m/s) come è richiesto dalle NTC 2018 per la definizione della categoria di suolo di fondazione (metodo semplificato).

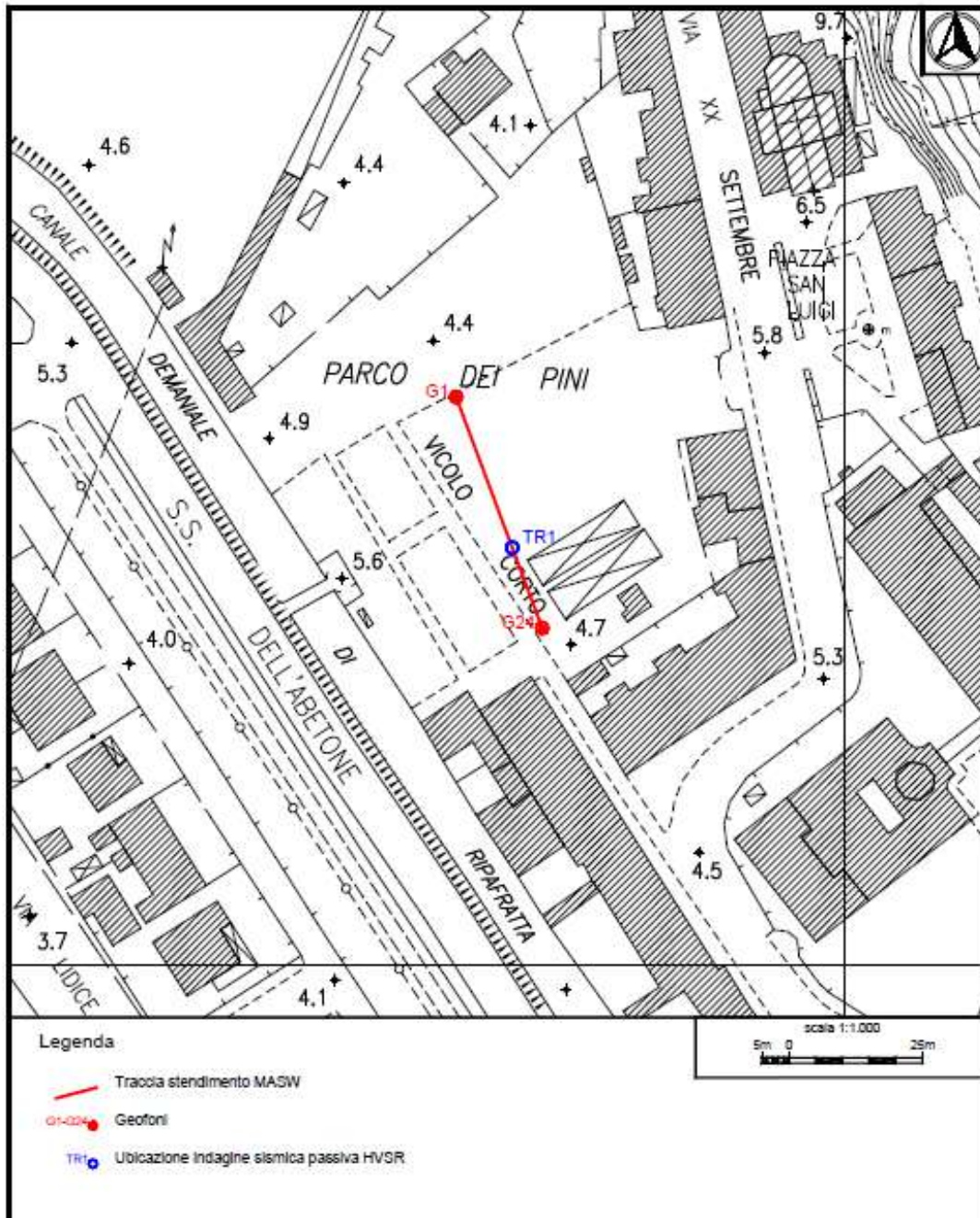


Figura 3. Indagini MASW e ubicazione indagine in sismica passiva HVSR – Particolare.

CARATTERISTICHE GEOMECCANICHE E STRATIGRAFICHE

Dall'interpretazione dei dati penetrometrici rilevati in situ, suffragati dalle indagini sismiche e da quelle note reperite nelle vicinanze, si è risaliti alla stratigrafia media dei terreni presenti nel sito di progetto ed ai parametri caratteristici nominali degli stessi. Il terreno indagato, al di sotto del primo orizzonte di terreni di riporto di origine incerta, appartiene ad un'unica unità Litologica che è poi stata suddivisa in 4 Unità Litotecniche sulla base delle principali caratteristiche rilevate, nel modo seguente:

Profondità (m)	Stratigrafia	parametri fisico meccanici nominali min/max ¹
0.00 – 2.20	Terreno eterogeneo di riporto: limi sabbioso argillosi misti a materiale grossolano di origine incerta	Densità relativa (Dr) =0-50%; Angolo di attrito (ϕ) =0-29°; P. di volume (γ) =1.75-2.00 t/mc; P. di volume immerso (γ') = 0.80-1.10 t/mc; Coesione non drenata (cu) =0.00-1.03 Kg/cmq; Coeff. di compressibilità volumetrica (mv) = 0.043/0.008 cmq/kg
2.20 – 4.60 UNITA' 1	Argille da plastiche a molli	(Dr) =0%; (ϕ) =0°; (γ) =1.80 t/mc; (γ') = 0.80 t/mc; (cu) =0.09-0.45 Kg/cmq; (mv) = 0.039/0.284 cmq/kg
4.60 – 8.20 UNITA' 2	Sabbie limose da sciolte a molto sciolte	Dr) =9-41%; (ϕ) =28/34° (γ') =0.80-1.00 t/mc (cu) =0.00 Kg/cmq ; (mv) = 0.052/0.022 cmq/kg
8.20-10.0 UNITA' 3	Argille plastiche	(Dr) =0%; (ϕ) =0°; (γ') =0.80 t/mc; (cu) =0.38-0.68 Kg/cmq; (mv) = 0.020/0.063 cmq/kg
10.0-11.20 UNITA' 4	Sabbie debolmente limose sciolte	(Dr) =17-36%; (ϕ) =30-34° (γ') =1.00 t/mc; (cu) =0.00 Kg/cmq (mv) = 0.015/0.026 cmq/kg

In sostanza siamo in presenza di alternanze di terreni coerenti e incoerenti (argille e sabbie) con caratteristiche geomeccaniche molto scadenti, almeno sino alla profondità indagata.

I risultati sono schematizzati nella **SEZIONE STRATIGRAFICA** di Fig. 4 in scala stratigrafica 1:200.

¹ Alcuni valori sono stati scartati per eccesso di discrepanza con l'andamento medio

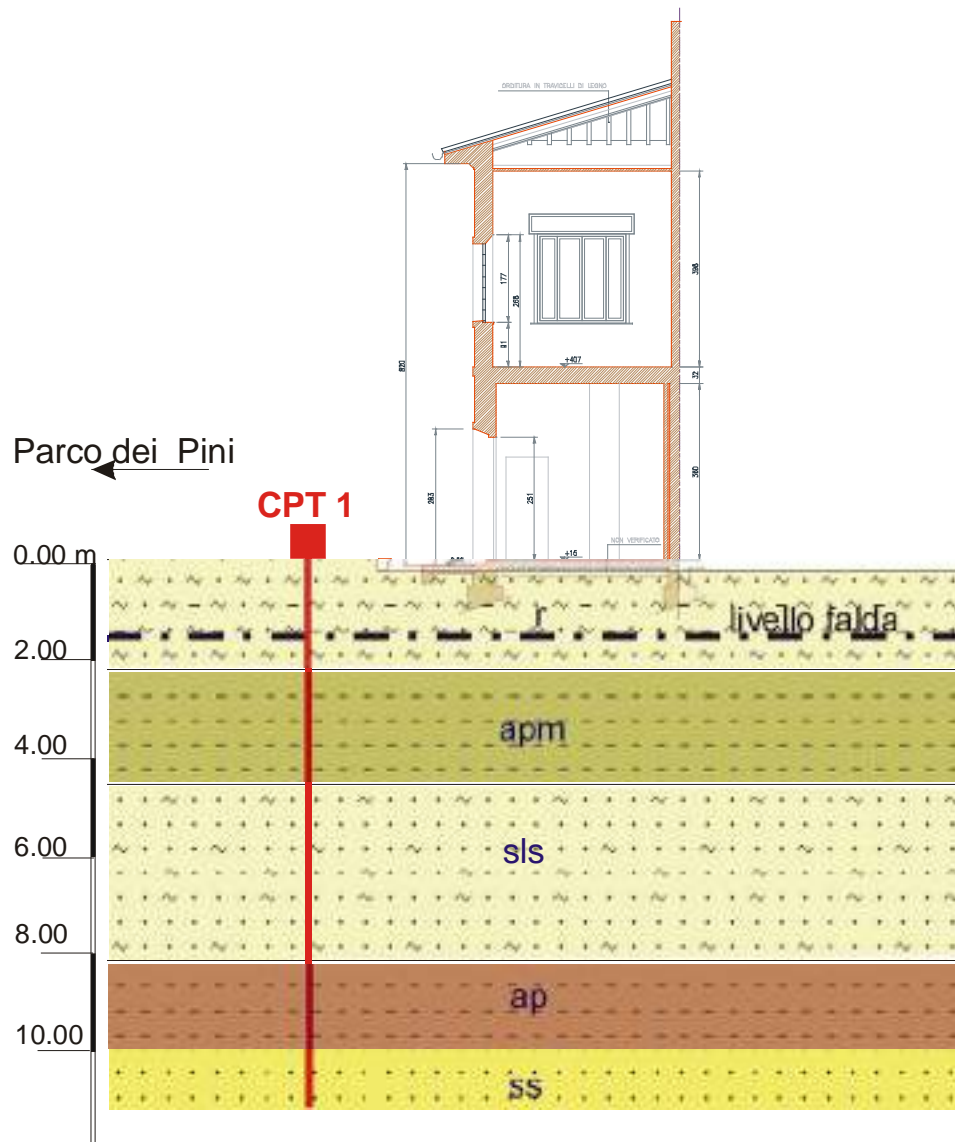







Fig. 4 - SEZIONE STRATIGRAFICA scala 1:200

-  r - terreni eterogenei di riporto
-  apm - argille da plastiche a molli
-  sls - sabbie limose da sciolte a molto sciolte
-  ap - argille plastiche
-  ss - sabbie debolmente limose sciolte

STABILITÀ DELL'AREA

Dalle indagini condotte, in base alla tabella 3.2.III del DM 01/2018, si desume la categoria topografica dell'area di progetto che risulta **TI sito di pianura** pertanto non sono state condotte verifiche di stabilità teoriche del versante

CONSIDERAZIONI RELATIVE ALLA PERICOLOSITA' IDRAULICA

Per quanto riguarda la fattibilità idraulica sull'area di intervento il PGRA dell'Appennino Settentrionale include l'area in Pericolosità Idraulica P1 in cui sono consentiti gli interventi previsti dagli strumenti urbanistici garantendo il rispetto delle condizioni di mitigazione e gestione del rischio idraulico.

Nelle aree classificate in P1, pericolosità idraulica bassa, sono prevedibili alluvioni RARE DI ESTREMA INTENSITÀ con bassa probabilità di accadimento per Tempi di ritorno $200 < T < 500$ anni.

Si ritiene pertanto che il rischio effettivo sull'area sia tale da escludere problemi per l'incolumità delle persone, danni funzionali agli edifici e alle infrastrutture, interruzioni di funzionalità delle attività socio-economiche, danneggiamenti del patrimonio ambientale, e pertanto non si ritengono necessari accorgimenti progettuali per la mitigazione del rischio stesso e per la sua gestione per Tr 200

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE SUL MODELLO GEOLOGICO

In base ai dati raccolti, dalle indagini condotte in situ e da quelle note nelle vicinanze si può concludere quanto segue:

- il quadro conoscitivo analizzato non suggerisce particolari criticità di carattere geologico, geomorfologico o idraulico, mentre dalle indagini condotte e dall'esame dei dati acquisiti sono emersi risultati che evidenziano criticità di natura litotecnica.
- Infatti dal punto di vista litostratigrafico i terreni attraversati, costituiti da un primo pacco di materiali eterogenei di riporto di m 2.20 di spessore risultano costituiti da alternanze di depositi coerenti e incoerenti che hanno rivelato una natura molto compressibile per tutta la profondità indagata.
- Le caratteristiche specifiche dei terreni attraversati saranno esplicitate nella Relazione Geotecnica (Elaborato A06), tuttavia si ritiene necessario fin da ora evidenziare che la presenza di questi terreni di natura "scadente" dovrà essere attentamente valutata in fase di progettazione strutturale e geotecnica al fine di poter concludere positivamente le verifiche necessarie per la progettazione in zona sismica.
- Inoltre le caratteristiche dei terreni indagati non permettono di escludere a priori la possibilità di liquefazione dinamica degli stessi in condizioni sismiche che sarà valutata nella Relazione Sismica (Elaborato A15)

Alla luce di quanto sopra esposto come indicazione per le future considerazioni geotecnico strutturali si ritiene fondamentale la realizzazione di saggi all'interno del fabbricato per la verifica "a vista" dei terreni presenti, della intercapedine di areazione e delle dimensioni e quote di imposta delle fondazioni attuali.

ELABORATO A15

RELAZIONE SISMICA

ASPETTI GEODINAMICI E SISMICITÀ

In base all'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri no. 3274 del 20 Marzo 2003² e successive modifiche ed integrazioni ed alla Delibera regionale DGRT n. 421 del 26/05/2014, il territorio comunale viene inserito in zona sismica 3.

In ossequio al D.M.17.01.2018, per definire l'azione sismica di progetto, in base alla quale valutare il rispetto dei diversi stati limite, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale con specifiche analisi (§ 7.11.3 del D.M.) o, ove possibile in base alle condizioni espresse al § 3.2.2 del D.M., fare riferimento a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo stabilite nella Tab. 3.2.II.del DM. Vista l'entità dell'intervento e l'ampia conoscenza geologica e sismostratigrafica della zona, ed i risultati delle misure di Vs, nella presente analisi si è utilizzato il metodo semplificato.

CATEGORIA DI SUOLO DI FONDAZIONE

Per la ricostruzione del profilo verticale di velocità delle onde S e per il calcolo del parametro VS,eq è stata eseguita n. 1 prospezione sismica superficiale mediante la tecnica MASW ("Multichannel Analysis of Surface Waves") in onde di Rayleigh.

Per verificare i risultati ottenuti dall'indagine MASW è inoltre stata eseguita n.1 acquisizione in sismica passiva a stazione singola, denominata in seguito TR1, e ubicata lungo lo stendimento stesso.

In particolare l'elaborazione dell'indagine HVSR ha consentito, unitamente ai risultati ottenuti dall'indagine MASW, di approfondire la profondità di investigazione del sottosuolo.

Ricavata la stratigrafia superficiale e posto il piano di fondazione nel primo metro dal p.c., la classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, VS,eq (in m/s), definita dall'espressione:

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

LCR:

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 Vs non inferiore a 800 m/s.

Che nel nostro caso corrisponde alla Vs30 essendo il bed-rock sismico a profondità maggiore di 30 ml. Sulla base della velocità equivalente ricavata con l'indagine MASW pari a **174**

² Secondo il provvedimento legislativo del 2003, i comuni italiani sono stati classificati in 4 categorie principali, in base al loro rischio sismico, calcolato in base al PGA (Peak Ground Acceleration, ovvero picco di accelerazione al suolo) e per frequenza ed intensità degli eventi. La classificazione dei comuni è in continuo aggiornamento man mano che vengono effettuati nuovi studi in un determinato territorio, venendo aggiornata per ogni comune dalla regione di appartenenza.

- ♦ Zona 1: sismicità alta, PGA oltre 0,25g.
- ♦ Zona 2: sismicità media, PGA fra 0,15 e 0,25g
- ♦ Zona 3: sismicità bassa, PGA fra 0,05 e 0,15g
- ♦ Zona 4: sismicità molto bassa, PGA inferiore a 0,05g

m/sec e di quanto indicato nelle Tabb. 3.2.II delle NTC 2018, il sito in oggetto può essere inserito nella **Categoria D** *Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente 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 100 e 180 m/s.*

Per maggiori dettagli si rimanda alla relazione allegata alle **indagini sismiche** utilizzate per la modellazione e riportate nell' **ALLEGATO 2** dell'Elaborato A16.

AZIONE SISMICA

La valutazione dei parametri sismici del sito è stata condotta secondo le prescrizioni del D.M. 17/01/2018 “*Norme Tecniche per le Costruzioni*” ed alla circolare di istruzioni del C.S.LL.PP. del 02/02/2009 relativa alle NTC 2008. I dati sismici relativi (accelerazione massima al suolo “**ag**”, valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale “**Fo**”, periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale “**Tc***”) sono stati desunti o calcolati a partire dalla pericolosità sismica del sito fornita dall’Istituto di Geofisica e Vulcanologia e i dati relativi alle caratteristiche dell’edificio di progetto (tipo di costruzione, vita nominale) assunti in via preliminare dal Progettista incaricato.

Coordinate del Sito in esame formato ED50

latitudine: 43,764672

longitudine: 10,440975

tipo di elaborazione

fondazioni superficiali

Siti di riferimento

Sito 1 ID: 20046 Lat: 43,7435 Lon: 10,3757 Distanza: 5744,957

Sito 2 ID: 20047 Lat: 43,7453 Lon: 10,4450 Distanza: 2173,317

Sito 3 ID: 19825 Lat: 43,7953 Lon: 10,4425 Distanza: 3408,876

Sito 4 ID: 19824 Lat: 43,7935 Lon: 10,3732 Distanza: 6315,967

Caratteristiche opere in progetto	Parametri sismici di sito
Tipo di costruzione: 2	Categoria sottosuolo: D
Vita nominale V_N : ≥ 50 anni	Categoria topografica: T1
Classe d'uso II	Coefficiente d'uso c_u : 1
Periodo di riferimento V_R : ≥ 50 anni	
Parametri sismici riferiti agli stati limite su suolo A	
<i>Operatività (SLO):</i>	<i>Danno (SLD):</i>
Probabilità di superamento: 81 %	Probabilità di superamento: 63 %
Tr: 30 [anni]	Tr: 50 [anni]
ag: 0,039 g	ag: 0,048 g
Fo: 2,579	Fo: 2,556
Tc*: 0,228[s]	Tc*: 0,249 [s]

<i>Salvaguardia della vita (SLV):</i>	<i>Prevenzione dal collasso (SLC):</i>
Probabilità di superamento: 10 %	Probabilità di superamento: 5 %
Tr: 475 [anni]	Tr: 975 [anni]
ag: 0,121 g	ag: 0,155 g
Fo: 2,359	Fo: 2,385
Tc*: 0,283 [s]	Tc*: 0,286 [s]

Coefficienti Sismici riferiti agli stati limite

	SLO	SLD	SLV	SLC
Ss	1,800	1,800	1,800	1,800
Cc	2,620	2,500	2,350	2,340
St	1,000	1,000	1,000	1,000
Kh	0,014	0,017	0,052	0,067
Kv	0,007	0,009	0,026	0,033
a_{max}	0,690	0,856	2,138	2,733
β	0,200	0,200	0,240	0,240

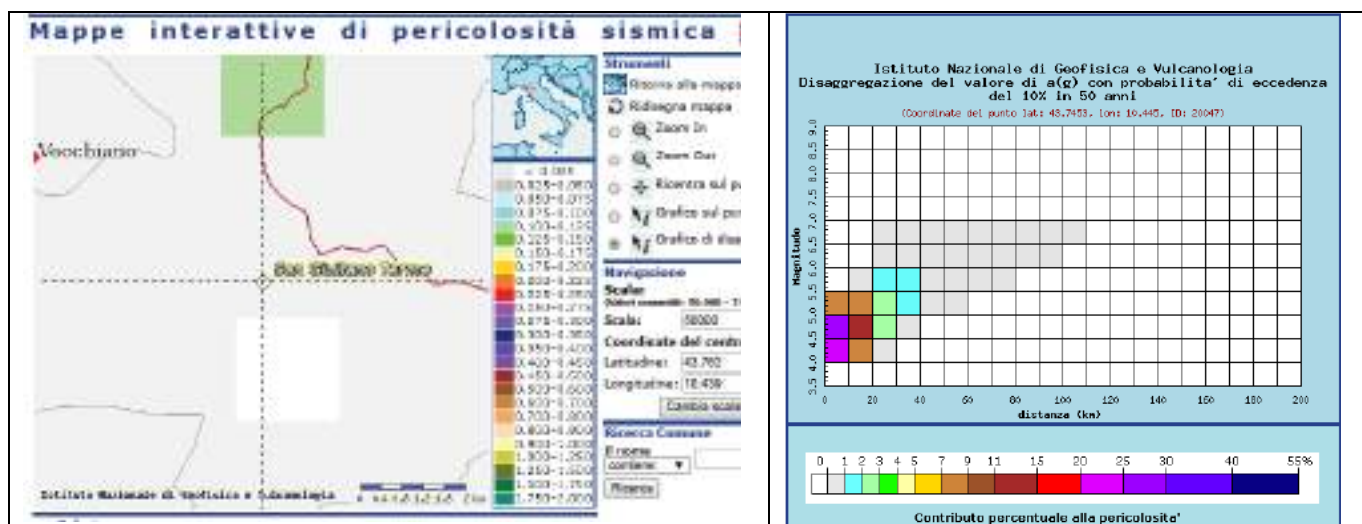
VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE

Come indicato D.M 17/01/2018, la verifica della liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle circostanze indicate nel Par. 7.11.3.4.2., nel sito di progetto non si verifica con certezza nessuna delle circostanze indicate, pertanto si è proceduto alla verifica del potenziale di liquefazione dei terreni.

Nella “mappa della pericolosità sismica dell’Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, appendice 2 rapporto conclusivo zonazione sismogenetica ZS9” l’area ricade in zona sismogenetica (zona 916) con magnitudo massima attesa di 6.14, e nel Catalogo Parametrico dei terremoti italiani dal 217 A.C. al 2004 nella stessa zona sismogenetica sono stati censiti 11 terremoti con magnitudo maggiore di 5.

Un procedimento più sofisticato e scientificamente corretto si basa sul concetto di disaggregazione della pericolosità sismica. In pratica si tratta di sommare i contributi dovuti alle singole coppie magnitudo-distanza degli epicentri ricadenti all’interno di un’area di riferimento allo scopo di individuare, con una procedura tipo probabilistico, l’evento sismico dominante. Il terremoto individuato, detto terremoto di scenario, è caratterizzato da una magnitudo, una distanza dal sito indagato e un tempo di ritorno. Ciò lo rende utilizzabile, ai fini progettuali, nelle verifiche allo SLU e allo SLE richieste dal D.M.17.01.2018.

Utilizzando l’applicazione presente sul sito Internet dell’I.N.G.V., è stato possibile trovare il terremoto di scenario sulla base della mappa della pericolosità sismica del territorio italiano. Di seguito si riportano le tabelle con i risultati relativi al sito di progetto



Distanza in km	Disaggregazione del valore di a(g) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto lat: 43.7453, lon: 10.445, ID: 20047)										
	Magnitudo										
	3,5-4,0	4,0-4,5	4,5-5,0	5,0-5,5	5,5-6,0	6,0-6,5	6,5-7,0	7,0-7,5	7,5-8,0	8,0-8,5	8,5-9,0
0-10	0.000	22.900	27.600	8.100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10-20	0.000	7.180	13.400	7.010	0.956	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20-30	0.000	0.551	2.620	2.650	1.010	0.210	0.033	0.000	0.000	0.000	0.000
30-40	0.000	0.000	0.156	1.030	1.150	0.876	0.151	0.000	0.000	0.000	0.000
40-50	0.000	0.000	0.000	0.153	0.573	0.651	0.127	0.000	0.000	0.000	0.000
50-60	0.000	0.000	0.000	0.002	0.187	0.368	0.082	0.000	0.000	0.000	0.000
60-70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.034	0.128	0.034	0.000	0.000	0.000	0.000
70-80	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.044	0.016	0.000	0.000	0.000	0.000
80-90	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.012	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000
90-100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000
100-110	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
110-120	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
120-130	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
130-140	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
140-150	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
150-160	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
160-170	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
170-180	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
180-190	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
190-200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Valori medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
4.790	11.200	1.000

Come si osserva il terremoto di scenario ha magnitudo pari a 4.79 escluso quindi dalla verifica in base alle NTC 2008, tale condizione è stata rimossa nelle NTC 2018

Per la valutazione del potenziale di liquefazione dei terreni è stato utilizzato un *metodo semplificato* che al contrario della maggior parte dei *metodi empirici* che si basano solo sui parametri geologici e geotecnici del sito, richiedono che venga definito un sisma di progetto, attraverso l'introduzione dell'accelerazione sismica orizzontale massima in superficie e della magnitudo di riferimento. Nel nostro caso cautelativamente si è stimata la magnitudo massima di **5.50** (terremoto di scenario approssimato per eccesso), l'accelerazione max pari a quella dello Stato Limite di Vita (**2.138**) ed una possibile risalita della falda acquifera fino a -1.00 metri dal p.c.

Tutti i metodi semplificati permettono di esprimere la suscettibilità alla liquefazione del deposito attraverso un coefficiente di sicurezza, dato dal rapporto fra la resistenza al taglio mobilabile nello strato (CSR) e lo sforzo tagliante indotto dal sisma (CRR). Cioè in pratica si ha:

$$F_s = \frac{CRR}{CSR} = R/T$$

Un deposito dovrà essere considerato suscettibile di liquefazione, se il coefficiente di sicurezza sarà minore di 1 (di 1.25 secondo l'Eurocodice 8).

La grandezza CSR dipende dai parametri del sisma di progetto (accelerazione sismica e magnitudo di progetto). CRR è funzione delle caratteristiche meccaniche dello strato, principalmente del suo stato di addensamento, e può essere ricavato direttamente attraverso correlazioni con i risultati di prove penetrometriche dinamiche e statiche o con i valori delle velocità delle onde S ricavati da indagine geofisica.

Il metodo di verifica di seguito utilizzato è quello di Robertson e Wride (1997) che utilizza i dati di prove penetrometriche CPT

La grandezza T viene ricavata attraverso la relazione:

$$T = 0.65 \frac{a_{\max}}{g} \frac{\sigma_{v0}}{\sigma_{v0'}} r_d \frac{1}{MSF}$$

Nel metodo di Robertson e Wride il rapporto fra le due grandezze risulta essere dato da:

$$F_s = \frac{R}{T} = \frac{\alpha \left(\frac{q_{cls}}{1000} \right) + \beta}{0.65 \frac{a_{\max}}{g} \frac{\sigma_{v0}}{\sigma_{v0'}} r_d \frac{1}{MSF}} \quad 3$$

Il deposito è risultato non liquefacibile al di sotto della quota di fondazione fino alla profondità indagata (vd dettagli di calcolo in All.1) con coefficiente di sicurezza $F_s \geq 1.10$.

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE SUL MODELLO SISMICO

Alla luce dei rilievi e delle indagini condotte il modello sismico si adatta bene a quello geologico, evidenziando la presenza di materiali a bassa o bassissima velocità fino ad oltre 15 metri sotto il piano di campagna, indicativi di spessori di terreno a scarsissimo addensamento e/o compattezza. Solo oltre questa profondità le velocità delle onde sismiche crescono per raggiungere intorno ai 35 metri valori medio elevati competenti a materiali di maggiore consistenza.

Viareggio, 30/07/2018

dott. Geol. Stefania Martina

³ Con: T = sforzo tagliante indotto dal sistema; a_{\max} = accelerazione sismica massima; g = accelerazione di gravità = 980.7 cm/sec²; σ_{v0} = pressione litostatica totale alla profondità z dal p.c.; $\sigma_{v0'}$ = pressione litostatica efficace alla profondità z dal p.c.; r_d = coefficiente funzione della profondità dal p.c.; MSF = coefficiente correttivo funzione della magnitudo del sisma; cls (Kg/cmq) = resistenza CPT normalizzata e corretta rispetto al % di fine presente; a = fattore numerico adimensionale (0,883 per qcl s $cs < 50$; 93 per $50 \leq qcl$ s $cs < 160$); b = fattore numerico adimensionale (0,05 per qcl s $cs < 50$; 93 per $50 \leq qcl$ s $cs < 160$);

ELABORATO A16

ALLEGATO 1

INDAGINI GEOGNOSTICHE IN SITU (PROVA PENETROMETRICA CPT)

INDAGINI NOTE DA ARCHIVIO

ALLEGATO 2

INDAGINI SISMICHE STESA MASW E HVRS



PENETROMETRIE STATICHE "CPT"RM (standard ASTM 1979)

PENETROMETRO PAGANI TG 63/100 kN cingolato - motore 15 Hp

data prova di campagna
committente
località
comune

12.07.2018
Dott. Geol. Stefania Martina
Parco dei Pini
San Giuliano Terme (PI)

GEOINDAGINI
di L. FRANCESCHI & C. s.r.l.

tiro in estrazione	11000 kg	Rt (kg/cm ²)	resistenza totale
spinta di infissione	10000 kg	Rp/RL	rapporto di Begemann
corsa utile cilindri	1.25 m	100*Rp/RL	rapporto di Schmertmann
peso aste 8.00 kg	peso astine 1.38 kg	c _u (kg/cm ²)	coesione non drenata
lunghezza aste	1.00 m	O.C.R.	rapporto di sovraconsolidazione
diametro aste	36.00 mm	φ (°)	angolo di attrito interno
diametro astine	15.00 mm	Dr (%)	densità relativa
penetrazione standard	20.00 cm	γ (t/m ³)	peso di volume
punta (Begemann) meccanica		m _v (cm ² /kg)	coeff. di compressibilità vol
angolo di apertura punta	60°	litologia interpretativa	
superficie punta	10.00 cm ²	torba	v v v v v v argilla - - - -
superficie laterale manicotto	150.00 cm ²	limo	~ ~ ~ ~ ~ sabbia
Rp (kg/cm ²)	resistenza statica alla punta	sabbia grossolana	• • • • • ghiaia o o o o
RL (kg/cm ²)	resistenza laterale		

Nella prova **PENETROMETRICA STATICA STANDARD "CPT"** con punta di tipo meccanico (*Begemann*) si infiggono nel terreno la punta e la batteria d'aste ad una velocità costante di 2 ± 0.5 cm/sec, indipendentemente dalla resistenza incontrata durante l'infissione. Durante la prova ogni 20 cm di avanzamento con un sistema di acquisizione dati elettronico (errore fondo scala di ± 0.2 %) si procede con letture delle seguenti resistenze: *alla punta; alla punta più manicotto; totale (punta più manicotto più la batteria d'aste)*. La precisione delle letture è massima in depositi omogenei, media in terreni teneri, scarsa in depositi con stratificazioni inferiori a 20-30 cm (uguale o inferiore alla differenza di quota tra punta e manicotto). In terreni dove la resistenza totale (*Rt*) è molto elevata, per limitare gli attriti vengono utilizzate aste dotate di anello allargatore. L'interpretazione dei dati, riportate nelle pagine seguenti, è stata eseguita utilizzando le seguenti esperienze: De Beer '67 (*c_u*); Searle '72 (*Dr, stato di consistenza e φ*); Ladd & Foot '77 (*O.C.R.*); Terzaghi & Peck '67 e Bowles '82 (*γ*); Mitchell & Gardner '75 (*m_v*); Schmertmann '69, Begemann '65 e A.G.I. '77 (*stratigrafia*).

Le informazioni ricavate sono di tipo: empirico (*stratigrafie, c_u, stato di consistenza, φ, Dr, γ e m_v*); semi empirico (*O.C.R.*); semi empirico/empirico (*capacità portante alla punta*).

Nella lettura dei risultati si ricorda che:

1. nella valutazione di *Rp, RL e Rp/RL*, si considera la differenza di quota tra punta e manicotto (20 cm)
2. la stratigrafia proposta è ricavata da Searle '72 e modificata secondo Begemann '65. I tre campi del grafico indicano: terreni prevalentemente argillosi e limo torbosi (*Rp/RL < 27,5*); da limi fini a sabbie fini (*Rp/RL* compreso tra 27,5 e 60); terreni riconducibili a sabbie medio grossolane e ghiaie (*Rp/RL > 60*)
3. per i valori di *RL* in terreni coesivi, Schmertmann '69 suggerisce una riduzione di 0.5-0.3
4. in terreni incoerenti solo parzialmente drenati (per effetto di percentuali non trascurabili di materiali fini) il valore di resistenza di punta (*Rp*) e dei parametri geotecnici ad esso correlati (*φ, Dr, stato di consistenza e m_v*) sono sottostimati ad eccezione del *m_v* (sovrastimato)
5. il valore dell'angolo di attrito interno in terreni coesivi e non drenati risulta sovrastimato
6. i valori di *Dr* sono maggiormente attendibili se relativi a depositi sabbiosi NC, non cementati, con granuli costituiti da quarzo feldspati e modeste frazioni di minerali micacei
7. il peso di volume, ricavato da esperienze di Terzaghi & Peck '67 - Bowles '82 è da ritenersi indicativo (correlazioni dirette su n. 50 campioni prelevati tra la piana di Lucca, la Versilia e la piana Pisana hanno rilevato variazioni superiori al 20%)
8. il rapporto di sovraconsolidazione (*OCR.*), ricavato ipotizzando la presenza di falda è da ritenersi indicativo



Prova n. : CPTI			riferimento:				0718_parco pina	
letture di campagna			valori derivati					
profondità (m)	pena	punta più marcata	totale	Rp kg/m ²	RI kg/cm ²	Id kg/cm ²	Rp/RI	RI x Rp x 100
0,20								
0,40	30	72		19,12	1,73		22,62	4,47
0,60	30	116		30,13	3,53		25,51	3,92
0,80	61	114		51,13	2,27		26,93	3,71
1,00	17	51		17,13	0,60		28,55	3,50
1,20	26	35		26,26	0,93		28,24	3,54
1,40	5	19		5,26	1,67		2,15	31,75
1,60	25	50		25,26	7,13		11,86	8,43
1,80	23	55		23,26	3,53		6,59	15,18
2,00	212	263	127	212,26	1,67	1270	198,33	0,50
2,20	219	235		219,39	0,23		664,82	0,15
2,40	7	12		7,39	0,47		15,31	6,46
2,60	7	14		7,39	0,53		22,39	4,47
2,80	7	12		7,39	0,31		22,39	4,17
3,00	7	12	38	7,39	0,53	380	22,39	4,47
3,20	6	11		6,52	1,06		6,52	13,34
3,40	1	16		1,52	0,12		11,69	8,55
3,60	7	9		7,52	0,43		16,06	6,25
3,80	3	10		3,52	0,17		7,49	13,33
4,00	3	10	46	3,52	0,40	460	8,80	11,36
4,20	4	10		4,65	0,47		9,89	10,11
4,40	3	10		3,65	0,53		11,66	9,91
4,60	7	8		3,65	0,53		6,89	14,52
4,80	9	17		9,65	0,13		34,25	1,35
5,00	12	14	45	12,65	0,13	450	92,31	1,05
5,20	13	15		13,78	0,13		106,00	0,94
5,40	12	14		12,78	0,27		47,33	2,11
5,60	12	16		12,78	0,27		47,33	2,11
5,80	12	16		12,78	0,40		31,95	3,12
6,00	8	14	64	8,78	0,15	640	67,54	1,48
6,20	8	10		8,91	0,47		18,96	5,27
6,40	3	10		2,91	0,53		3,38	13,55
6,60	12	20		12,91	0,27		47,81	2,09
6,80	14	18		14,91	0,40		37,28	2,68
7,00	9	15	73	9,91	0,31	730	30,93	2,30
7,20	9	14		10,04	0,25		30,42	3,79
7,40	19	24		19,04	0,67		29,91	3,34
7,60	17	27		18,04	0,40		45,16	2,22
7,80	4	20		15,04	0,20		75,20	1,33
8,00	12	15	97	13,04	0,27	970	48,30	2,07
8,20	15	20		17,17	0,27		63,59	1,57
8,40	10	14		11,17	0,73		15,30	6,54
8,60	6	17		7,17	0,80		8,96	11,16
8,80	6	15		7,17	0,67		10,76	9,34
9,00	7	17	134	8,17	0,67	1350	12,19	8,30
9,20	6	15		7,30	0,33		22,12	4,52
9,40	14	19		15,30	0,27		56,67	1,76
9,60	13	17		14,30	0,73		19,59	5,10
9,80	5	16		6,30	0,53		11,89	8,41
10,00	6	14	137	7,30	0,60	1470	12,17	8,22

quota inizio (m) : p.c.

quota falda (p.c. (m) :

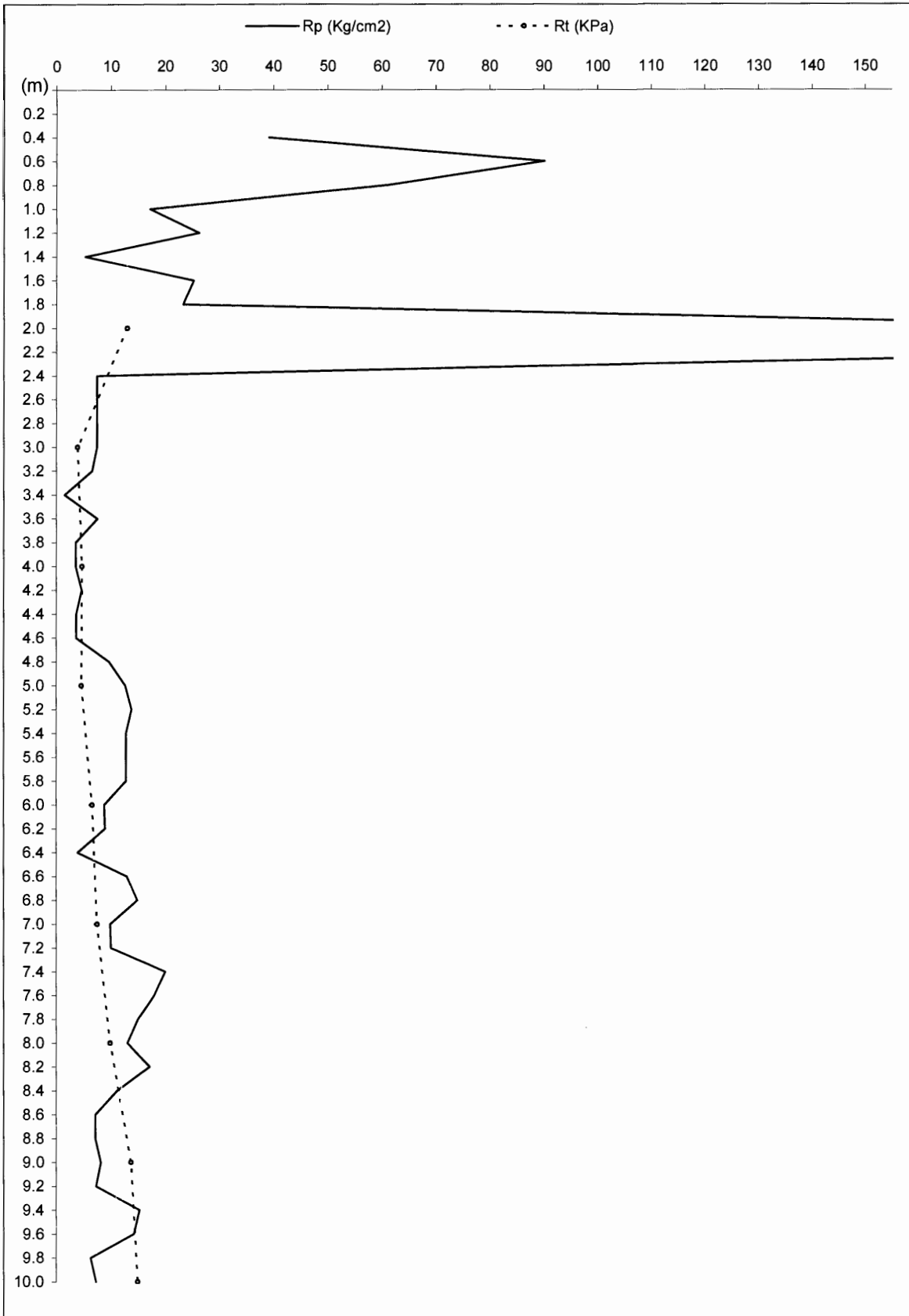
1,60

letture di campagna				valori derivati				
profondità (m)	pt.ota	pt.ota più vicina	totale	Rp kg/cm ²	Rl kg/cm ²	Rt kg/cm ²	Rp/Rl	Rl/Rp*100
10.20	18	27		19.43	0.75		26.03	3.76
10.40	18	29		19.43	0.20		97.15	1.03
10.60	27	25		23.47	0.47		49.81	2.03
10.80	17	24		18.43	0.47		39.21	2.55
11.00	21	28	150	22.47	0.57	150	42.32	2.56
11.20	21	29		22.56	0.33		58.36	1.46
11.40	23	28		24.56				
11.60								
11.80								
12.00								
12.20								
12.40								
12.60								
12.80								
13.00								
13.20								
13.40								
13.60								
13.80								
14.00								
14.20								
14.40								
14.60								
14.80								
15.00								
15.20								
15.40								
15.60								
15.80								
16.00								
16.20								
16.40								
16.60								
16.80								
17.00								
17.20								
17.40								
17.60								
17.80								
18.00								
18.20								
18.40								
18.60								
18.80								
19.00								
19.20								
19.40								
19.60								
19.80								
20.00								
quota inizio (m) :	p.c.							
								quota fondo il p.c. (m) :
								1.60

Prova n. : CPT1

riferimento:

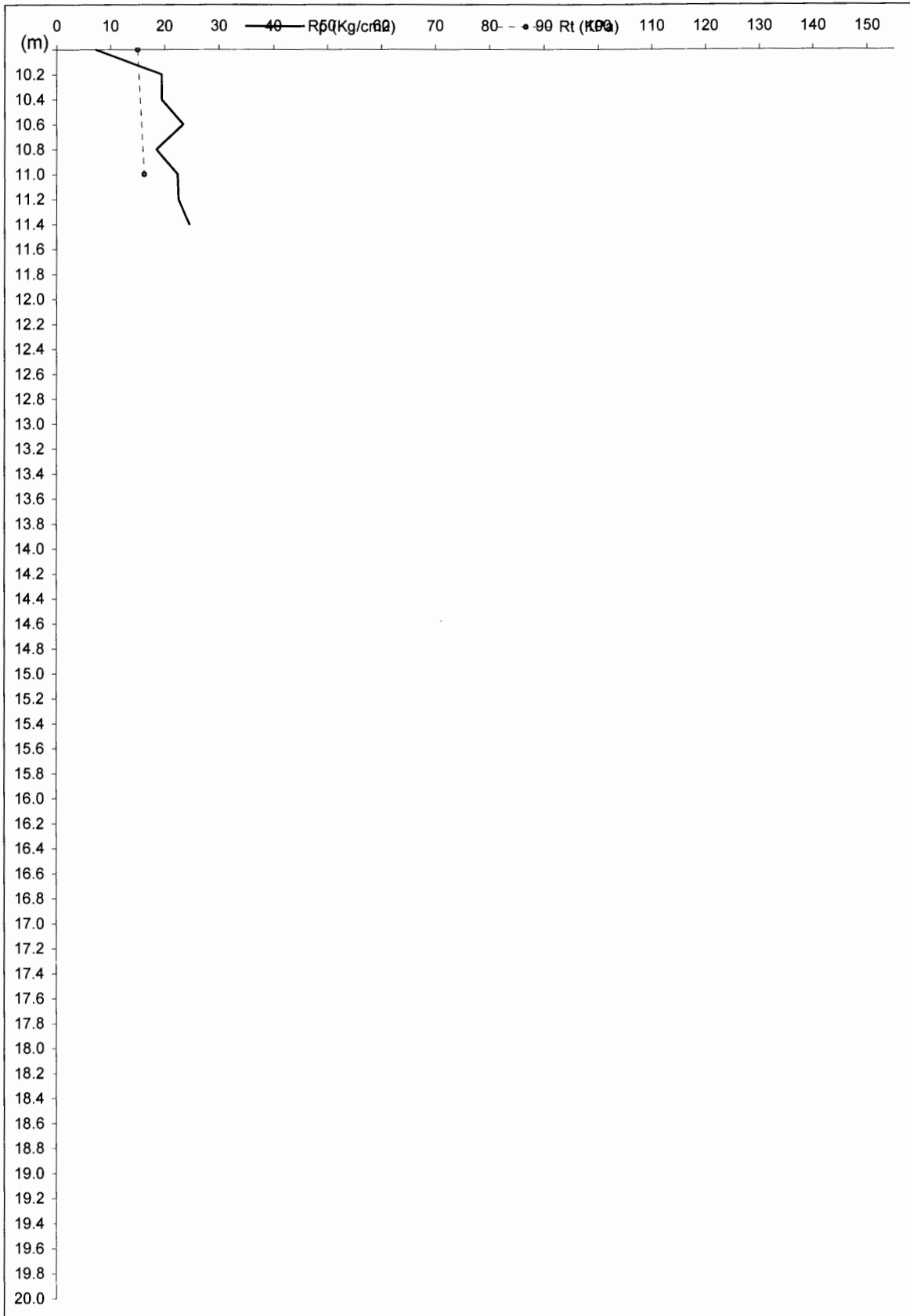
0718_parco_pini



quota falda d.p.c. (m) : 1.60

Prova n. : CPT1

riferimento: 0718_parco_pini



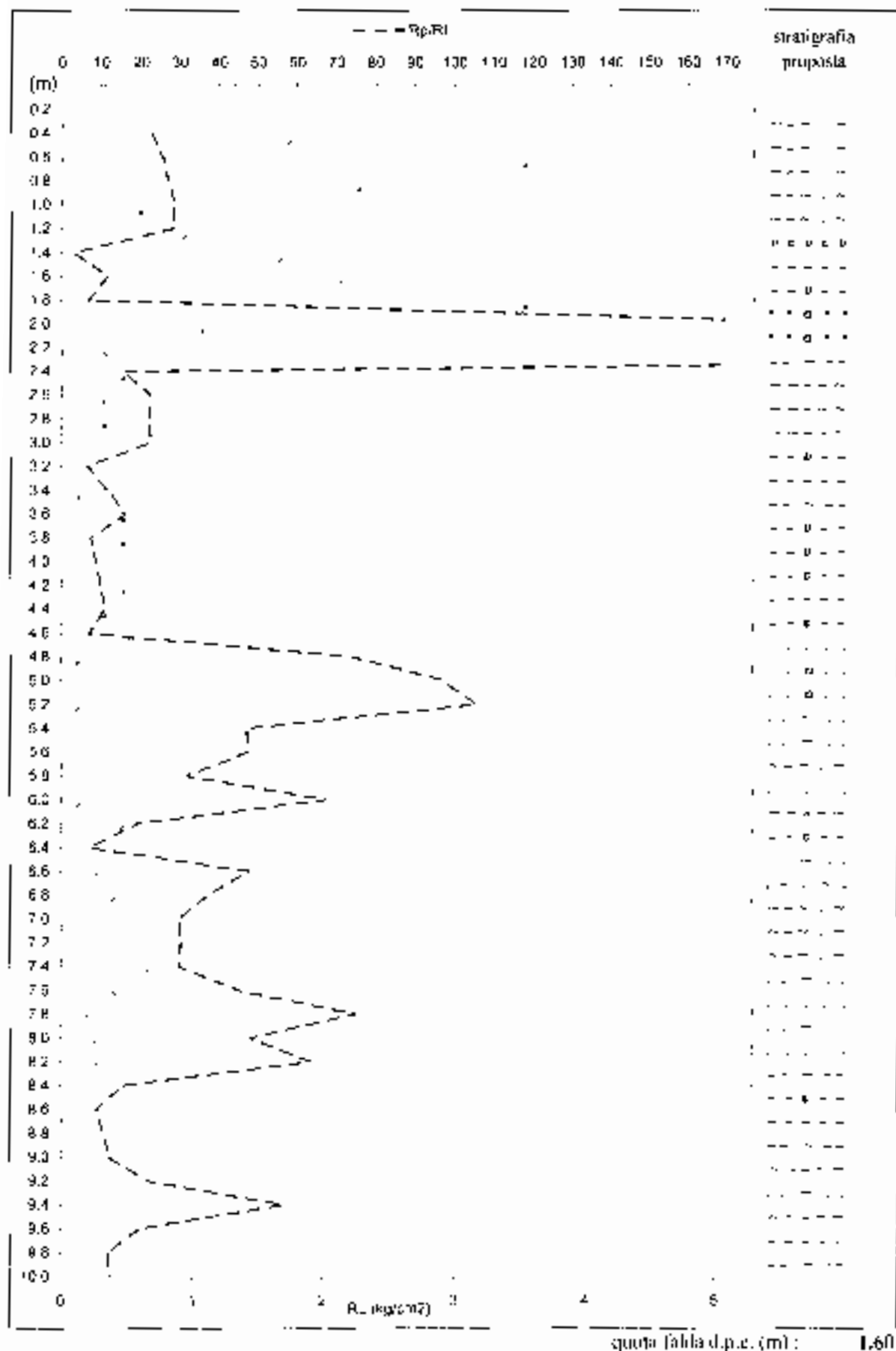
quota falda d.p.c. (m) : 1.60

Prova n. .

CPTI

referimento:

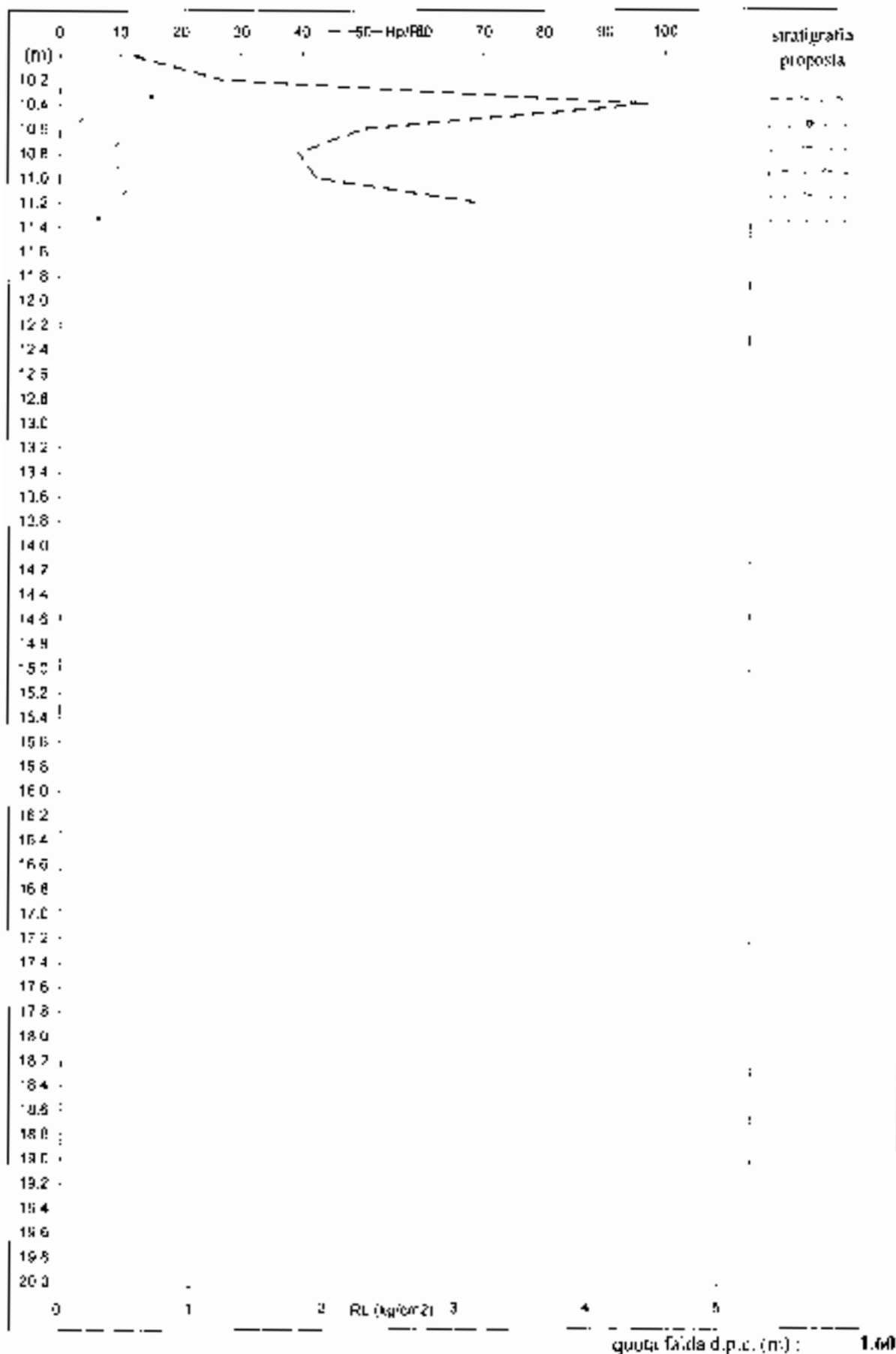
0718 parco_pini

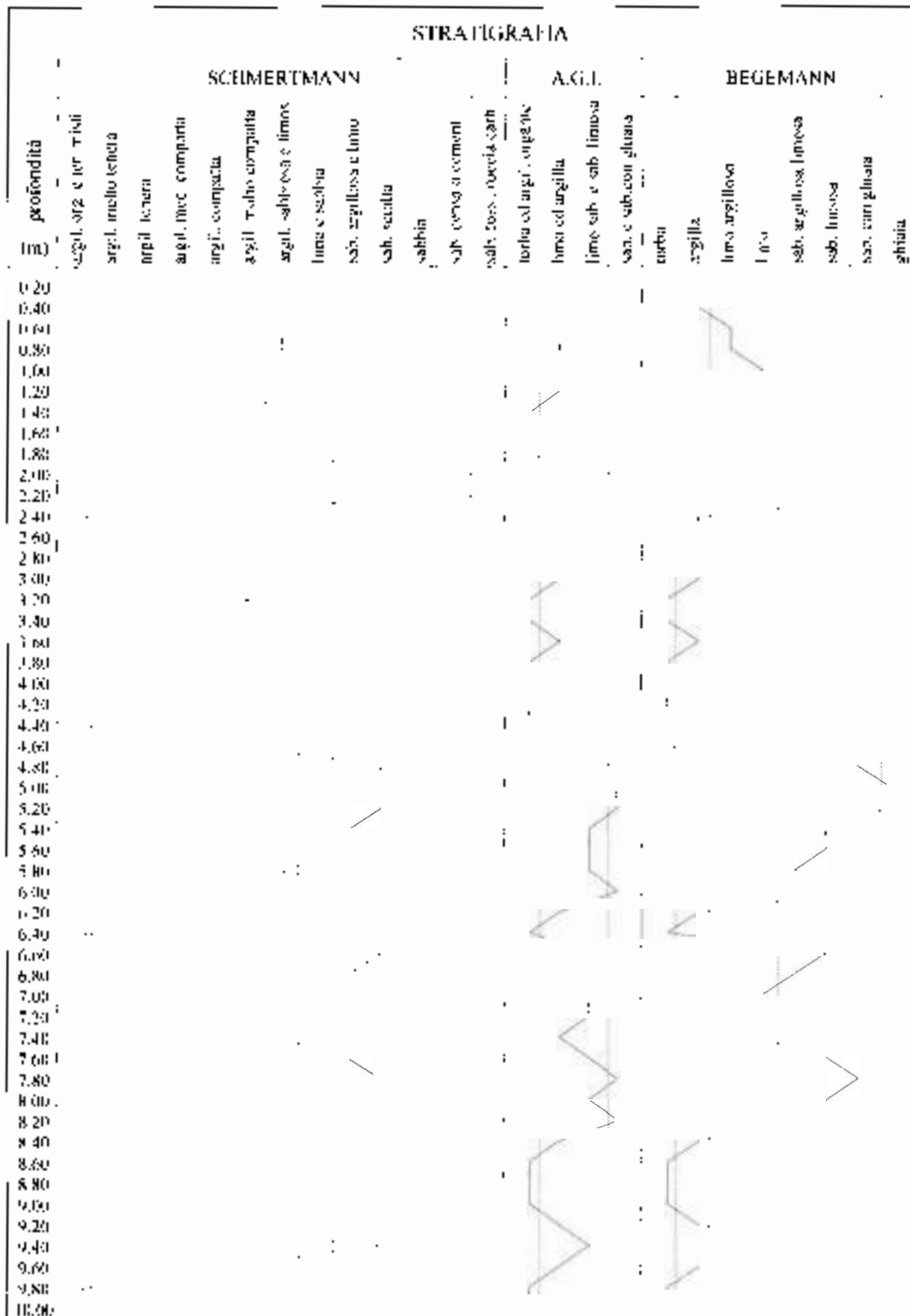


Prova n° : **CPT1**

referimento:

0718_paren_pini





profondità (m)	STRATIGRAFIA			
	SCHIMMERTMANN	A.G.I.	BEGEMANN	
	argil. comp. e ter. misti			
	argil. molto tenera			
	argil. tenera			
	argil. med. compatta			
	argil. compatta			
	argil. molto arenacea			
	argil. sabbiosa e limosa			
	limo e sabbia			
	sab. argillosa e limo			
	sab. sciolta			
	sabbia			
	sab. densa e cement.			
	sab. fiss. ricca carb.			
	torba ec. argil. organica			
	limo ec. argilla			
	limo sab. e sab. limosa			
	sab. e sab. con ghiaia			
	torba			
	argilla			
	limo argilloso			
	limo			
	sab. argillosa limosa			
	sab. fi. bossa			
	sab. con ghiaia			
	ghiaia			
10,20				
10,40				
10,60				
10,80				
11,00				
11,20				
11,40				
11,60				
11,80				
12,00				
12,20				
12,40				
12,60				
12,80				
13,00				
13,20				
13,40				
13,60				
13,80				
14,00				
14,20				
14,40				
14,60				
14,80				
15,00				
15,20				
15,40				
15,60				
15,80				
16,00				
16,20				
16,40				
16,60				
16,80				
17,00				
17,20				
17,40				
17,60				
17,80				
18,00				
18,20				
18,40				
18,60				
18,80				
19,00				
19,20				
19,40				
19,60				
19,80				
20,00				

Ø	natura coesiva			natura mista			natura granulata			γ _{sat} (kN/m ³)	m _v (m ³ /kg)
	v _w (%)	stato di consistenza	O.C.R.	v _w (%)	Ø (%)	D _r (%)	φ (%)	D _r (%)	stato di scollatura		
0.20											
0.40				1.60	28.00	60				1.80	0.013
0.60				3.68	29.00	74				1.95	0.006
0.80				2.50	29.00	65				1.90	0.008
1.00							38	19	scollata	1.75	0.017
1.20							29	47	med. scoll.	1.80	0.019
1.40	0.32	molle	0.1							1.80	0.190
1.60	1.05	consist.	0.6							2.00	0.020
1.80	0.95	consist.	0.5							2.00	0.043
2.00							43	50	med. scoll.	1.95	0.043
2.20							51	27	scollata	1.95	0.043
2.40	0.45	plastica	0.2							1.80	0.054
2.60	0.45	plastica	0.2							1.80	0.059
2.80	0.45	plastica	0.2							1.80	0.059
3.00	0.45	plastica	0.2							1.80	0.059
3.20	0.40	molle	0.2							1.80	0.153
3.40	0.60	molle	0.0							1.80	0.329
3.60	0.46	plastica	0.3							1.80	0.053
3.80	0.21	molle	0.1							1.80	0.284
4.00	0.21	molle	0.1							1.80	0.284
4.20	0.28	molle	0.1							1.80	0.215
4.40	0.22	molle	0.1							1.80	0.157
4.60	0.22	molle	0.8							1.80	0.274
4.80							33	9	mol. scoll.	1.75	0.052
5.00							34	9	mol. scoll.	1.75	0.040
5.20							34	9	mol. scoll.	1.75	0.056
5.40							31	23	scollata	1.75	0.039
5.60							31	23	scollata	1.75	0.039
5.80							29	31	scollata	1.75	0.022
6.00							31	9	mol. scoll.	1.75	0.057
6.20	0.34	plastica	1.8							1.80	0.012
6.40	0.24	molle	1.1							1.80	0.256
6.60							31	25	scollata	1.75	0.059
6.80							30	31	scollata	1.75	0.019
7.00							28	27	scollata	1.75	0.029
7.20							28	27	scollata	1.75	0.028
7.40							29	41	scollata	1.80	0.025
7.60							31	31	scollata	1.75	0.028
7.80							33	17	scollata	1.75	0.033
8.00							31	21	scollata	1.75	0.038
8.20							32	21	scollata	1.75	0.029
8.40	0.68	plastica	3.7							1.95	0.030
8.60	0.43	plastica	2.1							1.80	0.159
8.80	0.43	plastica	2.0							1.80	0.056
9.00	0.50	plastica	2.3							1.80	0.049
9.20	0.44	plastica	1.9							1.80	0.059
9.40							31	23	scollata	1.75	0.033
9.60	0.67	consist.	4.3							1.95	0.020
9.80	0.48	molle	1.5							1.80	0.063
10.00	0.44	plastica	1.8							1.80	0.055

Prova n.:

CPT1

riferimento:

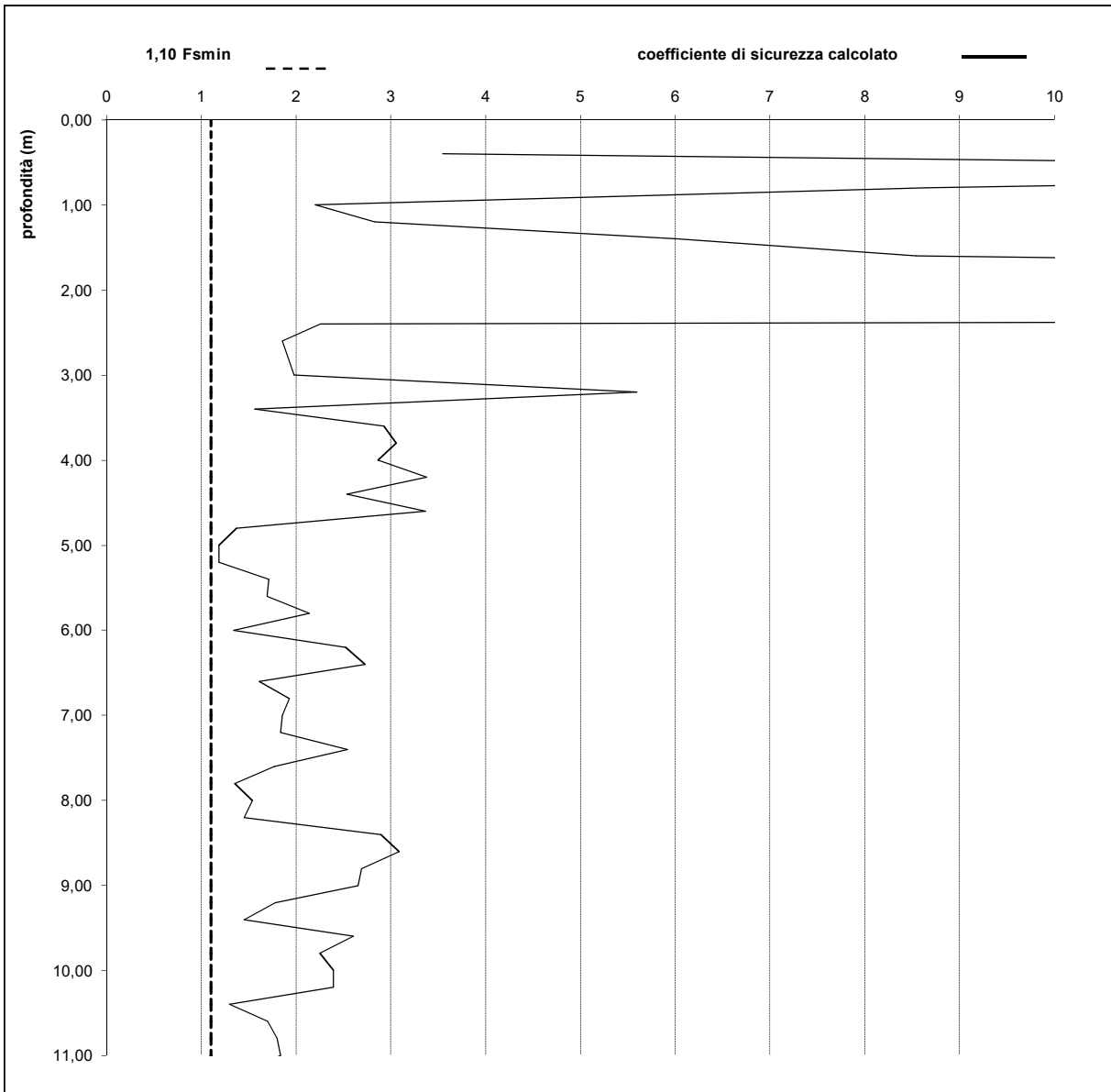
I0718_garco_pini

m	natura coesiva			natura mista			natura granulare			v (cm/s)	m _s (cm/spt)
	C _v (kg/cm ²)	stato di consolidazione	Q C.R.	C _v (kg/cm ²)	φ	D _r (%)	φ (%)	D _r (%)	stato di addebi.		
10.20				1.2	28.03	43				1.75	0.015
10.40							50	17	sca.44	1.75	0.026
10.60							51	34	sca.42	1.80	0.021
10.80							30	33	sca.50	1.75	0.014
11.00							31	36	sca.48	1.80	0.022
11.20							13	27	sca.48	1.80	0.022
11.40											
11.60											
11.80											
12.00											
12.20											
12.40											
12.60											
12.80											
13.00											
13.20											
13.40											
13.60											
13.80											
14.00											
14.20											
14.40											
14.60											
14.80											
15.00											
15.20											
15.40											
15.60											
15.80											
16.00											
16.20											
16.40											
16.60											
16.80											
17.00											
17.20											
17.40											
17.60											
17.80											
18.00											
18.20											
18.40											
18.60											
18.80											
19.00											
19.20											
19.40											
19.60											
19.80											
20.00											

**VERIFICA LIQUEFAZIONE DEI TERRENI
CONDIZIONI SISMICHE**

$$F_s = \frac{R}{T} = \frac{\alpha \left(\frac{q_{c1ncs}}{1000} \right) + \beta}{0.65 \frac{a_{max}}{g} \frac{\sigma_{v0}}{\sigma_{v0'}} r_d \frac{1}{MSF}}$$

Falda = 1,000 m. da p.c.
M = 5,500
a_{max} = 2,138 m/sec
MSF = 2,783

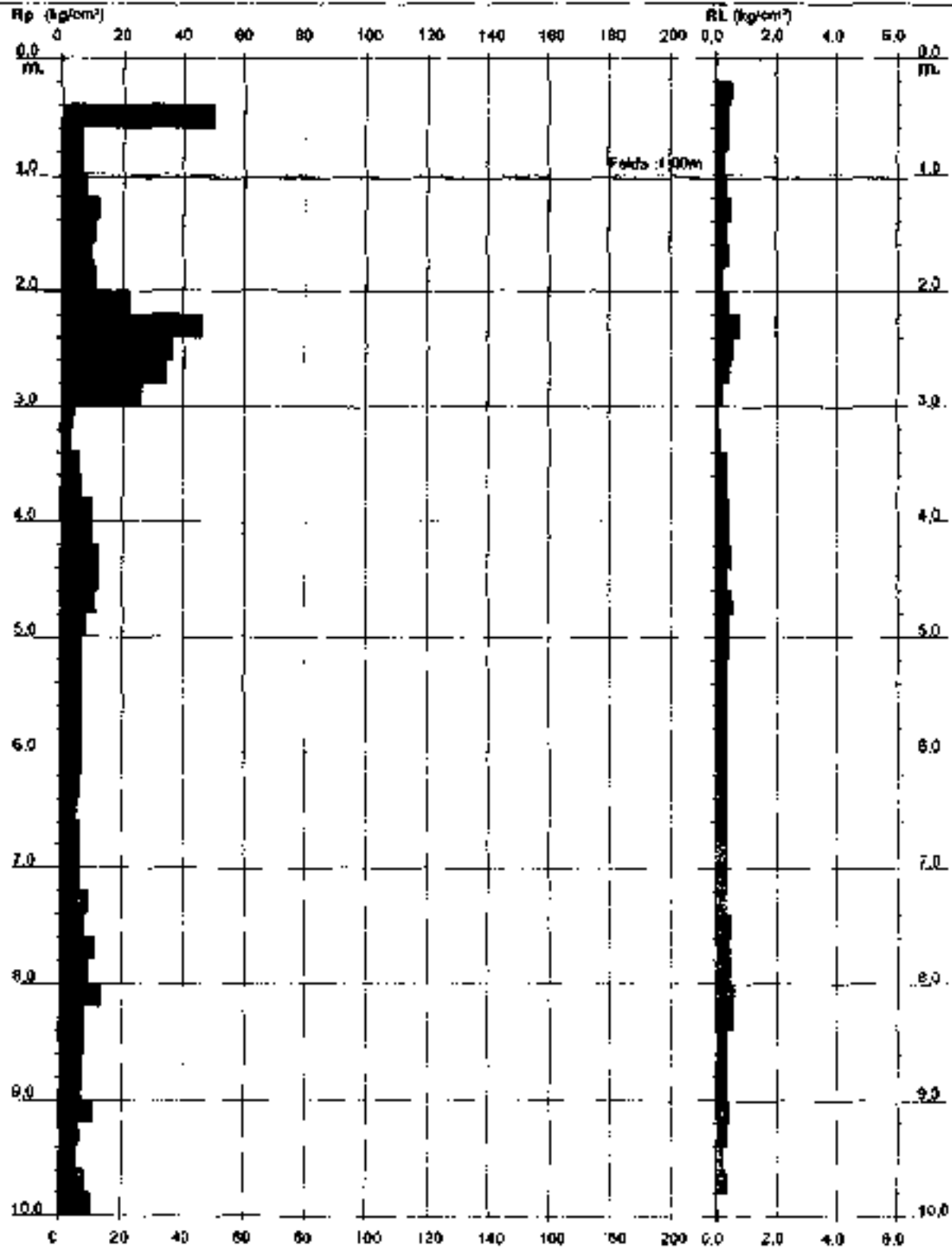


FS = coefficiente di sicurezza; **R** = resistenza al taglio mobilabile nello strato (metodo Robertson e Wride); **T** = sforzo tagliante indotto dal sistema; **a_{max}** = accelerazione sismica max= a_{maxSLV}; **g** = accelerazione di gravità = 980,7 cm/sec²; **σ_{v0}** = pressione litostatica totale alla profondità z dal p.c.; **σ_{v0'}** = pressione litostatica efficace alla profondità z dal p.c.; **r_d** = coeff. correttivo funzione della profondità; **MSF** = coeff. correttivo funzione della Magnitudo (**M**) del sisma ((M/7,5)^{-3,3} se M ≤ 7,5; (10^{2,2}/M^{2,66}) se M > 7,5); **q_{c1s cs}** (Kg/cmq) = resistenza CPT normalizzata e corretta rispetto al % di fine presente; **α** = fattore numerico adimensionale (0,883 per q_{c1s cs} < 50; 93 per 50 ≤ q_{c1s cs} < 160); **β** = fattore numerico adimensionale (0,05 per q_{c1s cs} < 50; 93 per 50 ≤ q_{c1s cs} < 160); per F_s ≥ F_s minimo deposito non liquefacibile.

Prof. m	RP/10 kg/cm ²	RL/10 kg/cm ²	Qc kg/cm ²	fs kg/cm ²	Qc/fs	Prof. m	RP/10 kg/cm ²	RL/10 kg/cm ²	Qc kg/cm ²	fs kg/cm ²	Qc/fs
0,20	---	---	--	---	---	5,20	3,5	6,5	7,0	0,40	17,0
0,40	---	---	--	0,53	---	5,40	3,5	6,5	7,0	0,33	21,0
0,60	26,0	28,0	50,0	0,40	125,0	5,60	3,5	6,0	7,0	0,33	21,0
0,80	3,5	6,5	7,0	0,40	17,0	5,80	3,5	6,0	7,0	0,33	21,0
1,00	3,5	6,5	7,0	0,27	26,0	6,00	3,5	6,0	7,0	0,33	21,0
1,20	4,0	6,0	8,0	0,33	24,0	6,20	3,5	6,0	7,0	0,33	21,0
1,40	6,0	9,5	12,0	0,53	22,0	6,40	3,0	5,5	6,0	0,33	18,0
1,60	5,5	9,5	11,0	0,33	33,0	6,60	2,5	5,0	5,0	0,33	15,0
1,80	5,0	7,5	10,0	0,40	25,0	6,80	3,0	5,6	6,0	0,33	18,0
2,00	5,5	8,5	11,0	0,20	55,0	7,00	3,0	5,5	6,0	0,33	18,0
2,20	11,0	12,5	22,0	0,40	55,0	7,20	3,0	5,5	6,0	0,33	18,0
2,40	23,0	26,0	46,0	0,80	57,0	7,40	4,5	7,0	9,0	0,33	27,0
2,60	16,0	24,0	36,0	0,53	67,0	7,60	4,0	6,5	6,0	0,53	15,0
2,80	17,0	21,0	34,0	0,47	73,0	7,80	5,5	9,5	11,0	0,47	24,0
3,00	13,0	16,6	26,0	0,20	130,0	8,00	4,5	8,0	8,0	0,47	19,0
3,20	2,0	3,6	4,0	0,07	60,0	8,20	6,5	10,0	13,0	0,60	22,0
3,40	1,5	2,0	3,0	0,13	22,0	8,40	4,0	8,5	6,0	0,60	13,0
3,60	3,0	4,0	6,0	0,33	18,0	8,60	4,0	8,5	8,0	0,33	24,0
3,80	3,5	6,0	7,0	0,33	21,0	8,80	3,5	6,0	7,0	0,33	21,0
4,00	5,0	7,5	10,0	0,40	25,0	9,00	3,5	6,0	7,0	0,33	21,0
4,20	5,0	8,0	10,0	0,40	25,0	9,20	5,5	8,0	11,0	0,40	27,0
4,40	6,0	9,0	12,0	0,53	22,0	9,40	3,0	6,0	6,0	0,33	18,0
4,60	6,0	10,0	12,0	0,33	36,0	9,60	2,5	5,0	5,0	0,20	26,0
4,80	5,5	8,0	11,0	0,53	21,0	9,80	4,0	5,5	8,0	0,33	24,0
6,00	4,0	8,0	8,0	0,40	20,0	10,00	5,0	7,5	10,0	---	---

1 penetrometria cpt

- PENETROMETRO STATICO tipo COUDA da 5t (con anello allargatore) -
- COSTANTE DI TRASFORMAZIONE CI = 20 - Velocità Avanzamento punta 2 cm/s
- punta meccanica tipo Begemann) $\phi = 35,7$ mm (massa punta 10 cm³ - apertura 60°)
- marcatore laterale (superficie 150 cm²)



PBOPONDITA*	Qc	Pc	Qc/Pc	Qt	ϕ	σ_{av}	ψ	θ_1	c_u	m_v	Colore e Stratig.
[mezi/l]	[Kg/cmq]	[Kg/cmq]		[Kg/l]	[Kg/dm ³]	[Kg/cmq]	[gradi]	[%]	[Kg/cmq]	[cm ³ /l]	
0.1					1,00	,04	-	-	-	-	
0.4					1,00	,07	-	-	-	-	
0.8	41,1	,8	54	550	1,42	,11	43	69	-	7,7	
0.8	1,3	,4	10	260	1,77	,14	-	-	,29	20,4	
1.0	7,3	,4	18	190	1,77	,16	-	-	,29	20,4	
1.2	7,3	,5	27	230	1,77	,17	-	-	,29	20,6	
1.4	12,3	,5	37	250	1,66	,19	-	-	,40	19,6	
2.0	11,3	,5	24	290	1,90	,21	-	-	,44	21,9	
3.0	9,4	,5	20	350	1,87	,22	-	-	,37	24,3	
4.0	22,4	,4	111	490	1,71	,24	37	49	-	14,9	
5.1	93,4	1,2	78	1110	2,97	,26	43	97	-	3,6	
2.4	22,4	,6	37	450	1,71	,27	-	-	,09	14,9	
2.6	10,4	,4	26	890	1,90	,29	-	-	,40	22,9	
2.4	34,5	,5	74	630	1,77	,31	38	50	-	9,7	
3.1	11,5	,5	23	600	1,81	,32	-	-	,49	20,4	
3.2	3,5	,3	16	340	1,87	,33	-	-	,13	80,0	
3.3	2,5	,1	36	390	1,53	,34	-	-	,09	71,3	
3.4	6,5	,1	96	400	1,63	,34	28	2	-	16,7	
3.5	0,6	,3	25	450	1,73	,37	-	-	,25	31,0	
3.6	10,4	,3	40	400	1,85	,38	-	-	,41	21,4	
3.7	10,4	,4	27	510	1,90	,40	-	-	,41	22,0	
3.8	11,4	,4	24	540	1,90	,42	-	-	,45	21,6	
4.1	11,4	,5	25	640	1,90	,44	-	-	,45	21,0	
4.2	3,7	,4	14	650	1,84	,44	-	-	,37	23,0	
5.1	7,7	,5	17	670	1,74	,47	-	-	,29	27,7	
5.2	5,7	,4	17	640	1,50	,44	-	-	,25	47,7	
5.4	6,7	,3	25	740	1,74	,50	-	-	,25	30,7	
5.4	6,7	,3	25	740	1,74	,51	-	-	,25	30,7	
5.5	6,9	,3	26	740	1,75	,53	-	-	,25	30,0	
6.5	6,9	,3	24	760	1,75	,54	-	-	,25	30,0	
6.2	6,9	,3	21	760	1,75	,54	-	-	,25	30,0	
6.4	3,4	,3	12	760	1,70	,57	-	-	,21	33,9	
6.4	4,9	,3	18	800	1,65	,58	-	-	,17	39,4	
6.4	6	,3	23	840	1,70	,60	-	-	,22	33,4	
7.0	8	,3	23	850	1,70	,61	-	-	,22	33,4	
7.1	8	,3	23	870	1,70	,62	-	-	,22	33,4	
7.4	8	,3	23	940	1,85	,64	-	-	,33	24,9	
7.4	8	,3	24	1010	1,80	,66	-	-	,29	27,0	
7.4	11,2	,5	24	1030	1,90	,68	-	-	,42	22,0	
8.0	9,2	,5	17	1100	1,86	,69	-	-	,34	24,6	
8.2	13,2	,4	33	1140	1,91	,71	-	-	,50	20,8	
8.4	7,2	,6	12	1210	1,50	,72	-	-	,26	45,3	
8.6	7,2	,3	17	1330	1,76	,74	-	-	,16	29,1	
8.4	7,3	,3	23	1390	1,77	,75	-	-	,26	28,8	
9.0	11,3	,3	42	1410	1,66	,76	-	-	,42	20,6	
9.2	6,2	,4	16	1390	1,89	,77	-	-	,22	44,9	
9.4	9,3	,3	36	1430	1,87	,78	-	-	,24	67,6	
9.6	8,3	,2	42	1540	1,64	,40	-	-	,30	25,3	
9.8	10,4	,5	14	1540	1,65	,41	-	-	,30	21,7	
10.0	4,4	,3	16	1550	1,87	,43	-	-	,34	24,3	

FS (MPa)

QC (MPa)

QC/FS (%)

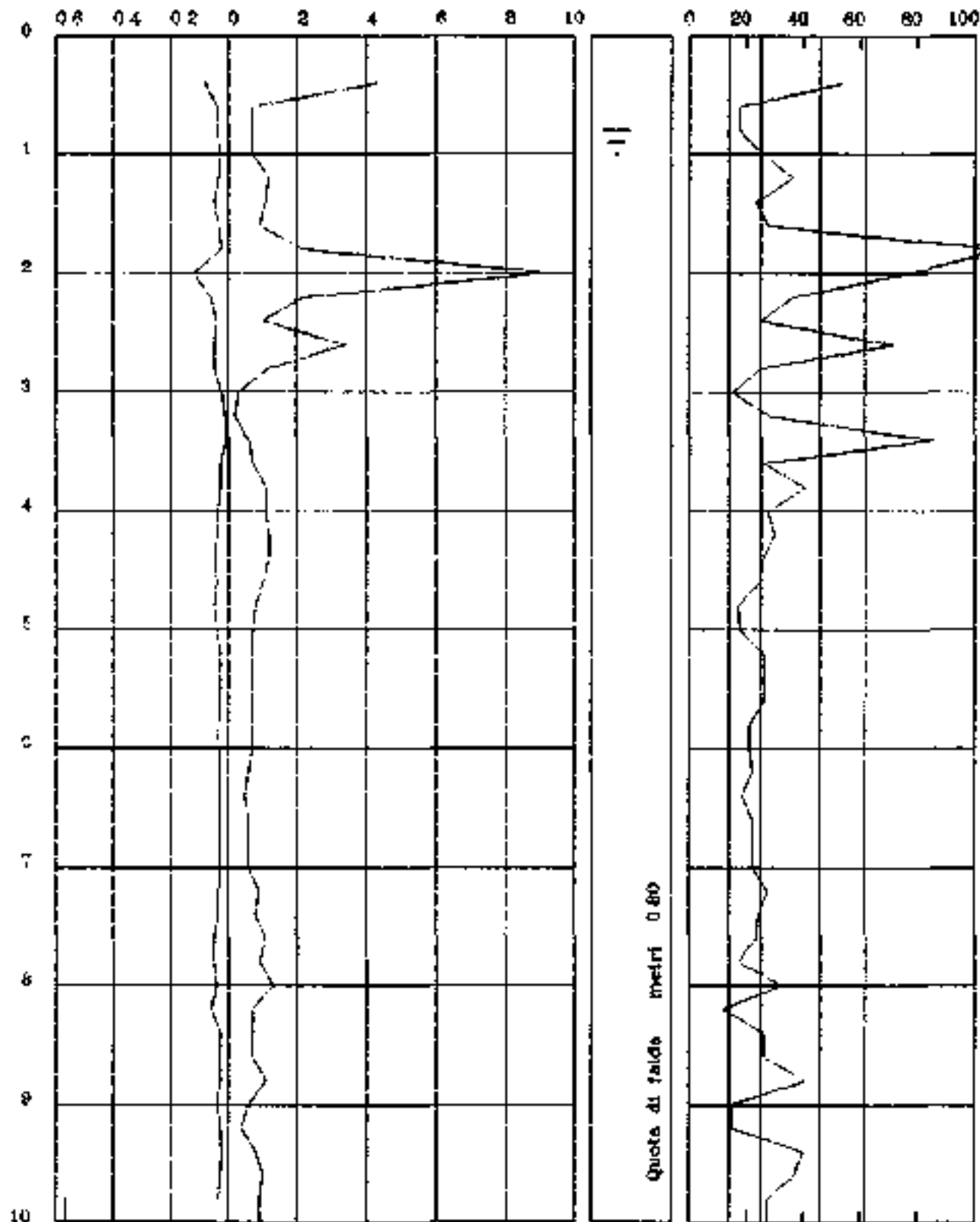
0.8 0.4 0.2 0 2 4 6 8 10

0 20 40 60 80 100

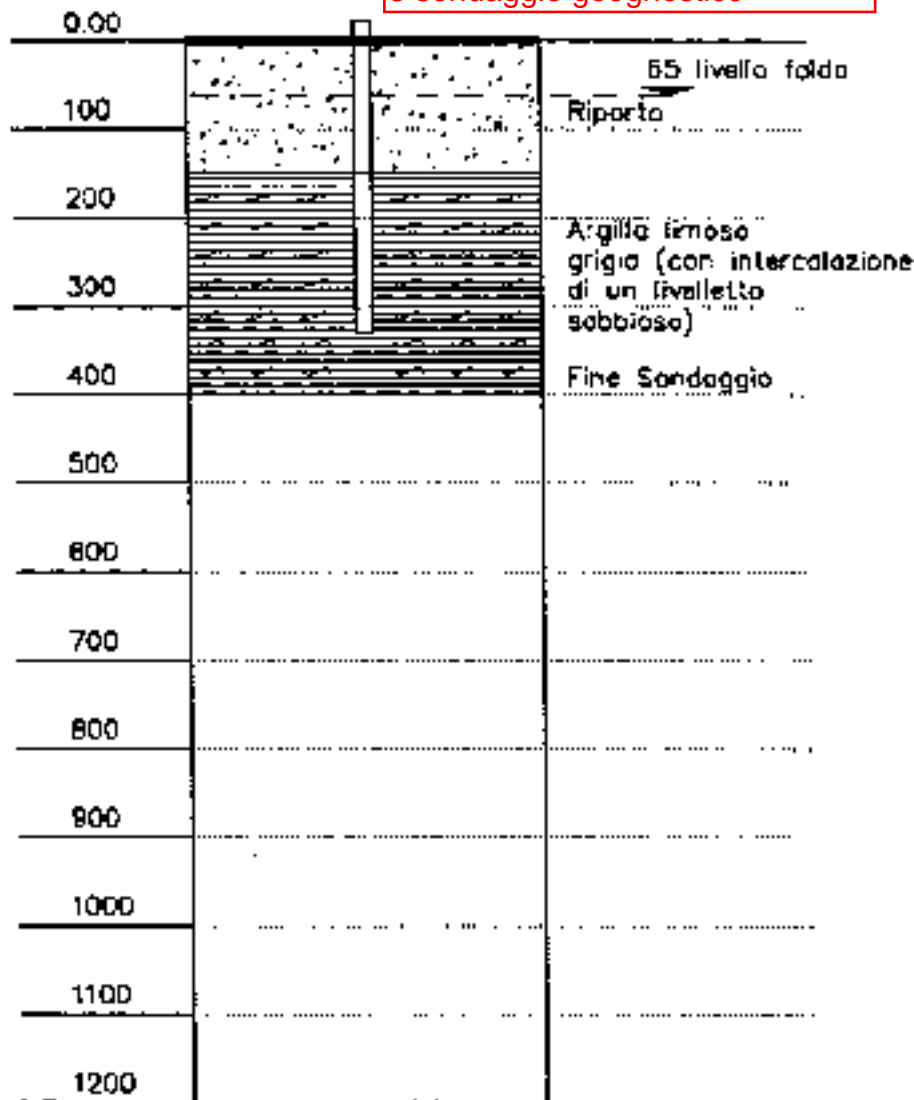
PROFONDITA' (metri)

Quota di falda metri 0.80

-||-

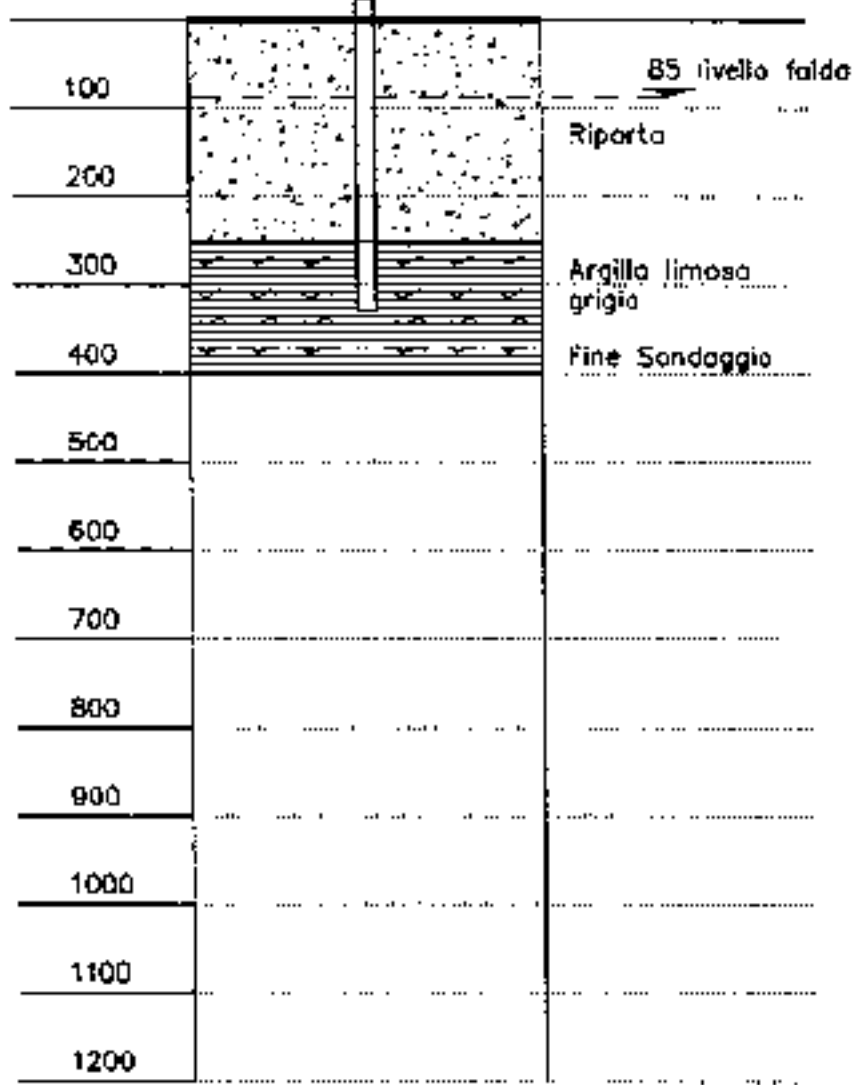


3 sondaggio geognostico

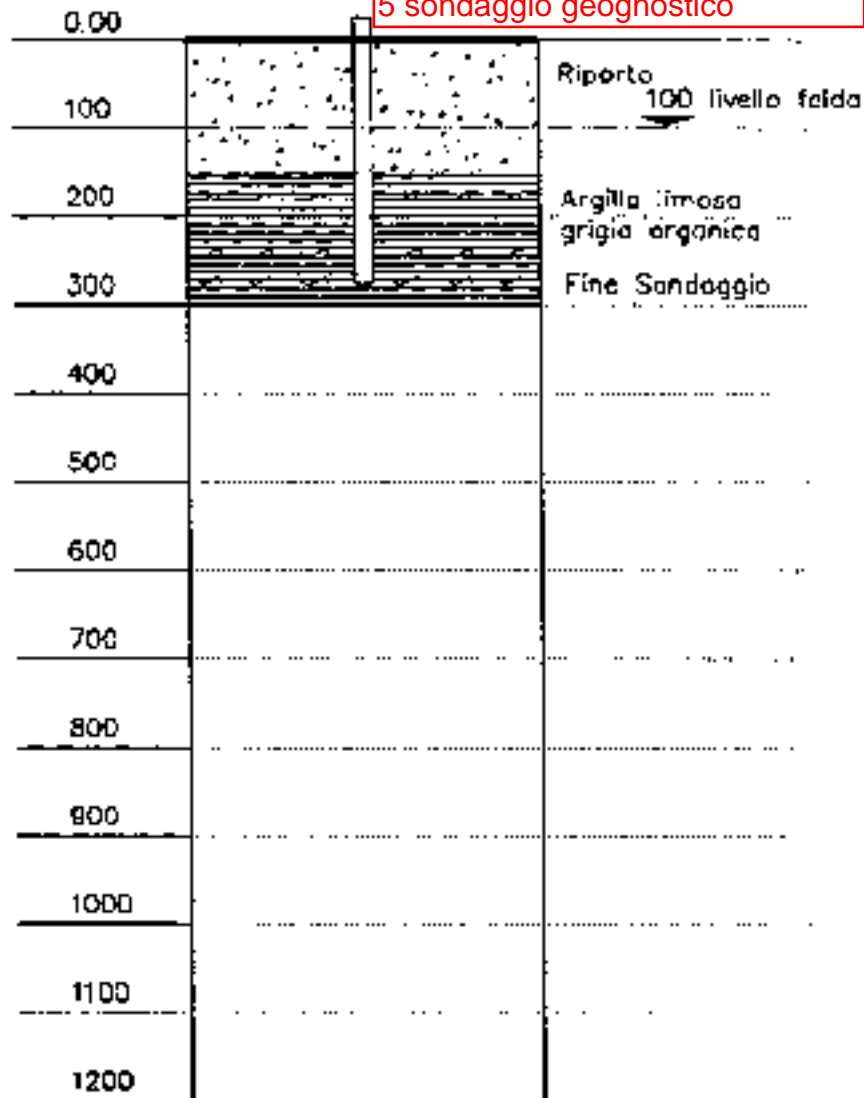


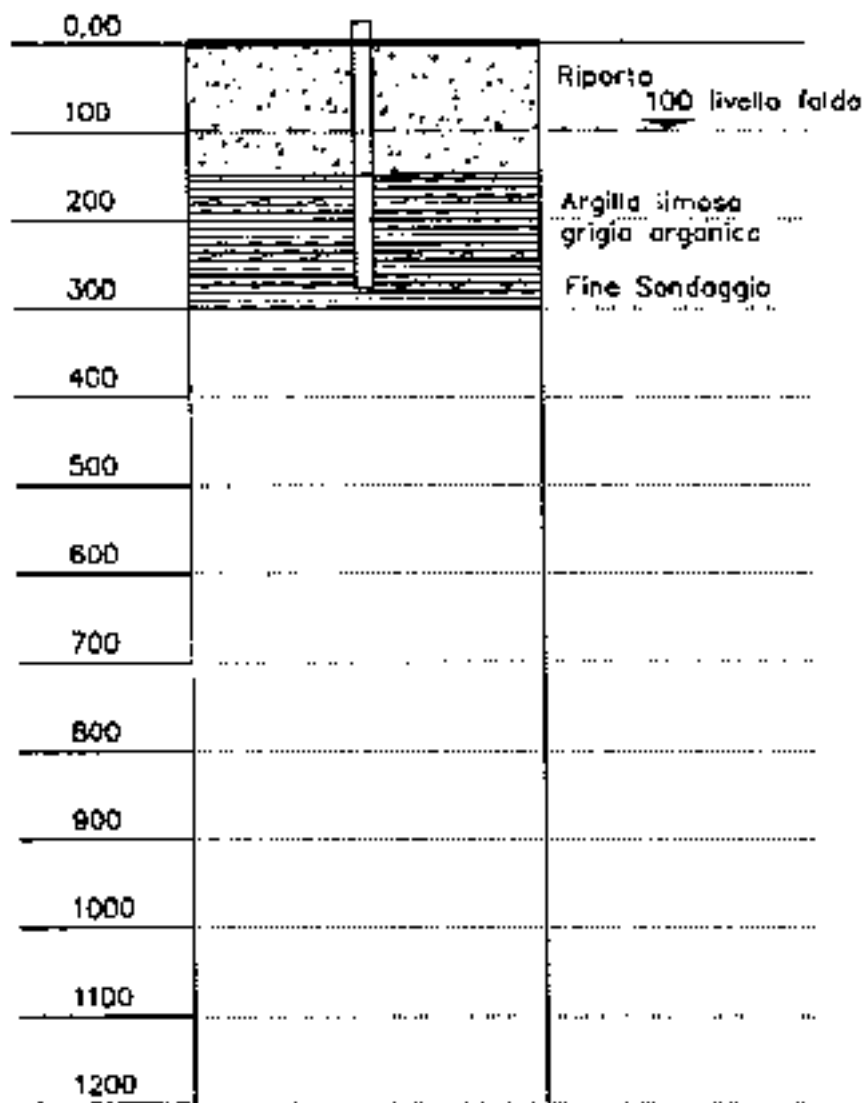
4 sondaggio geognostico

0,00 (circa +60 rispetto quota media piazzale)



5 sondaggio geognostico





ALLEGATO 2

OGGETTO: INDAGINI SISMICHE PER IL CALCOLO DEL PARAMETRO $V_{s,eq}$	
TIPOLOGIA INDAGINI: MASW HVSr	DATA INDAGINE:
	Luglio 2018
LOCALITA': COMUNE DI SAN GIULIANO TERME (PI) CAPOLUOGO	
RICHIEDENTE: Dott.ssa Geol. STEFANIA MARTINA	

codice documento:	j18.060.07.12_sgt.doc
versione /revisione:	01
stato documento:	definitivo
autore:	a.benvenuti
revisione:	v.carnicelli
approvazione:	v.carnicelli
data:	Luglio 2018

SOMMARIO

1	PREMESSA.....	2
2	TIPO D'INDAGINE E STRUMENTAZIONE UTILIZZATA.....	2
2.1	STRUMENTAZIONE UTILIZZATA	2
2.2	INDAGINE MASW: METODOLOGIA E ACQUISIZIONE	2
2.3	INDAGINE HVSR: METODOLOGIA E ACQUISIZIONE	3
3	ANALISI DEI RISULTATI	5

1 PREMESSA

Su richiesta della dott.ssa geol. Stefania Martina è stata eseguita un'indagine geofisica nel Capoluogo del Comune di San Giuliano Terme (PI), nel Parco dei Pini, finalizzata alla determinazione del profilo verticale di velocità delle onde di taglio (Onde S) ed al calcolo del parametro $V_{S,eq}$.

La campagna di indagini, svolta nel mese di Luglio 2018, è stata condotta conformemente alla vigente normativa sismica.

Nella fattispecie particolare le procedure adottate sono state eseguite in accordo con le norme tecniche per le costruzioni del DM 17 Gennaio 2018 Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni».

L'ubicazione delle prove è riportata nelle tavole allegate; le indagini sono state posizionate sulla base CTR - Fonte dei dati Regione Toscana:

dataset "sezione di Carta Tecnica Regionale scala 1:10.000: Sezione 273020 Titolo: San Giuliano Terme; dataset "sezione di Carta Tecnica Regionale scala 1:2.000": Foglio 18F12.

2 TIPO D'INDAGINE E STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

Per la ricostruzione del profilo verticale di velocità delle onde S e per il calcolo del parametro $V_{S,eq}$ è stata eseguita n. 1 prospezione sismica superficiale mediante la tecnica MASW ("Multichannel Analysis of Surface Waves") in onde di Rayleigh.

Per verificare i risultati ottenuti dall'indagine MASW è inoltre stata eseguita n.1 acquisizione in sismica passiva a stazione singola, denominata in seguito TR1, e ubicata lungo lo stendimento stesso.

In particolare l'elaborazione dell'indagine HVSR ha consentito, unitamente ai risultati ottenuti dall'indagine MASW, di approfondire la profondità di investigazione del sottosuolo.

2.1 STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

L'attrezzatura e la strumentazione utilizzata per l'indagine MASW sono costituite da:

un sistema di energizzazione ad impatto verticale costituito da una mazza del peso di 8 kg battente verticalmente su piastra quadrata in alluminio di dimensioni di 20 x 20 x 5 cm posta direttamente sul piano di campagna per la generazione di onde Rayleigh;

un sistema di ricezione costituito da 24 geofoni verticali monocomponente con frequenza propria di 4.5 Hz.

un sistema di acquisizione dati: costituito da un sismografo P.A.S.I. modello 16S24U; due cavi sismici telemetrici di 55 m ciascuno; un notebook PC Windows XP con software di acquisizione P.A.S.I. a 24 canali;

un sistema di trigger: consistente in un circuito elettrico che viene chiuso nell'istante in cui il grave colpisce la base di battuta, consentendo ad un condensatore di scaricare la carica precedentemente immagazzinata e di produrre un impulso che viene inviato a un sensore collegato al sistema di acquisizione dati

La strumentazione utilizzata per la misura dei microtremori ambientali, elaborata attraverso la tecnica HVSR, è costituita da un tromografo digitale (Tromino® di *MoHo s.r.l.*) dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati N-S, E-W e UP-DOWN.

2.2 INDAGINE MASW: METODOLOGIA E ACQUISIZIONE

Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine non invasiva che permette di individuare il profilo di velocità delle onde di taglio V_s , sulla base della misura delle onde superficiali eseguita in corrispondenza di diversi sensori (geofoni nel caso specifico) posti sulla superficie del suolo.

Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo (Achenbach, J.D., 1999, Aki, K. and Richards, P.G., 1980) o, detto in maniera equivalente, la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione.

La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo; onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli strati più profondi del suolo.

Il metodo di indagine MASW utilizzato è di tipo attivo in quanto le onde superficiali sono generate in un punto sulla superficie del suolo (tramite energizzazione con mazza battente allineata all'array geofonico) e misurate da uno stendimento lineare di sensori. Il metodo attivo generalmente consente di ottenere una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente nel range di frequenze compreso tra 5-10 Hz e 70-100 Hz, quindi fornisce informazioni sulla parte più superficiale del suolo, generalmente compresa nei primi 30m-50m, in funzione della rigidità del suolo e delle caratteristiche della sorgente.

I fondamenti teorici del metodo MASW fanno riferimento ad un semispazio stratificato con strati paralleli e orizzontali, quindi una limitazione alla sua applicabilità potrebbe essere rappresentata dalla presenza di pendenze significative superiori a 20°, sia della topografia sia delle diverse discontinuità elastiche.

La metodologia utilizzata consiste in quattro fasi:

- acquisizione dei dati di campagna energizzando a più riprese e alternativamente ai due estremi dello stendimento geofonico;
- determinazione dello spettro di velocità sperimentale dal campo di moto acquisito nel dominio spazio-tempo lungo lo stendimento;
- calcolo della curva di dispersione attraverso il picking o la modellazione diretta;
- inversione della curva di dispersione per l'individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s e il parametro $V_{s,eq}$.

L'elaborazione è stata eseguita tramite il software winMASW® Academy 2018 (Eliosoft).

Le acquisizioni sono state eseguite secondo le seguenti configurazioni spaziali e temporali:

PARAMETRI CONFIGURAZIONALI INDAGINE SISMICA MASW	
Orientazione	NW-SE (N 160)

Coordinate GB geofono G1	X= 1615928 Y= 4846706
Coordinate GB geofono G24	X= 1615944 Y= 4846663
Lunghezza stendimento	46 m
Numero Geofoni	24
Distanza intergeofonica	2 m
Numero punti di energizzazione per estremo	3
Off-sets sorgenti (da ciascun estremo)	G1: 2 m, 3 m, 5 m; G24: 1 m, 2 m, 3 m
Durata acquisizione	1024 ms
Intervallo di campionamento	0.250 ms

Per valutare la validità delle ipotesi di monodimensionalità (strati piani e paralleli) sono state eseguite acquisizioni coniugate: 3 acquisizioni con sorgenti a distanze crescenti (2 m, 3 m e 5 m) dal primo geofono (G1) dello stendimento e 3 acquisizioni, con offsets minimi pari a 1 m, 2 m e 3 m, dall'ultimo geofono dello stendimento (G24).

Durante il processo di elaborazione, al fine di minimizzare le possibili soluzioni e cercare la più sensata coerenza tra lo spettro di velocità sperimentale e le curve di dispersione teoriche che possono generare tale spettro, ci si è avvalsi dei dati acquisiti con l'acquisizione in sismica passiva eseguita lungo lo stendimento (TR1).

2.3 INDAGINE HVSR: METODOLOGIA E ACQUISIZIONE

Il rumore sismico, generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica, è presente ovunque sulla superficie terrestre. Si chiama anche microtremore poiché riguarda oscillazioni molto più piccole di quelle indotte dai terremoti.

I metodi che si basano sulla sua acquisizione si dicono passivi in quanto il rumore non è generato ad hoc, come ad esempio le esplosioni della sismica attiva.

I microtremori sono in parte costituiti da onde di volume, P o S, ma un ruolo fondamentale nella produzione dei microtremori è rivestito dalle onde superficiali, che hanno velocità prossima a quella delle onde S.

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

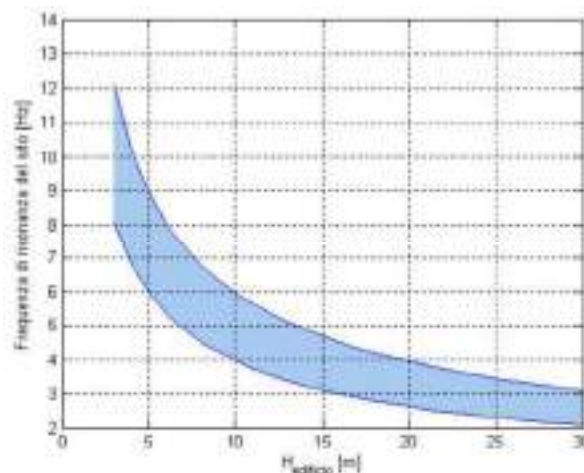
I risultati che si possono ottenere da una registrazione di questo tipo sono:

- la frequenza caratteristica di risonanza del sito che rappresenta un parametro fondamentale per il corretto dimensionamento degli edifici in termini di risposta sismica locale in quanto si dovranno adottare adeguate precauzioni nell'edificare edifici aventi la stessa frequenza di vibrazione del terreno per evitare l'effetto di "doppia risonanza" estremamente pericolosi per la stabilità degli stessi;
- la frequenza fondamentale di risonanza di un edificio, qualora la misura venga effettuata all'interno dello stesso. In seguito sarà possibile confrontarla con quella caratteristica del sito e capire se in caso di sisma la struttura potrà essere o meno a rischio;

- la velocità equivalente delle onde di taglio V_s ;
- la stratigrafia del sottosuolo con un range di indagine compreso tra 0.5 e 700 m di profondità anche se il dettaglio maggiore si ha nei primi 100 metri.

Per quanto concerne il fenomeno della “doppia risonanza” (cioè la corrispondenza tra le frequenze fondamentali del segnale sismico, così come trasmesso in superficie, e quelle dei manufatti ivi edificati) è noto che, dal punto di vista empirico, la frequenza di risonanza di un edificio è governata principalmente dall’altezza.

Nella figura seguente (tratta da Masi et al., 2007) si riporta, a titolo esemplificativo, una possibile relazione tra altezza di un edificio in c.a. e frequenza di risonanza di sito. La fascia azzurra indica l’area più vulnerabile dal punto di vista dei fenomeni di doppia risonanza.



La quantificazione della frequenza caratteristica di sito attraverso misure dirette di microtremore sismico può quindi essere di estremo aiuto nella fase di progettazione.

Durante questa campagna geofisica è stata eseguita una misura di microtremore ambientale (acquisizione in sismica passiva a stazione singola) secondo la seguente configurazione spaziale e temporale:

PARAMETRI CONFIGURAZIONALI INDAGINE HVSR			
Denominazione	Coordinate Gauss Boaga	Durata acquisizione	Frequenza di campionamento
TR1	X= 1615938 Y= 4846678	20 min	128 Hz

La misura dei microtremori ambientali, orientata secondo il Nord e della durata di 20 minuti, tempo di registrazione più che adeguato per la finalità dell’indagine stessa, è stata effettuata con il tromografo digitale Tromino® di MoHo s.r.l..

I dati di rumore, amplificati e digitalizzati a 24 bit equivalenti, sono stati acquisiti alla frequenza di campionamento di 128 Hz.

I risultati ottenuti dall’esecuzione dall’indagine tromografica sono stati elaborati attraverso il software Grilla 7.4.1 (MoHo s.r.l.).

3 ANALISI DEI RISULTATI

Nel complesso le prospezioni geofisiche eseguite, per mezzo dell’analisi delle indagini MASW e delle relative acquisizioni H/V, ha permesso di ricavare sia il modello medio di

distribuzione della velocità delle onde "S" nel sottosuolo del sito indagato sia il parametro $V_{S,eq}$: il modello di sottosuolo in termini di V_S è stato ottenuto dal fit congiunto delle curve H/V e delle curve di dispersione ricavate da ciascuna indagine MASW.

Queste, in buona misura, fanno risalire la stima dell'effetto di sito alle caratteristiche del profilo di velocità delle onde di taglio (V_S). L'analisi dei dati ha consentito di definire i valori del profilo verticale delle V_S e di stimare il parametro $V_{S,eq}$.

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

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

- In cui:
- 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 $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità. Il profilo verticale delle Onde S, in corrispondenza dell'indagine MASW, ricavato mediante elaborazione dei dati di campagna è risultato il seguente:

Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	V_S [m/s]
1.90	1.90	185
2.10	0.20	230
4.10	2.00	90
16.60	12.50	150
34.60	18.00	240
inf.	inf.	445

$$V_{S,eq}(0.0-30.0)=174\text{m/s}$$

Il profilo MASW individua una $V_{S,eq}$, riferita al piano di campagna, pari a 174 m/s.

Pisa, Luglio 2018

P3 s.n.c.
 Piazza Martiri della Libertà, 22/23
 56127 PISA
 C.F./P.IVA 01923910507
Alto Benvenuti

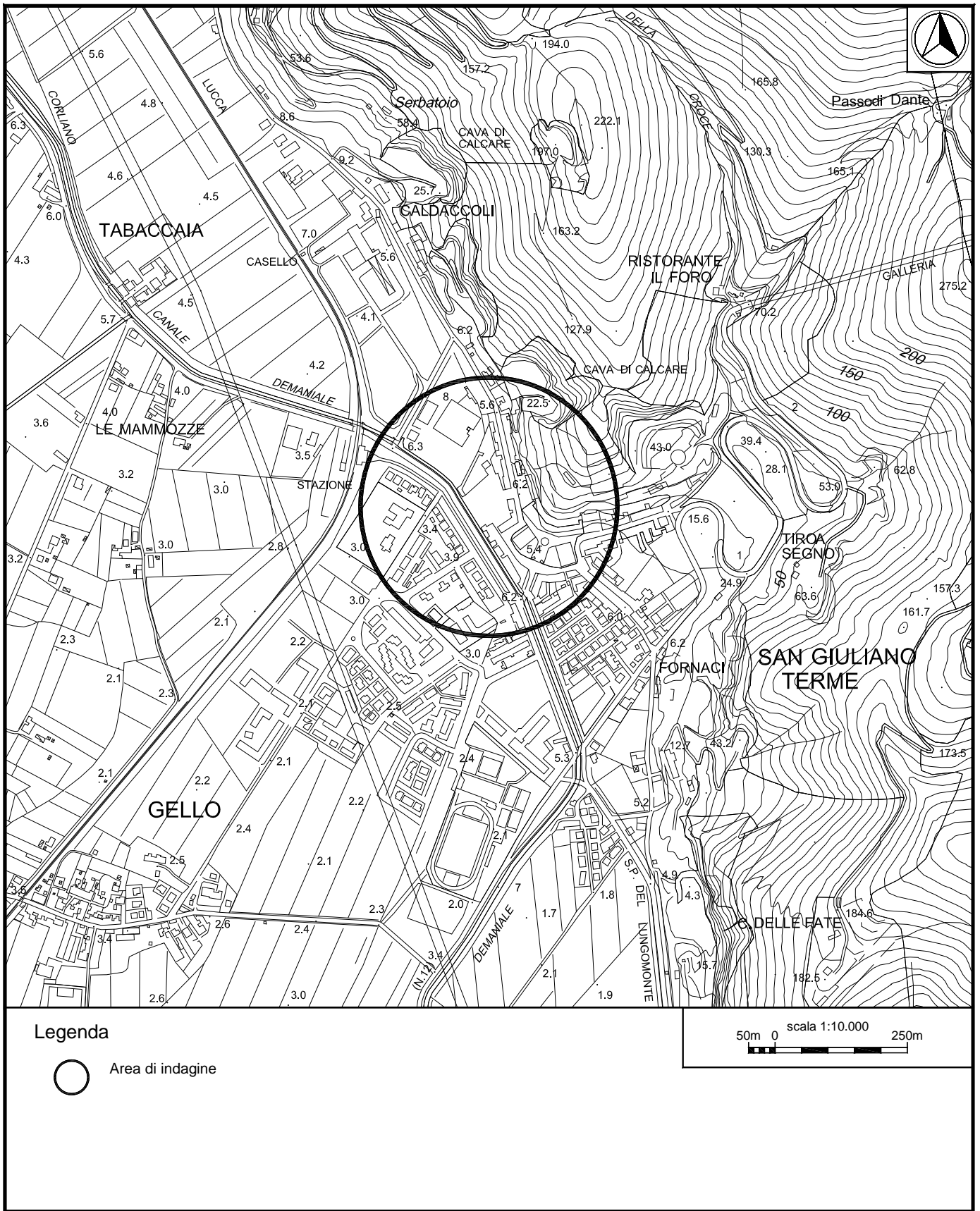


Figura1. Ubicazione indagini – Inquadramento.

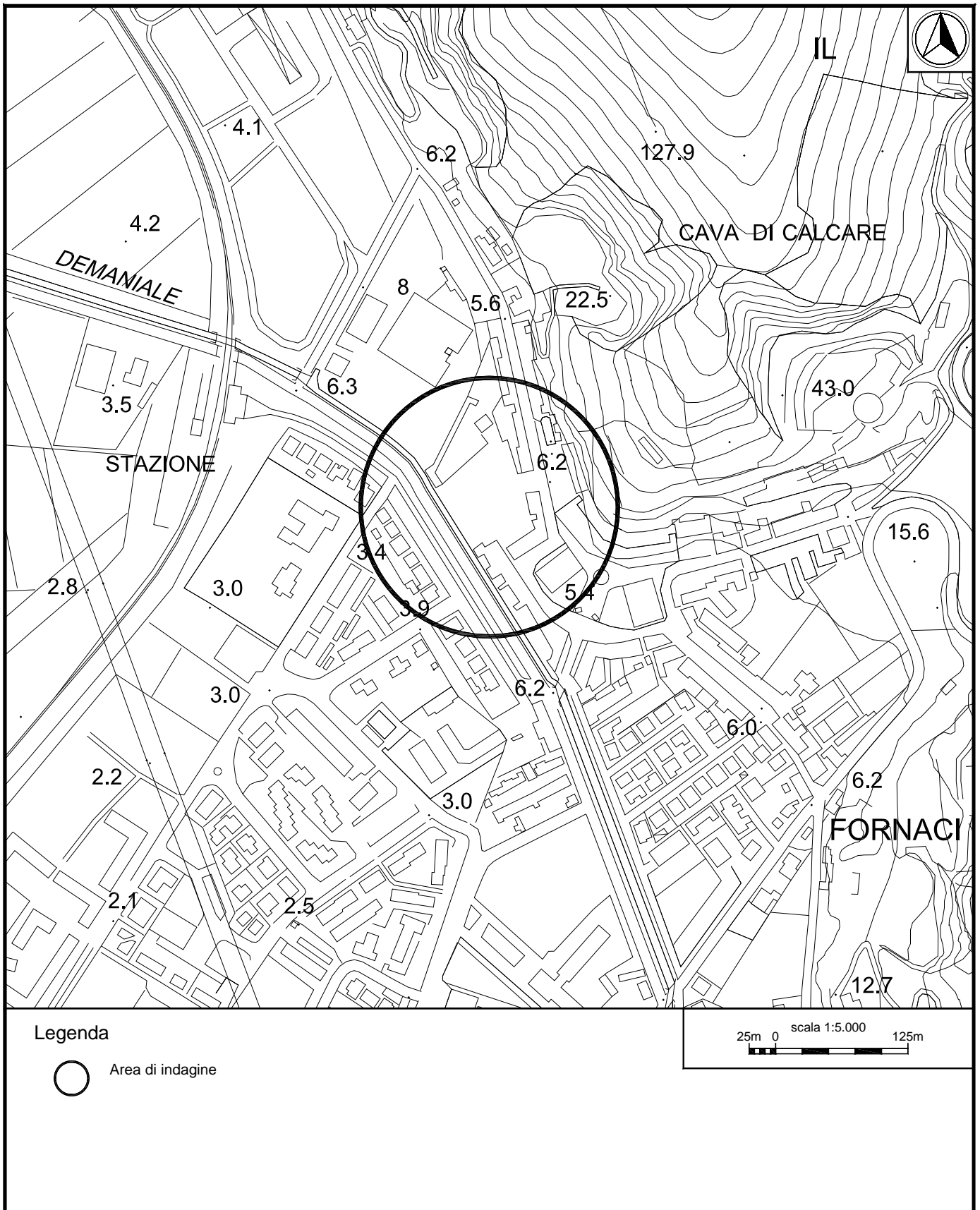


Figura 2. Ubicazione indagini – Inquadramento di dettaglio.

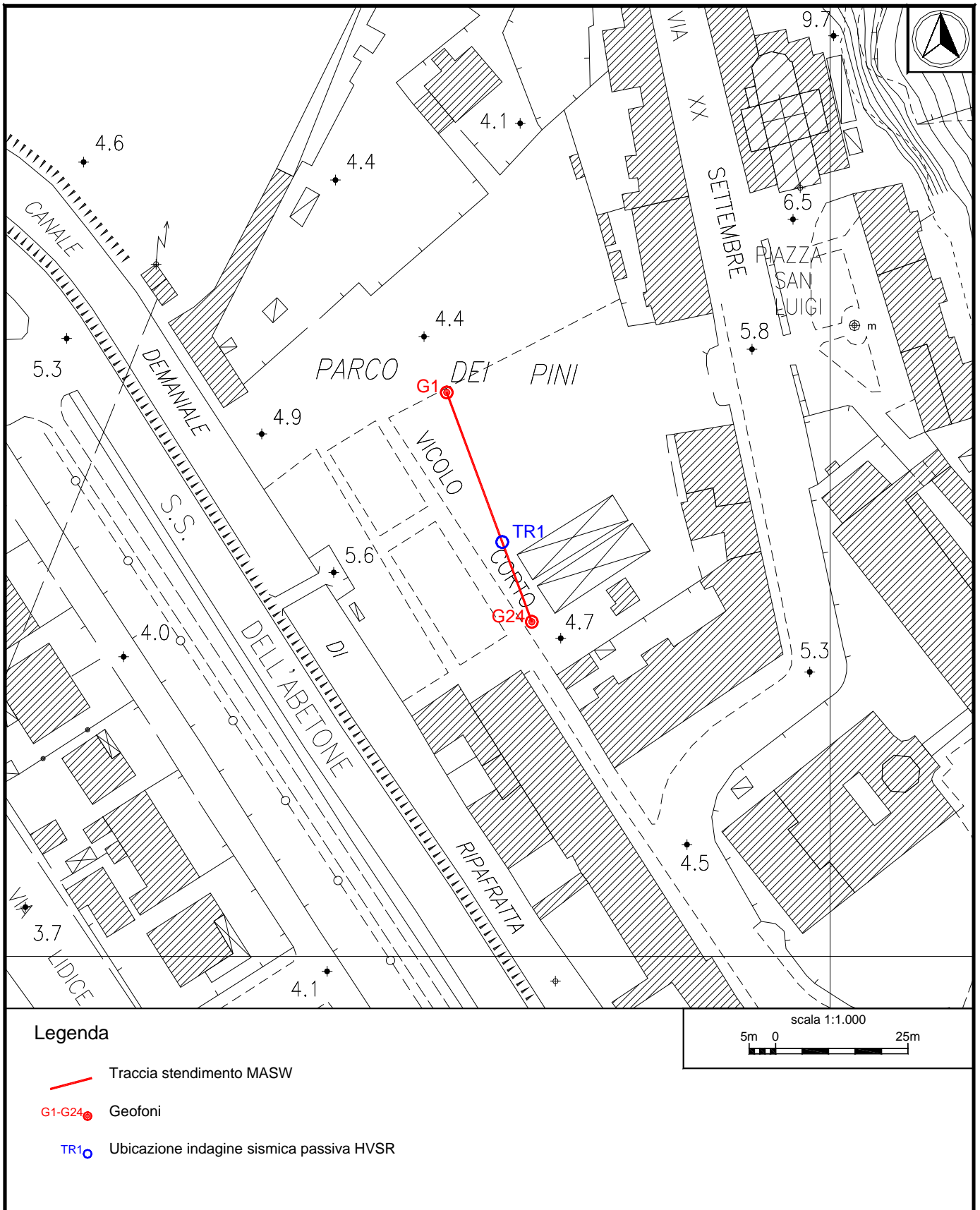
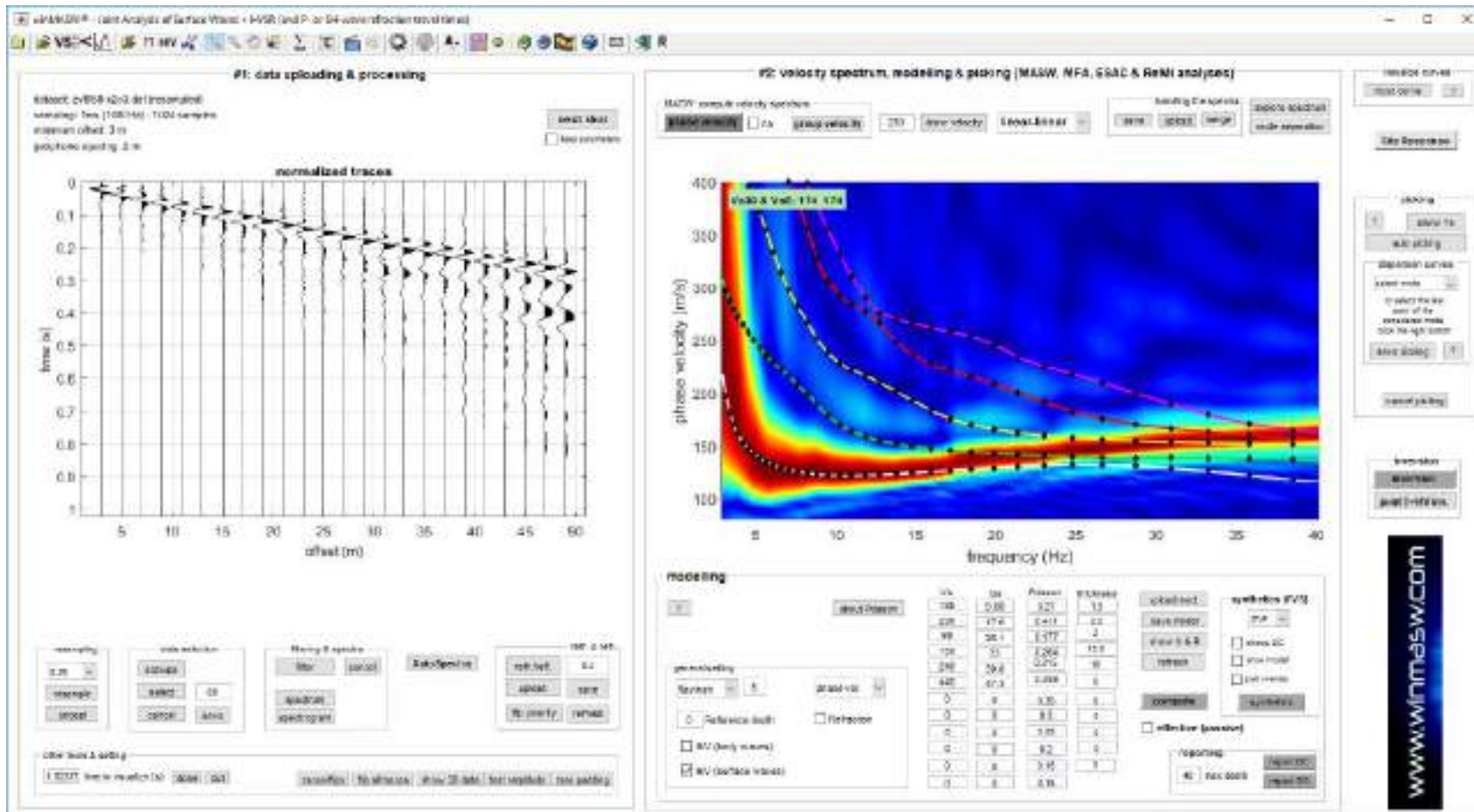
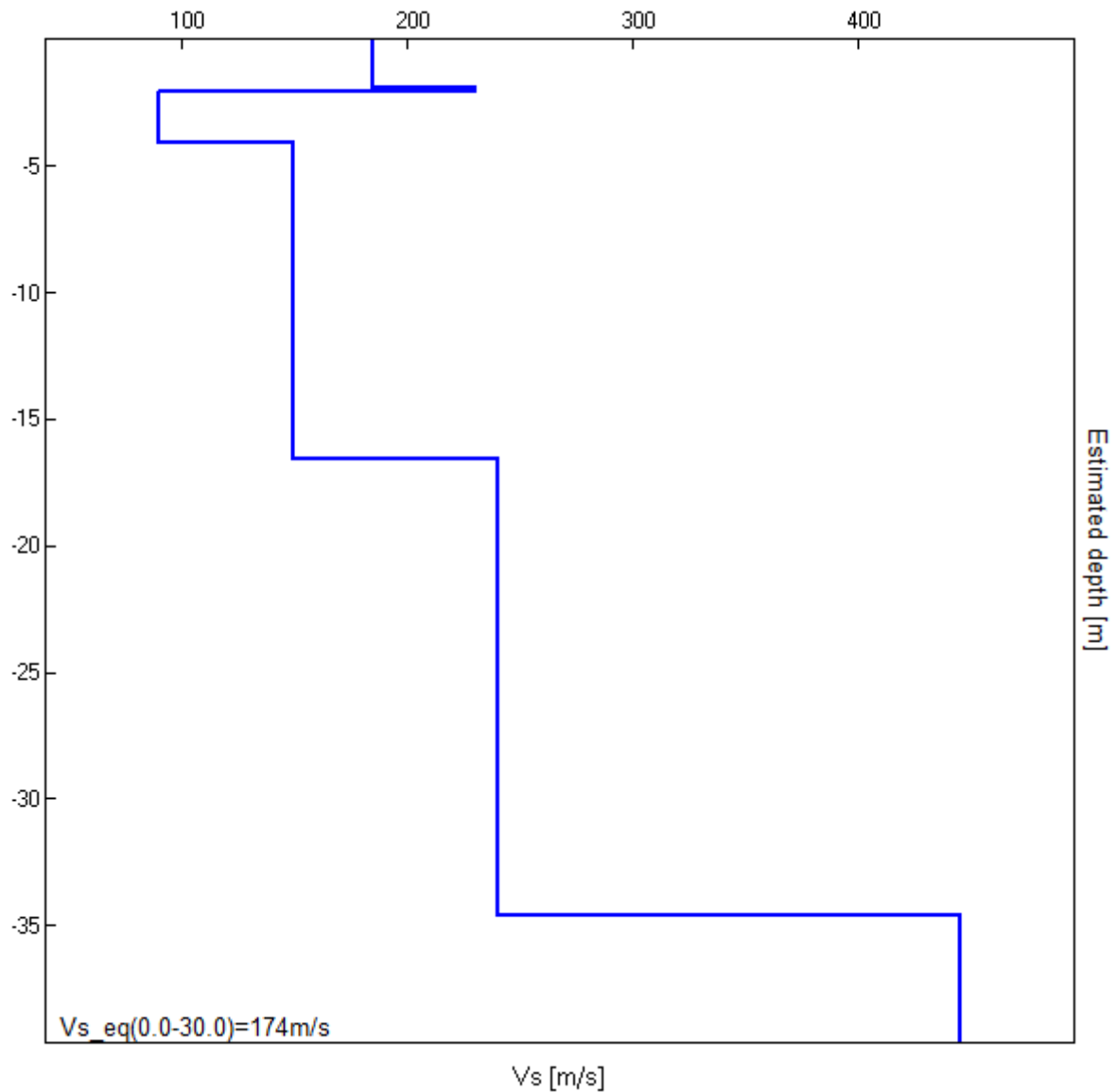


Figura 3. Indagini MASW e ubicazione indagine in sismica passiva HVSR – Particolare.



Indagine MASW. Sismogrammi, spettri di velocità e modelli di dispersione.



Indagine MASW. Profilo verticale delle Vs.

Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]
1.90	1.90	185
2.10	0.20	230
4.10	2.00	90
16.60	12.50	150
34.60	18.00	240
inf.	inf.	445

Vs_eq(0.0-30.0)=174m/s

Seguono: schede indagine HVSR – Oltre al grafico della curva sperimentale H/V e agli spettri delle tre componenti del moto in velocità, si riportano, per la verticale di misura, a titolo esplicativo, il confronto fra curva sperimentale H/V e curva teorica relative al modello di sottosuolo proposto (e, conseguentemente, il profilo delle Vs calcolato sulla verticale).

J18_068_07_12_SAN_GIULIANO_TERME_TR, PARCO_DEI_PINI TR1

Strumento: TEP-0085/01-10

Formato dati: 16 byte

Fondo scala [mV]: n.a.

Inizio registrazione: 12/07/18 10:46:48 Fine registrazione: 12/07/18 11:06:49

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h20'00".

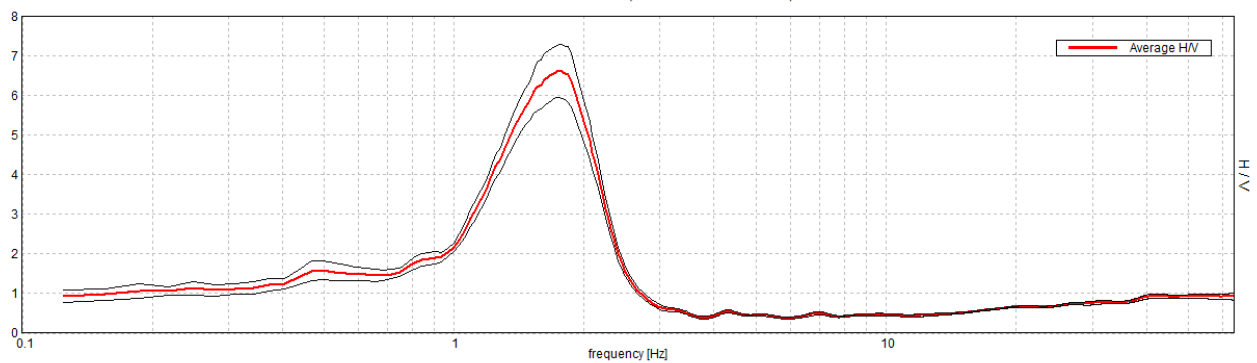
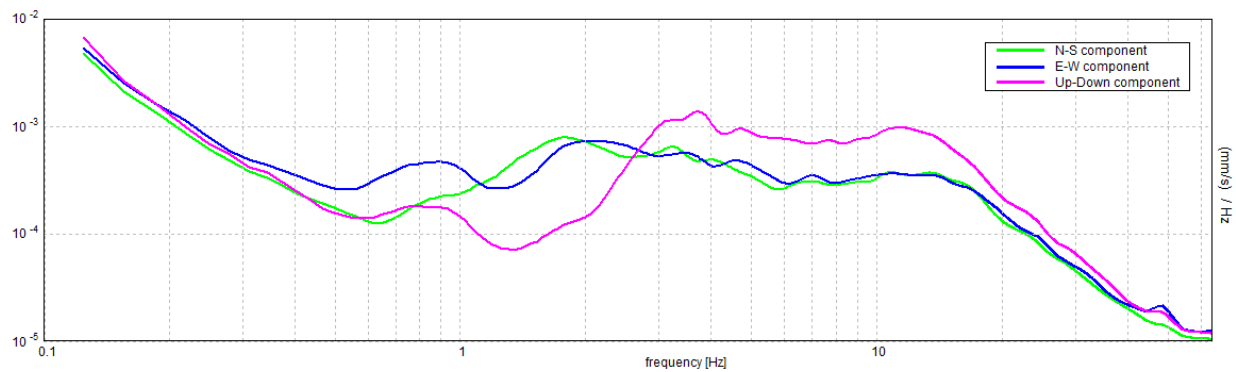
Analizzato 97% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz

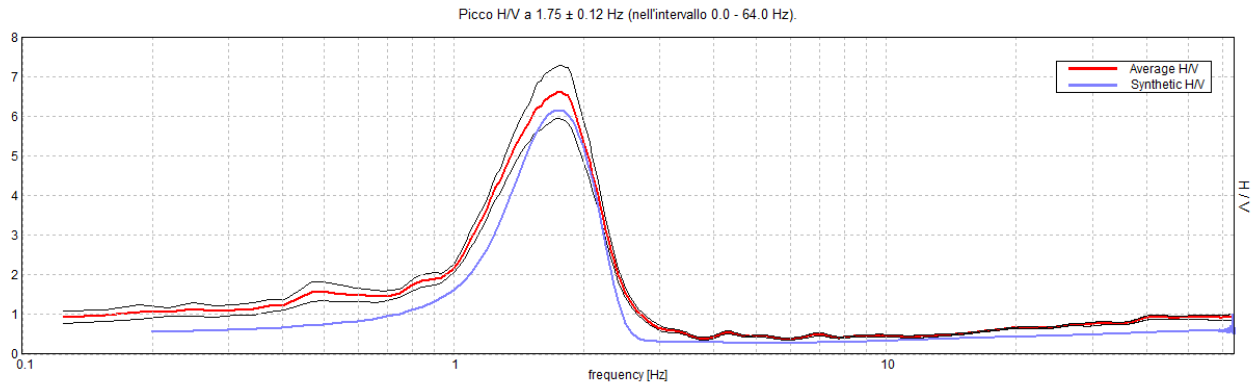
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 10%

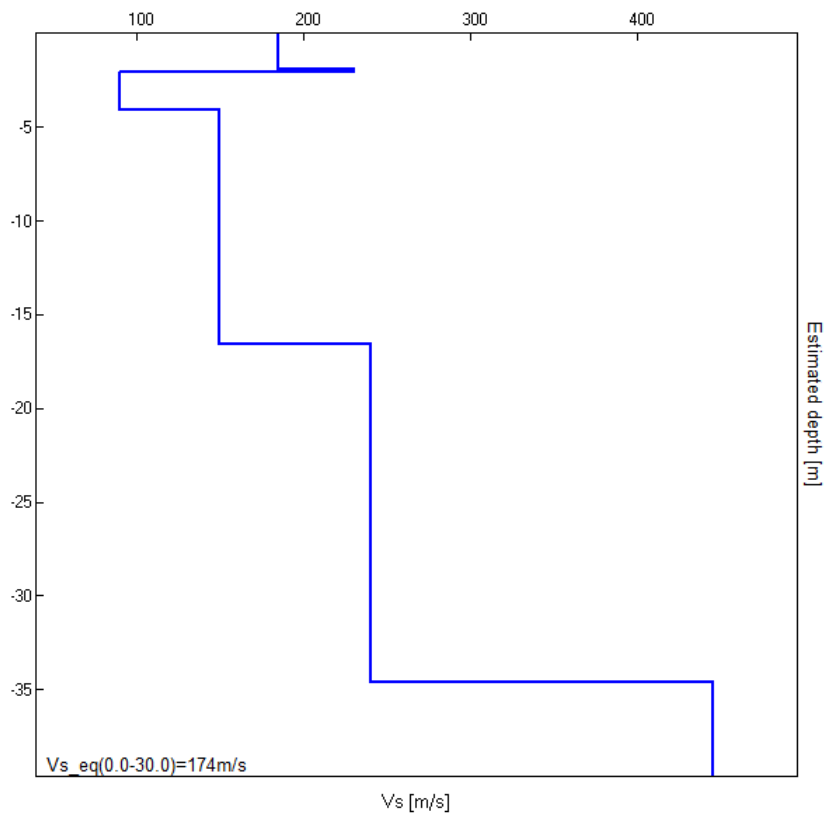
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALEPicco H/V a 1.75 ± 0.12 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).**SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI**

H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]
1.90	1.90	185
2.10	0.20	230
4.10	2.00	90
16.60	12.50	150
34.60	18.00	240
inf.	inf.	445

$Vs_{eq}(0.0-30.0)=174m/s$





Indagine MASW - Documentazione fotografica.