



---

TITOLO: Piano di recupero area ex caserma Curtatone

---

UBICAZIONE: ITALIA - Toscana - Pisa

---

ELABORATO

SCALA GRAFICA:

OGGETTO ELAB.: Relazione Geologica

---

ID DOCUMENTO: FHT PISA PP 00 000 GEO 01 00 000 CG

---

VERSIONE ELABORATO

VERSIONE: 1

DATA: 30-01-2021

REV:

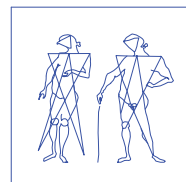
OGGETTO:

---

PROGETTISTI

Pierattelli Architetture S.r.l.

via pandolfini, 12 - 50121 firenze  
tel. 055/2346884 - fax 055/2226034



CAPOGRUPPO: Arch. Massimo Pierattelli

---

RESP. TECNICO Arch. Massimo Pierattelli  
PROGETTAZIONE:

---

RESP. PRESTAZIONE Dott. Geol. Marco Toschi  
SPECIALISTICA

Timbro e Firma

---

PROJECT MANAGER:

---

NOTE DI PROPRIETA' E DATI INVESTIRE:

**MARCO TOSCHI**  
**G E O L O G O**

Viale C. Castracani, 194/F - Arancio - Lucca  
Telefono/Fax 0583 469588 Mobile 347 4842326  
P. IVA: 01746700465 e-mail: marco.toschi@iol.it

COMUNE DI PISA

---

INDAGINI FINALIZZATE ALLA VERIFICA DELLA PERICOLOSITA' SOTTO IL PROFILO GEOLOGICO, IDRAULICO E SISMICO E DELLE CONDIZIONI DI FATTIBILITA' DEL PROGETTO DI RIQUALIFICAZIONE DELLA EX CASERMA CURTATONE-MONTANARA IN PISA

---

RICHIEDENTE: InvestiRE Società di gestione del risparmio S.p.A.

Relazione Tecnica

Dicembre 2020

## Indice

PREMESSA _____	4
1. – OGGETTO DELLA VARIANTE PIANO ATTUATIVO _____	5
2. – SINTESI DELLE CONOSCENZE _____	5
2.1 - Autorità di bacino distrettuale dell'Appennino Settentrionale _____	5
2.2 - Piano Territoriale di Coordinamento della Provincia di Pisa (PTC) _____	6
2.3 - Piano di Indirizzo Territoriale (PIT) _____	8
2.4 - Quadro conoscitivo strumenti urbanistici comunali _____	8
2.5 - Quadro conoscitivo desunto da P.S.I. di Pisa e Cascina.....	9
3. - CARATTERI GEOLOGICI GENERALI _____	10
3.1 - Geologia _____	10
3.2 - Idrogeologia _____	10
4. – GEOGNOSTICA _____	10
5. - CARATTERIZZAZIONE LITOLOGICO-GEOTECNICA _____	11
6. - ANALISI SISMICA DEL TERRENO _____	12
6.1. – Frequenza fondamentale del sottosuolo _____	13
7. - STABILITA' NEI CONFRONTI DELLA LIQUEFAZIONE _____	14
8. - ASPETTI IDRAULICI _____	14
9. – VALUTAZIONI DI PERICOLOSITA' DEL SITO _____	15
9.1 - pericolosità geologica _____	15
9.2 - pericolosità da alluvioni _____	15
9.3 - pericolosità sismica locale _____	15
10. – FATTIBILITA' DELL'INTERVENTO _____	16
10.1 - fattibilità in relazione agli aspetti geologici _____	16
10.2 - fattibilità in relazione al rischio di alluvioni _____	16
10.3 - fattibilità in relazione agli aspetti sismici _____	16

## Sintesi delle conoscenze

### *Quadro conoscitivo R.U. vigente (settembre 2019)*

- CARTA GEOLOGICA
- CARTA GEOLOGICO-TECNICA
- CARTA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA
- CARTA DELLE MOPS

### *Carte delle pericolosità redatte ai sensi del DPGR 53/R tratte dal quadro conoscitivo del P.S.I. PISA CASCINA (adozione 23/07/2020)*

- CARTA DELLA PERICOLOSITA' GEOLOGICA
- CARTA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA
- CARTA DELLA PERICOLOSITA' IDRAULICA

### *Quadro conoscitivo da Distretto Appennino Settentrionale (PGRA)*

- ESTENSIONE DELLE AREE INONDABILI PER I TRE SCENARI ALLUVIONALI

## Cartografie

- PLANIMETRIA GENERALE
- CARTA DELLE INDAGINI
- CARTA DELLA PERICOLOSITA' DA ALLUVIONI
- CARTA DELLA PERICOLOSITA' GEOLOGICA
- CARTA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE
- MODELLO STRATIGRAFICO/GEOTECNICO

## Allegati

1. Tabulati e diagrammi delle prove penetrometriche
2. Elaborazione indagine MASW
3. Elaborazione analisi di rumore HVSR

## PREMESSA

Su incarico ricevuto da InvestiRE Società di gestione del risparmio S.p.A. sono state eseguite indagini dirette ad individuare le condizioni che garantiscono la fattibilità degli interventi di trasformazione previste dal Piano di Recupero in oggetto, in ottemperanza alle normative vigenti in materia ed in particolare della LR65/2014 e del DPGR 5/R del 30/01/2020 e relative Direttive Tecniche.

Il presente studio fa riferimento agli elaborati di carattere geologico tecnico facenti parte del quadro conoscitivo del R.U. vigente e al quadro conoscitivo derivante dal Piano di gestione Rischio Alluvioni del Bacino Distrettuale Appennino Settentrionale.

E' stato inoltre preso in esame il quadro conoscitivo derivante dal Piano Strutturale Intercomunale di Pisa e Cascina, redatto ai sensi del DPGR 53/R, adottato dal Consiglio comunale di Pisa il 23/07/2020 e attualmente in fase di recepimento delle osservazioni.

Ai fini di una più ampia esposizione si riporta di seguito il quadro legislativo di riferimento, rappresentato dalle seguenti disposizioni:

- Piano stralcio "Assetto Idrogeologico" Autorità di Bacino del Fiume Arno (P.A.I.) approvato con D.P.C.M. del 06.05.2005;
- Piano Territoriale di Coordinamento della Provincia di Pisa (P.T.C.) Del.C.P. n. 100 del 27.07.2006;
- Delibera Giunta Regionale n.421 del 26-05-2014 - Aggiornamento dell'allegato 1 (elenco dei comuni) e dell'allegato 2 (mappa) della deliberazione G.R.T. n. 878 dell'8 ottobre 2012, recante "Aggiornamento della classificazione sismica regionale in attuazione dell'O.P.C.M. 3519/2006 ed ai sensi del D.M. 14.01.2008 -
- L.R. 65/2014 - Norme per il governo del territorio.
- Piano di indirizzo territoriale (PIT) con valenza di piano paesaggistico, approvato con Del. G.R. n.37 del 27.03.2015;
- Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 27 ottobre 2016 . Approvazione del Piano di gestione del rischio di alluvioni del distretto idrografico dell'Appennino Settentrionale (PGRA)
- Decreto del Presidente della repubblica n. 120 del 13 giugno 2017 – Regolamento recante la disciplina semplificata della gestione delle terre e rocce da scavo
- NTC 2018 – Decreto 17/01/2018 – Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni

- Legge Regionale 24 luglio 2018, n. 41 - Disposizioni in materia di rischio di alluvioni e di tutela dei corsi d'acqua in attuazione del decreto legislativo 23 febbraio 2010, n. 49 (Attuazione della direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni). Modifiche alla L.R. 80/2015 e alla L.R. 65/2014 e s.m.i..
- Piano Stralcio Assetto idrogeologico per la Gestione del rischio da dissesti di natura geomorfologica Autorità di Bacino Distrettuale Appennino Settentrionale – PAI Dissesti Geomorfologici adottato con delibera della Conferenza Istituzionale Permanente n.20 del 20/12/2019.
- D.P.G.R. 5/R del 30/01/2020 – Regolamento di attuazione dell'art. 104 della l.r. 65/2014.
- Direttive tecniche per lo svolgimento delle indagini geologiche, idrauliche e sismiche (approv. Del. 31 del 20/01/2020)

## **1. – OGGETTO DELLA VARIANTE PIANO ATTUATIVO**

L'intervento urbanistico in esame, al cui progetto redatto da Pierattelli Architetture S.r.l. si rimanda per maggiori dettagli, riguarda la riqualificazione dell'area ex Caserma Curtatone-Montanara in Pisa (PI).

## **2. – SINTESI DELLE CONOSCENZE**

### **2.1 - Autorità Di Bacino Distrettuale dell' Appennino Settentrionale**

#### **Piano di Gestione Rischio alluvioni (PGR)**

L'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale, nell'ambito del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni evidenzia, per l'area in esame, una **pericolosità da alluvione molto elevata P3**, corrispondente ad aree inondabili da eventi con tempo di ritorno minore/uguale a 30 anni.

Per tali aree valgono le disposizioni definite agli artt. 7 e 8 delle Norme di Piano; in particolare, per gli strumenti di governo del territorio (art. 8) sono forniti i seguenti indirizzi:

- a) sono da privilegiare le trasformazioni urbanistiche tese al recupero della funzionalità idraulica, alla riqualificazione e allo sviluppo degli ecosistemi fluviali esistenti, nonché le destinazioni ad uso agricolo, a parco e ricreativo – sportive;
- b) sono da evitare le previsioni e le realizzazioni di nuove edificazioni, salvo che non siano possibili localizzazioni alternative. In ogni caso, le previsioni di nuova

edificazione non diversamente localizzabili sono da subordinare al rispetto delle condizioni di gestione del rischio idraulico.

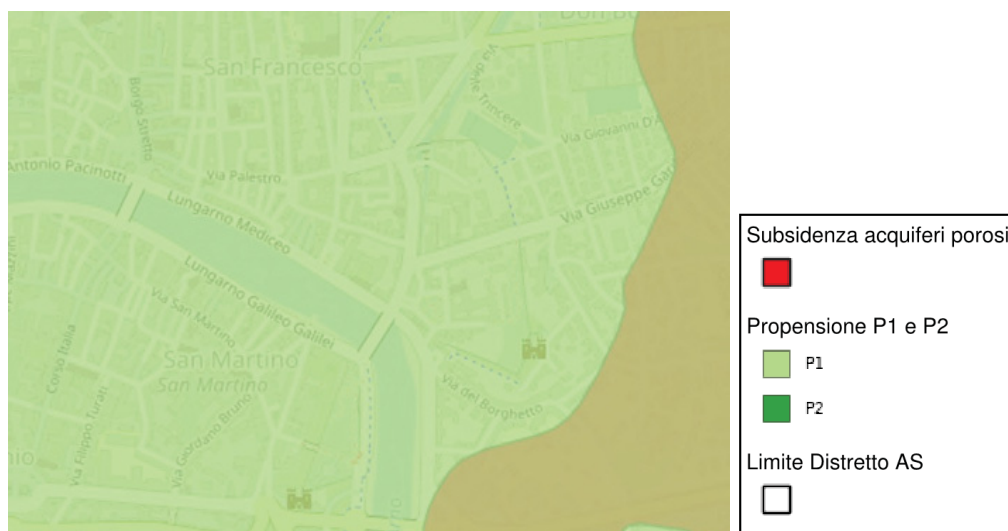
c) le previsioni e realizzazioni di interventi di ristrutturazione urbanistica sono da subordinare al rispetto delle condizioni di gestione del rischio idraulico

### **Piano di bacino Stralcio Assetto idrogeologico per la Gestione del rischio da dissesti di natura geomorfologica**

L'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale, nell'ambito del progetto Dissesti Geomorfologici evidenzia, per l'area in esame, una **pericolosità bassa P1**, corrispondente ad *aree stabili con condizioni litologiche, strutturali e geomorfologiche aventi caratteri per lo più favorevoli alla stabilità*

La disciplina di Piano all'art. 12 definisce che in tali aree *sono da privilegiare le tipologie di intervento previste dagli strumenti di governo del territorio che non determinino condizioni di instabilità e non modifichino negativamente le condizioni ed i processi geomorfologici nell'area e nelle zone potenzialmente interessate dagli interventi e dalle loro pertinenze.*

Il sito di interesse risulta inoltre esterno alle perimetrazioni delle *aree oggetto di subsidenza per effetto di emungimento di acque sotterranee (Sw)*, disciplinate all'art. 13 delle norme di Piano.



## **2.2 - Piano Territoriale di Coordinamento della Provincia di Pisa (PTC) – Del.C.P. n. 100 del 27.07.2006 pubblicato e successive varianti**

Allo stato attuale il PTC della Provincia di Pisa disciplina il territorio sotto l'aspetto della Vulnerabilità Idrogeologica mantenendo in vigore la relativa

disciplina.

Nella fattispecie l'area di interesse è classificata a vulnerabilità elevata – Sottoclasse 4a, corrispondente a *situazioni in cui la risorsa idrica presenta un grado di protezione insufficiente* (art. 20 del norme di PTC di Pisa): associata a tale classe di vulnerabilità idrogeologica le norme prevedono tramite una matrice di correlazione con le trasformazioni e le attività, una classe di rischio.

Per gli interventi su manufatti esistenti nei nuclei urbani storici e assimilati, espansioni urbane consolidate, insediamenti di interesse storico non urbani, altre unità di spazio di interesse storico, per la classe di vulnerabilità 4a, la matrice riporta un grado di rischio III e indica quando di seguito riportato:

*Ogni trasformazione di edifici soggetta a provvedimento abilitativo è subordinata all'allacciamento dell'edificio interessato alla pubblica fognatura dinamica, ove tale allacciamento non preesista. Qualora l'insediamento non sia servito da pubblica fognatura dinamica, la realizzazione di quest'ultima è assolutamente prioritaria rispetto alla realizzazione di qualsiasi altra opera pubblica interessante l'insediamento medesimo. Ove e sino a quando l'insediamento non sia servito da pubblica fognatura dinamica, lo smaltimento dei reflui degli edifici deve avvenire in pozzi neri a tenuta stagna, essendo precluso, oltre allo scarico libero nel suolo o nel sottosuolo, con dispersione mediante sub-irrigazione, dispersione mediante pozzi assorbenti, percolazione mediante sub-irrigazione con drenaggio, anche lo smaltimento in vasche settiche sia di tipo tradizionale che di tipo Imhoff.*





### **2.3 - Piano di Indirizzo Territoriale (PIT)**

**- approvato dalla Regione Toscana con Delibera C.R n. 37. del 27 marzo 2015,  
con valenza di piano paesaggistico**

Nella lista dei corsi d'acqua principali ai fini del corretto assetto idraulico, di cui all'Allegato L del P.I.T. si identifica l' Elenco di Fiumi e Torrenti riconosciuti tramite CTR:

In attesa della individuazione dei contesti fluviali di cui all'Art.16 comma 3, lettera a) del PIT e fatto salvo il rispetto dei requisiti tecnici derivanti da obblighi di legge per la messa in sicurezza idraulica, per i corsi d'acqua di cui all'Allegato L "Elenco di Fiumi e Torrenti riconosciuti tramite CTR" sopra riportati , valgono le tutele previste dall'Art.16, comma 4 del PIT nella fascia di 150 metri individuata con le modalità di cui all'elaborato di piano 7B:

a) tutela dei caratteri morfologici e figurativi dei fiumi e torrenti e gli aspetti storico-culturali del paesaggio fluviale;

b) evitare i processi di artificializzazione dei fiumi e dei torrenti e ulteriori processi di urbanizzazione, garantendo che gli interventi di trasformazione non compromettano i rapporti figurativi identitari dei paesaggi fluviali, le visuali connotate da un elevato valore estetico-percettivo e la qualità degli ecosistemi. Restano ferme le disposizioni emanate con la Legge Regionale 24 luglio 2018, n. 41.

### **2.4 - QUADRO CONOSCITIVO STRUMENTI URBANISTICI COMUNALI**

Il comune di Pisa è dotato di un Piano Strutturale approvato nel 1998 e successive varianti parziali e di un regolamento urbanistico approvato nel 2001 e successive modifiche apportate con varianti parziali. Nell'ambito della variante al RU "Integrazione disposizioni normative" approvata nel novembre 2019 è stata richiesta un aggiornamento delle indagini geologiche, idrogeologiche e sismiche ai sensi della L.R. 65/2014 e del DPGR 53/R/2011. In questo contesto è stato effettuato l'aggiornamento del Quadro Conoscitivo, approvato con Deliberazione del Consiglio Comunale del 28/01/2020. Gli elaborati facenti parte del Quadro Conoscitivo del RU sono i seguenti:

- Relazione Microzonazione Sismica
- Carta Geologica
- Carta Dati Di Base

- Carta Geologico Tecnica
- Carta Frequenze
- Carta Mops
- Carta Pericolosità Sismica
- Relazione di accompagnamento alla Carta Geomorfologica
- Carta Geomorfologica

Per quanto concerne le carte di pericolosità geologica e idraulica il riferimento è la carta della pericolosità di supporto al Piano Strutturale del 1998 redatta ai sensi della Del. 94/85 e del DCR 230/94.

Dall'analisi di tali cartografie si evince che l'area in esame è caratterizzata dalle seguenti classi di pericolosità:

- problematiche geologiche classe 3a - pericolosità MEDIO-BASSA – Zone in cui il tetto delle argille compressibili è inferiore a 2 metri PS 1998 (ai sensi della Del. 94/85)
- problematiche idrauliche ambito "B" PS 1998 (ai sensi della DCR 230/94)
- pericolosità sismica S3 Aggiornam. RU 2019 (ai sensi del 53/R)

## 2.5 - Quadro Conoscitivo Desunto Da Piano Strutturale Intercomunale Di Pisa E Cascina

Il Piano Strutturale Intercomunale, adottato in Consiglio comunale il 23/07/2020, contiene indagini geologico-tecniche e idrauliche redatte ai sensi del **Regolamento Regionale 53/R**. Dalle cartografie di piano si desumono i seguenti gradi di pericolosità:

pericolosità geologica pericolosità <b>BASSA</b>	<b>G1</b> -	aree in cui i processi geomorfologici e le caratteristiche litologiche, giaciture non costituiscono fattori predisponenti al verificarsi di processi morfoevolutivi
pericolosità idraulica pericolosità <b>ELEVATA</b>	<b>I3</b> -	aree di fondovalle inondabili al verificarsi dell'evento con portata al colmo di piena corrispondente a periodo di ritorno $30 < Tr \leq 200$ anni,
pericolosità sismica pericolosità <b>MEDIA</b>	<b>S2</b> -	Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali che non rientrano tra quelli previsti per la classe di pericolosità S.3.

### **3. - CARATTERI GEOLOGICI GENERALI**

L'area oggetto di recupero si colloca nel centro storico di Pisa, in sinistra idrografica del F. Arno, su terreni pianeggianti posti alla quota di circa 3.3÷3.6 s.l.m. e si estende per circa 12.000 metri quadrati.

#### **3.1 - Geologia**

Dal punto di vista geologico la zona è caratterizzata da depositi geologicamente recenti (Pleistocene-Olocene) di ambiente lagunare e palustre; si tratta di limi, argille e sabbie fini, intercalati a sabbie eoliche. L'area di intervento si caratterizza per la presenza – in superficie - di materiale di riporto. In generale si tratta di terreni eterogenei rimaneggiati, con caratteristiche geotecniche molto variabili in relazione al tipo di materiale, quindi la coesione può variare molto in relazione al contenuto locale di argilla o limo e l'angolo di attrito interno al tenore di materiale sabbioso o ghiaioso grossolano (v. Quadro Conoscitivo R.U. – CARTA GEOLOGICA e CARTA GEOLOGICO-TECNICA).

Nel volume di nostro interesse, procedendo dal piano di campagna verso il basso, oltre il riporto di spessore variabile intorno a due metri, si incontrano strati misti di limi-argillosi e sabbie, di colore marrone giallastro/olivastro, per una potenza complessiva di circa 8/9 metri. Tale orizzonte sovrasta un potente livello francamente argilloso che, secondo le conoscenze generali, si può rinvenire anche fino alla profondità di circa 40 metri .

#### **3.2 - Idrogeologia**

Dal punto di vista idrogeologico è possibile fare le seguenti considerazioni di carattere generale: nel sottosuolo sono presenti tre principali orizzonti idrici: uno superiore - freatico, due inferiori - confinati.

Ai fini dell'intervento in parola è di stretto interesse comprendere il sistema acquifero freatico che si presenta più o meno continuo e comprende alcune limitate falde sospese, con livelli di falda posti mediamente fra uno e due metri dal piano di campagna. Il livello freatico, secondo la misurazione effettuata dal sottoscritto durante le indagini geognostiche del 7/12/2020, stazionava alla profondità di circa -1,20 m dal piano di campagna.

### **4. – GEOGNOSTICA**

In questa fase la caratterizzazione stratigrafica e geotecnica dell'area è stata effettuata mediante n. 5 prove penetrometriche statiche (CPT). Lo strumento

utilizzato è un penetrometro statico-dinamico Pagani Geotechnical Equipment modello TG63/200 da 20 t di spinta avente le seguenti caratteristiche:

- punta conica meccanica  $\varnothing$  35.7 mm, angolo di apertura  $\alpha = 60^\circ$
- manicotto laterale di attrito tipo 'Begemann'
- velocità di avanzamento costante  $V = 2 \text{ cm / sec}$  ( $\pm 0,5 \text{ cm / sec}$ )

Maggiori specifiche tecniche sono riportate in Allegato n. 01, dove sono inoltre riportate le misure di campagna (alla punta e laterale) effettuate ogni 20 cm di avanzamento. Sulla base del rapporto:  $F = (q_c / f_s)$  (Begemann 1965-Raccomandazioni A.G.I. 1977) sono state effettuate le scelte litologiche e pertanto la ricostruzione stratigrafica dei terreni attraversati. Le letture effettuate, secondo correlazioni proposte da vari autori, hanno consentito infine la determinazione dei principali parametri geotecnici. Le penetrometrie effettuate hanno consentito di indagare i terreni fino alla profondità di metri quindici.

## 5 - CARATTERIZZAZIONE LITOLOGICO-GEOTECNICA

I risultati delle indagini citate, raffrontati con le conoscenze generali della zona, hanno consentito di ricostruire il seguente profilo stratigrafico/geotecnico, da considerare sostanzialmente omogeneo alla scala di intervento. Trattasi di quattro livelli (unità geotecniche) per le quali si indicano i parametri geotecnici mediante una stima ragionata e cautelativa dei parametri medi:

**da metri 0.00 a metri 2.20 - UNITA' GEOTECNICA "A":**  
**terreno rimaneggiato/riportato prevalentemente sabbioso frammisto a materiale arido minuto e laterizi, colore marrone scuro**  
 $\gamma = 1.78 \text{ t/mc}$   
 $\gamma_{\text{sat}} = 1.85 \text{ t/mc}$   
 $\phi' = 25^\circ$   
 $c' = 0.00 \text{ Kg/cmq}$   
 $mv = 0.030 \text{ cmq/kg}$

**da metri 2.20 a metri 3.40 - UNITA' GEOTECNICA "B":**  
**limi argillosi prevalenti di colore marrone-olivastro**  
 $\gamma = 1.95 \text{ t/mc}$   
 $\gamma_{\text{sat}} = 2.05 \text{ t/mc}$   
 $\phi' = 23^\circ$   
 $c' = 0.00 \text{ Kg/cmq}$   
 $mv = 0.055 \text{ cmq/kg}$

**da metri 3.40 a metri 10.80 - UNITA' GEOTECNICA "C":**

**sabbie e sabbie limose**

$$\gamma = 1.90 \text{ t/mc}$$

$$\gamma_{\text{sat}} = 2.00 \text{ t/mc}$$

$$\phi' = 33^\circ$$

$$c' = 0.00 \text{ Kg/cmq}$$

$$mv = 0.015 \text{ cmq/kg}$$

**da metri 10.80 a metri 15.00 - UNITA' GEOTECNICA "D":**

**argille plastiche, normalconsolidate**

$$\gamma = 1.80 \text{ t/mc}$$

$$\gamma_{\text{sat}} = 1.90 \text{ t/mc}$$

$$\phi' = 25^\circ$$

$$c' = 0.05 \text{ Kg/cmq}$$

$$Cu = 0.70 \text{ Kg/cmq}$$

$$mv = 0.013 \text{ cmq/kg}$$

I parametri geotecnici caratteristici indicati per i vari orizzonti sono di seguito specificati:

$\gamma$ : **peso di volume naturale**

$mv$ : **coefficiente di compressibilità volumetrica**

Parametri di resistenza al taglio a lungo termine (espressi in termini di tensioni efficaci):

$\phi'$  **angolo di resistenza a taglio efficace**

$c'$  **coesione consolidata drenata**

Parametri di resistenza al taglio a breve termine (espressi in termini di tensioni totali):

$Cu$  **coesione non drenata**

## 6 - ANALISI SISMICA DEL TERRENO

Il Comune di Pisa, ai sensi dell'Allegato 1 della Del. 421 del 26/05/2014 (Aggiornamento della classificazione sismica regionale) è stato confermato nella Zona sismica 3. Sulla base dell'indagine geofisica di tipo sismico MASW appositamente effettuata sull'area di intervento (v. allegato n. 02) il valore della  $V_{\text{EQUIVALENTE}}$  determinato risulta pari a 192 m/s. Tale assetto sismostratigrafico

individua una zona suscettibile di amplificazione sismica, ovvero dove il moto sismico viene modificato a causa delle caratteristiche litostratigrafiche.

### **6.1. – FREQUENZA FONDAMENTALE DEL SOTTOSUOLO**

La tecnica utilizzata per determinare la frequenza fondamentale del sottosuolo si avvale del metodo dei rapporti spettrali HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio). L'individuazione della frequenza fondamentale del sottosuolo o frequenza caratteristica di risonanza del sito, rappresenta un parametro fondamentale per evidenziare la presenza di contrasti nella velocità di propagazione delle onde di taglio ( $V_s$ ) all'interno delle coperture, contrasti che sono i principali responsabili dei fenomeni amplificativi del moto sismico in superficie. L'individuazione della frequenza caratteristica di risonanza del sito permette inoltre di valutare la possibilità di insorgenza del pericoloso fenomeno della "doppia risonanza", che si manifesta quando la frequenza propria di vibrazione dei fabbricati replica (o comunque approssima) quella propria del terreno.

Il rumore sismico ambientale, presente ovunque sulla superficie terrestre, è generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica oltre che, ovviamente, dall'attività dinamica 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 artificialmente, come ad esempio nella sismica attiva. Anche il debole rumore sismico infatti, che tradizionalmente costituisce la parte di segnale scartato dalla sismologia classica, contiene informazioni. Questa informazione si ritrova all'interno del rumore casuale e può essere estratta attraverso tecniche opportune. Una di queste tecniche è la teoria dei rapporti spettrali o, semplicemente, HVSR che è in grado di fornire stime affidabili delle frequenze principali dei sottosuoli, informazione di notevole importanza nell'ingegneria sismica.

Per l'analisi del microtremore sismico è stato utilizzato un tromografo digitale (Echotromo) con software di elaborazione dedicato. Dalle registrazioni del rumore sismico è stata ricavata la curva H/V utilizzando i seguenti parametri:

- Tempo di acquisizione: 60 min
- Frequenza di campionamento: 200 Hz

L'analisi della curva (si rimanda all'Allegato n. 3 per maggiori dettagli) evidenzia che i picchi chiaramente identificabili e aventi fattore di amplificazione maggiore o uguale a 1.5 sono:

**picco n.1: 15.05 Hz; picco n.2: 0.44 Hz**

Dall'analisi degli spettri delle singole componenti nello spettro di Fourier il picco n.1 sembra essere il risultato di due massimi assoluti e di un massimo relativo (flesso) mentre il picco n.2 sembra non avere natura antropica e quindi probabilmente da ricondursi a passaggi litostratigrafici.

La frequenza di picco della curva H/V sperimentale principale equivale a 0.44 Hz.

## **7. - STABILITA' NEI CONFRONTI DELLA LIQUEFAZIONE**

Sulla base degli studi di microzonazione sismica condotti a supporto del Piano Strutturale Intercomunale l'area in esame si colloca nelle aree distinte in ZONA 5. Per tali zone il potenziale di liquefazione è stato valutato mediante metodi semplificati e il rischio di liquefazione è risultato MOLTO BASSO. Tuttavia ai sensi del punto § 7.11.3.4.2 del D.M. 2018, nel caso specifico il sito non è possibile escludere a priori la possibilità di liquefazione.

## **8. - ASPETTI IDRAULICI**

In merito agli aspetti idraulici lo studio di riferimento per la definizione dei battenti, delle velocità, e delle pericolosità idrauliche derivanti dal Fiume Arno e dal Canale Scolmatore è quello redatto da DHI S.r.l. per conto del Comune di Pisa *“Approfondimenti e nuove valutazioni del quadro conoscitivo relativo alla pericolosità idraulica delle aree poste nel territorio comunale di Pisa”* del Dicembre 2016.

L'area di nostro interesse è piuttosto ampia e risulta interessata sia da scenari per alluvioni frequenti che poco frequenti; la simulazione della propagazione dell'acqua nell'area urbana - rispetto allo scenario per alluvioni poco frequenti - stima un battente massimo variabile, prevalentemente compreso nella fascia tra 50 e 100 cm con velocità massime inferiori a 0,5 m/s .

Ai sensi della L.R. 41/2018 si valuta una magnitudo da moderata (M1) a severa (M2).

Magnitudo idraulica		
Battente	Velocità della corrente	
	vel <= 1 m/s	vel > 1 m/s
h > 1 m	M3 molto severa	M3 molto severa
0,5 < h =<1 m	M2 severa	M3 molto severa
h <= 0,5 m	M1 moderata	M2 severa

## 9. – VALUTAZIONI DI PERICOLOSITA' DEL SITO

L'area di intervento è distinta in aree a pericolosità geologica, da alluvione e sismica locale sulla base degli approfondimenti effettuati in questa sede.

### 9.1 - pericolosità geologica

Sulla base delle informazioni geologiche generali e della caratterizzazione stratigrafica e geotecnica effettuata in questa sede l'area oggetto di intervento di recupero può essere inserita in **Pericolosità geologica bassa (G.1)**, in quanto le caratteristiche litologiche non costituiscono fattori predisponenti al verificarsi di processi morfoevolutivi.

### 9.2 - pericolosità da alluvioni

Gli elementi conoscitivi per la valutazione degli aspetti idraulici si riferiscono al reticolo idrografico individuato dalla Regione ai sensi dell'articolo 22, comma 2, lettera e), della l.r.79/2012, interferente con il territorio urbanizzato e alle mappe di pericolosità da alluvione come definite dall'articolo 2 della l.r.41/2018. L'area oggetto di trasformazione rientra nelle aree a **pericolosità per alluvioni frequenti (P3)**, come definite dall'articolo 2, comma 1, lettera d) della l.r.41/2018

### 9.3 - pericolosità sismica locale

Sulla base delle informazioni raccolte riguardanti le caratteristiche stratigrafiche e geotecniche del sito ed in ragione della misura diretta delle velocità di



propagazione delle onde di taglio ( $V_s$ ) effettuata direttamente, integrata con le misure passive del rumore ambientale a stazione singola, ha consentito la valutazione delle condizioni di pericolosità sismica locale dell'area studiata. Trattasi di zona stabile dove il moto sismico è tuttavia modificato a causa delle caratteristiche litostratigrafiche e pertanto sono da attendersi fenomeni di amplificazione stratigrafica; altresì sulla base delle informazioni disponibili non è possibile escludere a priori il rischio di liquefazione dinamica.

Tutto ciò premesso l'area oggetto di trasformazione può essere inserita in **Pericolosità sismica locale elevata (S.3)**.

## **10. – FATTIBILITA' DELL'INTERVENTO**

### **10.1 - fattibilità in relazione agli aspetti geologici**

Non si dettano specifiche condizioni di attuazione dovute a limitazioni di carattere geomorfologico, fatto salvo il regime autorizzativo di legge.

### **10.2 - fattibilità in relazione al rischio di alluvioni**

La fattibilità degli interventi edilizi è condizionata al rispetto di quanto disposto dalla L.R. 41/2018, oltre a quanto già previsto dalla pianificazione di bacino ed è subordinata alla gestione del rischio di alluvioni rispetto allo scenario per alluvioni poco frequenti, con opere idrauliche, opere di sopraelevazione, interventi di difesa locale, ai sensi dell'articolo 8, comma 1 della l.r.41/2018. Facendo specifico riferimento ai parcheggi e agli spazi pubblici sono inoltre da prevedersi procedure atte a regolarne l'utilizzo in fase di evento.

### **10.3 - fattibilità in relazione agli aspetti sismici**

In sede di progettazione edilizia, è prescritto quanto segue:

- dovranno effettuarsi indagini geognostiche e verifiche geotecniche sia per il calcolo del fattore di sicurezza relativo alla liquefazione dei terreni, sia finalizzate alle verifiche dei cedimenti.
- la valutazione dell'azione sismica è supportata da specifiche analisi di risposta sismica locale (in conformità NTC 2018, paragrafo 3.2.2 e paragrafo 7.11.3) nel caso in cui la realizzazione del nuovo edificio a destinazione residenziale, ricada in classe d'indagine 4, così come definita dal regolamento di attuazione dell'articolo 181 della l.r.65/2014.

- la fattibilità degli interventi sul patrimonio edilizio esistente, fatti salvi quelli che non incidono sulle parti strutturali degli edifici e fatti salvi gli interventi di riparazione o locali (NTC18, punto 8.4.3), è subordinata all'esecuzione di interventi di miglioramento o adeguamento sismico (in coerenza con le NTC 2018, punto 8.4)

Lucca, 18 dicembre 2020

Geol. Marco Toschi

CARTA GEOLOGICA

scala 1: 25.000



**GEOLOGIA**



f - fiume Arno



u - aree urbanizzate.



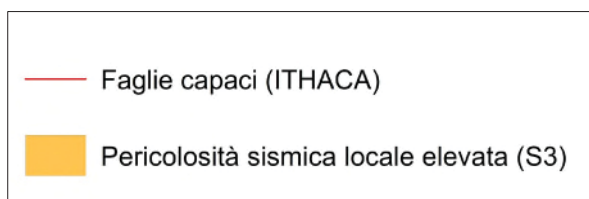
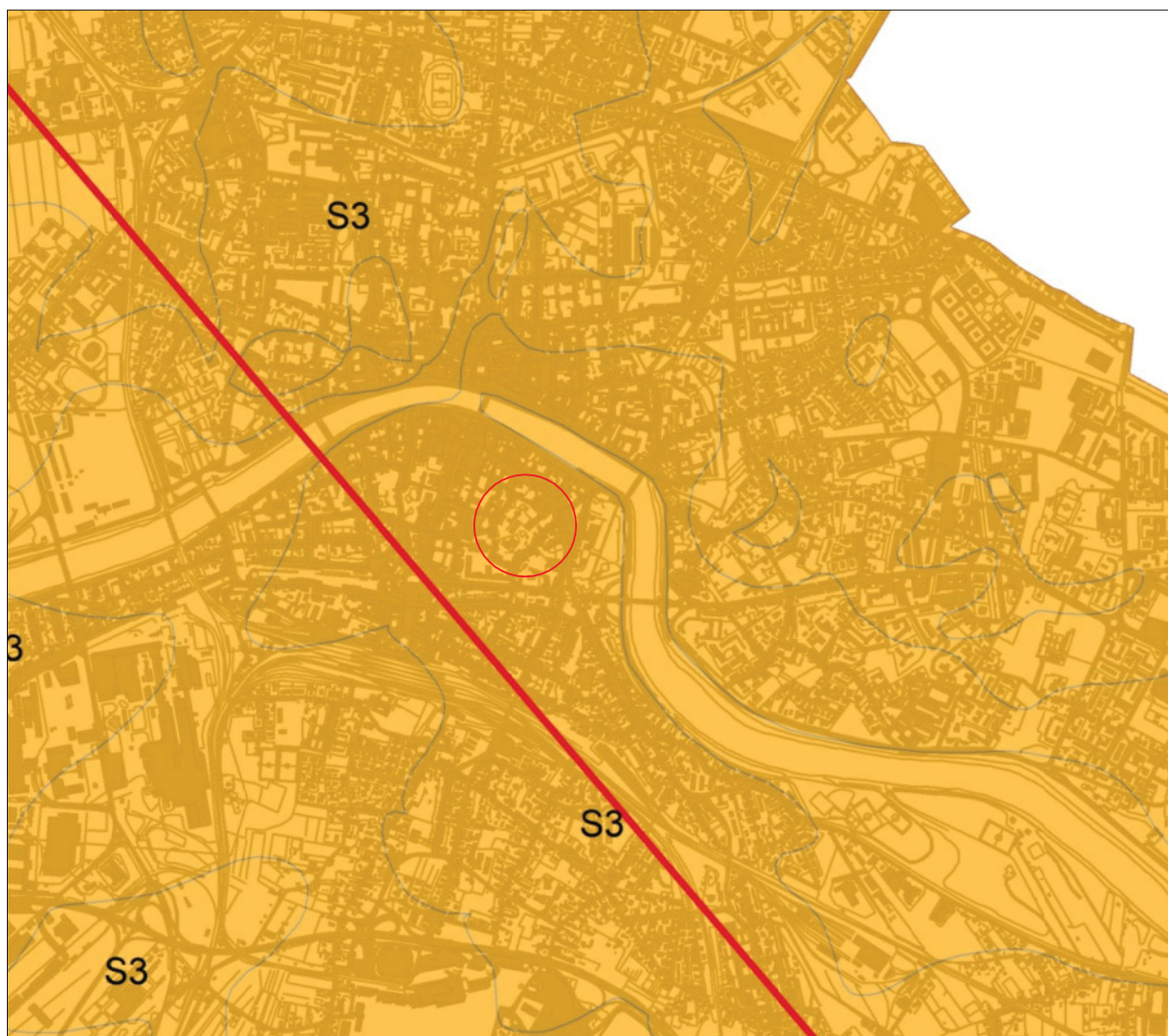
la - limi di colore marrone, con intercalazioni da centimetriche a decimetriche di sabbie di colore nocciola, da fini a medie, con grado variabile di pedogenesi. Depositi di argine o ventaglio di



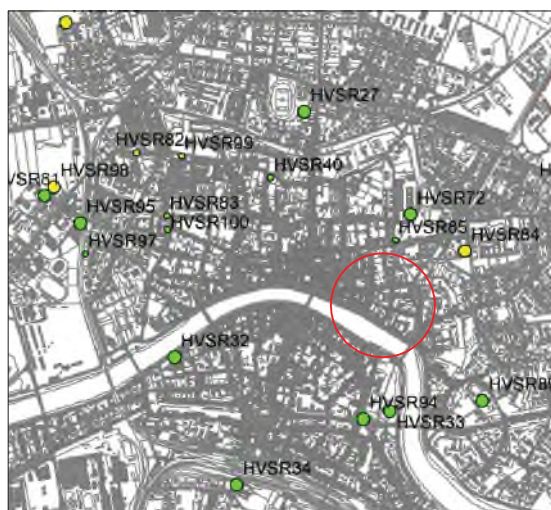
a - limi e limi argillosi associati ad argille e argille limose di colore marrone, con screziature gialle e grado di pedogenesi variabile. Depositi di plana inondabile.

CARTA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA

scala 1: 25.000



CARTA DELLE FREQUENZE

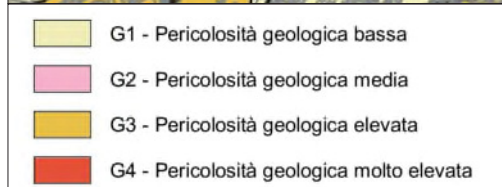
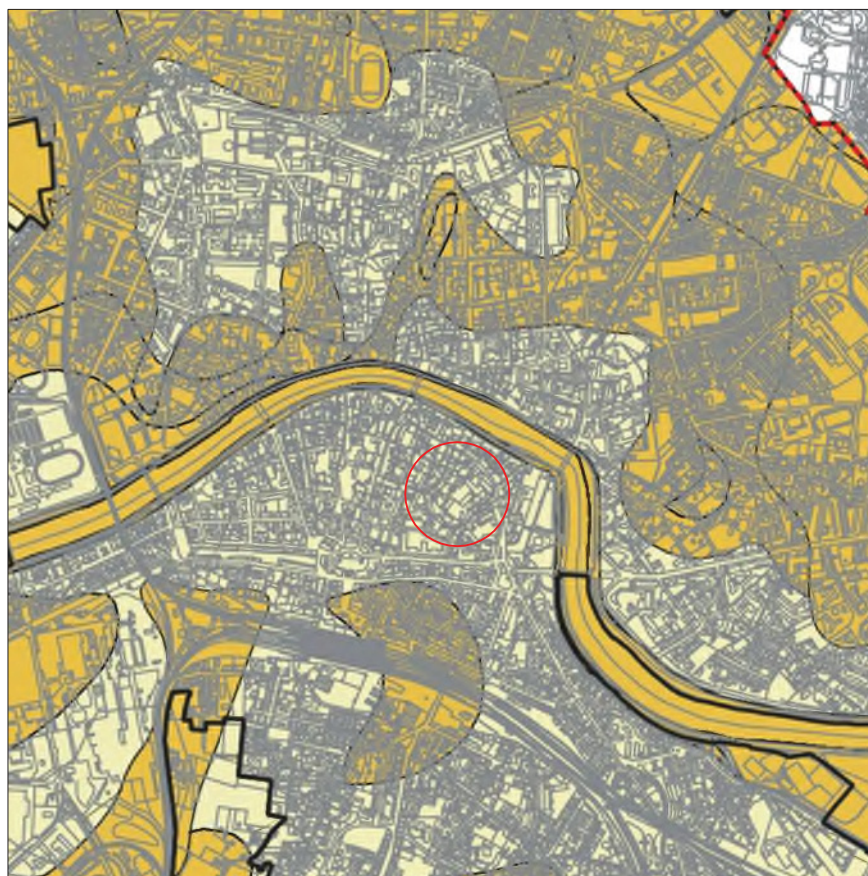


Legenda delle frequenze fondamentali di vibrazione

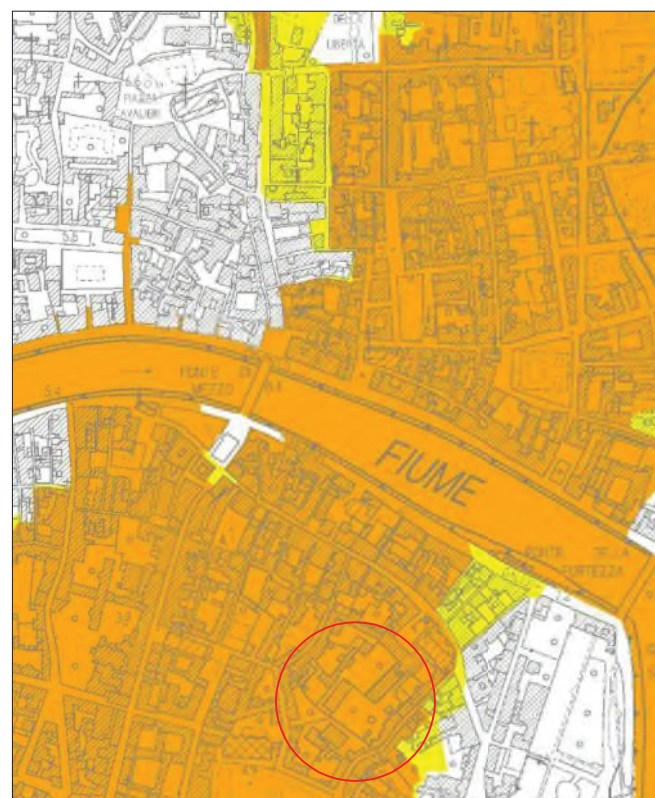
A	f (Hz)
○ 1 - 2	● 0,2 ≤ f ≤ 1
○ 3 - 4	● 1 < f ≤ 2
○ 5 - 6	● 2 < f ≤ 3
○ 7 - 8	● 3 < f ≤ 5
	● 5 < f

**CARTA DELLA PERICOLOSITA' GEOLOGICA**

scala 1: 25.000



**CARTA DELLA PERICOLOSITA' IDRAULICA**







ITUTO TECNICO  
NASIO E LICEO  
SCIENTIFICO  
ULISSE DINI



- perimetro area oggetto di recupero



- **hvsr** Acquisizione in sismica passiva elaborata HVSr
- ● **masw** Acquisizione spettrale MASW
- **cpt 2** Penetrometria statica (cone penetration test)





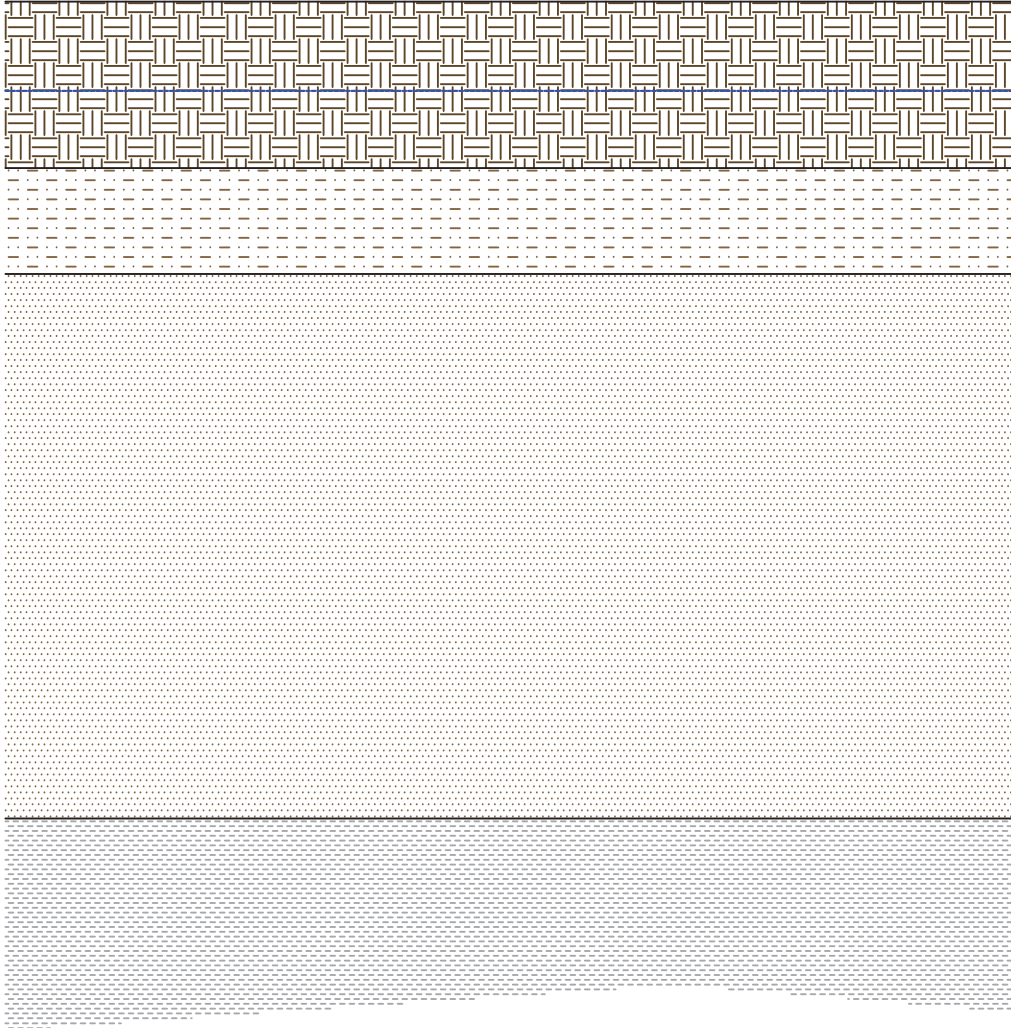
Aree a pericolosità per alluvioni frequenti (P3), come definite dall'artic



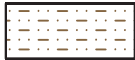
Pericolosità geologica bassa (G.1)



Pericolosità sismica locale elevata (S.3)



UNITA' GEOTECNICA "A": Terreno rimaneggiato/riportato prevalentemente sabbioso, frammisto a materiale arido minuto e laterizi, colore marrone scuro  
( $\gamma_k=1.78$  t/mc;  $\gamma_{satk}=1.85$  t/mc;  $\phi^{\circ}k=25^{\circ}$ ;  $c^{\circ}k=0.00$  Kg/cmq;  $mv=0.030$  cmq/kg)



UNITA' GEOTECNICA "B": limi argillosi prevalenti di colore marrone-olivastro  
( $\gamma_k=1.95$  t/mc;  $\gamma_{satk}=2.05$  t/mc;  $\phi^{\circ}k=23^{\circ}$ ;  $c^{\circ}k=0.00$  Kg/cmq;  $mv=0.055$  cmq/kg)



UNITA' GEOTECNICA "C": sabbie e sabbie limose  
( $\gamma_k=1.90$  t/mc;  $\gamma_{satk}=2.00$  t/mc;  $\phi^{\circ}k=33^{\circ}$ ;  $c^{\circ}k=0.00$  Kg/cmq;  $mv=0.015$  cmq/kg)



UNITA' GEOTECNICA "D": argille plastiche, normalconsolidate  
( $\gamma_k=1.80$  t/mc;  $\gamma_{satk}=1.90$  t/mc;  $\phi^{\circ}k=25^{\circ}$ ;  $c^{\circ}k=0.05$  Kg/cmq;  $C_{uk}=0.70$  Kg/cmq;  $mv=0.013$  cmq/kg)

— Livello di falda freatica (misurato in data 7/12/2020: 1,18 m da p.c.)

TABULATI E DIAGRAMMI DELLE PROVE PENETROMETRICHE

Geotecnica

Geofisica

Monitoraggio idrogeologico



Indagini Ambientali

**Committenza:** Geol. Marco Toschi

**località:** ex cas. Curtatone Montanara - Pisa

**data esecuzione indagine:** 07/12/2020

**tipologia di indagine:** n.5 CPT

**strumentazione:** Pagani TG 63/200

**software elaborazione:** WinCpt2

**data produzione elaborati:** 14/12/2019



SEDE OPERATIVA E SEDE LEGALE: VIA PESCIATINA, 1560/A - 55100 LUCCA

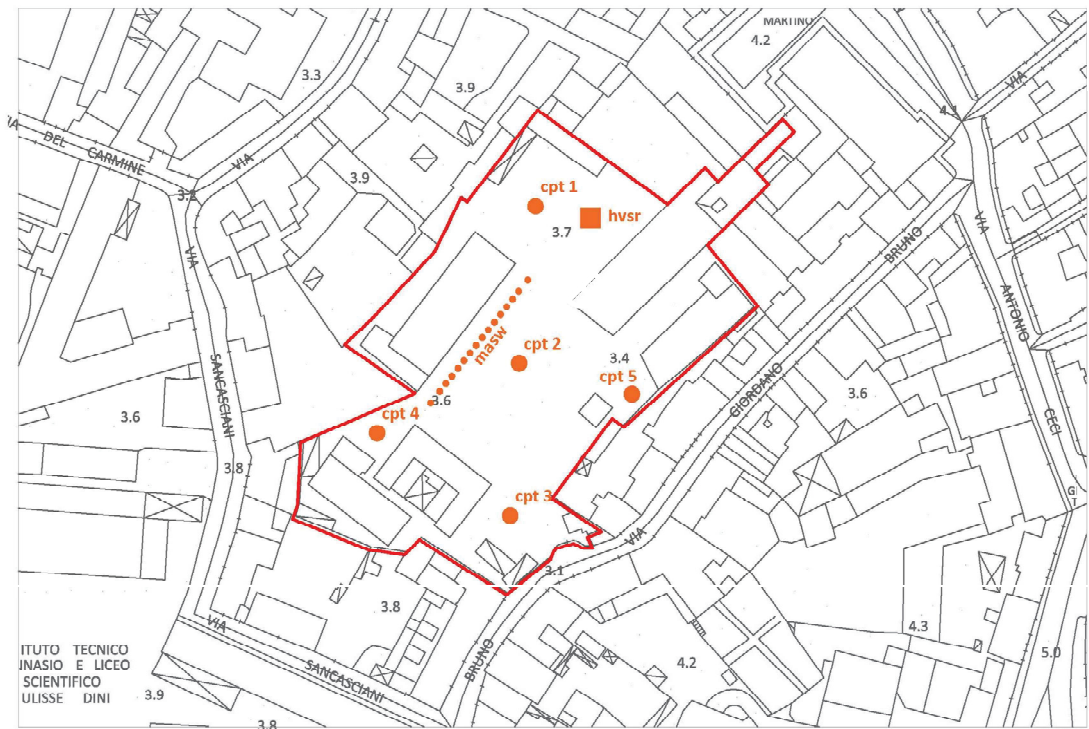
R.E.A. LUCCA N. 194371 - CAPITALE SOCIALE € 10.000,00 I.V.

TEL 393 9371580 - FAX 0583 469588 - [www.geoluk.com](http://www.geoluk.com) - [info@geoluk.com](mailto:info@geoluk.com) - [geoluk@pec.it](mailto:geoluk@pec.it)

# CARTOGRAFIA



CARTE DELLE INDAGINI  
(su base Carta Tecnica Regionale scala 1:2.000 - Foglio: 18F50-2002)



- hvsr Acquisizione in sistema passiva elaborata HVSR
- masw Acquisizione spettrale masw
- cpt 2 Penetrometria statica (cone penetration test)

1:1000

## LEGENDA VALORI DI RESISTENZA

Strumento utilizzato:

### **PENETROMETRO STATICO tipo:**

Caratteristiche:

- punta conica meccanica  $\varnothing$  35.7 mm, angolo di apertura  $\alpha = 60^\circ$  - ( area punta  $A_p = 10 \text{ cm}^2$ )
- manicotto laterale di attrito tipo 'Begemann' (  $\varnothing$  35.7 mm - h 133 mm - sup. lat. Am. =  $150 \text{ cm}^2$ )
- velocità di avanzamento costante  $V = 2 \text{ cm / sec}$  (  $\pm 0,5 \text{ cm / sec}$  )
- spinta max nominale dello strumento  $S_{max}$  variabile a seconda del tipo
- costante di trasformazione (lett.  $\Rightarrow$  spinta )  $C_t = \text{spinta (Kg)} / \text{LETTURA al manometro}$

$$\text{fase 1 - resistenza alla punta} \quad q_c \text{ ( Kg / cm}^2\text{)} = L_1 \times C_t / 10$$

$$\text{fase 2 - resistenza laterale locale} \quad f_s \text{ ( Kg / cm}^2\text{)} = (L_2 - L_1) \times C_t / 150$$

$$\text{fase 3 - resistenza totale} \quad R_t \text{ ( Kg )} = (L_t) \times C_t$$

$$q_c / f_s = \text{rapporto Begemann}$$

- L1. punta = lettura di campagna durante l' infissione della sola punta ( fase 1 )
- L2. totale = lettura di campagna relativa all'infissione di punta e manicotto ( fase 2 )
- Lt. aste = lettura di campagna relativa all'infissione delle aste esterne ( fase 3 )

N.B. : la spinta  $S$  ( Kg ) , corrispondente a ciascuna fase , si ottiene moltiplicando la corrispondente lettura di campagna  $L$  per la costante di trasformazione  $C_t$  .

N.B. : causa la distanza intercorrente ( 20 cm circa ) fra il manicotto laterale e la punta conica del penetrometro , la resistenza laterale locale  $f_s$  viene computata 20 cm sopra la punta .

### CONVERSIONI

$$1 \text{ kN ( kiloNewton )} = 1000 \text{ N} \approx 100 \text{ kg} = 0,1 \text{ t} - 1 \text{ MN ( megaNewton )} = 1000 \text{ kN} = 1000000 \text{ N} \approx 100 \text{ t}$$

$$1 \text{ kPa ( kiloPascal )} = 1 \text{ kN/m}^2 = 0,001 \text{ MN/m}^2 = 0,001 \text{ MPa} \approx 0,1 \text{ t/m}^2 = 0,01 \text{ kg/cm}^2$$

$$1 \text{ MPa ( MegaPascal )} = 1 \text{ MN/m}^2 = 1000 \text{ kN/m}^2 = 1000 \text{ kPa} \approx 100 \text{ t / m}^2 = 10 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{kg/cm}^2 = 10 \text{ t/m}^2 \approx 100 \text{ kN/m}^2 = 100 \text{ kPa} = 0,1 \text{ MN/m}^2 = 0,1 \text{ Mpa}$$

$$1 \text{ t} = 1000 \text{ kg} \approx 10 \text{ kN}$$



## LEGENDA VALUTAZIONI LITOLOGICHE

Valutazioni in base al rapporto:  $F = (qc / fs)$

( Begemann 1965 - Raccomandazioni A.G.I. 1977 )

valide in via approssimata per terreni immersi in falda :

$F = qc / fs$	NATURA LITOLOGICA	PROPRIETA'
$F < 15$	TORBE ED ARGILLE ORGANICHE	COESIVE
$15 < F \leq 30$	LIMI ED ARGILLE	COESIVE
$30 < F \leq 60$	LIMI SABBIOSI E SABBIE LIMOSE	GRANULARI
$F > 60$	SABBIE E SABBIE CON GHIAIA	GRANULARI

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

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

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

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

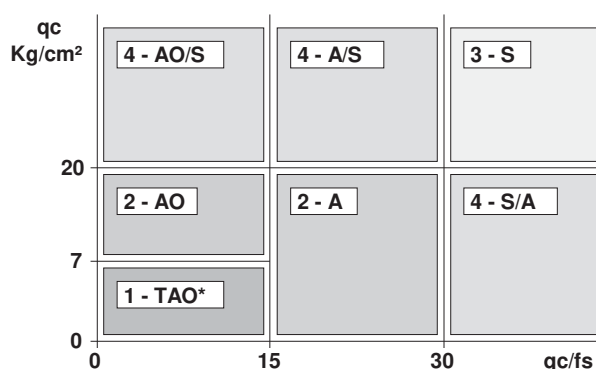
## LEGENDA PARAMETRI GEOTECNICI

### SCELTE LITOLOGICHE ( validità orientativa )

Le scelte litologiche vengono effettuate in base al rapporto  $qc / fs$  ( Begemann 1965 -Raccomandazioni A.G.I. 1977 ), prevedendo altresì la possibilità di casi dubbi :

$qc \leq 20 \text{ kg/cm}^2$  : possibili terreni COESIVI anche se  $( qc / fs ) > 30$

$qc \geq 20 \text{ kg/cm}^2$  : possibili terreni GRANULARI anche se  $( qc / fs ) < 30$



### NATURA LITOLOGICA

- 1 - COESIVA (TORBOSA) ALTA COMPRIMIBILITA'
- 2 - COESIVA IN GENERE
- 3 - GRANULARE
- 4 - COESIVA / GRANULARE

### PARAMETRI GEOTECNICI ( validità orientativa ) - simboli - correlazioni - bibliografia

- $\gamma'$  = peso dell' unità di volume (efficace) del terreno [ correlazioni :  $\gamma'$  - qc - natura ]  
( Terzaghi & Peck 1967 -Bowles 1982 )
- $\sigma'_{vo}$  = tensione verticale geostatica (efficace) del terreno ( valutata in base ai valori di  $\gamma'$  )
- $C_u$  = coesione non drenata (terreni coesivi ) [ correlazioni :  $C_u$  - qc ]
- OCR = grado di sovra consolidazione (terreni coesivi ) [ correlazioni : OCR -  $C_u$  -  $\sigma'_{vo}$  ]  
( Ladd et al. 1972 / 1974 / 1977 - Lancellotta 1983 )
- $E_u$  = modulo di deformazione non drenato (terr.coes.) [ correl. :  $E_u$  -  $C_u$  - OCR -  $I_p$   $I_p$ = indice plastico]  
 $E_{u50}$  -  $E_{u25}$  corrispondono rispettivamente ad un grado di mobilitazione dello sforzo deviatorico corrisp. al 50-25% (Duncan & Buchigani 1976 )
- $E'$  = modulo di deformazione drenato (terreni granulari) [ correlazioni :  $E'$  - qc ]  
 $E'_{50}$  -  $E'_{25}$  corrispondono rispettivamente ad un grado di mobilitazione dello sforzo deviatorico corrisp. al 50-25% (coefficiente di sicurezza  $F = 2 - 4$  rispettivamente )  
(Schmertmann 1970 / 1978 - Jamiolkowski et al. 1983 )
- $M_o$  = modulo di deformazione edometrico (terreni coesivi e granulari) [ correl. :  $M_o$  - qc - natura]  
(Sanglerat 1972 - Mitchell & Gardner 1975 - Ricceri et al. 1974 - Holden 1973 )
- $D_r$  = densità relativa (terreni granulari N. C. - normalmente consolidati)  
[ correlazioni :  $D_r$  - qc -  $\sigma'_{vo}$  ] (Schmertmann 1976 )
- $\emptyset'$  = angolo di attrito interno efficace (terreni granulari N.C. ) [ correl. :  $\emptyset'$  -  $D_r$  - qc -  $\sigma'_{vo}$  ]  
(Schmertmann 1978 - Durgunoglu & Mitchell 1975 - Meyerhof 1956 / 1976 )  
 $\emptyset'_{1s}$  - (Schmertmann) sabbia fine uniforme  $\emptyset'_{2s}$  - sabbia media uniforme/ fine ben gradata  
 $\emptyset'_{3s}$  - sabbia grossa uniforme/ media ben gradata  
 $\emptyset'_{4s}$  - sabbia-ghiaia poco limosa/ ghiaietto uniorme
- $A_{max}$  = accelerazione al suolo che può causare liquefazione ( terreni granulari )  
( g = acc.gravità)(Seed & Idriss 1971 - Sirio 1976 ) [ correlazioni : ( $A_{max}/g$ ) -  $D_r$  ]  
 $\emptyset'_{dm}$  - ( Durgunoglu & Mitchell ) sabbie N.C.  $\emptyset'_{my}$  - (Meyerhof) sabbie limose

**PROVA PENETROMETRICA STATICA**  
**LETTURE DI CAMPAGNA / VALORI DI RESISTENZA**

**CPT 1**

2.0105-PG076

- committente : Geol. Marco Toschi  
- lavoro : indagine geognostica  
- località : ex caserma Curtatone Montanara - Pisa  
- assist. cantiere :

- data : 07/12/2020  
- quota inizio : -0.6m da p.c.  
- falda :  
- data di emissione : 14/12/2020

- note : riporto superato in DPSH; falda -1.18

prf	L1	L2	qc	fs	qc/fs	prf	L1	L2	qc	fs	qc/fs
m	-	-	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	-	m	-	-	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	-
0,20	----	----	--	-----	----	7,80	56,0	79,0	56,0	1,73	32,0
0,40	----	----	--	-----	----	<b>8,00</b>	36,0	62,0	36,0	1,60	22,0
0,60	----	----	--	-----	----	8,20	34,0	58,0	34,0	1,20	28,0
0,80	7,0	----	7,0	0,27	26,0	8,40	31,0	49,0	31,0	1,33	23,0
<b>1,00</b>	14,0	18,0	14,0	0,67	21,0	8,60	30,0	50,0	30,0	0,93	32,0
1,20	15,0	25,0	15,0	0,73	20,0	<b>8,80</b>	36,0	50,0	36,0	1,73	21,0
1,40	15,0	26,0	15,0	0,33	45,0	<b>9,00</b>	38,0	64,0	38,0	1,07	36,0
1,60	16,0	21,0	16,0	0,27	60,0	9,20	55,0	71,0	55,0	1,53	36,0
1,80	16,0	20,0	16,0	0,53	30,0	9,40	38,0	61,0	38,0	0,93	41,0
<b>2,00</b>	19,0	27,0	19,0	0,93	20,0	9,60	23,0	37,0	23,0	1,47	16,0
2,20	12,0	26,0	12,0	0,67	18,0	9,80	27,0	49,0	27,0	1,47	18,0
2,40	8,0	18,0	8,0	0,40	20,0	<b>10,00</b>	26,0	48,0	26,0	1,20	22,0
2,60	8,0	14,0	8,0	0,33	24,0	10,20	68,0	86,0	68,0	1,73	39,0
2,80	8,0	13,0	8,0	0,47	17,0	10,40	68,0	94,0	68,0	1,80	38,0
<b>3,00</b>	7,0	14,0	7,0	0,33	21,0	10,60	48,0	75,0	48,0	1,33	36,0
3,20	10,0	15,0	10,0	0,40	25,0	10,80	56,0	76,0	56,0	2,40	23,0
3,40	7,0	13,0	7,0	0,33	21,0	<b>11,00</b>	9,0	45,0	9,0	0,53	17,0
3,60	6,0	11,0	6,0	0,33	18,0	11,20	7,0	15,0	7,0	0,53	13,0
3,80	22,0	27,0	22,0	0,67	33,0	11,40	7,0	15,0	7,0	0,33	21,0
<b>4,00</b>	29,0	39,0	29,0	0,67	43,0	11,60	8,0	13,0	8,0	0,27	30,0
4,20	20,0	30,0	20,0	0,87	23,0	11,80	9,0	13,0	9,0	0,13	67,0
4,40	20,0	33,0	20,0	1,47	14,0	<b>12,00</b>	10,0	12,0	10,0	0,20	50,0
4,60	34,0	56,0	34,0	0,73	46,0	12,20	9,0	12,0	9,0	0,20	45,0
4,80	35,0	46,0	35,0	0,93	37,0	12,40	9,0	12,0	9,0	0,33	27,0
<b>5,00</b>	14,0	28,0	14,0	1,93	7,0	12,60	9,0	14,0	9,0	0,33	27,0
5,20	20,0	49,0	20,0	1,47	14,0	12,80	9,0	14,0	9,0	0,33	27,0
5,40	11,0	33,0	11,0	0,20	55,0	<b>13,00</b>	8,0	13,0	8,0	0,33	24,0
5,60	19,0	22,0	19,0	0,27	71,0	13,20	8,0	13,0	8,0	0,33	24,0
5,80	47,0	51,0	47,0	1,93	24,0	13,40	9,0	14,0	9,0	0,33	27,0
<b>6,00</b>	40,0	69,0	40,0	1,00	40,0	13,60	9,0	14,0	9,0	0,33	27,0
6,20	20,0	35,0	20,0	1,33	15,0	13,80	9,0	14,0	9,0	0,47	19,0
6,40	16,0	36,0	16,0	1,00	16,0	<b>14,00</b>	14,0	21,0	14,0	0,47	30,0
6,60	49,0	64,0	49,0	1,47	33,0	14,20	13,0	20,0	13,0	0,40	32,0
6,80	44,0	66,0	44,0	1,67	26,0	14,40	9,0	15,0	9,0	0,27	34,0
<b>7,00</b>	40,0	65,0	40,0	1,60	25,0	14,60	9,0	13,0	9,0	0,13	67,0
7,20	56,0	80,0	56,0	1,73	32,0	14,80	13,0	15,0	13,0	0,40	32,0
7,40	60,0	86,0	60,0	1,93	31,0	<b>15,00</b>	8,0	14,0	8,0	----	----
7,60	20,0	49,0	20,0	1,53	13,0						

- PENETROMETRO STATICO tipo da 20 t - (con anello allargatore) -  
- COSTANTE DI TRASFORMAZIONE Ct = 10 - Velocità avanzamento punta 2 cm/s  
- punta meccanica tipo Begemann  $\sigma = 35.7$  mm (area punta 10 cm<sup>2</sup> - apertura 60°)  
- manicotto laterale (superficie 150 cm<sup>2</sup>)

**PROVA PENETROMETRICA STATICA**  
**LETTURE DI CAMPAGNA / VALORI DI RESISTENZA**

**CPT 2**

2.0105-PG076

- committente : Geol. Marco Toschi  
- lavoro : indagine geognostica  
- località : ex caserma Curtatone Montanara - Pisa  
- assist. cantiere :

- data : 07/12/2020  
- quota inizio : -0.4m da p.c.  
- falda :  
- data di emissione : 14/12/2020

- note : riporto superato in DPSH; falda -1.18

prf	L1	L2	qc	fs	qc/fs	prf	L1	L2	qc	fs	qc/fs
m	-	-	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	-	m	-	-	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	-
0,20	----	----	--	-----	----	7,80	40,0	64,0	40,0	1,80	22,0
0,40	----	----	--	0,27	----	<b>8,00</b>	47,0	74,0	47,0	1,60	29,0
0,60	8,0	12,0	8,0	0,60	13,0	8,20	36,0	60,0	36,0	1,07	34,0
0,80	5,0	14,0	5,0	0,47	11,0	8,40	35,0	51,0	35,0	1,00	35,0
<b>1,00</b>	5,0	12,0	5,0	0,40	12,0	8,60	60,0	75,0	60,0	1,07	56,0
1,20	11,0	17,0	11,0	0,53	21,0	<b>8,80</b>	54,0	70,0	54,0	2,53	21,0
1,40	16,0	24,0	16,0	0,67	24,0	<b>9,00</b>	30,0	68,0	30,0	1,53	20,0
1,60	15,0	25,0	15,0	0,87	17,0	9,20	36,0	59,0	36,0	1,53	23,0
1,80	14,0	27,0	14,0	0,87	16,0	9,40	73,0	96,0	73,0	2,93	25,0
<b>2,00</b>	14,0	27,0	14,0	0,80	17,0	9,60	75,0	119,0	75,0	2,67	28,0
2,20	12,0	24,0	12,0	0,67	18,0	9,80	64,0	104,0	64,0	2,80	23,0
2,40	10,0	20,0	10,0	0,53	19,0	<b>10,00</b>	34,0	76,0	34,0	2,13	16,0
2,60	10,0	18,0	10,0	0,53	19,0	10,20	48,0	80,0	48,0	1,60	30,0
2,80	7,0	15,0	7,0	0,40	17,0	10,40	45,0	69,0	45,0	1,53	29,0
<b>3,00</b>	9,0	15,0	9,0	0,53	17,0	10,60	68,0	91,0	68,0	3,07	22,0
3,20	10,0	18,0	10,0	0,47	21,0	10,80	13,0	59,0	13,0	1,13	11,0
3,40	7,0	14,0	7,0	0,40	17,0	<b>11,00</b>	7,0	24,0	7,0	0,33	21,0
3,60	9,0	15,0	9,0	0,47	19,0	11,20	5,0	10,0	5,0	0,33	15,0
3,80	13,0	20,0	13,0	1,27	10,0	11,40	5,0	10,0	5,0	0,27	19,0
<b>4,00</b>	44,0	63,0	44,0	0,73	60,0	11,60	6,0	10,0	6,0	0,33	18,0
4,20	23,0	34,0	23,0	0,73	31,0	11,80	5,0	10,0	5,0	0,33	15,0
4,40	49,0	60,0	49,0	0,93	52,0	<b>12,00</b>	5,0	10,0	5,0	0,33	15,0
4,60	71,0	85,0	71,0	1,47	48,0	12,20	5,0	10,0	5,0	0,33	15,0
4,80	36,0	58,0	36,0	1,47	25,0	12,40	5,0	10,0	5,0	0,33	15,0
<b>5,00</b>	28,0	50,0	28,0	1,07	26,0	12,60	5,0	10,0	5,0	0,33	15,0
5,20	30,0	46,0	30,0	1,47	20,0	12,80	5,0	10,0	5,0	0,33	15,0
5,40	40,0	62,0	40,0	1,20	33,0	<b>13,00</b>	5,0	10,0	5,0	0,33	15,0
5,60	15,0	33,0	15,0	0,93	16,0	13,20	6,0	11,0	6,0	0,33	18,0
5,80	28,0	42,0	28,0	1,47	19,0	13,40	6,0	11,0	6,0	0,33	18,0
<b>6,00</b>	11,0	33,0	11,0	0,80	14,0	13,60	6,0	11,0	6,0	0,33	18,0
6,20	38,0	50,0	38,0	1,87	20,0	13,80	6,0	11,0	6,0	0,33	18,0
6,40	36,0	64,0	36,0	1,47	25,0	<b>14,00</b>	6,0	11,0	6,0	0,27	22,0
6,60	31,0	53,0	31,0	1,00	31,0	14,20	7,0	11,0	7,0	0,27	26,0
6,80	39,0	54,0	39,0	1,80	22,0	14,40	7,0	11,0	7,0	0,20	35,0
<b>7,00</b>	36,0	63,0	36,0	1,20	30,0	14,60	8,0	11,0	8,0	0,13	60,0
7,20	33,0	51,0	33,0	1,60	21,0	14,80	9,0	11,0	9,0	0,20	45,0
7,40	20,0	44,0	20,0	1,40	14,0	<b>15,00</b>	8,0	11,0	8,0	-----	----
7,60	34,0	55,0	34,0	1,60	21,0						

- PENETROMETRO STATICO tipo da 20 t - (con anello allargatore) -  
- COSTANTE DI TRASFORMAZIONE Ct = 10 - Velocità avanzamento punta 2 cm/s  
- punta meccanica tipo Begemann  $\sigma = 35.7$  mm (area punta 10 cm<sup>2</sup> - apertura 60°)  
- manicotto laterale (superficie 150 cm<sup>2</sup>)

**PROVA PENETROMETRICA STATICA**  
**LETTURE DI CAMPAGNA / VALORI DI RESISTENZA**

**CPT 3**

2.0105-PG076

- committente : Geol. Marco Toschi  
- lavoro : indagine geognostica  
- località : ex caserma Curtatone Montanara - Pisa  
- assist. cantiere :

- data : 07/12/2020  
- quota inizio : p.c.  
- falda :  
- data di emissione : 14/12/2020

- note : falda -1.18

prf	L1	L2	qc	fs	qc/fs	prf	L1	L2	qc	fs	qc/fs
m	-	-	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	-	m	-	-	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	-
0,20	3,0	---	3,0	0,33	9,0	7,80	46,0	74,0	46,0	1,53	30,0
0,40	3,0	8,0	3,0	0,47	6,0	<b>8,00</b>	41,0	64,0	41,0	1,73	24,0
0,60	5,0	12,0	5,0	0,40	12,0	8,20	36,0	62,0	36,0	1,53	23,0
0,80	7,0	13,0	7,0	0,20	35,0	8,40	35,0	58,0	35,0	1,27	28,0
<b>1,00</b>	10,0	13,0	10,0	0,53	19,0	8,60	32,0	51,0	32,0	0,40	80,0
1,20	19,0	27,0	19,0	0,93	20,0	<b>8,80</b>	60,0	66,0	60,0	0,53	112,0
1,40	19,0	33,0	19,0	0,87	22,0	<b>9,00</b>	73,0	81,0	73,0	0,93	78,0
1,60	18,0	31,0	18,0	0,53	34,0	9,20	76,0	90,0	76,0	2,40	32,0
1,80	17,0	25,0	17,0	0,73	23,0	9,40	64,0	100,0	64,0	1,07	60,0
<b>2,00</b>	16,0	27,0	16,0	0,67	24,0	9,60	39,0	55,0	39,0	1,60	24,0
2,20	13,0	23,0	13,0	0,47	28,0	9,80	37,0	61,0	37,0	1,73	21,0
2,40	8,0	15,0	8,0	0,33	24,0	<b>10,00</b>	32,0	58,0	32,0	0,53	60,0
2,60	5,0	10,0	5,0	0,27	19,0	10,20	64,0	72,0	64,0	1,07	60,0
2,80	6,0	10,0	6,0	0,27	22,0	10,40	62,0	78,0	62,0	1,67	37,0
<b>3,00</b>	8,0	12,0	8,0	0,67	12,0	10,60	44,0	69,0	44,0	1,60	27,0
3,20	7,0	17,0	7,0	0,40	17,0	10,80	38,0	62,0	38,0	1,47	26,0
3,40	7,0	13,0	7,0	0,80	9,0	<b>11,00</b>	30,0	52,0	30,0	2,33	13,0
3,60	10,0	22,0	10,0	0,73	14,0	11,20	6,0	41,0	6,0	0,33	18,0
3,80	39,0	50,0	39,0	1,73	22,0	11,40	5,0	10,0	5,0	0,40	12,0
<b>4,00</b>	20,0	46,0	20,0	0,87	23,0	11,60	5,0	11,0	5,0	0,47	11,0
4,20	52,0	65,0	52,0	0,73	71,0	11,80	5,0	12,0	5,0	0,27	19,0
4,40	50,0	61,0	50,0	1,53	33,0	<b>12,00</b>	6,0	10,0	6,0	0,40	15,0
4,60	27,0	50,0	27,0	1,27	21,0	12,20	5,0	11,0	5,0	0,27	19,0
4,80	28,0	47,0	28,0	1,33	21,0	12,40	6,0	10,0	6,0	0,20	30,0
<b>5,00</b>	36,0	56,0	36,0	1,00	36,0	12,60	7,0	10,0	7,0	0,33	21,0
5,20	26,0	41,0	26,0	1,40	19,0	12,80	5,0	10,0	5,0	0,40	12,0
5,40	15,0	36,0	15,0	1,13	13,0	<b>13,00</b>	6,0	12,0	6,0	0,40	15,0
5,60	16,0	33,0	16,0	0,67	24,0	13,20	7,0	13,0	7,0	0,27	26,0
5,80	17,0	27,0	17,0	0,67	25,0	13,40	8,0	12,0	8,0	0,40	20,0
<b>6,00</b>	36,0	46,0	36,0	1,20	30,0	13,60	7,0	13,0	7,0	0,33	21,0
6,20	32,0	50,0	32,0	1,07	30,0	13,80	9,0	14,0	9,0	0,27	34,0
6,40	36,0	52,0	36,0	0,87	42,0	<b>14,00</b>	9,0	13,0	9,0	0,40	22,0
6,60	35,0	48,0	35,0	0,73	48,0	14,20	8,0	14,0	8,0	0,20	40,0
6,80	38,0	49,0	38,0	1,20	32,0	14,40	9,0	12,0	9,0	0,13	67,0
<b>7,00</b>	28,0	46,0	28,0	0,73	38,0	14,60	10,0	12,0	10,0	0,07	150,0
7,20	33,0	44,0	33,0	1,47	22,0	14,80	9,0	10,0	9,0	0,20	45,0
7,40	40,0	62,0	40,0	1,93	21,0	<b>15,00</b>	8,0	11,0	8,0	----	----
7,60	40,0	69,0	40,0	1,87	21,0						

- PENETROMETRO STATICO tipo da 20 t - (con anello allargatore) -  
- COSTANTE DI TRASFORMAZIONE Ct = 10 - Velocità avanzamento punta 2 cm/s  
- punta meccanica tipo Begemann  $\sigma = 35.7$  mm (area punta 10 cm<sup>2</sup> - apertura 60°)  
- manicotto laterale (superficie 150 cm<sup>2</sup>)

**PROVA PENETROMETRICA STATICA**  
**LETTURE DI CAMPAGNA / VALORI DI RESISTENZA**

**CPT 4**

2.0105-PG076

- committente : Geol. Marco Toschi  
- lavoro : indagine geognostica  
- località : ex caserma Curtatone Montanara - Pisa  
- assist. cantiere :

- data : 07/12/2020  
- quota inizio : -0.4m da p.c.  
- falda :  
- data di emissione : 14/12/2020

- note : riporto superato in DPSH; falda -1.18

prf	L1	L2	qc	fs	qc/fs	prf	L1	L2	qc	fs	qc/fs
m	-	-	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	-	m	-	-	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	-
0,20	----	----	--	-----	----	7,80	59,0	78,0	59,0	1,20	49,0
0,40	----	----	--	0,60	----	<b>8,00</b>	54,0	72,0	54,0	0,87	62,0
0,60	16,0	25,0	16,0	0,47	34,0	8,20	16,0	29,0	16,0	1,13	14,0
0,80	17,0	24,0	17,0	0,40	42,0	8,40	32,0	49,0	32,0	1,27	25,0
<b>1,00</b>	15,0	21,0	15,0	0,87	17,0	8,60	32,0	51,0	32,0	1,07	30,0
1,20	14,0	27,0	14,0	0,67	21,0	<b>8,80</b>	34,0	50,0	34,0	1,20	28,0
1,40	19,0	29,0	19,0	0,73	26,0	<b>9,00</b>	72,0	90,0	72,0	1,60	45,0
1,60	16,0	27,0	16,0	0,33	48,0	9,20	28,0	52,0	28,0	1,07	26,0
1,80	5,0	10,0	5,0	0,27	19,0	9,40	23,0	39,0	23,0	1,60	14,0
<b>2,00</b>	6,0	10,0	6,0	0,20	30,0	9,60	32,0	56,0	32,0	2,47	13,0
2,20	6,0	9,0	6,0	0,33	18,0	9,80	30,0	67,0	30,0	1,53	20,0
2,40	5,0	10,0	5,0	0,33	15,0	<b>10,00</b>	36,0	59,0	36,0	2,13	17,0
2,60	7,0	12,0	7,0	0,27	26,0	10,20	68,0	100,0	68,0	1,27	54,0
2,80	8,0	12,0	8,0	0,33	24,0	10,40	61,0	80,0	61,0	1,27	48,0
<b>3,00</b>	6,0	11,0	6,0	0,40	15,0	10,60	75,0	94,0	75,0	1,47	51,0
3,20	8,0	14,0	8,0	0,33	24,0	10,80	40,0	62,0	40,0	1,53	26,0
3,40	8,0	13,0	8,0	0,27	30,0	<b>11,00</b>	6,0	29,0	6,0	0,27	22,0
3,60	11,0	15,0	11,0	0,80	14,0	11,20	6,0	10,0	6,0	0,33	18,0
3,80	20,0	32,0	20,0	0,40	50,0	11,40	5,0	10,0	5,0	0,47	11,0
<b>4,00</b>	17,0	23,0	17,0	0,87	20,0	11,60	5,0	12,0	5,0	0,53	9,0
4,20	20,0	33,0	20,0	0,13	150,0	11,80	4,0	12,0	4,0	0,53	7,0
4,40	19,0	21,0	19,0	1,07	18,0	<b>12,00</b>	4,0	12,0	4,0	0,47	9,0
4,60	11,0	27,0	11,0	1,07	10,0	12,20	4,0	11,0	4,0	0,53	7,0
4,80	17,0	33,0	17,0	1,20	14,0	12,40	4,0	12,0	4,0	0,33	12,0
<b>5,00</b>	17,0	35,0	17,0	1,60	11,0	12,60	5,0	10,0	5,0	0,40	12,0
5,20	46,0	70,0	46,0	0,20	230,0	12,80	5,0	11,0	5,0	0,33	15,0
5,40	48,0	51,0	48,0	2,07	23,0	<b>13,00</b>	5,0	10,0	5,0	0,33	15,0
5,60	47,0	78,0	47,0	1,20	39,0	13,20	6,0	11,0	6,0	0,20	30,0
5,80	32,0	50,0	32,0	1,40	23,0	13,40	9,0	12,0	9,0	0,33	27,0
<b>6,00</b>	35,0	56,0	35,0	1,33	26,0	13,60	7,0	12,0	7,0	0,47	15,0
6,20	40,0	60,0	40,0	1,27	32,0	13,80	6,0	13,0	6,0	0,13	45,0
6,40	41,0	60,0	41,0	1,60	26,0	<b>14,00</b>	8,0	10,0	8,0	0,20	40,0
6,60	42,0	66,0	42,0	1,07	39,0	14,20	9,0	12,0	9,0	0,20	45,0
6,80	39,0	55,0	39,0	2,13	18,0	14,40	10,0	13,0	10,0	0,20	50,0
<b>7,00</b>	38,0	70,0	38,0	1,87	20,0	14,60	9,0	12,0	9,0	0,33	27,0
7,20	42,0	70,0	42,0	0,73	57,0	14,80	7,0	12,0	7,0	0,27	26,0
7,40	41,0	52,0	41,0	0,53	77,0	<b>15,00</b>	8,0	12,0	8,0	----	----
7,60	50,0	58,0	50,0	1,27	39,0						

- PENETROMETRO STATICO tipo da 20 t - (con anello allargatore) -  
- COSTANTE DI TRASFORMAZIONE Ct = 10 - Velocità avanzamento punta 2 cm/s  
- punta meccanica tipo Begemann  $\sigma = 35.7$  mm (area punta 10 cm<sup>2</sup> - apertura 60°)  
- manicotto laterale (superficie 150 cm<sup>2</sup>)

**PROVA PENETROMETRICA STATICA**  
**LETTURE DI CAMPAGNA / VALORI DI RESISTENZA**

**CPT 5**

2.0105-PG076

- committente : Geol. Marco Toschi  
- lavoro : indagine geognostica  
- località : ex caserma Curtatone Montanara - Pisa  
- assist. cantiere :

- data : 07/12/2020  
- quota inizio : -0.4m da p.c.  
- falda :  
- data di emissione : 14/12/2020

- note : riporto superato in DPSH; falda -1.18

prf	L1	L2	qc	fs	qc/fs	prf	L1	L2	qc	fs	qc/fs
m	-	-	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	-	m	-	-	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	-
0,20	----	----	--	-----	----	7,80	34,0	40,0	34,0	0,47	73,0
0,40	----	----	--	0,27	----	<b>8,00</b>	35,0	42,0	35,0	0,67	52,0
0,60	11,0	15,0	11,0	0,20	55,0	8,20	34,0	44,0	34,0	0,80	42,0
0,80	14,0	17,0	14,0	0,40	35,0	8,40	36,0	48,0	36,0	0,53	67,0
<b>1,00</b>	18,0	24,0	18,0	0,73	25,0	8,60	59,0	67,0	59,0	0,80	74,0
1,20	17,0	28,0	17,0	1,00	17,0	8,80	65,0	77,0	65,0	1,87	35,0
1,40	13,0	28,0	13,0	0,93	14,0	<b>9,00</b>	40,0	68,0	40,0	0,87	46,0
1,60	5,0	19,0	5,0	0,53	9,0	9,20	38,0	51,0	38,0	0,93	41,0
1,80	7,0	15,0	7,0	0,20	35,0	9,40	34,0	48,0	34,0	1,20	28,0
<b>2,00</b>	7,0	10,0	7,0	0,60	12,0	9,60	46,0	64,0	46,0	1,73	27,0
2,20	8,0	17,0	8,0	0,20	40,0	9,80	40,0	66,0	40,0	1,33	30,0
2,40	9,0	12,0	9,0	1,20	7,0	<b>10,00</b>	44,0	64,0	44,0	0,60	73,0
2,60	16,0	34,0	16,0	2,80	6,0	10,20	71,0	80,0	71,0	1,07	67,0
2,80	21,0	63,0	21,0	2,73	8,0	10,40	68,0	84,0	68,0	0,80	85,0
<b>3,00</b>	28,0	69,0	28,0	3,47	8,0	10,60	50,0	62,0	50,0	1,07	47,0
3,20	26,0	78,0	26,0	8,53	3,0	10,80	35,0	51,0	35,0	1,93	18,0
3,40	34,0	162,0	34,0	2,07	16,0	<b>11,00</b>	30,0	59,0	30,0	2,67	11,0
3,60	36,0	67,0	36,0	3,93	9,0	11,20	8,0	48,0	8,0	0,67	12,0
3,80	41,0	100,0	41,0	3,07	13,0	11,40	8,0	18,0	8,0	0,60	13,0
<b>4,00</b>	23,0	69,0	23,0	4,73	5,0	11,60	9,0	18,0	9,0	0,53	17,0
4,20	26,0	97,0	26,0	1,00	26,0	11,80	8,0	16,0	8,0	0,47	17,0
4,40	22,0	37,0	22,0	0,47	47,0	<b>12,00</b>	9,0	16,0	9,0	0,33	27,0
4,60	30,0	37,0	30,0	0,87	35,0	12,20	8,0	13,0	8,0	0,27	30,0
4,80	33,0	46,0	33,0	0,60	55,0	12,40	9,0	13,0	9,0	0,40	22,0
<b>5,00</b>	43,0	52,0	43,0	1,00	43,0	12,60	10,0	16,0	10,0	0,53	19,0
5,20	33,0	48,0	33,0	1,27	26,0	12,80	7,0	15,0	7,0	0,40	17,0
5,40	32,0	51,0	32,0	0,87	37,0	<b>13,00</b>	6,0	12,0	6,0	0,40	15,0
5,60	33,0	46,0	33,0	0,87	38,0	13,20	8,0	14,0	8,0	0,40	20,0
5,80	46,0	59,0	46,0	1,20	38,0	13,40	9,0	15,0	9,0	0,60	15,0
<b>6,00</b>	47,0	65,0	47,0	0,87	54,0	13,60	6,0	15,0	6,0	0,33	18,0
6,20	61,0	74,0	61,0	0,73	83,0	13,80	5,0	10,0	5,0	0,33	15,0
6,40	78,0	89,0	78,0	1,07	73,0	<b>14,00</b>	8,0	13,0	8,0	0,40	20,0
6,60	35,0	51,0	35,0	1,07	33,0	14,20	6,0	12,0	6,0	0,33	18,0
6,80	35,0	51,0	35,0	0,53	66,0	14,40	8,0	13,0	8,0	0,27	30,0
<b>7,00</b>	36,0	44,0	36,0	1,60	22,0	14,60	7,0	11,0	7,0	0,40	17,0
7,20	40,0	64,0	40,0	1,07	37,0	14,80	6,0	12,0	6,0	0,33	18,0
7,40	29,0	45,0	29,0	0,67	43,0	<b>15,00</b>	6,0	11,0	6,0	----	----
7,60	46,0	56,0	46,0	0,40	115,0						

- PENETROMETRO STATICO tipo da 20 t - (con anello allargatore) -  
- COSTANTE DI TRASFORMAZIONE Ct = 10 - Velocità avanzamento punta 2 cm/s  
- punta meccanica tipo Begemann  $\sigma = 35.7$  mm (area punta 10 cm<sup>2</sup> - apertura 60°)  
- manicotto laterale (superficie 150 cm<sup>2</sup>)

# PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

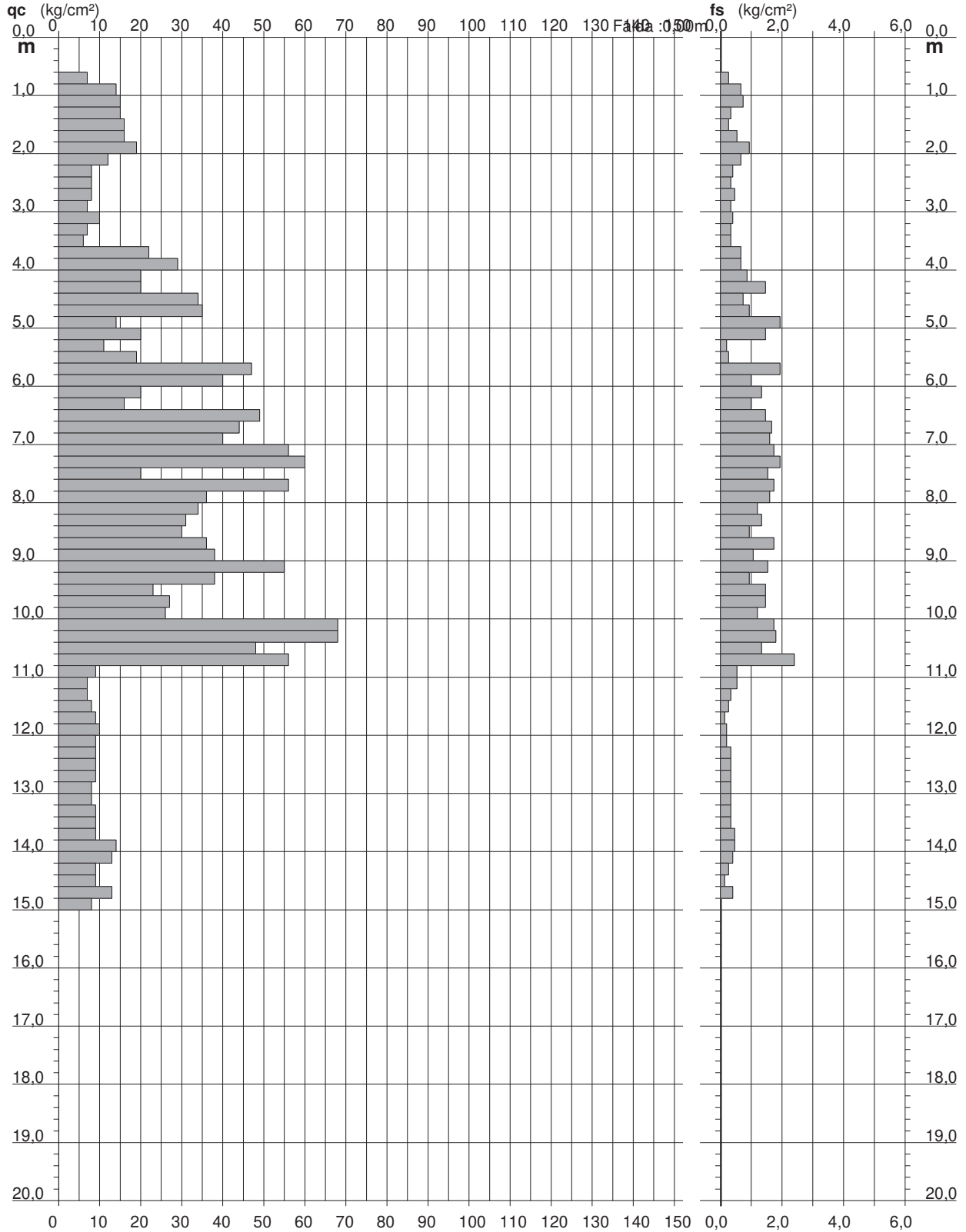
CPT 1

2.0105-PG076

- committente : Geol. Marco Toschi  
- lavoro : indagine geognostica  
- località : ex caserma Curtatone Montanara - Pisa  
- assist. cantiere :

- data : 07/12/2020  
- quota inizio : -0.6m da p.c.  
- falda :  
- data di emissione : 14/12/2020

- note : riporto superato in DPSH; falda -1.18





# PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

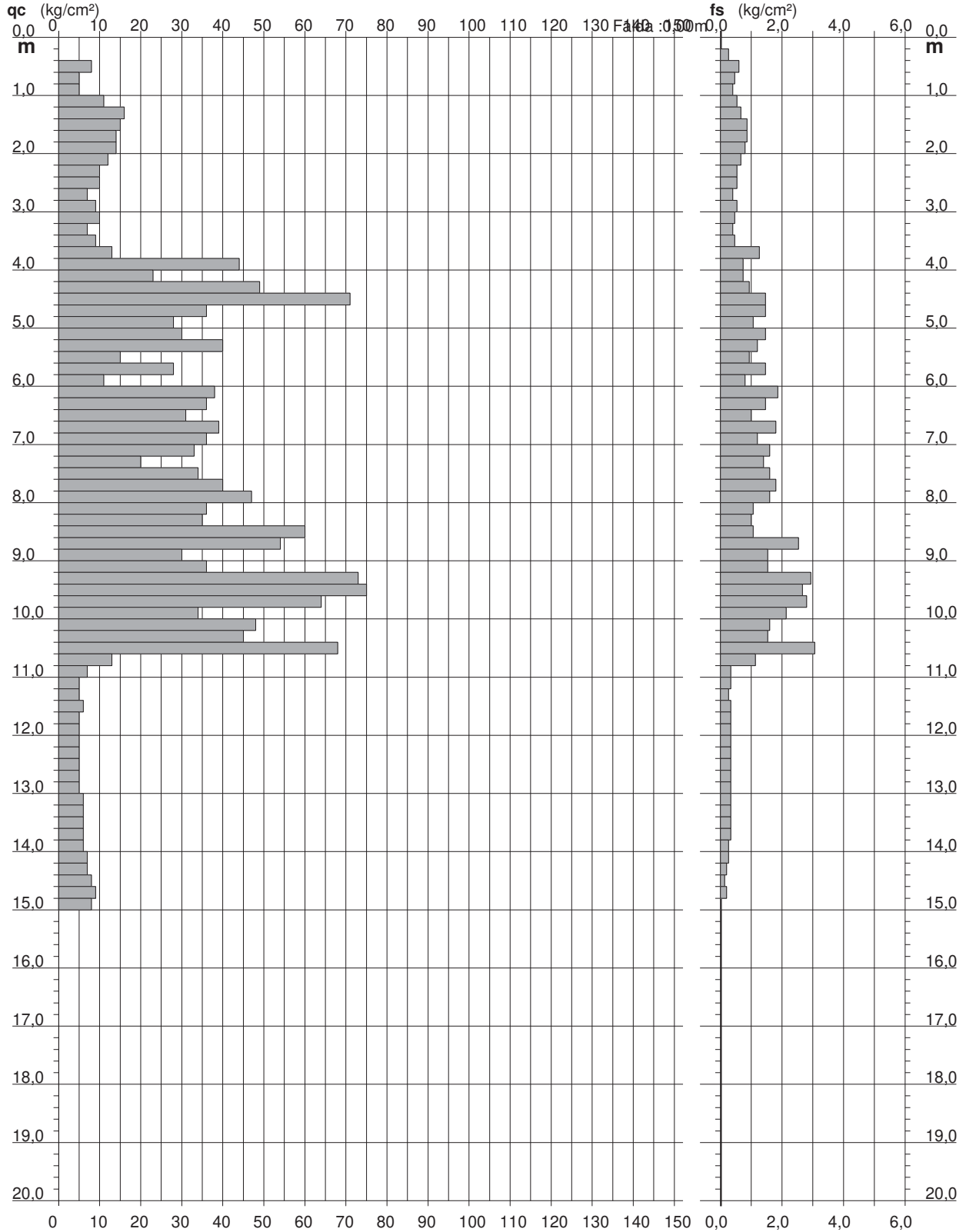
## CPT 2

2.0105-PG076

- committente : Geol. Marco Toschi  
- lavoro : indagine geognostica  
- località : ex caserma Curtatone Montanara - Pisa  
- assist. cantiere :

- data : 07/12/2020  
- quota inizio : -0.4m da p.c.  
- falda :  
- data di emissione : 14/12/2020

- note : riporto superato in DPSH; falda -1.18



# PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

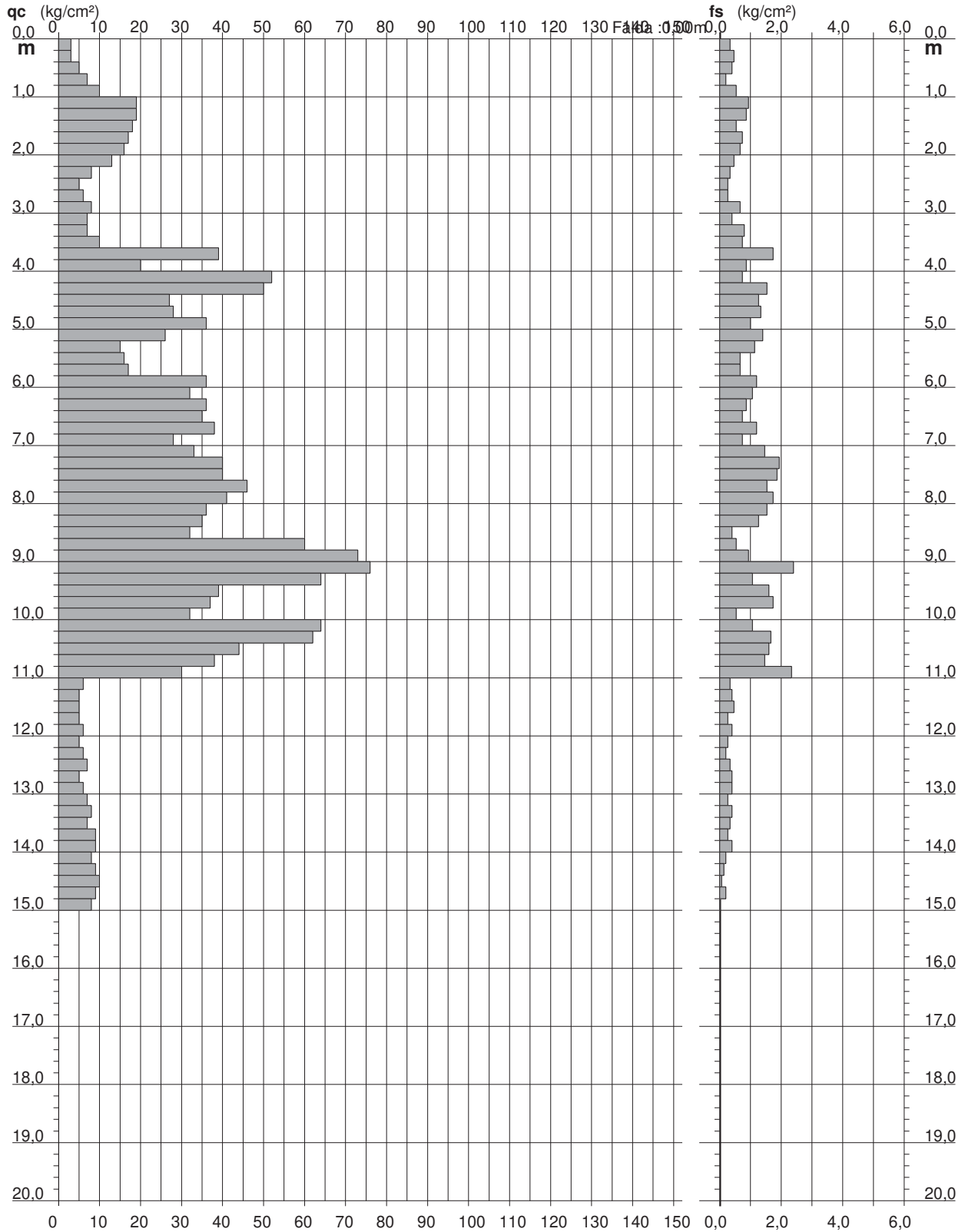
## CPT 3

2.0105-PG076

- committente : Geol. Marco Toschi  
- lavoro : indagine geognostica  
- località : ex caserma Curtatone Montanara - Pisa  
- assist. cantiere :

- data : 07/12/2020  
- quota inizio : p.c.  
- falda :  
- data di emissione : 14/12/2020

- note : falda -1.18



# PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

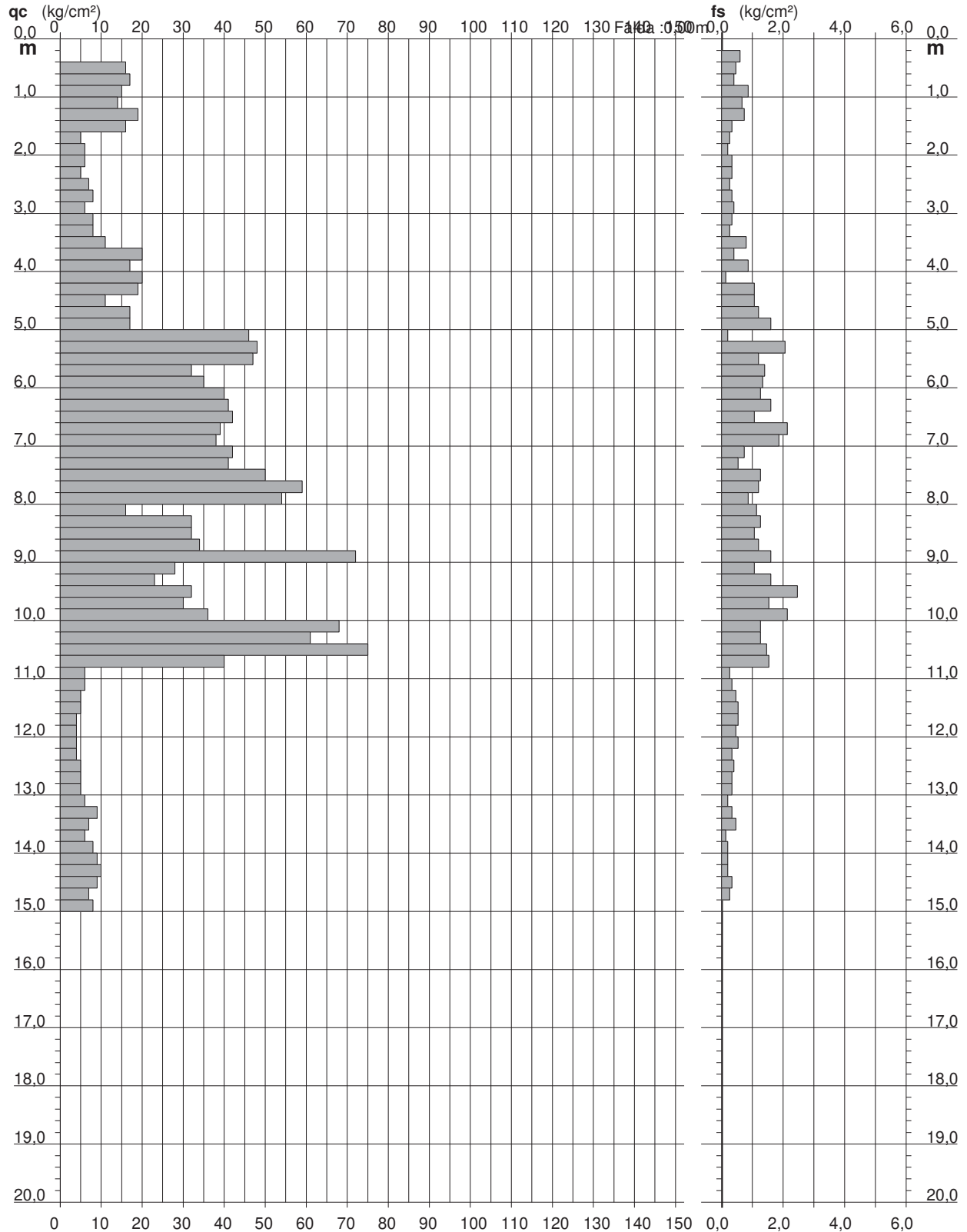
## CPT 4

2.0105-PG076

- committente : Geol. Marco Toschi  
- lavoro : indagine geognostica  
- località : ex caserma Curtatone Montanara - Pisa  
- assist. cantiere :

- data : 07/12/2020  
- quota inizio : -0.4m da p.c.  
- falda :  
- data di emissione : 14/12/2020

- note : riporto superato in DPSH; falda -1.18



# PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

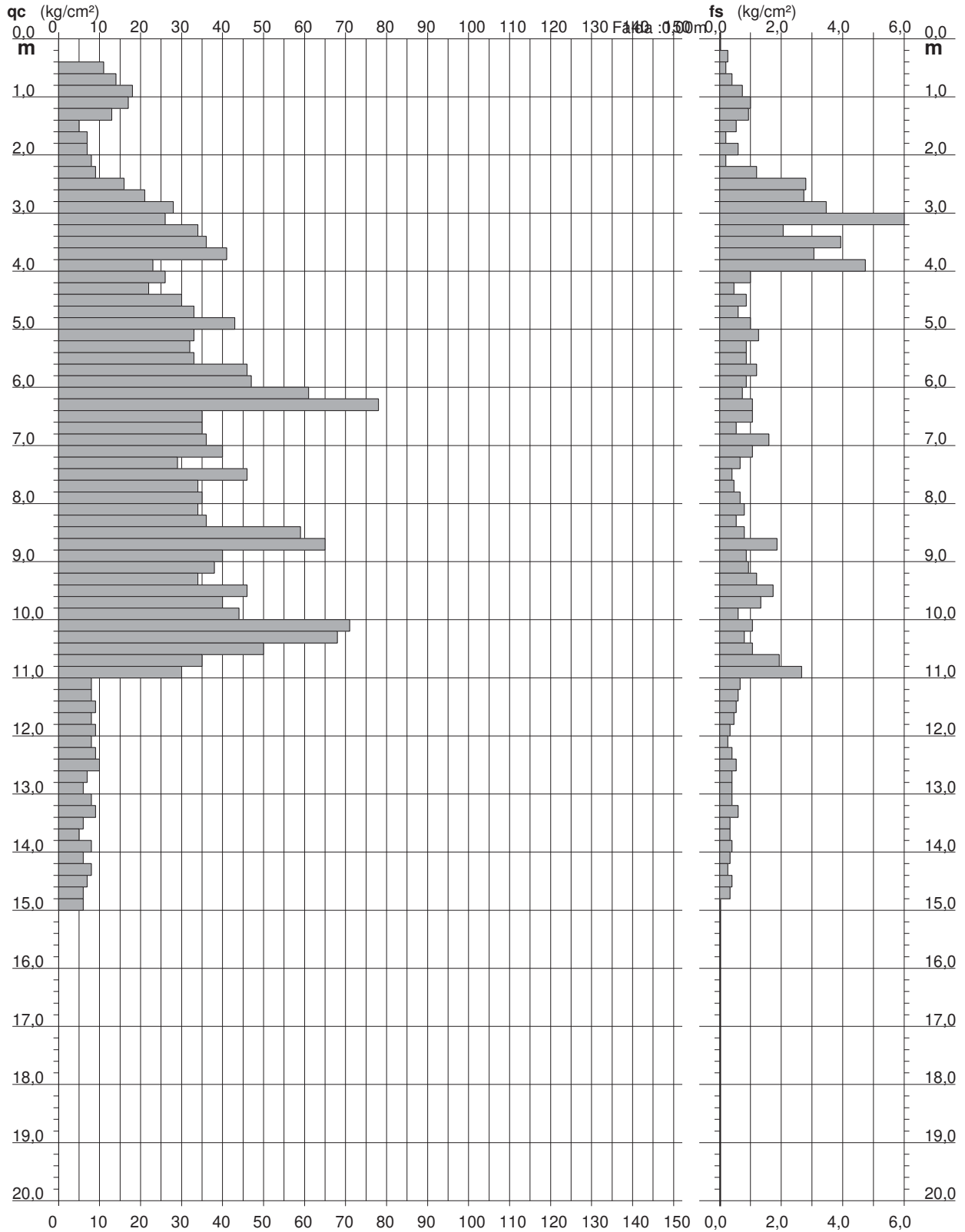
**CPT 5**

2.0105-PG076

- committente : Geol. Marco Toschi  
- lavoro : indagine geognostica  
- località : ex caserma Curtatone Montanara - Pisa  
- assist. cantiere :

- data : 07/12/2020  
- quota inizio : -0.4m da p.c.  
- falda :  
- data di emissione : 14/12/2020

- note : riporto superato in DPSH; falda -1.18



# PROVA PENETROMETRICA STATICA VALUTAZIONI LITOLOGICHE

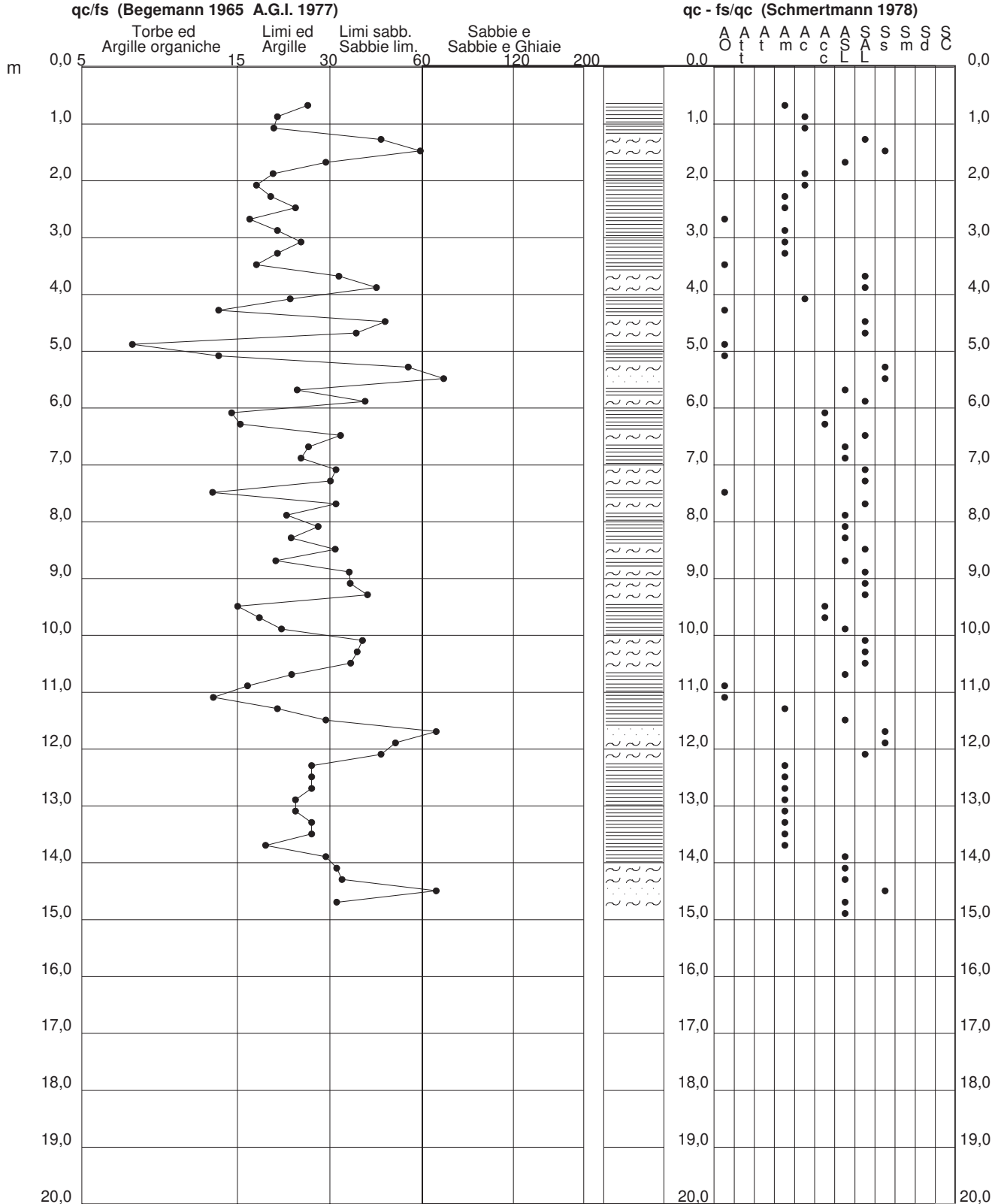
**CPT 1**

2.0105-PG076

- committente : Geol. Marco Toschi  
- lavoro : indagine geognostica  
- località : ex caserma Curtatone Montanara - Pisa  
- assist. cantiere :

- data : 07/12/2020  
- quota inizio : -0.6m da p.c.  
- falda :  
- data di emissione : 14/12/2020

- note : riporto superato in DPSH; falda -1.18



# PROVA PENETROMETRICA STATICA VALUTAZIONI LITOLOGICHE

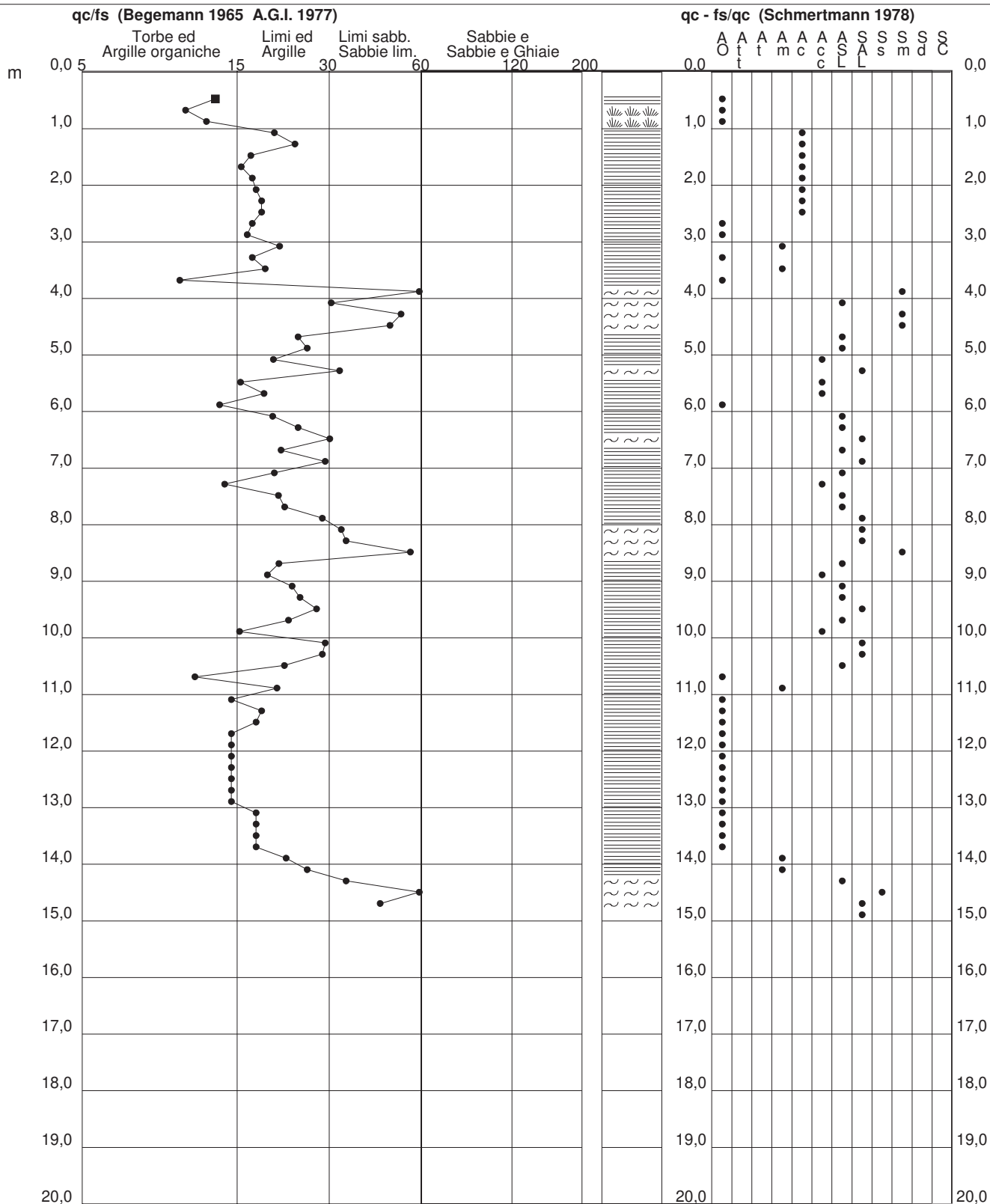
## CPT 2

2.0105-PG076

- committente : Geol. Marco Toschi  
- lavoro : indagine geognostica  
- località : ex caserma Curtatone Montanara - Pisa  
- assist. cantiere :

- data : 07/12/2020  
- quota inizio : -0.4m da p.c.  
- falda :  
- data di emissione : 14/12/2020

- note : riporto superato in DPSH; falda -1.18



# PROVA PENETROMETRICA STATICA VALUTAZIONI LITOLOGICHE

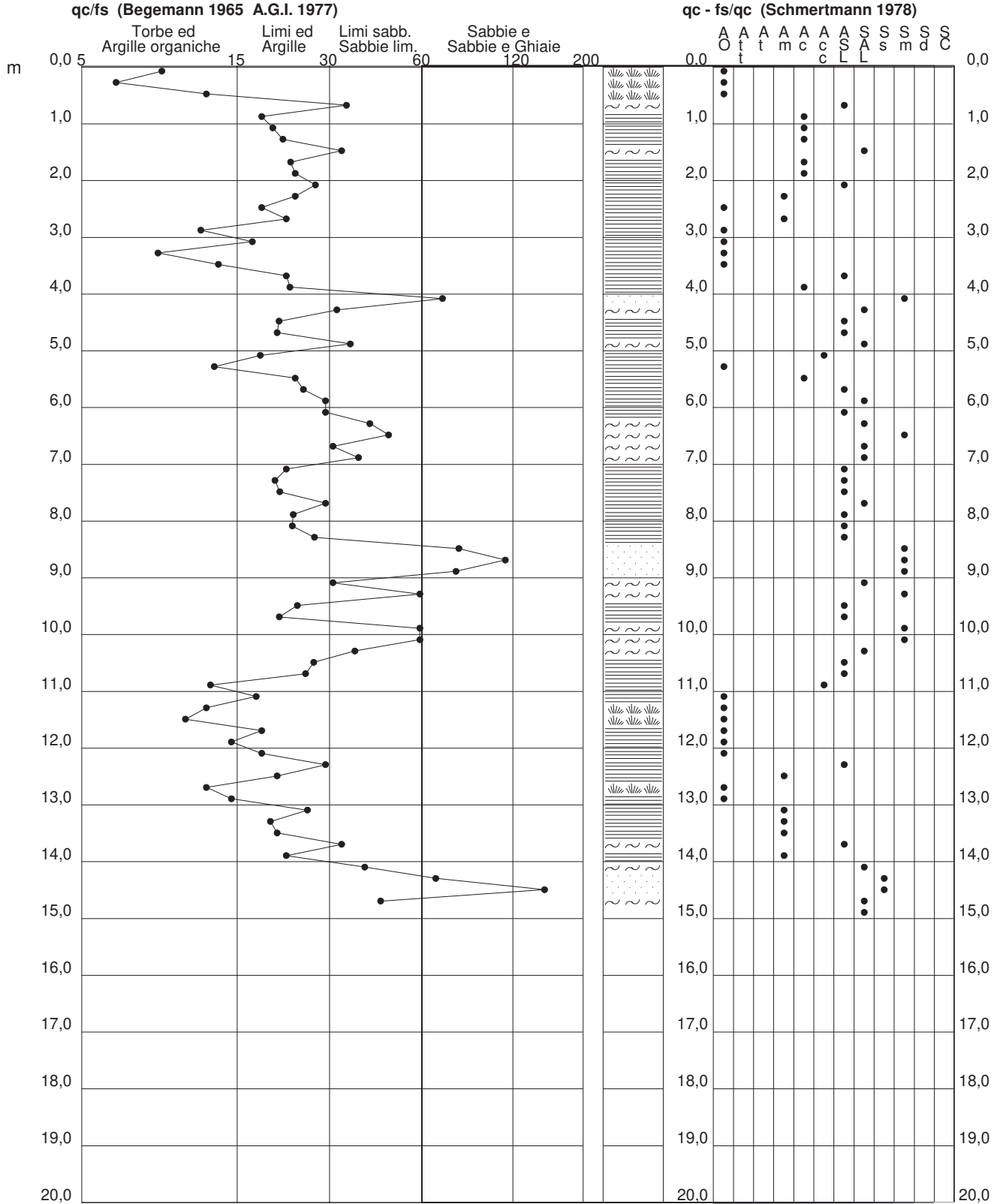
**CPT 3**

2.0105-PG076

- committente : Geol. Marco Toschi  
- lavoro : indagine geognostica  
- località : ex caserma Curtatone Montanara - Pisa  
- assist. cantiere :

- data : 07/12/2020  
- quota inizio : p.c.  
- falda :  
- data di emissione : 14/12/2020

- note : falda -1.18



# PROVA PENETROMETRICA STATICA VALUTAZIONI LITOLOGICHE

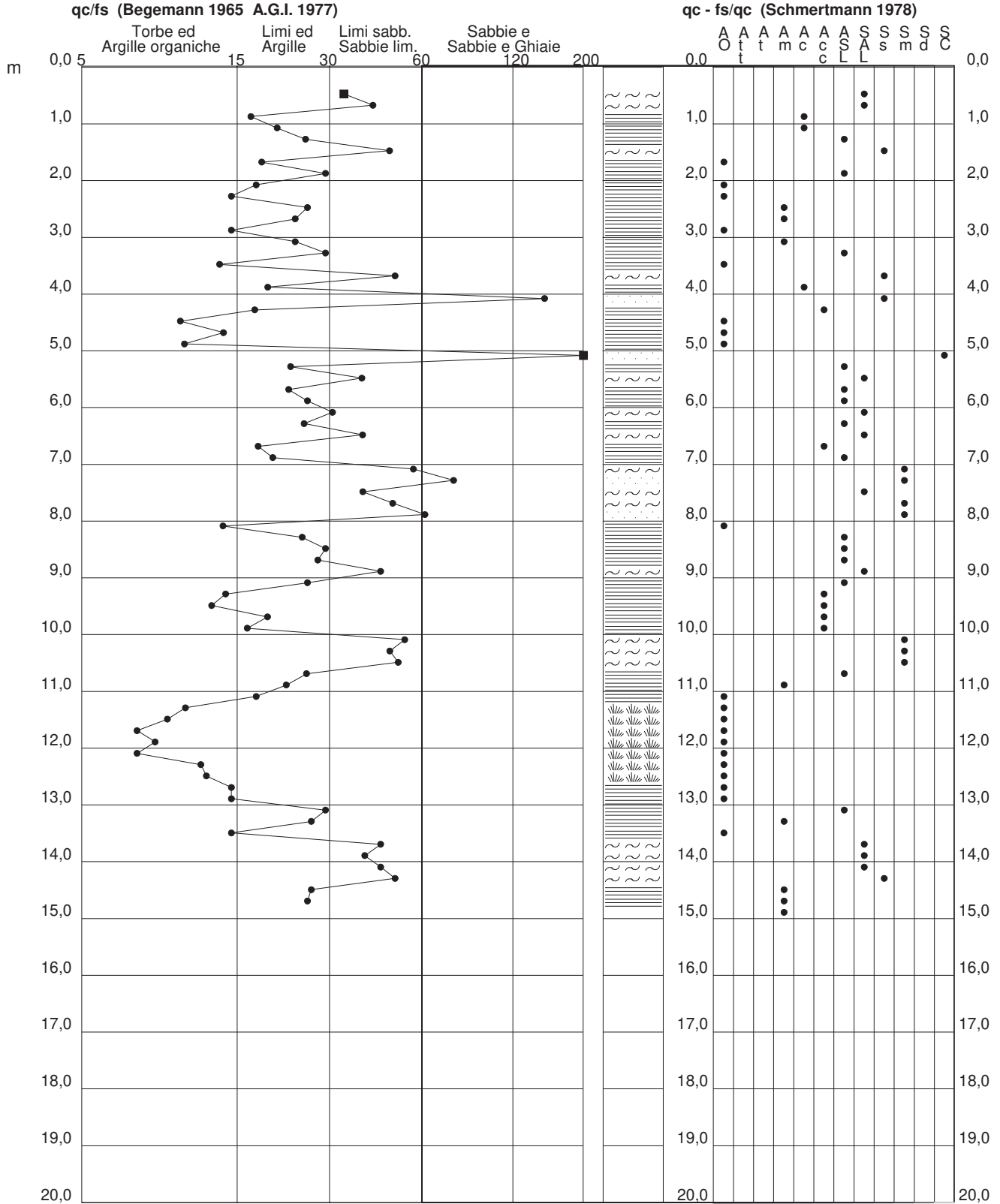
**CPT 4**

2.0105-PG076

- committente : Geol. Marco Toschi  
- lavoro : indagine geognostica  
- località : ex caserma Curtatone Montanara - Pisa  
- assist. cantiere :

- data : 07/12/2020  
- quota inizio : -0.4m da p.c.  
- falda :  
- data di emissione : 14/12/2020

- note : riporto superato in DPSH; falda -1.18





# PROVA PENETROMETRICA STATICA VALUTAZIONI LITOLOGICHE

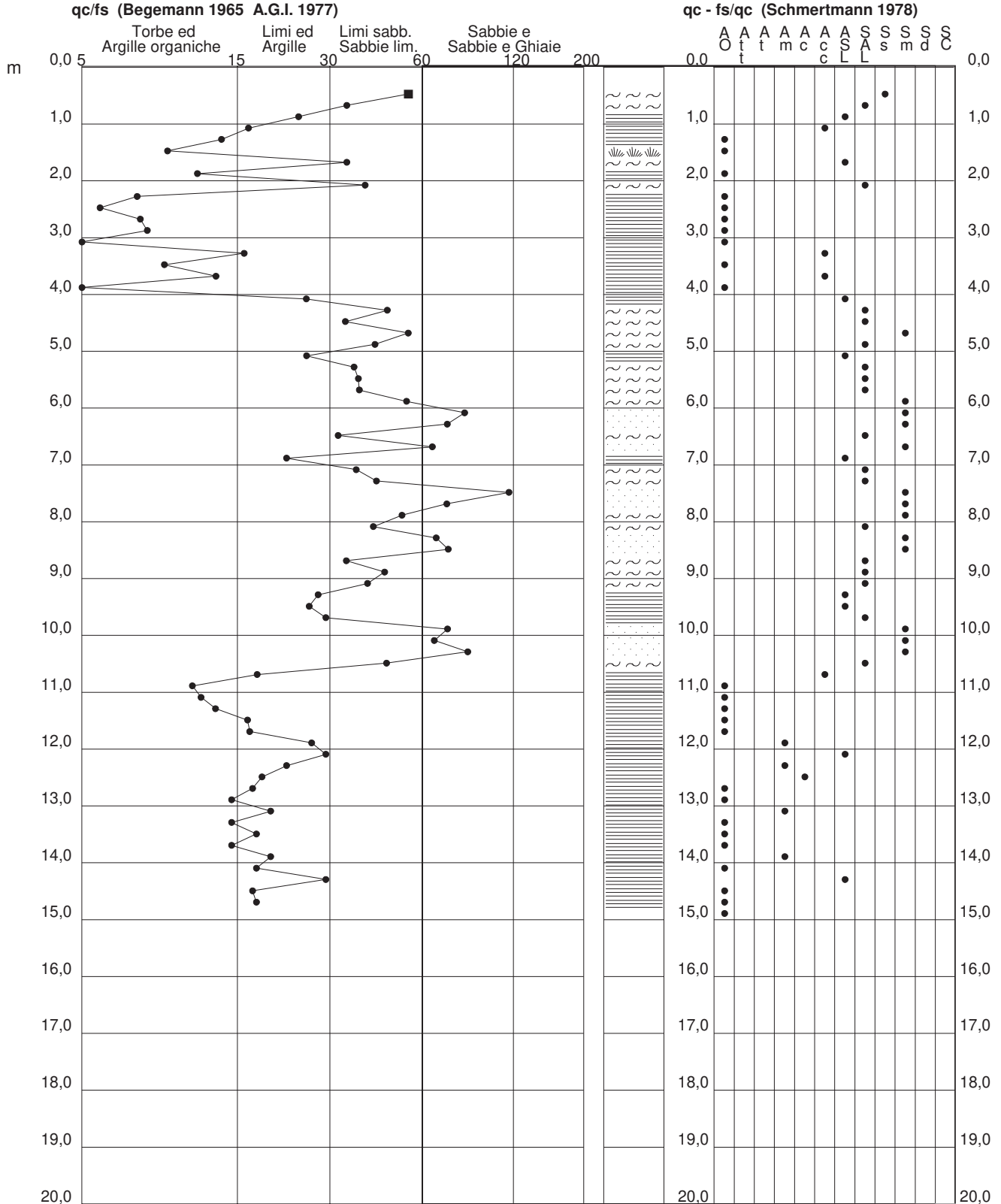
**CPT 5**

2.0105-PG076

- committente : Geol. Marco Toschi  
- lavoro : indagine geognostica  
- località : ex caserma Curtatone Montanara - Pisa  
- assist. cantiere :

- data : 07/12/2020  
- quota inizio : -0.4m da p.c.  
- falda :  
- data di emissione : 14/12/2020

- note : riporto superato in DPSH; falda -1.18













ELABORAZIONE INDAGINE MASW

*Geognostica*

*Monitoraggio  
idrogeologico*



*Geofisica*

*Indagini  
ambientali*

**Committente: Geol. Marco Toschi**

**Località d'indagine: ex caserma Curtatone Montanara - Pisa**

**data: 07 / 12 / 2020**



indagine: M.A.S.W.

strumentazione: Ambrogeo Echo 12/24 2002  
software di acquisizione: Ambrogeo v. 7.1.1 Segy  
software di elaborazione: WinMASW 4.1 std

per la geolUK s.r.l.,

l'Amministratore

geolUK s.r.l.  
GEOGNOSTICA E GEOFISICA  
www.geoluk.com info@geoluk.com

sede operativa e sede legale: Via Pesciatina, 1560/A - 55100 Lucca  
codice fiscale e numero di iscrizione al registro delle imprese di Lucca: 02069440465  
R.E.A. Lucca n. 194371 - capitale sociale € 10.000,00 i.v.  
tel 393 9371580 - fax 0583 469588 - [www.geoluk.com](http://www.geoluk.com) - [info@geoluk.com](mailto:info@geoluk.com)



## INDICE

1. Premessa.....	3
1.1. Introduzione al metodo.....	3
2. Acquisizione.....	4
2.1.1. Strumentazione impiegata.....	4
3. Utilizzo del programma Winmasw.....	5
5. Ubicazione dell'area indagata e coordinate delle indagini in WGS84.	8

## ALLEGATI e FIGURE

Sismogramma acquisito in campagna

Spettro di velocità e curva di dispersione e picking

Profilo verticale delle  $V_s$

Esempio di modello stratigrafico

Ubicazione dell'area indagata (fuori scala)

## 1. Premessa

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto del sito in esame, ubicato presso la ex caserma Curtatone – Montanara, all'interno del quartiere San Martino a Pisa (PI), è stata effettuata per conto del Geol. Marco Toschi una serie di acquisizioni con la metodologia M.A.S.W., utili a definire il profilo superficiale verticale della  $V_s$  (velocità di propagazione delle onde di taglio).

### 1.1. Introduzione al metodo

La Metodologia M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves) adottata per il presente lavoro è una tecnica di investigazione sismica non invasiva del sottosuolo di tipo attivo, presentata nel 1999 in seguito agli studi effettuati dal Kansas Geological Survey (Park et al., 1999). Attraverso l'analisi delle onde superficiali di Rayleigh questa tecnica mira a ricostruire un profilo sismostratigrafico in onde di taglio lungo la verticale al di sotto dello stendimento (profilo  $V_s$ -z).

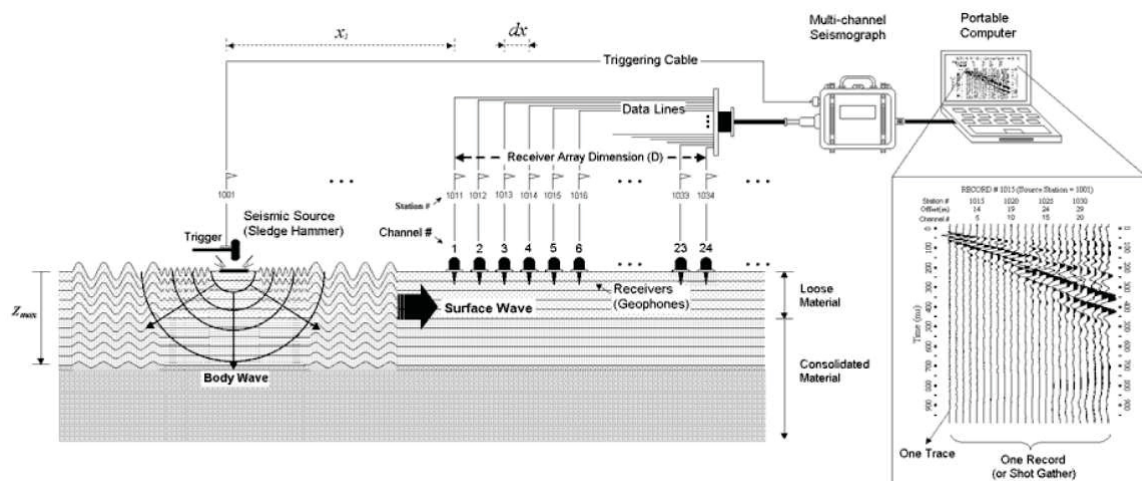


Figura 1. Illustrazione della tecnica di indagine eseguita (SurfSeis – Active Masw, 2006)

La propagazione delle onde nel caso di mezzi stratificati e trasversalmente isotropi avviene in maniera diversa rispetto ai mezzi omogenei; non esiste più una unica velocità ma ogni frequenza è caratterizzata da una diversa velocità di propagazione a sua volta legata alle varie lunghezze d'onda (fenomeno detto della dispersione in frequenza). Queste interessano il terreno a diverse profondità e risultano influenzate dalle caratteristiche elastiche, appunto variabili con la profondità. Le lunghezze d'onda più grandi corrispondono alle frequenze più basse e vanno ad

interessare il terreno più in profondità; al contrario le lunghezze d'onda più piccole, poiché sono associate alle frequenze più alte, rimangono nelle immediate vicinanze della superficie.

Come tutte le tecniche di investigazione del sottosuolo, anche la M.A.S.W. presenta dei limiti nella sua applicabilità e dei vantaggi che devono essere tenuti ben presenti nel momento in cui si pianifica e commissiona una campagna di investigazione geofisica. Brevemente i principali limiti della metodologia sono la necessità di operare in condizioni geologiche particolari (strati circa piano paralleli e lateralmente isotropi), la necessità di disporre di una taratura stratigrafica di riferimento fino alla profondità di interesse per ottimizzare il modello finale e la necessità di effettuare lo stendimento su superfici che non presentino brusche irregolarità morfologiche (salti, scalini...)

Per contro, i principali vantaggi della metodologia sono per esempio, a parità di profondità di investigazione, la possibilità di lavorare in ambienti con ingombri limitati, oppure al fine di poter ottimizzare il modello sismostratigrafico finale la possibilità di intervenire attivamente nel software di elaborazione in virtù delle conoscenze geologiche/geotecniche dell'area indagata. Inoltre, la tecnica M.A.S.W riesce, come ad es. il downhole, a rilevare il fenomeno dell'inversione di velocità.

## **2. Acquisizione**

### **2.1.1. Strumentazione impiegata**

#### *Hardware*

L'acquisizione è avvenuta tramite sismografo a 24 canali modello "Echo 12-24" (della *Ambrogeo* di Piacenza), collegato a geofoni verticali a frequenza propria di 4.5Hz.

Di seguito vengono brevemente elencate le caratteristiche tecniche del sismografo:

- Registrazione a 24 canali
- Impedenza di ingresso 20 Kohm
- Range dinamico: 93 dB
- Conversione A/D a 16 bit
- Intervallo di campionamento selezionabile a: 25, 50, 100, 200, 400, 800, 1000, 30000 ms
- Guadagno 10 dB – 100 dB, passo 1 dB
- Tensione di saturazione +/- 2,3 V
- Distorsione 0,01%
- Campionamento 130 ms
- Filtro passa basso da 50 a 950 Hz, passo 1 Hz
- Alimentazione 12V

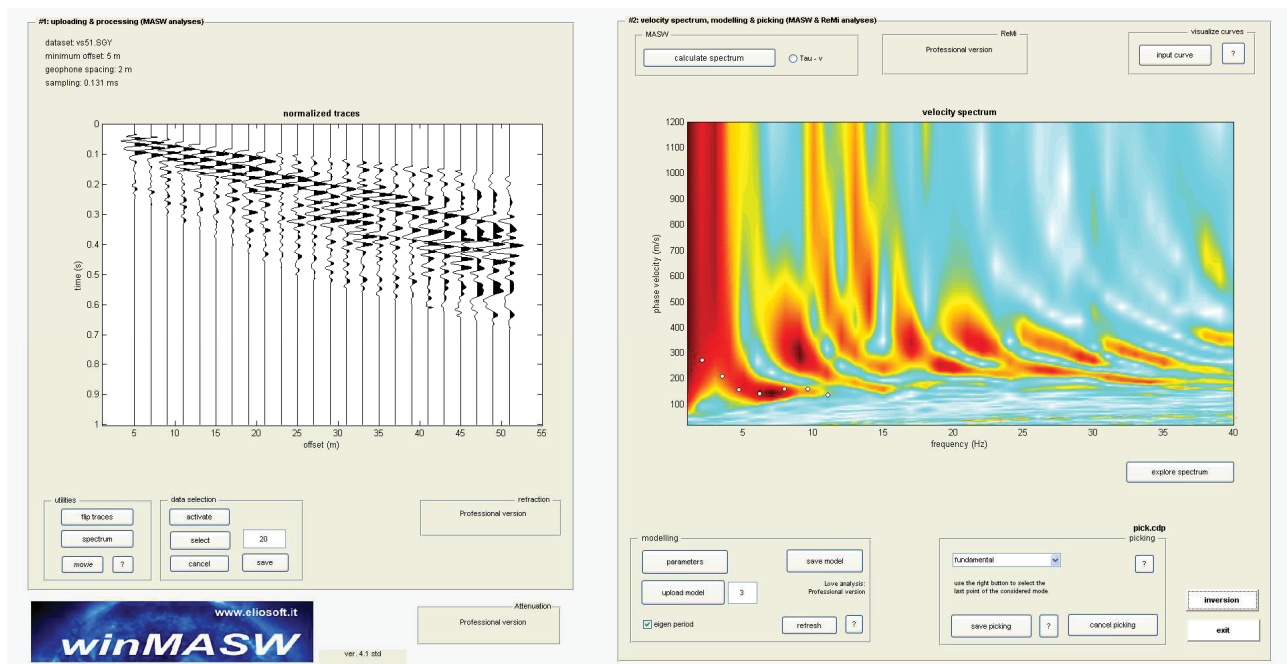
## Software

Per la registrazione in campagna del segnale sismico è stato utilizzato il software Ambrogeo v 7.1.1 Segy (della *Ambrogeo* di Piacenza) mentre, per le analisi dei dati acquisiti, è stato adottato il software *winMASW* 4.1.1 Std (della *Eliosoft* di Udine).

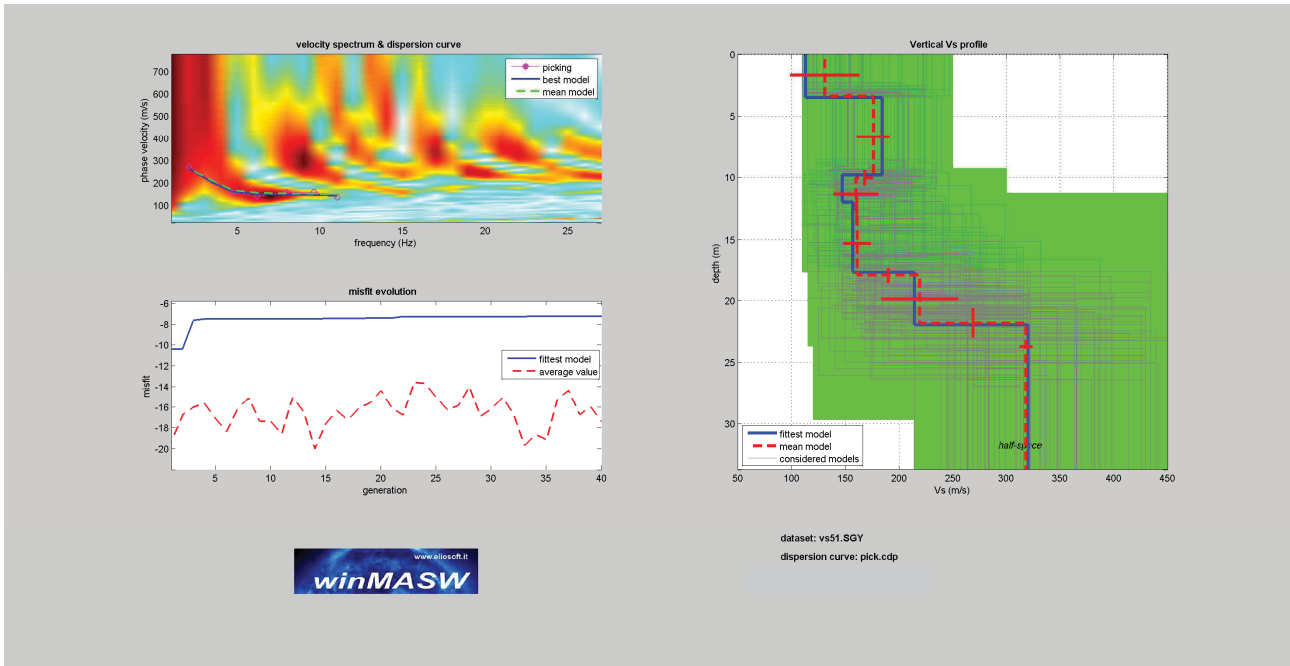
### 3. Utilizzo del programma *winMASW*

Al fine di fornire un supporto interpretativo dei dati acquisiti in campagna segue un esempio di elaborazione attraverso la determinazione dello spettro di velocità, identificazione curve di dispersione, inversione/modellazione di queste ultime, al fine di ricostruire un profilo verticale di massima della velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) per stimare il valore del parametro  $V_s$  equivalente utile alla classificazione del terreno (determinazione della categoria di sottosuolo).

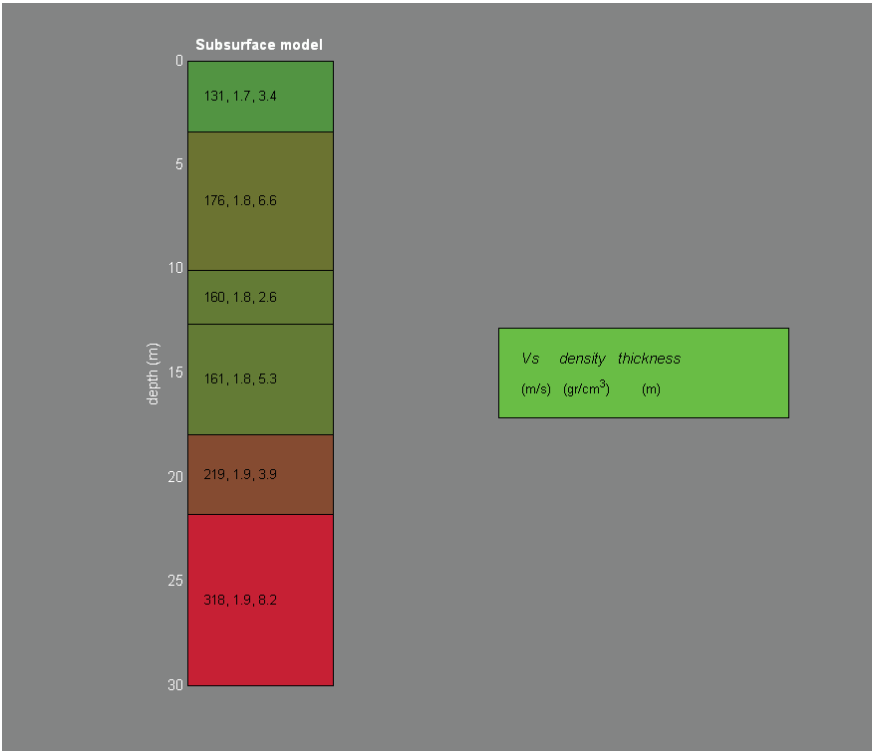
Resta tuttavia a carico del Geologo la validazione della proposta interpretativa in base alle proprie conoscenze in materia sismica e geologica del sito in esame.



**Fig. 2.** Sulla sinistra i dati di campagna e, sulla destra, lo spettro di velocità calcolato.



**Fig. 3.** Risultati dell'inversione della curva di dispersione determinata tramite l'analisi dei dati. In alto a sinistra: spettro osservato, curve di dispersione "piccate" e curve del modello individuato dall'inversione. Sulla destra il profilo verticale  $V_s$  identificato. In basso a sinistra l'evolversi del modello al passare delle "generazioni" (l'algoritmo utilizzato per l'inversione delle curve di dispersione appartiene alla classe degli *Algoritmi Genetici* – Dal Moro et al., 2007).



**Fig. 4.** Colonnina sismo-stratigrafica di massima del sito. Per ciascun strato indicate  $V_s$ , densità (stimate) e spessori.

Dall'analisi della dispersione delle onde di Rayleigh, a partire dai dati di sismica attiva raccolti con la tecnica M.A.S.W. e in riferimento alla ricostruzione stratigrafica (modello di partenza) ricavabile dalle informazioni/indagini puntuali a taratura messe a disposizione dalla Committenza, viene proposto un profilo sismostratigrafico della  $V_S$  monodimensionale al di sotto dello stendimento effettuato.

Sulla base dei dati disponibili viene pertanto calcolata la  $V_{S,eq}$  - a partire dal piano campagna attuale - secondo le modalità di calcolo indicate nelle *Norme Tecniche per le Costruzioni 2018*:

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

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.

$$V_{S,eq} = 192 \text{ m/s}$$

Tuttavia si ricorda che, sempre in ottemperanza alla Normativa, per la determinazione corretta della  $V_{S,eq}$  il Geologo deve far riferimento alla profondità di imposta delle fondazioni previste nel progetto:

- per le fondazioni superficiali, tale profondità è riferita al piano di imposta delle stesse;
- per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali;
- Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera;
- Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

## 5. Ubicazione dell'area indagata e coordinate delle indagini in WGS84



(fuori scala)

Legenda:

G1 / Traccia della linea sismica (G1= geofono n.1)

○ Shots eseguiti

ELABORAZIONE ANALISI DI RUMORE HVSR



*Geognostica*

*Monitoraggio  
idrogeologico*



*Geofisica*

*Indagini  
ambientali*

**Committente:** Geol. Marco Toschi

**Località d'indagine:** ex caserma Curtatone Montanara - Pisa

**data:** 07 / 12 / 2020



indagine: HVSR

strumentazione: Echotromo

software di elaborazione: Software HV 1.0.0.2  
Geopsy  
GeoExplorerHVSR

per la geolUK s.r.l.,

l'Amministratore

**geolUK s.r.l.**  
GEOGNOSTICA E GEOFISICA  
www.geoluk.com info@geoluk.com

sede legale: e sede operativa: Via Pesciatina, 1560/A - 55100  
codice fiscale e numero di iscrizione al registro delle imprese di Lucca: 02069440465  
R.E.A. Lucca n. 194371 - capitale sociale € 10.000,00 i.v.  
tel 393 9371580 - fax 0583 956364 - [www.geoluk.com](http://www.geoluk.com) - [info@geoluk.com](mailto:info@geoluk.com) - [geoluk@pec.it](mailto:geoluk@pec.it)

## INDICE

1. Descrizione dell'indagine .....	3
2. Segnale .....	3
3. Curva HVSR e elaborati.....	4
4. Conclusioni .....	6
5. Specifiche strumentali.....	7
6. Ubicazione .....	8

## ALLEGATI e FIGURE

Fig.1	Dati sperimentali
Fig.2	Curva HVSR
Fig.3	Curva delle singole componenti
Fig.4	Stazionarietà
Fig.5	Direzionalità
Fig.6	Ubicazione
Tabella1	Criteri di ammissibilità
Tabella2	Classe di qualità

## 1. Descrizione dell'indagine

L'area oggetto di indagine, morfologicamente collocata in pianura alluvionale, è ubicata all'interno del centro storico di Pisa, quartiere San Martino, all'interno dell'area ex caserma militare Curtatone Montanara. L'area risulta essere caratterizzata principalmente dalla presenza di sorgenti di rumore di tipo transiente, provenienti principalmente dal traffico veicolare presente lungo le strade circostanti.

Il tromografo, correttamente orientato nella direzione del nord geografico, è stato posizionato per livellamento al suolo mediante tre spike regolabili a 120°, avendo cura di attendere il tempo necessario affinché lo strumento fosse stabile.

La posizione del sito di registrazione è stata scelta considerando la opportuna distanza dai fabbricati circostanti, oltre che dalle piante ad alto fusto presenti. Nonostante la giornata sia stata caratterizzata da discontinui rovesci e raffiche di vento si segnala che l'acquisizione è stata eseguita in un momento favorevole di assenza di pioggia e vento.

Per la determinazione della curva HVSR è stata realizzata n.1 registrazione, della durata di 30 minuti, ovvero 1800 secondi, adottando una frequenza di campionamento pari a 200 Hz.

In fase di lettura a monitor delle tracce registrate, si conferma la bontà del segnale per il mantenimento della verticalità del sensore e pertanto si ritiene significativo ai fini della determinazione della definizione della curva HVSR per l'area indagata.

## 2. Segnale

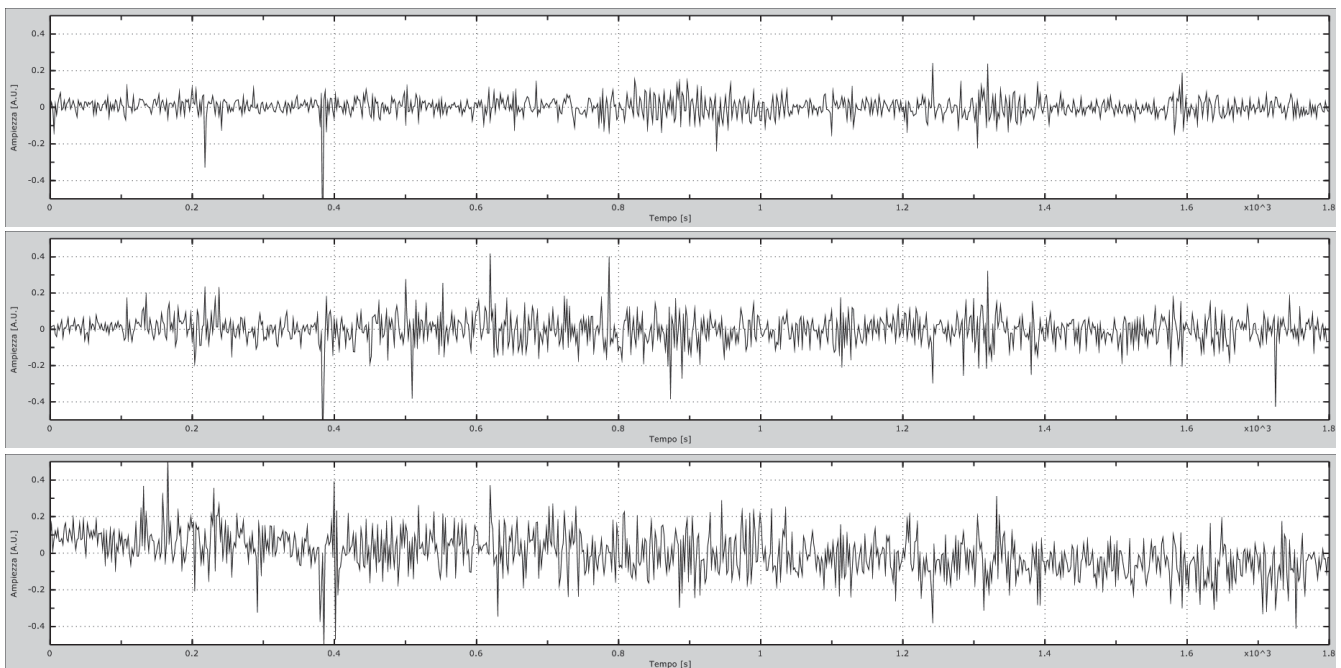


Fig. 1: Reg.1: Dati sperimentali in direzione Z (alto), N-S (centro) e E-W (basso).

### 3. Curva HVSR e elaborati

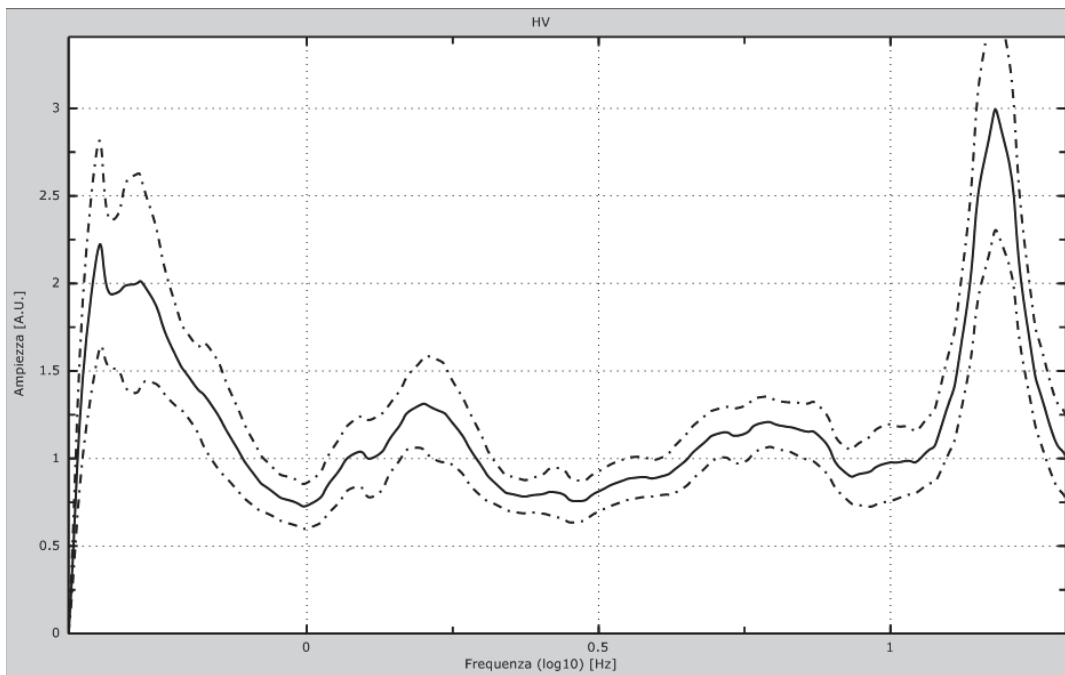


Fig. 2: Reg.1: Curva HVSR

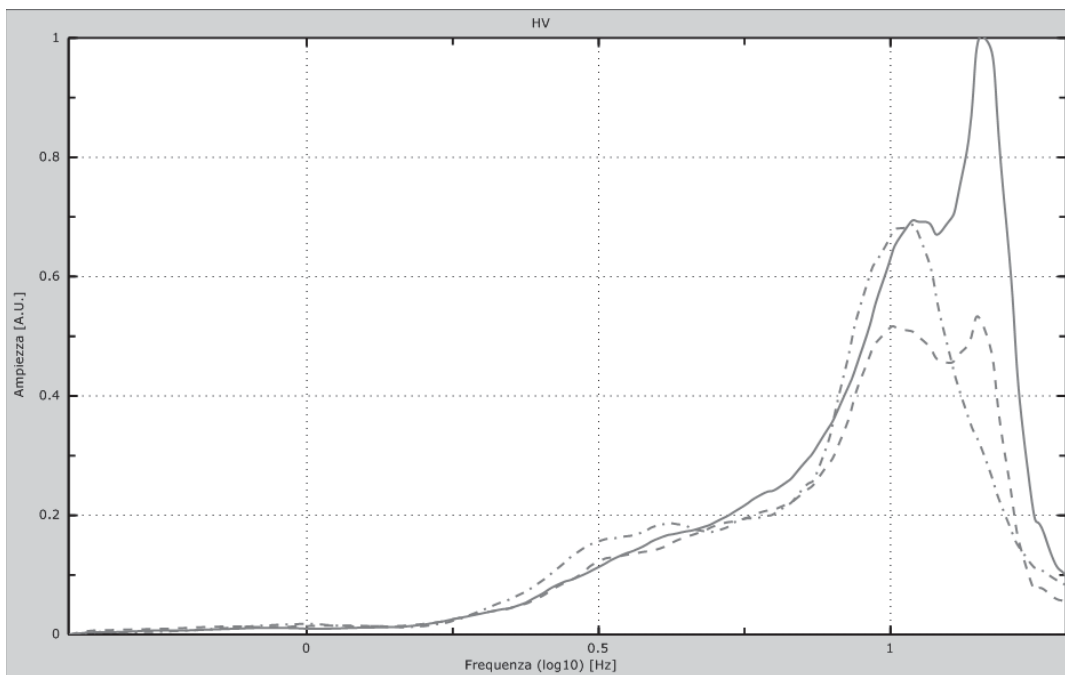


Fig. 3: Reg.1: Spettri delle singole componenti: Z (tratto-punto); N-S (linea continua); E-O (tratteggiato).

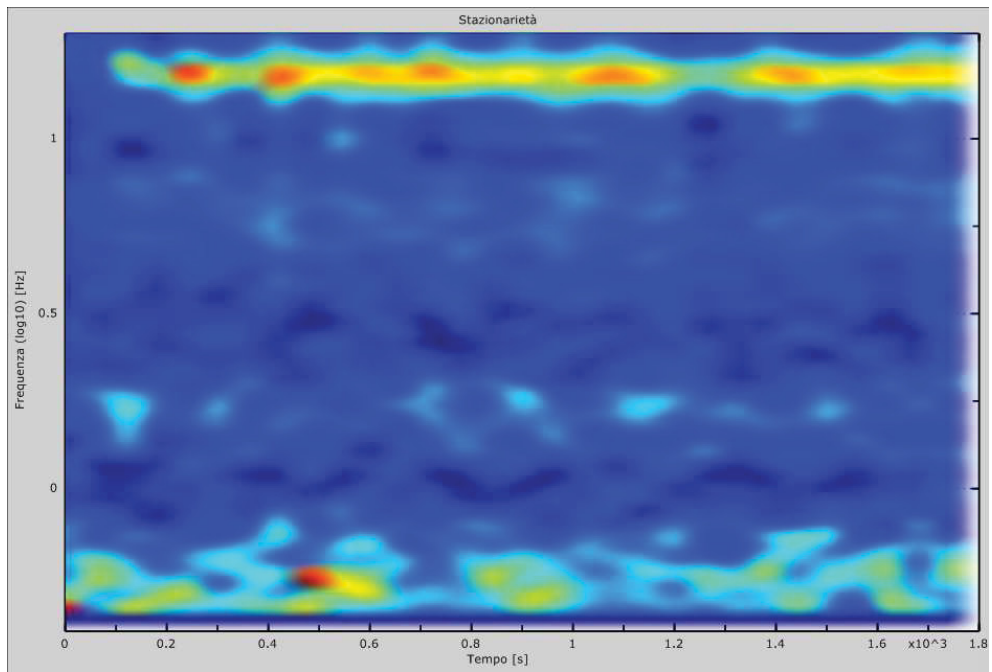


Fig. 4: Reg.1: Stazionarietà

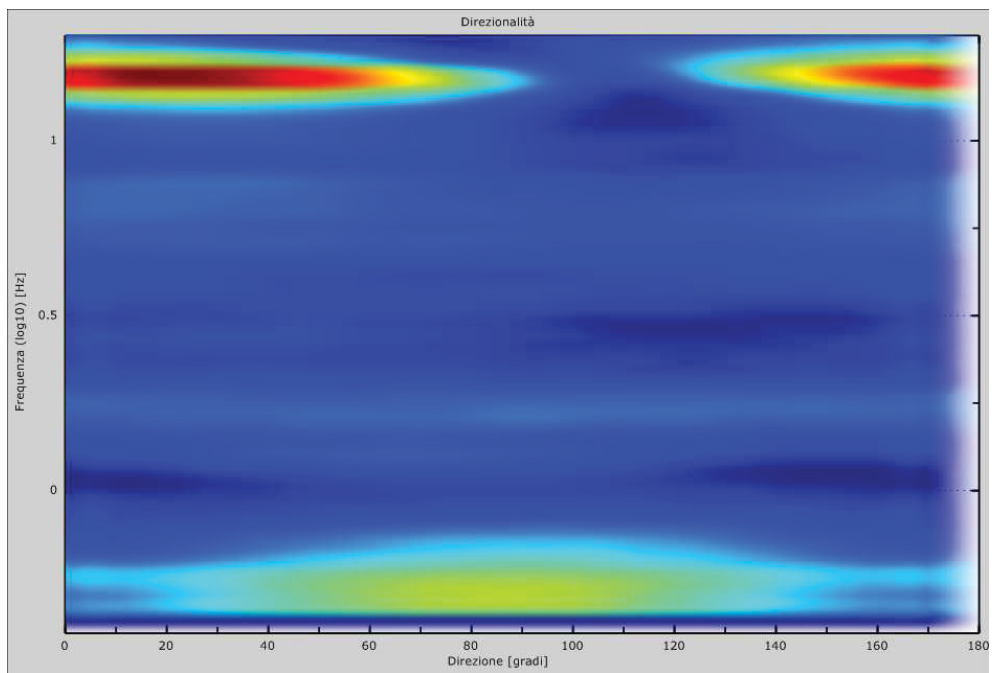


Fig. 5: Reg.1: Direzionalità

## 4. Conclusioni

ANALISI CURVA H/V (Fig.2): i picchi chiaramente identificabili e aventi fattore di amplificazione maggiore di 2 sono:

- picco n.1: 15.05 Hz
- picco n.2: 0.44 Hz

Dall'analisi degli spettri delle singole componenti nello spettro di Fourier di Fig. 3 si nota che il picco numero 1 in realtà sembra esser il risultato di due massimi assoluti e di un massimo relativo (flesso), mentre il picco numero 2 sembra non avere una natura antropica, per cui è da ritenersi con buona certezza, di origine naturale.

Frequenza di picco della curva H/V sperimentale [Hz] principale = 0.44

Della frequenza anzidetta si riportano i criteri di ammissibilità del picco, che presenta amplificazione 2.23. Pertanto:

Criterio 1	OK
Criterio 2	OK
Criterio 3	OK
Criterio 4	OK
Criterio 5	OK
Criterio 6	OK
Criterio 7	NO

Tabella 1: Reg.1: Criteri di ammissibilità (vedasi manuale Software HVSR)

Classe di Qualità: A

CLASSE A	(H/V affidabile, può essere utilizzata anche da sola)
<i>condizioni</i>	1)-La forma dell'H/V nell'intervallo di frequenze di interesse rimane stazionaria per almeno il 30% della durata della misura; 2)-le variazioni azimutali di ampiezza non superano il 30% del massimo; 3)-assenza di disturbi elettromagnetici nella banda di frequenza di interesse; 4)-i massimi sono caratterizzati da una diminuzione localizzata dello spettro della componente verticale; 5)-i primi 3 criteri SESAME per una curva H/V attendibile sono verificati; 6)-durata della misura di almeno 15-20 minuti.
eccezione:	nel caso di assenza di contrasti di impedenza sufficientemente marcati, la condizione 5 non sarà soddisfatta anche se la misura è affidabile (H/V tipo 2, v. sotto).
CLASSE B	(H/V da "interpretare": va utilizzata con cautela e solo se coerente con altre misure vicine)
<i>condizione:</i>	Almeno una delle 6 condizioni della classe A non è soddisfatta (a meno che non si rientri nell'eccezione sopra citata)
CLASSE C	(H/V scadente e di difficile interpretazione: non va utilizzata)
<i>condizioni:</i>	1)-Misura di tipo B con curva H/V che mostra ampiezza crescente al diminuire della frequenza (deriva) indice di movimento dello strumento durante la misura; 2)-misura di tipo B con presenza di rumore elettromagnetico nell'intervallo di frequenze di interesse.
<i>Per le classi A e B si possono inoltre definire le seguenti due sottoclassi:</i>	
Tipo 1: H/V con almeno un picco "chiaro" secondo i criteri SESAME (possibile risonanza)	
Tipo 2: Tipo 2: H/V senza picchi "chiaro" nell'intervallo di frequenze di interesse (ampiezza della curva circa uguali ad 1: assenza di risonanza)	

Tabella 2: Tabella della classe di qualità

Si suggerisce tuttavia il confronto di coerenza con altre misure disponibili vicine, per escludere la possibilità di "inquinamento" del segnale da parte di disturbi elettromagnetici vicini alla banda di frequenza di interesse non rilevati dalla presente registrazione.

## 5. Specifiche strumentali

Specifiche tecniche del tromografo Echotromo:

- Number of channels: 3 with differential input
- Input impedance: 47 Kohm
- Noise: 0,4 uV 1KHz sample frequency
- Max Input voltage: 1Vpp
- AD convertion: 24 bit
- Sample frequency: 50Hz, 100 Hz, 200 Hz

- Data storage: Internal flash disk 2GB (minimum 1GB)
- Recording format: SAF (SESAME ASCII Format)
- Power supply: 9,6Volt Ni Mh rechargeable battery
- Power autonomy: 6 hours
- IP Grade: IP 40
- Operating temperature: -25 / 70°C
- Gain of signal input: 1,2,4,8,16,32,64
- Max recording time:  $\approx$  2,5 hours

## 6. Ubicazione e coordinate in WGS84°



Fig. 6: Ubicazione e coordinate in WGS84°