

geol. Paola Violanti

Ordine Geologi della Toscana n. 229
via Osteria Bianca, 43
50053 Ponte a Elsa, Empoli, FI
tel e fax: 0571 931212 - 3479186530
e – mail: paolaviolanti53@gmail.com
pec: paolaviolanti@epap.sicurezzapostale.it
cod.fisc. VLNPLA53P51D403Z
part. I.V.A. 04363000482

in collaborazione con

geol. Yuri Pucci - Geoprogetti

COMUNE DI EMPOLI

**PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO
PER LA COSTRUZIONE DI NUOVI LOCULI
NEL CIMITERO DI S.ANDREA DEL CAPOLUOGO –
LOTTO II - CUP C71B21008290004, EMPOLI**

COMUNE DI EMPOLI

**CARATTERIZZAZIONE, MODELLAZIONE GEOLOGICA, SISMICA E
GEOTECNICA**

- Indagine geologica e caratterizzazione geotecnica del sottosuolo (D.M. 17.01.2018)

giugno 2022

**PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO PER LA COSTRUZIONE DI NUOVI LOCULI
NEL CIMITERO DI S.ANDREA DEL CAPOLUOGO –
LOTTO II - CUP C71B21008290004
EMPOLI**

RELAZIONE GEOLOGICA E CARATTERISTICHE SISMICHE DEL SITO

INDICE

PREMESSA.....	2
<i>Normativa di riferimento</i>	3
1 – QUADRO CONOSCITIVO	3
<i>Pericolosità geologica:</i>	4
<i>Pericolosità sismica locale:</i>	5
<i>Pericolosità da alluvioni:</i>	6
2 - INDAGINI GEOGNOSTICHE E MODELLO GEOLOGICO-GEOTECNICO	7
2.1- <i>Sondaggio a carotaggio continuo</i>	7
2.2- <i>Prove penetrometriche</i>	9
2.3 - <i>Risultati analisi di laboratorio</i>	10
2.3.1 - <i>Massa volumetrica naturale, dei grani, limiti di Atterberg e indice di consistenza</i>	10
2.3.2 - <i>Granulometria e attività del campione C1</i>	11
2.3.3 - <i>Prova di Compressione Triassiale UU e prova di Taglio Diretto</i>	11
2.3.4 - <i>Prova edometrica</i>	11
2.3.5 - <i>Interpretazione NSPT</i>	12
3 – MODELLO GEOLOGICO-GEOTECNICO	12
4 – ASSETTO IDROGEOLOGICO	13
5 – CARATTERISTICHE SISMICHE DEL SITO	13
5.1 – <i>Categoria topografica</i>	13
5.2 – <i>Categoria di sottosuolo</i>	13
5.3 – <i>Parametri sismici</i>	14
5.4– <i>effetti sismici di sito: sicurezza nei confronti della liquefazione</i>	15
6 - CONSIDERAZIONI SUL FENOMENO DI LESIONAMENTO	15
CONCLUSIONI	16
<u>Appendici alla relazione:</u>	
- Tavola 1: Sezione geologica tecnica e planimetria con le indagini svolte;	
- appendice 1: Certificati prova penetrometrica;	
- appendice 2: Certificati analisi di laboratorio ;	
- appendice 3: Report indagine sismica;	
- appendice 4: Dati a disposizione	
- appendice 5: Verifica alla liquefazione;	

PREMESSA

L'indagine di seguito descritta è stata condotta a supporto della costruzione di nuovi loculi in adiacenza ad un blocco già esistente, all'interno del cimitero comunale di S.Andrea ad Empoli, in via Val D'Orme n°4.



figura 1 – inquadramento area di indagine
(da Google maps)

Per ricostruire la stratigrafia del sottosuolo e definire le proprietà geomeccaniche dei litotipi presenti abbiamo fatto riferimento alle indagini geognostiche eseguite in passato nell'area cimiteriale dallo Studio Getas Petrogeo srl, costituite da n° 2 sondaggi a carotaggio continuo, analisi di laboratorio su campioni indisturbati ed una prova CPTU.

A integrazione dei dati già a disposizione è stata eseguita una prova penetrometrica CPT, profonda 15,8 metri, ed è stato prelevato un campione indisturbato di terreno sul quale sono state effettuate specifiche analisi geotecniche.

La caratterizzazione sismica del sottosuolo è stata definita attraverso un'indagine MASW e HVS appositamente condotta in occasione della presente indagine.

Normativa di riferimento

- P.S. E P.O. del Comune di Empoli;
- D.P.G.R. 30 gennaio 2020 n.5/R: "Regolamento di attuazione dell'Art. 104 della L.R. n.65/2014";
- Del. D.G.R.T. n. 31/2020 Direttive Tecniche al D.P.G.R. 5/R, Allegato A;
- D.P.G.R. 25 ottobre 2011 n.53/R: "Regolamento di attuazione dell'Art. 62 L.R. n.1/2005";
- Del. n. 20 del 20 dicembre 2019 C.I.P. di AdB Distrettuale Appennino Settentrionale: "Adozione del Piano di Bacino del distretto idrografico dell'Appennino settentrionale, stralcio Assetto Idrogeologico

- per la gestione del rischio da dissesti di natura geomorfologica ..." (G.U. n. 9 del 13-1-2020);
- Del. D.G.R.T. 19/01/2022 n.1/R;
 - Ministero Infrastrutture e Trasporti Decreto 17 gennaio 2018: "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni";
 - Circolare C.S.LL.PP. 21 Gennaio 2019, n. 7: "Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle NTC di cui al D.M. 17 Gennaio 2018".

1 - CARATTERISTICHE DELL'INTERVENTO

Il nuovo lotto sarà costituito da una struttura in calcestruzzo armato con dimensioni in pianta di 22,45x15,05 metri e altezza in gronda di 10,02 metri. La nuova struttura sarà realizzata in adiacenza ad una simile già esistente ma sarà strutturalmente indipendente da quest'ultima.

Per maggiori dettagli sugli interventi previsti si rimanda agli elaborati architettonici e strutturali predisposti dal Dott.Ing. Giulia Marconcini.

Nella seguente tabella si riportano le caratteristiche attribuibili all'intervento ai sensi del D.M. 17 gennaio 2018:

TIPO DI COSTRUZIONE	VITA NOMINALE	CLASSE D'USO	COEFF. D'USO	PERIODO DI RIFERIMENTO Vr
2	≥ 50 anni	III	1,5	75 anni

Ai sensi del DPGR n.1/R 2022 all.1, la classe di indagine relativa all'intervento in oggetto è la n. 3.

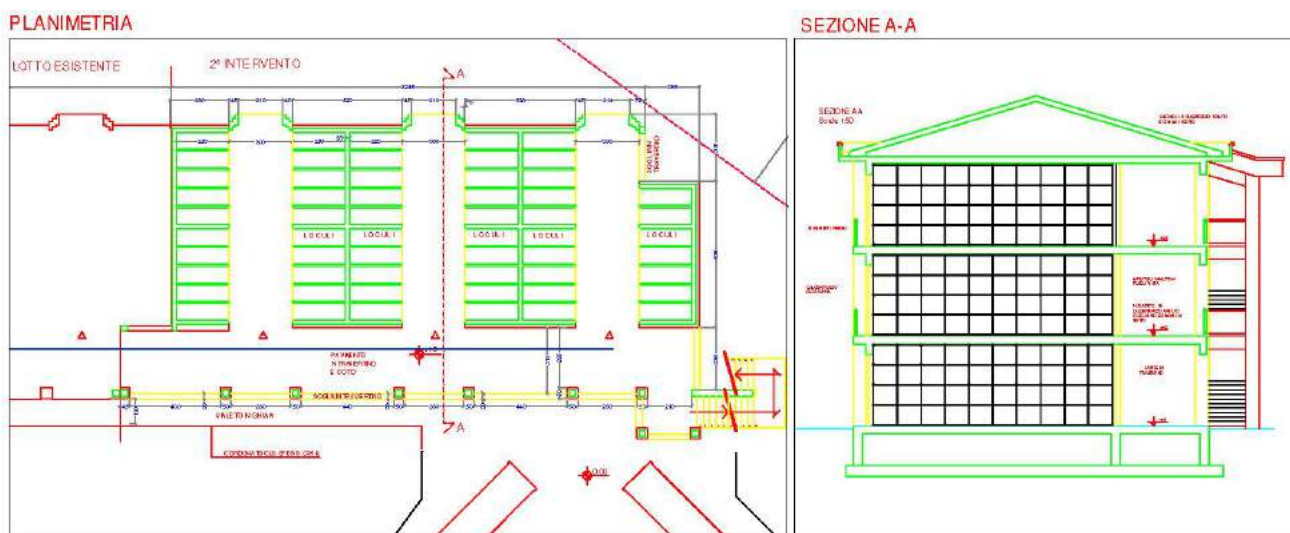


Figura 2 - Elaborati di progetto

2 – QUADRO CONOSCITIVO

La zona in esame si colloca a Sud del centro abitato di Empoli, all'interno della vasta area alluvionale costituita dal Fiume Arno e dai suoi numerosi affluenti.

L'area cimiteriale si inserisce in una zona pianeggiante ad una quota altimetrica di 29,6 m.slm, ed è delimitata ad Ovest Nord-Ovest dal Rio dei Cappuccini e ad Est Sud-Est dal Rio del Terraio.

I terreni affioranti appartengono ai depositi alluvionali Olocenici costituiti da limi e argille.

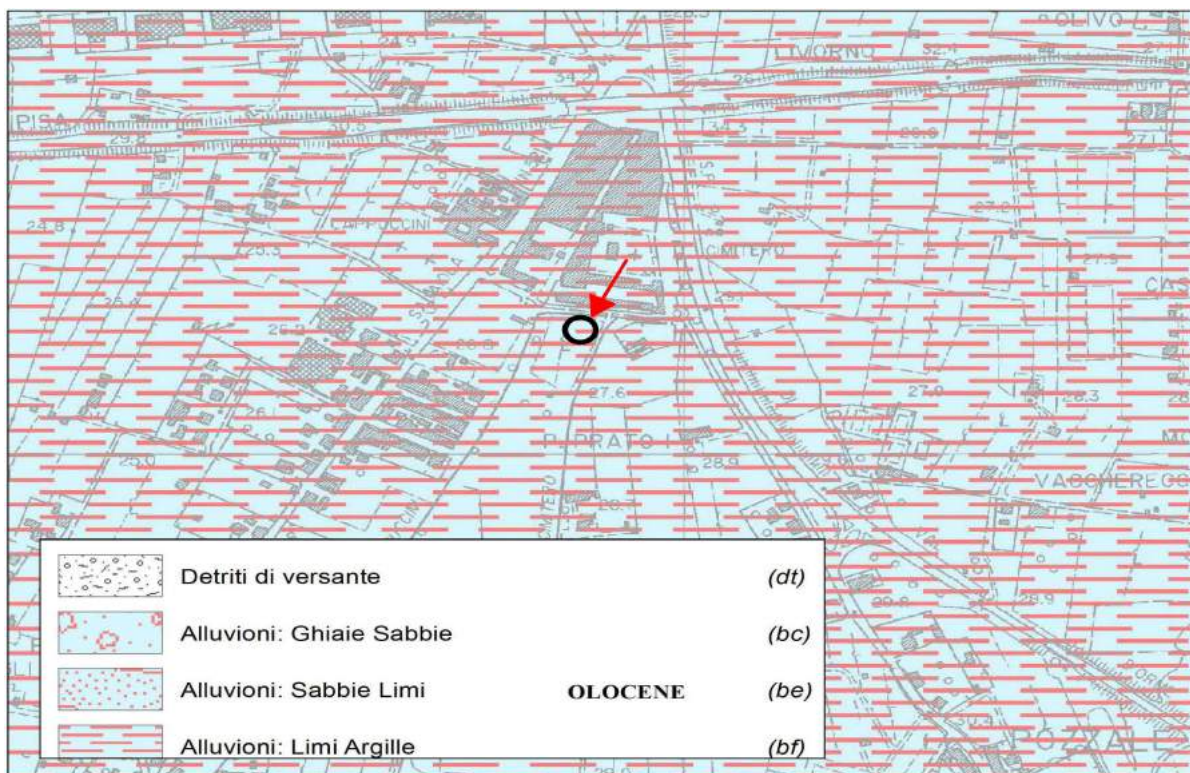


Figura 3 - carta geologica

La carta geomorfologica non segnala la presenza di fenomeni di dissesto né elementi morfometrici significativi.

Dalla Carta Idrogeologica facente parte del quadro conoscitivo del Piano Strutturale del comune di Empoli risulta che il tetto della falda freatica si pone a circa -14,0 metri dal piano di campagna. Nel sondaggio a disposizione S1 il livello saturo è invece indicato a quote prossime al piano campagna: a -2,1 metri dal p.c.

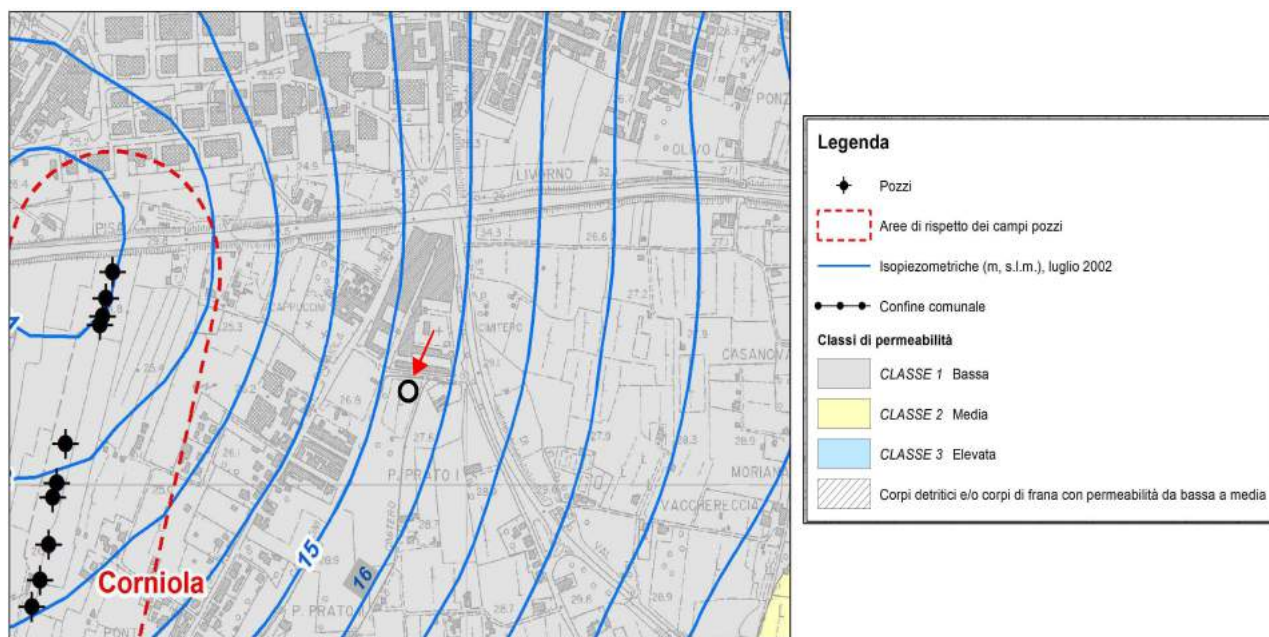


Figura 4 - carta idrogeologica

Le condizioni di fragilità idrogeologica risultano basse per la presenza di terreni poco permeabili costituiti da argilla e limo.

Pericolosità geologica:

Per l'individuazione degli elementi di pericolosità si è fatto riferimento alla Carta della Pericolosità Geologica redatta ai sensi della normativa regionale: D.P.G.R. 53/R 2011.

Ne risulta che l'area di intervento si colloca nella Classe G.2, "*pericolosità geologica media*", che riguarda "aree con elementi geomorfologici, litologici e giaciturali dalla cui valutazione risulta una bassa propensione al dissesto..."

Anche ai sensi della normativa ad oggi vigente (D.P.G.R. 5/R 2020) il contesto geomorfologico è riconducibile alla Classe G.2: "Pericolosità geologica media".



Figura 5 - carta della pericolosità geologica

Pericolosità sismica locale:

La cartografia relativa alla pericolosità sismica locale è stata redatta ai sensi del D.P.G.R. 53/R e all'area in oggetto è stata assegnata una pericolosità sismica media "S2".

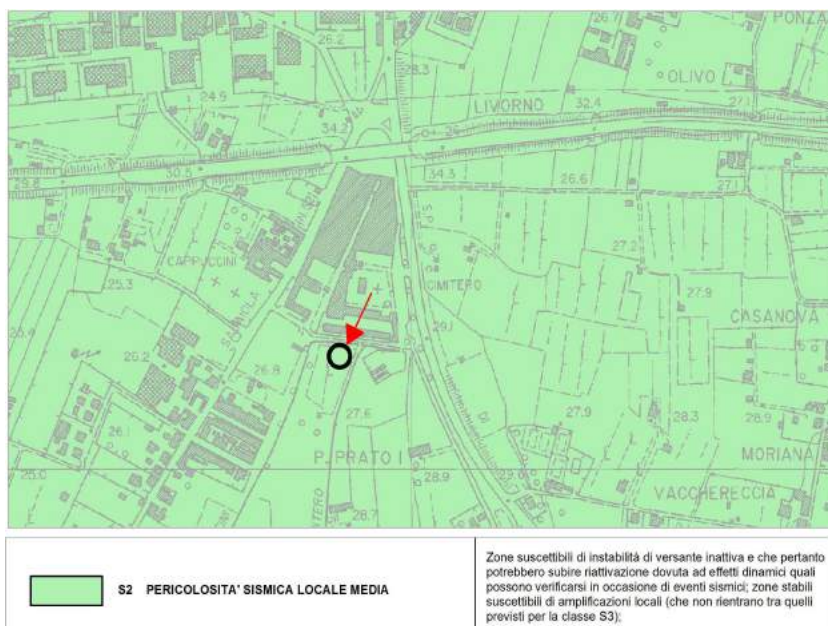


Figura 6 - carta pericolosità sismica

Anche ai sensi della normativa ad oggi vigente (D.P.G.R. 5/R 2020) il contesto sismico è riconducibile alla Classe S.2: "Pericolosità sismica locale media". Questo dato è confermato anche dalle indagini sismiche svolte in sito che non hanno rilevato significativi contrasti d'impedenza.

Pericolosità da alluvioni:

Nella carta della Pericolosità idraulica allegata al P.S., redatta ai sensi del D.P.G.R. 53/R, è indicata la classe I.2 (Pericolosità media), soggetta ad eventi esondativi con tempo di ritorno $200 < Tr < 500$ anni, riconducibile, ai sensi del D.P.G.R. 5/R 2020, alle aree a pericolosità da alluvioni rare o di estrema intensità (P1), come classificate negli atti di pianificazione di bacino in attuazione del d.lgs.49/2010

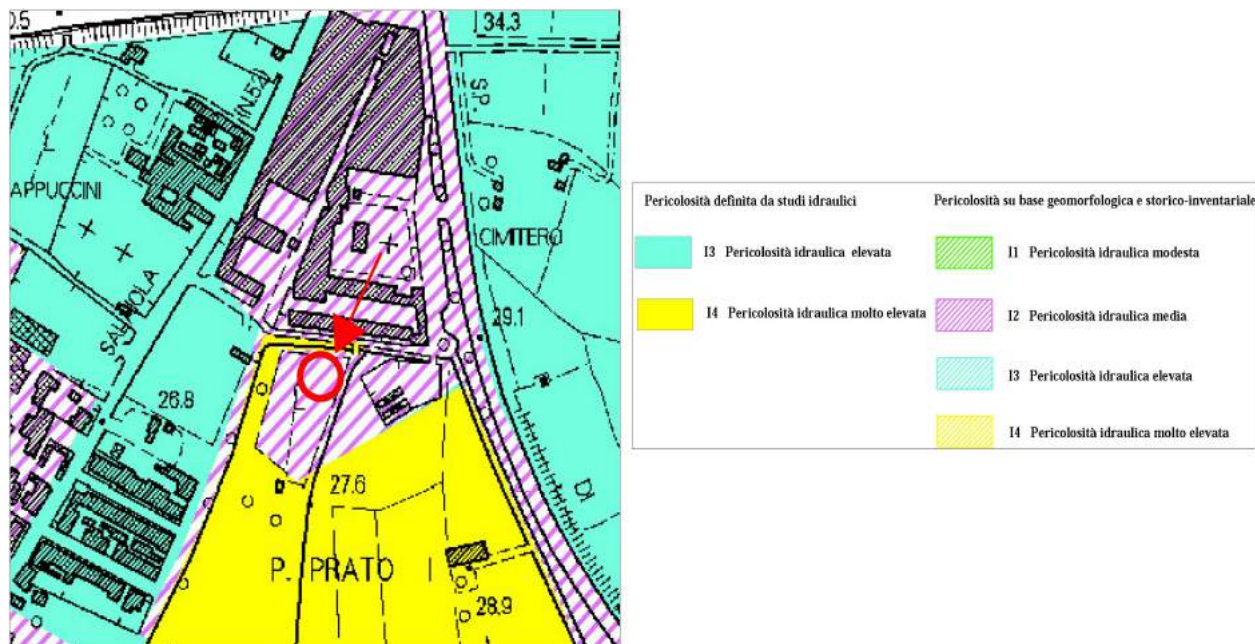


Figura 7 - carta pericolosità idraulica

La Mappa della Pericolosità da Alluvione Redatta dal Distretto Appennino Settentrionale inserisce l'area d'intervento nella Classe P1: soggetta a eventi alluvionali con tempi di ritorno superiore ai 200 anni.

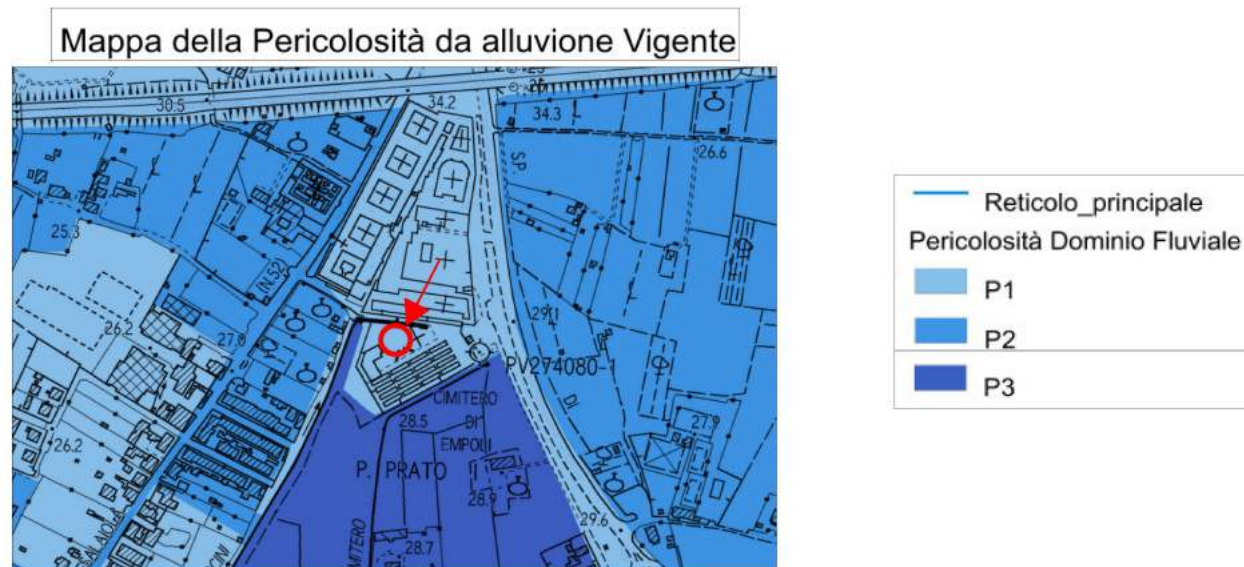


Figura 8 - PGRA

Fattibilità:

La fattibilità dell'intervento è definita attraverso le tabelle orientative presenti nel secondo R.U. Comunale "Relazione Geologica di Fattibilità-Marzo 2013". La fattibilità viene definita incrociando la tipologia d'intervento con le rispettive classi di pericolosità:

TABELLA ORIENTATIVA PER L'ASSEGNAZIONE DELLE CLASSI DI FATTIBILITA' GEOLOGICA				
TIPOLOGIA DI INTERVENTO	GRADO DI PERICOLOSITA' GEOLOGICA			
	G1	G2	G3	G4
4) Consistenti ampliamenti (>50 mq) e sopraelevazioni, nuovi edifici, demolizione e ricostruzione e altri interventi che comportino nuovi cospicui carichi sul terreno o forti sovraccarichi sulle fondazioni. Nuova viabilità	F1	F2	F3	F4

TABELLA ORIENTATIVA PER L'ASSEGNAZIONE DELLE CLASSI DI FATTIBILITA' IDRAULICA				
TIPOLOGIA DI INTERVENTO	GRADO DI PERICOLOSITA' IDRAULICA			
	I1	I2	I3	I4
NUOVI INTERVENTI				
Nuovi edifici, ampliamenti planimetrici che comportino occupazione di suolo, parcheggi, viabilità, con dimensione >50 mq di superficie coperta.	F1	F2	F3	F4**

L'intervento in oggetto ricade nelle aree a pericolosità da alluvioni rare e di estrema intensità per cui non è soggetta alla LR 41 del 2018.

Tenendo conto di quanto riportato nel paragrafo 3.2.2. della Relazione Geologica di Fattibilità del marzo 2013 eseguita a supporto del Secondo Regolamento Urbanisitico, tra aspetti idraulici devono essere considerate anche le misure per il contenimento dell'impermeabilizzazione del territorio.

Vista comunque la presenza di estese superfici permeabili in corrispondenza dei campi di inumazione, si ritiene che la necessità di predisporre misure di contenimento possa essere subordinata alla verifica della capacità di smaltimento della rete fognaria o alla possibilità di convogliare le stesse acque nel Rio Cappuccini, posto a Nord dell'area in oggetto ad una distanza di circa 20 metri.

Il volume d'acqua prodotto dall'impermeabilizzazione dell'area da parte del manufatto in progetto è stato calcolato secondo le indicazioni presenti nella Relazione Geologica di Fattibilità:

$$V = S \cdot \Delta\phi \cdot h$$

S = area scolante modificata dall'intervento in m²

$\Delta\phi$ = variazione del coefficiente di deflusso = $\phi_{\text{post}} - \phi_{\text{pre}}$

h = altezza pioggia oraria con TR di 20 anni

S	340 mq	Volume prodotto
Φ_{post} impermeabile	1	13,3 mc
Φ_{pre} verde	0,15	
h	46 mm	

Sulla base delle valutazioni svolte all'intervento in esame corrisponde una "Classe 2 - Fattibilità con normali vincoli".

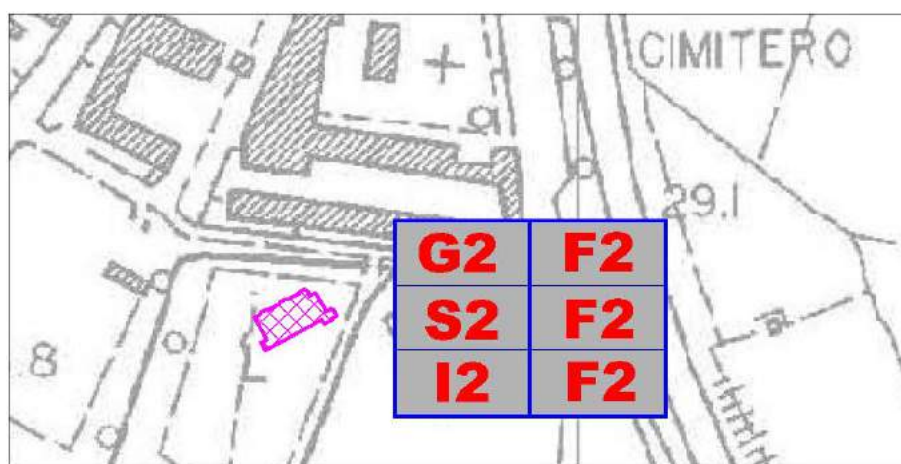


Figura 9 – Fattibilità dell'area in oggetto

3 - INDAGINI GEOGNOSTICHE E MODELLO GEOLOGICO-GEOTECNICO

Nell'area in oggetto sono state eseguite in passato da parte dello Studio Getas Petrogeo le seguenti indagini:

- n°2 sondaggi a carotaggio continuo (S1 e S2) con prelievo di campioni
- prova penetrometrica CPTU

In occasione della presente indagine è stata eseguita una ulteriore prova penetrometrica (PP1), ed è stato prelevato un campione indisturbato (C1) sul quale sono state effettuate specifiche analisi di laboratorio. E' stata inoltre eseguita un'indagine sismica con prova Masw e HVS.

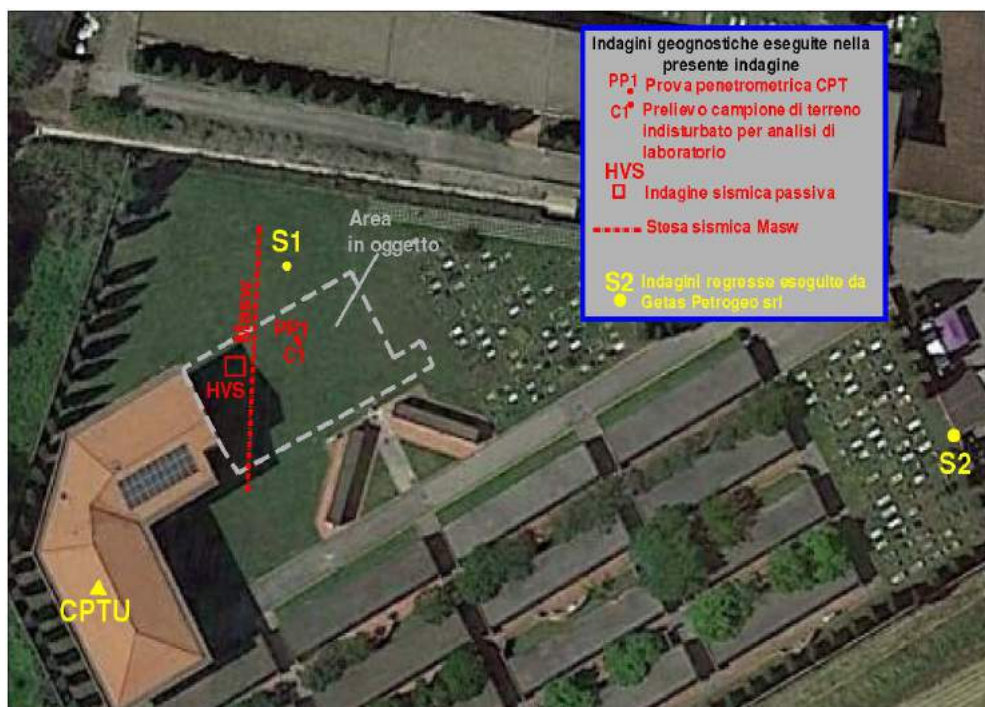


Figura 10. Planimetria con ubicazioni indagini

2.1- Prova penetrometrica PP1

La prova penetrometrica in sito è stata effettuata dalla ditta specializzata Geoservizi s.n.c. di Pisa, tramite un penetrometro statico TG 73-200, munito di manicotto (Punta Begemann) per la misura dell'attrito laterale. Per quanto riguarda le caratteristiche delle attrezzature ed ulteriori specifiche tecniche, si rimanda ai certificati di prova allegati alla presente relazione in Appendice 1.

L'identificazione litostratigrafica è stata operata attraverso l'indice di comportamento IC - calcolato con la formula di Robertson-Cabal 2015.

Tabella 2.4: Identificazione litostratigrafica in base all'indice di comportamento del terreno.

classe	descrizione	IC [-]
2	terreno organico, torba	> 3.60
3	da argille limose ad argille	2.95 + 3.60
4	da limi argillosi ad argille limose	2.60 + 2.95
5	da sabbie limose a limi sabbiosi	2.05 + 2.60
6	da sabbie pulite a sabbie limose	1.31 + 2.05
7	da sabbie ghiaiose a sabbie dense	< 1.31

Prova P1

Prof. in metri	Qc kg/cmq	Fs kg/cmq	Ic	Interpretazione litostratigrafica	Litotipo
0,0-0,8				Terreno vegetale e/o rimaneggiato	1
0,8-1,4	22,9	1,13	2,35	Limo sabbioso mediamente addensato	2
1,4-4,2	14,56	0,82	2,63	Limo argilloso/argilla limosa mediamente consistente con orizzonti più sciolti	3a
4,2-8,0	21,6	1,04	2,68	Limo argilloso/argilla limosa mediamente consistente	3b
8,0-12,4	12,3	0,57	2,98	Limo argilloso/argilla limosa mediamente consistente con orizzonti più sciolti	3a
12,4-14,6	19,7	0,9	2,92	Limo argilloso/argilla limosa mediamente consistente	3b
14,6-15,8	41,6	1,32	2,58	Limo sabbioso argilloso consistente	4

Superato lo strato superficiale, di spessore intono a 0,8 metri, costituito da terreno vegetale/rimaneggiato, l'interpretazione della prova penetrometrica PP1 ha confermato la presenza di un sottosuolo costituito da un'alternanza di limo-argilloso/argilla-limosa caratterizzata da consistenza media (litotipo 3a) e medio bassa (litotipo 3b). Nella porzione più superficiale, tra 0,8 e 1,4 metri di profondità, è presente un sottile orizzonte di limo sabbioso (litotipo 2) che conferma, con uno spessore più sottile, quanto evidenziato dal sondaggio S1 eseguito nella porzione Nord dell'area in oggetto.

Nella porzione terminale della prova l'indice di comportamento IC è risultato tra 14,6 e 15,8 metri, indicativo di un terreno a granulometria mista (litotipo 4).

Dall'analisi statistica della Resistenza alla Punta QC possiamo ricavare, attraverso specifiche formule di correlazione, la coesione non drenata ed il coefficiente di compressibilità volumetrica da confrontare con i valori ottenuti dalle prove di laboratorio.

Prova P1

Prof. in metri	Qc medio kg/cmq	Cu medio kg/cmq	Mv cmq/t	Litotipo
0,8-1,4	22,9	1,1	21	2
1,4-4,2	14,56	0,7	23	3a
4,2-8,0	21,6	1,1	16	3b
8,0-12,4	12,3	0,6	27	3a
12,4-14,6	19,7	1,0	17	3b
14,6-15,8	41,6	1,5	10	4

2.2 - Campione indisturbato (C1): risultati analisi di laboratorio

Utilizzando il penetrometro è stato prelevato un campione di terreno indisturbato in prossimità della prova PP1, alla quota compresa tra -1,9 e -2,3 metri di profondità.

Sul campione indisturbato sono state eseguite specifiche analisi geotecniche dal Laboratorio LABOTER s.r.l. di Pistoia. Nella tabella sottostante sono riassunti i risultati ottenuti:

<i>Descrizione del campione</i>	Limo argilloso (litotipo 3a)
---------------------------------	------------------------------

ANALISI DI LABORATORIO ESEGUITE	C1 Prof. 1,9-2,3
Contenuto d'acqua naturale	x
Peso volumetrica naturale, secco e saturo	x
Limiti di Atterberg	x
Indice di attività	x
Taglio Diretto	x
Triassiale UU	x
Edometria	x

Massa volumetrica naturale, dei grani, limiti di Atterberg e indice di consistenza

Campione	W %	γ_n	γ_r	γ_s	Wl %	Wp %	IP	IC	Class. Casagrande
<u>C1</u>	21,3	18,8	15,5	19,5	33,6	20,8	12,4	0,96	CI

W=Contenuto di acqua allo stato naturale in %

γ_n =peso di volume naturale in kN/m³

γ_r =peso di volume secco i in kN/m³

γ_s =peso di volume saturo i in kN/m³

Wl=Limite di liquidità in %

Wp = Limite di plasticità in %

IP = Indice di plasticità in %

IC = Indice di consistenza

Il contenuto d'acqua W registrato nel campione si colloca in posizione prossima al limite plastico, indicando un terreno dotato di una certa sovraconsolidazione. L'indice di consistenza pari a 0,96 indica un comportamento solido-plastico del terreno, confermato anche dalla classificazione di Casagrande (CL=argilla inorganiche a media plasticità)

Prova di Compressione Triassiale UU e prova di Taglio Diretto

La Prova Triassiale UU (non consolidata non drenata) permette di conoscere la resistenza al taglio a breve termine (C_u) mentre la prova di Taglio Diretto consolidata-drenata, eseguita con un processo di dissipazione delle pressioni più lento, permette di definire la resistenza a lungo termine attraverso i parametri Φ' e C' .

Campione	Tipo di prova	<u>Parametri geotecnici</u>		
		C_u (Kpa)	C' (Kpa)	Φ' (°)
CI	Triassiale UU	133		
CI	Prova di taglio CD		19,8	21,3°

C_u = Coesione non drenata

C' =Coesione efficace

Φ' (°) = angolo d'attrito

I valori di coesione non drenata risultano abbastanza elevati se confrontati con la C_u ottenuta attraverso la correlazione con la Q_c misurata alla stessa quota (valore tra 0,7 e 0,8 kg/cmq). I valori ottenuti dalla prova drenata hanno fornito complessivamente valori discreti.

Prova edometrica

Nella tabella che segue si riportano i parametri edometrici relativi ai campioni C1 (rappresentativo del terreno naturale sottostante l'edificio) riferiti all'intervallo di pressione corrispondente alla profondità del campione.

Campione C1 da -1,9 a -2,3	Parametri			
	Intervallo Pressione (Kpa)	Mv Coeff. di compressibilità volumetrica (cmq/t)	Cv (cmq/s)	K (m/sec)
	24,6-49,2	30	0,000293	8,82E-009

2.3- Sondaggio a carotaggio continuo S1

Dei due sondaggi eseguiti nel periodo 1992-93 per conto della Getas Petrogeo srl, il sondaggio S1 è stato eseguito in vicinanza dell'area in oggetto, poco a Nord. La perforazione ha raggiunto la profondità di -15,0 metri e sono stati prelevati due campioni indisturbati, analizzati dal Laboratorio Delta di Lucca.

Profondità in metri	Descrizione stratigrafica
da 0,0 a -0,5	Terreno agrario
da -0,5 a -1,2	Argilla nocciola
da -1,2 a -2,3	Limo sabbioso nocciola con lenti argillose
da -2,5 a -9,0	Argilla limosa marrone/grigia
da -9,0 a -10,0	Argilla azzurra plastica
da -10,0 a -11,0	Sabbie grigio azzurre
da -11,0 a -12,0	Limo argilloso grigio azzurro
da -12,0 a -13,5	Argilla grigio-azzurra molto compatta
da -13,5 a -15,0	Argilla nocciola scura molto compatta

Il sondaggio conferma uno scenario litologico-litotecnico costituito da terreni prevalentemente coesivi. Dall'analisi e interpretazione della prova penetrometrica non è stato rilevato lo strato di sabbia tra -10 e -11 metri e l'orizzonte limo-sabbioso superficiale è risultato di spessore più sottile.

Nel corso del sondaggio sono stati prelevati due campioni indisturbati:

Campione	Profondità (in m.)
S1C1	da -2,0 a -2,5
S1C2	da -5,0 a -5,5

Sui campioni indisturbati sono state eseguite le seguenti indagini:

Granulometria

S1C1	Sabbia %	Limo%	Argilla %	Classificazione
	1,7	68,56	29,79	Limo con argilla

Massa volumetrica naturale, dei grani, limiti di Atterberg e indice di consistenza

Campione	W %	γ_n	γ_r	γ_s	Wl %	Wp %	IP	IC	Class. Casagrande
<u>S1C1</u>	21,73		16	19,5	38	21	17	0,96	CL
<u>S2C2</u>	25,49		16,4	19,5	59	26	33	1,01	CH

Il campione S1C1, preso circa alla stessa quota del campione C1 (quello prelevato nella presente indagine), ha dato dei parametri simili a quest'ultimo. In particolare l'indice di consistenza IC è risultato identico e i limiti sono di valori simili.

Sui due campioni S1C1 e S1C2 è stata eseguita la prova di Taglio Diretto CU consolidata-non drenata.

Sugli stessi campioni sono state eseguite anche le prove edometriche e i risultati ottenuti dalla curva edometrica pressione-indice dei vuoti sono i seguenti:

Campione S1C1 Indice dei vuoti iniziale $E_0 = 0,594$	Pressione kg/cmq	Indice dei vuoti	Mv in cmq/t
	0,25	0,587	22,7
	1	0,560	

Campione S1C2 Indice dei vuoti iniziale $E_0 = 0,656$	Pressione kg/cmq	Indice dei vuoti	Mv in cmq/t
	0,25	0,646	21,7
	1	0,619	

2.4- Prova Penetrometrica CPTU

Nella porzione Ovest dell'area cimiteriale è stata eseguita una prova CPTU (penetrometria a punta elettrica). La prova ha raggiunto la profondità di -15,47 metri di profondità ed ha evidenziato un sottosuolo costituito da argilla, argilla limosa e limo argilloso. L'unico strato con una certa componente sabbiosa è stato individuato nel primo metro. Anche dal sondaggio S2, profondo 10 metri ed eseguito nella zona Est dell'area, in posizione più distante, è emerso un sottosuolo costituito da terreni argillosi.

3 – MODELLO GEOLOGICO-GEOTECNICO

Sulla base dei dati acquisiti con l'esecuzione delle prove in sito e di laboratorio si forniscono gli elementi per la caratterizzazione geomeccanica del volume geotecnico significativo, rappresentati dai parametri geomeccanici medi e dai valori caratteristici attribuibili agli orizzonti stratigrafici individuati.

Per la definizione della coesione non drenata abbiamo ritenuto opportuno eseguire una media tra i valori ottenuti dalla prova penetrometrica, che misura ogni 20 cm la resistenza alla punta, e quello ottenuto dalla prova di laboratorio eseguita su un provino di terreno che rappresenta una porzione limitata dello strato.

Anche per il coefficiente di compressibilità volumetrico è stato fatto un confronto tra i valori ottenuti dalle prove di laboratorio e quelli ottenuti attraverso le formule di correlazione che legano Q_c (resistenza alla punta) e M_v (coefficiente di compressibilità volumetrica).

La coesione efficace per i litotipi 3a-3b è stata definita attraverso i risultati della prova di laboratorio.

Prof. in metri	Interpretazione litostratigrafica	Litotipo
0,0-0,8	Terreno vegetale e/o rimaneggiato	1
0,8-1,4	Limo sabbioso mediamente addensato	2
1,4-4,2	Limo argilloso/argilla limosa mediamente consistente con orizzonti più sciolti	3a
4,2-8,0	Limo argilloso/argilla limosa mediamente consistente	3b
8,0-12,4	Limo argilloso/argilla limosa mediamente consistente con orizzonti più sciolti	3a
12,4-14,6	Limo argilloso/argilla limosa mediamente consistente	3b
14,6-15,8	Limo sabbioso argilloso consistente	4

Lit.	Profondità (m)	valori	C_u (kg/cm ²)	C' (kPa)	ϕ' (°)	M_v (cm ² /t)	γ (kN/m ³)
1	da 0 a 0,8	<i>medio caratt..</i>	- -	- -	- -	- -	16
2	da 0,8 – 1,4	<i>medio caratt.</i>	0,90 0,80	10 5	28,5 28,0	21	18,8
3a	da 1,4 – 4,2 e da -8,0 a -12,4	<i>medio caratt.</i>	0,82 0,75	19,8 19,0	21,3 21	26	18,8
3b	da -4,2 – 8,0 e da -12,4 a -14,6	<i>medio caratt.</i>	1,05 1,0	19,8 19,0	21,3 21	19	18,8
4	da 14,6 – 15,8	<i>medio caratt.</i>	1,6 1,5	19,0 10,0	26,0 25,5	10	19

Legenda: γ = peso di volume naturale; C_u = coesione non drenata; c' = coesione efficace o drenata; ϕ' = angolo di attrito efficace; M_v = coefficiente di compressibilità volumetrica.

Nella Tavola 1 è stata rappresentata una sezione litologica e litotecnica che rappresenta nel dettaglio l'assetto litostratigrafico del sottosuolo.

6 – CARATTERISTICHE SISMICHE DEL SITO

Nella classificazione sismica 2014 della Regione Toscana il territorio comunale di Empoli è stato confermato sismico nella zona "3".

La magnitudo sismica massima nella zona sismogenetica ZS9 n. 921 "Etruria", che comprende il Comune di Empoli, è di Mw 6.14 (INGV - Redazione della mappa di pericolosità sismica PCM 3274/2003 - Rapporto conclusivo, aprile 2004).

5.1 – Categoria topografica

Ai sensi del D.M. 17 gennaio 2018, la zona in oggetto in cui si inserisce l'intervento si sviluppa secondo pendenze medie $<15^\circ$ per cui la categoria topografica di cui alla tabella 3.2.III delle NTC è la "T1".

5.2 – Categoria di sottosuolo

Tramite l'indagine sismica eseguita dal Geol. Antonio Paletta (Appendice 3), è stato possibile determinare un profilo verticale della velocità delle onde S oltre ai moduli elastici dinamici ed al valore V_{seq} nel sottosuolo. Il valore della V_{seq} nei primi 30 metri dal piano campagna è di 221 m/s.

Visti i parametri di resistenza dei litotipi presenti nel sottosuolo dell'area di intervento, il valore della V_{seq} e l'assetto sismostratigrafico del sito, si conclude che al substrato dell'area di intervento è attribuibile il profilo sismostratigrafico della categoria di sottosuolo "C", definita dal D.M. 17 gennaio 2018 al Cap. 3.2.2.

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

L'indagine sismica passiva HVSR ha rilevato uno picco H/V pari a 2.2 alla frequenza di 2,14 Hz.

5.3 – Parametri sismici

Tipo di elaborazione: fondazione

Sito in esame:

latitudine: 43,707647

longitudine: 10,947913
 Classe: 3
 Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1 ID: 20276 Lat: 43,7069 Lon: 10,9311 Distanza: 1351,380
 Sito 2 ID: 20277 Lat: 43,7084 Lon: 11,0002 Distanza: 4206,093
 Sito 3 ID: 20055 Lat: 43,7584 Lon: 10,9983 Distanza: 6943,039
 Sito 4 ID: 20054 Lat: 43,7569 Lon: 10,9290 Distanza: 5684,237

Parametri sismici:

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

	Operatività (SLO)	Danno (SLD)	Salvaguardia della vita (SLV)	Prevenzione dal collasso (SLC)
Probabilità di superamento [%]	81	63	10	5
Tr [anni]	45	75	712	1462
Ag	0,051 g	0,061 g	0,141 g	0,179 g
Fo	2,576	2,609	2,443	2,408
Tc* [s]	0,254	0,269	0,292	0,299

Coefficienti Sismici

	SLO:	SLD:	SLV:	SLC:
Ss	1,500	1,500	1,490	1,440
Cc	1,650	1,620	1,58	1,560
St	1,000	1,000	1,000	1,000
Kh	0,015	0,018	0,050	0,062
Kv	0,008	0,009	0,025	0,031
Amax	0,751	0,893	2,055	2,524
Beta	0,200	0,200	0,240	0,240

Le coordinate sono espresse in ED50

5.4 – effetti sismici di sito: sicurezza nei confronti della liquefazione

Il sondaggio e le prove penetrometriche hanno rilevato un sottosuolo costituito prevalentemente da terreni fini (limo+argilla). Gli unici strati dove è stata rilevata la presenza di una certa componente sabbiosa sono i litotipi 2 e 4; il primo si trova a quote

superiori al tetto della falda (considerata cautelativamente a -2,1 dal p.c.), per cui non può essere interessata al fenomeno della liquefazione, mentre per il litotipo 4, definito dalla prova da 14,6 -15,8 metri di profondità, è stata eseguita la verifica alla liquefazione.

E' stato calcolato il fattore di sicurezza utilizzando il Metodo di Robertson-Cabal 2015 ed inserendo i seguenti dati di input:

Magnitudo	PGA	Qc kg/cmq	Fs kg/cmq
6,14	0,209	41,6	1,32

Si ottiene un fattore di sicurezza $> 1,2$ pari 2,17 dunque non liquefacibile. In appendice 3 si riporta il foglio di calcolo con indicate le formule utilizzate per il calcolo di FS.

CONCLUSIONI

A partire dai risultati delle indagini geologico-tecniche effettuate, conformi al D.M. 17 gennaio 2018, è stato definito il modello geologico-geotecnico del sottosuolo sulla cui base il progettista strutturale potrà svolgere le opportune verifiche ai sensi delle N.T.C.

I dati acquisiti hanno consentito di definire un sottosuolo costituito da terreni prevalentemente coesivi, caratterizzati da parametri geotecnici di media qualità.

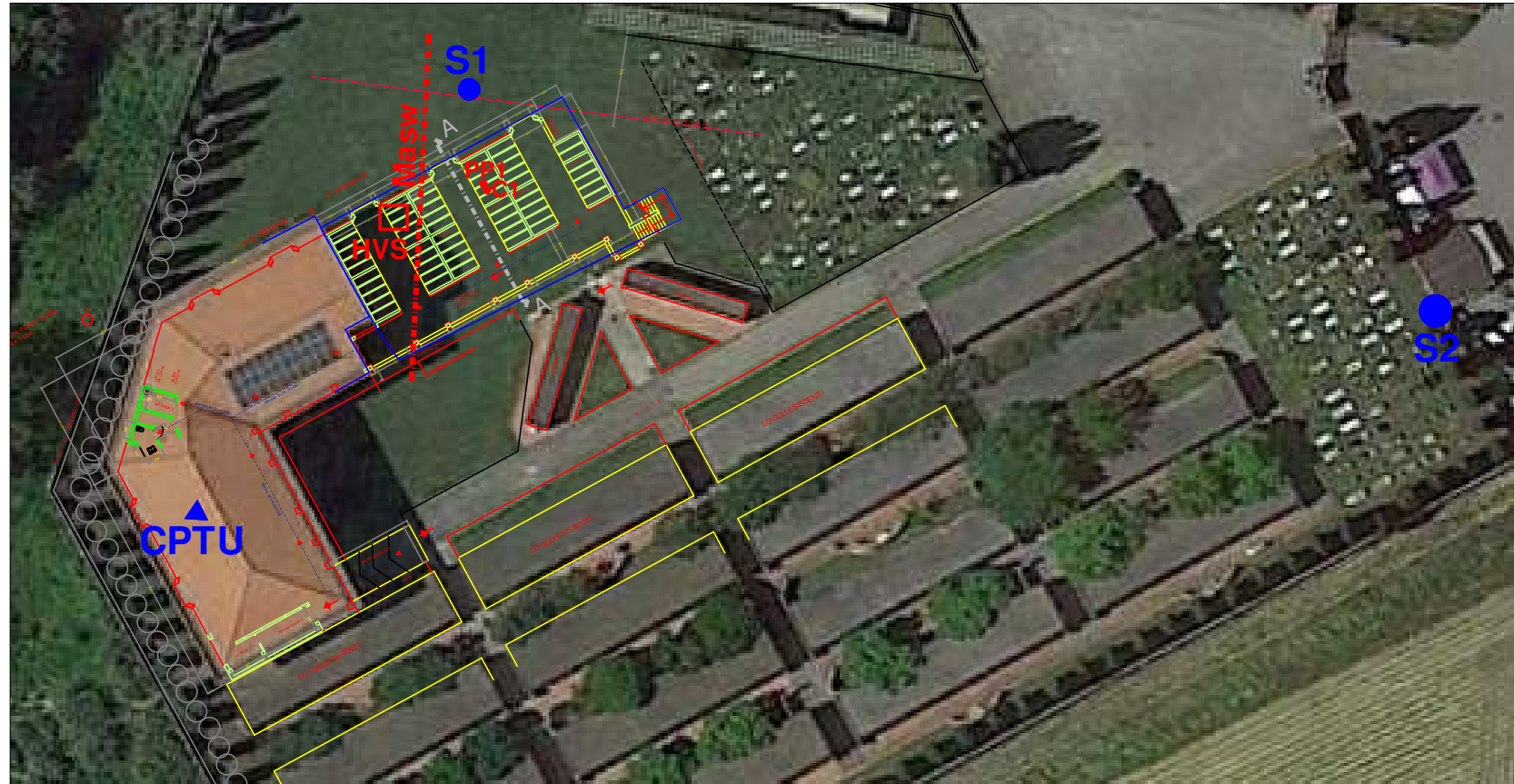
Per quanto riguarda gli aspetti idraulici, l'intervento si inserisce in un'area soggetta ad eventi esondativi con $Tr > 200$ anni, per cui non si applicano le disposizioni di cui alla L.R. 41 del 2018.

Sulla base dei risultati ottenuti e nei limiti di quanto sopra esposto, si conclude che l'intervento in progetto è compatibile con il contesto geologico nel quale si inserisce.

geol. Paola Violanti

Ponte a Elsa, giugno, 2022

PLANIMETRIA



Scala 1:625



Prova penetrometrica PP1. Con lo stesso strumento è stato prelevato un campione di terreno indisturbato per le analisi geotecniche

A A Traccia della sezione geologico-geotecnica

Indagini svolte nella presente indagine

PP1 Prova penetrometrica CPT

C1 Punto del prelievo del campione indisturbato (prof. 1,9-2,3 metri dal p.c.)

Stesa sismica prova Masw

☐ Prova sismica passiva HVS

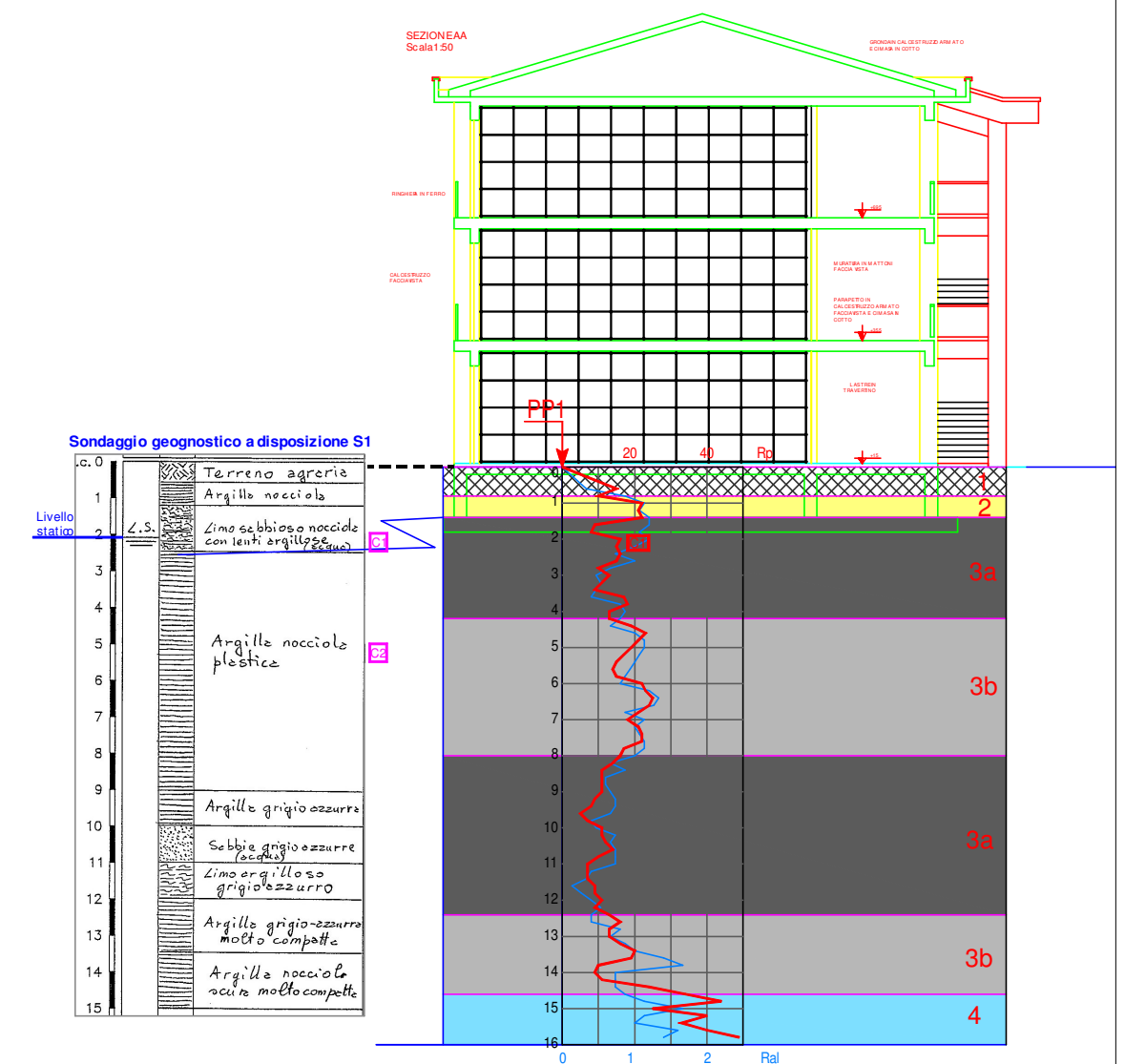
Indagini a disposizio svolte nelle indagini
precedenti dalla Getas Petrogeo srl

S1 Sondaggio a carotaggio continuo con prelievo di campioni indisturbati

CPTU Prova penetrometrica a punta elettrica

MODELLO GEOLOGICO-GEOTECNICO

Scala 1:200



Litot.	Descrizione litotecnica	Cu	C'	$\Phi'k$	γ	m_{vm}
1	Terreno vegetale e/o rimaneggiato				16,0	
2	Limo sabbioso mediante addensato	0,8	5,0	28,5°	18,8	21
3a	Limo argilloso/argilla limosa mediamente consistente con orizzonti sciolti	0,75	19,0	21,0°	18,8	26
3b	Limo argilloso/argilla limosa mediamente consistente	1,0	19,0	21,0°	18,8	19
4	Limo sabbioso-argilloso mediante compatto	1,5	10,0	25,5°	19,0	19

Cu= Coesione non drenata in kg/cm²

C' = Coesione efficace in kpa

$$\Phi'_m = \text{Angolo di attrito}$$
$$\gamma = \text{Peso di volume in KN/mc}$$

m_v = coefficiente di compressibilità volumetrica in cmq/t

**CERTIFICATO PROVA PENETROMETRICA
ESEGUITA NELLA PRESENTE INDAGINE**



GEOSERVIZI S.N.C. di Cosco e Spadaro

Via E. Calabresi - 56121 Montacchiello (PI)

Cell. 339-1344492

geoservizipisa@gmail.com

PROVA PENETROMETRICA STATICA

ELABORAZIONE NUMERICA DEI RISULTATI

Committente: COMUNE DI EMPOLI
Località: EMPOLI
Cantiere: CIMITERO S. ANDREA
Data: 28/4/22
N. prove: 1


Caratteristiche del sistema

Penetrometro statico TG 73 200KN Pagani
Punta meccanica tipo "Begemann"
Diametro = 35,7 mm; Angolo di apertura = 60°
Ap=10 cm²; At=20 cm²; Am=150 cm²
Velocità di avanzamento = 2 cm/sec
peso aste interne: 0,130 Kg
passo di lettura: 20 cm

LEGENDA

#####	aot	argilla organica e/o torba	Qc	Resistenza alla Punta (Kg/cm ²)
=====	a	argilla	Fs	Attrito laterale unitario (Kg/cm ²)
=====	al	argilla limosa	Qc/Fs	Rapporto Begemann
~~~~~	l	limo	Rt	Spinta totale (rivest.+punta)
~~~~~	sl	sabbia e limo	$\gamma$	Peso di volume
~~~~~	ss	sabbia sciolta	$\sigma'_{vo}$	Pressione verticale efficace
~~~~~	sm	sabbia mediamente addensata	$\phi$	Angolo di attrito interno
~~~~~	sdg	sabbia densa e/o ghiaia	Dr	Densità relativa
*****	rip	riporto	Cu	Coesione non drenata
			m _v	Coeff. di compressibilità volum.

# TABELLA DATI DI CAMPAGNA



**GEOSERVIZI snc**  
Via S. Calabrese - Loc. Montebaccello  
Ospedaletto (PI)  
CE/RIVA 01121470302

prove totali: 1

Prova numero: 1

Committente: COMUNE DI EMPOLI

Località: EMPOLI

Cantiere: CIMITERO S. ANDREA

Data: 28/4/22

profondità massima: 15,8


Quota falda: 9

quota piano campagna:

certificato num: 99-22

PROF.	punta	punta+manicotto	Rt
0,2			9
0,4			14
0,6	15	20	32
0,8	10	23	49
1	22	39	49
1,2	21	37	62
1,4	22	40	53
1,6	9	27	65
1,8	8	24	78
2	16	34	74
2,2	15	30	76
2,4	16	27	72
2,6	15	30	74
2,8	10	20	70
3	13	2	73
3,2	11	19	63
3,4	9	16	61
3,6	17	23	63
3,8	18	30	64
4	13	26	61
4,2	13	25	74
4,4	19	29	89
4,6	23	38	107
4,8	21	38	124
5	19	36	129
5,2	17	33	136
5,4	15	30	155
5,6	14	28	164
5,8	15	28	163
6	22	34	161
6,2	23	41	162
6,4	25	45	170
6,6	24	43	169
6,8	21	34	170
7	18	35	188
7,2	21	36	208
7,4	22	38	222
7,6	22	39	225
7,8	17	34	225
8	16	31	218
8,2	14	24	214
8,4	11	24	205
8,6	11	20	208
8,8	11	20	210
9	11	21	201
9,2	9	20	202
9,4	8	19	202
9,6	5	15	208
9,8	7	13	216
10	11	18	219

# TABELLA DATI DI CAMPAGNA

 <p> <b>GEOSERVIZI snc</b>          Via S. Calabrese - Loc. Montecchiello          Ospedaletto (PI)          C.F./RIVA 01121470502       </p>				prove totali: 1 Prova numero: 1 Committente: COMUNE DI EMPOLI Località: EMPOLI Cantiere: CIMITERO S. ANDREA Data: 28/4/22
certificato num: 99-22				profondità massima: 15,8 Quota falda: 9
quota piano campagna:				
PROF.	punta	punta+manicotto	Rt	
10,2	11	22	231	
10,4	12	22	243	
10,6	14	25	264	
10,8	10	21	267	
11	7	18	281	
11,2	7	13	283	
11,4	7	12	287	
11,6	9	11	292	
11,8	9	13	301	
12	11	17	300	
12,2	9	17	303	
12,4	13	19	312	
12,6	16	22	311	
12,8	13	25	312	
13	13	23	311	
13,2	16	29	318	
13,4	20	35	327	
13,6	19	40	351	
13,8	10	35	358	
14	9	20	364	
14,2	11	22	376	
14,4	24	35	404	
14,6	34	47	428	
14,8	44	61	430	
15	25	50	481	
15,2	40	57	516	
15,4	33	48	535	
15,6	40	64	562	
15,8	49	70	570	
16				
16,2				
16,4				
16,6				
16,8				
17				
17,2				
17,4				
17,6				
17,8				
18				
18,2				
18,4				
18,6				
18,8				
19				
19,2				
19,4				
19,6				
19,8				
20				



**GEOSERVIZI S. N. C.**  
di Cosco e Spadaro  
Via E. Calabresi - 56121 Montacchiello (PI)  
Cell. 339-1344492  
geoservizipisa@gmail.com

Prova numero: 1

Data: 28/4/22

Committente: COMUNE DI EMPOLI

Località: EMPOLI

Cantiere: CIMITERO S. ANDREA

Profondità massima: 15,8 m dal p. c.

Quota piano camp.: m

Quota falda: 9,0 m dal p.c.

parametri geotecnici stimati												
Prof.	Qc	Fs	Qc/Fs	Rt	$\gamma$	$\sigma'_{vo}$	$\phi$	Dr	Cu	m _v	Colonna	lito_
[metri]	[Kg/cm ^q ]	[Kg/cm ^q ]		[Kg ^f ]	[Kg/dmc]	[Kg/cm ^q ]	[gradi]	[%]	[Kg/cm ^q ]	[cm ^q /t]	stratig.	logia
0,2				101	1,80	0,04	-	-	-	-	non ril.	
0,4				151	1,80	0,07	-	-	-	-	non ril.	
0,6	16,1	0,33	48	331	1,68	0,11	39	56	-	20,7		ss
0,8	11,3	0,87	13	503	1,54	0,14	-	-	0,44	32,9	#####	aot
1	23,3	1,13	21	503	1,93	0,18	-	-	0,92	17,2	=====	a
1,2	22,3	1,07	21	633	1,93	0,21	-	-	0,88	18,0	=====	a
1,4	23,3	1,20	19	543	1,93	0,25	-	-	0,92	17,2	=====	a
1,6	10,3	1,20	9	663	1,53	0,28	-	-	0,40	36,1	#####	aot
1,8	9,4	1,07	9	794	1,52	0,31	-	-	0,36	38,3	#####	aot
2	17,4	1,20	14	754	1,92	0,35	-	-	0,68	19,4	=====	a
2,2	16,4	1,00	16	774	1,91	0,39	-	-	0,64	19,4	=====	a
2,4	17,4	0,73	24	734	1,92	0,43	-	-	0,68	19,4	=====	a
2,6	16,4	1,00	16	754	1,91	0,47	-	-	0,64	19,4	=====	a
2,8	11,5	0,67	17	715	1,90	0,50	-	-	0,44	21,7	=====	a
3	14,5	-0,73	-20	745	1,58	0,54	-	-	0,56	25,5	#####	aot
3,2	12,5	0,53	23	645	1,91	0,57	-	-	0,48	20,9	=====	a
3,4	10,5	0,47	23	625	1,90	0,61	-	-	0,40	22,7	=====	a
3,6	18,5	0,40	46	645	1,69	0,65	-	-	0,71	16,8	~~~~~	l
3,8	19,7	0,80	25	657	1,92	0,68	-	-	0,76	19,9	=====	al
4	14,7	0,87	17	627	1,91	0,72	-	-	0,56	19,8	=====	a
4,2	14,7	0,80	18	757	1,91	0,76	-	-	0,56	19,8	=====	a
4,4	20,7	0,67	31	907	1,70	0,80	27	-	-	16,1		sl
4,6	24,7	1,00	25	1087	1,93	0,83	-	-	0,95	16,2	=====	al
4,8	22,8	1,13	20	1258	1,93	0,87	-	-	0,88	17,6	=====	a
5	20,8	1,13	18	1308	1,92	0,91	-	-	0,79	19,2	=====	a
5,2	18,8	1,07	18	1378	1,92	0,95	-	-	0,71	19,6	=====	a
5,4	16,8	1,00	17	1568	1,92	0,99	-	-	0,63	19,4	=====	a
5,6	15,8	0,93	17	1658	1,91	1,03	-	-	0,59	19,5	=====	a
5,8	16,9	0,87	20	1649	1,92	1,06	-	-	0,63	19,4	=====	a
6	23,9	0,80	30	1629	1,72	1,10	28	-	-	13,9		sl
6,2	24,9	1,20	21	1639	1,93	1,14	-	-	0,95	16,1	=====	a
6,4	26,9	1,33	20	1719	1,94	1,18	-	-	1,03	14,9	=====	a
6,6	25,9	1,27	20	1709	1,94	1,21	-	-	0,99	15,4	=====	a
6,8	23,0	0,87	27	1720	1,93	1,25	-	-	0,87	17,4	=====	al
7	20,0	1,13	18	1900	1,92	1,29	-	-	0,75	20,0	=====	a
7,2	23,0	1,00	23	2100	1,93	1,33	-	-	0,87	17,4	=====	a
7,4	24,0	1,07	23	2240	1,93	1,37	-	-	0,91	16,6	=====	a
7,6	24,0	1,13	21	2270	1,93	1,41	-	-	0,91	16,6	=====	a
7,8	19,2	1,13	17	2272	1,92	1,45	-	-	0,71	19,7	=====	a
8	18,2	1,00	18	2202	1,92	1,48	-	-	0,67	19,5	=====	a
8,2	16,2	0,67	24	2162	1,91	1,52	-	-	0,59	19,4	=====	a
8,4	13,2	0,87	15	2072	1,91	1,56	-	-	0,46	20,4	=====	a
8,6	13,2	0,60	22	2102	1,91	1,60	-	-	0,46	20,4	=====	a
8,8	13,3	0,60	22	2123	1,91	1,64	-	-	0,47	20,4	=====	a
9	13,3	0,67	20	2033	1,91	1,65	-	-	0,47	20,4	=====	a
9,2	11,3	0,73	15	2043	1,90	1,67	-	-	0,39	21,9	=====	a
9,4	10,3	0,73	14	2043	1,53	1,68	-	-	0,34	36,0	#####	aot
9,6	7,3	0,67	11	2103	1,50	1,69	-	-	0,22	44,9	#####	aot
9,8	9,4	0,40	24	2184	1,87	1,71	-	-	0,31	24,2	=====	a
10	13,4	0,47	29	2214	1,91	1,73	-	-	0,47	20,3	=====	al





**GEOSERVIZI S. N. C.**  
di Cosco e Spadaro  
Via E. Calabresi - 56121 Montacchiello (PI)  
Cell. 339-1344492  
geoservizipisa@gmail.com

Prova numero: 1

Data: 28/4/22

Committente: COMUNE DI EMPOLI

Località: EMPOLI

Cantiere: CIMITERO S. ANDREA

Profondità massima: 15,8 m dal p. c.

Quota piano camp.: m

Quota falda: 9,0 m dal p.c.

parametri geotecnici stimati												
Prof.	Qc	Fs	Qc/Fs	Rt	$\gamma$	$\sigma'_{vo}$	$\phi$	Dr	Cu	m _v	Colonna	lito_
[metri]	[Kg/cmq]	[Kg/cmq]		[Kgf]	[Kg/dmc]	[Kg/cmq]	[gradi]	[%]	[Kg/cmq]	[cmq/t]	stratig.	logia
10,2	13,4	0,73	18	2334	1,91	1,75	-	-	0,47	20,3	=====	a
10,4	14,4	0,67	22	2454	1,91	1,77	-	-	0,51	19,9	=====	a
10,6	16,4	0,73	22	2664	1,91	1,78	-	-	0,59	19,4	=====	a
10,8	12,6	0,73	17	2696	1,91	1,80	-	-	0,43	20,8	=====	a
11	9,6	0,73	13	2836	1,53	1,81	-	-	0,31	37,9	#####	aot
11,2	9,6	0,40	24	2856	1,88	1,83	-	-	0,31	24,0	=====	a
11,4	9,6	0,33	29	2896	1,88	1,85	-	-	0,31	24,0	=====	al
11,6	11,6	0,13	87	2946	1,66	1,86	28	2	-	28,8	=====	ss
11,8	11,7	0,27	44	3037	1,66	1,87	-	-	0,39	20,1	=====	l
12	13,7	0,40	34	3027	1,67	1,89	-	-	0,47	18,5	=====	l
12,2	11,7	0,53	22	3057	1,90	1,91	-	-	0,39	21,5	=====	a
12,4	15,7	0,40	39	3147	1,68	1,92	-	-	0,55	17,5	=====	l
12,6	18,7	0,40	47	3137	1,69	1,93	-	-	0,67	16,7	=====	l
12,8	15,8	0,80	20	3148	1,91	1,95	-	-	0,55	19,5	=====	a
13	15,8	0,67	24	3138	1,91	1,97	-	-	0,55	19,5	=====	a
13,2	18,8	0,87	22	3208	1,92	1,99	-	-	0,67	19,6	=====	a
13,4	22,8	1,00	23	3298	1,93	2,01	-	-	0,83	17,5	=====	a
13,6	21,8	1,40	16	3538	1,93	2,02	-	-	0,79	18,3	=====	a
13,8	13,0	1,67	8	3610	1,56	2,04	-	-	0,44	28,6	#####	aot
14	12,0	0,73	16	3670	1,90	2,05	-	-	0,40	21,3	=====	a
14,2	14,0	0,73	19	3790	1,91	2,07	-	-	0,48	20,0	=====	a
14,4	27,0	0,73	37	4070	1,73	2,09	28	-	-	12,4	=====	sl
14,6	37,0	0,87	43	4310	1,78	2,10	30	-	-	9,0	=====	sl
14,8	47,1	1,13	42	4331	1,84	2,12	30	-	-	7,1	=====	sl
15	28,1	1,67	17	4841	1,94	2,14	-	-	1,04	14,2	=====	a
15,2	43,1	1,13	38	5191	1,82	2,15	30	-	-	7,7	=====	sl
15,4	36,1	1,00	36	5381	1,78	2,17	29	-	-	9,2	=====	sl
15,6	43,1	1,60	27	5651	1,97	2,19	-	-	1,64	9,3	=====	al
15,8	52,2	1,40	37	5732	1,86	2,21	31	-	-	6,4	=====	sl
16												
16,2												
16,4												
16,6												
16,8												
17												
17,2												
17,4												
17,6												
17,8												
18												
18,2												
18,4												
18,6												
18,8												
19												
19,2												
19,4												
19,6												
19,8												
20												



**GEOSERVIZI S.N.C.**

di Cosco e Spadaro

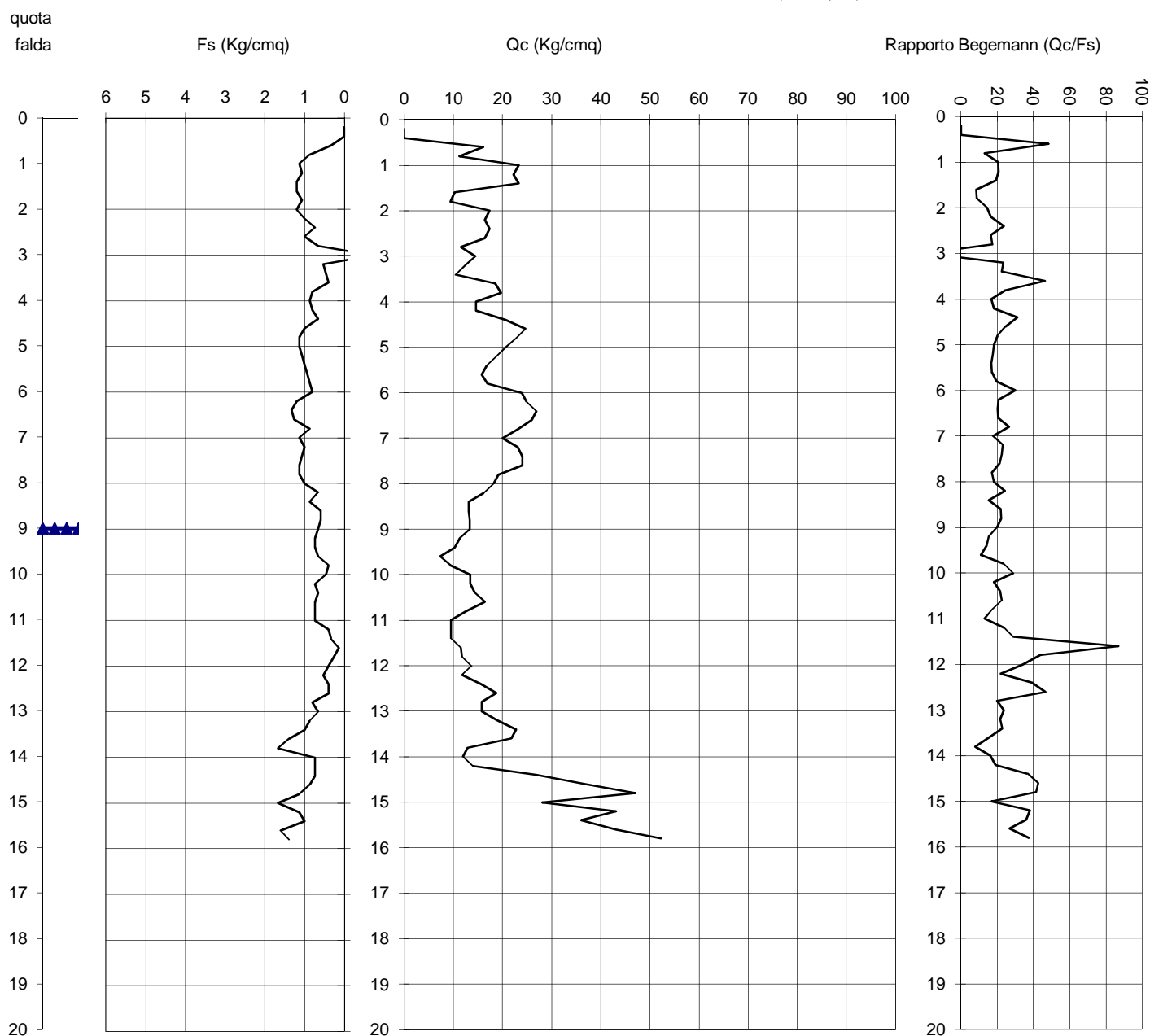
Via E. Calabresi - 56121 Montacchiello(PI)

Cell. 339-1344492

Prova numero	1
Committente	COMUNE DI EMPOLI
Località	EMPOLI
Cantiere	CIMITERO S. ANDREA
Data	28/4/22

Profondità massima (m): 15,8

Quota falda (m dal p.c.): 9



PENETROMETRO STATICO: TG 73 200 KN PAGANI

**CERTIFICATO ANALISI DI LABORATORIO  
ESEGUITO NELLA PRESENTE INDAGINE**



**Autorizzazione del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti**  
Settore A – Prove di laboratorio su terre  
Decreto 2436 del 14/03/2013 – ART. 59 DPR 380/2001 – Circolare 7618/STC 2010

# **LABOTER Srl**

## **Lab. Geotecnico - C.S.LL.PP. Decr. 2436/13**

**Committente :** Dott.ssa Geol. Paola Violanti  
**Cantiere :** Cimitero S. Andrea - Empoli

**Verbale Accettazione n° :** 230 del 28/04/2022  
**Data Certificazione :** 12/05/2022  
**Campioni n°:** 1  
**Certificati da n° a n° :** 02158 a 02163



**LABOTER S.r.l.**

Via Nazario Sauro n.440  
51100 Pistoia  
Tel. 0573 570566  
e-mail: laboter@laboterpt.it

DNV Business Assurance  
Certificato N° 111177-2012-AD-ITA-ACCREDITA  
UNI EN ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015)  
Prove Geotecniche di Laboratorio su terre (Settore EA : 35)

Autorizzazione del MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI  
Settore A - Prove di Laboratorio su terre  
Decreto 2436 del 14/03/2013 - Art. 59 DPR 380/2001 - Circolare 7618/STC 2010

COMMITTENTE:	Dott.ssa Geol. Paola Violanti		
RIFERIMENTO:	Cimitero S. Andrea - Empoli		
SONDAGGIO:	CAMPIONE:	1	PROFONDITA': m 1.9-2.3

**CARATTERISTICHE FISICHE**

Umidità naturale	21,3	%
Peso di volume	18,8	kN/m ³
Peso di volume secco	15,5	kN/m ³
Peso di volume saturo	19,5	kN/m ³
Peso specifico	26,5	kN/m ³
Indice dei vuoti	0,711	
Porosità	41,5	%
Grado di saturazione	80,8	%
Limite di liquidità	33,6	%
Limite di plasticità	20,8	%
Indice di plasticità	12,8	%
Indice di consistenza	0,96	
Passante al set. n° 42	SI	
Limite di ritiro		%
CNR-UNI 10006/00		

**ANALISI GRANULOMETRICA**

Ghiaia	%
Sabbia	%
Limo	%
Argilla	%
D 10	mm
D 50	mm
D 60	mm
D 90	mm
Passante set. 10	%
Passante set. 42	%
Passante set. 200	%

**PERMEABILITA'**

Coefficiente k	cm/sec
----------------	--------

**COMPRESSIONE**

$\sigma$	kPa
$c_u$	kPa
$\sigma_{Rim}$	kPa
$c_{u\ Rim}$	kPa

**TAGLIO DIRETTO**

Prova consolidata-lenta			
$c'$	19,8	kPa	
$\phi'$	21,3	°	
$c'_{Res}$		kPa	
$\phi'_{Res}$		°	

**COMPRESSIONE TRIASSIALE**

C.D.	$C_d$	kPa	$\phi_d$	°
C.U.	$C'_{cu}$	kPa	$\phi'_{cu}$	°
	$C_{cu}$	kPa	$\phi_{cu}$	°
U.U.	$C_u$	133 kPa	$\phi_u$	0,0 °

**PROVA EDOMETRICA**

$\sigma$ kPa	E kPa	$C_v$ cm ² /sec	k cm/sec
24,6 ÷ 49,2	3260	0,000293	8,82E-09
49,2 ÷ 98,4	3603	0,000427	1,16E-08
98,4 ÷ 196,8	4545	0,000380	8,19E-09
196,8 ÷ 393,6	7555	0,000363	4,71E-09
393,6 ÷ 787,2	13033	0,000347	2,61E-09
787,2 ÷ 1574,4	24334	0,000358	1,44E-09

**FOTOGRAFIA****OSSERVAZIONI**

Tipo di campione: Cilindrico		Qualità del campione: Q 5	
------------------------------	--	---------------------------	--

Posizione delle prove					Rp	VT	DESCRIZIONE DEL CAMPIONE	
CF	ED	TD	TX	cm	kPa	kPa	cm	
				0				Limo argilloso con concrezioni calcaree MUNSELL SOIL COLOR: 5Y 5/4 Olive
				10	225			Classificazione del terreno in base alla resistenza al pocket penetrometer e vane test
				20	250			< 24.5 kPa molto molle
								24.5 - 49.1 kPa molle
								49.1 - 98.1 kPa plastico
								98.1 - 196.2 kPa consistente
								196.2 - 392.4 kPa molto consistente
								>392,4 kPa duro
				40	200		41	



**LABOTER S.r.l.**

Via Nazario Sauro n.440  
51100 Pistoia  
Tel. 0573 570566  
e-mail: laboter@laboterpt.it

DNV Business Assurance  
Certificato N° 111177-2012-AQ-ITA-ACCREDITA  
UNI EN ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015)  
Prove Geotecniche di Laboratorio su terre (Settore EA : 35)

Autorizzazione del MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI  
Settore A - Prove di Laboratorio su terre  
Decreto 2436 del 14/03/2013 - Art. 59 DPR 380/2001 - Circolare 7618/STC 2010

<b>CERTIFICATO DI PROVA N°: 02158</b>	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 12/05/22	Inizio analisi: 29/04/22
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 230 del 28/04/22		Apertura campione: 29/04/22	Fine analisi: 30/04/22

COMMITTENTE: Dott.ssa Geol. Paola Violanti
RIFERIMENTO: Cimitero S. Andrea - Empoli
SONDAGGIO: CAMPIONE: 1 PROFONDITA': m 1.9-2.3

CONTENUTO D'ACQUA ALLO STATO NATURALE

Modalità di prova: Norma ASTM D 2216-10

**W_n = contenuto d'acqua allo stato naturale = 21,3 %**

Struttura del materiale:

☒ Omogeneo

☐ Stratificato

☐ Caotico

Temperatura di essiccazione: 110 °C

**LABOTER S.r.l.**

Via Nazario Sauro n.440  
51100 Pistoia  
Tel. 0573 570566  
e-mail: laboter@laboterpt.it

DNV Business Assurance  
Certificato N° 111177-2012-AQ-ITA-ACCREDIA  
UNI EN ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015)  
Prove Geotecniche di Laboratorio su terre (Settore EA : 35)

Autorizzazione del MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI  
Settore A - Prove di Laboratorio su terre  
Decreto 2436 del 14/03/2013 - Art. 59 DPR 380/2001 - Circolare 7618/STC 2010

<b>CERTIFICATO DI PROVA N°: 02159</b>	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 12/05/22	Inizio analisi: 29/04/22
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 230 del 28/04/22		Apertura campione: 29/04/22	Fine analisi: 29/04/22

COMMITTENTE: Dott.ssa Geol. Paola Violanti
RIFERIMENTO: Cimitero S. Andrea - Empoli
SONDAGGIO: CAMPIONE: 1 PROFONDITA': m 1.9-2.3

PESO DI VOLUME ALLO STATO NATURALE

Modalità di prova: Norma BS 1377 T 15/E

Determinazione eseguita mediante fustella tarata

**Peso di volume allo stato naturale = 18,8 kN/m³**

**LABOTER S.r.l.**

Via Nazario Sauro n.440  
51100 Pistoia  
Tel. 0573 570566  
e-mail: laboter@laboterpt.it

DNV Business Assurance  
Certificato N° 111177-2012-AQ-ITA-ACCREDIA  
UNI EN ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015)  
Prove Geotecniche di Laboratorio su terre (Settore EA: 35)

Autorizzazione del MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI  
Settore A - Prove di Laboratorio su terre  
Decreto 2436 del 14/03/2013 - Art. 59 DPR 380/2001 - Circolare 7618/STC 2010

**CERTIFICATO DI PROVA N°: 02160** Allegato 1

VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 230 del 28/04/22

DATA DI EMISSIONE: 12/05/22 Inizio analisi: 03/05/22

Apertura campione: 29/04/22 Fine analisi: 04/05/22

COMMITTENTE: Dott.ssa Geol. Paola Violanti

RIFERIMENTO: Cimitero S. Andrea - Empoli

SONDAGGIO: CAMPIONE: 1 PROFONDITA': m 1.9-2.3

**ABACO DI CASAGRANDE**

Modalità di prova: Norma ASTM D 4318-10

Limite di liquidità	33,6	%
Limite di plasticità	20,8	%
Indice di plasticità	12,8	%
Indice di consistenza	0,96	
Passante al set. n° 42	SI	

**C - Argille inorganiche**

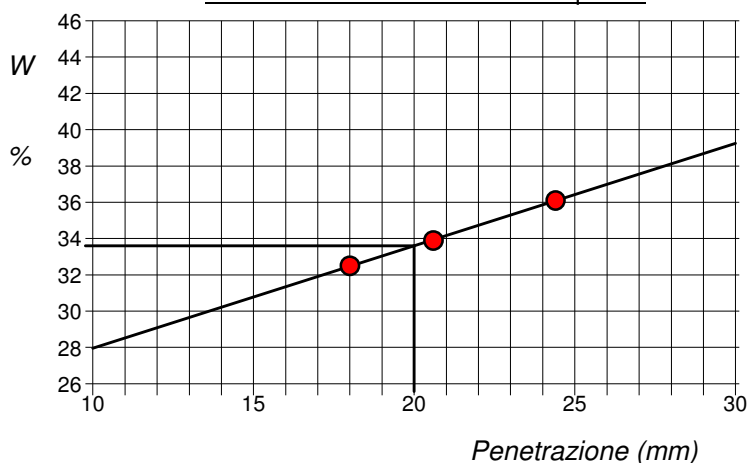
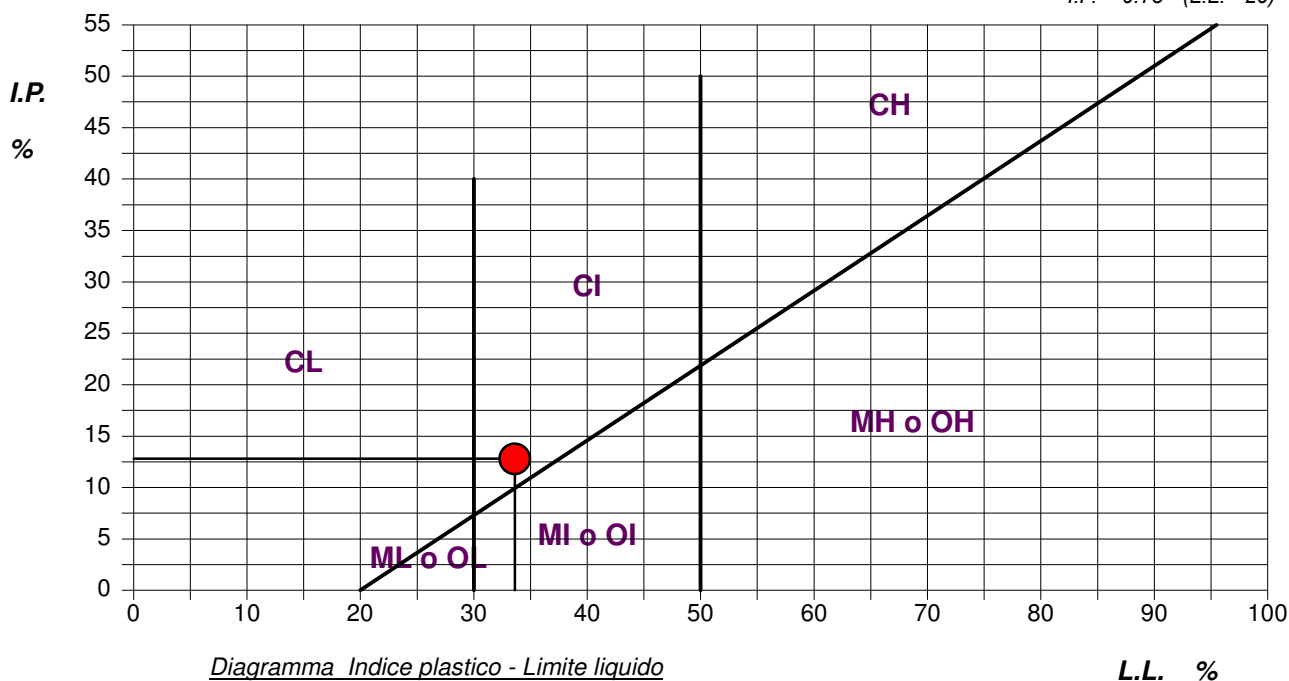
M - Limi inorganici

O - Argille e limi organici

L - Bassa plasticità

**I - Media plasticità**

H - Alta plasticità

**Determinazione del Limite di liquidità****ABACO DI PLASTICITA' DI CASAGRANDE** $I.P. = 0.73 \cdot (L.L. - 20)$ 

**LABOTER S.r.l.**

Via Nazario Sauro n.440  
51100 Pistoia  
Tel. 0573 570566  
e-mail: laboter@laboterpt.it

DNV Business Assurance  
Certificato N° 111177-2012-AD-ITA-ACCREDIA  
UNI EN ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015)  
Prove Geotecniche di Laboratorio su terre (Settore EA: 35)

Autorizzazione del MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI  
Settore A - Prove di Laboratorio su terre  
Decreto 2436 del 14/03/2013 - Art. 59 DPR 380/2001 - Circolare 7618/STC 2010

**CERTIFICATO DI PROVA N°: 02161** Pagina 1/2

VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 230 del 28/04/22

DATA DI EMISSIONE: 12/05/22 Inizio analisi: 29/04/22

Apertura campione: 29/04/22 Fine analisi: 10/05/22

COMMITTENTE: Dott.ssa Geol. Paola Violanti

RIFERIMENTO: Cimitero S. Andrea - Empoli

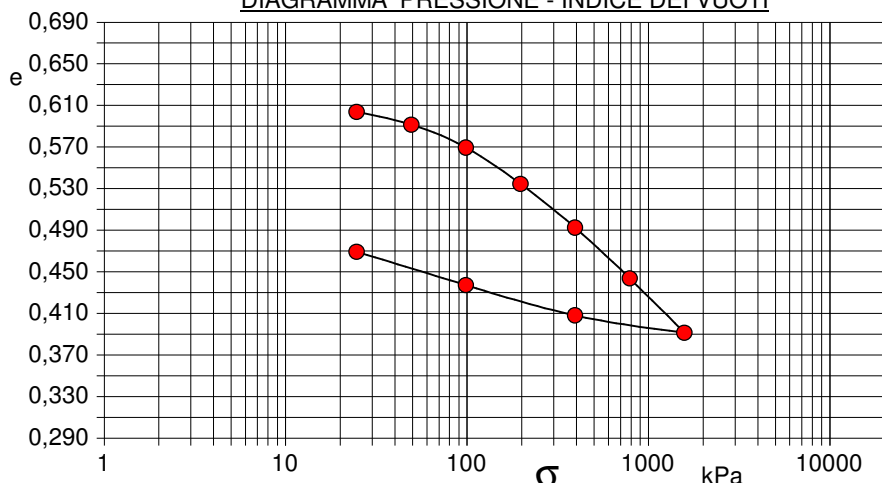
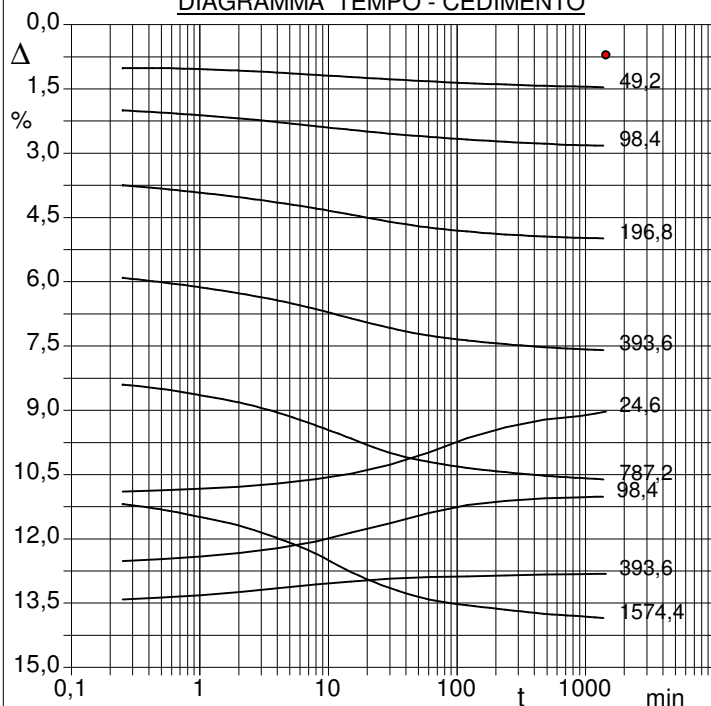
SONDAGGIO: CAMPIONE: 1 PROFONDITA': m 1.9-2.3

**PROVA EDOMETRICA**

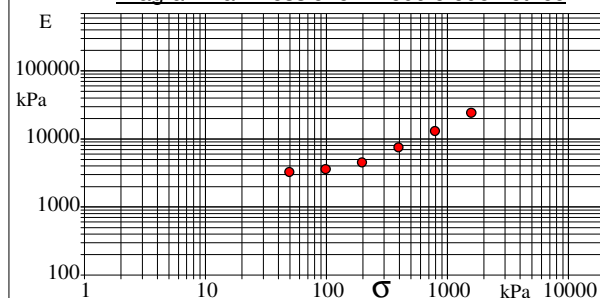
Modalità di prova: Norma ASTM D 2435-11

**Caratteristiche del campione**

Peso di volume (kN/m³)	19,83
Umidità (%)	21,0
Peso specifico (kN/m³)	26,47
Altezza provino (cm)	2,00
Diametro provino (cm)	5,00
Sezione provino (cm²)	19,63
Volume provino (cm³)	39,27
Volume dei vuoti (cm³)	14,96
Indice dei vuoti	0,62
Porosità (%)	38,09
Saturazione (%)	92,1

**DIAGRAMMA PRESSIONE - INDICE DEI VUOTI****DIAGRAMMA TEMPO - CEDIMENTO**

Pressione kPa	Cedim. mm/100	Indice Vuoti	Cc	Modulo kPa	Cv cm²/sec	k cm/sec
24,6	14,1	0,604				
49,2	29,2	0,592	0,040	3260	0,000293	8,82E-09
98,4	56,5	0,570	0,073	3603	0,000427	1,16E-08
196,8	99,8	0,535	0,116	4545	0,000380	8,19E-09
393,6	151,9	0,492	0,140	7555	0,000363	4,71E-09
787,2	212,3	0,444	0,162	13033	0,000347	2,61E-09
1574,4	277,0	0,391	0,174	24334	0,000358	1,44E-09
393,6	256,4	0,408				
98,4	220,3	0,437				
24,6	180,6	0,469				

**Diagramma Pressione - Modulo edometrico**

**LABOTER S.r.l.**

Via Nazario Sauro n.440  
51100 Pistoia  
Tel. 0573 570566  
e-mail: laboter@laboterpt.it

DNV Business Assurance  
Certificato N° 111177-2012-AD-ITA-ACCREDIA  
UNI EN ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015)  
Prove Geotecniche di Laboratorio su terre (Settore EA : 35)

Autorizzazione del MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI  
Settore A - Prove di Laboratorio su terre  
Decreto 2436 del 14/03/2013 - Art. 59 DPR 380/2001 - Circolare 7618/STC 2010

**CERTIFICATO DI PROVA N°: 02161** Pagina 2/2

VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 230 del 28/04/22

DATA DI EMISSIONE: 12/05/22 Inizio analisi: 29/04/22

Apertura campione: 29/04/22 Fine analisi: 10/05/22

COMMITTENTE: Dott.ssa Geol. Paola Violanti

RIFERIMENTO: Cimitero S. Andrea - Empoli

SONDAGGIO: CAMPIONE: 1 PROFONDITA': m 1.9-2.3

**PROVA EDOMETRICA**

Modalità di prova: Norma ASTM D 2435-11

**LETTURE INTERMEDIE - TABELLE RIASSUNTIVE**

Pressione 49,2 kPa				Pressione 98,4 kPa				Pressione 196,8 kPa				Pressione 393,6 kPa			
Tempo min	Cedim. mm/100	Tempo min	Cedim. mm/100	Tempo min	Cedim. mm/100	Tempo min	Cedim. mm/100	Tempo min	Cedim. mm/100	Tempo min	Cedim. mm/100	Tempo min	Cedim. mm/100	Tempo min	Cedim. mm/100
0,02	14,1			0,02	29,2			0,02	56,5			0,02	99,8		
0,25	20,2			0,25	40,0			0,25	75,0			0,25	118,2		
0,50	20,3			0,50	41,0			0,50	76,5			0,50	120,2		
1,00	20,7			1,00	42,3			1,00	78,4			1,00	122,5		
2,00	21,4			2,00	43,7			2,00	80,5			2,00	125,4		
4,00	22,3			4,00	45,5			4,00	83,0			4,00	128,7		
8,00	23,4			8,00	47,4			8,00	85,8			8,00	132,8		
15,00	24,4			15,00	49,1			15,00	88,7			15,00	137,1		
30,00	25,5			30,00	50,9			30,00	92,0			30,00	141,5		
60,00	26,5			60,00	52,3			60,00	94,6			60,00	145,1		
120,00	27,3			120,00	53,6			120,00	96,5			120,00	147,4		
240,00	27,9			240,00	54,7			240,00	97,9			240,00	149,1		
480,00	28,5			480,00	55,6			480,00	98,9			480,00	150,5		
900,00	28,9			900,00	56,2			900,00	99,5			900,00	151,4		
1200,00	29,1			1200,00	56,4			1200,00	99,7			1200,00	151,7		
1440,00	29,2			1440,00	56,5			1440,00	99,8			1440,00	151,9		

Pressione 787,2 kPa				Pressione 1574,4 kPa				Pressione 393,6 kPa				Pressione 98,4 kPa			
Tempo min	Cedim. mm/100	Tempo min	Cedim. mm/100	Tempo min	Cedim. mm/100	Tempo min	Cedim. mm/100	Tempo min	Cedim. mm/100	Tempo min	Cedim. mm/100	Tempo min	Cedim. mm/100	Tempo min	Cedim. mm/100
0,02	151,9			0,02	212,3			0,02	277,0			0,02	256,4		
0,25	168,0			0,25	223,7			0,25	268,2			0,25	250,3		
0,50	170,0			0,50	226,3			0,50	267,4			0,50	249,5		
1,00	172,9			1,00	229,8			1,00	266,3			1,00	248,3		
2,00	176,3			2,00	233,8			2,00	264,9			2,00	246,6		
4,00	181,0			4,00	239,7			4,00	263,1			4,00	244,4		
8,00	187,1			8,00	247,0			8,00	261,3			8,00	241,2		
15,00	193,2			15,00	255,5			15,00	259,9			15,00	237,1		
30,00	199,8			30,00	262,9			30,00	258,5			30,00	232,7		
60,00	204,0			60,00	268,2			60,00	257,8			60,00	227,9		
120,00	206,9			120,00	271,0			120,00	257,5			120,00	224,2		
240,00	208,9			240,00	273,1			240,00	257,1			240,00	222,3		
480,00	210,6			480,00	275,0			480,00	256,7			480,00	221,1		
900,00	211,6			900,00	276,1			900,00	256,5			900,00	220,6		
1200,00	212,0			1200,00	276,7			1200,00	256,4			1200,00	220,3		
1440,00	212,3			1431,43	277,0			1440,00	256,4			1372,22	220,3		

Pressione 24,6 kPa				Pressione -- kPa				Pressione -- kPa				Pressione -- kPa			
Tempo min	Cedim. mm/100	Tempo min	Cedim. mm/100	Tempo min	Cedim. mm/100	Tempo min	Cedim. mm/100	Tempo min	Cedim. mm/100	Tempo min	Cedim. mm/100	Tempo min	Cedim. mm/100	Tempo min	Cedim. mm/100
0,02	220,3														
0,25	217,9														
0,50	217,3														
1,00	216,6														
2,00	215,7														
4,00	214,2														
8,00	212,1														
15,00	209,6														
30,00	205,4														
60,00	199,7														
120,00	193,0														
240,00	187,9														
480,00	184,3														
900,00	182,6														
1200,00	181,5														
1440,00	180,6														



**LABOTER S.r.l.**Via Nazario Sauro n.440  
51100 Pistoia  
Tel. 0573 570566  
e-mail: laboter@laboterpt.itDNV Business Assurance  
Certificato N° 111177-2012-AQ-ITA-ACCREDIA  
UNI EN ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015)  
Prove Geotecniche di Laboratorio su terre (Settore EA : 35)Autorizzazione del MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI  
Settore A - Prove di Laboratorio su terre  
Decreto 2436 del 14/03/2013 - Art. 59 DPR 380/2001 - Circolare 7618/STC 2010**CERTIFICATO DI PROVA N°: 02162** Pagina 1/4

VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 230 del 28/04/22

DATA DI EMISSIONE: 12/05/22 Inizio analisi: 07/05/22

Apertura campione: 29/04/22 Fine analisi: 10/05/22

COMMITTENTE: Dott.ssa Geol. Paola Violanti

RIFERIMENTO: Cimitero S. Andrea - Empoli

SONDAGGIO: CAMPIONE: 1 PROFONDITA': m 1.9-2.3

**PROVA DI TAGLIO DIRETTO**

Modalità di prova: Norma ASTM D 3080-04

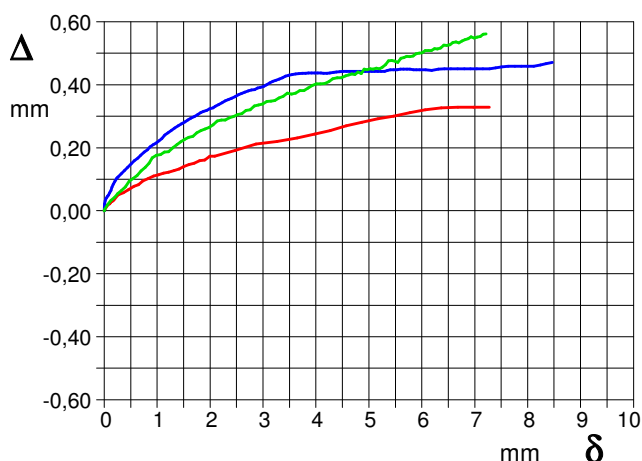
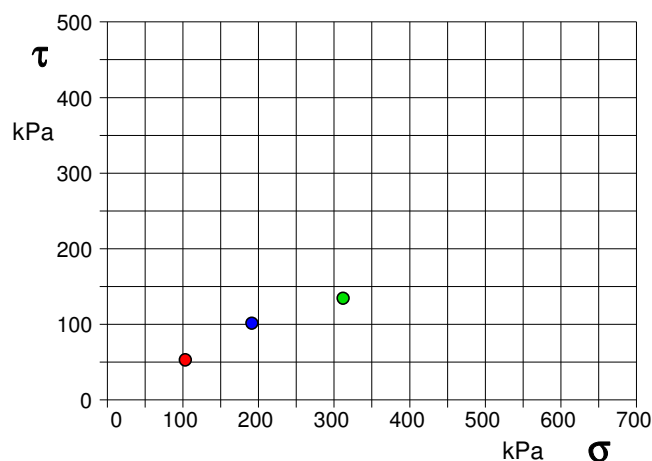
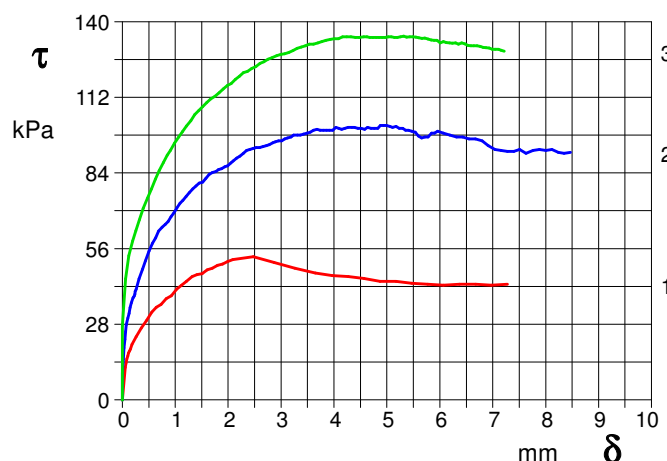
Provino n°:	1	2	3
Condizione del provino:	Indisturbato	Indisturbato	Indisturbato
Pressione verticale (kPa):	103	191	312
Tensione a rottura (kPa):	53	102	135
Deformazione orizzontale a rottura (mm):	2,48	4,88	5,32
Deformazione verticale a rottura (mm):	0,19	0,44	0,46
Umidità iniziale e umidità finale (%):	--- 24,1	--- 22,8	--- 21,1
Peso di volume iniziale e finale (kN/m³):	18,8 24,3	18,9 25,0	18,6 22,5

**DIAGRAMMA**Tensione - Pressione verticale

Tipo di prova: Consolidata - lenta

Velocità di deformazione: 0,007 mm / min

Tempo di consolidazione (ore): 24

DIAGRAMMA Deform. vert. - Deform. orizz.DIAGRAMMA Tensione - Deformaz. orizz.

**LABOTER S.r.l.**

Via Nazario Sauro n.440  
51100 Pistoia  
Tel. 0573 570566  
e-mail: laboter@laboterpt.it

DNV Business Assurance  
Certificato N° 111177-2012-AD-ITA-ACCREDITA  
UNI EN ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015)  
Prove Geotecniche di Laboratorio su terre (Settore EA : 35)

Autorizzazione del MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI  
Settore A - Prove di Laboratorio su terre  
Decreto 2436 del 14/03/2013 - Art. 59 DPR 380/2001 - Circolare 7618/STC 2010

<b>CERTIFICATO DI PROVA N°: 02162</b>	Pagina 0/4	DATA DI EMISSIONE: 12/05/22	Inizio analisi: 07/05/22
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 230 del 28/04/22		Apertura campione: 29/04/22	Fine analisi: 10/05/22

COMMITTENTE: Dott.ssa Geol. Paola Violanti			
RIFERIMENTO: Cimitero S. Andrea - Empoli			
SONDAGGIO:	CAMPIONE: 1	PROFONDITA': m	1.9-2.3

### PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Modalità di prova: Norma ASTM D 3080-04

Provino 1			Provino 2			Provino 3		
Spostam. mm	Tensione kPa	Deform. vert. mm	Spostam. mm	Tensione kPa	Deform. vert. mm	Spostam. mm	Tensione kPa	Deform. vert. mm
0,055	12,0	0,02	0,005	9,9	0,02	0,002	27,5	0,00
0,071	13,4	0,02	0,049	22,4	0,04	0,197	58,8	0,04
0,089	15,2	0,02	0,102	30,2	0,06	0,399	70,8	0,08
0,104	16,3	0,02	0,171	35,9	0,08	0,624	81,6	0,11
0,118	17,3	0,03	0,226	38,4	0,10	0,847	90,6	0,15
0,132	18,0	0,03	0,258	40,8	0,11	1,065	97,4	0,18
0,151	18,7	0,03	0,439	51,5	0,14	1,296	103,4	0,20
0,183	20,5	0,03	0,631	60,0	0,17	1,522	108,6	0,23
0,261	23,3	0,05	0,814	65,0	0,19	1,749	112,4	0,25
0,360	26,5	0,06	0,978	69,3	0,22	1,982	116,4	0,26
0,453	29,3	0,07	1,143	73,9	0,24	2,215	119,9	0,29
0,558	32,5	0,08	1,331	78,1	0,26	2,444	122,6	0,30
0,644	34,3	0,08	1,522	80,6	0,28	2,676	125,1	0,32
0,732	35,3	0,10	1,702	84,2	0,30	2,914	127,4	0,34
0,830	37,5	0,10	1,878	85,6	0,32	3,149	128,6	0,35
0,930	38,5	0,11	2,053	87,7	0,33	3,381	130,6	0,36
1,029	41,0	0,11	2,222	90,2	0,34	3,613	131,6	0,37
1,118	42,4	0,12	2,406	92,7	0,36	3,851	133,1	0,39
1,215	43,8	0,12	2,595	93,4	0,37	4,085	133,6	0,40
1,321	45,6	0,13	2,780	94,5	0,38	4,320	134,4	0,42
1,413	46,3	0,13	2,951	95,9	0,39	4,560	134,4	0,43
1,506	46,6	0,14	3,125	97,0	0,41	4,736	134,1	0,43
1,602	48,1	0,15	3,309	98,0	0,42	4,910	134,1	0,45
1,700	48,8	0,15	3,491	98,7	0,43	5,083	134,4	0,45
1,798	49,8	0,16	3,676	100,2	0,44	5,256	134,4	0,46
1,897	50,2	0,16	3,859	99,8	0,44	5,429	134,4	0,48
1,993	51,2	0,17	4,035	100,9	0,44	5,603	134,1	0,48
2,087	51,9	0,17	4,208	100,5	0,44	5,776	133,6	0,49
2,475	53,0	0,19	4,385	100,9	0,44	5,949	133,1	0,50
2,868	50,9	0,21	4,578	100,2	0,44	6,122	132,3	0,51
3,263	48,8	0,22	4,763	100,5	0,44	6,296	132,2	0,51
3,646	47,0	0,23	4,935	101,6	0,44	6,473	131,8	0,53
3,970	45,9	0,24	5,106	100,9	0,44	6,644	131,0	0,54
4,270	45,6	0,26	5,299	100,5	0,44	6,816	130,6	0,54
4,571	44,9	0,27	5,469	99,4	0,45	6,991	129,7	0,55
4,868	43,8	0,28	5,655	97,0	0,45	7,159	129,4	0,56
5,172	43,8	0,29	5,842	98,7	0,45			
5,467	43,1	0,30	6,070	98,7	0,45			
5,772	42,8	0,31	6,431	97,3	0,45			
6,068	42,4	0,32	6,800	95,9	0,45			
6,369	42,8	0,33	7,156	92,3	0,45			
6,679	42,8	0,33	7,510	92,7	0,46			
6,977	42,4	0,33	7,881	92,7	0,46			
7,275	42,8	0,33	8,239	91,6	0,46			

**LABOTER S.r.l.**

Via Nazario Sauro n.440  
51100 Pistoia  
Tel. 0573 570566  
e-mail: laboter@laboterpt.it

DNV Business Assurance  
Certificato N° 111177-2012-AD-ITA-ACCREDIA  
UNI EN ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015)  
Prove Geotecniche di Laboratorio su terre (Settore EA : 35)

Autorizzazione del MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI  
Settore A - Prove di Laboratorio su terre  
Decreto 2436 del 14/03/2013 - Art. 59 DPR 380/2001 - Circolare 7618/STC 2010

**CERTIFICATO DI PROVA N°: 02162** Pagina 3/4

VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 230 del 28/04/22

DATA DI EMISSIONE: 12/05/22 Inizio analisi: 07/05/22

Apertura campione: 29/04/22 Fine analisi: 10/05/22

COMMITTENTE: Dott.ssa Geol. Paola Violanti

RIFERIMENTO: Cimitero S. Andrea - Empoli

SONDAGGIO: CAMPIONE: 1 PROFONDITA': m 1.9-2.3

**PROVA DI TAGLIO DIRETTO - FASE DI CONSOLIDAZIONE**

Modalità di prova: Norma ASTM D 3080-04

Diagramma  
TEMPO - CEDIMENTO

**PROVINO 1**

Pressione (kPa)	103
Altezza iniziale (cm)	2,400
Altezza finale (cm)	2,309
Sezione (cm²):	28,27
T ₅₀ (min)	0,0
Df (mm)	7
Vs (mm/min)	0,000

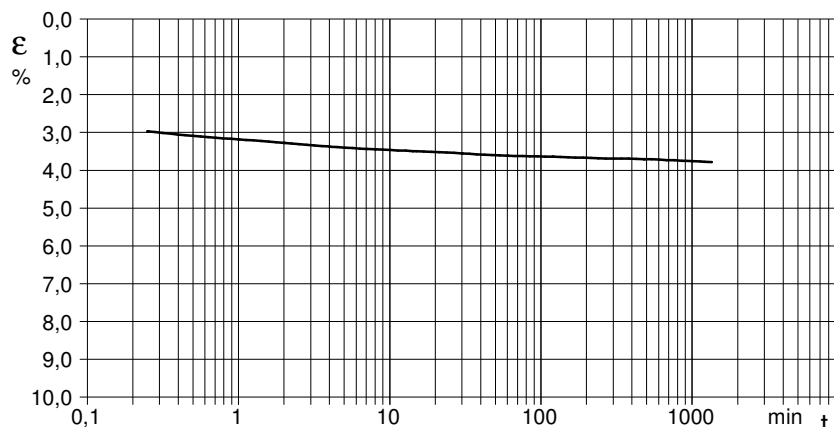


Diagramma  
TEMPO - CEDIMENTO

**PROVINO 2**

Pressione (kPa)	191
Altezza iniziale (cm)	2,400
Altezza finale (cm)	2,222
Sezione (cm²):	28,27
T ₅₀ (min)	0,0
Df (mm)	7
Vs (mm/min)	0,000

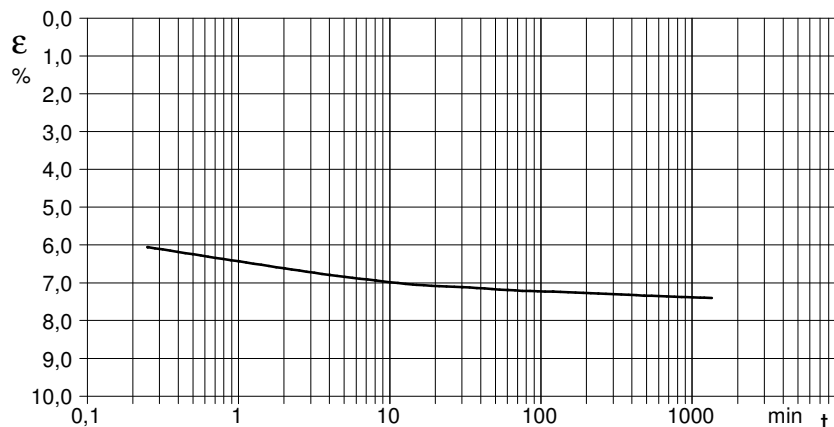
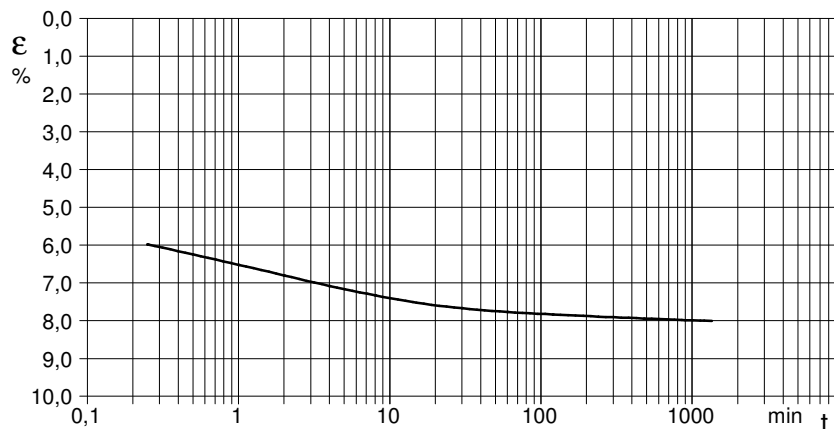


Diagramma  
TEMPO - CEDIMENTO

**PROVINO 3**

Pressione (kPa)	312
Altezza iniziale (cm)	2,400
Altezza finale (cm)	2,208
Sezione (cm²):	28,27
T ₅₀ (min)	0,0
Df (mm)	7
Vs (mm/min)	0,000



Vs = Velocità stimata di prova Df = Deformazione a rottura stimata

tf = 50 x T₅₀

Vs = Df / tf

<b>CERTIFICATO DI PROVA N°: 02162</b>	Pagina 4/4	DATA DI EMISSIONE: 12/05/22	Inizio analisi: 07/05/22
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 230 del 28/04/22		Apertura campione: 29/04/22	Fine analisi: 10/05/22

COMMITTENTE: Dott.ssa Geol. Paola Violanti			
RIFERIMENTO: Cimitero S. Andrea - Empoli			
SONDAGGIO:	CAMPIONE: 1	PROFONDITA': m	1.9-2.3

## PROVA DI TAGLIO DIRETTO - FASE DI CONSOLIDAZIONE

Modalità di prova: Norma ASTM D 3080-04

[illegible]

**LABOTER S.r.l.**

Via Nazario Sauro n.440  
51100 Pistoia  
Tel. 0573 570566  
e-mail: laboter@laboterpt.it

DNV Business Assurance  
Certificato N° 111177-2012-AQ-ITA-ACCREDIA  
UNI EN ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015)  
Prove Geotecniche di Laboratorio su terre (Settore EA : 35)

Autorizzazione del MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI  
Settore A - Prove di Laboratorio su terre  
Decreto 2436 del 14/03/2013 - Art. 59 DPR 380/2001 - Circolare 7618/STC 2010

**CERTIFICATO DI PROVA N°: 02163** Pagina 0/2

VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 230 del 28/04/22

DATA DI EMISSIONE: 12/05/22 Inizio analisi: 29/04/22

Apertura campione: 29/04/22 Fine analisi: 04/05/22

COMMITTENTE: Dott.ssa Geol. Paola Violanti

RIFERIMENTO: Cimitero S. Andrea - Empoli

SONDAGGIO: CAMPIONE: 1 PROFONDITA': m 1.9-2.3

PROVA DI COMPRESSIONE TRIASSIALE U.U.

Modalità di prova: Norma ASTM D 2850-03a

## TABELLA RIASSUNTIVA DEI DATI DELLA PROVA

PROVINO	1	2	3	PROVINO	1	2	
Condizioni	Indisturbato	Indisturbato		<b>Pressioni iniziali</b>			
<b>Caratteristiche iniziali dei provini</b>				Pressione di cella (kPa)	200	300	
Massa (g)	171,07	175,74		Back pressure (kPa)			
Altezza (cm)	7,62	7,60		Pressione efficace (kPa)	200	300	
Diametro (cm)	3,84	3,79		<b>Valori finali o a rottura</b>			
Sezione (cm²):	11,58	11,28		Deformazione verticale (%)	19,7	13,1	
Volume (cm³)	88,25	85,74		$\sigma_1 - \sigma_3$ (kPa)	225	308	
Peso di volume (kN/m³)	19,0	20,1		Pressione interstiziale (kPa)	-	-	
Umidità (%)	20,8	18,8		$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$ (kPa)	312	454	
Peso specifico	26,5	26,5		$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$ (kPa)	112	154	
Peso di volume secco (kN/m³)	15,7	16,9					
Grado di saturazione (%)	82,4	90,0					



**LABOTER S.r.l.**

Via Nazario Sauro n.440  
51100 Pistoia  
Tel. 0573 570566  
e-mail: laboter@laboterpt.it

DNV Business Assurance  
Certificato N° 111177-2012-AQ-ITA-ACCREDIA  
UNI EN ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015)  
Prove Geotecniche di Laboratorio su terre (Settore EA : 35)

Autorizzazione del MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI  
Settore A - Prove di Laboratorio su terre  
Decreto 2436 del 14/03/2013 - Art. 59 DPR 380/2001 - Circolare 7618/STC 2010

**CERTIFICATO DI PROVA N°: 02163** Pagina 1/2

VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 230 del 28/04/22

DATA DI EMISSIONE: 12/05/22 Inizio analisi: 29/04/22

Apertura campione: 29/04/22 Fine analisi: 04/05/22

COMMITTENTE: Dott.ssa Geol. Paola Violanti

RIFERIMENTO: Cimitero S. Andrea - Empoli

SONDAGGIO: CAMPIONE: 1 PROFONDITA': m 1.9-2.3

**PROVA DI COMPRESSIONE TRIASSIALE U.U.**

Modalità di prova: Norma ASTM D 2850-03a

P	Dimensioni		Caratteristiche fisiche				Pressione			Valori finali o a rottura			
n	H _o	φ	γ	γ _s	w	S _o	σ ₃	u _o	σ' ₃	δ _f	σ ₁ -σ ₃	$\frac{\sigma_1+\sigma_3}{2}$	$\frac{\sigma_1-\sigma_3}{2}$
	cm	cm	kN/m ³	kN/m ³	%	%	kPa	kPa	kPa	%	kPa	kPa	kPa
1	7,62	3,84	19,0	26,5	20,8	82,4	200	0	200	19,7	225	312	112
2	7,60	3,79	20,1	26,5	18,8	90,0	300	0	300	13,1	308	454	154

H_o φ - Altezza e diametro provini  
w - Umidità dei provini

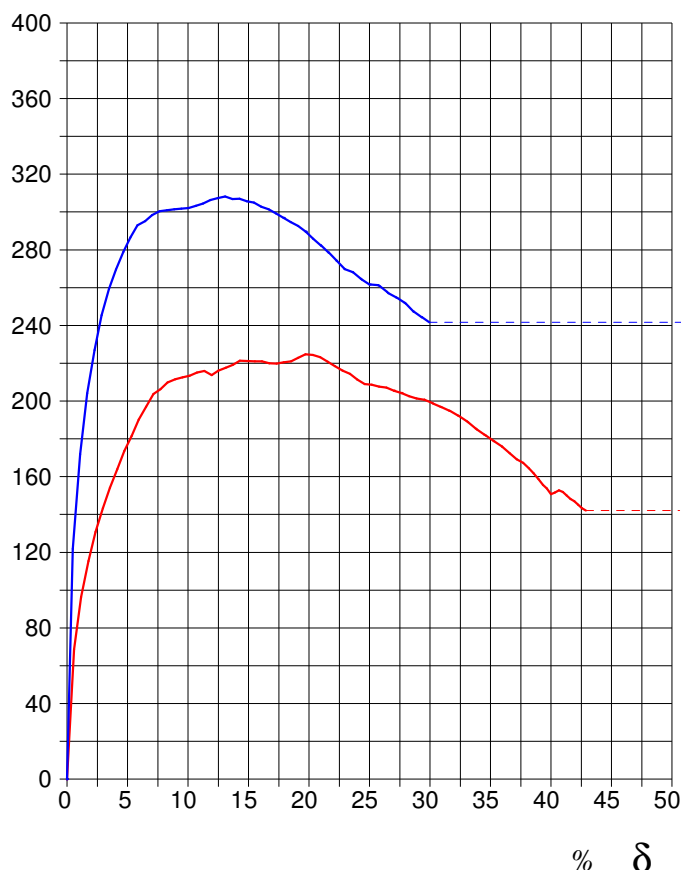
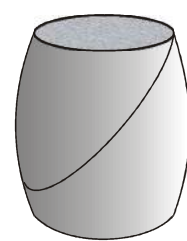
γ γ_s - Peso di volume e peso specifico  
S_o - Grado di saturazione iniziale

σ₃ - Pressione di cella  
u_o - Back pressure

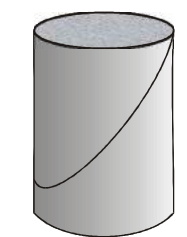
δ_f - Deformazione a rottura  
σ₁ σ₃ - Tensioni totali

σ₁-σ₃  
kPa

Diagramma  
Tensione totale -  
- Deformazione

**Tipo di rottura**

Provino 1



Provino 2



Provino 3

Velocità di deformazione: 0,700 mm/min

**LABOTER S.r.l.**Via Nazario Sauro n.440  
51100 Pistoia  
Tel. 0573 570566  
e-mail: laboter@laboterpt.itDNV Business Assurance  
Certificato N° 111177-2012-AD-ITA-ACCREDIA  
UNI EN ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015)  
Prove Geotecniche di Laboratorio su terre (Settore EA: 35)

Autorizzazione del MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI

Settore A - Prove di Laboratorio su terre

Decreto 2436 del 14/03/2013 - Art. 59 DPR 380/2001 - Circolare 7618/STC 2010

**CERTIFICATO DI PROVA N°: 02163** Pagina 2/2

VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 230 del 28/04/22

DATA DI EMISSIONE: 12/05/22 Inizio analisi: 29/04/22

Apertura campione: 29/04/22 Fine analisi: 04/05/22

COMMITTENTE: Dott.ssa Geol. Paola Violanti

RIFERIMENTO: Cimitero S. Andrea - Empoli

SONDAGGIO: CAMPIONE: 1 PROFONDITA': m 1.9-2.3

PROVA DI COMPRESSIONE TRIASSIALE U.U.

Modalità di prova: Norma ASTM D 2850-03a

PROVINO 1				PROVINO 2				PROVINO 3			
$\delta$ mm	$\delta$ %	$\sigma_1 - \sigma_3$ kPa	$\Delta v$ kPa	$\delta$ mm	$\delta$ %	$\sigma_1 - \sigma_3$ kPa	$\Delta v$ kPa	$\delta$ mm	$\delta$ %	$\sigma_1 - \sigma_3$ kPa	$\Delta v$ kPa
0,45	0,59	68,7		0,36	0,47	121,8					
0,89	1,17	96,4		0,81	1,07	171,9					
1,35	1,77	115,4		1,26	1,66	204,0					
1,79	2,35	130,7		1,72	2,26	227,0					
2,24	2,94	143,3		2,17	2,85	245,4					
2,70	3,54	154,1		2,62	3,44	259,3					
3,15	4,13	163,9		3,07	4,04	269,6					
3,61	4,73	173,6		3,53	4,64	278,9					
4,06	5,33	181,5		3,98	5,23	286,5					
4,52	5,93	190,1		4,43	5,82	293,0					
4,97	6,52	196,9		4,89	6,43	295,3					
5,43	7,13	203,7		5,34	7,03	298,3					
5,89	7,73	206,4		5,81	7,64	300,4					
6,34	8,31	209,8		6,26	8,24	300,9					
6,81	8,93	211,5		6,73	8,85	301,4					
7,27	9,54	212,5		7,18	9,45	301,8					
7,72	10,13	213,4		7,64	10,06	302,2					
8,18	10,73	215,0		8,10	10,65	303,3					
8,64	11,34	215,9		8,55	11,25	304,5					
9,10	11,94	213,7		9,01	11,85	306,3					
9,54	12,52	216,0		9,46	12,45	307,3					
9,99	13,11	217,6		9,92	13,05	308,3					
10,44	13,69	219,1		10,38	13,66	306,9					
10,89	14,29	221,3		10,83	14,25	307,1					
11,35	14,90	221,2		11,29	14,85	305,7					
11,82	15,52	221,0		11,74	15,45	305,0					
12,28	16,12	220,9		12,21	16,06	302,8					
12,74	16,72	220,0		12,67	16,67	301,4					
13,20	17,33	219,9		13,13	17,27	299,2					
13,65	17,91	220,4		13,60	17,90	296,9					
14,11	18,52	220,9		14,06	18,50	294,8					
14,56	19,11	222,8		14,52	19,10	292,6					
15,01	19,70	224,6		15,00	19,73	289,6					
15,47	20,30	224,3		15,47	20,35	285,9					
15,94	20,92	223,3		15,95	20,99	282,2					
16,40	21,53	220,9		16,44	21,63	278,6					
16,87	22,14	218,5		16,94	22,29	274,1					
17,34	22,76	216,1		17,45	22,96	269,7					
17,81	23,38	214,4		17,98	23,66	268,0					
18,74	24,59	209,0		18,52	24,37	264,1					
19,65	25,79	207,6		19,07	25,10	261,6					
20,59	27,02	205,4		19,62	25,82	261,0					
21,54	28,27	202,5		20,19	26,57	257,1					
22,52	29,56	200,7		20,74	27,29	254,6					
23,59	30,96	196,7		21,28	28,00	251,5					
24,70	32,41	192,0		21,80	28,68	247,2					
25,82	33,88	185,0		22,28	29,32	244,3					
26,91	35,31	178,7		22,75	29,93	241,6					
27,88	36,59	172,5		23,17	30,48	240,9					
28,73	37,70	167,3									
29,40	38,58	161,8									
29,96	39,32	155,6									
30,48	40,00	150,8									
30,97	40,64	152,7									
31,46	41,29	150,1									
31,95	41,93	146,9									
32,43	42,56	143,3									
32,92	43,20	141,7									

COMMITTENTE:	Dott.ssa Geol. Paola Violanti		
RIFERIMENTO:	Cimitero S. Andrea - Empoli		
SONDAGGIO:	CAMPIONE:	1	PROFONDITA': m 1.9-2.3

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Modalità di prova: Norma ASTM D 3080-04

Provino n°:	1	2	3
Condizione del provino:	Indisturbato	Indisturbato	Indisturbato
Pressione verticale (kPa):	103	191	312
Tensione a rottura (kPa):	53	102	135
Deformazione orizzontale a rottura (mm):	2,48	4,88	5,32
Deformazione verticale a rottura (mm):	0,19	0,44	0,46
Umidità iniziale e umidità finale (%):	--- 24,1	--- 22,8	--- 21,1
Peso di volume iniziale e finale (kN/m³):	18,8 24,3	18,9 25,0	18,6 22,5

DIAGRAMMA

Tensione - Pressione verticale

Coesione: 19,8 kPa  
Angolo di attrito interno: 21,3 °

Tipo di prova: Consolidata - lenta  
Velocità di deformazione: 0,007 mm / min  
Tempo di consolidazione (ore): 24

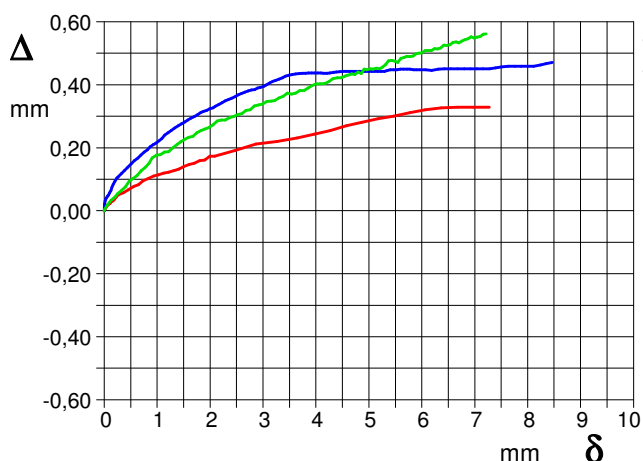
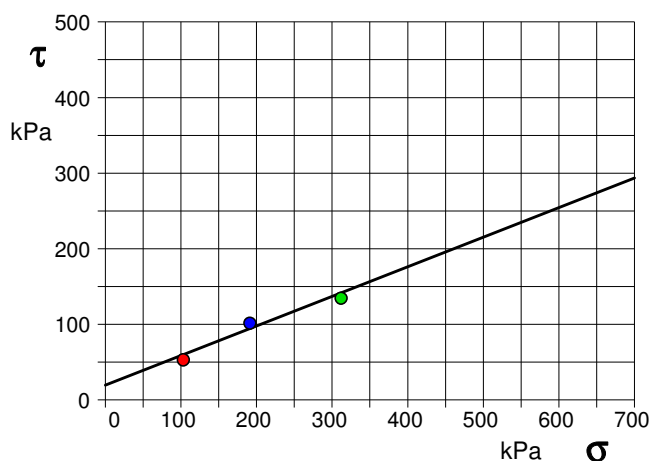


DIAGRAMMA Deform. vert. - Deform. orizz.

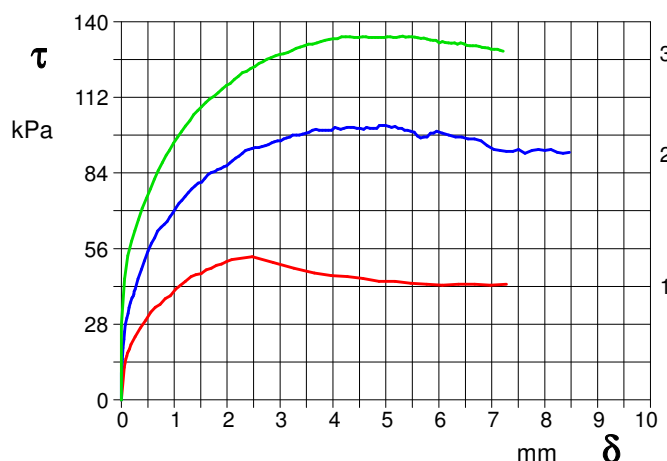


DIAGRAMMA Tensione - Deformaz. orizz.

COMMITTENTE:	Dott.ssa Geol. Paola Violanti		
RIFERIMENTO:	Cimitero S. Andrea - Empoli		
SONDAGGIO:	CAMPIONE:	1	PROFONDITA': m 1.9-2.3

PROVA DI COMPRESSIONE TRIASSIALE U.U.

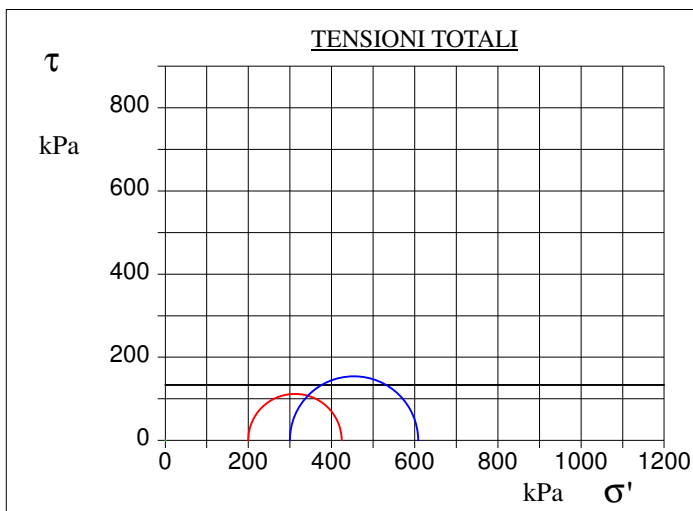
Modalità di prova: Norma ASTM D 2850-03a

Pr.	Dimensioni		Caratteristiche fisiche				Consolidazione			Valori finali o a rottura			
n°	H _o cm	φ cm	γ kN/m ³	γ _s kN/m ³	w %	S _o %	σ ₃ kPa	u _o kPa	σ' ₃ kPa	δ _f %	σ _l -σ ₃ kPa	$\frac{\sigma_l + \sigma_3}{2}$ kPa	$\frac{\sigma_l - \sigma_3}{2}$ kPa
1	7,62	3,84	19,0	26,5	20,8	82,4	200	0	200	19,7	225	312	112
2	7,60	3,79	20,1	26,5	18,8	90,0	300	0	300	13,1	308	454	154
3	0,00	0,00	0,0	26,5	0,0	0,0	0	0	0	0,0	0	0	0

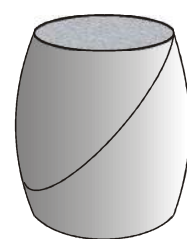
H _o φ - Altezza e diametro provini w - Umidità dei provini	γ γ _s - Peso di volume e peso specifico S - Grado di saturazione	σ ₃ - Pressione di cella u _o - Back pressure	δ _f - Deformazione a rottura σ _l σ ₃ - Tensioni totali
--------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------

Velocità di deformazione:  
0,700 mm/min

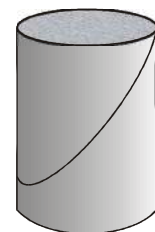
cu = 133 kPa



Tipo di rottura



Provino 1



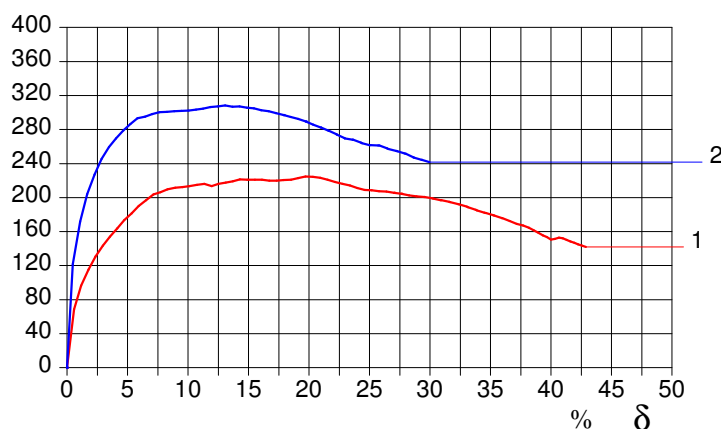
Provino 2

Provino 3

σ_l-σ₃  
kPa

Diagramma

Tensione totale -  
- Deformazione



**REPORT INDAGINE SISMICA  
ESEGUITA NELLA PRESENTE INDAGINE**

## COMUNE DI EMPOLI PROVINCIA DI FIRENZE



### INDAGINE SISMICA CON METODOLOGIA MASW E HVSR

**Lavoro:** *Progetto definitivo – esecutivo per la costruzione di nuovi loculi nel cimitero di S. Andrea del capoluogo II° lotto*

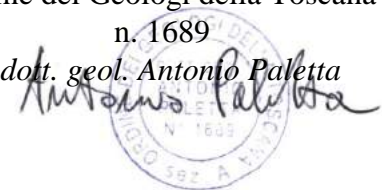
**Località:** *Via Val d'Orme n.4 - Comune di Empoli*

**Committente:** *Comune di Empoli*

Empoli, 23 Maggio 2022

Ordine dei Geologi della Toscana  
n. 1689

*dott. geol. Antonio Paletta*



## INDICE

1. Premessa .....	3
2. Prospezioni sismiche basate sull'analisi delle onde superficiali di Rayleigh .....	4
3. Prospezioni sismiche MASW.....	6
4. Indagine eseguita.....	8
5. Acquisizione ed elaborazione dati.....	9
6. Interpretazione ed analisi dei dati .....	12
7. Tecnica Nakamura H/V.....	13
8. Rapporto spettrale .....	13
9. Moduli elastici dinamici .....	16



## 1. Premessa

Su incarico ricevuto dal Comune di Empoli è stata effettuata una prospezione sismica con il metodo M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves ovvero Analisi Multicanale delle onde Superficiali di Rayleigh) al fine di pervenire alla modellazione sismica di sito inerente il progetto di “*Progetto definitivo – esecutivo per la costruzione di nuovi loculi nel cimitero di S. Andrea del capoluogo II° lotto*” Via Val d’Orme n.4 - Comune di Empoli (fig. 1), secondo quanto disposto dalla normativa vigente (D.M. 17 gennaio 2018). E’ stata inoltre eseguita una prova sismica passiva a stazione sismica o HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) con il metodo Nakamura (fig. 2 ).

Si ricorda altresì che le indagini geofisiche e nella fattispecie le prospezioni sismiche non sono contemplate nella decreto del 17 gennaio 2018 - aggiornamento delle «*Norme tecniche per le costruzioni*», pertanto non sono soggette a certificazione.

Per l’ubicazione delle indagini geofisiche si rimanda all’elaborato “*Allegato I*” denominato “*Indagini geofisiche ed ubicazione planimetrica*”.



**Fig. 1 – Prospezione sismica MASW M1 effettuata in area progettuale.**

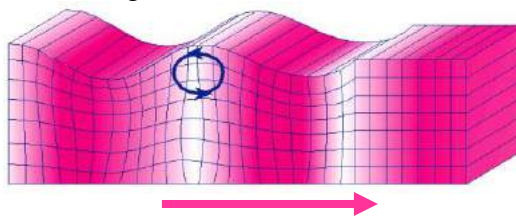


**Fig. 2 – Prospezione sismica HVSR HV1 effettuata in area progettuale.**

## 2. Prospezioni sismiche basate sull'analisi delle onde superficiali di Rayleigh

In un semispazio omogeneo, oltre alle onde P ed S, esiste un nuovo tipo di onda denominata onda di Rayleigh, dal suo scopritore Lord Rayleigh. Questa onda è il risultato della combinazione delle onde P e delle onde S. Le onde di Rayleigh sono polarizzate in un piano verticale (Fig. 3) e si generano in corrispondenza della superficie libera del mezzo quando viene sollecitato acusticamente. In questo tipo di onde le particelle descrivono un movimento di tipo ellittico la cui ampiezza decresce esponenzialmente con la distanza dalla superficie libera. L'asse maggiore delle ellissi è parallela alla superficie libera del mezzo fino alla profondità di  $0.2\lambda$ , dove lo spostamento orizzontale cambia segno e quindi gli assi e il senso di percorrenza si invertono. Le particelle compiono un movimento ellittico in senso retrogrado rispetto alla direzione di propagazione delle onde.

Le onde superficiali di Rayleigh, quando si propagano in un mezzo omogeneo, non presentano dispersione e la loro velocità è uguale a  $0.92V_S$ . In un mezzo disomogeneo, quale la Terra, la loro velocità varia in funzione della lunghezza d'onda tra i limiti 0 e  $0.92V_S$ . La teoria della propagazione delle onde superficiali è ben conosciuta ed è descritta dettagliatamente da Ewing et al. (1957).



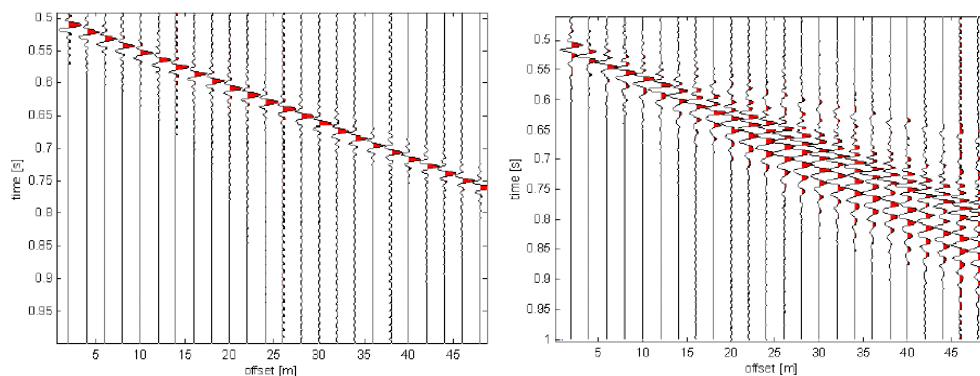
**Direzione di propagazione**

**Fig. 3** Rappresentazione grafica della propagazione delle onde superficiali di Rayleigh.

La determinazione della velocità delle onde di taglio  $V_S$  tramite le misure delle onde superficiali di Rayleigh risulta particolarmente indicata per suoli altamente attenuanti e ambienti rumorosi poiché la percentuale di energia convertita in onde di Rayleigh è di gran lunga predominante (67%) rispetto a quella coinvolta nella generazione e propagazione delle onde P (7%) ed S (26%). Inoltre l'ampiezza delle onde superficiali dipende da  $\sqrt{r}$  e non da  $r$  come per le onde di volume.

I metodi basati sull'analisi delle onde superficiali di Rayleigh forniscono una buona risoluzione e non sono limitati, a differenza del metodo a rifrazione, dalla presenza di inversioni di velocità in profondità. Inoltre la propagazione delle onde di Rayleigh, anche se influenzata dalla  $V_P$  e dalla densità, è funzione innanzitutto della  $V_S$ , parametro di fondamentale importanza per la caratterizzazione geotecnica di un sito secondo quanto previsto dalle recenti normative antisismiche (O.P.C.M. 3274/03; O.P.C.M. 3431/05; D.M. 14 gennaio 2008). Infatti, mentre la velocità delle onde P misurata in terreni saturi dipende in maniera sostanziale dalle vibrazioni trasmesse dal fluido interstiziale e non dallo scheletro solido del materiale, la velocità delle onde S è caratteristica delle vibrazioni trasmesse dal solo scheletro solido e, pertanto, a differenza delle onde P, risulta rappresentativa delle reali proprietà meccaniche del terreno.

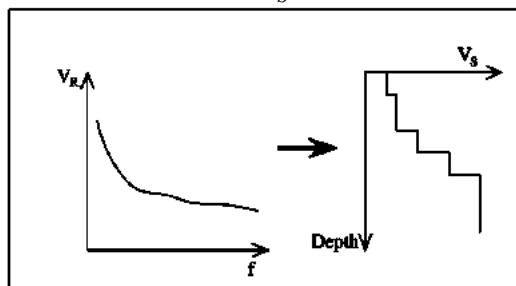
La proprietà fondamentale delle onde superficiali di Rayleigh, sulla quale si basa l'analisi per la determinazione delle  $V_S$ , è costituita dal fenomeno della dispersione che si manifesta in mezzi stratificati (Fig. 4).



**Fig. 4** – Segnali sismici che evidenziano (in rosso) le onde superficiali di Rayleigh in un mezzo non stratificato (a sinistra) e in un mezzo stratificato (a destra). Risulta evidente il fenomeno della dispersione delle onde superficiali di Rayleigh in un mezzo stratificato.

Analizzando la curva di dispersione, ossia la variazione della velocità di fase delle onde di Rayleigh in funzione della lunghezza d'onda (o della frequenza, che è inversamente proporzionale alla lunghezza d'onda), è possibile determinare la variazione della velocità delle onde di taglio con la profondità tramite processo di inversione (Fig. 5).

La velocità delle onde di Rayleigh ( $V_R$ ) è pari a circa il 90% delle onde di taglio ( $V_S$ ). Le tecniche di analisi delle onde di Rayleigh vengono realizzate con procedure operative meno onerose della comune sismica a rifrazione e delle prove in foro e hanno un grado di incertezza nella determinazione delle  $V_S < 15\%$ .



**Fig. 5** – Velocità delle onde di Rayleigh in funzione della frequenza (a sinistra) e profilo di velocità delle onde di taglio in funzione della profondità (a destra) ricavato tramite processo d'inversione.

La modellazione del sottosuolo attraverso l'analisi delle onde superficiali di Rayleigh, mediante l'impiego di comuni geofoni verticali a 4.5Hz, viene ottenuta con le seguenti metodologie: ReMi (Refraction Microtremor), FTAN (Frequency Time ANalysis), SASW (Spectral Analysis of Surface Waves), MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves).

La tecnica ReMi consente di raggiungere profondità ragguardevoli fornendo un profilo verticale medio delle  $V_S$  relative al volume di sottosuolo sotteso dallo stendimento (non rettilineo) messo in opera. Questa tecnica viene estensivamente utilizzata negli Stati Uniti nell'ambito del NEHRP (National Earthquake Hazard Reduction Program) tanto che il software fornisce anche direttamente il valore di  $V_{S30}$  e la categoria della classificazione del suolo secondo la normativa americana.

Il metodo FTAN per la determinazione delle  $V_{S30}$  (basato sull'analisi della velocità di gruppo delle onde superficiali di Rayleigh) ha bisogno di un solo ricevitore e



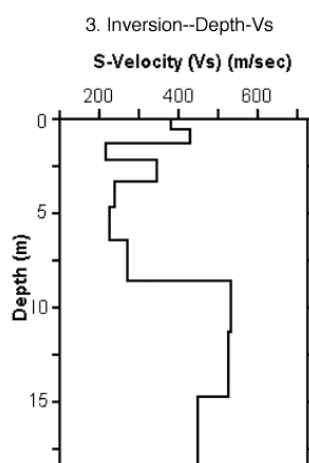
permette la definizione di un profilo medio su distanze di decine-centinaia di metri. Inoltre il metodo fornisce valori di velocità delle onde di taglio in buon accordo con le misure in foro. Il metodo SASW (basato sull'analisi della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh) viene generalmente impiegato per la determinazione delle  $V_s$  di strati superficiali ( $<30m$ ) e per la determinazione delle proprietà elastiche di strade e pavimentazioni (Stokoe & Nazarian, 1985) e, pertanto, sembra essere tra i metodi non invasivi quello più popolare tra gli ingegneri. La tecnica MASW, fondata sulla tecnica SASW, consente una dettagliatissima ricostruzione della distribuzione della velocità delle onde  $S$  nel sottosuolo.

### 3. Prospezioni sismiche MASW

L'analisi multicanale delle onde superficiali di Rayleigh MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una efficiente ed accreditata metodologia sismica per la determinazione delle velocità delle onde di taglio  $V_s$ . Tale metodo utilizza le onde superficiali di Rayleigh registrate da una serie di geofoni lungo uno stendimento rettilineo e collegati ad un comune sismografo multicanale. Le onde superficiali di Rayleigh, durante la loro propagazione vengono registrate lungo lo stendimento di geofoni e vengono successivamente analizzate attraverso complesse tecniche computazionali, simili alla tecnica SASW, basate su un approccio di riconoscimento di modelli multistrato di terreno.

La metodologia per la realizzazione di una indagine sismica MASW prevede 3 passi fondamentali:

1. Ripetute acquisizioni multicanale dei segnali sismici, generati da una sorgente energizzante artificiale (maglio battente su piastra in alluminio), lungo uno stendimento che vede allineati sorgenti e geofoni;
2. Estrazione del modo fondamentale di oscillazione dalle curve di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh (una curva per ogni acquisizione);
3. Inversione delle curve di dispersione per ottenere profili verticali 1D delle VS (Fig.6). La velocità delle onde di taglio è approssimativamente pari a  $1.1 \cdot V_R$  ( $V_R$  = velocità delle onde di Rayleigh) e la profondità è pari a circa  $0.4 \cdot \lambda$  ( $\lambda$  = lunghezza d'onda). Il profilo verticale, per ogni curva di dispersione, è posizionato nel punto medio di ogni stendimento geofonico.

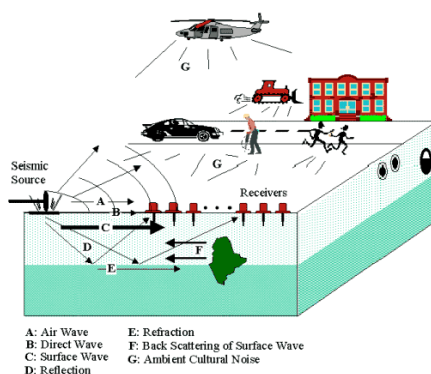


**Fig. 6** – Modello di velocità delle onde di taglio (VS) ottenuto dalla curva di dispersione della velocità di fase delle onde di.

Quando vengono generate onde sismiche usando una sorgente impattante come un martello su una piastra vengono generate sia onde di volume ( $P$  ed  $S$ ), sia onde di superficie (Rayleigh e Love), che si propagano in tutte le direzioni. Alcune di queste onde vengono riflesse e disperse quando incontrano oggetti superficiali o poco profondi (ad esempio, fondazioni di edifici, canali sotterranei, trovanti lapidei, ecc.) e diventano rumore (Fig. 7).

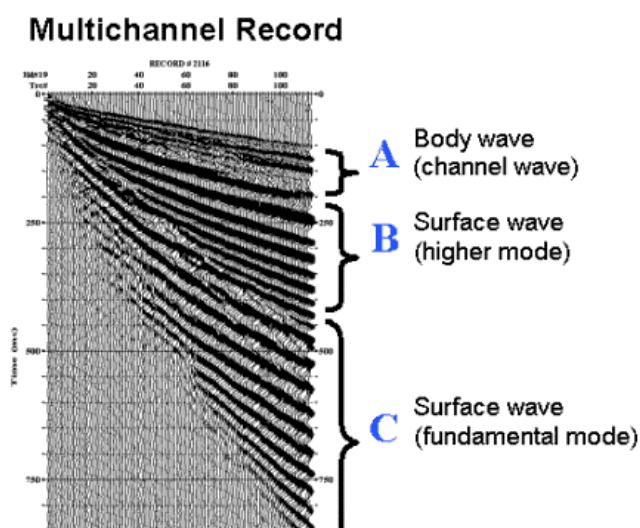
Inoltre, vengono quasi sempre rilevate vibrazioni da rumore ambientale proveniente dal traffico veicolare, dall'attività industriale e, in generale, dall'attività umana (Fig. 6).

Il vantaggio principale dell'approccio multicanale della tecnica MASW sta nella sua intrinseca capacità di distinguere tutte queste onde dovute al rumore e di isolarle dalle onde superficiali di Rayleigh evidenziando solo il modo fondamentale di oscillazione dei terreni. L'isolamento del modo fondamentale di oscillazione si basa su molteplici caratteristiche sismiche dei segnali.

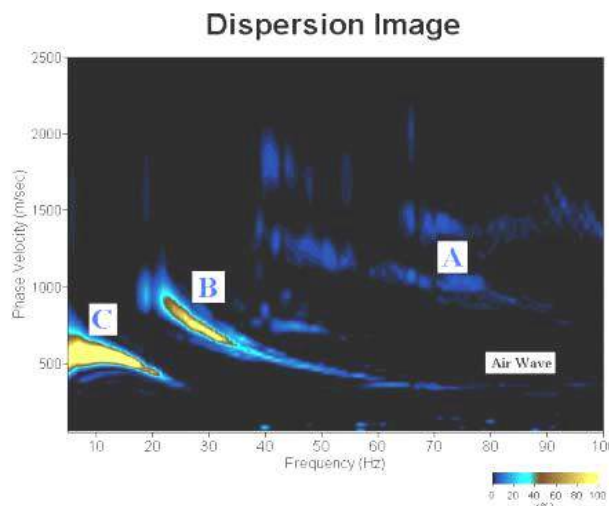


**Fig. 7** – Schematizzazione dei vari tipi di onde (di volume e superficiali) e di alcune possibili sorgenti di rumore ambientale.

Le proprietà della dispersione di tutti i tipi di onde (di volume e superficiali) sono visualizzate attraverso un metodo di trasformazione (basato sull'analisi spettrale dei segnali sismici) del campo d'onda che converte direttamente i segnali sismici acquisiti (Fig. 8) in una immagine dove un modello di dispersione è riconosciuto nella distribuzione dell'energia trasformata in oscillazioni (Fig. 9).



**Fig. 8** – Segnali sismici con acquisizione multicanale e riconoscimento delle varie fasi sismiche (onde di volume, modo fondamentale e modi superiori delle onde superficiali).



**Fig. 9** – Curva di dispersione della velocità di fase in funzione della frequenza delle onde superficiali di Rayleigh relative ai segnali sismici. Il picco energetico in corrispondenza di C rappresenta, nel modello della dispersione, il modo fondamentale da estrarre. Il picco energetico in B rappresenta il primo modo mentre quello in A, poco evidente, rappresenterebbe il secondo modo.

Successivamente, il modo fondamentale e gli altri modi (proprietà fondamentale della dispersione della velocità di fase delle onde di Rayleigh) vengono estratti da un modello specifico.

E' possibile così simulare, a partire da un modello geotecnico sintetico caratterizzato da spessore, densità, coefficiente di Poisson, velocità delle onde S e velocità delle Onde P, la curva di dispersione teorica la quale lega velocità e lunghezza d'onda.

Modificando i parametri del modello geotecnico sintetico, si può ottenere una sovrapposizione della curva di dispersione teorica con quella sperimentale: questa fase è detta di inversione e consente di determinare il profilo delle velocità in mezzi a differente rigidità.

#### 4. Indagine eseguita

Al fine di caratterizzare sismicamente i terreni nell'area oggetto di indagine, è stata eseguita, in data 28/04/2022, una prospezione sismica MASW con le seguenti caratteristiche (Tab. 1):

<i>Prospezione sismica</i>	<i>Lunghezza complessiva dello stendimento (m)</i>	<i>Spacing (m)</i>
<b>MASW M1</b>	<b>33</b>	<b>3</b>

**Tab. 1** – Riepilogo caratteristiche delle fasi di acquisizione relative allo stendimento geofonico messo in opera.

L'indagine è stata condotta mediante l'utilizzo di un sismografo DoReMi della SARA Electronics Instruments. E' un sistema innovativo che incorpora e distribuisce nel cavo sismico un sismografo modulare canale per canale. Ogni elemento contiene tutto l'hardware necessario per l'acquisizione dati per sismica attiva e passiva. La comunicazione digitale evita tutti problemi della strumentazione con cavo analogico.

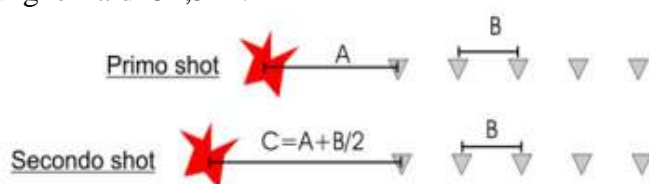
Con la digitalizzazione vicinissima al geofono si abbattano i disturbi e si ottiene una sensibilità incomparabile e sicuramente superiore ai sismografi con convertitori a 24 bit. La trasmissione del segnale è digitale quindi nulla viene perso anche su linee molto lunghe. Lo strumento è stato progettato e realizzato per eseguire indagini di prospezione sismica convenzionali (rifrazione, riflessione) e non convenzionali [Re.Mi. (Refraction Microtremor); M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves); S.A.S.W. (Spectral Analysis of Surface Waves)].

La dinamica (16 bit di risoluzione) unita alla notevole memoria del personal computer, ne consente l'utilizzo anche per tecniche di indagine di tipo non convenzionale. Tali indagini risultano particolarmente adatte in aree fortemente antropizzate (aree urbane e industriali) con notevole presenza di rumore di fondo (noise).

La gestione dell'apparecchiatura è notevolmente semplificata dall'interfaccia grafica. La sorgente sismica (Fig. 10) è costituita da un impatto transiente verticale (maglio dal peso di 8kg che batte su una piastra circolare in alluminio). Come trigger/starter è stato utilizzato un sensore piezoelettrico applicato sul martello. Quando la battuta sulla superficie della piastra non risultava netta o veniva colpita due volte erroneamente, la prova veniva ripetuta.

L'acquisizione è stata effettuata disponendo uno stendimento lineare composto da 12 geofoni, con distanza intergeofonica pari a 3 m, per una lunghezza complessiva di 33 m.

I punti di energizzazione sono stati posizionati all'inizio dello stendimento geofonico con offset di 6,50 m e 8,00 m così da ottenere due acquisizioni da 12 tracce. Queste, una volta interlacciate, restituiscono un'unica acquisizione da 24 tracce sismiche per una lunghezza di 34,5 m.



**Fig. 10.** Ricostruzione di una acquisizione da 24 tracce

Le oscillazioni del suolo sono state rilevate da 12 geofoni verticali (Geospace – 4.5Hz) posizionati lungo il profilo di indagine con spacing predefinito (Fig. 1; Tab. 1). La lunghezza complessiva dello stendimento geofonico è stata sufficiente a determinare la sismostratigrafia dei terreni nel sito prescelto fino alla profondità di 30 m dal p.c.

I segnali sismici acquisiti, una volta interlacciati per ottenere un sismogramma a 24 tracce, sono stati elaborati per la determinazione della sismostratigrafia del sottosuolo.

I moduli elastici sono riportati al paragrafo 9.

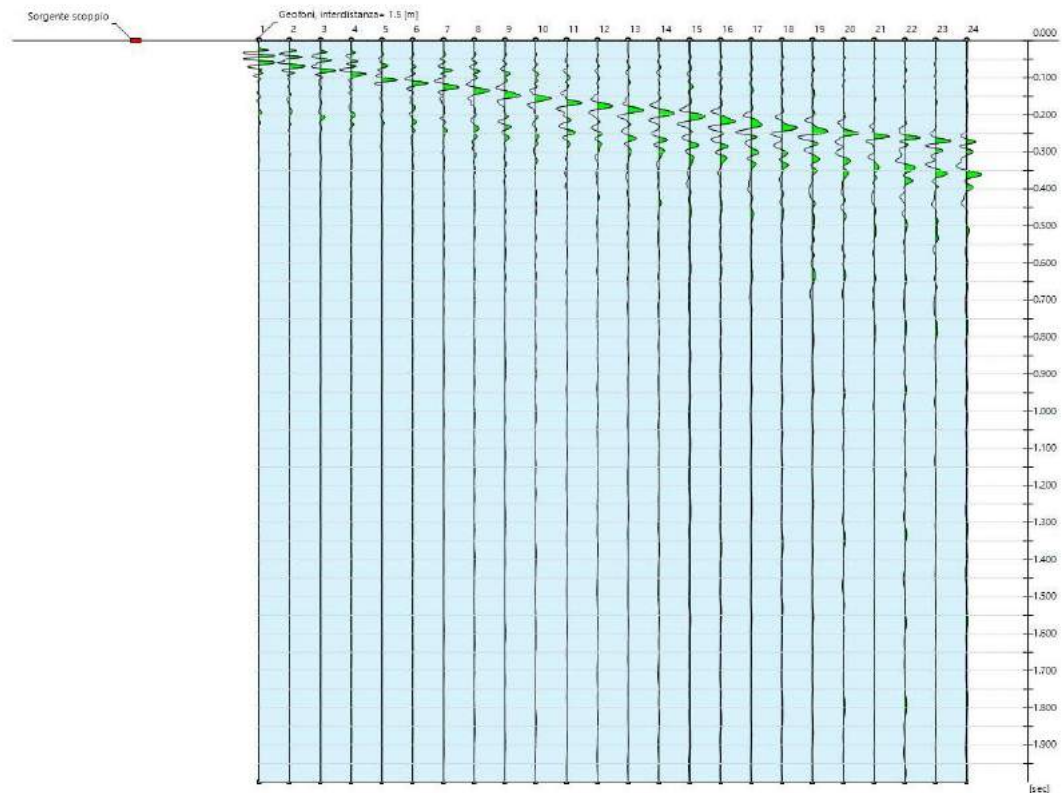
## 5. Acquisizione ed elaborazione dati

Le acquisizioni dei segnali, di lunghezza temporale  $T = 2.000s$ , sono state effettuate con passo di campionamento  $dt = 1ms$ . La frequenza di campionamento è data da:  $f_{(campionamento)} = 1/dt = 1000Hz$ .

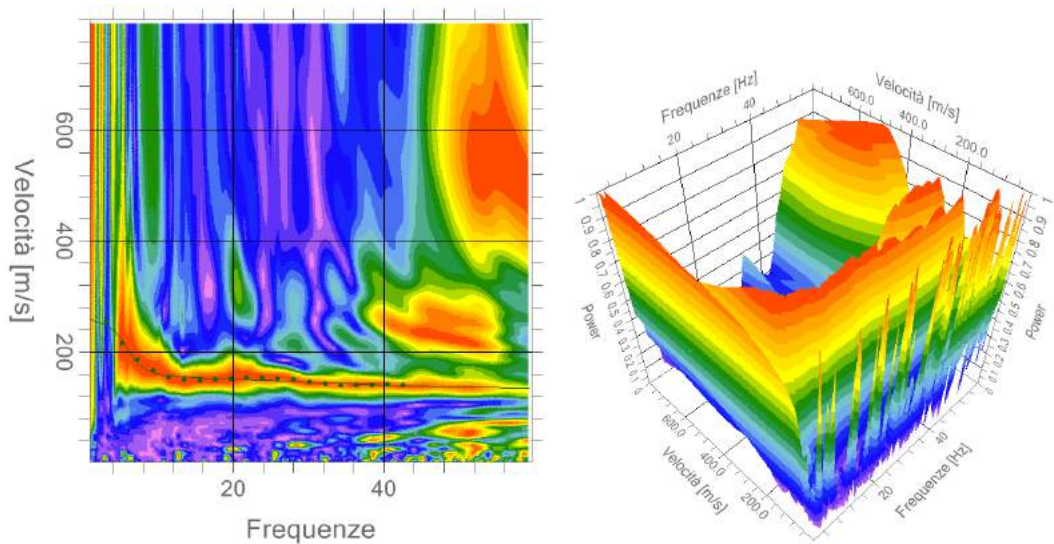
L'elaborazione dei dati e l'inversione delle curve di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh è stata eseguita con il software Heasy Masw della Geostrù ed ha permesso di costruire la sezione sismostratigrafica delle  $V_s$  (Fig. 13).



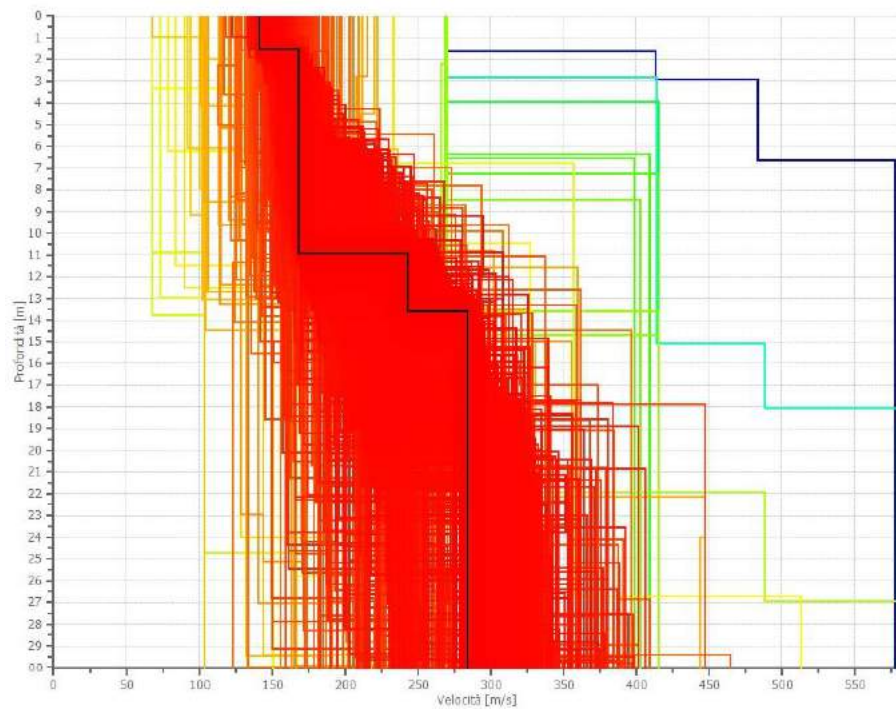
Gli elaborati relativi alla prova effettuata sono di seguito riportati (Fig. 11 – 14).



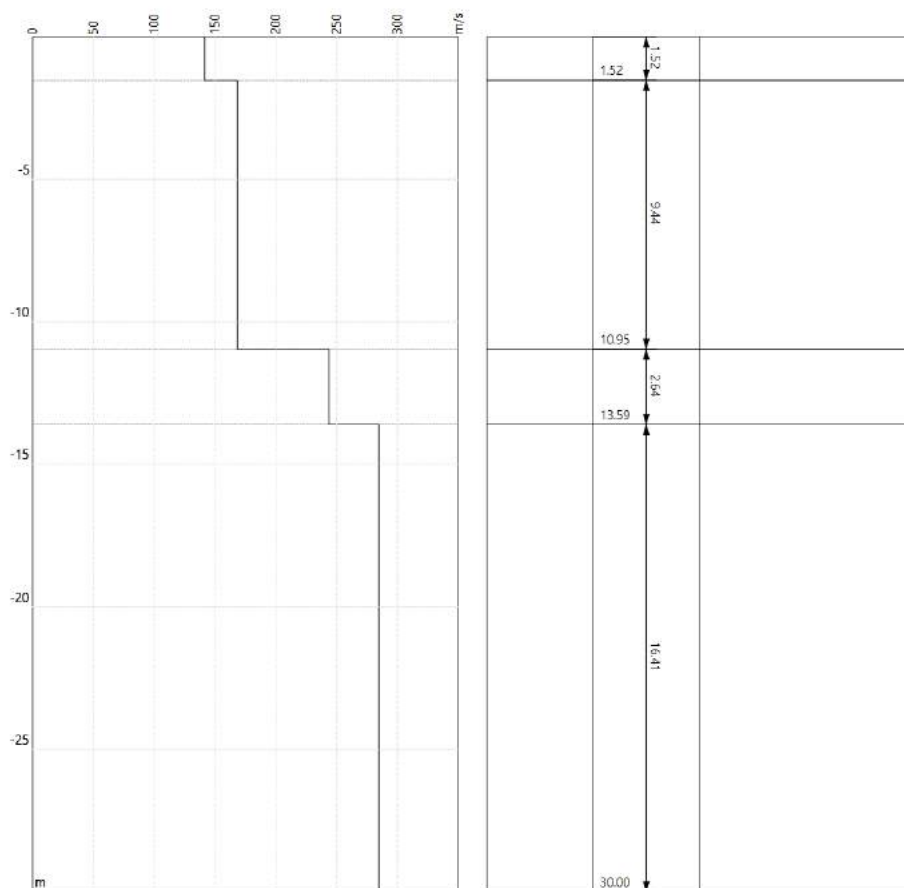
**Fig. 11** – Sismogrammi relativi all'indagine Sismica MASW M1. Finestra temporale [0-2000]ms.



**Fig. 12** – Spettro di dispersione 2D e 3D della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh ottenuta dall'indagine Sismica MASW M1.



**Fig. 13** – *Modello Sismostratigrafico 2D delle VS ottenuto dall'indagine Sismica MASW M 1.*



**Fig. 14** – *Sismostratigrafia 2D delle VS ottenuto dall'indagine Sismica MASW M 1.*

## 6. Interpretazione ed analisi dei dati

L'indagine sismica MASW consente di calcolare il  $V_{s,eq}$  cioè la velocità delle onde Vs per terreni caratterizzati da una profondità del substrato inferiore a 30 m e risalire, nel rispetto della normativa NTC 20/02/2018, alla categoria del suolo. Qualora la profondità del substrato risulti però superiore a 30 dal p.c. il valore del  $V_{s,eq}$  si ottiene limitando la profondità di investigazione a 30 m dal p.c. ( $V_{s30}$ ).

Di seguito si riporta uno stralcio della normativa:

*"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  $V_{s30}$  ottenuto ponendo  $H=30m$  nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità"* (NTC 20/02/2018).

La categoria è ottenuta, come da normativa, dalla relazione:

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

dove  $h_i$  e  $V_{s_i}$  indicano lo spessore e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio  $\gamma < 10^{-6}$ ) dello strato i-esimo per un totale di N strati. H rappresenta la profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno rigido, caratterizzata da Vs non inferiore a 800 m/s. Nel sito oggetto di studio il substrato ha una profondità superiore a 30 m pertanto si è posto  $H=30m$ .

I risultati ottenuti collocano i terreni oggetto d'indagine nella **Categoria "C"** (Tab. 2; Tab. 3).

<b>Prospezione sismica</b>	<b>$V_{s,eq} = V_{s30} (0,0-30,0)$ (m/s)</b>	<b>Categoria Suoli di Fondazione (NTC 20/02/2018)</b>
<b>MASW M1</b>	<b>221</b>	<b>C</b>

**Tab. 2** – Categoria Suolo di fondazione ottenuta dalla prospezione sismica MASW eseguita.

<b>Categoria</b>	<b>Caratteristiche della superficie topografica</b>
<b>A</b>	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
<b>B</b>	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
<b>C</b>	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
<b>D</b>	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.
<b>E</b>	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

**Tab. 3** – Categorie Suoli di fondazione (D.M. 20 febbraio 2018).

## 7. Tecnica Nakamura H/V

*“Uno dei parametri principali prescritti dalla normativa, che impone uno studio di vulnerabilità, pericolosità e valutazione sismica, è la risposta in frequenza del sito sottoposto a sollecitazione sismica. Il comportamento dei siti è infatti inteso dall’O.P.C.M. 3274 in termini di differente energia e/o di diversa distribuzione in frequenza della stessa, a causa degli effetti di amplificazione o attenuazione selettiva di determinate frequenze in relazione alle caratteristiche fisico-geometriche degli strati attraversati dalle onde sismiche.*

*Al fine di schematizzare al meglio il comportamento meccanico dei terreni il D.M. 17 gennaio 2018 prevede che la risposta sismica venga calcolata sia per un sottosuolo ideale (strati omogenei e isotropi) che per un sottosuolo reale (strati disomogenei e anisotropi).*

*Il problema della caratterizzazione della risposta in frequenza di un’area sottoposta a una sollecitazione sismica è stato affrontato da molti ricercatori attraverso l’analisi di microtremori registrati in quell’area. La tesi di partenza si basa sul fatto che l’energia dei microtremori (rumore ambientale) si propaga principalmente mediante onde di Rayleigh, e che l’effetto di amplificazione del sito è dovuto alla presenza di uno strato soffice sovrastante un semispazio (bedrock). In queste condizioni, le componenti del moto del suolo coinvolte sono:*

- ✓ *Le sue componenti orizzontali e verticale applicate in un punto posto al tetto del basamento;*
- ✓ *Le sue componenti orizzontali e verticale applicate nel corrispondente punto in superficie.*

*In accordo con Nakamura, è possibile, per le ipotesi suddette, valutare gli effetti legati alla sorgente  $A_s(\omega)$ , mediante il rapporto:*

$$S_M(\omega) = H_s(\omega) / V_s(\omega)$$

*Dove*

*$S_M(\omega)$  = funzione di trasferimento della radiazione sismica alla superficie*

*$H_s(\omega)$  = componente orizzontale del moto del suolo*

*$V_s(\omega)$  = componente verticale del moto del suolo*

*La tecnica dei rapporti spettrali H/V funziona in casi ideali, e cioè laddove esiste un evidente contrasto di impedenza sismica tra copertura e semispazio, mentre deve essere verificata nel caso di litologie fortemente anisotrope e discontinue dal punto di vista fisico-stratigrafico.” (M. Corrao – G. Cocco – Geofisica applicata – Dario Flaccovio Editore)..*

## 8. Rapporto spettrale

La tecnica HVSR permette in primo luogo di valutare la frequenza di vibrazione naturale di un sito. Le ipotesi alla base della tecnica sono: una concentrazione del contenuto in frequenza localizzato maggiormente in quelle basse (tipicamente al di sotto dei 20 Hz); assenza di sorgenti periodiche e/o con contenuto in alte frequenze; le sorgenti di rumore sono uniformemente distribuite intorno alla stazione di registrazione. Se queste sono soddisfatte, la tecnica può essere suddivisa nelle fasi che vengono di seguito illustrate.

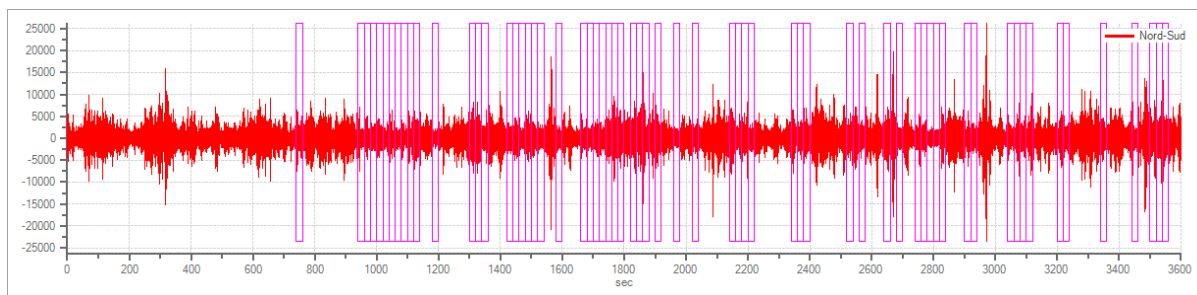
Si esegue una registrazione del rumore ambientale lungo tre direzioni ortogonali tra loro (x,y,z) con una singola stazione. Tale registrazione deve essere effettuata, secondo le indicazioni del progetto SESAME, per una durata non inferiore ai 20 minuti. L’ubicazione della prova è riportata nell’elaborato denominato “*Indagini geofisiche ed ubicazione planimetrica*”.

Si esegue un’operazione detta di “*windowing*”, in cui le tre tracce registrate vengono

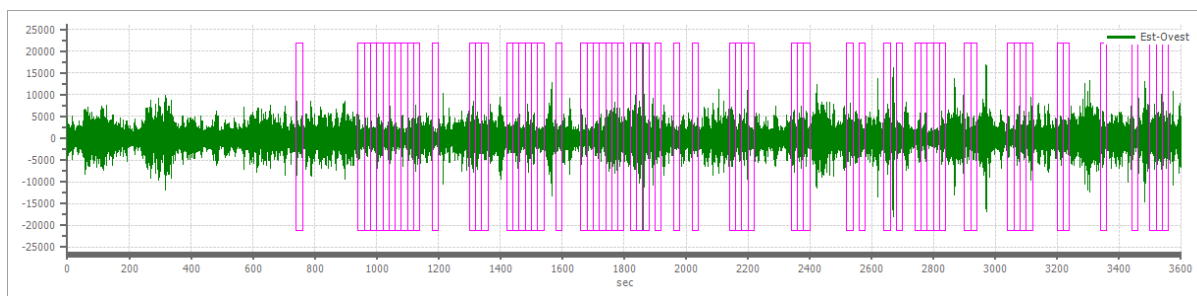


suddivise in finestre temporali di prefissata durata. Secondo le indicazioni del succitato progetto SESAME tale dimensione, detta “*Long Period*”, deve essere almeno pari ai 20 secondi (Fig. 15, Fig. 16, Fig. 17). Si ottiene così un insieme di finestre “*long*”, che sono sincronizzate, fra le tracce (*Geopsy 2019*). Queste finestre vengono filtrate in base a dei criteri che permettono di individuare l’eventuale presenza di transienti (disturbi temporanei con grandi contributi nelle frequenze alte) o di fenomeni di saturazione.

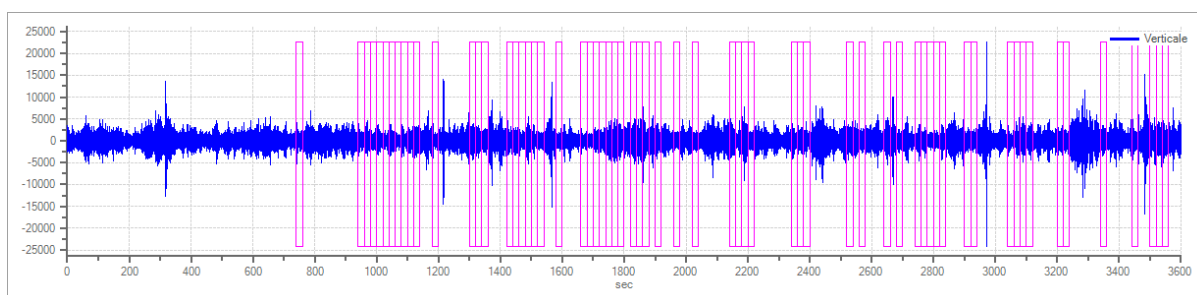
In Fig.18 sono riportati gli spettri medi nelle tre direzioni. Mentre nella Fig.19 la mappa della stazionarietà degli spettri e della direzionalità degli spettri.



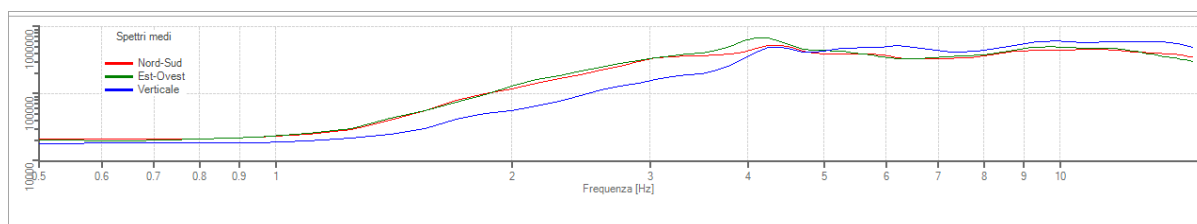
**Fig. 15** *Tracce in Input: direzione Verticale (in alto); Dati riepilogativi: Numero tracce: 3; Durata registrazione: 3600 s; Frequenza di campionamento: 300,00 Hz.*



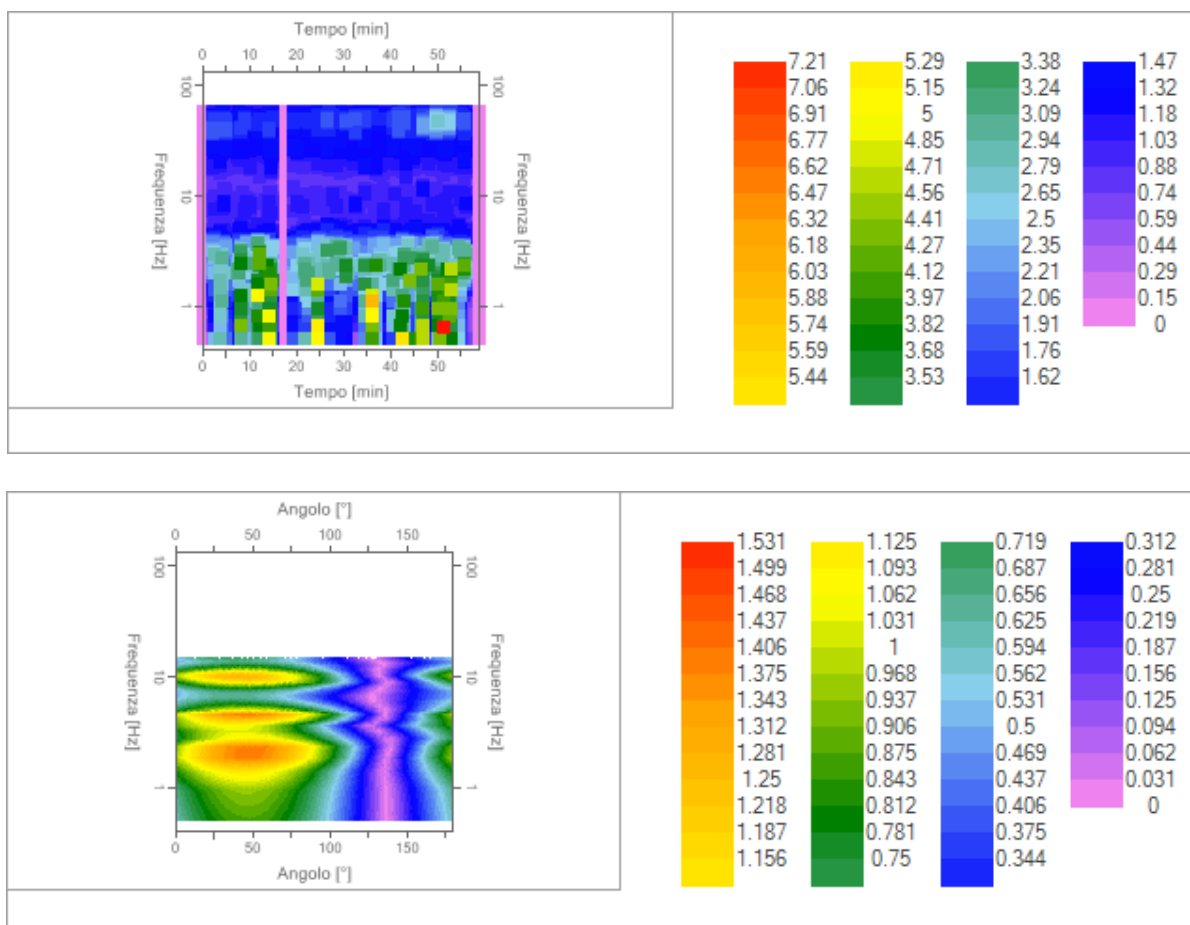
**Fig. 16** *Tracce in Input: direzione Nord-Sud (al centro). Dati riepilogativi: Numero tracce: 3; Durata registrazione: 3600 s; Frequenza di campionamento: 300,00 Hz.*



**Fig. 17** *Tracce in Input: direzione Est-Ovest (in basso). Dati riepilogativi: Numero tracce: 3; Durata registrazione: 3600 s; Frequenza di campionamento: 300,00 Hz.*



**Fig. 18** *Spettri medi nelle tre direzioni*



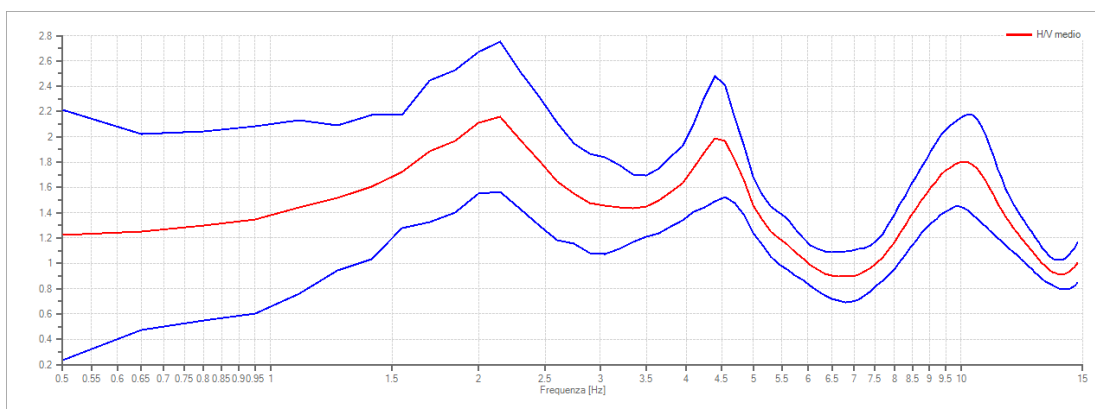
**Fig. 19** Mappe della stazionarietà degli spettri e della direzionalità degli spettri

Per ciascuna delle finestre rimanenti, quindi ritenute valide, viene valutato lo spettro di Fourier. Quest'ultimo viene sottoposto a "tapering" e/o lisciamento secondo una delle varie tecniche note in letteratura e ritenute all'uopo idonee.

Successivamente si prendono in considerazione gli spettri delle finestre relative alle tracce orizzontali in coppia. Ovvero, ogni spettro di una finestra per esempio della direzione X, ha il suo corrispettivo per le finestre nella direzione Y, vale a dire che sono relative a finestre temporali sincrone. Per ognuna di queste coppie viene eseguita una somma tra le componenti in frequenza secondo un determinato criterio che può essere, ad esempio, una semplice media aritmetica o una somma euclidea.

Per ciascuna coppia di cui sopra, esiste lo spettro nella direzione verticale Z, ovvero relativo alla finestra temporale sincrona a quelle della coppia. Ogni componente in frequenza di questo spettro viene usato come denominatore nel rapporto con quello della suddetta coppia. Questo permette quindi di ottenere il ricercato rapporto spettrale H/V per tutti gli intervalli temporali in cui viene suddivisa la registrazione durante l'operazione di "windowing".

Eseguendo per ciascuna frequenza di tali rapporti spettrali una media sulle varie finestre, si ottiene il rapporto spettrale H/V medio (fig. 20), la cui frequenza di picco (frequenza in cui è localizzato il massimo valore assunto dal rapporto medio stesso) rappresenta la deducibile stima della frequenza naturale di vibrazione del sito.



**Fig. 20:** Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

Dati riepilogativi:

Frequenza massima: 15.00 Hz  
 Frequenza minima: 0.50 Hz  
 Passo frequenze: 0.15 Hz  
 Tipo lisciamento:: Konno & Ohmachi  
 Percentuale di lisciamento: 15.00 %  
 Tipo di somma direzionale: Media aritmetica

Durata acquisizione: 3600 sec. (1 h)

Risultati:

Frequenza del picco del rapporto H/V: 2.15 Hz  $\pm 0.27$  Hz

Verifiche SESAME:

Verifica	Esito
$f_0 > 10/l_w$	Ok
$n_c(f_0) > 200$	Ok
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$	Ok
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	
$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	Non superato
$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	Ok
$A_0 > 2$	Ok
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	Ok
$\sigma_f < \varepsilon(f)$	Ok
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	Ok

*Le tracce acquisite evidenziano la presenza di un forte rumore antropico dovuto alla immediata vicinanza di Strada Provinciale Salaiola e via Valdorme Nuova, quest'ultima ad alta densità di traffico.*

## 9. Moduli elastici dinamici

Nota la velocità "Vs" è possibile, dopo aver calcolato la velocità delle onde "P" e valutato



bibliograficamente il valore del peso di volume delle litologie investigate, effettuare una stima approssimata delle principali costanti elastiche legate alle velocità di propagazione delle onde sismiche:

- ⇒ **Modulo di Young (E_y)** [Kg/cm²];
- ⇒ **Modulo di Taglio o di Rigidità (G₀)** [kg/cm²];
- ⇒ **Modulo di Incompressibilità (M₀)** [kg/cm²];
- ⇒ **Coefficiente di Poisson (Y_n)**.

- **Modulo di Young (E)**: esprime la resistenza di un corpo alla deformazione lineare quando lo si sottopone ad uno sforzo di dilatazione o compressione, esso è pari a:

$$E = Vs^2 \rho \left[ \frac{3Vp^2 - 4Vs^2}{Vp^2 - Vs^2} \right] \quad (\text{Kg/cm}^2)$$

- **Modulo di Taglio o di Rigidità (G_d)**: esprime la resistenza di un corpo alle variazioni lineari di forma quando lo si sottopone ad uno sforzo di taglio puro, esso è pari a:

$$G = Vs^2 \rho \quad (\text{kg/cm}^2)$$

- **Modulo di Incompressibilità (K)**: esprime la resistenza di un corpo alla deformazione volumetrica quando lo si sottopone ad uno sforzo di dilatazione o compressione, esso è pari a:

$$K = \rho \left[ Vp^2 - \frac{4}{3}Vs^2 \right] \dots (\text{kg/cm}^2)$$

- **Coefficiente di Poisson (Y_n)**: esprime la misura della deformazione totale subita da un corpo, esso è pari a:

$$\nu = \frac{1}{2} \left( \frac{Vp}{Vs} \right)^2 - 1 \bigg/ \left( \frac{Vp}{Vs} \right)^2 - 1$$

Il coefficiente di Poisson è fondamentale; esso è un parametro adimensionale che offre un criterio di valutazione della deformazione totale che può subire una roccia o un terreno, ed è legato al grado di litificazione, alla porosità ed al grado di saturazione della roccia stessa. Il coefficiente di Poisson varia da 0 a 0.5 ed in larga massima si può affermare che varia tra 0.2 a 0.3 per le rocce compatte, da 0.3 a 0.35 per le sabbie e da 0.4 a 0.5 per le argille.

Si riporta di seguito la tabella relativa alla stima approssimativa dei moduli elastici dinamici calcolati, fino a 31 m dal p.c., sulla base delle velocità Vs desunte dalla prova MASW "M1" (Tab.4).

*MODULI ELASTICI DINAMICI prova Masw M1*

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/mc]	Coefficiente Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]
1	1.52	1.52	141.24	264.24	1800.00	0.30	35.91	125.68	77.80	93.36
2	10.95	9.44	168.15	411.88	1900.00	0.40	53.72	322.32	250.69	150.42
3	13.59	2.64	243.70	596.95	1900.00	0.40	112.84	677.07	526.61	315.97
4	30.00	16.41	284.61	697.16	1900.00	0.40	153.91	923.45	718.24	430.94

**Tab. 4** – Tabella riassuntiva della stima dei moduli elastici elaborati fino alla profondità di 30 m.

Dove:

- ✓ G0 = Modulo di deformazione al taglio;
- ✓ Ed = Modulo Edometrico;
- ✓ M0 = Modulo di compressibilità volumetrica;
- ✓ Ey = Modulo di Young. Empoli,

23 Maggio 2022

Ordine dei Geologi della Toscana

n. 1689

dott. geol. Antonio Paletta

Comune di Empoli (FI)

Progetto definitivo - esecutivo per la costruzione di nuovi loculi nel cimitero di

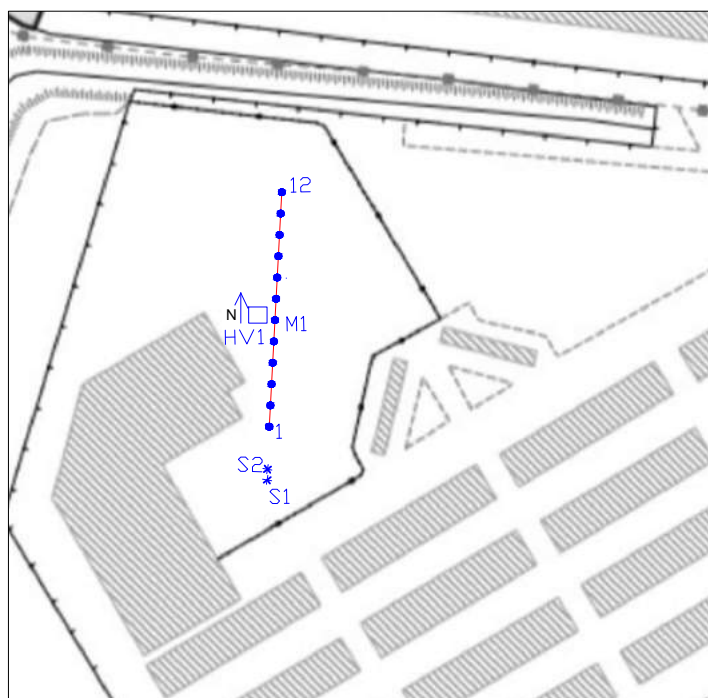
S. Andrea del capoluogo II° lotto

Via Val d'Orme n.4 - Comune di Empoli

Allegato 1

Prova MASW: M1

Prova HV: HV1



LEGENDA:



Ubicazione



Linea sismica prova MASW



Sh - Punti di energizzazione

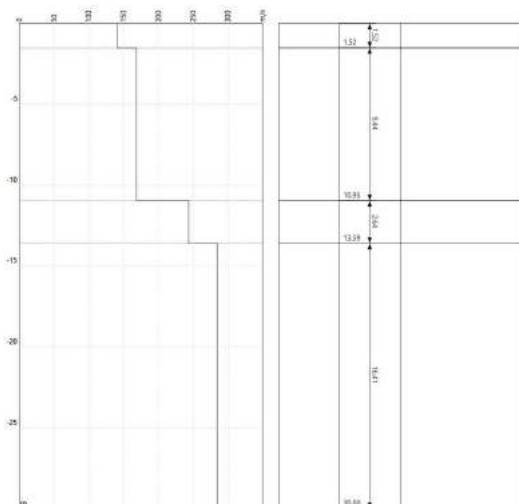


Geofono 4,5 Hz

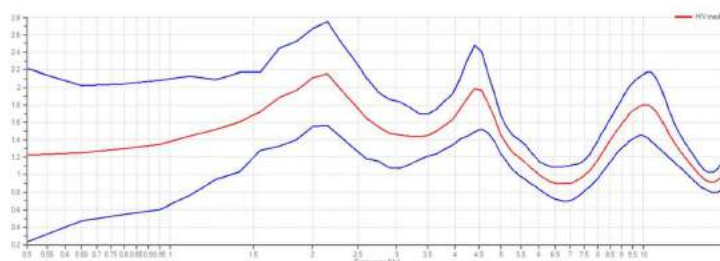


HV

Modello Sismostratigrafico Masw



Rapporto spettrale H/V



Frequenza del picco del rapporto H/V: 2.15 Hz  $\pm$  0.27 Hz

Vs30 (0.0 - 30.0 m) = 221 m/s - Categoria Suolo: "C"

## **INDAGINI GEOGNOSTICHE A DISPOSIZIONE**

# I N D I C E

	Pag.
1. -PREMESSA	1
2. -INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA	2
3. -IDROGEOLOGIA	3
4. -QUADRO GEOTECNICO E CHIMICO-FISICO	4
4.1. -Stratigrafia dei terreni	4
4.2. -Caratterizzazione meccanica, fisica e chimica dei terreni	4
5. -CAPACITA' PORTANTE	8
6. -CONCLUSIONI	11

. . . . .

ALLEGATO: Certificati prove di laboratorio

N° 4 Figure nel testo

### 3. - IDROGEOLOGIA

L'esame delle stratigrafie dei sondaggi eseguiti (Fig.3 e 4) mostra che la falda principale ha sede entro il livello sabbioso presente tra 10 e 11 metri dal p.c.; tale livello è stato incontrato dal solo sondaggio S1.

Al fine di rilevare le caratteristiche delle falde incontrate, il sondaggio S1 è stato opportunamente attrezzato a piezometro con un tubo aperto in PVC, fessurato in corrispondenza del livello sabbioso incontrato intorno ai dieci metri di profondità.

Il livello della falda risaliente, nel mese di Giugno 93, periodo in cui sono state eseguite le perforazioni, è risultato a 2.10 m dal p.c..

Il flusso di falda sulla base degli studi eseguiti sull'area risulta diretto verso N.Ovest.

Nel sondaggio S1 è stata anche riscontrata la presenza di acqua, seppur limitata, nella lente limoso-sabbiosa intorno ai 2 metri di profondità.

Questa lente sembra svilupparsi solo verso il Rio dei Cappuccini e chiudersi prima del sondaggio S2 (Fig.4).

Non si hanno elementi per definire i possibili rapporti idraulici tra i corsi d'acqua minori, che scorrono poco lontano, e la lente acquifera superficiale.

#### 4. - QUADRO GEOTECNICO E CHIMICO-FISICO

##### 4.1. - Stratigrafia dei terreni

Per definire il quadro geostratigrafico dell'area dove sorge l'attuale impianto cimiteriale e dove è prevista la sua espansione sono stati eseguiti due sondaggi a carotaggio continuo a profondità variabili dai 10 ai 15 metri, la cui ubicazione è visibile in Fig.1.

Come illustrato dai Logs di Fig.2 e 3 il sottosuolo dell'area è caratterizzato da una successione di depositi alluvionali fini, perlopiù caratterizzati da argille e/o limi argillosi talora sabbiosi.

Più in particolare il sondaggio S1 ha incontrato, tra i 10 e gli 11 metri di profondità, un livello di sabbie grigie azzurrognole ed un livello di limi sabbiosi con intercalazioni centimetriche argillose. Il sondaggio S2, circa 90 metri più ad Est, non ha invece incontrato nessun livello limoso sabbioso nei primi 10 metri dal p.c..

Il quadro stratigrafico delineato è illustrato dalla sezione di Fig.4, che mette in evidenza il carattere lenticolare del livello limoso sabbioso superficiale incontrato dal sondaggio S1.

##### 4.2. - Caratteristiche geomeccaniche, fisiche e chimiche dei terreni

###### a) Caratteristiche geomeccaniche

Per ottenere la caratterizzazione geomeccanica dei terreni d'imposta delle strutture a loculi previste nell'area di



espansione, durante l'esecuzione dei sondaggi sono stati prelevati campioni indisturbati ed eseguite prove con Pocket Penetrometro sulle carote estratte.

In particolare sono stati prelevati tre campioni: due dal sondaggio S1 ed uno dal sondaggio S2, rispettivamente alle profondità di 2, 5 e 2.5 metri dal p.c..

I campioni prelevati sono stati sottoposti ad un opportuno programma di indagini geotecniche i cui risultati sono illustrati nei certificati dell'Allegato 1 e significativamente riassunti nella Tab.1.

I primi 10-11 metri dal p.c. sono caratterizzati da terreni argillosi poco plastici, talora compatti, che al pocket penetrometro mostrano valori di resistenza a compressione semplice variabile da 2.4 a maggiore di 3.4 Kg/cm², indicando un certo grado di sovraconsolidazione del deposito.

A tali terreni si possono cautelativamente attribuire i seguenti parametri:

IP = 17-33% (Indice di plasticità);

IC = 0.9-1 (Indice di consistenza):

C = 0.3-0.4 Kg/cm² (coesione per terreni coesivi);

$\phi = 13^\circ$  (angolo di attrito, variabile in funzione del contenuto della frazione limosa);

Cc = 0.18-0.2 cm²/sec (coeff. di compressibilità).

Questi terreni possono come nel caso del sondaggio S1 contenere nei primi metri dal p.c. intercalazioni più limose sabbiose caratterizzate dai seguenti parametri:

IP = 17%

IC = 0.96

C = 0.07 Kg/cm²

$\phi = 26^\circ$

Cc = 0.186 cm²/sec

L'intercalazione sabbiosa incontrata dal sondaggio S1 intorno ai 10 metri di profondità dal p.c. mostra un buon grado di addensamento ed una granulometria media. Non si hanno parametri geotecnici certi seppur sulla base delle osservazioni di cantiere si può cautelativamente attribuire al deposito un angolo di attrito  $\phi$  maggiore di  $30^\circ$ .



Le argille presenti sotto gli 11 metri dal p.c. si presentano molto compatte con un elevato grado di sovraconsolidazione, come mostrano i valori di resistenza a compressione semplice misurati con il Pocket Penetrometro quasi sempre maggiori di 3.4 Kg/cmq.

#### b) Caratteristiche fisiche e chimiche

Oltre alle normali e consuete prove geotecniche di laboratorio, al fine di determinare le principali caratteristiche fisiche e chimiche dei terreni così come richiesto dalle vigenti norme in tema di cimiteri, i campioni dei terreni più superficiali, dove presumibilmente potranno essere realizzati campi per inumazione in terra, sono stati sottoposti a prove di permeabilità, granulometria e calcimetria.

Più in particolare il campione sottoposto a suddette analisi è il C1 del sondaggio S1, prelevato tra i 2 e i 2.5 metri dal p.c..

I risultati si possono così riassumere :

##### - Granulometria

sabbia	1.7%
limo+argilla	98.3%

##### - Permeabilità

$K = 4.25 \times 10^{-8} \text{ cm/sec}$

##### - Calcimetria

$\text{CaCO}_3 = 9.5\%$

Le percentuali granulometriche indicano un terreno prevalentemente limoso argilloso leggermente sabbioso, del resto i Limiti di Atterberg portano a classificare il materiale come un argilla limosa, ciò peraltro confermato anche dai bassi valori di permeabilità ottenuti con la prova al permeametro.

Relativamente alla calcimetria la percentuale media di  $\text{CaCO}_3$  riscontrata è relativamente bassa, tuttavia dovrebbe essere sufficiente a garantire il processo di mineralizzazione delle salme.

### 5. - CAPACITA' PORTANTE

Per il calcolo della capacità portante dei terreni si sono utilizzate le relazioni di Terzaghi.

In particolare nel caso di fondazioni superficiali continue su trave:

$$q_r = (1 - 0.2 \cdot B/L) \cdot B/2 \cdot \gamma \cdot N_\gamma + \gamma \cdot D \cdot N_q + c \cdot N_c$$

(espressione valida per fondazioni continue con  $L > 10B$ )  
dove:

$q_r$  = carico di rottura;

$B, L$  = dimensione maggiore e minore effettive della fondazione, nel caso di carichi concentrati;

$D$  = incastro della fondazione;

$\gamma$  = peso dell'unità di volume del terreno;

$N_\gamma, N_q, N_c$  = fattori di capacità portante.

Per il calcolo dei possibili cedimenti di consolidazione che si possono produrre negli strati compressibili presenti nel sottosuolo, sotto l'azione degli ipotetici sovraccarichi trasmessi dalle strutture, si è utilizzata la relazione:

$$s = H_0 \cdot m_v \cdot \Delta p$$



dove:

$S$  = cedimento del terreno in centimetri;

$H_0$  = spessore dello strato compressibile;

$m_v$  = coefficiente di compressibilità volumetrica;

$\Delta p$  = incremento di pressione.

L'orizzonte superficiale di spessore variabile da 0.5 a 1 metro e costituito da terreno agrario e/o di riporto, per le sue caratteristiche geotecniche disomogenee e generalmente scadenti, viene escluso da ogni valutazione.

Di seguito si presentano i risultati ottenuti, ipotizzando la realizzazione di fondazioni superficiali su travi rovescie incastrate nei terreni argillosi e/o limosi presenti nei primi 1.5-2 metri dal p.c..

Il carico ammissibile ( $q_a$ ) del terreno è stato ottenuto adottando un coefficiente di sicurezza  $K = 3$ .

Il calcolo, eseguito tenendo conto di parametri geomeccanici opportunamente cautelativi, fornisce al progettista un ordine di grandezza della portanza del terreno d'impasto della future strutture, che andrà opportunamente riverificato sulla base delle reali e definitive scelte progettuali.

a) terreni argillosi (zona sondaggio S2):

Per diverse geometrie di fondazione e incastro minimo  $D=1.5m$ , posto  $c = 0.4 \text{ Kg/cm}^2$ ,  $\phi = 0^\circ$  e  $\gamma = 1.95 \text{ g/cm}^3$  i carichi ammissibili sono:

B (m)	D (m)	$q_r$ (t/mq)	$q_a$ (t/mq)	$q$ (t/m) per ml di fondaz.
1	1.5	25.7	8.57	8.57
1.5	1.5	25.7	8.57	12.85
1.5	2	26.7	8.9	13.35

b) terreni limosi (zona sondaggio S1):

Per diverse geometrie di fondazione e incastro minimo  $D=1.5m$ , posto  $c = 0.5 \text{ t/m}^2$ ,  $\phi = 26^\circ$  e  $\gamma = 1.96 \text{ g/cm}^3$  i carichi ammissibili sono:

B (m)	D (m)	q _r (t/mq)	q _a (t/mq)	q (t/m) per ml di fondaz.
1	1	24.75	8,25	8.25
1.5	1.5	25.73	8.57	12.86
1.5	2	30.63	10.21	15.30

I cedimenti sono stati calcolati per l'intervallo influenzato significativamente dal propagarsi in profondità delle tensioni.

Lo spessore di terreno interessato, considerando un carico trasmesso in superficie pari a 8.5 t/mq, una trave rovescia larga B = 1.5 m e con incastro minimo D = 1.5 m è circa 5 metri a partire dal p.c. .

Il cedimento totale di consolidazione che si ottiene è:

$$S_c = 2.283 \text{ cm}$$

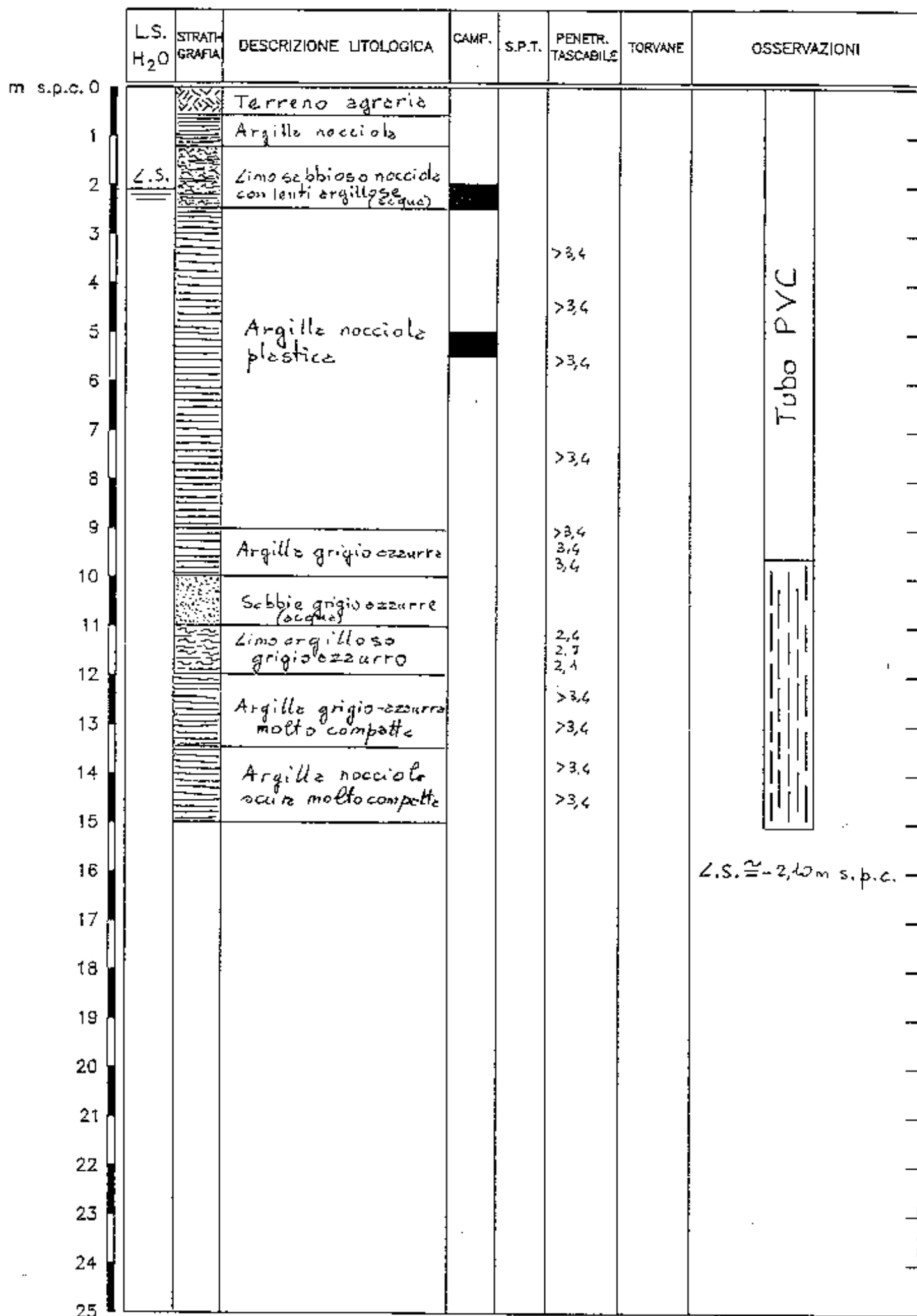
Per ovviare agli scarsi valori di portanza si potrà ricorrere a tipologie di fondazione diverse come la platea.

Presupponendo infatti di adottare una platea rettangolare di dimensioni 10*30 metri incastrata a 1.5 metri di profondità, si potranno ottenere portanze ammissibili variabili dalle 10 alle 20 t/mq a seconda che i terreni d'imposta siano argille o limi.





FIG. 2 - SONDAGGIO S1



Campione disturbato



Campione indisturbato

FIG. 3 - SONDAGGIO S2

L.S. H ₂ O		STRATI- GRAFIA	DESCRIZIONE LITOLOGICA	CAMP.	S.P.T.	PENETR. TASCABILE	TORVANE	OSSERVAZIONI
m s.p.c. 0			Terreno di riporto					
1						3,1 >3,4		
2						>3,4		
3			Argille noccia compatta talora con ciottolotti calcarei e resti vegeta- li			2,6 2,4 2,5 2,5 2,7		
4						2,7		
5						3,4		
6						>3,4		
7						>3,4		
8						2,9 >3,4		
9						3,2 3,2		
10						2,2 2,4		
11						0,8 1,2 1,4 2,1		
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18								
19								
20								
21								
22								
23								
24								
25								



Campione disturbato



Campione indisturbato

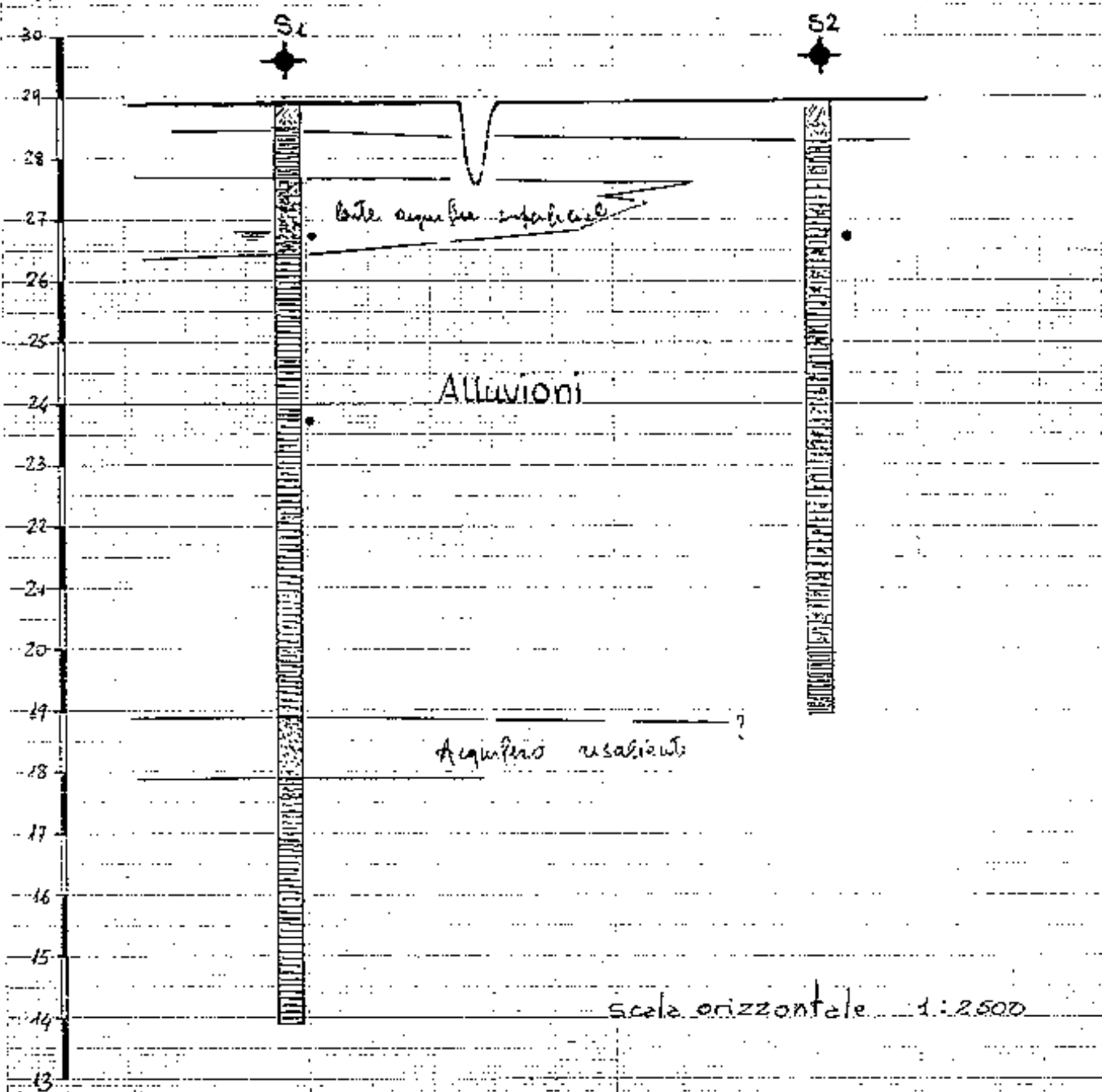


FIG. 4

**SEZIONE DI CORRELAZIONE  
GEOLITOLOGICA**

**ALLEGATO**

**CERTIFICATI PROVE DI LABORATORIO**



**R I S U L T A T O    A N A L I S I**  
 certificato n° 87/m del 27.07.93

RILASCIATO A:            Getas Petrogeo srl  
 INDIRIZZO:            piazza S. Giorgio, 6 - Pisa  
 MATERIALE:            n. tre fustelle  
 CANTIERE:            Cimitero di Empoli  
 DATA DELLA PROVA:    21/30.04.93  
 N/S RIFERIMENTO:      24/m del 20.04.93

(in allegato n° 8 grafici)

campione n°	S1 C1	S1 C2	S2 C1
da m. a m.	2.00÷2.50	5.00÷5.50	2.50÷3.00
p. di volume (t/mc)	1.958	1.955	2.055
umidità nat. (w-%)	21.73	25.49	21.73
peso di volume dei granuli (t/mc)	2.664	2.596	2.642
peso di volume secco (t/mc)	1.608	1.558	1.647
% granulometriche:			
ghiaia (> 2,0 mm)	----		
sabbia (2,0-0,06 mm)	1.70		
limo (0,06-0,002 mm)	68.56		
argilla (< 0,002 mm)	29.74		
limiti di Atterberg			
limite liquido (LL-%)	38	59	39
limite plastico (LP-%)	21	26	20
indice plastico (IP)	17	33	19
angolo di attrito (φ)	25°00'	13°30'	
coesione (c-kg/cm²)	0.07	0.49	
indice dei vuoti (e0)	0.594	0.656	
calcimetrica (CaCO3-%)	9.5		
permeabilità (cm/sec)	4.25x10-8		
p. di volume in fu- stella (t/mc)	1.955		

il sperimentatore  
 dott. geol. Riccardo MUSETTI

il direttore e l.r. del laboratorio  
 dott. arch. Filippo BIAGIONI



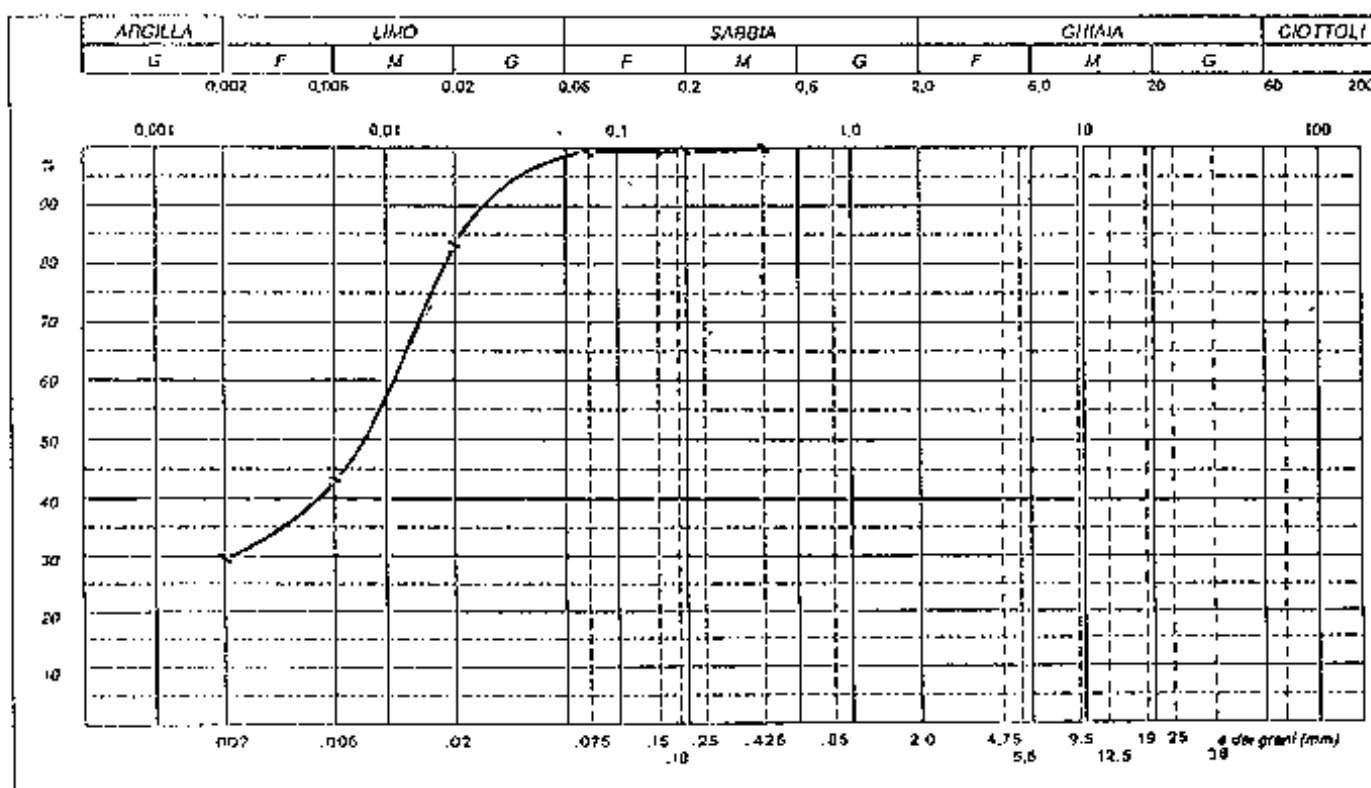
allegato n° 1 al certificato 87/m del 27.07.93

campione SiC1 - da m. a m. 2.00÷2.50

% di passante CLASSI GRANULOMETRICHE

mm.	4,750		
	2,000		ghiaia fine
	0,850		sabbia grossa
	0,600		sabbia media 0.11
	0,425	100.00	sabbia fine 1.59
	0,200	99.89	limo grosso 15.17
	0,150	99.80	limo medio 35.91
	0,075	99.15	limo fine 13.88
	0,020	83.13	argilla 29.74
	0,006	43.62	
	0,002	29.74	

Descrizione: campione nocciola con sottili livelli  
marrone scuro







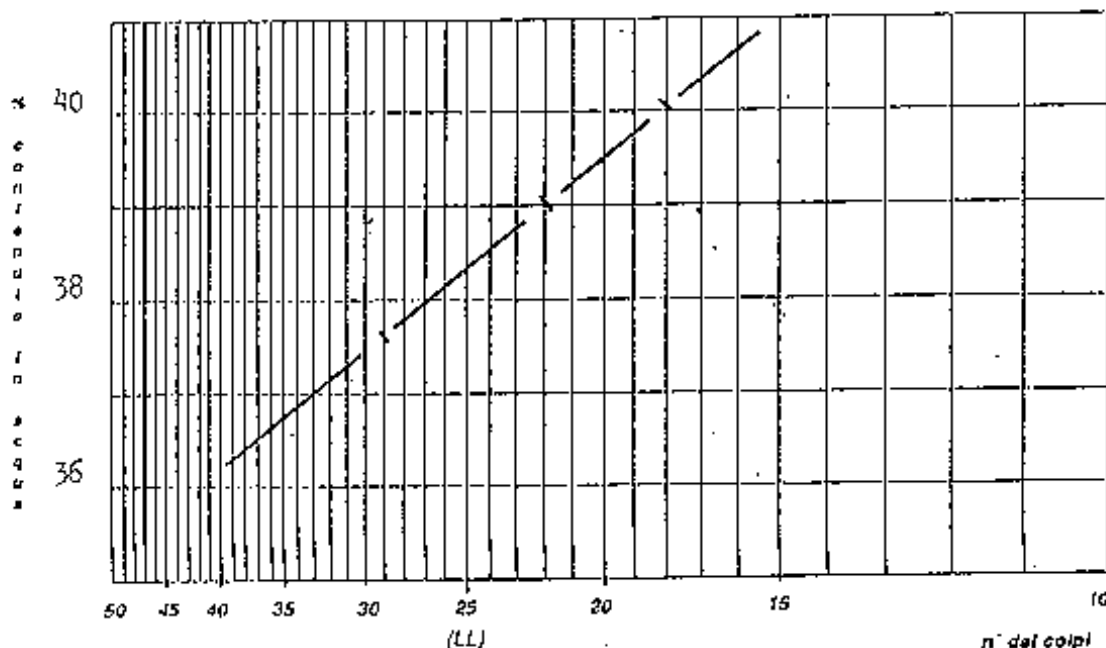
allegato n° 2 al certificato 87/m del 27.07.93

L I M I T I   D I   A T T E R B E R G

campione S1C1 - profondita' di prelievo: m 2.00-2.50

descrizione: campione nocciola con sottili livelli  
marrone scuro

limite liquido	(LL) =	38
limite plastico	(LP) =	21
indice plastico	(IP) =	17





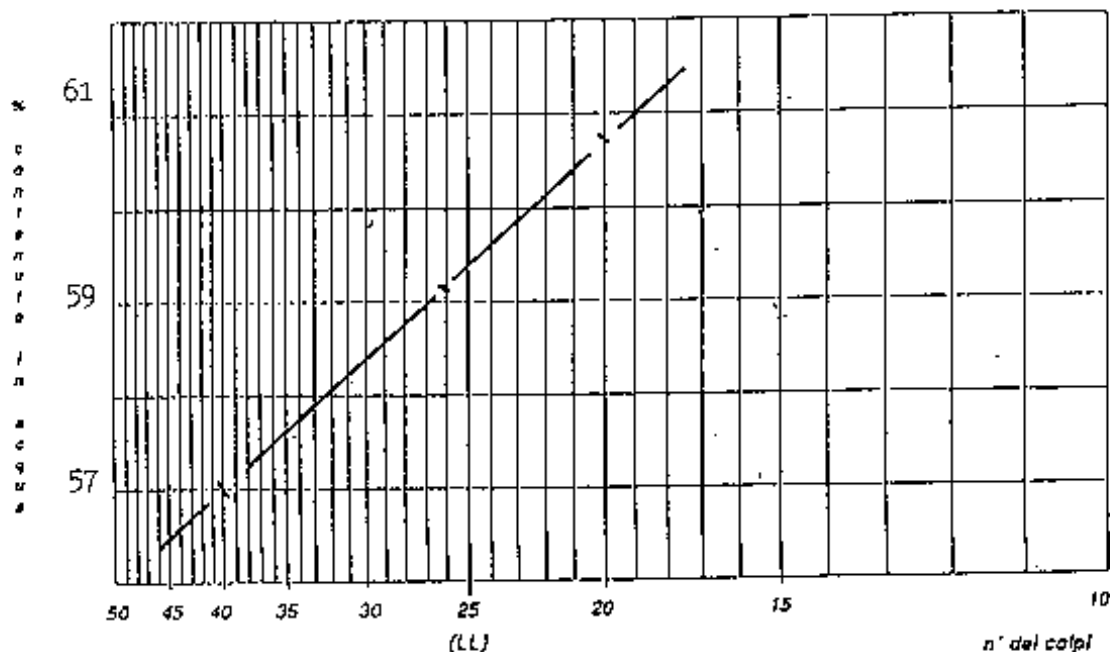
allegato n° 3 al certificato 87/a del 27.07.93

L I M I T I   D I   A T T E R B E R G

campione S1C2 - profondita' di prelievo: m 5.00-5.50

descrizione: campione verde marrone scuro con rari  
inclusi litoidi

limite liquido (LL) = 59  
limite plastico (LP) = 26  
indice plastico (IP) = 33





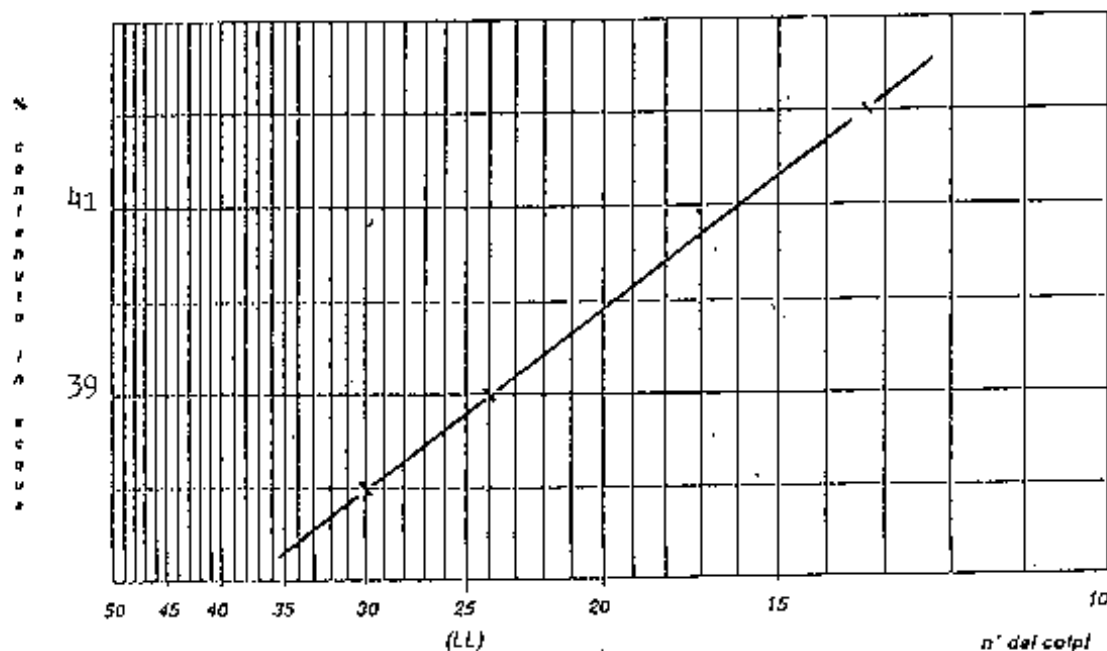
allegato n° 4 al certificato 87/m del 27.07.93

L I M I T I   D I   A T T E R B E R G

campione S2C1 - profondita' di prelievo: m 2.50÷3.00

descrizione: campione marrone nocciola con passate  
marrone scuro

limite liquido	(LL) =	39
limite plastico	(LP) =	20
indice plastico	(IP) =	19





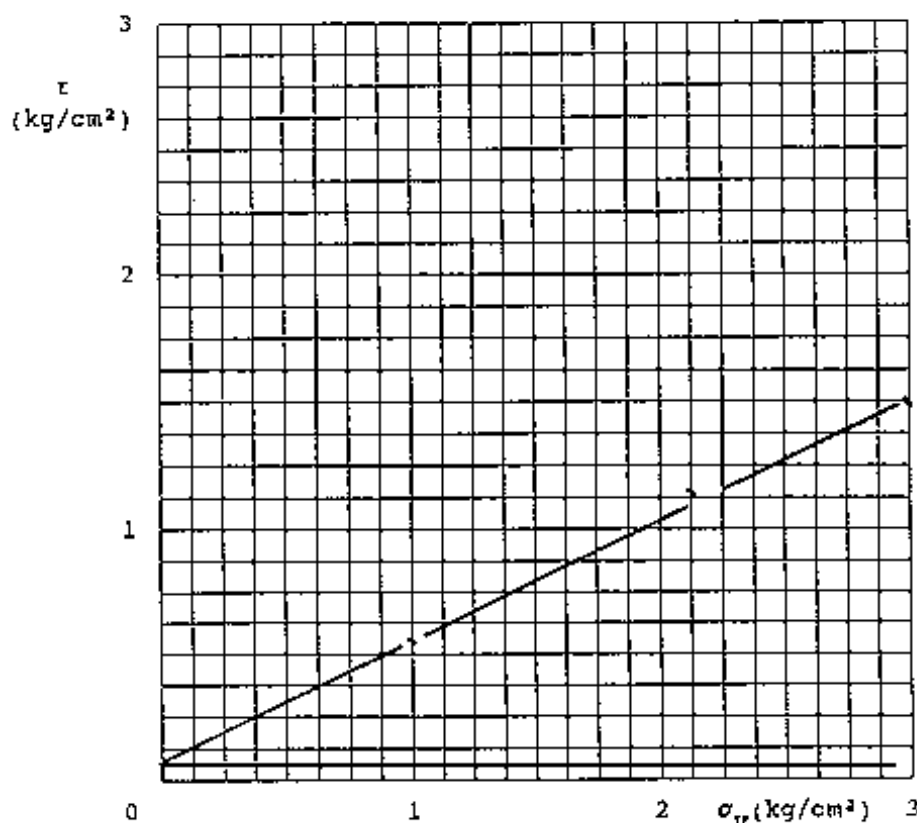
allegato n° 5 al certificato 87/m del 27.07.93

**PROVA DI TAGLIO DIRETTO: C.U. (consolidata non drenata)**  
 velocità di taglio: 0.50 mm/min  
 campione S1C1 - profondità di prelievo: m 2.00-2.50

prov	dati iniz.li	consolidamento			valori a rottura		
	$\bar{\sigma}$ -mm	H-mm	ore	H-mm	$\sigma$ -kg/cm ²	( $\epsilon$ )defor.	( $\tau$ )kg/cm ²
-1-	60.0	30.0	24	28.35	1	0.600	0.550
-2-	60.0	30.0	24	27.31	2	0.670	1.120
-3-	60.0	30.0	24	26.19	3	0.920	1.501

parametri della resistenza al taglio

angolo di attrito ( $\phi$ ) = 26°  
 coesione ..... ( $c$ ) = 0.07 kg/cm²





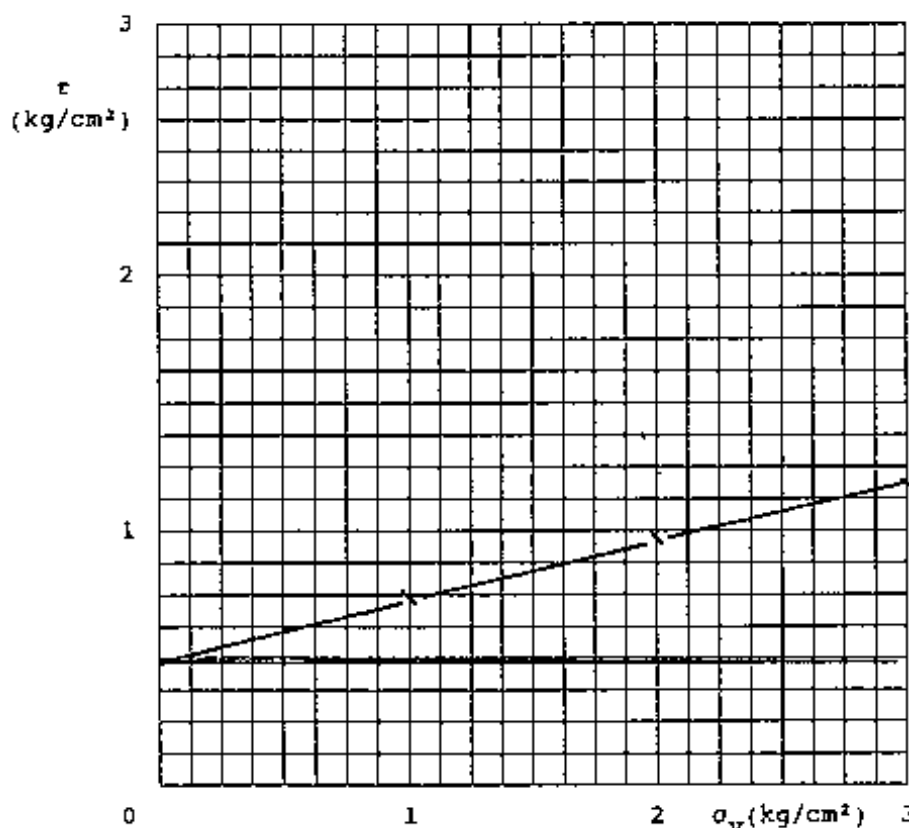
allegato n° 6 al certificato 87/m del 27.07.93

**PROVA DI TAGLIO DIRETTO: C.U. (consolidata non drenata)**  
 velocità di taglio: 0.50 mm/min  
 campione S1C2 - profondità di prelievo: m 5.00÷5.50

prov dati iniz.li		consolidamento			valori a rottura	
	$\bar{\epsilon}$ -mm	H-mm	ore	H-mm	$\sigma$ -kg/cm ²	( $\epsilon$ )defor. (r)kg/cm ²
-1-	60.0	30.0	24	29.51	1	0.280
-2-	60.0	30.0	24	27.21	2	0.420
-3-	60.0	30.0	24	26.71	3	0.500

parametri della resistenza al taglio

angolo di attrito ( $\phi$ ) = 13°30'  
 coesione ..... (c) = 0.49 kg/cm²





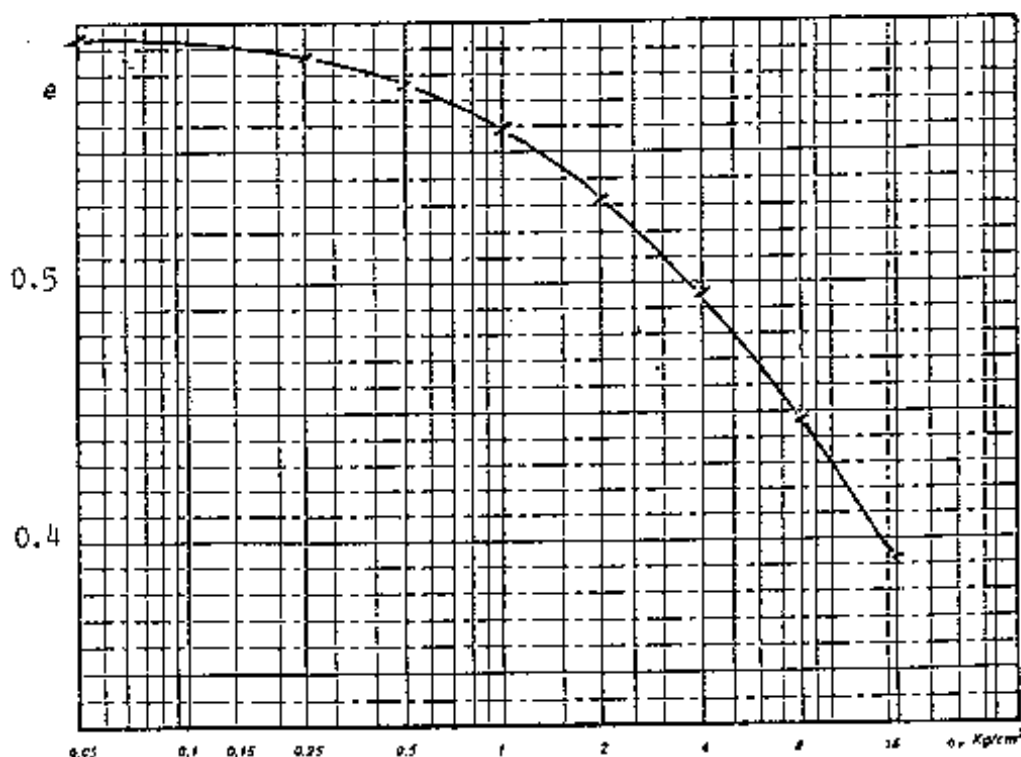
allegato n° 7 al certificato 87/m del 27.07.93

**PROVA EDOMETRICA (ad incrementi di carico)**

**campione S1C1 - profondita' di prelievo: m 2.00÷2.50**

dimensioni scatola e caratteristiche provino  
 altezza (H - mm) 20.00 umidita' iniziale (%) 22.82  
 diametro (Ø - mm) 50.57 umidita' finale (%) 17.53  
 area di base (A - mm) 20.00 peso secco finale (g) 66.86  
 peso spec.ass. (g/cm³) 2.664 altezza ridotta (h - mm) 12.548

pressione kg/cm²	cedimenti mm	indice dei vuoti e
0.000	0.00	0.594
0.005	0.00	0.594
0.250	0.08	0.587
0.500	0.12	0.578
1.000	0.23	0.560
2.000	0.34	0.532
4.000	0.47	0.495
8.000	0.59	0.448
16.000	0.70	0.392





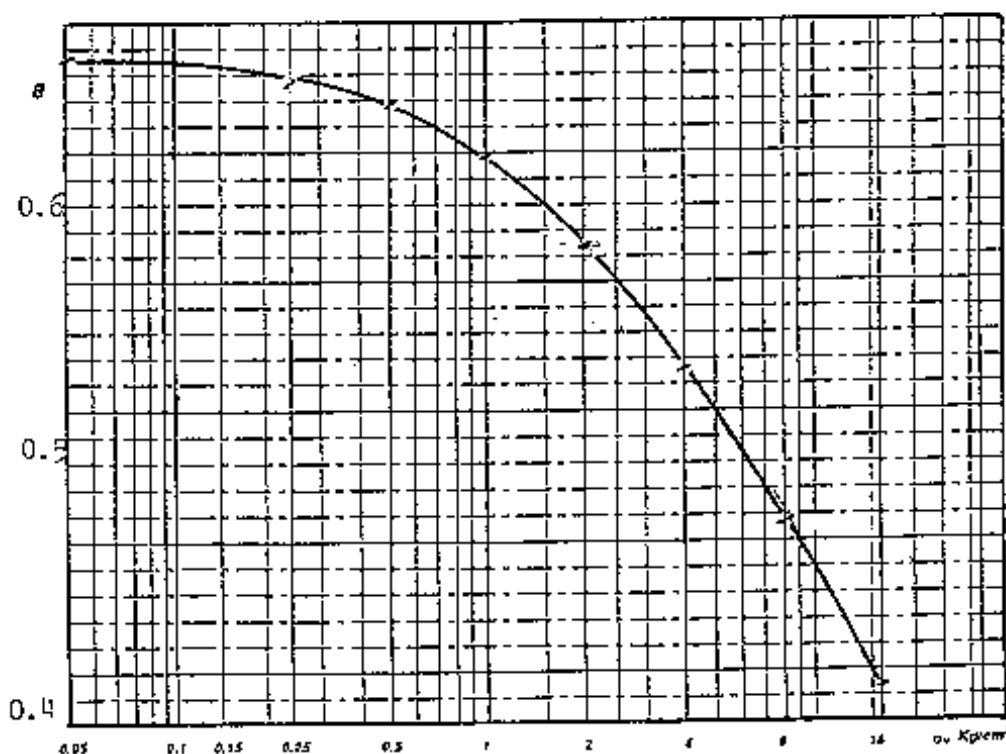
allegato n° 8 al certificato 57/m del 27.07.93

**PROVA EDOMETRICA (ad incrementi di carico)**

**campione S1C2 - profondita' di prelievo: m 5.00÷5.50**

dimensioni scatola e caratteristiche provino  
 altezza (H - mm) 20.00 umidita' iniziale (%) 27.34  
 diametro (Ø - mm) 50.57 umidita' finale (%) 21.42  
 area di base (A - mm) 20.00 peso secco finale (g) 62.70  
 peso spec. ass. (g/cm³) 2.596 altezza ridotta (h-mm) 12.076

pressione kg/cm²	cedimenti mm	indice dei vuoti e
0.000	0.00	0.656
0.005	0.00	0.656
0.250	0.12	0.646
0.500	0.09	0.639
1.000	0.24	0.619
2.000	0.42	0.584
4.000	0.58	0.536
8.000	0.70	0.478
16.000	0.79	0.412





ALLEGATO

CERTIFICATI PROVE DI LABORATORIO



**R I S U L T A T O   A N A L I S I**  
 certificato n° 87/m del 27.07.93

RILASCIATO A: Getas Petrogeo srl  
 INDIRIZZO: piazza S. Giorgio, 6 - Pisa  
 MATERIALE: n. tre fustelle  
 CANTIERE: Cimitero di Empoli  
 DATA DELLA PROVA: 21/30.04.93  
 N/S RIFERIMENTO: 24/m del 20.04.93

(in allegato n° 8 grafici)

campione n°	S1 C1	S1 C2	S2 C1
da m. a m.	2.00÷2.50	5.00÷5.50	2.50÷3.00
p. di volume (t/mc)	1.958	1.955	2.055
umidità nat. (w-%)	21.73	25.49	21.73
peso di volume dei granuli (t/mc)	2.664	2.596	2.642
peso di volume secco (t/mc)	1.608	1.558	1.647
Z granulometriche:			
ghiaia (> 2,0 mm)	----		
sabbia (2,0-0,06 mm)	1.70		
limo (0,06-0,002 mm)	68.56		
argilla (< 0,002 mm)	29.74		
limiti di Atterberg			
limite liquido (LL-%)	38	59	39
limite plastico (LP-%)	21	26	20
indice plastico (IP)	17	33	19
angolo di attrito (φ)	26°00'	13°30'	
coesione (c-kg/cm²)	0.07	0.49	
indice dei vuoti (e0)	0.594	0.656	
calcimetrica (CaCO3-%)	9.5		
permeabilità (cm/sec)	4.25x10-8		
p. di volume in fu- stella (t/mc)	1.955		

lo sperimentatore  
 dott. geol. Riccardo MUSETTI

il direttore e l.r. del laboratorio  
 dott. arch. Filippo BIAGIONI



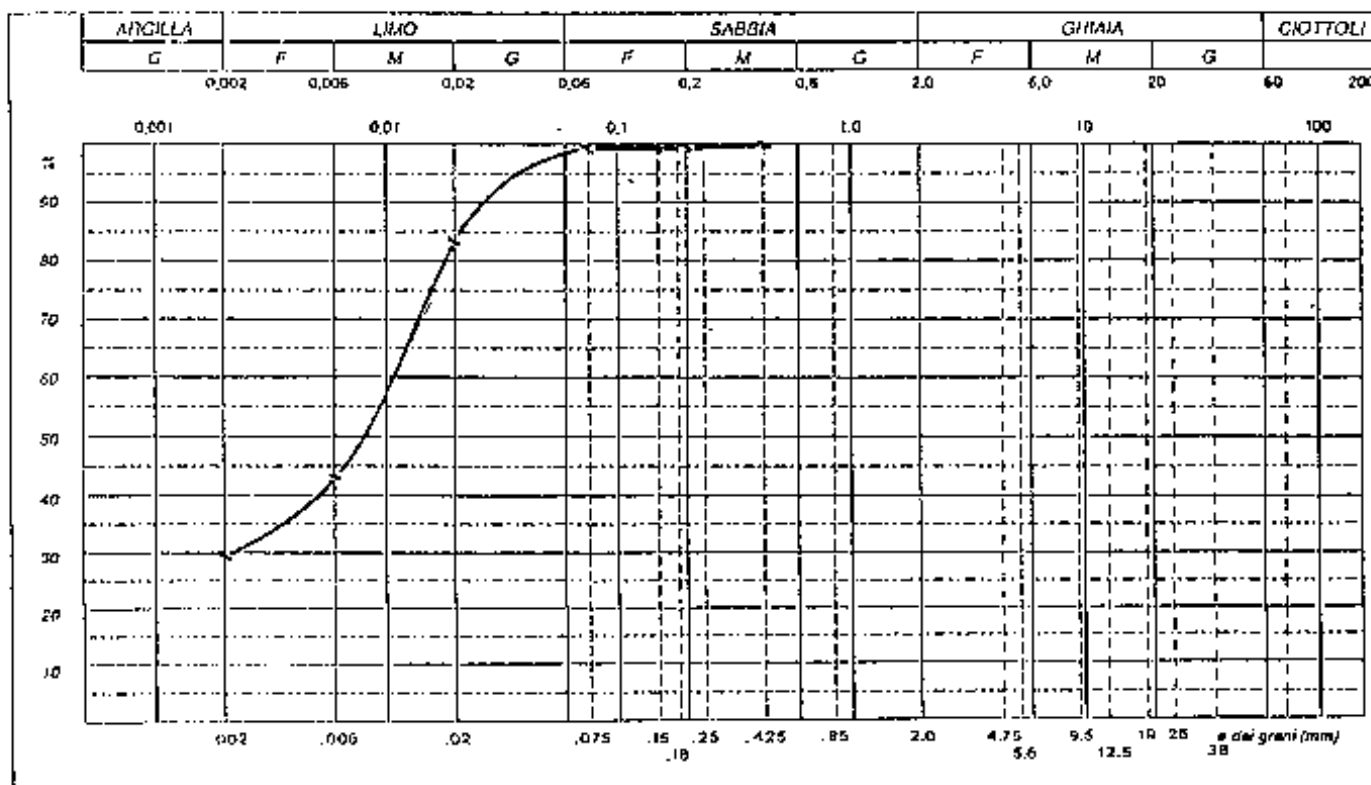
allegato n° 1 al certificato 87/m del 27.07.93

campione S1C1 - da m. a m. 2.00÷2.50

% di passante	CLASSI GRANULOMETRICHE
100	0,075
95	0,15
90	0,3
85	0,6
80	1,2
75	2,5
70	5,0
65	10,0
60	20,0
55	40,0
50	80,0
45	160,0
40	320,0
35	630,0
30	1250,0
25	2500,0
20	5000,0
15	10000,0
10	20000,0
5	40000,0
0	80000,0

mm.	4,750			
	2,000		ghiaia fine	
	0,850		sabbia grossa	
	0,600		sabbia media	0.11
	0,425	100.00	sabbia fine	1.59
	0,200	99.89	limo grosso	15.17
	0,150	99.80	limo medio	35.91
	0,075	99.15	limo fine	13.88
	0,020	83.13	argilla	29.74
	0,006	43.62		
	0.002	29.74		

descrizione: campione nocciola con sottili livelli  
marrone scuro





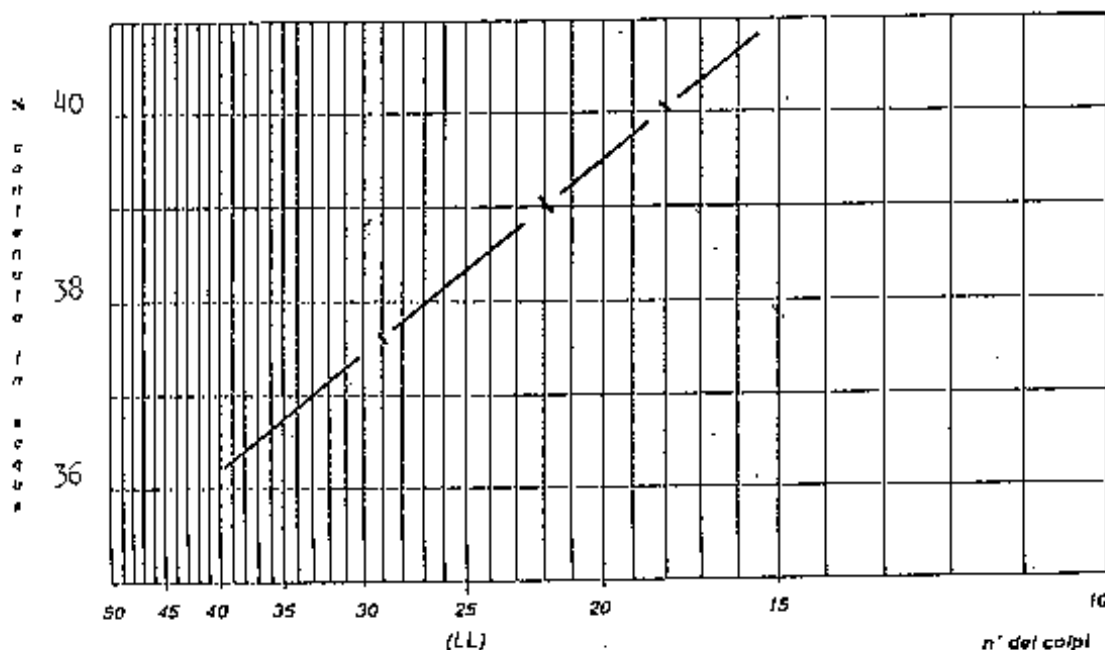
allegato n° 2 al certificato B7/m del 27.07.93

L I M I T I   D I   A T T E R B E R G

campione SICI - profondita' di prelievo: m 2.00-2.50

descrizione: campione nocciola con sottili livelli  
marrone scuro

limite liquido	(LL) =	38
limite plastico	(LP) =	21
indice plastico	(IP) =	17





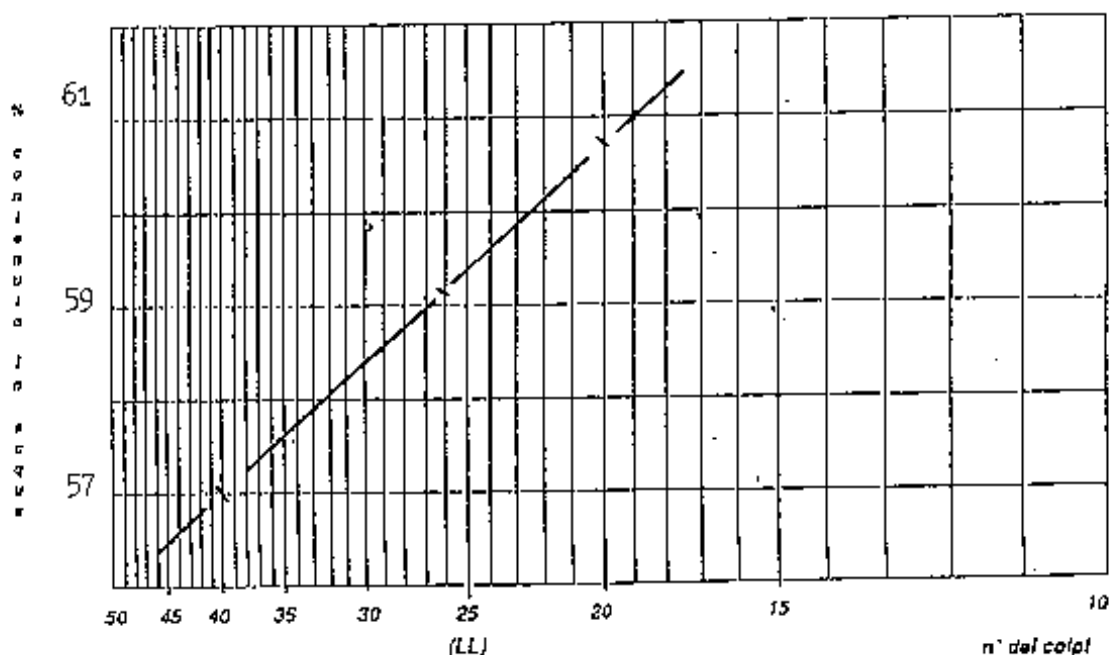
allegato n° 3 al certificato 87/m del 27.07.93

L I M I T I   D I   A T T E R B E R G

campione S1C2 - profondita' di prelievo: m 5.00-5.50

descrizione: campione verde marrone scuro con rari  
inclusi litoidi

limite liquido	(LL) =	59
limite plastico	(LP) =	26
indice plastico	(IP) =	33





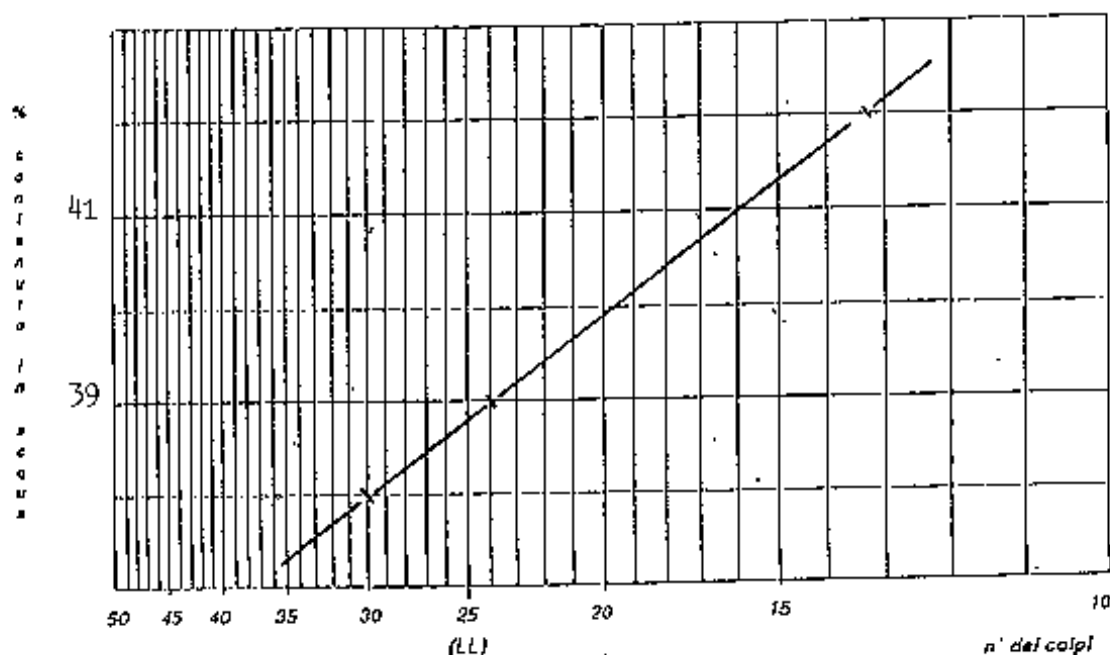
allegato n° 4 al certificato 87/m del 27.07.93

L I M I T I   D I   A T T E R B E R G

campione S2C1 - profondita' di prelievo: m 2.50÷3.00

descrizione: campione marrone nocciola con passate  
marrone scuro

limite liquido	(LL) =	39
limite plastico	(LP) =	20
indice plastico	(IP) =	19





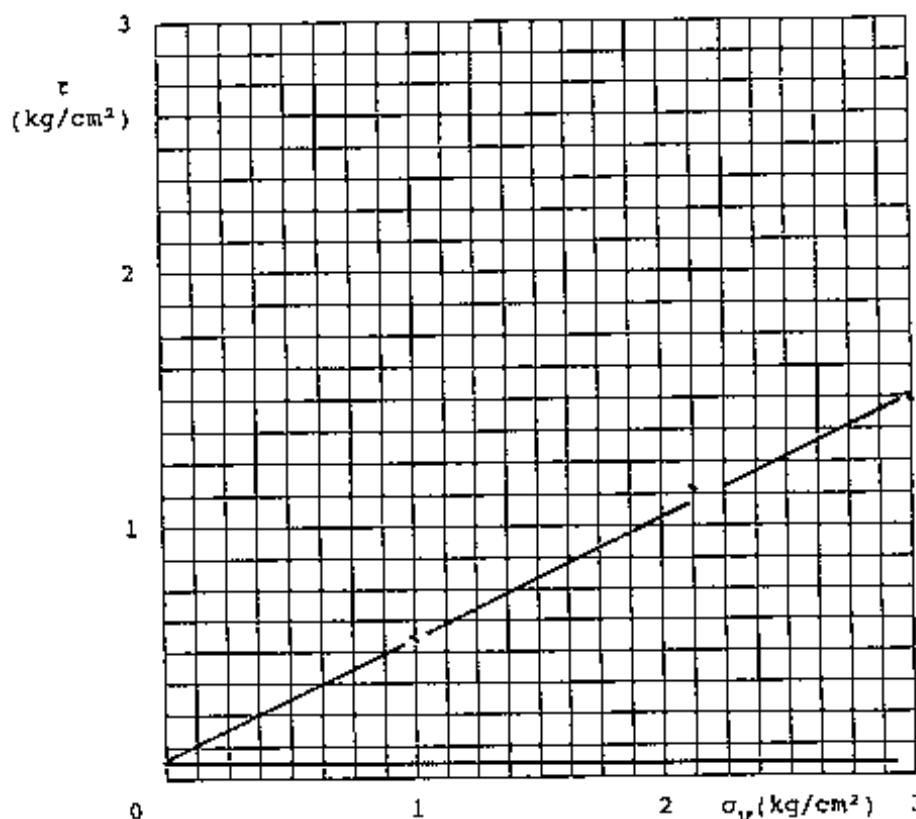
allegato n° 5 al certificato 87/m del 27.07.93

**PROVA DI TAGLIO DIRETTO: C.U. (consolidata non drenata)**  
 velocita' di taglio: 0.50 mm/min  
 campione S1C1 - profondita' di prelievo: m 2.00÷2.50

prov	dati iniz.li	consolidamento				valori a rottura	
	$\bar{\epsilon}$ -mm	H-mm	ore	H-mm	$\sigma$ -kg/cm ²	( $\epsilon$ )defor.	( $\tau$ )kg/cm ²
-1-	60.0	30.0	24	28.35	1	0.600	0.550
-2-	60.0	30.0	24	27.31	2	0.670	1.120
-3-	60.0	30.0	24	26.19	3	0.920	1.501

parametri della resistenza al taglio

angolo di attrito ( $\phi$ ) = 26°  
 coesione ..... (c) = 0.07 kg/cm²







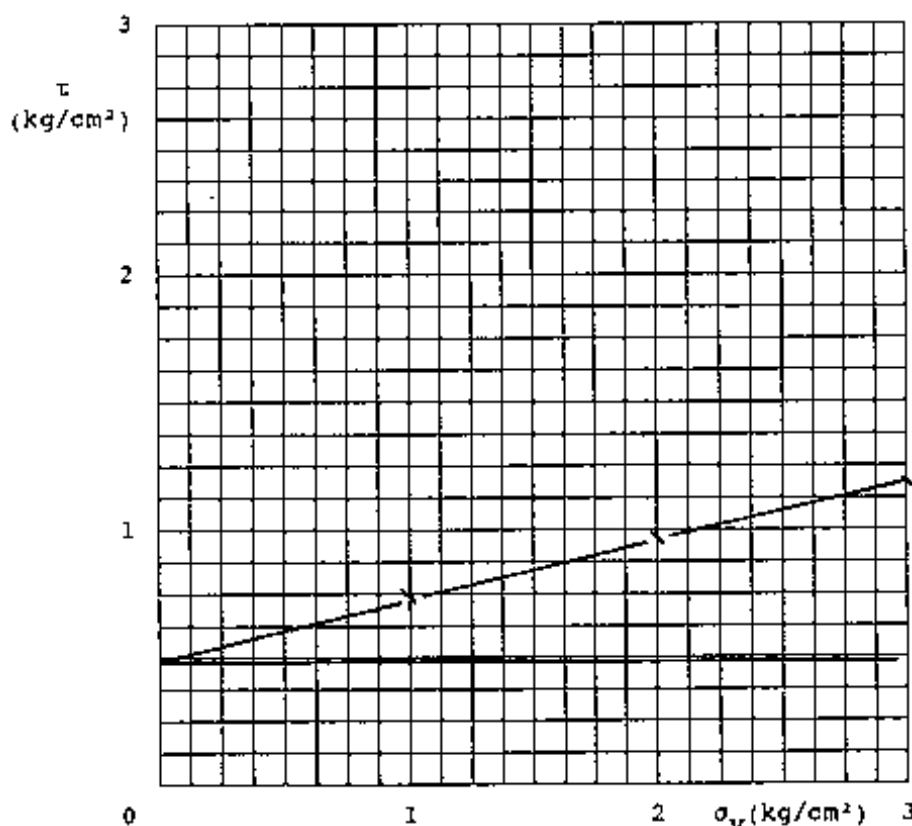
allegato n° 6 al certificato 87/m del 27.07.93

**PROVA DI TAGLIO DIRETTO: C.U. (consolidata non drenata)**  
 velocità di taglio: 0.50 mm/min  
 campione StC2 - profondità di prelievo: m 5.00-5.50

prov	dati iniz.li	consolidamento			valori a rottura		
	$\bar{\epsilon}$ -mm	H-mm	ore	H-mm	$\sigma$ -kg/cm ²	( $\epsilon$ )defor.	( $\tau$ )kg/cm ²
-1-	60.0	30.0	24	29.51	1	0.280	0.732
-2-	60.0	30.0	24	27.21	2	0.420	0.960
-3-	60.0	30.0	24	26.71	3	0.500	1.190

parametri della resistenza al taglio

angolo di attrito ( $\phi$ ) = 13°30'  
 coesione ..... (c) = 0.49 kg/cm²





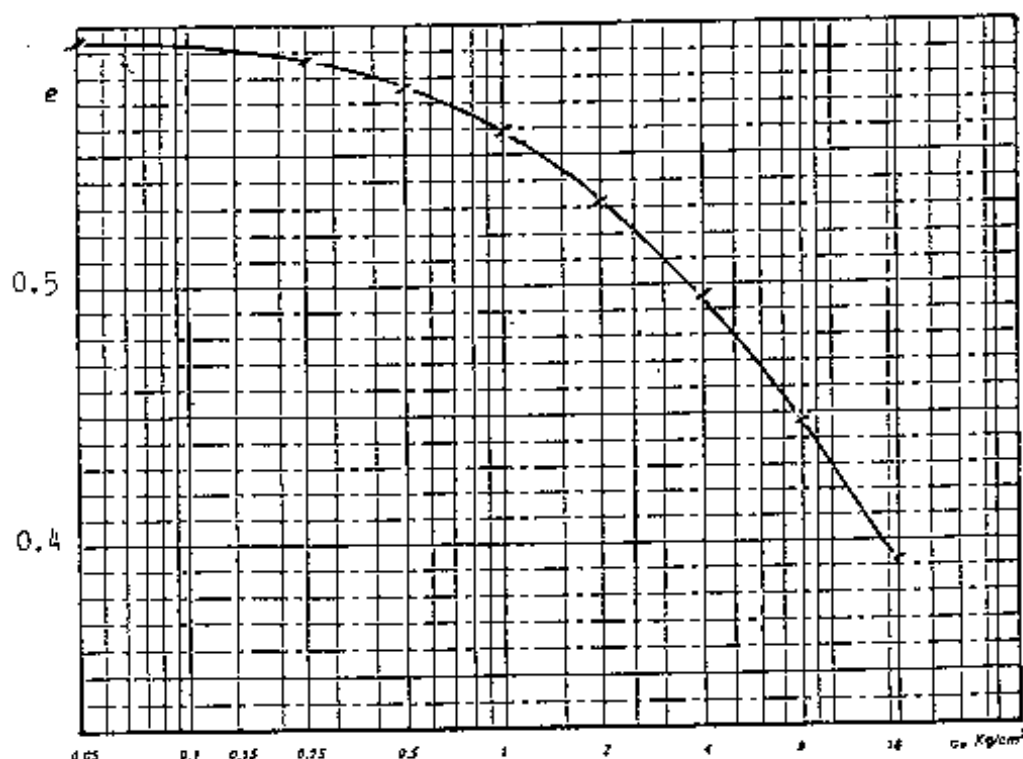
allegato n° 7 al certificato 87/m del 27.07.93

**PROVA EDOMETRICA (ad incrementi di carico)**

**campione S1C1 - profondita' di prelievo: m 2.00÷2.50**

dimensioni scatola e caratteristiche provino  
 altezza (H - mm) 20.00 umidita' iniziale (%) 22.82  
 diametro (Ø - mm) 50.57 umidita' finale (%) 17.53  
 area di base (A - mm) 20.00 peso secco finale (g) 66.86  
 peso spec.ass. (g/cm³) 2.664 altezza ridotta (h-mm) 12.549

pressione kg/cm²	cedimenti mm	indice dei vuoti e
0.000	0.00	0.594
0.005	0.00	0.594
0.250	0.08	0.587
0.500	0.12	0.578
1.000	0.23	0.560
2.000	0.34	0.532
4.000	0.47	0.495
8.000	0.59	0.448
16.000	0.70	0.392





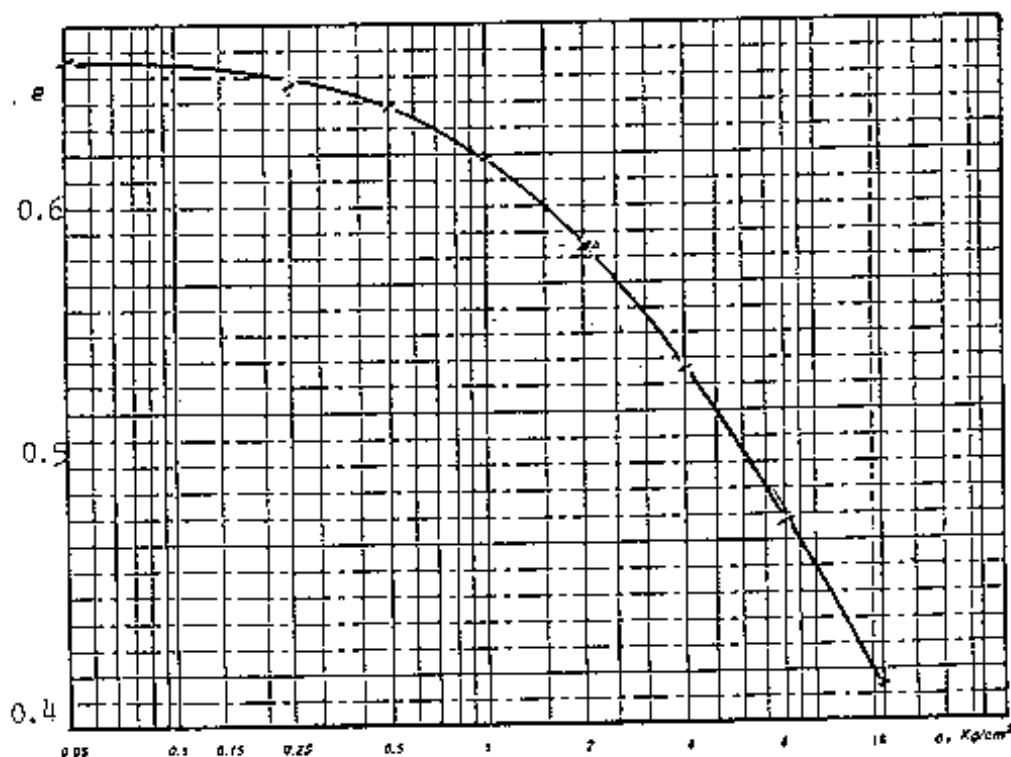
allegato n° 8 al certificato 87/a del 27.07.93

**PROVA EDOMETRICA (ad incrementi di carico)**

**campione S1C2 - profondita' di prelievo: m 5.00÷5.50**

dimensioni scatola e caratteristiche provino  
 altezza (H - mm) 20.00 umidita' iniziale (%) 27.34  
 diametro (S - mm) 50.57 umidita' finale (%) 21.42  
 area di base (A - mm) 20.00 peso secco finale (g) 62.70  
 peso spec.ass. (g/cm³) 2.596 altezza ridotta (h - mm) 12.076

pressione kg/cm ²	cedimenti mm	indice dei vuoti e
0.000	0.00	0.656
0.005	0.00	0.656
0.250	0.12	0.646
0.500	0.09	0.639
1.000	0.24	0.619
2.000	0.42	0.584
4.000	0.58	0.536
8.000	0.70	0.478
16.000	0.79	0.413





**COMUNE DI EMPOLI**

**PROGETTO DI AMPLIAMENTO DEL  
CIMITERO COMUNALE**

**RELAZIONE GEOLOGICO-TECNICA**

**Aprile 2007**

*Emesso da:*

*Dr. Massimo Pellegrini*



*Rivisto e Approvato da:*

*Dr. Giuseppe Ghezzi*

## INDICE

	Pagina
1.- <u>PREMESSA</u>	3
2. - <u>QUADRO GEOLOGICO E IDROGEOLOGICO DI RIFERIMENTO</u>	4
2.1. - <u>Geologia</u>	4
2.2. - <u>Idrogeologia</u>	5
3. - <u>QUADRO GEOLOGICO-TECNICO</u>	7
3.1. - <u>Quadro geotecnico parametrico</u>	7
3.2. - <u>Sismicità</u>	10
4. - <u>PROBLEMATICHE GEOLOGICO-TECNICHE</u>	12
4.1. - <u>Opere di fondazione</u>	12

*****

N° 9 Figure nel testo

Annesso I ~ Tabulati CPTU

*****

*Ha collaborato: Dr Giuseppe Bellomo*

## 1.- PREMESSA

Il Cimitero Comunale di S. Andrea di Empoli era stato oggetto nel 1993 di un primo progetto di ampliamento a supporto del quale era stata redatta da Getas-Petrogeo s.r.l.¹ una relazione geologico-tecnica corredata da una campagna di indagini geognostiche consistita in:

- 2 sondaggi a carotaggio continuo: S1 profondo 15 metri e S2 profondo 10 m;
- prelievo di 3 campioni indisturbati successivamente sottoposti a prove di laboratorio geotecnico con la definizione dei parametri geomeccanici degli intervalli campionati.

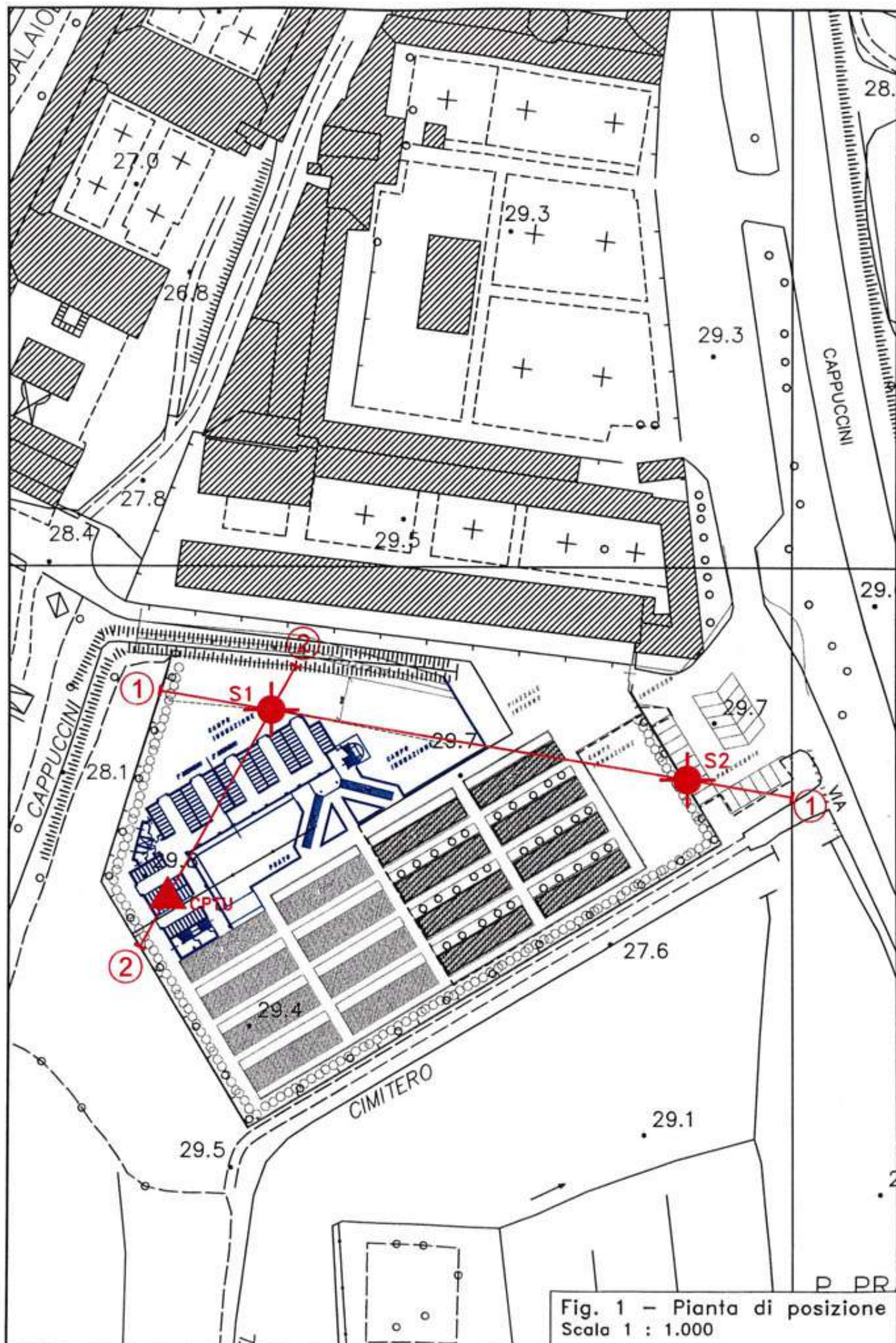
L'Amministrazione ha deciso un ulteriore ampliamento dell'area cimiteriale mediante la realizzazione di una struttura a loculi a tre piani fuori terra e di locali tecnici ad un piano fuori terra.

A supporto della progettazione delle nuove strutture è stata eseguita un'integrazione della campagna precedente mediante l'esecuzione di una prova penetrometrica statica con punta piezoconica CPTU che rispetto ad una prova CPT con punta meccanica standard, permette di ricavare dati della resistenza dei terreni con maggiore dettaglio, quindi di ricavare un quadro stratigrafico e geotecnico parametrico più esaustivo e attendibile. L'ubicazione delle indagini eseguite nell'area è visibile in Fig. 1.

La presente relazione è stata redatta tenendo conto di quanto disposto dal D.M. 11/03/88, dalla O.P.C.M. 28 aprile 2006 n. 3519 e dalla Deliberazione G.R.T. 431 del 19 giugno 2006 in materia sismica.

¹ COMUNE DI EMPOLI - Progetto di ampliamento del Cimitero Comunale - Relazione geologico-tecnica - GETAS-PETROGEO s.r.l., settembre 1993







## **2. - QUADRO GEOLOGICO E IDROGEOLOGICO DI RIFERIMENTO**

### **2.1. - Geologia**

La pianura empolcse è caratterizzata dall'affioramento di depositi alluvionali di età quaternaria. Le alluvioni attuali e recenti, non terrazzate, dell'Arno, dell'Elsa e degli affluenti minori in sinistra Arno, formano la pianura che occupa gran parte della superficie del territorio comunale.

Come evidenziato dai vari studi eseguiti nel tempo sulla pianura, dalle stratigrafie dei pozzi e dai risultati delle indagini geognostiche, la natura litologica della coltre superficiale è caratterizzata principalmente da una granulometria limosa-argillosa o limosa-sabbiosa e subordinatamente sabbiosa ghiaiosa. Anche in profondità le frazioni fini sono preponderanti rispetto alle sabbie e alle ghiaie, generalmente in lenti e/o relegate in orizzonti di spessore contenuto.

La successione alluvionale è mediamente presente oltre ai 20-25 metri dal piano campagna, profondità a cui normalmente si incontra il substrato, con un livello ciottoloso-ghiaioso basale, quasi sempre presente, di spessore massimo di 8-10 metri.

I depositi alluvionali poggiano su un substrato pre-quaternario costituito da una successione argillosa limosa e subordinatamente sabbiosa di età pliocenica.

Con riferimento ai depositi quaternari continentali affioranti nella ristretta area d'intervento, questi rispecchiano un ciclo deposizionale di natura fluviale relativamente recente, prevalentemente legato alla deposizione dell'Arno e del T. Orme, di natura per lo più limosa-argillosa. Le indagini geognostiche eseguite nell'area in esame, oltre a dati di stratigrafia di settori contigui, hanno confermato una prevalenza di litotipi a

granulometria molto fine nei primi 10-15 metri dal piano campagna.

Dal punto di vista morfologico l'area d'intervento è pianeggiante senza particolarità geomorfologiche di rilievo e con dislivello da punto a punto meno che decimetrici.

## **2.2. - Idrogeologia**

Le fasi deposizionali che hanno determinato l'assetto stratigrafico della pianura hanno reso piuttosto articolato il sistema idrogeologico locale: la circolazione idrica sotterranea avviene, in generale, nei livelli più grossolani dei depositi alluvionali e generalmente si osserva la presenza di più falde sovrapposte. Dagli studi eseguiti nella pianura è noto che il sistema alluvionale della piana di Empoli è caratterizzato da due acquiferi principali.

### **-Acquifero A1 (superiore)**

E' essenzialmente un livello sabbioso, localmente ciottoloso, lenticolare e di spessore variabile entro 15 metri dal piano campagna. E' generalmente freatico, ma localmente può assumere caratteristiche di confinamento. L'alimentazione è determinata oltre che dall'infiltrazione diretta della pioggia anche dalla ricarica da parte dei corsi d'acqua (Arno, Elsa, Orme e rii minori) e dagli apporti degli acquiferi di collina.

E' bene sviluppato nei tratti dell'antico corso dei fiumi, dove prevalgono i depositi più grossolani.

A questo acquifero attingono i numerosi pozzi agricoli ad anelli e a sterro della pianura ed i pozzi più superficiali delle centrali acquedottistiche di Corniola, Farfalla e Serravalle-Arnovecchio.

### **-Acquifero A2 (inferiore)**

E' l'acquifero principale dell'area studiata, sia per continuità che per spessore. E' legato ad un livello ciottoloso-ghiaioso presente alla base del ciclo sedimentario alluvionale. Il tetto della falda si trova tra i 10 e i 20 metri dal p.c.; lo spessore è estremamente variabile fino ad un massimo di 10 metri. E' separato dall'acquifero A1 da un setto argilloso continuo che ne determina il confinamento. Localmente i due acquiferi vengono a contatto per vie laterali. L'alimentazione è assicurata dalla rete idrografica, dall'infiltrazione diretta di pioggia, dai livelli permeabili dei fianchi delle colline plioceniche quando sono in contatto con il materasso alluvionale. A questo acquifero attingono la maggior parte dei pozzi delle centrali acquedottistiche.

Nella ristretta area di intervento le indagini eseguite confermano il quadro generale delineato; in particolare si osserva la presenza, nel solo sondaggio S1, di un orizzonte sabbioso presente tra 10 e 11 metri dal p.c.. Il livello di falda misurato nella penetrometria (aprile 2007) era posizionato a circa 2 m dal p.c.

Il flusso di falda sulla base degli studi eseguiti sull'area risulta diretto verso NO.

Ai fini edificatori è da segnalare inoltre la presenza di un limitato e discontinuo livello limoso-sabbioso posto a circa 2 m dal p.c. che può essere sede di una locale falda sospesa. Anche se ininfluyente sul sistema idrogeologico sotterraneo, questa presenza può avere riflessi sulla stabilità dei manufatti e di cui si deve tenere conto in fase di progetto.

### 3. - QUADRO GEOLOGICO-TECNICO

#### 3.1. - Quadro geotecnico parametrico

Il quadro geotecnico parametrico dell'area in esame è stato ricostruito integrando i dati ricavati dalle indagini eseguite 1993, consistite i due sondaggi a carotaggio continuo e analisi geotecniche eseguite su campioni indisturbati, con quelli della prova penetrometrica CPTU appositamente eseguita a supporto della presente progettazione. L'ubicazione delle varie indagini geognostiche è riportata nella planimetria di Fig. 1, nelle Figg. 2, 3 e 4 sono visibili, rispettivamente, i logs dei sondaggi geognostici eseguiti nel 1993 e il grafico della CPTU. I rapporti tra i diversi orizzonti litotecnici sono rappresentati nelle sezioni di Figg. 5 e 6. Il tabulato della prova CPTU è riportato in annesso in fondo al testo.

La prova penetrometrica ha confermato la prevalenza di sedimenti fini, per lo più argillosi limosi, entro i 15 metri dal piano campagna e permesso di ricostruire un quadro geotecnico parametrico locale di maggiore dettaglio, in particolare:

- da m p.c. a m 3.0: **Orizzonte A**

*Terreno prevalentemente argilloso limoso, leggermente sabbioso negli strati più superficiali. Presenza di livelli sabbiosi intorno a 1,5 metri dal p.c. L'orizzonte con esclusione del primo metro caratterizzato da resistenze molto elevate dovute all'essiccamento superficiale, presenta valori di  $q_c$  (resistenza alla penetrazione) mediamente compresi tra 1 e 1.5 MPa; a questo orizzonte possono essere attribuiti i seguenti parametri:*

$\gamma$ (t/m ³ )	1.8÷1.9
Cu (kPa)	40÷70
$\varphi'$ (°)	16°÷20°
C' (kPa)	5÷12
mv (cm ² /kg)	0.011÷0.05

Analisi di laboratorio geotecnico eseguite su campioni prelevati nell'ambito delle precedenti indagini indicano valori di IP variabili dal 17% al 19% e indici IC mediamente intorno a 0.9 a confermare una contenuta plasticità dei litotipi argillosi.

- da m 3.0 a m 4.1: **Orizzonte B**

*Terreno prevalentemente argilloso.* L'orizzonte presenta valori di qc mediamente compresi tra 0.7 e 0.9 MPa; a questo orizzonte possono essere attribuiti i seguenti parametri:

$\gamma$ (t/m ³ )	1.8÷1.85
Cu (kPa)	30÷40
$\varphi'$ (°)	14°÷16°
C' (kPa)	4÷6
mv (cm ² /kg)	0.028÷0.055

- da m 4.1 a m 10.9: **Orizzonte C**

*Terreno prevalentemente argilloso a tratti più limoso.* L'orizzonte presenta valori di qc mediamente compresi tra 0.9 e 1.3 MPa, con punte tra i -7 e -8 metri fino a 1.5 MPa; a questo orizzonte possono essere attribuiti i seguenti parametri:

$\gamma$ (t/m ³ )	1.75÷1.85
Cu (kPa)	40÷60
$\varphi'$ (°)	13°÷16°
C' (kPa)	6÷10
mv (cm ² /kg)	0.015÷0.025

Analisi di laboratorio geotecnico eseguite su campioni prelevati nell'ambito delle precedenti indagini indicano valori di IP e IC rispettivamente pari a 33 e 1.01 che confermano una relativa maggiore plasticità rispetto all'orizzonte superiore.

- da m 10.9 a m 13.0: **Orizzonte D**

*Terreno prevalentemente argilloso a tratti limoso argilloso plastico e sensitivo.*

L'orizzonte presenta valori di  $q_c$  mediamente compresi tra 0.5 e 0.7 MPa; a questo orizzonte possono essere attribuiti i seguenti parametri:

$\gamma$ (t/m ³ )	1.7
Cu (kPa)	18÷20
$\varphi'$ (°)	10°÷13°
C' (kPa)	2÷4
mv (cm ² /kg)	0.03÷0.10

- da m 13.0 a <m 15.5: **Orizzonte E**

*Terreno prevalentemente argilloso a tratti limoso argilloso.* L'orizzonte presenta valori di  $q_c$  mediamente compresi tra 1.0 e 1.5 Mpa. Resistenza  $q_c$  superiore a 2 Mpa a partire dai -15 metri; a questo orizzonte possono essere attribuiti i seguenti parametri:

$\gamma$ (t/m ³ )	1.75÷1.85
Cu (kPa)	50÷80
$\varphi'$ (°)	15°÷18°
C' (kPa)	8÷16
mv (cm ² /kg)	0.02÷0.01

I dati della prova penetrometrica CPTU consentono di ricostruire un quadro geotecnico parametrico locale che conferma nelle grandi linee il quadro già delineato con le precedenti indagini. Il modello è costituito da un'alternanza di orizzonti con caratteristiche geotecniche relativamente simili: sotto ad un primo orizzonte (orizzonte A), dello spessore di 3 metri circa, cui competono caratteristiche geotecniche medie, seguono orizzonti, prevalentemente argillosi con parametri talora più scadenti (orizzonti B e D) e discretamente compressibili (orizzonte D).

### 3.2. – Sismicità

Secondo gli indirizzi normativi introdotti dalla nuova classificazione sismica (Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3519 del 28 aprile 2006 e Delibera G.R.T. 431 del 19 giugno 2006), il Comune di Empoli viene a ricadere in *Zona sismica 3S*.

La nuova classificazione introduce nuovi valori e limiti di accelerazione sismica orizzontale di cui tenere debito conto. In particolare, con riferimento alla *Zona sismica 3S*, il valore di accelerazione da considerare è 0,25g.

Nell'area interessata dall'intervento non si riconoscono elementi di possibile amplificazione delle onde sismiche né, d'altra parte, alla luce delle non elevate



accelerazioni e della composizione granulometrica-litologica prevalente dei depositi più superficiali, s'intravede potenziale predisposizione a fenomeni di liquefazione.

La compressibilità dei depositi limo-argillosi superficiali, poco permeabili, fa sì che la dissipazione delle pressioni interstiziali avvenga in tempi sicuramente più lunghi rispetto alla breve durata di un sisma e per tanto, l'evento sismico non produrrà incrementi significativi in termini di eventuali cedimenti sulle strutture.

In linea generale, come è stato dimostrato (Carrol, 1963), nei terreni prevalentemente coesivi l'azione sismica non produce variazioni negative sostanziali in termini di diminuzione delle caratteristiche di resistenza al taglio.

In relazione alla normativa vigente, in assenza di dati basati su indagini sismiche dirette, tenuto conto dei risultati ricavati dalla penetrometria per i primi 15 metri dal p.c. e dei dati conoscitivi sull'area, quindi delle caratteristiche di resistenza di taglio dei litotipi argillosi e/o argilloso-limosi, in via cautelativa si può indicare una tipologia di suolo di fondazione di **Categoria D: Profili di terreno costituiti da depositi coesivi da poco a mediamente consistenti con  $V_{s30} < 180$  m/sec e  $C_u < 70$  kPa**".

I progettisti, stante la proroga al 31/12/2007 dell'entrata in vigore delle nuove norme di progettazione previste dal D.M. 14 Settembre 2005, potranno procedere secondo quanto previsto dal D.M. 16/01/96, adottando un Coefficiente di fondazione minimo  $e = 1.0$ .

FIG. 2 - SONDAGGIO S1

	L.S. H ₂ O	STRATIGRAFIA	DESCRIZIONE LITOLOGICA	CAMP.	S.P.T.	PENETR. TASCABILE	TORVANE	OSSERVAZIONI
s.p.c. 0			Terreno agrario					
1			Argille nocciola					
2	L.S.		Limo sabbioso nocciolo con parti argillose (acqua)					
3						> 3,6		
4						> 3,6		
5			Argille nocciola plastica			> 3,6		
6								
7						> 3,6		
8								
9						> 3,6		
10			Argille grigio-azzurre			3,6 3,6		
11			Sabbie grigio-azzurre (sabbie)					
12			Limo argilloso grigio-azzurro			2,4 2,7 2,4		
13			Argille grigio-azzurre molto compatte			> 3,6 > 3,6		
14			Argille nocciola scure molto compatte			> 3,6 > 3,6		
15								
16								L.S. = 2,40 m s.p.c.
17								
18								
19								
20								
21								
22								
23								
24								
25								



Campione disturbato



Campione indisturbato

Tubo PVC

FIG. 3 - SONDAGGIO S2

L.S. H ₂ O	STRATI- GRAFIA	DESCRIZIONE LITOLOGICA	CAMP.	S.P.T.	PENETR. TASCABILE	TORVANE	OSSERVAZIONI
s.p.c. 0		Terreno di riporto					
1					3.1 >3,6		
2					>3,6		
3		Argille nericce			2,1 2,6 2,6		
4		compatta			2,6 2,7		
5		talora con ciottolini			2,7		
6		colorati e resti vegetali			3,4 >3,6		
7					>3,6		
8					2,9 >3,6		
9					3,2 3,2 2,2		
10		Argille argillose			2,6		
11		compatta			0,8 1,3 1,6 2,4		
12							
13							
14							
15							
16							
17							
18							
19							
20							
21							
22							
23							
24							
25							



Campione disturbato



Campione indisturbato



GEA snc  
Indagini Geognostiche  
Via di Ugnano 41/b  
Firenze  
gea@geaitalia.it

Committente: GETAS-PETROGEO S.R.L.  
Località: S. Andrea - Empoli  
Indagine: 1  
N. prova: 1  
Data: 06/04/2007

Certificato: 37  
quota falda cm: 200  
quota pre-hole cm: 20  
Note:

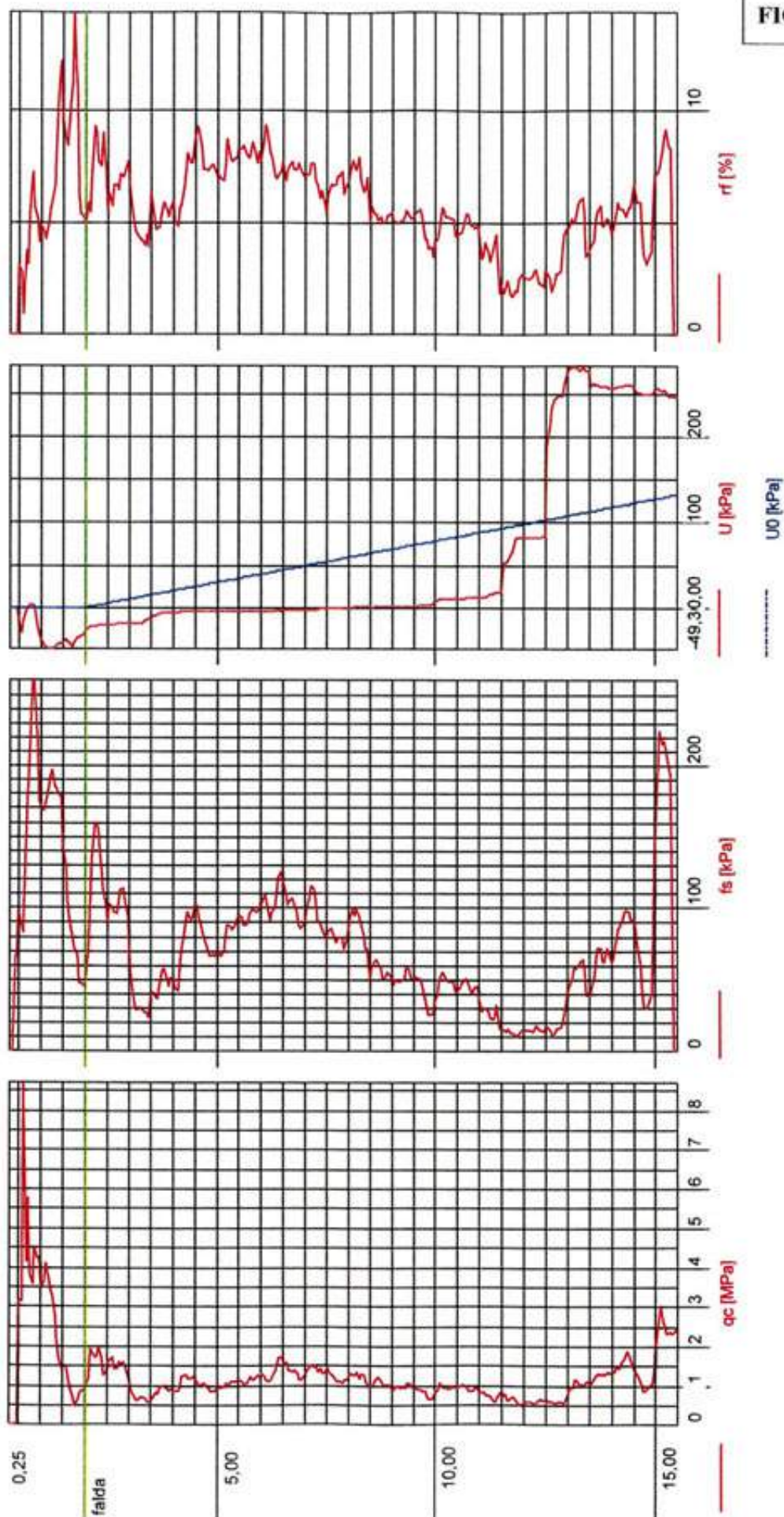
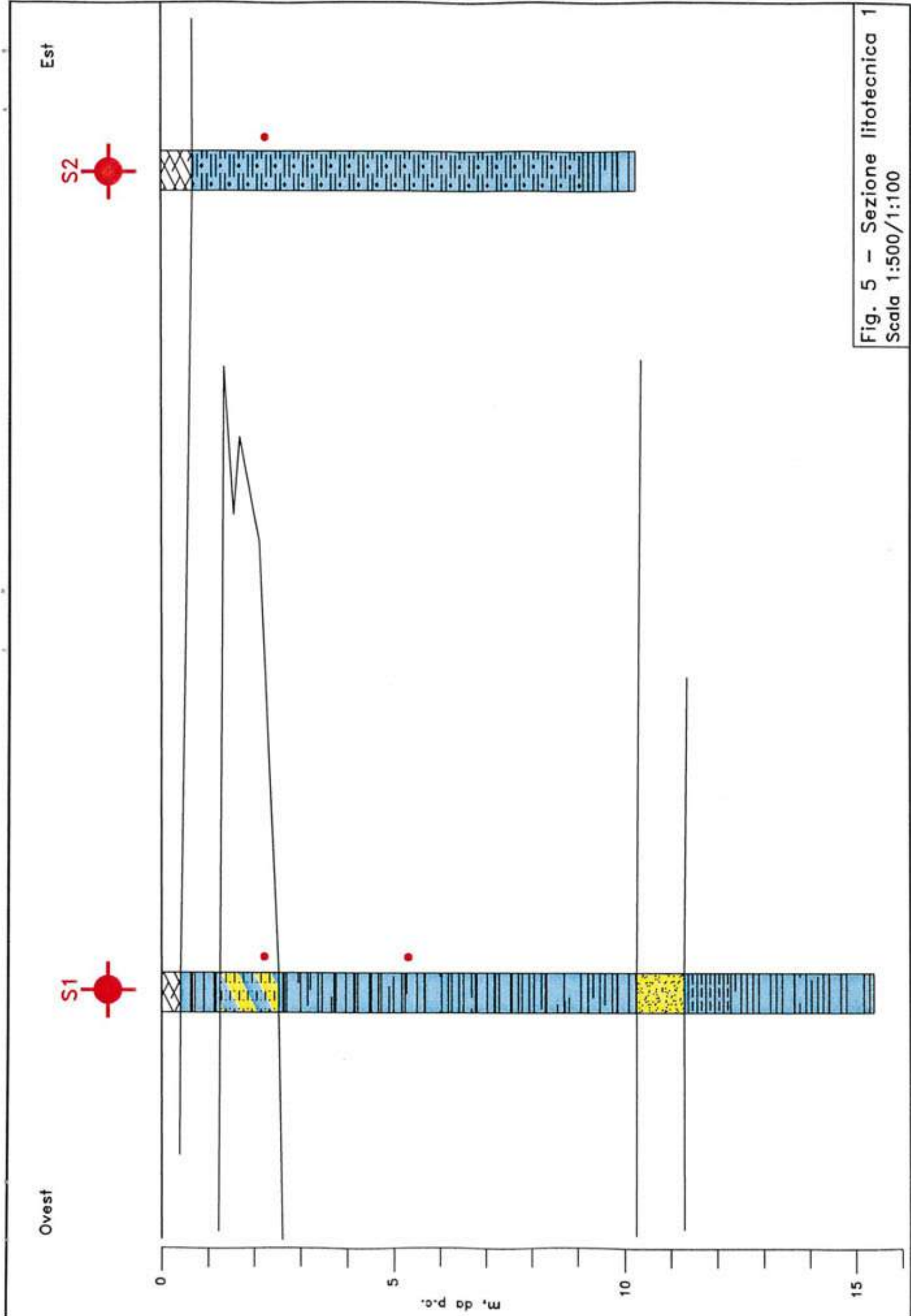


FIG. 4



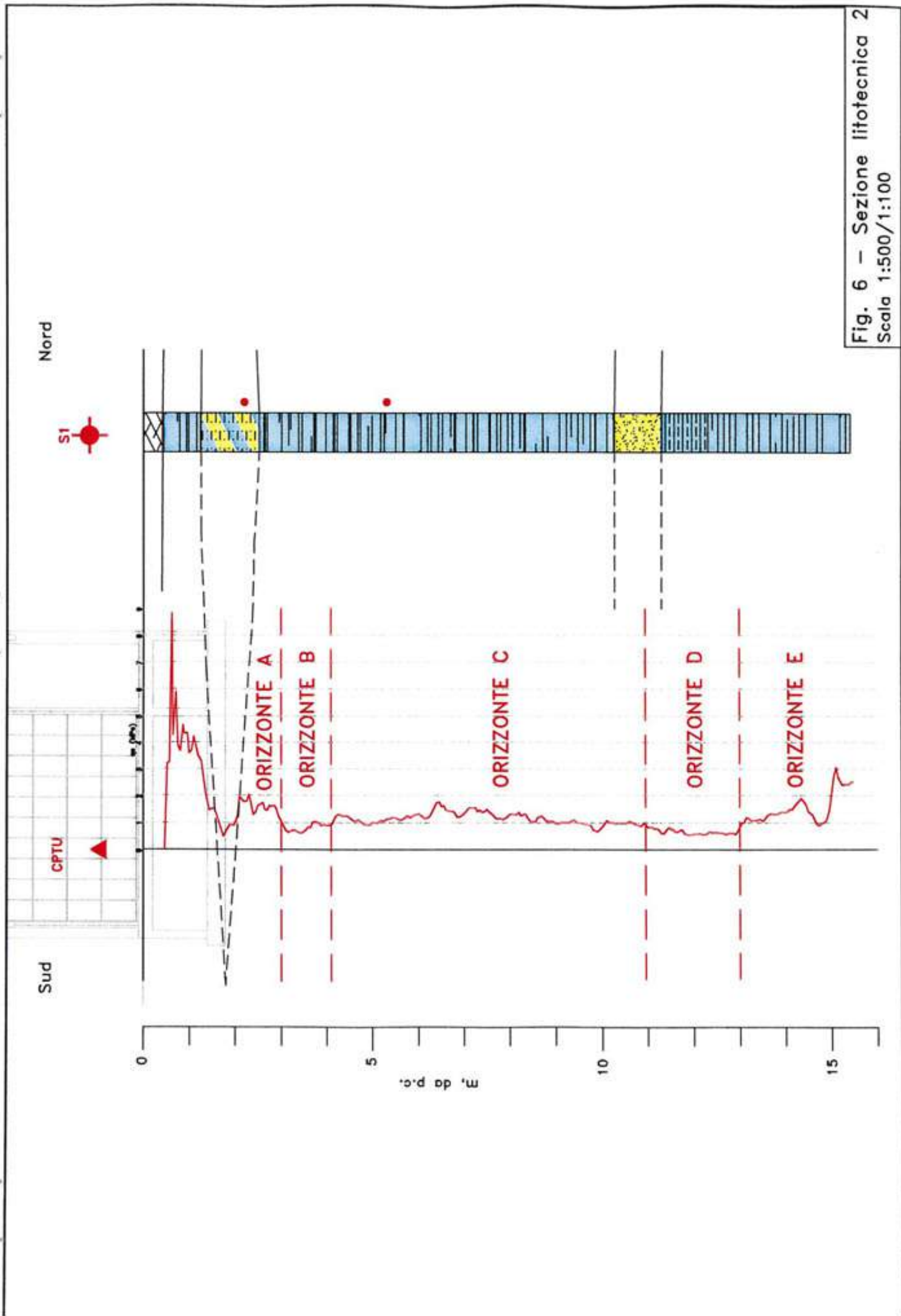


Fig. 6 – Sezione litotecnica 2  
Scala 1:500/1:100

#### **4. - PROBLEMATICHE GEOLOGICO-TECNICHE**

Il progetto prevede la realizzazione di strutture con un massimo di 3 piani fuori terra, infrastrutture di servizio e sistemazioni a verde.

La realizzazione delle varie strutture in progetto richiederà in genere l'adozione di fondazioni di tipologia idonea in funzione dei carichi previsti e della natura dei terreni.

Viste le caratteristiche di questi ultimi e le soluzioni progettuali scelte che rendono fattibile l'opera, rimandando alla fase esecutiva i calcoli definitivi, di competenza del progettista, si ritiene utile anticipare alcune valutazioni quantitative preliminari sul dimensionamento delle fondazioni secondo le tipologie ipotizzate.

##### **4.1. - Opere di fondazione**

Le infrastrutture più impegnative, quali gli edifici multipiano max 3 fuori terra, richiederanno, in funzione dei carichi prevedibili, l'adozione di fondazioni superficiali, quali travi rovesce e/o platee.

##### **a) Carichi ammissibili**

Tenuto conto delle ipotesi progettuali riguardo alle possibili tipologie di fondazione adottabili, sono state eseguite le seguenti verifiche:

Platea: dimensioni  $B = 5 \text{ m} \times L = 10 \text{ m}$ , incastro  $D = 1 \div 1,5 \text{ m}$  da p.c;

Trave rovescia: dimensioni  $B = 1,5 \text{ m}$ ,  $L = 5 \div 10 \text{ m}$ , incastro  $D = 1,75 \text{ m}$  da p.c

I calcoli sono stati eseguiti adottando la relazione generale suggerita da Brinch Hansen, nell'ipotesi di piano di fondazione orizzontale e di carichi di esercizio centrati, facendo riferimento al quadro geotecnico locale evidenziato:

$$Q_r = C N_c s_c d_c i_c b_c g_c + \gamma_1 D N_q s_q d_q i_q b_q g_q + 0.5 \gamma_2 B N_y s_y i_y b_y g_y$$

in cui:  $N_c, N_q, N_y$  = fattori adimensionali di portanza;

$$N_q = \exp[\pi \times \tan(\Phi)] \times \tan^2(45^\circ + \Phi/2);$$

$$N_c = (N_q - 1) \times \cotg(\Phi);$$

$$N_y = 1.5 \times (N_q - 1) \times \tan(\Phi);$$

$s_c, s_q, s_y$  = fattori di forma, dati da:

$$s_c = 1 + (N_q/N_c) \times (B/L) \text{ per } \Phi > 0;$$

$$s_q = 1 + (B/L) \times \tan(\Phi);$$

$$s_y = 1 - 0.4 \times (B/L);$$

$d_c, d_q$  = fattori correttivi per l'approfondimento, dati da:

dove  $k=D/B$  per  $D/B \leq 1$  e  $k=\arctan(D/B)$  per  $D/B > 1$

$$d_c = 1 + 0.4 \times k;$$

$$d_q = 1 + 2 \times \tan(\Phi) \times [1 - \sin(\Phi)]^2 \times k;$$

$i_c, i_q, i_y$  = fattori correttivi per carichi inclinati, dati da:

$$i_c = i_q - (1 - i_q)/(N_q - 1) \text{ per } \Phi > 0;$$

$$i_q = [1 - 0.5 \times H / (V + A \times c \times \cotg(\Phi))]^5;$$

$$i_y = [1 - 0.7 \times H / (V + A \times c \times \cotg(\Phi))]^5 \text{ per } b^\circ = 0;$$

$$i_y = [1 - (0.7 - b^\circ/450) \times H / (V + A \times c \times \cotg(\Phi))]^5 \text{ per } b^\circ > 0;$$

dove  $H$  = componente orizzontale del carico;

$V$  = componente assiale del carico;

con  $c = 0$ , si assume  $H/V = 0,1 \div 0,15$

$b^\circ$  = inclinazione della base della fondazione rispetto all'orizzontale;

$A$  = area effettiva della fondazione;

$b_c, b_q, b_y$  = fattori correttivi per l'inclinazione della base della fondazione, dati da:

$$b_c = 1 - b^\circ/147 \text{ per } \Phi > 0;$$



$$bq = \exp[-2 \times b(\text{rad}) \times \text{tg}(\Phi)];$$

$$by = \exp[-2.7 \times b(\text{rad}) \times \text{tg}(\Phi)];$$

gc, gq, gy = fattori correttivi per fondazioni su pendio, dati da:

$$gc = 1 - p^\circ/147 \text{ per } \Phi > 0;$$

$$gq = gy = (1 - 0.5 \times \text{tg } p^\circ)^5.$$

Il coefficiente di sicurezza adottato, come prescritto dal D.M. LL. PP. 11/03/88, è pari a 3.

Il cuneo di deformazione efficace raggiunge, nel caso della trave, profondità di circa 1-1,5 metri dal piano di sedime della fondazione. Gli intervalli litologici interessati dalle tensioni di taglio indotte dai carichi d'esercizio sono pertanto l'orizzonte superficiale A e in parte l'orizzonte B, immediatamente sottostante. Con la platea il cuneo di deformazione arriva ad interessare anche l'Orizzonte C. Di seguito si riportano i risultati dei calcoli eseguiti. In particolare le tab. 1 e 2 che seguono, riportano i carichi ammissibili determinati per le diverse geometrie fondazionali ipotizzate.

Tab. 1: Carichi ammissibili per fondazioni a platea qamm (kPa)

B = 5,00 (m)	L D 1,75	5,00	10,00
		125	115

Tab. 2: Carichi ammissibili per fondazioni dirette Plinto/Trave rovescia qamm (kPa)

B = 1,50 (m)	L D 1,75	1,50	3,00	6,00
		140	130	125
B = 1,60 (m)	L D 1,75	1,60	3,20	6,40
		138	128	122

I cedimenti calcolati sono compatibili con le strutture in progetto. Si consiglia tuttavia, viste le dimensioni dell'edificio, di irrigidire sia le strutture in altezza che quelle fondali.

Tab. 4: Cedimenti Platea B=3 m,  $\sigma=90$  kPa **W** (cm)

z (m)	$\sigma'_{v0}$ (kPa)	$\Delta\sigma_z$ (kPa)	$\sigma'_{v0}+\Delta\sigma_z$ (kPa)	$\Delta w$ (cm)	<b>w</b> (cm)	$\varepsilon$ (%)
0,00	32	50	82	0,2	<b>2,8</b>	0,5
0,40	36	49	86	0,2	<b>2,6</b>	0,5
0,80	41	47	88	0,2	<b>2,4</b>	0,5
1,20	45	44	89	0,1	<b>2,2</b>	0,4
1,50	48	41	88	0,6	<b>2,1</b>	1,3
2,00	53	35	88	0,3	<b>1,4</b>	0,7
2,40	57	31	88	0,2	<b>1,2</b>	0,6
2,80	61	28	89	0,2	<b>0,9</b>	0,5
3,20	65	25	90	0,2	<b>0,7</b>	0,5
3,60	69	23	92	0,2	<b>0,5</b>	0,4
4,00	73	20	94	0,2	<b>0,4</b>	0,4
4,40	77	19	96	0,1	<b>0,2</b>	0,4
4,80	81	17	98	0,1	<b>0,1</b>	0,3
5,00	83	16	99	-	-	-

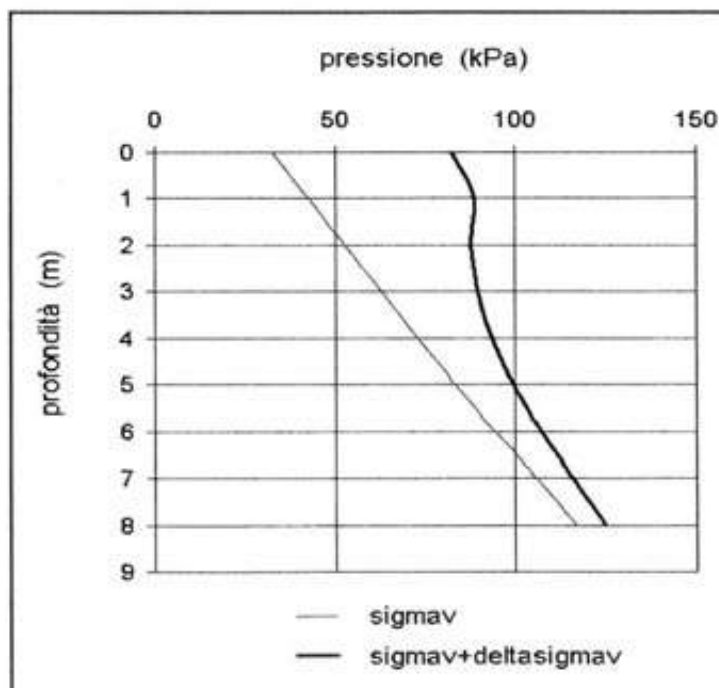


FIG. 8 - Andamento incrementi di carico con la profondità (platea B=3m)

Tab. 5: Cedimenti Platea B=5 m,  $\sigma=90$  kPa **W** (cm)

z (m)	$\sigma'_{v0}$ (kPa)	$\Delta\sigma_z$ (kPa)	$\sigma'_{v0}+\Delta\sigma_z$ (kPa)	$\Delta w$ (cm)	<b>w</b> (cm)	$\varepsilon$ (%)
0,00	32	50	82	0,2	<b>3,9</b>	0,5
0,40	36	49	86	0,2	<b>3,7</b>	0,5
0,80	41	49	90	0,2	<b>3,5</b>	0,5
1,20	45	48	93	0,1	<b>3,3</b>	0,5
1,50	48	46	94	0,7	<b>3,2</b>	1,5
2,00	53	43	96	0,3	<b>2,4</b>	0,8
2,40	57	41	97	0,3	<b>2,1</b>	0,8
2,80	61	38	99	0,3	<b>1,8</b>	0,7
3,20	65	35	100	0,3	<b>1,5</b>	0,7
3,60	69	33	102	0,2	<b>1,2</b>	0,6
4,00	73	30	103	0,2	<b>1,0</b>	0,6
4,40	77	27	105	0,2	<b>0,7</b>	0,5
4,80	81	25	106	0,1	<b>0,5</b>	0,5
5,00	83	24	107	0,2	<b>0,4</b>	0,3
5,60	90	21	111	0,1	<b>0,2</b>	0,3
6,00	95	20	114	0,1	<b>0,1</b>	0,3
6,40	99	18	117			

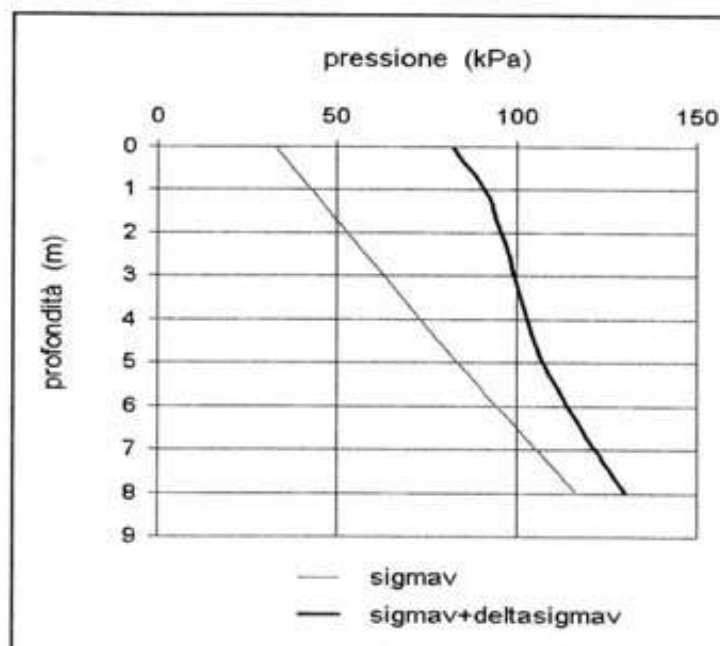


FIG. 9 - Andamento incrementi di carico con la profondità (platea B=5m)

Il calcolo dei cedimenti mette in evidenza come l'adozione di fondazioni a platea comporti assestamenti che divengono significativi con l'aumentare delle dimensioni. Si consiglia pertanto, oltre che ad un adeguato contenimento dei carichi, un opportuno irrigidimento sia delle strutture fondali che delle strutture in elevazione.

## **ANNESSO 1**

### **TABULATI PROVA CPTU**





GEA S.n.c.  
di Borgioli e Matteini  
via di Ugnano 41 B  
Firenze  
GEOSUITE - DEMO

Committente: GETAS-PETROGEO  
Località: S. Andrea - Empoli  
Indagine:  
N. prova: 1  
Data: 06/04/2007

Certificato: CP-104-071  
quota falda cm: 200  
quota pre-hole cm: 20  
Note:

z (m)	qc [MP]	fs [kPa]	U [kPa]	r [%]	Class.	ESLONI-FELLENUS	phi [°]	Cu [kPa]	c [kPa]	mv [cm²/2kg]	polissor	Es [kg/cm²]	Eu [kg/cm²]	G [kg/cm²]	Vs [m/s]
0.25	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	Argilla/Limo argilloso/Sensitivi	—	—	0.00	-0.03	0.00000	0.50	0.00	0.00	0.00
0.30	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	Argilla/Limo argilloso/Sensitivi	—	—	0.00	-0.03	0.00000	0.50	0.00	0.00	0.00
0.35	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	Argilla/Limo argilloso/Sensitivi	—	—	0.00	-0.04	0.00000	0.50	0.00	0.00	0.00
0.40	0.00	65.7	0.0	0.0	0.00	Argilla	—	—	0.00	-0.04	0.00000	0.45	0.00	0.00	0.00
0.45	0.00	70.3	0.0	0.0	0.00	Argilla	—	—	0.00	-0.04	0.00000	0.45	0.00	0.00	0.00
0.50	3.17	97.4	-14.1	3.08	0.00	Limo argilloso/Argilla limosa	34.18	157.65	23.08	0.00791	0.40	0.73	1.00	0.33	360.46
0.55	3.15	87.4	-29.2	2.78	0.00	Limo sabbioso	38.70	0.00	0.00	0.01063	0.35	0.30	0.00	0.14	86.29
0.60	8.69	82.4	-16.1	0.95	0.00	Sabbia limosa	40.48	0.00	0.00	0.00384	0.25	0.38	0.00	0.17	101.31
0.65	4.15	158.1	-2.0	3.81	0.00	Limo sabbioso	39.31	0.00	0.00	0.00803	0.35	0.33	0.00	0.15	94.17
0.70	5.77	183.2	-1.0	3.17	0.00	Limo sabbioso	40.11	0.00	0.00	0.00578	0.35	0.36	0.00	0.16	100.50
0.75	3.07	208.5	4.0	6.79	0.00	Limo argilloso/Argilla limosa	30.80	152.99	22.40	0.00814	0.40	0.72	0.99	0.33	353.50
0.80	3.59	259.9	3.0	7.24	0.00	Limo argilloso/Argilla limosa	31.35	179.03	26.21	0.00596	0.40	0.77	1.06	0.35	390.08
0.85	4.52	257.8	1.0	5.71	0.00	Limo argilloso/Argilla limosa	32.46	225.24	32.97	0.00553	0.40	0.85	1.17	0.39	450.43
0.90	4.23	219.1	-23.1	5.18	0.00	Limo argilloso/Argilla limosa	31.31	210.23	30.78	0.00593	0.40	0.83	1.13	0.38	432.14
0.95	4.27	175.4	-31.2	4.11	0.00	Limo argilloso/Argilla limosa	30.87	211.91	31.02	0.00588	0.40	0.83	1.14	0.38	434.57
1.00	3.48	171.7	-38.2	4.94	0.00	Limo argilloso/Argilla limosa	28.99	172.16	25.20	0.00723	0.40	0.76	1.04	0.35	382.13
1.05	2.68	168.5	-44.3	6.28	0.00	Limo argilloso/Argilla limosa	26.90	132.39	19.38	0.00938	0.40	0.68	0.93	0.31	324.93
1.10	4.09	174.0	-46.3	4.25	0.00	Limo argilloso/Argilla limosa	29.35	202.76	29.58	0.00614	0.40	0.82	1.12	0.37	423.37
1.15	3.71	184.4	-48.3	4.98	0.00	Limo argilloso/Argilla limosa	28.34	183.37	26.85	0.00678	0.40	0.78	1.07	0.36	397.87
1.20	3.42	192.8	-49.3	5.64	0.00	Limo argilloso/Argilla limosa	27.50	168.85	24.72	0.00736	0.40	0.76	1.03	0.34	378.12
1.25	3.28	197.0	-48.3	6.00	0.00	Limo argilloso/Argilla limosa	26.98	162.08	23.73	0.00767	0.40	0.74	1.01	0.34	368.69
1.30	2.78	185.0	-47.3	6.66	0.00	Limo argilloso/Argilla limosa	25.70	136.96	20.05	0.00906	0.40	0.69	0.94	0.31	332.24
1.35	2.12	183.8	-45.3	8.66	0.00	Limo argilloso/Argilla limosa	23.89	104.11	15.24	0.01188	0.40	0.62	0.84	0.28	280.57
1.40	1.72	180.0	-42.3	10.48	0.00	Argilla	22.54	83.89	12.28	0.01471	0.45	0.53	0.73	0.24	245.70
1.45	1.45	57.3	-42.3	3.96	0.00	Limo argilloso/Argilla limosa	21.42	70.35	10.30	0.01748	0.40	0.52	0.71	0.24	220.72
1.50	1.49	143.6	-40.2	9.67	0.00	Argilla	21.44	72.26	10.58	0.01702	0.45	0.50	0.68	0.23	224.33
1.55	1.31	128.4	-37.2	9.78	0.00	Argilla	20.67	63.64	9.32	0.01927	0.45	0.47	0.64	0.21	207.58
1.60	1.24	104.1	-40.2	8.43	0.00	Argilla	20.16	59.63	8.73	0.02053	0.45	0.46	0.63	0.21	199.76
1.65	0.98	93.0	-40.2	9.46	0.00	Argilla	18.85	47.05	6.89	0.02586	0.45	0.42	0.57	0.19	173.24
1.70	0.70	78.0	-46.3	11.22	0.00	Argilla	16.82	32.44	4.75	0.04937	0.45	0.36	0.50	0.17	139.30
1.75	0.50	72.1	-40.2	14.37	0.00	Argilla	15.18	22.88	3.35	0.06876	0.45	0.32	0.44	0.15	113.60
1.80	0.62	66.1	-36.2	10.69	0.00	Argilla	16.25	28.73	4.21	0.05533	0.45	0.35	0.47	0.16	129.42
1.85	0.77	47.9	-36.2	6.20	0.00	Argilla	17.26	36.40	5.33	0.03305	0.45	0.38	0.52	0.17	148.79
1.90	0.87	47.3	-34.2	5.44	0.00	Argilla	17.79	41.26	6.04	0.02926	0.45	0.40	0.54	0.18	160.25



GEA S.n.c.  
di Borgioli e Matteini  
via di Ugnano 41 B  
Firenze  
GEOSUITE - DEMO

Comittente: Geosystem  
Località: S. Andrea - Empoli  
Indagine:  
N. prova: 1  
Data: 06/04/2007

Certificato: CP-104-071  
quota falda cm: 200  
quota pre-hole cm: 20  
Note:

z (m)	qc [MP]	fs [kPa]	U [kPa]	r [%]	Class.	ESLANI-FELLENIIUS	phi [°]	Cu [kPa]	c [kPa]	mv [cm²/kg]	polissor	Es [kg/cm²]	Eu [kg/cm²]	G [kg/cm²]	Vs [m/s]
1,95	0,87	45,6	-31,2	5,25	Argilla		17,74	41,29	6,04	0,02922	0,45	0,40	0,54	0,18	160,25
2,00	1,00	48,7	-26,2	4,85	Argilla		18,44	48,11	7,04	0,02518	0,45	0,42	0,58	0,19	175,44
2,05	1,18	69,8	-24,1	5,93	Argilla		19,19	56,81	8,32	0,02141	0,45	0,53	0,73	0,24	193,93
2,10	1,93	105,8	-23,1	5,48	Limo argilloso/Argilla limosa		21,61	94,38	13,82	0,01302	0,40	0,68	0,92	0,31	264,29
2,15	1,85	135,5	-22,1	7,31	Limo argilloso/Argilla limosa		21,34	90,51	13,25	0,01356	0,40	0,67	0,91	0,30	257,63
2,20	1,72	159,3	-22,1	9,27	Limo argilloso/Argilla limosa		20,88	83,71	12,26	0,01463	0,40	0,64	0,88	0,29	245,70
2,25	1,76	158,1	-22,1	9,00	Limo argilloso/Argilla limosa		20,93	85,62	12,53	0,01431	0,40	0,65	0,89	0,30	249,18
2,30	2,01	155,1	-21,1	7,73	Limo argilloso/Argilla limosa		21,55	98,14	14,37	0,01251	0,40	0,69	0,94	0,31	270,94
2,35	1,70	128,6	-21,1	7,57	Limo argilloso/Argilla limosa		20,63	82,65	12,10	0,01479	0,40	0,64	0,87	0,29	243,99
2,40	1,26	112,9	-21,1	9,00	Argilla		19,07	60,40	8,84	0,02006	0,45	0,55	0,75	0,25	201,78
2,45	1,37	18,4	-21,1	1,34	Limo argilloso/Argilla limosa		19,44	66,16	9,69	0,01836	0,40	0,59	0,80	0,27	213,29
2,50	1,62	90,5	-20,1	5,58	Limo argilloso/Argilla limosa		20,23	78,68	11,52	0,01550	0,40	0,63	0,86	0,29	237,00
2,55	1,33	102,7	-20,1	7,71	Argilla		19,20	64,14	9,39	0,01889	0,45	0,56	0,76	0,25	209,46
2,60	1,74	100,6	-20,1	5,79	Limo argilloso/Argilla limosa		20,45	84,35	12,35	0,01446	0,40	0,65	0,88	0,29	247,40
2,65	1,45	97,0	-20,1	6,70	Argilla		19,49	69,85	10,23	0,01737	0,45	0,58	0,79	0,26	220,72
2,70	1,43	96,0	-19,1	6,72	Argilla		19,38	68,83	10,08	0,01761	0,45	0,58	0,79	0,26	218,80
2,75	1,60	103,3	-19,1	6,45	Limo argilloso/Argilla limosa		19,89	77,48	11,34	0,01569	0,40	0,63	0,85	0,28	235,16
2,80	1,56	112,3	-18,1	7,18	Argilla		19,72	75,56	11,06	0,01606	0,45	0,60	0,82	0,27	231,65
2,85	1,60	113,3	-19,1	7,07	Limo argilloso/Argilla limosa		19,77	77,40	11,33	0,01569	0,40	0,63	0,85	0,28	235,16
2,90	1,47	106,0	-19,1	7,23	Argilla		19,28	70,60	10,34	0,01714	0,45	0,58	0,80	0,27	222,53
2,95	1,22	94,5	-19,1	7,77	Argilla		18,32	58,01	8,49	0,02070	0,45	0,54	0,74	0,25	197,83
3,00	1,04	71,1	-19,1	6,82	Argilla		17,53	49,27	7,21	0,02418	0,45	0,51	0,69	0,23	179,57
3,05	0,87	53,5	-19,1	6,16	Argilla		16,61	40,58	5,94	0,02904	0,45	0,47	0,64	0,21	160,25
3,10	0,70	34,5	-19,1	4,96	Argilla		15,49	31,83	4,66	0,04853	0,45	0,43	0,59	0,20	139,30
3,15	0,62	28,9	-19,1	4,67	Argilla		14,87	27,94	4,09	0,05466	0,45	0,41	0,56	0,19	129,42
3,20	0,64	28,9	-19,1	4,53	Argilla		14,97	28,85	4,22	0,05301	0,45	0,42	0,57	0,19	131,90
3,25	0,70	29,7	-18,1	4,27	Argilla		15,37	31,73	4,65	0,04850	0,45	0,43	0,59	0,20	139,30
3,30	0,70	29,5	-18,1	4,24	Argilla		15,32	31,69	4,64	0,04850	0,45	0,43	0,59	0,20	139,30
3,35	0,68	27,0	-16,1	3,99	Argilla		15,19	30,75	4,50	0,04982	0,45	0,43	0,58	0,19	136,90
3,40	0,60	26,8	-15,1	4,48	Argilla		14,57	26,83	3,93	0,05635	0,45	0,41	0,56	0,19	126,77
3,45	0,60	23,4	-14,1	3,92	Argilla		14,55	26,81	3,92	0,05631	0,45	0,41	0,56	0,19	126,77
3,50	0,64	40,1	-13,1	6,30	Argilla		14,83	28,74	4,21	0,05279	0,45	0,42	0,57	0,19	131,90
3,55	0,14	41,2	-9,1	30,51	Argilla		6,38	3,69	0,54	0,25421	0,45	0,25	0,33	0,11	49,86
3,60	0,81	38,1	-9,1	4,69	Argilla		15,98	37,44	5,48	0,03097	0,45	0,46	0,63	0,21	153,46





GEA S.n.c.  
di Borgioli e Matteini  
via di Ugnano 41 B  
Firenze  
GEOSUITE - DEMO

Committente: GETAS-PETROGEO  
Località: S. Andrea - Empoli  
Indagine:  
N. prova: 1  
Data: 06/04/2007

Certificato: CP-104-071  
quota falda cm: 200  
quota pre-hole cm: 20  
Note:

z (m)	qc [MP]	fs [kPa]	U [kPa]	r [%]	Class.	ESLONI-FELLENIIUS	phi [°]	Cu [kPa]	c [kPa]	mv [cm²/kg]	poisson	Es [kg/cm²]	Eu [kg/cm²]	G [kg/cm²]	Vs [m/s]
3,65	0,77	36,8	-7,0	4,77	Argilla		15,74	35,50	5,20	0,03251	0,45	0,45	0,45	0,61	148,79
3,70	0,97	46,0	-7,0	4,77	Argilla		16,75	45,10	6,60	0,02599	0,45	0,45	0,49	0,67	171,13
3,75	1,00	56,2	-6,0	5,60	Argilla		16,91	47,03	6,89	0,02496	0,45	0,50	0,50	0,68	175,44
3,80	0,98	57,9	-6,0	5,89	Argilla		16,77	45,99	6,73	0,02547	0,45	0,50	0,50	0,68	173,24
3,85	0,91	50,4	-6,0	5,56	Argilla		16,34	42,10	6,16	0,02764	0,45	0,48	0,48	0,65	164,61
3,90	0,87	46,0	-6,0	5,29	Argilla		16,10	40,16	5,88	0,02885	0,45	0,47	0,47	0,64	160,25
3,95	0,91	51,2	-6,0	5,65	Argilla		16,26	42,02	6,15	0,02764	0,45	0,48	0,48	0,65	164,61
4,00	0,85	51,0	-6,0	6,01	Argilla		15,90	39,08	5,72	0,02954	0,45	0,47	0,47	0,64	157,93
4,05	0,89	44,7	-6,0	5,04	Argilla		16,07	40,98	6,00	0,02824	0,45	0,48	0,48	0,65	162,44
4,10	0,87	42,2	-6,0	4,86	Argilla		15,93	39,99	5,85	0,02885	0,45	0,47	0,47	0,64	160,25
4,15	1,00	56,9	-6,0	5,66	Argilla		16,57	46,70	6,84	0,02496	0,45	0,50	0,50	0,68	175,44
4,20	1,22	69,8	-5,0	5,74	Argilla		17,45	57,28	8,39	0,02060	0,45	0,54	0,54	0,74	197,83
4,25	1,26	83,2	-5,0	6,63	Argilla		17,56	59,19	8,66	0,01995	0,45	0,55	0,55	0,75	201,78
4,30	1,26	91,6	-5,0	7,30	Argilla		17,52	59,14	8,66	0,01995	0,45	0,55	0,55	0,75	201,78
4,35	1,20	96,6	-5,0	8,07	Argilla		17,25	56,20	8,23	0,02092	0,45	0,54	0,54	0,73	195,89
4,40	1,20	91,8	-5,0	7,67	Argilla		17,21	56,16	8,22	0,02092	0,45	0,54	0,54	0,73	195,89
4,45	1,22	93,0	-5,0	7,65	Argilla		17,25	57,07	8,35	0,02060	0,45	0,54	0,54	0,74	197,83
4,50	1,16	102,0	-5,0	8,81	Argilla		16,98	54,12	7,92	0,02163	0,45	0,53	0,53	0,72	191,86
4,55	1,06	101,0	-5,0	9,51	Argilla		16,53	49,28	7,21	0,02359	0,45	0,51	0,51	0,70	181,73
4,60	1,02	93,9	-5,0	9,18	Argilla		16,31	47,29	6,92	0,02449	0,45	0,50	0,50	0,69	177,51
4,65	1,02	85,9	-4,0	8,40	Argilla		16,29	47,27	6,92	0,02448	0,45	0,50	0,50	0,69	177,51
4,70	1,08	80,1	-5,0	7,41	Argilla		16,50	50,10	7,34	0,02317	0,45	0,51	0,51	0,70	183,76
4,75	1,00	74,2	-5,0	7,39	Argilla		16,11	46,21	6,77	0,02495	0,45	0,50	0,50	0,68	175,44
4,80	0,95	69,6	-4,0	7,36	Argilla		15,80	43,29	6,34	0,02648	0,45	0,49	0,49	0,66	169,01
4,85	0,89	66,5	-5,0	7,49	Argilla		15,44	40,33	5,90	0,02822	0,45	0,48	0,48	0,65	162,44
4,90	0,89	67,7	-5,0	7,63	Argilla		15,41	40,29	5,90	0,02822	0,45	0,48	0,48	0,65	162,44
4,95	0,89	66,3	-5,0	7,46	Argilla		15,37	40,25	5,89	0,02822	0,45	0,48	0,48	0,65	162,44
5,00	0,98	69,6	-5,0	7,08	Argilla		15,82	45,00	6,59	0,02546	0,45	0,50	0,50	0,68	173,24
5,05	0,97	68,8	-4,0	7,13	Argilla		15,71	44,03	6,45	0,02595	0,45	0,49	0,49	0,67	171,13
5,10	0,95	66,3	-4,0	7,01	Argilla		15,56	43,02	6,30	0,02649	0,45	0,49	0,49	0,66	169,01
5,15	1,00	69,6	-4,0	6,93	Argilla		15,83	45,90	6,72	0,02494	0,45	0,50	0,50	0,68	175,44
5,20	1,06	80,5	-5,0	7,58	Argilla		16,05	48,74	7,13	0,02359	0,45	0,51	0,51	0,70	181,73
5,25	1,00	87,8	-4,0	8,75	Argilla		15,76	45,82	6,71	0,02494	0,45	0,50	0,50	0,68	175,44
5,30	1,10	87,0	-4,0	7,91	Argilla		16,16	50,57	7,40	0,02276	0,45	0,52	0,52	0,71	185,78



GEA S.n.c.  
di Borgioli e Matteini  
via di Ugnano 41 B  
Firenze  
GEOSUITE - DEMO

Committente: GETAS-PETROGEO  
Località: S. Andrea - Empoli  
Indagine:  
N. prova: 1  
Data: 06/04/2007

Certificato: CP-104-071  
quota falda cm: 200  
quota pre-hole cm: 20  
Note:

z (m)	qc [MP]	fs [kPa]	U [kPa]	r [%]	Class.	ESLONI-FELLENIIUS	phi [°]	Cu [kPa]	c [kPa]	mv [cm²/kg]	poissor	Es [kg/cm²]	Eu [kg/cm²]	G [kg/cm²]	Vs [m/s]
5,35	1,10	84,9	-5,0	7,72	Argilla		16,11	50,51	7,39	0,02277	0,45	0,52	0,71	0,24	185,78
5,40	1,12	88,2	-4,0	7,88	Argilla		16,17	51,49	7,54	0,02236	0,45	0,52	0,71	0,24	187,89
5,45	1,16	22,6	-4,0	1,95	Limo argilloso/Argilla limosa		16,30	53,34	7,81	0,02162	0,40	0,55	0,75	0,25	191,86
5,50	1,14	94,9	-4,0	8,33	Argilla		16,18	52,35	7,66	0,02198	0,45	0,53	0,72	0,24	189,88
5,55	1,00	93,3	-4,0	9,29	Argilla		15,54	45,56	6,67	0,02494	0,45	0,50	0,68	0,23	175,44
5,60	1,04	88,2	-4,0	8,47	Argilla		15,68	47,42	6,94	0,02403	0,45	0,51	0,69	0,23	179,57
5,65	1,08	87,8	-4,0	8,12	Argilla		15,83	49,33	7,22	0,02316	0,45	0,51	0,70	0,23	183,76
5,70	1,14	90,7	-4,0	7,97	Argilla		16,05	52,18	7,64	0,02198	0,45	0,53	0,72	0,24	189,88
5,75	1,22	96,2	-4,0	7,91	Argilla		16,33	55,99	8,20	0,02059	0,45	0,54	0,74	0,25	197,83
5,80	1,16	99,3	-4,0	8,58	Argilla		16,06	53,05	7,77	0,02162	0,45	0,53	0,72	0,24	191,86
5,85	1,18	98,3	-4,0	8,34	Argilla		16,11	54,00	7,91	0,02125	0,45	0,53	0,73	0,24	193,93
5,90	1,26	96,8	-4,0	7,71	Argilla		16,38	57,81	8,46	0,01995	0,45	0,55	0,75	0,25	201,78
5,95	1,24	100,8	-4,0	8,16	Argilla		16,27	56,77	8,31	0,02027	0,45	0,54	0,74	0,25	199,76
6,00	1,31	101,8	-4,0	7,75	Argilla		16,53	60,63	8,88	0,01907	0,45	0,56	0,76	0,25	207,58
6,05	1,24	107,5	-4,0	8,70	Argilla		16,20	56,68	8,30	0,02027	0,45	0,54	0,74	0,25	199,76
6,10	1,16	108,9	-4,0	9,41	Argilla		15,86	52,79	7,73	0,02162	0,45	0,53	0,72	0,24	191,86
6,15	1,12	101,8	-4,0	9,09	Argilla		15,66	50,85	7,44	0,02236	0,45	0,52	0,71	0,24	187,89
6,20	1,14	92,0	-4,0	8,08	Argilla		15,71	51,76	7,58	0,02198	0,45	0,53	0,72	0,24	189,88
6,25	1,22	97,2	-4,0	8,00	Argilla		16,00	55,56	8,13	0,02059	0,45	0,54	0,74	0,25	197,83
6,30	1,41	100,6	-4,0	7,14	Argilla		16,68	65,17	9,54	0,01776	0,45	0,57	0,78	0,26	216,97
6,35	1,56	109,3	-3,0	6,99	Argilla		17,16	72,90	10,67	0,01600	0,45	0,60	0,82	0,27	231,65
6,40	1,70	120,8	-3,0	7,11	Limo argilloso/Argilla limosa		17,53	79,60	11,65	0,01473	0,40	0,64	0,87	0,29	243,99
6,45	1,72	126,1	-4,0	7,34	Limo argilloso/Argilla limosa		17,54	80,48	11,78	0,01457	0,40	0,64	0,88	0,29	245,70
6,50	1,54	119,2	-3,0	7,72	Argilla		17,00	71,76	10,51	0,01621	0,45	0,60	0,81	0,27	229,78
6,55	1,54	110,0	-3,0	7,12	Argilla		16,97	71,72	10,50	0,01621	0,45	0,60	0,81	0,27	229,78
6,60	1,41	102,9	-3,0	7,30	Argilla		16,49	64,92	9,50	0,01776	0,45	0,57	0,78	0,26	216,97
6,65	1,39	104,5	-3,0	7,52	Argilla		16,39	63,93	9,36	0,01800	0,45	0,57	0,78	0,26	215,13
6,70	1,37	106,4	-3,0	7,76	Argilla		16,30	62,94	9,21	0,01825	0,45	0,57	0,77	0,26	213,29
6,75	1,39	103,3	-3,0	7,43	Argilla		16,33	63,84	9,35	0,01800	0,45	0,57	0,78	0,26	215,13
6,80	1,31	97,0	-3,0	7,39	Argilla		16,02	59,95	8,78	0,01906	0,45	0,56	0,76	0,25	207,58
6,85	1,16	88,7	-3,0	7,66	Argilla		15,38	52,16	7,64	0,02161	0,45	0,53	0,72	0,24	191,86
6,90	1,16	86,6	-3,0	7,47	Argilla		15,35	52,12	7,63	0,02161	0,45	0,53	0,72	0,24	191,86
6,95	1,24	88,7	-3,0	7,18	Argilla		15,64	55,92	8,19	0,02026	0,45	0,54	0,74	0,25	199,76
7,00	1,29	91,4	-3,0	7,07	Argilla		15,83	58,78	8,61	0,01935	0,45	0,55	0,75	0,25	205,59





GEA S.n.c.  
di Borgioli e Matteini  
via di Ugnano 41 B  
Firenze  
GEOSUITE - DEMO

Committente: GETAS-PETROGEO  
Località: S. Andrea - Empoli  
Indagine:  
N. prova: 1  
Data: 06/04/2007

Certificato: CP-104-071  
quota falda cm: 200  
quota pre-hole cm: 20  
Note:

z (m)	qc [MP]	fs [kPa]	U [kPa]	r [%]	Class.	ESLAF-FELLENIIUS	phi [°]	Cu [kPa]	c [kPa]	mv [cm²/kg]	poissor	Es [kg/cm²]	Eu [kg/cm²]	G [kg/cm²]	Vs [m/s]
7.05	1.39	99.7	-3.0	7.18	Argilla		16.15	63.59	9.31	0.01800	0.45	0.57	0.57	0.78	215.13
7.10	1.49	107.1	-3.0	7.20	Argilla		16.45	68.34	10.01	0.01684	0.45	0.59	0.59	0.80	224.33
7.15	1.51	115.2	-2.0	7.65	Argilla		16.49	69.32	10.15	0.01661	0.45	0.59	0.59	0.80	226.22
7.20	1.49	114.0	-2.0	7.67	Argilla		16.40	68.28	10.00	0.01683	0.45	0.59	0.59	0.80	224.33
7.25	1.53	105.4	-2.0	6.91	Argilla		16.50	70.18	10.27	0.01640	0.45	0.59	0.59	0.81	228.01
7.30	1.35	91.8	-2.0	6.79	Argilla		15.88	61.44	8.99	0.01852	0.45	0.56	0.56	0.77	211.33
7.35	1.45	99.1	-1.0	6.15	Argilla		16.20	66.27	9.70	0.01727	0.45	0.58	0.58	0.79	220.72
7.40	1.33	86.4	0.0	6.48	Argilla		15.77	60.45	8.85	0.01877	0.45	0.56	0.56	0.76	209.46
7.45	1.37	73.2	-1.0	5.34	Argilla		15.87	62.33	9.13	0.01824	0.45	0.57	0.57	0.77	213.29
7.50	1.47	79.5	0.0	5.42	Argilla		16.18	67.11	9.82	0.01704	0.45	0.58	0.58	0.80	222.53
7.55	0.33	84.3	0.0	25.69	Argilla		8.00	10.12	1.48	0.10163	0.45	0.33	0.33	0.45	86.99
7.60	1.27	85.9	0.0	6.75	Argilla		15.44	57.38	8.40	0.01962	0.45	0.55	0.55	0.75	203.69
7.65	1.24	82.4	0.0	6.67	Argilla		15.26	55.38	8.11	0.02024	0.45	0.54	0.54	0.74	199.76
7.70	1.12	75.7	0.0	6.76	Argilla		14.75	49.59	7.26	0.02232	0.45	0.52	0.52	0.71	187.89
7.75	1.10	78.2	0.0	7.11	Argilla		14.63	48.55	7.11	0.02273	0.45	0.52	0.52	0.71	185.78
7.80	1.12	79.7	0.0	7.11	Argilla		14.70	49.51	7.25	0.02232	0.45	0.52	0.52	0.71	187.89
7.85	1.08	79.5	0.0	7.35	Argilla		14.49	47.52	6.96	0.02313	0.45	0.51	0.51	0.70	183.76
7.90	1.14	71.9	0.0	6.31	Argilla		14.72	50.37	7.37	0.02195	0.45	0.53	0.53	0.72	189.88
7.95	1.16	78.6	0.0	6.79	Argilla		14.78	51.28	7.51	0.02159	0.45	0.53	0.53	0.72	191.86
8.00	1.27	86.1	0.0	6.76	Argilla		15.23	57.04	8.35	0.01962	0.45	0.55	0.55	0.75	203.69
8.05	1.29	93.9	0.0	7.26	Argilla		15.27	57.94	8.48	0.01933	0.45	0.55	0.55	0.75	205.59
8.10	1.27	99.3	0.0	7.80	Argilla		15.17	56.95	8.34	0.01962	0.45	0.55	0.55	0.75	203.69
8.15	1.26	94.9	1.0	7.56	Argilla		15.08	55.98	8.20	0.01991	0.45	0.55	0.55	0.75	201.78
8.20	1.35	99.7	1.0	7.38	Argilla		15.42	60.74	8.89	0.01850	0.45	0.56	0.56	0.77	211.33
8.25	1.20	95.1	1.0	7.95	Argilla		14.79	52.99	7.76	0.02088	0.45	0.54	0.54	0.73	195.89
8.30	1.29	89.3	1.0	6.90	Argilla		15.15	57.75	8.45	0.01933	0.45	0.55	0.55	0.75	205.59
8.35	1.27	81.3	1.0	6.38	Argilla		15.05	56.76	8.31	0.01962	0.45	0.55	0.55	0.75	203.69
8.40	1.10	72.1	1.0	6.56	Argilla		14.29	48.02	7.03	0.02272	0.45	0.52	0.52	0.71	185.78
8.45	1.02	4.2	1.0	0.41	Sabbia limosa		29.00	0.00	0.00	0.03257	0.25	0.38	0.38	0.00	139.31
8.50	1.00	50.8	1.0	5.06	Argilla		13.78	43.14	6.32	0.02489	0.45	0.50	0.50	0.68	175.44
8.55	0.27	58.1	0.0	21.53	Argilla		5.77	6.38	0.93	0.12346	0.45	0.31	0.31	0.42	77.00
8.60	1.16	62.7	1.0	5.42	Argilla		14.45	50.76	7.43	0.02158	0.45	0.53	0.53	0.72	191.86
8.65	1.18	63.8	1.0	5.41	Argilla		14.51	51.71	7.57	0.02121	0.45	0.53	0.53	0.73	193.93
8.70	1.22	62.3	1.0	5.12	Argilla		14.85	53.57	7.84	0.02055	0.45	0.54	0.54	0.74	197.83



GEA S.p.A.  
di Borgoli e Matteini  
via di Ugnano 41 B  
Firenze  
GEOSUITE - DEMO

Committente: GETAS-PETROGEO  
Località: S. Andrea - Empoli  
Indagine:  
N. prova: 1  
Data: 06/04/2007

Certificato: CP-104-071  
quota falda cm: 200  
quota pre-hole cm: 20  
Note:

z (m)	qc [MP]	fs [kPa]	U [kPa]	Class.	ESLONI-FELLENIIUS	phi [°]	Cu [kPa]	c [kPa]	mv [cm²/kg]	polissor	Es [kg/cm²]	Eu [kg/cm²]	G [kg/cm²]	Vs [m/s]
8,75	1,10	57,7	1,0	5,25	Argilla	14,12	47,73	6,99	0,02272	0,45	0,52	0,71	0,24	185,78
8,80	1,02	50,8	2,0	4,97	Argilla	13,73	43,86	6,42	0,02442	0,45	0,50	0,69	0,23	177,51
8,85	1,02	51,9	2,0	5,07	Argilla	13,71	43,82	6,41	0,02442	0,45	0,50	0,69	0,23	177,51
8,90	1,02	55,0	2,0	5,38	Argilla	13,68	43,77	6,41	0,02442	0,45	0,50	0,69	0,23	177,51
8,95	1,02	54,6	2,0	5,33	Argilla	13,66	43,73	6,40	0,02442	0,45	0,50	0,69	0,23	177,51
9,00	0,93	51,0	2,0	5,50	Argilla	13,12	38,89	5,69	0,02694	0,45	0,48	0,66	0,22	166,88
9,05	0,93	46,4	2,0	5,01	Argilla	13,10	38,85	5,69	0,02694	0,45	0,48	0,66	0,22	166,88
9,10	0,98	49,6	2,0	5,04	Argilla	13,38	41,66	6,10	0,02538	0,45	0,50	0,68	0,23	173,24
9,15	0,98	48,9	2,0	4,97	Argilla	13,36	41,61	6,09	0,02538	0,45	0,50	0,68	0,23	173,24
9,20	0,97	48,9	2,0	5,07	Argilla	13,23	40,62	5,95	0,02588	0,45	0,49	0,67	0,22	171,13
9,25	0,98	50,2	2,0	5,10	Argilla	13,31	41,53	6,08	0,02538	0,45	0,50	0,68	0,23	173,24
9,30	0,97	51,2	2,0	5,31	Argilla	13,18	40,54	5,93	0,02588	0,45	0,49	0,67	0,22	171,13
9,35	1,06	59,0	2,0	5,55	Argilla	13,65	45,35	6,64	0,02352	0,45	0,51	0,70	0,23	181,73
9,40	1,08	57,7	2,0	5,34	Argilla	13,72	46,25	6,77	0,02311	0,45	0,51	0,70	0,23	183,76
9,45	0,98	49,1	2,0	4,99	Argilla	13,21	41,36	6,06	0,02538	0,45	0,50	0,68	0,23	173,24
9,50	0,97	51,0	2,0	5,29	Argilla	13,08	40,37	5,91	0,02588	0,45	0,49	0,67	0,22	171,13
9,55	0,95	51,9	2,0	5,48	Argilla	12,95	39,38	5,76	0,02640	0,45	0,49	0,66	0,22	169,01
9,60	0,93	50,6	2,0	5,46	Argilla	12,82	38,39	5,62	0,02694	0,45	0,48	0,66	0,22	166,88
9,65	0,91	51,0	3,0	5,62	Argilla	12,69	37,37	5,47	0,02752	0,45	0,48	0,65	0,22	164,61
9,70	0,89	47,5	3,0	5,34	Argilla	12,55	36,37	5,33	0,02811	0,45	0,48	0,65	0,22	162,44
9,75	0,87	37,0	3,0	4,26	Argilla	12,41	35,38	5,18	0,02873	0,45	0,47	0,64	0,21	160,25
9,80	0,71	30,7	3,0	4,30	Argilla	11,31	27,59	4,04	0,03495	0,45	0,44	0,60	0,20	141,68
9,85	0,68	25,9	3,0	3,84	Argilla	10,97	25,65	3,76	0,04922	0,45	0,43	0,58	0,19	136,90
9,90	0,66	25,7	3,0	3,92	Argilla	10,77	24,61	3,60	0,05071	0,45	0,42	0,58	0,19	134,35
9,95	0,73	25,9	5,0	3,53	Argilla	11,42	28,51	4,17	0,03396	0,45	0,44	0,60	0,20	144,15
10,00	0,83	34,1	7,0	4,11	Argilla	12,10	33,31	4,88	0,03001	0,45	0,46	0,63	0,21	155,70
10,05	0,93	39,9	9,1	4,31	Argilla	12,70	38,17	5,59	0,02686	0,45	0,48	0,66	0,22	166,88
10,10	1,06	49,6	11,1	4,67	Argilla	13,41	44,92	6,58	0,02344	0,45	0,51	0,70	0,23	181,73
10,15	0,97	55,2	11,1	5,72	Argilla	12,89	40,02	5,86	0,02578	0,45	0,49	0,67	0,22	171,13
10,20	0,97	53,9	11,1	5,59	Argilla	12,87	39,98	5,85	0,02578	0,45	0,49	0,67	0,22	171,13
10,25	0,97	51,0	11,1	5,29	Argilla	12,84	39,94	5,85	0,02578	0,45	0,49	0,67	0,22	171,13
10,30	0,93	48,7	11,1	5,26	Argilla	12,61	38,00	5,56	0,02683	0,45	0,48	0,66	0,22	166,88
10,35	0,95	49,1	11,1	5,19	Argilla	12,69	38,91	5,70	0,02630	0,45	0,49	0,66	0,22	169,01
10,40	0,95	48,3	11,1	5,11	Argilla	12,67	38,87	5,69	0,02630	0,45	0,49	0,66	0,22	169,01





GEA S.n.c.  
di Borgioli e Matteini  
via di Ugnano 41 B  
Firenze  
GEOSUITE - DEMO

Committente: GETAS-PETROGEO  
Località: S. Andrea - Empoli  
Indagine:  
N. prova: 1  
Data: 06/04/2007

Certificato: CP-104-071  
quota falda cm: 200  
quota pre-hole cm: 20  
Note:

z (m)	qc [MP]	fs [kPa]	U [kPa]	r [%]	Class.	ESLONI-FELLENIIUS	phi [°]	Cu [kPa]	c [kPa]	mv [cm²/kg]	poissor	Es [kg/cm²]	Eu [kg/cm²]	G [kg/cm²]	Vs [m/s]
12,15	0,58	14,4	82,5	2,49	Argilla		10,32	20,61	3,02	0,05426	0,45	0,40	0,55	0,18	124,23
12,20	0,54	14,2	81,5	2,63	Argilla		9,88	18,65	2,73	0,05788	0,45	0,39	0,54	0,18	119,06
12,25	0,54	15,5	82,5	2,86	Argilla		9,88	18,63	2,73	0,05784	0,45	0,39	0,54	0,18	119,06
12,30	0,60	17,6	82,5	2,94	Argilla		10,42	21,44	3,14	0,05263	0,45	0,41	0,56	0,19	126,77
12,35	0,66	15,1	82,5	2,29	Argilla		10,89	24,30	3,56	0,04822	0,45	0,42	0,58	0,19	134,35
12,40	0,62	14,4	82,5	2,33	Argilla		10,54	22,36	3,27	0,05102	0,45	0,41	0,56	0,19	129,42
12,45	0,62	13,0	83,5	2,10	Argilla/Limo argilloso/Sensitivi		9,47	22,34	3,27	0,10198	0,50	0,40	0,54	0,18	129,42
12,50	0,60	16,9	83,5	2,83	Argilla		10,33	21,30	3,12	0,05260	0,45	0,41	0,56	0,19	126,77
12,55	0,62	17,4	191,2	2,81	Argilla		12,71	24,57	3,60	0,04763	0,45	0,41	0,56	0,19	129,42
12,60	0,60	15,1	212,3	2,52	Argilla		13,07	23,98	3,51	0,04839	0,45	0,41	0,56	0,19	126,77
12,65	0,58	11,3	232,4	1,95	Argilla/Limo argilloso/Sensitivi		12,40	23,42	3,43	0,09826	0,50	0,39	0,53	0,18	124,23
12,70	0,54	12,3	243,5	2,28	Argilla/Limo argilloso/Sensitivi		12,64	21,72	3,18	0,10332	0,50	0,38	0,52	0,17	119,06
12,75	0,58	15,9	246,5	2,74	Argilla		13,78	23,64	3,46	0,04870	0,45	0,40	0,55	0,18	124,23
12,80	0,60	16,3	247,5	2,73	Argilla		13,85	24,57	3,60	0,04735	0,45	0,41	0,56	0,19	126,77
12,85	0,58	16,7	247,5	2,89	Argilla		13,74	23,58	3,45	0,04867	0,45	0,40	0,55	0,18	124,23
12,90	0,54	21,1	248,5	3,90	Argilla		13,58	21,66	3,17	0,05149	0,45	0,39	0,54	0,18	119,06
12,95	0,64	28,4	260,6	4,46	Argilla		14,24	26,68	3,91	0,04453	0,45	0,42	0,57	0,19	131,90
13,00	0,83	39,5	272,7	4,76	Argilla		15,07	36,55	5,35	0,02641	0,45	0,46	0,63	0,21	155,70
13,05	0,97	45,8	278,7	4,74	Argilla		15,51	43,39	6,35	0,02306	0,45	0,49	0,67	0,22	171,13
13,10	0,97	50,0	280,7	5,18	Argilla		15,52	43,39	6,35	0,02304	0,45	0,49	0,67	0,22	171,13
13,15	1,16	57,7	281,7	4,98	Argilla		15,98	53,02	7,76	0,01955	0,45	0,53	0,72	0,24	191,86
13,20	1,14	57,3	280,7	5,03	Argilla		15,89	52,00	7,61	0,01985	0,45	0,53	0,72	0,24	189,88
13,25	1,02	60,0	279,7	5,87	Argilla		15,57	46,14	6,75	0,02188	0,45	0,50	0,69	0,23	177,51
13,30	1,04	62,3	277,7	5,98	Argilla		15,57	47,00	6,88	0,02154	0,45	0,51	0,69	0,23	179,57
13,35	1,04	63,8	280,7	6,12	Argilla		15,59	47,03	6,88	0,02151	0,45	0,51	0,69	0,23	179,57
13,40	1,06	55,8	279,7	5,26	Argilla		15,60	47,96	7,02	0,02116	0,45	0,51	0,70	0,23	181,73
13,45	1,10	38,7	276,7	3,52	Argilla		15,62	49,76	7,28	0,02052	0,45	0,52	0,71	0,24	185,78
13,50	1,04	38,7	277,7	3,71	Argilla		15,47	46,83	6,86	0,02154	0,45	0,51	0,69	0,23	179,57
13,55	1,08	42,4	259,6	3,93	Argilla		15,28	48,35	7,08	0,02097	0,45	0,51	0,70	0,23	183,76
13,60	1,24	51,9	261,6	4,20	Argilla		15,88	56,06	8,21	0,01856	0,45	0,54	0,74	0,25	199,76
13,65	1,26	64,2	260,6	5,11	Argilla		15,70	56,99	8,34	0,01829	0,45	0,55	0,75	0,25	201,78
13,70	1,31	72,1	260,6	5,49	Argilla		15,82	59,85	8,76	0,01755	0,45	0,56	0,76	0,25	207,58
13,75	1,26	72,1	258,6	5,75	Argilla		15,63	56,86	8,32	0,01831	0,45	0,55	0,75	0,25	201,78
13,80	1,29	63,4	258,6	4,90	Argilla		15,70	58,72	8,60	0,01781	0,45	0,55	0,75	0,25	205,59



GEA S.n.c.  
di Borgioli e Matteini  
via di Ugnano 41 B  
Firenze  
GEOSUITE - DEMO

Committente: GETAS-PETROGEO  
Località: S. Andrea - Empoli  
Indagine:  
N. prova: 1  
Data: 06/04/2007

Certificato: CP-104-071  
quota falda cm: 200  
quota pre-hole cm: 20  
Note:

z (m)	qc [MP]	fs [kPa]	U [kPa]	U [kPa]	rf [%]	Class.	ESLANI-FELLENIUS	phi [°]	Cu [kPa]	c [kPa]	mv [cm²/kg]	poissor	Es [kg/cm²]	Eu [kg/cm²]	G [kg/cm²]	Vs [m/s]
13.85	1.27	61.5	259.6	4.82	Argilla	4.82	Argilla	15.64	57.75	8.45	0.01805	0.45	0.55	0.75	0.25	203.69
13.90	1.37	71.7	258.6	5.23	Argilla	5.23	Argilla	15.84	62.53	9.15	0.01687	0.45	0.57	0.77	0.26	213.29
13.95	1.33	68.8	256.6	5.16	Argilla	5.16	Argilla	15.70	60.50	8.86	0.01734	0.45	0.56	0.76	0.25	209.46
14.00	1.35	61.9	256.6	4.58	Argilla	4.58	Argilla	15.73	61.40	8.99	0.01711	0.45	0.56	0.77	0.26	211.33
14.05	1.37	64.8	257.6	4.73	Argilla	4.73	Argilla	15.77	62.38	9.13	0.01688	0.45	0.57	0.77	0.26	213.29
14.10	1.47	73.0	257.6	4.97	Argilla	4.97	Argilla	15.97	67.14	9.83	0.01585	0.45	0.58	0.80	0.27	222.53
14.15	1.43	84.9	258.6	5.94	Argilla	5.94	Argilla	15.87	65.17	9.54	0.01625	0.45	0.58	0.79	0.26	218.80
14.20	1.56	87.6	258.6	5.60	Argilla	5.60	Argilla	16.15	71.92	10.53	0.01493	0.45	0.60	0.82	0.27	231.65
14.25	1.66	92.8	259.6	5.59	Argilla	5.59	Argilla	16.34	76.70	11.23	0.01412	0.45	0.61	0.84	0.28	240.46
14.30	1.78	97.4	260.6	5.49	Argilla	5.49	Argilla	16.56	82.48	12.07	0.01324	0.45	0.63	0.86	0.29	250.86
14.35	1.87	98.1	260.6	5.24	Limo argilloso/Argilla limosa	5.24	Limo argilloso/Argilla limosa	16.72	87.23	12.77	0.01260	0.40	0.67	0.91	0.30	259.28
14.40	1.72	97.4	260.6	5.67	Argilla	5.67	Argilla	16.40	79.49	11.64	0.01366	0.45	0.62	0.85	0.28	245.70
14.45	1.60	91.8	260.6	5.73	Argilla	5.73	Argilla	16.14	73.64	10.78	0.01459	0.45	0.61	0.83	0.28	235.16
14.50	1.37	91.6	259.6	6.68	Argilla	6.68	Argilla	15.59	62.03	9.08	0.01687	0.45	0.57	0.77	0.26	213.29
14.55	1.31	83.2	252.6	6.34	Argilla	6.34	Argilla	15.34	58.93	8.63	0.01759	0.45	0.56	0.76	0.25	207.58
14.60	1.24	72.8	251.5	5.89	Argilla	5.89	Argilla	15.10	54.97	8.05	0.01862	0.45	0.54	0.74	0.25	199.76
14.65	1.02	60.2	250.5	5.89	Argilla	5.89	Argilla	14.44	44.30	6.49	0.02212	0.45	0.50	0.69	0.23	177.51
14.70	0.89	40.4	249.5	4.54	Argilla	4.54	Argilla	13.93	37.49	5.49	0.02513	0.45	0.48	0.65	0.22	162.44
14.75	0.87	31.4	249.5	3.61	Argilla	3.61	Argilla	13.84	36.50	5.34	0.02562	0.45	0.47	0.64	0.21	160.25
14.80	0.95	29.7	249.5	3.14	Argilla	3.14	Argilla	14.09	40.31	5.90	0.02375	0.45	0.49	0.66	0.22	169.01
14.85	0.98	33.2	249.5	3.38	Argilla	3.38	Argilla	14.20	42.17	6.17	0.02292	0.45	0.50	0.68	0.23	173.24
14.90	1.06	39.5	249.5	3.72	Argilla	3.72	Argilla	14.44	46.02	6.74	0.02139	0.45	0.51	0.70	0.23	181.73
14.95	1.41	80.3	250.5	5.70	Argilla	5.70	Argilla	15.40	63.35	9.27	0.01649	0.45	0.57	0.78	0.26	216.97
15.00	2.03	144.9	254.6	7.15	Limo argilloso/Argilla limosa	7.15	Limo argilloso/Argilla limosa	16.72	94.29	13.80	0.01170	0.40	0.69	0.94	0.31	272.54
15.05	2.70	196.5	256.6	7.27	Limo argilloso/Argilla limosa	7.27	Limo argilloso/Argilla limosa	17.79	128.09	18.75	0.00889	0.40	0.78	1.06	0.35	326.44
15.10	3.01	223.9	255.6	7.44	Limo argilloso/Argilla limosa	7.44	Limo argilloso/Argilla limosa	18.18	143.42	21.00	0.00801	0.40	0.82	1.11	0.37	349.29
15.15	2.63	215.6	253.6	8.21	Limo argilloso/Argilla limosa	8.21	Limo argilloso/Argilla limosa	17.61	124.03	18.16	0.00915	0.40	0.77	1.05	0.35	320.50
15.20	2.45	217.7	255.6	8.88	Limo argilloso/Argilla limosa	8.88	Limo argilloso/Argilla limosa	17.35	115.37	16.89	0.00976	0.40	0.75	1.02	0.34	307.09
15.25	2.32	212.0	252.6	9.15	Limo argilloso/Argilla limosa	9.15	Limo argilloso/Argilla limosa	17.09	108.46	15.88	0.01031	0.40	0.73	1.00	0.33	296.30
15.30	2.37	198.6	248.5	8.37	Limo argilloso/Argilla limosa	8.37	Limo argilloso/Argilla limosa	17.13	111.23	16.28	0.01008	0.40	0.74	1.01	0.34	300.93
15.35	2.34	194.0	247.5	8.31	Limo argilloso/Argilla limosa	8.31	Limo argilloso/Argilla limosa	17.04	109.26	16.00	0.01024	0.40	0.73	1.00	0.33	297.90
15.40	2.37	0.0	248.5	0.00	N.C.	0.00	N.C.	0.00	0.00	0.00	0.00001	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15.45	2.49	0.0	245.5	0.00	N.C.	0.00	N.C.	0.00	0.00	0.00	0.00001	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15.47	2.43	0.0	246.5	0.00	N.C.	0.00	N.C.	0.00	0.00	0.00	0.00001	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00





GEA S.n.c.  
di Borgioli e Matteini  
via di Ugnano 41 B  
Firenze  
GEOSUITE - DEMO

Committente: GETAS-PETROGEO  
Località: S. Andrea - Empoli  
Indagine:  
N. prova: 1  
Data: 06/04/2007

Certificato: CP-104-071  
quota falda cm: 200  
quota pre-hole cm: 20  
Note:

z (m)	qc [MP]	fs [kPa]	U [kPa]	r [%]	Class.	ESLAMI-FELLENIIUS	phi [°]	Cu [kPa]	c [kPa]	mv [cm²/2kg]	poisson	Es [kg/cm²]	Eu [kg/cm²]	G [kg/cm²]	Vs [m/s]
10,45	0,95	38,9	11,1	4,11	Argilla		12,64	38,82	5,68	0,02630	0,45	0,49	0,66	0,22	169,01
10,50	0,95	41,8	11,1	4,42	Argilla		12,62	38,78	5,68	0,02630	0,45	0,49	0,66	0,22	169,01
10,55	0,98	44,7	11,1	4,55	Argilla		12,80	40,64	5,95	0,02528	0,45	0,50	0,68	0,23	173,24
10,60	1,04	47,9	11,1	4,60	Argilla		13,08	43,50	6,37	0,02388	0,45	0,51	0,69	0,23	179,57
10,65	0,98	50,4	11,1	5,12	Argilla		12,76	40,56	5,94	0,02528	0,45	0,50	0,68	0,23	173,24
10,70	0,95	51,4	12,1	5,44	Argilla		12,54	38,64	5,66	0,02628	0,45	0,49	0,66	0,22	169,01
10,75	0,89	47,9	12,1	5,39	Argilla		12,17	35,69	5,23	0,02799	0,45	0,48	0,65	0,22	162,44
10,80	0,87	42,7	12,1	4,91	Argilla		12,03	34,70	5,08	0,02860	0,45	0,47	0,64	0,21	160,25
10,85	0,85	41,6	12,1	4,90	Argilla		11,88	33,66	4,93	0,02927	0,45	0,47	0,64	0,21	157,93
10,90	0,95	45,0	12,1	4,75	Argilla		12,45	38,47	5,63	0,02628	0,45	0,49	0,66	0,22	169,01
10,95	0,93	45,8	12,1	4,94	Argilla		12,31	37,48	5,49	0,02682	0,45	0,48	0,66	0,22	166,88
11,00	0,81	38,1	12,1	4,69	Argilla		11,56	31,64	4,63	0,03063	0,45	0,46	0,63	0,21	153,46
11,05	0,81	27,8	12,1	3,43	Argilla		11,54	31,59	4,63	0,03063	0,45	0,46	0,63	0,21	153,46
11,10	0,83	29,9	12,1	3,60	Argilla		11,64	32,50	4,76	0,02993	0,45	0,46	0,63	0,21	155,70
11,15	0,73	30,3	13,1	4,13	Argilla		10,94	27,68	4,05	0,03380	0,45	0,44	0,60	0,20	144,15
11,20	0,75	28,2	14,1	3,75	Argilla		11,08	28,61	4,19	0,03294	0,45	0,45	0,61	0,20	146,48
11,25	0,71	23,4	15,1	3,28	Argilla		10,76	26,64	3,90	0,03470	0,45	0,44	0,60	0,20	141,68
11,30	0,58	22,2	16,1	3,83	Argilla		9,51	19,88	2,91	0,05689	0,45	0,40	0,55	0,18	124,23
11,35	0,58	24,5	17,1	4,23	Argilla		9,50	19,86	2,91	0,05685	0,45	0,40	0,55	0,18	124,23
11,40	0,71	32,0	17,1	4,48	Argilla		10,72	26,57	3,89	0,03466	0,45	0,44	0,60	0,20	141,68
11,45	0,83	14,6	17,1	1,76	Argilla		11,55	32,32	4,73	0,02986	0,45	0,46	0,63	0,21	155,70
11,50	0,71	16,1	18,1	2,25	Argilla		10,69	26,51	3,88	0,03464	0,45	0,44	0,60	0,20	141,68
11,55	0,77	14,6	52,3	1,90	Argilla		11,64	30,10	4,41	0,03147	0,45	0,45	0,61	0,20	148,79
11,60	0,64	14,2	53,3	2,23	Argilla		10,58	23,33	3,42	0,05052	0,45	0,42	0,57	0,19	131,90
11,65	0,64	15,5	55,3	2,43	Argilla		10,59	23,33	3,42	0,05045	0,45	0,42	0,57	0,19	131,90
11,70	0,70	12,3	62,4	1,77	Argilla/Limo argilloso/Sensitivi		9,84	26,34	3,86	0,09237	0,50	0,42	0,57	0,19	139,30
11,75	0,71	12,3	65,4	1,73	Argilla/Limo argilloso/Sensitivi		9,97	27,32	4,00	0,08985	0,50	0,42	0,58	0,19	141,68
11,80	0,58	11,7	79,5	2,02	Argilla/Limo argilloso/Sensitivi		9,40	20,83	3,05	0,10875	0,50	0,39	0,53	0,18	124,23
11,85	0,56	10,9	81,5	1,94	Argilla/Limo argilloso/Sensitivi		9,29	19,88	2,91	0,11207	0,50	0,38	0,52	0,17	121,66
11,90	0,52	13,0	81,5	2,49	Argilla/Limo argilloso/Sensitivi		8,97	17,89	2,62	0,11993	0,50	0,37	0,51	0,17	116,28
11,95	0,54	14,6	81,5	2,71	Argilla		10,02	18,85	2,76	0,05788	0,45	0,39	0,54	0,18	119,06
12,00	0,56	15,1	81,5	2,69	Argilla		10,19	19,76	2,89	0,05603	0,45	0,40	0,54	0,18	121,66
12,05	0,58	14,8	82,5	2,56	Argilla		10,37	20,69	3,03	0,05426	0,45	0,40	0,55	0,18	124,23
12,10	0,58	14,6	82,5	2,53	Argilla		10,34	20,65	3,02	0,05426	0,45	0,40	0,55	0,18	124,23



GEA S.p.A.  
di Borgoli e Matteini  
via di Ugnano 41 B  
Firenze  
GEOSUITE - DEMO

Committente: GETAS-PETROGEO  
Località: S. Andrea - Empoli  
Indagine:  
N. prova: 1  
Data: 06/04/2007

Certificato: CP-104-071  
quota falda cm: 200  
quota pre-hole cm: 20  
Note:

z (m)	qc [MP]	fs [kPa]	U [kPa]	r [%]	Class. ES/LANI-FELLENUS	phi [°]	Cu [kPa]	c [kPa]	mv [cm²/kg]	Es [kg/cm²]	Eu [kg/cm²]	G [kg/cm²]	Vs [m/s]
12,15	0,58	14,4	82,5	2,49	Argilla	10,32	20,61	3,02	0,05426	0,45	0,40	0,55	0,18
12,20	0,54	14,2	81,5	2,63	Argilla	9,88	18,65	2,73	0,05788	0,45	0,39	0,54	0,18
12,25	0,54	15,5	82,5	2,86	Argilla	9,88	18,63	2,73	0,05784	0,45	0,39	0,54	0,18
12,30	0,60	17,6	82,5	2,94	Argilla	10,42	21,44	3,14	0,05263	0,45	0,41	0,56	0,19
12,35	0,66	15,1	82,5	2,29	Argilla	10,89	24,30	3,56	0,04822	0,45	0,42	0,58	0,19
12,40	0,62	14,4	82,5	2,33	Argilla	10,54	22,36	3,27	0,05102	0,45	0,41	0,56	0,19
12,45	0,62	13,0	83,5	2,10	Argilla/Limo argilloso/Sensitivi	9,47	22,34	3,27	0,10198	0,50	0,40	0,54	0,18
12,50	0,60	16,9	83,5	2,83	Argilla	10,33	21,30	3,12	0,05260	0,45	0,41	0,56	0,19
12,55	0,62	17,4	191,2	2,81	Argilla	12,71	24,57	3,60	0,04763	0,45	0,41	0,56	0,19
12,60	0,60	15,1	212,3	2,52	Argilla	13,07	23,98	3,51	0,04839	0,45	0,41	0,56	0,19
12,65	0,58	11,3	232,4	1,95	Argilla/Limo argilloso/Sensitivi	12,40	23,42	3,43	0,09826	0,50	0,39	0,53	0,18
12,70	0,54	12,3	243,5	2,28	Argilla/Limo argilloso/Sensitivi	12,64	21,72	3,18	0,10332	0,50	0,38	0,52	0,17
12,75	0,58	15,9	246,5	2,74	Argilla	13,78	23,64	3,46	0,04870	0,45	0,40	0,55	0,18
12,80	0,60	16,3	247,5	2,73	Argilla	13,85	24,57	3,60	0,04735	0,45	0,41	0,56	0,19
12,85	0,58	16,7	247,5	2,89	Argilla	13,74	23,58	3,45	0,04867	0,45	0,40	0,55	0,18
12,90	0,54	21,1	248,5	3,90	Argilla	13,58	21,66	3,17	0,05149	0,45	0,39	0,54	0,18
12,95	0,64	28,4	260,6	4,46	Argilla	14,24	26,68	3,91	0,04453	0,45	0,42	0,57	0,19
13,00	0,83	39,5	272,7	4,76	Argilla	15,07	36,55	5,35	0,02641	0,45	0,46	0,63	0,21
13,05	0,97	45,8	278,7	4,74	Argilla	15,51	43,39	6,35	0,02306	0,45	0,49	0,67	0,22
13,10	0,97	50,0	280,7	5,18	Argilla	15,52	43,39	6,35	0,02304	0,45	0,49	0,67	0,22
13,15	1,16	57,7	281,7	4,98	Argilla	15,98	53,02	7,76	0,01955	0,45	0,53	0,72	0,24
13,20	1,14	57,3	280,7	5,03	Argilla	15,89	52,00	7,61	0,01985	0,45	0,53	0,72	0,24
13,25	1,02	60,0	279,7	5,87	Argilla	15,57	46,14	6,75	0,02188	0,45	0,50	0,69	0,23
13,30	1,04	62,3	277,7	5,98	Argilla	15,57	47,00	6,88	0,02154	0,45	0,51	0,69	0,23
13,35	1,04	63,8	280,7	6,12	Argilla	15,59	47,03	6,88	0,02151	0,45	0,51	0,69	0,23
13,40	1,06	55,8	279,7	5,26	Argilla	15,60	47,96	7,02	0,02116	0,45	0,51	0,70	0,23
13,45	1,10	38,7	276,7	3,52	Argilla	15,62	49,76	7,28	0,02052	0,45	0,52	0,71	0,24
13,50	1,04	38,7	277,7	3,71	Argilla	15,47	46,83	6,86	0,02154	0,45	0,51	0,69	0,23
13,55	1,08	42,4	259,6	3,93	Argilla	15,28	48,35	7,08	0,02097	0,45	0,51	0,70	0,23
13,60	1,24	51,9	261,6	4,20	Argilla	15,68	56,06	8,21	0,01856	0,45	0,54	0,74	0,25
13,65	1,26	64,2	260,6	5,11	Argilla	15,70	56,99	8,34	0,01829	0,45	0,55	0,75	0,25
13,70	1,31	72,1	260,6	5,49	Argilla	15,82	59,85	8,76	0,01755	0,45	0,56	0,76	0,25
13,75	1,26	72,1	258,6	5,75	Argilla	15,63	56,86	8,32	0,01831	0,45	0,55	0,75	0,25
13,80	1,29	63,4	258,6	4,90	Argilla	15,70	58,72	8,60	0,01781	0,45	0,55	0,75	0,25





GEA S.n.c.  
di Borgioli e Matteini  
via di Ugnano 41 B  
Firenze  
GEOSUITE - DEMO

Committente: GETAS-PETROGEO  
Località: S. Andrea - Empoli  
Indagine:  
N. prova: 1  
Data: 06/04/2007

Certificato: CP-104-071  
quota falda cm: 200  
quota pre-hole cm: 20  
Note:

z (m)	qc [MP]	fs [kPa]	U [kPa]	rf [%]	Class.	ESLANTI-FELLENIIUS	pH [°]	Cu [kPa]	c [kPa]	mv [cm²/kg]	polisson	Es [kg/cm²]	Eu [kg/cm²]	G [kg/cm²]	Vs [m/s]
13,85	1,27	61,5	259,6	4,82	Argilla		15,64	57,75	8,45	0,01805	0,45	0,55	0,75	0,25	203,69
13,90	1,37	71,7	258,6	5,23	Argilla		15,84	62,53	9,15	0,01687	0,45	0,57	0,77	0,26	213,29
13,95	1,33	68,8	256,6	5,16	Argilla		15,70	60,50	8,86	0,01734	0,45	0,56	0,76	0,25	209,46
14,00	1,35	61,9	256,6	4,58	Argilla		15,73	61,40	8,99	0,01711	0,45	0,56	0,77	0,26	211,33
14,05	1,37	64,8	257,6	4,73	Argilla		15,77	62,38	9,13	0,01688	0,45	0,57	0,77	0,26	213,29
14,10	1,47	73,0	257,6	4,97	Argilla		15,97	67,14	9,83	0,01585	0,45	0,58	0,80	0,27	222,53
14,15	1,43	84,9	258,6	5,94	Argilla		15,87	65,17	9,54	0,01625	0,45	0,58	0,79	0,26	218,80
14,20	1,56	87,6	258,6	5,60	Argilla		16,15	71,92	10,53	0,01493	0,45	0,60	0,82	0,27	231,55
14,25	1,66	92,8	259,6	5,59	Argilla		16,34	76,70	11,23	0,01412	0,45	0,61	0,84	0,28	240,46
14,30	1,78	97,4	260,6	5,49	Argilla		16,56	82,48	12,07	0,01324	0,45	0,63	0,86	0,29	250,86
14,35	1,87	98,1	260,6	5,24	Limo argilloso/Argilla limosa		16,72	87,23	12,77	0,01260	0,40	0,67	0,91	0,30	259,28
14,40	1,72	97,4	260,6	5,67	Argilla		16,40	79,49	11,64	0,01366	0,45	0,62	0,85	0,28	245,70
14,45	1,60	91,8	260,6	5,73	Argilla		16,14	73,64	10,78	0,01459	0,45	0,61	0,83	0,28	235,16
14,50	1,37	91,6	259,6	6,68	Argilla		15,59	62,03	9,08	0,01687	0,45	0,57	0,77	0,26	213,29
14,55	1,31	83,2	252,6	6,34	Argilla		15,34	58,93	8,63	0,01759	0,45	0,56	0,76	0,25	207,58
14,60	1,24	72,8	251,5	5,89	Argilla		15,10	54,97	8,05	0,01862	0,45	0,54	0,74	0,25	199,76
14,65	1,02	60,2	250,5	5,89	Argilla		14,44	44,30	6,49	0,02212	0,45	0,50	0,69	0,23	177,51
14,70	0,89	40,4	249,5	4,54	Argilla		13,93	37,49	5,49	0,02513	0,45	0,48	0,65	0,22	162,44
14,75	0,87	31,4	249,5	3,61	Argilla		13,84	36,50	5,34	0,02562	0,45	0,47	0,64	0,21	160,25
14,80	0,95	29,7	249,5	3,14	Argilla		14,09	40,31	5,90	0,02375	0,45	0,49	0,66	0,22	169,01
14,85	0,98	33,2	249,5	3,38	Argilla		14,20	42,17	6,17	0,02292	0,45	0,50	0,68	0,23	173,24
14,90	1,06	39,5	249,5	3,72	Argilla		14,44	46,02	6,74	0,02139	0,45	0,51	0,70	0,23	181,73
14,95	1,41	80,3	250,5	5,70	Argilla		15,40	63,35	9,27	0,01649	0,45	0,57	0,78	0,26	216,97
15,00	2,03	144,9	254,6	7,15	Limo argilloso/Argilla limosa		16,72	94,29	13,80	0,01170	0,40	0,69	0,94	0,31	272,54
15,05	2,70	196,5	256,6	7,27	Limo argilloso/Argilla limosa		17,79	128,09	18,75	0,00889	0,40	0,78	1,06	0,35	326,44
15,10	3,01	223,9	255,6	7,44	Limo argilloso/Argilla limosa		18,18	143,42	21,00	0,00801	0,40	0,82	1,11	0,37	349,29
15,15	2,63	215,6	253,6	8,21	Limo argilloso/Argilla limosa		17,61	124,03	18,16	0,00915	0,40	0,77	1,05	0,35	320,50
15,20	2,45	217,7	255,6	8,88	Limo argilloso/Argilla limosa		17,35	115,37	16,89	0,00976	0,40	0,75	1,02	0,34	307,09
15,25	2,32	212,0	252,6	9,15	Limo argilloso/Argilla limosa		17,09	108,46	15,88	0,01031	0,40	0,73	1,00	0,33	296,30
15,30	2,37	198,6	248,5	8,37	Limo argilloso/Argilla limosa		17,13	111,23	16,28	0,01008	0,40	0,74	1,01	0,34	300,93
15,35	2,34	194,0	247,5	8,31	Limo argilloso/Argilla limosa		17,04	109,26	16,00	0,01024	0,40	0,73	1,00	0,33	287,90
15,40	2,37	0,0	248,5	0,00	N.C.		0,00	0,00	0,00	0,00001	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
15,45	2,49	0,0	245,5	0,00	N.C.		0,00	0,00	0,00	0,00001	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
15,47	2,43	0,0	246,5	0,00	N.C.		0,00	0,00	0,00	0,00001	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00



GEA S.n.c.  
di Borgioli e Mattioli  
via di Ugnano 41 B  
Firenze  
GEOSUITE - DEMO

Committente: GETAS-PETROGEO  
Località: S. Andrea - Empoli  
Indagine: 1  
N. prova: 1  
Data: 06/04/2007

Certificato:  
quota falda cm:  
quota pre-hole cm:  
Note:

Significato dei simboli:

z (m)	→	Profondità
Qc (MPa)	→	Resistenza Penetrometrica
fs (kPa)	→	Atrito Laterale
U (kPa)	→	Pressione nei pori
u0 (kPa)	→	Pressione idrostatica
Qt (MPa)	→	Resistenza Penetrometrica corretta
Rf (%)	→	Rapporto di attrito fs/qc
sgmT (kPa)	→	Pressione illiostatica totale (sigma totale)
sgmeff (kPa)	→	Pressione illiostatica efficace (sigma efficace)
gm (kN/m ³ )	→	Peso unitario cond. Tensioni totali (gamma)
gmeff (kN/m ³ )	→	Peso unitario cond. Tensioni efficaci (gamma efficace)
qe (MPa)	→	Resistenza Penetrometrica efficace qe=(qt-u)
phi (°)	→	Angolo di attrito interno in condizioni di tensioni efficaci
Dr (%)	→	Densità relativa
c (kPa)	→	Coesione in condizioni di tensioni efficaci
Cu (kPa)	→	Resistenza al taglio in condizioni non drenate
OCR (-)	→	Rapporto di sovraconsolidazione
alpha (-)	→	Coefficiente di proporzionalità tra Qc e modulo edometrico M
mv (cm ² /kg)	→	Coefficiente di compressibilità volumetrica mv=1/M
poiss (-)	→	Rapporto di Poisson
Es (kg/cm ² )	→	Modulo Elastico o di Young, cond. drenate
Eu (kg/cm ² )	→	Modulo Elastico o di Young, cond. non drenate
G (kg/cm ² )	→	Modulo di taglio
Vs (m/s)	→	Velocità onde S o di taglio



## **VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE**

## Calcolo fattore di sicurezza FS Liquefazione in sabbie

Dato sorgente: Prova CPTU. Conversione della  $Q_c$  e  $F_s$  ottenuta con punta meccanica in  $Q_c$  e  $F_c$  punta elettrica

Metodo: ROBERTSON & CABAL 2015

procedimento iterativo e valutazione della  $FC\%$  indirettamente

### DATI DI INPUT:

magnitudo momento:  $M_w = 6,14$

azione sismica di progetto:  
accelerazione max al suolo:  $a_{max}/g = 0,209$

### DATI STRATO IN OGGETTO:

profondità interesse:  $z \text{ (m)} = 15,2$

prex verticale totale:  $\sigma_v \text{ (kPa)} = 286$

prex verticale efficace:  $\sigma'_v \text{ (kPa)} = 155$

resistenza alla punta (prova CPTU):  $q_c \text{ (MPa)} = 3,9158$

resistenza laterale locale (prova CPTU):  $f_s \text{ (kPa)} = 75,075$

*Rapporto di conversione  $q_c$  e  $f_s$  ottenute da CPT a quelle con prova CPTU secondo i dati riportati nello studio "Utilizzo di prove penetrometriche statiche a punta meccanica per la stima del potenziale di liquefazione" di Madiati, Baglione, Vannucchi, Martelli e Veronese. R. Italiana di Geotecnica 2016*

Dati da prova CPT – Punta meccanica

qcm  $4,079$   $q_c \text{ (kPa)} = 3915,84$

fsm  $129,44$

CALCOLO FS=  $2,17$

### SVILUPPO DELLE FORMULE DI CALCOLO:

$$r_d = 0,76816$$

$$CSR = 0,19255$$

$$\begin{array}{ll} r_d = 1.0 - 0.00765 z & \text{for } z \leq 9.15 \text{ m} \\ r_d = 1.174 - 0.0267 z & \text{for } 9.15 \text{ m} < z \leq 23 \text{ m} \\ r_d = 0.744 - 0.008 z & \text{for } 23 < z \leq 30 \text{ m} \\ r_d = 0.50 & \text{For } z > 30 \text{ m} \end{array}$$

$$CSR_{M, \sigma'_v} = 0.65 \frac{\sigma_v}{\sigma'_v} \frac{a_{max}}{g} r_d$$

$$F_r = 2,06828$$

friction ratio

$$F_r = [(f_s/(q_t - \sigma_{vo}))] 100\%$$

iterazione

$$n = 0,914$$

$$C_N^* = 0,66994$$

$$C_N = 0,66994 \leq 1,7$$

$$Q_{tn} = 24,3178$$

$$I_c = 2,58872$$

$$n^* = 0,914$$

$$n = 0,914 \leq 1$$

$$K_c = 5,02869$$

$$Q_{tn,cs} = 122,287$$

$$K_\alpha = 0,9$$

clay-like

$$(CRR)_{7,5} = 0,25007$$

$$C_N = (p_a / \sigma'_{vo})^n$$

$$Q_{tn} = [(q_t - \sigma_v)/p_a](p_a/\sigma'_{vo})^n$$

$$I_c = [(3.47 - \log Q_{tn})^2 + (\log F_r + 1.22)^2]^{0.5}$$

$$n = 0.381 (I_c) + 0.05 (\sigma'_{vo}/p_a) - 0.15$$

$$I_c \leq 1,64$$

$$1,64 < I_c < 2,36$$

$$1,64 < I_c < 2,36$$

$$2,36 \leq I_c \leq 2,50$$

$$2,50 < I_c < 2,70$$

$$I_c \geq 2,70$$

$$F_r < 0,5\%$$

$$F_r \geq 0,5\%$$

$$K_c = 1$$

$$K_c = 1$$

$$K_c = 5,581 I_c^3 - 0,403 I_c^4 - 21,63 I_c^2 + 33,75 I_c - 17,88$$

$$K_c = 5,581 I_c^3 - 0,403 I_c^4 - 21,63 I_c^2 + 33,75 I_c - 17,88$$

$$K_c = 6 \times 10^{-7} (I_c)^{16,76}$$

$$K_c = -$$

$$I_c < 2,7$$

$$CRR_{7,5} = 93 \left[ \frac{(Q_{m,cs})}{1000} \right]^3 + 0.08 \quad 50 \leq Q_{m,cs} \leq 160$$

$$CRR_{7,5} = 0.833 \left[ \frac{\sqrt[3]{Q_{m,cs}}}{1000} \right] + 0.05 \quad Q_{m,cs} < 50$$

$$I_c \geq 2,7 \quad CRR_{7,5} = 0.053 Q_{tn} K_\alpha$$

$$MSF = 10^{2.24/M}^{2.56}$$

$$MSF = 1,66836$$

$$CRR = (CRR)_{7,5} * MSF = 0,4172$$

COEFFICIENTE SICUREZZA LIQUEFAZIONE:

$$FSL = CRR / CSR = 2,167$$

