



Expertise and Efficiency in Environmental and Engineering Consultancy Services

**PIANO URBANISTICO CONVENZIONATO  
P.U.A. 5.1  
COMUNE DI EMPOLI**

**RELAZIONE GEOLOGICA-GEOTECNICA**

Richiedente:

**RELAZIONE GEOLOGICA**

Settembre 2015

Emesso e rivisto da:

Dott. Geol. Massimo Pellegrini.....



## INDICE

	Pagina
<b>1. – PREMESSA .....</b>	<b>3</b>
<b>2. - NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>5</b>
<b>3. - QUADRO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO, IDROGEOLOGICO .....</b>	<b>6</b>
<b>3.1. - Geologia .....</b>	<b>6</b>
<b>3.1.1 - Quadro stratigrafico locale.....</b>	<b>8</b>
<b>3.2. - Geomorfologia.....</b>	<b>10</b>
<b>3.3 – Quadro idrogeologico .....</b>	<b>11</b>
<b>4. - QUADRO LITOTECNICO .....</b>	<b>15</b>
<b>4.1 – Quadro geotecnico parametrico .....</b>	<b>16</b>
<b>5. - SISMICITÀ .....</b>	<b>19</b>
<b>5.1. Indagini sismiche eseguite. Cenni metodologici.....</b>	<b>21</b>
<b>5.2 - Risultati .....</b>	<b>24</b>
<b>6. PERICOLOSITA' E PROBLEMATICHE GEOLOGICHE GEOTECNICHE.....</b>	<b>28</b>
<b>6.1– Condizioni di Pericolosità e Fattibilità secondo R.U. Comune di Empoli..</b>	<b>28</b>
<b>6.2– Problematiche geologico tecniche e conclusioni.....</b>	<b>29</b>

\*\*\*\*\*

Annessi:

ANNESSE – Indagini di riferimento



## 1. – PREMESSA

Su incarico della Committenza, sono state svolte indagini geologiche-geotecniche e sismiche e redatta una Relazione Geologica Geotecnica a supporto di un intervento edilizio in località Pontorme – San Martino in comune di Empoli.

Lo scopo dell'indagine è stato quello di ricostruire il quadro geostratigrafico locale, di valutare le caratteristiche geologiche-idrogeologiche, geotecniche e sismiche dell'area di studio, allo scopo di fornire ai progettisti tutte le informazioni necessarie per gli interventi previsti. Per la ricostruzione del quadro geologico tecnico si è fatto riferimento, oltre che a indagini appositamente eseguite, anche a dati derivanti da studi effettuati su aree limitrofe o comunque non distanti da quella in esame e/o eseguite a supporto del Piano Strutturale comunale<sup>1</sup>.

L'ubicazione dell'area interessata dal progetto è riportata nella planimetria di FIG. 1.1.

---

<sup>1</sup> - Comune di Empoli. Piano Strutturale - Indagini geologico-tecniche di supporto alla pianificazione urbanistica. GETAS 2012.



*Nessuna parte del presente documento può essere riprodotta senza il consenso dell'Autore*



**FIG. 1.1 – COROGRAFIA**



## 2. - NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Le norme di riferimento sono contenute in:

- P.A.I. Autorità di Bacino Fiume Arno.
- L.R.T. 10 novembre 2014 n°65 (Norme per il governo del territorio).
- OPCM n. 3519 del 28.04.2006.
- Deliberazione di G.R. del 19.06.2006, n. 431 – Classificazione sismica regionale.
- D.M. 14 gennaio 2008 - Norme tecniche per le costruzioni
- Circolare 2 febbraio 2009, n. 617 - Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008.
- DPGR 9 luglio 2009 n. 36/R - Regolamento di attuazione dell'articolo 117, commi 1 e 2 della L.R. 3 gennaio 2005 n. 1 (Norme per il governo del territorio). Disciplina sulle modalità di svolgimento delle attività di vigilanza e verifica delle opere e delle costruzioni in zone soggette a rischio sismico."
- DPGR 2 novembre 2011 n.53/R – Regolamento di attuazione dell'articolo 62 della legge regionale 3 gennaio 2005, n. 1 (Norme per il governo del territorio) in materia di indagini geologiche.

*Nessuna parte del presente documento può essere riprodotta senza il consenso dell'Autore*



### **3. - QUADRO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO, IDROGEOLOGICO**

#### **3.1. - Geologia**

La pianura empolese è geologicamente caratterizzata da depositi alluvionali di età quaternaria, e da terreni più antichi, di età pliocenica e facies marina, che costituiscono il substrato su cui i precedenti depositi poggiano, e che invece formano l'ossatura delle limitrofe zone collinari.

La pianura è quindi caratterizzata dall'affioramento di depositi alluvionali di età quaternaria. Le alluvioni attuale e recenti (a), 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 numerose indagini geognostiche, la natura litologica della coltre superficiale è caratterizzata principalmente da una granulometria limoso-argillosa o limoso-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. Il deposito alluvionale presenta in genere un livello ciottoloso-ghiaioso basale, di spessore massimo di 8-10 metri.

La successione alluvionale è mediamente presente nei primi 20-25 metri dal piano campagna, profondità a cui normalmente si incontra il substrato pliocenico. I suddetti depositi poggiano quindi su un substrato pre-quaternario costituito da una successione argillosa limosa e subordinatamente sabbiosa di età pliocenica (pag/ps).

Questa successione, depositatasi nel bacino marino, che nel pliocene interessò vaste zone della Toscana centro-meridionale, è stata attribuita alla fase regressiva del Pliocene superiore, sulla base di evidenze di giacitura, di facies e paleontologiche. Le stesse evidenze suggeriscono un ambiente salmastro, decisamente litorale, all'interno del quale le oscillazioni

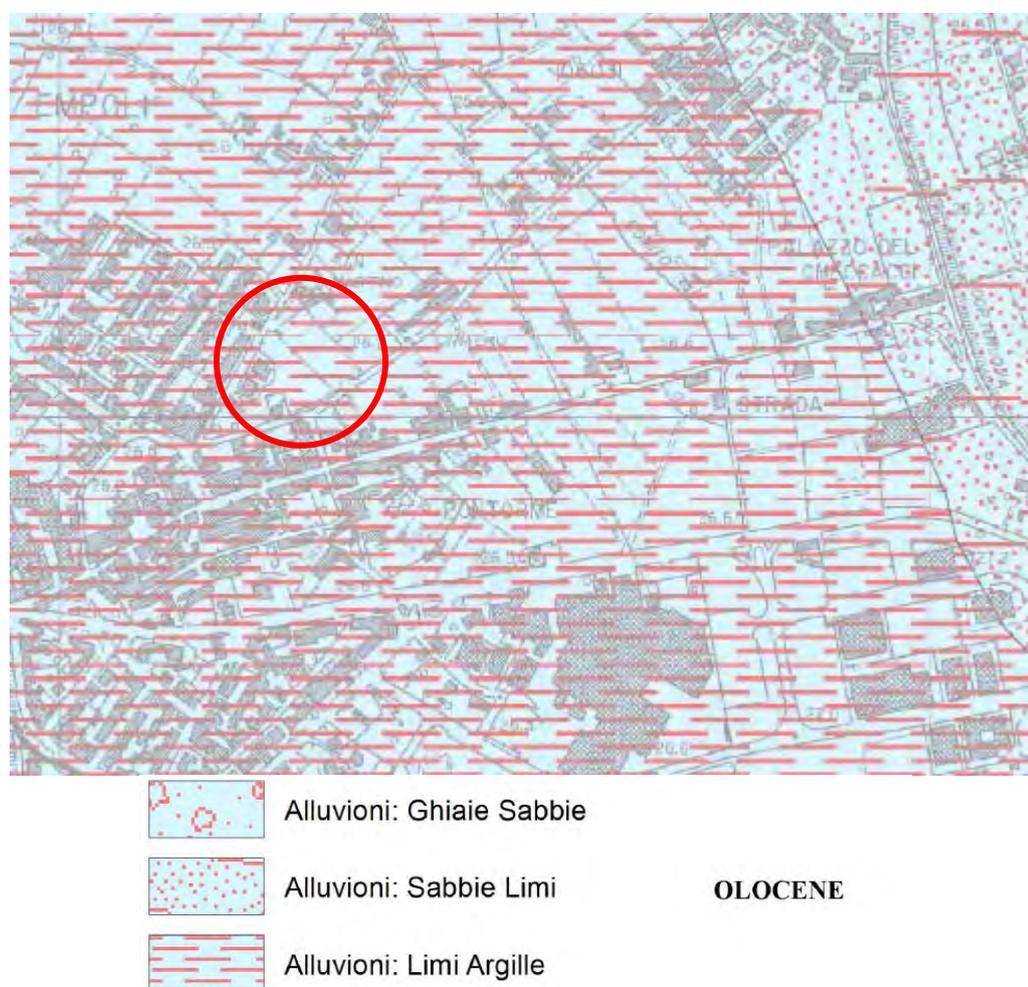


della linea costiera hanno determinato i rapporti eteropici tra le varie litologie, ghiaiose, sabbiose e argillose limose riconosciute nella successione.

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, di natura per lo più limoso-argillosa. Le indagini geognostiche eseguite in passato in aree limitrofe e nella ristretta area d'intervento, con profondità variabili dai 12 ai 30 metri, hanno confermato una prevalenza di litotipi a granulometria molto fine, limosa argillosa, nei primi metri dal piano campagna.

Il quadro geologico locale è illustrato dalla Carta geologica di FIG. 3.1 (estratto da P.S Comune di Empoli. Getas Petrogeo s.r.l. 2012).

Nessuna parte del presente documento può essere riprodotta senza il consenso dell'Autore



**FIG. 3.1 Carta Geologica** (da P.S Comune di Empoli. Getas Petrogeo s.r.l. 2012)

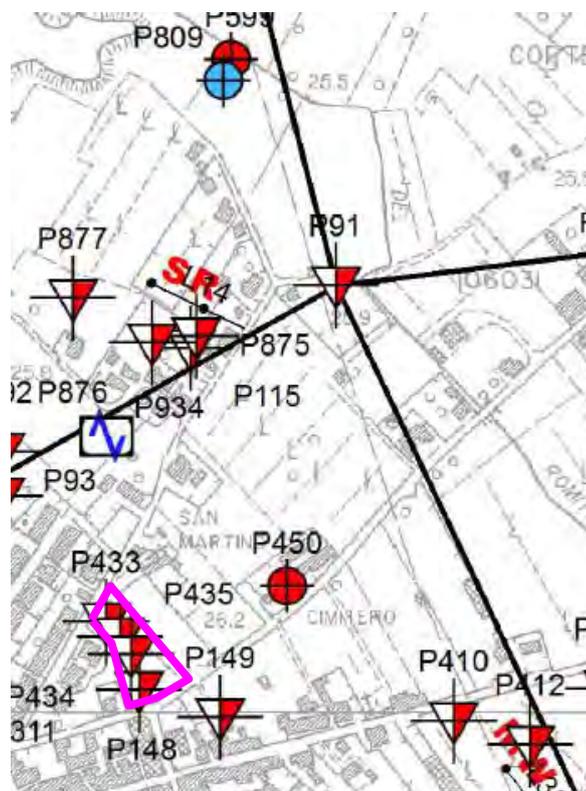


### 3.1.1 - Quadro stratigrafico locale

L'area d'intervento, come detto, ricade in zona caratterizzata da depositi alluvionali prevalentemente limosi e/o limosi argillosi e subordinatamente sabbiosi.

Per la ricostruzione del quadro stratigrafico locale oltre che a dati stratigrafici relativi ad un sondaggio a carotaggio continuo e penetrometrie statiche/dinamiche e indagini geofisiche eseguite nella zona di intervento e/o contigua, sono stati utilizzati i dati di indagini penetrometriche statiche e geofisiche appositamente eseguite entro l'area d'intervento a supporto del progetto oggetto dei presenti studi.

Le prove penetrometriche eseguite nell'area, spinte fino alla profondità di circa 10-12 m, unitamente ai dati già disponibili sull'area e/o da zone contigue, (sondaggio P450, pozzo P809 e P664 (Database Sira) penetrometrie P148-149 e P433-435, Indagini sismiche HVsr8 e SR L14 da PS Comune di Empoli) Fig. 3.2, confermano la presenza di una successione di depositi alluvionali prevalentemente fini, caratterizzata da una relativa prevalenza di terreni limosi argillosi e/o limoso sabbiosi con livelli sabbiosi subordinati.

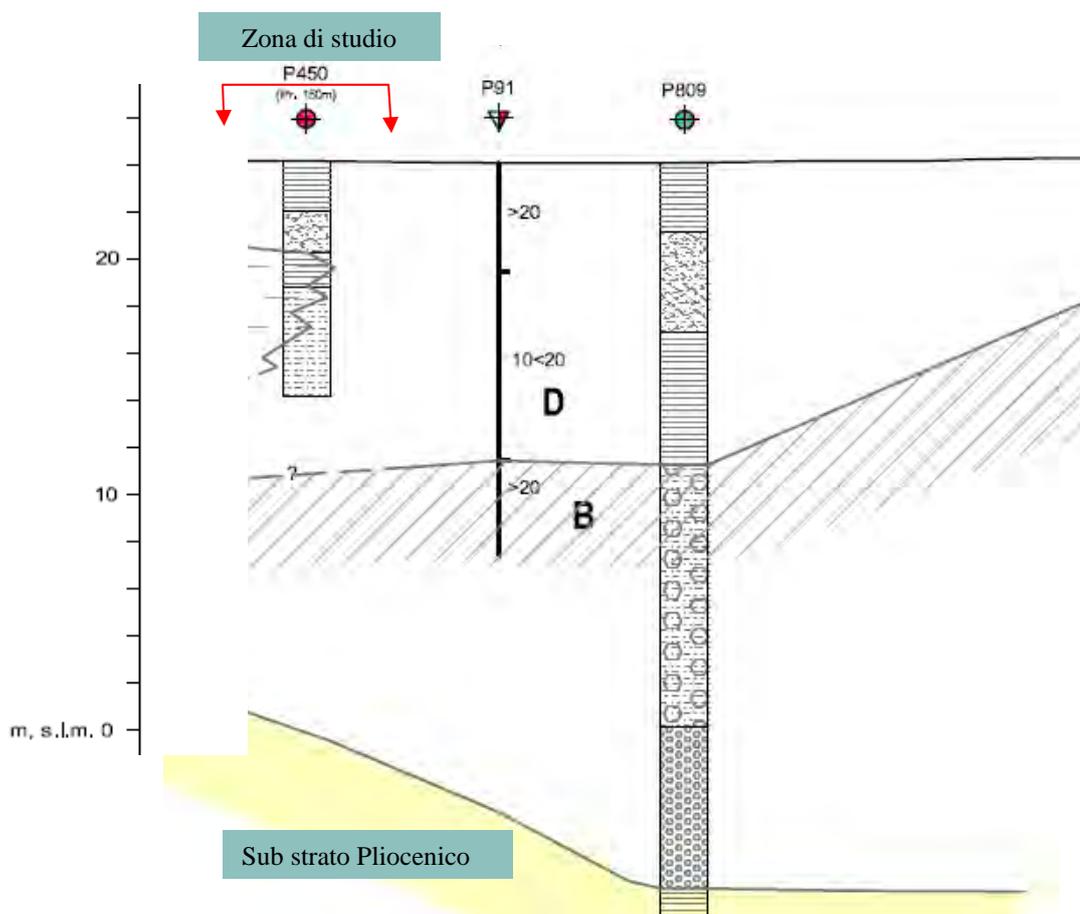


**FIG. 3.2 Ubicazione indagini di riferimento** (da P.S Comune di Empoli. Getas Petrogeo s.r.l. 2012)



Sinteticamente, con riferimento anche al quadro stratigrafico desumibile dagli studi geologici allegati al P.S. di Empoli, Fig.3.3, la successione dei terreni localmente risulta la seguente:

da	a	
p.c.	-7.0 m	alternanza di argille e sabbie limose (sabbie e sabbie limose prevalenti entro i primi metri dal p.c.
-7.0 m	-19.0 m	Argille, limi argillosi grigi e argilla ghiaiosa
-19.0 m	-31.0 m	Ghiaia e sabbie con ghiaia
-31.0 m	-35.0 m	Argilla



**FIG. 3.3 Quadro stratigrafico da Sez D-D'** (da P.S Comune di Empoli. Getas Petrogeo s.r.l. 2012)

Le penetrometrie eseguite e/o a disposizione sembrano evidenziare una netta prevalenza di sabbie limose nei primi 2-3 metri dal p.c. Il sondaggio P450 conferma anch'esso presenza entro i primi 4 metri dal p.c. di sabbie limose.



### 3.2. - Geomorfologia

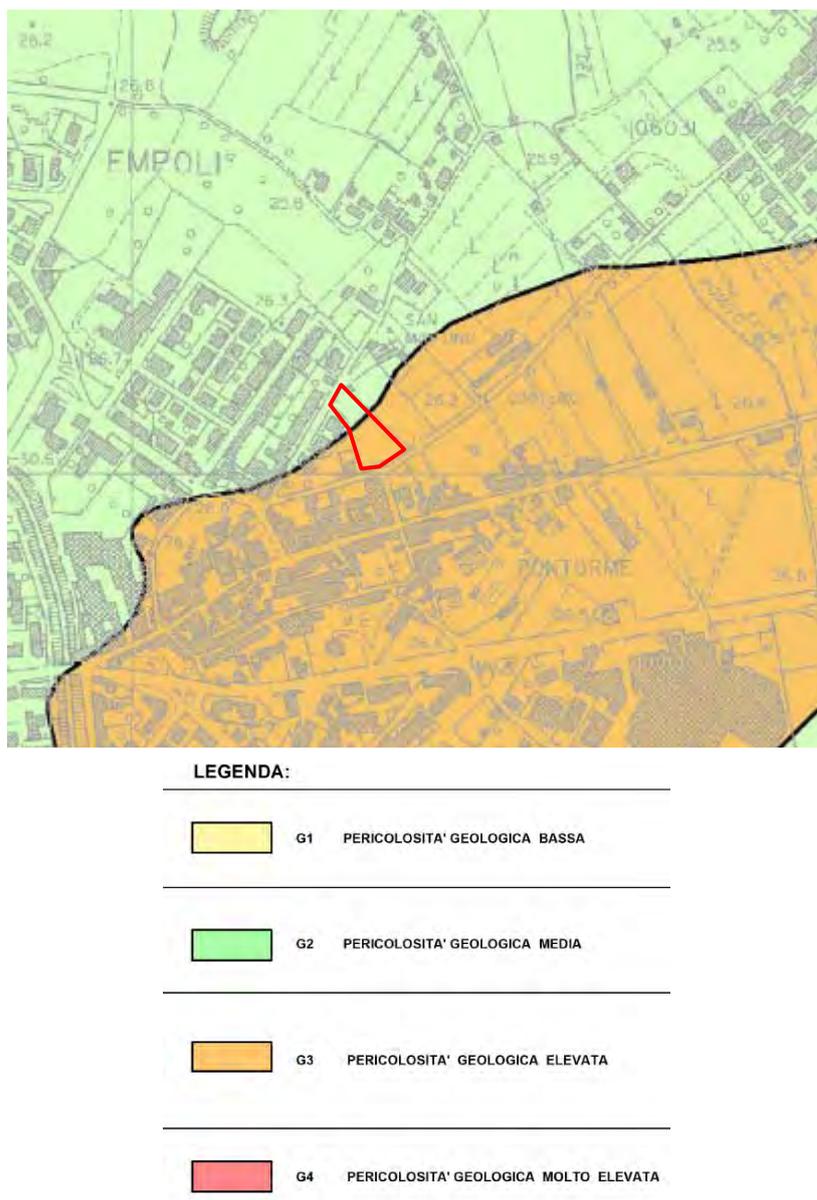
L'area d'intervento è ubicata, ad una quota di circa 26 m s.l.m., in una zona periferica rispetto al centro urbano di Empoli. E' pianeggiante senza particolarità geomorfologiche di rilievo e con dislivelli, tra punto e punto, meno che decimetrici. Essa fa parte dell'ampia pianura alluvionale, che copre i circa 2/3 del territorio comunale di Empoli, e formatasi a seguito degli apporti sedimentari dell'Arno, dell'Elsa dei Torrenti Orme ed Ormicello e di altri corsi minori. Più in dettaglio la piana alluvionale può essere divisa in tre settori:

- Piana dell'Arno: è la più estesa e costituisce una fascia allungata Est-Ovest, compresa tra la riva sinistra idrografica del Fiume Arno ed il sistema collinare. In questa zona sono riconoscibili tracce delle divagazioni antiche dell'Arno. Un esempio è rappresentato dalla zona di Arnovechio ad Est di Empoli dove risulta evidente la presenza dell'alveo morto del fiume, il cui percorso si è regolarizzato nei tempi storici all'altezza di Limite-Tinaia.
- Piana del Fiume Elsa: si congiunge alla piana dell'Arno in prossimità di Ponte a Elsa dopo aver seguito un andamento circa SE-NO stretto tra la riva destra idrografica dell'Elsa ed il limite occidentale delle colline.
- Piana dei Torrenti Orme e Ormicello: si congiunge anch'essa alla piana dell'Arno all'altezza di Pozzale dopo aver seguito un andamento articolato in numerose digitazioni create dalla confluenza del sistema di valli minori provenienti dalle colline.

La zona interessata dal piano non ricade in aree soggette al Vincolo Idrogeologico ai sensi della L.R. 39/2000 e del R.D. 3267/1923.

Come emerge dalla Carta di pericolosità Geomorfologica a supporto del Piano Strutturale del comune di Empoli, l'area non ricade in zona caratterizzata da processi geomorfici attivi ed è compresa parzialmente sia in Classe **G.2** a Pericolosità Media che Classe **G.3** Pericolosità Elevata secondo la L.R. 53/R, quest'ultima classe, localmente, per fattori litotecnici, in particolare per presenza di terreni di caratteristiche mediocri scadenti, soggiacenti terreni di migliori caratteristiche, entro i primi metri dal p.c..





**Fig. 3.4 – Carta della Pericolosità Geologica (P.S. Comune di Empoli – GETAS PETROGEO 2012)**

### 3.3 – Quadro idrogeologico

La caratterizzazione morfologica e geologica tra zona collinare e zona di pianura del territorio comunale di Empoli, riflette anche una differenziazione nelle caratteristiche idrogeologiche dei due ambienti. Si possono infatti distinguere due sistemi acquiferi:

- a) Sistema degli acquiferi collinari
- b) Sistema degli acquiferi di pianura



L'area di intervento, come detto, ricade nel contesto di pianura.

a) Sistema degli acquiferi di pianura

Hanno sede nei terreni delle alluvioni attuali e recenti a granulometria grossolana e media (ghiaie e sabbie), affioranti in alcuni settori della pianura. Nella Carta Idrogeologica di Fig. 3.5 (estratta da P.S. Comune di Empoli - rete di controllo Acque relativa al Giugno 2002) le classi di permeabilità individuate sono:

- Permeabilità Nulla: sono compresi i sedimenti alluvionali argillosi.
- Permeabilità Media: a questa classe sono associate i terreni sabbioso-limosi
- Permeabilità Alta: sono compresi i litotipi prevalentemente ghiaioso-ciottolosi in matrice sabbioso-argillosa.

La presenza in superficie di terreni di una delle classi prima elencate, condiziona chiaramente l'infiltrazione dell'acqua meteorica nel sottosuolo che, con i corsi d'acqua principali, contribuisce ad alimentare gli acquiferi sotterranei. Da studi eseguiti nel tempo sulla piana, è noto che il sistema alluvionale 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 (zona Arnovecchio), dove prevalgono i depositi più grossolani. Da 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 della piana, 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. I due acquiferi vengono a contatto per vie laterali nelle fasce pedecollinari.

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.

Oltre ai suddetti acquiferi, nei primi metri dal p.c. e specie dove l'acquifero A1 è assente e/o poco sviluppato, possono essere presenti limitate lenti acquifere.

Il quadro piezometrico del settore della piana in studio è illustrato dalla Carta Idrogeologica di Fig. 3.5 (estratta da P.S. Comune di Empoli - rete di controllo Acque relativa al Giugno 2002).

Il quadro piezometrico della pianura ha un andamento irregolare per la presenza di alcuni minimi piezometrici in corrispondenza delle centrali acquedottistiche e di punti di attingimento industriale (vedasi zona Sammontana) che alterano la naturale geometria della falda. Nelle rimanenti aree la geometria naturale della superficie piezometrica rileva un deflusso sotterraneo verso l'Arno.

Localmente, il livello piezometrico relativo al primo acquifero importante (A2) risulta attestato tra quota 8 e 9 metri sul l.m., con una soggiacenza media dal piano campagna nell'ordine dei 18-19 metri. Mediamente la falda mostra un flusso orientato verso Ovest. Le escursioni stagionali della falda, rilevate su base sperimentale e riferite a circa dieci anni di misure sulla rete di controllo, sono mediamente nell'ordine di 2 - 3 metri.

Le lenti acquifere più superficiali e correlabili all'acquifero A1 sono quelle che potrebbero potenzialmente interferire con la fascia di profondità interessata da fondazioni e dalle escavazioni relative, nei casi in cui il livello statico sia prossimo al p.c.. In questi casi la presenza della falda può condizionare il comportamento meccanico dei terreni ai fini costruttivi. Man mano che la profondità della falda aumenta si avrà una interferenza minore sulla stabilità delle costruzioni.

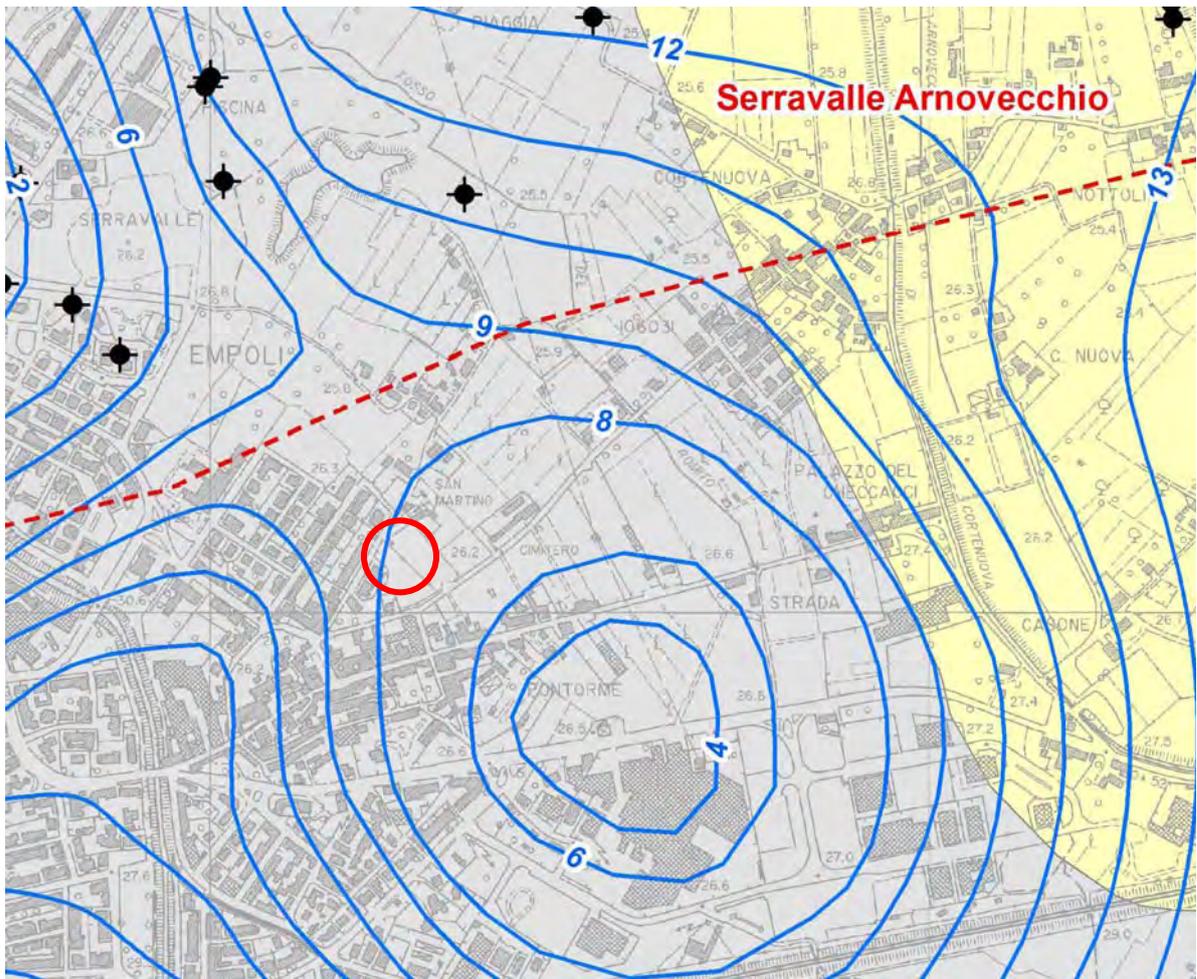
Nei periodi di morbida un innalzamento del livello di falda si può tradurre in un peggioramento delle caratteristiche meccaniche dei terreni di natura coesiva.

Le varie indagini eseguite nell'area in passato sembrano aver individuato una falda superficiale intorno ai 2 metri dal p.c. (misure 2008) legata a presenza nei primi metri di lenti sabbiose e/o limose sabbiose.

La distribuzione delle varie formazioni per classi di permeabilità è illustrata dalla carta di FIG. 3.5.



Nessuna parte del presente documento può essere riprodotta senza il consenso dell'Autore



**FIG. 3.5 Carta Idrogeologica** (da P.S Comune di Empoli. Getas Petrogeo s.r.l. 2012)



#### 4. - QUADRO LITOTECNICO

Sotto il profilo litotecnico le formazioni che caratterizzano il quadro geologico dell'area interessata dal P. U. A., tenuto conto delle indagini a supporto del P.S., FIG. 4.1 e della granulometria dei sedimenti e del loro grado di addensamento, possono essere accorpate in una unica classe litotecnica: terreni alluvionali da limosi argillosi a limosi, con caratteristiche geotecniche discrete.

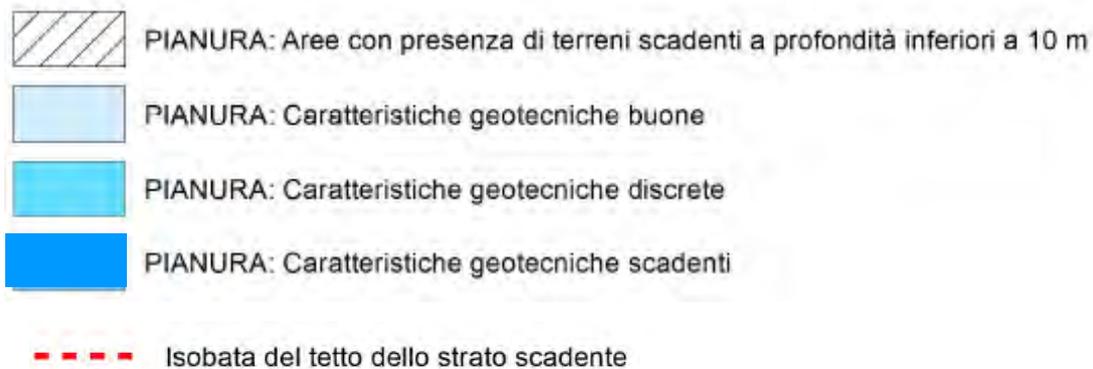
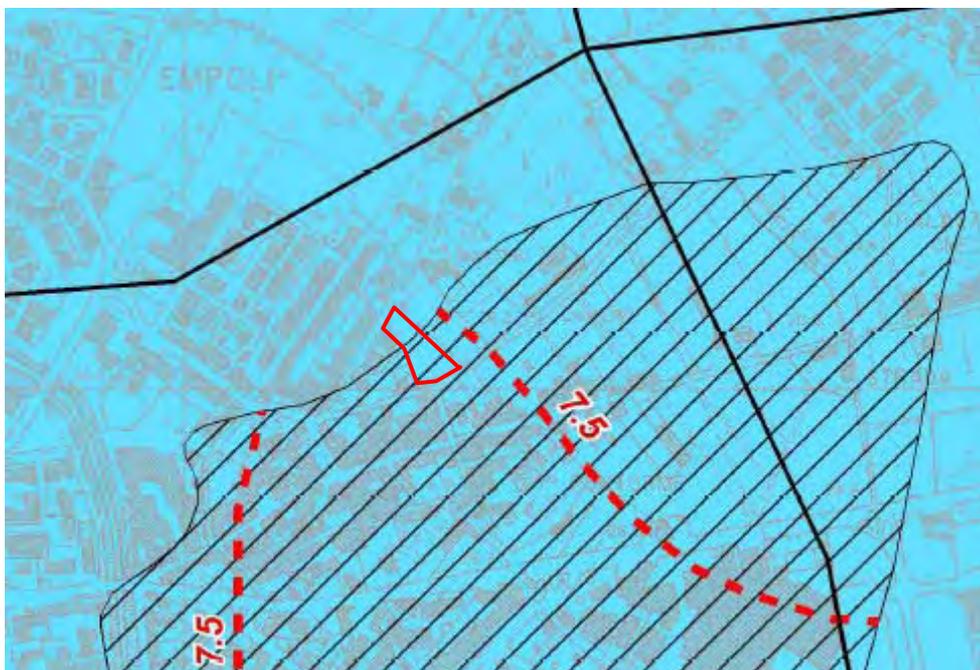


FIG. 4.1 Carta Litotecnica (da P.S Comune di Empoli. Getas Petrogeo s.r.l. 2012)



#### 4.1 – Quadro geotecnico parametrico

Il quadro parametrico è stato ricostruito tenendo conto sia dei dati emersi dalle indagini appositamente eseguite che di quelli ricavabili da precedenti studi, in particolare dai risultati delle varie penetrometrie già eseguite sull'area.

Il quadro geotecnico parametrico ricostruito è il seguente:

- da p.c. a m 2.5 - 3.0: **Orizzonte A**  
Terreno prevalentemente sabbioso limoso, localmente argilloso sabbioso, con valori di  $R_p$  generalmente superiori a  $20 \text{ kg/cm}^2$  con punte fino a oltre  $30 \text{ kg/cm}^2$ ; a questo strato può essere attribuito un peso di volume  $\gamma$  di  $1.8-1.9 \text{ kg/cm}^3$ , un valore di coesione  $C_u$  variabile da  $0,90$  a  $1,4 \text{ kg/cm}^2$ . Allo strato può essere associato un coefficiente di compressibilità volumetrica ( $mv$ ) dell'ordine di  $0.010-0.015 \text{ cm}^2/\text{kg}$ .
- da m 2.5-3.0 a m 7.00-7.50: **Orizzonte B**  
Terreni da argillosi a limoso argillosi con locali livelli decimetrici organici, di media consistenza, con valori di  $R_p$  fino ai 5 m dal p.c., compresi tra  $12$  e  $15-18 \text{ kg/cm}^2$ ; a questo intervallo superiore può essere attribuito un peso di volume  $\gamma$  di  $1.8 \text{ kg/cm}^3$ , un valore di coesione  $C_u$  pari a  $0,4-0,6 \text{ kg/cm}^2$  e a cui può essere associato un coefficiente di compressibilità volumetrica ( $mv$ ) dell'ordine di  $0.02-0.022 \text{ cm}^2/\text{kg}$ .  
A partire dai 5.00 m dal p.c., i terreni mostrano una resistenza relativamente minore, con valori di  $R_p$  compresi tra  $10$  e  $13 \text{ kg/cm}^2$ . Le caratteristiche geotecniche peggiorano relativamente e, a questo intervallo basale, può essere ancora attribuito un peso di volume  $\gamma$  di  $1.8 \text{ kg/cm}^3$ , un valore un valore dei coesione  $C_u$  pari a  $0,3-0,4 \text{ kg/cm}^2$  e a cui può essere associato un coefficiente di compressibilità volumetrica ( $mv$ ) dell'ordine di  $0.022-0.025 \text{ cm}^2/\text{kg}$ .
- da m 7.00-7.50 a m 8.50: **Orizzonte C**  
Terreni da argillosi a limoso argillosi organici, di bassa consistenza e compressibili, con valori di  $R_p$  compresi tra  $7$  e  $10 \text{ kg/cm}^2$ ; a questo strato può essere attribuito un peso di volume  $\gamma$  di  $1.6 - 1.7 \text{ kg/cm}^3$ , un valore un valore dei coesione  $C_u$  pari a  $0,2-0,3 \text{ kg/cm}^2$  e a cui può essere associato un coefficiente di compressibilità volumetrica ( $mv$ ) variabile da  $0.025$  a  $0.045 \text{ cm}^2/\text{kg}$ .



- da m 8.50 a < m 10.50: **Orizzonte D**

Terreni da argillosi a limoso argillosi a tratti organici, di bassa consistenza e compressibili, con valori di  $R_p$  compresi tra 8.5 e 11  $\text{kg/cm}^2$ ; a questo strato può essere attribuito un peso di volume  $\gamma$  di 1.7 -1.8  $\text{kg/cm}^3$ , un valore un valore dei coesione  $C_u$  pari a 0,3-0,4  $\text{kg/cm}^2$  e a cui può essere associato un coefficiente di compressibilità volumetrica ( $m_v$ ) variabile da 0.020 a 0.040  $\text{cm}^2/\text{kg}$ .

In sintesi si osserva come il quadro geotecnico parametrico locale sia caratterizzato da un primo orizzonte (orizzonte A), dello spessore di 2.5-3.0 metri circa, con caratteristiche geotecniche tendenzialmente medie-discrete seppur variabili da zona a zona ( $R_p > 20 \text{ kg/cm}^2$ ), cui seguono depositi limoso argillosi con caratteristiche medie (livelli con  $R_p$  compresa tra 10 e 15  $\text{kg/cm}^2$ ) fino verso i 7-7.5 metri dal p.c.. A questi ultimi, come del resto segnalato anche dalla Carta Litotecnica del P.S. comunale, seguono terreni sempre coesivi, ma organici e di scadenti caratteristiche e più compressibili.

Il quadro geolitostratigrafico e parametrico descritto è illustrato dalla sezione di Fig. 4.2.

*Nessuna parte del presente documento può essere riprodotta senza il consenso dell'Autore*



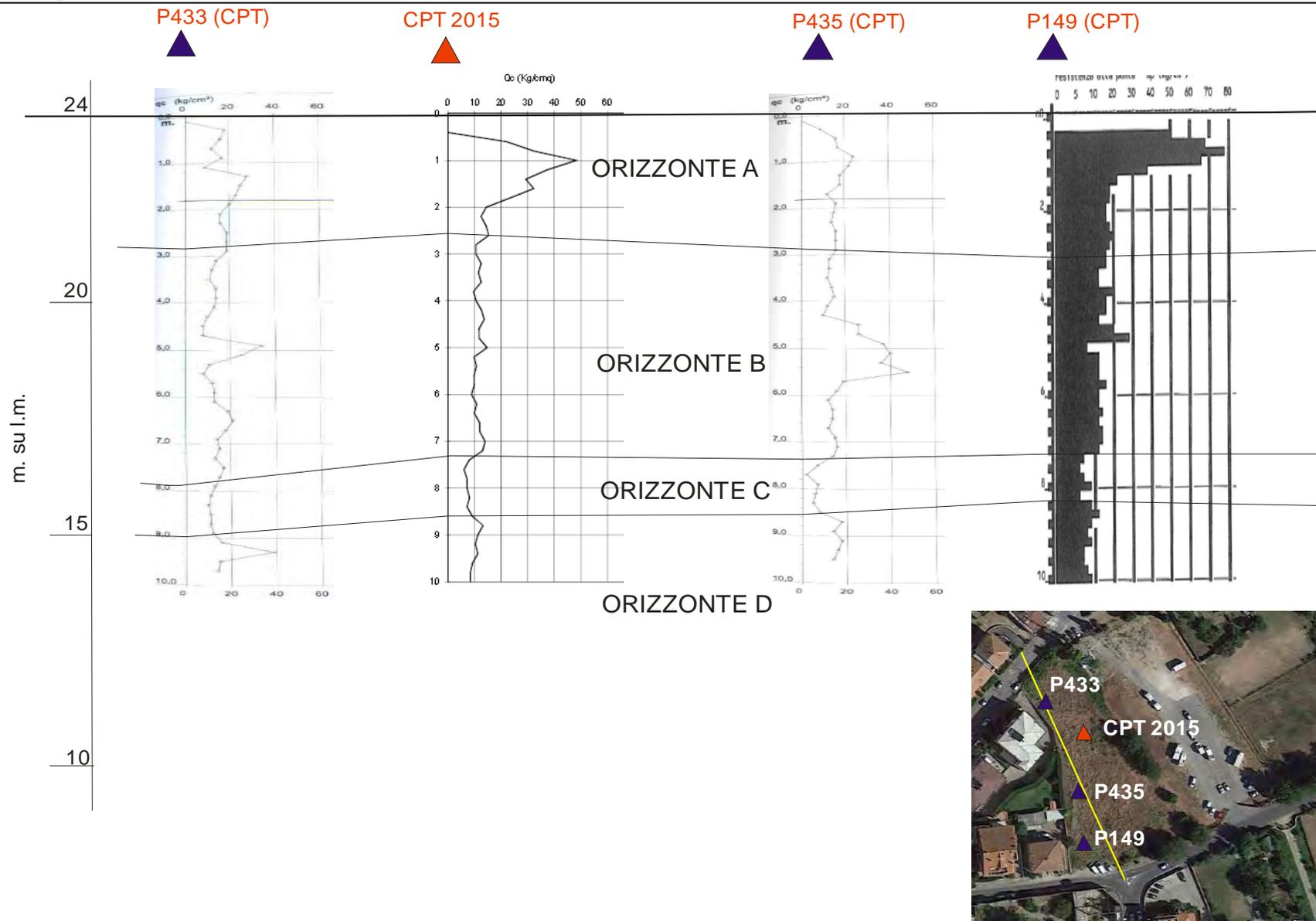


FIG. 4.2 - SEZIONE GEO LITO STRATIGRAFICA



## 5. - SISMICITÀ

Il territorio comunale di Empoli ricade in Zona 3 di sismicità. In base ai dati reperibili su terremoti verificatisi nei comuni toscani, la massima intensità macrosismica osservata per il comune di Empoli risulta non superiore alla magnitudo 7.

In base al rapporto "Zonazione sismogenetica ZS9 – App. 2 al Rapporto Conclusivo a cura di C. Meletti e G. Valensise (2004) Gruppo di lavoro per la redazione della mappa di pericolosità sismica (Ordinanza PCM 20.03.03 n. 3274) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, il territorio ricadrebbe all'interno della Zona sismogenetica 916 per la quale è stata definita una magnitudo massima di 4,6.

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 su strutture. Tale conclusione può essere estesa anche ai depositi più sabbiosi, seppur dotati di maggiore permeabilità rispetto ai precedenti; infatti anche se in essi la dissipazione delle pressioni interstiziali avviene in tempi più rapidi, anche in questo caso, essi risulteranno più lunghi rispetto alla durata dell'eventuale sisma.

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.

Dall'analisi e dalla valutazione integrata di quanto emerge dall'acquisizione delle conoscenze relative agli elementi esistenti di tipo geologico-litotecnico, geomorfologico e delle indagini geofisiche, geotecniche e geognostiche a disposizione e/o appositamente eseguite (MASW), possono essere definite le aree ove potenzialmente soggette a effetti locali o di sito. Tale valutazione viene rappresentata attraverso uno studio di Microzonazione Sismica di 1°



Livello, secondo i criteri definiti dal D.P.G.R. Toscana n° 53/R del 25 Ottobre 2011, ed in particolare nell'All. A della delibera di G.R.T. n. 261 del 18 Aprile 2011 "Redazione delle specifiche tecniche regionali per la Microzonazione Sismica", che ha interamente recepito le linee guida degli "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica" (Gruppo di lavoro MS, 2008).

La cartografia di microzonazione prodotta a supporto del Piano Strutturale di Empoli in particolare la Carta delle MOPS (Microzonazione Omogenea in Prospettiva Sismica) e la Carta della Pericolosità Sismica, FIG. 5.1 e 5.2, l'area interessata dall'intervento in progetto ricade in zona a **Pericolosità Sismica Media S2**. Le nuove indagini eseguite confermano tale quadro.

Nell'area non si rilevano elementi di possibile amplificazione dell'onda sismica. La presenza di una significativa componente fine limosa nei depositi granulari superficiali, rende molto remota la possibilità di moti di filtrazione tali da indurre a possibili fenomeni di liquefazione.

Nessuna parte del presente documento può essere riprodotta senza il consenso dell'Autore

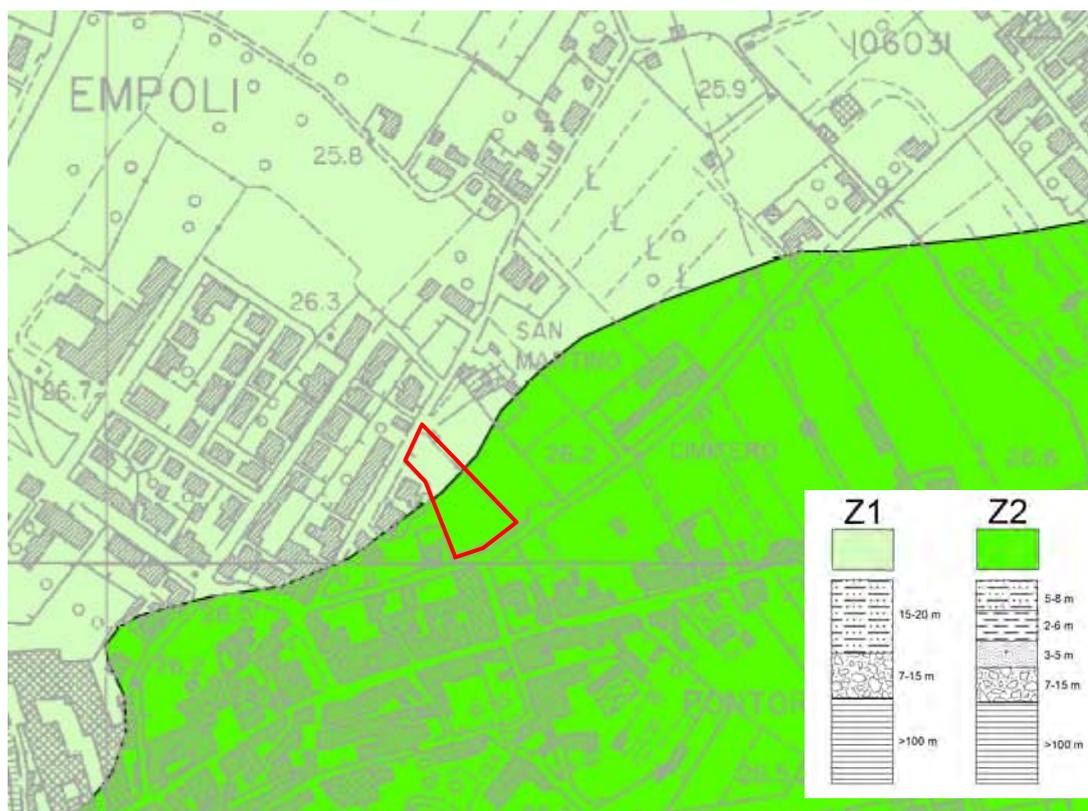
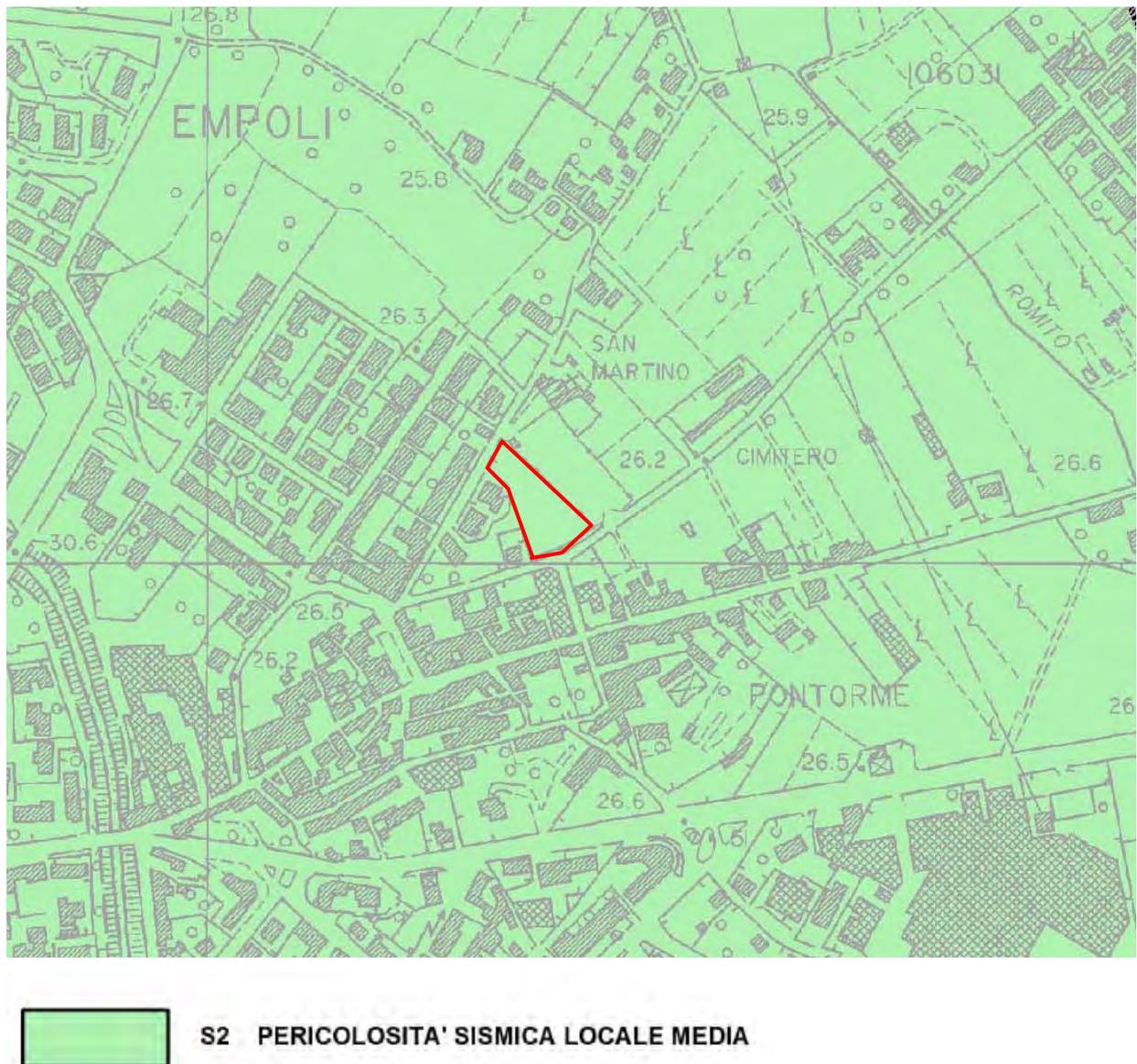


FIG. 5.1 – CARTA M.O.P.S.

(Estratto da Indagini Geologico Tecniche di supporto al P. S. del Comune di Empoli)





**FIG. 5.2 – CARTA PERICOLOSITA' SISMICA**

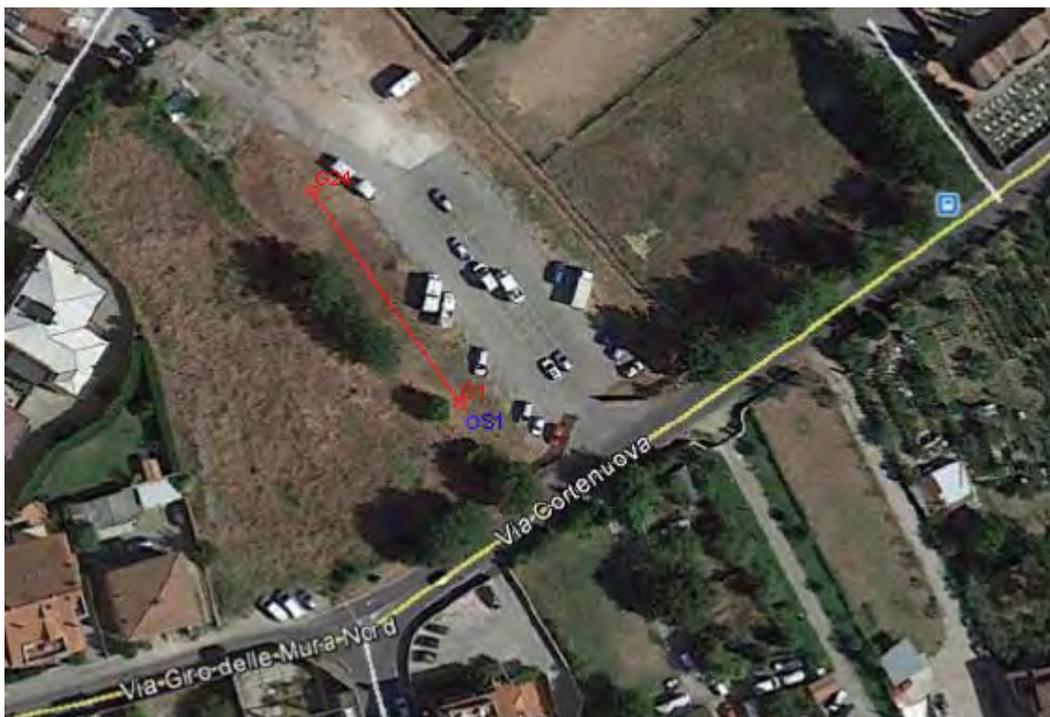
(Estratto da Indagini Geologico Tecniche di supporto al P. S. del Comune di Empoli)

### 5.1. Indagini sismiche eseguite. Cenni metodologici

La modellazione sismica locale del sottosuolo è stata ottenuta per mezzo di un MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves) e di un'analisi di tipo passivo attraverso misura di microtremori. L'ubicazione dell'indagine eseguita è riportata in FIG.5.3. I risultati dell'indagine sono riportati in Annesso.

Oltre alle indagini appositamente eseguite ci si è riferiti anche ai risultati di indagini sismiche eseguite in aree limitrofe, in particolare ad una misurazione di microtremore, desunta dal database allegato al P.S. comunale (MW SR8).





**FIG. 5.3 – Ubicazione indagini sismiche eseguite**

**a)** La metodologia MASW permette di ricavare le velocità di propagazione delle onde trasversali o di taglio S (onde di corpo) nel sottosuolo sfruttando le onde di superficie e, più precisamente, le onde di Rayleigh. In un semispazio omogeneo la velocità di propagazione di tali onde non dipende dalla frequenza ovvero “non si disperdono”; in presenza di una superficie libera una particella interessata da un'onda di Rayleigh mostra un moto ellittico retrogrado (in senso antiorario).

L'impiego delle onde di superficie, in particolare quelle di Rayleigh, è giustificato dal fatto che esse impiegano gran parte dell'energia necessaria alla generazione e propagazione delle onde di corpo. La propagazione delle onde di Rayleigh, è influenzata dalla densità dei materiali attraversati e dalla velocità delle onde P ma, soprattutto, è funzione della velocità delle onde S. Al variare in senso verticale delle caratteristiche meccaniche dei terreni e, quindi, in presenza di un semispazio omogeneo stratificato, varia la velocità di propagazione di ciascuna delle componenti di frequenza di tale onda superficiale; a ognuna di queste velocità, dette “di fase”, corrisponde una differente lunghezza d'onda per ciascuna frequenza che si propaga. Questa caratteristica viene detta “dispersione”. La dispersione può essere quindi definita come “la deformazione di un treno d'onda dovuta ad una variazione di velocità di propagazione al variare della frequenza” (“La Metodologia MASW per la determinazione delle VS30” G. Del Moro e P. Gabrielli, Geofluid 2006). La dispersione delle onde superficiali, essendo intrinsecamente dipendente dalle caratteristiche meccaniche dei terreni attraversati,



permette di studiarne le proprietà elastiche, giungendo alla realizzazione di un profilo verticale di velocità di propagazione delle onde di taglio S ed evidenziando eventuali zone di inversione di velocità. Operativamente il metodo MASW permette in genere di investigare una profondità di 30 mt con una lunghezza dello stendimento a partire già da 23-24 mt ovvero utilizzando n°24 geofoni con passo di 1 mt a seconda del software utilizzato per l'inversione e, soprattutto, in funzione di come si propagano le onde superficiali nel terreno.

La fase di campagna necessaria per l'acquisizione del segnale sismico richiede la realizzazione di uno stendimento costituito da 24 geofoni verticali da 4.5 Hz e quindi particolarmente sensibili alle basse frequenze, opportunamente spazati. Per la realizzazione delle onde di compressione viene utilizzata una sorgente costituita da una mazza battente da 8 kg munita di interruttore inerziale come starter e piastra in alluminio.

**b)** Il microtremore “rumore sismico” è presente ovunque sulla superficie della terra ed è generato dai fenomeni ambientali e dall'attività antropica. L'analisi delle misure di rumore sismico possono essere condotte in tre modi: Rapporti spettrali; Spettri di Fourier; Rapporti spettrali H/V. Il metodo più usato e più affidabile è quello dei rapporti spettrali H/V che consiste nella misura dei rapporti degli spettri di Fourier nel piano orizzontale e della componente verticale. Il metodo è stato introdotto nei primi anni '70 da scienziati giapponesi tra cui Nogoshi e Igarashi (1971) e Shiono et al. (1979) e poi ripreso nel 1989 da Nakamura. Il metodo HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratios) mira all'individuazione di possibili fenomeni di risonanza sismica e delle relative frequenze e si basa sulla misura dei rapporti medi fra le ampiezze spettrali delle componenti orizzontali e della componente verticale del rumore sismico ambientale. In presenza di forti contrasti di impedenza sismica nel sottosuolo (ad esempio in corrispondenze del passaggio fra litologie caratterizzate da velocità delle onde sismiche molto differenti) la funzione H/V, che rappresenta i rapporti spettrali medi in funzione della frequenza, presenta dei massimi che corrispondono con le frequenze di risonanza. Esiste poi una proporzionalità (non lineare) fra l'ampiezza dei massimi della funzione H/V e l'entità del contrasto di impedenza sismica. La frequenza di risonanza fornisce indicazioni sul rapporto fra la velocità delle onde S dello strato al tetto del bedrock sismico e la profondità di quest'ultimo:

$$f_0 = n * V_s / (4H)$$

dove:

$f_0$  = frequenza di risonanza

$V_s$  = velocità delle onde S della copertura



H = spessore della copertura/profondità bedrock

n = 1,3,5,.....

## 5.2 - Risultati

L'acquisizione del segnale è stata eseguita su uno stendimento di 24 geofoni aventi frequenza di 4,5 Hz ed equidistanziati 2,0 metri. Come fonte di energia elastica è stata utilizzata una mazza da 8 Kg incidente su una piastra in alluminio. L'energia prodotta ed il contenuto in frequenza dell'energizzazione sono risultati adeguati per le finalità dello studio ed il sismogramma ottenuto è risultato sempre di buona qualità. In mancanza di informazioni precise il coefficiente di Poisson e la densità dei terreni sono stati assunti pari rispettivamente a 0,333 e 1800 Kg/m<sup>3</sup>.

Il valore di Vs<sub>30</sub>, per l'intervallo di profondità 0-30 m, è risultato pari a 225 m/sec, FIG. 5.4, e quindi corrisponde ad un suolo di tipo

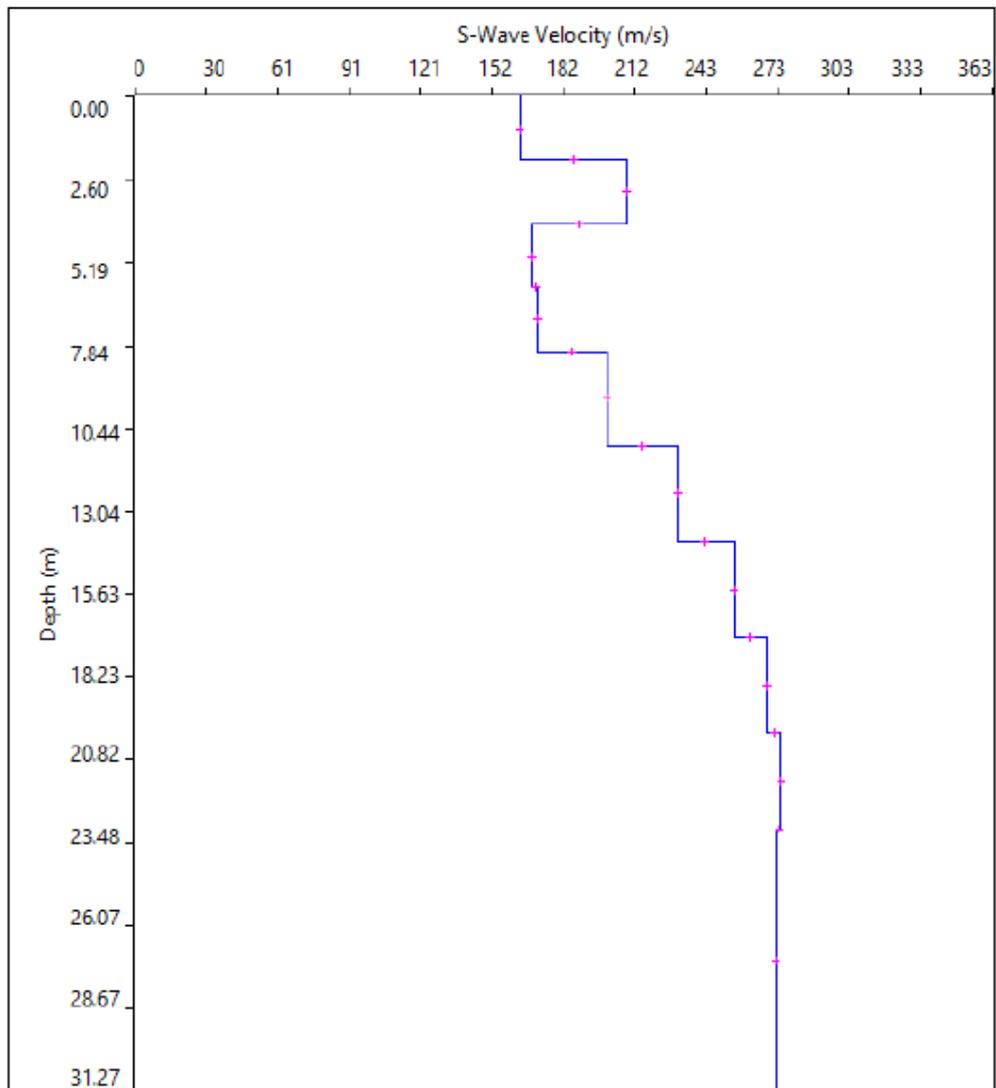
### **categoria C:**

*“Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs,30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero 15 < NSPT,30 < 50 nei terreni a grana grossa e 70 < cu,30 < 250 kPa nei terreni a grana fina”*

Un indagine geofisica consistita in una stesa sismica a rifrazione onde Sh, eseguita non lontano dall'area di progetto (indagine L14 da PS C. di Empoli), Fig. 5.5, evidenzia velocità medie Vs<sub>30</sub> nell'ordine dei 280 m/sec, in accordo ancora ad una categoria di suolo di tipo C.



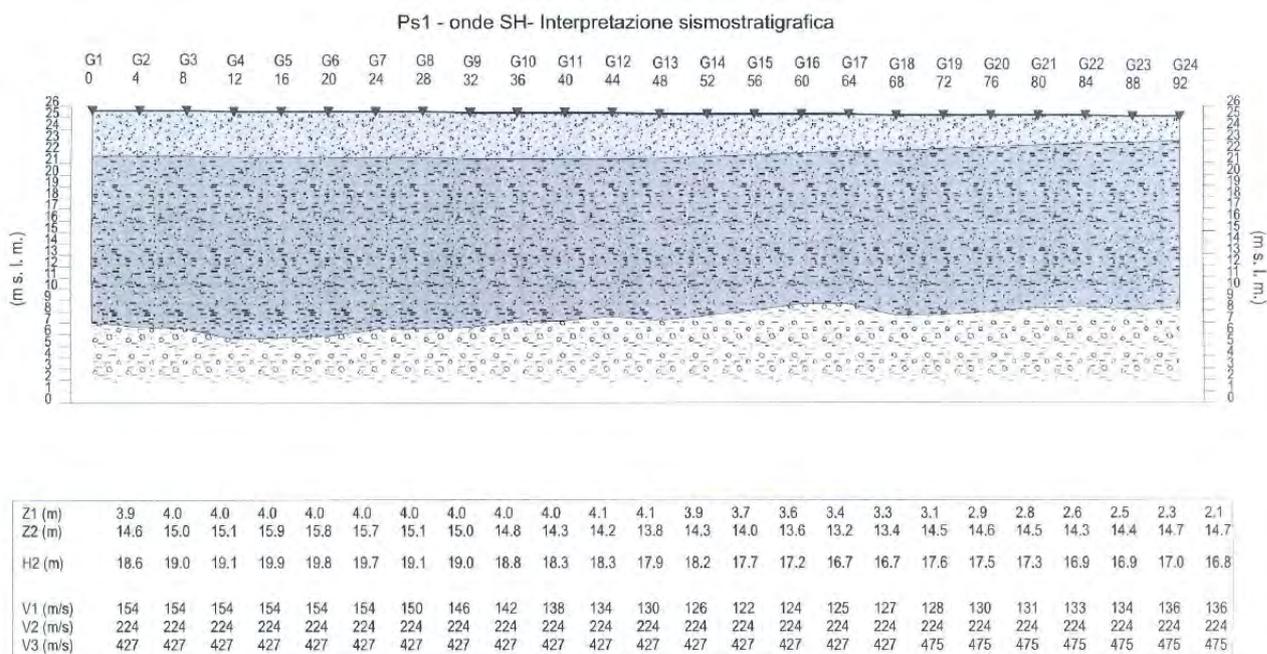
Nessuna parte del presente documento può essere riprodotta senza il consenso dell'Autore



	Thickness	Depth	Vs
Layer 1	2.00	0.00	163
Layer 2	2.00	2.00	209
Layer 3	2.00	4.00	169
Layer 4	2.00	6.00	171
Layer 5	3.00	8.00	200
Layer 6	3.00	11.00	230
Layer 7	3.00	14.00	254
Layer 8	3.00	17.00	268
Layer 9	3.00	20.00	274
Layer 10	INF	23.00	272

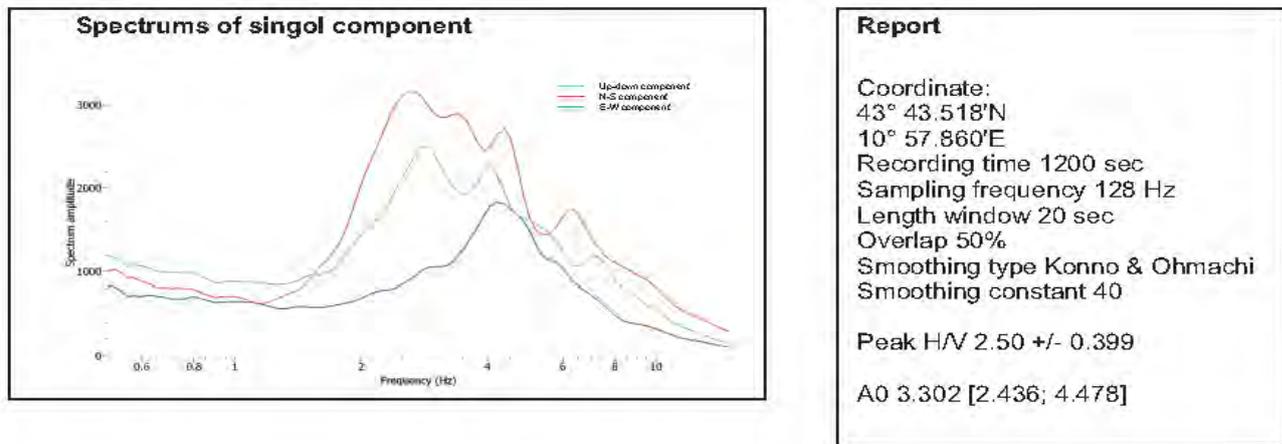
FIG. 5.4 - MASW





**FIG. 5.5 – Linea sismica a rifrazione onde Sh**  
(da Indagini Geologico Tecniche di supporto al P. S. del Comune di Empoli)

La misura dei microtremori, con riferimento al diagramma di frequenza di FIG. 5.6.



**FIG. 5.6 – Diagramma di frequenza HSRV8**  
(da Indagini Geologico Tecniche di supporto al P. S. del Comune di Empoli)

evidenzia come il picco del rapporto H/V è a 2.50 Hz:

Denominazione	Ubicazione	Coordinata N	Coordinata E	H/V	A0
HVSR_8	Via San Martino	43°43.518'	10°57.860'	2.50 +/-0.399	3.302 [2.436; 4.478]



Ricorrendo alla formula:

$$f_0 = n * V_s / (4H)$$

dove:

$f_0$  = frequenza di risonanza

$V_s$  = velocità delle onde S della copertura

H = spessore della copertura/profondità bedrock

$n = 1,3,5,.....$

tenuto conto che i valori di frequenza dei picchi H/V (ampiezza 2.5), variano mediamente tra circa 2.4 Hz e 4.8 Hz. Tali valori, sono compatibili con un modello geologico in cui ad uno spessore variabile intorno ai 22-55 m di sedimenti alluvionali prevalentemente limosi argillosi e subordinatamente sabbiosi, caratterizzati, come mostrano le varie indagini sismiche a rifrazione, da una velocità delle onde di taglio  $V_s$  intorno ai 220-250 m/sec, e quindi generalmente classificabili da un punto di vista sismico come terreno di categoria C, su una successione pliocenica prevalentemente argillosa, più compatta e caratterizzata in genere da velocità sismiche maggiori ( $V_s=350-450$  m/sec).

Il tipo di picco rilevato, in accordo anche con indagini analoghe eseguite a supporto del Piano Strutturale, non sembra evidenziare un fenomeno di risonanza particolarmente pronunciato; quindi, pur avendo lo stesso un indubbio significato stratigrafico (passaggio litologico fra terreni a diversa velocità sismica da alluvioni a successione argillosa pliocenica), non si ritiene che esistano le premesse per attribuire una particolare significatività sotto il profilo della pericolosità sismica eventualmente derivabile. Ciò è suffragato anche dalle non elevate differenze di velocità sismiche  $Sh$  tra i due depositi.



## 6. PERICOLOSITA' E PROBLEMATICHE GEOLOGICHE GEOTECNICHE

### 6.1 – Condizioni di Pericolosità e Fattibilità secondo R.U. Comune di Empoli

Con riferimento al R.U. comunale e in particolare alla scheda PUA corrispondente, l'area d'intervento risulta:

- Caratteristiche geologico tecniche dell'area:

Terreni caratterizzati generalmente dalla presenza di strati con  $R_p$  compresa tra 10 e 20 kg/cm<sup>2</sup> e da intervalli limitati con  $R_p > 20$  kg/cm<sup>2</sup>. Queste caratteristiche possono peggiorare o migliorare in funzione dell'incidenza dei livelli con  $R_p$  intorno a 10 kg/cm<sup>2</sup> rispetto a quelli con  $R_p$  intorno a 20 kg/cm<sup>2</sup>. La resistenza a rottura è variabile da media a bassa mentre la compressibilità è variabile da media ad elevata.

- Condizioni di Pericolosità'

- Pericolosità Geologica: **G.3** Pericolosità geologica media.
- Pericolosità Idraulica: **I.2** Pericolosità idraulica media.
- Pericolosità Sismica: **S.2** Pericolosità sismica locale media.

- Condizioni di Fattibilità

- Condizioni di Fattibilità Geologico-tecnica: **F3** Fattibilità condizionata alla realizzazione di indagini geognostiche per la caratterizzazione geotecnica del terreno. Fatte salve le prescrizioni contenute nella legge regionale 36/R del 2009, tali indagini, che potranno essere prove CPT, CPTU e/o sondaggi geognostici con prove SPT dovranno essere commisurate alle problematiche geotecniche che caratterizzano l'area in funzione della tipologia di intervento
- Condizioni di Fattibilità Idraulica: **F2** Fattibilità con normali vincoli da precisare a livello di progetto.
- Condizioni di Fattibilità Sismica: **F2** Fattibilità con normali vincoli da precisare a livello di progetto.



## 6.2 – Problematiche geologico tecniche e conclusioni

Il quadro che emerge dagli studi di supporto al Piano Strutturale e al Regolamento Urbanistico non evidenziano problematiche particolari, se non la necessità di eseguire indagini geognostiche di approfondimento per la definizione e la ricostruzione di un quadro geotecnico stratigrafico e parametrico che possa opportunamente supportare la progettazione delle opere previste sull'area.

Il quadro geologico, idraulico e sismico ricostruito, sulla base delle indagini di approfondimento geognostico eseguite e di quelle numerose esistenti anche su aree contigue, appare esaustivo e sufficiente per definire le eventuali problematiche in relazione agli interventi edificatori e urbanistici in progetto. Le indagini appositamente eseguite (Penetrometrie statiche + Indagine sismica), unitamente alle varie penetrometrie statiche già eseguite in passato nell'area e in zone contigue, confermano il quadro conoscitivo generale del P.S., permettendo di trarre un quadro geostratigrafico e geotecnico locale di maggiore dettaglio. In sintesi il quadro geotecnico parametrico locale risulta caratterizzato da un primo orizzonte (orizzonte A), dello spessore di 2.5-3.0 metri circa, con caratteristiche geotecniche tendenzialmente discrete seppur variabili da zona a zona ( $R_p > 20 \text{ kg/cm}^2$ ), cui seguono depositi limoso argillosi con caratteristiche medie (livelli con  $R_p$  compresa tra 10 e 15  $\text{kg/cm}^2$ ) fino verso i 7-7.5 metri dal p.c.. A questi ultimi, come del resto segnalato anche dalla Carta Litotecnica del P.S. comunale, seguono terreni sempre coesivi, ma organici e di scadenti caratteristiche e più compressibili. Rimangono quindi valide le condizioni di pericolosità geologica indicate dal R.U. e in particolare una Pericolosità media/elevata **G2/3**.

<b>G.2</b>	MEDIA	Aree in cui sono presenti fenomeni franosi inattivi e stabilizzati (naturalmente o artificialmente); aree con elementi geomorfologici, litologici e giaciturali dalla cui valutazione risulta una bassa propensione al dissesto; corpi detritici su versanti con pendenze superiori al 25%.
<b>G.3</b>	ELEVATA	Aree in cui sono presenti fenomeni quiescenti; aree con indizi di instabilità connessi alla giacitura, all'acclività, alla litologia, alla presenza di acque superficiali e sotterranee, nonché a processi di degrado di carattere antropico; aree interessate da intensi fenomeni erosivi e da subsidenza; aree caratterizzate da terreni con scadenti caratteristiche geotecniche; corpi detritici su versanti con pendenze inferiori al 25%.

Tuttavia come messo in evidenza dalle indagini di approfondimento, tale quadro appare compatibile con il tipo di intervento in progetto, caratterizzato nelle sue linee generali da una struttura a piano terra e un piano fuori terra con previsione di strutture di fondazione superficiali (travi rovesce). Sono quindi da prevedersi carichi di esercizio non particolarmente elevati sui terreni di fondazione e, comunque, compatibili con il quadro litotecnico locale, caratterizzato nei primi 7-7.5 metri dal p.c., come già detto, da terreni con caratteristiche geotecniche parametriche da discrete a medie.



Sotto il profilo sismico l'area non presenta particolari condizioni di possibile amplificazione delle onde sismiche. Il valore di Vs30, determinato per l'intervallo di profondità 0-30 m, è risultato pari a 225 m/sec, corrispondente ad un suolo di categoria tipo **C**. Si conferma una Pericolosità Sismica locale media **S2**.

<b>S.2</b>	PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE MEDIA	Zone suscettibili di instabilità di versante inattiva e che pertanto potrebbero subire riattivazione dovuta ad effetti dinamici quali possono verificarsi in occasione di eventi sismici; zone stabili suscettibili di amplificazioni locali (che non rientrano tra quelli previsti per la classe S3)
------------	--------------------------------------	---

Non sussistono condizioni di rischio idraulico e quindi si confermano condizioni di Pericolosità Idraulica media **I2**.

<b>I.2</b>	MEDIA	Aree interessate da allagamenti per eventi compresi tra $200 < T_r \leq 500$ anni. Fuori dalle UTOE potenzialmente interessate da previsioni insediative e infrastrutturali, in presenza di aree non riconducibili agli ambiti di applicazione degli atti di pianificazione di bacino e in assenza di studi idrologici idraulici rientrano in classe di pericolosità media le aree di fondovalle per le quali ricorrano le seguenti condizioni: a) non vi sono notizie storiche di inondazioni; b) sono in situazione di alto morfologico rispetto alla piana alluvionale adiacente, di norma a quote altimetriche superiori a metri 2 rispetto al piede esterno dell'argine o, in mancanza, al ciglio di sponda.
------------	-------	---

Il quadro di pericolosità è riassunto dalla carta di FIG. 6.1.

Alla luce del quadro conoscitivo geologico-sismico ricostruito non si evidenziano quindi problematiche particolari che possano condizionare in maniera negativa la fattibilità degli interventi in progetto e si ritengono peraltro rispettate le raccomandazioni legate alla Fattibilità Geologica **F3** e di Fattibilità Sismica e Idraulica **F2** indicate nella scheda relativa al PUA allegata al R.U. comunale.

<b>F2</b>	Fattibilità con normali vincoli	Si riferisce alle previsioni urbanistiche ed infrastrutturali per le quali è necessario indicare la tipologia di indagini e/o specifiche prescrizioni ai fini della valida formazione del titolo abilitativo all'attività edilizia.
<b>F3</b>	Fattibilità condizionata	Si riferisce alle previsioni urbanistiche ed infrastrutturali per le quali, ai fini della individuazione delle condizioni di compatibilità degli interventi con le situazioni di pericolosità riscontrate, è necessario definire la tipologia degli approfondimenti di indagine da svolgersi in sede di predisposizione dei piani complessi di intervento o dei piani attuativi o, in loro assenza, in sede di predisposizione dei progetti edilizi.

Il quadro di fattibilità è riassunto dalla carta di FIG. 6.2.



Per quanto concerne la fattibilità 3 condizionata. Gli approfondimenti di indagine svolti hanno permesso di ricostruire un quadro geostratigrafico e litotecnico esaustivo. In particolare come già descritto, le indagini geognostiche eseguite e quelle esistenti hanno evidenziato un quadro litotecnico caratterizzato da un primo orizzonte (orizzonte A), dello spessore di 2.5-3.0 metri circa, con caratteristiche geotecniche tendenzialmente medie-discrete seppur variabili da zona a zona ( $R_p > 20 \text{ kg/cm}^2$ ), cui seguono depositi limoso argillosi con caratteristiche medie (livelli con  $R_p$  compresa tra 10 e 15  $\text{kg/cm}^2$ ) fino verso i 7-7.5 metri dal p.c.. A questi ultimi, come del resto segnalato anche dalla Carta Litotecnica del P.S. comunale, seguono terreni sempre coesivi, ma organici e di scadenti caratteristiche e più compressibili.

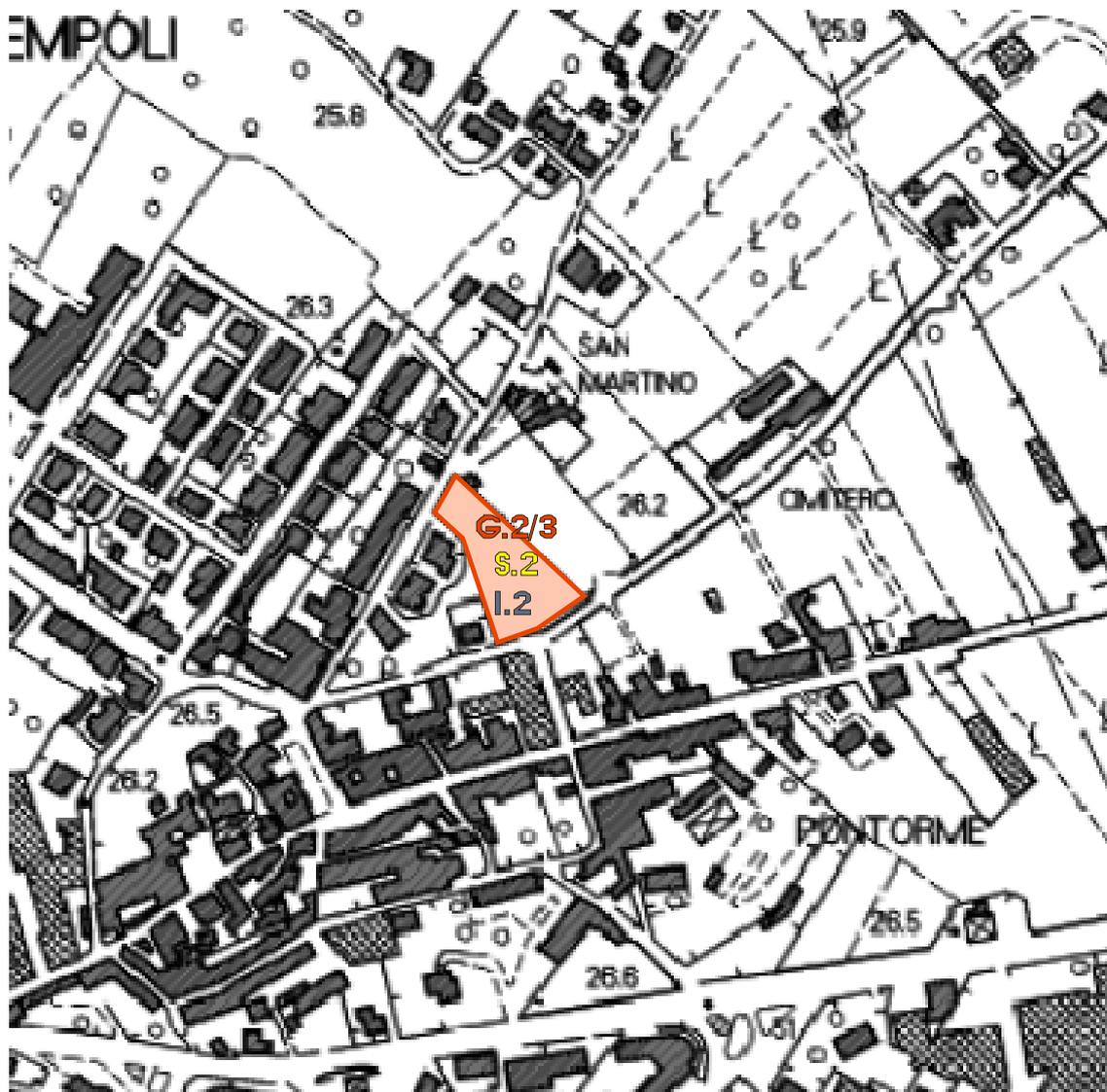
Il progetto prevede un edificio con piano terra e primo piano, molto allungato, e posizionato nel settore di proprietà che dalla mezzeria dell'area va verso via di San Martino. Considerato il tipo di struttura non sono prevedibili carichi di esercizio eccessivi. Il quadro geostratigrafico e geotecnico parametrico locale appare sostanzialmente compatibile col tipo di struttura prevista. Data la forma particolarmente allungata dell'edificio, il progetto prevede un giunto di separazione a circa metà della struttura. Alla luce dei prevedibili contenuti carichi di esercizio e della profondità dei terreni più compressibili, non ci si devono attendere problematiche particolari per cedimenti. Il giunto previsto permetterà comunque di contenere e mitigarne gli eventuali effetti.

Dott. Geol. Massimo Pellegrini



FIG. 6.1

CARTA DELLA PERICOLOSITA'



Nessuna parte del presente documento può essere riprodotta senza il consenso dell'Autore

LEGENDA

- G2** - Pericolosità Geologica-Geomorfologica Media
- G3** - Pericolosità Geologica-Geomorfologica Elevata
- S2** - Pericolosità sismica locale media
- I.2** - Pericolosità Idraulica media



FIG. 6.2

CARTA DELLA FATTIBILITA'



*Nessuna parte del presente documento può essere riprodotta senza il consenso dell'Autore*

LEGENDA

- F2** - Fattibilità Geologica-Geomorfologica con normali vincoli
- F3** - Fattibilità Geologica-Geomorfologica condizionata
- F.2** - Fattibilità Sismica con normali vincoli
- F.2** - Fattibilità Idraulica con normali vincoli



## **A N N E S S O**

**Indagini geognostiche di riferimento**

**Indagini geofisiche**

*Nessuna parte del presente documento può essere riprodotta senza il consenso dell'Autore*



## Penetrometrie Statiche/dinamiche da P.S. Comune di Empoli

**P148**

Penetrometria n. 168

Studio di Geologia Dr.L.GIAMMATTEI - Dr.F.ROSSI \* Lucca - Tel.0583/48682

Rifer. : GETAS-22

**PROVA PENETROMETR. STATICA  
DIAGRAMMI DI RESISTENZA**

**CPT  
GPD-2-92**

PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 10 t

data : 29 AGOSTO 1997

Cantiere : GETAS SRL - PONTORME (ZONA 2)

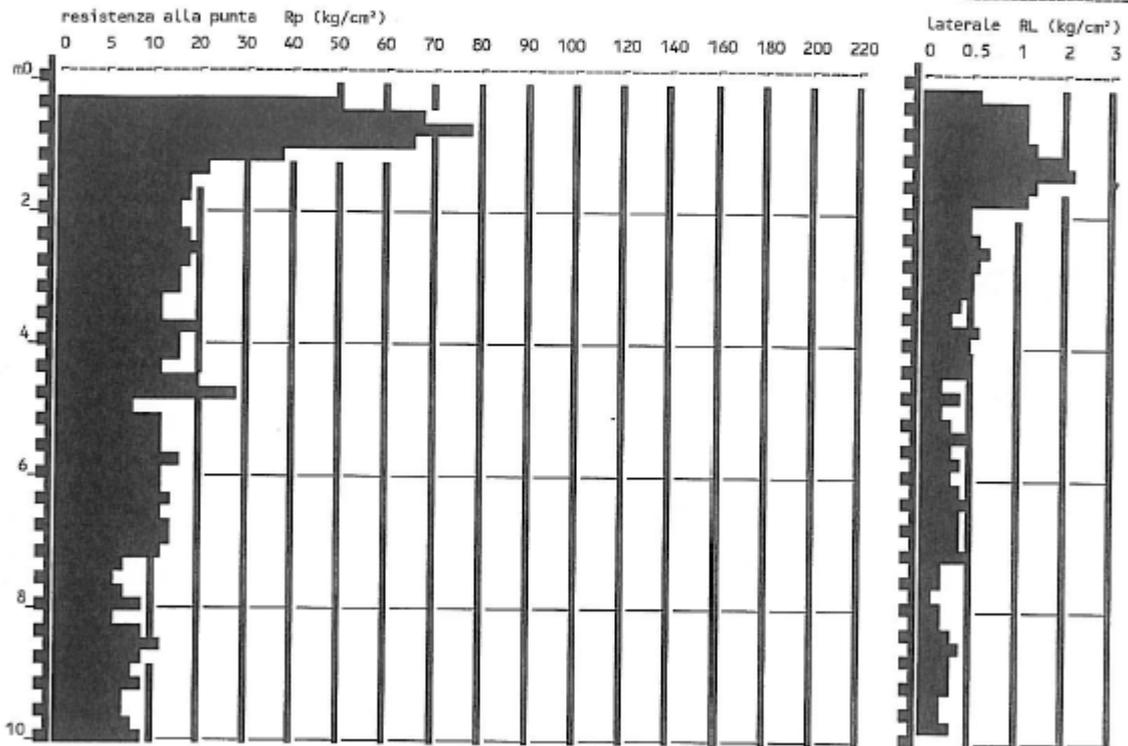
quota inizio : PIANO CAMPAGNA

Località : EMPOLI (FI)

prof. falda = 2.48 m da quota inizio

note : FORO ATTREZZATO CON PIEZOMETRO

scala profondità = 1 : 100



Nessuna parte del presente documento può essere riprodotta senza il consenso dell'Autore



**P149**

Penetrometria n. 169

Studio di Geologia Dr.L.GIAMMATTEI - Dr.F.ROSSI \* Lucca - Tel.0583/48682

Rifer. : GETAS-22

**PROVA PENETROMETR. STATICA  
DIAGRAMMI DI RESISTENZA**

**CPT  
GPD-2-92**

PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 10 t

data : 29 AGOSTO 1997

Cantiere : GETAS SRL - PONTORME (ZONA 2)

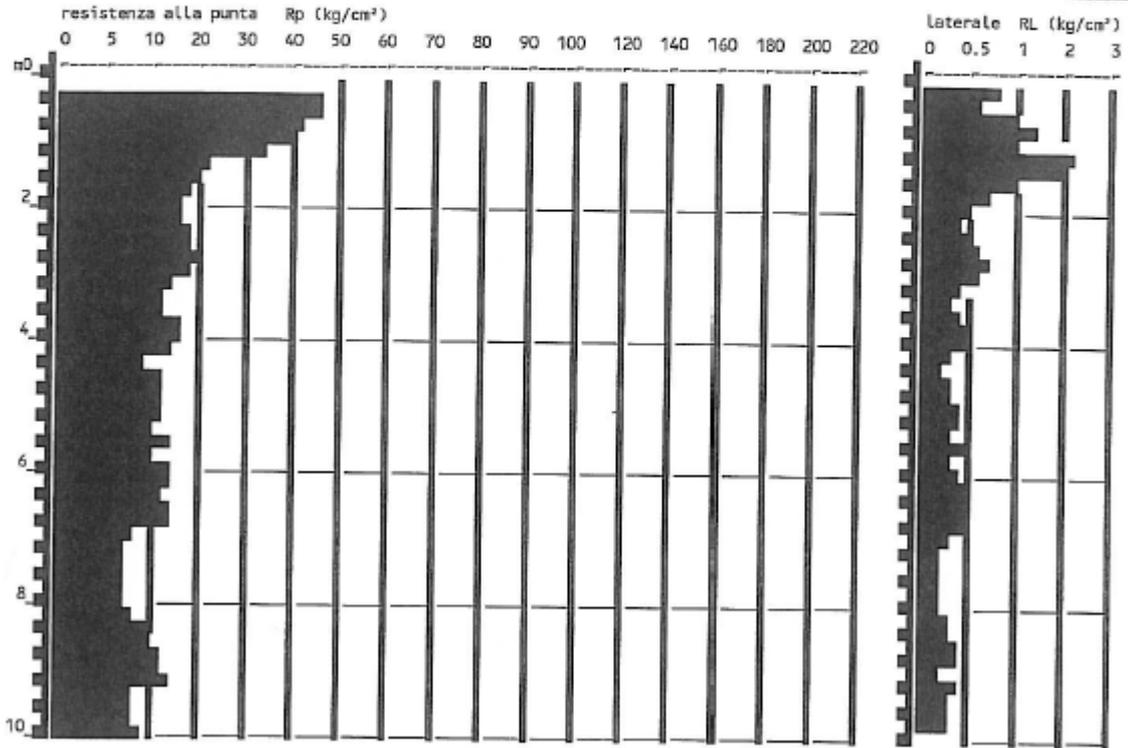
quota inizio : PIANO CAMPAGNA

Località : EMPOLI (FI)

prof. felda = 2.50 m da quota inizio

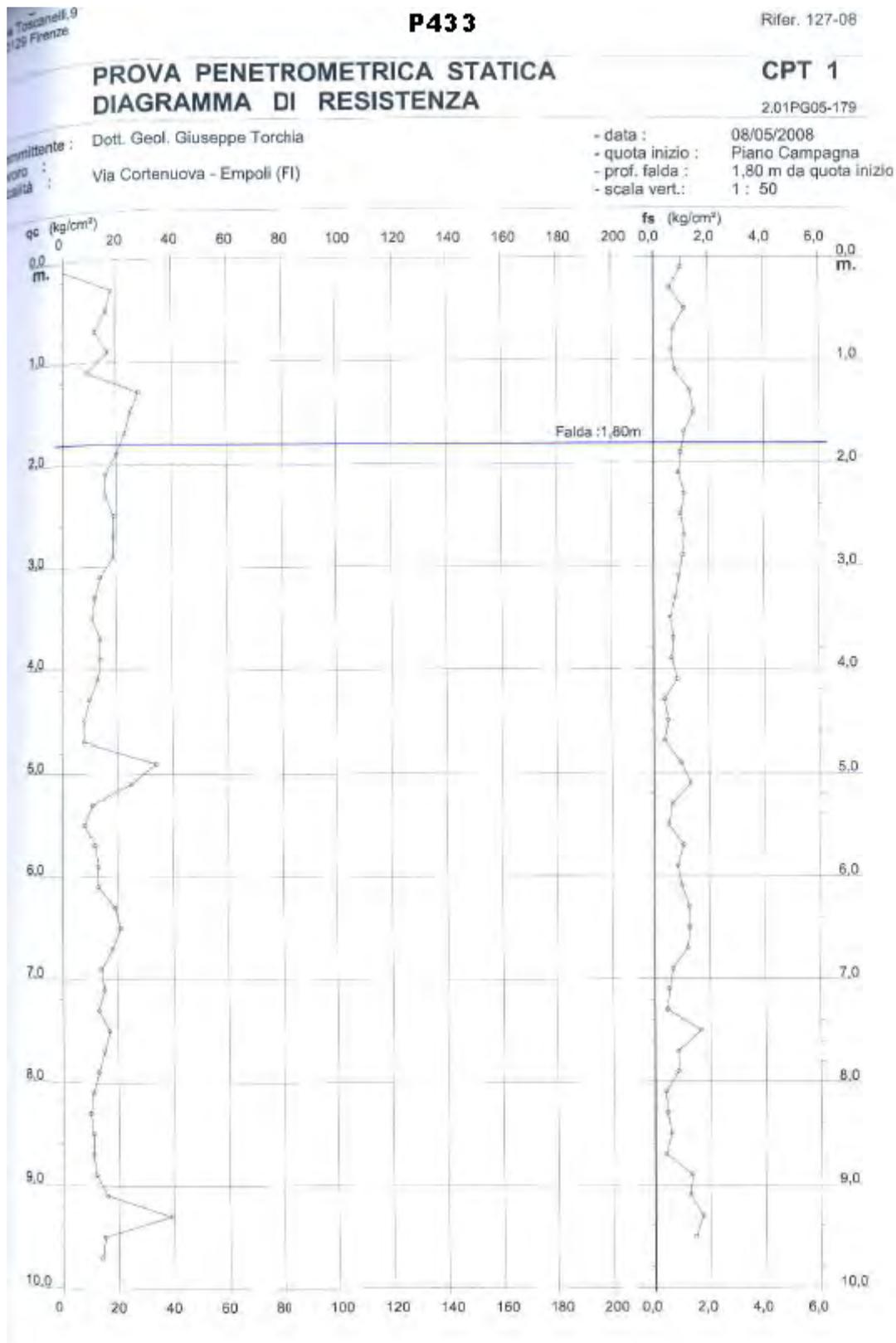
note : MISURA PIEZOMETRICA ESEGUITA NEL PERFORO PENETROMETRICO

scala profondità = 1 : 100



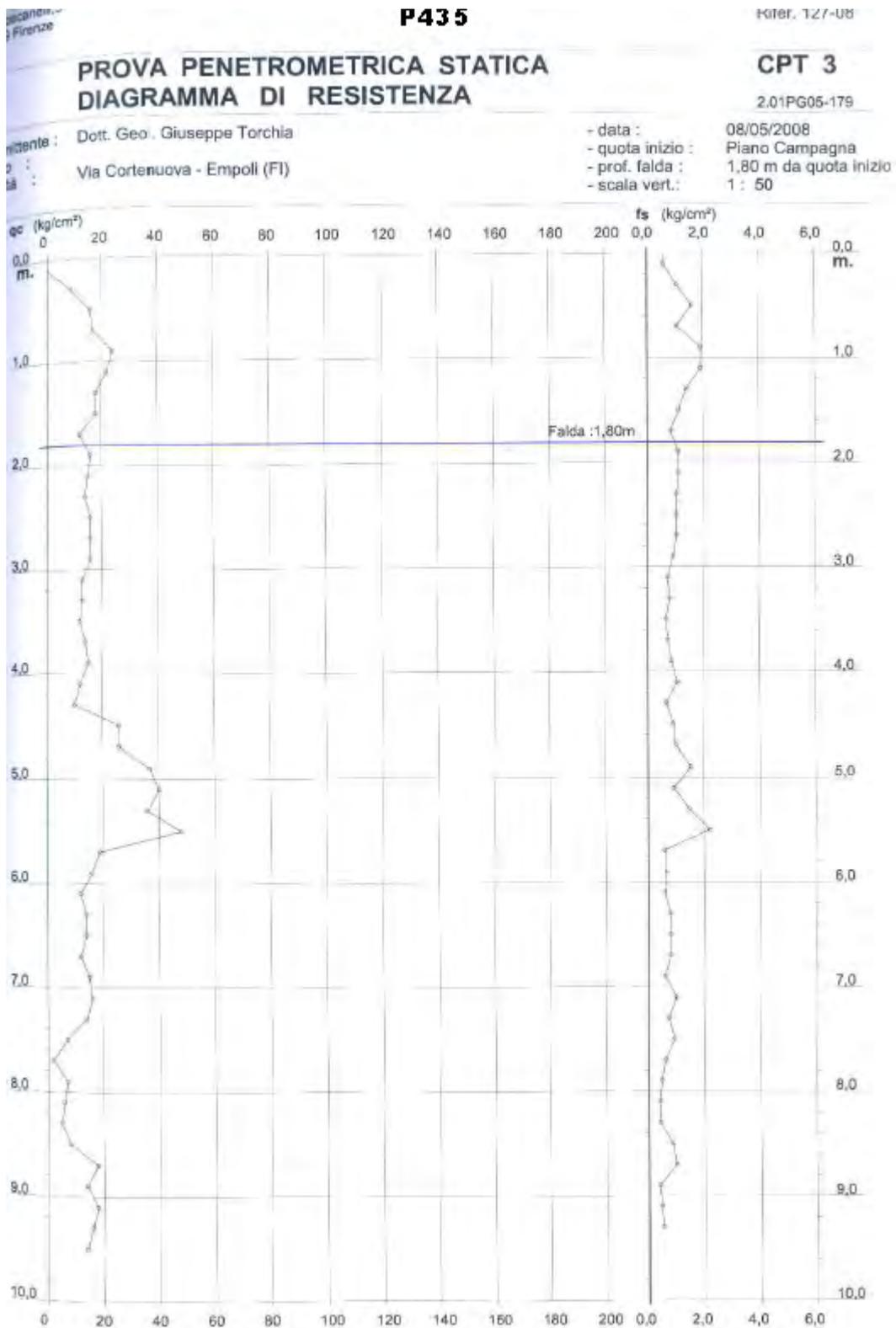
Nessuna parte del presente documento può essere riprodotta senza il consenso dell'Autore





Nessuna parte del presente documento può essere riprodotta senza il consenso dell'Autore



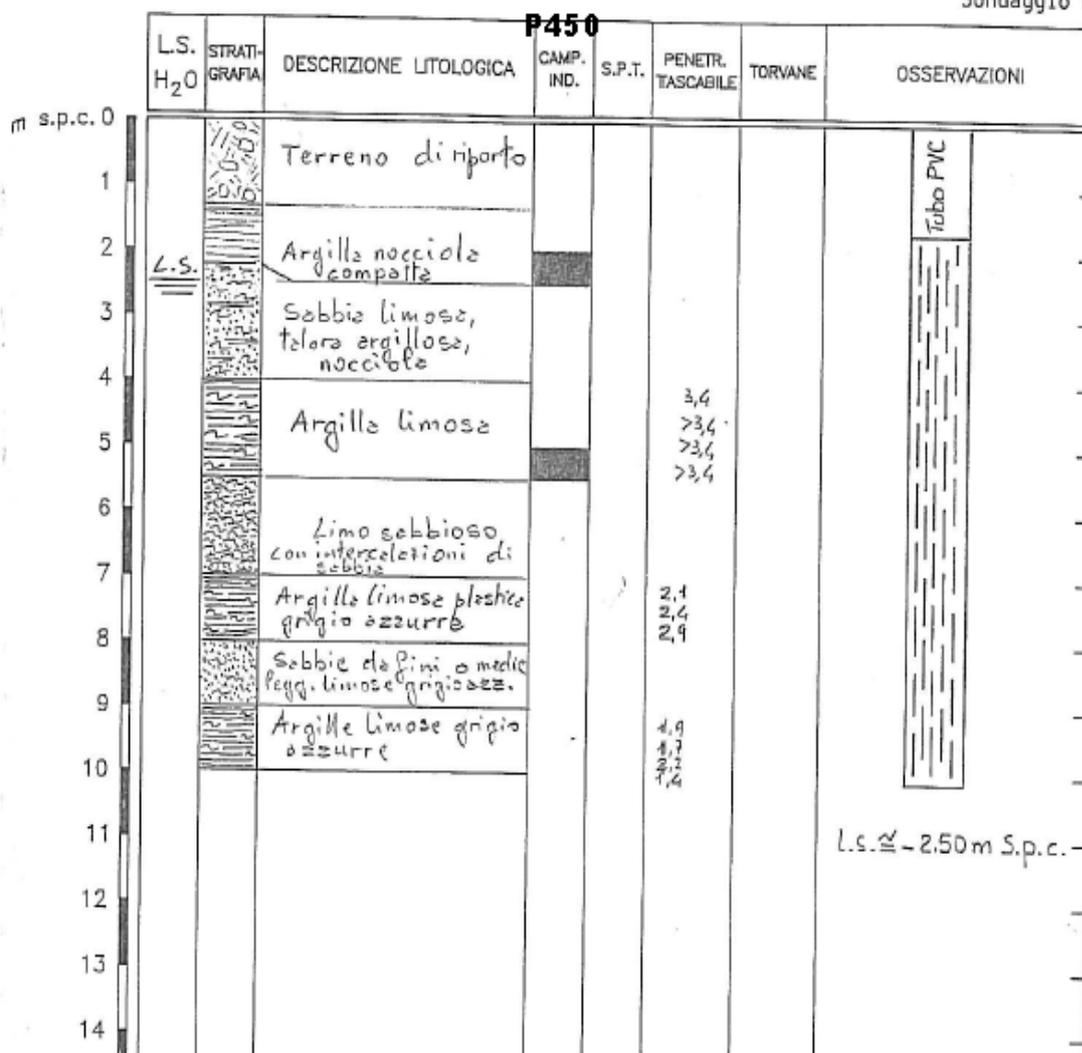


Nessuna parte del presente documento può essere riprodotta senza il consenso dell'Autore



Sondaggi a carotaggio continuo e/o pozzi da P.S. Comune di Empoli

Sondaggio n. 52



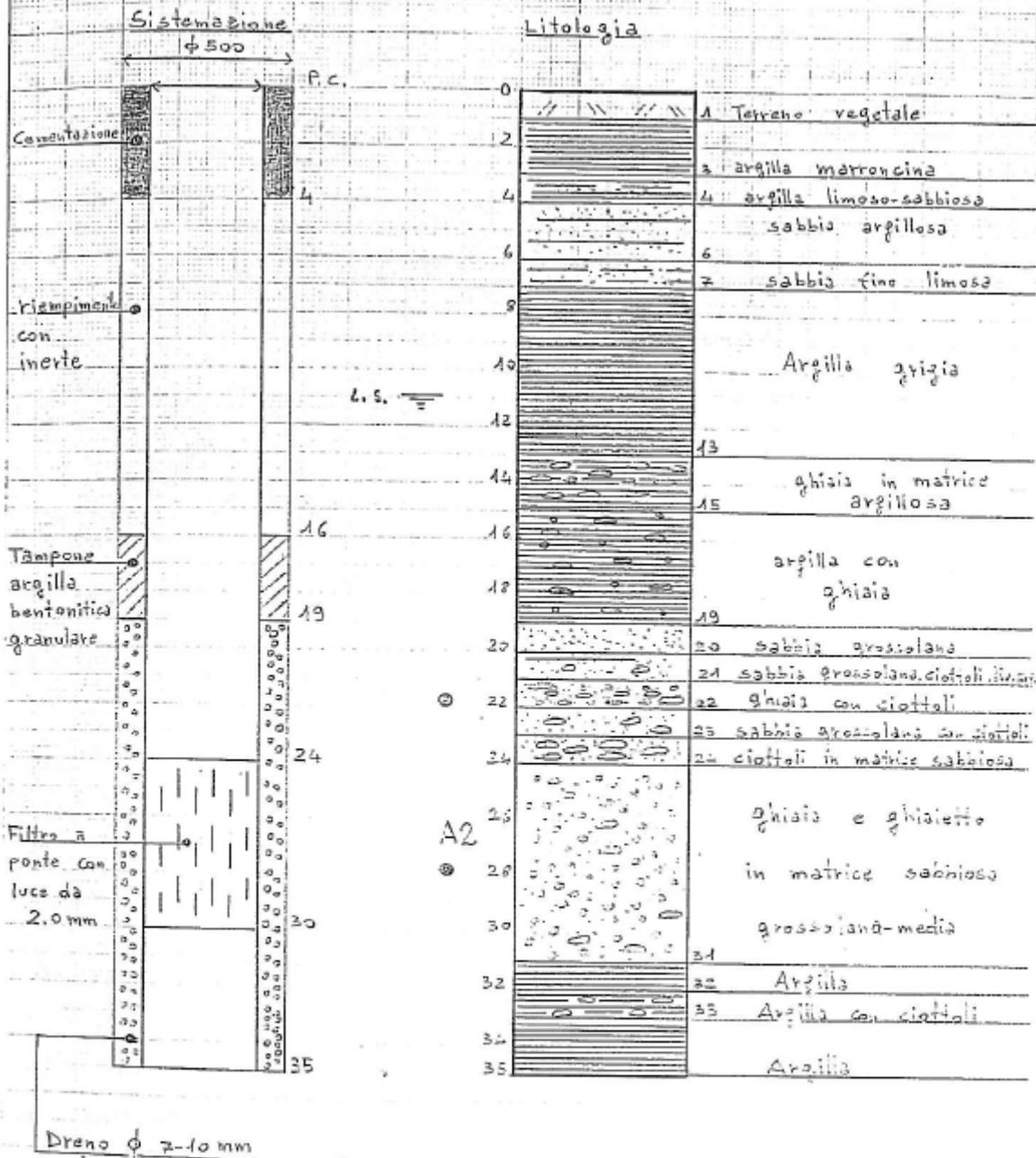
Nessuna parte del presente documento può essere riprodotta senza il consenso dell'Autore

<b>P664</b>					
Fonte: database SIRA			id: 95365		
da	0	m	a	3	m terreno di riporto
da	3	m	a	15	m limo argilloso
da	15	m	a	25	m argilla debolmente limosa
da	25	m	a	28	m ghiaia
da	28	m	a	30	m argilla



**P809**

**POZZO PARCO SERRAVALLE n. 86**



● Test granulometrico

0-4 : cementazione ;  
 4-16 : riempimento con inerte  
 16-19 : tampone argilla

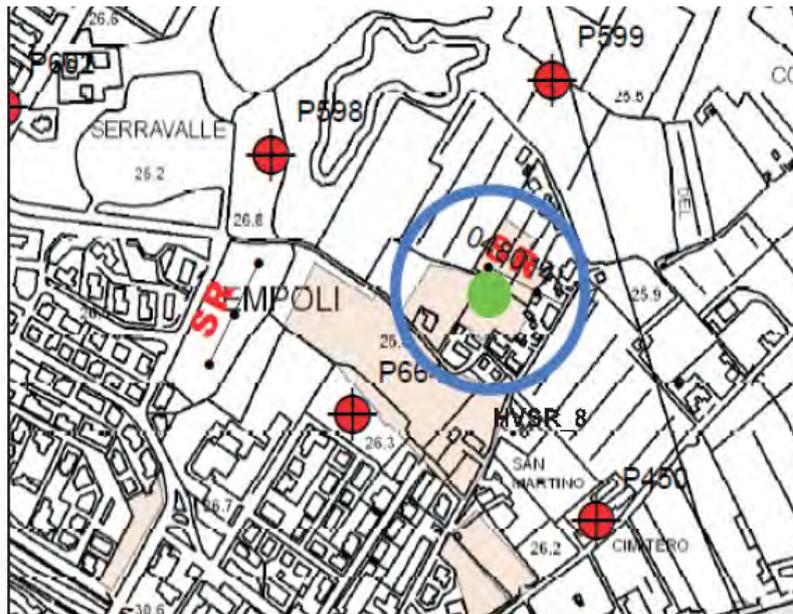
19-35 : dreno ( $\phi$  7-10 mm)

filtri a ponte (2.0mm) : da 24 a 30

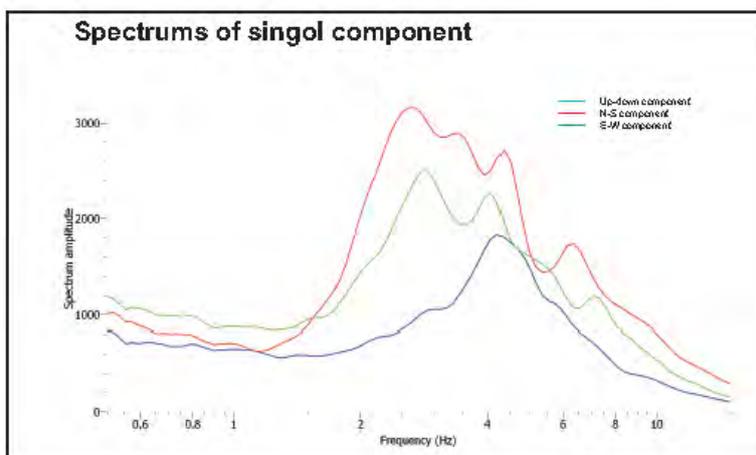
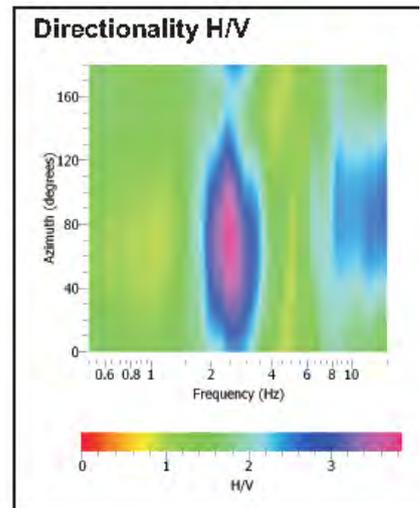
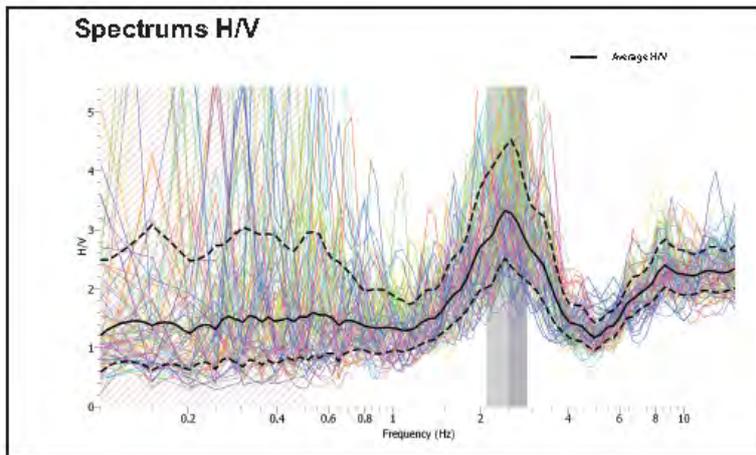
Nessuna parte del presente documento può essere riprodotta senza il consenso dell'Autore



## Indagini geofisiche da P.S. Comune di Empoli



Nessuna parte del presente documento può essere riprodotta senza il consenso dell'Autore



**Report**

Coordinate:  
 43° 43.518'N  
 10° 57.860'E  
 Recording time 1200 sec  
 Sampling frequency 128 Hz  
 Length window 20 sec  
 Overlap 50%  
 Smoothing type Konno & Ohmachi  
 Smoothing constant 40

Peak H/V 2.50 +/- 0.399

A0 3.302 [2.436; 4.478]

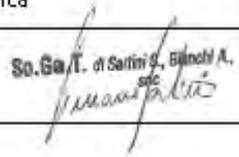




## Nuove Indagini Geognostiche



N° 09102015  
 SERVIZI INTEGRATI DI GEOTECNICA PER IL TERRITORIO  
 Via per S. Alessio, 1733/C  
 55100 Lucca  
 P.I. 02114055466

Rapporto n° 09102015			
Committente	Dott. Geologo Massimo Pellegrini		
Tipo di indagine	Indagine Masw		
Cantiere	Via Cortenuova Empoli (FI)		
Data esecuzione misure	07 Settembre 2015		
Data emissione rapporto	10 Settembre 2015		
			
Redazione		Verifica	
Dott. Alessandro Bianchi			Dott. Simone Sartini 

So.Ge.T. di Sartini S., Bianchi A. - s.n.c. Via per S. Alessio n°1733/C - 55100 Lucca  
 e.mail: [info@sogetsnc.eu](mailto:info@sogetsnc.eu) - [www.sogetsnc.eu](http://www.sogetsnc.eu) Tel./Fax. 0583343380 P.I. / C.F. 02115540466

Nessuna parte del presente documento può essere riprodotta senza il consenso dell'Autore





N° 021102015  
SERVIZI INTEGRATI DI GEOFISICA PER IL TERRITORIO  
Via per S. Alessio, 1733/C  
55100 Lucca  
P.I. 021102015

### 1) Scopo dell'indagine

Dietro incarico della Committenza sono state eseguite indagini geofisiche con lo scopo di caratterizzare i terreni presenti nel lotto in studio mediante il parametro Vs30.

La caratterizzazione in oggetto è stata eseguita facendo ricorso alla tecnica denominata M.A.S.W. (Multi-channel Analysis of Surface Waves), basata sullo studio della propagazione delle onde sismiche di superficie (Onde di Rayleigh). Oggetto della presente relazione sono i risultati a cui si è pervenuti.

In Tav. 1 è possibile osservare l'ubicazione della stesa sismica.



Figura 1 Fase di acquisizione

---

So.Ge.T. di Sartini S., Bianchi A. – s.n.c. Via per S. Alessio n°1733/C – 55100 Lucca  
e.mail: [info@sogetsnc.eu](mailto:info@sogetsnc.eu) – [www.sogetsnc.eu](http://www.sogetsnc.eu) Tel./Fax. 0583343380 P.I. / C.F. 02115540466





## 2) Risultati dell'indagine MASW e definizione della Categoria di Suolo.

Ai sensi della nuova normativa antisismica nazionale (D.M. 14 Gennaio 2008 Norme Tecniche per le costruzioni) si è proceduto a determinare il parametro  $V_{s30}$ , che esprime la velocità media delle onde elastiche e di taglio (onde S appunto) nei primi 30 metri di profondità al disotto del piano di fondazione. In particolare, per  $V_{s30}$ , si intende la media pesata della velocità delle onde S determinata come di seguito:

$$V_{s30} = 30 \frac{1}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_i}}$$

Una volta noto il valore della  $V_{s30}$  è possibile collocare il terreno interessato dall'intervento all'interno di una delle categorie di suolo previste dalla legge in oggetto e riportate di seguito.

suolo di fondazione	$V_{s30}$	$N_{60}$ - $C_u$
<b>A</b> <i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di $V_{s30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.	> 800 m/s	
<b>B</b> <i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,u}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $NSPT_{u,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $cu_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).	> 360 m/s < 800 m/s	$N_{60} > 50$ $C_u > 250$ kPa
<b>C</b> <i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,u}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < NSPT_{u,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < cu_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).	> 180 m/s < 360 m/s	$15 < N_{60} < 50$ $70 < C_u < 250$ kPa
<b>D</b> <i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,u}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $NSPT_{u,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $cu_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).	< 180 m/s	$N_{60} < 15$ $C_u < 70$ kPa
<b>E</b> Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).		
<b>S1</b> Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,u}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < cu_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.	< 100 m/s	
<b>S2</b>		

So.Ge.T. di Sartini S., Bianchi A. – s.n.c. Via per S. Alessio n°1733/C – 55100 Lucca  
 e-mail: [info@sogetsnc.eu](mailto:info@sogetsnc.eu) – [www.sogetsnc.eu](http://www.sogetsnc.eu) Tel./Fax. 0583343380 P.I. / C.F. 0211540466





N° 09/02015  
 SERVIZI INTEGRATI DI GEOFISICA PER IL TERRITORIO  
 Via per S. Alessio, 17330  
 55100 Lucca  
 P.I. 02114055496

Depositi di terreni soggetti a liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.		
--	--	--

Ai fini della caratterizzazione in oggetto la velocità di propagazione delle onde sismiche può essere ottenuta per via indiretta, ovvero ricavandola da indagini geognostiche (ad esempio dal parametro  $N_{spt}$  ricavato da una prova penetrometrica standard) o per via diretta, impiegando indagini di tipo sismico (down-hole, sismica a rifrazione, MASW, cono sismico).

Questi ultimi metodi sono senz'altro più validi e corretti e quando esiste la possibilità di inversioni nel profilo di velocità il metodo MASW (Multi-channel analysis of surface waves) risulta particolarmente risolutivo. Si tratta di una tecnica di indagine piuttosto recente che sfrutta le onde di superficie di Rayleigh. Il MASW è una tecnica "multi-station" che rappresenta una evoluzione del metodo SASW e rispetto a quest'ultimo consente una determinazione senz'altro più affidabile delle proprietà del terreno. Il metodo mira ad una caratterizzazione sismica del sottosuolo basandosi sull'analisi della dispersione geometrica delle onde di superficie. Il risultato finale del processo di elaborazione è il profilo verticale delle velocità delle onde S.

I vantaggi della tecnica MASW possono essere così riassunti:

- particolarmente indicata per terreni attenuanti ed ambienti rumorosi;
- è in grado di evidenziare inversioni di velocità nel profilo di velocità;
- buona risoluzione;

Tali caratteristiche ne hanno reso particolarmente indicato l'uso nel sito in oggetto.

Schematicamente il processo di analisi è il seguente:

- Creazione dello spettro FK;
- Ricerca del miglior fitting fra la curva di dispersione sperimentale e la curva di dispersione teorica;
- Profilo di velocità delle onde S;

Il sismografo utilizzato per le misure sismiche è un SUMMIT Compact, uno strumento della DMT (Germania), a 24 canali e dinamica del convertitore analogico digitale a 24 Bit (Tecnologia Delta Sigma).

L'acquisizione del segnale è stata eseguita su uno stendimento di 24 geofoni aventi frequenza di 4,5 Hz ed equidistanziati 2,0 metri. Come fonte di energia elastica è stata utilizzata una mazza da 8 Kg incidente su una piastra in alluminio. L'energia prodotta ed il contenuto in frequenza dell'energizzazione sono risultati adeguati per le finalità dello studio ed il sismogramma ottenuto è risultato sempre di buona qualità. In mancanza di informazioni precise il coefficiente di Poisson e la densità dei terreni sono stati assunti pari rispettivamente a 0,333 e 1800 Kg/m<sup>3</sup>.

Il parametro  $V_{s30}$  è stato calcolato nell'intervallo compreso tra la profondità di 0m e 30m e risultante pari a **225 m/s**.

So.Ge.T. di Sartini S., Bianchi A. – s.n.c. Via per S. Alessio n°1733/C – 55100 Lucca  
 e.mail: [info@ogetsnc.eu](mailto:info@ogetsnc.eu) – [www.ogetsnc.eu](http://www.ogetsnc.eu) Tel./Fax. 0583343380 P.I. / C.F. 02115540466





N° 02114059466  
SERVIZI INTEGRATI DI GEOTECNICA PER IL TERRITORIO  
Via per S. Alessio, 1733/C  
55100 Lucca  
P.I. 02114059466

Dall'analisi dei profili di velocità ottenuti si evince che il suolo in oggetto deve inquadrarsi in categoria C:

**Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti** con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s30}$  compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero  $15 \leq N_{SPT_{30}} \leq 50$  nei terreni a grana grossa e  $70 \leq C_{u30} \leq 250$  kPa nei terreni a grana fina).

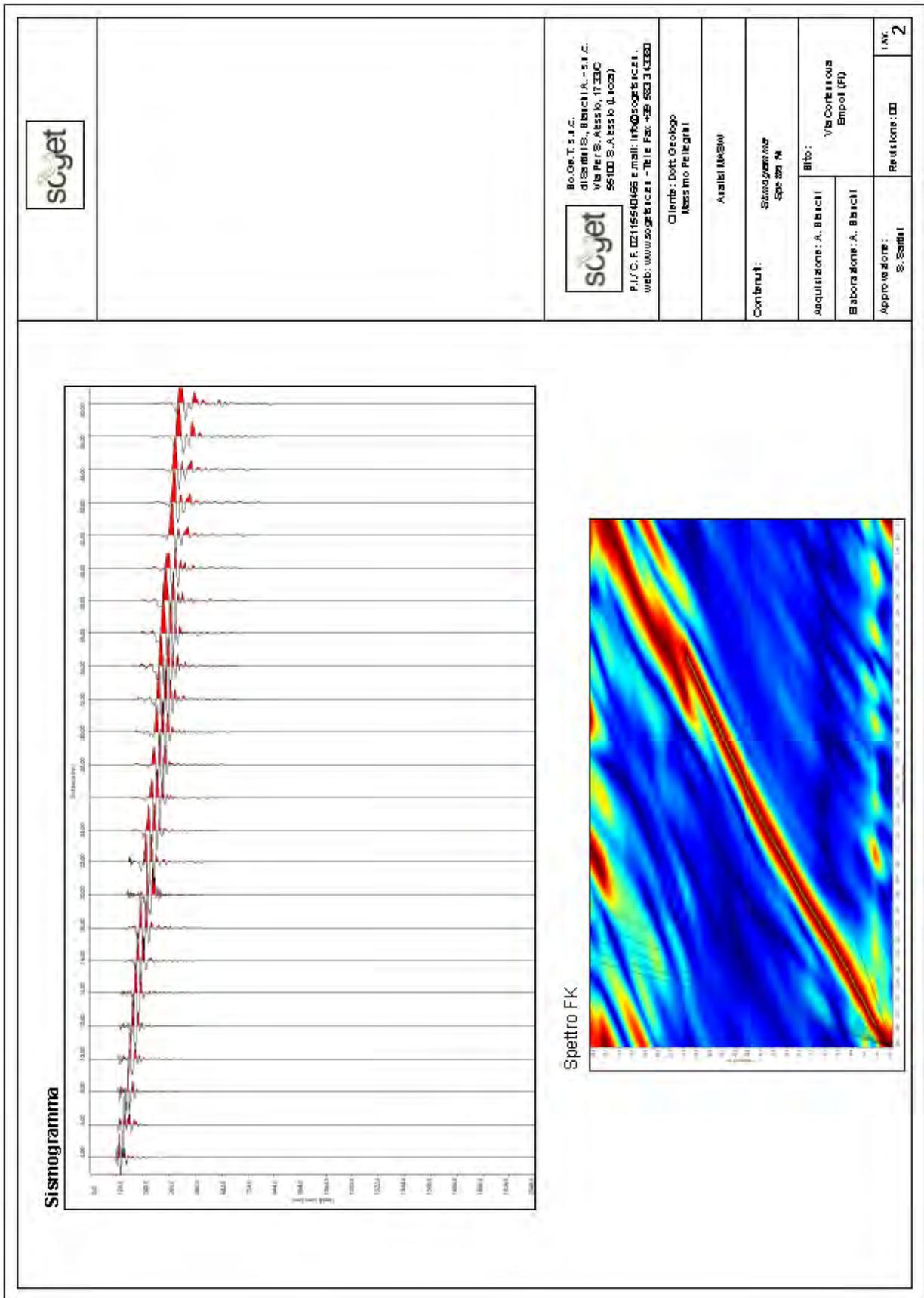
Nessuna parte del presente documento può essere riprodotta senza il consenso dell'Autore

So.Ge.Ti di Sartini S., Bianchi A. - s.n.c. Via per S. Alessio n°1733/C - 55100 Lucca  
e.mail: [info@sogetsnc.eu](mailto:info@sogetsnc.eu) - [www.sogetsnc.eu](http://www.sogetsnc.eu) Tel./Fax. 0583343380 P.I. / C.F. 02115540466

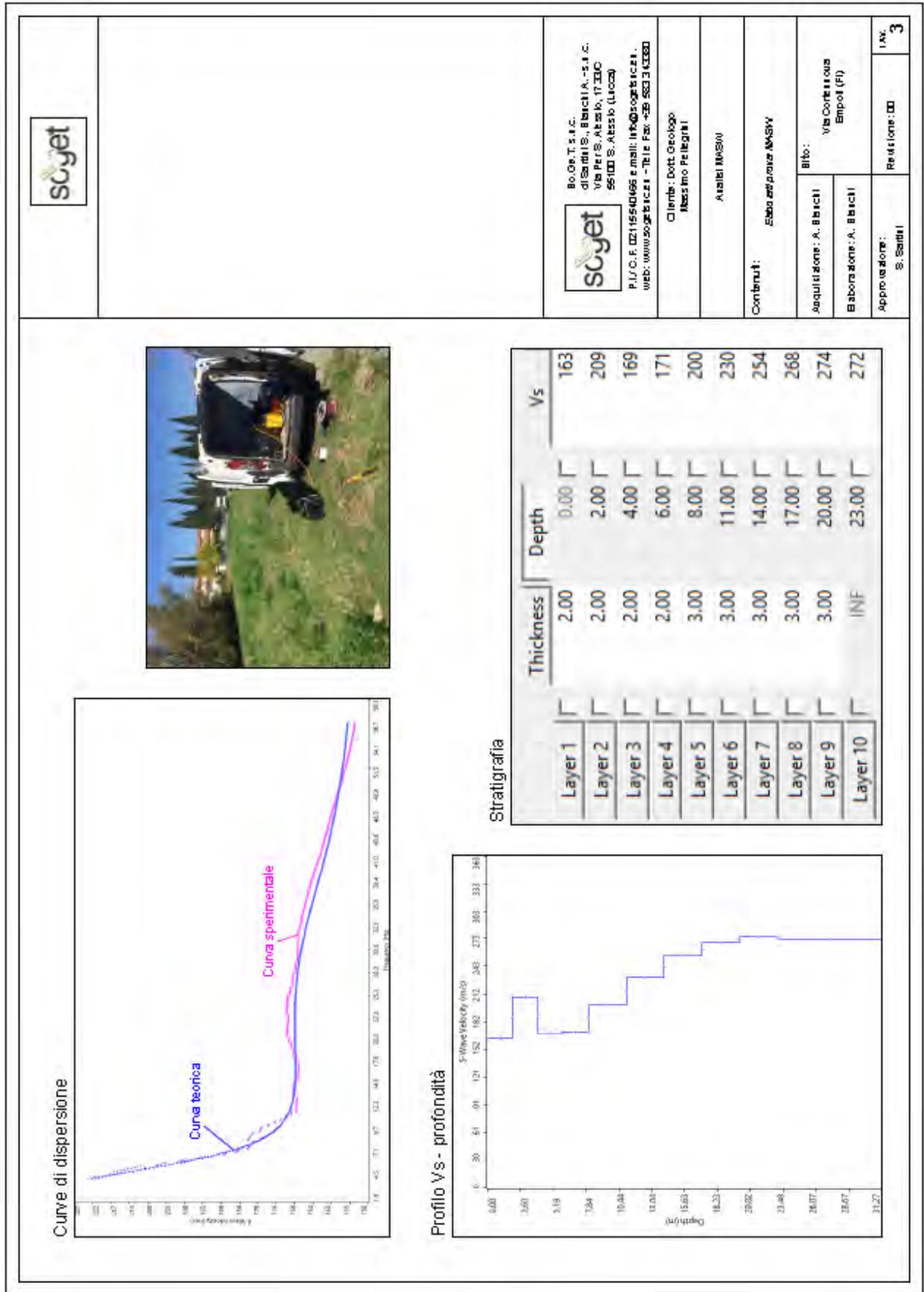




Nessuna parte del presente documento può essere riprodotta senza il consenso dell'Autore



Nessuna parte del presente documento può essere riprodotta senza il consenso dell'Autore





**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: DOTT. PELLEGRINI  
 Località: EMPOLI  
 Cantiere: CORTENUOVA  
 Data: 8/9/15  
 N. prove: 1

**Caratteristiche del sistema**

Penetrometro statico TG 73 200KN Pagani  
 Punta meccanica tipo "Begemann"  
 Diametro = 35,7 mm; Angolo di apertura = 60°  
 A<sub>p</sub>=10 cm<sup>2</sup>; A<sub>t</sub>=20 cm<sup>2</sup>; A<sub>m</sub>=150 cm<sup>2</sup>  
 Velocità di avanzamento = 2 cm/sec  
 peso aste interne: 0,130 Kg  
 passo di lettura: 20 cm

LEGENDA				
#####	a ot	argilla organica e/o torba	Qc	Resistenza alla Punta (Kg/cm <sup>2</sup> )
————	a	argilla	Fs	Attrito laterale unitario (Kg/cm <sup>2</sup> )
———••••	a l	argilla limosa	Qc/Fs	Rapporto Begemann
••••••••	l	limo	Rt	Spinta totale (rivest.+punta)
••••••••	s l	sabbia e limo	γ	Peso di volume
••••••••	s s	sabbia sciolta	σ'vo	Pressione verticale efficace
••••••••	s m	sabbia mediamente addensata	φ	Angolo di attrito interno
••••••••	s dg	sabbia densa e/o ghiaia	Dr	Densità relativa
*****	r ip	riporto	Cu	Coesione non drenata
			m <sub>v</sub>	Coeff. di compressibilità volum.

Nessuna parte del presente documento può essere riprodotta senza il consenso dell'Autore



## TABELLA DATI DI CAMPAGNA

PROF.	punta	punta+maricotto	Rt
0,2			24
0,4			47
0,6	21	26	58
0,8	31	50	90
1	47	70	98
1,2	36	60	115
1,4	28	68	87
1,6	31	40	111
1,8	22	44	63
2	13	33	46
2,2	11	26	30
2,4	13	24	32
2,6	14	27	31
2,8	9	21	21
3	9	19	29
3,2	11	19	31
3,4	10	20	36
3,6	11	22	38
3,8	8	20	39
4	9	18	44
4,2	11	19	50
4,4	12	22	54
4,6	10	20	59
4,8	10	20	61
5	13	24	63
5,2	8	17	64
5,4	9	16	66
5,6	8	15	62
5,8	8	14	70
6	7	14	70
6,2	9	15	73
6,4	8	15	77
6,6	10	19	84
6,8	10	19	92
7	12	23	99
7,2	11	25	100
7,4	6	19	105
7,6	4	11	111
7,8	5	8	111
8	5	10	113
8,2	6	9	111
8,4	5	9	114
8,6	7	12	123
8,8	11	19	130
9	9	18	132
9,2	8	19	131
9,4	9	20	135
9,6	7	15	136
9,8	6	15	137
10	6	16	140

Pagina 1

Nessuna parte del presente documento può essere riprodotta senza il consenso dell'Autore



 <p><b>GEOSERVIZI S. N. C.</b> di Cosco e Spadaro Via E. Calabresi - 56121 Montacchiello (PI) Cell. 339-1344492 geoservizipisa@gmail.com</p>	Prova numero: 1	Data: 8/9/15
	Committente: DOTT. PELLEGRINI	
	Località: EMPOLI	
	Cantiere: CORTENUOVA	
	Profondità massima: 10,0	m dal p. c.
Quota piano camp.: m		
Quota falda: m dal p.c.		

Prof. [metri]	Qc [Kg/cmq]	Fs [Kg/cmq]	Qc/Fs	Rt [Kgr]	parametri geotecnici stimati						Colonna stratig.	lito_ logia
					$\gamma$ [Kg/dmc]	$\sigma'_{vo}$ [Kg/cmq]	$\phi$ [gradi]	Dr [%]	Cu [Kg/cmq]	mv [cmq/t]		
0,2				251	1,80	0,04	-	-	-	-	non ril.	
0,4				481	1,80	0,07	-	-	-	-	non ril.	
0,6	22,1	0,33	66	591	1,71	0,11	40	67	-	15,1	sm	
0,8	32,3	1,27	25	913	1,95	0,15	-	-	1,28	12,4	al	
1	48,3	1,53	31	993	1,84	0,18	30	-	-	6,9	sl	
1,2	37,3	1,60	23	1163	1,96	0,22	-	-	1,48	10,7	al	
1,4	29,3	2,67	11	883	1,94	0,26	-	-	1,16	12,7	a	
1,6	32,3	0,60	54	1123	1,76	0,30	37	57	-	10,3	sm	
1,8	23,4	1,47	16	644	1,93	0,33	-	-	0,92	17,1	a	
2	14,4	1,33	11	474	1,57	0,37	-	-	0,56	25,7	aot	
2,2	12,4	1,00	12	314	1,55	0,40	-	-	0,48	29,9	aot	
2,4	14,4	0,73	20	334	1,91	0,43	-	-	0,56	19,9	a	
2,6	15,4	0,87	18	324	1,91	0,47	-	-	0,60	19,6	a	
2,8	10,5	0,80	13	225	1,54	0,50	-	-	0,40	35,2	aot	
3	10,5	0,67	16	305	1,90	0,54	-	-	0,40	22,7	a	
3,2	12,5	0,53	23	325	1,91	0,58	-	-	0,48	20,9	a	
3,4	11,5	0,67	17	375	1,90	0,62	-	-	0,44	21,7	a	
3,6	12,5	0,73	17	395	1,91	0,66	-	-	0,47	20,9	a	
3,8	9,7	0,80	12	407	1,53	0,69	-	-	0,36	37,7	aot	
4	10,7	0,60	18	457	1,90	0,72	-	-	0,40	22,6	a	
4,2	12,7	0,53	24	517	1,91	0,76	-	-	0,48	20,8	a	
4,4	13,7	0,67	20	557	1,91	0,80	-	-	0,51	20,2	a	
4,6	11,7	0,67	17	607	1,90	0,84	-	-	0,43	21,5	a	
4,8	11,8	0,67	18	628	1,90	0,88	-	-	0,44	21,4	a	
5	14,8	0,73	20	648	1,91	0,92	-	-	0,55	19,7	a	
5,2	9,8	0,60	16	658	1,89	0,95	-	-	0,35	23,7	a	
5,4	10,8	0,47	23	678	1,90	0,99	-	-	0,39	22,4	a	
5,6	9,8	0,47	21	638	1,89	1,03	-	-	0,35	23,7	a	
5,8	9,9	0,40	25	719	1,90	1,07	-	-	0,35	23,5	a	
6	8,9	0,47	19	719	1,85	1,10	-	-	0,31	25,1	a	
6,2	10,9	0,40	27	749	1,90	1,14	-	-	0,39	22,3	al	
6,4	9,9	0,47	21	789	1,90	1,18	-	-	0,35	23,5	a	
6,6	11,9	0,60	20	859	1,90	1,22	-	-	0,43	21,3	a	
6,8	12,0	0,60	20	940	1,90	1,26	-	-	0,43	21,2	a	
7	14,0	0,73	19	1010	1,91	1,29	-	-	0,51	20,0	a	
7,2	13,0	0,93	14	1020	1,56	1,33	-	-	0,47	28,4	aot	
7,4	8,0	0,87	9	1070	1,51	1,36	-	-	0,27	42,1	aot	
7,6	6,0	0,47	13	1130	1,49	1,39	-	-	0,19	51,5	aot	
7,8	7,2	0,20	36	1132	1,76	1,42	-	-	0,23	29,2	al	
8	7,2	0,33	22	1152	1,76	1,46	-	-	0,23	29,2	a	
8,2	8,2	0,20	41	1132	1,64	1,49	-	-	0,27	25,6	l	
8,4	7,2	0,27	27	1162	1,76	1,52	-	-	0,23	29,2	a	
8,6	9,2	0,33	28	1252	1,86	1,56	-	-	0,30	24,6	al	
8,8	13,3	0,53	25	1323	1,91	1,60	-	-	0,47	20,4	a	
9	11,3	0,60	19	1343	1,90	1,64	-	-	0,39	21,9	a	
9,2	10,3	0,73	14	1333	1,53	1,67	-	-	0,35	36,0	aot	
9,4	11,3	0,73	15	1373	1,90	1,71	-	-	0,38	21,9	a	
9,6	9,3	0,53	17	1383	1,87	1,74	-	-	0,30	24,4	a	
9,8	8,4	0,60	14	1394	1,51	1,77	-	-	0,27	40,8	aot	
10	8,4	0,67	13	1424	1,51	1,80	-	-	0,27	40,8	aot	

Nessuna parte del presente documento può essere riprodotta senza il consenso dell'Autore

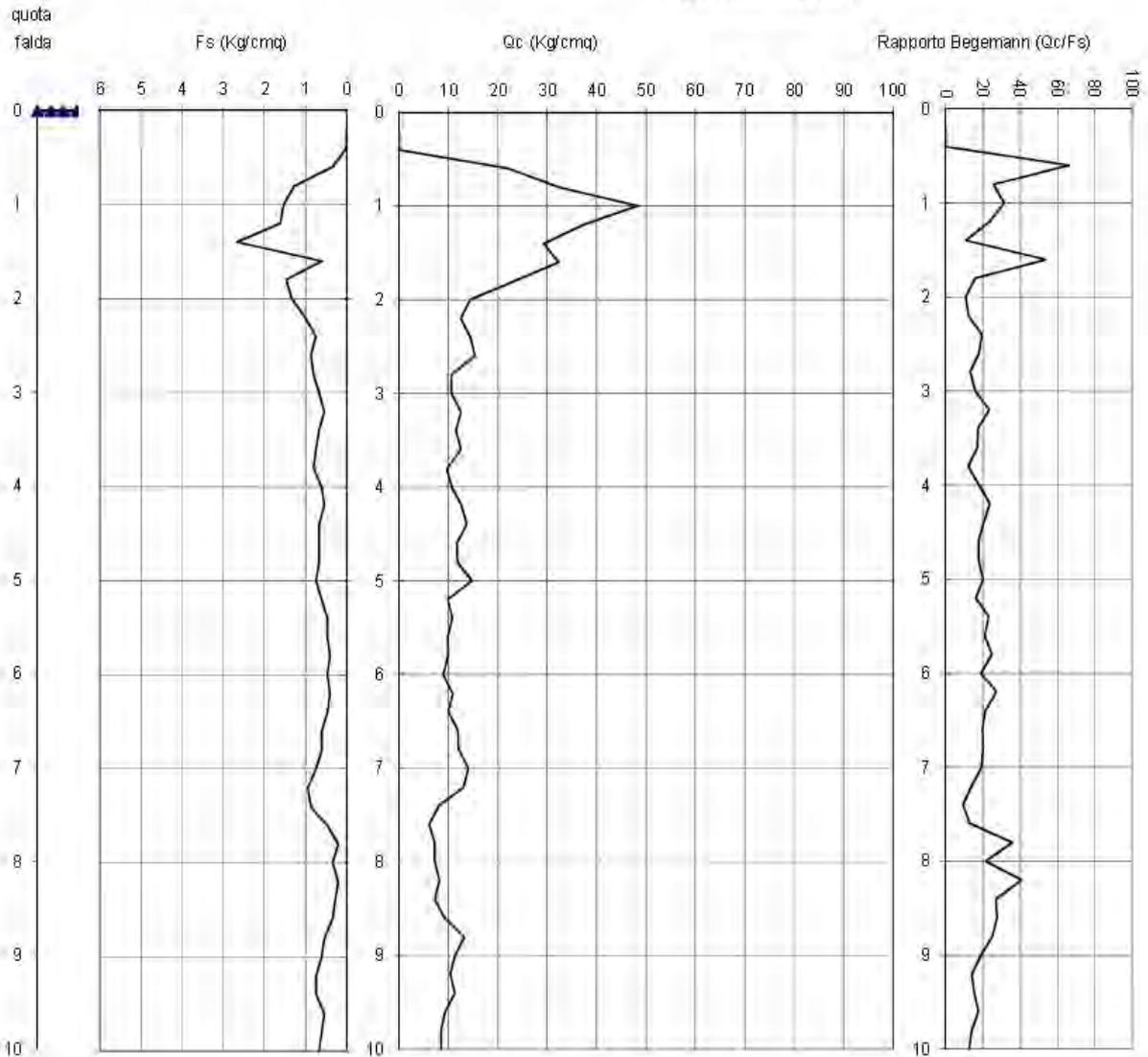




**GEOSERVIZI S. N. C.**  
di Cosco e Spadaro  
Via E. Calabresi - 56121 Montacchiello(PI)  
Cell. 339-1344492

Prova numero 1  
Committente DOTT. PELLEGRINI  
Località EMPOLI  
Cantiere CORTENUOVA  
Data 8/9/15

Profondità massima (m): 10  
Quota falda (m dal p.c.):



PENETROMETRO STATICO: TG 73 200 KN PAGANI

*Nessuna parte del presente documento può essere riprodotta senza il consenso dell'Autore*

