

***dr. 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: paolaviolanti@timenet.it  
pec: paolaviolanti@epap.sicurezzapostale.it  
cod.fisc.VLNPLA53P51D403Z  
part. I.V.A. 04363000482

**Comune di Empoli**

**Costruzione di nuovi loculi nel cimitero di Pagana**

**Comune di Empoli**

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

*novembre 2019*

**INDICE**  
**Paragrafi**

---

**PREMESSA**

**NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

**CARATTERISTICHE DELL'INTERVENTO**

**1 - CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA**

**2 - CONTESTO IDROLOGICO ED IDROGEOLOGICO**

**3 - PERICOLOSITA' DELL'AREA E FATTIBILITA' DELL'INTERVENTO**

**4 - INDAGINI GEOGNOSTICHE E MODELLAZIONE GEOLOGICA**

**5 - CATEGORIA DI SOTTOSUOLO**

**6 - RISPOSTA SISMICA LOCALE E LIQUEFAZIONE**

**7 - CARATTERIZZAZIONE FISICO-MECCANICA SOTTOSUOLO E PARAMETRI GEOTECNICI**

**9 - CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE**

**appendici al testo**

---

<b>appendice 1</b>	- Variante al P.S. del Comune di Empoli (gennaio 2013)	- <i>Carta geologica (Tav.1.1)</i>
<b>appendice 2</b>	- Variante al P.S. del Comune di Empoli (gennaio 2013)	- <i>Carta Geomorfologica (Tav.1.2)</i>
<b>appendice 3</b>	- Variante al P.S. del Comune di Empoli (gennaio 2013)	- <i>Carta dati di base (Tav.1.3)</i>
<b>appendice 4</b>	- Variante al P.S. del Comune di Empoli (gennaio 2013)	- <i>Carta Idrogeologica (Tav.1.4)</i>
<b>appendice 5</b>	- Variante al P.S. del Comune di Empoli (gennaio 2013)	- <i>Carta Geolitotecnica (Tav.1.5)</i>
<b>appendice 6</b>	- Variante al P.S. del Comune di Empoli (gennaio 2013)	- <i>Carta della Pericolosità Geologica (Tav.1.12)</i>
<b>appendice 7</b>	- Studio idrologico idraulico supp. R.U. (maggio 2013)	- <i>Carta della Pericolosità Idraulica (Tav.6.1)</i>
<b>appendice 8</b>	- Piano di Gestione del Rischio Alluvioni Distretto Appennino Settentrionale (PGRA)	
<b>appendice 9</b>		- <i>Certificati Prove Penetrom. Statiche</i>
<b>appendice 10</b>		- <i>Relazione indagine sismica MASW</i>

**Tavole**

---

**Tavola 1** - estratto R.U. Comune di Empoli, estratto di mappa, pianta stato attuale 1/400

**Tavola 2** - Pianta stato di progetto 1/200, ubicazione prove geognostiche, documentazione fotografica

**Tavola 3** - Sezione geo-litologica A-B 1/100, Sezione geo-litologica prospetto stato di progetto 1/100

## Costruzione di nuovi loculi nel cimitero di Pagnana, Comune di Empoli

### Relazione geologica

#### Premessa

La presente indagine è stata redatta a supporto del progetto predisposto dall'Ufficio Tecnico - Settore Lavori Pubblici del Comune di Empoli e dall'Ing. Elena Tozzini, per la realizzazione di nuovi loculi nel Cimitero di Pagnana (per dettagli sulla struttura si rimanda agli elaborati architettonici).

Il quadro conoscitivo di partenza è costituito dagli studi geologici, sismici ed idraulici contenuti nel Piano Strutturale del Comune di Empoli, nel P.T.C. (Piano di Coordinamento Territoriale) e nel Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA) dell'Autorità di Bacino Distretto Settentrionale.

Per definire le caratteristiche geotecniche dei litotipi presenti nel sottosuolo sono state eseguite n°2 prove penetrometriche statiche SPT, ed è stata eseguita un'indagine sismica MASW per la definizione della categoria di sottosuolo.

#### Normativa di riferimento

##### *Pianificazione territoriale:*

- L. R. 10 novembre 2014, n.65: "Norme per il Governo del Territorio";
- D.PG.R. 25 ottobre 2011, n.53/R: "Regolamento di attuazione dell'Art. 62 L.R. 3 gennaio 2005, n.1 (Norme per il governo del territorio) in materia di indagini geologiche";
- Deliberazione GRT n. 421 del 26/05/2014: "Aggiornamento della classificazione sismica regionale in attuazione dell'O.P.C.M. 3519 /2006 ed ai sensi del D.M. 14.01.2008 - Revoca della DGRT 431/2006".

##### *Autorità di Bacino Distretto Settentrionale:*

- Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA)

##### *Norme per le costruzioni:*

- D.M. 17 gennaio 2018 T.U.: "Norme Tecniche per le Costruzioni";
- Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica (1997 – 2002);
- Eurocodice 8 parte 5 – Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici (1998)

#### Caratteristiche dell'intervento

L'intervento in progetto per la costruzione di nuovi loculi nel cimitero comunale di Pagnana prevede la realizzazione di tre cappelle da realizzare all'interno dell'area cimiteriale lungo il muro di recinzione del lato laterale Est, senza interferire in alcun modo nella zona destinata alle inumazioni.

La tipologia edilizia ripropone quella esistente di una singola cappella con venti loculi. Sarà inoltre realizzato un locale adibito a servizi igienici, e verrà demolita e ricostruita una porzione di muro perimetrale.

Ai sensi del D.M. 17 gennaio 2018 la struttura in progetto ha le seguenti caratteristiche:

TIPO DI COSTRUZIONE	VITA NOMINALE	CLASSE D'USO	COEFF. D'USO	PERIODO DI RIFERIMENTO Vr
2	≥ 50	II	1,0	50

Ai sensi del D.P.G.R. n. 36/r del 2009, art. 7 comma 3, la classe d'indagine relativa all'intervento in oggetto risulta essere la n. 2.

## **1 - Caratterizzazione geologica**

La morfologia dell'area si presenta pressoché pianeggiante; l'area è situata a Sud-Ovest del centro abitato di Pagnana alla quota di circa m. 22,50 s.l.m. e si colloca a circa m. 300 Sud-Est dal Fiume Arno.

L'area è caratterizzata dalla presenza in superficie di depositi alluvionali recenti, in cui prevalgono le componenti a granulometria fine rappresentate essenzialmente da argille e limi e subordinatamente da sabbie più o meno limose: la letteratura geologica li indica con il termine "depositi alluvionali recenti" (be) (appendice 1); infatti essi rappresentano i sedimenti alluvionali recenti del fiume Arno.

Similare è la situazione nel sottosuolo, la cui stratigrafia è costituita da una successione di terreni alluvionali con uno spessore che si aggira intorno ai 40-50 metri, costituiti in prevalenza da argille e limi, con intercalazioni di limitato spessore, di orizzonti sabbiosi, sedi di falda acquifera.

I depositi quaternari sopra descritti, poggiano in profondità su di un substrato pliocenico costituito da sedimenti argillosi e limoso-argillosi.

Nell'indagine geologica redatta a supporto dello Strumento Urbanistico vigente, l'area in oggetto è inserita, nella Caratterizzazione Geolitotecnica, in "Classe D", alla quale appartengono le zone di pianura con caratteristiche geotecniche discrete.

Nell'area di intervento non sono presenti indizi di dissesto gravitativo e/o idrodinamico che possano condizionare la fattibilità del progetto in questione.

Considerata l'entità dell'intervento, per la determinazione della categoria di sottosuolo ai sensi delle NTC, si è ritenuto adeguato fare riferimento ad un approccio semplificato che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento, in accordo ai criteri contenuti nella tab. 3.2.II della suddetta normativa.

Nell'ambito di queste valutazioni si è tenuto conto, dei risultati delle Prove Penetrometriche Statiche e dei risultati della prova MASW, effettuate nell'area in oggetto.

## **2 - Contesto idrologico ed idrogeologico**

L'area è caratterizzata dalla presenza di una linea di drenaggio preferenziale, il Rio di Pagnana e dal Fiume Arno che scorre a circa m. 300 a Nord.

Dal punto di vista idrogeologico, la bassa permeabilità delle litologie presenti nell'area, porta ad escludere che nei primi metri di sottosuolo esista una significativa circolazione idrica; i livelli sabbioso-limosi intercalati a quelli argilloso-limosi che costituiscono le alluvioni attuali e recenti (be), sono sede di falde acquifere di tipo semiconfinato.

Dai dati idrogeologici emersi dalle Indagini geologico-tecniche a supporto del Piano Strutturale, risulta presente una falda, contenuta nei depositi alluvionali compresa tra circa m.9,00 e m.10,00 dal p.d.c.

La piezometria è direzionata verso Nord in direzione del fiume Arno.

## **3 - Pericolosità dell'area e fattibilità dell'intervento**

### **Pericolosità geologica:**

Per l'individuazione degli elementi di pericolosità si è fatto riferimento alla Carta della Pericolosità geologica dello S.U. vigente (gennaio 2013); l'area ricade nella **Classe G2**, **pericolosità media**.

### Pericolosità idraulica:

L'intervento in oggetto si colloca in area a **pericolosità idraulica P1 bassa** ai sensi del **PGRA** Piano di Gestione del Rischio Alluvioni Distretto Appennino Settentrionale.

Lo Studio Idrologico idraulico di supporto al Nuovo Regolamento Urbanistico del Comune di Empoli, ha portato all'individuazione dell'area d'intervento nella **Classe I2** ai sensi del D.P.G.R. n.53/R/2011, **pericolosità idraulica media**.

### Pericolosità sismica:

La valutazione di pericolosità sismica è stata definita a partire dai risultati riportati nella Carta delle MOPS e da quanto definito al punto C.5 dell'Allegato 1 al D.P.G.R. 25/10/2011 n.53/R. secondo cui l'area si inserisce nella **Classe S2 pericolosità sismica locale media**.

### Fattibilità secondo il R.U.

Nella Relazione Geologica di Fattibilità allegata al Secondo R.U. del Comune di Empoli (marzo 2013) redatta ai sensi del D.P.G.R. 25 ottobre 2011 n.53/R. per la valutazione delle classi di fattibilità si deve tenere conto, oltre alla tipologia di intervento, alle effettive problematiche che hanno portato all'individuazione della classe di pericolosità.

Nella "Relazione Geologica di Fattibilità" (marzo 2013) sono inserite le Tabelle Orientative per l'assegnazione delle Classi di Fattibilità:

Tipo d'intervento 4)

- Pericolosità Geologica G2, FATTIBILITA' GEOLOGICA F2
- Pericolosità Sismica S2, FATTIBILITA' SISMICA F2
- Pericolosità Idraulica I2, R.U. Pericolosità I1 PGRA, FATTIBILITA' IDRAULICA F2

## **4 - Indagini geognostiche e modellazione geologica**

Considerata l'entità dell'intervento e, l'assetto geologico dell'area, per precisare le caratteristiche geotecniche dei terreni presenti nel sottosuolo, si sono utilizzati i risultati di n.2 prove penetrometriche di tipo statico; lo strumento utilizzato è un penetrometro statico Pagani con spinta massima da 20 ton, munito di manicotto (Punta Begemann) per la misura dell'attrito laterale.

Le prove, ubicate parallelamente al muro di recinzione del cimitero hanno raggiunto ambedue la profondità di m.10,00 dal p.d.c..

I risultati delle prove in sito, hanno permesso di ricostruire il modello geologico del sottosuolo dell'area d'intervento e di precisare le proprietà geomeccaniche dei singoli litotipi individuati.

L'ubicazione delle prove è indicata nella Tavola 2; nella Tavola 3 è stato schematizzato il modello geologico del sottosuolo indagato con la stratigrafia ricavata dalle prove, ed il modello geotecnico del substrato di fondazione.

I dati a disposizione consentono di delineare un quadro stratigrafico sufficientemente chiaro, sulla base del quale si possono individuare le problematiche di ordine geotecnico, legate alla realizzazione delle opere in progetto.

Le sezioni geologico-geotecniche di Tavola 3 mettono in evidenza i rapporti tra le strutture in progetto ed i livelli di fondazione; le variazioni del rapporto Rp/Ral (resistenza di punta/resistenza per attrito laterale) registrati dallo strumento nei punti di indagine, hanno permesso l'individuazione dei litotipi presenti nel sottosuolo.

Le penetrometrie statiche PS1 e PS2, hanno messo in luce la presenza di strati con Rp compresi tra 8 e 14 Kg/cmq.

Sulla base del modello stratigrafico e sui risultati delle prove penetrometriche, è stato ricostruito il modello geologico-geotecnico locale così schematizzato:

**terreno vegetale alterato con materiale di riporto:**

dal p.d.c. attuale fino a circa m. 1,60 è presente un primo spessore con materiale eterogeneo in abbondante matrice argilloso-limosa, con uno scarso grado di addensamento;

**argilla leggermente limosa:**

da m. 1,60 a m. 10,00 dal p.d.c. attuale lo strumento ha evidenziato la presenza di strati costituiti da argille leggermente limose caratterizzati da valori di Rp compresi tra 8 e 14 Kg/cmq, indicando così la presenza di terreni, con caratteristiche geotecniche scadenti, resistenza a rottura medio bassa e media compressibilità.

Dall'interpretazione delle prove deriva il seguente assetto litostratigrafico:

Profondità dal p.d.c (m)	Litotipo	Descrizione litologica	Stato medio di consistenza
0,00 - 1,60	1	terreno vegetale e riporto	-
1,60 - 10,00	2	argille-limose	medio-basso

La verticale investigata è stata ritenuta idonea per definire le problematiche geotecniche, poiché entro tale profondità si esaurisce l'influenza dei carichi applicati in superficie dalle strutture in progetto.

La successione stratigrafica del substrato di fondazione, con i principali parametri geotecnici attribuibili ai litotipi individuati è stata riportata nella tabella sottostante; all'interno della tabella, sono stati definiti i valori medi e caratteristici dei parametri di resistenza del terreno.

Le argille limose presenti fra i 1,60 m. e 10,00 m. di profondità sono state accorpate in un unico strato e operando a favore della sicurezza, sono stati assegnati i valori geotecnici relativi a quelle meno consistenti.

litotipo	Prof. dal p.c. (m)	valori	Cu (kg/cm <sup>2</sup> )	C'	φ (°)	Y (Kg/cm <sup>3</sup> )	Mv (cm <sup>2</sup> /t)
1	0,00 - 1,60 terreno vegetale e riporto	<i>medio</i> <b>caratt.</b>	- -	- -	- -	- -	- -
2	1,60 - 10,00 argilla-limosa	<i>medio</i> <b>caratt.</b>	0,43 <b>0,37</b>	0,0 <b>0,0</b>	25 <b>23</b>	1,80 <b>1,80</b>	33,39 <b>35,20</b>

In ottemperanza a quanto indicato nelle Istruzioni per l'applicazione delle N.T.C. (D.M. 17 gennaio 2018), in coerenza con gli eurocodici, la scelta dei valori caratteristici dei parametri, a partire dai parametri medi, è derivata da una stima cautelativa, scegliendo il valore più appropriato tra quelli ottenuti dalle prove.

Nella Tavola 3, sono stati inoltre riportati i valori medi e caratteristici dei parametri geotecnici del terreno per ogni strato individuato, in corrispondenza di ciascuna prova.

## 5 - Categoria di sottosuolo

Per la definizione della categoria di sottosuolo di riferimento è stata eseguita un'apposita indagine sismica del tipo MASW, lungo il muro di recinzione del cimitero dove è previsto l'ampliamento in progetto.

Nell'ambito di detta indagine sismica è stato possibile determinare un profilo verticale della velocità delle onde S e quindi calcolare i moduli elastici dinamici ed il valore  $V_{s30}$  del sottosuolo (appendice 10).

Il valore della  $V_{seq}$  fornito dalla indagine sismica, a partire dal p.c., è di 221 m/s.

Visti i parametri di resistenza dei litotipi presenti nel sottosuolo dell'area in oggetto, l'andamento della  $V_s$  ed il valore della  $V_{seq}$ , il substrato dell'area di intervento si inquadra in un profilo stratigrafico corrispondente alla categoria di sottosuolo "C", definita, secondo il D.M. 17 gennaio 2018, come segue:

....  
 C – “*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine 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*”

Ai sensi del D.M. 17 gennaio 2018, trovandosi in ambito di pianura, la categoria topografica di cui alla tabella 3.2.III delle NTC è la "T1".

## 6 - Risposta sismica locale e Liquefazione

L'azione sismica di progetto in base alla quale deve essere verificato il rispetto degli stati limite, è stata valutata a partire da una "pericolosità sismica di base", riferita ad un sito ideale, rigido e con superficie topografica orizzontale (categoria "a" delle NTC), definita a livello nazionale dell'INGV.

La risposta sismica locale (coefficienti sismici di sito) è stata poi determinata correggendo l'azione sismica individuata, tenendo conto delle modifiche prodotte dalle condizioni locali del sottosuolo e dalla morfologia della superficie (categoria del sottosuolo, coefficienti di amplificazione topografica e stratigrafica).

Per far questo si è utilizzato il software della ditta Geostru "Geostru PS parametri sismici" che, a partire dai dati di input quali Vita Nominale dell'edificio, categoria di sottosuolo e categoria topografica, restituisce i coefficienti sismici ( $K_h$ ,  $K_v$ ,  $\beta$ ) che modificano in ampiezza, durata e contenuto in frequenza l'azione sismica di riferimento e quindi l'accelerazione massima attesa al sito ( $A_{max}$  in  $m/s^2$ ), in relazione ai  $T_r$  considerati. I risultati restituiti dal programma vengono riportati qui di seguito.

### Parametri sismici

Tipo di elaborazione: fondazioni

Sito in esame.

latitudine: 43,723140  
 longitudine: 10,889824  
 Classe: 2  
 Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 20275	Lat: 43,705400	Lon: 10,862010	Distanza: 2981,3
Sito 2	ID: 20276	Lat: 43,706930	Lon: 10,931130	Distanza: 3777,5
Sito 3	ID: 20054	Lat: 43,756910	Lon: 10,929020	Distanza: 4900,6
Sito 4	ID: 20053	Lat: 43,755370	Lon: 10,859850	Distanza: 4317,7

**Parametri sismici**

Categoria sottosuolo:	C
Categoria topografica:	T1
Periodo di riferimento:	50 anni
Coefficiente cu:	1

	Operatività (SLO)	Danno (SLD)	Salvaguardia della vita (SLV)	Prevenzione dal collasso (SLC)
<i>Probabilità di superamento [%]</i>	81	63	10	5
<i>Tr [anni]</i>	30	50	475	975
<i>Ag</i>	0,044 g	0,053 g	0,121 g	0,159 g
<i>Fo</i>	2,557	2,576	2,488	2,404
<i>Tc* [s]</i>	0,244	0,256	0,289	0,294

**Coefficienti Sismici**

	SLO:	SLD:	SLV:	SLC:
<i>Ss</i>	1,500	1,500	1,500	1,470
<i>Cc</i>	1,670	1,650	1,580	1,570
<i>St</i>	1,000	1,000	1,000	1,000
<i>Kh</i>	0,013	0,016	0,044	0,056
<i>Kv</i>	0,007	0,008	0,022	0,028
<i>Amax</i>	0,641	0,781	1,784	2,288
<i>Beta</i>	0,200	0,200	0,240	0,240

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50

**- Liquefazione**

La zona in oggetto risulta non suscettibile alla liquefazione per i seguenti motivi: l'insieme dei dati acquisiti nel corso dell'indagine hanno evidenziato che il volume significativo di sottosuolo dell'area è costituito da litotipi prevalentemente argilloso-limosi con permeabilità bassa. I terreni non sono risultati interessati da falda per cui non si possono innescare fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio.

Per i motivi suddetti, ai sensi dei punti 2 e 3 del paragrafo 7.11.3.4.2 delle NTC 2018, possiamo escludere verifiche alla liquefazione.

**7 - Caratterizzazione fisico-meccanica del sottosuolo e parametri geotecnici**

I risultati delle prove geognostiche in sito e delle prove al contorno mostrano che nel sottosuolo al di sotto di un primo spessore di terreno vegetale e di riporto, si estendono litotipi prevalentemente argilloso-limosi, con intercalazioni di piccoli livelli di limi-sabbiosi, attribuibili alle alluvioni attuali e recenti.

Per la scelta dei valori caratteristici dei parametri geotecnici, come indicato nel paragrafo C.6.2.2.4 nella Circolare 21 gennaio 2019 n.7 C.S.LL.PP., è apparso giustificato il riferimento ai valori minimi ottenuti dall'interpretazione dei risultati delle indagini in sito, visto il modesto volume di terreno coinvolto dall'opera in progetto.

Le argille limose presenti fra m.0,60 e m.10,00 m. di profondità sono state accorpate in un unico strato e operando a favore della sicurezza, sono stati assegnati i valori geotecnici relativi a quelle meno consistenti.

litotipo	Prof. dal p.c. (m)	valori	Cu (kg/cm <sup>2</sup> )	C'	φ (°)	Y (Kg/cm <sup>3</sup> )	Mv (cm <sup>2</sup> /t)
1	0,00 - 1,60 terreno vegetale e riporto	caratt.	-	-	-	-	-
2	1,60 - 10,00 argilla-limosa	caratt.	0,37	0,0	23	1,80	35,20

Cu=Coesione non drenata Kg/cm<sup>q</sup>

C'= coesione efficace kg/cm<sup>q</sup>

φ (°) =angolo di attrito

Mv=Coefficiente di compressibilità volumetrica cm<sup>q</sup>/t

y= Peso di volume KN/mc

## **7 - Problematiche geologico-tecniche**

L'indagine svolta ha consentito di rilevare la presenza di litotipi, nel sottosuolo dell'area in esame, omogenei per quanto riguarda le caratteristiche geomeccaniche.

Risulta dalle sezioni geo-litologiche, che il piano di posa delle fondazioni dovrà essere impostato ad una profondità al di sotto di m.1,60 rispetto al p.d.c. attuale per poter superare la coltre superficiale costituita da terreno geotecnicamente degradato e di riporto; il peso della struttura verrà sopportato dal litotipo costituito dalle argille-limose di medio-bassa consistenza, caratterizzato da un basso grado di addensamento, per le quali le prove statiche PS1 e PS2 hanno fatto registrare valori di Rp compresi tra 8 e 14 Kg/cm<sup>q</sup>.

Si deve considerare la presenza della cappella esistente, in aderenza alla parete Nord; si consiglia di realizzare l'intervento adottando tutte le precauzioni necessarie per mettere in sicurezza la cappella stessa.

L'intervento non prevede opere di movimento terra se non quelle strettamente necessarie alla realizzazione delle fondazioni; il terreno di scavo sarà sistemato in parte nell'ambito del cantiere, mentre il materiale in eccedenza sarà smaltito nel rispetto della normativa vigente in materia.

## **Considerazioni conclusive**

Dall'indagine effettuata non si rilevano particolari problematiche geologiche o idrauliche che possano limitare la realizzazione dell'intervento in progetto, né questo potrà dar luogo ad alterazioni del livello di rischio al contorno.

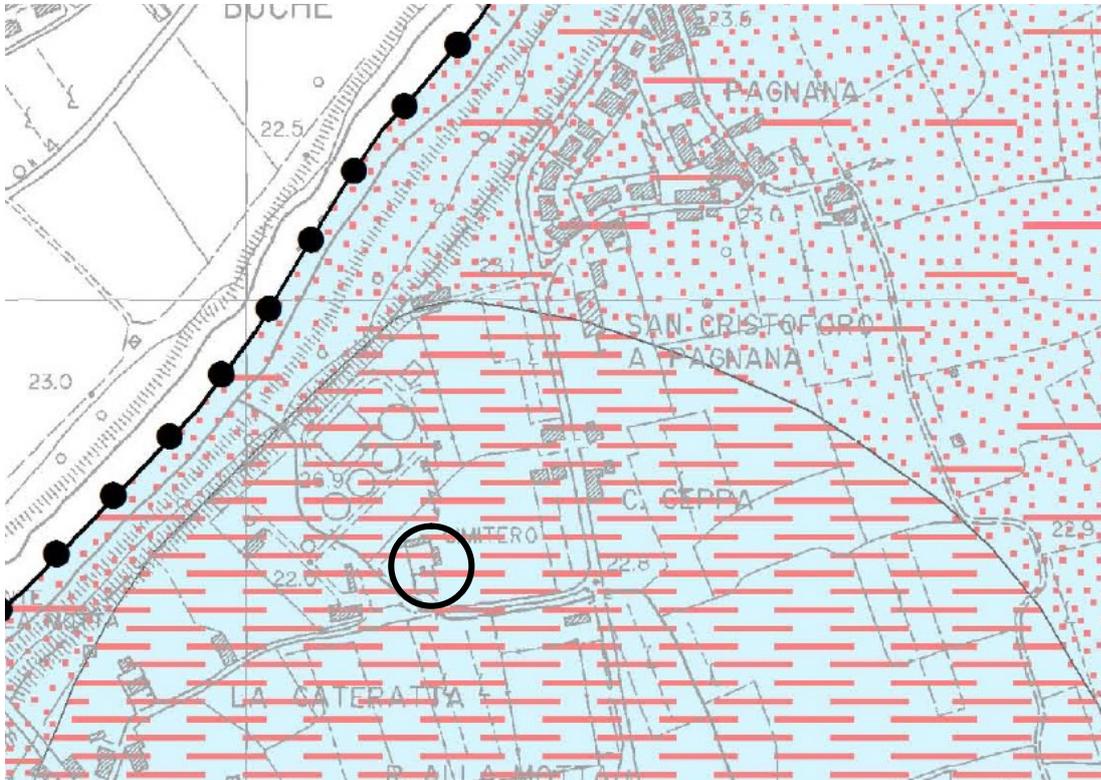
A partire dai risultati delle indagini geologico-tecniche effettuate, conformi al D.M. 17 gennaio 2018, il progettista potrà sviluppare la relazione geotecnica con le relative verifiche ai sensi delle N.T.C.

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

dr. geol. Paola Violanti

appendice 1

carta geologica 1/10.000



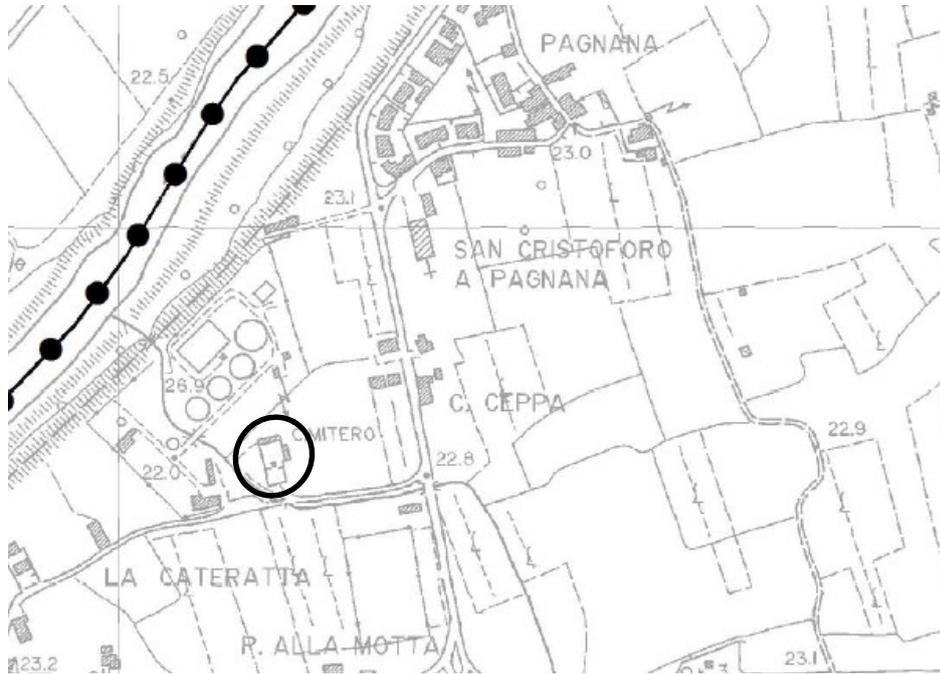
Estratta dagli elaborati dello Strumento Urbanistico vigente - Variante al P.S. 2013 Tav.1-1

FORMAZIONI GEOLOGICHE

	Detriti di versante		(dt)
	Alluvioni: Ghiaie Sabbie		(bc)
	Alluvioni: Sabbie Limi	<b>OLOCENE</b>	(be)
	Alluvioni: Limi Argille		(bf)
	Alluvioni terrazzate		(bn1)
	Conglomerati Sabbie Limi	<b>PLEISTOCENE</b>	(QPL)
	Argille azzurre		(FAA)
	Ghiaie e Conglomerati	<b>PLIOCENE</b>	(ACO2)
	Sabbie marine		(ACO1)

appendice 2

carta geomorfologica

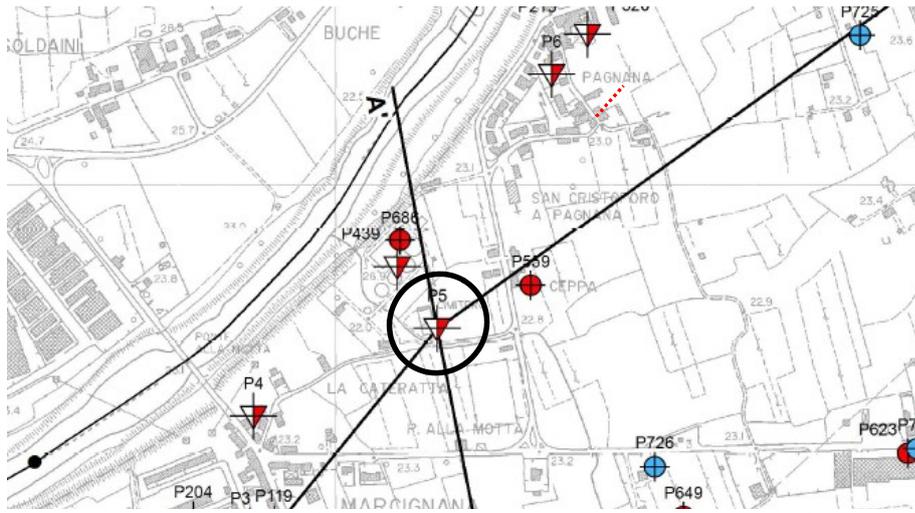


Estratta dagli elaborati dello Strumento Urbanistico vigente - Variante al P.S. 2013 Tav.1-2

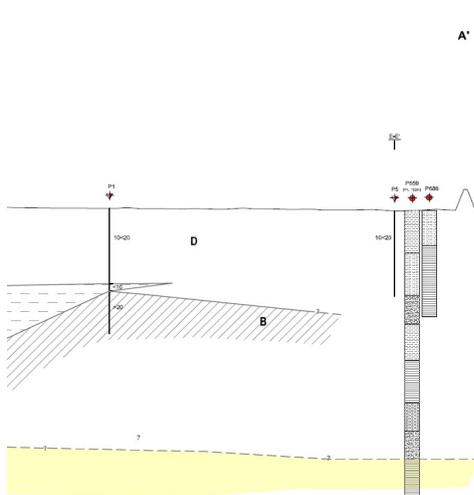
-  cave attive
-  cave dismesse
-  cave dismesse ripristinate e/o rinaturalizzate
-  Laghetti collinari
-  Corona di frana e/o scarpata quiescente o inattiva e/o scarpata morfologica di maggiore entità
-  Corona di frana e/o scarpata quiescente o inattiva e/o scarpata morfologica di modesta entità
-  Corona di frana e/o scarpata attiva di maggiore entità
-  Corona di frana e/o scarpata attiva di modesta entità
-  Area calanchiva
-  Area con presenza di soliflusso localizzato
-  Frana attiva per scorrimento
-  Frana attiva per colamento a dinamica lenta
-  Frana quiescente per scorrimento
-  Frana quiescente per colamento a dinamica lenta
-  Colluvio e/o detrito di versante
-  Riporto
-  Confine comunale

appendice 3

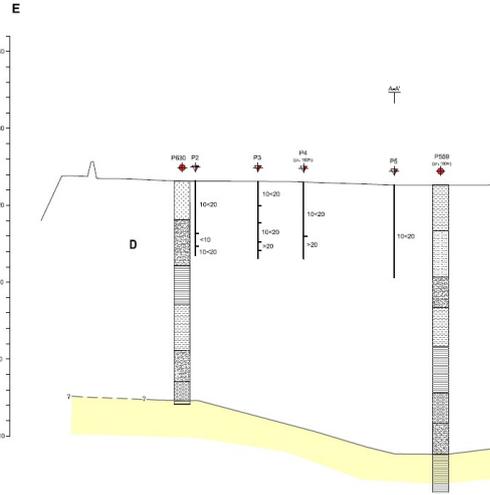
carta dati di base



Estratta dagli elaborati dello Strumento Urbanistico vigente - Variante al P.S. 2013 Tav.1-3



sezione A-A'



sezione E-E'

- Sondaggi
- Prove penetrometriche statiche - CPT
- Prove penetrometriche dinamiche
- Pozzi
- Intersezione con sezione E-E'

STRATIGRAFIA NEI SONDAGGI

- Terreno vegetale s/o aperto
- Argilla
- Limo
- Limo sabbioso
- Sabbia
- Ghiaia

CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA TERRENI DI PIANURA

- CARATTERISTICHE SCADENTI: I terreni sono caratterizzati da valori medi di  $R_p < 10 \text{ kg/cm}^2$
- CARATTERISTICHE DISCRETE: I terreni sono caratterizzati da valori medi  $10 < R_p < 20 \text{ kg/cm}^2$
- CARATTERISTICHE BUONE: I terreni sono caratterizzati da valori medi di  $R_p > 20 \text{ kg/cm}^2$

CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA TERRENI DI COLLINA

- CARATTERISTICHE BUONE: I terreni sono caratterizzati da valori medi di  $R_p > 20 \text{ kg/cm}^2$

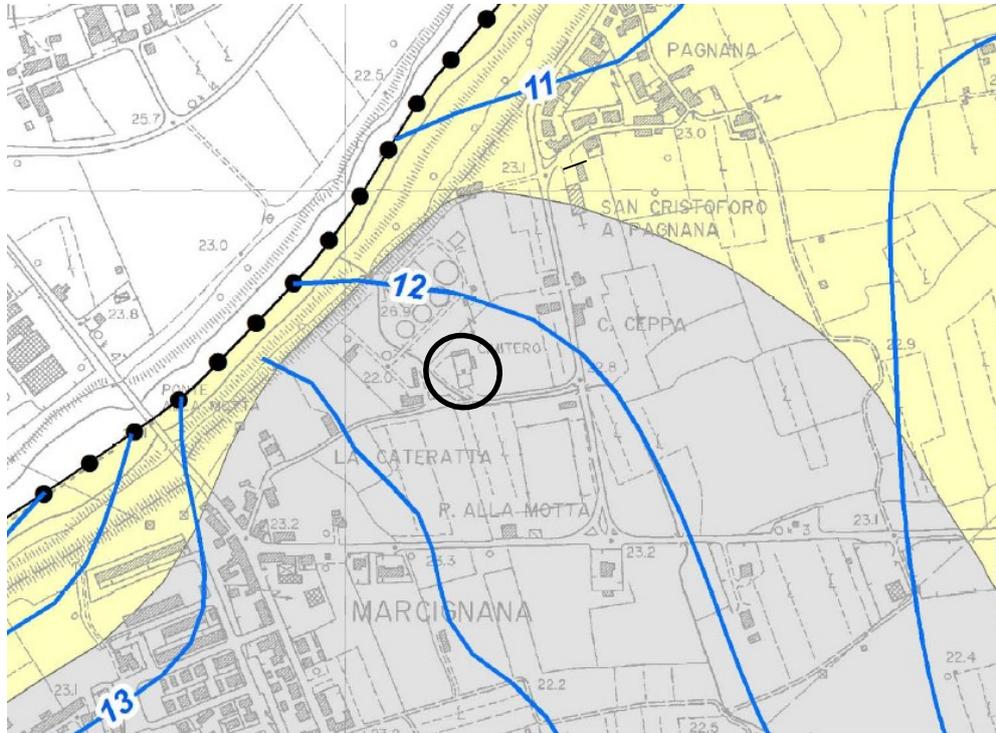


Successione pre-Quaternaria

- Argilla Azurra

appendice 4

carta idrogeologica



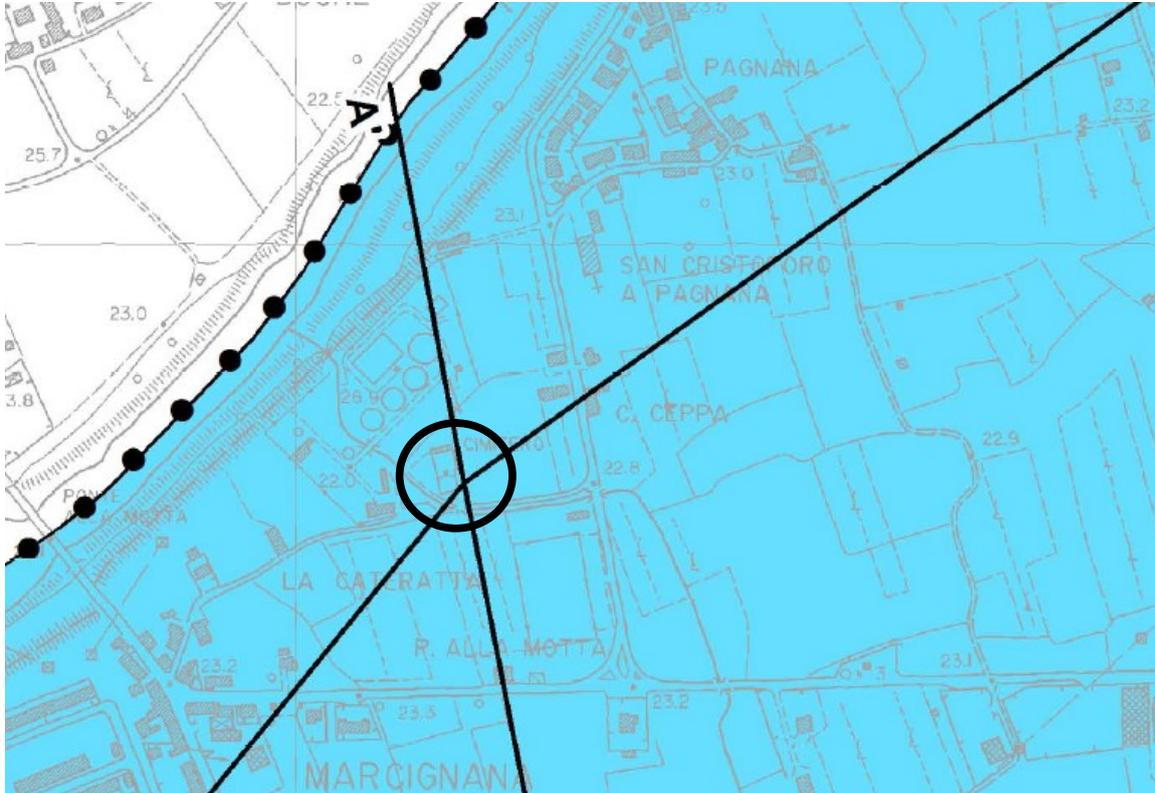
Estratta dagli elaborati dello Strumento Urbanistico vigente - Variante al P.S. 2013 Tav.1-4

Legenda

-  Pozzi
-  Aree di rispetto dei campi pozzi
-  Isopiezometriche (m, s.l.m.), luglio 2002
-  Confine comunale
- Classi di permeabilità**
-  CLASSE 1 Bassa
-  CLASSE 2 Media
-  CLASSE 3 Elevata
-  Corpi detritici e/o corpi di frana con permeabilità da bassa a media

appendice 5

carta geolitotecnica scala 1:10.000



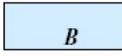
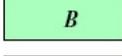
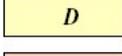
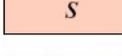
Estratta dagli elaborati dello Strumento Urbanistico vigente - Variante al P.S. 2013 Tav.1-5

LEGENDA

Pozzi

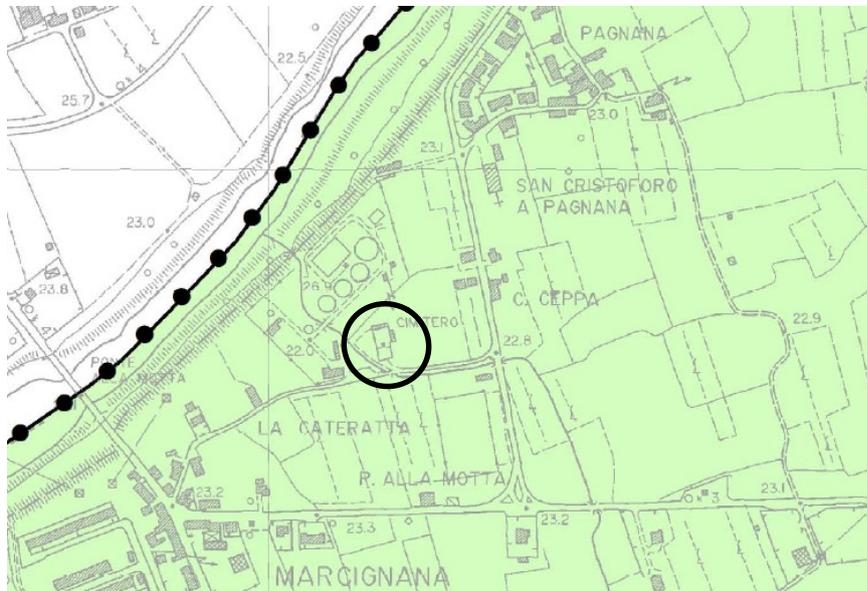
- ◆ Publiker con stratigrafia
- ◆ Publiker con stratigrafia della rete di controllo
- Privati con stratigrafia
- ⊗ Privati con stratigrafia della rete di controllo
- Privati senza stratigrafia della rete di controllo
- Sondaggi geognostici
- ⊠ Penetrometrie statiche
- Penetrometrie dinamiche
- 💧 Sorgenti

Caratterizzazione geotecnica

-  PIANURA: Aree con presenza di terreni scendenti a profondità inferiori a 10 m
-  PIANURA: Caratteristiche geotecniche buone
-  PIANURA: Caratteristiche geotecniche discrete
-  PIANURA: Caratteristiche geotecniche scadenti
-  COLLINA: Caratteristiche geotecniche buone
-  COLLINA: Caratteristiche geotecniche discrete
-  COLLINA: Caratteristiche geotecniche scadenti
-  Isobata del tetto dello strato scendente
-  Confine comunale
-  Limite pianura - collina

appendice 6

carta della pericolosità geologica ai sensi del D.P.G.R. n. 53/R/2011

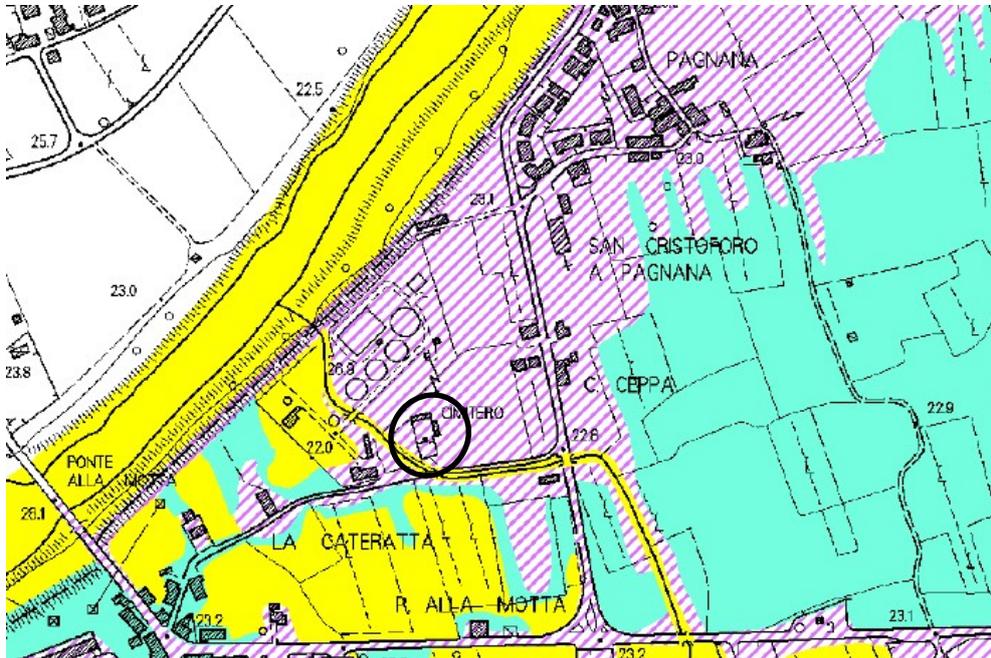


Estratta dagli elaborati dello Strumento Urbanistico vigente - Variante al P.S. 2013 Tav.1-12

LEGENDA:		
	<b>G1 PERICOLOSITA' GEOLOGICA BASSA</b>	Aree in cui i processi geomorfologici e le caratteristiche litologiche, giaciture non costituiscono fattori predisponenti al verificarsi di processi morfoevolutivi.
	<b>G2 PERICOLOSITA' GEOLOGICA MEDIA</b>	Aree in cui sono presenti fenomeni franosi inattivi e stabilizzati (naturalmente o artificialmente); aree con elementi geomorfologici, litologici e giaciture dalla cui valutazione risulta una bassa propensione al dissesto; corpi detritici su versanti con pendenze inferiori al 20%.
	<b>G3 PERICOLOSITA' GEOLOGICA ELEVATA</b>	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 subsidenza; aree caratterizzate da terreni con scadenti caratteristiche geotecniche; corpi detritici su versanti con pendenze superiori al 20%.
	<b>G4 PERICOLOSITA' GEOLOGICA MOLTO ELEVATA</b>	Aree in cui sono presenti fenomeni attivi e relative aree di influenza, aree interessate da soliflussi e da intensi fenomeni erosivi.
	DISCARICA	
	CONFINI COMUNALI	

appendice 7

carta della pericolosità idraulica ai sensi del D.P.G.R. n. 53/R/2011



Estratta Studio idrologico idraulico supporto al N.R.U. del Comune di Empoli 2013 Tav. 6.1

Legenda

Pericolosità definita da studi idraulici

Pericolosità su base geomorfologica e storico-inventariale

13 Pericolosità idraulica elevata

11 Pericolosità idraulica modesta

14 Pericolosità idraulica molto elevata

12 Pericolosità idraulica media

13 Pericolosità idraulica elevata

14 Pericolosità idraulica molto elevata

appendice 8

**Piano di Gestione del Rischio Alluvioni  
Distretto Appennino Settentrionale (PGRA)**





**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. VIOLANTI  
 Località: EMPOLI  
 Cantiere: PAGNANA CIMITERO  
 Data: 7/10/19  
 N. prove: 2

**Caratteristiche del sistema**

Penetrometro statico TG 73 200KN Pagani  
 Punta meccanica tipo "Begemann"  
 Diametro = 35,7 mm; Angolo di apertura = 60°  
 Ap=10 cm<sup>2</sup>; At=20 cm<sup>2</sup>; Am=150 cm<sup>2</sup>  
 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 <sup>2</sup> )
=====	a	argilla	Fs	Attrito laterale unitario (Kg/cm <sup>2</sup> )
====~	al	argilla limosa	Qc/Fs	Rapporto Begemann
~~~~~	l	limo	Rt	Spinta totale (rivest.+punta)
~.~.~.~.~	sl	sabbia e limo	γ	Peso di volume
~.~.~.~.~	ss	sabbia sciolta	σ'vo	Pressione verticale efficace
~.~.~.~.~	sm	sabbia mediamente addensata	φ	Angolo di attrito interno
~.~.~.~.~	sdg	sabbia densa e/o ghiaia	Dr	Densità relativa
*****	rip	riporto	Cu	Coesione non drenata
			mv	Coeff. di compressibilità volum.

# TABELLA DATI DI CAMPAGNA

 <p><b>GEOSERVIZI snc</b> Via S. Calabrese- Loc. Montacchiello Ospedaletto (PI) CF/RIVA 01121470502</p>		<p>prove totali: 2                  Prova numero: 1                  Committente: DOTT. VIOLANTI                  Località: EMPOLI                  Cantiere: PAGNANA CIMITERO                  Data: 7/10/19</p>	
<p>certificato num: 234/2019</p>		<p>profondità massima: 10                  quota falda: 2,2                  quota piano campagna:</p>	
PROF.	punta	punta+manicotto	Rt
0,2			31
0,4			45
0,6	22	36	62
0,8	95	110	115
1	18	40	62
1,2	11	31	43
1,4	4	10	34
1,6	7	17	34
1,8	28	33	45
2	20	24	42
2,2	23	28	65
2,4	23	28	54
2,6	13	27	57
2,8	9	21	49
3	5	14	66
3,2	9	12	48
3,4	11	24	50
3,6	13	19	65
3,8	15	24	75
4	13	27	89
4,2	12	24	99
4,4	8	16	110
4,6	11	18	120
4,8	10	21	120
5	9	21	136
5,2	11	21	140
5,4	9	21	147
5,6	9	19	155
5,8	4	12	169
6	7	13	182
6,2	6	21	186
6,4	11	23	188
6,6	11	26	201
6,8	9	24	204
7	4	17	209
7,2	3	14	209
7,4	5	11	211
7,6	8	14	212
7,8	2	10	218
8	2	9	213
8,2	2	5	212
8,4	3	5	215
8,6	6	12	221
8,8	6	15	227
9	6	17	232
9,2	7	16	230
9,4	4	11	222
9,6	4	11	223
9,8	4	11	221
10	5	12	220



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

Prova numero: 1

Data: 7/10/19

Committente: DOTT. VIOLANTI

Località: EMPOLI

Cantiere: PAGNANA CIMITERO

Profondità massima: 10,0 m dal p. c.

Quota piano camp.: m

Quota falda: 2,2 m dal p.c.

**parametri geotecnici stimati**

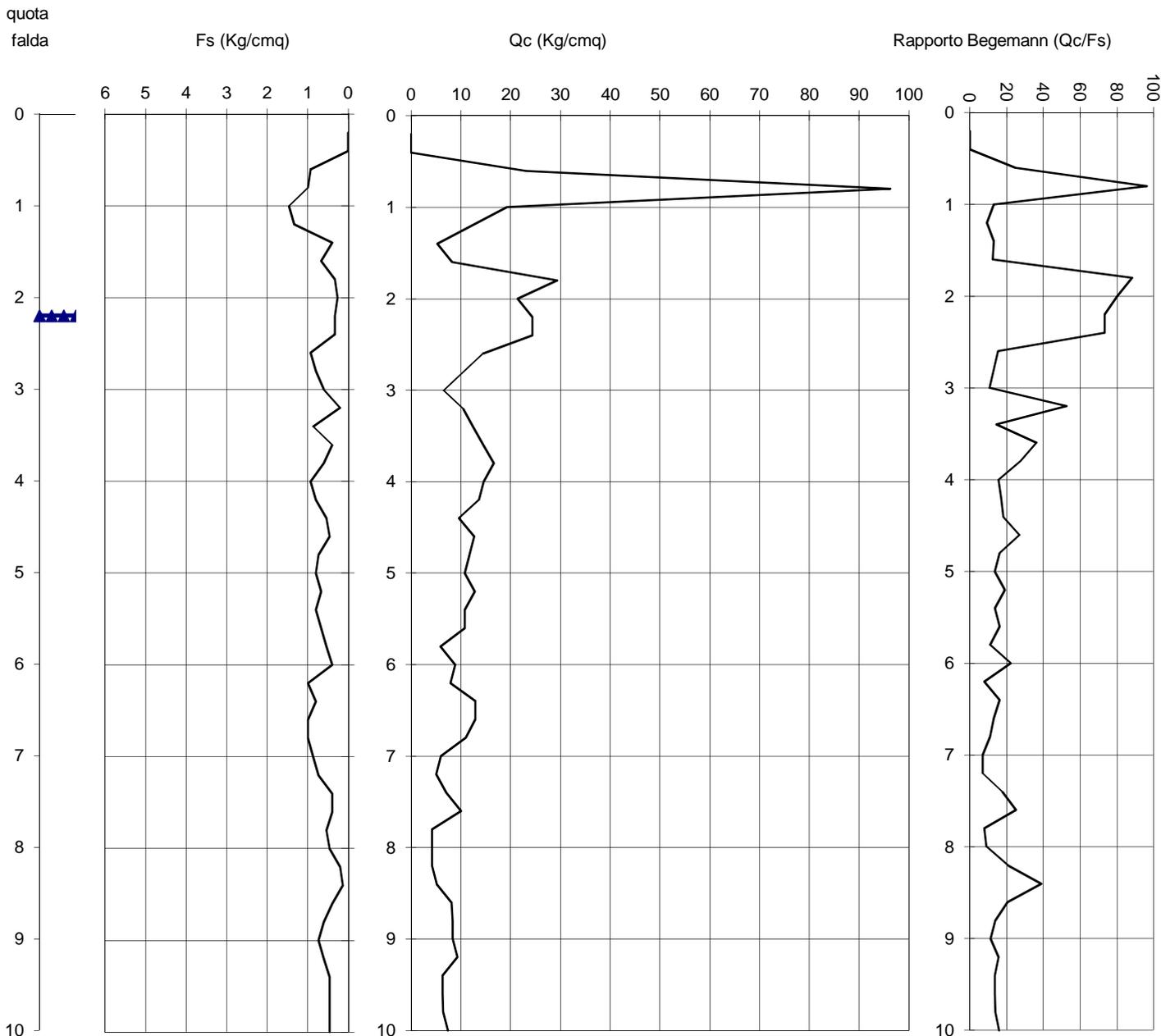
Prof. [metri]	Qc [Kg/cmq]	Fs [Kg/cmq]	Qc/Fs	Rt [Kgf]	$\gamma$ [Kg/dmc]	$\sigma'_{vo}$ [Kg/cmq]	$\phi$ [gradi]	Dr [%]	Cu [Kg/cmq]	mv [cmq/t]	Colonna stratig.	lito_ logia
0,2				321	1,80	0,04	-	-	-	-	non ril.	
0,4				461	1,80	0,07	-	-	-	-	non ril.	
0,6	23,1	0,93	25	631	1,93	0,11	-	-	0,92	17,3	====~	al
0,8	96,3	1,00	96	1163	2,08	0,15	45	100	-	3,5	=====	sm
1	19,3	1,47	13	633	1,62	0,18	-	-	0,76	19,2	#####	aot
1,2	12,3	1,33	9	443	1,55	0,22	-	-	0,48	30,2	#####	aot
1,4	5,3	0,40	13	353	1,48	0,25	-	-	0,20	57,3	#####	aot
1,6	8,3	0,67	12	353	1,51	0,28	-	-	0,32	41,4	#####	aot
1,8	29,4	0,33	88	464	1,75	0,31	37	53	-	11,3	=====	sm
2	21,4	0,27	80	434	1,71	0,34	35	39	-	15,6	=====	sm
2,2	24,4	0,33	73	664	1,72	0,36	35	43	-	13,7	=====	sm
2,4	24,4	0,33	73	554	1,72	0,37	35	42	-	13,7	=====	sm
2,6	14,4	0,93	15	584	1,91	0,39	-	-	0,56	19,9	=====	a
2,8	10,5	0,80	13	505	1,54	0,40	-	-	0,40	35,2	#####	aot
3	6,5	0,60	11	675	1,50	0,41	-	-	0,24	48,7	#####	aot
3,2	10,5	0,20	53	495	1,65	0,43	29	10	-	31,7	#####	ss
3,4	12,5	0,87	14	515	1,56	0,44	-	-	0,48	29,6	#####	aot
3,6	14,5	0,40	36	665	1,67	0,45	-	-	0,56	18,0	~::~~	l
3,8	16,7	0,60	28	767	1,91	0,47	-	-	0,65	19,4	====~	al
4	14,7	0,93	16	907	1,91	0,49	-	-	0,57	19,8	=====	a
4,2	13,7	0,80	17	1007	1,91	0,50	-	-	0,53	20,2	=====	a
4,4	9,7	0,53	18	1117	1,88	0,52	-	-	0,37	23,9	=====	a
4,6	12,7	0,47	27	1217	1,91	0,54	-	-	0,48	20,8	====~	al
4,8	11,8	0,73	16	1218	1,90	0,56	-	-	0,45	21,4	=====	a
5	10,8	0,80	13	1378	1,54	0,57	-	-	0,41	34,4	#####	aot
5,2	12,8	0,67	19	1418	1,91	0,59	-	-	0,49	20,7	=====	a
5,4	10,8	0,80	13	1488	1,54	0,60	-	-	0,41	34,4	#####	aot
5,6	10,8	0,67	16	1568	1,90	0,62	-	-	0,41	22,4	=====	a
5,8	5,9	0,53	11	1709	1,49	0,63	-	-	0,21	52,4	#####	aot
6	8,9	0,40	22	1839	1,85	0,64	-	-	0,33	25,1	=====	a
6,2	7,9	1,00	8	1879	1,51	0,65	-	-	0,29	42,5	#####	aot
6,4	12,9	0,80	16	1899	1,91	0,67	-	-	0,49	20,6	=====	a
6,6	12,9	1,00	13	2029	1,56	0,68	-	-	0,49	28,7	#####	aot
6,8	11,0	1,00	11	2060	1,54	0,69	-	-	0,41	33,5	#####	aot
7	6,0	0,87	7	2110	1,49	0,70	-	-	0,21	51,5	#####	aot
7,2	5,0	0,73	7	2110	1,48	0,71	-	-	0,17	59,3	#####	aot
7,4	7,0	0,40	18	2130	1,75	0,73	-	-	0,25	29,6	=====	a
7,6	10,0	0,40	25	2140	1,90	0,75	-	-	0,37	23,3	=====	a
7,8	4,2	0,53	8	2202	1,47	0,76	-	-	0,14	69,4	#####	aot
8	4,2	0,47	9	2152	1,47	0,76	-	-	0,14	69,4	#####	aot
8,2	4,2	0,20	21	2142	1,61	0,78	-	-	0,14	45,1	=====	a
8,4	5,2	0,13	39	2172	1,63	0,79	-	-	0,18	37,0	~::~~	l
8,6	8,2	0,40	20	2232	1,81	0,81	-	-	0,29	26,6	=====	a
8,8	8,3	0,60	14	2293	1,51	0,82	-	-	0,30	41,2	#####	aot
9	8,3	0,73	11	2343	1,51	0,83	-	-	0,30	41,2	#####	aot
9,2	9,3	0,60	16	2323	1,87	0,84	-	-	0,34	24,4	=====	a
9,4	6,3	0,47	14	2243	1,49	0,85	-	-	0,22	49,9	#####	aot
9,6	6,3	0,47	14	2253	1,49	0,86	-	-	0,22	49,9	#####	aot
9,8	6,4	0,47	14	2234	1,49	0,87	-	-	0,22	49,2	#####	aot
10	7,4	0,47	16	2224	1,50	0,88	-	-	0,26	44,4	#####	aot



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

Prova numero 1  
Committente DOTT. VIOLANTI  
Località EMPOLI  
Cantiere PAGNANA CIMITERO  
Data 7/10/19

Profondità massima (m): 10  
Quota falda (m dal p.c.): 2,2



PENETROMETRO STATICO: TG 73 200 KN PAGANI

# TABELLA DATI DI CAMPAGNA

 <p><b>GEOSERVIZI snc</b> Via S. Calabrese - Loc. Montacchiello Ospedaletto (PI) C.F./RIVA 01121470502</p>		prove totali: 2 Prova numero: 2 Committente: DOTT. VIOLANTI Località: EMPOLI Cantiere: PAGNANA CIMITERO Data: 7/10/19	
certificato num: 235/2019		profondità massima: 10 quota falda: 2,5 quota piano campagna:	
PROF.	punta	punta+manicotto	Rt
0,2			12
0,4			21
0,6	16	19	26
0,8	4	10	22
1	2	11	12
1,2	6	11	16
1,4	7	13	19
1,6	5	13	25
1,8	13	22	38
2	27	41	47
2,2	18	33	48
2,4	12	29	49
2,6	16	28	45
2,8	9	17	46
3	6	19	48
3,2	7	14	48
3,4	11	16	58
3,6	14	20	70
3,8	13	28	78
4	12	28	87
4,2	10	22	98
4,4	8	18	104
4,6	9	18	112
4,8	13	23	128
5	16	28	137
5,2	13	28	144
5,4	11	24	151
5,6	13	24	159
5,8	9	16	163
6	10	19	172
6,2	9	20	177
6,4	11	23	186
6,6	14	27	198
6,8	13	30	210
7	14	30	218
7,2	12	29	222
7,4	11	27	224
7,6	10	22	231
7,8	3	9	238
8	23	28	260
8,2	23	26	248
8,4	44	50	267
8,6	20	28	257
8,8	8	17	256
9	8	16	248
9,2	18	21	251
9,4	7	17	247
9,6	5	15	244
9,8	5	11	244
10	5	10	243



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

Prova numero: 2

Data: 7/10/19

Committente: DOTT. VIOLANTI

Località: EMPOLI

Cantiere: PAGNANA CIMITERO

Profondità massima: 10,0 m dal p. c.

Quota piano camp.: m

Quota falda: 2,5 m dal p.c.

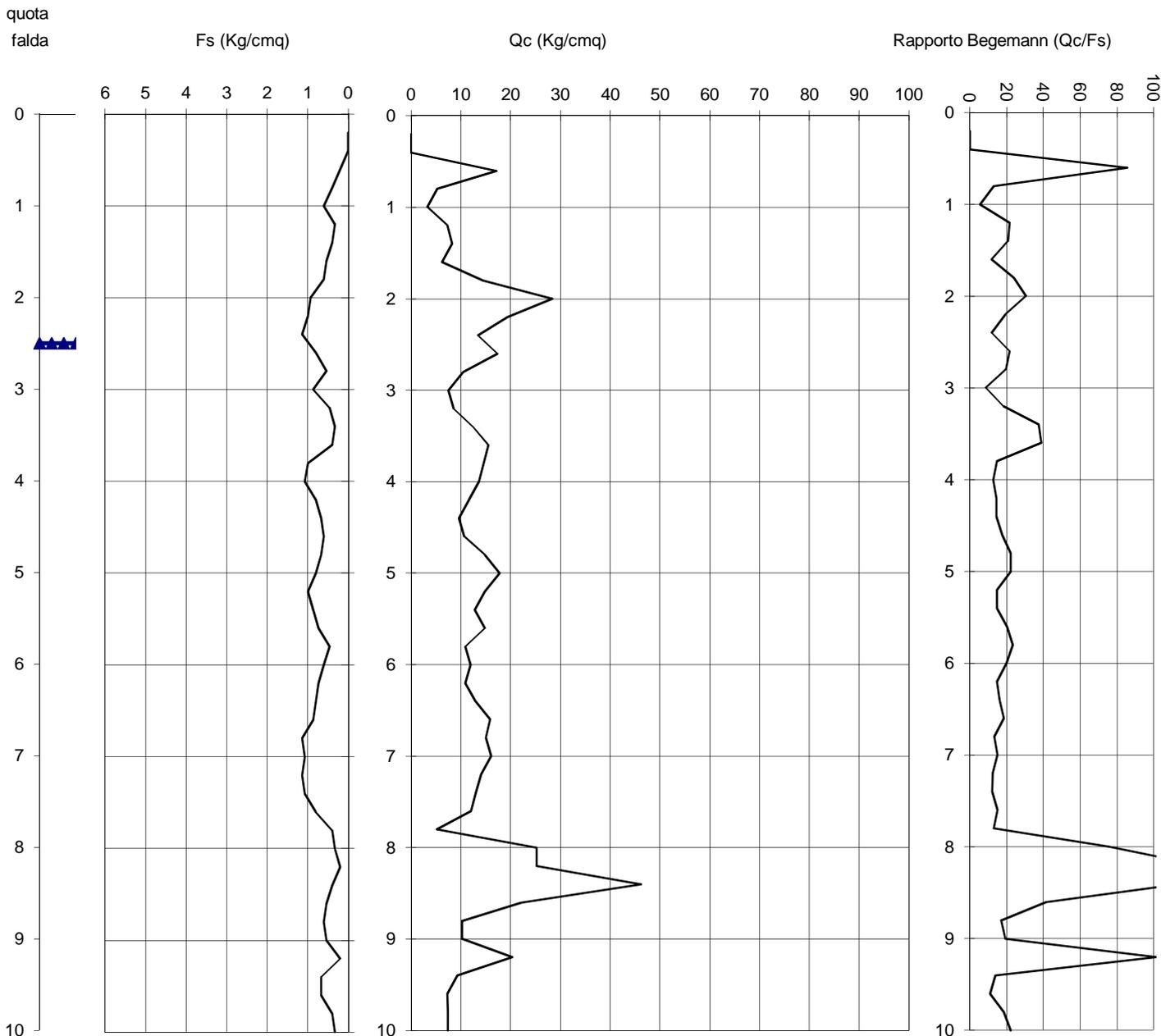
Prof. [metri]	Qc [Kg/cmq]	Fs [Kg/cmq]	Qc/Fs	Rt [Kgf]	parametri geotecnici stimati							Colonna stratig.	lito_ logia
					$\gamma$ [Kg/dmc]	$\sigma'_{vo}$ [Kg/cmq]	$\phi$ [gradi]	Dr [%]	Cu [Kg/cmq]	m <sub>v</sub> [cmq/t]			
0,2				131	1,80	0,04	-	-	-	-	non ril.		
0,4				221	1,80	0,07	-	-	-	-	non ril.		
0,6	17,1	0,20	86	271	1,69	0,11	39	58	-	19,5	ss		
0,8	5,3	0,40	13	233	1,48	0,14	-	-	0,20	57,3	#####	aot	
1	3,3	0,60	5	133	1,46	0,16	-	-	0,12	85,8	#####	aot	
1,2	7,3	0,33	22	173	1,76	0,20	-	-	0,28	28,9	=====	a	
1,4	8,3	0,40	21	203	1,81	0,24	-	-	0,32	26,4	=====	a	
1,6	6,3	0,53	12	263	1,49	0,27	-	-	0,24	50,1	#####	aot	
1,8	14,4	0,60	24	394	1,91	0,30	-	-	0,56	19,9	=====	a	
2	28,4	0,93	30	484	1,74	0,34	28	-	-	11,7	#####	sl	
2,2	19,4	1,00	19	494	1,92	0,38	-	-	0,76	19,8	=====	a	
2,4	13,4	1,13	12	504	1,56	0,41	-	-	0,52	27,7	#####	aot	
2,6	17,4	0,80	22	464	1,92	0,43	-	-	0,68	19,4	=====	a	
2,8	10,5	0,53	20	475	1,90	0,45	-	-	0,40	22,7	=====	a	
3	7,5	0,87	9	495	1,51	0,46	-	-	0,28	44,0	#####	aot	
3,2	8,5	0,47	18	495	1,83	0,47	-	-	0,32	25,8	=====	a	
3,4	12,5	0,33	38	595	1,66	0,48	-	-	0,48	19,4	#####	l	
3,6	15,5	0,40	39	715	1,68	0,50	-	-	0,60	17,5	#####	l	
3,8	14,7	1,00	15	797	1,91	0,52	-	-	0,57	19,8	=====	a	
4	13,7	1,07	13	887	1,57	0,53	-	-	0,52	27,1	#####	aot	
4,2	11,7	0,80	15	997	1,55	0,54	-	-	0,44	31,8	#####	aot	
4,4	9,7	0,67	14	1057	1,53	0,55	-	-	0,36	37,7	#####	aot	
4,6	10,7	0,60	18	1137	1,90	0,57	-	-	0,40	22,6	=====	a	
4,8	14,8	0,67	22	1298	1,91	0,59	-	-	0,57	19,7	=====	a	
5	17,8	0,80	22	1388	1,92	0,60	-	-	0,69	19,4	=====	a	
5,2	14,8	1,00	15	1458	1,91	0,62	-	-	0,57	19,7	=====	a	
5,4	12,8	0,87	15	1528	1,91	0,64	-	-	0,49	20,7	=====	a	
5,6	14,8	0,73	20	1608	1,91	0,66	-	-	0,56	19,7	=====	a	
5,8	10,9	0,47	23	1649	1,90	0,68	-	-	0,41	22,3	=====	a	
6	11,9	0,60	20	1739	1,90	0,69	-	-	0,45	21,3	=====	a	
6,2	10,9	0,73	15	1789	1,90	0,71	-	-	0,41	22,3	=====	a	
6,4	12,9	0,80	16	1879	1,91	0,73	-	-	0,49	20,6	=====	a	
6,6	15,9	0,87	18	1999	1,91	0,75	-	-	0,61	19,5	=====	a	
6,8	15,0	1,13	13	2120	1,58	0,76	-	-	0,57	24,6	#####	aot	
7	16,0	1,07	15	2200	1,91	0,78	-	-	0,61	19,5	=====	a	
7,2	14,0	1,13	12	2240	1,57	0,79	-	-	0,53	26,4	#####	aot	
7,4	13,0	1,07	12	2260	1,56	0,80	-	-	0,49	28,4	#####	aot	
7,6	12,0	0,80	15	2330	1,90	0,82	-	-	0,45	21,2	=====	a	
7,8	5,2	0,40	13	2402	1,48	0,83	-	-	0,17	58,1	#####	aot	
8	25,2	0,33	76	2622	1,73	0,84	30	25	-	13,2	#####	sm	
8,2	25,2	0,20	126	2502	1,73	0,86	30	24	-	13,2	#####	sm	
8,4	46,2	0,40	115	2692	1,83	0,88	33	45	-	7,2	#####	sm	
8,6	22,2	0,53	42	2592	1,71	0,89	27	-	-	15,0	#####	sl	
8,8	10,3	0,60	17	2583	1,90	0,91	-	-	0,38	23,0	=====	a	
9	10,3	0,53	19	2503	1,90	0,93	-	-	0,37	23,0	=====	a	
9,2	20,3	0,20	102	2533	1,70	0,94	28	15	-	16,4	#####	sm	
9,4	9,3	0,67	14	2493	1,52	0,95	-	-	0,33	38,5	#####	aot	
9,6	7,3	0,67	11	2463	1,50	0,96	-	-	0,25	44,9	#####	aot	
9,8	7,4	0,40	19	2464	1,77	0,98	-	-	0,26	28,4	=====	a	
10	7,4	0,33	22	2454	1,77	0,99	-	-	0,26	28,4	=====	a	



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

Prova numero 2  
Committente DOTT. VIOLANTI  
Località EMPOLI  
Cantiere PAGNANA CIMITERO  
Data 7/10/19

Profondità massima (m): 10  
Quota falda (m dal p.c.): 2,5



PENETROMETRO STATICO: TG 73 200 KN PAGANI

COMUNE DI EMPOLI  
PROVINCIA DI FIRENZE

MODELLAZIONE SISMICA CON METODOLOGIA  
MASW

**Lavoro:** *Costruzione di nuovi loculi nel cimitero di Pagana, Comune di Empoli*

**Località:** *Via della Motta Empoli (FI)*

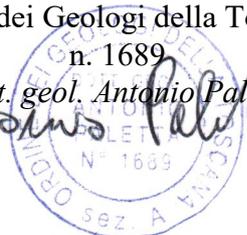
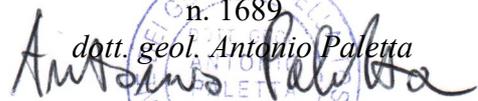
**Committente:** Dr. Geol. Paola Violanti

Empoli, 13 Novembre 2019

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.....	3
3. Prospezioni sismiche MASW.....	6
4. Indagine eseguita .....	8
5. Acquisizione ed elaborazione dati.....	9
6. Interpretazione ed analisi dei dati .....	12
7. Moduli elastici dinamici.....	13

## 1. Premessa

Su incarico ricevuto dalla Dr. Geol. Paola Violanti 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 definizione della categoria di sottosuolo, di un'area ubicata in *Via della Motta Empoli (FI)* (Fig. 1), relativa al progetto di “*Costruzione di nuovi loculi nel cimitero di Pagana, Comune di Empoli*”, secondo quanto disposto dalla normativa vigente (NTC 20 Febbraio 2018).

Si ricorda altresì che le indagini geofisiche non sono contemplate nella circolare 349 STC del 16 dicembre 1999 e, conseguentemente, nelle NTC 20/02/2018, pertanto, non sono soggette a certificazione.

In “*Allegato I*” si riporta l'ubicazione delle indagini geofisiche.



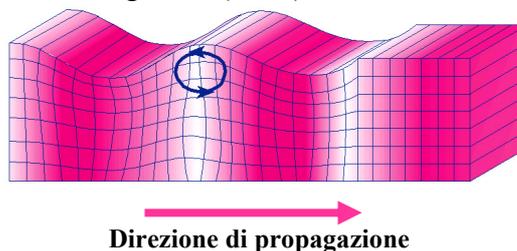
**Fig. 1 – Prospezione sismica MASW M1 effettuata in area progettuale.**

## 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 è il risultato della combinazione delle onde P e delle onde S. Le onde di Rayleigh, polarizzate in un piano verticale (Fig. 2), 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).

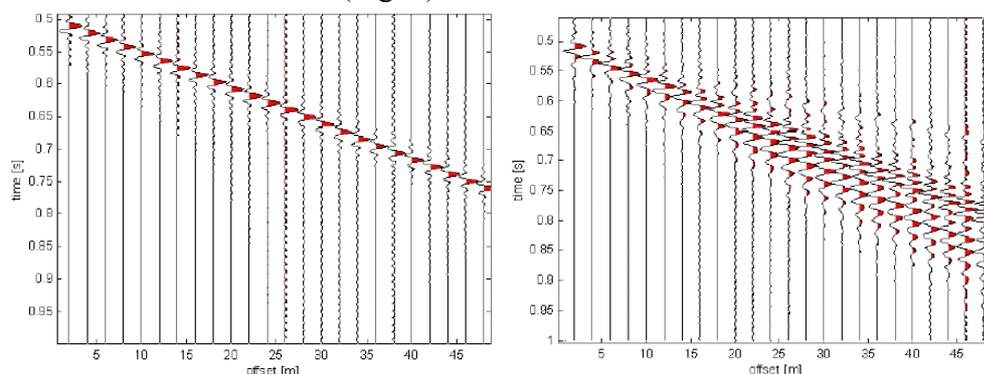


**Fig. 2** Rappresentazione grafica della propagazione delle onde superficiali di Rayleigh.

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. 3).

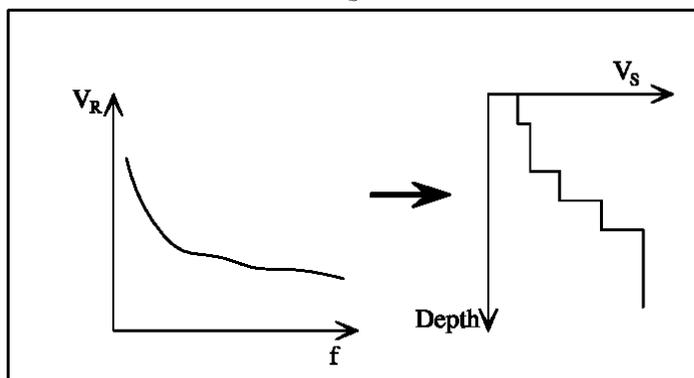


**Fig. 3** – Segnali sismici che evidenziano (in rosso) le onde superficiali di Rayleigh in un mezzo non stratificato (a sinistra) e in un mezzo stratificato (a destra). Risulta evidente il fenomeno della dispersione delle onde superficiali di Rayleigh in un mezzo stratificato.

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. 4).

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. 4** – 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.

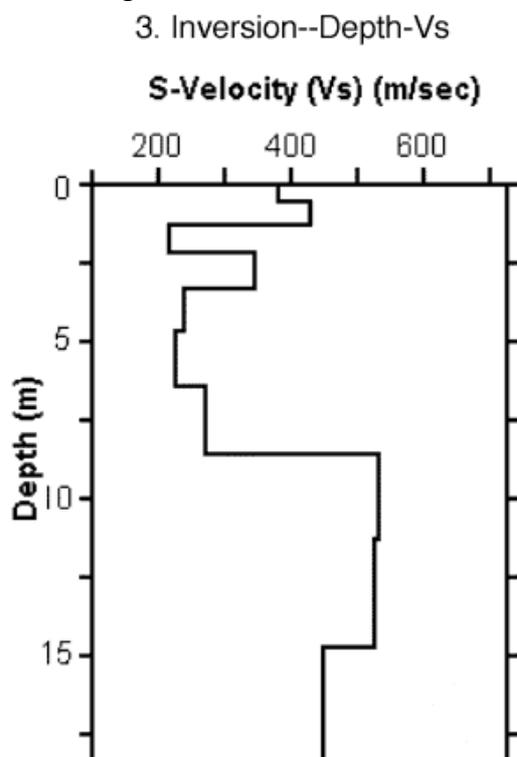
La tecnica MASW, fondata sulla tecnica SASW, consente una dettagliata ricostruzione della distribuzione della velocità delle onde S nel sottosuolo.

### 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.5). 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.



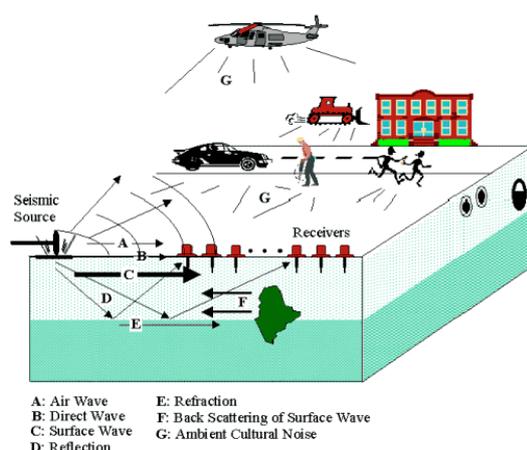
**Fig. 5** – Modello di velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) ottenuto dalla curva di dispersione della velocità di fase delle onde di.

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. 6).

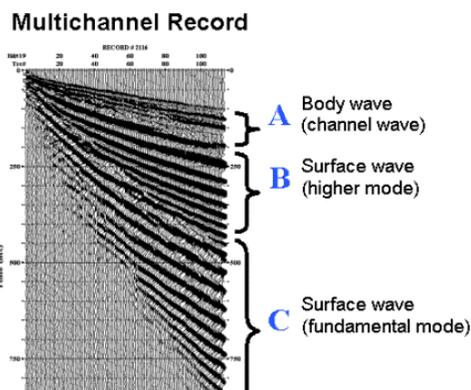
Inoltre, vengono quasi sempre rilevate vibrazioni da rumore ambientale proveniente dal traffico veicolare, dall'attività industriale e, in generale, dall'attività umana (Fig. 6).

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.

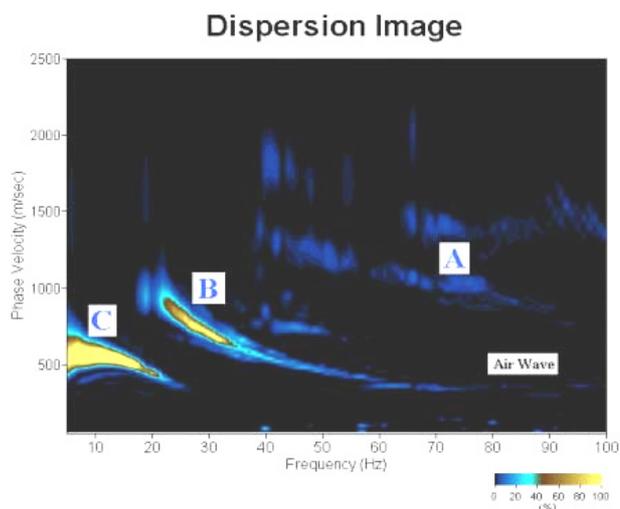


**Fig. 6** – Schematizzazione dei vari tipi di onde (di volume e superficiali) e di alcune possibili sorgenti di rumore ambientale.

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. 7) in una immagine dove un modello di dispersione è riconosciuto nella distribuzione dell'energia trasformata in oscillazioni (Fig. 8).



**Fig. 7** – Segnali sismici con acquisizione multicanale e riconoscimento delle varie fasi sismiche (onde di volume, modo fondamentale e modi superiori delle onde superficiali).



**Fig. 8** – Curva di dispersione della velocità di fase in funzione della frequenza delle onde superficiali di Rayleigh relativa 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 una prospezione sismica MASW con le seguenti caratteristiche (Tab. 1):

<i>Prospezione sismica</i>	<i>N. Geofoni</i>	<i>Lunghezza stendimento geofonico (m)</i>	<i>Spacing (m)</i>
<i>MASW M1</i>	<i>12</i>	<i>33</i>	<i>3</i>

**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 è costituita da un impatto transiente verticale (maglio dal peso di 8 kg 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 5,00 m e 3,50 m così da ottenere due acquisizioni da 12 tracce (fig. 9). Queste, una volta interlacciate, restituiscono un'unica acquisizione da 24 tracce sismiche per una lunghezza di 34,5 m.

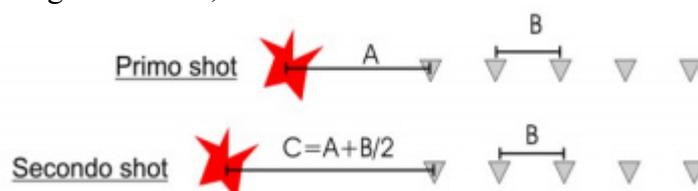


Fig. 9. Ricostruzione di una acquisizione da 24 tracce

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 oltre 30 m dal p.c.

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

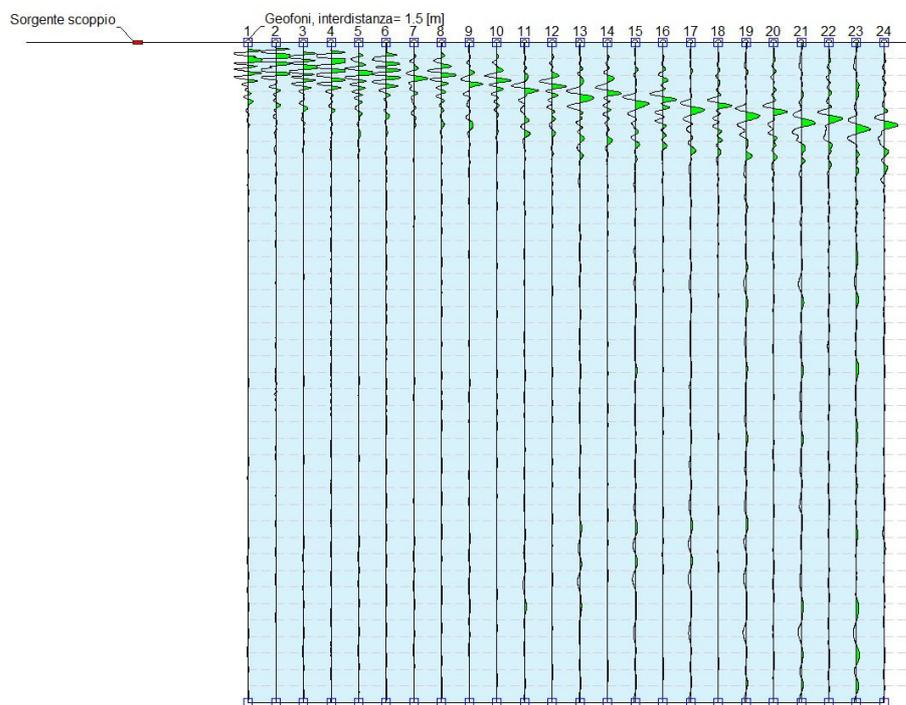
## 5. Acquisizione ed elaborazione dati

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:  $f_{(campionamento)} = 1/dt = 1000Hz$ .

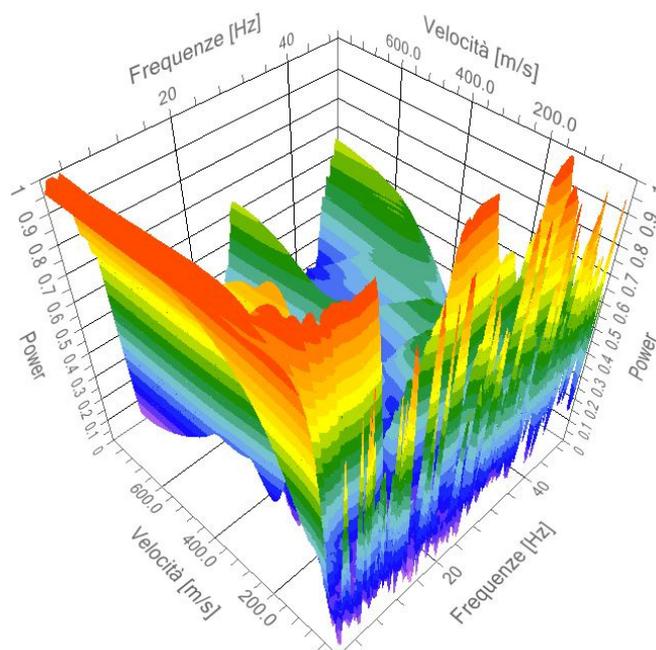
L'elaborazione dei dati e l'inversione delle curve di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh è stata eseguita con il software Heasy Masw della Geostrù ed ha permesso di costruire la sezione sismostratigrafica delle  $V_S$  (Fig.

13).

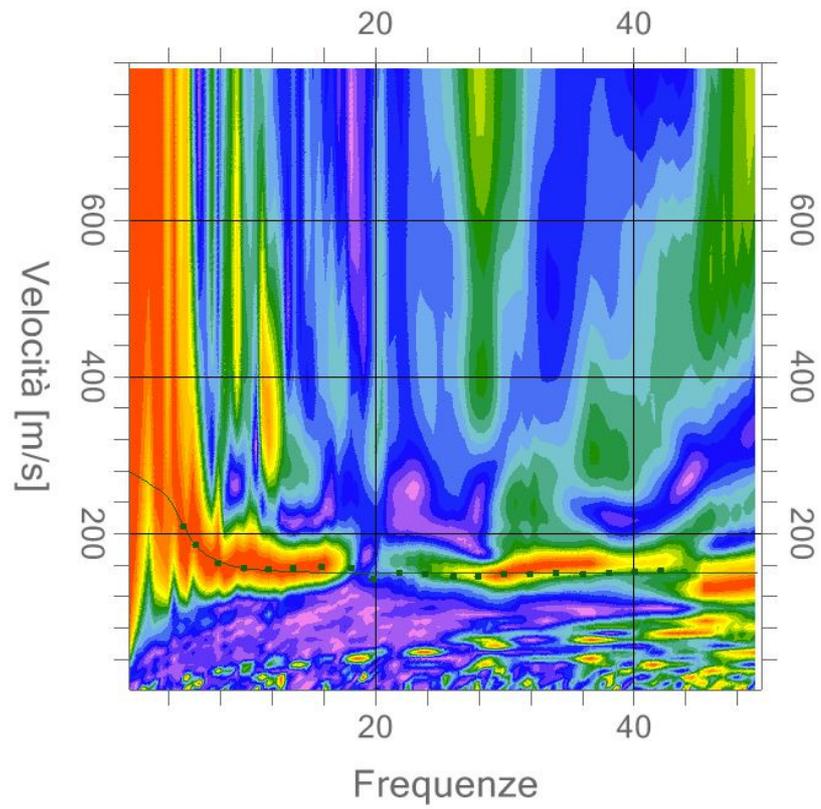
Gli elaborati relativi alla prova effettuata sono di seguito riportati (Figg. 10 – 13).



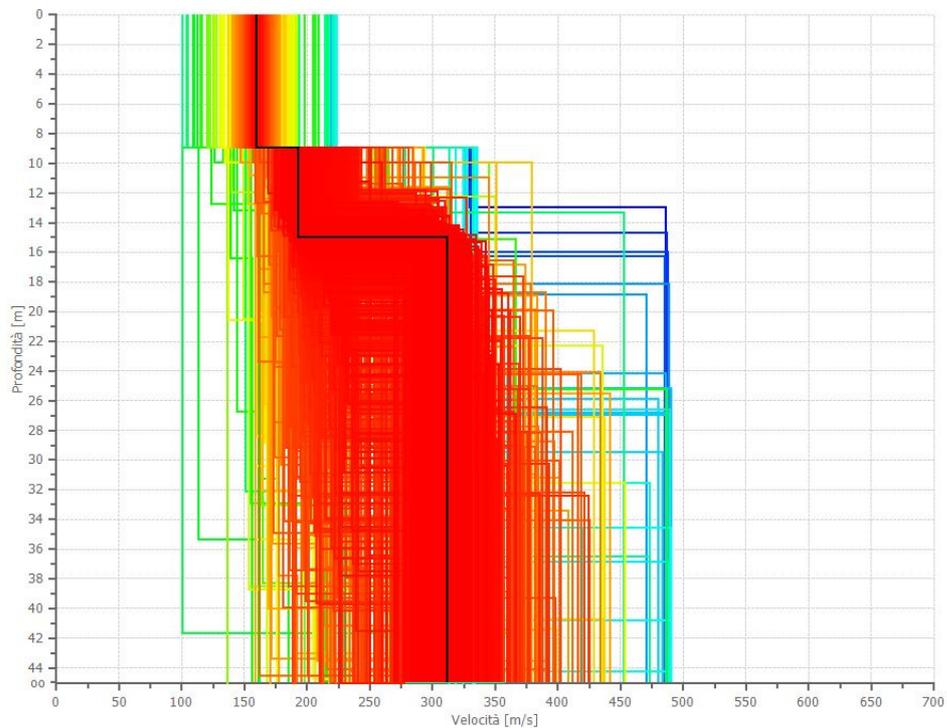
**Fig. 10** – Sismogrammi relativi all'indagine Sismica MASW M1. Finestra temporale [0-2000]ms.



**Fig. 11** – Spettro di dispersione 3D della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh ottenuta dall'indagine Sismica MASW M1.



**Fig. 12** – Spettro 2D ed Inversione - indagine Sismica MASW M1.



**Fig. 13** – Modello sismostratigrafico 2D delle VS ottenuto dall'indagine Sismica MASW M1.

## 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:

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

dove  $h_i$  e  $V_{Si}$  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).

<i>Prospezione sismica</i>	<i><math>V_{S eq.} = V_{S 30} (0,0-30,0)</math> (m/s)</i>	<i>Categoria Suoli di Fondazione (NTC 20/02/2018)</i>
<b>MASW M1</b>	221	<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>	<i>Annessi 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.</i>
<b>B</b>	<i>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.</i>
<b>C</b>	<i>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.</i>
<b>D</b>	<i>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.</i>
<b>E</b>	<i>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.</i>

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

## 7. Moduli elastici dinamici

Nota  $V_s$  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<sub>y</sub>)** [Kg/cm<sup>2</sup>];
- ⇒ **Modulo di Taglio o di Rigidità (G<sub>0</sub>)** [kg/cm<sup>2</sup>];
- ⇒ **Modulo di Incompressibilità (M<sub>0</sub>)** [kg/cm<sup>2</sup>];
- ⇒ **Coefficiente di Poisson (Y<sub>n</sub>)**.

- **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:

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

- **Modulo di Taglio o di Rigidità (G<sub>d</sub>)**: 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:

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

- **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:

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

- **Coefficiente di Poisson (Y<sub>n</sub>)**: esprime la misura della deformazione totale subita da un corpo, esso è pari a:

$$\nu = \frac{1}{2} \left( \frac{V_p}{V_s} \right)^2 - 1 \Big/ \left( \frac{V_p}{V_s} \right)^2 - 1$$

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  $V_s$  desunte dalla prova MASW “M1” (Tab.4).

## MODULI ELASTICI DINAMICI

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/mc]	Falda	Coefficiente Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]
1	9.00	9.00	159.67	316.98	1800.00	No	0.33	45.89	180.85	119.67	122.06
2	15.03	6.03	192.82	382.80	1900.00	Si	0.33	70.64	278.41	184.22	187.91
3	30.00	14.97	311.44	618.28	2000.00	Si	0.33	193.99	764.53	505.88	516.00

**Tab. 4** – Tabella riassuntiva della stima dei moduli elastici elaborati fino alla profondità di 31 m.

Dove:

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

Empoli, 13 Novembre 2019

Ordine dei Geologi della Toscana

n. 1689

dott. geol. Antonio Paletta



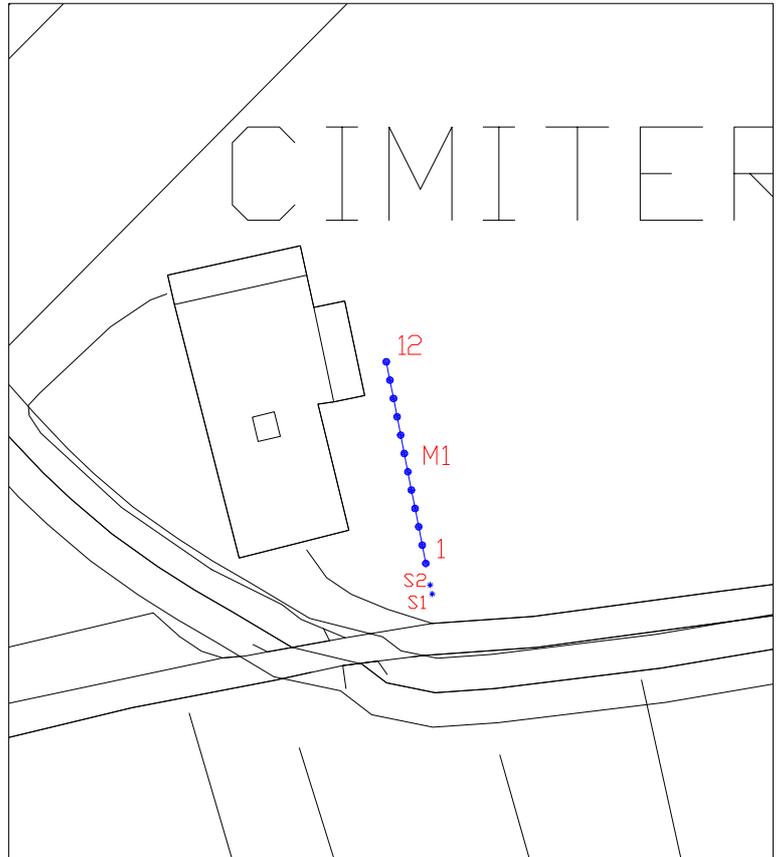

# COMUNE DI EMPOLI

"Costruzione di nuovi loculi nel cimitero di Pagana, Comune di Empoli"

Via della Motta - località Pagnana

Allegato 1

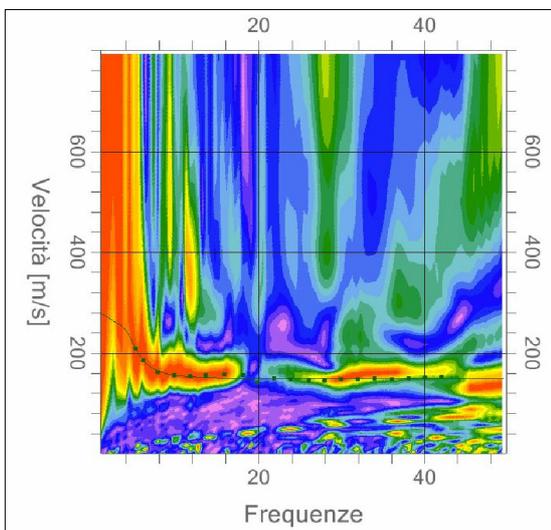
MASW M1



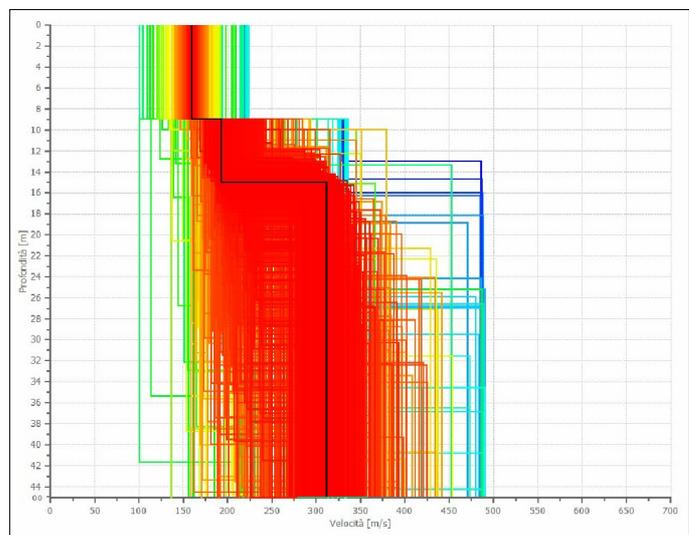
**LEGENDA:**

- Area oggetto di studio
- 8 9 Linea sismica prova MASW
- ✱ Sh - Punti di energizzazione
- gn Geofono 4,5 Hz

Spettro velocità - frequenza 2D  
Inversione



Sismosezione MASW M1



**$V_{s30} (0.0 - 30.0 m) = 221 m/s$  - Categoria Suolo = "C"**

Estratto catastale (fuori scala)

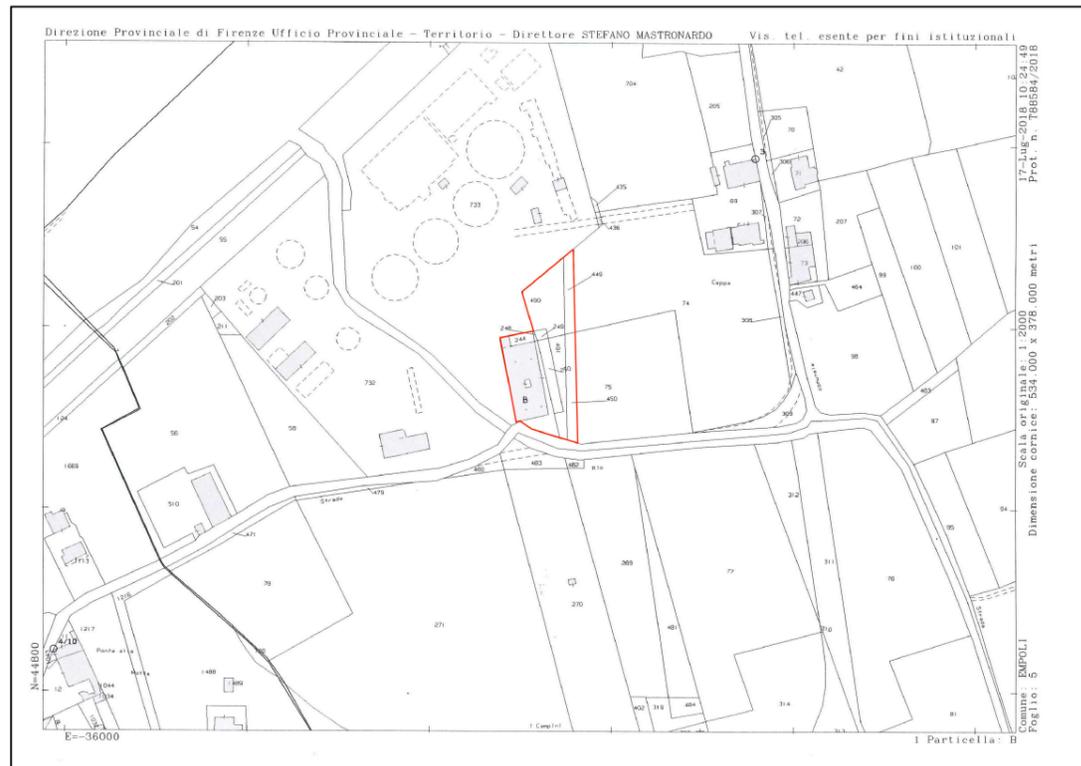
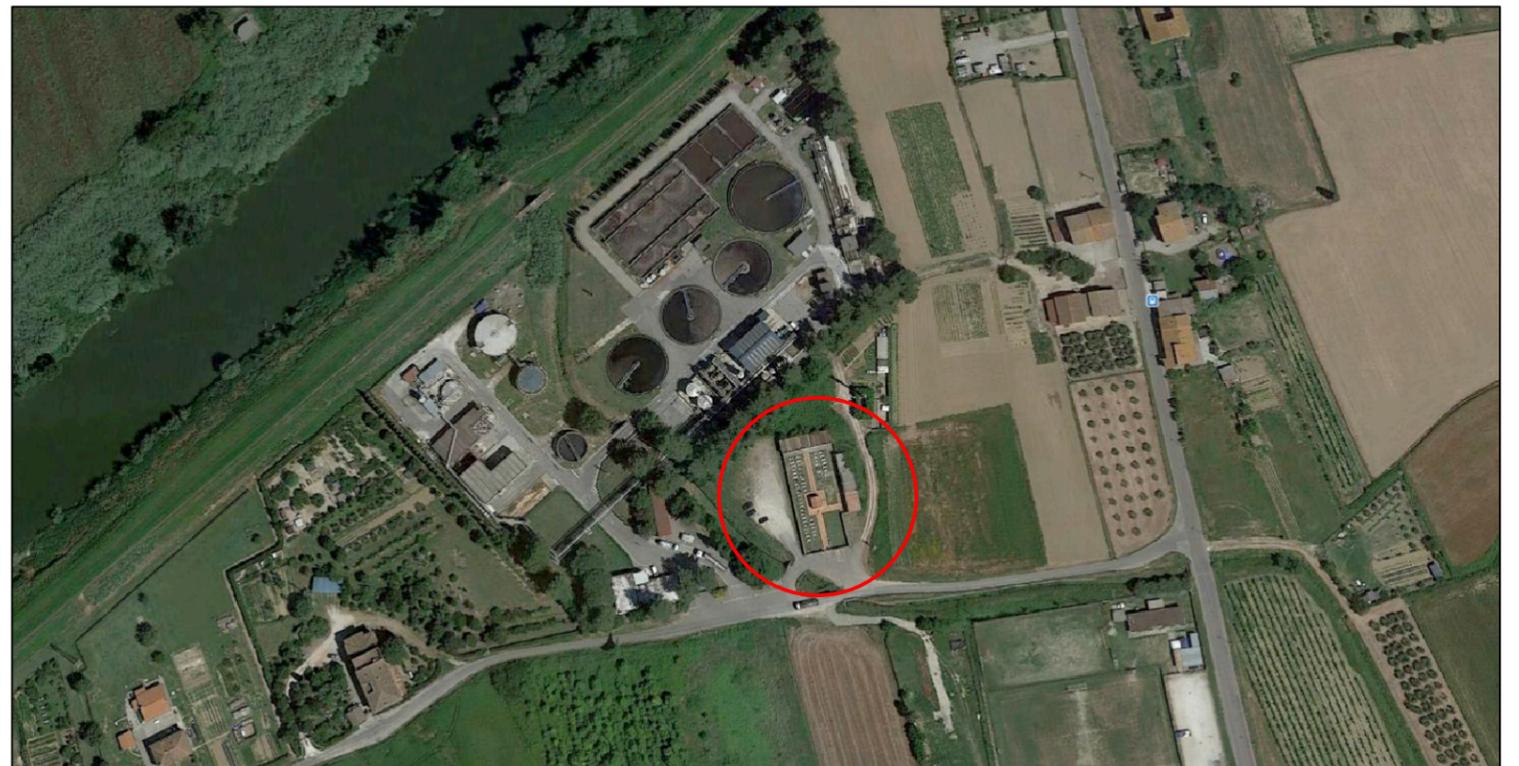
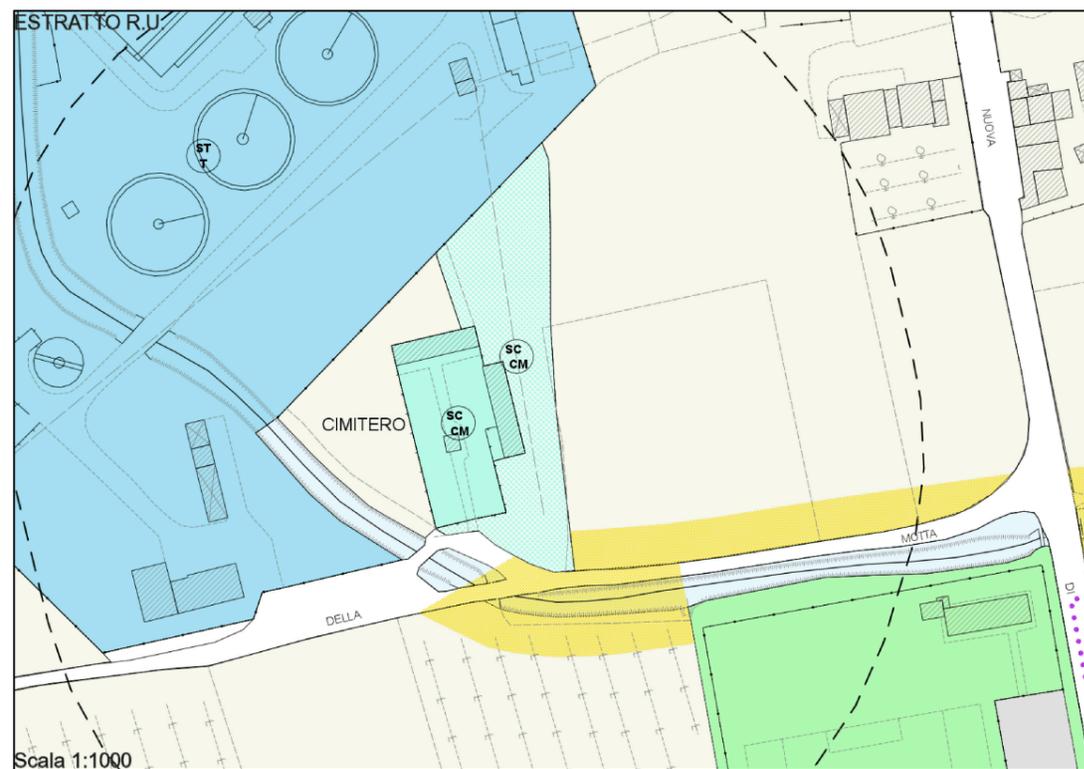


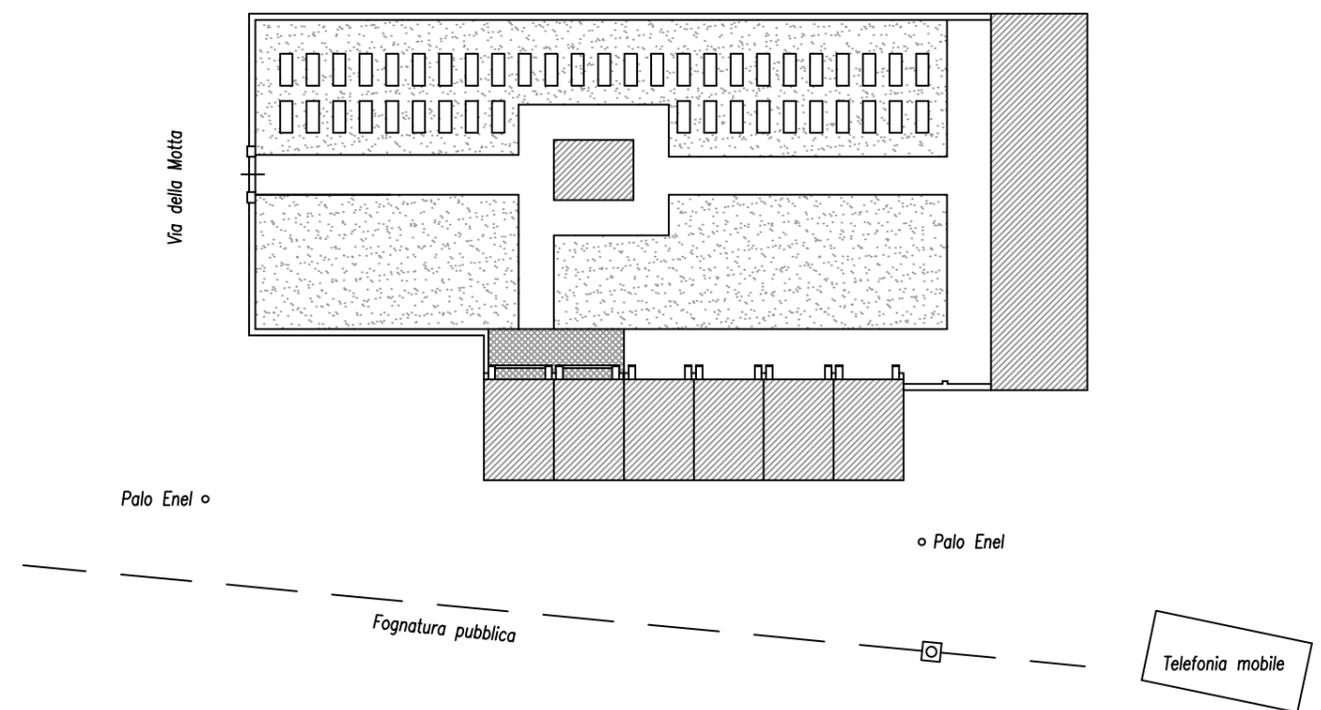
Foto aerea



Estratto R.U. (fuori scala)



Planimetria stato Attuale - Cimitero di Pagnana scala 1:400



Planimetria - stato di progetto 1:200

LEGENDA

- PS  PS
-  Traccia sezione geo-litologica
-  Punti di ripresa fotografica

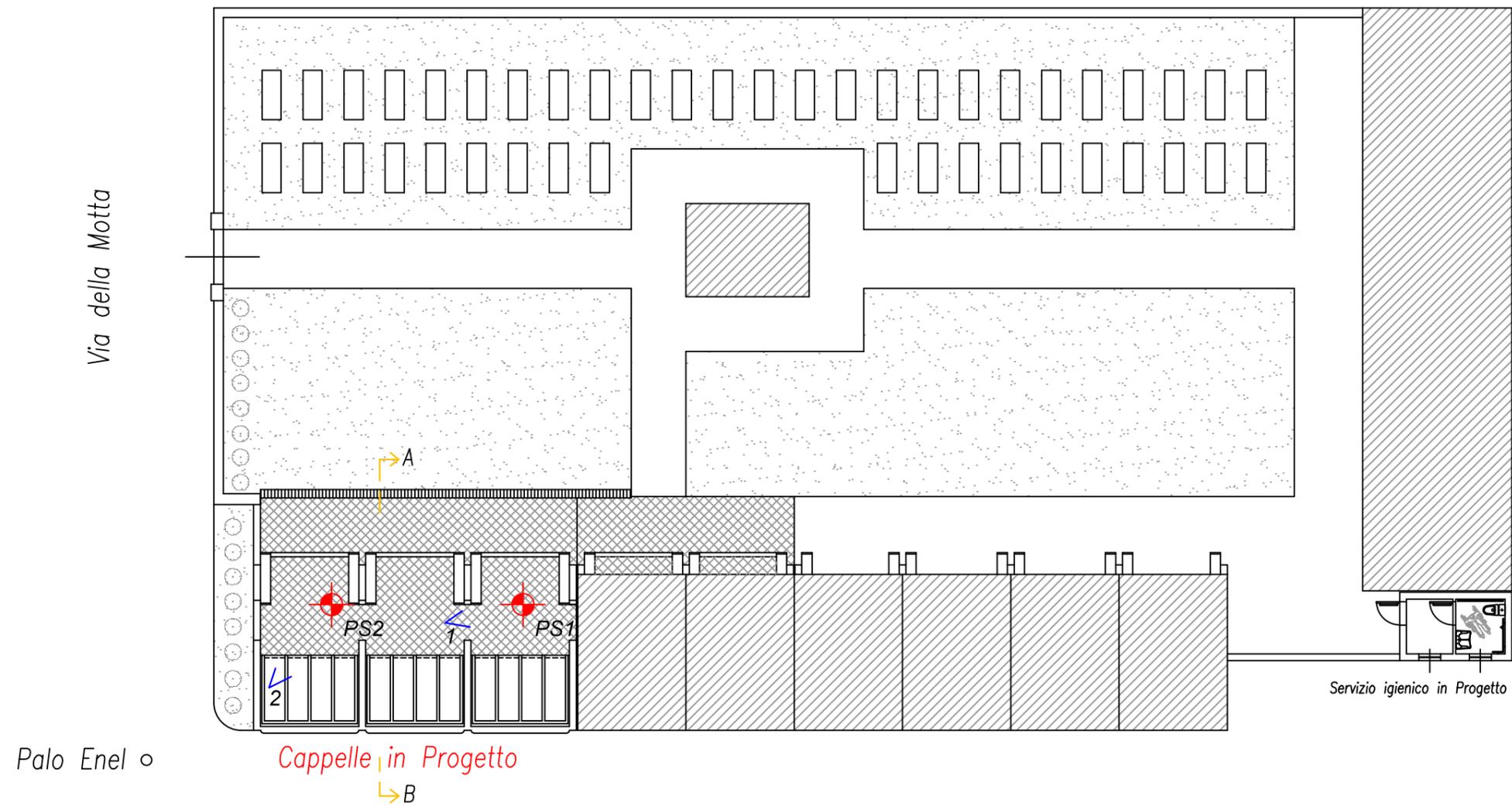


Foto1



Foto2

Telefonia mobile

Profondità dal p.d.c (m)	Stratigrafia	Stato medio di consistenza
0,00 - 1,60	terreno vegetale e riporto	-
1,60 - 10,00	argilla-limosa	medio-basso

n. strato	Prof. dal p.d.c. (m)	valori	Cu (Kg/m <sup>2</sup> )	C'	Φ (°)	Y (Kg/cm <sup>3</sup> )	Mv (cm <sup>2</sup> /t)
1	0,00 - 0,30	medio caratt.	-	-	-	-	-
2	0,30 - 1,20	medio caratt.	0,43 0,37	0 0	25 23	1,80 1,80	33,39 35,20

Sezione geolitologica Prospetto - stato di Progetto scala 1:100

Sezione geolitologica A-B - stato di Progetto scala 1:100

