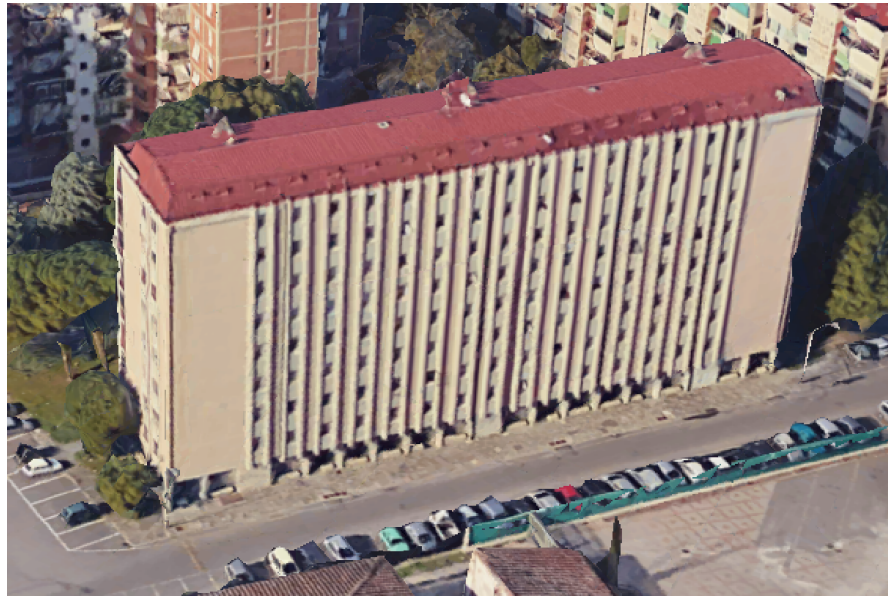


**CASA SPA**

---

**MIGLIORAMENTO SISMICO  
DEL FABBRICATO E.R.P.  
VIA ACCADEMIA DEL CIMENTO 14  
FIRENZE**



---

**RELAZIONI  
GEOLOGIA – GEOTECNICA- SISMICA**

---

MARZO 2020

---

**DOTT. GEOLOGO LUCA BENCI**

**DOTT. GEOLOGO GIOVANNI CAZZAROLI**



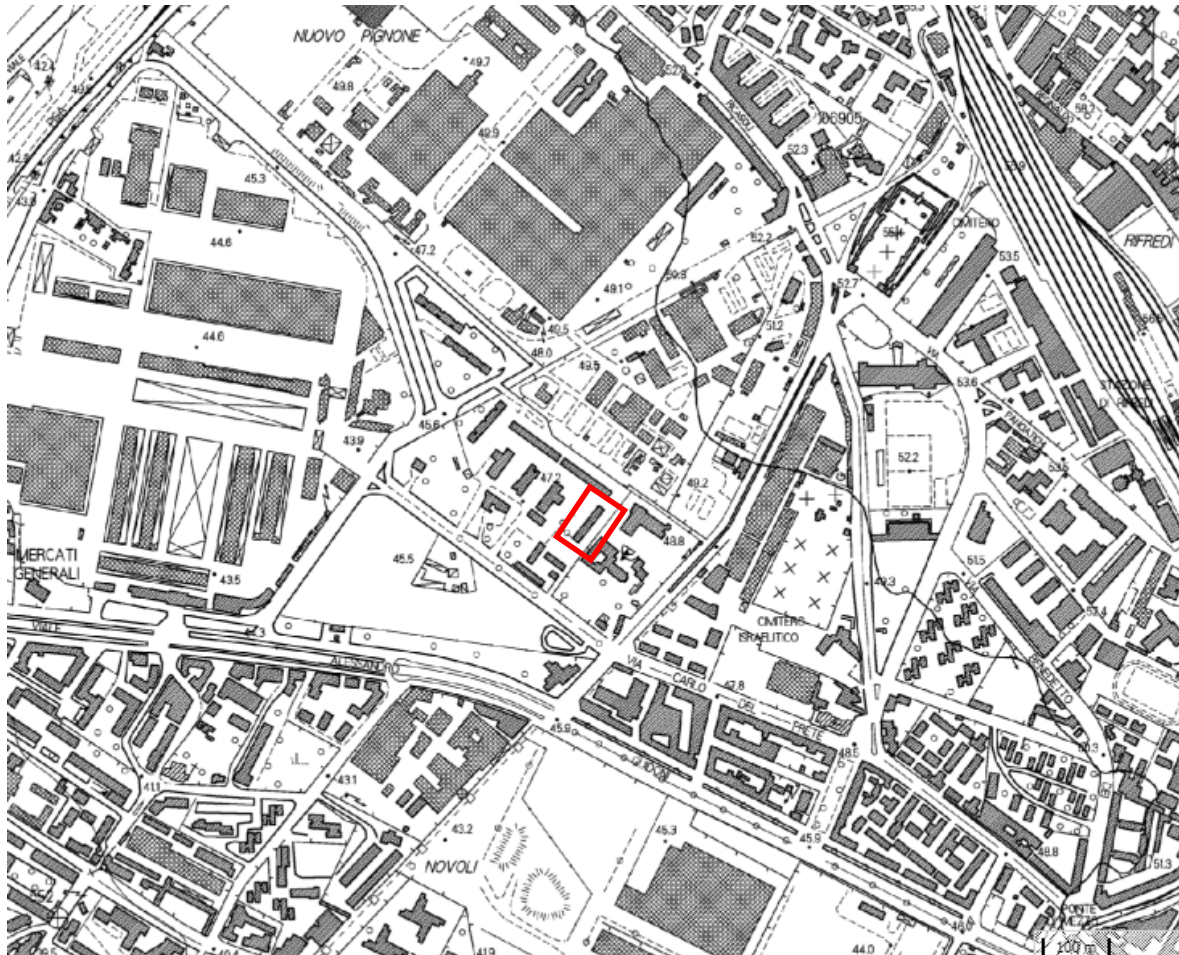
---

**STUDIOBENCI**  
studiobenci@gmail.com  
benci@epap.sicurezzapostale.it  
3358082408 - 0552692390

<b>PREMESSE .....</b>	<b>1</b>
<b>1      RELAZIONE GEOLOGICA.....</b>	<b>3</b>
1.1 <b>GEOMORFOLOGIA E IDROLOGIA.....</b>	<b>3</b>
1.2 <b>GEOLOGIA E LITOSTRATIGRAFIA .....</b>	<b>5</b>
1.3 <b>IDROGEOLOGIA .....</b>	<b>7</b>
1.4 <b>SISMICITA'.....</b>	<b>8</b>
<b>2      RELAZIONE GEOTECNICA.....</b>	<b>11</b>
2.1 <b>LITOTECNICA.....</b>	<b>11</b>
2.2 <b>PARAMETRI GEOTECNICI DEI LITOTIPI.....</b>	<b>15</b>
2.3 <b>PIEZOMETRIA .....</b>	<b>15</b>
<b>3      RELAZIONE SISMICA.....</b>	<b>16</b>
3.1 <b>SISMOSTRATIGRAFIA.....</b>	<b>16</b>
3.2 <b>MICROZONAZIONE SISMICA.....</b>	<b>16</b>
3.3 <b>CATEGORIA DI SOTTOSUOLO.....</b>	<b>17</b>
3.4 <b>CATEGORIA TOPOGRAFICA E SUSCETTIBILITA' ALLA LIQUEFAZIONE .....</b>	<b>18</b>

## PREMESSE

Si espongono i risultati delle indagini e degli studi geologici a supporto del PROGETTO DI MIGLIORAMENTO SISMICO del FABBRICATO E.R.P. posto in via Accademia del Cimento 14, Firenze. Il fabbricato occupa un'area  $\approx 60 \times 13$  m per una altezza massima  $\approx 30$  m, ed un volume  $\approx 23.000$  mc. Le fondazioni sono della tipologia a "trave rovescia", attestate a  $\approx 1,5$  m di profondità dal p.c.; è presente un piccolo vano interrato con fondazioni attestate a  $\approx 4$  m dall'attuale p.c.



UBICAZIONE AREA INTERVENTO su CTR 1:10.000

Il presente elaborato, redatto rispettando le indicazioni, le prescrizioni e le condizioni di attuazione riportate negli strumenti di pianificazione territoriale e negli atti di governo del territorio:

- interpreta le indagini geognostiche/geofisiche effettuate
- definisce i modelli geologico-sismico-geotecnico del sito
- definisce i parametri geotecnici caratteristici e la categoria di sottosuolo del volume di terreno interessato,

anche al fine di supportare il progettista nell'ottenimento delle autorizzazioni e nella redazione delle relazioni di calcolo e sulle fondazioni.

In particolare, il presente elaborato costituisce:

- le RELAZIONI GEOLOGICA e GEOTECNICA, in riferimento al DPGR 36/R 2009 ed alle NTC/2018
- le RELAZIONI GEOLOGICA (A05) - GEOTECNICA (A06) - SISMICA (A15), in riferimento agli elaborati tecnici per il deposito al Genio Civile.

In accordo con il Progettista e la Committenza, a supporto del presente studio sono stati utilizzati i seguenti dati ed indagini:

- ELABORATI E DATI UFFICIALI DI RIFERIMENTO (Strumenti Urbanistici Comunali, Autorità di Distretto, Regione Toscana,...)
- RILEVAMENTO GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICO
- INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOFISICHE.

Sulla base del volume lordo e dell'altezza, l'intervento ricade nella CLASSE DI INDAGINE 4 del DPGR 36R/2009, riferita alle *opere di volume lordo >6.000 mc o, in ogni caso, con altezza in gronda >20 m*, per la quale (art. 7 p.3 del DPGR 36R/2009) la categoria di suolo di fondazione e le geometrie sepolte devono essere determinate mediante prove sismiche in foro e la definizione dei parametri geotecnici deve essere basata su sondaggi geognostici.

Pertanto, nel rispetto del DPGR 36R/2009 e delle NTC/2018, nell'area direttamente interessata dall'intervento è stata eseguita una adeguata campagna di indagini, che ha permesso di indagare sufficientemente il volume significativo di terreno (*parte di sottosuolo influenzata, direttamente o indirettamente, dalla costruzione del manufatto e che influenza il manufatto stesso*), consistita in:

- n. 1 SONDAGGIO GEOGNOSTICO (S1) a carotaggio continuo spinto fino a 35 m di profondità dal p.c.
- n. 1 SONDAGGIO GEOGNOSTICO (S2) a carotaggio continuo spinto fino a 8 m di profondità dal p.c.
- n. 6 prove SPT in avanzamento nel foro di sondaggio
- determinazioni di LABORATORIO GEOTECNICO sui n. 2 campioni prelevati durante il sondaggio
- prospezione geofisica DOWN-HOLE fino a fondo foro del sondaggio S1
- n. 1 PIEZOMETRO installato fino a fondo foro del sondaggio S2.



# 1 RELAZIONE GEOLOGICA

## 1.1 GEOMORFOLOGIA E IDROLOGIA

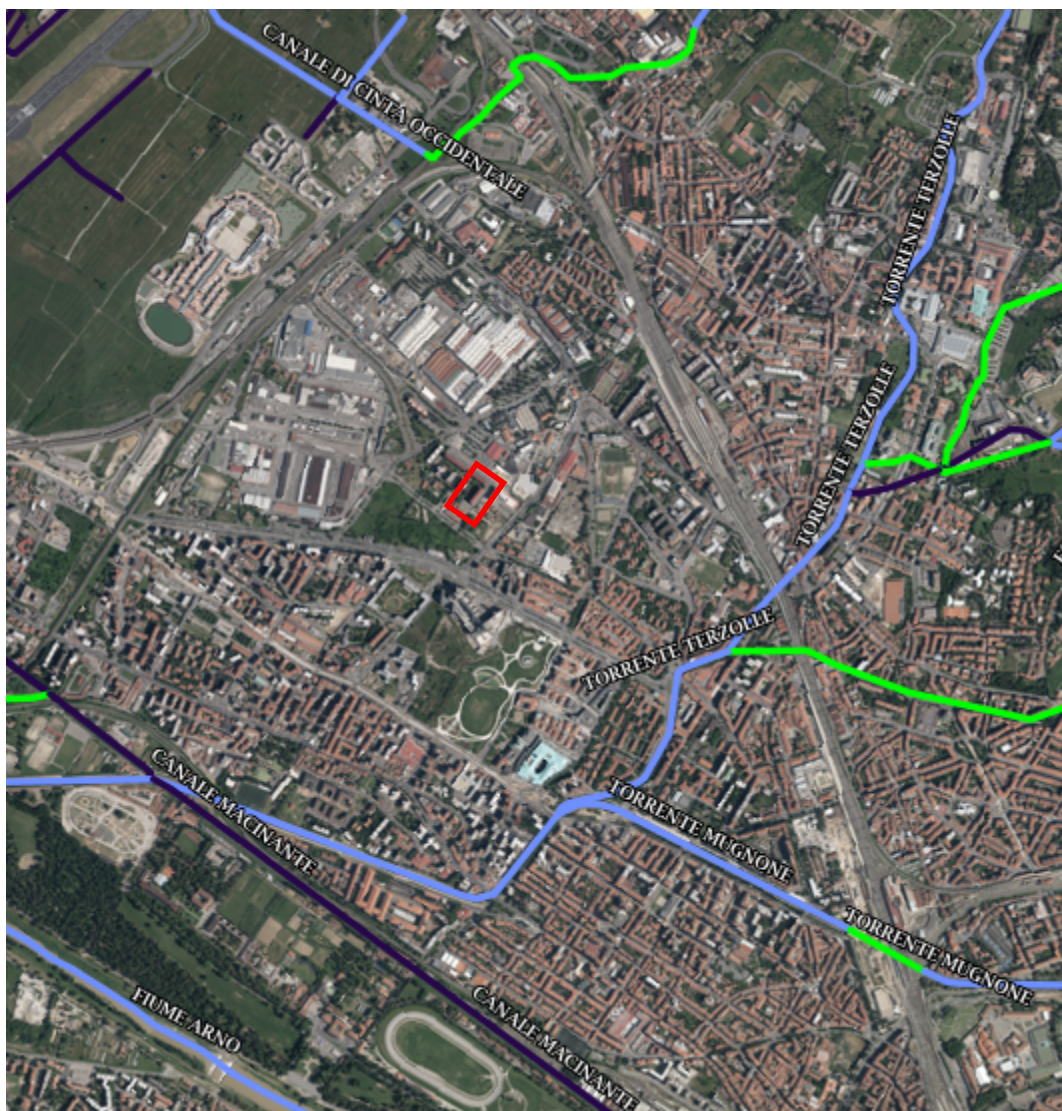
L'area di intervento è posta all'interno della pianura alluvionale del Fiume Arno, parte del bacino deposizionale intermontano di Firenze-Prato-Pistoia.

Siamo nel quartiere di Novoli, zona nord occidentale della città di Firenze, con piano campagna attuale a quota  $\approx 48$  m slm.

Il contesto morfologico è pianeggiante e densamente urbanizzato, con in particolare la Mercafir a ovest, il Palazzo di Giustizia a sud, il Nuovo Pignone a nord e la linea ferroviaria per Rifredi a est.

Sono assenti forme morfologiche significative e le naturali forme del paesaggio sono coperte dall'intensa urbanizzazione.

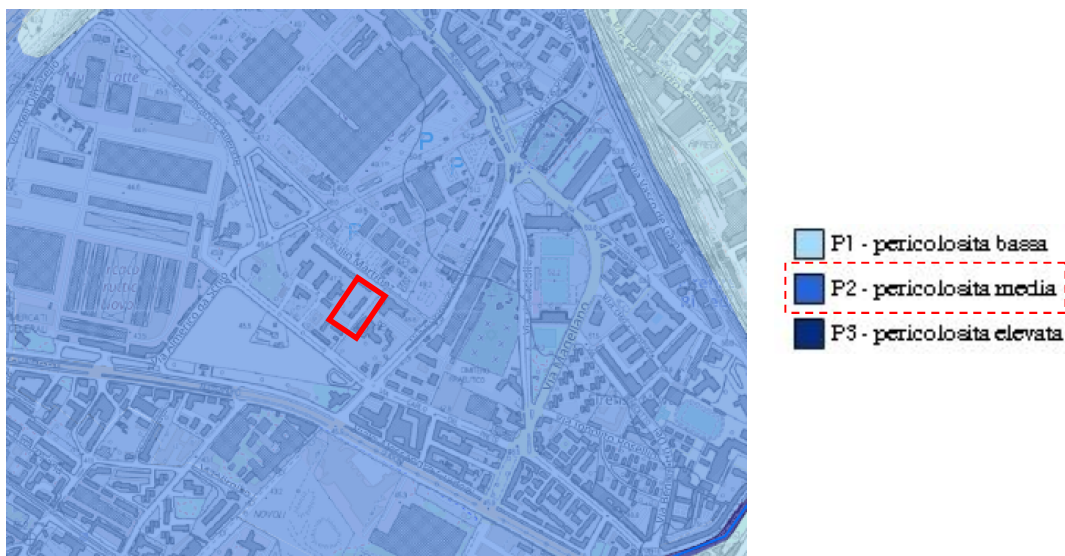
Nessun corso d'acqua interessa direttamente l'area di intervento. Il più vicino è il Torrente Terzolle, affluente di destra del Torrente Mugnone, che scorre  $\approx 1$  km a est.



RETICOLO IDROGRAFICO (Regione Toscana)

In riferimento agli Strumenti di pianificazione territoriale ed agli Atti di governo del territorio, l'area di intervento:

- non rientra tra le aree soggette a VINCOLO IDROGEOLOGICO (RD 3267/1923);
- non è compresa nelle aree a pericolosità da processi geomorfologici di versante e da frana del PAI (Piano Assetto Idrogeologico, DPCM 6.5.2005);
- ricade in PERICOLOSITÀ IDRAULICA ELEVATA I.3 del Piano Strutturale, corrispondente alle aree inondabili da eventi con tempo di ritorno  $>30$  anni e  $\leq 200$  anni;
- ricade nella classe di PERICOLOSITÀ DA ALLUVIONE MEDIA P2 del PGRA (Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni, DCI 235/2016), corrispondente alle aree inondabili da eventi con tempo di ritorno  $>30$  anni e  $\leq 200$  anni;
- non risulta interessata da un BATTENTE IDRAULICO per  $Tr = 200$  anni;
- ricade nelle AREE INTERESSATE DA ALLUVIONI POCO FREQUENTI della LR 41R/18 (Disposizioni in materia di rischio di alluvioni e di tutela dei corsi d'acqua);
- non rientra nelle zone soggette a TUTELA DEI CORSI D'ACQUA nelle aree presidiate da SISTEMI ARGINALI della LR 41R/18;
- non è compresa nelle zone interessate da INTERVENTI STRUTTURALI PER LA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO del PRI (Piano Stralcio Riduzione Rischio Idraulico, DPCM 226/1999).



PERICOLOSITA' DA ALLUVIONI FLUVIALI (PGRA, Autorità di Distretto A. S.)

## 1.2 GEOLOGIA E LITOSTRATIGRAFIA

L'area di intervento è posta al margine orientale del bacino di Firenze-Prato-Pistoia, depressione tettonica formatasi a seguito dei processi distensivi tardo-miocenici dell'orogenesi appenninica; pertanto è inserita nel complesso contesto dell'evoluzione tettonica e sedimentaria dell'Appennino Settentrionale.

In linea con quello che è il quadro tettonico generale dei bacini neogenico-quadernari dell'Appennino Settentrionale, il bacino presenta una geometria a semi-graben fortemente asimmetrica, con un margine NE acclive e versanti SO poco inclinati.

Siamo nella pianura alluvionale di Firenze, costituita dai "depositi fluviali-alluvionali" (Pleistocene superiore - Olocene) soprastanti i "depositi lacustri" (Pliocene superiore - Pleistocene medio).

Tali depositi giacciono in discordanza sul substrato litoide prelacustre, atteso a profondità  $\approx 250$  m dal p.c. dell'area di intervento.

Il sollevamento tettonico dei margini del bacino, ed il corrispondente allargamento del drenaggio fluviale, hanno contribuito alla formazione di potenti sequenze sedimentarie clastiche grossolane in corrispondenza delle aree centrali del bacino.

La caratteristica peculiare dei depositi fluvio-lacustri ed alluvionali Plio-Quaternari presenti nell'area fiorentina, è rappresentata da un'accentuata varietà di facies verticali e laterali con frequenti discontinuità stratigrafiche, spesso corrispondenti a fenomeni erosivi, nell'ambito di un processo prevalentemente sedimentario.

I litotipi costituenti la piana fiorentina possono essere individuati come segue.

### RIPORTI E COPERTURE (recenti ed attuali)

Riporti antropici costituiti da materiali sciolti misti di varia pezzatura ed origine, più o meno costipati.

### DEPOSITI ALLUVIONALI E FLUVIO-LACUSTRI (Quaternario - Pliocene)

- Sintema dell'Arno (Olocene)

Ambiente di deposizione fluvio-alluvionale e limoso-palustre.

Ciottolami e ghiaie dell'Arno con livelli e lenti di sabbie, interdigitati con i depositi alluvionali recenti dei vari torrenti; l'orizzonte superficiale è costituito da limi sabbiosi.

- Sintema di Firenze (Pleistocene superiore).

Ambiente di deposizione lacustre e di fan-delta.

Ciottolami e ghiaie d'alveo del paleo-Arno, frammisti a livelli sabbioso-limosi bruni, nella zona settentrionale della cerchia dei viali di Firenze; essenzialmente ciottoli e ghiaie nella zona Cascine-Osmannoro-Legnaia.

- Sintema del Bacino di Firenze-Prato-Pistoia (Pleistocene Inferiore - Pliocene Superiore)

Ambiente di deposizione fluvio-alluvionale e limoso-palustre.

Prevalentemente massicci corpi di argille limose grigio-bluastre (argille turchine), con livelli e lenti di ghiaie e sabbie. Si hanno inoltre ciottolami e ghiaie-sabbiose, sabbie limose e limi sabbiosi, deposti dal paleo-Mugnone, dal paleo-Terzolle e dal paleo-Ema/Greve.

### SUBSTRATO LITOIDE PRE-PLIOCENE

- Unità Liguri (Eocene Inferiore - Cretaceo Superiore)

Ambiente marino.

Prevalentemente argilliti, calcari marnosi e torbiditi arenacei.

- Falda Toscana (Miocene Inferiore - Oligocene)

Ambiente marino.

Prevalentemente marne e torbiditi arenacei.



Nel dettaglio, dai dati esistenti contenuti nel Piano Strutturale Comunale, è atteso che il substrato dell'area di intervento sia costituito da DEPOSITI ALLUVIONALI, a composizione granulometrica prevalente da sabbioso-limosa a ghiaioso-sabbiosa con la profondità.

A profondità dell'ordine di 10÷20 m dal p.c., sono attesi i DEPOSITI FLUVIO-LACUSTRI.

Il SUBSTRATO LITOIDE è atteso a profondità >200 m dal p.c.

L'orizzonte superficiale è generalmente costituito da RIPORTI E COPERTURE limoso-sabbiosi.



**ML-CL (ghiaie>5%):** Limi-ghiaiosi e limi-sabbiosi con componente granulare anche del 20%÷50%

**OL-CL (ghiaie<5%):** Limi e limi-argillosi con scarsa (5÷20%) componente granulare, di colore bruno, con calici (in genere con LL < 50).

**CH-OH:** Limi-argillosi ed argille-limose grigio azzurrognole e grigio-verdastre, con calici, a plasticità bassa e media; componente granulare scarsa (< 5%) o nulla.

**GC-GM (fini>5%):** Ghiaie sporche, con diametro medio dei clasti di 2÷3 cm e massimo dell'ordine dei 5 cm, i clasti sono in genere ben arrotondati, prevalentemente discoidali, subordinatamente subsferici, con componente fine del 5%÷20%; localmente le ghiaie possono essere anche molto sporche con componente fine del 20%÷50%, in tale caso risultano totalmente chiuse.

45 Isobate Substrato (m da pc)

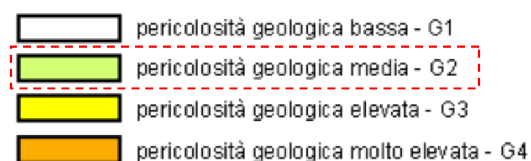
● Sondaggi

CARTA GEOLOGICO-TECNICA (Piano Strutturale Comunale)



In riferimento agli Strumenti di pianificazione territoriale ed Agli atti di governo del territorio, l'area di intervento:

- ricade in PERICOLOSITÀ GEOLOGICA MEDIA G.2 del Piano Strutturale, corrispondente nel caso in esame alle aree di pianura in cui sono presenti litologie afferibili a depositi alluvionali recenti dalle scadenti o modeste caratteristiche geotecniche.



PERICOLOSITA' GEOLOGICA (Piano Strutturale Comunale)

### 1.3 IDROGEOLOGIA

La falda idrica più importante della pianura fiorentina è una falda libera posta ad una profondità compresa fra 1 e 10 metri di profondità, a seconda delle aree e del periodo stagionale.

L'acquifero è costituito dai depositi alluvionali "macroclastici" del Fiume Arno e dei principali affluenti (Torrenti Mugnone, Affrico, Terzolle, ecc.), poggianti su sedimenti lacustri limoso-argillosi con intercalazioni di ghiaie e sabbie, cui seguono sedimenti lacustri prevalentemente argillosi.

Le acque sotterranee sono alimentate dai corsi d'acqua, dalle piogge e dalle acque di ruscellamento superficiale collinari che si infiltrano nei detriti di versante e nei depositi colluviali pedecollinari.

Nel complesso il sistema acquifero è permeabile per porosità, con orizzonti acquiferi di tipo "a superficie libera" e/o localmente "semi-confinati".

L'Arno alimenta la falda nel suo primo tratto in pianura, fino al Ponte San Niccolò; nel resto del suo tratto fiorentino l'Arno, negli anni '70, aveva funzione alimentante, indotta dalla depressione della falda dovuta agli emungimenti concentrati, mentre attualmente si alternano tratti drenanti e alimentanti legati a un rialzo della falda conseguente l'abbandono dei pozzi dell'acquedotto fiorentino e di molti altri privati.

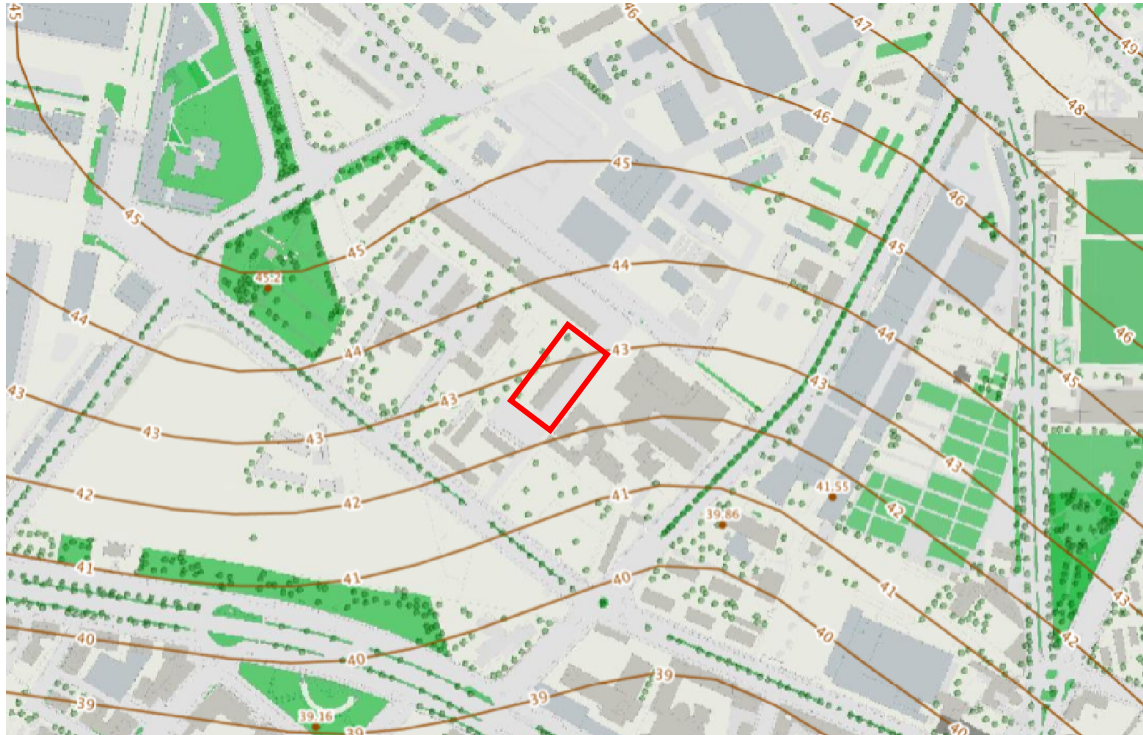
Anche i rapporti degli affluenti dell'Arno con la falda sono stati modificati dagli interventi antropici: il Mugnone e il Terzolle drenano la falda nel loro primo tratto in pianura, mentre più oltre generalmente la alimentano.

Le variazioni di livello della falda freatica fiorentina sono legate principalmente al regime delle precipitazioni, secondariamente ai pompaggi estivi, con livelli massimi in primavera e minimi all'inizio dell'autunno. Mediamente l'escursione annua della tavola d'acqua è dell'ordine di 1,5 m.

Le isofreatiche indicano un flusso idrico dalle colline verso l'asse centrale della valle, con componente verso ovest in accordo con la direzione dell'Arno.

In condizioni statiche la superficie freatica si situa fra 1-2 m, nell'area nord-occidentale, e 10-12 m nel centro della pianura e in prossimità dell'Arno.

Dai dati esistenti si evince che per l'area di intervento la superficie piezometrica è attesa a profondità  $\approx 5$  m dal p.c..



CARTA PIEZOMETRICA 2007 (Sistema Informativo Geologico del Sottosuolo del Comune di Firenze)

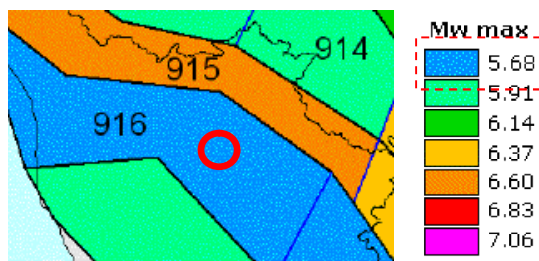
## 1.4 SISMICITA'

- L'area fiorentina è storicamente sede di una moderata attività sismica, che ha portato a terremoti locali fino all'VIII grado della scala Mercalli.

Terremoti avvenuti nelle aree sismiche del Mugello e della Garfagnana hanno portato a risentimenti nell'area fiorentina fino al VII-VIII grado della scala Mercalli.

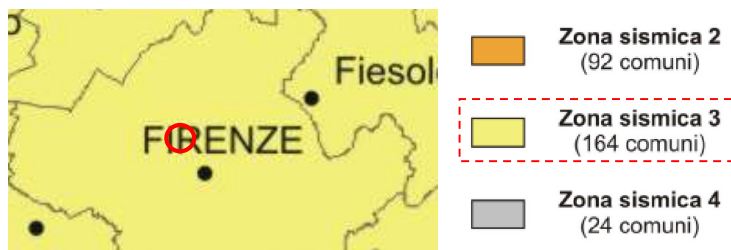
Il terremoto del 1895, che ha avuto un'intensità stimata e corretta del VII grado della scala Mercalli-Cancani-Sibel, è considerato come il più forte evento sismico che abbia mai colpito la città di Firenze.

- La *Zonazione Sismogenetica ZS9* colloca l'area di intervento nella "ZONA SISMOGENETICA 916 - VERSILIA- CHIANTI", corrisponde alla fascia nord-appenninica più interna, caratterizzata da:
  - meccanismo di fagliazione prevalente "normale"
  - profondità media dello strato sismogenetico dell'ordine di 6 km
  - massima magnitudo attesa di 5.68 .



ZONAZIONE SISMOGENETICA ZS9 E MASSIMA MAGNITUDO ATTESA (INGV)

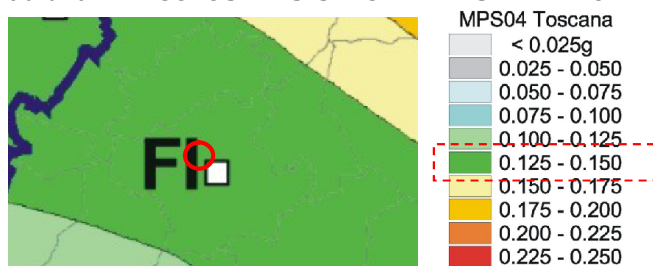
- La *Classificazione sismica della Toscana* (DGR n. 421/2014), elaborata ai sensi dell'OPCM 3519/2006 al fine di recepire le novità introdotte dall'entrata in vigore delle Norme Tecniche per le Costruzioni (approccio "sito-dipendente"), colloca l'area di intervento in ZONA SISMICA 3.



CLASSIFICAZIONE SISMICA REGIONALE (DGRT 421/2014)

- La *Pericolosità sismica di base* è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa "Ag" in condizioni di suolo rigido e pianeggiante (categoria A) per tempo di ritorno pari a 475 anni (§ 3.2 del DM 14/1/2018).

Per l'area di intervento sono stati stimati valori di "Ag" compresi tra 0,125g e 0,150g corrispondente ad una PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE "MEDIO-BASSA" P2.



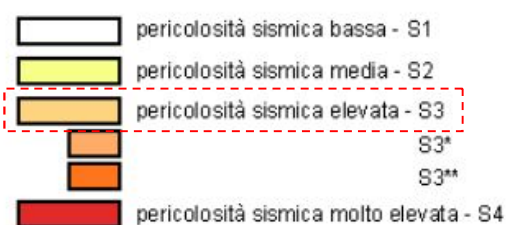
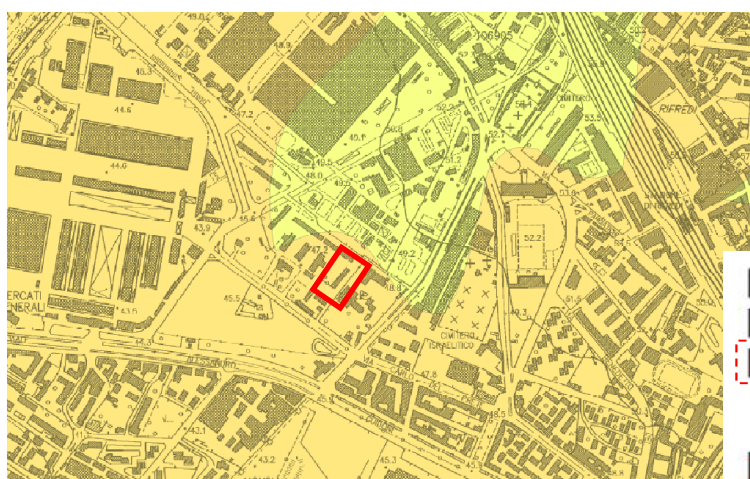
MAPPA DI PERICOLOSITÀ SISMICA (INGV)

Pericolosità sismica di base	Valori di Ag	Classe di Pericolosità (P)
alta	superiori a 0,200g	4
medio-alta	superiori a 0,150 g e inferiori o uguali a 0,200 g	3
medio-bassa	superiori a 0,125 g e inferiori o uguali a 0,150 g	2
bassa	inferiori o uguali a 0,125 g	1

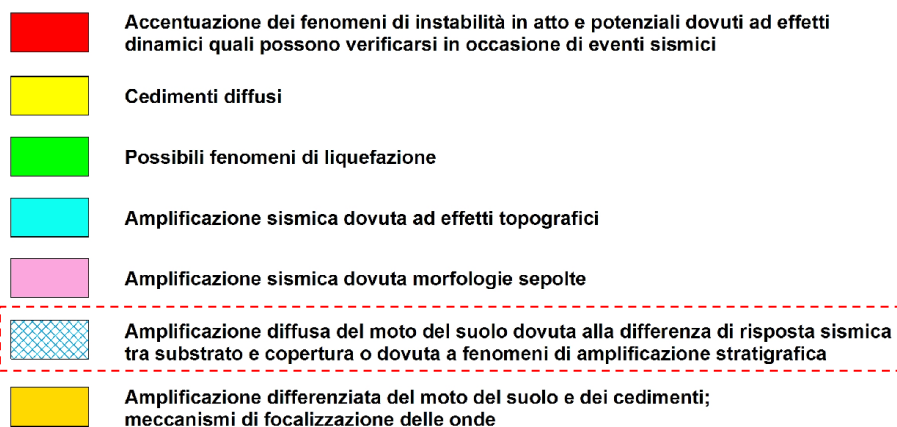
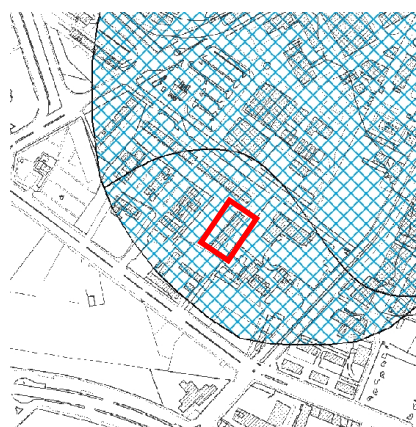
PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE E CLASSI DI PERICOLOSITA' (DGRT 31/2020)

- Con le "Norme Tecniche per le Costruzioni" (DM 14/01/2008, confermato dal DM 17/01/2018), per ogni intervento è necessario riferirsi ad una accelerazione di riferimento propria, individuata sulla base delle coordinate geografiche dell'area di intervento, della vita nominale dell'opera e delle possibili amplificazioni stratigrafiche e topografiche (v. § 3).
- In riferimento agli strumenti di pianificazione territoriale ed agli atti di governo del territorio, l'area di intervento:
  - ricade in PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE ELEVATA S.3 in quanto suscettibile di amplificazioni locali per differenza di risposta sismica tra substrato e copertura o per fenomeni di amplificazione stratigrafica.





PERICOLOSITA' SISMICA (Piano Strutturale Comunale)



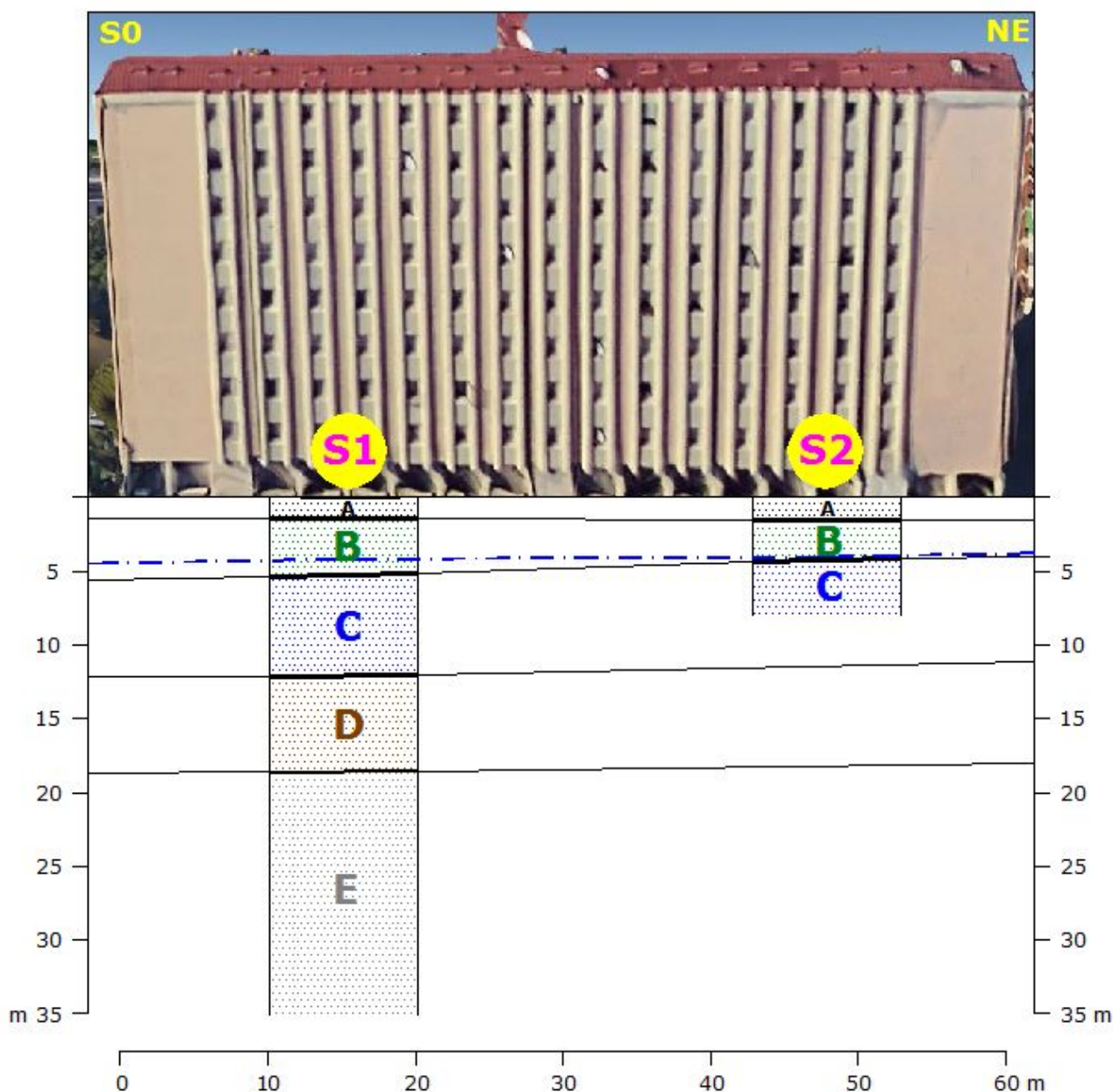
POSSIBILI EFFETTI SISMICI LOCALI (Piano Strutturale Comunale)



## 2 RELAZIONE GEOTECNICA

### 2.1 LITOTECNICA

Sulla base dei risultati delle indagini utilizzate (v. RELAZIONE SULLE INDAGINI), il substrato di interesse è stato distinto in 5 LITOTIPI (A, B, C, D, E) che ben riflettono quanto atteso (v. § 1.2), ed i cui rapporti stratigrafici sono esemplificati nella seguente sezione litotecnica di riferimento:



**LITOTIPO A:** LIMO SABBIOSO CON FRAMMENTI DI LATERIZI E LITICI SPARSI; MOD. CONSISTENTE.

**LITOTIPO B:** LIMO ARGILLOSO, CON RARI FRAMMENTI LITICI; CONSISTENTE.

**LITOTIPO C:** ALTERNANZA DI LIVELLI DI GHIAIA IN ABBONDANTE MATRICE LIMOSO-SABBIOSA E DI LIMO ARGILLOSO CON GHIAIA E SABBIA; ADDENSATO/MOLTO CONSISTENTE.

**LITOTIPO D:** LIMO ARGILLOSO-SABBIOSO E SABBIA FINE LIMOSA; MOLTO CONSISTENTE/ADDENSATO.

**LITOTIPO E:** ARGILLA LIMOSA, CON ABBONDANTI CONCREZIONI CARBONATICHE. MOLTO CONSISTENTE.

SEZIONE LITOTECNICA DI RIFERIMENTO

### LITOTIPO A

Rilevato dal p.c. fino a profondità  $\approx 1,5$  m dal p.c..

Costituito da limo sabbioso marrone, con frammenti di laterizi e litici sparsi.

Moderatamente consistente.

Riconducibile all'orizzonte superficiale riportato/rimaneggiato.

Le caratteristiche geotecniche sono da attendersi variabili sia arealmente che con la profondità e localmente scadenti.

### LITOTIPO B

Rilevato da  $\approx 1,5$  a  $4 \div 5$  m di profondità dal p.c..

Costituito da limo argilloso ocra/verdastro, con rari frammenti litici.

Media plasticità.

Consistente.

Riconducibile a depositi di origine alluvionale.

Il litotipo è stato interessato da n. 2 prove SPT in foro di sondaggio.

SPT	prof. dal p.c.	NSPT	compattezza	coesione non drenata	angolo di attrito	modulo edometrico
1	1,5÷1,95 m	12	<i>consistente</i>	$\approx 80$ kPa	$\approx 27^\circ$	$\approx 9$ Mpa
6	3,5÷3,95 m	18	<i>molto consistente</i>	$\approx 120$ kPa	$\approx 29^\circ$	$\approx 13$ Mpa

Il litotipo è stato interessato dal prelievo di un campione (S1C1).

I risultati completi sono riportati nella specifica RELAZIONE SULLE INDAGINI.

CAMPIONE	S1C1
Profondità metri	3.0 - 3.5
<b>Limiti di Atterberg</b>	
Umidità naturale (%)	24.26
Limite liquido (%)	44
Limite plastico (%)	21
Indice di plasticità (%)	23
Indice di consistenza	0.86
Indice di attività	--
Classificaz. Casagrande	CL
<b>Parametri fisici</b>	
Peso volume naturale (kN/m <sup>3</sup> )	19.7
Peso volume secco (kN/m <sup>3</sup> )	15.8
<b>Prova di Compressione E.L.L.</b>	
Coesione non drenata, $C_u$ (kPa)	73.9
Modulo elastico tangente iniziale, $E_{ti}$ (kPa)	6488

**TABELLA RIASSUNTIVA CERTIFICATI DI PROVA N. 248-249/2020**

### LITOTIPO C

Rilevato da 4÷5 m a ≈12 m di profondità dal p.c..

Costituito da alternanza di:

- livelli di ghiaia in abbondante matrice limoso-sabbiosa; addensato
- livelli di limo argilloso ocra con ghiaia e sabbia; plastico, molto consistente.

Riconducibile a depositi di origine alluvionale.

Il litotipo è stato interessato da n. 2 prove SPT in foro di sondaggio.

SPT	prof. dal p.c.	NSPT	compattezza	coesione non drenata	angolo di attrito	modulo edometrico
2	6,4÷6,85 m	31	<i>addensato/ molto consistente</i>	≈110 kPa	≈34°	≈23 Mpa
3	9,5÷9,95 m	50	<i>addensato molto consistente</i>	≈180 kPa	≈36°	≈37 Mpa

I valori sono condizionati dalla presenza di ghiaia.

Il litotipo è stato interessato dal prelievo di un campione (S1C2) rappresentativo dei livelli prevalentemente limo argillosi con ghiaia e sabbia.

I risultati completi sono riportati nella specifica RELAZIONE SULLE INDAGINI.

CAMPIONE	S1C2
Profondità metri	9.0 - 9.5
<b>Limiti di Atterberg</b>	
Umidità naturale (%)	25.08
Limite liquido (%)	63
Limite plastico (%)	24
Indice di plasticità (%)	39
Indice di consistenza	0.97
Indice di attività	--
Classificaz. Casagrande	CH
<b>Parametri fisici</b>	
Peso volume naturale (kN/m <sup>3</sup> )	19.9
Peso volume secco (kN/m <sup>3</sup> )	16.1
<b>Prova di Compressione E.L.L.</b>	
Coesione non drenata, C <sub>u</sub> (kPa)	117.2
Modulo elastico tangente iniziale, E <sub>ti</sub> (kPa)	19225

**TABELLA RIASSUNTIVA CERTIFICATI DI PROVA N. 250-251/2020**

**LITOTIPO D**

Rilevato da  $\approx 12$  m a  $18 \div 19$  m di profondità dal p.c..

Costituito da limo argilloso-sabbioso e sabbia fine limosa, ocra-verdastro.

Molto consistente/addensato.

Riconducibile a depositi di origine alluvionale.

Il litotipo è stato interessato da n. 2 prove SPT in foro di sondaggio.

SPT	prof. dal p.c.	NSPT	compattezza	coesione non drenata	angolo di attrito efficace	modulo edometrico
4	12,6÷13,05 m	38	<i>molto consistente/ addensato</i>	$\approx 250$ kPa	$\approx 28^\circ$	$\approx 28$ Mpa
5	16,5÷16,95 m	45	<i>molto consistente/ addensato</i>	$\approx 300$ kPa	$\approx 30^\circ$	$\approx 34$ Mpa

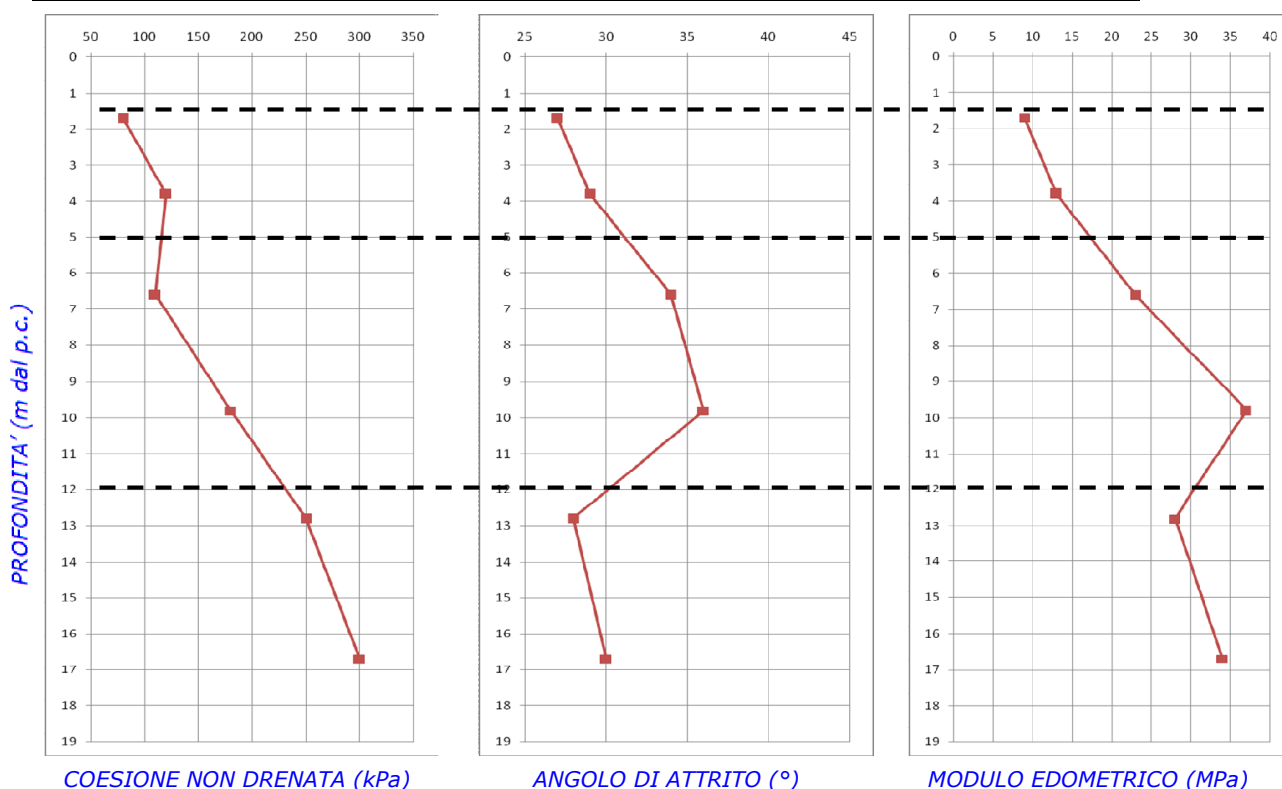
**LITOTIPO E**

Rilevato da  $18 \div 19$  m di profondità dal p.c. fino alle massime profondità indagate (35 m).

Costituito da argilla limosa grigio-verdastro, con abbondanti concrezioni carbonatiche.

Molto consistente.

Riconducibile a depositi di origine fluvio-lacustre.

**TREND CON LA PROFONDITA' DEI PARAMETRI GEOTECNICI PRINCIPALI DA RISULTATI SPT**

Dall'andamento con la profondità dei valori dei parametri geotecnici principali risultanti da correlazione con i risultati delle prove SPT eseguite, si evince un trend generale di sostanziale costante miglioramento delle caratteristiche geotecniche.

In corrispondenza dei livelli prevalentemente ghiaiosi contenuti nel LITOTIPO C, tale tendenza è leggermente alterata, in quanto si ha un aumento relativo dell'angolo di attrito a scapito della coesione non drenata, ed una diminuzione della compressibilità.



## 2.2 PARAMETRI GEOTECNICI DEI LITOTIPI

A supporto delle verifiche della sicurezza e delle prestazioni richieste dalle NTC/2018, si suggerisce di utilizzare i seguenti valori caratteristici dei parametri geotecnici:

<b>LITOTIPO A</b> dal p.c. a $\approx 1,5$ m di profondità dal p.c.	litologia	limo sabbioso marrone, con frammenti di laterizi e litici sparsi
	peso di volume	18 kN/mc
	coesione non drenata	40 kPa
	angolo di attrito	24 °
	modulo edometrico	5 MPa
<b>LITOTIPO B</b> da $\approx 1,5$ m a 4÷5 m di profondità dal p.c.	litologia	limo argilloso, con rari frammenti litici
	peso di volume	19,7 kN/mc
	coesione non drenata	75 kPa
	angolo di attrito	27 °
	modulo edometrico	9 MPa
<b>LITOTIPO C</b> da 4÷5 m a $\approx 12$ m di profondità dal p.c.	litologia	ghiaia in matrice limoso-sabbiosa e limo argilloso con ghiaia e sabbia
	peso di volume	20 kN/mc
	coesione non drenata	115 kPa
	angolo di attrito	34 °
	modulo edometrico	23 MPa
<b>LITOTIPO D</b> da $\approx 12$ m a 18÷19 m di profondità dal p.c.	litologia	limo argilloso-sabbioso e sabbia fine limosa
	peso di volume	20 kN/mc
	coesione non drenata	250 kPa
	angolo di attrito	28 °
	modulo edometrico	28 MPa
<b>LITOTIPO E</b> da 18÷19 m di profondità dal p.c.	litologia	argilla limosa con abbondanti concrezioni carbonatiche
	peso di volume	20 kN/mc
	coesione non drenata	$\geq 250$ kPa
	angolo di attrito	28 °
	modulo edometrico	$\geq 28$ MPa

## 2.3 PIEZOMETRIA

Dalla misura eseguita in data 16/03/2020 nel foro del sondaggio S2, è risultato un livello piezometrico posto a profondità  $\approx 4$  m dal p.c..

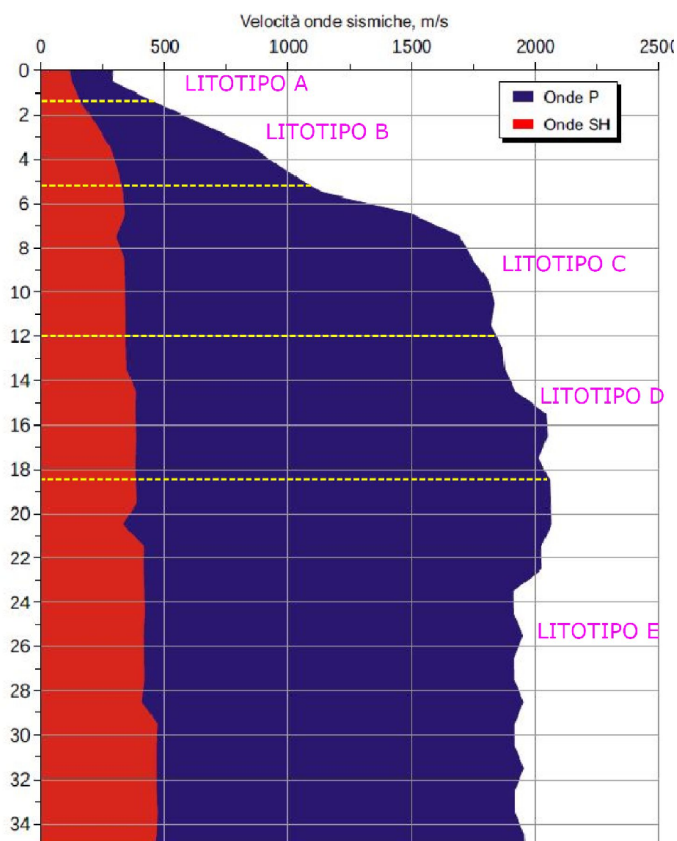
Durante la perforazione "a secco" del sondaggio S1, è stata rilevata acqua da  $\approx 4,5$  m di profondità dal p.c..

Quanto rilevato è in buon accordo con quanto atteso (v. § 1.3).

### 3 RELAZIONE SISMICA

#### 3.1 SISMOSTRATIGRAFIA

La prospezione geofisica down-hole eseguita nel foro del sondaggio S1, ha permesso di conseguire la seguente sismostratigrafia in accordo con il definito modello litotecnico (v. § 2.1). Per il dettaglio dei parametri si rimanda alla specifica RELAZIONE SULLE INDAGINI.



SISMOSTRATIGRAFIA DAI RISULTATI DEL DOWN-HOLE NEL FORO DEL SONDAGGIO S1

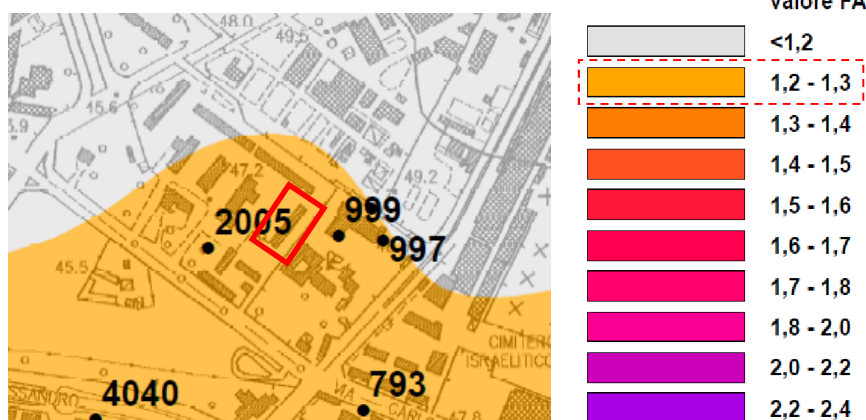
#### 3.2 MICROZONAZIONE SISMICA

• La Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica allegata al Piano Strutturale Comunale, sulla base della tipologia e sequenza dei depositi e della profondità del substrato, colloca l'area di intervento nelle ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI LOCALI – SOTTOZONA 9.



MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA (Piano Strutturale Comunale)

- La Carta del Fattore di Amplificazione Sismica allegata al Piano Strutturale Comunale, indica per l'area di intervento valori del fattore di amplificazione sismica locale  $F_a = 1,2 \div 1,3$ .



FATTORE DI AMPLIFICAZIONE SISMICO LOCALE (Piano Strutturale Comunale)

### 3.3 CATEGORIA DI SOTTOSUOLO

- Sulla base di quanto noto, le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni sono riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II delle NTC/2018 (caratterizzate da velocità delle onde di taglio decrescenti e quindi da effetti amplificativi crescenti). Si assume quindi che le azioni sismiche siano definibili mediante l'approccio semplificato (descritto al § 3.2.3 delle NTC/2018) basato sulla classificazione del sottosuolo in funzione delle condizioni stratigrafiche e dei valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio ( $V_{s,eq}$ ) definita dalla seguente espressione:

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

con:

$h_i$  spessore dell' $i$ -esimo strato;

$V_{s,i}$  velocità delle onde di taglio nell' $i$ -esimo strato;

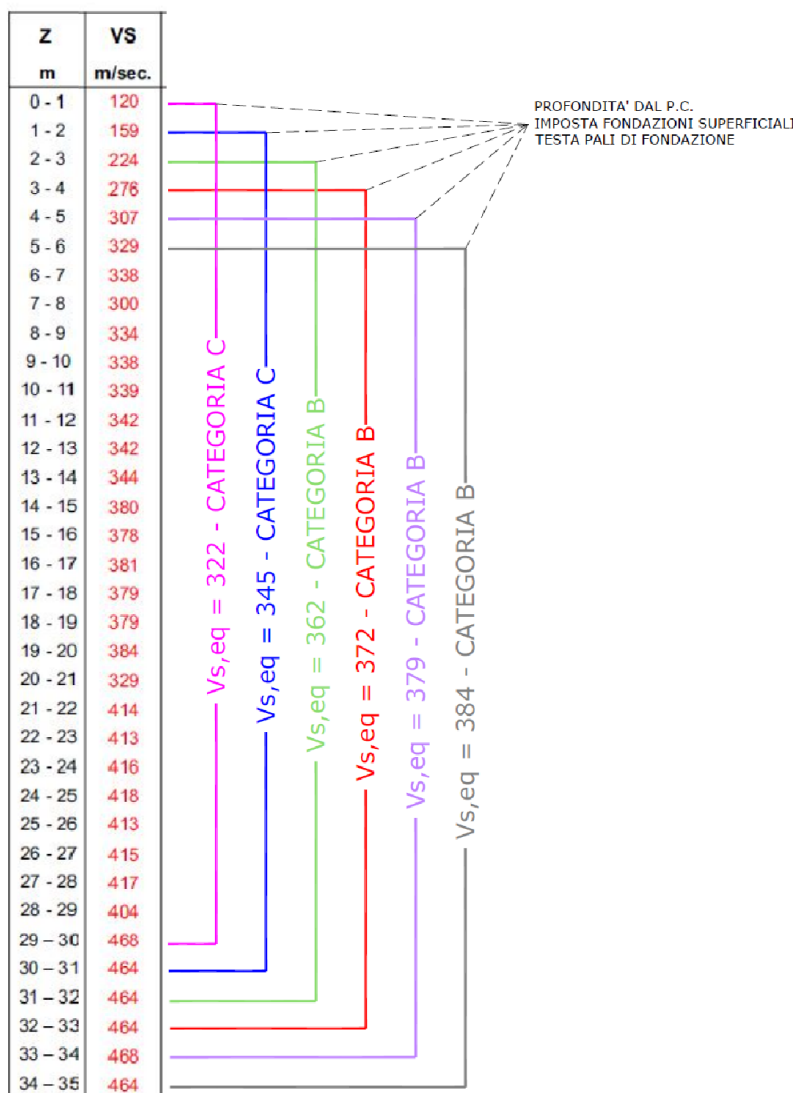
$N$  numero di strati;

$H$  profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_s$  non inferiore a 800 m/s.

prospezione geofisica down-hole nel foro del sondaggio S1 fino a 35 m di profondità dal p.c., si rileva la variazione della categoria di sottosuolo in funzione dell'intervallo di profondità considerato.

In merito, si evidenzia in particolare il passaggio, già a partire da  $\approx 2$  m di profondità dal p.c., dalla CATEGORIA C (*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, Tab. 3.2.II delle NTC/2018*) alla CATEGORIA B (*Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s, Tab. 3.2.II delle NTC/2018*), come esemplificato nel diagramma seguente che indica la categoria di sottosuolo in relazione alla profondità di imposta delle fondazioni superficiali o alla profondità della testa dei pali di fondazione.

Si rileva inoltre la non presenza del substrato rigido (caratterizzato da  $V_s \geq 800$  m/s) almeno entro 35 m di profondità dal p.c..



CATEGORIA DI SOTTOSUOLO IN RELAZIONE ALLA PROFONDITÀ E TIPOLOGIA DELLE FONDAZIONI

### 3.4 CATEGORIA TOPOGRAFICA E SUSCETTIBILITA' ALLA LIQUEFAZIONE

• In riferimento al § 3.2.2 delle NTC/2018, per condizioni topografiche semplici quali quella in esame è possibile adottare la classificazione di Tab. 3.2.III delle NTC/2018, caratterizzata da effetti amplificativi crescenti dalla categoria T1 alla T4.

Il sito di intervento (v. § 1.1) trova la migliore corrispondenza con la CATEGORIA T1: *superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $\leq 15^\circ$* .

• Tutta l'area di intervento è stabile nei confronti della liquefazione (intendendo con tale termine quei fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio e/o di rigidità causata dall'aumento di pressione interstiziale durante lo scuotimento sismico prevalentemente in sabbie sciolte sature, limitatamente ai primi 15÷20 m di profondità dal p.c.) in quanto il substrato di interesse è costituito da litotipi consistenti-molto consistente/addensati e con distribuzioni granulometriche (limi argillosi-sabbiosi, ghiaie e sabbie in matrice fine, v. § 2) non rientranti tra quelle suscettibili di tale fenomeno.

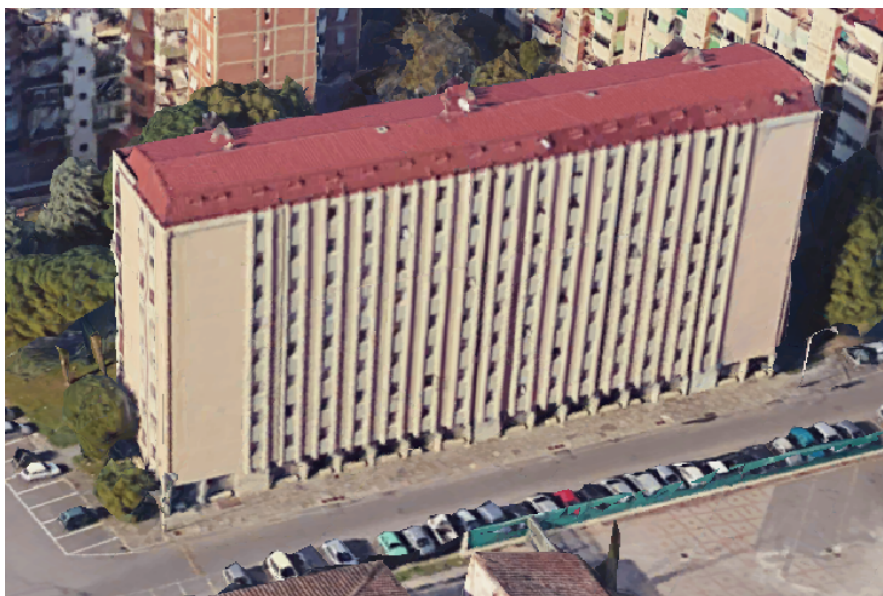
Tali considerazioni trovano conferma negli specifici studi allegati al Piano Strutturale che infatti non collocano l'area di intervento tra quelle potenzialmente suscettibili alla liquefazione (v. § 1.4).



**CASA SPA**

---

**MIGLIORAMENTO SISMICO  
DEL FABBRICATO E.R.P.  
VIA ACCADEMIA DEL CIMENTO 14  
FIRENZE**



---

**RELAZIONE SULLE INDAGINI**

---

MARZO 2020

---

**DOTT. GEOLOGO LUCA BENCI**

**DOTT. GEOLOGO GIOVANNI CAZZAROLI**

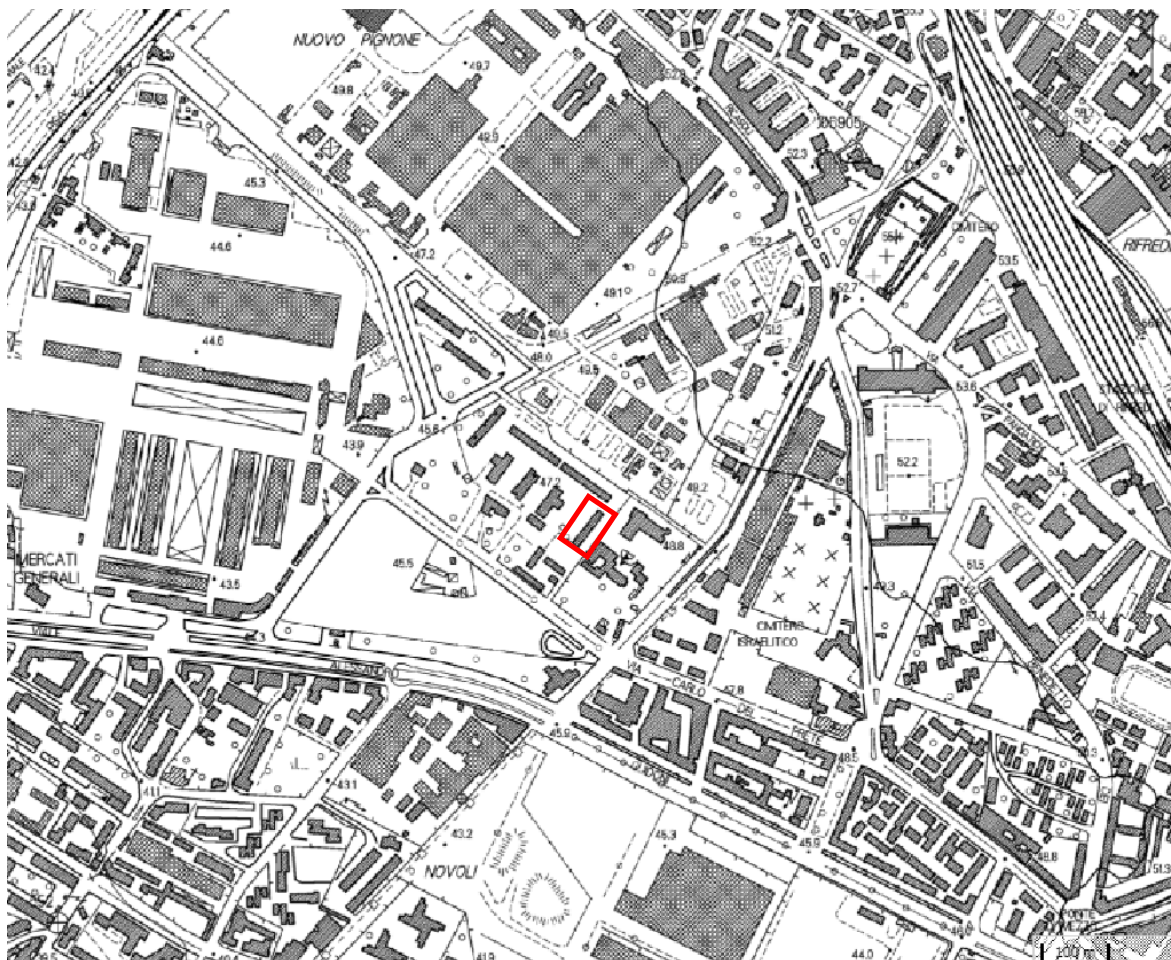


<b>PREMESSE .....</b>	<b>1</b>
<b>1 UBICAZIONE E ADEGUATEZZA DELLE INDAGINI .....</b>	<b>2</b>
<b>2 SONDAGGI GEOGNOSTICI.....</b>	<b>4</b>
<b>3 PROVE SPT.....</b>	<b>8</b>
<b>4 PIEZOMETRO.....</b>	<b>8</b>
<b>5 LABORATORIO GEOTECNICO.....</b>	<b>9</b>
<b>6 PROSPEZIONE DOWN-HOLE.....</b>	<b>17</b>

## PREMESSE

Si espongono i risultati delle indagini eseguite a supporto del PROGETTO DI MIGLIORAMENTO SISMICO del FABBRICATO E.R.P. posto in via Accademia del Cimento 14, Firenze.

Il fabbricato occupa un'area  $\approx 60 \times 13$  m per una altezza massima  $\approx 30$  m, ed un volume  $\approx 23.000$  mc.



UBICAZIONE AREA INTERVENTO su CTR 1:10.000

In particolare, in riferimento agli elaborati tecnici per il deposito al Genio Civile, il presente elaborato costituisce la RELAZIONE SULLE INDAGINI (A16-A17).

Le indagini sono state eseguite da



**IGETECMA s.n.c. Istituto Sperimentale di Geotecnica e Tecnologia dei Materiali**

Laboratorio autorizzato con D.M. n. 54143 del 07/11/2005 ai sensi della Circolare 08/09/10 n. 7618/STC

Esecuzione e certificazione prove geotecniche – settore A

Laboratorio autorizzato con D.M. n. 162 del 19/04/2011 ai sensi dell'art. 20 della L. n. 1086/71

Prove e controlli su strutture e materiali da costruzione – settore A

IGETECMA s.n.c. - laboratorio prove materiali - Sede legale e laboratori: Via delle Pratella n.18/20 - 50056 Montelupo F.no  
P.I. 04576560488 – Tel. 05711738160 – Fax 05711979995

[www.igetecma.eu](http://www.igetecma.eu) – e-mail: [info@igetecma.eu](mailto:info@igetecma.eu)



# 1 UBICAZIONE E ADEGUATEZZA DELLE INDAGINI



		WGS84	
		latitudine	longitudine
SONDAGGIO GEOGNOSTICO CON DOWN HOLE	<b>S1</b>	43,7992	11,2257
SONDAGGIO GEOGNOSTICO CON PIEZOMETRO	<b>S2</b>	43,7993	11,2259



UBICAZIONE INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOFISICHE



Il fabbricato interessato dal PROGETTO DI MIGLIORAMENTO SISMICO del FABBRICATO E.R.P. posto in via Accademia del Cimento 14, Firenze, occupa un'area  $\approx 60 \times 13$  m per una altezza massima  $\approx 30$  m, ed un volume  $\approx 23.000$  mc.

Le fondazioni sono della tipologia a "trave rovescia", attestate fino a  $\approx 1,5$  m di profondità dal p.c.; è presente un piccolo vano interrato con fondazioni attestate a  $\approx 4$  m dall'attuale p.c.

Sulla base del volume lordo e dell'altezza (v. *Premesse*) l'intervento ricade nella CLASSE DI INDAGINE 4 del DPGR 36R/2009, riferita alle *opere di volume lordo >6.000 mc o, in ogni caso, con altezza in gronda >20 m*, per la quale (art. 7 p.3 del DPGR 36R/2009) la categoria di suolo di fondazione e le geometrie sepolte devono essere determinate mediante prove sismiche in foro e la definizione dei parametri geotecnici deve essere basata su sondaggi geognostici.

Pertanto, nel rispetto del DPGR 36R/2009 e delle NTC/2018, nell'area direttamente interessata dall'intervento è stata eseguita una adeguata campagna di indagini, che ha permesso di indagare sufficientemente il volume significativo di terreno (*parte di sottosuolo influenzata, direttamente o indirettamente, dalla costruzione del manufatto e che influenza il manufatto stesso*), consistita in:

- n. 1 SONDAGGIO GEOGNOSTICO (S1) a carotaggio continuo spinto fino a 35 m di profondità dal p.c.
- n. 1 SONDAGGIO GEOGNOSTICO (S2) a carotaggio continuo spinto fino a 8 m di profondità dal p.c.
- n. 6 prove SPT in avanzamento nel foro di sondaggio
- determinazioni di LABORATORIO GEOTECNICO sui n. 2 campioni prelevati durante il sondaggio
- prospezione geofisica DOWN-HOLE fino a fondo foro del sondaggio S1
- n. 1 PIEZOMETRO installato fino a fondo foro del sondaggio S2.

**2 SONDAGGI GEOGNOSTICI****S2**

PROFONDITA' DAL P.C. (m)	LITOTIPO	PROVE SPT	PIEZOMETRO
1	<b>A</b>		
2			
3	<b>B</b>		
4		3,50 m SPT6 9/9/9 3,95 m	
5	<b>C</b>		
6			
7			
8			

**LITOTIPO A**  
LIMO SABBIOSO  
CON FRAMMENTI DI LATERIZI  
E LITICI SPARSI.  
MOD. CONSISTENTE.

**LITOTIPO B**  
LIMO ARGILLOSO,  
CON RARI FRAMMENTI LITICI.  
CONSISTENTE.

**LITOTIPO C**  
ALTERNANZA DI LIVELLI  
DI GHIAIA IN ABBONDANTE MATRICE  
LIMOSO-SABBIOSA  
E DI LIMO ARGILLOSO  
CON GHIAIA E SABBIA.  
ADDENSATO/MOLTO CONSISTENTE.

**LITOTIPO D**  
LIMO ARGILLOSO-SABBIOSO  
E SABBIA FINE LIMOSA.  
MOLTO CONSISTENTE/ADDENSATO.

**LITOTIPO E**  
ARGILLA LIMOSA,  
CON ABBONDANTI CONCREZIONI  
CARBONATICHE.  
MOLTO CONSISTENTE.

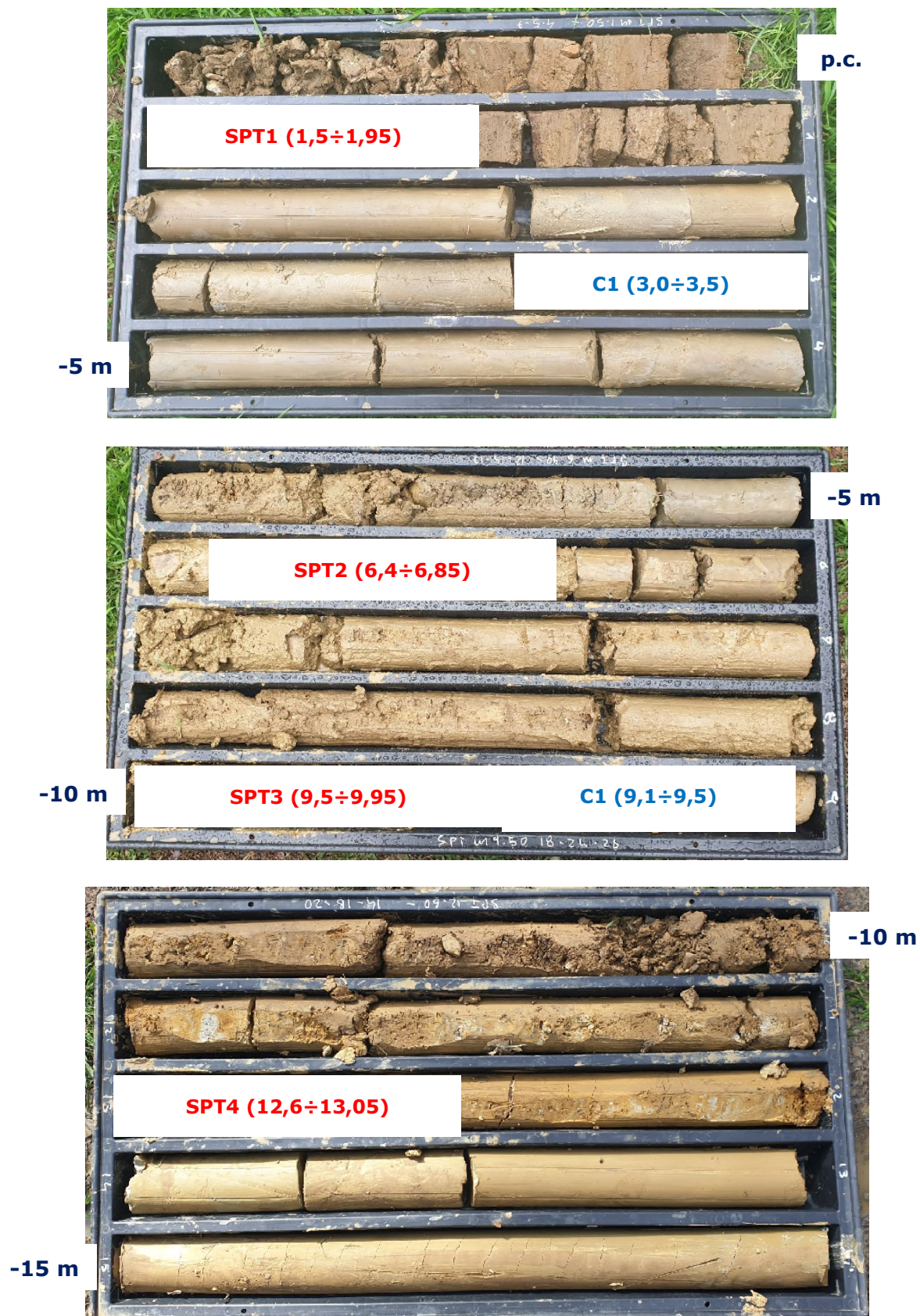
**S1**

PROFONDITA' DAL P.C. (m)	LITOTIPO	PROVE SPT	CAMPIONI	DOWN-HOLE
1	<b>A</b>			
2		1,50 m SPT1 4/5/7 1,95 m		
3	<b>B</b>		3,0 m	
4			C1 3,5 m	
5	<b>C</b>			
6		6,40 m SPT2 12/14/17 6,85 m		
7				
8			9,1 m	
9	<b>D</b>		C2 9,5 m	
10		9,50 m SPT3 18/24/26 9,95 m		
11				
12				
13	<b>E</b>	12,60 m SPT4 14/18/20 13,05 m		
14				
15				
16		16,50 m SPT5 9/16/29 16,95 m		
17				
18				

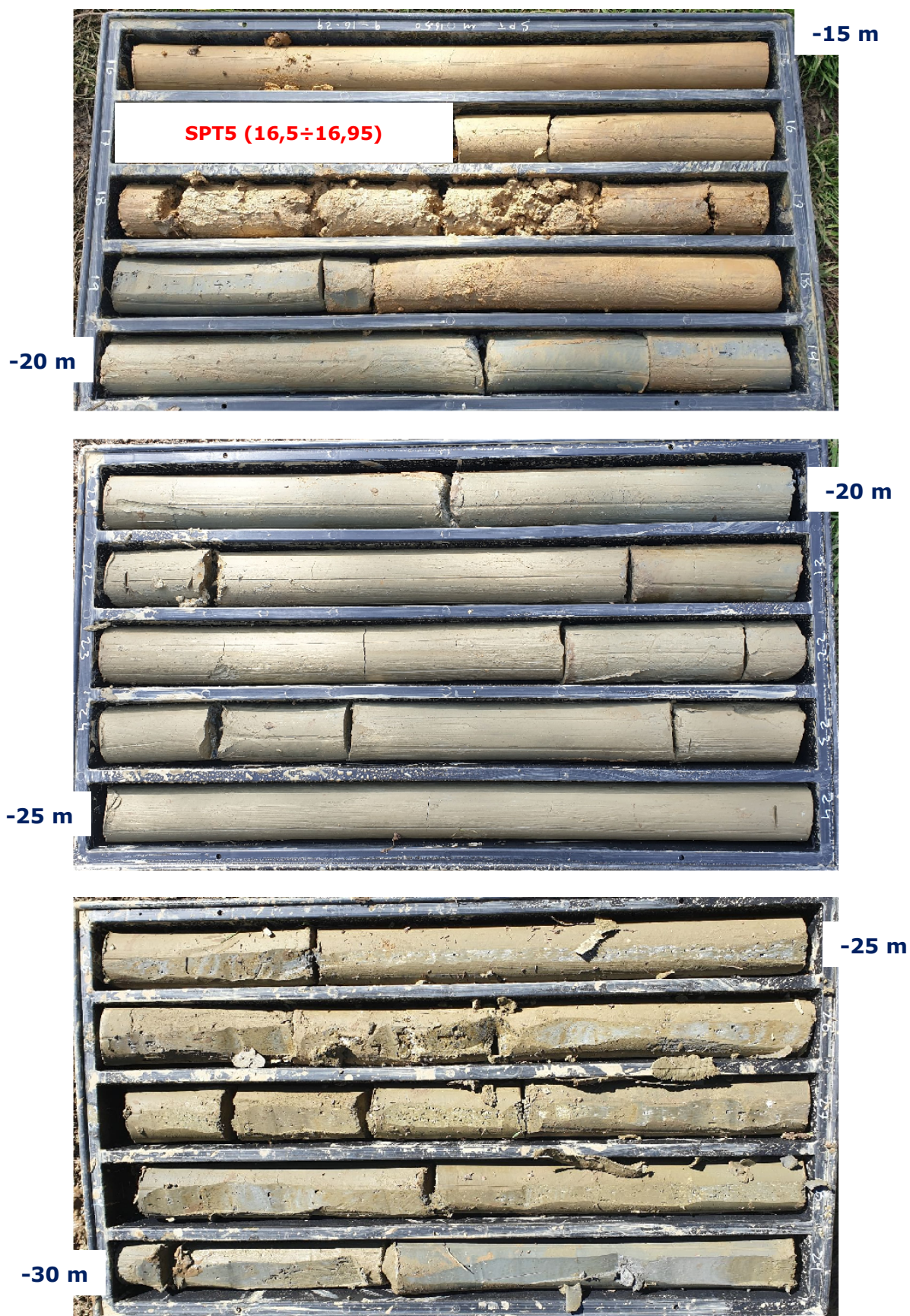
**S1**

PROFONDITA' DAL P.C. (m)	LITOTIPO	DOWN-HOLE
19	<b>E</b>	
20		
21		
22		
23		
24		
25		
26		
27		
28		
29		
30		
31		
32		
33		
34		
35		

**RISULTATI SONDAGGI GEOGNOSTICI S1 - S2**

CAROTAGGI 0÷15 m DAL SONDAGGIO GEOGNOSTICO **S1**



CAROTAGGI 15÷30 m DAL SONDAGGIO GEOGNOSTICO **S1**



CAROTAGGI 30÷35 m DAL SONDAGGIO GEOGNOSTICO **S1**CAROTAGGI 0÷8 m DAL SONDAGGIO GEOGNOSTICO **S2**

### 3 PROVE SPT

In avanzamento nel corso dei sondaggi geognostici S1 e S2 sono state eseguite n. 6 prove di resistenza tipo "SPT" (Standard Penetration Test).

La prova consiste nella determinazione della resistenza alla penetrazione, misurando il numero di colpi (NSPT) necessari a infiggere un campionatore per un tratto di 30 cm, dopo la penetrazione per un primo tratto di 15 cm. La resistenza è funzione delle caratteristiche e del tipo di terreno.

Il valore di NSPT può essere correlato empiricamente con le proprietà del terreno in sito.

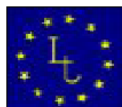
SONDAGGIO	SPT	profondità dal p.c.	NSPT
S1	1	1,50÷1,95 m	4/5/7
	2	6,40÷6,85 m	12/14/17
	3	9,5÷9,95 m	18/24/26
	4	12,60÷13,05 m	14/18/20
	5	16,50÷16,95 m	9/16/29
S2	6	3,50÷3,95 m	9/9/9

### 4 PIEZOMETRO

Al termine della perforazione, il foro del sondaggio S2 è stato strumentato con tubo piezometrico fino a fondo foro (-8 m dal p.c.).

Dalla misura eseguita in data 16/03/2020 è risultato un livello piezometrico posto a profondità  $\approx 4$  m dal p.c..

Durante la perforazione "a secco" del sondaggio S1, è stata rilevata acqua da  $\approx 4,5$  m di profondità dal p.c..

**5 LABORATORIO GEOTECNICO**

IGETECMA s.n.c.

Istituto Sperimentale di Geotecnica e Tecnologia dei Materiali

Concessione ministeriale D.M. 54143 del 7/11/05

**Certificati di Prova n. 248-249/2020**

Montelupo Fiorentino, li 20/03/2020

SETTORE: meccanica delle terre

V.A. n. 39/20 del 12/03/20

COMMITTENTE: Casa S.p.A. Firenze

LOCALITA': Firenze

DATA ESECUZIONE PROVE: 13/03/20 - 19/03/20

CAMPIONI:

SIC1 profondità 3.0 - 3.5 m

**Prove eseguite**

- 1 - Contenuto d'acqua (UNI CEN ISO/TS 17892-1)
- 2 - Peso di volume (UNI CEN ISO/TS 17892-2)
- 3 - Limiti di Atterberg (UNI CEN ISO/TS 17892-12)
- 4 - Prova di compressione con espansione laterale libera (UNI CEN ISO/TS 17892-7)

Lo sperimentatore  
Geol. Lorenzo Gambassi



Il direttore del Laboratorio  
Geol. Michele Coloni



I6ETECMA s.n.c.

Istituto Sperimentale di Geotecnica e Tecnologia dei Materiali  
Concessione ministeriale D.M. 54143 del 7/11/05

Pag. 1 di 2

**CERTIFICATO DI PROVA N.248/2020**

CAMPIONE S1C1 profondità 3.0 - 3.5 m

Montelupo Fiorentino, li 20/03/2020

COMMITTENTE: Casa S.p.A. Firenze

V.A. n. 39/20 del 12/03/20

LOCALITA': Firenze

Data apertura campione: 13/03/20

**Descrizione del campione**Campione indisturbato prelevato con campionatore Shelby di diametro di 88.9 mm  
da sondaggio eseguito a rotazione a carotaggio continuo

0 - 42 cm: limo argilloso, consistente

colore marrone oliva chiaro

prove eseguite: umidità naturale, peso di volume, limiti e E.L.L.



Classe e grado di qualità (sec. A.6.I.)

Campione indisturbato Q-5

Lo sperimentatore  
Geol. Lorenzo Gambassi



Il direttore del Laboratorio

Geol. Michele Caloni

I6ETECMA s.n.c. - Sede laboratorio : Via delle Pratelle 18/20, Montelupo Fiorentino - tel. 0571/1738160 - Fax : 055/7320415 -  
P.IVA 04576560488 - www.igetecma.eu





IGETECMA s.n.c.

Istituto Sperimentale di Geotecnica e Tecnologia dei Materiali

Concessione ministeriale D.M. 54143 del 7/11/05

Pag. 2 di 2

## CERTIFICATO DI PROVA N.248/2020

CAMPIONE S1C1 profondità 3.0 - 3.5 m

Montelupo Fiorentino, li 20/03/2020

COMMITTENTE: Casa S.p.A. Firenze

V.A. n. 39/20 del 12/03/20

LOCALITA': Firenze

Data prova: 13/03/20 - 19/03/20

Contenuto d'acqua (UNI CEN ISO/TS 17892-1)

Limiti di Atterberg (UNI CEN ISO/TS 17892-12)

Contenuto d'acqua (Wn) = 24.26%

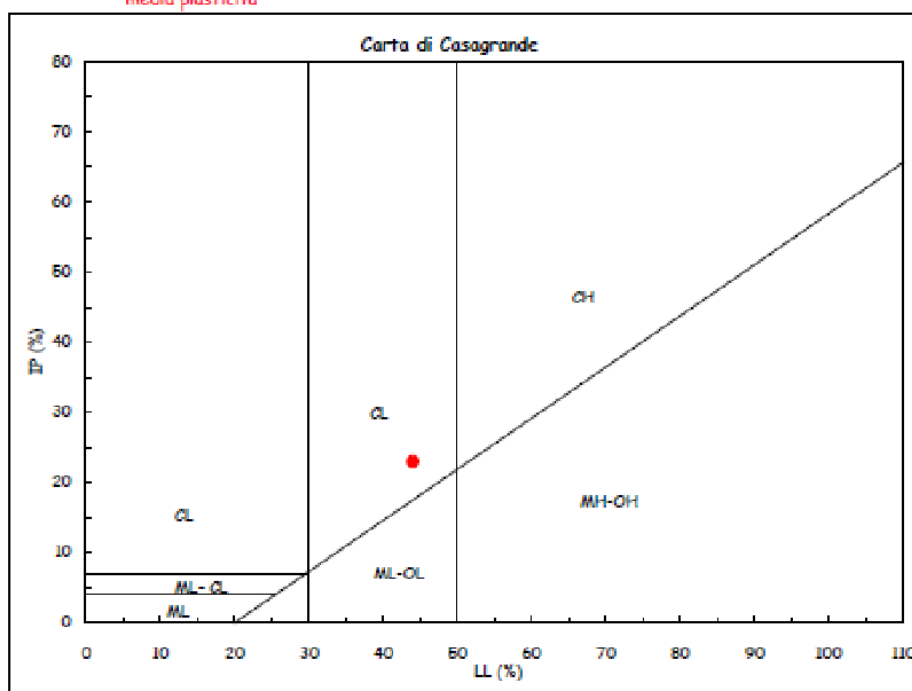
Limite di liquidità (LL) = 44%

Limite di plasticità (LP) = 21%

Indice di plasticità (IP) = 23%

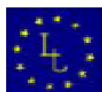
Indice di consistenza (Ic) = 0.86

Indice di attività (Iat) = --

CL = argille inorganiche di  
media plasticitàLo sperimentatore  
Geol. Lorenzo GambassiIl direttore del Laboratorio  
Geol. Michele Caloni

IGETECMA s.n.c. - Sede laboratorio : Via della Pratella 18/20, Montelupo Fiorentino - tel. 0571/1738160 - Fax : 055/7320415 -

P.IVA 04576660488 - www.igetecma.eu



IGETECMA s.n.c.

Istituto Sperimentale di Geotecnica e Tecnologia dei Materiali

Concessione ministeriale D.M. 54143 del 7/11/05

Pag. 1 di 1

**CERTIFICATO DI PROVA N. 249/2020****CAMPIONE** S1C1 profondità 3.0 - 3.5 m

Montelupo Fiorentino, li 20/03/2020

**COMMITTENTE:** Casa S.p.A. Firenze

V.A. n. 39/20 del 12/03/20

**LOCALITA':** Firenze

Data prova: 13/03/20 - 16/03/20

Contenuto d'acqua (UNI CEN ISO/TS 17892-1)

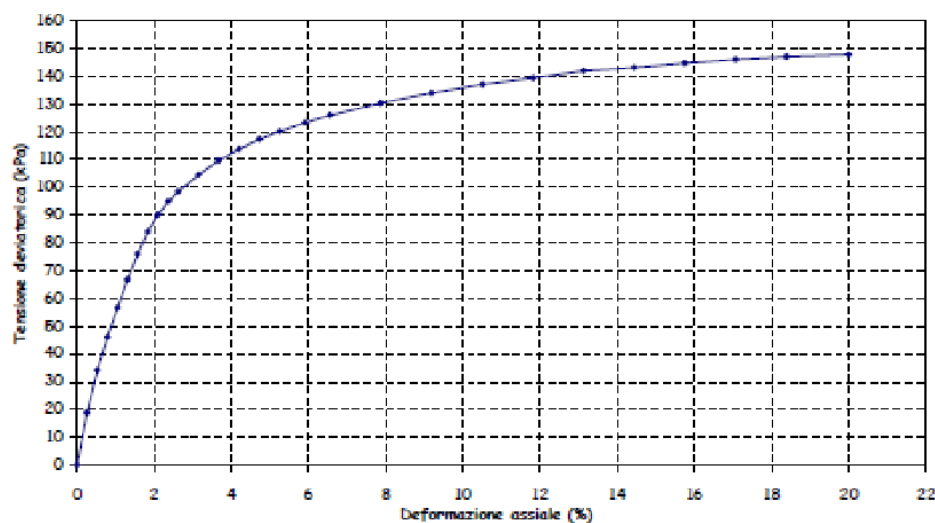
Peso di volume (UNI CEN ISO/TS 17892-2)

Prova di compressione con espansione laterale libera (UNI CEN ISO/TS 17892-7)

Peso di volume naturale (kN/m <sup>3</sup> )	19.7	Sigma a rottura (kPa)	147.8
Peso di volume secco (kN/m <sup>3</sup> )	15.8	Coesione non drenata (kPa)	73.9
Contenuto d'acqua (%)	24.50	Modulo elastico	6488
Vel. def. (mm/min)	1.27	tangente iniziale (kPa)	

e (%)	σ (kPa)	e (%)	σ (kPa)	e (%)	σ (kPa)
0.26	18.8	2.63	98.4	9.19	134.0
0.53	34.1	3.15	104.6	10.50	137.0
0.79	46.0	3.68	109.6	11.81	139.4
1.05	56.6	4.20	113.8	13.13	142.0
1.31	66.7	4.73	117.4	14.44	143.1
1.58	76.0	5.25	120.1	15.75	144.7
1.84	84.0	5.91	123.4	17.07	146.0
2.10	90.1	6.56	126.0	18.38	147.0
2.36	94.9	7.88	130.4	19.99	147.8

Grafico deformazione assiale - tensione deviatorica



Lo sperimentatore

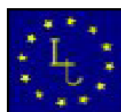
Geol. Lorenzo Gambassi



Il direttore del Laboratorio

Geol. Michele Coloni

IGETECMA s.n.c. - Sede laboratorio: Via delle Pratella 18/20, Montelupo Fiorentino - tel. 0571/1738160 - Fax: 056/7320416 -  
P.IVA 04576560488 - www.igetecma.eu



IGETECMA s.n.c.

Istituto Sperimentale di Geotecnica e Tecnologia dei Materiali  
Concessione ministeriale D.M. 54143 del 7/11/05

## Certificati di Prova n. 250-251/2020

Montelupo Fiorentino, li 20/03/2020

SETTORE: meccanica delle terre

V.A. n. 39/20 del 12/03/20

COMMITTENTE: Casa S.p.A. Firenze

LOCALITA': Firenze

DATA ESECUZIONE PROVE: 13/03/20 - 19/03/20

CAMPIONI:

SIC2 profondità 9.0 - 9.5 m

## Prove eseguite

- 1 - Contenuto d'acqua (UNI CEN ISO/TS 17892-1)
- 2 - Peso di volume (UNI CEN ISO/TS 17892-2)
- 3 - Limiti di Atterberg (UNI CEN ISO/TS 17892-12)
- 4 - Prova di compressione con espansione laterale libera (UNI CEN ISO/TS 17892-7)

Lo sperimentatore  
Geol. Lorenzo Gambassi  
Il direttore del Laboratorio  
Geol. Michele CalogiIGETECMA s.n.c. - Sede laboratorio : Via della Pratella 18/20, Montelupo Fiorentino - tel. 0571/1738160 - Fax : 055/7320416 -  
P.IVA 04676660488 - [www.igetecma.eu](http://www.igetecma.eu)



IGETECMA s.n.c.

Istituto Sperimentale di Geotecnica e Tecnologia dei Materiali

Concessione ministeriale D.M. 54143 del 7/11/05

Pag. 1 di 2

**CERTIFICATO DI PROVA N.250/2020****CAMPIONE S1C2** profondità 9.0 - 9.5 m

Montelupo Fiorentino, li 20/03/2020

**COMMITTENTE:** Casa S.p.A. Firenze

V.A. n. 39/20 del 12/03/20

**LOCALITA':** Firenze

Data apertura campione: 13/03/20

**Descrizione del campione**Campione indisturbato prelevato con campionatore Shelby di diametro di 88.9 mm  
da sondaggio eseguito a rotazione a carotaggio continuo0 - 49 cm: limo argilloso con sporadici noduli di ferro/manganese e concrezioni carbonatiche, consistente  
colore marrone oliva chiaro - giallo marroncino  
prove eseguite: umidità naturale, peso di volume, limiti e E.L.L.

Classe e grado di qualità (sec. A.6.I.)

Campione indisturbato Q-5

Lo sperimentatore  
Geol. Lorenzo Gambassi  
*Lorenzo Gambassi*

Il direttore del Laboratorio  
Geol. Michele Caloni  
*Michele Caloni*

IGETECMA s.n.c. - Sede laboratorio : Via delle Pratella 18/20, Montelupo Fiorentino - tel. 0671/1738160 - Fax : 065/7320416 -

P.IVA 04576660488 - www.igetecma.eu





IGETECMA s.n.c.

Istituto Sperimentale di Geotecnica e Tecnologia dei Materiali

Concessione ministeriale D.M. 54143 del 7/11/05

Pag. 2 di 2

**CERTIFICATO DI PROVA N.250/2020**

CAMPIONE S1C2 profondità 9.0 - 9.5 m

Montelupo Fiorentino, li 20/03/2020

COMMITTENTE: Casa S.p.A. Firenze

V.A. n. 39/20 del 12/03/20

LOCALITA': Firenze

Data prova: 13/03/20 - 19/03/20

Contenuto d'acqua (UNI CEN ISO/TS 17892-1)

Limiti di Atterberg (UNI CEN ISO/TS 17892-12)

Contenuto d'acqua (Wn) = 25.08%

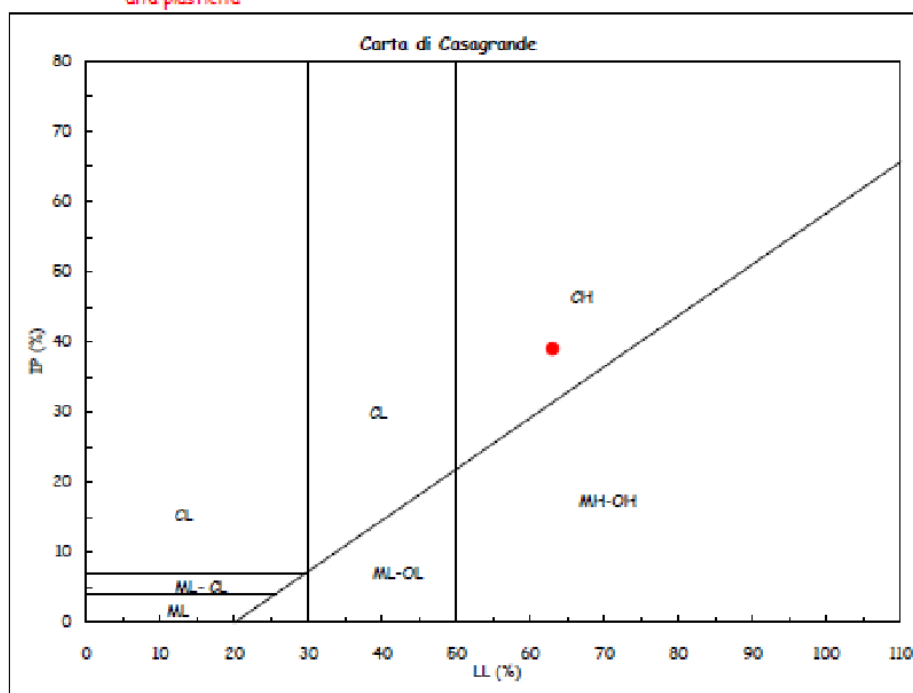
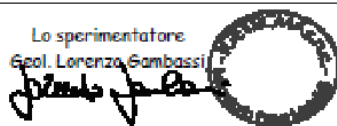
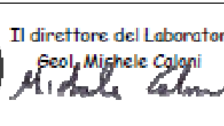
Limite di liquidità (LL) = 63%

Limite di plasticità (LP) = 24%

Indice di plasticità (IP) = 39%

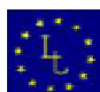
Indice di consistenza (Ic) = 0.97

Indice di attività (Iat) = --

CH = argille inorganiche di  
alta plasticitàLo sperimentatore:  
Geol. Lorenzo GambassiIl direttore del Laboratorio:  
Geol. Michele Calani

IGETECMA s.n.c. - Sede laboratorio : Via delle Pretelle 18/20, Montelupo Fiorentino - tel. 0571/1738160 - Fax : 055/7320415 -

P.IVA 04576560488 - www.igetecma.eu



IGETECMA s.n.c.

Istituto Sperimentale di Geotecnica e Tecnologia dei Materiali

Concessione ministeriale D.M. 54143 del 7/11/05

Pag. 1 di 1

## CERTIFICATO DI PROVA N. 251/2020

CAMPIONE S1C2 profondità 9.0 - 9.5 m

Montelupo Fiorentino, il 20/03/2020

COMMITTENTE: Casa S.p.A. Firenze

V.A. n. 39/20 del 12/03/20

LOCALITÀ: Firenze

Data prova: 13/03/20 - 16/03/20

Contenuto d'acqua (UNI CEN ISO/TS 17892-1)

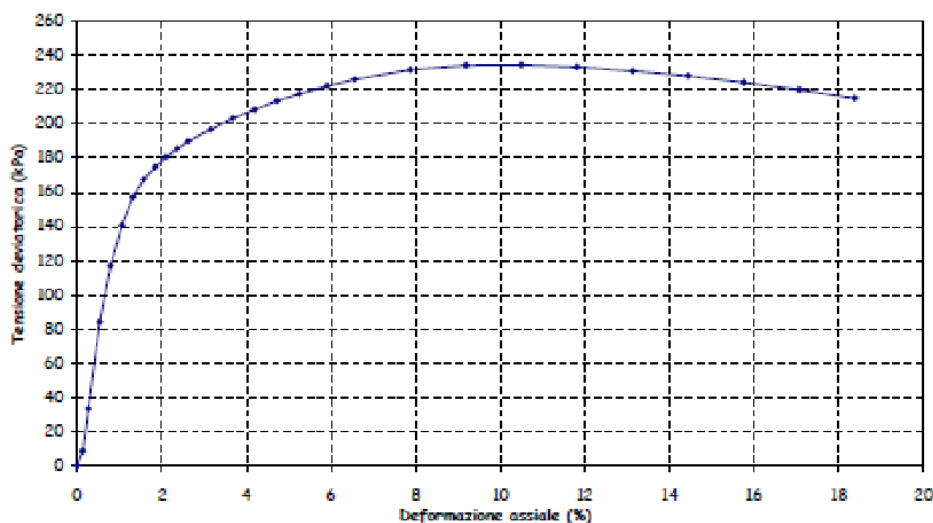
Peso di volume (UNI CEN ISO/TS 17892-2)

Prova di compressione con espansione laterale libera (UNI CEN ISO/TS 17892-7)

Peso di volume naturale (kN/m <sup>3</sup> )	19.9	Sigma a rottura (kPa)	234.5
Peso di volume secco (kN/m <sup>3</sup> )	16.1	Coesione non drenata (kPa)	117.2
Contenuto d'acqua (%)	23.41	Modulo elastico	19225
Vel. def. (mm/min)	1.27	tangente iniziale (kPa)	

e (%)	σ (kPa)	e (%)	σ (kPa)	e (%)	σ (kPa)
0.13	8.5	2.36	185.4	7.88	231.6
0.26	33.4	2.63	189.9	9.19	234.2
0.53	84.2	3.15	196.6	10.50	234.5
0.79	116.9	3.68	203.3	11.81	233.2
1.05	140.7	4.20	208.2	13.13	231.0
1.31	157.3	4.73	213.4	14.44	228.1
1.58	167.6	5.25	217.6	15.75	224.3
1.84	174.6	5.91	222.2	17.07	219.9
2.10	180.7	6.56	226.0	18.38	214.9

Grafico deformazione assiale - tensione deviatorica

Lo sperimentatore  
Geol. Lorenzo Gambassi  
Il direttore del Laboratorio  
Geol. Michele Coloni  
IGETECMA s.n.c. - Sede laboratorio: Via delle Pratella 18/20, Montelupo Fiorentino - tel. 0571/1738160 - Fax: 055/7320416 -  
P.IVA 04576560488 - www.igetecma.eu

## 6 PROSPEZIONE DOWN-HOLE



**IGETECMA s.n.c.** Istituto Sperimentale di Geotecnica e Tecnologia dei Materiali  
Laboratorio autorizzato con D.M. n. 54143 del 07/11/2005 ai sensi della Circolare 08/09/10 n. 7618/STC  
Esecuzione e certificazione prove geotecniche – settore A  
Laboratorio autorizzato con D.M. n. 162 del 19/04/2011 ai sensi dell'art. 20 della L. n. 1086/71  
Prove e controlli su strutture e materiali da costruzione – settore A

### Rapporto di Prova n°89-20-S

**SETTORE:** Geofisica – Down Hole

**COMMITTENTE:** GEOL. LUCA BENCI

**CANTIERE:** Via Accademia del Cimento, Firenze **SONDAGGIO S1**

**RICHIEDENTE:**

**RIFERIMENTO:** R.P.E. n°79-20

#### Indice:

1	Scopo dell'indagine	(Pag.2)
2	Calcolo dei parametri elastico-dinamici	(Pag.2)
3	Indagine sismica Down-Hole	(Pag.4)
3.1	Procedure di campagna	(Pag.4)
3.2	Metodo di elaborazione dei dati	(Pag.5)
4	Presentazione dei dati	(Pag.6)
5	Risultati dell'indagine	(Pag.6)
6	Normativa sismica e calcolo del parametro VSeq	(Pag.6)
7	Caratteristiche della strumentazione	(Pag.7)

Il Direttore del Laboratorio

Ing. F. Politi

Il Tecnico

Geol. A. Farolfi



IGETECMA s.n.c. - laboratorio prove materiali - Sede legale e laboratori: Via delle Pratella n.18/20 - 50056 Montelupo F.no  
P.I. 04576560488 – Tel. 05711738160 – Fax 05711979995  
[www.igetecma.eu](http://www.igetecma.eu) – e-mail: [info@igetecma.eu](mailto:info@igetecma.eu)

Rapporto di prova n°89-20-S

**1 Scopo dell'indagine**

Su incarico del Dott. Geol. Luca Benci, per CASA SPA, è stata eseguita una prova Down Hole con onde P e SH, all'interno di un sondaggio spinto fino alla profondità di 35 m, in Via Accademia del Cimento, Firenze. Scopo dell'indagine è stata la caratterizzazione sismostratigrafica dei terreni, il calcolo dei parametri elastico-dinamici e del parametro VsEQ ai fini della normativa sismica.

**2 Calcolo dei parametri elastico-dinamici**

Secondo i principi dell'elasticità dei materiali e le leggi che associano le deformazioni subite da un corpo agli sforzi ad esso applicati, è possibile stabilire relazione che forniscono i parametri elastici di un materiale conoscendo i valori di velocità delle onde sismiche di compressione P e di taglio S.

Poiché le tensioni e le deformazioni che si generano sotto l'azione del campo d'onda sismico sono di modesta entità, anche il terreno e le rocce sollecitate in questo ambito possono essere considerati in prima approssimazione come materiali omogenei, isotropi ed elastici, ed è quindi applicabile la legge di Hook (proporzionalità tra lo sforzo applicato  $\sigma_{ij}$  e la deformazione prodotta  $\epsilon_{kl}$ ) espressa come:

$$\sigma_{ij} = C_{ijkl} \epsilon_{kl}$$

nella quale le costanti di proporzionalità  $C_{ijkl}$  sono dette Moduli Elastici. Tali costanti definiscono le proprietà dei materiali, ed assumendo materiali isotropi ed elastici, diminuiscono da 81 a 5, di cui quattro hanno un preciso significato fisico ( $G$ ,  $E$ ,  $K$ ,  $\nu$ ), mentre  $\lambda$  rappresenta una semplificazione nelle formule.

In senso più generale possono essere definite le costanti di Lamè  $\lambda$  e  $\mu$  come caratteristiche elastiche indipendenti dalle direzioni lungo cui vengono applicate le tensioni o lungo cui vengono registrate le deformazioni. Queste due costanti sono definite dalle relazioni:

$$\lambda = (\nu E) / ((1 + \nu) (1 - 2\nu)) \quad \mu = E / 2 (1 + \nu)$$

Analogamente i due moduli  $E$  e  $\nu$  possono essere espressi in funzione delle costanti di Lamè:

$$E = \mu (3\lambda + 2\nu) / (\lambda + \mu) \quad \nu = \lambda / 2 (\lambda + \mu)$$

Dimensionalmente i moduli elastici  $G$ ,  $E$ ,  $K$  e le due costanti di Lamè esprimono il rapporto tra una forza ed una superficie e sono quindi delle pressioni, mentre il rapporto di Poisson è adimensionale.

La costante  $E$  viene definita come rapporto tra sollecitazione e conseguente deformazione longitudinale rappresenta il modulo elastico del materiale (Modulo di Young). E' importante

IGETECMA s.n.c.



Rapporto di prova n°89-20-S\_\_\_\_\_

sottolineare che in campo dinamico si parla di modulo elastico dinamico, non statico, proprio perché tale modulo è ricavato dalle velocità delle onde sismiche.

La misura della resistenza del materiale al taglio viene definita come il rapporto tra deformazione e sforzo applicato, ed è chiamata Modulo di Taglio, G.

Il rapporto tra la tensione idrostatica e la deformazione cubica definisce il Modulo di compressione volumetrica o Bulk, k. Il Modulo di Poisson  $\nu$  è definito come rapporto tra la deformazione trasversale e quella longitudinale. Un'ultima costante entra a far parte delle relazioni tra caratteristiche elastiche e velocità, la densità  $\rho$  del materiale.

Le velocità sismiche possono essere espresse tramite le costanti elastiche con le seguenti relazioni:

$$V_p = ((K + 4/3 G) / \rho)^{1/2}$$

$$V_s = (G / \rho)^{1/2}$$

Pertanto avendo determinato i valori di  $V_p$  e  $V_s$  ed il valore  $\rho$  della densità del materiale attraversato, è possibile calcolare i valori delle costanti elastiche dinamiche che caratterizzano i terreni esaminati con le seguenti relazioni.

$$\nu = (V_p^2 - 2 V_s^2) / (2 (V_p^2 - V_s^2))$$

$$G = \rho V_s^2$$

$$E = 2 \rho V_s^2 (1 + \nu)$$

$$K = (2 \rho V_s^2 (1 + \nu)) / (3 (1 - 2 \nu))$$

Merita di essere ricordato infine che i parametri ricavati da misure dinamiche, cioè mediante l'utilizzo delle velocità delle onde sismiche, hanno in genere valori superiori a quelli ricavati da prove statiche di laboratorio proprio per il diverso campo di sforzo applicato e deformazione raggiunta: le intense ma brevi sollecitazioni provocate dalla propagazione delle onde sismiche si mantengono, infatti, nel campo elastico delle deformazioni del materiale, per cui sebbene in teoria il modulo di Poisson sia considerato stress-indipendente ed i suoi valori risultino compresi tra 0.25 e 0.33, nei porous-media esso risulta stress-dipendente, e presenta un campo di variabilità più esteso e può addirittura arrivare, secondo Gregory (1976), a valori negativi.

I valori più bassi, in natura, si registrano per litotipi ad alta porosità, sottoposti a bassa pressione litostatica e gas saturati, in alcuni sedimenti incoerenti e saturi i valori possono risultare uguali o superiori a 0.49; nelle sospensioni assume il valore di 0.5.

Il rapporto fra  $V_p$  e  $V_s$  non è costante e dipende dallo stato di saturazione e dalla pressione interstiziale dei pori, in Tabella I sono riportati valori medi delle  $V_p$  per i principali litotipi e il

IGETECMA s.n.c.

Rapporto di prova n°89-20-S

range di  $V_s$  relative comprese fra i rapporti di  $V_p/V_s$  di 1.9 e 3.5; questi valori sono da ritenere indicativi in quanto in particolari condizioni il rapporto  $V_p/V_s$  può aumentare.

Materiale	V P m/s	V SH m/s	
		VP/VS 1.9 - 3.5	VP/VS 1.9 - 3.5
Detrito superficiale alterato	300 - 600	86 - 158	171 - 316
Ghiaia, pietrisco, sabbia asciutta	500 - 900	143 - 263	257 - 474
Sabbia bagnata	600 - 1800	171 - 316	514 - 947
Argilla	900 - 2700	257 - 474	771 - 1421
Acqua	1430 - 1680	-	-
Arenaria	1800 - 4000		1143 - 2105
Scisti argillosi	2500 - 4200	714 - 1316	1200 - 2211
Calcare	2000 - 6000	571 - 1053	1714 - 3158
Sale	4200 - 5200	1200 - 2211	1486 - 2737
Granito	4000 - 6000	1143 - 2105	1714 - 3158
Rocce metamorfiche	3000 - 7000	857 - 1579	2000 - 3684

Tabella I – Velocità nei principali materiali.

### 3 Indagine sismica Down-Hole

#### 3.1 Procedure di campagna

Per la registrazione delle onde di compressione e delle onde di taglio in profondità viene utilizzato un geofono da pozzo munito di un ricevitore costituito da tre sensori sensibili alle componenti del moto lungo tre direzioni: uno verticale e due orizzontali ortogonali fra loro.

Il geofono da pozzo, munito di un sistema teleguidato di orientazione azimutale e di ancoraggio meccanico alle pareti del rivestimento, viene calato all'interno del foro di sondaggio, preventivamente attrezzato con un tubo di rivestimento, e ad intervalli determinati vengono registrati i treni d'onda prodotti dalle energizzazioni poste in superficie.

Energizzando su una piastra posta a diretto contatto con il terreno vengono generate predominanti onde P di compressione, mentre per le onde SH di taglio si utilizza una trave di legno posta a diretto contatto col terreno, gravata dal peso di un automezzo, che viene colpita lateralmente: le battute destra e sinistra vengono sommate con polarità scambiata in modo da migliorare l'individuazione dell'onda di taglio polarizzata in senso orizzontale che viene generata, si può così avere un completo controllo nell'analisi del treno d'onda che attraversa i terreni da investigare. In questo modo per ogni punto di energizzazione si hanno due treni d'onda diversi: uno per le onde P e l'altro per le onde SH.

IGETECMA s.n.c.

Rapporto di prova n°89-20-S

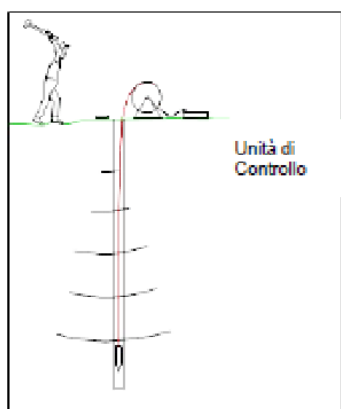


Fig. 1 – Schema del sistema d'acquisizione

Un'unità esterna di controllo gestisce le fasi di ancoraggio e registrazione del geofono da pozzo, mentre le tracce sismiche relative ad ogni intervallo di profondità vengono registrate mediante un sismografo digitale per la loro successiva elaborazione. Il passo delle registrazioni è stato di 1 m.

In Allegato sono riportate le registrazioni di campagna separate per onde P e SH, per le prove down-hole.

### 3.2 Metodo di elaborazione dei dati

Questa tecnica di prospezione sismica prevede la misura dei tempi di propagazione delle onde di compressione P e di taglio SH tra il punto di energizzazione posto in superficie ed il punto di ricezione situato in profondità nel foro di sondaggio.

I tempi letti sui sismogrammi devono poi essere corretti poiché le onde sismiche non percorrono tragitti verticali tra la sorgente in superficie ed il sensore nel foro, ma inclinati rispetto alla verticale: indicando con  $t_z$  il tempo d'arrivo, con  $d$  la distanza orizzontale tra sorgente ed il boccaforo e con  $z$  la profondità del sensore, il tempo di arrivo corretto  $t_c$  alla profondità  $z$  sarà dato dalla relazione:

$$t_c = t_z \cdot \cos(\alpha_z)$$

$$\alpha_z = \arctan(d/z)$$

La velocità delle onde P e delle onde SH viene calcolata mediante la pendenza della dromocrona.

Tali valori di velocità vengono quindi diagrammati per visualizzare le variazioni di velocità con la profondità, ed utilizzati per ricavare i moduli dinamici, secondo le formule di paragrafo 1.

IGETECMA s.n.c.

Rapporto di prova n°89-20-S

Dalla variazione delle velocità e dei parametri elastici con la profondità si risale al tipo di materiale in cui sta passando il treno d'onda a quella profondità.

In Allegato sono riportati i grafici delle dromocrone corrette e delle velocità delle onde P e delle onde SH rispetto alla profondità, e le Tabelle numeriche con i moduli elastici dinamici (rapporto di Poisson  $\nu$ , modulo di Taglio G, di Young E, di rigidità volumetrica K espressi in MPa); i valori di peso di volume utilizzati nei calcoli sono stimati sulla base delle litologie.

#### 4 Presentazione dei dati

Nella presente relazione vengono forniti i seguenti elaborati:

- tabulati numerici dei tempi d'arrivo, delle velocità e dei parametri geofisici
- grafici delle dromocrone dei tempi di arrivo e delle velocità  $V_p$  e  $V_{sh}$
- registrazioni di campagna effettuate e rimontate per le onde P ed SH
- Ubicazione delle indagini
- Documentazione fotografica

#### 5 Risultati dell'indagine

S1 (35 m): le variazioni di velocità individuate sono riferibili ad un diverso grado di addensamento all'interno dei depositi presenti. Il diverso comportamento fra le velocità delle onde di compressione e di taglio è riferibile ad una diversa resistenza dei materiali alla compressione ed al taglio e alle variazioni delle pressioni interstiziali dei fluidi.

#### 6 Normativa sismica e calcolo del parametro $V_{seq}$

Le norme NTC 2018 definiscono i criteri di classificazione del sottosuolo, che devono essere effettuati sulla base delle condizioni stratigrafiche (spessori e caratteristiche dei materiali) ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio,  $V_{s,eq}$  (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{seq} = H / S_{i=1,N} (h_i/V_{s_i})$$

$h_i$  spessore dell'i-esimo strato;

$V_{s_i}$  velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;

$N$  numero di strati;

$H$  profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_s$  non inferiore a 800 m/s.

Le categorie di suolo sono riportate in tabella II.

Categorie di Suolo di Fondazione
----------------------------------

IGETECMA s.n.c.



Rapporto di prova n°89-20-S \_\_\_\_\_

<b>A</b>
Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti, con spessore massimo pari a 3 m.
<b>B</b>
Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Velocità Equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s
<b>C</b>
Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
<b>D</b>
Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fine scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
<b>E</b>
Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Tabella II – Categorie di suolo di fondazione

“Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche” (NTC 2018).

Il valore di  $V_{eq}$  calcolato da piano campagna fino alla profondità di 30 m è 322 m/s.

## 7 Caratteristiche della strumentazione

Il sistema di acquisizione usato nella presente campagna d'indagini è composto da un sistema modulare della Geometrics così configurato:

Sismografo GEODE 48 canali (2 moduli a 24 canali) con Controller Stratavisor NZC:

- risoluzione segnale A/D 24 bit;
- escursione dinamica 144 dB, 110 dB istantanea a 2 ms;
- passo di campionamento da 0.02 a 16 ms indipendente dal tempo d'acquisizione;
- fino a 64.000 campioni per traccia;
- distorsione 0.0005% a 2ms, 1.75 – 208 Hz;
- amplificazione del segnale da 0 a 36 dB;

IGETECMA s.n.c.

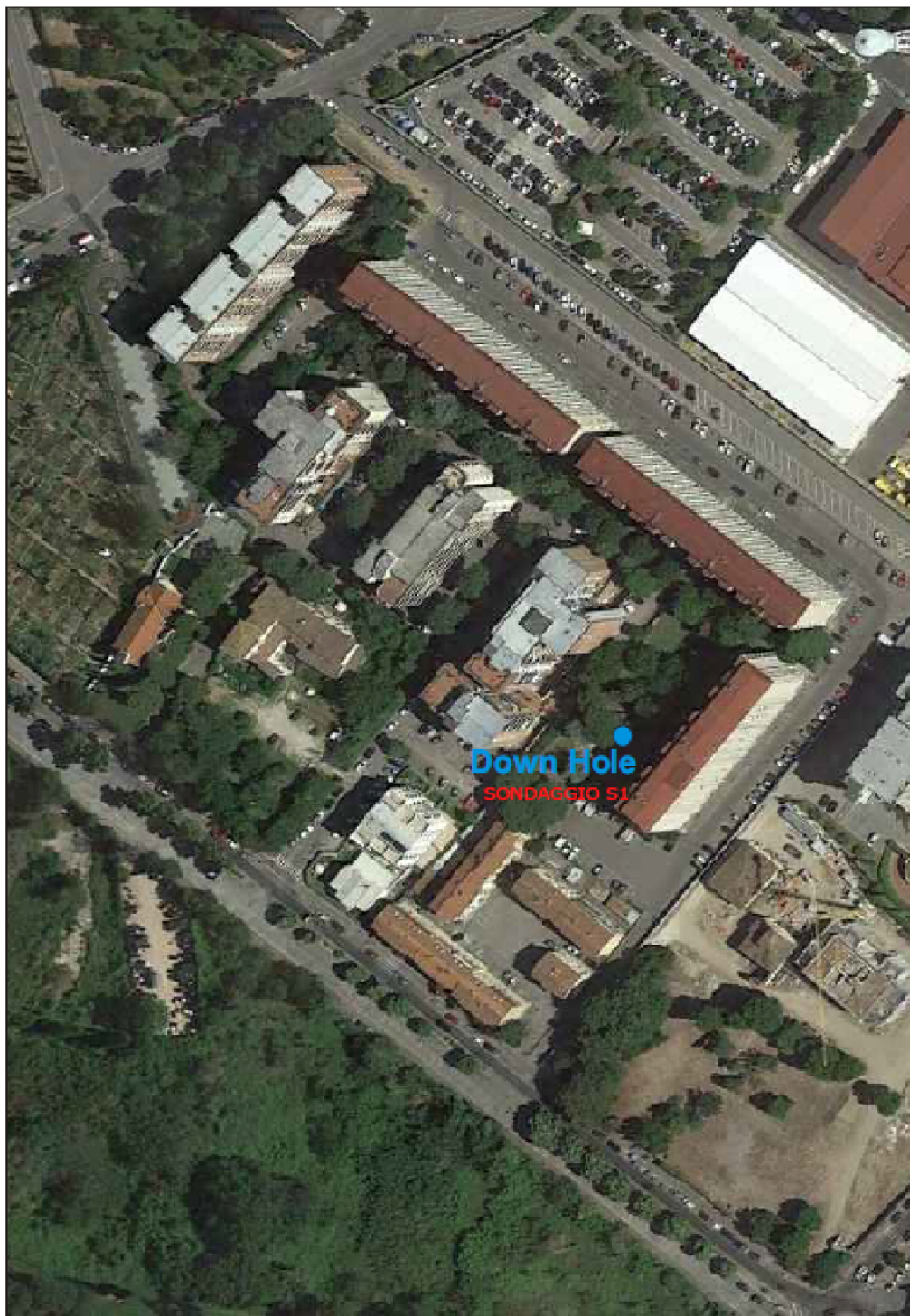
Rapporto di prova n°09-20-S

- filtri anti-aliasing a 90 dB della frequenza di Nyquist;
- filtri digitali low-cut, high-cut, notch;
- precisione trigger in sommatoria 1/32 del passo di campionamento;
- pre-trigger fino a 4096 campioni, delay sino a 1.000 ms;
- salvataggio dati in formato SEG-2 su hard-disk incorporato;
- Geofono da pozzo a con 2 teste di geofoni, frequenza propria di 10 Hz, spaziatura 1 m
- sistema di starter (trigger) mediante accelerometro;
- energizzazione mediante mazza da 5 Kg
- sistema di starter (trigger) mediante accelerometro;
- energizzazione mediante mazza da 5 Kg, minibang calibro 8, grave da 30/60 kg.

IGETECMA s.n.c.

Rapporto di prova n° 89-20-S

Ubicazione delle indagini



IGETECMA s.n.c.

9

Rapporto di prova n° 89-20-S

Dati

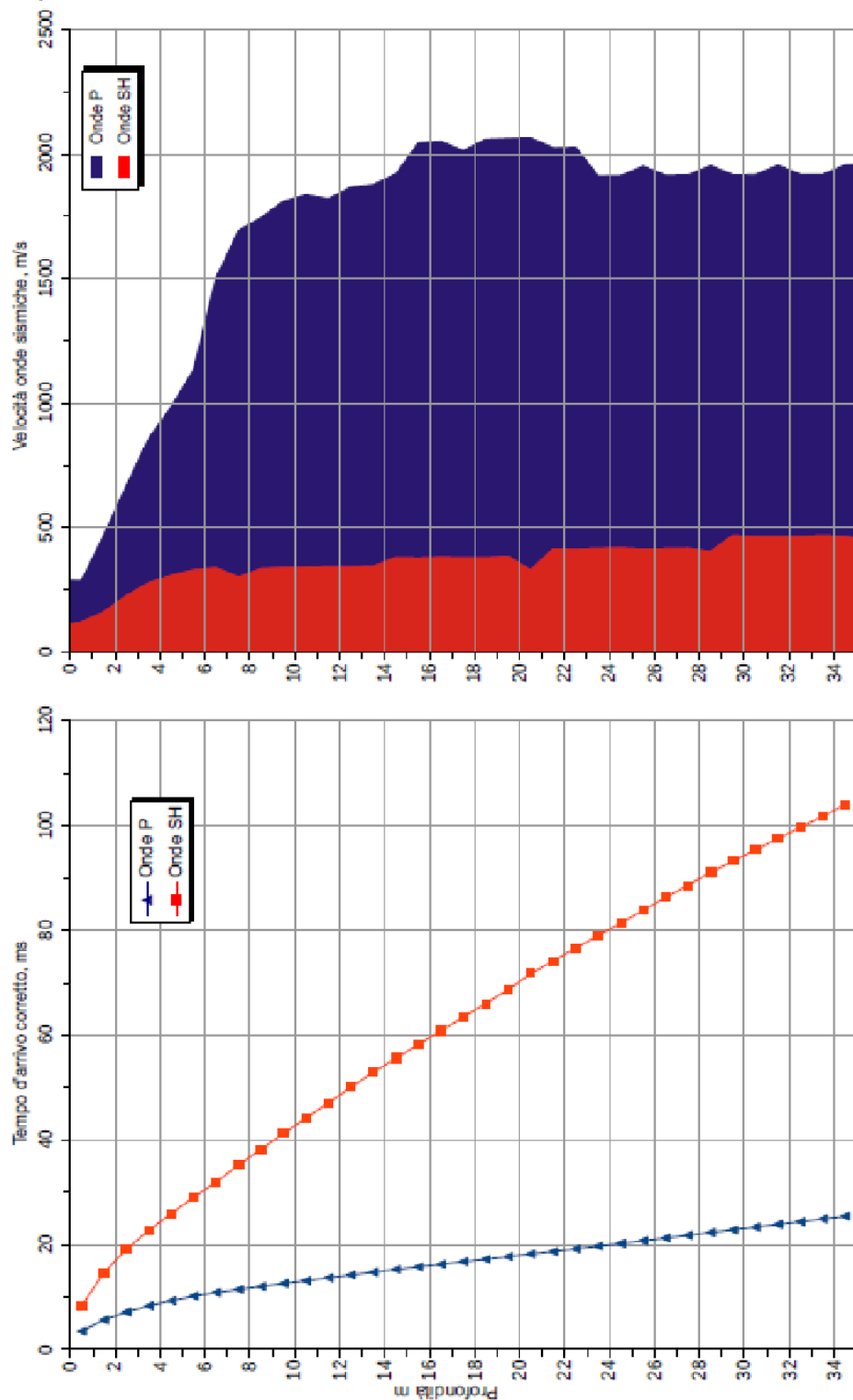
Z	Tp	Ts	Tp Corr.	Ts Corr.	VP	VS	$\rho$	$\nu$	G	E	K
m	ms	ms	ms	ms	m/sec.	m/sec.	t / m <sup>3</sup>	-	MPa	MPa	MPa
0 - 1	6.9	16.5	3.5	8.4	286	120	1.80	0.39	26	72	113
1 - 2	7.4	19.2	5.6	14.6	469	159	1.80	0.43	46	131	335
2 - 3	8.2	22.0	7.1	19.1	665	224	1.81	0.44	91	261	679
3 - 4	9.0	24.7	8.3	22.7	857	276	1.82	0.44	139	401	1150
4 - 5	9.8	27.4	9.3	26.0	985	307	1.83	0.45	173	499	1547
5 - 6	10.6	30.2	10.2	29.0	1133	329	1.84	0.45	199	580	2098
6 - 7	11.2	32.9	10.9	32.0	1502	338	1.85	0.47	211	621	3894
7 - 8	11.7	36.1	11.5	35.3	1695	300	1.86	0.48	168	497	5119
8 - 9	12.2	39.0	12.0	38.3	1745	334	1.87	0.48	209	619	5415
9 - 10	12.8	41.8	12.6	41.2	1811	338	1.88	0.48	215	638	5878
10 - 11	13.3	44.7	13.1	44.2	1836	339	1.89	0.48	218	645	6081
11 - 12	13.8	47.6	13.7	47.1	1821	342	1.90	0.48	222	658	6001
12 - 13	14.3	50.5	14.2	50.0	1867	342	1.90	0.48	222	659	6328
13 - 14	14.9	53.3	14.7	53.0	1877	344	1.90	0.48	225	667	6396
14 - 15	15.4	55.9	15.3	55.6	1921	380	1.90	0.48	274	811	6646
15 - 16	15.8	58.6	15.8	58.2	2045	378	1.90	0.48	271	803	7583
16 - 17	16.3	61.2	16.2	60.9	2051	381	1.90	0.48	276	818	7621
17 - 18	16.8	63.8	16.7	63.5	2014	379	1.90	0.48	272	807	7344
18 - 19	17.3	66.4	17.2	66.1	2059	379	1.90	0.48	273	809	7691
19 - 20	17.8	69.0	17.7	68.7	2062	384	1.90	0.48	280	829	7706
20 - 21	18.3	72.0	18.2	71.8	2065	329	1.90	0.49	205	610	7826
21 - 22	18.7	74.4	18.7	74.2	2025	414	1.90	0.48	326	964	7357
22 - 23	19.2	76.8	19.2	76.6	2027	413	1.90	0.48	324	958	7373
23 - 24	19.8	79.2	19.7	79.0	1912	416	1.90	0.48	330	972	6508
24 - 25	20.3	81.6	20.2	81.4	1913	418	1.90	0.47	333	981	6512
25 - 26	20.8	84.0	20.7	83.8	1952	413	1.90	0.48	325	959	6803
26 - 27	21.3	86.4	21.3	86.2	1915	415	1.90	0.48	328	967	6531
27 - 28	21.8	88.8	21.8	88.6	1916	417	1.90	0.48	331	975	6532
28 - 29	22.3	91.3	22.3	91.1	1954	404	1.90	0.48	310	915	6840
29 - 30	22.9	93.4	22.8	93.3	1917	468	1.90	0.47	416	1222	6427
30 - 31	23.4	95.6	23.3	95.4	1917	464	1.90	0.47	409	1201	6440
31 - 32	23.9	97.7	23.8	97.6	1955	464	1.90	0.47	409	1202	6719
32 - 33	24.4	99.9	24.4	99.7	1918	464	1.90	0.47	409	1202	6446
33 - 34	24.9	102.0	24.9	101.9	1919	468	1.90	0.47	417	1224	6438
34 - 35	25.4	104.1	25.4	104.0	1956	464	1.90	0.47	409	1203	6726

Z	Profondità	$\rho$	Densità
Tp	Tempo di arrivo onde di compressione	$\nu$	Modulo di Poisson
Ts	Tempo di arrivo onde di taglio	G	Modulo taglio
Tp Corr.	Tempo di arrivo corretto onde di compressione	E	Modulo di Young
Ts Corr.	Tempo di arrivo corretto onde di taglio	K	Modulo di rigidità volumetrica
Distanza sorgente-boccafori: 1.7 m			

IGETECMA s.n.c.

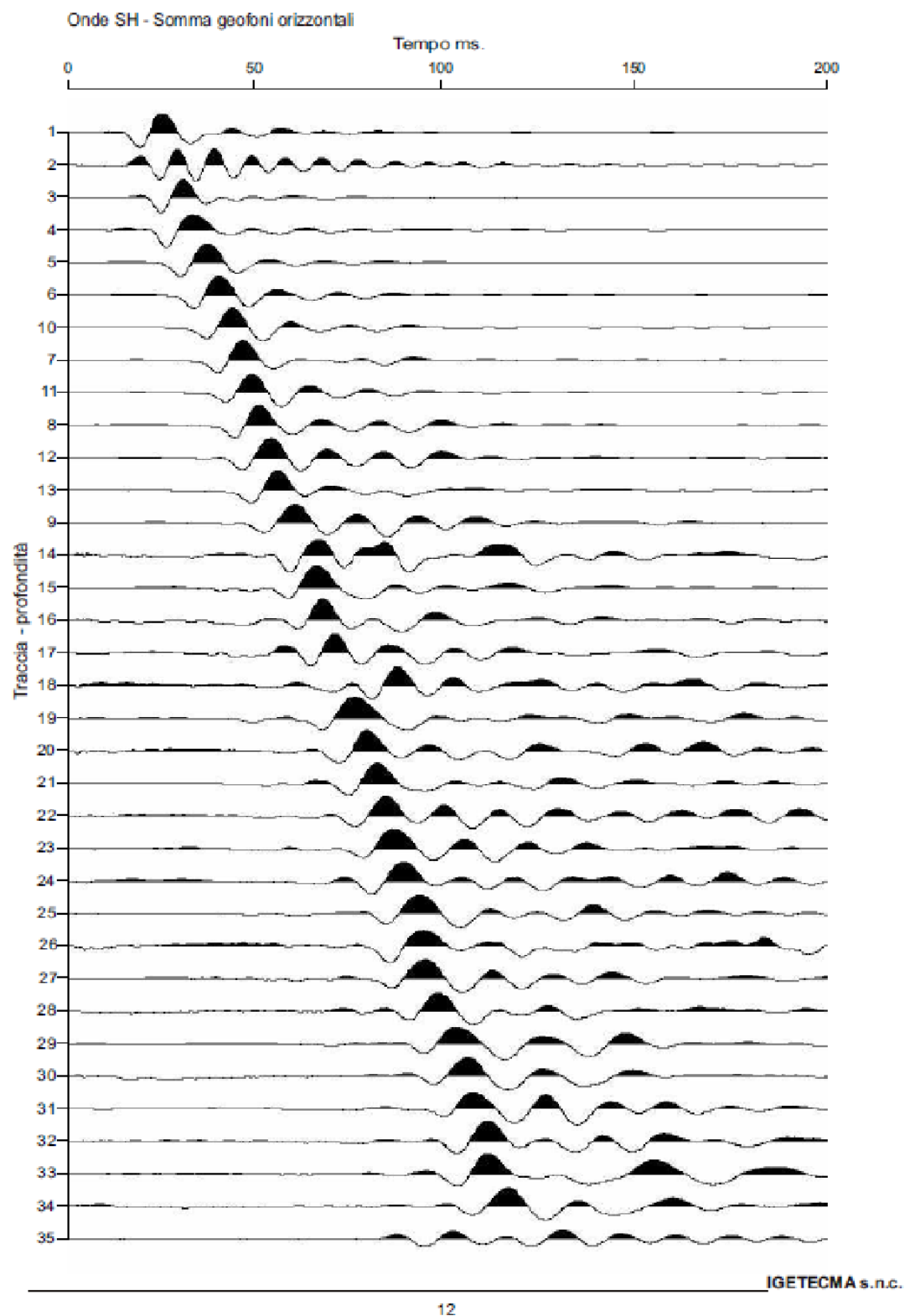


Rapporto di prova n° 89-20-S



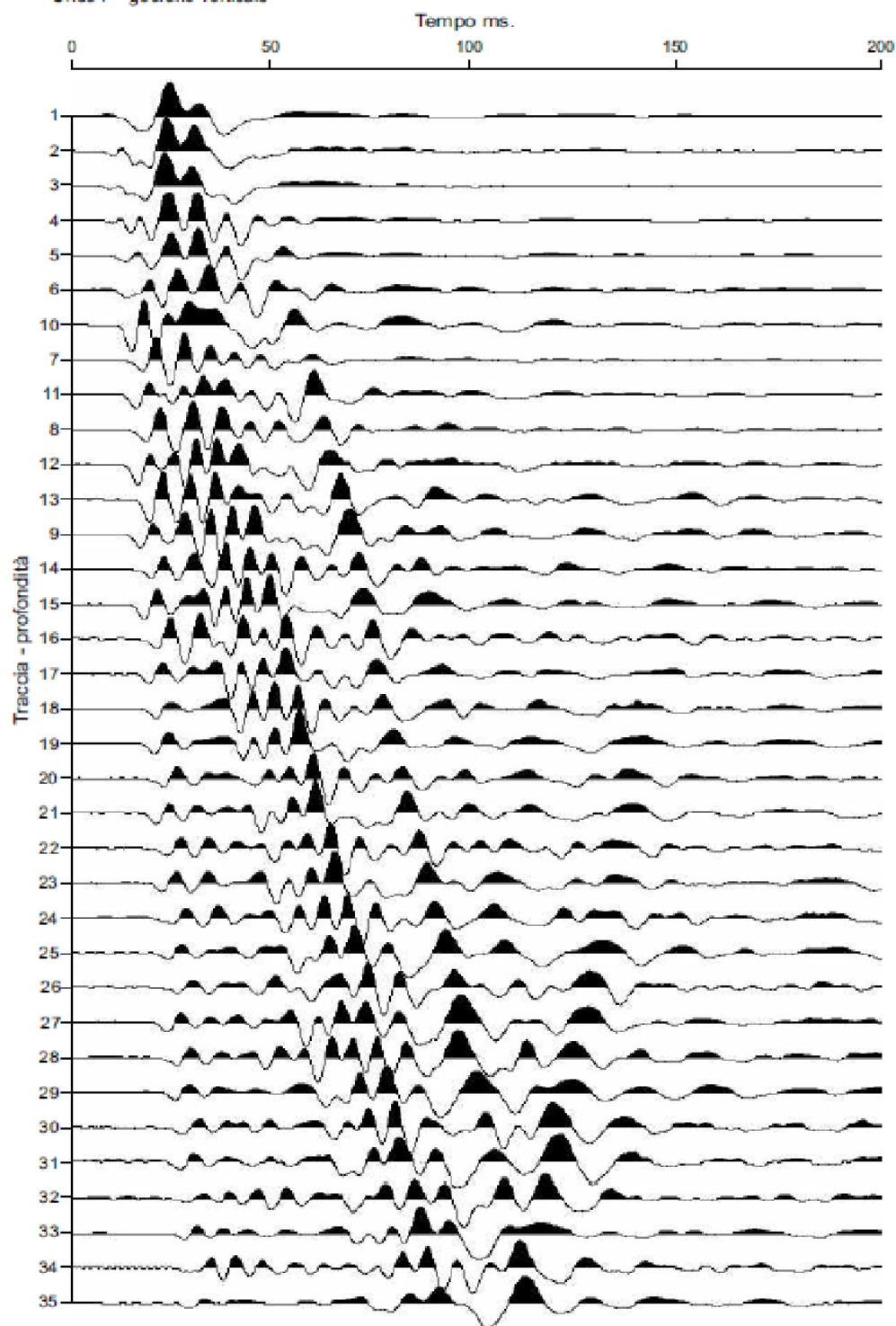
JGETECMA s.n.c.

Rapporto di prova n° 89-20-S



Rapporto di prova n° 89-20-S

Onde P - geofono verticale



IGETECMA s.n.c.

Rapporto di prova n° 89-20-S

## Documentazione fotografica



IGETECMA s.n.c.