



COMUNE DI FIRENZE

Responsabile Unico del Procedimento:  
Ing. Michele Mazzoni

Promotore:

Crematorio di Firenze S.p.A.

# PROPOSTA DI PROGETTAZIONE COSTRUZIONE E GESTIONE DEL NUOVO TEMPIO CREMATORIO DI FIRENZE

(ai sensi dell'art.37 bis e ss. L.109/94)

## *PROGETTO ESECUTIVO*

(Progetto Definitivo approvato dalla G.C. con Delibera n.2013/g/00308 del 25/9/2013)

## OPERE DI FASE 1



Professionisti Associati: Dr. Geol. Lorenzo Cirri - Dr. Geol. Tamara Cantini Casserini  
Via G. Silvani, 190 - 50125 FIRENZE; tel/fax: 0552049480. e-mail: sgffirenze@tin.it  
P.IVA: 05020220488.

Dr. Geol. LORENZO CIRRI

Dr. Geol. TAMARA CANTINI CASSERINI

Elaborato:

# DG.3.02

## Relazione geologica idrogeologica e sismica - tempio crematorio

SCALA

COMMESSA

RESPONSABILE DI COMMESSA

DATA PRIMA EMISSIONE

LUGLIO 2015

REVISIONE

DATA

REDATTO

A

LUGLIO 2015

DR GEOL. L. CIRRI / DR GEOL. CASSERINI

Sistema Qualità certificato da:  
N. 9175-HYDE  
per tutti i processi aziendali



## INDICE

|           |   |           |
|-----------|---|-----------|
| <b>1</b>  | <b>PREMESSA</b> .....   | <b>1</b>  |
| <b>2</b>  | <b>VINCOLIO IDROGEOLOGICO</b> .....   | <b>3</b>  |
| <b>3</b>  | <b>NORME TECNICHE GENERALI PER L'ESECUZIONE DEI LAVORI AI SENSI DEL D.P.G.R. 32/R DEL 16.03.2010 MODIFICHE DEL REGOLAMENTO REGIONALE N.48/R DEL 08/08/2003 E S.M.I.</b> .....                         | <b>3</b>  |
| <b>4</b>  | <b>ANALISI DI ALTRE CARTOGRAFIE</b> .....   | <b>4</b>  |
|           | 4.1 - <i>RISCHIO IDRAULICO (D.C.R. N° 72 DEL 24/07/07)</i> .....  | 4         |
|           | 4.2 - <i>CLASSIFICAZIONE NELLE INDAGINI GEOLOGICO-TECNICHE DI SUPPORTO ALLO S.U. VIGENTE</i> .....  | 4         |
|           | 4.3 - <i>PIANO STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO DEL FIUME ARNO (APPROVATO CON D.P.C.M IL 06 MAGGIO 2005). PERIMETRAZIONE DELLE AREE CON PERICOLOSITÀ DA FENOMENI GEOMORFOLOGICI DI VERSANTE</i> 8 | 8         |
| <b>5</b>  | <b>STUDIO GEOLOGICO</b> .....   | <b>8</b>  |
|           | 5.1 - <i>INQUADRAMENTO GEOLOGICO REGIONALE</i> .....  | 8         |
|           | 5.2 - <i>INQUADRAMENTO GEOLOGICO LOCALE</i> .....   | 9         |
| <b>6</b>  | <b>INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO</b> .....   | <b>11</b> |
| <b>7</b>  | <b>INQUADRAMENTO IDROLOGICO E IDROGEOLOGICO</b> .....   | <b>12</b> |
| <b>8</b>  | <b>CARATTERIZZAZIONE DEL TERRENO DI FONDAZIONE</b> .....  | <b>13</b> |
|           | 8.1 - <i>SONDAGGI GEOGNOSTICI</i> .....   | 14        |
|           | 8.1.1 <i>Ricostruzione stratigrafica</i> .....  | 14        |
|           | 8.1.2 <i>Analisi e prove geotecniche di laboratorio</i> .....   | 15        |
|           | 8.1.3 <i>Prove SPT</i> .....  | 16        |
|           | 8.2 - <i>SONDAGGI GEOGNOSTICI</i> .....   | 16        |
|           | 8.2.1 <i>Ricostruzione stratigrafica</i> .....  | 16        |
|           | 8.2.2 <i>Analisi e prove geotecniche di laboratorio</i> .....   | 17        |
|           | 8.2.3 <i>Prove SPT</i> .....  | 17        |
| <b>9</b>  | <b>SEZIONI GEOTECNICHE</b> .....  | <b>18</b> |
| <b>10</b> | <b>METODOLOGIA SISMICA A RIFRAZIONE</b> .....   | <b>18</b> |
|           | 10.1 - <i>GENERALITÀ DELLA METODOLOGIA</i> .....  | 18        |
|           | 10.2 - <i>UNITÀ DI ACQUISIZIONE DATI</i> .....  | 19        |
|           | 10.3 - <i>APPARATO DI RICEZIONE</i> .....   | 19        |
|           | 10.4 - <i>APPARATO DI ENERGIZZAZIONE</i> .....  | 20        |
|           | 10.5 - <i>ACQUISIZIONE DEI DATI</i> .....   | 20        |
|           | 10.6 - <i>ELABORAZIONE DEI DATI</i> .....   | 20        |
|           | 10.7 - <i>RISULTATI</i> .....   | 21        |
| <b>11</b> | <b>INDAGINE SISMICA MASW</b> .....  | <b>23</b> |

|  |           |
|--|-----------|
| 11.1 - INTRODUZIONE.....                                       | 23        |
| 11.2 - ACQUISIZIONE SISMOGRAMMI.....                           | 23        |
| 11.3 - METODO.....   | 23        |
| 11.4 - CONCLUSIONI.....  | 24        |
| <b>12 CONDIZIONI GEOLOGICHE IN AMPLIFICAZIONE SISMICA.....</b> | <b>27</b> |
| 12.1- LIQUEFAZIONE DEI TERRENI.....                            | 27        |
| <b>13 CONCLUSIONI.....</b>                                     | <b>28</b> |

FIG.1 - COROGRAFIA

FIG.2 – UBICAZIONE AREA (estratta da Bing mappe)

FIG.3 – CARTA DELLA PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA (ESTRATTA DALLA TAV.4 DEL R.U.C.)

FIG.4 – CARTA DELLA PERICOLOSITA' IDRAULICA (ESTRATTA DALLA TAV.5 DEL R.U.C.)

FIG.5 – CARTA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA (ESTRATTA DALLA TAV.6 DEL R.U.C.)

FIG.6 – PERIMETRAZIONE DELLE AREE CON PERICLOSITA' DA FENOMENI GEOMORFOLOGICI DI VERSANTE (ESTRATTO DA AUTORITA' DI BACINO DEL FIUME ARNO STRALCIO N.40 aggiornato giugno 2015)

FIG.7 – CARTA GEOLOGICA (ESTRATTA DALLA SEZIONE 263160 DEL PROGETTO CARG)

FIG.8 – CARTA GEOMORFOLOGICA (ESTRATTA DALLA CARTA GEOMORFOLOGICA DEL R.U.C.)

FIG.9 – UBICAZIONE INDAGINI

FIG.10 – SISMOGRAMMA E SPETTRO DI VELOCITA' CALCOLATO

FIG.11 – INVERSIONE DELLA CURVA DI DISPERSIONE - PROFILO VERTICALE VS

FIG.12 – MODELLI DI PROFILO VP - VS

FIG.13 – STRATIGRAFIA ONDE SH

FIG.14 – FUSI GRANULOMETRICI DI TERRENI SUSCETTIBILI A LIQUEFAZIONE ( $U_c < 3,5$ )

FIG.15 – FUSI GRANULOMETRICI DI TERRENI SUSCETTIBILI A LIQUEFAZIONE ( $U_c > 3,5$ )

ALLEGATO A1: Documentazione fotografica e stratigrafie sondaggi geognostici (anno 2005)

ALLEGATO A2: Certificati analisi di laboratorio (anno 2005)

ALLEGATO A3: Documentazione fotografica e stratigrafie sondaggi geognostici (anno 2014)

ALLEGATO A4: Certificati analisi di laboratorio - campioni di sondaggi geognostici (anno 2014)

Nome file: 40GT15 – 1E rev.00

## 1 PREMESSA

Il presente lavoro ha lo scopo di stilare le caratteristiche geologiche, idrogeologiche, geotecniche e sismiche dei terreni che saranno interessati dalla costruzione del nuovo tempio crematorio del Comune di Firenze.

L'area d'intervento è localizzata lungo la via Bolognese nel Comune di Firenze. L'esatta ubicazione della zona d'intervento è osservabile in Fig.1 (Corografia) e Fig.2 (Ubicazione dell'area).

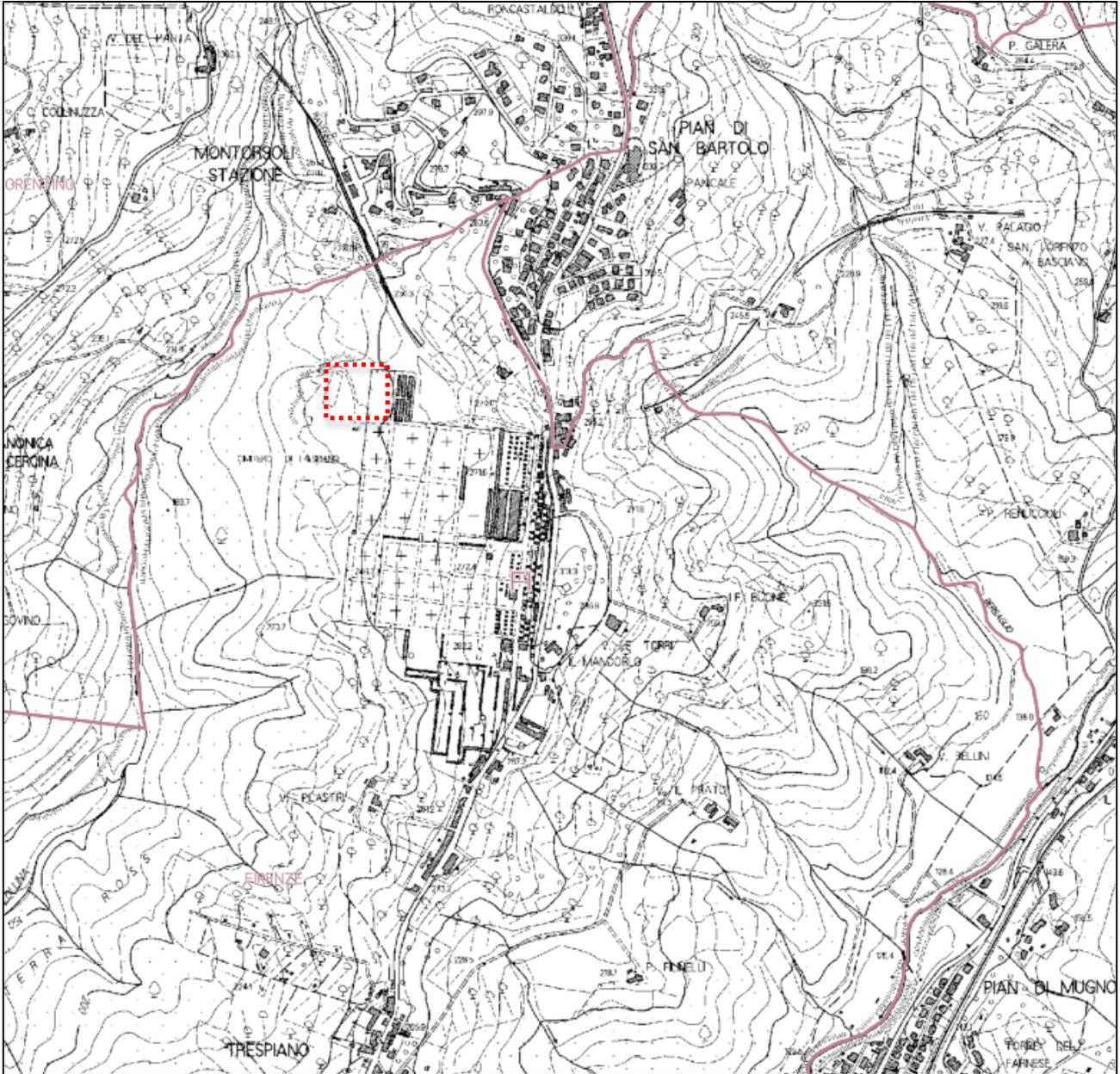


FIG.1 - COROGRAFIA



- **Deliberazione 11 maggio 2009, n. 387** - Regolamento di attuazione dell'art. 117 commi 1 e 2 della L.R. 3 gennaio 2005 n. 1 (Norme per il governo del territorio). Disciplina sulle modalità di svolgimento delle attività di vigilanza e verifica delle opere e delle costruzioni in zone soggette a rischio sismico. Approvazione ai fini dell'acquisizione dei pareri previsti dallo Statuto.
- **D.P.G.R. 9 luglio 2009, n. 36/R** - Regolamento di attuazione dell'articolo 117, commi 1 e 2 della legge regionale 3 gennaio 2005 n. 1 (Norme per il governo del territorio). Disciplina sulle modalità di svolgimento delle attività di vigilanza e verifica delle opere e delle costruzioni in zone soggette a rischio sismico.
- **D.M. LL. PP. dell'11/03/88** ("Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione") e la relativa **Circ. Min. LL. PP. n°30483 del 24.09.88** ("Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione. Istruzioni applicative").
- **L.R. n°65 del 10/11/2014** "Norme per il governo del territorio"
- **OPCM n. 3274 del 20/03/2003** "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" e **OPCM n. 3519 del 28/04/2006**.
- **DELIBERAZIONE 08 ottobre 2012, n. 878** "Riclassificazione sismica del territorio della Regione Toscana".
- **Regio decreto n. 1265 del 27/07/1934** "Testo unico leggi sanitarie"
- **D.P.R. n.285 del 1990 art.57** "Regolamento di Polizia Mortuaria"

## 2 VINCOLIO IDROGEOLOGICO

Ai sensi della L. n°3267 del 30.12.33, del R.D. 1126/1926, artt.21-22, nonché del D.P.G.R. 32/R del 16/03/2010 modifiche al Regolamento Regionale n°48/R del 08.08.03 "Regolamento di attuazione della L.R. n°39 del 21.03.2000 "Legge Forestale della Toscana", l'area di intervento RICADE in zona soggetta a vincolo.

## 3 NORME TECNICHE GENERALI PER L'ESECUZIONE DEI LAVORI AI SENSI DEL D.P.G.R. 32/R DEL 16.03.2010 MODIFICHE DEL REGOLAMENTO REGIONALE N.48/R DEL 08/08/2003 E S.M.I.

- **ART.74 - REGIMAZIONE DELLE ACQUE:** Nei terreni vincolati è fatto obbligo di assicurare che il deflusso delle acque superficiali avvenga senza determinare fenomeni di erosione o di ristagno; i lavori non dovranno creare ostacoli al naturale deflusso delle acque meteoriche che non dovranno creare effetti di ristagno ed erosione nei terreni oggetto d'intervento; durante le fasi di cantiere, e soprattutto in fase di scavo, le acque provenienti dai terreni posti a monte, dovranno essere allontanate tramite naturali fossetti senza determinare fenomeni di erosione e ristagno;
- **ART.75 – INDAGINI GEOLOGICHE:** Le verifiche di stabilità saranno trattate nell'elaborato geotecnico (DG 3.03). Gli scavi, saranno comunque realizzati senza provocare danni e/o deviazioni a livello idrogeologico. Durante l'esecuzione dei lavori, sarà accertata in loco la rispondenza delle indagini geologiche e delle previsioni di progetto, con lo stato effettivo dei terreni, e adottato di conseguenza ogni altro accorgimento necessario ad assicurare la stabilità dei terreni stessi e la regimazione delle acque.
- **ART.76 – SCAVI E RIPORTI DI TERRENO:** Durante la realizzazione dei lavori e opere che comportino scavi o riporti di terreno non devono essere create condizioni di rischio per il verificarsi di smottamenti, franamenti o altri movimenti gravitativi. Gli scavi, devono essere realizzati in stagioni a minimo rischio di piogge e procedendo per stati di avanzamento tali da consentire la

rapida ricolmatura degli stessi o il consolidamento dei fronti con opere provvisorie o definitive di contenimento. Se in fase esecutiva sopraggiungessero condizioni di rischio per la stabilità a breve termine, gli sbancamenti devono procedere per piccoli settori ed essere eseguiti dall'immediata realizzazione di opere di contenimento. Si può procedere a successivi scavi solo dopo che queste ultime diano garanzia di stabilità. I riporti di terreno devono essere eseguiti in strati, assicurando il graduale compattamento dei materiali terrosi, dai quali devono essere separate le frazioni litoidi di maggiori dimensioni.

- **ART.77 – MATERIALI DI RISULTA:** I materiali di risulta derivanti dagli scavi prodotti per la realizzazione degli interventi previsti, saranno in parte portati a discarica autorizzata seguendo la procedura dei rifiuti e i parte convogliati in loco per la risistemazione dell'area oggetto di lavori, senza determinare apprezzabili modificazioni di assetto o pendenza dei terreni, evitando in tal modo, che si verifichino fenomeni erosivi o di ristagno delle acque. I materiali terrosi o lapidei eccedenti la risistemazione in loco, devono essere riutilizzati in terreni, dove il riporto degli stessi sia autorizzato o consentito ai fini del vincolo idrogeologico. I materiali lapidei di maggiori dimensioni devono essere separati dal materiale terroso al fine di garantire un omogeneo compattamento e assestamento di questi ultimi. I materiali lapidei possono essere reimpiegati in loco per la sistemazione dell'area oggetto di lavori purché gli stessi siano depositati in condizioni di stabilità e in modo da non ostacolare il regolare deflusso delle acque superficiali. Durante le fasi di cantiere eventuali depositi temporanei di materiali di risulta devono essere sistemati in maniera tale da evitare fenomeni erosivi e/o di ristagno delle acque.

## **4 ANALISI DI ALTRE CARTOGRAFIE**

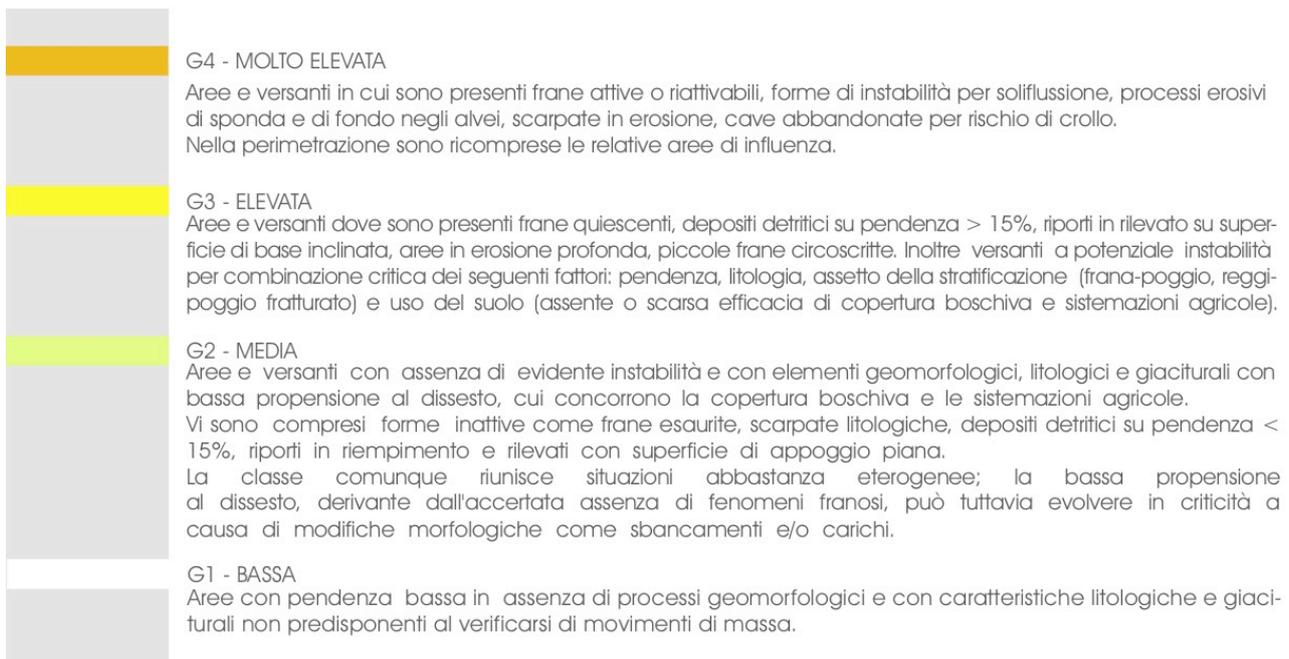
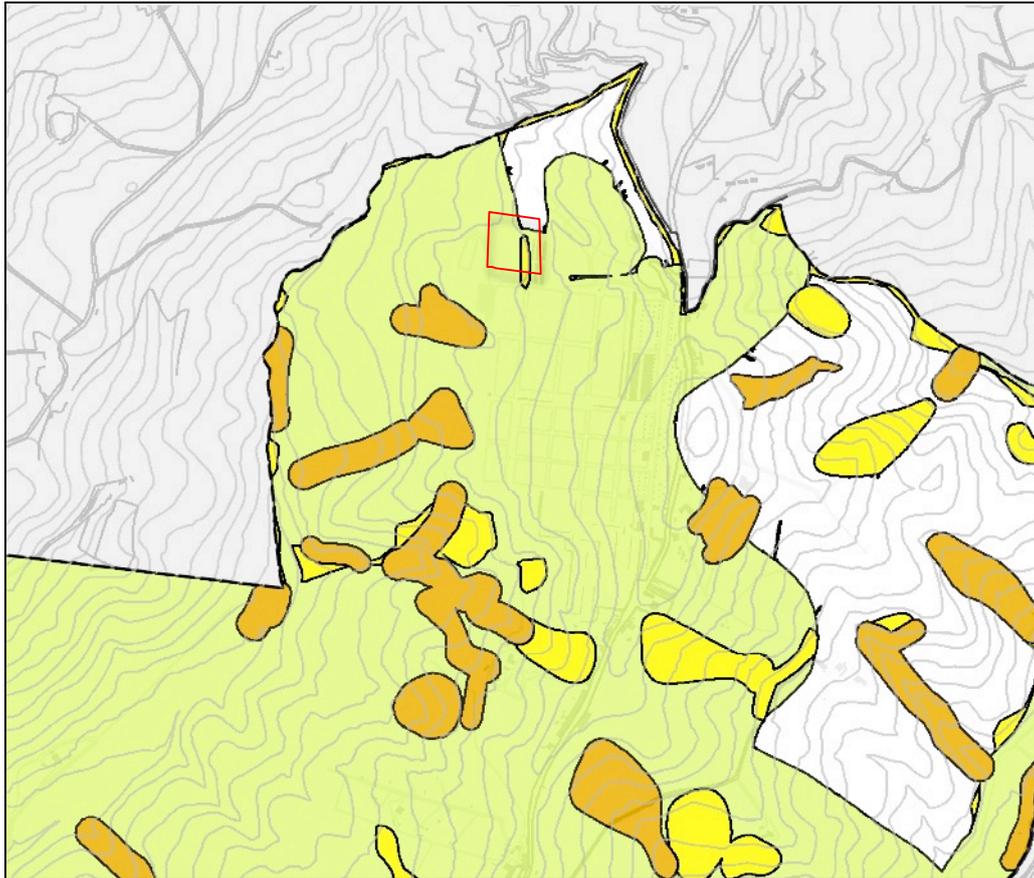
### **4.1 - RISCHIO IDRAULICO (D.C.R. N° 72 DEL 24/07/07)**

L'area d'intervento è posta in zona collinare, lontana da corsi d'acqua censiti.

### **4.2 - CLASSIFICAZIONE NELLE INDAGINI GEOLOGICO-TECNICHE DI SUPPORTO ALLO S.U. VIGENTE**

Nella cartografia estratta dal R.U. adottato nel 2014, l'area interessata dal progetto ricade nelle seguenti perimetrazioni:

√ **Pericolosità geomorfologica** (fig.3): l'area di studio ricade in classe di pericolosità geologica G2 (pericolosità media), e solo una piccola porzione ricade nella perimetrazione della pericolosità geologica G3 (pericolosità elevata).



**FIG.3 – CARTA DELLA PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA (ESTRATTA DALLA TAV.4 DEL R.U.C.)**

✓ **Pericolosità idraulica (fig.4):** l'area di studio ricade in classe di pericolosità idraulica I1 (pericolosità bassa).

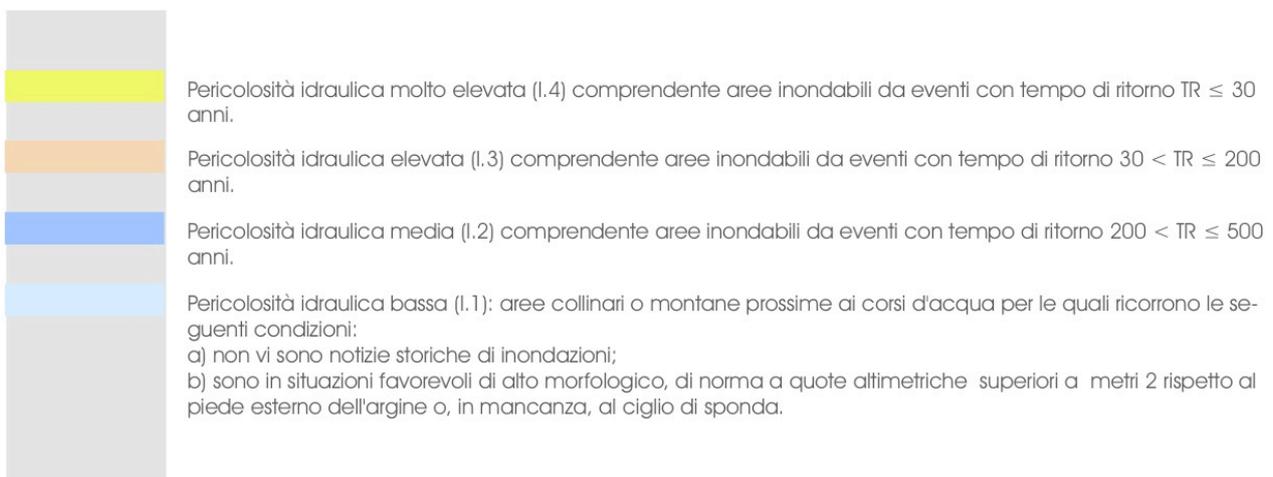
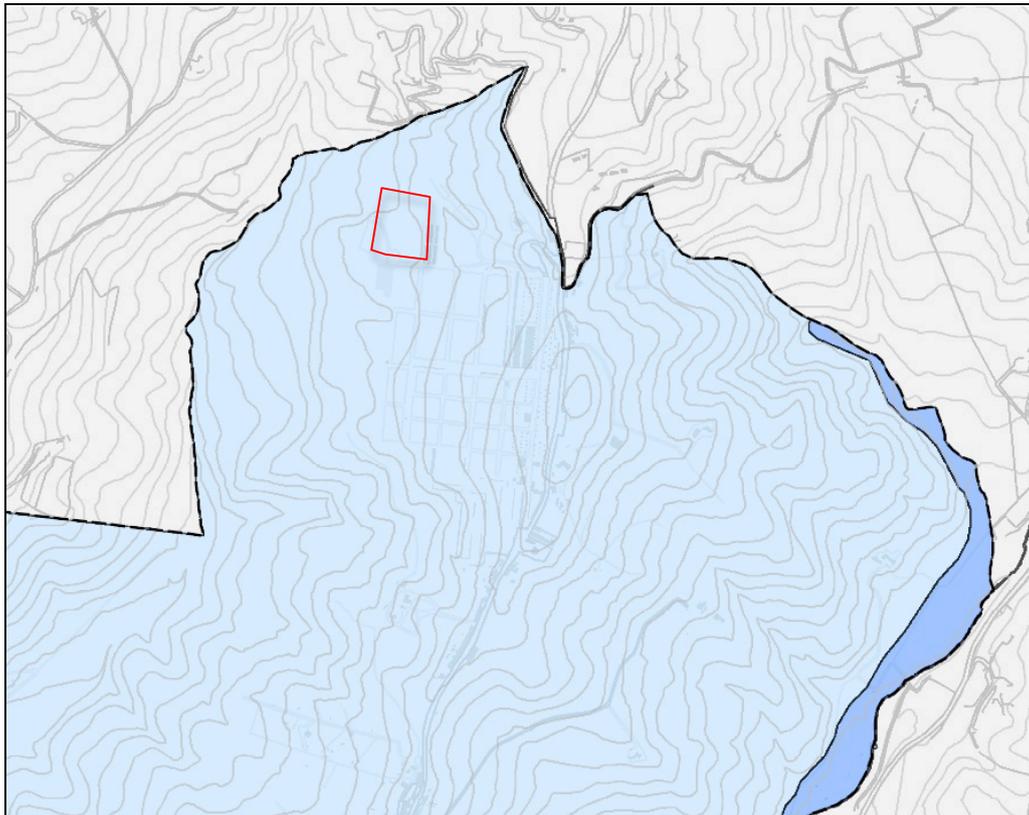
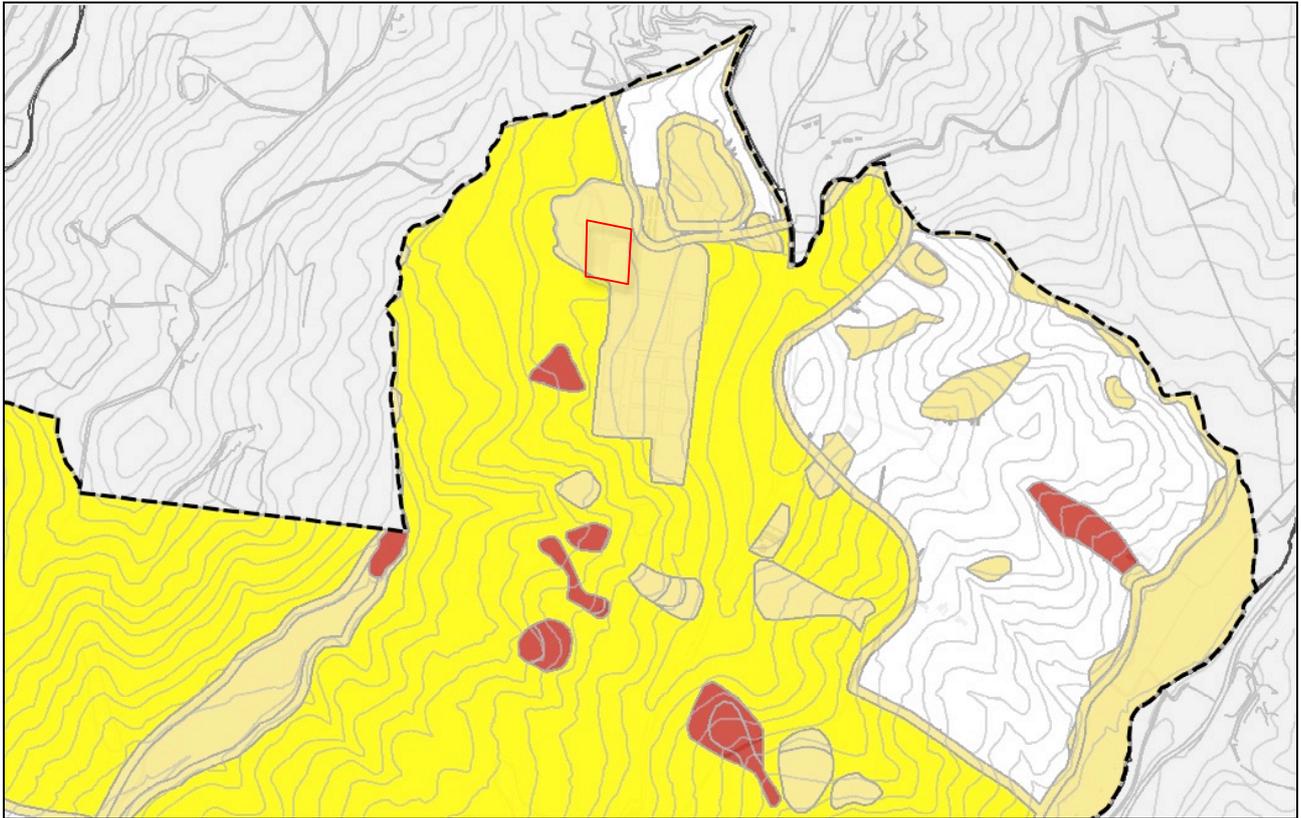


FIG.4 – CARTA DELLA PERICOLOSITA' IDRAULICA (ESTRATTA DALLA TAV.5 DEL R.U.C.)

✓ **Pericolosità sismica (fig.5):** l'area di studio ricade in classe di pericolosità sismica S3 (pericolosità sismica locale elevata).



|             |  |
|-------------|--|
| <b>S.4</b>  | Pericolosità sismica locale molto elevata (S.4):<br>aree in cui sono presenti fenomeni di instabilità attivi (1) e che pertanto potrebbero subire una accentuazione dovuta ad effetti dinamici quali possono verificarsi in occasione di eventi sismici; terreni soggetti a liquefazione dinamica (5) in comuni a media-elevata sismicità (zone 2).  |
| <b>S.3</b>  | Pericolosità sismica locale elevata (S.3, S.3* e S.3**):   |
| <b>S3*</b>  | aree in cui sono presenti fenomeni di instabilità quiescenti (2A) e che pertanto potrebbero subire una riattivazione dovuta ad effetti dinamici quali possono verificarsi in occasione di eventi sismici; zone potenzialmente franose o esposte a rischio frana (2B) per le quali non si escludono fenomeni di instabilità indotta dalla sollecitazione sismica; zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti che possono dar luogo a cedimenti diffusi (4); terreni soggetti a liquefazione dinamica (5) in comuni a media-elevata sismicità (zone 3s); zone con possibile amplificazione sismica connesse a zone di bordo della valle e/o aree di raccordo con il versante (8); zone con possibile amplificazione per effetti stratigrafici (9,10,11) in comuni a media-elevata sismicità (zone 2 e 3s); zone di contatto tra litotipi con caratteristiche fisiomeccaniche significativamente diverse (12); presenza di faglie e/o contatti tettonici (13). Queste aree ricomprendono le sottozone S3* con $1,65 < Fa \leq 1,7$ e S3** con $Fa > 1,7$ . |
| <b>S3**</b> |  |
| <b>S.2</b>  | Pericolosità sismica locale media (S.2):<br>zone con fenomeni franosi inattivi (3); aree in cui è possibile amplificazione dovuta ad effetti topografici (6-7); zone con possibile amplificazione stratigrafica (9, 10, 11) in comuni a media sismicità (zone 3).  |
| <b>S.1</b>  | Pericolosità sismica locale bassa (S.1):<br>aree caratterizzate dalla presenza di formazioni litoidi e dove non si ritengono probabili fenomeni di amplificazione o instabilità indotta dalla sollecitazione sismica.  |

**FIG.5 – CARTA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA (ESTRATTA DALLA TAV.6 DEL R.U.C.)**

#### 4.3 - PIANO STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO DEL FIUME ARNO (APPROVATO CON D.P.C.M IL 06 MAGGIO 2005). PERIMETRAZIONE DELLE AREE CON PERICLOSITA' DA FENOMENI GEOMORFOLOGICI DI VERSANTE

A livello di sintesi in scala 1:25.000, vengono riportate l'individuazione e la perimetrazione delle aree a pericolosità derivante da processi geomorfologici di versante ottenuta sulla base dei criteri geomorfologici, litologici ed inventariali. In particolare, l'area di nostro interesse, è perimetrata in classe P.F.2 (pericolosità media)(fig.6).

**P.F.2 – pericolosità media:** Si tratta di aree apparentemente stabili, interessate da litologie con caratteri intrinsecamente sfavorevoli alla stabilità dei versanti (art.9);

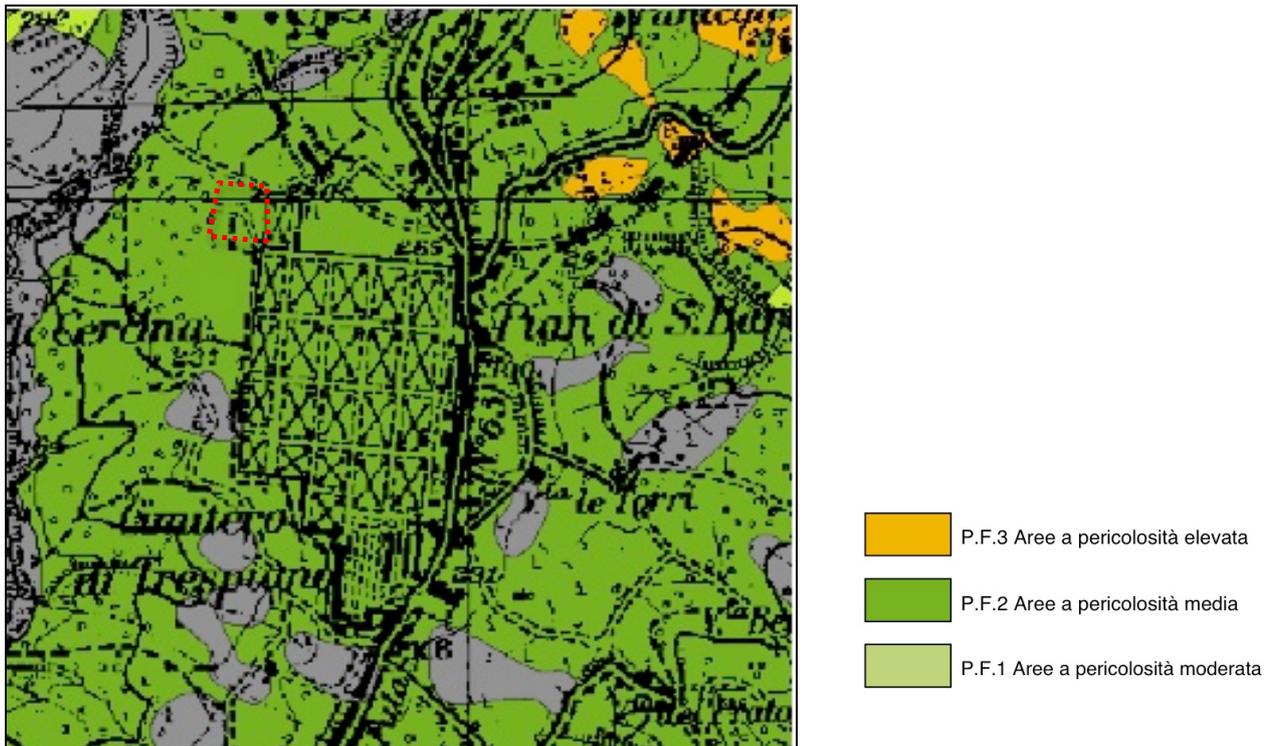


FIG.6 – PERIMETRAZIONE DELLE AREE CON PERICLOSITA' DA FENOMENI GEOMORFOLOGICI DI VERSANTE (ESTRATTO DA AUTORITA' DI BACINO DEL FIUME ARNO STRALCIO N.40 aggiornato giugno 2015)

## 5 STUDIO GEOLOGICO

### 5.1 - INQUADRAMENTO GEOLOGICO REGIONALE

L'area in esame è compresa nell'ampio bacino sedimentario del Medio Valdarno, caratterizzato da una forma allungata con asse maggiore orientato NW-SE. Tale unità paleogeografica è costituita da uno spessore variabile di depositi fluvio-lacustri non litificati, sedimentatisi entro una fossa tettonica, la cui formazione è connessa con le fasi distensive post-parossistiche dell'orogenesi appenninica miocenica, a partire dal Pliocene superiore.

Questo bacino lacustre presenta la sua profondità massima nella zona tra Campi Bisenzio e Calenzano (500-550 mt); le profondità minime sono presenti invece nella zona di Firenze (50 mt nel centro cittadino).

L'emissario del lago era probabilmente ubicato alla stretta della Gonfolina: i principali immissari erano costituiti da una paleo-Ema nella conca di Firenze, dall'Ombrone all'estremo opposto del bacino e dal Bisenzio nella sua parte centrale. Il progressivo abbassamento del fondo del lago era compensato dal trasporto solido dei corsi d'acqua, in considerazione del fatto che l'area appenninica di provenienza era in sollevamento, quindi in accentuata erosione.

Il fondo del bacino si mostrò presto di forma asimmetrica, incernierato in corrispondenza del margine meridionale, quindi con maggiore profondità verso il margine settentrionale: ciò dipendeva dall'azione della faglia normale che lo delimitava verso NE.

Ulteriori faglie, trasversali rispetto al suo asse maggiore e localizzate lungo l'asse Castello-Scandicci, interessarono il substrato pre-lacustre causando il sollevamento di circa 150-200 mt. della conca di Firenze rispetto al resto del bacino, che così si estinse precocemente.

In questa piana così prosciugata s'instaurò un reticolo idrografico il cui corso principale sfociava nel lago residuo in corrispondenza delle Cascine, formando una pseudo-conoide che si estese verso Osmannoro e Campi Bisenzio. Ciò causò un raccorciamento dell'area occupata dal lago, che veniva ad essere delimitato a Sud-Est dall'allineamento Castello-Scandicci: nel bacino residuo di Prato-Pistoia, invece, la deposizione lacustre continuò senza soluzione di continuità, sino al suo totale colmamento.

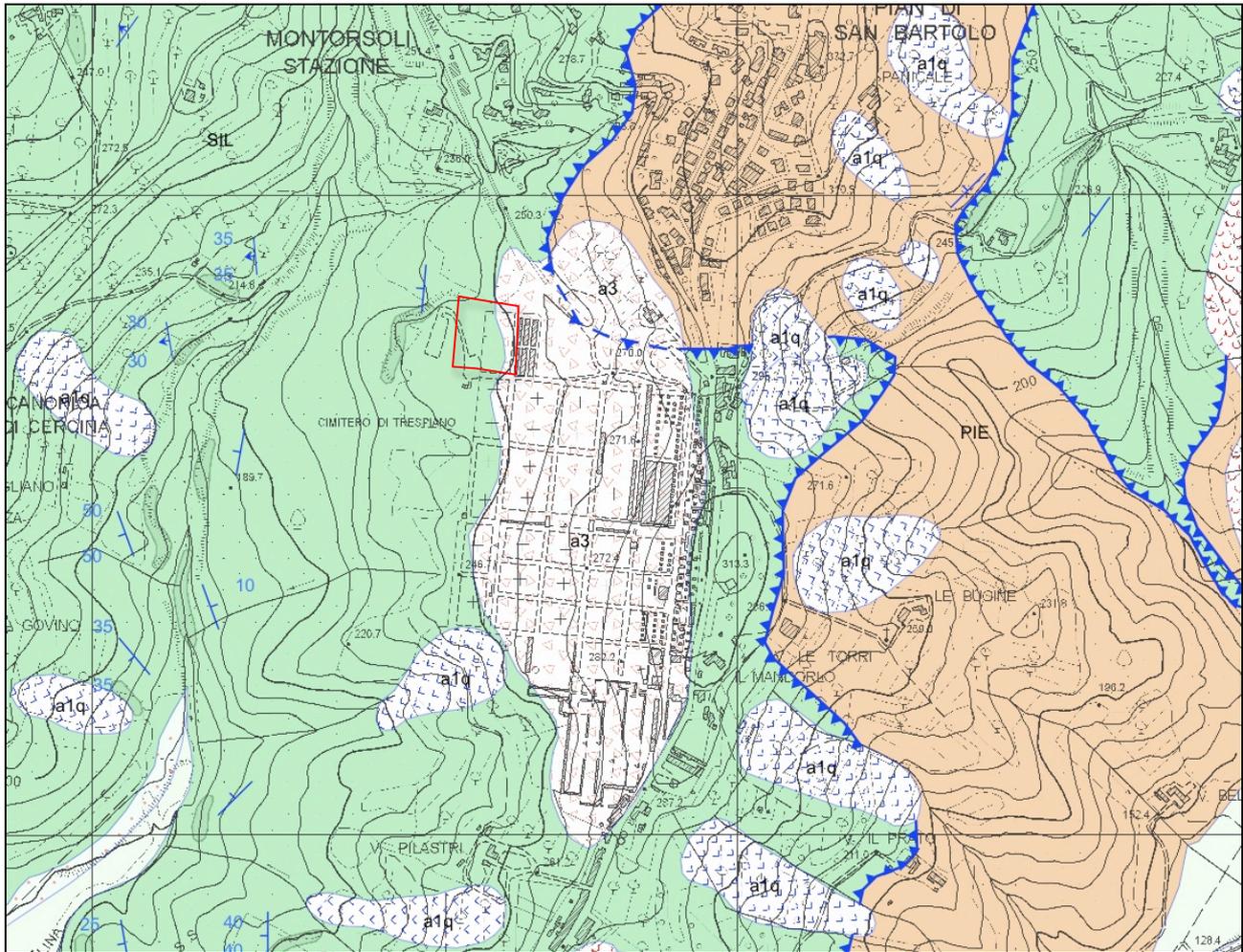
Nella successiva fase evolutiva si instaurò un reticolo idrografico facente capo all'Arno che, con successivi cicli d'erosione e deposizione, rimaneggiò l'originaria superficie depositandovi una spessa coltre di sedimenti sciolti. Questi, provenienti essenzialmente dalle sponde appenniniche settentrionali, erano granulometricamente più grossolani in prossimità delle principali aste fluviali, e decisamente più fini nelle aree più distali.

L'ultima fase evolutiva vide infine l'instaurarsi di estese zone palustri ai margini della pianura neoformata ed in prossimità dei corsi d'acqua principali, alcune delle quali perdurarono sino in epoca storica. In tali ambienti, sedimentologicamente tranquilli, si depositarono sedimenti fini con intercalazioni torbose: alcune paludi sarebbero perdurate sino a oggi se non fossero intervenuti massicci interventi di bonifica idraulica, iniziati già in epoca etrusca e poi romana.

## 5.2 - INQUADRAMENTO GEOLOGICO LOCALE

Dalla consultazione della cartografia geologica, prodotta per il Progetto CARG della Regione Toscana sezione 263160 (fig.7), l'intervento è collocato su terreni costituiti da coltri detritiche indifferenziate, sotto alle quali si ritrovano, terreni riconducibili alla **Formazione di Sillano (SIL)**. La Formazione di Sillano, è costituita da argilliti varicolori con irregolari intercalazioni di arenarie quarzoso-calcaree e calcareniti, finemente stratificate, marne e calcari marnosi grigio chiari, costituiti da sabbie argillose con orizzonti e lenti di sabbie e conglomerati.

Dai sondaggi geognostici effettuati, si rileva la presenza nei primi metri di materiali a netta componente limo argillosa inglobante abbondante quantità di materiale litoide (di prevalente origine calcarea e calcareo - marnosa) distinto in pezzature comprese tra 3 e 10 cm. Più in profondità, appare evidente la presenza dei termini caratteristici della Formazione di Sillano.



|   |   |   |  |
|---|---|---|--|
| <b>UNITA' TETTONICHE LIGURI</b>   |   |   |  |
| <b>UNITA' DI M.MORELLO</b>  |   |   |  |
|  | PSC FORMAZIONE DELLA PESCINA<br>Eocene inf. - med.                          |  | Contatto stratigrafico                 |
|  | MLL FORMAZIONE DI M.MORELLO<br>Eocene                                       |  | Contatto stratigrafico inconforme      |
|  | SIL FORMAZIONE DI SILLANO<br>Cretaceo sup.-Eocene inf.                      |  | Faglia                                 |
|  | SIL1 FORMAZIONE DI SILLANO<br>Membro di Gualdo<br>Cretaceo sup.-Eocene inf. |  | Faglia diretta                         |
|   |   |  | Sovrascorrimento principale            |
|   |   |  | Sovrascorrimento di importanza minore  |
| <b>UNITA' TETTONICHE SUB-LIGURI</b>   |   |   |  |
| <b>UNITA' TETTONICA DI CANETOLO</b>   |   |   |  |
|  | AMS ARENARIE DI M.SENARIO<br>Eocene med. - inf.                             |  | Contatto con area non rilevabile       |
| <b>UNITA' TETTONICHE TOSCANE</b>  |   |   |  |
| <b>FALDA TOSCANA</b>  |   |   |  |
|  | PIE Marne di Pievelago<br>Oligocene sup.                                    |  | Stratificazione diritta                |
|   |   |  | Stratificazione rovesciata             |
|   |   |  | Stratificazione a polarità sconosciuta |

FIG.7 – CARTA GEOLOGICA (ESTRATTA DALLA SEZIONE 263160 DEL PROGETTO CARG)

## 6 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

L'area è posta in zona collinare a una quota indicativa compresa di 245 metri s.l.m., a sud dell'abitato di Pian di San Bartolo.

La collina interessata è caratterizzata da pendenze variabili tra il 10 ed il 25%.

In fase di sopralluogo, a conferma di quanto riportato nella carta geomorfologica allegata al R.U.C., non sono state rilevate forme e processi che denotino instabilità dell'area.

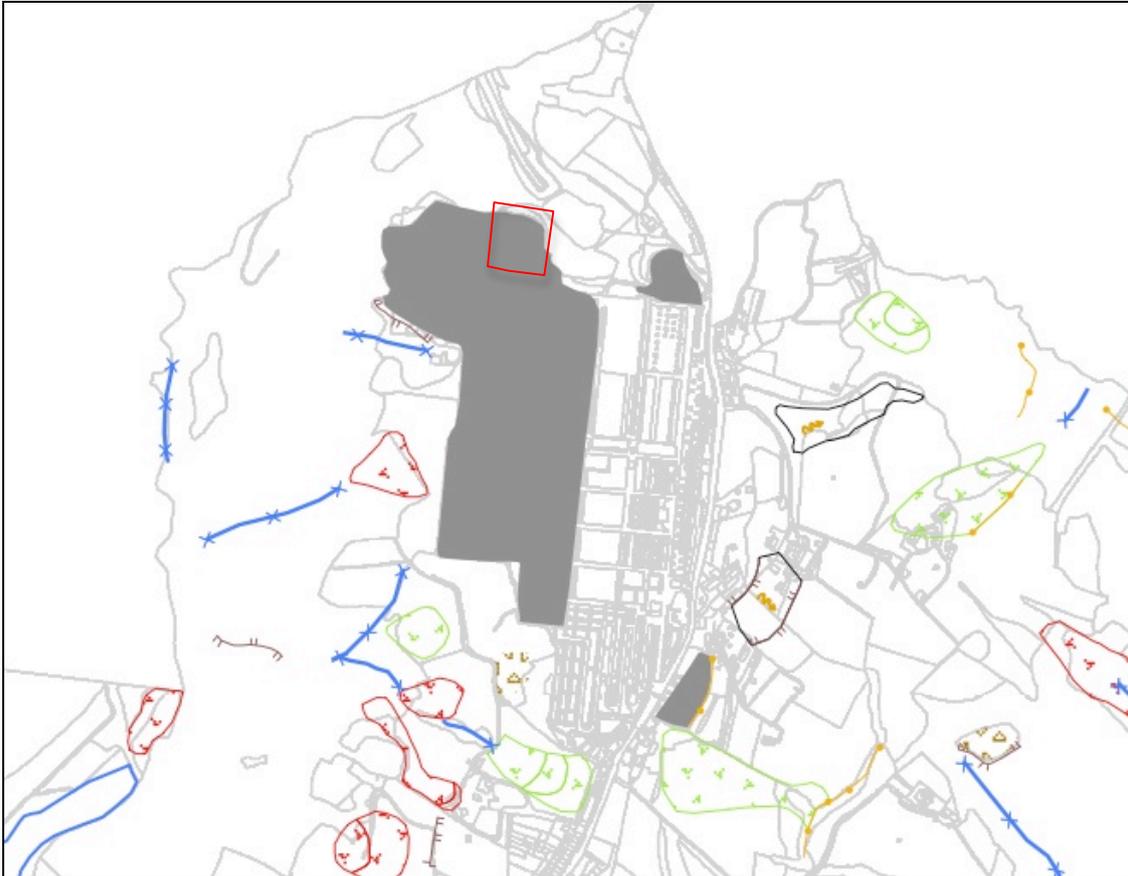




FIG.8 – CARTA GEOMORFOLOGICA (ESTRATTA DALLA CARTA GEOMORFOLOGICA DEL R.U.C.)

## 7 INQUADRAMENTO IDROLOGICO E IDROGEOLOGICO

Il drenaggio del versante occidentale è compiuto dal Torrente Terzollina che scorre a circa 500 metri dall'area di progetto, a una quota di circa 200 mt s.l.m., mentre, il drenaggio della parte orientale della collina è espletato dal Torrente Mugnone. Entrambi sono aste di primaria importanza essendo l'area di progetto la zona di spartiacque fra i due bacini.

La valutazione idrogeologica di una roccia, si basa su un parametro, la permeabilità, che rappresenta la maggiore o minore conduttività dell'ammasso roccioso nei confronti di un fluido; essa è definita "primaria" se è dovuta alla presenza di vuoti e interstizi tra i granuli di un terreno sciolto, "secondaria" se è dovuta alla presenza di fratture nelle rocce lapidee.

Con riferimento alla circolazione idrica sotterranea, all'interno della coltre di materiale incoerente la permeabilità è di tipo primario, poiché direttamente proporzionale alla percentuale dei vuoti intercomunicanti presenti all'interno dei depositi stessi. Nei livelli prevalentemente limoso - argillosi la permeabilità è molto bassa o addirittura assente.

In genere si può, invece, avere intensa circolazione idrica superficiale o ipodermica assai disorganizzata, riscontrabile in corrispondenza di orizzonti a maggiore prevalenza sabbioso - ghiaiosa.

Da un punto di vista idrogeologico, la formazione di Sillano, affiorante sotto la coltre di detrito indifferenziato superficiale, presenta una certa eterogeneità litologica, che si riflette anche sulle caratteristiche di permeabilità. In particolare le argilliti e le marne possono essere considerate in pratica impermeabili (termini acquicludi): in tali materiali le componenti orizzontali e verticali del moto dell'acqua sono trascurabili; l'acqua può essere presente sotto forma di ritenzione, non soggetta a gravità.

I calcari marnosi possono invece presentare permeabilità secondaria in corrispondenza di fasce rocciose intensamente fratturate (termini acquitardi): in essi la componente orizzontale del moto è pressoché trascurabile; si possono invece verificare importanti movimenti verticali.

Tali calcari si possono quindi configurare come "acquifero fratturato", caratterizzato da "doppia porosità". La circolazione principale avviene cioè nel reticolo esistente di macro-fratture: poiché queste occupano un volume trascurabile dell'ammasso, anche l'immagazzinamento idrico è trascurabile. Esso è invece a carico della micro-fratturazione dell'ammasso roccioso, entro cui si sviluppa una circolazione più lenta ma più estesa, con caratteristiche simili a quella dei mezzi porosi.

In dettaglio, l'area studiata è stata indagata tramite la realizzazione di piezometri a tubo aperto, nei quali non è stata mai osservata la presenza di un livello freatico né stabile né temporaneo.

## 8 CARATTERIZZAZIONE DEL TERRENO DI FONDAZIONE

Per esporre una corretta caratterizzazione geotecnica e litologica dei terreni interessati, sono state prese in considerazione le indagini di dettaglio eseguite negli anni 2005-2014. In fig. 9 si riporta uno stralcio dell'ubicazione delle indagini eseguite negli anni.

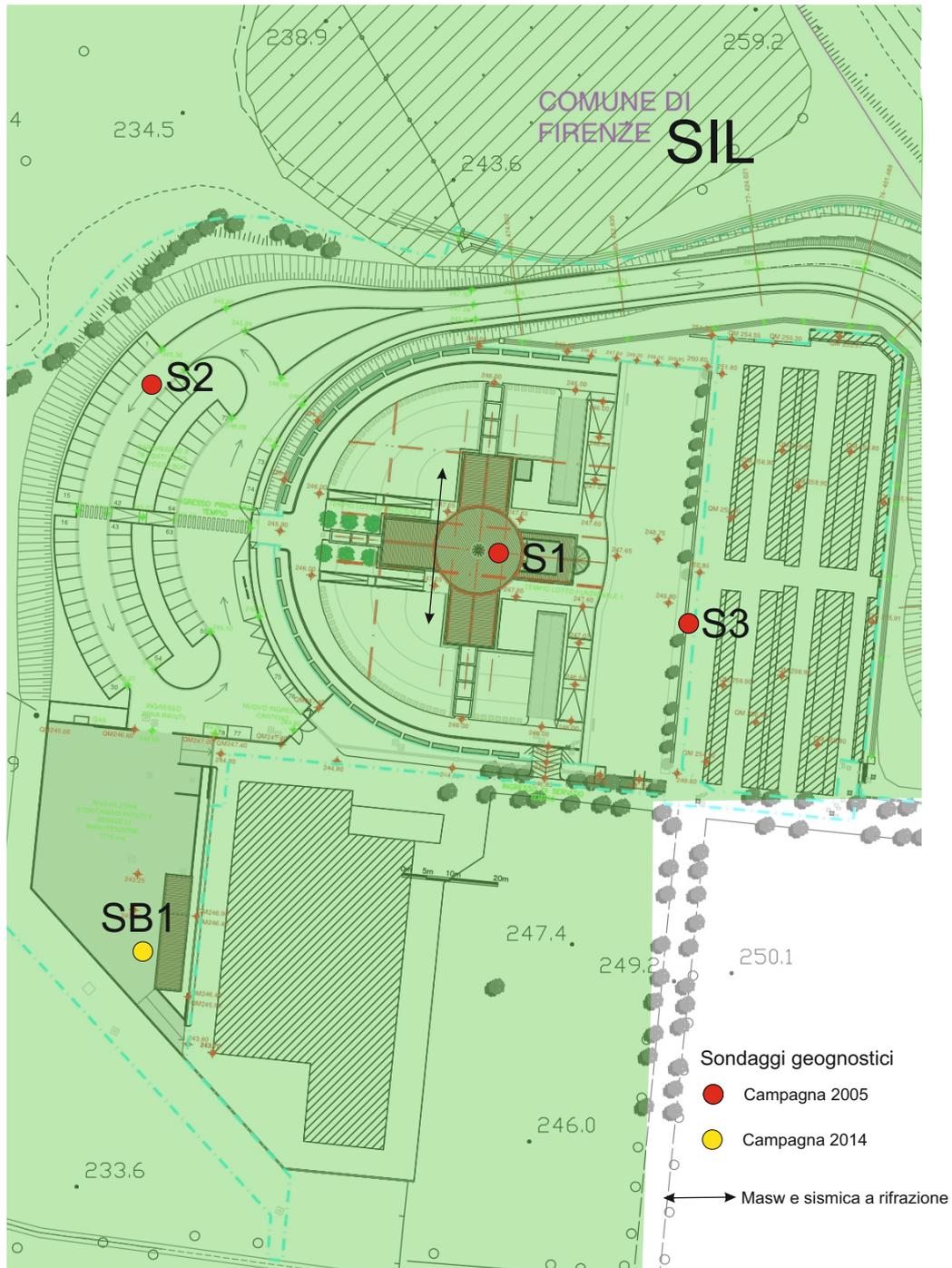


FIG.9 – STRALCIO UBICAZIONE INDAGINI

## INDAGINI ANNO 2005

### 8.1 - SONDAGGI GEOGNOSTICI

Sono stati eseguiti tre sondaggi geognostici a carotaggio continuo di cui uno (S2) spinto fino a profondità di 10 mt dal locale p.c., e due (S1 e S3) spinti fino a 15 metri da p.c. locale, durante i quali sono stati prelevati campioni indisturbati, sottoposti ad analisi e prove geotecniche di laboratorio (paragrafo 8.1.2).

Il materiale prelevato durante la perforazione è stato poi riposto in cassette catalogatrici in modo tale da permettere una ricostruzione stratigrafica corretta e dettagliata dei terreni attraversati. Si precisa che le verticali di sondaggio hanno raggiunto ed attraversato sufficientemente i materiali tipici della Formazione pseudo litoide di Sillano che raggiunge nella zona spessori nell'ordine di un centinaio di metri.

#### 8.1.1 Ricostruzione stratigrafica

In Allegato A1, si riporta la documentazione stratigrafica e fotografica dei sondaggi geognostici valutati.

Di seguito si riporta una descrizione sintetica della stratigrafia incontrata in ogni sondaggio geognostico.

#### SONDAGGIO S1

| <b>Profondità mt da p.c.</b> | <b>Descrizione litologica</b>   |
|------------------------------|---|
| 0.00 – 1.60                  | Terreno di riporto limoso di colore marrone, con laterizi resti marmorei e lapidei              |
| 1.60 – 4.90                  | Terreno limo argilloso di color nocciola con inclusi ghiaiosi                                   |
| 4.90 – 6.60                  | Argilla limosa con presenza di ghiaia fine il cui contenuto diminuisce con la profondità        |
| 6.60 – 10.50                 | Argilla nocciola con concrezioni calcaree   |
| 10.50 – 13.0                 | Argilla molto compatta di color nocciola con concrezioni calcaree                               |
| 13.0 – 15.0                  | Argilla molto compatta di colore verdastro con striature marroni; presenti concrezioni calcaree |

#### SONDAGGIO S2

| <b>Profondità mt da p.c.</b> | <b>Descrizione litologica</b>  |
|------------------------------|--|
| 0.0 – 2.50                   | Terreno di riporto composto da limo argilloso marrone con livelli di casti arenacei tra 1.10 e 1.30 mt |
| 2.50 – 3.0                   | Terreno di riporto limo argilloso con laterizi   |
| 3.0 – 4.60                   | Argilla limosa di colore marrone scuro con clasti calcareo – arenacei                                  |
| 4.60 – 10.0                  | Argilla limosa di colore nocciola con concrezioni calcaree   |

#### SONDAGGIO S3

| <b>Profondità mt da p.c.</b> | <b>Descrizione litologica</b>  |
|------------------------------|--|
| 0.0 – 0.50                   | Terreno di riporto limoso con ghiaia                                 |
| 0.50 – 1.50                  | Argilla limosa marrone con concrezioni calcaree e clasti fino a 2 cm |

|               |  |
|---------------|--|
| 1.50 – 3.0    | Argilla variegata nocciola con inclusi calcarei                        |
| 3.0 – 5.50    | Argilla compatta color nocciola con concrezioni calcaree millimetriche |
| 5.50 – 6.30   | Ciottoli calcareo arenacei   |
| 6.30 – 8.0    | Argilla variegata nocciola con inclusi calcarei                        |
| 8.0 – 10.0    | Argilla compatta marrone con concrezioni calcaree e clasti fino a 3 cm |
| 10.0 – 10.9   | Blocchi e clasti subangolari calcarei in matrice limosa grigio chiara  |
| 10.90 – 12.10 | Arenaria grigia fratturata   |
| 12.10 – 15.0  | Argilla grigia scura con clasti marnosi, e localmente arenacei         |

### 8.1.2 Analisi e prove geotecniche di laboratorio

Durante le fasi di perforazione è stato prelevato un campione rappresentativo, sottoposto ad analisi e prove geotecniche di laboratorio; queste ultime sono state finalizzate alla determinazione delle proprietà indice, dei parametri caratteristici di resistenza al taglio, prova edometrica, e limiti di Atterberg. Tali prove sono state eseguite nel Laboratorio PANGEO autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e Trasporti D.P.R. 380/01, art.59 – Circolare n.349/99.

Il campionamento indisturbato è stato possibile eseguirlo esclusivamente nei primi tre metri del sondaggio, di sotto ai quali non era possibile effettuare infissione del campionatore *Shelby*, in quanto i depositi si presentavano strutturati con grande quantità di trovanti litoidi e più in profondità caratterizzati da una struttura argilloscistosa. A seguito di quanto sopra, le caratteristiche geotecniche di riferimento al di sotto dei tre metri di profondità, sono state dedotte da *poket*, *vane test* ed SPT.

Nella tabella sottostante sono riportati i parametri ottenuti:

In Allegato A2, si riportano i certificati dell'analisi di laboratorio.

|                                      |          |       |       | S1C1      |
|--------------------------------------|----------|-------|-------|-----------|
| Profondità di prelievo<br>(m da p.c) |          |       |       | 2,4 – 3,0 |
| <b>PARAMETRI FISICI</b>              |          |       |       |           |
| Peso di volume                       | $\gamma$ | kN/mc | 17    |           |
| Contenuto di acqua                   | w        | %     | 15    |           |
| <b>LIMITI DI ATTERBERG</b>           |          |       |       |           |
| Limite di liquidità                  | LL       | *     | 33,56 |           |
| Limite di plasticità                 | LP       | *     | 16,39 |           |
| Indice di plasticità                 | IP       | *     | 17,17 |           |
| <b>PROVA EDOMETRICA</b>              |          |       |       |           |

|  |        |       |       |
|--|--------|-------|-------|
| Indice di compressione                     | Cc     | *     | 0,132 |
| <b>PROVA DI TAGLIO CONSOLIDATO DRENATO</b> |        |       |       |
| Coesione drenata                           | C'     | kN/mq | 54,92 |
| Angolo di attrito interno                  | $\phi$ | °     | 26,9  |

Dall'analisi dei limiti di Atterberg il materiale, secondo la classificazione USCS, appartiene al gruppo CL delle argille inorganiche con plasticità da bassa a media, argille ghiaiose, argille sabbiose e argille limose. Questi dati definiscono un materiale di medio - scarse caratteristiche geotecniche.

Dalla prova edometrica eseguita sono materiali scarsamente comprimibili e senza alcuna predisposizione a fenomeni di rigonfiamento.

### 8.1.3 Prove SPT

Nel foro di sondaggio S1 sono state eseguite delle prove SPT (Standard Penetration Test) utilizzando una batteria di aste con diametro  $\phi = 50$  mm collegata a una punta conica di forma e dimensioni normalizzate. Il sistema di percussione è costituito da un maglio di 63,5 kg che cade liberamente da un'altezza di 76 cm.

I risultati delle prove sono riportati nella tabella seguente:

| sondaggio | profondità (m) | numero colpi | $N_{spt}$ |
|-----------|----------------|--------------|-----------|
| <b>S1</b> | 7,0 – 7,45     | 12/31/Rif    | Rif       |
| <b>S1</b> | 13,0 – 13,45   | 21/35/Rif    | Rif       |

In linea generale, le prove S.P.T. eseguite nei materiali a granulometria grossolana quali sabbie, ghiaie e ciottoli sovente associati ad una matrice argilloso-limosa compatta, presentano buoni valori di resistenza evidenziati da valori di  $N_{spt} > 30$  e, in taluni casi, dal rifiuto all'avanzamento mentre, valori inferiori si riconoscono litologie di terreni limosi e /o limo sabbiosi.

## INDAGINI ANNO 2014

### 8.2 - SONDAGGI GEOGNOSTICI

E' stato eseguito un sondaggio geognostico spinto fino alla profondità di 10 mt dal locale p.c., durante il quale è stato prelevato un campione indisturbati, sottoposti ad analisi e prove geotecniche di laboratorio (paragrafo 8.2.2).

Il materiale prelevato durante la perforazione è stato poi riposto in cassette catalogatrici in modo tale da permettere una ricostruzione stratigrafica corretta e dettagliata dei terreni attraversati.

#### 8.2.1 Ricostruzione stratigrafica

In Allegato A3, si riporta la documentazione stratigrafica e fotografica del sondaggio geognostico valutato.

Di seguito si riporta una descrizione sintetica della stratigrafia incontrata in ogni sondaggio geognostico.

### SONDAGGIO SB1

| <b>Profondità mt da p.c.</b> | <b>Descrizione litologica</b>   |
|------------------------------|---|
| 0,00 – 1,00                  | Terreno di riporto limoso argilloso con rari frammenti di manufatti lapidei |
| 1,00 – 7,90                  | Terreno limo argilloso di color nocciola plastico                           |
| 7,90 – 10,0                  | Argilla limosa plastica di colore grigio piombo                             |

### 8.2.2 Analisi e prove geotecniche di laboratorio

Durante le fasi di perforazione sono è stato prelevato un campione indisturbato sottoposto ad analisi e prove geotecniche di laboratorio; queste ultime sono state finalizzate alla determinazione delle proprietà indice, dei parametri di resistenza a compressione. Tali prove sono state eseguite nel Laboratorio ELLETI autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e Trasporti D.P.R. 380/01, art.59 – Circolare n.349/99.

Nella tabella sottostante sono riportati i parametri ottenuti:

|   |          |       |      | SB1C1     |
|---|----------|-------|------|-----------|
| Profondità di prelievo<br>(m da p.c)                      |          |       |      | 1,5 – 2,0 |
| <b>PARAMETRI FISICI</b>                                   |          |       |      |           |
| Peso di volume  | $\gamma$ | kN/mc | 19,3 |           |
| Contenuto di acqua  | w        | %     | 23,8 |           |
| <b>PROVA DI TAGLIO CONSOLIDATO DRENATO</b>                |          |       |      |           |
| Angolo di attrito interno                                 | $\phi$   | °     | 18   |           |
| Coesione drenata  | c        | kPa   | 16   |           |
| <b>PROVA DI COMPRESIONE AD ESPANSIONE LATERALE LIBERA</b> |          |       |      |           |
| Coesione non drenata                                      | cu       | KPa   | 137  |           |
| Carico di rottura   | qu       | KPa   | 68,5 |           |

In Allegato A4, si riportano i certificati dell'analisi di laboratorio.

### 8.2.3 Prove SPT

Nel foro di sondaggio SB1, sono state eseguite delle prove SPT (Standard Penetration Test) utilizzando una batteria di aste con diametro  $\phi = 50$  mm collegata a una punta conica di forma e dimensioni normalizzate. Il sistema di percussione è costituito da un maglio di 63,5 kg che cade liberamente da un'altezza di 76 cm.

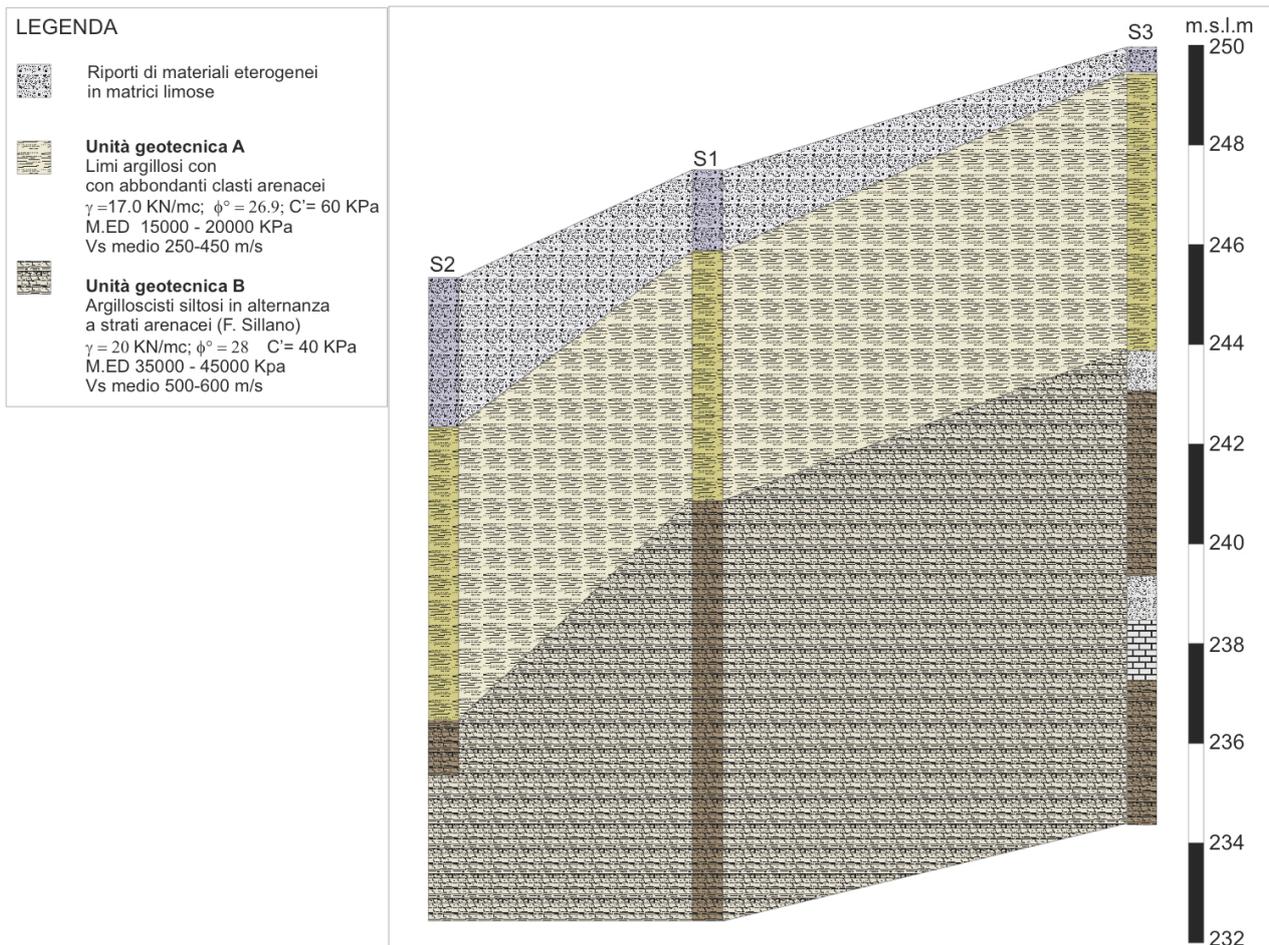
I risultati delle prove sono riportati nella tabella seguente:

| sondaggio  | profondità (m) | numero colpi | $N_{spt}$ |
|------------|----------------|--------------|-----------|
| <b>SB1</b> | 4,50 – 4,95    | 9/11/15      | 26        |
| <b>SB1</b> | 8,20 – 8,65    | 13/15/20     | 35        |

In linea generale, le prove S.P.T. eseguite nei materiali a granulometria grossolana quali sabbie, ghiaie e ciottoli sovente associati ad una matrice argilloso-limosa compatta, presentano buoni valori di resistenza evidenziati da valori di  $N_{spt} > 30$  e, in taluni casi, dal rifiuto all'avanzamento mentre, valori inferiori si riconoscono litologie di terreni limosi e /o limo sabbiosi.

## 9 SEZIONI GEOTECNICHE

Di seguito si riporta la sezione geotecnica rappresentativa dell'area ricostruita mediante le indagini eseguite.



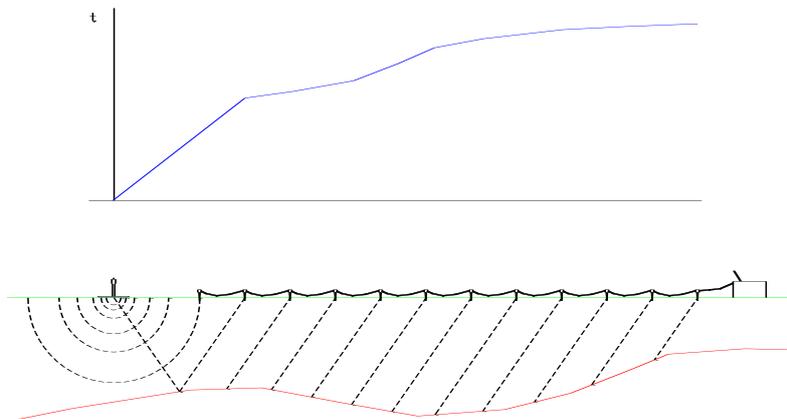
## 10 METODOLOGIA SISMICA A RIFRAZIONE

### 10.1 - GENERALITÀ DELLA METODOLOGIA

Le indagini geosismiche sono state realizzate avvalendosi del metodo sismico a rifrazione, che utilizza la determinazione della velocità di propagazione delle onde longitudinali (onde P) e talvolta trasversali (onde S) nel sottosuolo.

Tali onde sono generate, e si propagano nel terreno, ogniqualevolta quest'ultimo sia sottoposto a sollecitazioni sia di tipo naturale sia artificiale (esplosioni, mazze battenti, ecc.).

La tecnica di prospezione sismica a rifrazione, consiste nella misura dei tempi di primo arrivo delle onde sismiche generate in un punto in superficie (punto di battitura), in corrispondenza di una molteplicità di punti disposti allineati sulla superficie topografica (geofoni). Lo studio della propagazione delle onde sismiche consente di valutare le proprietà meccaniche e fisiche dei terreni e la compattezza dei terreni da queste attraversati.



Mediante questo tipo d'indagine si può risalire alla probabile composizione litologica di massima dei terreni, al loro grado di fratturazione, alla geometria delle prime unità sottostanti la coltre superficiale, alla profondità cui si trova la roccia di fondo ("bedrock"), alla sua forma e talora, in terreni alluvionali, alla profondità della falda freatica.

L'elaborazione dei dati sismici con un completo modello matematico bidimensionale appoggiato da procedure iterative, consente di massimizzare la risoluzione e il dettaglio di ricostruzione del modello di velocità attribuito al terreno in esame.

Utilizzando quindi le distanze tra il punto di battuta e quello di ricezione e i tempi di primo arrivo dei segnali sismici, sono ricavate le dromocroni (curve tempi-distanze), dalle quali si risale, tramite opportuno programma di calcolo, alle velocità reali nei singoli strati, al loro spessore, profondità, forma ed inclinazione.

Questa procedura di tipo "classico" è stata seguita per fornire un modello di velocità iniziale alla procedura d'iterazione tomografica. Per questa parte di procedura interpretativa l'algoritmo utilizzato dal programma di calcolo è stato pubblicato nel 1980 da Derecke Palmer in un articolo dal titolo "The Generalized Reciprocal Methods of Seismic Refraction Interpretation (Society of Exploration Geophysicists).

## 10.2 - UNITÀ DI ACQUISIZIONE DATI

Per registrare simultaneamente gli impulsi sismici rilevati dai geofoni, è necessario l'utilizzo di una strumentazione elettronica multicanale, a bassissimo rumore interno, ad alta velocità di campionamento, dotata di supporto magnetico per la registrazione dei dati ottenuti dopo opportuna amplificazione filtraggio e conversione analogico/digitale. A questo scopo è stato utilizzato un sismografo PASI 16S12 a 24 canali.

## 10.3 - APPARATO DI RICEZIONE

Per registrare le vibrazioni del terreno sono stati utilizzati 12 e 24 geofoni del tipo elettromagnetico a bobina mobile con frequenza caratteristica di 12 Hz, che consentono di convertire in segnali elettrici gli

spostamenti che si verificano nel terreno. Questi ricevitori erano collegati al sismografo tramite degli appositi cavi multipolari.

#### **10.4 - APPARATO DI ENERGIZZAZIONE**

Per generare le onde sismiche è stata utilizzata una mazza battente del peso di 10 kg. L'impulso del colpo è rilevato da un sensore piezoelettrico e trasmesso immediatamente al sismografo per consentire una registrazione sincronizzata al tempo 0.

Nella sezione sismica realizzata, sono stati allineati 24 geofoni a passo costante di 2,5 metri, ed è stata energizzata in cinque punti.

#### **10.5 - ACQUISIZIONE DEI DATI**

L'acquisizione di dati è avvenuta dopo le opportune verifiche di corretto funzionamento della strumentazione e del circuito di time-break (tempo 0). Per controllare la qualità dei dati acquisiti ogni energizzazione è stata stampata immediatamente su carta termica.

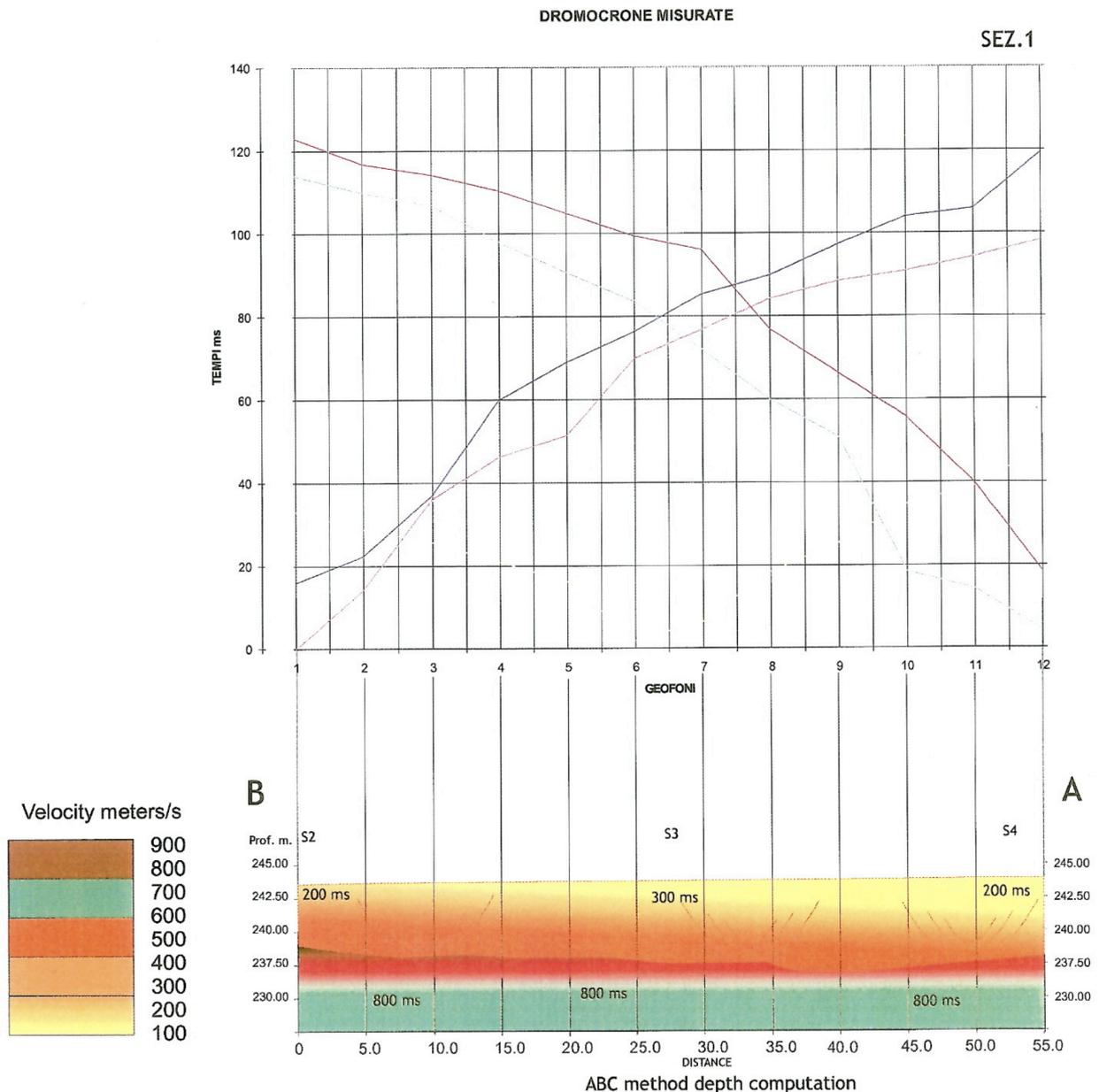
#### **10.6 - ELABORAZIONE DEI DATI**

- La procedura elaborativa è sinteticamente descrivibile nei passi seguenti.
- Trasferimento dei sismogrammi al programma di prelevamento dei tempi di primo arrivo
- Emissione delle dromocrone misurate sia in forma grafica che in forma leggibile dal programma di elaborazione tradizionale basato su l'algoritmo GRM (Generalized Reciprocal Method).
- Immissione dei valori delle quote dei geofoni e delle battute nel programma di interpretazione GRM e lettura delle dromocrone misurate.
- Elaborazione dei dati e interpretazione tradizionale.
- Emissione delle sezioni interpretate riportanti le interfacce fra strati di diversa velocità sismica e i valori stessi di velocità. Si noti che le velocità sismiche attribuite a ciascun strato sono caratterizzate da un gradiente nullo in direzione verticale (sono costanti in verticale per ciascuno strato). Vi è un'utile possibilità di modellizzare con la procedura GRM delle variazioni orizzontali di velocità che comunque sono discrete e non continue.
- Emissione di un file riportante l'ubicazione e la quota di ciascun punto di battuta e di ciascun geofono, leggibile dal programma d'iterazione tomografica e di ray-tracing (tracciamento dei percorsi dei raggi sismici).
- Emissione del modello bidimensionale del terreno ricavato dalla procedura GRM sotto forma di una matrice a celle di dimensione definibile (inferiori al metro), adatta a essere letta dal programma di ray-tracing e di elaborazione tomografica. L'interpretazione GRM viene quindi a fornire il modello iniziale delle velocità del terreno, necessario ad attivare le iterazioni del completo modello matematico bidimensionale (modellizzazione tomografica). Il terreno è quindi suddiviso in celle di dimensione minima, ciascuna dotata di una diversa velocità sismica e ciascuna pronta a essere modificata dalla procedura d'iterazione tomografica allo scopo di ridurre al minimo l'errore fra le dromocrone calcolate in base al modello di terreno e quelle effettivamente misurate durante la prospezione.
- Il file contenente le ubicazioni e le quote è letto dal programma tomografico assieme al file contenente la matrice di velocità e la procedura di ray-tracing e di controllo è attivata.
- Per prima cosa è controllata la correttezza delle ubicazioni dei sensori e dei colpi e quindi sono visionati i percorsi dei raggi sismici e valutato il primo "fitting" con i dati misurati, allo

scopo di iniziare la procedura tomografica senza la presenza di errori sistematici previamente correggibili.

- Lo scopo della procedura iterativa tomografica è quello di ridurre l'errore fra i tempi delle dromocrone calcolate in base al modello rispetto a quelle effettivamente misurate. Questo avviene per approssimazioni successive (iterazioni) controllate dall'operatore al quale è possibile intervenire nella scelta di molti coefficienti che influenzano il calcolo come anche nella scelta della procedura stessa che viene utilizzata per realizzare la minimizzazione degli errori.
- Il risultato finale sarà una matrice rappresentativa del terreno indagato costituita da celle, ciascuna caratterizzata da una velocità sismica e tale complessivamente da presentare un errore minimo se utilizzata nella procedura di tracciamento dei raggi sismici.
- Questa matrice è visualizzata tramite un opportuno programma di contouring utilizzando, se ritenuto necessario, diversi colori per diverse velocità.

## 10.7 - RISULTATI



La sezione sismica A - B indagata per la lunghezza di 55 m evidenzia la presenza di terreni con velocità comprese tra 0.2 e 0.3 km/sec nei primi 6.0 m circa dal p.c.. Tali velocità sono riconducibili a materiali a netta composizione argillosa con valori più alti in corrispondenza dei livelli ghiaiosi. Al di sotto di tale profondità si hanno valori di velocità intorno a 0.8 km/sec riconducibili a materiali argillosi compatti

## 11 INDAGINE SISMICA MASW

### 11.1 - INTRODUZIONE

Al fine di determinare la risposta sismica locale dell'area di studio è stata eseguita una serie di registrazioni MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves, analisi della dispersione delle onde di Rayleigh da misure di sismica attiva – e.g. Park et al., 1999) utili a definire il profilo verticale della Vs (velocità di propagazione delle onde di taglio).

Nel loro insieme, le procedure adottate sono state eseguite in accordo alle norme tecniche per le costruzioni del DM 14 gennaio 2008 (ex DM 14/09/2005). Queste fanno risalire la stima dell'effetto di sito alle caratteristiche del profilo di velocità delle onde di taglio Vs.

La classificazione dei terreni è stata quindi svolta sulla base del valore della Vs30 (il valore medio ponderato della Vs nei primi 30 m di profondità) definita dalla relazione:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum \frac{h_i}{V_{s_i}}}$$

in cui Vs<sub>i</sub> e h<sub>i</sub> sono rispettivamente la velocità delle onde di taglio e lo spessore dell'i-esimo strato.

### 11.2 - ACQUISIZIONE SISMOGRAMMI

Gli impulsi sismici registrati dai geofoni posti sulla superficie topografica sono stati acquisiti utilizzando un sismografo a 24 canali della ditta Pasi srl a 16 bit. La linea geofonica è stata realizzata tramite 24 geofoni R.T. Clark a 4.5 Hz uniti a cavi Geospace. La distanza intergeofonica adottata è di m 2 il tempo di registrazione degli impulsi è di 1 sec.. L'energizzazione è stata effettuata tramite una mazza da 10 kg agente su una piastra metallica e Trigger con Offset rispettivamente di m 2,0 – m 5.0 – 10 m. La disposizione dell'indagine è riportato in fig.9.

### 11.3 - METODO

Le prospezioni sismiche Multichannel Analysis of Surface Wave (MASW) permettono di determinare la velocità di propagazione delle onde di taglio S attraverso l'analisi delle onde di superficie o di Rayleigh. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di base o di gruppo (Achenbach, J.D. 1999, Aki, K. And Richards, P.G. 1980) o detto in maniera equivalente la velocità di base (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione. La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi diffondono informazioni sulla parte più superficiale del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano in profondità e quindi vanno a interessare gli strati più profondi del suolo. Il metodo d'indagine Multichannel Analysis of Surface Wave (MASW) si distingue in metodo attivo e metodo passivo (Zywicki, D.J. 1999) o in una combinazione di entrambi. Il metodo attivo utilizzato per la seguente prospezione, acquisisce la misura delle onde superficiali da uno stendimento lineare di geofoni energizzato in asse con lo stendimento stesso. Il metodo attivo consente di ottenere una velocità di fase (curva di dispersione) sperimentale apparente nel range di frequenze comprese tra 5 Hz e 70 Hz, quindi dà informazioni sulla parte più superficiale del suolo, sui primi 30 – 50 metri in funzione della rigidità del suolo. La profondità massima di penetrazione è determinata dalla relazione fra velocità di propagazione dell'onda e le sue frequenze, quindi la geometria dello stendimento interferisce in maniera trascurabile.

La prospezione MASW si realizza con un Array da 24 o più geofoni con distanza intergeofonica di solito variabile tra 0.5 e 2 metri. Gli Offset vengono effettuati con distanze massime di 10 metri. Per le

acquisizioni si prevedono tempi di registrazione lunghi nell'ordine di 1-2 secondi con intervallo di campionamento compreso tra 0.25 – 1 ms.

I dati MASW sono stati elaborati (determinazione spettro di velocità, identificazioni curve di dispersione, inversione/modellazione di queste ultime) per ricostruire il profilo verticale della velocità delle onde di taglio Vs. Per le analisi dei dati acquisiti si è adottato il software winMASW 4.2 Pro.

#### 11.4 - CONCLUSIONI

I dati acquisiti (Fig. 10) sono stati elaborati (determinazione spettro di velocità, identificazione curve di dispersione, inversione e modellazione) per ricostruire il profilo verticale delle velocità delle onde di taglio Vs.

I risultati dell'elaborazione riportati in (Fig. 11) mostrano lo spettro determinato con il piking delle curve di dispersione e le curve del modello individuato dall'inversione evidenziato anche nella tabella 1 e nelle (Fig 12 e Fig 13).

L'analisi della dispersione delle onde di Rayleigh a partire da dati di sismica attiva (MASW) ha consentito di determinare il profilo verticale della Vs (e del modulo di taglio) e, di conseguenza, del parametro Vs30. Il calcolo delle Vs eseguito evidenzia una velocità media pari a **320 m/s**.

Rispetto alle norme tecniche per le costruzioni (DM 14 gennaio 2008, ex DM 14/09/2005) il sito in esame rientra quindi nella **categoria C** (Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 metri caratterizzati da miglioramento graduale delle proprietà meccaniche con l'aumentare della profondità con valori delle Vs30 compresi tra 180 ms e 360 ms).

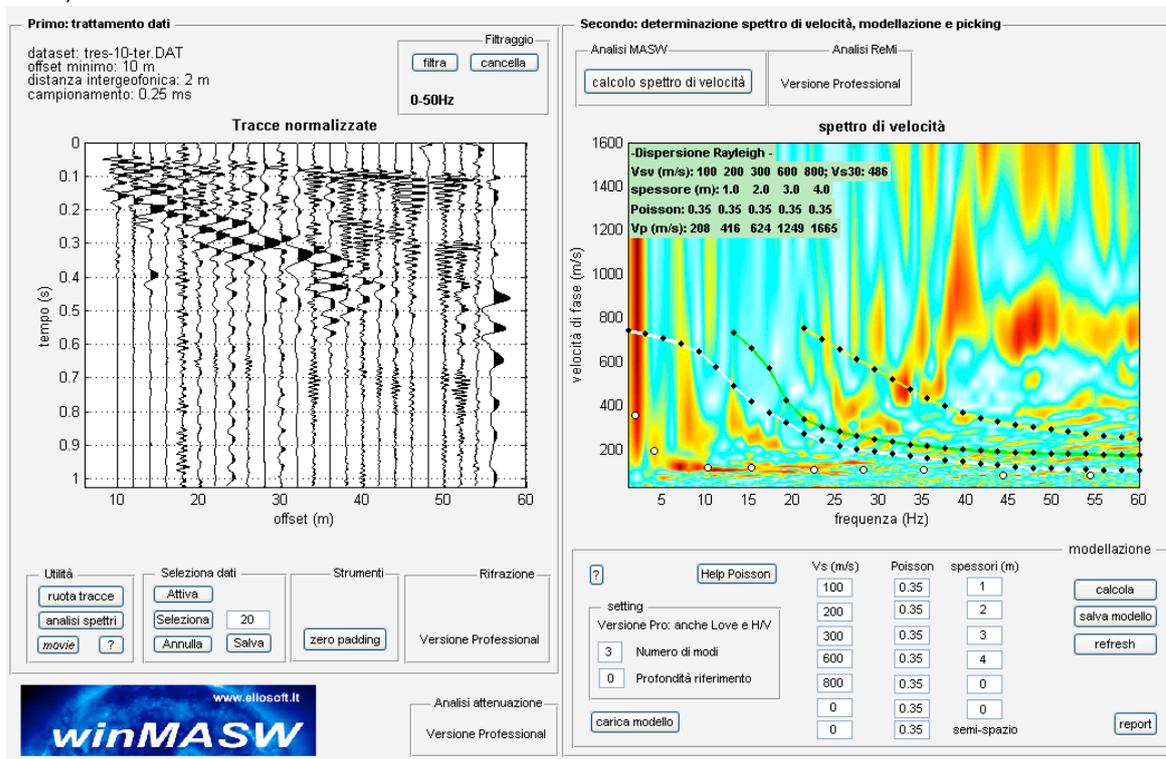


FIG.10 – SISMOGRAMMA E SPETTRO DI VELOCITA' CALCOLATO

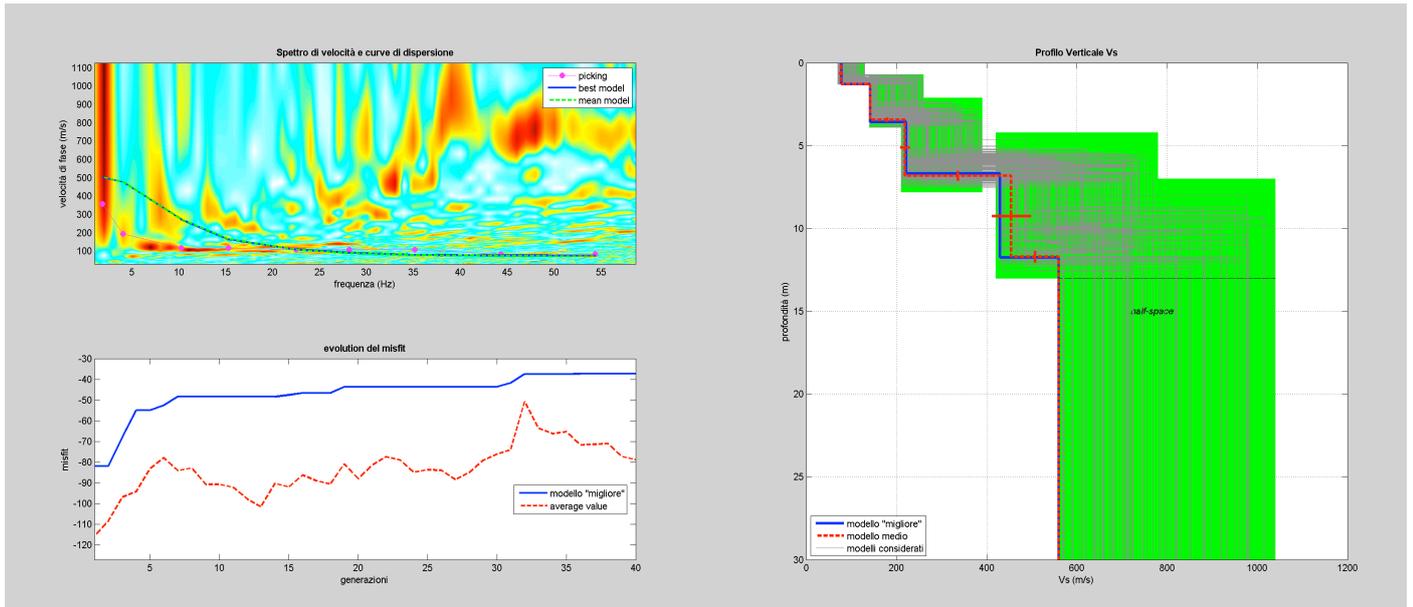


FIG.11 – INVERSIONE DELLA CURVA DI DISPERSIONE - PROFILO VERTICALE VS

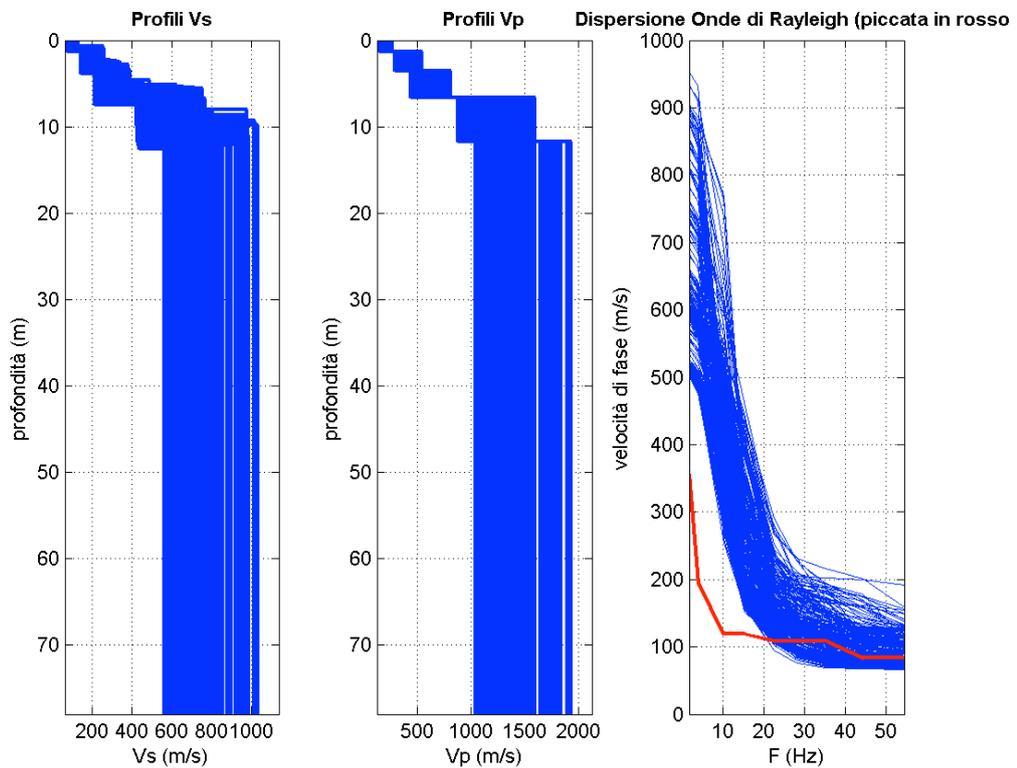


FIG.12 – MODELLI DI PROFILO VP - VS

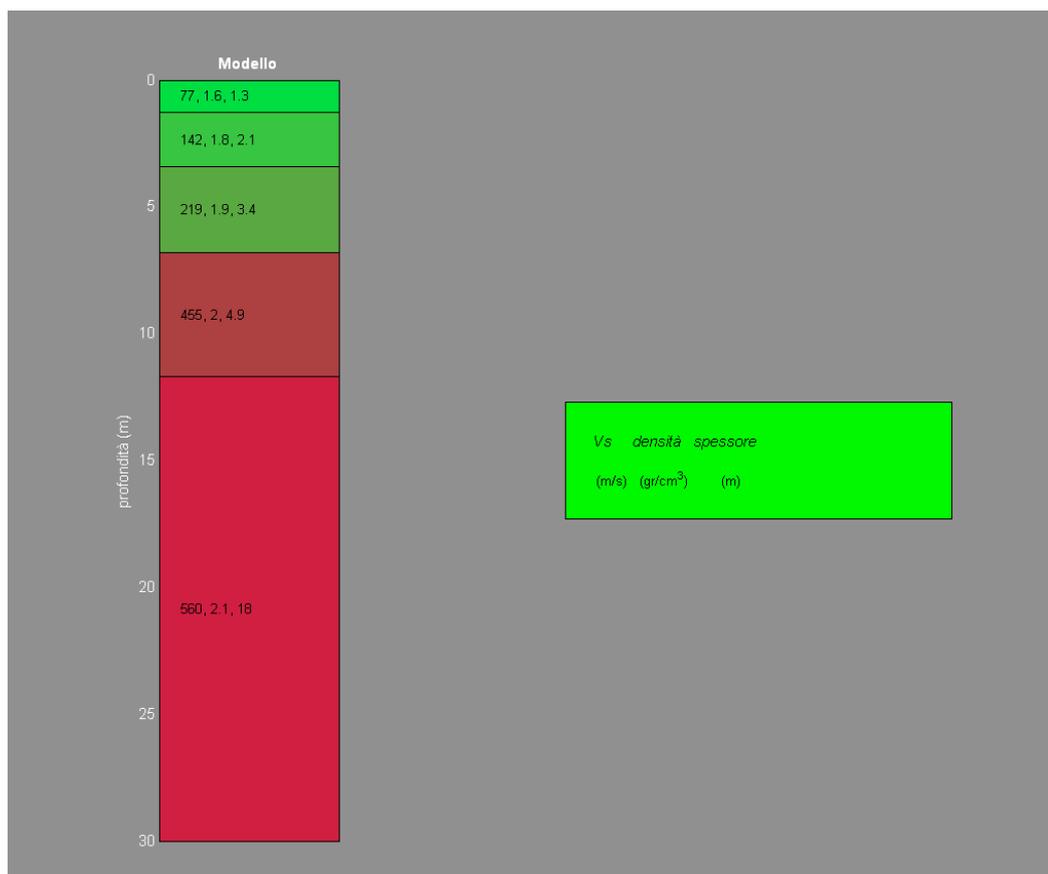


FIG.13 – STRATIGRAFIA ONDE SH

| STRATI | MODELLO  | SPESSORE    | Vp   | Vs  | $\gamma$ | $\nu$ | E    | G   | K    |
|--------|----------|-------------|------|-----|----------|-------|------|-----|------|
|        |          | m           | m/s  | m/s | gr/cmc   | "     | Mpa  | Mpa | Mpa  |
| 1      | medio    | 1.30        | 160  | 77  | 1.61     | 0.35  | 26   | 10  | 29   |
|        | migliore | 1.30        | 146  | 78  | 1.62     | 0.35  | 27   | 10  | 30   |
| 2      | medio    | 2.10        | 300  | 142 | 1.76     | 0.35  | 96   | 35  | 107  |
|        | migliore | 2.26        | 296  | 142 | 1.76     | 0.35  | 96   | 37  | 107  |
| 3      | medio    | 3.40        | 456  | 219 | 1.87     | 0.35  | 241  | 89  | 268  |
|        | migliore | 3.12        | 461  | 221 | 1.87     | 0.35  | 248  | 92  | 274  |
| 4      | medio    | 4.90        | 874  | 455 | 2.03     | 0.35  | 1141 | 357 | 1267 |
|        | migliore | 5.06        | 895  | 430 | 2.02     | 0.35  | 1012 | 375 | 1124 |
| 5      | medio    | Semi-spazio | 1048 | 560 | 2.07     | 0.30  | 1684 | 648 | 1405 |
|        | migliore | Semi-spazio | 1048 | 560 | 2.07     | 0.30  | 1684 | 648 | 1405 |

Tab. 1 Tabella riassuntiva dei parametri dinamici calcolati per gli spessori discriminati:

**Vp**: Onde di compressione stimate;

**Vs**: Onde di taglio;

$\gamma$ : Peso di volume;

$\nu$ : Modulo di Poisson;

**E**: Modulo elastico di Young;

**G**: Modulo di taglio;

**K**: Modulo di compressione.

## 12 CONDIZIONI GEOLOGICHE IN AMPLIFICAZIONE SISMICA

Con l'entrata in vigore del D.M. 14 gennaio 2008 (di seguito NTC 2008) la stima della pericolosità sismica, intesa come accelerazione massima orizzontale su suolo rigido, è definita mediante un approccio "sito-dipendente" e non più tramite un criterio "zona-dipendente". In sintesi, non si progetta più stimando l'azione sismica a partire dalla "zona", ma calcolandola ad hoc per il sito di progetto, inserendo la localizzazione nella mappa nazionale di pericolosità (Allegato B delle NTC 2008). Ne consegue che la classificazione sismica del territorio è scollegata dalla determinazione dell'azione sismica di progetto, mentre rimane il riferimento per la trattazione di problematiche tecnico-amministrative connesse con la stima della pericolosità sismica.

Alla luce soprattutto del mutato approccio progettuale, preme l'esigenza di aggiornare l'elenco riguardante la classificazione sismica, anche con riferimento al ruolo cautelativo esercitato dal 2006 dalla zona 3S.

Si ricorda, infatti, che il fondamento giuridico della zona 3S, introdotta con la delibera di Giunta n. 431/2006 (con la funzione amministrativa di determinazione del campione da assoggettare a verifica), era rappresentato dal comma 3bis dell'art. 96 della l.r. n. 1/2005, che è stato abrogato dalla l.r. 4 del 31 gennaio 2012.

Con la Delibera n°878 del 10 ottobre 2012 si è cercato di superare la zona 3s e di verificare per quali comuni è possibile ipotizzare l'inserimento in zona sismica 2 e per quali la conferma in zona sismica 3.

I metodi utilizzati per l'aggiornamento della classificazione sismica regionale, sono stati distinti secondo tre step di approfondimento:

- STEP 1: selezione dei comuni di zona 3 e 3s con presenza di aree ad accelerazione  $a_g > 0,15 g$ ;
- STEP 2: calcolo per ognuno dei suddetti comuni della percentuale di area ad accelerazione  $a_g > 0,15g$ ;
- STEP 3: calcolo per ognuno dei comuni della percentuale di popolazione residente e di abitazioni presenti in area ad accelerazione  $a_g > 0,15 g$ .

Anche secondo la Deliberazione del 26 maggio 2014, n.421, il comune di Firenze rimane perimetrato in zona 3.

### 12.1- LIQUEFAZIONE DEI TERRENI

Ai fini del D.M. 14/01/2008, il termine liquefazione denota una diminuzione di resistenza al taglio e/o di rigidezza causata dall'aumento di pressione interstiziale in un terreno saturo non coesivo durante lo scuotimento sismico, tale da generare deformazioni permanenti espressive o persino l'annullamento degli sforzi efficaci del terreno (il terreno raggiunge condizioni di fluidità pari a quella di una massa viscosa).

Il verificarsi di fenomeni di liquefazione non necessariamente produce una perdita di funzionalità o un collasso delle strutture interagenti con il terreno.

Secondo quanto riportato nella normativa, il sito presso il quale deve essere ubicato un manufatto deve essere stabile nei confronti della liquefazione.

Come riportato nella NTC del D.M. 14/01/2008, la verifica alla liquefazione può essere omessa quando si manifesta almeno una delle seguenti condizioni:

1. Eventi sismici attesi con magnitudo  $M$  inferiore a 5;
2. Accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di  $0,1g$ ;
3. Profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, dal piano campagna, per piano campagna sub orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
4. Depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N1)60 > 30$  oppure  $qc1N > 180$  dove  $(N1)60$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Trst) normalizzata a una tensione efficace

- verticale di 100 Kpa e  $q_{c1N}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata a una tensione efficace verticale di 100 Kpa;
5. Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate dalla figura 14 nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3,5$  ed in figura 15 nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3,5$ .

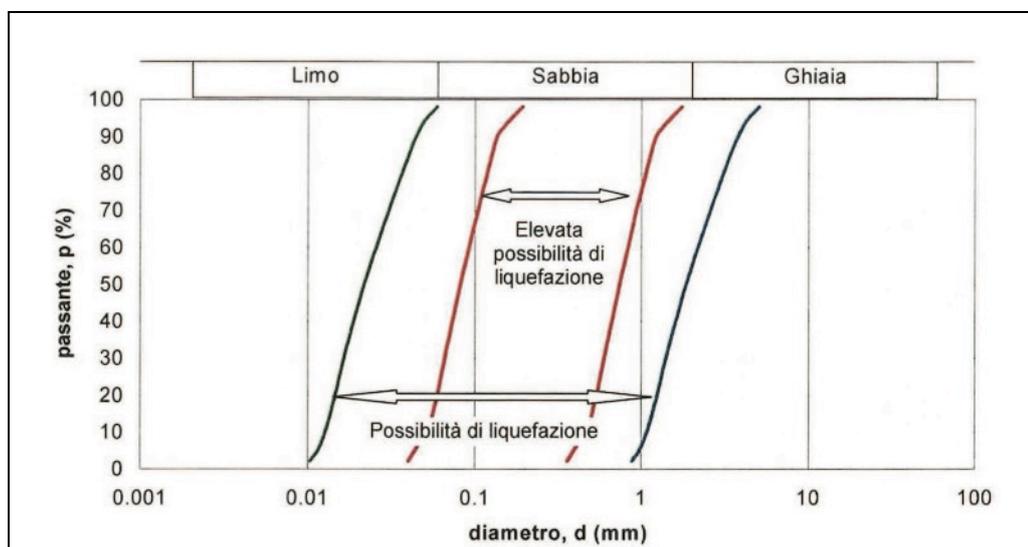


FIG.14 – FUSI GRANULOMETRICI DI TERRENI SUSCETTIBILI A LIQUEFAZIONE ( $U_c < 3,5$ )

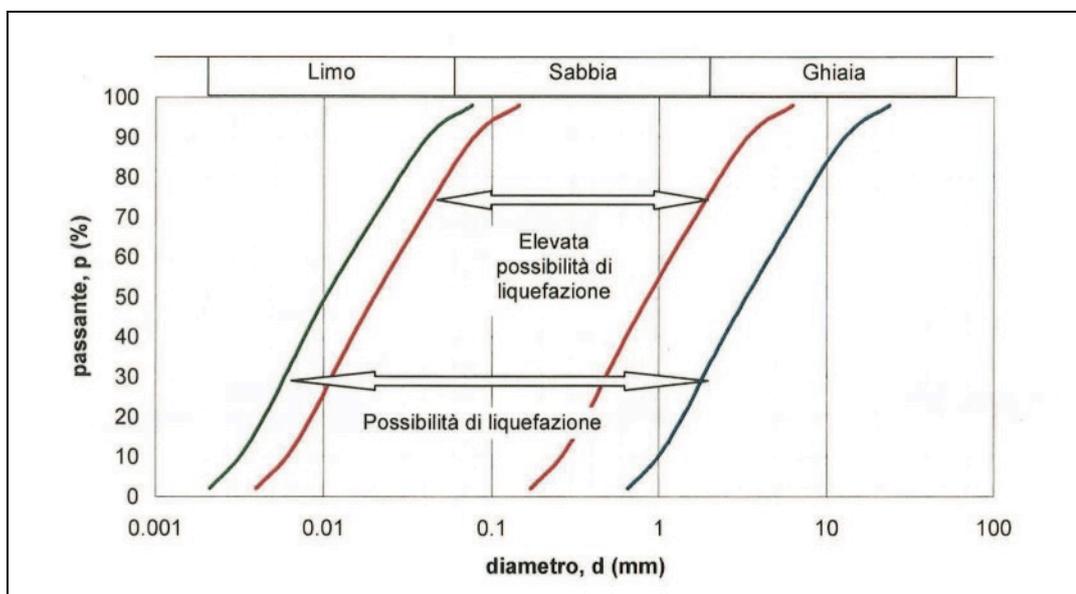


FIG.15 – FUSI GRANULOMETRICI DI TERRENI SUSCETTIBILI A LIQUEFAZIONE ( $U_c > 3,5$ )

Per l'area d'interesse non sussistono le condizioni per il verificarsi di fenomeni di liquefazione.

### 13 CONCLUSIONI

Il presente lavoro ha lo scopo di stilare le caratteristiche geologiche, idrogeologiche, e geotecniche dei terreni che saranno interessati dalla costruzione del nuovo tempio crematorio del Comune di Firenze.

L'area d'intervento è localizzata lungo la via Bolognese nel Comune di Firenze.

In conformità a quanto emerso dal presente studio, si rileva quanto segue:

- L'area è posta in zona collinare a una quota indicativa compresa di 245 metri s.l.m., a sud dell'abitato di Pian di San Bartolo.
- La collina interessata è caratterizzata da pendenze variabili tra il 10 ed il 25%.
- In fase di sopralluogo, a conferma di quanto riportato nella carta geomorfologica allegata al R.U.C., non sono state rilevate forme e processi che denotino instabilità dell'area.
- Dalla consultazione della cartografia geologica, prodotta per il Progetto CARG della Regione Toscana sezione 263160, l'intervento è collocato su terreni costituiti da coltri detritiche indifferenziate, sotto alle quali si ritrovano, terreni riconducibili alla **Formazione di Sillano (SIL)**. La Formazione di Sillano, è costituita da argilliti varicolori con irregolari intercalazioni di arenarie quarzoso-calcaree e calcareniti, finemente stratificate, marne e calcari marnosi grigio chiari, costituiti da sabbie argillose con orizzonti e lenti di sabbie e conglomerati.
- Dai sondaggi geognostici effettuati, si rileva la presenza in superficie di materiali a netta componente limo argillosa inglobanti abbondante quantità di materiale litoide (di prevalente origine calcarea e calcareo – marnosa) distinto in pezzature comprese tra 3 e 10 cm. Si precisa che le verticali di sondaggio hanno raggiunto ed attraversato sufficientemente i materiali tipici della Formazione pseudo litoide di Sillano che raggiunge, nella zona, spessori nell'ordine di un centinaio di metri.
- Da un punto di vista idrogeologico, l'area studiata è stata indagata tramite la realizzazione di piezometri a tubo aperto, nei quali non è stata mai osservata la presenza di un livello freatico né stabile né temporaneo.

Ai fini del vincolo idrogeologico presente si dovranno rispettare le seguenti richieste:

- ART.74 - REGIMAZIONE DELLE ACQUE: Nei terreni vincolati è fatto obbligo di assicurare che il deflusso delle acque superficiali avvenga senza determinare fenomeni di erosione o di ristagno; i lavori non dovranno creare ostacoli al naturale deflusso delle acque meteoriche che non dovranno creare effetti di ristagno ed erosione nei terreni oggetto d'intervento; durante le fasi di cantiere, e soprattutto in fase di scavo, le acque provenienti dai terreni posti a monte, dovranno essere allontanate tramite naturali fossetti senza determinare fenomeni di erosione e ristagno;
- ART.75 – INDAGINI GEOLOGICHE: Le verifiche di stabilità saranno trattate nell'elaborato geotecnico (DG 3.03). Gli scavi, saranno comunque realizzati senza provocare danni e/o deviazioni a livello idrogeologico. Durante l'esecuzione dei lavori, sarà accertata in loco la rispondenza delle indagini geologiche e delle previsioni di progetto, con lo stato effettivo dei terreni, e adottato di conseguenza ogni altro accorgimento necessario ad assicurare la stabilità dei terreni stessi e la regimazione delle acque.
- ART.76 – SCAVI E RIPORTI DI TERRENO: Durante la realizzazione dei lavori e opere che comportino scavi o riporti di terreno non devono essere create condizioni di rischio per il verificarsi di smottamenti, franamenti o altri movimenti gravitativi. Gli scavi, devono essere realizzati in stagioni a minimo rischio di piogge e procedendo per stati di avanzamento tali da consentire la rapida ricolmatura degli stessi o il consolidamento dei fronti con opere provvisorie o definitive di contenimento. Se in fase esecutiva sopraggiungessero condizioni di rischio per la stabilità a breve termine, gli sbancamenti devono procedere per piccoli

settori ed essere eseguiti dall'immediata realizzazione di opere di contenimento. Si può procedere a successivi scavi solo dopo che queste ultime diano garanzia di stabilità. I riporti di terreno devono essere eseguiti in strati, assicurando il graduale compattamento dei materiali terrosi, dai quali devono essere separate le frazioni litoidi di maggiori dimensioni.

- ART.77 – MATERIALI DI RISULTA: I materiali di risulta derivanti dagli scavi prodotti per la realizzazione degli interventi previsti, saranno in parte portati a discarica autorizzata seguendo la procedura dei rifiuti e i parte convogliati in loco per la risistemazione dell'area oggetto di lavori, senza determinare apprezzabili modificazioni di assetto o pendenza dei terreni, evitando in tal modo, che si verifichino fenomeni erosivi o di ristagno delle acque. I materiali terrosi o lapidei eccedenti la risistemazione in loco, devono essere riutilizzati in terreni, dove il riporto degli stessi sia autorizzato o consentito ai fini del vincolo idrogeologico. I materiali lapidei di maggiori dimensioni devono essere separati dal materiale terroso al fine di garantire un omogeneo compattamento e assestamento di questi ultimi. I materiali lapidei possono essere reimpiegati in loco per la sistemazione dell'area oggetto di lavori purché gli stessi siano depositati in condizioni di stabilità e in modo da non ostacolare il regolare deflusso delle acque superficiali. Durante le fasi di cantiere eventuali depositi temporanei di materiali di risulta devono essere sistemati in maniera tale da evitare fenomeni erosivi e/o di ristagno delle acque.

*Dott. Geol. Lorenzo Cirri*



*Dott. Geol. Tamara Cantini Casserini*



Documentazione fotografica e stratigrafie sondaggi geognostici  
(anno 2005)

# DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA: SONDAGGIO N.1



|  |  |  |   |  |   |  |   |  |
|--|--|--|---|--|---|--|---|--|
| <b>SONGEO SRL</b><br><b>SONDAGGI GEOGNOSTICI</b><br>via Calvino, 30 44100 FERRARA tel. 0532 773136<br>E mail <a href="mailto:info@songeo.it">info@songeo.it</a> Sito <a href="http://www.songeo.it">www.songeo.it</a><br>CONCESSIONE MINISTERO DEI LAVORI PUBBLICI N°.....<br>SETTORE C: PROVE IN SITO<br>(AI SENSI DELL'ART. 8 DEL D.P.R. N°246/1993) |  |  | <b>DATA ESECUZIONE</b><br>DAL 1/11/2005 AL 10/11/2005   |  | <b>METODO PERFOR.</b><br>CAROTAGGIO CONTINUO                        |  | <b>SONDAGGIO</b><br><b>N. 1</b>                       |  |
| <b>QUOTA</b><br><b>P. C.</b>   |  |  | <b>ATTREZZI</b><br>Carotiere semplice $\Phi$ 101 mm<br>Rivestimento metallico $\Phi$ 127 mm           |  |   |  | <b>SONDA IDRAULICA</b><br>CMV MK 420                  |  |
| <b>COMMITTENTE</b> SGF<br><b>LOCALITA'</b> Cimitero di Trespiano (FI)  |  |  | <b>PIEZOMETRO</b> Piezometro $\Phi$ 2": lunghezza 15 m; fessurato da -3 a -15 m, cieco da -3 m a p.c. |  | <b>LIVELLO ACQUA</b><br>DATA Mt. dal P.C.                           |  | <b>PROF. FORO</b> 15,00<br><b>PROF. RIVEST.</b> 15,00 |  |
| <b>NOTE</b>  |  |  | <b>CAMPIONI</b><br>CAROTIERE SEMPLICE<br>SPT<br>INDISTURBATI  |  | <b>ASSISTENTI</b><br>G. Fantini<br><b>OPERATORI</b><br>R. Sacchetti |  |   |  |

| mt. | QUOTA da P.C. | SIMBOLOGIA | CAMPIONI |      |       | DESCRIZIONE STRATIGRAFICA   | POCKET kg/cm <sup>2</sup> | TORVANE kg/cm <sup>2</sup> | PIEZOMETRO                                  |
|-----|---------------|------------|----------|------|-------|---|---------------------------|----------------------------|---|
|     |               |            | TIPO     | NUM. | PROF. |   |                           |                            |   |
| 1   | 1,60          |            |          |      |       | Terreno di riporto limoso marrone con laterizi, resti marmorei e lapidei.                               |                           |                            | TUBO IN PVC CIECO $\Phi$ 2"                 |
| 2   |               |            |          |      |       | Limo argilloso color nocciola con presenza di ghiaia fine i cui clasti non superano i 2 cm di diametro. |                           |                            |   |
| 3   | 4,90          |            | SH 1     | 2,40 | 3,00  |   |                           |                            | Misceia di cemento e Bentonite<br>Bentonite |
| 4   |               |            |          |      |       |   |                           |                            |   |
| 5   |               |            |          |      |       |   |                           |                            |   |
| 6   | 6,60          |            | SH 2     | 6,00 | 6,60  | Argilla limosa con presenza di ghiaia fine il cui contenuto diminuisce con la profondità.               |                           |                            | Ultimo FILTRO                               |
| 7   |               |            |          |      |       | Argilla nocciola con concrezioni calcaree; tra 7,70 e 7,80 m sono presenti clasti calcarenitici.        | 3,6                       | 1,4                        |   |
| 8   | 10,50         |            |          |      |       |   | 3,4                       | 1,5                        | TUBO IN PVC CIECO $\Phi$ 2"                 |
| 9   |               |            |          |      |       |   | 4,5                       | 1,6                        |   |
| 10  |               |            |          |      |       |   | 3,9                       | 1,9                        |   |
| 11  |               |            |          |      |       |   | 4,1                       | 1,4                        |   |
| 12  | 13,00         |            |          |      |       | Argilla molto compatta color nocciola con concrezioni calcaree.   | 4,5                       | 1,8                        |   |
| 13  |               |            |          |      |       |   | 5,2                       | 1,9                        |   |
| 14  |               |            |          |      |       |   | 4,6                       | 2                          |   |
| 15  | 15,00         |            |          |      |       | Argilla molto compatta di colore verdastro con striature marroni e concrezioni calcaree.                | 4,3                       | 1,9                        |   |
| 16  |               |            |          |      |       |   | 5                         | 2                          |   |
| 17  |               |            |          |      |       |   |                           |                            |   |
| 18  |               |            |          |      |       |   |                           |                            |   |
| 19  |               |            |          |      |       |   |                           |                            |   |
| 20  |               |            |          |      |       |   |                           |                            |   |

|                                 |                      |                            |                  |                              |                        |
|---------------------------------|----------------------|----------------------------|------------------|------------------------------|------------------------|
| <b>scheda n°</b>                | <b>BOZZA</b>         | <b>data</b>                | 18/11/2005       | <b>COMMESSA</b>              |                        |
| <b>Procedure di riferimento</b> |                      | ASTM D 2488-2000; AGI 1977 |                  | <b>RIF. CONTRATTO</b>        |                        |
| <b>elaborazione</b>             | Dr. Massimo Rinaldo  | <b>revisione</b>           | 0                | <b>inizio lavori</b>         | 1 novembre 2005        |
| <b>verifica</b>                 | Dr. Renato Sacchetti |                            |                  | <b>responsabile cantiere</b> | Dr. Geol. R. Sacchetti |
|                                 |                      |                            |                  | <b>fine lavori</b>           | 21 novembre 2005       |
| <b>SPERIMENTATORE</b>           |                      |                            | <b>DIRETTORE</b> |                              |                        |

## DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA: SONDAGGIO N.2



|   |  |   |  |  |                                      |
|---|--|---|--|--|--------------------------------------|
| <b>SONGEO SRL</b><br><b>SONDAGGI GEOGNOSTICI</b><br>via Calvino, 30 44100 FERRARA tel. 0532 773136<br>E mail info@songeo.it Sito www.songeo.it<br>CONCESSIONE MINISTERO DEI LAVORI PUBBLICI N°.....<br>SETTORE C: PROVE IN SITO<br>(AI SENSI DELL'ART. 8 DEL D.P.R. N°246/1993) | <b>DATA ESECUZIONE</b><br>DAL 10/11/2005 AL 10/11/2005 |   | <b>METODO PERFOR.</b><br>CAROTAGGIO CONTINUO |  | <b>SONDAGGIO</b><br>N. 2             |
|   | <b>QUOTA</b><br>P. C.                                  | <b>ATTREZZI</b><br>Carotiere semplice $\Phi$ 101 mm<br>Rivestimento metallico $\Phi$ 127 mm |  |  | <b>SONDA IDRAULICA</b><br>CMV MK 420 |

|   |                   |
|---|-------------------|
| <b>COMMITTENTE</b> SGF<br><b>LOCALITA'</b> Cimitero di Trespiano (FI) | <b>PIEZOMETRO</b> |
|---|-------------------|

|             |  |                              |                                   |                                      |                                  |
|-------------|--|------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|
| <b>NOTE</b> | <b>CAMPIONI</b><br>CAROTIERE SEMPLICE<br>SPT<br>INDISTURBATI | <b>LIVELLO ACQUA</b><br>DATA | <b>PROF. FORO</b><br>Mt. dal P.C. | <b>PROF. RIVEST.</b><br>Mt. dal P.C. | <b>ASSISTENTI</b><br>G. Fantini  |
|             |  |                              | 10,00                             | 4,50                                 | <b>OPERATORI</b><br>R. Sacchetti |

| mt. | QUOTA da P.C. | SIMBOLOGIA | CAMPIONI |      |              | DESCRIZIONE STRATIGRAFICA   | POCKET kg/cm <sup>2</sup> | TORVANE kg/cm <sup>2</sup> | PIEZOMETRO |
|-----|---------------|------------|----------|------|--------------|---|---------------------------|----------------------------|------------|
|     |               |            | TIPO     | NUM. | PROF.        |   |                           |                            |            |
| 1   |               |            |          |      |              | Terreno di riporto composto da limo argilloso marrone chiaro e scuro con livelli di clasti arenacei tra 1,10 e 1,30 m.  |                           |                            |            |
| 2   | 2,50          |            |          |      |              |   |                           |                            |            |
| 3   | 3,00          |            |          |      |              | Terreno di riporto limoso-argilloso con laterizi.   |                           |                            |            |
| 4   | 4,60          |            | SH       | 1    | 4,00<br>4,60 | Argilla limosa marrone scuro con clasti e ciottoli calcareo-arenacei con dimensioni fino a 6 cm.  |                           |                            |            |
| 5   |               |            |          |      |              | Argilla limosa color nocciola con concrezioni calcaree, clasti e ciottoli con dimensioni fino a 10 cm. Intorno a 8,9 m il colore diventa scuro e aumenta la compattezza dell'argilla. |                           |                            |            |
| 6   |               |            |          |      |              |   |                           |                            |            |
| 7   |               |            |          |      |              |   |                           |                            |            |
| 8   |               |            |          |      |              |   |                           |                            |            |
| 9   |               |            |          |      |              |   |                           |                            |            |
| 10  | 10,00         |            |          |      |              |   |                           |                            |            |

|                                 |                      |                            |                  |                              |                        |
|---------------------------------|----------------------|----------------------------|------------------|------------------------------|------------------------|
| <b>scheda n°</b>                | <b>BOZZA</b>         | <b>data</b>                | 18/11/2005       | <b>COMMESSA</b>              |                        |
| <b>Procedure di riferimento</b> |                      | ASTM D 2488-2000; AGI 1977 |                  | <b>RIF. CONTRATTO</b>        |                        |
| <b>responsabili</b>             |                      |                            | <b>revisione</b> | <b>inizio lavori</b>         | 1 novembre 2005        |
| <b>elaborazione</b>             | Dr. Massimo Rinaldo  |                            | 0                | <b>responsabile cantiere</b> | <b>fine lavori</b>     |
| <b>verifica</b>                 | Dr. Renato Sacchetti |                            |                  | <b>direzione lavori</b>      | Dr. Geol. R. Sacchetti |
| <b>SPERIMENTATORE</b>           |                      |                            | <b>DIRETTORE</b> |                              |                        |

# DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA: SONDAGGIO N.3



|   |  |   |                          |
|---|--|---|--------------------------|
| <b>SONGEO SRL</b><br><b>SONDAGGI GEOGNOSTICI</b><br>via Calvino, 30 44100 FERRARA tel. 0532 773136<br>E mail: info@songeo.it Sito: www.songeo.it<br>CONCESSIONE MINISTERO DEI LAVORI PUBBLICI N°.....<br>SETTORE C: PROVE IN SITO<br>(AI SENSI DELL'ART. 8 DEL D.P.R. N°246/1993) | <b>DATA ESECUZIONE</b><br>DAL 11/11/2005 AL 17/11/2005 | <b>METODO PERFOR.</b><br>CAROTAGGIO CONTINUO  | <b>SONDAGGIO</b><br>N. 3 |
|   | <b>QUOTA</b><br>P. C.                                  | <b>ATTREZZI</b><br>Carotiere semplice $\Phi$ 101 mm<br>Rivestimento metallico $\Phi$ 127 mm |                          |

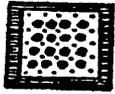
|   |  |
|---|--|
| <b>COMMITTENTE</b> SGF<br><b>LOCALITA'</b> Cimitero di Trespiano (FI) | <b>INCLINOMETRO</b><br>Tubo in alluminio raccordato tramite manicotti fissati con rivetti e silicone. Diametro 76 mm. Lunghezza 15 metri |
|---|--|

|             |  |  |  |                            |                               |   |
|-------------|--|--|--|----------------------------|-------------------------------|---|
| <b>NOTE</b> | <b>CAMPIONI</b><br>CAROTIERE SEMPLICE<br>SPT<br>INDISTURBATI |  | <b>LIVELLO ACQUA</b><br>DATA M.L. dal P.C. | <b>PROF. FORO</b><br>15,00 | <b>PROF. RIVEST.</b><br>15,00 | <b>ASSISTENTI</b><br>G. Fantini<br><b>OPERATORI</b><br>R. Sacchetti |
|-------------|--|--|--|----------------------------|-------------------------------|---|

| mt. | QUOTA da P.C. | SIMBOLOGIA | CAMPIONI |      |       | DESCRIZIONE STRATIGRAFICA  | POCKET kg/cm <sup>2</sup> | TORVANE kg/cm <sup>2</sup> | INCLINOMETRO                              |
|-----|---------------|------------|----------|------|-------|--|---------------------------|----------------------------|---|
|     |               |            | TIPO     | NUM. | PROF. |  |                           |                            |   |
| 1   | 0,50          |            |          |      |       | Terreno di riporto limoso con ghiaia.  |                           |                            | TUBO INCLINOMETRICO IN ALLUMINIO BOITACCA |
| 2   | 1,50          |            |          |      |       | Argilla limosa marrone scura con concrezioni calcaree e clasti con dimensioni fino a 2 cm.   |                           |                            |   |
| 3   | 3,00          |            |          |      |       | Argilla color nocciola con sfumature ocra; sono presenti concrezioni calcaree.   | 1,4                       | 0,6                        |   |
| 4   |               |            | SH       | 3,00 |       | Argilla compatta color nocciola e ocra con concrezioni calcaree millimetriche.   | 2,2                       | 0,7                        |   |
| 5   |               |            | 1        | 3,60 |       |  | 2,6                       | 1,1                        |   |
| 6   | 5,50          |            |          |      |       |  | 3,1                       | 1,3                        |   |
| 7   | 6,30          |            |          |      |       | Ciotoli calcarei e arenacei.   |                           |                            |   |
| 8   | 8,00          |            |          |      |       | Argilla compatta color nocciola con sfumature ocra e concrezioni calcaree.   |                           |                            |   |
| 9   |               |            |          |      |       | Argilla compatta marrone scura con sfumature dall'ocra al grigio. Intorno a 10 m sono presenti concrezioni calcaree con clasti di dimensioni fino a 3 cm.                          | 4,4                       | 2                          |   |
| 10  | 10,00         |            |          |      |       |  | >6                        |                            |   |
| 11  | 10,90         |            |          |      |       | Blocchi e clasti subangolari calcarei in matrice limosa grigia chiara.   |                           |                            |   |
| 12  | 12,10         |            |          |      |       | Arenaria grigia fratturata con piani di frattura da suborizzontali a inclinati di 15° circa. Sono presenti fratture subverticali a riempimento calcitico. RQD = 68% - sufficiente. |                           |                            |   |
| 13  |               |            |          |      |       | Argilla grigia scura con clasti argillitici, marnosi e localmente arenacei.  |                           |                            |   |
| 14  |               |            |          |      |       |  |                           |                            |   |
| 15  | 15,00         |            |          |      |       |  |                           |                            |   |
| 16  |               |            |          |      |       |  |                           |                            |   |
| 17  |               |            |          |      |       |  |                           |                            |   |
| 18  |               |            |          |      |       |  |                           |                            |   |
| 19  |               |            |          |      |       |  |                           |                            |   |
| 20  |               |            |          |      |       |  |                           |                            |   |

|                                 |                            |                  |                  |                              |                        |
|---------------------------------|----------------------------|------------------|------------------|------------------------------|------------------------|
| <b>scheda n°</b>                | <b>BOZZA</b>               | <b>data</b>      | 18/11/2005       | <b>COMMESSA</b>              |                        |
| <b>Procedure di riferimento</b> | ASTM D 2488-2000; AGI 1977 |                  |                  | <b>RIF. CONTRATTO</b>        |                        |
| <b>responsabili</b>             |                            | <b>revisione</b> |                  | <b>inizio lavori</b>         | 1 novembre 2005        |
| <b>elaborazione</b>             | Dr. Massimo Rinaldo        |                  |                  | <b>fine lavori</b>           | 21 novembre 2005       |
| <b>verifica</b>                 | Dr. Renato Sacchetti       | 0                |                  | <b>responsabile cantiere</b> | Dr. Geol. R. Sacchetti |
|                                 |                            |                  |                  | <b>direzione lavori</b>      |                        |
| <b>SPERIMENTATORE</b>           |                            |                  | <b>DIRETTORE</b> |                              |                        |

Certificati analisi laboratorio (anno 2005)



**PANGEO S.n.c.**

*di Campatelli Leonardo & C.*

Laboratorio e Uffici: Via Sangallo 110/A - 53036 Poggibonsi (SI)  
Tel 0577983450 - Fax 0577997537 - e-mail pangeo@cybermarket.it  
P. I.V.A. 0087076 052 7 Iscr. C.C.I.A.A n° 96924  
Concessione Ministero Infrastrutture e Trasporti con Decreto N.54065 del 07/11/2005  
Settore A: Prove di Laboratorio su terreni (ai sensi dell'art. 8 del D.P.R. n° 246/1993)

*Laboratorio qualificato*



*N. 100*

# RACCOLTA CERTIFICATI DI PROVA

*DAL N.*  
**735/05**  
*AL N.*  
**737/05**

**EMESSI IN POGGIBONSI IL:  
19/12/2005**

*Intestatario certificati:* Studio Geologico Fiorentino

*Verbale di accettazione:* VA 419/05 *del:* 06/12/2005

*Categoria:* PROVE GEOTECNICHE DI LABORATORIO

*Cantiere:* Cimitero di Trspiano (FI)

*Sondaggio:* S1 *Campione:* SH1 *Profondità (m):* 2.40-3.00

Nelle pagine seguenti sono riportati:

- \* le date di esecuzione delle prove;
- \* il tipo di prova;
- \* l'indicazione della norma o della specifica di riferimento;
- i risultati ottenuti

Le incertezze di misura sono compatibili con quelle indicate dalle normative di riferimento

*Questa raccolta consta di n. 6 fogli esclusa la copertina.*

Il Direttore del Laboratorio



**PANGEO S.n.c.**  
*di Campatelli Leonardo & C.*

Laboratorio e Uffici: Via Sangallo 110/A - 53036 Poggibonsi (SI)

Tel 0577983430 - Fax 0577997537 - e-mail pangeo@cybermarket.it

P. I.V.A. 0087076 052 7 Iscr. C.C.I.A.A. n° 96924

Concessione Ministero Infrastrutture e Trasporti con Decreto N.54065 del 07/11/2005

Settore A: Prove di Laboratorio su terreni (ai sensi dell'art. 8 del D.P.R. n° 246/1993)

## Apertura e descrizione Campione (Racc. AGI 1977)

**Committente:** Studio Geologico Fiorentino  
**Cantiere:** Cimitero di Trspiano (FI)  
**Data consegna:** 06/12/2005 **Data apertura:** 07/12/2005  
**V.Acc. N.** 419/05 **del** 06/12/2005  
**Sondaggio:** S1 **Campione:** SH1  
**Prof. (m):** 2,40-3,00 **Camp. Shelby**  
**Modalità di campionatura:** Q5  
**Qualità del campione:**

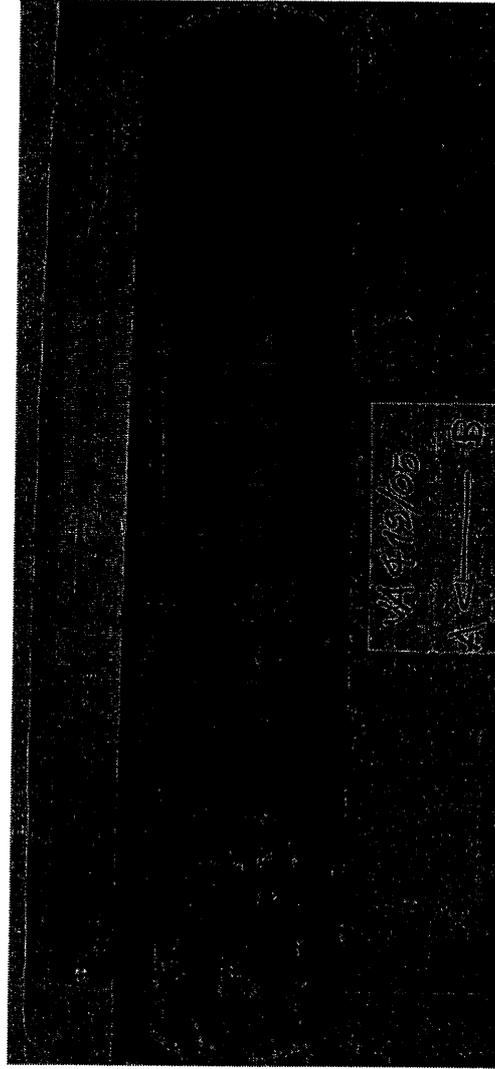
### Descrizione visuale:

Marne argillose verde  
(Rif. Munsell 5Y 4/4 Olive)  
con resti vegetali e frammenti litici  
dal millimetro a vari centimetri

### Prove richieste:

Taglio diretto casagrande  
Compressione edometrica IL fino a 1569.12 KPa  
(con N.1 determinazione dei cedimenti nel tempo)  
Limiti di liquidità e plasticità

**A** *Provino per:* TCCD  
**B** *Provino per:* TCCD  
**C** *Provino per:* TCCD  
**D** *Provino per:* Edometria



0

41

PANGE s.n.c. di Campatelli Leonardo & C.

Laboratorio e Uffici: Via Sangallo 10/A - 53036 Poggibonisi (SI)

Tel 0577983450 - Fax 0577997537 - e-mail pangeo@cybermarket.it

C.F. P. IVA e Reg. Imprese CCIAA SI 0087076 052 7 - REA SI 96924

Concessione Ministero Infrastrutture e Trasporti con Decreto N.54065 del 07/11/2005

Settore A: Prove di Laboratorio su terreni (ai sensi dell'art. 8 del D.P.R. n° 246/1993)

**Committente:** Studio Geologico Fiorentino

**Cantiere:** Cimitero di Trspiano (FI)

**Data consegna campione:** 06/12/2005

**Data apertura campione:** 07/12/2005

**Verb. Acc. N.** 419/05

del 06/12/2005

**Sondaggio:** S1

**Campione:** SH1

**Prof. (m)** 2.40-3.00

**Descrizione** Marne argillose verde  
(Rif. Munsell 5Y 4/4 Olive)

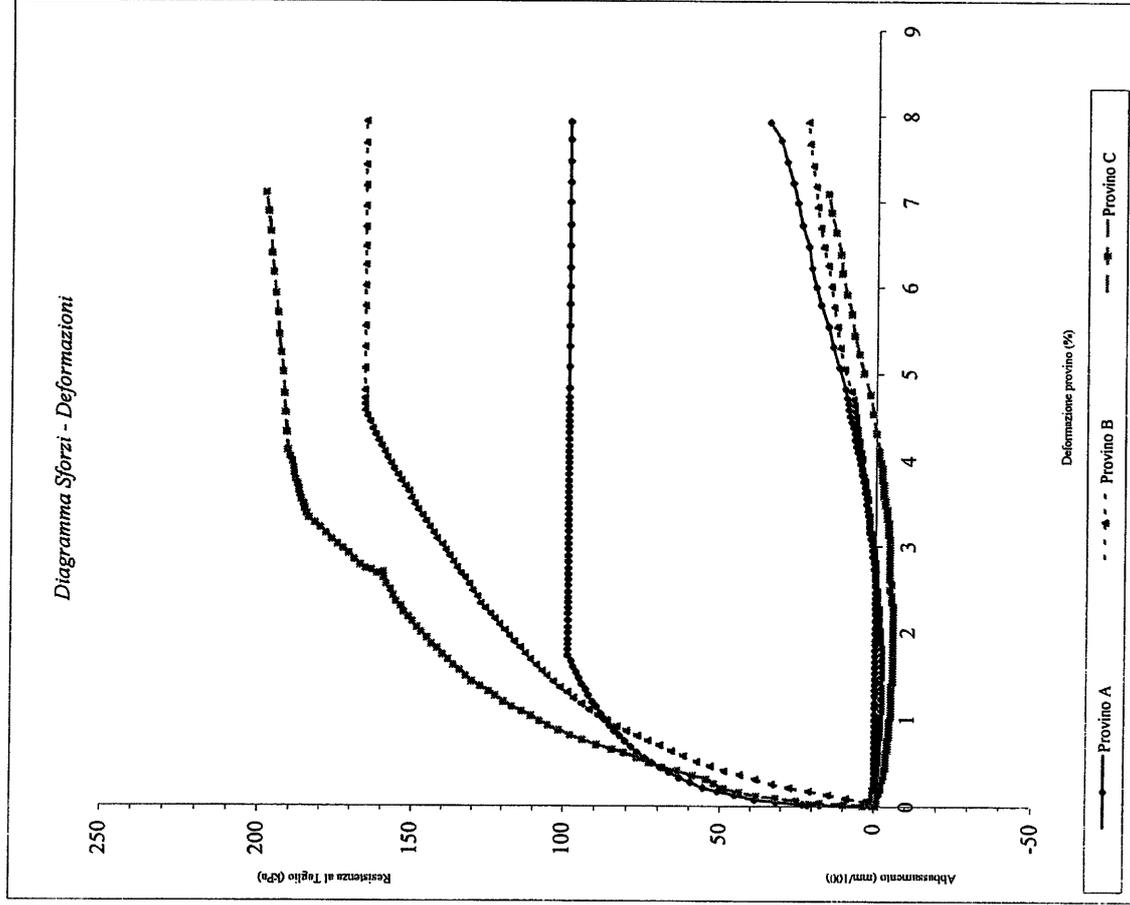
**Data inizio prova** 07/12/05

**Data fine prova** 12/12/05

**Velocità di deform. media :** (mm/min) 0,002

**Dimensione dei provini :** (mm) 60\*60

**Umidità media del campione:** 10,70%



| Provino                  |                               | A      | B      | C      |
|--------------------------|-------------------------------|--------|--------|--------|
| Umidità naturale         | W in.                         | 16,45% | 14,48% | 13,69% |
| Umidità naturale         | W fin.                        | 16,02% | 13,96% | 13,20% |
| Massa volumica apparente | $\rho$ (Mg/m <sup>3</sup> )   | 1,97   | 1,92   | 2,04   |
| Densità secca            | $\rho_d$ (Mg/m <sup>3</sup> ) | 1,69   | 1,68   | 1,80   |

PANGEO s.n.c. di Campatelli Leonardo & C.  
 Laboratorio e Uffici: Via Sangallo 110/A - 53036 Poggibonsi (SI)  
 Tel 0577983450 - Fax 0577997537 - e-mail pangeo@cybermarket.it  
 C.F. P. IVA e Reg. Imprese CCIAA SI 0087076 052 7 - REA SI 96924  
 Concessione Ministero Infrastrutture e Trasporti con Decreto N.54065 del 07/11/2005  
 Settore A: Prove di Laboratorio su terreni (ai sensi dell'art. 8 del D.P.R. n° 246/1993)

Committente: Studio Geologico Fiorentino

Cantiere: Cimitero di Trspiano (FI)

Data consegna campione: 06/12/2005 Data apertura campione: 07/12/2005

Verb. Acc. N. 419/05 del 06/12/2005

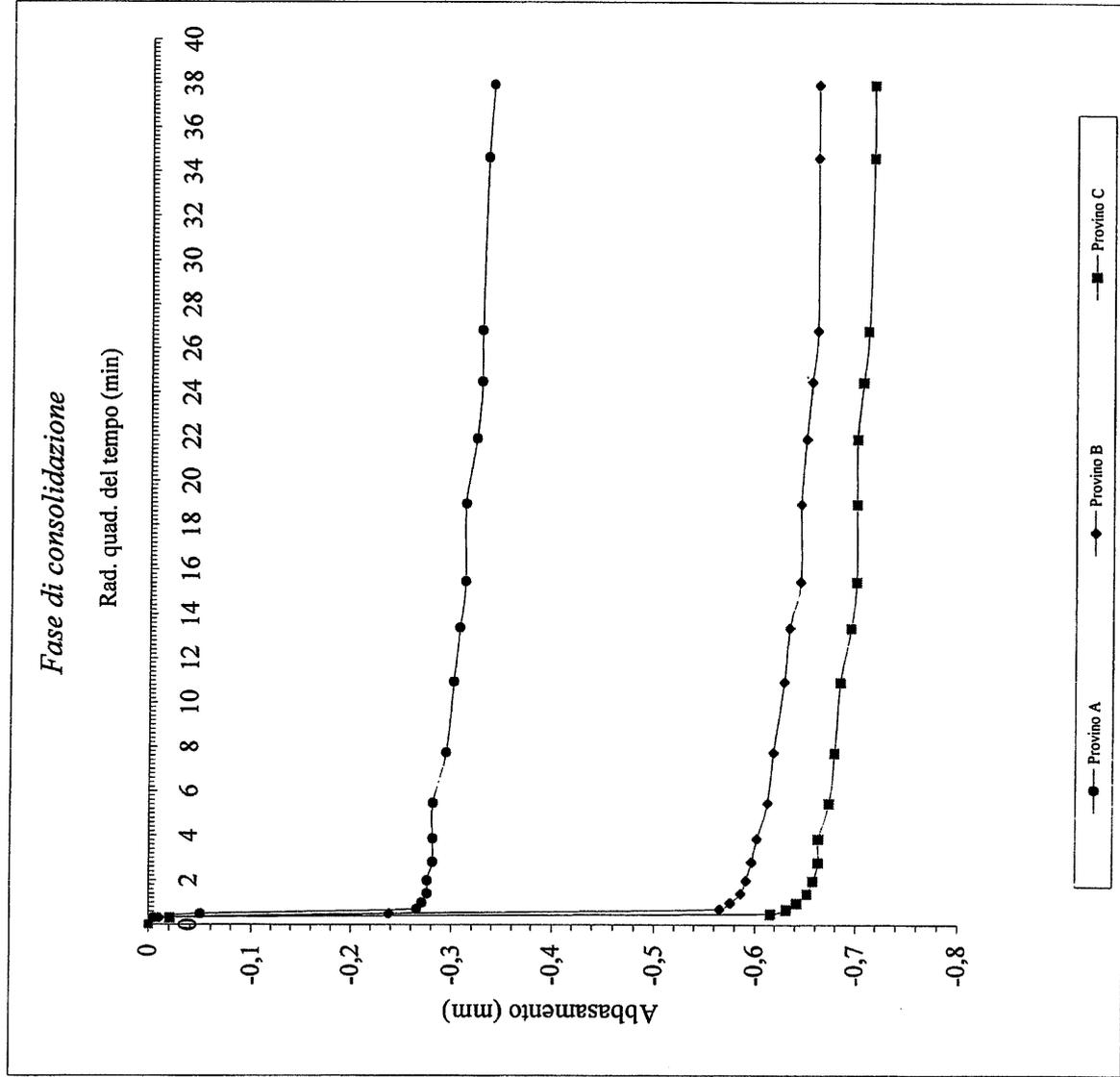
Sondaggio: S1 Campione: SH1

Prof. (m) 2.40-3.00

Descrizione Marna argillose verde  
 (Rif. Munsell 5Y 4/4 Olive)

Data inizio prova 07/12/2005 Data fine prova 12/12/2005

|                                      | Prov.A  | Prov.B | Prov.C |
|--------------------------------------|---------|--------|--------|
| Velocità di deform. media : (mm/min) | 0,0006  | 0,0004 | 0,0003 |
| Dimensioni Lato provino (mm)         | 60      | 60     | 60     |
| Altezza iniziale: (mm)               | 20      | 20     | 20     |
| At (min)                             | 0,00    | 0,000  | 0,000  |
|                                      | 0,10    | -0,010 | -0,021 |
|                                      | 0,25    | -0,050 | -0,616 |
|                                      | 0,50    | -0,266 | -0,632 |
|                                      | 1,00    | -0,271 | -0,642 |
|                                      | 2,00    | -0,276 | -0,652 |
|                                      | 4,00    | -0,276 | -0,658 |
|                                      | 8,00    | -0,281 | -0,663 |
|                                      | 15,00   | -0,281 | -0,663 |
|                                      | 30,00   | -0,281 | -0,673 |
|                                      | 60,00   | -0,294 | -0,678 |
|                                      | 120,00  | -0,301 | -0,684 |
|                                      | 180,00  | -0,306 | -0,694 |
|                                      | 240,00  | -0,312 | -0,699 |
|                                      | 360,00  | -0,312 | -0,699 |
|                                      | 480,00  | -0,322 | -0,699 |
|                                      | 600,00  | -0,327 | -0,705 |
|                                      | 720,00  | -0,327 | -0,710 |
|                                      | 1200,00 | -0,332 | -0,715 |
|                                      | 1440,00 | -0,337 | -0,715 |



Certificato n° 735/05 pag. 2 di 2 Data Certificato 19/12/2005

Lo Spérimentatore:

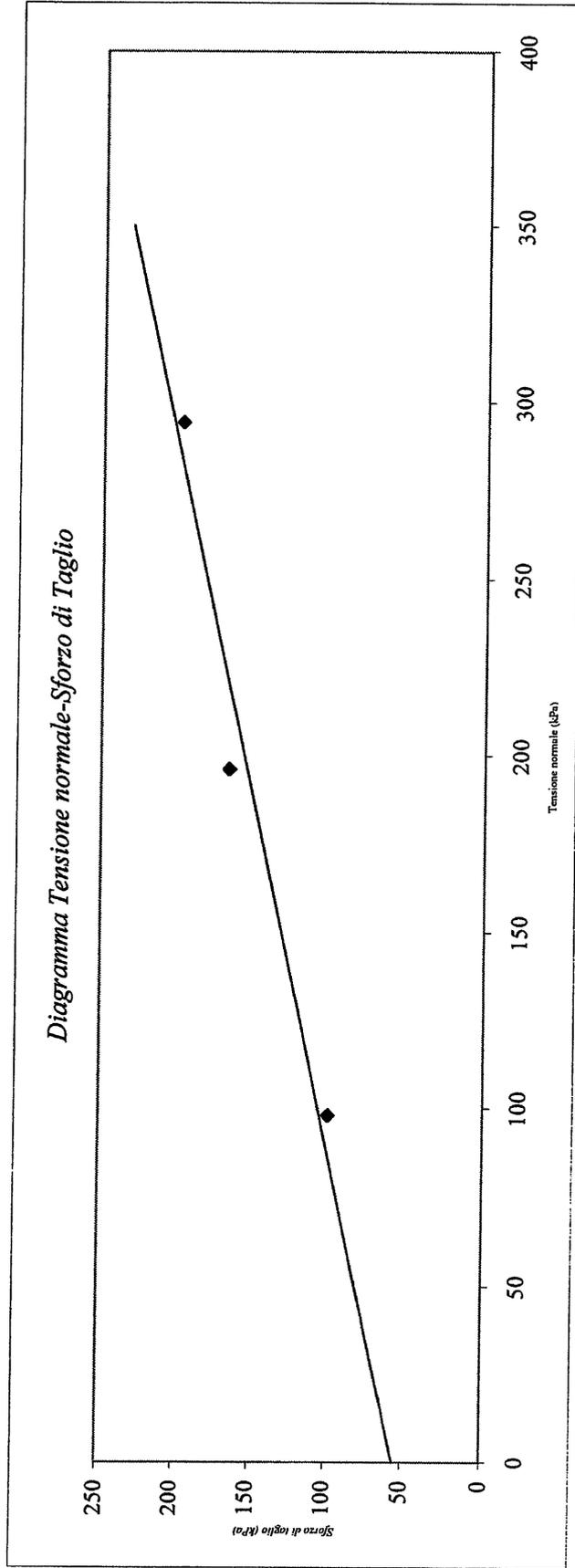
Il Direttore del Laboratorio:

*Prova di Taglio diretto: interpretazione risultati*

**Committente:** Studio Geologico Fiorentino  
**Cantiere:** Cimitero di Trspiano (FI)  
**Sondaggio:** S1  
**Campione:** SH1  
**Prof. (m):** 2.40-3.00

| Provino                             |                                      | A     | B      | C      |
|-------------------------------------|--------------------------------------|-------|--------|--------|
| Tensione verticale $\sigma_v$ (kPa) |                                      | 98,07 | 196,14 | 294,21 |
| Valori di<br>ricer-                 | Sforzo di taglio max. $\tau_f$ (kPa) | 98,86 | 165,92 | 198,29 |
|                                     | Deformazione provino (%)             | 1,727 | 4,570  | 7,094  |
|                                     | Abbassamento (mm)                    | 0,000 | 0,073  | 0,162  |

|                         |        |
|-------------------------|--------|
| Attrito Interno $\phi'$ | 26,9°  |
| Coesione $c'$ (kPa)     | 54,920 |



**Committente:** Studio Geologico Fiorentino

**Cantiere:** Cimitero di Trspiano (FI)

**Data consegna campione:** 06/12/2005

**Data apertura campione:** 07/12/2005

**V.Acc. N.** 419/05 **del** 06/12/2005

**Sondaggio:** S1 **Campione:** SH1

**Profondità (m):** 2.40-3.00

**Descrizione:** Marna argillosa verde  
 (Rif. Munsell 5Y 4/4 Olive)

**Data inizio prova:** 07/12/2005

**Data fine prova:** 19/12/2005

**Umidità**  
 W iniziale: 10,70%

W finale: 14,66%

**M. Volum. apparente:**  $\rho$  Mg/m<sup>3</sup> 2,072

**Densità secca:**  $\rho_d$  Mg/m<sup>3</sup> 1,843

**Indice dei Vuoti iniziale:**  $e_0$  0,246

**Gravità Specifica (a 20°C)** 2,301

Diagramma Log Carico - Cedimento

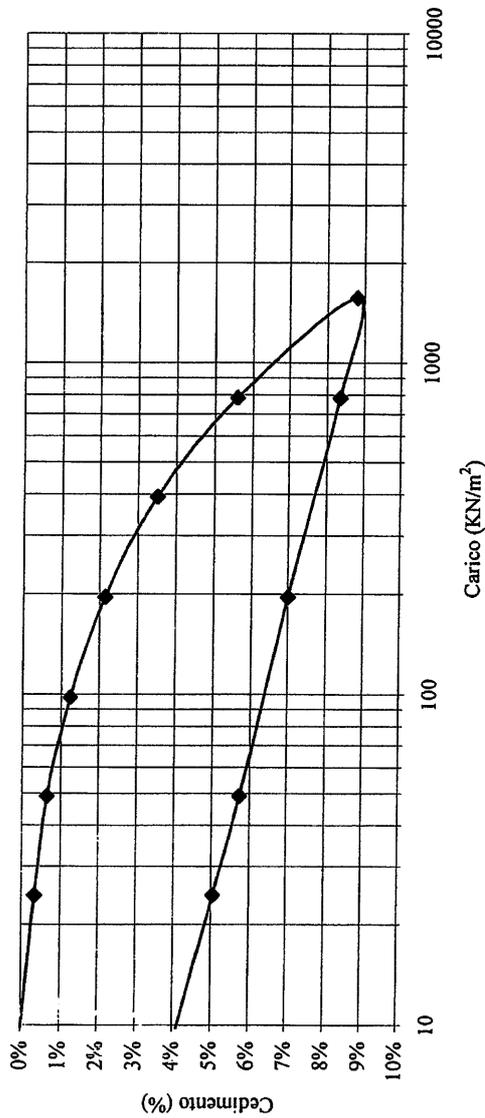
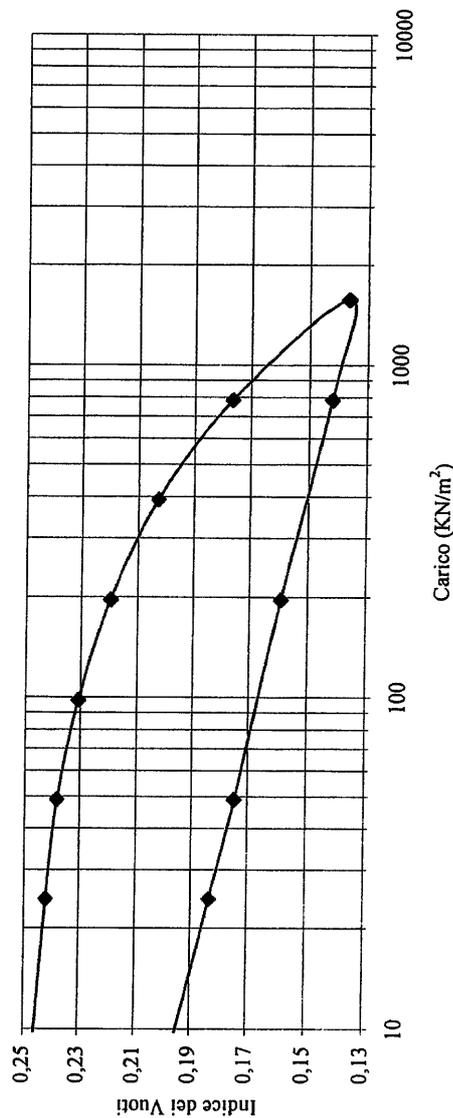


Diagramma Log Carico - Indice dei Vuoti

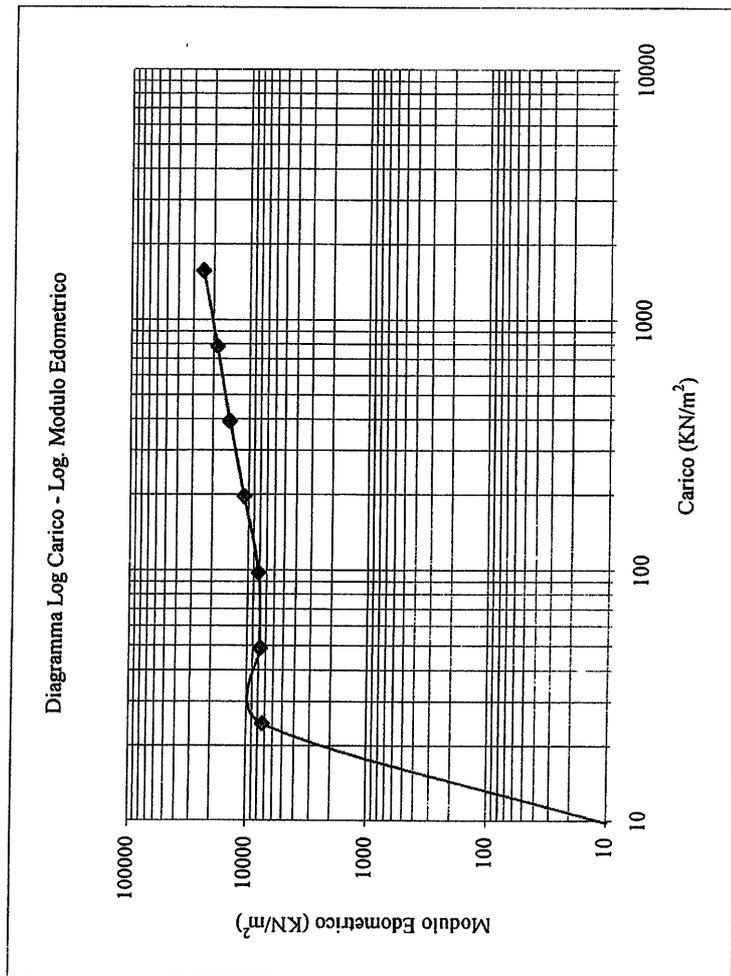




Laboratorio e Uffici: Via Sangallo 110/A - 53036 Poggibonsi (SI)  
 Tel 0577983450 - Fax 057797537 - e-mail pango@cybermarket.it  
 P. I.V.A. 0087076 052 7 Iscr. C.C.I.A.A n° 96924  
 Concessione Ministero Infrastrutture e Trasporti con Decreto N.54065 del 07/11/2005  
 Settore A: Prove di Laboratorio su terreni (ai sensi dell'art. 8 del D.P.R. n° 246/1993)

**Committente:** Studio Geologico Fiorentino  
**Cantiere:** Cimitero di Trspiano (FI)  
**Data consegna campione:** 06/12/2005  
**V.Acc. N.** 419/05 **del** 06/12/05  
**Sondaggio:** S1 **Campione:** SH1  
**Profondità (m):** 2.40-3.00  
**Descrizione:** Marna argillosa verde  
 (Rif. Munsell 5Y 4/4 Olive)

**Data inizio prova:** 07/12/2005  
**Data fine prova:** 19/12/2005



| $\sigma_v$<br>(KN/m <sup>2</sup> )<br>da | $\Delta H$<br>(cm) | $\Delta H/H_0$<br>% | e<br>(-) | mv<br>(m <sup>2</sup> /KN) | Med<br>(KN/m <sup>2</sup> ) | av<br>(m <sup>2</sup> /KN) |
|--|--------------------|---------------------|----------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| 0  | 24,518             | 0,0067              | 0,242    | 0,000137                   | 7319                        | 0,000170                   |
| 24,518                                   | 49,035             | 0,013               | 0,238    | 0,000128                   | 7783                        | 0,000160                   |
| 49,035                                   | 98,07              | 0,025               | 0,231    | 0,000122                   | 8173                        | 0,000152                   |
| 98,07                                    | 196,14             | 0,043               | 0,219    | 0,000092                   | 10897                       | 0,000114                   |
| 196,14                                   | 392,28             | 0,07                | 0,203    | 0,000069                   | 14529                       | 0,000086                   |
| 392,28                                   | 784,56             | 0,1121              | 0,176    | 0,000054                   | 18636                       | 0,000067                   |
| 784,56                                   | 1569,1             | 0,176               | 0,137    | 0,000041                   | 24556                       | 0,000051                   |
| 1569,12                                  | 784,56             | 0,167               | 0,142    | 0,000006                   |                             | 0,000007                   |
| 784,56                                   | 196,14             | 0,14                | 0,159    | 0,000023                   |                             | 0,000029                   |
| 196,14                                   | 49,035             | 0,115               | 0,175    | 0,000085                   |                             | 0,000106                   |
| 49,035                                   | 24,518             | 0,101               | 0,183    | 0,000286                   |                             | 0,000356                   |
| 24,518                                   | 9,807              | 0,082               | 0,195    | 0,000646                   |                             | 0,000805                   |

**Committente:** Studio Geologico Fiorentino

**Cantiere:** Cimitero di Trspiano (FI)

**Data consegna campione:** 06/12/2005

**Data apertura campione:** 07/12/2005

**V.Acc. N.** 419/05 *del* 06/12/2005

**Sondaggio:** S1 **Campione:** SH1

**Profondità (m):** 2.40-3.00

**Descrizione:** Marna argillosa verde  
(Rif. Munsell 5Y 4/4 Olive)

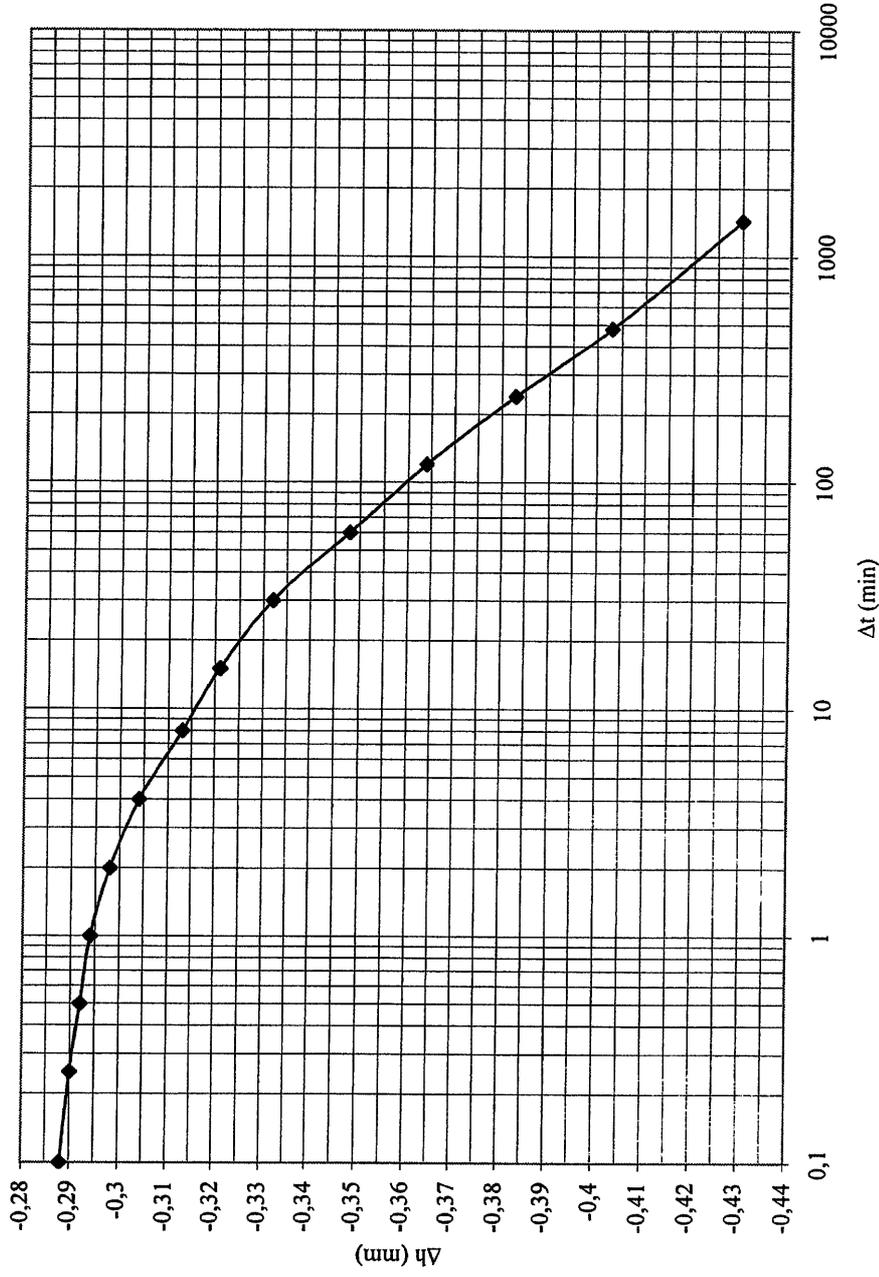
**Data inizio prova:** 07/12/2005

**Data fine prova:** 19/12/2005

**Intervallo di carico**

| da | a | $\Delta t$ (min) | $\Delta h$ (mm) |
|----|---|------------------|-----------------|
|    |   | 0,1              | -0,288          |
|    |   | 0,25             | -0,29           |
|    |   | 0,5              | -0,292          |
|    |   | 1                | -0,294          |
|    |   | 2                | -0,298          |
|    |   | 4                | -0,304          |
|    |   | 8                | -0,313          |
|    |   | 15               | -0,321          |
|    |   | 30               | -0,332          |
|    |   | 60               | -0,348          |
|    |   | 120              | -0,364          |
|    |   | 240              | -0,383          |
|    |   | 480              | -0,403          |
|    |   | 1440             | -0,43           |

Diagramma Cedimenti-Log Tempo



## *Prova Edometrica: Interpretazione risultati*

*Committente:* Studio Geologico Fiorentino  
*Cantiere:* Cimitero di Trspiano (FI)  
*Sondaggio:* S1 *Campione:* SH1  
*Profondità (m):* 2.40-3.00

Indice di compressione Cc: 0,132

Indice di ricomprensione Cr: 0,0130

Indice di rigonfiamento Cs: 0,026

Calcolo di Cv (Metodo di Casagrande)  
e del Coefficiente di Permeabilità

|    |          |                      |
|----|----------|----------------------|
| Cv | 7,55E-05 | cm <sup>2</sup> /sec |
| K  | 6,78E-10 | cm/sec               |

**PANGEO s.n.c. di Campatelli Leonardo & C.**  
 Laboratorio e Uffici: Via Sangallo 10/A - 53036 Poggibonsi (SI)  
 Tel 0577983450 - Fax 0577997537 - e-mail pangeo@cybermarket.it  
 C.F. P. IVA e Reg. Imprese CCIAA SI 0087076 052 7 - REA SI 96924  
 Concessione Ministero Infrastrutture e Trasporti con Decreto N. 54065 del 07/11/2005  
 Settore A: Prove di Laboratorio su terreni (ai sensi dell'art. 8 del D.P.R. n° 246/1995)

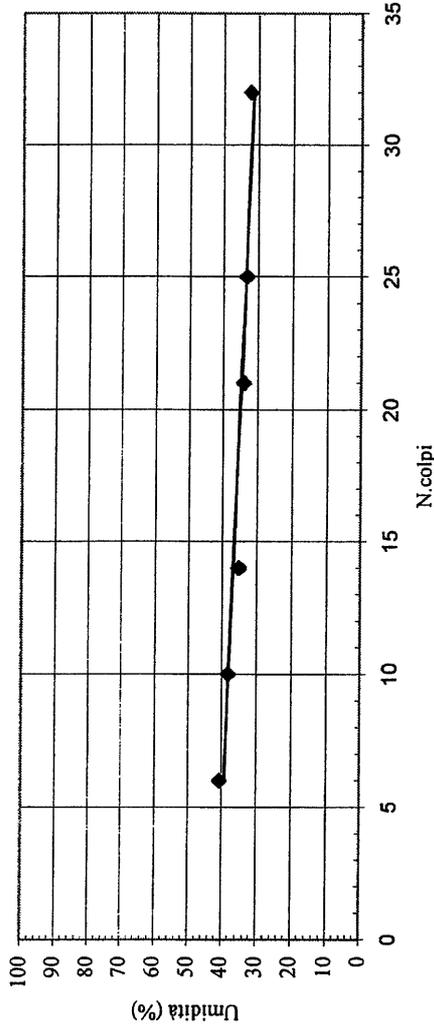
**Committente:** Studio Geologico Fiorentino  
**Canitiere:** Cimitero di Trspiano (FI)  
**Data consegna campione:** 06/12/2005  
**V. Acc. N.** 419/05 *del* 06/12/2005  
**Sondaggio:** S1 *Campione:* SH1  
**Prof. (m):** 2.40-3.00  
**Descrizione:** Marna argillosa verde  
 (Rif. Munsell 5Y 4/4 Olive)

**Data inizio prova:** 12/12/2005  
**Data fine prova:** 14/12/2005

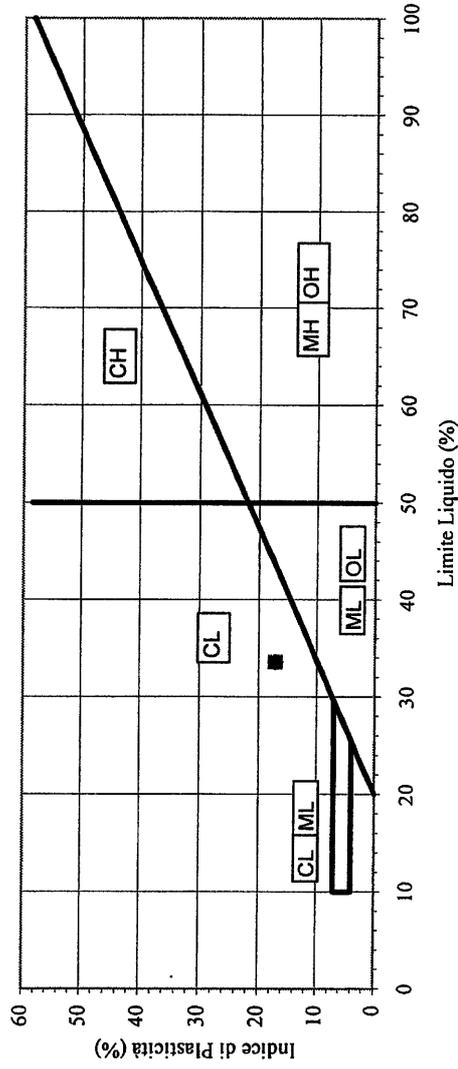
**W (%)** 10,70  
**p (g/cmc)** 0,000  
**pd (g/cmc)** 0,000

**Limite di liquidità** 33,56  
**Limite di plasticità** 16,39  
**Indice di plasticità** 17,17  
**Indice di consistenza** 1,33  
**Limite di ritiro** n.rich.

Determinazione grafica del limite di liquidità



Carta di Plasticità



N. COMMESSA VERBALE DI ACCETTAZIONE N. Del: Il richiedente: Dott. Geol. Lorenzo Cirriin qualità di: DLLCon lettera di richiesta prove Protocollo n. 111

consegna / invia al laboratorio Pangeo il campione sottoindicato:

Committente: S.G.F. Studio Geologico Fiorentino

Cantiere di prelievo:

Data di consegna:

Cimitero di Trespiano (FI)06/12/05

| Sigla | Profondità | Descrizione     |
|-------|------------|-----------------|
| S1SH1 | 2,40-3,00  | Campione Shelby |

Intestazione Certificato: S.G.F. Studio Geologico FiorentinoN. Copie Conformi: 1

Prelievo del campione a cura di:

- PANGEO  
 Nostro incaricato  
 Il richiedente/altro incaricato

Firma

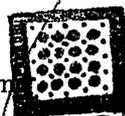
 CAMPIONE NON ACCETTATO

Motivazione:

Timbro e Firma

 CAMPIONE ACCETTATO

Timbro e Firma

**PANGEO**

## Documentazione fotografica e stratigrafie sondaggi geognostici (anno 2014)



Certificati analisi laboratorio – campioni di sondaggi  
geognostici (anno 2014)



**ELLE TI**  
Laboratorio Terre s.r.l.

Concessione Ministeriale Circ. 7618/STC - Settore A  
Sistema di Qualità certificato UNI EN ISO 9001:2008



Via Galeotti 3 - 50136 Firenze - Tel/fax 055 6505508 - www.laboratorioelleti.it - laboratorio.elleti@tiscali.it

Certificato n° **032-14** Data **17/6/14** Pagina **3 / 20**  
Verbale di accettazione n° **14029** del **4/6/14** Prova numero **1402901 -G**  
Committente **Studio Geologico Fiorentino - Via Gherardo Silvani, 190 - Firenze**  
Richiedente **Dr. Geol. Lorenzo Cirri** Provenienza **Cimitero di Trespiano - Firenze**  
Contenitore **Fustella acciaio** Diametro (mm) **85** Lunghezza (cm) **35**  
Contrassegno Sond. **1** Camp. **1** Profondità (m) **1,5 - 2,0**

### PESO DI VOLUME

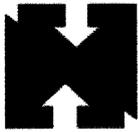
(UNI CEN ISO/TS 17892/2)

Data di prova: **05/06/2014**

|                       |                         |             |
|-----------------------|-------------------------|-------------|
| Peso del terreno      | g                       | 3035,0      |
| Volume del terreno    | cm <sup>3</sup>         | 1543,5      |
| Massa specifica       | g/cm <sup>3</sup>       | 1,97        |
| <b>Peso di volume</b> | <b>kN/m<sup>3</sup></b> | <b>19,3</b> |

*il Direttore*  
**Prof. Geol. Piero Focardi**

*lo Sperimentatore*  
**Dr. Geol. Alessandro Lugo**



**ELLE TI**  
Laboratorio Terre s.r.l.

Concessione Ministeriale Circ. 7618/STC - Settore A  
Sistema di Qualità certificato UNI EN ISO 9001:2008



Via Galeotti 3 - 50136 Firenze - Tel/fax 055 6505508 - www.laboratorioelleti.it - laboratorio.elleti@tiscali.it

Certificato n° **032-14** Data **17/6/14** Pagina **4 / 20**  
Verbale di accettazione n° **14029** del **4/6/14** Prova numero **1402901 -ELL**  
Committente **Studio Geologico Fiorentino - Via Gherardo Silvani, 190 - Firenze**  
Richiedente **Dr. Geol. Lorenzo Cirri** Provenienza **Cimitero di Trespiano - Firenze**  
Contenitore **Fustella acciaio** Diametro (mm) **85** Lunghezza (cm) **35**  
Contrassegno **Sond. 1** Camp. **1** Profondità (m) **1,5 - 2,0**

**PROVA DI COMPRESSIONE SEMPLICE**

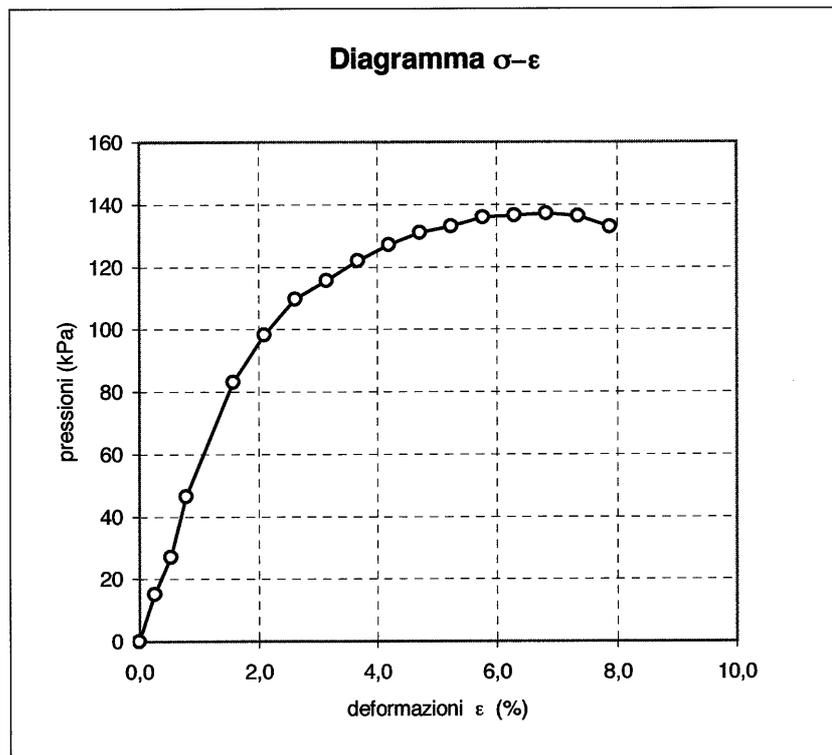
(ASTM D 2166)

Inizio prova **11/6/14**

Dimensioni iniziali altezza cm 7,62  
sezione cm<sup>2</sup> 11,40  
Contenuto di acqua % 23,8  
Peso di volume kN/m<sup>3</sup> 19,5

VELOCITA' DI PROVA  
0,500 mm/min

| Def. mm | Area cm <sup>2</sup> | e % | s kPa |
|---------|----------------------|-----|-------|
| 0,00    | 11,40                | 0,0 | 0     |
| 0,20    | 11,43                | 0,3 | 15    |
| 0,40    | 11,46                | 0,5 | 27    |
| 0,60    | 11,49                | 0,8 | 46    |
| 1,20    | 11,58                | 1,6 | 83    |
| 1,60    | 11,64                | 2,1 | 98    |
| 2,00    | 11,70                | 2,6 | 110   |
| 2,40    | 11,77                | 3,1 | 116   |
| 2,80    | 11,83                | 3,7 | 122   |
| 3,20    | 11,89                | 4,2 | 127   |
| 3,60    | 11,96                | 4,7 | 131   |
| 4,00    | 12,03                | 5,2 | 133   |
| 4,40    | 12,09                | 5,8 | 136   |
| 4,80    | 12,16                | 6,3 | 136   |
| 5,20    | 12,23                | 6,8 | 137   |
| 5,60    | 12,30                | 7,3 | 136   |
| 6,00    | 12,37                | 7,9 | 133   |



STATO TENSIONALE A ROTTURA

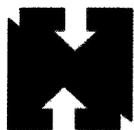
Resistenza alla compressione  
Deformazione a rottura

kPa **137**  
% **6,8**

il Direttore

Prof. Geol. Piero Focardi

lo Sperimentatore  
Dr. Geol. Alessandro Lugo



Certificato n° **032-14** Data **17/6/14** Pagina **5 / 20**  
 Verbale di accettazione n° **14029** del **04/06/14** Prova numero **1402901 -TG/1**  
 Committente **Studio Geologico Fiorentino - Via Gherardo Silvani, 190 - Firenze**  
 Richiedente **Dr. Geol. Lorenzo Cirri** Provenienza **Cimitero di Trespiano - Firenze**  
 Contenitore **Fustella acciaio** Diametro (mm) **85** Lunghezza (cm) **35**  
 Contrassegno **Sond. 1 Camp. 1** Profondità (m) **1,5 - 2,0**

**PROVA DI TAGLIO DIRETTO**

(ASTM D 3080)

Data di prova **inizio 5/6/14 termine 11/6/14**

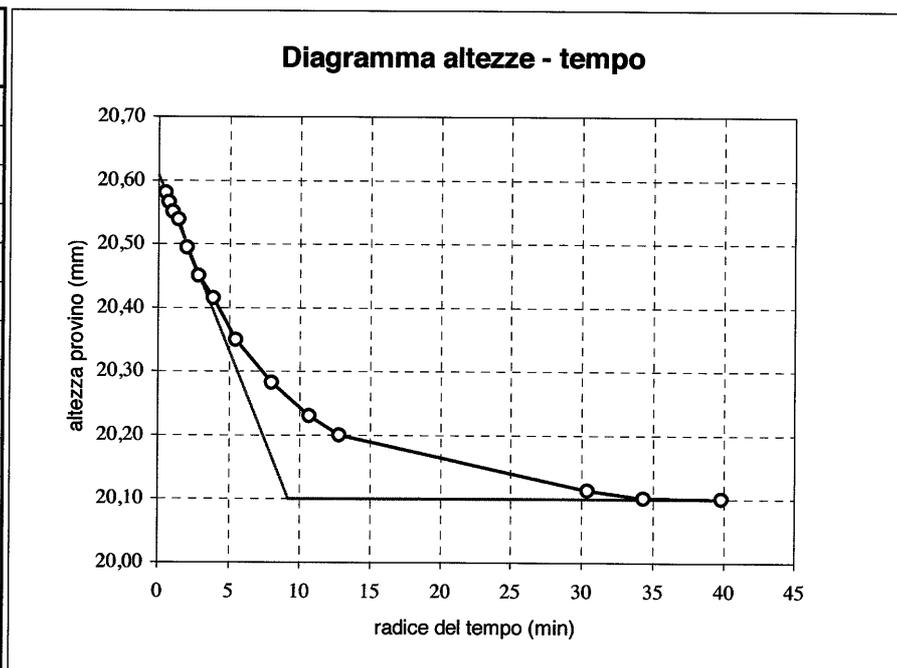
TEST DI CONSOLIDAZIONE SUL PROVINO NUMERO **1**

Dimensioni iniziali **altezza mm 20,80**  
**sezione cm<sup>2</sup> 36,00**

Pressione normale: **kPa 100**

Drenaggio attraverso pietre porose situate sopra e sotto il provino.

| t<br>(min) | Let.<br>mm | H<br>mm |
|------------|------------|---------|
| 0          | 12,40      | 20,80   |
| 0,25       | 12,18      | 20,58   |
| 0,5        | 12,17      | 20,57   |
| 1          | 12,15      | 20,55   |
| 2          | 12,14      | 20,54   |
| 4          | 12,09      | 20,49   |
| 8          | 12,05      | 20,45   |
| 15         | 12,02      | 20,42   |
| 30         | 11,95      | 20,35   |
| 64         | 11,88      | 20,28   |
| 114        | 11,83      | 20,23   |
| 164        | 11,80      | 20,20   |
| 924        | 11,71      | 20,11   |
| 1179       | 11,70      | 20,10   |
| 1584       | 11,70      | 20,10   |



Tempo di consolidazione  $t_{100}$

**84 min**

Velocità di taglio da imporre (per deformazioni a rottura di 6,0 mm) <

**0,0056 mm/min**

*il Direttore*

*Prof. Geol. Piero Focardi*

*Piero Focardi*

*lo Sperimentatore*

*Dr. Geol. Alessandro Lugo*

*Alessandro Lugo*



Certificato n° **032-14** Data **17/06/14** Pagina **6 / 20**  
 Verbale di accettazione n° **14029** Prova numero / pagina prova **1402901 -TG/2**  
 Committente **Studio Geologico Fiorentino** Provenienza **Cimitero di Trespiano - Firenze**  
 Sondaggio n° **1** Campione n° **1** Prof. (metri) **1,5 - 2,0**

**PROVA DI TAGLIO DIRETTO**

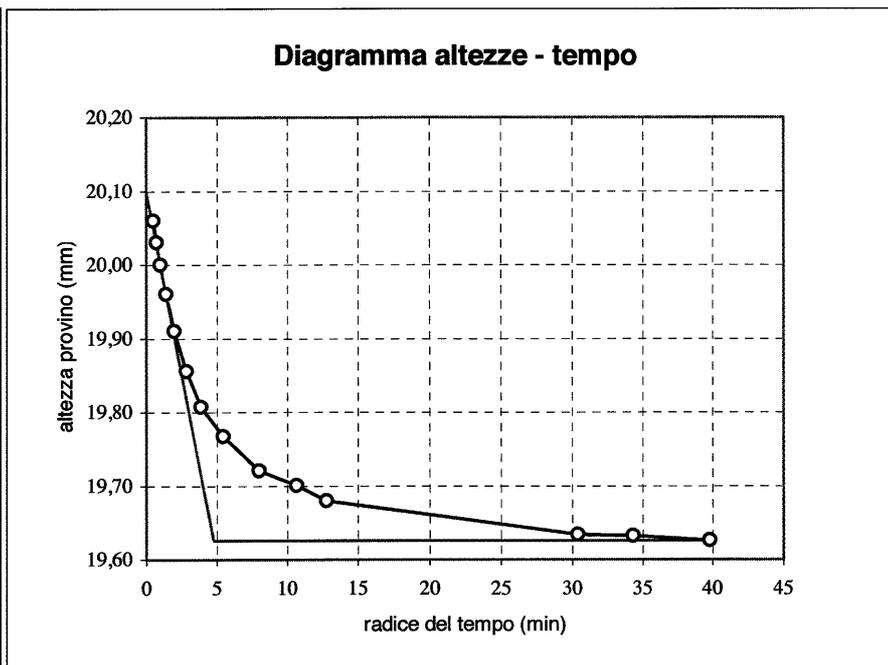
TEST DI CONSOLIDAZIONE SUL PROVINO NUMERO **2**

Dimensioni iniziali altezza mm 20,80  
 sez. cm2 36,00

Pressione normale: kPa 200

Drenaggio attraverso pietre porose situate sopra e sotto il provino.

| t (min) | Let. mm | H mm  |
|---------|---------|-------|
| 0       | 10,11   | 20,80 |
| 0,25    | 9,37    | 20,06 |
| 0,5     | 9,34    | 20,03 |
| 1       | 9,31    | 20,00 |
| 2       | 9,27    | 19,96 |
| 4       | 9,22    | 19,91 |
| 8       | 9,17    | 19,86 |
| 15      | 9,12    | 19,81 |
| 30      | 9,08    | 19,77 |
| 64      | 9,03    | 19,72 |
| 114     | 9,01    | 19,70 |
| 164     | 8,99    | 19,68 |
| 924     | 8,94    | 19,63 |
| 1179    | 8,94    | 19,63 |
| 1584    | 8,94    | 19,63 |



Tempo di consolidazione  $t_{100}$

23 min

Velocità di taglio da imporre (per deformazioni a rottura di 6,0 mm) <

0,0206 mm/min

il Direttore  
 Prof. Geol. Piero Focardi  
*Piero Focardi*

lo Sperimentatore  
 Dr. Geol. Alessandro Lugo  
*Alessandro Lugo*

|                            |                                    |                             |  |               |                  |
|----------------------------|------------------------------------|-----------------------------|--|---------------|------------------|
| Certificato n°             | <b>032-14</b>                      | Data                        | <b>17/06/14</b>                        | Pagina        | <b>7 / 20</b>    |
| Verbale di accettazione n° | <b>14029</b>                       | Prova numero / pagina prova | <b>1402901 -TG/3</b>                   |               |                  |
| Committente                | <b>Studio Geologico Fiorentino</b> | Provenienza                 | <b>Cimitero di Trespiano - Firenze</b> |               |                  |
| Sondaggio n°               | <b>1</b>                           | Campione n°                 | <b>1</b>                               | Prof. (metri) | <b>1,5 - 2,0</b> |

### PROVA DI TAGLIO DIRETTO

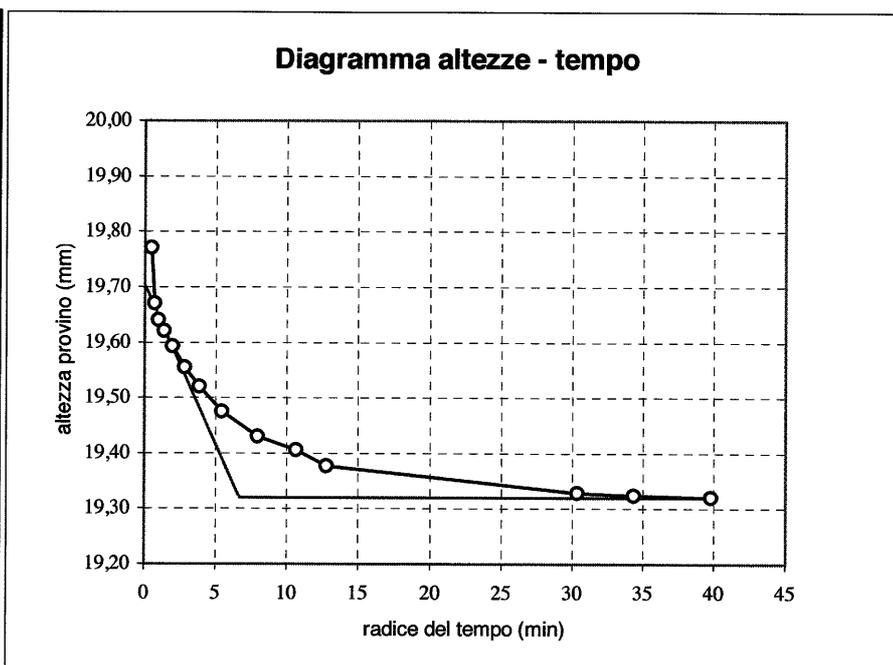
TEST DI CONSOLIDAZIONE SUL PROVINO NUMERO **3**

Dimensioni iniziali      altezza    mm    20,80  
    sez.      cm2    36,00

Pressione normale:      kPa    300

Drenaggio attraverso pietre porose situate sopra e sotto il provino.

| t<br>(min) | Let.<br>mm | H<br>mm |
|------------|------------|---------|
| 0          | 9,28       | 20,80   |
| 0,25       | 8,25       | 19,77   |
| 0,5        | 8,15       | 19,67   |
| 1          | 8,12       | 19,64   |
| 2          | 8,10       | 19,62   |
| 4          | 8,07       | 19,59   |
| 8          | 8,03       | 19,55   |
| 15         | 8,00       | 19,52   |
| 30         | 7,96       | 19,48   |
| 64         | 7,91       | 19,43   |
| 114        | 7,89       | 19,41   |
| 164        | 7,86       | 19,38   |
| 924        | 7,81       | 19,33   |
| 1179       | 7,80       | 19,32   |
| 1584       | 7,80       | 19,32   |



Tempo di consolidazione  $t_{100}$

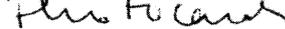
44 min

Velocità di taglio da imporre (per deformazioni a rottura di 6,0 mm) <

0,0106 mm/min

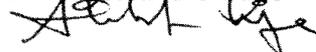
il Direttore

Prof. Geol. Piero Focardi



lo Sperimentatore

Dr. Geol. Alessandro Lugo





Certificato n° **032-14** Data **17/06/14** Pagina **8 / 20**  
 Verbale di accettazione n° **14029** Prova numero / pagina prova **1402901 -TG/4**  
 Committente **Studio Geologico Fiorentino** Provenienza **Cimitero di Trespiano - Firenze**  
 Sondaggio n° **1** Campione n° **1** Prof. (metri) **1,5 - 2,0**

**PROVA DI TAGLIO DIRETTO**

PROVA DI TAGLIO SUL PROVINO NUMERO **1**

|                              |     |      |
|------------------------------|-----|------|
| Pressione di consolidazione  | kPa | 100  |
| Tempo di consolidazione      | ore | 27   |
| Pressione normale            | kPa | 100  |
| Resistenza al taglio         | kPa | 50   |
| Spostamento orizz. a rottura | mm  | 3,00 |

| s<br>mm | Din.<br>mm | DH<br>mm | t<br>kPa |
|---------|------------|----------|----------|
| 0,00    | 0,000      | 0,00     | 0        |
| 0,20    | 0,117      | -0,01    | 17       |
| 0,50    | 0,225      | -0,03    | 33       |
| 1,00    | 0,306      | -0,06    | 45       |
| 1,50    | 0,336      | -0,07    | 50       |
| 2,00    | 0,339      | -0,07    | 50       |
| 2,50    | 0,339      | -0,07    | 50       |
| 3,00    | 0,339      | -0,07    | 50       |
| 3,60    | 0,333      | -0,07    | 49       |
| 4,30    | 0,327      | -0,07    | 48       |
| 5,00    | 0,319      | -0,07    | 47       |
| 5,70    | 0,313      | -0,07    | 46       |
| 6,31    | 0,309      | -0,07    | 46       |

VELOCITA' DI PROVA 0,005 mm/min

s = spostamento (mm)

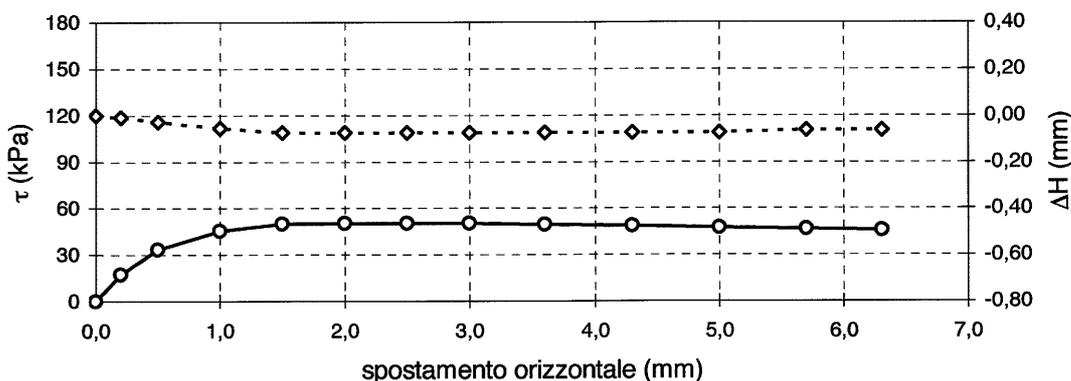
e = deformazione provino (%)

Din = lettura dinamometro (mm)

DH = variazione di altezza del provino (mm)

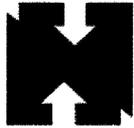
t = resistenza al taglio (kPa)

**Diagramma delle tensioni tangenziali e delle variazioni di altezza in funzione delle deformazioni**



il Direttore  
Prof. Geol. Piero Focardi

lo Sperimentatore  
Dr. Geol. Alessandro Lugo



Certificato n° **032-14** Data **17/06/2014** Pagina **9 / 20**  
Verbale di accettazione n° **14029** Prova numero / pagina prova **1402901 -TG/5**  
Committente **Studio Geologico Fiorentino** Provenienza **Cimitero di Trespiano - Firenze**  
Sondaggio n° **1** Campione n° **1** Prof. (metri) **1,5 - 2,0**

**PROVA DI TAGLIO DIRETTO**

PROVA DI TAGLIO SUL PROVINO NUMERO **2**

|                              |     |      |
|------------------------------|-----|------|
| Pressione di consolidazione  | kPa | 200  |
| Tempo di consolidazione      | ore | 27   |
| Pressione normale            | kPa | 200  |
| Resistenza al taglio         | kPa | 78   |
| Spostamento orizz. a rottura | mm  | 2,50 |

| s    | Din.  | DH    | t   |
|------|-------|-------|-----|
| mm   | mm    | mm    | kPa |
| 0,00 | 0,000 | 0,00  | 0   |
| 0,20 | 0,063 | -0,01 | 15  |
| 0,50 | 0,189 | -0,02 | 46  |
| 1,00 | 0,277 | -0,05 | 68  |
| 1,50 | 0,309 | -0,10 | 75  |
| 2,00 | 0,319 | -0,12 | 78  |
| 2,50 | 0,321 | -0,13 | 78  |
| 3,00 | 0,306 | -0,13 | 75  |
| 3,60 | 0,292 | -0,14 | 71  |
| 4,30 | 0,278 | -0,14 | 68  |
| 5,00 | 0,269 | -0,14 | 66  |
| 5,70 | 0,262 | -0,14 | 64  |
| 6,25 | 0,253 | -0,14 | 62  |

VELOCITA' DI PROVA 0,005 mm/min

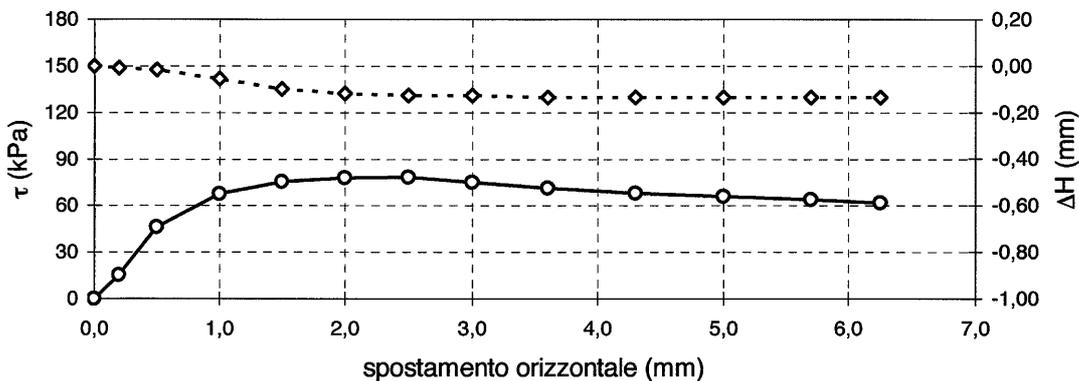
s = spostamento (mm)

Din = lettura dinamometro (mm)

DH = variazione di altezza del provino (mm)

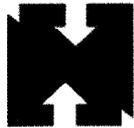
t = resistenza al taglio (kPa)

**Diagramma delle tensioni tangenziali e della variazione di altezza in funzione delle deformazioni**



il Direttore  
**Prof. Geol. Piero Focardi**  
*Piero Focardi*

lo Sperimentatore  
**Dr. Geol. Alessandro Lugo**  
*Alessandro Lugo*



Certificato n° **032-14** Data **17/06/14** Pagina **10 / 20**  
 Verbale di accettazione n° **14029** Prova numero / pagina prova **1402901 -TG/6**  
 Committente **Studio Geologico Fiorentino** Provenienza **Cimitero di Trespiano - Firenze**  
 Sondaggio n° **1** Campione n° **1** Prof. (metri) **1,5 - 2,0**

**PROVA DI TAGLIO DIRETTO**

PROVA DI TAGLIO SUL PROVINO NUMERO **3**

|                              |     |      |
|------------------------------|-----|------|
| Pressione di consolidazione  | kPa | 300  |
| Tempo di consolidazione      | ore | 27   |
| Pressione normale            | kPa | 300  |
| Resistenza al taglio         | kPa | 115  |
| Spostamento orizz. a rottura | mm  | 2,00 |

VELOCITA' DI PROVA 0,005 mm/min

s = spostamento (mm)

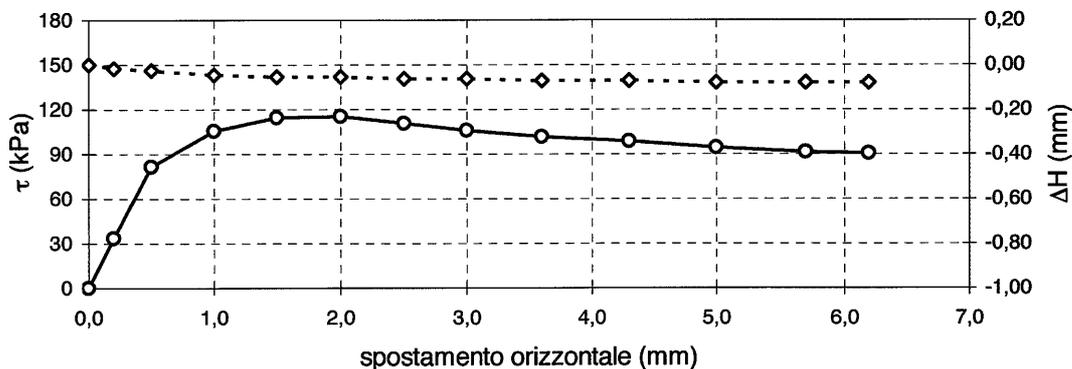
Din = lettura dinamometro (mm)

DH = variazione di altezza del provino (mm)

t = resistenza al taglio (kPa)

| s<br>mm | Din.<br>mm | DH<br>mm | t<br>kPa |
|---------|------------|----------|----------|
| 0,00    | 0,000      | 0,00     | 0        |
| 0,20    | 0,073      | -0,02    | 34       |
| 0,50    | 0,177      | -0,03    | 81       |
| 1,00    | 0,229      | -0,05    | 105      |
| 1,50    | 0,249      | -0,05    | 115      |
| 2,00    | 0,250      | -0,05    | 115      |
| 2,50    | 0,240      | -0,06    | 110      |
| 3,00    | 0,230      | -0,06    | 106      |
| 3,60    | 0,221      | -0,07    | 102      |
| 4,30    | 0,214      | -0,07    | 99       |
| 5,00    | 0,205      | -0,08    | 94       |
| 5,70    | 0,198      | -0,08    | 91       |
| 6,20    | 0,196      | -0,08    | 90       |

**Diagramma delle tensioni tangenziali e della variazione di altezza in funzione delle deformazioni**



il Direttore  
Prof. Geol. Piero Focardi  
*Piero Focardi*

lo Sperimentatore  
Dr. Geol. Alessandro Lugo  
*Alessandro Lugo*

|                            |                                    |                             |  |               |                  |
|----------------------------|------------------------------------|-----------------------------|--|---------------|------------------|
| Certificato n°             | <b>032-14</b>                      | Data                        | <b>17/06/14</b>                        | Pagina        | <b>11 / 20</b>   |
| Verbale di accettazione n° | <b>14029</b>                       | Prova numero / pagina prova | <b>1402901 -TG/7</b>                   |               |                  |
| Committente                | <b>Studio Geologico Fiorentino</b> | Provenienza                 | <b>Cimitero di Trespiano - Firenze</b> |               |                  |
| Sondaggio n°               | <b>1</b>                           | Campione n°                 | <b>1</b>                               | Prof. (metri) | <b>1,5 - 2,0</b> |

**PROVA DI TAGLIO DIRETTO**  
(ASTM D 3080)

Dimensioni iniziali :                      altezza    2,08    cm                      sezione : 36,00    cm<sup>2</sup>

**PESO DI VOLUME**

|                    |                   | Prima della prova |        |        | Dopo la rottura |        |        |
|--------------------|-------------------|-------------------|--------|--------|-----------------|--------|--------|
|                    |                   | 1                 | 2      | 3      | 1               | 2      | 3      |
| Provino numero     |                   |                   |        |        |                 |        |        |
| Massa del terreno  | g                 | 148,49            | 146,98 | 146,42 | 150,83          | 146,37 | 144,27 |
| Volume del terreno | cm <sup>3</sup>   | 74,88             | 74,88  | 74,88  | 72,11           | 70,11  | 69,23  |
| Massa specifica    | g/cm <sup>3</sup> | 1,98              | 1,96   | 1,96   | 2,09            | 2,09   | 2,08   |
| Peso di volume     | kN/m <sup>3</sup> | 19,45             | 19,25  | 19,18  | 20,51           | 20,47  | 20,44  |

**CONTENUTO DI ACQUA**

|                     |   | Prima della prova |        |        | Dopo la rottura |        |        |
|---------------------|---|-------------------|--------|--------|-----------------|--------|--------|
|                     |   | 1                 | 2      | 3      | 1               | 2      | 3      |
| Provino numero      |   |                   |        |        |                 |        |        |
| Massa terreno umido | g | 148,49            | 146,98 | 146,42 | 150,83          | 146,37 | 144,27 |
| Massa terreno secco | g | 123,05            | 118,79 | 117,00 | 123,05          | 118,79 | 117,00 |
| Contenuto di acqua  | % | 20,67             | 23,73  | 25,15  | 22,58           | 23,22  | 23,31  |

*il Direttore*  
**Prof. Geol. Piero Focardi**  


*lo Sperimentatore*  
**Dr. Geol. Alessandro Lugo**  




**ELLE TI**  
Laboratorio Terre s.r.l.

Concessione Ministeriale Circ. 7618/STC - Settore A  
Sistema di Qualità certificato UNI EN ISO 9001:2008



Via Galeotti 3 - 50136 Firenze - Tel/fax 055 6505508 - www.laboratorioelleti.it - laboratorio.elleti@tiscali.it

|                |  |                |                 |                  |                |
|----------------|--|----------------|-----------------|------------------|----------------|
| Certificato n° | <b>032-14</b>  | Data           | <b>17/06/14</b> | Pagina           | <b>12 / 20</b> |
| Committente    | <b>Studio Geologico Fiorentino - Via Gherardo Silvani, 190 - Firenze</b> |                |                 |                  |                |
| Richiedente    | <b>Dr. Geol. Lorenzo Cirri</b>   |                |                 |                  |                |
| Provenienza    | <b>Cimitero di Trespiano - Firenze</b>                                   |                |                 |                  |                |
| Contenitore    | <b>Fustella acciaio</b>  | Diametro (mm)  | <b>85</b>       | Lunghezza (cm)   | <b>44</b>      |
| Contrassegno   | Sond. <b>4</b>   | Camp. <b>1</b> | Profondità (m)  | <b>4,5 - 5,0</b> |                |

**DESCRIZIONE DEL CAMPIONE E PROGRAMMA PROVE**

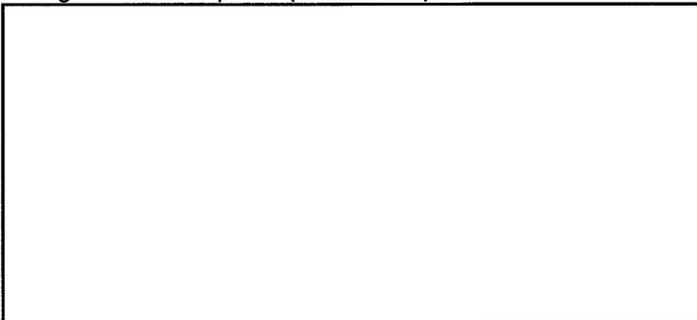
Data di apertura del campione **10/6/14**

Descrizione del campione:

**Argilla limosa bruno verdastra con abbondanti inclusi ghiaiosi.**

Classe di qualità **Q5**

Fotografia del campione (se richiesta)



Ubicazione dei provini sottoposti ad analisi (disegno non in scala)

|       |    |      |      |
|-------|----|------|------|
|       |    | P.P. | V.T. |
| Alto  | TG | 260  | 40   |
|       |    | 300  | 60   |
|       |    | 280  |      |
| Basso |    |      |      |

P.P. = Pocket penetrometer (kPa)  
V.T. = Vane test (kPa)

OSSERVAZIONI:

*il Direttore*  
**Prof. Geol. Piero Focardi**

*lo Sperimentatore*  
**Dr. Geol. Alessandro Lugo**