



**REGIONE CAMPANIA**  
**PROVINCIA di CASERTA**  
**COMUNE di PIGNATARO MAGGIORE**

Piattaforma polifunzionale  
per la gestione dei rifiuti pericolosi e non  
sita nell'Agglomerato industriale S.S. Via Appia 7 - 81052 Pignataro Maggiore (CE)  
Autorizzazione Integrata Ambientale ai sensi del D.Lgs 03/04/2006 N°152 e s.m.i.



**F.lli Gentile F & R S.r.l.**

Sede legale:  
via IV Traversa Pietro Nenni, 10 - 80026 Casoria (NA)  
Nuova sede Operativa:  
Agglomerato industriale S.S. Via Appia 7 - 81052 Pignataro Maggiore (CE)  
tel/fax: 081-7584622 mobile: 348-6536295  
web: [www.fratelligentile.it](http://www.fratelligentile.it) P.Iva: 01356301216

IL RICHIEDENTE

**F.lli Gentile F & R S.r.l.**  
**Via IV Traversa Pietro Nenni, 10 - 80026**  
**Casoria (CE)**  
**tel/fax: 081-7584622**  
**web: [www.fratelligentile.it](http://www.fratelligentile.it)**  
**P.Iva: 01356301216**

IL PROGETTISTA

**Dott. Ing. Iorio Raffaele**  
**mobile: 347-6524334**  
**e-mail: [r.iorio@ingiorio.it](mailto:r.iorio@ingiorio.it)**



**XA S.n.c. di Vigilante Simona & C.**

Strada Gagliarano, 70 65013 Città Sant'Angelo (PE)  
P.Iva 02006890681  
mobile (+39) 339.3255861 - (+39) 329.7609789  
e-mail: [info@xasnc.it](mailto:info@xasnc.it) url: [www.xasnc.it](http://www.xasnc.it)



**FORMA S.r.l.**

Vico Santa Caterina, 6 65013 Città Sant'Angelo (PE)  
P.Iva 02022390682 tel./fax (+39) 085.9153461  
e-mail: [info@studioforma.it](mailto:info@studioforma.it) url: [www.studioforma.it](http://www.studioforma.it)

Riferimento  
commessa:

Nome cliente:  
**F.lli Gentile F & R S.r.l.**

Località:  
**Pignataro Maggiore (CE)**

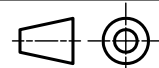
Progetto generale:  
**Piattaforma polifunzionale**

Informazione  
elaborato:

**Allegato Y3 - Relazione geologica**

Disegni di riferimento N°:

Scala disegno:  
**1:1**



Redatto:  
09/02/2017  
FORMA S.r.l.

Approvato:  
15/02/2017  
XA S.n.c.

Disegno num.:  
**16.111.03A.0026**

Rev. Pagina

Ultima rev.:



# COMUNE DI PIGNATARO MAGGIORE

**Elaborato:**

## RELAZIONE GEOLOGICA

**Oggetto:**

**Committenti:**

**Geologo:**

\_\_\_\_\_  
*Dott. Geol. Lorenzo Tesauro*

*Visti ed approvazioni*

**Data:**

**15/12/2016**

## **INDICE**

<i>1.0 PREMESSA</i>	<i>3</i>
<i>2.0 INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE</i>	<i>6</i>
<i>3.0 INQUADRAMENTO MORFOLOGICO/IDROGEOLOGICO</i>	<i>8</i>
<i>4.0 CAMPAGNA D'INDAGINE</i>	<i>10</i>
<i>4.1 SONDAGGI GEOGNOSTICI</i>	<i>11</i>
<i>4.2 PROVE S.P.T.</i>	<i>13</i>
<i>5.0 SUCCESSIONE STRATIGRAFICA LOCALE</i>	<i>15</i>
<i>6.0 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI</i>	<i>16</i>
<i>7.0 CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO</i>	<i>20</i>
<i>8.0 VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE DEI TERRENI</i>	<i>26</i>
<i>9.0 CONCLUSIONI</i>	<i>28</i>

## *ALLEGATI*

1. CARTA UBICAZIONE INDAGINI
2. STRATIGRAFIE DEI SONDAGGI
3. DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

## 1.0 PREMESSA

A seguito di incarico ricevuto da \_\_\_\_\_,  
il sottoscritto *Dott. Geol. Lorenzo Tesauro*, iscritto all'albo dei Geologi della Regione Campania  
e residente in Caserta alla Via G. Basile n° 1, ha redatto la presente relazione geologica  
finalizzata \_\_\_\_\_

nel Comune di Pignataro Maggiore (CE).

L'area in esame è contraddistinta catastalmente \_\_\_\_\_.

Il presente studio è indirizzato:

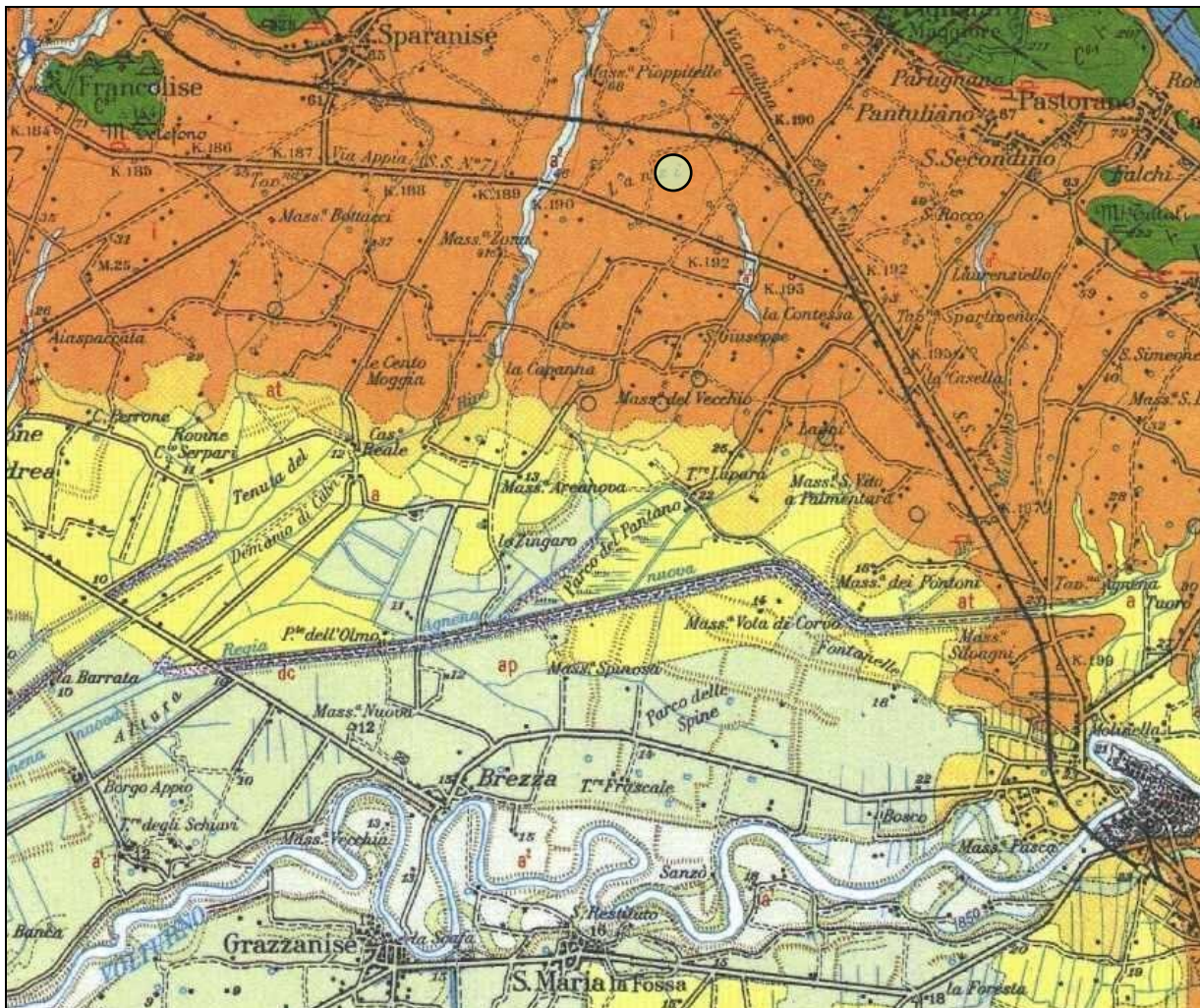
1. a raccogliere tutte le indicazioni geologiche, geomorfologiche ed idrogeologiche del sito;
2. a ricostruire la stratigrafia per una profondità direttamente collegata all'importanza dell'opera;
3. a determinare le caratteristiche geotecniche e sismiche dei litotipi coinvolti dalle opere;
4. ad evidenziare, e se presenti a studiare, eventuali situazioni particolari/critiche (es. fronti di frana, pericoli di esondazione, cavità e quant'altro).

L'indagine è stata articolata nelle seguenti fasi:

1. sopralluogo preliminare necessario per prendere visione dello stato dei luoghi e raccogliere tutta la documentazione occorrente;
2. rilievo dei dati geologici di superficie in un ambito areale significativo;
3. esecuzione di n° 2 sondaggi geognostici a carotaggio continuo completi di prove S.P.T. in foro e prelievo di campioni indisturbati; analisi di laboratorio sui campioni di terreno prelevati;
4. esecuzione di n° 5 prove penetrometriche dinamiche continue DPSH;
5. esecuzione di una prova sismica Masw.;
6. determinazione dei parametri geotecnici e sismici previo analisi dei risultati delle prove eseguite;
7. acquisizione di tutti i parametri fisici dei terreni presenti, mediante l'esecuzione di prove di laboratorio, ricerca bibliografica e/o desumibili da studi eseguiti nelle vicinanze, così come previsto dalla normativa vigente.

L'area di indagine, sede della struttura di cui in oggetto, cartograficamente ricade nel Foglio 172 della Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000, denominato "CASERTA" e nella Carta Topografica Programmatica Regionale Tav. 8 - Teano (Quadrante 172-IV).

## STRALCIO CARTA GEOLOGICA D'ITALIA FOGLIO N°172 CASERTA



### LEGENDA

**i** Ignimbrite da trachitica a trachifonolitica, talora con fessurazione colonnare (Tufo grigio Campano): alla base compatta da marrone bruciato a violacea con piccole pomici e scorie ocre e nere appiattite; verso l'alto lapidea grigiasta a scorie e pomici nere, anche di grosse dimensioni, ricche in sanidino; in superficie e alla periferia dell'apparato incoerente, grigia prevalentemente cineritica. Sottile paleosuolo cotto sottostante. (Pleistocene Sup.)

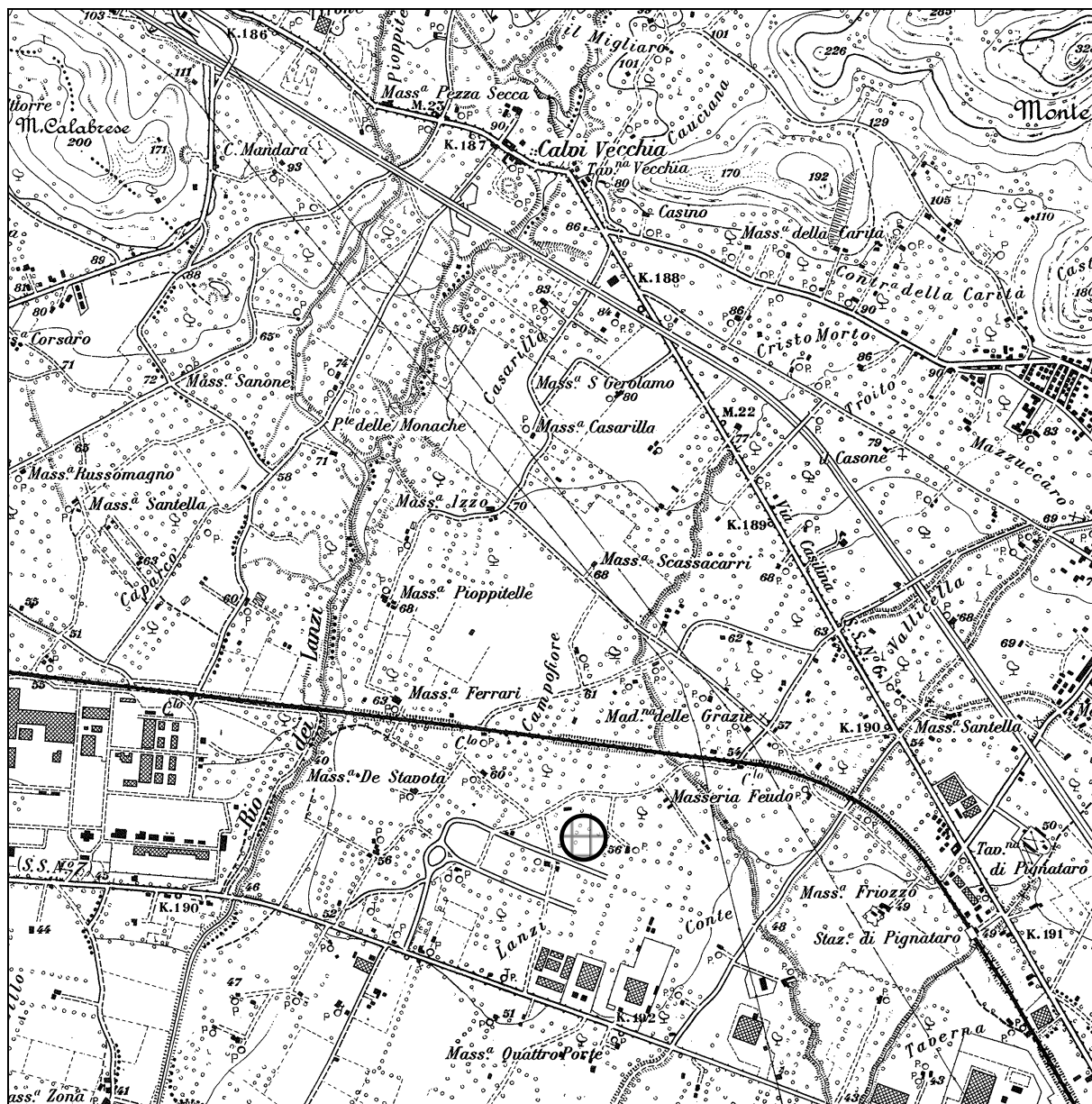
**C<sup>6-1</sup>** Calcarei microcristallini bianchi; calcari e calcari dolomitici bianchi e avana talora con intercalazioni di livelletti argillosi verdi. (Cretacico inf.)

**at** Sabbie e limi grigi e giallastri, stratificati, incoerenti, terreni umiferi, minuto detrito calcareo in vicinanza dei rilievi, lenti di ciottolini fluviali misti con sabbie augitiche, lenti e pomici rimaneggiate e di piccole dimensioni. (Olocene)



**AREA OGGETTO DI INDAGINE**

STRALCIO CARTA TOPOGRAFICA PROGRAMMATICA  
PROVINCIA DI CASERTA  
TAVOLA N° 8 - TEANO (Quadrante 172-IV) - Scala 1:25.000



AREA OGGETTO DI INDAGINE

## 2.0 INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE

L'area interessata dall'indagine geologico-tecnica ricade all'interno del Graben della Piana Campana, una struttura ribassata da una serie di faglie dirette legate alla tettonica Plio-Quaternaria ed allo sprofondamento conseguente che determinò un progressivo abbassamento dei margini della catena soprattutto quello del tirreno occidentale. Tale depressione strutturale fu colmata poi sia da depositi marini essenzialmente argilloso-sabbiosi del Pliocene, che da materiale di origine piroclastica del Pleistocene derivante essenzialmente dall'attività vulcanica dei Campi Flegrei, Roccamonfina e Somma-Vesuvio che, insieme, costituiscono buona parte del vulcanesimo Potassico Campano, la cui età è da collocarsi intorno a circa 1÷2 milioni di anni fa e dove il Roccamonfina ne costituisce la porzione più antica.

Nell'area d'indagine si rileva la presenza di una sola formazione geologica di natura vulcanica che prende il nome di Ignimbrite trachifonolitica meglio nota come TUFO GRIGIO CAMPANO, i cui centri di emissione sono da ubicare in prossimità dei Campi Flegrei, la cui attività, secondo la più recente bibliografia, è stata suddivisa in 4 cicli:

- **I Ciclo:** i depositi caratteristici di questo periodo sono rappresentati da un livello di pomice che si rinviene alla base dell'Ignimbrite Campana. L'età di tale ciclo risale ad oltre 35.000 anni.

- **II Ciclo:** messa in posto dell'Ignimbrite Campana (Tufo Grigio Campano Auct.). La messa in posto del tufo grigio è da mettere in relazione ad un'attività fissurale, determinata da fratture con direzione appenninica, che originariamente ha coperto un'area vasta circa 7.000 Km<sup>2</sup>; attualmente gli affioramenti ricoprono circa 500 Km<sup>2</sup> di superficie. Data la tipologia esplosiva, le differenziazioni stratigrafiche sono dovute più che a variazioni litologiche a variazioni granulometriche.

Nella stratigrafia del Tufo Grigio Campano si distinguono dal basso verso l'alto:

Piperno, ricco in sanidino, con pomice appiattite;

Tufo pipernoide, con pomice appiattite e disposte a bande parallele (fiamme);

Semitufo (tufo comune), compatto alla base di colore da marrone bruciato a violaceo, grigio verso l'alto con pomice e scorie di dimensioni variabili di colore ocra e nere appiattite e ricche in sanidino;

Cinerazzo, incoerente, grigio o violaceo prevalentemente cineritico con spessore limitato.

La differenza tra questi materiali dipende esclusivamente dal grado d'autometamorfismo dei materiali. Nel casertano, il semitufo è caratterizzato da una facies zeolitica gialla con scorie nere, questi terreni sono noti come “tufo Giallo Casertano”. L'età dei depositi di tale ciclo è valutata tra 35.000 e 32.000 anni.

- **III Ciclo:** di questo periodo è la messa in posto del «Tufo Giallo Napoletano Auct.», utilizzato come marker stratigrafico data l'enorme diffusione nell'area Flegrea. Il «Tufo Giallo» infatti, forma l'ossatura di gran parte dei rilievi tra i Campi Flegrei e Napoli. L'età di queste formazioni è valutata intorno ai 13.000 anni.

- **IV Ciclo:** le formazioni di quest'ultimo ciclo d'attività partono da 10.000 anni fino al 1538 con la formazione di M. Nuovo. In questo periodo si è avuta la formazione dei vulcani piroclastici monogenici che attualmente formano i Campi Flegrei.

I prodotti di tale periodo, data la natura e le caratteristiche d'emissione, sono rappresentati esclusivamente nell'area d'origine.

Tale formazione ha un grande sviluppo areale, essendo legata alla tipologia esplosiva delle eruzioni ignimbriche che conferisce al deposito un certo grado di caoticità e ne permette l'espansione anche a notevole distanza dai centri di emissione.

La sequenza prevede piroclastiti cineritiche essenzialmente incoerenti o pseudocoerenti con intercalazioni di livelli di pomici e scorie. Le distinzioni stratigrafiche si rifanno essenzialmente a differenziazioni granulometriche più che a diverse qualità litologiche, anche se in fase di raffreddamento del materiale, deposti in regime termico elevato ed accompagnato da un processo di autometamorfismo (sanidizzazione), si sono formati prodotti diversi tra loro nell'aspetto ma tutti da riferirsi alla formazione “TUFO GRIGIO CAMPANO”: dal cinerazzo al tufo pipernoide, con un relativo miglioramento, dall'alto verso il basso delle caratteristiche fisico meccaniche.

A copertura dei sopra citati depositi si trovano litotipi piroclastici del periodo “Attuale Recente”, costituiti da pomici e scorie policrome provenienti da attività vulcaniche recenti.

Questi ultimi prodotti, in particolare, possono aver subito una locale azione di rimaneggiamento per cui attualmente si rinvencono, a luoghi, in giacitura secondaria.

### **3.0 INQUADRAMENTO MORFOLOGICO/IDROGEOLOGICO**

L'area in studio dal punto di vista morfologico è ubicata ad una quota di circa 56,0 m s.l.m., si presenta nell'insieme perfettamente pianeggiante. L'area è dunque esente da pericolosità geomorfologia legata ad instabilità di versanti né sono stati osservati in superficie fenomeni di instabilità legati a dissesti profondi.

In merito alla presenza di cavità, la formazione Ignimbritica presente nell'area, non dà luogo, per sua natura, alla formazione di cavità naturali; per quanto attiene le cavità artificiali non ne sono state rilevate né dalle indagini eseguite in sito né dalle indagini pregresse eseguite nelle vicinanze del sito oggetto di studio.

Dal punto di vista idrogeologico il bacino idrico della zona oggetto di studio deve considerarsi come porzione dell'enorme bacino delimitato dalle propaggini dell'Appennino e che interessa tutta la pianura Campana con una circolazione idrica che dai massicci carbonatici defluisce verso il mare.

L'alimentazione della falda è dovuta principalmente alle acque provenienti dai complessi carbonatici dell'Appennino Campano, i quali sono tamponati alla base da materiali impermeabili e pertanto riversano i loro flussi idrici nel complesso dei sedimenti alluvionali e piroclastici della piana Campana per poi defluire verso il mare.

L'assetto strutturale e le caratteristiche geolitologiche dei materiali della Piana Campana permettono di individuare una struttura idrogeologica, definita come Unità Idrogeologica del Volturno - Regi Lagni.

Per grandi linee è possibile suddividere le litologie affioranti in un Complesso Piroclastico ed un Complesso Alluvionale.

Il Complesso piroclastico raggruppa sia i termini piroclastici incoerenti (serie stratificate e/o lenti di lapilli, pomici e scorie, sabbioni vulcanici con giacitura irregolare, tufi incoerenti, pozzolane), sia i tufi litoidi ed ignimbritici.

Le ignimbriti ed i tufi lapidei sono dotati di una media permeabilità per porosità e fessurazione. I materiali piroclastici sciolti o pseudocoerenti, permeabili esclusivamente per porosità, hanno un grado di permeabilità estremamente variabile in funzione della giacitura, della granulometria e del grado di cementazione.

Esso risulta molto basso nelle cineriti fini, ma diviene elevato nei banchi, tasche e lenti di

pomici, scorie e lapilli.

Il grado di permeabilità, quindi, risulta complessivamente medio-basso, con orizzonti a media ed alta permeabilità, sovrapposti e discontinui, soprattutto nella parte alta del complesso.

Il Complesso Alluvionale raggruppa depositi di tipo fluviale, fluvio-lacustre e palustre.

I depositi fluviali prevalgono lungo il corso del F. Volturno e sono costituiti da sabbie grossolane e ghiaie sovrapposte a materiali limosi ed argillosi.

Queste litologie sono praticamente impermeabili o poco permeabili per porosità ma, così come per il complesso piroclastico, esistono orizzonti sovrapposti di materiali grossolani altamente permeabili.

Si osserva però che i materiali alluvionali sono spesso interdigitati ed intercalati con i materiali piroclastici, in modo che risulta praticamente impossibile una netta distinzione areale dei due complessi. In ogni caso, le peculiarità idrogeologiche rimangono invariate per entrambi i complessi.

Le caratteristiche deposizionali dei sedimenti sopra descritti, l'alternanza ripetuta di episodi a varia granulometria ed il loro andamento lenticolare, hanno instaurato una circolazione idrica per falde sovrapposte contenute nei livelli più grossolani.

In questa struttura idrogeologica l'alimentazione avviene sia per apporti zenitali diretti sia per travasi dai massicci carbonatici che circondano la piana.

La falda idrica rinvenuta durante l'indagine in sito è presente a una profondità media di circa 20.00 m dal p.c. variabile in funzione dei diversi apporti pluviometrici stagionali, con deflusso da N-NE a S-SO.

Dalla consultazione del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico e del Piano Stralcio Difesa Alluvioni, redatti dall'Autorità di Bacino dei Fiumi Liri-Garigliano e Volturno si evince che l'area in esame non rientra nella perimetrazione delle aree a rischio frana e idraulico.

Si riporta di seguito esclusivamente stralcio della carta del rischio di frana, in quanto l'area non rientra nella cartografia del rischio idraulico.



## **4.0 CAMPAGNA DI INDAGINE**

La campagna di indagine è stata caratterizzata dall'esecuzione delle seguenti indagini:

- Nr. 2 sondaggi a rotazione a carotaggio continuo;
- Nr. 2 S.P.T. (Standard Penetration Test)
- Nr. 2 piezometri a tubo aperto;
- Nr. 1 indagine sismica MASW

L'esatta ubicazione delle indagini è riportata nella relativa carta presente in allegato.

### **4.1 SONDAGGI GEOGNOSTICI**

I giorni 12 e 13 dicembre 2016 sono stati eseguiti n° 2 sondaggi geognostici a carotaggio continuo denominati S1, S2 e spinti fino alla profondità di 25.00 m dal p.c.. I sondaggi sono stati eseguiti con una sonda idraulica DC100, con carotiere semplice avente diametro di 101 mm e lunghezza di 3.00 m, impiegato a secco.

Le carote estratte nel corso delle perforazioni sono state sistemate in apposite cassette catalogatrici in plastica, di lunghezza 1 mt, munite di scomparti divisorii.

L'analisi dei sondaggi geognostici ha permesso la redazione dei prospetti stratigrafici (riportati in allegato), i quali contengono le seguenti informazioni:

- ◆ denominazione del cantiere;
- ◆ committente;
- ◆ data di inizio e fine perforazione;
- ◆ descrizione, rappresentazione simbolica e profondità dal piano di campagna dei terreni attraversati e profondità della falda;
- ◆ profondità e numero di colpi delle S.P.T.



#### 4.2 PROVE S.P.T.

Durante la realizzazione dei sondaggi sono state eseguite prove S.P.T. (Standard Penetration Test). Questo tipo di prova si esegue in modo discontinuo durante l'esecuzione del sondaggio, sul fondo del foro a profondità stabilite, utilizzando la seguente attrezzatura:

- \* campionatore Raymond con diametro esterno = 50.8 mm, diametro interno = 35 mm, lunghezza = 630 mm con punta chiusa o punta aperta;
- \* massa battente di peso 63,5 Kg con volata di 75cm;
- \* aste collegate al campionatore con peso di 6,5 Kg/m.
- \* dispositivo di sganciamento automatico del maglio.

Le prove sono state eseguite secondo le seguenti fasi operative:

1. pulizia del fondo-foro di sondaggio;
2. controllo della profondità del foro in modo da escludere il verificarsi di fenomeni di rifluimento del terreno;
3. infissione nel terreno del campionatore per tre tratti consecutivi, ciascuno di 15cm.
4. sospensione della prova nel caso in cui il numero di colpi necessario all'infissione di un tratto di 15 cm sia risultato superiore a 50.

SONDAGGIO	N° SPT	Tipo di Punta	PROFONDITA'	N° DI COLPI	Nspt
S1	1	aperta	2,00-2,45	9 – 9 – 9	18
S1	2	aperta	4,00-4,45	15 – 14 – 14	28
S1	3	aperta	7,50-7,95	12 – 12 – 13	25
S1	4	chiusa	12,00-12,45	12 – 15 – 16	31
S1	5	chiusa	18,00-18,45	15 – 18 – 21	39
S2	1	aperta	2,50-2,95	7 – 8 – 8	16
S2	2	aperta	4,50-4,95	10 – 11 – 11	22
S2	3	aperta	7,50-7,95	10 – 10 – 13	23
S2	4	chiusa	9,50-9,95	14 – 16 – 18	34
S2	5	chiusa	13,00-13,45	16 – 18 – 18	36

## **5.0 SUCCESSIONE STRATIGRAFICA LOCALE**

La successione litostratigrafica, mediamente rappresentativa dell'area in esame, desunta dalla lettura dei due sondaggi geognostici effettuati nel sito in oggetto, da dati bibliografici e da esperienze locali dello scrivente, è la seguente:

da 0,00 m a 0,40 m:	Pavimentazione: conglomerato bituminoso e sottofondo;
da 0,40 m a 1,60 m:	Limo sabbioso rimaneggiato di colore marrone con rari clasti calcarei centimetrici a spigoli vivi;
da 1,60 m a 3,50 m:	Depositi piroclastici: cineriti limoso-sabbiose di colore grigio rossastro moderatamente addensate.;
da 3,50 m a 25,00 m:	Depositi piroclastici: cineriti da sabbioso-limose a limo-sabbiose di colore grigio da moderatamente addensate ed addensate con pomici e clasti vulcanici centimetrici.

## 6.0 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI

La caratterizzazione geotecnica consiste nella formulazione di un modello geotecnico dei terreni di fondazione, tale da condurre la complessa situazione naturale a schemi più semplici, facilmente utilizzabili per i calcoli di progetto.

Essa è stata esplicitata mediante l'elaborazione dei risultati delle prove S.P.T. eseguite nel corso dei sondaggi geognostici. Infatti è possibile utilizzare la vasta bibliografia esistente e di sicura attendibilità, sviluppata da numerosi Autori, per effettuare correlazioni empiriche tra  $N_{SPT}$  e le caratteristiche geotecniche dei terreni.

Di seguito si riportano la suddivisione in strati aventi omogenee caratteristiche geotecniche:

Profondità (m)	Litologia	Angolo di attrito (°)	Coesione (Kg/cmq)	Densità relativa (%)	Modulo edometrico (Kg/cmq)	Modulo di Young (Kg/cmq)	Peso di volume naturale (g/cm <sup>3</sup> )
0,00-0,40	Pavimentazione e riporto	***	***	***	***	***	***
0,40-1,60	Limi sabbiosi	25	0,00	15	21	20	1,40
1,60-3,50	Sabbie limose	32	0,00	60	100	72	1,55
3,50-8,00	Sabbie limose	33	0,00	57	115	84	1,60
8,00-25,00	Sabbie limose	35	0,00	58	147	111	1,60-1,70(*)

### Correlazioni utilizzate:

Angolo di attrito: MEYERHOF  
Densità relativa: SCHULTZE-MENZENBACH  
Modulo edometrico: MENZENBACH E MALCEV  
Modulo di Young: BOWLES  
Stato di addensamento: Classificazione AGI  
(\*) da 20.00 m in poi Peso di volume saturo.

## 7.0 CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO

Con l'entrata in vigore del D.M. 14 gennaio 2008 (Norme Tecniche per le Costruzioni) l'azione sismica sulle costruzioni è valutata a partire da una "pericolosità sismica di base", in condizioni ideali di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A nelle NTC).

Qualora il sito in esame non presenti le suddette condizioni, l'azione sismica di progetto deve essere modificata in relazione alle condizioni locali stratigrafiche del sottosuolo e alla morfologia della superficie.

A tale scopo, come prescritto dalle NTC, bisogna determinare:

- la categoria di sottosuolo (tabelle 3.2.II e 3.2.III);
- la categoria topografica (tabella 3.2.IV).

**Tabella 3.2.II – Categorie di sottosuolo**

Categoria	Descrizione
<b>A</b>	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di <math>V_{s,30}</math> superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.</i>
<b>B</b>	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di <math>V_{s,30}</math> compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero <math>N_{SPT,30} &gt; 50</math> nei terreni a grana grossa e <math>c_{u,30} &gt; 250</math> kPa nei terreni a grana fina).</i>
<b>C</b>	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di <math>V_{s,30}</math> compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero <math>15 &lt; N_{SPT,30} &lt; 50</math> nei terreni a grana grossa e <math>70 &lt; c_{u,30} &lt; 250</math> kPa nei terreni a grana fina).</i>
<b>D</b>	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di <math>V_{s,30}</math> inferiori a 180 m/s (ovvero <math>N_{SPT,30} &lt; 15</math> nei terreni a grana grossa e <math>c_{u,30} &lt; 70</math> kPa nei terreni a grana fina).</i>
<b>E</b>	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con <math>V_s &gt; 800</math> m/s).</i>

**Tabella 3.2.III – Categorie aggiuntive di sottosuolo.**

Categoria	Descrizione
<b>S1</b>	<i>Depositi di terreni caratterizzati da valori di <math>V_{s,30}</math> inferiori a 100 m/s (ovvero <math>10 &lt; c_{u,30} &lt; 20</math> kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.</i>
<b>S2</b>	<i>Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.</i>

Tabella 3.2.IV – Categorie topografiche

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Ai fini della identificazione della categoria di sottosuolo, la classificazione si effettua in base ai valori della velocità equivalente  $V_{s,30}$  di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità; tale profondità, per le fondazioni superficiali, è riferita al piano di imposta delle stesse.

La velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{s,30}$  è definita dall'espressione:

$$V_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{s,i}}} \text{ [m/s]}$$

dove:

$h_i$ : spessore (in metri) dell' $i$ -esimo strato compreso nei primi 30 m di profondità;

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

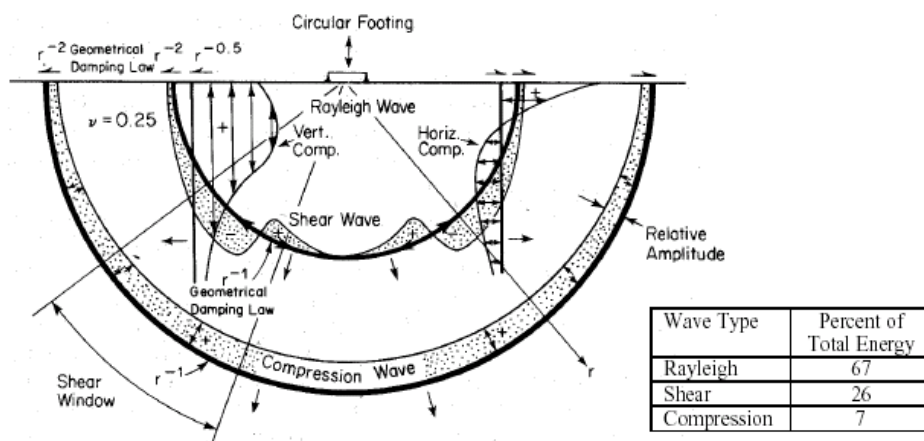
$N$ : numero di strati compresi nei primi 30 m di profondità.

Le categorie di sottosuolo e topografica individuate saranno utilizzate dal progettista per la determinazione dei coefficienti di amplificazione stratigrafica ( $S_s$  e  $C_c$ ) e del coefficiente di amplificazione topografica ( $S_T$ ) necessari per modificare l'azione sismica di base.

Per la valutazione delle velocità delle onde di taglio, è stata eseguita dallo scrivente, una indagine geofisica consistente in nr. 1 profilo sismico tipo *M.A.S.W.* (multichannel analysis of surface waves).

## 7.1 INDAGINE SISMICA M.A.S.W.

Il rilievo geofisico MASW (multichannel analysis of surface waves) è utilizzato per la determinazione dei profili verticali della velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) tramite inversione delle curve di dispersione delle onde di Rayleigh effettuata con *algoritmi genetici*.



I vantaggi dell'uso di questa metodologia geofisica rispetto ai metodi tradizionali sono:

1. Particolarmente indicato per suoli altamente attenuanti ed ambienti rumorosi;
2. Non limitato – a differenza del metodo a rifrazione – dalla presenza di inversioni di velocità in profondità;
3. Buona risoluzione (a differenza del metodo a riflessione).

Inoltre:

- La percentuale di energia convertita in onde di Rayleigh è di gran lunga predominante (67%) rispetto a quella coinvolta nella generazione e propagazione delle onde P (7%) ed S (26%).
- L'ampiezza delle *surface waves* dipende da  $\sqrt{r}$  e non da  $r$  come per le *body waves*.

## 7.2 STRUMENTAZIONE IMPIEGATA

L'indagine è stata eseguita utilizzando un sismografo modello SYSMATRACK (n° serie: M044046) della MAE Srl, avente le seguenti caratteristiche tecniche:

Configurazione: 24 Canali

Alimentazione: Batteria esterna 12 V 1 A

Conversione A/D: 24 bit con un convertitore sigma-delta dedicato al singolo canale

Guadagno: 0, 6, 12, 18, 24, 30, 36 dB configurabili a software per i singoli canali

Intervallo di campionamento: 0.0667, 0.1333, 0.2666, 0.5, 1.0, 2.0, 10.0, 20.0 mS

Memoria di registrazione: 10922 campioni

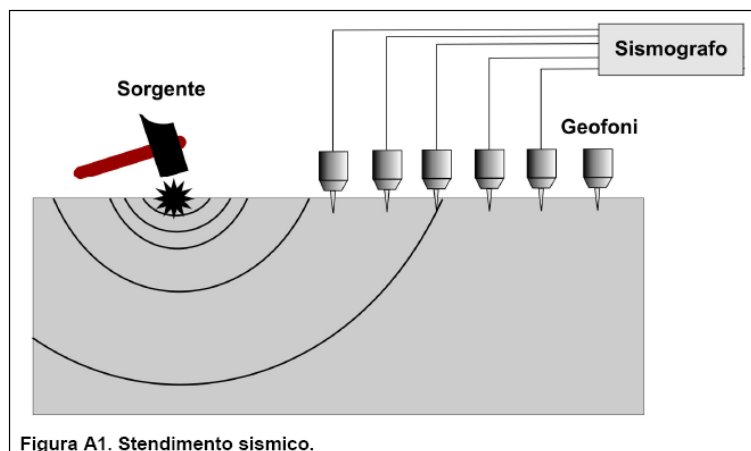
Formato dei dati: SEG-2 standard

Sistema operativo: Windows XP Embedded

Sono stati utilizzati 24 geofoni da 4,5 Hz e, come sorgente energizzante, una massa battente (martello) da 8 Kg battuta su una piastra metallica.

## 7.3 METODOLOGIA OPERATIVA

Acquisire un set di dati per l'indagine MASW non è troppo diverso da una comune acquisizione per un'indagine a rifrazione (o riflessione). E' sufficiente effettuare uno stendimento di geofoni allineati con la sorgente ed utilizzare una sorgente ad impatto verticale (martello).



Il profilo MASW è stato eseguito utilizzando n° 24 geofoni allineati sul terreno con un'interdistanza di 2,00 metri; i punti di scoppio sono stati posizionati ad una delle 2 estremità

del profilo a distanze di 2,00 m, 4,00 m e 6,00 m dal geofono n° 1. La scelta dei tre scoppi è stata effettuata per avere la certezza di generare la dispersione delle onde superficiali a prescindere dai differenti litotipi presenti nel sottosuolo dell'area investigata.

## 7.4 METODOLOGIA INTERPRETATIVA

Il software EASY MASW della GeoStru consente di analizzare i dati sismici acquisiti in campagna in modo tale da poter ricavare il profilo verticale della Vs (velocità delle onde di taglio).

Tale risultato è ottenuto tramite inversione delle curve di dispersione delle onde di Rayleigh, determinate tramite la tecnica MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves).

La procedura si sviluppa in due operazioni svolte in successione:

- 1) determinazione dello spettro di velocità;
- 2) inversione della curva di dispersione attraverso l'utilizzo di algoritmi genetici.

Gli algoritmi evolutivi rappresentano un tipo di procedura di ottimizzazione appartenente alla classe degli algoritmi euristici (o anche *global-search methods* o *soft computing*).

Rispetto ai comuni metodi di inversione lineare basati su metodi del gradiente (matrice Jacobiana), queste tecniche di inversione offrono un'affidabilità del risultato di gran lunga superiore per precisione e completezza. I comuni metodi lineari forniscono infatti soluzioni che dipendono pesantemente dal modello iniziale di partenza che l'utente deve necessariamente fornire. Per la natura del problema (inversione delle curve di dispersione), la grande quantità di minimi locali porta necessariamente ad attrarre il modello iniziale verso un minimo locale che può essere significativamente diverso da quello reale (o globale). In altre parole, i metodi lineari richiedono che il modello di partenza sia già di per sé vicinissimo alla soluzione reale. In caso contrario il rischio è quello di fornire soluzioni erranee. Gli algoritmi evolutivi offrono invece un'esplorazione molto più ampia delle possibili soluzioni. A differenza dei metodi lineari non è necessario fornire alcun modello di partenza. E' invece necessario definire uno "spazio di ricerca" (*search space*) all'interno del quale vengono valutate diverse possibili soluzioni.

Quella finale viene infine proposta con anche una stima della sua attendibilità (*deviazioni standard*) attenuata grazie all'impiego di tecniche statistiche.

Il principale punto di forza del software utilizzato è quindi proprio quello di fornire risultati mol-

to più robusti rispetto a quelli ottenibili con altre metodologie, arricchiti anche da una stima dell'attendibilità.

## **7.5 RISULTATI DELL'INDAGINE**

I risultati dell'indagine effettuata sono riassunti nelle certificazioni allegate riportanti i seguenti grafici e tabelle:

1. tracce sismiche rilevate in sito;
2. curva di dispersione;
3. inversione e tabella dei risultati ottenuti;
4. profilo delle velocità delle onde di taglio in funzione della profondità.

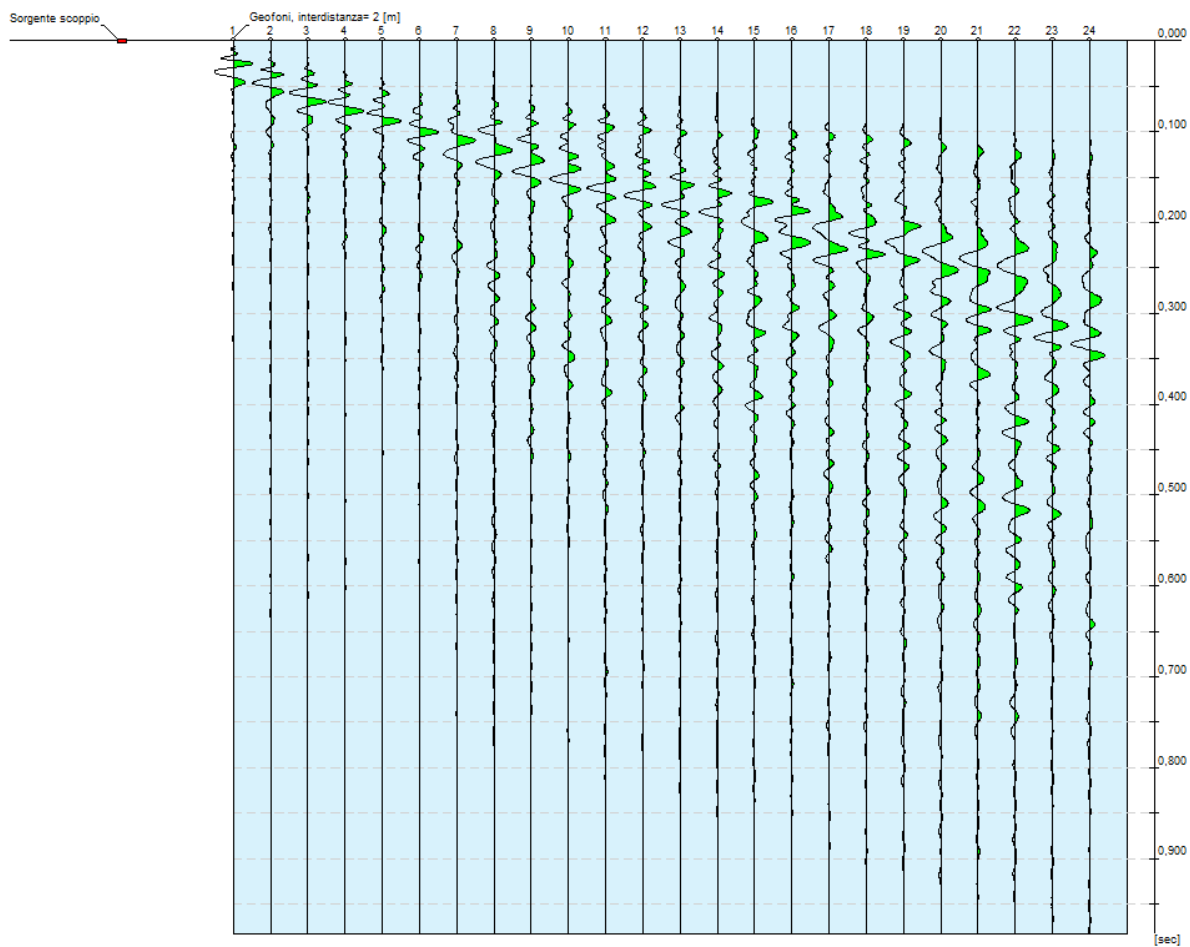
COMMITTENTE:

Oggetto:

Ubicazione:

Data di prova: 13/12/2016

### Tracce sismiche



COMMITTENTE:

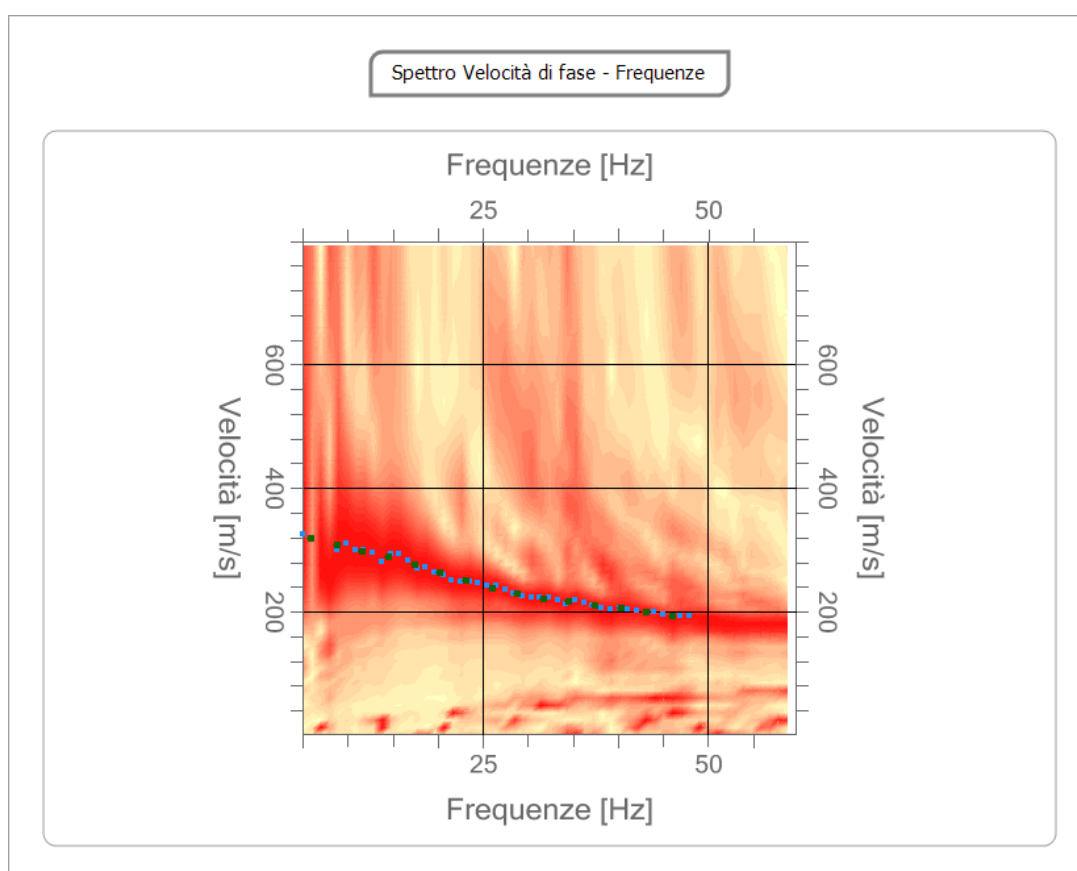
Oggetto:

Ubicazione:

Data di prova: 13/12/2016

### Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	6,0	318,5	0
2	8,8	307,2	0
3	11,7	298,1	0
4	14,5	287,8	0
5	17,4	275,8	0
6	20,3	262,6	0
7	23,1	249,6	0
8	26,0	238,0	0
9	28,9	228,5	0
10	31,7	221,1	0
11	34,6	215,3	0
12	37,5	210,0	0
13	40,3	204,4	0
14	43,2	198,2	0
15	46,1	193,1	0

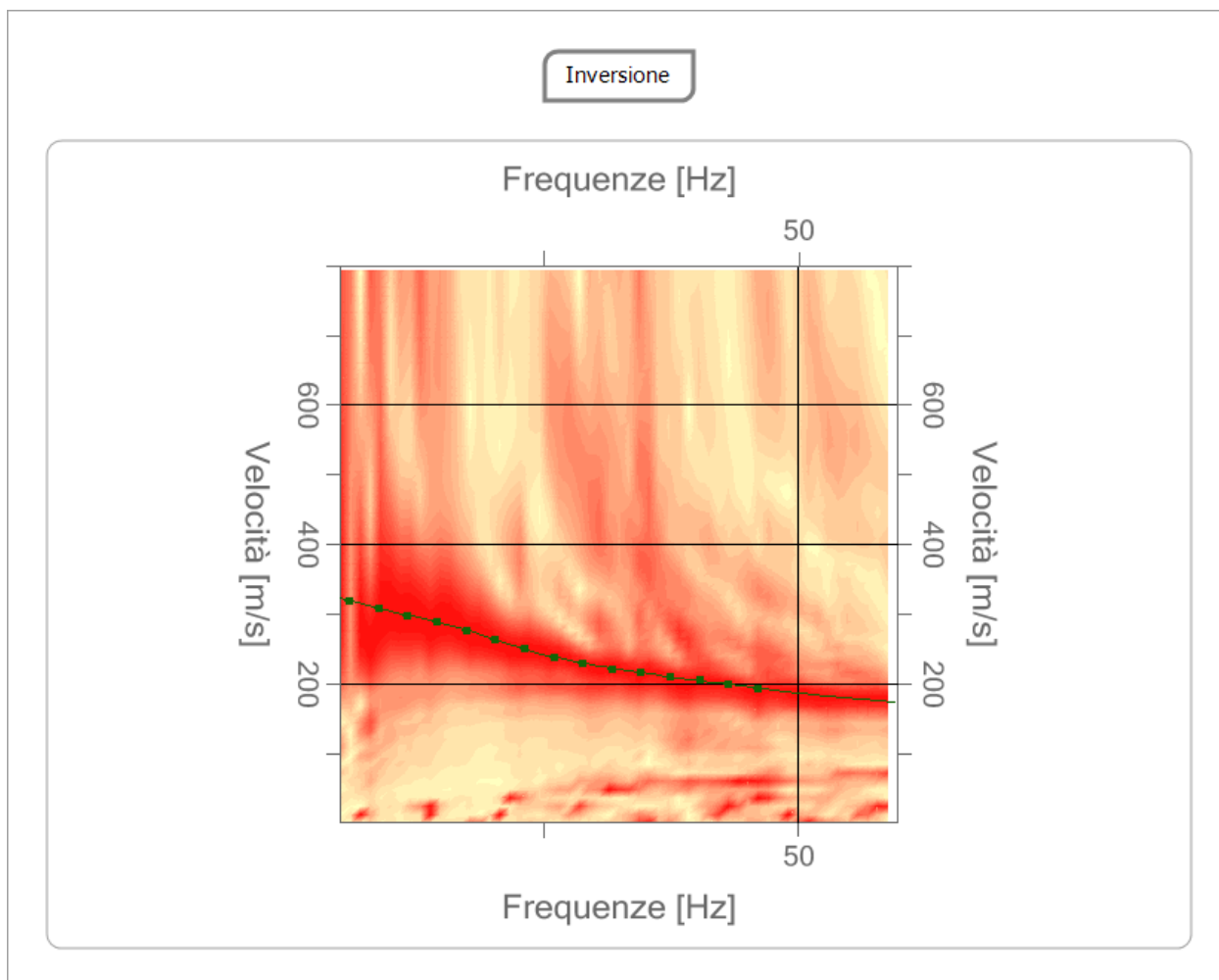


COMMITTENTE:

Oggetto:

Ubicazione:

Data di prova: 13/12/2016



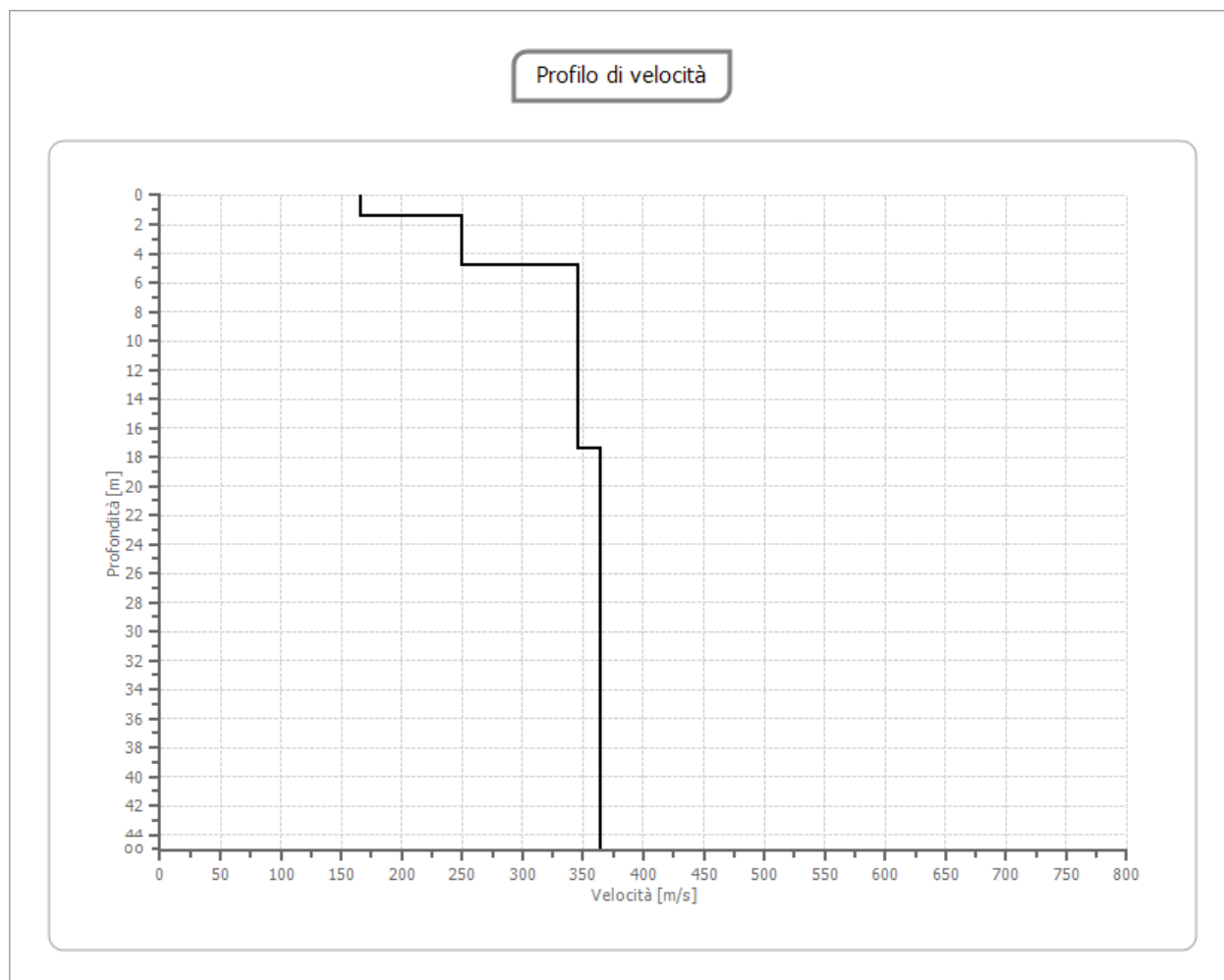
Strato	Profondità	Spessore	Vs
n.	m	m	m/sec
1	1,45	1,45	166,1
2	4,82	3,38	250,2
3	17,47	12,64	345,6
4	oo	oo	364,4

COMMITTENTE:

Oggetto:

Ubicazione:

Data di prova: 13/12/2016



I dati ottenuti dall'indagine sismica eseguita sono riassunti nella seguente tabella:

Profondità (m)	Spessore strato (m)	$V_s$ strato (m/s)
0.00 – 1.45	1.45	166.1
1.45 – 4.82	3.38	250.2
4.82 – 17.47	12.64	345.6
17.47 – oo	oo	364.4

In virtù delle velocità delle onde sismiche  $V_s$  ottenute, il valore della velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{s,30}$ , calcolata a partire dal p.c., è pari a 321.94 m/s.

L'area in esame appartiene quindi alla **Categoria di sottosuolo C**.

Relativamente alla categoria topografica, essendo l'area localmente sub-pianeggiante, si può affermare che il sito appartiene alla **categoria T1** (come da tabella 3.2.IV del D.M. 14/01/2008).

## 8.0 VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE DEI TERRENI

Secondo quanto stabilito nel par. 7.11.3.4 delle Nuove Norme Tecniche 14.01.2008, *“il sito presso il quale è ubicato il manufatto deve essere stabile nei confronti della liquefazione”*,

Si definisce liquefazione la riduzione di resistenza e/o di rigidità causata durante il moto sismico dall'aumento di pressioni interstiziali in terreni saturi non coesivi, tale da provocare deformazioni permanenti significative o persino da indurre nel terreno una condizione di sforzi efficaci quasi nulli. Il termine liquefazione indica tutti i fenomeni che danno luogo alla perdita di resistenza a taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni incoerenti e saturi, sollecitati da azioni transitorie e ripetute che agiscono in condizioni non drenate (Kramer, 1996).

Tali fenomeni sono legati allo sviluppo di sovrappressioni neutre che, se positive, causano una riduzione dello stato di confinamento efficace a cui il terreno è sottoposto. La liquefazione si sviluppa con due meccanismi diversi. Il primo è definito “flow liquefaction” o fluidificazione, ed avviene quando le tensioni richieste per assicurare le condizioni di equilibrio statico sono maggiori della resistenza a taglio del terreno. Ne consegue che una volta avviate, le deformazioni prodotte dalla flow liquefaction possono essere causate da tensioni applicate staticamente. Il secondo è quello della “mobilità ciclica” che si verifica quando le tensioni di taglio necessarie all'equilibrio statico sono minori della resistenza del terreno. Di conseguenza, le deformazioni si sviluppano in maniera incrementale durante un terremoto, perché causate da tensioni di taglio applicate in maniera statica e ciclica. Un caso particolare di “mobilità ciclica” è quello della “level-ground liquefaction” o liquefazione a piano campagna orizzontale, che si verifica quando non esistono tensioni tangenziali che possono indurre spostamenti laterali del terreno. Il fenomeno si manifesta attraverso (1) oscillazioni del terreno durante l'evento sismico; (2) deformazioni post-sismiche; e, (3) eventuale sviluppo di bolle di sabbia prodotte dal flusso idraulico dal basso verso l'alto che si genera per dissipare le sovrappressioni neutre indotte dal terremoto.

Generalmente, la pericolosità della liquefazione è associata alla presenza di terreni sabbio-limosi saturi di plasticità e di densità basse. I terreni coesivi, specialmente con una frazione argillosa maggiore del 15%, non sono considerati suscettibili alla liquefazione. La liquefazione si presenta invece in sabbie incoerenti, nei limi ed in alcuni depositi di ghiaia, di età olocenica o tardo pleistocenica e nelle zone dove la falda è a profondità non maggiore di 15 metri dal piano campagna. Alcuni terreni ghiaiosi sono vulnerabili alla liquefazione se incapsulati da terreni impermeabili

che impediscono la dispersione veloce delle sovrappressioni neutre indotte dai terremoti. Per essere suscettibili alla liquefazione, i terreni potenzialmente liquefacibili devono essere praticamente saturi. Per tale motivo, deve essere verificata la suscettibilità alla liquefazione quando la falda freatica si trova in prossimità della superficie ed il terreno di fondazione comprenda strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda, anche se contenenti una frazione fine limoso/argillosa.

Tuttavia La Norma sopra citata prevede alcune condizioni in presenza delle quali è possibile omettere la verifica a liquefazione; tra esse figura la profondità della falda e cioè se la profondità media stagionale della falda è superiore ai 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali, è possibile omettere la verifica a liquefazione. Nel nostro caso il livello della falda è posto ad una profondità sicuramente superiore ai 15,00 m dal p.c. per cui è possibile omettere la verifica a liquefazione.

## **9.0 CONCLUSIONI**

A completamento dell'indagine eseguita è possibile stilare le seguenti conclusioni:

- L'area in studio risulta stabile non evidenziandosi morfotipi che indichino un disequilibrio passato, in atto o potenziale. In merito all'instabilità dell'area riconducibile alla presenza di cavità sotterranee, le indagini in sito non hanno evidenziato la presenza di cavità sotterranee, né sono stati osservati fenomeni di instabilità legati a dissesti profondi.
- I terreni costituenti il substrato dell'area in esame, al di sotto della pavimentazione costituita da conglomerato bituminoso e sottofondo sono costituiti da depositi piroclastici cineritici incoerenti da moderatamente addensati ad addensati con pomici e clasti vulcanici.
- I terreni presenti al di sotto della pavimentazione, ad esclusione del primo strato presente fino alla profondità di circa 1,60 m e rinvenuto unicamente nel sondaggio S1, possiedono caratteristiche geotecniche da buone ad ottime.
- dalla consultazione del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico e del Piano Stralcio Difesa Alluvioni, redatti dall'Autorità di Bacino dei Fiumi Liri-Garigliano e Volturno si evince che l'area in esame non rientra nella perimetrazione delle aree a rischio frana e idraulico;
- La falda idrica è stata rinvenuta, al momento dell'esecuzione di questa campagna di indagine, ad una profondità di circa 20,00 m dal p.c.;
- Il comune di Pignataro Maggiore è inserito nella fascia dei comuni a media sismicità (zona 2).
- In base alle NTC 2008 il sito in esame appartiene alla categoria di sottosuolo C ( $V_{s30}$  calcolato al piano campagna) ed alla categoria topografica T1.
- Per quanto riguarda la stabilità del sito nei confronti della liquefazione, il sito risulta stabile in quanto la profondità della falda è superiore ai 15,00 m dal p.c..

*Tanto per incarico ricevuto*

**IL TECNICO**  
**Dott. Geol. Lorenzo TESAURO**

## **ALLEGATI**

1. CARTA UBICAZIONE INDAGINI
2. SCHEDE STRATIGRAFICHE DEI SONDAGGI
3. DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

## ALL.1 - CARTA UBICAZIONE INDAGINI

## ALL.2 - SCHEDE STRATIGRAFICHE DEI SONDAGGI

SOIL TEST s.r.l.

Via Assunta, 47  
CASERTA



Committente	Profondità raggiunta 25.00 m da p.c.	Quota Ass. P.C.	Impresa esecutrice	Pagina 01
Operatore D'Onofrio Antonio	Indagine		Tipo sonda TEREDO DC100	Inizio/Fine Esecuzione 12-12-2016
Responsabile Geol. Lorenzo Tesauro	Sondaggio S1	Tipo Sondaggio carotaggio continuo	Note 1	Coordinate X-Y 41.175975;14.143065

Scala (m)	Litologia	Descrizione	Quota	%Carotaggio R.Q.D.	S.P.T. (n° Colpi)	Pocket Test kg	Vane Test kg/cmq	Campioni	Metodo Perforazione	Metodo Stabilizzaz.	Cass. Catalog.	Falda	Strumentazione
				0 20 40 60 80 100									I-(1)
1		Pavimentazione in conglomerato bituminoso e sottofondo.	0.40		C								
2		Limo sabbioso rimaneggiato di colore marrone con rari clasti calcarei centimetrici a spigoli vivi.	1.60		C	9-9-9							
3		Depositi piroclastici: Cineriti limoso-sabbiose di colore grigio rossastro moderatamente addensate.	3.50		C	2.00 PA							
4						15-14-14							
5						4.00 PA							
6		Depositi piroclastici: cineriti da sabbioso-limose a limo-sabbiose di colore grigio da moderatamente addensate ed addensate con pomici e clasti vulcanici centimetrici.									5.00		
7						12-12-13							
8						7.50 PA							
9													
10											10.00		
11						12-15-16							
12						12.00 PC							
13													
14					C						15.00		
15						15-18-21							
16						18.00 PC							
17													
18													
19													
20						10-16-20					20.00		
21						22.00 PC							
22													
23													
24									(CS)	(RM)			
			25.00						25.00		25.00		

Campioni: S-Pareti Sottili, O-Osterberg, M-Mazier, R-Rimaneggiato, Rs-Rimaneggiato da SPT  
Piezometro: ATA-Tubo Aperto, CSG-Casagrande  
Perforazione: CS-Carotiere Semplice, CD-Carotiere Doppio, EC-Elica Continua  
Stabilizzazione: RM-Rivestimento Metallico, FB-Fanghi Betonitici  
Prove SPT: PA-Punta Aperta, PC-Punta Chiusa  
Carotaggio: carotaggio continuo

Responsabile

SOIL TEST s.r.l.

Via Assunta, 47  
CASERTA

Committente	Profondità raggiunta 25.00 m da p.c.	Quota Ass. P.C.	Impresa esecutrice	Pagina 01
Operatore D'Onofrio Antonio	Indagine		Tipo sonda TEREDO DC100	Inizio/Fine Esecuzione 13-12-2016
Responsabile Geol. Lorenzo Tesauro	Sondaggio S2	Tipo Sondaggio carotaggio continuo	Note 1	Coordinate X Y 41.177955;14.143029

Scala (m)	Litologia	Descrizione	Quota	%Carotaggio R.Q.D.	S.P.T. (n° Colpi)	Pocket Test kg	Vane Test kg/cm²	Campioni	Metodo Perforazione	Metodo Stabilizzaz.	Cass. Catalog.	Falda	Strumentazione
			0.30	0 20 40 60 80 100	C								I-(1)
		Pavimentazione in conglomerato bituminoso e sottofondo.	1.00		C								
1													
2		Depositi piroclastici: Cineriti limo-sabbiose di colore grigio rossastro moderatamente addensate.			7-8-8								
3					2.50 PA								
4		Depositi piroclastici: cineriti da sabbioso-limose a limo-sabbiose di colore grigio da moderatamente addensate ed addensate con pomici e clasti vulcanici centimetrici.			10-11-11								
5					4.50 PA						5.00		
6													
7					10-10-13								
8					7.50 PA								
9					14-16-18								
10					9.50 PC						10.00		
11													
12					16-18-18								
13					C								
14					13.00 PC								
15											15.00		
16													
17													
18													
19													
20											20.00		
21													
22													
23													
24									(CS)	(RM)			
			25.00						25.00		25.00		

Campioni: S-Pareti Sottili, O-Osterberg, M-Mazier, R-Rimaneggiato, Rs-Rimaneggiato da SPT  
 Piezometro: ATA-Tubo Aperto, CSG-Casagrande  
 Perforazione: CS-Carotiere Semplice, CD-Carotiere Doppio, EC-Elica Continua  
 Stabilizzazione: RM-Rivestimento Metallico, FB-Fanghi Betonitici  
 Prove SPT: PA-Punta Aperta, PC-Punta Chiusa  
 Carotaggio: carotaggio continuo

Responsabile

## ALL.3 - DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Postazione Sondaggio S1



cassetta 1



cassetta 2



cassetta 3



cassetta 4



cassetta 5



Postazione Sondaggio S2



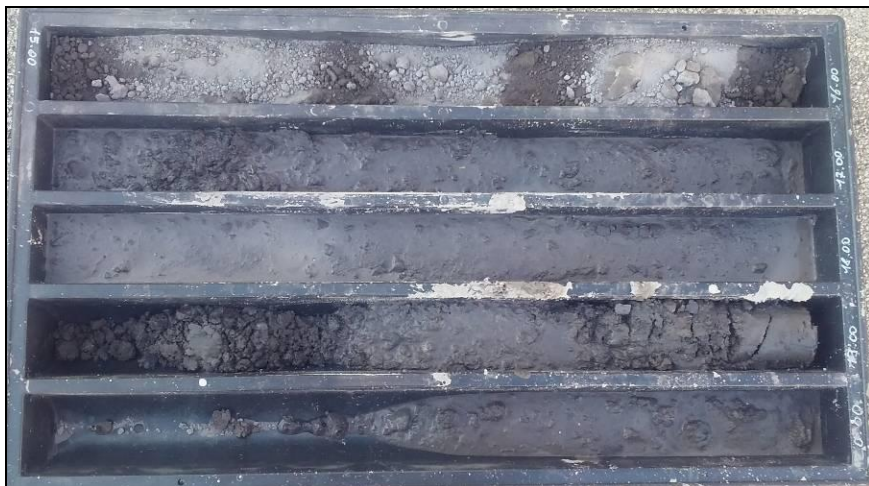
cassetta 1



cassetta 2



cassetta 3



cassetta 4



cassetta 5



pozzetto carrabile piezometro S1



pozzetto carrabile piezometro S2



Stendimento indagine sismica Masw