

# **STUDIO DI GEOLOGIA**

**BARSANTI, SANI & ASSOCIATI**

via Buiamonti 29 - 55100 LUCCA - Partita IVA: 01134410461  
Tel. 0583/467427 Fax. 0583/91090 e-mail: bar-sani@geoprove.com

## **AZIENDA USL TOSCANA NORD OVEST**

**INDAGINI GEOLOGICHE , SISMICHE E GEOTECNICHE DI  
APPROFONDIMENTO PER LA VALUTAZIONE DELLA VULNERABILITÀ  
SISMICA DELL'EDIFICIO DI RESIDENZA SANITARIA ASSISTENZIALE  
(R.S.A.) L' "ARCOBALENO" SITO IN LOC. FREGIONAIA  
FRAZIONE DI MAGGIANO - COMUNE DI LUCCA**

**Relazione tecnica**

**Novembre 2018**

**Il Geologo:**



## INDICE

PREMESSA .....	3
1. INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO GENERALE .....	4
2. CARATTERISTICHE STRATIGRAFICHE E LITOTECNICHE LOCALI .....	7
2.1. Indagini Peccianti .....	9
2.1.1. Sondaggio S1/1 .....	9
2.1.2. Prove penetrometriche statiche CPT .....	10
2.1.3. Analisi di laboratorio .....	13
2.1.4. Prospezione downhole .....	14
2.1.5. Prospezione MASW .....	14
2.2. Indagini Studio di Geologia Barsanti, Sani e Ass.ti .....	15
2.2.1. Prove penetrometriche statico_dinamiche pesanti CPT_DPSH .....	15
2.2.2. Prospezione sismica a rifrazione con onde P ed Sh .....	22
2.5. Stratigrafia di dettaglio dei terreni .....	23
3. PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE E LOCALE .....	29
3.1. Potenziale di liquefazione .....	35
3.2. Categoria di sottosuolo .....	35
3.3. Spettro di risposta elastico .....	36

## ELENCO DEGLI ALLEGATI

- ALL. N° 1 – TAVOLE E DIAGRAMMI PROVE PENETROMETRICHE  
STATICO\_DINAMICHE PESANTI
- ALL. N° 2 – PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE CON ONDE P ED SH

## PREMESSA

Per incarico dell'AZIENDA USL TOSCANA NORD OVEST sono state effettuate indagini geologiche, sismiche e geotecniche di approfondimento per la valutazione della vulnerabilità sismica dell'edificio di Residenza Sanitaria Assistenziale (R.S.A.) l'"Arcobaleno" sito in loc. Fregionaia in frazione di Maggiano - Comune di Lucca.

Per lo stesso edificio era stato effettuato nel settembre 2016, da parte della Dott.ssa Geol. Paola Peccianti, uno studio che aveva delineato un quadro geologico-stratigrafico e sismico disomogeneo, presumibilmente a causa della eccessiva distanza delle prove geotecniche e sismiche dall'edificio. Di tale studio si terrà parzialmente conto nella redazione del presente rapporto.

La riclassificazione sismica del territorio nazionale intervenuta a seguito dell'emanazione della O.P.C.M. n° 3274/03 del 20 Marzo 2003, pubblicata sulla G.U. n° 105 dell'8 Maggio 2003, e delle successive proroghe, ha definito il territorio del Comune di Lucca sismico di Zona 3. Tale classificazione è stata riconfermata dalla O.P.C.M. n° 3519 del 28 Aprile 2006, in base alla quale la Regione Toscana pone il Comune di Porcari, secondo la "Proposta di riclassificazione sismica RT4" del Giugno 2006, in Zona 3 con accelerazione su suolo rigido  $a_g = 0.15$ . Tale classificazione è stata infine riconfermata dalla Delibera GRT n° 878 dell'8 Ottobre 2012.

Con Decreto del 17 Gennaio 2018 sono state inoltre approvate le nuove *Norme tecniche per le costruzioni*, entrate in vigore il 23 Marzo 2018. Come nelle precedenti NTC 2008, la stima della pericolosità sismica, intesa come accelerazione massima orizzontale su suolo rigido, viene definita mediante un approccio "sito dipendente" e non più "zona dipendente": in altre parole, individuate le coordinate del sito interessato dal progetto, questo sarà sempre compreso tra quattro punti della griglia di accelerazioni (Allegato A del D.M. 14 Gennaio 2008), e, tramite media pesata, ad esso competerà un valore specifico di accelerazione, calcolato secondo la relazione sottostante, che dipenderà anche dalla tipologia della costruzione (vita di riferimento  $V_r$ ) e dal tipo di verifica progettuale (Stati Limite di Esercizio SLO e SLD; Stati limite Ultimi SLV e SLC).

Si fa presente tuttavia che, dato che la valutazione della vulnerabilità eseguita dallo Studio Lucchesi e Zambonini è stata effettuata secondo la normativa all'epoca vigente, ovvero il D.M. 14 gennaio 2008, il presente studio prende come riferimento la vecchia normativa.

Secondo NTC 2008 la struttura in progetto ricade in Classe d'uso III, con coefficiente d'uso  $c_u = 1,5$ , vita nominale = 50 anni e conseguente vita di riferimento  $V_r = 75$  anni. Secondo l'art. 7 del DPRG 9 Luglio 2009, n° 36/R, l'opera è classificabile in Classe di indagine 4.

Il presente rapporto, redatto a norma del D.M. 14 Gennaio 2008, illustra la metodologia delle indagini eseguite, l'elaborazione dei dati ed i risultati conseguiti.

## 1. INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO GENERALE

L'area delle indagini (vedi Carta geologica alla scala 1:10.000 a pag. ) è ubicata nel settore occidentale del territorio lucchese, a Sud della "bretella" Autostradale, su terreno in lieve pendenza verso Sud posto alla quota di c.a. 19 metri sul livello medio marino.

Secondo le ipotesi geotettoniche correnti la pianura lucchese e le aree adiacenti fanno parte di un'ampia depressione tettonica iniziata a formarsi nel Miocene Superiore. Essa è stata sede di una sedimentazione di ambiente prevalentemente salmastro a SudEst (*colline delle Cerbaie*), mentre a Nord la depressione era occupata, almeno fino al Pleistocene Inferiore, da un vasto lago con conseguente sedimentazione di origine lacustre e fluviolacustre.

Tali sedimenti lacustri e fluviolacustri, suddivisi in due successivi cicli di sedimentazione interrotti da episodi di sollevamento e traslazione, si ritrovano oggi dislocati ai margini della pianura sulle propaggini delle Pizzorne e sulle colline di Porcari, Montecarlo ed Altopascio, mentre nella pianura stessa si ritrovano coperti da altri sedimenti alluvionali più recenti.

Localmente i depositi alluvionali ricoprono direttamente il substrato argillitico ligure.

Come rappresentato nella Carta Geologica alla pag. seguente, nel sito in studio e in un suo immediato intorno affiorano le seguenti formazioni:

### FALDA TOSCANA

**Arenaria "macigno" (MAC)** - Arenarie torbiditiche quarzoso-feldspatiche grigie o grigio verdi, da medio-fini a grossolane, in strati da spessi a molto spessi, talvolta amalgamati, a cui si intercalano strati sottili di arenarie fini, siltiti, argilliti e argilliti siltose; nella parte superiore a luoghi prevale una litofacies pelitico-arenacea con strati da sottili a spessi. Età: Oligocene sup. - Miocene inf.

### DOMINIO LIGURE INTERNO

**Complesso di base (CVC)** - Paraconglomerati polimitici, grigio-scuri o grigio-verdi matrice o clasto-sostenuti; i clasti, da subangolosi a subarrotondati, da centimetrici a metrici, sono costituiti da calcari silicei (prevalente), radiolariti, ofioliti e più raramente da marne e graniti; la matrice argillitica siltitica o siltitico-arenacea è generalmente scagliosa. Età: Campaniano inf.

### DEPOSITI QUATERNARI

**Depositi alluvionali attuali e recenti (bnb)** - Ghiaie eterometriche, sabbie e limi di composizione generalmente poligenica dei terrazzi fluviali recenti, anche in facies di conoide. Età: Olocene

**Detriti e terreni di copertura (aa).** Accumuli di frammenti litici eterometrici, frequentemente monogenici, con matrice sabbiosa o sabbioso-limosa in quantità variabile; possono essere organizzati in falde.

Sulla base delle indagini svolte per il presente studio, i terreni di imposta del fabbricato sono riferibili alla coltre di alterazione del substrato argillitico ligure (Complesso di base CVc) e, forse, limitatamente allo spigolo sudorientale, ai depositi alluvionali recenti (Depositi alluvionali attuali e recenti bnb).

Dal punto di vista geomorfologico l'area di indagine, avente un andamento morfologico sub-pianeggiante, può essere definita come “area morfologicamente stabile”: si segnala inoltre la forma a “piccola dorsale” del versante a monte dell’edificio (ove affiora il substrato argillitico), impostato alla base della stessa. Il prolungamento della “dorsale” verso valle e sotto l’edificio sembra trovare riscontro nei risultati della prospezione sismica (vedi par 2.2.2.).

Sotto il profilo idrogeologico, nella esile copertura alluvionale (spessore 3÷8 m) che ricopre il substrato argillitico ligure, trova sede una debole circolazione idrica di tipo freatico, il cui livello piezometrico è stato rilevato a profondità comprese tra 4.05÷8 m nell’agosto 2016 (indagini Peccianti) e intorno a 3,2 m nell’Ottobre 2018 (indagini attuali).

Da segnalare infine che la trincea eseguita per l’ancoraggio della prova penetrometrica P1 2018 è stata allagata dall’acqua circolante e saturante il sottofondo ghiaioso del piazzale asfaltato.


# CARTA GEOLOGICA

(PS Lucca - Scala 1:10.000)




## DEPOSITI QUATERNARI


### Depositi detritici


**aa**  Accumuli di frammenti litici eterometrici, frequentemente monogenici, con matrice sabbiosa o sabbioso-limosa in quantità variabile; possono essere organizzati in falde (aa).

### Depositi alluvionali terrazzati antichi


**bnb**  Ghiaie, sabbie e limi di composizione poligenica, ghiaie monogeniche a ciottoli di arenaria Macig in matrice sabbiosa, di colore rosso ocra in più ordini di terrazzi (bnb). Età: Olocene.

## DOMINIO LIGURE ESTERNO

**OTO**  FLYSCH AD ELMINTOIDI. Torbiditi calcareo-marnosi grigio scuro in strati da medi a molto spessi, (talvolta a base calcarenitica), a cui si intercalano marni siltose, argilliti e argilliti calcaree, arenarie fini e siltiti. Età: Campaniano inf. - Maastrichtiano inf.

**CCVc**  COMPLESSO DI BASE. Paraconglomerati polimitici (Brecce di S. Maria Auct.), grigio-scuro o grigio-verdi matrice o clasto-sostenuti, i clasti, da subangolosi a subarrotondati, da centimetri a metri, sono costituiti da calcari silicei (prevalenti), radiolanti, ofioliti e più raramente da marni e graniti, la matrice argillitica siltitica o siltitico-arenacea è generalmente scagliosa. Età: Campaniano inf.

## FALDA TOSCANA

**MAC**  MACIGNO (MAC). Arenarie torbiditiche quarzoso-feldspatiche grigie o grigio verdi, da medio-fini e grossolane, in strati da spessi a molto spessi, talvolta amalgamati, a cui si intercalano strati sottili di arenarie fini, siltit., argilliti e argilliti siltose, nella parte superiore a luoghi prevale una litofacies pelitico-arenacea con strati da sottili a spessi. Età: Oligocene sup. - Miocene inf.



Area in studio

dalla relazione Peccianti

## 2. CARATTERISTICHE STRATIGRAFICHE E LITOTECNICHE LOCALI

Le indagini per lo studio della vulnerabilità sismica dell'edificio sono state eseguite nell'Agosto 2016 da parte della Dott.ssa Geol. Paola Peccianti e nell'Ottobre 2018 dai sottoscritti:

Indagini Peccianti Agosto 2016:

- n° 1 sondaggio della profondità di 30 m
- n° 1 analisi di laboratorio su campione indisturbato
- n° 2 prove penetrometriche statiche CPT
- n° 1 prospezione sismica downhole
- n° 1 prospezione sismica con onde superficiali MASW

Indagini integrative Studio di Geologia BSA ottobre 2018, effettuate dalla ns. collegata società di servizi Geoprove S.a.S.






- n° 4 prove penetrometriche statico/dinamiche pesanti CPT/DPSH
- n° 1 prospezione sismica a rifrazione con onde P ed Sh a 48 geofoni della lunghezza di ml 120

il tutto ubicato come nella fotoaerea Google alla pagina seguente.





### LEGENDA

-  **DHS1** Sondaggio a carotaggio continuo e prospezione downhole (2016)
-  Prospezione MASW (2016)
-  **CPT1** Prove penetrometriche statica CPT (2016)
-  **G1** **G48** Prospezione sismica a rifrazione con onde P ed Sh (2018)
-  **P1** Prove penetrometriche statico/dinamiche CPT-DPSH (2018)

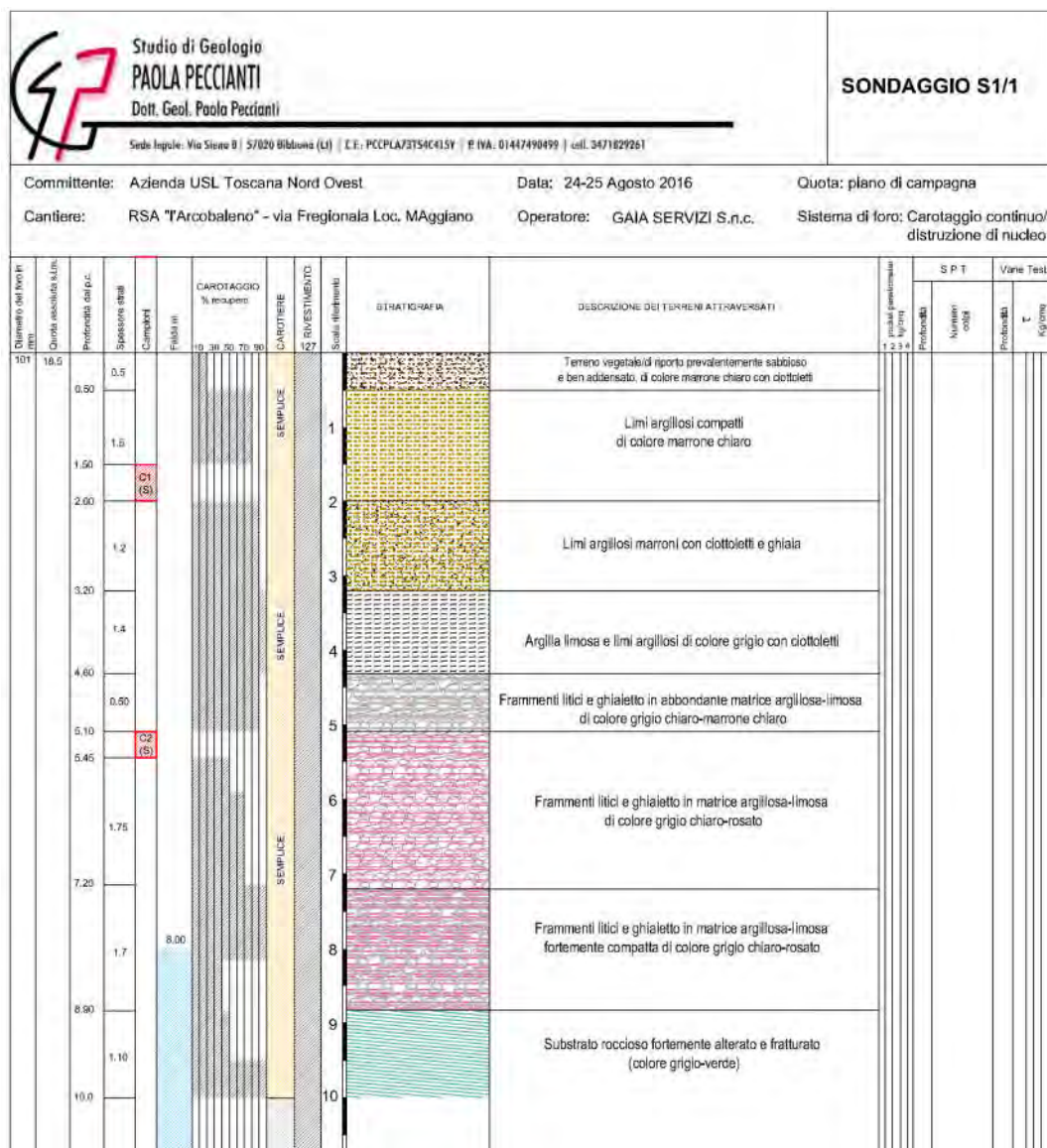


## 2.1. Indagini Peccianti

Si riportano di seguito le indagini condotte nel 2016:

### 2.1.1. Sondaggio S1/1

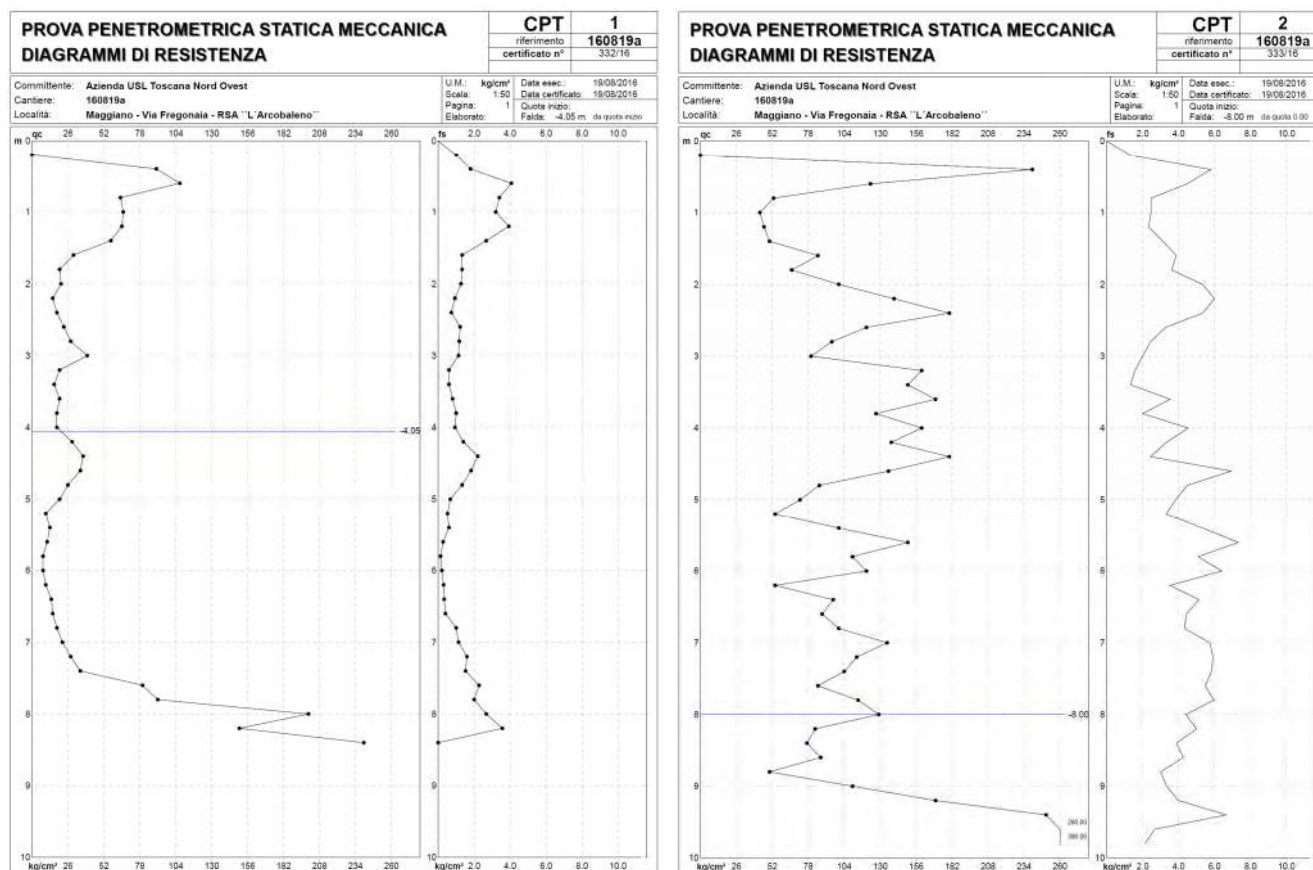
E' stato eseguito alla distanza di circa 30 m dal prospetto Ovest del fabbricato, a carotaggio continuo fino alla profondità di m 10 e quindi a distruzione di nucleo fino a 30 m. I risultati sono compendati nel log stratigrafico che segue:



Sono stati individuati depositi alluvionali fino a 4,5 m di profondità, quindi detrito di alterazione del substrato argillitico fino a 8,9 m, il tutto sovrastante il substrato argillitico fratturato. Il livello della falda acquifera è stato rilevato a -8 m, praticamente poco al di sopra del tetto del bedrock argillitico (aquiclude).

### 2.1.2. Prove penetrometriche statiche CPT

Le prove penetrometriche CPT P1 e P2 sono state eseguite con penetrometro Pagani TG63-200 alla distanza rispettiva e di circa 25 m dal prospetto Sud e di circa 30 m dal prospetto Ovest. I diagrammi penetrometrici sono i seguenti:









Appare evidente la differente consistenza registrata nelle due prove, con valori di resistenza alla punta qc nella prova P1 che scendono fino a circa 10 kg/cm², mentre in P2 si registrano valori molto elevati, fino a 100÷150 kg/cm².

Non concordiamo quindi con l'interpretazione fornita dalla Dott.ssa Peccianti, la quale distingue sì i terreni su base litologica, ma sostanzialmente riferendoli alla stessa formazione dei depositi alluvionali: a ns. parere invece, considerata la posizione delle due prove rispetto al versante, la P1 ha attraversato depositi alluvionali, mentre la P2 ha incontrato la copertura detritica del substrato argillitico alterato come individuato dal sondaggio S1 tra 4,6 e 8,9 m di profondità.

Peraltro le due sezioni, benché le loro tracce non siano riportate in nessuna planimetria, dovrebbero intersecarsi all'angolo sud del fabbricato e quindi mostrare la stessa stratigrafia almeno nella zona di intersezione.

FIG.4 A - SEZIONE LITOSTRATIGRAFICA INTERPRETATIVA SU PROSPETTO SUD  
(Scala 1: 250)



-  Orizzonte "A": "Terreno vegetale/di riporto prevalentemente sabbioso, ben addensato con ciottoli";
-  Orizzonte "B": "Limi argillosi mediamente addensati e consistenti";
-  Orizzonte "C": "limi argillosi sciolti e inconsistenti";
-  Orizzonte "D": "limi sabbiosi addensati con ghiaie e ciottoli";
-  Orizzonte "E": "Substrato roccioso alterato e fratturato";
-  Livello di falda (17 Agosto 2016): - 4.05 metri dal p.c.

*Tratta da relazione Peccianti*



FIG.4 B - SEZIONE LITOSTRATIGRAFICA INTERPRETATIVA SU PROSPETTO OVEST  
(Scala 1:200)



*Tratta da relazione Peccianti*

### 2.1.3. Analisi di laboratorio

Sono stati analizzati i seguenti campioni: S1C1 profondità 1.50÷2.00 metri; S1C2 profondità 5.50÷5.45 metri dal p.c.. Sui campioni sono state effettuate, presso il laboratorio LABOTER di Pistoia, le seguenti determinazioni:

Riferimento			Caratteristiche fisiche							Granulometria				Compr.	Taglio diretto			Edometrica				
Sond. n°	Camp. n°	Profondità m	W %	γ kN/m³	γ <sub>sec</sub> kN/m³	γ <sub>sat</sub> kN/m³	Indice vuoti	Poros. %	Sat. %	Ghiaia %	Sabbia %	Limo %	Argilla %	σ kPa	φ °	c kPa	24,6 kPa	49,2 kPa	98,4 kPa	196,8 kPa	393,6 kPa	
1	1	1.5-2.0	29,7	19,1	14,7	19,1	0,80	44,5	100,0	7,2	22,2	48,2	22,4	75,6	27,2	13	6195	4704	4910	4402	6849	
1	2	5.1-5.45	10,5	19,9	18,0	21,2	0,47	31,8	60,8	3,5	42,9	28,5	25,1		26,4	22						

A ns. parere il primo campione costituito da un *limo sabbioso argilloso e ghiaioso*, è caratterizzato da parametri geotecnici (peso di volume, resistenza al taglio etc.) correlabili con le caratteristiche meccaniche dei depositi alluvionali e con i risultati delle prove penetrometriche, per cui non è chiaro il motivo per cui la Dott.ssa Peccianti non ne abbia tenuto conto, preferendo affidarsi all'interpretazione delle prove penetrometriche, i cui parametri geotecnici sono pur sempre desunti da correlazioni empiriche con ampio campo di variabilità a seconda degli Autori. Si veda ad esempio come varia il valore dell'angolo di attrito interno (tra 25° e 38°) secondo i vari Autori nella prova P1, tra 1.6 e 2.0 m di profondità, corrispondente alla profondità di prelievo del campione S1C1:

Prof. m	qc U.M.	qc/fs	zone	$\gamma'$ t/m³	$\sigma'_{vo}$ U.M.	Vs m/s	Cu U.M.	OCR %	Eu50 U.M.	Eu25 U.M.	Mo U.M.	Dr %	$\phi_{Sc}$ (°)	$\phi_{Ca}$ (°)	$\phi_{Ko}$ (°)	$\phi_{DB}$ (°)	$\phi_{DM}$ (°)	$\phi_{Me}$ (°)	F.L.	E'50 U.M.	E'25 U.M.	Mo U.M.
1.60	30.00	22.56	4	1.96	0.32	199	1.00	26.2	170.0	255.0	90.0	59	38	32	29	28	37	29	--	50.0	75.0	90.0
1.80	20.00	15.04	4	1.93	0.36	171	0.80	17.2	136.0	204.0	60.0	42	36	30	27	25	34	27	--	33.3	50.0	60.0
2.00	21.00	16.54	4	1.93	0.40	174	0.82	15.7	140.0	210.0	63.0	41	36	30	26	25	33	27	--	35.0	52.5	63.0

Concordiamo invece nel non tener conto dei risultati della prova sul campione S1C2, presumibilmente ricostituito in laboratorio a causa della presenza di litici ed i cui parametri di resistenza possono essere stati sottovalutati (vedasi anche la foto della fustella del campione sottoriportata).

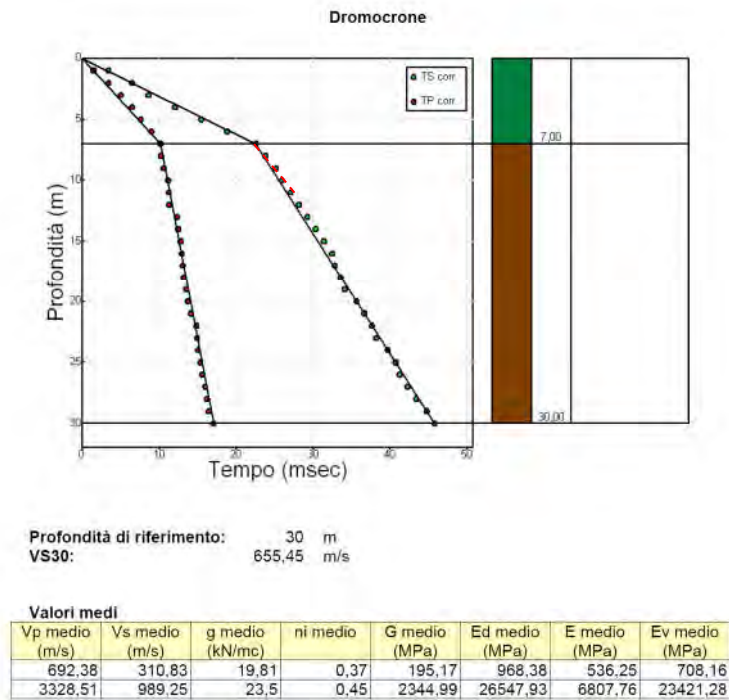


Foto 7\_Vista del campione C2 (prof 5.10-5.45 metri) con evidenti frammenti litici (argilliti) in matrice limo argillosa addensata.

Tratta da relazione Peccianti

#### 2.1.4. Prospezione downhole

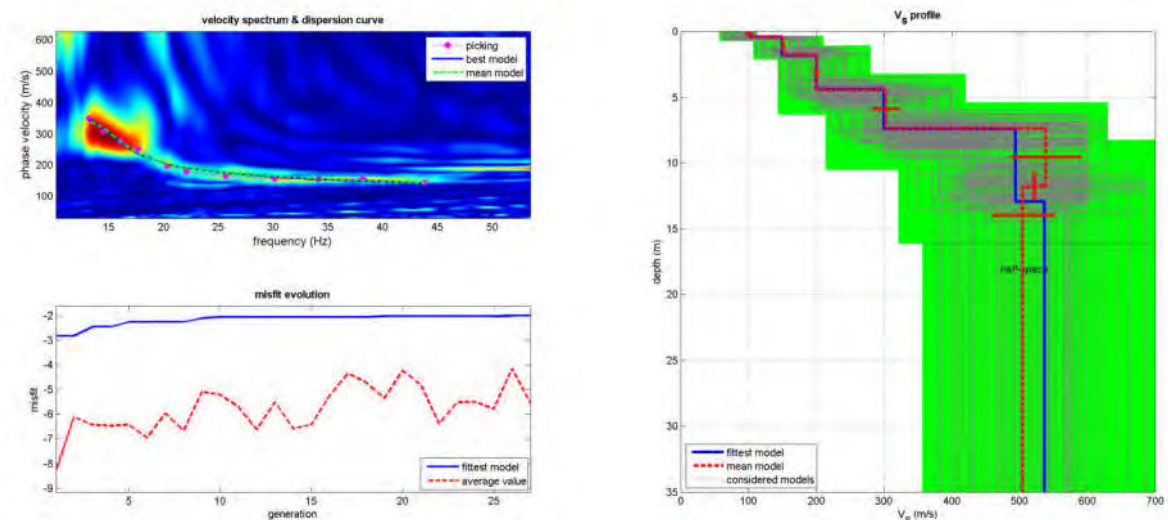
Si riportano di seguito i risultati della prospezione downhole:



Non avendo a disposizione le registrazioni originali, si osserva che sostanzialmente la prospezione appare corretta, anche se potevano essere distinti più strati, particolarmente uno strato meno veloce tra -7 e -10 m (indicato a tratteggio sulle dromocrone).

#### 2.1.5. Prospezione MASW

Si riportano di seguito i risultati della prospezione MASW:



In questo caso si osserva che la minima frequenza registrata è dell'ordine di 10 Hz, corrispondente ad una velocità di fase di circa 350 m/s: si ritiene pertanto che la prospezione sia stata realizzata con energia insufficiente a raggiungere i 30 m di normativa e che, come chiaramente mostrato dal profilo di velocità Vs, abbia significato solo fino a circa 13 m di profondità, per cui non doveva essere presa in considerazione.

## 2.2. Indagini Studio di Geologia Barsanti, Sani e Ass.ti

### 2.2.1. Prove penetrometriche statico\_dinamiche pesanti CPT\_DPSH

Lo strumento utilizzato è un penetrometro statico prodotto dalla PAGANI GEOTHECNICAL EQUIPMENT, modello TG63/200 da 200 kN di spinta, con punta meccanica tipo Begemann, cella di carico di sommità Hottinger classe 0,2 e centralina elettronica di rilevamento dati.

La prova statica consiste nell'infissione nel terreno, a velocità costante, di una punta conica, di dimensioni e caratteristiche standard, a mezzo di batterie di aste cave all'interno delle quali è libera di scorrere un'astina. Quest'ultima consente di trasmettere la pressione, esercitata in avanzamento dalla punta sul terreno, fino alla cella di carico posta alla sommità della batteria di aste: la cella di carico trasforma le sollecitazioni ricevute in tensioni elettriche che vengono elaborate dalla centralina elettronica e visualizzate su un display digitale come valori di pressione espressi in kg/cm<sup>2</sup>.

Per la prova viene utilizzata la punta con manicotto (punta Begemann), avente le seguenti dimensioni standard:

- area di base 10 cm<sup>2</sup>;
- angolo di apertura 60°;
- superficie laterale del manicotto 150 cm<sup>2</sup>.

Sulle aste cave, di diametro esterno 36 mm, quando necessario, viene installato un anello allargatore, posto a distanza non inferiore di m 1,00 sopra la punta, per diminuire l'attrito del terreno lungo la batteria di aste.

La prova viene effettuata con velocità d'infissione della punta di 2 cm/s ( $\pm$  0,5 cm/s) indipendentemente dalla natura e dalle caratteristiche del terreno.

La prova viene sospesa qualora la resistenza totale, o alla punta, è tale da non consentire il raggiungimento della profondità di progetto o qualora la punta subisca un deviazione superiore a 20°.

Nei diagrammi e nelle tavole che seguono sono riportate le misure effettuate ogni 20 cm di avanzamento della punta. Sono stati rilevati i valori di:

- |       |  |                       |
|-------|--|-----------------------|
| - Rp: | resistenza alla punta, a rottura       | (kg/cm <sup>2</sup> ) |
| - Rf: | " di attrito laterale locale           | (kg/cm <sup>2</sup> ) |
| - Ft: | " all'avanzamento totale della colonna | (kg)                  |



Viene inoltre calcolato il valore del rapporto  $R_p/R_f$ , noto con il nome di rapporto Begemann: esso dipende dalla granulometria dei terreni attraversati e permette pertanto la ricostruzione della stratigrafia dei terreni, come riportato a fianco dei diagrammi con simbologia internazionale secondo l'interpretazione di SEARLE (1979).

Nelle tavole sono infine riportati i valori derivati, attraverso le correlazioni empiriche o semiempiriche proposte da vari Autori, tra i quali Begemann, Sanglerat, Searle etc., di:

- angolo di attrito interno ( $\phi$  in  $^\circ$ );
- densità relativa ( $D_r$  in %);
- coesione non drenata ( $c_u$  in  $\text{kg/cm}^2$ );
- coefficiente di compressibilità volumetrica ( $m_v$  in  $\text{cm}^2/\text{kg}$ ).

Per l'ancoraggio delle prove, effettuate il più possibile in aderenza al fabbricato compatibilmente con la presenza di sottoservizi, è stato necessario realizzare delle trincee con escavatore meccanico finalizzate all'asportazione dell'asfalto e del sottostante sottofondo.

Le prove statiche (vedi All. n° 1) sono state spinte a rifiuto alle seguenti profondità:

Prova n°	Profondità (ml)
1	1,4
2	1,2
4	5,0
5	6,2

La prova P5 è stata ripetuta qualche metro più a valle della P2.

La prova P3 è stata eseguita tutta in modalità dinamica pesante DPSH, le altre prove sono state approfondite con la stessa modalità.

La prova Penetrometrica Dinamica Standard (DPSH), con o senza rivestimento laterale, consiste nell'infiggere una punta conica sormontata da una batteria di aste nel terreno, utilizzando una massa battente (maglio) che cade liberamente da un'altezza fissa alla velocità costante di 20÷25 battute al minuto. Durante la prova, ogni 20 cm di avanzamento si rileva il numero di colpi  $N$  necessari all'affondamento della punta; per ogni asta si valuta la verticalità della batteria d'aste e l'attrito laterale lungo la stessa (nelle prove senza rivestimento).

Nelle prove con rivestimento viene invece misurato anche il numero di colpi necessario all'avanzamento delle aste cave ( $N_{riv}$ ), che segue quello della punta con un intervallo di 20 cm.

La prova viene interrotta allorché si raggiunge un numero di colpi  $N > 100$  (rifiuto). Anche l'infissione del rivestimento viene interrotta per  $N_{riv} > 100$ : in tal caso l'eventuale proseguimento della prova viene eseguita valutando la presenza o meno di attrito sulle aste di perforazione. Analogamente la prova viene interrotta qualora si abbia un blocco delle aste per azione dell'attrito o di una deviazione dalla verticalità (nel caso di prova senza rivestimento); nel caso di un blocco a seguito di penetrazione di materiale nell'intercapedine tra aste e rivestimento; infine nel caso di un blocco a causa della deviazione della tubazione di rivestimento.

Lo strumento utilizzato è un penetrometro dinamico modello PAGANI TG63/100 KN (tipo superpesante DPSH) avente le seguenti caratteristiche:

- peso del maglio: 63.5 kg
- altezza di caduta: 75 cm
- sezione della punta conica: 20 cmq
- angolo di apertura della punta: 60°
- intervallo di lettura del numero di colpi (penetrazione Standard): 20 cm
- diametro delle aste di perforazione: 3,2 cm
- diametro delle aste di rivestimento: cm 4,8

Dal numero di colpi  $N_{20}$  si ricava la resistenza dinamica di punta  $R_d$  in kg/cmq attraverso la *Formula Olandese*:

$$R_d = \frac{M^2}{M + M_s + \Sigma P} \times \frac{h}{A \cdot e}$$

dove:

$M$ :	peso del maglio	(kg 63.5)
$M_s$ :	peso del sistema di battuta	(0.5 kg)
$P$ :	peso delle aste	(kg 6.25 cad.)
$h$ :	alzata del maglio	(cm 75)
$A$ :	sezione della punta	(cm <sup>2</sup> 20)
$e$ :	avanzata per colpo o rifiuto	(cm)

I valori di  $N_{20}$ ,  $N_{riv}$  ed  $R_d$  sono tabulati e diagrammati in funzione della profondità in metri.

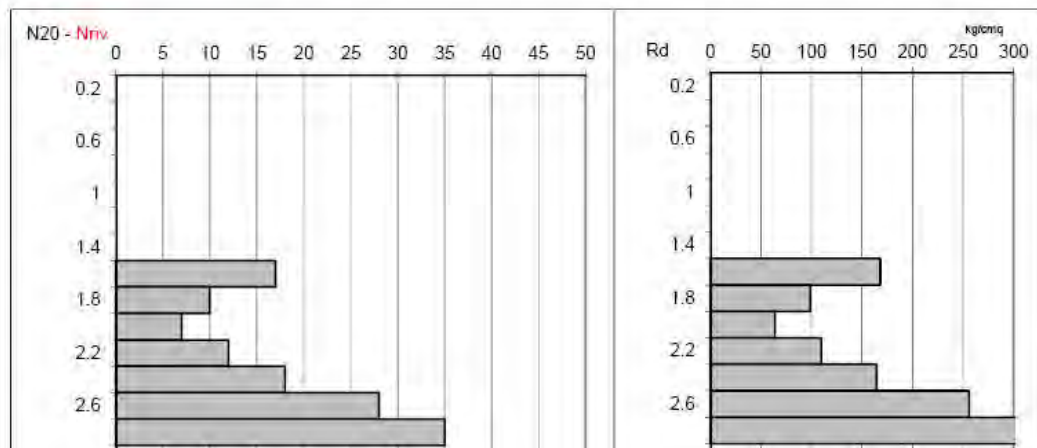
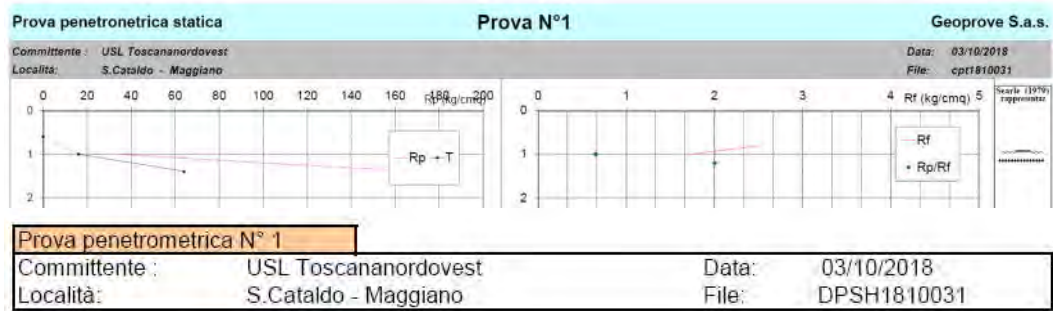
I valori del numero di colpi registrato ogni 20 cm di avanzamento della punta ( $N_{20}$ ) vengono inoltre correlati al numero di colpi della prova di penetrazione standard ( $N_{spt}$ ) secondo le esperienze di Borowczyk e Frankowsky (1981) attraverso un fattore di correlazione  $\beta$ . Le prove dinamiche sono state spinte a rifiuto alle seguenti profondità:

Prova n°	Profondità (ml)
1	2,8
2	5,2
3	1,8
4	5,4

Il livello di falda è stato rilevato a fine prova in P4 alla profondità di circa 3,2 m sotto la superficie del terreno.

Si riportano di seguito i diagrammi penetrometrici più significativi, rimandando all'All. 1 per l'elaborazione completa.

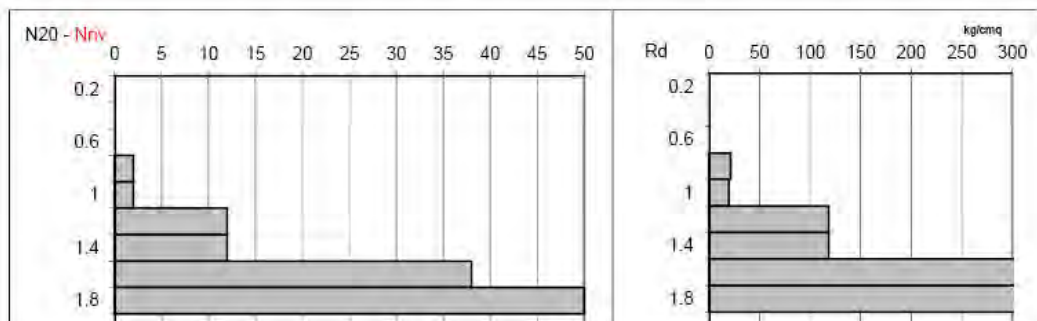
Prove lato monte P1 e P3:



**Prova penetrometrica N°3**

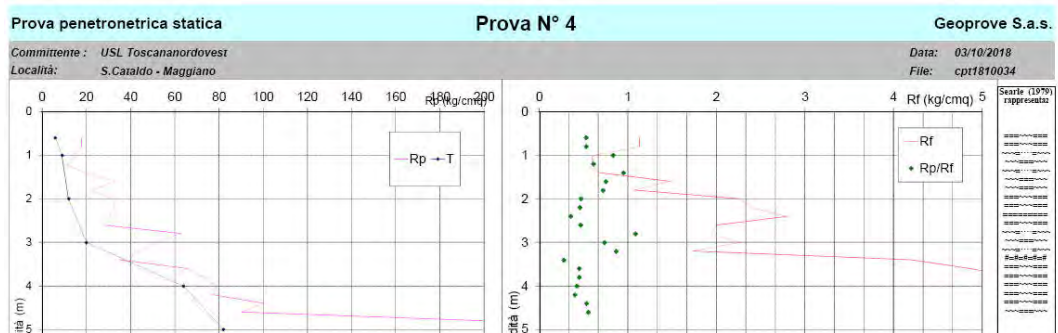
Committente : USL Toscananordovest  
Località: S.Cataldo - Maggiano

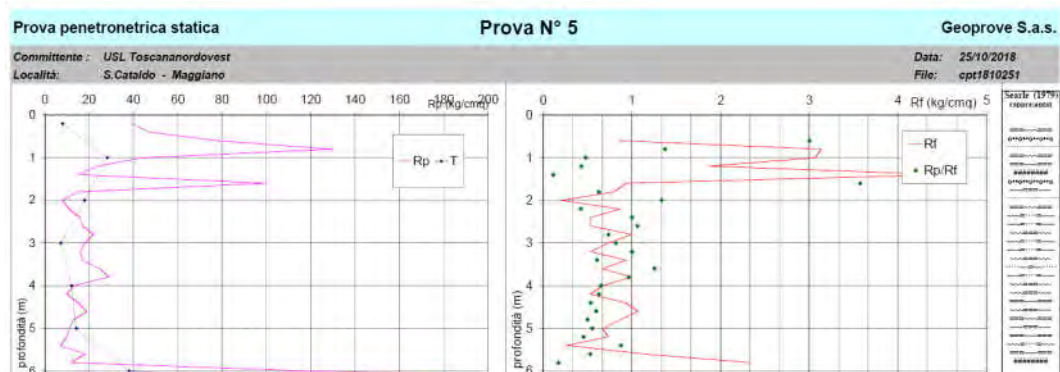
Data: 03/10/2018  
File: DPSH1810033





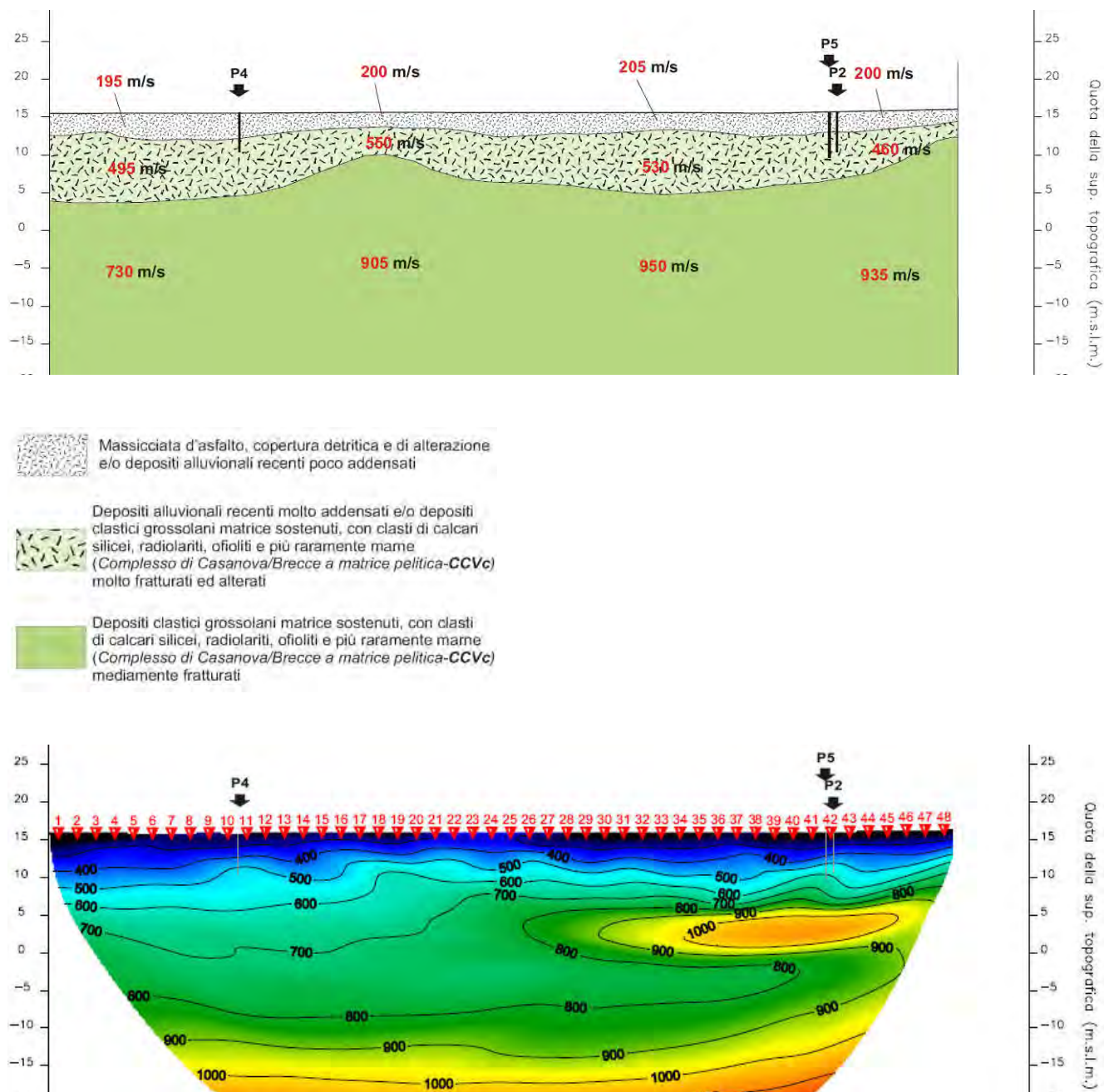
Prove lato valle P4 e P5:





## 2.2.2. Prospezione sismica a rifrazione con onde P ed Sh

Per i presupposti teorici e le modalità operative si rimanda completamente ai contenuti dell'All. n° 2: di seguito si riportano le sezioni sismostratigrafiche interpretative (GRM) e le sezioni tomografiche in onde Sh (più significative) con le relative descrizioni:



L'interpretazione tomografica consente ovviamente una maggiore discretizzazione della stratigrafia rispetto all'interpretazione classica GRM (Generalized Reciprocal Method) ma, a parte l'individuazione all'estrema destra di una presumibile intercalazione calcarea nel corpo argillitico, entrambe mostrano una risalita del substrato roccioso (più evidente nell'interpretazione GRM) intorno ai geofoni 11÷26. L'aspetto



quantitativo più importante è rappresentato dalla elevata velocità delle onde sismiche di taglio che, al di sotto dei 2÷3 m di profondità supera i 400 m/s, ad indicare la presenza di materiali molto compatti.

## 2.5. Stratigrafia di dettaglio dei terreni

Complessivamente si osserva che le prove eseguite sul lato monte sono andate a rifiuto a breve profondità, facendo presumere che l'appoggio delle fondazioni avvenga sulla roccia, benché alterata, comunque molto consistente; procedendo verso valle e verso Est aumenta progressivamente lo spessore dei depositi alluvionali meno consistenti: come ben evidenziato dalla prospezione sismica, il fabbricato è impostato sul prolungamento verso valle della piccola dorsale rocciosa ("naso") costituente il versante a monte. La situazione stratigrafica, illustrata nelle sezioni Scala 1:200 tracciate in aderenza ai prospetti Sud, Ovest ed Est che seguono, può essere descritta come segue:

- Dalla superficie, al di sotto di 0.5÷1.0 di asfalto e sottofondo ghiaioso ciottoloso, fino alla profondità di 2÷3 m si incontra un primo strato di copertura detritica e di alterazione costituita da **frammenti litici e ghiaietto in abbondante matrice argilloso limosa** (come descritta nel sondaggio S1) **di consistenza variabile da mediamente compatta a dura**, caratterizzato da una resistenza alla punta del penetrometro statico  $R_p = 10\div50 \text{ kg/cm}^2$  e da un numero di colpi  $N_{spt}$  (derivato da  $N_{20}$ ) =  $4\div25$  e da  $V_s = 200\div400 \text{ m/s}$ , valori per i quali si stimano i seguenti parametri geotecnici:

peso di volume naturale	$\gamma = 1,90\div2,0 \text{ kg/dm}^3$
peso di volume saturo	$\gamma_{sat} = 2,0\div2,1 \text{ kg/dm}^3$
coesione non drenata	$c_u = 0,5\div2,0 \text{ kg/cm}^2$
angolo di attrito interno in condizioni drenate	$\phi' = 25^\circ\div28^\circ$
coesione efficace	$c' = 0,3\div0,5 \text{ kg/cm}^2$
Coefficiente di compressibilità volumetrico:	$mv = 0,020\div0,005 \text{ cm}^2/\text{kg}$

- Da 2÷3 m fino alla profondità di 6÷11 m si incontra un secondo strato costituito da **frammenti litici e ghiaietto in abbondante matrice argilloso limosa di consistenza molto dura÷durissima** (*substrato argillitico molto alterato*) caratterizzato da una resistenza alla punta del penetrometro statico  $R_p > 100\div R \text{ kg/cm}^2$ , da un numero di colpi  $N_{spt}$  (derivato da  $N_{20}$ ) =  $30\div R$ , ed infine da una velocità media delle onde di taglio  $V_s = 500 \text{ m/s}$ . In base a questo valore di velocità, equiparando l'Indice di qualità della roccia  $IQ = 100 (V_s/V_t) = 100 (500/1500) \cong 30$  (dove  $V_t$  è la "velocità teorica" della roccia sana) all'indice RMR di *Bieniawski*, si deduce un **ammasso roccioso di qualità scadente**, con parametri geotecnici cautelativamente valutabili come segue:

peso di volume (secondo Mayne)	: $\gamma = 2,25 \text{ t/m}^3$
angolo di attrito interno	: $\phi = 20^\circ$
coesione	: $c = 1,5 \text{ kg/cm}^2$
coefficiente di compressibilità volumetrico	: $mv = < 0,005 \text{ cm}^2/\text{kg}$

Nel settore sudorientale del fabbricato, indagato dalle prove penetrometriche P2 e P5, è stato individuato, al di sotto di 0.5÷1.0 di asfalto e sottofondo ghiaioso ciottoloso e fino alla profondità di 4,6÷5,8 m rispettivamente, uno strato riferibile a depositi alluvionali recenti, costituito da **limi argilloso sabbiosi sciolti**, caratterizzati da una resistenza alla punta del penetrometro statico  $R_p = 10\div50 \text{ kg/cm}^2$ , da un numero di colpi  $N_{spt}$  (derivato

da  $N_{20} = 4 \div 25$  e da  $V_s = 200 \div 400$  m/s, valori per i quali si stimano i seguenti parametri geotecnici:

peso di volume naturale	$\gamma = 1,90 \div 2,0$	kg/dm <sup>3</sup>
peso di volume saturo	$\gamma_{sat} = 2,0 \div 2,1$	kg/dm <sup>3</sup>
coesione non drenata	$c_u = 0,5 \div 2,0$	kg/cm <sup>2</sup>
angolo di attrito interno in condizioni drenate	$\phi' = 25^\circ \div 28^\circ$	
coesione efficace	$c' = 0,3 \div 0,5$	kg/cm <sup>2</sup>
Coefficiente di compressibilità volumetrico:	$mv = 0,020 \div 0,005$	cm <sup>2</sup> /kg

Si sottolinea la congruenza della stima suddetta con i risultati delle analisi di laboratorio condotte sul campione S1C1, per il quale è stata ottenuta la seguente parametrizzazione:

peso di volume naturale	$\gamma = 1,95$	kg/dm <sup>3</sup>
peso di volume saturo	$\gamma_{sat} = 1,95$	kg/dm <sup>3</sup>
coesione non drenata	$c_u = 0,385$	kg/cm <sup>2</sup>
angolo di attrito interno in condizioni drenate	$\phi' = 27,2^\circ$	
coesione efficace	$c' = 0,13$	kg/cm <sup>2</sup>
Coefficiente di compressibilità volumetrico nel campo di pressioni $0,5 \div 1,0$ kg/cm <sup>2</sup> :	$mv = 0,020$	cm <sup>2</sup> /kg

L'andamento di questo livello alluvionale al di sotto dello spigolo sudorientale del fabbricato è stato ipotizzato tenendo conto dell'immersione del tetto del substrato rilevata dalle penetrometrie CPT1 2016, P5 e P2 2018. In mancanza del progetto originario non è dato sapere se durante i lavori di costruzione del fabbricato questo livello più sciolto sia stato bonificato e/o siano state approfondite le fondazioni fino al raggiungimento delle argilliti alterate.

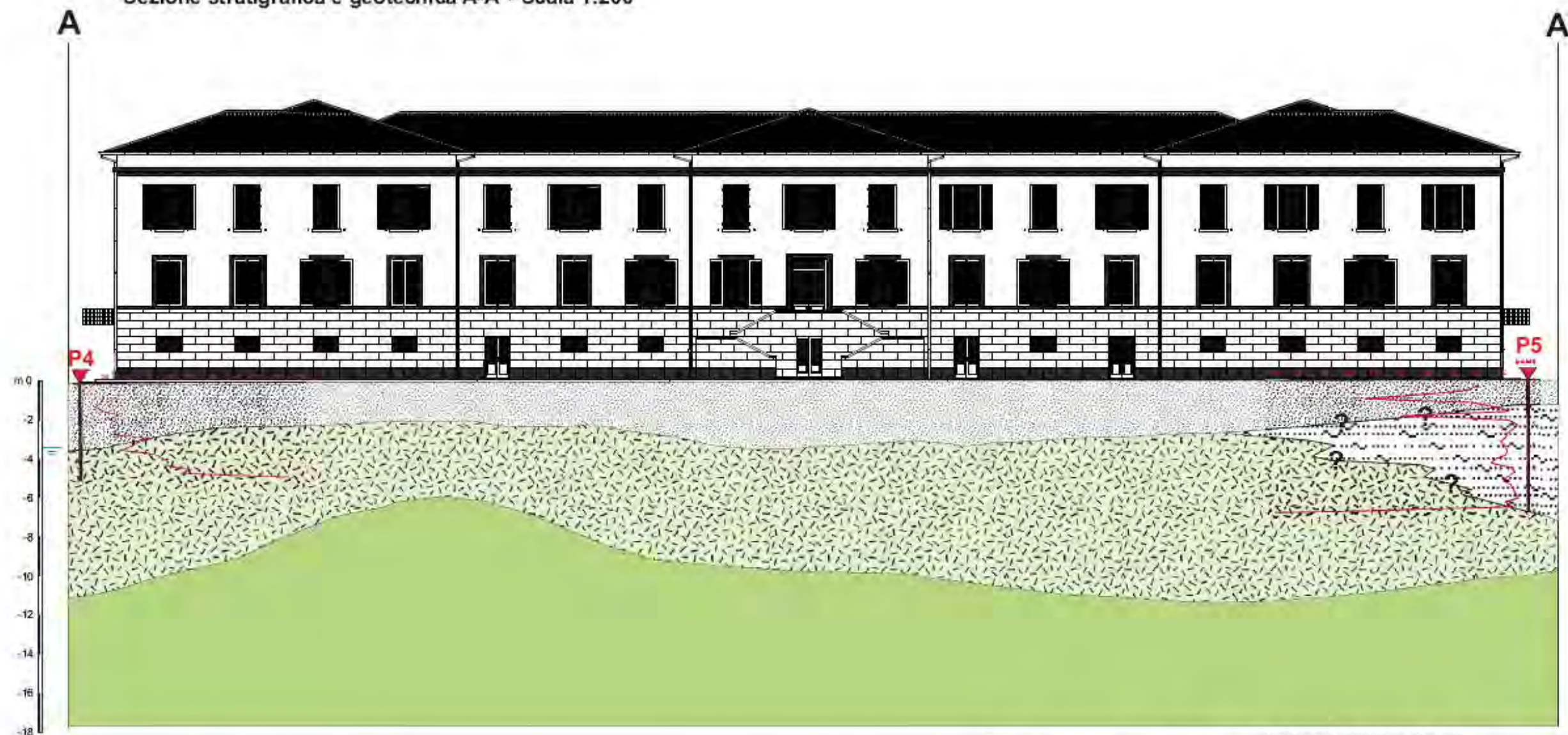
- Dalla profondità di  $6 \div 11$  m in profondità si incontra un terzo strato costituito dal substrato roccioso delle **argilliti fratturate**, caratterizzato da una velocità media delle onde di taglio  $V_s = 900$  m/s. In base a questo valore di velocità, equiparando l'Indice di qualità della roccia  $IQ = 100$  ( $V_s/V_t = 100$  ( $900/1500$ )  $\cong 60$  (dove  $V_t$  è la "velocità teorica" della roccia sana) all'indice RMR di *Bieniawski*, si deduce un **ammasso roccioso di qualità discreta**, con parametri geotecnici cautelativamente valutabili come segue:

peso di volume (secondo Mayne)	: $\gamma = 2,46$	t/m <sup>3</sup>
angolo di attrito interno	: $\phi = 35^\circ$	
coesione	: $c = 3,0$	kg/cm <sup>2</sup>
coefficiente di compressibilità volumetrico	: $mv = < 0,002$	cm <sup>2</sup> /kg

Il campo di variabilità dei parametri geotecnici ed i parametri geotecnici caratteristici che si sottopongono all'attenzione del Progettista in relazione alla tipologia progettuale sono riportati nelle tabelle che seguono:

Granulometria terreno	Stima del campo di variabilità dei parametri geotecnici							
	Rp (kg/cm <sup>2</sup> )	Nspt	$\gamma$ (kg/dm <sup>3</sup> )	$\gamma'$ (kg/dm <sup>3</sup> )	cu (kg/cm <sup>2</sup> )	$\phi'$ (°)	c' (kg/cm <sup>2</sup> )	mv (cm <sup>2</sup> /kg)
frammenti litici e ghiaietto in abbondante matrice argilloso limosa, da mediamente compatta a dura	10÷50	4÷25	1,90÷2,0	1,0÷1,1	0,5÷2,0	25÷28	0,3÷0,5	0,020÷0,005
limi argilloso sabbiosi mediamente compatti	10÷25	2÷4	1,85÷1,90	0,9÷0,95	0,4÷1,0	26÷28	0,1÷0,15	0,025÷0,015
frammenti litici e ghiaietto in abbondante matrice argilloso limosa di consistenza molto dura+durissima	>100÷R	30÷R	2,25	1,30	-	20	1,50	<0,005
substrato argillitico fratturato substrato argillitico fratturato	-	-	2,46	2,46	-	35	3,00	<0,002
Parametri caratteristici								
	qck (kg/cm <sup>2</sup> )	Nsptk	$\gamma_k$ (kg/dm <sup>3</sup> )	$\gamma'_k$ (kg/dm <sup>3</sup> )	cuk (kg/cm <sup>2</sup> )	$\phi'_k$ (°)	c'k (kg/cm <sup>2</sup> )	mv (cm <sup>2</sup> /kg)
frammenti litici e ghiaietto in abbondante matrice argilloso limosa, da mediamente compatta a dura	20	12	1,90	1,00	0,8	25	0,40	0,010
limi argilloso sabbiosi mediamente compatti	10	6	1,85	0,90	0,4	27	0,10	0,020
frammenti litici e ghiaietto in abbondante matrice argilloso limosa di consistenza molto dura+durissima	-	-	2,25	1,30	-	20	1,50	<0,005
substrato argillitico fratturato	-	-	2,46	2,46	-	35	3,00	<0,002

# Sezione stratigrafica e geotecnica A-A' - Scala 1:200



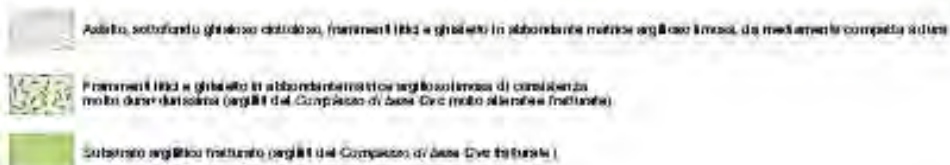
- Livello falda acquifera Ottobre 2018
- Asfalto, sottotondo ghiaioso ciottoloso, frammenti lisci e ghiaietto in abbondante matrice argillosa limosa, da mediamente compatta a dura
- Limi argillosi sabbiosi mediamente compatti (Depositi alluvionali recenti)
- Frammenti lisci e ghiaietto in abbondante matrice argillosa limosa di consistenza molto dura+durissima (argilli del Complesso di base Civo molto alterate e fratturate)
- Substrato argilloso fratturato (argilli del Complesso di base Civo fratturate)
- Prova penetrometrica statica CPT

Caratterizzazione terreno	Sintesi del campo di variabilità dei parametri geotecnici							
	$\rho_p$ (kg/cm <sup>3</sup> )	$N_{eqk}$	$\gamma$ (kg/dm <sup>3</sup> )	$\gamma'$ (kg/dm <sup>3</sup> )	$\sigma_v$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$e$ (%)	$\phi$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$m$ (cm <sup>2</sup> /kg)
Frammenti lisci e ghiaietto in abbondante matrice argillosa limosa, da mediamente compatta a dura	10+30	4+25	1,90+2,0	1,0+1,1	0,5+2,0	25+35	0,3+0,5	0,020+0,035
Limi argillosi sabbiosi mediamente compatti	10+25	2+4	1,85+1,90	0,9+0,95	0,4+1,0	20+30	0,1+0,25	0,025+0,015
Frammenti lisci e ghiaietto in abbondante matrice argillosa limosa di consistenza molto durandurissima	1000+15	30+15	2,25	1,30	-	20	1,50	+0,005
Substrato argilloso fratturato	-	-	2,40	2,40	-	35	3,00	+0,012

Parametri caratteristici	Parametri caratteristici							
	$\rho_k$ (kg/cm <sup>3</sup> )	$N_{eqk}$	$\sigma_k$ (kg/dm <sup>2</sup> )	$\phi_k$ (kg/dm <sup>2</sup> )	$\sigma_{vk}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\phi_k$ (%)	$\phi_k$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$m_k$ (cm <sup>2</sup> /kg)
Frammenti lisci e ghiaietto in abbondante matrice argillosa limosa, da mediamente compatta a dura	20	12	1,90	1,00	0,5	25	0,40	0,010
Limi argillosi sabbiosi mediamente compatti	10	5	1,85	0,90	0,4	20	0,10	0,020
Frammenti lisci e ghiaietto in abbondante matrice argillosa limosa di consistenza molto durandurissima	-	-	2,25	1,30	-	20	1,50	+0,005
Substrato argilloso fratturato	-	-	2,40	2,40	-	35	3,00	+0,012

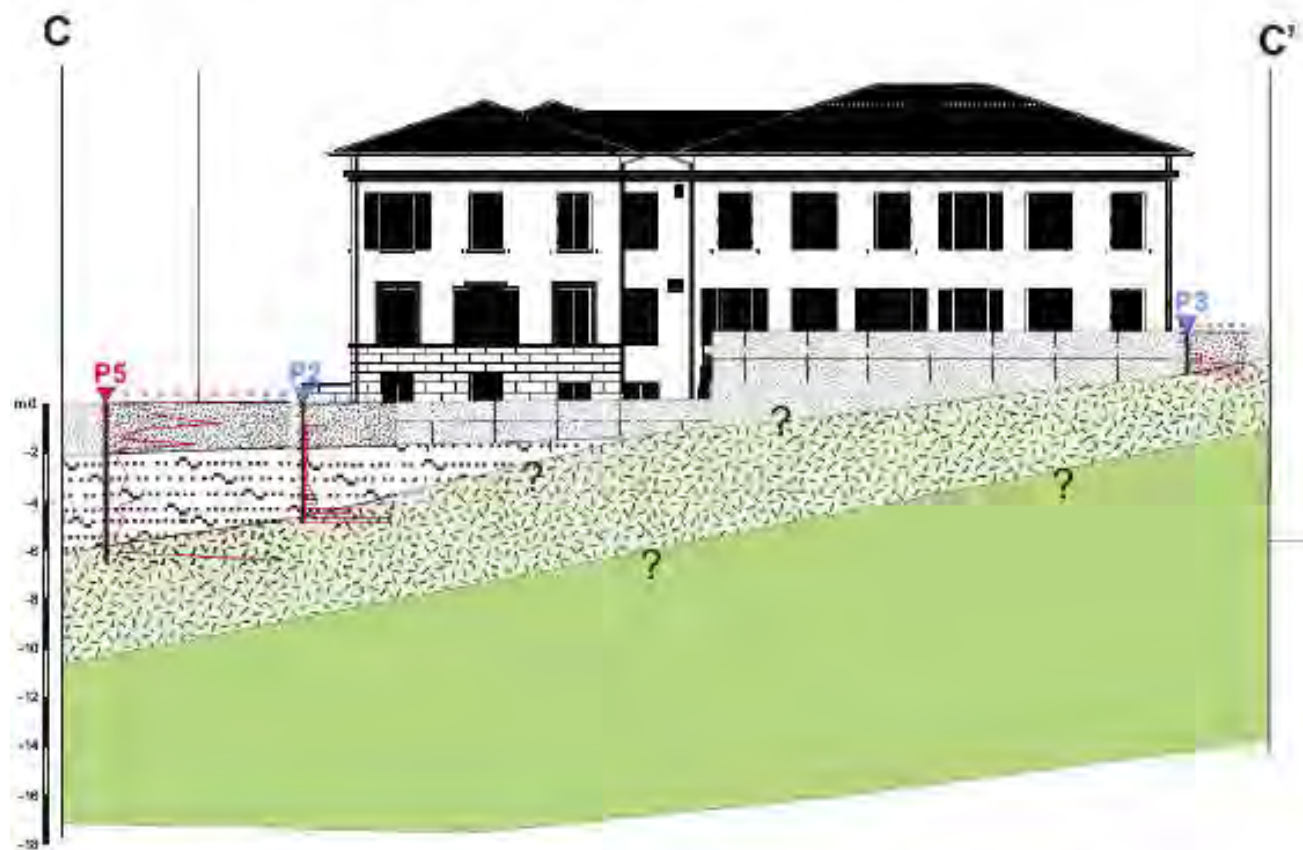




**P4** Prova perimetrica sbalzo OPT

Srv:\Lavori 2018\ Indagini approfondimento vulnerabilità sismica edificio Arcobaleno Maggiano

# Sezione stratigrafica e geotecnica C-C' - Scala 1:200



- Asfalto, puzzone e ghiaia ciottolosa, frammenti liti e ghiaia in abbondante matrice argillosa limosa, da mediamente compatta a dura.
- Limiti argillosi sabbiosi mediamente compatti (Depositi alluvionali recenti).
- Frammenti liti e ghiaia in abbondante matrice argillosa limosa di consistenza molto duratura (argilla del Complesso di base Cretacea alluviale e fruttuosa).
- Substrato argilloso fruttuoso (argilla del Complesso di base Cretacea fruttuosa).

Prova piezometrica dinamica penetra DPMH

Prova piezometrica statica CPT

Caratteristiche tecniche	Dati di campo e risultati di prove geotecniche						
	Profondità (m)	Met.	q (kg/cm²)	s (kg/cm²)	q (kg/cm²)	s (kg/cm²)	eccellente
Asfalto, puzzone e ghiaia ciottolosa, frammenti liti e ghiaia in abbondante matrice argillosa limosa, da mediamente compatta a dura	0-0,5	1-0,5	1,00-2,00	1,0-1,1	12-20	20-25	1,00-2,00
Limiti argillosi sabbiosi mediamente compatti (Depositi alluvionali recenti)	0-0,5	2-4	1,00-1,50	0,5-0,8	10-15	20-25	1,00-2,00
Frammenti liti e ghiaia in abbondante matrice argillosa limosa di consistenza molto duratura (argilla del Complesso di base Cretacea alluviale e fruttuosa)	0-0,5-1	20-30	2,00	1,00	20	1,00	1,00-2,00
Substrato argilloso fruttuoso (argilla del Complesso di base Cretacea fruttuosa)			2,00	1,00	20	1,00	1,00-2,00
Caratteristiche tecniche	Parametri geotecnici						
	Profondità (m)	Met.	q (kg/cm²)	s (kg/cm²)	q (kg/cm²)	s (kg/cm²)	eccellente
Asfalto, puzzone e ghiaia ciottolosa, frammenti liti e ghiaia in abbondante matrice argillosa limosa, da mediamente compatta a dura	0	0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Limiti argillosi sabbiosi mediamente compatti (Depositi alluvionali recenti)	0	0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Frammenti liti e ghiaia in abbondante matrice argillosa limosa di consistenza molto duratura (argilla del Complesso di base Cretacea alluviale e fruttuosa)			2,00	1,00	20	1,00	1,00-2,00
Substrato argilloso fruttuoso (argilla del Complesso di base Cretacea fruttuosa)			2,00	1,00	20	1,00	1,00-2,00

### 3. PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE E LOCALE

Con la pubblicazione dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n° 3274 del 20 marzo 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*" (Supplemento Ordinario n. 72 della G.U. n. 105 del 8.05.2003) è entrata in vigore la nuova Classificazione Sismica del Territorio Italiano, basata sulle indicazioni del Gruppo di Lavoro del Dipartimento della Protezione Civile del 1998: la nuova classificazione è stata recepita dalla Regione Toscana con D.G.R.T. n. 751 del 28 luglio 2003, in base alla quale il territorio del Comune di Lucca, precedentemente "non classificato" (NC), è stato definito sismico di Zona 3.

Successivamente la Commissione Grandi Rischi del Dipartimento della Protezione Civile ha approvato, nella seduta del 6 aprile 2004, la nuova Mappa di Pericolosità sismica del Territorio Nazionale (vedi Fig. 2 e 3): questa è stata recepita dalla O.P.C.M. n° 3519 del 28 Aprile 2006 (vedi Fig. 4) ed è divenuta infine la mappa di riferimento prevista dai D.M. 14 Gennaio 2008 e D.M 17 Gennaio 2018 – Norme tecniche per le costruzioni.

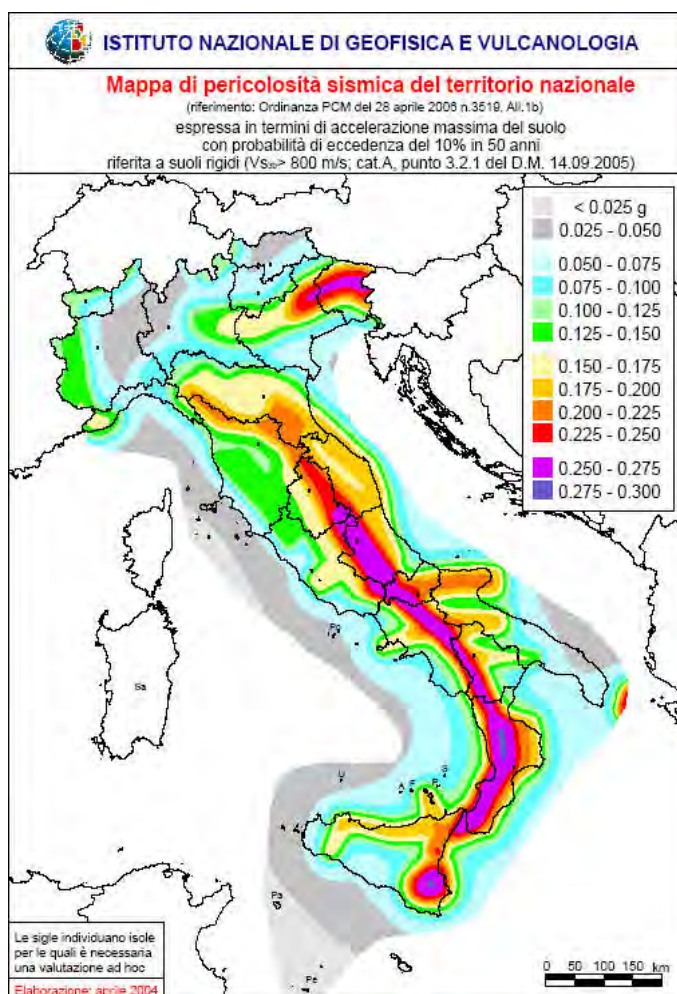


Fig. 2 – Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale



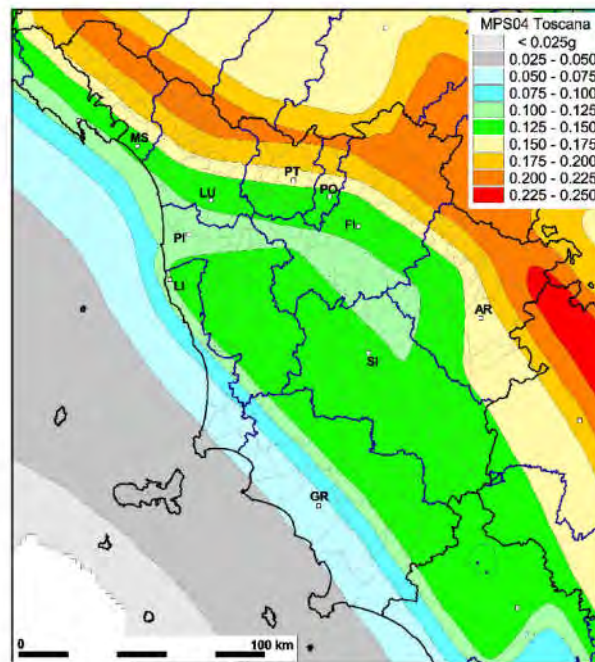


Fig. 3 – Mappa di pericolosità sismica del territorio regionale

MAPPA DI AGGIORNAMENTO DELLA CLASSIFICAZIONE SISMICA DELLA  
 REGIONE TOSCANA – 2012

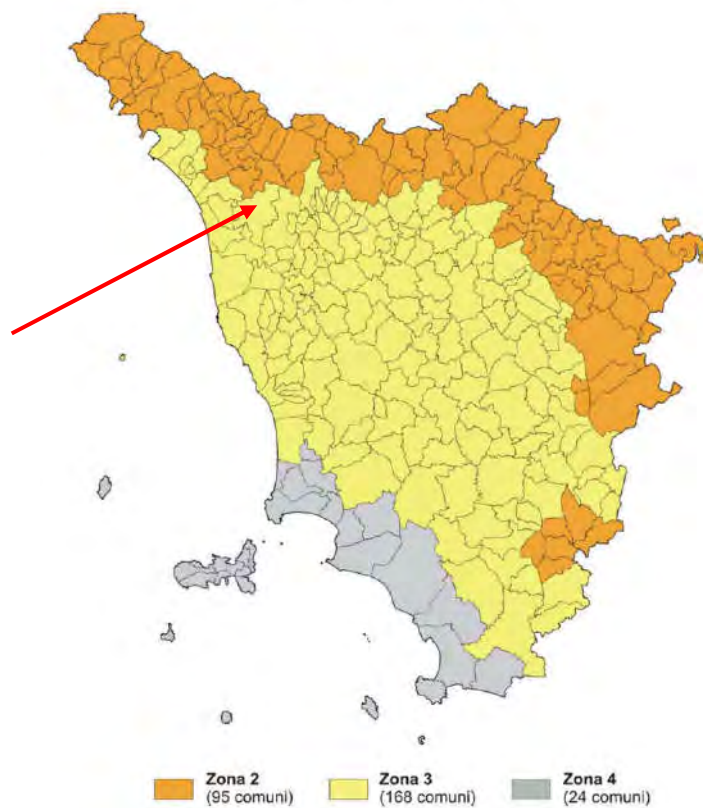
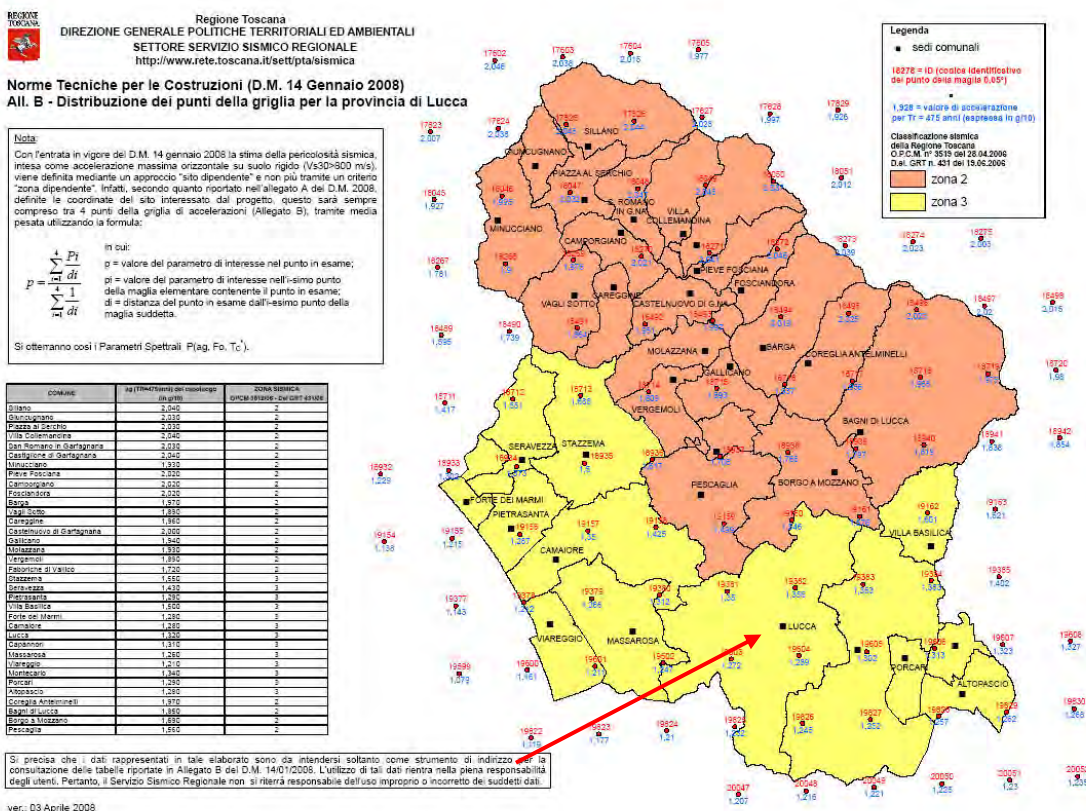


Fig. 4 – Classificazione sismica del territorio regionale



*Fig. 5 – Classificazione sismica del territorio della Provincia di Lucca e griglia delle accelerazioni*

Per effetto della propagazione delle onde sismiche, il terreno trasmette sui fabbricati il moto sismico ovvero l'*azione sismica*, alla quale le strutture reagiscono con una *risposta dinamica* che va verificata negli aspetti di sicurezza e di prestazioni attese dell'opera in progetto.

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, sono stabilite a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione: questa è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa  $a_g$  in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (categoria **A**), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente  $S_c(T)$ , con riferimento a prefissate possibilità di eccedenza  $P_{Vr}$  (vedi tabella) nel periodo di riferimento  $V_r$  (“Vita di riferimento”).

Le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{vr}$ , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

$a_g$ : accelerazione orizzontale massima al sito

$F_0$ : valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale

$T_c$ : periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale

Nei confronti delle azioni sismiche gli stati limite, di esercizio ed ultimi, sono i seguenti:

Stati limite		PVr: Probabilità di superamento nel periodo di riferimento $V_r$
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite Ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

**SLO: Stato limite di operatività**

**SLD: Stato limite di danno**

**SLV: Stato limite di salvaguardia della vita**

**SLC: Stato limite ultimo di prevenzione del collasso**

**$V_r = V_n * C_u$  vita di riferimento, data dal prodotto della Vita Nominale  $V_n$  per il Coefficiente d'uso  $C_u$**

La normativa definisce l'azione sismica per quattro classi d'uso delle strutture:

#### 2.4.2. Classi d'uso

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso così definite:

**Classe I:** Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.

**Classe II:** Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

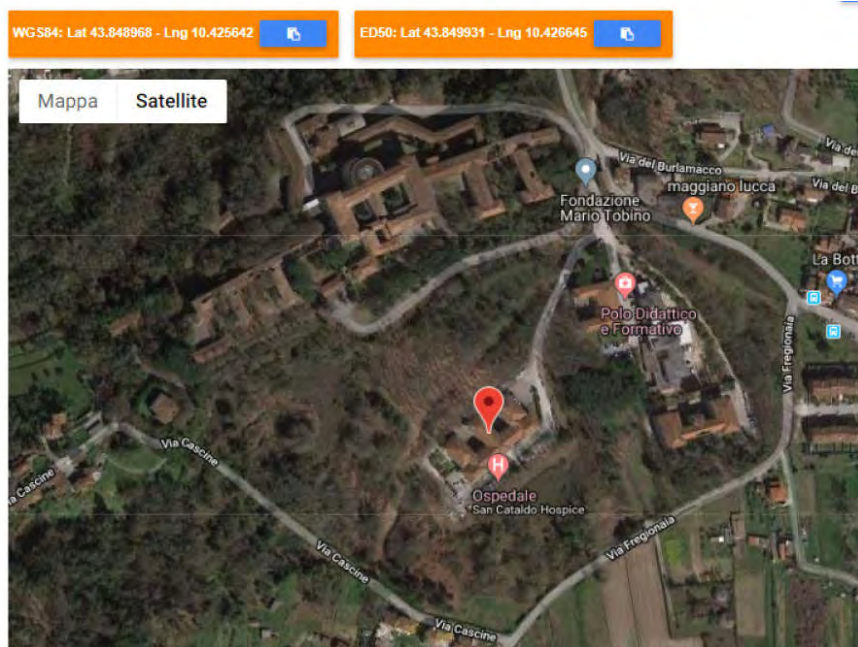
**Classe III:** Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.

**Classe IV:** Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.



CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE $C_U$	0,7	1,0	1,5	2,0

Il fabbricato in studio, come anticipato in premessa, ricade in Classe d'uso III con coefficiente  $C_u = 1,5$



Per le coordinate del sito 43.849931 lat, 10.426645 long, si otterranno, in base alla relazione

$$a_g = \frac{\sum_{i=1}^4 \frac{a_{g_i}}{d_i}}{\sum_{i=1}^4 \frac{1}{d_i}}$$

i valori di accelerazione di base di seguito riportati:

#### **Valori dei parametri $a_g$ , $F_o$ , $T_C^*$ per i periodi di ritorno $T_R$ di riferimento**

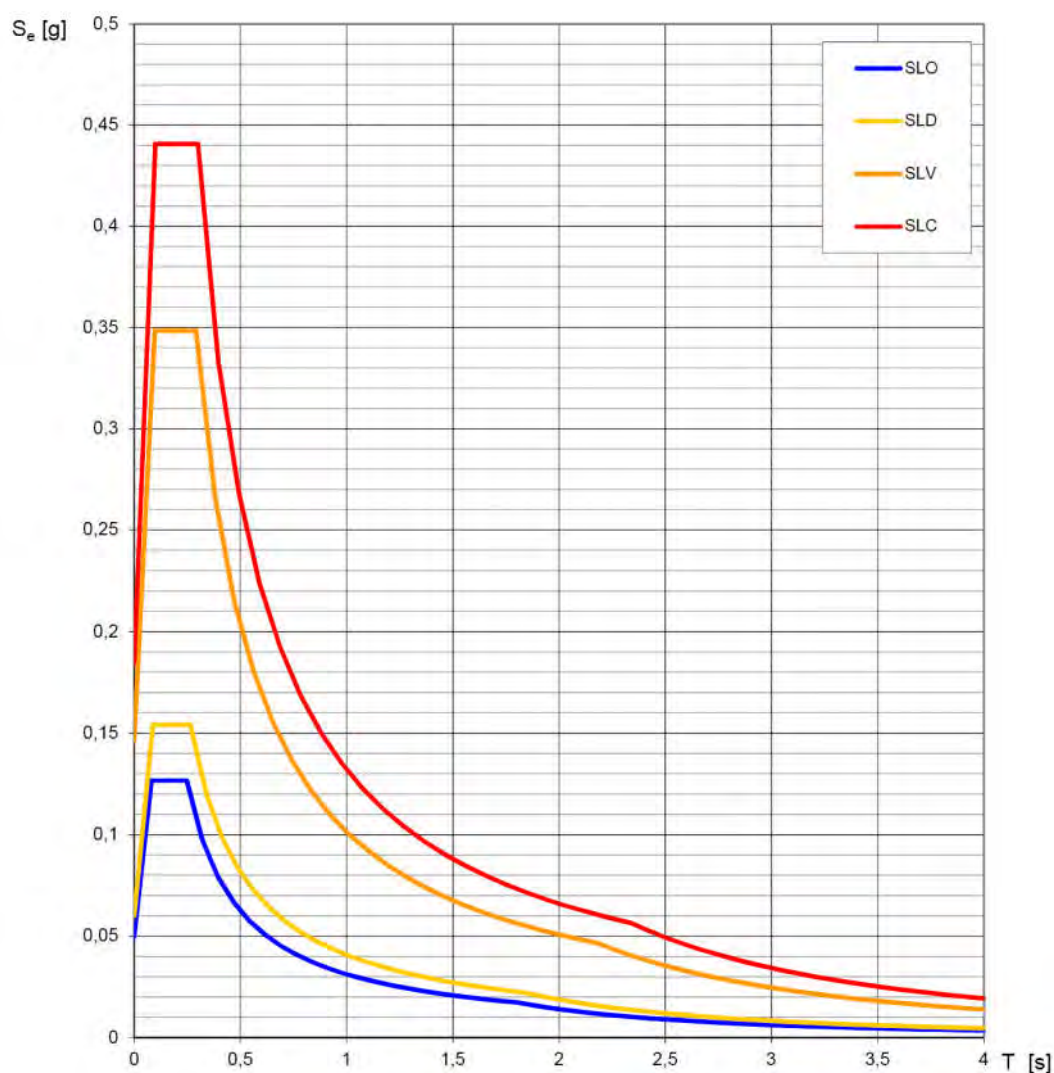
$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_o$ [-]	$T_C^*$ [s]
30	0,042	2,554	0,235
50	0,052	2,548	0,250
72	0,059	2,571	0,264
101	0,067	2,558	0,270
140	0,076	2,563	0,276
201	0,089	2,489	0,281
475	0,127	2,370	0,289
975	0,163	2,389	0,293
2475	0,217	2,391	0,309

Per quanto concerne i parametri da assumere nella progettazione, per una vita nominale dell'edificio  $V_N = 50$  anni ed una Classe d'uso III, si ha una vita di riferimento  $V_R = C_u \cdot V_N = 1,5 \cdot 50 = 75$  anni, il che determina i seguenti valori dei parametri da assumere per la progettazione agli stati limite, ottenuti con il programma "Spettri - NTC" pubblicato dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici:

#### Valori dei parametri $a_g$ , $F_o$ , $T_C^*$ per i periodi di ritorno $T_R$ associati a ciascuno SL

SLATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_o$ [-]	$T_C^*$ [s]
SLO	45	0,050	2,549	0,247
SLD	75	0,060	2,569	0,264
SLV	712	0,146	2,381	0,291
SLC	1462	0,184	2,390	0,300

#### Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite



### 3.1. Potenziale di liquefazione

Secondo la normativa, deve innanzitutto essere verificato che i terreni siano esenti da rischi di instabilità di pendii e di cedimenti permanenti causati da fenomeni di liquefazione o eccessivo addensamento in caso di terremoto.

Nel caso in studio sono esclusi problemi di stabilità, essendo il sito subpianeggiante.

Per quanto concerne il potenziale di liquefazione sotto scuotimento sismico, fenomeno che può verificarsi solo in terreni prevalentemente sabbiosi sotto falda limitatamente ai primi 10÷15 m dalla superficie del terreno a causa della progressiva riduzione delle tensioni efficaci, i depositi interessanti la costruzione in studio risultano non liquefacibili per i seguenti motivi, già evidenziati nella relazione della Dott.ssa Peccianti:

- insufficiente energia del terremoto di progetto (Magnitudo media attesa = 4.88)
- granulometria estesa eccedente il fuso granulometrico critico

### 3.2. Categoria di sottosuolo

Ai fini della definizione delle azioni sismiche di progetto, nella normativa sismica viene data importanza sostanziale ai diversi profili stratigrafici del sottosuolo, i quali, in base alle loro caratteristiche di spessore e di rigidezza sismica, possono amplificare il moto sismico in superficie rispetto a quello indotto alla loro base.

Per la determinazione della “*Categoria di suolo di fondazione*” così come richiesto dal D.M 14 Gennaio 2008 - *Norme tecniche per le costruzioni* nei riguardi della misura della velocità media delle onde sismiche trasversali nei primi trenta metri sotto la superficie del terreno ( $V_{s30}$ ) e della determinazione dei fattori amplificativi dell’azione sismica, si è fatto riferimento ai risultati della prospezione sismica con onde Sh all’uopo eseguita: nel caso in esame, considerando l’appoggio delle fondazioni a 1,1 m sotto la superficie del terreno attuale, si calcola lungo il profilo un valore di  $V_{s30} = 567 \div 752$  m/s con  $V_{s30}$  velocità media di propagazione entro 30 m di profondità delle onde di taglio calcolata con la seguente espressione:

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

Il terreno di fondazione è pertanto iscrivibile alla categoria di sottosuolo B:

**B) 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  $V_{s30}$  compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero resistenza penetrometrica  $N_{spt30} > 50$  nei terreni a grana grossa e  $c_{u30} > 250$  kPa nei terreni a grana fina).

Per quanto concerne invece le condizioni topografiche, il sito è classificabile in Categoria T1, come da tabella sottostante:

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 $i > 30^\circ$

### 3.3. Spettro di risposta elastico

Lo spettro di risposta elastico in accelerazione è espresso da una forma spettrale (spettro normalizzato) riferita ad uno smorzamento convenzionale del 5% moltiplicata per il valore della accelerazione orizzontale massima  $a_g$  su sito di riferimento rigido orizzontale: sia la forma spettrale che il valore di  $a_g$  variano al variare della probabilità di superamento nel periodo di riferimento.

In particolare, lo spettro di risposta elastico varia in funzione di alcuni coefficienti, tra i quali, riferibili al “fattore terreno” (vedi tabella)

$S = S_s \cdot S_t$  : è il coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo ( $S_s$ ) e delle condizioni topografiche ( $S_t$ )

$C_c$  = coefficiente funzione della categoria di sottosuolo

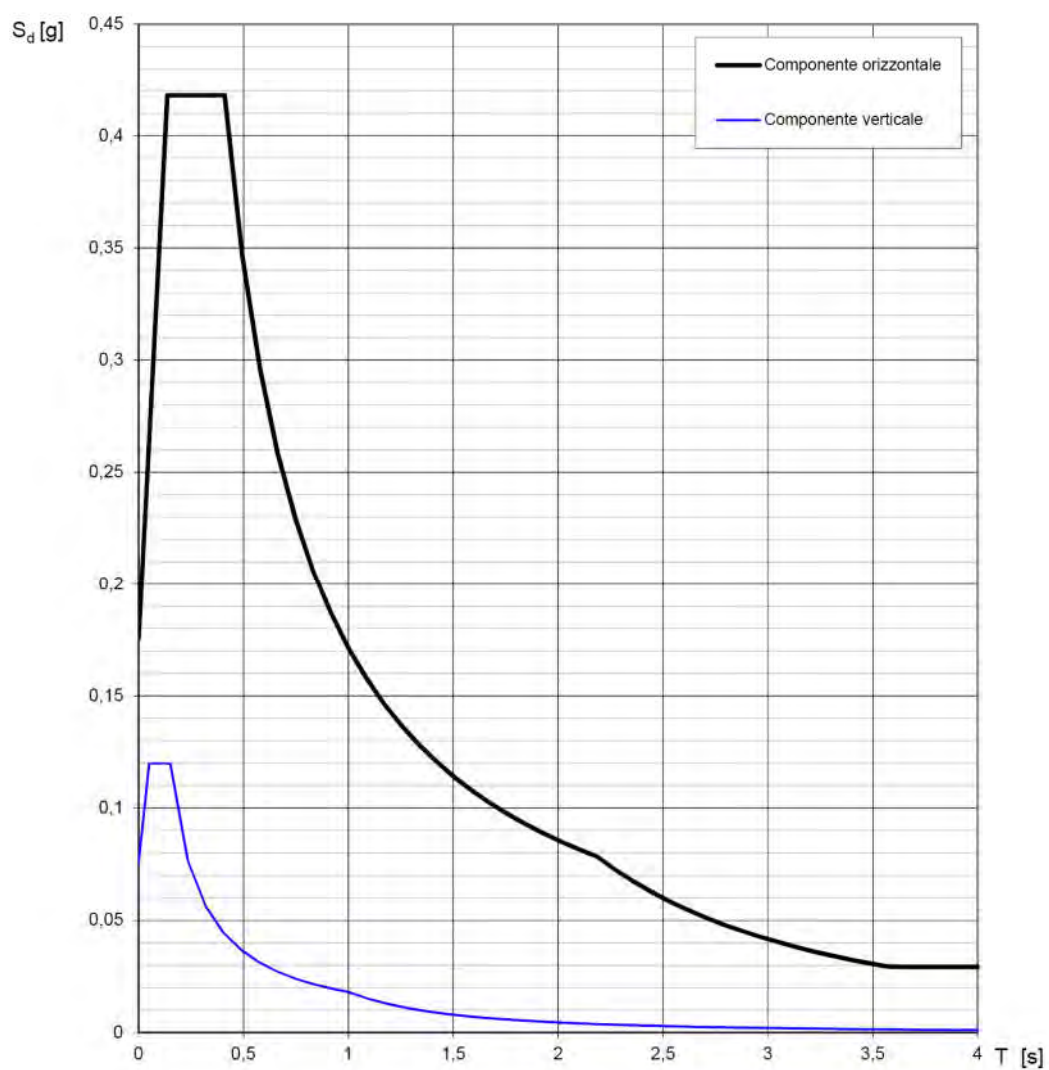
Categoria sottosuolo	$S_s$	$C_c$
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_c^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_c^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_c^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_c^*)^{-0,40}$

Nel caso in studio, per categoria di sottosuolo “B” e per categoria topografica T1, si ottengono, sempre utilizzando il programma di calcolo *Spettri - NTC versione 1.0.3* predisposto da INGV, i seguenti spettri e valori relativi allo **Stato limite di salvaguardia della vita SLV**:



**Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLV**

---



## Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite: SLV

### Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
$a_g$	0,146 g
$F_o$	2,381
$T_c$	0,291 s
$S_S$	1,200
$C_c$	1,408
$S_T$	1,000
$q$	1,000

### Parametri dipendenti

$S$	1,200
$\eta$	1,000
$T_B$	0,137 s
$T_C$	0,410 s
$T_D$	2,185 s

### Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(5 + \xi)} \geq 0,55; \quad \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_c \cdot T_c^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

### Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

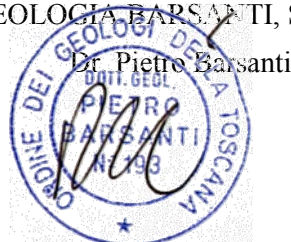
Lo spettro di progetto  $S_d(T)$  per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico  $S_e(T)$  sostituendo  $\eta$  con  $1/q$ , dove  $q$  è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

### Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,176
$T_B \leftarrow$	0,137	0,418
$T_C \leftarrow$	0,410	0,418
	0,494	0,346
	0,579	0,296
	0,664	0,258
	0,748	0,229
	0,833	0,206
	0,917	0,187
	1,002	0,171
	1,086	0,158
	1,171	0,146
	1,255	0,136
	1,340	0,128
	1,424	0,120
	1,509	0,114
	1,593	0,108
	1,678	0,102
	1,763	0,097
	1,847	0,093
	1,932	0,089
	2,016	0,085
	2,101	0,082
$T_D \leftarrow$	2,185	0,078
	2,272	0,073
	2,358	0,067
	2,444	0,063
	2,531	0,058
	2,617	0,055
	2,704	0,051
	2,790	0,048
	2,877	0,045
	2,963	0,043
	3,049	0,040
	3,136	0,038
	3,222	0,036
	3,309	0,034
	3,395	0,032
	3,481	0,031
	3,568	0,029
	3,654	0,029
	3,741	0,029
	3,827	0,029
	3,914	0,029
	4,000	0,029

Lucca, 21/11/18

STUDIO DI GEOLOGIA BARSANTI, SANI & ASSOCIATI



**STUDIO DI GEOLOGIA  
BARSANTI, SANI & ASSOCIATI**  
via Buiamonti 29 - 55100 LUCCA - Partita IVA: 01134410461  
Tel. 0583/467427 Fax. 0583/91090 e-mail: bar-sani@geoprove.com

## **AZIENDA USL TOSCANA NORD OVEST**

**INDAGINI GEOLOGICHE , SISMICHE E GEOTECNICHE DI  
APPROFONDIMENTO PER LA VALUTAZIONE DELLA VULNERABILITÀ  
SISMICA DELL'EDIFICIO DI RESIDENZA SANITARIA ASSISTENZIALE  
(R.S.A.) L' "ARCOBALENO" SITO IN LOC. FREGIONAIA  
FRAZIONE DI MAGGIANO - COMUNE DI LUCCA**

**ALL. N° 1 – PROVE PENETROMETRICHE STATICO \_ DINAMICHE PESANTI**





## Prove Penetrometriche Statiche

### ELABORAZIONE DATI

Committente : USL Toscananordovest  
 Località: S.Cataldo - Maggiano  
 Data: 25/10/18  
 N° totale di prove: 4

Cartella: Maggiano181003Usltoscananordovest

#### Penetrometro

Ditta produttrice: PAGANI GEOTHECNICAL EQUIPMENT  
 Modello: TG63-200  
 Spinta: 200 KN  
 Punta: meccanica tipo Begemann  
 Cella di carico di sommità: Hottinger - Classe: 0,2  
 Centralina elettronica di rilevamento dati

#### Legenda

A	= resistenza totale alla punta	(Kg)
B	= resistenza totale alla punta + manicoto	(Kg)
T	= resistenza totale	(Kg)
Rp	= resistenza alla punta	(Kg/cmq)
Rf	= resistenza laterale	(Kg/cmq)
Rp/Rf	= rapporto Begemann	

#### Valori derivati

$\Phi$	= angolo d'attrito interno	(°)
Dr	= densità relativa	(%)
Cu	= coesione non drenata	(Kg/cmq)
mv	= coefficiente di compressibilità volumetrica	(cmq/Kg)

N.B.: I valori derivati si basano sulle correlazioni empiriche o semiempiriche proposte da Begemann, Searle, Shmertmann e Altri. Si declina qualsiasi responsabilità sull'uso di tali dati senza adeguate verifiche dirette (sondaggi, prove di laboratorio su campioni indisturbati etc.)



### Legende della stratigrafia schematica

Begemann (1965)	
Torbe e arg. organiche	#-#-#-#-#
Argille	=====
Limi argillosi	~~~~~
Limi	~~~~~
Limi argille sabbie	~~~~~
Sabbie limose	.....
Sabbie fini	.....
Sabbie grossolane	.....
Sabbie e ghiaie	0**0**0**0

Searle (1979)	
Torbe	#####
Argille torbose	#-#-#-#-#
Argille	=====
Argille limose	=====
Limi argillosi	~~~~~
Limi argillosi sabbiosi	~~~~~
Sabbie limose argillose	.....
Sabbie fini	.....
Sabbie	.....
Sabbie ghiaiose	0**0**0**0
Ghiaie sabbiose	00*00*00*00*00
Ghiaie	0000*0000*0000

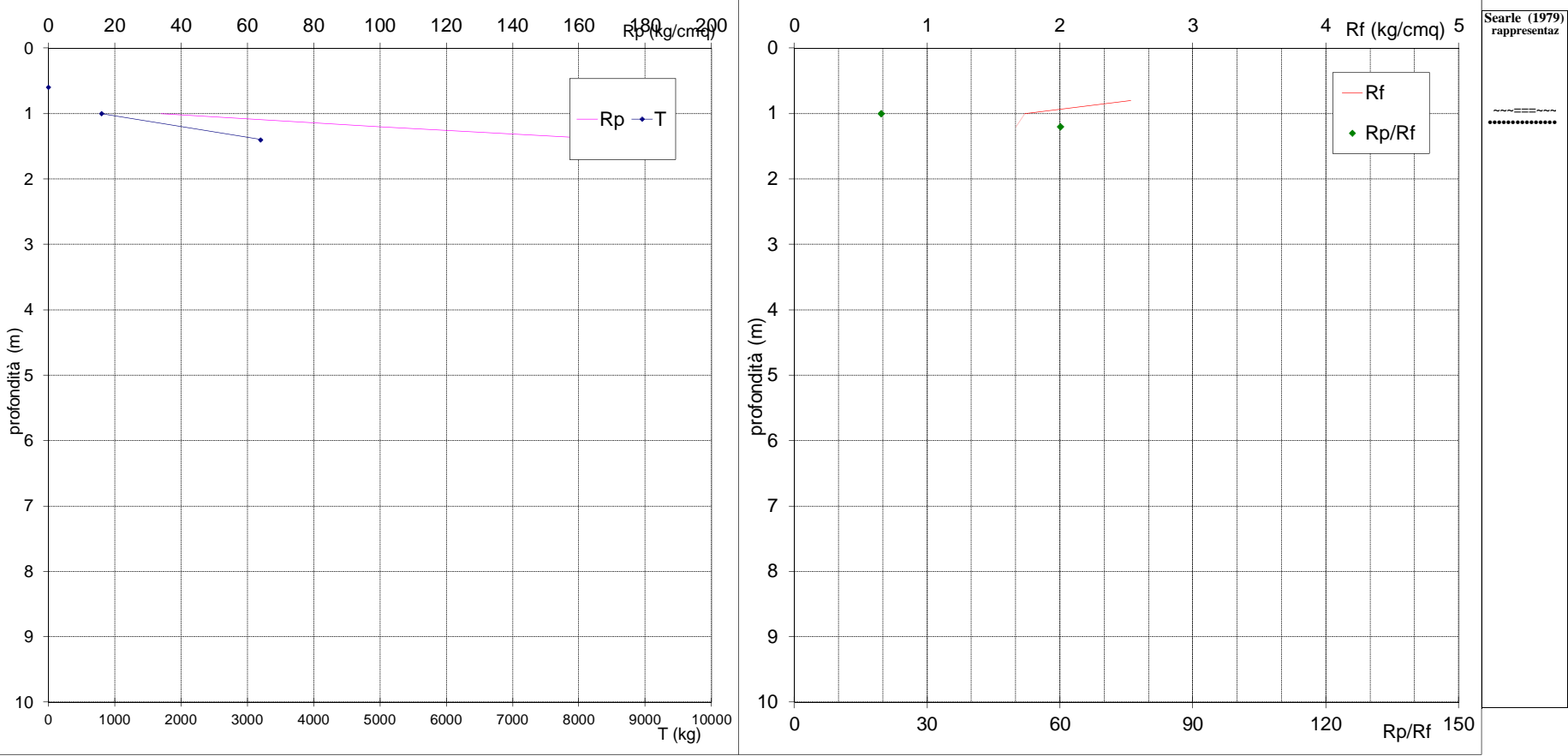
	Riporto	vengono indicati nei livelli per i quali sono disponibili
	Substrato roccioso	informazioni derivanti da altri mezzi di indagine

Prova penetronetrica statica	<b>Prova N°1</b>	Geoprobe S.a.s.
------------------------------	------------------	-----------------

Committente :	USL Toscananordovest	Data:	03/10/2018
Località:	S.Cataldo - Maggiano	File:	cpt1810031

Quota: asfalto				Livello della falda:			Parametri meccanici del terreno							
Letture di campagna				Valori derivati			(Searle 1979)				(Begemann 1968)			
profond.	A	B	T	Rp	Rf	Rp/Rf	φ	Dr	Cu	mv	φ	Dr	Cu	mv
0.2														
0.4														
0.6														
0.8					2.5									
1	340	720	800	34	1.7	19.6	--	--	1.4	0.010	--	--	1.7	0.010
1.2	1000	1260		100	1.7	60.0	33.0	60%	--	0.007	33.0	60%	--	0.007
1.4	1700	1950	3200	170										

prova approfondita con dinamico pesante



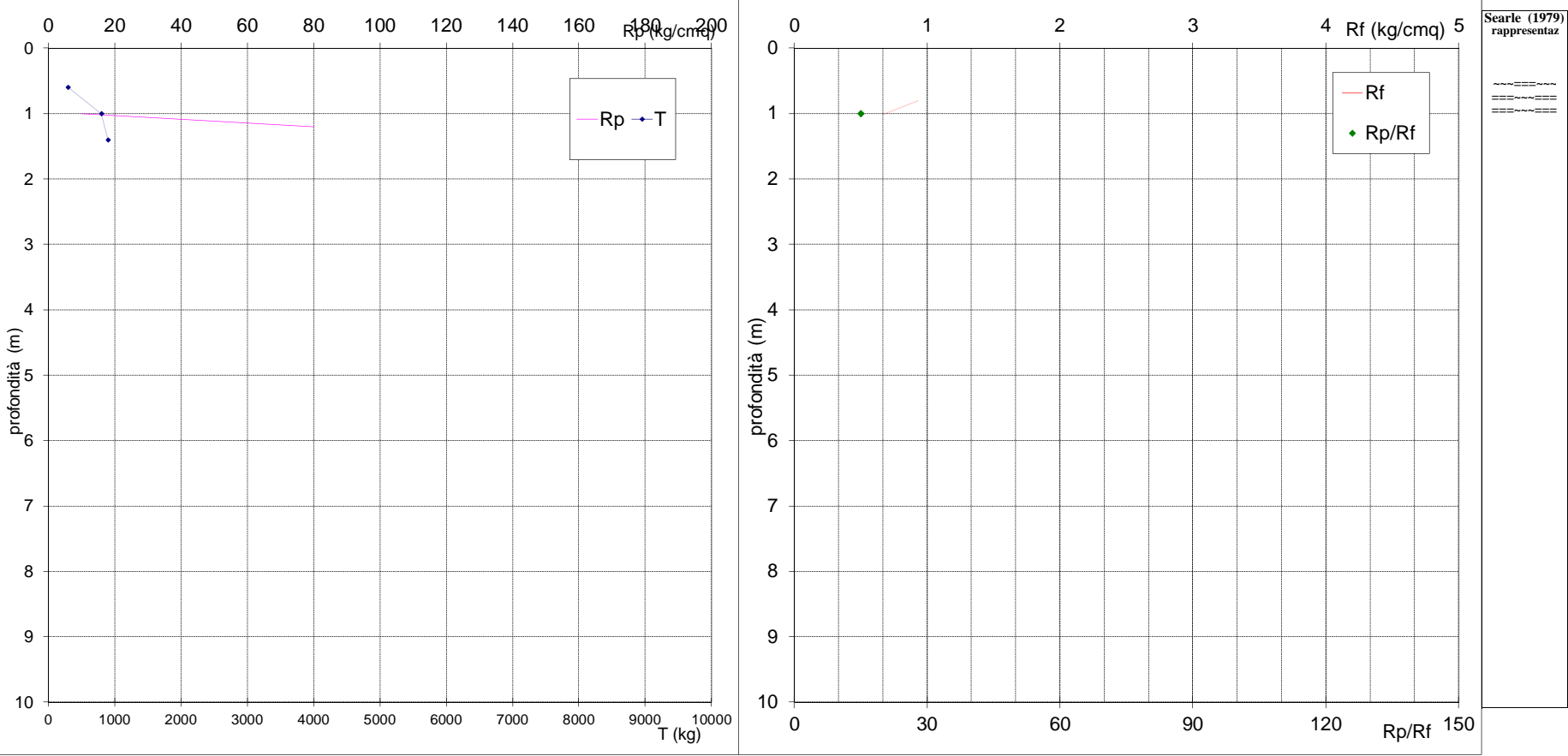
Prova penetronetrica statica	<b>Prova N°2</b>	Geoprobe S.a.s.
------------------------------	------------------	-----------------

Committente :	USL Toscananordovest	Data:	03/10/2018
Località:	S.Cataldo - Maggiano	File:	cpt1810032

Quota: asfalto				Livello della falda:			Parametri meccanici del terreno							
Letture di campagna				Valori derivati			(Searle 1979)				(Begemann 1968)			
profond.	A	B	T	Rp	Rf	Rp/Rf	$\phi$	Dr	Cu	mv	$\phi$	Dr	Cu	mv
0.2														
0.4					0.5									
0.6	160	230	300	16	0.9	18.5	--	--	0.6	0.016	--	--	0.8	0.016
0.8	140	270		14	0.9	15.0	--	--	0.7	0.020	--	--	0.7	0.020
1	100	240		10	0.7	15.0	--	--	0.5	0.029	--	--	0.5	0.029
1.2	800	900	900	80										

prova approfondita con dinamico pesante





Committente : USL Toscananordovest

Data: 03/10/2018

Località: S.Cataldo - Maggiano

File: cpt1810034

Quota: asfalto				Livello della falda: -3.2			Parametri meccanici del terreno							
Letture di campagna				Valori derivati			(Searle 1979)				(Begemann 1968)			
profond.	A	B	T	Rp	Rf	Rp/Rf	φ	Dr	Cu	mv	φ	Dr	Cu	mv
0.2														
0.4														
0.6	180	220	300	18	1.1	15.9	--	--	0.9	0.016	--	--	0.9	0.016
0.8	180	350		18	1.1	15.9	--	--	0.9	0.016	--	--	0.9	0.016
1	150	320	450	15	0.6	25.0	25.8	33%	--	0.017	--	--	0.6	0.017
1.2	110	200		11	0.6	18.3	--	--	0.4	0.023	--	--	0.6	0.023
1.4	190	280		19	0.7	28.5	26.4	39%	--	0.013	25.7	#####	--	0.013
1.6	330	430		33	1.5	22.5	--	--	1.3	0.010	--	--	1.7	0.010
1.8	230	450		23	1.1	21.6	--	--	0.9	0.014	--	--	1.2	0.014
2	320	480	600	32	2.3	14.1	--	--	1.6	0.013	--	--	1.6	0.013
2.2	330	670		33	2.4	13.8	--	--	1.7	0.012	--	--	2.2	0.012
2.4	300	660		30	2.8	10.7	--	--	2.0	0.011	--	--	2.0	0.011
2.6	280	700		28	2.0	14.0	--	--	1.4	0.014	--	--	1.4	0.014
2.8	630	930		63	1.9	32.6	28.4	63%	--	0.005	27.6	63%	--	0.005
3	500	790	1000	50	2.3	22.1	--	--	2.0	0.007	--	--	2.5	0.007
3.2	450	790		45	1.7	26.0	27.0	57%	--	0.007	--	--	1.8	0.007
3.4	350	610		35	4.2	8.3	--	--	2.3	0.010	--	--	2.3	0.010
3.6	660	1290		66	4.9	13.6	--	--	3.3	0.006	--	--	4.4	0.006
3.8	730	1460		73	5.4	13.5	--	--	3.7	0.005	--	--	4.9	0.005
4	790	1600	3200	79	6.2	12.7	--	--	4.0	0.005	--	--	5.3	0.005
4.2	770	1700		77	6.4	12.0	--	--	3.9	0.005	--	--	5.1	0.005
4.4	1000	1960		100	6.3	16.0	--	--	5.0	0.004	--	--	5.0	0.004
4.6	900	1840		90	5.4	16.7	--	--	3.6	0.004	--	--	4.5	0.004
4.8	2000	2810		200										
5	3000		4100	300										

prova approfondita con dinamico pesante

**Geoprove S.a.s.**

**File:** cpt1810034

Searle (1979) rappresentaz	
-------------------------------	--

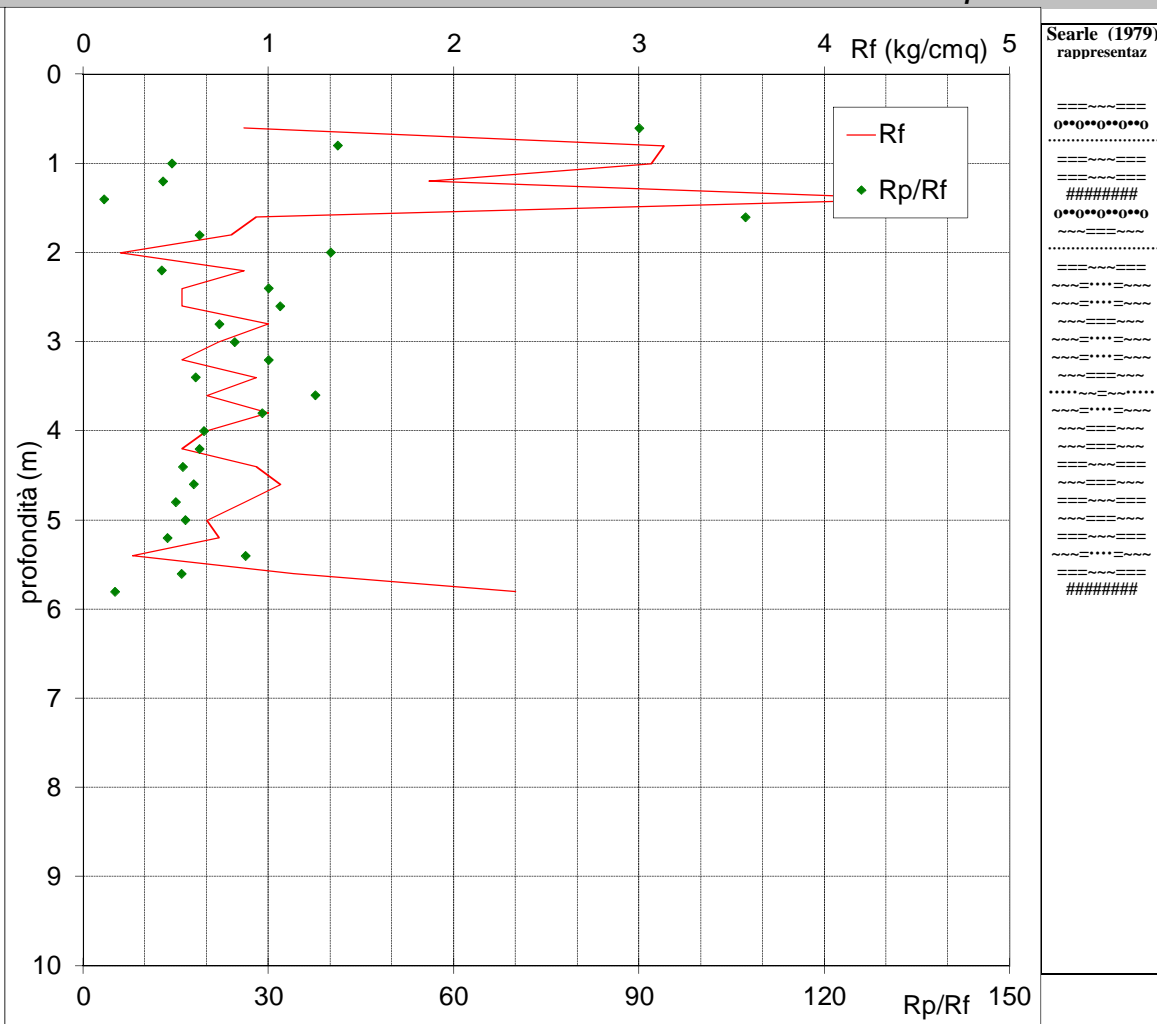
Committente : USL Toscananordovest  
Località: S.Cataldo - Maggiano

Data: 25/10/2018  
File: cpt1810251

Quota: p.c.		Livello della falda:				Parametri meccanici del terreno								
Letture di campagna				Valori derivati			(Searle 1979)				(Begemann 1968)			
profond.	A	B	T	Rp	Rf	Rp/Rf	φ	Dr	Cu	mv	φ	Dr	Cu	mv
0.2	390		400	39										
0.4	470			47	3.2	14.7	--	--	2.4	0.009	--	--	2.4	0.009
0.6	780	1260		78	0.9	90.0	35.5	43%	--	0.009	35.5	43%	--	0.009
0.8	1290	1420		129	3.1	41.2	31.6	63%	--	0.003	31.6	63%	--	0.003
1	440	910	1410	44	3.1	14.3	--	--	2.2	0.009	--	--	2.2	0.009
1.2	240	700		24	1.9	12.9	--	--	1.2	0.017	--	--	1.6	0.017
1.4	150	430		15	4.5	3.3	--	--	--	--	--	--	--	--
1.6	1000	1680		100	0.9	107.1	36.3	50%	--	0.007	36.3	50%	--	0.007
1.8	150	290		15	0.8	18.8	--	--	0.6	0.017	--	--	0.8	0.017
2	80	200	900	8	0.2	40.0	28.0	11%	--	0.042	28.0	11%	--	0.042
2.2	110	140		11	0.9	12.7	--	--	0.6	0.026	--	--	0.7	0.026
2.4	160	290		16	0.5	30.0	26.7	34%	--	0.016	26.0	#####	--	0.016
2.6	170	250		17	0.5	31.9	27.0	36%	--	0.015	26.3	#####	--	0.015
2.8	220	300		22	1.0	22.0	--	--	0.9	0.015	--	--	1.1	0.015
3	180	330	360	18	0.7	24.5	25.7	37%	--	0.014	--	--	0.9	0.014
3.2	160	270		16	0.5	30.0	26.7	34%	--	0.016	26.0	#####	--	0.016
3.4	170	250		17	0.9	18.2	--	--	0.7	0.015	--	--	0.9	0.015
3.6	250	390		25	0.7	37.5	28.5	44%	--	0.013	27.8	44%	--	0.013
3.8	290	390		29	1.0	29.0	27.0	47%	--	0.011	26.3	47%	--	0.011
4	130	280	600	13	0.7	19.5	--	--	0.5	0.019	--	--	0.7	0.019
4.2	100	200		10	0.5	18.8	--	--	0.4	0.025	--	--	0.5	0.025
4.4	150	230		15	0.9	16.1	--	--	0.6	0.017	--	--	0.8	0.017
4.6	190	330		19	1.1	17.8	--	--	0.8	0.013	--	--	1.0	0.013
4.8	130	290		13	0.9	15.0	--	--	0.7	0.022	--	--	0.7	0.022
5	110	240	710	11	0.7	16.5	--	--	0.4	0.023	--	--	0.6	0.023
5.2	100	200		10	0.7	13.6	--	--	0.5	0.029	--	--	0.7	0.029
5.4	70	180		7	0.3	26.3	25.5	21%	--	0.036	--	--	0.3	0.036
5.6	180	220		18	1.1	15.9	--	--	0.9	0.016	--	--	0.9	0.016
5.8	120	290		12	2.3	5.1	--	--	1.2	0.021	--	--	0.8	0.021
6	1200	1550	1900	120										
6.2	3000		4800	300										



**File:** cpt1810251



## Prove Penetrometriche Dinamiche DPSH

(Classifica ISSMFE 1988)

Committente : USL Toscananordovest  
Località: S.Cataldo - Maggiano  
Data: 03/10/2018  
N° totale di prove: 5

Cartella: Maggiano181003USLToscananordovest

### Penetrometro dinamico superpesante tipo "Emilia"

Ditta produttrice: PAGANI GEOTHECNICAL EQUIPMENT  
Modello: TG63-100

### Caratteristiche

M = 63,5 kg peso massa battente  
H = 75 cm altezza di caduta del maglio  
Ms = 0,7 kg peso sistema di battuta (massa passiva)  
d = 5,1 cm diametro punta conica  
A = 20 cmq sezione della punta conica  
 $\phi$  = 60° angolo apertura punta  
L = 1,0 m lunghezza aste  
da = 3,2 cm diametro delle aste  
dr = 4,8 cm diametro eventuale rivestimento  
Pa = 6,25 kg peso delle aste  
 $\delta$  = 20 cm penetrazione standard

### Legenda

$N_{20}$  = numero di colpi/penetrazione standard  
Rd = resistenza dinamica alla punta (kg/cm<sup>2</sup>)  
N<sub>riv</sub> = numero di colpi/avanzamento rivestimento  
 $N_{20}^*$  = numero di colpi corretto in funzione dell'attrito sulle aste  
(solo con punta a perdere in prove senza rivestimento)  
Rd\* = resistenza dinamica alla punta corretta in funzione  
dell'attrito sulle aste (kg/cm<sup>2</sup>) (solo con p.a p. in pr. s. riv.)  
 $\beta$  = fattore di corr. con il numero di colpi della prova SPT  
Nspt = numero di colpi della prova SPT

**N.B.: I valori derivati del numero di colpi della prova SPT si basano sulle correlazioni empiriche o semiempiriche proposte da vari Autori. Si declina qualsiasi responsabilità sull'uso di tali dati senza adeguate verifiche dirette (sondaggi, prove SPT)**

Prova penetrometrica N° 1

Committente : USL Toscananordovest Data: 03/10/18  
Località: S.Cataldo - Maggiano

Quota: asfalto

Livello della falda:

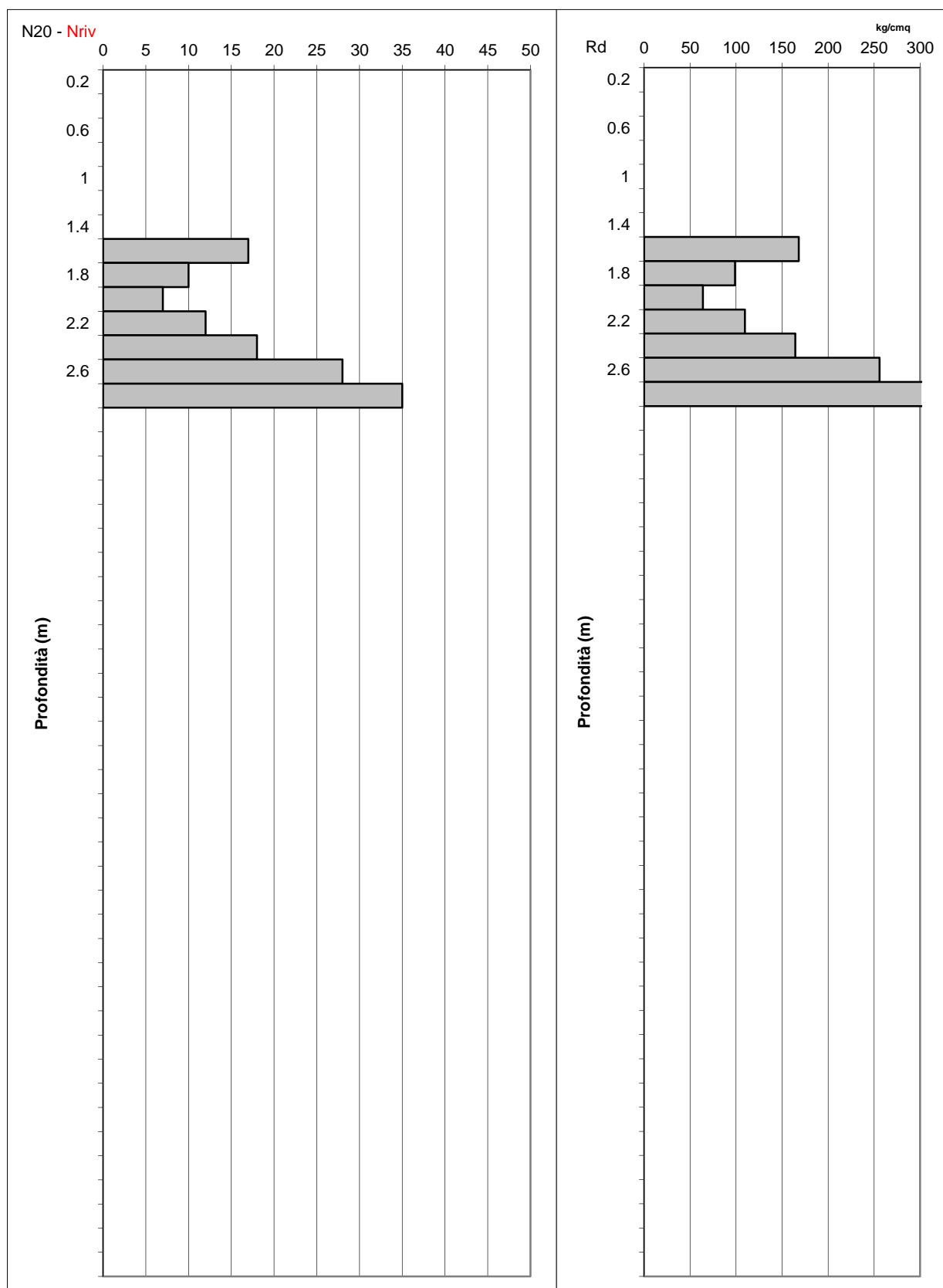
approfondimento di prova statica

Letture di camp.			Valori derivati				
profond.	N <sub>20</sub>	Nriv	Rd	N <sub>20</sub> *	Rd*	β	Nspt
0.2							
0.4							
0.6							
0.8							
1	<b>C P T</b>						
1.2							
1.4							
1.6	17		168.01	17	168.01	2.12	36
1.8	10		98.83	10	98.83	2.12	21
2	7		63.96	7	63.96	2.12	14
2.2	12		109.64	12	109.64	2.12	25
2.4	18		164.46	18	164.46	2.12	38
2.6	28		255.82	28	255.82	2.12	59
2.8	35		319.78	35	319.78	2.12	74

Prova penetrometrica N° 1

Committente : USL Toscananordovest  
Località: S.Cataldo - Maggiano

Data: 03/10/2018  
File: DPSH1810031



## Prova penetrometrica N° 2

Committente : USL Toscananordovest

Data: 03/10/18

Località: S.Cataldo - Maggiano

Quota: asfalto

Livello della falda:

approfondimento di prova statica

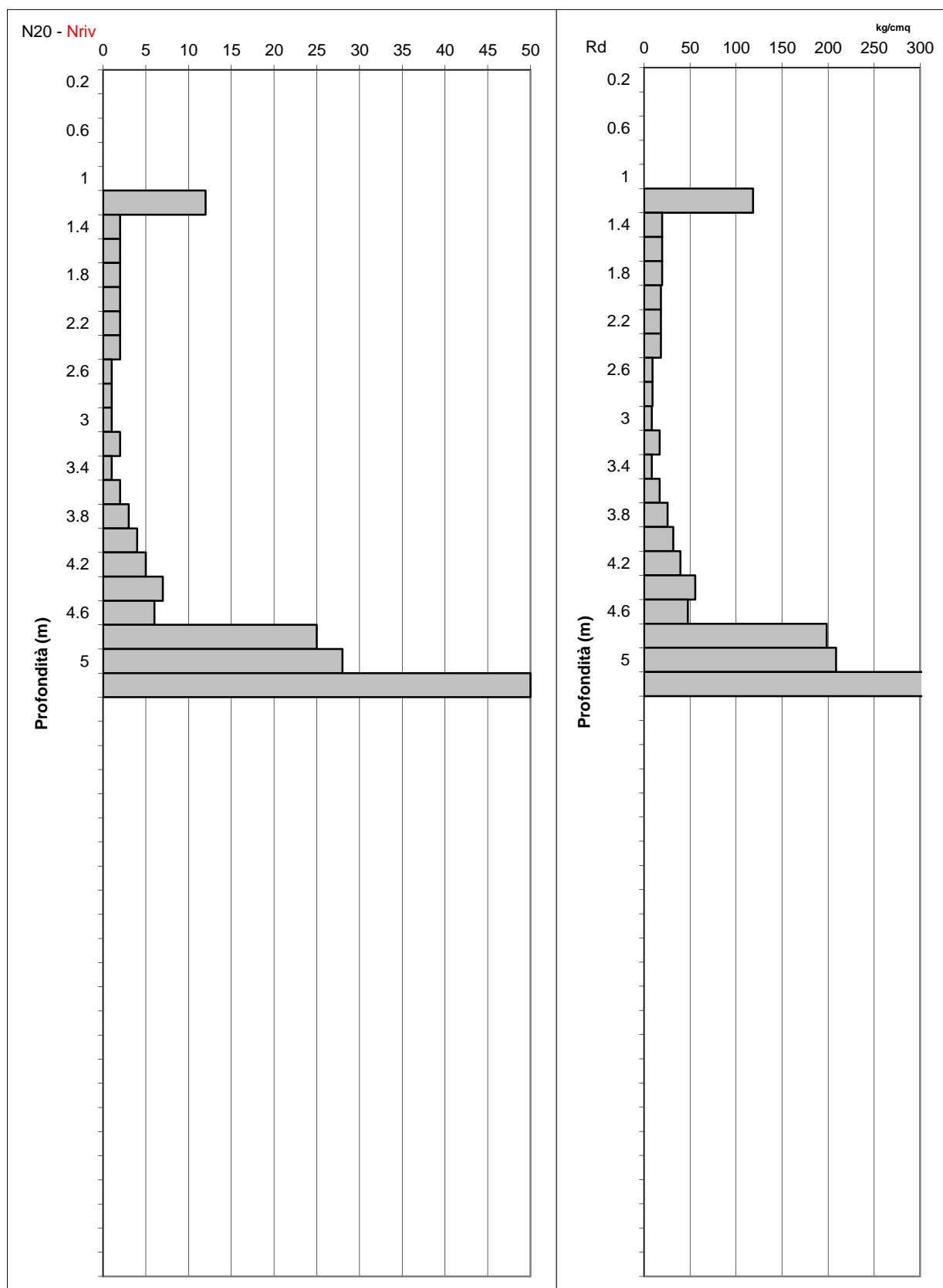
Letture di camp.			Valori derivati				
profond.	N <sub>20</sub>	Nriv	Rd	N <sub>20</sub> *	Rd*	β	Nspt
0.2							
0.4							
0.6	<b>C P T</b>						
0.8							
1							
1.2			118.60	12	118.60	2.12	25
1.4	2		19.77	2	19.77	2.12	4
1.6	2		19.77	2	19.77	2.12	4
1.8	2		19.77	2	19.77	2.12	4
2	2		18.27	2	18.27	2.12	4
2.2	2		18.27	2	18.27	2.12	4
2.4	2		18.27	2	18.27	2.12	4
2.6	1		9.14	1	9.14	2.12	2
2.8	1		9.14	1	9.14	2.12	2
3	1		8.49	1	8.49	2.12	2
3.2	2		16.99	2	16.99	2.12	4
3.4	1		8.49	1	8.49	2.12	2
3.6	2		16.99	2	16.99	2.12	4
3.8	3		25.48	3	25.48	2.12	6
4	4		31.75	4	31.75	2.12	8
4.2	5		39.69	5	39.69	2.12	10
4.4	7		55.56	7	55.56	2.12	14
4.6	6		47.63	6	47.63	2.12	12
4.8	25		198.44	25	198.44	2.12	53
5	28		208.56	28	208.56	2.12	59
5.2	50		372.44	50	372.44	2.12	106



Prova penetrometrica N° 2

Committente : USL Toscananordovest  
Località: S.Cataldo - Maggiano

Data: 03/10/2018  
File: DPSH1810032



Prova penetrometrica N°3

Committente : USL Toscananordovest Data: 03/10/18  
Località: S.Cataldo - Maggiano

Quota: asfalto

Livello della falda:

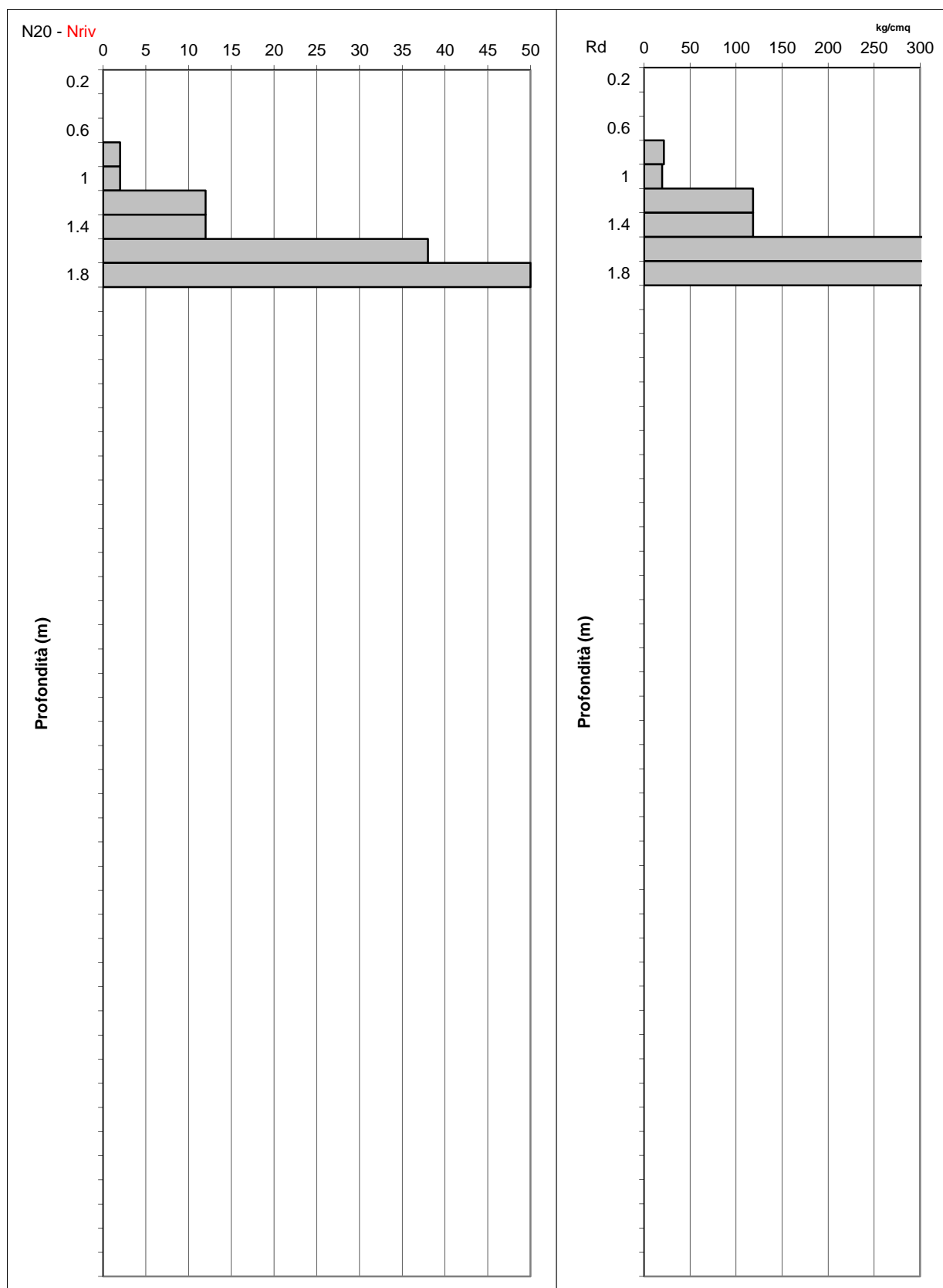
approfondimento di prova statica

Letture di camp.			Valori derivati				
profond.	N <sub>20</sub>	N <sub>riv</sub>	R <sub>d</sub>	N <sub>20</sub> *	R <sub>d</sub> *	β	N <sub>spt</sub>
0.2							
0.4							
0.6							
0.8	2		21.52	2	21.52	2.12	4
1	2		19.77	2	19.77	2.12	4
1.2	12		118.60	12	118.60	2.12	25
1.4	12		118.60	12	118.60	2.12	25
1.6	38		375.55	38	375.55	2.12	80
1.8	50		494.15	0	0.00	2.12	0

Prova penetrometrica N°3

Committente : USL Toscananordovest  
Località: S.Cataldo - Maggiano

Data: 03/10/2018  
File: DPSH1810033



Prova penetrometrica N° 4		
Committente :	USL Toscananordovest	Data: 03/10/18
Località:	S.Cataldo - Maggiano	

Quota: asfalto	Livello della falda: -3.2
----------------	---------------------------

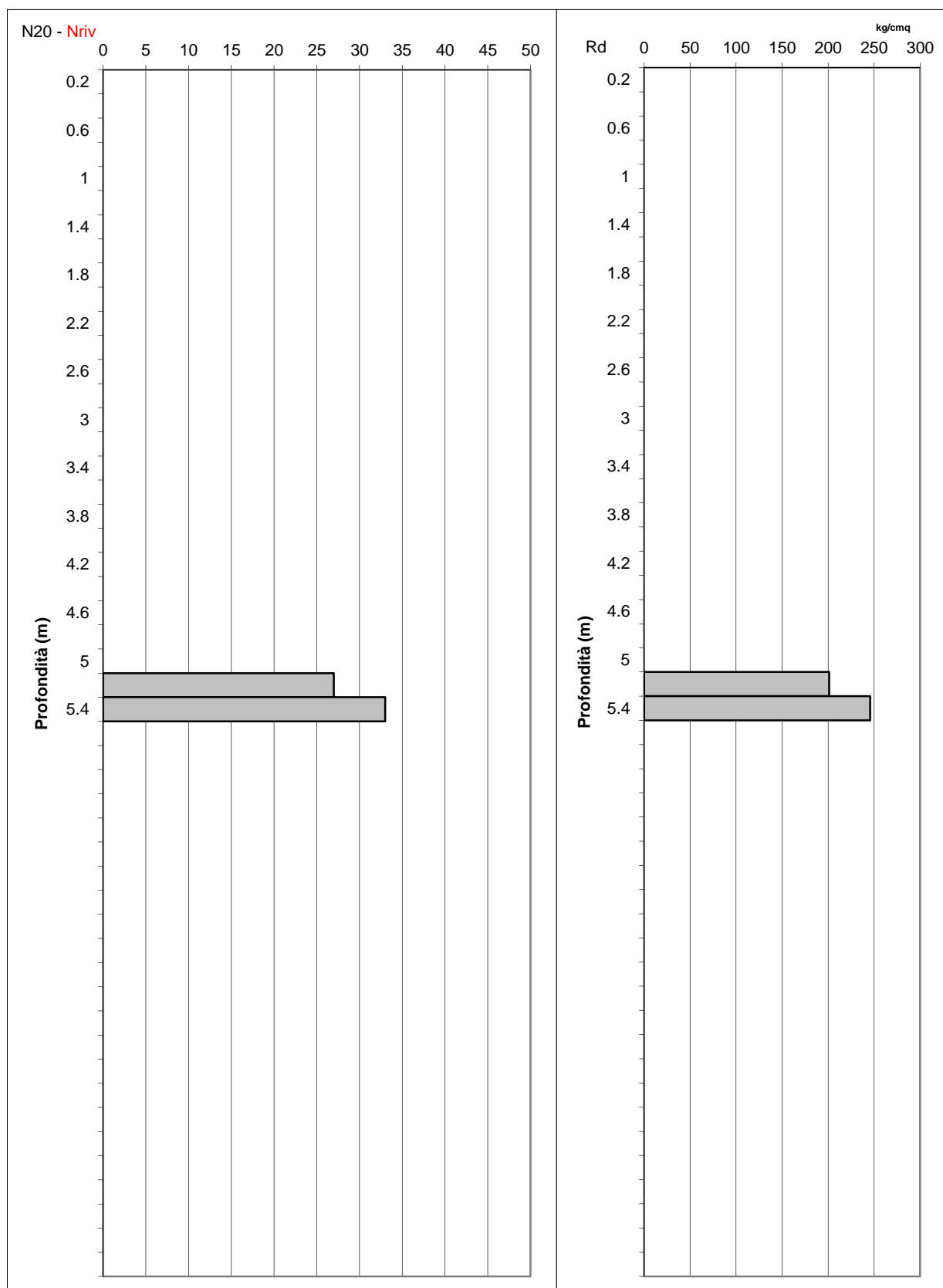
approfondimento di prova statica

Letture di camp.			Valori derivati				
profond.	N <sub>20</sub>	Nriv	Rd	N <sub>20</sub> *	Rd*	β	Nspt
0.2	C						
0.4							
0.6							
0.8							
1							
1.2							
1.4							
1.6							
1.8							
2							
2.2	P						
2.4							
2.6							
2.8							
3	T						
3.2							
3.4							
3.6							
3.8							
4							
4.2							
4.4							
4.6							
4.8							
5							
5.2	27		201.12	27	201.12	2.12	57
5.4	33		245.81	33	245.81	2.12	69

Prova penetrometrica N° 4

Committente : USL Toscananordovest  
Località: S.Cataldo - Maggiano

Data: 03/10/2018  
File: DPSH1810034





**Prova penetrometrica N° 5**

Committente : USL Toscananordovest Data: 03/10/18  
Località: S.Cataldo - Maggiano

Quota: p.c.

Livello della falda:

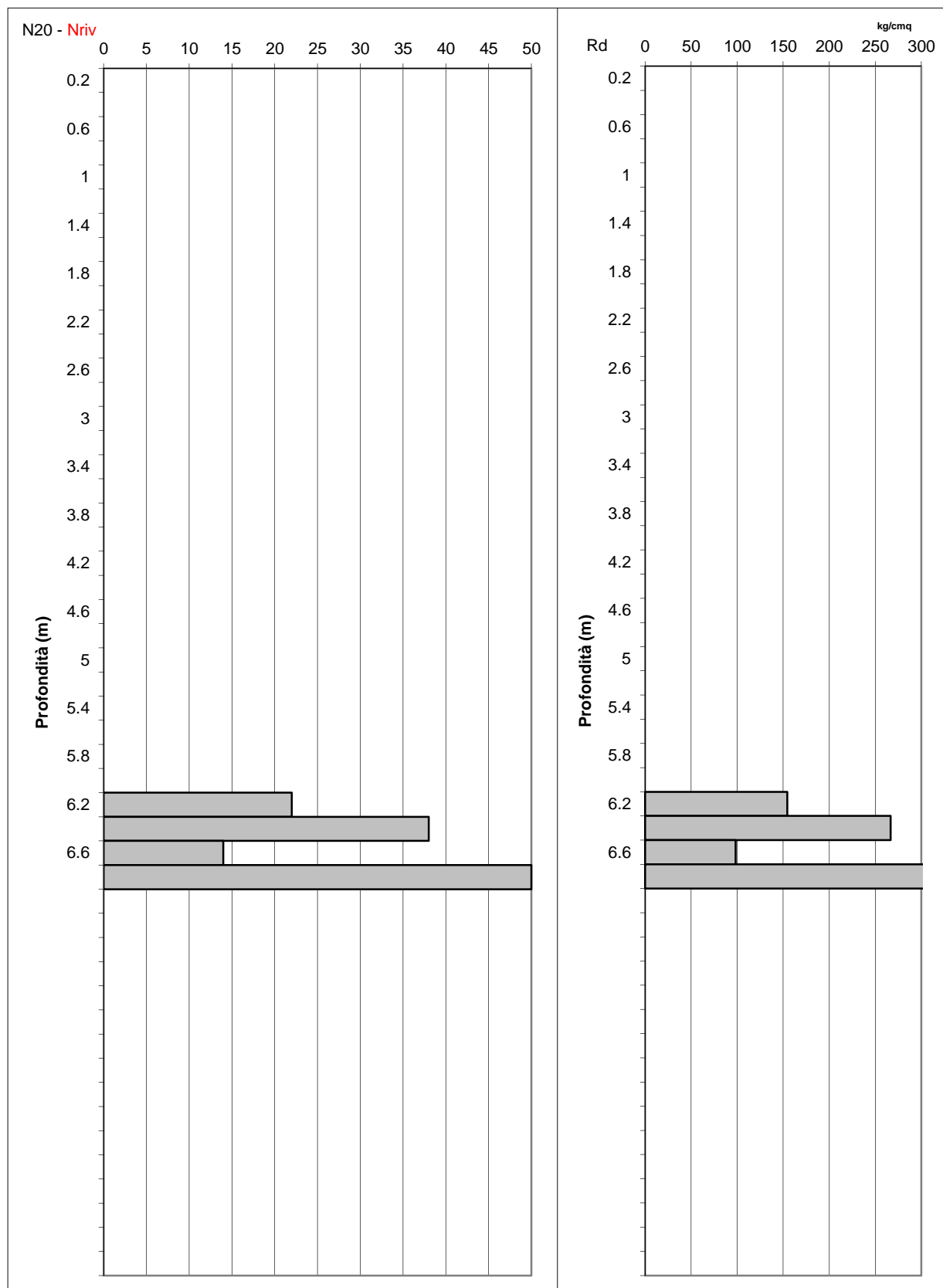
approfondimento di prova statica

Letture di camp.			Valori derivati				
profond.	N <sub>20</sub>	Nriv	Rd	N <sub>20</sub> *	Rd*	β	Nspt
0.2	c						
0.4							
0.6							
0.8							
1							
1.2							
1.4							
1.6							
1.8							
2							
2.2	c						
2.4							
2.6							
2.8							
3							
3.2							
3.4							
3.6							
3.8							
4							
4.2	t						
4.4							
4.6							
4.8							
5							
5.2							
5.4							
5.6							
5.8							
6							
6.2	22		154.37	22	154.37	2.12	46
6.4	38		266.63	38	266.63	2.12	80
6.6	14		98.23	14	98.23	2.12	29
6.8	50		350.83	50	350.83	2.12	106

Prova penetrometrica N° 5

Committente : USL Toscananordovest  
Località: S.Cataldo - Maggiano

Data: 03/10/2018  
File: dpsh1810251



**STUDIO DI GEOLOGIA  
BARSANTI, SANI & ASSOCIATI**  
via Buiamonti 29 - 55100 LUCCA - Partita IVA: 01134410461  
Tel. 0583/467427 Fax. 0583/91090 e-mail: bar-sani@geoprove.com

## **AZIENDA USL TOSCANA NORD OVEST**

**INDAGINI GEOLOGICHE , SISMICHE E GEOTECNICHE DI  
APPROFONDIMENTO PER LA VALUTAZIONE DELLA VULNERABILITÀ  
SISMICA DELL'EDIFICIO DI RESIDENZA SANITARIA ASSISTENZIALE  
(R.S.A.) L' "ARCOBALENO" SITO IN LOC. FREGIONAIA  
FRAZIONE DI MAGGIANO - COMUNE DI LUCCA**

**ALL. N° 2 – PROSPEZIONI SISMICHE A RIFRAZIONE**





**COMUNE DI LUCCA**  
**PROVINCIA DI LUCCA**

*Località: San Cataldo-Maggiano*

**PROSPEZIONI SISMICHE A RIFRAZIONE CON ONDE P ED SH  
E  
TOMOGRFIA SISMICA**

**Committente: USL Toscana Nord-Ovest**

**RELAZIONE TECNICA**

**Ottobre 2018**

**GEOPROVE S.a.S.**  
Il Socio Accomandatario  
e Direttore tecnico  
Dr. Geo. Pietro Barsanti  
(n° 193 Albo dei Geologi della Toscana)

## **I N D I C E**

PREMESSA .....	3
1. POSSIBILITÀ E LIMITI DEL METODO SISMICO A RIFRAZIONE .....	3
2. ULTERIORI POSSIBILITÀ OFFERTE DAL METODO DELLA TOMOGRAFIA SISMICA.....	5
3. SISTEMA DI ACQUISIZIONE.....	6
3.1. Sismografo .....	6
3.2. Sistema energizzante.....	7
3.3. Trigger.....	7
3.4. Apparecchiatura di ricezione.....	7
4. ELABORAZIONE DATI.....	8
4.1. Commento ai risultati delle prospezioni sismiche .....	9

## **ALLEGATI e FIGURE**

Planimetria (immagine satellitare da Google Earth) con ubicazione della sezione sismica

Documentazione fotografica

Tabulati, dromocrone e sezioni sismostratigrafiche

Sezioni tomografiche onde P ed SH



# **COMUNE DI LUCCA**

## **Località: San Cataldo – Maggiano**

### **PROSPEZIONI SISMICHE A RIFRAZIONE CON ONDE P ED ONDE SH TOMOGRAFIA SISMICA**

#### **PREMESSA**

Per incarico dell' USL Toscana NO è stata effettuata una prospezione sismica a rifrazione con onde P ed onde SH in località San Cataldo-Maggiano nel Comune di Lucca, elaborata sia con tecnica tradizionale GRM sia con tecnica tomografica, nell'ambito delle indagini conoscitive finalizzate alla caratterizzazione del sottosuolo ai sensi del vigente D.M. 17 Gennaio 2018 – *Norme tecniche per le costruzioni*.

L'elaborazione e l'interpretazione dei dati è stata effettuata in collaborazione con il Dottor Donato Merola. Le presenti note illustrano la metodologia delle indagini ed i risultati conseguiti.

#### **1. POSSIBILITÀ E LIMITI DEL METODO SISMICO A RIFRAZIONE**

Come è noto, le onde elastiche provocate da una vibrazione si trasmettono nel suolo con velocità differenti per ogni litotipo. Nella prospezione sismica a rifrazione, si sfrutta la diversa velocità di propagazione delle onde longitudinali (onde P o "di compressione e dilatazione"), che sono le più veloci fra le diverse onde elastiche, o trasversali (onde SH o "di taglio") per determinare spessori e andamento dei livelli presenti.

La prospezione consiste nel generare un'onda sismica di compressione o di taglio nel terreno attraverso una determinata sorgente di energia (colpo di mazza o di maglio, esplosivo etc.) e nel misurare il tempo impiegato da questa a compiere il percorso nel sottosuolo dal punto di energizzazione fino agli apparecchi di ricezione (*geofoni*) seguendo le leggi di rifrazione dell'ottica (*Legge di Snell*), cioè rifrangendosi sulle superfici di separazione tra due strati sovrapposti di densità (o meglio di modulo elastico) crescente.

L'apparecchiatura necessaria per le prospezioni è costituita da una serie di ricevitori (*geofoni*) che vengono spazati lungo un determinato allineamento (base sismica)

e da un cronografo che registra l'istante di inizio della perturbazione elastica ed i tempi di primo arrivo delle onde a ciascun geofono. Così, osservando i primi arrivi su punti posti a distanze diverse dalla sorgente energizzante, è possibile costruire una curva tempo-distanza (*dromocrona*) rappresentante la variazione del minimo percorso in funzione del tempo. Attraverso metodi analitici si ricavano quindi le velocità delle onde elastiche longitudinali ( $V_p$ ) o trasversali ( $V_s$ ) dei mezzi attraversati ed il loro spessore.

La velocità di propagazione delle onde elastiche nel suolo è compresa tra larghi limiti; per lo stesso tipo di roccia essa diminuisce col grado di alterazione, di fessurazione e/o di fratturazione; aumenta per contro con la profondità e l'età geologica. Sensibili differenze si possono avere, in rocce stratificate, tra le velocità rilevate lungo i piani di strato e quelle rilevate perpendicolarmente a questi. La velocità delle onde compressionali, diversamente da quelle trasversali che non si trasmettono nell'acqua, è fortemente influenzata dalla presenza della falda acquifera e dal grado di saturazione.

Questo comporta che anche litotipi differenti possano avere uguali velocità delle onde sismiche compressionali (ad esempio roccia fortemente fratturata e materiale detritico saturo con velocità  $V_p$  dell'ordine di 1400÷1700 m/sec), per cui non necessariamente l'interpretazione sismostratigrafica corrisponderà con la reale situazione geologico-stratigrafica.

Il metodo sismico a rifrazione è soggetto inoltre alle seguenti limitazioni:

- un livello potrà essere evidenziato soltanto se la velocità di trasmissione delle onde longitudinali in esso risulterà superiore a quella dei livelli soprastanti (effetto della inversione di velocità);
- un livello di spessore limitato rispetto al passo dei geofoni e alla sua profondità può non risultare rilevabile;
- un livello di velocità intermedia compreso tra uno strato sovrastante a velocità minore ed uno sottostante a velocità sensibilmente maggiore può non risultare rilevabile perché mascherato dagli "arrivi" dallo strato sottostante (effetto dello strato nascosto e "zona oscura");
- aumentando la spaziatura tra i geofoni aumenta la profondità di investigazione, ma può ovviamente ridursi la precisione nella determinazione della profondità dei limiti di passaggio tra i diversi livelli individuati. In presenza di successioni di livelli con velocità (crescenti) di poco differenti tra loro, orizzonti a velocità intermedia con potenza sino anche ad 1/3 del passo adottato possono non essere evidenziati. Il limite tra due orizzonti può quindi in realtà passare "attraverso" un terzo intermedio non evidenziabile;

- analogamente, incrementi graduali di velocità con la profondità danno origine a dromocrone che consentono più schemi interpretativi. Il possibile errore può essere più contenuto potendo disporre di sondaggi di taratura e "cercando" sulle dromocrone delle basi sismiche i livelli che abbiano velocità il più possibile simili a quelle ottenute con le tarature.

Per contro i moderni metodi di elaborazione del dato sismico, come il *Generalized Reciprocal Method (GRM: Palmer - 1980)*, consentono di ricostruire la morfologia sepolta di più rifrattori sovrapposti, variamente "accidentati" e con velocità variabili lungo il profilo, anche in presenza di morfologie di superficie non piane: la buona precisione raggiungibile, specie se si dispone di sondaggi di taratura, consente talora di elevare la prospezione sismica da semplice valutazione qualitativa a valido supporto quantitativo dell'indagine geognostica.

## **2. ULTERIORI POSSIBILITÀ OFFERTE DAL METODO DELLA TOMOGRAFIA SISMICA**

Il metodo della tomografia sismica è una tecnica di indagine che permette l'individuazione di anomalie nella velocità di propagazione delle onde sismiche con un alto potere risolutivo, offrendo la possibilità di ricostruire anomalie e discontinuità stratigrafiche anche particolarmente complesse.

Questa tecnica fornisce l'immagine della distribuzione delle onde sismiche sotto la superficie, basate sui tempi di primo arrivo (come nella normale sismica a rifrazione) e sulla geometria di acquisizione. Si ricostruisce in tal modo un modello di velocità, che può essere migliorato attraverso successive iterazioni: la fase di calcolo si conclude quando si ha la migliore sovrapposizione fra i tempi di primo arrivo calcolati e quelli misurati.

Il processing dei dati, qui eseguito con il programma RAYFRACT (distribuito dalla Intelligent Resources Inc.), prosegue con la fase di inversione tomografica detta WET (Wavepath Eikonal Traveltime), che permette il calcolo delle traiettorie d'onda (wavepath) attraverso le soluzioni alle differenze finite dell'equazione che esprime le modalità di propagazione di un'onda in un mezzo isotropo.

Successivamente, con la fase di imaging, si otterrà con un software dedicato (SURFER 8) l'immagine della sezione tomografica.

### 3. SISTEMA DI ACQUISIZIONE

L'acquisizione dei dati in campagna è stata eseguita utilizzando un sistema composto dalle seguenti parti:

- sismografo
- sorgente energizzante
- trigger
- apparecchiatura di ricezione

#### 3.1. Sismografo

Lo strumento utilizzato per la presente indagine è un prospektore sismico EG&G GEOMETRICS *STRATAVISOR NZXP* a 48 canali avente le seguenti caratteristiche:

- Impedenza di ingresso diff. 20 Kohm
- Impedenza di ingresso common mode: 20 Kohm
- Range dinamico: 144 dB
- Larghezza di banda 1.75÷20.000 Hz
- Digitalizzatore a 24 bit
- Filtri in acquisizione ed in uscita:
- Sommatoria dei segnali fino ad un massimo di 8.000 stacks
- Intervallo di campionamento selezionabile a: 20.0, 31.25, 62.5, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000, 16000  $\mu$ s
- Durata della registrazione: 16384 campioni
- Possibilità di registrazione continua per controllo vibrazioni
- Possibilità di registrazione Autostack e Preview
- Possibilità di inversione della polarità (Stack polarity)
- CDP Roll Along
- Visore grafico a cristalli liquidi colore
- Stampante a plotter su carta termica
- Memoria su HD interno 40 Mb o su floppy 3.5" 1.44 Mb
- Sistema Windows XP
- Porta USB

### **3.2. Sistema energizzante**

Sono stati utilizzati diversi sistemi di energizzazione per le onde P e per le onde SH.

Come sorgente energizzante per le onde P è stata utilizzato una mazza di 10 kg.

Le onde SH sono state ottenute con un dispositivo di energizzazione costituito da un parallelepipedo (traversina di legno) percosso sulle estremità opposte da una mazza da 10 kg sovraccaricato dal peso di un automezzo o di due operatori, in grado di generare onde SH di buon contenuto energetico, uniformi sia nella direzione di propagazione sia nella polarizzazione (+ e -) e, di contro, con una generazione di onde P trascurabile.

Tutte le registrazioni delle SH sono state effettuate con metodo cross-over utilizzando la funzione inversione di polarità offerta dal Geometrics Stratavisor NPXZ, ovverosia facendo la differenza tra un ugual numero di battute a destra ed a sinistra con polarità invertita: in tal modo viene esaltato l'istante di primo arrivo delle onde SH, mentre vengono abbattute le eventuali onde P spurie.

È stato curato in modo particolare l'accoppiamento della traversina con il terreno: tale metodologia ha consentito di ottenere ovunque registrazioni di buona qualità.

### **3.3. Trigger**

Il trigger utilizzato consiste in un circuito elettrico che viene chiuso mediante un apparecchio starter (geofono starter, starter a lamelle, piezoelettrico od altro) nell'istante in cui il sistema energizzante (maglio, mazza etc.) colpisce la base di battuta, consentendo ad un condensatore di scaricare la carica precedentemente immagazzinata e la produzione di un impulso della durata di qualche secondo che viene inviato al sensore collegato al sistema di acquisizione dati.

### **3.4. Apparecchiatura di ricezione**

Per la ricezione delle onde P sono stati utilizzati 24 geofoni verticali Mark Products con frequenza propria di 14 Hz.

Per la ricezione delle onde SH sono stati utilizzati 24 geofoni orizzontali Mark Products con frequenza propria di 10 Hz.



#### 4. ELABORAZIONE DATI

Il risultato finale della fase di acquisizione è costituito da una serie di files in formato SEG Y.

Per quanto riguarda la sismica a rifrazione, la successiva elaborazione dei dati si sviluppa attraverso le seguenti fasi:

1. determinazione dei primi arrivi attraverso il software RAYFRAC T, operata prima in automatico e successivamente con aggiustamenti manuali, con particolare attenzione alle fasi d'onda ed alla loro evoluzione;
2. inserimento dei dati ed interpretazione con programma GRM (Generalized Reciprocal Method – Palmer 1980) del Dr. Bruno Vassallo (distribuito da P.A.S.I. s.r.l.) integrato dal metodo dei “tempi intercetti”;
3. output dei tabulati:
  - dati di scoppio (ascissa e quota dei geofoni, ascissa e quota dei punti di energizzazione, tempi di primo arrivo)
  - velocità calcolate per ciascun strato individuato
  - profondità calcolate per ciascun strato individuato
4. output delle dromocrone sismiche e della sezione sismostratigrafica interpretativa in formato Coreldraw.

Per la tomografia sismica, l'elaborazione dei dati si sviluppa attraverso le seguenti fasi:

1. determinazione dei tempi di primo arrivo attraverso il software RAYFRAC T, operata prima in automatico e successivamente con aggiustamenti manuali, con particolare attenzione alle fasi d'onda ed alla loro evoluzione.
2. formazione di un database contenente la geometria della linea sismica (posizione altimetrica e planimetrica dei geofoni e degli scoppi) ed i tempi di primo arrivo per ciascun scoppio.
3. Conversione dei dati in formato ASCII.
4. Inversione Delta t-V che permette di ottenere profili monodimensionali (1D) di tipo profondità/velocità.
5. Ottimizzazione del profilo, per iterazioni successive, mediante inversione tomografica WET (Wavepath Eikonal Traveltime), che permette il calcolo delle

traiettorie d'onda (wavepath) attraverso le soluzioni alle differenze finite dell'equazione che esprime le modalità di propagazione di un'onda in un mezzo isotropo.

6. Controllo del “fitting” tra tempi misurati e tempi calcolati ed eventuale iterazione del processo di inversione.
7. Output grafico della sezione tomografica in formato Sfr.

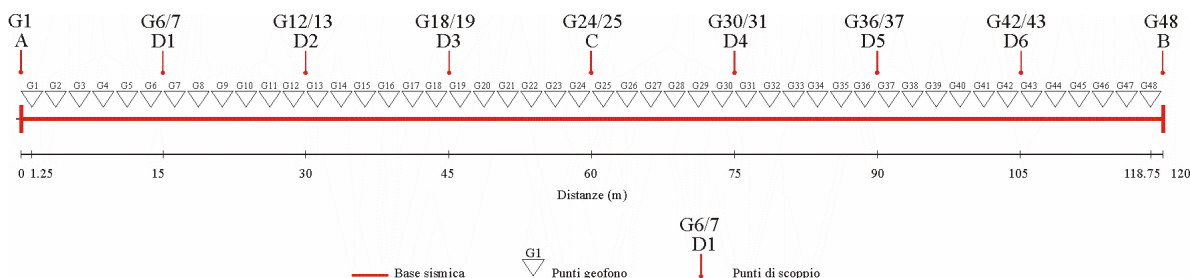
#### 4.1. Commento ai risultati delle prospezioni sismiche

E' stata effettuata la seguente prospezione sismica a rifrazione a 48 geofoni, con onde P e con onde SH:

ST1: interasse  $i = 2.5\text{m}$  - lunghezza ml 120

Lo schema di acquisizione della linea (lunghezza, posizione dei punti di energizzazione etc. ) è il seguente:

ST1



La qualità delle registrazioni ottenute è stata generalmente buona sia per le onde P che per le onde SH e tale da consentire la sicura individuazione dei primi arrivi sulle tracce dei sismogrammi, specie dopo filtraggio Hi-cut a 250 Hz.

In allegato si riportano i diagrammi tempi di arrivo-distanze e le sezioni sismostratigrafiche derivanti dall'interpretazione effettuata al calcolatore con il metodo reciproco generalizzato GRM (*Palmer 1986*) integrato dal metodo dei tempi intercetti che ha consentito la visualizzazione anche degli strati per i quali non si hanno “ricoperture”. Si allegano inoltre le sezioni tomografiche elaborate con il programma RAYFRACT. Queste ultime offrono ovviamente una maggiore discretizzazione delle velocità rispetto alla sismica a rifrazione tradizionale, individuando in genere, per la caratteristica intrinseca dell'algoritmo di calcolo (basato sui gradienti di velocità) spessori diversi da quelli valutati utilizzando la sismica a rifrazione classica. In questo caso si osserva comunque una buona corrispondenza tra i due metodi.

L'attribuzione delle litologie ai vari sismostrati individuati dalle prospezioni è stata effettuata sulla base delle informazioni contenute nel Database Geologico Regionale del geoportale GEOscopio della Regione Toscana, tenuto conto anche delle prove penetrometriche statiche/dinamiche CPT/DPSH eseguite nello stesso contesto d'indagine.

Le apparenti differenze nei quadri sismostratigrafici desunti dall'analisi delle onde P e delle onde SH, di seguito riportati, sono in buona parte imputabili alla "sensibilità" delle onde P nei confronti del grado di umidità dei depositi attraversati. Le onde P, infatti, essendo di tipo compressionale, si propagano con velocità diverse a seconda del grado di saturazione del sedimento che attraversano, a differenza delle onde SH (onde di taglio) la cui velocità di propagazione è sostanzialmente indipendente dal contenuto d'acqua dei sedimenti. In quanto segue, quindi, verranno descritte separatamente la sismostratigrafia e l'interpretazione litostratigrafia relative alle onde P e alle onde SH, iniziando da queste ultime che meglio rispecchiano le reali caratteristiche dello scheletro solido dei depositi indagati.

In dettaglio si ha, con riferimento alle sezioni sismostratigrafiche interpretative allegate:

## **SEZIONE ST1**

### *Linea 1809282 (onde SH)*

- dalla superficie fino a profondità di 2÷4 m si incontra un primo strato a bassa velocità con  $V_s = 195\div 205$  m/sec, correlabile con la massicciata d'asfalto, con una copertura detritica e di alterazione e/o con depositi alluvionali recenti poco addensati;
- segue un secondo strato caratterizzato da  $V_s = 460\div 550$  m/sec, riferibili a depositi alluvionali recenti molto addensati e/o a depositi clastici grossolani matrice sostenuti, con clasti di calcari silicei, radiolariti, ofioliti e, più raramente, marne (*Complesso di Casanova/Brecce a matrice pelitica-CCVc*) molto fratturati ed alterati. La base dello strato si incontra a profondità di 4÷12 m;
- segue un terzo ed ultimo strato caratterizzato da  $V_s = 730\div 950$  m/sec, riferibili a depositi clastici grossolani matrice sostenuti, con clasti di calcari silicei, radiolariti, ofioliti e, più raramente, marne (*Complesso di Casanova/Brecce a matrice pelitica-CCVc*) mediamente fratturati.

### *Linea 1809281 (onde P)*

- dalla superficie fino a profondità di 1.5÷2.5 m si incontra un primo strato a bassa velocità con  $V_p = 485\div 610$  m/sec, correlabile con la massicciata d'asfalto, con una copertura detritica e di alterazione e/o con depositi alluvionali recenti poco addensati;
- segue un secondo strato caratterizzato da  $V_p = 1225\div 1540$  m/sec, riferibili a depositi alluvionali recenti molto addensati e/o a depositi clastici grossolani matrice

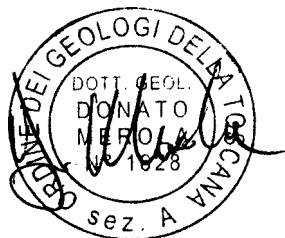
sostenuti, con clasti di calcari silicei, radiolariti, ofioliti e, più raramente, marne (*Complesso di Casanova/Brecce a matrice pelitica-CCVc*) molto fratturati ed alterati, sotto falda. La base dello strato si incontra a profondità di 4÷11 m;

- segue un terzo ed ultimo strato caratterizzato da  $V_p = 1955\div 2140$  m/sec, riferibili a depositi clastici grossolani matrice sostenuti, con clasti di calcari silicei, radiolariti, ofioliti e, più raramente, marne (*Complesso di Casanova/Brecce a matrice pelitica-CCVc*) da molto a mediamente fratturati.

\*\*\*\*\*

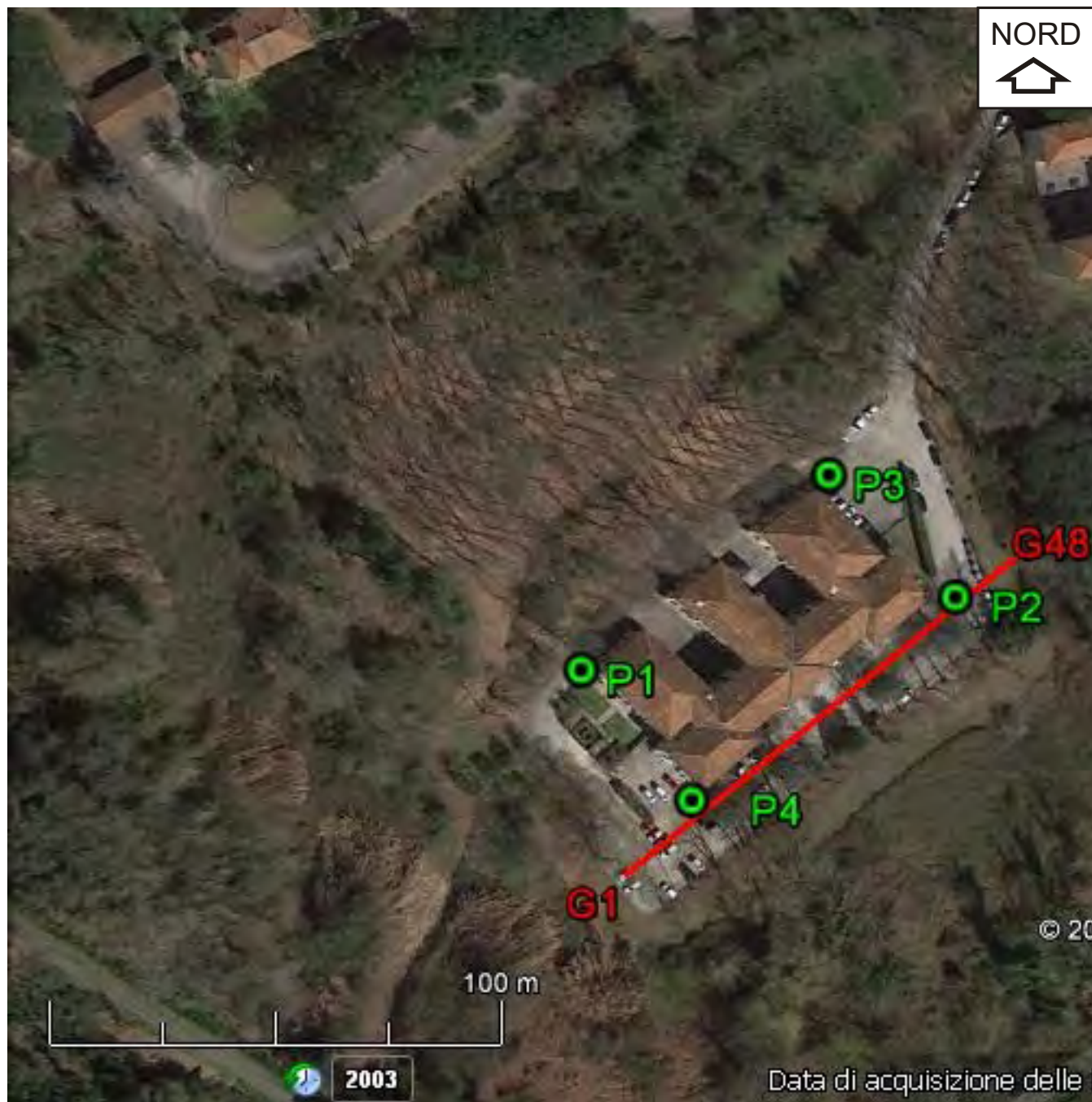
Lucca, 25/10/2018

Collaboratore:  
Dr. Donato Merola



**GEOPROVE S.A.S.**  
Socio Accomandatario  
e Direttore Tecnico  
Dr. Pietro Barsanti

**GEOPROVE S.a.S.**  
Il Socio Accomandatario  
e Direttore Tecnico  
Dr. Geol. Pietro Barsanti  
(n° 193 Albo dei Geologi della Toscana)



**GEOPROVE** sas  
 DI PIETRO BARSANTI, ALESSANDRO PETRONI & C.  
**GEOGNOSTICA - GEOFISICA  
 PROVE PENETROMETRICHE**  
 via Buiamonti, 29 LUCCA - Tel. 0583/467427 Fax. 0583/91090  
<http://www.geoprove.com> e-mail [info@geoprove.com](mailto:info@geoprove.com) P.I. 01066010461

COMUNE DI LUCCA  
 PROVINCIA DI LUCCA

Località: Maggiano

Committente: *USL Toscana NO*

PLANIMETRIA

#### LEGENDA

- G1 — G48 Linea sismica a rifrazione
- P Prove penetrometriche statiche/dinamiche CPT-DPSH

**GEOPROVE S.a.S.**  
 Il Socio Accomandatario  
 e Direttore Tecnico  
 Dr. Geol. Pietro Barsanti  
 (n° 193 Albo dei Geologi della Toscana)



**COMUNE DI LUCCA**  
**PROVINCIA DI LUCCA**

*Località: San Cataldo-Maggiano*

**PROSPEZIONI SISMICHE A RIFRAZIONE CON ONDE P ED SH  
E  
TOMOGRFIA SISMICA**

**Committente: USL Toscana Nord-Ovest**

**DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA**

**GEOPROVE S.a.S.**  
Il Socio Accomandatario  
e Direttore Tecnico  
Dr. Geol. Pietro Barsanti  
(n° 193 Albo dei Geologi della Toscana)



**Comune di Lucca (LU)**  
**Località: San Cataldo-Maggiano**

*Prospezioni sismiche a rifrazione con onde P ed onde S e tomografia sismica*



*Profilo ST1 – Sito d'indagine durante l'esecuzione delle indagini sismiche. Foto a destra: stendimento di 48 geofoni verticali con interspazio  $dx=2.5$  metri. Sulla sinistra dall'immagine è visibile il sismografo Geometrics Stratavisor NPXZ, utilizzato per la registrazione del segnale sismico. Foto a sinistra: stralcio della linea sismica durante le acquisizioni con le onde di taglio SH.*



**COMUNE DI LUCCA**  
**PROVINCIA DI LUCCA**

*Località: San Cataldo-Maggiano*

**PROSPEZIONI SISMICHE A RIFRAZIONE CON ONDE P ED SH  
E  
TOMOGRFIA SISMICA**

**Committente: USL Toscana Nord-Ovest**

**TABULATI , DROMOCRONE E SEZIONI  
SISMOSTRATIGRAFICHE**

**GEOPROVE S.a.S.**  
Il Socio Accomandatario  
e Direttore Tecnico  
Dr. Geol. Pietro Barsanti  
(n° 193 Albo dei Geologi della Toscana)

**PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE CON ONDE P**  
**INTERPRETAZIONE CON METODO RECIPROCO GENERALIZZATO (GRM)**

Committenti : USL Toscana NO  
Data : 28/09/18  
Località : San Cataldo-Maggiano (LU)  
Prospettore : GEOMETRICS STRATAVISOR NZXP  
Sorgente : Mazza da 10 Kg  
Linea : 1809281 – ST1  
Lunghezza : 120 ml  
Orientamento : SW-NE

**GEOPROVE S.a.S.**  
Il Socio Accomandatario  
e Direttore Tecnico  
Dr. Geol. Pietro Barsanti  
(n° 193 Albo dei Geologi della Toscana)

# DATI DI SCOPPIO 1809281 – ST1

.00

SCOPPIO 1 - X (m) .10 QUOTA 15.50 PROF:

POSIZIONE	TEMPO DI ARRIVO	QUOTA
1.300000	4.000000	15.500000
3.750000	8.900000	15.500000
6.250000	12.400000	15.500000
8.750000	15.300000	15.500000
11.250000	16.600000	15.500000
13.800000	17.900000	15.500000
16.300000	18.400000	15.500000
18.800000	19.400000	15.500000
21.300000	20.500000	15.500000
23.800000	21.900000	15.500000
26.300000	22.600000	15.500000
28.800000	22.600000	15.600000
31.300000	23.400000	15.600000
33.800000	24.100000	15.600000
36.300000	25.100000	15.600000
38.800000	26.100000	15.600000
41.300000	26.900000	15.600000
43.800000	27.900000	15.640000
46.300000	28.800000	15.600000
48.800000	29.300000	15.600000
51.300000	30.000000	15.500000
53.800000	31.000000	15.500000
56.300000	32.100000	15.600000
58.800000	32.400000	15.600000
61.300000	32.600000	15.600000
63.800000	33.600000	15.600000
66.300000	34.800000	15.600000
68.800000	35.300000	15.600000
71.300000	36.300000	15.600000
73.800000	37.500000	15.600000
76.300000	38.500000	15.600000
78.800000	39.300000	15.600000
81.300000	40.400000	15.600000
83.800000	41.100000	15.600000
86.300000	41.600000	15.600000
88.800000	43.300000	15.600000
91.300000	44.000000	15.600000
93.800000	44.800000	15.500000
96.300000	45.800000	15.500000
98.800000	46.800000	15.600000
101.300000	47.100000	15.600000
103.800000	48.600000	15.700000
106.300000	49.100000	15.800000
108.800000	50.100000	15.800000
111.300000	50.500000	15.900000
113.800000	51.600000	15.900000
116.300000	52.300000	15.900000
118.800000	53.000000	16.200000

.00

SCOPPIO 2 - X (m) 15.00 QUOTA 15.50 PROF:

POSIZIONE	TEMPO DI ARRIVO	QUOTA
1.300000	18.600000	15.500000
3.750000	16.100000	15.500000
6.250000	14.000000	15.500000

.00

SCOPPIO 3 - X (m) 30.00 QUOTA 15.60 PROF:

POSIZIONE	TEMPO DI ARRIVO	QUOTA
1.300000	24.800000	15.500000
3.750000	24.500000	15.500000
6.250000	22.800000	15.500000
8.750000	22.000000	15.500000
11.250000	20.800000	15.500000
13.800000	20.000000	15.500000
16.300000	18.900000	15.500000
18.800000	16.900000	15.500000
21.300000	14.800000	15.500000
23.800000	12.100000	15.500000
26.300000	8.900000	15.500000
28.800000	3.800000	15.600000
31.300000	3.400000	15.600000
33.800000	9.400000	15.600000

.00

SCOPPIO 4 - X (m) 45.00 QUOTA 15.60 PROF:

POSIZIONE	TEMPO DI ARRIVO	QUOTA
1.300000	28.600000	15.500000
3.750000	28.400000	15.500000
6.250000	27.500000	15.500000
8.750000	26.300000	15.500000
11.250000	25.800000	15.500000
13.800000	24.500000	15.500000
16.300000	23.900000	15.500000
18.800000	22.100000	15.500000
21.300000	21.300000	15.500000
23.800000	20.100000	15.500000
26.300000	18.900000	15.500000
28.800000	17.600000	15.600000
31.300000	15.500000	15.600000
33.800000	13.100000	15.600000
36.300000	11.400000	15.600000
38.800000	9.400000	15.600000
41.300000	5.900000	15.600000
43.800000	2.300000	15.640000
46.300000	2.400000	15.600000
48.800000	6.100000	15.600000
51.300000	9.400000	15.500000
53.800000	11.500000	15.500000
56.300000	13.800000	15.600000
58.800000	15.100000	15.600000
61.300000	16.400000	15.600000

# DATI DI SCOPPIO 1809281 – ST1

63.800000	17.500000	15.600000
66.300000	18.300000	15.600000
68.800000	19.400000	15.600000
71.300000	20.500000	15.600000
73.800000	21.900000	15.600000
76.300000	23.100000	15.600000
78.800000	23.600000	15.600000
81.300000	23.900000	15.600000
83.800000	24.800000	15.600000
86.300000	25.900000	15.600000
88.800000	26.800000	15.600000
91.300000	27.300000	15.600000
93.800000	28.600000	15.500000
96.300000	29.400000	15.500000
98.800000	30.300000	15.600000
101.300000	31.300000	15.600000
103.800000	31.600000	15.700000
106.300000	32.400000	15.800000
108.800000	33.400000	15.800000
111.300000	34.000000	15.900000
113.800000	34.500000	15.900000
116.300000	35.100000	15.900000
118.800000	35.900000	16.200000

91.300000	22.400000	15.600000
93.800000	22.900000	15.500000
96.300000	23.800000	15.500000
98.800000	24.300000	15.600000
101.300000	25.100000	15.600000
103.800000	25.600000	15.700000
106.300000	26.400000	15.800000
108.800000	27.300000	15.800000
111.300000	28.100000	15.900000
113.800000	28.600000	15.900000
116.300000	29.100000	15.900000
118.800000	29.900000	16.200000

118.800000 26.800000 16.200000  
 SCOPPIO 7 - X (m) 90.00 QUOTA 15.60 PROF:

POSIZIONE	TEMPO DI ARRIVO	QUOTA
1.300000	42.900000	15.500000
3.750000	42.400000	15.500000
6.250000	41.900000	15.500000
8.750000	41.000000	15.500000
11.250000	40.300000	15.500000
13.800000	39.400000	15.500000
16.300000	38.100000	15.500000
18.800000	37.000000	15.500000
21.300000	36.100000	15.500000
23.800000	35.900000	15.500000
26.300000	34.500000	15.500000
28.800000	33.400000	15.600000
31.300000	32.600000	15.600000
33.800000	31.300000	15.600000
36.300000	29.900000	15.600000
38.800000	28.300000	15.600000
41.300000	26.800000	15.600000
43.800000	25.900000	15.640000
46.300000	25.100000	15.600000
48.800000	23.800000	15.600000
51.300000	22.900000	15.500000
53.800000	21.900000	15.500000
56.300000	21.000000	15.600000
58.800000	19.900000	15.600000
61.300000	19.100000	15.600000
63.800000	18.300000	15.600000
66.300000	17.300000	15.600000
68.800000	16.600000	15.600000
71.300000	15.900000	15.600000
73.800000	15.100000	15.600000
76.300000	14.300000	15.600000
78.800000	13.100000	15.600000
81.300000	11.800000	15.600000
83.800000	9.600000	15.600000
86.300000	6.900000	15.600000
88.800000	2.900000	15.600000
91.300000	2.900000	15.600000
93.800000	6.600000	15.500000
96.300000	9.900000	15.500000
98.800000	11.500000	15.600000
101.300000	13.100000	15.600000
103.800000	15.100000	15.700000
106.300000	16.400000	15.800000
108.800000	16.900000	15.800000
111.300000	18.600000	15.900000
113.800000	19.600000	15.900000
116.300000	20.500000	15.900000
118.800000	21.300000	16.200000

SCOPPIO 6 - X (m) 75.00 QUOTA 15.60 PROF:

POSIZIONE	TEMPO DI ARRIVO	QUOTA
1.300000	39.600000	15.500000
3.750000	39.100000	15.500000
6.250000	38.600000	15.500000
8.750000	37.800000	15.500000
11.250000	37.000000	15.500000
13.800000	36.300000	15.500000
16.300000	35.400000	15.500000
18.800000	33.800000	15.500000
21.300000	32.500000	15.500000
23.800000	31.600000	15.500000
26.300000	30.800000	15.500000
28.800000	29.100000	15.600000
31.300000	28.100000	15.600000
33.800000	27.000000	15.600000
36.300000	25.600000	15.600000
38.800000	24.100000	15.600000
41.300000	23.800000	15.600000
43.800000	22.100000	15.640000
46.300000	21.300000	15.600000
48.800000	20.300000	15.600000
51.300000	19.600000	15.500000
53.800000	18.300000	15.500000
56.300000	17.500000	15.600000
58.800000	17.000000	15.600000
61.300000	15.900000	15.600000
63.800000	15.100000	15.600000
66.300000	13.400000	15.600000
68.800000	11.000000	15.600000
71.300000	8.000000	15.600000
73.800000	3.400000	15.600000
76.300000	3.100000	15.600000
78.800000	9.400000	15.600000
81.300000	12.400000	15.600000
83.800000	13.800000	15.600000
86.300000	15.400000	15.600000
88.800000	17.300000	15.600000
91.300000	17.800000	15.600000
93.800000	19.400000	15.500000
96.300000	20.500000	15.500000
98.800000	21.000000	15.600000
101.300000	22.100000	15.600000
103.800000	23.100000	15.700000
106.300000	23.400000	15.800000
108.800000	24.300000	15.800000
111.300000	25.100000	15.900000
113.800000	25.900000	15.900000
116.300000	26.400000	15.900000

SCOPPIO 8 - X (m) 105.00 QUOTA 15.60 PROF:

POSIZIONE	TEMPO DI ARRIVO	QUOTA
1.300000	47.300000	15.500000
3.750000	46.800000	15.500000
6.250000	46.100000	15.500000
8.750000	45.600000	15.500000
11.250000	44.600000	15.500000
13.800000	43.500000	15.500000

# DATI DI SCOPPIO 1809281 – ST1

16.300000	43.300000	15.500000	43.800000	38.600000	15.640000
18.800000	42.100000	15.500000	46.300000	37.500000	15.600000
21.300000	41.300000	15.500000	48.800000	36.300000	15.600000
23.800000	39.900000	15.500000	51.300000	35.500000	15.500000
26.300000	39.600000	15.500000	53.800000	34.100000	15.500000
28.800000	38.600000	15.600000	56.300000	33.300000	15.600000
31.300000	37.500000	15.600000	58.800000	32.400000	15.600000
33.800000	36.400000	15.600000	61.300000	31.400000	15.600000
36.300000	35.100000	15.600000	63.800000	30.000000	15.600000
38.800000	34.000000	15.600000	66.300000	28.800000	15.600000
41.300000	32.600000	15.600000	68.800000	27.900000	15.600000
43.800000	31.000000	15.640000	71.300000	27.500000	15.600000
46.300000	29.600000	15.600000	73.800000	27.000000	15.600000
48.800000	28.600000	15.600000	76.300000	26.000000	15.600000
51.300000	28.300000	15.500000	78.800000	25.100000	15.600000
53.800000	27.000000	15.500000	81.300000	24.900000	15.600000
56.300000	25.900000	15.600000	83.800000	24.600000	15.600000
58.800000	25.100000	15.600000	86.300000	23.600000	15.600000
61.300000	23.800000	15.600000	88.800000	22.800000	15.600000
63.800000	22.600000	15.300000	91.300000	21.600000	15.600000
66.300000	21.900000	15.600000	93.800000	20.500000	15.500000
68.800000	21.000000	15.600000	96.300000	19.600000	15.500000
71.300000	20.300000	15.600000	98.800000	18.900000	15.600000
73.800000	19.900000	15.600000	101.300000	17.900000	15.600000
76.300000	19.100000	15.600000	103.800000	16.600000	15.700000
78.800000	18.300000	15.600000	106.300000	15.900000	15.800000
81.300000	17.500000	15.600000	108.800000	14.500000	15.800000
83.800000	16.100000	15.600000	111.300000	12.800000	15.900000
86.300000	15.600000	15.600000	113.800000	10.900000	15.900000
88.800000	14.000000	15.600000	116.300000	7.800000	15.900000
91.300000	13.100000	15.600000	118.800000	3.400000	16.200000
93.800000	12.400000	15.500000			
96.300000	11.300000	15.500000			
98.800000	9.400000	15.600000			
101.300000	6.600000	15.600000			
103.800000	2.300000	15.700000			
106.300000	2.600000	15.800000			
108.800000	5.900000	15.800000			
111.300000	8.900000	15.900000			
113.800000	11.000000	15.900000			
116.300000	12.400000	15.900000			
118.800000	13.400000	16.200000			

SCOPPIO 9 - X (m) 120.00 QUOTA 16.40 PROF:

.00

POSIZIONE	TEMPO DI ARRIVO	QUOTA
1.300000	53.300000	15.500000
3.750000	53.300000	15.500000
6.250000	52.500000	15.500000
8.750000	52.000000	15.500000
11.250000	51.500000	15.500000
13.800000	50.600000	15.500000
16.300000	50.000000	15.500000
18.800000	49.100000	15.500000
21.300000	48.600000	15.500000
23.800000	47.300000	15.500000
26.300000	46.800000	15.500000
28.800000	45.900000	15.600000
31.300000	44.300000	15.600000
33.800000	43.300000	15.600000
36.300000	42.600000	15.600000
38.800000	41.300000	15.600000
41.300000	39.600000	15.600000



# VELOCITÀ 1809281 – ST1

Ascissa	Velocità				
STRATO # 1		7.450000	1197.314000	17.250000	2733.202000
2.550000	422.295700	9.900000	1216.856000	19.700000	2733.202000
5.000000	445.935500	12.350000	1236.398000	22.150000	2733.202000
7.450000	469.575300	14.800000	1255.940000	24.600000	2733.202000
9.900000	493.215100	17.250000	1292.399000	27.050000	2733.202000
12.350000	516.854900	19.700000	1328.859000	29.500000	2737.974000
14.800000	540.494600	22.150000	1365.319000	31.950000	2733.202000
17.250000	517.770500	24.600000	1401.778000	34.400010	2718.628000
19.700000	495.046400	27.050000	1438.238000	36.850010	2718.628000
22.150000	472.322300	29.500000	1474.698000	39.300010	2718.628000
24.600000	449.598200	31.950000	1444.444000	41.750010	2718.628000
27.050000	426.874100	34.400010	1414.189000	44.200010	2719.031000
29.500000	404.150000	36.850010	1383.935000	46.650010	2839.870000
31.950000	439.525800	39.300010	1353.681000	49.100010	2839.870000
34.400010	474.901500	41.750010	1323.426000	51.550010	2839.870000
36.850010	510.277200	44.200010	1293.172000	54.000010	2839.870000
39.300010	545.653000	46.650010	1317.931000	56.450010	2839.870000
41.750010	581.028700	49.100010	1342.691000	58.900010	2839.906000
44.200010	616.404400	51.550010	1367.450000	61.350010	2874.606000
46.650010	593.645600	54.000010	1392.209000	63.800010	2874.606000
49.100010	570.886800	56.450010	1416.969000	66.250020	2874.606000
51.550010	548.128100	58.900010	1441.728000	68.700010	2874.606000
54.000010	525.369300	61.350010	1457.853000	71.150010	2874.606000
56.450010	502.610500	63.800010	1473.977000	73.600010	2874.620000
58.900010	479.851700	66.250020	1490.102000	76.050000	2876.136000
61.350010	471.304000	68.700010	1506.227000	78.500000	2876.136000
63.800010	462.756400	71.150010	1522.352000	80.950000	2876.136000
66.250020	454.208800	73.600010	1538.477000	83.399990	2876.136000
68.700010	445.661100	76.050000	1539.276000	85.849990	2876.136000
71.150010	437.113500	78.500000	1540.075000	88.299990	2875.354000
73.600010	428.565900	80.950000	1540.875000	90.749980	2890.182000
76.050000	447.546800	83.399990	1541.674000	93.199980	2890.182000
78.500000	466.527700	85.849990	1542.473000	95.649980	2890.182000
80.950000	485.508700	88.299990	1543.272000	98.099980	2890.182000
83.399990	504.489700	90.749980	1537.104000	100.550000	2890.182000
85.849990	523.470600	93.199980	1530.935000	103.000000	2878.556000
88.299990	542.451500	95.649980	1524.766000	105.450000	2876.920000
90.749980	550.724400	98.099980	1518.597000	107.900000	2875.283000
93.199980	558.997400	100.550000	1512.429000	110.350000	2873.646000
95.649980	567.270300	103.000000	1506.260000	112.800000	2872.009000
98.099980	575.543200	105.450000	1494.483000	115.250000	2870.372000
100.550000	583.816100	107.900000	1482.706000	117.700000	2868.736000
103.000000	592.089000	110.350000	1470.929000		
105.450000	570.333600	112.800000	1459.153000		
107.900000	548.578100	115.250000	1447.376000		
110.350000	526.822700	117.700000	1435.599000		
112.800000	505.067300	STRATO # 3			
115.250000	483.311900	2.550000	2657.658000		
117.700000	461.556400	5.000000	2649.320000		
STRATO # 2		7.450000	2640.981000		
2.550000	1158.230000	9.900000	2632.643000		
5.000000	1177.772000	12.350000	2624.305000		
		14.800000	2615.966000		

# PROFONDITÀ 1809281 – ST1

Ascissa	Profondità		
STRATO # 2		STRATO # 3	
1.000000E-01	1.680843	1.000000E-01	4.770724
2.550000	1.799580	2.550000	4.816801
5.000000	1.826144	5.000000	4.940646
7.450000	1.845114	7.450000	5.142296
9.900001	1.856334	9.900001	5.252326
12.350000	1.859645	12.350000	5.609672
14.800000	1.854882	14.800000	5.705972
17.250000	1.840135	17.250000	5.810840
19.700000	1.991558	19.700000	5.803822
22.150000	2.054526	22.150000	5.518487
24.600000	2.028687	24.600000	5.296687
27.050000	1.998481	27.050000	4.987901
29.500000	2.048397	29.500000	4.601298
31.950000	1.990614	31.950000	4.196420
34.400000	1.915750	34.400000	4.081869
36.850000	1.823633	36.850000	4.208245
39.300000	1.798691	39.300000	4.075047
41.750000	1.755707	41.750000	4.119812
44.200000	1.693945	44.200000	4.538857
46.650000	1.727571	46.650000	5.037455
49.100000	1.669638	49.100000	5.162402
51.550000	1.605009	51.550000	4.958812
54.000000	1.618508	54.000000	4.824680
56.450000	1.794930	56.450000	4.654298
58.900000	1.880124	58.900000	4.508662
61.350000	1.899320	61.350000	4.442368
63.800000	1.916796	63.800000	4.257164
66.250000	2.017295	66.250000	4.186661
68.700000	2.031363	68.700000	4.066554
71.150000	1.874278	71.150000	4.129831
73.600000	1.884967	73.600000	3.942153
76.050000	1.729000	76.050000	3.835188
78.500000	1.737333	78.500000	3.714973
80.950000	1.740452	80.950000	3.561166
83.400000	1.738296	83.400000	3.562674
85.850000	1.730796	85.850000	3.620892
88.300000	1.802610	88.300000	3.746266
90.750000	1.810977	90.750000	3.741274
93.200000	1.988353	93.200000	3.780114
95.650000	1.995819	95.650000	3.740849
98.100000	2.341757	98.100000	4.127552
100.550000	2.178870	100.550000	4.209155
103.000000	2.185000	103.000000	4.425640
105.450000	2.010260	105.450000	4.461845
107.900000	2.000289	107.900000	4.575294
110.350000	1.985702	110.350000	4.342344
112.800000	1.966570	112.800000	4.356122
115.250000	1.942958	115.250000	4.447180
117.700000	1.999659	117.700000	4.700260



**PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE CON ONDE SH**  
**INTERPRETAZIONE CON METODO RECIPROCO GENERALIZZATO (GRM)**

Committenti : USL Toscana NO  
Data : 28/09/18  
Località : San Cataldo-Maggiano (LU)  
Prospettore : GEOMETRICS STRATAVISOR NZXP  
Sorgente : Mazza da 10 Kg  
Linea : 1809282 – ST1  
Lunghezza : 120 ml  
Orientamento : SW-NE

# DATI DI SCOPPIO 1809282 – ST1

.00

SCOPPIO 1 - X (m) .10 QUOTA 15.50 PROF:

POSIZIONE	TEMPO DI ARRIVO	QUOTA
1.300000	14.500000	15.500000
3.750000	27.800000	15.500000
6.250000	40.300000	15.500000
8.750000	48.900000	15.500000
11.250000	55.400000	15.500000
13.800000	63.500000	15.500000
16.300000	69.600000	15.500000
18.800000	75.600000	15.500000
21.300000	79.100000	15.500000
23.800000	83.300000	15.500000
26.300000	87.600000	15.500000
28.800000	91.000000	15.600000
31.300000	94.600000	15.600000
33.800000	97.600000	15.600000
36.300000	100.300000	15.600000
38.800000	102.800000	15.600000
41.300000	104.800000	15.600000
43.800000	108.400000	15.640000
46.300000	110.600000	15.600000
48.800000	113.800000	15.600000
51.300000	116.500000	15.500000
53.800000	120.600000	15.500000
56.300000	125.100000	15.600000
58.800000	129.300000	15.600000
61.300000	132.900000	15.600000
63.800000	135.900000	15.600000
66.300000	139.500000	15.600000
68.800000	142.500000	15.600000
71.300000	147.100000	15.600000
73.800000	151.800000	15.600000
76.300000	156.300000	15.600000
78.800000	159.300000	15.600000
81.300000	161.400000	15.600000
83.800000	165.000000	15.600000
86.300000	167.000000	15.600000
88.800000	169.000000	15.600000
91.300000	171.100000	15.600000
93.800000	174.400000	15.500000
96.300000	175.500000	15.500000
98.800000	175.500000	15.600000
101.300000	180.900000	15.600000
103.800000	181.400000	15.700000
106.300000	183.100000	15.800000
108.800000	184.800000	15.800000
111.300000	185.300000	15.900000
113.800000	186.400000	15.900000
116.300000	187.400000	15.900000
118.800000	188.500000	16.200000

.00

SCOPPIO 2 - X (m) 15.00 QUOTA 15.50 PROF:

POSIZIONE	TEMPO DI ARRIVO	QUOTA
1.300000	44.000000	15.500000
3.750000	39.100000	15.500000
6.250000	33.800000	15.500000

8.750000	26.100000	15.500000
11.250000	18.000000	15.500000
13.800000	6.100000	15.500000
16.300000	5.600000	15.500000
18.800000	15.400000	15.500000
21.300000	22.800000	15.500000
23.800000	31.600000	15.500000
26.300000	40.300000	15.500000
28.800000	46.800000	15.600000
31.300000	52.100000	15.600000
33.800000	55.900000	15.600000
36.300000	60.800000	15.600000
38.800000	66.300000	15.600000
41.300000	69.400000	15.600000
43.800000	73.800000	15.640000
46.300000	77.600000	15.600000
48.800000	83.000000	15.600000
51.300000	85.600000	15.500000
53.800000	90.000000	15.500000
56.300000	85.400000	15.600000
58.800000	100.300000	15.600000
61.300000	103.500000	15.600000
63.800000	107.900000	15.600000
66.300000	111.100000	15.600000
68.800000	116.000000	15.600000
71.300000	120.300000	15.600000
73.800000	123.600000	15.600000
76.300000	127.900000	15.600000
78.800000	131.100000	15.600000
81.300000	134.400000	15.600000
83.800000	137.600000	15.600000
86.300000	140.900000	15.600000
88.800000	143.000000	15.600000
91.300000	147.400000	15.600000
93.800000	150.600000	15.500000
96.300000	152.800000	15.500000
98.800000	156.000000	15.600000
101.300000	158.300000	15.600000
103.800000	162.500000	15.700000
106.300000	163.600000	15.800000
108.800000	165.800000	15.800000
111.300000	165.800000	15.900000
113.800000	167.900000	15.900000
116.300000	169.000000	15.900000
118.800000	171.100000	16.200000

SCOPPIO 3 - X (m) 30.00 QUOTA 15.60 PROF:

POSIZIONE	TEMPO DI ARRIVO	QUOTA
1.300000	77.000000	15.500000
3.750000	73.800000	15.500000
6.250000	68.900000	15.500000
8.750000	65.100000	15.500000
11.250000	60.800000	15.500000
13.800000	54.300000	15.500000
16.300000	48.900000	15.500000
18.800000	42.400000	15.500000
21.300000	35.900000	15.500000
23.800000	27.300000	15.500000
26.300000	17.500000	15.500000
28.800000	7.800000	15.600000
31.300000	7.300000	15.600000
33.800000	17.500000	15.600000

.00

SCOPPIO 4 - X (m) 45.00 QUOTA 15.60 PROF:

POSIZIONE	TEMPO DI ARRIVO	QUOTA
1.300000	107.900000	15.500000
3.750000	104.100000	15.500000
6.250000	100.900000	15.500000
8.750000	95.900000	15.500000
11.250000	91.600000	15.500000
13.800000	84.800000	15.500000
16.300000	78.600000	15.500000
18.800000	74.900000	15.500000
21.300000	68.400000	15.500000
23.800000	64.000000	15.500000
26.300000	56.400000	15.500000
28.800000	52.100000	15.600000
31.300000	46.800000	15.600000
33.800000	41.900000	15.600000
36.300000	34.300000	15.600000
38.800000	27.300000	15.600000
41.300000	18.600000	15.600000
43.800000	8.200000	15.640000
46.300000	7.600000	15.600000
48.800000	18.600000	15.600000
51.300000	26.100000	15.500000
53.800000	33.800000	15.500000
56.300000	40.300000	15.600000
58.800000	46.800000	15.600000
61.300000	53.300000	15.600000

# DATI DI SCOPPIO 1809282 – ST1

63.800000	57.500000	15.600000
66.300000	61.900000	15.600000
68.800000	65.600000	15.600000
71.300000	69.400000	15.600000
73.800000	73.800000	15.600000
76.300000	77.000000	15.600000
78.800000	80.300000	15.600000
81.300000	83.500000	15.600000
83.800000	86.800000	15.600000
86.300000	91.100000	15.600000
88.800000	93.300000	15.600000
91.300000	96.500000	15.600000
93.800000	100.900000	15.500000
96.300000	101.900000	15.500000
98.800000	105.100000	15.600000
101.300000	107.900000	15.600000
103.800000	110.600000	15.700000
106.300000	113.800000	15.800000
108.800000	114.900000	15.800000
111.300000	117.100000	15.900000
113.800000	119.300000	15.900000
116.300000	120.300000	15.900000
118.800000	122.500000	16.200000

91.300000	71.600000	15.600000
93.800000	74.900000	15.500000
96.300000	79.800000	15.500000
98.800000	81.900000	15.600000
101.300000	84.600000	15.600000
103.800000	86.800000	15.700000
106.300000	89.500000	15.800000
108.800000	90.600000	15.800000
111.300000	92.800000	15.900000
113.800000	94.900000	15.900000
116.300000	96.500000	15.900000
118.800000	97.600000	16.200000

118.800000 84.600000 16.200000  
 SCOPPIO 7 - X (m) 90.00 QUOTA 15.60 PROF:

POSIZIONE	TEMPO DI ARRIVO	QUOTA
1.300000	160.400000	15.500000
3.750000	157.100000	15.500000
6.250000	153.900000	15.500000
8.750000	150.600000	15.500000
11.250000	146.300000	15.500000
13.800000	141.900000	15.500000
16.300000	136.500000	15.500000
18.800000	132.300000	15.500000
21.300000	129.000000	15.500000
23.800000	123.600000	15.500000
26.300000	120.300000	15.500000
28.800000	114.900000	15.600000
31.300000	111.600000	15.600000
33.800000	106.300000	15.600000
36.300000	103.000000	15.600000
38.800000	96.500000	15.600000
41.300000	91.100000	15.600000
43.800000	87.900000	15.640000
46.300000	85.600000	15.600000
48.800000	83.500000	15.600000
51.300000	79.100000	15.500000
53.800000	77.000000	15.500000
56.300000	74.900000	15.600000
58.800000	73.800000	15.600000
61.300000	72.800000	15.600000
63.800000	69.400000	15.600000
66.300000	67.300000	15.600000
68.800000	66.300000	15.600000
71.300000	61.900000	15.600000
73.800000	57.500000	15.600000
76.300000	52.100000	15.600000
78.800000	44.600000	15.600000
81.300000	37.000000	15.600000
83.800000	28.300000	15.600000
86.300000	18.600000	15.600000
88.800000	6.600000	15.600000
91.300000	6.600000	15.600000
93.800000	15.400000	15.500000
96.300000	24.000000	15.500000
98.800000	30.500000	15.600000
101.300000	34.800000	15.600000
103.800000	40.300000	15.700000
106.300000	46.800000	15.800000
108.800000	52.100000	15.800000
111.300000	56.400000	15.900000
113.800000	59.800000	15.900000
116.300000	64.000000	15.900000
118.800000	66.300000	16.200000

SCOPPIO 6 - X (m) 75.00 QUOTA 15.60 PROF:

POSIZIONE	TEMPO DI ARRIVO	QUOTA
1.300000	146.300000	15.500000
3.750000	144.100000	15.500000
6.250000	140.900000	15.500000
8.750000	138.800000	15.500000
11.250000	133.300000	15.500000
13.800000	129.000000	15.500000
16.300000	125.800000	15.500000
18.800000	121.400000	15.500000
21.300000	117.100000	15.500000
23.800000	112.800000	15.500000
26.300000	108.400000	15.500000
28.800000	104.100000	15.600000
31.300000	99.800000	15.600000
33.800000	95.400000	15.600000
36.300000	88.900000	15.600000
38.800000	84.600000	15.600000
41.300000	81.400000	15.600000
43.800000	75.900000	15.640000
46.300000	72.800000	15.600000
48.800000	70.500000	15.600000
51.300000	66.300000	15.500000
53.800000	65.100000	15.500000
56.300000	61.900000	15.600000
58.800000	57.500000	15.600000
61.300000	53.300000	15.600000
63.800000	46.800000	15.600000
66.300000	40.300000	15.600000
68.800000	32.600000	15.600000
71.300000	20.800000	15.600000
73.800000	8.900000	15.600000
76.300000	8.900000	15.600000
78.800000	21.900000	15.600000
81.300000	32.100000	15.600000
83.800000	39.100000	15.600000
86.300000	45.600000	15.600000
88.800000	51.000000	15.600000
91.300000	55.900000	15.600000
93.800000	59.800000	15.500000
96.300000	62.400000	15.500000
98.800000	65.600000	15.600000
101.300000	67.300000	15.600000
103.800000	69.400000	15.700000
106.300000	71.600000	15.800000
108.800000	74.900000	15.800000
111.300000	77.000000	15.900000
113.800000	80.300000	15.900000
116.300000	82.400000	15.900000

SCOPPIO 8 - X (m) 105.00 QUOTA 15.60 PROF:

POSIZIONE	TEMPO DI ARRIVO	QUOTA
1.300000	169.000000	15.500000
3.750000	165.800000	15.500000
6.250000	162.500000	15.500000
8.750000	159.300000	15.500000
11.250000	153.900000	15.500000
13.800000	151.800000	15.500000



# DATI DI SCOPPIO 1809282 – ST1

16.300000	148.400000	15.500000	43.800000	107.300000	15.640000
18.800000	141.900000	15.500000	46.300000	103.300000	15.600000
21.300000	139.800000	15.500000	48.800000	99.100000	15.600000
23.800000	136.500000	15.500000	51.300000	97.100000	15.500000
26.300000	132.300000	15.500000	53.800000	95.000000	15.500000
28.800000	125.800000	15.600000	56.300000	94.000000	15.600000
31.300000	123.600000	15.600000	58.800000	93.000000	15.600000
33.800000	117.100000	15.600000	61.300000	92.100000	15.600000
36.300000	110.600000	15.600000	63.800000	90.000000	15.600000
38.800000	106.300000	15.600000	66.300000	88.900000	15.600000
41.300000	99.800000	15.600000	68.800000	86.900000	15.600000
43.800000	96.500000	15.640000	71.300000	85.900000	15.600000
46.300000	92.100000	15.600000	73.800000	85.100000	15.600000
48.800000	90.000000	15.600000	76.300000	82.800000	15.600000
51.300000	86.800000	15.500000	78.800000	80.400000	15.600000
53.800000	85.600000	15.500000	81.300000	78.800000	15.600000
56.300000	84.100000	15.600000	83.800000	76.800000	15.600000
58.800000	82.400000	15.600000	86.300000	74.900000	15.600000
61.300000	79.100000	15.600000	88.800000	72.800000	15.600000
63.800000	78.000000	15.600000	91.300000	71.600000	15.600000
66.300000	75.900000	15.600000	93.800000	68.500000	15.500000
68.800000	73.800000	15.600000	96.300000	66.300000	15.500000
71.300000	72.800000	15.600000	98.800000	62.900000	15.600000
73.800000	72.100000	15.600000	101.300000	58.600000	15.600000
76.300000	71.600000	15.600000	103.800000	54.300000	15.700000
78.800000	68.400000	15.600000	106.300000	49.400000	15.800000
81.300000	67.300000	15.600000	108.800000	43.500000	15.800000
83.800000	63.500000	15.600000	111.300000	38.000000	15.900000
86.300000	60.300000	15.600000	113.800000	28.800000	15.900000
88.800000	56.400000	15.600000	116.300000	20.600000	15.900000
91.300000	51.600000	15.600000	118.800000	8.400000	16.200000
93.800000	47.800000	15.500000			
96.300000	41.300000	15.500000			
98.800000	32.100000	15.600000			
101.300000	21.900000	15.600000			
103.800000	8.300000	15.700000			
106.300000	7.800000	15.800000			
108.800000	20.300000	15.800000			
111.300000	29.400000	15.900000			
113.800000	35.900000	15.900000			
116.300000	39.100000	15.900000			
118.800000	44.600000	16.200000			

SCOPPIO 9 - X (m) 120.00 QUOTA 16.40 PROF:

.00

POSIZIONE	TEMPO DI ARRIVO	QUOTA
1.300000	182.000000	15.500000
3.750000	179.900000	15.500000
6.250000	176.600000	15.500000
8.750000	173.600000	15.500000
11.250000	169.000000	15.500000
13.800000	164.500000	15.500000
16.300000	160.400000	15.500000
18.800000	157.300000	15.500000
21.300000	153.300000	15.500000
23.800000	148.400000	15.500000
26.300000	145.300000	15.500000
28.800000	140.800000	15.600000
31.300000	135.400000	15.600000
33.800000	129.000000	15.600000
36.300000	122.500000	15.600000
38.800000	117.500000	15.600000
41.300000	112.800000	15.600000

# VELOCITÀ 1809282 – ST1

Ascissa	Velocità				
STRATO # 1		7.450000	491.991100	17.250000	729.007600
2.550000	142.347300	9.900000	493.141700	19.700000	733.588200
5.000000	159.163900	12.350000	493.141700	22.150000	738.168800
7.450000	175.980500	14.800000	492.204600	24.600000	742.749500
9.900000	192.797000	17.250000	496.175000	27.050000	747.330100
12.350000	209.613600	19.700000	496.175000	29.500000	751.910700
14.800000	226.430200	22.150000	496.175000	31.950000	783.990200
17.250000	223.588600	24.600000	486.185900	34.400010	816.069800
19.700000	220.747000	27.050000	486.185900	36.850010	848.149300
22.150000	217.905400	29.500000	486.750800	39.300010	880.228800
24.600000	215.063800	31.950000	486.185900	41.750010	912.308300
27.050000	212.222100	34.400010	495.339900	44.200010	899.390200
29.500000	209.380500	36.850010	496.914900	46.650010	912.308300
31.950000	207.370000	39.300010	550.680200	49.100010	912.308300
34.400010	205.359500	41.750010	550.680200	51.550010	912.308300
36.850010	203.349000	44.200010	550.883500	54.000010	912.308300
39.300010	201.338500	46.650010	550.680200	56.450010	912.308300
41.750010	199.328000	49.100010	550.680200	58.900010	905.650000
44.200010	197.317400	51.550010	550.680200	61.350010	912.308300
46.650010	214.155300	54.000010	557.801800	63.800010	927.131700
49.100010	230.993200	56.450010	557.801800	66.250020	927.131700
51.550010	247.831000	58.900010	552.392500	68.700010	930.735400
54.000010	264.668900	61.350010	544.684200	71.150010	930.735400
56.450010	281.506700	63.800010	544.684200	73.600010	922.925400
58.900010	298.344600	66.250020	544.429600	76.050000	930.735400
61.350010	279.893700	68.700010	533.104100	78.500000	930.735400
63.800010	261.442800	71.150010	532.849500	80.950000	948.937300
66.250020	242.992000	73.600010	532.595000	83.399990	948.937300
68.700010	224.541100	76.050000	530.126200	85.849990	948.937300
71.150010	206.090200	78.500000	530.126200	88.299990	948.918700
73.600010	187.639300	80.950000	530.126200	90.749980	948.937300
76.050000	192.899000	83.399990	530.126200	93.199980	948.937300
78.500000	198.158600	85.849990	524.069400	95.649980	948.937300
80.950000	203.418300	88.299990	525.832600	98.099980	940.092300
83.399990	208.678000	90.749980	524.069400	100.550000	942.318400
85.849990	213.937600	93.199980	523.280300	103.000000	933.473500
88.299990	219.197300	95.649980	522.491100	105.450000	931.001200
90.749980	215.304200	98.099980	521.702000	107.900000	939.599700
93.199980	211.411200	100.550000	520.912800	110.350000	937.127300
95.649980	207.518100	103.000000	520.123700	112.800000	934.655000
98.099980	203.625000	105.450000	458.177400	115.250000	932.182600
100.550000	199.732000	107.900000	458.177400	117.700000	929.710200
103.000000	195.838900	110.350000	458.177400		
105.450000	197.204700	112.800000	461.020100		
107.900000	198.570600	115.250000	463.862800		
110.350000	199.936400	117.700000	466.705400		
112.800000	201.302200	STRATO # 3			
115.250000	202.668100	2.550000	733.092300		
117.700000	204.033900	5.000000	731.359300		
STRATO # 2		7.450000	729.626200		
2.550000	488.592400	9.900000	727.893100		
5.000000	490.291700	12.350000	726.160000		
		14.800000	724.426900		

# PROFONDITÀ 1809282 – ST1

Ascissa Profondità

## STRATO # 2

1.000000E-01	3.030462
2.550000	2.937870
5.000000	2.677389
7.450000	2.498656
9.900001	3.154424
12.350000	3.497848
14.800000	3.588310
17.250000	3.455483
19.700000	3.494712
22.150000	3.670134
24.600000	3.391999
27.050000	3.089970
29.500000	2.631701
31.950000	2.540428
34.400000	2.358107
36.850000	2.151205
39.300000	2.051343
41.750000	1.953424
44.200000	1.906000
46.650000	2.062869
49.100000	2.171523
51.550000	1.985652
54.000000	2.331296
56.450000	2.657887
58.900000	3.157443
61.350000	3.164173
63.800000	3.150024
66.250000	2.847563
68.700000	2.886957
71.150000	2.888206
73.600000	2.851628
76.050000	2.665207
78.500000	2.483161
80.950000	2.310967
83.400000	2.302577
85.850000	2.461764
88.300000	2.632728
90.750000	2.927612
93.200000	3.225753
95.650000	3.004875
98.100000	3.038583
100.550000	2.811203
103.000000	2.838481
105.450000	2.898722
107.900000	2.616541
110.350000	2.504642
112.800000	2.509633
115.250000	2.257720
117.700000	1.748788

## STRATO # 3

1.000000E-01	11.787150
2.550000	11.877470
5.000000	11.613390
7.450000	11.769650
9.900001	11.682110
12.350000	11.791930
14.800000	11.593290
17.250000	11.463760
19.700000	11.345850
22.150000	11.188430
24.600000	10.947230
27.050000	10.516810
29.500000	9.626142
31.950000	8.717398
34.400000	7.692627
36.850000	6.992927
39.300000	5.887563
41.750000	5.687333
44.200000	5.816977
46.650000	5.934238
49.100000	6.523914
51.550000	7.150543
54.000000	8.251637
56.450000	8.979273
58.900000	9.210746
61.350000	9.109588
63.800000	9.410028
66.250000	9.079508
68.700000	9.383868
71.150000	9.878518
73.600000	10.219120
76.050000	10.357140
78.500000	10.686780
80.950000	10.845480
83.400000	10.750580
85.850000	10.575660
88.300000	10.452420
90.750000	10.158800
93.200000	9.921102
95.650000	9.454379
98.100000	9.403013
100.550000	9.278520
103.000000	8.802996
105.450000	8.708008
107.900000	7.682860
110.350000	7.053221
112.800000	5.751631
115.250000	4.464550
117.700000	3.965924





**COMUNE DI LUCCA**  
**PROVINCIA DI LUCCA**

*Località: San Cataldo-Maggiano*

**PROSPEZIONI SISMICHE A RIFRAZIONE CON ONDE P ED SH  
E  
TOMOGRFIA SISMICA**

**Committente: USL Toscana Nord-Ovest**

**TOMOGRFIE SISMICHE**

**GEOPROVE S.a.S.**  
Il Socio Accomandatario  
e Direttore Tecnico  
Dr. Geol. Pietro Barsanti  
(n° 193 Albo dei Geologi della Toscana)





