

COMMITTENTE



PROGETTAZIONE:



DIREZIONE TECNICA

U.O. GEOLOGIA TECNICA, DELL'AMBIENTE E DEL TERRITORIO

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA

NODO DI ROMA

PRG DI ROMA TUSCOLANA

RELAZIONE
INDAGINI GEOFISICHE

SCALA:

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA Progr. REV.

NR2E 00 R 69 IG GE0005 001 A

| Rev. | Descrizione | Redatto | Data | Verificato | Data | Approvato | Data | Autorizzato Data |
|------|----------------------|-----------|---------------|------------|---------------|------------|---------------|------------------------------|
| A | Emissione definitiva | P. CHIARA | Novembre 2020 | F. MANCINI | Novembre 2020 | T.PAOLETTI | Novembre 2020 | M. COMEDINI Novembre 2020 |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |



File: NR2E00R69IGGE0005001A.doc

n. Elab.

| | | | | | | |
|---|---|---------|----------|------------|------|---------|
|  | PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA | | | | | |
| | NODO DI ROMA PRG DI ROMA TUSCOLANA | | | | | |
| INDAGINI GEOFISICHE | | | | | | |
| RELAZIONE INDAGINI GEOFISICHE | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
| | NR2E | 00 R 69 | IG | GE0005 001 | A | 2 di 24 |

INDICE

| | | |
|-------|---|----|
| 1. | INTRODUZIONE..... | 3 |
| 1.1 | PREMESSA E SCOPI DELL'INDAGINE GEOFISICA..... | 3 |
| 2. | METODOLOGIE IMPIEGATE..... | 4 |
| 2.1 | INDAGINE SISMICA DOWN HOLE..... | 4 |
| 2.1.1 | Strumentazione | 4 |
| 2.1.3 | Metodologia di misura e strumentazione utilizzata | 6 |
| 2.1.4 | Principi teorici | 7 |
| 3. | RISULTATI..... | 9 |
| 3.1 | PREMESSA..... | 9 |
| 3.2 | ANALISI DEI RISULTATI DELLA PROVA DOWN HOLE – ALLEGATO GRAFICO | 9 |
| 3.2.1 | Prova Down Hole Foro di Sondaggio S10 | 9 |
| 3.2.2 | Prova Down Hole Foro di Sondaggio S11 | 12 |
| 4. | BIBLIOGRAFIA..... | 15 |
| 5. | ALLEGATO GRAFICO – INDAGINI DOWN HOLE | 16 |

| | | | | | | |
|---|---|---------|----------|------------|------|---------|
|  | PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA | | | | | |
| | NODO DI ROMA PRG DI ROMA TUSCOLANA | | | | | |
| INDAGINI GEOFISICHE | | | | | | |
| RELAZIONE INDAGINI GEOFISICHE | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
| | NR2E | 00 R 69 | IG | GE0005 001 | A | 3 di 24 |

1. INTRODUZIONE

1.1 Premessa e scopi dell'indagine geofisica

La presente relazione illustra i risultati della campagna di prospezioni geofisiche, condotte secondo le modalità previste nelle specifiche tecniche Italferr, eseguite a supporto del Progetto di Fattibilità Tecnica Economica Nodo di Roma, con riferimento al PRG di Roma Tuscolana.

Le indagini sono state eseguite utilizzando la seguente metodologia:

- Indagine sismica tipo Down Hole.



Figura 1.1.1: Posizione dell'indagine eseguita – foto satellitare

Le indagini sismiche in foro di tipo Down Hole sono state condotte sulle verticali dei sondaggi S10 ed S11 opportunamente attrezzati; tale metodologia d'indagine consente la caratterizzazione di dettaglio e l'approfondimento necessario ai fini geotecnici su aree localizzate, laddove sia necessario valutare il comportamento dei terreni di fondazione, caratterizzandone i parametri dinamici relativi, oltreché a determinare, con grande risoluzione, la categoria di sottosuolo ai fini della valutazione della risposta sismica locale mediante il parametro $V_{s,eq}$.

Il presente documento, oltre a riportare le evidenze dei risultati emersi dalle campagne di acquisizione dati condotte in sito, contiene una breve descrizione delle metodologie utilizzate.

| | | | | | | |
|---|---|---------|----------|------------|------|---------|
|  | PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA | | | | | |
| | NODO DI ROMA PRG DI ROMA TUSCOLANA | | | | | |
| INDAGINI GEOFISICHE | | | | | | |
| RELAZIONE INDAGINI GEOFISICHE | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
| | NR2E | 00 R 69 | IG | GE0005 001 | A | 4 di 24 |

2. METODOLOGIE IMPIEGATE

2.1 INDAGINE SISMICA DOWN HOLE

2.1.1 Strumentazione

Per il presente lavoro è stato utilizzato un sismografo ECHO 48/2014. Lo strumento (v. Figura 2.1.1.1 riportata di seguito), prodotto dalla Ambrogeo (Piacenza, Italia), è un sistema di acquisizione con le seguenti caratteristiche tecniche principali:

- Numero di canali 48+1 amplificabili a 96+1;
- Convertitore analogico digitale A/D a 24-bits;
- intervalli di campionamento: 32, 64, 128, 256, 480 e 960 us;
- Filtri in acquisizione passa basso: 10-15-25-35-50-70-100-200-280-400 Hz;
- Accuratezza nel trigger di 1/32 dell'intervallo di campionamento.



Figura 2.1.1.1: Sismografo digitale a 24 bit.

2.1.2 Principi di funzionamento e cenni sul metodo

La prova sismica DH è un metodo di indagine sismica finalizzato alla determinazione dei profili di velocità delle onde di taglio S e di compressione P dei terreni.

I profili di velocità ottenuti dalle misure DH rappresentano valori di velocità medi sullo spessore degli strati poiché sono calcolati lungo percorsi dei raggi sismici inclinati. Tali percorsi sono poi stati corretti, considerando una distanza boccaforo-sorgente, per essere riportati ad un percorso rettilineo lungo la verticale.

Caratteristica essenziale del metodo sismico utilizzato è quella di consentire la determinazione dei parametri di deformabilità riferendoli a valori molto bassi dei livelli di deformazione ($<10^{-5}$ m), al di sotto della soglia di deformazione lineare ciclica.

Per l'interpretazione dei dati è stata usata la tecnica diretta, che rappresenta un metodo nel quale la velocità delle onde P e SH è calcolata dalle pendenze dei tratti di dromocrone generate in dipendenza delle posizioni consecutive dei sensori alle diverse profondità all'interno del foro. Nel nostro caso le misurazioni sono state

| | | | | | | |
|---|---|---------|----------|------------|------|---------|
|  | PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA | | | | | |
| | NODO DI ROMA PRG DI ROMA TUSCOLANA | | | | | |
| INDAGINI GEOFISICHE | | | | | | |
| RELAZIONE INDAGINI GEOFISICHE | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
| | NR2E | 00 R 69 | IG | GE0005 001 | A | 5 di 24 |

eseguite ogni metro.

I parametri calcolabili con l'ausilio del metodo DH sono:

- il Coefficiente di Poisson dinamico,
- il modulo di elasticità dinamico (o di Young),
- il modulo di taglio dinamico (o modulo di rigidità),
- il Bulk modulus (modulo di incompressibilità) e pertanto
- il modulo di compressibilità dinamico.

I valori dinamici calcolati con tali tecniche possono risultare differenti dai valori provenienti da prove di tipo statico puntuali (normalmente anche di un ordine di grandezza), specie in tipologie di materiali quali quelli in oggetto.

Il metodo è efficace per il calcolo speditivo del parametro $V_{s,eq}$.

Il 22 marzo 2018 è entrato in vigore il D.M. 17 gennaio 2018 "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni" (NTC 2018) pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n° 42 del 20.2.2018 che prevede nell'impiego, nell'approccio semplificato nella progettazione, della classificazione del sottosuolo in base ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{s,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione riportata di seguito:

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

con

h_i = spessore dello strato i -esimo;

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

N = numero di strati;

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

| | | | | | | |
|---|---|---------|----------|------------|------|---------|
|  | PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA | | | | | |
| | NODO DI ROMA PRG DI ROMA TUSCOLANA | | | | | |
| INDAGINI GEOFISICHE | | | | | | |
| RELAZIONE INDAGINI GEOFISICHE | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
| | NR2E | 00 R 69 | IG | GE0005 001 | A | 6 di 24 |

Dal valore del parametro $V_{s,eq}$ è possibile risalire alla categoria di sottosuolo secondo il D.M. 2018 dal quale è tratta la successiva tabella.

Tab. 3.2.II – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.

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

2.1.3 Metodologia di misura e strumentazione utilizzata

La sorgente del segnale sismico per onde SH è costituita da barre in teflon, di circa 2 m di lunghezza complessiva, assicurate al terreno applicando un carico verticale adeguato. Lo sforzo di taglio è trasmesso colpendo orizzontalmente con una massa battente la barra, in successione sui due lati opposti (con lo scopo di trasmettere impulsi a polarità invertite). Alternativamente, attraverso la realizzazione di un scasso nel terreno ove alloggiare verticalmente una piastra in alluminio per generare gli sforzi di taglio sulle due direzioni opposte (sempre con lo scopo di trasmettere impulsi a polarità invertite e successivamente sommarli per l'eliminazione del contributo delle onde P dai sismogrammi da avviare ad elaborazione).

Lo sforzo di compressione è invece trasmesso attraverso una massa battente verticale su di una piastra in alluminio; i sistemi di energizzazione sono posizionati, in prossimità del boccaforno. I ricevitori, all'interno del foro di sondaggio, sono stati posti in modo tale che la velocità di propagazione delle onde di volume, caratteristica dei vari strati di terreno, potesse essere misurata ogni metro.

| | | | | | | |
|---|---|---------|----------|------------|------|---------|
|  | PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA | | | | | |
| | NODO DI ROMA PRG DI ROMA TUSCOLANA | | | | | |
| INDAGINI GEOFISICHE | | | | | | |
| RELAZIONE INDAGINI GEOFISICHE | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
| | NR2E | 00 R 69 | IG | GE0005 001 | A | 7 di 24 |

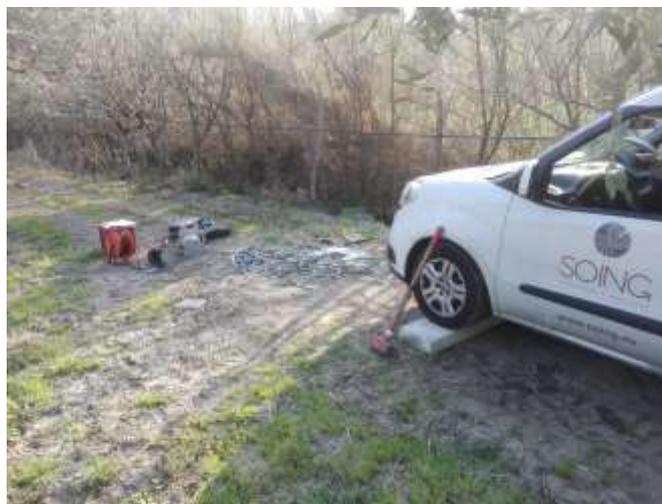


Figura 2.1.3.1: configurazione standard per le indagini DH

Spostando i ricevitori (geofoni triassiali solidali da foro) a diverse profondità, è possibile ottenere un dettagliato profilo di velocità delle onde SH e P.

L'accoppiamento meccanico tra le pareti del foro attrezzato e i ricevitori all'interno del foro stesso, nell'indagine in oggetto, è stato reso possibile con appositi sistemi di ancoraggio pneumatico.

I ricevitori utilizzati sono costituiti da un sistema tridimensionale composto da sei geofoni, a frequenza propria di 10 Hz, della Geospace (USA), orientati a coppie nelle tre dimensioni dello spazio.

2.1.4 Principi teorici

Per la determinazione dei moduli dinamici a partire dalla distribuzione di velocità delle onde di compressione P e di taglio SH, occorre assumere che il geomateriale indagato sia un mezzo omogeneo, elastico ed isotropo.

Nel nostro caso, come per la maggior parte, tale assunzione risulta un'approssimazione.

In ogni caso, facendo riferimento alle supposizioni introdotte, è possibile risalire al coefficiente di Poisson (in tale contesto denominato con σ in altri comunemente definito con ν), tramite la seguente relazione:

$$\sigma = \frac{\left(\frac{V_P}{V_S}\right)^2 - 2}{2\left[\left(\frac{V_P}{V_S}\right)^2 - 1\right]}$$

e al modulo di Young tramite l'equazione riportata di seguito:

$$E = \frac{(1-2\sigma)(1+\sigma)}{(1-\sigma)} \rho V_P^2$$

| | | | | | | |
|---|---|---------|----------|------------|------|---------|
|  | PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA | | | | | |
| | NODO DI ROMA PRG DI ROMA TUSCOLANA | | | | | |
| INDAGINI GEOFISICHE | | | | | | |
| RELAZIONE INDAGINI GEOFISICHE | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
| | NR2E | 00 R 69 | IG | GE0005 001 | A | 8 di 24 |

I valori dinamici calcolati con tali tecniche possono risultare differenti dai valori provenienti da prove di tipo statico puntuali (normalmente anche di un ordine di grandezza), specie in tipologie di materiali quali quelli in oggetto.

Sono inoltre esprimibili come funzioni dalle costanti elastiche dinamiche E e σ , la compressibilità β e di conseguenza il *Bulk modulus* ($k = 1/\beta$) (Milton B. et alii, 1988), cioè come relazione tra le costanti di dilatazione cubica, risultanti dalla combinazione degli sforzi lineari di compressione e di taglio in dipendenza delle relative costanti:

$$k = \frac{E}{3(1-2\sigma)}$$

e il modulo di rigidità o di taglio μ (altrimenti indicato con la lettera G) :

$$\mu = \frac{E}{2(1+\sigma)}$$

| | | | | | | |
|---|---|---------|----------|------------|------|---------|
|  | PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA | | | | | |
| | NODO DI ROMA PRG DI ROMA TUSCOLANA | | | | | |
| INDAGINI GEOFISICHE | | | | | | |
| RELAZIONE INDAGINI GEOFISICHE | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
| | NR2E | 00 R 69 | IG | GE0005 001 | A | 9 di 24 |

3. RISULTATI

3.1 PREMESSA

I risultati relativi alle indagini geofisiche, condotte, come anticipato in premessa, presso PRG di Roma Tuscolana, a supporto del Progetto di Fattibilità Tecnica Economica Nodo di Roma, con metodologia sismica in foro di tipo Down Hole, sono riportati nell'Allegato grafico alla presente Relazione e sono commentati di seguito.

Le indagini sono state eseguite sui fori di sondaggio S10 e S11.

Le distanza boccaforo-sorgente è stata pari a 2m per il foro di sondaggio S10 e di 1,5m per il foro S11.

3.2 Analisi dei Risultati della Prova Down Hole – Allegato grafico

Nell'Allegato grafico, oltre all'ubicazione dei fori di sondaggio attrezzati per la prova sismica in foro, sono riportati:

- i sismogrammi onde P ed S ottenuti per ogni indagine,
- i tempi dei primi arrivi osservati e corretti secondo la distanza bocca pozzo – sorgente,
- i profili di velocità e le tabelle dei parametri dinamici medi.

Attraverso i profili di velocità ottenuti dalla prova Down Hole, oltre a quanto sopra elencato, sono stati calcolati i valori del parametro $V_{s,eq}$ e attribuita una specifica classe di suolo.

È opportuno notare che, per la progettazione di opere civili, il DM 2018 (NTC 2018) non prevede l'applicabilità del metodo semplificato con attribuzione della categoria di suolo, nei casi in cui siano presenti inversioni di velocità lungo il profilo verticale.

3.2.1 Prova Down Hole Foro di Sondaggio S10

Nelle pagine seguenti sono riportati i valori delle velocità delle onde P ed S calcolati per i volumi di terreno intorno al foro geotecnico S10. A partire da esse, come prima accennato, sono calcolati lungo la verticale del foro i valori del Coefficiente di Poisson dinamico (qui indicato col simbolo σ), del Modulo di Young dinamico (E), del Modulo di Rigidità o di Taglio dinamico (μ), nonché del Bulk Modulus (inverso della compressibilità), calcolati così come descritto al precedente paragrafo § 2.1.4..

FORO S10 – VELOCITA' DELLE ONDE P ED S

| Strato | Profondità | Spessore | Velocità Vp media | Velocità Vs media |
|--------|----------------|----------|-------------------|-------------------|
| | (m dal p.c.) | (m) | (m/s) | (m/s) |
| 1 | da -1 a -2 m | 1 | 386 | 171 |
| 2 | da -2 a -3 m | 1 | 571 | 154 |
| 3 | da -3 a -4 m | 1 | 594 | 227 |
| 4 | da -4 a -5 m | 1 | 777 | 386 |
| 5 | da -5 a -6 m | 1 | 813 | 403 |
| 6 | da -6 a -7 m | 1 | 789 | 446 |
| 7 | da -7 a -8 m | 1 | 843 | 372 |
| 8 | da -8 a -9 m | 1 | 859 | 387 |
| 9 | da -9 a -10 m | 1 | 802 | 441 |
| 10 | da -10 a -11 m | 1 | 808 | 402 |
| 11 | da -11 a -12 m | 1 | 813 | 482 |
| 12 | da -12 a -13 m | 1 | 888 | 392 |
| 13 | da -13 a -14 m | 1 | 892 | 283 |
| 14 | da -14 a -15 m | 1 | 894 | 310 |
| 15 | da -15 a -16 m | 1 | 1090 | 225 |
| 16 | da -16 a -17 m | 1 | 1227 | 288 |
| 17 | da -17 a -18 m | 1 | 1401 | 339 |
| 18 | da -18 a -19 m | 1 | 1510 | 286 |
| 19 | da -19 a -20 m | 1 | 1585 | 392 |
| 20 | da -20 a -21 m | 1 | 1589 | 413 |
| 21 | da -21 a -22 m | 1 | 1617 | 451 |
| 22 | da -22 a -23 m | 1 | 1646 | 452 |
| 23 | da -23 a -24 m | 1 | 1649 | 520 |
| 24 | da -24 a -25 m | 1 | 1707 | 432 |
| 25 | da -25 a -26 m | 1 | 1738 | 497 |
| 26 | da -26 a -27 m | 1 | 1802 | 433 |
| 27 | da -27 a -28 m | 1 | 1682 | 584 |
| 28 | da -28 a -29 m | 1 | 1773 | 629 |
| 29 | da -29 a -30 m | 1 | 1874 | 614 |
| 30 | da -30 a -31 m | 1 | 1910 | 663 |
| 31 | da -31 a -32 m | 1 | 1987 | 672 |
| 32 | da -32 a -33 m | 1 | 1988 | 547 |
| 33 | da -33 a -34 m | 1 | 1913 | 498 |
| 34 | da -34 a -35 m | 1 | 2072 | 499 |
| 35 | da -35 a -36 m | 1 | 1991 | 554 |
| 36 | da -36 a -37 m | 1 | 1991 | 454 |
| 37 | da -37 a -38 m | 1 | 1780 | 499 |
| 38 | da -38 a -39 m | 1 | 1846 | 499 |
| 39 | da -39 a -40 m | 1 | 1993 | 554 |
| 40 | da -40 a -41 m | 1 | 2034 | 587 |
| 41 | da -41 a -42 m | 1 | 2120 | 665 |
| 42 | da -42 a -43 m | 1 | 2167 | 712 |
| 43 | da -43 a -44 m | 1 | 2215 | 712 |
| 44 | da -44 a -45 m | 1 | 2240 | 767 |
| 45 | da -45 a -46 m | 1 | 2292 | 831 |
| 46 | da -46 a -47 m | 1 | 2267 | 831 |
| 47 | da -47 a -48 m | 1 | 2319 | 817 |
| 48 | da -48 a -49 m | 1 | 2320 | 818 |
| 49 | da -49 a -50 m | 1 | 2331 | 860 |

FORO S10 – PARAMETRI DINAMICI

| Strato | Profondità (m dal p.c.) | Spessore (m) | γ (kN/m^3) | Poisson | Young (MPa) | Share (MPa) | Bulk (MPa) | Vseq (da -1 m per H=30 m) |
|--------|----------------------------|-----------------|--------------------------|---------|----------------|----------------|---------------|------------------------------|
| 1 | da -1 a -2 m | 1 | 16.77 | 0.38 | 132.26 | 47.98 | 181.26 | 356 |
| 2 | da -2 a -3 m | 1 | 17.14 | 0.46 | 117.18 | 40.11 | 495.33 | |
| 3 | da -3 a -4 m | 1 | 17.19 | 0.41 | 245.98 | 86.96 | 478.49 | |
| 4 | da -4 a -5 m | 1 | 17.55 | 0.34 | 685.96 | 256.78 | 695.91 | |
| 5 | da -5 a -6 m | 1 | 17.63 | 0.34 | 750.22 | 280.54 | 767.48 | |
| 6 | da -6 a -7 m | 1 | 17.58 | 0.26 | 868.74 | 343.64 | 613.60 | |
| 7 | da -7 a -8 m | 1 | 17.69 | 0.38 | 662.02 | 240.01 | 912.88 | |
| 8 | da -8 a -9 m | 1 | 17.72 | 0.37 | 713.86 | 259.98 | 936.11 | |
| 9 | da -9 a -10 m | 1 | 17.60 | 0.28 | 860.37 | 335.07 | 663.45 | |
| 10 | da -10 a -11 m | 1 | 17.62 | 0.34 | 747.11 | 279.77 | 755.61 | |
| 11 | da -11 a -12 m | 1 | 17.63 | 0.23 | 987.62 | 401.94 | 606.39 | |
| 12 | da -12 a -13 m | 1 | 17.78 | 0.38 | 737.29 | 267.26 | 1018.69 | |
| 13 | da -13 a -14 m | 1 | 17.78 | 0.44 | 403.05 | 139.56 | 1200.22 | |
| 14 | da -14 a -15 m | 1 | 17.79 | 0.43 | 478.77 | 167.18 | 1172.22 | |
| 15 | da -15 a -16 m | 1 | 18.18 | 0.48 | 266.17 | 90.06 | 1999.81 | |
| 16 | da -16 a -17 m | 1 | 18.45 | 0.47 | 441.86 | 150.21 | 2522.24 | |
| 17 | da -17 a -18 m | 1 | 18.80 | 0.47 | 621.47 | 211.53 | 3337.36 | |
| 18 | da -18 a -19 m | 1 | 19.02 | 0.48 | 453.08 | 152.93 | 4050.36 | |
| 19 | da -19 a -20 m | 1 | 19.17 | 0.47 | 849.02 | 289.29 | 4340.30 | |
| 20 | da -20 a -21 m | 1 | 19.18 | 0.46 | 939.85 | 321.05 | 4319.75 | |
| 21 | da -21 a -22 m | 1 | 19.23 | 0.46 | 1117.05 | 383.10 | 4423.21 | |
| 22 | da -22 a -23 m | 1 | 19.29 | 0.46 | 1128.53 | 386.69 | 4612.66 | |
| 23 | da -23 a -24 m | 1 | 19.30 | 0.44 | 1481.30 | 512.69 | 4459.49 | |
| 24 | da -24 a -25 m | 1 | 19.41 | 0.47 | 1042.85 | 355.75 | 5070.32 | |
| 25 | da -25 a -26 m | 1 | 19.48 | 0.46 | 1372.08 | 471.34 | 5140.40 | |
| 26 | da -26 a -27 m | 1 | 19.60 | 0.47 | 1057.91 | 359.98 | 5763.15 | |
| 27 | da -27 a -28 m | 1 | 19.36 | 0.43 | 1855.88 | 648.26 | 4511.43 | |
| 28 | da -28 a -29 m | 1 | 19.55 | 0.43 | 2163.30 | 757.40 | 5015.13 | |
| 29 | da -29 a -30 m | 1 | 19.75 | 0.44 | 2099.53 | 729.04 | 5825.32 | |
| 30 | da -30 a -31 m | 1 | 19.82 | 0.43 | 2443.35 | 853.35 | 5956.05 | |
| 31 | da -31 a -32 m | 1 | 19.97 | 0.44 | 2538.13 | 884.07 | 6556.92 | |
| 32 | da -32 a -33 m | 1 | 19.98 | 0.46 | 1712.17 | 586.76 | 6962.04 | |
| 33 | da -33 a -34 m | 1 | 19.83 | 0.46 | 1413.80 | 482.99 | 6472.72 | |
| 34 | da -34 a -35 m | 1 | 20.14 | 0.47 | 1442.72 | 490.96 | 7829.21 | |
| 35 | da -35 a -36 m | 1 | 19.98 | 0.46 | 1752.23 | 600.87 | 6964.22 | |
| 36 | da -36 a -37 m | 1 | 19.98 | 0.47 | 1187.24 | 403.10 | 7233.57 | |
| 37 | da -37 a -38 m | 1 | 19.56 | 0.46 | 1390.93 | 477.21 | 5438.07 | |
| 38 | da -38 a -39 m | 1 | 19.69 | 0.46 | 1403.83 | 480.57 | 5936.73 | |
| 39 | da -39 a -40 m | 1 | 19.99 | 0.46 | 1755.23 | 601.89 | 6982.21 | |
| 40 | da -40 a -41 m | 1 | 20.07 | 0.45 | 1970.91 | 677.47 | 7237.79 | |
| 41 | da -41 a -42 m | 1 | 20.24 | 0.45 | 2535.77 | 877.12 | 7756.06 | |
| 42 | da -42 a -43 m | 1 | 20.33 | 0.44 | 2911.46 | 1011.31 | 8014.22 | |
| 43 | da -43 a -44 m | 1 | 20.43 | 0.44 | 2932.24 | 1016.48 | 8476.66 | |
| 44 | da -44 a -45 m | 1 | 20.48 | 0.43 | 3387.69 | 1181.51 | 8506.44 | |
| 45 | da -45 a -46 m | 1 | 20.58 | 0.42 | 3969.02 | 1393.24 | 8748.08 | |
| 46 | da -46 a -47 m | 1 | 20.53 | 0.42 | 3954.93 | 1390.26 | 8490.88 | |
| 47 | da -47 a -48 m | 1 | 20.64 | 0.43 | 3865.88 | 1352.57 | 9085.16 | |
| 48 | da -48 a -49 m | 1 | 20.64 | 0.43 | 3867.12 | 1353.01 | 9088.04 | |
| 49 | da -49 a -50 m | 1 | 20.66 | 0.42 | 4258.35 | 1498.11 | 9011.03 | |

| | | | | | | |
|---|---|---------|----------|------------|------|----------|
|  | PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA | | | | | |
| | NODO DI ROMA PRG DI ROMA TUSCOLANA | | | | | |
| INDAGINI GEOFISICHE | | | | | | |
| RELAZIONE INDAGINI GEOFISICHE | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
| | NR2E | 00 R 69 | IG | GE0005 001 | A | 12 di 24 |

Sulla base del profilo di velocità delle onde di taglio V_s nei primi 30 m di profondità a partire da -1 m dal p.c., è possibile determinare una velocità equivalente $V_{s,30}$ rappresentativa del sito in esame.

Secondo la normativa italiana in materia di progettazione antisismica "O.P.C.M. n° 3274/2003" e sue modifiche e le Norme Tecniche di Costruzione (NTC - D.M. 2018), il valore calcolato di $V_{s,eq}$ è riportato di seguito:

$$V_{s,eq} \mathbf{S10} = V_{s,30} = \mathbf{356 \text{ m/s a partire da } -1 \text{ m dal p.c.}}$$

Vista la stratigrafia presente, i profili di velocità delle onde di taglio e i valori di $V_{s,eq}$ indicano una categoria "C" di suolo di fondazione di riferimento.

3.2.2 Prova Down Hole Foro di Sondaggio S11

Nelle pagine seguenti sono riportati i valori delle velocità delle onde P ed S calcolati per i volumi di terreno intorno al foro geotecnico S11.

A partire da esse, come prima accennato, sono calcolati lungo la verticale del foro i valori del Coefficiente di Poisson dinamico (qui indicato col simbolo σ), del Modulo di Young dinamico (E), del Modulo di Rigidità o di Taglio dinamico (μ), nonché del Bulk Modulus (inverso della compressibilità), calcolati così come descritto al precedente paragrafo § 2.1.4..

FORO S11 – VELOCITA' DELLE ONDE P ED S

| Strato | Profondità | Spessore (m) | Velocità Vp media | Velocità Vs media |
|--------|----------------|-----------------|-------------------|-------------------|
| | (m dal p.c.) | | (m/s) | (m/s) |
| 1 | da -1 a -2 m | 1 | 353 | 155 |
| 2 | da -2 a -3 m | 1 | 379 | 211 |
| 3 | da -3 a -4 m | 1 | 487 | 337 |
| 4 | da -4 a -5 m | 1 | 659 | 339 |
| 5 | da -5 a -6 m | 1 | 748 | 449 |
| 6 | da -6 a -7 m | 1 | 775 | 442 |
| 7 | da -7 a -8 m | 1 | 859 | 463 |
| 8 | da -8 a -9 m | 1 | 982 | 473 |
| 9 | da -9 a -10 m | 1 | 1034 | 395 |
| 10 | da -10 a -11 m | 1 | 1089 | 477 |
| 11 | da -11 a -12 m | 1 | 1200 | 498 |
| 12 | da -12 a -13 m | 1 | 1222 | 577 |
| 13 | da -13 a -14 m | 1 | 1397 | 548 |
| 14 | da -14 a -15 m | 1 | 1508 | 616 |
| 15 | da -15 a -16 m | 1 | 1610 | 658 |
| 16 | da -16 a -17 m | 1 | 1668 | 686 |
| 17 | da -17 a -18 m | 1 | 1644 | 669 |
| 18 | da -18 a -19 m | 1 | 1675 | 671 |
| 19 | da -19 a -20 m | 1 | 1706 | 662 |
| 20 | da -20 a -21 m | 1 | 1708 | 621 |
| 21 | da -21 a -22 m | 1 | 1740 | 622 |
| 22 | da -22 a -23 m | 1 | 1577 | 586 |
| 23 | da -23 a -24 m | 1 | 1657 | 586 |
| 24 | da -24 a -25 m | 1 | 1714 | 623 |
| 25 | da -25 a -26 m | 1 | 1745 | 631 |
| 26 | da -26 a -27 m | 1 | 1777 | 615 |
| 27 | da -27 a -28 m | 1 | 1778 | 525 |
| 28 | da -28 a -29 m | 1 | 1879 | 587 |
| 29 | da -29 a -30 m | 1 | 1915 | 499 |
| 30 | da -30 a -31 m | 1 | 1992 | 502 |
| 31 | da -31 a -32 m | 1 | 2054 | 332 |
| 32 | da -32 a -33 m | 1 | 2014 | 370 |
| 33 | da -33 a -34 m | 1 | 2077 | 256 |
| 34 | da -34 a -35 m | 1 | 2167 | 294 |
| 35 | da -35 a -36 m | 1 | 2168 | 363 |
| 36 | da -36 a -37 m | 1 | 2216 | 444 |
| 37 | da -37 a -38 m | 1 | 2217 | 499 |
| 38 | da -38 a -39 m | 1 | 2267 | 587 |
| 39 | da -39 a -40 m | 1 | 2320 | 624 |

FORO S11 – PARAMETRI DINAMICI

| Strato | Profondità | Spessore | γ | Poisson | Young | Share | Bulk | Vseq (da -1 m per H=30 m) |
|--------|----------------|----------|----------------------|---------|---------|--------|---------|------------------------------|
| | (m dal p.c.) | (m) | (kN/m ³) | | (MPa) | (MPa) | (MPa) | |
| 1 | da -1 a -2 m | 1 | 16.71 | 0.38 | 108.48 | 39.29 | 151.19 | 467 |
| 2 | da -2 a -3 m | 1 | 16.76 | 0.28 | 186.71 | 73.21 | 138.42 | |
| 3 | da -3 a -4 m | 1 | 16.97 | 0.04 | 393.83 | 189.56 | 142.33 | |
| 4 | da -4 a -5 m | 1 | 17.32 | 0.32 | 514.89 | 195.03 | 476.77 | |
| 5 | da -5 a -6 m | 1 | 17.50 | 0.22 | 842.33 | 345.46 | 499.83 | |
| 6 | da -6 a -7 m | 1 | 17.55 | 0.26 | 847.74 | 336.74 | 585.63 | |
| 7 | da -7 a -8 m | 1 | 17.72 | 0.29 | 965.87 | 372.99 | 784.44 | |
| 8 | da -8 a -9 m | 1 | 17.96 | 0.35 | 1061.92 | 393.53 | 1173.77 | |
| 9 | da -9 a -10 m | 1 | 18.07 | 0.41 | 782.63 | 276.63 | 1527.46 | |
| 10 | da -10 a -11 m | 1 | 18.18 | 0.38 | 1118.47 | 404.81 | 1572.89 | |
| 11 | da -11 a -12 m | 1 | 18.40 | 0.40 | 1248.81 | 447.25 | 2003.51 | |
| 12 | da -12 a -13 m | 1 | 18.44 | 0.36 | 1634.82 | 602.69 | 1895.57 | |
| 13 | da -13 a -14 m | 1 | 18.79 | 0.41 | 1558.08 | 552.81 | 2860.86 | |
| 14 | da -14 a -15 m | 1 | 19.02 | 0.40 | 1982.73 | 708.26 | 3295.12 | |
| 15 | da -15 a -16 m | 1 | 19.22 | 0.40 | 2285.22 | 816.35 | 3795.59 | |
| 16 | da -16 a -17 m | 1 | 19.34 | 0.40 | 2498.36 | 893.52 | 4084.00 | |
| 17 | da -17 a -18 m | 1 | 19.29 | 0.40 | 2370.59 | 846.09 | 3987.42 | |
| 18 | da -18 a -19 m | 1 | 19.35 | 0.40 | 2396.84 | 853.22 | 4186.72 | |
| 19 | da -19 a -20 m | 1 | 19.41 | 0.41 | 2354.67 | 834.15 | 4429.80 | |
| 20 | da -20 a -21 m | 1 | 19.42 | 0.42 | 2093.98 | 735.37 | 4577.39 | |
| 21 | da -21 a -22 m | 1 | 19.48 | 0.43 | 2107.98 | 738.71 | 4798.94 | |
| 22 | da -22 a -23 m | 1 | 19.15 | 0.42 | 1830.71 | 644.63 | 3813.13 | |
| 23 | da -23 a -24 m | 1 | 19.31 | 0.43 | 1858.46 | 650.51 | 4330.15 | |
| 24 | da -24 a -25 m | 1 | 19.43 | 0.42 | 2104.15 | 738.81 | 4614.64 | |
| 25 | da -25 a -26 m | 1 | 19.49 | 0.42 | 2167.16 | 760.48 | 4807.68 | |
| 26 | da -26 a -27 m | 1 | 19.55 | 0.43 | 2080.10 | 726.36 | 5087.46 | |
| 27 | da -27 a -28 m | 1 | 19.56 | 0.45 | 1536.46 | 529.01 | 5356.59 | |
| 28 | da -28 a -29 m | 1 | 19.76 | 0.45 | 1929.83 | 667.33 | 5948.93 | |
| 29 | da -29 a -30 m | 1 | 19.83 | 0.46 | 1418.50 | 484.60 | 6488.44 | |
| 30 | da -30 a -31 m | 1 | 19.98 | 0.47 | 1446.74 | 493.38 | 7121.08 | |
| 31 | da -31 a -32 m | 1 | 20.11 | 0.49 | 646.39 | 217.41 | 8031.88 | |
| 32 | da -32 a -33 m | 1 | 20.03 | 0.48 | 797.64 | 269.02 | 7604.02 | |
| 33 | da -33 a -34 m | 1 | 20.15 | 0.49 | 387.67 | 129.89 | 8350.64 | |
| 34 | da -34 a -35 m | 1 | 20.33 | 0.49 | 513.91 | 172.38 | 9135.99 | |
| 35 | da -35 a -36 m | 1 | 20.34 | 0.49 | 781.91 | 263.17 | 9019.69 | |
| 36 | da -36 a -37 m | 1 | 20.43 | 0.48 | 1169.68 | 395.41 | 9313.66 | |
| 37 | da -37 a -38 m | 1 | 20.43 | 0.47 | 1472.85 | 499.86 | 9178.58 | |
| 38 | da -38 a -39 m | 1 | 20.53 | 0.46 | 2034.79 | 694.93 | 9424.22 | |
| 39 | da -39 a -40 m | 1 | 20.64 | 0.46 | 2303.97 | 788.49 | 9844.42 | |

Sulla base del profilo di velocità delle onde di taglio Vs nei primi 30 m di profondità a partire da -1 m dal p.c., è possibile determinare una velocità equivalente Vs₃₀ rappresentativa del sito in esame. Secondo la normativa italiana in materia di progettazione antisismica "O.P.C.M. n° 3274/2003" e sue modifiche e le Norme Tecniche di Costruzione (D.M. 2018), il valore calcolato di Vs,eq è riportato di seguito:

$$V_{s,eq} \text{ S11} = V_{s,30} = 467 \text{ m/s a partire da } -1 \text{ m dal p.c.}$$

Vista la stratigrafia presente, i profili di velocità delle onde di taglio e i valori di Vs,eq indicano una categoria "B" di suolo di fondazione di riferimento.

| | | | | | | |
|---|---|---------|----------|------------|------|----------|
|  | PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA | | | | | |
| | NODO DI ROMA PRG DI ROMA TUSCOLANA | | | | | |
| INDAGINI GEOFISICHE | | | | | | |
| RELAZIONE INDAGINI GEOFISICHE | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
| | NR2E | 00 R 69 | IG | GE0005 001 | A | 15 di 24 |

4. BIBLIOGRAFIA

- Aki K., 1964. A note on the use of microseisms in determining the shallow structures of the earth's crust, *Geophysics*, 29, 665–666.
- Ben-Menahem A. E SINGH S.J., 1981. *Seismic Waves and Sources*, Springer-Verlag, New York.
- Cavinato, G. P., Di Luzio, E., Moscatelli, M., Vallone, R., Averardi, M., Valente, A., and Papale, S. [2006] The new Col di Tenda tunnel between Italy and France: Integrated geological investigations and geophysical prospections for preliminary studies on the Italian side. *Engineering Geology* 88, 90-109.
- Coffeen, J.A., 1978. "Seismic exploration fundamentals". Pubb. Co.;
- Diebold J.B. and Stoffa P.L. 1981. The travelttime equation, tau-p mapping, and inversion of common midpoint data. *Geophysics*, volume 46, p. 238-254.
- Dobrin, M.B., 1976. "Introduction to Geophysical prospecting". McGraw-Hill Book Co.;
- Herrmann R.B. and Ammon C. J., 2002. " Computer Programs in Seismology" ver. 3.20.
- Milton B. Dobrin, Carl H. Savit, 1988, *Introduction to Geophysical Prospecting*, fourth Edition, McGraw-Hill International Editions e R.E. Goodman, 1989, *Introduction to Rock Mechanics*, second Edition, John Wiley & Sons.
- Watanabe, T.; Matsuoka, T.; Ashida, Y., 1999, *Seismic travelttime tomography using Fresnel volume approach*, SEG Houston 1999, Expanded Abstracts. <http://dx.doi.org/10.1190/1.1820777>.



PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA

**NODO DI ROMA
PRG DI ROMA TUSCOLANA**

INDAGINI GEOFISICHE

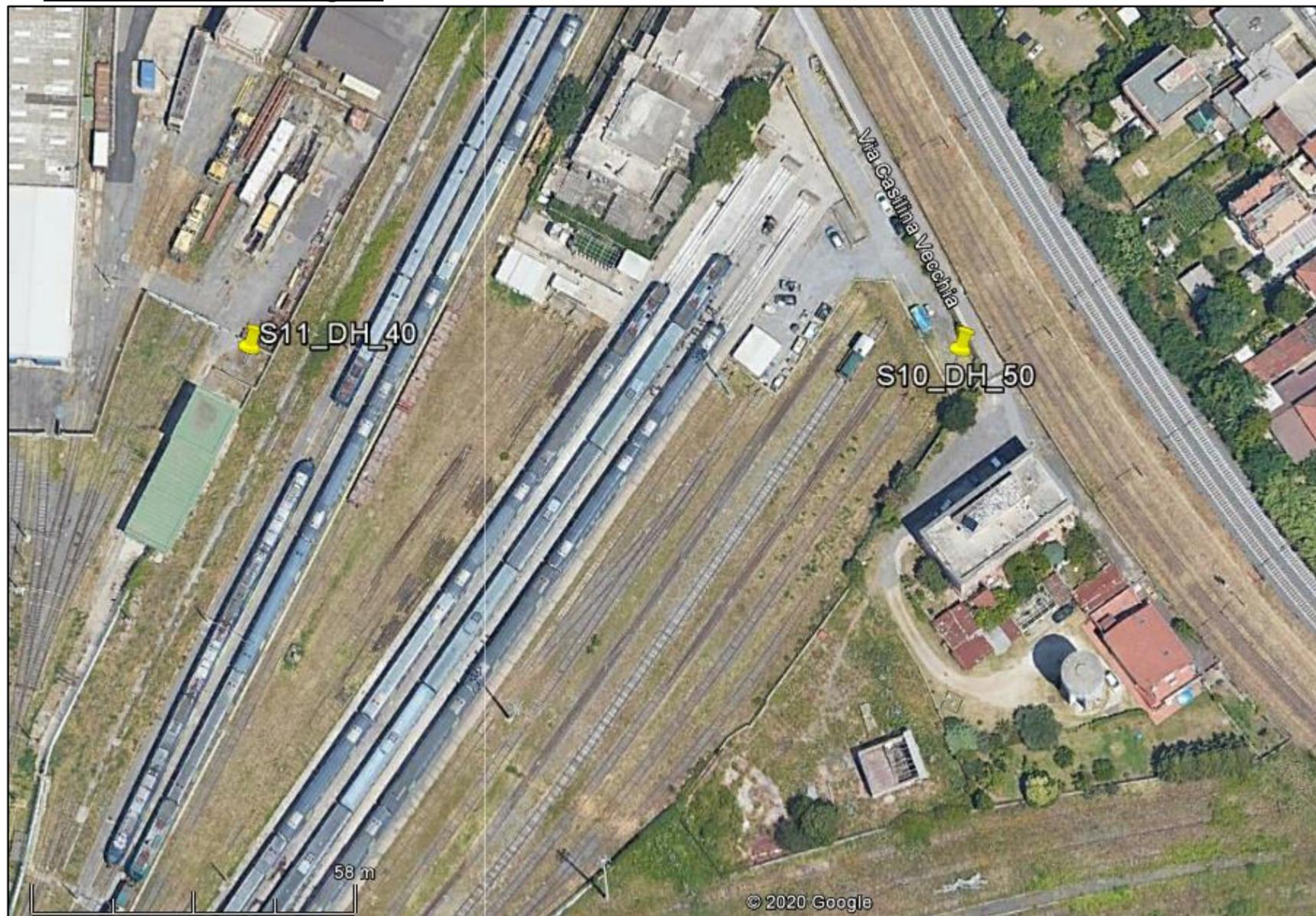
RELAZIONE INDAGINI GEOFISICHE

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|---------|----------|------------|------|----------|
| NR2E | 00 R 69 | IG | GE0005 001 | A | 16 di 24 |

5. ALLEGATO GRAFICO – INDAGINI DOWN HOLE

INDAGINE SISMICA DOWN HOLE S10

Ubicazione dell'indagine



TAVOLA

1

OGGETTO:

Indagine geofisiche
DOWN HOLE

Progetto:

FATTIBILITA' TECNICA
ECONOMICA
NODO DI ROMA

PRG DI ROMA
TUSCOLANA



Per la
**SOING Strutture e
Ambiente srl**

ELAB G. Luciani

VERIFICA A. Morelli

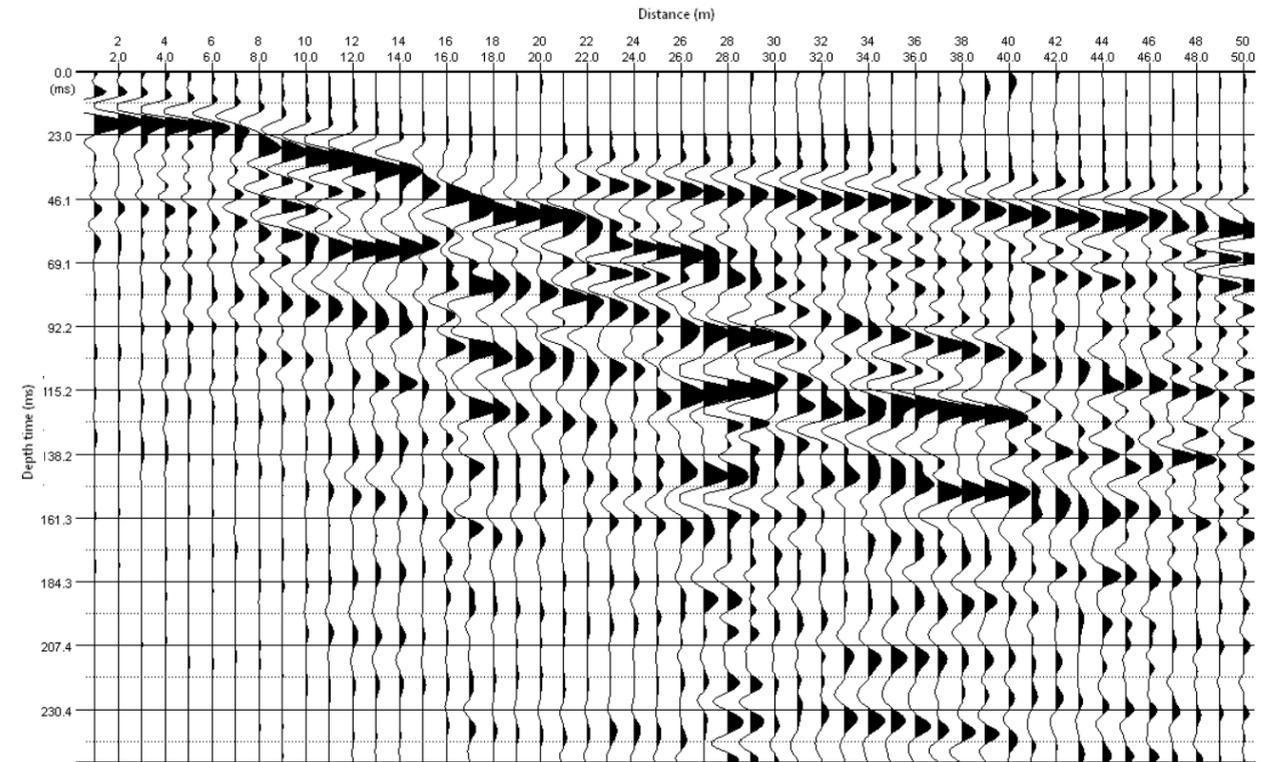
APPROV. P. Chiara

INDAGINE SISMICA DOWN HOLE S10

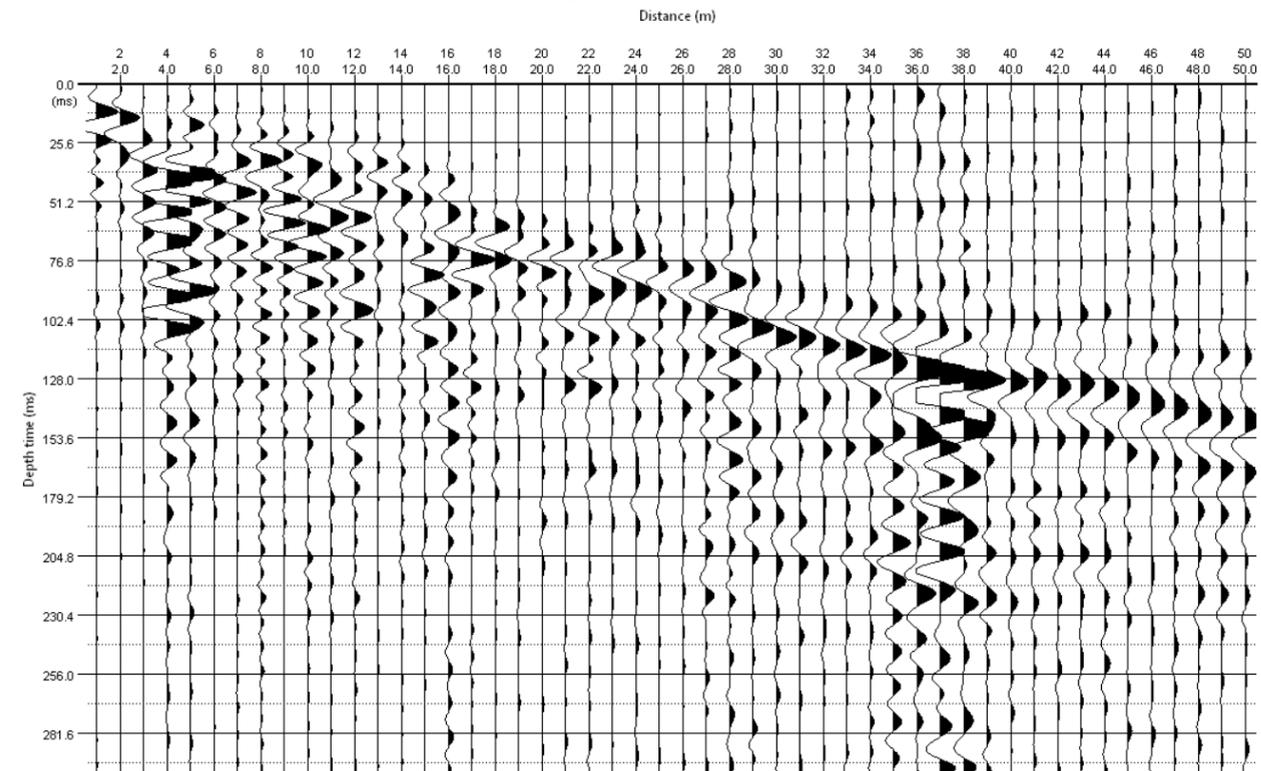
| Profondità (m) | Tempi oss (ms) | | Tempi corr (ms) | |
|----------------|----------------|-------|-----------------|--------|
| | P | S | P | S |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 7.73 | 3.46 | 11.82 | 5.28 |
| 2 | 8.55 | 6.05 | 15.75 | 11.14 |
| 3 | 9.37 | 7.80 | 21.17 | 17.61 |
| 4 | 10.60 | 9.48 | 24.61 | 22.02 |
| 5 | 11.60 | 10.77 | 26.50 | 24.60 |
| 6 | 12.65 | 12.00 | 28.55 | 27.09 |
| 7 | 13.80 | 13.27 | 30.50 | 29.33 |
| 8 | 14.90 | 14.46 | 33.00 | 32.01 |
| 9 | 16.00 | 15.62 | 35.44 | 34.60 |
| 10 | 17.20 | 16.87 | 37.60 | 36.87 |
| 11 | 18.40 | 18.10 | 40.00 | 39.35 |
| 12 | 19.60 | 19.33 | 42.00 | 41.43 |
| 13 | 20.70 | 20.46 | 44.50 | 43.98 |
| 14 | 21.80 | 21.58 | 48.00 | 47.52 |
| 15 | 22.90 | 22.70 | 51.20 | 50.75 |
| 16 | 23.80 | 23.62 | 55.63 | 55.20 |
| 17 | 24.60 | 24.43 | 59.07 | 58.67 |
| 18 | 25.30 | 25.15 | 62.00 | 61.62 |
| 19 | 25.95 | 25.81 | 65.47 | 65.11 |
| 20 | 26.57 | 26.44 | 68.00 | 67.66 |
| 21 | 27.19 | 27.07 | 70.40 | 70.08 |
| 22 | 27.80 | 27.69 | 72.60 | 72.30 |
| 23 | 28.40 | 28.29 | 74.80 | 74.51 |
| 24 | 29.00 | 28.90 | 76.70 | 76.44 |
| 25 | 29.58 | 29.49 | 79.00 | 78.75 |
| 26 | 30.15 | 30.06 | 81.00 | 80.76 |
| 27 | 30.70 | 30.62 | 83.30 | 83.07 |
| 28 | 31.29 | 31.21 | 85.00 | 84.78 |
| 29 | 31.85 | 31.77 | 86.58 | 86.37 |
| 30 | 32.38 | 32.31 | 88.20 | 88.00 |
| 31 | 32.90 | 32.83 | 89.70 | 89.51 |
| 32 | 33.40 | 33.33 | 91.18 | 91.00 |
| 33 | 33.90 | 33.84 | 93.00 | 92.83 |
| 34 | 34.42 | 34.36 | 95.00 | 94.84 |
| 35 | 34.90 | 34.84 | 97.00 | 96.84 |
| 36 | 35.40 | 35.35 | 98.80 | 98.65 |
| 37 | 35.90 | 35.85 | 101.00 | 100.85 |
| 38 | 36.46 | 36.41 | 103.00 | 102.86 |
| 39 | 37.00 | 36.95 | 105.00 | 104.86 |
| 40 | 37.50 | 37.45 | 106.80 | 106.67 |
| 41 | 37.99 | 37.94 | 108.50 | 108.37 |
| 42 | 38.46 | 38.42 | 110.00 | 109.88 |
| 43 | 38.92 | 38.88 | 111.40 | 111.28 |
| 44 | 39.37 | 39.33 | 112.80 | 112.68 |
| 45 | 39.82 | 39.78 | 114.10 | 113.99 |
| 46 | 40.25 | 40.21 | 115.30 | 115.19 |
| 47 | 40.69 | 40.65 | 116.50 | 116.39 |
| 48 | 41.12 | 41.08 | 117.72 | 117.62 |
| 49 | 41.55 | 41.52 | 118.94 | 118.84 |
| 50 | 41.98 | 41.94 | 120.10 | 120.00 |

Tabella dei tempi osservati e corretti Onde P e S

Sismogramma Onde P



Sismogramma Onde S



TAVOLA

2

OGGETTO:

Indagine geofisiche
DOWN HOLE

Progetto:

FATTIBILITA' TECNICA
ECONOMICA
NODO DI ROMA

PRG DI ROMA
TUSCOLANA



Per la
**SOING Strutture e
Ambiente srl**

ELAB G. Luciani

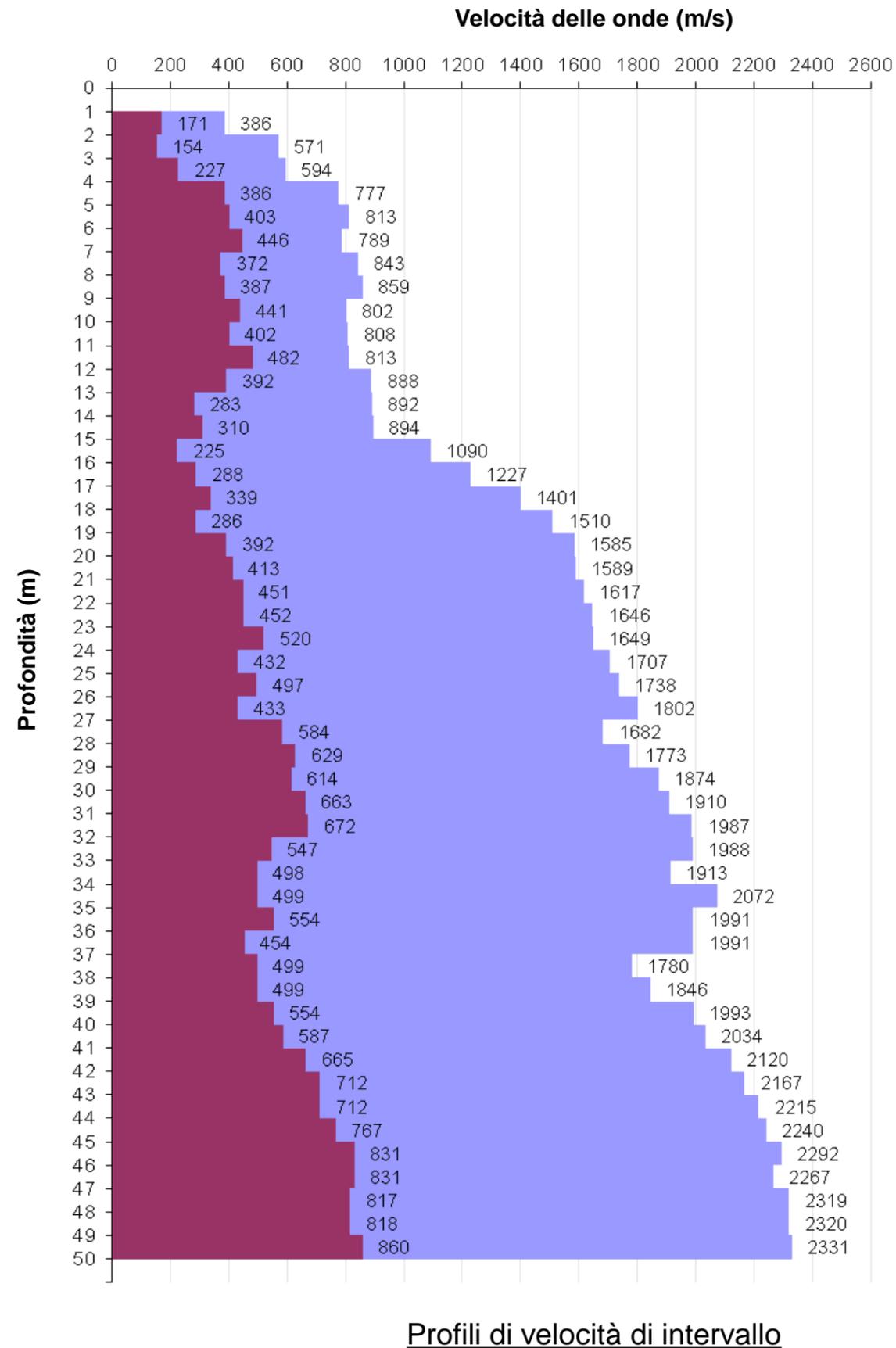
VERIFICA A. Morelli

APPROV. P. Chiara

INDAGINE SISMICA DOWN HOLE S10

Velocità delle onde P ed S

| Strato | Profondità | Spessore | Velocità Vp media | Velocità Vs media |
|--------|----------------|----------|-------------------|-------------------|
| | (m dal p.c.) | | (m/s) | (m/s) |
| 1 | da -1 a -2 m | 1 | 386 | 171 |
| 2 | da -2 a -3 m | 1 | 571 | 154 |
| 3 | da -3 a -4 m | 1 | 594 | 227 |
| 4 | da -4 a -5 m | 1 | 777 | 386 |
| 5 | da -5 a -6 m | 1 | 813 | 403 |
| 6 | da -6 a -7 m | 1 | 789 | 446 |
| 7 | da -7 a -8 m | 1 | 843 | 372 |
| 8 | da -8 a -9 m | 1 | 859 | 387 |
| 9 | da -9 a -10 m | 1 | 802 | 441 |
| 10 | da -10 a -11 m | 1 | 808 | 402 |
| 11 | da -11 a -12 m | 1 | 813 | 482 |
| 12 | da -12 a -13 m | 1 | 888 | 392 |
| 13 | da -13 a -14 m | 1 | 892 | 283 |
| 14 | da -14 a -15 m | 1 | 894 | 310 |
| 15 | da -15 a -16 m | 1 | 1090 | 225 |
| 16 | da -16 a -17 m | 1 | 1227 | 288 |
| 17 | da -17 a -18 m | 1 | 1401 | 339 |
| 18 | da -18 a -19 m | 1 | 1510 | 286 |
| 19 | da -19 a -20 m | 1 | 1585 | 392 |
| 20 | da -20 a -21 m | 1 | 1589 | 413 |
| 21 | da -21 a -22 m | 1 | 1617 | 451 |
| 22 | da -22 a -23 m | 1 | 1646 | 452 |
| 23 | da -23 a -24 m | 1 | 1649 | 520 |
| 24 | da -24 a -25 m | 1 | 1707 | 432 |
| 25 | da -25 a -26 m | 1 | 1738 | 497 |
| 26 | da -26 a -27 m | 1 | 1802 | 433 |
| 27 | da -27 a -28 m | 1 | 1682 | 584 |
| 28 | da -28 a -29 m | 1 | 1773 | 629 |
| 29 | da -29 a -30 m | 1 | 1874 | 614 |
| 30 | da -30 a -31 m | 1 | 1910 | 663 |
| 31 | da -31 a -32 m | 1 | 1987 | 672 |
| 32 | da -32 a -33 m | 1 | 1988 | 547 |
| 33 | da -33 a -34 m | 1 | 1913 | 498 |
| 34 | da -34 a -35 m | 1 | 2072 | 499 |
| 35 | da -35 a -36 m | 1 | 1991 | 554 |
| 36 | da -36 a -37 m | 1 | 1991 | 454 |
| 37 | da -37 a -38 m | 1 | 1780 | 499 |
| 38 | da -38 a -39 m | 1 | 1846 | 499 |
| 39 | da -39 a -40 m | 1 | 1993 | 554 |
| 40 | da -40 a -41 m | 1 | 2034 | 587 |
| 41 | da -41 a -42 m | 1 | 2120 | 665 |
| 42 | da -42 a -43 m | 1 | 2167 | 712 |
| 43 | da -43 a -44 m | 1 | 2215 | 712 |
| 44 | da -44 a -45 m | 1 | 2240 | 767 |
| 45 | da -45 a -46 m | 1 | 2292 | 831 |
| 46 | da -46 a -47 m | 1 | 2267 | 831 |
| 47 | da -47 a -48 m | 1 | 2319 | 817 |
| 48 | da -48 a -49 m | 1 | 2320 | 818 |
| 49 | da -49 a -50 m | 1 | 2331 | 860 |



TAVOLA

3

OGGETTO:

Indagine geofisiche
DOWN HOLE

Progetto:

FATTIBILITA' TECNICA
ECONOMICA
NODO DI ROMA

PRG DI ROMA
TUSCOLANA



Per la
**SOING Strutture e
Ambiente srl**

ELAB G. Luciani

VERIFICA A. Morelli

APPROV. P. Chiara

Parametri dinamici e velocità equivalente

| Strato | Profondità (m dal p.c.) | Spessore (m) | γ (kN/m ³) | Poisson | Young (MPa) | Share (MPa) | Bulk (MPa) | Vseq (da -1 m per H=30 m) |
|--------|----------------------------|-----------------|----------------------------------|---------|----------------|----------------|---------------|------------------------------|
| 1 | da -1 a -2 m | 1 | 16.77 | 0.38 | 132.26 | 47.98 | 181.26 | 356 |
| 2 | da -2 a -3 m | 1 | 17.14 | 0.46 | 117.18 | 40.11 | 495.33 | |
| 3 | da -3 a -4 m | 1 | 17.19 | 0.41 | 245.98 | 86.96 | 478.49 | |
| 4 | da -4 a -5 m | 1 | 17.55 | 0.34 | 685.96 | 256.78 | 695.91 | |
| 5 | da -5 a -6 m | 1 | 17.63 | 0.34 | 750.22 | 280.54 | 767.48 | |
| 6 | da -6 a -7 m | 1 | 17.58 | 0.26 | 868.74 | 343.64 | 613.60 | |
| 7 | da -7 a -8 m | 1 | 17.69 | 0.38 | 662.02 | 240.01 | 912.88 | |
| 8 | da -8 a -9 m | 1 | 17.72 | 0.37 | 713.86 | 259.98 | 936.11 | |
| 9 | da -9 a -10 m | 1 | 17.60 | 0.28 | 860.37 | 335.07 | 663.45 | |
| 10 | da -10 a -11 m | 1 | 17.62 | 0.34 | 747.11 | 279.77 | 755.61 | |
| 11 | da -11 a -12 m | 1 | 17.63 | 0.23 | 987.62 | 401.94 | 606.39 | |
| 12 | da -12 a -13 m | 1 | 17.78 | 0.38 | 737.29 | 267.26 | 1018.69 | |
| 13 | da -13 a -14 m | 1 | 17.78 | 0.44 | 403.05 | 139.56 | 1200.22 | |
| 14 | da -14 a -15 m | 1 | 17.79 | 0.43 | 478.77 | 167.18 | 1172.22 | |
| 15 | da -15 a -16 m | 1 | 18.18 | 0.48 | 266.17 | 90.06 | 1999.81 | |
| 16 | da -16 a -17 m | 1 | 18.45 | 0.47 | 441.86 | 150.21 | 2522.24 | |
| 17 | da -17 a -18 m | 1 | 18.80 | 0.47 | 621.47 | 211.53 | 3337.36 | |
| 18 | da -18 a -19 m | 1 | 19.02 | 0.48 | 453.08 | 152.93 | 4050.36 | |
| 19 | da -19 a -20 m | 1 | 19.17 | 0.47 | 849.02 | 289.29 | 4340.30 | |
| 20 | da -20 a -21 m | 1 | 19.18 | 0.46 | 939.85 | 321.05 | 4319.75 | |
| 21 | da -21 a -22 m | 1 | 19.23 | 0.46 | 1117.05 | 383.10 | 4423.21 | |
| 22 | da -22 a -23 m | 1 | 19.29 | 0.46 | 1128.53 | 386.69 | 4612.66 | |
| 23 | da -23 a -24 m | 1 | 19.30 | 0.44 | 1481.30 | 512.69 | 4459.49 | |
| 24 | da -24 a -25 m | 1 | 19.41 | 0.47 | 1042.85 | 355.75 | 5070.32 | |
| 25 | da -25 a -26 m | 1 | 19.48 | 0.46 | 1372.08 | 471.34 | 5140.40 | |
| 26 | da -26 a -27 m | 1 | 19.60 | 0.47 | 1057.91 | 359.98 | 5763.15 | |
| 27 | da -27 a -28 m | 1 | 19.36 | 0.43 | 1855.88 | 648.26 | 4511.43 | |
| 28 | da -28 a -29 m | 1 | 19.55 | 0.43 | 2163.30 | 757.40 | 5015.13 | |
| 29 | da -29 a -30 m | 1 | 19.75 | 0.44 | 2099.53 | 729.04 | 5825.32 | |
| 30 | da -30 a -31 m | 1 | 19.82 | 0.43 | 2443.35 | 853.35 | 5956.05 | |
| 31 | da -31 a -32 m | 1 | 19.97 | 0.44 | 2538.13 | 884.07 | 6556.92 | |
| 32 | da -32 a -33 m | 1 | 19.98 | 0.46 | 1712.17 | 586.76 | 6962.04 | |
| 33 | da -33 a -34 m | 1 | 19.83 | 0.46 | 1413.80 | 482.99 | 6472.72 | |
| 34 | da -34 a -35 m | 1 | 20.14 | 0.47 | 1442.72 | 490.96 | 7829.21 | |
| 35 | da -35 a -36 m | 1 | 19.98 | 0.46 | 1752.23 | 600.87 | 6964.22 | |
| 36 | da -36 a -37 m | 1 | 19.98 | 0.47 | 1187.24 | 403.10 | 7233.57 | |
| 37 | da -37 a -38 m | 1 | 19.56 | 0.46 | 1390.93 | 477.21 | 5438.07 | |
| 38 | da -38 a -39 m | 1 | 19.69 | 0.46 | 1403.83 | 480.57 | 5936.73 | |
| 39 | da -39 a -40 m | 1 | 19.99 | 0.46 | 1755.23 | 601.89 | 6982.21 | |
| 40 | da -40 a -41 m | 1 | 20.07 | 0.45 | 1970.91 | 677.47 | 7237.79 | |
| 41 | da -41 a -42 m | 1 | 20.24 | 0.45 | 2535.77 | 877.12 | 7756.06 | |
| 42 | da -42 a -43 m | 1 | 20.33 | 0.44 | 2911.46 | 1011.31 | 8014.22 | |
| 43 | da -43 a -44 m | 1 | 20.43 | 0.44 | 2932.24 | 1016.48 | 8476.66 | |
| 44 | da -44 a -45 m | 1 | 20.48 | 0.43 | 3387.69 | 1181.51 | 8506.44 | |
| 45 | da -45 a -46 m | 1 | 20.58 | 0.42 | 3969.02 | 1393.24 | 8748.08 | |
| 46 | da -46 a -47 m | 1 | 20.53 | 0.42 | 3954.93 | 1390.26 | 8490.88 | |
| 47 | da -47 a -48 m | 1 | 20.64 | 0.43 | 3865.88 | 1352.57 | 9085.16 | |
| 48 | da -48 a -49 m | 1 | 20.64 | 0.43 | 3867.12 | 1353.01 | 9088.04 | |
| 49 | da -49 a -50 m | 1 | 20.66 | 0.42 | 4258.35 | 1498.11 | 9011.03 | |

OGGETTO:

Indagine geofisiche
DOWN HOLE

Progetto:

FATTIBILITA' TECNICA
ECONOMICA
NODO DI ROMA

PRG DI ROMA
TUSCOLANA



**Per la
SOING Strutture e
Ambiente srl**

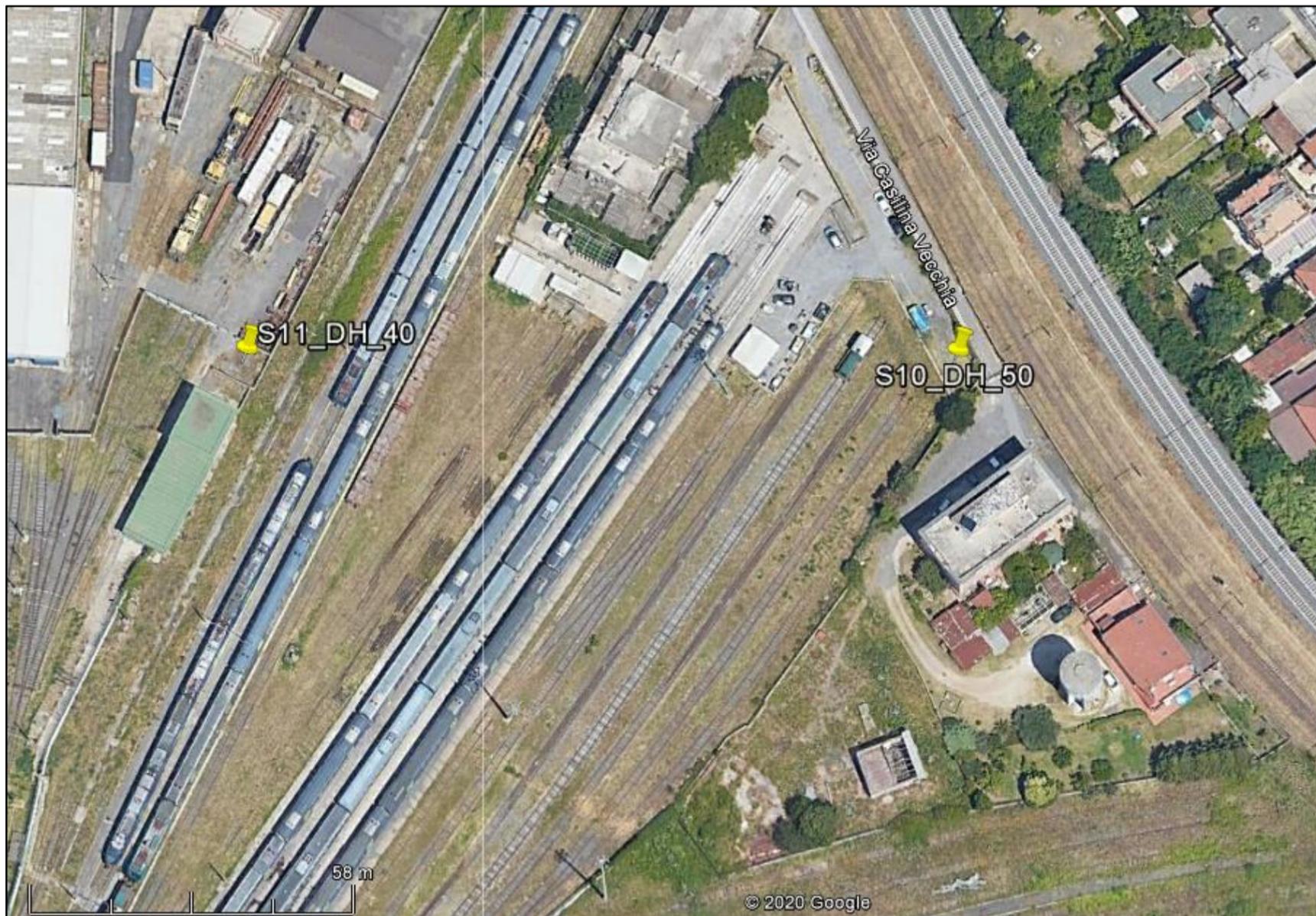
ELAB G. Luciani

VERIFICA A. Morelli

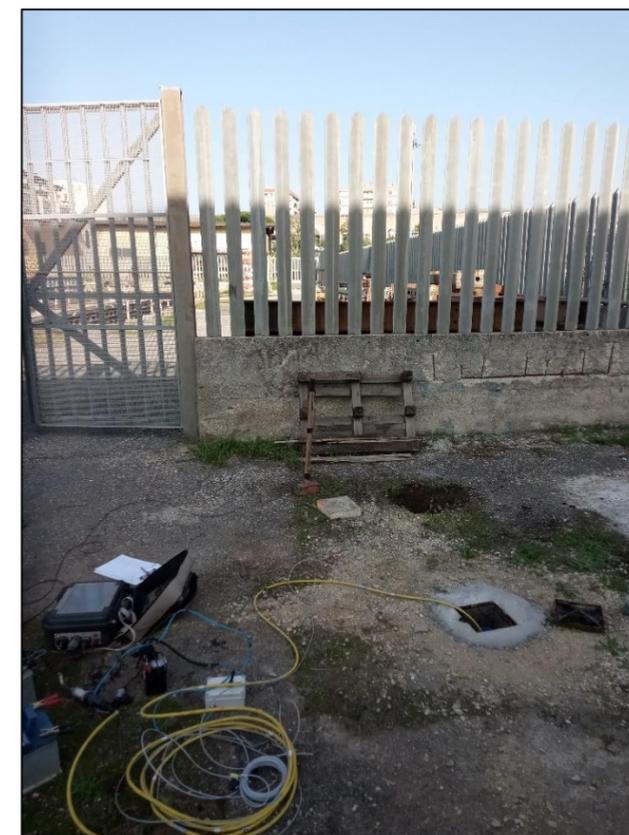
APPROV. P. Chiara

INDAGINE SISMICA DOWN HOLE S11

Ubicazione dell'indagine



Fase di acquisizione dati S11



TAVOLA

5

OGGETTO:

Indagine geofisiche
DOWN HOLE

Progetto:

FATTIBILITA' TECNICA
ECONOMICA
NODO DI ROMA

PRG DI ROMA
TUSCOLANA



Per la
**SOING Strutture e
Ambiente srl**

ELAB G. Luciani

VERIFICA A. Morelli

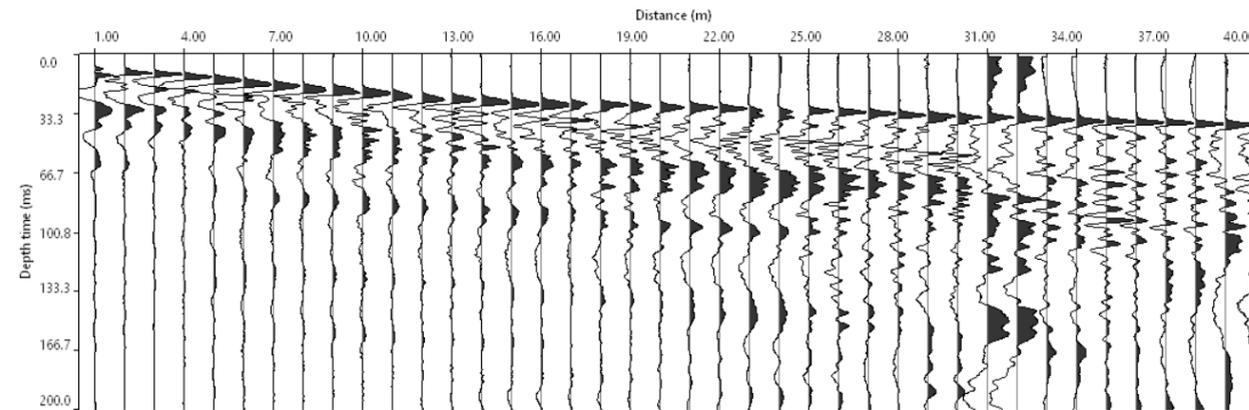
APPROV. P. Chiara

INDAGINE SISMICA DOWN HOLE S11

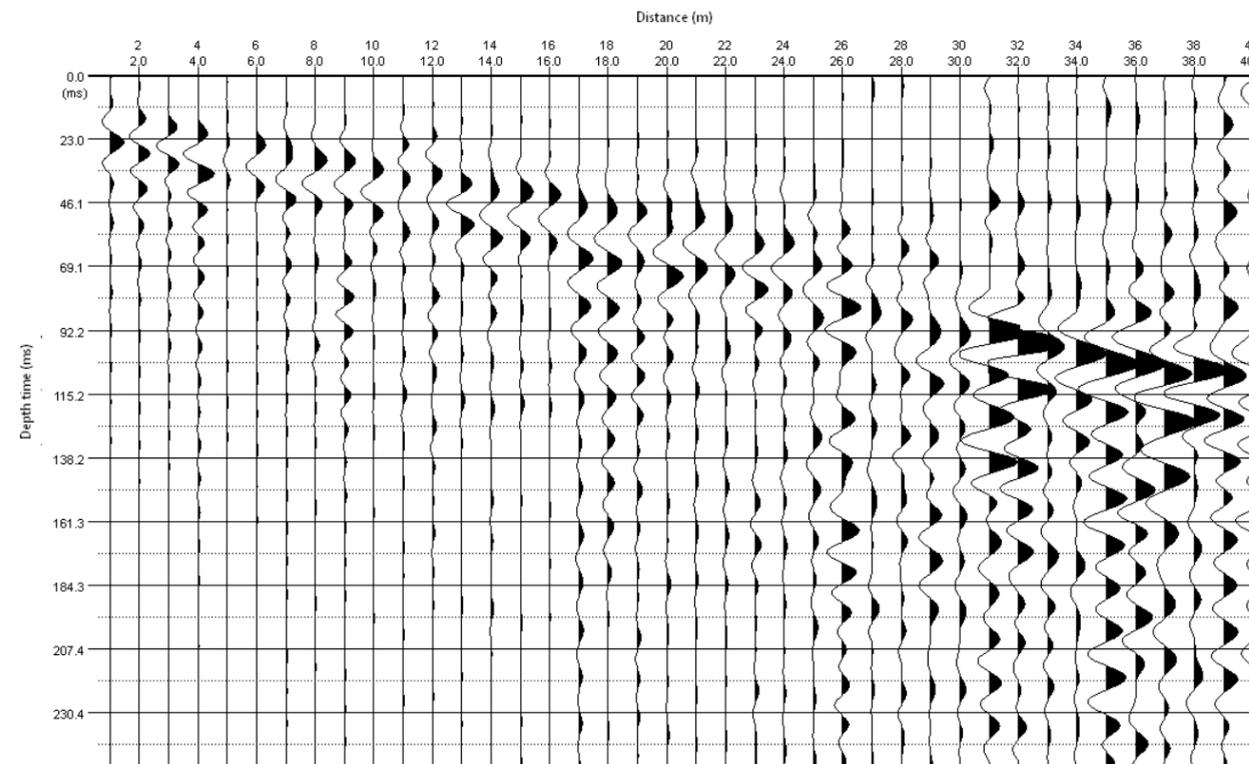
| Profondità (m) | Tempi oss (ms) | | Tempi corr (ms) | |
|----------------|----------------|-------|-----------------|-------|
| | P | P | S | S |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 7.87 | 4.36 | 10.26 | 5.69 |
| 2 | 9.00 | 7.20 | 15.19 | 12.15 |
| 3 | 11.00 | 9.84 | 18.88 | 16.89 |
| 4 | 12.70 | 11.89 | 21.20 | 19.85 |
| 5 | 14.00 | 13.41 | 23.81 | 22.80 |
| 6 | 15.20 | 14.75 | 25.80 | 25.03 |
| 7 | 16.40 | 16.04 | 27.91 | 27.29 |
| 8 | 17.50 | 17.20 | 29.96 | 29.45 |
| 9 | 18.47 | 18.22 | 32.00 | 31.56 |
| 10 | 19.40 | 19.19 | 34.48 | 34.10 |
| 11 | 20.29 | 20.10 | 36.53 | 36.19 |
| 12 | 21.10 | 20.94 | 38.50 | 38.20 |
| 13 | 21.90 | 21.76 | 40.20 | 39.94 |
| 14 | 22.60 | 22.47 | 42.00 | 41.76 |
| 15 | 23.25 | 23.13 | 43.60 | 43.38 |
| 16 | 23.86 | 23.76 | 45.10 | 44.90 |
| 17 | 24.45 | 24.36 | 46.54 | 46.36 |
| 18 | 25.05 | 24.96 | 48.02 | 47.86 |
| 19 | 25.64 | 25.56 | 49.50 | 49.35 |
| 20 | 26.22 | 26.15 | 51.00 | 50.86 |
| 21 | 26.80 | 26.73 | 52.60 | 52.47 |
| 22 | 27.37 | 27.31 | 54.20 | 54.07 |
| 23 | 28.00 | 27.94 | 55.90 | 55.78 |
| 24 | 28.60 | 28.54 | 57.60 | 57.49 |
| 25 | 29.18 | 29.13 | 59.20 | 59.09 |
| 26 | 29.75 | 29.70 | 60.78 | 60.68 |
| 27 | 30.31 | 30.26 | 62.40 | 62.30 |
| 28 | 30.87 | 30.83 | 64.30 | 64.21 |
| 29 | 31.40 | 31.36 | 66.00 | 65.91 |
| 30 | 31.92 | 31.88 | 68.00 | 67.92 |
| 31 | 32.42 | 32.38 | 69.99 | 69.91 |
| 32 | 32.91 | 32.87 | 73.00 | 72.92 |
| 33 | 33.40 | 33.37 | 75.70 | 75.62 |
| 34 | 33.88 | 33.85 | 79.60 | 79.52 |
| 35 | 34.34 | 34.31 | 83.00 | 82.92 |
| 36 | 34.80 | 34.77 | 85.75 | 85.68 |
| 37 | 35.25 | 35.22 | 88.00 | 87.93 |
| 38 | 35.70 | 35.67 | 90.00 | 89.93 |
| 39 | 36.14 | 36.11 | 91.70 | 91.63 |
| 40 | 36.57 | 36.54 | 93.30 | 93.23 |

Tabella dei tempi osservati e corretti Onde P e S

Sismogramma Onde P



Sismogramma Onde S



TAVOLA

6

OGGETTO:

Indagine geofisiche
DOWN HOLE

Progetto:

FATTIBILITA' TECNICA
ECONOMICA
NODO DI ROMA

PRG DI ROMA
TUSCOLANA



Per la
**SOING Strutture e
Ambiente srl**

ELAB G. Luciani

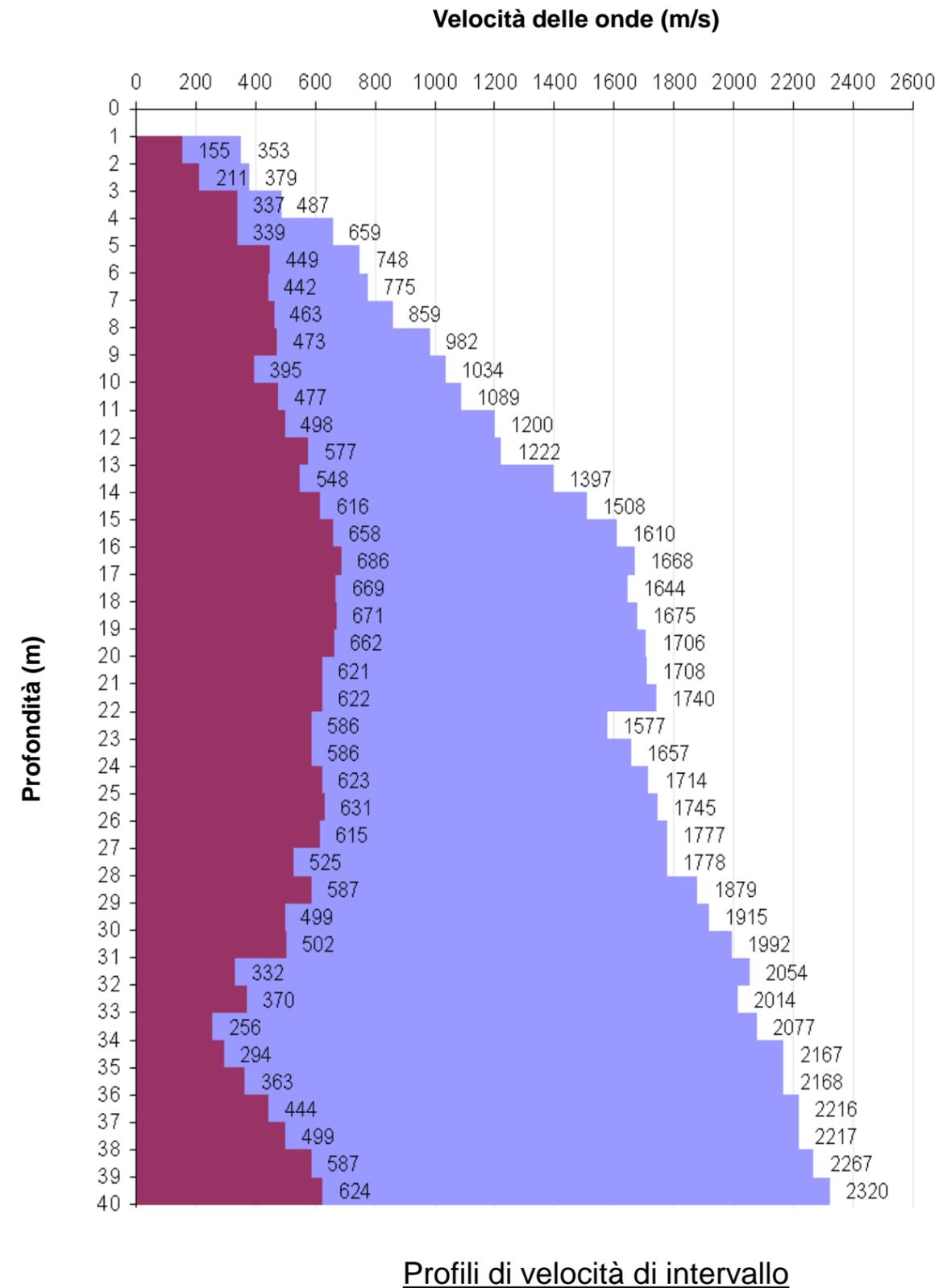
VERIFICA A. Morelli

APPROV. P. Chiara

INDAGINE SISMICA DOWN HOLE S11

Velocità delle onde P ed S

| Strato | Profondità | Spessore | Velocità Vp media | Velocità Vs media |
|--------|----------------|----------|-------------------|-------------------|
| | (m dal p.c.) | | (m/s) | (m/s) |
| 1 | da -1 a -2 m | 1 | 353 | 155 |
| 2 | da -2 a -3 m | 1 | 379 | 211 |
| 3 | da -3 a -4 m | 1 | 487 | 337 |
| 4 | da -4 a -5 m | 1 | 659 | 339 |
| 5 | da -5 a -6 m | 1 | 748 | 449 |
| 6 | da -6 a -7 m | 1 | 775 | 442 |
| 7 | da -7 a -8 m | 1 | 859 | 463 |
| 8 | da -8 a -9 m | 1 | 982 | 473 |
| 9 | da -9 a -10 m | 1 | 1034 | 395 |
| 10 | da -10 a -11 m | 1 | 1089 | 477 |
| 11 | da -11 a -12 m | 1 | 1200 | 498 |
| 12 | da -12 a -13 m | 1 | 1222 | 577 |
| 13 | da -13 a -14 m | 1 | 1397 | 548 |
| 14 | da -14 a -15 m | 1 | 1508 | 616 |
| 15 | da -15 a -16 m | 1 | 1610 | 658 |
| 16 | da -16 a -17 m | 1 | 1668 | 686 |
| 17 | da -17 a -18 m | 1 | 1644 | 669 |
| 18 | da -18 a -19 m | 1 | 1675 | 671 |
| 19 | da -19 a -20 m | 1 | 1706 | 662 |
| 20 | da -20 a -21 m | 1 | 1708 | 621 |
| 21 | da -21 a -22 m | 1 | 1740 | 622 |
| 22 | da -22 a -23 m | 1 | 1577 | 586 |
| 23 | da -23 a -24 m | 1 | 1657 | 586 |
| 24 | da -24 a -25 m | 1 | 1714 | 623 |
| 25 | da -25 a -26 m | 1 | 1745 | 631 |
| 26 | da -26 a -27 m | 1 | 1777 | 615 |
| 27 | da -27 a -28 m | 1 | 1778 | 525 |
| 28 | da -28 a -29 m | 1 | 1879 | 587 |
| 29 | da -29 a -30 m | 1 | 1915 | 499 |
| 30 | da -30 a -31 m | 1 | 1992 | 502 |
| 31 | da -31 a -32 m | 1 | 2054 | 332 |
| 32 | da -32 a -33 m | 1 | 2014 | 370 |
| 33 | da -33 a -34 m | 1 | 2077 | 256 |
| 34 | da -34 a -35 m | 1 | 2167 | 294 |
| 35 | da -35 a -36 m | 1 | 2168 | 363 |
| 36 | da -36 a -37 m | 1 | 2216 | 444 |
| 37 | da -37 a -38 m | 1 | 2217 | 499 |
| 38 | da -38 a -39 m | 1 | 2267 | 587 |
| 39 | da -39 a -40 m | 1 | 2320 | 624 |



TAVOLA

7

OGGETTO:

Indagine geofisiche
DOWN HOLE

Progetto:

FATTIBILITA' TECNICA
ECONOMICA
NODO DI ROMA

PRG DI ROMA
TUSCOLANA



**Per la
SOING Strutture e
Ambiente srl**

ELAB G. Luciani

VERIFICA A. Morelli

APPROV. P. Chiara

Parametri dinamici e velocità equivalente

| Strato | Profondità (m dal p.c.) | Spessore (m) | γ (kN/m ³) | Poisson | Young (MPa) | Share (MPa) | Bulk (MPa) | Vseq (da -1 m per H=30 m) |
|--------|----------------------------|-----------------|----------------------------------|---------|----------------|----------------|---------------|------------------------------|
| 1 | da -1 a -2 m | 1 | 16.71 | 0.38 | 108.48 | 39.29 | 151.19 | 467 |
| 2 | da -2 a -3 m | 1 | 16.76 | 0.28 | 186.71 | 73.21 | 138.42 | |
| 3 | da -3 a -4 m | 1 | 16.97 | 0.04 | 393.83 | 189.56 | 142.33 | |
| 4 | da -4 a -5 m | 1 | 17.32 | 0.32 | 514.89 | 195.03 | 476.77 | |
| 5 | da -5 a -6 m | 1 | 17.50 | 0.22 | 842.33 | 345.46 | 499.83 | |
| 6 | da -6 a -7 m | 1 | 17.55 | 0.26 | 847.74 | 336.74 | 585.63 | |
| 7 | da -7 a -8 m | 1 | 17.72 | 0.29 | 965.87 | 372.99 | 784.44 | |
| 8 | da -8 a -9 m | 1 | 17.96 | 0.35 | 1061.92 | 393.53 | 1173.77 | |
| 9 | da -9 a -10 m | 1 | 18.07 | 0.41 | 782.63 | 276.63 | 1527.46 | |
| 10 | da -10 a -11 m | 1 | 18.18 | 0.38 | 1118.47 | 404.81 | 1572.89 | |
| 11 | da -11 a -12 m | 1 | 18.40 | 0.40 | 1248.81 | 447.25 | 2003.51 | |
| 12 | da -12 a -13 m | 1 | 18.44 | 0.36 | 1634.82 | 602.69 | 1895.57 | |
| 13 | da -13 a -14 m | 1 | 18.79 | 0.41 | 1558.08 | 552.81 | 2860.86 | |
| 14 | da -14 a -15 m | 1 | 19.02 | 0.40 | 1982.73 | 708.26 | 3295.12 | |
| 15 | da -15 a -16 m | 1 | 19.22 | 0.40 | 2285.22 | 816.35 | 3795.59 | |
| 16 | da -16 a -17 m | 1 | 19.34 | 0.40 | 2498.36 | 893.52 | 4084.00 | |
| 17 | da -17 a -18 m | 1 | 19.29 | 0.40 | 2370.59 | 846.09 | 3987.42 | |
| 18 | da -18 a -19 m | 1 | 19.35 | 0.40 | 2396.84 | 853.22 | 4186.72 | |
| 19 | da -19 a -20 m | 1 | 19.41 | 0.41 | 2354.67 | 834.15 | 4429.80 | |
| 20 | da -20 a -21 m | 1 | 19.42 | 0.42 | 2093.98 | 735.37 | 4577.39 | |
| 21 | da -21 a -22 m | 1 | 19.48 | 0.43 | 2107.98 | 738.71 | 4798.94 | |
| 22 | da -22 a -23 m | 1 | 19.15 | 0.42 | 1830.71 | 644.63 | 3813.13 | |
| 23 | da -23 a -24 m | 1 | 19.31 | 0.43 | 1858.46 | 650.51 | 4330.15 | |
| 24 | da -24 a -25 m | 1 | 19.43 | 0.42 | 2104.15 | 738.81 | 4614.64 | |
| 25 | da -25 a -26 m | 1 | 19.49 | 0.42 | 2167.16 | 760.48 | 4807.68 | |
| 26 | da -26 a -27 m | 1 | 19.55 | 0.43 | 2080.10 | 726.36 | 5087.46 | |
| 27 | da -27 a -28 m | 1 | 19.56 | 0.45 | 1536.46 | 529.01 | 5356.59 | |
| 28 | da -28 a -29 m | 1 | 19.76 | 0.45 | 1929.83 | 667.33 | 5948.93 | |
| 29 | da -29 a -30 m | 1 | 19.83 | 0.46 | 1418.50 | 484.60 | 6488.44 | |
| 30 | da -30 a -31 m | 1 | 19.98 | 0.47 | 1446.74 | 493.38 | 7121.08 | |
| 31 | da -31 a -32 m | 1 | 20.11 | 0.49 | 646.39 | 217.41 | 8031.88 | |
| 32 | da -32 a -33 m | 1 | 20.03 | 0.48 | 797.64 | 269.02 | 7604.02 | |
| 33 | da -33 a -34 m | 1 | 20.15 | 0.49 | 387.67 | 129.89 | 8350.64 | |
| 34 | da -34 a -35 m | 1 | 20.33 | 0.49 | 513.91 | 172.38 | 9135.99 | |
| 35 | da -35 a -36 m | 1 | 20.34 | 0.49 | 781.91 | 263.17 | 9019.69 | |
| 36 | da -36 a -37 m | 1 | 20.43 | 0.48 | 1169.68 | 395.41 | 9313.66 | |
| 37 | da -37 a -38 m | 1 | 20.43 | 0.47 | 1472.85 | 499.86 | 9178.58 | |
| 38 | da -38 a -39 m | 1 | 20.53 | 0.46 | 2034.79 | 694.93 | 9424.22 | |
| 39 | da -39 a -40 m | 1 | 20.64 | 0.46 | 2303.97 | 788.49 | 9844.42 | |

OGGETTO:

Indagine geofisiche
DOWN HOLE

Progetto:

FATTIBILITA' TECNICA
ECONOMICA
NODO DI ROMA

PRG DI ROMA
TUSCOLANA



Per la
**SOING Strutture e
Ambiente srl**

ELAB G. Luciani

VERIFICA A. Morelli

APPROV. P. Chiara