

COMMITTENTE:



**DIREZIONE INVESTIMENTI  
PROGRAMMA NODO DI NAPOLI**

PROGETTAZIONE:



**DIREZIONE TECNICA  
UO GEOLOGIA  
PROGETTO ESECUTIVO**

**ITINERARIO NAPOLI - BARI  
VARIANTE LINEA CANCELLO NAPOLI  
Viabilità Opere Anticipate - Viabilità Gaudello ramo Est**

**INDAGINI GEOFISICHE**

SCALA:

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

**I F O J    0 0    E    6 9    I G    G E 0 0 0 1    0 0 1    A**

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato/Data
A	Emissione esecutiva	SGG	OTTOBRE 2015	F.MANCINI	OTTOBRE 2015	APREA	OTTOBRE 2015	
		<i>B</i>		<i>Flu</i>		<i>[Signature]</i>		

**ITALFERR S.p.A.**  
Dott. Geologo **Franco MARCHESI**  
Rust. UO GEOLOGIA  
Ordine Geologi Lazio n. 179 ES

Fila. \_\_\_\_\_ n. Elab. **79**

INDAGINI GEOFISICHE - PROVE DOWN\_HOLE

PROGETTO  
IF0J

LOTTO  
00

CODIFICA  
E 69 IG

DOCUMENTO  
GE0001001

REV.  
A

FOGLIO  
1 DI 17

## INDICE

1 - INTRODUZIONE.....	3
2 – STRUMENTAZIONE IMPIEGATA, PERSONALE E SISTEMA QUALITÀ.....	4
3 - FINALITÀ DELLA PROSPEZIONE.....	5
4 - CARATTERISTICHE DELLA PERFORAZIONE E LAVORI SVOLTI.....	6
5 - METODOLOGIA ESECUTIVA DEL RILIEVO.....	7
6 - METODOLOGIA INTERPRETATIVA.....	9
7 – ANALISI DEI RISULTATI.....	9
APPENDICE.....	14

INDAGINI GEOFISICHE - PROVE DOWN\_HOLE

PROGETTO  
IF0J

LOTTO  
00

CODIFICA  
E 69 IG

DOCUMENTO  
GE0001001

REV.  
A

FOGLIO  
2 DI 17

## 1 - INTRODUZIONE

La presente relazione riferisce i risultati dei carotaggi sismici down-hole eseguiti nell'ambito del Progetto " ITINERARIO NAPOLI-BARI VARIANTE LINEA CANCELLO-NAPOLI VIABILITA' GAUDELLO ramo Est" per conto di RFI .

L'indagine geofisica è stata condotta all'interno di n° 2 sondaggi meccanici, secondo quanto concordato con la D.L.

I lavori si sono svolti in un unico intervento nel giorno 29 Dicembre 2014, con l'esecuzione di 2 carotaggi sismici down-hole.

Scopo della prospezione geofisica è stata la caratterizzazione dinamica dei terreni attraverso il parametro della velocità sismica delle onde P e delle onde S<sub>w</sub> e la definizione del valore di V<sub>s30</sub> utile per la classificazione dei suoli di fondazione nelle categorie previste dalla vigente normativa antisismica.

Nella presente relazione sono descritte le modalità d'esecuzione della fase di acquisizione dei dati sperimentali e le metodologie interpretative dei dati sismici.



INDAGINI GEOFISICHE - PROVE DOWN\_HOLE

PROGETTO  
IF0J

LOTTO  
00

CODIFICA  
E 69 IG

DOCUMENTO  
GE0001001

REV.  
A

FOGLIO  
3 DI 17

## 2 – STRUMENTAZIONE IMPIEGATA, PERSONALE E SISTEMA QUALITÀ

n°	Strumentazione prove DOWN-HOLE	COD. IDENT.
1	Sismografo GEOMETRICS "GEODE" 24 ch - 24 bit	SGG-SI-39
1	Computer portatile per registrazione dei dati di campagna	
1	Cavo di collegamento per geofoni	SGG-SI-39H
1	Geofono tridimensionale da foro GEOSTUFF, a frequenza propria di 15 Hz, munito di bussola elettronica per orientamento del geofono e di ancoraggio meccanico motorizzato alla parete del foro	SGG-SI-55A
1	Sistema specifico per la generazione di onde polarizzate $S_H$	
1	Trigger dispositivo "arm switch"	
2	Masse battenti del peso di 5 e 10 kg	

Tutti gli strumenti di misura impiegati, in accordo con il calendario di taratura afferente al "sistema di qualità" in uso presso questo studio, sono tarati presso il laboratorio cetace di Calenzano, afferente alla CESVIT S.p.A. ed accreditato SIT (Servizio di Taratura in Italia).

### RISORSE COINVOLTE

Per l'esecuzione della prospezione di campagna e della relativa interpretazione in ufficio, sono state coinvolte le seguenti risorse:

• Responsabile dell'incarico	A.M. BALDI
• Prospettore geofisico	M.SCHEGGI
• Responsabile Assicurazione Qualità per la prospezione	A.M. BALDI
• Interpretazione prove down-hole	M.SCHEGGI
• Editing	M.SCHEGGI

INDAGINI GEOFISICHE - PROVE DOWN\_HOLE

PROGETTO  
IF0J

LOTTO  
00

CODIFICA  
E 69 IG

DOCUMENTO  
GE0001001

REV.  
A

FOGLIO  
4 DI 17

#### SISTEMA QUALITÀ

La prospezione geofisica è stata eseguita in riferimento alle specifiche SP0302 e SP0901.  
L'elaborazione dei dati è avvenuta in conformità all'istruzione IS0901.

Per la registrazione delle varie attività sono stati utilizzati i moduli del sistema qualità in uso presso questo studio.

### **3 - FINALITÀ DELLA PROSPEZIONE**

Le finalità della prospezione geofisica possono così essere sinteticamente riassunte:

- *definire la velocità di propagazione delle onde sismiche  $P$  ed  $S_H$  nel sottosuolo;*
- *parametrizzazione dinamica dei terreni attraverso le misure geofisiche;*
- *definizione del valore  $V_{S30}$  per la classificazione dei suoli di fondazione nelle categorie previste dalla normativa antisismica.*

INDAGINI GEOFISICHE - PROVE DOWN\_HOLE

PROGETTO  
IF0J

LOTTO  
00

CODIFICA  
E 69 IG

DOCUMENTO  
GE0001001

REV.  
A

FOGLIO  
5 DI 17

#### 4 - CARATTERISTICHE DELLA PERFORAZIONE E LAVORI SVOLTI

Al momento dell'esecuzione dei carotaggi sismici, i sondaggi meccanici risultavano completamente rivestiti con tubazione in pvc cementata alle pareti dei fori stessi.

Le profondità dei sondaggi erano di 30 metri ed al momento delle prove, i fori presentavano acqua al loro interno.

Le registrazioni sismiche, all'interno dei sondaggi, sono state eseguite con un'interdistanza fra le misure pari ad 1,0 metri, a partire dal fondo foro fino al piano campagna.

Di seguito si riporta il dettaglio delle indagini:

Sondaggio	Profondità	Offset	Data esecuzione
n°	m p.c.	m	
<b>S58</b>	30,0	3.0	29-12-2014
<b>S59</b>	30,0	3.0	29-12-2014

In totale sono stati eseguiti 60 metri di carotaggio sismico down-hole.

INDAGINI GEOFISICHE - PROVE DOWN\_HOLE

PROGETTO  
IF0J

LOTTO  
00

CODIFICA  
E 69 IG

DOCUMENTO  
GE0001001

REV.  
A

FOGLIO  
6 DI 17

## 5 - METODOLOGIA ESECUTIVA DEL RILIEVO

Lo scopo della prova down-hole consiste nel determinare la velocità di propagazione delle onde di compressione (onde P) e di taglio (onde  $S_H$ ), calcolando il tempo ad esse necessario per raggiungere il geofono ricevitore (all'interno del foro di sondaggio) dalla zona sorgente (su piano campagna a distanza nota dal foro). Si suppone che il volume di terreno, interessato dalle indagini sia stratificato orizzontalmente e che all'interno d'ogni strato il comportamento del terreno si possa considerare elastico, omogeneo ed isotropo.

La prova consiste nel produrre in superficie sollecitazioni verticali per la generazione di onde di compressione P, ed orizzontali per la generazione di onde di taglio polarizzate orizzontalmente  $S_H$  e nel registrare l'istante di primo arrivo del treno d'onde ad un sistema composto da una terna di geofoni, ancorati a profondità nota nel foro di sondaggio (fig. 5.1).

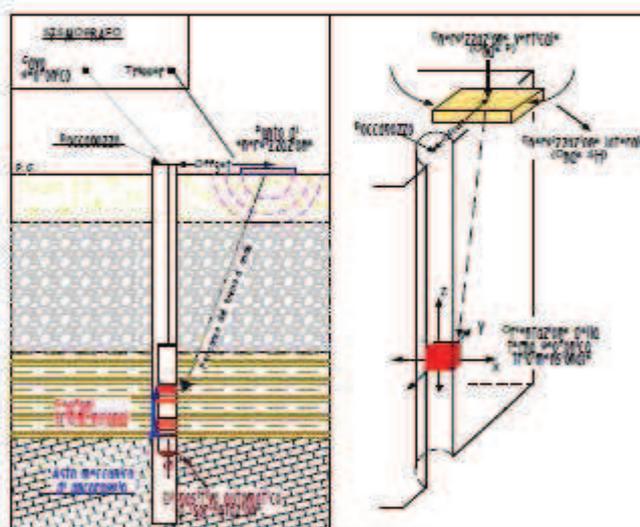


Figura 5.1 - Rappresentazione schematica di un carotaggio sismico down-hole.

Conosciuta la distanza tra la sorgente ed i ricevitori e determinato il tempo di propagazione, è possibile stimare in maniera accurata la distribuzione delle velocità sismiche (P e  $S_H$ ) in corrispondenza della verticale di misura.

Per generare le onde di compressione P è stata utilizzata una massa battente da 5 kg.

Per le onde  $S_H$  è stato invece utilizzato, come sorgente, un apposito dispositivo, la cui forma permette colpi laterali su entrambi i lati. Tale dispositivo viene gravato con sacchi di sabbia, al fine di assicurare una perfetta aderenza con il terreno, così da evitare ogni tipo di dispersione dell'energia prodotta. Il sistema energizzante adottato è in grado di generare onde elastiche ad alta frequenza, con forme d'onda ripetibili e direzionali, vale a dire con la possibilità di ottenere prevalentemente onde

INDAGINI GEOFISICHE - PROVE DOWN\_HOLE

PROGETTO  
IF0J

LOTTO  
00

CODIFICA  
E 69 IG

DOCUMENTO  
GE0001001

REV.  
A

FOGLIO  
7 DI 17

di compressione e/o di taglio polarizzate su piani orizzontali, ed eventualmente anche verticali. Come sistema di ricezione è stata utilizzata una sonda meccanizzata al cui interno sono alloggiati tre ricevitori, ciascuno dei quali è costituito da un trasduttore di velocità. Il trasduttore verticale è orientato secondo la lunghezza della sonda, mentre i trasduttori orizzontali, orientabili automaticamente secondo il Nord geografico, sono disposti in direzioni ad essa perpendicolare (N-S ed E-W). I trasduttori hanno una frequenza propria di 15 Hz ed una sensibilità tale da poter ricevere in maniera adeguata il treno d'onde prodotto dalla sorgente. La sonda possiede un'asta meccanica motorizzata che garantisce l'aderenza tra i ricevitori e le pareti del rivestimento. Il sistema d'acquisizione dati è di tipo multicanale ed è in grado di registrare su ciascun canale in forma digitale le forme d'onda e di conservarle su memoria di massa dinamica a 24 bit.

Le due prove si sono sviluppate secondo le seguenti fasi:

1. Dopo ad aver predisposto un opportuno piano d'appoggio, il dispositivo sorgente è stato collocato sulla superficie in prossimità del foro ad una distanza di 3,0 m ed orientato con direzione Est-Ovest perpendicolarmente al raggio condotto dal foro.
2. Il sistema, costituito dai tre ricevitori è stato calato a fondo foro collegandolo alla superficie mediante un sistema che ne consente l'orientamento assoluto dalla superficie.
3. Dopo aver ancorato la sonda geofonica alle pareti del rivestimento, si è proceduto con le fasi di orientamento dei trasduttori.
4. Campionamento del rumore ambientale.
5. È stato quindi attivato il dispositivo sorgente, producendo una sollecitazione che, attivando il trigger (dispositivo "arm-switch"), si propaga dalla sorgente verso i ricevitori con vibrazioni di tipo compressionale; di seguito (con energizzazione separata e distinta) sono state generate vibrazioni di tipo  $S_{\perp}$ , dirette perpendicolarmente alla direzione di percussione e polarizzate sul piano orizzontale. Per l'ottenimento di una buona qualità dei dati, è necessario produrre alla sorgente due onde di polarità opposta e sommare le registrazioni d'ogni singolo arrivo, così da individuare in modo migliore l'istante di primo arrivo (metodo cross-over).
6. La prova è stata quindi ripetuta con interdistanza fra le misure pari a 1,0 m per tutto il tratto di sondaggio.

INDAGINI GEOFISICHE - PROVE DOWN\_HOLE

PROGETTO  
IF0J

LOTTO  
00

CODIFICA  
E 69 IG

DOCUMENTO  
GE0001001

REV.  
A

FOGLIO  
8 DI 17

## 6 - METODOLOGIA INTERPRETATIVA

Nel presente rilievo sono stati impiegati rispettivamente fondo scala di 1,0 secondo e passo di campionamento di 0,125 millisecondi. I tempi relativi alle onde P ed  $S_H$  sono stati letti attraverso uno specifico programma di picking (SEISOPTPICKER; precisione dell'ordine di 0,1 millisecondi).

Per avere un buon controllo sulla procedura di lettura dei tempi e valutare al contempo la qualità dei dati sismici acquisiti per tutto il tragitto di ogni sondaggio, i valori numerici dei primi arrivi delle onde sismiche P ed  $S_H$  sono stati riportati su sezioni tempo/tracce ove le varie tracce sono scelte in funzione dell'orientamento del sistema ricevitore/sorgente. Tale procedura consente di ottenere così delle forme d'onda più definite nelle ampiezze. In particolare con riferimento alle onde di taglio sono state scelte le tracce riferite alla differenza tra la battuta destra e quella sinistra. I tempi d'arrivo delle onde di compressione e di taglio sono stati corretti, rispetto alla verticale, e riportati su diagrammi profondità – tempi (riportati in appendice) sui quali sono stati individuati i tratti a pendenza circa costante.

Dalla pendenza dei tratti sono state determinate le velocità intervallari delle onde P ed  $S_H$  nel terreno.

## 7 – ANALISI DEI RISULTATI

L'elaborazione delle misure geofisiche ha permesso di ricostruire la porzione di terreno immediatamente adiacente ai sondaggi.

Durante la fase di elaborazione dei dati sismici sperimentali, non è stato necessario ricorrere all'utilizzo dei filtri per migliorare la qualità dei sismogrammi in quanto i dati acquisiti risultavano di buona qualità, essendo sostanzialmente ben allineati su delle rette, con scarsa o assente dispersione dei punti.

Di seguito si riportano le tabelle con indicazioni dei tempi d'arrivo originali e quelli corretti in funzione della profondità di misura.

INDAGINI GEOFISICHE - PROVE DOWN\_HOLE

PROGETTO  
IF0J

LOTTO  
00

CODIFICA  
E 69 IG

DOCUMENTO  
GE0001001

REV.  
A

FOGLIO  
9 DI 17

Carotaggio sismico down hole S58

Profondità m	Onde P Tempi corretti ms	Onde SH Tempi corretti ms	Onde P Tempi sperimentali ms	Onde SH Tempi sperimentali ms
0	0.00	0.00	0.00	0.00
1	2.75	5.38	8.70	17.00
2	5.27	10.54	9.50	19.00
3	7.35	14.14	10.40	20.00
4	9.36	17.60	11.70	22.00
5	11.23	19.72	13.10	23.00
6	11.81	22.63	13.20	25.30
7	12.41	25.37	13.50	27.60
8	13.30	29.03	14.20	31.00
9	13.85	32.07	14.60	33.80
10	14.37	34.00	15.00	35.50
11	15.24	37.05	15.80	38.40
12	15.72	39.48	16.20	40.70
13	16.27	41.90	16.70	43.00
14	16.52	44.00	16.90	45.00
15	16.96	45.99	17.30	46.90
16	17.79	48.95	18.10	49.80
17	18.42	51.21	18.70	52.00
18	18.94	53.27	19.20	54.00
19	19.26	55.81	19.50	56.50
20	19.58	57.36	19.80	58.00
21	19.90	58.41	20.10	59.00
22	20.21	60.44	20.40	61.00
23	20.53	61.48	20.70	62.00
24	21.04	62.51	21.20	63.00
25	21.35	64.54	21.50	65.00
26	21.95	67.55	22.10	68.00
27	22.56	69.57	22.70	70.00
28	22.57	71.59	22.70	72.00
29	22.78	73.11	22.90	73.50
30	23.18	74.63	23.30	75.00

La successione evidenziata dall'andamento delle dromocrone, riportate in appendice, è la seguente:

INDAGINI GEOFISICHE - PROVE DOWN\_HOLE

PROGETTO  
IF0J

LOTTO  
00

CODIFICA  
E 69 IG

DOCUMENTO  
GE0001001

REV.  
A

FOGLIO  
10 DI 17

Profondità m (da - a)		Velocità Onde P (m/s)	Velocità Onde S <sub>H</sub> (m/s)
0.0	4.0	426	224
4.0	10.0	1.533	336
10.0	16.0	2.047	415
16.0	22.0	2.844	546
22.0	30.0	2.631	494

Sulla base delle velocità sismiche ( $V_P$  e  $V_{SH}$ ) è stato possibile calcolare i *moduli elastici dinamici* dei terreni attraversati. I valori di densità attribuiti a ciascuno strato sono stati desunti da dati reperibili in bibliografia. I risultati sono riportati nella tabella sottostante:

Profondità m (da - a)		Densità (kN/m <sup>3</sup> )	$V_P$ m/s	$V_{SH}$ m/s	poisson	taglio dinamico (kN/m <sup>2</sup> )	young (kN/m <sup>2</sup> )	bulk (kN/m <sup>2</sup> )
0.0	4.0	18.0	426	224	0.31	9.21E+04	2.41E+05	2.10E+05
4.0	10.0	18.5	1533	336	0.47	2.13E+05	6.28E+05	4.15E+06
10.0	16.0	18.5	2047	415	0.48	3.25E+05	9.60E+05	7.47E+06
16.0	22.0	19.0	2844	546	0.48	5.77E+05	1.71E+06	1.49E+07
22.0	30.0	19.0	2631	494	0.48	4.73E+05	1.40E+06	1.28E+07

Sulla base delle velocità delle onde di taglio ( $V_{SH}$ ), sono inoltre forniti il profilo di velocità delle onde di taglio ed il valore  $V_{S30}$  calcolato a partire dal piano campagna, quest'ultimo utile per la classificazione dei suoli di fondazione nelle categorie previste dalla normativa antisismica.

Litologia	Spessore (m)	$V_{SH}$ (m/s)
Terreno vegetale/sabbia	4.0	224
Sabbia	6.0	336
Ghiaia	6.0	415
Ghiaia	6.0	546
Sabbia	8.0	494

$V_{S30}$  dal piano campagna = 388 m/s

In quest'area il valore di  $V_{S30}$ , se riferito al piano campagna, risulta pari a 388 m/s. L'area di indagine rientra nella categoria di suolo di tipo B.

INDAGINI GEOFISICHE - PROVE DOWN\_HOLE

PROGETTO  
IF0J

LOTTO  
00

CODIFICA  
E 69 IG

DOCUMENTO  
GE0001001

REV.  
A

FOGLIO  
11 DI 17

Carotaggio sismico down hole S59

Profondità	Onde P tempi verticali	Onde S <sub>11</sub> tempi verticali	Onde P tempi sperimentali	Onde S <sub>11</sub> tempi sperimentali
m	ms	ms	ms	ms
0	0.00	0.00	0.00	0.00
1	2.18	8.54	6.90	27.00
2	5.16	16.25	9.30	29.30
3	7.78	21.50	11.00	30.40
4	9.44	27.52	11.80	34.40
5	10.29	31.47	12.00	36.70
6	10.91	33.27	12.20	37.20
7	11.40	36.77	12.40	40.00
8	12.08	39.33	12.90	42.00
9	12.52	41.74	13.20	44.00
10	13.03	45.02	13.60	47.00
11	13.51	46.31	14.00	48.00
12	13.78	49.09	14.20	50.60
13	14.71	51.64	15.10	53.00
14	15.94	52.31	16.30	53.50
15	16.57	53.44	16.90	54.50
16	17.00	55.04	17.30	56.00
17	17.43	58.10	17.70	59.00
18	17.66	60.66	17.90	61.50
19	17.98	61.24	18.20	62.00
20	18.30	63.29	18.50	64.00
21	18.81	64.35	19.00	65.00
22	19.02	65.39	19.20	66.00
23	19.34	67.43	19.50	68.00
24	19.65	69.46	19.80	70.00
25	20.55	70.49	20.70	71.00
26	21.46	73.51	21.60	74.00
27	21.67	76.03	21.80	76.50
28	21.78	77.95	21.90	78.40
29	22.48	78.98	22.60	79.40
30	22.89	80.20	23.00	80.60

La successione evidenziata dall'andamento delle dromocrone, riportate in appendice, è la seguente:

INDAGINI GEOFISICHE - PROVE DOWN\_HOLE

PROGETTO  
IF0J

LOTTO  
00

CODIFICA  
E 69 IG

DOCUMENTO  
GE0001001

REV.  
A

FOGLIO  
12 DI 17

Profondità m (da - a)		Velocità Onde P (m/s)	Velocità Onde S <sub>w</sub> (m/s)
0.0	3.0	379	137
3.0	7.0	1.515	332
7.0	13.0	1.964	409
13.0	24.0	2.788	577
24.0	30.0	2.226	501

Sulla base delle velocità sismiche ( $V_P$  e  $V_{SH}$ ) è stato possibile calcolare i *moduli elastici dinamici* dei terreni attraversati. I valori di densità attribuiti a ciascuno strato sono stati desunti da dati reperibili in bibliografia. I risultati sono riportati nella tabella sottostante:

Profondità m (da - a)		Densità (kN/m <sup>3</sup> )	$V_P$ m/s	$V_{SH}$ m/s	poisson	taglio dinamico (kN/m <sup>2</sup> )	young (kN/m <sup>2</sup> )	bulk (kN/m <sup>2</sup> )
0.0	3.0	18.5	379	137	0.42	3.54E+04	1.01E+05	2.24E+05
3.0	7.0	18.5	1515	332	0.47	2.08E+05	6.13E+05	4.05E+06
7.0	13.0	18.5	1964	409	0.48	3.15E+05	9.32E+05	6.85E+06
13.0	24.0	19.0	2788	577	0.48	6.45E+05	1.91E+06	1.42E+07
24.0	30.0	19.0	2226	501	0.47	4.86E+05	1.43E+06	8.95E+06

Sulla base delle velocità delle onde di taglio ( $V_{S4}$ ), sono inoltre forniti il profilo di velocità delle onde di taglio ed il valore  $V_{S30}$  calcolato a partire dal piano campagna, quest'ultimo utile per la classificazione dei suoli di fondazione nelle categorie previste dalla normativa antisismica.

Litologia	Spessore (m)	$V_{S4}$ (m/s)
Terreno vegetale/sabbia	3.0	137
Sabbia	4.0	332
Ghiaia	6.0	409
Ghiaia	11.0	577
Sabbia	6.0	501

$V_{S30}$  dal piano campagna = 377 m/s

In quest'area il valore di  $V_{S30}$ , se riferito al piano campagna, risulta pari a 377 m/s. L'area di indagine rientra nella categoria di suolo di tipo **B**.

INDAGINI GEOFISICHE - PROVE DOWN\_HOLE

PROGETTO  
IF0J

LOTTO  
00

CODIFICA  
E 69 IG

DOCUMENTO  
GE0001001

REV.  
A

FOGLIO  
13 DI 17

## APPENDICE

INDAGINI GEOFISICHE - PROVE DOWN\_HOLE

PROGETTO  
IF0J

LOTTO  
00

CODIFICA  
E 69 IG

DOCUMENTO  
GE0001001

REV.  
A

FOGLIO  
14 DI 17

Planimetria ubicativa sondaggio S58



INDAGINI GEOFISICHE - PROVE DOWN\_HOLE

PROGETTO  
IF0J

LOTTO  
00

CODIFICA  
E 69 IG

DOCUMENTO  
GE0001001

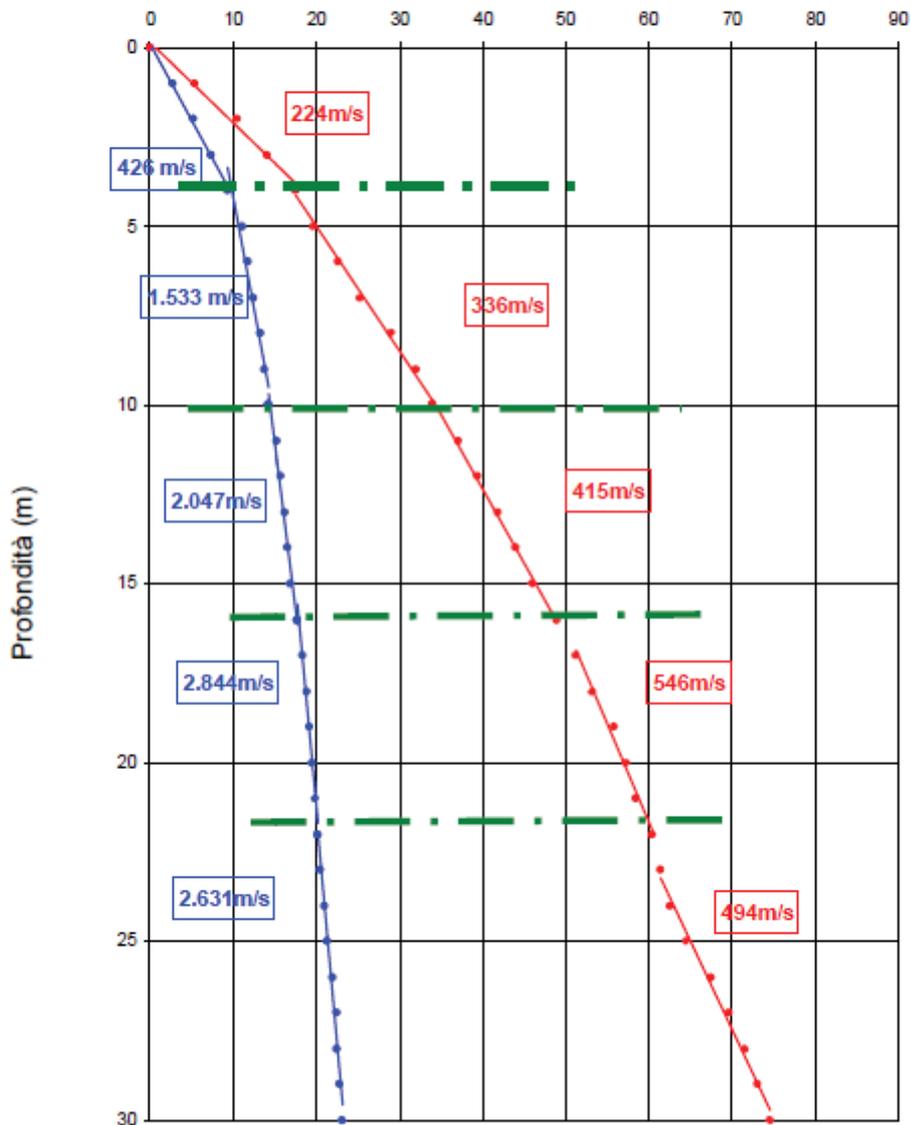
REV.  
A

FOGLIO  
15 DI 17

**S58**

Dromocrone sismiche in onde P ed S<sub>H</sub>

Tempi (ms)



Legenda: Onde P (blu) – Onde S<sub>H</sub> (rosso)

INDAGINI GEOFISICHE - PROVE DOWN\_HOLE

PROGETTO  
IF0J

LOTTO  
00

CODIFICA  
E 69 IG

DOCUMENTO  
GE0001001

REV.  
A

FOGLIO  
16 DI 17

**Planimetria ubicativa sondaggio S59**



INDAGINI GEOFISICHE - PROVE DOWN\_HOLE

PROGETTO  
IF0J

LOTTO  
00

CODIFICA  
E 69 IG

DOCUMENTO  
GE0001001

REV.  
A

FOGLIO  
17 DI 17

