

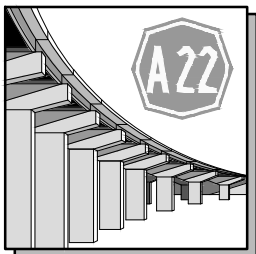

# autostrada del brennero

PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE  
DELLA TERZA CORSIA NEL TRATTO COMPRESO  
TRA VERONA NORD (KM 223) E L'INTERSEZIONE  
CON L'AUTOSTRADA A1 (KM 314)

## RICHIESTA DEL COMUNE DI CAMPOGALLIANO

4.11

ELABORATI PER IL POC - STRALCIO DEL COMUNE DI CAMPOGALLIANO  
GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA E SISMICA  
Allegato 4: Indagini sismiche DH

0	SETT. 2021	RICHIESTA COMUNE CAMPOGALLIANO	ENGEO SRL	M. TAMANINI	C. COSTA
REVISIONE:	DATA:	DESCRIZIONE:	REDAZIONE:	VERIFICA:	APPROVAZIONE:
DATA PROGETTO:			DIREZIONE TECNICA GENERALE		IL DIRETTORE TECNICO GENERALE E PROGETTISTA: 
LUGLIO 2009					
NUMERO PROGETTO:					
31/09					

COMUNE DI CAMPOGALLIANO  
PROVINCIA DI MODENA

**Relazione geologica, idrogeologica e  
sismica per il POC del Comune di  
Campogalliano (MO) nell'ambito del  
S.I.A. relativo alla realizzazione  
della terza corsia nel tratto  
compreso tra Verona nord (km 223)  
e l'intersezione con l'autostrada A1  
(km 314)**

INDAGINI SISMICHE DH

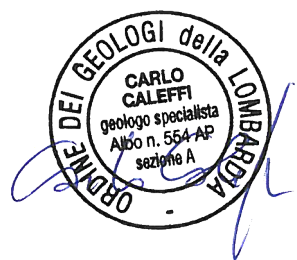
elaborato:

All. 4

I Geologi:

**Dr. Carlo Caleffi**

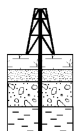
**Dr. Francesco Cerutti**



**EN GEO** S.r.l.  
ENGINEERING GEOLOGY  
www.engeo.it

Sede legale: Via Suor Maria Adorni, 2 - 43121 Parma  
Uffici: Via Suor Maria Adorni, 2 - 43121 Parma Tel. 0521 233999 - Fax 0521 200181  
Via Ferrari 5/G - 46065 Marmirolo (MN) Tel. Fax 0376 467967  
E-mail: info@engeo.it

C.G.A.



Studio Tecnico Associato

**Studio Tecnico Associato**  
**Consulenze di Geologia e Ambiente**

del Dott. Geol. F. Barbieri e del Dott. Geol. M. Ropa

Via E. Fermi n° 11/A - 40017 SAN GIOVANNI IN PERSICETO (BO)  
 Codice Fiscale e P. IVA 04112290376  
 Tel. 051 - 687.11.13 Fax 051 - 687.43.28  
 Web: <http://www.cgastudio.eu> E-mail: [cgastudio@cgastudio.eu](mailto:cgastudio@cgastudio.eu)

INTERGEO S.r.l.

Esecuzione di n° 1 prova Down Hole a 45 m per la determinazione della Vs30 per il sovrappasso n°141 dell'autostrada A22 nel Comune di Campogalliano (MO).

PROGETTO	CODIFICA	REV.	PAGINA
A599	GF 142 c.l. 55/2012	0	Pagina 9 di 10

M:\Lavori in corso\Intergio A22 2012\A22S141\Pacchetto DH 1.02\Word\RelazioneDHA22S141.docx

## PRESENTAZIONE DEI RISULTATI

### Determinazione della velocità delle onde sismiche nei primi 30 m ( $V_{s30}$ )

Utilizzando le metodologie e le formule di cui al capitolo precedente, è possibile individuare la seguente sezione sismica di sintesi (30 m):

Strato	Spessore medio (m)	Vs (m/s)
1	6.00	190.63
2	3.00	115.81
3	4.00	233.01
4	8.00	174.04
5	9.00	259.35

Tabella n° 2 – Stratigrafia da prova sismica e velocità di propagazione dell'onda sismica

Seguendo le prescrizioni dell'OPCM 3274/2003 e del D.M. 14.01.2008 la determinazione della  $V_{s30}$  è stata ottenuta utilizzando la formula:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{\Delta n} \frac{h_i}{V_{si}}}$$

dove:

$h_i$  = spessore dello strato -iesimo

$V_{si}$  = Velocità orizzontale dello strato -iesimo

Sulla base di quanto esposto è pertanto possibile affermare che la  $V_{s30}$  relativa ai primi 30 m di terreno rispetto al piano di campagna è la seguente:

$V_{s30}$	193.28
-----------	--------

Tabella n° 3 –  $V_{s30}$  riferite ai primi 30 m

C.G.A.



Committente: INTERGEO S.r.l.

Prova : DH S1

Località: Sovrappasso n°141 (MO)

Data: 29 /08/ 2012

Cod.Lav. 55/2012

Onde P Certificato: Certificato n° A599GF142A22S141P

Distanza sorgente - sondaggio = 1.85 m

Tempi di picking in ms

Tr	Time
1	2.50
2	2.58
3	3.47
4	4.00
5	4.53
6	4.93
7	5.33
8	5.49
9	7.47
10	8.27
11	9.07
12	10.13
13	11.28
14	11.73
15	12.27
16	12.67
17	13.07
18	14.00
19	14.93
20	15.60
21	16.27
22	17.07
23	17.87
24	18.80
25	19.73
26	20.13
27	20.53
28	20.93
29	21.53
30	22.00
31	22.67
32	23.20
33	23.73
34	24.88
35	25.87
36	26.40
37	26.93
38	27.47
39	28.00
40	28.54
41	29.07
42	29.44
43	29.90
44	30.24
45	30.67

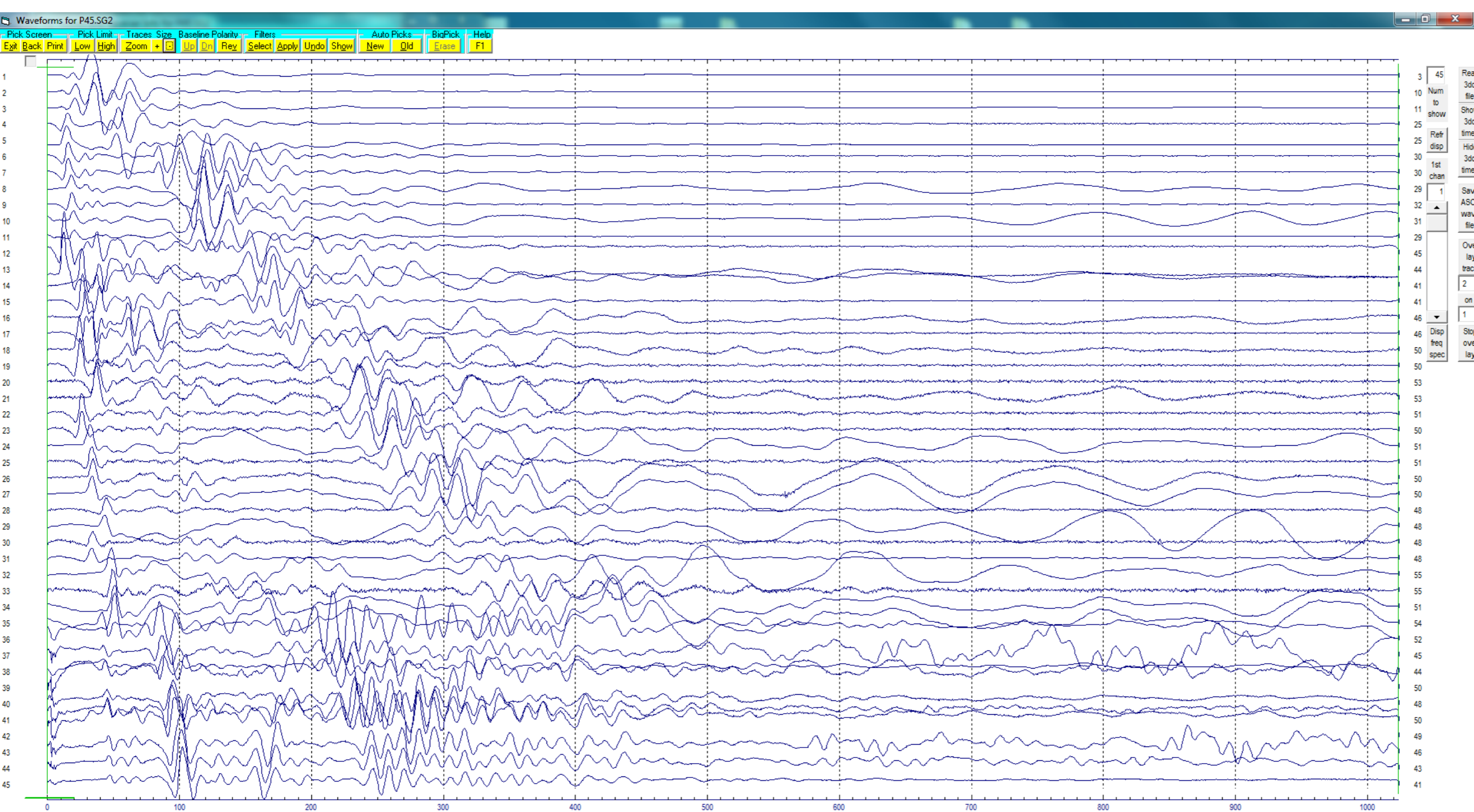
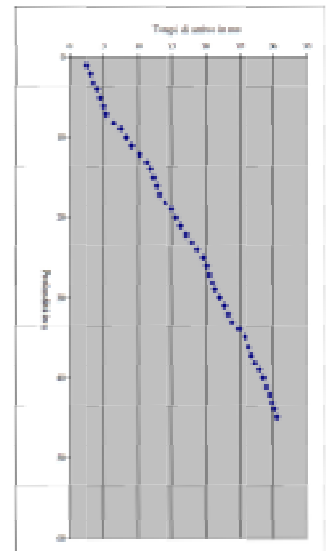
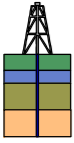


Diagramma di picking



C.G.A.



Committente: INTERGEO S.r.l.

Prova : DH S1

Località: Sovrappasso n°141 (MO)

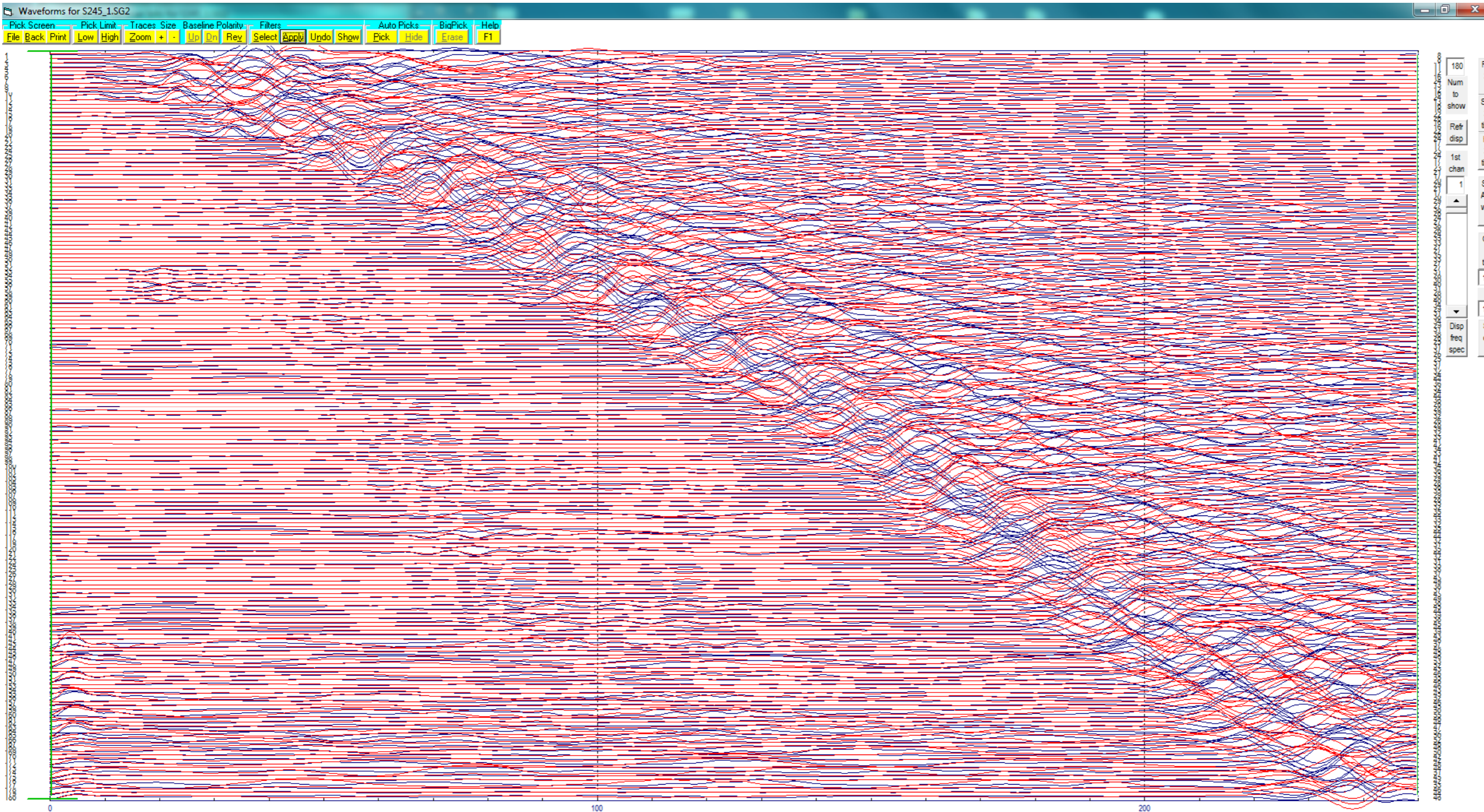
Data: 29 /08/ 2012

Cod.Lav. 55/2012

Onde S Certificato: Certificato n° A599GF142A22S141S

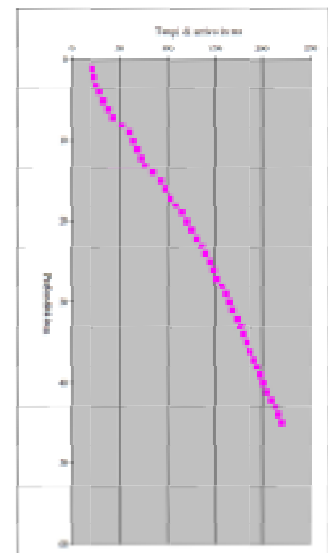
Distanza sorgente - sondaggio = 1.85 m

Tempi di picking in ms

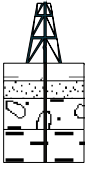


	Ts
1	21.33
2	23.47
3	25.50
4	29.73
5	33.87
6	38.97
7	43.47
8	52.00
9	60.53
10	64.53
11	68.53
12	72.80
13	77.07
14	84.94
15	92.80
16	98.13
17	103.47
18	109.60
19	115.73
20	120.40
21	125.07
22	130.53
23	136.00
24	140.87
25	145.53
26	148.80
27	152.27
28	156.80
29	161.13
30	164.53
31	167.73
32	172.27
33	176.80
34	180.13
35	183.47
36	187.50
37	191.50
38	195.00
39	198.50
40	201.50
41	205.00
42	210.00
43	214.00
44	217.00
45	220.50

Diagramma di picking



C.G.A.

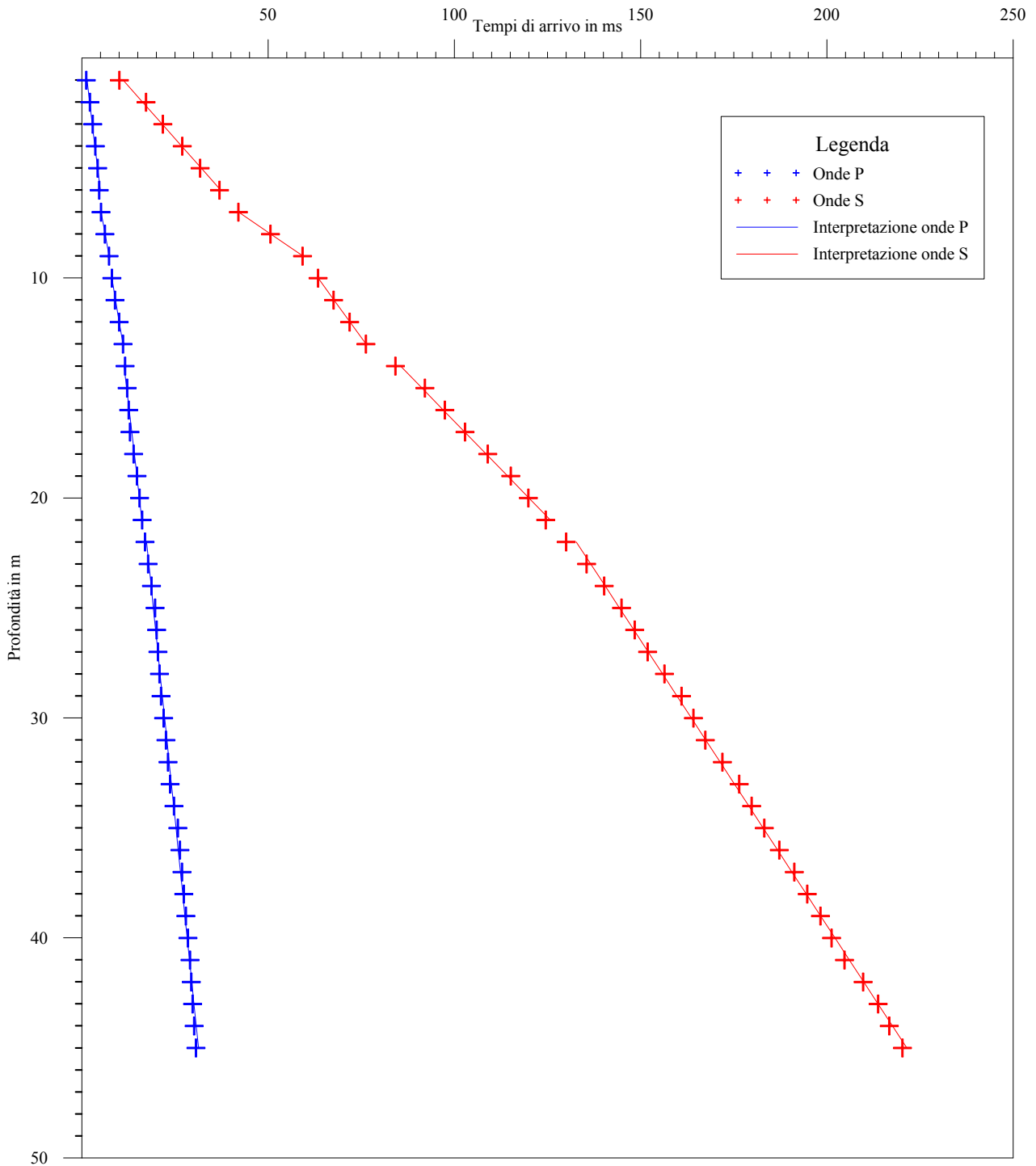


Laboratorio di geofisica

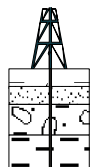
**Committente:** Intergeo S.r.l. **Prova :** A22S141 - DH S1  
**Località:** Campogalliano (MO) **Data:** 29 Agosto 2012

## Interpretazione con il metodo diretto

Certificato n° A599GF142A22S141CL55/12-60dro



C.G.A.

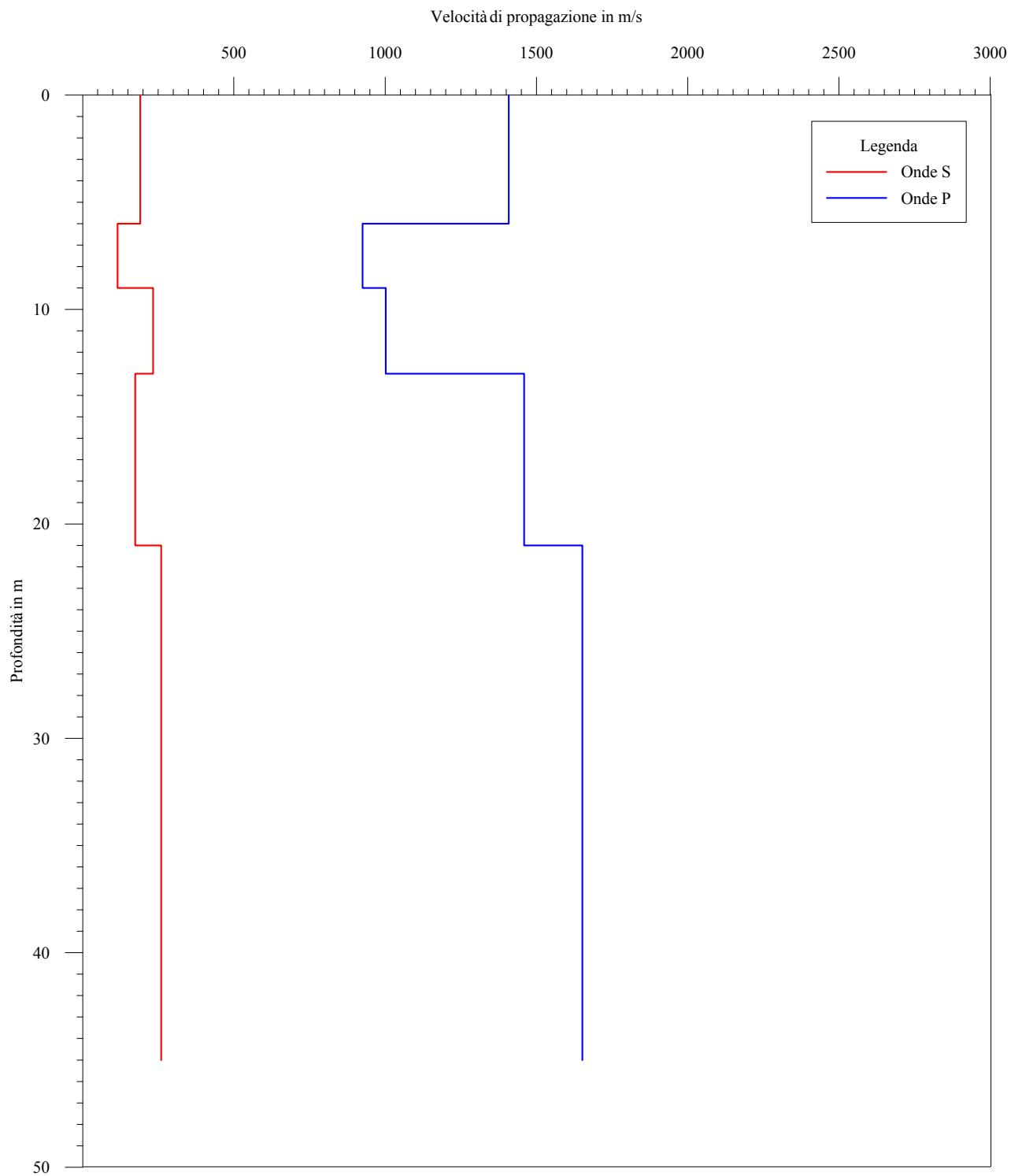


Laboratorio di geofisica

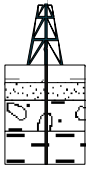
**Committente:** Intergeo S.r.l. **Prova :** A22S141 - DH S1  
**Località:** Campogalliano (MO) **Data:** 29 Agosto 2012

## Interpretazione con il metodo diretto

Certificato n° A599GF142A22S141CL55/12-60vstr



C.G.A.

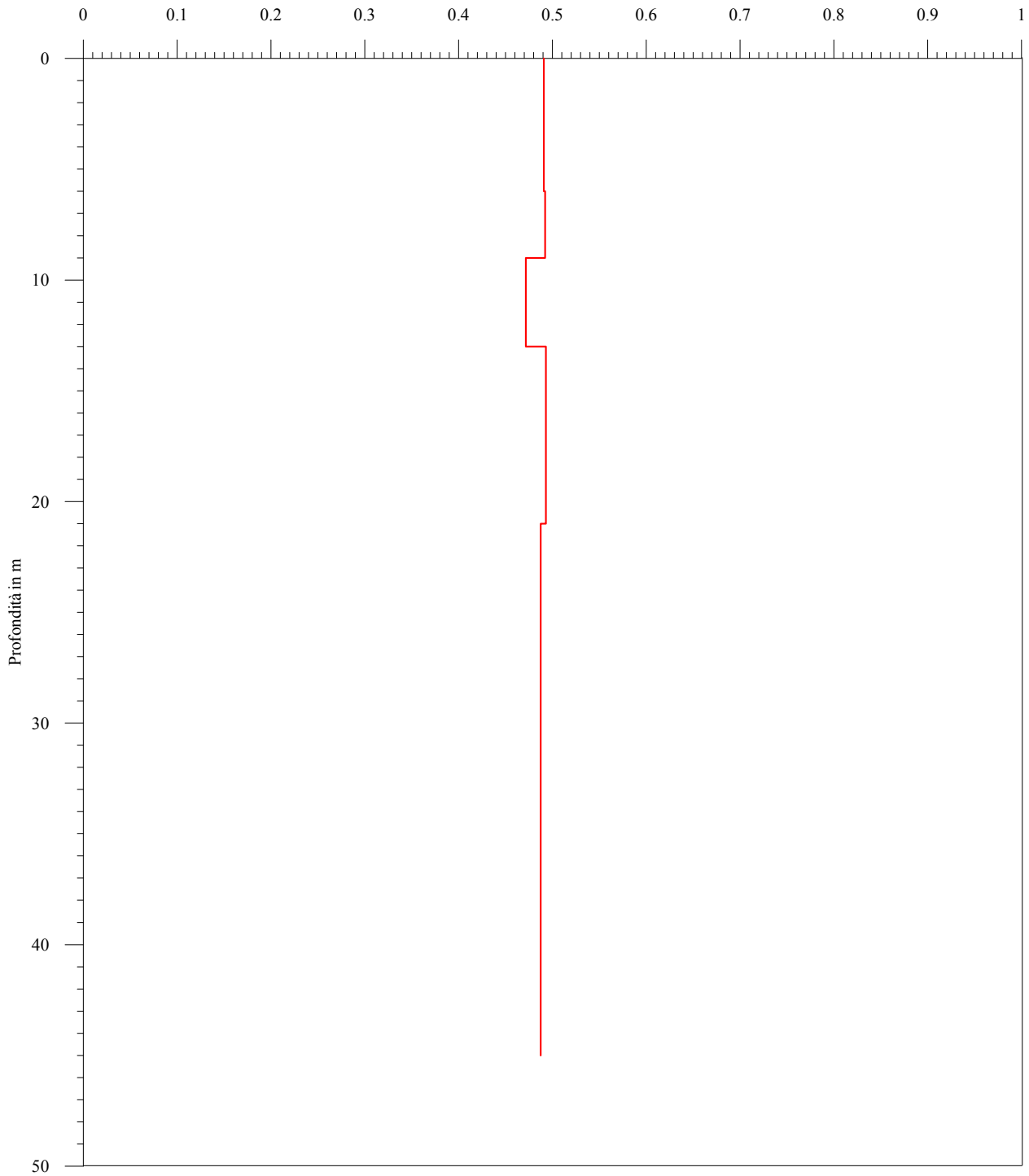


Laboratorio di geofisica

**Committente:** Intergeo S.r.l. **Prova :** A22S141 - DH S1  
**Località:** Campogalliano (MO) **Data:** 29 Agosto 2012

## Metodo diretto - Coefficiente di Poisson

Certificato n° A599GF142A22S141CL55/12-60dirpoi





C.G.A.

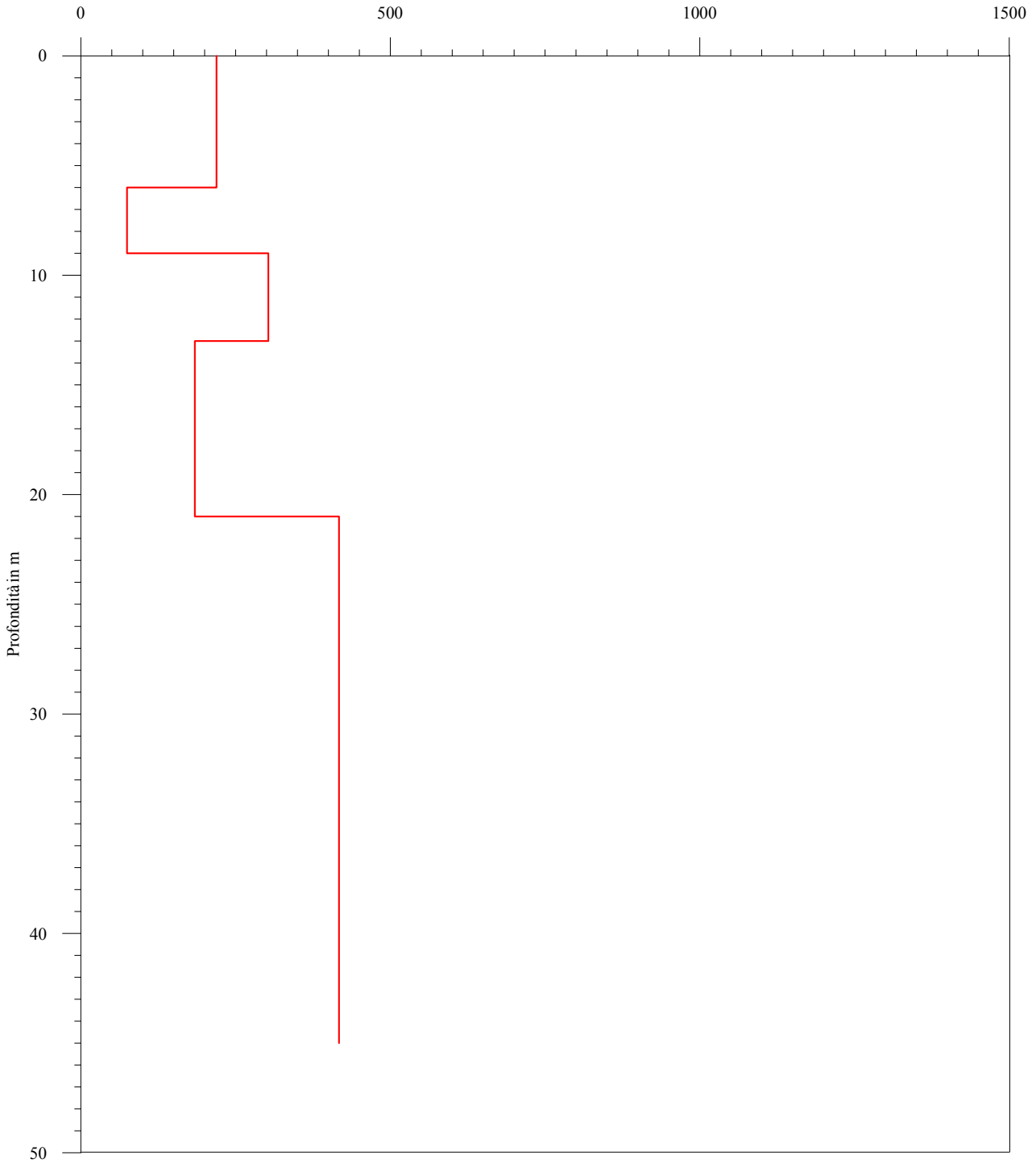


Laboratorio di geofisica

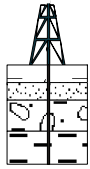
**Committente:** Intergeo S.r.l. **Prova :** A22S141 - DH S1  
**Località:** Campogalliano (MO) **Data:** 29 Agosto 2012

## Metodo diretto - Modulo di Young

Certificato n° A599GF142A22S141CL55/12-60diryou



C.G.A.

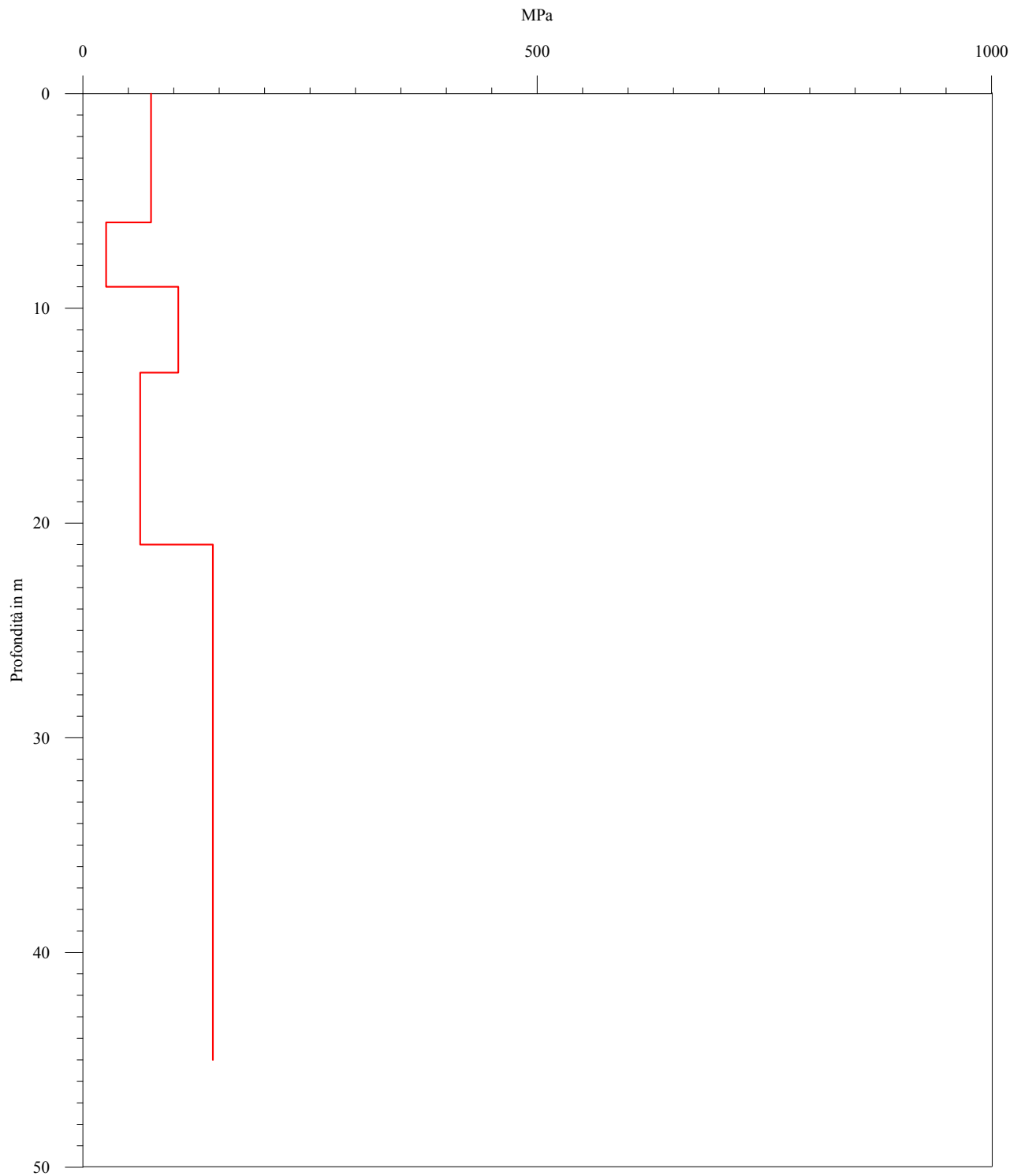


Laboratorio di geofisica

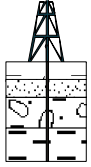
**Committente:** Intergeo S.r.l. **Prova :** A22S141 - DH S1  
**Località:** Campogalliano (MO) **Data:** 29 Agosto 2012

## Metodo diretto - Modulo di deformazione al taglio

Certificato n° A599GF142A22S141CL55/12-60dirtag



C.G.A.

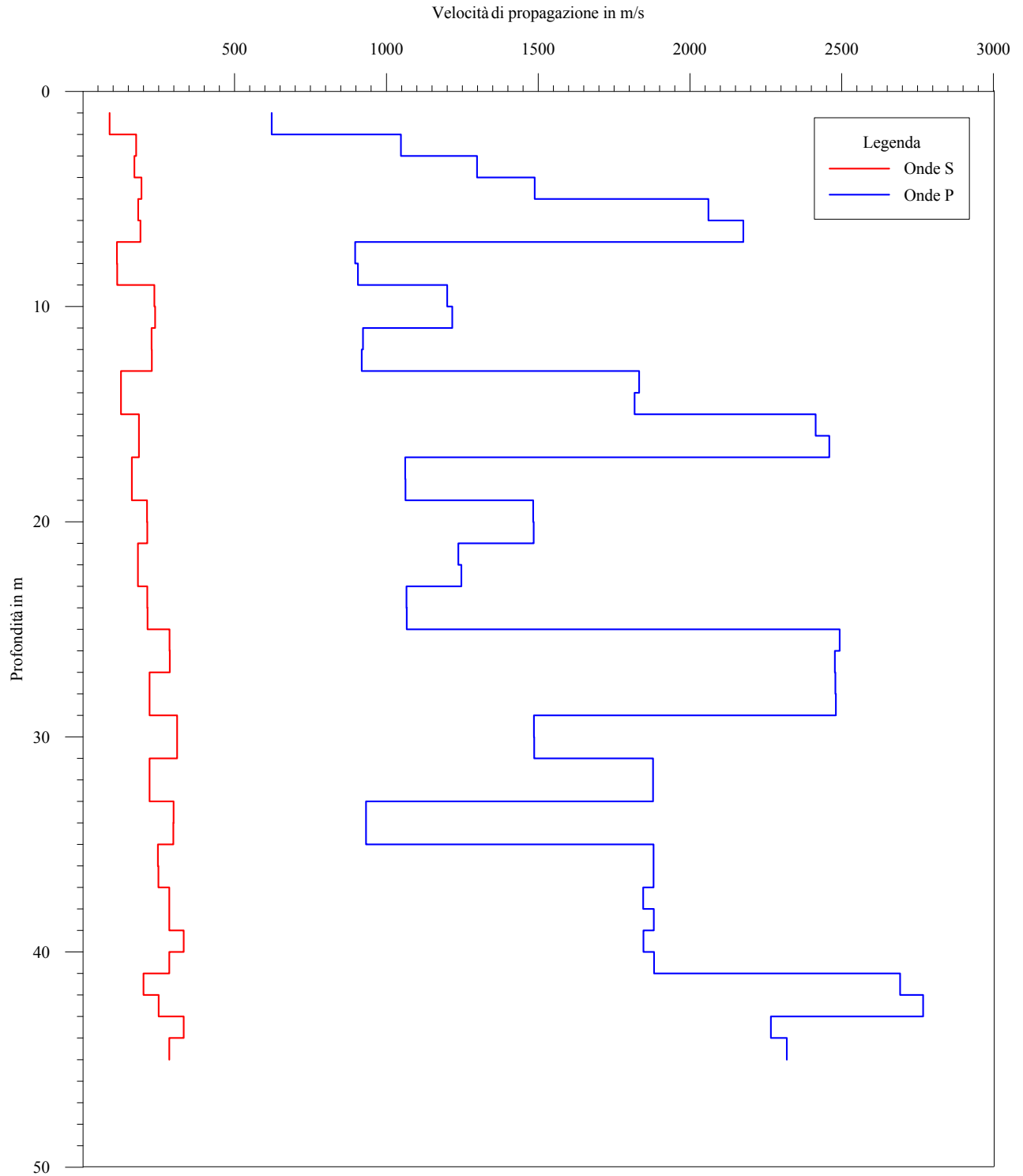


Laboratorio di geofisica

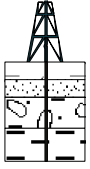
**Committente:** Intergeo S.r.l. **Prova :** A22S141 - DH S1  
**Località:** Campogalliano (MO) **Data:** 29 Agosto 2012

## Interpretazione con il metodo del pseudointervallo

Certificato n° A599GF142A22S141CL55/12-60vint



C.G.A.

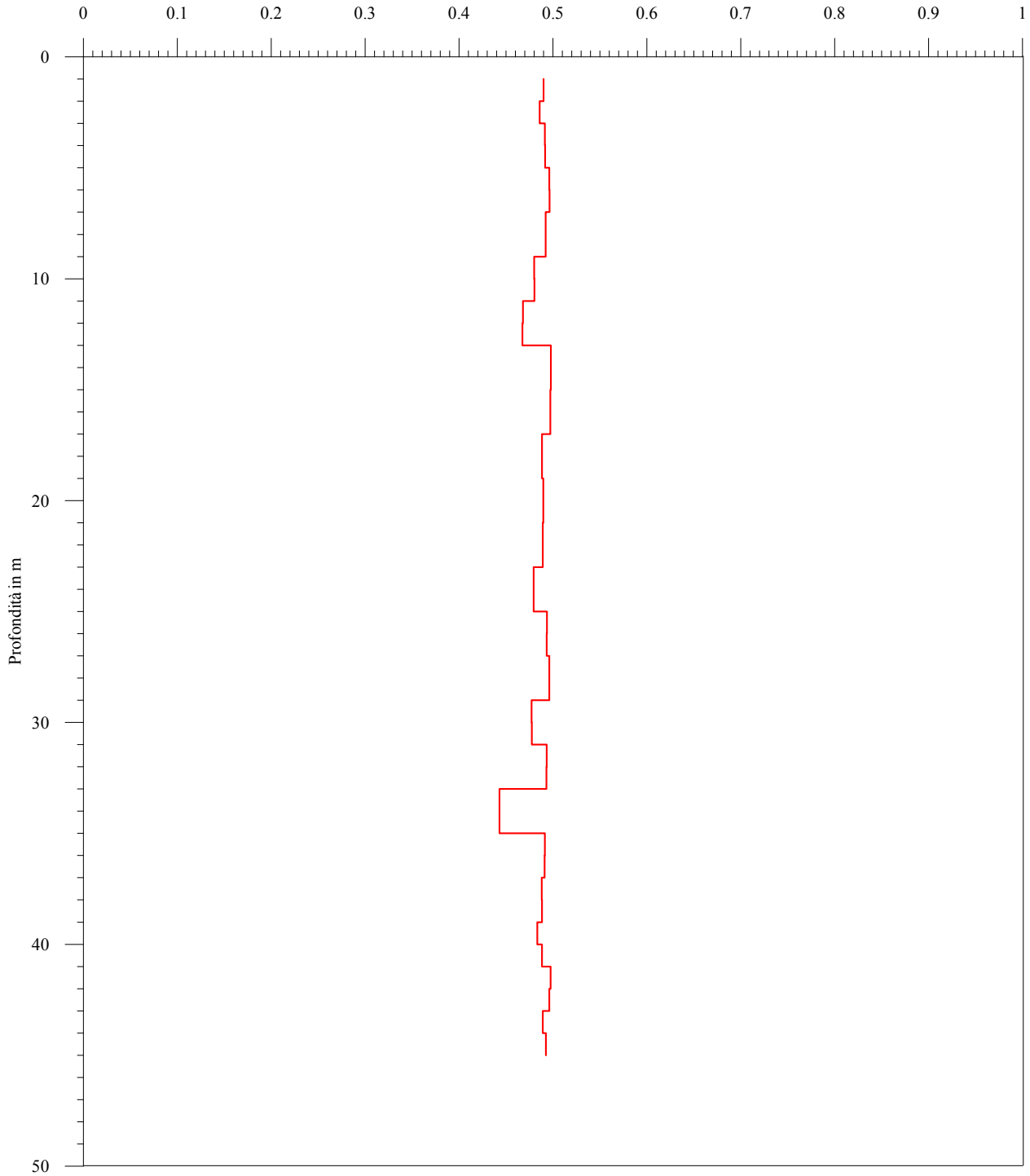


Laboratorio di geofisica

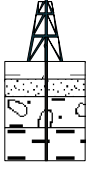
**Committente:** Intergeo S.r.l. **Prova :** A22S141 - DH S1  
**Località:** Campogalliano (MO) **Data:** 29 Agosto 2012

## Metodo pseudointervallo - Coefficiente di Poisson

Certificato n° A599GF142A22S141CL55/12-60intpoi



C.G.A.

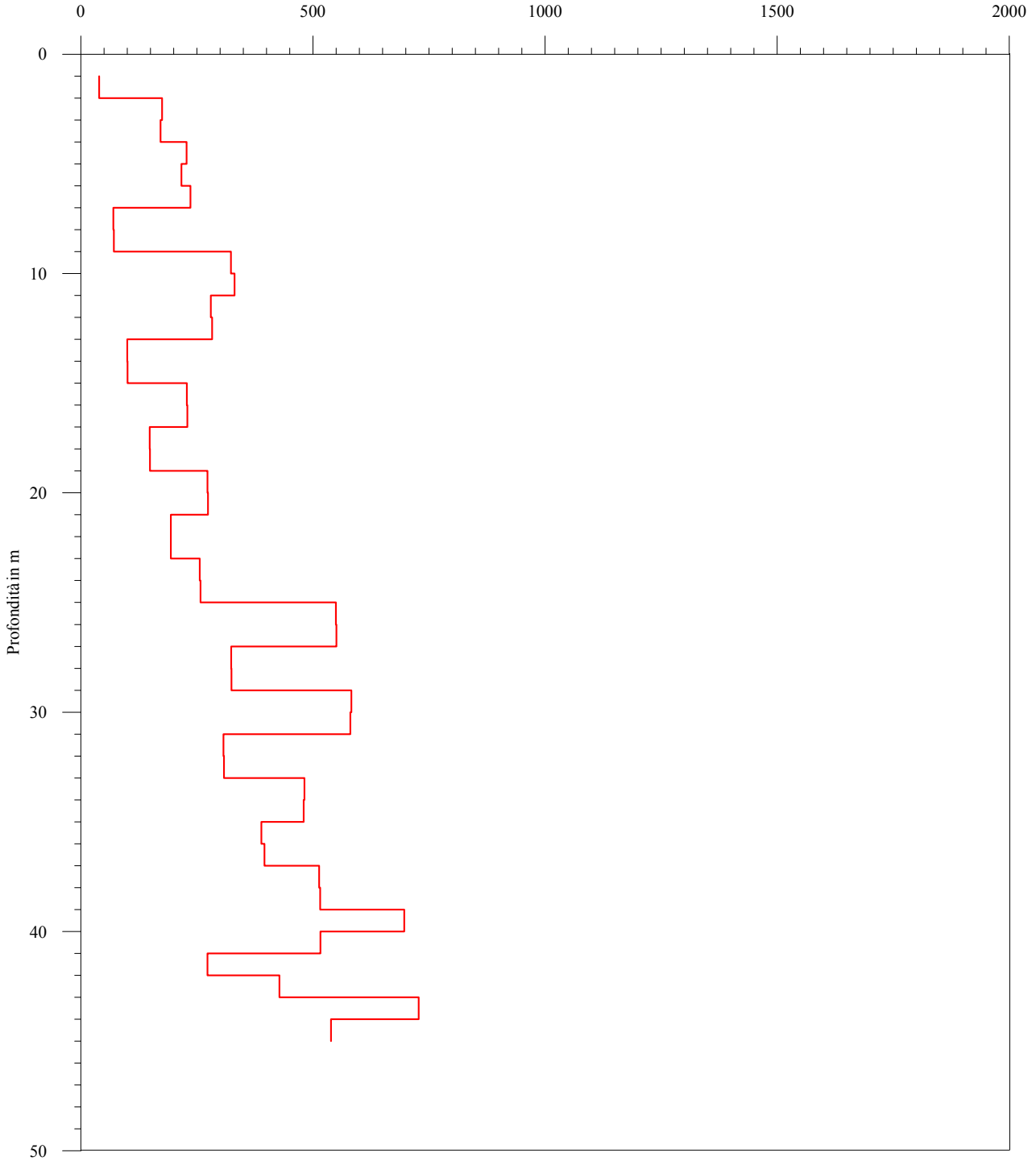


Laboratorio di geofisica

**Committente:** Intergeo S.r.l. **Prova :** A22S141 - DH S1  
**Località:** Campogalliano (MO) **Data:** 29 Agosto 2012

## Metodo pseudointervallo - Modulo di Young

Certificato n° A599GF142A22S141CL55/12-60intyou



C.G.A.

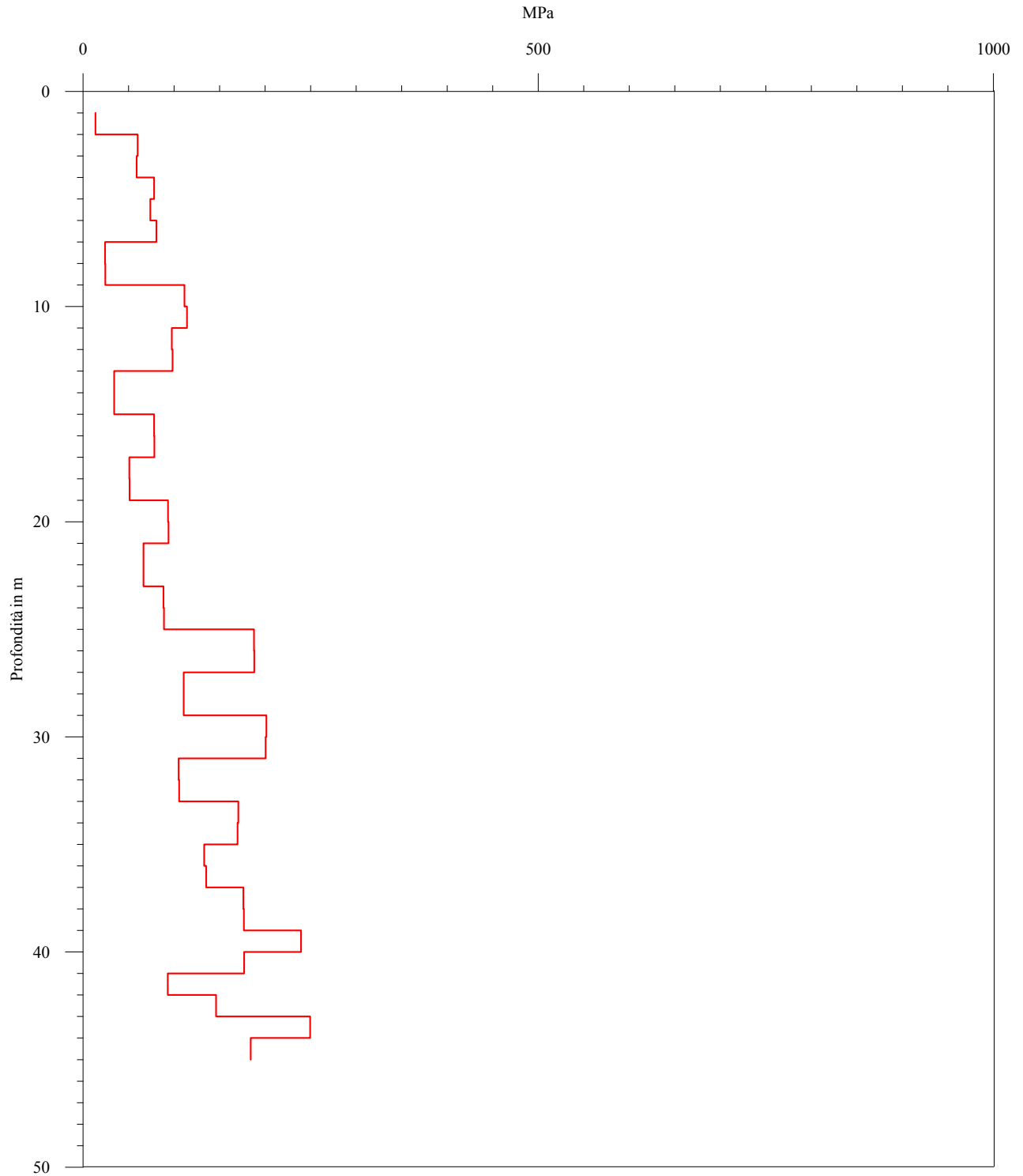


Laboratorio di geofisica

**Committente:** Intergeo S.r.l. **Prova :** A22S141 - DH S1  
**Località:** Campogalliano (MO) **Data:** 29 Agosto 2012

**Metodo pseudointervallo - Modulo di deformazione al taglio**

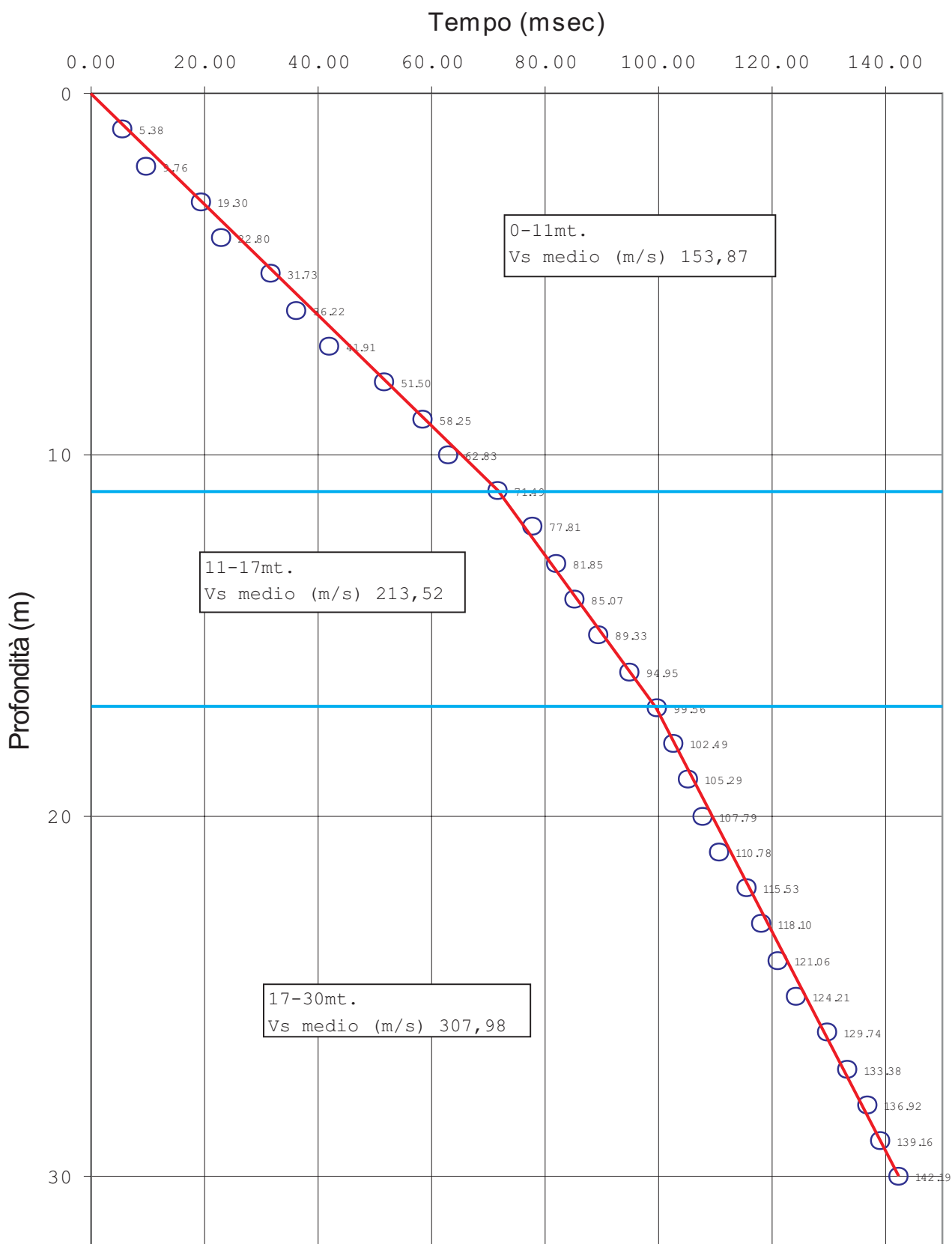
Certificato n° A599GF142A22S141CL55/12-60inttag



Metodo diretto - Velocità e parametri calcolati						
Profondità (m)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	$\gamma$ dinamico (KN)	Coefficiente di Poisson	Modulo di Young (MPa)	Modulo di deformazione al taglio (MPa)
6.00	1408.16	190.63	19.83	0.49	219.09	74.94
9.00	925.50	115.81	18.31	0.49	74.73	25.54
13.00	1001.85	233.01	18.59	0.47	302.85	104.94
21.00	1459.57	174.04	19.97	0.49	184.13	62.89
45.00	1651.38	259.35	20.44	0.49	417.03	142.96

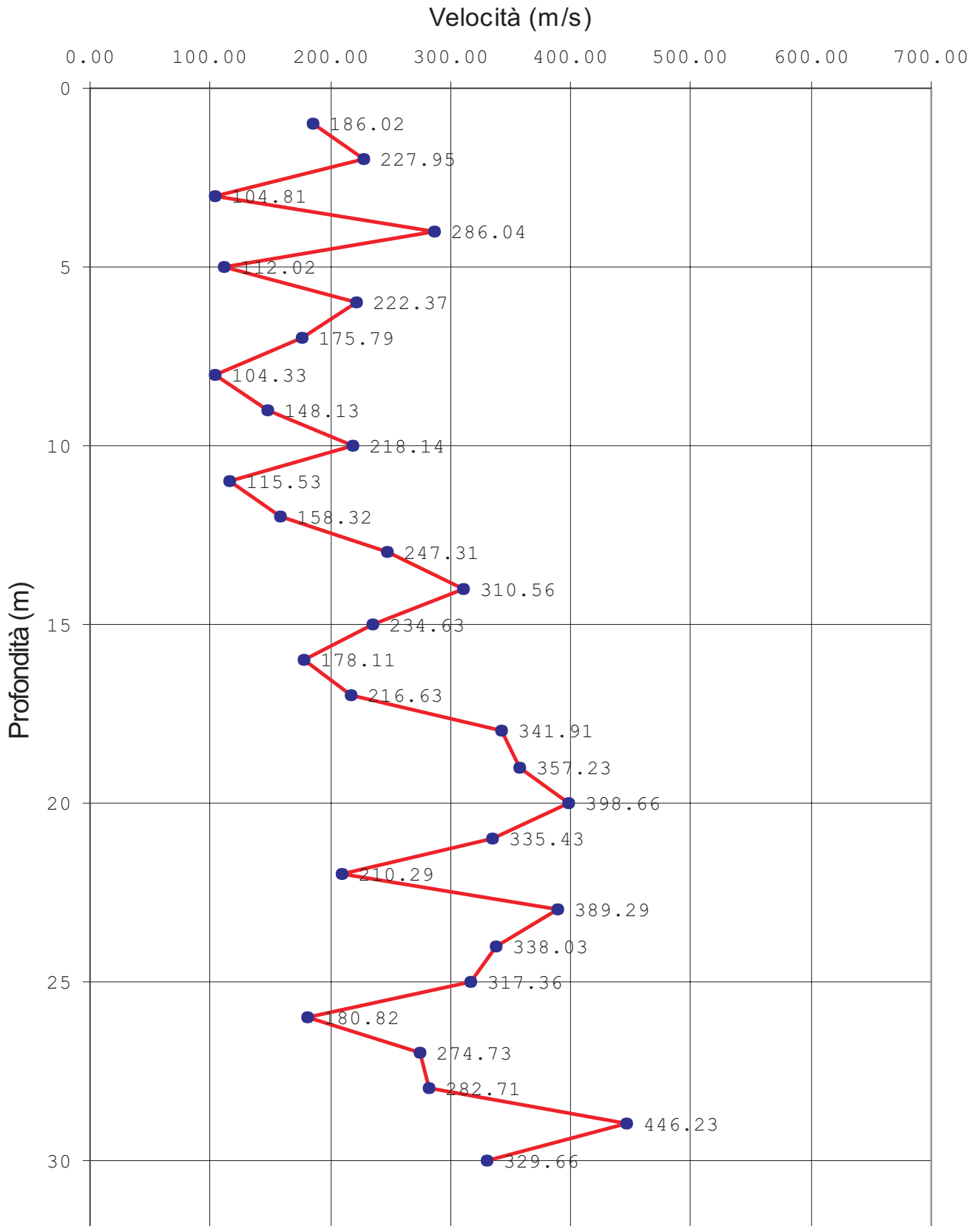
Metodo intervallo - Velocità e parametri calcolati						
Profondità (m)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	$\gamma$ dinamico (KN)	Coefficiente di Poisson	Modulo di Young (MPa)	Modulo di deformazione al taglio (MPa)
2.00	622.18	87.69	16.98	0.49	39.68	13.58
3.00	1048.12	175.44	18.75	0.49	174.84	60.01
4.00	1298.81	169.92	19.53	0.49	171.49	58.63
5.00	1488.64	193.39	20.04	0.49	227.98	77.94
6.00	2060.53	182.53	21.32	0.50	216.70	73.85
7.00	2175.90	189.63	21.54	0.50	236.36	80.54
8.00	896.90	112.37	18.20	0.49	69.94	23.90
9.00	905.83	113.21	18.24	0.49	71.12	24.30
10.00	1199.99	235.94	19.24	0.48	323.21	111.35
11.00	1216.68	238.42	19.29	0.48	330.93	114.00
12.00	922.44	226.12	18.30	0.47	280.13	97.29
13.00	918.86	227.34	18.29	0.47	282.82	98.27
14.00	1832.57	125.30	20.85	0.50	99.98	34.04
15.00	1817.27	125.66	20.82	0.50	100.38	34.17
16.00	2413.62	184.62	21.97	0.50	228.61	77.86
17.00	2458.84	184.74	22.05	0.50	229.74	78.24
18.00	1062.08	161.28	18.80	0.49	148.39	50.84
19.00	1062.99	161.54	18.80	0.49	148.89	51.01
20.00	1483.70	211.68	20.03	0.49	272.65	93.32
21.00	1485.26	212.07	20.03	0.49	273.70	93.68
22.00	1236.55	181.60	19.35	0.49	193.74	66.34
23.00	1246.55	181.50	19.38	0.49	193.85	66.37
24.00	1066.32	212.48	18.81	0.48	256.22	88.31
25.00	1066.71	213.08	18.81	0.48	257.66	88.81
26.00	2493.18	285.70	22.10	0.49	549.48	187.60
27.00	2476.95	286.16	22.08	0.49	550.54	187.98
28.00	2478.94	219.38	22.08	0.50	324.23	110.50
29.00	2480.70	219.42	22.08	0.50	324.40	110.56
30.00	1486.15	310.79	20.03	0.48	582.96	201.22
31.00	1486.58	310.18	20.04	0.48	580.74	200.44
32.00	1877.92	219.56	20.95	0.49	307.46	104.99
33.00	1878.52	219.91	20.95	0.49	308.45	105.33
34.00	932.66	298.85	18.34	0.44	481.89	170.29
35.00	932.74	298.32	18.34	0.44	480.28	169.69
36.00	1879.72	247.09	20.95	0.49	388.97	132.99
37.00	1880.15	249.17	20.95	0.49	395.54	135.25
38.00	1845.83	284.70	20.88	0.49	513.44	175.95
39.00	1880.90	284.76	20.95	0.49	515.65	176.65
40.00	1846.49	332.11	20.88	0.48	696.60	239.45
41.00	1881.53	284.86	20.95	0.49	516.08	176.80
42.00	2692.53	199.60	22.43	0.50	272.87	92.92
43.00	2767.64	249.41	22.55	0.50	427.90	145.84
44.00	2266.31	332.34	21.71	0.49	728.08	249.31
45.00	2319.21	285.02	21.80	0.49	539.07	184.17

## DROMOCRONA RILIEVO SISMICO DOWN HOLE S6





## DIAGRAFIA RILIEVO SISMICO DOWN HOLE S6





Nota la velocità delle onde P ed S è possibile determinare, in funzione della densità, parametri geotecnici quali il coefficiente di Poisson, il modulo elastico dinamico e il modulo di taglio dinamico.

In conclusione vengono restituiti i diagrammi 1D della velocità (onde P e onde S), il diagramma del coefficiente di Poisson, il diagramma del modulo elastico dinamico e il diagramma del modulo di taglio dinamico, tutti in funzione della profondità.

#### 4.5 Risultati

L'analisi delle onde P ed S ha consentito di determinare le velocità  $V_p$  e  $V_s$  e calcolare il valore di  $V_{s30}$  a partire da piano campagna; sono inoltre stati calcolati i parametri geotecnici dinamici per la prova down hole realizzata.

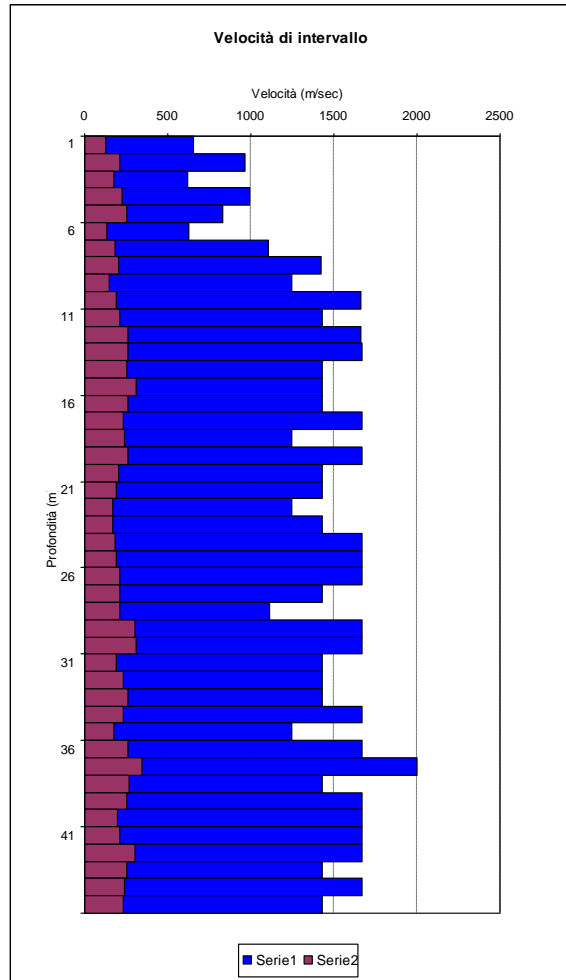
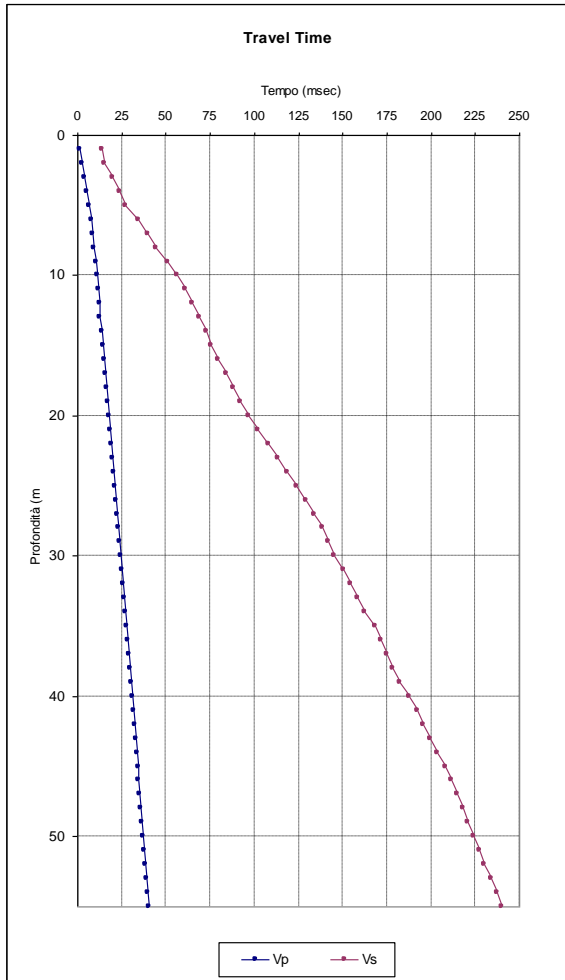
#### SONDAGGIO S3 DH

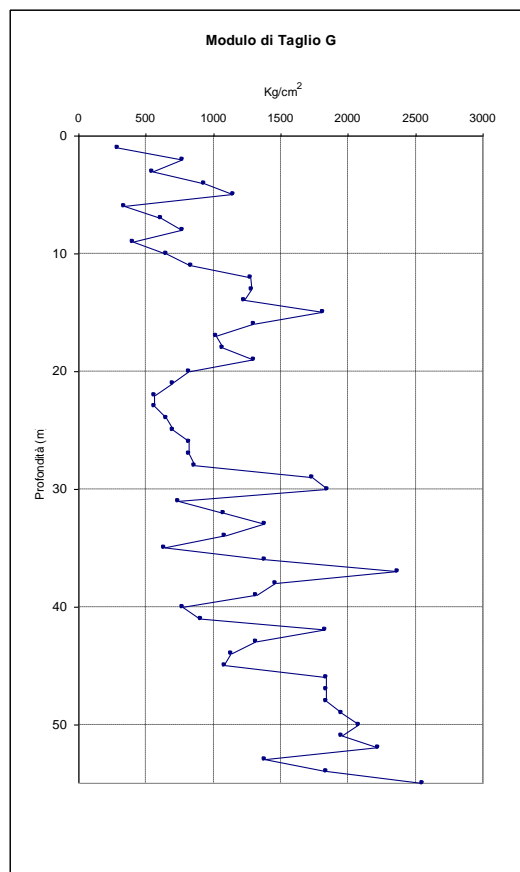
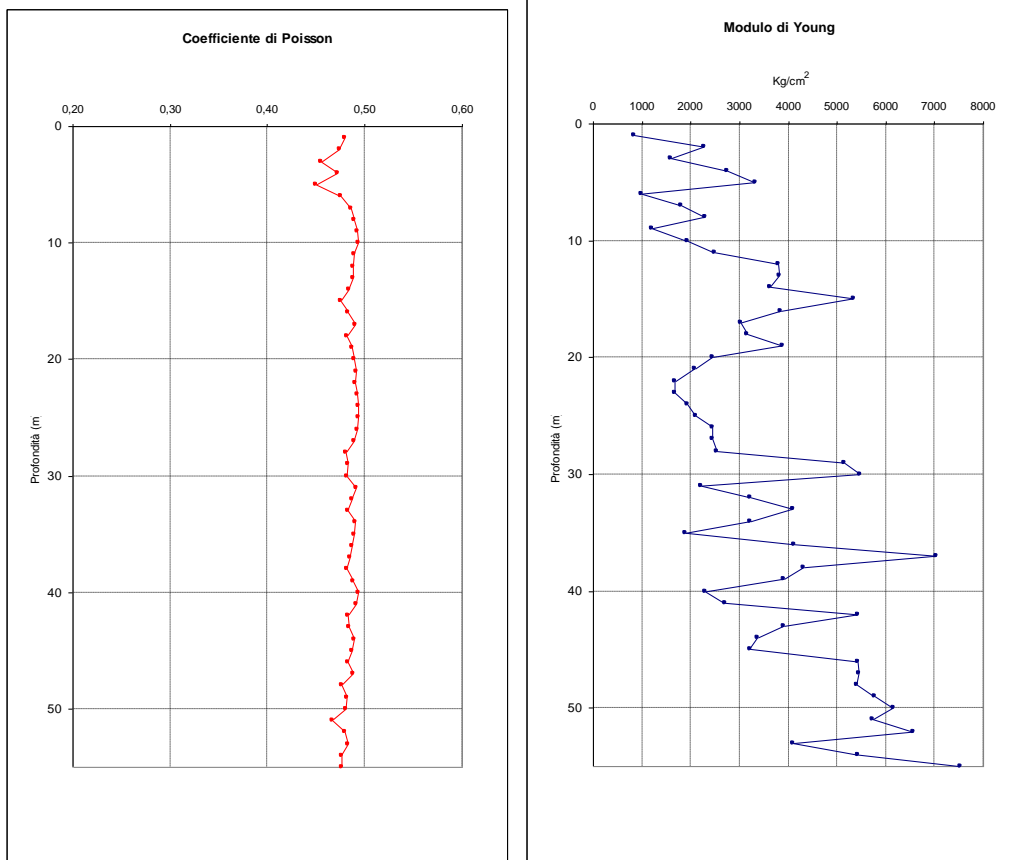
Profondità (m)	ONDE P		ONDE S		Poisson	Modulo di Young E (Kg/cm <sup>2</sup> )	Modulo di Taglio G (Kg/cm <sup>2</sup> )
	T. arrivo (msec)	V intervallo (m/sec)	T. arrivo (msec)	V intervallo (m/sec)			
1	1,6	652,5	13,9	129,7	0,48	846	286
2	2,6	962,7	15,5	213,2	0,47	2279	773
3	4,2	621,9	20,1	179,3	0,45	1590	546
4	5,2	993,8	23,9	227,3	0,47	2738	930
5	6,4	831,2	27,5	252,4	0,45	3324	1147
6	8,0	624,4	34,7	136,5	0,47	990	336
7	8,9	1108,9	40,0	183,5	0,49	1802	606
8	9,6	1425,7	44,7	207,4	0,49	2305	774
9	10,4	1248,5	51,3	150,0	0,49	1209	405
10	11,0	1664,4	56,5	189,6	0,49	1934	647
11	11,7	1427,4	61,2	209,9	0,49	2493	837
12	12,3	1665,3	65,0	259,1	0,49	3795	1276
13	12,9	1665,5	68,8	259,8	0,49	3817	1283
14	13,6	1427,9	72,7	253,8	0,48	3632	1224
15	14,3	1428,0	75,9	308,9	0,48	5351	1813
16	15,0	1428,1	79,7	261,2	0,48	3844	1296
17	15,6	1666,1	84,0	231,3	0,49	3030	1017
18	16,4	1249,8	88,2	236,9	0,48	3160	1067
19	17,0	1666,2	92,0	261,8	0,49	3875	1303
20	17,7	1428,3	96,8	207,7	0,49	2442	820
21	18,4	1428,3	102,0	191,9	0,49	2086	699
22	19,2	1249,9	107,8	172,1	0,49	1678	563
23	19,9	1428,4	113,6	172,2	0,49	1681	563
24	20,5	1666,4	119,0	184,9	0,49	1940	649
25	21,1	1666,4	124,2	192,0	0,49	2091	700
26	21,7	1666,5	129,0	208,0	0,49	2452	822
27	22,4	1428,4	133,8	208,0	0,49	2448	822



---

28	23,3	1111,1	138,5	212,4	0,48	2539	857
29	23,9	1666,5	141,8	302,2	0,48	5147	1735
30	24,5	1666,5	145,0	311,7	0,48	5470	1846
31	25,2	1428,5	150,2	192,1	0,49	2201	738
32	25,9	1428,5	154,5	232,2	0,49	3207	1079
33	26,6	1428,5	158,3	262,7	0,48	4093	1381
34	27,2	1666,6	162,6	232,3	0,49	3216	1079
35	28,0	1250,0	168,2	178,5	0,49	1897	637
36	28,6	1666,6	172,0	262,8	0,49	4109	1381
37	29,1	1999,9	174,9	344,2	0,48	7035	2369
38	29,8	1428,5	178,6	269,9	0,48	4318	1457
39	30,4	1666,6	182,5	256,1	0,49	3905	1312
40	31,0	1666,6	187,6	196,0	0,49	2293	768
41	31,6	1666,6	192,3	212,6	0,49	2698	904
42	32,2	1666,6	195,6	302,7	0,48	5434	1832
43	32,9	1428,5	199,5	256,2	0,48	3894	1313
44	33,5	1666,6	203,7	237,9	0,49	3373	1132
45	34,2	1428,5	208,0	232,4	0,49	3211	1080
46	34,8	1666,6	211,3	302,7	0,48	5436	1833
47	35,3	1999,9	214,6	302,8	0,49	5457	1833
48	36,0	1428,5	217,9	302,8	0,48	5414	1833
49	36,6	1666,6	221,1	312,2	0,48	5778	1950
50	37,2	1666,6	224,2	322,3	0,48	6152	2078
51	38,0	1250,0	227,4	312,3	0,47	5720	1950
52	38,6	1666,6	230,4	333,1	0,48	6563	2219
53	39,3	1428,5	234,2	263,0	0,48	4102	1384
54	40,0	1428,5	237,5	302,8	0,48	5416	1834
55	40,6	1666,6	240,3	356,9	0,48	7518	2547







---

Il valore  $V_{s30}$  ricavato dalla prova down hole è **207 m/sec**.

Considerando quanto sopra indicato, secondo normativa, **la categoria di appartenenza del litotipo equivalente è pertanto la C:**

*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s30}$  compresi tra 180 m/s e 360 m/s.*

**MO-SC31-DH**

- esame visivo del campione, descrizione e classificazione geotecnica del terreno (AGI 1994);
- analisi granulometrica mediante setacciatura per via secca delle particelle superiori a 63 Micron (AGI 1994);
- analisi granulometrica per sedimentazione, (aerometria) riservata alle frazioni di terra con diametro delle particelle inferiori a 63 Micron, mediante procedimento per decantazione (AGI 1994);
- determinazione dei Limiti di Atterberg, limiti di liquidità e di plasticità secondo la metodologia di Casagrande (ASTM D4318-93).

**2.4 Indagine geofisica Down-Hole (DH)**

L'esplorazione geofisica richiesta per la determinazione delle velocità sismiche dei vari strati del sottosuolo, caratterizzati da diverse caratteristiche fisico - meccaniche, ha previsto l'esecuzione di un'indagine di sismica attiva tipo Down-Hole.

Il metodo Down-Hole (DH) si riferisce alla misurazione del tempo di percorrenza delle onde P e S nel tragitto tra la sorgente sismica, posta in superficie e i ricevitori posti all'interno del foro di sondaggio opportunamente predisposto. Alla determinazione di tali velocità si risale mediante la misura dei tempi necessari ad un impulso sismico (a prevalente deformazione di volume, cioè onda di compressione) per percorrere lo spazio che separa il punto di origine dal punto di posizionamento

**MO-SC31-DH**

del sensore inserito nel foro attrezzato un geofono 3D, dotato di ancoraggio pneumatico al foro, ad intervalli prestabiliti, dal basso verso l'alto vengono generate con una sorgente artificiale le seguenti onde:

- Onde P con una sorgente verticale;
- Onde SH mediante la tecnica dell'inversione di fase che consiste nel colpire lateralmente e nei due sensi la piastra (in genere una trave di legno ortogonale al foro e aderente al terreno grazie al peso di un automezzo che la sovrasta).

Le misure di campagna sono state eseguite nel mese di dicembre 2014 in corrispondenza del punto di sondaggio S2 (DH2) sino alla profondità massima di 45 metri p.c. con la frequenza di una acquisizione ogni metro per un totale di 135 acquisizioni (45 acquisizioni onde P, 45 geofono SHx e 45 geofono SHy).

Si è utilizzato un sismografo digitale ECHO 12-24 2002 della AMBROGEO srl caratterizzato da 24 canali di acquisizione digitale con dinamica a 16 bit e campionamento del segnale ad intervalli di 130 microsecondi e filtro analogico Low Pass a 50 Hz.

Le acquisizioni sono state effettuate mediante un geofono 3D con frequenza propria 14 Hz con distanza geofonica di 1 m, a 7651 Hz per 1 sec., i tiri sono stati eseguiti a 3 m dal foro con finestra di acquisizione pari a 1000 millisecondi, utilizzando come sorgente un maglio battente da 50 kg con trigger

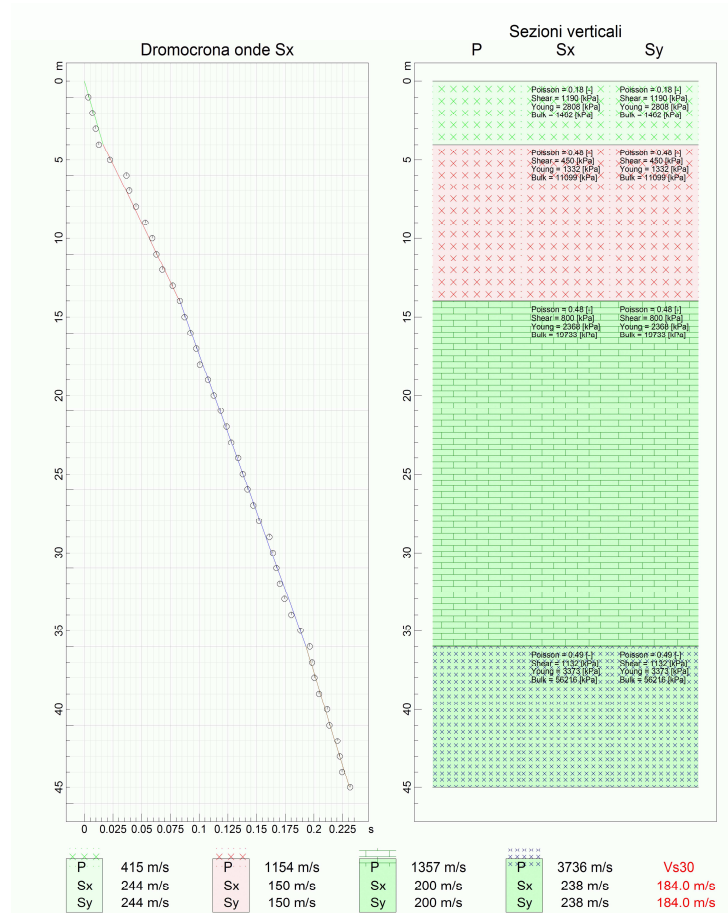


**MO-SC31-DH**

(dispositivo per il comando di avvio della registrazione) con 2 colpi (Vs) di maglio per tiro.

**3. INTERPRETAZIONE GEOFISICA SISMICA DH ONDE VP-VS**

L'analisi dei dati sismici è stata eseguita con il metodo a raggio rettilineo diretto, che consiste nel diagrammare i tempi di tragitto misurati  $t_{OSS}$  lungo il percorso sorgente-ricevitore in funzione della profondità  $z$ . I  $t_{OSS}$  vengono opportunamente corretti per tenere conto dell'inclinazione del percorso delle onde.



**Figura 1 - Interpretazione DH2\_S2-142 metodo a raggio rettilineo.**

## MO-SC31-DH

**Tabella 4 - ANALISI SISMICA DOWN-HOLE 2**  
PRIMI ARRIVI

N° Geof.	Profondità [m]	Onde P [ms]	Onde S (X) [ms]	Onde S (Y) [ms]	Onde P (corretti) [ms]	Onde S (X) (corretti) [ms]	Onde S (Y) (corretti) [ms]
1	1.00	8.30	10.80	10.80	2.62	3.42	3.42
2	2.00	9.20	12.50	12.50	5.1	6.93	6.93
3	3.00	11.70	14.00	14.00	8.27	9.9	9.9
4	4.00	11.90	15.80	15.80	9.52	12.64	12.64
5	5.00	12.30	26.00	26.00	10.55	21	21
6	6.00	12.50	41.00	41.00	11.18	30	30
7	7.00	12.80	42.50	42.50	11.77	39.06	39.06
8	8.00	13.30	48.00	48.00	12.45	44.94	44.94
9	9.00	14.20	56.00	56.00	13.47	53.13	53.13
10	10.00	15.80	61.70	61.70	15.13	59.1	59.1
11	11.00	16.70	65.00	65.00	16.11	62.71	62.71
12	12.00	17.50	70.00	70.00	16.98	67.91	67.91
13	13.00	18.30	79.00	79.00	17.83	76.98	76.98
14	14.00	19.20	85.00	85.00	18.77	83.11	83.11
15	15.00	20.00	89.00	89.00	19.61	87.27	87.27
16	16.00	20.80	94.00	94.00	20.44	92.39	92.39
17	17.00	21.00	99.00	99.00	21	97.49	97.49
18	18.00	21.70	102.00	102.00	21.4	101	101
19	19.00	22.00	109.00	109.00	21.8	107.67	107.67
20	20.00	22.50	114.00	114.00	22.25	112.74	112.74
21	21.00	22.90	120.00	120.00	22.67	118.79	118.79
22	22.00	23.20	125.00	125.00	23.2	123.85	123.85
23	23.00	25.00	129.00	129.00	24.79	127.92	127.92
24	24.00	25.80	135.00	135.00	25.6	133.96	133.96
25	25.00	26.20	139.00	139.00	26.01	138.01	138.01
26	26.00	26.70	143.00	143.00	26.52	142.06	142.06
27	27.00	27.50	148.00	148.00	27.33	147.09	147.09
28	28.00	28.30	153.00	153.00	28.14	152.13	152.13
29	29.00	29.00	162.00	162.00	28.85	161.14	161.14
30	30.00	30.10	165.00	165.00	29.95	164.18	164.18
31	31.00	30.80	168.00	168.00	30.66	167.22	167.22
32	32.00	32.10	171.00	171.00	31.96	170.25	170.25
33	33.00	33.30	175.00	175.00	33.16	174.28	174.28
34	34.00	34.20	181.00	181.00	34.07	180.3	180.3
35	35.00	34.50	189.00	189.00	34.37	188.31	188.31
36	36.00	34.70	197.00	197.00	34.58	196.32	196.32
37	37.00	34.90	199.00	199.00	34.79	198.35	198.35
38	38.00	35.10	201.00	201.00	34.99	200.38	200.38
39	39.00	35.40	205.00	205.00	35.3	204.4	204.4
40	40.00	35.70	212.00	212.00	35.6	211.41	211.41
41	41.00	35.90	214.00	214.00	35.8	213.43	213.43
42	42.00	36.20	221.00	221.00	36.11	220.44	220.44
43	43.00	36.50	223.00	223.00	36.41	222.46	222.46
44	44.00	36.80	225.00	225.00	36.71	224.48	224.48
45	45.00	37.00	232.00	232.00	36.92	231.49	231.49

**MO-SC31-DH**

VELOCITA' ONDE P - S <sub>x</sub> - S <sub>y</sub>				
Strato	Profondità [m]	Velocità V <sub>p</sub> [m/s]	Velocità S <sub>x</sub> [m/s]	Velocità S <sub>y</sub> [m/s]
<b>1</b>	4	415	244	244
<b>2</b>	14	1154	150	150
<b>3</b>	36	1357	200	200
<b>4</b>	45	3736	238	238

VELOCITA' MEDIE VS30 e VS45

SUOLO DI TIPO C

Geofono	VS30 [m/s]	VS45 [m/s]
orizzontale S <sub>x</sub>	<b>184</b>	<b>194.9</b>
orizzontale S <sub>y</sub>	<b>184</b>	<b>194.9</b>

**PARAMETRI DINAMICI**

Strato	V <sub>p</sub> (m/s)	V <sub>s</sub> (m/s)	Spessore	V <sub>p</sub> /V <sub>s</sub>	ρ (t/m <sup>3</sup> )	Poisson	G modulo di Taglio dinamico (MPa)	G Modulo di Taglio dinamico (MPa)	E Young (MPa)	E Young (MPa)	Lamè λ(Mpa) □	Bulk k(Mpa)
							ρ, V <sub>s</sub>	E, ν	tabella	G, ν		
<b>1</b>	415	244	4.00	1.70	1.60	0.24	95	155	383	383	138	242
<b>2</b>	1154	150	10.00	7.69	1.95	0.49	44	58	174	174	3336	3375
<b>3</b>	1357	200	22.00	6.79	2.01	0.49	80	104	310	310	4584	4654
<b>4</b>	3736	238	9.00	15.70	2.43	0.50	138	147	441	441	35977	36075

**MO-SC31-DH****Tabella 5** - Interpretazione DH2\_S2-142 metodo a velocità intervallo  
DH 2-Vp e Vs

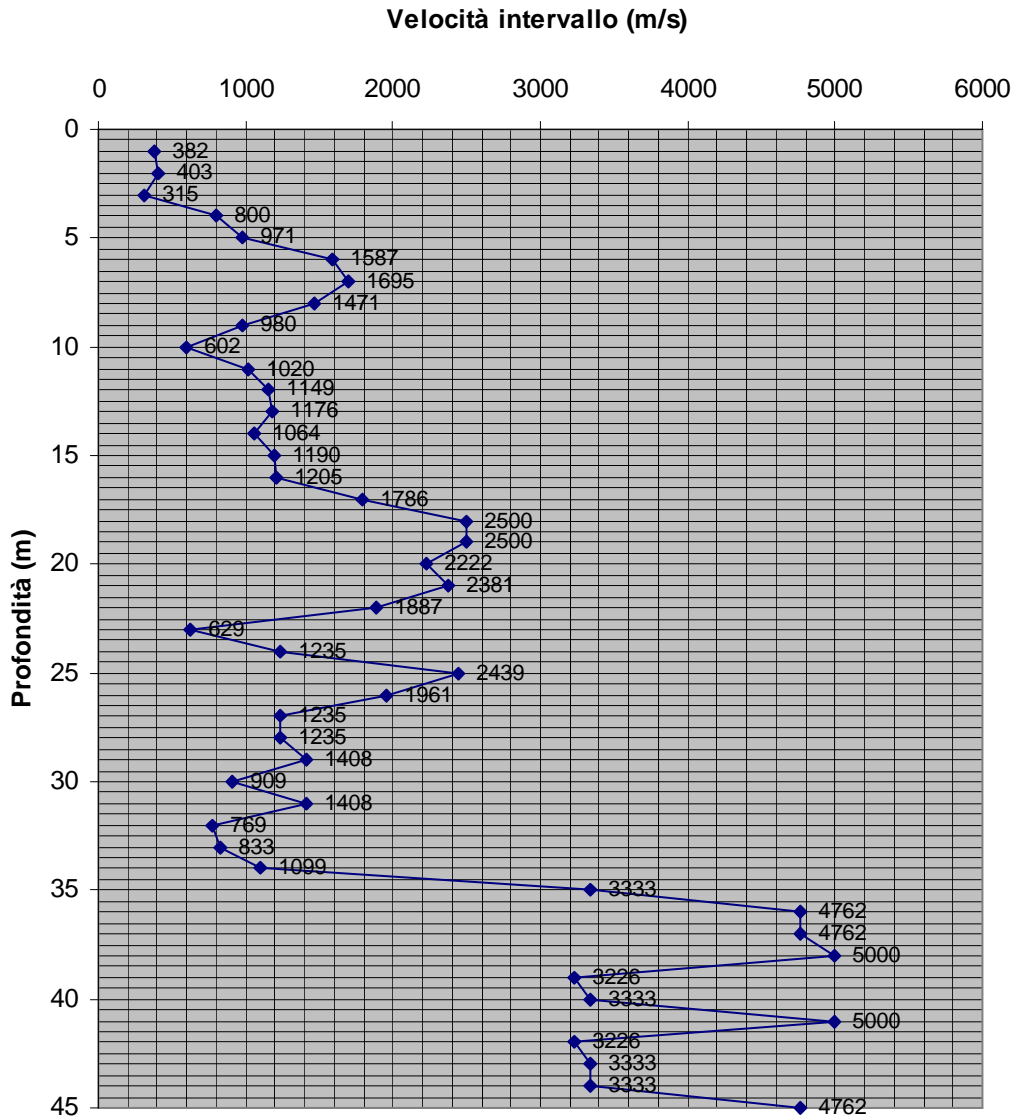
<b>Profondità m</b>	<b>VP intervallo</b>	<b>VS intervallo</b>
1	382	292
2	403	285
3	315	337
4	800	365
5	971	120
6	1587	111
7	1695	110
8	1471	170
9	980	122
10	602	168
11	1020	277
12	1149	192
13	1176	110
14	1064	163
15	1190	240
16	1205	195
17	1786	196
18	2500	285
19	2500	150
20	2222	197
21	2381	165
22	1887	198
23	629	246
24	1235	166
25	2439	247
26	1961	247
27	1235	199
28	1235	198
29	1408	111
30	909	329
31	1408	329
32	769	330
33	833	248
34	1099	166

**MO-SC31-DH**

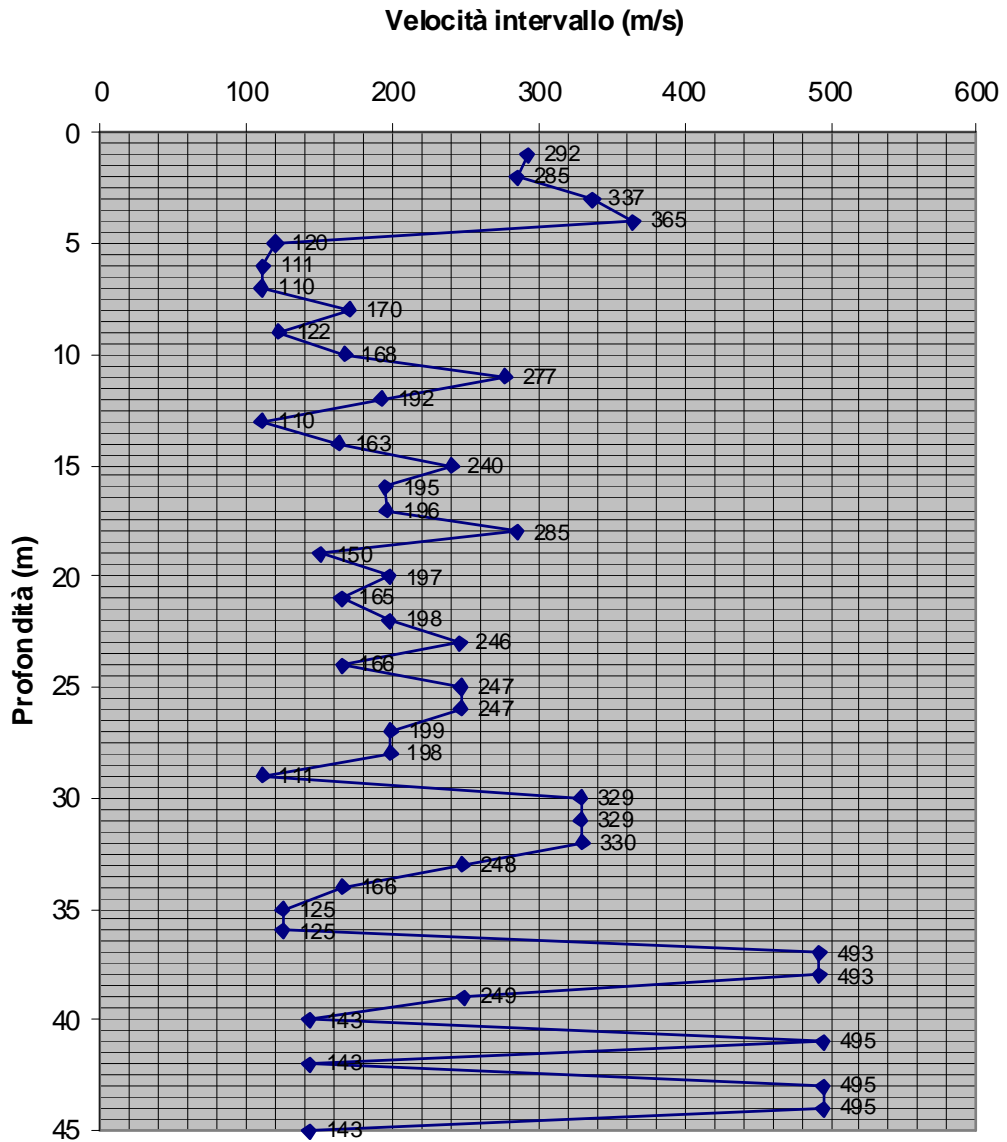
35	3333	125
36	4762	125
37	4762	493
38	5000	493
39	3226	249
40	3333	143
41	5000	495
42	3226	143
43	3333	495
44	3333	495
45	4762	143

MO-SC31-DH

DIAGRAFIA RILIEVO DOWN-HOLE (DH2- VP)



DIAGRAFIA DOWN-HOLE (DH2 VS)



dott. geologo  
Diego Mortillaro



- esame visivo del campione, descrizione e classificazione geotecnica del terreno (AGI 1994);
- analisi granulometrica mediante setacciatura per via secca delle particelle superiori a 63 Micron (AGI 1994);
- analisi granulometrica per sedimentazione, (aerometria) riservata alle frazioni di terra con diametro delle particelle inferiori a 63 Micron, mediante procedimento per decantazione (AGI 1994);
- determinazione dei Limiti di Atterberg, limiti di liquidità e di plasticità secondo la metodologia di Casagrande (ASTM D4318-93).

#### **2.4 Indagine geofisica Down-Hole (DH)**

L'esplorazione geofisica richiesta per la determinazione delle velocità sismiche dei vari strati del sottosuolo, caratterizzati da diverse caratteristiche fisico - meccaniche, ha previsto l'esecuzione di un'indagine di sismica attiva tipo Down-Hole.

Il metodo Down-Hole (DH) si riferisce alla misurazione del tempo di percorrenza delle onde P e S nel tragitto tra la sorgente sismica, posta in superficie e i ricevitori posti all'interno del foro di sondaggio opportunamente predisposto. Alla determinazione di tali velocità si risale mediante la misura dei tempi necessari ad un impulso sismico (a prevalente deformazione di volume, cioè onda di compressione) per percorrere lo spazio che separa il punto di origine dal punto di posizionamento



del sensore inserito nel foro attrezzato un geofono 3D, dotato di ancoraggio pneumatico al foro, ad intervalli prestabiliti, dal basso verso l'alto vengono generate con una sorgente artificiale le seguenti onde:

- Onde P con una sorgente verticale;
- Onde SH mediante la tecnica dell'inversione di fase che consiste nel colpire lateralmente e nei due sensi la piastra (in genere una trave di legno ortogonale al foro e aderente al terreno grazie al peso di un automezzo che la sovrasta).

Le misure di campagna sono state eseguite nel mese di dicembre 2014 in corrispondenza del punto di sondaggio S1 (DH1) sino alla profondità massima di 45 metri p.c. con la frequenza di una acquisizione ogni metro per un totale di 135 acquisizioni (45 acquisizioni onde P, 45 geofono SHx e 45 geofono SHy).

Si è utilizzato un sismografo digitale ECHO 12-24 2002 della AMBROGEO srl caratterizzato da 24 canali di acquisizione digitale con dinamica a 16 bit e campionamento del segnale ad intervalli di 130 microsecondi e filtro analogico Low Pass a 50 Hz.

Le acquisizioni sono state effettuate mediante un geofono 3D con frequenza propria 14 Hz con distanza geofonica di 1 m, a 7651 Hz per 1 sec., i tiri sono stati eseguiti a 2.5 m dal foro con finestra di acquisizione pari a 1000 millisecondi, utilizzando come sorgente un maglio battente da 50 kg con trigger

(dispositivo per il comando di avvio della registrazione) con 2 colpi (Vs) di maglio per tiro.

### 3. INTERPRETAZIONE GEOFISICA SISMICA DH ONDE VP-VS

L'analisi dei dati sismici è stata eseguita con il metodo a raggio rettilineo diretto, che consiste nel diagrammare i tempi di tragitto misurati  $t_{oss}$  lungo il percorso sorgente-ricevitore in funzione della profondità  $z$ . I  $t_{oss}$  vengono opportunamente corretti per tenere conto dell'inclinazione del percorso delle onde.

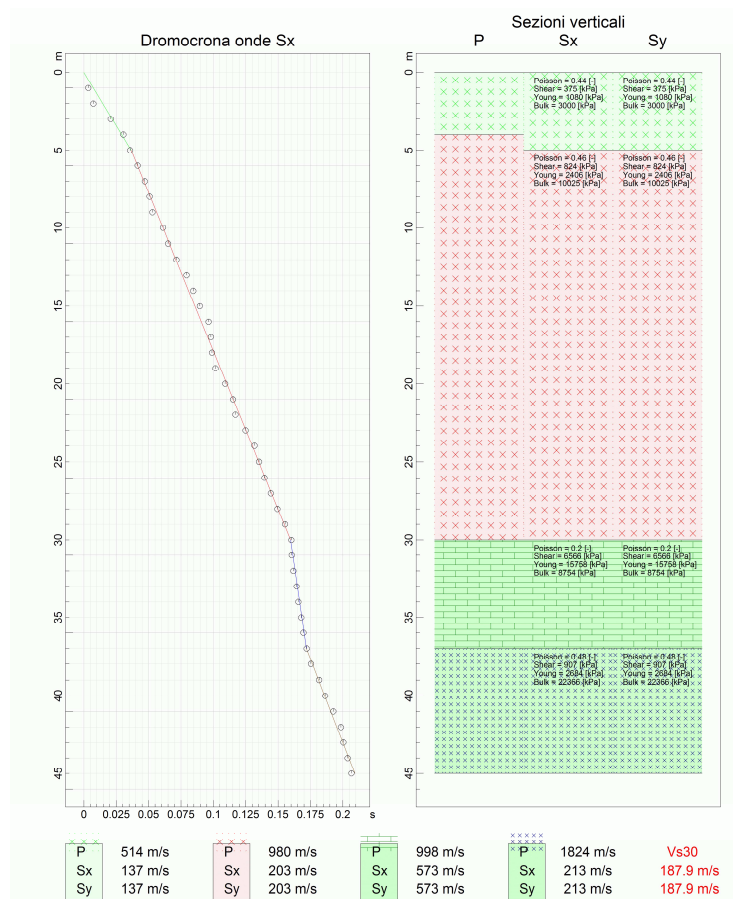


Figura 1 - Interpretazione DH1\_S1-143 metodo a raggio rettilineo.

**Tabella 4 - ANALISI SISMICA DOWN-HOLE 1**  
PRIMI ARRIVI

N° Geof.	Profondità [m]	Onde P [ms]	Onde S (X) [ms]	Onde S (Y) [ms]	Onde P (corretti) [ms]	Onde S (X) (corretti) [ms]	Onde S (Y) (corretti) [ms]
1	1.00	7.20	9.20	9.20	2.67	3.42	3.42
2	2.00	8.00	11.70	11.70	5	7.31	7.31
3	3.00	8.80	27.00	27.00	6.76	20.74	20.74
4	4.00	9.00	36.00	36.00	7.63	30.53	30.53
5	5.00	9.90	40.00	40.00	8.85	35.78	35.78
6	6.00	10.90	45.00	45.00	10.06	41.54	41.54
7	7.00	12.00	50.00	50.00	11.3	47.09	47.09
8	8.00	13.20	53.20	53.20	12.6	50.78	50.78
9	9.00	13.30	55.00	55.00	13.15	52.99	52.99
10	10.00	14.20	63.00	63.00	13.78	61.12	61.12
11	11.00	15.10	66.70	66.70	14.72	65.04	65.04
12	12.00	16.20	73.00	73.00	15.86	71.47	71.47
13	13.00	17.40	80.80	80.80	17.09	79.35	79.35
14	14.00	18.10	85.80	85.80	17.82	84.46	84.46
15	15.00	19.40	90.80	90.80	19.14	89.56	89.56
16	16.00	20.10	97.50	97.50	19.86	96.33	96.33
17	17.00	21.00	99.20	99.20	20.78	98.14	98.14
18	18.00	21.70	99.90	99.90	21.49	100	100
19	19.00	22.40	102.50	102.50	22.21	101.62	101.62
20	20.00	23.20	110.00	110.00	23.02	109.15	109.15
21	21.00	24.50	116.00	116.00	24.33	115.19	115.19
22	22.00	25.90	117.80	117.80	25.73	117.05	117.05
23	23.00	26.60	125.60	125.60	26.44	124.86	124.86
24	24.00	27.40	132.50	132.50	27.25	131.79	131.79
25	25.00	28.90	136.00	136.00	28.76	135.33	135.33
26	26.00	30.00	140.10	140.10	29.86	139.46	139.46
27	27.00	31.70	145.00	145.00	31.56	144.38	144.38
28	28.00	33.10	150.10	150.10	32.97	149.51	149.51
29	29.00	34.40	156.00	156.00	34.27	155.42	155.42
30	30.00	35.20	160.80	160.80	35.08	160.24	160.24
31	31.00	36.10	161.10	161.10	35.98	161.5	161.5
32	32.00	37.00	162.30	162.30	36.89	163	163
33	33.00	37.90	164.80	164.80	37.79	164.33	164.33
34	34.00	38.40	166.10	166.10	38.3	165.65	165.65
35	35.00	39.00	168.30	168.30	38.9	167.87	167.87
36	36.00	40.00	170.00	170.00	39.9	169.59	169.59
37	37.00	41.70	172.50	172.50	41.61	172.11	172.11
38	38.00	41.90	175.80	175.80	42	175.42	175.42
39	39.00	42.50	182.10	182.10	42.41	181.73	181.73
40	40.00	42.90	186.70	186.70	42.9	186.34	186.34
41	41.00	43.30	193.00	193.00	43.22	192.64	192.64
42	42.00	44.20	198.90	198.90	44.12	198.55	198.55
43	43.00	44.80	200.80	200.80	44.72	200.46	200.46
44	44.00	45.40	204.10	204.10	45.33	203.77	203.77
45	45.00	45.80	207.00	207.00	45.73	206.68	206.68

VELOCITA' ONDE P - S <sub>x</sub> - S <sub>y</sub>				
Strato	Profondità [m]	Velocità V <sub>p</sub> [m/s]	Velocità S <sub>x</sub> [m/s]	Velocità S <sub>y</sub> [m/s]
<b>1</b>	4-5	514	137	137
<b>2</b>	30	980	203	203
<b>3</b>	37	998	573	573
<b>4</b>	45	1824	213	213

VELOCITA' MEDIE VS30 e VS45

SUOLO DI TIPO C

Geofono	VS30 [m/s]	VS45 [m/s]
orizzontale S <sub>x</sub>	<b>187.9</b>	<b>214.9</b>
orizzontale S <sub>y</sub>	<b>187.9</b>	<b>214.9</b>

## PARAMETRI DINAMICI

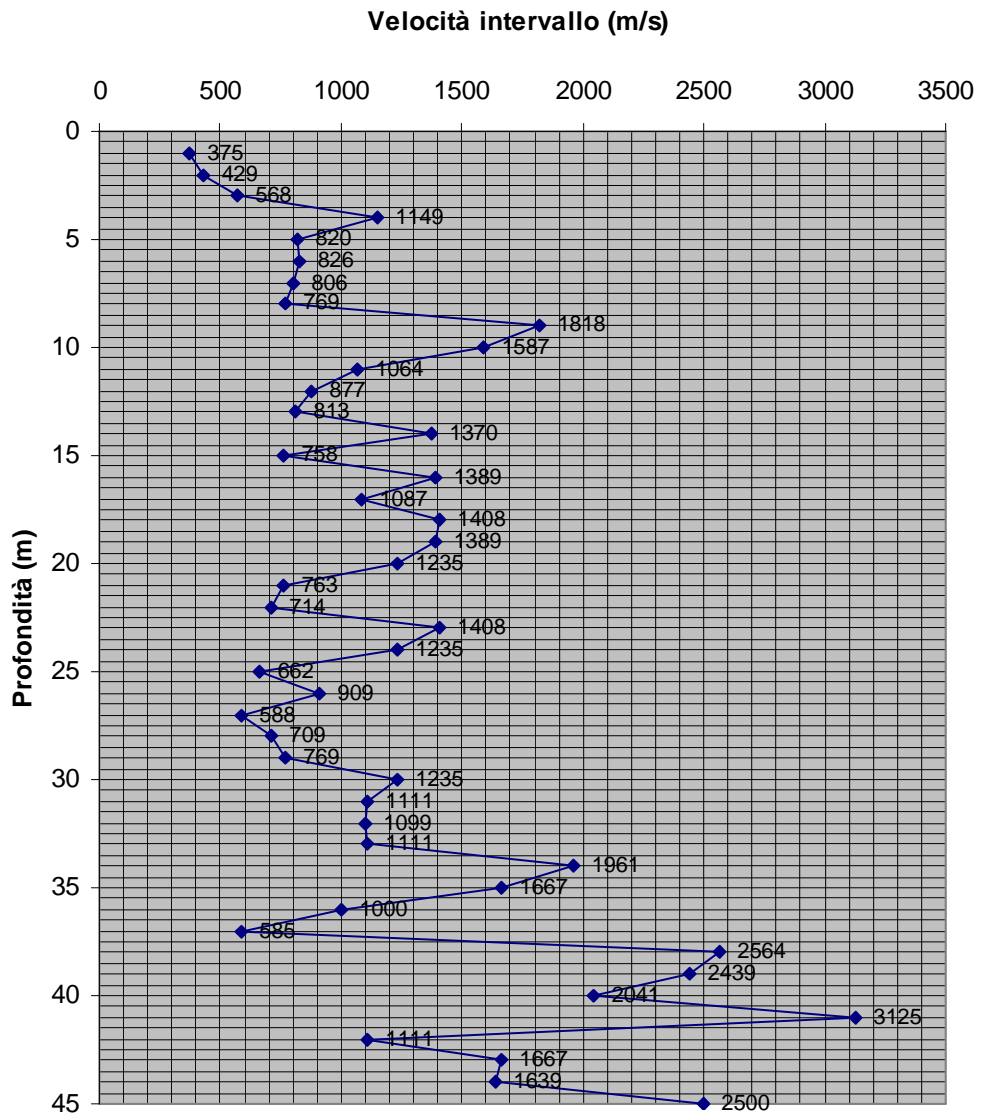
Strato	V <sub>p</sub> (m/s)	V <sub>s</sub> (m/s)	Spessore	V <sub>p</sub> /V <sub>s</sub>	ρ (t/m <sup>3</sup> )	Poisson	G modulo di Taglio dinamico (MPa)	G Modulo di Taglio dinamico (MPa)	E Young (MPa)	E Young (MPa)	Lamè λ(Mpa) □	Bulk k(Mpa)
							ρ, V <sub>s</sub>	E, ν	tabella	G, ν		
<b>1</b>	514	137	5.00	3.75	1.67	0.46	31	49	143	143	591	623
<b>2</b>	980	203	25.00	4.83	1.89	0.48	78	107	317	317	2285	2357
<b>3</b>	998	573	7.00	1.74	1.89	0.25	622	853	2140	2140	882	1451
<b>4</b>	1824	213	8.00	8.56	2.12	0.49	96	118	352	352	8408	8487

**Tabella 5** - Interpretazione DH1\_S1-143 metodo a velocità intervallo  
DH 1-Vp e Vs

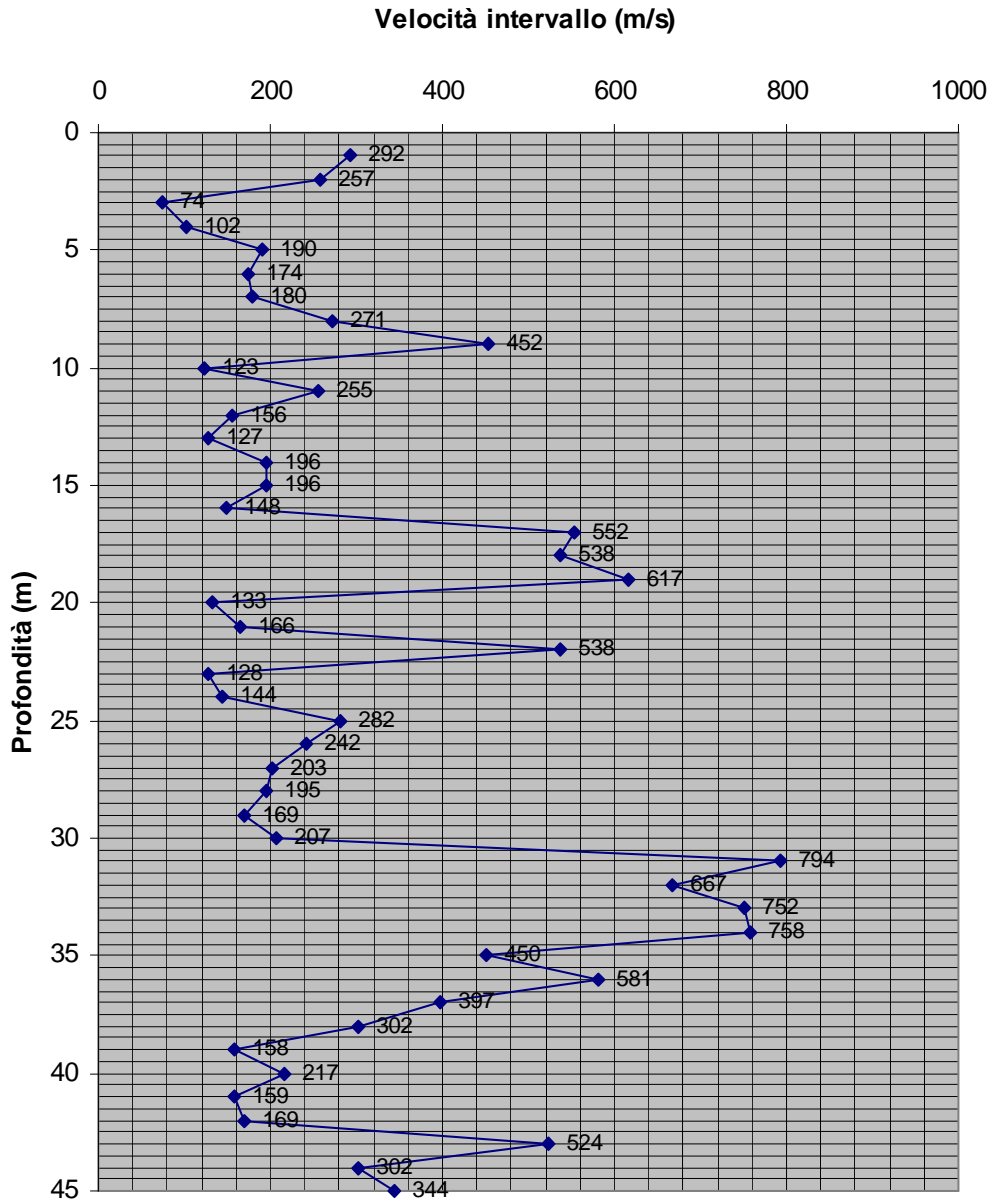
<b>Profondità m</b>	<b>VP intervallo</b>	<b>VS intervallo</b>
1	375	292
2	429	257
3	568	74
4	1149	102
5	820	190
6	826	174
7	806	180
8	769	271
9	1818	452
10	1587	123
11	1064	255
12	877	156
13	813	127
14	1370	196
15	758	196
16	1389	148
17	1087	552
18	1408	538
19	1389	617
20	1235	133
21	763	166
22	714	538
23	1408	128
24	1235	144
25	662	282
26	909	242
27	588	203
28	709	195
29	769	169
30	1235	207
31	1111	794
32	1099	667
33	1111	752
34	1961	758

<b>Profondità m</b>	<b>VP intervallo</b>	<b>VS intervallo</b>
35	1667	450
36	1000	581
37	585	397
38	2564	302
39	2439	158
40	2041	217
41	3125	159
42	1111	169
43	1667	524
44	1639	302
45	2500	344

DIAGRAFIA RILIEVO DOWN-HOLE (DH1- VP)



DIAGRAFIA DOWN-HOLE (DH1 VS)



dott. geologo  
Diego Mortillaro

