



GeoTirreno S.r.l.

Servizi per la Geologia e l'Ambiente

Viale Stazione n°39
54100 Massa

tel./fax 0585.42141
Part. IVA: 00713690451

e-mail: info@geotirreno.it
web site: www.geotirreno.it



Progetto:

REALIZZAZIONE DI NUOVO INSEDIAMENTO MILITARE IN LOCALITÀ "OSPEDALETTO"

Titolo documento:

DOCUMENTAZIONE INDAGINI GEOFISICHE MEDIANTE TECNICHE SISMICHE DOWNHOLE

Cliente:

AMMINISTRAZIONE COMUNALE DI PISA

Inoltro al cliente:

- CHIUSURA COMMESSA []
- PER INFORMAZIONE []
- NON RICHiesto []

Località:

Ospedaletto

Comune:

Pisa

Provincia:

Pisa

Responsabile indagini Ambientali

Responsabile indagini Geofisiche

Dr. Geol. Cosseddu Paolo A.

Cosseddu Paolo A.

Responsabile indagini Geofisiche

Dr. Geol. Cosseddu Paolo A.

Cosseddu Paolo A.

Responsabile redazione documento

Dr. Geol. Cosseddu Paolo A.

Cosseddu Paolo A.

Responsabile di Produzione

Dott. Riccardo Barbieri

Barbieri Riccardo



Descrizione delle revisioni:

00 Prima emissione

**ELABORATO ADOTTATO
CON DELIBERAZIONE**

Giunta Comunale

Consiglio Comunale

n° 58 ..del... 22 LUG. 2008

Prima emissione: 00

Settembre 2007

Pagine:

1 di 26

Denominazione file:

DH_ospedaletto.doc

Elaborato:

A

Aggiornamento: 01

INDICE

1 PREMESSA	pag. 1
2 INDAGINI ESEGUITE.....	pag. 1
3 METODOLOGIA SISMICA DOWN-HOLE	pag 2
4 CORRELAZIONE TRA VELOCITA' DELLE ONDE SISMICHE E I PARAMETRI ELASTICI E GEOMECCANICI	pag. 4
5 RISULTATI	pag. 8

ALLEGATI

- Grafico profondità-arrivi
- Grafico profondità-velocità
- Tabella valori misurati e calcolati
- Grafico profondità-modulo di Poisson
- Grafico profondità-modulo di Taglio
- Grafico profondità-modulo di Young
- Grafico profondità-modulo di Bulk

1 PREMESSA

Si è approntata una campagna d'indagini geofisiche da svolgersi con metodologie Down Hole in un foro di sondaggio precedentemente attrezzato per conto dell'Amministrazione Comunale di Pisa, in località Ospedaletto, nel Comune di Pisa (PT), in relazione al progetto di realizzazione di fabbricati ad uso militare

2 INDAGINI ESEGUITE

L'indagine geofisica è risultata costituita da n.2 prove sismiche Down-Hole, come di seguito descritta

<i>Down Hole</i>	<i>Profondità Efficace Metri da p. c.</i>
DH Sond 1	30.0
DH Sond 2	30.0

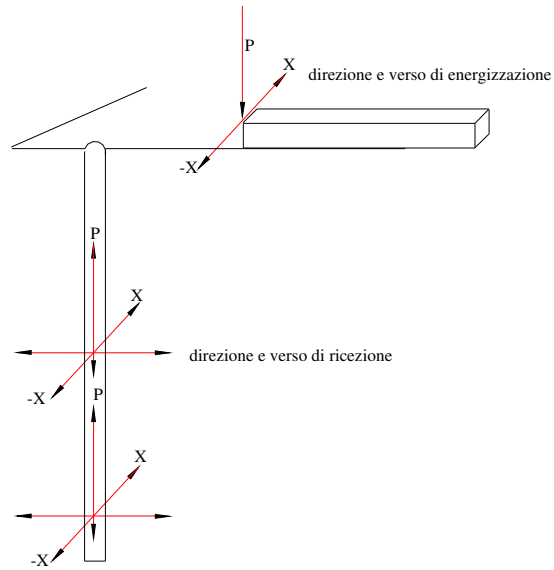
3 METODOLOGIA SISMICA DOWN-HOLE

Le prove sismiche Down-Hole vengono eseguite con lo scopo di misurare la velocità delle onde sismiche dirette che si propagano dalla superficie nel terreno in profondità.

Il terreno è stato energizzato in superficie, a una distanza che variava dai 200 ai 300 centimetri dalla testa foro.

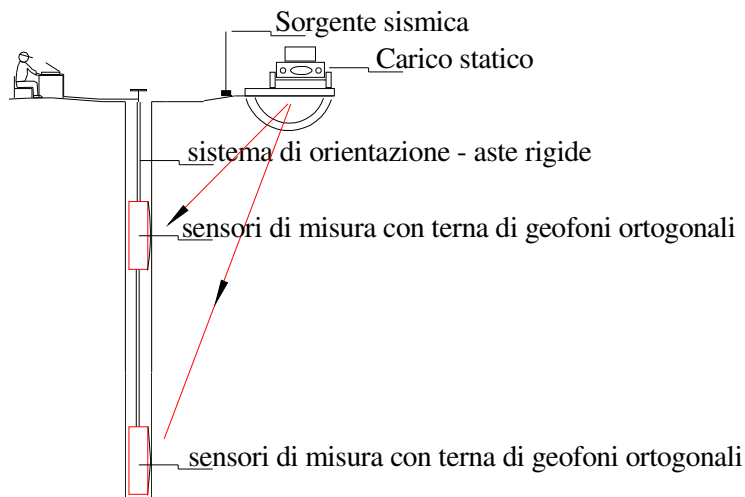
Il sistema di acquisizione può essere costituito da uno o più sensori, ciascuno formato da una terna di geofoni disposti lungo le tre componenti ortogonali.

Nel cantiere in oggetto si è utilizzato il sistema composto da un singolo sensore.



Il sistema di acquisizione è in grado di registrare simultaneamente su tre o sei canali distinti le tracce provenienti dai relativi geofoni orientati.

Il sistema di acquisizione è a sua volta collegato a una batteria di aste che ne permette l'orientazione assoluta. In particolare questo sistema ha permesso di mantenere costante l'orientazione di uno dei due trasduttori orizzontali di ciascun sensore e cioè parallelo alla direzione della sorgente sismica.



Le onde sismiche possono essere generate energizzando il terreno in direzione verticale oppure in direzione trasversale (parallelamente alla orientazione di uno dei due trasduttori

orizzontali). Nel primo caso verranno generate prevalentemente onde compressive che si propagano in profondità e vengono registrate al meglio dal geofono verticale. Nel secondo caso verranno generate prevalentemente onde di taglio visibili principalmente sui geofoni con l'asse posto orizzontalmente.

Le onde di taglio hanno velocità inferiori a quelle compressive e quindi raggiungeranno la terna geofonica quando già il primo fronte d'onda compressiva è transitato. Questo passaggio costituisce un disturbo per la misura delle onde trasversali in quanto i geofoni orizzontali si trovano ancora in movimento all'arrivo dell'onda trasversale. Per migliorare il rapporto fra l'energia dell'onda compressiva e l'energia dell'onda trasversale a favore di quest'ultima, si realizza una doppia energizzazione orizzontale con verso opposto. Questa procedura di campagna permette poi, in fase di elaborazione dati di poter eseguire il confronto delle singole forme d'onda acquisite con la forma d'onda elaborata tramite la sottrazione delle onde relative alle acquisizioni trasversali. In pratica nelle registrazioni energizzate con percussione orizzontale, sottratte le registrazioni "battuta destra e battuta sinistra", il primo arrivo sarà costituito principalmente dalle onde di taglio poichè le onde compressive, provocate durante l'energizzazione tenderanno, con l'operazione differenza, a ridursi in ampiezza, mentre le onde di taglio (che invertono in polarità a seconda della direzione di battuta) tenderanno a sommarsi aumentando così l'ampiezza.

L'analisi dei dati prevede che le battute eseguite in diversi momenti vengano raccolte a ricostruire un unico sismogramma, identico a quello che sarebbe stato ricevuto da una catena di tanti geofoni quante sono le quote di misura nel foro. In particolare vengono raggruppate in un unico sismogramma le forme d'onda relative ai geofoni verticali (Onde P) e in un altro sismogramma le forme d'onda relative ai geofoni orizzontali (Onde S).

4 CORRELAZIONE TRA LE VELOCITA' DELLE ONDE SISMICHE E I PARAMETRI ELASTICI E GEOMECCANICI

La liberazione istantanea di energia nel terreno genera un sistema di onde sismiche la cui propagazione è regolata dalle classiche leggi della fisica.

Le deformazioni e le tensioni generate da una sollecitazione artificiale impulsiva sono abbastanza complesse ma nell'ambito di cui si tratta in queste note è sufficiente fare riferimento ai due tipi principali di onde sismiche, dette anche onde di volume (body waves): le onde sismiche di compressione (longitudinali, onde prime) e le onde sismiche di taglio (trasversali, onde seconde).

Le onde di volume si propagano nel terreno in ogni direzione ed intercettando il piano topografico danno origine sullo stesso ad onde di natura diversa (Rayleigh e Love) che si propagano esclusivamente in superficie.

Nel loro complesso, le onde sismiche creano sollecitazioni e conseguenti deformazioni nel mezzo attraversato che generalmente ricadono nel campo elastico del diagramma sforzi/deformazioni. Pertanto in questo ambito sono applicabili le relazioni classiche della teoria dell'elasticità.

Le onde sismiche longitudinali sono deformazioni che si propagano in linea retta con un'alternanza continua di compressioni e dilatazioni della materia lungo il percorso di propagazione.

Ogni particella di materia oscilla attorno al suo punto di quiete lungo un asse coincidente con il raggio di propagazione dell'onda sismica.

Le onde sismiche di taglio sono invece deformazioni che si propagano nella stessa direzione delle precedenti ma con movimento oscillatorio delle particelle ortogonale alla traiettoria dei raggi sismici.

La velocità di propagazione delle onde sismiche dipende dalle costanti elastiche e dalla densità del mezzo attraversato, e pertanto risulta variabile in funzione delle caratteristiche geomeccaniche e fisiche del terreno o delle rocce.

In uno stesso tipo di materiale le velocità di propagazione dei vari tipi di onde differiscono tra loro: le più veloci sono le onde di compressione, a cui seguono le onde di taglio e successivamente le diverse onde superficiali.

Poichè le tensioni e le deformazioni che si generano nel campo sismico sono di modestissima entità anche il terreno e le rocce sollecitate in questo ambito possono essere considerati in prima approssimazione come materiali omogenei, isotropi ed elastici. E' applicabile quindi la legge di Hooke (proporzionalità tra lo sforzo applicato d e la deformazione prodotta e):

$$d = e \cdot E$$

La costante E , definita come rapporto tra sollecitazione e conseguente deformazione longitudinale, rappresenta il modulo elastico (o di Young) del materiale. E' importante sottolineare che in campo dinamico si parla di modulo elastico dinamico (e non statico), ricavandosi tale modulo da prove dinamiche (o sismiche). Il rapporto tra la sollecitazione ortogonale (trasversale o di taglio) e la deformazione definisce il modulo di elasticità

tangenziale (o di taglio) G .

Il rapporto tra la tensione idrostatica e la deformazione cubica (o di volume) definisce il modulo di compressione cubica (o di Bulk) k .

Infine il modulo (o rapporto) di Poisson ν è definito come il rapporto tra la deformazione trasversale e quella longitudinale.

Tale modulo varia da 0 a 0.5 con valore medio di 0.25 per molte rocce: i valori tendono a 0.05 per materiali estremamente duri ed a 0.45 per i materiali incoerenti.

Per i fluidi il modulo assume il valore limite di 0.5.

In senso più generale possono ancora essere definite le costanti di Lamè l e m come caratteristiche elastiche indipendenti dalle direzioni lungo cui vengono registrate le deformazioni. Queste due costanti sono definite dalle relazioni:

$$l = (\nu \cdot E) / [(1 + \nu) \cdot (1 - 2 \cdot \nu)] \quad (1)$$

$$m = E / [2 \cdot (1 + \nu)] \quad (2)$$

Analogamente i due moduli E e ν possono essere espressi in funzione delle costanti di Lamè l e m :

$$E = m \cdot (3 \cdot l + 2 \cdot m) / (l + m) \quad (3)$$

$$\nu = l / [2 \cdot (l + m)] \quad (4)$$

La seconda costante di Lamè m ha lo stesso significato fisico del modulo di elasticità tangenziale G prima definito.

Dimensionalmente il modulo elastico e le due costanti di Lamè esprimono il rapporto tra una forza ed una superficie mentre il modulo di Poisson è adimensionale.

Un'ultima costante entra a far parte delle relazioni tra caratteristiche elastiche e velocità: si tratta della densità r espressa come rapporto tra massa e volume.

Le velocità longitudinale V_p e trasversale V_s si correlano alle costanti elastiche con le relazioni:

$$V_p = [(l + 2 \cdot m) / r]^{1/2} \quad (5)$$

$$V_s = [m / r]^{1/2} \quad (6)$$

Pertanto, avendo determinato i valori di V_p e V_s con rilievi sismici ed il valore della densità con prove di laboratorio, è possibile calcolare i valori delle costanti elastiche che caratterizzano i terreni esaminati con le espressioni:

$$v = 0.5 \cdot [(V_p/V_s)^2 - 2] / [(V_p/V_s)^2 - 1] \quad (7)$$

$$E = r \cdot V_p^2 \cdot [(1 + v) \cdot (1 - 2 \cdot v)] / (1 - v) = 2 \cdot r \cdot V_s^2 \cdot (1 + v) \quad (8)$$

L'analisi delle varie relazioni illustrate permette una serie di considerazioni assai interessanti che si traducono in altrettanti comportamenti fisici riscontrabili nell'applicazione pratica.

Il confronto fra le espressioni (5) e (6) delle velocità conferma come per uno stesso materiale la velocità longitudinale abbia sempre un valore superiore a quello trasversale.

Per i fluidi il modulo di Poisson vale 0.5 e la seconda costante di Lamè $m = 0$: ne risulta che nei fluidi non possono essere trasmessi sforzi di taglio e quindi la velocità longitudinale ha sempre un valore superiore a quello della velocità trasversale.

Il rapporto tra le velocità di propagazione V_s/V_p è solo funzione del modulo di Poisson: al variare del modulo da 0 a 0.5, il rapporto varia da 0.7 a 0. Per il valore medio delle rocce ($v = 0.25$) il rapporto vale $V_s/V_p = 0.58$.

5 RISULTATI

I risultati e le relative correlazioni numeriche sono dettagliatamente illustrati negli **allegati**, parte integrante della presente relazione. In particolare dall'analisi delle dromocrone si è adottato un modello a quattro strati caratterizzati da velocità delle onde sismiche crescenti.

Dai valori delle velocità sismiche delle onde di taglio calcolate e riportate nella tabella dei risultati, è possibile ottenere il valore di **Vs30** calcolato direttamente in sito secondo la formula sotto esplicitata.

CATEGORIE DI SUOLO DI FONDAZIONE

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

30 m

Vs30 = 166,6

Per il calcolo dei parametri elastici dei terreni indagati, in base ai dati sperimentali di laboratorio, si sono assunti valore di densità relativa ricavati dall'analisi di laboratorio sui campioni prelevati e da dati bibliografici, in particolare:

- strato 1 = 18.0 kN/m³,
- strato 2 = 18.5 kN/m³,
- strato 3 = 20.0 kN/m³,

Merita essere ricordato che i parametri ricavati per via dinamica hanno in genere valori superiori a quelli ricavati da prove statiche in laboratorio proprio per il diverso campo di sollecitazione applicata e la diversa deformazione raggiunta.

I valori di velocità di propagazione delle onde longitudinali variano da poche centinaia di metri al secondo sino ad alcune migliaia (7-8) di metri al secondo.

Velocità inferiori alla velocità del suono nell'aria (344 m/s) sono misurabili in terreni soffici superficiali anidri con elevato contenuto di materiali organici.

Gli stessi materiali, saturi d'acqua, incrementano i loro valori sino a 500-800 m/s.

I terreni incoerenti alluvionali presentano valori delle P variabili tra 400 e 1800 m/s con prevalenza di velocità superiori a 1400 m/s per quelli saturi d'acqua; mentre le Sh variano da 50 fino a circa 350 m/s.

Si ricorda che il valore della velocità nell'acqua varia tra 1480 e 1520 m/s al variare della temperatura e della salinità.

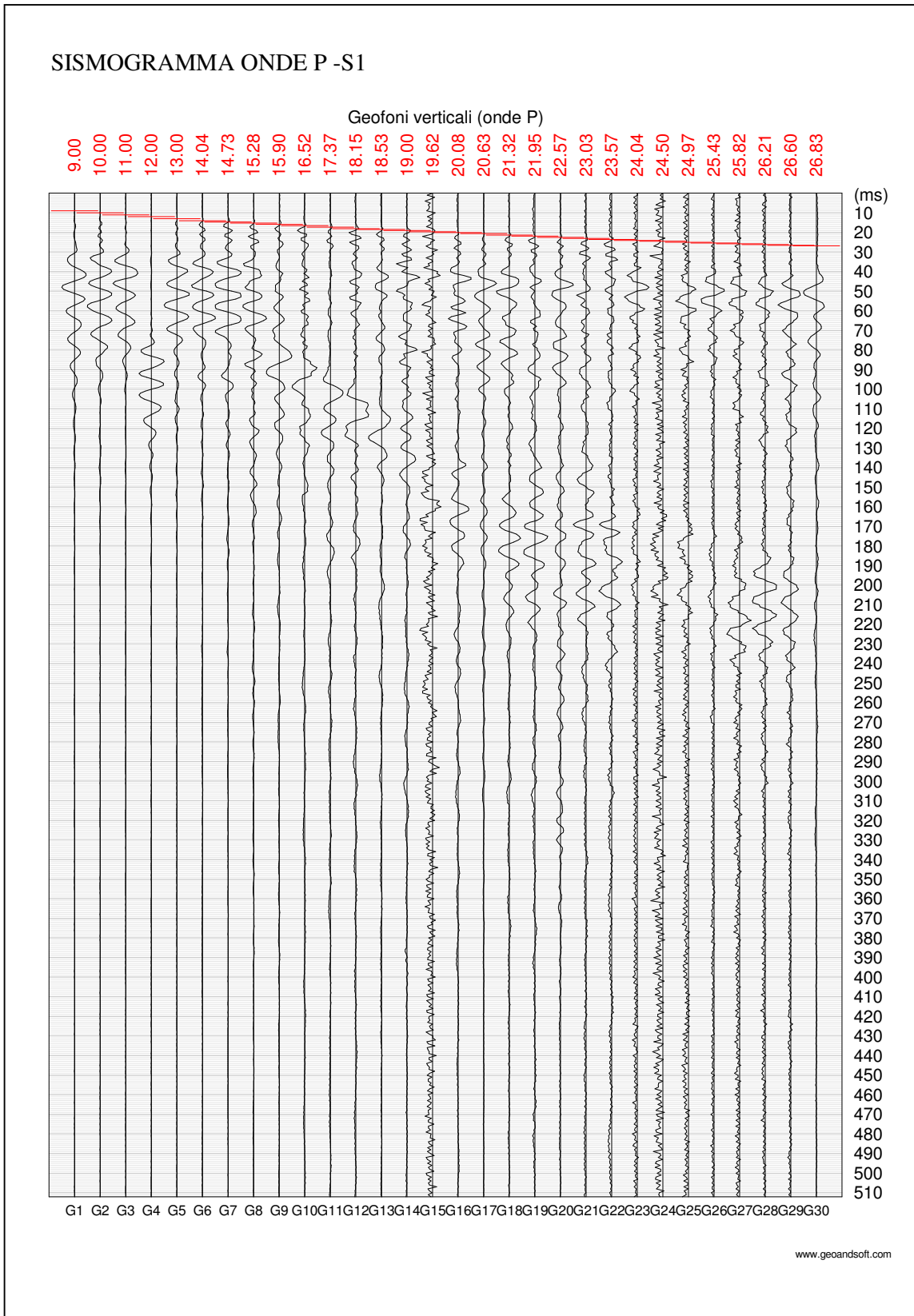
La velocità nelle rocce sedimentarie spazia tra valori di 1600 e 5000 m/s incrementandosi sia con la profondità dei sedimenti che con la loro età geologica; in particolare nelle arenarie della zona in esame il valore delle onde P varia da circa 2200 m/s a circa 4000 m/s.

Per l'anisotropia delle rocce tutti questi valori cambiano in funzione della direzione di propagazione rispetto alla stratificazione con differenze variabili dal 5 al 25%.

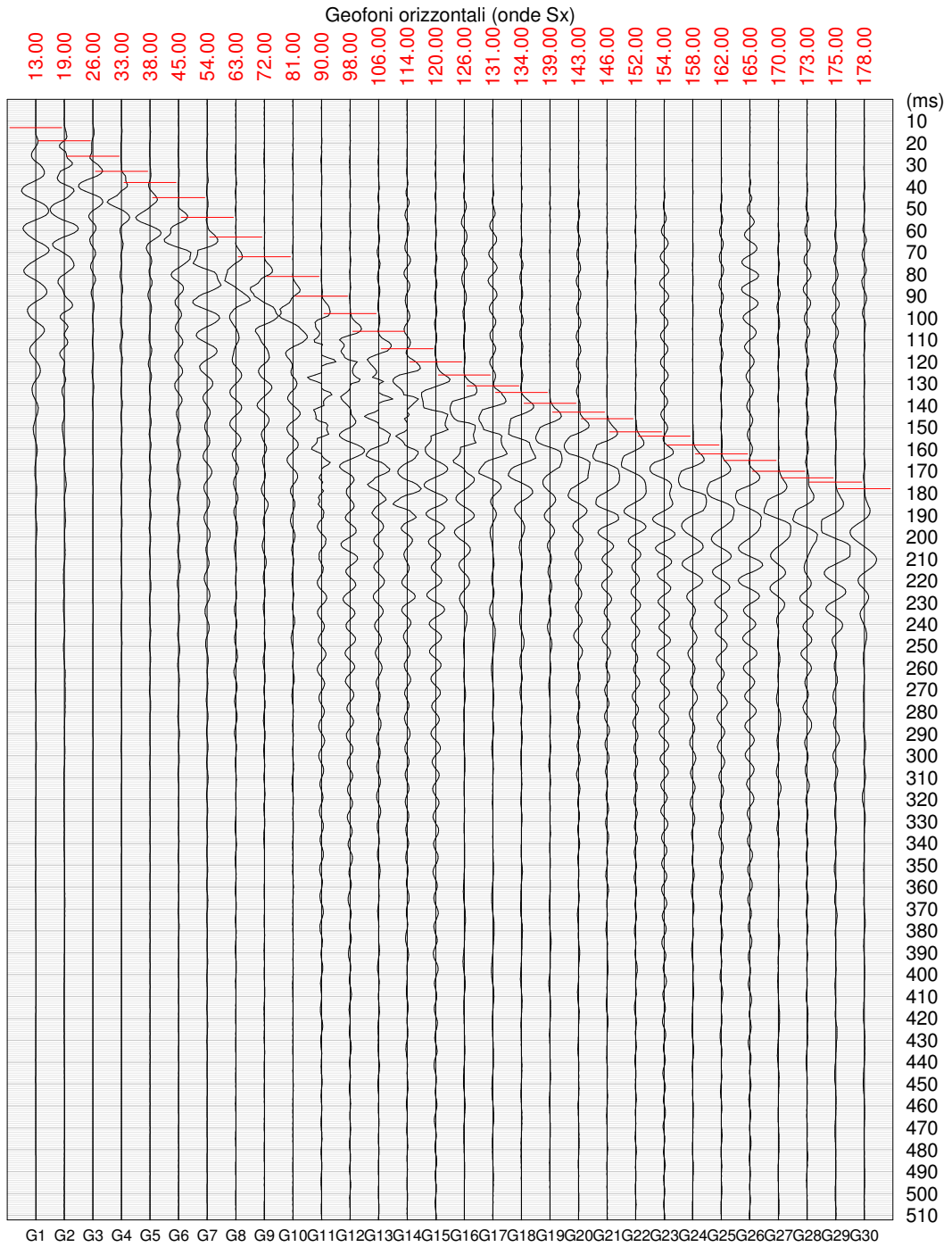
Analogamente questi valori, che si riferiscono a rocce sane, compatte ed omogenee, tendono a decrescere in funzione dell'alterazione dei loro componenti mineralogici, del grado di fratturazione e delle discontinuità stratigrafiche.

Massa, Settembre 2007

Per Geotirreno



SISMOGRAMMA ONDE S – S1



www.geoandsoft.com

DISTANZA DELLO SPARO DA BOCCA FORO = 2.00 [m]

PRIMI ARRIVI – S1

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	9.00	13.00	16.00	4.02	5.81	7.16
2	2.00	10.00	19.00	20.00	7.07	13.44	14.14
3	3.00	11.00	26.00	25.00	9.15	21.63	20.80
4	4.00	12.00	33.00	30.00	10.73	29.52	26.83
5	5.00	13.00	38.00	41.00	12.07	35.28	38.07
6	6.00	14.04	45.00	49.00	13.32	42.69	46.49
7	7.00	14.73	54.00	57.00	14.17	51.92	54.81
8	8.00	15.28	63.00	67.00	14.82	61.12	65.00
9	9.00	15.90	72.00	75.00	15.52	70.29	73.21
10	10.00	16.52	81.00	82.00	16.20	79.43	80.41
11	11.00	17.37	90.00	92.00	17.09	88.55	90.52
12	12.00	18.15	98.00	98.00	17.90	96.67	96.67
13	13.00	18.53	106.00	106.00	18.32	104.77	104.77
14	14.00	19.00	114.00	115.00	18.81	112.85	113.84
15	15.00	19.62	120.00	124.00	19.45	118.95	122.91
16	16.00	20.08	126.00	128.00	19.93	125.03	127.01
17	17.00	20.63	131.00	132.00	20.49	130.10	131.10
18	18.00	21.32	134.00	138.00	21.19	133.18	137.16
19	19.00	21.95	139.00	141.00	21.82	138.24	140.23
20	20.00	22.57	143.00	145.00	22.45	142.29	144.28
21	21.00	23.03	146.00	148.00	22.93	145.34	147.33
22	22.00	23.57	152.00	153.00	23.48	151.38	152.37
23	23.00	24.04	154.00	155.00	23.95	153.42	154.42
24	24.00	24.50	158.00	159.00	24.42	157.45	158.45
25	25.00	24.97	162.00	163.00	24.89	161.48	162.48
26	26.00	25.43	165.00	167.00	25.36	164.51	166.51
27	27.00	25.82	170.00	172.00	25.75	169.54	171.53
28	28.00	26.21	173.00	175.00	26.14	172.56	174.56
29	29.00	26.60	175.00	177.00	26.53	174.59	176.58
30	30.00	26.83	178.00	179.00	26.77	177.61	178.60

S1

VELOCITA' ONDE P

Strato	Profondità [m]	Velocità [m/s]
1	4	347
2	13	1278
3	30	1951

PARAMETRI ONDE SX

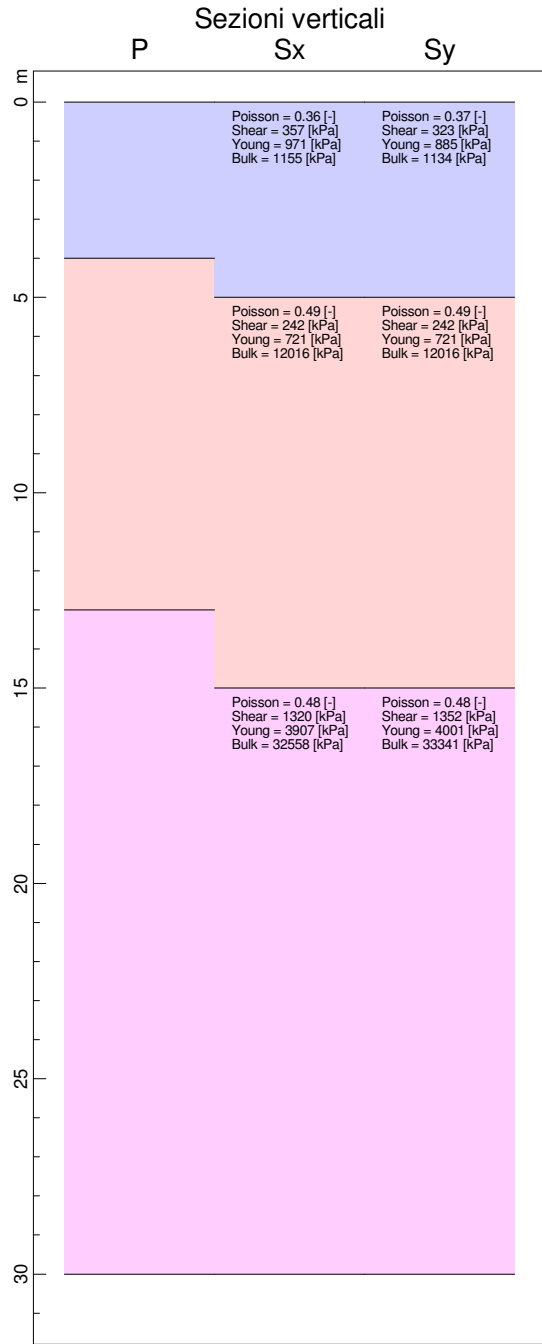
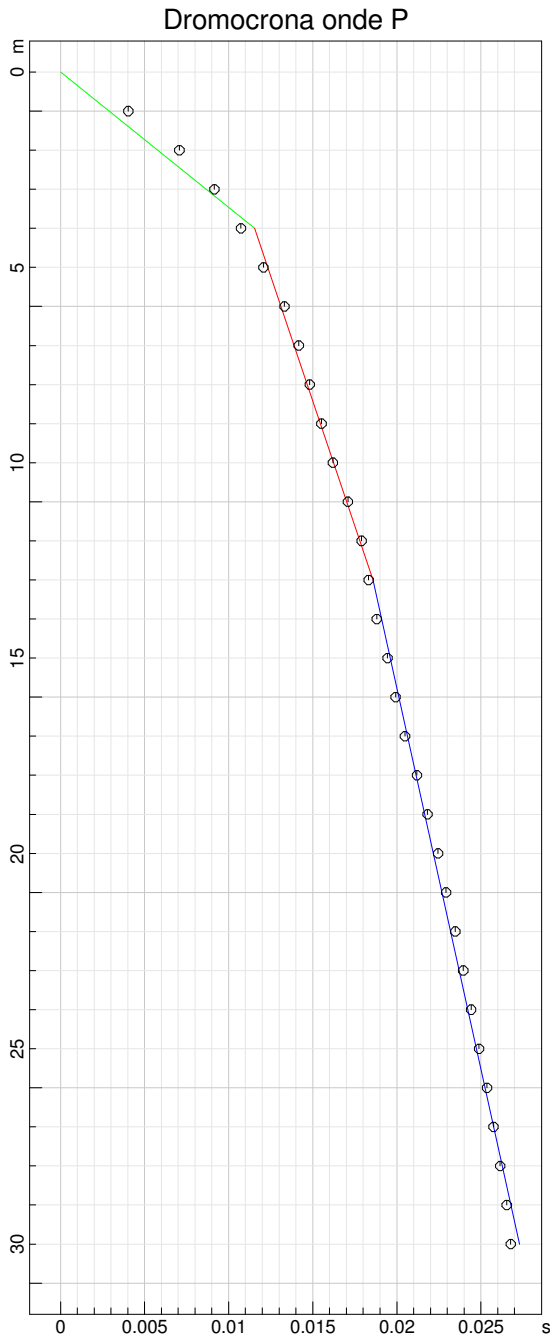
Strato	Profondità [m]	Velocità [m/s]	Poisson [-]	Shear [kPa]	Young [kPa]	Bulk [kPa]
1	5	141	0.36	357.0	971.0	1155.0
2	15	116	0.49	242.0	721.0	12016.0
3	30	257	0.48	1320.0	3907.0	32558.0

PARAMETRI ONDE SY

Strato	Profondità [m]	Velocità [m/s]	Poisson [-]	Shear [kPa]	Young [kPa]	Bulk [kPa]
1	5	134	0.37	323.0	885.0	1134.0
2	15	116	0.49	242.0	721.0	12016.0
3	30	260	0.48	1352.0	4001.0	33341.0

VELOCITA' MEDIE VS30

Geofono	VS30 [m/s]
orizzontale Sx	166.6
orizzontale Sy	165.6



P	347 m/s
Sx	141 m/s
Sy	134 m/s

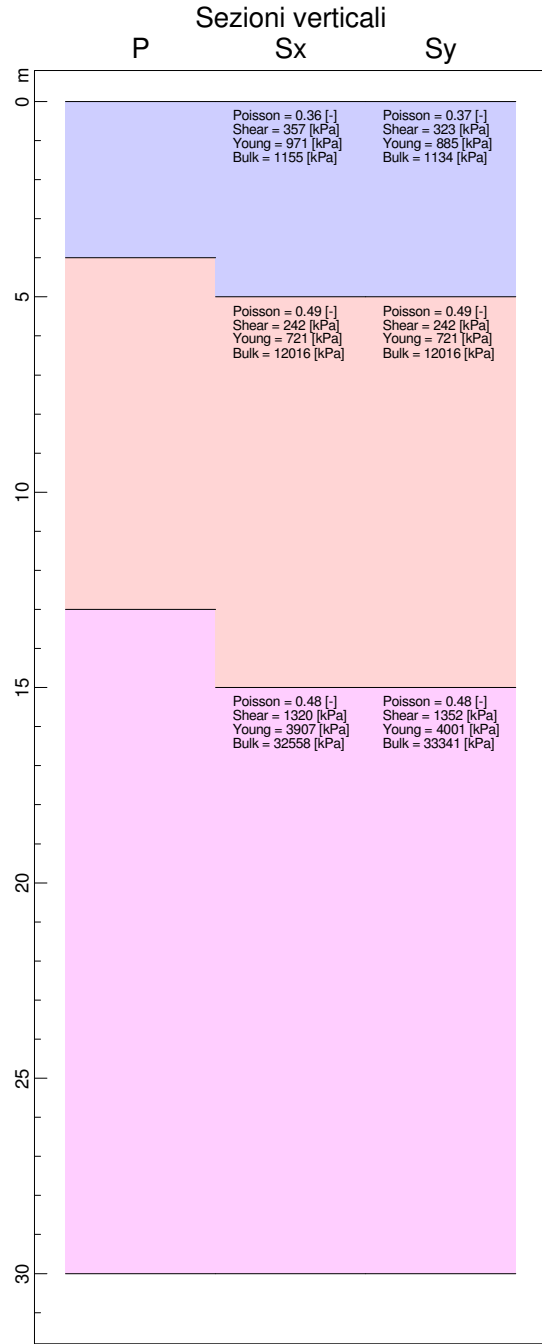
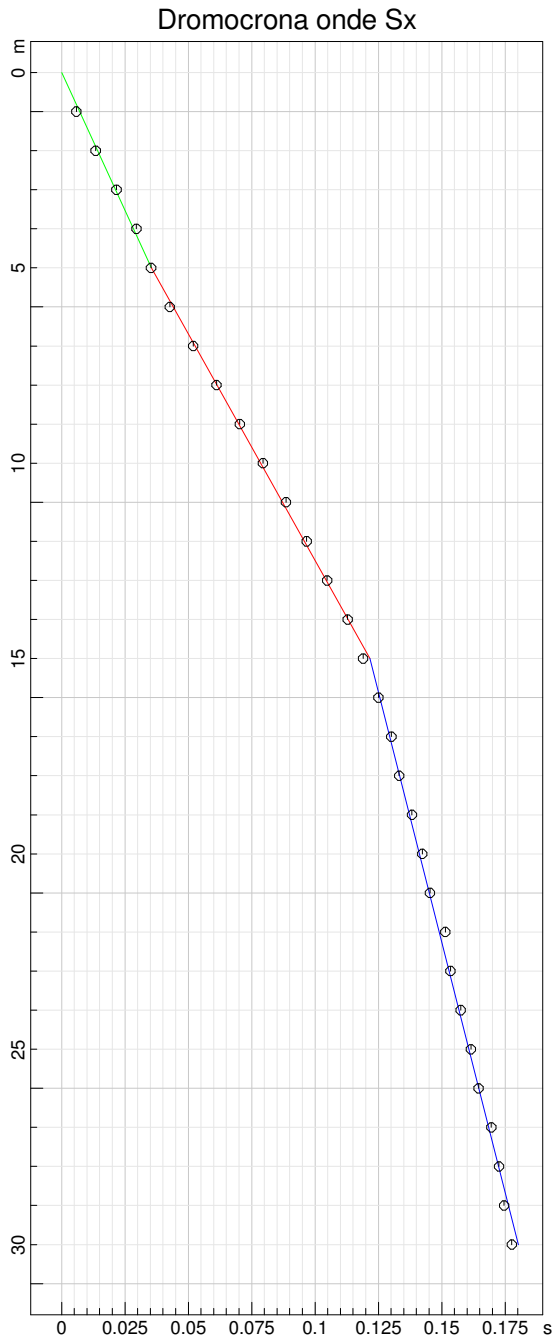
P	1278 m/s
Sx	116 m/s
Sy	116 m/s

P	1951 m/s
Sx	257 m/s
Sy	260 m/s

Vs30
166.6 m/s
165.6 m/s

www.geoandsoft.com

S1



P	347 m/s
Sx	141 m/s
Sy	134 m/s

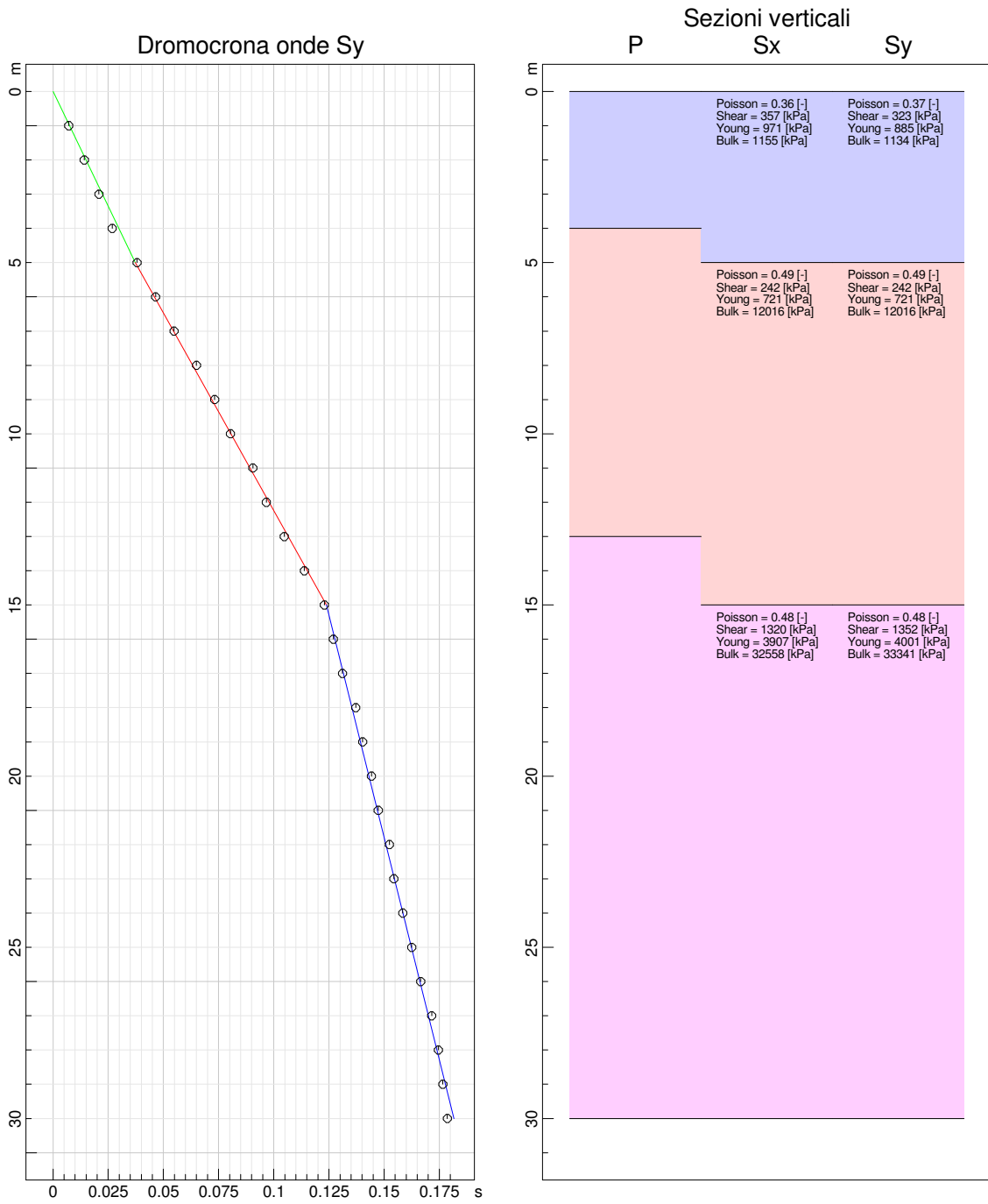
P	1278 m/s
Sx	116 m/s
Sy	116 m/s

P	1951 m/s
Sx	257 m/s
Sy	260 m/s

Vs30
166.6 m/s
165.6 m/s

www.geoandsoft.com

S1



P	347 m/s
Sx	141 m/s
Sy	134 m/s

P	1278 m/s
Sx	116 m/s
Sy	116 m/s

P	1951 m/s
Sx	257 m/s
Sy	260 m/s

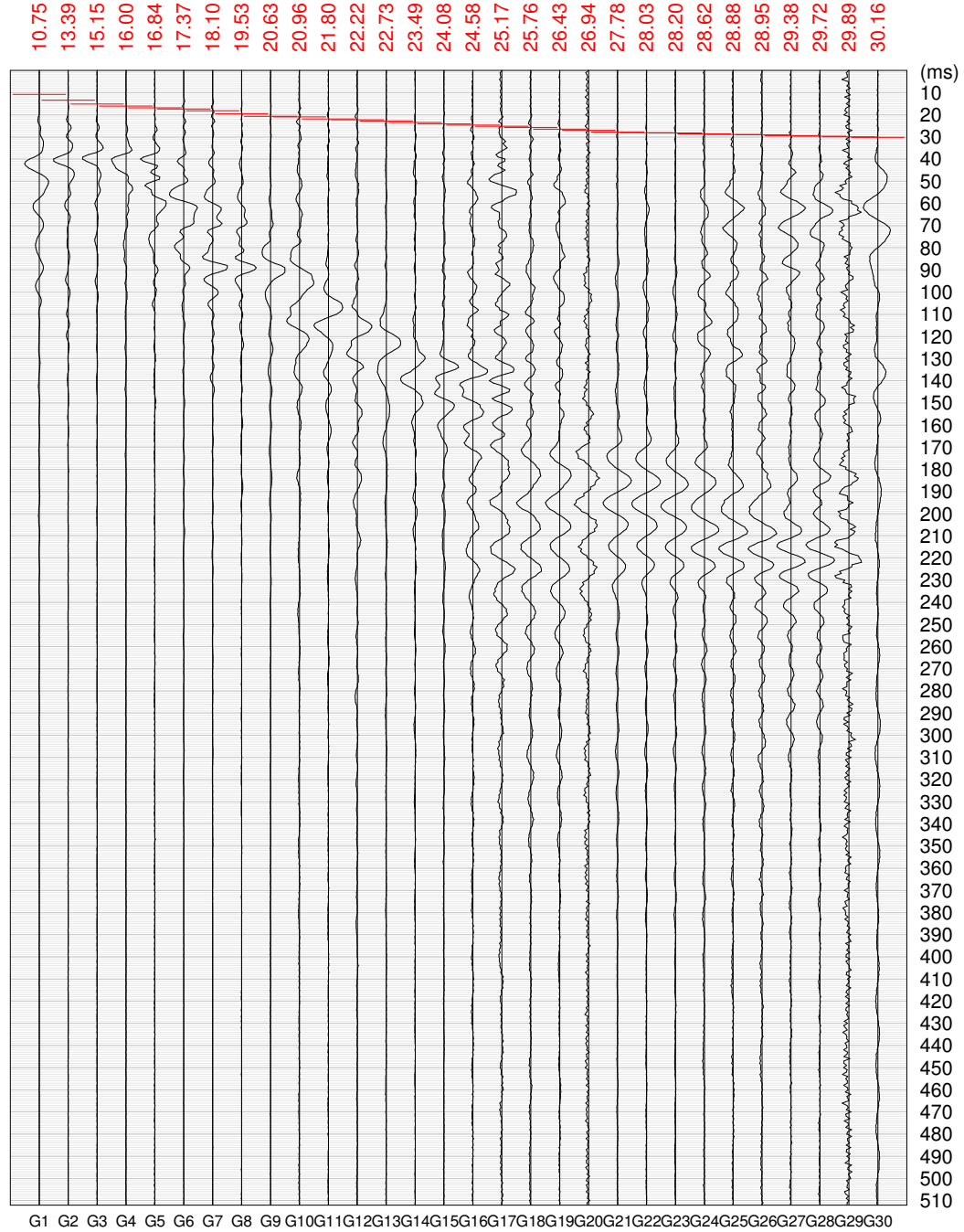
Vs30
166.6 m/s
165.6 m/s

www.geoandsoft.com

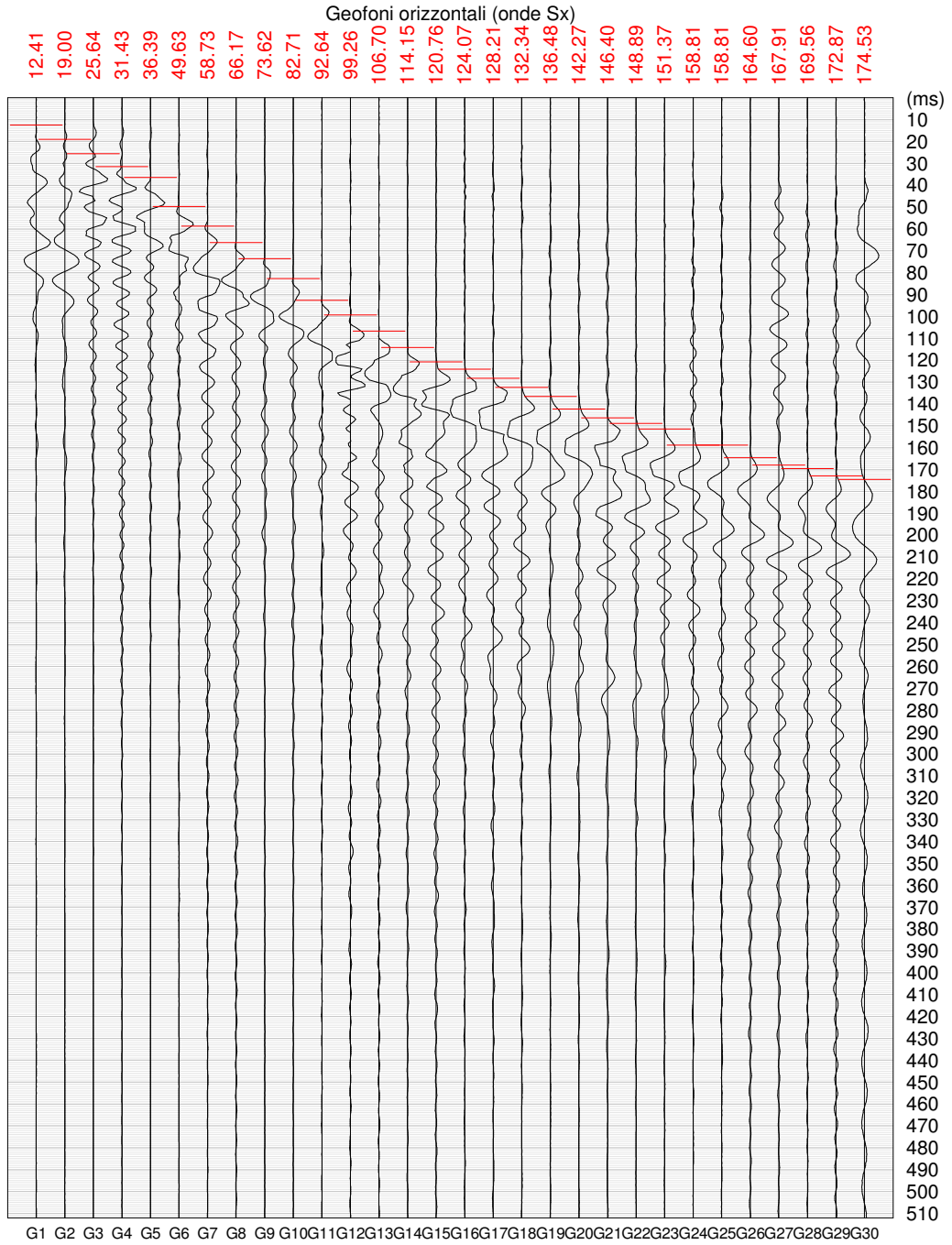
S1

SISMOGRAMMA ONDE P -S2

Geofoni verticali (onde P)



SISMOGRAMMA ONDE S -S2



DISTANZA DELLO SPARO DA BOCCA FORO = 3.00 [m]

PRIMI ARRIVI – S2

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	10.75	12.41	11.00	2.95	3.41	3.02
2	2.00	13.39	19.00	19.00	6.64	9.43	9.43
3	3.00	15.15	25.64	26.00	9.86	16.69	16.92
4	4.00	16.00	31.43	32.00	12.04	23.65	24.08
5	5.00	16.84	36.39	38.00	13.79	29.82	31.13
6	6.00	17.37	49.63	46.00	15.00	42.87	39.73
7	7.00	18.10	58.73	54.00	16.19	52.53	48.30
8	8.00	19.53	66.17	64.00	17.89	60.62	58.63
9	9.00	20.63	73.62	70.00	19.22	68.61	65.24
10	10.00	20.96	82.71	79.00	19.78	78.07	74.56
11	11.00	21.80	92.64	89.00	20.78	88.28	84.81
12	12.00	22.22	99.26	96.00	21.34	95.29	92.16
13	13.00	22.73	106.70	104.00	21.95	103.03	100.42
14	14.00	23.49	114.15	111.00	22.79	110.74	107.69
15	15.00	24.08	120.76	117.00	23.45	117.60	113.94
16	16.00	24.58	124.07	123.00	24.01	121.21	120.16
17	17.00	25.17	128.21	130.00	24.65	125.57	127.33
18	18.00	25.76	132.34	136.00	25.29	129.91	133.50
19	19.00	26.43	136.48	142.00	26.00	134.22	139.65
20	20.00	26.94	142.27	147.00	26.54	140.14	144.80
21	21.00	27.78	146.40	152.00	27.40	144.41	149.93
22	22.00	28.03	148.89	157.98	27.69	147.04	156.02
23	23.00	28.20	151.37	162.95	27.88	149.64	161.09
24	24.00	28.62	158.81	166.26	28.32	157.15	164.52
25	25.00	28.88	158.81	171.22	28.60	157.28	169.56
26	26.00	28.95	164.60	175.35	28.69	163.13	173.79
27	27.00	29.38	167.91	178.66	29.14	166.52	177.18
28	28.00	29.72	169.56	182.00	29.49	168.25	180.59
29	29.00	29.89	172.87	185.28	29.67	171.63	183.94
30	30.00	30.16	174.53	188.59	29.96	173.35	187.32

S2

VELOCITA' ONDE P

Strato	Profondità [m]	Velocità [m/s]
1	4	318
2	12	838
3	30	2074

PARAMETRI ONDE SX

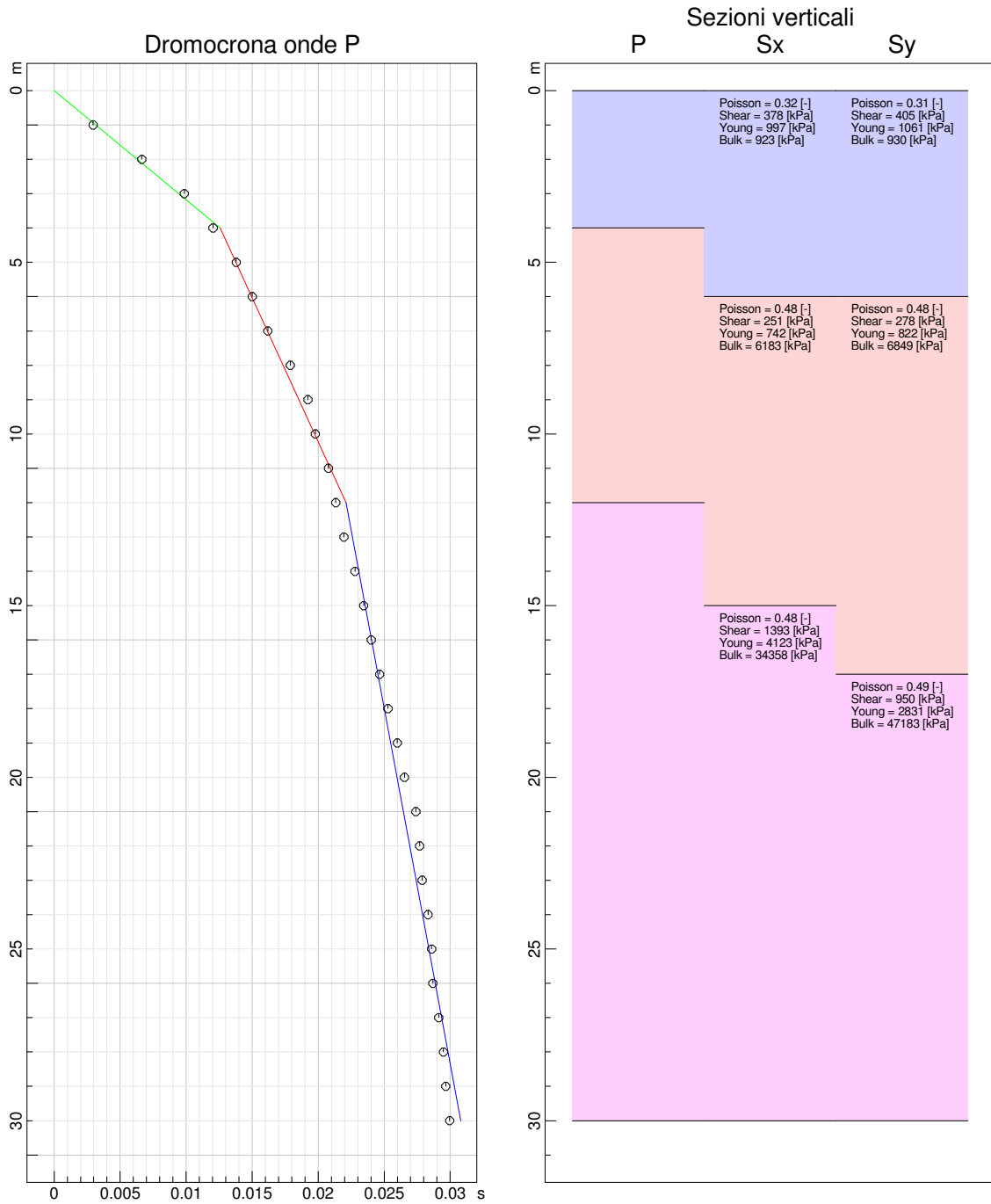
Strato	Profondità [m]	Velocità [m/s]	Poisson [-]	Shear [kPa]	Young [kPa]	Bulk [kPa]
1	6	145	0.32	378.0	997.0	923.0
2	15	115	0.48	251.0	742.0	6183.0
3	30	264	0.48	1393.0	4123.0	34358.0

PARAMETRI ONDE SY

Strato	Profondità [m]	Velocità [m/s]	Poisson [-]	Shear [kPa]	Young [kPa]	Bulk [kPa]
1	6	150	0.31	405.0	1061.0	930.0
2	17	121	0.48	278.0	822.0	6849.0
3	30	218	0.49	950.0	2831.0	47183.0

VELOCITA' MEDIE VS30

Geofono	VS30 [m/s]
orizzontale Sx	170.0
orizzontale Sy	157.4



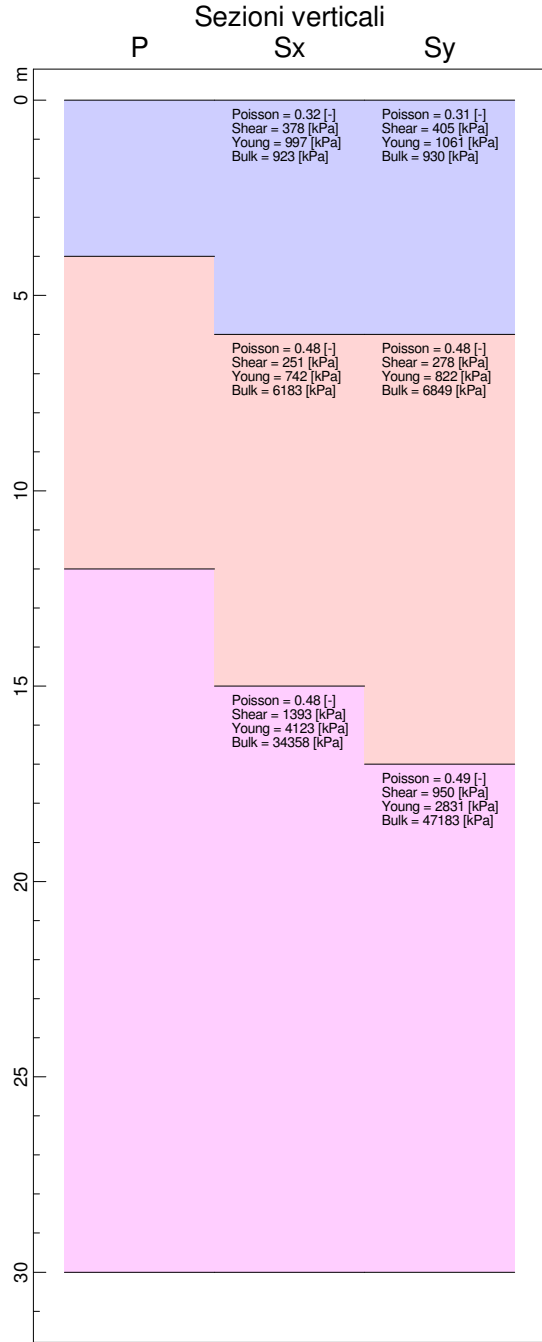
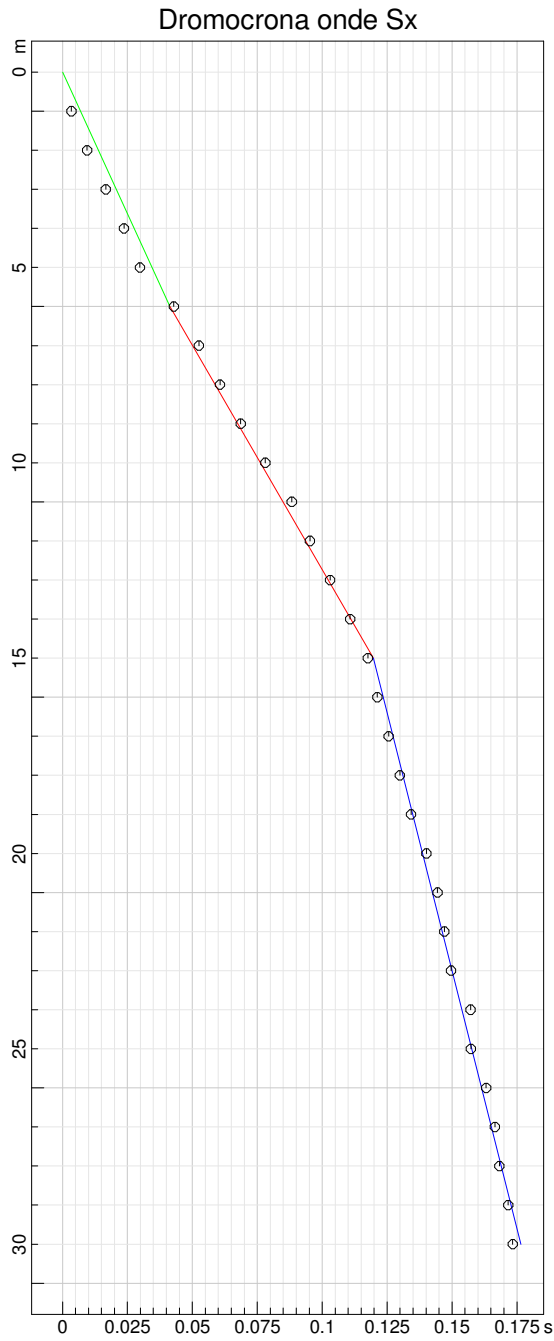
P	318 m/s
Sx	145 m/s
Sy	150 m/s

P	838 m/s
Sx	115 m/s
Sy	121 m/s

P	2074 m/s
Sx	264 m/s
Sy	218 m/s

Vs30
170.0 m/s
157.4 m/s

S2



P	318 m/s
Sx	145 m/s
Sy	150 m/s

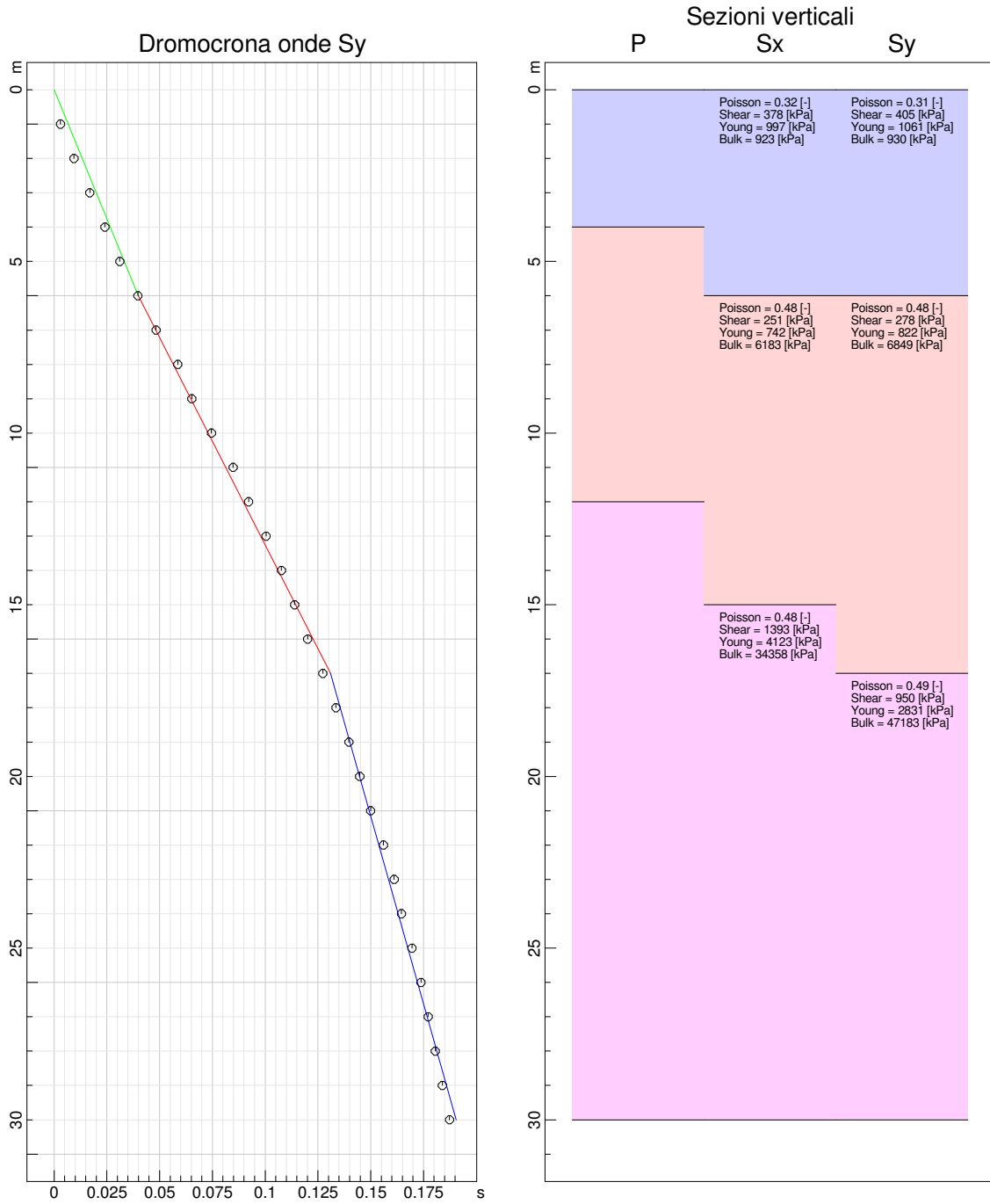
P	838 m/s
Sx	115 m/s
Sy	121 m/s

P	2074 m/s
Sx	264 m/s
Sy	218 m/s

Vs30
170.0 m/s
157.4 m/s

www.geoandsoft.com

S2



P	318 m/s
Sx	145 m/s
Sy	150 m/s

P	838 m/s
Sx	115 m/s
Sy	121 m/s

P	2074 m/s
Sx	264 m/s
Sy	218 m/s

Vs30
170.0 m/s
157.4 m/s

www.geoandsoft.com

S2