



*RETE FERROVIARIA ITALIANA S.p.A.*

Direzione Investimenti – Ingegneria Civile  
S.O. Geologia – S.O. Corpo Stradale

# CARATTERIZZAZIONE DEI TERRENI E PARAMETRI GEOTECNICI PER LA PROGETTAZIONE IN ZONA SISMICA

## LA STRUMENTAZIONE PER LE INDAGINI, TIPOLOGIE DI PROVE E VALORI CARATTERISTICI

Dott. Geol. Gabriele Pulelli   Dott. Geol. Maurizio Furani   Dott. Geol. Giuseppe Galassi



Roma 20-22 giugno 2007

**PROGEO srl**

Via Talete 10/8  
47100 Forlì

tel. 0543 / 723580

Email: [mail.progeo@gmail.com](mailto:mail.progeo@gmail.com)

Web : [www.progeo.info](http://www.progeo.info)

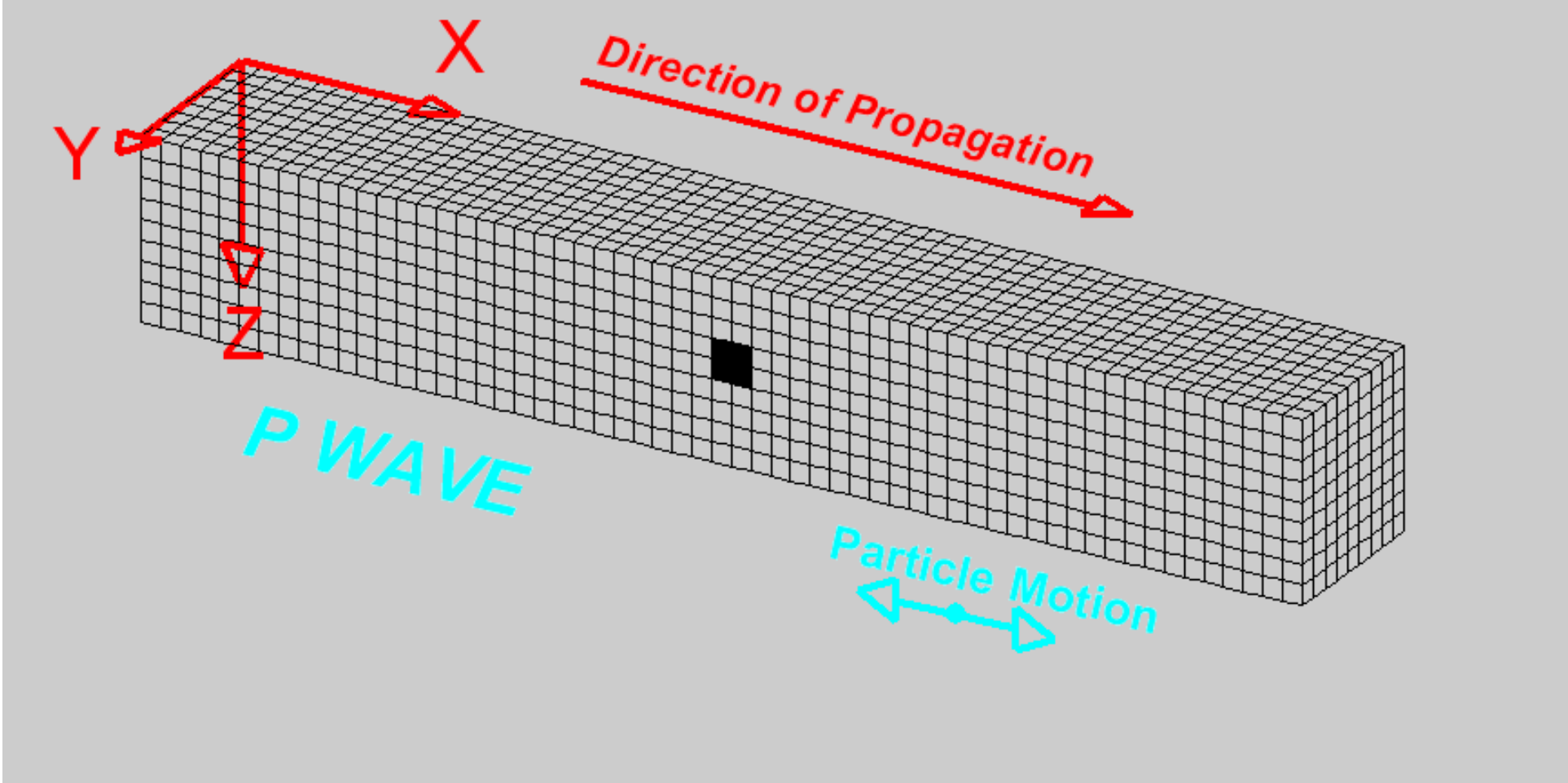


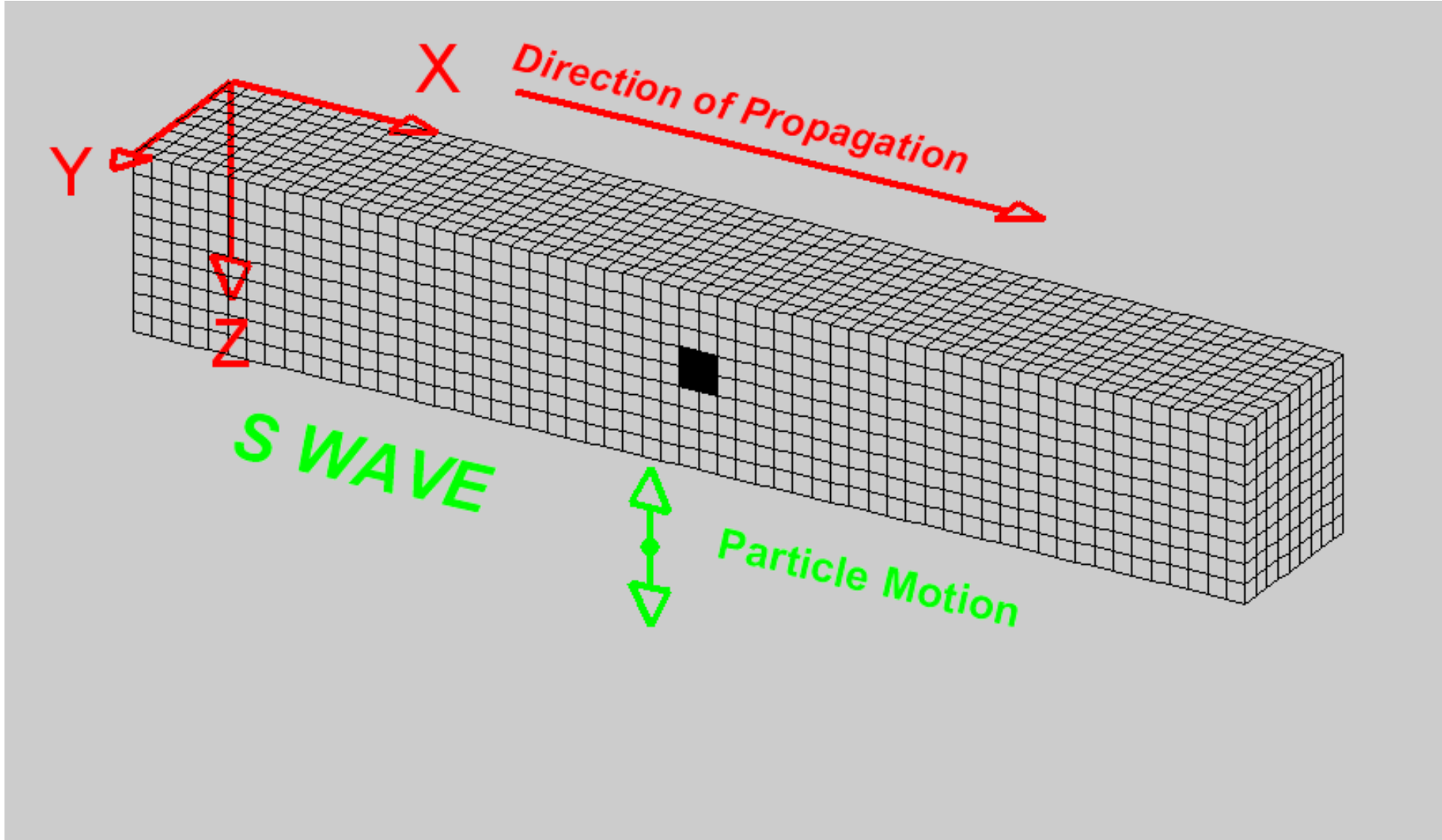
- **Indagini in pozzo:**

**Down hole**

**Cross-hole**

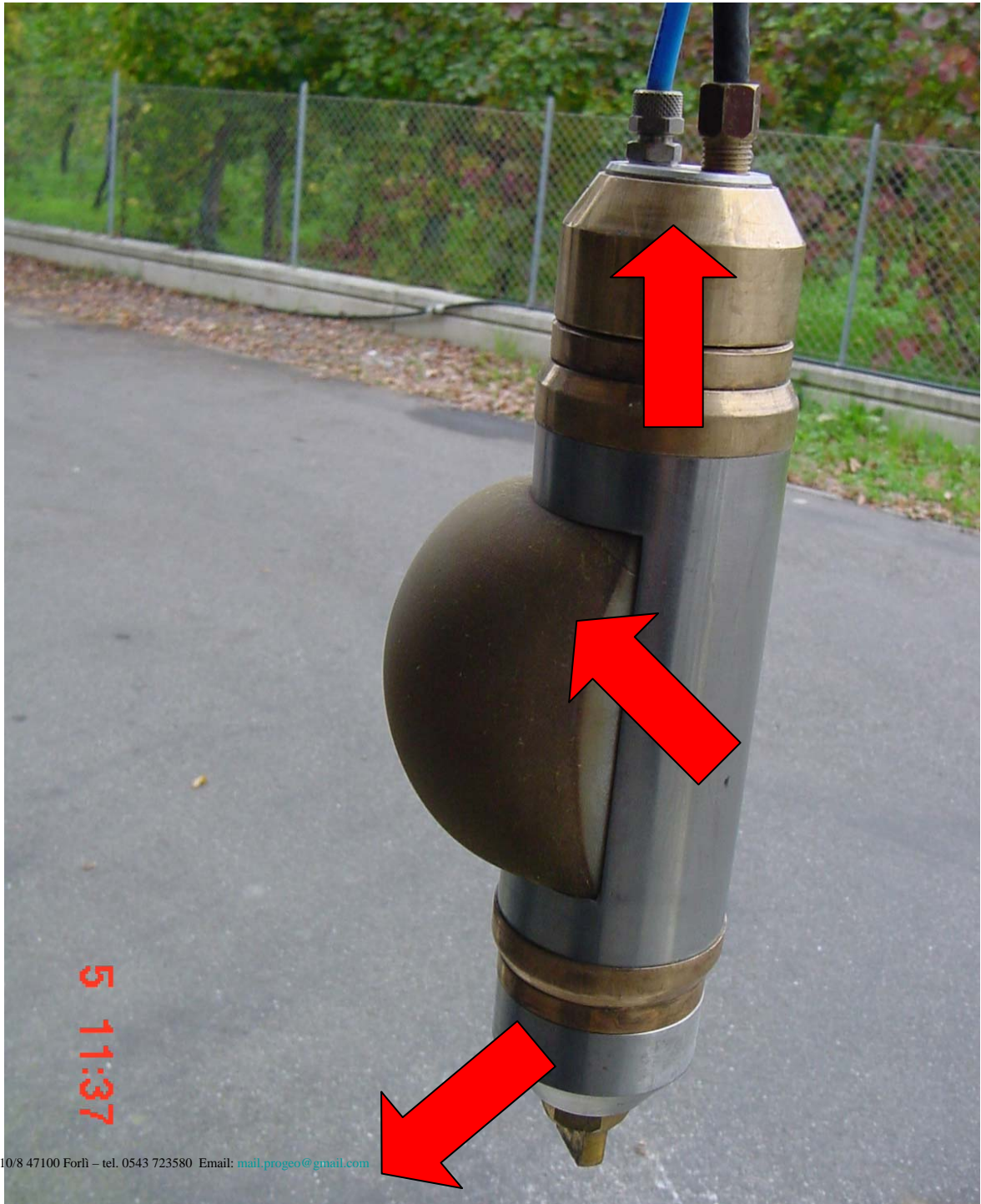
**Cono sismico**





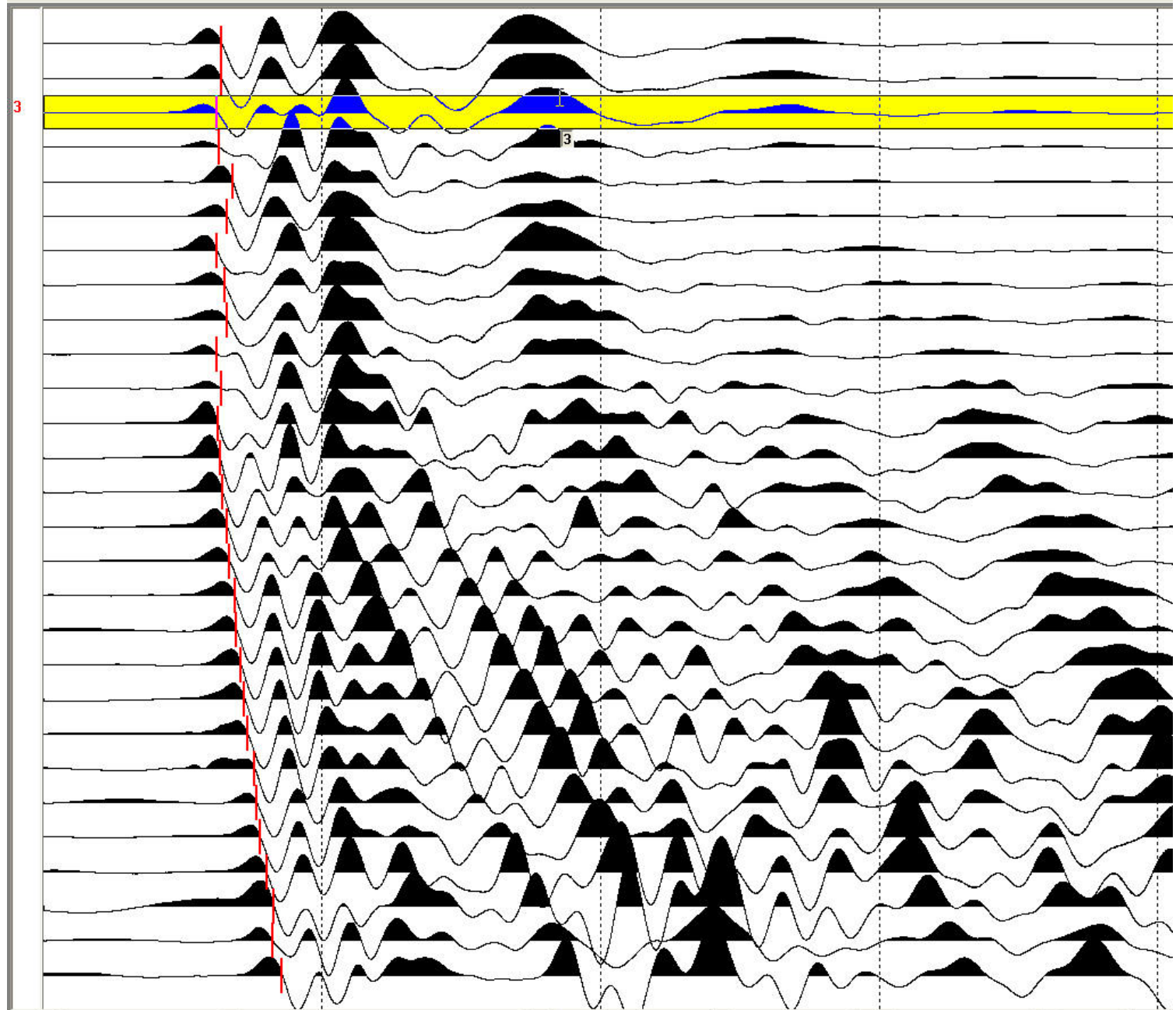






5 11:37





Scala Orizzontale Sinistra    Scala Orizzontale Destra    View TRACCE    View Campioni    View msec.dopo Tb    Gain 1.01

0.0    Ampiezza 0.63    40.32    80.64    Option All [F2]    Redraw tb    View Dromo    FFT e Filter    161.28    Batch    201.60

Canale 3    Time Break 24.913    Campione    Blocca ampiezza    Allinea tracce    Redraw [R]    Zoom (1)    Filtro 3    Clip tb    Clip tb space    View Clip







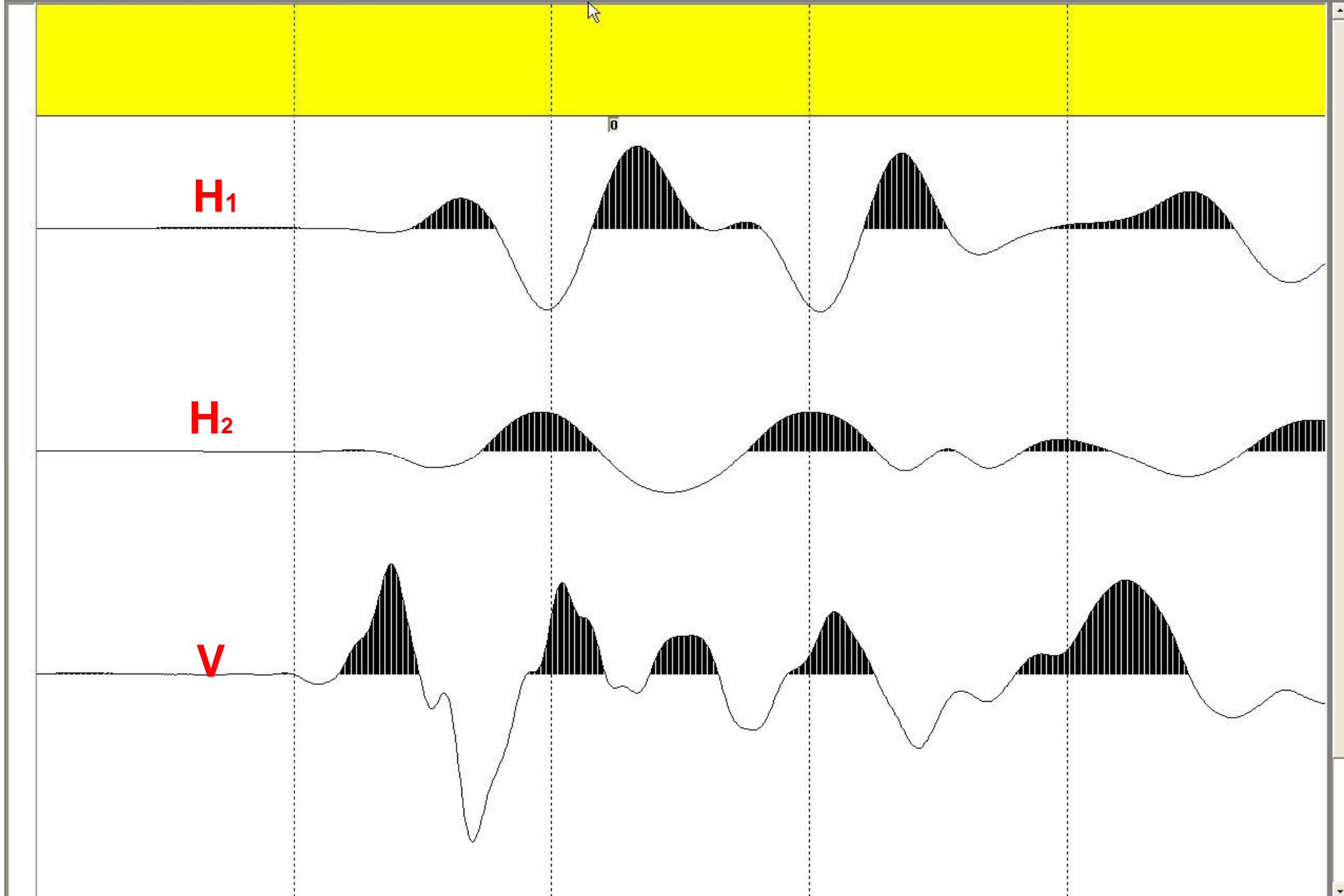






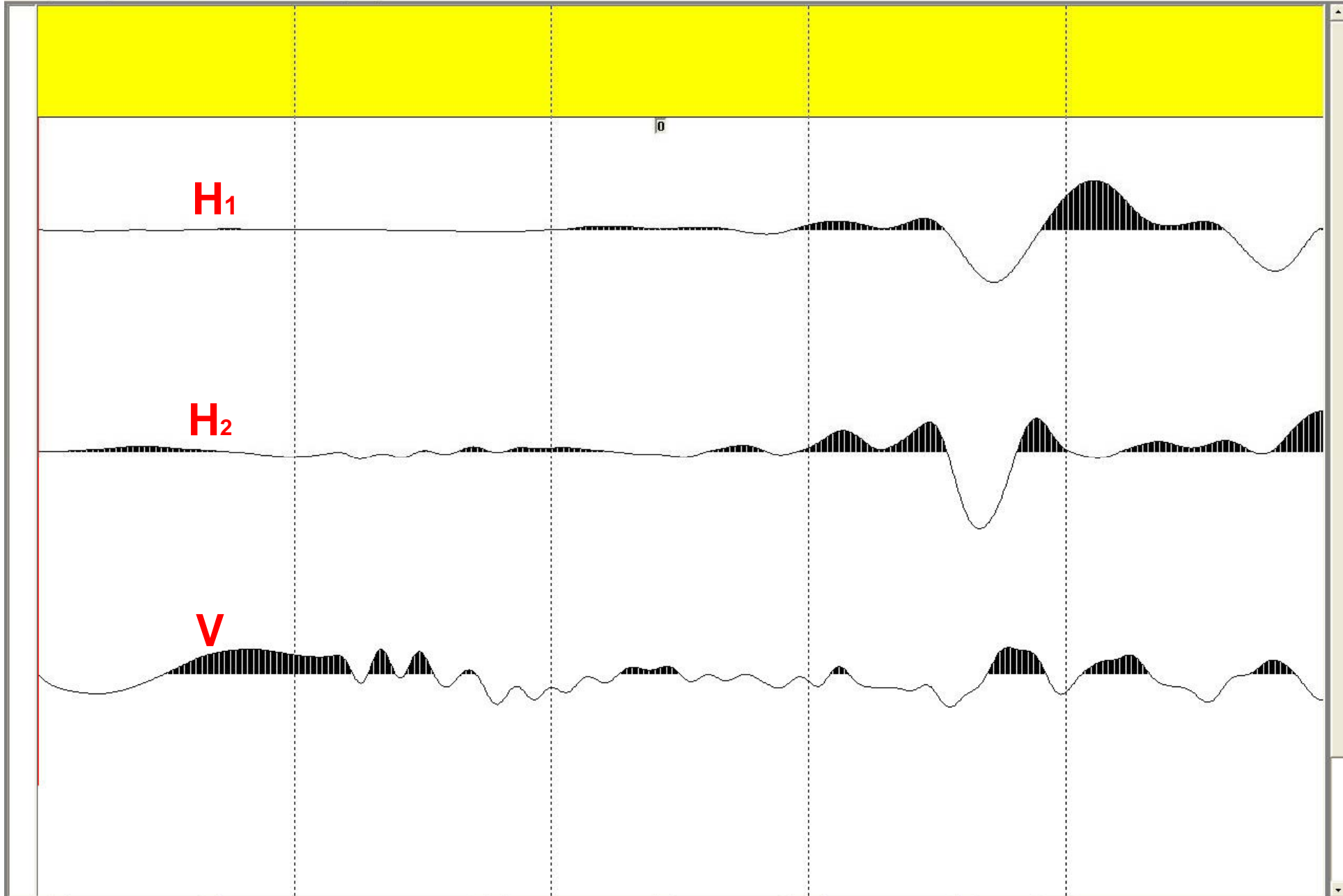


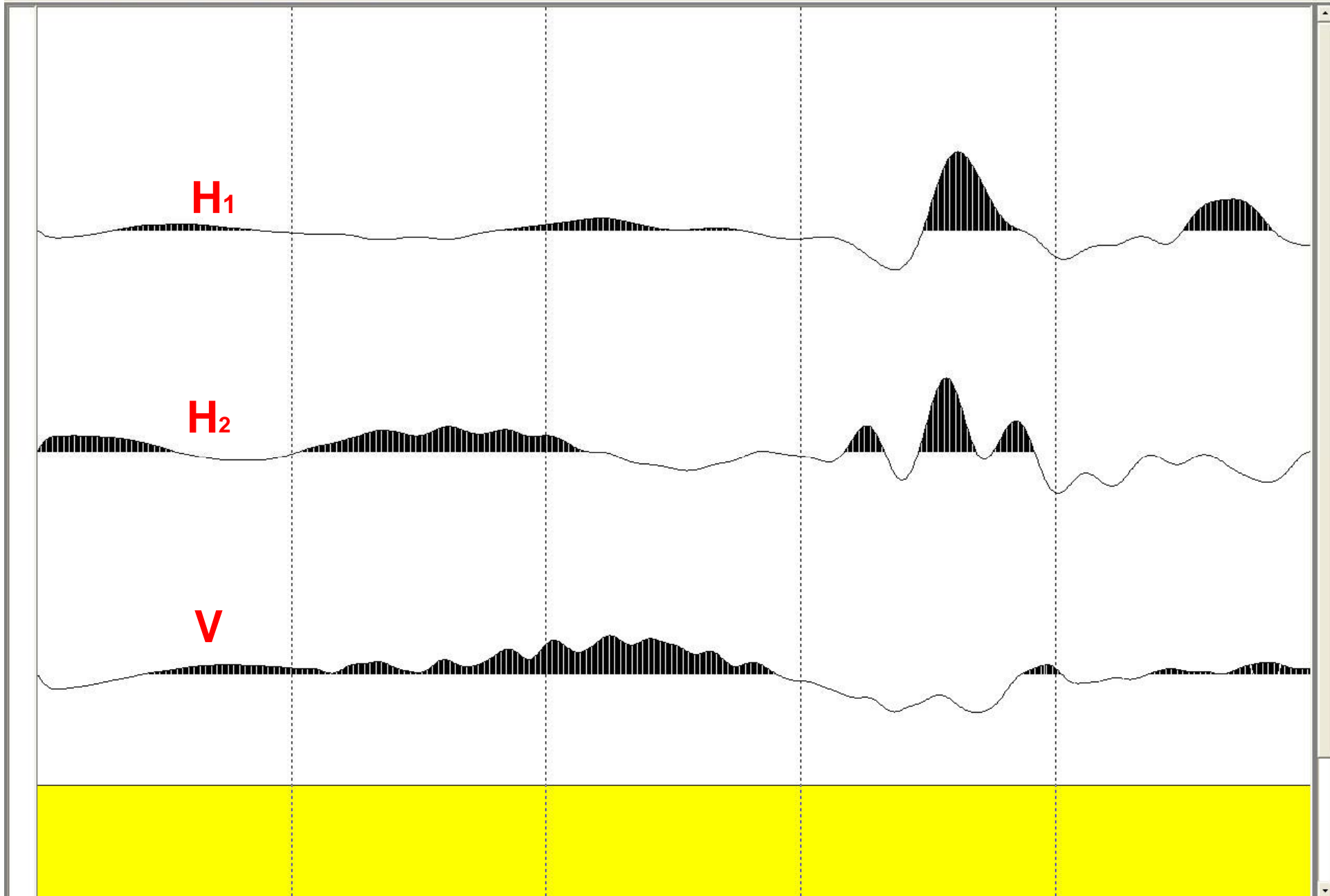




Scala Orizzontale Sinistra	Scala Orizzontale Destra	View TRACCE	View Campioni	View msec.dopo Tb	Gain	1.5					
0.0	Ampiezza 0.00	25.00	50.00	Option All [F2]	Redraw tb	View Dromo	FFT e Filter	100.00	Batch	125.00	
Canale 0	Time Break 0.000	Campione	<input type="checkbox"/> Blocca ampiezza	Allinea tracce	Redraw [R]	Zoom (1)	Filtro	10	Clip tb	Clip tb space	View Clip



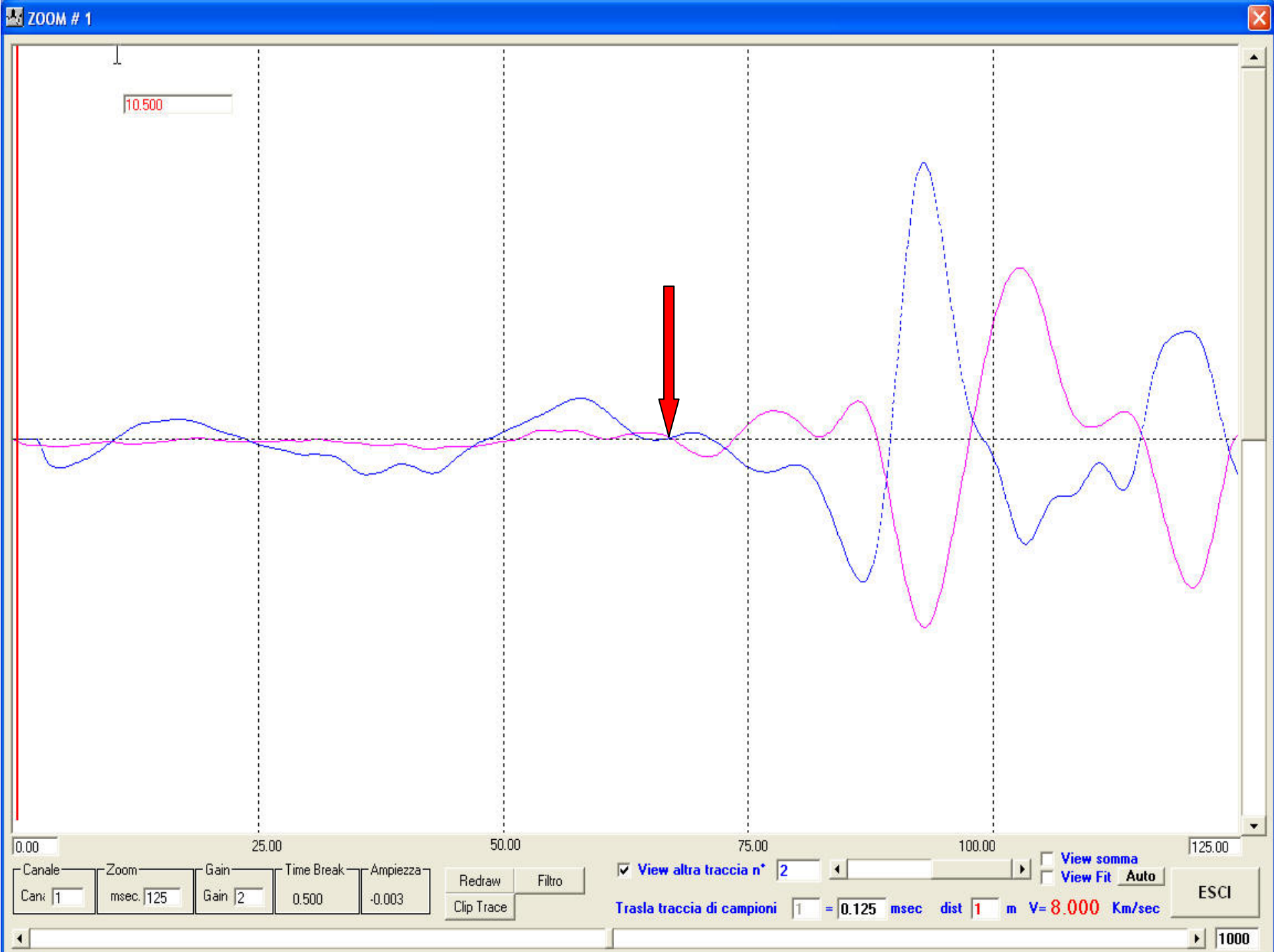




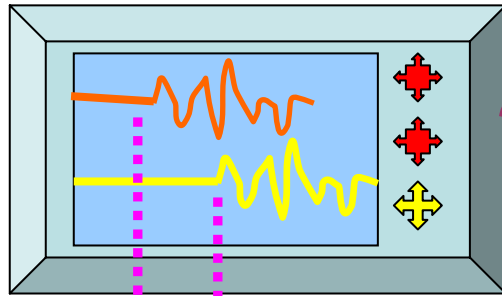
Scala Orizzontale Sinistra      Scala Orizzontale Destra      View TRACCE      View Campioni      View msec.dopo Tb      Gain 1.5

0.0      Ampiezza 0.02      25.00      50.00      Option All [F2]      Redraw tb      View Dromo      FFT e Filter      100.00      Batch      125.00

Canale 4      Time Break 0.000      Campione      Blocca ampiezza      Allinea tracce      Redraw IR1      Zoom (1)      Filtro 10      Clip tb      Clip tb space      View Clip



sismografo



pompa



# Downhole

Tavola con carico assiale



martello



packer

Geofoni orizzontali

sondaggio rivestito

$\Delta t$

$z_1$

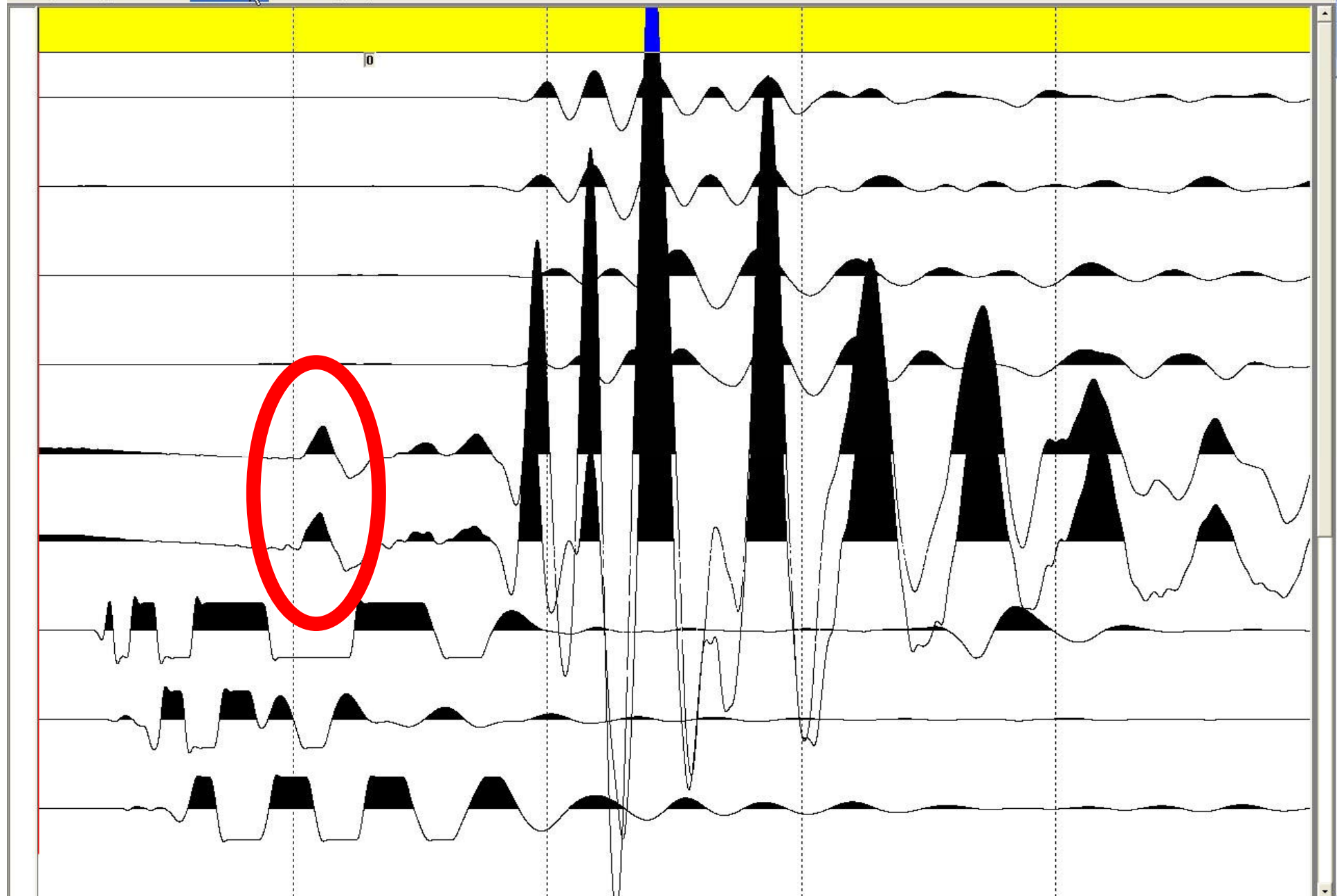
$z_2$

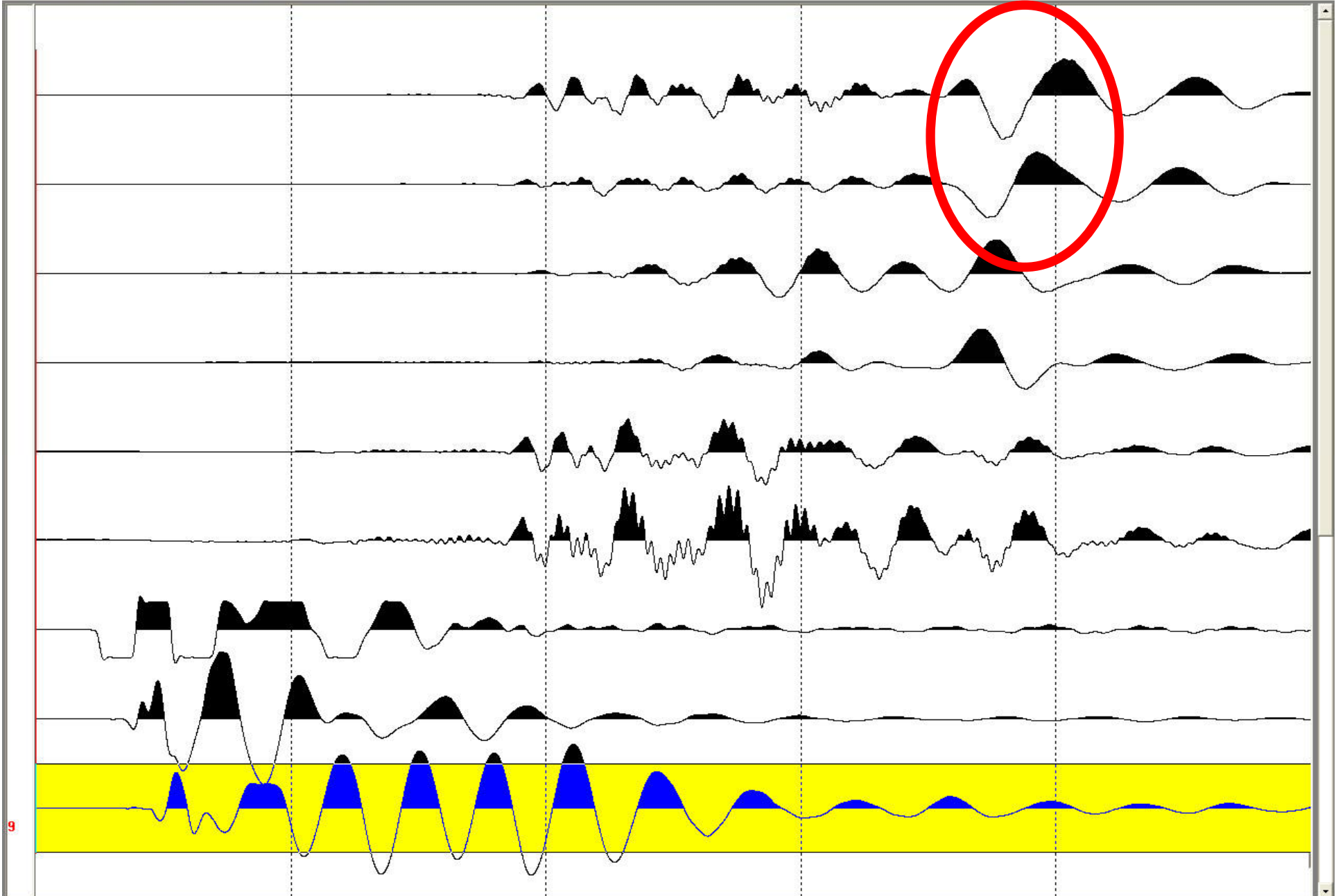
intervallo di profondità

Velocità onde di taglio:  
 $V_s = \Delta R / \Delta t$

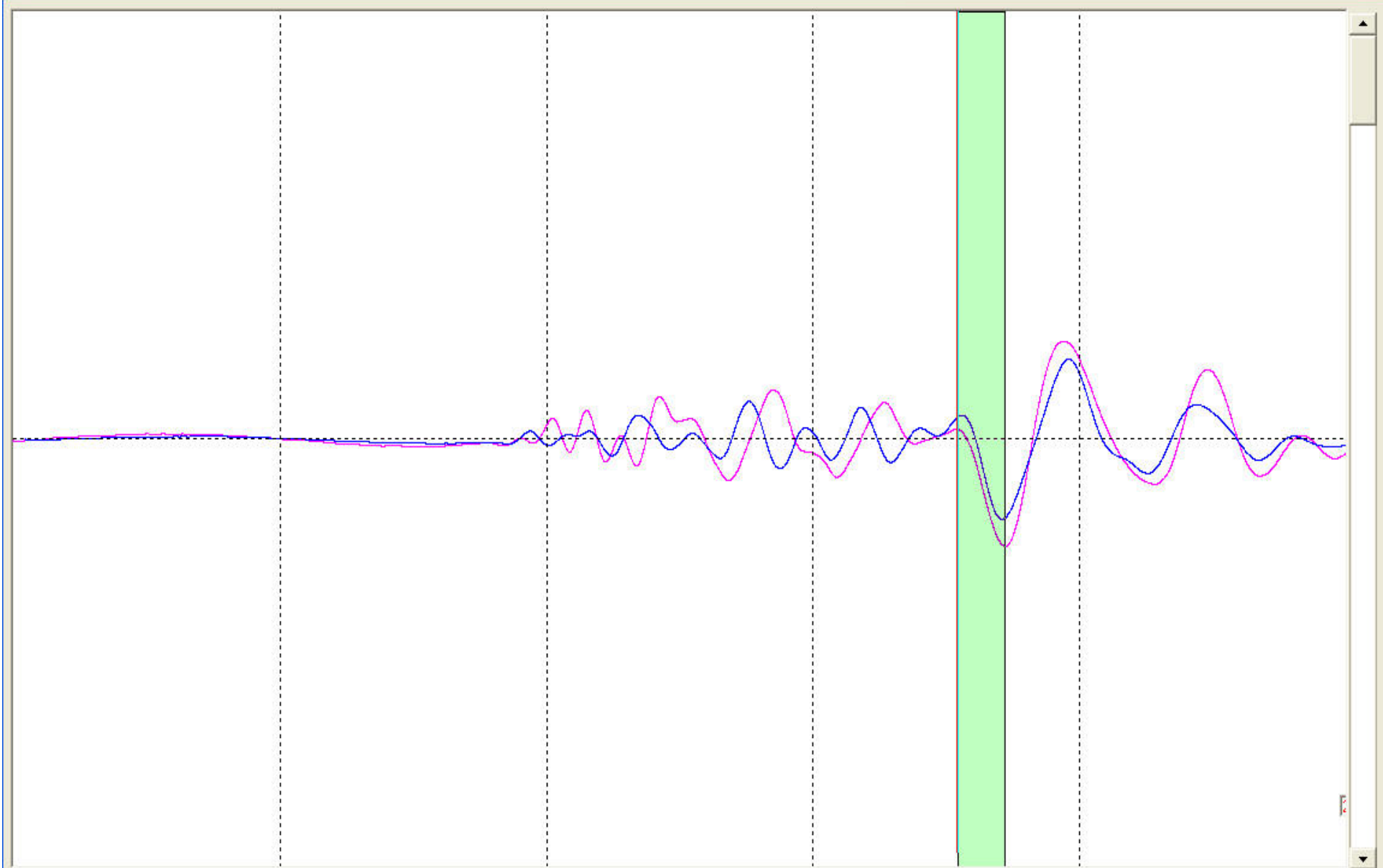
$$R_1^2 = z_1^2 + x^2$$

$$R_2^2 = z_2^2 + x^2$$





ZOOM # 1



0.00	50.40	100.80	151.20	201.60	252.00
Canale	Zoom	Gain	Time Break	Ampiezza	
Can: 1	msec: 249.9	Gain: 1	178.605	-0.041	
		Redraw	Filtro	<input checked="" type="checkbox"/> View altra traccia n° 2	<input type="checkbox"/> View somma
		Clip Trace		<input checked="" type="checkbox"/> View Fit Auto	ESCI
Trasla traccia di campioni 104 = 2.184 msec dist 1 m V= 0.458 Km/sec					
					12000

<b>COMMITTENTE</b>
<b>DOWN HOLE</b>
<b>Località</b>
<b>Data acquisizione</b>

<b>Dr. Pazzaglia</b>
<b>3</b>
<b>Igea Marina</b>
<b>12/04/07</b>



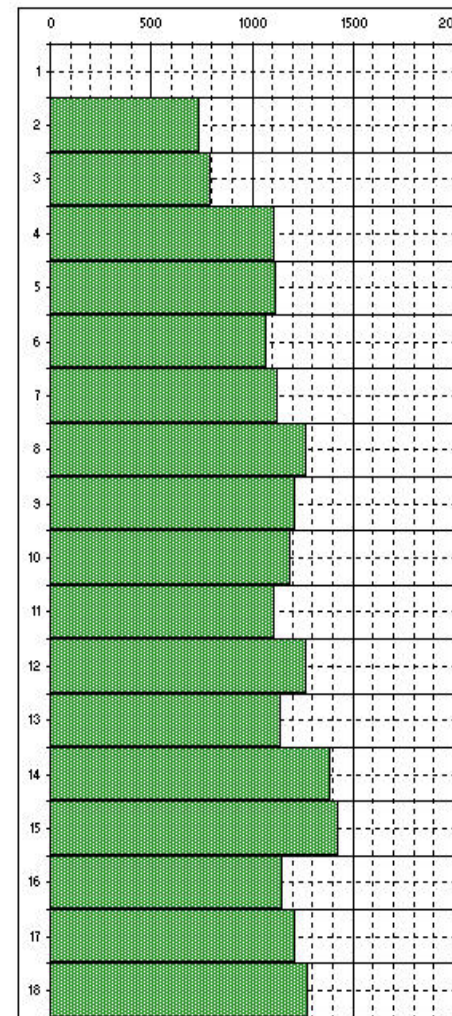
**PROGEO S.r.l.**

Via Talete 10/8 - 47100 Forlì  
tel. 0543 / 723580  
fax. 0453 / 721486  
e-mail: progeo@tin.it

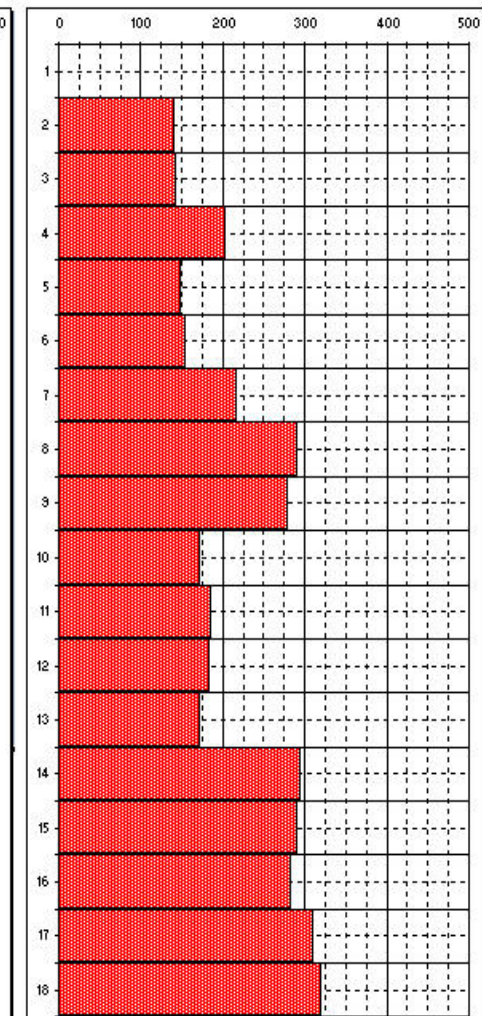
Profondità	Vp	Vs	$\nu$	$\gamma$	E <sub>din</sub>	G <sub>din</sub>	K <sub>din</sub>
	m/sec.	m/sec.		T/m <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>

0							
1							
2	735	140	0.48	1.79	1061	358	9354
3	792	143	0.48	1.81	1120	377	11103
4	1103	203	0.48	1.93	2395	808	22866
5	1115	148	0.49	1.93	1290	433	23924
6	1071	153	0.49	1.92	1365	458	21833
7	1122	216	0.48	1.94	2722	919	23626
8	1264	290	0.47	1.98	4990	1695	30028
9	1209	279	0.47	1.96	4574	1554	27224
10	1187	172	0.49	1.96	1759	591	27309
11	1107	184	0.49	1.93	1988	669	23262
12	1262	183	0.49	1.98	2016	677	31248
13	1142	172	0.49	1.94	1735	583	25068
14	1381	293	0.48	2.01	5219	1768	36788
15	1425	290	0.48	2.03	5154	1743	39638
16	1149	283	0.47	1.95	4650	1584	24062
17	1209	310	0.46	1.96	5620	1918	26728
18	1276	320	0.47	1.98	6070	2069	30181

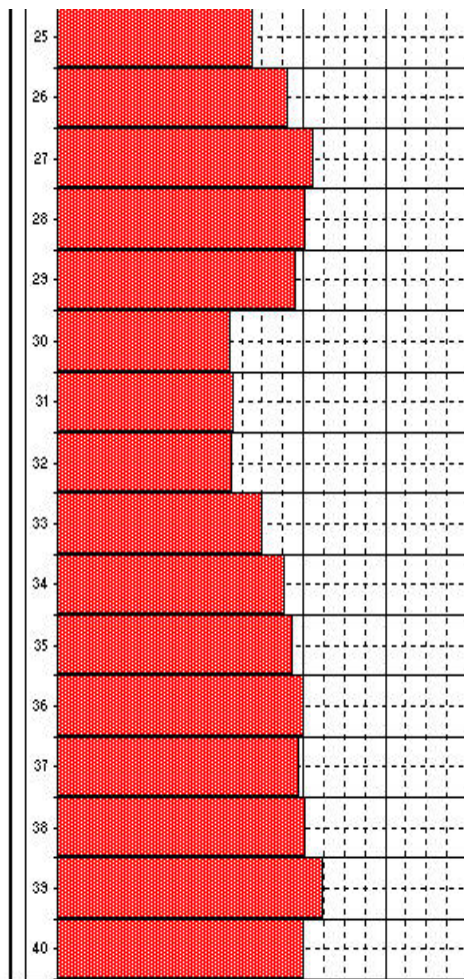
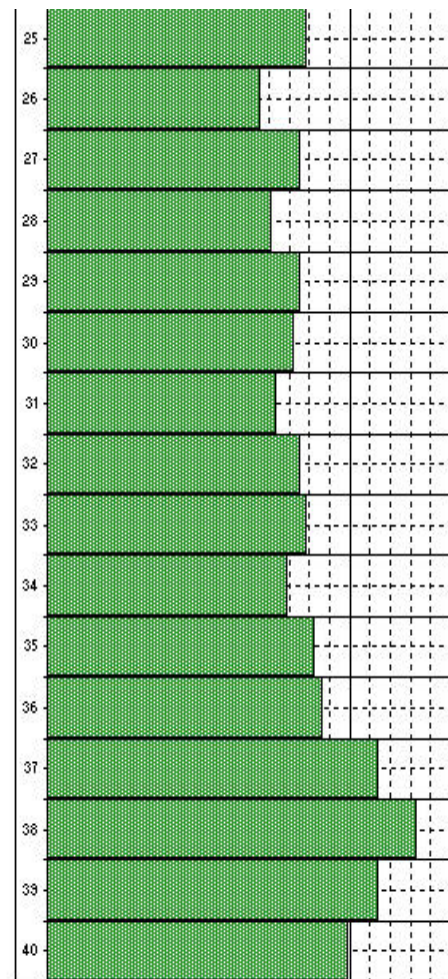
VELOCITA' ONDE DI COMPRESIONE
m/sec



VELOCITA' ONDE DI TAGLIO
m/sec



25	1281	238	0.48	1.99	3406	1149	31711
26	1054	281	0.46	1.91	4492	1536	19621
27	1248	311	0.47	1.98	5729	1953	28797
28	1104	302	0.46	1.93	5239	1795	21575
29	1249	290	0.47	1.98	4979	1692	29180
30	1217	210	0.48	1.97	2627	885	28532
31	1131	213	0.48	1.94	2660	898	24075
32	1250	212	0.49	1.98	2691	906	30269
33	1284	249	0.48	1.99	3729	1260	31702
34	1188	277	0.47	1.96	4510	1533	26107
35	1320	285	0.48	2.00	4883	1655	33261
36	1358	299	0.47	2.01	5392	1828	35297
37	1639	294	0.48	2.08	5423	1828	54540
38	1828	302	0.49	2.12	5889	1982	69745
39	1639	322	0.48	2.08	6511	2200	54069
40	1486	299	0.48	2.04	5506	1861	43475



#### Legenda parametri dinamici

<b>Tp</b>	Tempi onde di compressione	millisecondi	<b>γ</b>	Peso di volume	T/m <sup>3</sup>
<b>Ts</b>	Tempi onde di taglio	millisecondi	<b>Edin</b>	Modulo di Elasticità dinamico	Kg/cm <sup>2</sup>
<b>Vp</b>	Velocità onde di compressione	m/sec	<b>Gdin</b>	Modulo di Taglio dinamico	Kg/cm <sup>2</sup>
<b>Vs</b>	Velocità onde di taglio	m/sec	<b>Kdin</b>	Modulo di Compressibilità dinami	Kg/cm <sup>2</sup>
<b>ν</b>	Coefficiente di Poisson	-			

#### CLASSIFICAZIONE SISMICA DEI SUOLI (NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI P.C.M. n° 3341 del 14/09/2005)

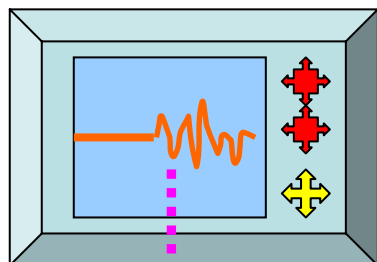
$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}}$$

$$V_{s30} = 219 \text{ m/sec}$$

$$G_0 = 1285 \text{ Kg/cm}^2$$

**CATEGORIA SUOLO = C**

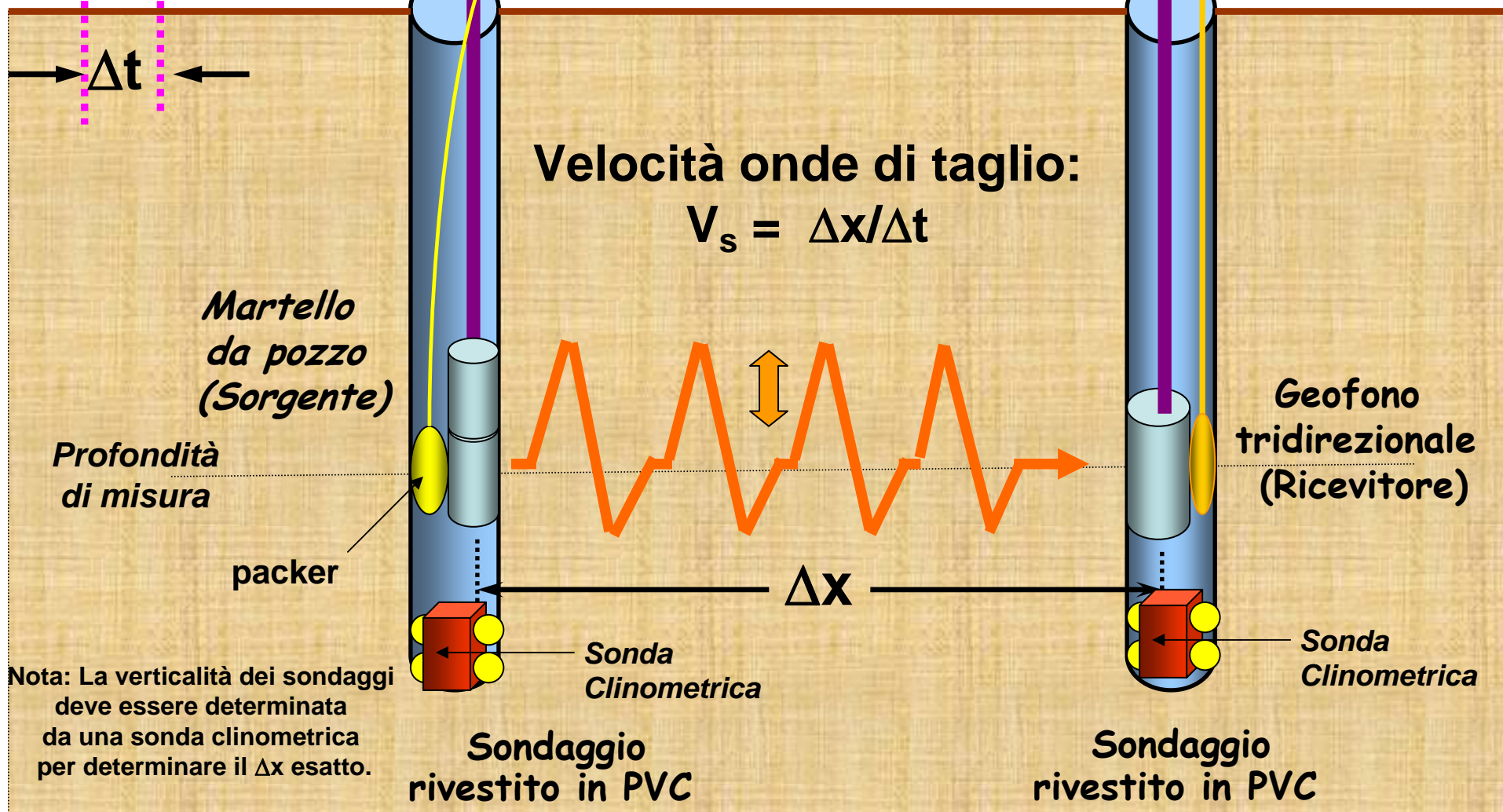
Sismografo



# Crosshole

ASTM D 4428

Pompa



Velocità onde di taglio:

$$V_s = \Delta x / \Delta t$$

Martello da pozzo (Sorgente)

Profondità di misura

packer

Sonda Clinometrica

Sondaggio rivestito in PVC

Geofono tridirezionale (Ricevitore)

Sonda Clinometrica

Sondaggio rivestito in PVC

Nota: La verticalità dei sondaggi deve essere determinata da una sonda clinometrica per determinare il  $\Delta x$  esatto.

<b>COMMITTENTE</b>
<b>CROSS - HOLE</b>
<b>Località</b>
<b>Data acquisizione</b>

<b>TOMA ABELE sas</b>
<b>S2</b>
<b>SENIGALLIA</b>
<b>3/05/2005</b>



**PROGEO S.r.l.**  
 Via Salaria 100 - 00138 Roma  
 Tel. 06/5177330  
 Fax 06/5177385  
 e-mail: info@progeo.it

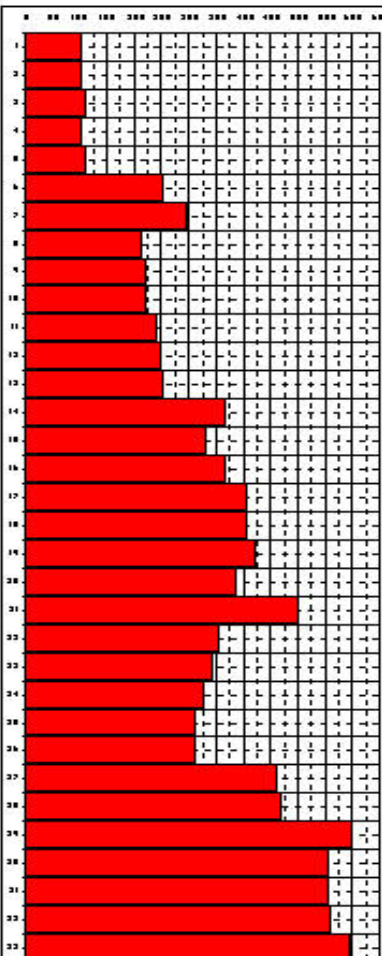
Profondità [m]	Distanza tra i fori [m]	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]	γ [kN/m³]	T [T/m²]	Es [Kgf/cm²]	Gs [Kgf/cm²]	Ks [Kgf/cm²]
-------------------	-------------------------------	---------------	---------------	--------------	-------------	-----------------	-----------------	-----------------

1	5.182	0	104	0.00	0.00	0	0	0
2	5.187	0	104	0.00	0.00	0	0	0
3	5.189	0	110	0.00	0.00	0	0	0
4	5.195	0	102	0.00	0.00	0	0	0
5	5.201	0	110	0.00	0.00	0	0	0
6	5.207	0	254	0.00	0.00	0	0	0
7	5.213	0	294	0.00	0.00	0	0	0
8	5.218	0	214	0.00	0.00	0	0	0
9	5.225	0	219	0.00	0.00	0	0	0
10	5.229	0	221	0.00	0.00	0	0	0
11	5.233	0	242	0.00	0.00	0	0	0
12	5.237	0	247	0.00	0.00	0	0	0
13	5.247	0	251	0.00	0.00	0	0	0
14	5.257	0	267	0.00	0.00	0	0	0
15	5.267	0	331	0.00	0.00	0	0	0
16	5.276	0	366	0.00	0.00	0	0	0
17	5.284	0	405	0.00	0.00	0	0	0
18	5.293	0	407	0.00	0.00	0	0	0
19	5.302	2570	421	0.49	2.27	12177	4097	147204
20	5.313	2099	386	0.48	2.18	9800	3305	93568
21	5.323	2334	500	0.48	2.23	16713	5662	116009
22	5.332	2305	354	0.49	2.22	9439	2826	116493
23	5.339	2895	342	0.49	2.32	9272	2770	194428
24	5.345	2086	329	0.49	2.18	7121	2394	93413
25	5.355	1969	310	0.49	2.16	6296	2117	82378
26	5.364	2724	313	0.49	2.29	6823	2285	170396
27	5.374	2263	460	0.48	2.21	14100	4768	109129
28	5.385	2209	470	0.48	2.20	14617	4950	102954
29	5.397	2432	598	0.47	2.24	23974	8166	124374
30	5.408	2277	556	0.47	2.22	20537	6994	107792
31	5.421	2514	554	0.47	2.26	20849	7070	136079
32	5.434	2449	561	0.47	2.25	21211	7203	127698
33	5.446	3168	595	0.48	2.36	25211	8507	230012

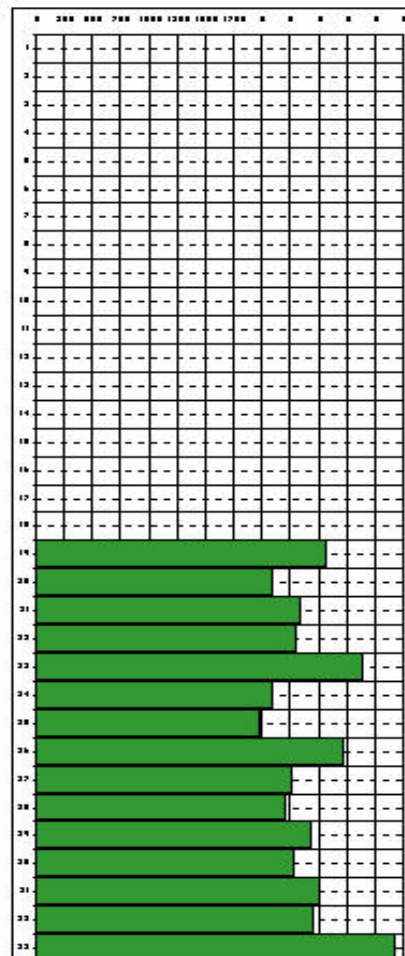
**Legenda parametri dinamici**

<b>Es</b>	Modulo di compressione	[m/sec]	<b>Es</b>	Modulo di taglio	[m/sec]
<b>Gs</b>	Modulo di taglio	[m/sec]	<b>Ks</b>	Modulo di compressione	[m/sec]
<b>γ</b>	Costante di Poisson	-	<b>T</b>	Modulo di compressione	[m/sec]
<b>ρ</b>	Peso Volume	[T/m³]			

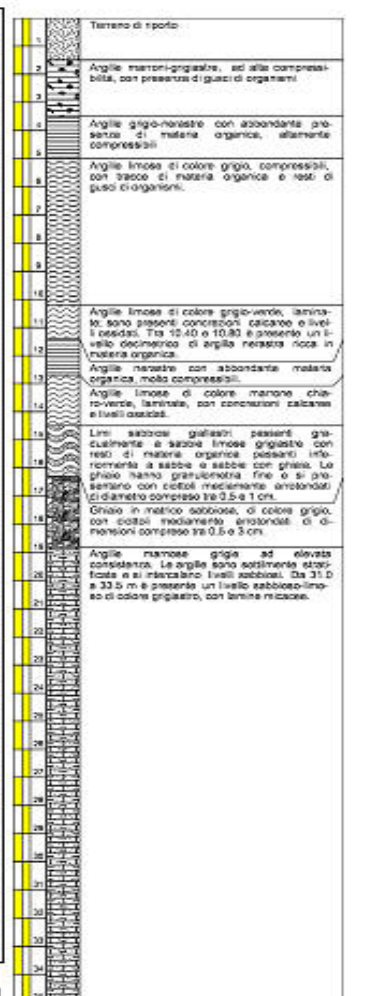
**VELOCITA' ONDE DI TAGLIO**  
[m/sec]



**VELOCITA' ONDE DI COMPRESIONE**  
[m/sec]



**STRATIGRAFIA**



**CLASSIFICAZIONE SISMICA DEI SUOLI (P.C.M. n° 3274 del 20/03/2003)**

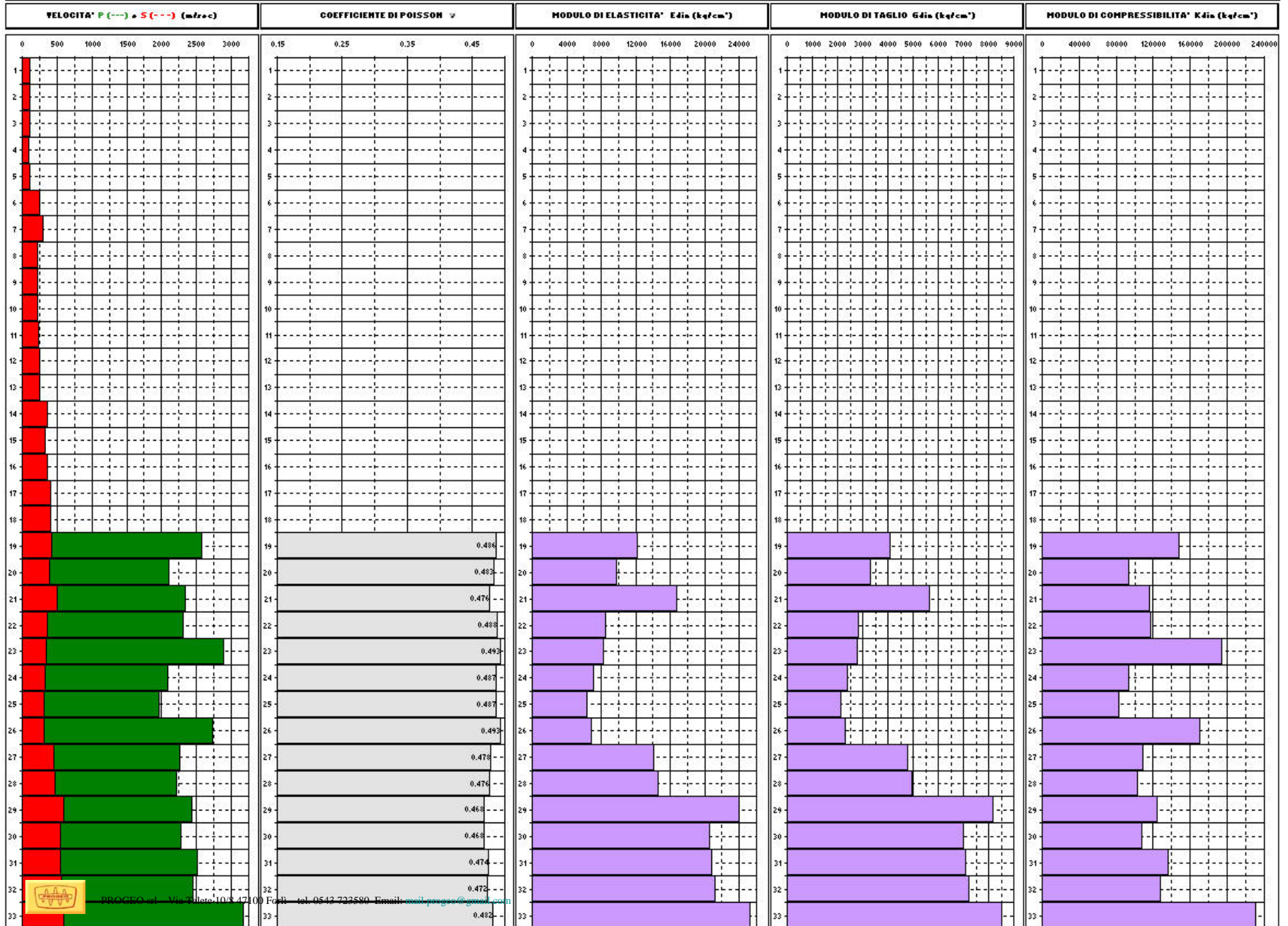
$$K_s = \frac{\sum A_i}{\sum \frac{A_i}{V_i}}$$

**Vs<sub>30</sub>** = 242 [m/sec]

**G<sub>s</sub>** = 1339 [m/sec]

**CATEGORIA SUOLO** = **C**

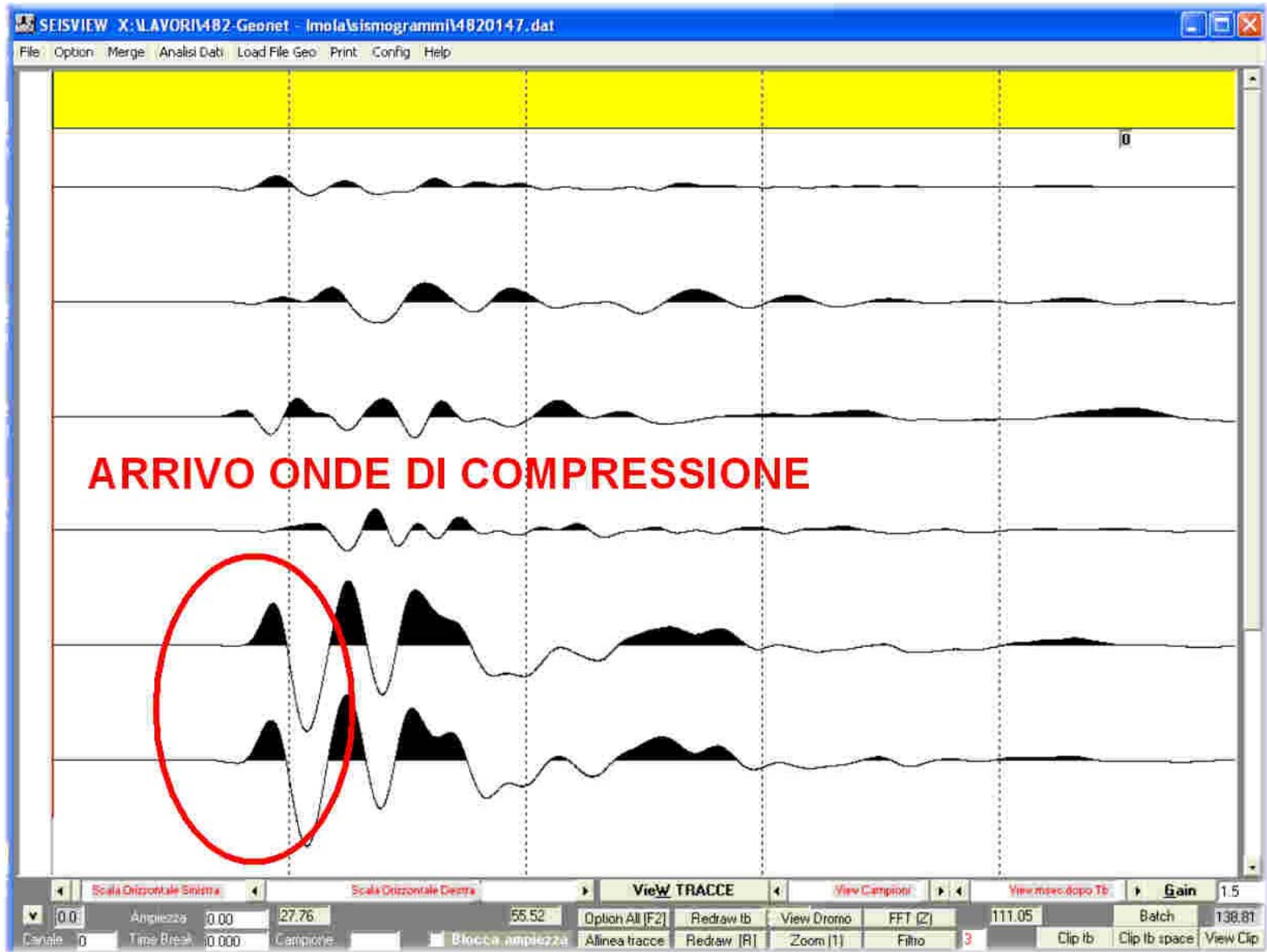
GRAFICI DEI PARAMETRI ELASTICI DINAMICI

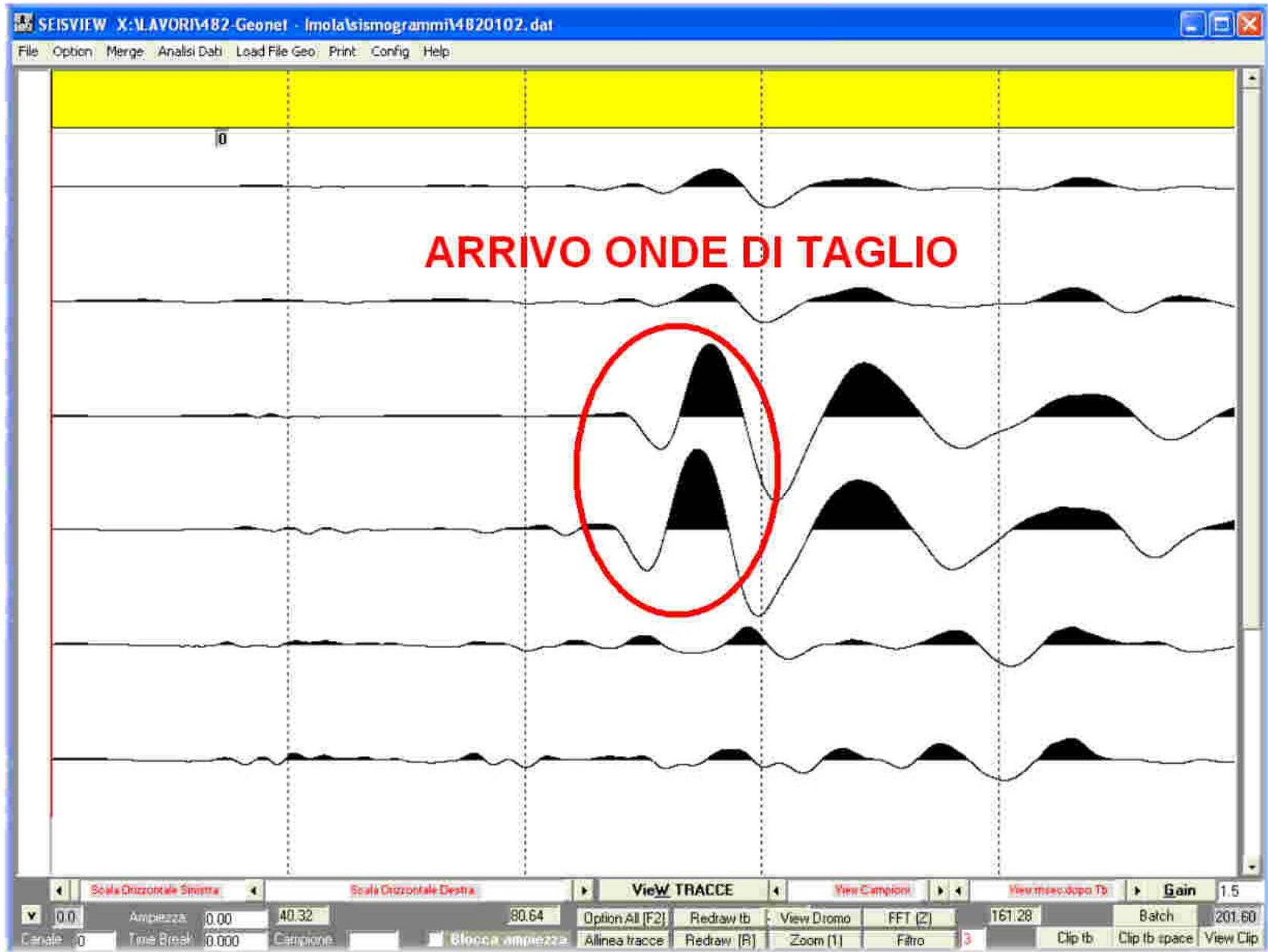


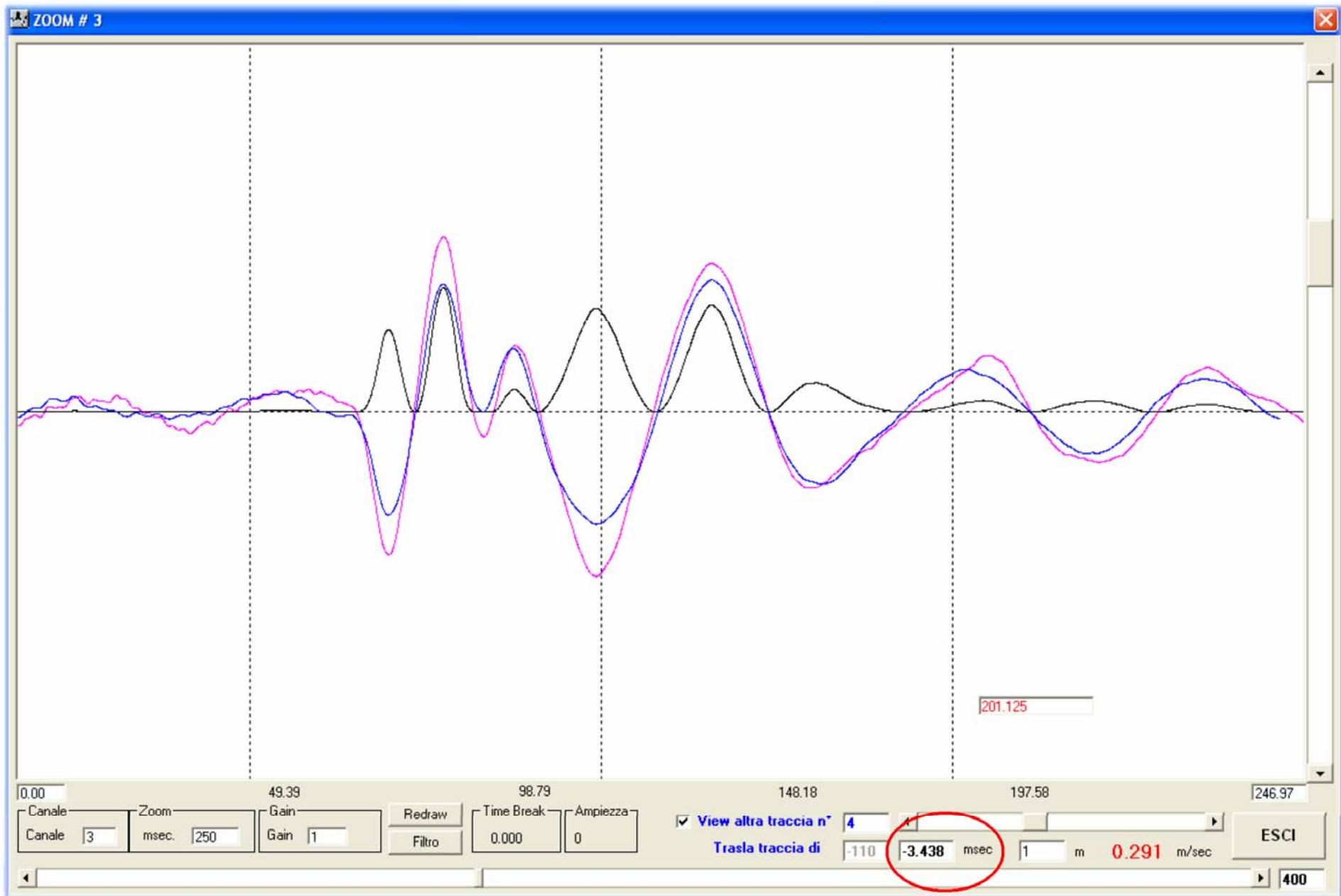


PROGEO srl - Via Talete 10/8 47100 Forlì - tel. 0543 723580 Email: [mail.progeo@gmail.com](mailto:mail.progeo@gmail.com)









**Differenziale tempi onde di taglio  
fra canale 3 e canale 4**



**COMMITTENTE**  
**CONO SISMICO**  
**Località**  
**Data acquisizione**

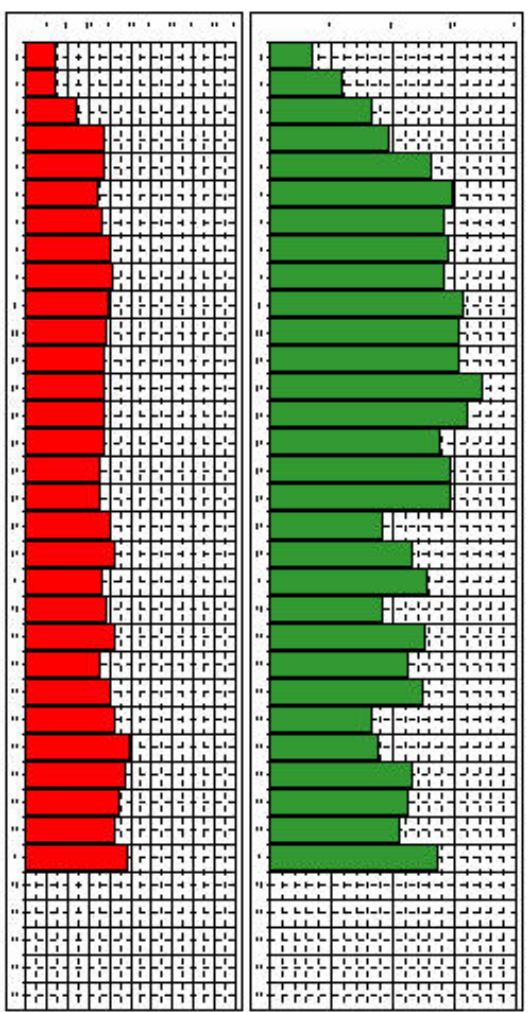
**Provincia Rn**  
**CPTU n°24**  
**Bellaria**  
**06/02/06**



Profondità	Vp	Vs	ρ	γ	Es	Gs	Es
z(m)	m/sec	m/sec	g/cm³	g/cm³	kg/cm²	kg/cm²	kg/cm²

z(m)	Vp	Vs	ρ	γ	Es	Gs	Es
1	346	63	0.48	1.55	224	75	1734
2	585	72	0.45	1.74	278	51	5841
3	828	128	0.45	1.85	886	274	12423
4	374	185	0.48	1.85	2838	588	17383
5	1383	185	0.45	1.33	2875	637	35533
6	1484	174	0.45	2.84	1818	683	45856
7	1412	188	0.45	2.82	1952	668	48253
8	1441	284	0.45	2.85	2553	825	41843
9	1413	285	0.45	2.82	2572	854	48842
10	1575	198	0.45	2.87	2456	823	51427
11	1534	192	0.45	2.86	2297	778	48247
12	1542	185	0.45	2.86	2144	718	48328
13	1721	186	0.45	2.18	2211	748	62495
14	1688	183	0.45	2.87	2243	753	53633
15	1975	185	0.45	2.81	2192	735	37823
16	1464	177	0.45	2.84	1938	643	43667
17	1467	175	0.45	2.84	1983	637	45865
18	322	283	0.47	1.87	2384	781	15125
19	1148	211	0.48	1.55	2621	884	24371
20	1274	183	0.45	1.38	2811	675	51922
21	387	194	0.48	1.86	2118	745	14657
22	1255	218	0.45	1.38	2633	888	38531
23	1125	179	0.45	1.54	1882	633	24168
24	1244	288	0.45	1.38	2583	881	38187
25	838	212	0.47	1.83	2453	833	11725
26	877	245	0.46	1.85	3383	1193	12363
27	1155	237	0.48	1.55	3238	1113	24533
28	1128	225	0.48	1.34	2348	536	23845
29	1853	211	0.48	1.51	2568	855	28488
30	1954	242	0.48	2.81	3552	1197	35342
31							
32							
33							
34							
35							

**VELOCITA' ONDE DI TAGLIO** (m/sec) **VELOCITA' ONDE DI COMPRESIONE** (m/sec)



**Legenda parametri dinamici**

Vp	Velocità onde compressive	Es	Modulo di elasticità
Vs	Velocità onde di taglio	Gs	Modulo di taglio
ρ	Densità	γ	Peso specifico
γ	Peso specifico	Es	Modulo di elasticità
Gs	Modulo di taglio	Es	Modulo di elasticità

**CLASSIFICAZIONE SISMICA DEI SUOLI (P.C.H. n° 3274 A-I 28/83/288)**

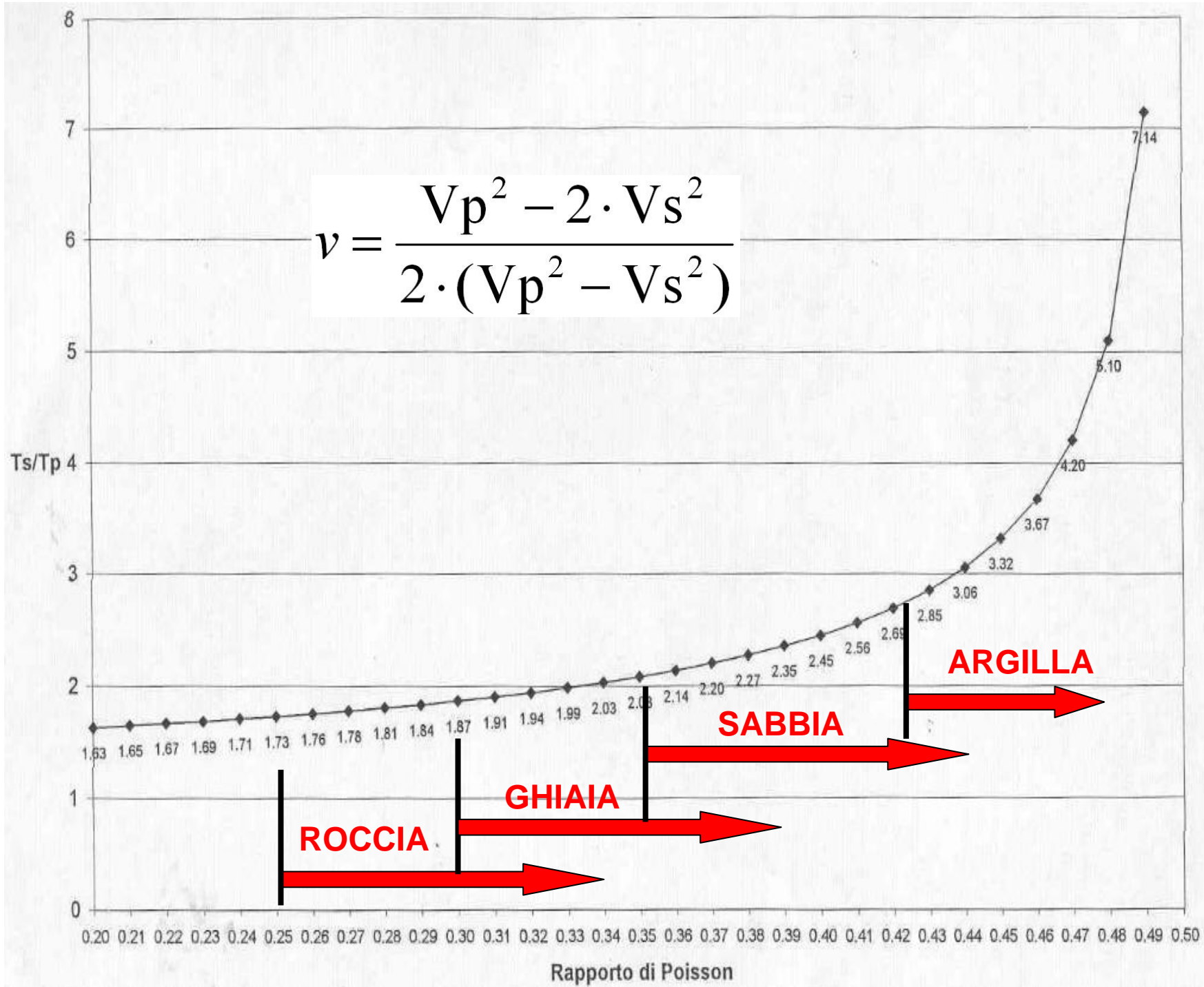
$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^n \frac{z_i}{V_{si}}}$$

Vs30 = **173** m/sec  
Gs = **595** kg/cm²

**CATEGORIA SUOLO** = **D**



$$\nu = \frac{V_p^2 - 2 \cdot V_s^2}{2 \cdot (V_p^2 - V_s^2)}$$



REGIONE TOSCANA



Giunta Regionale

DIREZIONE GENERALE POLITICHE  
TERRITORIALI E AMBIENTALI  
SETTORE- SERVIZIO SISMICO REGIONALE

Legge Regionale 30.7.97 n.56

## **PROGRAMMA VEL VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI LOCALI**

---

### **ISTRUZIONI TECNICHE PER LE INDAGINI GEOLOGICHE, GEOFISICHE, GEOGNOSTICHE E GEOTECNICHE PER LA VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI LOCALI NEI COMUNI CLASSIFICATI SISMICI DELLA TOSCANA**

**VOLUME 1B**  
*Criteria, metodologie, modalità di presentazione delle indagini  
e degli elaborati*

---

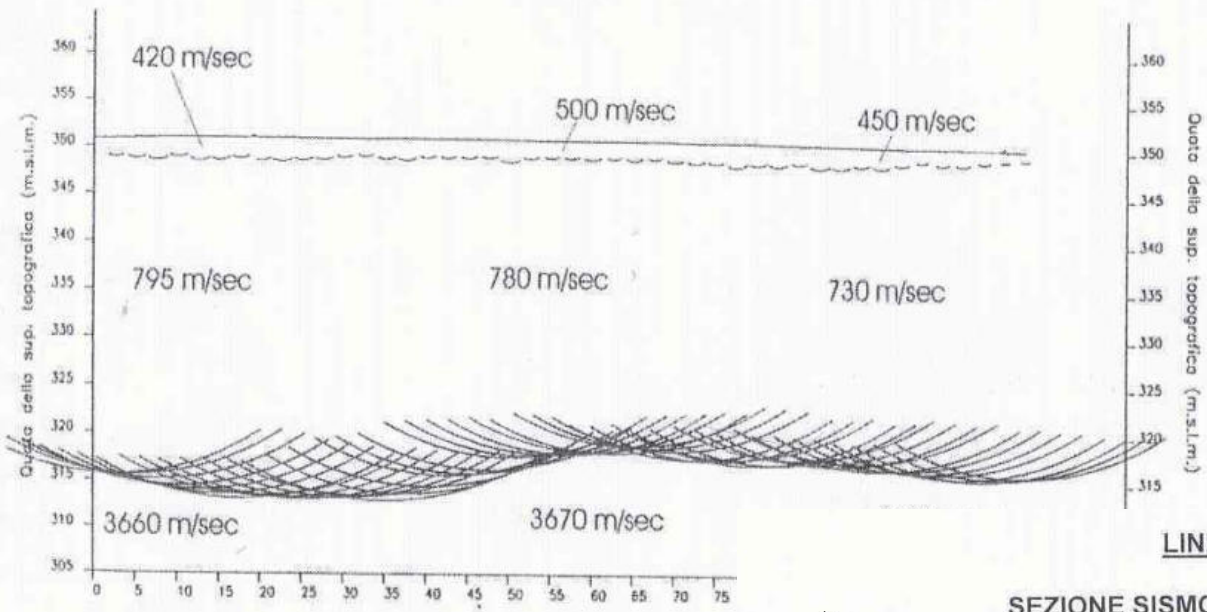
**"PROGRAMMA VEL"**

**E**

**"PROGRAMMA DI VALUTAZIONE DELLA VULNERABILITÀ SISMICA DEGLI EDIFICI  
PUBBLICI E/O STRATEGICI IN MURATURA O IN CEMENTO ARMATO (VSM e VSCA)"  
IN GARFAGNANA, LUNIGIANA, VALTIBERINA, CASENTINO, MUGELLO ED AMIATA**

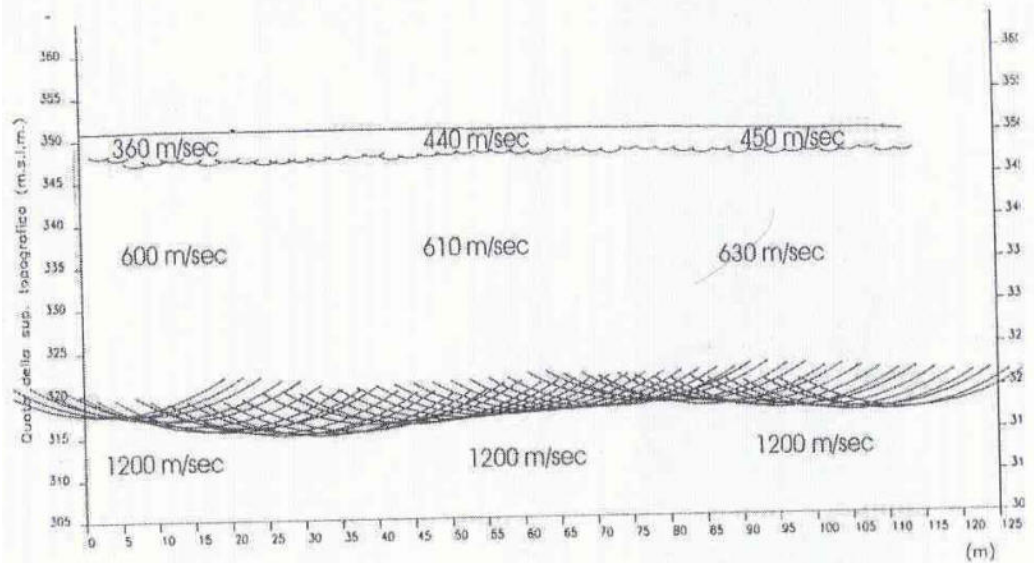
### LINEA SISMICA ST1

#### SEZIONE SISMOSTRATIGRAFICA: ONDE P



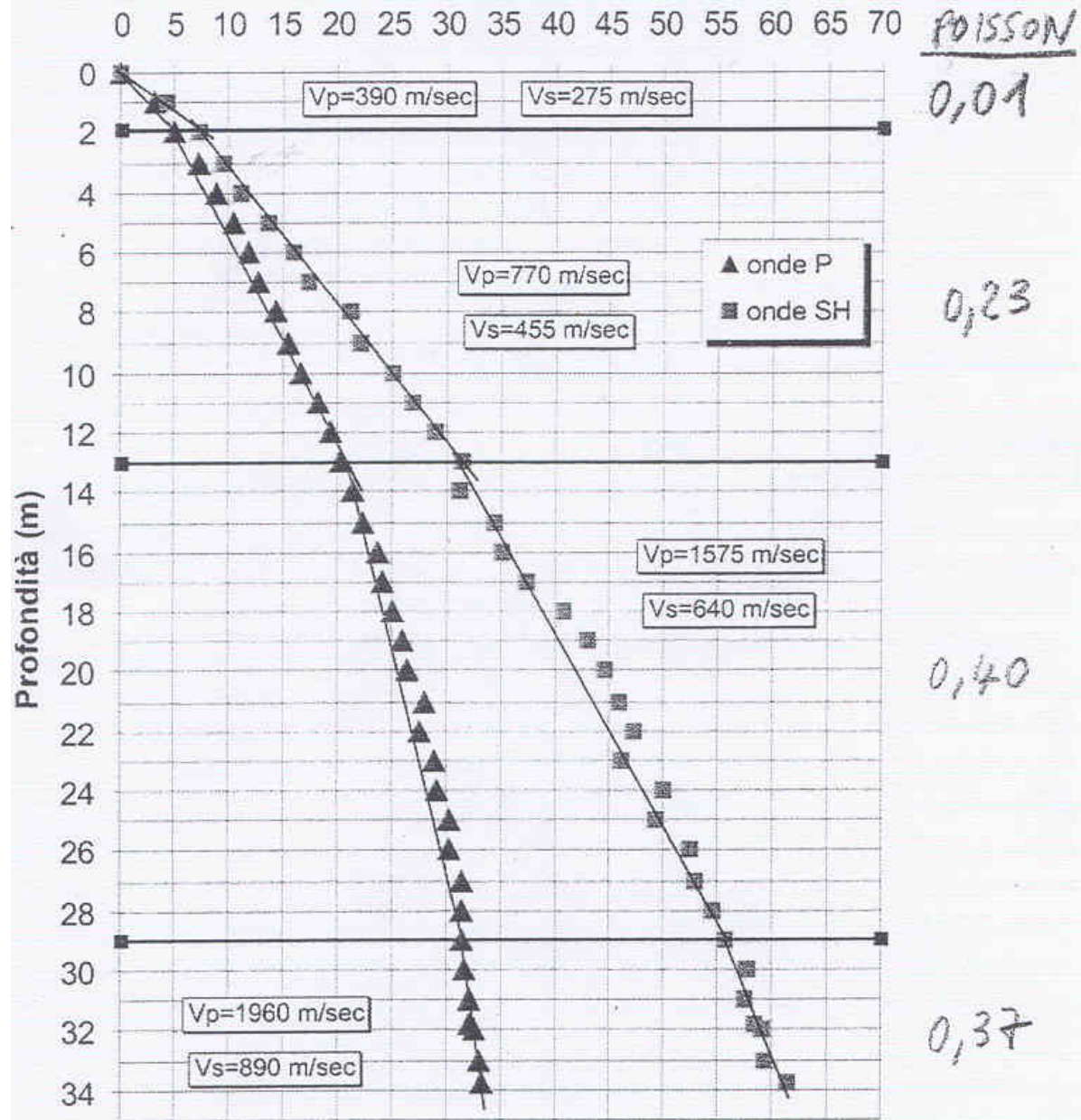
### LINEA SISMICA ST1

#### SEZIONE SISMOSTRATIGRAFICA: ONDE SH



# DROMOCRONE

Tempi (msec)



**P. Barsanti** <sup>(1)</sup>, **V. D'Intinosante** <sup>(2)</sup>, **M. Ferrini** <sup>(3)</sup> e **P. Signanini** <sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> Libero professionista

<sup>(2)</sup> Dipartimento di Scienze della Terra, Università "G. D'Annunzio", Chieti

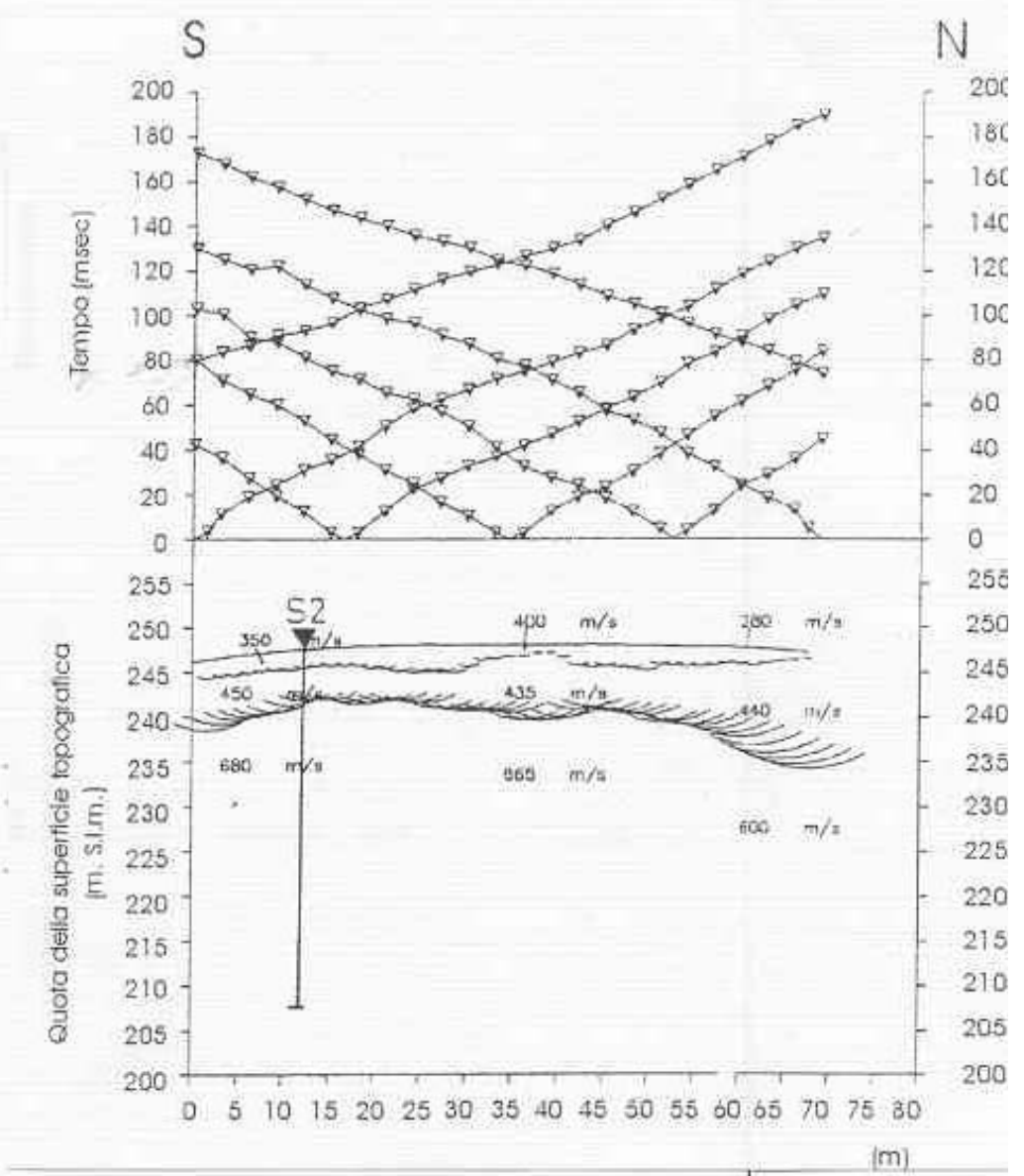
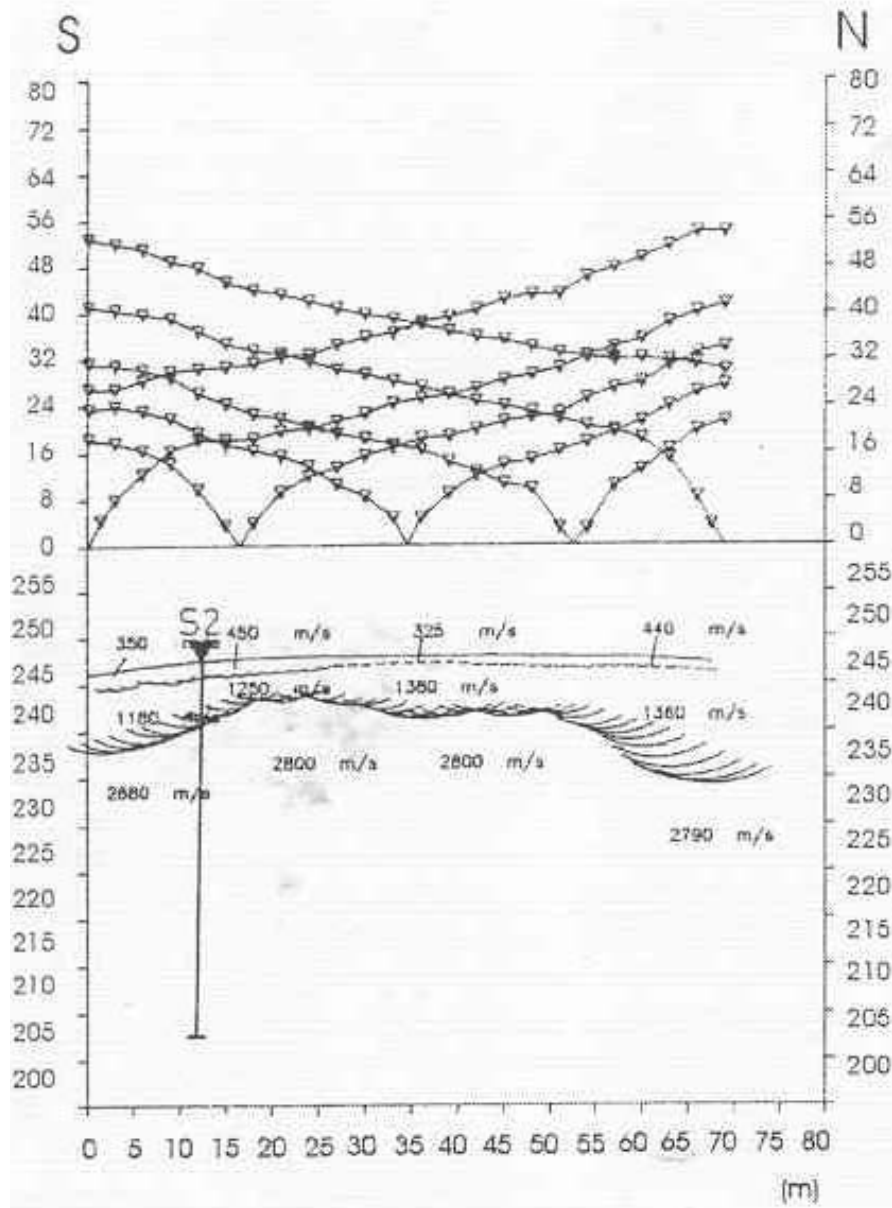
<sup>(3)</sup> Dipartimento delle Politiche Territoriali e Ambientali, U.O.C. Rischio Sismico, Regione Toscana

## **NOTE SULLA SISMICA A RIFRAZIONE CON ONDE DI TAGLIO PER LA CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEI TERRENI**

**Riassunto.** Tra i vari metodi geofisici, mirati all'esplorazione delle porzioni più superficiali del sottosuolo e finalizzate alla determinazione del parametro  $V_s$  (velocità di propagazione delle onde di taglio nei mezzi), importante per la caratterizzazione dei terreni e per la modellazione della risposta sismica dei siti, spesso le indagini di sismica a rifrazione con onde di taglio sono escluse a priori. In questo lavoro sono presentati i risultati relativi ad una sperimentazione di sismica a rifrazione in onde  $Sh$  in alcuni centri della Garfagnana e della Lunigiana nell'ambito del progetto VEL (Valutazione degli Effetti Locali), finalizzato all'avvio dei lavori di riduzione del rischio sismico in queste aree, confrontando i risultati ottenuti con quelli relativi a prospezioni di sismica a rifrazione in P, prove down-hole e SASW (Spectral Analysis Surface Wave).

## **NOTES ON SHEAR WAVES SEISMIC REFRACTION FOR THE SEISMIC CHARACTERIZATION OF THE TERRAINS**

**Abstract.** Among various geophysical methods, aimed to the exploration of subsoil shallower portions and to the determination of  $V_s$  parameter (propagation velocity of shear waves through the materials), being this parameter very important for characterization of terrains and modelling of seismic response of the site, shear waves seismic refraction surveys are often a priori excluded. In this work are introduced the results relative to an experimentation of shear waves seismic refraction, carried out in some sites of Garfagnana and Lunigiana, in the within of VEL project (Valutazione degli Effetti Locali). The obtained results have been compared with P waves seismic refraction prospecting, down-hole





**Le presenti slide sono  
scaricabili dal sito**

**[WWW.PROGEO.INFO](http://WWW.PROGEO.INFO)**

**GRAZIE DELL'ATTENZIONE**