



REGIONE LIGURIA

autostrade // per l'italia

COLLEGAMENTO TRA LA VALFONTANABUONA
E L'AUTOSTRADA A12 GENOVA-ROMA

PROGETTO DEFINITIVO

GEOLOGIA

INDAGINI GEOFISICHE
CAMPAGNA 2013
Volume 2

IL GEOLOGO Dott. Vittorio Boerio Ord. Geologi Lombardia N. 794 RESPONSABILE UFFICIO GEO	IL RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE Ing. Sara Frisiani Ord. Ingg. Genova N. 9810A CAPO COMMESSA	IL DIRETTORE TECNICO Ing. Maurizio Torresi Ord. Ingg. Milano N. 16492 RESPONSABILE DIREZIONE OPERATIVA TECNICA E PROGETTAZIONE
--	--	---

WBS	RIFERIMENTO ELABORATO							DATA: DICEMBRE 2014	REVISIONE	
	DIRETTORIO		FILE						n.	data
—	codice commessa	N.Prog.	unita'	ufficio	n. progressivo	Rev.				
—	11001302	ST	PGE	00023	--		SCALA: —			

ingegneria europea	RESPONSABILE PROGETTO GENOVA Ing. Orlando Mazza Ord. Ingg. Pavia N. 1496	ELABORAZIONE GRAFICA A CURA DI :	
		ELABORAZIONE PROGETTUALE A CURA DI :	APE: Ing. Marco D'Angelantonio Ord. Ingg. Milano N.20155 TUN: Ing. Andrea Tanzi O.I. Parma N.1154 MAM: Ing. Ferruccio Bucalo Ord. Ingg. Genova N.4940
CONSULENZA A CURA DI :		IL RESPONSABILE UNITA' STP	Ing. Andrea Tanzi O.I. Parma N.1154

VISTO DEL COMMITTENTE R.U.P. — Ing. Andrea Frediani	VISTO DEL CONCEDENTE Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti <small>DIPARTIMENTO PER LE INFRASTRUTTURE, GLI AFFARI GENERALI ED IL PERSONALE STRUTTURA DI VIGILANZA SULLE CONCESSIONARIE AUTOSTRADALI</small>
---	---

SPEA INGEGNERIA EUROPEA SPA

Tunnel Val Fontanabuona (GE)

Fascicolo 2
Indagini geofisiche



012cm13	A	Giugno 2013	<i>Paolo Pasquale</i>	<i>Ther Lorenz</i>
COMMESSA	REV.	DATA	SPERIMENTATORE	DIRETTORE

SPEA INGEGNERIA EUROPEA SPA

Tunnel Val Fontanabuona (GE)

INDICE

1 PREMESSA

2 RILIEVI SISMICI A RIFRAZIONE

3 RILIEVI SISMICI IN FORO CON METODOLOGIA CROSS-HOLE

Appendice

Dati analitici rilievi sismici in foro Cross-Hole

Allegati

Allegato1	Planimetrie
Allegato2	Dromocrone
	Stendimento 1
	Stendimenti 2 – 3
	Stendimenti 4-5-6-7-8
	Stendimenti9-10-11
	Tracce sismiche
Allegato3	Documentazione fotografica
Allegato4	Coordinate Gauss Boaga geofoni e shots

1 PREMESSA

La scrivente società, su incarico della soc. Vicenzetto srl, ha effettuato un'indagine geofisica consistente nell'esecuzione di sismica a rifrazione mediante onde P e SH e misura cross-hole nel territorio comunale di Moconesi e Garbarini in provincia di Genova.

Scopo dell'indagine è quello di verificare lo stato di rigidità dei mezzi indagati nonché la presenza di discontinuità stratigrafiche e tettoniche.

Nei paragrafi che seguono si riportano le generalità e le modalità esecutive adottate per le misure effettuate.

Le indagini geofisiche sono state eseguite nel periodo Giugno 2013.

Di seguito si riporta il dettaglio delle indagini:

2. RILIEVI SISMICI A RIFRAZIONE

Profilo sismico a rifrazione n°	Tipologia di acquisizione	Interdistanza Geofoni (m)	Geofoni n°	Lunghezza complessiva * (m)
1	onde P ed S _H	5	24	125
2	onde P ed S _H	5	24	125
3	onde P ed S _H	5	24	125
4	onde P ed S _H	5	24	125
5	onde P ed S _H	5	24	125
6	onde P ed S _H	5	12	125
7	onde P ed S _H	5	24	125
8	onde P ed S _H	5	24	125
9	onde P ed S _H	5	24	125
10	onde P ed S _H	5	16	85
11	onde P ed S _H	5	24	110

* Si ricorda che la misura riportata per il profilo è comprensiva dei punti di scoppio esterni allo stendimento geofonico realizzato.

PROVE CROSS HOLE

Sondaggi	Profondità (m)
FB9bis/ter	40

La prova Cross-Hole è stata eseguita anch'essa a Giugno 2013.

Le registrazioni sismiche sono state eseguite con un'interdistanza fra le misure pari ad 1,0 metri, a partire da fondo foro fino al piano campagna. La prima misura a fondo foro è stata realizzata a 39 m da p.c. per la presenza di fanghi di perforazione depositati sul fondo del foro.

Strumentazioni impiegate

Per l'esecuzione delle misure sperimentali sono state utilizzate le seguenti strumentazioni ed attrezzature:

n°	Strumentazione per i rilievi topografici
1	Sistema GPS a doppia antenna – ASHTECH mod. ProMark 3
	Materiale d'uso vario

n°	Strumentazione per i profili sismici
1	Sismografo ABEM "RAS24" 24 ch - 24 bit ABEM Instrument - Sweden
1	Notebook ACER Aspire one per registrazione dei dati di campagna
24	Geofoni verticali con frequenza pari a 14 Hz
24	Geofoni orizzontali con frequenza pari a 14 Hz
1	Cavi geofonici con 12 take-outs spaziate di 5 metri
1	Hammer switch per dispositivo time-break
1	Fucile sismico / Massa battente da 8 kg
	Cavi e prolunghe per il dispositivo di time-break e per il collegamento sismografo-notebook

n°	Strumentazione per le prove Cross-Hole
1	Sismografo ABEM "RAS24" 24 ch - 24 bit ABEM Instrument - Sweden
1	Notebook ACER Aspire one per registrazione dei dati di campagna
1	Cavo di collegamento per il geofono a 5 componenti
1	Geofono 5D da foro GEOTOMOGRAPHIE MOD. bgk5, a frequenza propria di 10 Hz, munito di ancoraggio pneumatico alla parete del foro
1	Hammer da foro per energizzazione P e S con dispositivo di ancoraggio meccanico
1	Bombola ad idrogeno per ancoraggio geofoni e Hammer

1	Sonda inclinometrica
1	Hammer switch per dispositivo time-break
	Cavi e prolunghe per collegamenti vari

Software per interpretazione dati sismici		
Seistronix RAS24	Seistronix - USA	Sistema di gestione del sismografo RAS24, acquisizione e registrazione dei dati sismici
Geogiga E-Fit	Geogiga Corp. - Canada	Editing dati sismici
Geogiga DW Tomo	Geogiga Corp. - Canada	Tomografia sismica a rifrazione
GeoTomographie Sort & CO	Geotomographie - Germania	Sismica in foro
Software per editing		
Word 2007	Microsoft	Editor di testi
Excel 2007	Microsoft	Foglio di calcolo
ProgeCad 2012	Intellicad	Editing disegni

Indagine di sismica a rifrazione

Lo scopo della prova consiste nel determinare il profilo di rigidezza del sito attraverso la misura diretta della velocità di propagazione delle onde di compressione (V_p) e delle onde di taglio (V_{sH}), in maniera tale da determinare le geometrie sepolte (spessori e superfici di contatto) dei sismostrati individuati.

L'indagine sismica a rifrazione è stata condotta secondo il capitolato predisposto dalla stazione appaltante e in particolare:

- ogni stendimento è composto da 24 geofoni verticali e orizzontali da 14 Hz distanziati di 5 m l'uno dall'altro. In realtà, per le misure con onde SH, si sono utilizzate copie di geofoni collegate elettricamente come da fig. 1 in maniera tale da dimezzare i tempi di acquisizione e/o migliorare il rapporto segnale/rumore.

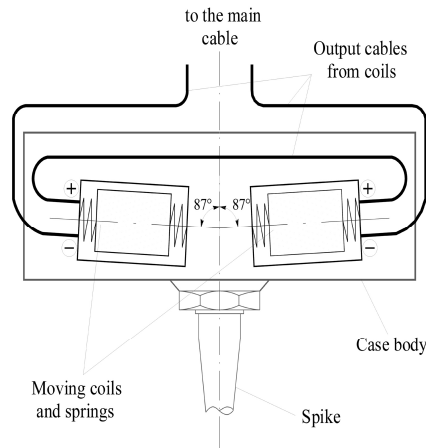


Fig. 1: schema di collegamento a coppie di geofoni orizzontali (da Deidda et al.)

- Per ogni stendimento sono state effettuate 7 acquisizioni (2 esterne e 5 interne).
- Come sorgente per onde SH si è utilizzato un pendolo da 20 kg battuto energicamente su una traversina ferroviaria opportunamente zavorrata per gli stendimenti eseguiti lungo la strada e il fucile sismico per quelli su pendio.
- Come sorgente per onde P si è utilizzato il fucile sismico con cartucce industriali tipo 8KILN.

Le indagini sismiche hanno consentito di tracciare dei profili di velocità che hanno delineato la distribuzione spaziale dei sismostrati per qualche decina di m di profondità. E' stato pertanto possibile definire lo spessore e la distribuzione volumetrica di massima della suddetta porzione di terreno.

Come è noto, la velocità di propagazione delle onde sismiche cambia al passaggio fra i terreni in funzione principalmente della loro densità e del modulo elastico. La velocità di propagazione delle onde sismiche può infatti variare in funzione del grado di compattazione / cementazione di uno stesso litotipo.

L'elaborazione e interpretazione dei dati acquisiti sono riassumibili negli allegati riportati e nelle note che seguono consistenti in:

Allegato 1: Ubicazione misure.

Allegato 2: Curve tempi / distanze (dromocrone) e Sezioni tomografiche con relative velocità.

Per quanto concerne la metodologia di analisi seguita, essa è consistita nella elaborazione dei dati acquisiti con metodo tomografico. Si è quindi proceduto alla elaborazione dei dati secondo i seguenti steps:

Costruzione di un modello di velocità mediante il programma E-Fit (Interactive Event Fitting Tool) della Geogiga (Canada), previo filtraggio e amplificazione;
riconoscimento dei primi arrivi delle onde S (picking dei dati) mediante il programma DW Tomo della Geogiga (Canada) e costruzione delle relative dromocrone;
elaborazione secondo la tecnica tomografica mediante il programma DW Tomo della Geogiga (Canada), a partire dal modello di velocità ottenuto.

La tomografia sismica è una tecnica cosiddetta di “Imaging” che consente di ricostruire una sezione bidimensionale di velocità sismica dei terreni, mediante l’analisi di una molteplicità di percorsi di onde sismiche fra stazioni trasmittenti, corrispondenti ai punti di energizzazione e i singoli geofoni dello stendimento. L’elaborazione consiste essenzialmente nella risoluzione di un problema inverso a partire da una griglia bidimensionale di celle, a cui è possibile attribuire una velocità sismica iniziale. Modificando i valori di velocità di ciascuna cella, si cerca di ridurre in modo iterativo, la differenza esistente fra i dati calcolati e quelli realmente misurati sul terreno. Il risultato finale è costituito da un modello di velocità sismiche del terreno, che meglio risponde alle misure sperimentali.

In particolare, il programma utilizzato (DW Tomo della Geogiga Corp. – Canada), utilizza algoritmi genetici nel processo iterativo. La figura che segue (fig. 2) visualizza i vari passaggi del processing: dal dato di campagna (sismogramma) si passa al riconoscimento dei primi arrivi (l’istante in cui arriva il treno d’onde generato) per la ricostruzione delle curve dromocrone (curve tempi-distanze), a seguito del quale si impostano i parametri di inversione del dato per arrivare alla sezione sismica tomografica.

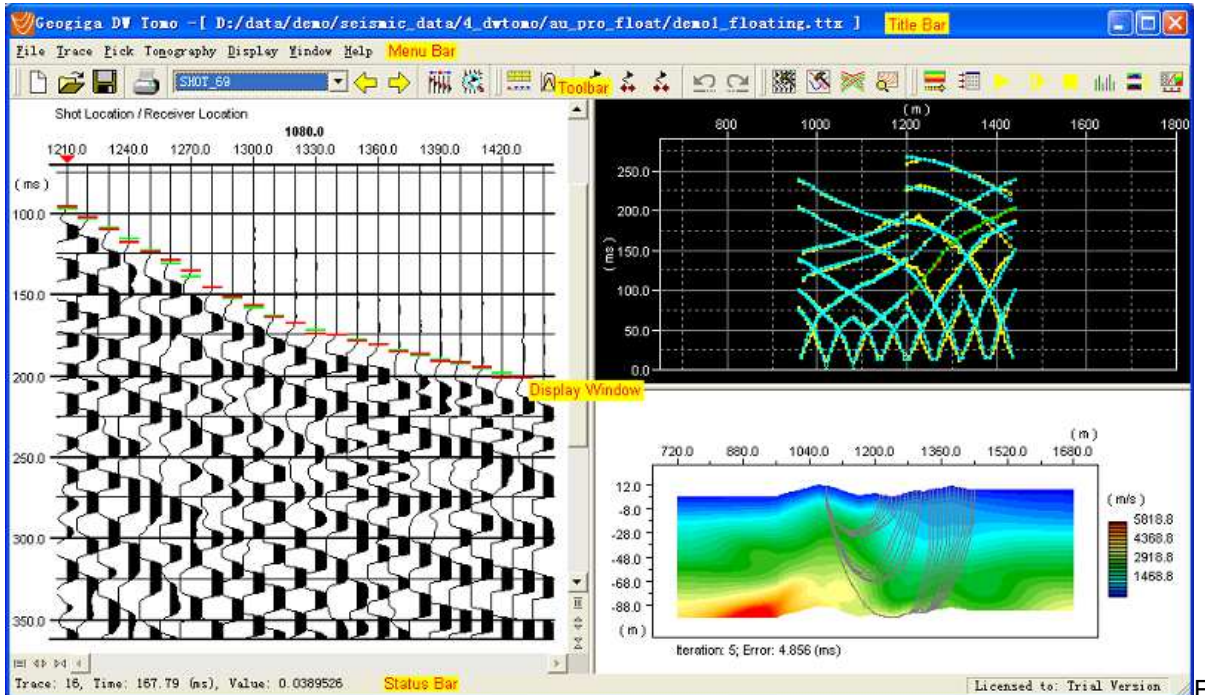


fig. 2: Esempio di processing dei dati

Metodologie Operative

Come detto, gli stendimenti sono stati eseguiti con una geometria a 24 geofoni. E' stata utilizzata un'interdistanza di 5 m per tutti i profili, come richiesto dalle specifiche tecniche.

In definitiva, l'analisi ha conseguito i seguenti scopi:

- determinazione del numero di intervalli sismici;
- determinazione delle velocità sismiche di ogni intervallo;
- determinazione delle potenze di ogni intervallo.

Per le misure é stato utilizzato 1 sismografo a 24 canali mod. RAS24 a 24 bits con scarico dei dati direttamente su p.c..

Il sismografo consente di amplificare e di filtrare il segnale stesso per una lettura più precisa dei primi arrivi. E' inoltre dotato del dispositivo "signal enhancement", la qual cosa facilita il riconoscimento dei primi arrivi nel caso che il segnale risultasse troppo debole.

Di seguito si riporta in foto il sismografo utilizzato



Fig. 3: Sismografo ABEM RAS24

Risultati

I risultati delle indagini sono riportati negli elaborati allegati.

In linea di massima le velocità misurate per le onde P (V_p) variano dai 350 m/s per i terreni superficiali sciolti, ai 5600 m/s per la roccia in posto massiccia.

Le onde S hanno fatto registrare velocità comprese tra 200 m/s e 3500 m/s.

Per poter confrontare direttamente le varie sezioni la scala cromatica è stata uniformata sia per le onde P che per le onde S e risulta compresa tra 350 m/s e 3800 m/s. Per questo motivo, talvolta, alcune "anomalie" ad elevata velocità V_p risultano poco visibili rispetto a quelle V_s . I terreni sciolti presentano velocità V_p comprese tra 325 e 700 m/s e V_s comprese tra 160 e 350 m/s. La fascia di transizione composta verosimilmente da rocce fratturate fa registrare velocità max di 1700 m/s (V_p) e 1000-1200 m/s (V_s).

In genere comunque il substrato lapideo è ovunque sub-affiorante e sovente si passa da terreni sciolti superficiali a rocce che presentano velocità piuttosto elevate, senza una apprezzabile fascia di transizione di rocce alterate.

Nelle sezioni allegate si è comunque cercato di evidenziare il passaggio tra terreni e rocce e, ove presenti, tra rocce alterate e rocce massicce. Si sono inoltre evidenziate

alcune discontinuità sismiche laterali che possono essere interpretate come discontinuità tettoniche o come semplici anisotropie laterali.

SISMICA IN FORO CON METODOLOGIA CROSS-HOLE

La strumentazione utilizzata, nonché le caratteristiche tecniche delle stesse, sono descritte nei precedenti paragrafi. Per l'esecuzione della prova è stata seguita la specifica dettata dalla ISRM: "Suggested methods for Seismic Testing Within and Between Boreholes", nonché le specifiche tecniche generali di progettazione.

Il foro su cui sono state condotte le misure, coincide con la postazione FB9; in realtà si tratta di una coppia di fori posizionati a 4.9 m di interasse l'uno dall'altro: l'esatto schema di ubicazione reciproca è riportato in allegato. In corrispondenza di ognuno di essi sono state condotte le prove secondo lo schema indicato in fig. 5. I tubi, attrezzati con rivestimento in PVC di 3" cementati all'esterno e riempiti con acqua, sono stati perforati fino alla profondità di 40 metri da piano campagna.

La distanza fra ogni foro è di 4.9 m (bocca foro); le misure sismiche sono state precedute dalla misura di verticalità dei fori, di cui si riportano i risultati in termini di distanze lineari nelle tabelle allegate.

Le letture inclinometriche vengono effettuate calando la sonda di misura lungo due guide del tubo inclinometrico. Nella fattispecie, non avendo guide il rivestimento del foro, la sonda inclinometrica è stata dotata anche di un sensore magnetoresistivo (bussola elettronica), in grado di misurare la direzione della sonda stessa rispetto al nord magnetico con precisione di 1°.

La sonda utilizzata è il mod. INC MOB 2A-5 fabbricato dalla soc. Tecno Penta di Padova, che ne cura le costanti verifiche di taratura. Questa è dotata di sensori biassiali, disposti fra di loro ortogonalmente e in asse al corpo sonda.

Il passo delle misure adottato è pari a 2 m.

Il sensore inclinometrico posto nella parte superiore ha le seguenti caratteristiche:

- campo di misura +/- 40 gradi a f.s.;
- tensione di ingresso 8 V dc max;
- impedenza di ingresso: 7 ohm +/- 30;
- sensibilità di uscita: 0.75 +/- 0.15 % V in/1 grado;

- linearità: ± 1 % f.s. (= ± 0.2 %);
- tempo di risposta: 0.3 sec (appr.);
- olio smorzatore: olio silconico 200 CS;
- sensibilità di inclinazione (inclusa isteresi): 0.01 grado.

Le componenti dell'inclinazione sono visualizzate e registrate dal display digitale a cristalli liquidi della centralina, che costituisce l'unità di lettura inclinometrica.

Nella sonda inclinometrica, esiste un sensore che serve per la misurazione in continuo della temperatura che viene rilevata nel display della centralina di acquisizione.

Questa possibilità risulta utile nel caso che in un tubo inclinometrico si verificano grossi sbalzi di temperatura, e permette eventuali correzioni dei dati prima di effettuare l'interpretazione definitiva con programma automatico. Nel caso specifico non si è dovuti ricorrere ad alcuna correzione.

La centralina di misura ha le seguenti caratteristiche tecniche:

- display 4 1/2 digits;
- lettura 20000 sen a;
- risoluzione: 1/20000 sen a;
- temperatura di utilizzo: - 5/+ 50 °C;
- alimentazione: 12 V dc;
- batteria: 12 V dc;
- consumo: 4 mA;
- K strumentale: 10000.

Le caratteristiche del termometro sono le seguenti:

- campo di misura: 0/50 °C;
- precisione: 0.2 °C.

Rilievi cross-hole (onde P ed S)

- Energizzazione: dispositivo meccanico con sistema di trigger da contatto (chiusura diretta del circuito elettrico).
- Accuratezza del timing misurato mediante apposito test dal sismografo pari a 30 μ s (± 3 μ s) su tutti i canali collegati.

- Ricevitori: n. 2 geofoni triassiali con ancoraggio alle pareti dei tubi del tipo pneumatico con freq. pari a 15 Hz.
- Sismografo ABEM RAS24 da 24 canali, 24 bit.

I dati ottenuti dall'acquisizione di campagna sono stati opportunamente elaborati e interpretati così da ottenere le tavole finali.

Introduzione

La prova sismica in foro con metodologia cross-hole (CH) consiste nel misurare il tempo di percorso, e quindi la velocità, delle onde dirette P ed S generate da una sorgente meccanica, nel tragitto sorgente-ricevitori in una data sezione di sottosuolo tra due fori di sondaggio all'interno dei quali sono posti, alla stessa profondità, in uno la sorgente e nell'altro i ricevitori.

Si studiano, quindi, i treni d'onde, P, e Sv, che si propagano all'interno del terreno alle varie profondità, con vibrazioni polarizzate nella direzione di propagazione (onde P), e dirette perpendicolarmente alla direzione di propagazione e polarizzate su un piano verticale (onde SV). Mediante un ricevitore (geofono) disposto nel foro, a profondità note, viene valutato l'istante di arrivo del treno di onde P e S, rispetto all'istante in cui vengono indotte le sollecitazioni dalla sorgente; dividendo quindi per tali valori la distanza (nota) tra sorgente e ricevitori, si può ricavare la velocità delle onde P e S.

Modalità di acquisizione

Come sorgente energizzante sia per le onde P che per le onde S è stato utilizzato un martello sismico da foro in grado di generare onde elastiche ad alta frequenza ricche di energia con forme d'onda ripetibili e direzionali, e con la possibilità di ottenere onde di taglio di tipo SV di buon contenuto energetico, uniformi sia nella direzione di propagazione sia nella polarizzazione (+ e -). A tal proposito è stata utilizzata l'opzione di "negative stacking", che consente di sommare le due acquisizioni a polarizzazione invertita così da amplificare il segnale delle onde S e minimizzare quello delle onde P.

Per la ricezione delle onde P e delle onde S è stato utilizzato un geofono da foro Geotomographie a 5 componenti (una componente verticale e quattro componenti orizzontali) con frequenza propria di 10 Hz (vedi figura 4) dotato di meccanismo di ancoraggio alle pareti del foro pneumatico.



Fig. 4: sistema pneumatico di ancoraggio

Durante le registrazioni sono state effettuate misure ogni metro di profondità (dal basso verso l'alto e viceversa), come schematizzato in figura 5.

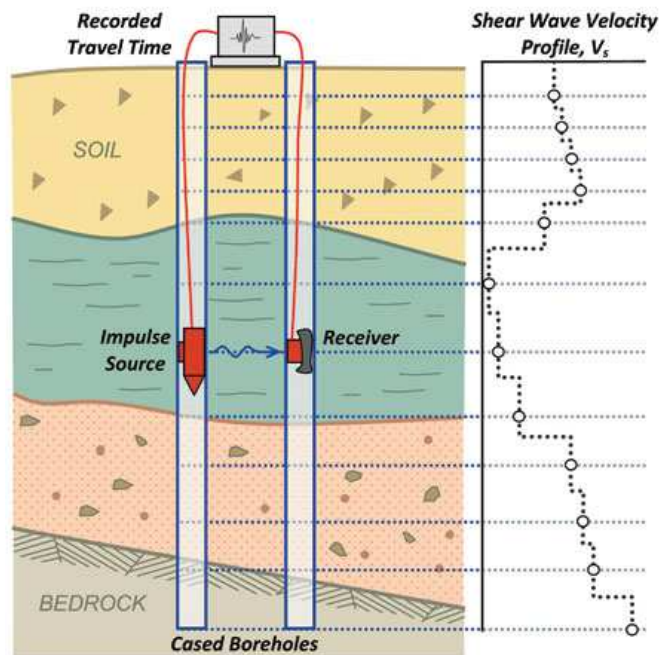


Fig. 5: schema prova cross hole

Elaborazione dati

Il risultato finale della fase di acquisizione è costituito da una serie di files in formato SEG-2 poi uniti in un unico file formato sgy. Per quanto riguarda l'interpretazione dei tracciati e la determinazione delle velocità di propagazione delle onde sismiche, si è proceduto con un'analisi visuale delle registrazioni e con opportuni filtraggi al fine di migliorare la qualità del segnale.

Successivamente su ciascuna traccia è stato individuato il tempo di primo arrivo.

Mediante software opportuni, i tempi letti sono stati corretti in funzione della geometria del sistema (distanza effettiva dei fori).

Ogni punto sui diagrammi Profondità-Velocità rappresenta la velocità di propagazione delle onde sismiche registrate dal geofono ad una determinata profondità.

Parametrizzazione elasto-dinamica

L'importanza di una corretta valutazione della velocità delle onde di compressione e di taglio, insieme con la densità del mezzo attraversato, è fondamentale per una giusta determinazione dei parametri elasto-dinamici del mezzo.

Determinare esattamente i valori dei moduli che caratterizzano il mezzo permette di ottenere utili informazioni circa la sua natura e il tipo di risposta alle sollecitazioni dinamiche.

Per ciò che concerne la velocità delle onde di taglio S, essendo sensibili alla presenza di fluidi, esse forniscono un'idea più chiara dello stato fisico della matrice dei *porous media*; infatti individuano le aree a maggior fratturazione, con cadute di velocità molto più evidenti, soprattutto nelle formazioni sature, in cui i valori di velocità delle matrice non sono molto diversi da quelle dell'acqua.

Coefficiente di Poisson dinamico

Il coefficiente di Poisson dinamico è stato calcolato a partire dalla velocità delle onde longitudinali V_p e di taglio V_s , poiché tra i moduli elastodinamici è l'unico che non richiede la conoscenza della densità per la sua determinazione, ed è definito dalla seguente relazione:

$$\sigma = \frac{1}{2} * \frac{\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 2}{\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 1}$$

In teoria è considerato stress indipendente e pertanto, nei vari campi di sforzo-deformazioni può assumere valori diversi (il campo di deformazioni oggetto di indagine geofisica è di circa 10^{-6}).

In questo campo di deformazione il limite minimo non è rappresentato dal valore di 0.25 tipico di corpi perfettamente elastici, ma può assumere anche valori negativi, come nel caso di sedimenti incoerenti, saturi in aria in cui la disposizione dei granuli è a porosità maggiore di quella esagonale. In generale i valori di questo coefficiente varia tra 0.25 e 0.33, ma nei mezzi porosi il campo di variazione è molto più ampio (anche fino a 0.5).

I valori più bassi, in natura, si registrano per litotipi ad alta porosità, sottoposti a bassa pressione litostatica e gas saturati; in alcuni sedimenti incoerenti e saturi i

valori possono risultare uguali o superiori a 0.49, mentre nelle sospensioni assume il valore di 0.5. In generale riesce a discriminare rocce in posto, anche se estremamente alterate, dai depositi recenti quali colluvioni, accumuli di frana, etc.

Altri parametri elastici determinati sono:

G = modulo di taglio dinamico

$$G = \rho \cdot V_s^2$$

E = modulo elastico dinamico

$$E = (2 \cdot G) \cdot (1 + \nu)$$

$$\mu = \frac{\nu \cdot E}{(1 + \nu) \cdot (1 - 2\nu)}$$

Lame' = costante di Lamé

Bulk = modulo di compressibilità volumetrico

$$k = \mu + 2/3 \cdot G$$

In allegato sono riportati i grafici relativi ai risultati delle elaborazioni.

Risultati

Nelle tabelle seguenti sono riportati i risultati della parametrizzazione elasto-dinamica per il Cross-Hole effettuato.

Conclusioni

Sulla base dei risultati ottenuti con la metodologia sismica in foro tipo CROSS-HOLE nei siti oggetto di studio, si è proceduto a costruire il diagramma delle velocità delle onde P e Sh.

Sono stati calcolati alcuni parametri elasto-dinamici (tra cui il Poisson dinamico) che hanno permesso di caratterizzare il sottosuolo nei siti indagati. Tali parametri sono di seguito elencati in appendice (Dati Analitici Cross-Hole).

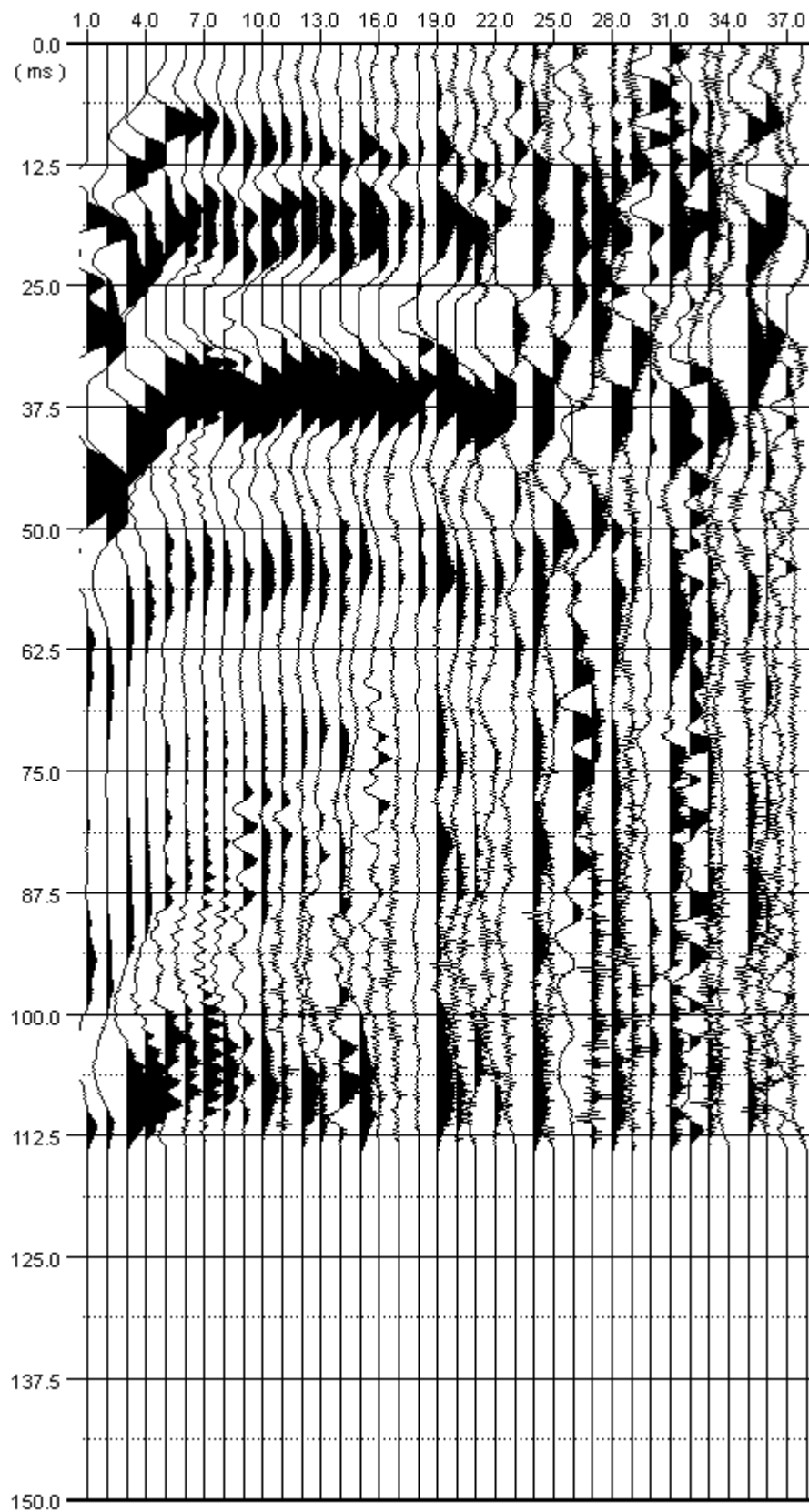
APPENDICE

Dati Analitici rilievi Cross-Hole

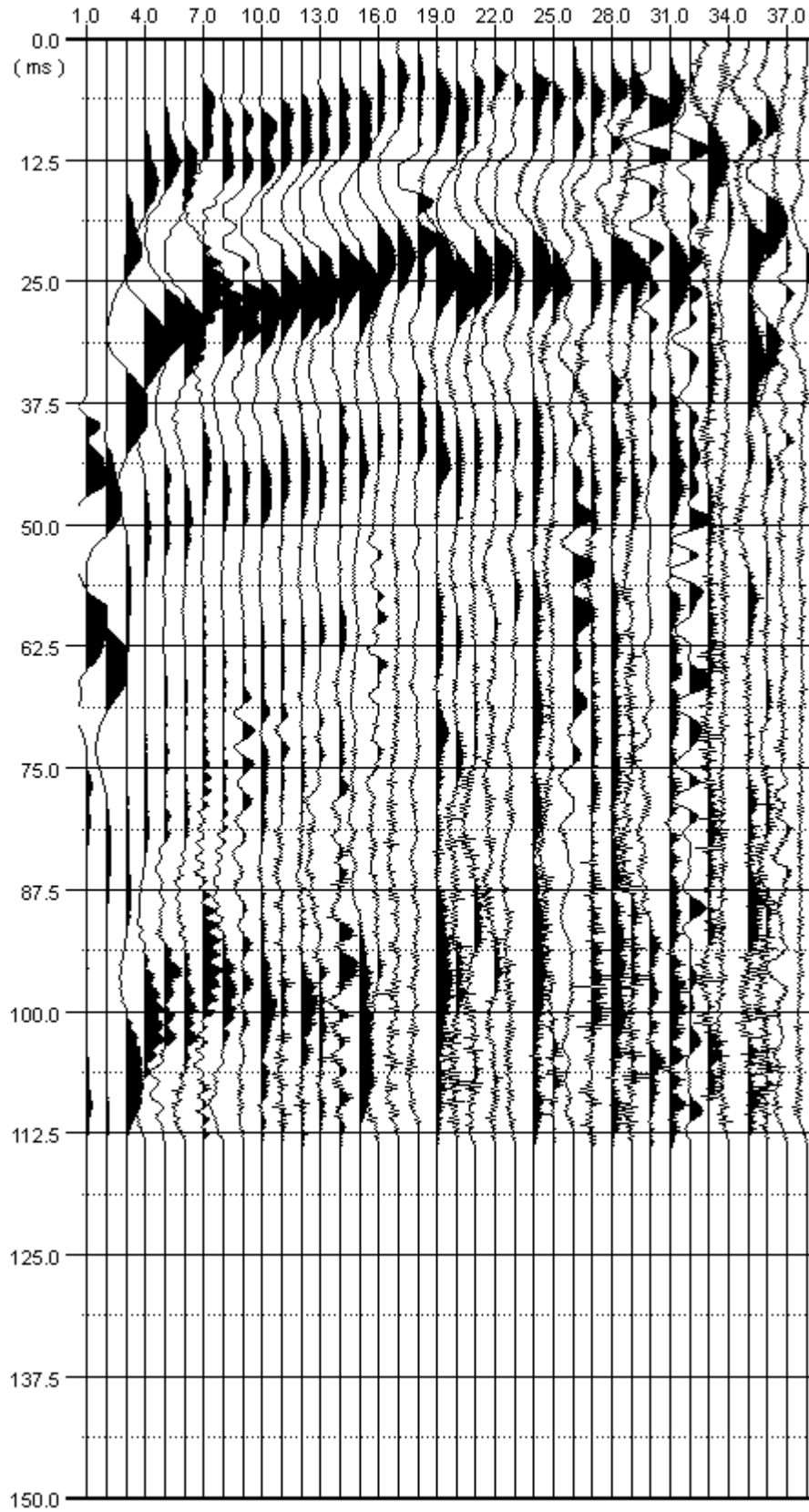
Prof. (m)	Vp1 (m/s)	Vs1 (m/s)	Vp/Vs	Densità (t/mc)	Poisson	G (MPa)	E (MPa)	Lamè	Bulk	Tpcorr	Tscorr
-1	398	134	2.97	1.6	0.44	29	82	195	214	12.31	36.52
-2	372	119	3.14	1.6	0.44	22	64	173	188	13.17	41.31
-3	651	330	1.97	1.7	0.33	190	505	361	488	7.52	14.85
-4	812	625	1.30	1.8		711	1102		253	6.03	7.84
-5	2195	892	2.46	2.2	0.40	1749	4903	7103	8270	2.23	5.50
-6	1866	580	3.22	2.1	0.45	719	2079	5994	6473	2.63	8.44
-7	2034	1553	1.31	2.2		5227	8384		2002	2.41	3.16
-8	2219	1072	2.07	2.2	0.35	2535	6832	5781	7471	2.21	4.57
-9	1617	935	1.73	2.1	0.25	1817	4537	1797	3008	3.03	5.24
-10	1652	956	1.73	2.1	0.25	1905	4757	1880	3150	2.97	5.13
-11	2446	960	2.54	2.2	0.41	2070	5832	9297	10677	2.00	5.10
-12	2500	1004	2.49	2.3	0.40	2272	6380	9550	11065	1.96	4.88
-13	2532	988	2.56	2.3	0.41	2207	6223	10076	11547	1.94	4.96
-14	1726	1269	1.36	2.1		3387	6168		1744	2.84	3.86
-15	4960	1033	4.80	2.6	0.48	2739	8092	57714	59540	0.99	4.75
-16	5020	2485	2.02	2.6	0.34	15904	42548	33083	43685	0.98	1.97
-17	5043	2519	2.00	2.6	0.33	16346	43606	32847	43744	0.97	1.95
-18	5108	2534	2.02	2.6	0.34	16588	44347	34221	45279	0.96	1.93
-19	5140	1727	2.98	2.6	0.44	7717	22167	52893	58037	0.95	2.84
-20	2621	1280	2.10	2.3	0.34	3728	10016	8170	10655	1.87	3.83
-21	2633	1313	2.01	2.3	0.33	3924	10473	7935	10551	1.86	3.73
-22	3500	2302	1.52	2.4	0.12	12741	28508	3967	12461	1.40	2.13
-23	5194	2976	1.75	2.6	0.26	22944	57621	24012	39308	0.94	1.65
-24	2645	1751	1.51	2.3	0.11	6992	15517	1963	6625	1.85	2.80
-25	2641	1200	2.20	2.3	0.37	3281	8990	9327	11514	1.86	4.08
-26	3575	2624	1.36	2.4		16620	30448		8690	1.37	1.87
-27	5264	1324	3.98	2.6	0.47	4552	13349	62871	65906	0.93	3.70
-28	3400	1504	2.26	2.4	0.38	5408	14909	16822	20427	1.44	3.26
-29	2656	1763	1.51	2.3	0.11	7087	15681	1916	6640	1.85	2.78
-30	5254	1767	2.97	2.6	0.44	8109	23291	55464	60870	0.93	2.77
-31	2658	1803	1.28	2.3		7417	15934	1291	6236	1.84	2.72
-32	5291	1538	3.44	2.6	0.45	6151	17886	60500	64601	0.93	3.19
-33	5299	1064	1.44	2.6	0.48	2944	8710	67150	69113	0.92	4.61
-34	5272	1063	4.96	2.6	0.48	2937	8686	66355	68313	0.93	4.61
-35	5303	1769	3.00	2.6	0.44	8137	23394	56900	62325	0.92	2.77
-36	4001	1772	2.25	2.5	0.38	7747	21349	23981	29146	1.22	2.76
-37	2657	1112	2.39	2.3	0.39	2821	7864	10464	12345	1.84	4.41
-38	4249	1998	2.13	2.5	0.36	9957	27046	25127	31765	1.15	2.45
-39	2002	730	2.74	2.2	0.41	1172	3305	5339	6120	2.45	6.71

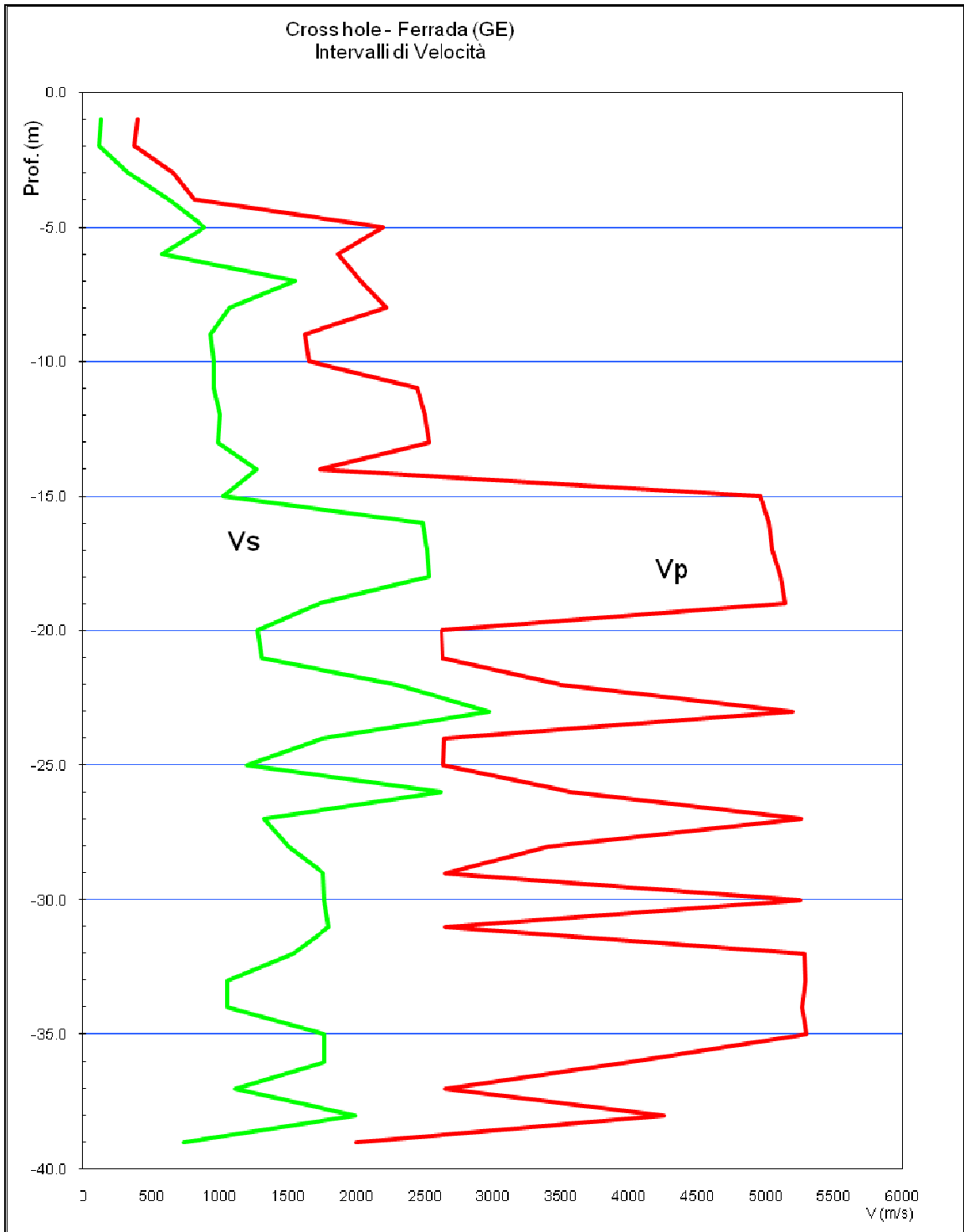
Tab. 1: Parametri elasto-dinamici prova Cross-Hole e tempi corretti relativi per ogni intervallo

SISMOGRAMMI ONDE P – PROVA CROSS – HOLE

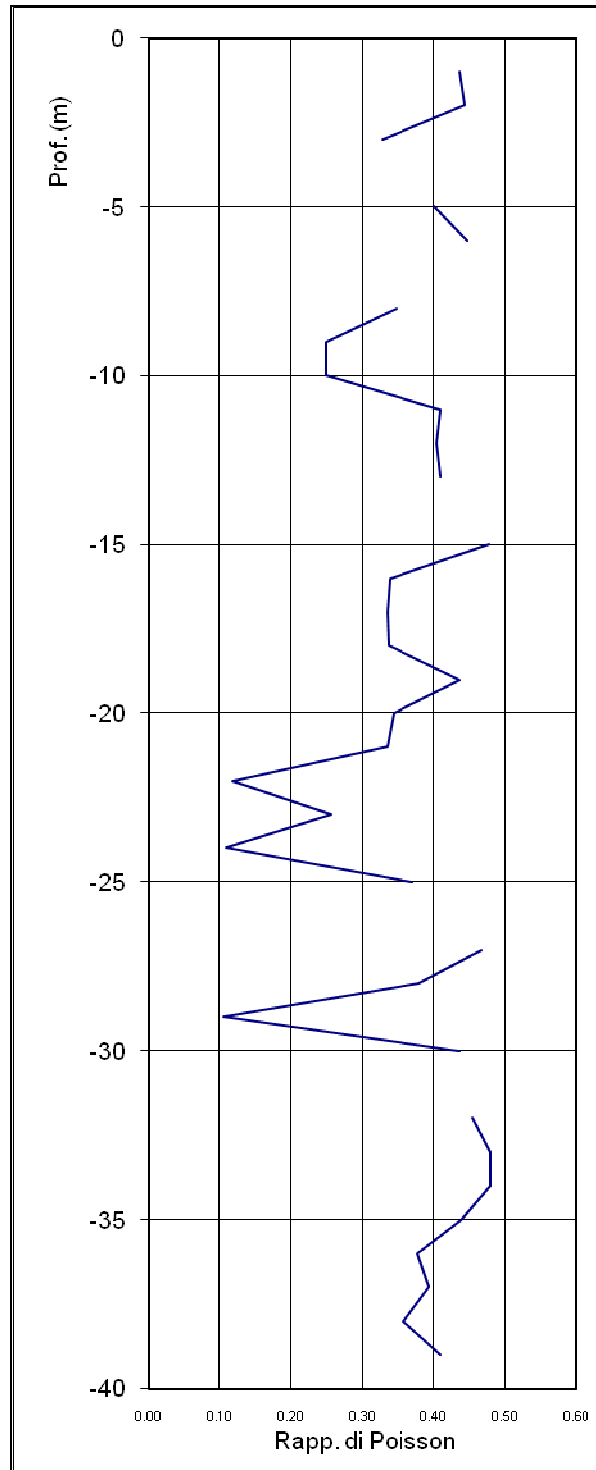


SISMOGRAMMI ONDE s – PROVA CROSS – HOLE

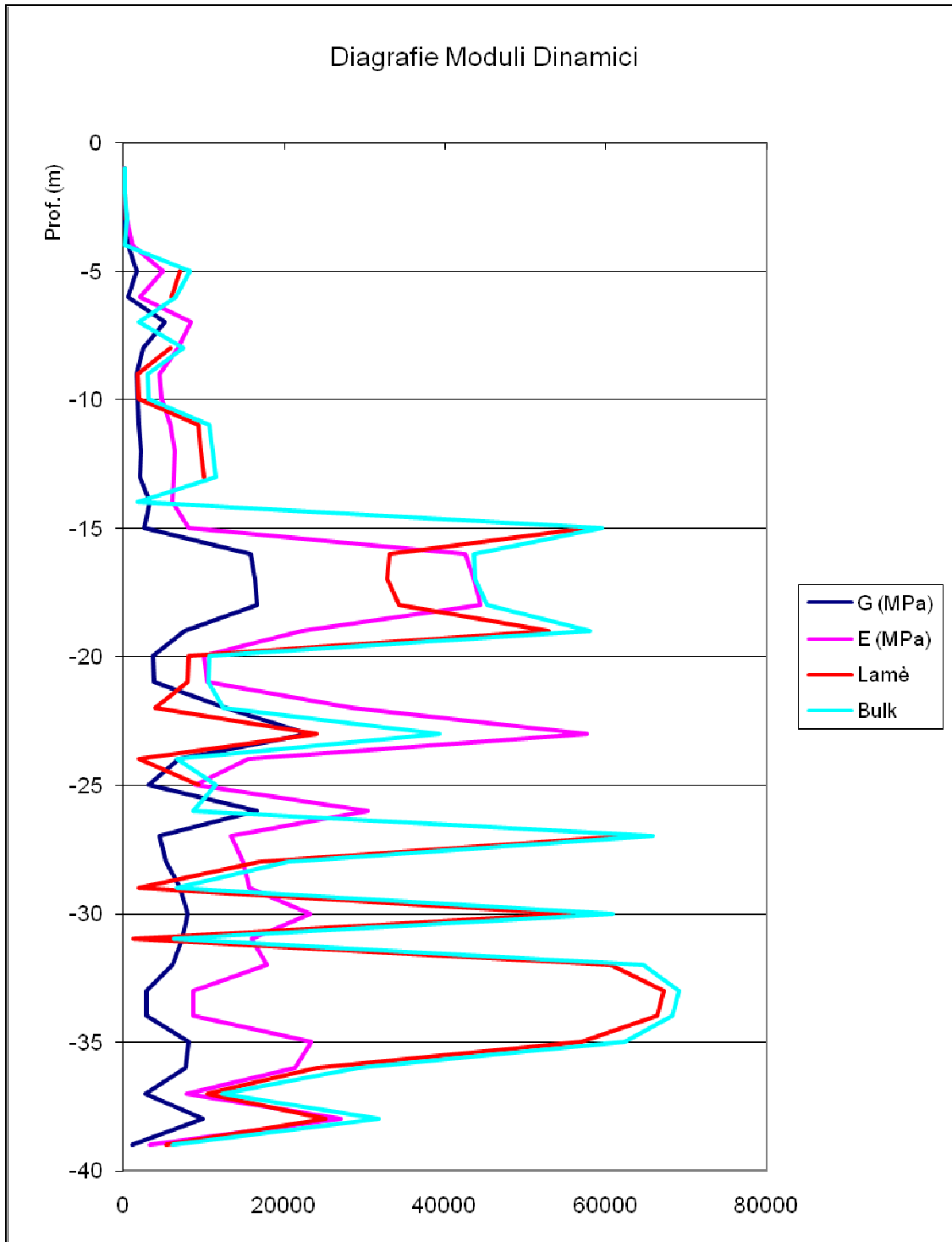




Diagrafia velocità Vp e Vs



Diagrafia coeff. Di Poisson



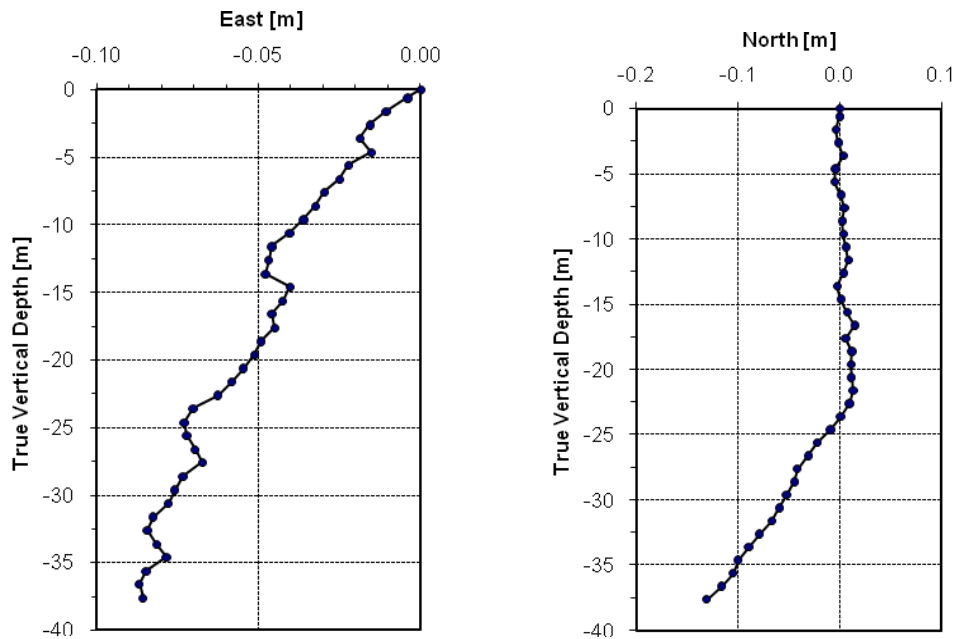
Diagrafie moduli elastici dinamici

Misure di verticalità dei fori

FB9ter

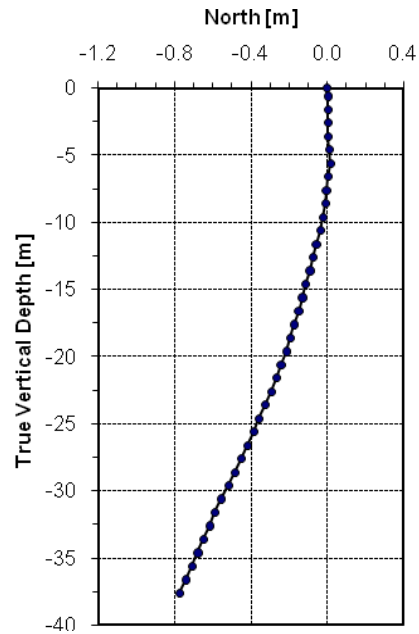
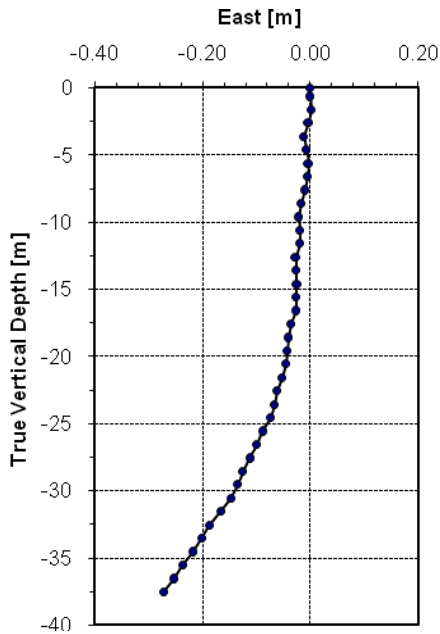
Source Borehole								
Depth [m]	Probe Readings		Deviation		TVD [m]	Coordinates		Elevation [m]
	ν [°]	δ [°]	East [m]	North [m]		East [m]	North [m]	
0.0	-	-	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	100.000
0.6	0.39	266.2	-0.004	0.000	-0.600	-0.004	0.000	99.400
1.6	0.42	244.2	-0.011	-0.003	-1.600	-0.011	-0.003	98.400
2.6	0.31	295.0	-0.016	-0.001	-2.600	-0.016	-0.001	97.400
3.6	0.34	328.0	-0.019	0.004	-3.600	-0.019	0.004	96.400
4.6	0.52	156.6	-0.015	-0.004	-4.600	-0.015	-0.004	95.400
5.6	0.41	264.6	-0.022	-0.005	-5.600	-0.022	-0.005	94.400
6.6	0.39	336.0	-0.025	0.001	-6.600	-0.025	0.001	93.400
7.6	0.33	304.3	-0.030	0.004	-7.600	-0.030	0.004	92.400
8.6	0.19	233.1	-0.032	0.002	-8.600	-0.032	0.002	91.400
9.6	0.22	283.9	-0.036	0.003	-9.600	-0.036	0.003	90.400
10.6	0.30	305.6	-0.040	0.006	-10.600	-0.040	0.006	89.400
11.6	0.34	281.8	-0.046	0.009	-11.600	-0.046	0.009	88.400
12.6	0.29	189.8	-0.047	0.004	-12.600	-0.047	0.004	87.400
13.6	0.37	189.5	-0.048	-0.003	-13.600	-0.048	-0.003	86.400
14.6	0.48	63.4	-0.040	0.001	-14.600	-0.040	0.001	85.400
15.6	0.39	341.0	-0.043	0.007	-15.600	-0.043	0.007	84.400
16.6	0.46	335.6	-0.046	0.015	-16.600	-0.046	0.015	83.400
17.6	0.52	174.8	-0.045	0.006	-17.600	-0.045	0.006	82.400
18.6	0.42	325.3	-0.049	0.012	-18.600	-0.049	0.012	81.400
19.6	0.12	263.2	-0.051	0.011	-19.600	-0.051	0.011	80.400
20.6	0.19	272.8	-0.055	0.012	-20.600	-0.055	0.012	79.400
21.6	0.22	268.2	-0.058	0.013	-21.600	-0.058	0.013	78.400
22.6	0.32	230.6	-0.063	0.009	-22.600	-0.063	0.009	77.400
23.6	0.68	221.5	-0.070	0.001	-23.599	-0.070	0.001	76.401
24.6	0.60	195.4	-0.073	-0.009	-24.599	-0.073	-0.009	75.401
25.6	0.73	176.4	-0.072	-0.022	-25.599	-0.072	-0.022	74.401
26.6	0.54	163.5	-0.070	-0.031	-26.599	-0.070	-0.031	73.401
27.6	0.62	168.5	-0.067	-0.042	-27.599	-0.067	-0.042	72.401
28.6	0.39	241.8	-0.073	-0.045	-28.599	-0.073	-0.045	71.401
29.6	0.46	197.5	-0.076	-0.053	-29.599	-0.076	-0.053	70.401
30.6	0.42	196.4	-0.076	-0.060	-30.599	-0.076	-0.060	69.401
31.6	0.51	212.3	-0.082	-0.067	-31.599	-0.082	-0.067	68.401
32.6	0.69	188.8	-0.084	-0.079	-32.599	-0.084	-0.079	67.401
33.6	0.63	165.1	-0.081	-0.090	-33.599	-0.081	-0.090	66.401
34.6	0.61	163.1	-0.078	-0.100	-34.599	-0.078	-0.100	65.401
35.6	0.47	230.1	-0.085	-0.105	-35.599	-0.085	-0.105	64.401
36.6	0.64	180.8	-0.087	-0.116	-36.599	-0.087	-0.116	63.401
37.6	0.85	175.2	-0.086	-0.131	-37.599	-0.086	-0.131	62.401

u: Tilt; δ : Drill AZM; TVD: true vertical depth

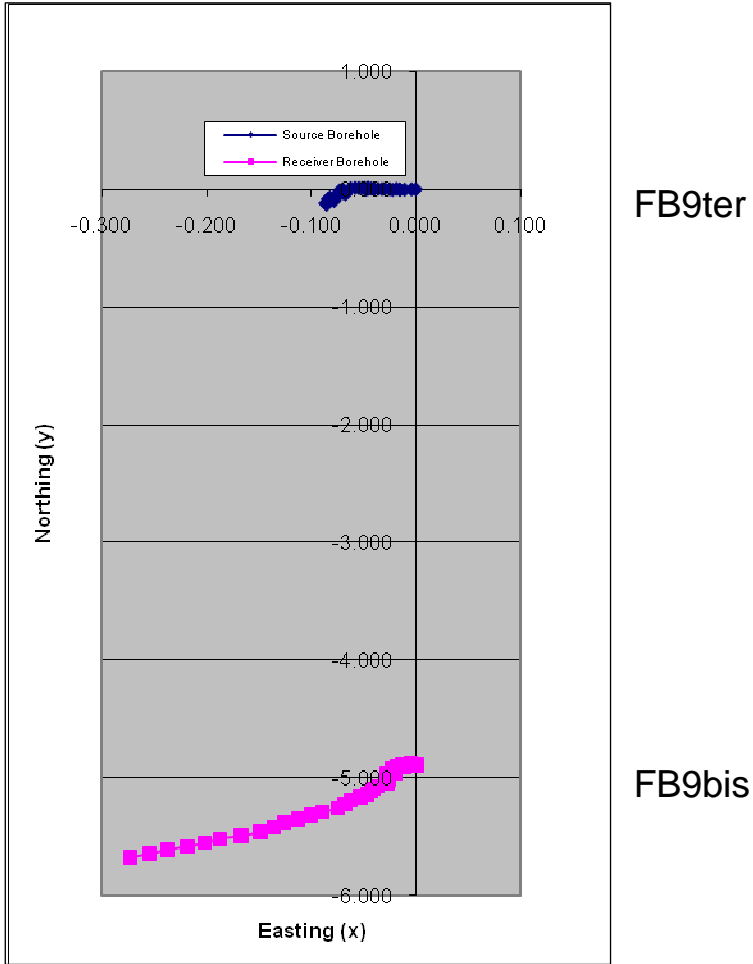


FB9bis

Receiver Borehole			Deviation		TVD	Coordinates		
Depth	Probe Readings		East	North		East	North	Elevation
[m]	α [°]	δ [°]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
0.0	-	-	0.000	0.000	0.000	0.000	-4.900	100.000
0.6	0.48	354.2	-0.001	0.005	-0.600	-0.001	-4.895	99.400
1.6	0.13	104.1	0.002	0.004	-1.600	0.002	-4.896	98.400
2.6	0.36	292.0	-0.004	0.007	-2.600	-0.004	-4.893	97.400
3.6	0.49	267.2	-0.013	0.006	-3.600	-0.013	-4.894	96.400
4.6	0.38	44.0	-0.008	0.011	-4.600	-0.008	-4.889	95.400
5.6	0.46	30.6	-0.004	0.018	-5.600	-0.004	-4.882	94.400
6.6	0.67	186.6	-0.005	0.006	-6.600	-0.005	-4.894	93.400
7.6	0.67	205.6	-0.010	-0.004	-7.600	-0.010	-4.904	92.400
8.6	0.41	254.3	-0.017	-0.006	-8.600	-0.017	-4.906	91.400
9.6	0.93	199.2	-0.023	-0.021	-9.600	-0.023	-4.921	90.400
10.6	0.89	170.6	-0.020	-0.036	-10.600	-0.020	-4.936	89.401
11.6	1.21	178.9	-0.020	-0.057	-11.599	-0.020	-4.957	88.401
12.6	0.99	206.7	-0.027	-0.073	-12.599	-0.027	-4.973	87.401
13.6	0.97	175.5	-0.026	-0.090	-13.599	-0.026	-4.990	86.401
14.6	1.30	178.1	-0.025	-0.112	-14.599	-0.025	-5.012	85.401
15.6	0.98	184.4	-0.027	-0.129	-15.599	-0.027	-5.029	84.401
16.6	1.15	179.8	-0.027	-0.149	-16.598	-0.027	-5.049	83.402
17.6	1.46	201.6	-0.036	-0.173	-17.598	-0.036	-5.073	82.402
18.6	1.15	192.3	-0.040	-0.193	-18.598	-0.040	-5.093	81.402
19.6	1.26	185.5	-0.042	-0.214	-19.598	-0.042	-5.114	80.402
20.6	1.63	187.2	-0.046	-0.243	-20.597	-0.046	-5.143	79.403
21.6	1.45	195.3	-0.053	-0.267	-21.597	-0.053	-5.167	78.403
22.6	1.60	199.8	-0.062	-0.293	-22.596	-0.062	-5.193	77.404
23.6	1.82	189.4	-0.067	-0.325	-23.596	-0.067	-5.225	76.404
24.6	2.00	191.5	-0.074	-0.359	-24.596	-0.074	-5.259	75.405
25.6	1.77	207.7	-0.088	-0.388	-25.592	-0.088	-5.288	74.405
26.6	1.90	199.7	-0.100	-0.417	-26.594	-0.100	-5.317	73.406
27.6	1.99	201.3	-0.112	-0.450	-27.594	-0.112	-5.350	72.406
28.6	2.03	202.3	-0.126	-0.483	-28.593	-0.126	-5.383	71.407
29.6	2.06	195.1	-0.135	-0.517	-29.592	-0.135	-5.417	70.408
30.6	2.29	198.6	-0.148	-0.555	-30.592	-0.148	-5.455	69.408
31.6	2.15	209.5	-0.166	-0.588	-31.591	-0.166	-5.488	68.409
32.6	2.02	215.5	-0.187	-0.616	-32.590	-0.187	-5.516	67.410
33.6	2.07	204.2	-0.202	-0.649	-33.590	-0.202	-5.549	66.410
34.6	1.94	209.3	-0.218	-0.679	-34.589	-0.218	-5.579	65.411
35.6	2.01	211.9	-0.237	-0.709	-35.588	-0.237	-5.609	64.412
36.6	2.11	207.7	-0.254	-0.741	-36.588	-0.254	-5.641	63.412
37.6	2.15	209.4	-0.272	-0.774	-37.587	-0.272	-5.674	62.413

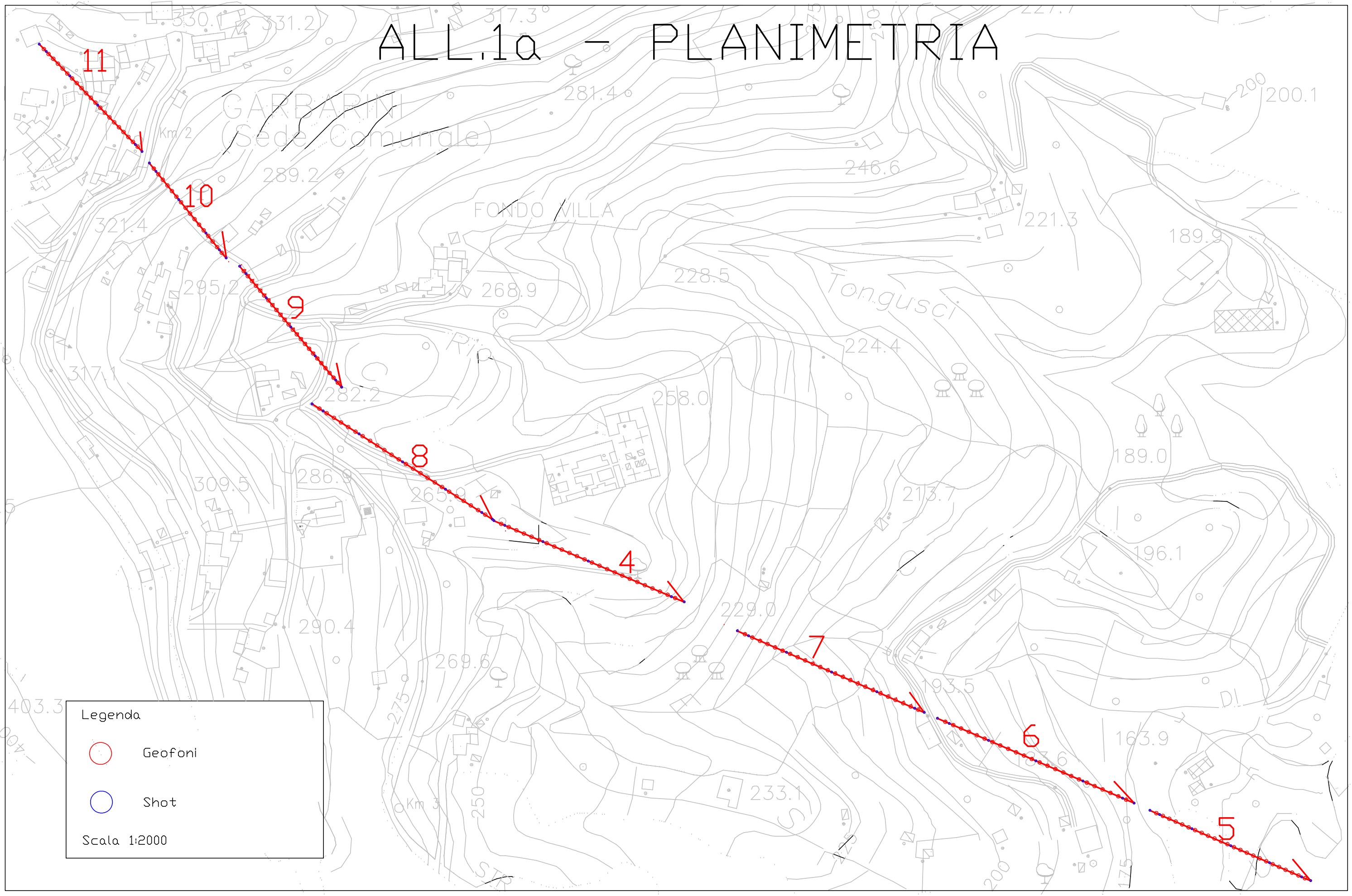


Risultanti reciproche



Effective distances (m)			Depth
E comp	N comp	Dist. (m)	[m]
0.000	-4.900	4.90	0.0
0.004	-4.895	4.89	0.6
0.012	-4.892	4.89	1.6
0.011	-4.892	4.89	2.6
0.006	-4.897	4.90	3.6
0.007	-4.884	4.88	4.6
0.018	-4.877	4.88	5.6
0.020	-4.895	4.89	6.6
0.019	-4.908	4.91	7.6
0.015	-4.908	4.91	8.6
0.014	-4.925	4.92	9.6
0.020	-4.943	4.94	10.6
0.026	-4.966	4.97	11.6
0.019	-4.976	4.98	12.6
0.022	-4.987	4.99	13.6
0.015	-5.013	5.01	14.6
0.016	-5.036	5.04	15.6
0.019	-5.064	5.06	16.6
0.009	-5.079	5.08	17.6
0.009	-5.104	5.10	18.6
0.009	-5.126	5.13	19.6
0.009	-5.154	5.15	20.6
0.006	-5.180	5.18	21.6
0.000	-5.203	5.20	22.6
0.003	-5.225	5.23	23.6
-0.001	-5.249	5.25	24.6
-0.016	-5.264	5.26	25.6
-0.030	-5.286	5.29	26.6
-0.045	-5.308	5.31	27.6
-0.052	-5.337	5.34	28.6
-0.059	-5.365	5.36	29.6
-0.070	-5.395	5.40	30.6
-0.084	-5.420	5.42	31.6
-0.103	-5.437	5.44	32.6
-0.120	-5.460	5.46	33.6
-0.140	-5.479	5.48	34.6
-0.152	-5.503	5.51	35.6
-0.167	-5.525	5.53	36.6
-0.187	-5.543	5.55	37.6

ALL.1a - PLANIMETRIA

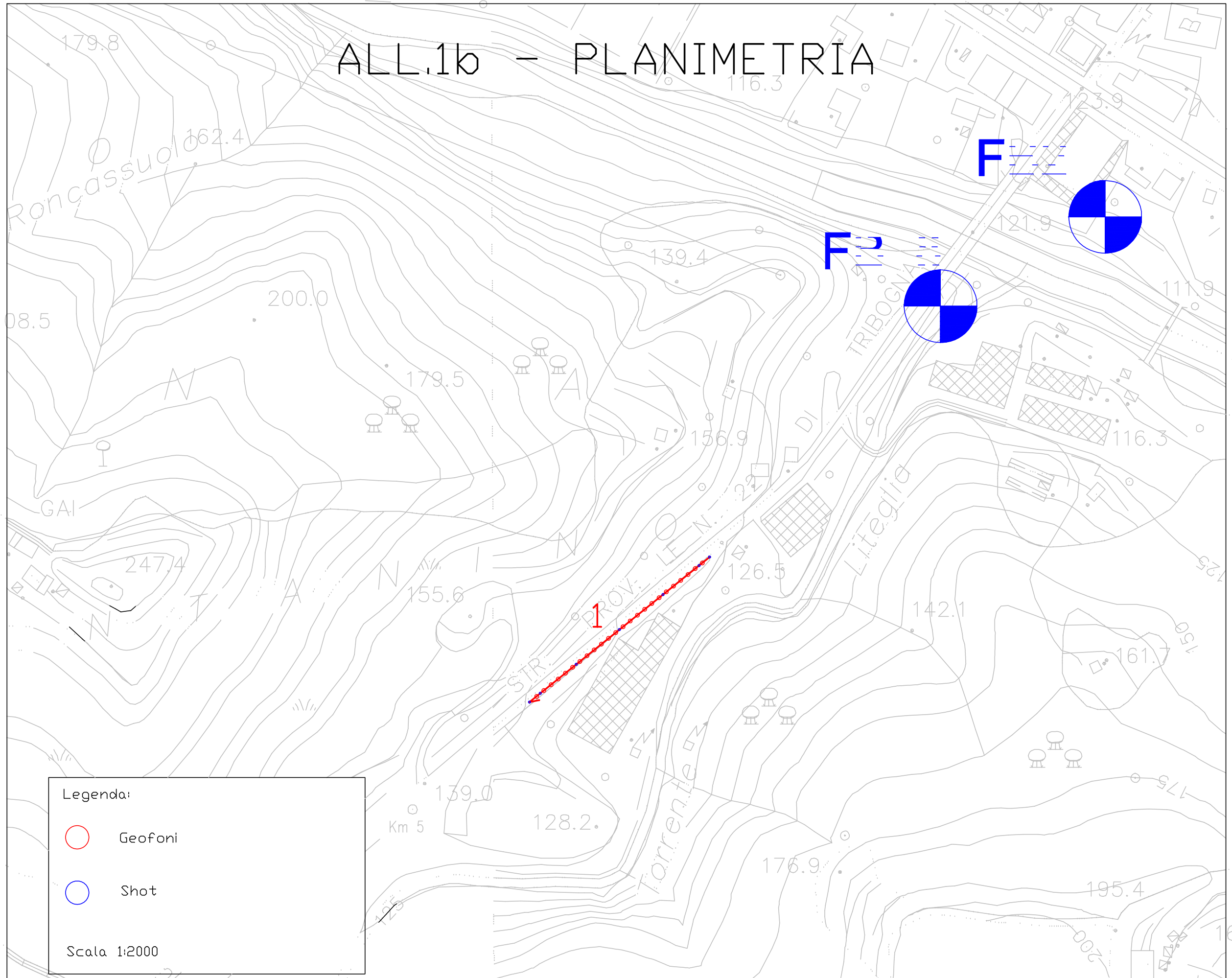


Legenda

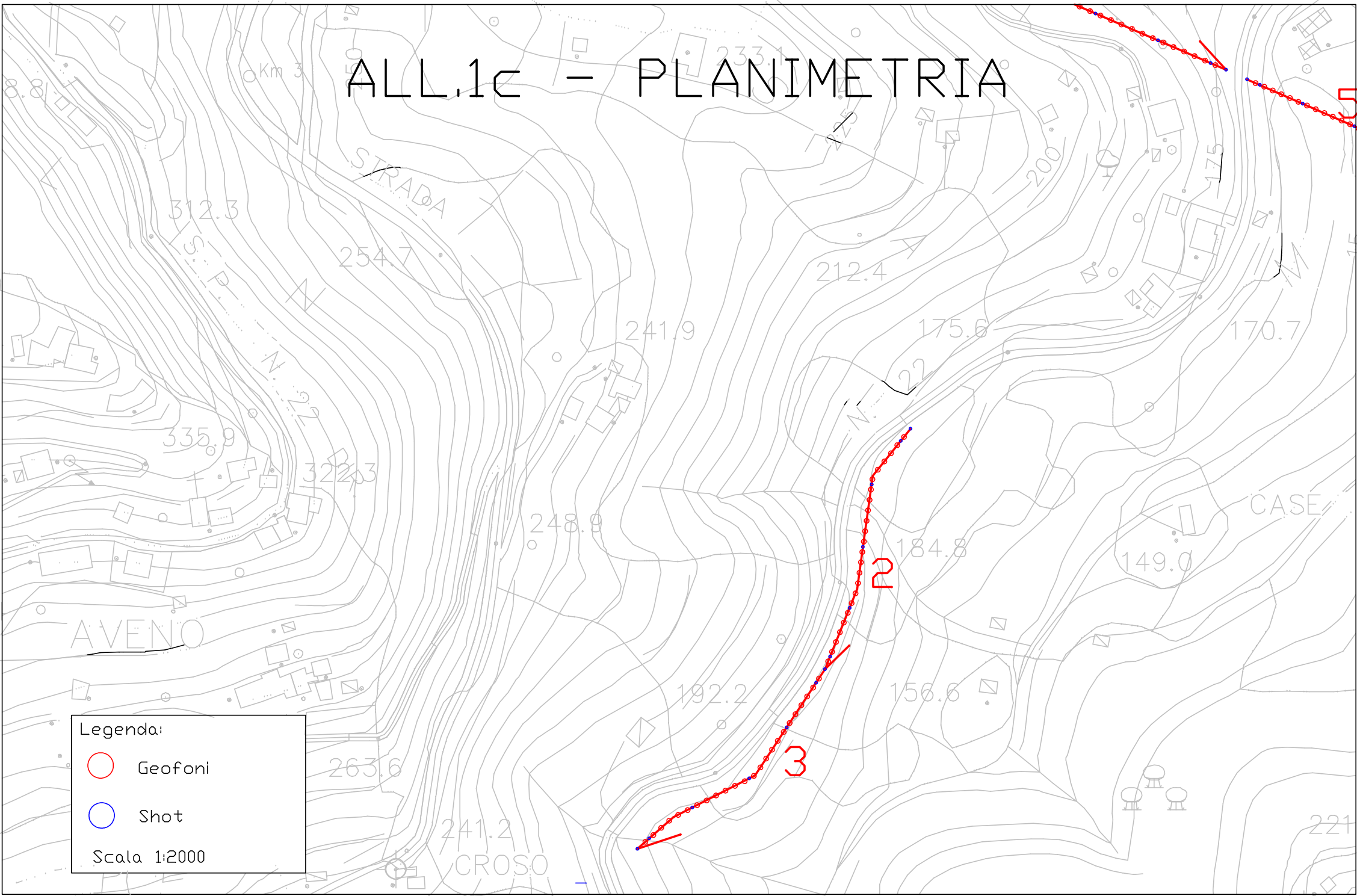
- Geofoni
- Shot

Scala 1:2000

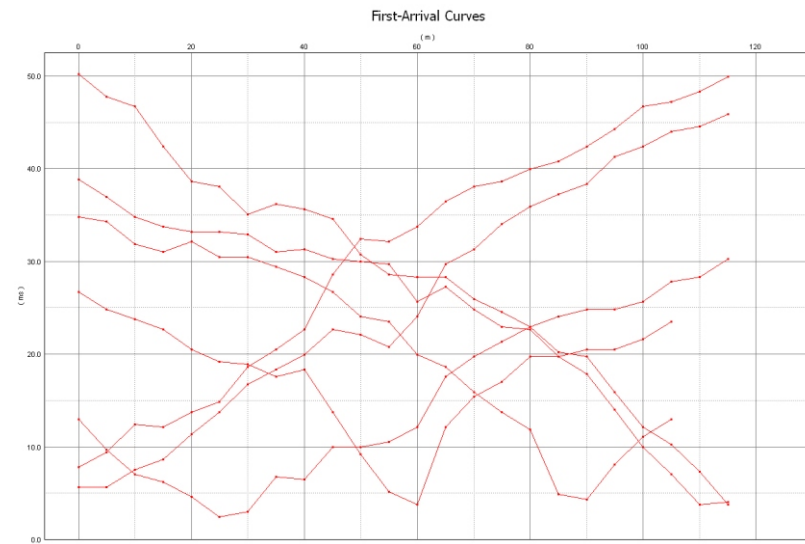
ALL.1b - PLANIMETRIA



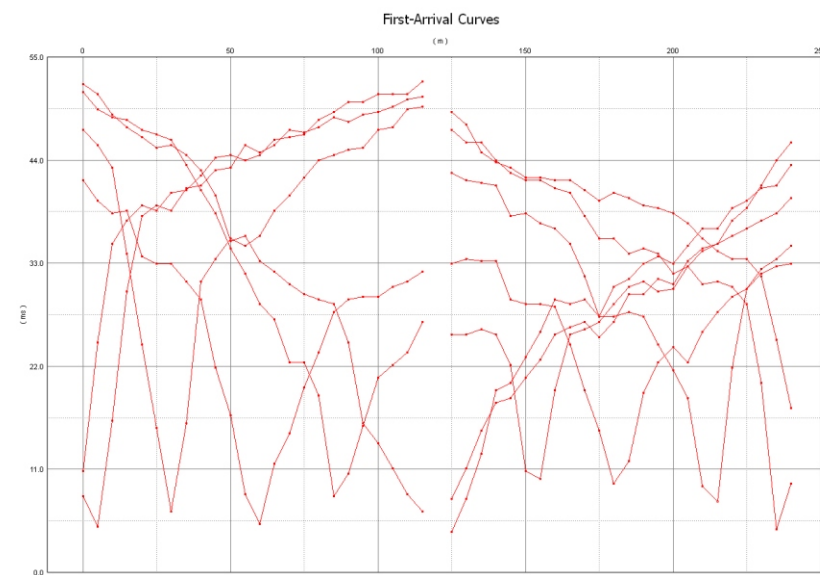
ALL.1c - PLANIMETRIA



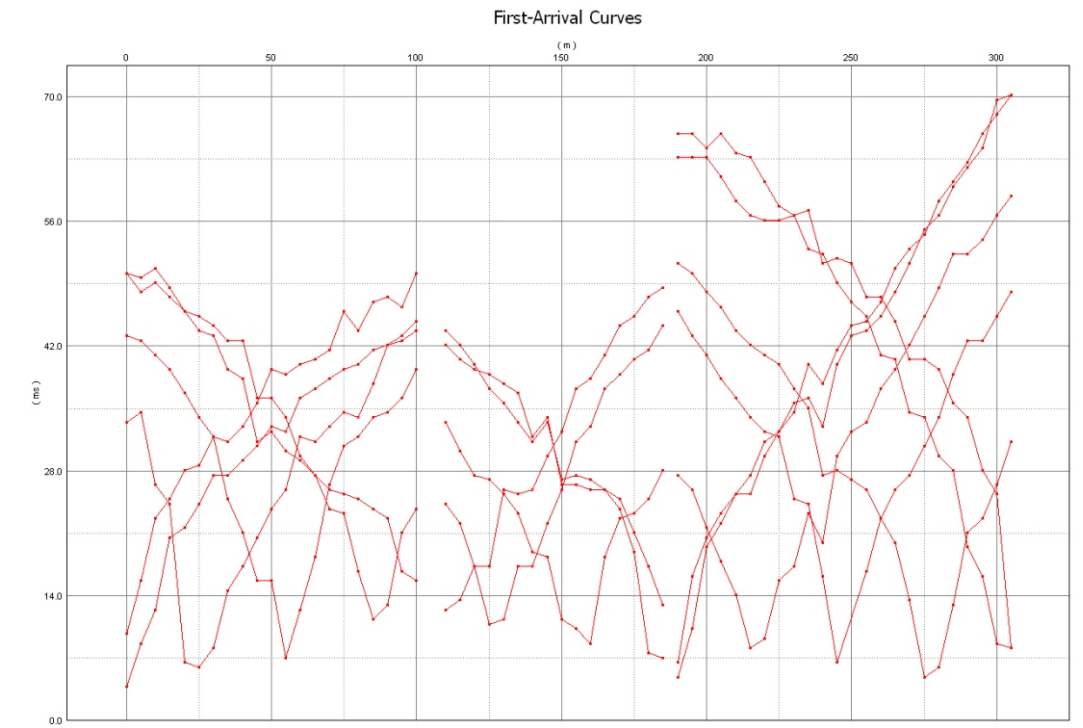
ALL. 2 - STENDIMENTI SISMICI: DROMOCRONE, SEZIONI ONDE P E ONDE S



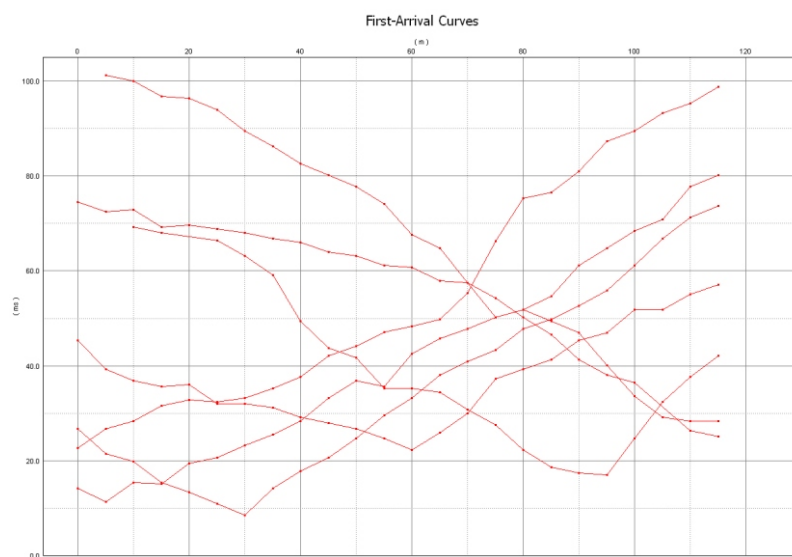
STENDIMENTO 1 - ONDE P



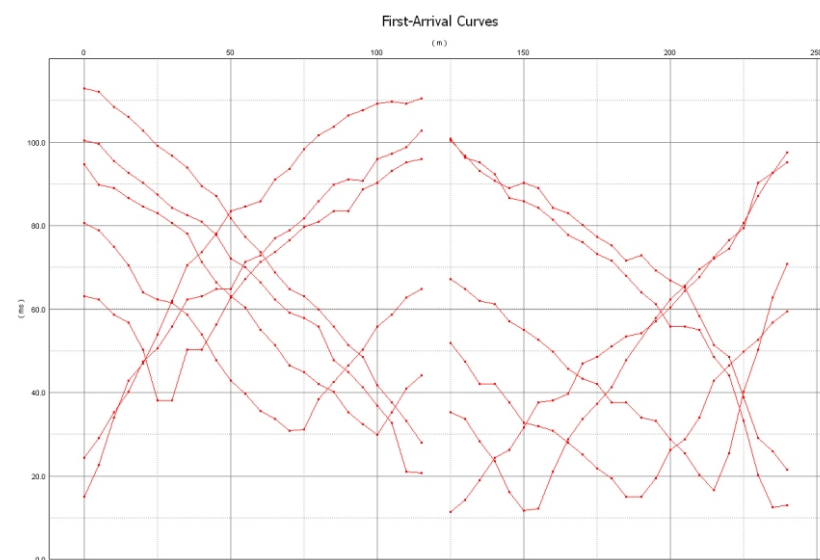
STENDIMENTO 2-3 - ONDE P



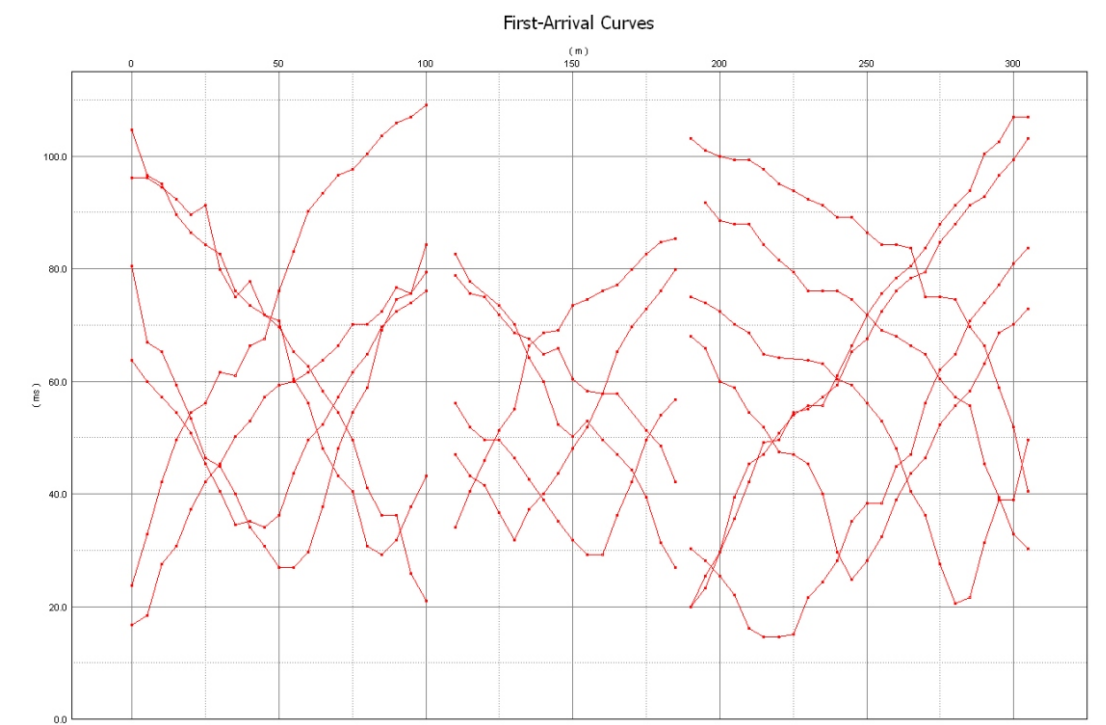
STENDIMENTO 9-10-11 - ONDE P



STENDIMENTO 1 - ONDE S

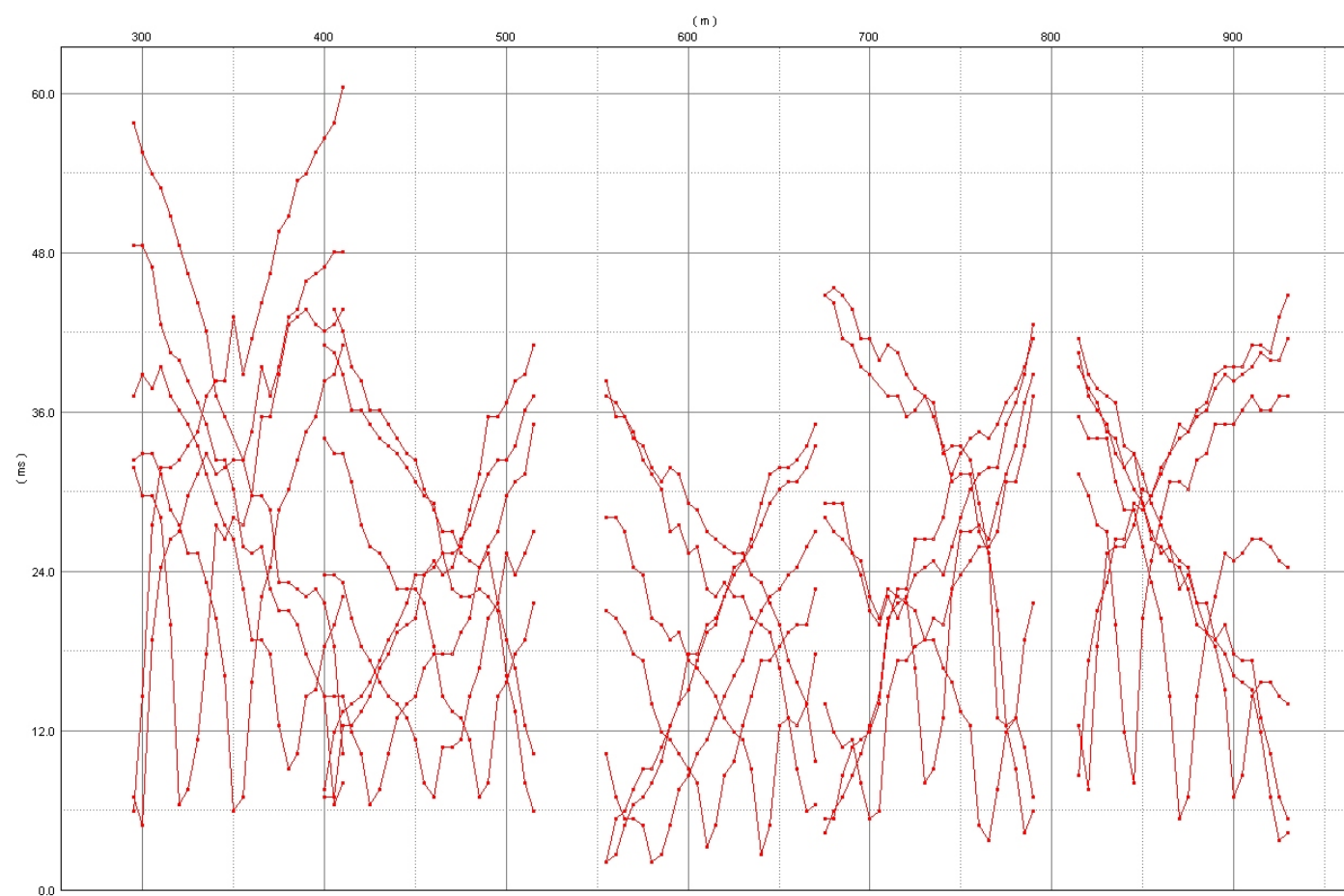


STENDIMENTO 2-3 - ONDE S



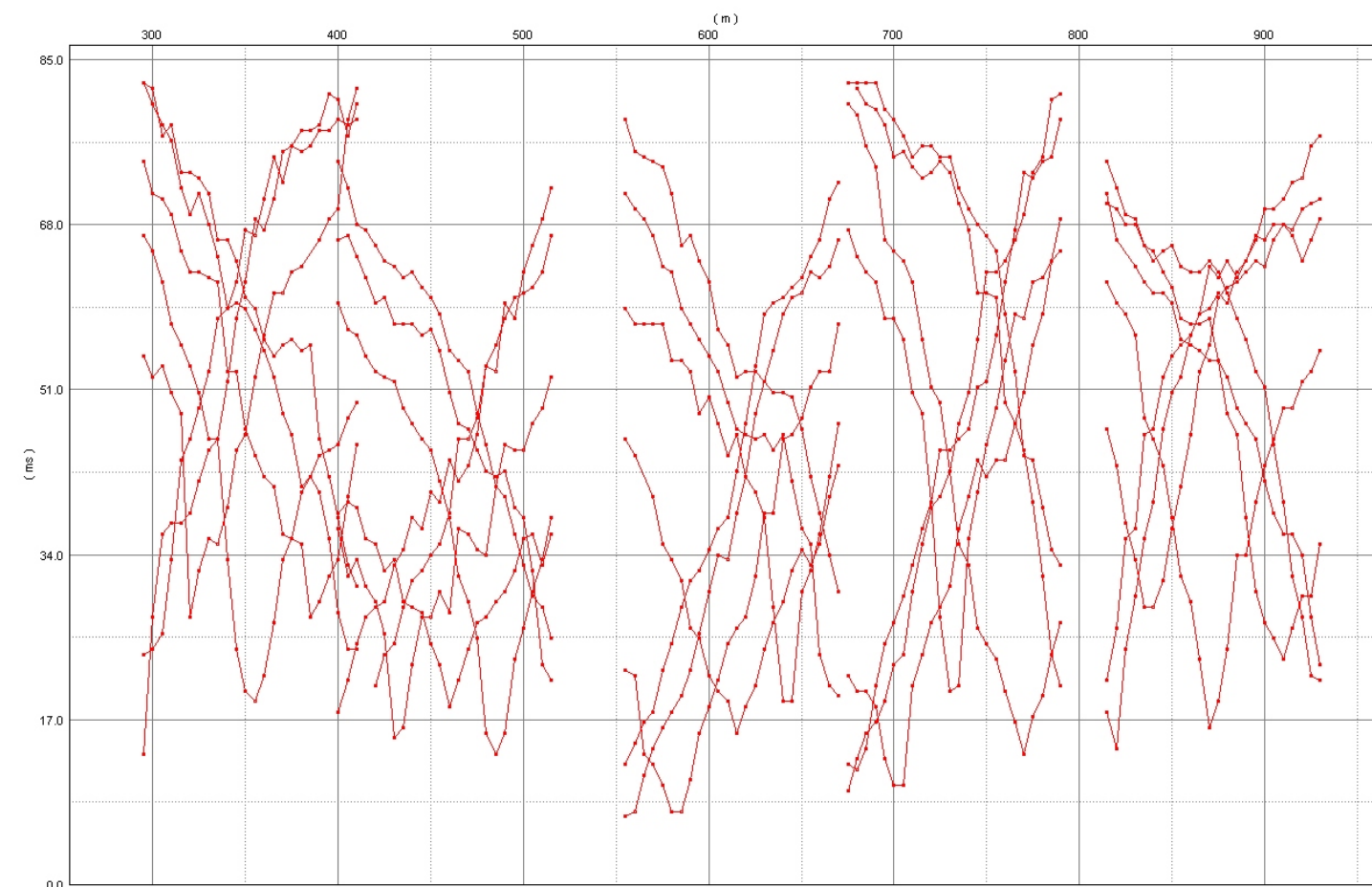
STENDIMENTO 9-10-11 - ONDE S

First-Arrival Curves



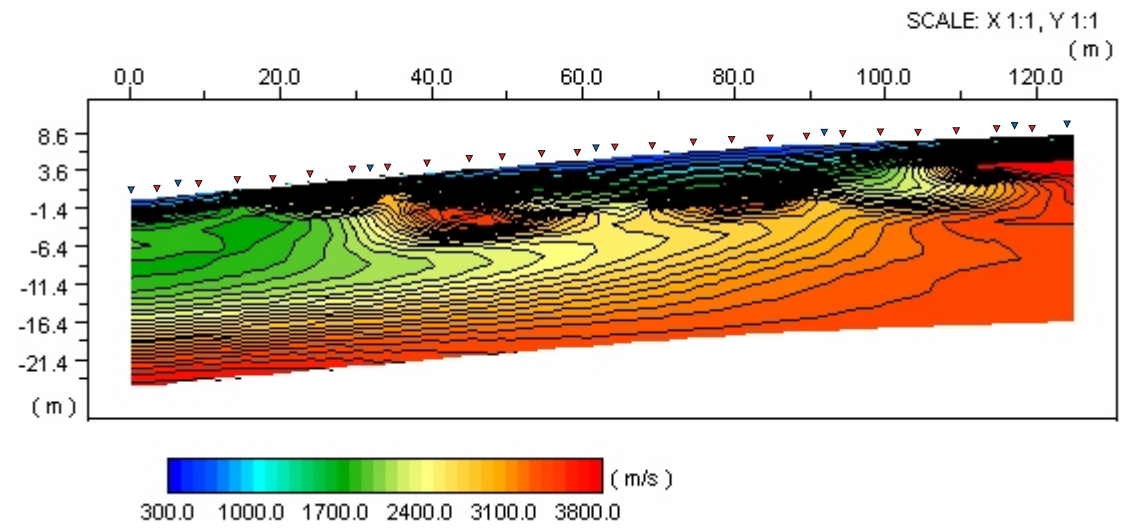
STENDIMENTO 8-4-7-6-5 - ONDE P

First-Arrival Curves

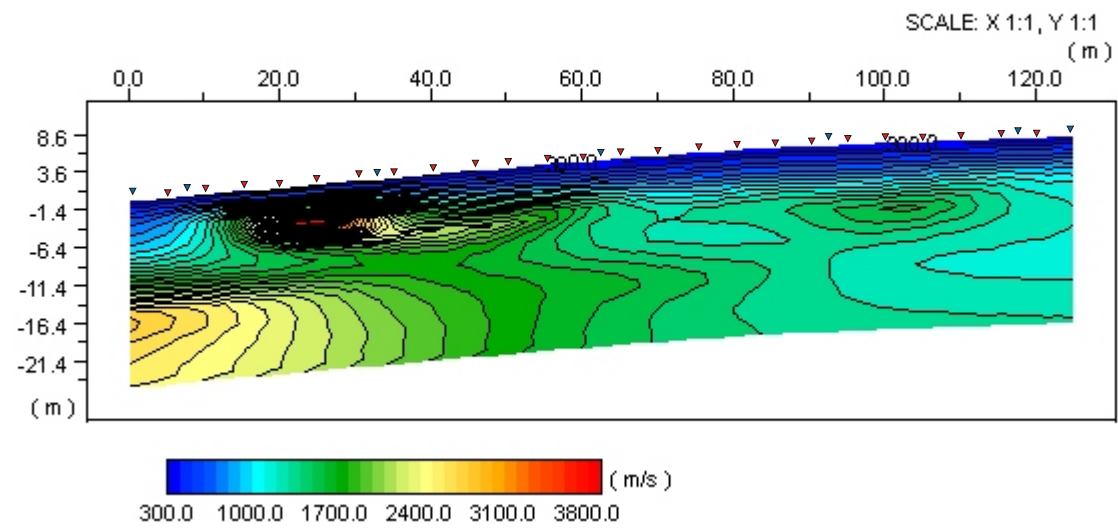


STENDIMENTO 8-4-7-6-5 - ONDE S

Stend. 1 Onde P



Stend. 1 Onde S



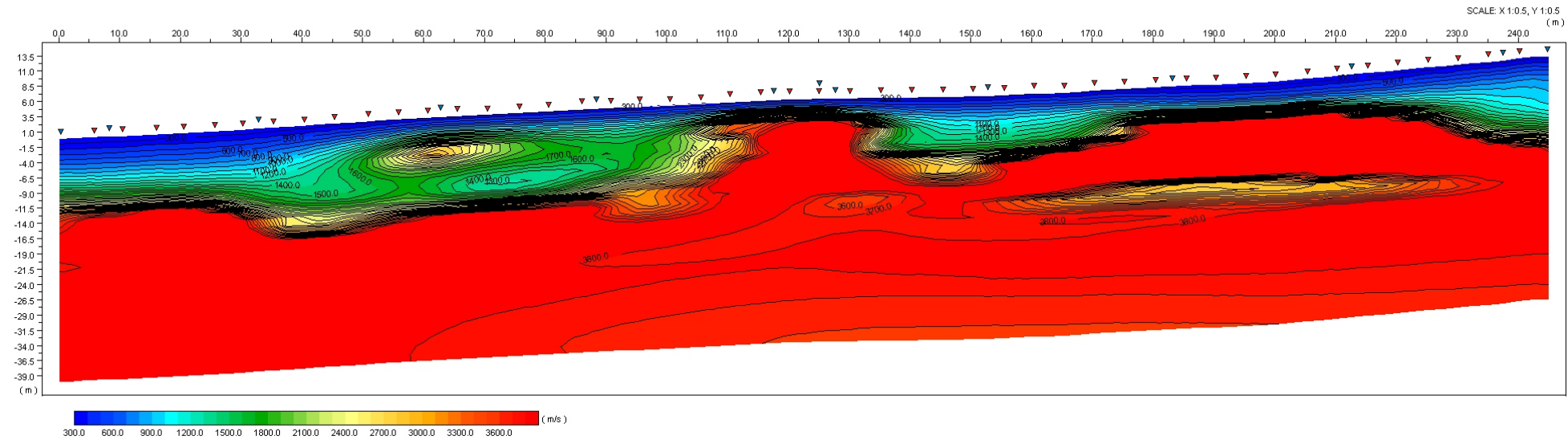
SCALA 1:1000

LEGENDA:

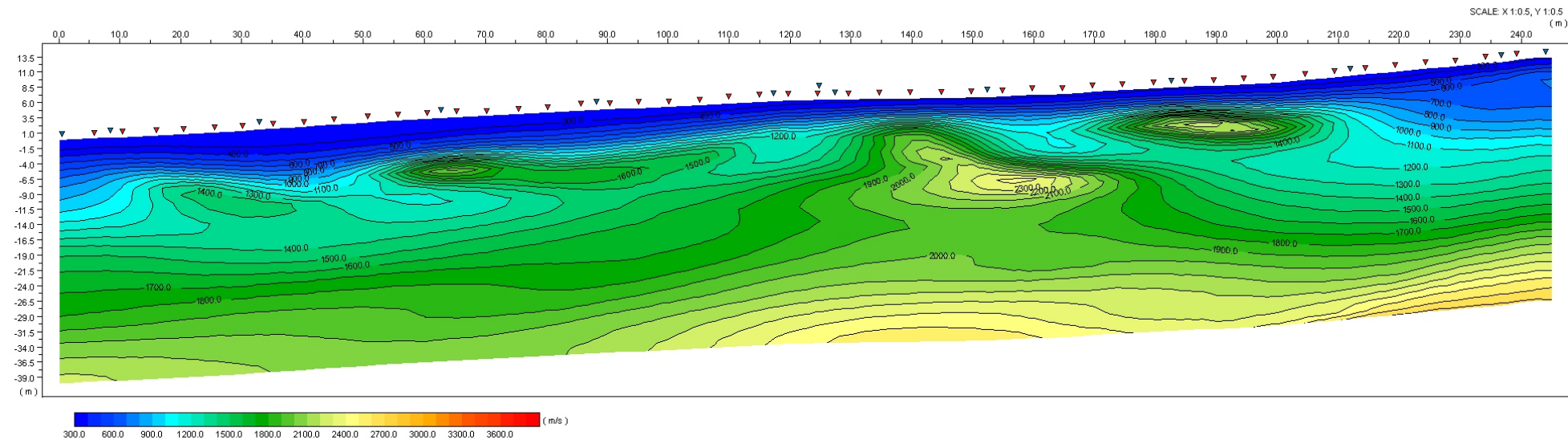
▼ Posizione geofoni

▼ Shot

Stend. 2-3 Onde P



Stend. 2-3 Onde S



SCALA 1:1000

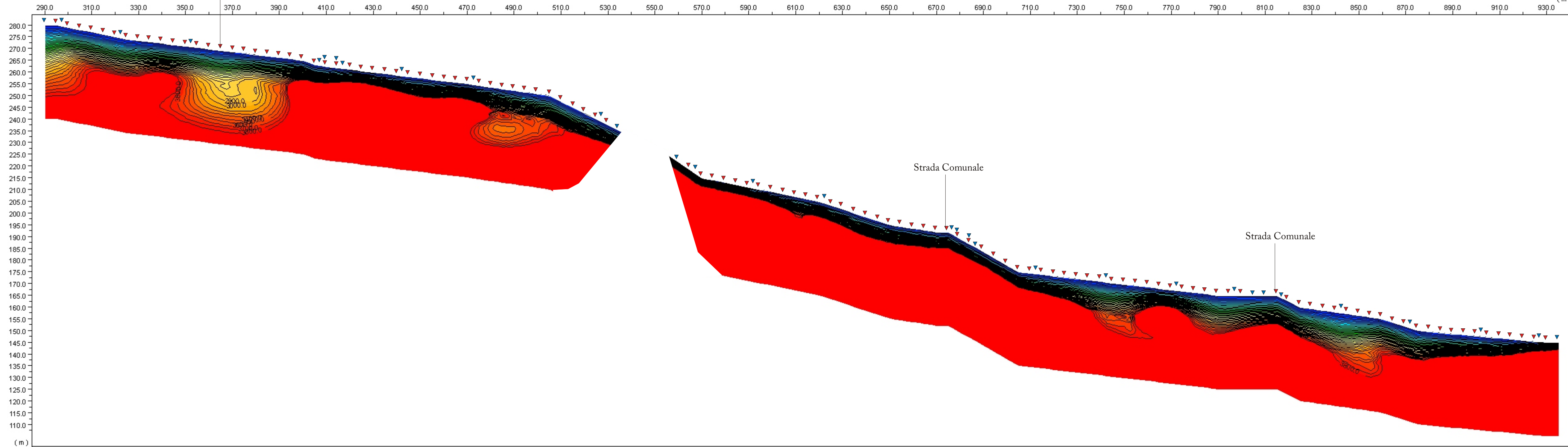
LEGENDA:

▼ Posizione geofoni

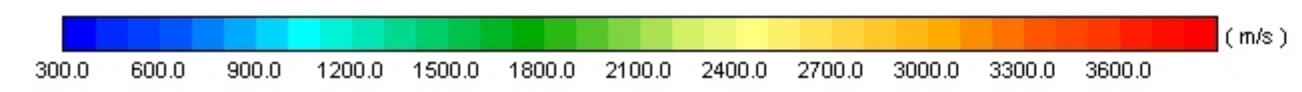
▼ Shot

Stend. 8-4-7-6 Onde P

SCALE: X 1:1, Y 1:1
(m)



SCALA 1:1000



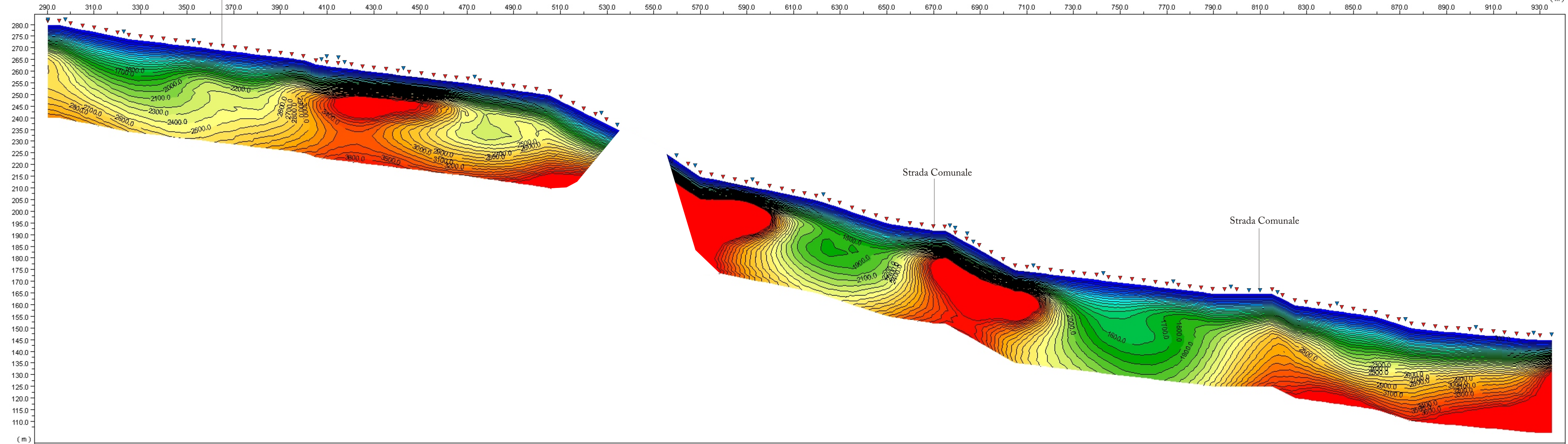
SCALA 1:1000

LEGENDA:

- ▼ Posizione geofoni
- ▼ Shot

Stend. 8-4-7-6 Onde S

SCALE X 1:1, Y 1:1
(m)



SCALA 1:1000



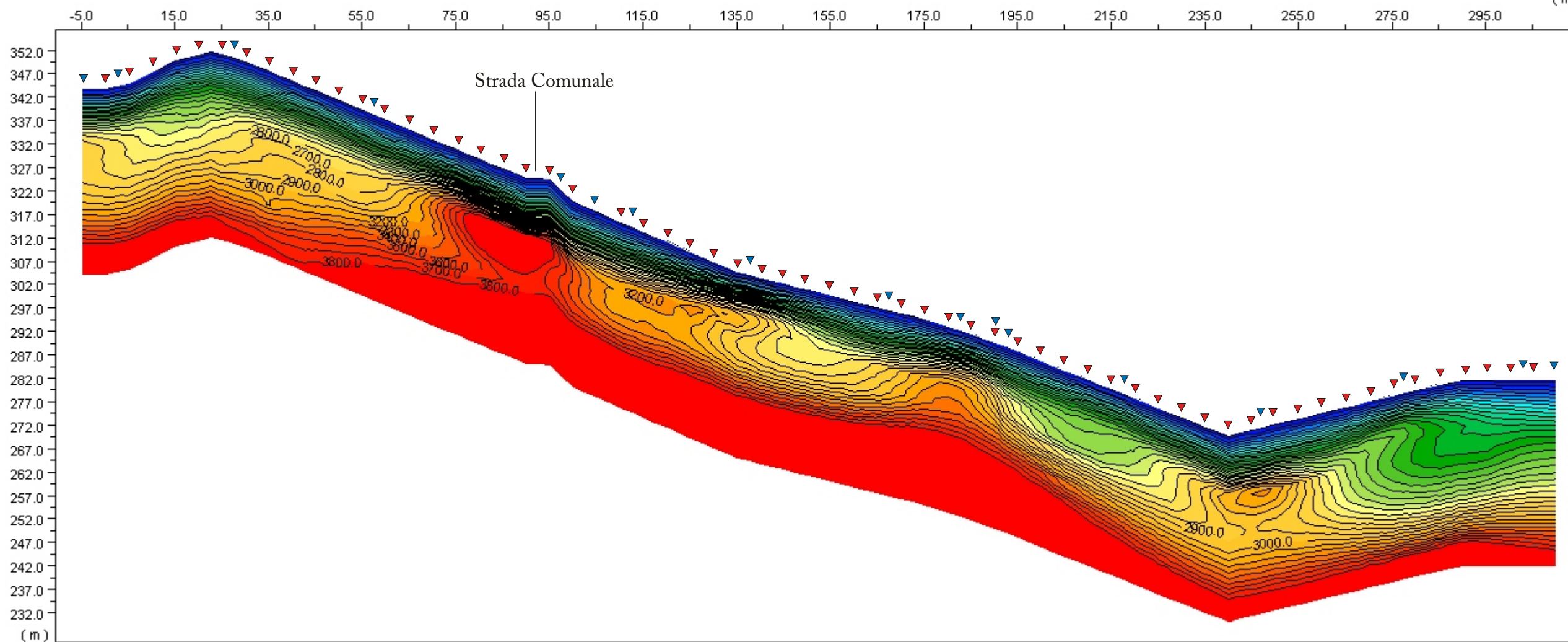
SCALA 1:1000

LEGENDA:

- ▼ Posizione geofoni
- ▼ Shot

Stend. 11-10-9 Onde P

SCALE: X 1:1, Y 1:1
(m)



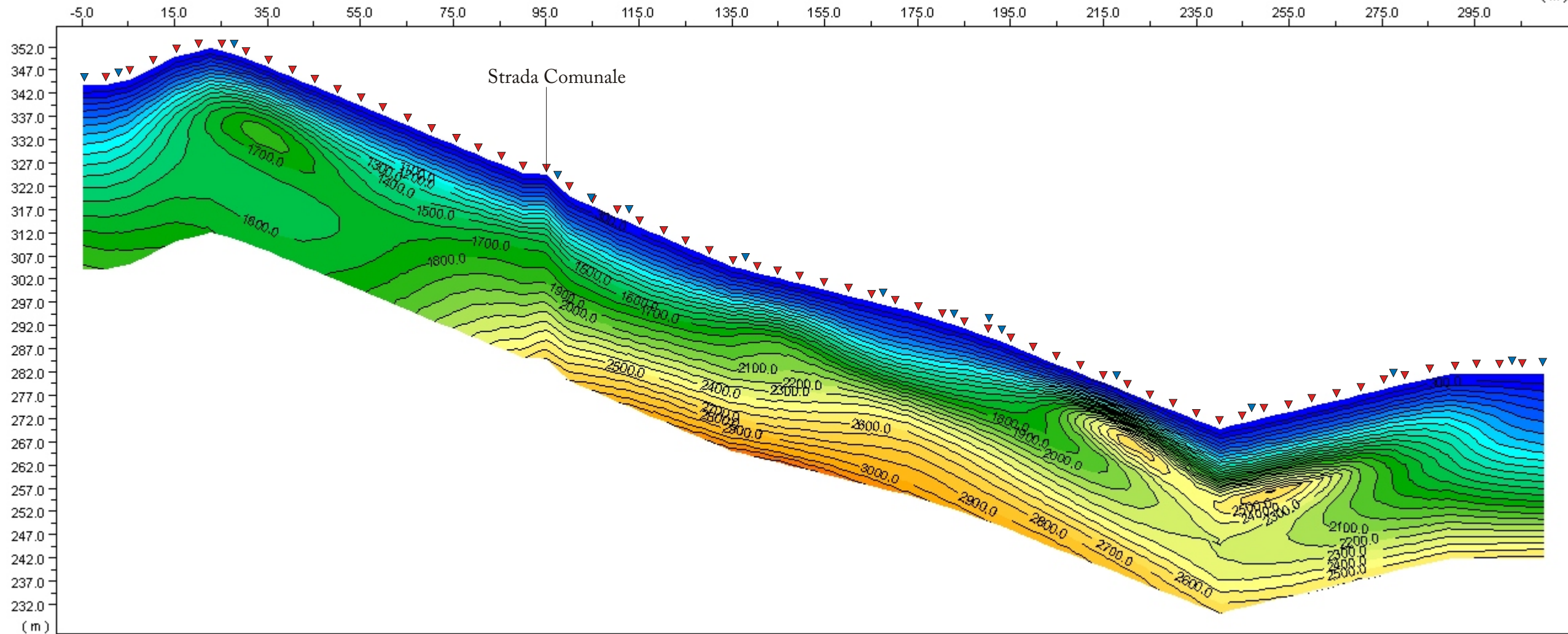
SCALA 1:1000

LEGENDA:

- ▼ Posizione geofoni
- ▼ Shot

Stend. 11-10-9 Onde S

SCALE: X 1:1, Y 1:1
(m)



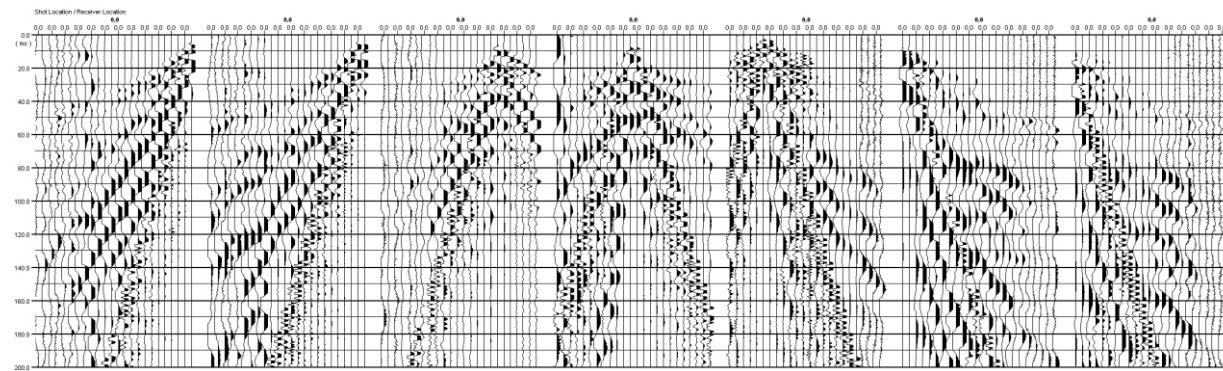
SCALA 1:1000

LEGENDA:

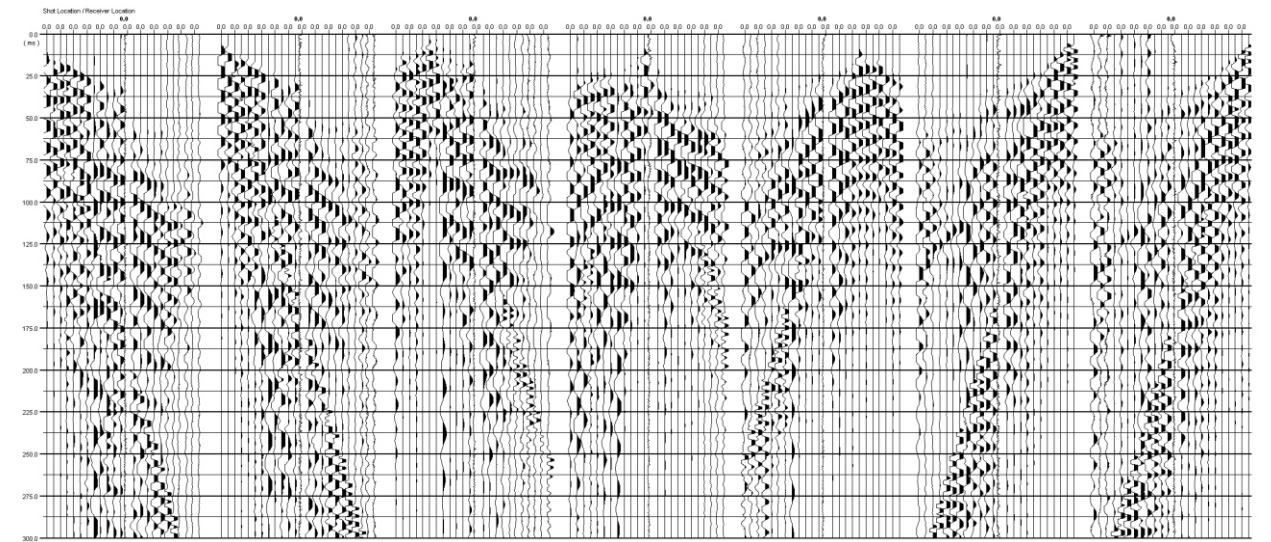
- ▼ Posizione geofoni
- ▼ Shot

TRACCE SISMICHE

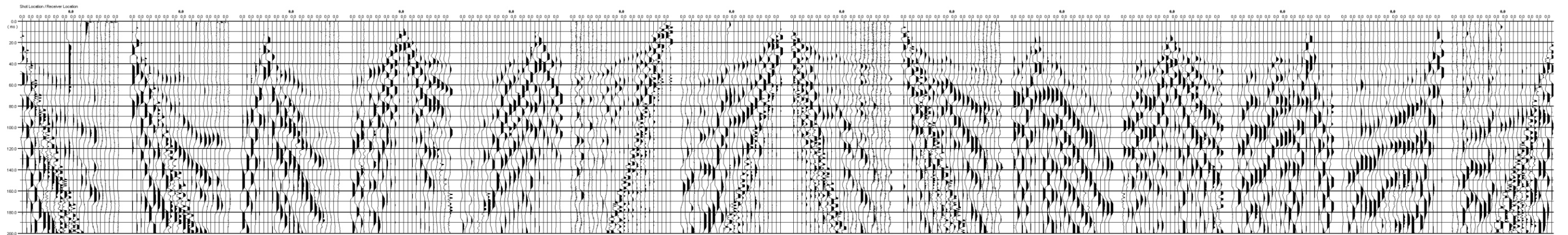
Fer 1P



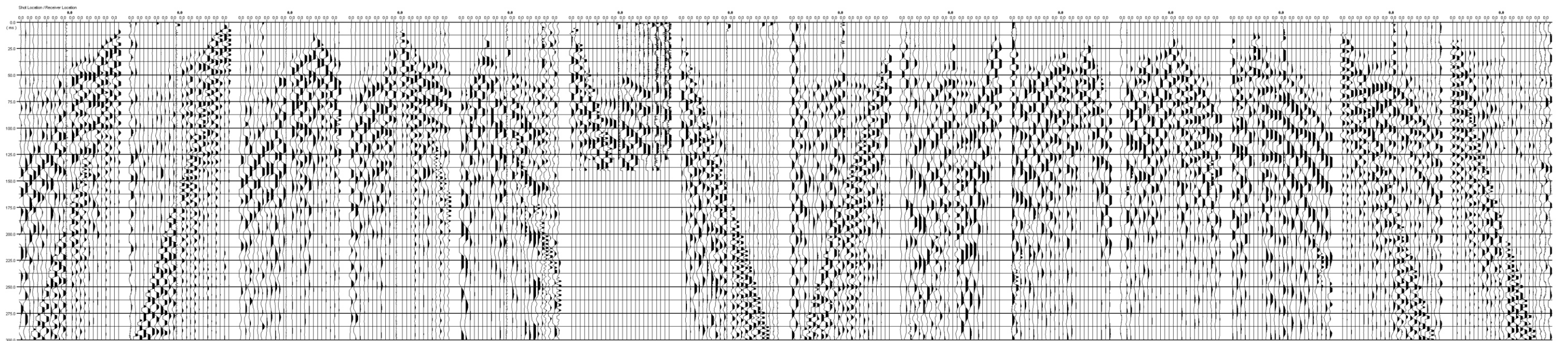
Fer 1S



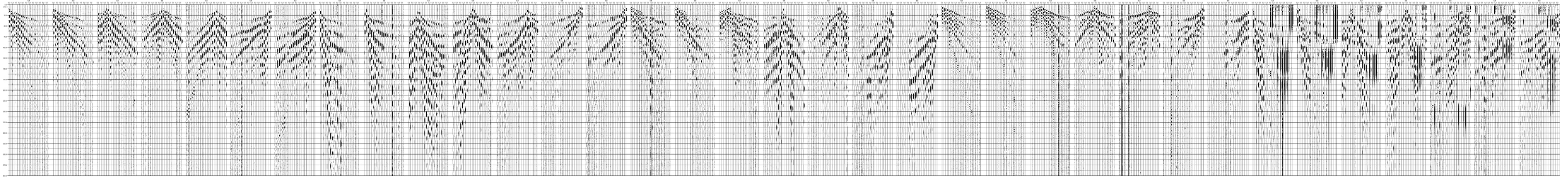
Fer 2-3 P



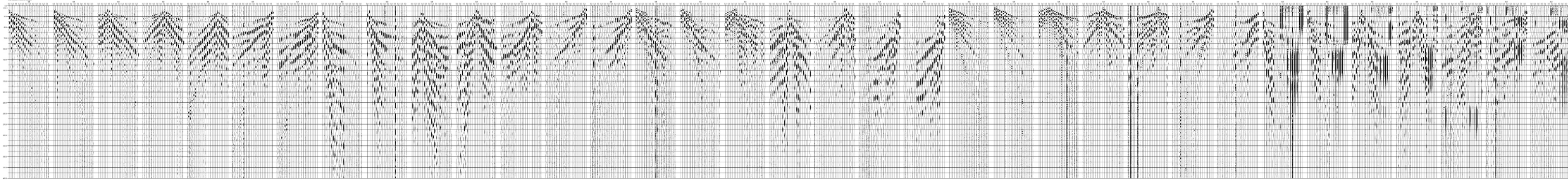
Fer 2-3 S



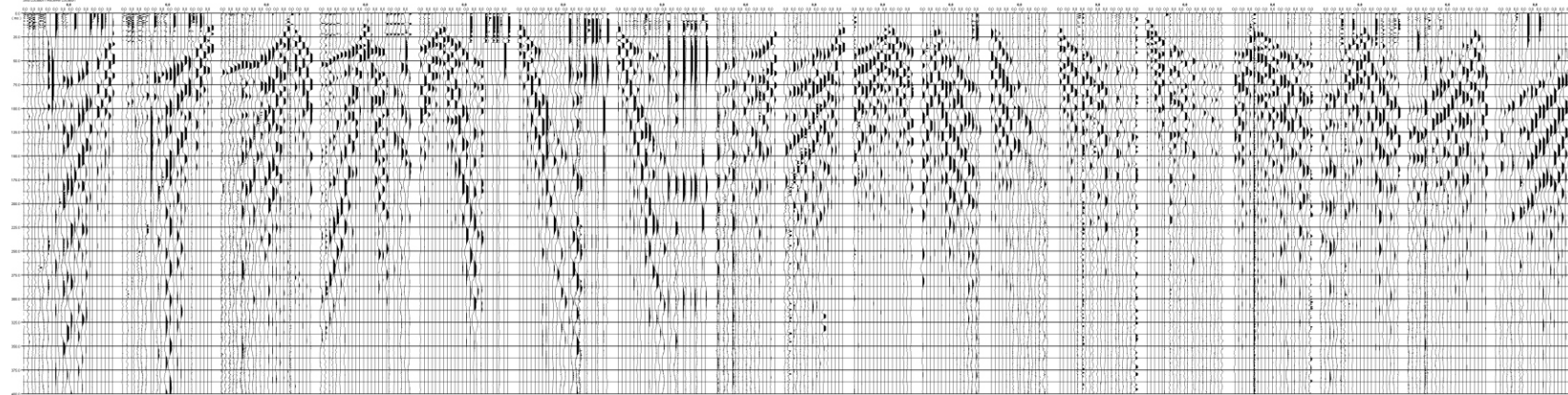
Fer 8-4-7-6-5 P



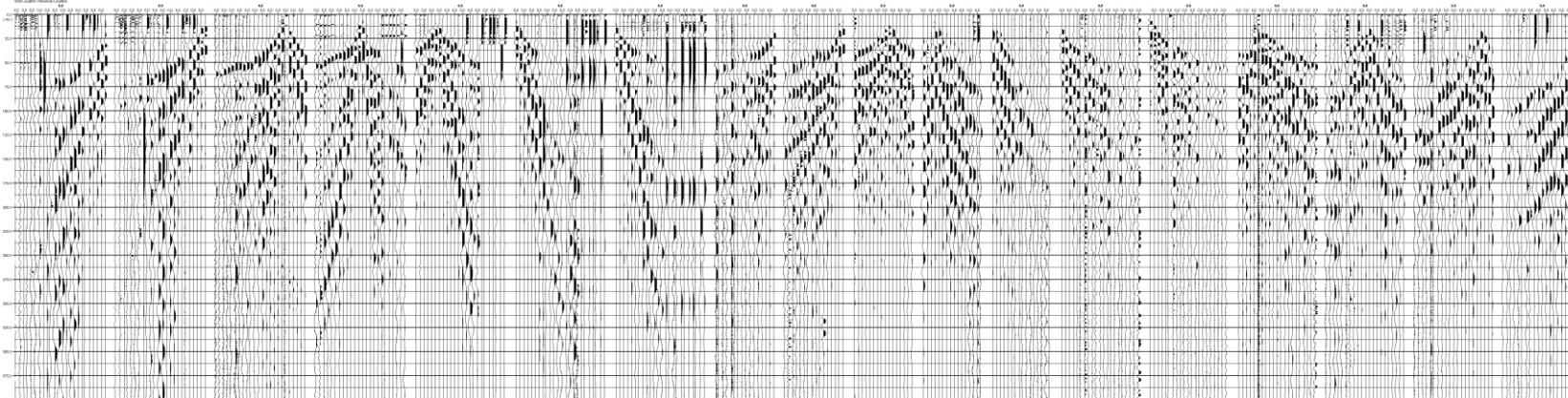
Fer 8-4-7-6-5 S



Fer11-10-9 P



Fer 11-10-9 S



ALL. 3: Documentazione fotografica



Posizionamento stend. 1



Sistema GPS ProMark3 utilizzato per i rilievi



Unità di acquisizione in



due posizionamenti
differenti



Piazzamento al centro dello stand. 11



Piazzamento per prova Cross-Hole

