

LABORATORIO MATERIALI DA COSTRUZIONE
LABORATORIO TERRE E ROCCE
INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOFISICHE

GEOPROVE
S.R.L.

COMUNE DI ROVIANO

(PROV. DI RM)

COMMITTENTE: ACEA ELABORI SPA

INDAGINI GEOFICHE PROPEDEUTICA
ALLA PROGETTAZIONE DEL
“NUOVO ACQUEDOTTO MARCIO”.

“VECCHIA FERROVIA LATO EST”

Ruffano, Luglio 2021

IL DIRETTORE TECNICO
Dott. Geol. Marcello DE DONATIS



Autorizzazione ministeriale ad effettuare e certificare prove su materiali da costruzione DM 275 del 12 giugno 2018.

Autorizzazione ministeriale ad effettuare e certificare prove su terre, rocce e prove in sito DM 278 del 14 giugno 2018.



ISO 14001:2015, n. SA.00014/19
OHSAS 18001:2007, n. SA.00015/19



SOA 08208 Il Livello



Organismo di Certificazione
AZIENDA CON SISTEMA DI GESTIONE CERTIFICATO
UNI EN ISO 9001



GEOPROVE S.R.L. P. IVA 03940580750 • Capitale Sociale € 500.000,00 • Iscrizione alla CCIAA 255978

Sede Legale e Laboratorio Terre e Rocce Via Il Giugno 2, 73049 Ruffano (LE) • Laboratorio Materiali Via Benedetto Falcone snc ZI 73049 Ruffano (LE) •

Unità Locale Via Olanda, Zona Industriale Surbo, 73010 Lecce (LE) • Telefono e Fax 0833 692992 • Cell. 329 359 9093 | www.geoprove.eu • info@geoprove.eu

indice

<i>1</i>	<i>PREMESSA</i>	<i>3</i>
<i>2</i>	<i>MISURE GPS</i>	<i>3</i>
<i>3</i>	<i>PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE</i>	<i>5</i>
	<i>3.1 Metodologia sismica a rifrazione</i>	<i>5</i>
	<i>3.2 Attrezzature e tecniche operative</i>	<i>7</i>
	<i>3.3 Risultati</i>	<i>9</i>
<i>4</i>	<i>PROSPEZIONE SISMICA A RIFLESSIONE</i>	<i>11</i>
	<i>4.1 Cenni sulla metodologia di sismica a riflessione</i>	<i>11</i>
	<i>4.2 Principi Generali</i>	<i>12</i>
	<i>4.3 Configurazione adottata</i>	<i>15</i>
	<i>4.4 Attrezzature utilizzate</i>	<i>16</i>
	<i>4.5 Data Processing</i>	<i>16</i>
	<i>4.5.1 Correzione statica dei Tempi sulle Tracce</i>	<i>16</i>
	<i>4.5.2 Analisi Spettrale</i>	<i>17</i>
	<i>4.5.3 Filtraggio di Frequenza</i>	<i>17</i>
	<i>4.5.4 Muting</i>	<i>17</i>
	<i>4.5.5 Analisi di Velocità</i>	<i>18</i>
	<i>4.5.6 Filtraggio di Velocità</i>	<i>18</i>
	<i>4.5.7 Deconvoluzione</i>	<i>19</i>
	<i>4.6 tecniche operative</i>	<i>19</i>
	<i>4.7 Analisi dei dati</i>	<i>20</i>
	<i>4.8 Risultati</i>	<i>21</i>
<i>5</i>	<i>CONCLUSIONI</i>	<i>22</i>

Ubicazione area d’indagine (da CTR) - scala 1:8.000

Ubicazione misure sismiche (da ortofoto) – scala 1:1.000

Ubicazione misure sismiche (da CTR) – scala 1:1.000

Allegato “Prospezione sismica profilo 1”

Prospezione a rifrazione

- *Sismogrammi sismica a rifrazione onde P*
- *Sismogrammi sismica a rifrazione onde Sh*
- *Dromocrone onde P*
- *Dromocrone onde Sh*
- *Sezione tomografica e sismostratigrafica*
- *Documentazione fotografica*

Prospezione a riflessione

- *Esempi di sismogramma a 48 tracce (sismica a riflessione)*
- *Sismogrammi a 24 tracce utilizzati per l’analisi in Common Mid Point*
- *Analisi prospezione sismica a riflessione*

Allegato “Prospezione sismica profilo 2”

Prospezione a rifrazione

- *Sismogrammi sismica a rifrazione onde P*
- *Sismogrammi sismica a rifrazione onde Sh*
- *Dromocrone onde P*
- *Dromocrone onde Sh*
- *Sezione tomografica e sismostratigrafica*
- *Documentazione fotografica*

Prospezione a riflessione

- *Esempi di sismogramma a 48 tracce (sismica a riflessione)*
- *Sismogrammi a 24 tracce utilizzati per l’analisi in Common Mid Point*
- *Analisi prospezione sismica a riflessione*

Documentazione fotografica

1 PREMESSA

Per incarico conferito alla “GeoProve S.r.l.” da “ACEA ELABORI S.p.a.”, è stata eseguita una prospezione geofisica propedeutica alla progettazione del “Nuovo Acquedotto Marcio”

Scopo dell’indagine è stato quello di definire la stratigrafia del sottosuolo ed i moduli elasto-dinamici dei terreni investigati.

A tal fine sono state effettuate le seguenti indagini geognostiche:

- n. 2 profili sismici a rifrazione in onde P;
- n. 2 profili sismici a rifrazione in onde Sh;
- n. 2 profili sismici a riflessione.

Di seguito, ed in tavola 1 in scala 1:8.000, viene riportata l’ubicazione dell’area d’indagine.



Ubicazione del sito d’indagine

2 MISURE GPS

Tutte le misure effettuate sono state ubicate con sistema GPS Leica, modello GS15. Di seguito viene riportata la scheda tecnica dello strumento.

Leica Viva GS15				
PRESTAZIONI GNSS				
Tecnologia GNSS	Leica SmartTrack	Tracciamento avanzato di quattro costellazioni		
Numero di canali		120 (fino a 60 satelliti simultaneamente su due frequenze) / 500+ ¹		
Tracciamento del segnale		GPS (L1, L2, L2C, L5), Glonass (L1, L2), BeiDou (B1, B2), Galileo (E1, E5a, E5b, Alt-BOC) QZSS (L1, L2, L5) ² , SBAS (WAAS, EGNOS, MSAS, GAGAN)		
PRESTAZIONI DELLA MISURA E PRECISIONI³				
Tecnologia RTK	Leica SmartCheck RTK Network Tempo di inizializzazione	Controllo continuo soluzioni RTK, affidabile 99,99% VRS, FKP, iMAX, MAC (RTCM SC 104) Tipicamente 4s		
Differenza di codice	DGPS / RTCM	Tipicamente 25cm		
Real-time cinematico	Baseline singola (<30km) RTK Network	Orizzontale 8mm + 1ppm / Verticale 15mm + 1ppm Orizzontale 8mm + 0.5ppm / Verticale 15mm + 0.5ppm		
Post elaborazione	Statico (fase), lunghe osservazioni Statico e Statico rapido (fase)	Orizzontale: 3mm + 0,1ppm / Verticale: 3,5mm + 0,4ppm Orizzontale 3mm + 0.5ppm / Verticale 5mm + 0.5ppm		
COMUNICAZIONI				
Porte di comunicazione	Lemo Bluetooth®	Collegamento USB e seriale RS232 Bluetooth® v2.00 + EDR, class 2		
Protocolli di comunicazione	Formato Dati RTK Output NMEA	Leica, Leica 4G, CMR, CMR+, RTCM 2.2, 2.3, 3.0, 3.1, 3.2 MSM NMEA 0183 V 4.00 e proprietario Leica		
Comunicazione dati integrata	Modem telefonico 3.5G Modem UHF	Completamente integrata, antenna interna o esterna Completamente integrata, riceve e trasmette, antenna esterna 403 - 470 MHz, potenza di uscita 1 W		
Comunicazione dati esterna		GSM / GPRS / UMTS / CDMA e UHF / modem VHF		
GENERALE				
Interfaccia utente	Pulsanti e LED Web server	Tasto On/Off e tasto Funzione, 8 LED di indicazione stato Informazioni di stato complete e opzioni di configurazione		
Registrazione dati	Memoria Flash Tipo dati e velocità di registrazione	SD Card removibile da 1 GB Dati grezzi GNSS Leica e dati RINEX fino a 20 Hz		
Alimentazione	Alimentazione interna Alimentazione esterna Durata	2 batterie Li-Ion ricaricabili e removibili (2,6 Ah / 7,4 V) Nominale 12 V CC; intervallo ammesso 10,5 - 28 V CC 10 h ricezione dati RTK con radio UHF 9 h trasmissione dati RTK con radio UHF (1W) 7,5 h ricezione / trasmissione dati RTK con modem telefonico		
Peso e Dimensioni	Peso Diametro x Altezza	1,34 kg (GS15) / 3,30 kg configurazione rover RTK con l'utilizzo di palaia e zaino 196mm x 198mm		
Protezione	Temperatura Caduta Protezione contro acqua, sabbia e polvere Vibrazioni Umidità Shock	da -40 a 65°C (da -40°F a 80°C) Stoccaggio Resistente a ribaltonamenti da palaia di 2.0 m su superfici dure IP68 conforme a IEC60529 e MIL STD 810G Method 506.5 I, MIL STD 810G Method 510.5 I e MIL STD 810G Method 512.5 I Resiste alle forti vibrazioni (ISO9022-36-08 / MIL STD 810G 514.6 Cat.24) 100% (ISO9022-13-06 / ISO9022-12-04 / MIL STD 810G 507.5 I) 40g dai 15 al 23 ms, conforme a MIL STD 810G Method 516.6 I		
RICEVITORE GNSS LEICA GS15				
SISTEMI GNSS SUPPORTATI	Singola frequenza	Prestazione	Professionale	Unlimited ¹
GPS L2 / GPS L5 / GLONASS / Galileo / BeiDou	• / • / • / • / •	✓ / • / • / • / •	✓ / ✓ / ✓ / ✓ / •	✓ / ✓ / ✓ / ✓ / ✓
PRESTAZIONI RTK				
DGPS/RTCM, RTK illimitato, RTK Network	•	✓	✓	✓
SmartLink (L-band)	•	•	•	✓
AGGIORNAMENTO POSIZIONE E REGISTRAZIONE DATI				
Aggiornamento posizione 5 Hz / 20 Hz	✓ / •	✓ / ✓	✓ / ✓	✓ / ✓
Dati grezzi / registrazione dati RINEX	✓ / •	✓ / •	✓ / ✓	✓ / ✓
Output in formato NMEA	•	•	✓	✓
FUNZIONALITÀ OPZIONALI				
Opzione stazione di riferimento RTK	•	✓	✓	✓
			✓Standard	•Opzionale
1) La serie Unlimited comprende l'aggiornamento gratuito a 500+ canali. 2) Il supporto QZSS è incorporato e fornito attraverso un prossimo aggiornamento firmware.		3) La precisione nelle misure, nella posizione planimetrica ed in quota sono legate a vari fattori tra i quali: il numero di satelliti, la loro geometria, tempo di osservazione, precisione delle effemeridi, condizioni ionosferiche, multipath ecc. Per i dati presenti si assumono condizioni da normali a favorevoli. Le costellazioni BeiDou e Galileo complete aumenteranno ulteriormente le prestazioni e precisione delle misure. 4) Può variare con la temperatura, con lo stato di conservazione delle batterie, con la potenza di trasmissione dell'apparato di comunicazione utilizzato.		
Il marchio Bluetooth® è di proprietà di Bluetooth SIG, Inc. Illustrazioni, descrizioni e specifiche tecniche non sono vincolanti. Tutti i diritti sono riservati. Stampato in Svizzera - Copyright Leica Geosystems AG, Heerbrugg, Switzerland, 2015. 774104it - 05.15 - INT				

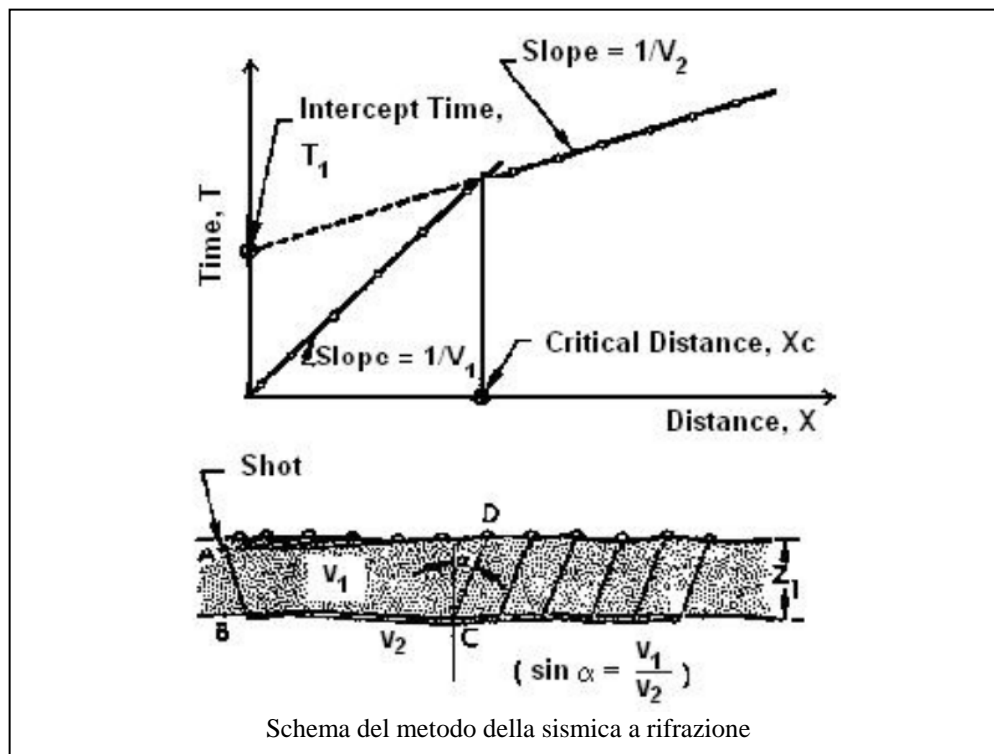
3 PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE

3.1 Metodologia sismica a rifrazione

La tecnica di prospezione sismica a rifrazione consiste nella misura dei tempi di primo arrivo delle onde sismiche generate in un punto in superficie (punto sorgente), in corrispondenza di una molteplicità di punti disposti allineati sulla superficie topografica (geofoni). Lo studio della propagazione delle onde sismiche consente di valutare le proprietà geometriche e fisico-meccaniche dei terreni.

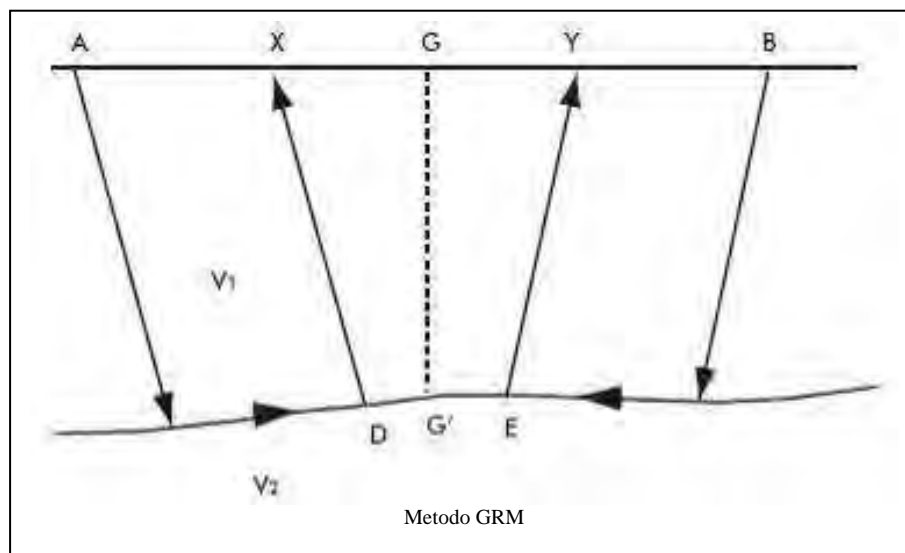
Mediante questo tipo di indagine si può risalire alla composizione litologica di massa dei terreni, al loro grado di fratturazione, alla geometria delle prime unità sottostanti la coltre superficiale, alla profondità in cui si trova la roccia di fondo (“bedrock”).

L'unica condizione per eseguire studi di sismica a rifrazione è che la successione rocciosa da investigare sia caratterizzata da velocità sismiche crescenti all'aumentare della profondità.



Normalmente il sottosuolo è caratterizzato da strati piano-paralleli con velocità crescente all’aumentare della profondità. In contesti più complessi (inversioni di velocità o presenza di corpi non stratificati) bisogna tener conto del modello tridimensionale del sottosuolo ed intervenire con indagini più specifiche (misure sismiche in foro), per non incorrere in errori interpretativi.

Il metodo di elaborazione utilizzato nel corso delle analisi dei dati a rifrazione è stato il Generalized Reciprocal Method (GRM: Palmer - 1980). L’analisi GRM (metodo reciproco generalizzato) si basa sulla determinazione del tempo di tragitto delle onde sismiche tra due geofoni separati da una distanza variabile XY ottimale per la quale i segmenti dei raggi che viaggiano verso l’alto e arrivano a ciascun geofono, emergano quasi dallo stesso punto del riflettore (G’). Ciò permette di valutare tutte le eventuali variazioni laterali di velocità del rifrattore, e quindi di ricostruire anche morfologie complesse.



Successivamente, con l’ausilio del software “Rayfract” della Intelligent Resources Inc., si è proceduti all’analisi del sottosuolo in tomografia sismica. Il software, utilizzando i tempi d’arrivo delle onde lette sui sismogrammi sperimentali, permette di eseguire delle ottimizzazioni del modello di velocità. Tali interpretazioni danno modo di rappresentare le velocità sismiche sia secondo sismostrati e sia secondo un’imaging bidimensionale a colori.

3.2 Attrezzature e tecniche operative

Per i profili eseguiti è stato utilizzato:

- Un sismografo DAQ LINK – III a 24 bit della “Seismic Source Co” con intervallo minimo di campionamento di 0.0208 ms e altissima risoluzione (118 db);

DAQlink Specifications

1 to 24 channels per unit
Weatherproof enclosure
Multiple units can be used together for large channel count

A/D conversion:
24 bit high-speed sigma delta converters

Dynamic range:
144 dB (system)
Greater than 118 dB (measured at 2msec)

Bandwidth:
DC to 15 KHz –
Analog filter flat response to 8000 Hz
Digital Filter Bandwidth = 85% of (sample rate)

Common Mode Rejection:
Greater than 100 dB

Crosstalk:
Better than 125 dB

Noise Floor:
0.2 microvolt RMS noise (2 msec sample rate)

Trigger Accuracy:
• +/- 1 microsecond at all sample rates

Maximum Input Signal:
• Standard (x 2 gain): 3.58 volts peak to peak
• (Optional: (x1 gain): 7.16 volts peak to peak)

Input Impedance:
100 K ohms

Preamplifier Gains:
X2, and x32 standard; software selectable
(X1 and x16 available on special request)

Anti-alias Filters:
85 % of Nyquist frequency

Digital Filters:
Low Cut – User Selectable frequency
Notch – 50 or 60 Hz standard – User selectable
High Cut – User Selectable

Sample Interval:
0.0208, 0.0625, 0.125, 0.250, 0.500, 1.00, 2.00, 4.00, 8.00, 16.00 millisecond

Sample Frequency:
48000, 16000, 8000, 4000, 2000, 1000, 500, 250, 125, 64.5 samples/second

Record Length:
Up to 4 Gbytes/ number of channels

Pre- trigger delay:
10 second

Continuous Recording Option

GPS Interface Standard
Internal Clock synchronized to GPS time
GPS Time and Position saved with data



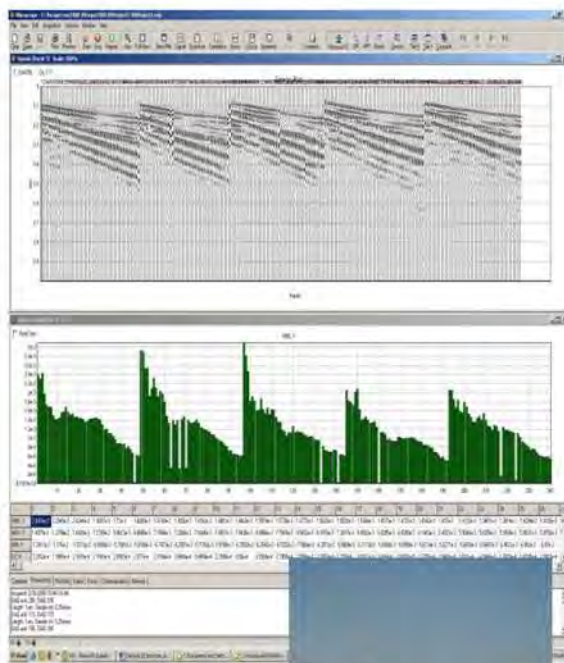
Internal Storage:
Compact Flash style storage media
Standard FAT16 or FAT32 file system
(Maximum file size = 32GB)

100Mbit Ethernet
Download speed 8MByte/sec; real time transfer

Power consumption:
24 channels – less than 0.4 watts/channel

Built in Line Testing and Instrument Tests

Size: 330x230x60 mm
Weight: 3.4 Kg



- Un cavo con 48 collegamenti per i geofoni;
- 48 geofoni a componente verticale con frequenza di 14 Hz;
- 24 geofoni a componente orizzontale con frequenza di 4.5 Hz;
- Un piattello in alluminio;
- Un generatore ad impatti trasversali e bidirezionali;
- Un martello di 8 Kg dotato di trigger, per le onde P;
- Sorgente sismica di onde longitudinali ad energia propulsiva (PEG-40).

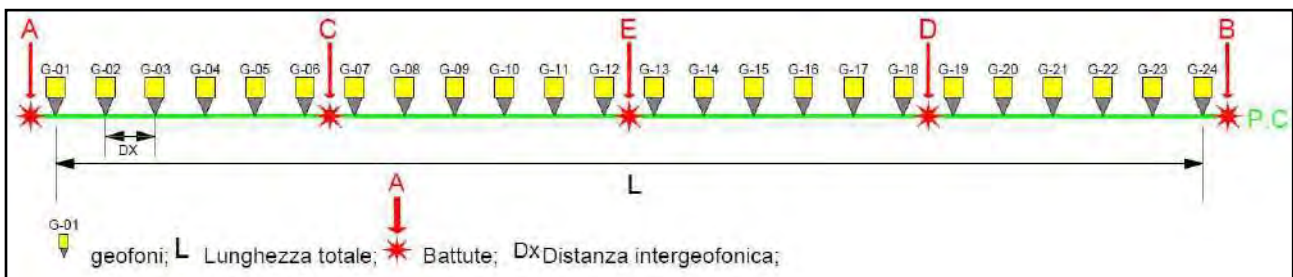
Di seguito è mostrato lo schema geometrico di acquisizione:

Denominazione	Lunghezza (metri)	Distanza geofonica (metri)	n. battute	n. geofoni
Profilo 1	120	2.5	9	48
Profilo 2	216	3.0	14	72

Per il **profilo sismico 2** i dati di campagna sono stati acquisiti in due fasi successive: in prima fase sono stati energizzati i primi 24 geofoni; in seconda fase sono stati energizzati gli ultimi 48 geofoni, posizionati sul terreno in continuità ai primi 24 e sulla stessa linea sismica.

Per le onde Sh, allo stesso modo, sono stati acquisiti i dati in 3 fasi consecutive e a gruppi di 24 geofoni. I risultati sono stati confrontati tra loro e trattati (vedi allegato profilo 2) come un'unica sezione sismostratigrafica.

Successivamente, in fase interpretativa, il picking delle onde sismiche è stato effettuato sui sismogrammi sperimentali (vedi allegato) mediante il software TomTime della Geotom, LCC, dopo un opportuno filtraggio in frequenza delle tracce. I primi arrivi sono riportati nei diagrammi tempo-distanza “dromocrone” (vedi allegato).



Esempio di schema geometrico per un profilo a 5 battute

3.3 Risultati

L'elaborazione dei dati ha permesso di ricostruire il sottosuolo secondo 3 “sismostrati”, così caratterizzati:

1. **Il primo sismostrato** (con una profondità compresa tra 3.0-3.5 m dal p.c.) ha velocità V_p compresa tra 520-540 m/s e V_{sh} compresa tra 180-210 m/s;
2. **Il secondo sismostrato** (con una profondità media di 18.0 m dal p.c.) ha velocità V_p compresa tra 1610-1660 m/s e V_{sh} compresa tra 320-350 m/s;
3. **Il substrato rifrattore** ha velocità V_p compresa tra 2200-2240 m/s e V_{sh} compresa tra 480-500 m/s.

Per ciò che concerne la correlazione delle caratteristiche fisico-dinamiche con quelle geologico-tecniche del sottosuolo esplorato, si può ritenere che:

1. **Il primo sismostrato** è associabile a terreni di copertura sabbioso-limosi;
2. **Il secondo sismostrato** è associabile a depositi alluvionali;
3. **Il substrato rifrattore** è associabile a marne argillose.

Nella tabella che segue sono mostrati tutti i valori delle velocità sismiche, il coefficiente di Poisson ed i valori dei moduli dinamici E (di Young), G (di taglio) e K (di compressibilità), espressi in Kg/cm^2 . Questi valori sono calcolati considerando un peso di volume unitario pertanto, per correggere tali valori, è sufficiente moltiplicarli per il peso di volume reale dei litotipi presenti.

Profilo 1

Profondità media (m)	V_p	V_{sH}	σ	γ	E	G	K
1° sismostrato 0÷3.0	540	210	0.41	1.00	1270	450	2376
2° sismostrato 3.0÷18.0	1660	320	0.48	1.00	3094	1045	26725
substrato >18.0	2200	500	0.47	1.00	7514	2551	45986

Profilo 2

Profondità media (m)	V_p	V_{sH}	σ	γ	E	G	K
1° sismostrato 0÷3.5	520	180	0.43	1.00	947	331	2318
2° sismostrato 3.5÷18.0	1610	350	0.48	1.00	3688	1250	24783
substrato >18.0	2240	480	0.48	1.00	6940	2351	48065

V_p = velocità onde longitudinali in m/s

V_s = velocità onde trasversali in m/s

ν = coefficiente di Poisson

γ = peso di volume in g/cm³

E = modulo dinamico di Young in Kg/cm²

G = modulo dinamico di taglio in Kg/cm²

K = modulo dinamico di compressibilità in Kg/cm²

Le velocità V_s sono state ricavate dall'indagine sismica a rifrazione in onde Sh mentre i parametri dinamici sono stati calcolati con le seguenti formule:

$$\nu = \frac{0.5(V_p/V_s)^2 - 1}{(V_p/V_s)^2 - 1} \quad K = \gamma[V_p^2 - 4/3V_s^2] \quad G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)}$$

$$E = V_s^2 \cdot \gamma[(3V_p^2 - 4V_s^2)/(V_p^2 - V_s^2)]$$

4 PROSPEZIONE SISMICA A RIFLESSIONE

4.1 Cenni sulla metodologia di sismica a riflessione

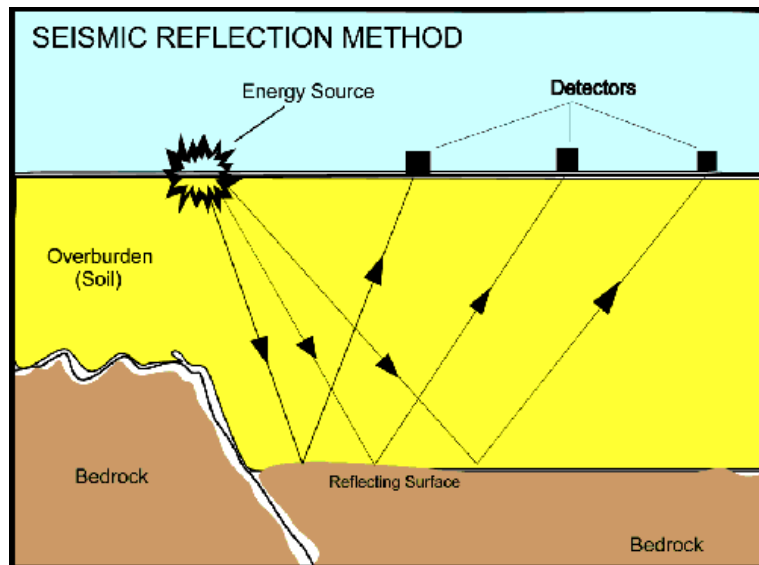
La sismica a riflessione è una metodologia largamente utilizzata nell’esplorazione del sottosuolo per riconoscere l’assetto stratigrafico e strutturale dei corpi geologici: geometrie deposizionali, stratificazione, superfici di discordanza, faglie, sovrascorrimenti, etc.. Essa permette di effettuare una ricostruzione, talora molto fedele, delle porzioni sepolte della superficie terrestre e può essere applicata in qualsiasi ambiente: terrestre, marino e di transizione (fluviale, lacustre, deltizio, ecc.).

La sismica a riflessione si è sviluppata a grandi passi a partire dagli anni ’50 con il sostegno delle grandi compagnie petrolifere, direttamente interessate all’individuazione dei giacimenti di idrocarburi e spesso uniche detentrici della costosa strumentazione necessaria. Negli ultimi decenni la dilagante diffusione della tecnologia digitale ed il conseguente abbattimento dei costi strumentali hanno consentito sempre maggiori e più valide applicazioni in svariati campi (dall’ingegneria civile, agli studi ambientali, alla ricerca di base).

La sismica a riflessione è un metodo di prospezione di tipo attivo che consiste nel generare onde sismiche nel sottosuolo e misurare i tempi di arrivo delle onde riflesse dagli strati posti a diverse profondità. Questo tempo viene definito come Two-way Travel Time (TWTT) poiché si considerano insieme tempo di andata e tempo di ritorno.

Viene inoltre effettuata una accurata analisi dei treni d’onda ricevuti, attraverso la quale è possibile riconoscere i segnali provenienti dalle superfici di separazione di terreni caratterizzati da differenti velocità sismiche. I dati vengono quindi elaborati per risalire alla profondità delle diverse superfici incontrate e stabilire con esattezza la geometria, l’estensione e le reciproche relazioni tra i corpi che esse suddividono. Si ottengono quindi profili sismici ed immagini che descrivono le geometrie e gli spessori del sottosuolo, strutture, variabilità litologiche e composizionali.

La strumentazione è costituita da una sorgente, che può essere una massa battente o una carica esplosiva; uno stendimento di ricevitori (geofoni o idrofon) ed un sismografo multicanale per l’acquisizione e registrazione dei dati.

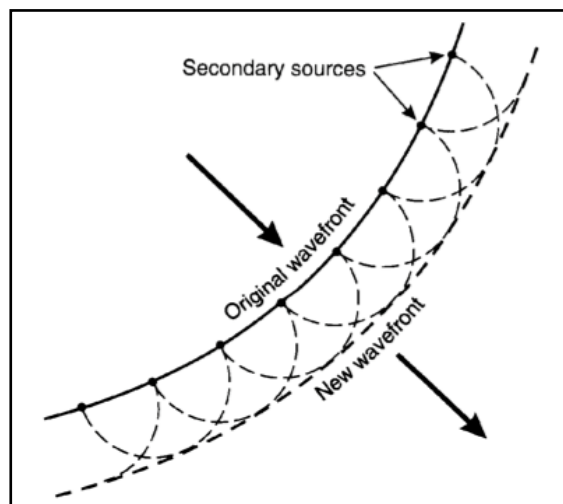


Schema rappresentativo di una prospezione sismica a riflessione

4.2 Principi Generali

Uno dei principi basilari nello studio delle onde sismiche e dei fenomeni di riflessione in terreni stratificati è quello di Huyghens.

Principio di Huyghens: data una superficie generica investita da un fronte d'onda, tutti i punti diventano sorgenti di onde sferiche elementari. Per cui il nuovo fronte d'onda è dato dalla superficie di involuppo alle onde elementari.



Involuppo fronti d'onda secondo il principio di Huyghens (da Reynolds, 1997).

Per questo, al fine di semplificare la trattazione analitica, piuttosto che riferirsi ai fronti d'onda si fa riferimento ai relativi raggi sismici lungo cui si propaga l'energia, intesi come le normali ai fronti d'onda. In questo modo è possibile operare in termini di tempo e spazio, tralasciando trattazioni più complesse che coinvolgerebbero ampiezze, frequenze e fasi.

All’interfaccia tra due strati la velocità di propagazione delle onde sismiche varia nel momento in cui incontra diverse proprietà fisiche. L’energia viene in parte trasmessa, rifratta e riflessa. L’ampiezza dell’onda riflessa dipenderà non solo dall’angolo dell’onda incidente sulla superficie di separazione, ma anche dalle velocità e densità degli strati stessi. Si definisce quindi **l’impedenza acustica** come: $Z = \rho V$, cioè il prodotto tra la densità (ρ) e la velocità (V).

Tale grandezza quantifica la diversità tra i due mezzi a contatto e quanto maggiore è la differenza tra le caratteristiche fisiche dei due mezzi tanto maggiore è la differenza tra le relative impedenze acustiche.

Il grado di riflessione per un raggio che incide normalmente o con basso angolo sulla superficie di separazione, è descritto dal coefficiente di riflessione (R) che rappresenta il rapporto di ampiezza tra raggio incidente e raggio riflesso. In termini di impedenza acustica corrisponde al rapporto tra la differenza e la somma delle impedenze: $R = (Z_2 - Z_1) / (Z_2 + Z_1)$. Il **coefficiente di riflessione** assume quindi valori che sono minori o uguali a ± 1 .

$R < 0.1$ riflessione debole

$0.1 < R < 0.2$ riflessione moderata

$R > 0.2$ riflessione elevata

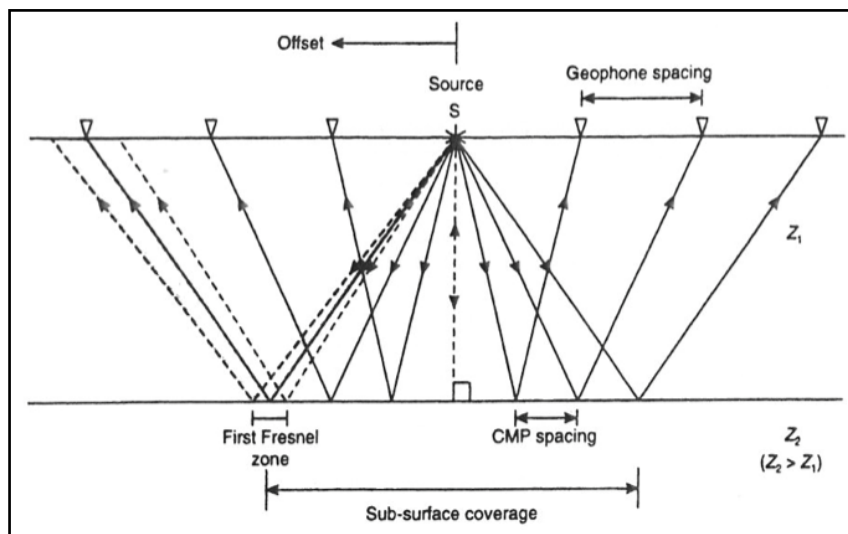
Bisogna inoltre considerare che la somma dell’energia riflessa e di quella trasmessa deve essere pari a 1. Pertanto se il coefficiente di riflessione risulta essere ± 1 o l’energia riflessa è pari ad 1 si deduce che tutta l’energia incidente è riflessa e non viene trasmessa. Viceversa se $R=0$, o l’energia riflessa è pari a 0, tutta l’energia viene trasmessa. Questo implica che all’interfaccia tra gli strati non cambia il valore dell’impedenza acustica, ma non implica che non cambino le velocità e i valori di densità.

In realtà la riflessione non è generata da un punto dell’interfaccia tra strati, come si semplifica nelle trattazioni, ma da un’area finita nota come prima zona di Fresnel, pertanto il coefficiente di riflessione per una data superficie è la risposta media della zona di Fresnel. La dimensione di tale zona è definita dal suo raggio: $r \approx (\lambda h/2)^{1/2}$ dove λ è la lunghezza d’onda e h la distanza tra la sorgente e il riflettore. Si ha quindi che le dimensioni della zona di Fresnel aumentano con la profondità e la lunghezza d’onda e quindi col decremento della frequenza.

Tutte le onde che incidono al di sopra di questa zona vengono riflesse in superficie. Se si effettua uno scoppio in un punto S , le onde riflesse verranno rilevate dai geofoni in linea a destra e sinistra dello scoppio. La distanza tra la sorgente ed un qualsiasi geofono dello stendimento è detta offset.

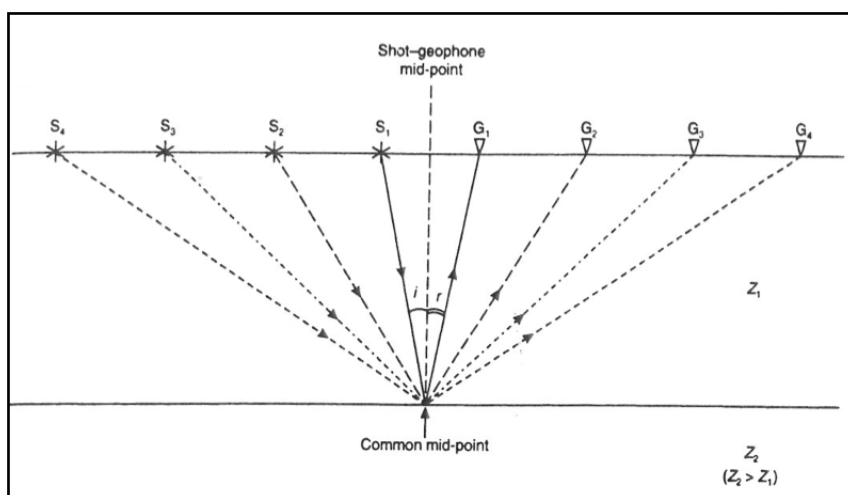
Nel caso di una superficie di separazione orizzontale i raggi riflessi seguiranno le geometrie della seguente figura da cui è facile notare come il raggio incidente venga riflesso dal substrato in un punto situato a metà strada tra la sorgente dello scoppio S ed il geofono che registra il relativo raggio riflesso.

Pertanto i punti di riflessione lungo l'interfaccia disteranno tra loro di uno spazio pari a metà della distanza intergeofonica. Risulta inoltre evidente che l'estensione totale della superficie indagata dipende direttamente dalle dimensioni dello stendimento, ovvero la sua lunghezza corrisponderà sempre a metà della lunghezza di quest'ultimo.



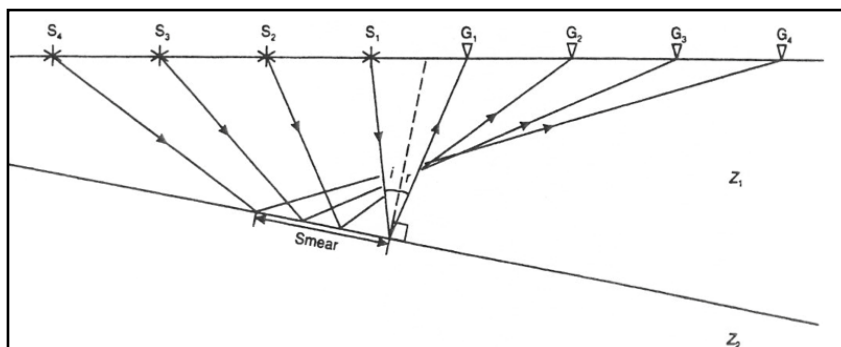
Geometria raggi riflessi da un'interfaccia orizzontale (da Reynolds, 1997).

Nel caso in cui vengano effettuati più scoppi in presenza di un'interfaccia orizzontale, i raggi riflessi da uno stesso punto saranno rilevati da geofoni diversi. Si definisce così il Common Mid-Point (CMP) come punto comune di riflessione.



Common Mid-Point (da Reynolds, 1997).

Nel caso si abbia, invece, un'interfaccia inclinata, i punti di riflessione saranno distribuiti lungo la stessa e aumentando l'offset si sposteranno verso posta a minore profondità.



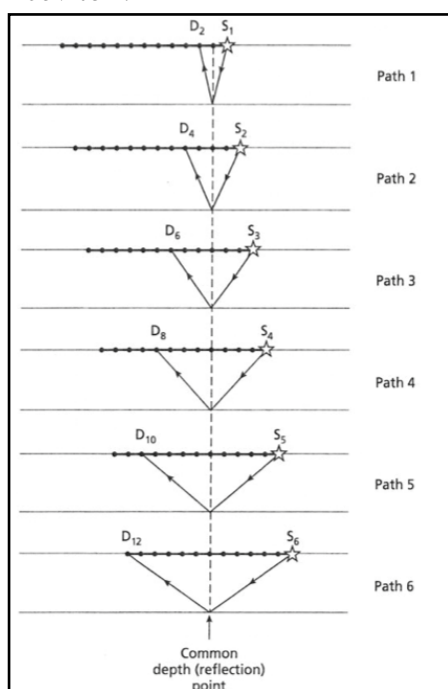
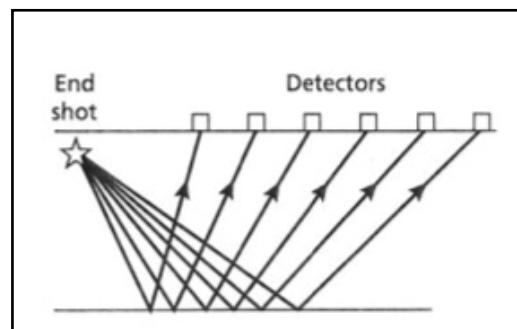
Geometria raggi riflessi da un'interfaccia inclinata (da Reynolds, 1997).

Con il termine “fold of coverage” si indica il numero di volte che viene registrato un impulso proveniente dallo stesso punto.

4.3 Configurazione adottata

Nei profili a riflessione (prospezioni in due dimensioni), i dati vengono campionati lungo una linea che comprende i punti di scoppio e i geofoni. A seconda dell'estensione dell'area da indagare e del range di profondità che si deve indagare, si dispongono i punti di scoppio e i ricevitori in base a diverse configurazioni.

Nella presente indagine i punti di scoppio sono stati collocati secondo la **configurazione single-ended spread** che prevede che il punto di scoppio sia collocato da un solo estremo dello stendimento dei ricevitori.



È stata adottata la tecnica **Common Mid Point (CMP)** che permette per diversi valori di offset, di acquisire tracce che registrano gli impulsi dei raggi riflessi da un punto comune del riflettore posto ad una certa profondità.

Nel nostro caso la “copertura” del riflettore è stata 600%, disponendo un punto sorgente ogni due stazioni geofoniche.

Single - ended spread (da Kearey, 1991).

4.4 Attrezzature utilizzate

Per l’acquisizione dei dati sono state utilizzate le seguenti attrezzature:

- Due sismografi DAQ LINK – III a 24 bit della “Seismic Source Co” con intervallo minimo di campionamento di 0.0208 ms e altissima risoluzione (118 db).



- Due cavi con 24 collegamenti per i geofoni;
- Quarantotto geofoni a componente verticale a frequenza di 14 Hz con shunt (filtri passivi);
- Sorgente sismica onde longitudinali ad energia propulsiva (PEG-40);
- Massa battente da 8 Kg;
- Piattello in alluminio.

4.5 Data Processing

Per ottenere delle sezioni sismiche che siano una rappresentazione reale della situazione geologica delle aree di studio, è stato effettuato un processing dei dati consistito in una serie di operazioni volte ad eliminare i disturbi che complicano la lettura e l’interpretazione dei sismogrammi. Per le elaborazioni di calcolo è stato necessario disporre delle informazioni derivanti dalla sismica a rifrazione.

4.5.1 Correzione statica dei Tempi sulle Tracce

La correzione statica dei tempi di riflessione si applica lì dove si riscontrano delle differenze dei travel times introdotte da irregolarità topografiche. Queste irregolarità sono principalmente dovute a differenze di quota tra i punti di scoppio e i geofoni o alla presenza di uno strato alterato a bassa velocità sismica che determina un ritardo nelle onde che lo attraversano.

Per effettuare il calcolo della correzione è necessario conoscere la velocità e lo spessore dello strato alterato e di quello sottostante, per questo si effettuano misure sismiche a rifrazione.

4.5.2 Analisi Spettrale

Il segnale sismico si può considerare come una funzione variabile nel tempo, per tanto può essere scomposto in un numero caratteristico di funzioni sinusoidali di cui è possibile stabilire il contributo in ampiezza e in frequenza.

Nell’analisi dei dati è molto utile effettuare tale scomposizione per studiare il segnale non solo nel dominio del tempo, ma anche in quello delle frequenze. Per passare in questo dominio si utilizza la trasformata di Fourier che consente quindi di rappresentare tutte le frequenze del segnale sismico con relative ampiezze.

Studiando lo spettro di ampiezza del segnale si stabiliscono i limiti di frequenza entro i quali i geofoni amplificano allo stesso modo tutte le frequenze proprie del segnale in esame.

Questo permette di ottimizzare la successiva scelta del filtro che deve eliminare le altre frequenze che costituiscono disturbo.

4.5.3 Filtraggio di Frequenza

Il filtraggio di frequenza permette di mettere maggiormente in risalto le frequenze proprie del segnale che si sta studiando eliminando quelle che creano disturbo.

Esistono diversi tipi di filtro:

- ✓ filtro passa alta: taglia le basse frequenze e lascia passare quelle al di sopra di un limite scelto;
- ✓ filtro passa bassa: taglia le alte frequenze e fa passare quelle al di sotto di un certo limite;
- ✓ filtro passa banda: è l’unione dei primi due, lascia passare una banda di frequenze comprese tra due limiti scelti;
- ✓ filtro arresta banda: blocca una particolare banda di frequenza (50Hz).

A questi filtri si aggiungono anche i filtri anti-alias che eliminano il disturbo indotto da un cattivo campionamento delle frequenze noto come aliasing temporale.

4.5.4 Muting

È un’operazione che consente di eliminare dal sismogramma i primi arrivi, cioè quelli relativi alle onde dirette e rifratte. Di conseguenza tutte le successive elaborazioni non saranno influenzate dalla presenza di questi segnali. Questo limita le eventuali interferenze con il segnale delle onde riflesse e ne migliora la visibilità.

4.5.5 Analisi di Velocità

Per rimuovere la differenza di travel time sugli offset più lunghi, per angoli di incidenza perpendicolari, ovvero l'effetto del normal moveout (NMO), si effettua una correzione che è funzione dell'offset e della velocità e profondità del riflettore numericamente pari proprio al valore del normal move out.

Nelle indagini in common mid-point il valore del NMO si ricava attraverso l'analisi computerizzata di gruppi di tracce relative allo stesso common mid-point. Si elabora uno spettro di velocità stabilendo un valore di semblance che correla le velocità di più tracce in modo da garantirne la coerenza dei valori di velocità computati rispetto ai valori reali. Dal grafico si individuano i picchi di velocità relativi alle riflessioni e si importa il valore del normal moveout da implementare nella correzione.

4.5.6 Filtraggio di Velocità

Il filtraggio di velocità si usa per rimuovere i disturbi in base all'angolo d'inclinazione che li caratterizza. Quest'angolo è determinato dalla velocità apparente con cui i segnali si propagano lungo lo stendimento dei ricevitori. L'impulso sismico infatti che viaggia lungo la direzione dello stendimento con una velocità v e con un angolo α , si propagherà con una velocità apparente $v_a = v / \sin \alpha$. Scomponendo tale impulso nelle sue componenti sinusoidali è possibile considerare tutte le frequenze in funzione del rispettivo numero d'onda apparente (k_a): $f = v_a k_a$. Mettendo in grafico questi valori si ottiene una retta la cui inclinazione corrisponde al valore v_a , pertanto per ogni impulso si ha una curva $f - k$ inclinata del valore della velocità apparente con cui è stato registrato l'evento. È così possibile filtrare i dati in base alla velocità apparente. Tramite la trasformata di Fourier si commutano i dati sismici dal dominio del tempo in quello delle frequenze in modo da scegliere il filtro $f - k$ più opportuno per rimuovere gli eventi di disturbo con velocità apparente che complica il segnale ed una volta effettuato il filtraggio si ritorna nel dominio $t - x$. Questo filtro è utile soprattutto per rimuovere il noise dovuto ground roll (effetto delle onde che viaggiano con grande ampiezza e bassa frequenza e mascherano i segnali riflessi e rifratti).

4.5.7 Deconvoluzione

Il segnale sismico man mano che si propaga nel sottosuolo subisce una perdita progressiva delle alte frequenze, poiché il terreno agisce come un filtro passa banda che lascia passare più agevolmente le basse frequenze. Questo fenomeno comporta una riduzione del potere risolutivo del segnale dato dall’allungamento del periodo centrale e quindi dal conseguente aumento della lunghezza d’onda.

Con la deconvoluzione si elabora un filtraggio inverso che cerca di attribuire al segnale le alte frequenze per accorciare il periodo e ottenere un guadagno in termini di risoluzione. In questo modo vengono rimossi anche gli effetti delle multiple (segnali che vengono riflessi da più interfacce generalmente caratterizzati da frequenze più basse rispetto alle riflessioni primarie).

4.6 tecniche operative

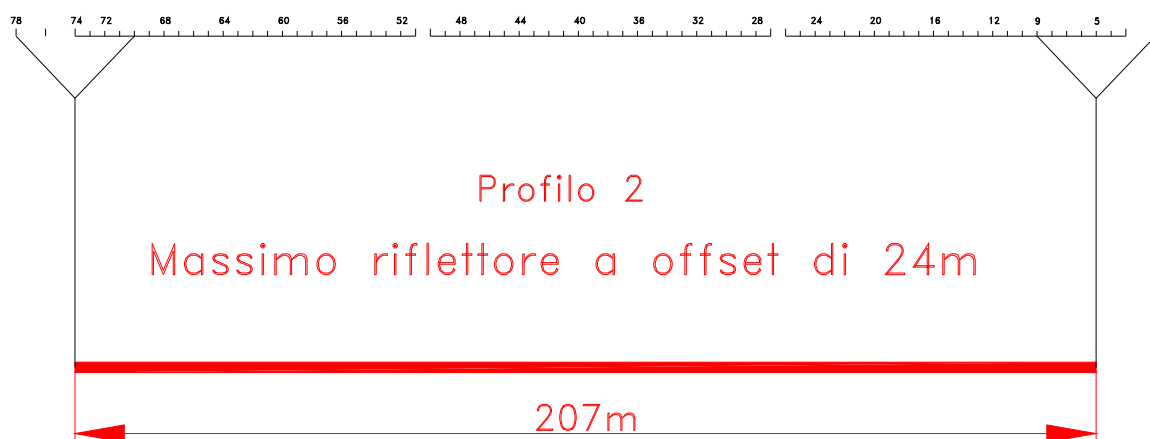
Sono stati eseguiti 2 profili sismici a riflessione utilizzando geofoni a 14 Hz shuntati con filtro passivo, in grado di spostare la banda di risposta dei geofoni verso frequenze più alte. Le tracce sono state registrate con i seguenti parametri:

frequenza di campionamento	Lunghezza registrazioni	sorgente
0.0625 millisecondi	1 secondo	Peg-40

Di seguito sono tabellate le caratteristiche dei profili acquisiti:

Denominazione	Lunghezza	Distanza geofonica	Numero scoppi	N. Stazioni
Profilo 1	142.5 m	2.5 m	27	52
Profilo 2	231 m	3.0 m	37	78





Schemi geometrici di acquisizione

4.7 Analisi dei dati

I dati della sismica a riflessione sono stati trattati col software Seistrix 3 (Interpex L.t.d., 1993). Uno dei grandi vantaggi di questo software è la capacità di gestire le geometrie complesse, dovendo trattare dati acquisiti secondo la tecnica del Common Mid Point Multi-Offset.

Sono stati acquisiti sismogrammi a 48 tracce, in allegato viene riportato un solo sismogramma acquisito, per ogni linea effettuata.

Per prima cosa sono stati caricati nel programma tutti i file a 24 tracce con punto sorgente a distanza uguale e impostate le geometrie di ogni profilo.

Si è poi proceduto all'analisi delle linee sismiche per ogni singolo offset, in seguito è stato esaminato solo i profili ad offset più indicativo (offset a 24 metri).

Sono state impostate le geometrie è stato effettuato il “sort” dei dati. Questa operazione serve a riorganizzare i dati secondo le geometrie di common mid-point e nel rispetto delle distanze di offset. Infatti al momento dell'acquisizione i dati sono memorizzati in base alle posizioni degli scoppi e dei ricevitori, con il sorting vengono riorganizzati in modo da raggruppare per ogni coppia scoppio-ricevitore le tracce relative ai segnali provenienti dallo stesso mid-point.

Successivamente le operazioni di processing sui dati sono le seguenti:

- ✓ Correzione Statica dei Tempi sulle Tracce
- ✓ Filtro Passa Banda
- ✓ Mute
- ✓ Normal Move Out

- ✓ Filtraggio f - k
- ✓ Trace Mix

Esse sono state ampiamente descritte nella relazione generale.

4.8 Risultati

Dall’analisi delle “sezioni tempo”, riportate in allegato “**Analisi profilo 1 sismica a riflessione**”, si evince la presenza **di tre riflettori**, piuttosto energetici: il primo riflettore è posto tra circa **30 e 40 millisecondi**; il secondo riflettore è posizionato tra circa **90 e 120 millisecondi**; infine, il terzo riflettore si posiziona tra circa **160 e 180 millisecondi**.

Per ciò che concerne le profondità associabili alle sezioni tempo, queste sono state ottenute utilizzando, per i terreni superficiali, velocità e spessori ricavati dall’elaborazione tomografica del sottosuolo effettuata con la sismica a rifrazione e, per i sedimenti più profondi, effettuando un’analisi di velocità dei sismogrammi relativi alla sismica a riflessione.

In virtù delle considerazioni fatte, e, quindi, passando da sezioni tempo a sezione profondità, (vedi figura “Analisi profilo 1 sismica a riflessione”) la prima riflessione individuata risulta posizionabile tra circa **11 e 20 metri di profondità**; la seconda riflessione si posiziona a circa **80 metri di profondità**; infine, la terza riflessione risulta posizionabile a circa **130 metri di profondità**. Inoltre, sono state individuate 3 discontinuità subverticali, tra la seconda e la terza riflessione, all’incirca in corrispondenza delle stazioni 13, 37 e 46.

Dall’analisi delle “sezioni tempo”, riportate in allegato “**Analisi profilo 2 sismica a riflessione**”, si evince la presenza **di tre riflettori**, piuttosto energetici: il primo riflettore è posto tra circa **30-40 millisecondi**; il secondo riflettore è posizionato tra circa **100 e 130 millisecondi**; **infine**, il terzo riflettore si posiziona tra circa **180 e 190 millisecondi**.

Per ciò che concerne le profondità associabili alle sezioni tempo valgono le osservazioni fatte sopra e, dunque, passando da sezioni tempo a sezione profondità (vedi figura “Analisi profilo 2 sismica a riflessione”) la prima riflessione individuata risulta posizionabile a circa **18 metri di profondità**; la seconda riflessione si posiziona tra circa **80 e 90 metri di profondità**; infine, la terza riflessione risulta posizionabile a circa **126 metri di profondità**. Inoltre, sono state individuate 2 discontinuità subverticali, tra la seconda e la terza riflessione, all’incirca in corrispondenza delle stazioni 50 e 55.

5 CONCLUSIONI

Riassumendo quanto esposto **l’indagine di sismica a rifrazione** ha messo in evidenza, per i profili 1 e 2, la presenza di due principali rifrattori che suddividono il sottosuolo in tre sismostrati, le cui velocità ed associazioni sono così descrivibili:

- **Il primo sismostrato** (con una profondità compresa tra 3.0-3.5 m dal p.c.) ha velocità V_p compresa tra 520-540 m/s e V_{sh} compresa tra 180-210 m/s; esso è associabile a *terreni di copertura sabbioso-limosi*.
- **Il secondo sismostrato** (con una profondità media di 18.0 m dal p.c.) ha velocità V_p compresa tra 1610-1660 m/s e V_{sh} compresa tra 320-350 m/s; esso è associabile a *depositi alluvionali*;
- **Il substrato rifratore** ha velocità V_p compresa tra 2200-2240 m/s e V_{sh} compresa tra 480-500 m/s; esso è correlabile a *marne argillose*.

L’indagine sismica a rifrazione, oltre a descrivere dal punto di vista sismo-stratigrafico il sottosuolo, ha avuto lo scopo di guidare la successiva interpretazione dei dati di sismica a riflessione. Infatti le velocità medie riscontrate sono state utilizzate, nell’indagine di sismica a riflessione, per la conversione dei tempi in profondità e, quindi, il giusto posizionamento dei riflettori più superficiali. Per ciò che riguarda i sedimenti più profondi, l’attribuzione delle profondità è stata effettuata sulla base dell’analisi di velocità relativa ai sismogrammi di sismica a riflessione.

L’indagine sismica a riflessione ha individuato 3 principali riflettori:

Nel **profilo 1** la prima riflessione individuata risulta posizionabile tra circa **11 e 20 metri di profondità**; la seconda riflessione si posiziona a circa **80 metri di profondità**; la terza riflessione risulta posizionabile a circa **130 metri di profondità**.

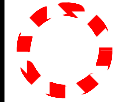
Nel **profilo 2** la prima riflessione individuata risulta posizionabile a circa **18 metri di profondità**; la seconda riflessione si posiziona tra circa **80 e 90 metri di profondità**; la terza riflessione risulta posizionabile a circa **126 metri di profondità**.

Inoltre, in entrambi i profili, sono state individuate alcune discontinuità subverticali, posizionate tra la seconda e la terza riflessione.

Ubicazione area d'indagine (da CTR)

AREA D'INDAGINE

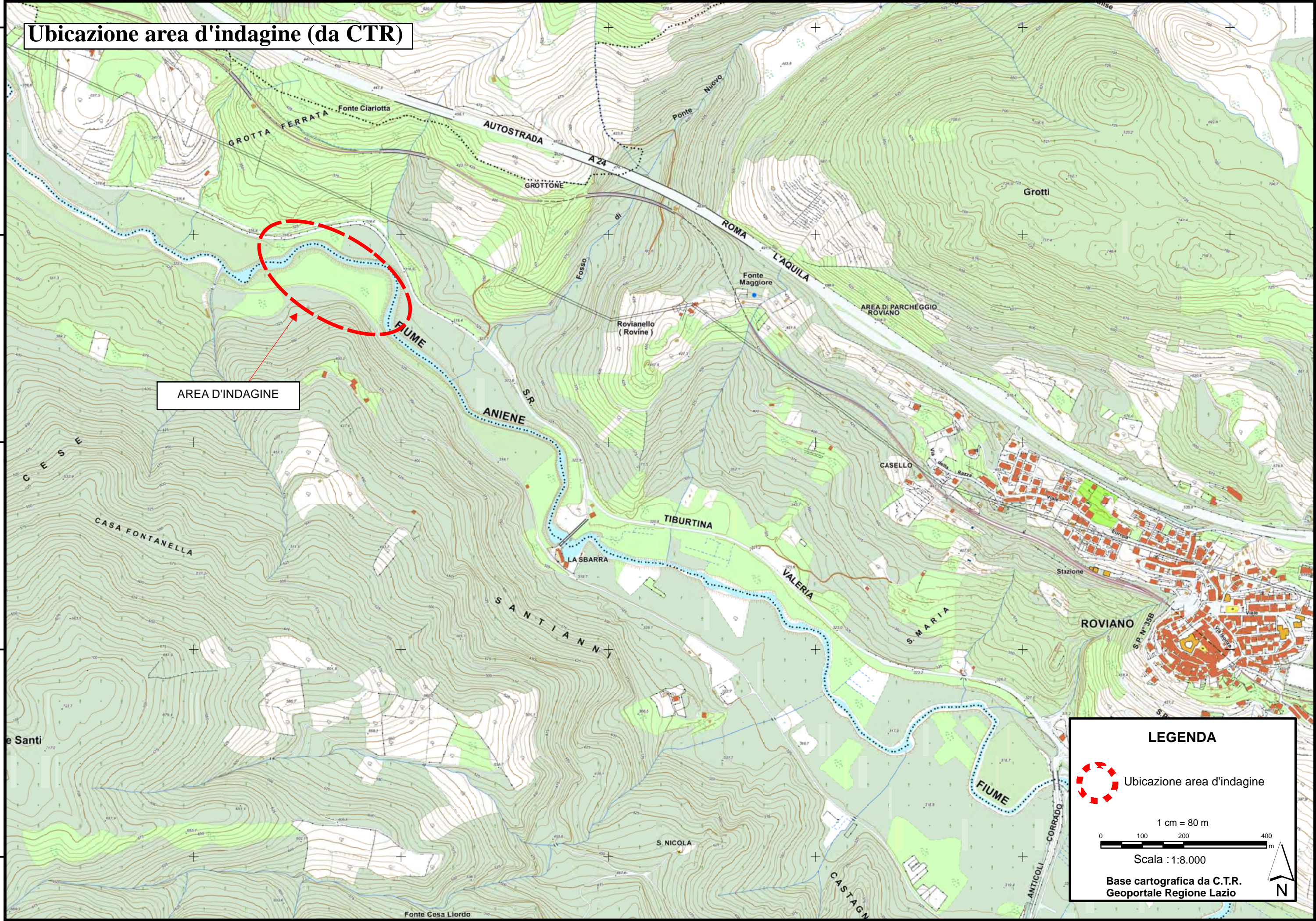
LEGENDA

 Ubicazione area d'indagine

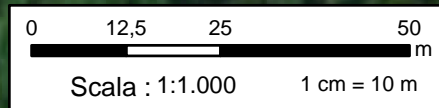
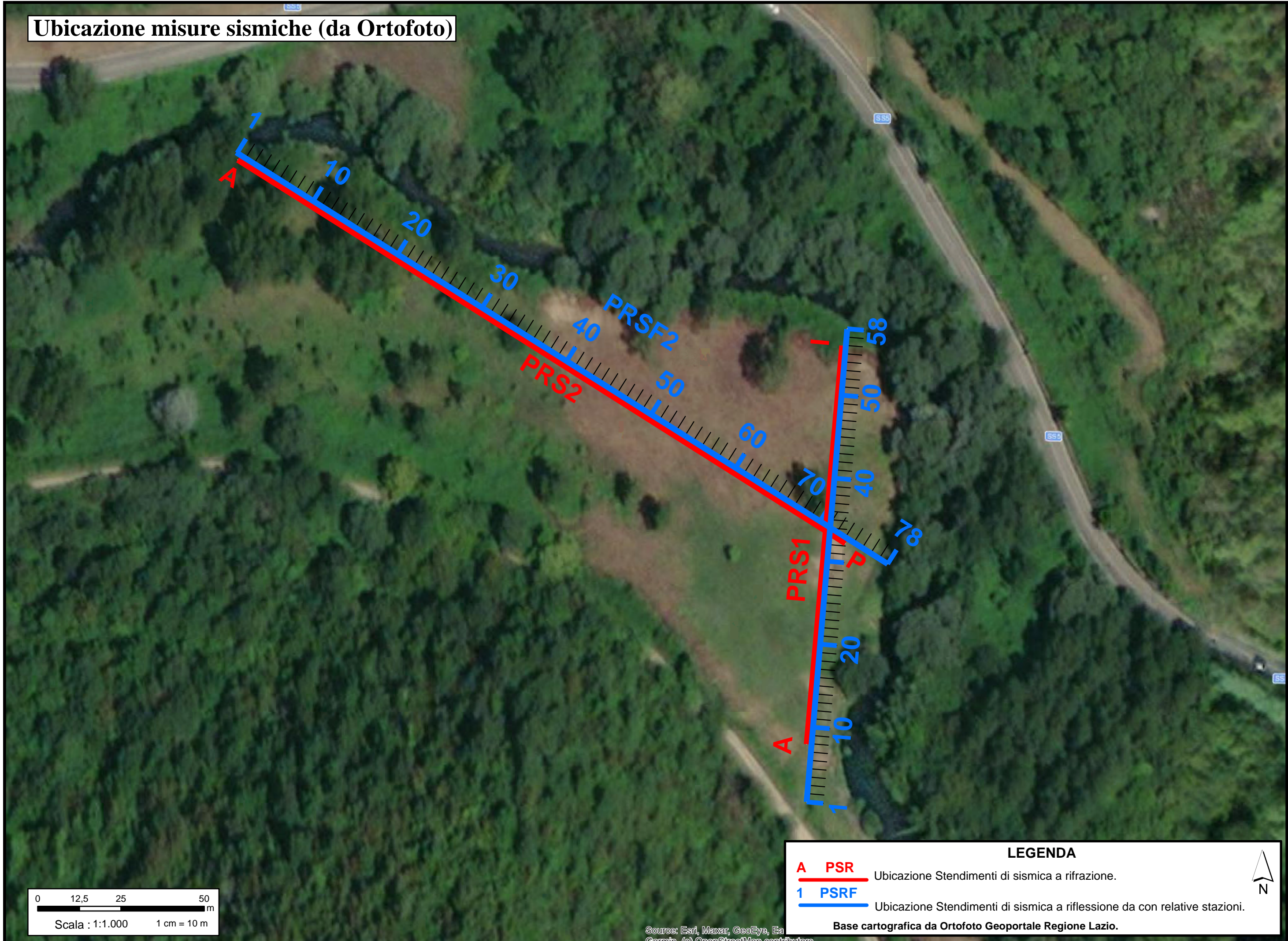
1 cm = 80 m
0 100 200 400 m

Scala : 1:8.000

Base cartografica da C.T.R.
Geoportale Regione Lazio



Ubicazione misure sismiche (da Ortofoto)



LEGENDA

A PSR Ubicazione Stendimenti di sismica a rifrazione.

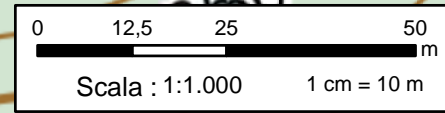
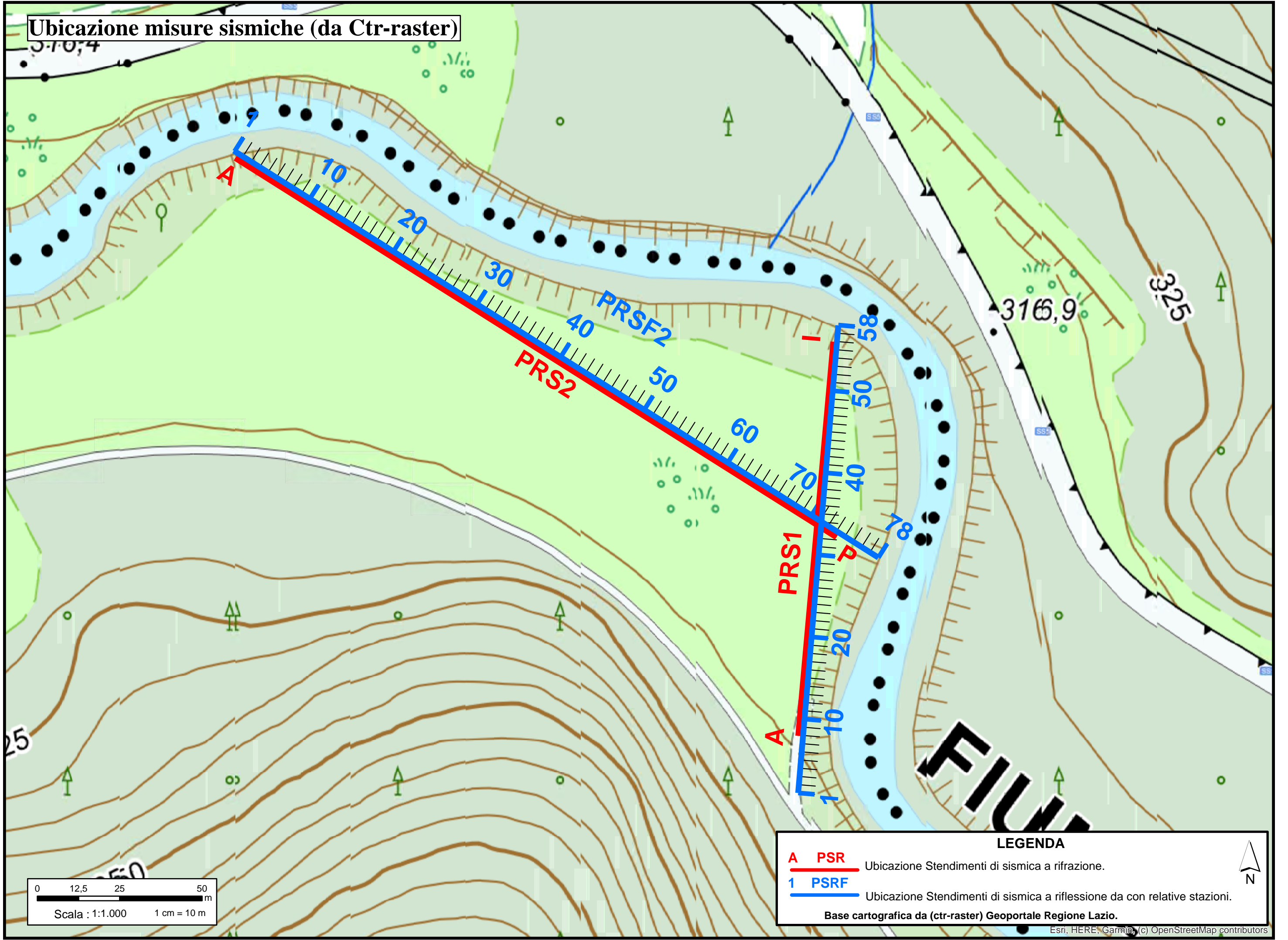
1 PSRF Ubicazione Stendimenti di sismica a riflessione da con relative stazioni.

Base cartografica da Ortofoto Geoportale Regione Lazio.



Source: Esri, Maxar, GeoEye, Earthstar, IGN, Swire, (c) OpenStreetMap contributors

Ubicazione misure sismiche (da Ctr-raster)



LEGENDA

A PSR Ubicazione Stendimenti di sismica a rifrazione.

1 PSRF Ubicazione Stendimenti di sismica a riflessione da con relative stazioni.

Base cartografica da (ctr-raster) Geoportale Regione Lazio.



ALLEGATO "PROSPEZIONE SISMICA PROFILO 1"

Prospezione a rifrazione

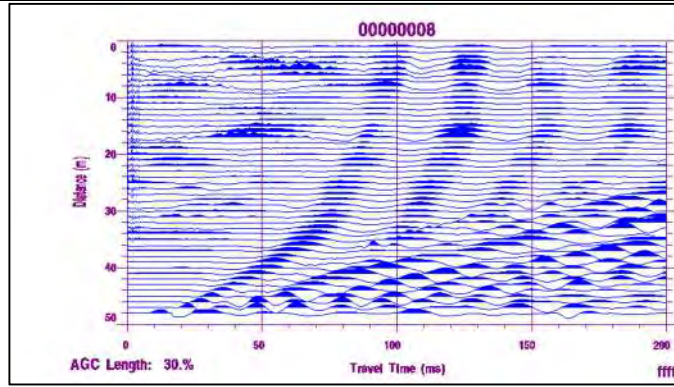
- *Sismogrammi sismica a rifrazione onde P*
- *Sismogrammi sismica a rifrazione onde SH*
- *Dromocrone onde P*
- *Dromocrone onde SH*
- *Sezione tomografica e sismostratigrafica*

Prospezione a riflessione

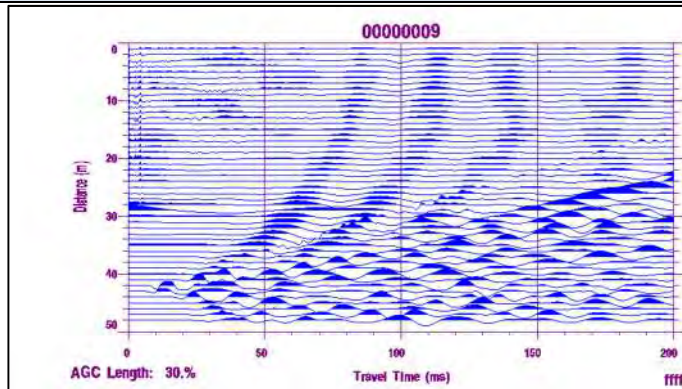
- *Esempio di sismogramma a 48 tracce*
- *Sismogrammi utilizzati per l'analisi CMP (sezione in common shot)*
- *Analisi profilo sismico a riflessione (dimensioni foglio 800x375mm)*

SISMOGRAMMI SISMICA A RIFRAZIONE ONDE LONGITUDINALI – PROFILO 1

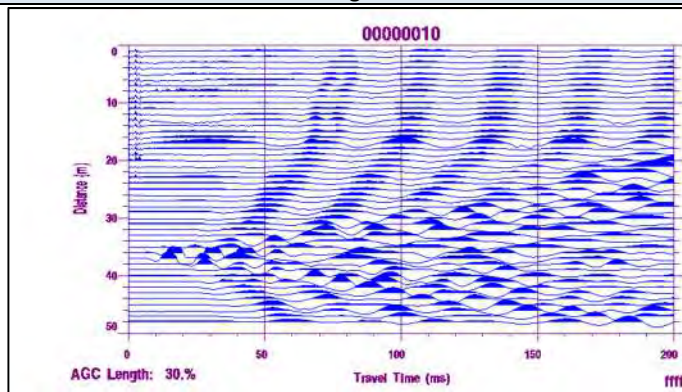
Punto sorgente "A"



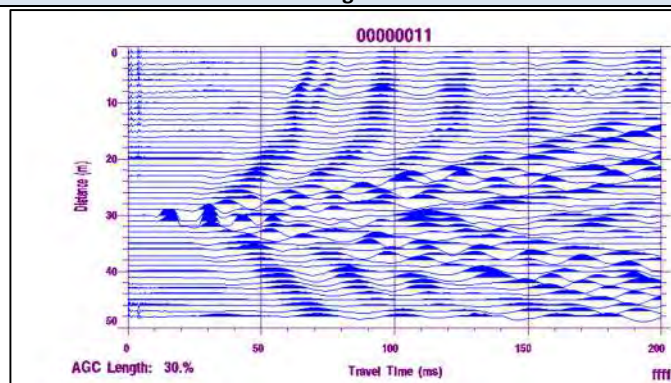
Punto sorgente "B"



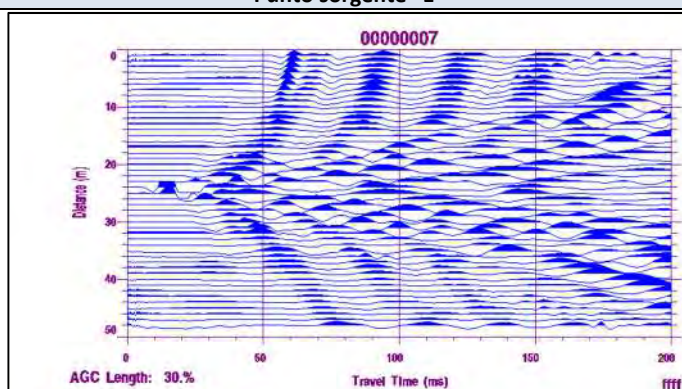
Punto sorgente "C"



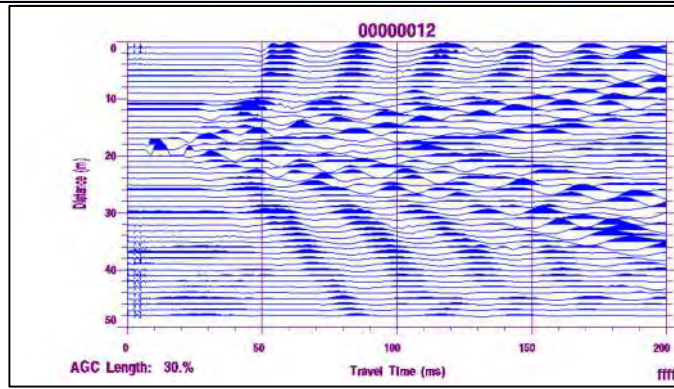
Punto sorgente "D"



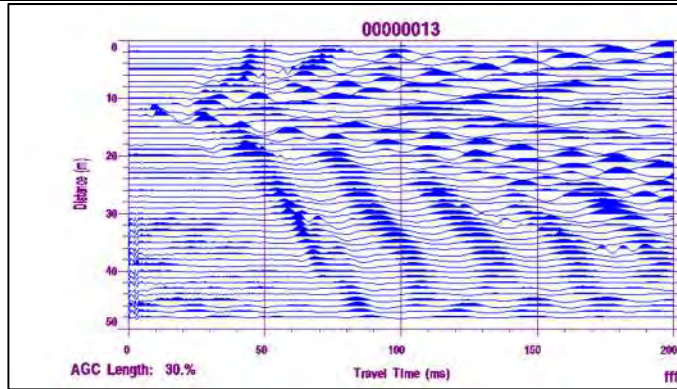
Punto sorgente "E"



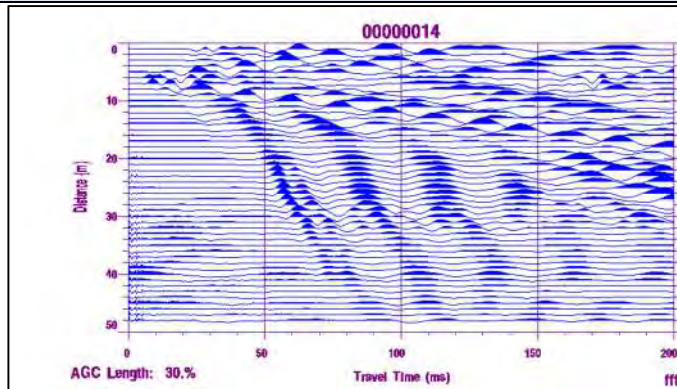
Punto sorgente "F"



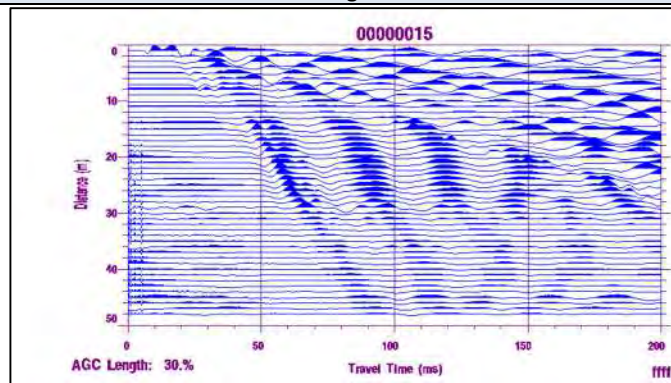
Punto sorgente "G"



Punto sorgente "H"

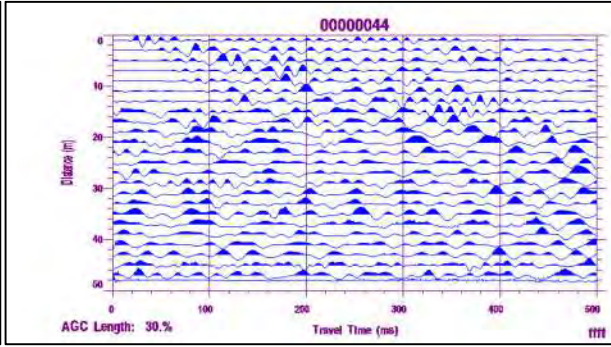
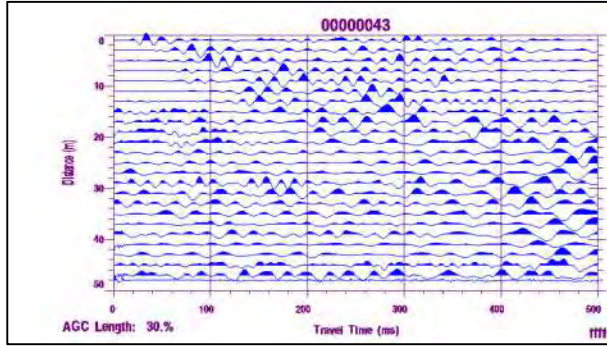


Punto sorgente "I"

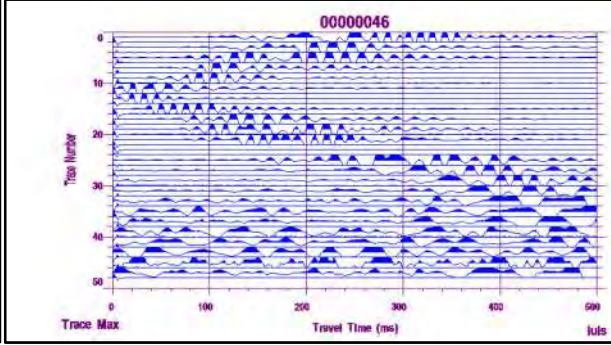
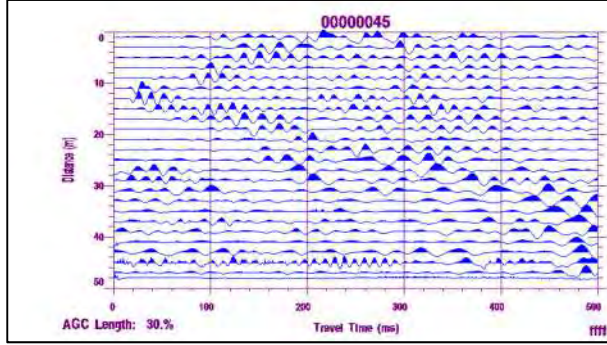


SISMOGRAMMI SISMICA A RIFRAZIONE ONDE TRASVERSALI – PROFILO 1

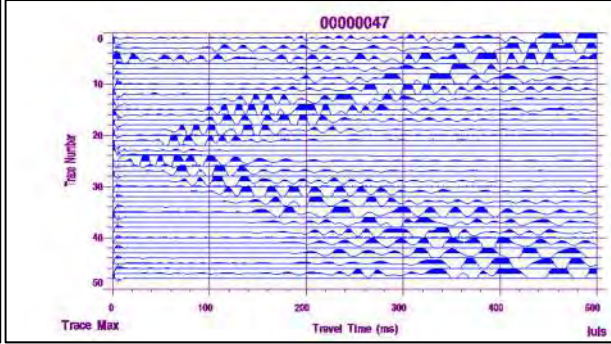
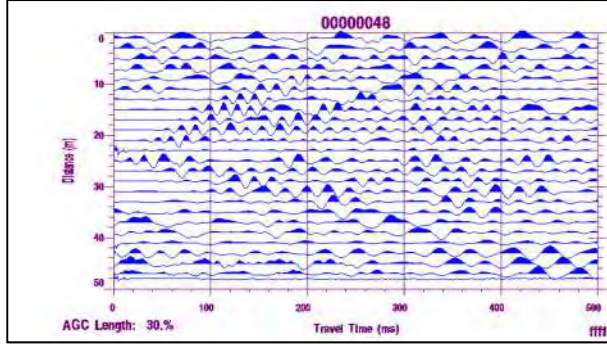
Punto sorgente "A"



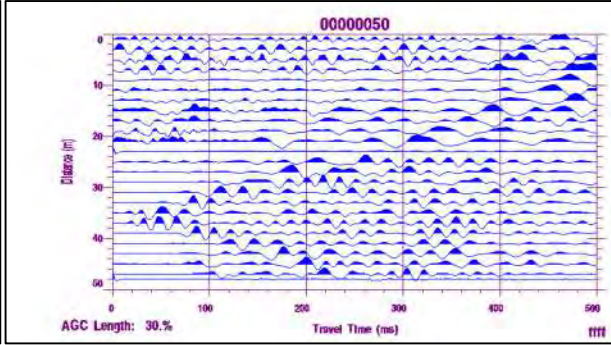
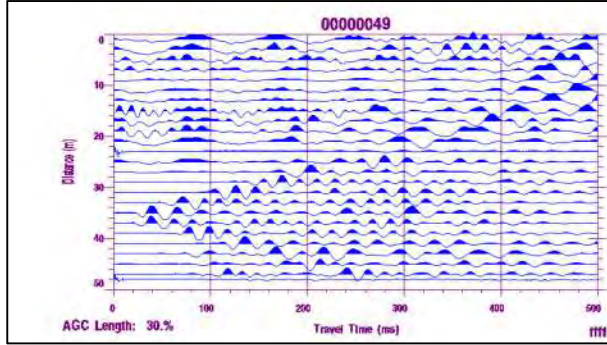
Punto sorgente "C"



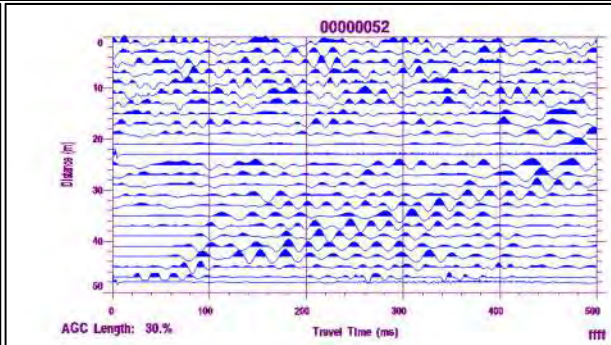
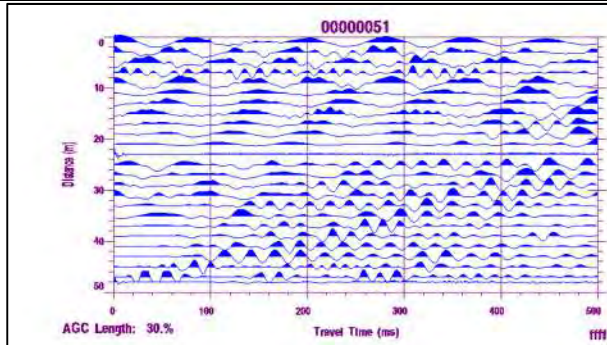
Punto sorgente "E"



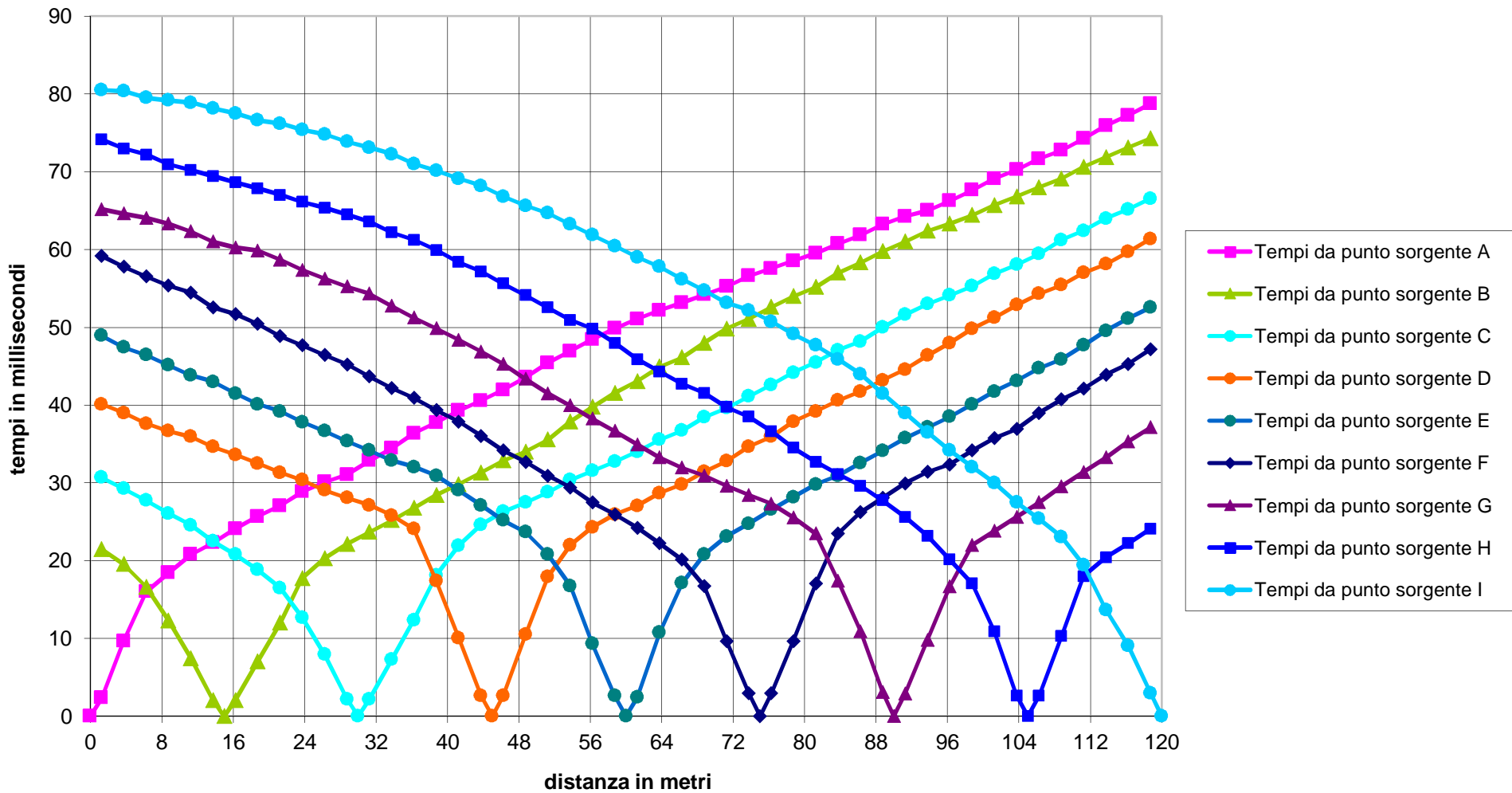
Punto sorgente "G"



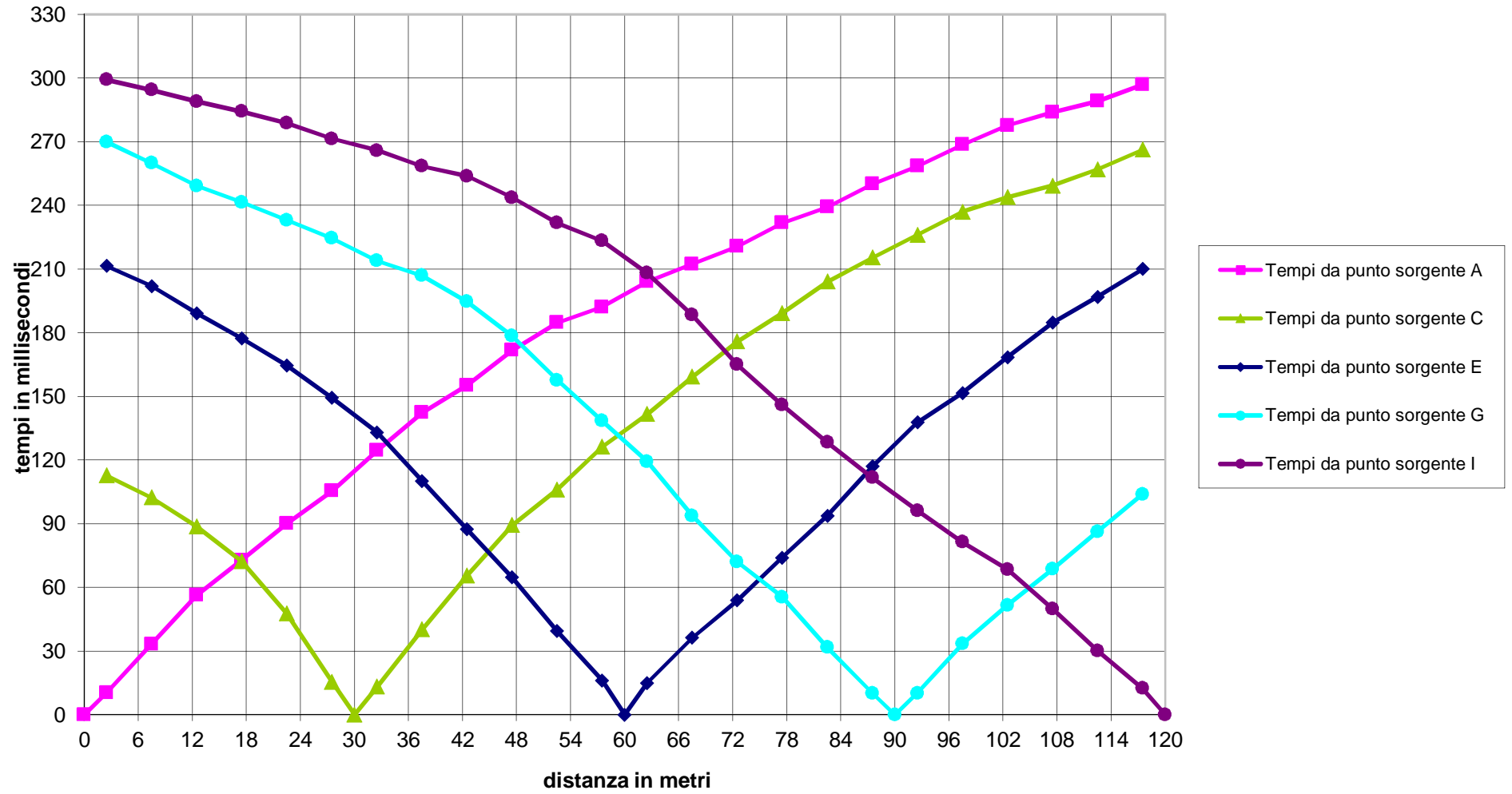
Punto sorgente "I"

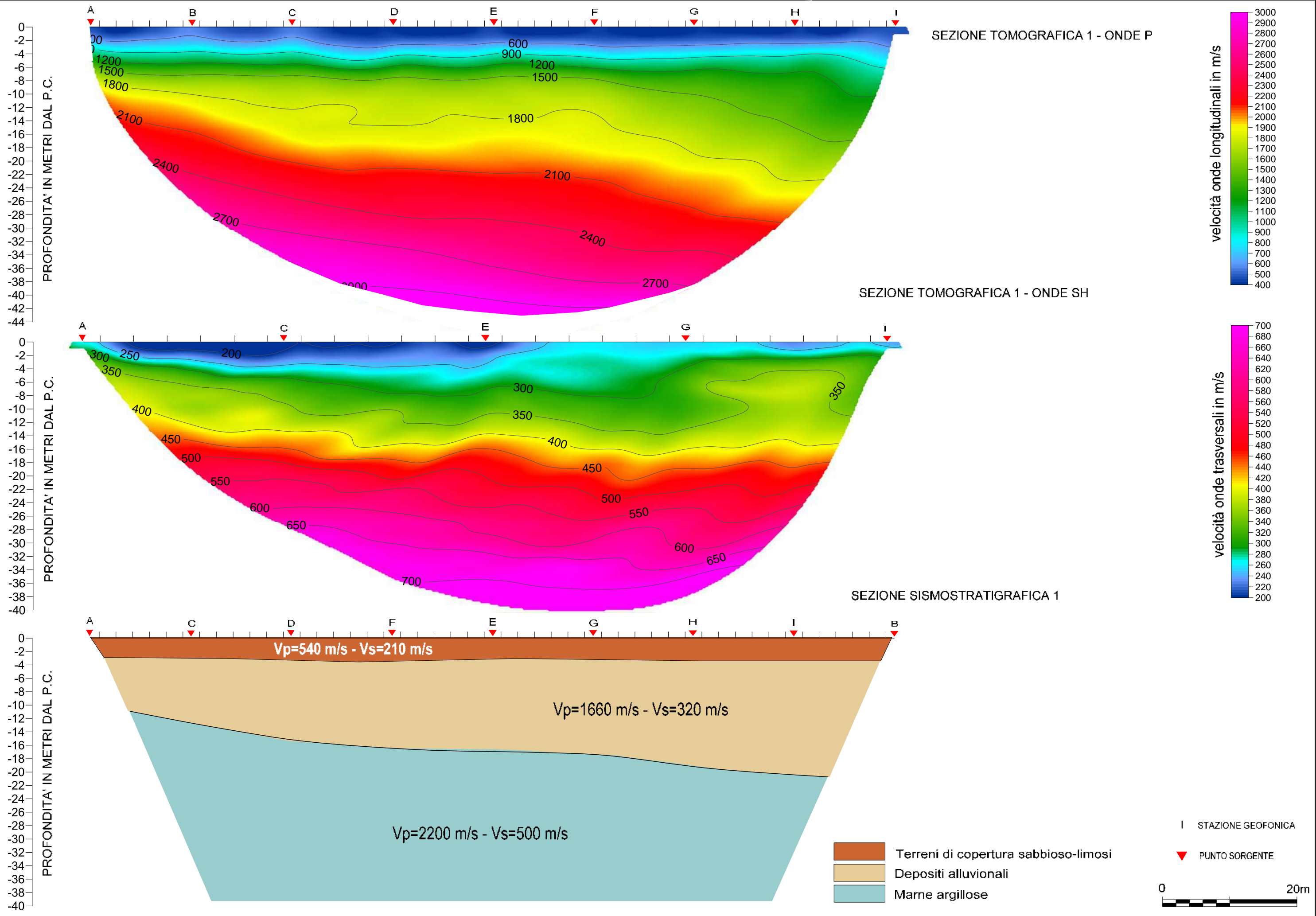


Dromocrone ONDE LONGITUDINALI - Profilo Sismico 1

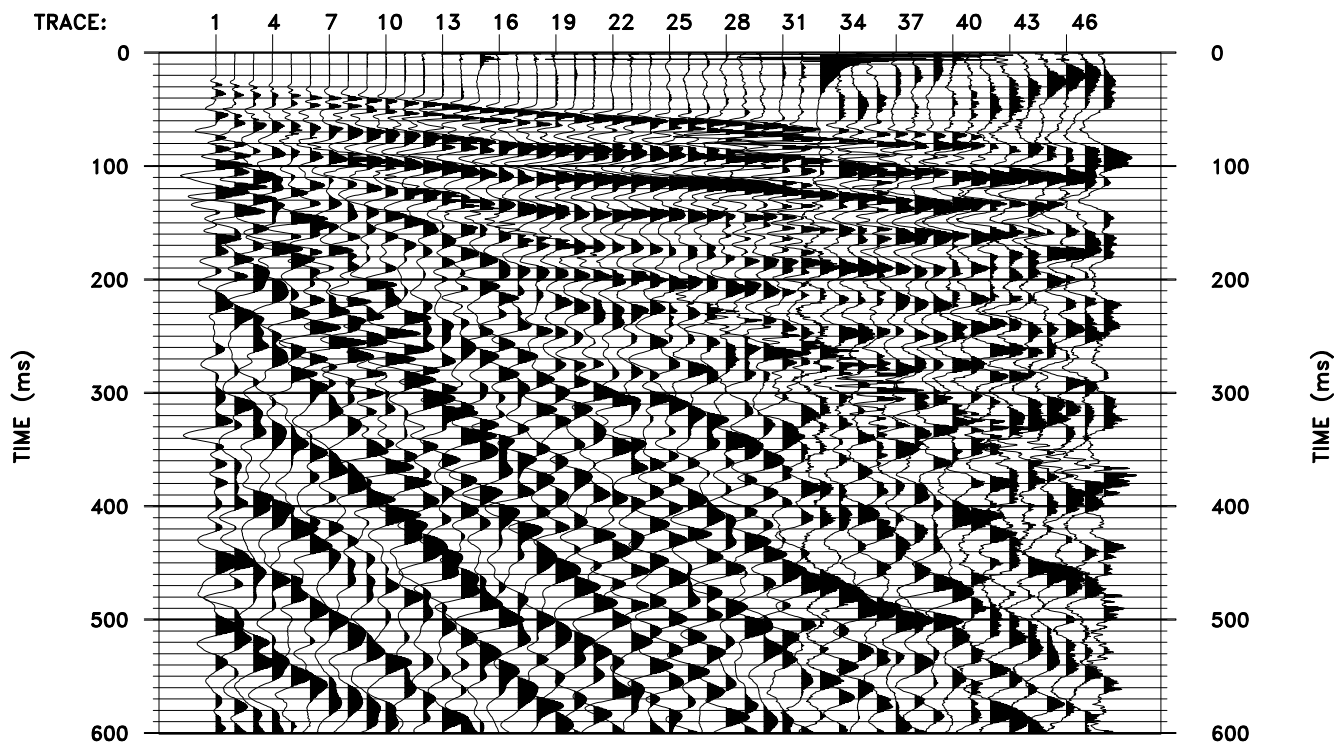


Dromocrone profilo sismico 1 - ONDE TRASVERSALI - scoppi A - I

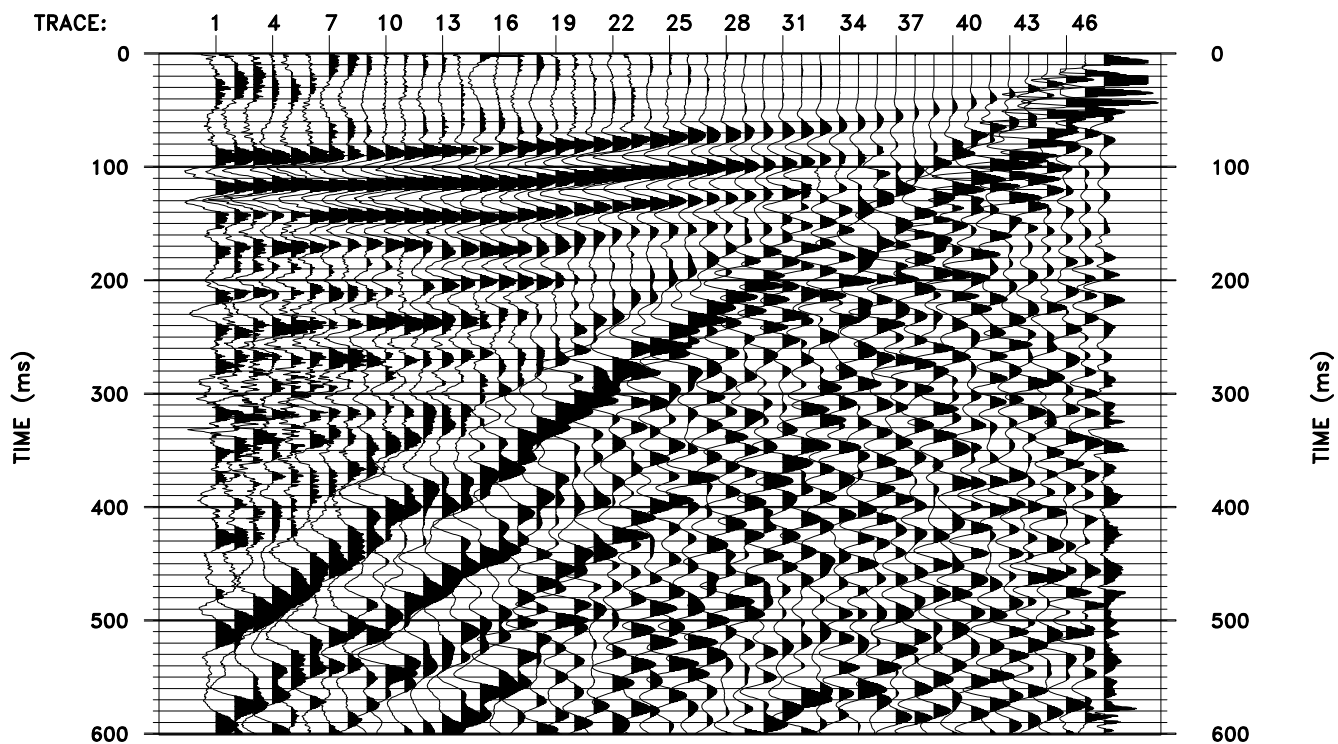




Esempi di sismogrammi a 48 tracce Profilo 1



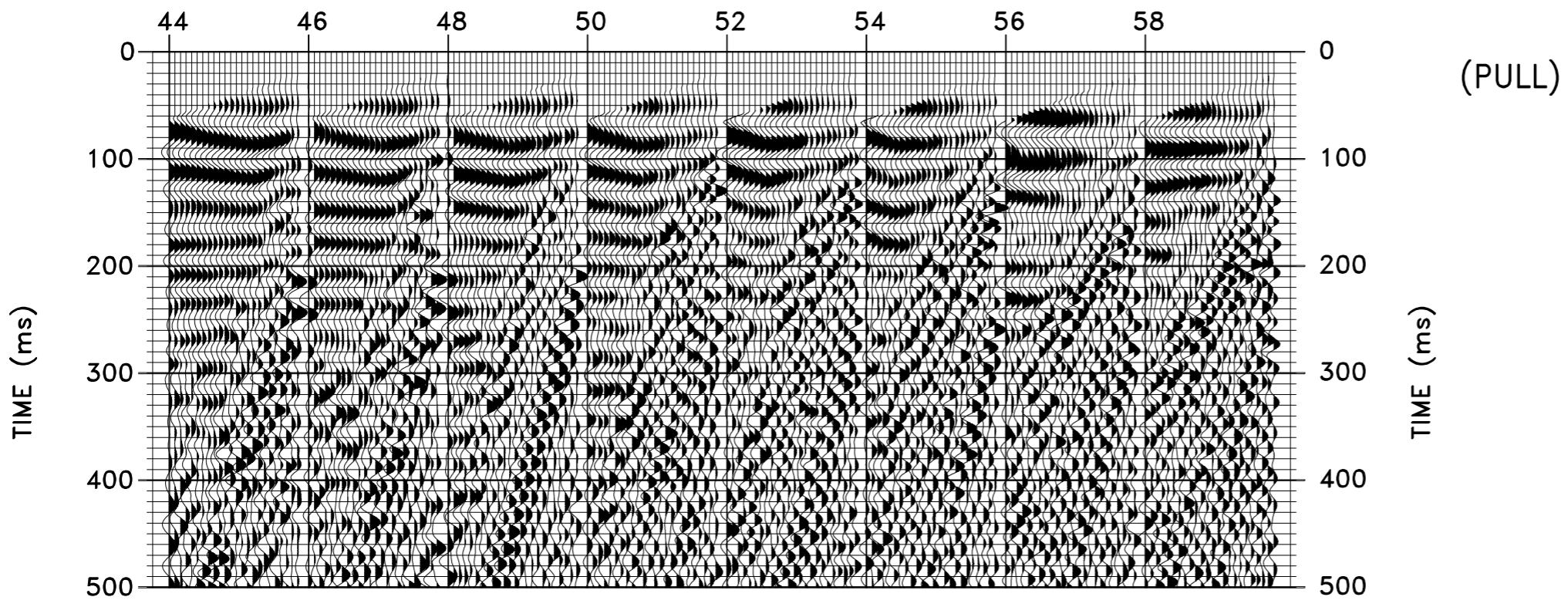
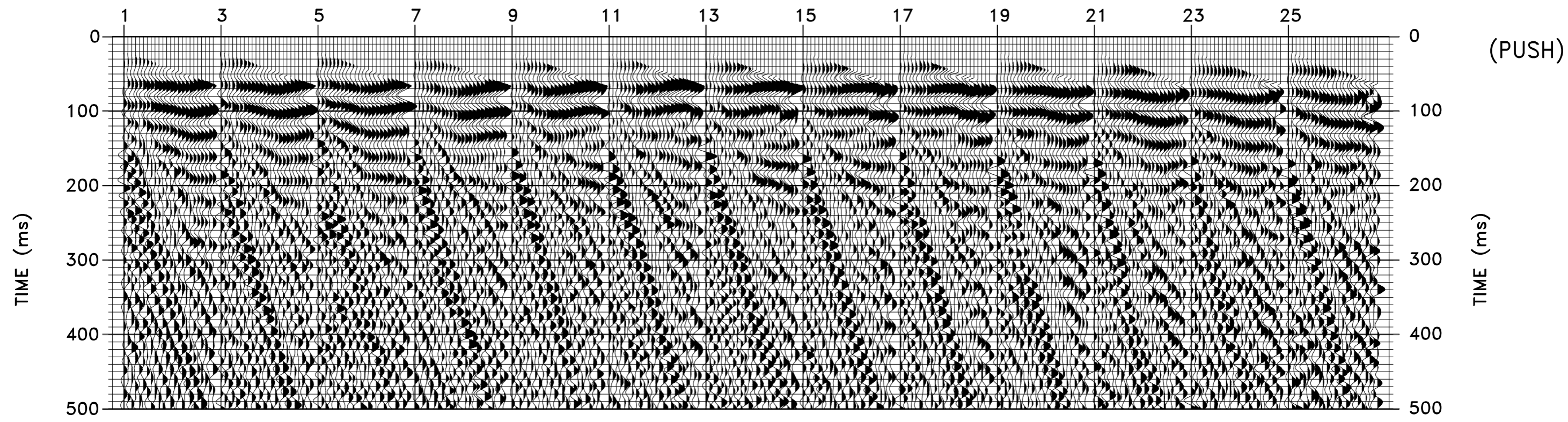
Sismogramma a 48 tracce (punto di energizzazione stazione 5)



Sismogramma a 48 tracce (punto di energizzazione stazione 42)

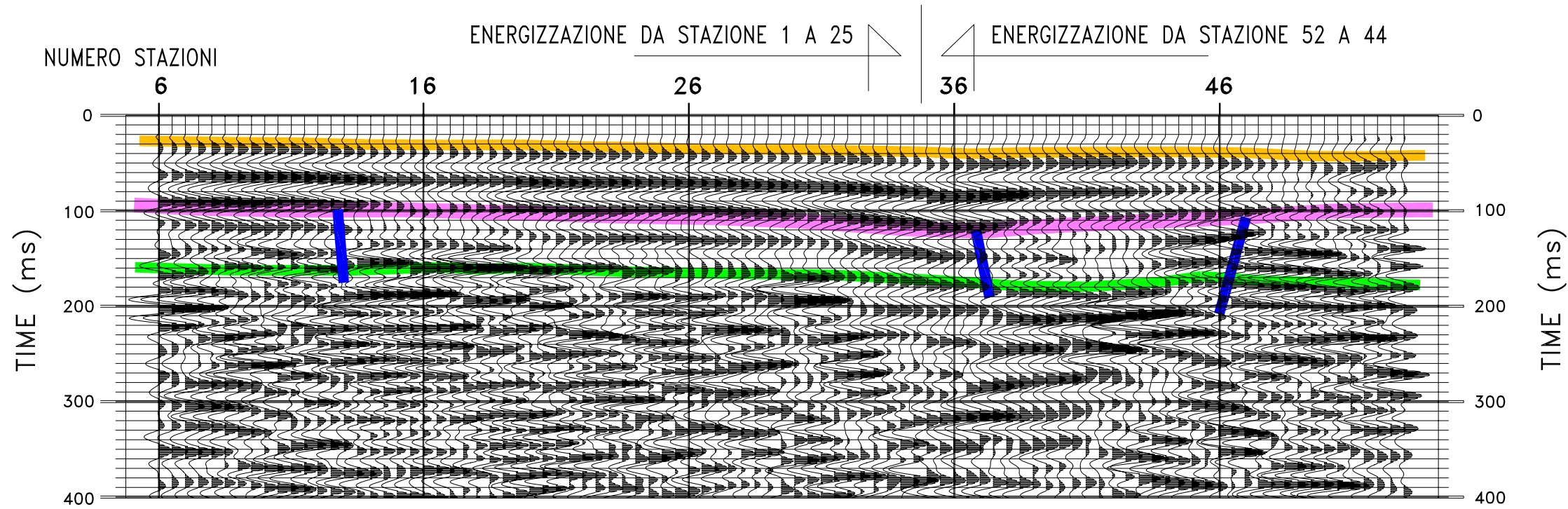
PROFILO 1
SISMOGRAMMI UTILIZZATI
PER L'ANALISI IN C.M.P.
(SEZIONE IN SINGOL SHOT)

Stazioni sorgente sismica

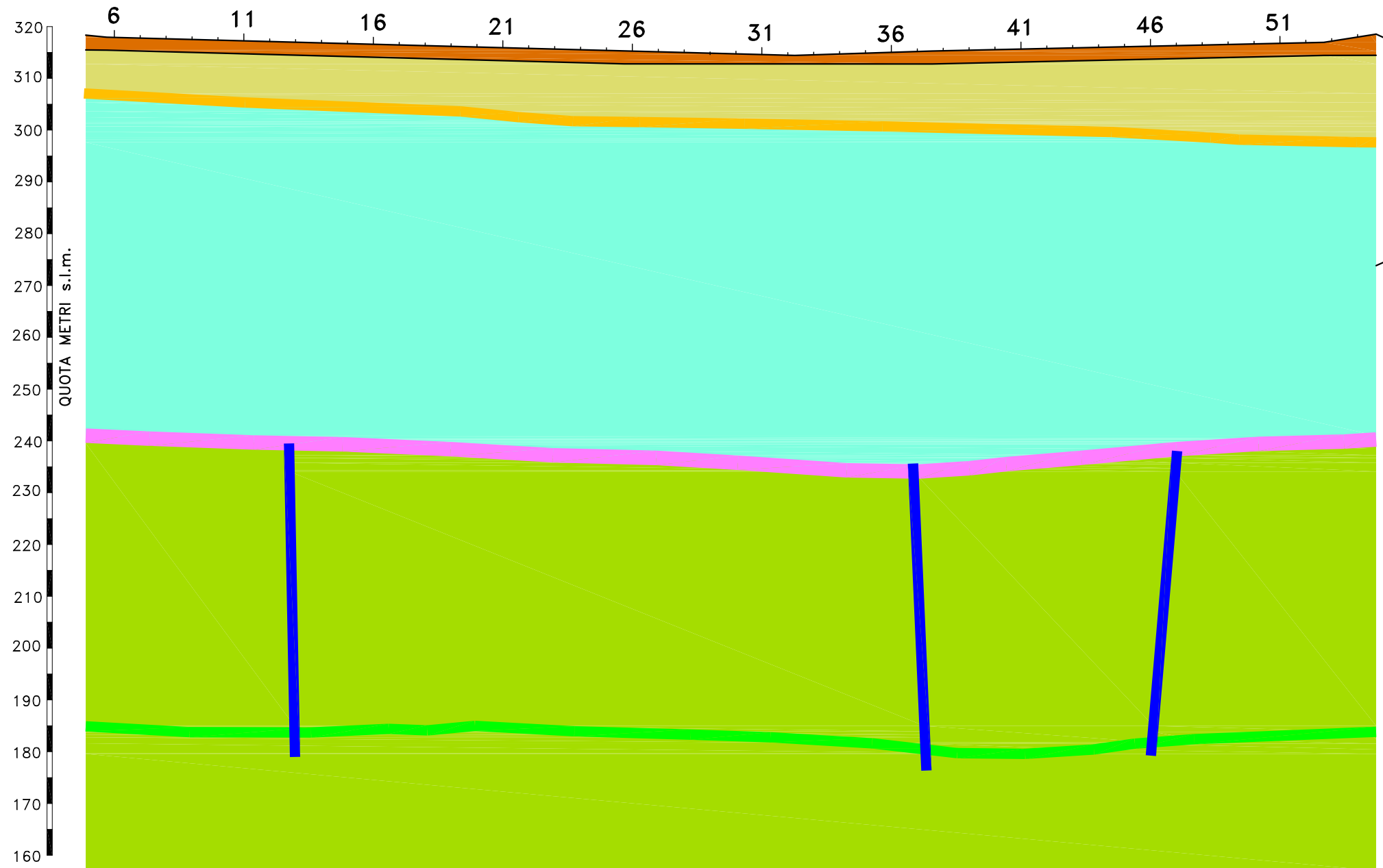


ANALISI PROFILO 1 SISMICA A RIFLESSIONE

SEZIONE TEMPO



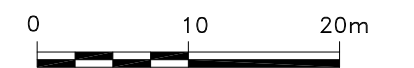
SEZIONE PROFONDITA'



dati estrapolati anche dall'indagine di sismica a rifrazione

LEGENDA

- 24 | Numero stazioni
- Strati riflettenti
- Strati riflettenti profondi
- Discontinuità verticale
- Sismostrato $V_p=540$ m/s $V_{sh}=210$ m/s
- Sismostrato $V_p=1060$ m/s $V_{sh}=320$ m/s
- Sismostrato $V_p=2200$ m/s $V_{sh}=500$ m/s
- Sismostrato $V_p > 2200$ m/s



Scala orizzontale 1:500
Scala verticale 1:1000

ALLEGATO "PROSPEZIONE SISMICA PROFILO 2"

Prospezione a rifrazione

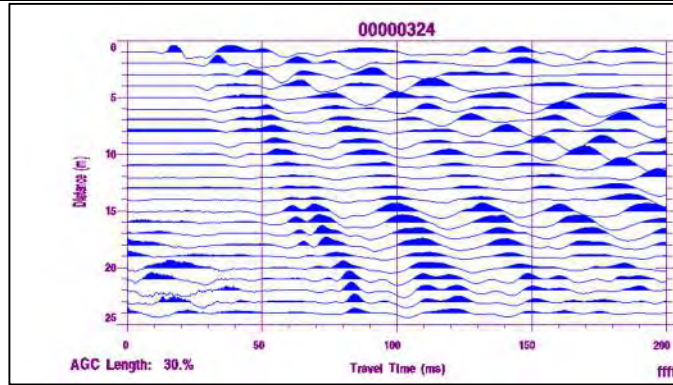
- *Sismogrammi sismica a rifrazione onde P*
- *Sismogrammi sismica a rifrazione onde*
- *SH Dromocrone onde P*
- *Dromocrone onde SH*
- *Sezione tomografica e sismostratigrafica*

Prospezione a riflessione

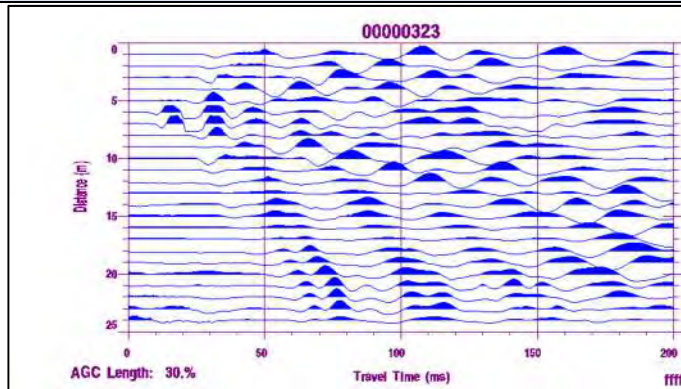
- *Esempio di sismogramma a 48 tracce*
- *Sismogrammi utilizzati per l'analisi CMP (sezione in common shot)*
- *Analisi profilo sismico a riflessione (dimensioni foglio 800x375mm)*

SISMOGRAMMI SISMICA A RIFRAZIONE ONDE LONGITUDINALI - PROFILO 2

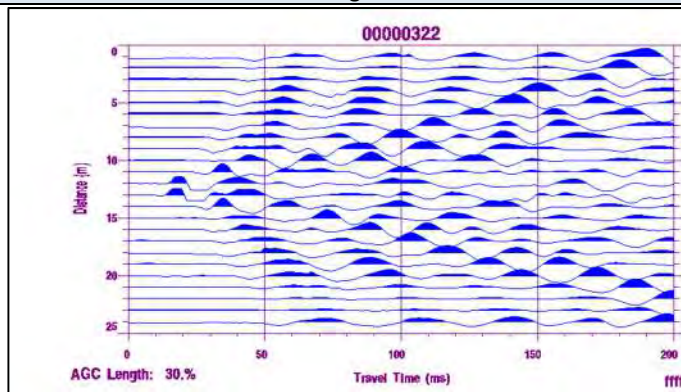
Punto sorgente "A"



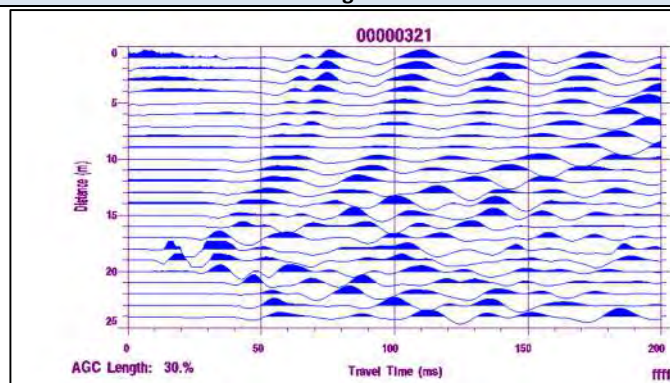
Punto sorgente "B"



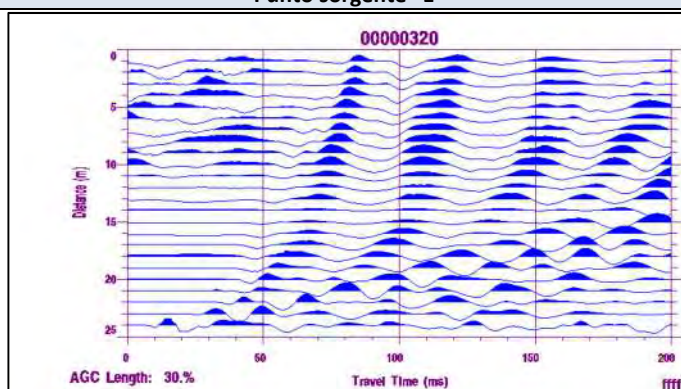
Punto sorgente "C"



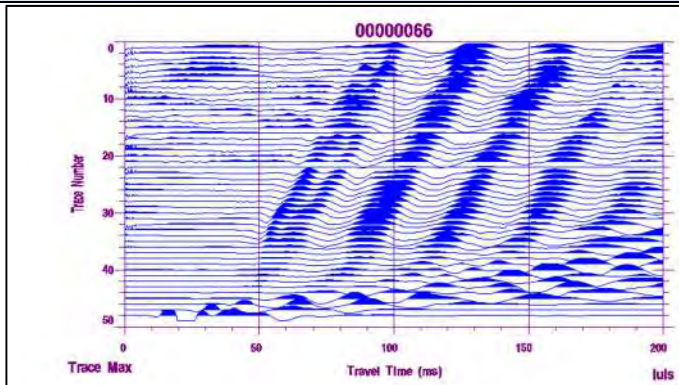
Punto sorgente "D"



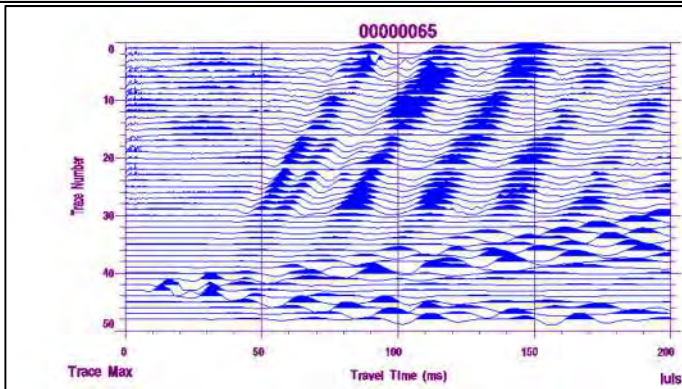
Punto sorgente "E"



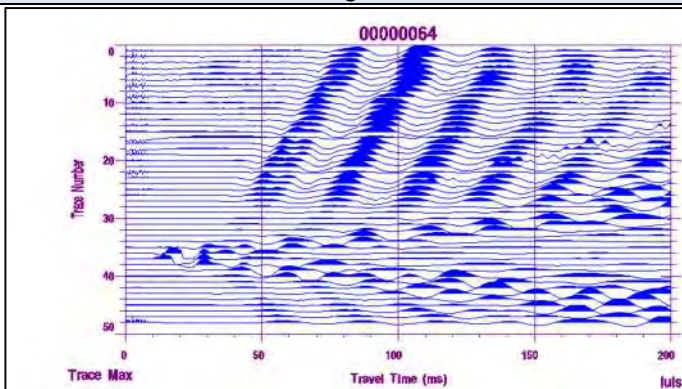
Punto sorgente "F"



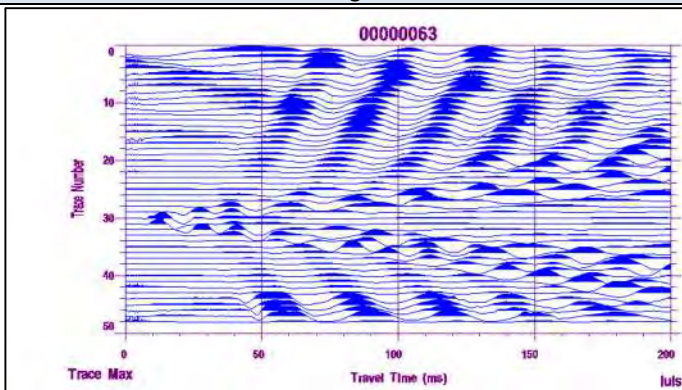
Punto sorgente "G"



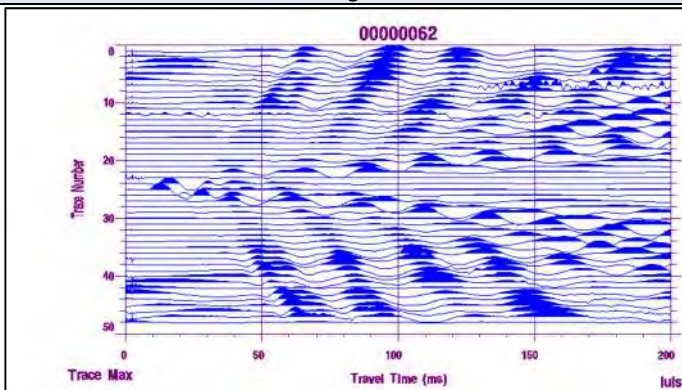
Punto sorgente "H"



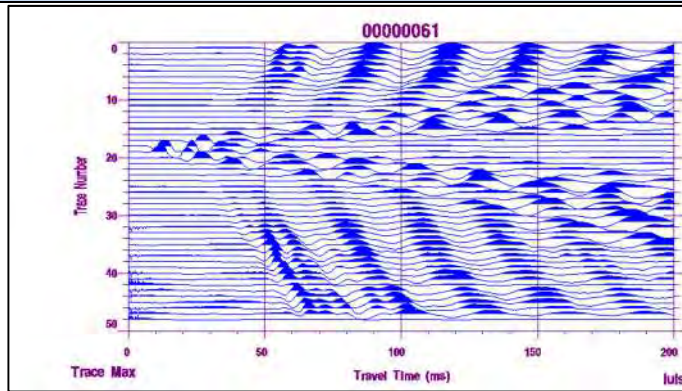
Punto sorgente "I"



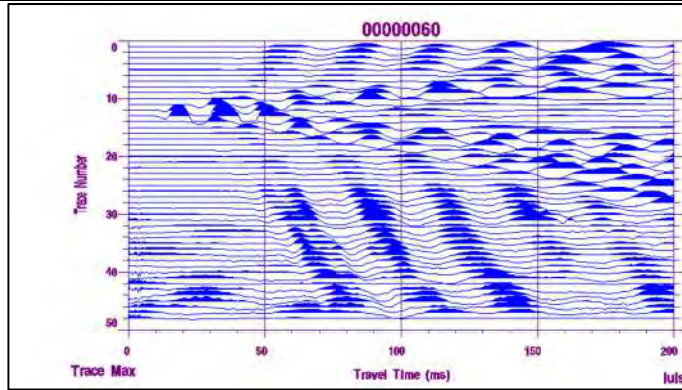
Punto sorgente "L"



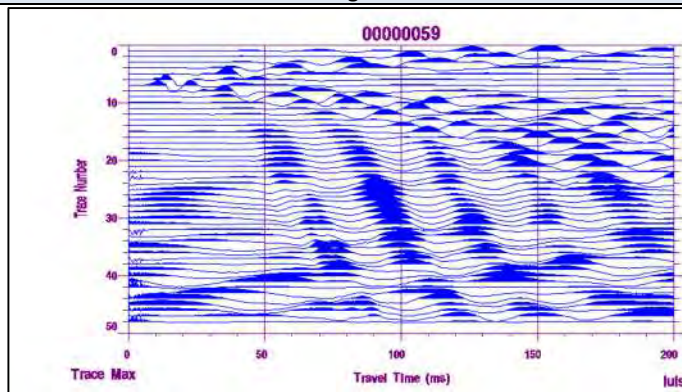
Punto sorgente "M"



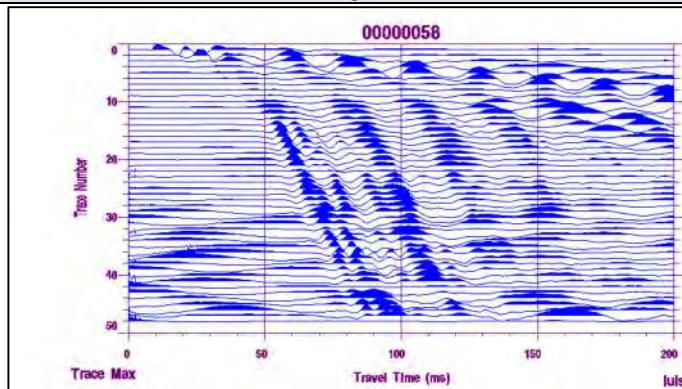
Punto sorgente "N"



Punto sorgente "O"

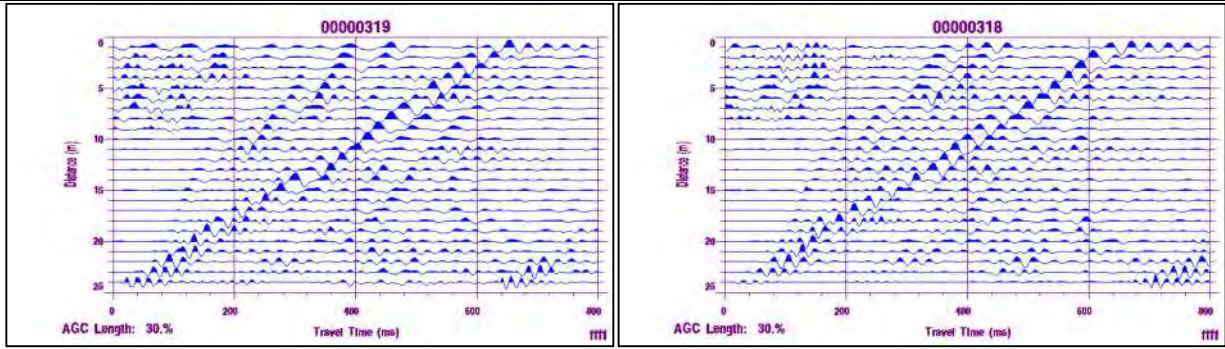


Punto sorgente "P"

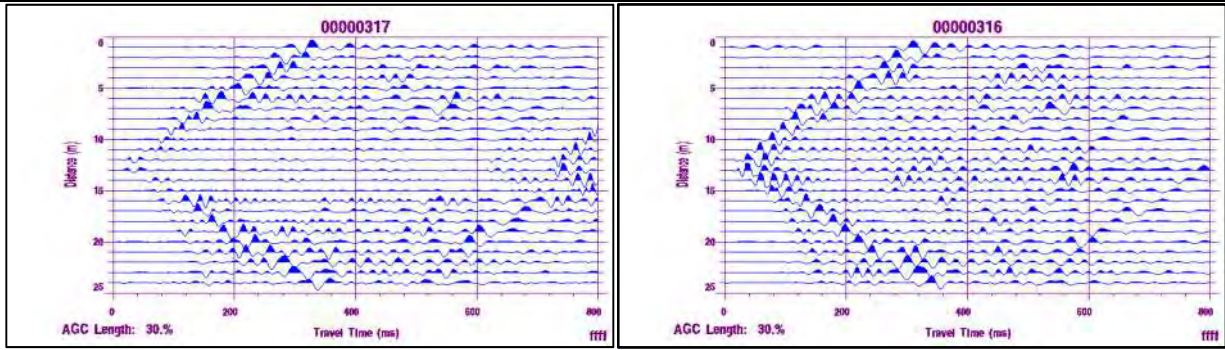


SISMOGRAMMI SISMICA A RIFRAZIONE ONDE TRASVERSALI – PROFILO 2

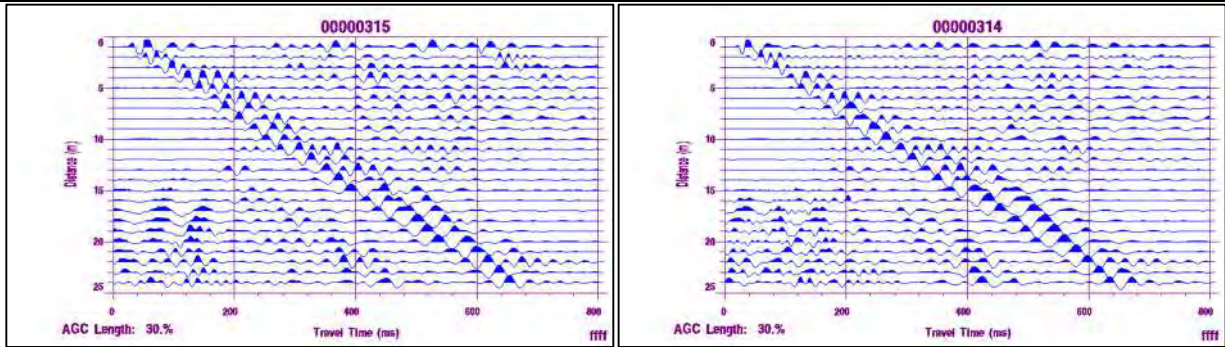
Punto sorgente "A"



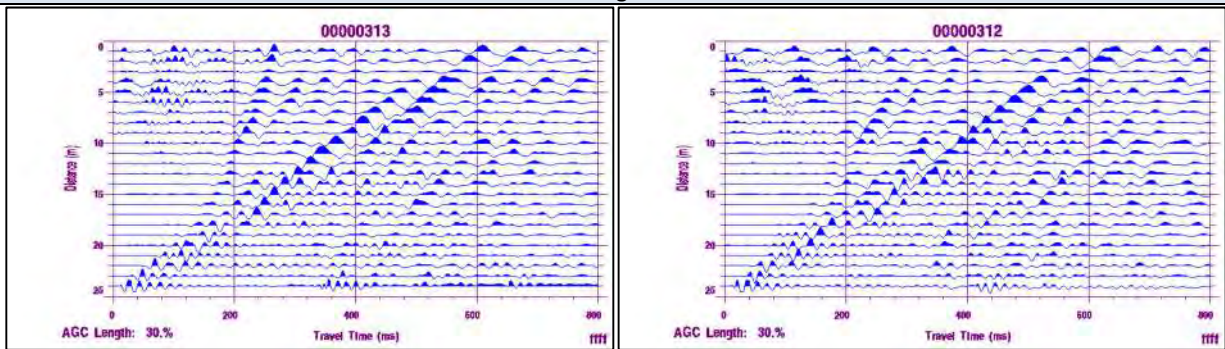
Punto sorgente "C"



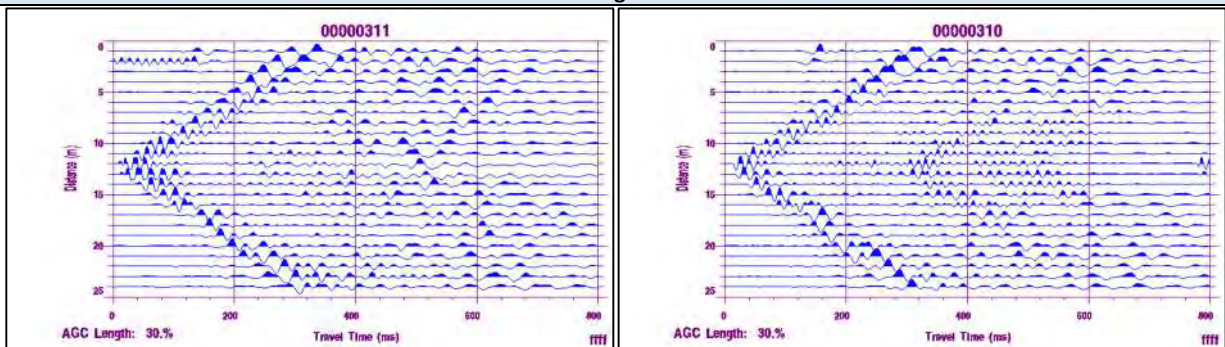
Punto sorgente "E"



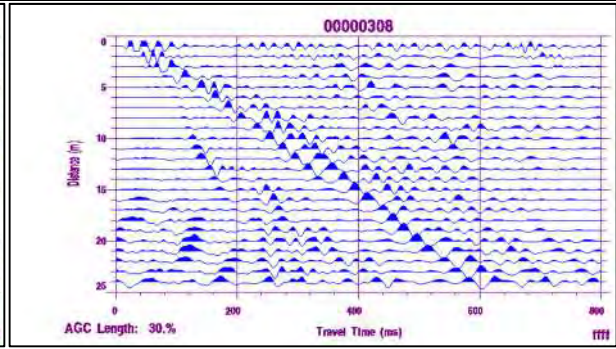
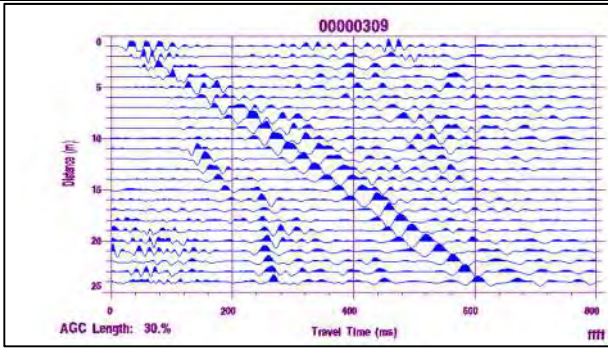
Punto sorgente "F"



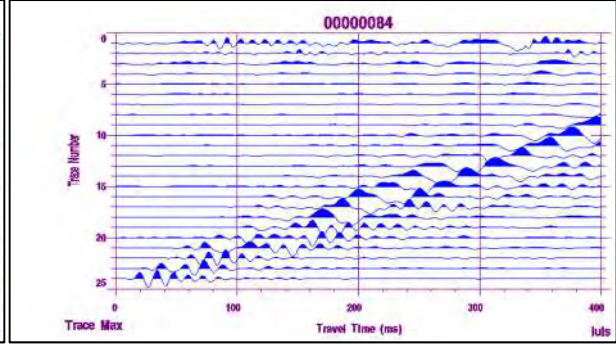
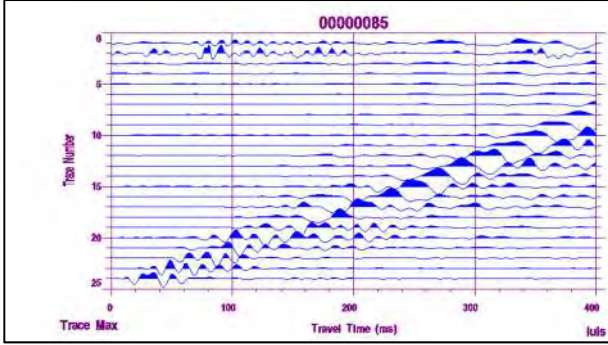
Punto sorgente "H"



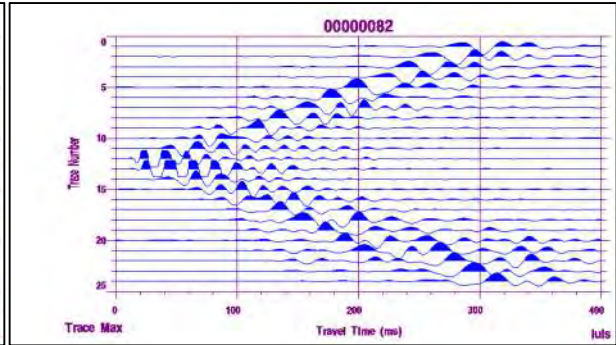
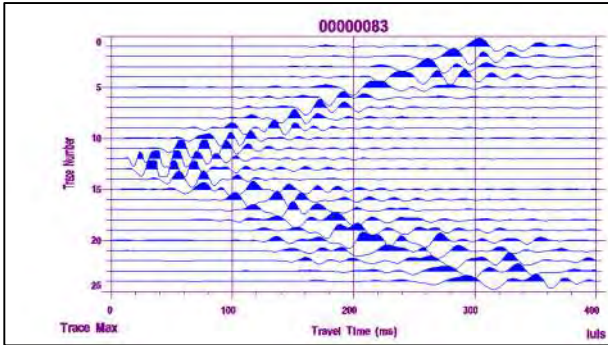
Punto sorgente "L"



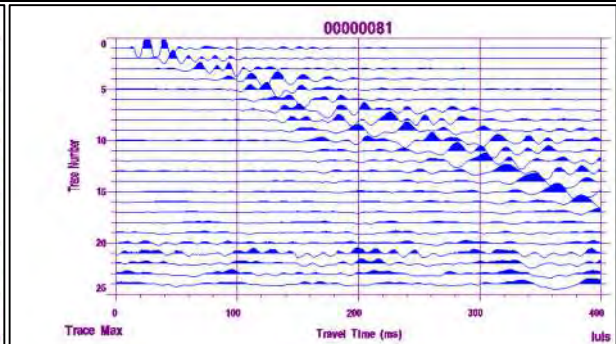
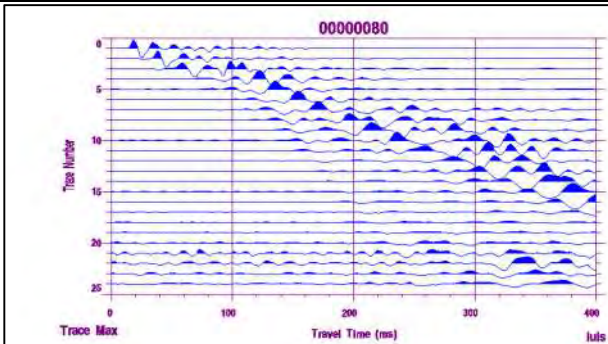
Punto sorgente "L"



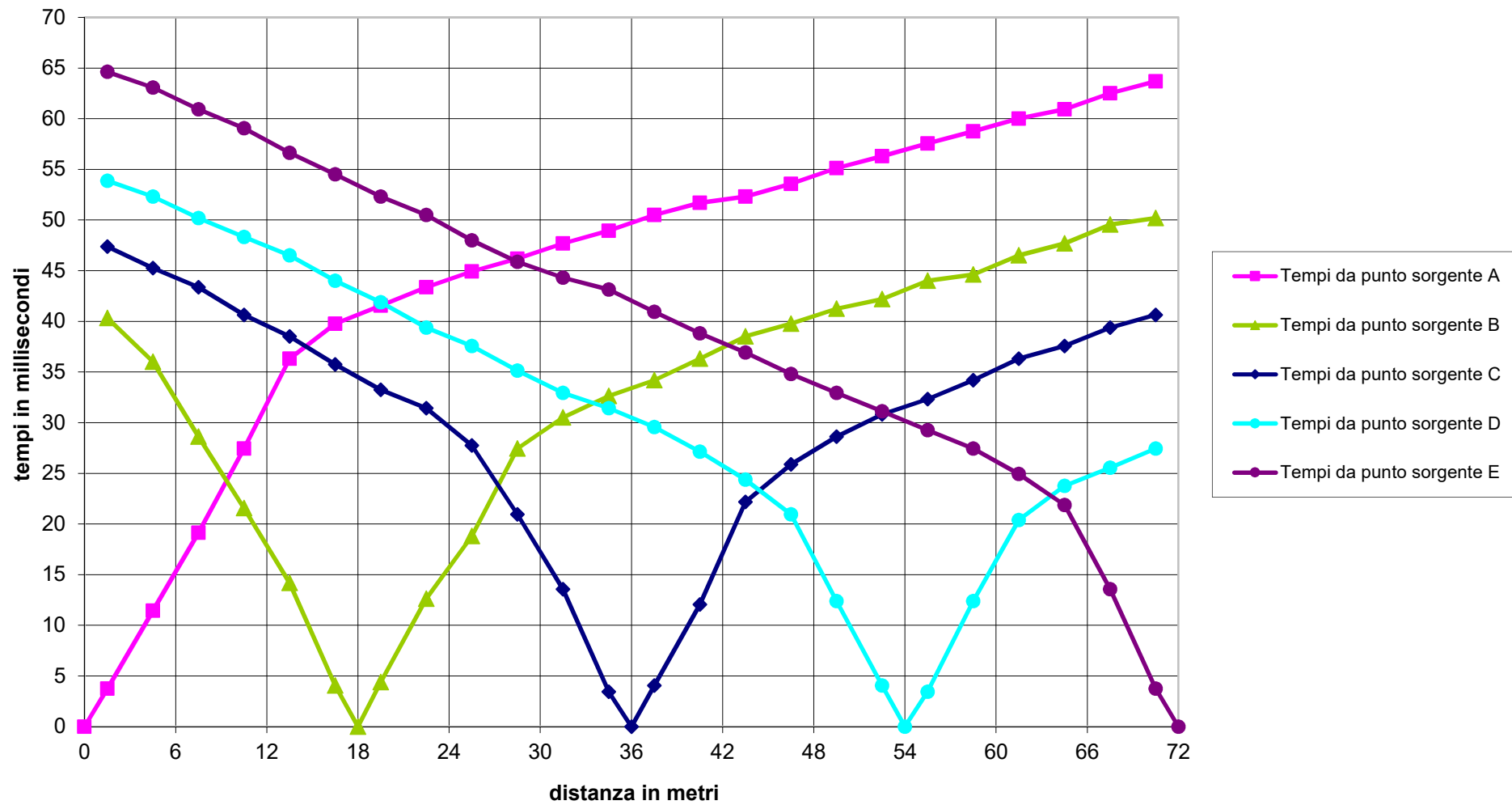
Punto sorgente "N"



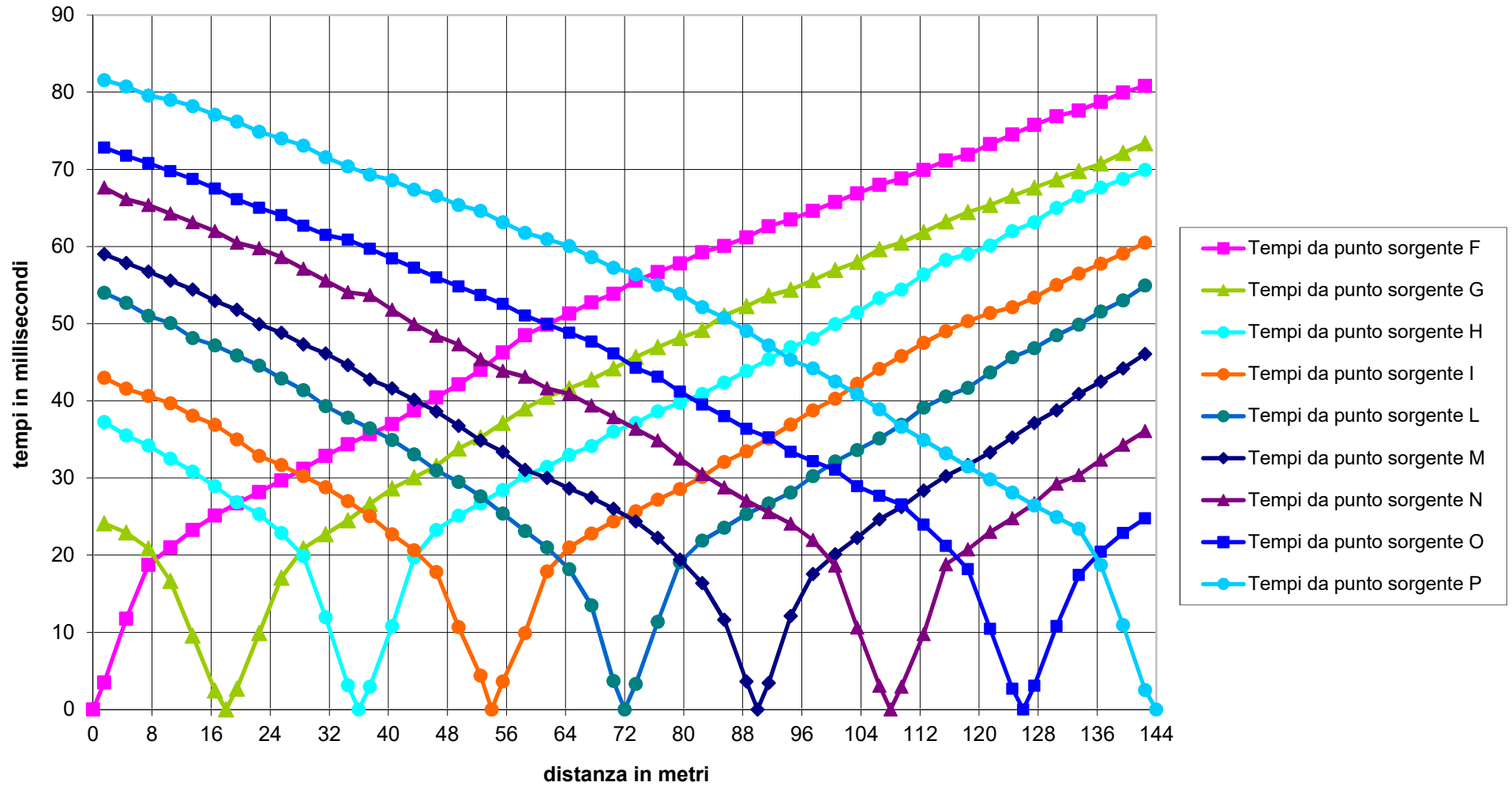
Punto sorgente "P"



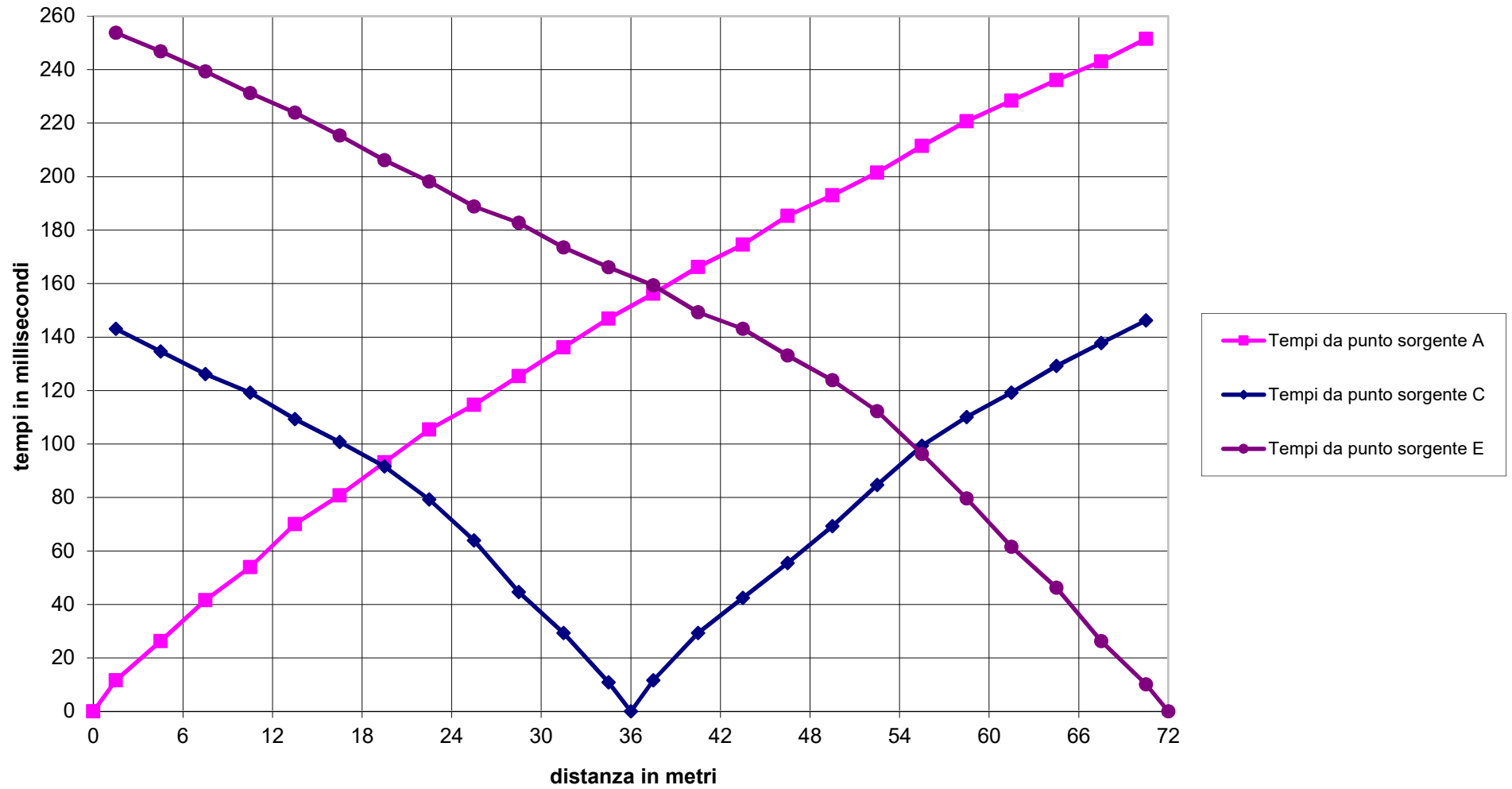
Dromocrone profilo sismico 2 - ONDE LONGITUDINALI - scoppi A - E



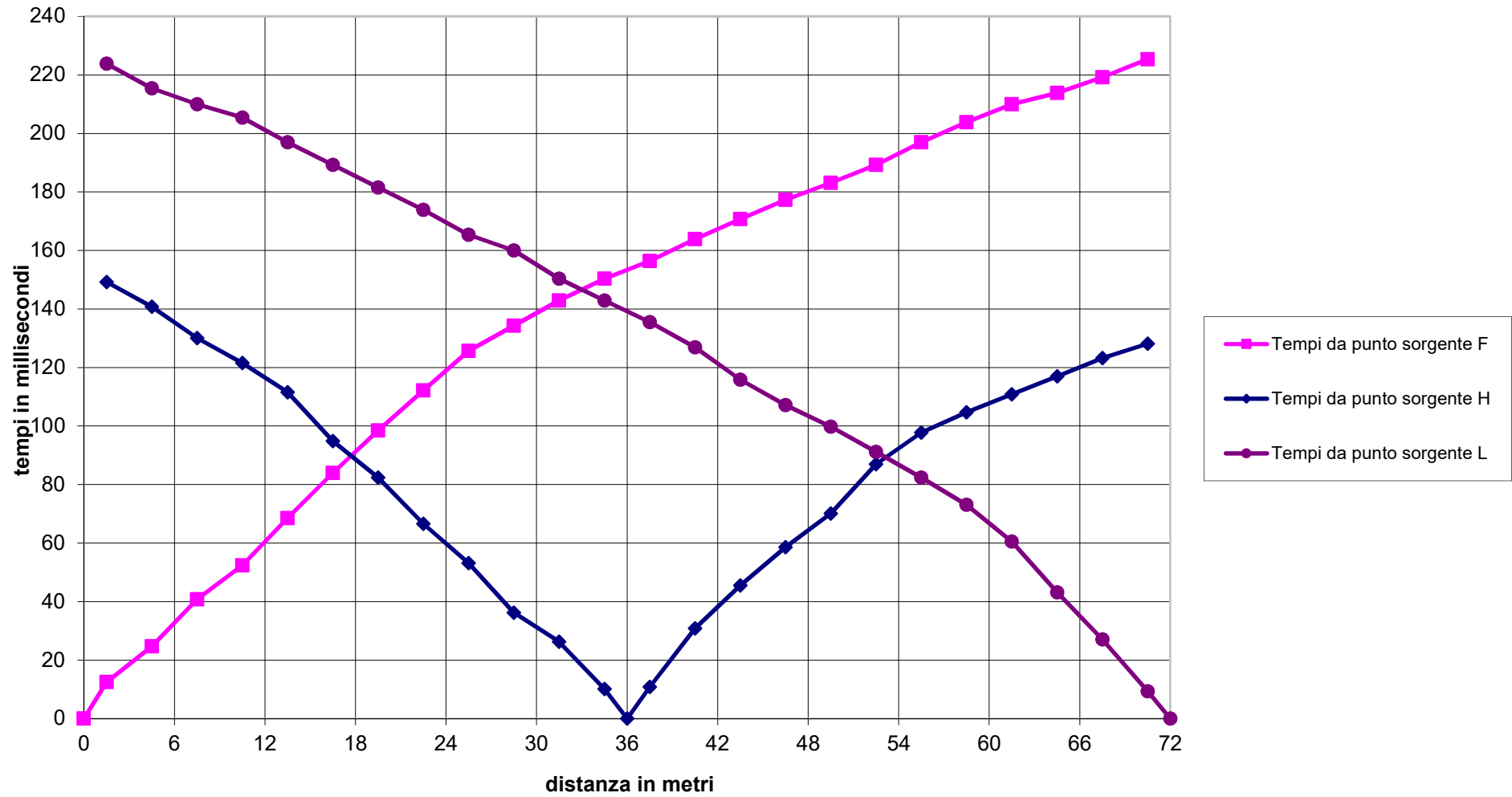
Dromocrone profilo sismico 2 - ONDE LONGITUDINALI - scoppi F - P



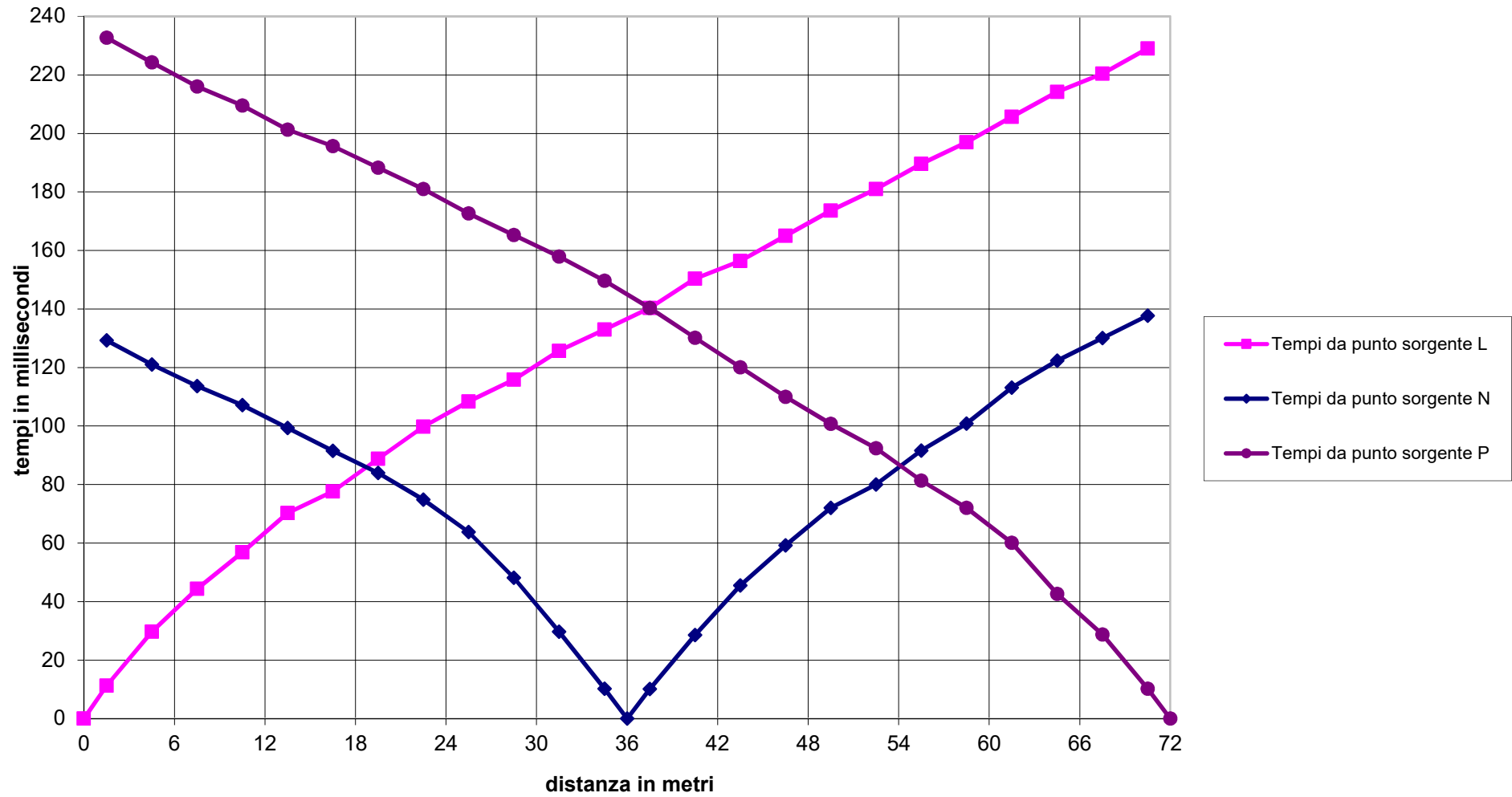
Dromocrone profilo sismico 2 - ONDE TRASVERSALI - scoppi A C E



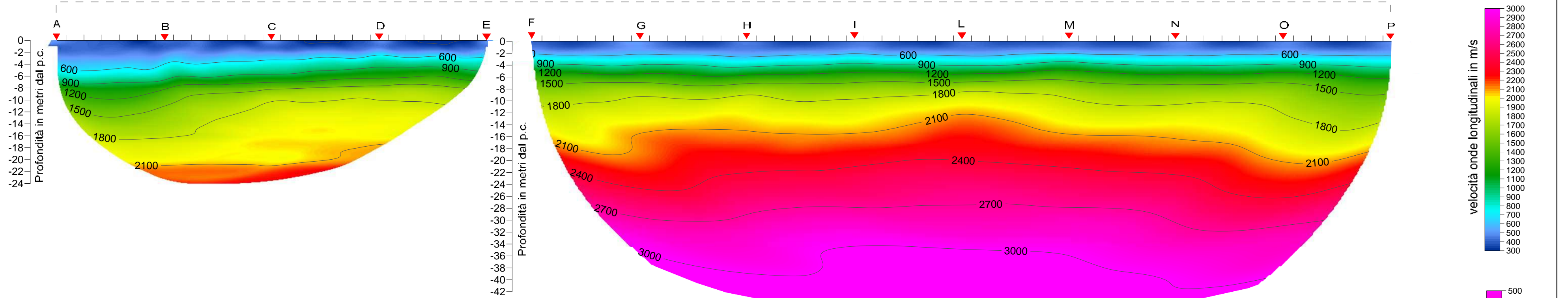
Dromocrone profilo sismico 2 - ONDE TRASVERSALI - scoppi F H L



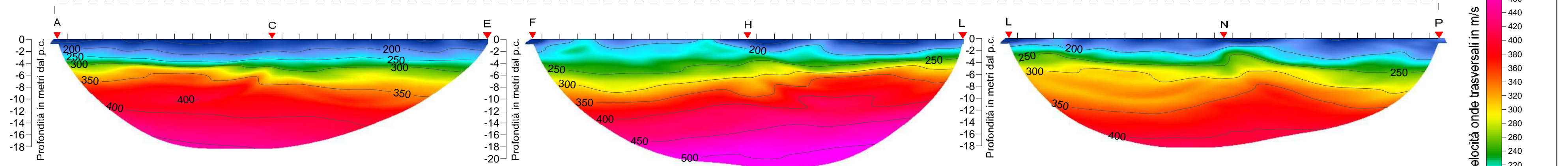
Dromocrone profilo sismico 2 - ONDE TRASVERSALI - scoppi L N P



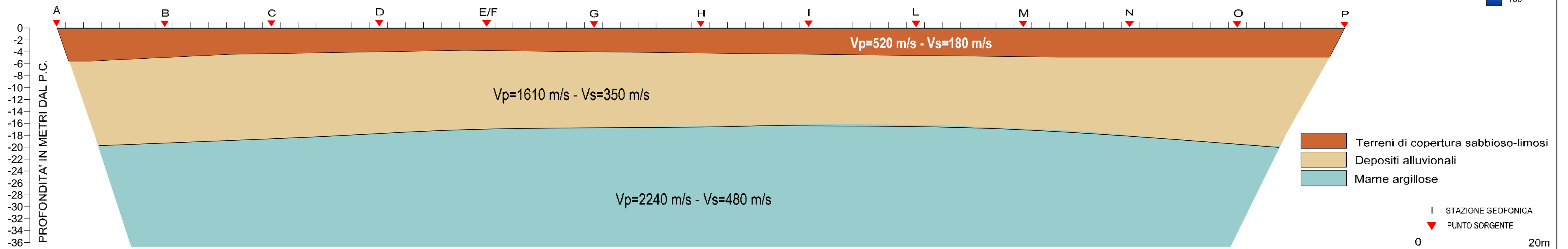
SEZIONE TOMOGRAFICA 2 - ONDE P



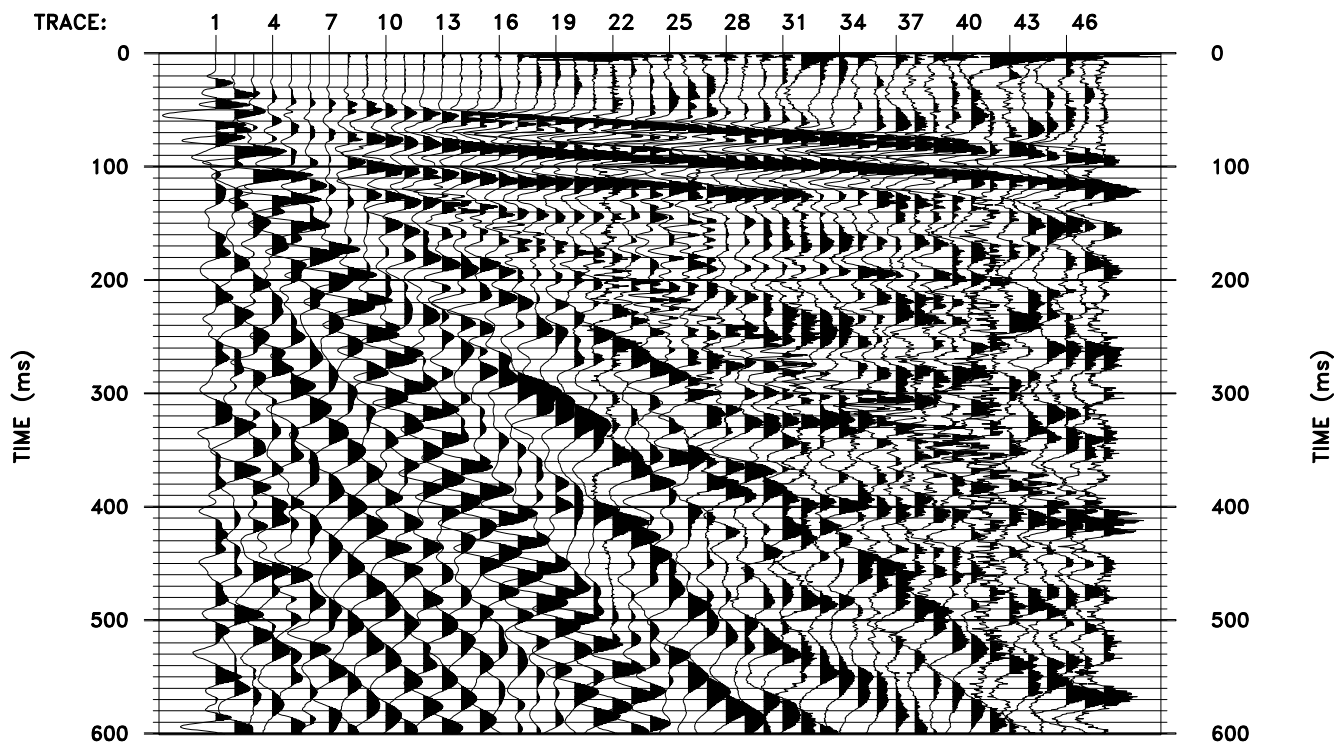
SEZIONE TOMOGRAFICA 2 - ONDE SH



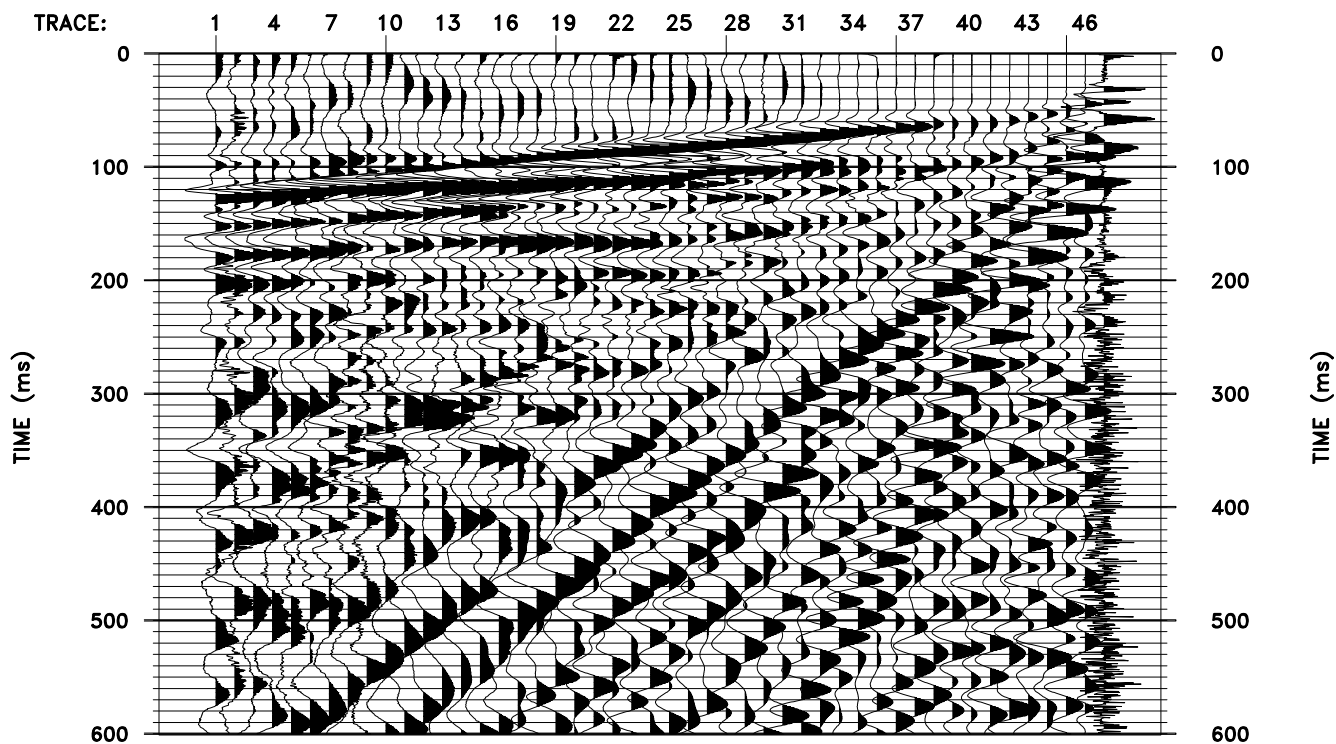
SEZIONE SISMOSTRATIGRAFICA 2



Esempi di sismogrammi a 48 tracce Profilo 2

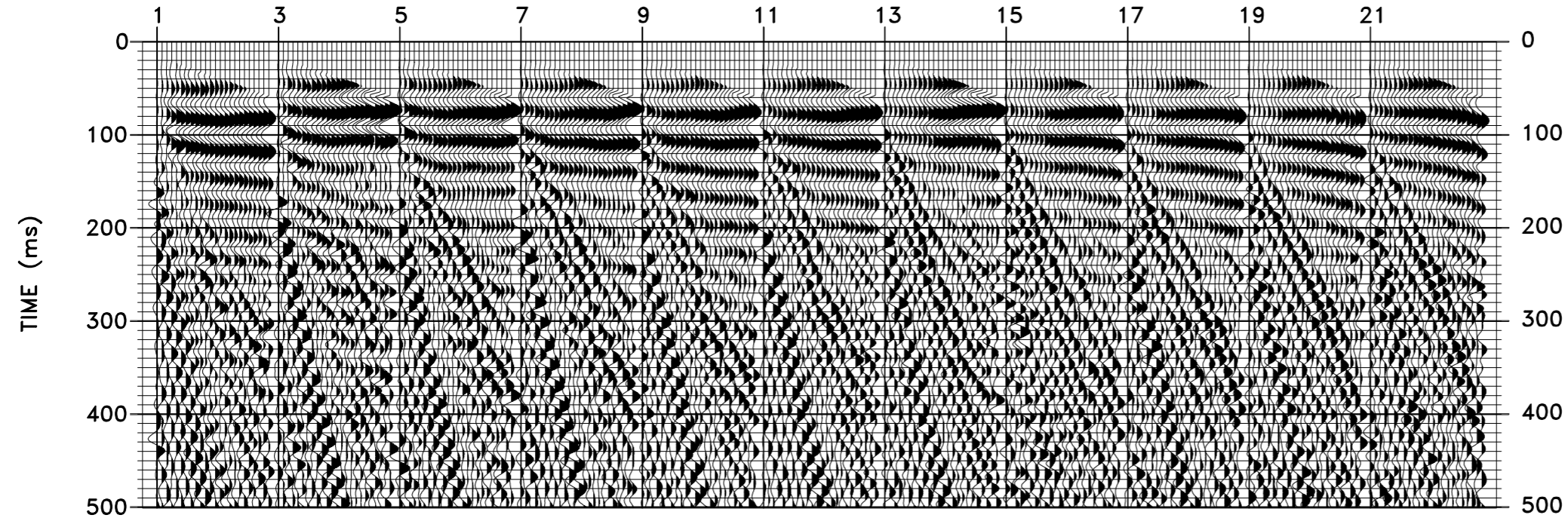


Sismogramma a 48 tracce (punto di energizzazione stazione 3)



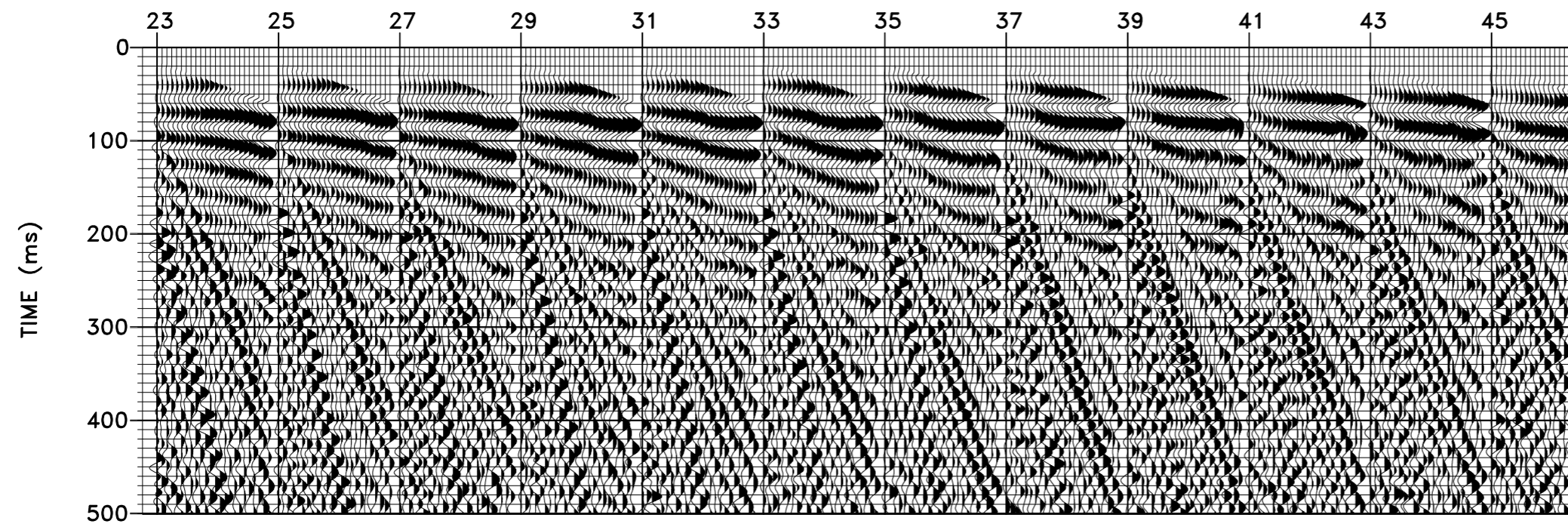
Sismogramma a 48 tracce (punto di energizzazione stazione 74)

Stazioni sorgente sismica

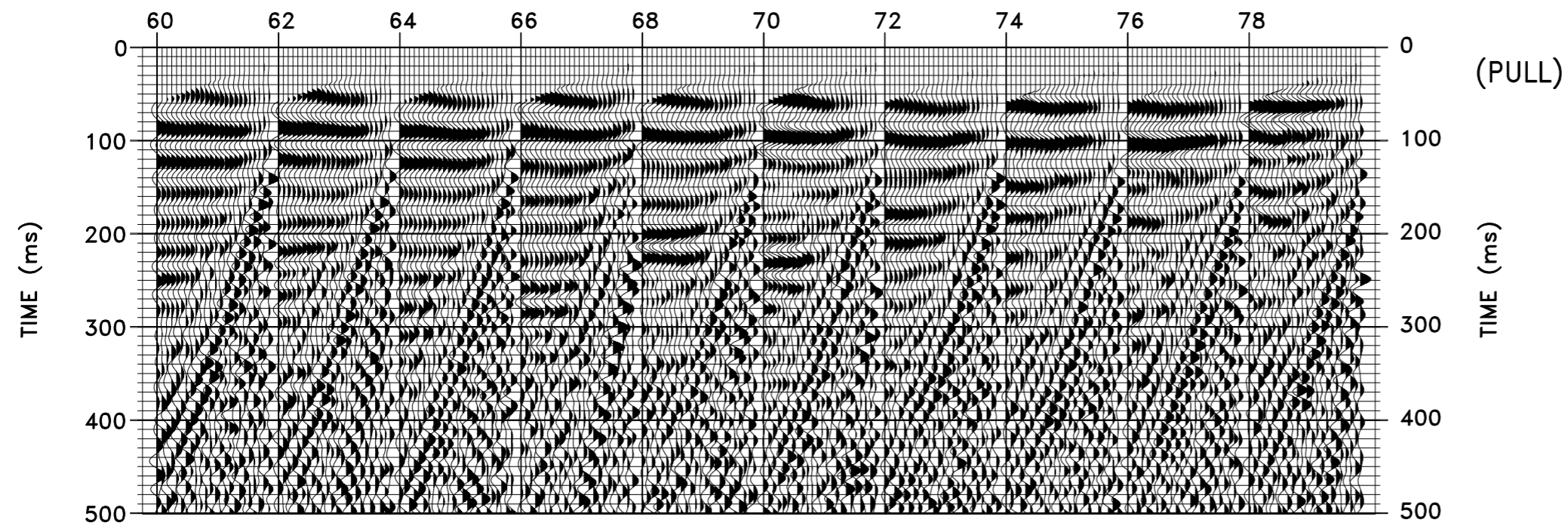


(PUSH)

PROFILO 2
SISMOGRAMMI UTILIZZATI
PER L'ANALISI IN C.M.P.
(SEZIONE IN SINGOL SHOT)



(PUSH)



(PULL)

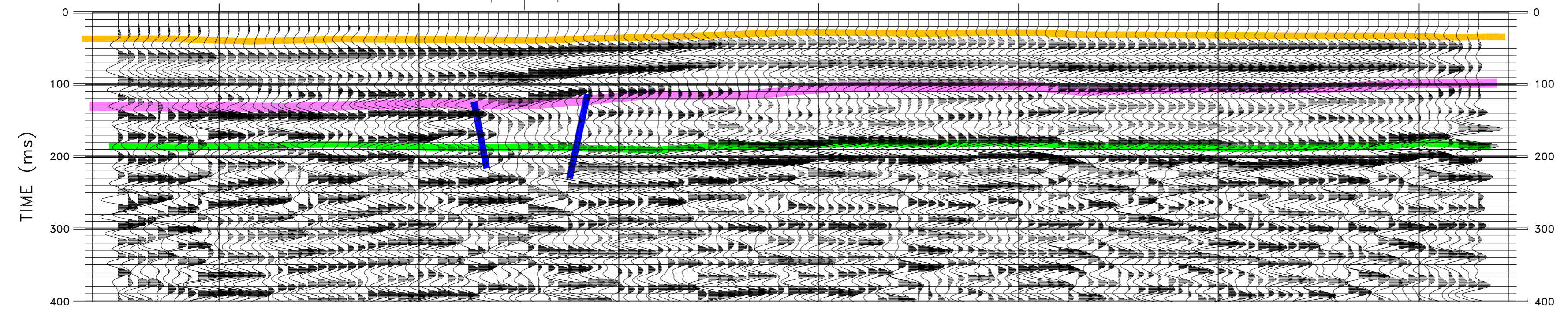
NUMERO STAZIONI

ENERGIZZAZIONE DA STAZIONE 80 A 56

ENERGIZZAZIONE DA STAZIONE 45 A 1

ANALISI PROFILO 2 SISMICA A RIFLESSIONE

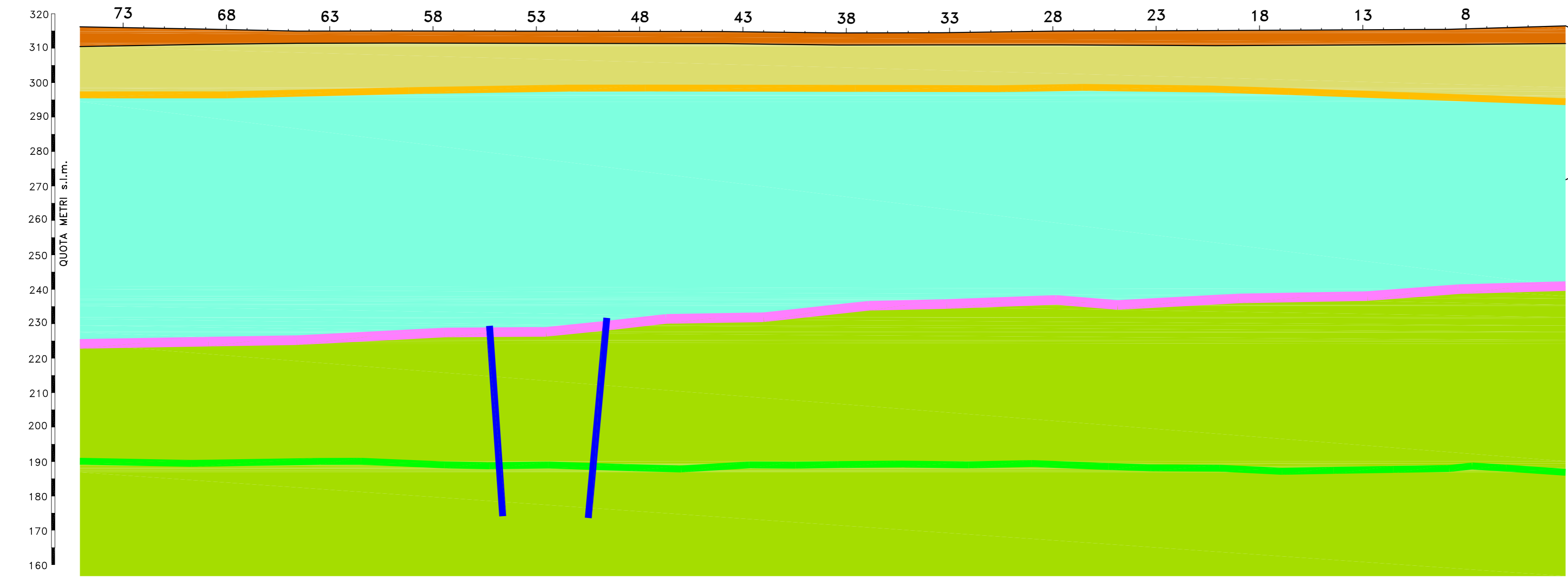
SEZIONE TEMPO



TIME (ms)

TIME (ms)

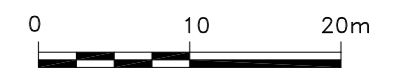
SEZIONE PROFONDITA'



dati estrapolati anche dall'indagine di sismica a rifrazione

LEGENDA

- 24 | Numero stazioni
- Strati riflettenti
- Strati riflettenti profondi
- Discontinuità verticale
- Sismostrato $V_p=520$ m/s $V_{sh}=180$ m/s
- Sismostrato $V_p=1610$ m/s $V_{sh}=350$ m/s
- Sismostrato $V_p=2240$ m/s $V_{sh}=480$ m/s
- Sismostrato $V_p > 2240$ m/s



Scala orizzontale 1:500
Scala verticale 1:1000

ALLEGATO DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

FASI DI LAVORO INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE IN ONDE LONGITUDINALI (ONDE P) E IN ONDE TRASVERSALI (ONDE SH) E SISMICA A RIFLESSIONE



Acquisizione dati misure sismiche



Energizzazione con mazza battente onde longitudinale (Onde P) - (Profilo sismica a rifrazione)



Energizzazione con mazza battente onde trasversali (Onde SH) - (Profilo sismica a rifrazione)





Acquisizione dati misure sismiche



Energizzazione onde longitudinale (Onde P) con mazza battente onde longitudinale (Profilo sismica a riflessione)

