

Studio Associato di Ingegneria e Geologia

Ing. Mauro Marchiano, Ing. Riccardo Torri, Geol. Vittorio Vezzano
Andora, via Cavour 30, tel. 0182/684363 - E-MAIL stingeo@libero.it

COMUNE DI BRIGA ALTA

Oggetto:

PROGETTO ESECUTIVO

SISTEMAZIONE MOVIMENTO FRANOSO IN FRAZIONE PIAGGIA

CODICE INTERVENTO CN_A18_430_16_142

RELAZIONE GEOLOGICA

Il Tecnico:

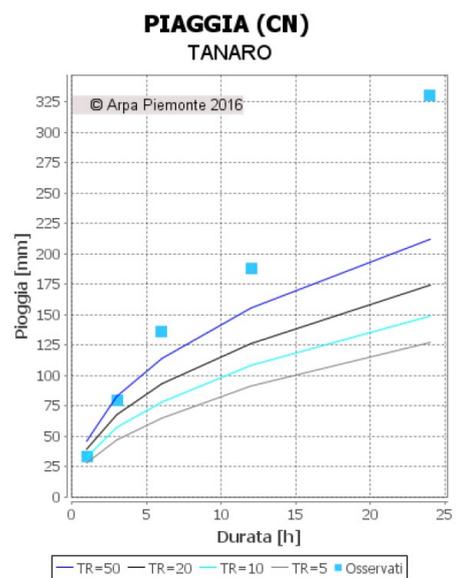
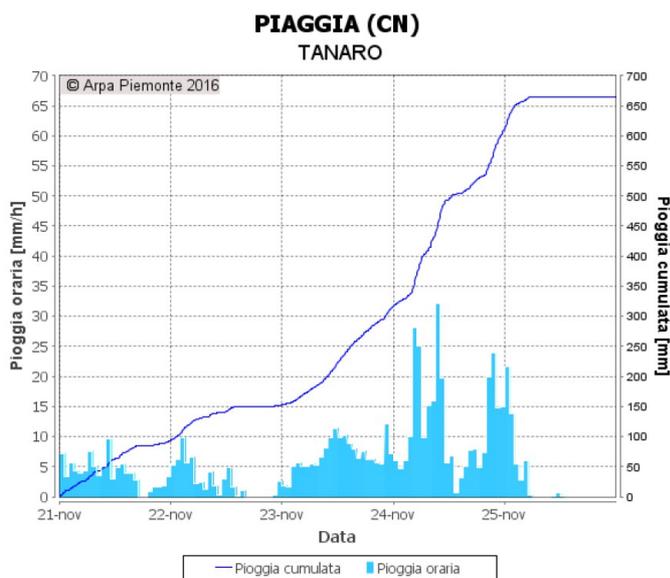
Geol. Vittorio Vezzano

PREMESSA

A seguito delle imponenti e persistenti piogge iniziate il 21/11/2016 e protrattesi quasi ininterrottamente sino alla notte del 25 il pendio terrazzato situato a monte della zona nord-est della frazione Piaggia è stato interessato da tre frane di cui una di dimensioni molto importanti che mette a rischio una parte rilevante del centro abitato di Piaggia frazione capoluogo del Comune di Briga Alta.



Foto aerea di Piaggia con evidenziate le aree di frana



Diagrammi relativi alla stazione pluviometrica di Piaggia pubblicati nella relazione preliminare di Arpa Piemonte

DESCRIZIONE DEI DISSESTI.

Frana 1: verificatasi il 24 novembre (posizionata relativamente più ad ovest)

Si tratta di uno scivolamento in coltre dovuto sia allo scorrimento d'acqua in superficie proveniente dal compluvio soprastante che alla completa saturazione del versante si è così determinato un diffuso ruscellamento sul pendio che ha causato la liquefazione della coltre.

La massa fangosa si è in parte fermata sul giardino a monte di una casa ed in parte è scivolata a lato della medesima.



Frana 1: foto scattata il pomeriggio del 24/11



Frana 2: foto scattata nella prima mattina del 25/11

Frana 2: verificatasi nella notte tra il 24 ed il 25 (posizionata relativamente più a nord-est)

Si tratta in questo caso della mobilitazione della coltre satura lungo la superficie di contatto con il substrato lapideo. La massa terrosa satura ha assunto lo stato di una colata di fango che in parte ha riempito un cortile a tergo di una casa mentre la parte principale è scivolata più a valle investendo un fabbricato dove ha causato il crollo di un muro in mattoni arrecando quindi ingenti danni ad alcuni alloggi.

Si è rilevata una persistente risorgenza d'acqua nella parte sommitale della zona di distacco, già nota e canalizzata con un vecchio drenaggio in pietra.

Frana 3: verificatasi nella notte tra il 24 ed il 25.

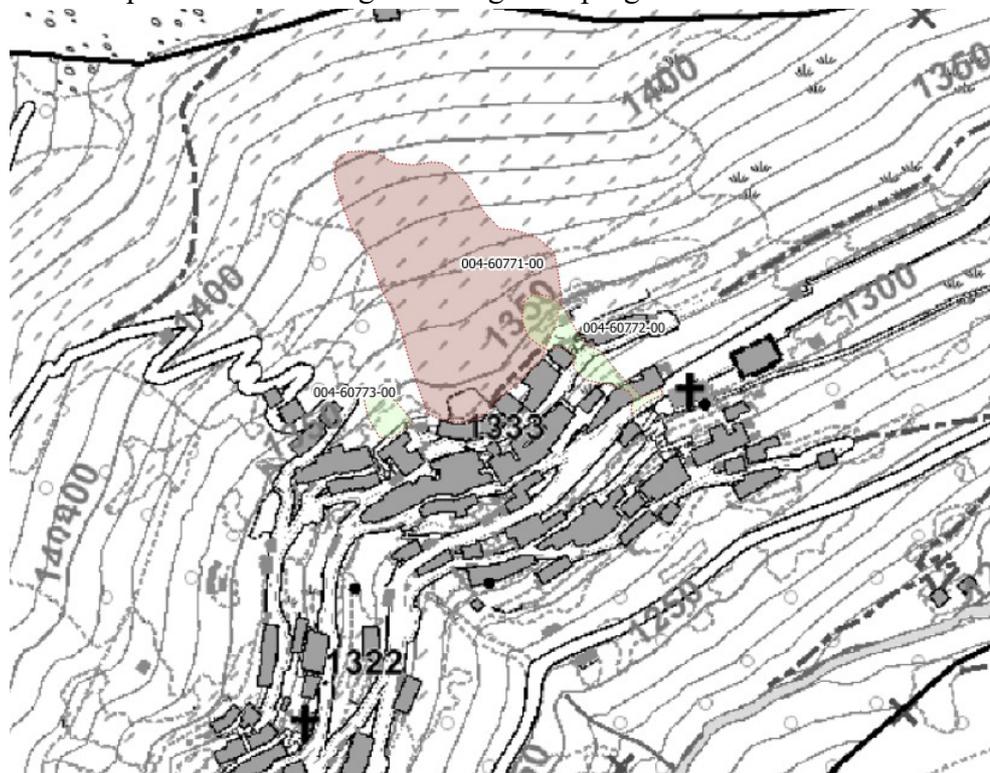
Si tratta di un principio di scivolamento in coltre di grandi dimensioni che interessa una estesa area del pendio palesandosi sul coronamento di monte con una grossa crepa ampia circa 40-50 cm con ribassamento dei lembi.

A valle la massa franosa ha imposto una rilevante spinta al nucleo di fabbricati situati al piede che fortunatamente hanno retto la spinta deformandosi vistosamente.

Le lesioni sono risultate di tale importanza da compromettere in modo permanente la staticità degli edifici.

Va precisato che durante i numerosi sopralluoghi eseguiti nell'area si è evidenziato che dalla crepa a monte del corpo di frana 3 è presente un prolungamento della crepa, non sempre di facile individuazione, che scende verso il basso e si collega al ciglio di distacco del corpo di frana 2 palesando di fatto la presenza di un unico corpo di frana.

Tale situazione è riportata nelle cartografie allegate al progetto.



Cartografia delle frane di Piaggia fornita da Arpa Piemonte

INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO



Stralcio carta geologica foglio 91

L'intero abitato di Piaggia risiede in un'area di versante esposta a sud a quote comprese tra 1250 e 1400 metri circa sul l.m.m., le zone interessate dagli eventi franosi sono concentrate nel settore nord-orientale del paese immediatamente a monte del centro edificato.

Tali aree presentano un'acclività medio-alta risolta con strette fasce alternate a corte e ripide scarpate, in alcuni livelli le scarpate sono sostituite da bassi muri di contenimento in pietra.

Circa 200 m a nord del centro abitato corre, da ovest verso est, il crinale che funge sia da spartiacque che da limite regionale. Da tale espluvio dipartono verso sud alcuni blandi crinali e, a quote inferiori cominciano ad evidenziarsi anche delle linee d'impluvio dall'aspetto sempre più marcato all'approssimarsi del paese.

Il versante è impostato su rocce stratificate calcareo-arenacee con intercalati livelli siltosi ed argilloscistosi attribuibili alla Formazione del Flysch di San Remo membro H1.

Il rilievo delle giaciture della stratificazione evidenzia la presenza di pieghe a scala decametrica, rispetto al versante la stratificazione presenta mediamente disposizione a traverpoggio con alcune porzioni in cui la giacitura passa a franappoggio come ben evidente sullo specchio della frana n° 2.

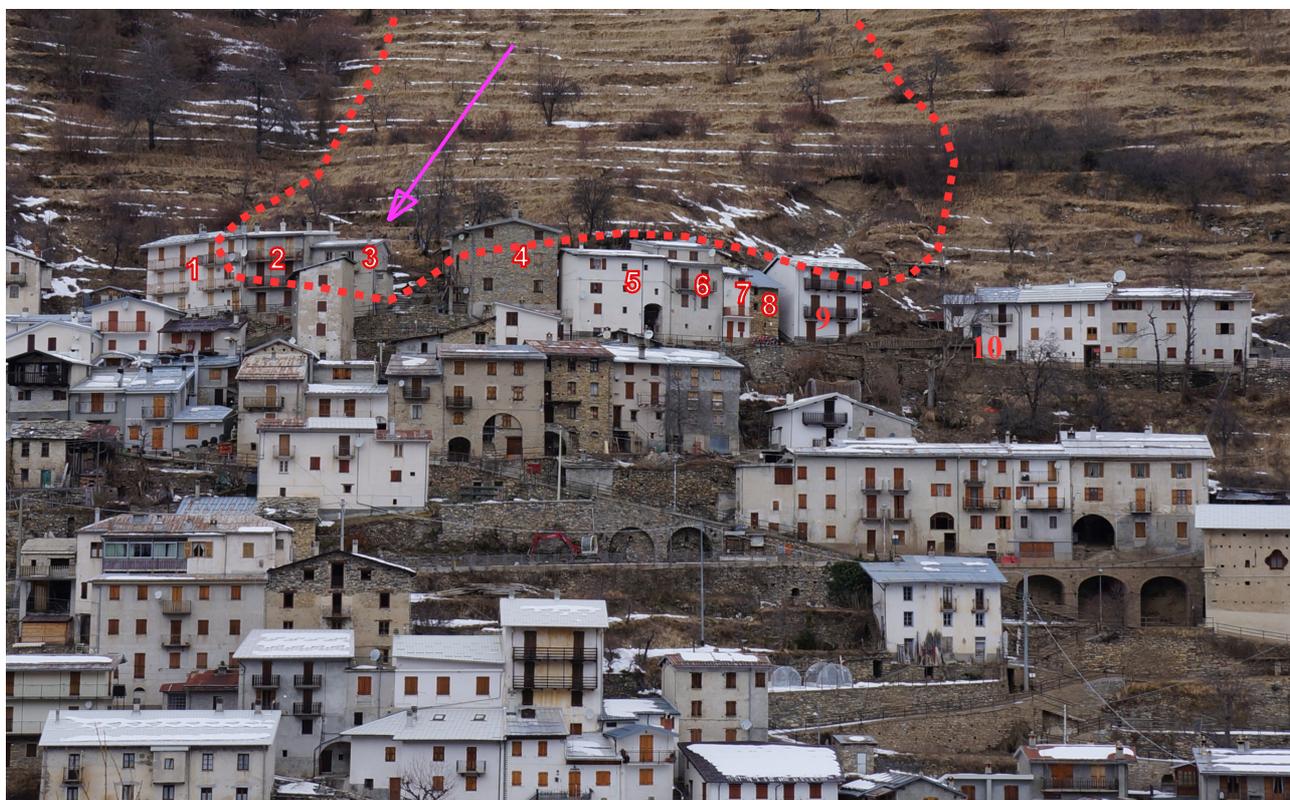
Il substrato affiora diffusamente sul versante al di fuori dell'area indicata in planimetria come areale con coltri superiori a 3 metri.

Subito a valle della fila di abitazioni danneggiate, l'ammasso roccioso affiora diffusamente attorno alle abitazioni.

Dal punto di vista geomorfologico e visti gli esiti delle indagini geognostiche si delinea quindi la presenza nel compluvio a monte dell'abitato di una zona caratterizzata da coltri di potenza massima attorno ai 7-8 metri attribuibile ad un accumulo di paleofrana e/o detrito di falda (vedi Tav. 3 e 4) finora non cartografato a livello di pianificazione territoriale né individuato come area a maggior pericolosità geomorfologica.

Le cumulate dell'evento del novembre 2016 ed il conseguente innalzamento del livello della falda acquifera nel terreno verosimilmente sino a livelli prossimi al piano campagna hanno determinato l'attivazione di uno scivolamento della massa detritica lungo la superficie di contatto con il substrato, la giacitura del substrato talora riconoscibile a franappoggio ne ha favorito lo scivolamento.

Gli edifici presenti sul piede di valle, specificatamente 1, 2, 3 e porzione di monte del 4, che in base ai rilievi risultano fondati su roccia massiva e ben strutturata, hanno contrastato lo scivolamento deformandosi senza collassare ma subendo gravi danni strutturali.



Veduta sud di Piaggia con evidenziata l'area colpita dalle frane, la freccia indica la direttrice di maggior spinta

In base ai rilievi svolti gli edifici 5, 6, 7, 8, 9, 10 risultano al di fuori della zona di frana anche se il 9 ed il 10 sono stati colpiti dallo scivolamento della massa della frana 2.

A monte del 5 e tra 8 e 9 è ben visibile il substrato roccioso strutturato (vedi tav. 3).

In base ai rilievi ed alle indagini svolte è possibile affermare che il substrato roccioso non è stato interessato dal movimento franoso. L'unica crepa significativa rilevabile sullo spigolo ovest dell'edificio 5 era già presente prima dell'evento.



Foto aerea effettuata dal drone dei Vigili del Fuoco, in rosso il contorno della frana, la freccia indica la direttrice di maggior spinta



Substrato esposto a seguito dell'evento franoso n°2: giacitura a franapoggio



Affioramento diffuso alla base delle case lesionate 1, 2

IDROGEOLOGIA.

Il nucleo abitato di Piaggia si caratterizza per una discreta ricchezza di acqua che si manifesta con numerose sorgenti di portata da modesta ad importante presenti sul versante.

La maggiore di esse, situata nella parte nord-ovest dell'abitato, alimenta l'acquedotto comunale.

Il substrato roccioso appare quindi interessato da una diffusa e costante circolazione idrica ipogea, testimoniata anche dai segni di microcarsimo rilevabili in numerosi affioramenti, la cui alimentazione è presumibilmente da attribuire al massiccio montuoso soprastante (Saccarello - Bertrand).

Nel corso della costruzione del nucleo edificato gli antichi abitanti brigaschi canalizzarono le acque mediante condotti sotterranei in pietra che raccolgono sia i drenaggi situati al piano basso delle case (anticamente adibito a stalla) che le modeste sorgenti presenti in più punti dell'abitato e portano le acque a defluire verso valle mediante un diffuso reticolo di canalizzazioni ora integrato e/o sostituito anche da tubazioni di più recente costruzione.

Tale reticolo ha tutto sommato retto l'urto dell'imponente evento piovoso dimostrando comunque alcune criticità soprattutto per quanto riguarda gli attraversamenti delle strade interne da parte dei rii principali sia per quanto riguarda la canalizzazione delle acque provenienti dall'impluvio dove si è verificata la frana 1 (compluvio sul limite ovest della frana principale).



il rio in centro al paese, foto scattata nel pomeriggio del 24



foto scatta a valle della zona della frana 1 in centro al paese, pomeriggio del 24



foto scatta a valle della zona della frana 1 dal forno, pomeriggio del 24

INDAGINI GEOLOGICHE E GEOTECNICHE.

L'area è stata oggetto di una accurato studio consistente in:

- acquisizione di tutte le informazioni geologiche disponibili dell'area e riscontro delle stesse;
- un accurato rilevamento di campagna con l'intento di mappare gli affioramenti presenti ed individuare la giacitura di strato;
- campagna di indagini geofisiche: sono state approntate 4 stese sismiche per l'applicazione di sismica a rifrazione e del metodo masw;
- campagna di indagini geognostiche consistenti in 6 sondaggi a distruzione per determinare la stratigrafia di massima.
- campagna di monitoraggio: nei sondaggi S1 ed S3 è stato inserito un piezometro per il monitoraggio della falda acquifera mentre nel sondaggio S4 un inclinometro per valutare la mobilità della frana.
 - nelle case danneggiate inoltre sono stati installati 12 fessurimetri con placchette e crepometro nelle crepe più significative.

Tutte le indagini geognostiche sono state identificate nel rilievo topografico dell'area.

INDAGINI GEOFISICHE

Allo scopo di identificare i principali orizzonti sismostratigrafici presenti nei primi metri di profondità sono state approntate quattro stese sismiche di dodici geofoni verticali lungo le fasce interessate dall'evento franoso principale.

In tutte quattro le stese sono state eseguite sismiche a rifrazione mentre la tecnica Masw ha dato risultati apprezzabili solo nelle stese R2 ed R3.

Sismica a rifrazione (onde p)

Sintesi del metodo

La tecnica di prospezione sismica a rifrazione consiste nel misurare i tempi di primo arrivo delle onde sismiche generate in un punto in superficie (sorgente), in corrispondenza di una serie di geofoni disposti a distanza regolare lungo la superficie. Mediante questo tipo di indagine si può risalire alle dromocrone (curve tempi-distanze) utilizzando le distanze tra sorgente e geofoni ed i tempi di primo arrivo delle onde sismiche generate. Dalle dromocrone si costituisce poi un modello sismostratigrafico mediante apposito programma.

Tutte le stese sismiche sono costituite da una sequenza di dodici geofoni verticali allineati in quota ad una distanza intergeofonica di 3 metri. Come sorgente è stata utilizzata una mazza battente di 10 Kg con relativo piattello in alluminio.

Risultati

Mediante il programma INTERSISM sono state modellizzate le sezioni che individuano gli orizzonti stratigrafici a diversa V_p .

Le sezioni sismostratigrafiche risultate dall'elaborazione sono riportate nella Tavola 3.

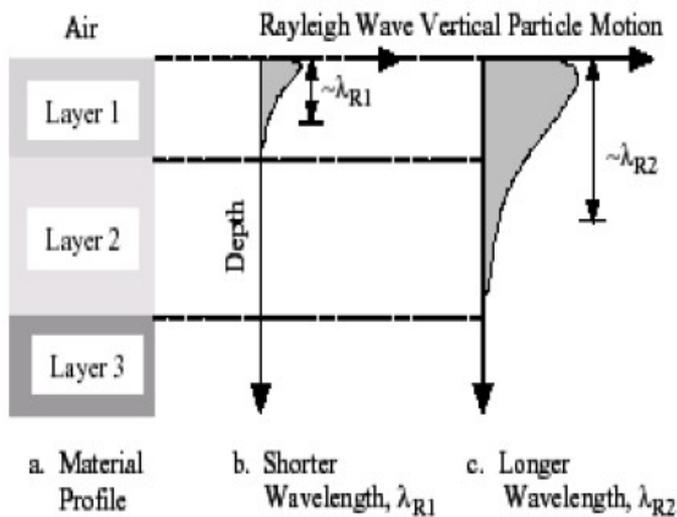
Con tale metodologia è stato possibile determinare in modo molto dettagliato la presenza di importanti coperture detritiche e la loro geometria caratterizzata da rilevanti variazioni di spessore lungo il pendio.

Metododo masw

Sintesi del metodo

Nel metodo MASW le onde superficiali (Rayleigh o Love) sono prodotte da una sorgente impulsiva (compressiva o di taglio) posta a piano campagna e vengono registrate da uno stendimento lineare composto da numerosi ricevitori posti a breve distanza (distanza intergeofonica). Come sorgente superficiale si è utilizzato un maglio da 10 Kg battente su un piattello in alluminio.

Il metodo sfrutta le caratteristiche delle onde di superficie: la velocità delle onde di Rayleigh e di Love è controllata dalla V_s del mezzo attraversato (V_{sv} per le onde di Rayleigh e V_{sh} per le onde di Love) inoltre la velocità di propagazione per una certa lunghezza λ (quindi frequenza) è influenzata dalle proprietà che il mezzo possiede fino a $\lambda/2$:



le alte frequenze pertanto sono influenzate dagli strati più superficiali mentre le basse frequenze sono interessate da quelli più profondi.

Questo metodo consente di ottenere una curva di dispersione in termini di velocità di fase / frequenza nel range generalmente compreso tra 1 e 60 Hz e fornisce informazioni sulla parte più superficiale di sottosuolo (in genere fino a circa 30-35 m di profondità in funzione della rigidità del suolo).

L'acquisizione delle onde superficiali è stata eseguita mediante il Sismografo DoReMi a 12 canali con il metodo “alternato” supportato dal software di elaborazione Winmasw 4.8 Academy: in tale metodo la sorgente è spostata (allontanata) di una lunghezza pari a metà della distanza intergeofonica (i geofoni restano immobili) simulando così un'acquisizione a 24 tracce (vedi fig. a)

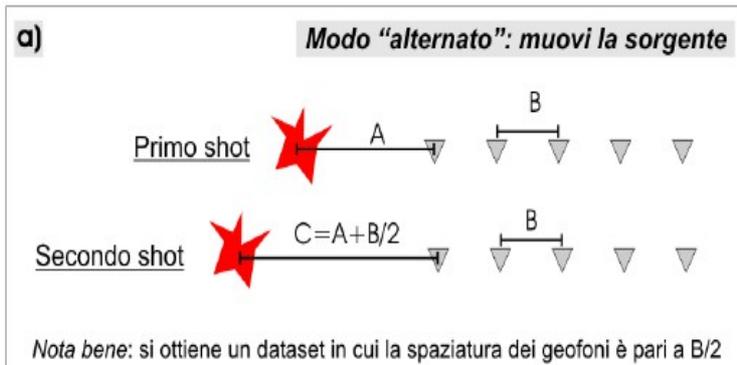


Tabella calcolo moduli elastici:

| | |
|-----------------------------------|---|
| Modulo di Poisson (adimensionale) | $(V_p^2 - 2V_s^2) / [2(V_p^2 - V_s^2)]$ |
| Modulo di Young (in Pa) | $\rho V_s^2 (4 - 3k^2) / (1 - k^2)$ |
| Modulo di Taglio (in Pa) | ρV_s^2 |
| Modulo di Lamé λ (in Pa) | $\rho V_s^2 (k^2 - 2)$ |
| Modulo di Compressione (in Pa) | $\rho V_s^2 (k^2 - 4/3)$ |

dove:

$k = V_p/V_s$ (adimensionale)

$\rho =$ densità (Kg/m³)

V_s e $V_p =$ velocità onde di taglio e compressionali in m/s

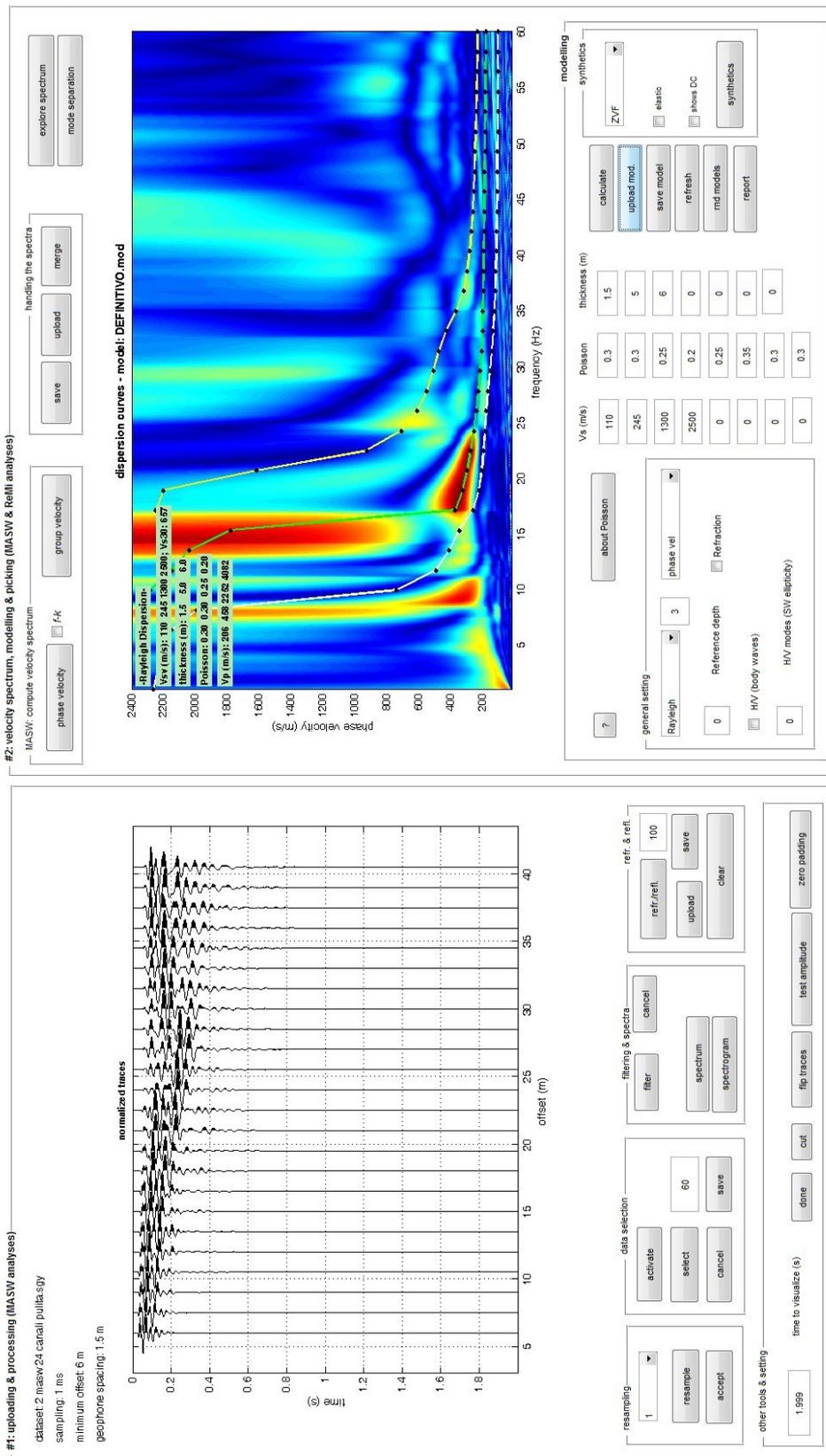
Chiaramente per convertire valori espressi in Pascal (Pa) in valori in MegaPascal (MPa) è sufficiente dividere il numero per 10⁶ (Mega = 1 milione)

Geometrie adottate sia per R2 che per R3:

| | |
|---------------------------------------|-----------------------------------|
| N° geofoni | 12+12 |
| Frequenza | 14 Hz |
| Spaziatura tra i geofoni | 3m (1,5m con il metodo alternato) |
| Distanza sorgente 1° geofono (offset) | 6 m |

Risultati

Di seguito si riportano gli elaborati delle prove MASW in termini di frequenza velocità di fase eseguita utilizzando il software WINMASW 4.8 Academy.



R2 - Diagramma frequenze-velocità di fase con curve di dispersione

#2: velocity spectrum, modelling & picking (MASW & Refl analyses)

MASW: compute velocity spectrum

phase velocity f-k

velocity spectrum

phase velocity (m/s)

frequency (Hz)

about Poisson

general setting

Rayleigh: phase vel Refraction HVV (body waves) HVV modes (SV ellipticity)

Vs (m/s)

| | | | | |
|------|---------|------|---------------|-----|
| 125 | Poisson | 0.35 | thickness (m) | 2.4 |
| 240 | 0.3 | 2.4 | | |
| 900 | 0.25 | 1 | | |
| 1800 | 0.25 | 0 | | |
| 0 | 0.25 | 0 | | |
| 0 | 0.35 | 0 | | |
| 0 | 0.3 | 0 | | |
| 0 | 0.3 | 0 | | |

modelling

synthetics

Z/F elastic shows DC synthetics

#1: uploading & processing (MASW analyses)

dataset: 3°MASW ANDATA_24_cantallisy

sampling: 1 ms

minimum offset: 6 m

geophone spacing: 1.5 m

normalized traces

time (s)

offset (m)

resampling

1

data selection

activate

filtering & spectra

filter

refr. & refl.

refr./refl.

other tools & setting

time to visualize (s)

R3 - Diagramma frequenza-velocità di fase con curve di dispersione

Interpretazione dei risultati

L'insieme delle indagini geofisiche condotte consentono di ricostruire con una certa precisione l'andamento del substrato.

Tutte le rifrazioni individuano tre orizzonti con caratteristiche simili:

il primo associabile a coltri poco addensate con V_p compresa tra 200 e 360 m/s e potenza localmente variabile da 1 a 5 metri ma generalmente intorno ai 2 metri;

un secondo strato associabile a detrito roccioso a diverso grado di detritazione ed addensamento con V_p compresa tra 460 e 760 m/s e potenza variabile da meno di 1 m a 8 metri circa;

il terzo orizzonte con V_p compresa tra 1560 e 2250 m/s circa associabile al substrato ma a diversi gradi di fratturazione /alterazione.

L'estrema variazione laterale degli orizzonti individuati ha trovato riscontro anche nelle indagini masw che proprio per questo hanno prodotto spettri di velocità di difficile interpretazione.

Nello specifico solo le stese sismiche R2 ed R3 hanno prodotto diagrammi di frequenza-velocità di fase in cui si individuano chiaramente le aree di maggiore energia (zone arancioni/rosse) dalle quali è stato possibile tracciare le relative curve di dispersione con poco margine di interpretazione.

Le masw hanno elaborato un modello sismostratigrafico puntuale con quattro orizzonti di cui i primi tre si relazionano bene con i livelli delle sismiche a rifrazione.

In particolare si individua un primo strato con V_s variabile tra 110 e 125 m/s e spessore da 1,5m a 2,4m; un secondo strato con $V_s=240/245$ m/s e spessore variabile da 1,4m a 5m; un terzo strato con V_s variabile tra 900 e 1300 m/s e spessore estremamente variabile da 1m a 6m; infine un quarto strato associabile al substrato roccioso massivo o poco fratturato.

INDAGINI GEOGNOSTICHE

Allo scopo di confermare ed integrare le osservazioni scaturite dalle indagini geofisiche tra il 17 ed il 18 gennaio 2017 sono stati eseguiti 6 sondaggi a distruzione di nucleo allo scopo di identificare con precisione l'effettiva potenza delle coltri rispetto al substrato massivo.

I primi due sondaggi sono stati eseguiti lungo lo stendimento della stesa R2 mentre i restanti 4 in prossimità del piede della frana lungo lo stendimento R1.

Di seguito sono sintetizzati i principali dati dei sondaggi:

| SONDAGGIO | PROFONDITA' BEDROCK(m) | PROFONDITA' SONDAGGIO(m) |
|-----------|------------------------|--------------------------|
| S1 | tra 7.30 e 8.3 | 11.5 |
| S2 | tra 8.0 e 8.8 | 11.5 |
| S3 | tra 7 ed 8.80 | 12 |
| S4 | passaggio netto a 8.8 | 13 |
| S5 | tra 1.50 e 2 | 4 |
| S6 | Passaggio netto a 4 | 5.8 |

In 4 dei 6 sondaggi il passaggio coltre substrato avviene attraverso il passaggio di una zona di marcata alterazione della roccia di spessore variabile tra 0.50 e 1.8 m.

Nella tavole 3 sono consultabili le stratigrafie e la distribuzione planimetrica dei sondaggi.

MONITORAGGIO

La campagna di monitoraggio dell'area consiste in tre distinte tipologie di indagini:

- monitoraggio del corpo di frana: mediante un inclinometro installato nel sondaggio S4i;
- monitoraggio del livello di falda: mediante due piezometri installati nei sondaggi S1p, S3p dove è stata riscontrata durante la perforazione una più rilevante presenza di acqua;
- monitoraggio degli edifici danneggiati: mediante 12 fessurimetri.

Il **tubo inclinometrico** è stato installato in corrispondenza del sondaggio S4 in quanto in posizione centrale rispetto il corpo di frana.

La lettura zero è stata fatta il 11 febbraio 201 e dalle prime misure effettuate nel mese di marzo non si sono registrati movimenti significativi ma solo impercettibili variazioni riconducibili all'errore

strumentale.

In allegato sono consultabili le letture ed i principali grafici di raffronto cui segue una sostanziale immobilità quantomeno della porzione immediatamente a monte delle case danneggiate.

Per monitorare il **livello di falda** sono stati inseriti due piezometri a quote diverse lungo una approssimativa linea di massima pendenza all'interno del corpo di frana identificato.

Sono stati pertanto utilizzati i sondaggi S1 ed S3 dove come detto si è riscontrata durante la perforazione una più marcata presenza di acqua.

Anche il livello di falda, secondo le prime letture, presenta una oscillazione piuttosto modesta: solo alcune decine di centimetri. Di seguito sono riassunti i dati fino ad ora registrati:

| Date | S1p (m) | S3p (m) |
|----------|---------|---------|
| 02/04/17 | -7 | -5.1 |
| 03/04/17 | -7.3 | -5.4 |
| 04/08/17 | -7.1 | -5.35 |

I **fessurimetri** posizionati sulle strutture lesionate testimoniano per ora una situazione di quasi totale assenza di ulteriori deformazioni.

Il 30 novembre, pochi giorni dopo i danneggiamenti, sono stati posizionati 12 placchette con crepometro su altrettante fessurazioni. Le misurazioni si sono protratte dalla data di creazione ad oggi con cadenza variabile per un totale di 13 misure. Inizialmente le letture sono state fatte a breve distanza (pochi giorni) successivamente, in considerazione delle limitate variazioni riscontrate, si è ritenuto di poter dilatare le finestre temporali.

Per maggior dettagli in allegato sono consultabili le letture effettuate.

MODELLO GEOLOGICO

L'insieme delle indagini ha consentito di ricostruire con una accettabile precisione l'andamento del substrato roccioso stratificato (vedi sezioni geologiche allegate in tavole 8 e 9).

Le indagini sismiche, in particolare i modelli sismostratigrafici elaborati dalle rifrazioni, forniscono una visione bidimensionale del corpo di frana centrale, mentre i sondaggi a distruzione di nucleo confermano, salvo piccole variazioni, le profondità del substrato roccioso nei punti già indagati dalle sismiche.

Confrontando ed integrando le informazioni possiamo stimare la dimensione del corpo di frana principale causa dei danni strutturali agli edifici.

La potenza può raggiungere i circa 8-9 metri nelle zone centrali ed occidentali mentre si riduce a 3, 4 metri nella porzione più orientale e verso nord dove la coltre via via tende sempre più ad assottigliarsi. In effetti, poco oltre l'estesa e profonda crepa, compaiono alcuni affioramenti che guidano lo scrivente a supporre uno spessore del corpo di frana non superiore a 2 metri quanto meno nelle porzioni più alte in quota.

La frana è sostanzialmente costituita da un terreno a matrice limosa-argillosa con uno scheletro lapideo che varia anche sensibilmente a seconda delle zone e di quanto asportato al sottostante substrato roccioso durante la formazione dell'accumulo.

Possiamo verosimilmente dedurre un generale incremento di materiale lapideo grossolano con la profondità, soprattutto in funzione della giacitura di strato della roccia ed in proporzione al suo grado di alterazione e fratturazione.

PARAMETRI GEOTECNICI DELLE COLTRI (BACK ANALYSIS)

Sulla base dei rilievi e delle prospezioni sismiche e geognostiche sopra descritte e delle sezioni geologiche estrapolate si è eseguito un calcolo in back-analysis ipotizzando una superficie di scivolamento passante lungo l'orizzonte di separazione coltre-substrato in modo da valutare i parametri geotecnici medi del terreno lungo la superficie di taglio presupponendo una livello di falda prossimo al piano campagna in condizioni di massimo apporto idrico come verosimilmente verificatosi durante l'evento alluvionale del 24/25 novembre.

Sono stati così desunti i seguenti parametri:

- Angolo di attrito in condizioni drenate $f' = 30^\circ$
- Coesione drenata $0,4 \text{ t/m}^2$
- Peso di volume naturale $\gamma = 1,8 \text{ t/m}^3$

- Peso di volume naturale saturo $\gamma_s = 2 \text{ t/m}^3$

Per ulteriori approfondimenti si rimanda alla relazione geotecnica.

CONDIZIONI GEOTECNICHE DEL SUBSTRATO ALTERATO.

Sulla base delle indagini eseguite e dei rilievi sugli affioramenti si è ritenuto di valutare i parametri del substrato nella sua porzione più superficiale alterata e fratturata mediante il criterio di Hoek-Brown, utilizzando il software rocklab.

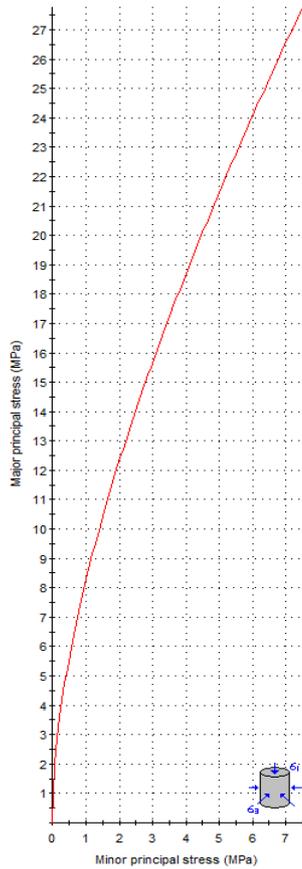
Ai fini del calcolo della capacità portante delle fondazioni superficiali su roccia, Hoek e Brown (1997) hanno introdotto l'indice GSI (Geological Strength Index), il cui significato è quello di un indice di resistenza, valido per ammassi di roccia tenera e dura. Hoek e Brown (1997) hanno proposto una tabella per effettuare una stima dell'indice GSI tramite una semplice ispezione visiva. In tabella sono individuate le condizioni della superficie di discontinuità classificate in 5 categorie che vanno da molto buona a molto scadente (categorie simili a quelle adottate per la definizione dell'indice RMR) e le principali categorie di rocce che vanno da massiva a disgregata / laminata.

In base alla classificazione dell'ammasso roccioso e della sua superficie di discontinuità è possibile quindi riferirsi a una specifica cella della seguente tabella, la quale fornisce un intervallo di valori stimati per GSI nelle condizioni in esame.

Per il caso in esame si è proceduto cautelativamente attribuendo alle superfici di discontinuità media qualità discreta (fair) con struttura tipo C (vedi figura seguente). Per tali caratteristiche si è estrapolato quindi un $GSI = 38$.

| COMPOSITION AND STRUCTURE | | SURFACE CONDITIONS OF DISCONTINUITIES | | | | |
|---|--|---------------------------------------|------|------|------|-----------|
| | | VERY GOOD | GOOD | FAIR | POOR | VERY POOR |
| | A. Thick bedded, very blocky sandstone The effect of pelitic coatings on the bedding planes is minimized by the confinement of the rock mass. In shallow tunnels or slopes these bedding planes may cause structurally controlled instability. | 70 | 60 | | | |
| | B. Sandstone with thin inter-layers of siltstone | | 50 | | | |
| | C. Sandstone and siltstone in similar amounts | | | 40 | | |
| | D. Siltstone or silty shale with sandstone layers | | | | 30 | |
| | E. Weak siltstone or clayey shale with sandstone layers | | | | | 20 |
| C, D, E and G - may be more or less folded than illustrated but this does not change the strength. Tectonic deformation, faulting and loss of continuity moves these categories to F and H. | | | | | | |
| | F. Tectonically deformed, intensively folded/faulted, sheared clayey shale or siltstone with broken and deformed sandstone layers forming an almost chaotic structure | | | | | 10 |
| | G. Undisturbed silty or clayey shale with or without a few very thin sandstone layers | | | | | |
| | H. Tectonically deformed silty or clayey shale forming a chaotic structure with pockets of clay. Thin layers of sandstone are transformed into small rock pieces. | | | | | |

→ : Means deformation after tectonic disturbance

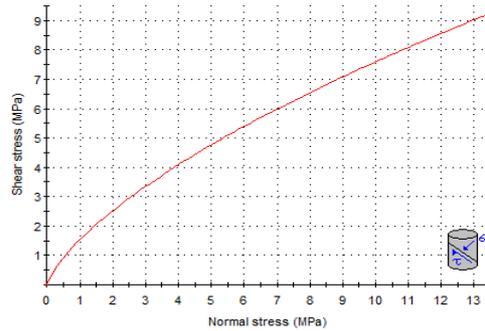


Hoek-Brown Classification
 intact uniaxial comp. strength (σ_{ci}) = 30 MPa
 GSI = 38 m_i = 17 Disturbance factor (D) = 0
 intact modulus (E_i) = 8250 MPa
 modulus ratio (MR) = 275

Hoek-Brown Criterion
 m_b = 1.857 s = 0.0010 a = 0.513

Mohr-Coulomb Fit
 cohesion = 1.465 MPa friction angle = 31.45 deg

Rock Mass Parameters
 tensile strength = -0.016 MPa
 uniaxial compressive strength = 0.876 MPa
 global strength = 5.226 MPa
 deformation modulus = 1148.42 MPa



Hoek Brown Classification

σ_{ci} 30 MPa
 GSI 38
 m_i 17
 D 0
 E_i 8250

Hoek Brown Criterion

m_b 1.85694
 s 0.00101905
 a 0.51302

Failure Envelope Range

Application General
 σ_{3max} 7.5 MPa

Mohr-Coulomb Fit

c 1.4647 MPa
 ϕ 31.451 degrees

Rock Mass Parameters

σ_{gt} -0.0164633 MPa
 σ_{gc} 0.875516 MPa
 σ_{gcm} 5.22559 MPa
 E_{rm} 1148.42 MPa

In sintesi per quanto riguarda la porzione di substrato più superficiale si potranno assumere i seguenti parametri caratteristici:

- angolo di attrito interno 31.45°
- coesione drenata 1.46 MPa (ovvero 14.6 Kg/cm²)
- peso di volume naturale 2.4 t/m³

SISMICITA'

D.G.R. N°11-13058 del 19/01/2010 – Approvazione delle procedure di controllo e gestione delle attività urbanistico-edilizie ai fini della prevenzione del rischio sismico attuative della nuova classificazione sismica del territorio piemontese .

L'intero territorio del comune di Briga Alta ricade nella **Zona 3**.

Categoria di suolo e condizioni topografiche.

In base alla determinazione del profilo di Vs30 (pari a circa 650 m/s) ottenuta con le prove masw si ritiene di attribuire cautelativamente all'area la **categoria di suolo B**: *Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs,30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $NSPT_{,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $cu_{,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).*

Per quanto la topografia, rispetto al pendio si assumerà la **categoria topografica T2: pendii con inclinazione media > 15°**.

PARAMETRI SISMICI

I parametri sismici di seguito presentati sono stati estrapolati mediante il foglio di calcolo ministeriale SPETTRI-NTC ver.1.0.3:

FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate LONGITUDINE: 7.75028 LATITUDINE: 44.08408

Ricerca per comune REGIONE: Piemonte PROVINCIA: Cuneo COMUNE: Piaggia

Elaborazioni grafiche: Grafici spettri di risposta, Variabilità dei parametri

Elaborazioni numeriche: Tabella parametri

Nodi del reticolo intorno al sito



Controllo sul reticolo: Sito esterno al reticolo, Interpolazione su 3 nodi, Interpolazione corretta

Interpolazione: superficie rigata

La "Ricerca per comune" utilizza le coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, la "Ricerca per coordinate".

INTRO **FASE 1** FASE 2 FASE 3

FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

Vita nominale della costruzione (in anni) - V_N info
 Coefficiente d'uso della costruzione - c_U info

Valori di progetto

Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) - V_R info

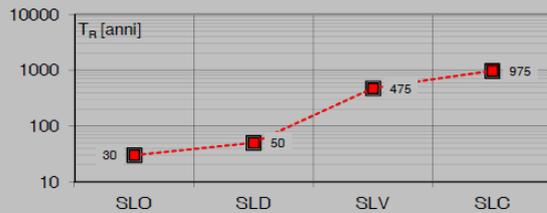
Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) - T_R info

Stati limite di esercizio - SLE {
 SLO - $P_{VR} = 81\%$
 SLD - $P_{VR} = 63\%$
 Stati limite ultimi - SLU {
 SLV - $P_{VR} = 10\%$
 SLC - $P_{VR} = 5\%$

Elaborazioni

Grafici parametri azione
 Grafici spettri di risposta
 Tabella parametri azione

Strategia di progettazione



LEGENDA GRAFICO

---□--- Strategia per costruzioni ordinarie
 -.-.- Strategia scelta

INTRO

FASE 1

FASE 2

FASE 3

FASE 3. DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO

Stato Limite

Stato Limite considerato **SLD** ▼ info

Risposta sismica locale

Categoria di sottosuolo **B** ▼ info

$S_G =$ info

$C_G =$ info

Categoria topografica **T2** ▼ info

$h/H =$ info

(h=quota sito, H=altezza rilievo topografico)

Compon. orizzontale

Spettro di progetto elastico (SLE)

Smorzamento ξ (%)

$\eta =$ info

Spettro di progetto inelastico (SLU)

Fattore q_0

Regol. in altezza **no** ▼ info

Compon. verticale

Spettro di progetto

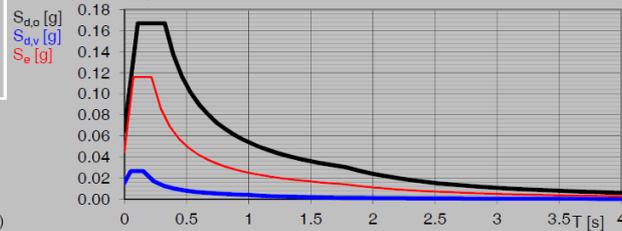
Fattore q

$\eta =$ info

Elaborazioni

Grafici spettri di risposta
 Parametri e punti spettri di risposta

Spettri di risposta



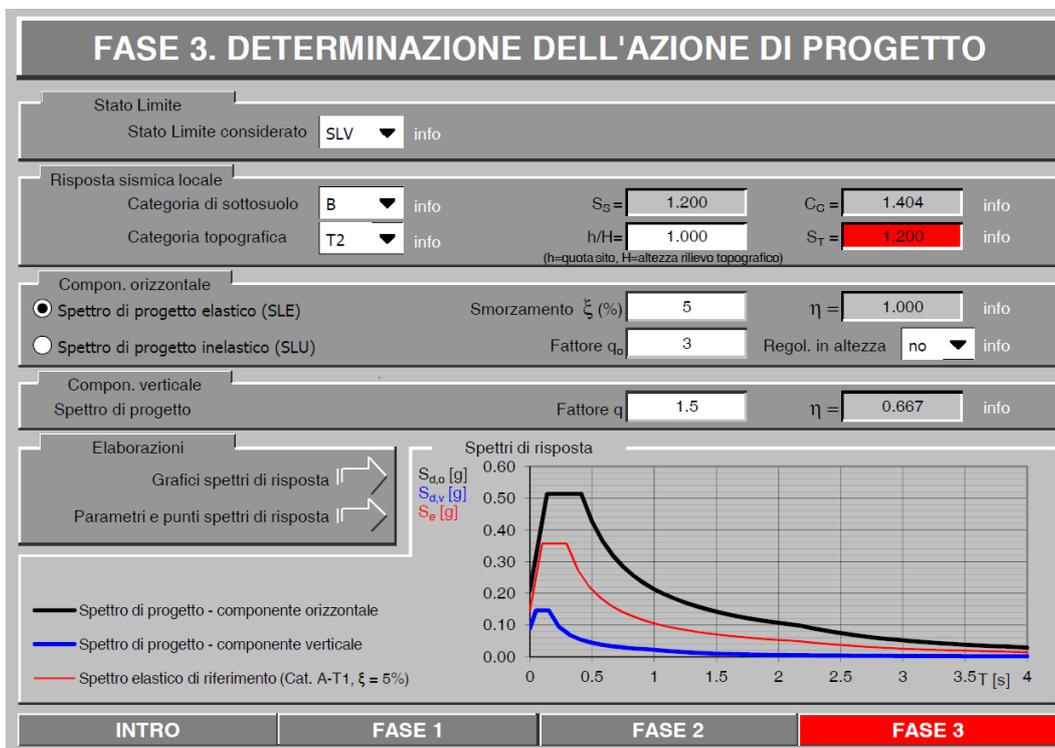
— Spettro di progetto - componente orizzontale
 — Spettro di progetto - componente verticale
 — Spettro elastico di riferimento (Cat. A-T1, $\xi = 5\%$)

INTRO

FASE 1

FASE 2

FASE 3



Valori dei parametri a_g , F_o , T_C^* per i periodi di ritorno T_R associati a ciascuno SL

| SLATO LIMITE | T_R [anni] | a_g [g] | F_o [-] | T_C^* [s] |
|--------------|--------------|-----------|-----------|-------------|
| SLO | 30 | 0.033 | 2.563 | 0.194 |
| SLD | 50 | 0.045 | 2.571 | 0.216 |
| SLV | 475 | 0.145 | 2.466 | 0.295 |
| SLC | 975 | 0.194 | 2.490 | 0.310 |

CONCLUSIONI

Le opere previste nel presente progetto esecutivo hanno lo scopo di stabilizzare l'area franata a seguito delle intense piogge avvenute nel novembre del 2016 e consolidare il versante per scongiurare ulteriori smottamenti causati da possibili futuri intensi eventi metereologici.

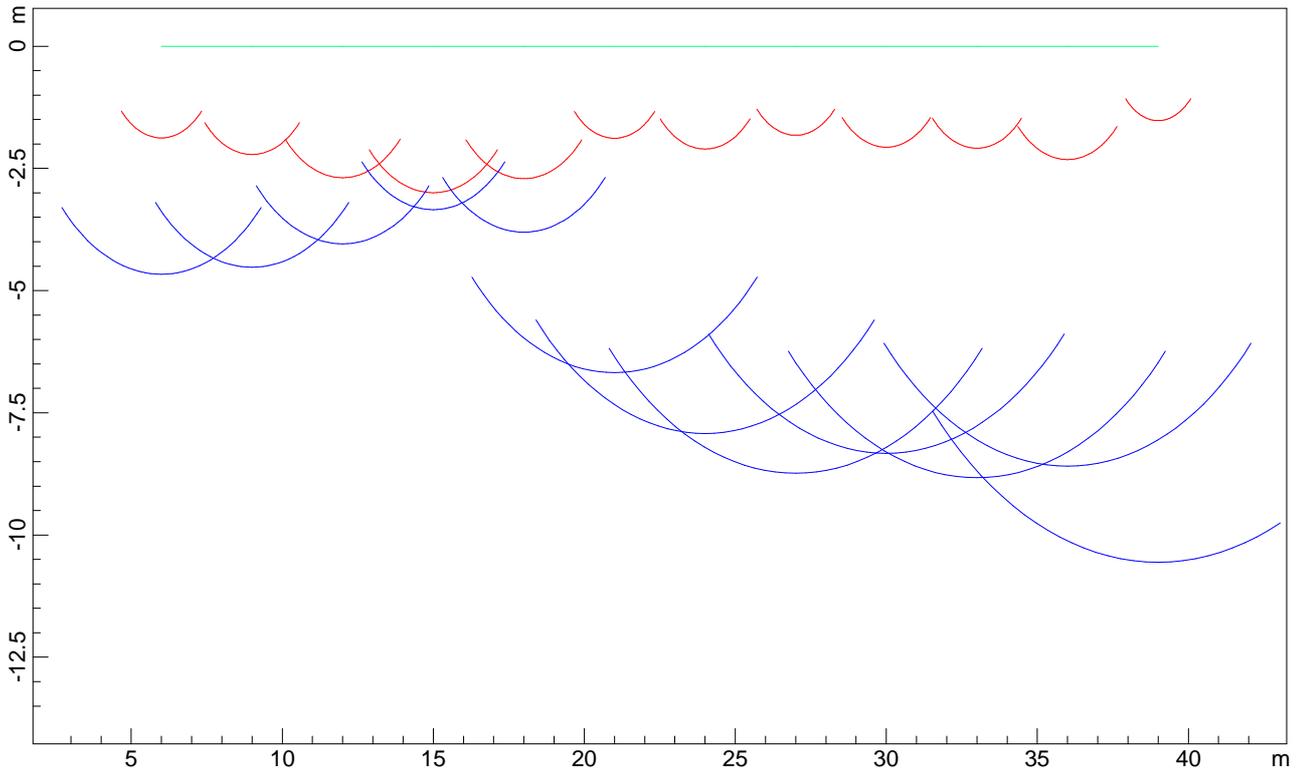
Pertanto si ritiene l'intervento non solo conforme alla tutela del Vincolo Idrogeologico ma necessario ed indispensabile al fine di ridurre la vulnerabilità dell'intera frazione Piaggia.

Andora, aprile 2017

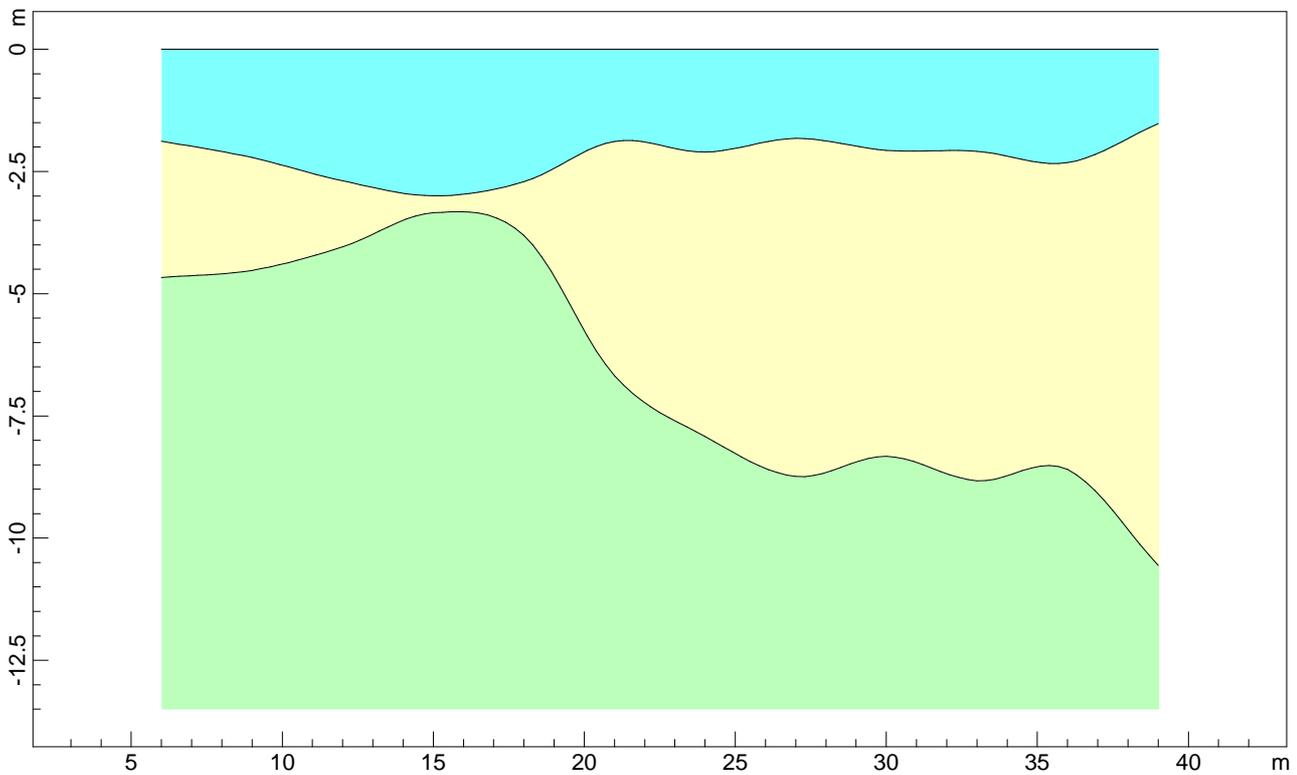
Geologo Vittorio Vezzaro.

RIFRAZIONE 1

PROFONDITA' RIFRATTORI

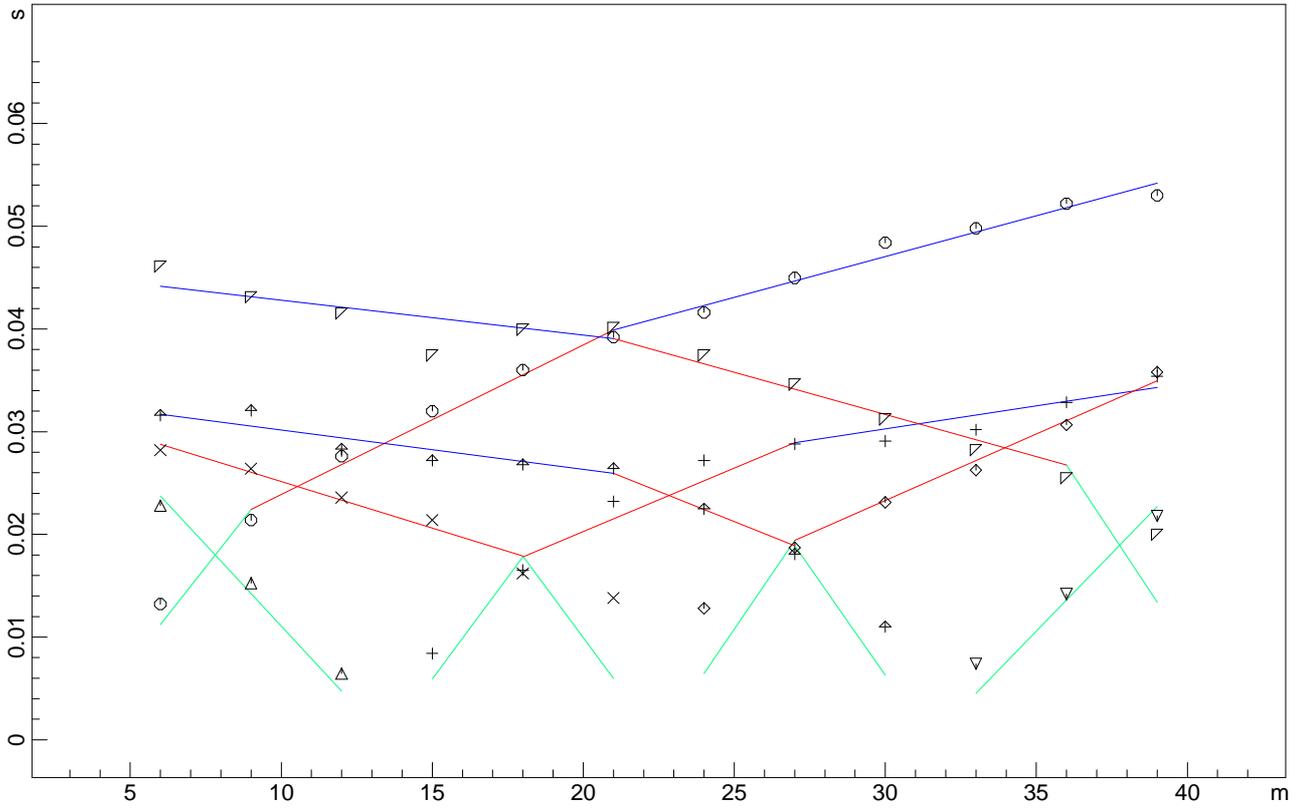


SEZIONE VERTICALE

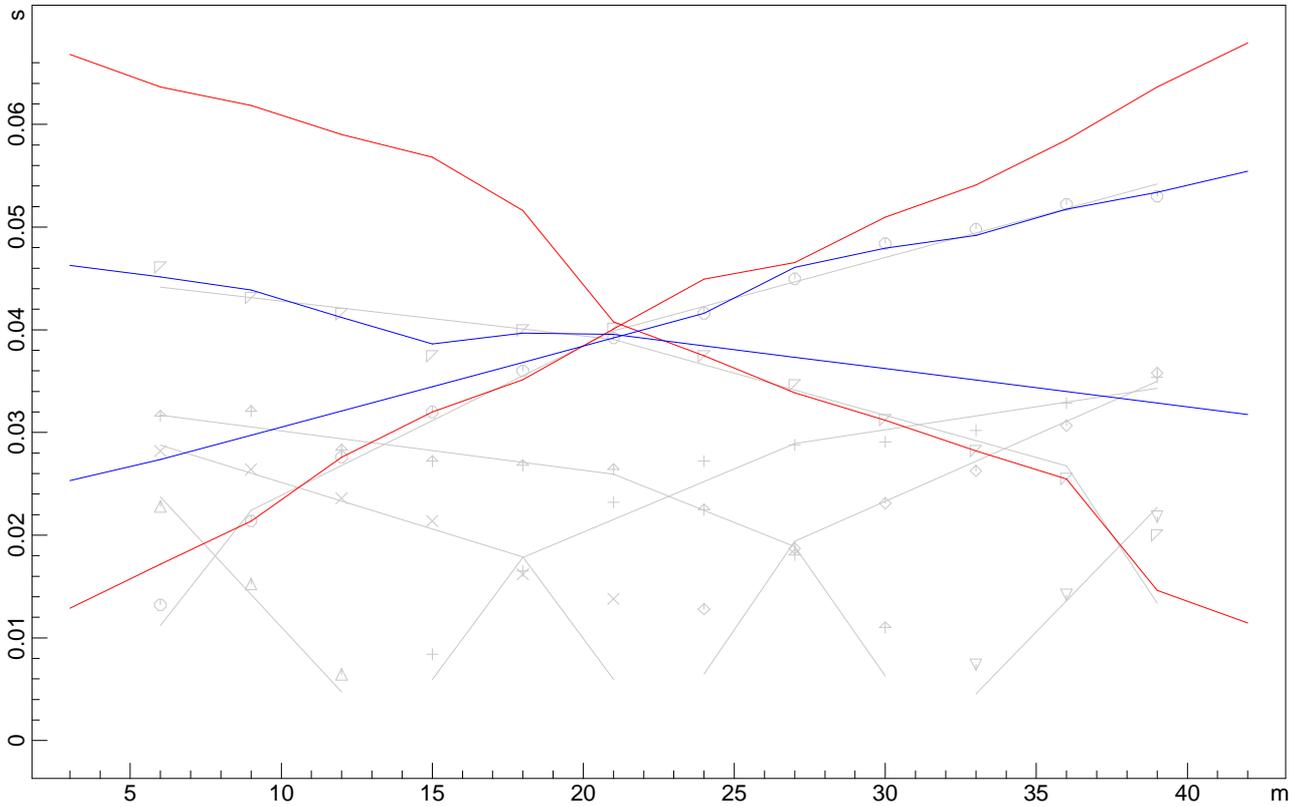


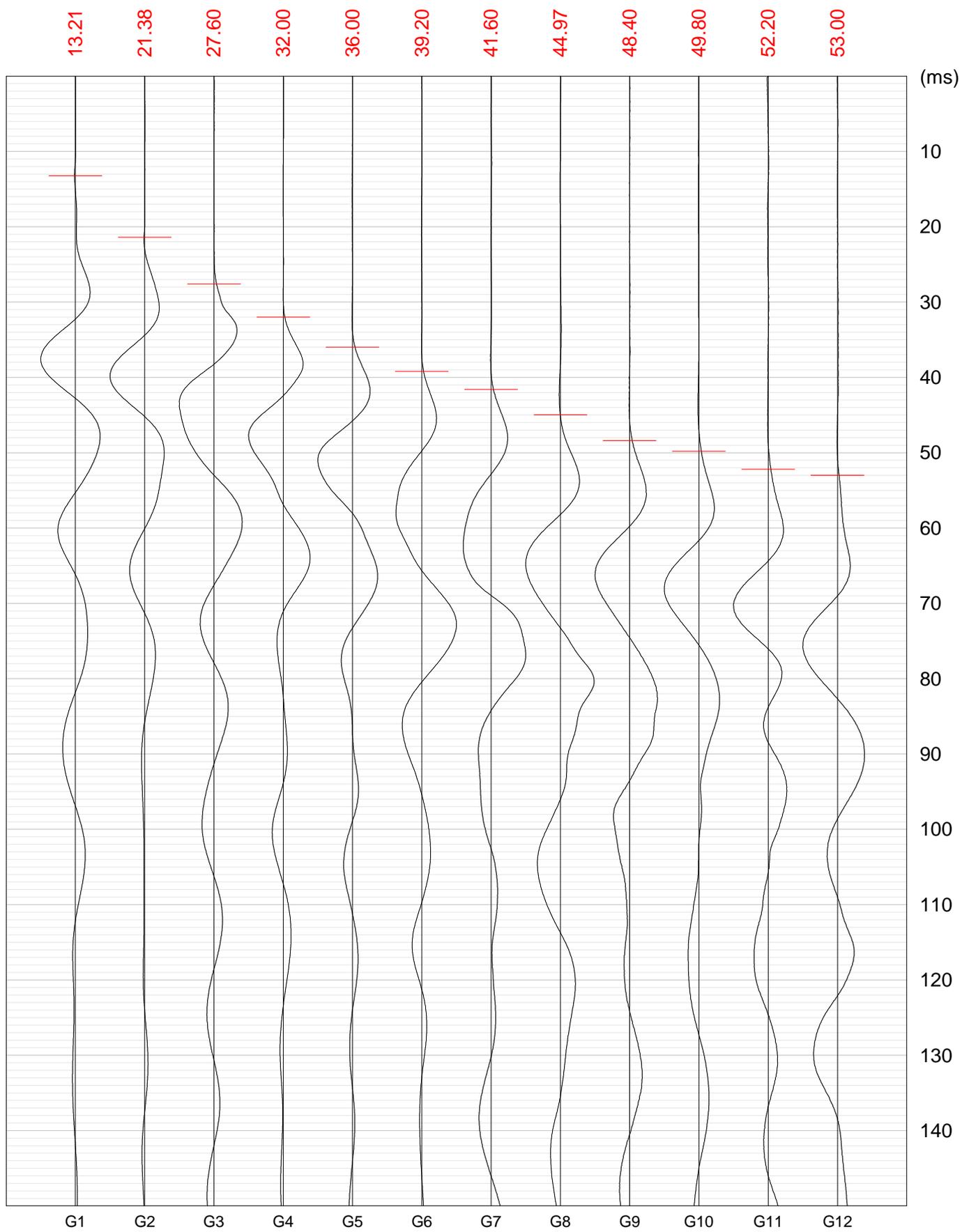
 259.4 m/s  693.7 m/s  1753.3 m/s

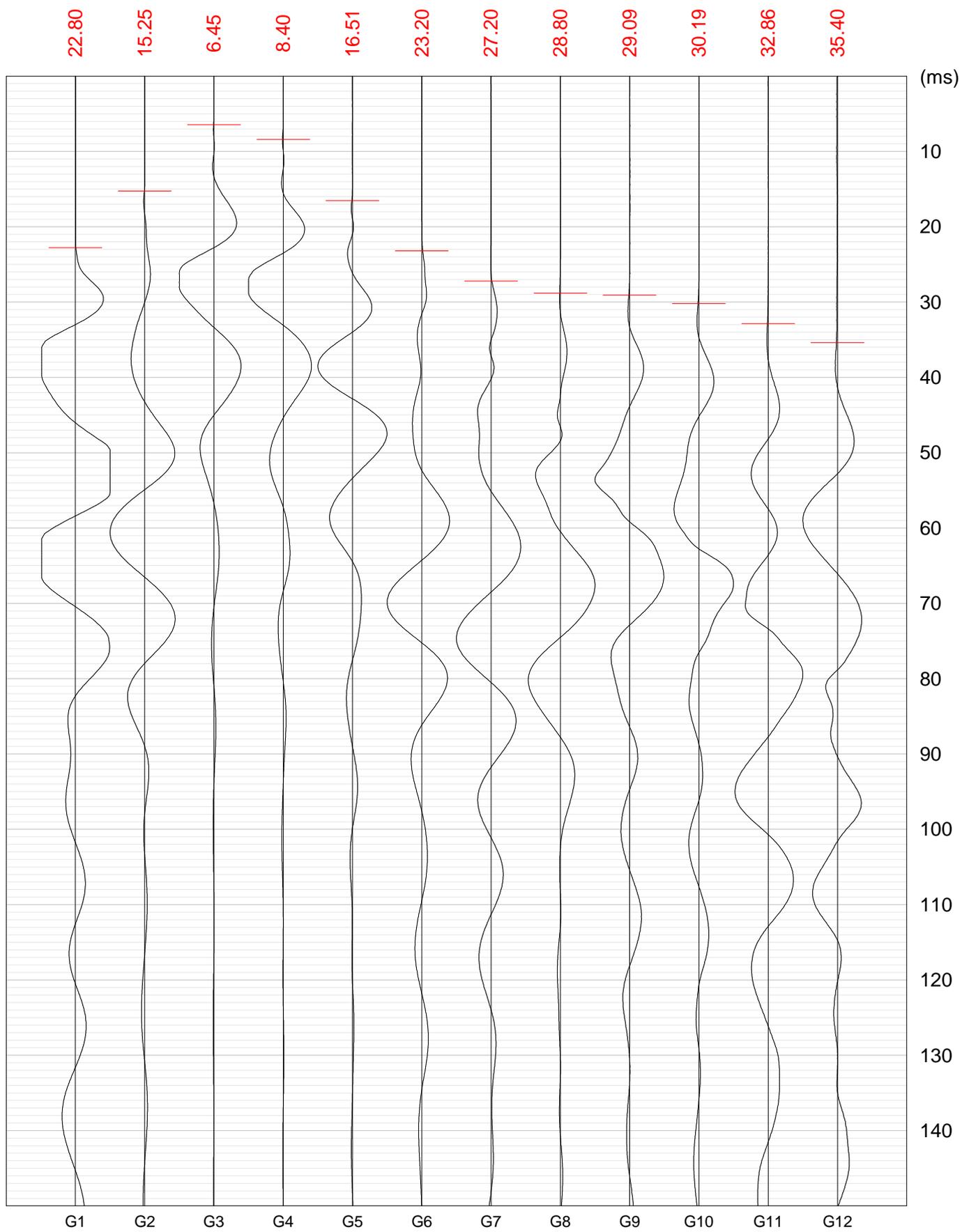
DROMOCRONE ORIGINALI

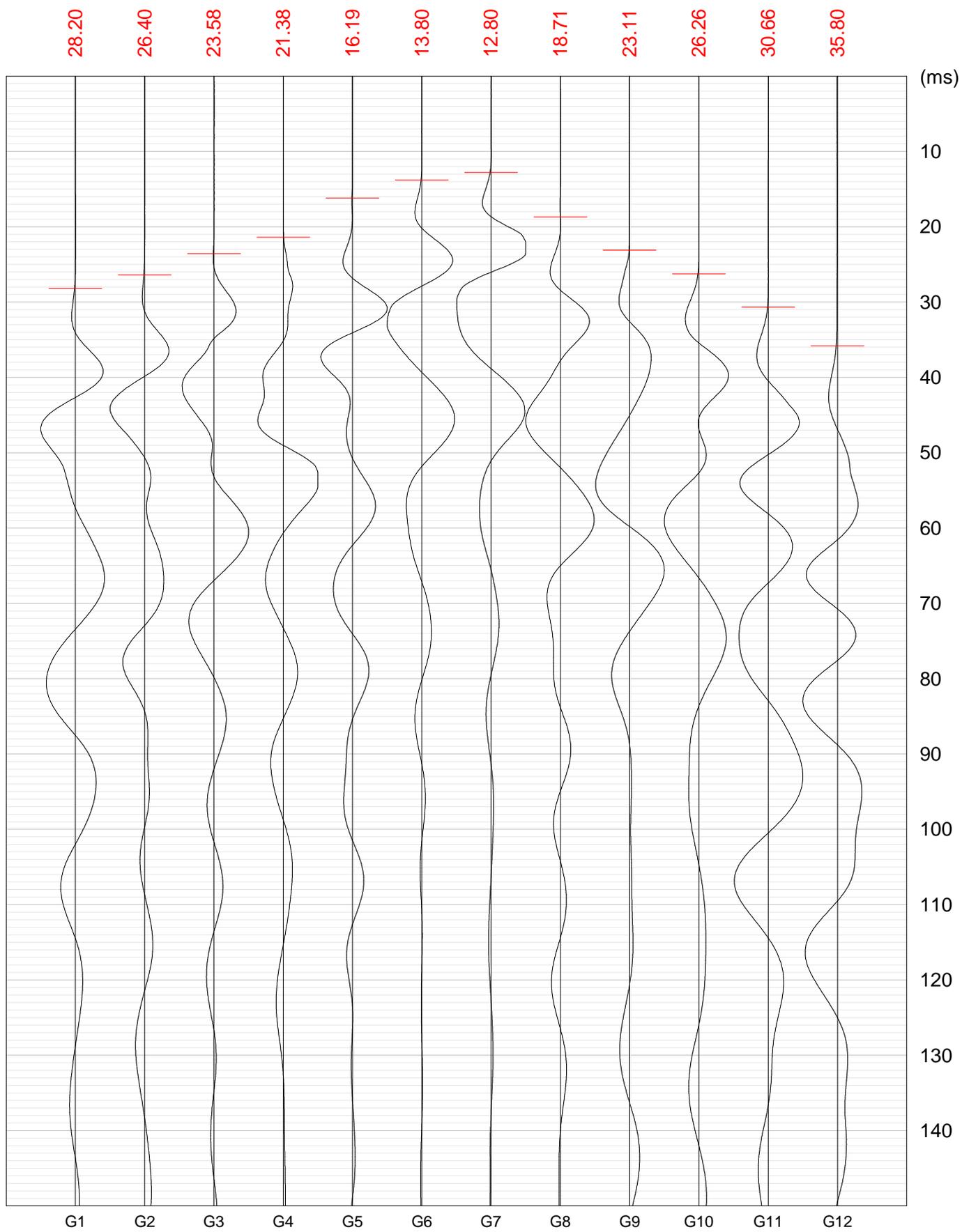


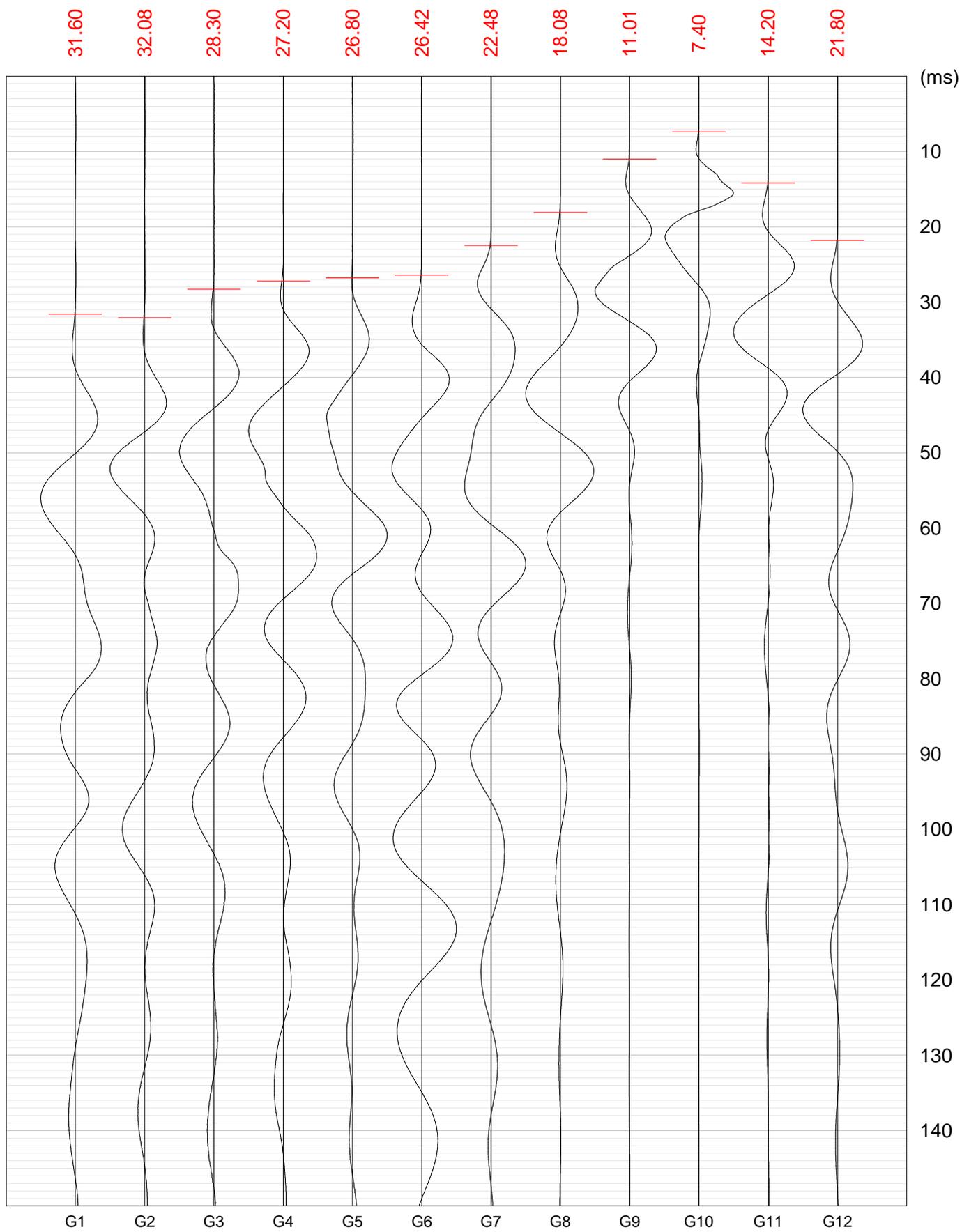
DROMOCRONE TRASLATE

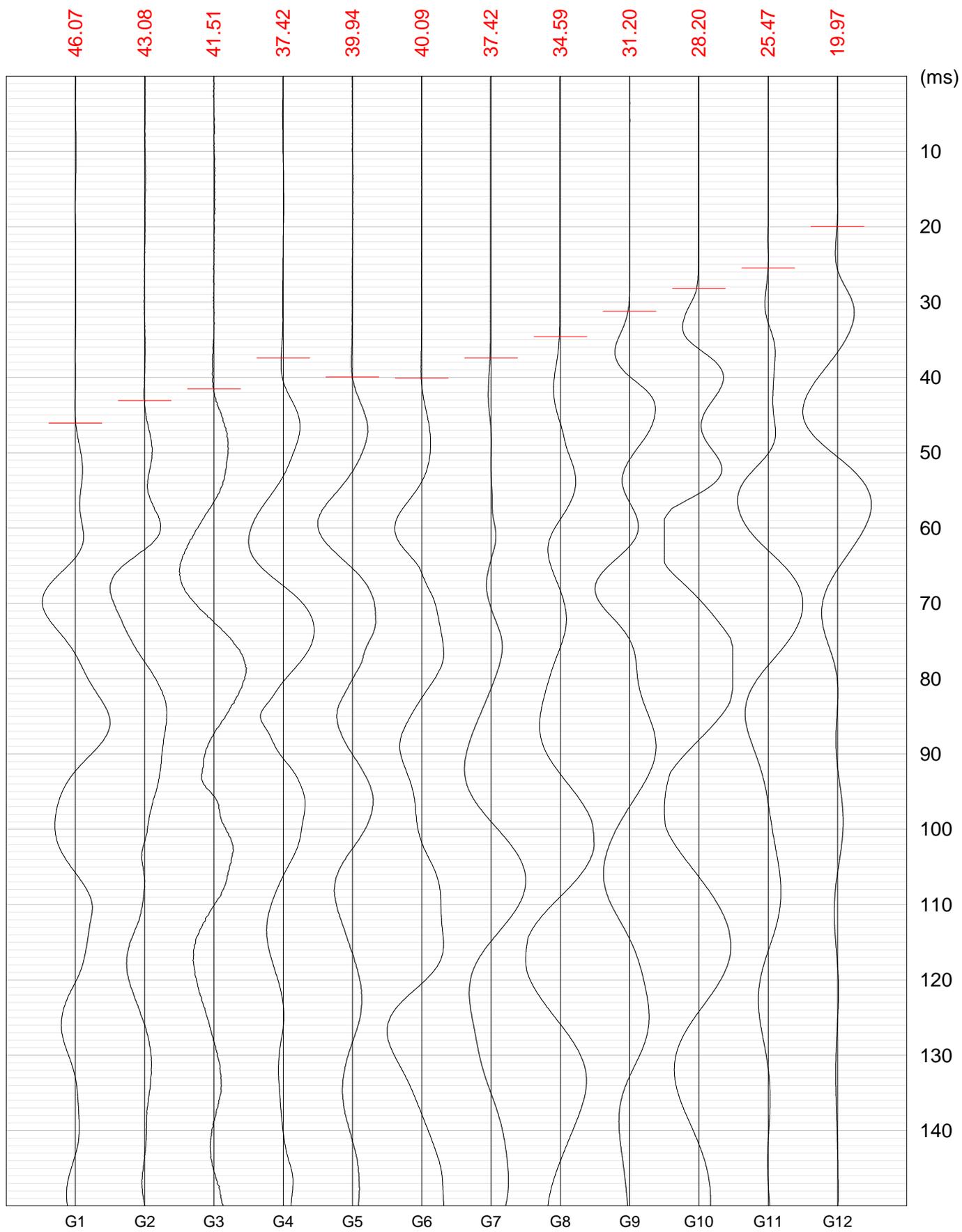






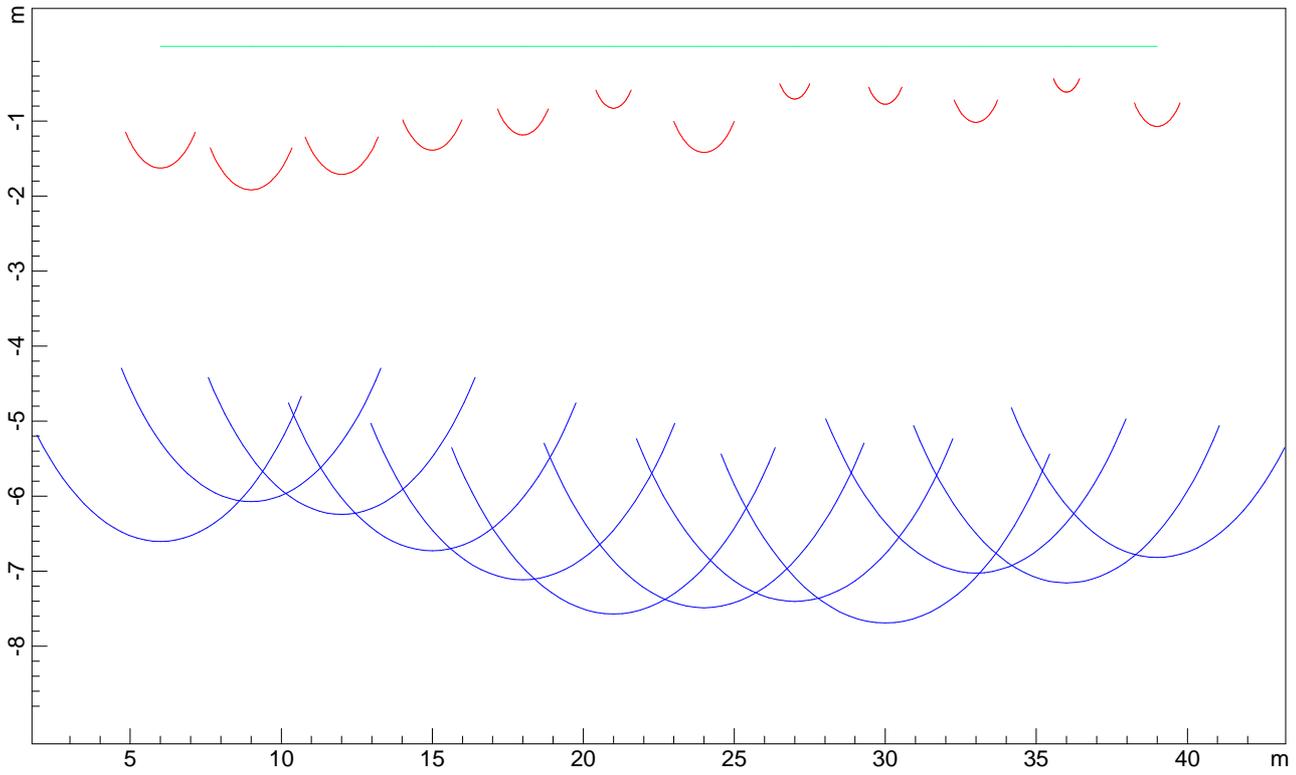




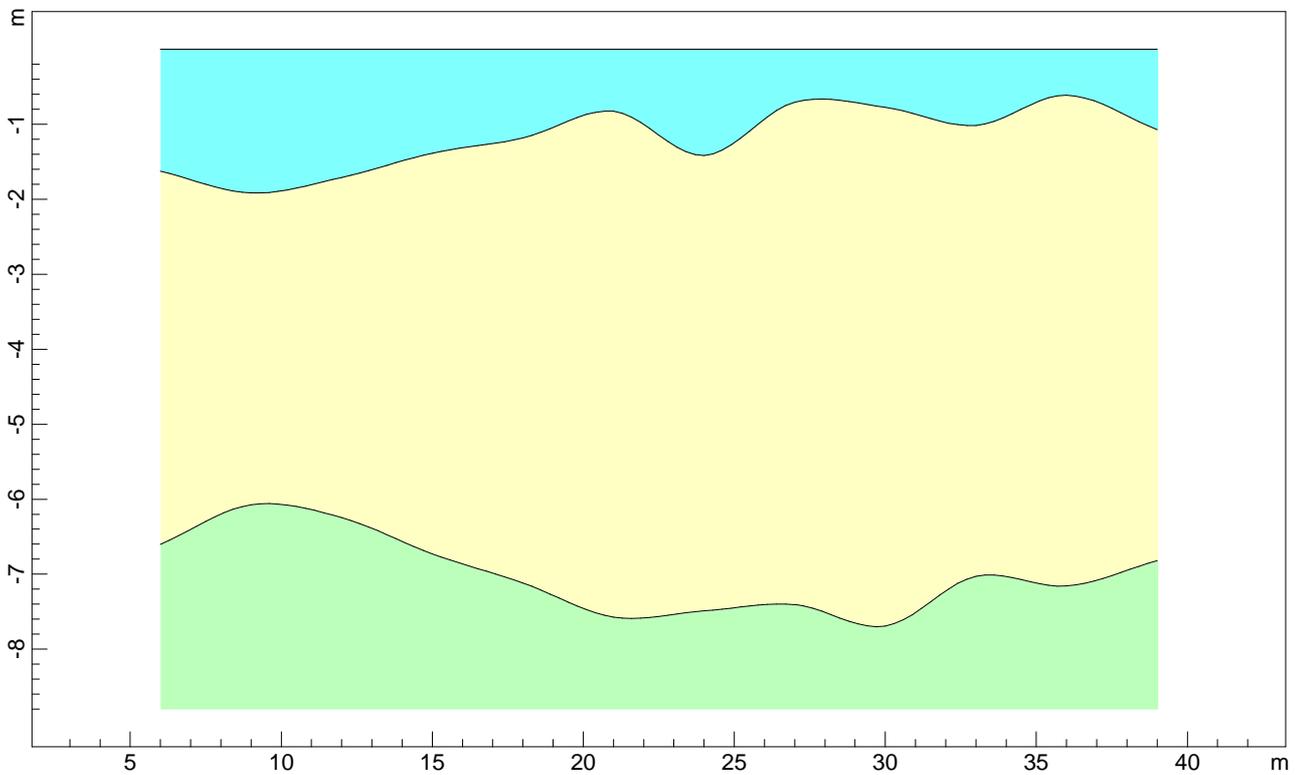


RIFRAZIONE 2

PROFONDITA' RIFRATTORI

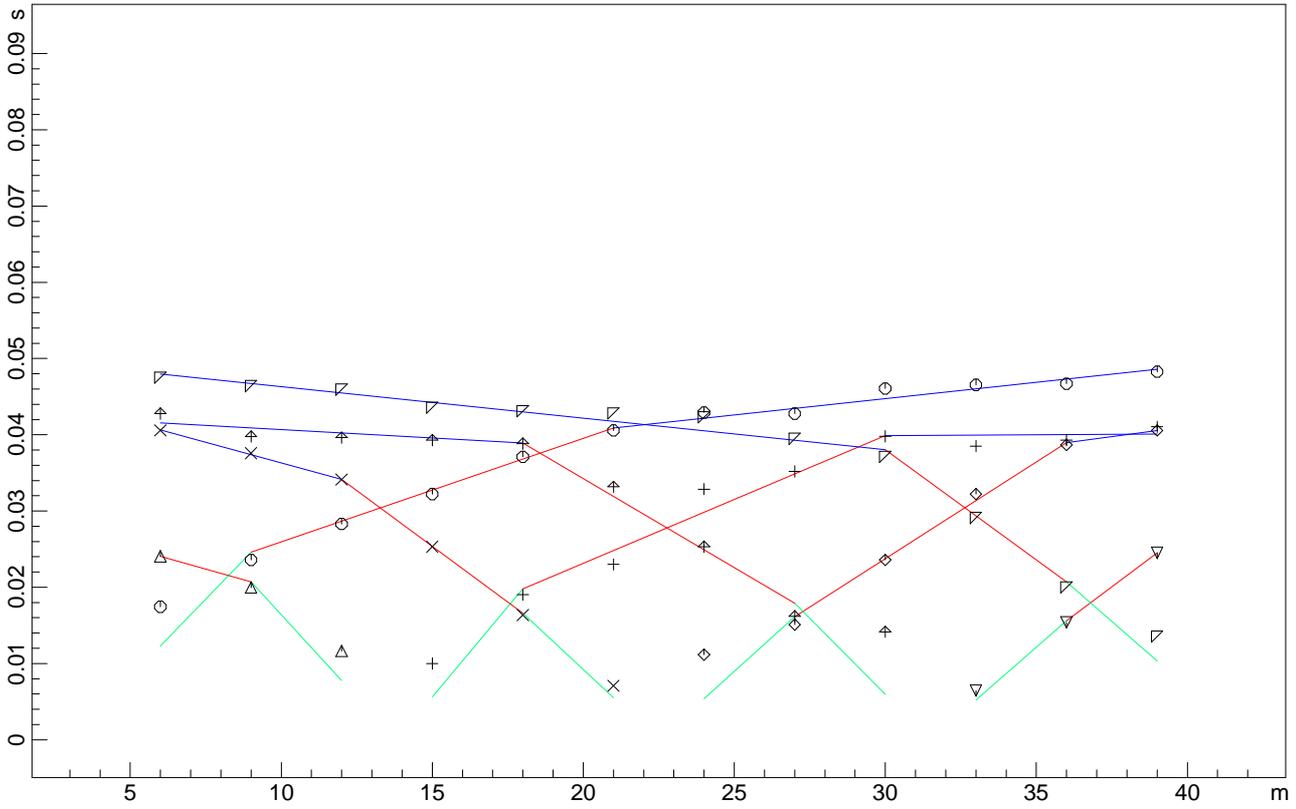


SEZIONE VERTICALE

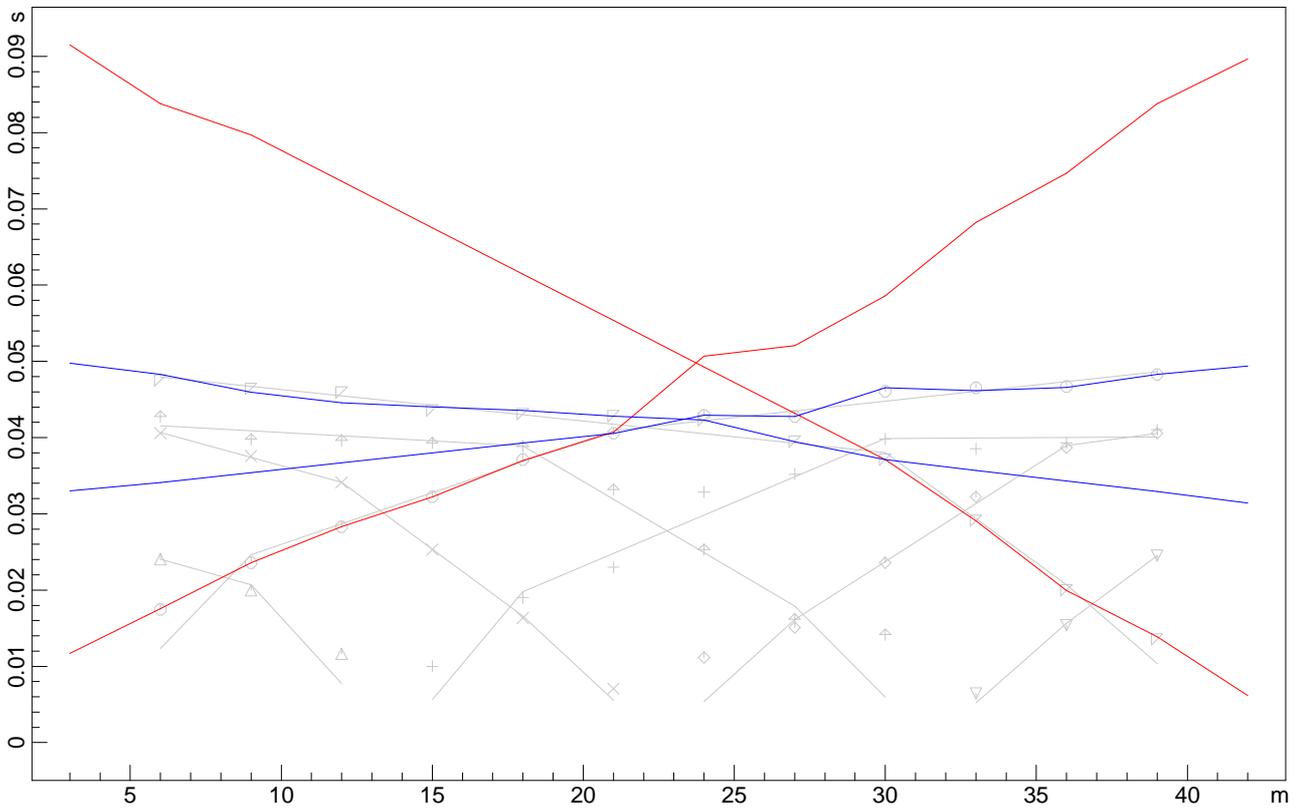


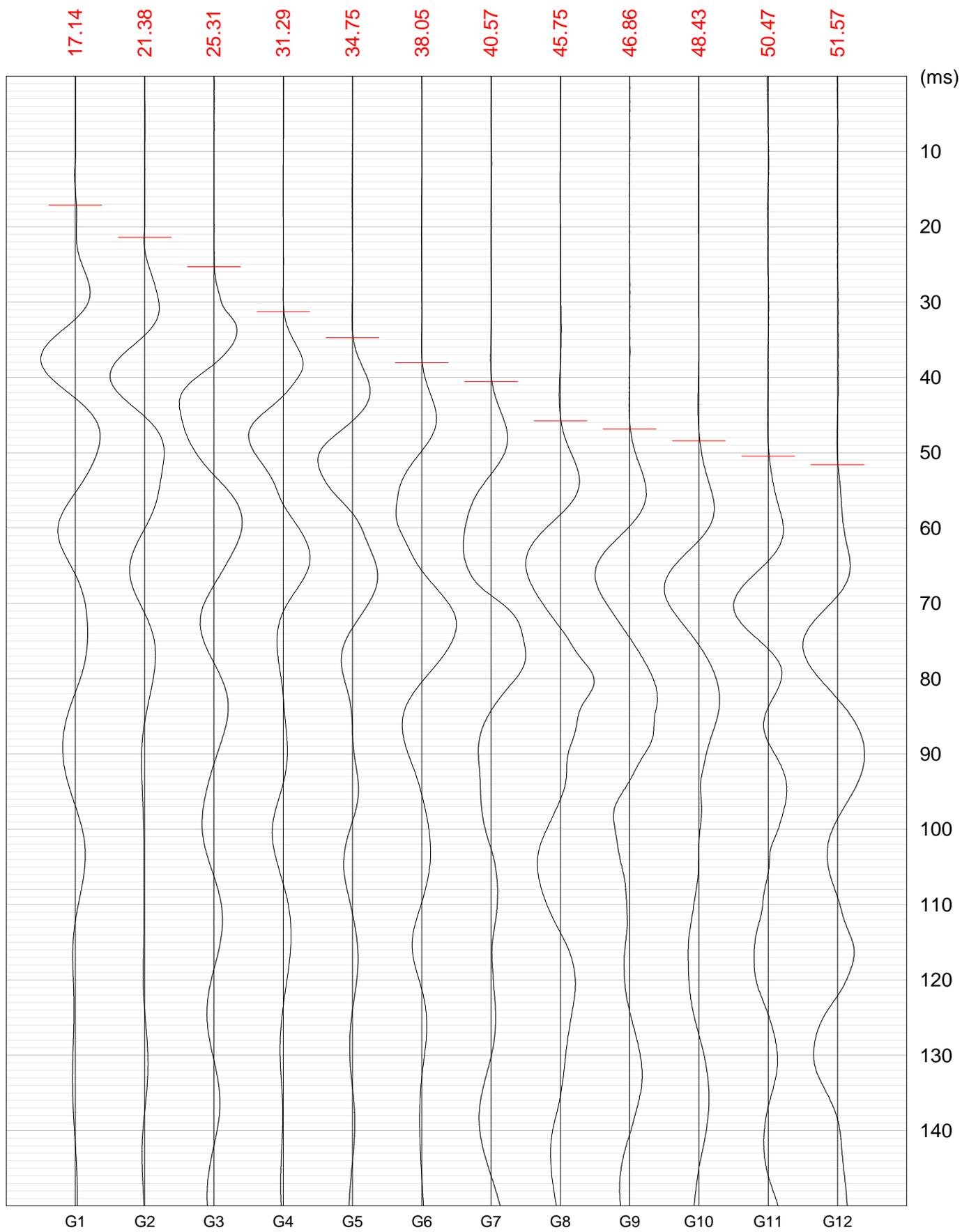
 255.6 m/s  481.0 m/s  2249.0 m/s

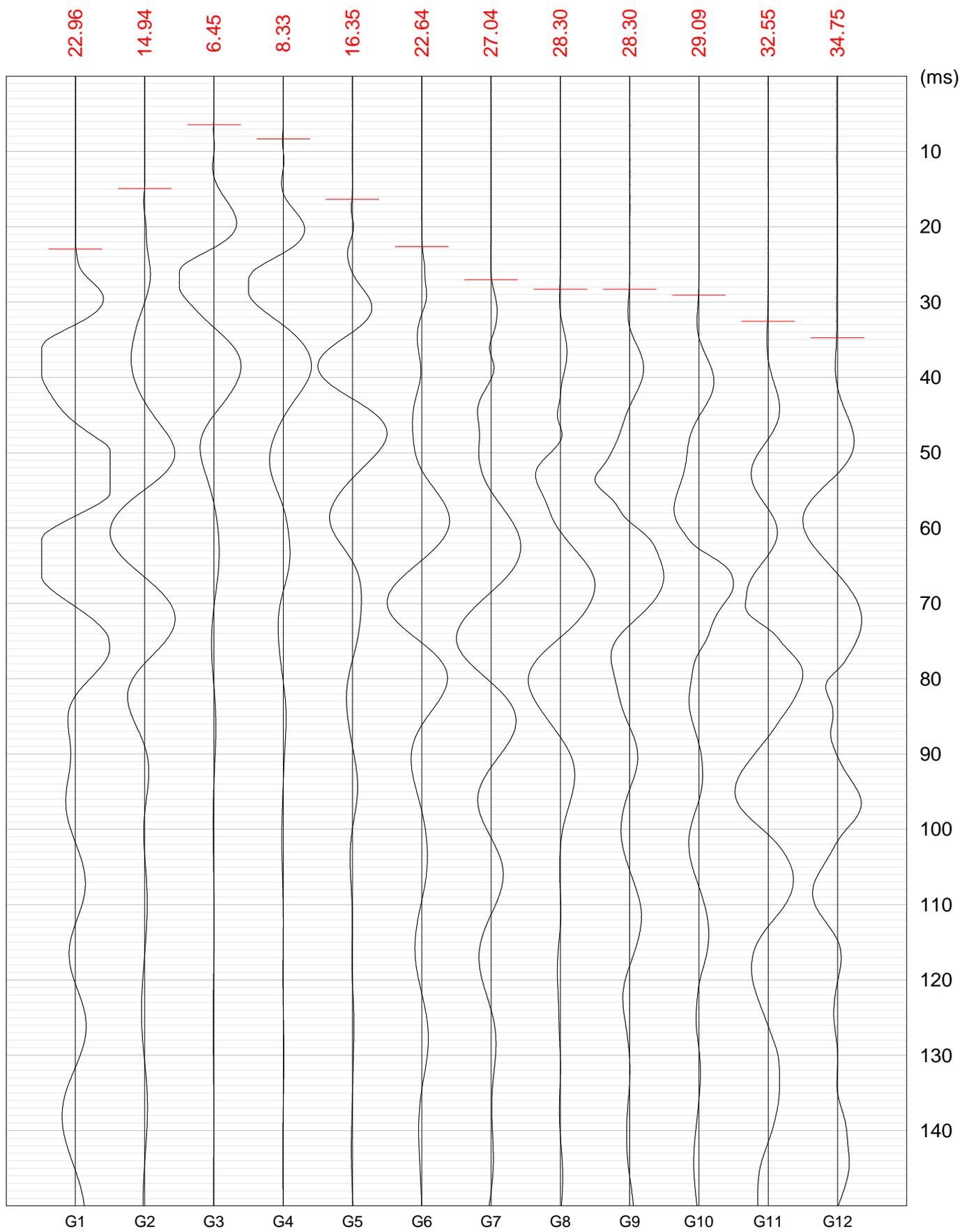
DROMOCRONE ORIGINALI

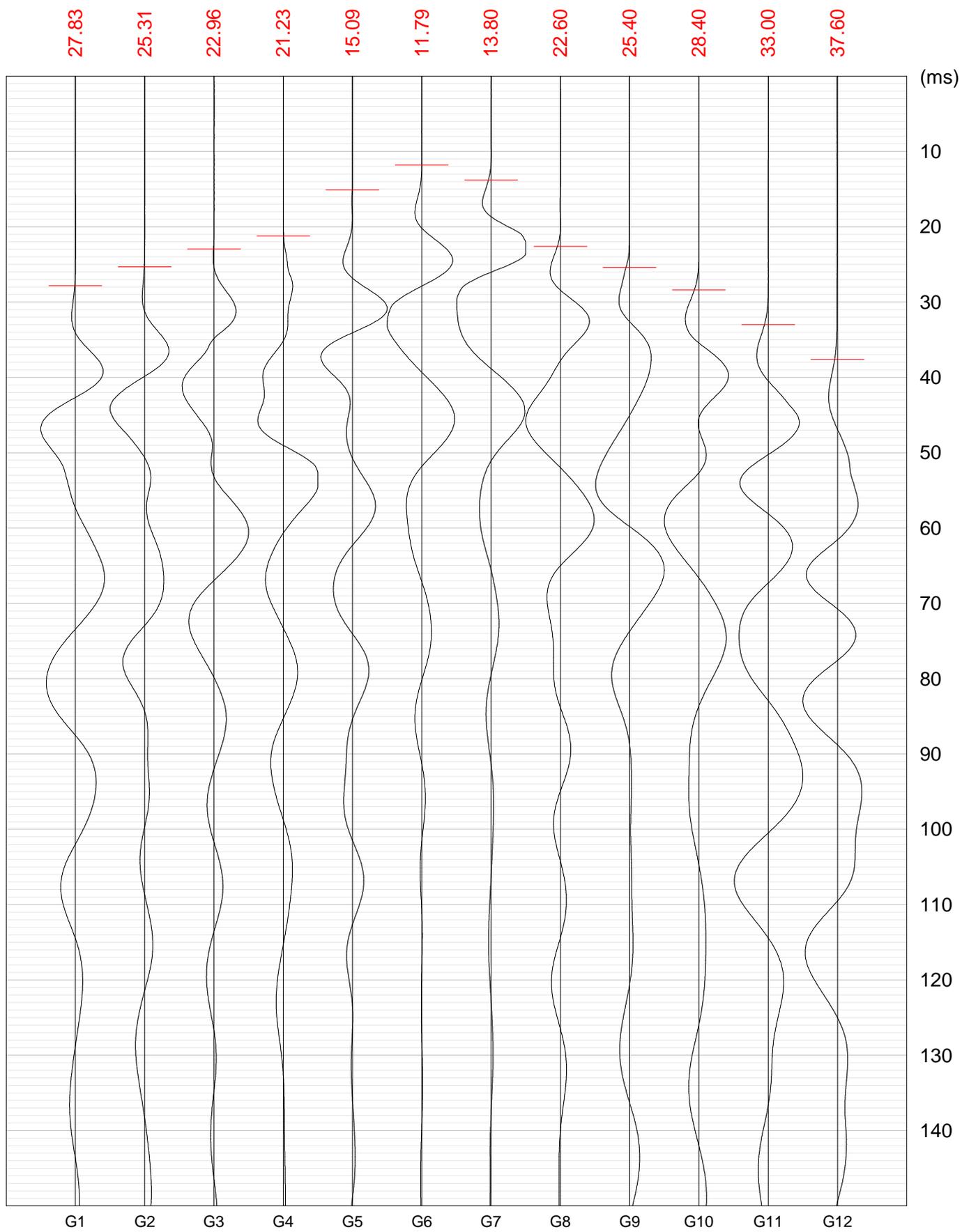


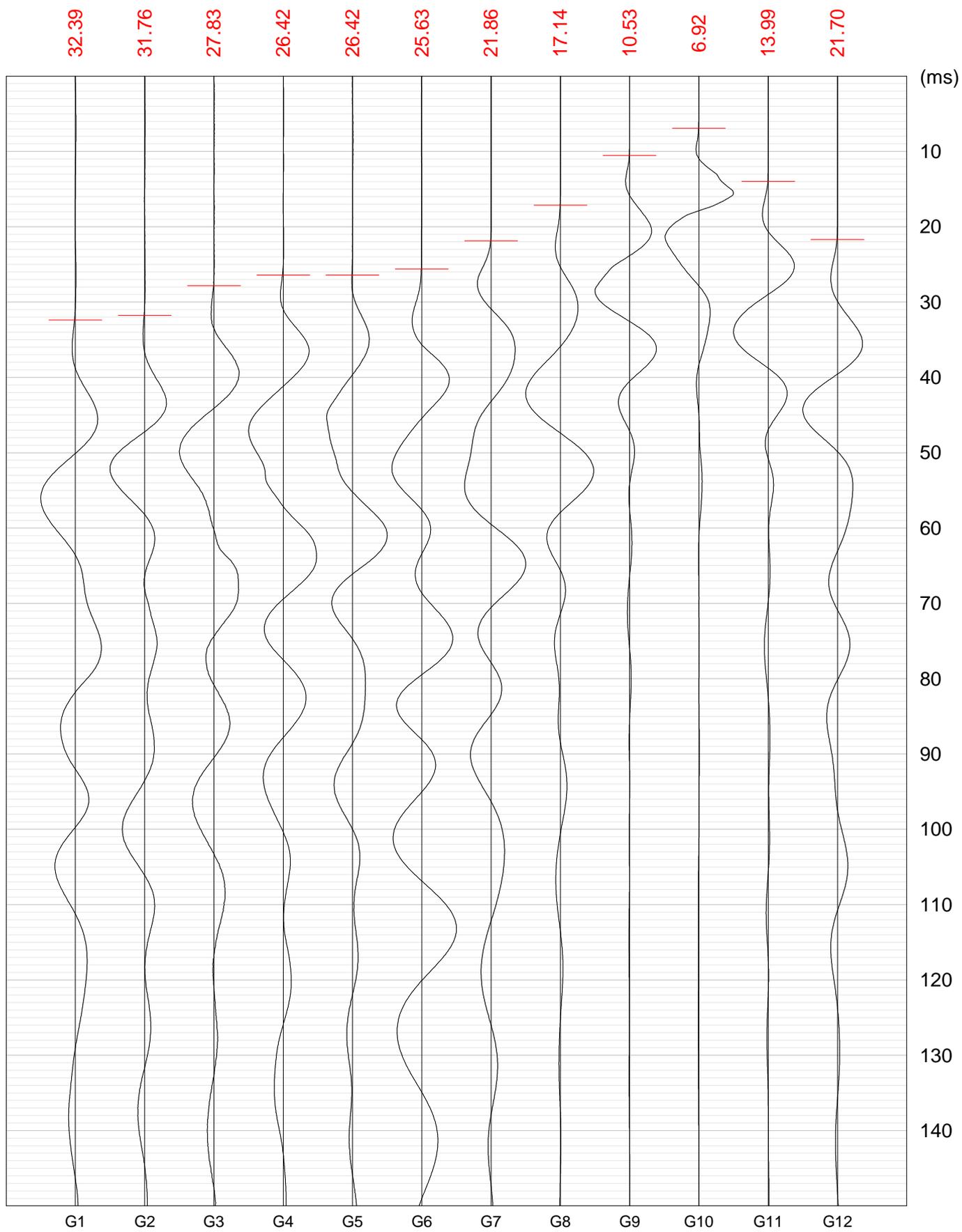
DROMOCRONE TRASLATE

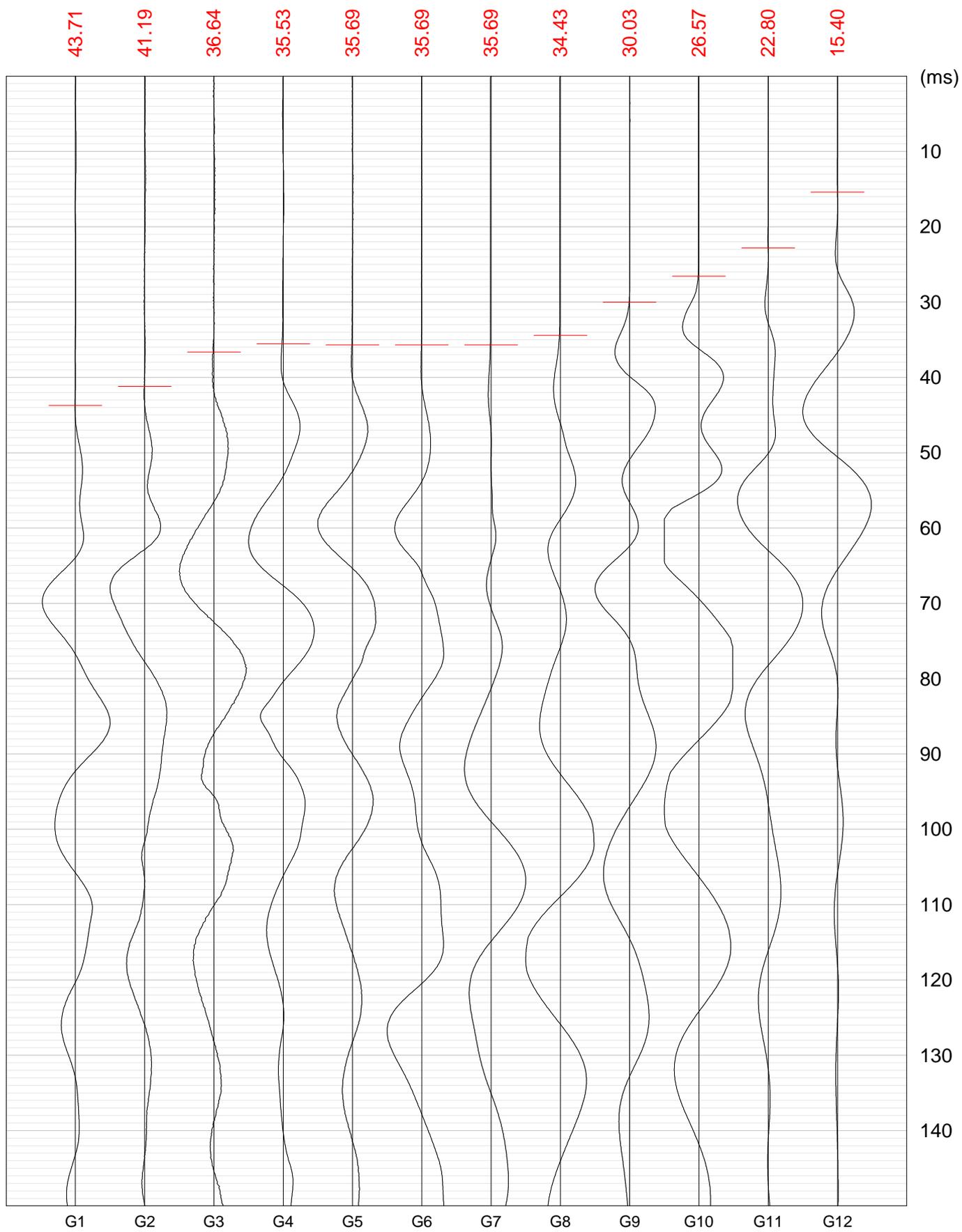






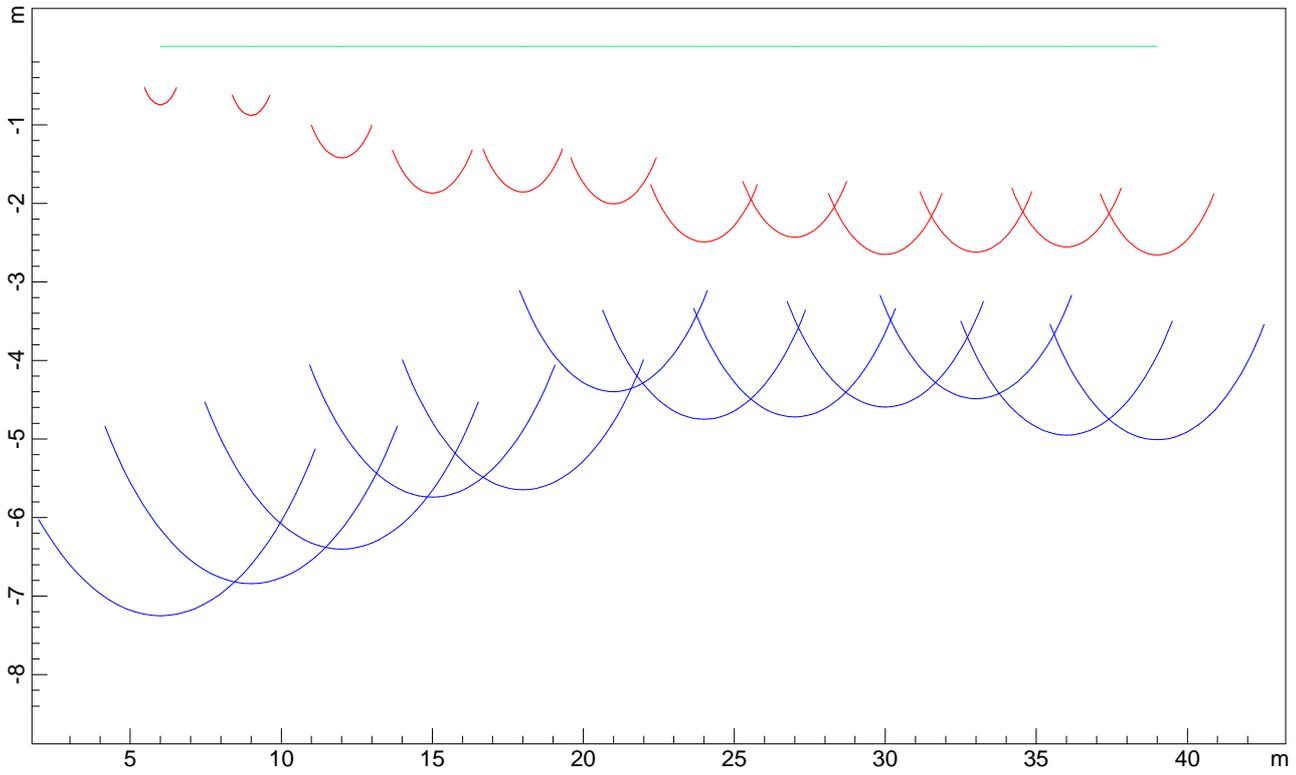




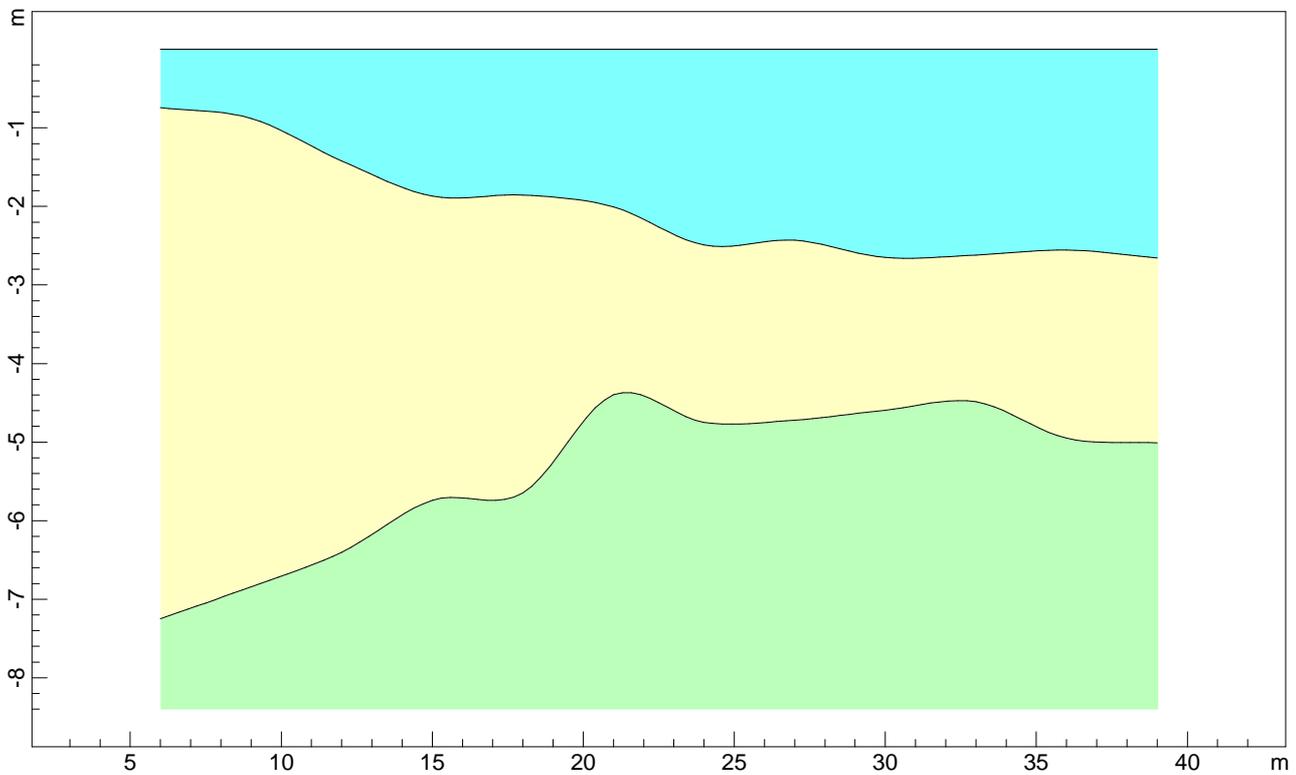


RIFRAZIONE 3

PROFONDITA' RIFRATTORI

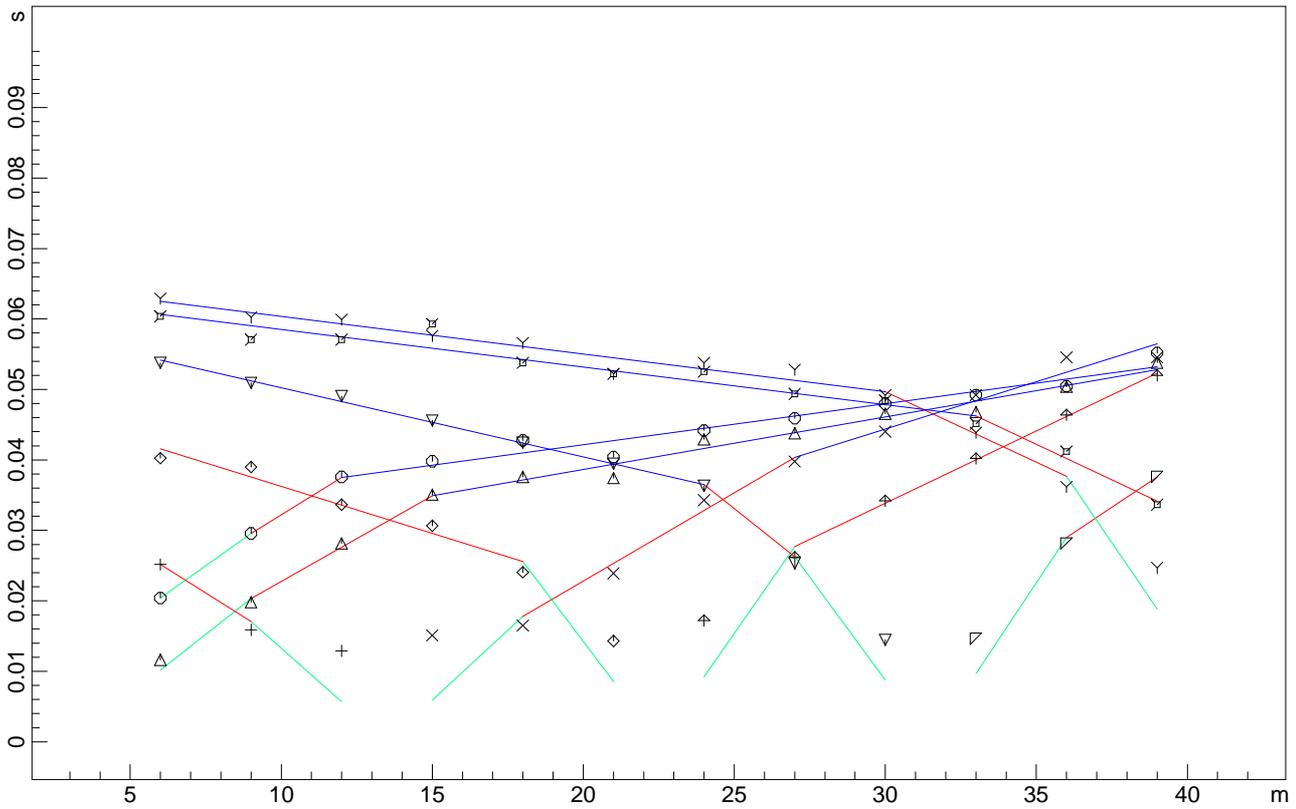


SEZIONE VERTICALE

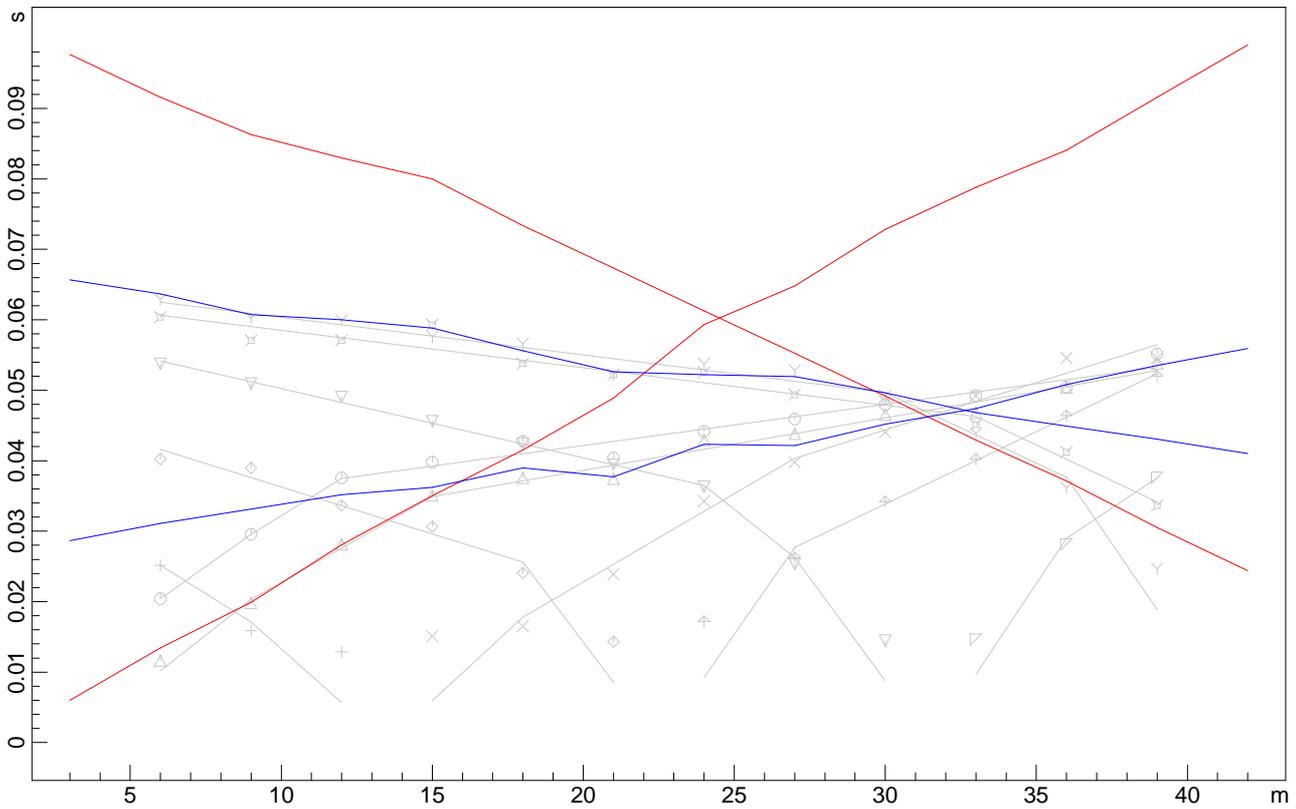


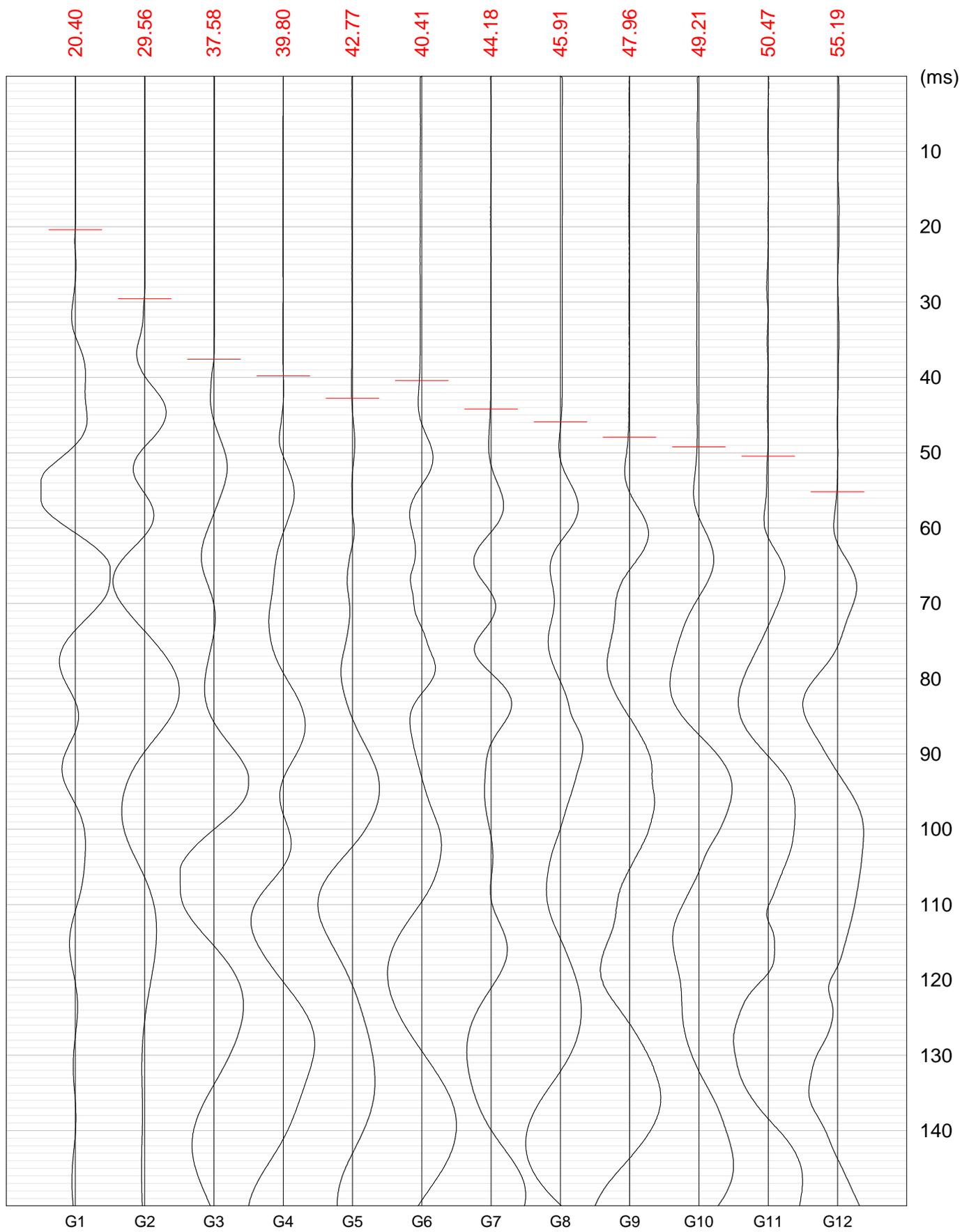
 201.8 m/s  463.0 m/s  1567.2 m/s

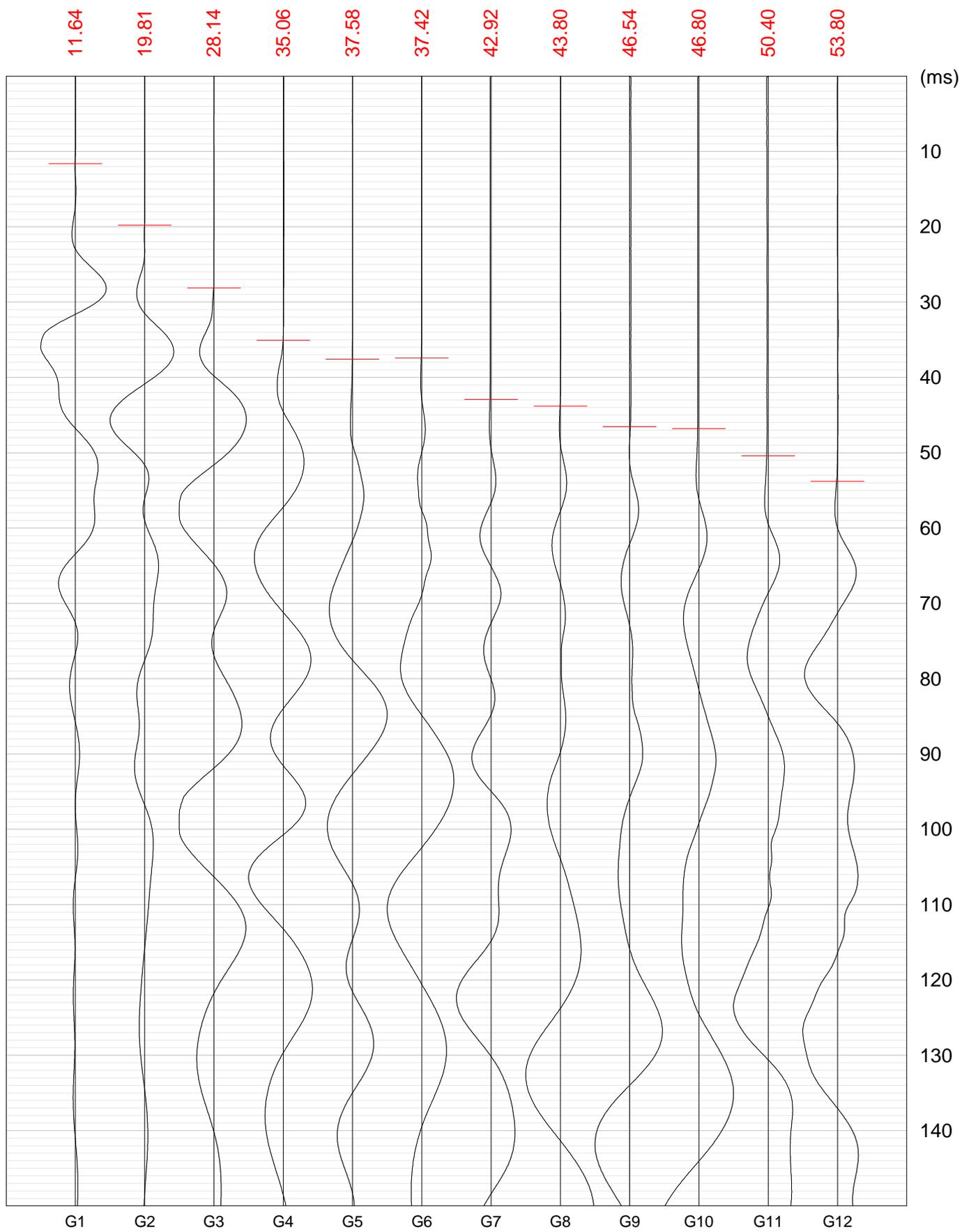
DROMOCRONE ORIGINALI

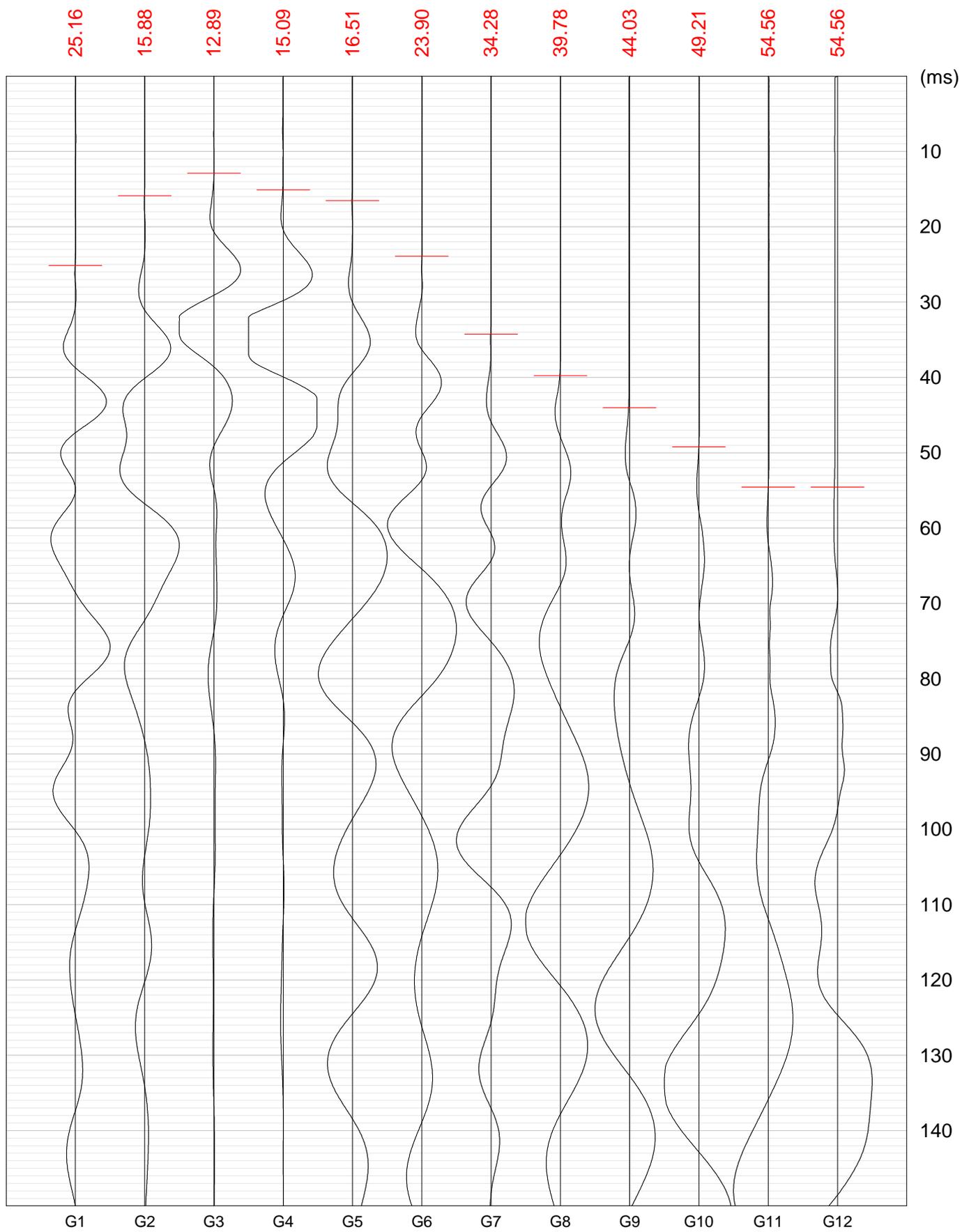


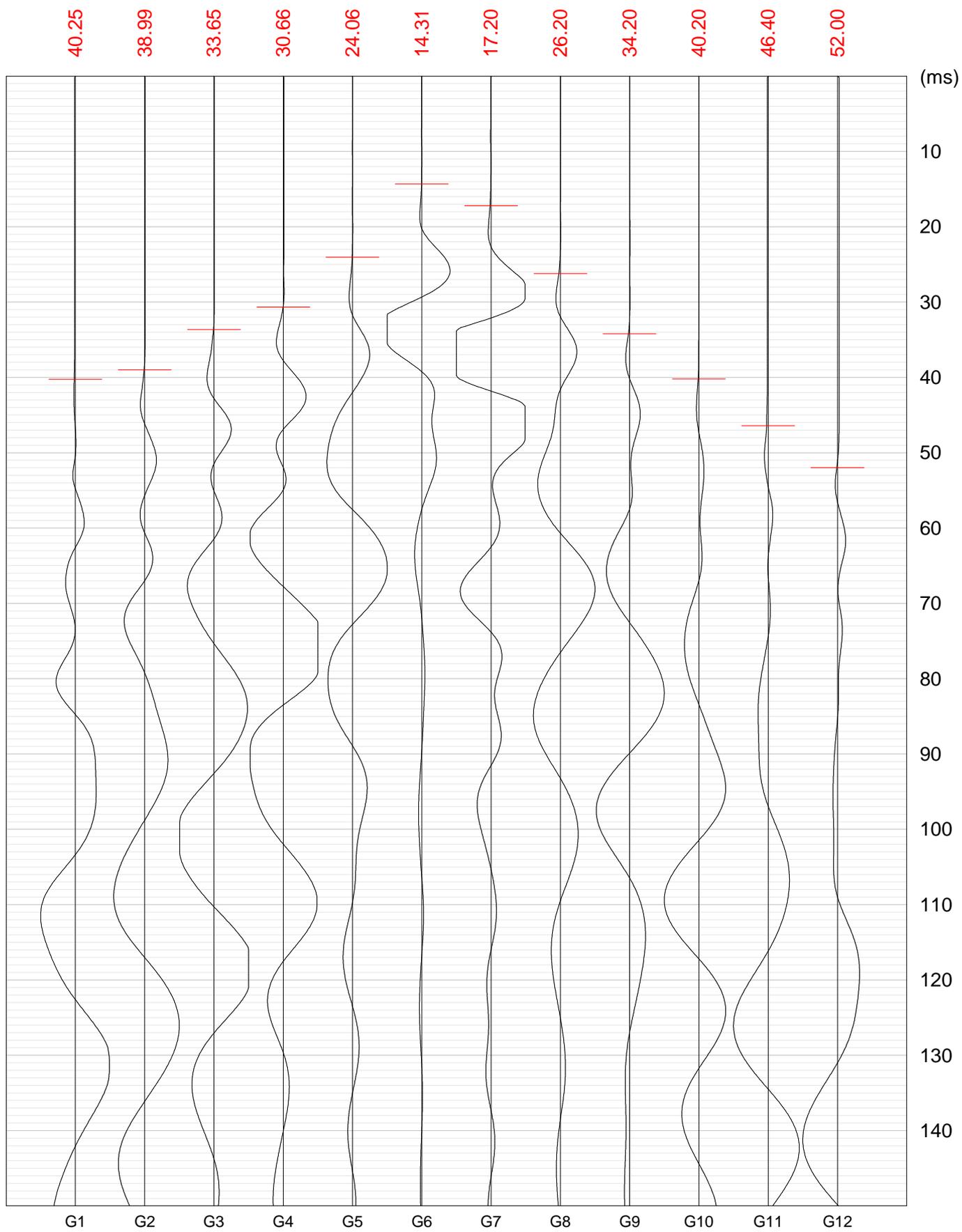
DROMOCRONE TRASLATE

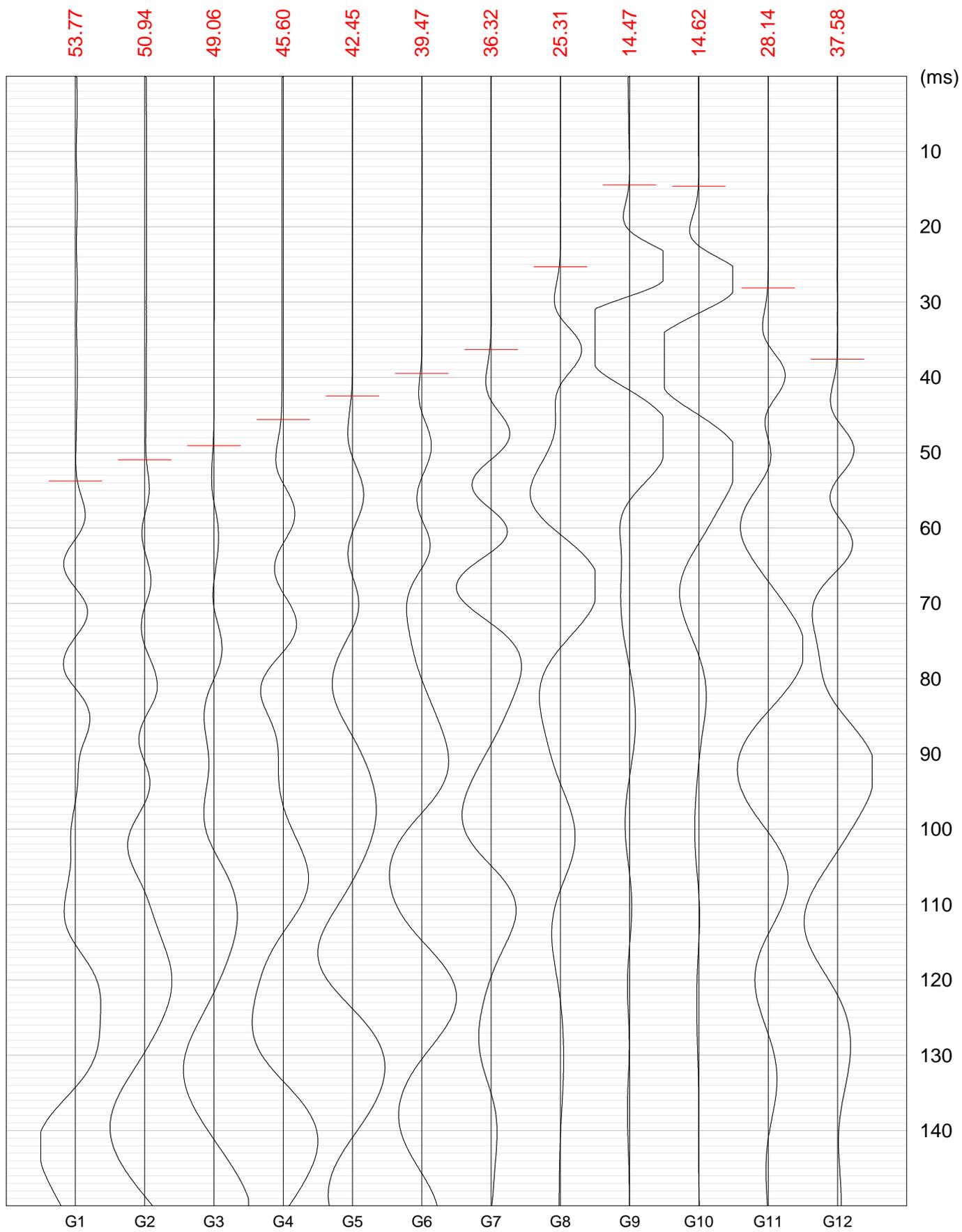


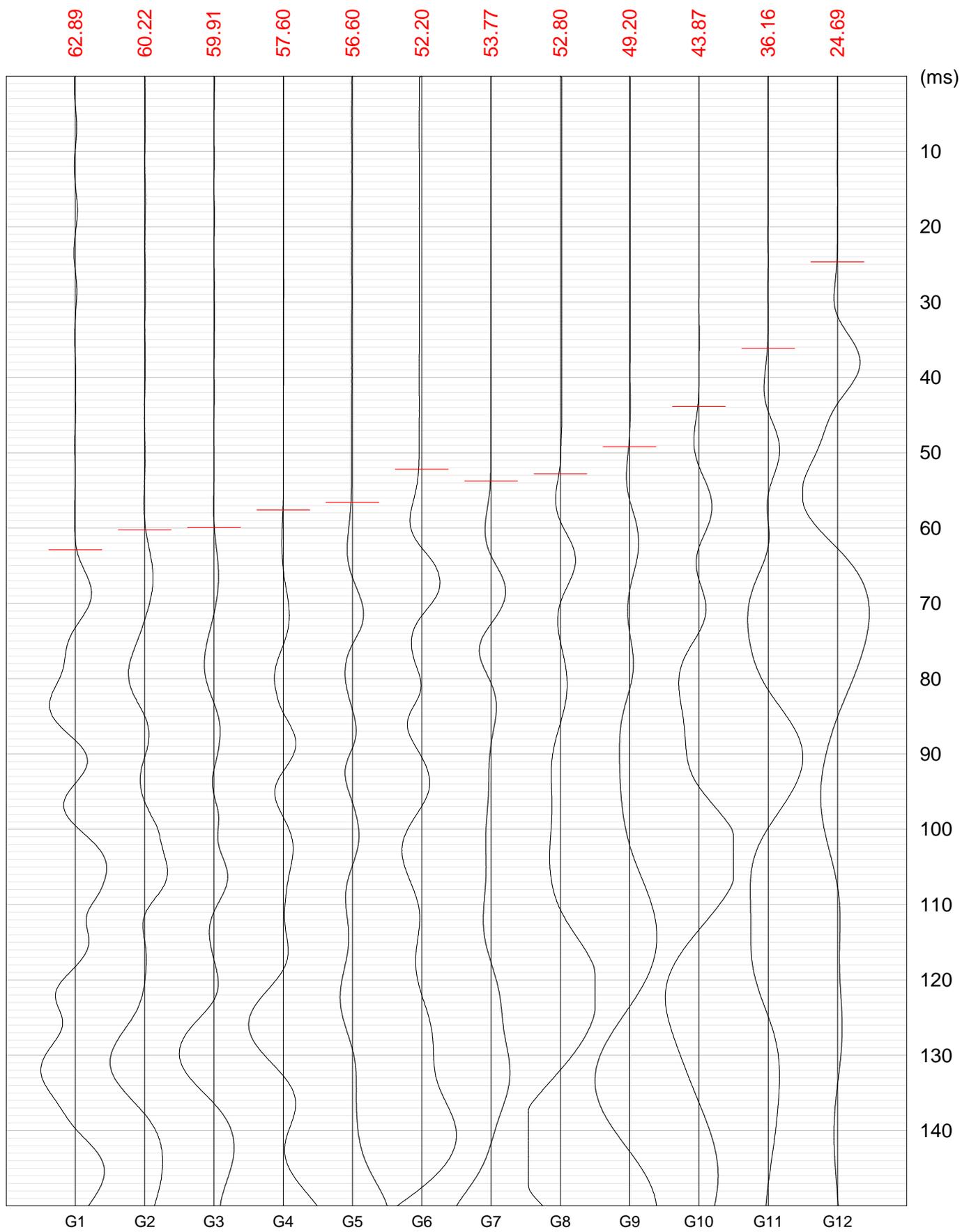


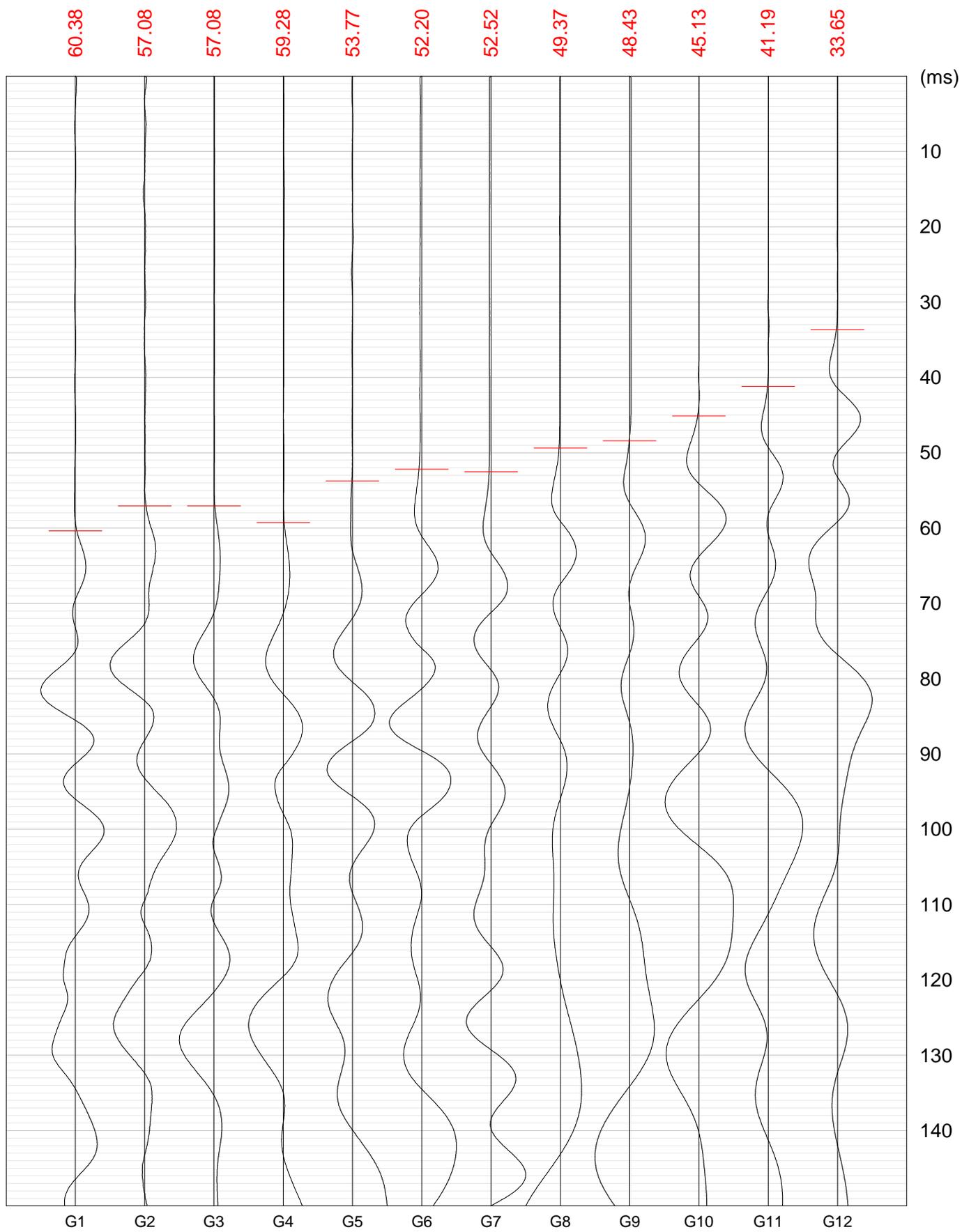






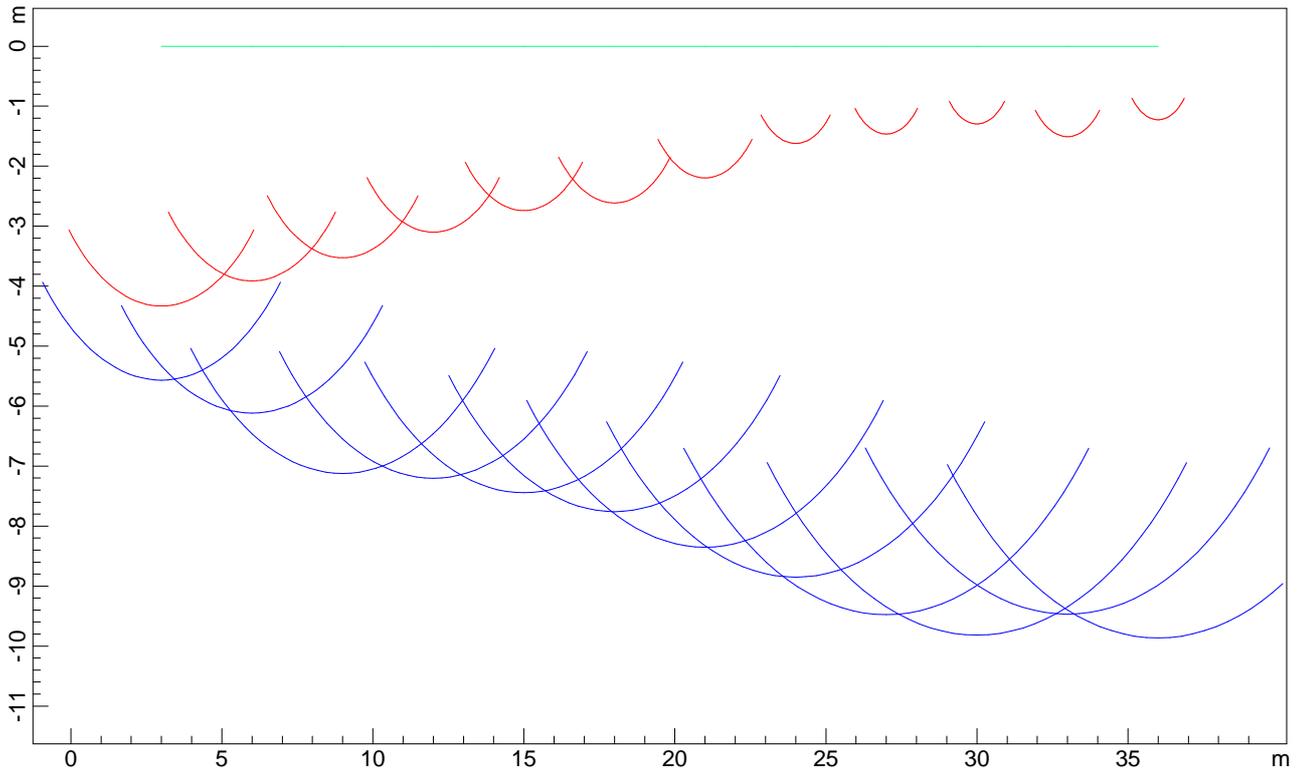




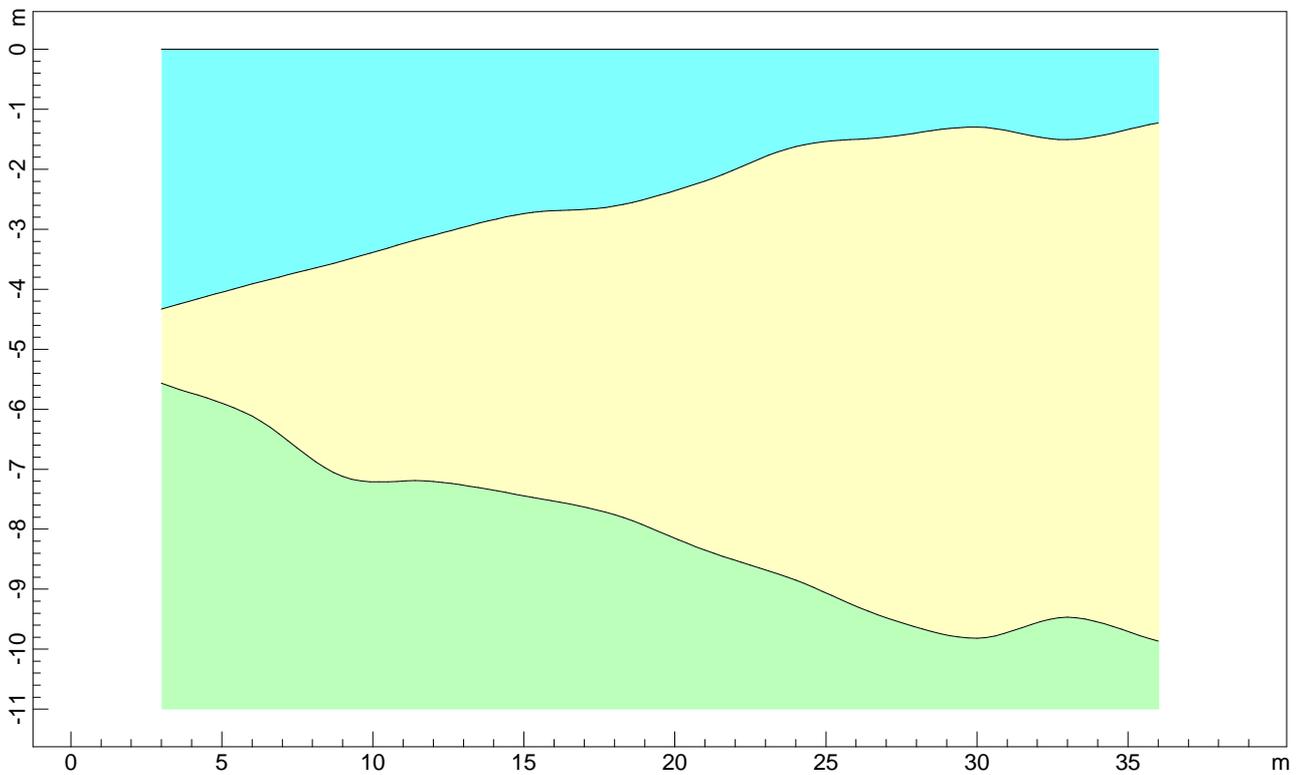


RIFRAZIONE 4

PROFONDITA' RIFRATTORI

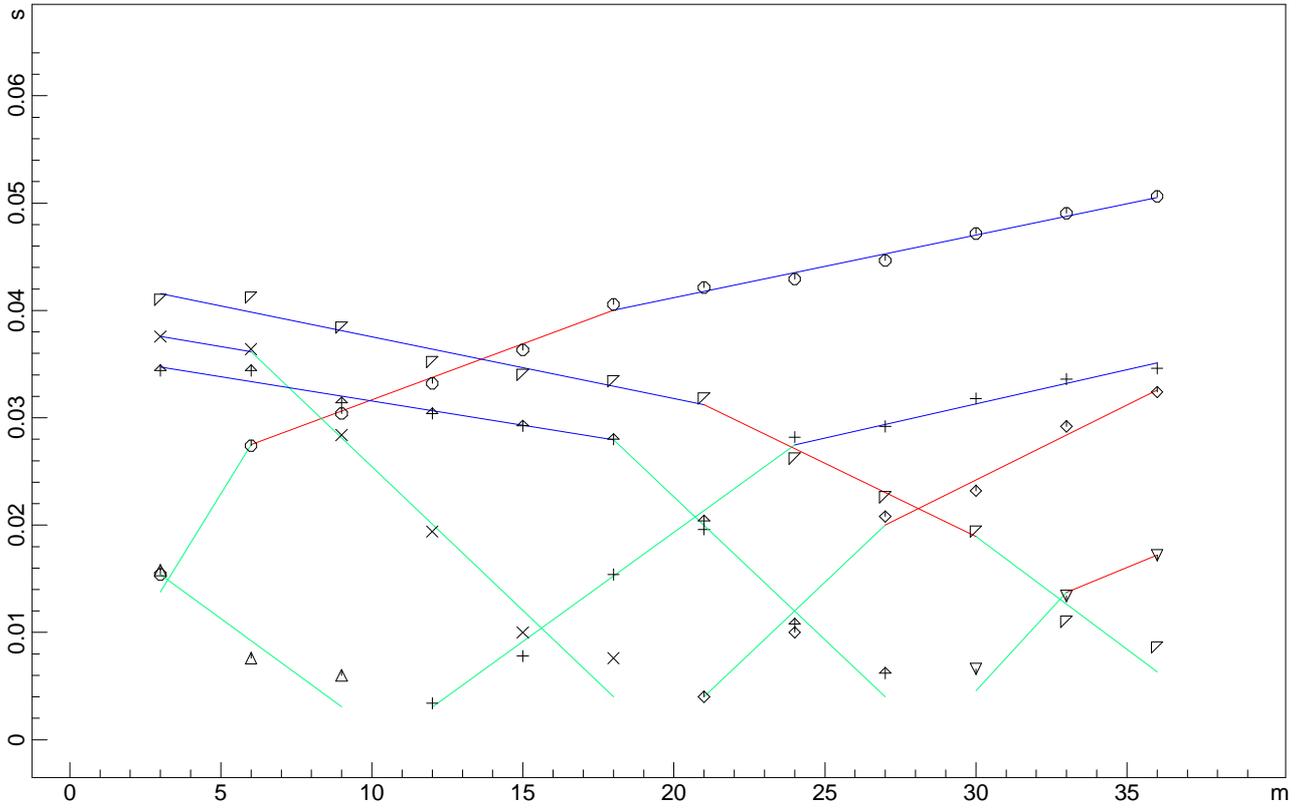


SEZIONE VERTICALE

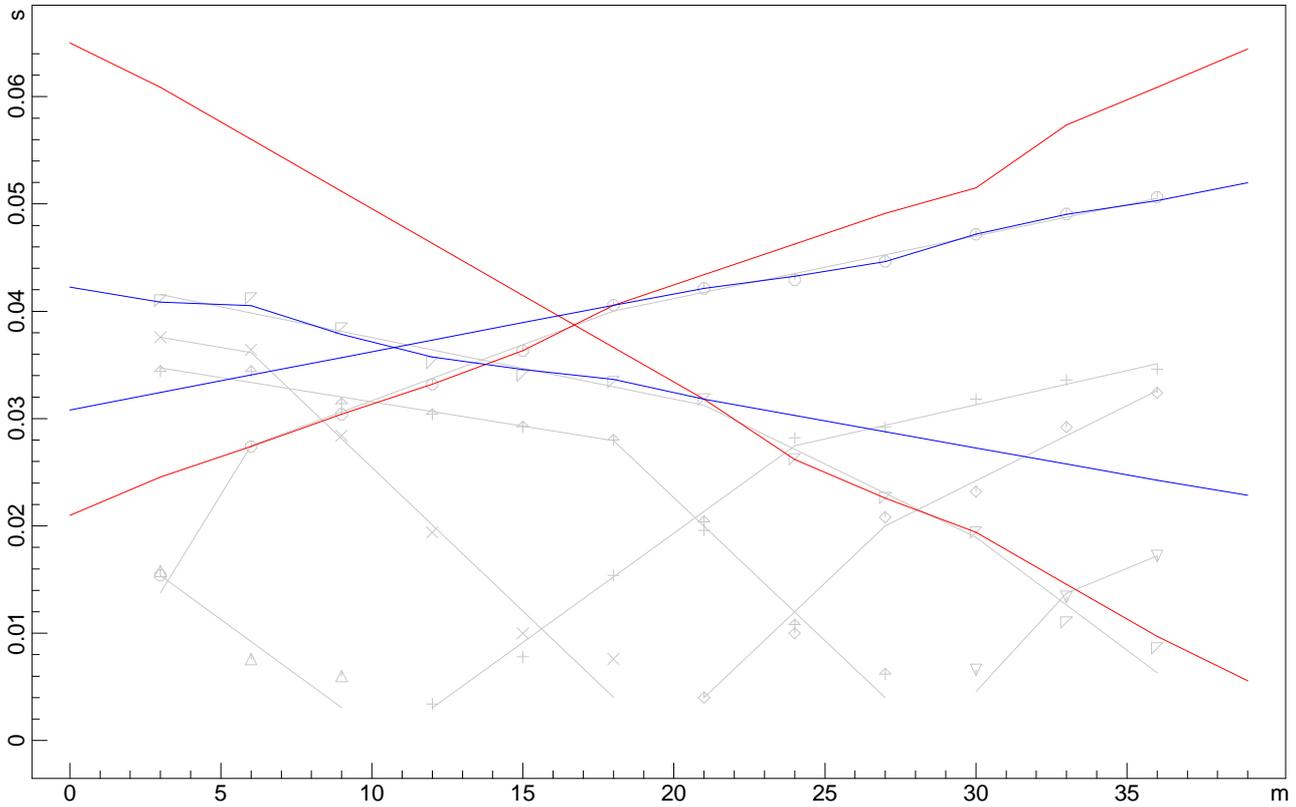


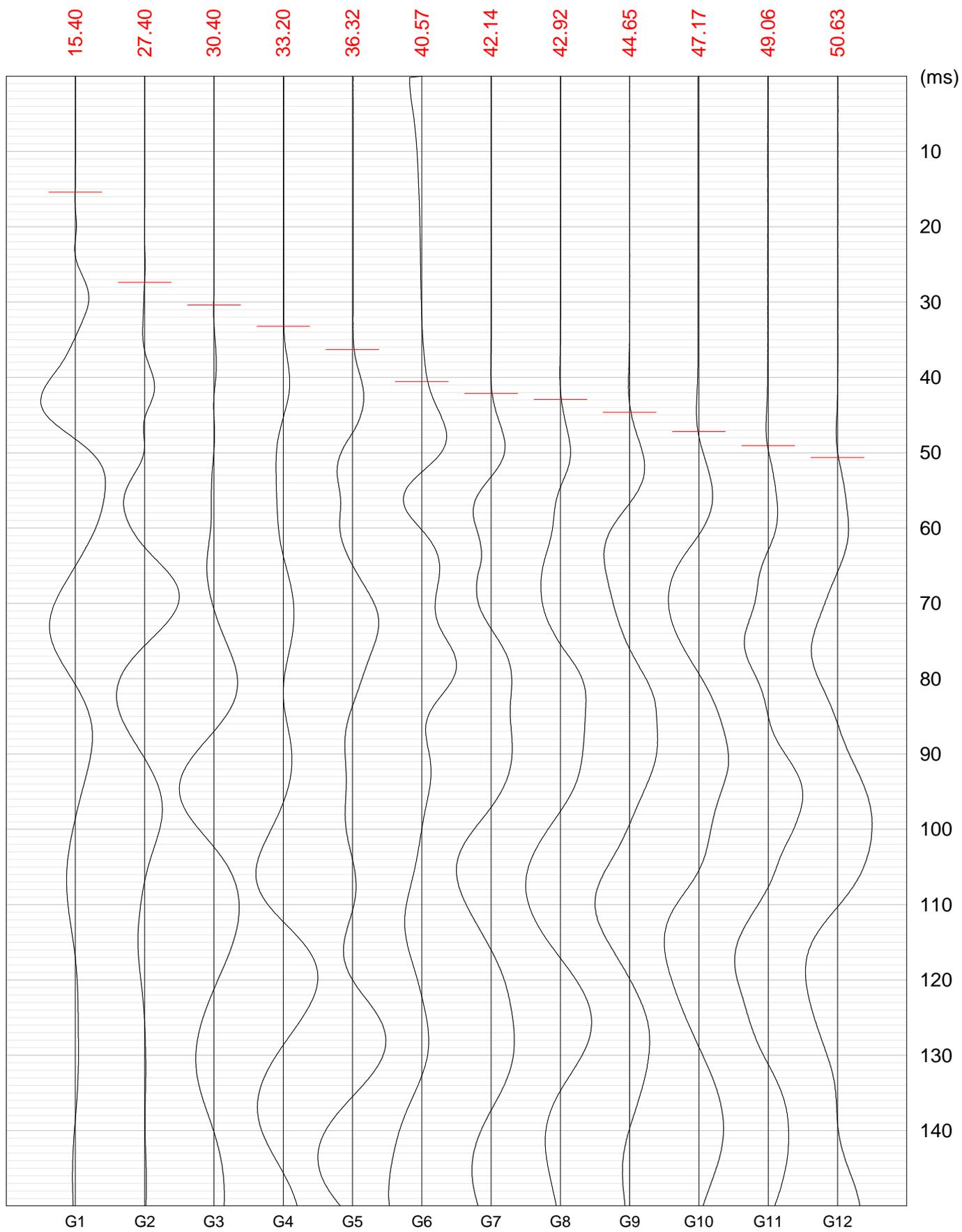
 366.4 m/s  758.5 m/s  1903.6 m/s

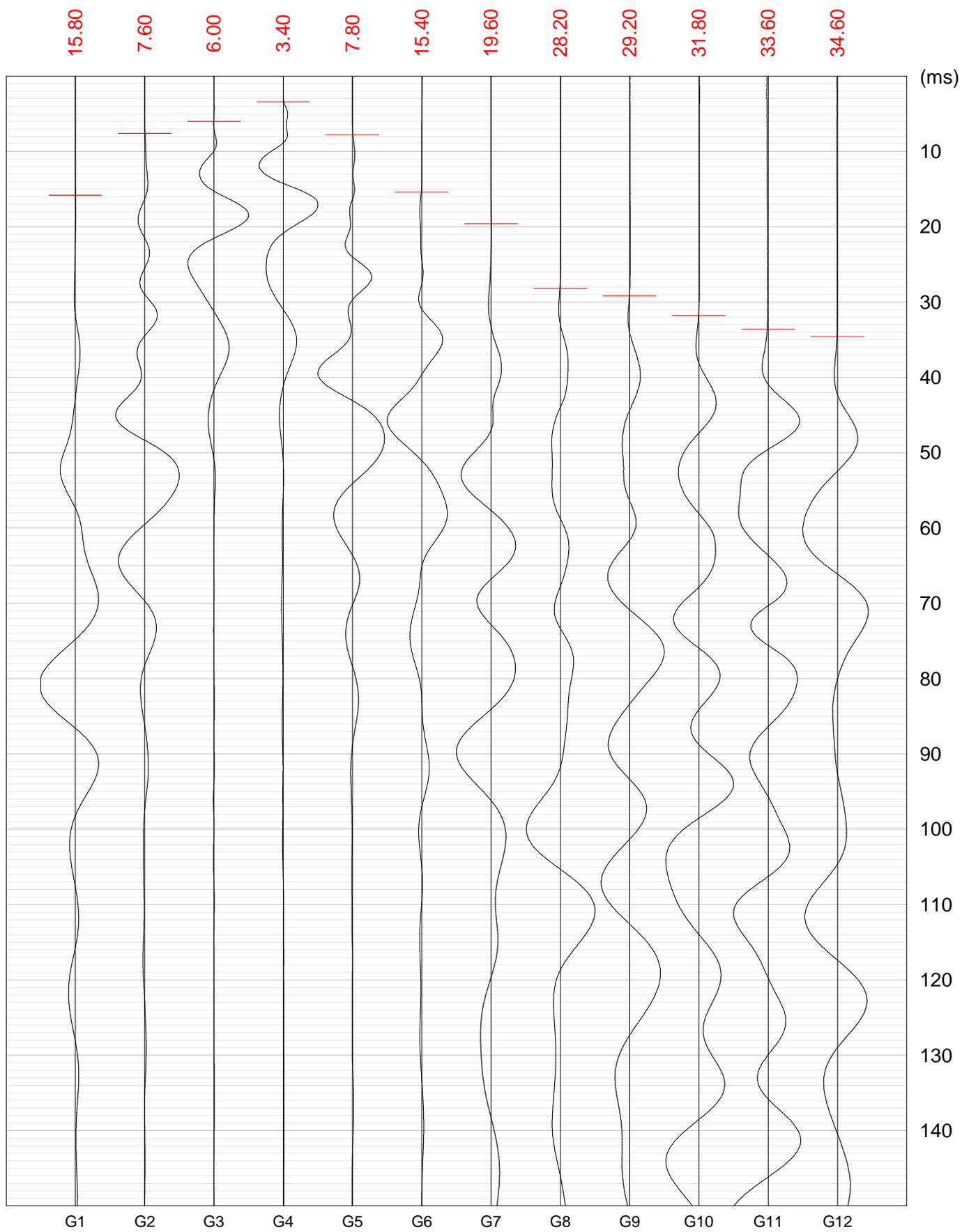
DROMOCRONE ORIGINALI

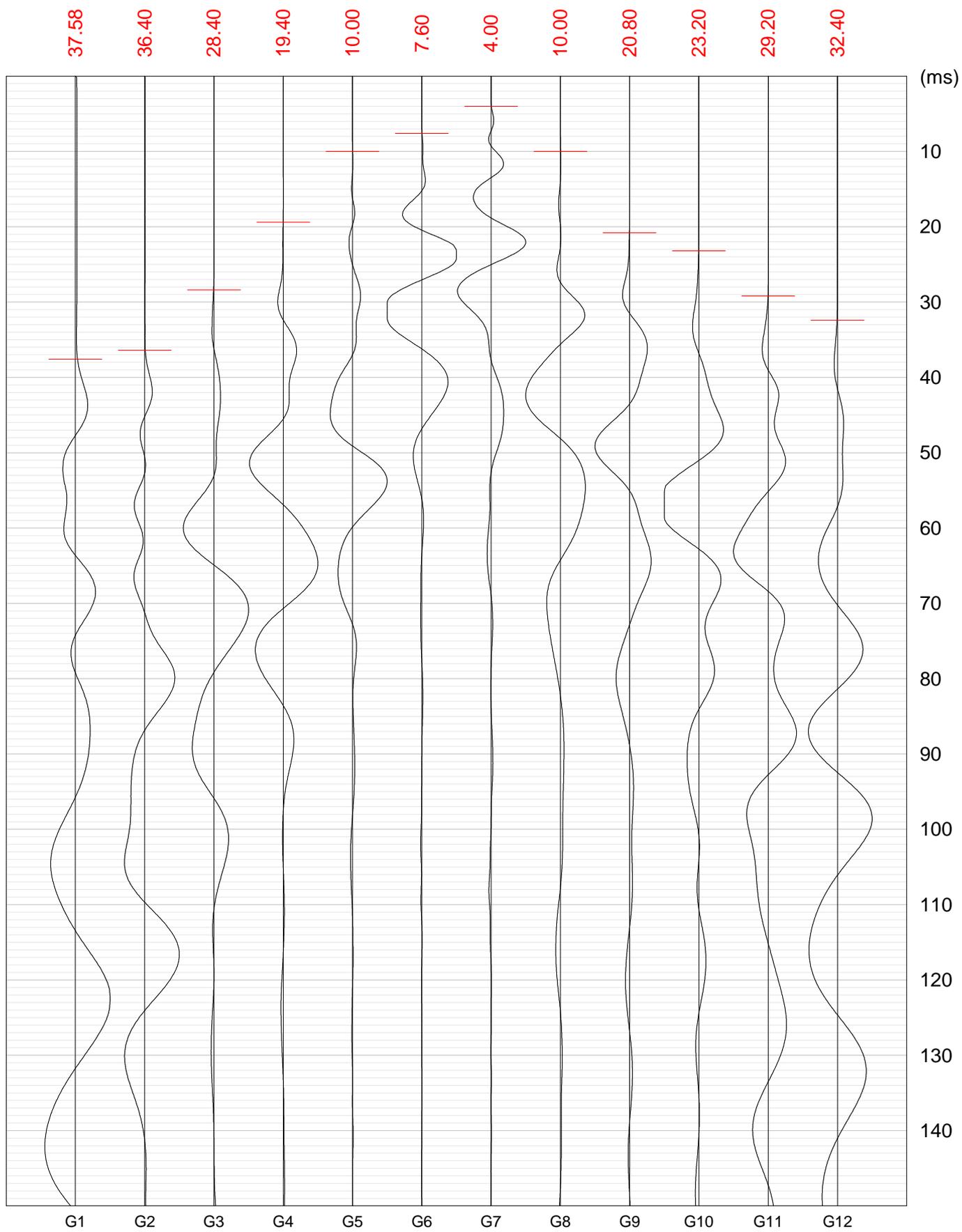


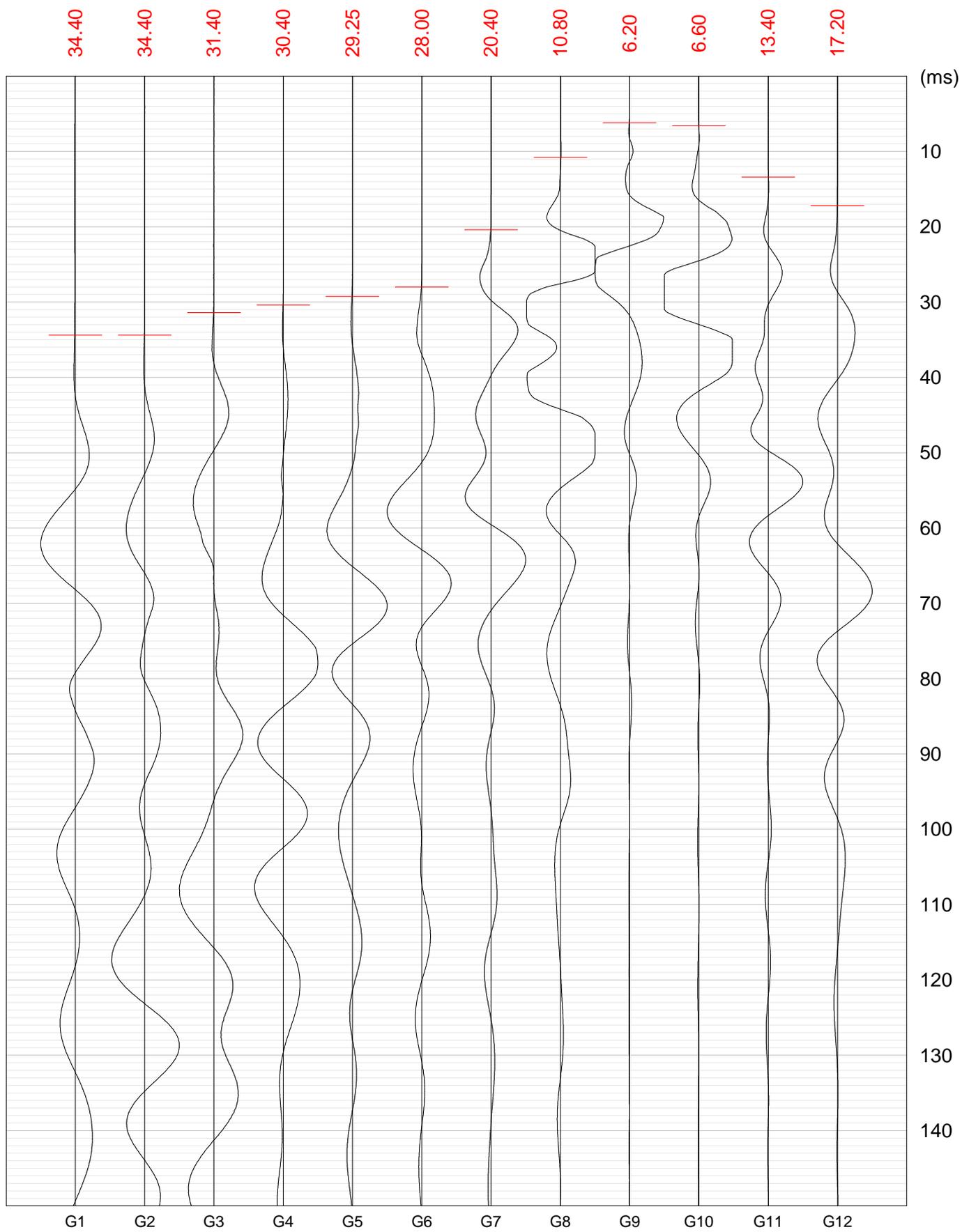
DROMOCRONE TRASLATE

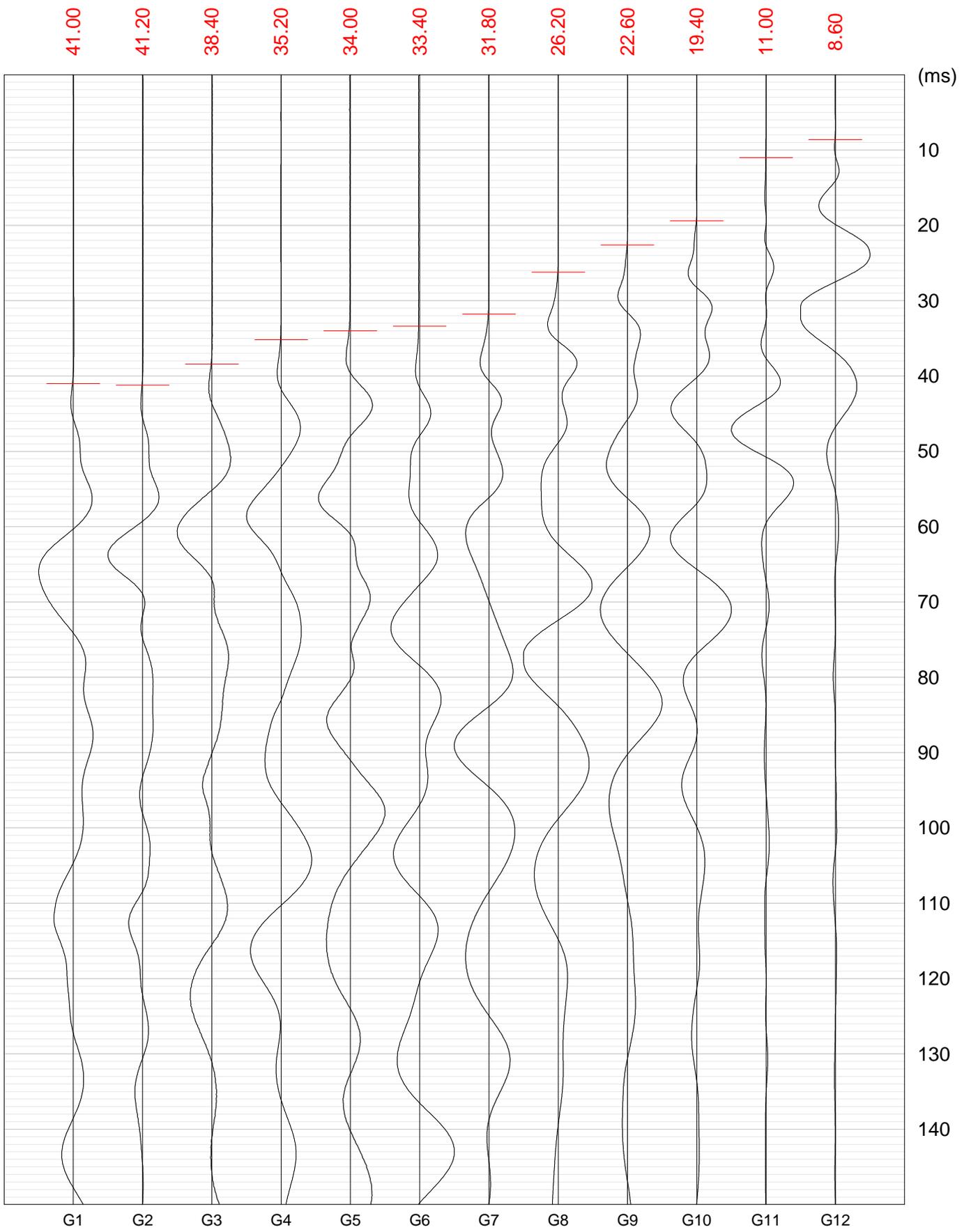












SISMOGRAFO DOREMI

Caratteristiche tecniche

Architettura

| | |
|---|--|
| Classe strumentale: | sismografo multicanale per geofisica |
| Topologia: | rete differenziale RS485 half-duplex multipoint |
| Lunghezza massima della rete: | 1200 metri senza ripetitori (virtualmente illimitata con ripetitori) |
| Numero massimo di canali per tratta: | 255 |
| Dimensioni dell'elemento (escluso il cavo): | 80x55x18 mm |
| Peso: | 250 g (un elemento con lunghezza cavo 5 metri) |
| Cavo: | 4 conduttori, 2 coppie ritorte, robotico resistente a torsioni, flesso-torsioni, abrasioni ed agenti chimici |

Campionamento

| | |
|-----------------------------------|---|
| Memoria: | 64 kByte (>30000 campioni) |
| Frequenze in Hz: | 200,300,400,500,800,1000,2000,3000,4000, 8000,10000,20000 |
| pari ad intervalli in ms di: | 5, 3.33, 2.5, 2, 1,25, 1, 0.5, 0.33, 0.25, 0.125, 0.1, 0.05 |
| Esempi di utilizzo della memoria: | ReMi: 500Hz, t-max 60 secondi MASW: 4000Hz, t-max 7.5 secondi Riflessione: 20000Hz, t-max 1.5 secondi |

Dinamica del sistema

| | |
|---|---|
| Risoluzione con guadagno 10x: | 7.600 μ V |
| Risoluzione con guadagno 1000x: | 0.076 μ V |
| Dinamica di base: | 96dB (16 bit) |
| Dinamica massima del preamplificatore: | 80dB |
| Signal to Noise Ratio RMS fra 0.5 e 30Hz: | >90dB |
| Full range a 10x: | 0.5V p-p |
| Risoluzione RMS a 1000x e 4000SPS: | 0.0000002V p-p |
| Dinamica totale teorica: | 155dB |
| Dinamica totale senza postprocessing: | > 127dB (a qualsiasi frequenza di campionamento) |
| Dinamica totale in postprocessing: | >140dB |

Alimentazione

| | |
|----------------------------|----------|
| Tensione di alimentazione: | 10-15VdC |
| Consumo: | |
| Unità di testa: | 20mA |
| Per Canale: | 40mA |
| Consumo totale 12 canali: | 510mA |

Convertitore A/D

| | |
|--------------|--------|
| Tipologia: | SAR |
| Risoluzione: | 16 bit |
| Dinamica: | 96 dB |

Pramplicatore

| | |
|---------------------------|--|
| Tipologia: | ultra-low noise con ingresso differenziale |
| Filtri: | 3Hz passa alto 1 polo, 200Hz passa basso 4 poli |
| Guadagni: | da 10x a 8000x |
| Reiezione di modo comune: | >80dB |
| Diafonia (crosstalk): | non applicabile (elementi singoli a trasmissione digitale) |
| Impedenza d'ingresso: | >100k Ω |

INCLINOMETRO S4i

Studio Associato di Ingegneria, Geologia ed Architettura
Via Cavour 30, Andora (SV)
Tel.tel. 0182/684363; E-MAIL stingeo@libero.it

Dati cantiere

| | |
|----------|----------------------------|
| Cantiere | Piaggia |
| Località | Piaggia Briga Alta (Cuneo) |
| Lavoro | Monitoraggio |

Dati tecnici

| | |
|-------------------------|----------|
| Data ultima misura | 18/03/17 |
| Misura n° | 2 |
| Data misura di zero | 11/02/17 |
| Azimut (gradi) | 0 |
| Costante inclinometrica | 25000 |
| Quota lettura | 0.00 |

Dati sondaggio

| | |
|---------------------|----|
| Tubo inclinometrico | 11 |
|---------------------|----|

Date letture

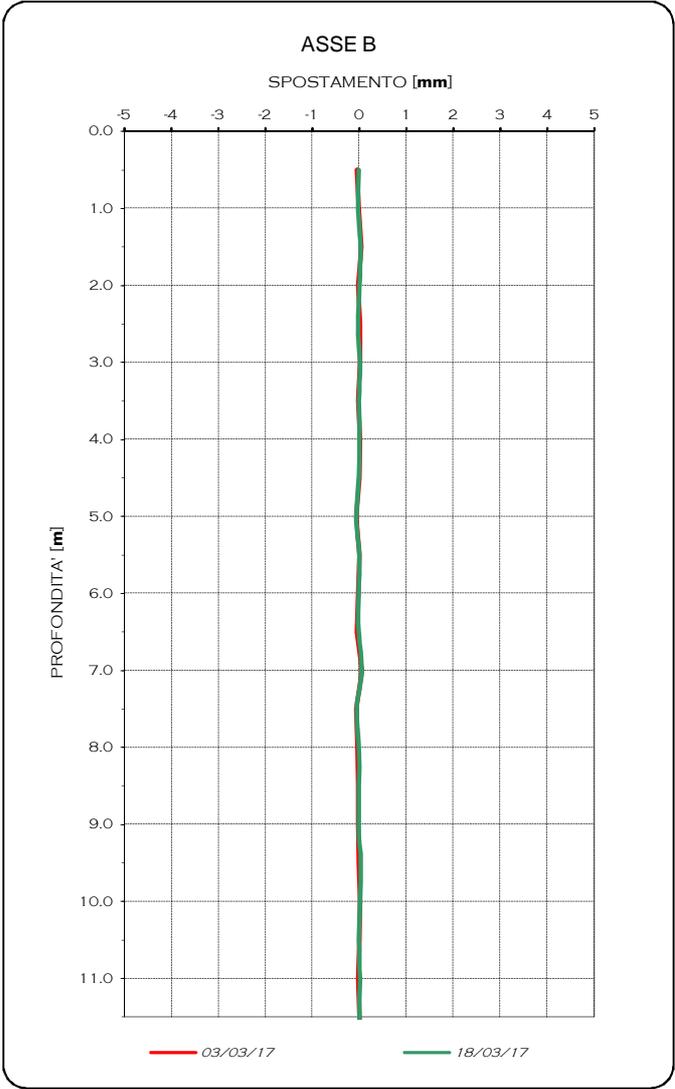
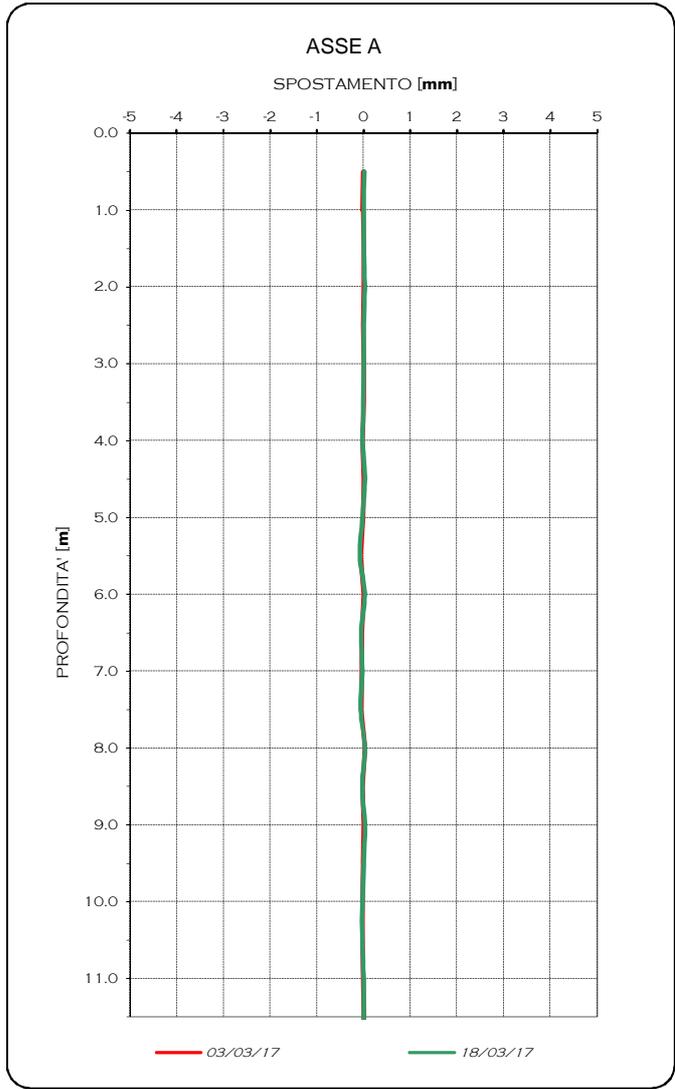
| | |
|---------------------------|----------|
| Data misura di zero | 11/02/17 |
| I° misura di controllo | 03/03/17 |
| II° misura di controllo | 18/03/17 |
| III° misura di controllo | |
| IV° misura di controllo | |
| V° misura di controllo | |
| VI° misura di controllo | |
| VII° misura di controllo | |
| VIII° misura di controllo | |
| IX° misura di controllo | |
| X° misura di controllo | |

Dati letture

| | |
|----------------------------------|-----|
| Ultima lettura utile da p.c. (m) | 12 |
| Passo di misura (m) | 0.5 |

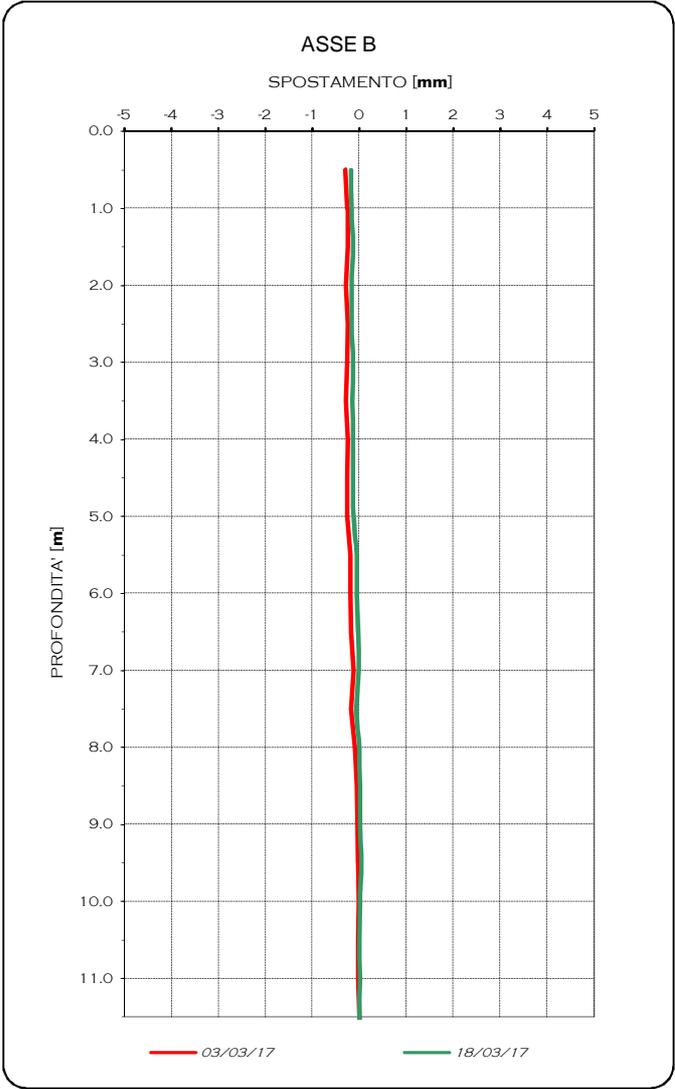
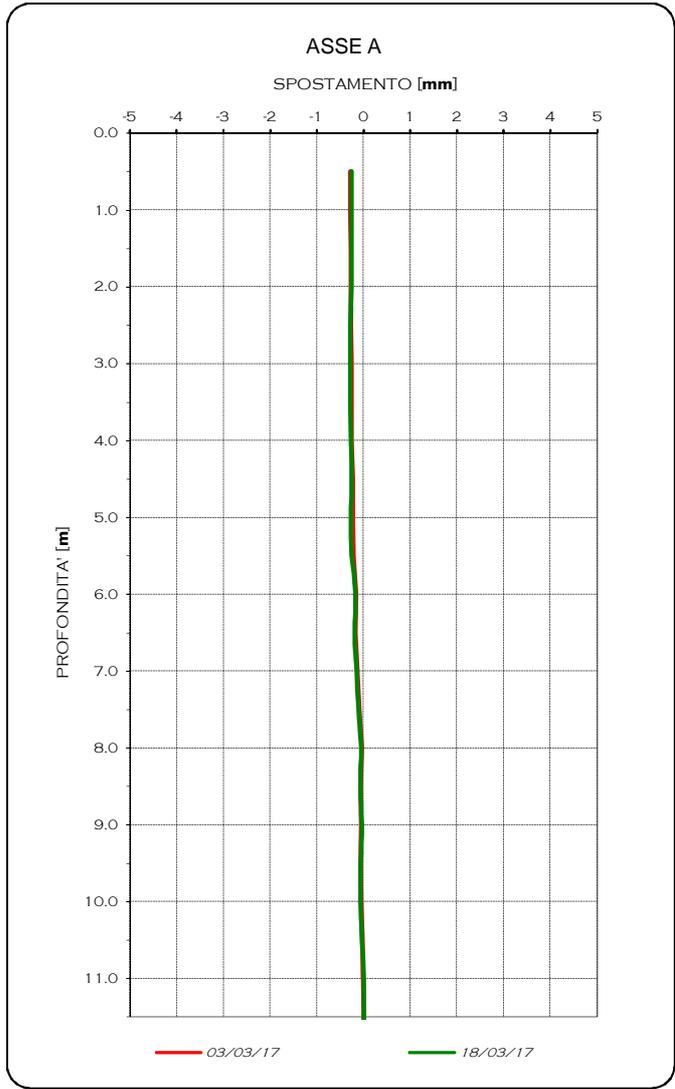
Cantiere: Piaggia
Monitoraggio
Tubo inclinometrico: 11
Data lettura di zero: 11/02/2017
Data ultima lettura: 18/03/2017
Numero di letture: 2

**Spostamento differenziale
Componenti**



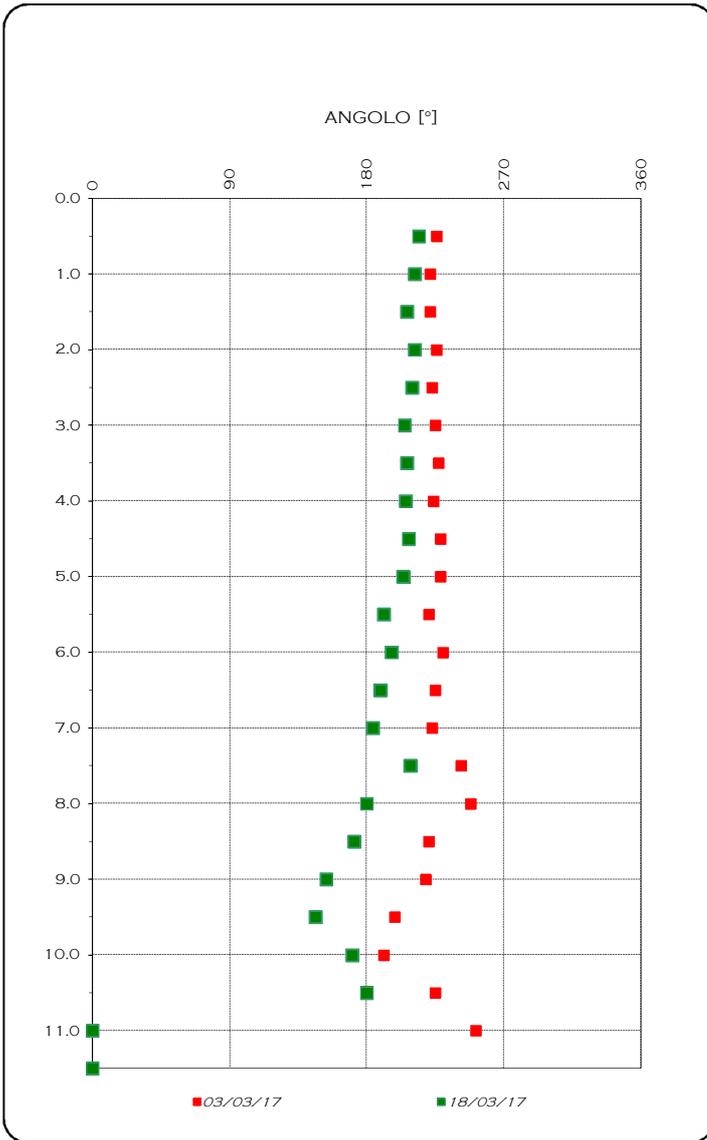
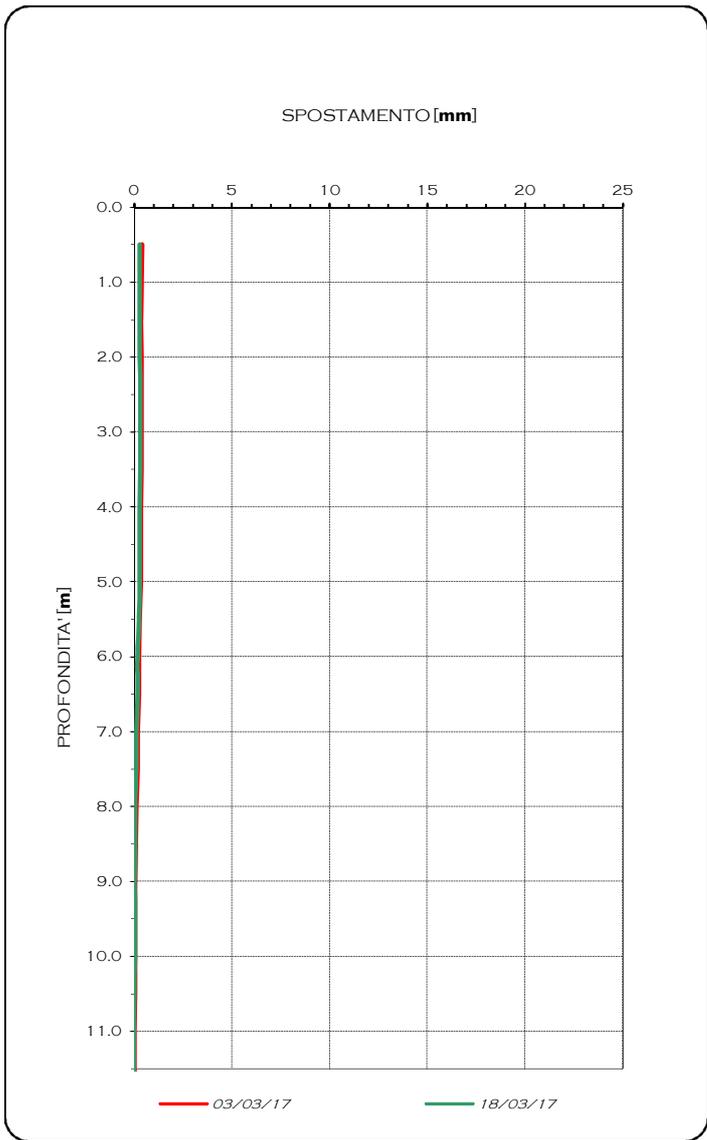
Cantiere: Piaggia
Monitoraggio
Tubo inclinometrico: 11
Data lettura di zero: 11/02/2017
Data ultima lettura: 18/03/2017
Numero di letture: 2

**Spostamento cumulativo
Componenti**



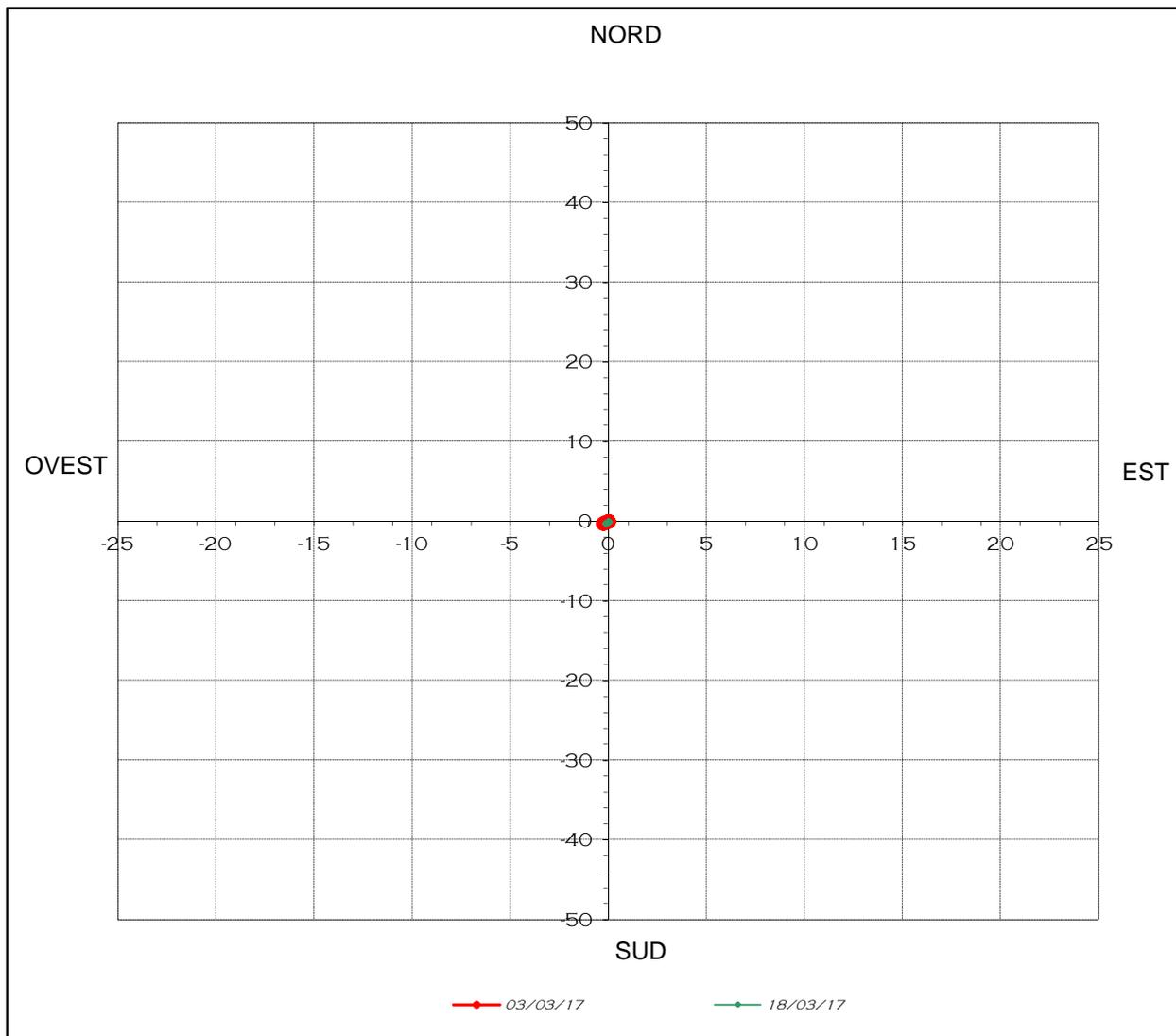
Cantiere: Piaggia
Monitoraggio
Tubo inclinometrico: I1
Data lettura di zero: 11/02/2017
Data ultima lettura: 18/03/2017
Numero di letture: 2

Spostamento cumulativo Risultante



Cantiere: **Piaggia**
Monitoraggio
Tubo inclinometrico: **11**
Data lettura di zero: **11/02/2017**
Data ultima lettura: **18/03/2017**
Numero di letture: **2**

Diagramma in coordinate polari
Spostamento Risultante



Letture crepemetri Piaggia (mm)

| date: | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 30/11/2016 | 24.8 | 22.88 | 25.82 | 30.33 | 24.24 | 25.56 | 19.5 | 29.68 | 21.52 | 25.51 | 30.08 | |
| 12/01/16 | 24.78 | 22.83 | 25.7 | 30.3 | 24.02 | 25.43 | 19.46 | 29.66 | 21.75 | 25.66 | 29.79 | |
| 12/03/16 | 24.88 | 22.93 | 25.78 | 30.45 | 24.16 | 26.27 | 19.64 | 29.7 | 21.87 | 25.78 | 30.03 | 26.9 |
| 12/08/16 | 24.91 | 22.85 | 25.7 | 30.53 | 24.17 | 25.85 | 19.48 | 29.78 | 21.6 | 25.65 | 29.95 | 26.91 |
| 12/14/2016 | 25 | 22.87 | 25.72 | 30.18 | 24.12 | 26.1 | 19.44 | 29.75 | 21.42 | 25.3 | 29.9 | 26.8 |
| 28/12/16 | 25.17 | 22.9 | 25.68 | 30.57 | 24.17 | 26.62 | 19.55 | 29.98 | 21.7 | 25.82 | 29.92 | 26.53 |
| 07/01/17 | 25.26 | 22.86 | 25.62 | 30.57 | 24.21 | 26.06 | 19.31 | 29.68 | 21.6 | 25.73 | 29.82 | 26.82 |
| 14/01/17 | 25.29 | 22.84 | 25.66 | 30.5 | 24.17 | 26.44 | 19.38 | 29.68 | 21.55 | 25.85 | 30.05 | 27.03 |
| 21/01/17 | 25.4 | 22.9 | 25.72 | 30.15 | 24.3 | 26.4 | 19.35 | 29.98 | 21.48 | 25.75 | 29.97 | 26.73 |
| 28/01/2017 | 25.5 | 22.89 | 25.55 | 36.25 | 24.31 | 26.45 | 19.15 | 30.05 | | | | 26.44 |
| 03/02/2017 | 25.5 | 22.83 | 25.61 | 30.44 | 24.26 | 26.37 | 19.18 | 30.11 | 21.7 | 25.57 | 30.01 | 26.09 |
| 18/03/2017 | 25.52 | 22.8 | 25.56 | 30.51 | 24.28 | 26.3 | 19.24 | 30.2 | 21.75 | 25.7 | 30.05 | 26.17 |
| 01/04/2017 | 25.65 | 22.8 | 25.46 | 30.5 | 24.25 | 26.39 | 19.22 | 30.2 | 21.85 | 25.72 | 30.05 | 26.68 |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |