

**Comune di ASCOLI PICENO
(Provincia di ascoli Piceno)**

Oggetto:

Indagine geofisica tramite sismica a rifrazione e prova multicanale di tipo MASW per lo "STUDIO GEOLOGICO COMPRENSIVO DI INDAGINI GEOGNOSTICHE, RIGUARDANTI UN'IPOTESI DI AMPLIAMENTO DELLA DISCARICA COMUNALE IN LOC. RELLUCE NEL COMUNE DI ASCOLI PICENO"

Richiedente:

Geologo Andrea Bruni

Monterubbiano 9 giugno 2012



PREMESSA

La presente prospezione geofisica è stata realizzata per la ricostruzione dei sismostrati e per la caratterizzazione dei suoli attraverso la velocità di propagazione delle onde di compressione e di taglio nell'ambito di una indagine geologica relativa allo "STUDIO GEOLOGICO COMPRENSIVO DI INDAGINI GEOGNOSTICHE, RIGUARDANTI UN'IPOTESI DI AMPLIAMENTO DELLA DISCARICA COMUNALE IN LOC. RELLUCE NEL COMUNE DI ASCOLI PICENO".

L'acquisizione sismica, attraverso n. 2 profili con basi a rifrazione e Masw, è stata eseguita nelle aree caratteristiche dell'area da indagare:

- Il profilo 1 effettuato dalla zona sommitale del versante in direzione est è costituito da tre linee della lunghezza di 55 metri ed eseguite in successione.
- Il profilo 2 effettuato dalla zona sommitale del versante in direzione nord est è costituito da quattro linee della lunghezza di 55 metri ed eseguite in successione.

PRINCIPI GENERALI

Le indagini geosismiche vengono realizzate utilizzando il metodo sismico a rifrazione, che utilizza la determinazione della velocità di propagazione delle onde longitudinali (onde P) Tali onde sono generate, e si propagano nel terreno, ogni qualvolta quest' ultimo è sottoposto a sollecitazioni meccaniche sia di tipo naturale, sia di tipo artificiale (esplosioni, mazze battenti, vibratorii ecc.).

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 di sparo o scoppio), in corrispondenza di una molteplicità di sensori disposti allineati sulla superficie topografica (geofoni).

Lo studio della propagazione delle onde sismiche consente di valutare le proprietà meccaniche e fisiche dei terreni, la compattezza dei materiali e la loro stratificazione da queste attraversati.

Mediante questo tipo di indagine si può risalire alla probabile composizione litologica 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"), alla sua forma e talora, in terreni alluvionali, alla profondità della falda freatica.

L'elaborazione dei dati sismici con un modello matematico bidimensionale attraverso procedure iterative, consente di massimizzare la risoluzione e il dettaglio di ricostruzione del modello di velocità attribuito al terreno in esame.

Utilizzando quindi le distanze tra il punto di scoppio e quello di ricezione e i tempi di primo arrivo dei segnali sismici, sono ricavate le dromocrone (curve tempi-distanze - vedi allegato), dalle quali

si risale, tramite opportuno programma di calcolo, alle velocità reali nei singoli strati, al loro spessore, profondità, forma ed inclinazione.

Per questa parte di procedura interpretativa l'algoritmo utilizzato dal programma di calcolo è stato pubblicato nel 1986 da Dereck Palmer in un articolo dal titolo "The Generalized Reciprocal Method of Seismic Refraction Interpretation (Society of Exploration Geophysicists).

ELABORAZIONE - METODO GRM

Il metodo G.R.M. (Palmer, 1980), consente di ricostruire morfologie del substrato piane o irregolari, anche nel caso di variazioni laterali di velocità.

Per ricostruire l'andamento dell'interfaccia di strato lungo tutto lo stendimento, è necessario che i segnali provenienti dal singolo rifratore siano ricevuti da tutti i geofoni messi in opera.

Il grafico distanza-tempi che si ottiene è considerevolmente più complesso rispetto al caso del metodo convenzionale.

L'interpretazione del grafico distanza-tempi prevede due passaggi:

- la ricostruzione delle dromocrone relative ai singoli strati;
- la stima delle velocità e delle profondità di ogni singolo rifratore.

La fase essenziale quella di ricostruire la dromocrona relativa ad ogni strato, seguendola, se possibile, da un estremo all'altro dello stendimento, assemblando quindi insieme tratti di dromocrone relative a sorgenti differenti, ma i cui segnali provengono dallo stesso rifratore.

Ciò è stato eseguito sia per il tiro diretto che per quello coniugato.

Con il metodo reciproco generalizzato si parte dall'ipotesi che esista una distanza intergeofonica XY ottimale, distanza che fornisce il maggior dettaglio possibile nella ricostruzione della morfologia del rifratore.

Per determinare la distanza XY ottimale in pratica si è proceduto come indicato di seguito:

- Si fa variare XY da un valore minimo corrispondente alla spaziatura reale fra i geofoni fino a un valore massimo di 9-10 volte tale distanza;
- quindi se, come nel nostro caso, i geofoni sono spazati di 5 m, si dovranno prendere in considerazione intervalli di XY uguali a 5 e sui multipli.
- Per ogni valore di XY scelto si stima, con un passo di calcolo uguale a XY, la funzione velocità.

MODALITA' OPERATIVE

Sono stati eseguiti due profili con distanza intergeofonica 5 m.

Il primo per una lunghezza dello stendimento di 175 metri suddiviso in tre linee di acquisizione con scoppi esterni posti a 5 metri rispetto ai geofoni estremi della linea.

Il secondo per una lunghezza dello stendimento di 235 metri suddiviso in quattro linee di acquisizione con scoppi esterni posti a 5 metri rispetto ai geofoni estremi della linea.

Sono quindi stati attuati n. 5 scoppi di cui n. 2 esterni e 3 interni alle singole linee (v.d.r. report allegato).

CLASSIFICAZIONE SECONDO LA NORMATIVA SISMICA VIGENTE PROFILO 1

Nella sezione elaborata, sono stati riscontrati tre strati o sismostrati a differente velocità, il primo con velocità da 361,50 m/s con spessore fino a circa 1,5 m.

Il secondo sismostrato, con velocità di 1150,40 m/s, con spessore medio di circa 5 metri.

Lo strato di base presenta velocità 2061,40 m/s fino alla profondità di 30metri dal P.C.

Di seguito vengono ricapitolate le medie delle velocità e degli spessori:

N. Strato	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Spessore fino a 30 m. [m]
1	170.00	361.50	1.50
2	510.00	1150.40	5.00
3	820.00	2061.40	23.50

Ai fini della definizione delle azioni sismiche di progetto in base al D.M. 14.01.2008, si determina la categoria di riferimento del sito in funzione della velocità media di propagazione delle onde di taglio entro 30 m. di profondità, secondo la seguente equazione:

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}} = 634,44 \cdot m / s$$

Possiamo a questo punto valutare la categoria e l'effetto della risposta sismica locale in base alla Tabella 3.2.II – Categorie di sottosuolo del D.M. 14.01.2008.

B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori ai 30 metri miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità . Vs ₃₀ comprese tra 360 e 800 m/s
----------	---

Di seguito si riporta per completezza la Tabella 3.2.II:

Tabella 3.2.II – Categorie di sottosuolo

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

PROVA SISMICA MULTICANALE MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves)

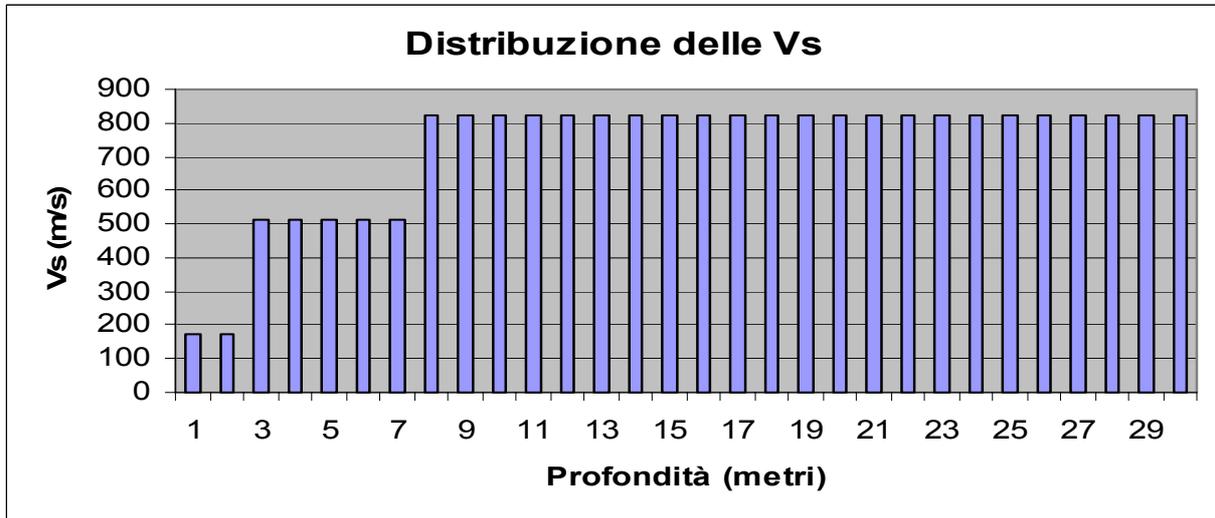
Il metodo MASW è una tecnica di indagine non invasiva che consente la definizione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s , basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori posti sulla superficie del suolo. Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che si trasmettono con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo o detto in maniera equivalente la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione, cioè sono onde la cui velocità dipende dalla frequenza.

Strumentazione e configurazione geometrica utilizzata

L'analisi MASW può essere ricondotta in quattro fasi :

- la prima fase prevede la trasformazione delle serie temporali nel dominio frequenza f numero d'onda K ;
- la seconda fase consiste nella individuazione delle coppie $f-k$ cui corrispondono i massimi spettrali d'energia (densità spettrale) consentono di risalire alla curva di dispersione delle onde di Rayleigh nel piano V_{fase} (m/sec) – frequenza;

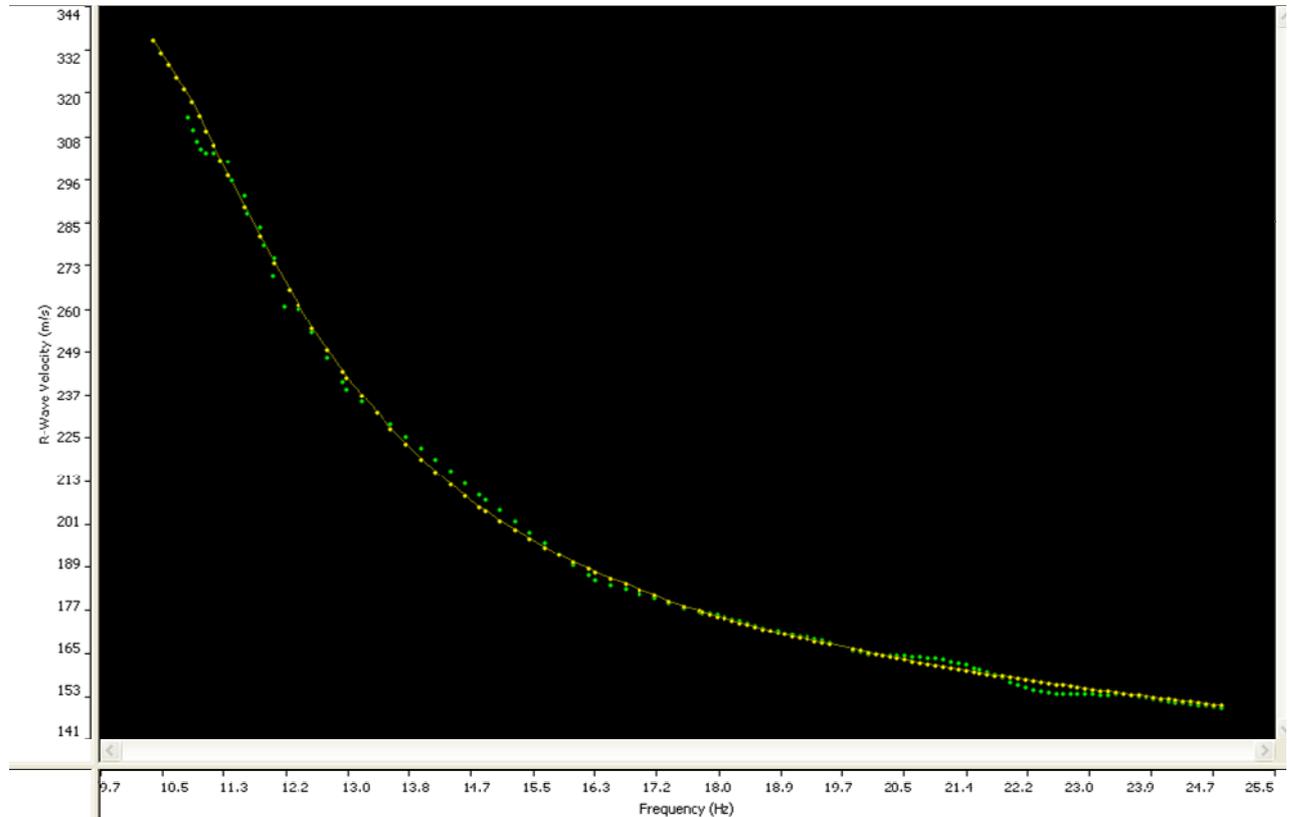
- la terza fase consiste nel calcolo della curva di dispersione teorica attraverso la formulazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s , modificando opportunamente lo spessore h , le velocità delle onde di taglio V_s (Fig.1);



(Fig.1 - Distribuzione delle Vs);

- la quarta ed ultima fase consiste nella modifica della curva teorica fino a raggiungere una sovrapposizione ottimale tra la velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale e la

velocità di fase (o curva di dispersione) numerica corrispondente al modello di suolo



(Fig. 2 - curva di dispersione)

DENSITÀ GEOFISICA (γ_{din}) (espressa in t/mc)

$\gamma_{din} = 0,51 \times V_p^{0,19} \Rightarrow$ Possiamo determinarci il suo valore per ogni sismostrato

N. Strato	γ_{din}	V_p [m/s]
1	1.5617	361.50
2	1.9459	1150.40
3	2.1740	2061.40

COEFFICIENTE DI POISSON (ν)

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

Relazione Geofisica

N. Strato	Vs [m/s]	Vp [m/s]	v_Poisson
1	170.00	361.50	0.358030
2	510.00	1150.40	0.377694
3	820.00	2061.40	0.406010

MODULO DI YOUNG (E)

$$E = V_p^2 \times \gamma \frac{(1+\nu) \times (1-2\nu)}{1-\nu} \quad (\text{espresso in MPa})$$

N. Strato	E_Young	Vp [m/s]	v_Poisson	γ_{din}
1	1.273826	361.50	0.358030	1.5617
2	14.491612	1150.40	0.377694	1.9459
3	42.713883	2061.40	0.406010	2.1740

MODULO DI TAGLIO (G₀)

$$G_0 = \frac{\gamma \times (V_s)^2}{g} \quad (\text{espresso in MPa})$$

N. Strato	Vs [m/s]	G ₀ _Taglio	γ_{din}
1	170.00	0.46900	1.5617
2	510.00	5.25937	1.9459
3	820.00	15.18975	2.1740

CLASSIFICAZIONE SECONDO LA NORMATIVA SISMICA VIGENTE PROFILO 2

Nella sezione elaborata, sono stati riscontrati tre strati o sismostrati a differente velocità, il primo con velocità da 439,40 m/s con spessore fino a circa 12 m.

Il secondo sismostrato, con velocità di 1101,10 m/s, con spessore medio di circa 6 metri.

Lo strato di base presenta velocità 2057,30 m/s fino alla profondità di 30metri dal P.C.

Di seguito vengono ricapitolate le medie delle velocità e degli spessori:

N. Strato	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Spessore fino a 30 m. [m]
1	210.00	439.40	2.00
2	500.00	1101.10	6.00
3	820.00	2057.30	22.00

Ai fini della definizione delle azioni sismiche di progetto in base al D.M. 14.01.2008, si determina la categoria di riferimento del sito in funzione della velocità media di propagazione delle onde di taglio entro 30 m. di profondità, secondo la seguente equazione:

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}} = 620,44 \cdot m/s$$

Possiamo a questo punto valutare la categoria e l'effetto della risposta sismica locale in base alla Tabella 3.2.II - Categorie di sottosuolo del D.M. 14.01.2008.

B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori ai 30 metri miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità . Vs ₃₀ comprese tra 360 e 800 m/s
----------	--

Di seguito si riporta per completezza la Tabella 3.2.II:

Tabella 3.2.II – *Categorie di sottosuolo*

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).</i>

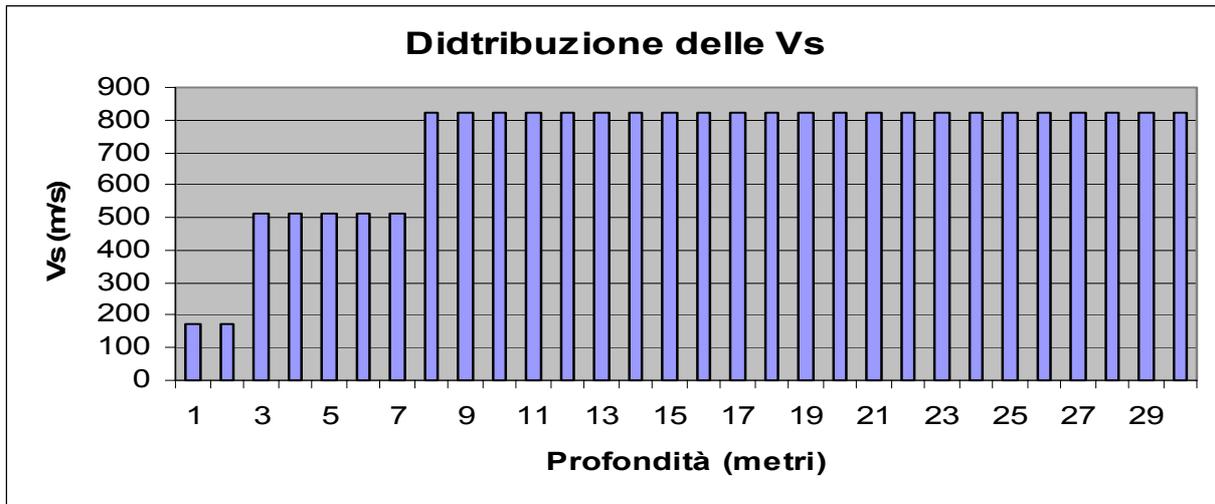
PROVA SISMICA MULTICANALE MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves)

Il metodo MASW è una tecnica di indagine non invasiva che consente la definizione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s , basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori posti sulla superficie del suolo. Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che si trasmettono con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo o detto in maniera equivalente la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione, cioè sono onde la cui velocità dipende dalla frequenza.

Strumentazione e configurazione geometrica utilizzata

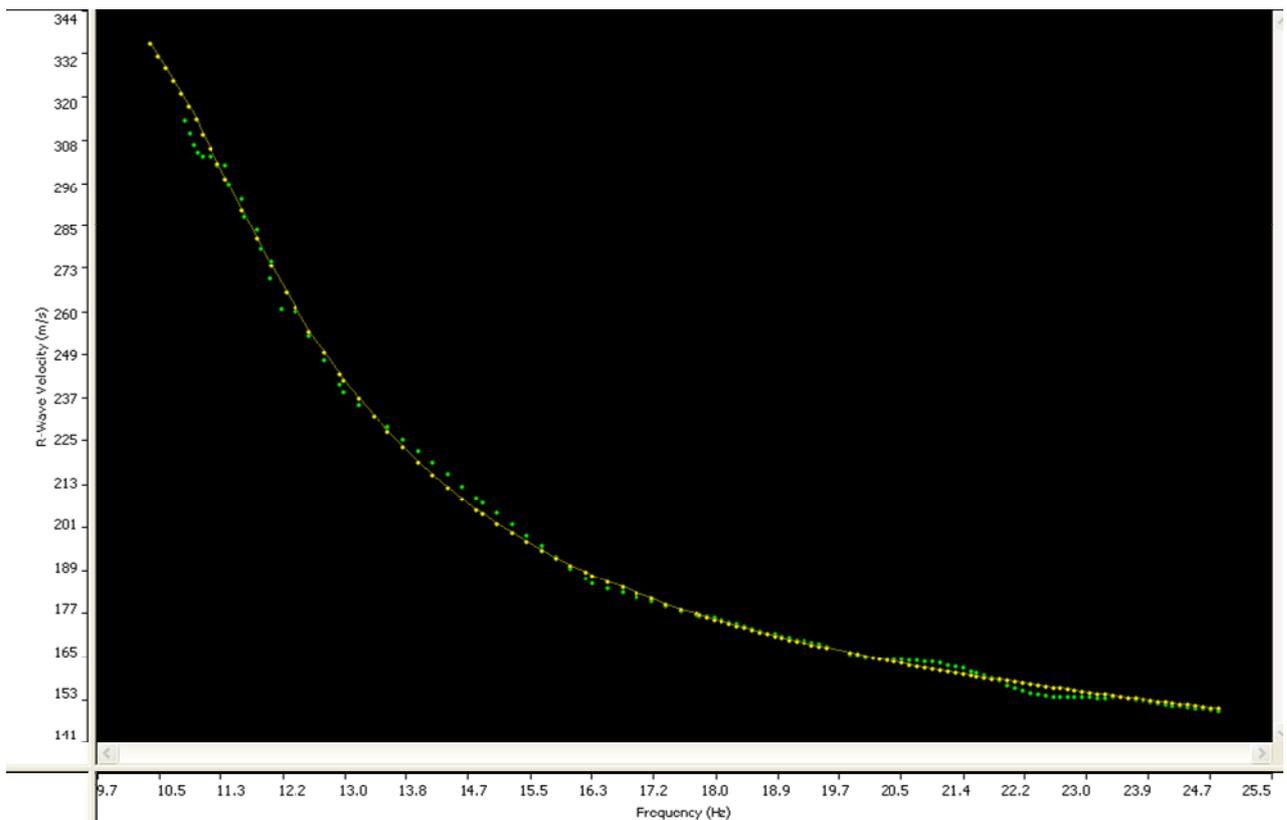
L'analisi MASW può essere ricondotta in quattro fasi :

- la prima fase prevede la trasformazione delle serie temporali nel dominio frequenza f numero d'onda K;
- la seconda fase consiste nella individuazione delle coppie f-k cui corrispondono i massimi spettrali d'energia (densità spettrale) consentono di risalire alla curva di dispersione delle onde di Rayleigh nel piano Vfase (m/sec) – frequenza;
- la terza fase consiste nel calcolo della curva di dispersione teorica attraverso la formulazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s , modificando opportunamente lo spessore h, le velocità delle onde di taglio V_s (Fig.1);



(Fig.1 - Distribuzione delle Vs);

- la quarta ed ultima fase consiste nella modifica della curva teorica fino a raggiungere una sovrapposizione ottimale tra la velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale e la velocità di fase (o curva di dispersione) numerica corrispondente al modello di suolo



(Fig. 2 - curva di dispersione)

DENSITÀ GEOFISICA (γ_{din}) (espressa in t/mc)

$\gamma_{din} = 0,51 \times V_p^{0,19} \Rightarrow$ Possiamo determinarci il suo valore per ogni sismostrato

N. Strato	γ_{din}	Vp [m/s]
1	1.6207	439.40
2	1.9298	1101.10
3	2.1732	2057.30

COEFFICIENTE DI POISSON (ν)

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

N. Strato	Vs [m/s]	Vp [m/s]	ν Poisson
1	210.00	439.40	0.351986
2	500.00	1101.10	0.370119
3	820.00	2057.30	0.405564

MODULO DI YOUNG (E)

$$E = V_p^2 \times \gamma \frac{(1 + \nu) \times (1 - 2\nu)}{1 - \nu} \quad (\text{espresso in MPa})$$

N. Strato	E_Young	Vp [m/s]	ν Poisson	γ_{din}
1	2.008243	439.40	0.351986	1.6207
2	13.737497	1101.10	0.370119	1.9298
3	42.684189	2057.30	0.405564	2.1732

MODULO DI TAGLIO (G_0)

$$G_0 = \frac{\gamma \times (V_s)^2}{g} \quad (\text{espresso in MPa})$$

N. Strato	Vs [m/s]	G ₀ _Taglio	γ _{din}
1	210.00	0.74270	1.6207
2	500.00	5.01325	1.9298
3	820.00	15.18401	2.1732

Dott. Geologo

Gianni Papaveri



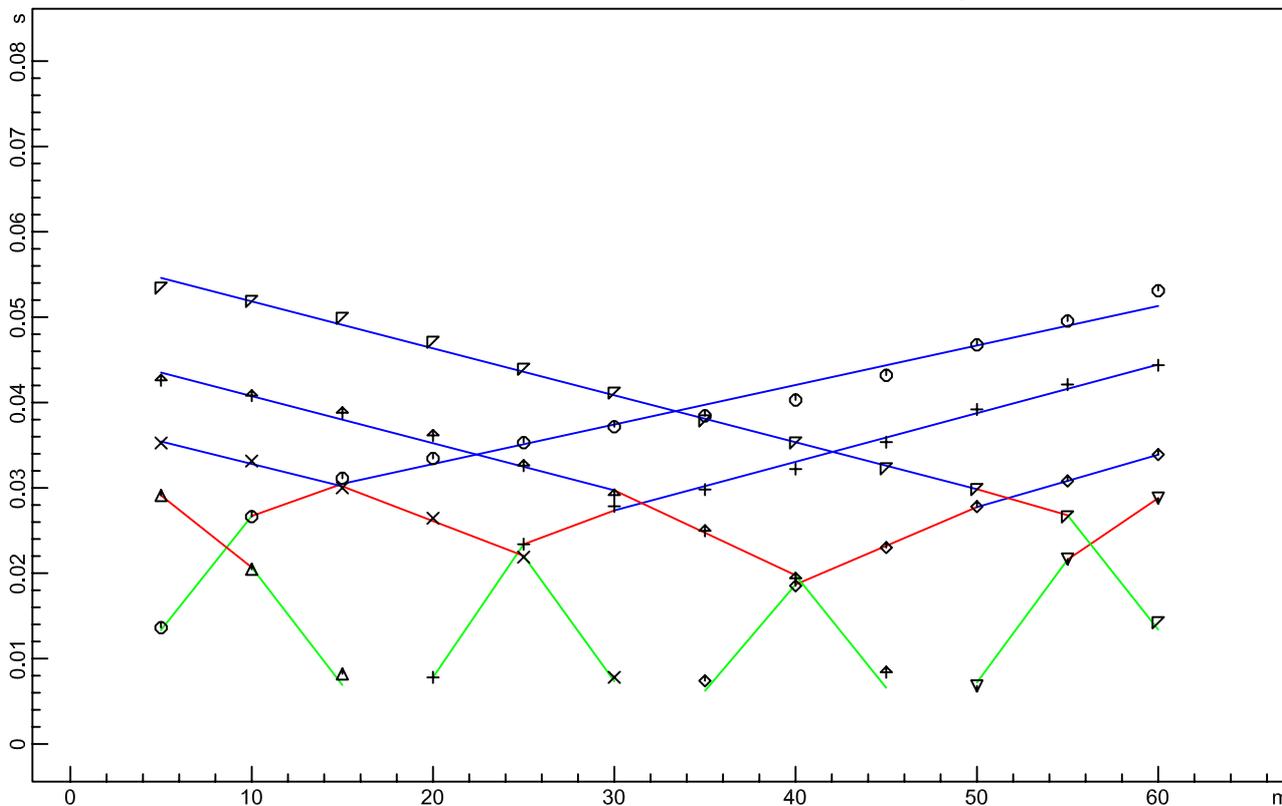


Comune di ASCOLI PICENO

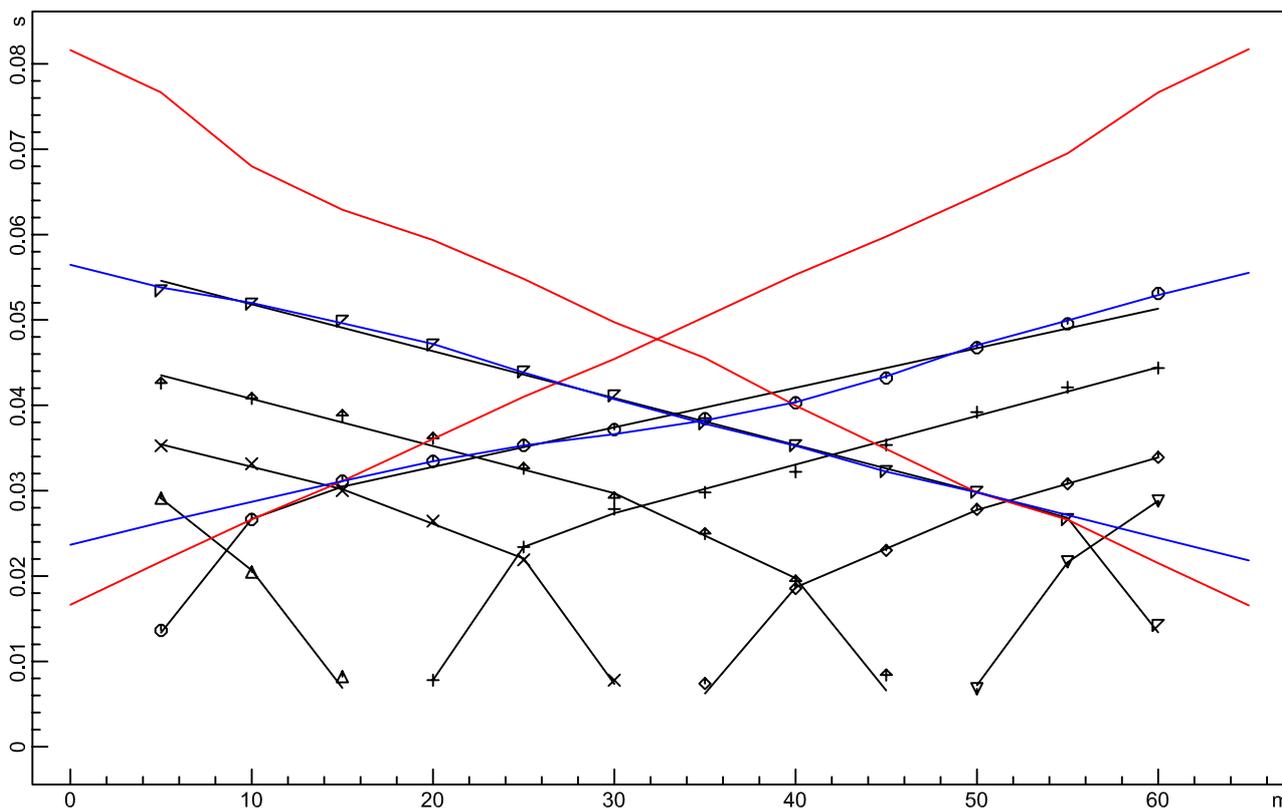
Indagine geofisica per lo "STUDIO GEOLOGICO COMPRENSIVO DI INDAGINI GEOGNOSTICHE, RIGUARDANTI UN'IPOTESI DI AMPLIAMENTO DELLA DISCARICA COMUNALE IN LOC. RELLUCE NEL COMUNE DI ASCOLI PICENO"

Committente: Geologo Andrea Bruni

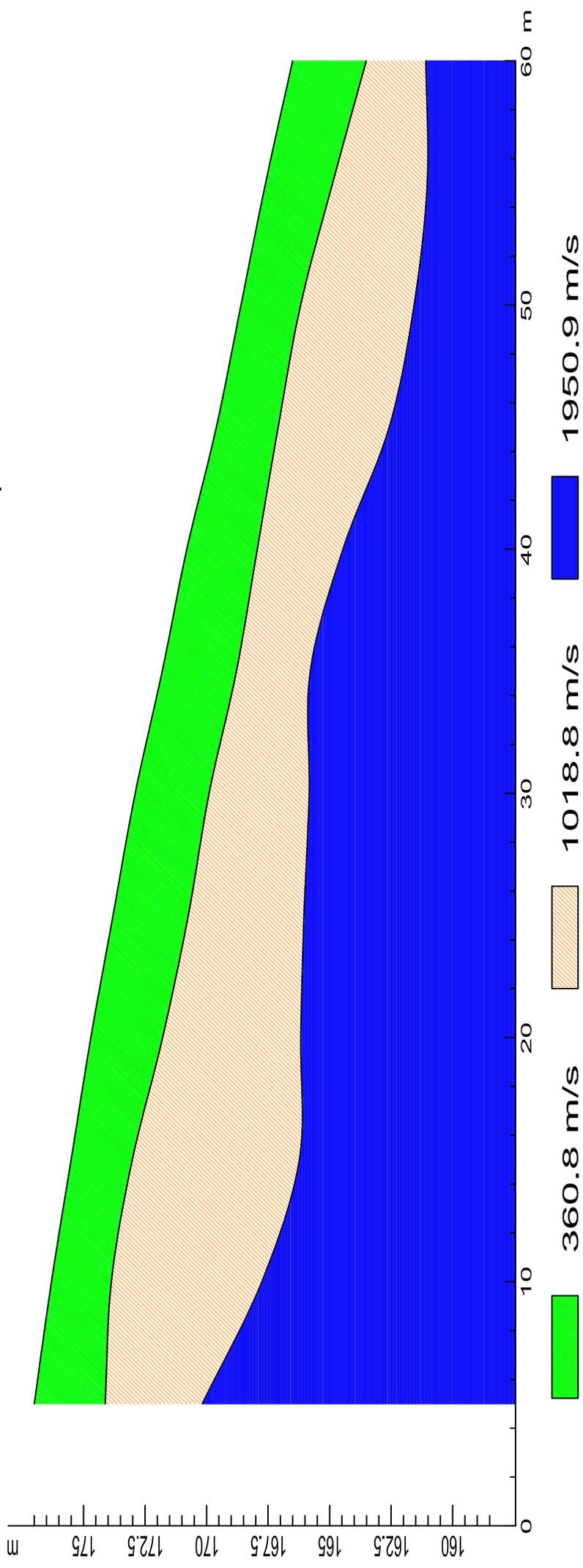
DROMOCRONE ORIGINALI linea 1 profilo 1



DROMOCRONE TRASLATE



SEZIONE VERTICALE linea 1 profilo 1



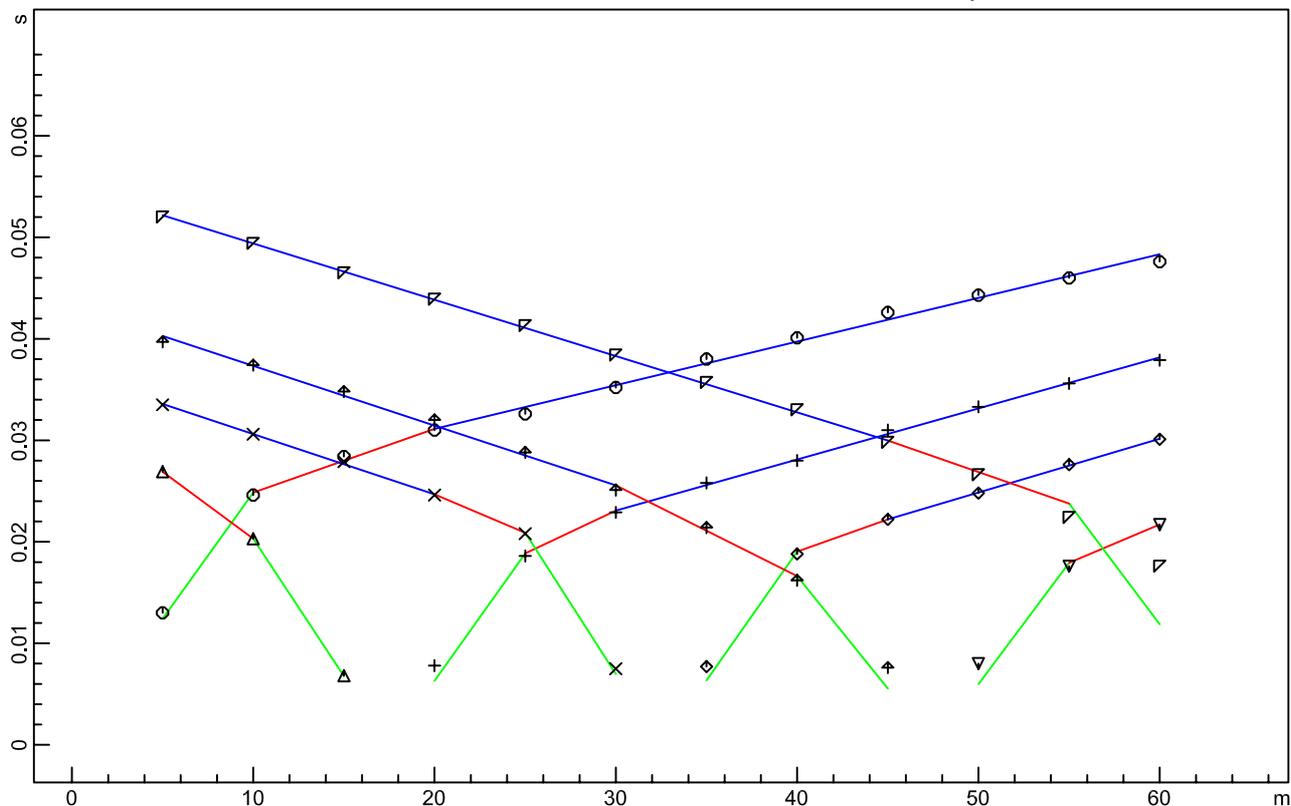


Comune di ASCOLI PICENO

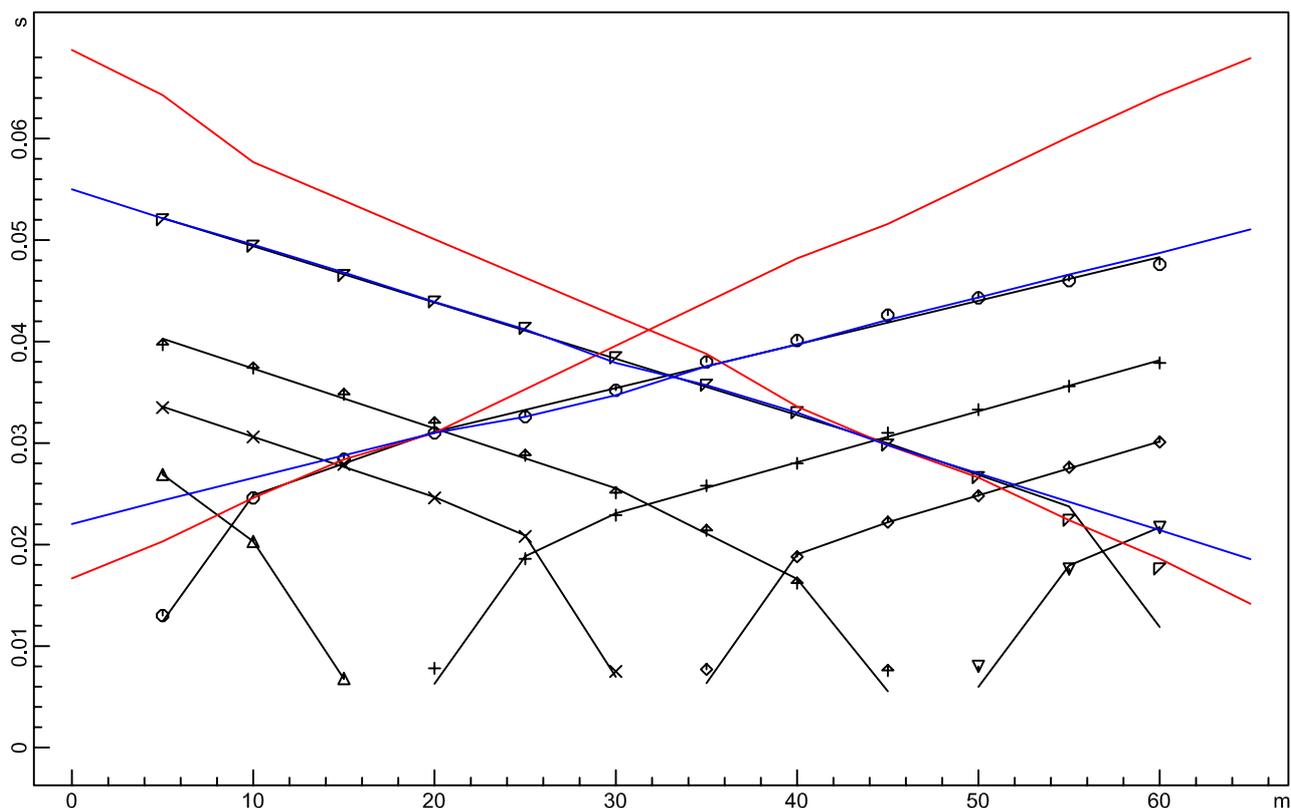
Indagine geofisica per lo "STUDIO GEOLOGICO COMPRENSIVO DI INDAGINI GEOGNOSTICHE, RIGUARDANTI UN'IPOTESI DI AMPLIAMENTO DELLA DISCARICA COMUNALE IN LOC. RELLUCE NEL COMUNE DI ASCOLI PICENO"

Committente: Geologo Andrea Bruni

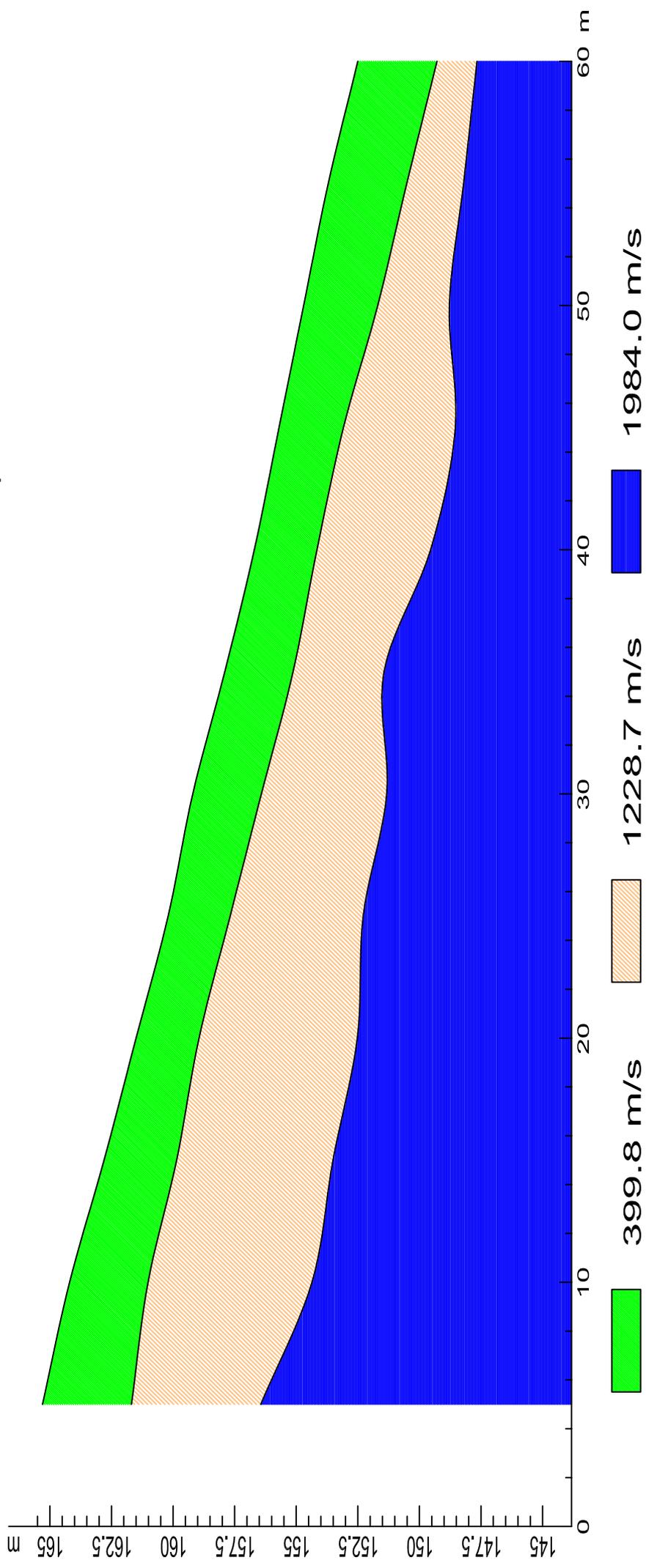
DROMOCRONE ORIGINALI linea 2 profilo 1



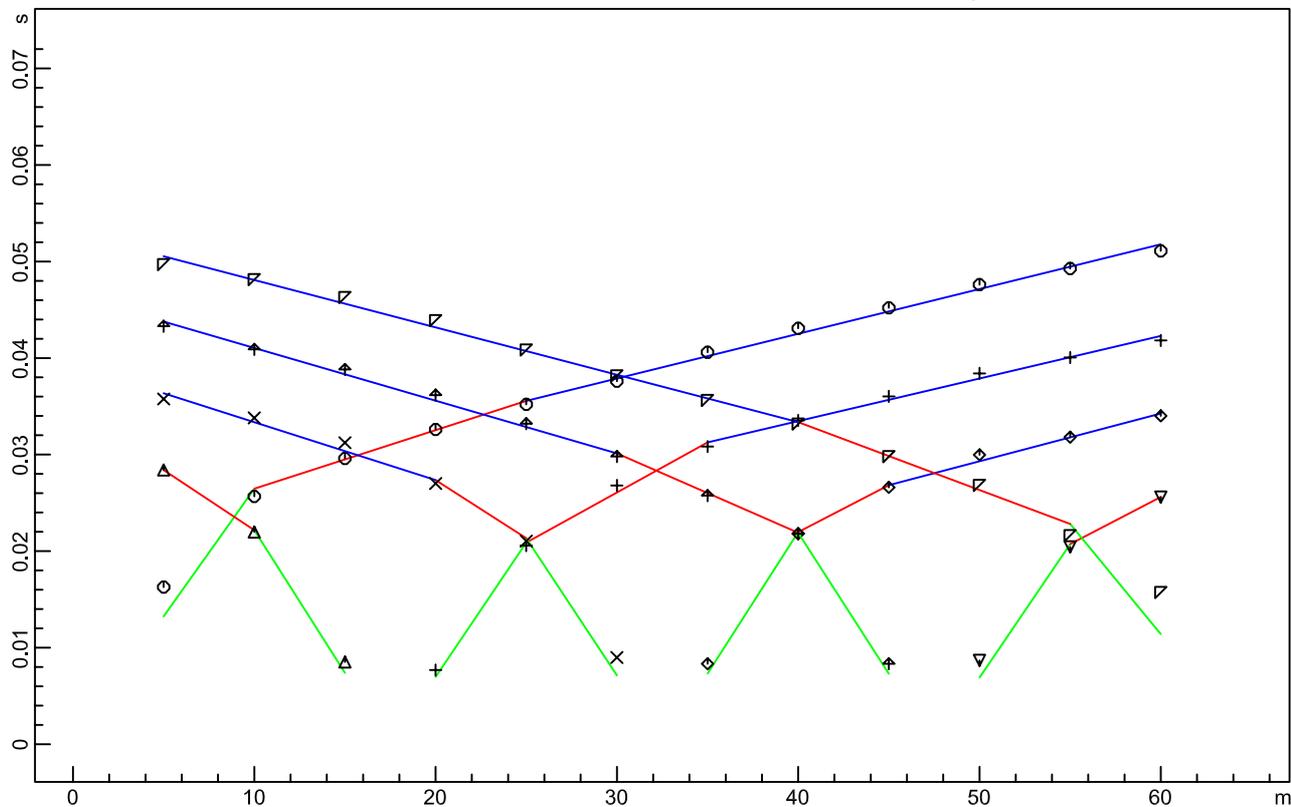
DROMOCRONE TRASLATE



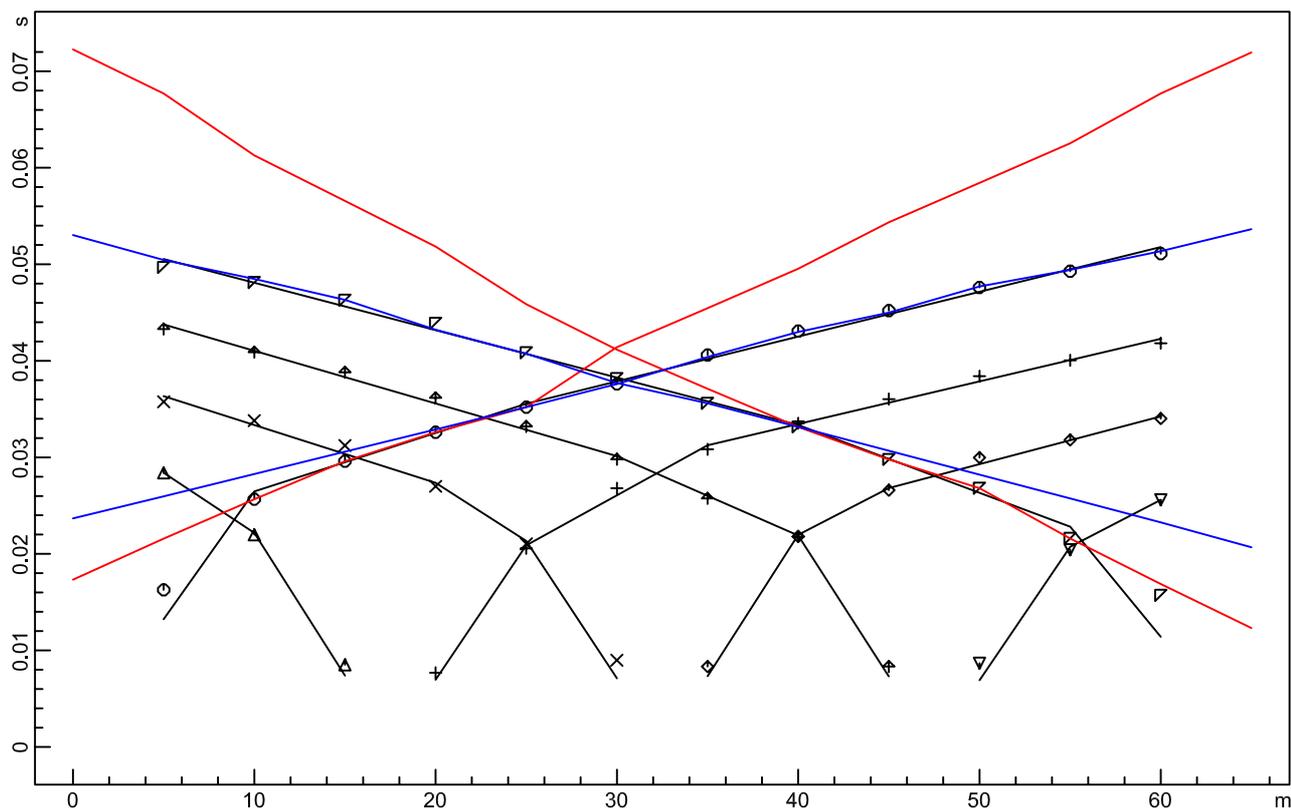
SEZIONE VERTICALE linea 2 profilo 1



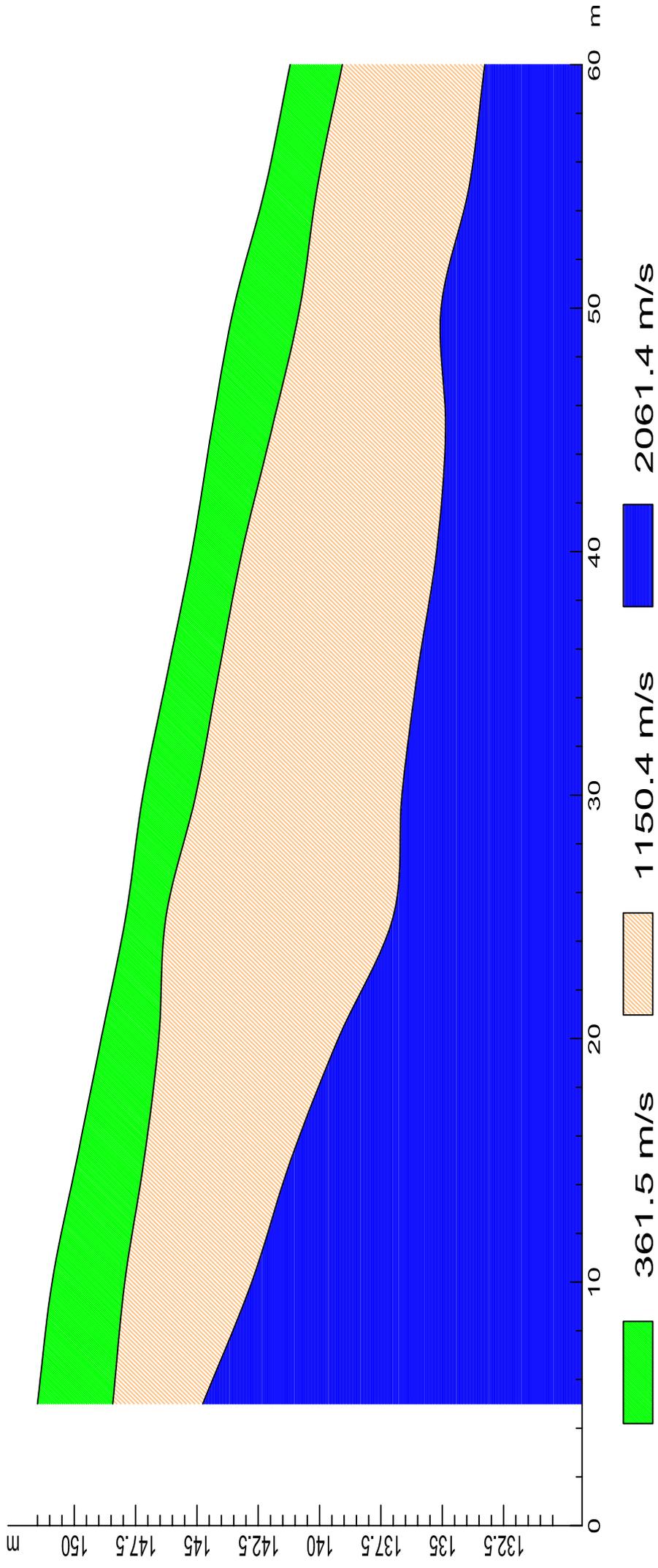
DROMOCRONE ORIGINALI linea 3 profilo 1



DROMOCRONE TRASLATE



SEZIONE VERTICALE linea 3 profilo 1



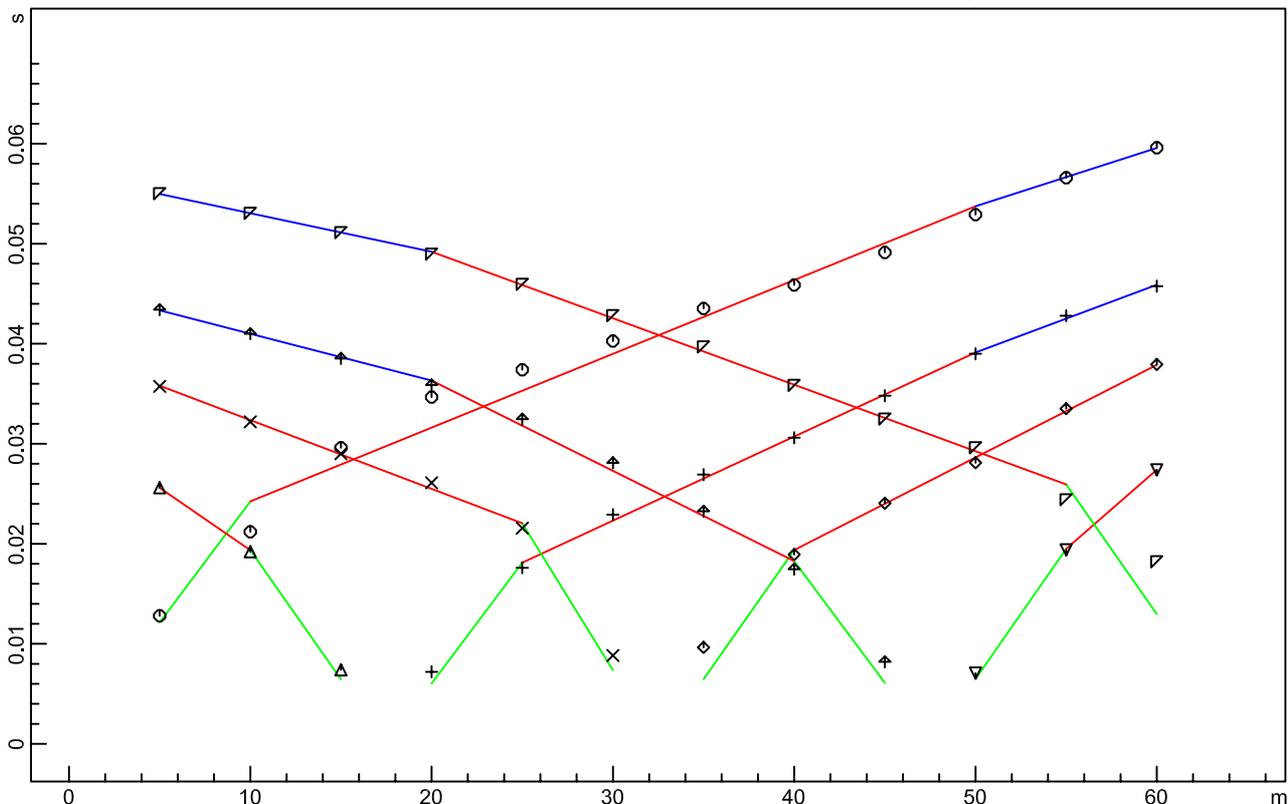


Comune di ASCOLI PICENO

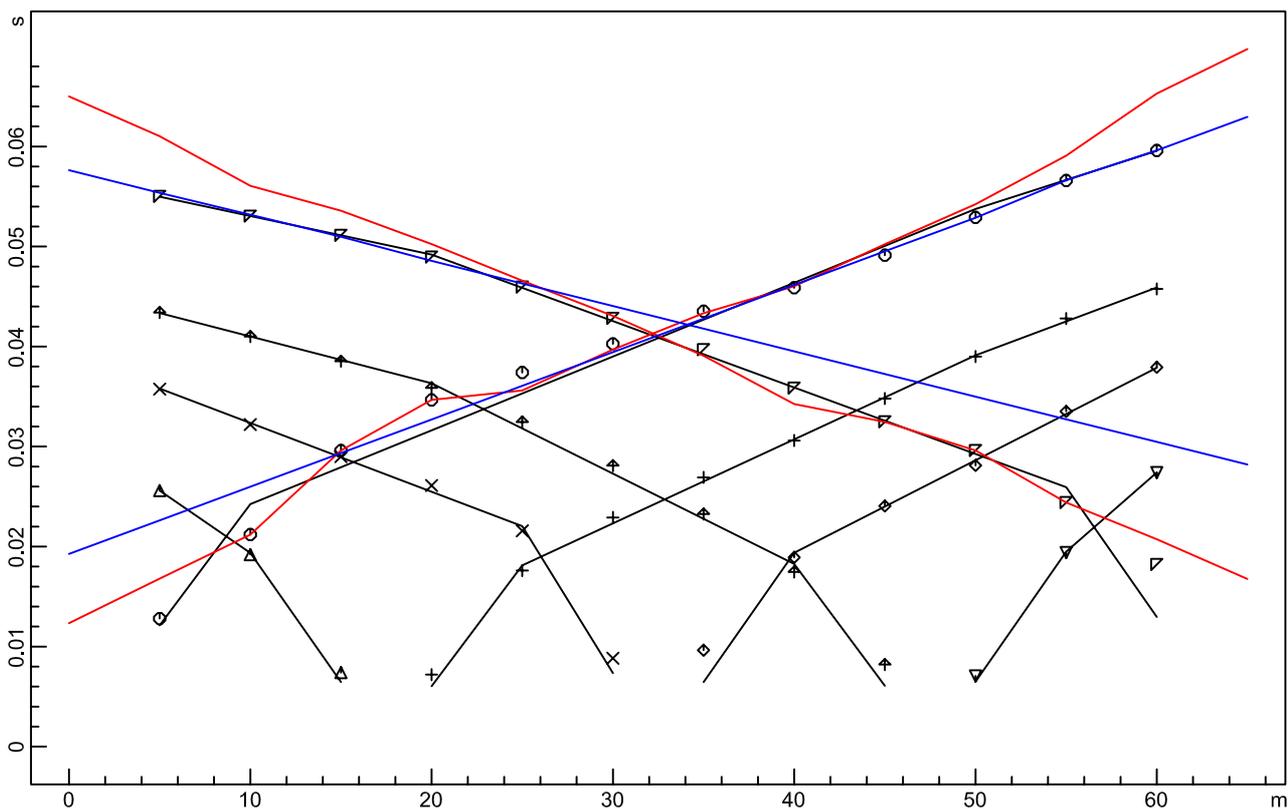
Indagine geofisica per lo "STUDIO GEOLOGICO COMPRENSIVO DI INDAGINI GEOGNOSTICHE, RIGUARDANTI UN'IPOTESI DI AMPLIAMENTO DELLA DISCARICA COMUNALE IN LOC. RELLUCE NEL COMUNE DI ASCOLI PICENO"

Committente: Geologo Andrea Bruni

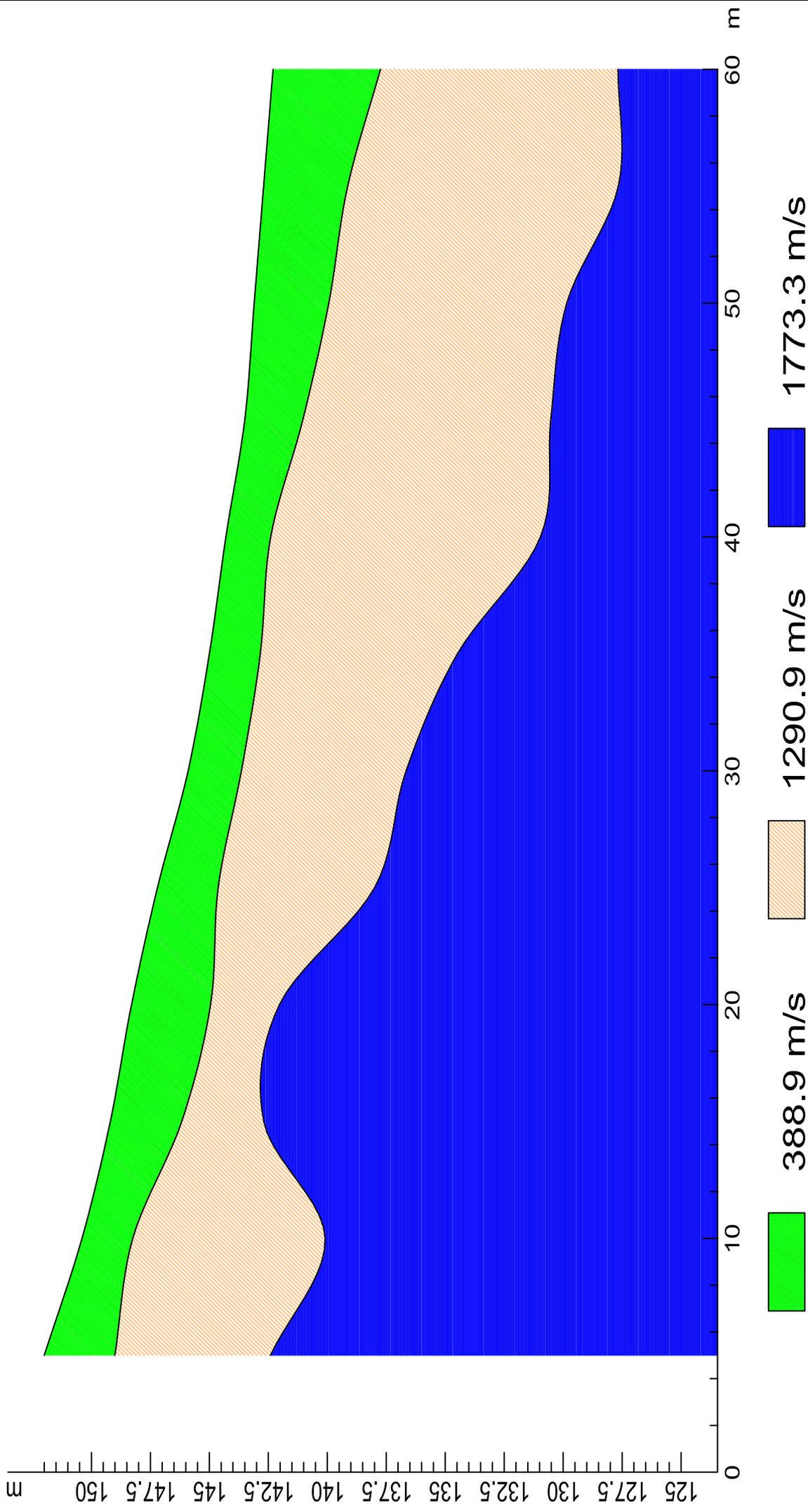
DROMOCRONE ORIGINALI linea 1 profilo 2



DROMOCRONE TRASLATE



SEZIONE VERTICALE linea 1 profilo 2



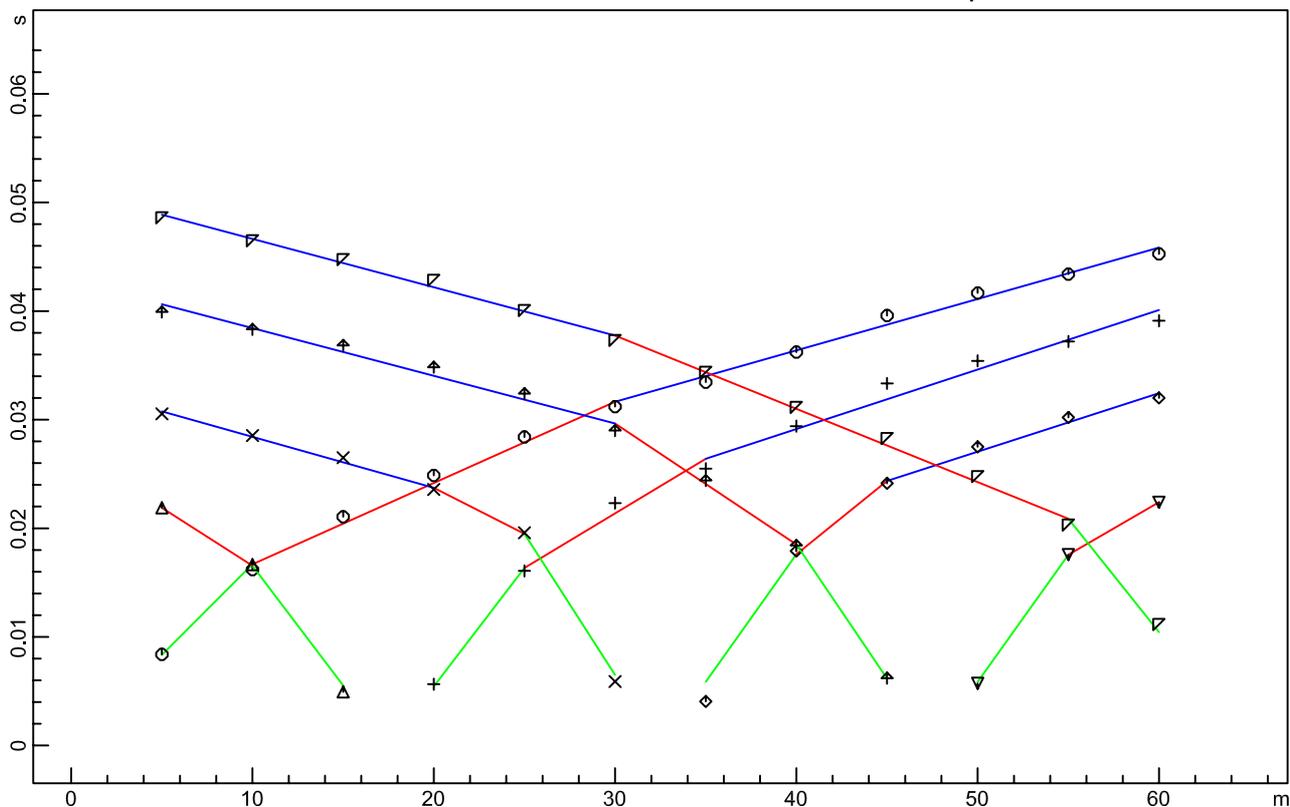


Comune di ASCOLI PICENO

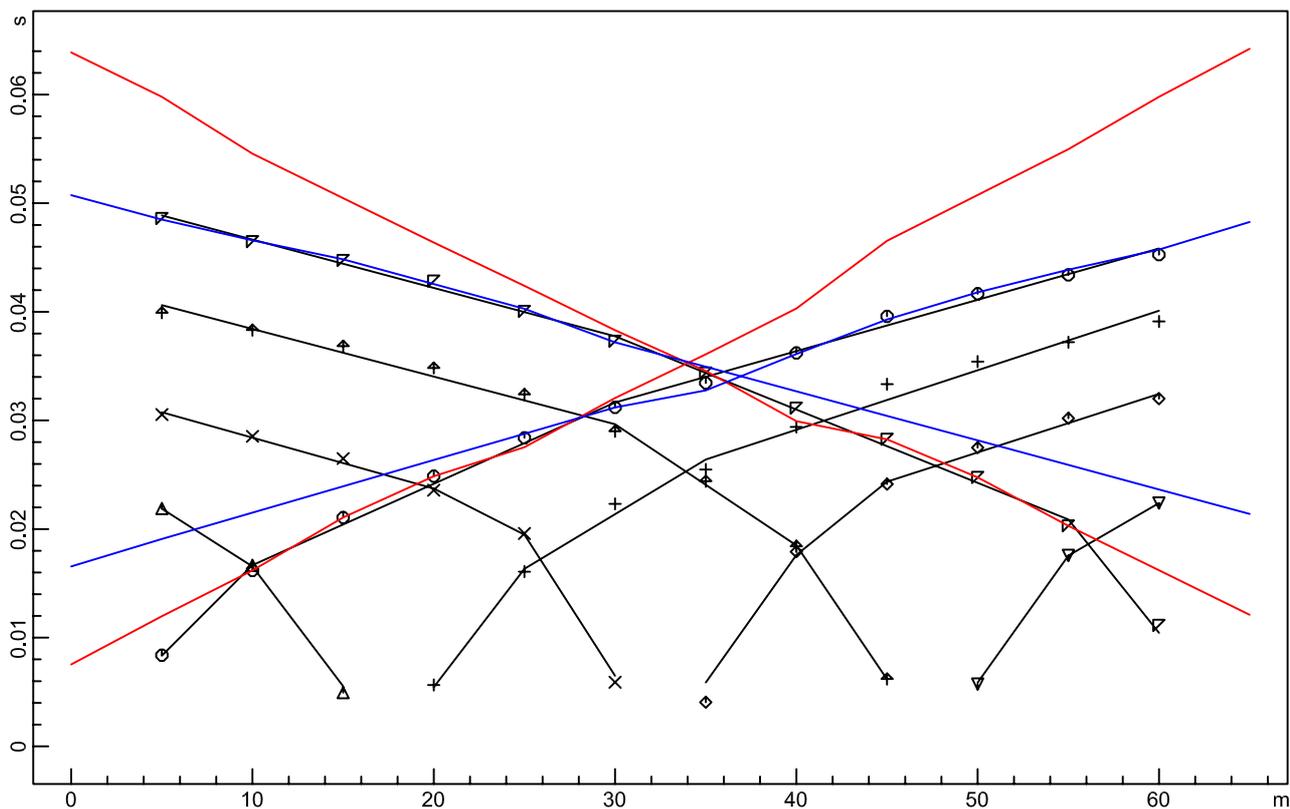
Indagine geofisica per lo "STUDIO GEOLOGICO COMPRENSIVO DI INDAGINI GEOGNOSTICHE, RIGUARDANTI UN'IPOTESI DI AMPLIAMENTO DELLA DISCARICA COMUNALE IN LOC. RELLUCE NEL COMUNE DI ASCOLI PICENO"

Committente: Geologo Andrea Bruni

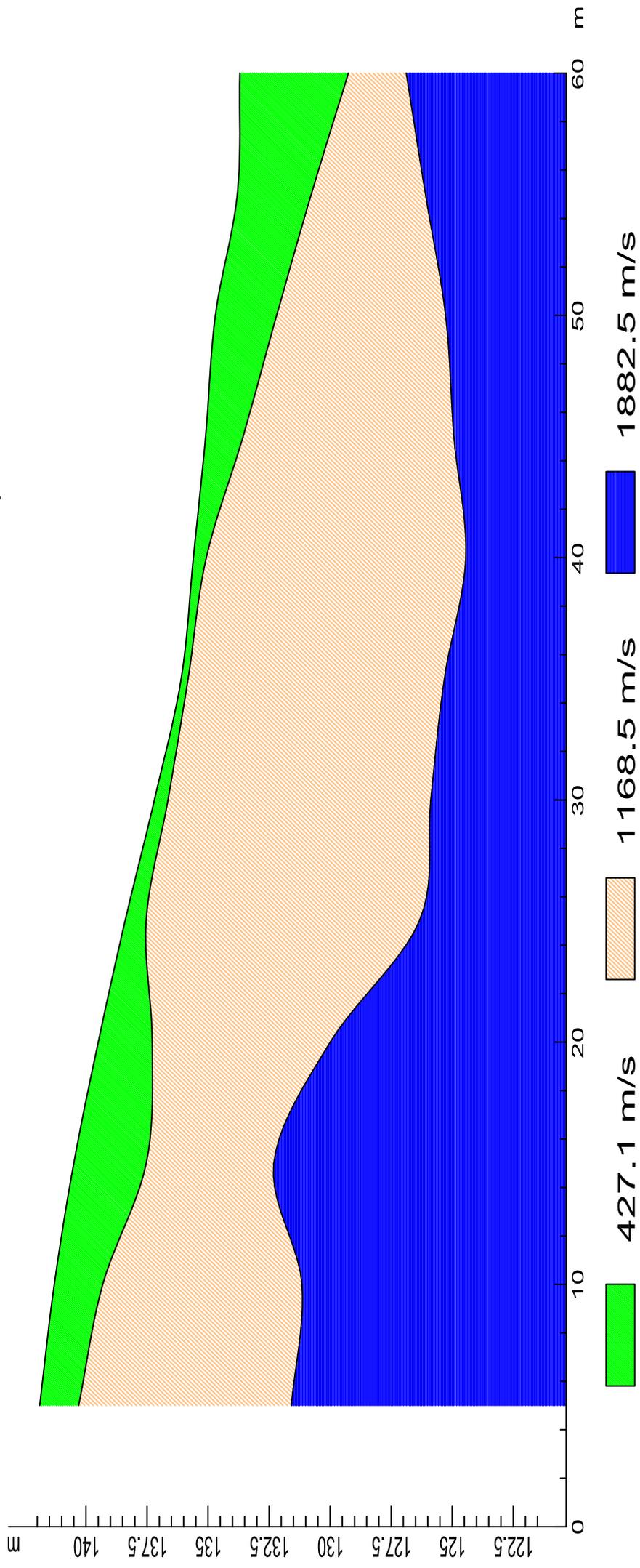
DROMOCRONE ORIGINALI linea 2 profilo 2



DROMOCRONE TRASLATE



SEZIONE VERTICALE linea 2 profilo 2



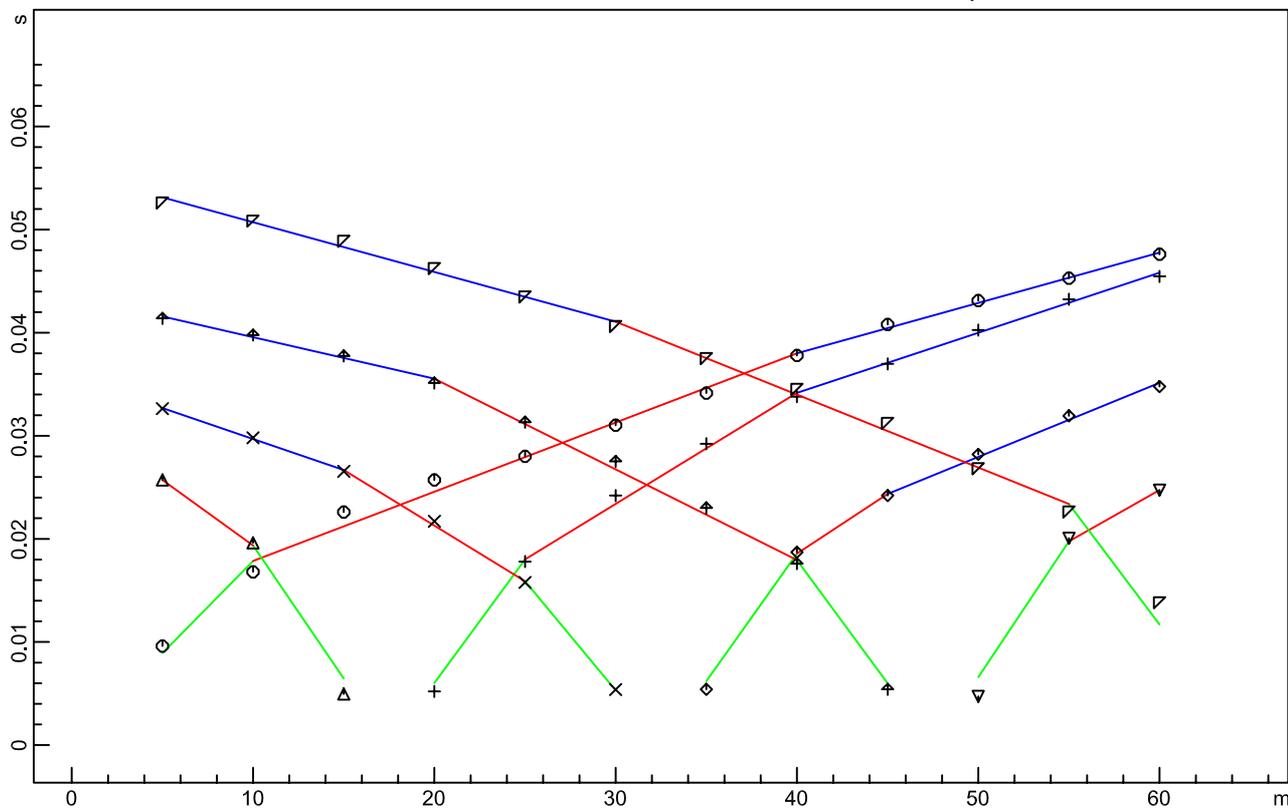


Comune di ASCOLI PICENO

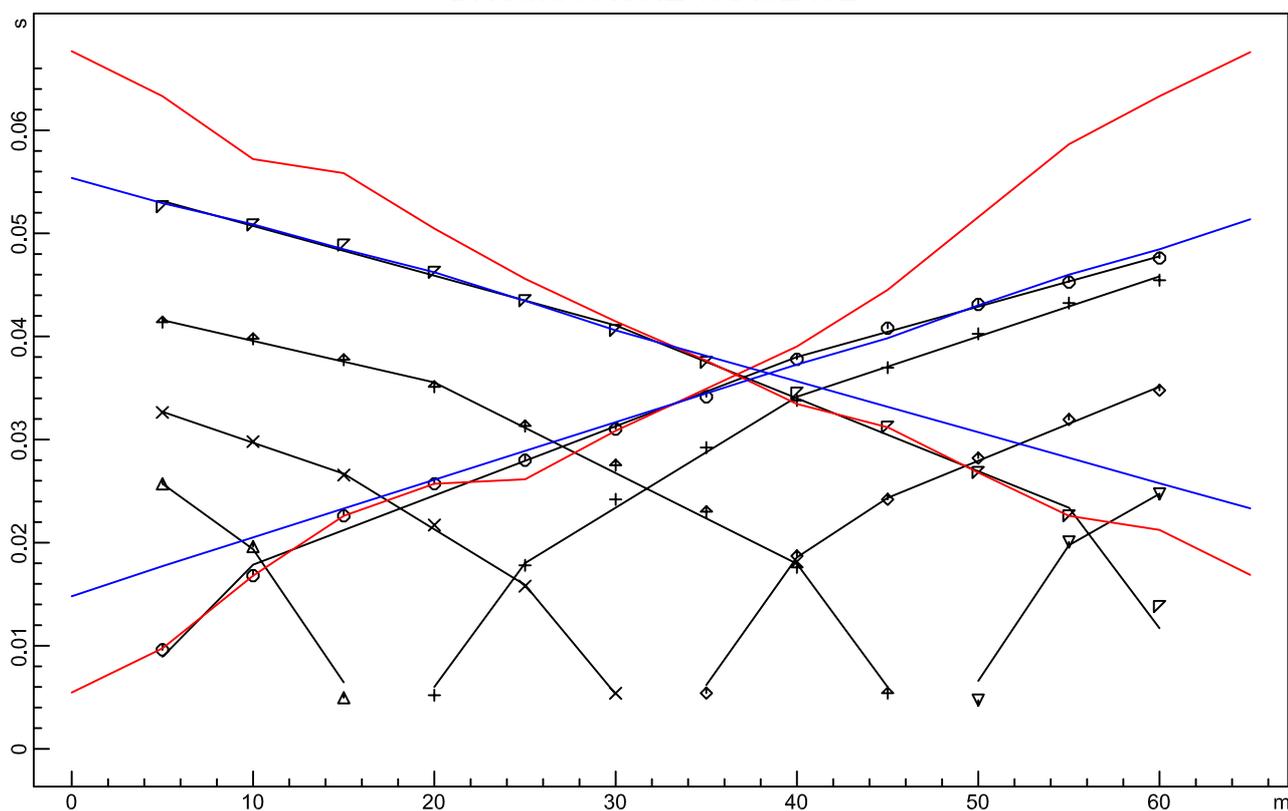
Indagine geofisica per lo "STUDIO GEOLOGICO COMPRENSIVO DI INDAGINI GEOGNOSTICHE, RIGUARDANTI UN'IPOTESI DI AMPLIAMENTO DELLA DISCARICA COMUNALE IN LOC. RELLUCE NEL COMUNE DI ASCOLI PICENO"

Committente: Geologo Andrea Bruni

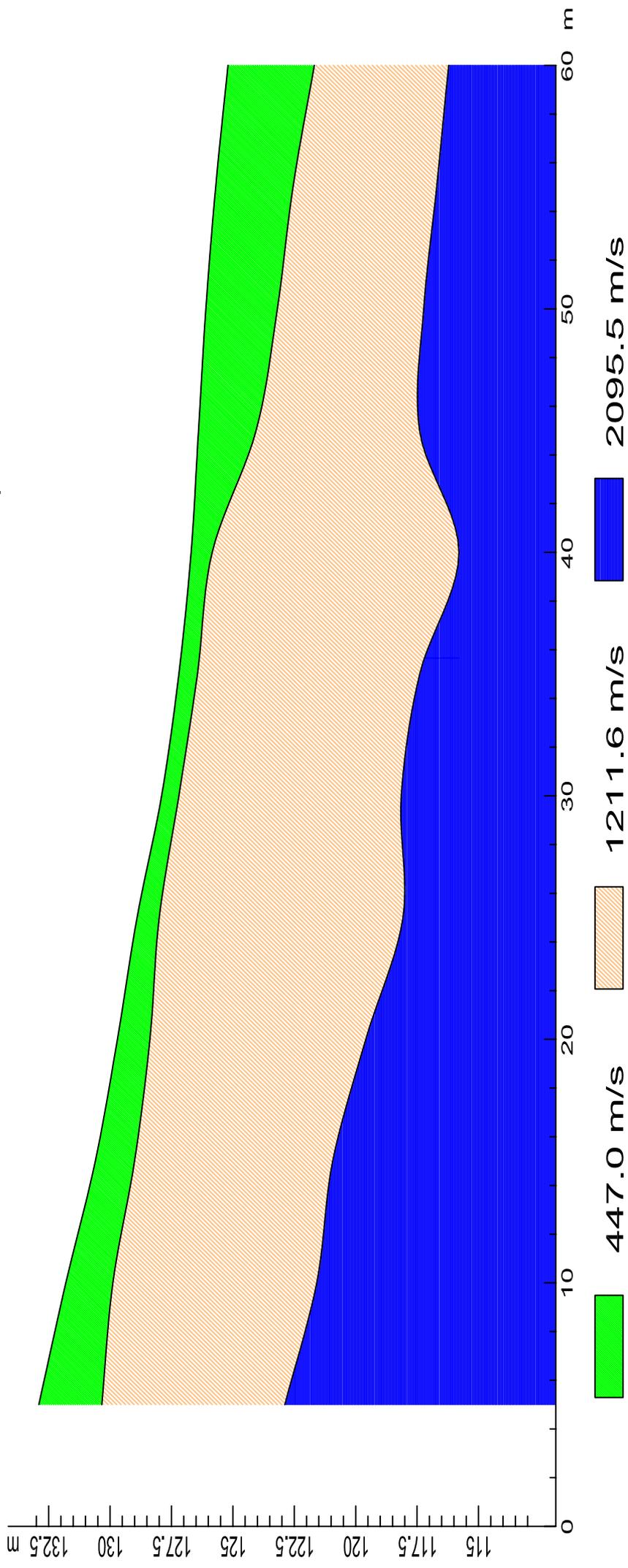
DROMOCRONE ORIGINALI linea 3 profilo 2



DROMOCRONE TRASLATE



SEZIONE VERTICALE linea 3 profilo 2



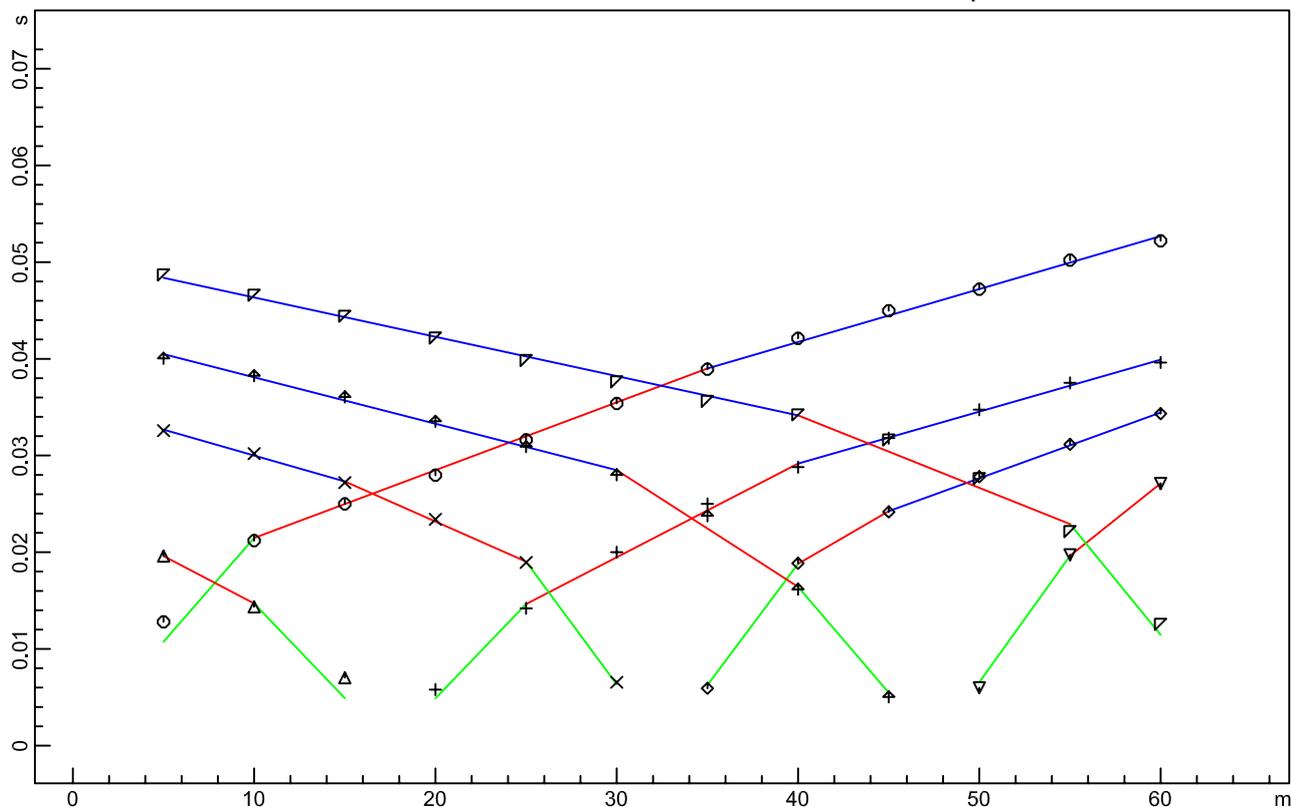


Comune di ASCOLI PICENO

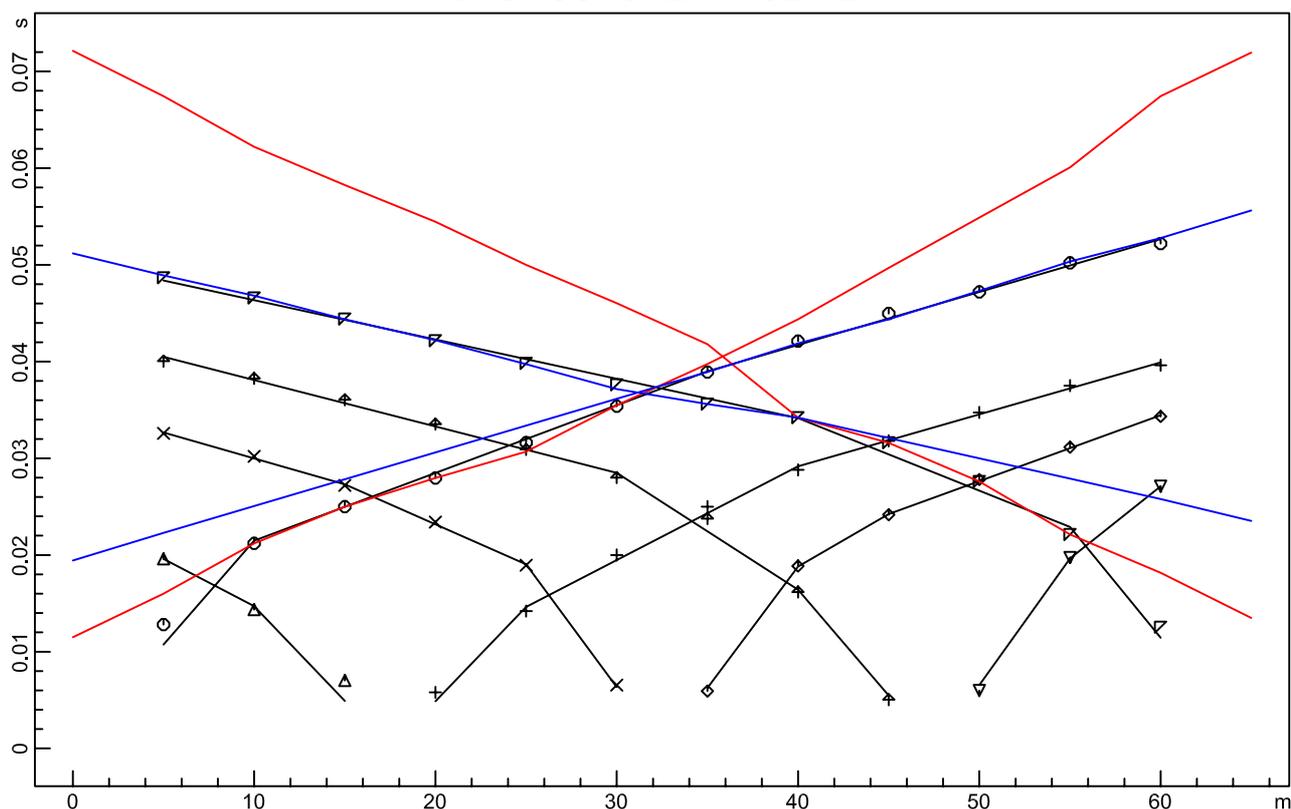
Indagine geofisica per lo "STUDIO GEOLOGICO COMPRENSIVO DI INDAGINI GEOGNOSTICHE, RIGUARDANTI UN'IPOTESI DI AMPLIAMENTO DELLA DISCARICA COMUNALE IN LOC. RELLUCE NEL COMUNE DI ASCOLI PICENO"

Committente: Geologo Andrea Bruni

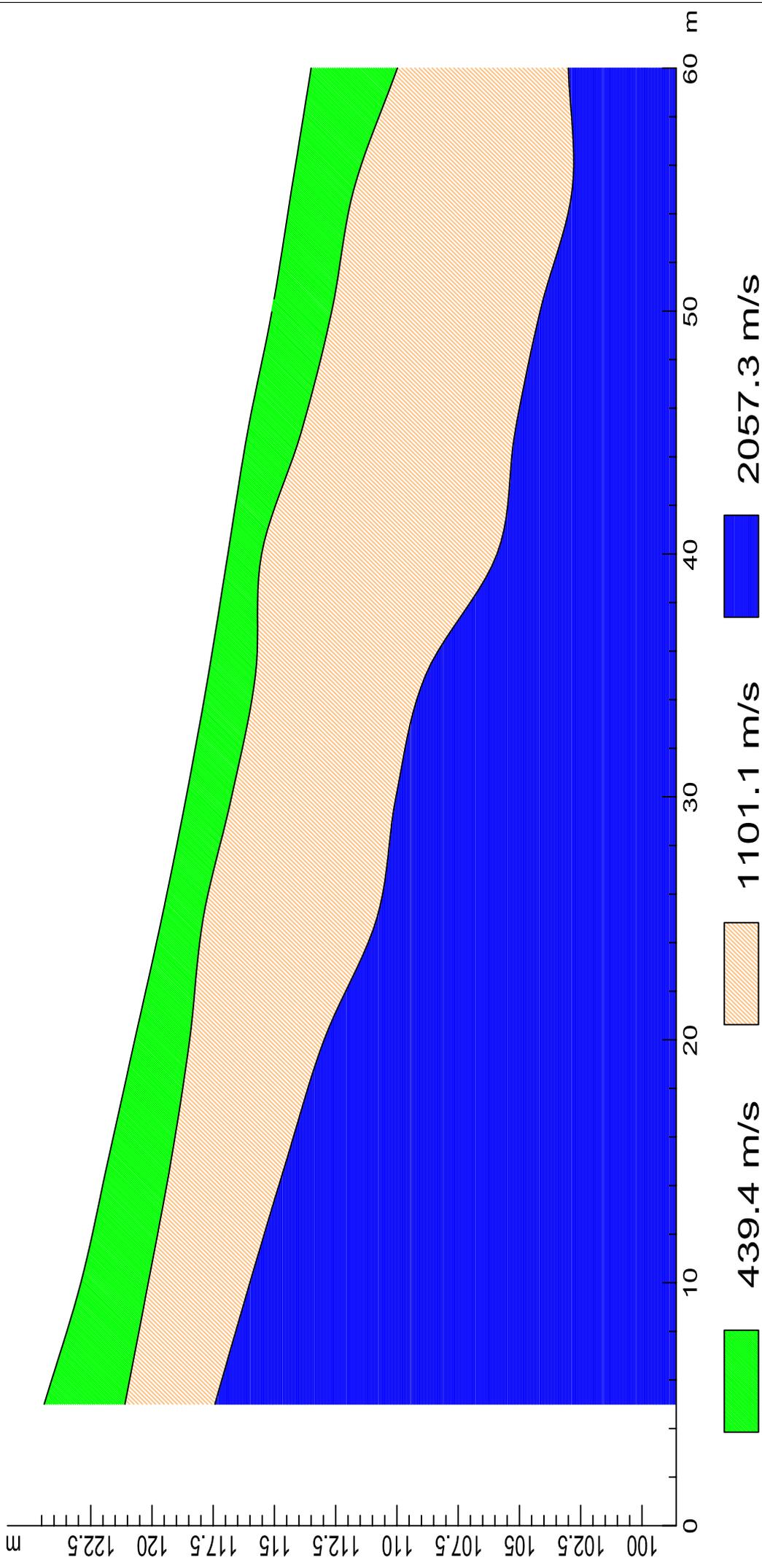
DROMOCRONE ORIGINALI linea 4 profilo 2



DROMOCRONE TRASLATE



SEZIONE VERTICALE linea 4 profilo 2



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Stendimento linea nella zona Nord



Acquisizione dati zona vigneto



Apparecchiatura di registrazione dati