



PROVINCIA DI FERMO

SETTORE VIABILITA' - INFRASTRUTTURE - URBANISTICA

COMUNE DI AMANDOLA

S.P. N. 239 (EX S.S. 210) FERMANA FALERIENSE
- S.P. N. 237 (EX S.S. 78) PICENA. LAVORI DI
AMMODERNAMENTO - BYPASS DI AMANDOLA

PROGETTO DEFINITIVO

Ufficio Tecnico Servizio Viabilità

Ing. Giuseppe LAURETI

Ing. Filippo LANZI

Elaborazione dati cartografici:

Dott. Ivan Ciarma

Indagini geologiche:

Geol. Costantino Berardini

Data: dicembre 2013

scala: -

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO: Ing. Ivano Pignoloni

ELABORATO:

INDAGINI GEOFISICHE

B9



Lavoro:

**INDAGINI GEOFISICHE ESEGUITE PER LAVORI DI AMMODERNAMENTO
DEL BY-PASS DI AMANDOLA (FM)**

Commissa N°: 18 G-13		Elaborato: RAPPORTO TECNICO GEOFISICA	
Rev: 1.0		Committente: PROVINCIA DI FERMO	
Redazione: G. Giambattistini	Verifica: M. Ceccarelli		
Approvazione: F. Pellegrini	Consegnato:		
Ns. Rif: C:\COMMESSE 2013\BY-PASS AMANDOLA		Timbro:	Firma: F. Pellegrini

INDICE

1. PREMESSA	3
2. PROSPEZIONI SISMICHE - METODO SISMICO A RIFRAZIONE.....	5
2.1. CENNI TEORICI	5
2.2 STRUMENTAZIONE METODOLOGIA ED INTERPRETAZIONE.....	7
3. PROSPEZIONI SISMICHE - METODO DOWN-HOLE.....	8
3.1 CENNI TEORICI	8
3.2. STRUMENTAZIONE METODOLOGIA ED INTERPRETAZIONE.....	10
3.3. MODULI ELASTICI DINAMICI.....	11
3.3.1. RAPPORTO V_p / V_s.....	11
3.3.2. COEFFICIENTE DI POISSON DINAMICO	11
3.3.3. MODULO DI TAGLIO DINAMICO.....	12
3.3.4. MODULO DI YOUNG DINAMICO	12
3.3.5. MODULO DI BULK (O DI COMPRESSIBILITÀ).....	13
4. METODO MASW.....	14
4.1. CENNI TEORICI	14
4.2 CURVA DI DISPERSIONE APPARENTE SPERIMENTALE	15
4.3. STRUMENTAZIONE METODOLOGIA ED INTERPRETAZIONE	17
5. RISULTATI E CONCLUSIONI	18
5.1. INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE	18
5.2. INDAGINE DOWN-HOLE.....	19
5.3. PROVE MASW	19

TAVOLE

- Tavv. 1A-1D Planimetrie ubicazione indagini
- Tavv. 2A-2E Sezioni Sismiche tomografiche
- Tavv. 3A-3E Sezioni Sismiche interpretative
- Tavv.4A-4D Down-Holes
- Tavv.5A-5D Prove MASW

APPENDICE INDAGINI GEOFISICHE

- Moduli elastici dinamici Down-Holes
- Dromocrone sismica a rifrazione

1. PREMESSA

La presente relazione illustra i risultati di una campagna di indagini geofisiche mediante sismica a rifrazione di superficie, sismica in foro (Down-Hole) e prove masw su incarico dell' Amministrazione Provinciale di Fermo, nell'ambito del progetto di ammodernamento del by-pass di Amandola (FM), lungo la S.P. 239 "ex s.s. 210 Fermana-faleriense" e la S.P. 237 "ex s.s. 78 Picena".

Le indagini sono state effettuate dal giorno 22 Aprile al giorno 21 Maggio 2013 secondo il seguente programma:

- esecuzione di **n° 18** linee di sismica a rifrazione di superficie con onde P come indicato nella tabella seguente:

Nome Linea	Lunghezza (m)	Ricevitori (n°)	Distanza Intergeofonica (m)
LN1	48	24	2
LN2	48	24	2
LN3	96	24	4
LN4	48	24	2
LN5	48	24	2
LN6	96	24	4
LN7	48	24	2
LN8	48	24	2
LN9	96	24	4
LN10	48	24	2
LN11	48	24	2
LN12	140	28	5
LN13	48	24	2
LN14	96	24	4
LN15	140	28	5
LN16	48	24	2
LN17	48	24	2
LN18	96	24	4

Tab.1 – Elenco Linee Sismiche eseguite

- esecuzione di **n° 4** prove di sismica a rifrazione in foro (Down-Hole) con onde P ed SH come indicato nella tabella seguente:

Nome Prova	Lunghezza (m)
DH1 (S2)	17
DH2 (S5)	18
DH3 (S11)	20
DH4 (S14)	20

Tab.2- Elenco prove Down-Hole

- esecuzione di **n° 4** prove Masw come indicato nella tabella seguente:

Nome Prova	Lunghezza (m)
MASW1	46
MASW2	46
MASW3	46
MASW4	46

Tab.3- Prove Masw

Le modalità di acquisizione delle varie tipologie di indagini, la strumentazione utilizzata, nonché le tecniche interpretative, saranno discusse nei successivi paragrafi.

2. PROSPEZIONI SISMICHE - METODO SISMICO A RIFRAZIONE

2.1. CENNI TEORICI

Il metodo sismico a rifrazione si basa sulla misura del tempo richiesto perché una perturbazione di origine elastica si trasmetta dalla sorgente ai geofoni percorrendo gli strati superficiali, a bassa velocità, e la superficie di separazione di due mezzi elastici differenti con onde rifratte, a velocità più elevata.

I principi su cui si fonda il metodo sono derivati dalle esperienze della sismologia le quali precedettero di vari decenni la prospezione sismica. La rifrazione fu il primo metodo di prospezione impiegato nella ricerca sismica e costituì un determinante mezzo di indagine per la scoperta di parecchi campi petroliferi soprattutto nel caso di giacimenti connessi con domi salini, nei primi tempi della ricerca fino al 1935 circa.

La prospezione sismica a rifrazione è particolarmente indicata per ottenere rapide informazioni strutturali nel caso di strutture a grandi dimensioni, che siano costituite almeno da uno strato rifrangente ad alta velocità, giacente sotto una serie stratigrafica avente velocità più bassa. Se in un sistema di assi cartesiani si riportano i tempi di arrivo delle onde sismiche in funzione della loro distanza dal punto di scoppio, si ottiene una famiglia di curve tempi-distanze che dipendono dalle caratteristiche geologiche locali. Tali curve vengono dette "dromocrone".

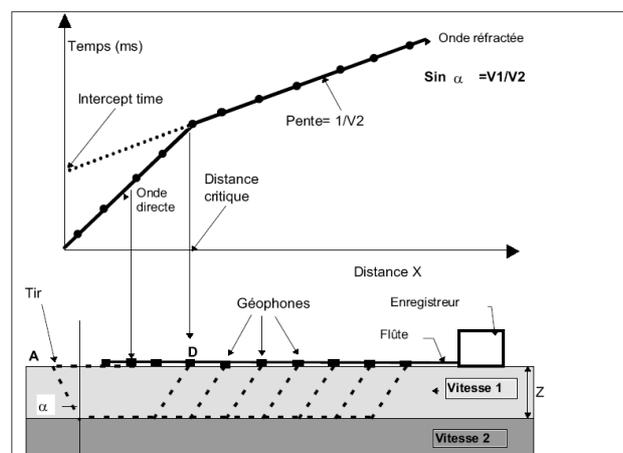


Fig. 1 - Dromocrone corrispondenti al doppio strato ed all'areato

Nella fig. 1 sono rappresentate le dromocrone relative alle onde dirette, riflesse e rifratte, più la dromocrona degli impulsi diretti nell'areato. Nel punto angolare P corrispondente al geofono S_0 , arriveranno contemporaneamente le onde dirette e le

onde rifratte. Per i geofoni posti ad una distanza minore di $O - S_0$, il primo arrivo sarà rappresentato da un'onda diretta. Da ciò si deduce che gli impulsi rifratti possono essere ricevuti solo a partire da una distanza corrispondente a S_0 . oltre il punto angolare P i primi arrivi sono sempre rappresentati dalle onde rifratte.

Si possono costruire dromocrone anche nel caso di "n" strati, purché le velocità aumentino sempre con la profondità; ogni punto angolare indicherà il passaggio da uno strato al successivo, e le velocità saranno indicate dalla pendenza dei rispettivi rami di dromocrone. Se gli strati sono poco potenti con velocità crescente con la profondità (come normalmente avviene nei terreni non consolidati), i percorsi delle onde saranno curvi, con concavità rivolta verso l'alto ed anche la corrispondente dromocrona sarà una curva (fig. 2).

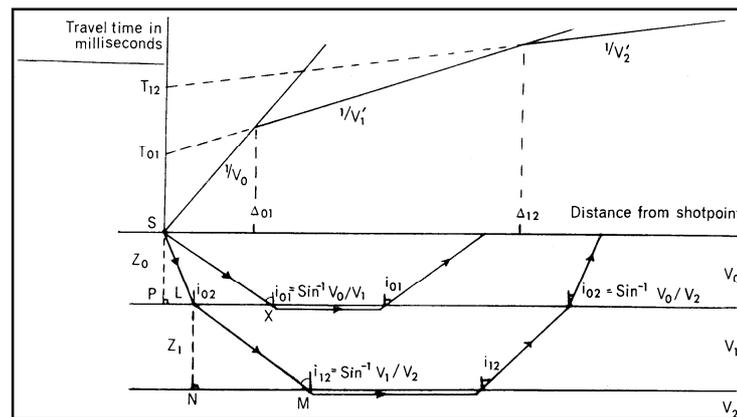


Fig.2 - Dromocrona nel caso di aumento della velocità con la profondità.

I principali limiti della sismica a rifrazione risiedono nella impossibilità teorica di rilevare successioni stratigrafiche composte da strati a velocità decrescente con la profondità, in tal caso lo strato o gli strati non possono essere messi in evidenza dalle onde rifratte in quanto l'energia incidente, al contatto fra la sommità dello strato e la base dello strato sovrastante a più alta velocità, subisce una flessione verso il basso e non può venire di conseguenza rifratta, tale situazione è nota come "orizzonte muto". Altra limitazione consiste nella presenza di uno strato a velocità intermedia ma di ridotto spessore; anche in questo caso l'orizzonte non produce alcun cambiamento di pendenza sulle dromocrone, e non è quindi sismicamente rilevabile. Ambedue le situazioni stratigrafiche portano a sovraestimare o sottostimare lo spessore delle coperture.

Le caratteristiche di acquisizione e le modalità operative saranno discusse nel successivo paragrafo.

2.2 STRUMENTAZIONE METODOLOGIA ED INTERPRETAZIONE

Le prospezioni sismiche sono state eseguite a mezzo sismica a rifrazione con la registrazione ed interpretazione degli eventi determinati sui sismogrammi dai primi arrivi delle onde longitudinali (P).

La strumentazione utilizzata è costituita da un sismografo a 24 canali a cumulabilità di impulsi della DMT SUMMIT mod. COMPACT con registrazione degli eventi in forma digitale (Fig. 3).



Fig.3 – Sismografo 24 canali modello Compact.

I sensori sono costituiti da catene di 24 geofoni componente verticale MARK PRODUCT L-15A di frequenza propria di 14 Hz; l'energizzazione delle onde di compressione P è avvenuta utilizzando, un grave del peso di 10 kg, fatto cadere su di una piastra in ferro da un'altezza di 1.5 m circa per le basi da 48 m ed un cannoncino sismico equipaggiato con cartucce industriali per quelle da 96 e 140 m.

Le basi sismiche sono state eseguite con 24 geofoni e 7 punti di scoppio (uno ogni 4 geofoni), ad eccezione delle stese LN12 e LN15, dove i geofoni utilizzati e le energizzazioni erano rispettivamente 28 e 8, secondo lo schema seguente (Fig. 4):

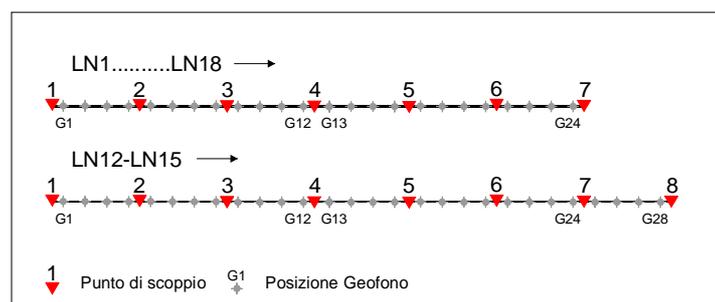


Fig.4 – Configurazione acquisizione dati sismica a rifrazione.

L'istante di tempo zero, ovverosia il segnale di inizio registrazione, viene inviato allo strumento, da un interruttore (Hammer switch) posto direttamente sulla massa battente.

L'interpretazione delle basi sismiche è stata effettuata in un primo tempo con il metodo dei tempi intercetti, in modo da definire, in prima approssimazione le velocità reali dei mezzi e le profondità sotto i punti di scoppio, successivamente è stato usato il metodo del *delay-time* per ottenere la profondità dei rifrattori sotto ogni singolo geofono. Questo sistema di interpretazione fa uso della sovrapposizione degli arrivi provenienti dal medesimo rifrattore ed ottenuti dalla comparazione delle registrazioni omologhe in linea (A B), per calcolare il *delay-time* con il quale può essere stimata la profondità del rifrattore in questione sotto ogni singolo geofono dello stendimento.

3. PROSPEZIONI SISMICHE - METODO DOWN-HOLE

3.1 CENNI TEORICI

Il metodo down-hole rappresenta una delle più accurate misure non distruttive per la determinazione delle proprietà fisico-meccaniche dinamiche dei terreni, in particolare per una corretta valutazione della risposta di un terreno soggetto a carichi dinamici (ad es. terremoti). Tale metodologia si basa sui principi della sismica a rifrazione di superficie ma, rispetto a quest'ultima, permette, tra l'altro, di rilevare orizzonti a minor velocità sottostanti ad un livello a velocità più elevata, superando così i limiti della sismica a rifrazione, conosciuto nella bibliografia come "orizzonte muto", in altre parole, uno strato a minore velocità di propagazione delle onde sottostante ad uno con velocità di propagazione più alta, è invisibile. Si registrano generalmente due tipi di onde di corpo, quelle di compressione (P) e quelle di taglio (SH).

L'esecuzione di una prospezione sismica down-hole richiede la perforazione di un sondaggio generalmente strumentato con un tubo (in PVC o altro materiale) con diametro non superiore ai 130 mm e cementato alle pareti del foro al fine di garantire un migliore contatto con i terreni circostanti (Fig.5).

L'apparato di ricezione (geofono tridimensionale) é calato a profondità note nel foro e, mediante un packer di cui è dotato, fatto aderire alle pareti del tubo; successivamente sono registrati i sismogrammi relativi ai tempi di percorso tra il punto di energizzazione (shot-point) in superficie e quello a cui è posto il geofono. Tali tempi in fase di processing, sono inseriti in un diagramma spazio-tempo dove la pendenza delle rette determinate dalla successione dei punti di primo arrivo, rappresenta la velocità dei litotipi investigati.

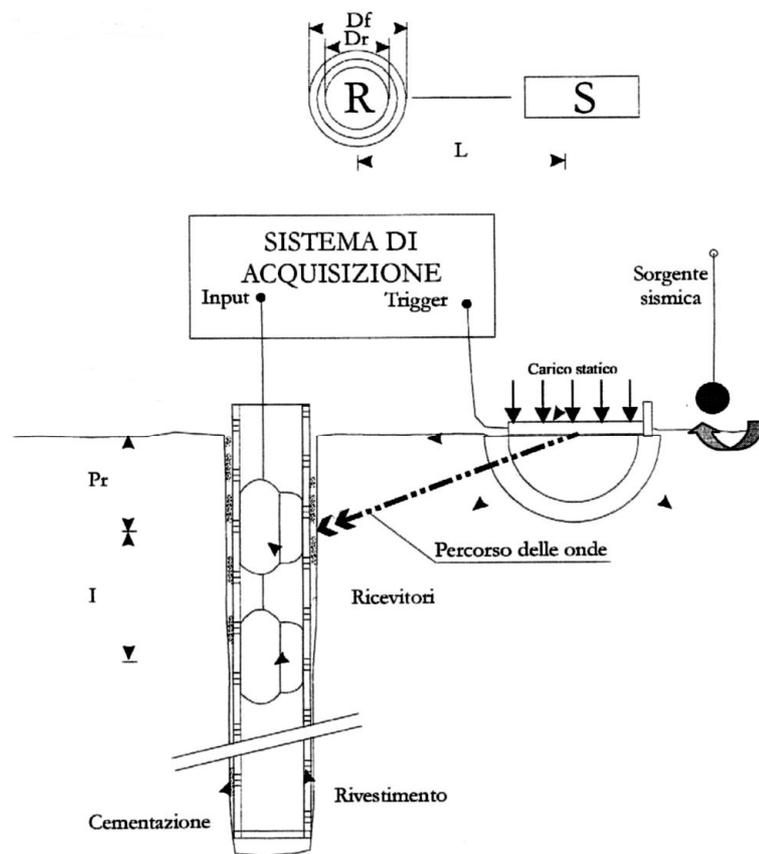


Fig.5 - Schema di prospezione down-hole.

3.2. STRUMENTAZIONE METODOLOGIA ED INTERPRETAZIONE

Per l'acquisizione si è utilizzato un sismografo a 24 canali a cumulabilità di impulsi della DMT SUMMIT mod. COMPACT con registrazione degli eventi in forma digitale, con i sensori costituiti da un geofono tridimensionale da pozzo.

L'acquisizione è stata svolta procedendo dall'alto verso il basso eseguendo le misurazioni ogni metro.

Le distanze tra il punto di scoppio ed il foro di sondaggio sono state fissate in 3 m.

L'energizzazione delle onde di compressione P è avvenuta utilizzando, una massa battente del peso di 10 kg, fatta cadere su di una piastra in ferro da un'altezza di 1.5 m circa, mentre per le onde di taglio, l'energizzazione è avvenuta mediante un trave in legno, il quale è stato percosso dalla massa battente sui due lati opposti rispettivamente per la battuta destra e quella sinistra in modo da ottenere l'inversione di fase dell'onda sismica ed eliminare così le ambiguità di determinazione del primo arrivo.

Per aumentare l'effetto dell'energizzatore, il trave è stato appesantito con un automezzo ponendo le ruote al di sopra dello stesso.

L'interpretazione consiste nella determinazione dei primi arrivi sia per le onde di compressione sia per le onde di taglio. I tempi così calcolati si riferiscono a tempi "obliqui" in quanto l'energizzazione non è allineata con i geofoni.

Per ottenere i tempi in verticale viene effettuata una correzione che tiene conto sia della geometria del sistema, sia della correzione all'areato.

L'interpretazione delle prove geofisiche in foro con le velocità sismiche ricavate per ciascun sismostrato (sia per le onde P sia per le SH) sono riportate nelle TAVV. 4A-4D.

3.3. MODULI ELASTICI DINAMICI

3.3.1. RAPPORTO V_p / V_s

Questo parametro può fornire utili informazioni sullo stato di consolidazione e sulla presenza di gas nei porous media. Alcuni Autori (Gardner & Harris, 1968) affermano che rapporti maggiori di 2 si riscontrano in presenza di sabbie saturate non consolidate; alti rapporti risultano altresì per terreni incoerenti argillo-limosi ad alto grado di saturazione. Valori inferiori a 2 si registrano in presenza di rocce compatte o sedimenti gas saturati. In rocce saturate tale rapporto risulta dipendente dalla litologia, dalla quantità e geometria dei pori e dalle microfratture e potrebbe, nota la litologia, fornire indicazioni su questi ultimi due parametri.

3.3.2. COEFFICIENTE DI POISSON DINAMICO

Tra i moduli elastici dinamici tale parametro è l'unico che non necessita della conoscenza della densità per la sua determinazione. E' definito dalla seguente equazione:

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

Sebbene in teoria sia considerato stress indipendente ed i suoi valori risultino compresi tra 0.25 e 0.33, nei porous-media esso risulta stress dipendente, e presenta un campo di variabilità più esteso e può addirittura arrivare secondo GREGORY (1976) a valori negativi. I valori più bassi, in natura, si registrano per litotipi ad alta porosità, sottoposti a bassa pressione litostatica e gas saturati, in alcuni sedimenti incoerenti e saturi i valori possono risultare uguali o superiori a 0.49; nelle sospensioni assume il valore di 0.5.

3.3.3. MODULO DI TAGLIO DINAMICO

E' definito dalla seguente equazione:

$$G = \gamma \cdot Vs^2$$

dove γ = densità

Tale parametro è fortemente dipendente dalla porosità e dalla pressione; assume valori più bassi in litotipi ad alta porosità, sottoposti a basse pressioni e saturati in acqua. Il campo di variabilità nei porous media è molto esteso.

3.3.4. MODULO DI YOUNG DINAMICO

E' definito dalla seguente equazione:

$$E = (9 \gamma Vs^2 R^2) / (3R^2 + 1)$$

dove:

γ = densità

$$R^2 = K / (\gamma Vs^2)$$

$$K = \gamma(Vp^2 - 4/3 Vs^2)$$

Tale modulo dipende dalla porosità, dalla pressione litostatica e dagli altri moduli elastici. Aumenta in misura considerevole quando al campione "dry" a bassa porosità vengono aggiunte piccole quantità di acqua, diminuisce quando un campione ad alta porosità viene sottoposto allo stesso trattamento.

I minimi valori del modulo si registrano in litotipi ad alta porosità saturi in gas, mentre i valori massimi si hanno per litotipi sotto pressione saturati in acqua ed a bassa porosità. Il campo di variabilità è considerevole.

3.3.5. MODULO DI BULK (o di compressibilità)

Esso è definito rispetto alle V_p , V_s e densità dalla seguente equazione:

$$K = \gamma (V_p^2 - 4/3 V_s^2)$$

dove:

γ = densità

Questo Modulo varia con la porosità , con la pressione e con la quantità di fluido saturante. Esso aumenta con il grado di saturazione con il decrescere della porosità e con l'aumentare della pressione. Nelle rocce sedimentarie varia di oltre 30 volte.

4. METODO MASW

4.1. CENNI TEORICI

Il metodo MASW si basa sulla misurazione e sull'analisi delle onde di Rayleigh in un semispazio stratificato.

L'esistenza delle onde di Rayleigh in un semispazio stratificato è stata studiata nel corso degli anni attraverso diverse metodologie. I metodi più conosciuti sono i propagator matrix methods (Kennett, 1983, Aki and Richards, 1980) e il method of reflection and transmission coefficients (Kennet, 1974, Aki and Richards, 1980). I transfer matrix methods (Thomson, 1950, Haskell, 1953) e il dynamic stiffness matrix method (Kausel and Roesset, 1981) appartengono alla categoria dei propagator matrix methods.

Quando si energizza il sito in un punto della sua superficie libera si generano diversi tipi di onde. Se la sorgente è perpendicolare alla superficie libera si generano onde appartenenti al piano verticale: onde P, onde SV, onde Rayleigh, onde rifratte.

Se la sorgente è parallela alla superficie libera si generano onde appartenenti al piano orizzontale: onde SH, onde di Love.

Nel metodo MASW proposto si usano le sole onde di Rayleigh e si trascurano gli effetti dovuti alle onde P e SV. Sebbene una sorgente puntiforme verticale generi anche le onde P e le onde S oltre alle onde Rayleigh (figura 1), intervengono due aspetti che rendono il contributo delle onde di Rayleigh prevalente sul contributo delle onde P e SV. Il primo aspetto è che le onde Rayleigh trasportano circa i due terzi dell'energia generata dalla sorgente. Il secondo aspetto è che allontanandosi dalla sorgente le onde di Rayleigh subiscono un'attenuazione geometrica inferiore rispetto alle onde P e SV, perchè le onde Rayleigh si propagano secondo fronti d'onda cilindrici, invece le onde P e SV si propagano secondo fronti d'onda sferici.

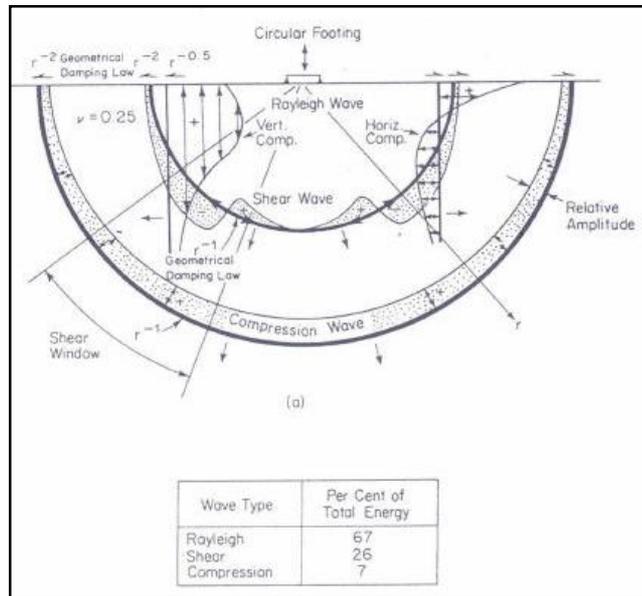


Figura 6: Onde generate da una sorgente armonica verticale sulla superficie libera di un semispazio omogeneo e ripartizione dell'energia tra onde P, S e Rayleigh per coefficiente di Poisson $\sigma=0,25$. (Richart et al., 1970).

La prova MASW fornisce il profilo di velocità V_s monodimensionale, assumendo un valore medio di velocità lungo lo stendimento dei ricevitori. La lunghezza dello stendimento dipende sia dal numero di ricevitori utilizzabili, sia dallo spazio disponibile. Normalmente si dispongono i ricevitori ad interasse costante compreso tra 0,5m e 3,0m. A parità di numero di ricevitori un interasse di 3,0m consente di avere uno stendimento di ricevitori più lungo e quindi una maggiore risoluzione della curva di dispersione. Viceversa un interasse piccolo può essere necessario in piccoli spazi e consente un intervallo più ampio di numeri d'onda, ma comporta una minore risoluzione della curva di dispersione.

4.2 CURVA DI DISPERSIONE APPARENTE SPERIMENTALE

Quando si misurano le onde superficiali lungo uno stendimento di ricevitori sulla superficie di un sito energizzato in un punto, si dispone del campo di moto, spostamenti o velocità o accelerazioni, nel dominio spazio-tempo. La perturbazione generata dalla energizzazione contiene al suo interno tutti i diversi modi o onde di Rayleigh (le onde P e SV si attenuano a pochi metri dalla sorgente), che formano un unico treno d'onda e non si sono ancora separati o dispersi. Affinché il fenomeno di dispersione dei diversi modi di Rayleigh abbia luogo occorre porsi ad una distanza sufficiente dalla sorgente (superiore a circa 100m nella pratica).

Quando si trasforma il campo di moto dal dominio spazio-tempo al dominio frequenza numero d'onda oppure in maniera equivalente al dominio velocità di fase-frequenza per rappresentare la relazione di dispersione, allora si scopre che non è in genere possibile misurare separatamente le curve modali previste dalla teoria, come è stato mostrato in precedenza. Anziché ottenere le curve modali separate si ottiene un'unica curva denominata curva apparente o effettiva.

La curva apparente o effettiva che si ottiene dalle tracce misurate in sito è il risultato dell'interazione tra tutti i modi di Rayleigh e lo stesso sistema di misura costituito dai ricevitori. La configurazione dei ricevitori nello stendimento può influenzare il valore che la curva di dispersione apparente assume a certe frequenze.

Indipendentemente dal disturbo apportato dal sistema di misura, la curva apparente è comunque data dall'interazione dei diversi modi di Rayleigh. In funzione delle caratteristiche geometriche (spessori) e meccaniche (V_s , V_p , densità di massa) degli strati di terreno alcuni modi di Rayleigh possono risultare predominanti rispetto agli altri modi in certi intervalli di frequenza. Generalmente quando la rigidità degli strati aumenta gradualmente con la profondità il modo fondamentale di Rayleigh risulta predominante a tutte le frequenze.

Tuttavia esistono diverse stratigrafie, con strati rigidi compresi tra strati soffici o strati soffici compresi tra strati rigidi o con variazioni brusche di rigidità con la profondità, in cui i modi di Rayleigh superiori al primo diventano predominanti in certi intervalli di frequenza. Può verificarsi che esistano alcune frequenze di transizione in cui non sussiste una netta predominanza di un modo rispetto agli altri, ma che vi siano due o più modi vicini che trasportano all'incirca la stessa quantità di energia. In queste situazioni la curva apparente potrebbe non coincidere con nessun modo, ma risulterebbe la combinazione di due o più modi.

4.3. STRUMENTAZIONE METODOLOGIA ED INTERPRETAZIONE

La strumentazione utilizzata è costituita da un sismografo a 24 canali a cumulabilità di impulsi della DMT SUMMIT mod. COMPACT con registrazione degli eventi in forma digitale.

I sensori sono costituiti da catene di 24 geofoni componente verticale con frequenza di 4.5 Hz.

Si è utilizzato una distanza intergeofonica di 2 m; l'acquisizione è stata eseguita con un passo di campionamento di 1 msec per una lunghezza di registrazione di 2048 msec.

L'energizzazione è avvenuta utilizzando una massa battente del peso di 10 kg, fatta cadere su di una piastra in ferro da un'altezza di 1.5 m circa.

L'istante di tempo zero, ovverosia il segnale di inizio registrazione, viene inviato allo strumento, per entrambe i tipi di energizzazione, da un interruttore (Hammer switch) posto direttamente sulla massa battente.

Nel caso specifico sono state eseguite n. 4 registrazioni con punti di scoppio posti ai due lati dello stendimento e a distanze differenti in modo da selezionare, nella successiva fase di processing, la registrazione con migliore risoluzione.

L'interpretazione è avvenuta utilizzando il software denominato "MASW 2007".

5. RISULTATI E CONCLUSIONI

Su incarico dell' Amministrazione Provinciale di Fermo, è stata eseguita una campagna di indagini geofisiche nell'ambito del progetto di ammodernamento del by-pass di Amandola (FM), lungo la S.P. 239 "ex s.s. 210 Fermana-faleriense" e la S.P. 237 "ex s.s. 78 Picena".

Nei successivi paragrafi si procede ad una analisi e discussione delle risultanze ottenute dalle diverse metodologie geofisiche utilizzate. Nelle tavole 1 si riporta la planimetria con l'ubicazione delle indagini eseguite. I risultati ottenuti sono esposti in forma grafica e numerica nelle tavole 2A-2E e 3A-3E, per quanto attiene alle prospezioni sismiche di superficie, nelle tavole 4A-4D per quanto riguarda le prospezioni Down-Hole mentre nelle Tavole 5A-5D per le prove masw.

5.1. INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE

L'utilizzo delle indagini indirette ed in particolare della metodologia a rifrazione permette la ricostruzione delle geometrie dei depositi di copertura e del substrato e di individuare la presenza di eventuali discontinuità.

Nelle tavole 3A-3E (sezioni sismo stratigrafiche interpretative) è stato evidenziato l'andamento dei vari rifrattori individuati, lo spessore e la velocità sismica media calcolata per ogni intervallo rilevato.

I risultati così ottenuti sono stati confrontati con le indagini dirette (sondaggi geognostici e prove penetrometriche) eseguite lungo le stese, al fine di ottenere una taratura dei dati geofisici.

Nelle sezioni finali quindi, i vari orizzonti sismici individuati, sono stati associati (mediante apposito riempimento e colorazione) ai terreni costituenti la coltre vegetale e/o di riporto, ai depositi di copertura ove presenti ed ai terreni formazionali costituenti il substrato; questi ultimi infine sono stati a loro volta suddivisi in base al grado di alterazione e/o fratturazione, determinato in maniera qualitativa in virtù delle velocità sismiche calcolate.

Da notare, che in fase di scavo, potrebbero incontrarsi litotipi differenti da quelli evidenziati nelle sezioni finali, in quanto i terreni costituenti il substrato, potrebbero

presentare un grado di alterazione e/o fratturazione alquanto elevato tale da renderli equiparabili da un punto di vista sismico, ad un deposito di copertura detritico.

5.2. INDAGINE DOWN-HOLE

Le quattro verticali di indagine, sono state suddivise in vari intervalli, in base alle velocità di propagazione delle onde sismiche; tali suddivisioni, i valori delle velocità degli impulsi sismici in onde P e SH, nonché l'ascrizione litologica, ricavata dalla perforazione, risultano consultabili nelle tavole 4A-4D.

Le velocità sismiche calcolate, risultano incrementarsi con la profondità per l'intero tratto indagato, per quanto riguarda le prove DH1, DH2 e DH3, mentre per la prova DH4 in prossimità del quarto intervallo (8.00-13.00 m da p.c.), si verifica una inversione di velocità visibile solamente dalle onde SH, con valori che scendono da 280 a 200 m/sec.

5.3. PROVE MASW

L'elaborazione dei dati ottenuti dall'acquisizione delle prove con la tecnica MASW ha prodotto profili di velocità con i quali si sono calcolati i parametri V_{S30} su ciascun punto di indagine; tale parametro contribuisce alla determinazione delle categorie di profilo stratigrafico del suolo di fondazione, ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto.

Nelle tavole 5A-5D vengono riportati i risultati delle indagini con tutti i dati inerenti le registrazioni di campagna, le curve di dispersione ed i profili V_{S30} ottenuti.

Nella sottostante tabella 4 vengono riepilogati i valori di tali V_{S30} calcolati per ciascuna prova.

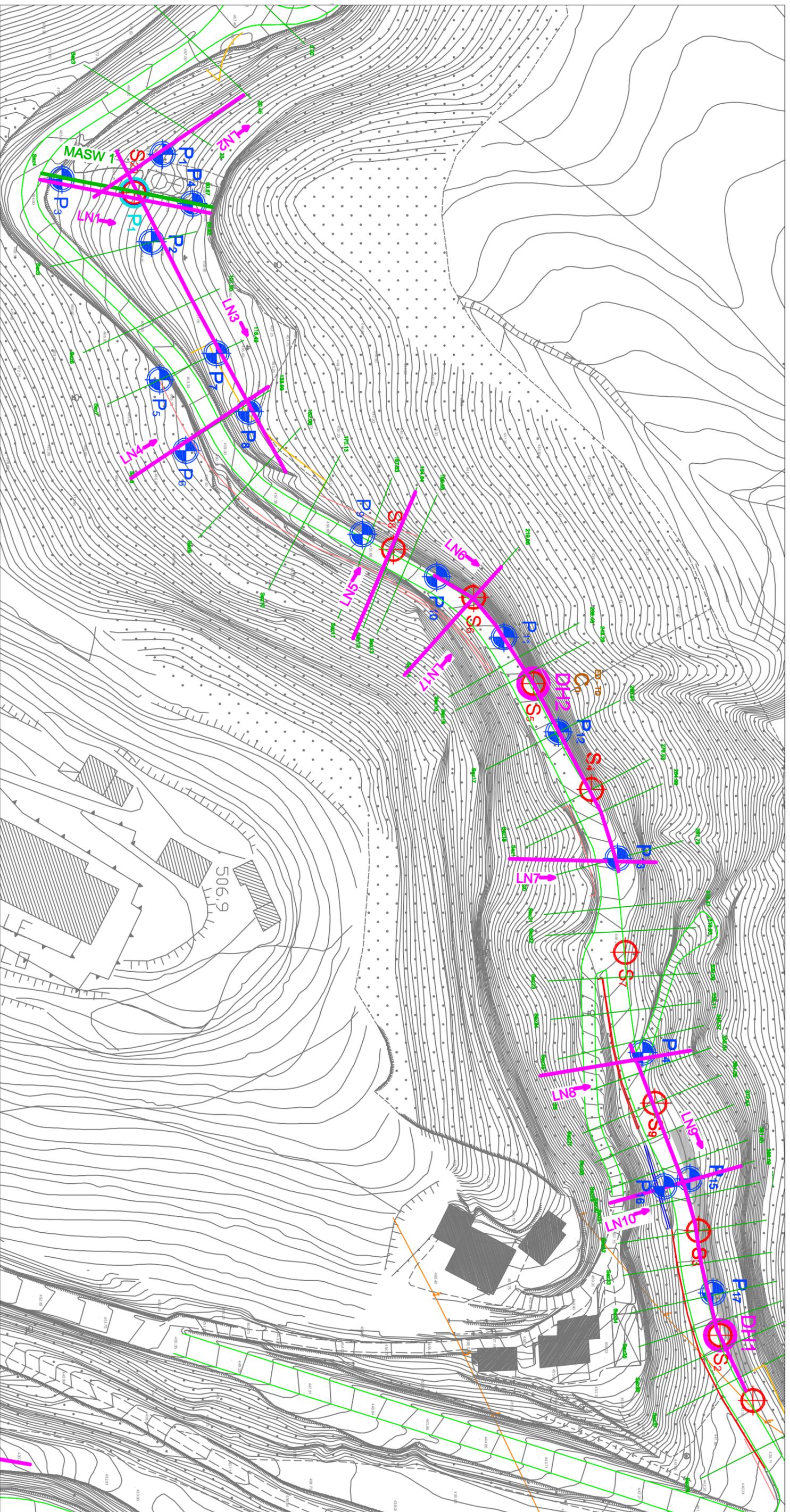
Nome Prova	V_{S30} finale (m/sec)
MASW1	444
MASW2	436
MASW3	520
MASW4	514

Tab.4 – Risultati Prove Masw

***La classificazione del terreno è di pertinenza dell'utente finale, che ne deve valutare l'appartenenza sulla base delle informazioni geologiche, delle possibili amplificazioni e del profilo verticale V_{S30} .**

Falconara M.ma Giugno 2013

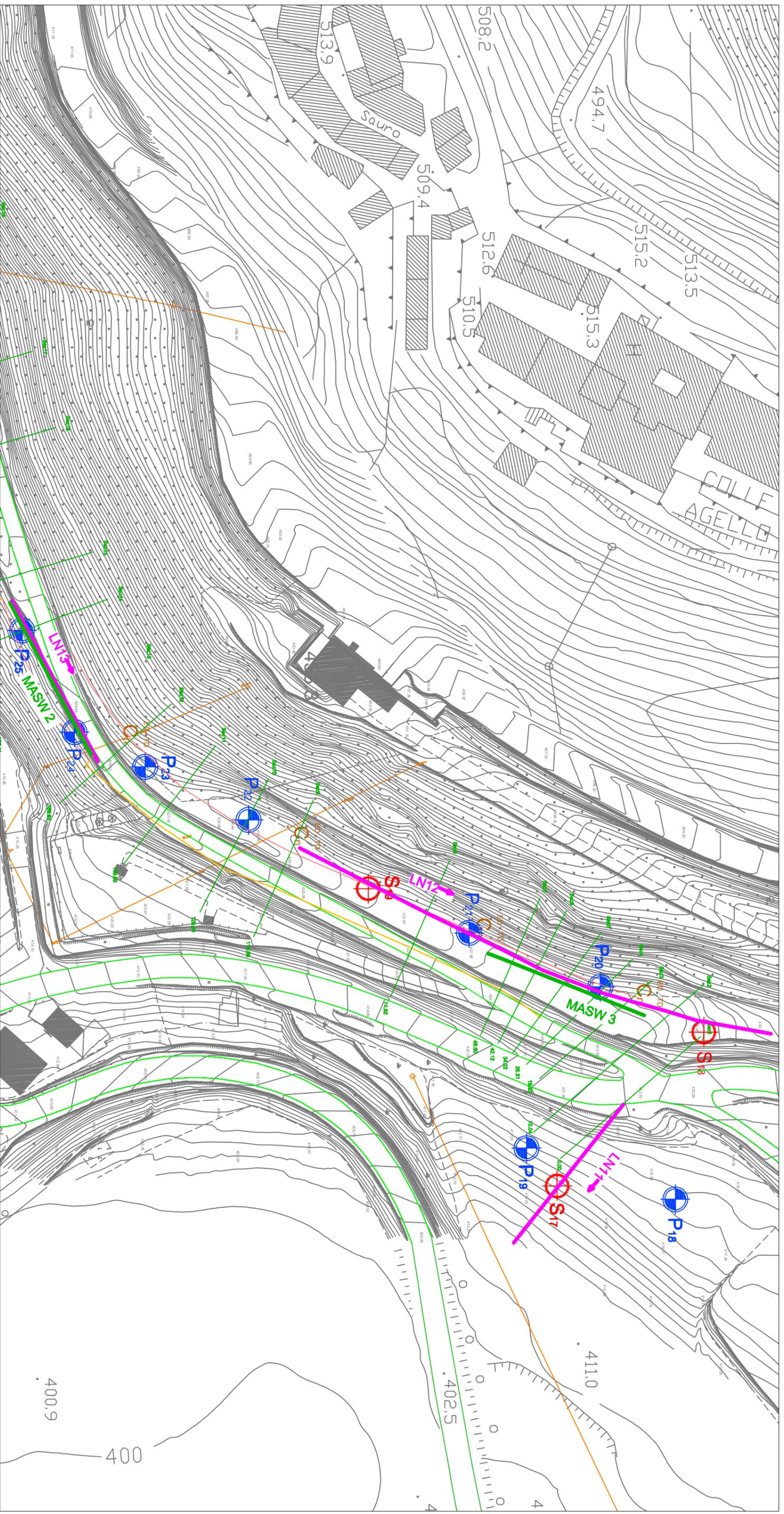
Dott. Geol. Federico Pellegrini



LEGENDA

- Prova MASW
- Base sismica a rifrazione
- Prova Down-hole

Committente: Provincia di Fermo		 <small>TRADING SOCIETÀ A RESPONSABILITÀ LIMITATA</small>						
LAVORO: INDAGINI GEOFISICHE ESEGUITE PER LAVORI DI AMMODERNAMENTO DEL BY-PASS DI AMANDOLA (FM)								
COMMESSA 18 - DOC. G 13 PROG. REV. TV 1		Elaborato: PLANIMETRIA UBICAZIONE INDAGINI						
Revis.:	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Tav. n.: 1a
								Scala: 1:1000



LEGENDA

- Prova MASW
- Base sismica a rifrazione
- Prova Down-hole

Committente: **Provincia di Fermo**

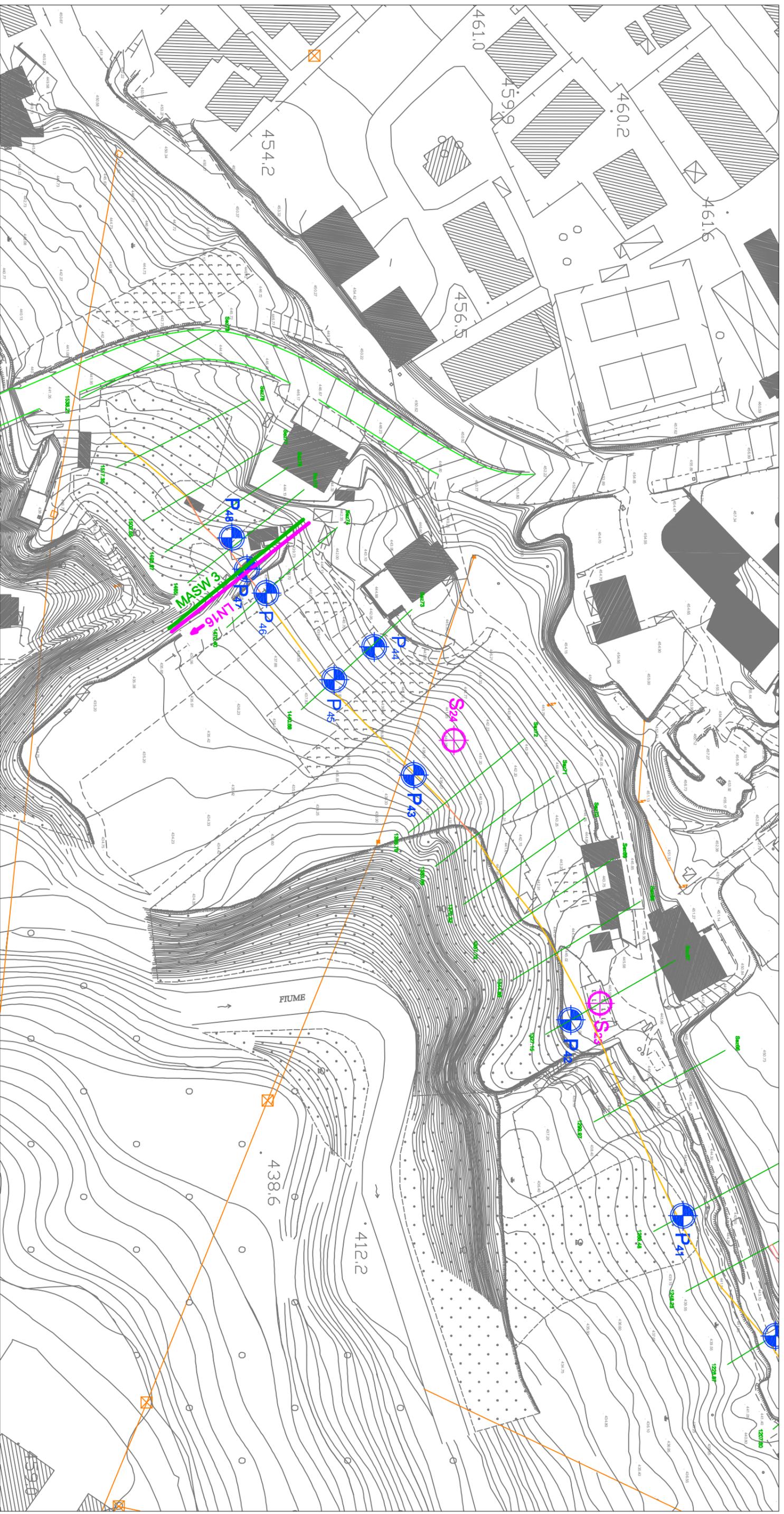
LAVORO: INDAGINI GEOFISICHE ESEGUITE PER LAVORI DI AMMODERNAMENTO DEL BY-PASS DI AMANDOLA (FM)



Elaborato: **PLANIMETRIA UBICAZIONE INDAGINI**

COMMESSA	DOC.	PROG.	REV.
18	G	13	TV
			1

Revis.:	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Tav. n.:
								1b
								Scala: 1:1000



LEGENDA

- Prova MASW
- Base sismica a rifrazione
- Prova Down-hole

Committente: **Provincia di Fermo**

LAVORO: INDAGINI GEOFISICHE ESEGUITE PER LAVORI DI AMMODERNAMENTO DEL BY-PASS DI AMANDOLA (FM)

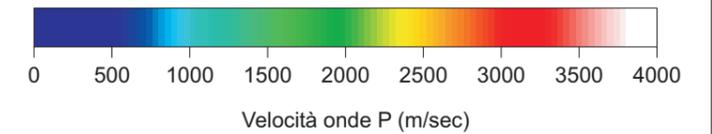
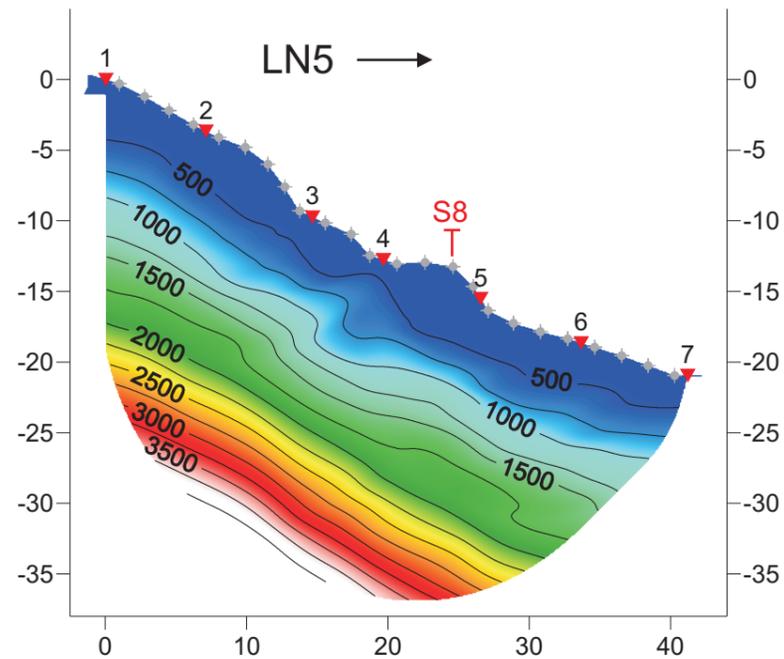
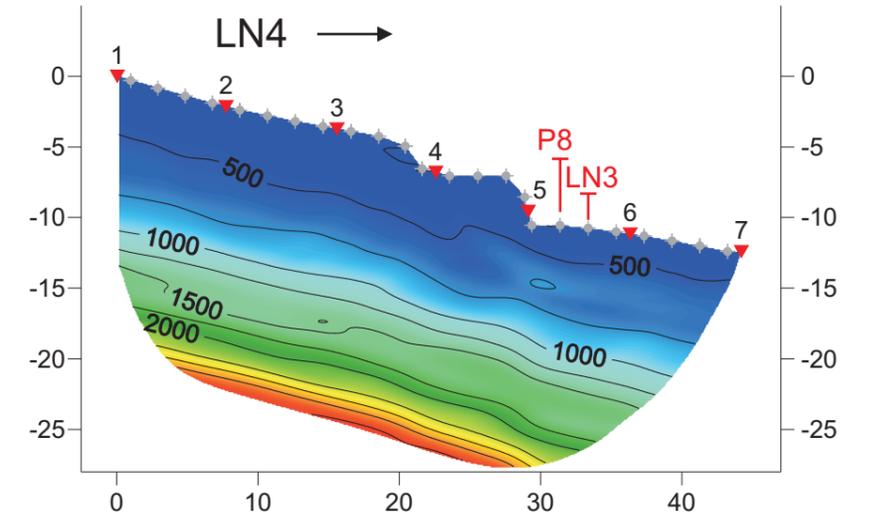
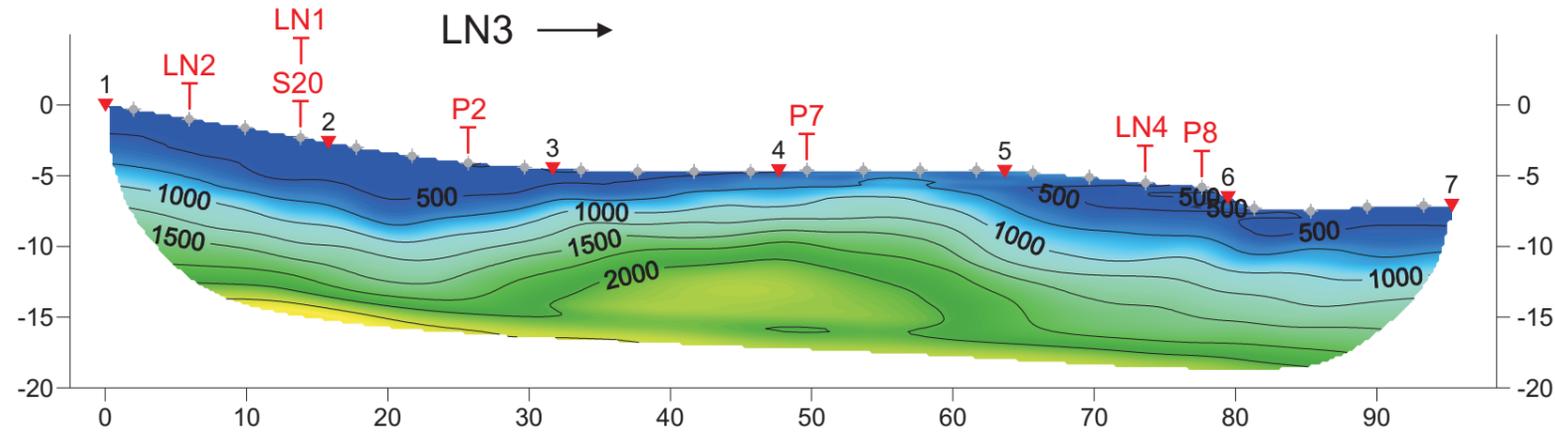
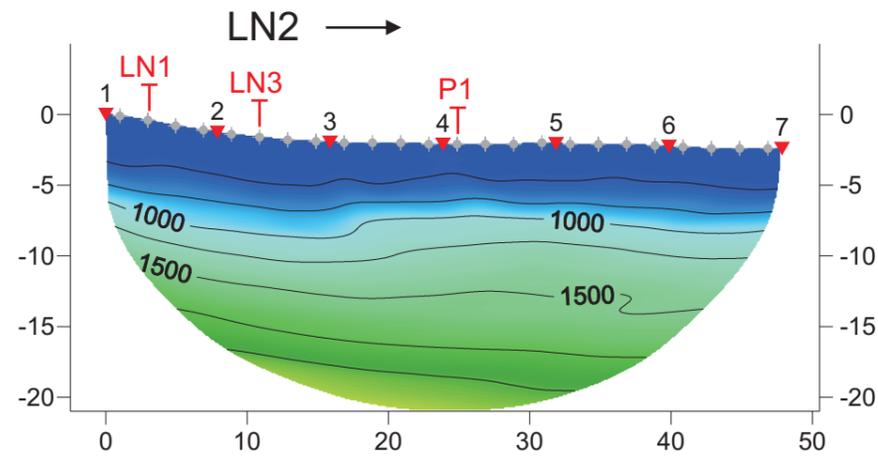
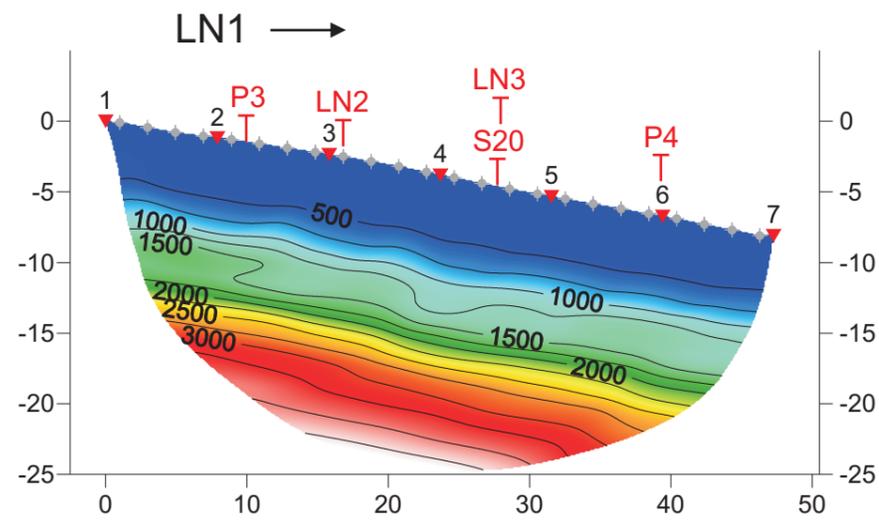
COMMESSA DOC. PROG. REV.

18 - G 13 TV 1

Elaborato: **PLANIMETRIA UBICAZIONE INDAGINI**



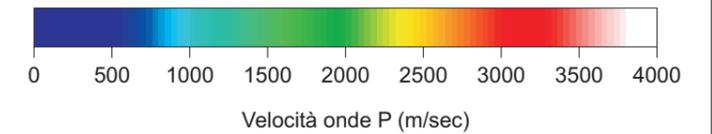
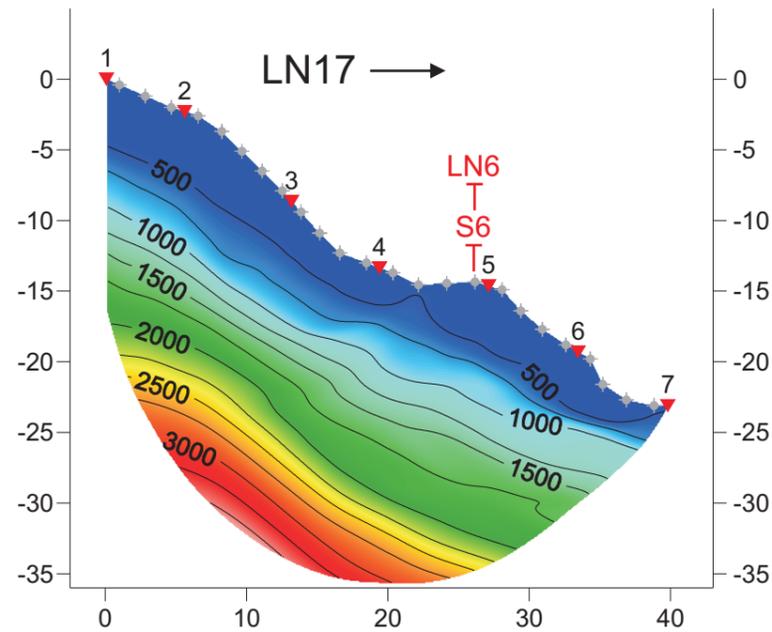
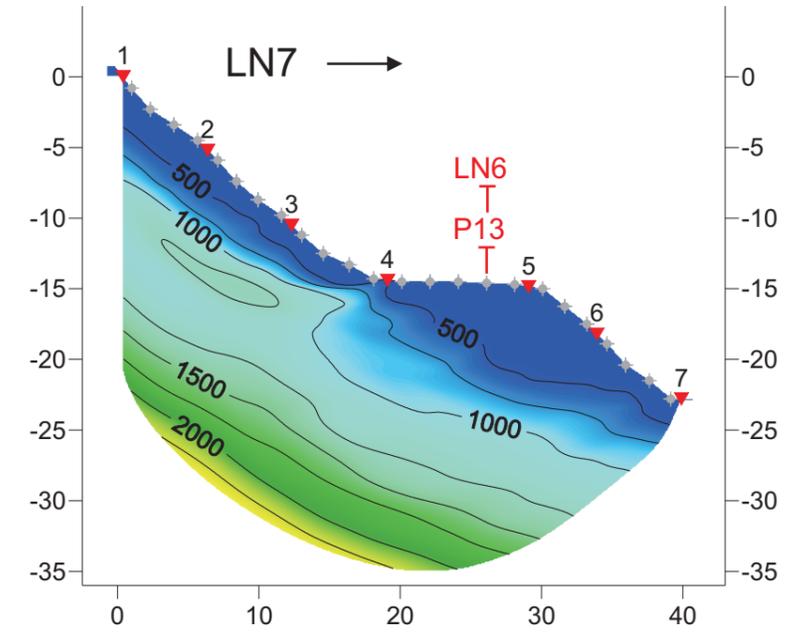
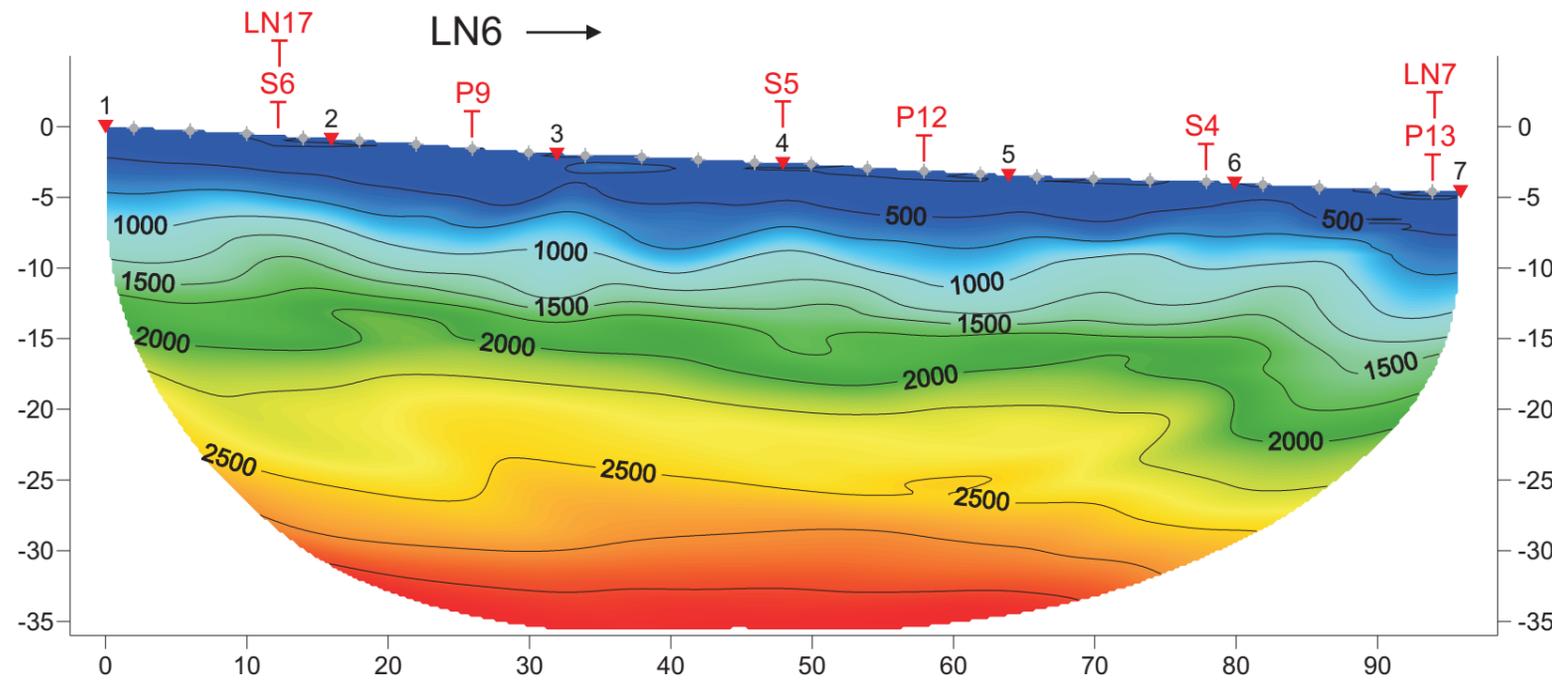
Revis.:	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Tav. n.:
								1d
								Scala: 1:1000



LEGENDA:

- 2000 Velocità Onde P
- 1 Posizione dei punti di scoppio
- Posizione dei ricevitori
- S1 Sondaggio geognostico
- P1 Prova penetrometrica
- LN2 Intersezione con altra linea sismica

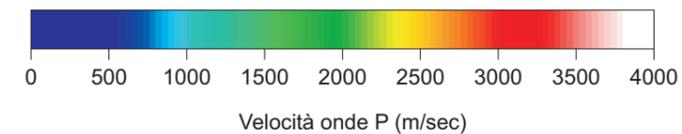
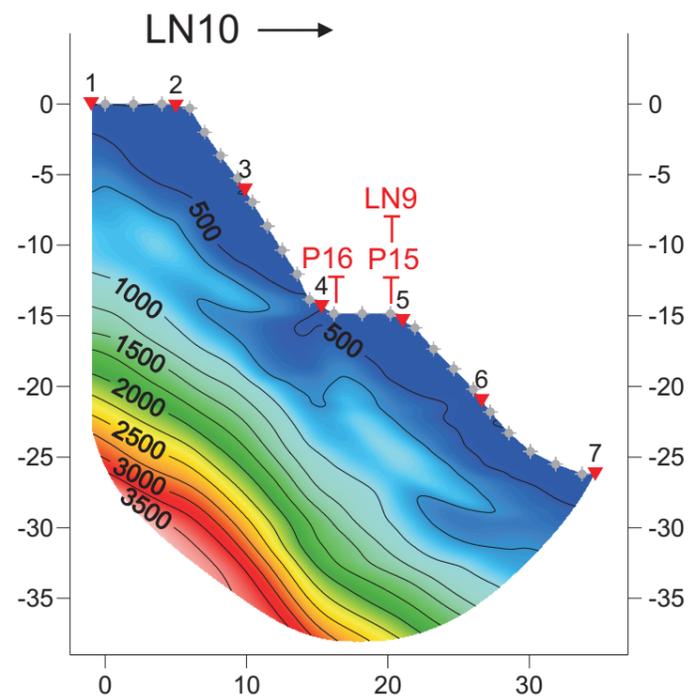
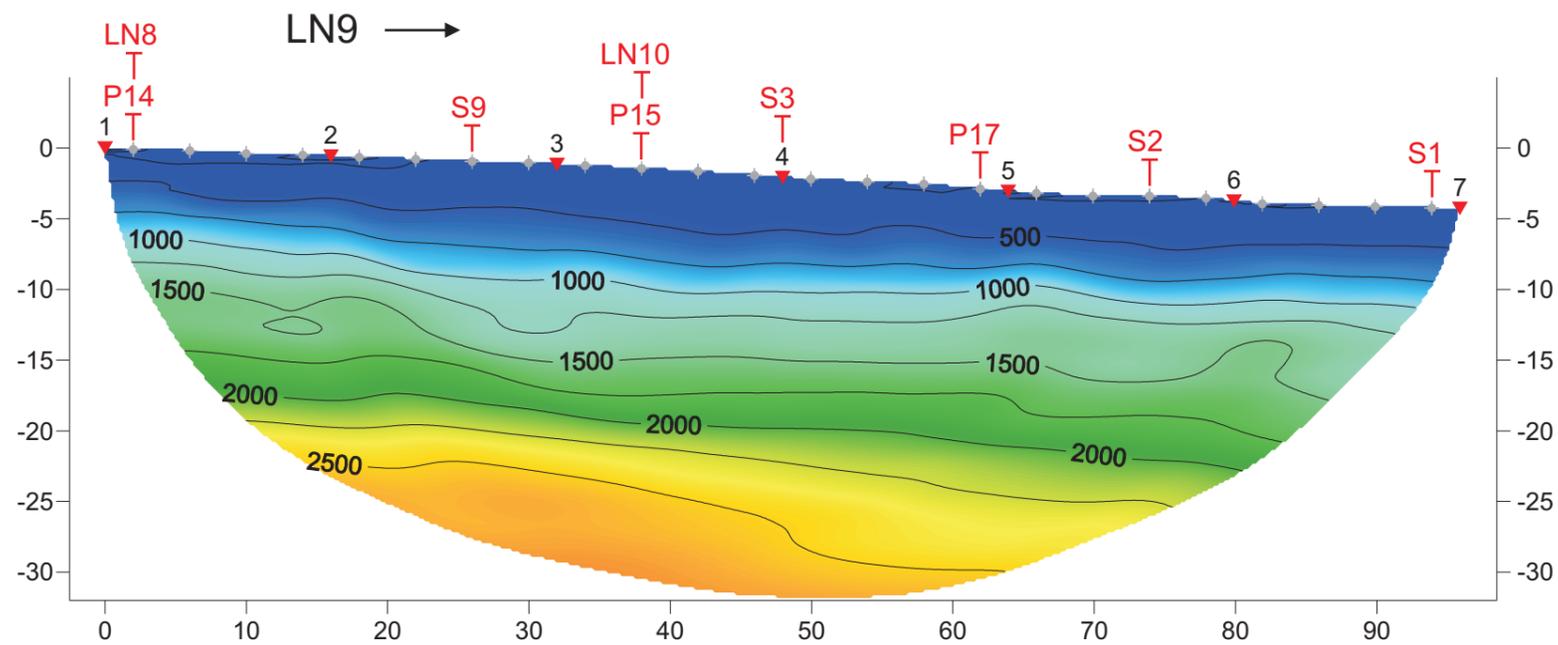
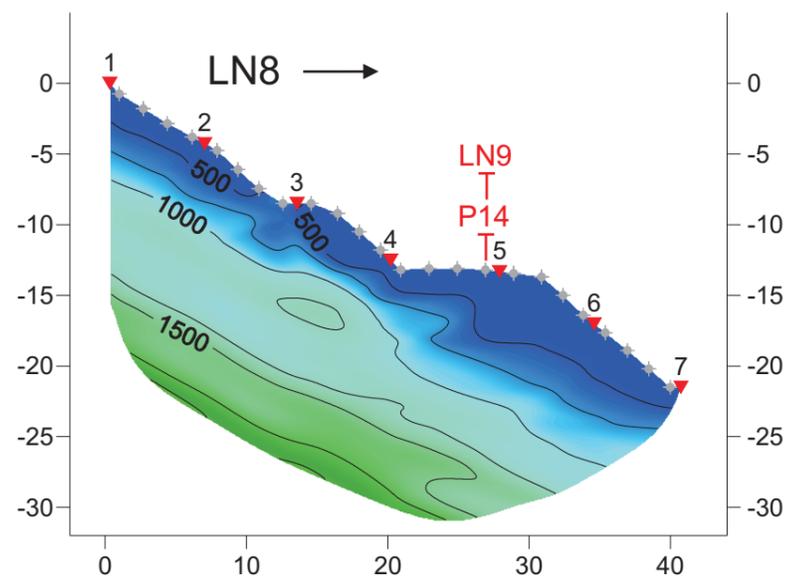
Committente: PROVINCIA DI FERMO		
Lavoro: INDAGINI GEOFISICHE ESEGUITE PER LAVORI DI AMMODERNAMENTO DEL BY-PASS DI AMANDOLA (FM)		
COMMESSA 18 - 13	TIPO G	DOC. REV. TV 1
Elaborato: SEZIONI SISMICHE TOMOGRAFICHE		
Rapporto di prova		Scala 1:500
		TAV. n°: 2A



LEGENDA:

2000	Velocità Onde P
1	Posizione dei punti di scoppio
	Posizione dei ricevitori
S1	Sondaggio geognostico
P1	Prova penetrometrica
LN2	Intersezione con altra linea sismica

Committente: PROVINCIA DI FERMO		
Lavoro: INDAGINI GEOFISICHE ESEGUITE PER LAVORI DI AMMODERNAMENTO DEL BY-PASS DI AMANDOLA (FM)		
COMMESSA 18 - 13	TIPO G	DOC. REV. TV 1
Elaborato:		SEZIONI SISMICHE TOMOGRAFICHE
Rapporto di prova	Scala 1:500	TAV. n°: 2B



LEGENDA:

- 2000 — Velocità Onde P
- 1 — Posizione dei punti di scoppio
- Posizione dei ricevitori
- S1 — Sondaggio geognostico
- P1 — Prova penetrometrica
- LN2 — Intersezione con altra linea sismica

Committente: PROVINCIA DI FERMO

Lavoro: INDAGINI GEOFISICHE ESEGUITE PER LAVORI DI AMMODERNAMENTO DEL BY-PASS DI AMANDOLA (FM)



Elaborato:

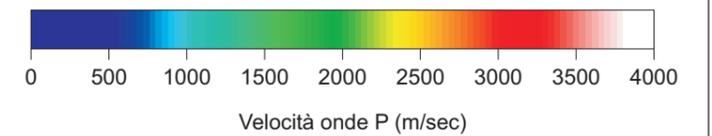
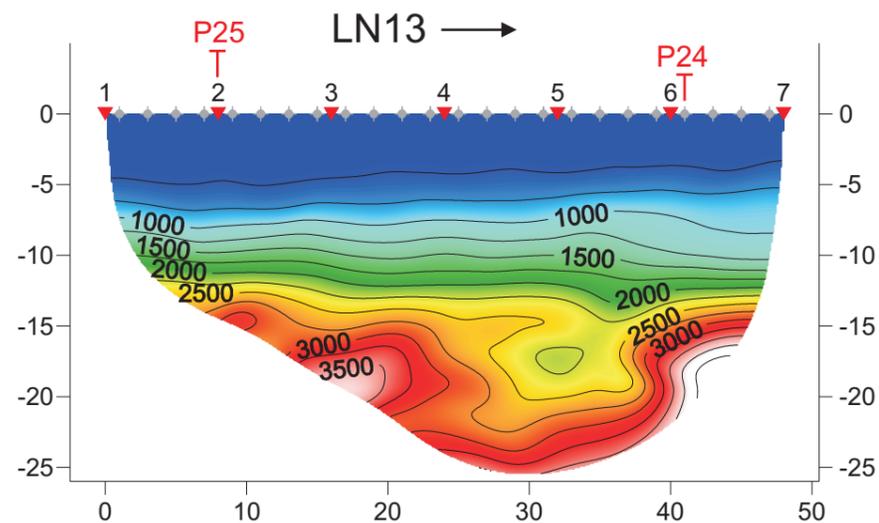
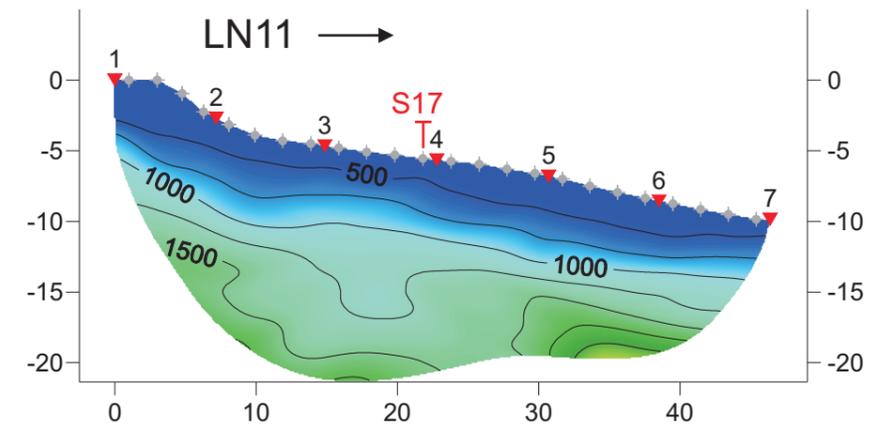
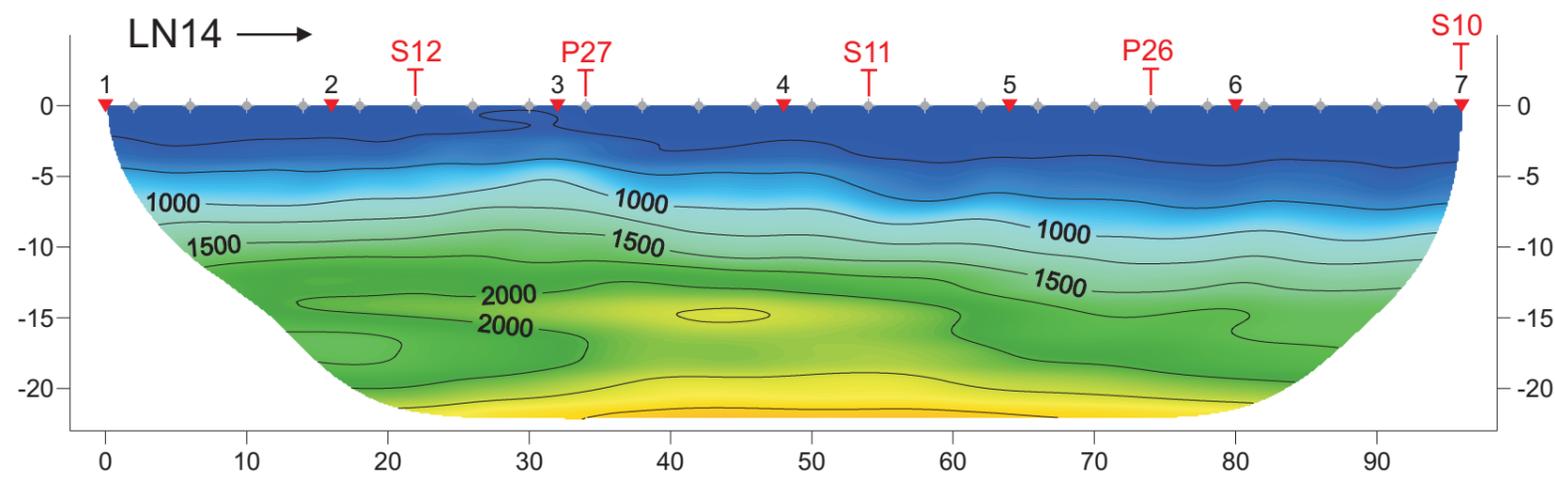
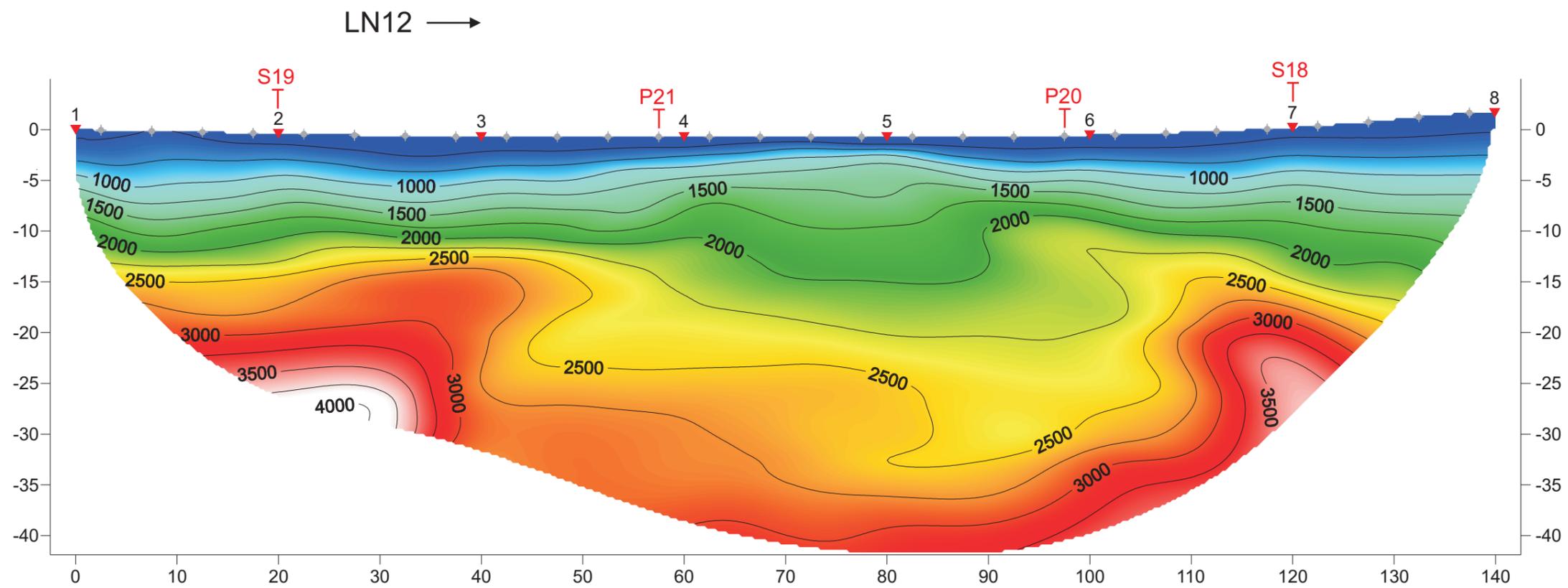
SEZIONI SISMICHE TOMOGRAFICHE

COMMESSA	TIPO	DOC.	REV.
18 - 13	G	TV	1

Rapporto di prova

Scala 1:500

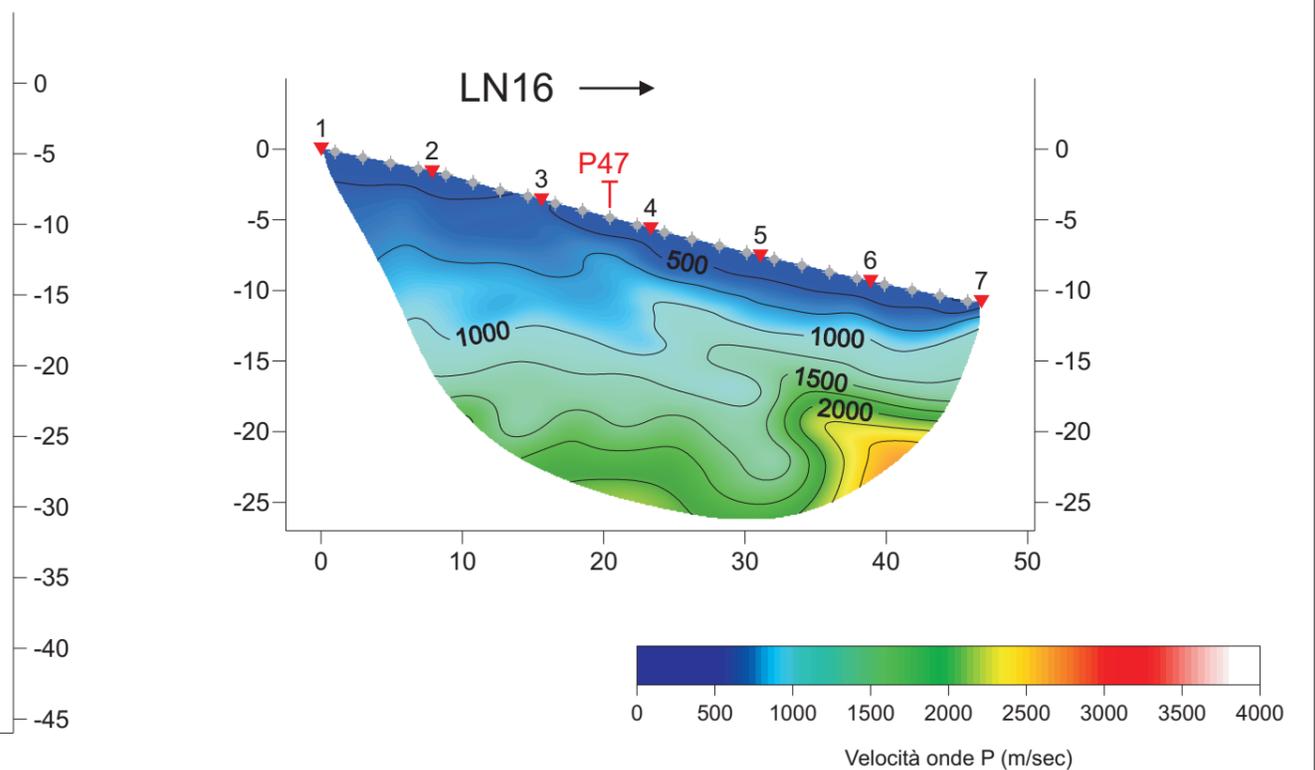
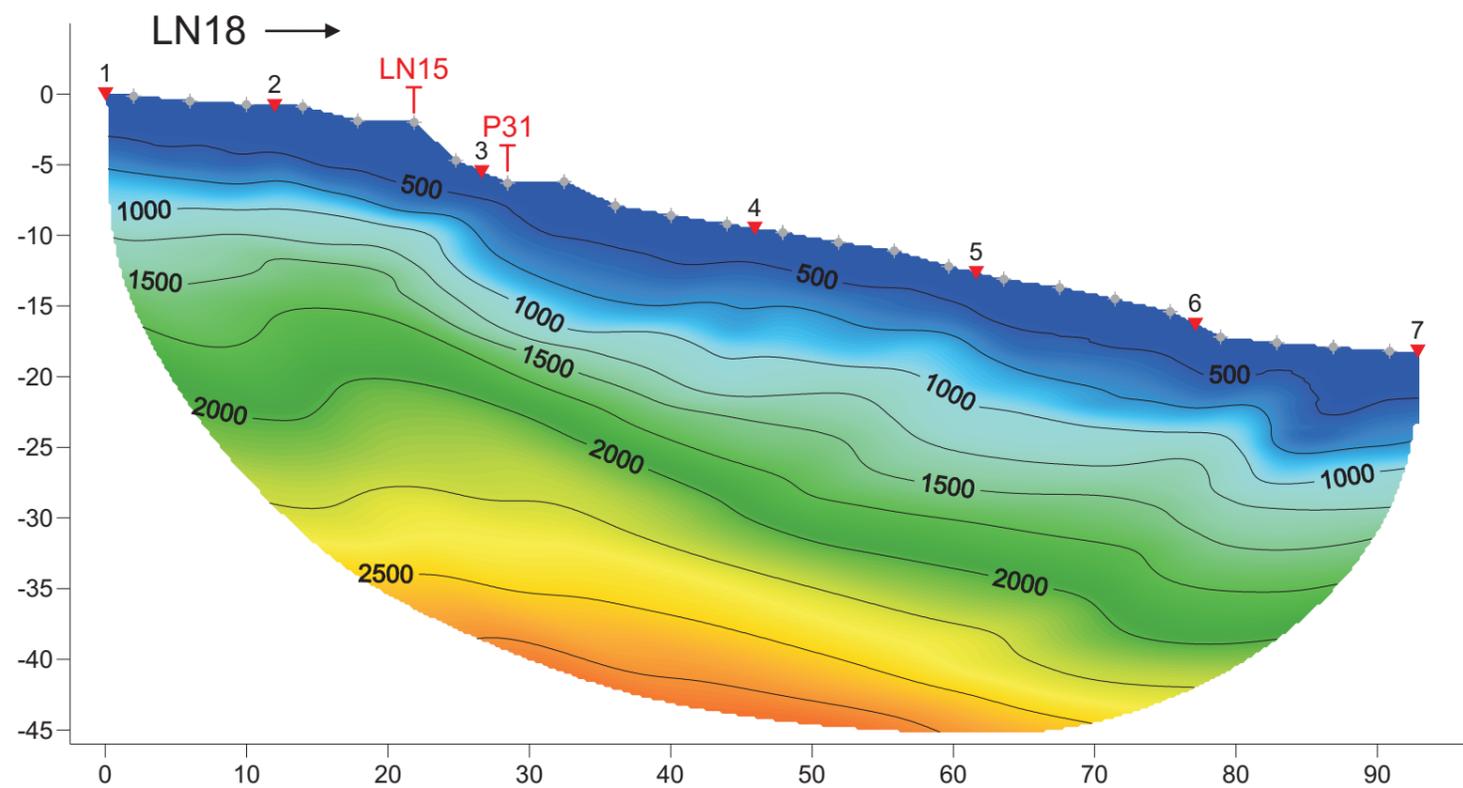
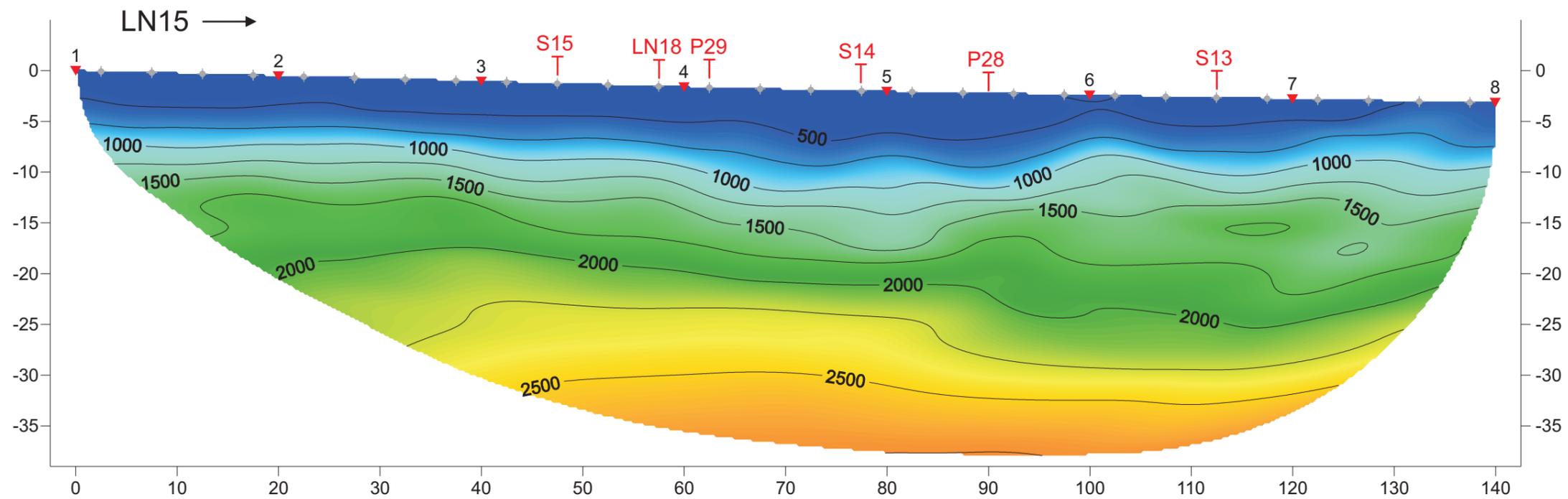
TAV. n°: 2C



LEGENDA:

	2000	Velocità Onde P
	1	Posizione dei punti di scoppio
		Posizione dei ricevitori
	S1	Sondaggio geognostico
	P1	Prova penetrometrica
	LN2	Intersezione con altra linea sismica

Committente: PROVINCIA DI FERMO		
Lavoro: INDAGINI GEOFISICHE ESEGUITE PER LAVORI DI AMMODERNAMENTO DEL BY-PASS DI AMANDOLA (FM)		
COMMESSA	TIPO	DOC. REV.
18 - 13	G	TV 1
Elaborato:		SEZIONI SISMICHE TOMOGRAFICHE
Rapporto di prova		Scala 1:500
		TAV. n°: 2D



LEGENDA:

- 2000 — Velocità Onde P
- 1 — Posizione dei punti di scoppio
- Posizione dei ricevitori
- S1 — Sondaggio geognostico
- P1 — Prova penetrometrica
- LN2 — Intersezione con altra linea sismica

Committente: PROVINCIA DI FERMO

Lavoro: INDAGINI GEOFISICHE ESEGUITE PER LAVORI DI AMMODERNAMENTO DEL BY-PASS DI AMANDOLA (FM)



COMMESSA	TIPO	DOC.	REV.
18 - 13	G	TV	1

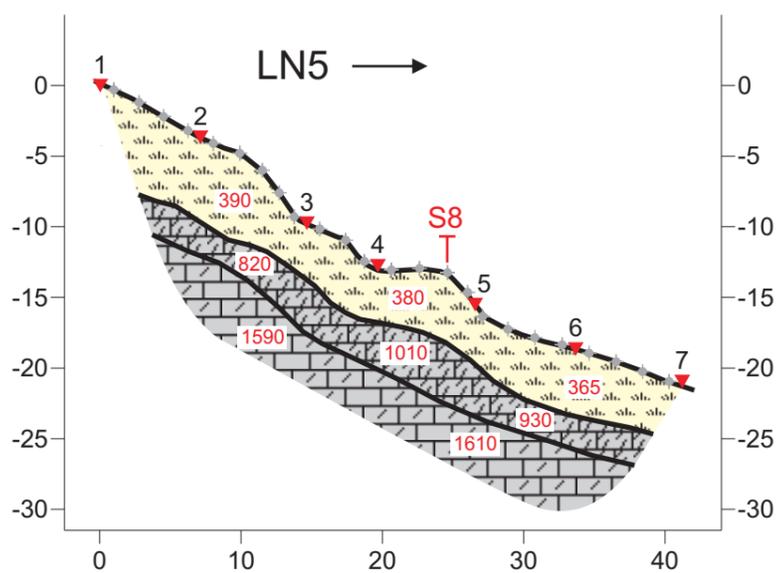
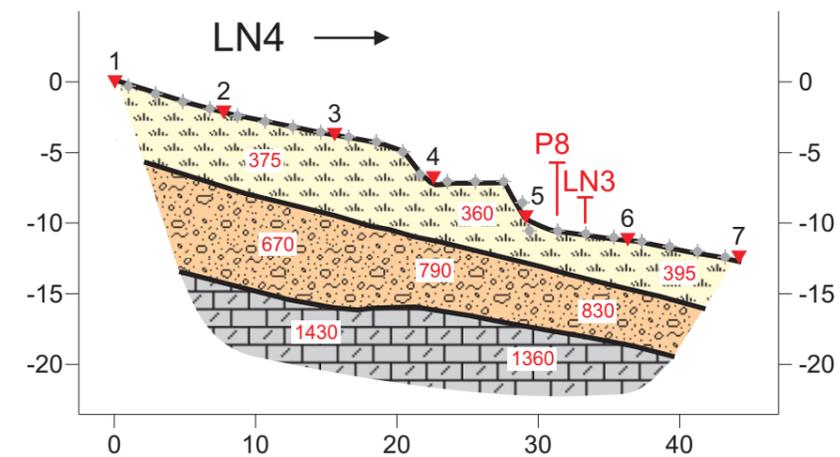
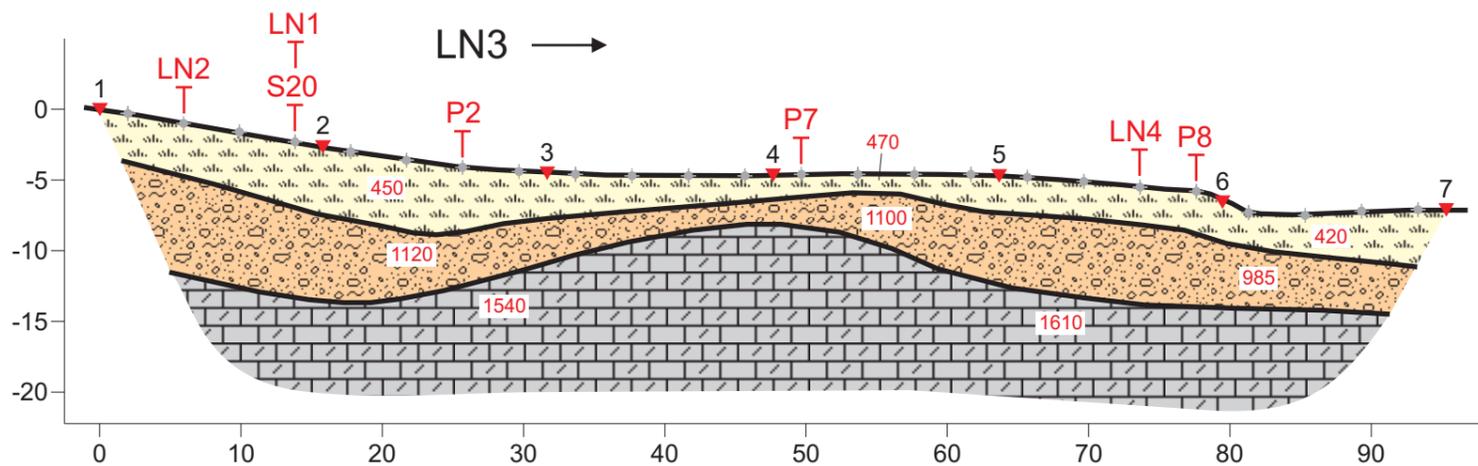
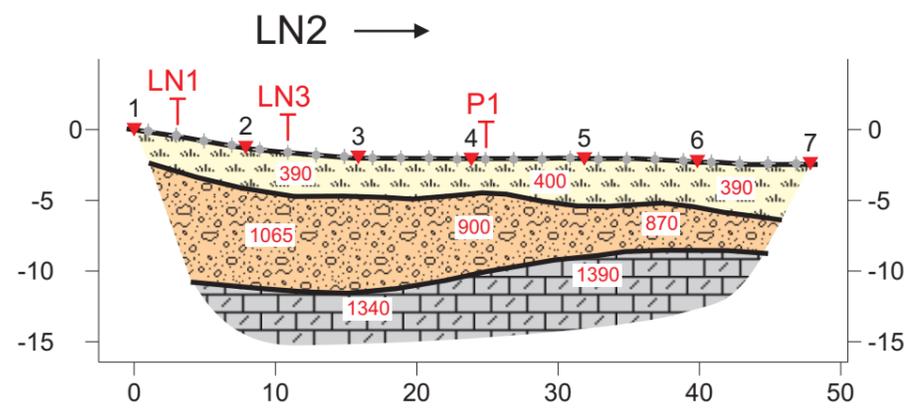
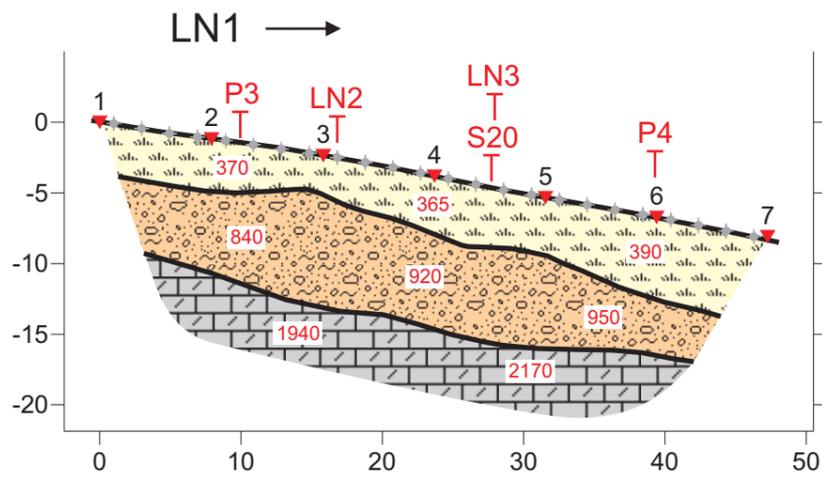
Elaborato:

SEZIONI SISMICHE TOMOGRAFICHE

Rapporto di prova

Scala 1:500

TAV. n°: 2E



LEGENDA:

- Terreno di riporto e depositi superficiali
- Terreno vegetale e depositi superficiali
- Depositi di copertura
- Substrato
- 520 Velocità Onde P
- 1 Posizione dei punti di scoppio
- Posizione dei ricevitori
- S1 Sondaggio geognostico
- P1 Prova penetrometrica
- LN2 Intersezione con altra linea sismica

Committente: PROVINCIA DI FERMO

Lavoro: INDAGINI GEOFISICHE ESEGUITE PER LAVORI DI AMMODERNAMENTO DEL BY-PASS DI AMANDOLA (FM)



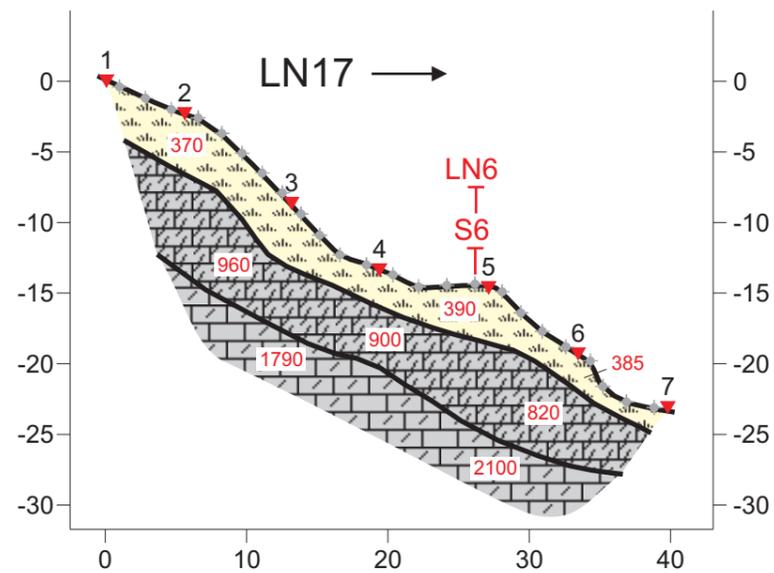
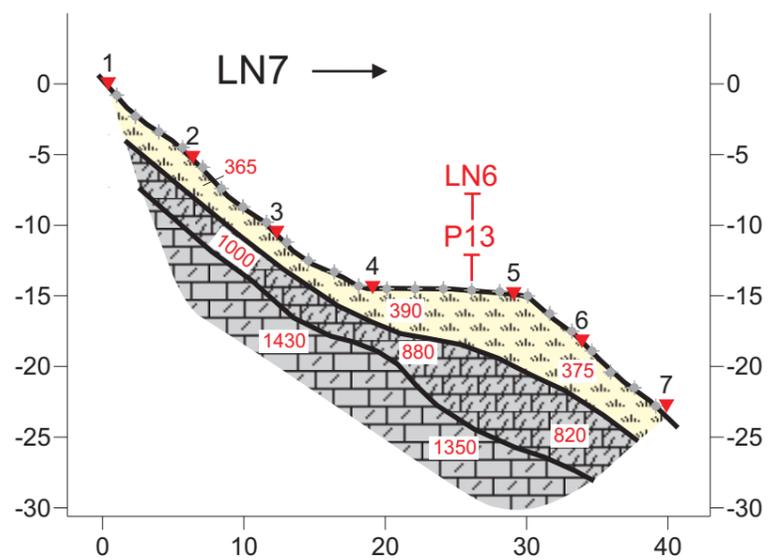
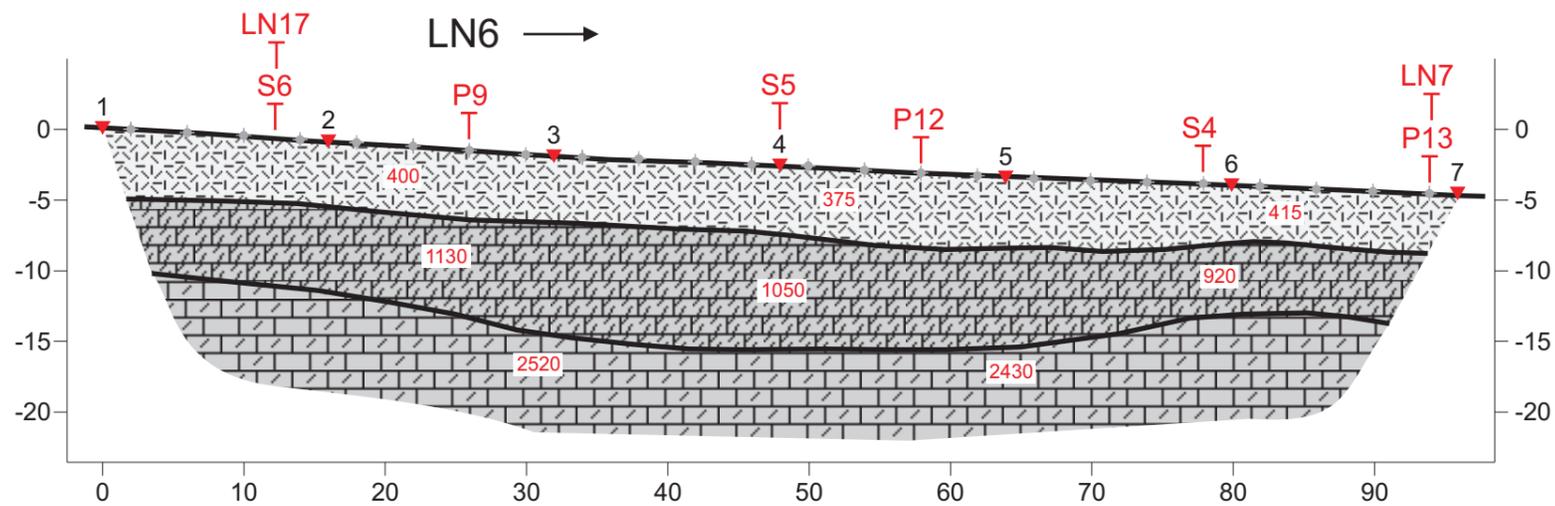
COMMESSA	TIPO	DOC.	REV.
18 - 13	G	TV	1

Elaborato:
SEZIONI SISMICHE INTERPRETATIVE

Rapporto di prova

Scala 1:500

TAV. n°: 3A



LEGENDA:

	Terreno di riporto e depositi superficiali	520	Velocità Onde P
	Terreno vegetale e depositi superficiali	1	Posizione dei punti di scoppio
	Depositi di copertura		Posizione dei ricevitori
	Substrato	S1	Sondaggio geognostico
		P1	Prova penetrometrica
		LN2	Intersezione con altra linea sismica

Committente: PROVINCIA DI FERMO

Lavoro: INDAGINI GEOFISICHE ESEGUITE PER LAVORI DI AMMODERNAMENTO DEL BY-PASS DI AMANDOLA (FM)



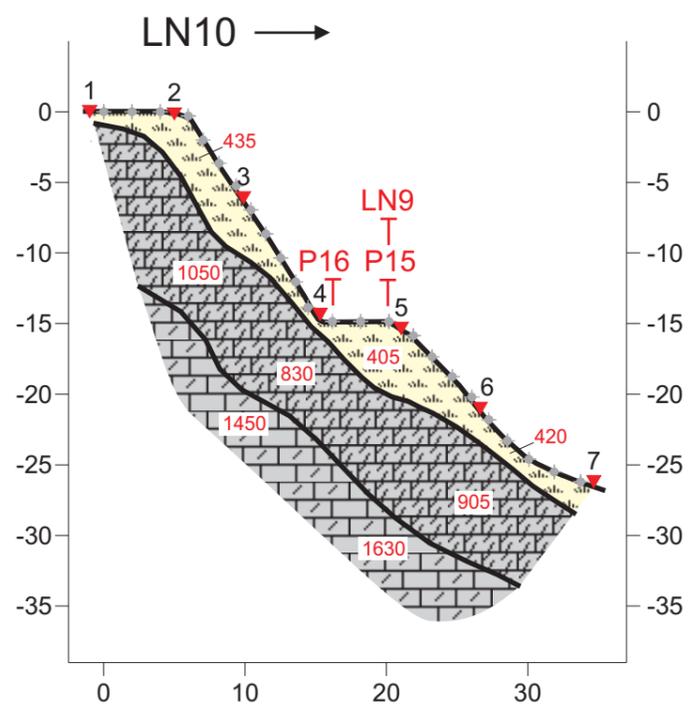
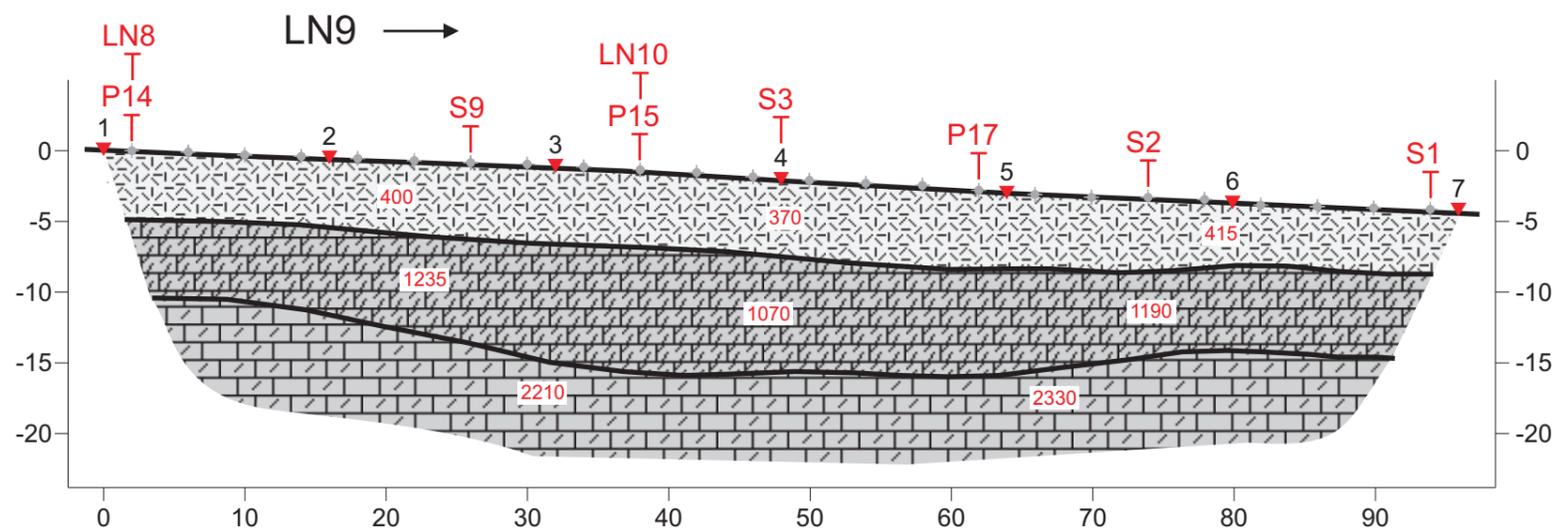
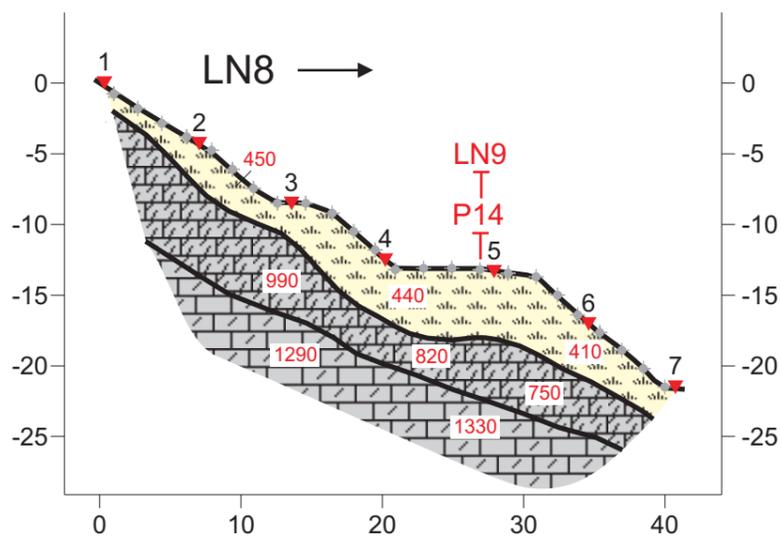
COMMESSA	TIPO	DOC.	REV.
18	G	TV	1

Elaborato:
SEZIONI SISMICHE INTERPRETATIVE

Rapporto di prova

Scala 1:500

TAV. n°: 3B



LEGENDA:

	Terreno di riporto e depositi superficiali	520	Velocità Onde P
	Terreno vegetale e depositi superficiali	1	Posizione dei punti di scoppio
	Depositi di copertura	◆	Posizione dei ricevitori
	Substrato	S1	Sondaggio geognostico
		P1	Prova penetrometrica
		LN2	Intersezione con altra linea sismica

Committente: PROVINCIA DI FERMO

Lavoro: INDAGINI GEOFISICHE ESEGUITE PER LAVORI DI AMMODERNAMENTO DEL BY-PASS DI AMANDOLA (FM)



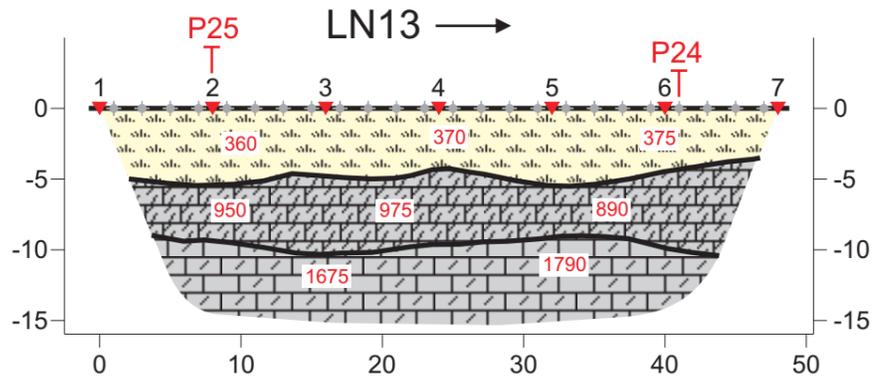
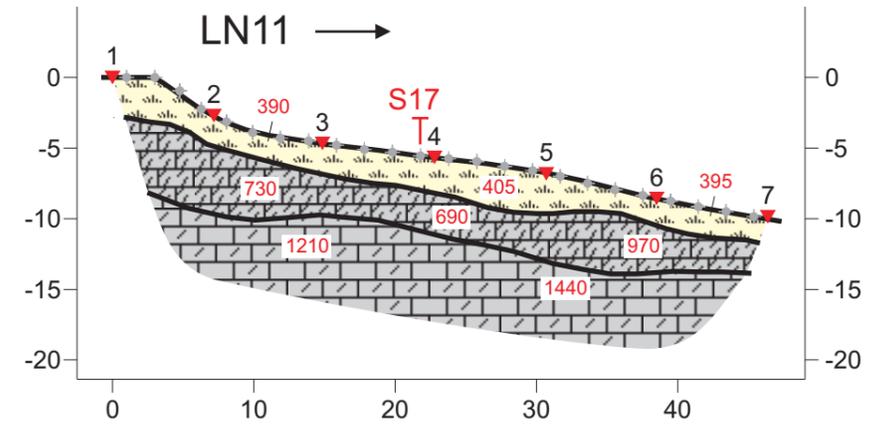
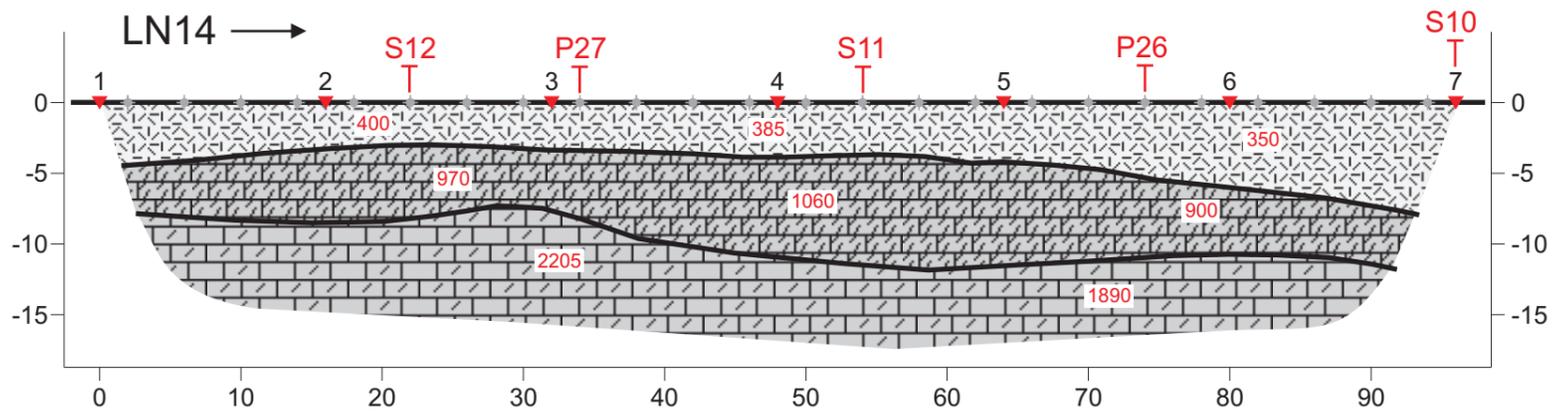
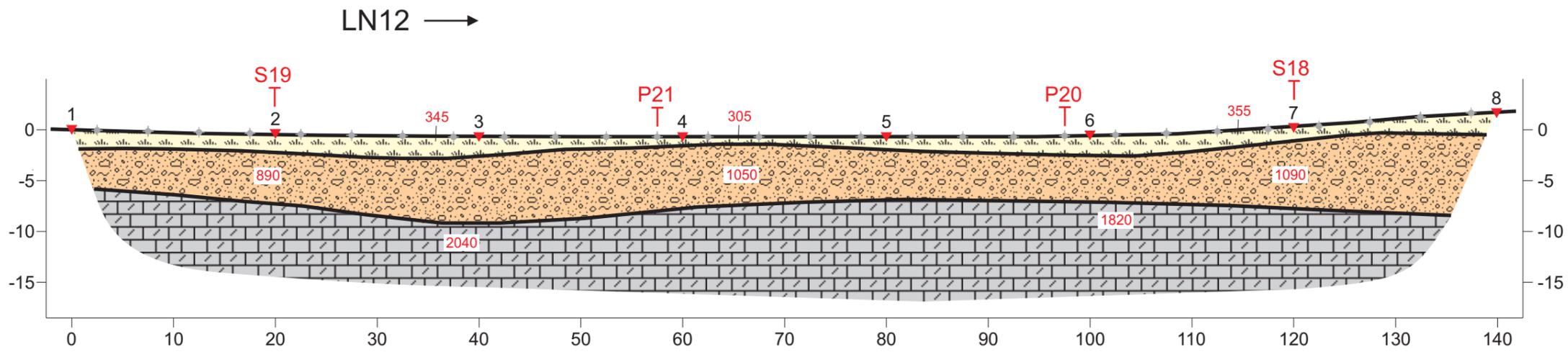
COMMESSA	TIPO	DOC.	REV.
18 - 13	G	TV	1

Elaborato:
SEZIONI SISMICHE INTERPRETATIVE

Rapporto di prova

Scala 1:500

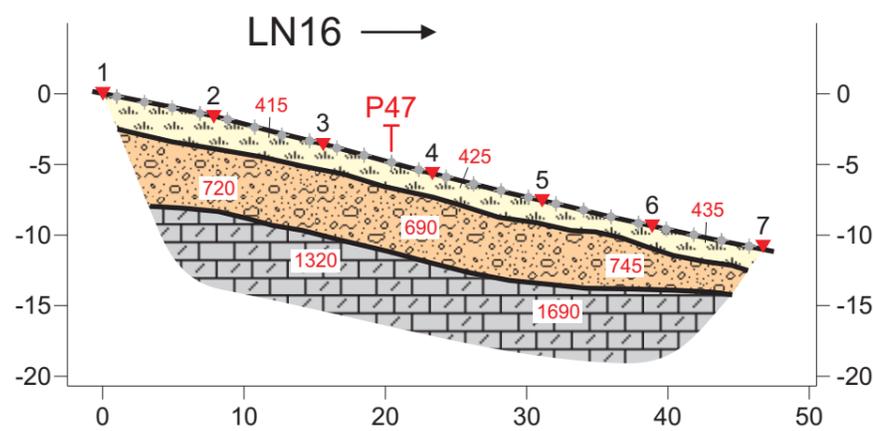
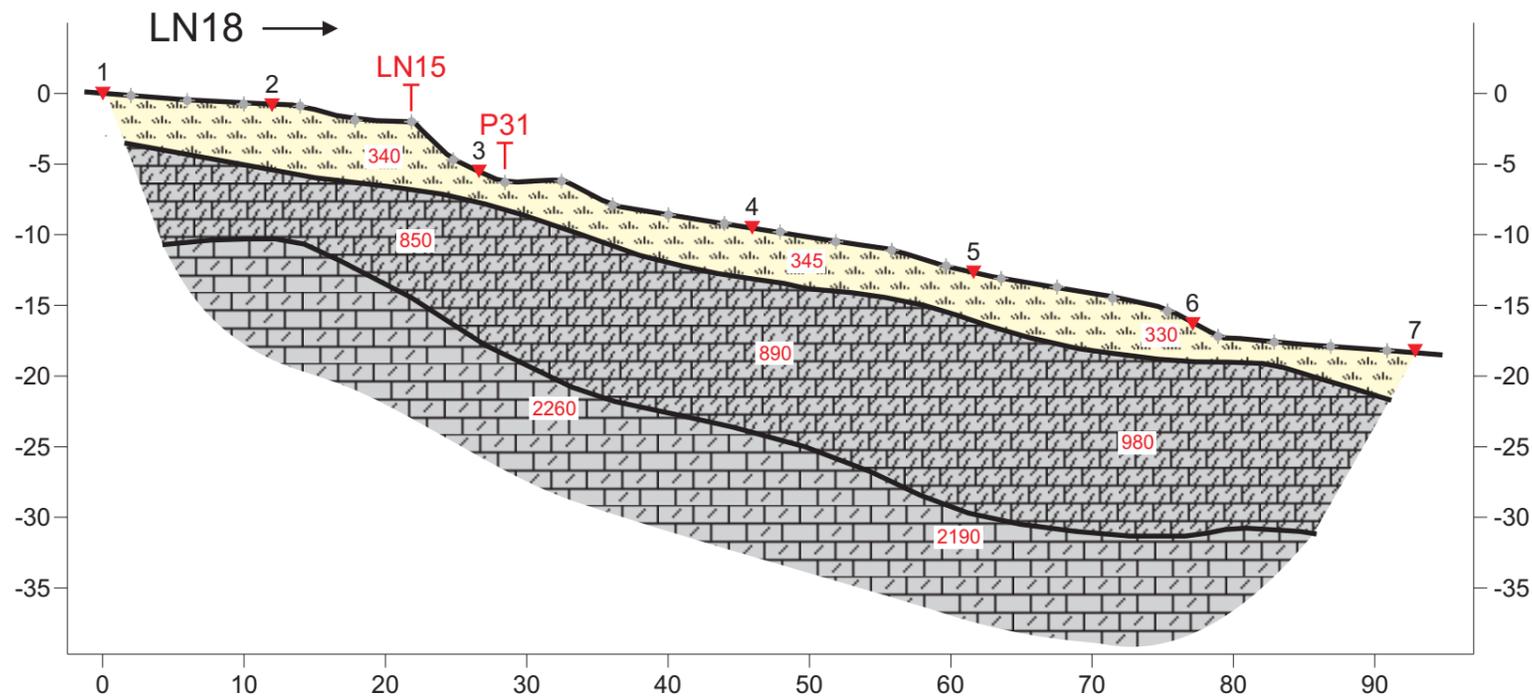
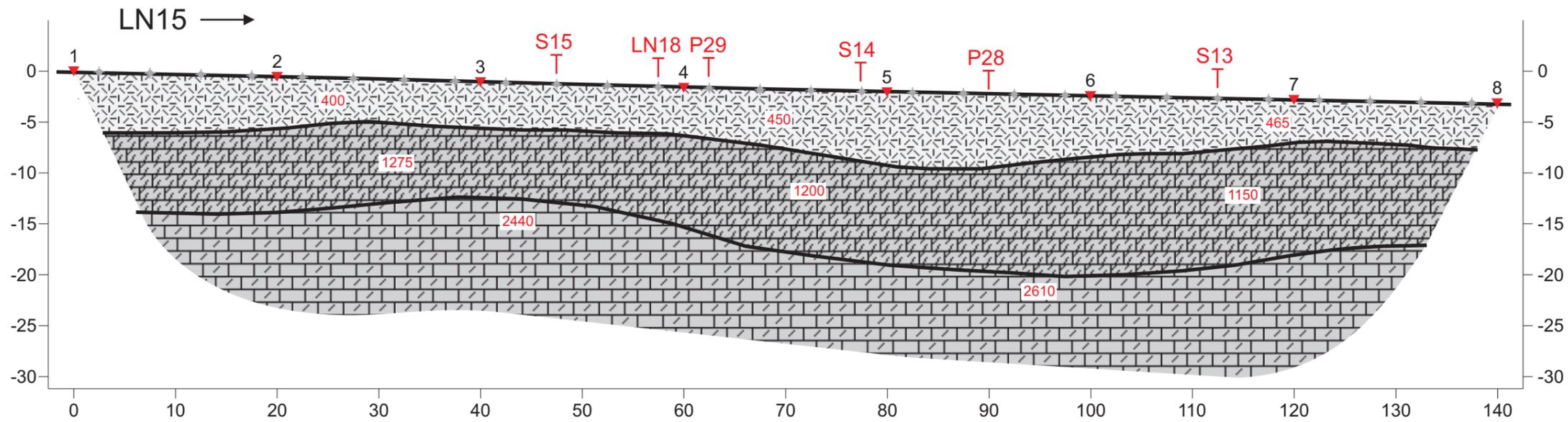
TAV. n°: 3C



LEGENDA:

	Terreno di riporto e depositi superficiali	520	Velocità Onde P
	Terreno vegetale e depositi superficiali	1	Posizione dei punti di scoppio
	Depositi di copertura		Posizione dei ricevitori
	Substrato	S1	Sondaggio geognostico
		P1	Prova penetrometrica
		LN2	Intersezione con altra linea sismica

Committente: PROVINCIA DI FERMO		
Lavoro: INDAGINI GEOFISICHE ESEGUITE PER LAVORI DI AMMODERNAMENTO DEL BY-PASS DI AMANDOLA (FM)		
COMMESSA 18 - 13	TIPO G	DOC. REV. TV 1
Elaborato: SEZIONI SISMICHE INTERPRETATIVE		
Rapporto di prova	Scala 1:500	TAV. n°: 3D



LEGENDA:

	Terreno di riporto e depositi superficiali	520	Velocità Onde P
	Terreno vegetale e depositi superficiali	1	Posizione dei punti di scoppio
	Depositi di copertura		Posizione dei ricevitori
	Substrato	S1	Sondaggio geognostico
		P1	Prova penetrometrica
		LN2	Intersezione con altra linea sismica

Committente: PROVINCIA DI FERMO

Lavoro: INDAGINI GEOFISICHE ESEGUITE PER LAVORI DI AMMODERNAMENTO DEL BY-PASS DI AMANDOLA (FM)



COMMESSA	TIPO	DOC.	REV.
18	G	TV	1

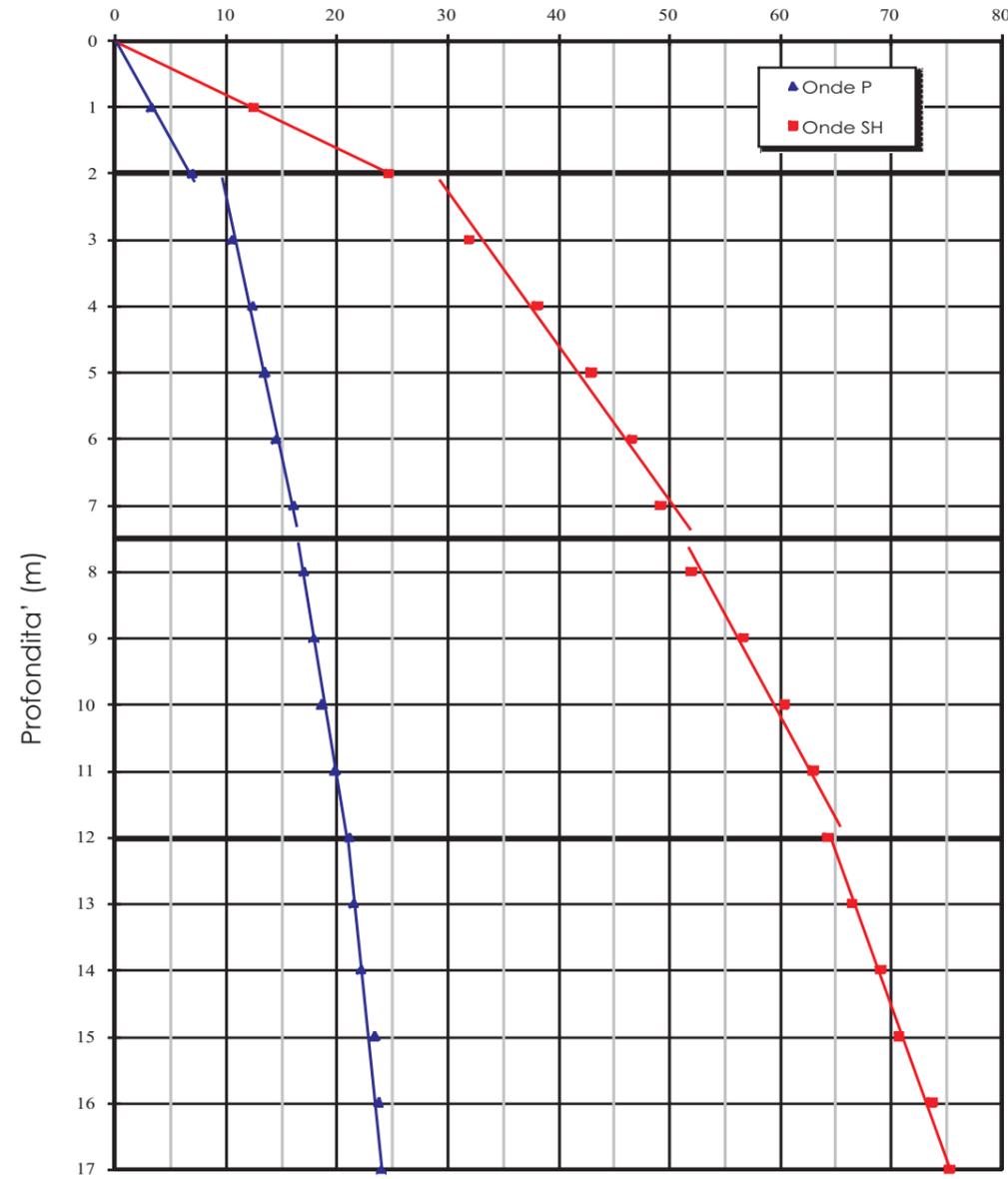
Elaborato:
SEZIONI SISMICHE INTERPRETATIVE

Rapporto di prova

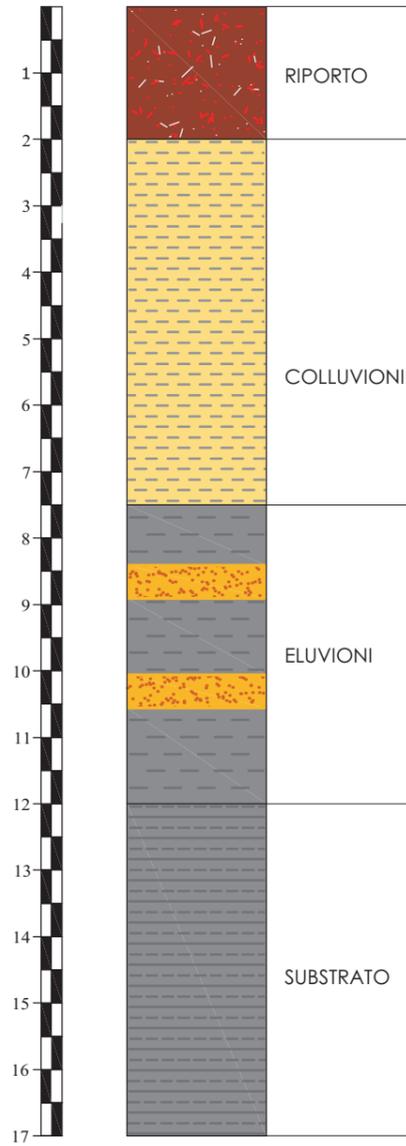
Scala 1:500

TAV. n°: 3E

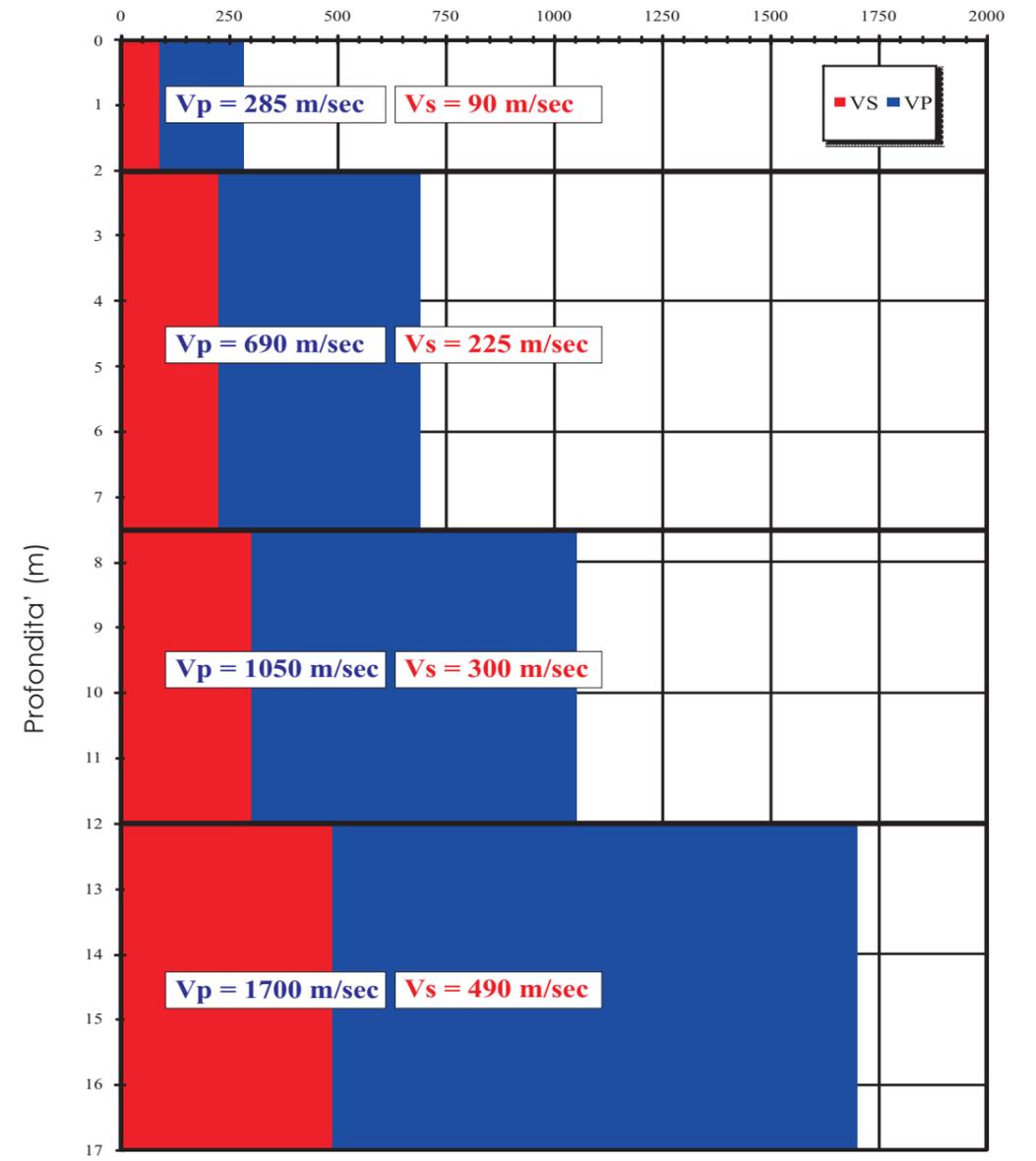
Dromocrona
Tempi (msec)



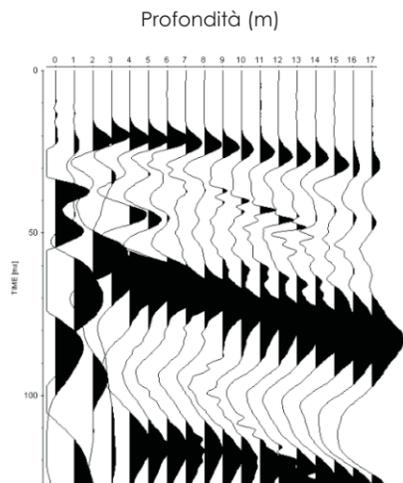
S2



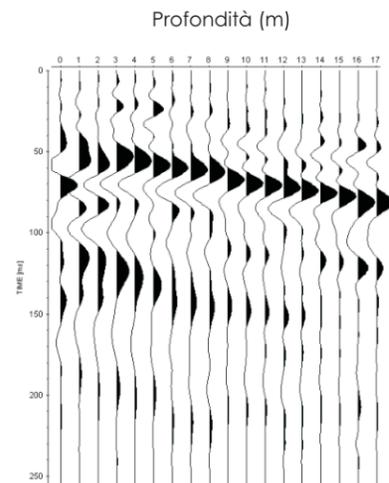
Intervalli di velocità
Velocità (m/sec)



Sismogrammi onde P



Sismogrammi onde SH



Committente: PROVINCIA DI FERMO

Lavoro: INDAGINI GEOFISICHE ESEGUITE PER LAVORI DI AMMODERNAMENTO DEL BY-PASS DI AMANDOLA (FM)



COMMESSA	TIPO	DOC.	REV.
18 - 13	G	TV	1

Elaborato:

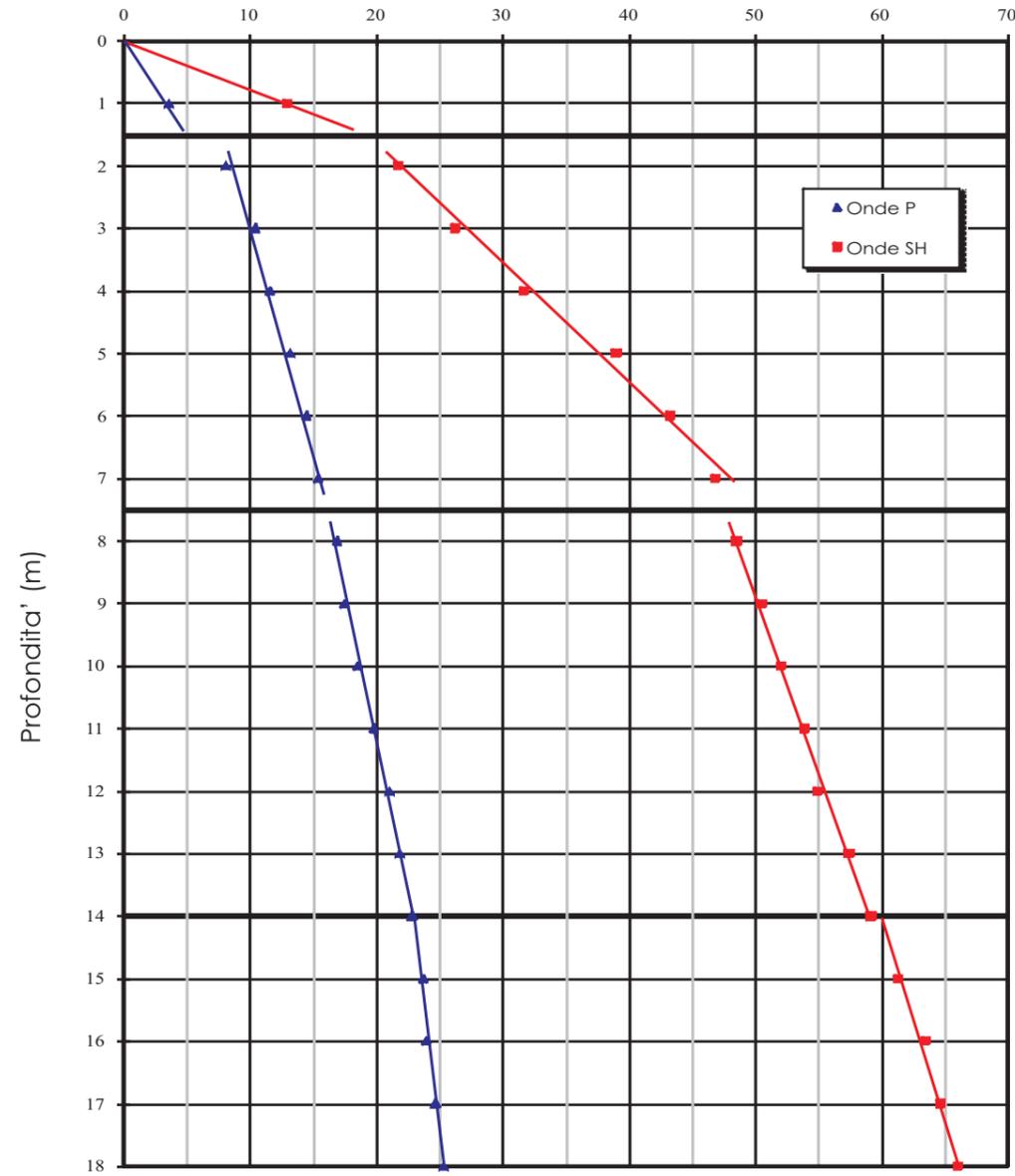
INTERPRETAZIONE DOWN-HOLE DH1 (S2)

Rapporto di prova

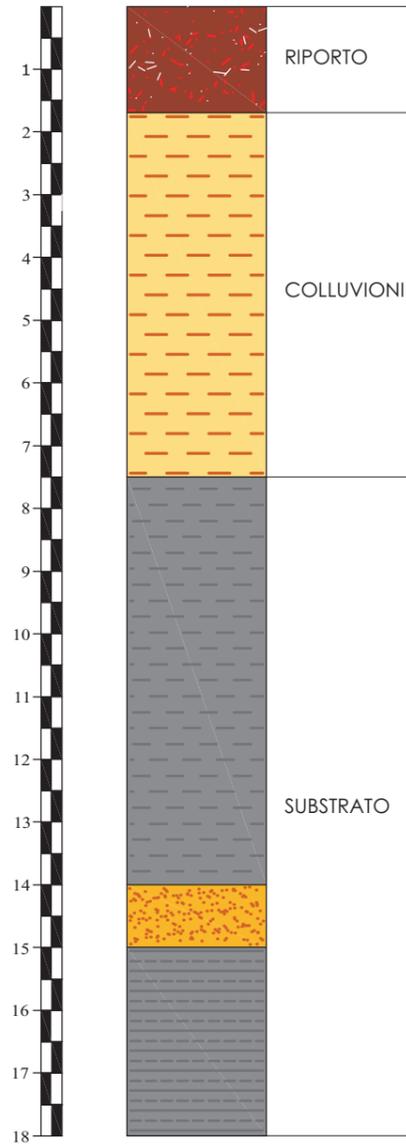
Scala: grafica

TAV. n°: 4A

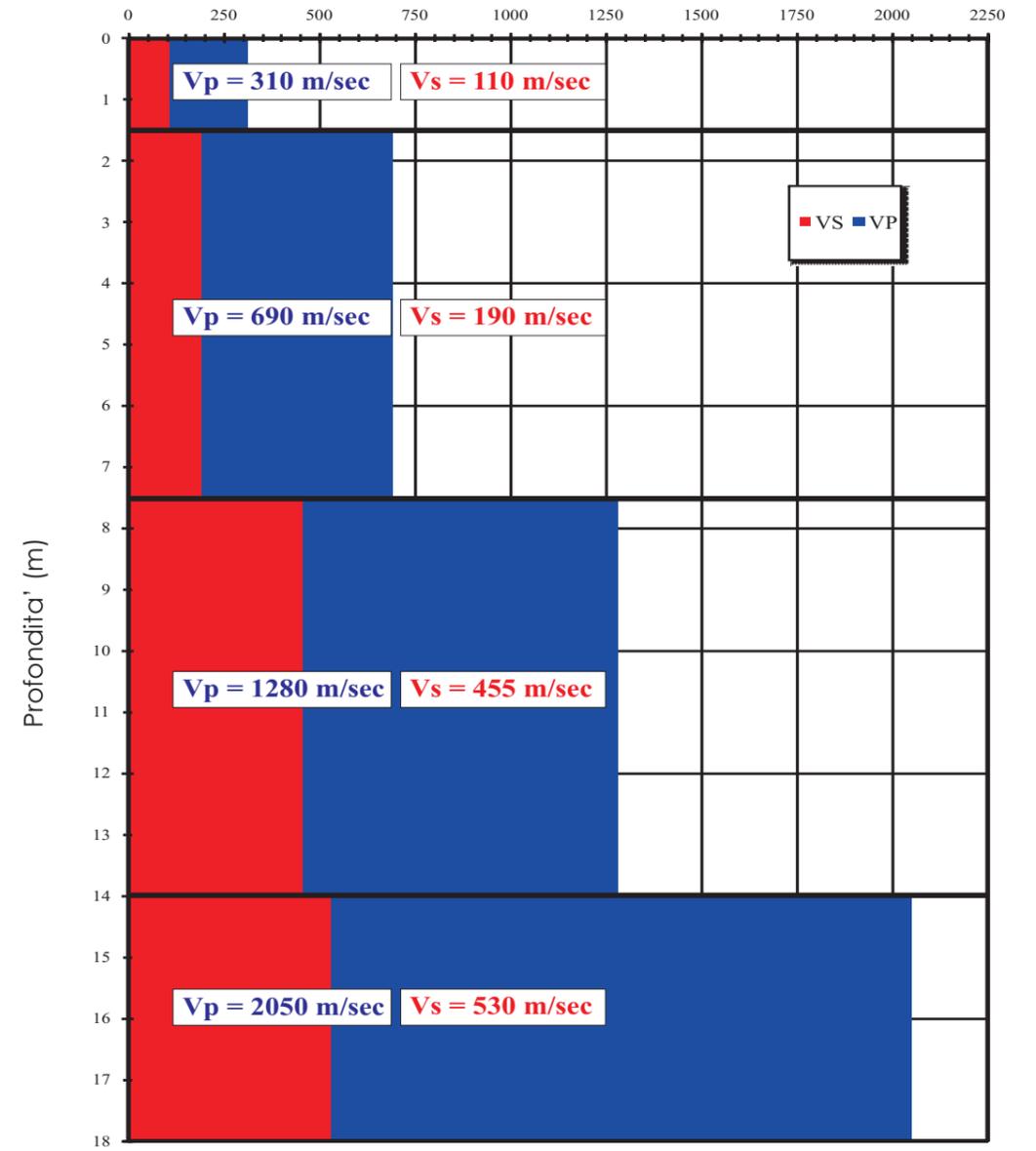
Dromocrona
Tempi (msec)



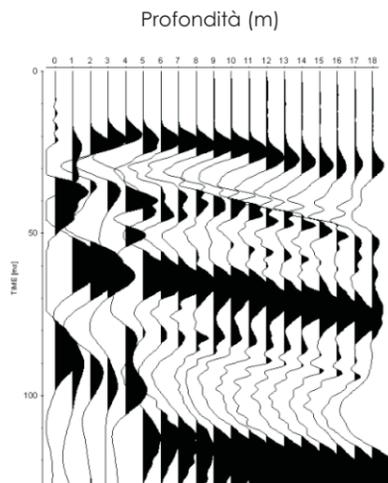
S5



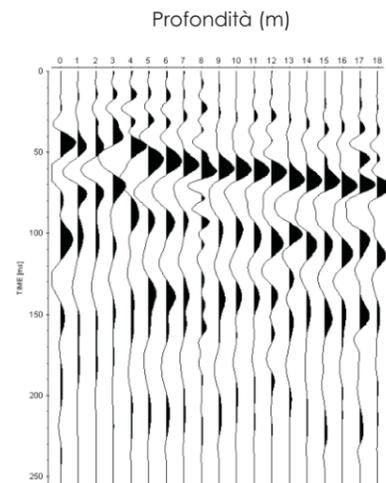
Intervalli di velocità
Velocita' (m/sec)



Sismogrammi onde P



Sismogrammi onde SH



Committente: PROVINCIA DI FERMO

Lavoro: INDAGINI GEOFISICHE ESEGUITE PER LAVORI DI AMMODERNAMENTO DEL BY-PASS DI AMANDOLA (FM)



COMMESSA	TIPO	DOC.	REV.
18 - 13	G	TV	1

Elaborato:

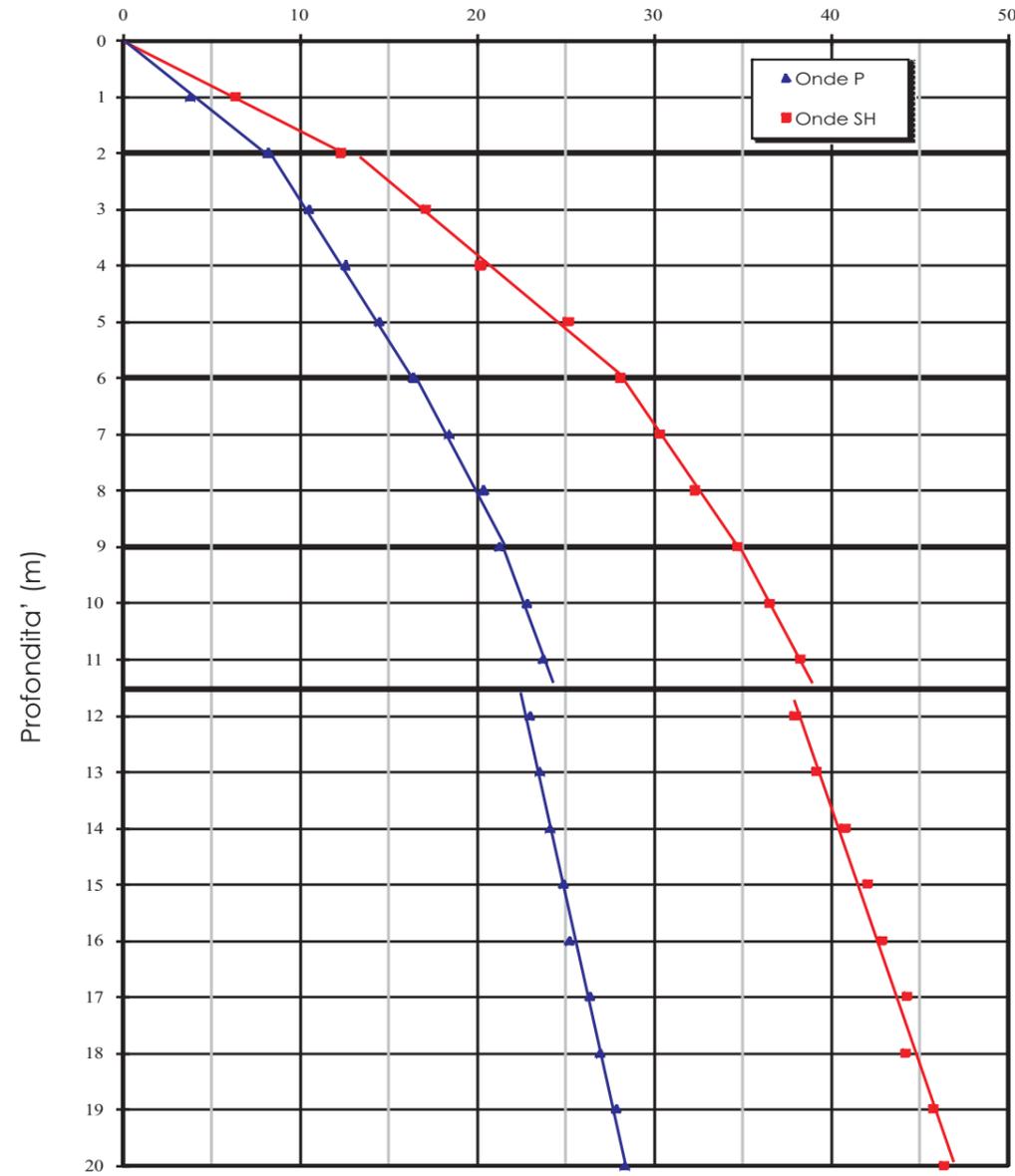
INTERPRETAZIONE DOWN-HOLE DH2 (S5)

Rapporto di prova

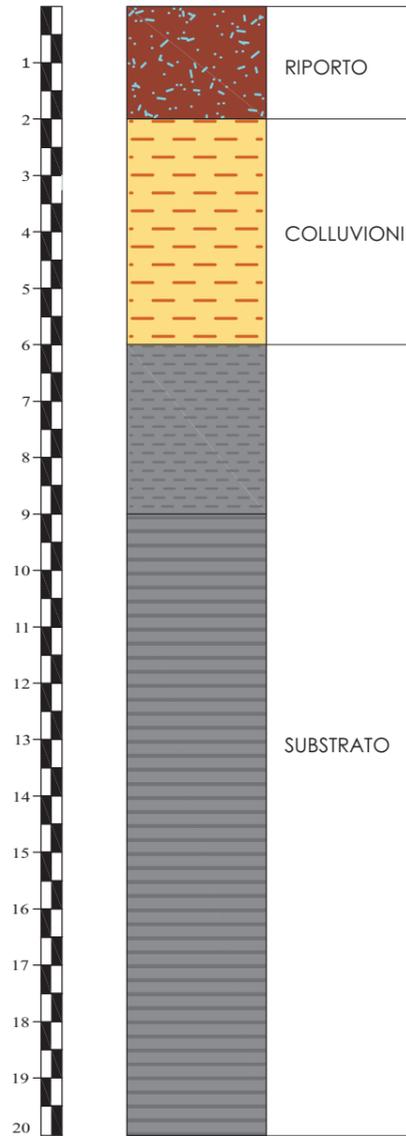
Scala: grafica

TAV. n°: 4B

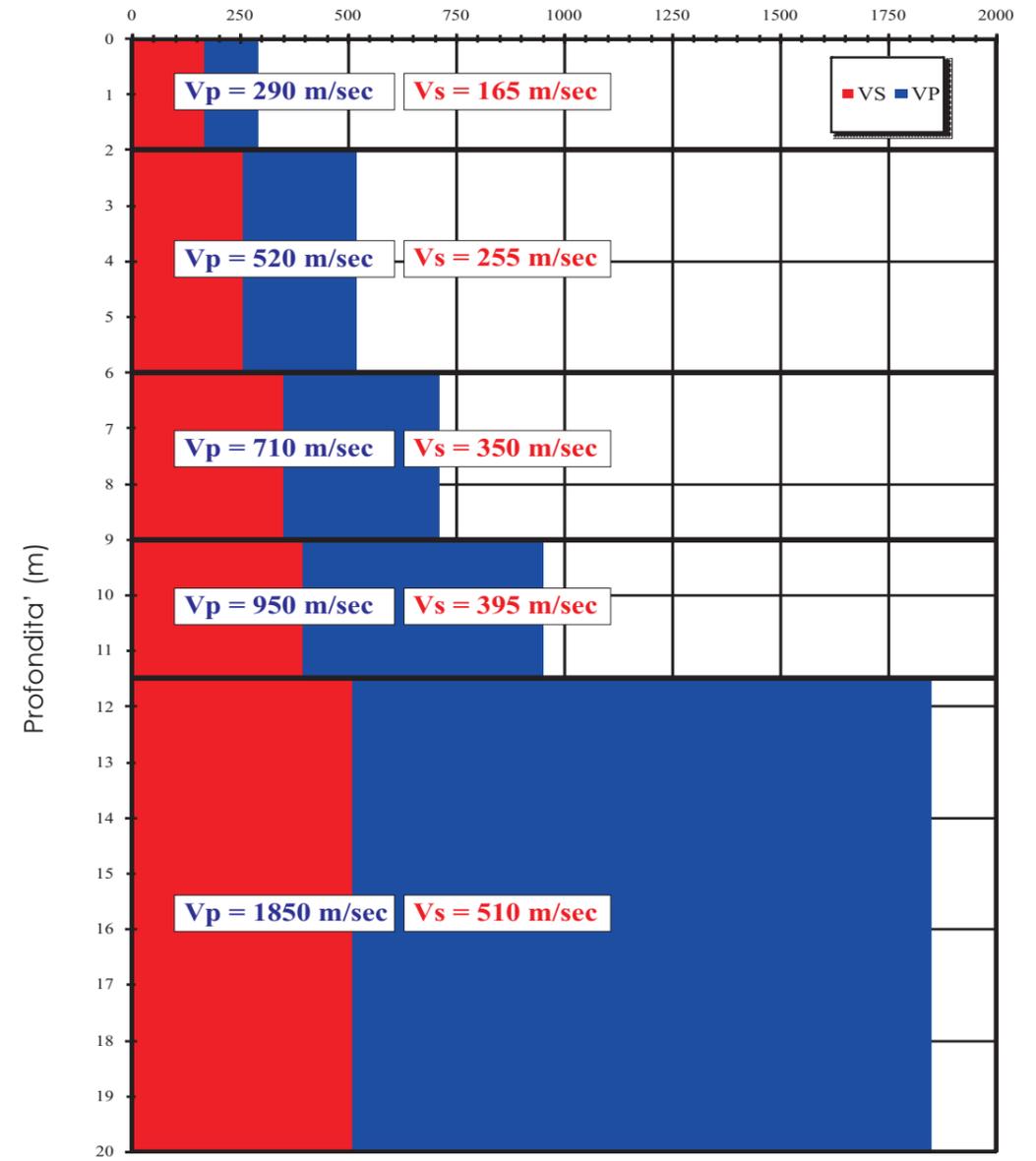
Dromocrona
Tempi (msec)



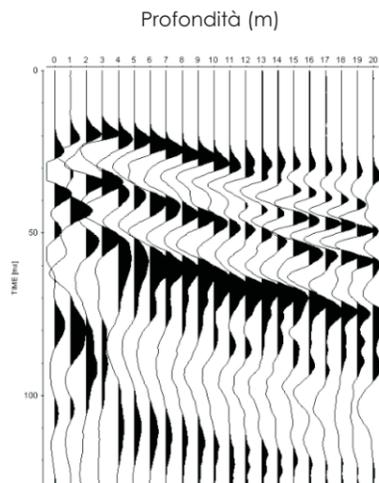
S11



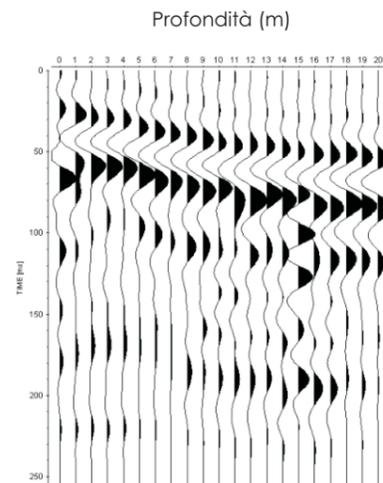
Intervalli di velocità
Velocità (m/sec)



Sismogrammi onde P



Sismogrammi onde SH



Committente: PROVINCIA DI FERMO

Lavoro: INDAGINI GEOFISICHE ESEGUITE PER LAVORI DI AMMODERNAMENTO DEL BY-PASS DI AMANDOLA (FM)



COMMESSA	TIPO	DOC.	REV.
18 - 13	G	TV	1

Elaborato:

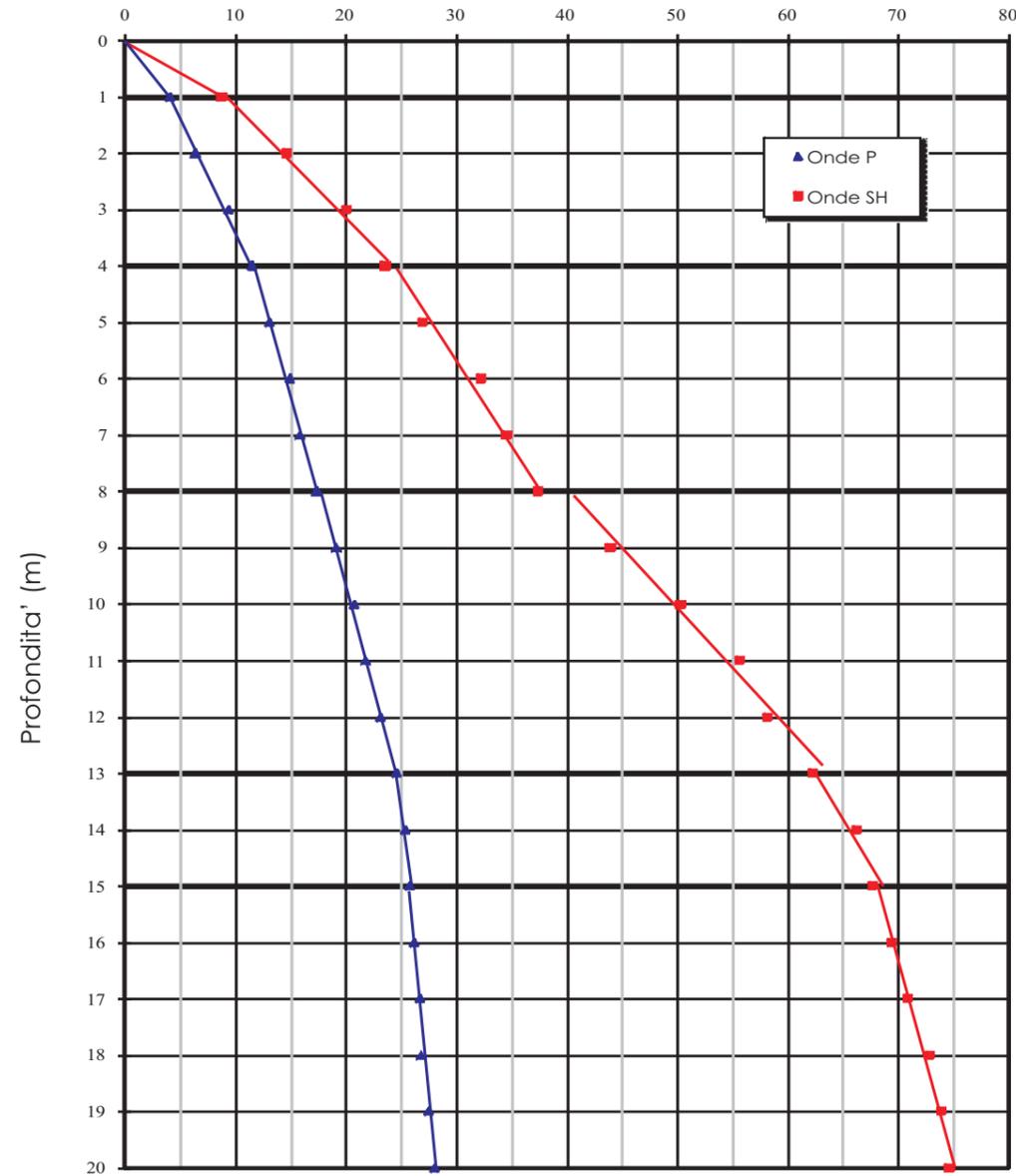
INTERPRETAZIONE DOWN-HOLE DH3 (S11)

Rapporto di prova

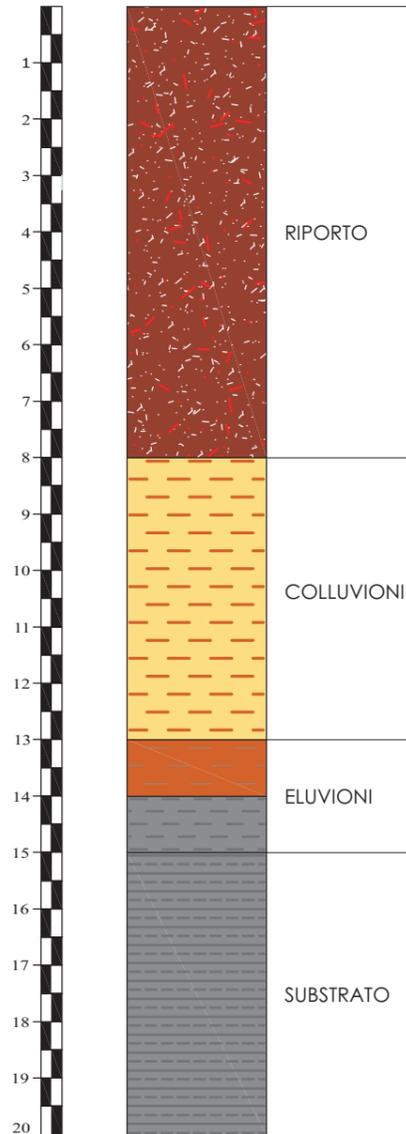
Scala: grafica

TAV. n°: 4C

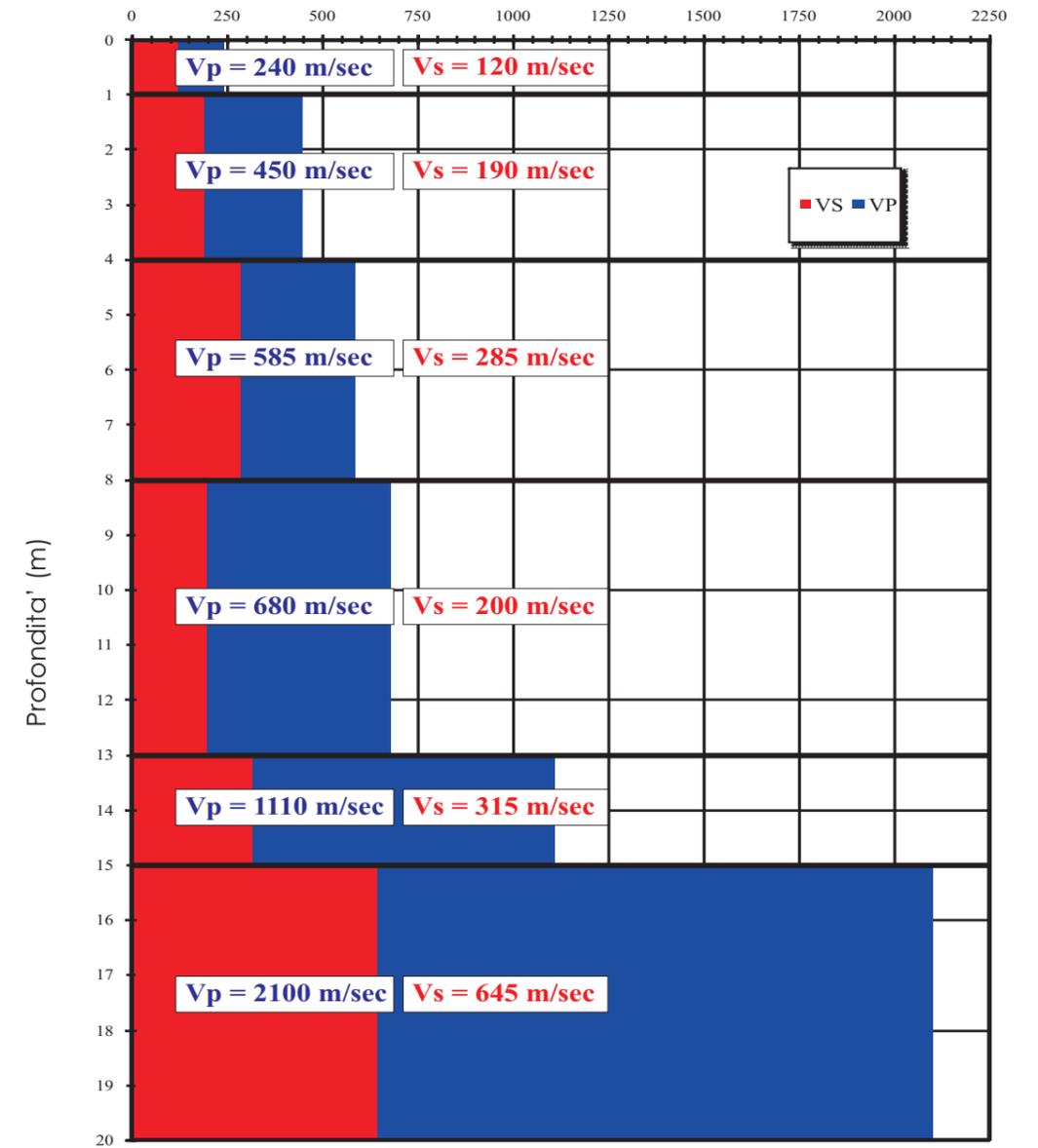
Dromocrona
Tempi (msec)



S14

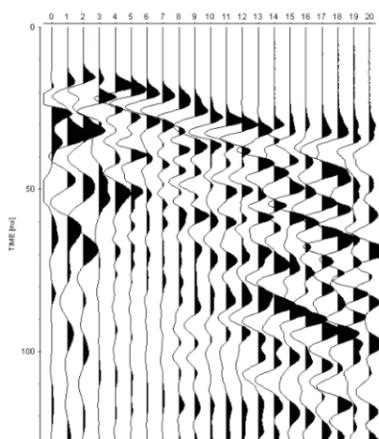


Intervalli di velocità
Velocità (m/sec)



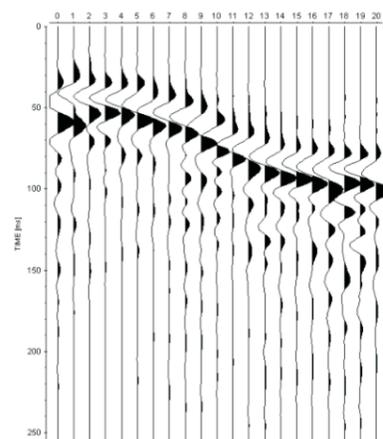
Sismogrammi onde P

Profondità (m)



Sismogrammi onde SH

Profondità (m)



Committente: PROVINCIA DI FERMO

Lavoro: INDAGINI GEOFISICHE ESEGUITE PER LAVORI DI AMMODERNAMENTO DEL BY-PASS DI AMANDOLA (FM)



COMMESSA TIPO DOC. REV.
18 - 13 G TV 1

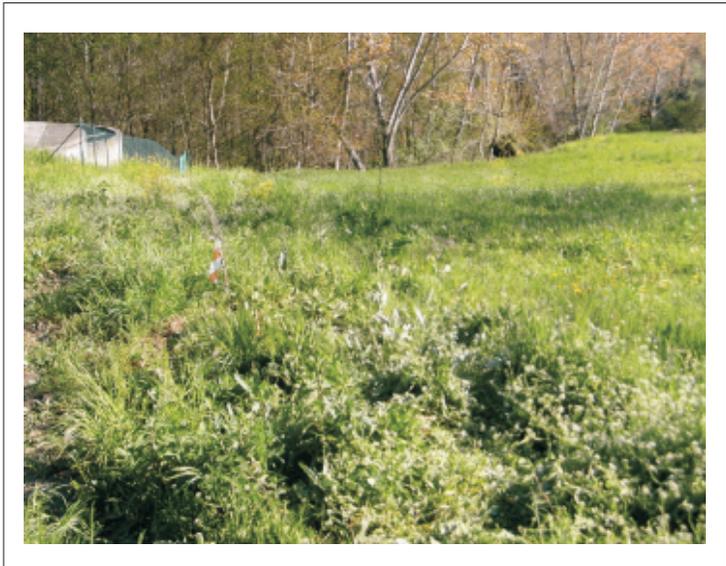
Elaborato:

INTERPRETAZIONE DOWN-HOLE DH4 (S14)

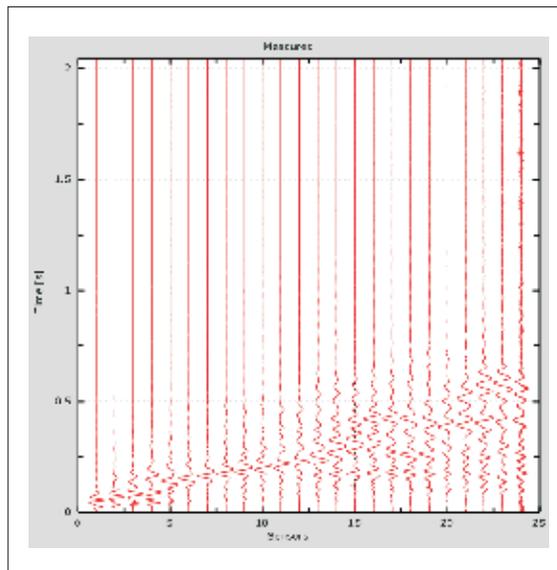
Rapporto di prova

Scala: grafica

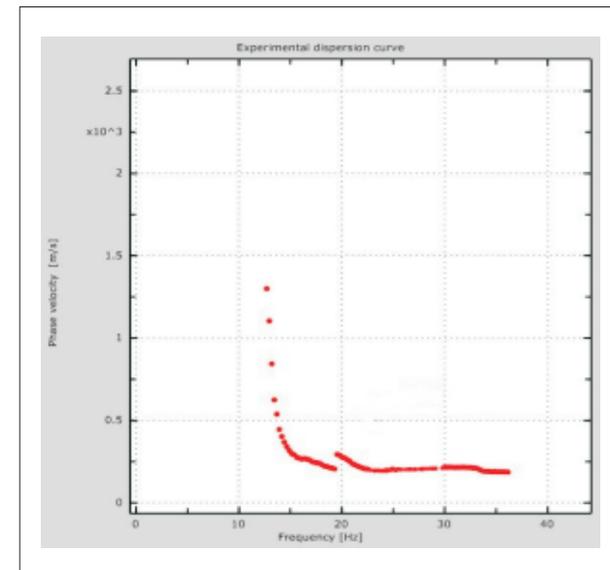
TAV. n°: 4D



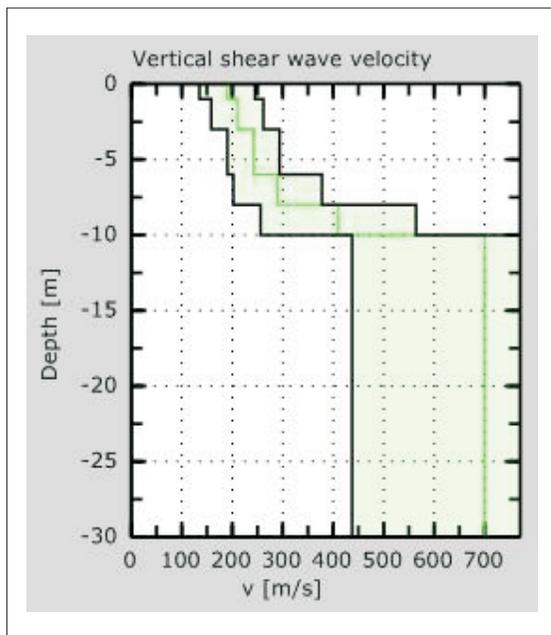
Ubicazione MASW 1



Registrazione di campagna



Curva di dispersione sperimentale



Profilo Vs finale

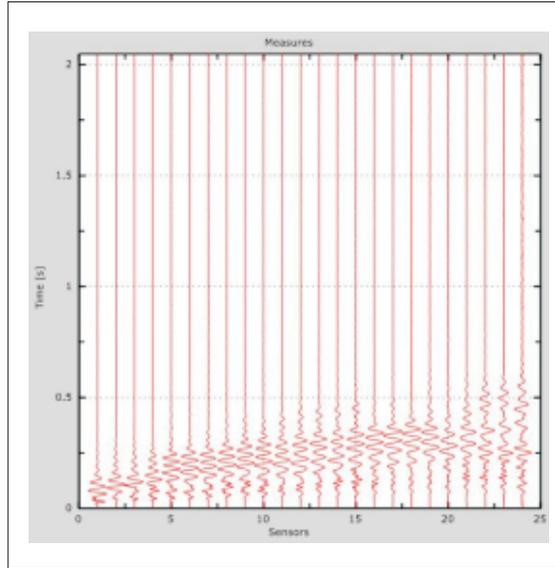
Strato (n°)	Spessore (m)	Profondità (m)	Velocità onde S (m/sec)
1	1.0	-2.0	190
2	2.0	-3.0	210
3	3.0	-6.0	242
4	2.0	-8.0	290
5	2.0	-10.0	410
Semispazio	0	∞	700

V_{s30} finale: 444 m/sec

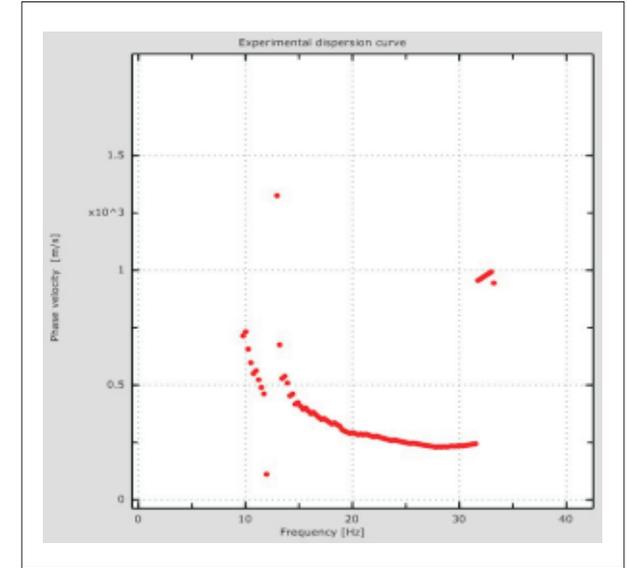
Committente: PROVINCIA DI FERMO		
Lavoro: INDAGINI GEOFISICHE ESEGUITE PER LAVORI DI AMMODERNAMENTO DEL BY-PASS DI AMANDOLA (FM)		
COMMESSA 18 - 13	TIPO G	DOC. REV. TV 1
Elaborato:		MASW 1



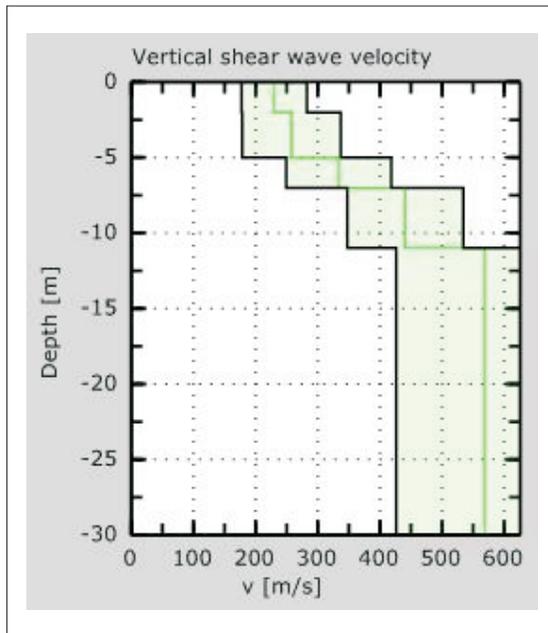
Ubicazione MASW 2



Registrazione di campagna



Curva di dispersione sperimentale



Profilo Vs finale

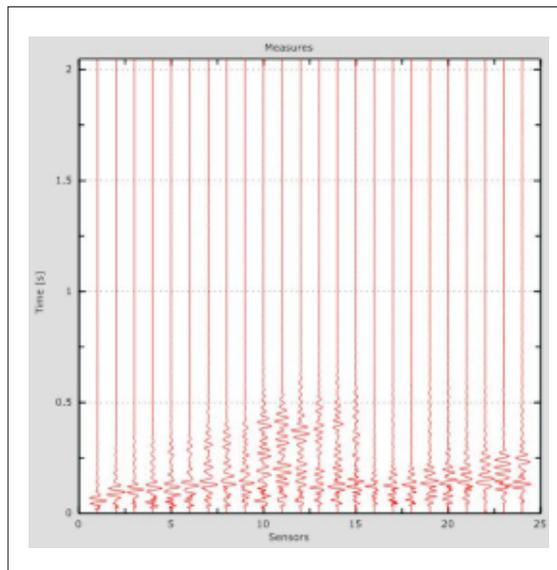
Strato (n°)	Spessore (m)	Profondità (m)	Velocità onde S (m/sec)
1	2.0	-2.0	345
2	3.0	-5.0	258
3	2.0	-7.0	334
4	4.0	-11.0	440
Semispaazio	0	∞	568

V_{s30} finale: 436 m/sec

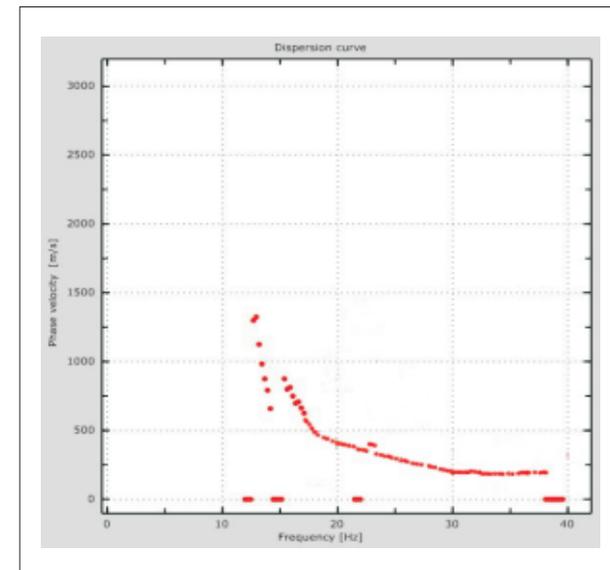
Committente: PROVINCIA DI FERMO		
Lavoro: INDAGINI GEOFISICHE ESEGUITE PER LAVORI DI AMMODERNAMENTO DEL BY-PASS DI AMANDOLA (FM)		
COMMESSA 18 - 13	TIPO G	DOC. REV. TV 1
Elaborato:		MASW 2



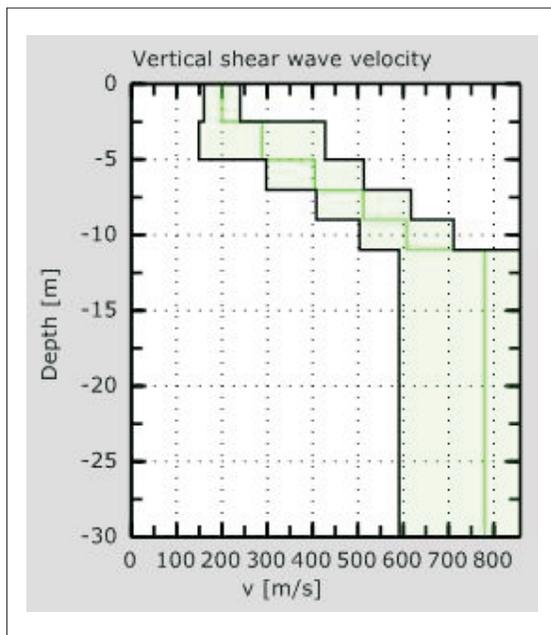
Ubicazione MASW 3



Registrazione di campagna



Curva di dispersione sperimentale



Profilo Vs finale

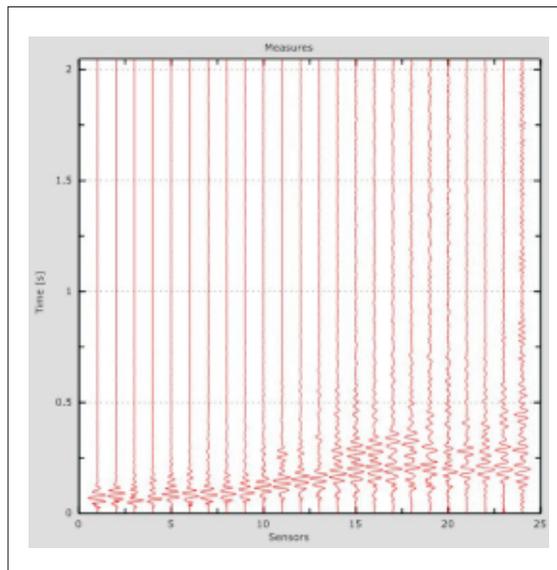
Strato (n°)	Spessore (m)	Profondità (m)	Velocità onde S (m/sec)
1	2.5	-2.5	200
2	2.5	-5.0	289
3	2.0	-7.0	405
4	2.0	-9.0	512
5	2.0	-11.0	607
Semispazio	0	∞	780

V_{s30} finale: 520 m/sec

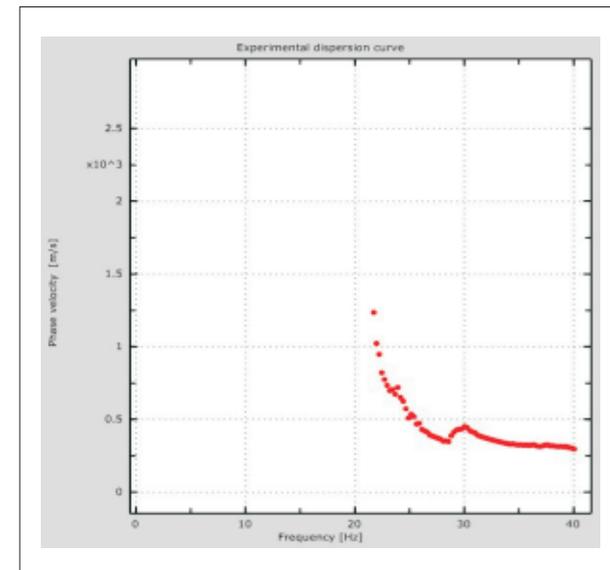
Committente: PROVINCIA DI FERMO		
Lavoro: INDAGINI GEOFISICHE ESEGUITE PER LAVORI DI AMMODERNAMENTO DEL BY-PASS DI AMANDOLA (FM)		
COMMESSA 18 - 13	TIPO G	DOC. REV. TV 1
Elaborato:		MASW 3



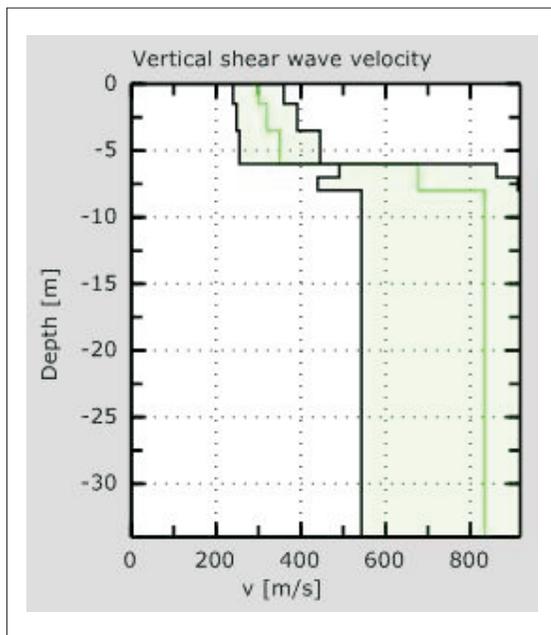
Ubicazione MASW 4



Registrazione di campagna



Curva di dispersione sperimentale



Profilo Vs finale

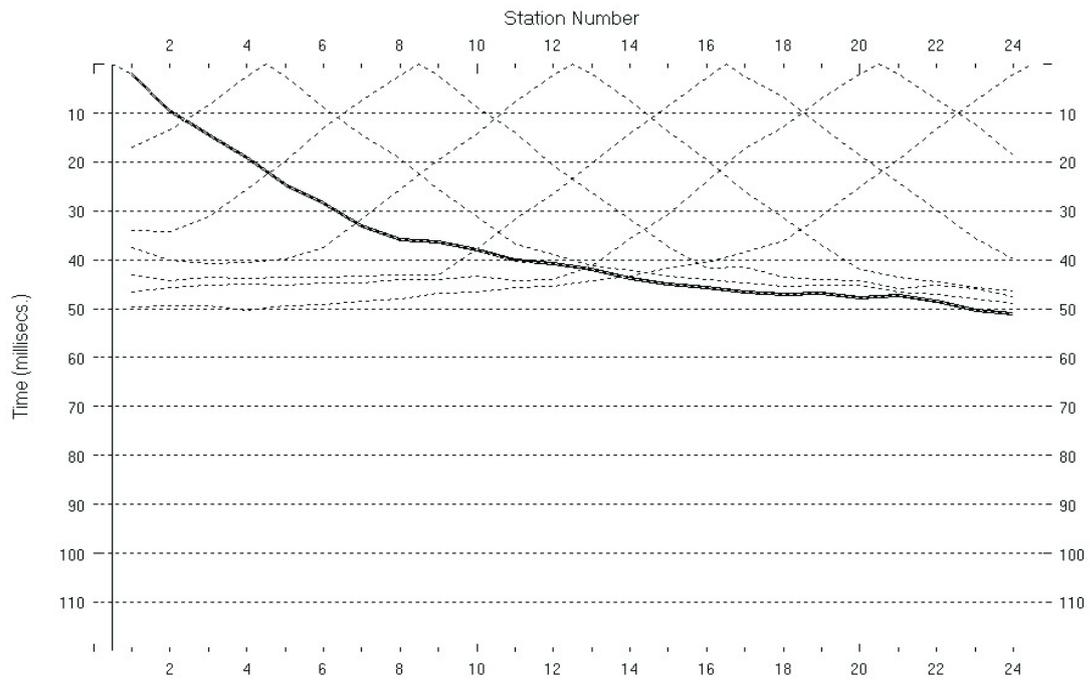
Strato (n°)	Spessore (m)	Profondità (m)	Velocità onde S (m/sec)
1	1.0	-1.0	310
2	3.0	-4.0	348
3	2.0	-6.0	355
4	2.0	-8.0	486
Semispazio	0	∞	600

V_{s30} finale: 514 m/sec

Committente: PROVINCIA DI FERMO		
Lavoro: INDAGINI GEOFISICHE ESEGUITE PER LAVORI DI AMMODERNAMENTO DEL BY-PASS DI AMANDOLA (FM)		
COMMESSA 18 - 13	TIPO G	DOC. REV. TV 1
Elaborato:		MASW 4

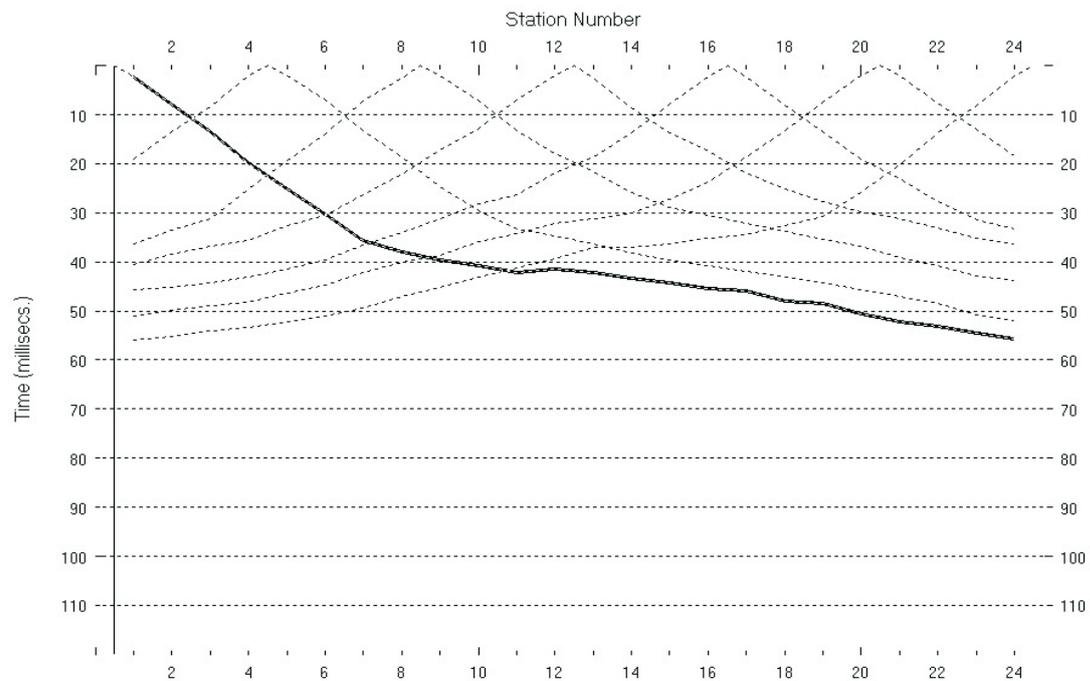
**APPENDICE
INDAGINI GEOFISICHE**

DROMOCRONE BASE LN1



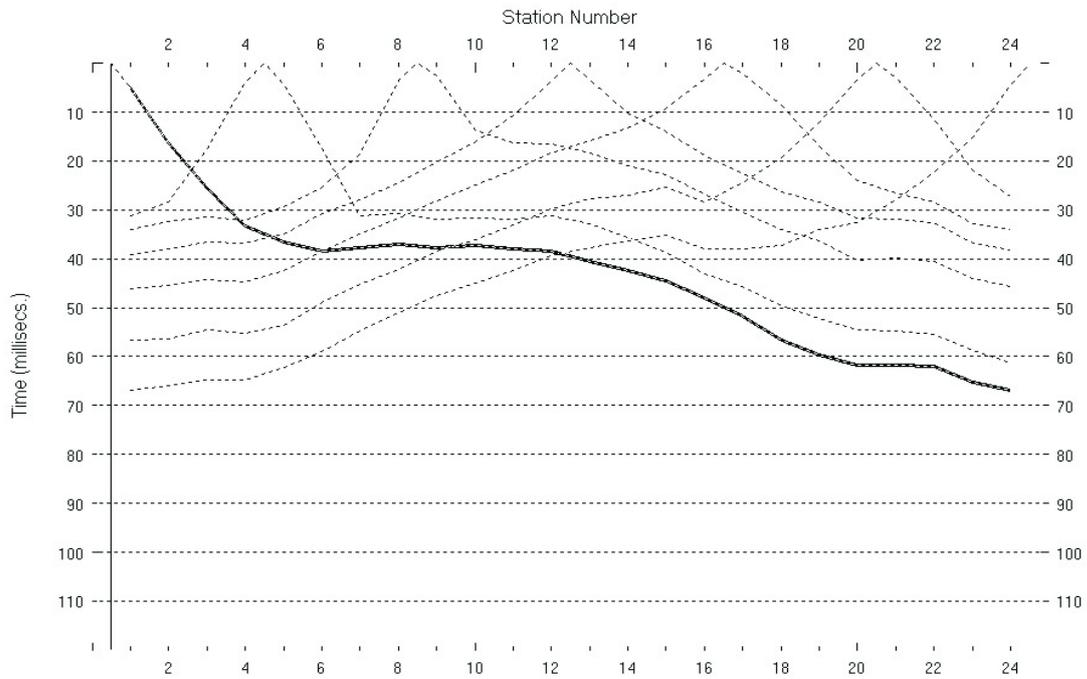
Onde P

DROMOCRONE BASE LN2



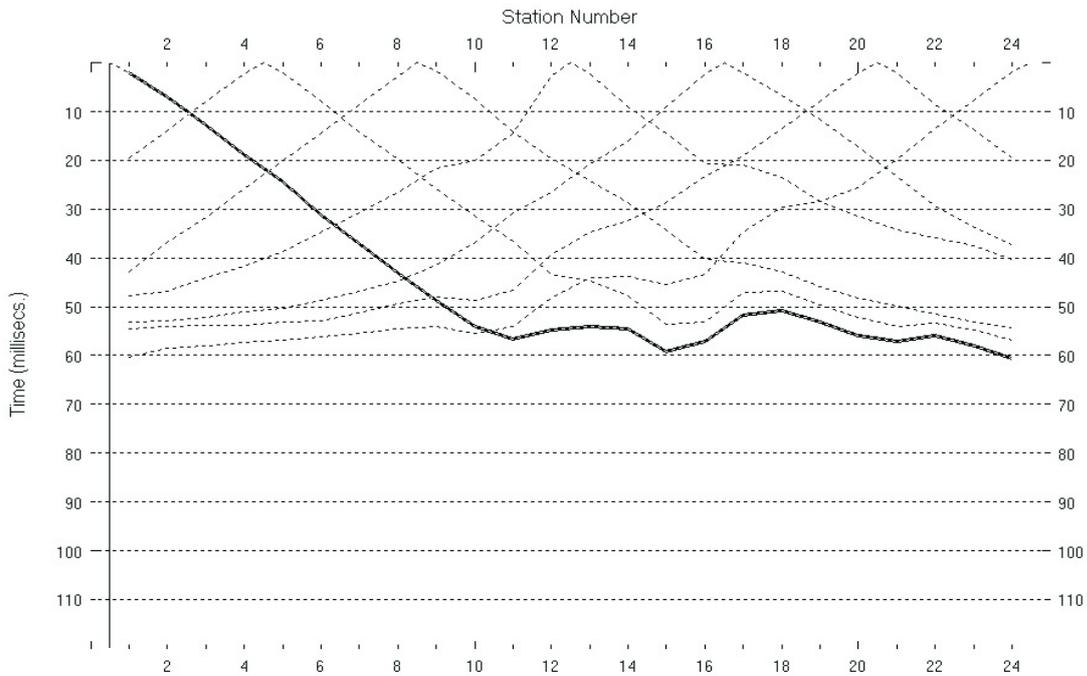
Onde P

DROMOCRONE BASE LN3



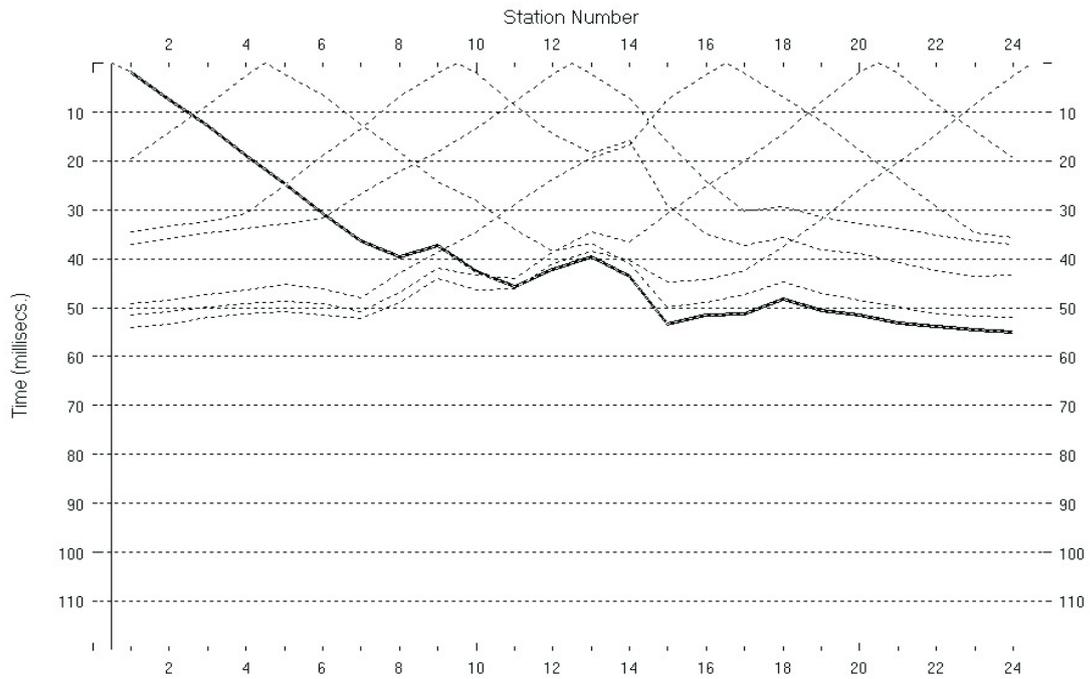
Onde P

DROMOCRONE BASE LN4



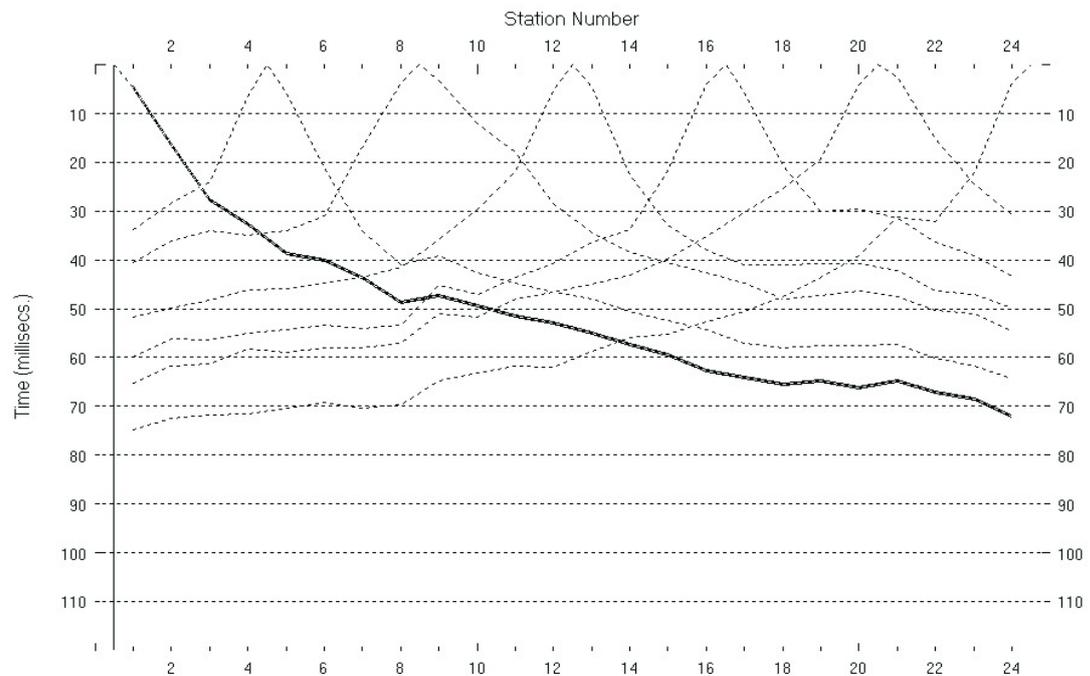
Onde P

DROMOCRONE BASE LN5



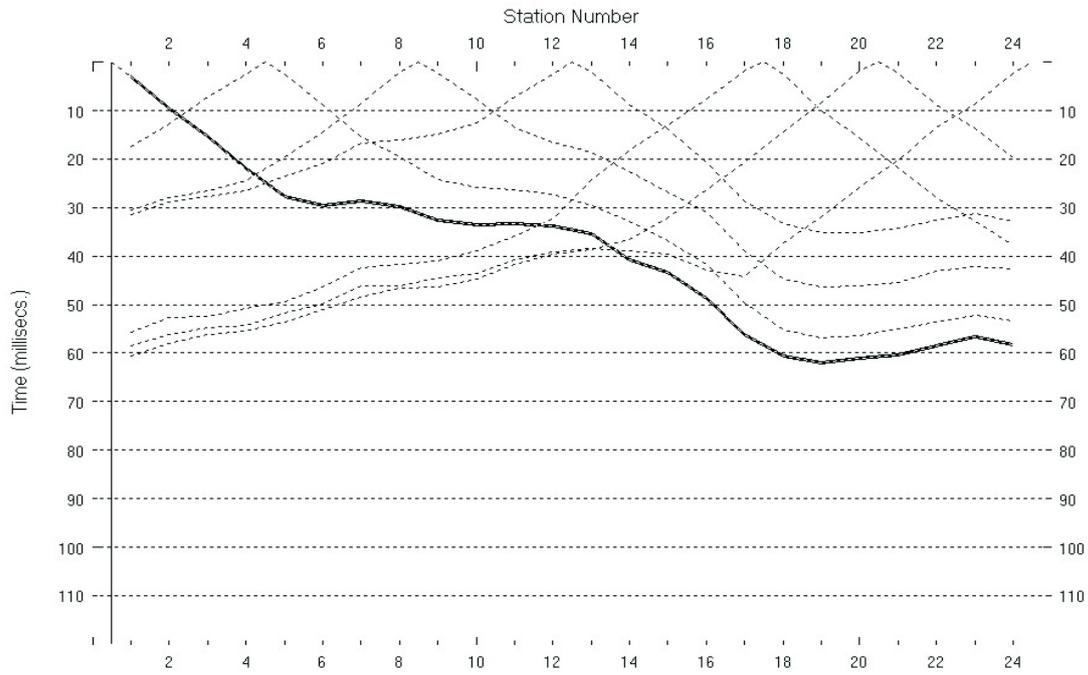
Onde P

DROMOCRONE BASE LN6



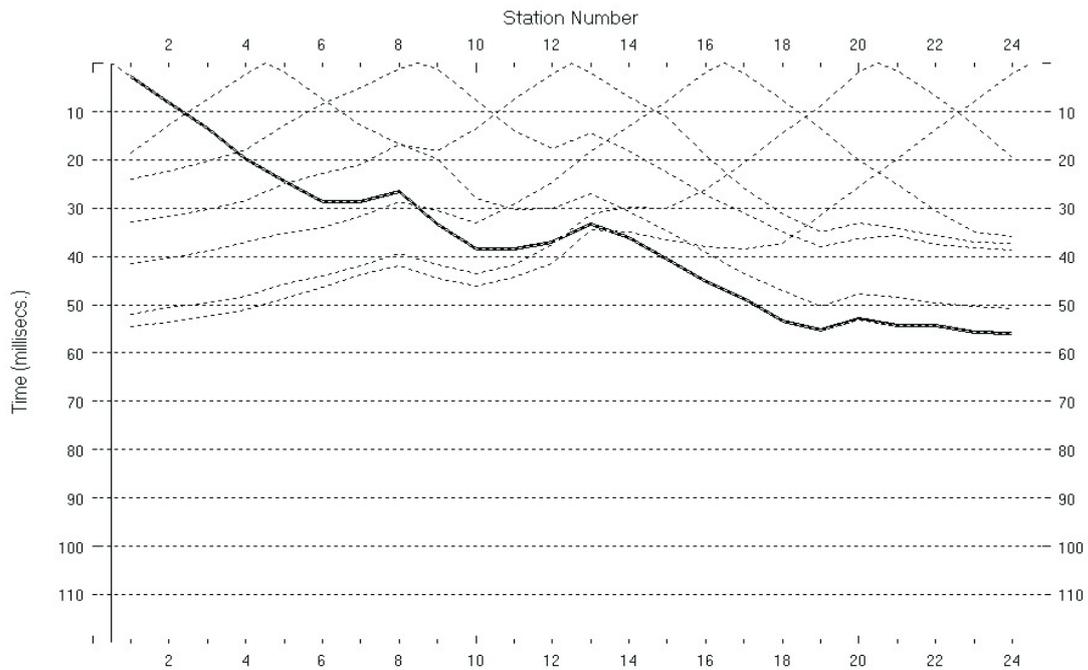
Onde P

DROMOCRONE BASE LN7



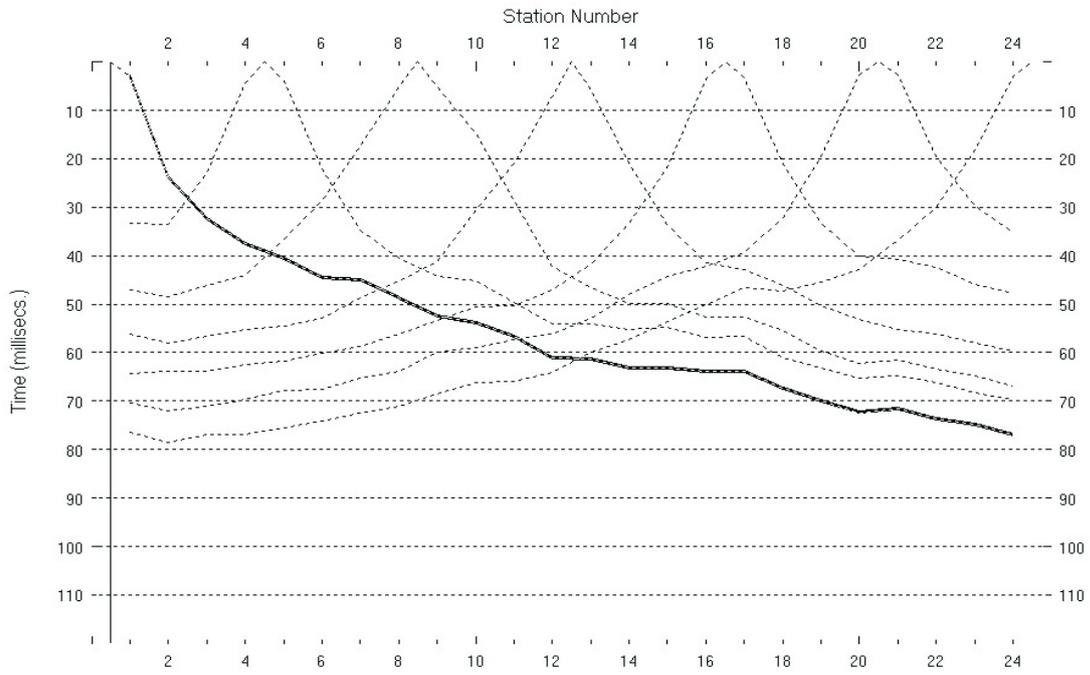
Onde P

DROMOCRONE BASE LN8



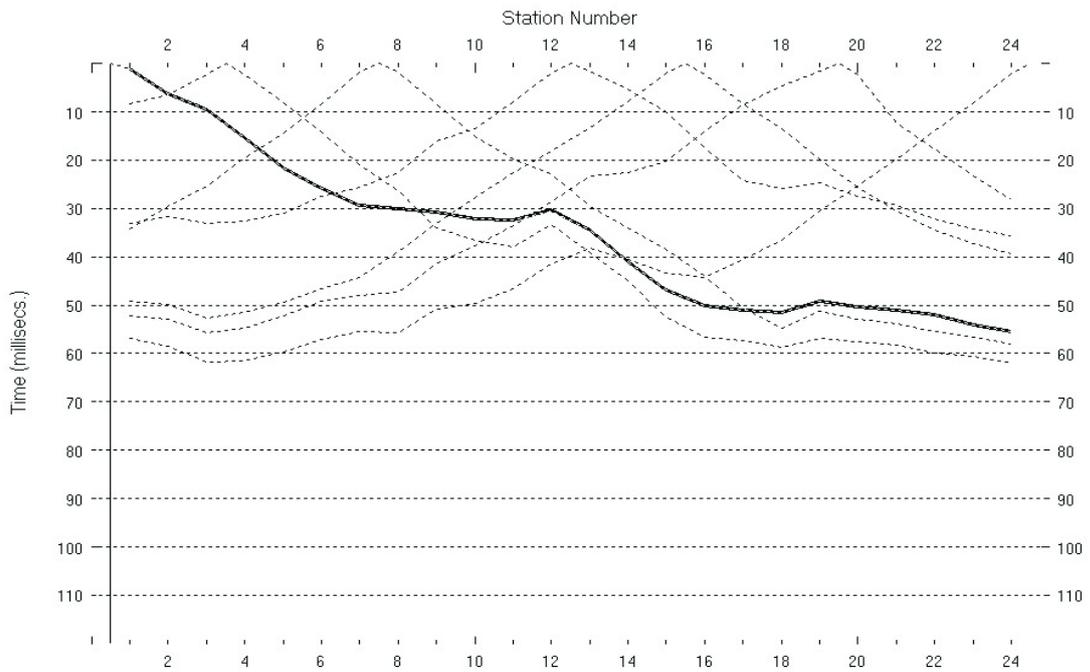
Onde P

DROMOCRONE BASE LN9



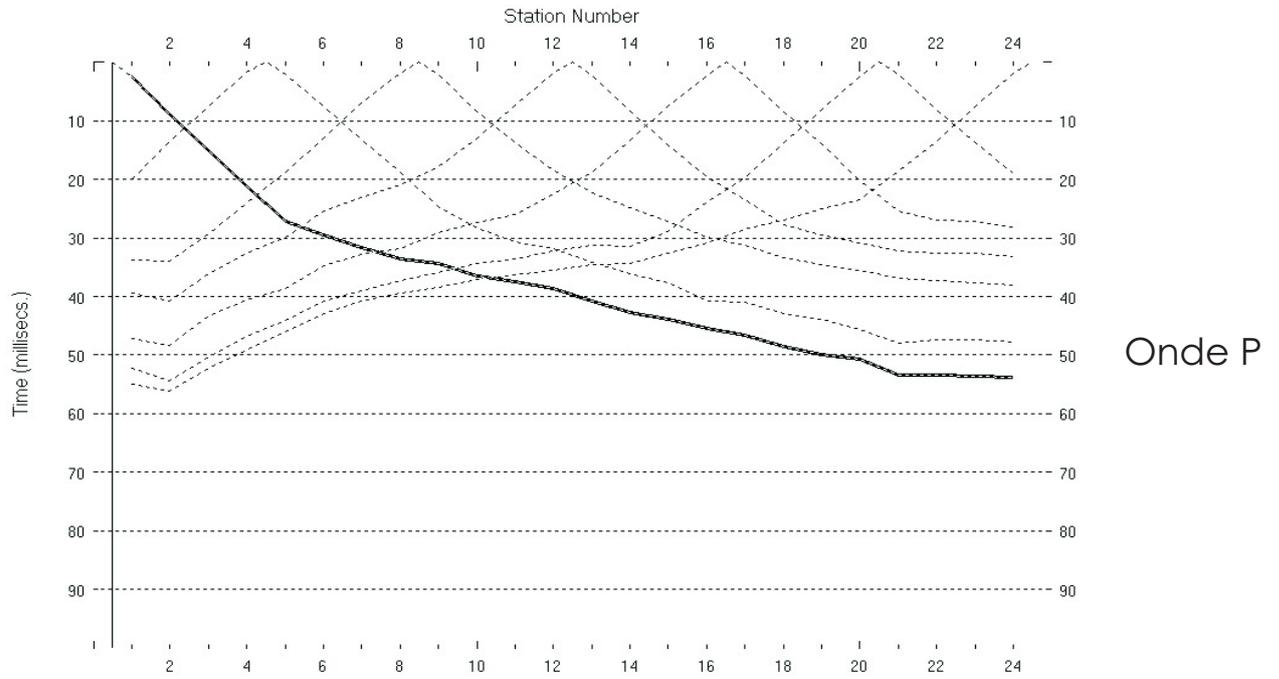
Onde P

DROMOCRONE BASE LN10

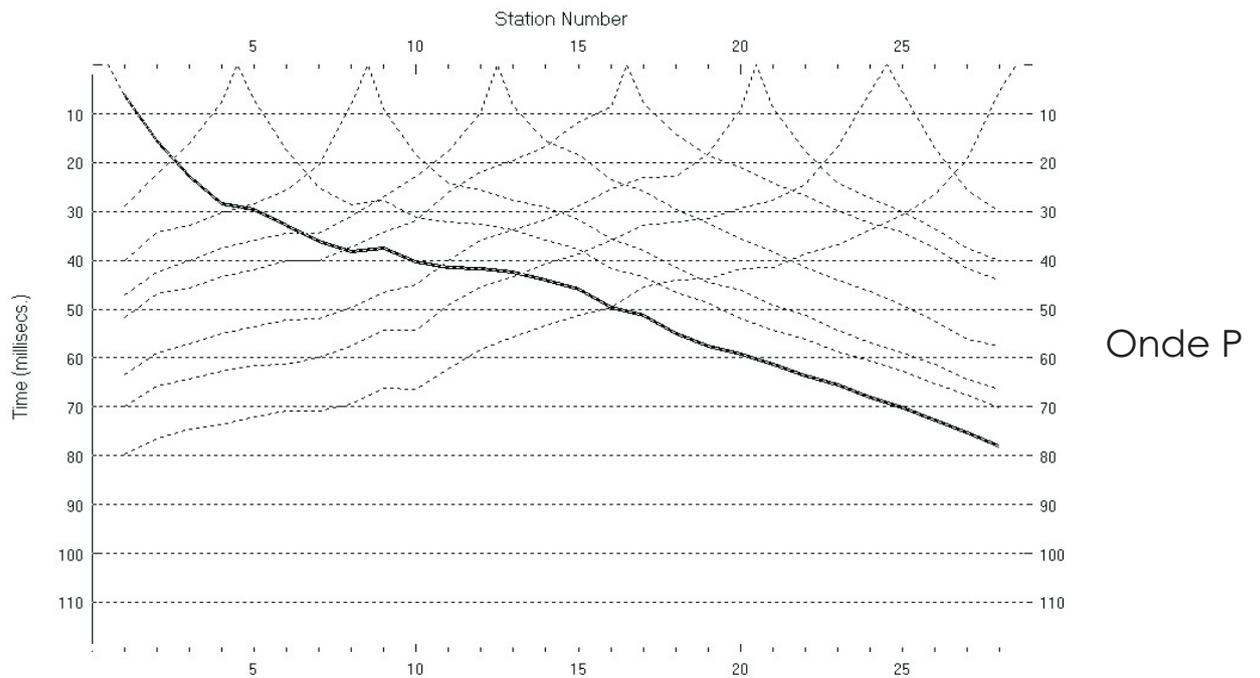


Onde P

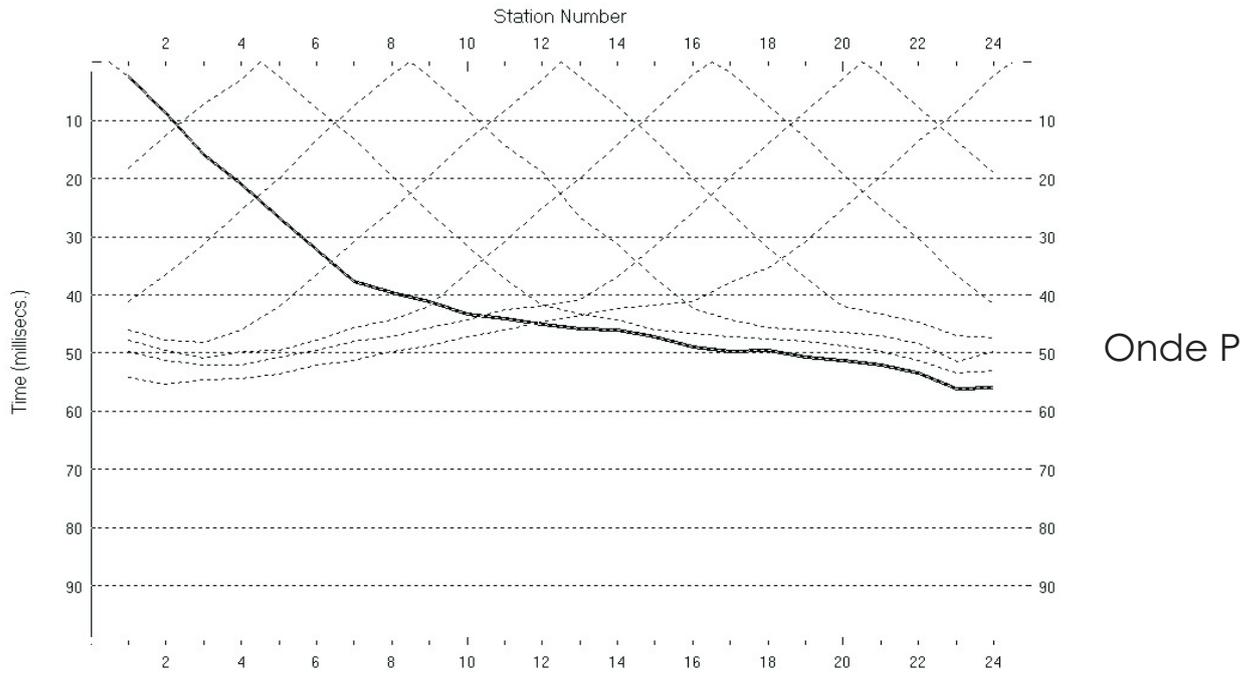
DROMOCRONE BASE LN11



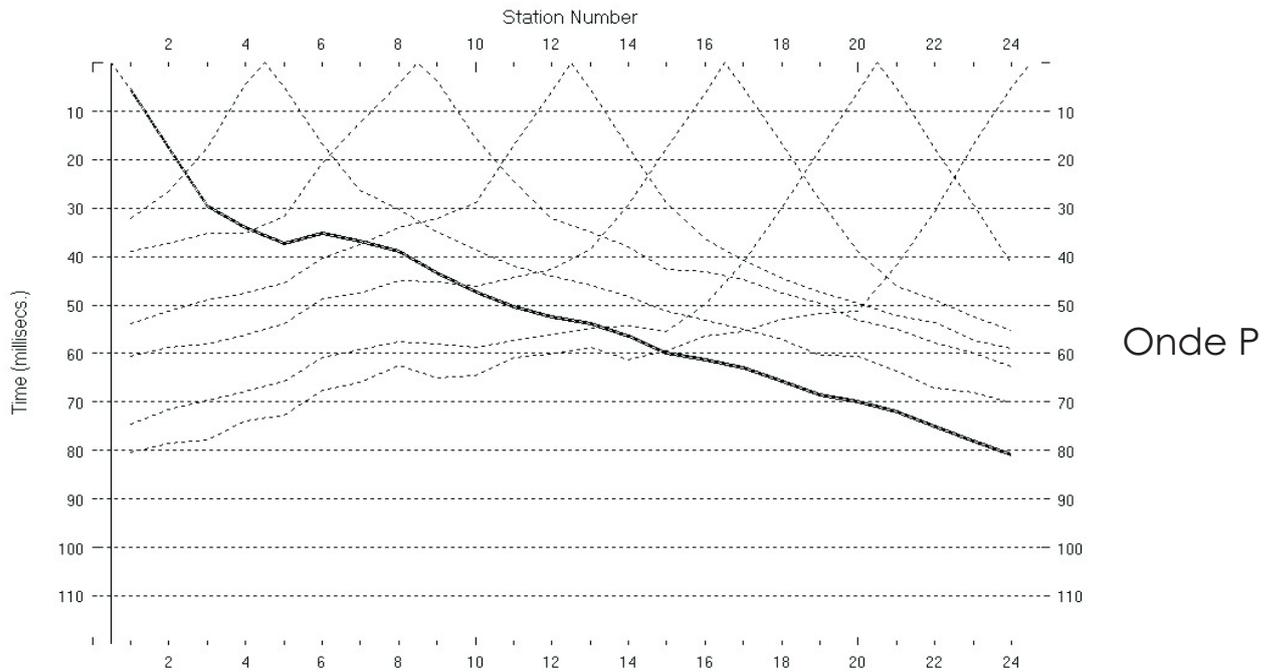
DROMOCRONE BASE LN12



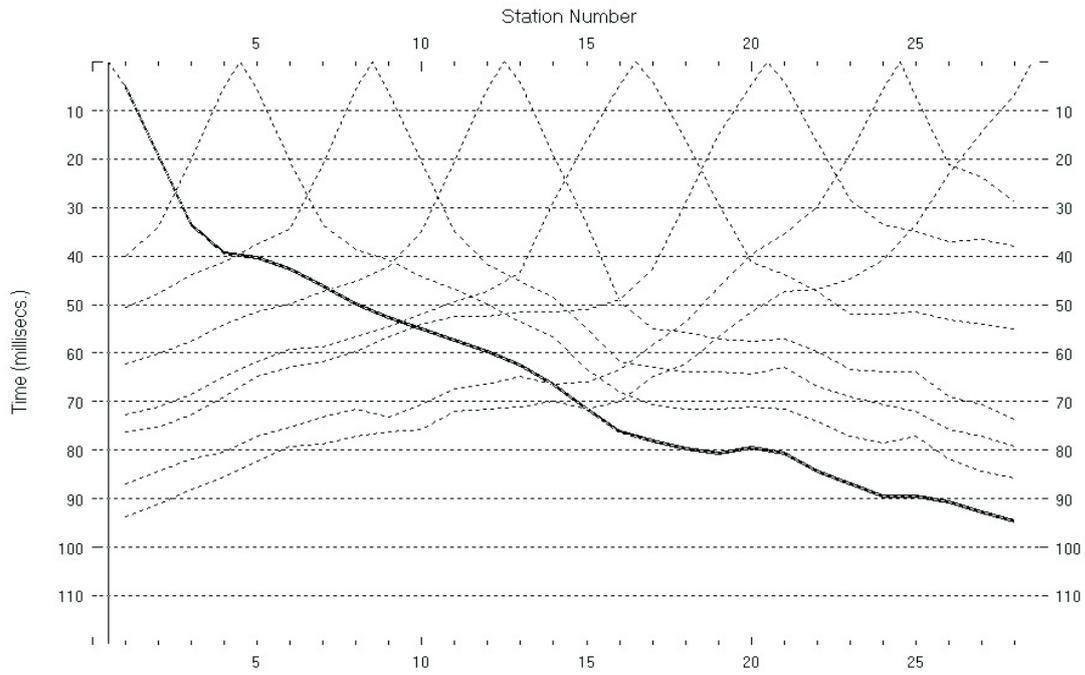
DROMOCRONE BASE LN13



DROMOCRONE BASE LN14

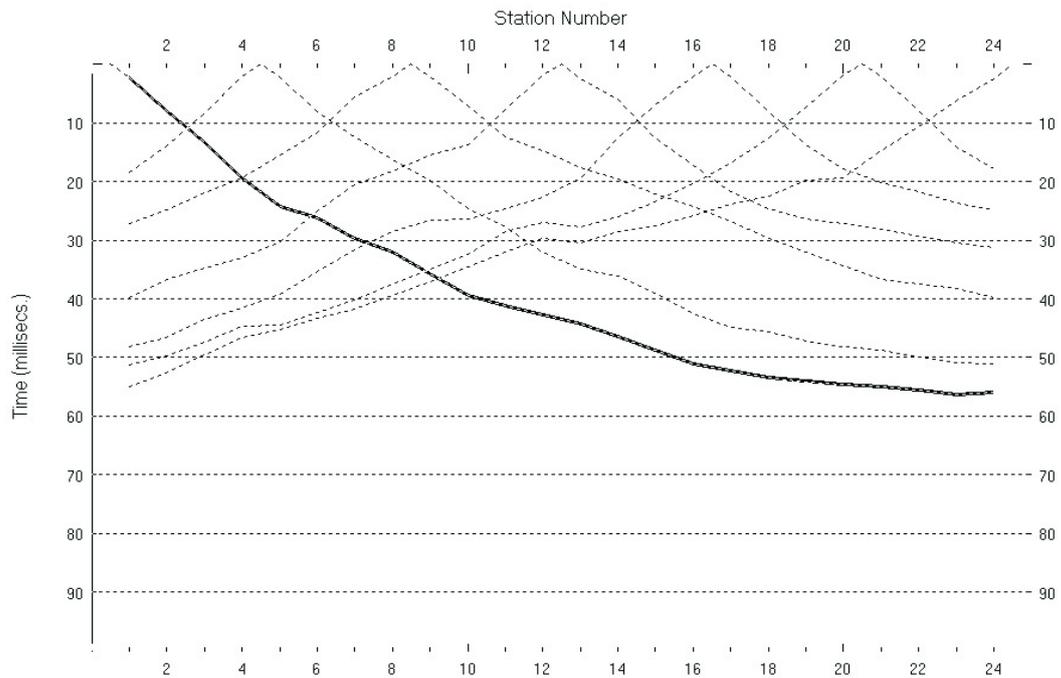


DROMOCRONE BASE LN15



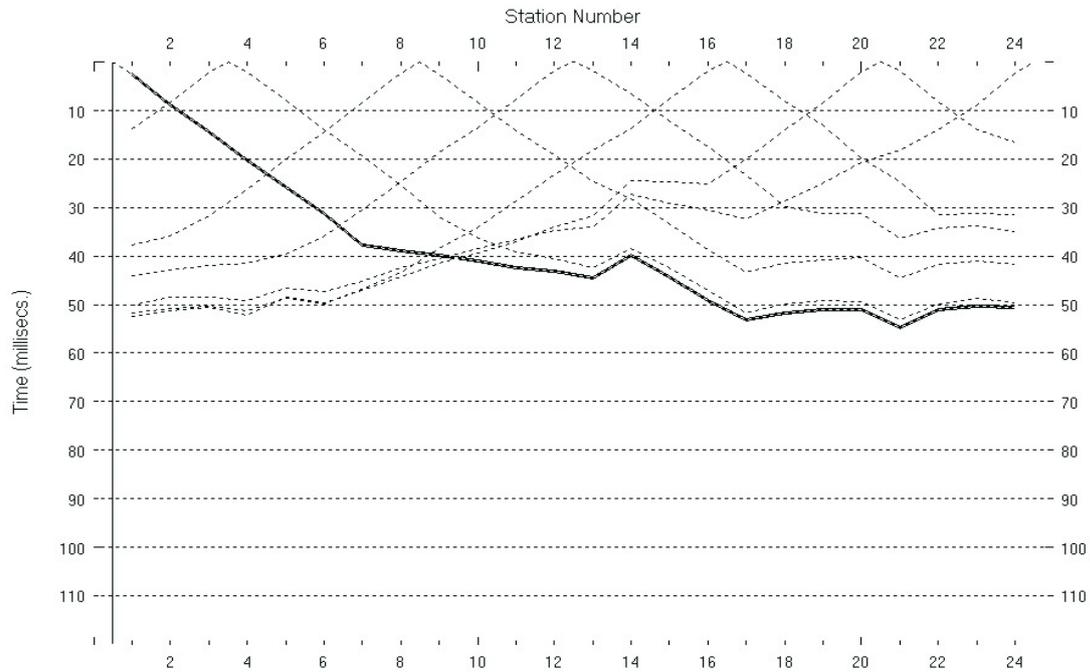
Onde P

DROMOCRONE BASE LN16



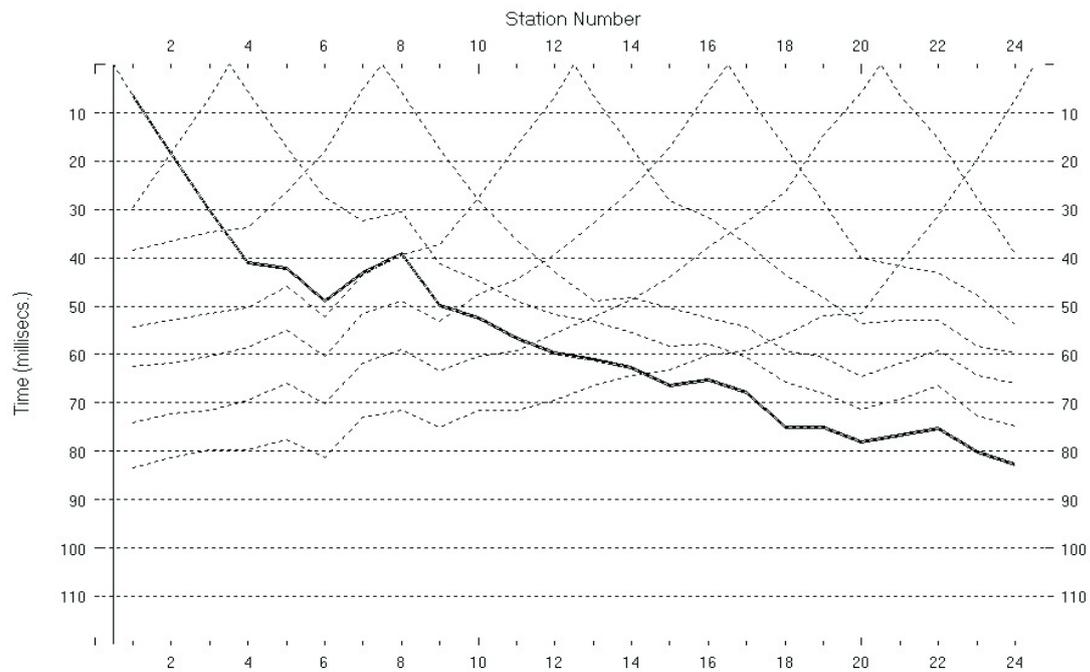
Onde P

DROMOCRONE BASE LN17



Onde P

DROMOCRONE BASE LN18



Onde P