

## ASSE VIARIO MARCHE – UMBRIA E QUADRILATERO DI PENETRAZIONE INTERNA MAXI LOTTO 2

LAVORI DI COMPLETAMENTO DELLA DIRETTRICE PERUGIA ANCONA:  
SS. 318 DI “VALFABBRICA”. TRATTO PIANELLO – VALFABBRICA  
SS. 76 “VAL D’ESINO”. TRATTI FOSSATO VICO – CANCELLI E ALBACINA – SERRA SAN QUIRICO  
“PEDEMONTANA DELLE MARCHE”, TRATTO FABRIANO – MUCCIA – SFERCIA

### PROGETTO ESECUTIVO

<b>CONTRAENTE GENERALE:</b>	Il responsabile del Contraente Generale:	Il responsabile Integrazioni delle Prestazioni Specialistiche:
	Ing. Federico Montanari	Ing. Salvatore Lieto

PROGETTAZIONE: Associazione Temporanea di Imprese Mandataria:			
			

RESPONSABILE DELLA PROGETTAZIONE PER L'ATI  Ing. Antonio Grimaldi  GEOLOGO Dott. Geol. Fabrizio Pontoni  COORDINATORE DELLA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE Ing. Michele Curiale			
--	---	--	---

IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO  Ing. Iginio Farotti		
--	--	--

<b>2.1.3 - PEDEMONTANA DELLE MARCHE</b> 3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord - Castelraimondo sud 4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud - innesto S.S. 77 a Muccia  <b>GEOTECNICA</b> Raccolta indagini geofisiche - campagna 2020	SCALA: -  DATA:  Sett. 2020
---	--

Codice Unico di Progetto (CUP) F12C03000050021 (Assegnato CIPE 23-12-2015)

Codice Elaborato:		Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id. doc.	N. prog.	Rev.
		L 0 7 0 3	2 1 3	E	0 2	G E 0 0 0 1	R E L	1 6	A
REV.	DATA	DESCRIZIONE			Redatto		Controllato	Approvato	
A	Sett. 2020	Emissione a seguito istr. Anas			PROGIN	F. Pontoni	S. Lieto	A. Grimaldi	



**INDAGINI SISMICHE NELLA TRATTA DENOMINATA 3-4° STRALCIO  
FUNZIONALE DELLA PEDEMONTANA DELLE MARCHE  
DA SVINCOLO DI CASTELRAIMONDO NORD A MUCCIA**

---

**Oggetto:** Indagine Geofisica

**Committente:** Dirpa 2 s.c.a.r.l.

**Commessa:** 387-20

---

Falconara M.ma, lì 04 Settembre 2020

## INDICE

1. PREMESSA.....	3
2. SISMICA A RIFRAZIONE .....	5
2.1 Cenni teorici.....	5
2.2 Modalità di acquisizione .....	6
2.3 Elaborazione in tecnica tomografica.....	6
3. INDAGINE SISMICA TIPO MASW .....	7
3.1 Strumentazione utilizzata.....	7
3.2 Indagine MASW: metodologia ed acquisizione .....	8
3.3 Analisi ed elaborazione dei segnali acquisiti .....	9
4. INDAGINE SISMICA PASSIVA HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio).....	9
4.1 Strumentazione impiegata.....	9
4.2 Analisi ed elaborazione dei segnali acquisiti .....	10
5. ANALISI CONGIUNTA RAYLEIGH+LOVE +HVSR .....	10
6. CONCLUSIONI.....	11

## TAVOLE:

TAVV.1 Planimetria con ubicazione indagini sismiche

TAVV.2A-2U Elaborazione Simica a Rifrazione in onde P

TAVV.3A-3U Elaborazione fitting MASW+HVSR

## ALLEGATI:

ALL.1 Sismogrammi e tempi di arrivo

## 1. PREMESSA

Su incarico della società DIRPA2 s.c.a.r.l. è stata eseguita una campagna di indagini sismiche presso la tratta denominata 3-4° Stralcio funzionale della Pedemontana delle Marche da Svincolo di Castelraimondo Nord a Muccia.

Le indagini sono state eseguite secondo il seguente programma:

- esecuzione di n°19 profili di sismica a rifrazione in Onde P;

ID	Lungh. (m)	Shot n°	Coordinate WGS 84		Quota s.l.m.		Progr. Km
			Inizio	Fine	Inizio	Fine	
RIF 01	120	7	43.220356°	43.219399°	316.4	315.9	0+732
			13.041398°	13.042066°			0+852
RIF 02	120	7	43.213942°	43.212875°	343.9	315.6	1+492
			13.044280°	13.044197°			1+612
RIF 03	120	7	43.212510°	43.211450°	319.9	345.8	1+652.5
			13.044501°	13.044523°			1+770.5
RIF 04	120	7	43.207893°	43.207014°	353.0	349.0	2+264.8
			13.044452°	13.045267°			2+165
RIF 05	120	9	43.203255°	43.203753°	351.0	337.8	2+680
			13.043926°	13.045206°			2+626.5
RIF 06	120	7	43.203844°	43.202804°	350.8	347.9	2+615
			13.044608°	13.044810°			2+732
RIF 07	120	7	43.174521°	43.175587°	334.5	334.9	6+128.6
			13.053976°	13.053941°			6+009
RIF 08	120	7	43.165313°	43.165172°	370.1	346.4	7+190.4
			13.055595°	13.057031°			7+196.9
RIF 09	120	7	43.158724°	43.158569°	373.8	368.1	8+027
			13.051331°	13.052761°			8+010
RIF 10	120	7	43.145411°	43.145806°	423.8	391.4	9+542.5
			13.048926°	13.047596°			9+606.6
RIF 11	120	7	43.136163°	43.135101°	434.9	443.1	10+675.7
			13.051926°	13.052100°			10+794.5
RIF 12	120	7	43.135798°	43.135924°	452.6	426.6	10+692.5
			13.052745°	13.051309°			10+726.8
RIF 13	120	7	43.126115°	43.125331°	471.9	461.9	11+914.6
			13.056635°	13.057553°			12+030
RIF 14	96	7	43.125129°	43.125873°	462.6	473.0	11+981.7
			13.056353°	13.057330°			11+972.6
RIF 15	120	7	43.125950°	43.126748°	474.2	491.6	11+972.6
			13.057441°	13.058421°			11+958.6
RIF 16	120	7	43.123078°	43.122580°	446.8	456.6	12+537.2
			13.060910°	13.062189°			12+414
RIF 17	120	7	43.122371°	43.123348°	446.8	455.3	12+476.8
			13.061322°	13.061916°			12+485
RIF 18	120	7	43.122912°	43.121876°	462.6	441.8	13+025.8
			13.068256°	13.068058°			13+056
RIF 19	120	7	43.196215°	43.196315°	350.2	354.1	3+460
			13.044782°	13.043441°			3+460

**Tab.1** – Elenco indagini sismica a rifrazione.

- esecuzione di n°15 indagini sismiche tipo MASW con acquisizione delle onde di Rayleigh (componente verticale ZVF) e delle onde di Love (THF);

ID	Lungh (m)	Shot n°	Coordinate WGS 84		Quota s.l.m.		Progr. Km
			Inizio	Fine	Inizio	Fine	
MASW 01	46	6 (ZVF) 6 (THF)	43.220073°	43.219709°	315.5	316.0	0+767
			13.041576°	13.041835°			0+813
MASW 02	46	6 (ZVF) 6 (THF)	43.213779°	43.213734°	339.0	340.0	1+509
			13.043972°	13.044571°			1+517.4
MASW 03	46	6 (ZVF) 6 (THF)	43.212239°	43.212247°	325.2	323.5	1+677.4
			13.044226°	13.044779°			1+677.4
MASW 04	46	6 (ZVF) 6 (THF)	43.207291°	43.207483°	340.7	337.8	2+232.7
			13.044599°	13.045098°			2+211.7
MASW 05	46	6 (ZVF) 6 (THF)	43.203442°	43.203624°	343.6	339.4	2+660
			13.044473°	13.044975°			2+640
MASW 06	46	6 (ZVF) 6 (THF)	43.201636°	43.201340°	357.8	360.0	2+860.6
			13.044546°	13.044915°			2+894.5
MASW 07	46	6 (ZVF) 6 (THF)	43.190350°	43.190691°	305.0	305.0	4+111.3
			13.044423°	13.044729°			4+085
MASW 08	46	6 (ZVF) 6 (THF)	43.189124°	43.189303°	329.3	325.4	4+259
			13.045291°	13.045784°			4+262
MASW 09	46	6 (ZVF) 6 (THF)	43.149481°	43.149446°	385.0	384.6	9+132.8
			13.046792°	13.047341°			9+130
MASW 10	46	6 (ZVF) 6 (THF)	43.146605°	43.146876°	386.5	384.0	9+445.4
			13.046932°	13.047346°			9+422
MASW 11	46	6 (ZVF) 6 (THF)	43.135671°	43.135274°	441.0	444.0	10+729.2
			13.051974°	13.052042°			10+774.7
MASW 12	46	6 (ZVF) 6 (THF)	43.125763°	43.125459°	471.8	469.0	11+963.5
			13.056999°	13.057367°			12+009.6
MASW 13	46	6 (ZVF) 6 (THF)	43.122476°	43.122682°	448.5	448.5	12+460
			13.061152°	13.061632°			12+490
MASW 14	46	6 (ZVF) 6 (THF)	43.122090°	43.122123°	446.0	454.0	12+988.8
			13.067583°	13.068135°			13+035
MASW 15	46	6 (ZVF) 6 (THF)	43.196379°	43.195984°	348.4	347.0	3+447.8
			13.044092°	13.044191°			3+491.8

Tab.2 – Elenco indagini MASW.

- esecuzione di n°15 indagini sismiche tipo HVSR;

ID	Durata (min)	Coordinate WGS 84		Quota s.l.m.
		Latitudine	Longitudine	
HVSR 01	20	43.219887°	13.041707°	314.7
HVSR 02	20	43.213760°	13.044247°	339.4
HVSR 03	20	43.212242°	13.044505°	325.0
HVSR 04	20	43.207376°	13.044825°	339.0
HVSR 05	20	43.203533°	13.044732°	341.5
HVSR 06	20	43.201421°	13.044814°	359.3
HVSR 07	20	43.190529°	13.044585°	305.0
HVSR 08	20	43.189214°	13.045542°	327.4

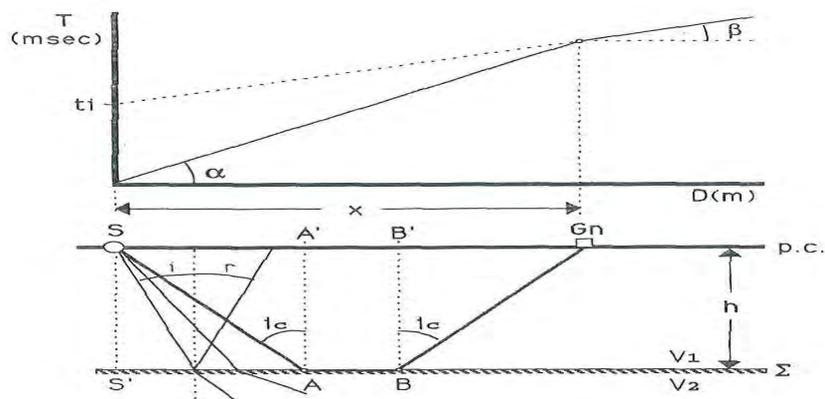
HVSR 09	20	43.149467°	13.047064°	385.0
HVSR 10	20	43.146743°	13.047140°	385.0
HVSR 11	20	43.135470°	13.052003°	443.4
HVSR 12	20	43.125624°	13.057179°	470.0
HVSR 13	20	43.122580°	13.061393°	448.7
HVSR 14	20	43.122109°	13.067881°	446.8
HVSR 15	20	43.196178°	13.044130°	349.3

**Tab.3** – Elenco indagini HVSR.

## 2. SISMICA A RIFRAZIONE

### 2.1 Cenni teorici

Tale metodologia è basata sul tempo necessario affinché la perturbazione elastica, indotta nel sottosuolo da una determinata sorgente di energia, giunga agli apparecchi di ricezione (geofoni) percorrendo lo strato superficiale con onde dirette e gli strati più profondi con onde rifratte. Utilizzando quindi le distanze tra il punto di scoppio e quello di ricezione e i tempi di primo arrivo dei segnali sismici, si costruiscono le dromocrone (curve tempi-distanze), dalle quali si risale, tramite opportuno programma di calcolo, alle velocità reali nei singoli strati, al loro spessore, profondità, forma ed inclinazione.



**Fig. 1** - Percorsi delle onde dirette e rifratte e relative dromocrone. S sorgente energizzante; A punto di incidenza della superficie di discontinuità  $\Sigma$  del raggio incidente con angolo pari all'angolo limite  $i_c$ ;  $G_n$  punto di arrivo contemporaneo delle onde dirette e rifratte;  $t_i$  tempo intercetto.

I primi tempi di arrivo sono quelli relativi ai raggi diretti attraverso il primo strato e la pendenza della linea (angolo  $\alpha$ ) che passa per tali punti è il reciproco della velocità di questo strato ( $1/V_1$ ). A partire da una certa distanza dal punto di energizzazione (detta distanza critica e indicata in figura 1 con la lettera X) il tempo impiegato per arrivare al geofono dai raggi che percorrono il tetto dello strato sottostante (più veloce) risulta inferiore a quello degli arrivi diretti. I punti relativi a questi arrivi si allineeranno secondo una retta avente la pendenza di  $1/V_2$  (angolo  $\beta$ ). Il tempo che corrisponde all'intersezione di ciascun segmento di retta con l'asse dei tempi è detto tempo intercetto. Questo valore, come quello della distanza critica, dipendono direttamente dalla velocità dei materiali e dallo spessore degli strati, e possono quindi essere utilizzati per determinare le profondità dei tetti degli strati stessi.

Si possono ottenere dromocrone, anche nel caso di "n" strati, dove i punti di curvatura indicano il passaggio tra i singoli strati e le velocità calcolate dalle rispettive pendenze dei rami della curva.

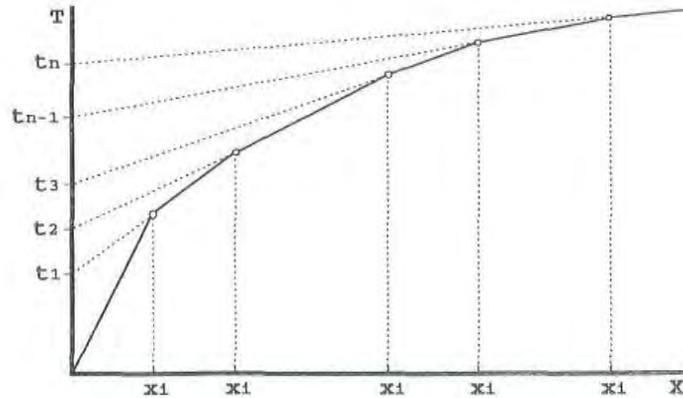


Fig. 2 - Dromocrona nel caso di stratificazione multipla

### 2.2 Modalità di acquisizione

I profili sono stati acquisiti in onde P con n° 24 geofoni spazati tra loro 5,0 m ed esecuzione di n° 7 punti di energizzazione (schema visibile nella Fig.8), ad eccezione della stesa RIFRA14 dove la spaziatura geofonica è stata di 4m.

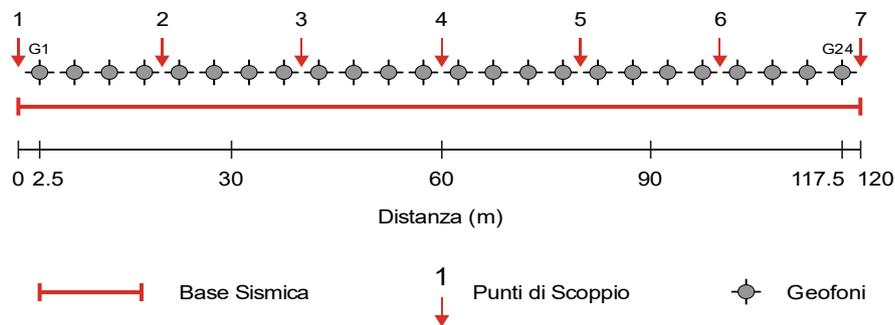


Fig.3 - Schema di acquisizione e punti di energizzazione

Le onde P sono stata generate, mediante una massa battente (martello da 8Kg), fatta cadere su una piastra metallica di alluminio posizionata sul terreno, mentre per la registrazione degli impulsi generati, sono stati utilizzati geofoni verticali con frequenza da 14Hz.;

### 2.3 Elaborazione in tecnica tomografica

L'elaborazione in tecnica tomografica permette di ottenere una ricostruzione bidimensionale di dettaglio delle caratteristiche meccanico-elastiche del sottosuolo anche in presenza di eventuali inversioni di velocità. L'elaborazione necessita di un numero maggiore di energizzazioni, generalmente 7/9 shots per stese sismiche costituite da 24 geofoni.

La ricerca del modello di distribuzione di velocità del terreno che ottimizza i tempi di arrivo individuati sui sismogrammi delle registrazioni di campagna viene effettuato in modo iterativo fino al raggiungimento della soluzione che minimizza l'errore fra i tempi misurati e quelli calcolati sulla soluzione ottenuta.

Si utilizza un modello di partenza privo di condizioni iniziali al fine di eliminare qualsiasi valutazione preliminare sull'assetto geologico che, in caso di imprecisioni, potrebbe dirottare verso una soluzione che non minimizzi l'errore oppure che lo minimizzi verso un minimo relativo della funzione di convergenza.

Il software utilizzato per la ricostruzione dei tempi di arrivo e dei percorsi d'onda si basa su una soluzione agli elementi finiti per l'Eikonal Equation (Vidale 1988) che tiene conto di tutti i possibili percorsi, onde dirette, rifratte e difratte che generano i primi arrivi sui sismogrammi. Il modello iniziale e la soluzione finale sono costituiti da una serie di celle all'interno delle quali il valore di velocità rimane costante: tale valore viene aggiornato ad ogni iterazione del procedimento di calcolo per raggiungere il miglior risultato. Le dimensioni delle celle utilizzate e quindi il dettaglio finale ottenuto sono fortemente dipendenti dalla spaziatura dei geofoni e dal numero degli shot effettuati: aumentando la spaziatura dei geofoni si deve aumentare il numero degli shot per mantenere costante il dettaglio. Il metodo utilizzato per la soluzione della matrice dei tempi di arrivo e delle velocità è il S.I.R.T. (Simultaneous Iterative Reconstruction Technique).

Infine i valori del risultato vengono interpolati fra loro per ottenere una distribuzione continua di velocità. Per l'interpolazione è stato utilizzato il metodo della triangolazione con interpolazione lineare.

### **3. INDAGINE SISMICA TIPO MASW**

#### **3.1 *Strumentazione utilizzata***

L'attrezzatura e la strumentazione utilizzata è costituita da:

- un sistema di energizzazione meccanica: la sorgente è costituita da una mazza del peso di 8 Kg battente verticalmente su piastra circolare in acciaio del diametro di 25 cm posta direttamente sul p.c. (per la generazione prevalentemente di onde di superficie di Rayleigh) e battente orizzontalmente su un travetto in legno posta direttamente sul p.c. (per la generazione prevalentemente di onde di superficie di Love);
- un sistema di ricezione: costituito da 24 geofoni a componente verticali (per la ricezione della componente verticale delle onde di Rayleigh) e da 24 geofoni a componente orizzontale (per la ricezione di onde di superficie Love);
- sistema di acquisizione dati: Sismografo Ambrogeo (modello ECHO 2010) con memoria dinamica a 32 bit, dotato di hard disk, in grado di memorizzare i dati acquisiti in formato SEG2., n° 2 cavi sismici telemetrici di 60 m ciascuno, il sistema è in

grado di registrare su memoria il segnale proveniente da ciascun canale dal sistema di ricezione;

- un sistema di trigger: consiste in un circuito elettrico che viene chiuso nell'istante in cui la mazza colpisce la base di battuta ed individuare e visualizzare l'esatto istante in cui la sorgente viene attivata e fissare l'inizio della registrazione.

### 3.2 Indagine MASW: metodologia ed acquisizione

La tecnica di indagine MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) permette di individuare il profilo di velocità delle onde di taglio  $V_s$ , sulla base della misura delle onde superficiali eseguita in corrispondenza di diversi sensori (geofoni nel caso specifico) posti sulla superficie del suolo.

Il principio della tecnica MASW prevede che, poiché la dispersione delle onde di superficie dipende dalle caratteristiche del sottosuolo e dalle sue variazioni verticali, dalla determinazione delle curve di dispersione del segnale è possibile ricavare le caratteristiche fondamentali del mezzo quali ad esempio la velocità delle onde di taglio  $V_s$  e lo spessore degli strati. La curva di dispersione del *dataset* è ottenuta mediante il passaggio dal dominio *spazio-tempo* (sismogramma) al dominio *velocità di fase/frequenza* (spettro di velocità) effettuato mediante specifica operazione con software dedicato.

Nel caso specifico, l'acquisizione delle indagini Masw è stata eseguita con due distinte metodologie:

- acquisizione **ZVF** ovvero con energizzazione verticale e acquisizione con geofoni verticali secondo lo schema seguente;



Fig.4 - Schema di acquisizione e punti di energizzazione ZVF

- acquisizione **THF** ovvero con energizzazione trasversale e acquisizione con geofoni orizzontali disposti con asse perpendicolare alla stesa per l'analisi MASW delle onde di Love secondo lo schema seguente;

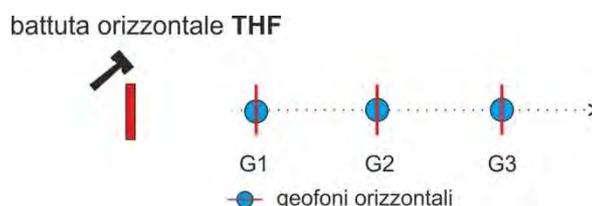
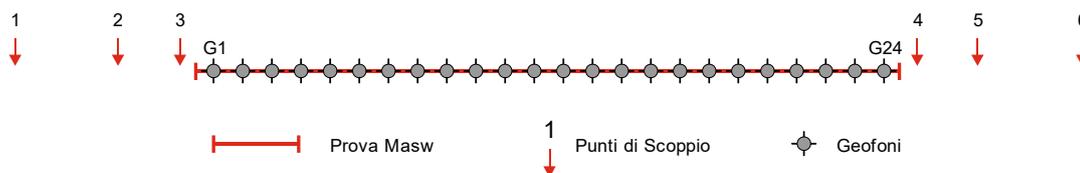


Fig.5 - Schema di acquisizione e punti di energizzazione THF

Entrambe le prove sono state eseguite posizionando nel terreno n° 24 geofoni spazati di 2,0 m, secondo la seguente configurazione spaziale:

- lunghezza stendimento ricevitori 46 m;
- n. punti di energizzazione 3+3;

- offset sorgenti 3m, 5m e 10m;



**Fig.6** - Geometria di acquisizione ed ubicazione punti di energizzazione.

Le registrazioni sono state effettuate secondo i seguenti parametri:

- Lunghezza scala di registrazione 2000 msec
- Intervallo di campionamento 0,956 msec
- Numero di campioni temporali 4180

### **3.3 Analisi ed elaborazione dei segnali acquisiti**

L'interpretazione delle curve di dispersione prende in considerazione il fatto che le vibrazioni indotte dalle onde di superficie sono correlabili a diversi *modi*, i quali possono sovrapporsi all'interno degli spettri di velocità. Al fine di individuare i *modi* corretti e correlabili alla reale successione stratigrafica è stato scelto di eseguire un'**analisi congiunta delle onde di Rayleigh e delle onde Love**. L'interpretazione dello spettro consiste nel confrontare le distribuzioni di energia tra i vari modi.

La distribuzione dell'energia nelle due componenti Love e Rayleigh risulta a tratti molto differente, l'analisi congiunta è quindi indispensabile al riconoscimento del reale andamento dei modi, portando l'elaborazione ad un modello maggiormente vincolato e preciso.

## **4. INDAGINE SISMICA PASSIVA HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio)**

Allo scopo di calcolare la possibile frequenza di risonanza di sito ed eventualmente di migliorare la definizione dei profili verticali  $V_s$  nelle porzioni più profonde, si è scelto di eseguire, in corrispondenza del centro dello stendimento MASW, una misurazione dei microtremori sismici ambientali tipo HVSR.

La tecnica HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) consiste nella valutazione sperimentale dei rapporti di ampiezza spettrale fra le componenti orizzontali (H) e la componente verticale (V) del microtremore sismico ambientale.

### **4.1 Strumentazione impiegata**

Le misure di microtremore ambientale sono state eseguite per mezzo di un tromografo 24 bit GEOBOX prodotto dalla ditta Sara Instruments Srl (frequenza di risonanza 4.5 Hz) digitale portatile progettato specificamente per l'acquisizione del rumore sismico.

Lo strumento (GeoBox – Sara Instrument) è dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati secondo le direzioni Verticale, NS, EW, ad alta definizione, alimentato a batterie, senza cavi esterni.

## **4.2 Analisi ed elaborazione dei segnali acquisiti**

I risultati delle analisi presentati in questo lavoro sono stati ottenuti con il software *winMASW® Academy 2018*, che permette di determinare i rapporti medi fra le componenti spettrali del rumore, misurate sul piano orizzontale e verticale. A questo scopo, l'acquisizione del rumore ambientale è stata suddivisa in una serie di finestre temporali di uguale durata (finestre di 20 s), per ciascuna delle quali è stato determinato lo spettro del moto.

I risultati parziali ottenuti, durante le fasi di elaborazione delle curve H/V, sono stati iterativamente controllati andando a valutare la direttività e la stabilità nel tempo della curva HVSR. Un buon valore di direttività e cioè un'uniformità spaziale del segnale, ed una sua buona persistenza nel tempo, sono indice della validità stratigrafica del segnale sismico elaborato.

La validità delle curve HVSR, calcolate per ciascun sito, è stata verificata, secondo i criteri di ammissibilità del progetto *SESAME*, che definiscono la robustezza statistica della curva HVSR e degli eventuali picchi presenti.

## **5. ANALISI CONGIUNTA RAYLEIGH+LOVE +HVSR**

Al fine di ottenere un modello geofisico valido sia per le porzioni superficiali di terreno che per le profonde, per l'interpretazione dello spettro di velocità dei punti indagati, è stata eseguita un'analisi congiunta tra lo spettro di dispersione dell'indagine MASW e la curva HV modellata (Fig. 10).

L'analisi congiunta MASW+HVSR, permette di determinare un profilo di  $V_s$  completo, che consente di superare i limiti di entrambi i metodi; per le indagini MASW l'ambiguità delle  $V_s$  dei livelli più profondi (a basse frequenze) e per l'HVSR la non univocità della soluzione.

L'inversione viene effettuata mediante l'utilizzo di una solida tecnica di ottimizzazione il cui risultato è una soluzione più affidabile e una stima dell'attendibilità del modello ricavato (in termini di deviazioni standard).

Alla fine dell'operazione di inversione congiunta si otterranno una serie di modelli, due dei quali presentati come soluzione:

- il "modello migliore" in termini di minor misfit, cioè discrepanza tra curva osservata e calcolata;
- il "modello medio" calcolato secondo un'operazione statistica nota come MPPD (Marginal Posterior Probability Density, vedi l'articolo "Rayleigh Wave Dispersion Curve Inversion via Genetic Algorithms and Posterior Probability Density Evaluation" – Dal Moro et al., 2006).

Si consiglia di prendere come risultato finale quest'ultimo (ad ogni modo i due modelli solitamente non differiscono in modo significativo).

## 6. CONCLUSIONI

Nelle seguenti tabelle sono riportati i valori delle velocità medie e gli spessori di ciascun sismostrato, in modo da definire un modello geofisico medio, ottenuto mediante analisi delle onde di superficie con metodologia MASW e analisi congiunta Rayleigh+Love+HVSr.

È stato quindi possibile calcolare la  $V_{s,eq}$ , tramite la formula:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

dove:

$h_i$  = spessore dello strato  $i$  - esimo (m)

$V_s$  = valore di velocità delle onde di taglio (m/s)

$N$  = numero strati

$H$  = profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_s$  non inferiore a 800 m/s.

Di seguito si riporta una tabella di sintesi del calcolo dei parametri  $V_{seq}$  secondo le NTC 2018 ed il calcolo effettuato secondo le NTC 2008, i risultati delle singole elaborazioni sono visionabili nell'allegato alla presente relazione.

N. indagine	valore $V_{s30}$ m/sec (NTC 2008)	valore $V_{seq}$ m/sec (NTC 2018)
MASW 1+HV1	311	311
MASW 2+HV2	365	365
MASW 3+HV3	274	274
MASW 4+HV4	359	359
MASW 5+HV5	274	274
MASW 6+HV6	370	370
MASW 7+HV7	486	486
MASW 8+HV8	548	548
MASW 9+HV9	469	469
MASW 10+HV10	371	371
MASW 11+HV11	354	354
MASW 12+HV12	223	223
MASW 13+HV13	398	398
MASW 14+HV14	596	323
MASW 15+HV15	412	412

Falconara M.ma, li 04 Settembre 2020

GECO s.r.l.  
Il Responsabile  
GECO s.r.l.  
Via Osoppo, 38 - Tel/Fax 071 5156126  
60015 FALCONARA (MARTINA) (AN)  
C.F. P. IVA 02541050432

**Geco Srl Servizi Geologici & Indagini Sismiche**

Via Osoppo, 38 / 60015 Falconara Marittima (AN)

P. IVA 02541280422 tel e fax 071 9156126

**CECO**

Servizi Geologici & Indagini Sismiche

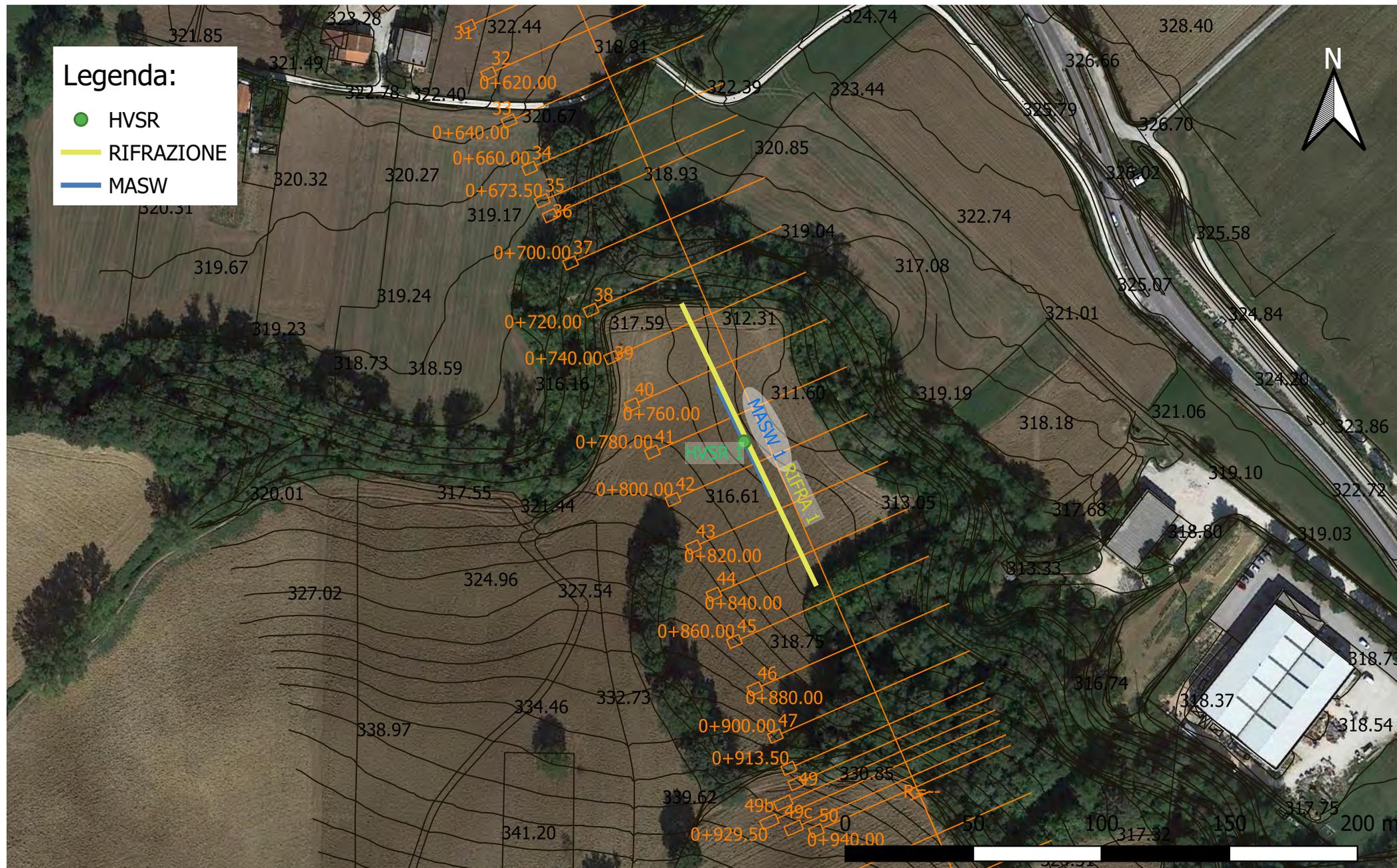
 [www.gecogeologia.com](http://www.gecogeologia.com)

 [info@gecogeologia.com](mailto:info@gecogeologia.com)

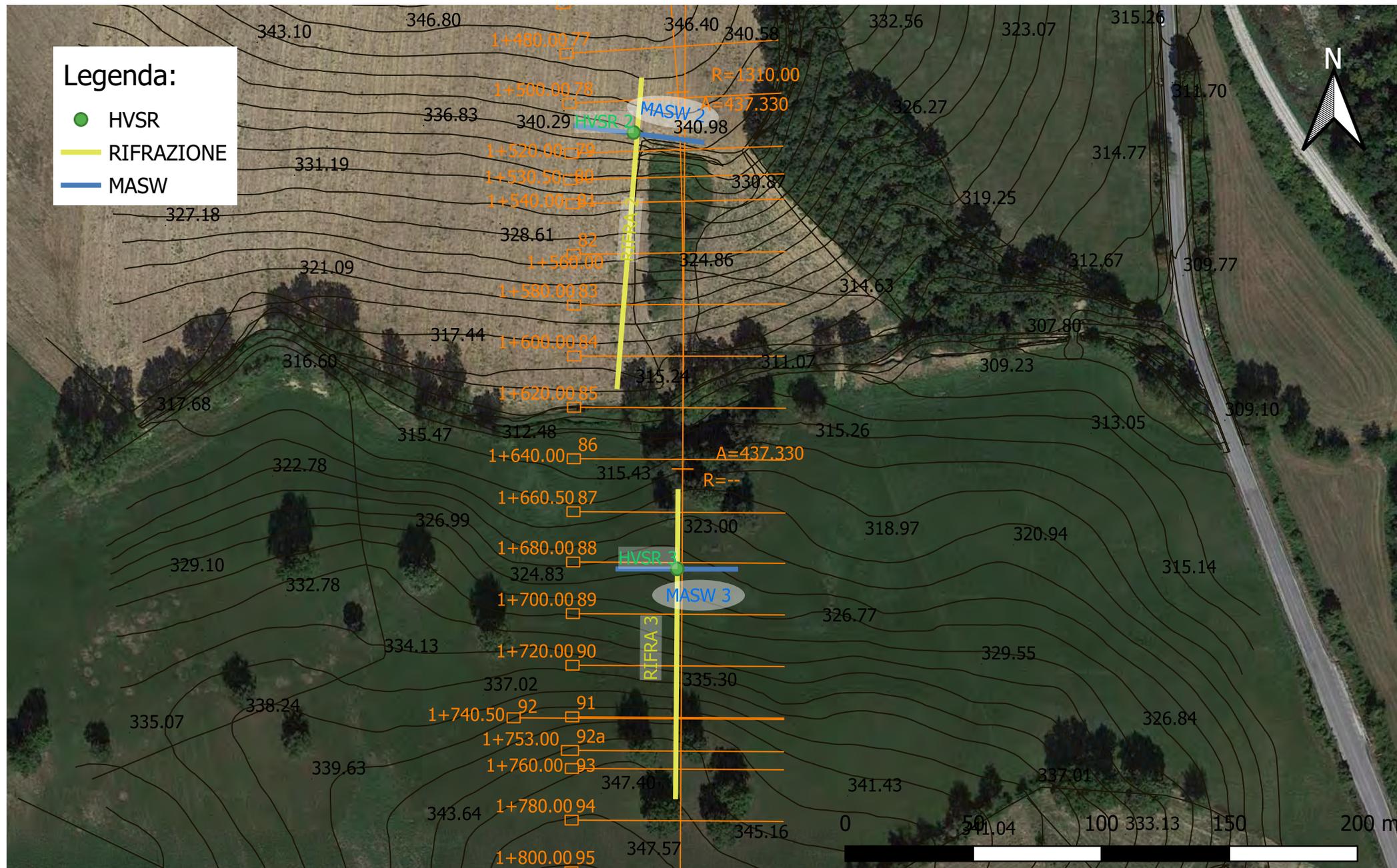
 328.02.82.743 / 328.20.40.857

## ***Tavole***

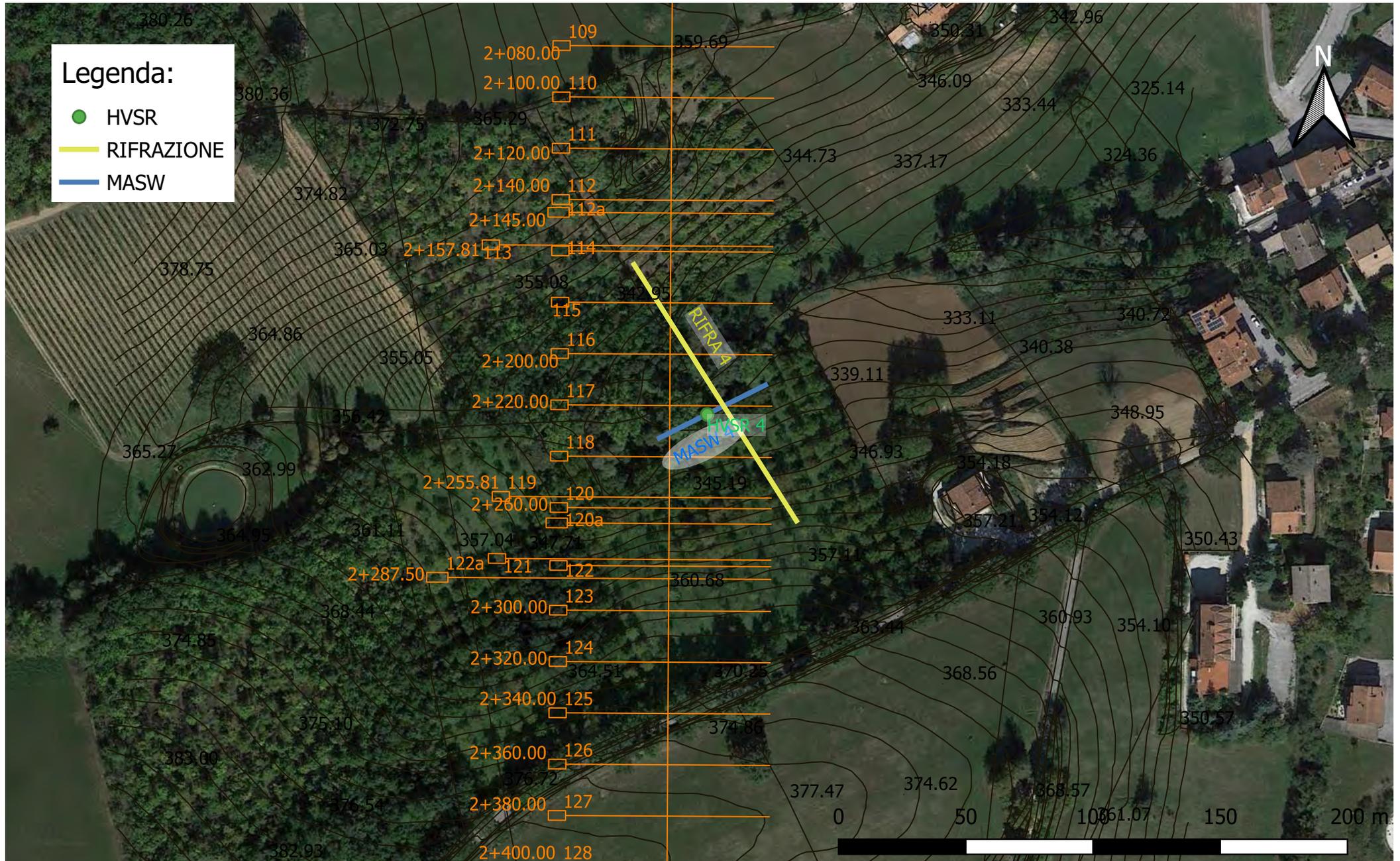
TAV1 UBICAZIONE INDAGINI scala 1:2000



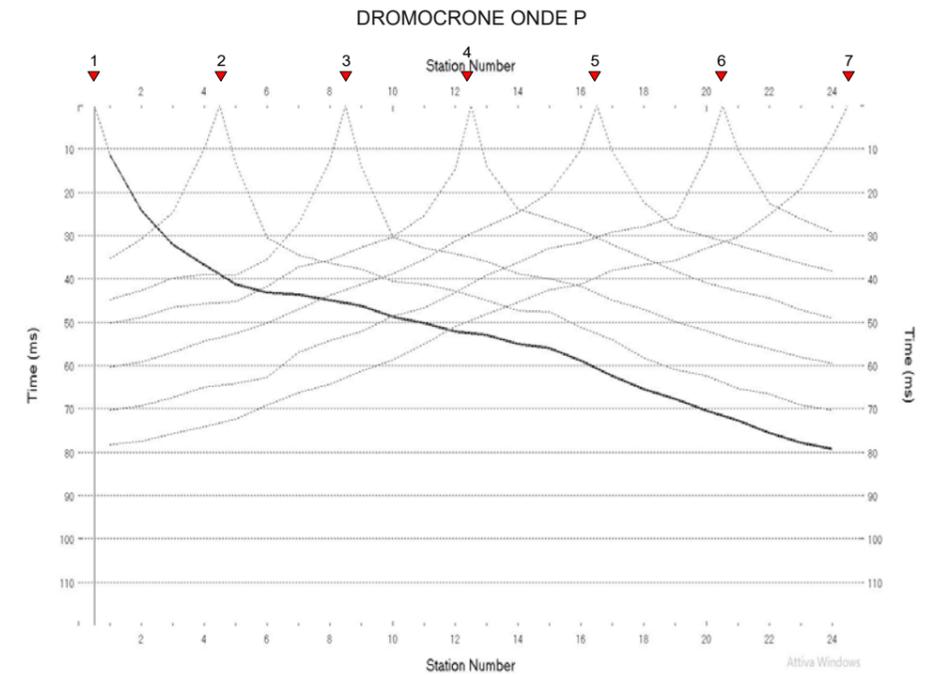
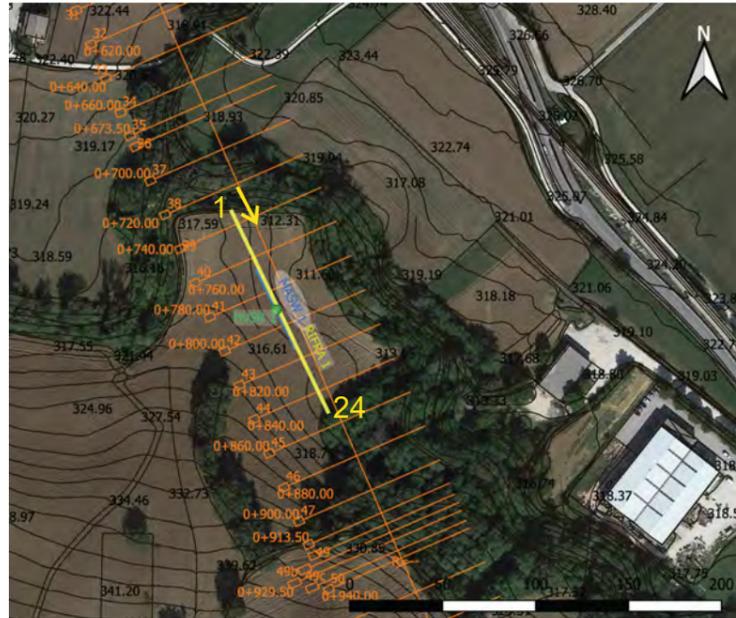
TAV1 UBICAZIONE INDAGINI scala 1:2000



TAV1 UBICAZIONE INDAGINI scala 1:2000



RIFRAZIONE N.1



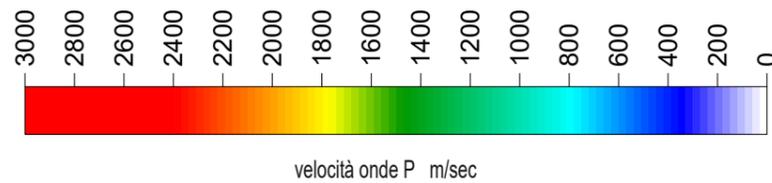
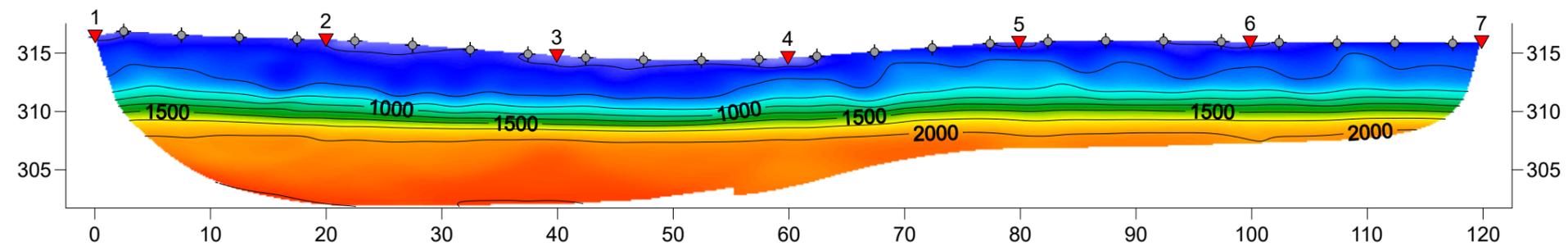
SEZIONE SISMICA TOMOGRAFICA - ONDE P

RIFRA1 →

20 WET iterations, RMS error 0.8 %, 1D-Gradient smooth initial model, Version 3.31

Prog. Chilometrica 0+732

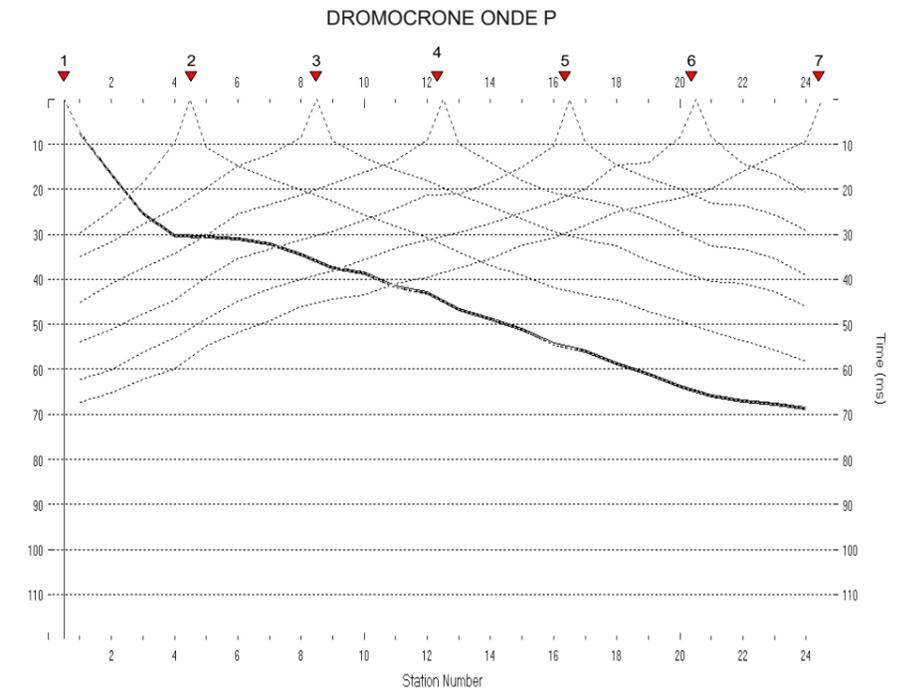
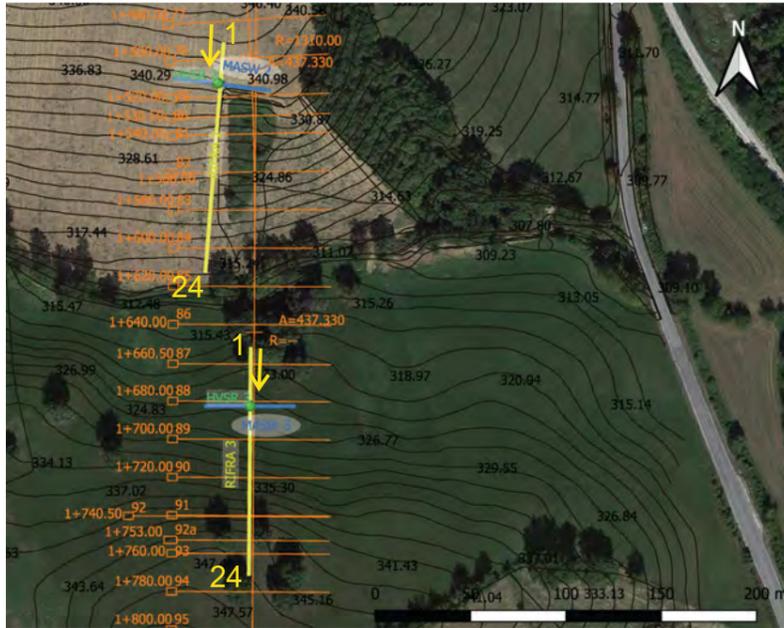
Prog. Chilometrica 0+852



Legenda:

- 1 ▼ punti di scoppio
- ◆ ricevitori
- 1500 velocità onde P
- LNn ↓ intersezione con altra linea sismica

RIFRAZIONE N.2

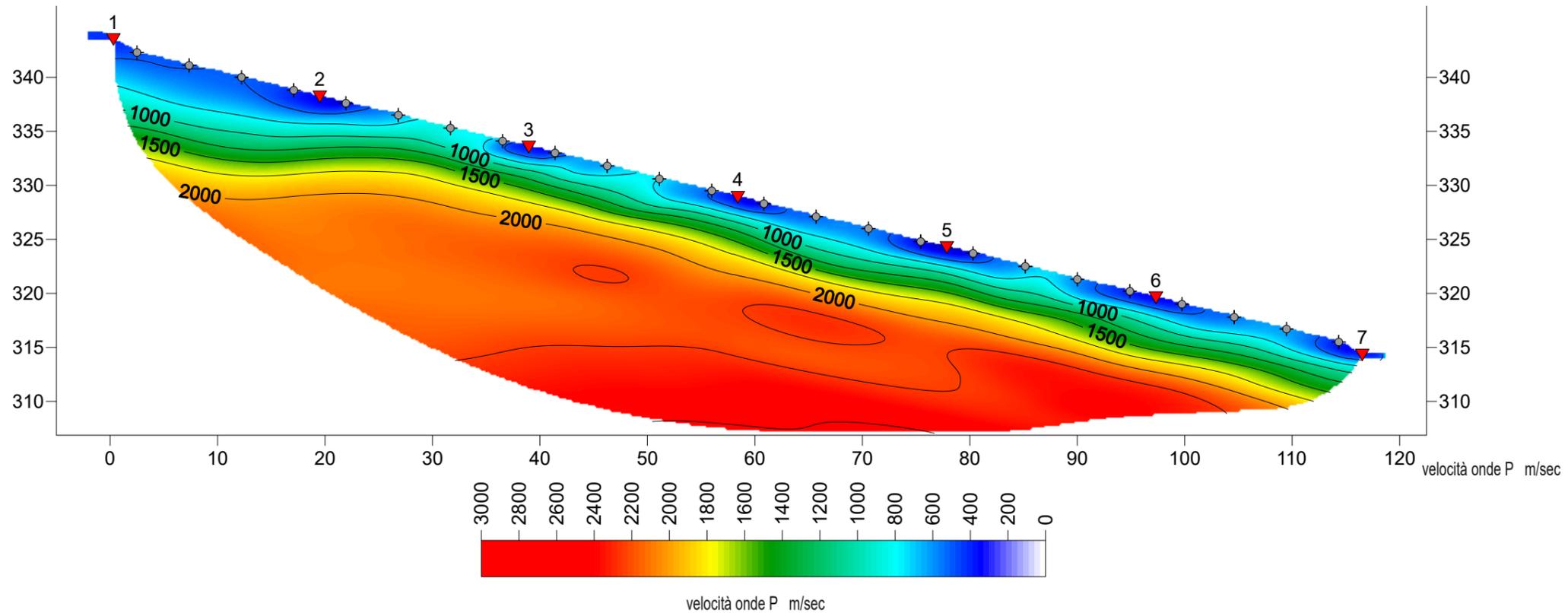


RIFRA2 →  
Prog. Chilometrica 1+492

SEZIONE SISMICA TOMOGRAFICA - ONDE P

20 WET iterations, RMS error 1.2 %, 1D-Gradient smooth initial model, Version 3.31

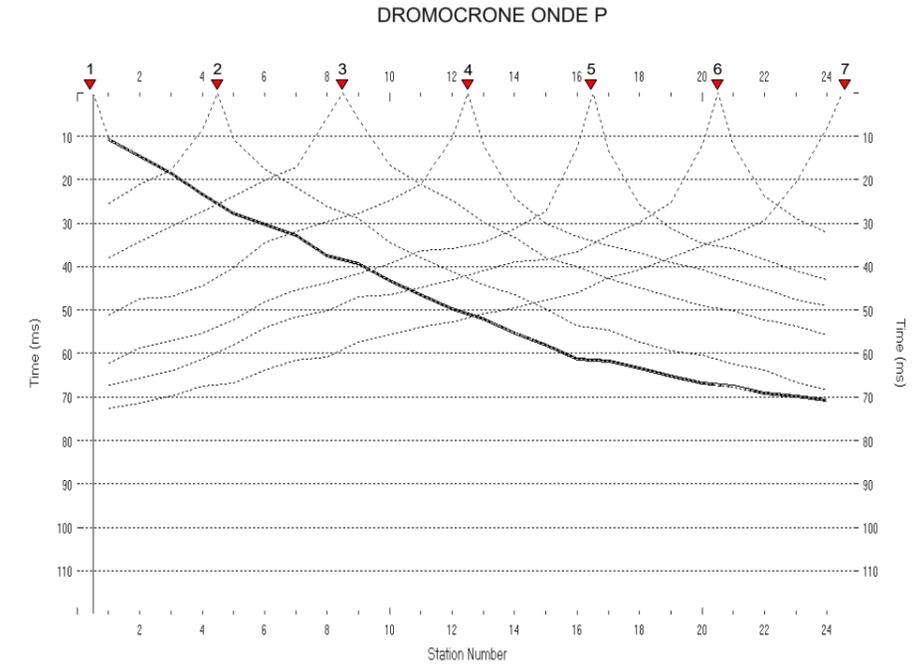
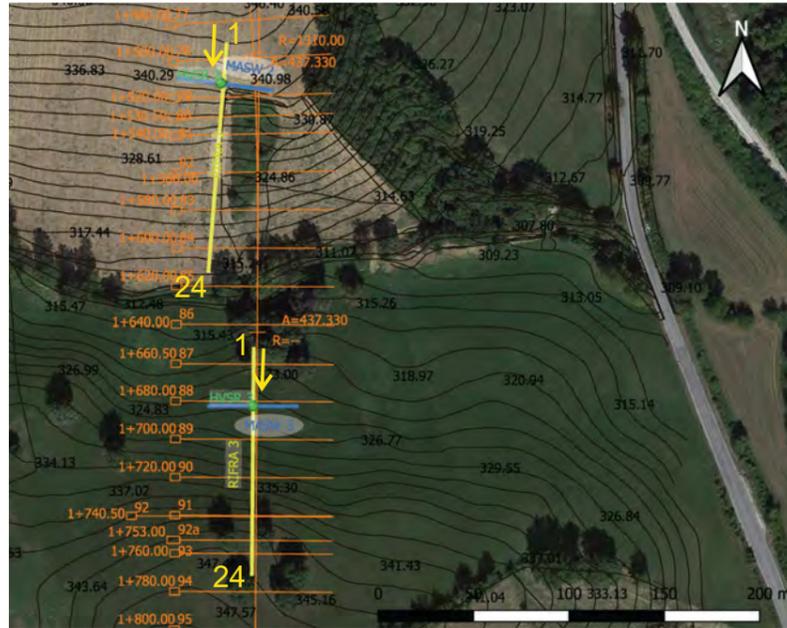
Prog. Chilometrica 1+612



Legenda:

- 1 (red triangle) punti di scoppio
- ◆ (blue square) ricevitori
- 1500 (text) velocità onde P
- LNn (blue arrow) intersezione con altra linea sismica

**RIFRAZIONE N.3**



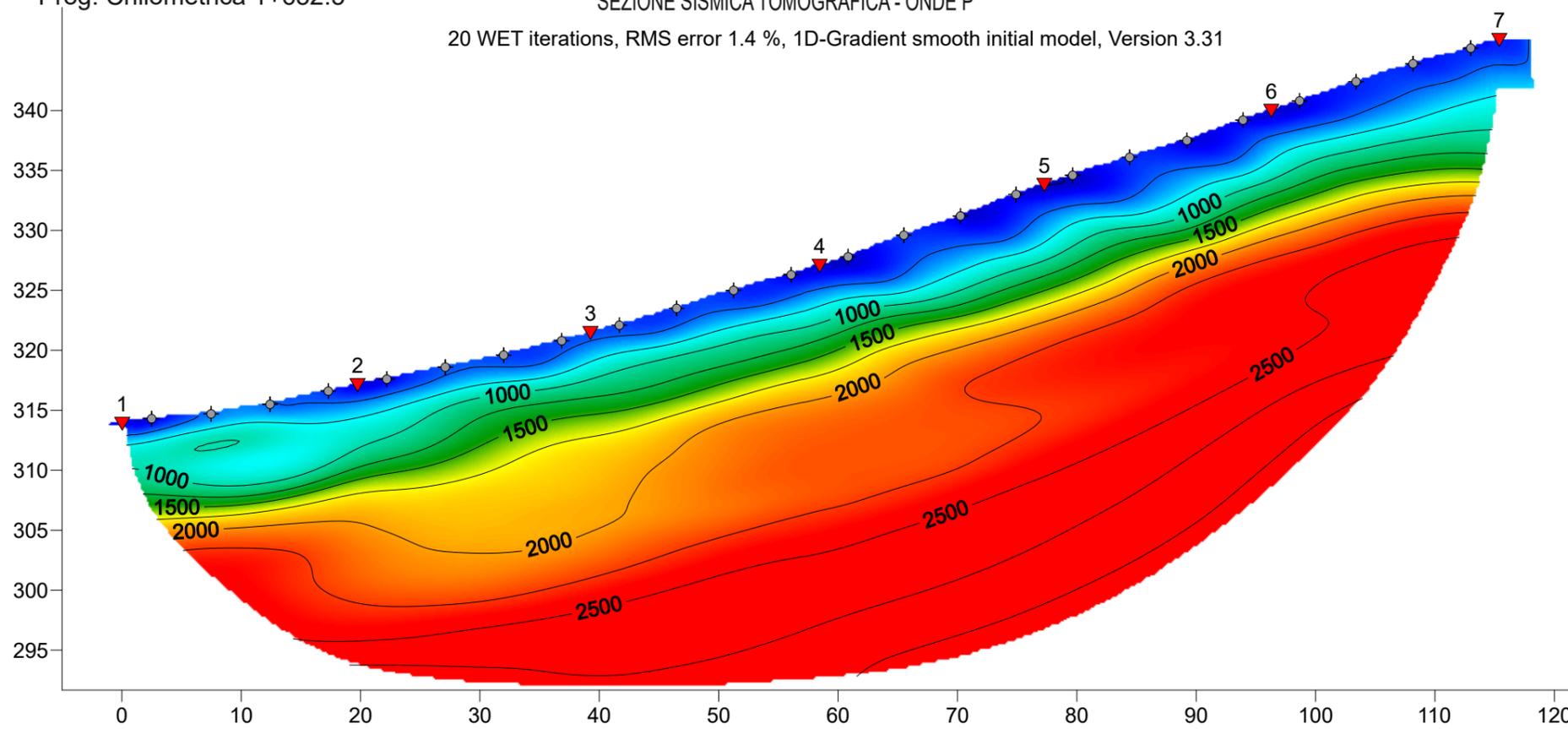
RIFRA3 →

Prog. Chilometrica 1+652.5

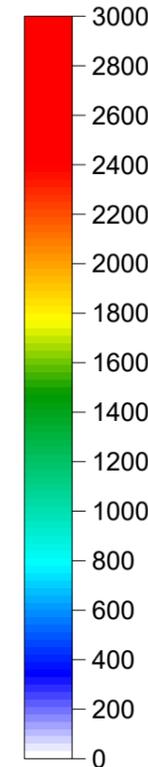
SEZIONE SISMICA TOMOGRAFICA - ONDE P

20 WET iterations, RMS error 1.4 %, 1D-Gradient smooth initial model, Version 3.31

Prog. Chilometrica 1+770.5



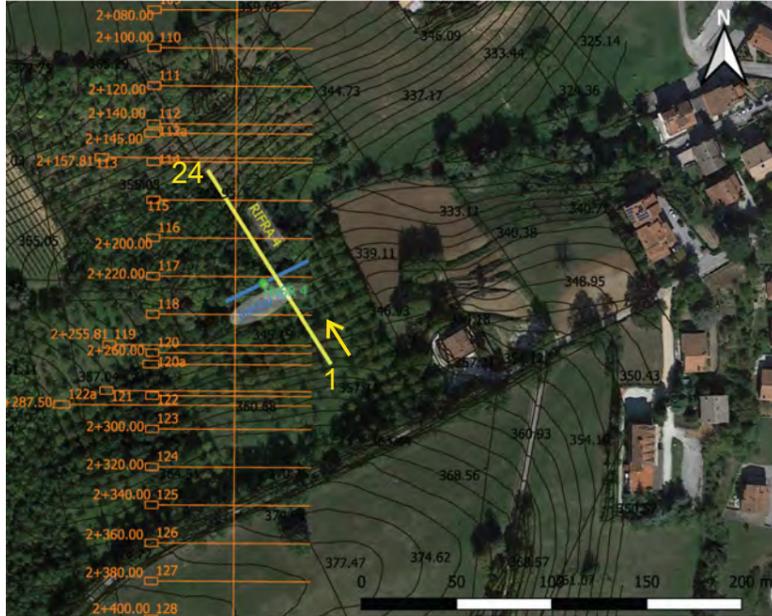
velocità onde P m/sec



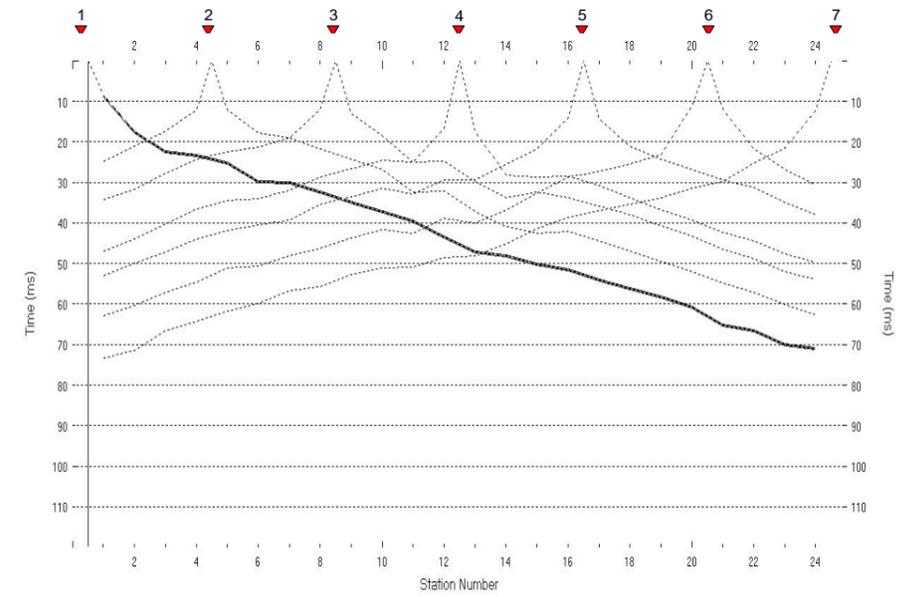
Legenda:

- 1 ▼ punti di scoppio
- ◆ ricevitori
- 1500 velocità onde P
- LNn ↓ intersezione con altra linea sismica

**RIFRAZIONE N.4**



DROMOCRONE ONDE P



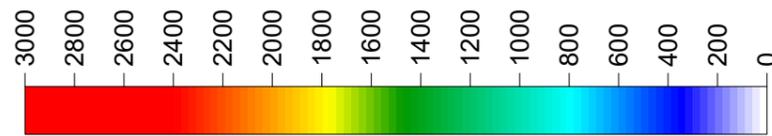
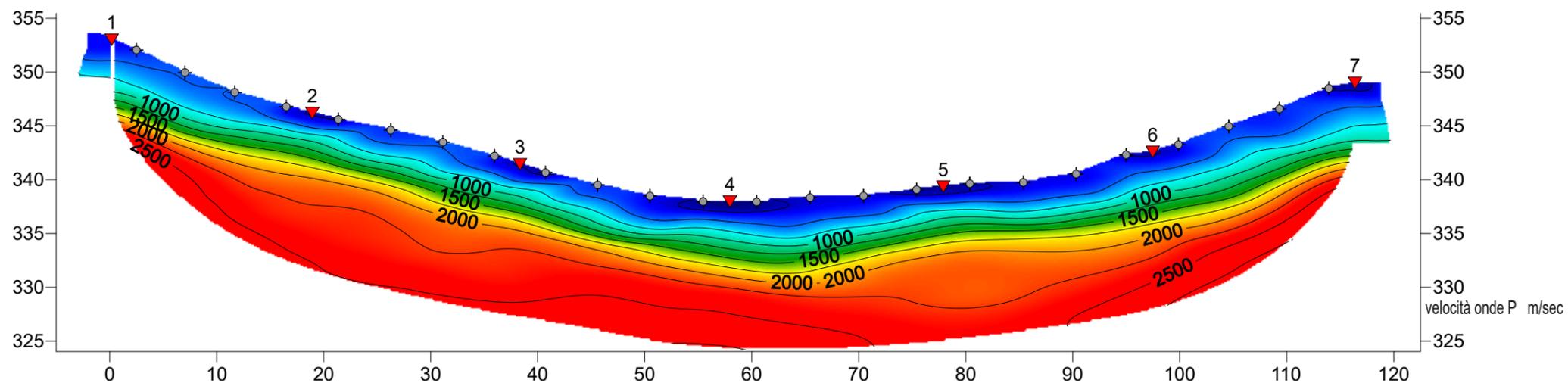
RIFRA4 →

SEZIONE SISMICA TOMOGRAFICA - ONDE P

Prog. Chilometrica 2+264.8

20 WET iterations, RMS error 1.6 %, 1D-Gradient smooth initial model, Version 3.31

Prog. Chilometrica 2+165

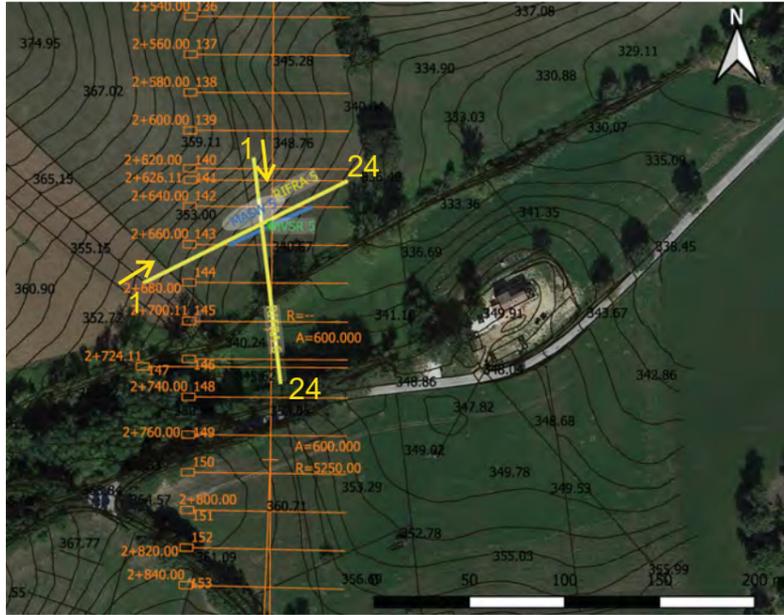


velocità onde P m/sec

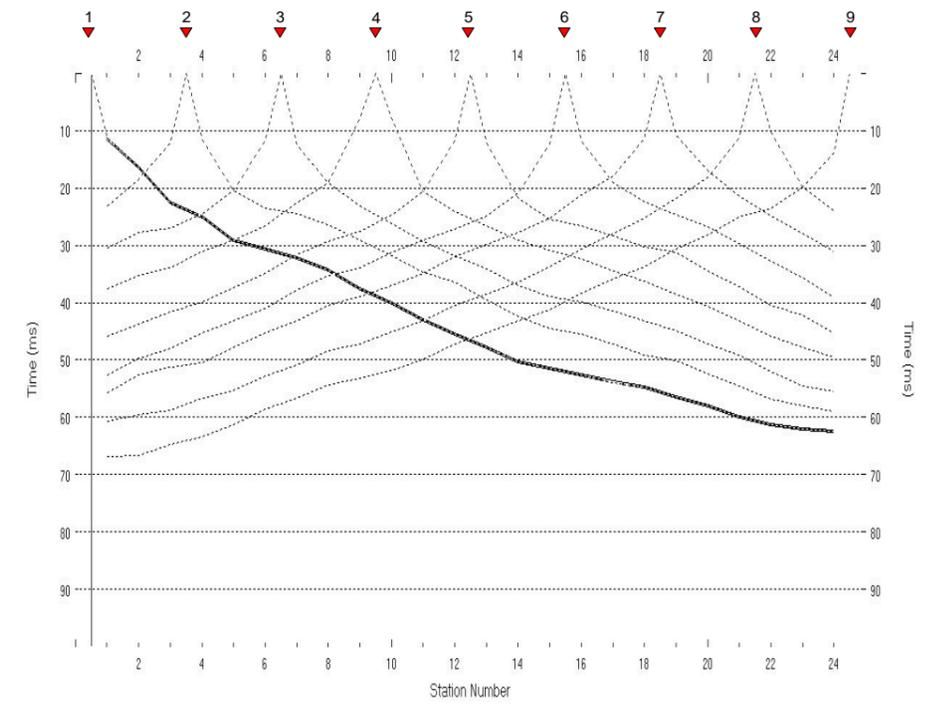
Legenda:

- 1 ▼ punti di scoppio
- ◆ ricevitori
- 1500 velocità onde P
- LNn ↓ intersezione con altra linea sismica

**RIFRAZIONE N.5**

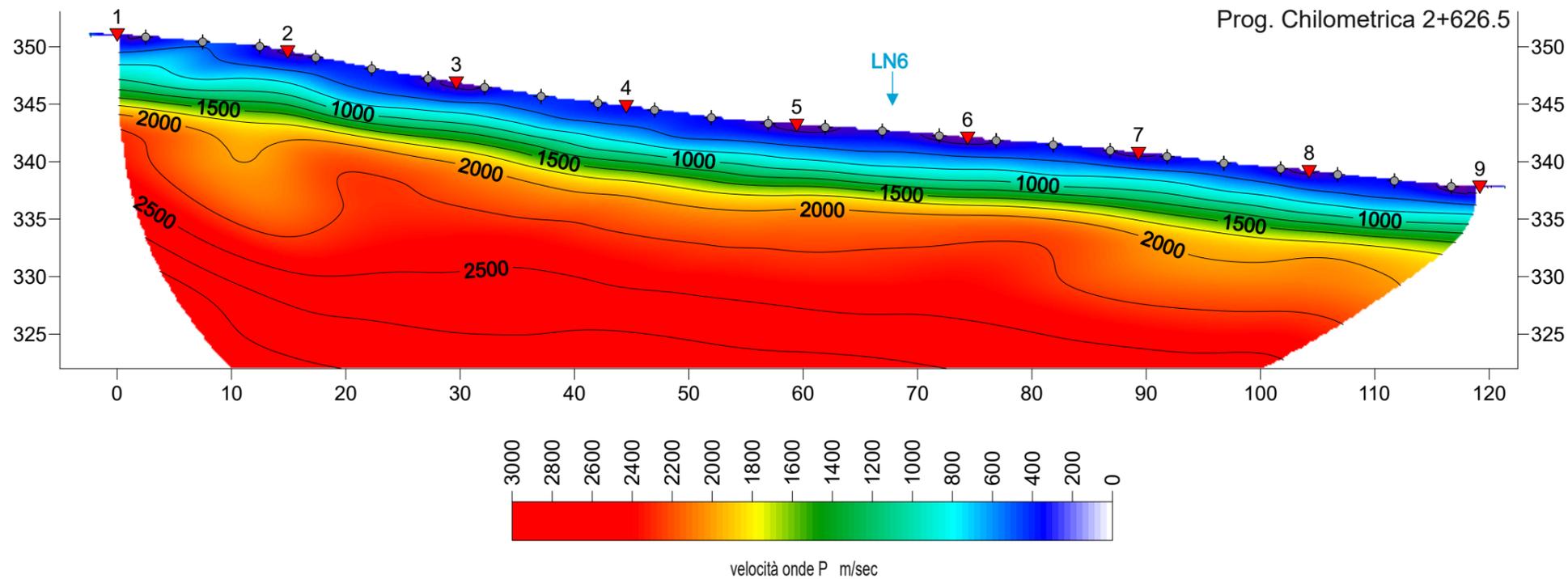


DROMOCRONE ONDE P



SEZIONE SISMICA TOMOGRAFICA - ONDE P

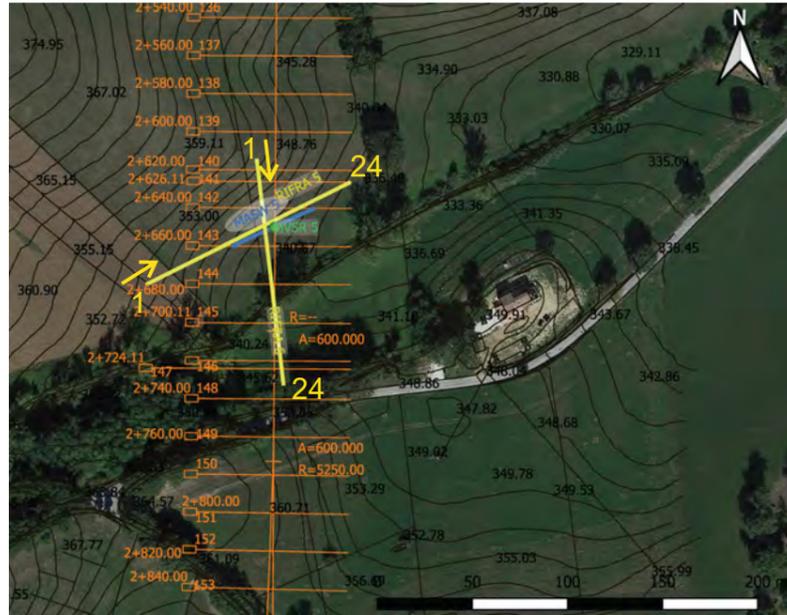
RIFRA5 → 20 WET iterations, RMS error 1.2 %, 1D-Gradient smooth initial model, Version 3.31  
Prog. Chilometrica 2+680



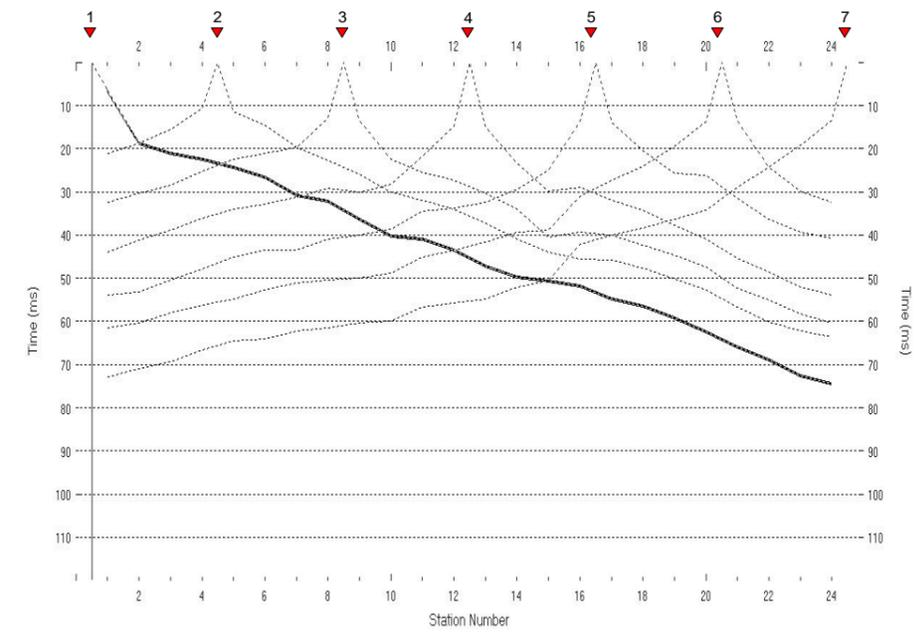
Legenda:

- 1 ▼ punti di scoppio
- ◆ ricevitori
- 1500 velocità onde P
- LNn intersezione con altra linea sismica

RIFRAZIONE N.6



DROMOCRONE ONDE P



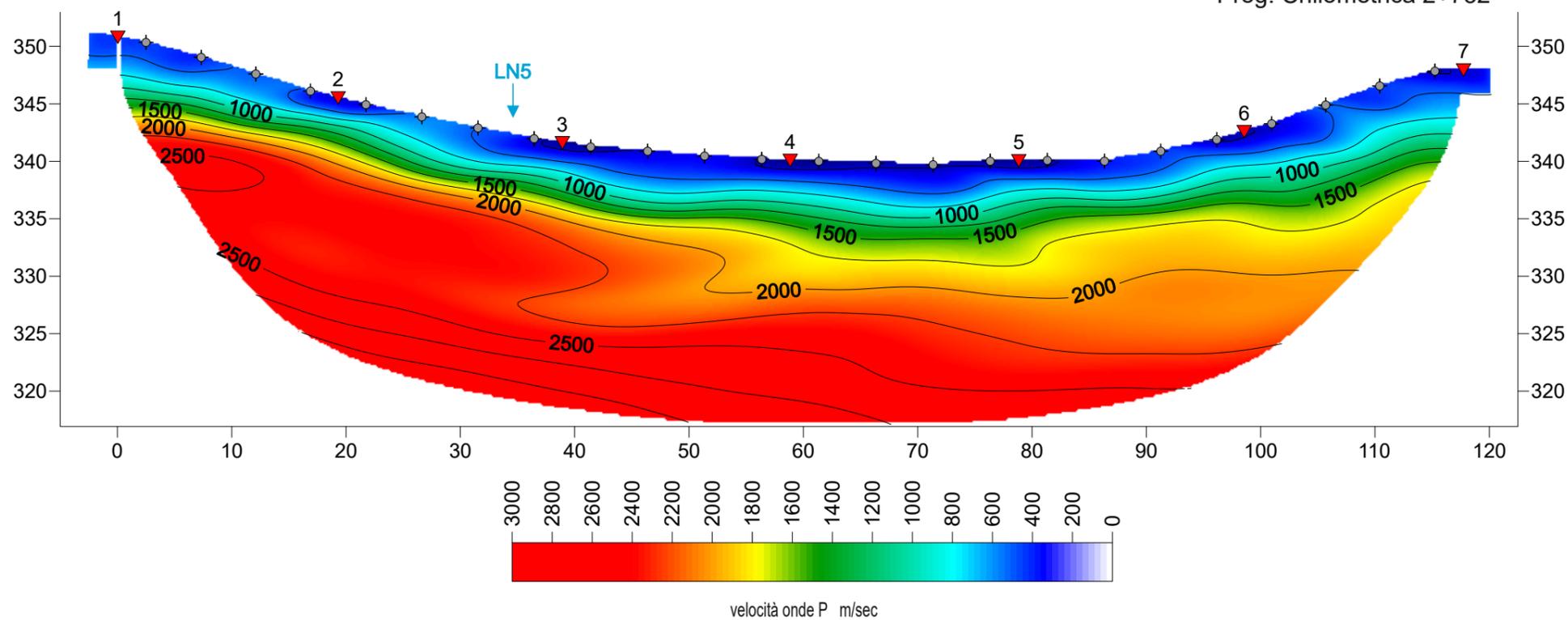
SEZIONE SISMICA TOMOGRAFICA - ONDE P

RIFRA6 →

Prog. Chilometrica 2+615

20 WET iterations, RMS error 1.5 %, 1D-Gradient smooth initial model, Version 3.31

Prog. Chilometrica 2+732



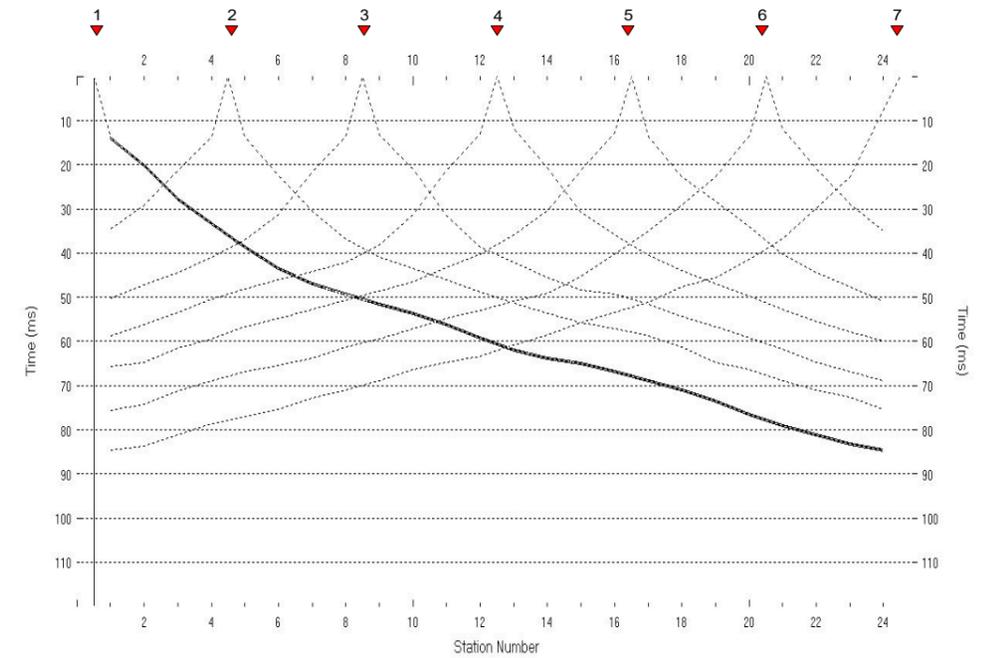
Legenda:

- 1 ▼ punti di scoppio
- ◆ ricevitori
- 1500 velocità onde P
- LNn ↓ intersezione con altra linea sismica

**RIFRAZIONE N.7**



DROMOCRONE ONDE P



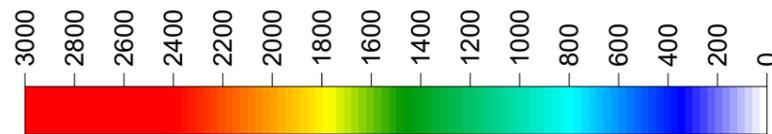
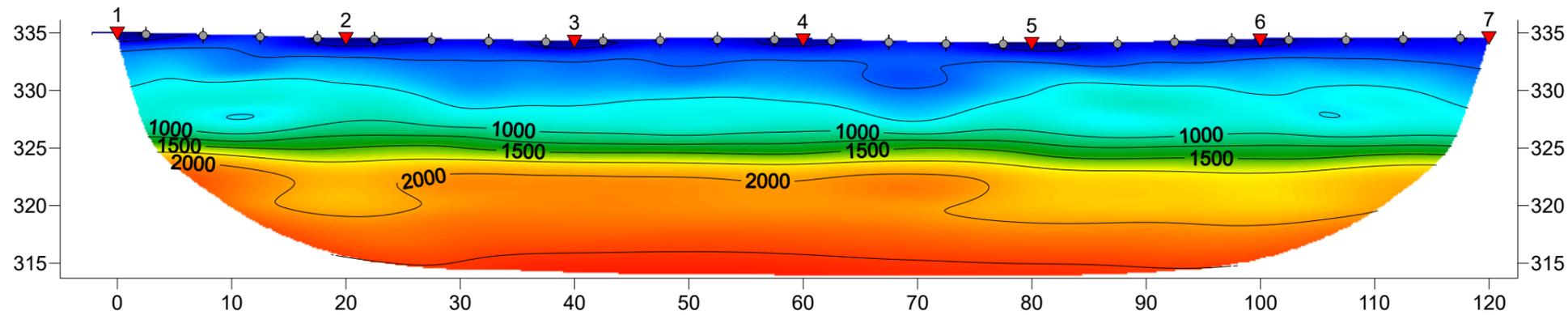
**SEZIONE SISMICA TOMOGRAFICA - ONDE P**

20 WET iterations, RMS error 1.0 %, 1D-Gradient smooth initial model, Version 3.31

RIFRA7 →

Prog. Chilometrica 6+128.6

Prog. Chilometrica 6+009



velocità onde P m/sec

**Legenda:**

- 1 ▼ punti di scoppio
- ◆ ricevitori
- 1500 velocità onde P
- LNn ↓ intersezione con altra linea sismica

**Geco Srl Servizi Geologici & Indagini Sismiche**

Via Osoppo, 38 / 60015 Falconara Marittima (AN)

P. IVA 02541280422 tel e fax 071 9156126

**CECO**

Servizi Geologici & Indagini Sismiche

 [www.gecogeologia.com](http://www.gecogeologia.com)

 [info@gecogeologia.com](mailto:info@gecogeologia.com)

 328.02.82.743 / 328.20.40.857

***Allegati***

## RIFRA 01 ONDE P

Gefono (n°)	Shot 1 (msec)	Shot 2 (msec)	Shot 3 (msec)	Shot 4 (msec)	Shot 5 (msec)	Shot 6 (msec)	Shot 7 (msec)
1	11.4	35.3	44.7	50.3	60.3	70.3	78.3
2	24.2	30.8	42.6	48.9	59.3	69.3	77.5
3	32.0	24.7	39.8	46.5	57.0	67.3	75.7
4	36.7	9.9	39.1	45.8	54.5	64.9	74.1
5	41.3	13.3	39.2	45.2	52.7	64.2	72.4
6	43.1	30.5	35.5	41.7	50.3	62.7	69.1
7	43.7	34.4	27.2	37.3	47.0	57.0	66.3
8	44.9	36.4	12.7	35.6	43.8	54.2	64.3
9	46.2	37.7	14.1	32.8	41.3	52.1	61.3
10	48.8	40.6	30.4	30.4	38.9	48.6	58.8
11	50.3	41.2	32.9	25.3	35.5	46.7	55.1
12	52.2	42.8	34.1	14.8	31.3	43.1	51.0
13	53.0	44.9	35.9	13.9	27.8	39.2	48.2
14	55.1	47.3	38.9	23.9	24.7	36.2	45.5
15	56.0	47.6	40.0	26.2	20.1	32.9	42.5
16	59.0	51.2	41.7	28.7	10.2	31.6	41.2
17	62.4	54.0	44.9	32.0	10.6	29.2	38.0
18	65.5	58.2	47.0	35.2	22.3	28.0	36.7
19	67.8	60.9	49.8	38.2	28.3	25.7	35.8
20	70.5	62.4	51.9	40.9	30.2	11.7	32.9
21	72.7	65.2	54.3	42.8	32.3	10.3	30.4
22	75.6	66.6	56.1	44.4	34.3	22.6	25.1
23	77.8	69.1	58.1	47.1	36.4	26.2	19.3
24	79.3	70.3	59.6	49.1	38.2	29.2	7.2

## RIFRA 02 ONDE P

Gefono (n°)	Shot 1 (msec)	Shot 2 (msec)	Shot 3 (msec)	Shot 4 (msec)	Shot 5 (msec)	Shot 6 (msec)	Shot 7 (msec)
1	7.3	29.6	35.0	45.0	53.9	62.1	67.3
2	16.6	24.8	31.7	41.0	51.2	60.2	65.2
3	25.4	18.4	27.8	37.4	47.6	56.1	62.2
4	30.2	9.4	24.2	34.3	44.6	53.0	59.9
5	30.5	10.6	19.8	30.4	39.7	48.8	54.8
6	31.0	14.8	14.8	25.4	35.5	44.9	51.8
7	32.2	17.7	12.3	23.3	33.4	42.2	49.2
8	34.6	20.1	8.7	21.4	31.1	40.0	46.1
9	37.4	22.7	9.3	18.7	29.5	38.2	44.4
10	38.6	25.6	12.9	16.2	26.8	35.6	43.4
11	41.7	28.3	15.7	13.6	24.4	33.1	40.9
12	42.9	30.7	18.0	9.0	21.3	31.1	39.5
13	46.7	34.0	21.4	9.9	21.0	29.6	37.6
14	48.8	37.0	23.9	14.2	18.4	27.5	35.3
15	51.2	39.1	26.6	18.1	15.0	25.1	32.3
16	54.5	41.7	29.3	20.8	10.5	22.7	30.8
17	56.0	43.4	31.1	22.3	9.7	19.9	28.0
18	58.8	44.7	32.6	23.8	14.7	14.7	25.0
19	61.0	47.1	35.8	26.2	17.7	14.2	23.3
20	63.7	49.2	38.3	29.5	19.9	8.4	22.0
21	66.0	51.6	40.6	32.6	23.0	8.4	19.9
22	67.0	53.7	41.0	33.2	23.5	14.4	16.0
23	67.8	55.7	42.8	35.3	25.7	16.8	12.4
24	68.7	58.2	46.1	39.1	29.2	20.5	9.3

## RIFRA 03 ONDE P

Gefono (n°)	Shot 1 (msec)	Shot 2 (msec)	Shot 3 (msec)	Shot 4 (msec)	Shot 5 (msec)	Shot 6 (msec)	Shot 7 (msec)
1	10.8	25.4	38.0	51.2	62.1	67.3	72.6
2	14.5	21.0	34.3	47.4	58.7	65.7	71.5
3	18.6	17.8	30.8	47.0	57.0	64.0	69.7
4	23.3	8.4	27.2	44.3	55.2	61.3	67.5
5	27.7	10.6	23.9	40.3	52.4	58.1	66.7
6	30.4	17.5	20.2	34.6	48.0	54.2	63.7
7	32.9	21.8	17.2	32.0	45.3	51.5	61.5
8	37.4	26.2	5.8	29.6	43.7	50.1	60.8
9	39.4	29.0	6.0	27.7	41.6	47.0	57.3
10	43.2	34.4	16.8	24.7	39.4	46.4	55.7
11	46.4	37.9	21.1	21.1	36.4	44.9	53.9
12	49.7	41.2	24.7	10.5	35.8	42.9	52.8
13	51.9	44.1	29.9	12.0	34.4	40.9	50.9
14	55.4	46.4	33.2	24.4	31.3	38.8	49.4
15	58.1	49.8	38.0	30.1	27.2	38.3	47.6
16	61.2	53.6	40.1	33.1	12.6	36.5	45.9
17	61.6	54.5	42.8	35.2	13.5	32.9	42.5
18	63.4	57.5	44.9	36.7	25.6	29.8	40.7
19	65.2	59.4	46.8	39.1	31.3	25.1	37.9
20	66.7	60.3	49.1	40.7	34.7	12.0	35.2
21	67.6	62.5	50.3	42.9	35.9	12.1	32.6
22	69.1	63.9	52.2	45.0	38.5	23.8	29.3
23	69.7	66.6	53.6	47.6	41.0	29.0	20.7
24	70.8	68.4	55.8	49.1	43.1	32.2	8.1

## RIFRA 04 ONDE P

Gefono (n°)	Shot 1 (msec)	Shot 2 (msec)	Shot 3 (msec)	Shot 4 (msec)	Shot 5 (msec)	Shot 6 (msec)	Shot 7 (msec)
1	8.7	24.7	34.3	47.0	53.0	63.0	73.3
2	17.7	21.1	31.7	43.8	50.0	60.3	71.4
3	22.4	17.4	27.7	40.3	47.1	57.0	66.6
4	23.3	12.1	24.4	36.5	44.0	54.6	64.2
5	25.3	12.0	22.4	34.6	41.9	51.2	61.6
6	29.8	17.8	21.3	34.0	40.4	50.6	60.0
7	30.1	19.0	19.0	32.0	39.4	48.0	56.6
8	32.3	21.8	12.0	28.6	35.3	46.2	55.8
9	35.0	24.4	13.0	26.6	33.5	43.7	52.7
10	37.3	26.8	18.4	24.5	31.6	41.6	51.0
11	39.5	32.3	25.0	25.0	32.9	42.5	50.9
12	43.4	32.2	24.7	16.8	29.5	38.8	48.5
13	47.3	37.3	29.9	17.7	29.3	40.1	48.0
14	48.2	40.9	33.7	28.1	25.4	36.7	45.2
15	50.1	42.6	32.3	28.6	21.7	32.6	41.4
16	51.5	42.2	33.7	28.4	14.2	28.7	38.6
17	54.0	44.3	35.9	30.8	14.4	27.4	37.0
18	56.1	46.8	38.0	33.8	21.1	25.4	35.3
19	58.2	49.5	40.7	36.8	24.4	23.0	33.8
20	60.9	51.9	43.2	39.4	26.8	11.2	31.4
21	65.2	54.8	46.5	42.3	29.3	11.8	29.8
22	66.6	57.0	48.8	44.3	31.3	21.7	25.1
23	70.0	60.2	51.9	47.6	35.0	26.9	21.6
24	70.9	62.7	53.9	49.7	38.0	30.5	12.3

## RIFRA 05 ONDE P

Gefono (n°)	Shot 1 (msec)	Shot 2 (msec)	Shot 3 (msec)	Shot 4 (msec)	Shot 5 (msec)	Shot 6 (msec)	Shot 7 (msec)	Shot 8 (msec)	Shot 9 (msec)
1	11.4	23.0	30.5	37.6	45.9	52.5	55.7	60.8	66.9
2	16.5	18.6	27.8	35.3	43.7	49.7	52.7	59.6	66.6
3	22.6	12.1	27.1	34.0	41.6	48.0	51.3	58.8	64.8
4	25.0	11.5	24.4	31.0	40.0	45.3	50.4	56.6	63.4
5	29.0	20.4	20.4	29.2	37.4	43.1	47.7	55.2	61.2
6	30.7	23.5	11.8	26.6	34.9	41.0	45.3	52.8	58.7
7	32.2	24.5	12.6	22.6	31.6	37.9	43.1	50.9	56.7
8	34.3	26.5	19.2	19.2	29.3	35.3	40.6	48.3	54.3
9	37.6	29.2	23.0	7.8	27.5	34.0	38.9	47.1	53.3
10	40.1	31.7	26.2	7.9	24.7	31.3	37.0	45.0	51.8
11	42.9	34.7	29.3	20.7	20.7	29.0	34.9	43.1	49.8
12	45.5	36.5	31.9	24.1	11.8	27.2	32.0	40.6	47.1
13	47.7	39.5	34.1	26.6	12.1	24.8	29.9	38.6	45.2
14	50.3	42.3	37.0	29.0	21.8	20.8	27.7	36.4	43.1
15	51.5	44.4	38.9	30.8	25.4	12.4	25.3	33.8	41.2
16	52.7	45.5	39.8	32.3	26.6	11.8	21.3	30.7	38.3
17	53.9	47.3	41.4	34.4	28.3	19.0	18.0	28.0	35.8
18	54.8	49.1	43.1	36.2	30.2	22.4	11.4	25.3	33.8
19	56.4	50.1	44.9	38.5	31.3	24.7	10.8	21.8	30.7
20	58.1	52.4	47.1	40.7	34.4	26.8	16.9	18.1	28.1
21	59.9	54.6	49.1	43.1	37.3	29.8	21.4	11.2	25.1
22	61.2	56.9	52.1	45.8	40.6	32.8	24.8	10.3	23.5
23	62.1	58.1	54.5	47.7	42.2	35.6	28.0	19.9	19.9
24	62.4	59.0	55.5	49.5	45.3	39.1	31.0	23.9	13.9