

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



CUP: J64H17000140001

**U.O. GEOLOGIA TECNICA, DELL'AMBIENTE E DEL TERRITORIO**

**PROGETTO DEFINITIVO**

**RADDOPPIO PONTE S.PIETRO – BERGAMO - MONTELLO**

**LOTTO 9: Opere Civili e Impianti Tecnologici di Piazzale per il completamento del raddoppio della linea Ponte SP – Bergamo e per lo spostamento provvisorio della linea Treviglio - Bergamo**

**RELAZIONE**

**INDAGINI GEOFISICHE**

SCALA:

-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.

N B 1 R 0 9 D 6 9 I G G E 0 0 0 1 0 0 1 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	D. Roverselli	Febbraio 2021	F. Paolucci <i>Dott. Francesco Paolucci</i>	Febbraio 2021	M. Berlingieri	Febbraio 2021	M. Comedini Febbraio 2021
							<i>MB</i>	



**PROGETTO DEFINITIVO**

**RADDOPPIO PONTE S.PIETRO – BERGAMO – MONTELLO**

**LOTTO 9: Opere Civili e Impianti Tecnologici di Piazzale per il completamento del raddoppio della linea Ponte SP – Bergamo e per lo spostamento provvisorio della linea Treviglio - Bergamo**

**RELAZIONE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	09 D 69	IG	GE0001 001	A	2 di 89

**INDAGINI GEOFISICHE**

	<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b>  <b>RADDOPPIO PONTE S.PIETRO – BERGAMO – MONTELLO</b>  <b>LOTTO 9: Opere Civili e Impianti Tecnologici di Piazzale per il completamento del raddoppio della linea Ponte SP – Bergamo e per lo spostamento provvisorio della linea Treviglio - Bergamo</b></p>												
<p><b>RELAZIONE</b>  <b>INDAGINI GEOFISICHE</b></p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NB1R</td> <td>09 D 69</td> <td>IG</td> <td>GE0001 001</td> <td>A</td> <td>3 di 89</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NB1R	09 D 69	IG	GE0001 001	A	3 di 89
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NB1R	09 D 69	IG	GE0001 001	A	3 di 89								

## 1 **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

Il presente documento è stato redatto ai sensi delle seguenti normative:

- Norme tecniche per le costruzioni 2018 (NTC 2018), D.M. del 14.01.08 aggiornato con D.M. del 17.01.18.
- Circolare del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti 21 gennaio 2019, n.7 del Consiglio superiore dei lavori Pubblici recante “Istruzioni per l’applicazione dell’Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni” di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018”.

	<b>Progetto Definitivo del Raddoppio ferroviario Ponte San Pietro – Bergamo – Montello</b>					
<b>RELAZIONE</b> INDAGINI GEOFISICHE	<b>COMMESSA</b> NB1R	<b>LOTTO</b> 00	<b>CODIFICA</b> D 69 IG	<b>DOCUMENTO</b> GE 0000 001	<b>REV.</b> A	<b>FOGLIO</b> 4 di 89

## 2 PREMESSA

Il presente documento riporta i risultati delle prospezioni geofisiche eseguite a supporto del Progetto Definitivo del Raddoppio ferroviario Ponte San Pietro – Bergamo – Montello, durante la campagna 2019-2020.

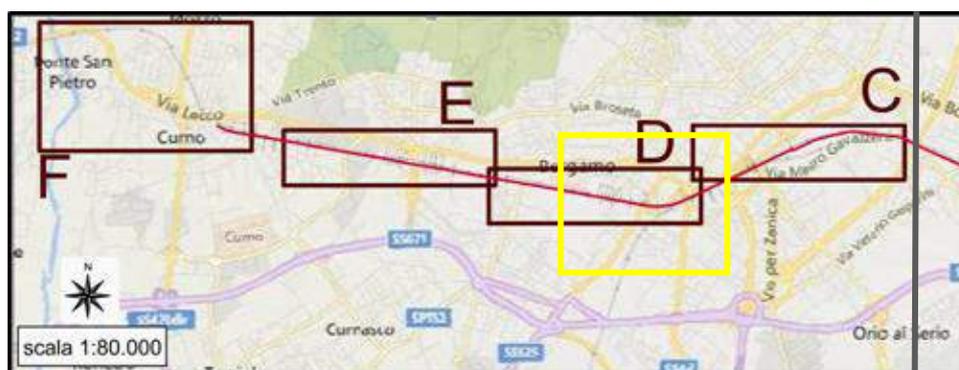
In particolare, le indagini hanno interessato la porzione di linea ferroviaria che va da Curno fino alle porte della stazione di Bergamo. Sono state eseguite indagini anche ad Albano Sant’Alessandro (BG) e Montello (BG), ma considerato che lo Studio Geologico per il Lotto 9 (Sottofase 1) è esteso tra Ponte San Pietro e Bergamo, saranno analizzate e riportate solo le indagini ricadenti nell’area suddetta.

Le indagini geofisiche sono state eseguite lungo l’asse del tracciato ferroviario esistente, in posizione sia settentrionale che meridionale o trasversale ad esso a seconda delle condizioni logistiche dei settori d’indagine.

	<b>Progetto Definitivo del Raddoppio ferroviario Ponte San Pietro – Bergamo – Montello</b>					
	<b>RELAZIONE</b> INDAGINI GEOFISICHE	<b>COMMESSA</b> NB1R	<b>LOTTO</b> 00	<b>CODIFICA</b> D 69 IG	<b>DOCUMENTO</b> GE 0000 001	<b>REV.</b> A

### 3 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

Le ubicazioni dei profili, aree e punti d'indagine sono inseriti negli Allegati. Per ragioni di rappresentazione cartografica, le indagini geofisiche sono state suddivise in n. 4 settori (da C a F - Fig. ):



**Fig. 3-1 – Suddivisione inquadramento territoriale indagini geofisiche in n. 4 settori (da C a F). Nel riquadro giallo sono evidenziati le aree degli interventi di progetto della Sottofase 1.**

- Settore C – Zona Stazione Fs di Bergamo;
- Settore D ed E – Zona Bergamo Ovest;
- Settore F – Zona Curno (BG) e Ponte San Pietro (BG).

L'attività si è articolata in differenti metodologie geofisiche strutturate in:

- N. 15 Rilievi Tomografici Elettrici in acquisizione 3D, denominati con sigla **E3D\_xxxx** (n. progr. in m del tracciato di raddoppio in progetto); i profili sono costituiti da n. 72 o n. 96 elettrodi posizionati rispettivamente mediante n. 3 e n. 4 stendimenti sub-paralleli ad interasse di circa 5.0 m e ciascuno costituito da n. 24 elettrodi equispaziati ogni 5.0 m. Per ragioni di continuità di rappresentazione grafica dei risultati, i singoli profili sono stati raggruppati in n. 5 aree (da **E3D\_A** a **E3D\_E**) in base alle condizioni logistiche e dei limiti fisiografici dei luoghi; i profili sono in scala 1:5.000;
- N. 10 Rilievi Tomografici Elettrici in acquisizione 2D, denominati con sigla **E2D\_xxxx** (n. progr. in m del tracciato di raddoppio in progetto); i profili sono costituiti da un minimo di n. 25 a un massimo di n. 96 elettrodi a seconda delle condizioni logistiche dei settori d'indagine, con passo regolare ogni 5.0m; i profili sono in scala 1:5.000;
- N. 13 stendimenti sismici con acquisizione prove di tipo Re.Mi./MASW, denominate con sigla **Mxx** finalizzate alla determinazione del parametro  $V_{seq}$  ed alla definizione della categoria sismica dei suoli di fondazione ai sensi delle NTC 2018; gli stendimenti sono costituiti da n. 19 (M12) e n. 24 geofoni posizionati ad intervalli regolari di 2.5 m (da M4 a M16); gli stendimenti con l'indicazione del punto centrale di riferimento rappresentativo del volume di terreno indagato sono posizionati su foto aerea nella relativa scheda monografica nello specifico capitolo dedicato; gli stessi in scala 1.5.000;
- N. 3 Prove Down-Hole in foro, denominate da **DH-1** a **DH-3** per la definizione dei profili di velocità  $V_p$ ,  $V_s$ ,  $V_{seq}$  ai sensi delle NTC 2018 e dei moduli dinamici dei terreni carotati, eseguite nei fori di sondaggio **L1-S14**, **L1-S16** e **L1-S5**; le prove sono ubicate negli Allegati 2 e 4 a scala 1:5000.

RELAZIONE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	00	D 69 IG	GE 0000 001	A	6 di 89

INDAGINI GEOFISICHE

Per una corretta e precisa mappatura planimetrica ed areale delle stese elettriche e sismiche si è provveduto alla realizzazione di rilievi topografici delle stesse, battendo ogni singolo elettrodo/geofono, mediante strumentazione GPS “**Trimble R2**” dotata di “GNSS Receiver” e di “TSC3 Controller”. Di seguito vengono descritte le singole attività svolte con le relative interpretazioni dei dati geofisici acquisiti e specifica documentazione fotografica.

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<b>Progetto Definitivo del Raddoppio ferroviario Ponte San Pietro – Bergamo – Montello</b>					
<b>RELAZIONE</b>  <b>INDAGINI GEOFISICHE</b>	<b>COMMESSA</b>  <b>NB1R</b>	<b>LOTTO</b>  <b>00</b>	<b>CODIFICA</b>  <b>D 69 IG</b>	<b>DOCUMENTO</b>  <b>GE 0000 001</b>	<b>REV.</b>  <b>A</b>	<b>FOGLIO</b>  <b>7 di 89</b>

### 3.1 Report fotografico attività svolte

INDAGINE TOMOGRAFICA ELETTRICA – *Particolare di uno Stendimento 3D (a sinistra) e 2D (a destra).*



INDAGINE SISMICA Prova Re.Mi/MASW e HVSR (*Energizzazione prova MASW a sinistra e Tromografo a destra*).



RELAZIONE

INDAGINI GEOFISICHE

COMMESSA

NB1R

LOTTO

00

CODIFICA

D 69 IG

DOCUMENTO

GE 0000 001

REV.

A

FOGLIO

8 di 89

INDAGINE SISMICA IN FORO - DOWN-HOLE - (*Energizzazione onde Vp a sinistra e onde Vs a destra*).



INDAGINE SISMICA Profilo Sismico a Rifrazione P e S (*Energizzazione Onde P a sinistra e Onde S a destra*).



RELAZIONE

INDAGINI GEOFISICHE

COMMESSA

NB1R

LOTTO

00

CODIFICA

D 69 IG

DOCUMENTO

GE 0000 001

REV.

A

FOGLIO

9 di 89

RILIEVO TOPOGRAFICO – *Strumentazione.*

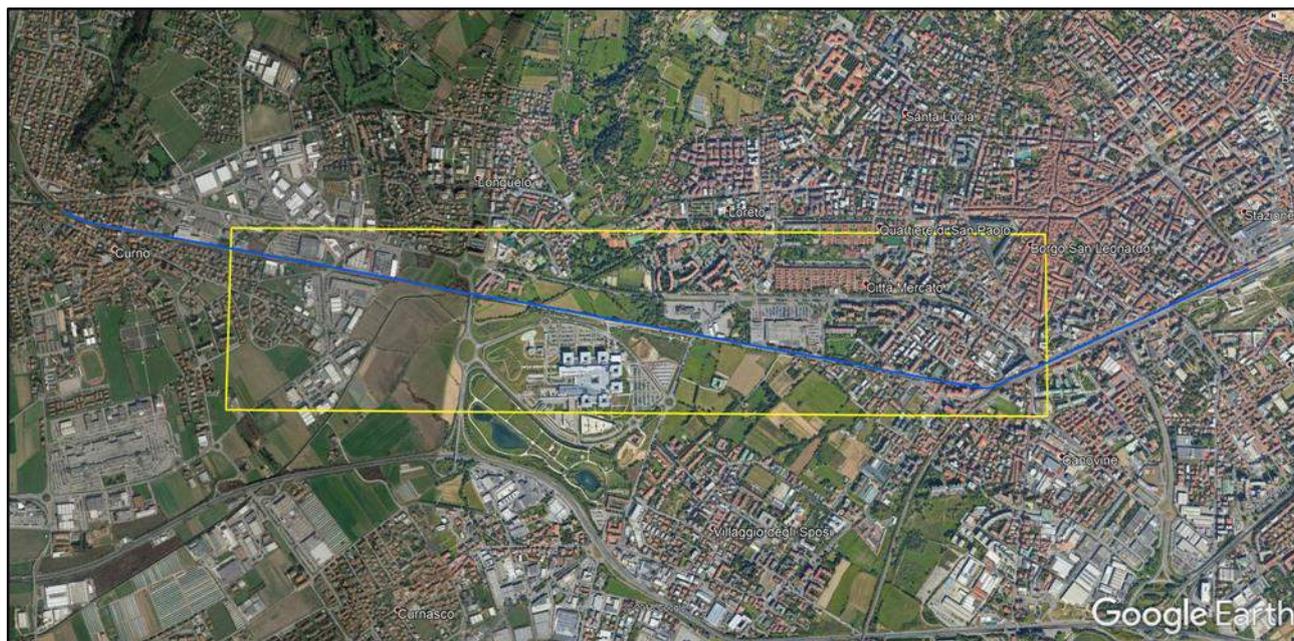


 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>Progetto Definitivo del Raddoppio ferroviario Ponte San Pietro – Bergamo – Montello</b>					
	<b>RELAZIONE</b> INDAGINI GEOFISICHE	<b>COMMESSA</b> NB1R	<b>LOTTO</b> 00	<b>CODIFICA</b> D 69 IG	<b>DOCUMENTO</b> GE 0000 001	<b>REV.</b> A

#### 4 RILIEVI TOMOGRAFICI ELETTRICI

L'esecuzione dei rilievi tomografici elettrici, finalizzata alla ricostruzione volumetrica o bidimensionale dei rapporti tra le unità elettrostratigrafiche, si è articolata in acquisizioni di tipo sia bidimensionale sia tridimensionale.

In Figura 4-1 si riporta l'area coperta dalle indagini geoelettriche rispetto l'andamento del tracciato ferroviario.



**Figura 4-1 - Area coperta dalle indagini geoelettriche (riquadro giallo) rispetto l'andamento del tracciato ferroviario (linea blu).**

Le configurazioni elettrodiche utilizzate per i rilievi tomografici elettrici sono state la Dipolo-Dipolo per i rilievi 3D e Schlumberger e Wenner-Schlumberger per i rilievi 2D.

Per l'acquisizione dei dati sono stati usati due georesistivimetri del tipo AMBROGEO MANGUSTA SYSTEM MC 96/E (Rilievi 2D e 3D) e A.G.I. SUPER STING R8/IP (Rilievi 2D). La successiva elaborazione dei dati è avvenuta attraverso l'utilizzo dei software RES2DINV 4.9, RES2DMOD e GOLDEN SOFTWARE – SURFER per i rilievi 2D, mentre RES3DINV 2.16 e CTECH – EARTH VOLUMETRIC STUDIO per i rilievi 3D.

**In Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** si riassumono le estensioni metriche lineari dei profili 2D e 3D in riferimento inoltre alle progressive del progetto di raddoppio ferroviario.

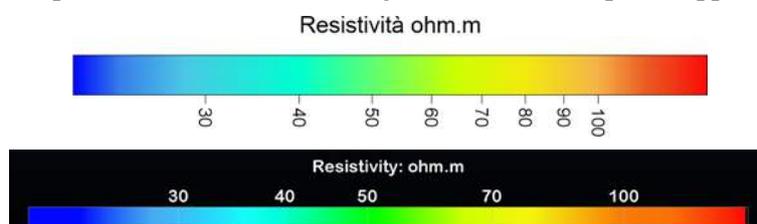
Tipo di rilievo	Codifica	Progressive (m)	Estensione lineare (m)
2D	E2D_1065	da 1065 a 1235	170
2D	E2D_1270	da 1270 a 1440	170
2D	E2D_1470	da 1470 a 1705	235
2D	E2D_1735	da 1735 a 2210	475
3D	E3D_D (E3D_2220 e E3D_2360)	da 2220 a 2475	255
2D	E2D_2445	da 2445 a 2590	145
2D	E2D_2605	da 2605 a 2825	220
3D	E3D_C (E3D_2965, E3D_3035, E3D_3095 e E3D_3150)	da 2965 a 3265	300
2D	E2D_2990	da 2990 a 3110	120
3D	E3D_B (E3D_3340, E3D_3385 e E3D_3445)	da 3340 a 3560	220
3D	E3D_A (E3D_3615, E3D_3675, E3D_3735, E3D_3795 e E3D_3855)	da 3615 a 3970	355
2D	E2D_4000	da 4000 a 4235	235
2D	E2D_4255	da 4255 a 4430	175
3D	E3D_E (E3D_4310)	da 4310 a 4425	115
2D	E2D_4395	da 4395 a 4630	235
		Totale (m)	3425

 <b>ITAFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>Progetto Definitivo del Raddoppio ferroviario Ponte San Pietro – Bergamo – Montello</b>					
	<b>RELAZIONE</b> INDAGINI GEOFISICHE	<b>COMMESSA</b> NB1R	<b>LOTTO</b> 00	<b>CODIFICA</b> D 69 IG	<b>DOCUMENTO</b> GE 0000 001	<b>REV.</b> A

#### 4.1 ANALISI DEI DATI

Le procedure di lavoro descritte hanno consentito di acquisire dati di un elevato livello qualitativo e pertanto il successivo processo d’inversione per l’elaborazione delle sezioni finali, ha raggiunto livelli minimi di scostamento tra dati acquisiti e modello teorico. Inoltre la ricostruzione volumetrica del modello di resistività del terreno è conforme ai dati in ingresso, questo grazie all’algoritmo “Kriging” implementato in maniera robusta / consistente nel programma di elaborazione 3D utilizzato, che permette diverse possibilità di parametrizzazione del processo di calcolo e un robusta valutazione del variogramma in base ai dati di ingresso.

Le sezioni e i modelli volumetrici allegati, nei quali, tramite le diverse gradazioni di colore, è stata rappresentata la distribuzione dei valori di resistività elettrica, mostrano il miglior modello bidimensionale e tridimensionale calcolato e consentono di evidenziare la presenza di differenti unità geofisiche ed i reciproci rapporti stratigrafici.



**Fig. 1 – Scale colorimetriche dei valori di resistività elettrica per l’analisi 2D (sopra) e 3D (sotto).**

Facendo riferimento ai litotipi geologici presenti nella zona e all’assetto geologico strutturale dell’area, è possibile descrivere tre tipologie di unità geofisiche:

- Unità **resistive** ( $\rho > 80$  ohm.m - colore arancione-rosso), riferibili a materiali grossolani prevalentemente ghiaiosi - sabbiosi e/o ad elementi litoidi più o meno cementati;
- Unità **conduttive** ( $\rho < 40$  ohm.m - colore azzurro-blu) rappresentative dei materiali a granulometria fine, rientranti nel campo delle argille e dei limi;
- Unità **intermedie mediamente resistive** ( $40 < \rho < 80$  ohm.m - colore verde-giallo), riferibile in genere a situazioni di transizione presenti tra le unità precedenti.

La seguente sequenza di rappresentazione dei risultati è fornita in base alle progressive metriche crescenti del progetto, ovvero con direzione da est a ovest.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>Progetto Definitivo del Raddoppio ferroviario Ponte San Pietro – Bergamo – Montello</b>					
	<b>RELAZIONE</b> INDAGINI GEOFISICHE	<b>COMMESSA</b> NB1R	<b>LOTTO</b> 00	<b>CODIFICA</b> D 69 IG	<b>DOCUMENTO</b> GE 0000 001	<b>REV.</b> A

#### 4.1.1 Tomografia Elettrica 3D

I profili tomografici elettrici, in particolare quelli eseguiti in acquisizione 3D, per ragioni di continuità di rappresentazione grafica dei risultati, sono stati raggruppati in n. 5 aree (da A a E) in base alle condizioni logistiche e dei limiti fisiografici dei luoghi; la suddivisione è riportata negli Allegati a scala 1:5000 e su foto aerea in Figura 4-2.



Fig. 4-2 – Ubicazione e suddivisione in n. 5 settori (da A a E) dei profili tomografici elettrici 3D su foto aerea.

Nella tabella sottoriportata si riassumono le estensioni metriche lineari e dell'intero stendimento 3D dei settori (da A a E) interessati dai rilievi tomografici elettrici tridimensionali, in riferimento inoltre alle progressive chilometriche.

Tipo di rilievo	Codifica Settore	Codifica Profilo	Progressive (m)	Estensione lineare (m)	Numero Elettrodi	Estensione stendimento 3D (m)
3D	E3D_D	E3D_2220	da 2220 a 2335	115	72	345
3D	E3D_D	E3D_2360	da 2360 a 2475	115	72	345
3D	E3D_C	E3D_2965	da 2965 a 3080	115	72	345
3D	E3D_C	E3D_3035	da 3035 a 3150	115	72	345
3D	E3D_C	E3D_3095	da 3095 a 3210	115	72	345
3D	E3D_C	E3D_3150	da 3150 a 3265	115	72	345
3D	E3D_B	E3D_3340	da 3340 a 3455	115	72	345
3D	E3D_B	E3D_3385	da 3385 a 3500	115	72	345
3D	E3D_B	E3D_3445	da 3445 a 3560	115	96	460
3D	E3D_A	E3D_3615	da 3615 a 3730	115	96	460
3D	E3D_A	E3D_3675	da 3675 a 3790	115	96	460
3D	E3D_A	E3D_3735	da 3735 a 3850	115	96	460
3D	E3D_A	E3D_3795	da 3795 a 3910	115	96	460
3D	E3D_A	E3D_3855	da 3855 a 3970	115	96	460
3D	E3D_E	E3D_4310	da 4310 a 4425	115	72	345
			Totale (m)	1725		5865

Nella relazione geologica sono interpretati i risultati riportati negli Allegati al presente documento.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>Progetto Definitivo del Raddoppio ferroviario Ponte San Pietro – Bergamo – Montello</b>					
	<b>RELAZIONE</b> INDAGINI GEOFISICHE	<b>COMMESSA</b> NB1R	<b>LOTTO</b> 00	<b>CODIFICA</b> D 69 IG	<b>DOCUMENTO</b> GE 0000 001	<b>REV.</b> A

#### 4.1.2 Tomografia Elettrica 2D

I profili tomografici elettrici 2D, sono stati eseguiti nei settori dove per ragioni logistiche e areali non è stato possibile eseguire i rilievi tomografici elettrici 3D; l'ubicazione planimetrica è riportata negli Allegati a scala 1:5000 e su foto aerea in Figura 4-3.



Figura 4-3 - Ubicazione dei profili tomografici elettrici 2D su foto aerea.

Nella tabella sottoriportata si riassumono le estensioni metriche lineari dei rilievi tomografici elettrici 2D, in riferimento inoltre alle progressive chilometriche.

Tipo di rilievo	Codifica	Progressive (m)	Estensione lineare (m)
2D	E2D_1065	da 1065 a 1235	170
2D	E2D_1270	da 1270 a 1440	170
2D	E2D_1470	da 1470 a 1705	235
2D	E2D_1735	da 1735 a 2210	475
2D	E2D_2445	da 2445 a 2590	145
2D	E2D_2605	da 2605 a 2825	220
2D	E2D_2990	da 2990 a 3110	120
2D	E2D_4000	da 4000 a 4235	235
2D	E2D_4255	da 4255 a 4430	175
2D	E2D_4395	da 4395 a 4630	235
		<b>Totale (m)</b>	<b>2180</b>

Nella relazione geologica sono interpretati i risultati riportati negli Allegati al presente documento.

 <b>ITAFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	Progetto Definitivo del Raddoppio ferroviario Ponte San Pietro – Bergamo – Montello					
	<b>RELAZIONE</b> INDAGINI GEOFISICHE	<b>COMMESSA</b> NB1R	<b>LOTTO</b> 00	<b>CODIFICA</b> D 69 IG	<b>DOCUMENTO</b> GE 0000 001	<b>REV.</b> A

## 5 INDAGINI SISMICHE MASW/RE.MI.

Per la determinazione del parametro  $V_{seq}$  e la classificazione della categoria sismica dei suoli di fondazione ai sensi delle NTC 2018 sono state eseguite n.138 prove sismiche di tipo MASW/Re.Mi, denominate con sigla da **M31** a **M16**; le ubicazioni planimetriche sono riportate negli Allegati in scala 1:5.000.

La Figura 5-1 riporta su foto aerea, le tracce delle prove MASW/Re.Mi con il punto centrale rappresentativo del volume di terreno investigato.

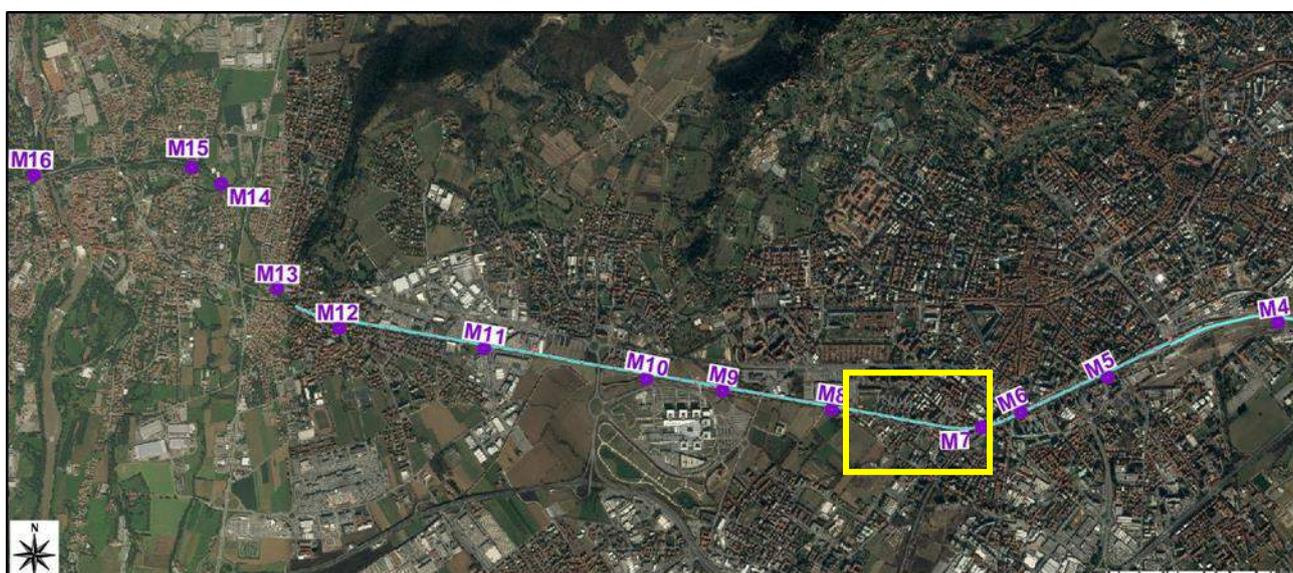


Fig. 5-1 - Inquadramento territoriale delle prove MASW/Re.Mi. – Zona Bergamo, Curno e Ponte San Pietro. Nel riquadro giallo l'area degli interventi di Sottofase 1.

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<b>Progetto Definitivo del Raddoppio ferroviario Ponte San Pietro – Bergamo – Montello</b>					
<b>RELAZIONE</b> INDAGINI GEOFISICHE	<b>COMMESSA</b> NB1R	<b>LOTTO</b> 00	<b>CODIFICA</b> D 69 IG	<b>DOCUMENTO</b> GE 0000 001	<b>REV.</b> A	<b>FOGLIO</b> 15 di 89

## 5.1 MODALITÀ ESECUTIVE DELL'INDAGINE

In considerazione delle particolari condizioni logistiche locali, per poter definire con una discreta certezza il dato medio di  $V_{seq}$ , si è proceduto ad acquisire sia profili sismici di tipo “MASW” che “Re.Mi.” impiegando geofoni da 4.5 Hz ed acquisitore digitale a 24 canali della Geometrics tipo “Geode” con dinamica a 24bit.

Per quanto riguarda le prove sismiche attive MASW sono state effettuate molteplici registrazioni energizzando agli estremi dello stendimento sismico (minimo n.3 per estremo) a distanze diverse dal geofono iniziale o finale; i film e gli spettri delle registrazioni, effettivamente utilizzate per il “processing”, sono riportati negli Allegati.

Per le prove sismiche passive (Re.Mi.) in ogni punto d’indagine sono state effettuate molteplici acquisizioni con l’intento di ottenere statisticamente un migliore dato da processare, negli Allegati sono graficizzati gli “spettri medi” ottenuto dall’elaborazione congiunta delle singole registrazioni. Nello stesso paragrafo sono riportati anche gli “spettri medi” delle prove MASW acquisite secondo lo schema descritto precedentemente.

## 5.2 ELABORAZIONE DATI

I dati delle prove “MASW” sono stati elaborati con il software “WinMasw – Eliosoft”.



Per la metodologia “Re.Mi.” per l’elaborazione dei dati si è utilizzato il pacchetto software SeisOpt Re.Mi. 5.0 prodotto dalla Optim Software LLC.



Come prima fase è stata eseguita un’analisi spettrale di più sismogrammi che ha consentito di elaborare un’immagine della distribuzione media del segnale di velocità sismica in funzione delle diverse frequenze che lo compongono. Da tale elaborazione è stata estrapolata la curva di attenuazione del segnale caratteristico e in funzione del suo andamento (curva di dispersione) si è risaliti alla stratigrafia sismica in termini di velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ). Il risultato finale dell’elaborazione è consistito, quindi, nella rappresentazione grafica del profilo di velocità.

La velocità delle onde di taglio, essendo legata alle caratteristiche dello scheletro del materiale, costituisce un parametro di grande rilevanza per la definizione delle caratteristiche geomeccaniche dei materiali. Risulta evidente che a velocità elevate corrispondono materiali con buone caratteristiche geomeccaniche, viceversa a bassi valori corrispondono materiali con scadenti caratteristiche geotecniche.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>Progetto Definitivo del Raddoppio ferroviario Ponte San Pietro – Bergamo – Montello</b>					
	<b>RELAZIONE</b> INDAGINI GEOFISICHE	<b>COMMESSA</b> NB1R	<b>LOTTO</b> 00	<b>CODIFICA</b> D 69 IG	<b>DOCUMENTO</b> GE 0000 001	<b>REV.</b> A

La tabella seguente sintetizza i valori di  $V_{Seq}$  calcolati e conseguente categoria di suolo sismico:

Sigla Prova	$V_{Seq}$ (m/sec)	$H_{rif}$	Categoria suolo
M3	462	21	B
M4	443	30	B
M5	445	30	B
M6	405	30	B
M7	432	30	B
M8	365	30	B
M9	359	30	C
M10	414	30	B
M11	387	30	B
M12	412	30	B
M13	464	30	B
M14	429	30	B
M15	555	30	B
M16	429	30	B

Tabella 5.2 -  $V_{Seq}$  con relativa profondità di riferimento e rispettiva categoria di suolo sismico per ognuna delle prove MASW/Re.Mi eseguite.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	Progetto Definitivo del Raddoppio ferroviario Ponte San Pietro – Bergamo – Montello					
	<b>RELAZIONE</b> INDAGINI GEOFISICHE	<b>COMMESSA</b> NB1R	<b>LOTTO</b> 00	<b>CODIFICA</b> D 69 IG	<b>DOCUMENTO</b> GE 0000 001	<b>REV.</b> A

## 6 PROVE DOWN-HOLE

Per la definizione dei valori di  $V_p$ ,  $V_s$  e  $V_{seq}$  ai sensi delle NTC 2018 e dei moduli dinamici dei terreni carotati, in corrispondenza dei sondaggi **L1-S5**, **L1-S14** e **L1-S16**, opportunamente attrezzati, sono state effettuate n.3 prove Down-Hole denominate **DH-1** (L1-S14), **DH-2** (L1-S16) e **DH-3** (L1-S5) delle quali ne è riportata l'ubicazione planimetrica negli Allegati a scala 1:5.000.

In Figura 6-1 e Figura 6-2 se ne riporta l'ubicazione su foto aerea.



Figura 6-1 – Ubicazione territoriale delle prove Down-Hole DH-1 e DH-2 su foto aerea – Zona Ponte San Pietro.



Figura 6-2 - Ubicazione territoriale della prova Down-Hole DH-3 su foto aerea – Zona Bergamo.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>Progetto Definitivo del Raddoppio ferroviario Ponte San Pietro – Bergamo – Montello</b>					
	<b>RELAZIONE</b> INDAGINI GEOFISICHE	<b>COMMESSA</b> NB1R	<b>LOTTO</b> 00	<b>CODIFICA</b> D 69 IG	<b>DOCUMENTO</b> GE 0000 001	<b>REV.</b> A

## 6.1 ELABORAZIONE E RESTITUZIONE DEI DATI

Dai sismogrammi registrati sono stati “letti” i tempi di arrivo (picking) delle onde sismiche P e delle onde S, ad ogni intervallo di profondità raggiunto dal geofono. Il calcolo delle velocità sismiche infatti è stato realizzato attraverso la misura della differenza di tempi fra posizioni differenti del geofono ed il punto di energizzazione.

I grafici riportati negli Allegati visualizzano i sismogrammi acquisiti con il relativo “picking”, l’andamento delle velocità sismiche  $V_p$  e  $V_s$  calcolate per ciascun intervallo e le tabelle di sintesi dei dati elaborati, unitamente ai moduli dinamici, calcolati sulla base dei parametri sismici e degli specifici valori di peso di volume ( $\gamma$ ) delle litologie presenti.

In dettaglio sono riportati:

- Velocità Onde P=  $V_p$ ;
- Velocità Onde S=  $V_s$ ;
- Rapporto  $V_p/V_s$ ;
- Rapporto di Poisson  $\sigma$ ;
- Modulo di taglio G din;
- Modulo di Young E din;
- Modulo di compressione  $E_v$ .

Concludendo, l’analisi dei dati relativi alla velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) ha consentito inoltre di definire la categoria sismica del suolo:

**Down-Hole DH-1:** valore di  $V_{seq}$  pari a **468 m/s** ( $H_{rif}$ =da 0 a 28 m da p.c.) definisce un suolo di **Categoria B**.

**Down-Hole DH-2:** valore di  $V_{seq}$  pari a **364 m/s** ( $H_{rif}$ =da 0 a 25 m da p.c.) definisce un suolo di **Categoria B**.

**Down-Hole DH-3:** valore di  $V_{seq}$  pari a **438 m/s** ( $H_{rif}$ =da 2 a 30 m da p.c.) definisce un suolo di **Categoria B**.

RELAZIONE

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

INDAGINI GEOFISICHE

NB1R

00

D 69 IG

GE 0000 001

A

19 di 89

# ALLEGATI

**TOMOGRAFIE ELETTRICHE 3D**

**TOMOGRAFIE ELETTRICHE 2D**

**MASW**

**DOWN HOLE**

RELAZIONE

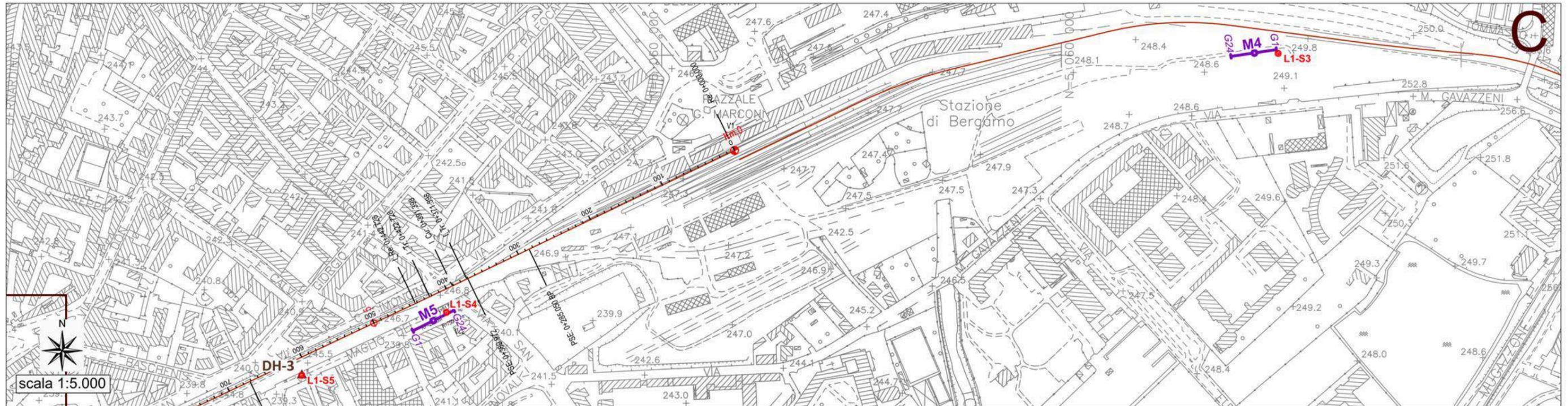
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
----------	-------	----------	-----------	------	--------

INDAGINI GEOFISICHE

NB1R	00	D 69 IG	GE 0000 001	A	20 di 89
------	----	---------	-------------	---	----------

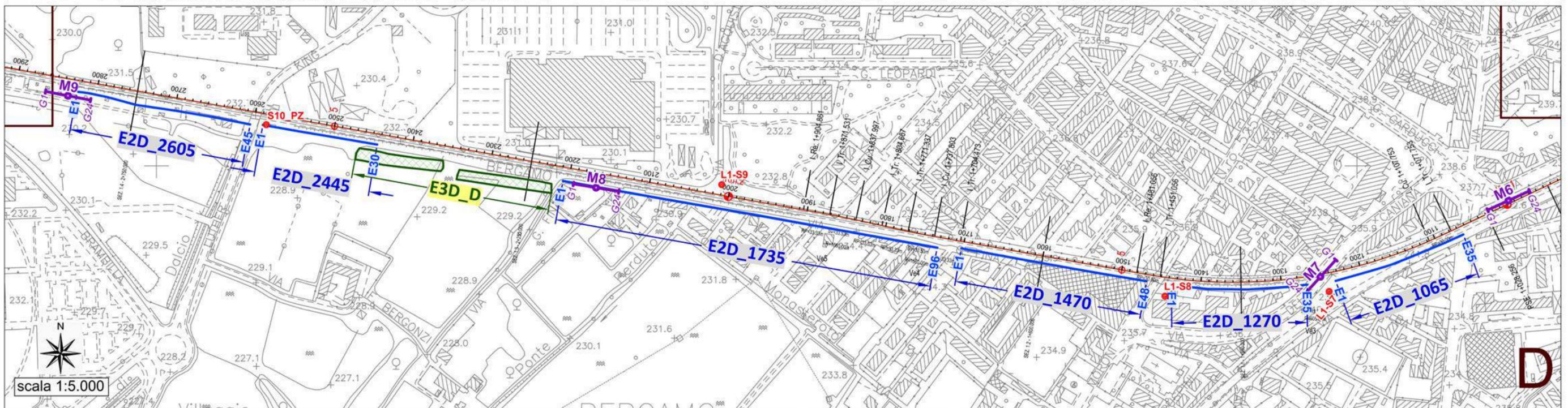
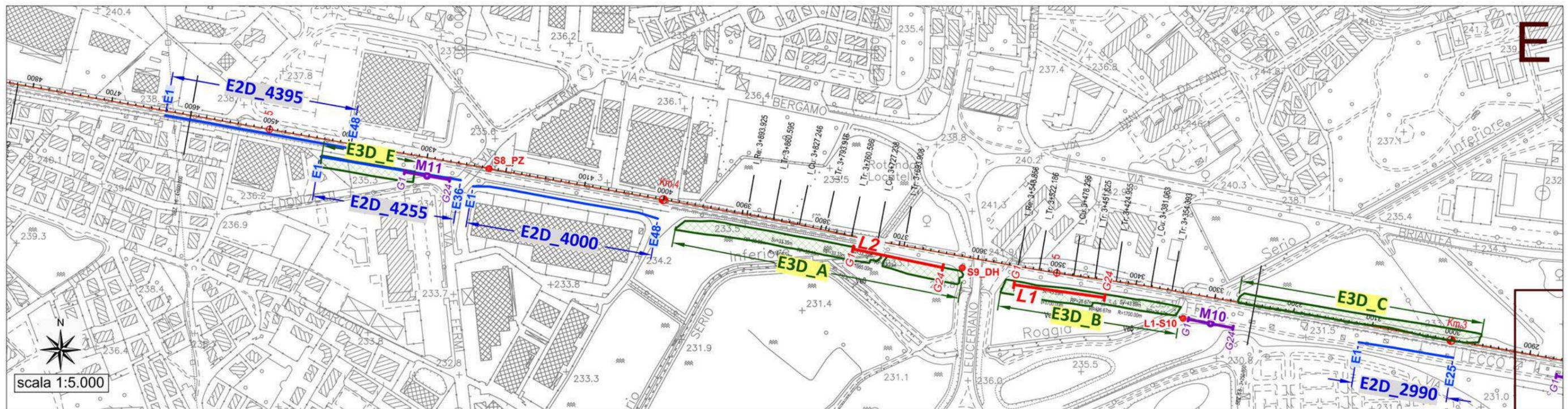
## **TOMOGRAFIE ELETTRICHE 3D**

## **TOMOGRAFIE ELETTRICHE 2D**



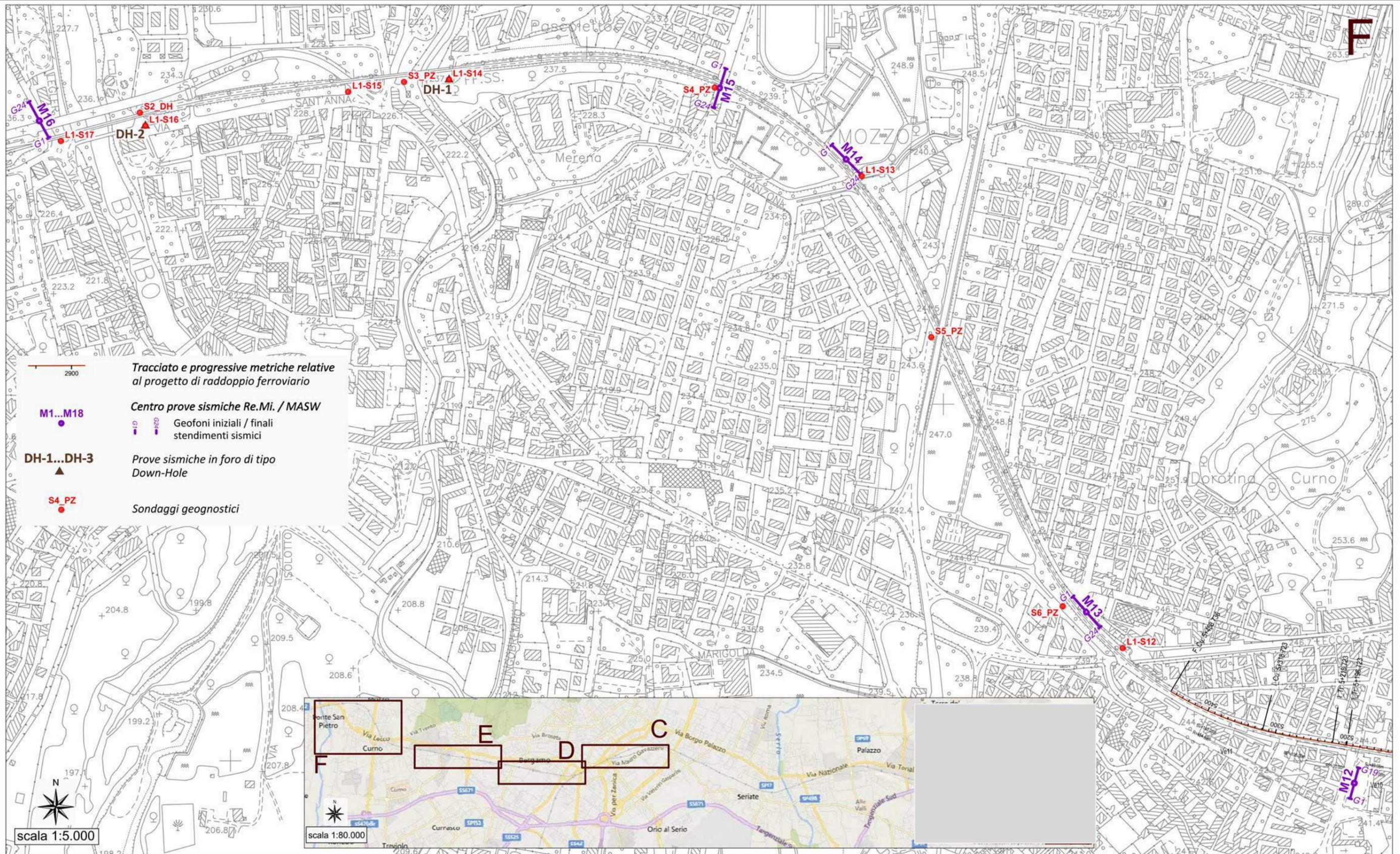
-  2900  
Tracciato e progressive metriche relative al progetto di raddoppio ferroviario
-  M1...M18  
Centro prove sismiche Re.Mi. / MASW
-  Geofoni iniziali / finali stendimenti sismici
-  DH-1...DH-3  
Prove sismiche in foro di tipo Down-Hole
-  S4\_PZ  
Sondaggi geognostici

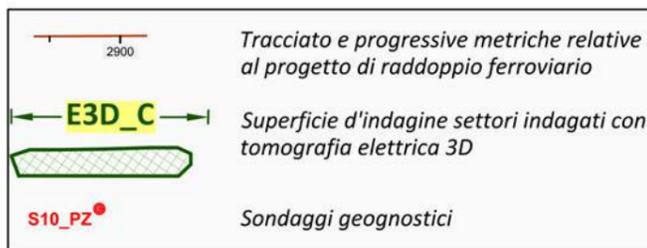
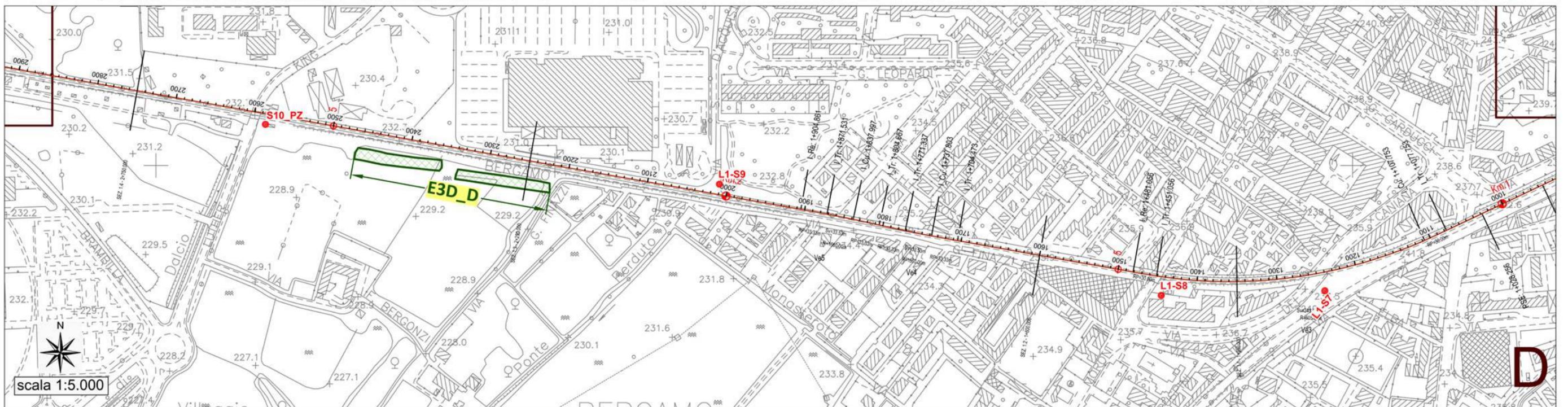
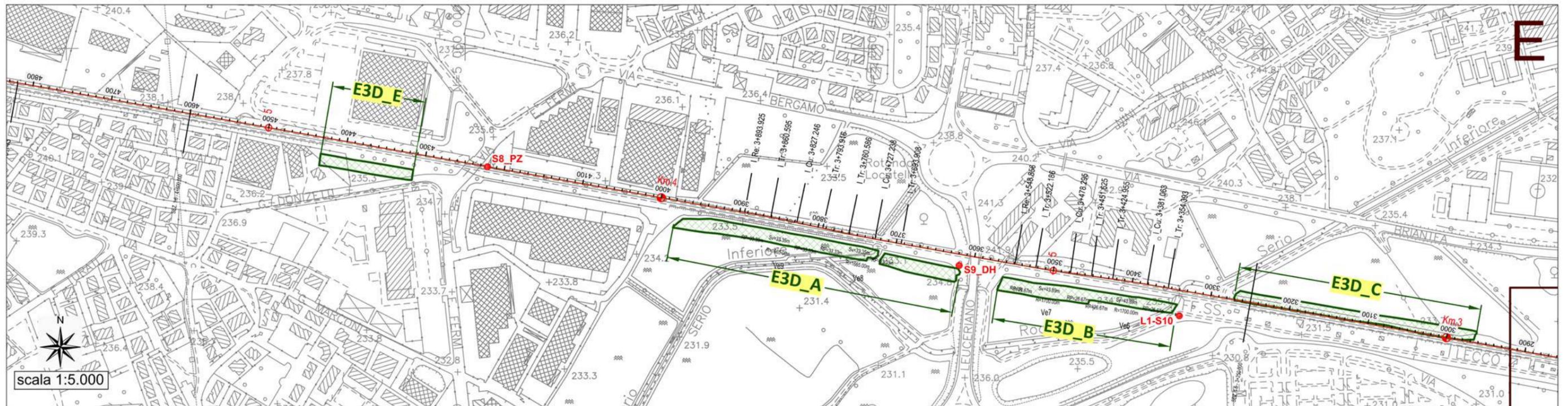




-  2900 Tracciato e progressive metriche relative al progetto di raddoppio ferroviario
-  E3D\_C Superficie d'indagine settori indagati con tomografia elettrica 3D
-  E2D\_xxxx Elettrodo iniziale e finale stendimento tomografico elettrico 2D (xxxx= progressiva metrica rispetto all'andamento del tracciato di raddoppio)
-  M1...M18 Centro prove sismiche Re.Mi. / MASW
-  G1 G24 Geofoni iniziali / finali stendimenti sismici
-  L1 L2 Profili sismici a rifrazione, registrazione in onde P e S
-  G1 G24 Geofoni iniziali / finali profili sismici a rifrazione
-  S4 PZ Sondaggi geognostici







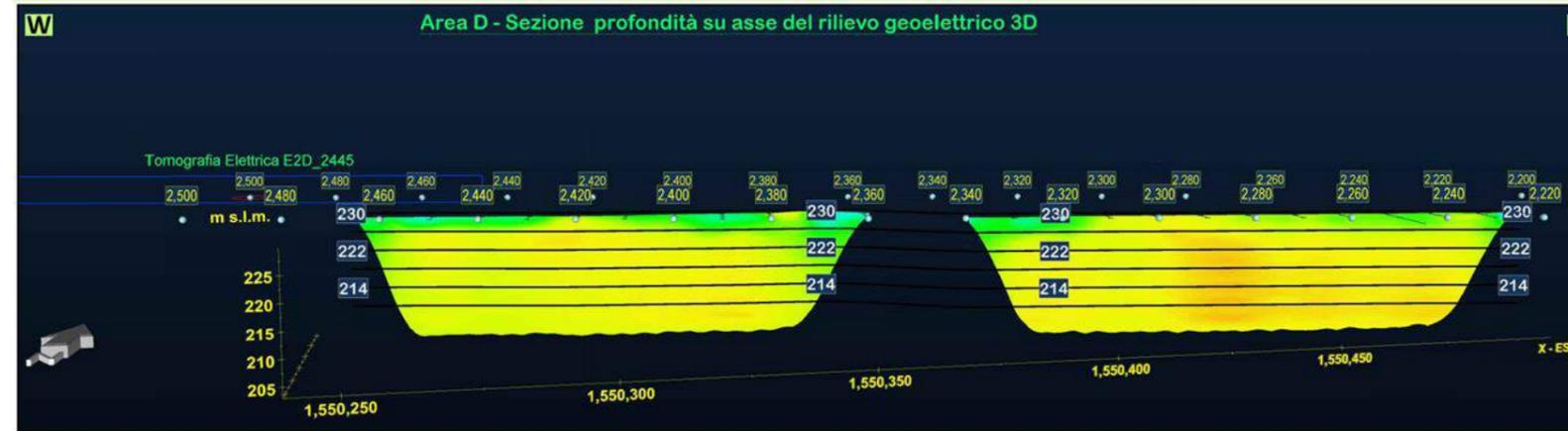
RELAZIONE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
----------	-------	----------	-----------	------	--------

INDAGINI GEOFISICHE

NB1R	00	D 69 IG	GE 0000 001	A	25 di 89
------	----	---------	-------------	---	----------

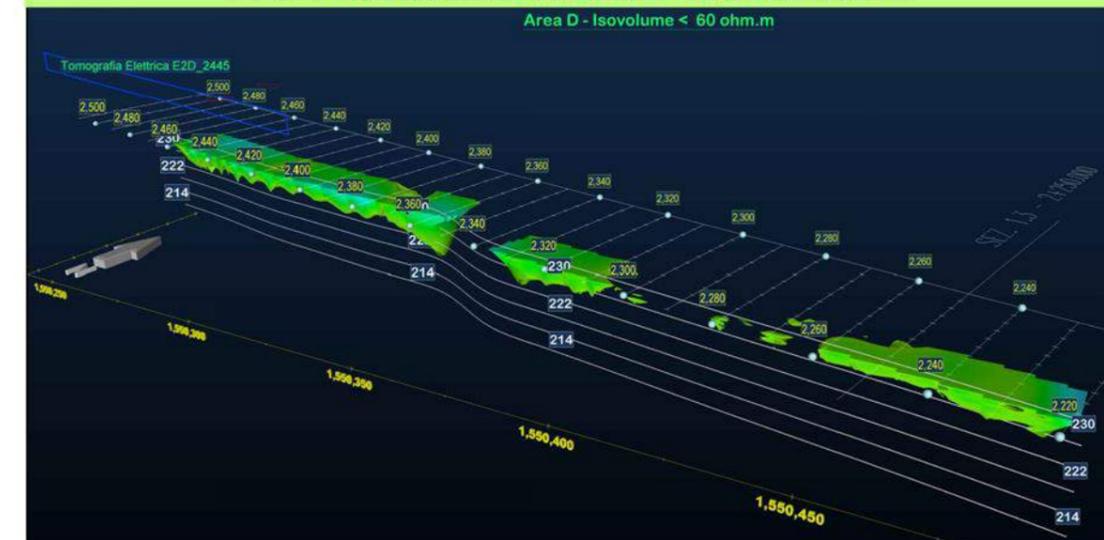
**Area D - Sezione tomografica elettrica 3D - Vista da Sud**



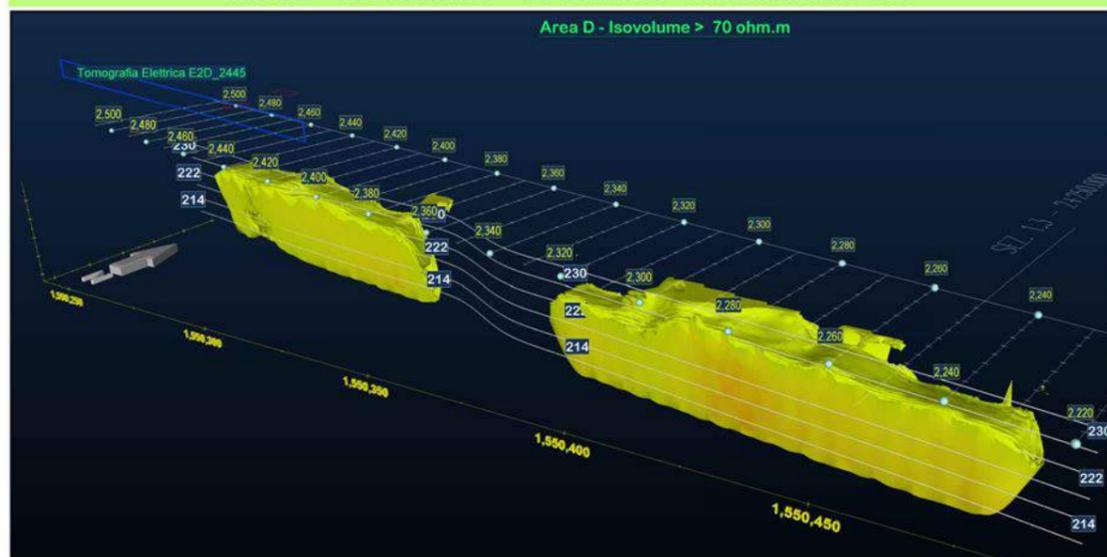
ESTRATTO PLANIMETRICO - TRACCIA SEZIONE ELETTRICA



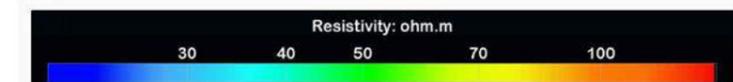
**Area D - Isovolumi < 60 ohm.m - Vista da Sud-Est**



**Area D - Isovolumi > 70 ohm.m - Vista da Sud-Est**



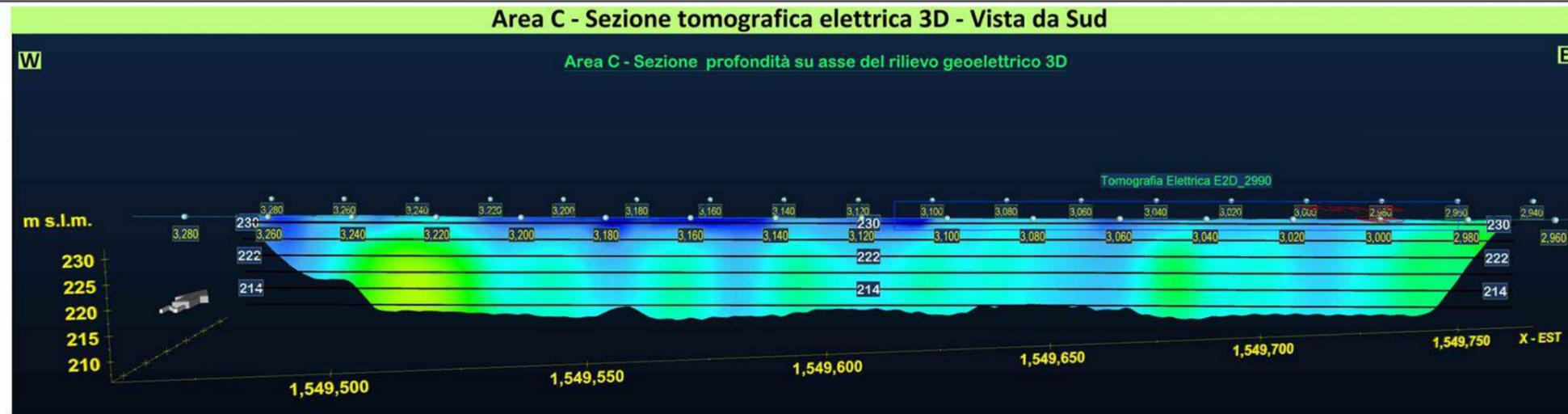
Legenda



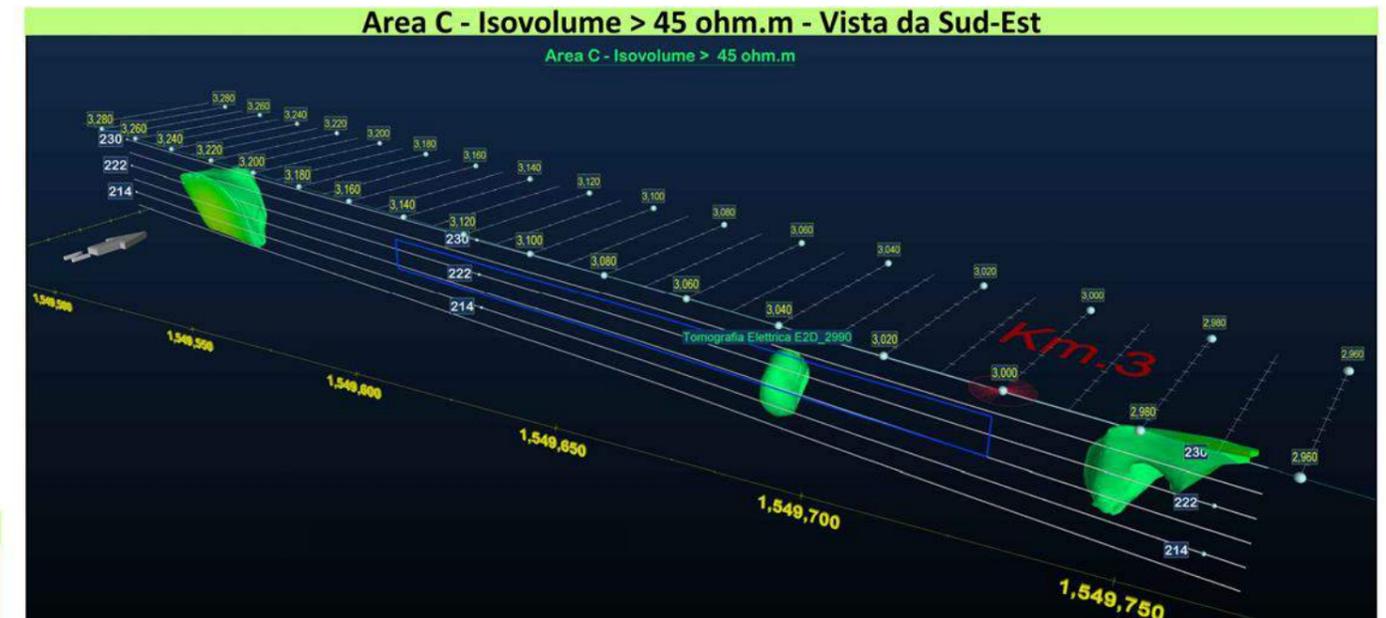
Sismica a Rifrazione L2 Profili tomografici sismici o geoelettrici 2D

Progressive metriche del tracciato di raddoppio ferroviario

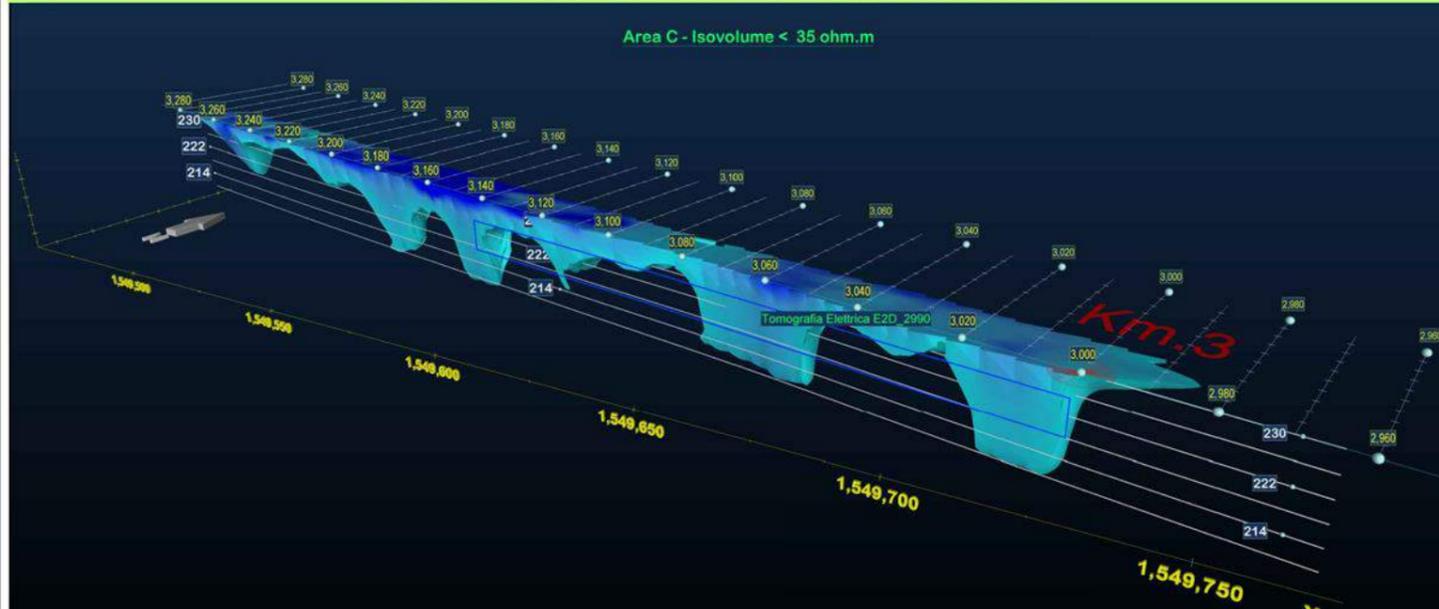
Quote metriche sul livello del mare



ESTRATTO PLANIMETRICO - TRACCIA SEZIONE ELETTRICA



**Area C - Isovolume < 35 ohm.m - Vista da Sud-Est**



**Legenda**



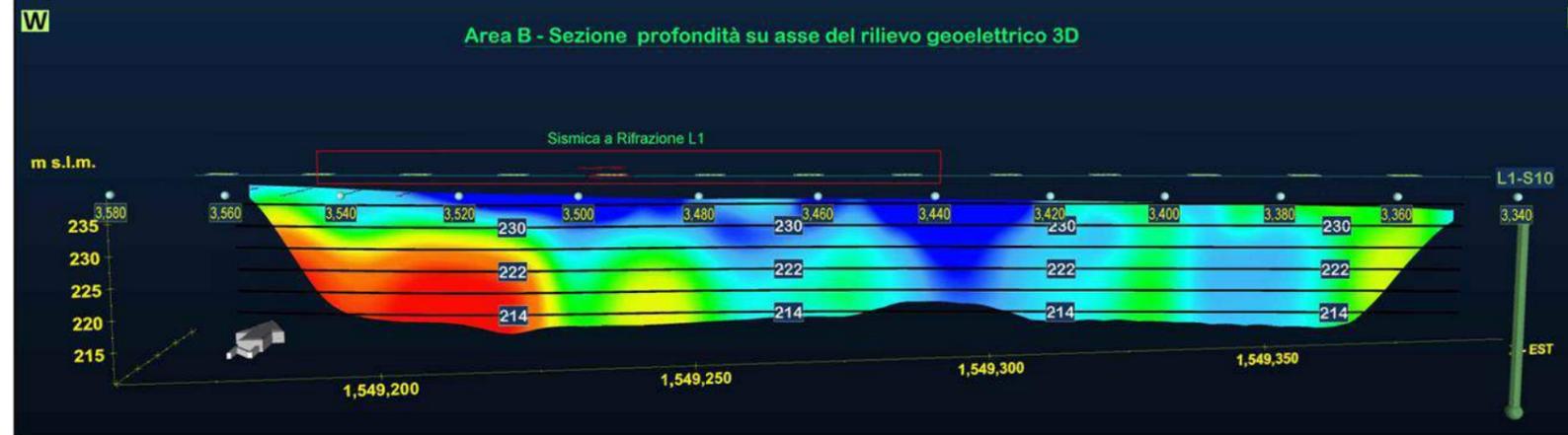
Sismica a Rifrazione L2 Profili tomografici sismici o geoelettrici 2D

Progressive metriche del tracciato di raddoppio ferroviario

Quote metriche sul livello del mare

Profilo E3D\_C

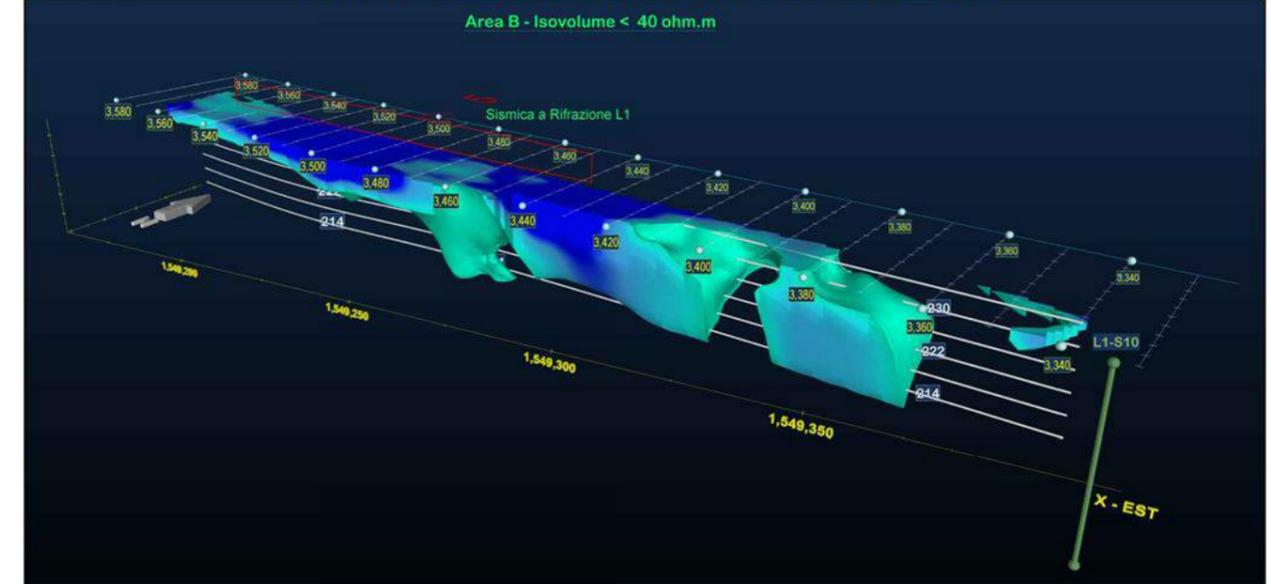
**Area B - Sezione tomografica elettrica 3D - Vista da Sud**



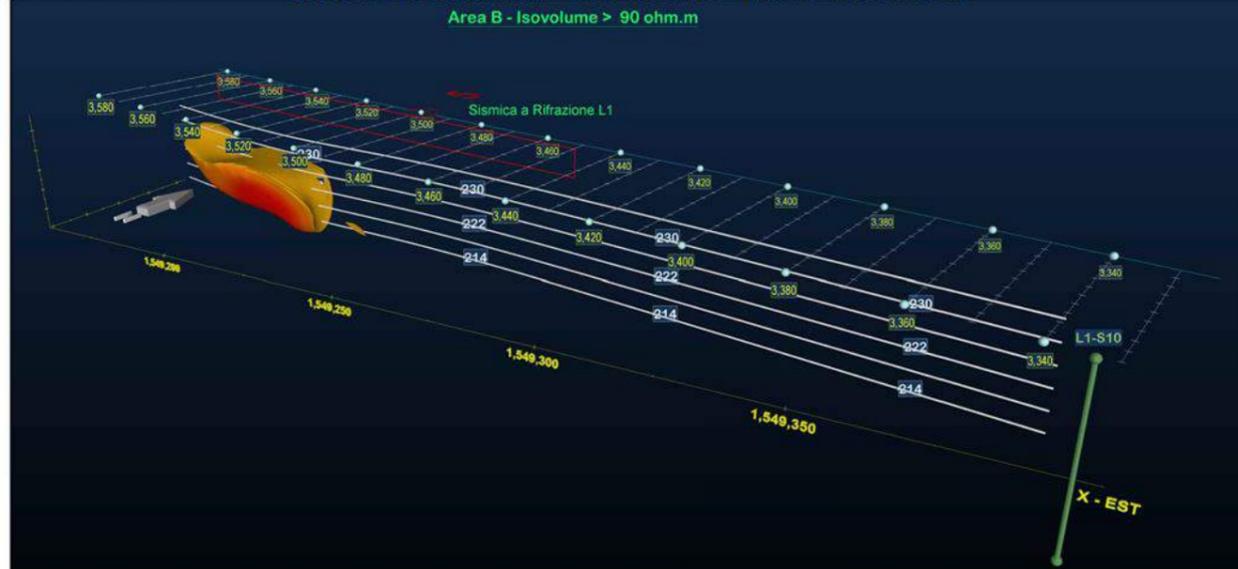
ESTRATTO PLANIMETRICO - TRACCIA SEZIONE ELETTRICA



**Area B - Isovolumi < 40 ohm.m - Vista da Sud-Est**



**Area B - Isovolumi > 90 ohm.m - Vista da Sud-Est**



Legenda



Sismica a Rifrazione L2 Profili tomografici sismici o geoelettrici 2D

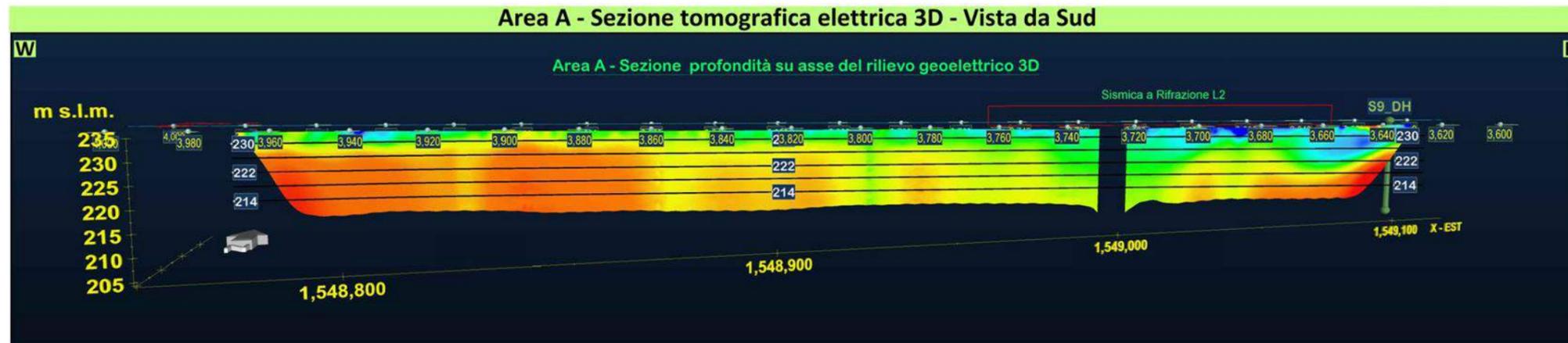
Progressive metriche del tracciato di raddoppio ferroviario

Quote metriche sul livello del mare

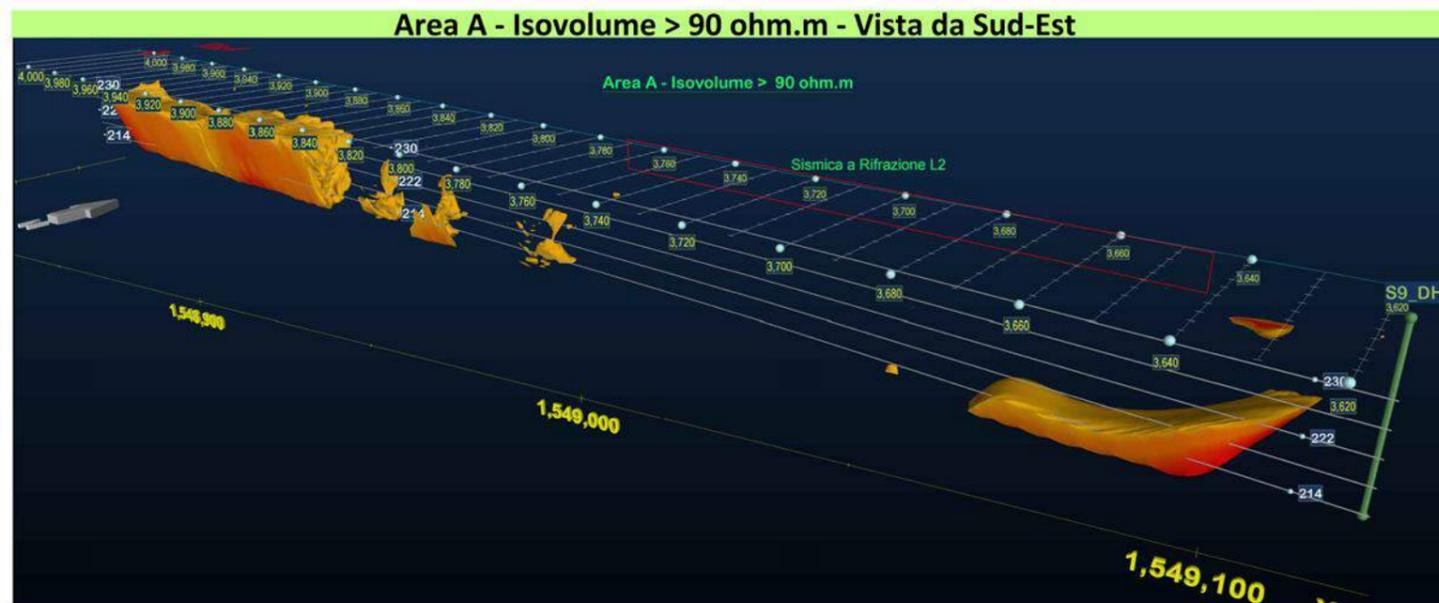
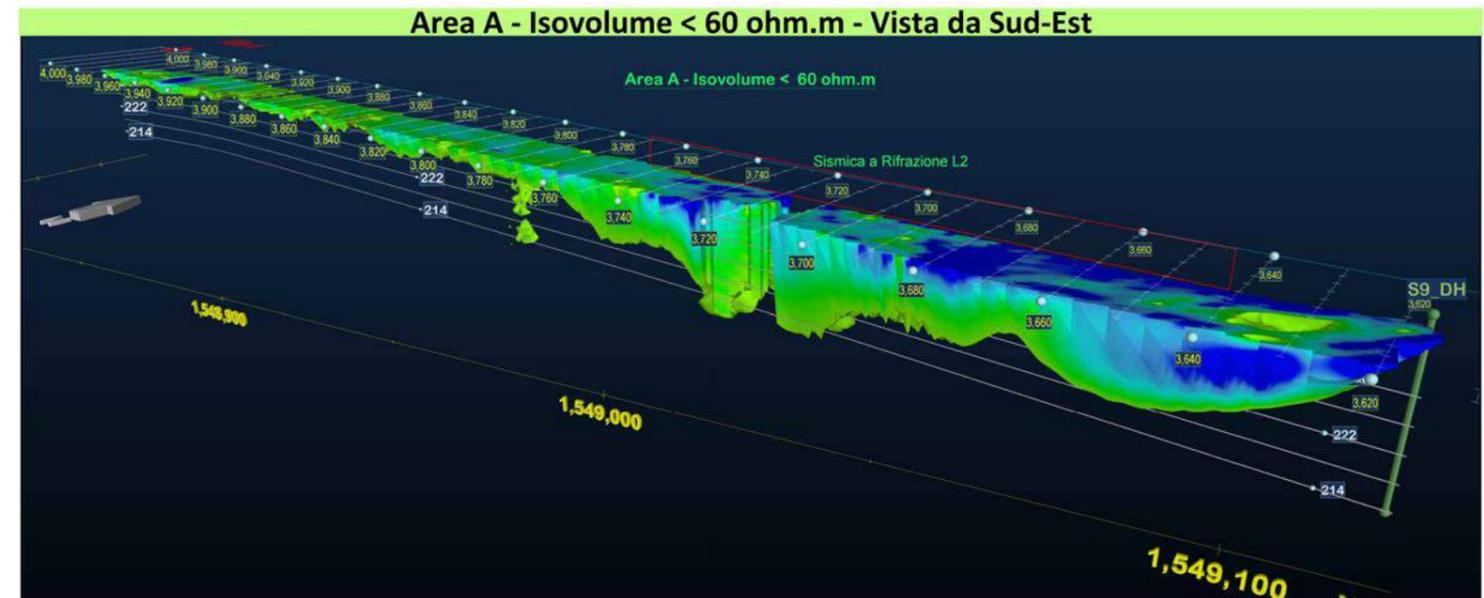


Sondaggi geognostici

Profilo E3D\_B



ESTRATTO PLANIMETRICO - TRACCIA SEZIONE ELETTRICA



Legenda



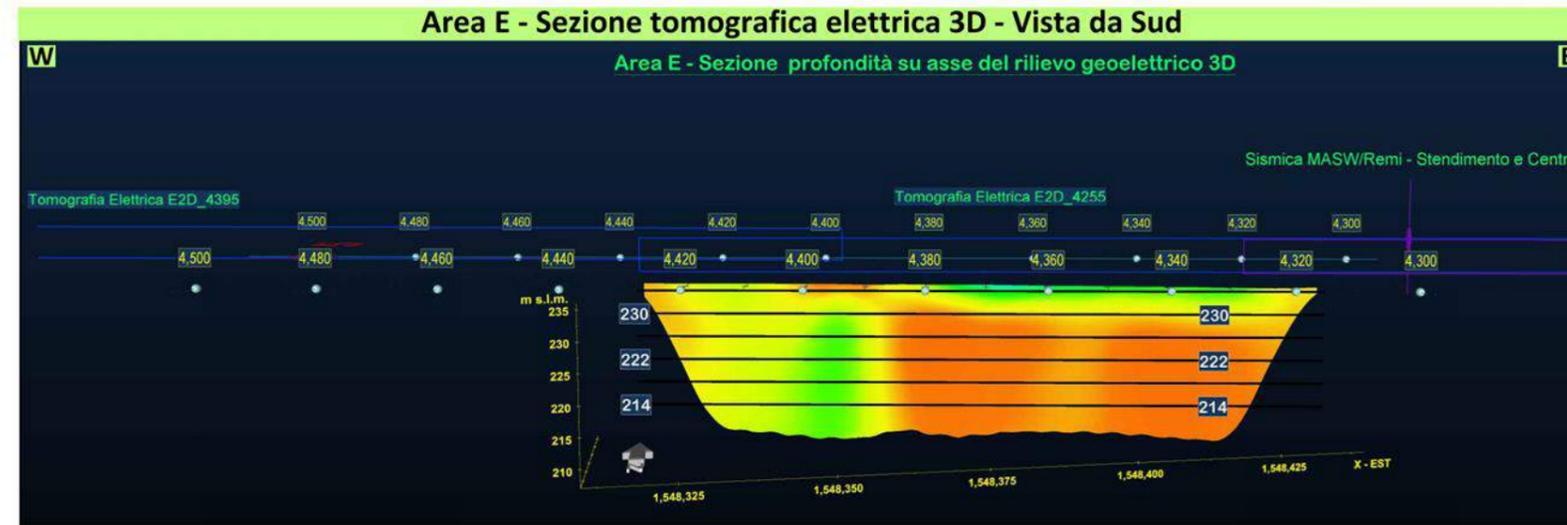
Sismica a Rifrazione L2      Profili tomografici sismici o geoelettrici 2D

Progressive metriche del tracciato di raddoppio ferroviario

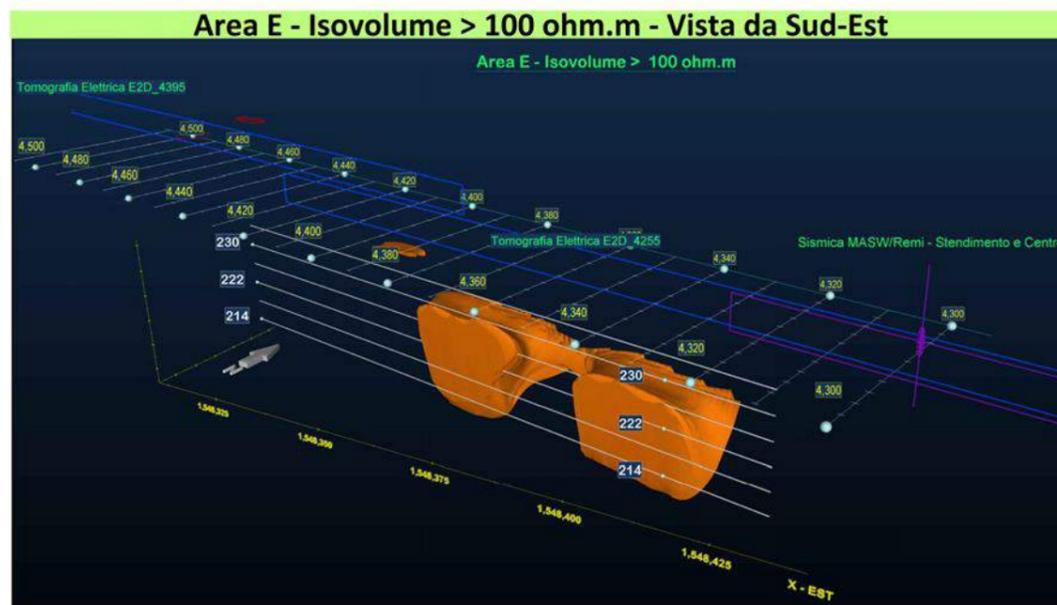
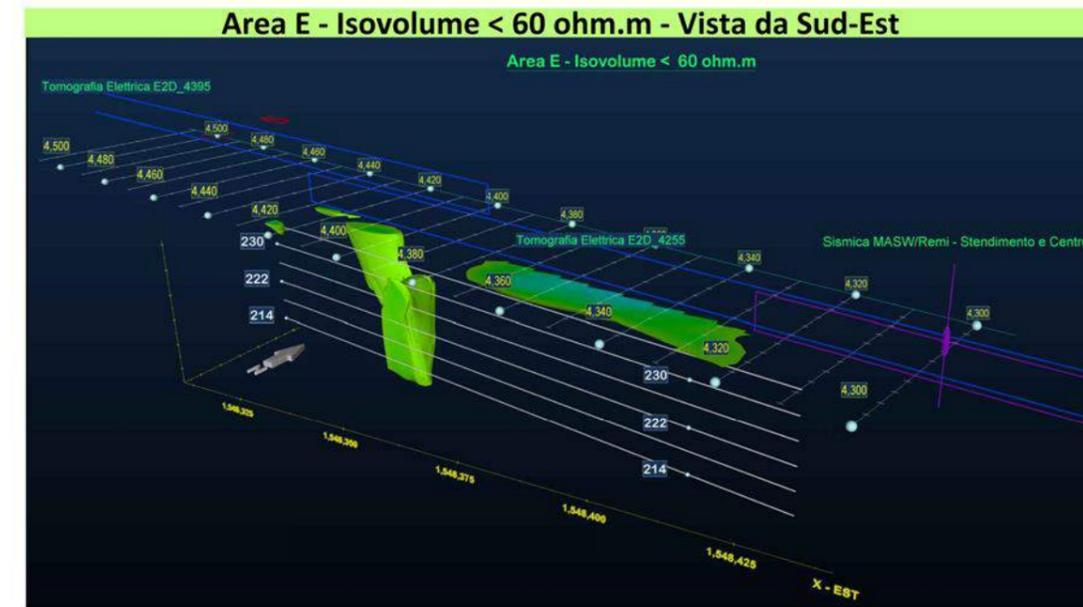
Quote metriche sul livello del mare



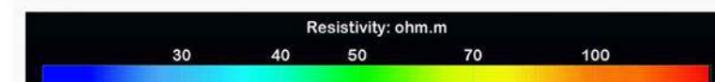
Profilo E3D\_A



ESTRATTO PLANIMETRICO - TRACCIA SEZIONE ELETTRICA



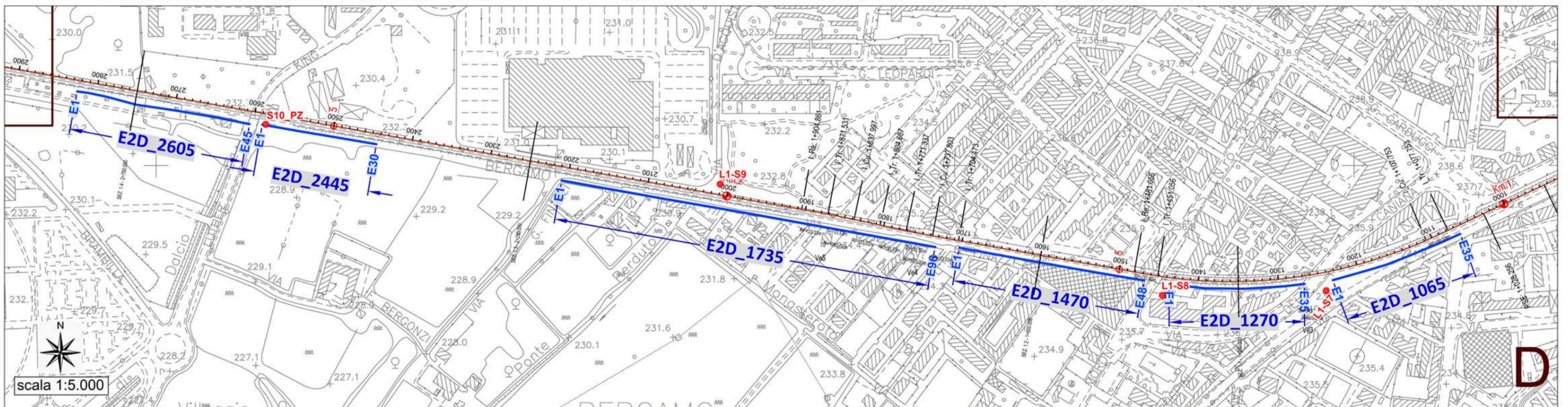
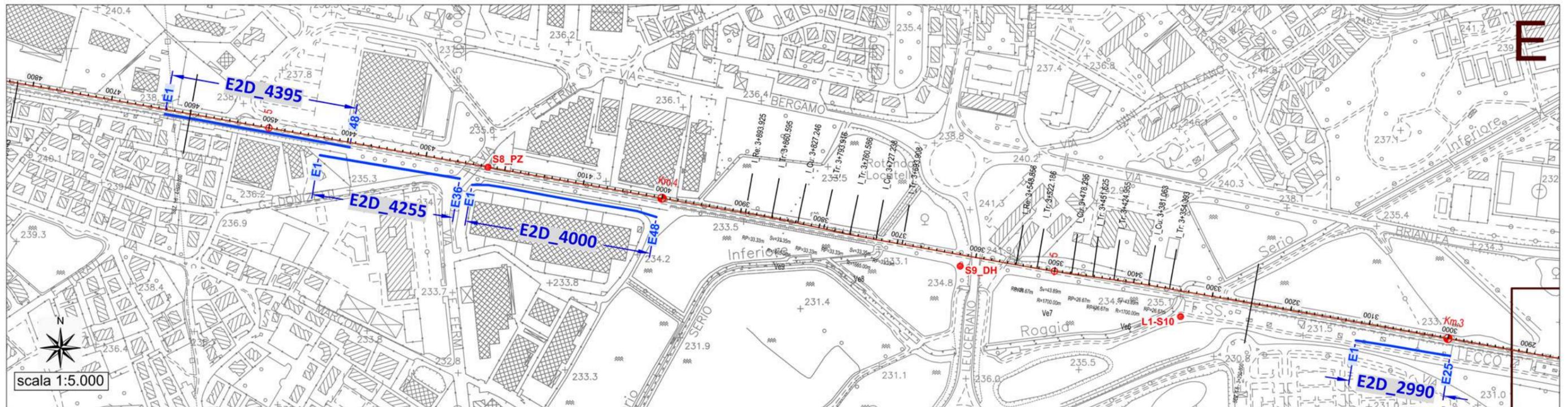
Legenda



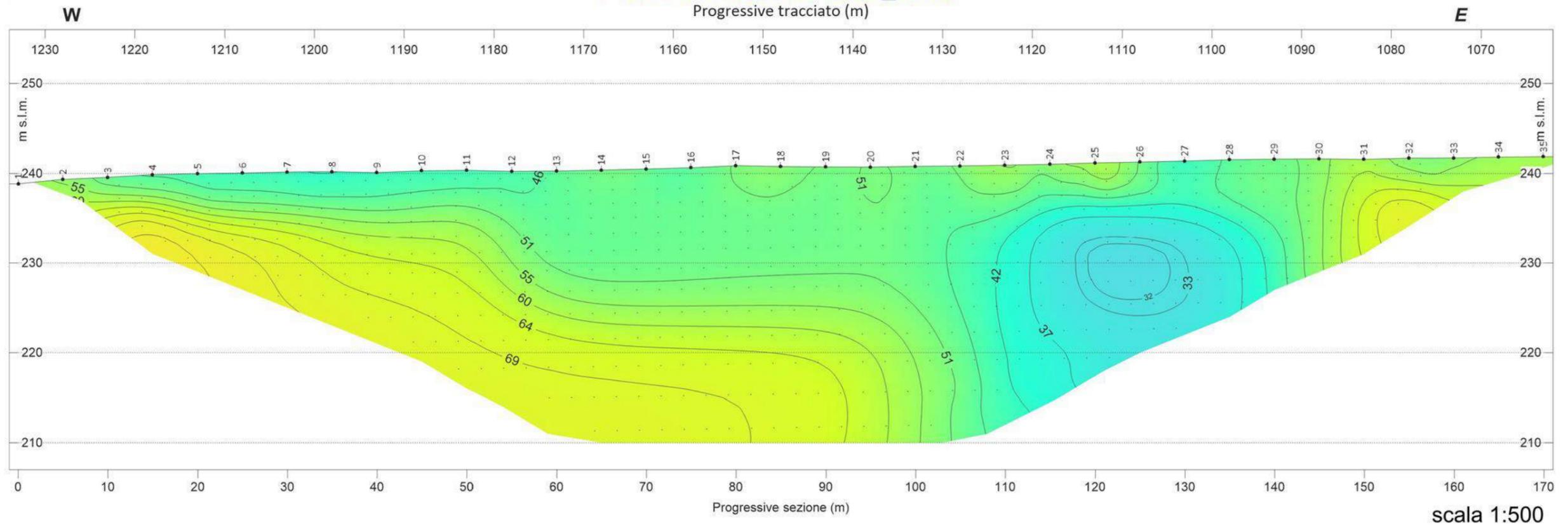
 Sismica a Rifrazione L2 Profili tomografici sismici o geoelettrici 2D

 Progressive metriche del tracciato di raddoppio ferroviario

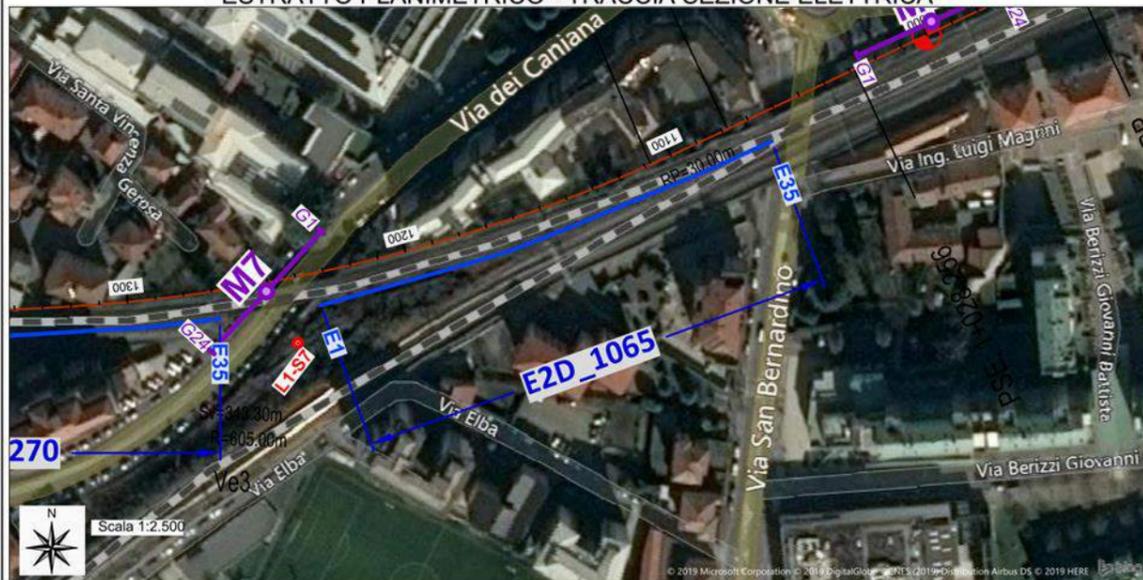
 Quote metriche sul livello del mare



## Profilo Elettrico E2D\_1065



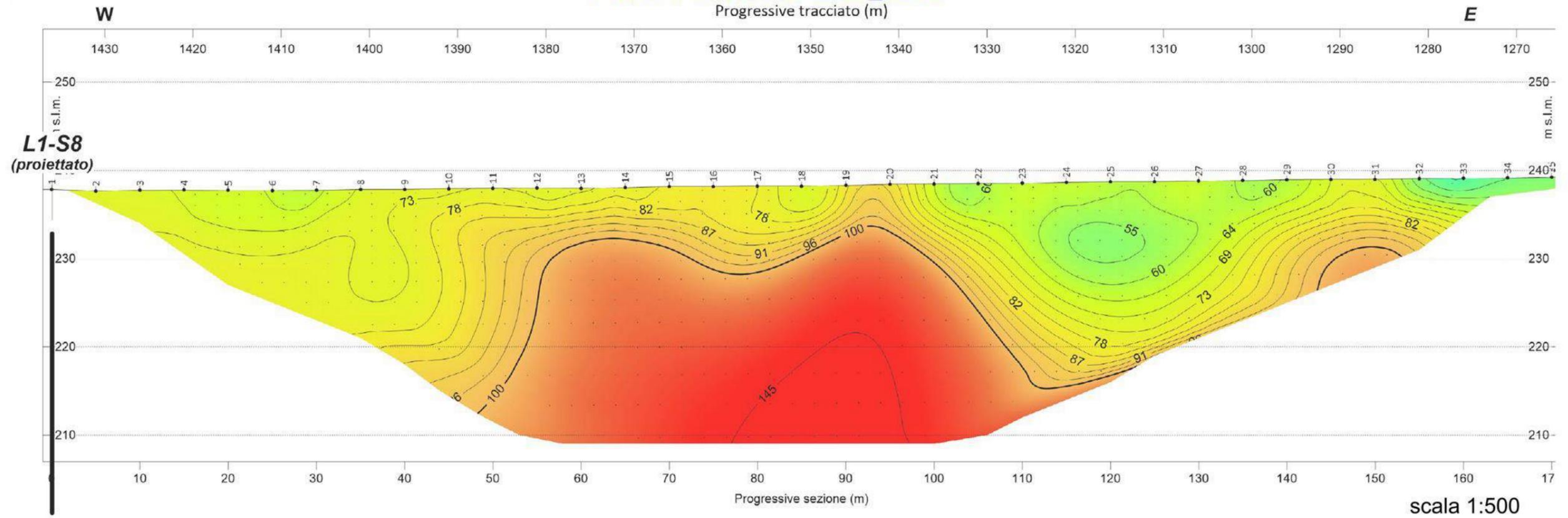
ESTRATTO PLANIMETRICO - TRACCIA SEZIONE ELETTRICA



Legenda

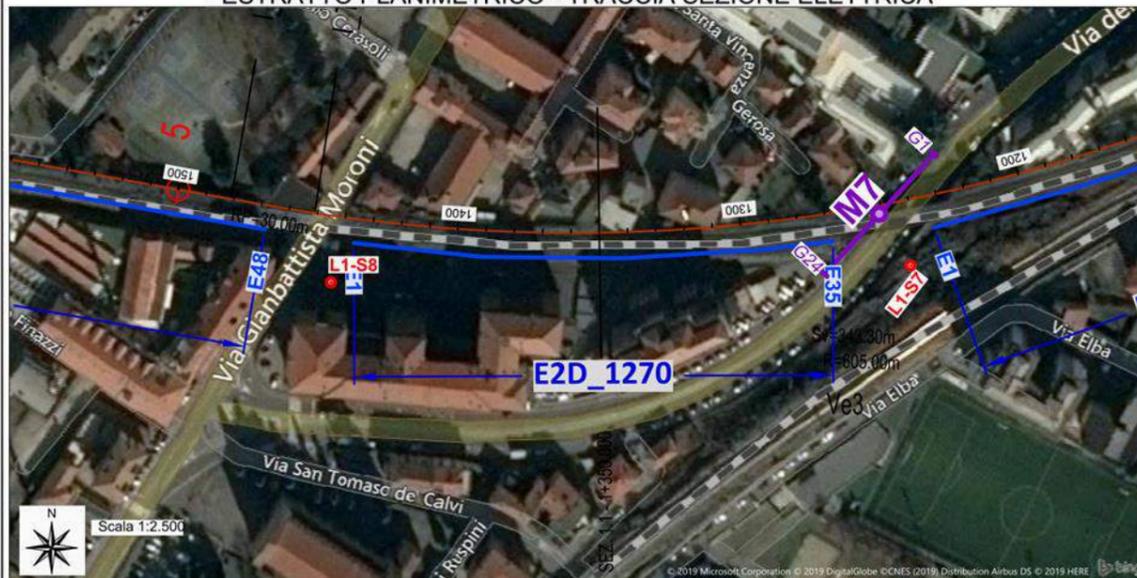


## Profilo Elettrico E2D\_1270



scala 1:500

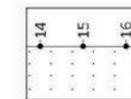
ESTRATTO PLANIMETRICO - TRACCIA SEZIONE ELETTRICA



Legenda

**S8\_PZ**  
(proiettato)

Sondaggi geognostici



Elettrodi  
Punti di misura



Curve di isoresistività  
in ohm.m

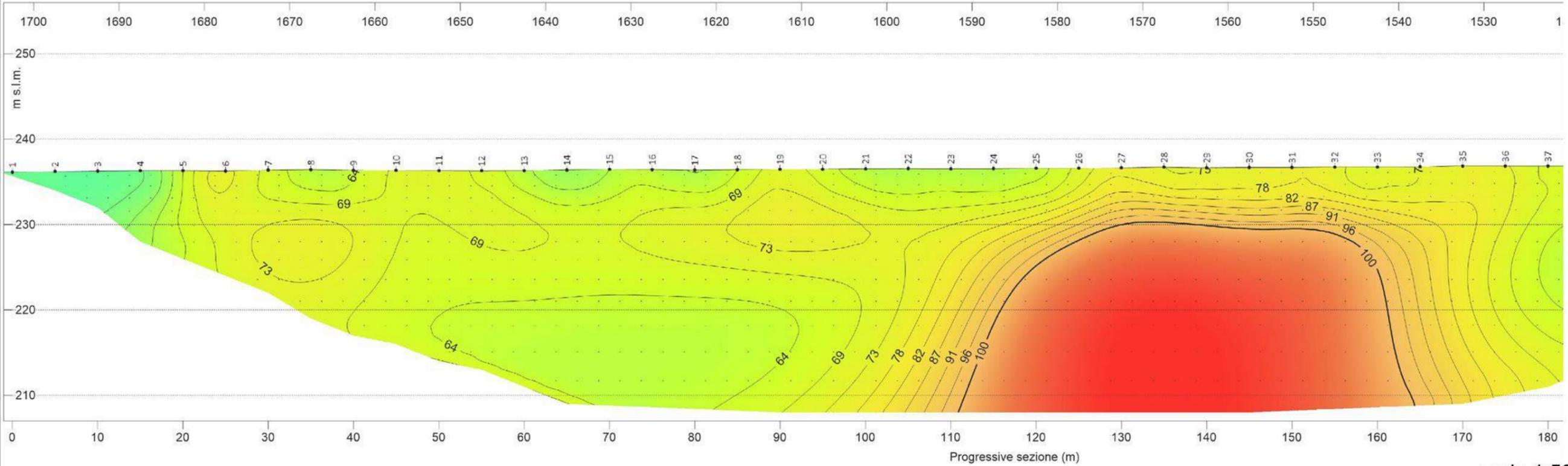


Profilo E2D\_1270

## Profilo Elettrico E2D\_1470

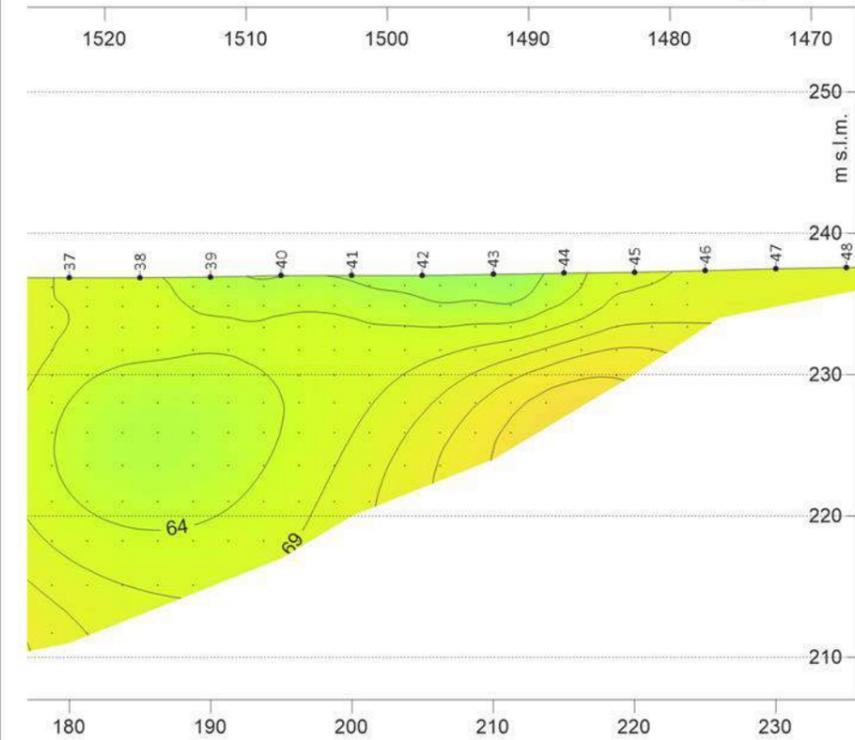
Progressive tracciato (m)

W



scala 1:500

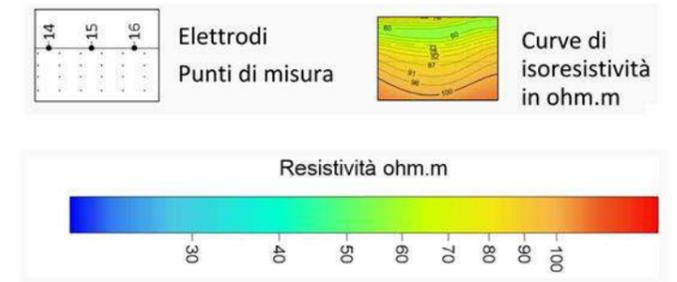
E



### ESTRATTO PLANIMETRICO - TRACCIA SEZIONE ELETTRICA

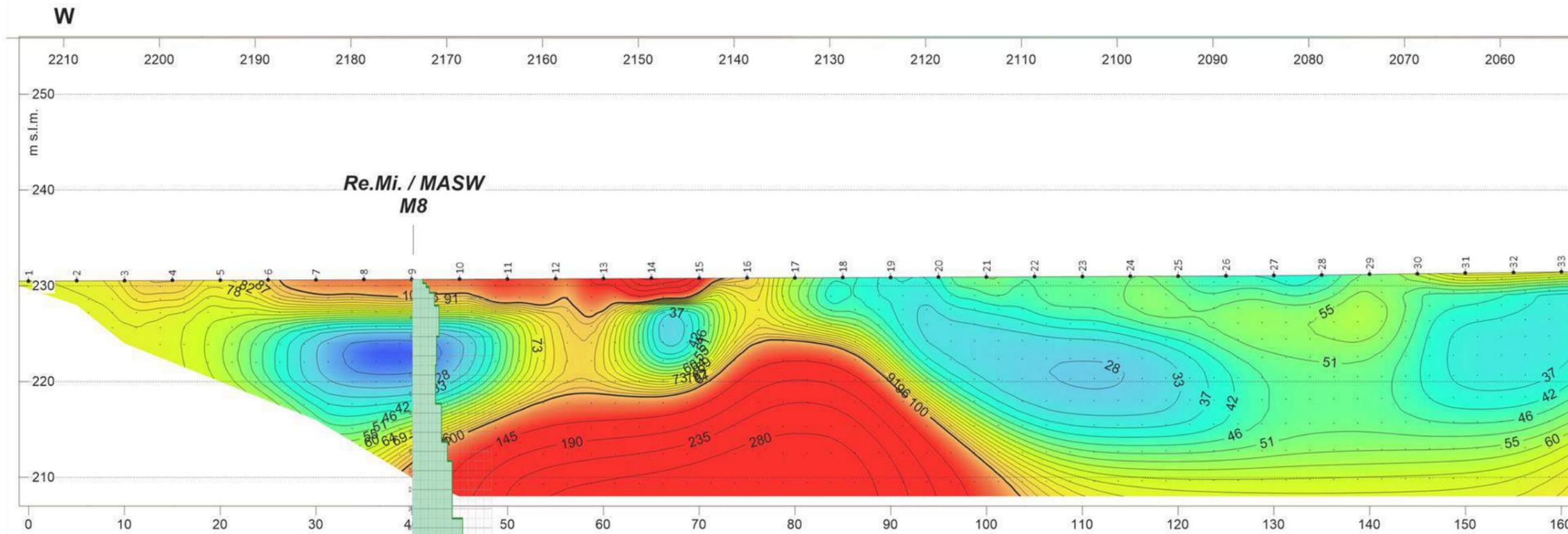


### Legenda



Profilo E2D\_1470

### Profilo Elettrico E2D\_1735



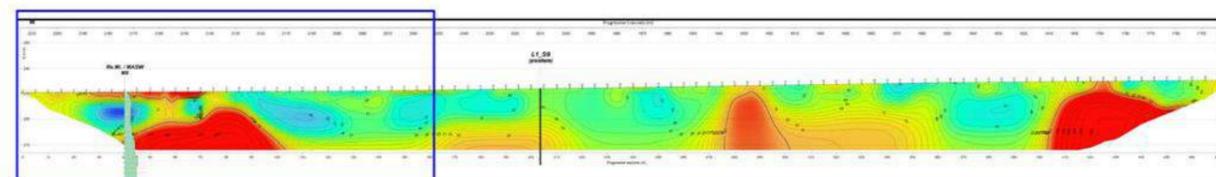
scala 1:500

ESTRATTO PLANIMETRICO - TRACCIA SEZIONE ELETTRICA



Legenda

<b>S8_PZ</b> (proiettato)	<b>Re.Mi. / MASW</b> <b>M8</b>	Elettrodi	Curve di iso-resistività in ohm.m
Sondaggi geognostici	Prova Masw/Re.Mi.	Punti di misura	
	Profilo velocità Vs in m/s		
		Resistività ohm.m	

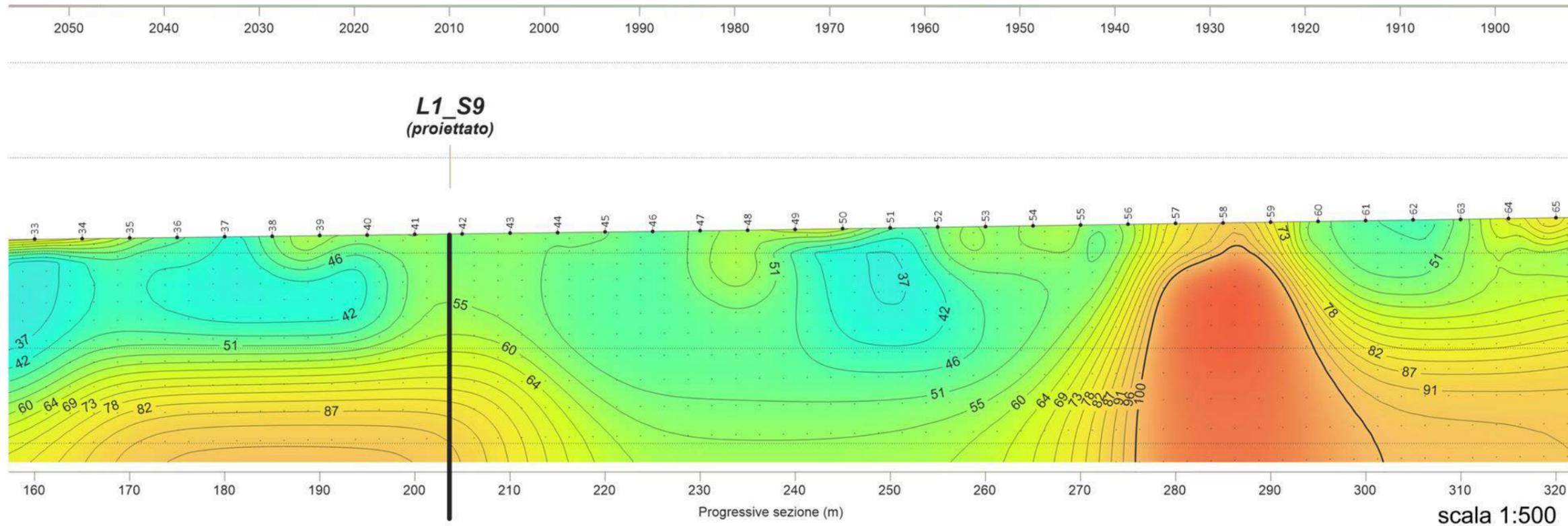


Profilo E2D\_1735

All. 15a

## Profilo Elettrico E2D\_1735

Progressive tracciato (m)



scala 1:500

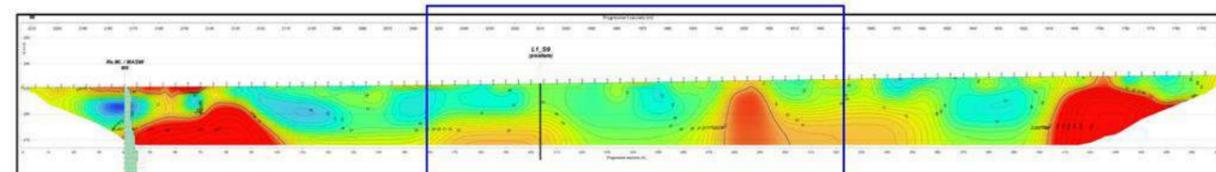
ESTRATTO PLANIMETRICO - TRACCIA SEZIONE ELETTRICA



Legenda

<p><b>S8_PZ</b> (proiettato)</p> <p>Sondaggi geognostici</p>	<p><b>Re.Mi. / MASW</b> <b>M8</b></p> <p>Prova Masw/Re.Mi.</p> <p>Profilo velocità Vs in m/s</p>	<p>Elettrodi Punti di misura</p>	<p>Curve di iso-resistività in ohm.m</p>
--	--	--------------------------------------	--

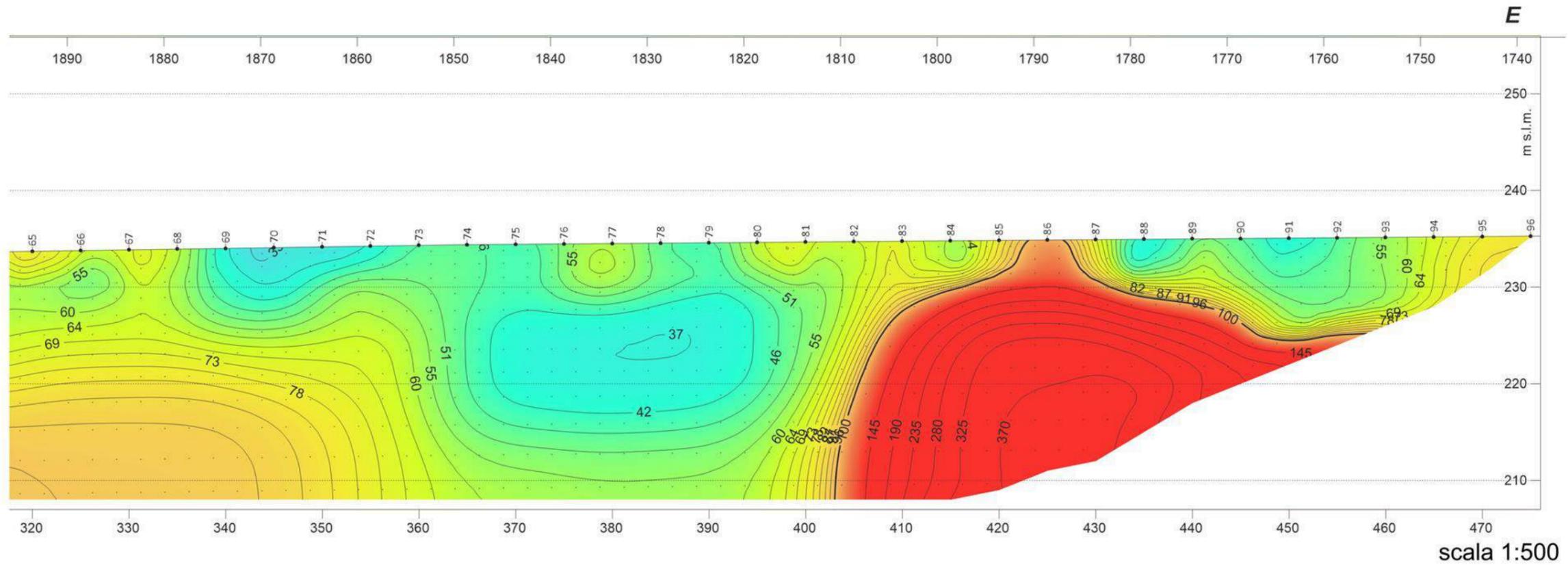
Resistività ohm.m



Profilo E2D\_1735

**All. 15b**

## Profilo Elettrico E2D\_1735



ESTRATTO PLANIMETRICO - TRACCIA SEZIONE ELETTRICA



Legenda

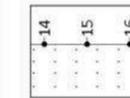
**S8\_PZ**  
(proiettato)

Sondaggi geognostici

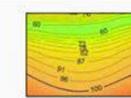
**Re.Mi. / MASW**  
**M8**

Prova Masw/Re.Mi.

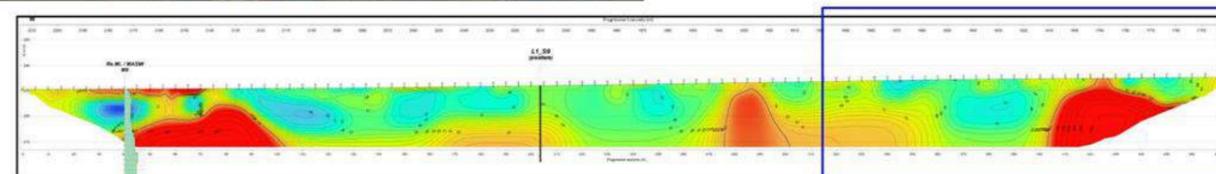
Profilo velocità Vs in m/s



Elettrodi  
Punti di misura



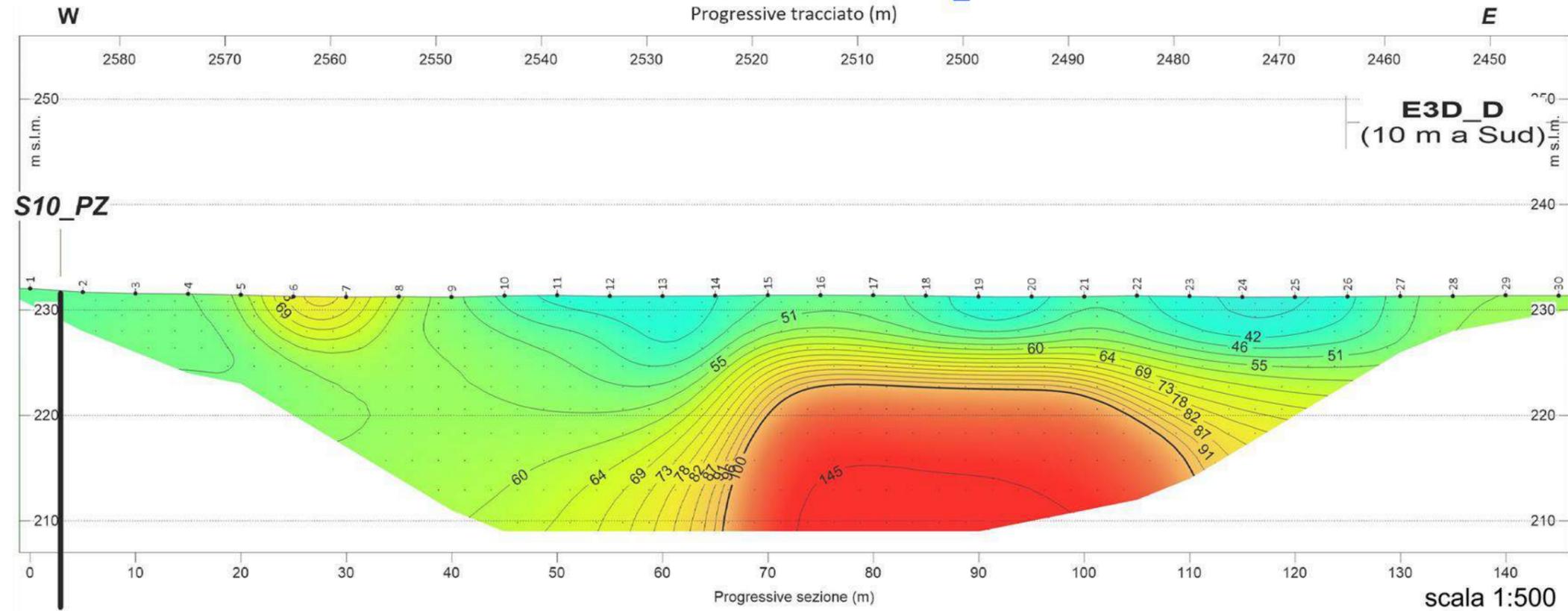
Curve di iso-resistività in ohm.m



Profilo E2D\_1735

**All. 15c**

### Profilo Elettrico E2D\_2445

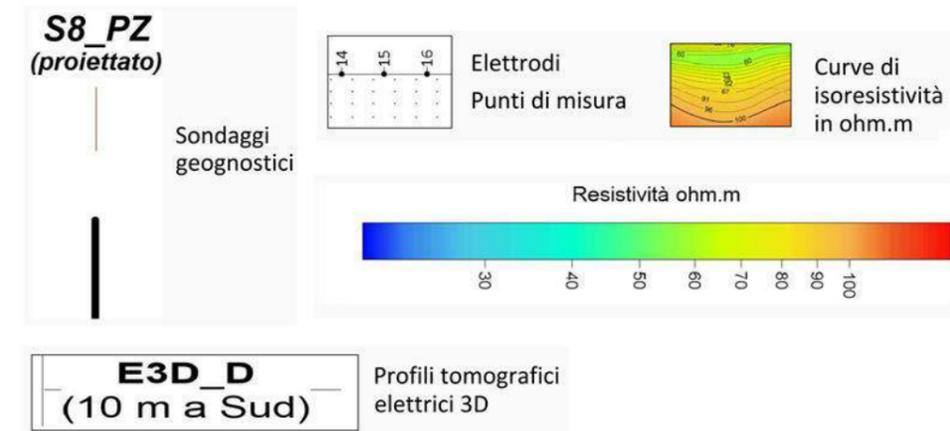


scala 1:500

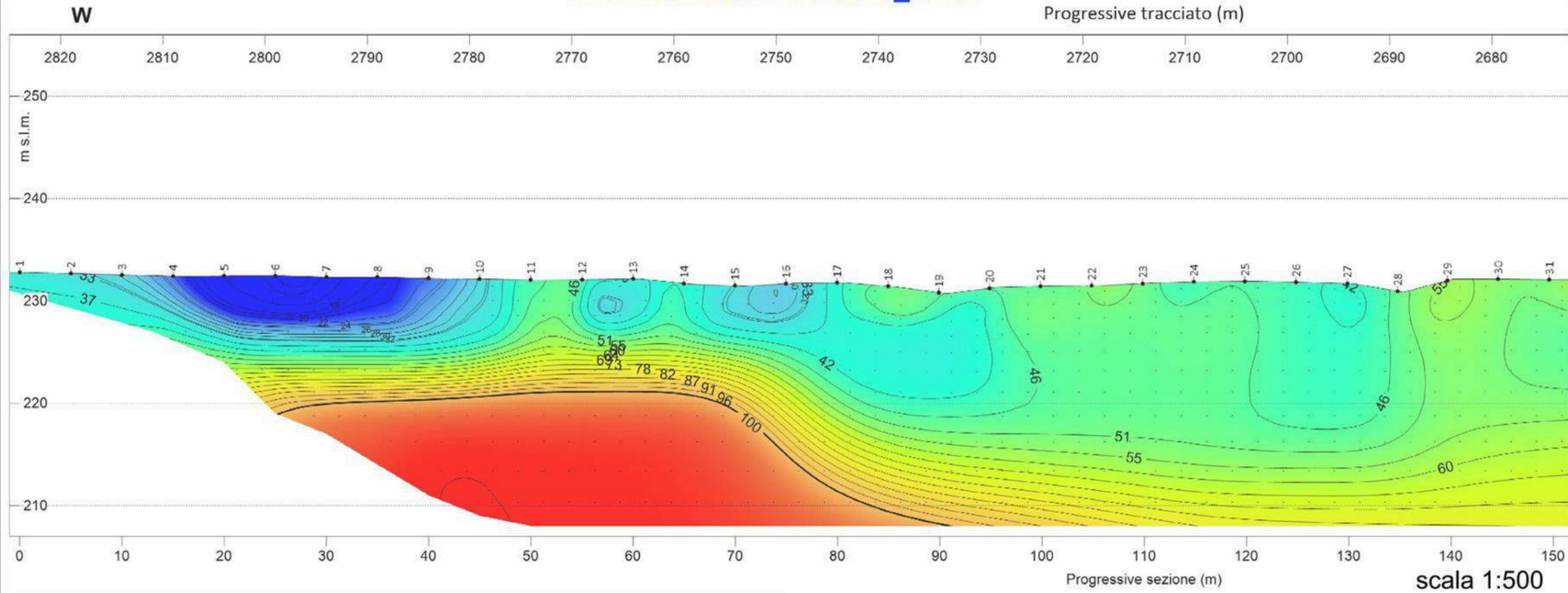
ESTRATTO PLANIMETRICO - TRACCIA SEZIONE ELETTRICA



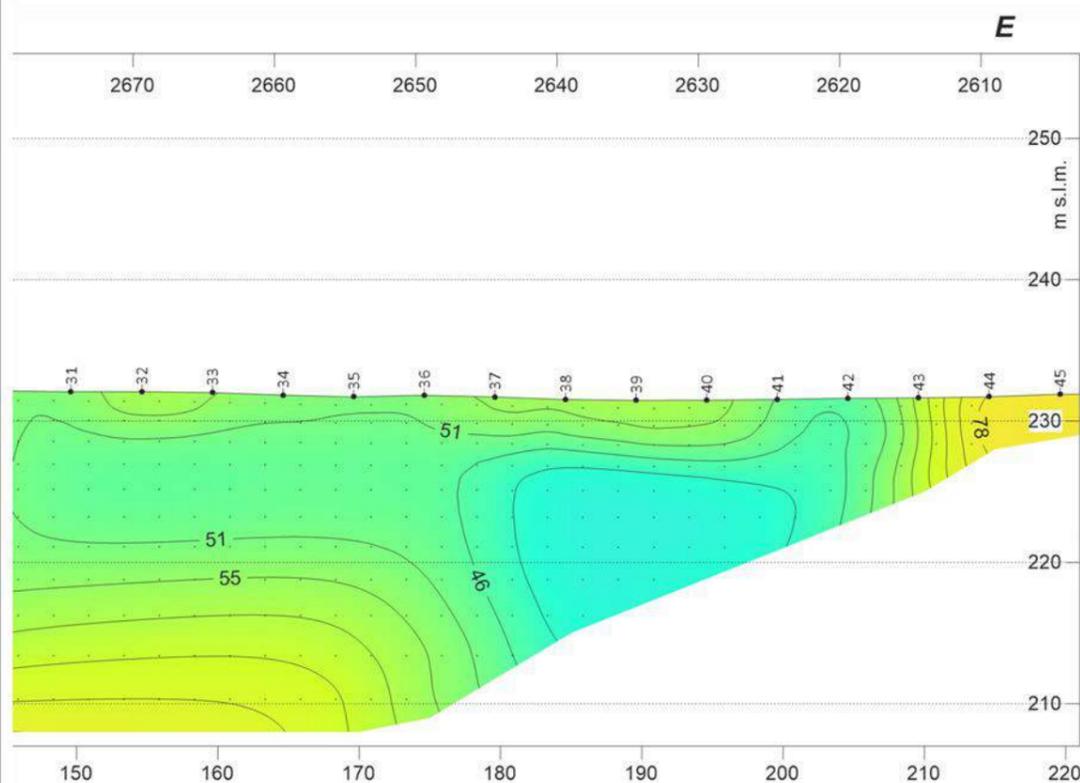
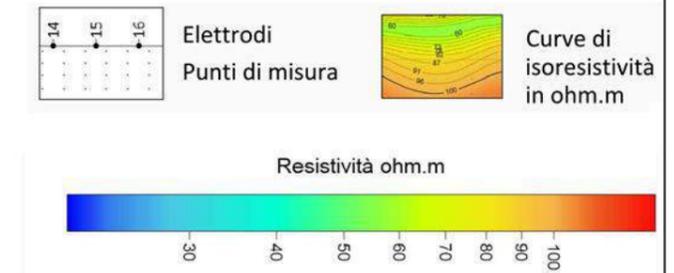
Legenda



## Profilo Elettrico E2D\_2605



### Legenda

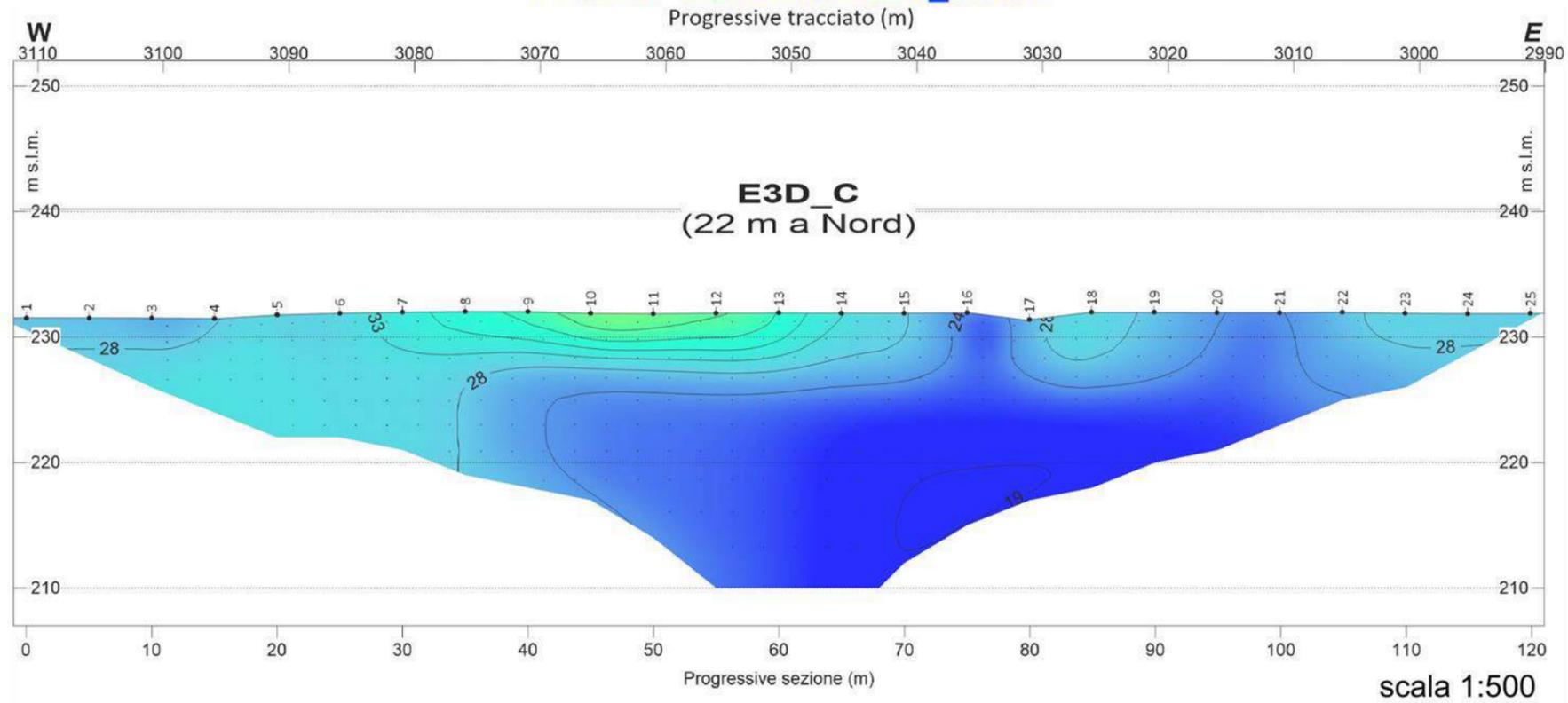


### ESTRATTO PLANIMETRICO - TRACCIA SEZIONE ELETTRICA



Profilo E2D\_2605

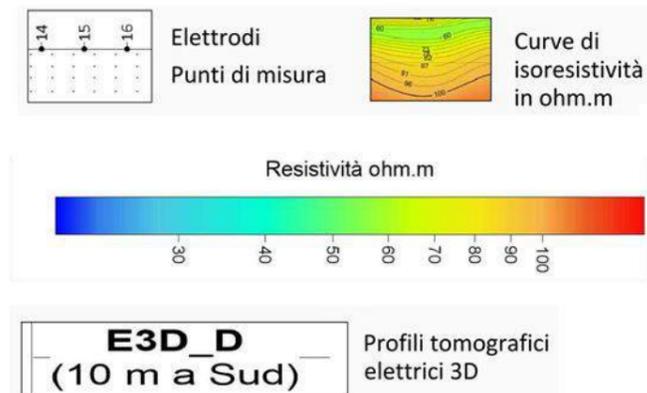
## Profilo Elettrico E2D\_2990



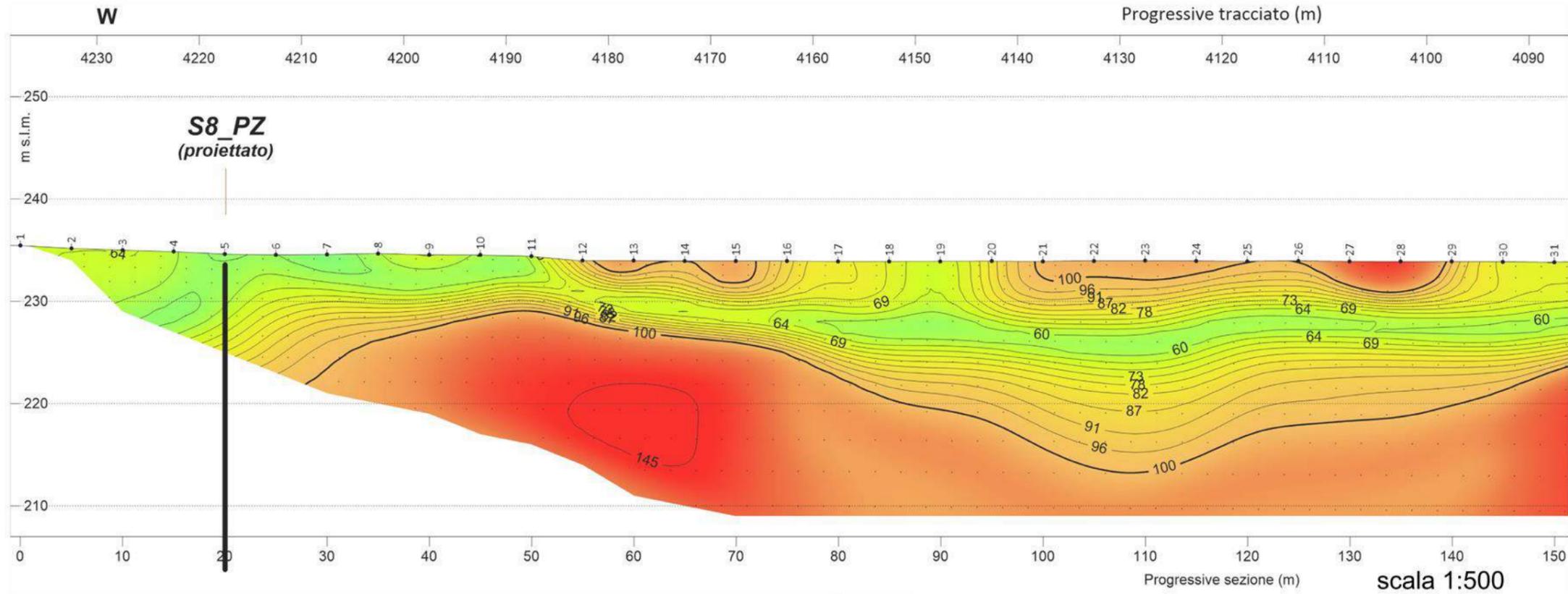
ESTRATTO PLANIMETRICO - TRACCIA SEZIONE ELETTRICA



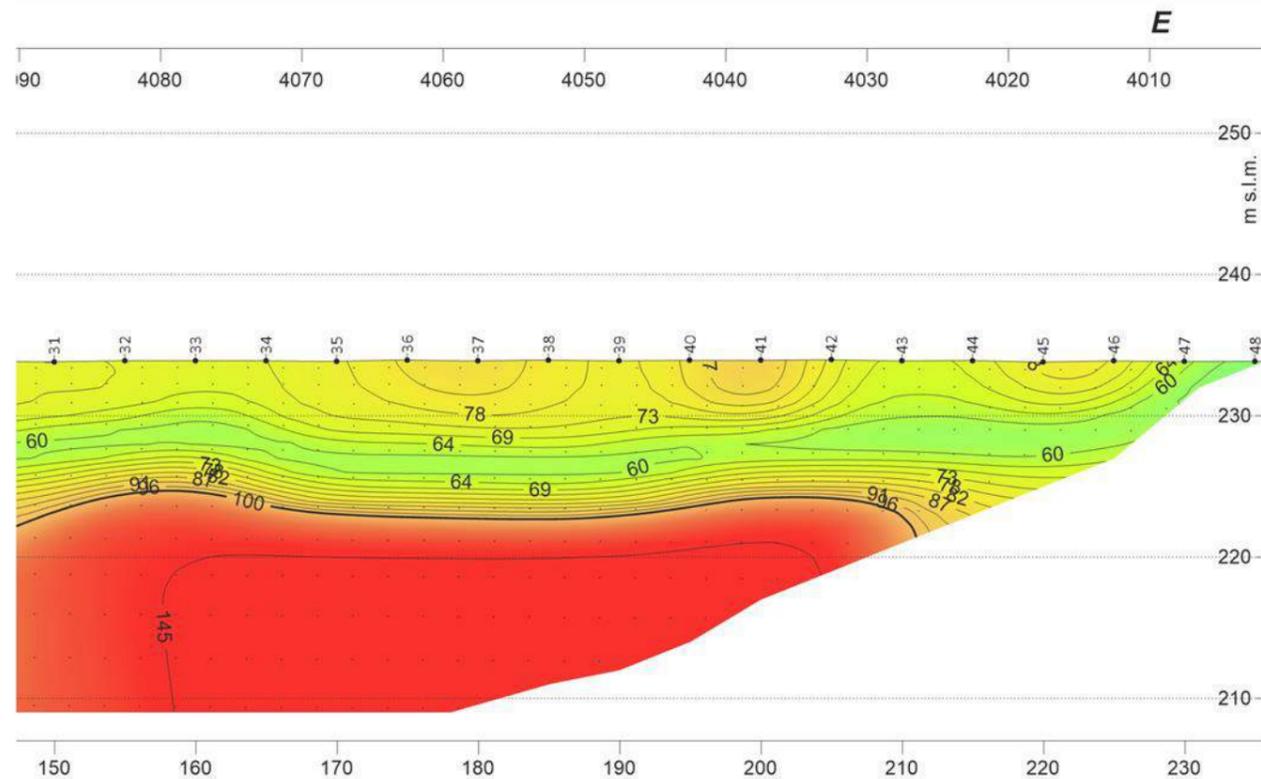
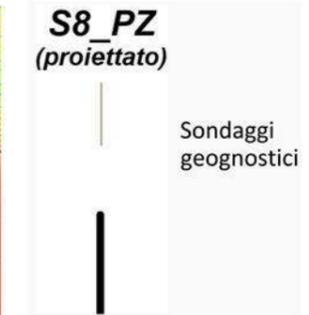
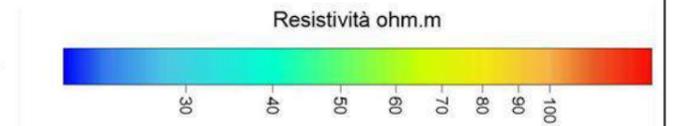
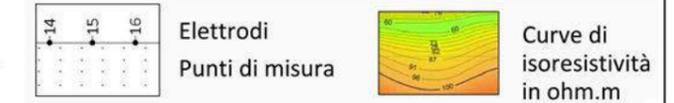
### Legenda



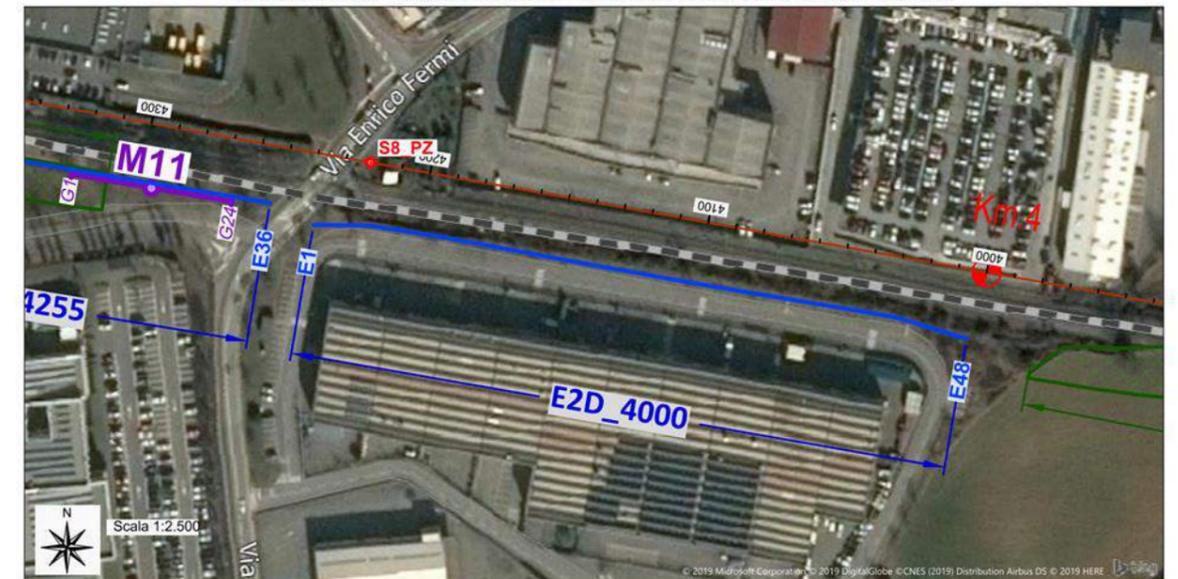
## Profilo Elettrico E2D\_4000



Legenda

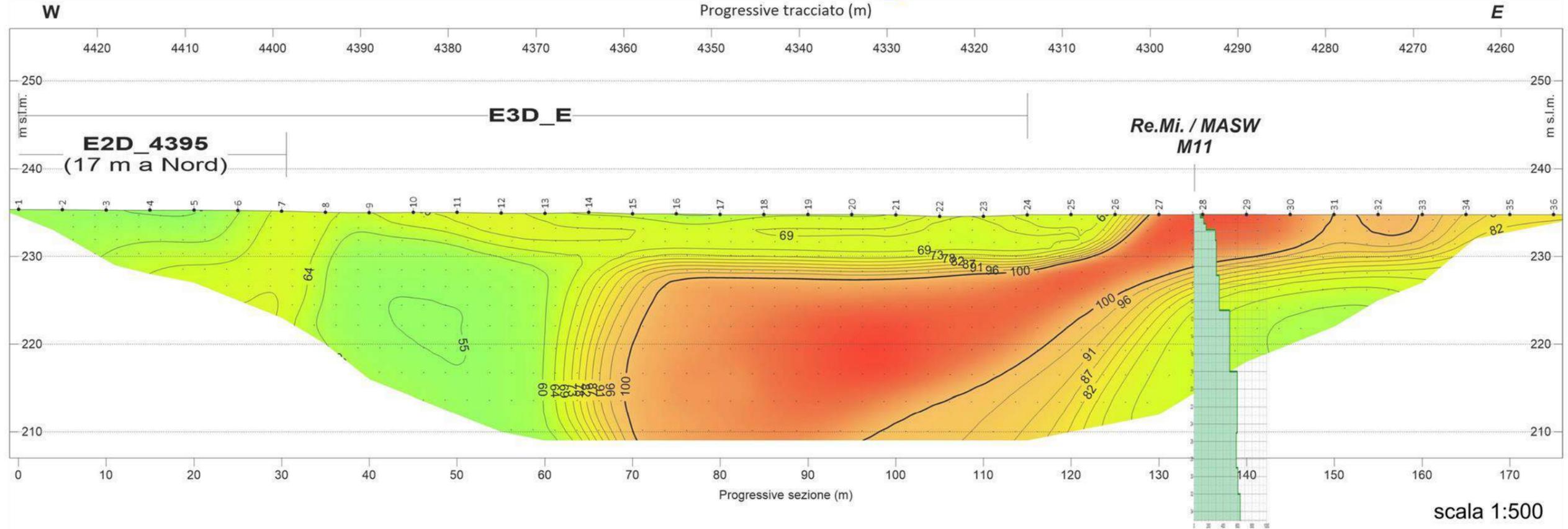


ESTRATTO PLANIMETRICO - TRACCIA SEZIONE ELETTRICA



### Profilo Elettrico E2D\_4255

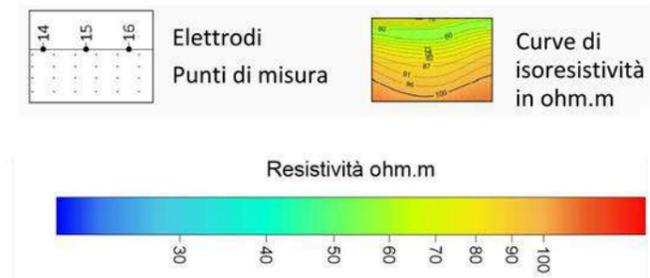
Progressive tracciato (m)



ESTRATTO PLANIMETRICO - TRACCIA SEZIONE ELETTRICA



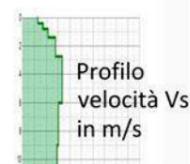
Legenda



Re.Mi. / MASW

M8

Prova  
Masw/Re.Mi.

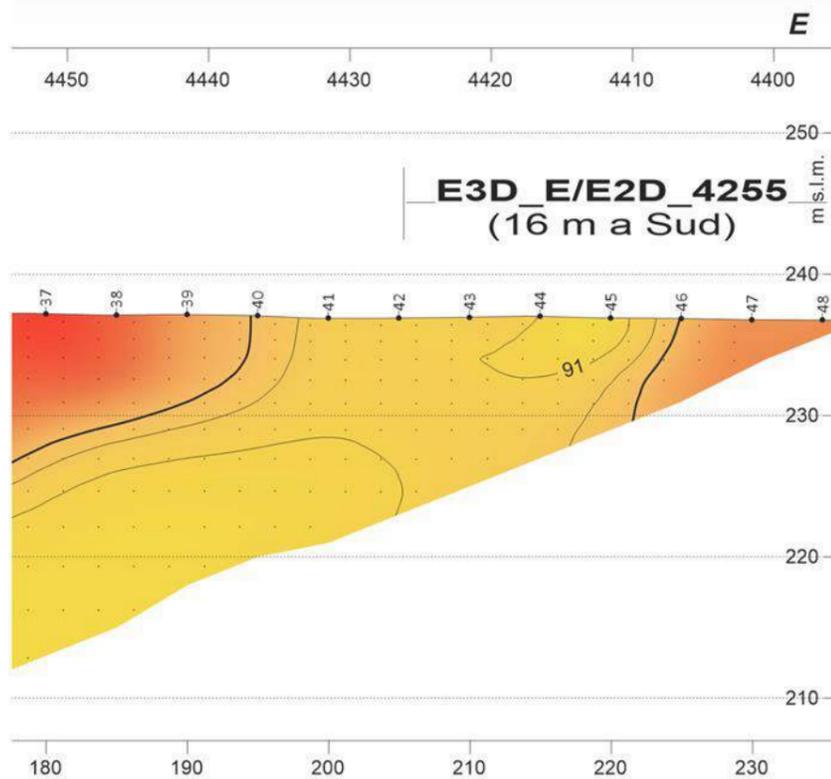
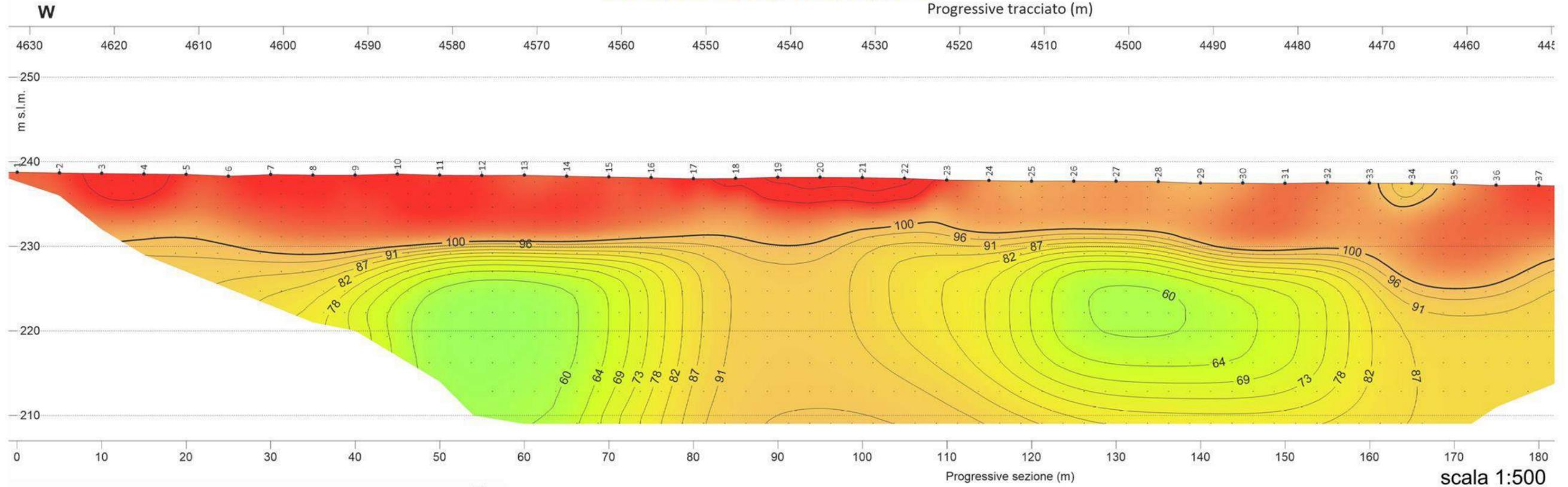


**E2D\_4395**  
(17 m a Nord)  
Profili tomografici elettrici 2D

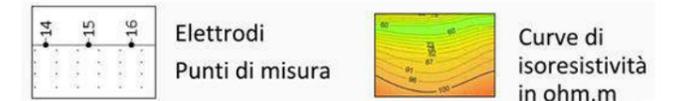
**E3D\_D**  
(10 m a Sud)  
Profili tomografici elettrici 3D

Profilo E2D\_4255

## Profilo Elettrico E2D\_4395



### Legenda



**E2D\_4395**  
(17 m a Nord)

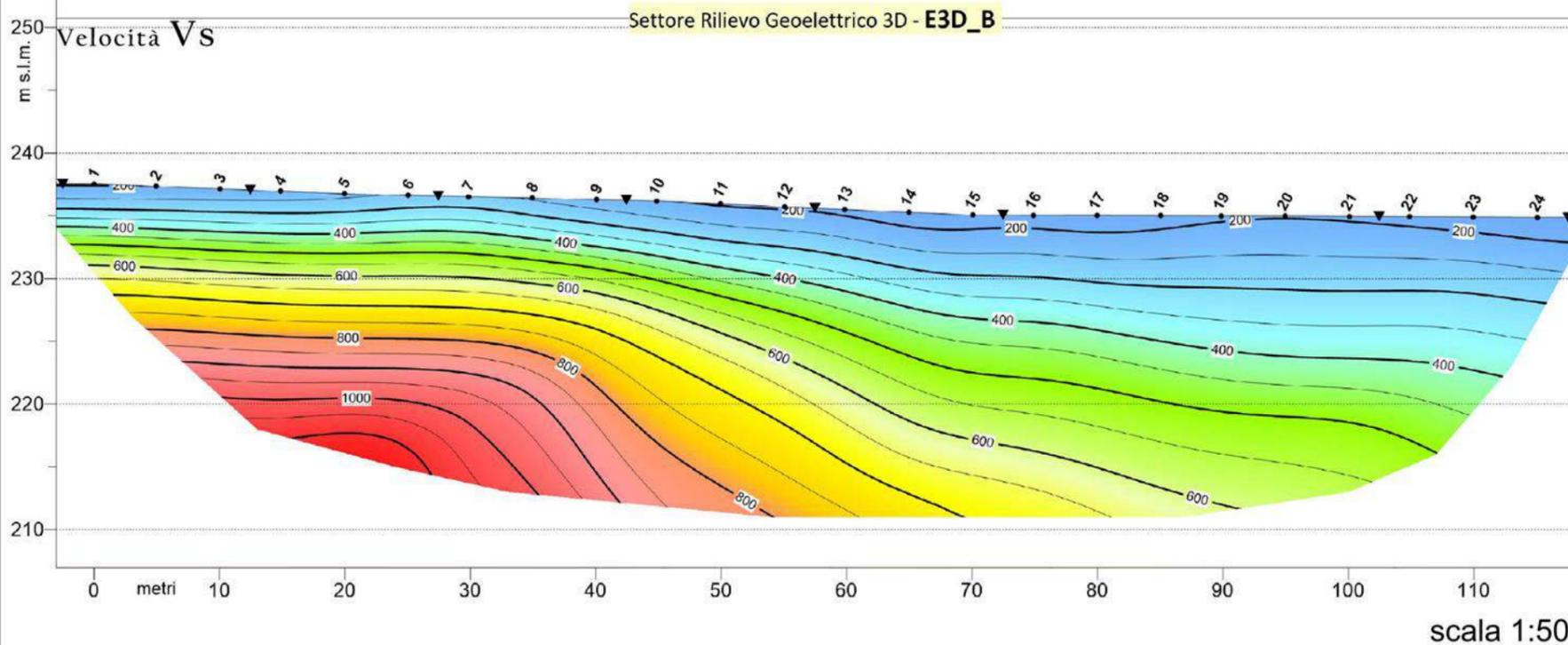
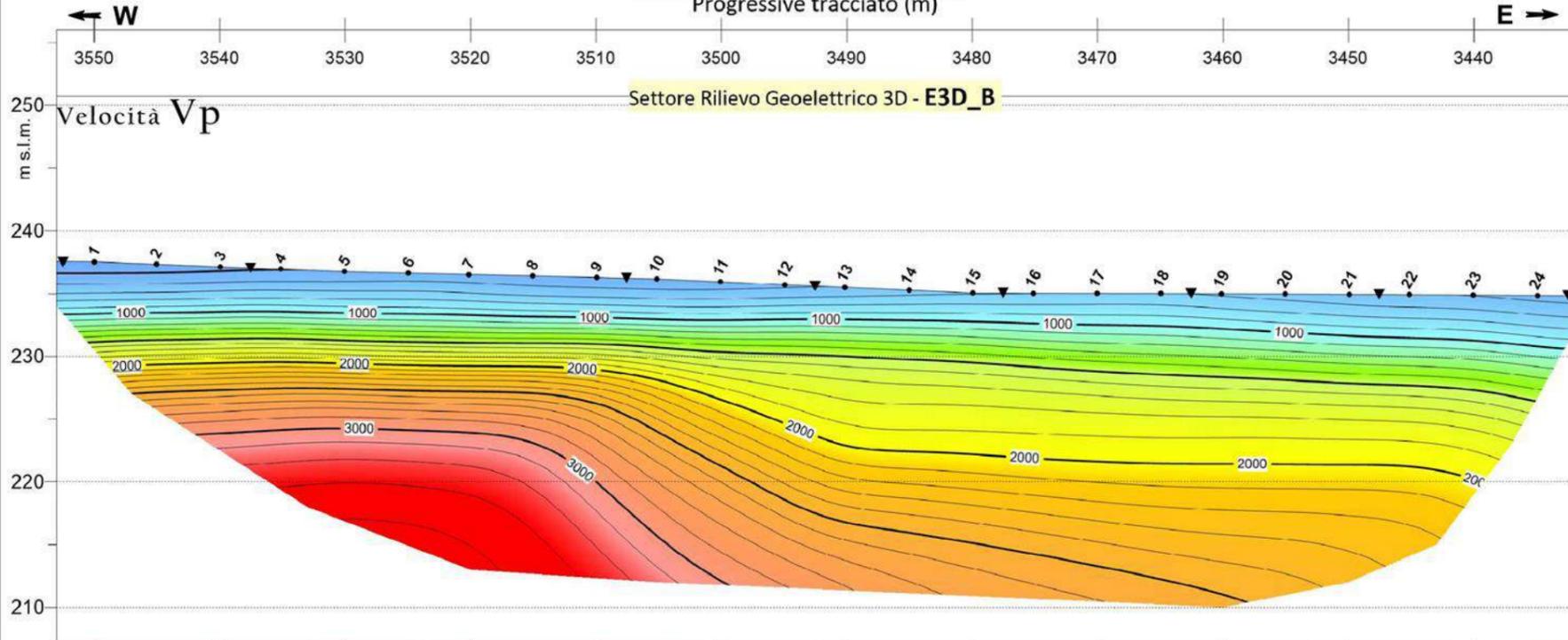
Profili tomografici elettrici 2D

**E3D\_D**  
(10 m a Sud)

Profili tomografici elettrici 3D

Profilo E2D\_4395

**Profilo Sismico L1**  
Progressive tracciato (m)

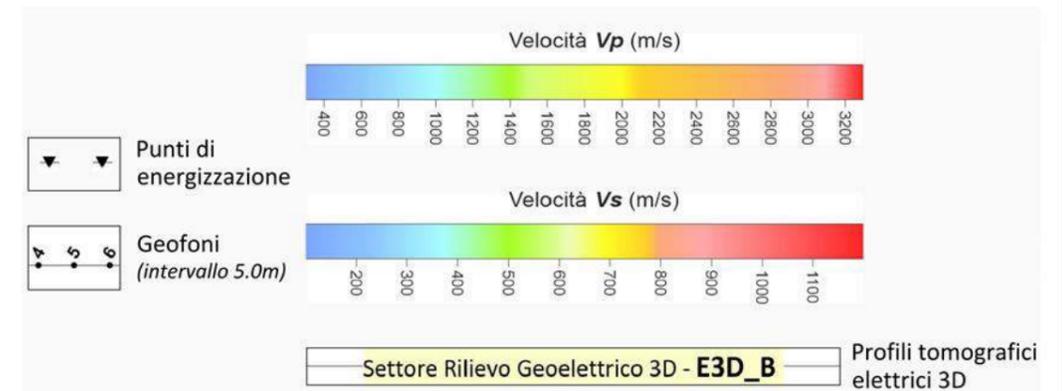


scala 1:500

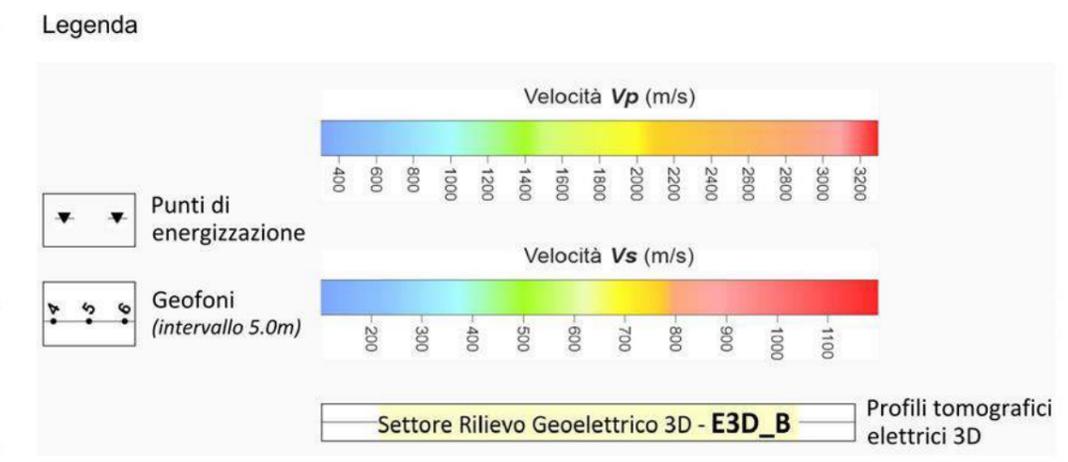
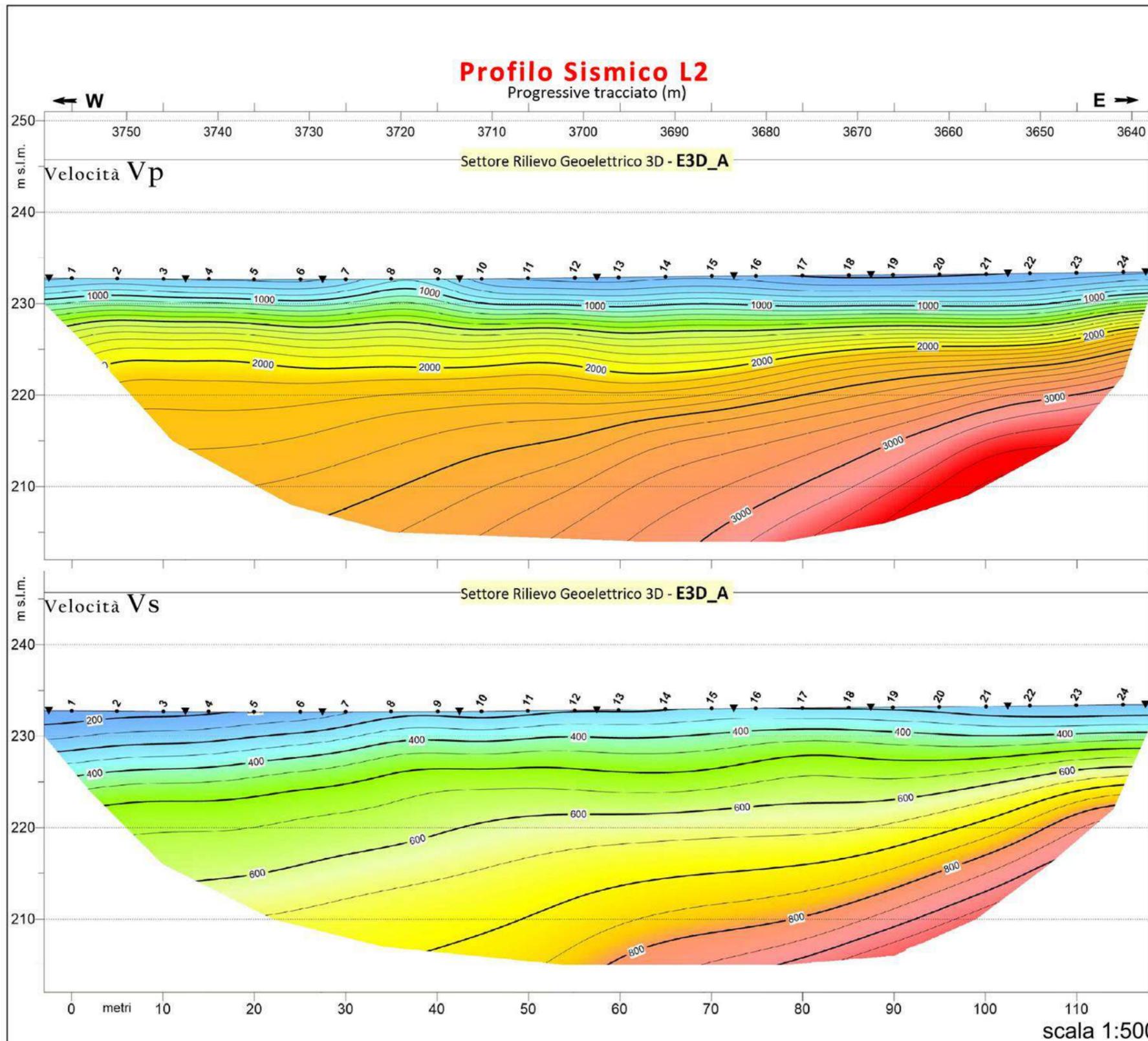
ESTRATTO PLANIMETRICO - TRACCIA SEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE



Legenda



Profilo L1



RELAZIONE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
----------	-------	----------	-----------	------	--------

INDAGINI GEOFISICHE

NB1R	00	D 69 IG	GE 0000 001	A	46 di 89
------	----	---------	-------------	---	----------

**MASW**

RELAZIONE

INDAGINI GEOFISICHE

COMMESSA

NB1R

LOTTO

00

CODIFICA

D 69 IG

DOCUMENTO

GE 0000 001

REV.

A

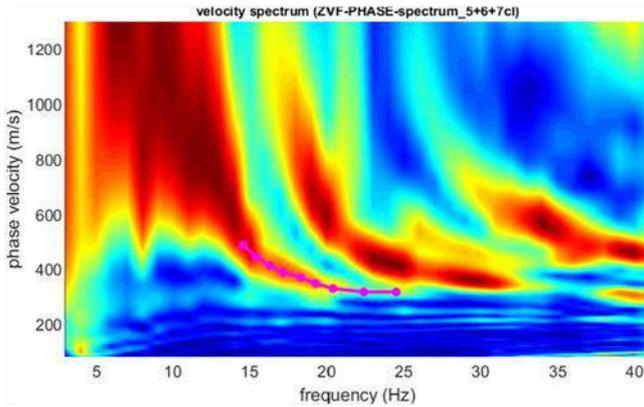
FOGLIO

47 di 89

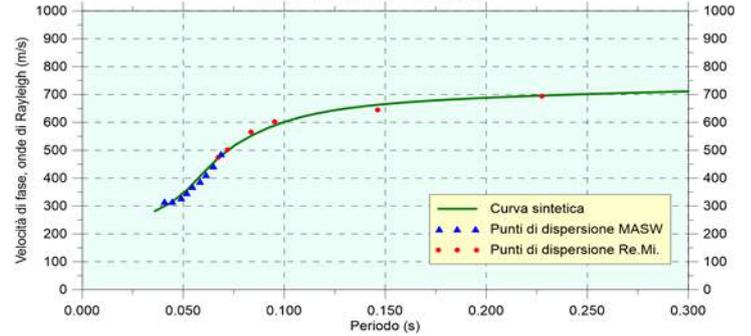
SPETTRI, CURVE DI DISPERSIONE, PROFILI DI VELOCITÀ ONDE S E TRACCE SISMICHE

Prova Masw/Re.Mi. – M3

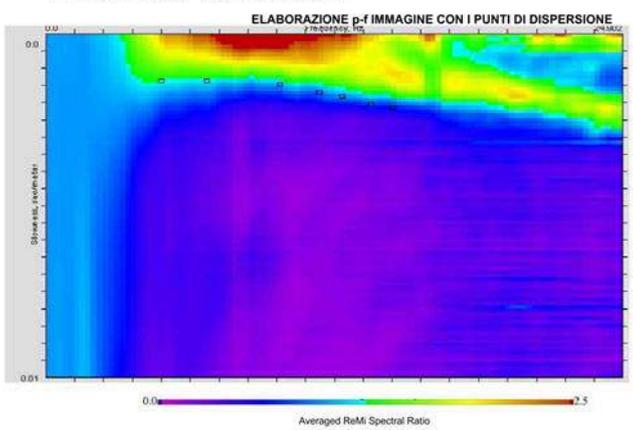
PROVA MASW - Spettro medio



CURVA DI DISPERSIONE



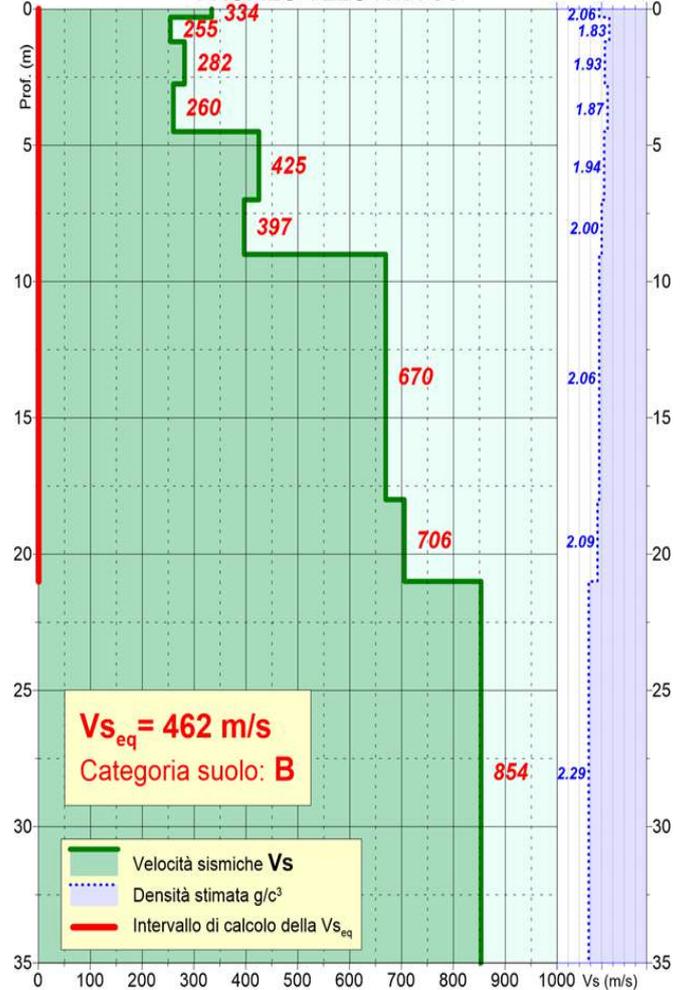
PROVA REMI - Spettro medio



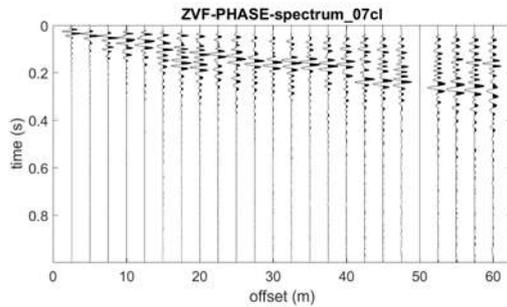
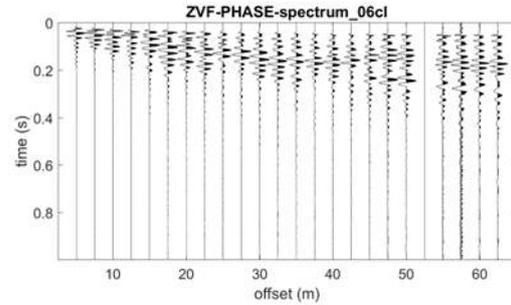
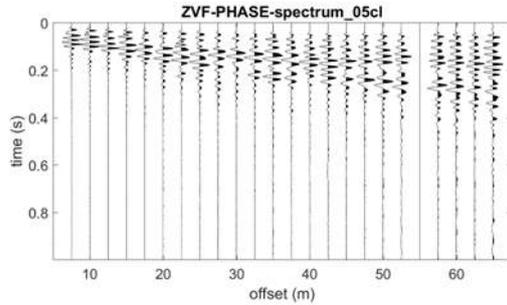
Ubicazione prova



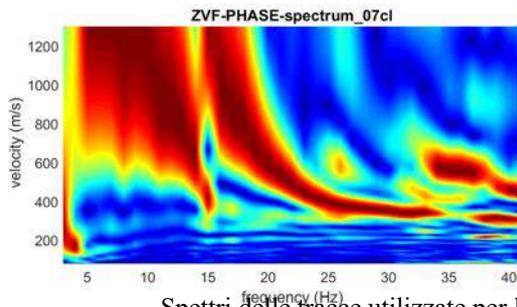
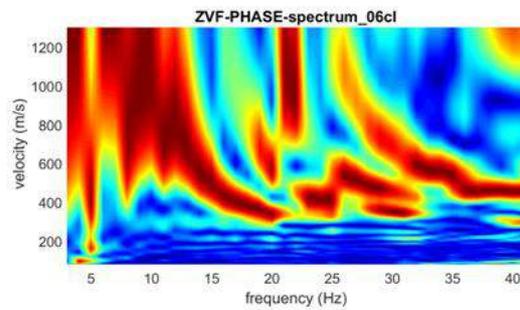
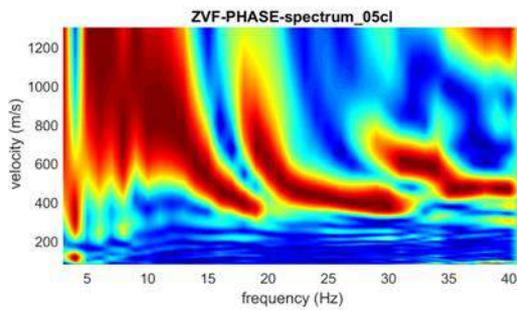
PROFILO VELOCITÀ Vs



Prova Masw – Acquisizioni elaborate per M3



Tracce utilizzate per l'elaborazione dello spettro MASW medio (energizzazione a inizio e fine stendimento, distanze varie).



Spettri delle tracce utilizzate per l'elaborazione dello spettro MASW medio.

RELAZIONE

INDAGINI GEOFISICHE

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

NB1R

00

D 69 IG

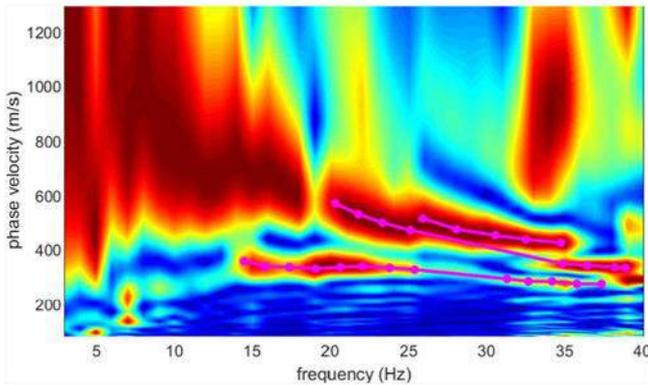
GE 0000 001

A

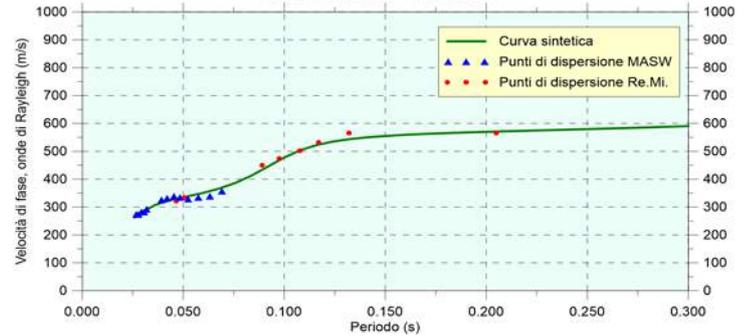
49 di 89

## Prova Masw/Re.Mi. – M4

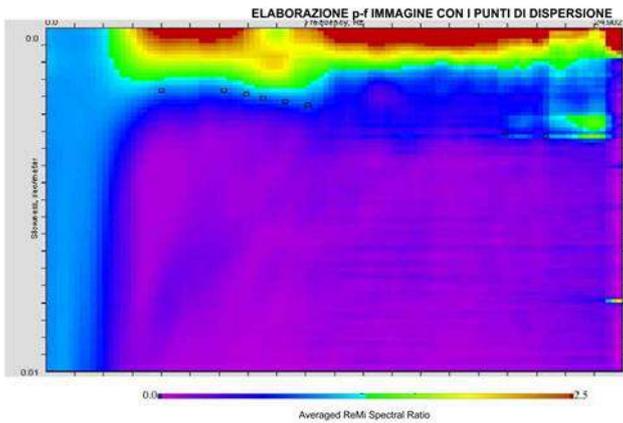
### PROVA MASW - Spettro medio



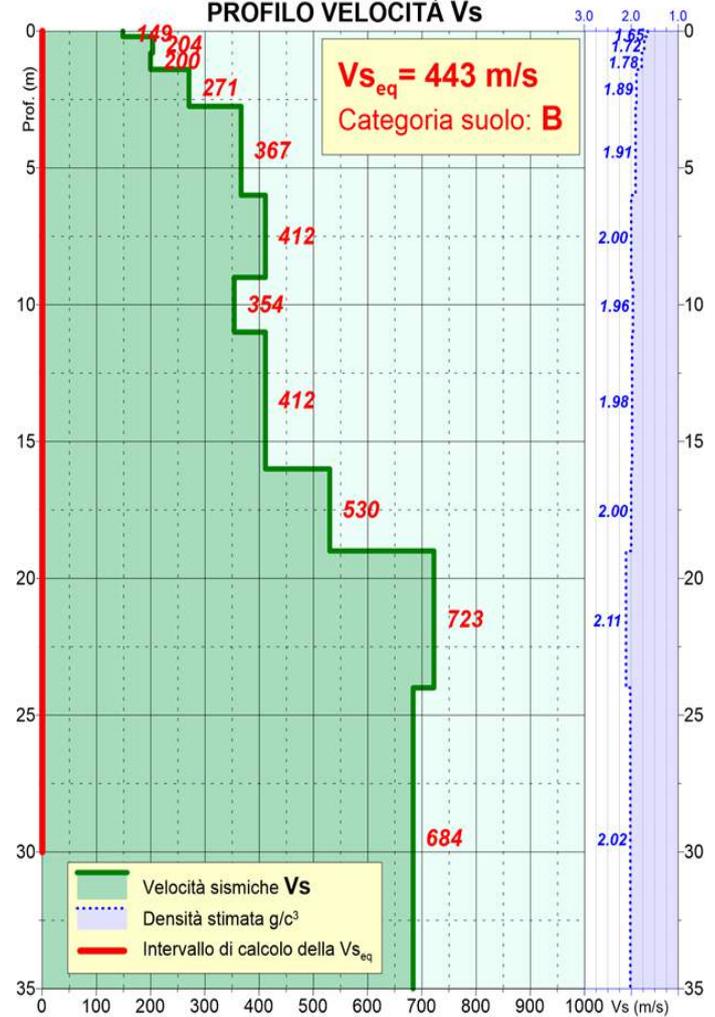
### CURVA DI DISPERSIONE



### PROVA REMI - Spettro medio



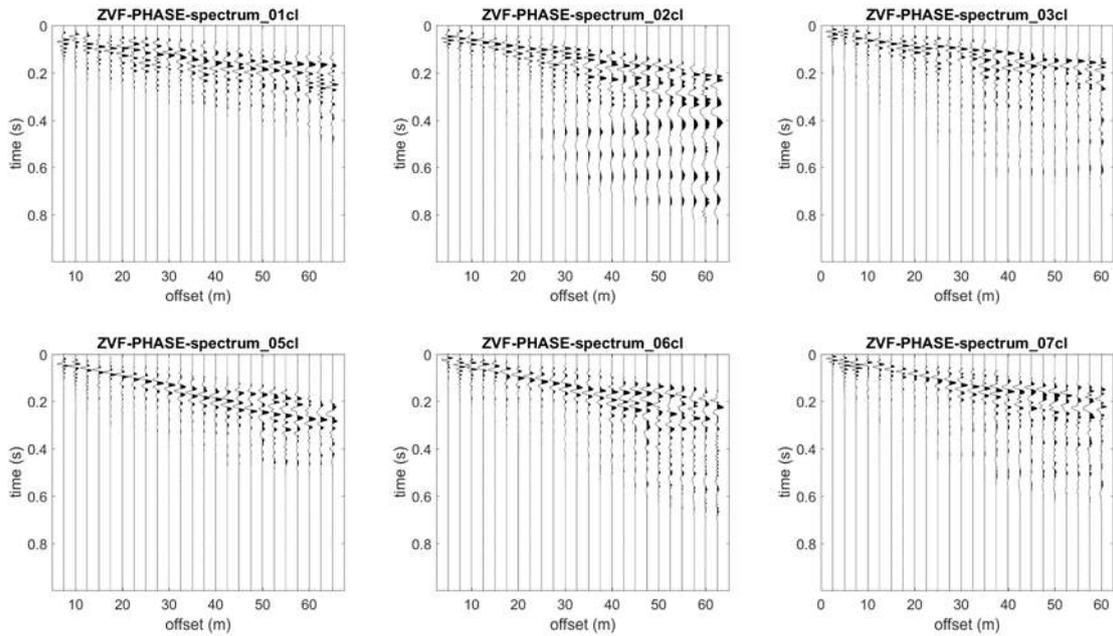
### PROFILO VELOCITÀ Vs



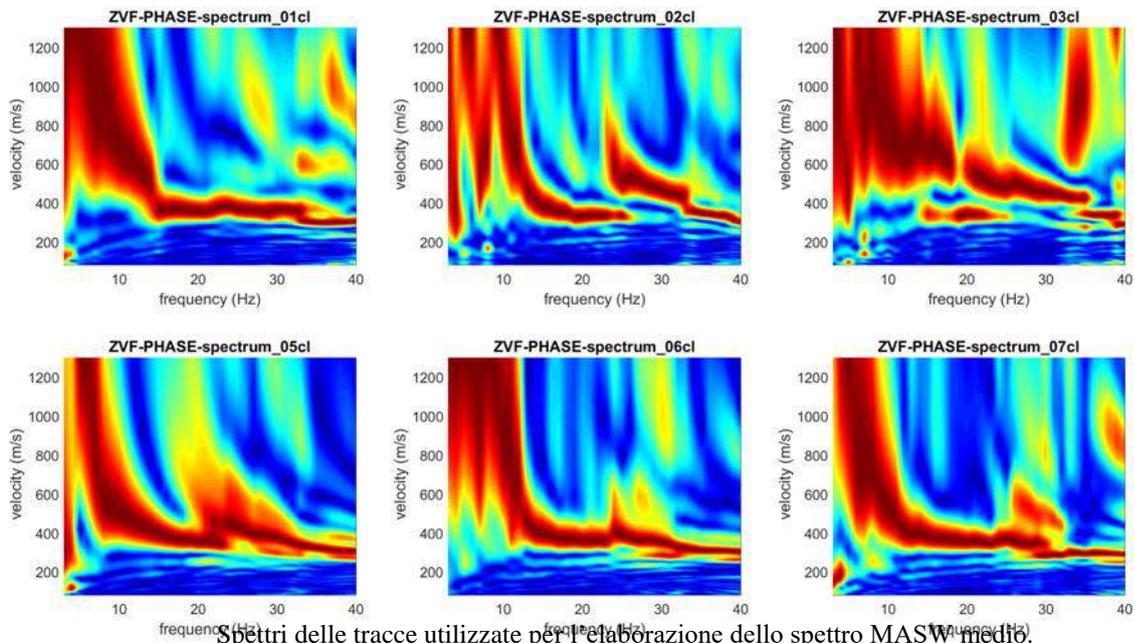
### Ubicazione prova



Prova Masw – Acquisizioni elaborate per M4



Tracce utilizzate per l'elaborazione dello spettro MASW medio (energizzazione a inizio e fine stendimento, distanze varie).



Spettri delle tracce utilizzate per l'elaborazione dello spettro MASW medio.

RELAZIONE

INDAGINI GEOFISICHE

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

NB1R

00

D 69 IG

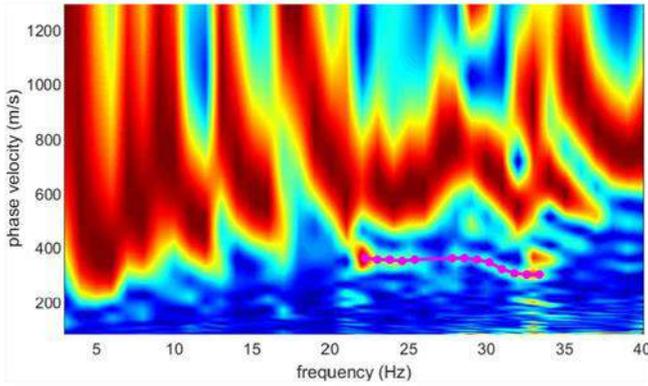
GE 0000 001

A

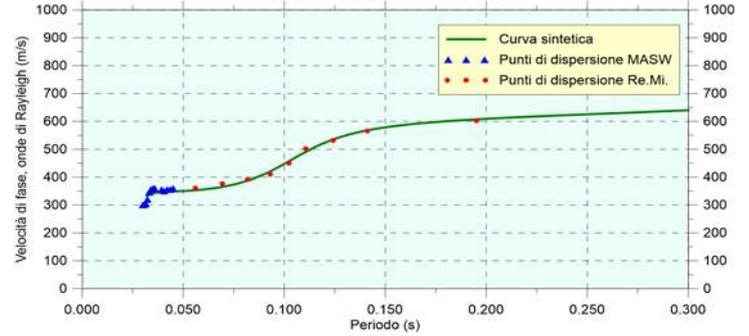
51 di 89

## Prova Masw/Re.Mi. – M5

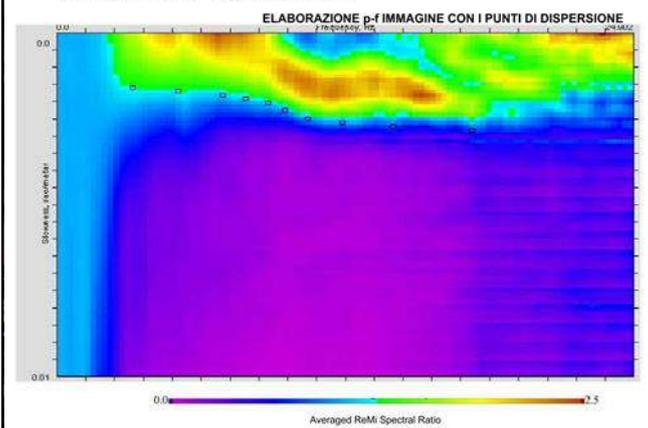
### PROVA MASW - Spettro medio



### CURVA DI DISPERSIONE



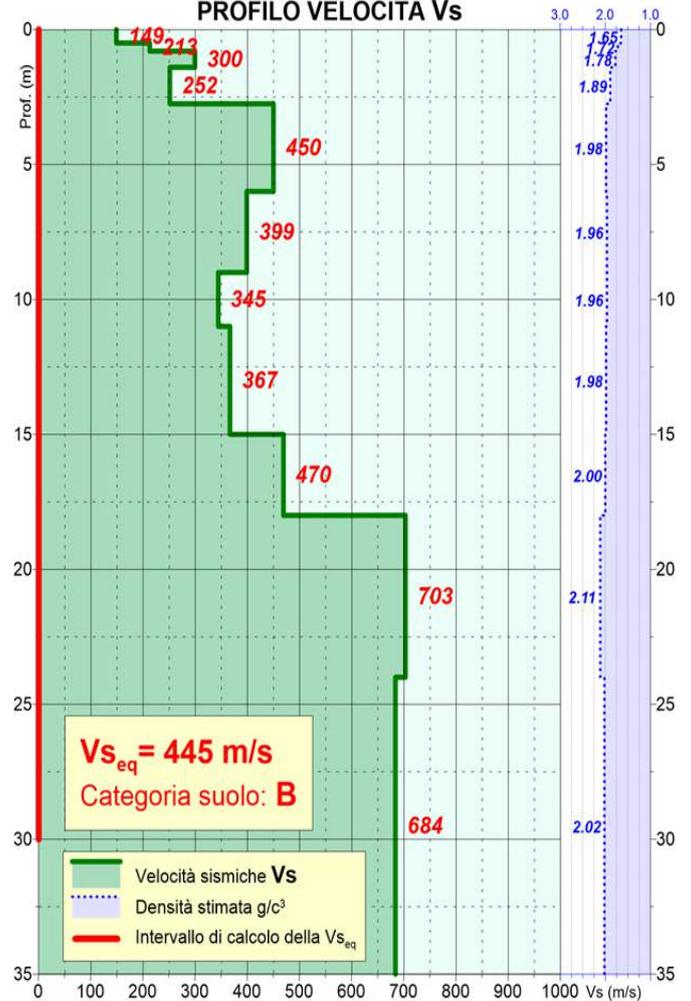
### PROVA REMI - Spettro medio



### Ubicazione prova



### PROFILO VELOCITÀ Vs



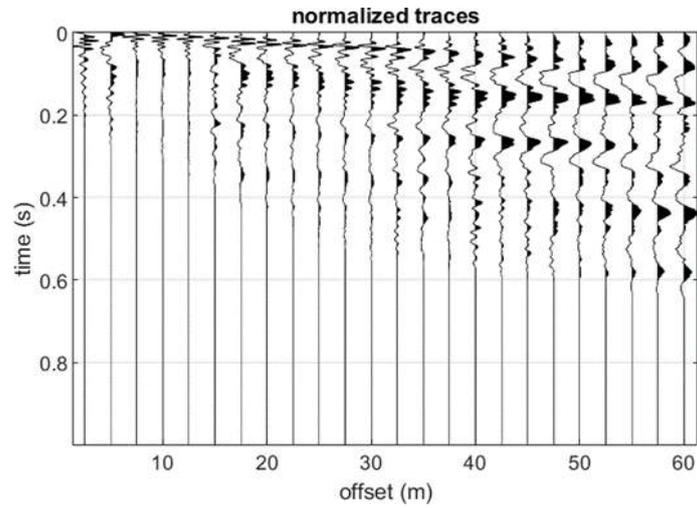
RELAZIONE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
----------	-------	----------	-----------	------	--------

INDAGINI GEOFISICHE

NB1R	00	D 69 IG	GE 0000 001	A	52 di 89
------	----	---------	-------------	---	----------

Prova Masw – Acquisizioni elaborate per M5



Traccia utilizzata per l'elaborazione dello spettro MASW medio.

RELAZIONE

INDAGINI GEOFISICHE

COMMESSA

NB1R

LOTTO

00

CODIFICA

D 69 IG

DOCUMENTO

GE 0000 001

REV.

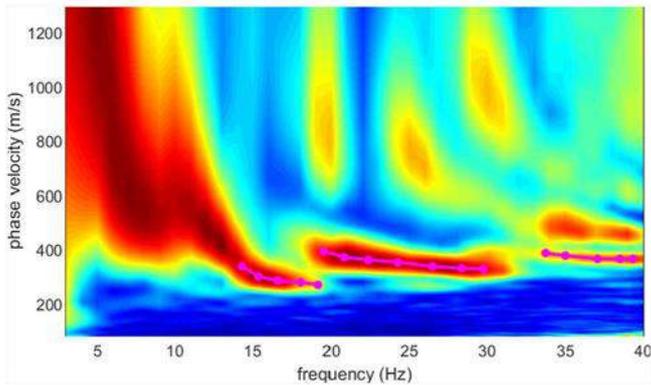
A

FOGLIO

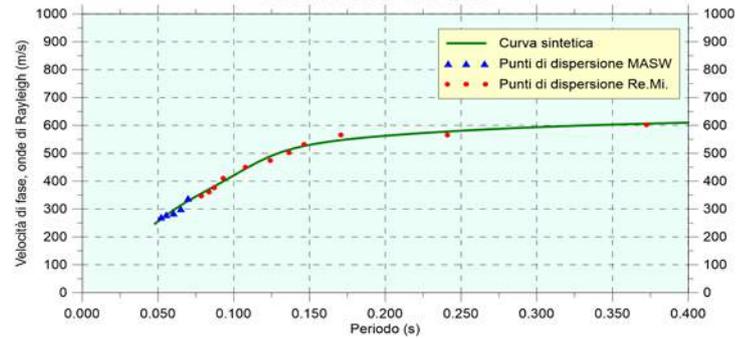
53 di 89

## Prova Masw/Re.Mi. – M6

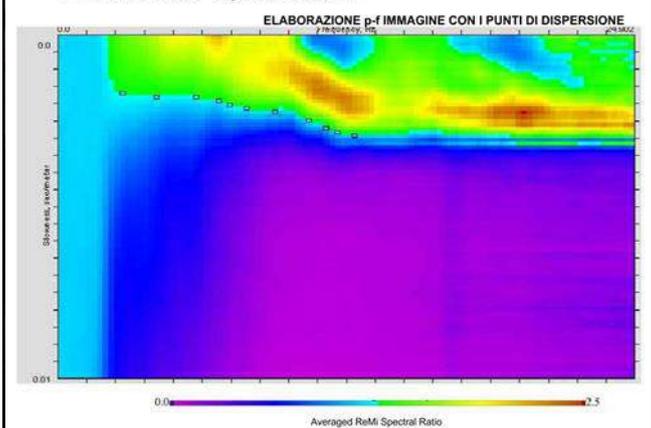
### PROVA MASW - Spettro medio



### CURVA DI DISPERSIONE



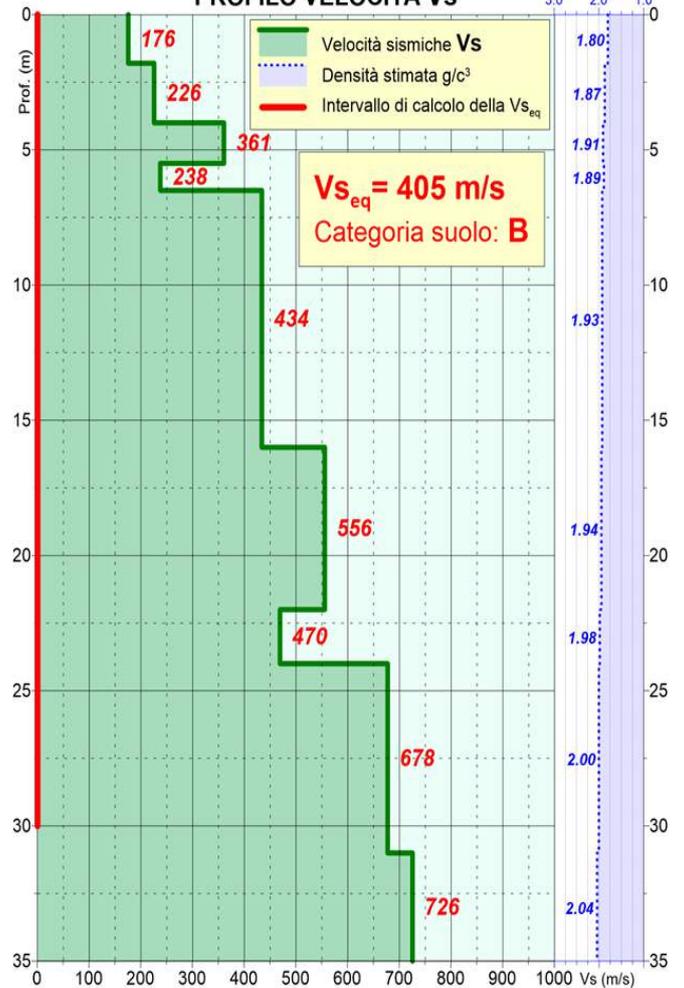
### PROVA REMI - Spettro medio



### Ubicazione prova



### PROFILO VELOCITÀ Vs



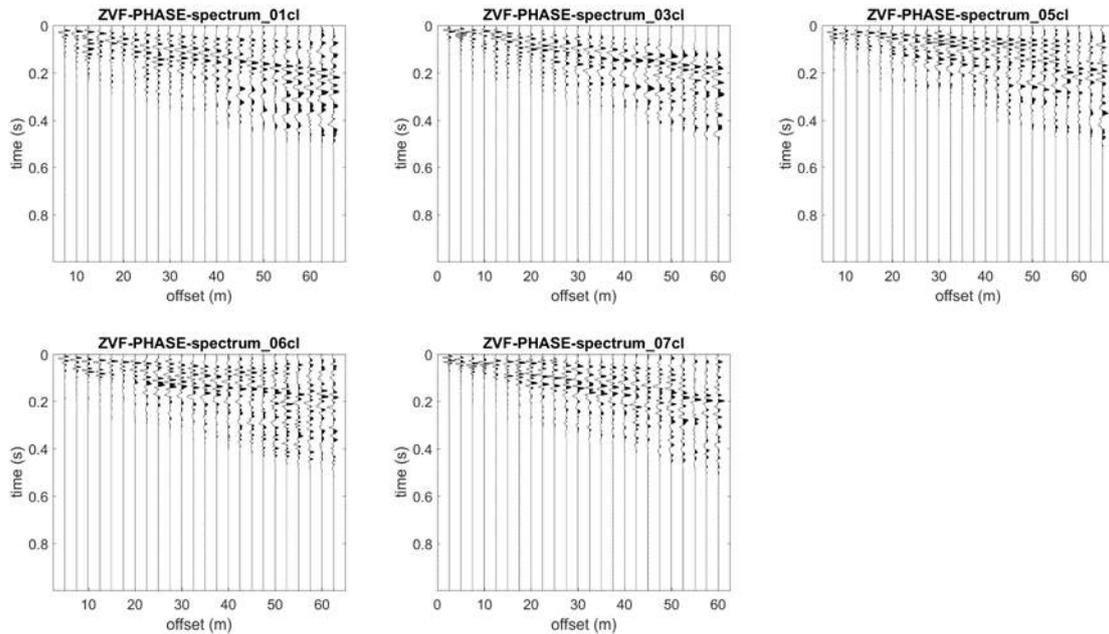
RELAZIONE

COMMESSA    LOTTO    CODIFICA    DOCUMENTO    REV.    FOGLIO

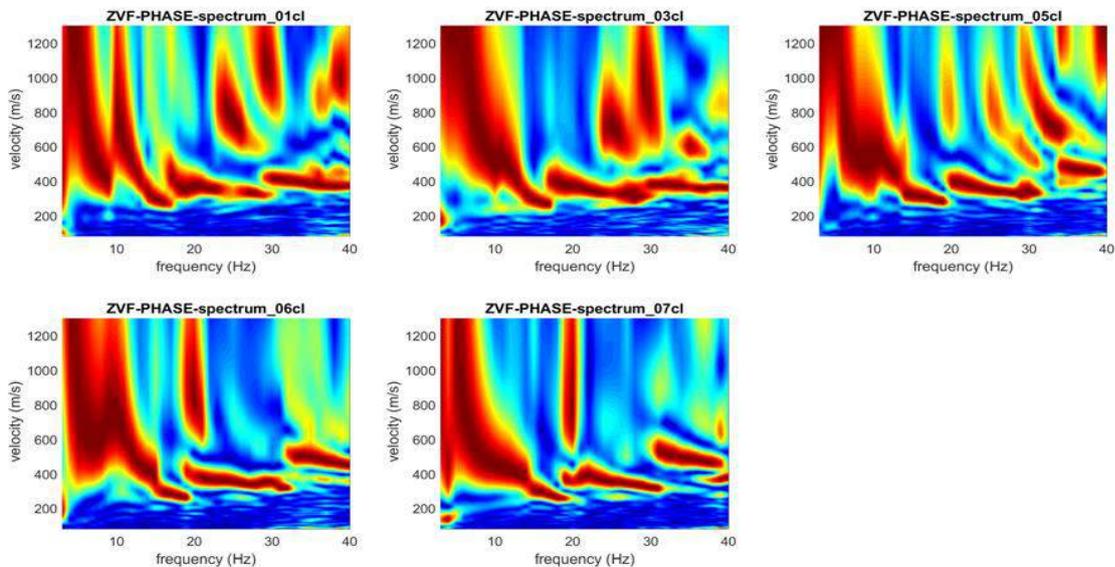
INDAGINI GEOFISICHE

NB1R    00    D 69 IG    GE 0000 001    A    54 di 89

Prova Masw – Acquisizioni elaborate per M6



Tracce utilizzate per l'elaborazione dello spettro MASW medio (energizzazione a inizio e fine stendimento, distanze varie).



Spettri delle tracce utilizzate per l'elaborazione dello spettro MASW medio.

RELAZIONE

INDAGINI GEOFISICHE

COMMESSA

NB1R

LOTTO

00

CODIFICA

D 69 IG

DOCUMENTO

GE 0000 001

REV.

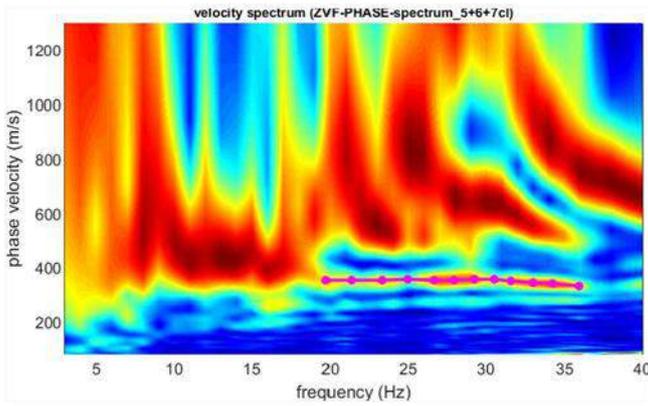
A

FOGLIO

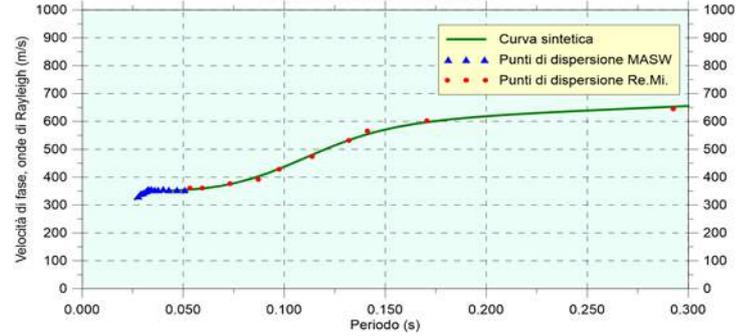
55 di 89

Prova Masw/Re.Mi. – M7

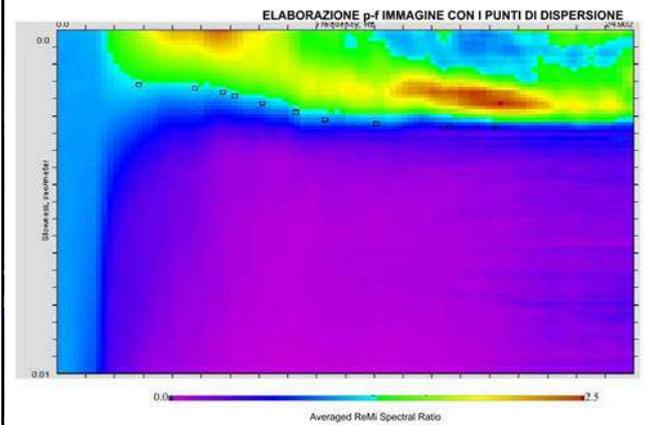
PROVA MASW - Spettro medio



CURVA DI DISPERSIONE



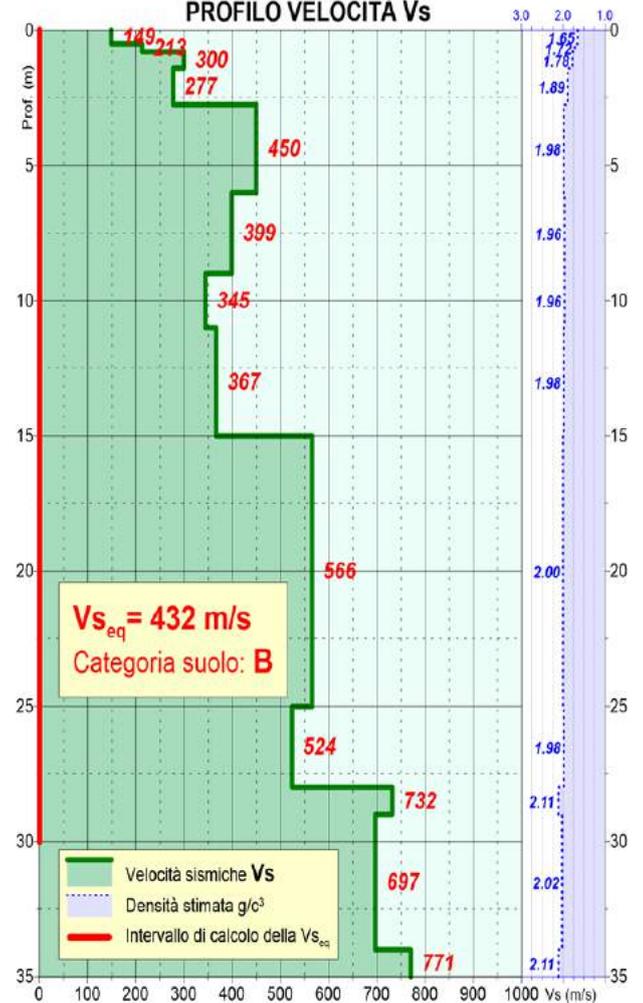
PROVA REMI - Spettro medio



Ubicazione prova



PROFILO VELOCITÀ Vs



RELAZIONE

INDAGINI GEOFISICHE

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

NB1R

00

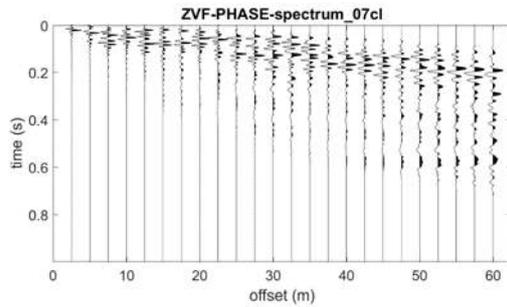
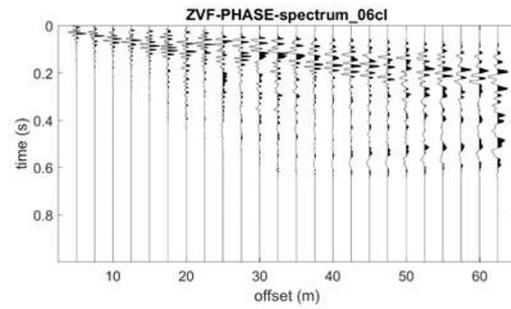
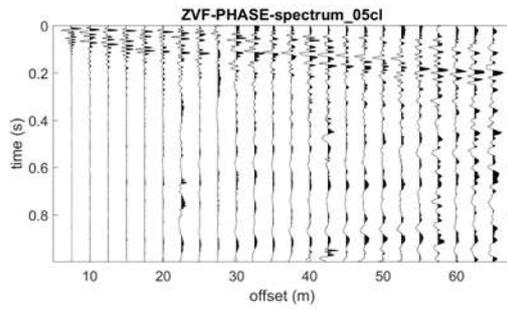
D 69 IG

GE 0000 001

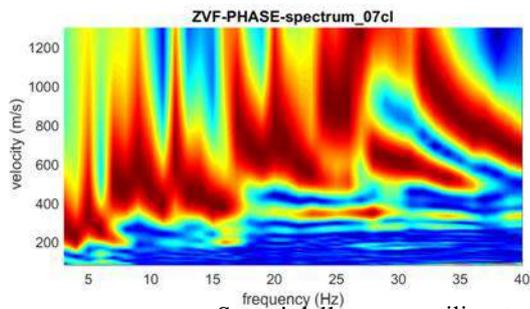
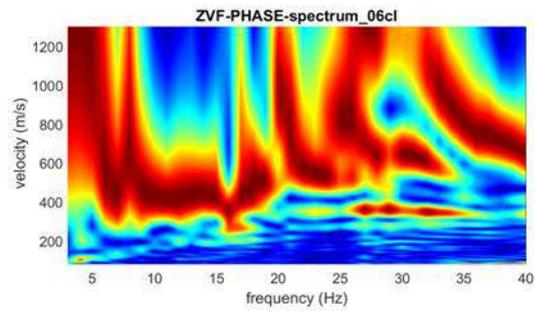
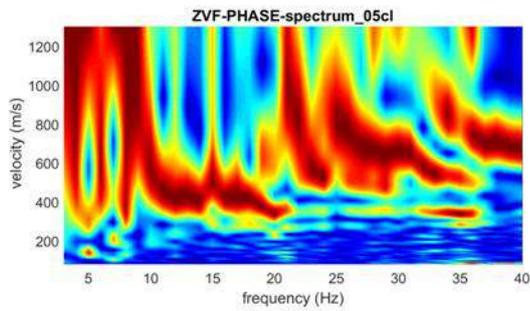
A

56 di 89

## Prova Masw – Acquisizioni elaborate per M7



Tracce utilizzate per l'elaborazione dello spettro MASW medio (energizzazione a inizio e fine stendimento, distanze varie).



Spettri delle tracce utilizzate per l'elaborazione dello spettro MASW medio.

RELAZIONE

INDAGINI GEOFISICHE

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

NB1R

00

D 69 IG

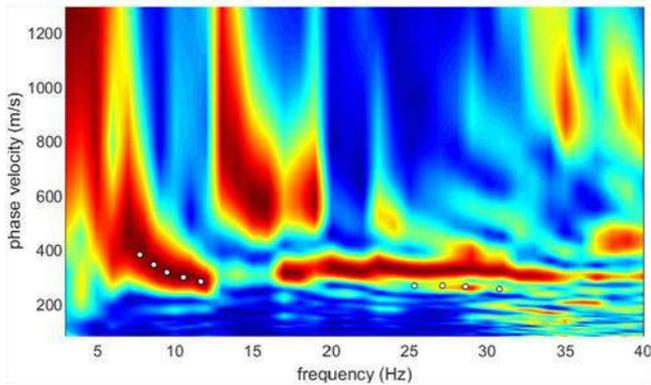
GE 0000 001

A

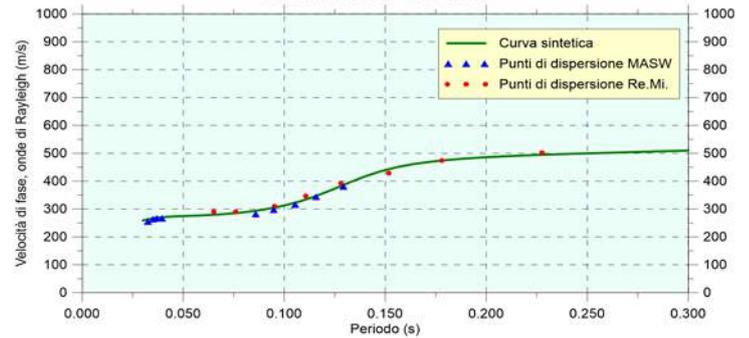
57 di 89

## Prova Masw/Re.Mi. – M8

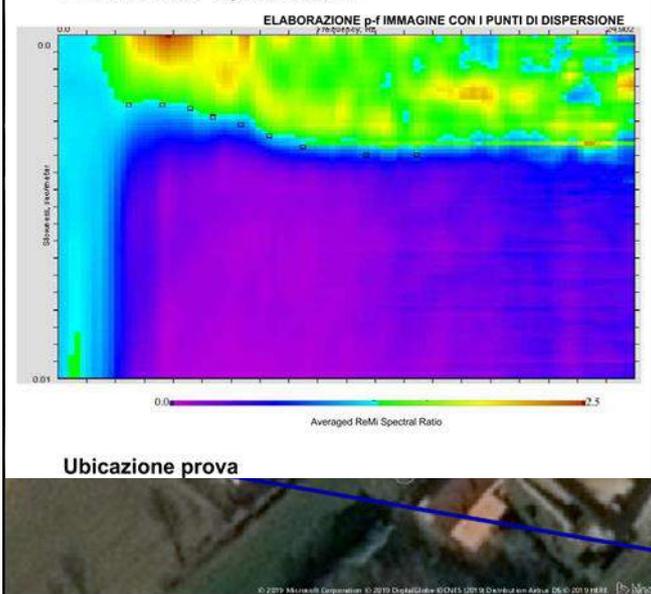
### PROVA MASW - Spettro medio



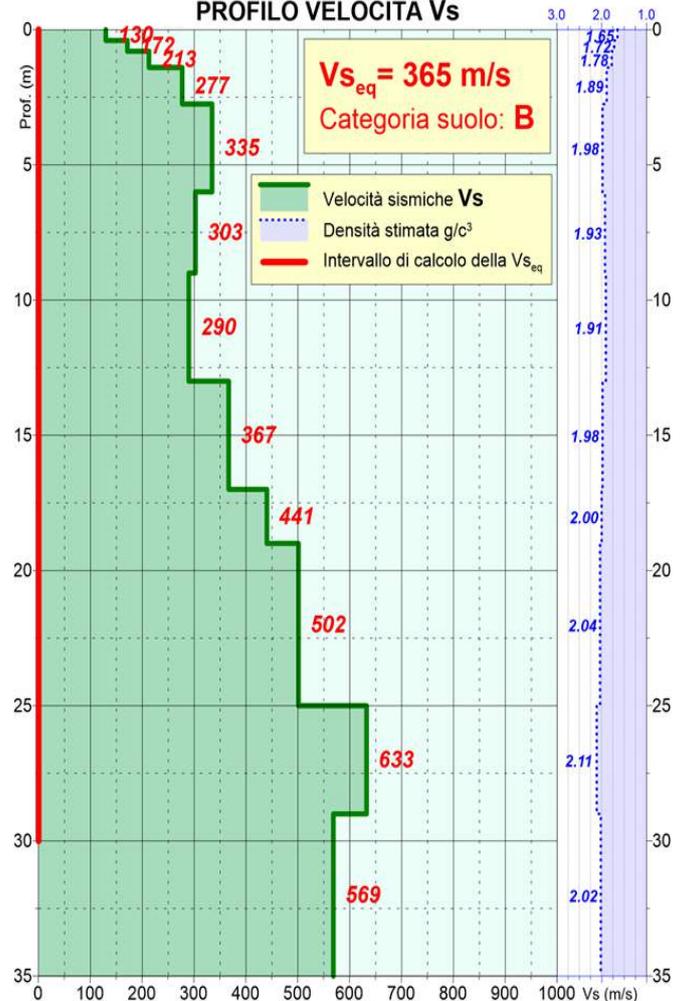
### CURVA DI DISPERSIONE



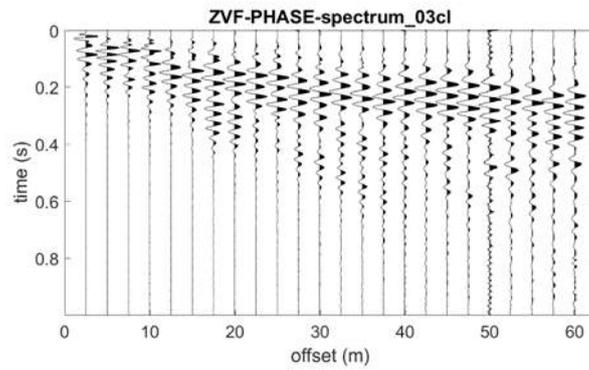
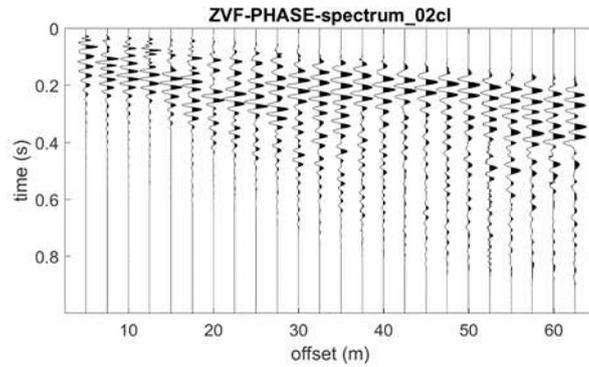
### PROVA REMI - Spettro medio



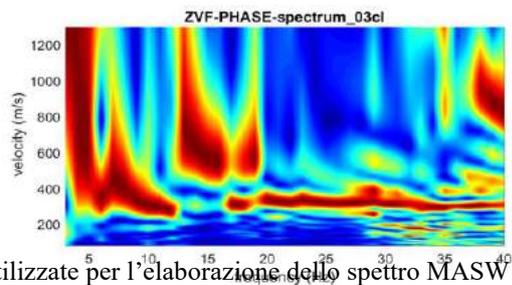
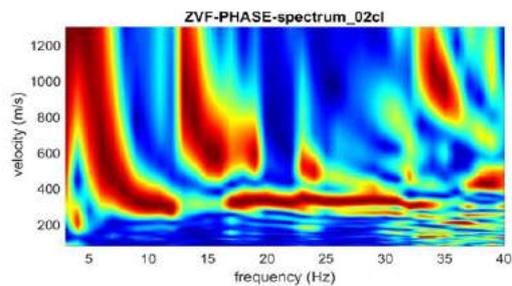
### PROFILO VELOCITÀ Vs



Prova Masw – Acquisizioni elaborate per M8



Tracce utilizzate per l'elaborazione dello spettro MASW medio (energizzazione a inizio e fine stendimento, distanze varie).



Spettri delle tracce utilizzate per l'elaborazione dello spettro MASW medio.

RELAZIONE

INDAGINI GEOFISICHE

COMMESSA

NB1R

LOTTO

00

CODIFICA

D 69 IG

DOCUMENTO

GE 0000 001

REV.

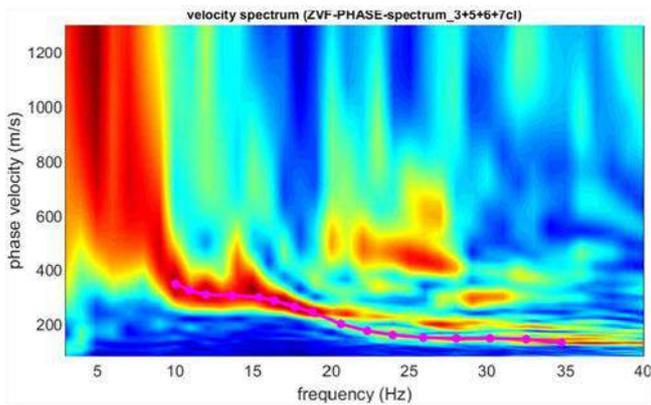
A

FOGLIO

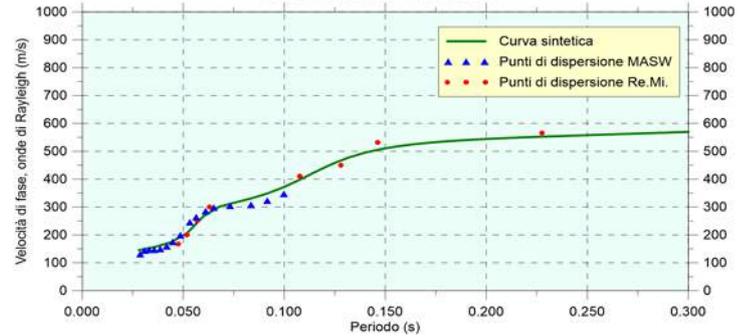
59 di 89

## Prova Masw/Re.Mi. – M9

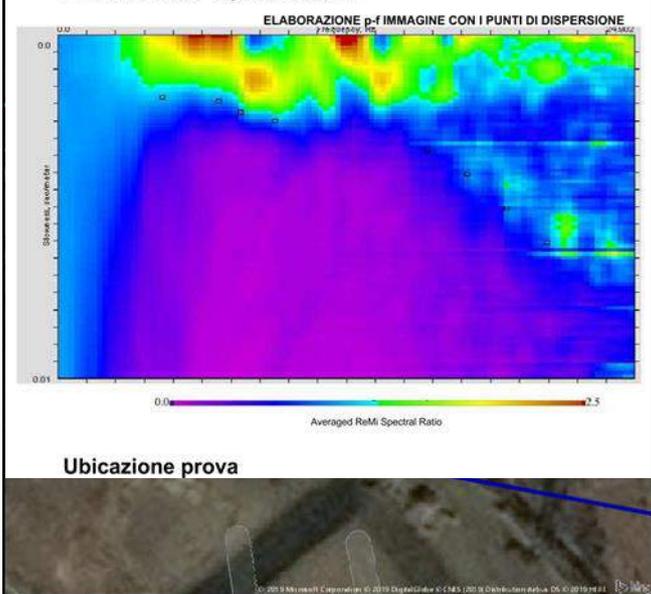
### PROVA MASW - Spettro medio



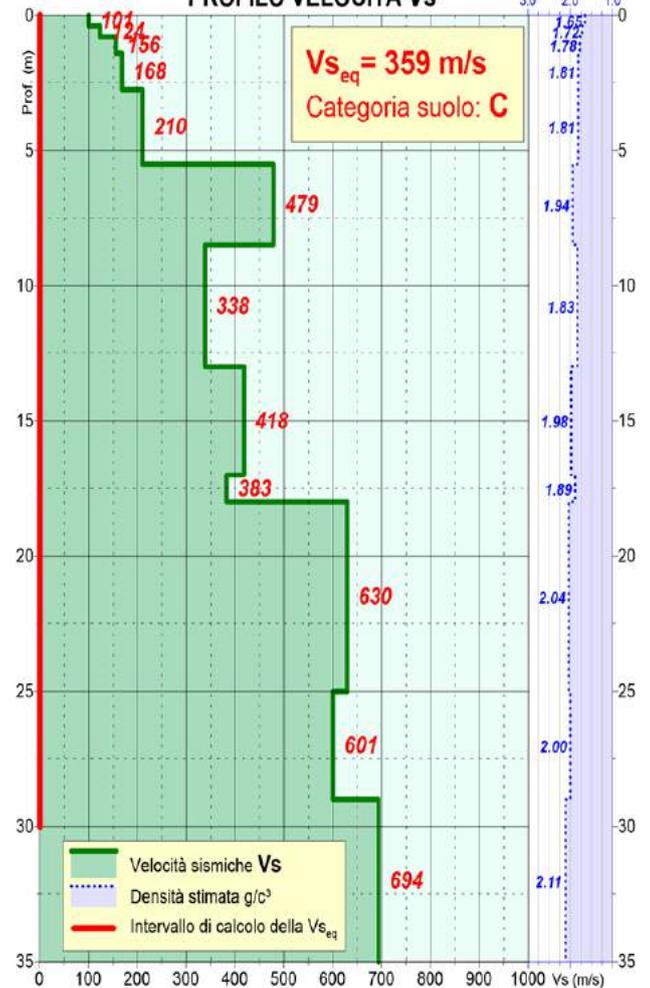
### CURVA DI DISPERSIONE



### PROVA REMI - Spettro medio



### PROFILO VELOCITÀ Vs



RELAZIONE

INDAGINI GEOFISICHE

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

NB1R

00

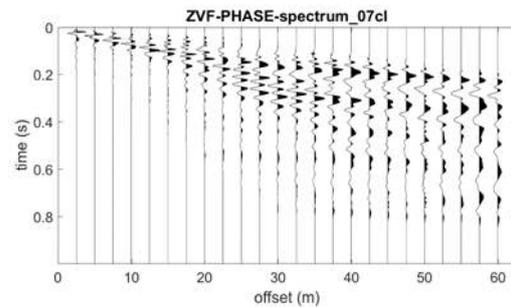
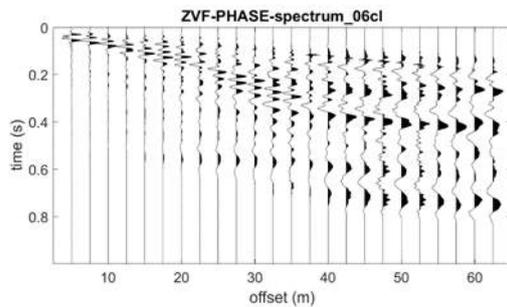
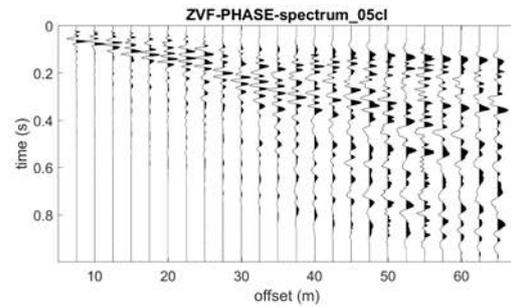
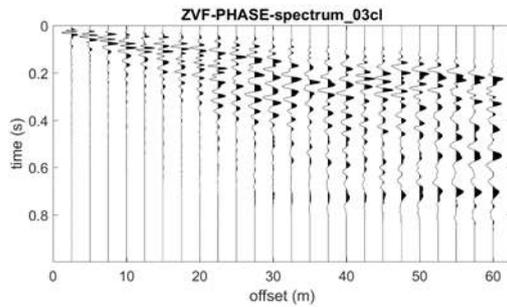
D 69 IG

GE 0000 001

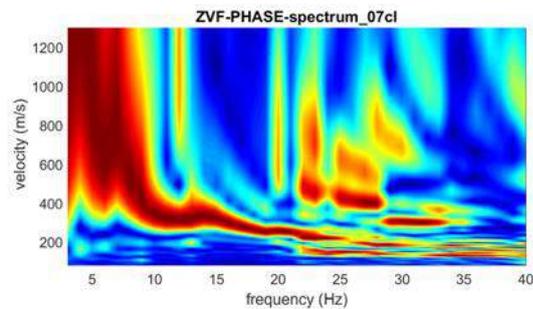
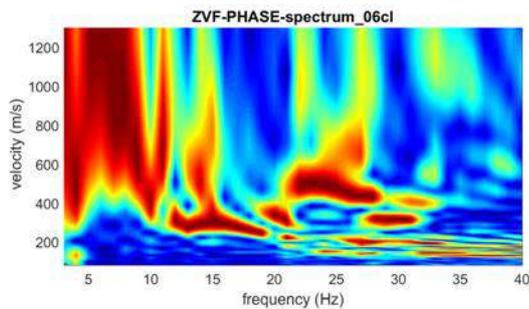
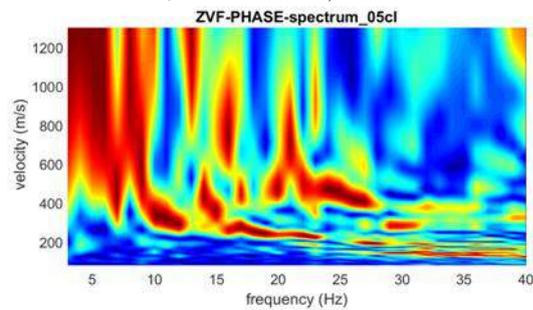
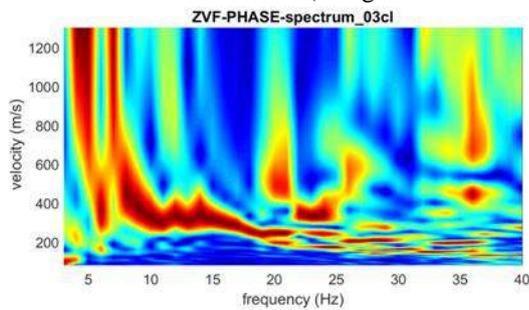
A

60 di 89

## Prova Masw – Acquisizioni elaborate per M9



Tracce utilizzate per l'elaborazione dello spettro MASW medio  
(energizzazione a inizio e fine stendimento, distanze varie).



Spettri delle tracce utilizzate per l'elaborazione dello spettro MASW medio.

RELAZIONE

INDAGINI GEOFISICHE

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

NB1R

00

D 69 IG

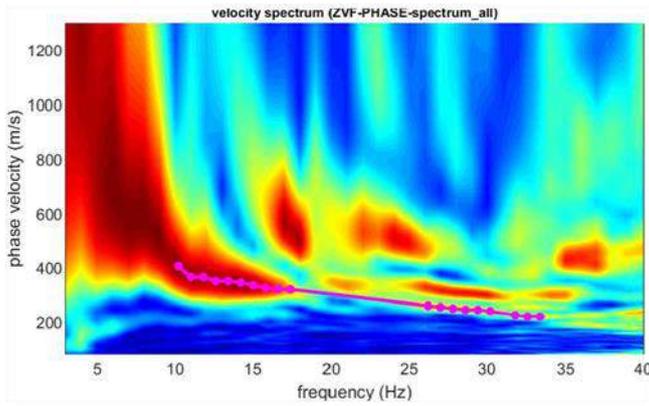
GE 0000 001

A

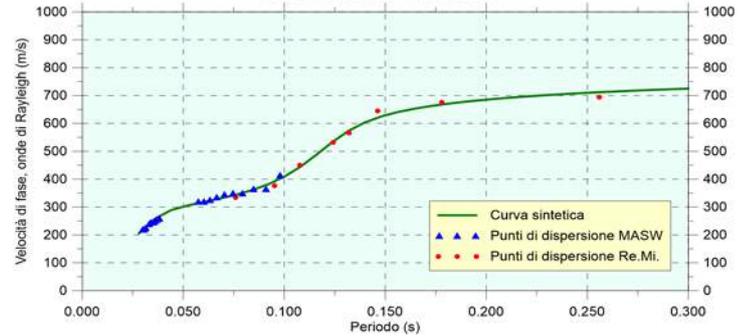
61 di 89

## Prova Masw/Re.Mi. – M10

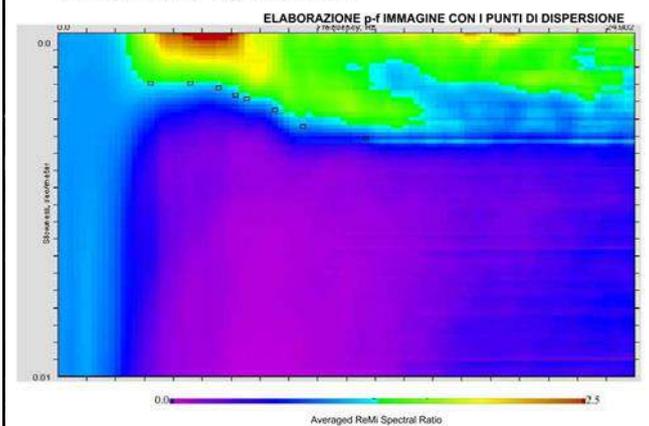
### PROVA MASW - Spettro medio



### CURVA DI DISPERSIONE



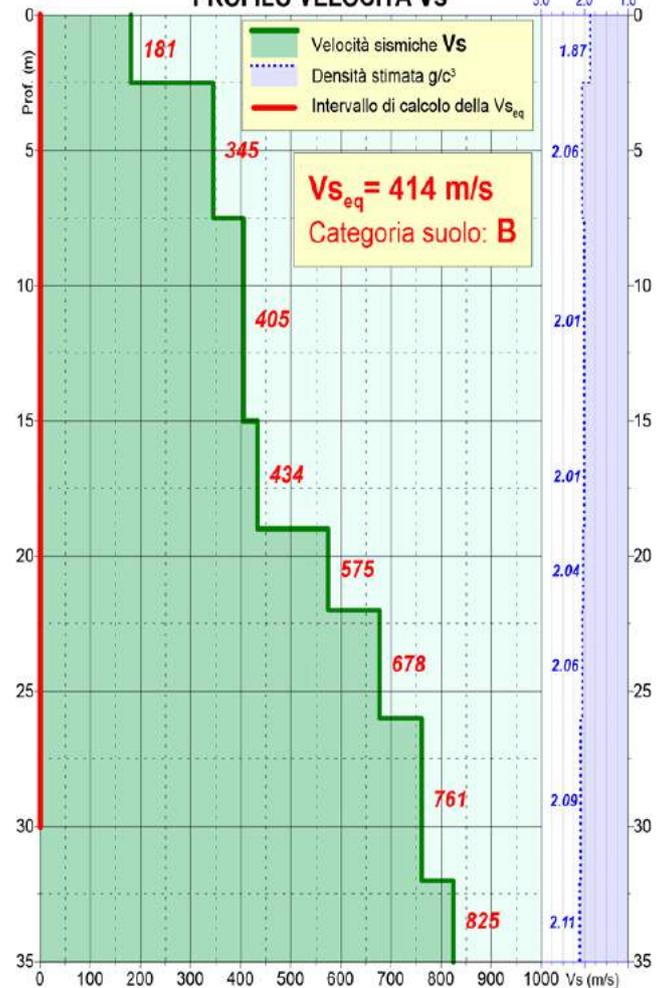
### PROVA REMI - Spettro medio



### Ubicazione prova



### PROFILO VELOCITÀ Vs



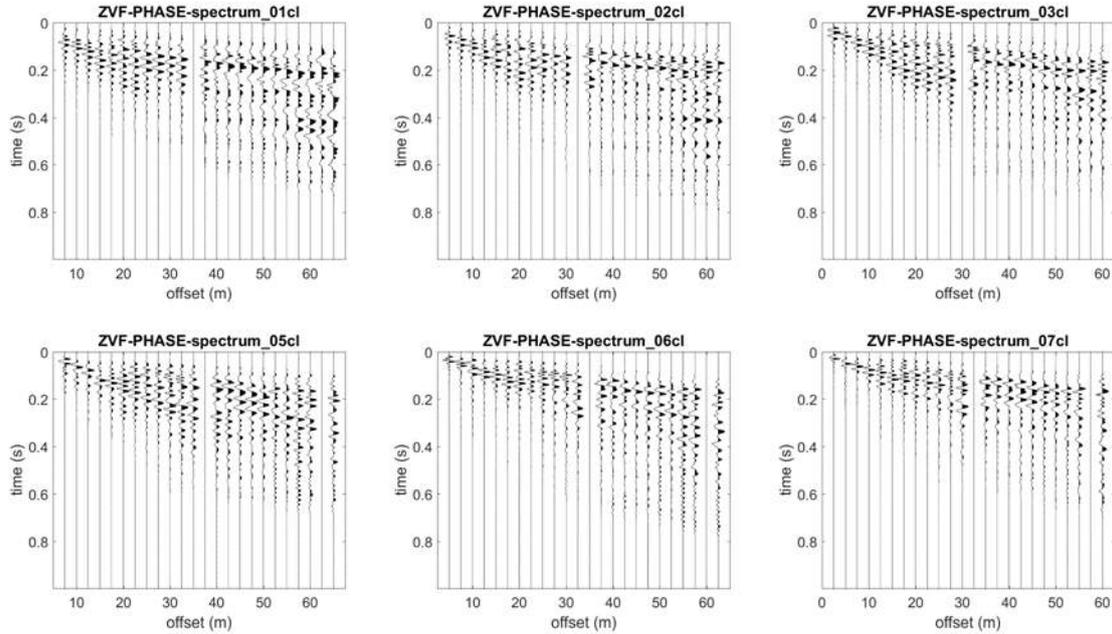
RELAZIONE

COMMESSA    LOTTO    CODIFICA    DOCUMENTO    REV.    FOGLIO

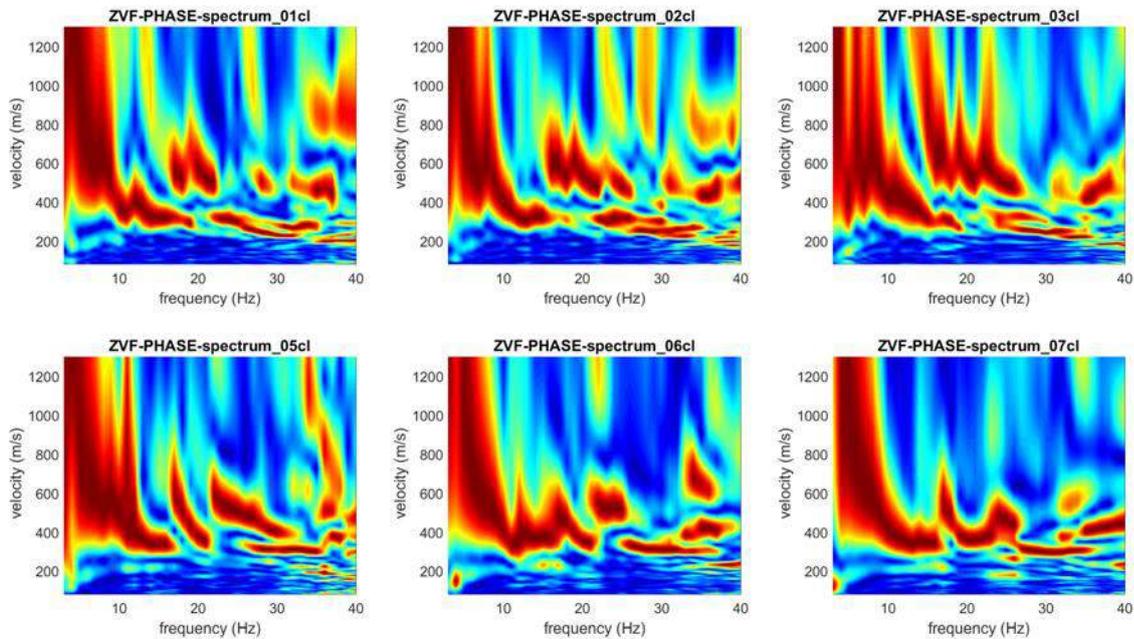
INDAGINI GEOFISICHE

NB1R    00    D 69 IG    GE 0000 001    A    62 di 89

Prova Masw – Acquisizioni elaborate per M10



Tracce utilizzate per l'elaborazione dello spettro MASW medio (energizzazione a inizio e fine stendimento, distanze varie).



Spettri delle tracce utilizzate per l'elaborazione dello spettro MASW medio.

RELAZIONE

INDAGINI GEOFISICHE

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

NB1R

00

D 69 IG

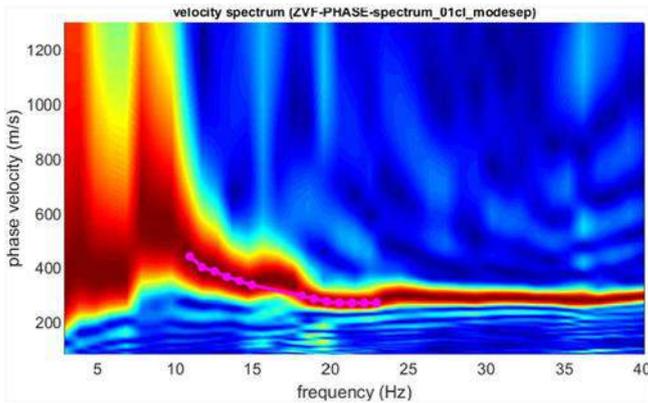
GE 0000 001

A

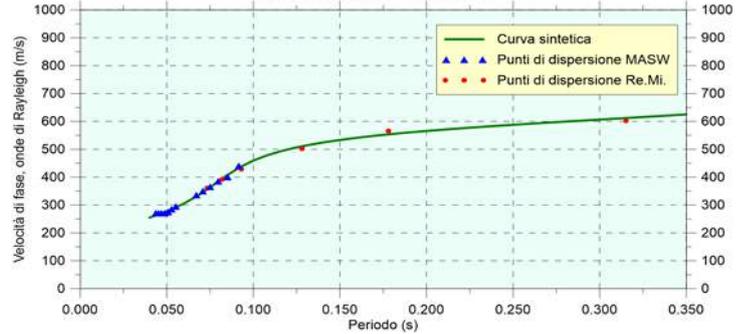
63 di 89

## Prova Masw/Re.Mi. – M11

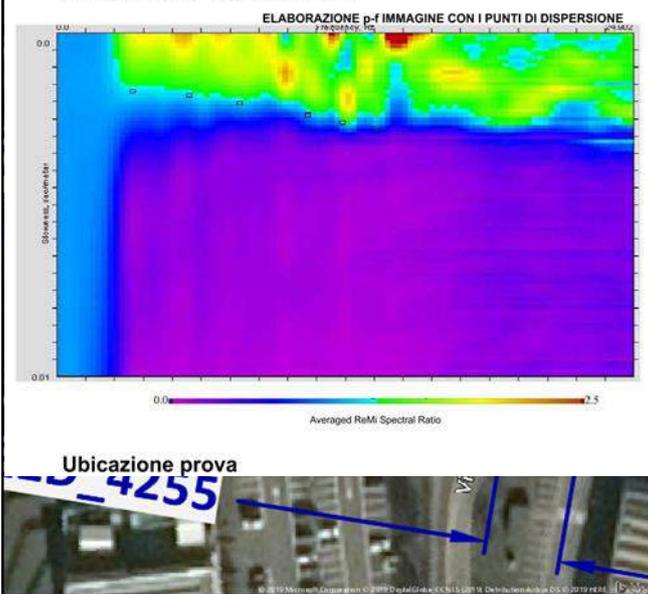
### PROVA MASW - Spettro medio



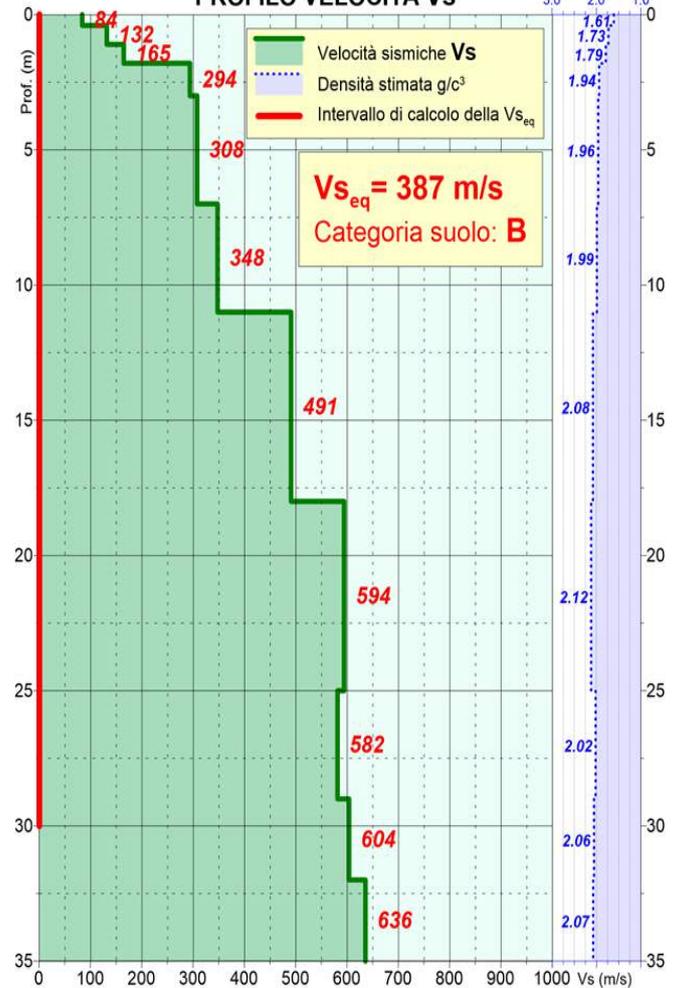
### CURVA DI DISPERSIONE



### PROVA REMI - Spettro medio



### PROFILO VELOCITÀ Vs



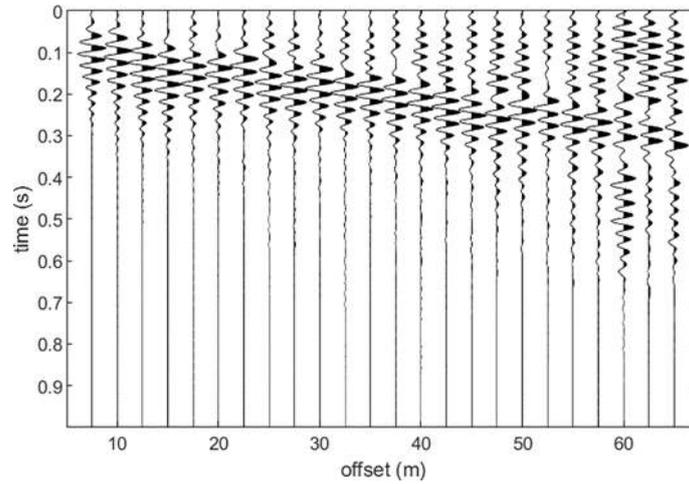
RELAZIONE

COMMESSA    LOTTO    CODIFICA    DOCUMENTO    REV.    FOGLIO

INDAGINI GEOFISICHE

NB1R    00    D 69 IG    GE 0000 001    A    64 di 89

Prova Masw – Acquisizioni elaborate per **M11**



Traccia utilizzata per l'elaborazione dello spettro MASW medio.

RELAZIONE

INDAGINI GEOFISICHE

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

NB1R

00

D 69 IG

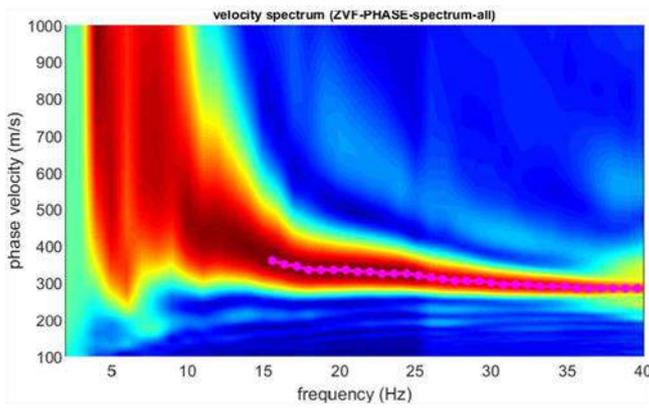
GE 0000 001

A

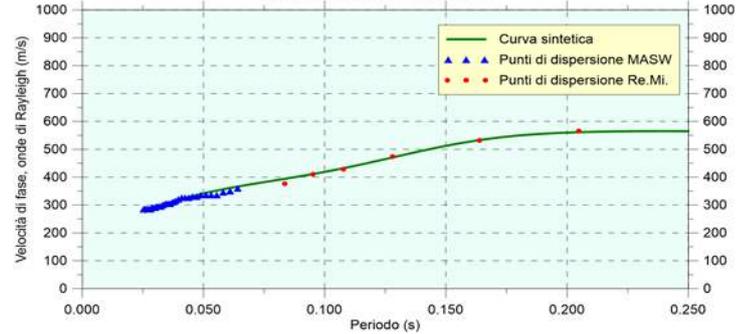
65 di 89

## Prova Masw/Re.Mi. – M12

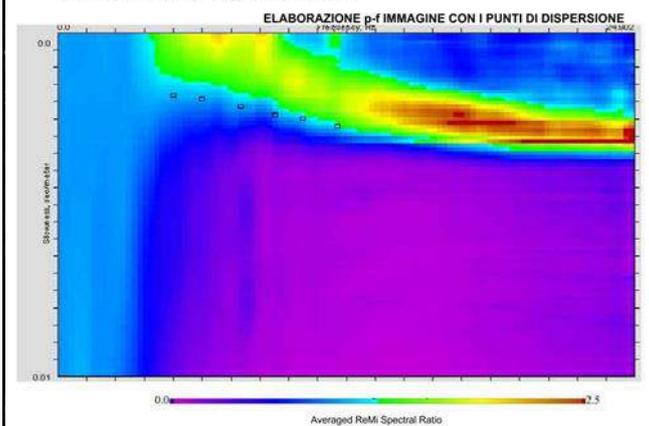
### PROVA MASW - Spettro medio



### CURVA DI DISPERSIONE



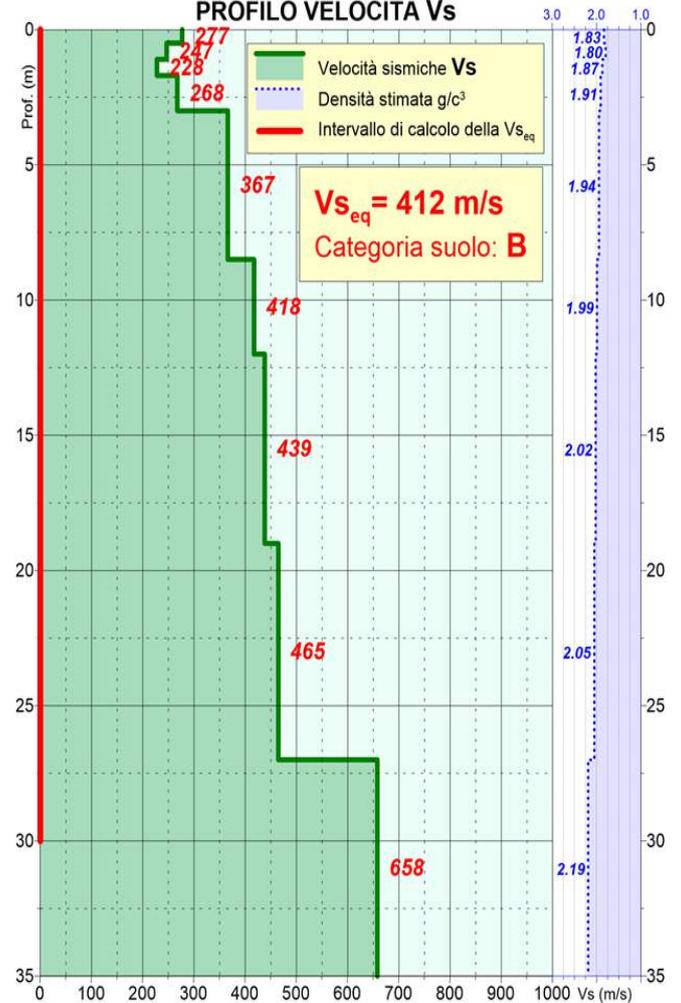
### PROVA REMI - Spettro medio



### Ubicazione prova



### PROFILO VELOCITÀ Vs



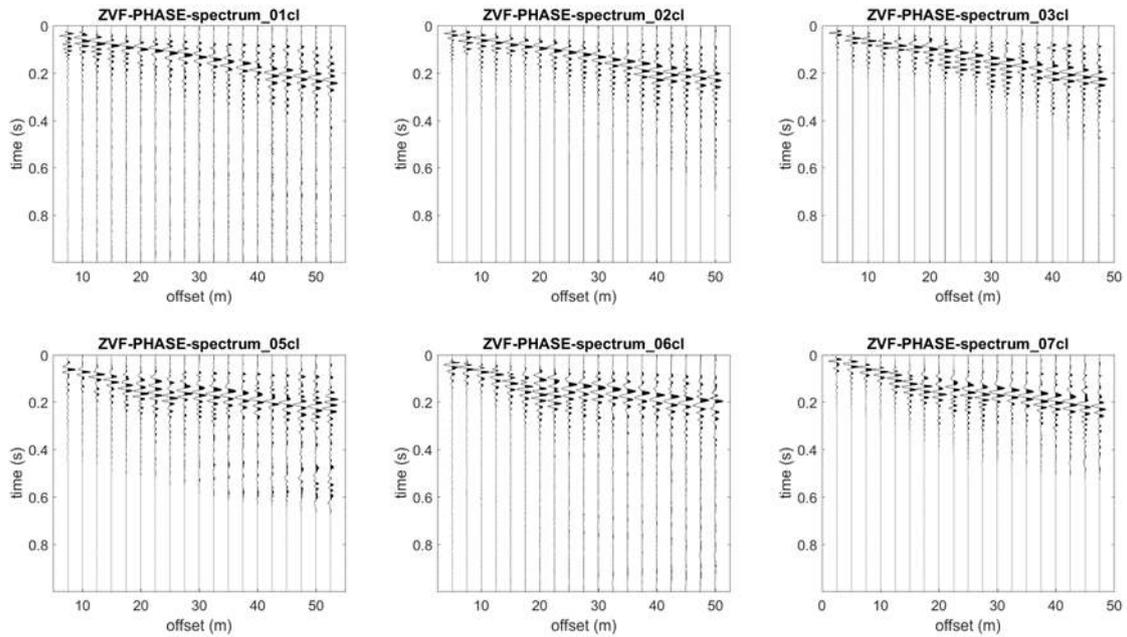
RELAZIONE

COMMESSA    LOTTO    CODIFICA    DOCUMENTO    REV.    FOGLIO

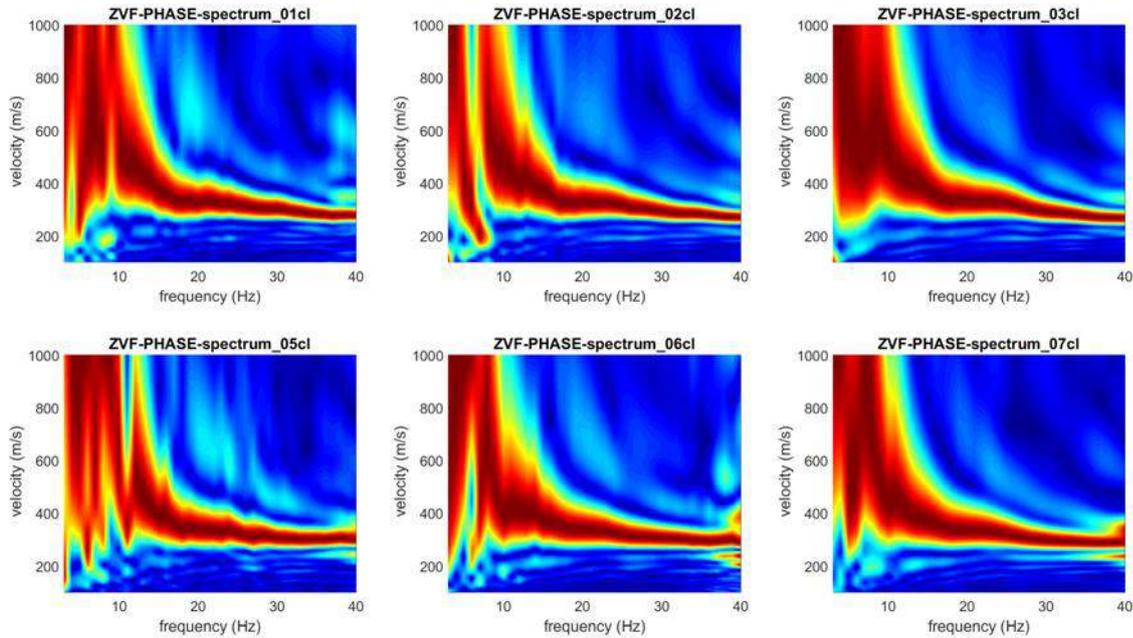
INDAGINI GEOFISICHE

NB1R    00    D 69 IG    GE 0000 001    A    66 di 89

Prova Masw – Acquisizioni elaborate per M12



Tracce utilizzate per l'elaborazione dello spettro MASW medio (energizzazione a inizio e fine stendimento, distanze varie).



Spettri delle tracce utilizzate per l'elaborazione dello spettro MASW medio.

RELAZIONE

INDAGINI GEOFISICHE

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

NB1R

00

D 69 IG

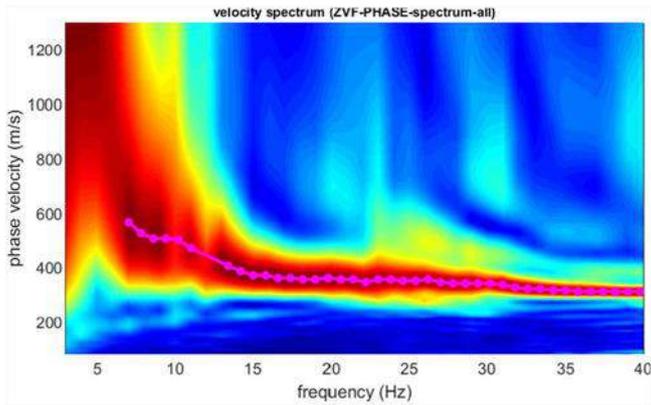
GE 0000 001

A

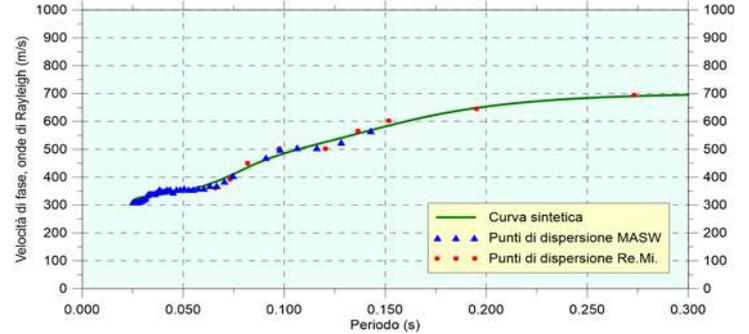
67 di 89

## Prova Masw/Re.Mi. – M13

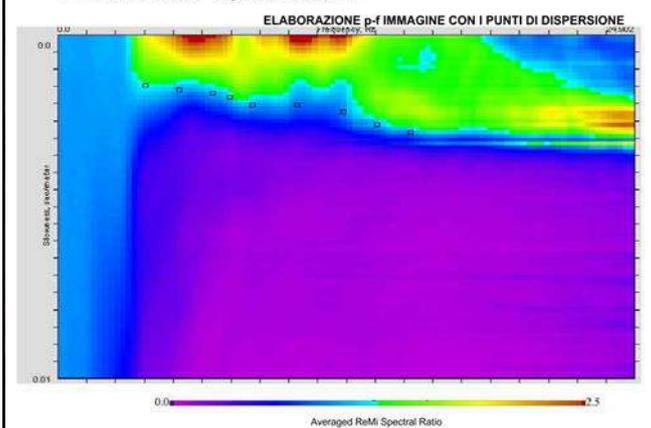
### PROVA MASW - Spettro medio



### CURVA DI DISPERSIONE



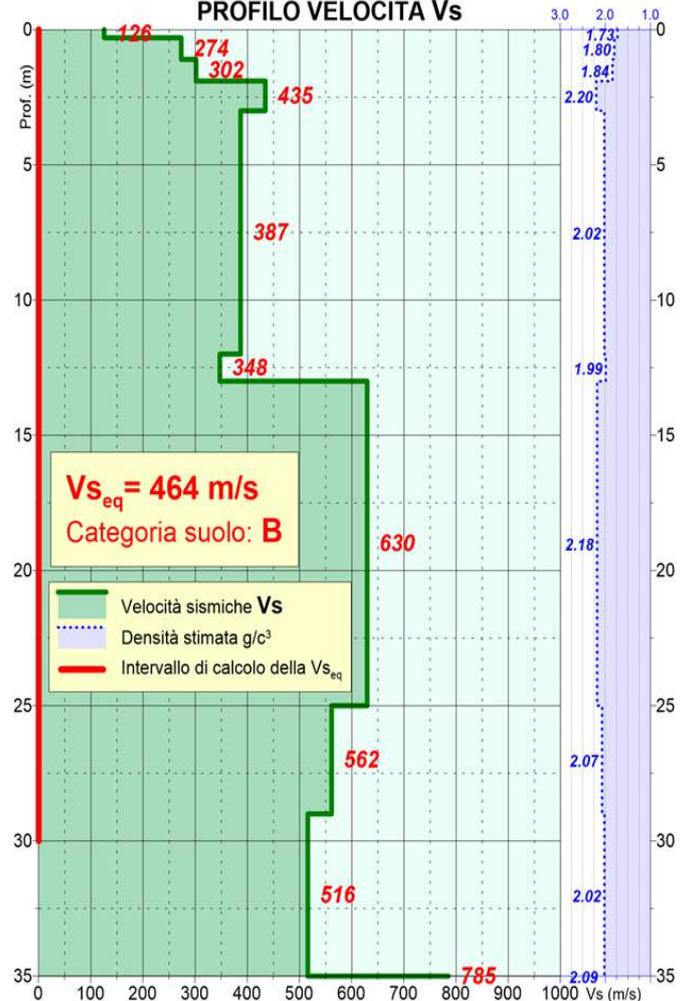
### PROVA REMI - Spettro medio



### Ubicazione prova



### PROFILO VELOCITÀ Vs



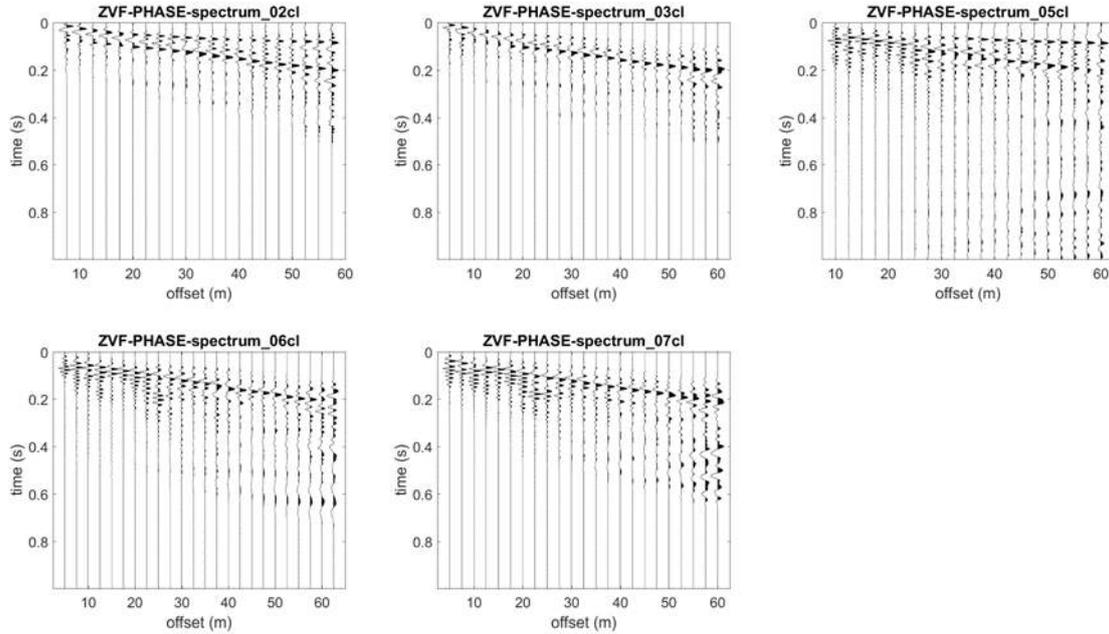
RELAZIONE

COMMESSA    LOTTO    CODIFICA    DOCUMENTO    REV.    FOGLIO

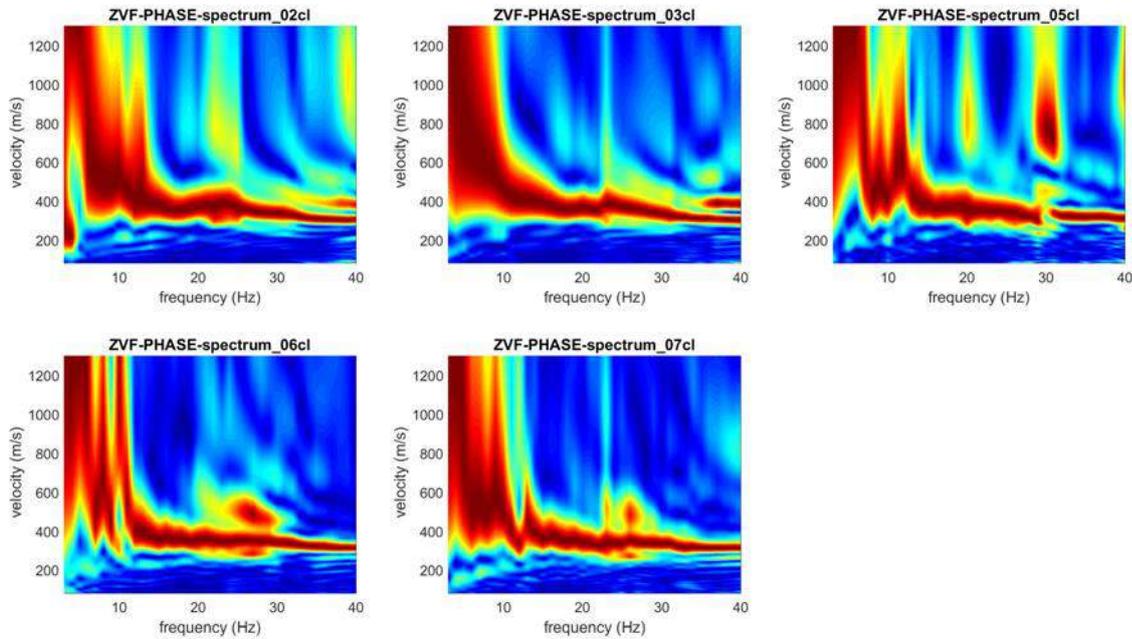
INDAGINI GEOFISICHE

NB1R    00    D 69 IG    GE 0000 001    A    68 di 89

Prova Masw – Acquisizioni elaborate per M13



Tracce utilizzate per l'elaborazione dello spettro MASW medio (energizzazione a inizio e fine stendimento, distanze varie).



Spettri delle tracce utilizzate per l'elaborazione dello spettro MASW medio.

RELAZIONE

INDAGINI GEOFISICHE

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

NB1R

00

D 69 IG

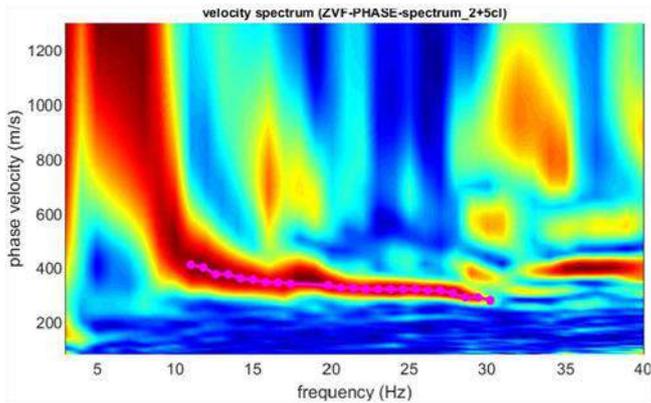
GE 0000 001

A

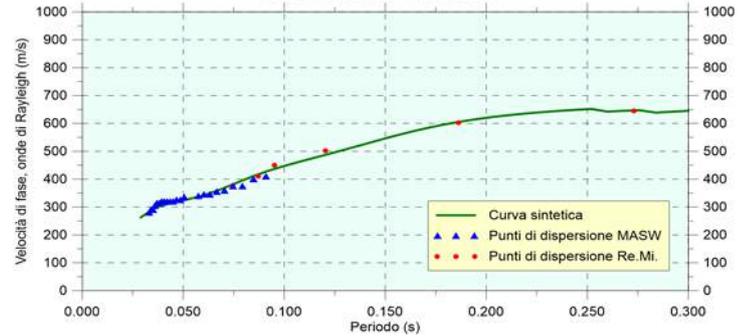
69 di 89

## Prova Masw/Re.Mi. – M14

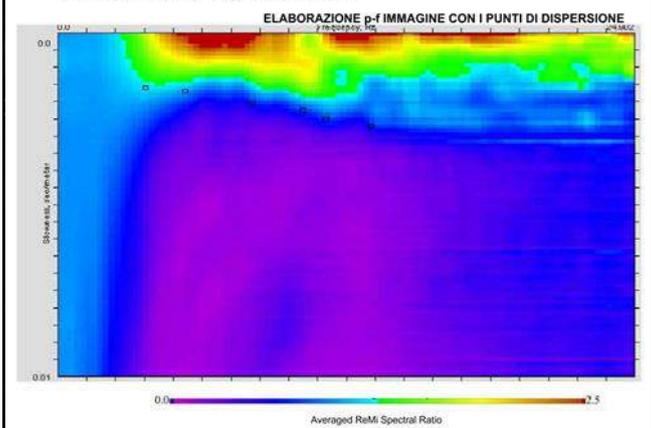
### PROVA MASW - Spettro medio



### CURVA DI DISPERSIONE



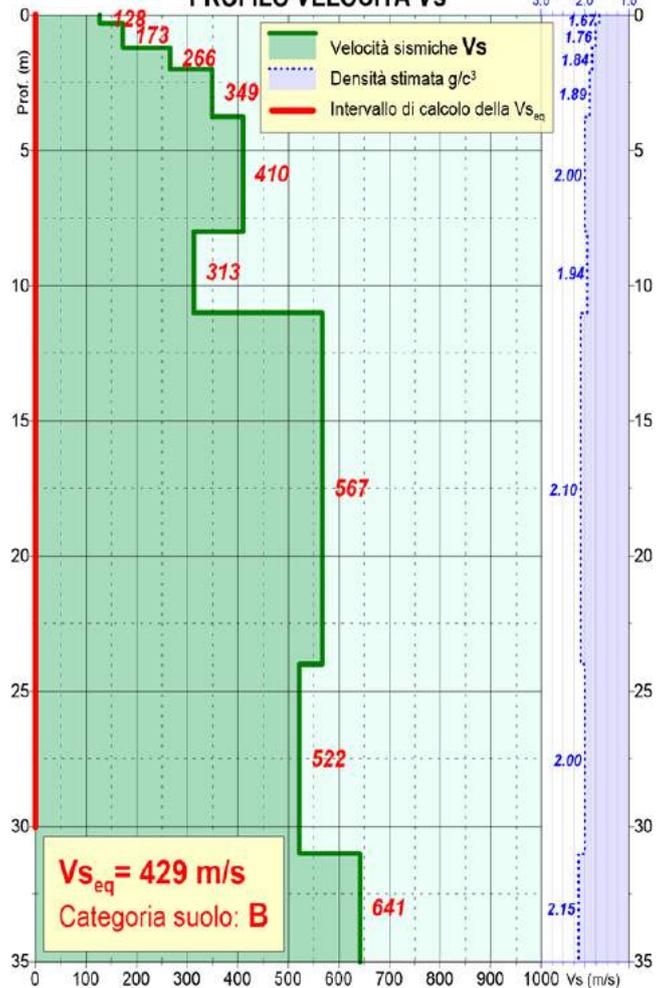
### PROVA REMI - Spettro medio



### Ubicazione prova



### PROFILO VELOCITÀ Vs



RELAZIONE

INDAGINI GEOFISICHE

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

NB1R

00

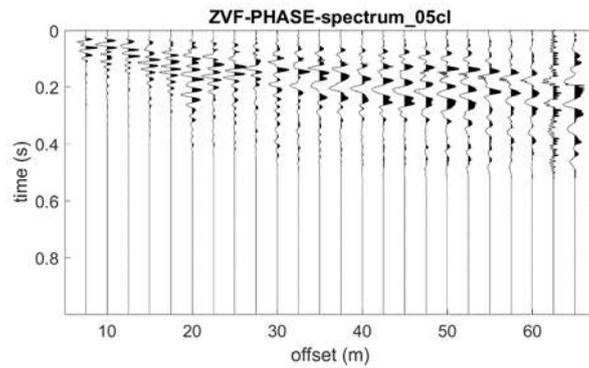
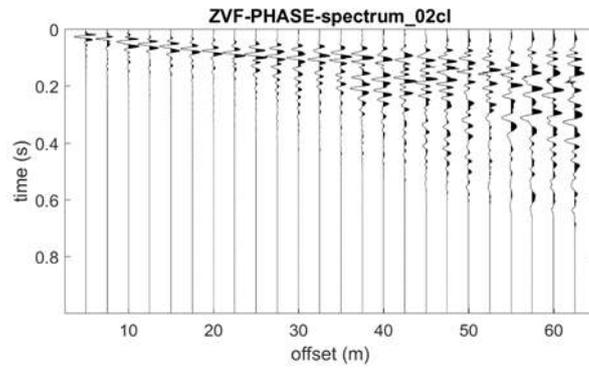
D 69 IG

GE 0000 001

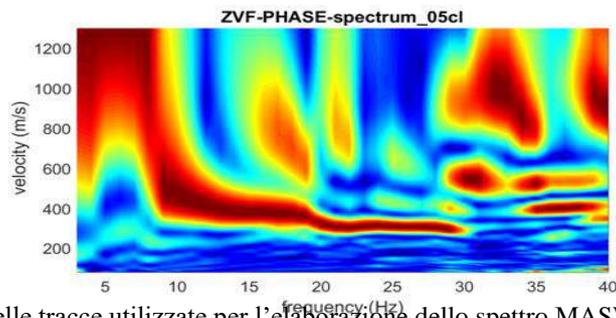
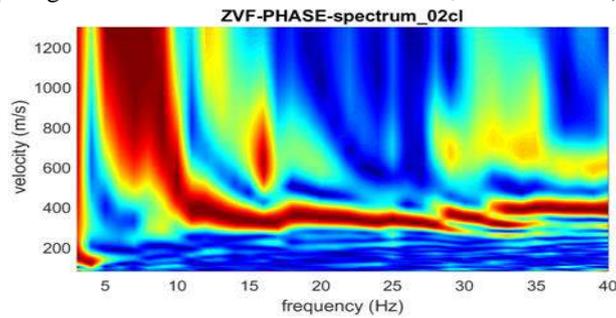
A

70 di 89

Prova Masw – Acquisizioni elaborate per M14



Tracce utilizzate per l'elaborazione dello spettro MASW medio (energizzazione a inizio e fine stendimento, distanze varie).



Spettri delle tracce utilizzate per l'elaborazione dello spettro MASW medio.

RELAZIONE

INDAGINI GEOFISICHE

COMMESSA

NB1R

LOTTO

00

CODIFICA

D 69 IG

DOCUMENTO

GE 0000 001

REV.

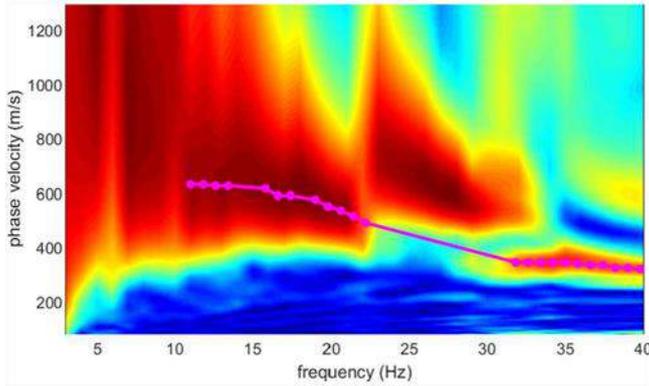
A

FOGLIO

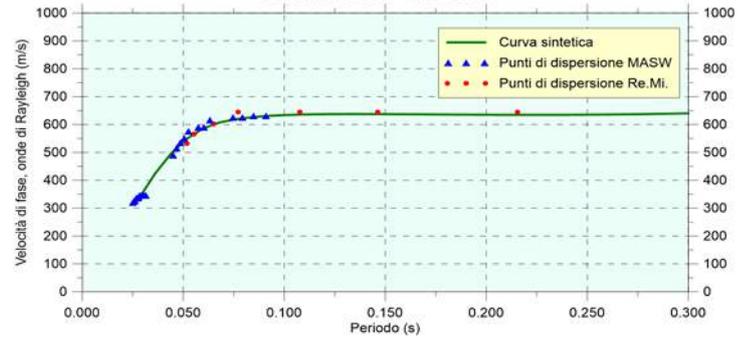
71 di 89

Prova Masw/Re.Mi. – M15

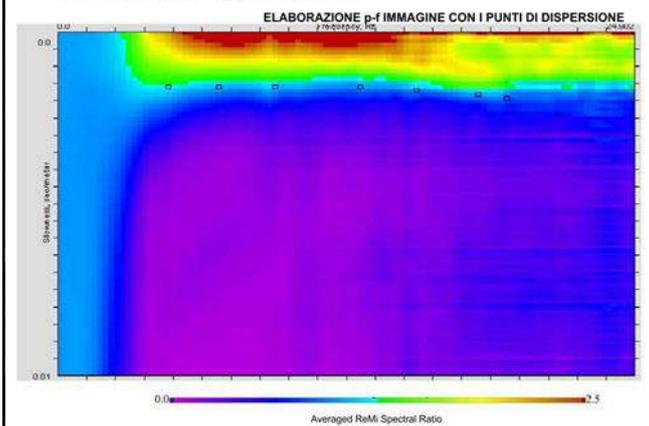
PROVA MASW - Spettro medio



CURVA DI DISPERSIONE



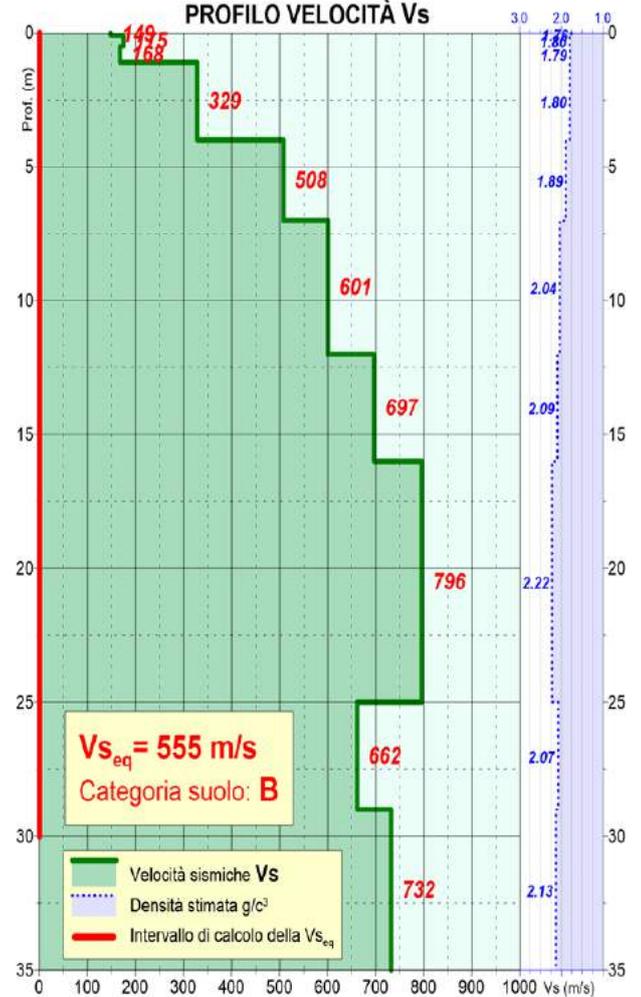
PROVA REMI - Spettro medio



Ubicazione prova



PROFILO VELOCITÀ Vs



RELAZIONE

INDAGINI GEOFISICHE

COMMESSA

NB1R

LOTTO

00

CODIFICA

D 69 IG

DOCUMENTO

GE 0000 001

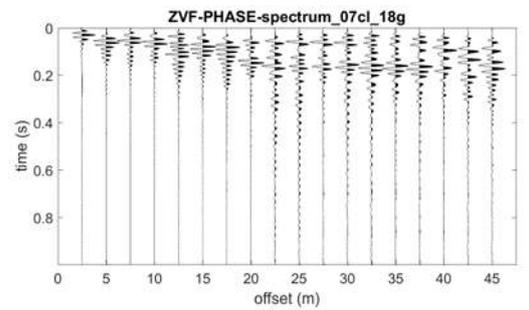
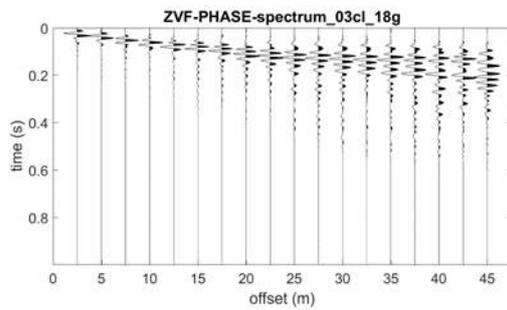
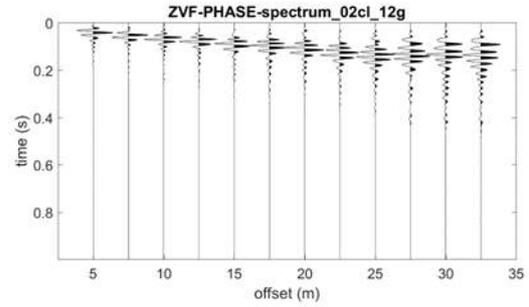
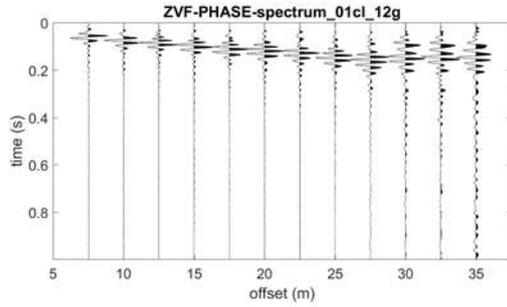
REV.

A

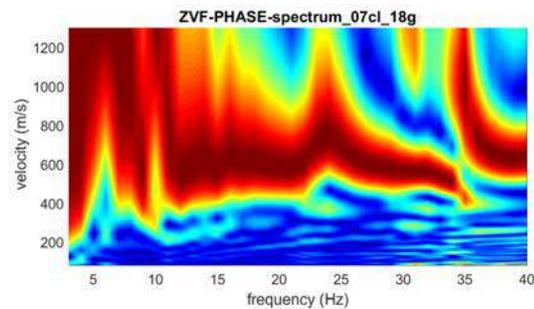
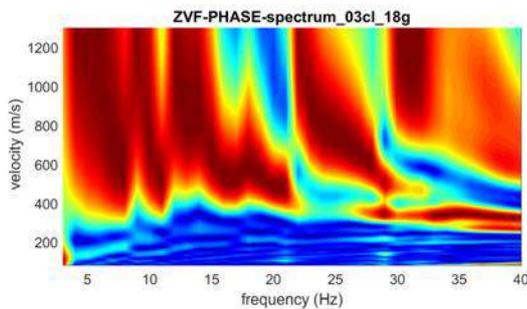
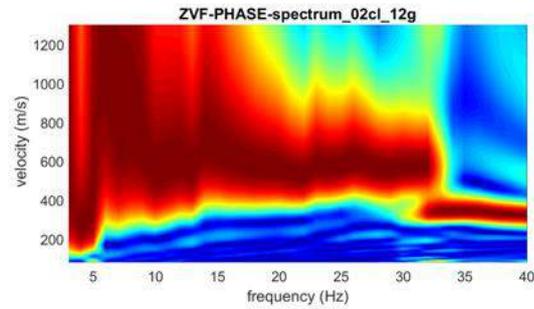
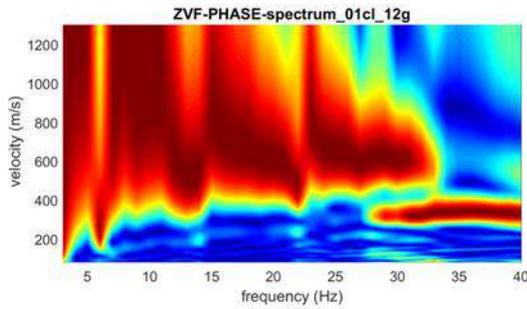
FOGLIO

72 di 89

## Prova Masw – Acquisizioni elaborate per M15



Tracce utilizzate per l'elaborazione dello spettro MASW medio (energizzazione a inizio e fine stendimento, distanze varie).



Spettri delle tracce utilizzate per l'elaborazione dello spettro MASW medio.

RELAZIONE

INDAGINI GEOFISICHE

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

NB1R

00

D 69 IG

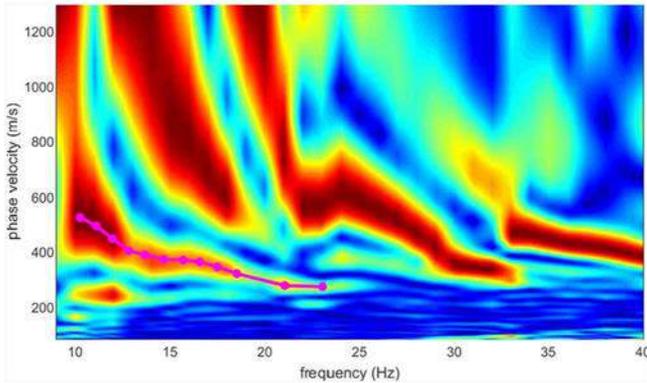
GE 0000 001

A

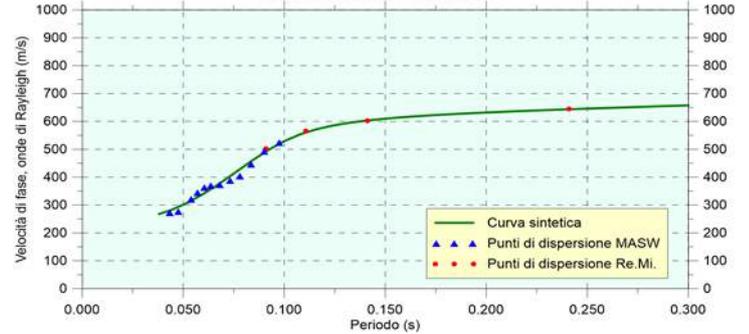
73 di 89

## Prova Masw/Re.Mi. – M16

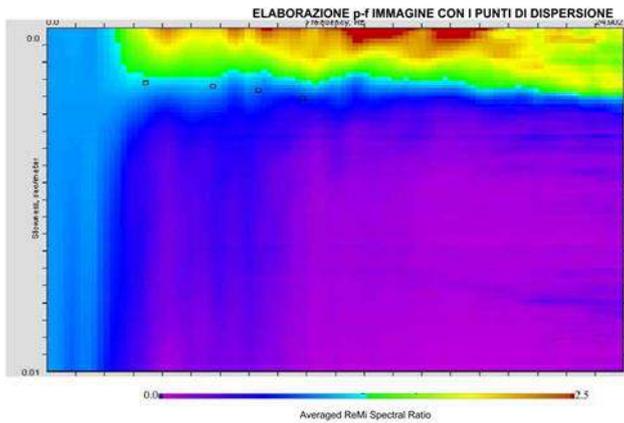
### PROVA MASW - Spettro medio



### CURVA DI DISPERSIONE



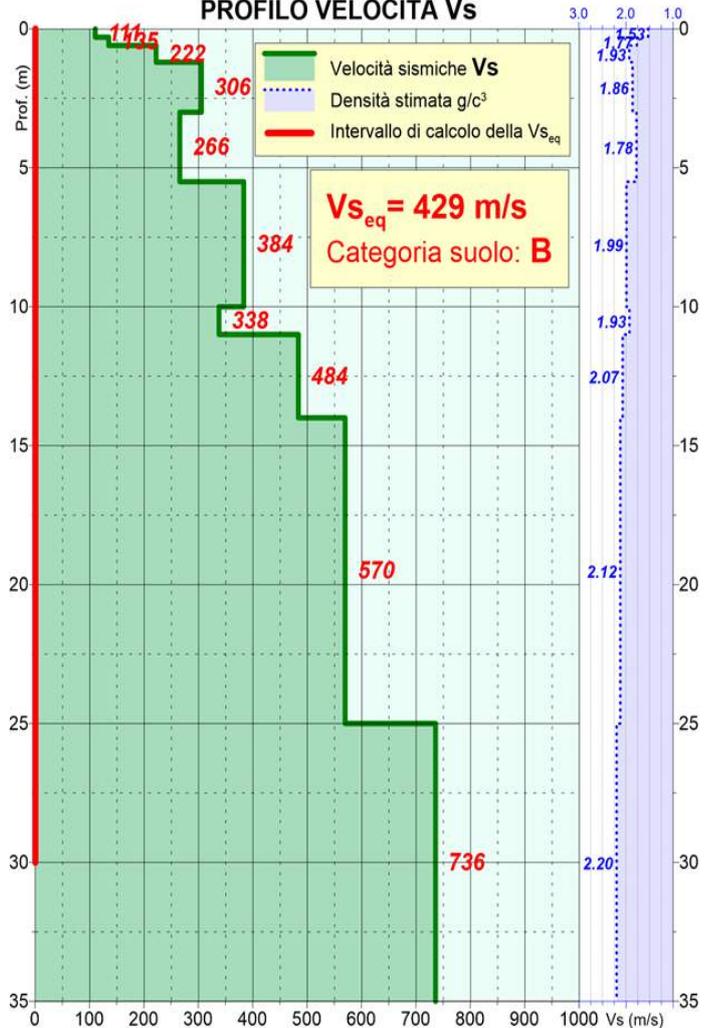
### PROVA REMI - Spettro medio



### Ubicazione prova



### PROFILO VELOCITÀ Vs



RELAZIONE

INDAGINI GEOFISICHE

COMMESSA

NB1R

LOTTO

00

CODIFICA

D 69 IG

DOCUMENTO

GE 0000 001

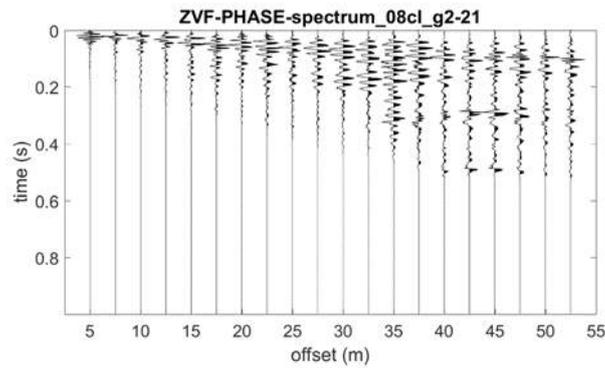
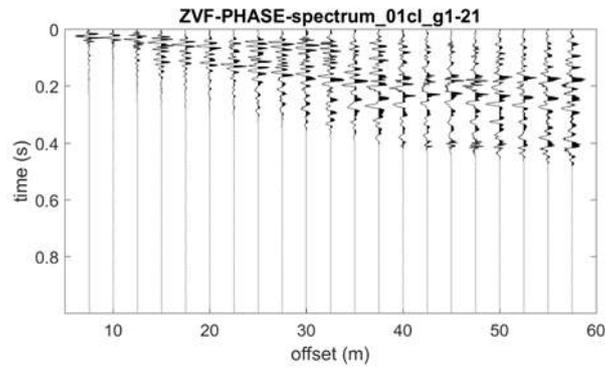
REV.

A

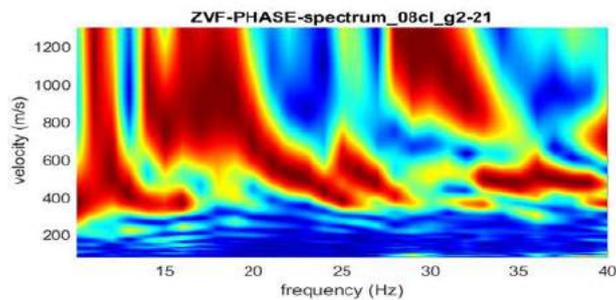
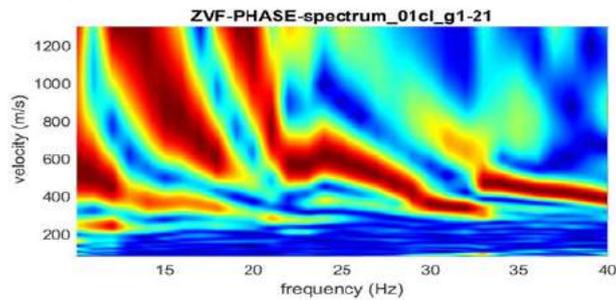
FOGLIO

74 di 89

Prova Masw – Acquisizioni elaborate per M16



Tracce utilizzate per l'elaborazione dello spettro MASW medio (energizzazione a inizio e fine stendimento, distanze varie).



Spettri delle tracce utilizzate per l'elaborazione dello spettro MASW medio.

RELAZIONE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
----------	-------	----------	-----------	------	--------

INDAGINI GEOFISICHE

NB1R	00	D 69 IG	GE 0000 001	A	75 di 89
------	----	---------	-------------	---	----------

# DOWN HOLE

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	Progetto Definitivo del Raddoppio ferroviario Ponte San Pietro – Bergamo – Montello					
	<b>RELAZIONE</b> INDAGINI GEOFISICHE	<b>COMMESSA</b> NB1R	<b>LOTTO</b> 00	<b>CODIFICA</b> D 69 IG	<b>DOCUMENTO</b> GE 0000 001	<b>REV.</b> A

**COMMENTO, SISMOGRAMMI VP/VS, GRAFICI DI VELOCITÀ VP/VS E TABELLA PARAMETRI DELLE PROVE DOWN-HOLE**

**Documentazione fotografica Down-Hole DH-1**

*Piazzola*



*Ubicazione territoriale*



*Energizzazione onde P*



*Energizzazione onde S*



Commento

Relativamente alle velocità sismiche **V<sub>p</sub>** nei primi 8.0m di spessore si registrano velocità progressivamente crescenti che tuttavia non superano i 900 m/s, dopo tale intervallo le velocità incrementano superando abbondantemente i 1000

	<b>Progetto Definitivo del Raddoppio ferroviario Ponte San Pietro – Bergamo – Montello</b>					
<b>RELAZIONE</b> INDAGINI GEOFISICHE	<b>COMMESSA</b> NB1R	<b>LOTTO</b> 00	<b>CODIFICA</b> D 69 IG	<b>DOCUMENTO</b> GE 0000 001	<b>REV.</b> A	<b>FOGLIO</b> 77 di 89

m/s fino a 1500 m/s a profondità di -11.0 m dal p.c.. Al di sotto di tale profondità si registra un marcato incremento di velocità con alternanze di valori complessivamente compresi tra 1900 e 2300 m/s fino a -25.0m dal p.c. Tra -26.0 e -31.0 m dal p.c. si registra un ulteriore deciso incremento delle velocità **V<sub>p</sub>**, con alternanze di valori superiori a 2600 m/s senza mai oltrepassare i 3000 m/s. Da -32.0 m dal p.c. fino a fondo foro le velocità **V<sub>p</sub>** si attestano complessivamente su valori superiori a 3000 m/s.

Per le velocità delle **V<sub>s</sub>** si descrive complessivamente un progressivo aumento dei valori senza mai superare i 500 m/s fino a -10.0m da p.c., segue un leggero incremento di velocità con un'alternanza di valori che tuttavia nei valori massimi non raggiungono gli 800 m/s fino -28.0 m dal p.c. Al di sotto le velocità **V<sub>s</sub>** oltrepassano e si mantengono superiori agli 800 m/s che con un'alternanza dei valori, in prossimità del fondo foro, raggiungono i 1000 m/s.

RELAZIONE

INDAGINI GEOFISICHE

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

NB1R

00

D 69 IG

GE 0000 001

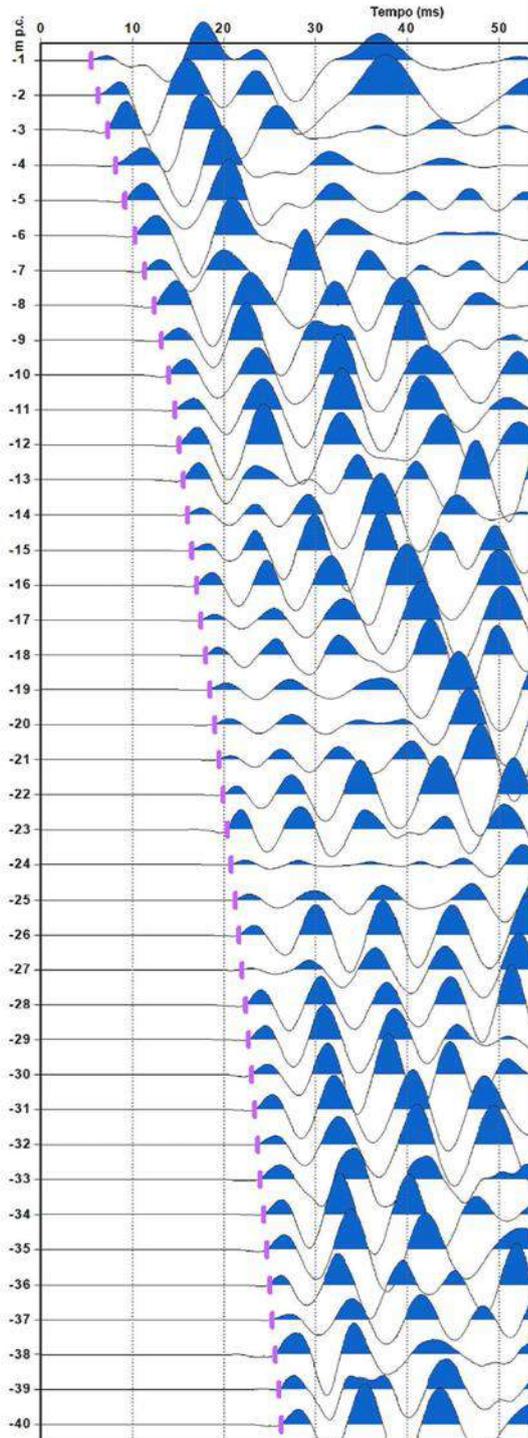
A

78 di 89

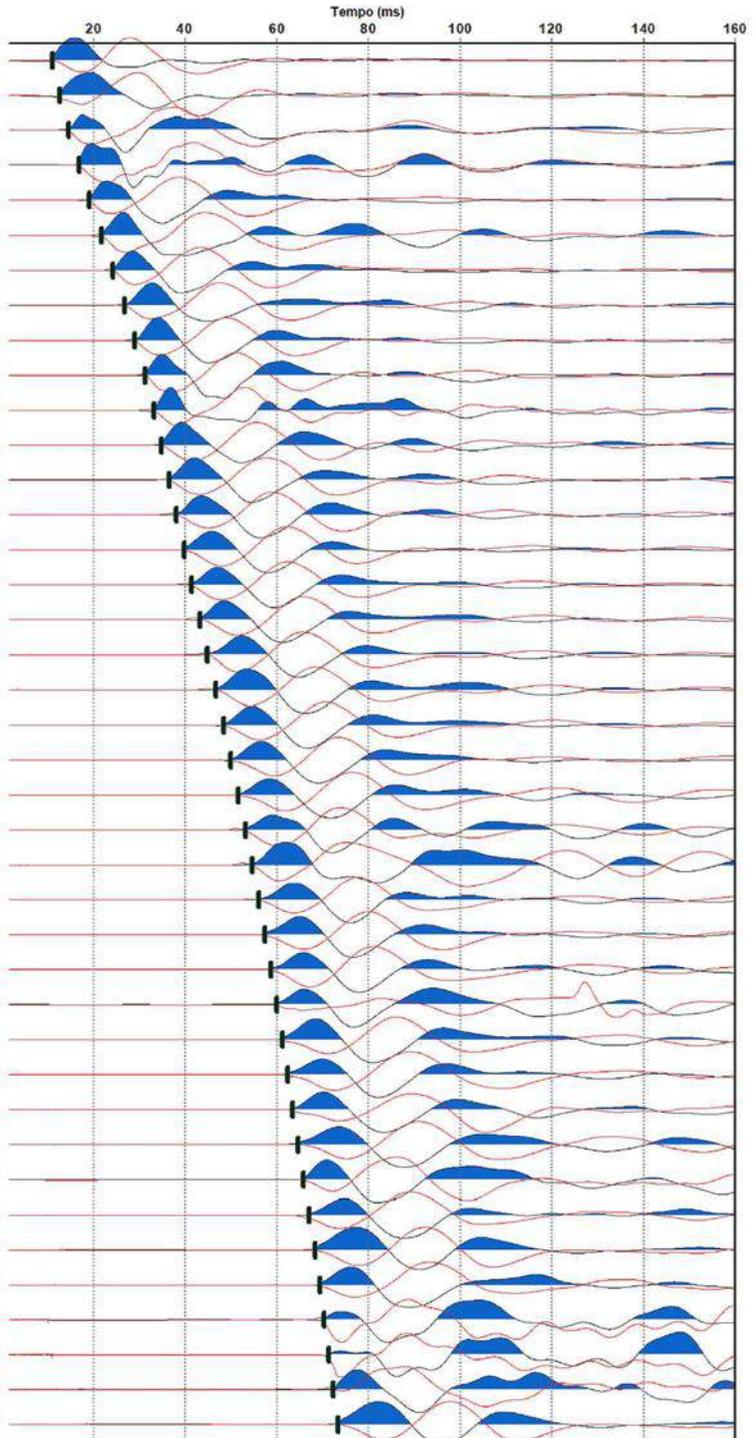
SISMOGRAMMI

DOWN HOLE

**DH-1**  
**L1-S14**



Registrazione Onde P



Registrazione Onde S

TABELLA PARAMETRI

DOWN HOLE

**DH-1**  
**L1-S14**

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	Progetto Definitivo del Raddoppio ferroviario Ponte San Pietro – Bergamo – Montello					
	<b>RELAZIONE</b> INDAGINI GEOFISICHE	<b>COMMESSA</b> NB1R	<b>LOTTO</b> 00	<b>CODIFICA</b> D 69 IG	<b>DOCUMENTO</b> GE 0000 001	<b>REV.</b> A

## Documentazione fotografica Down-Hole DH-2

*Piazzola*



*Ubicazione territoriale*



*Energizzazione onde P*

*Energizzazione onde S*

### Commento

Relativamente alle velocità sismiche  $V_p$  si registra dapprima un progressivo aumento e poi un'alternanza dei valori che raggiungono massimo i 1000 m/s sino a -10.0 m dal p.c., al di sotto di tale intervallo segue un incremento con alternanza dei valori di  $V_p$  che rimangono compresi tra 1100 m/s e 1750 m/s fino a -23.0 m dal p.c. Da -24.0 m dal p.c. si registra un marcato incremento di velocità con valori abbondantemente superiori a 2000 m/s fino a 2900 m/s a -26.0 m dal p.c. Dopo tale intervallo e fino a fondo foro le velocità si mantengono complessivamente su valori medi di 3000 m/s.

RELAZIONE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
----------	-------	----------	-----------	------	--------

INDAGINI GEOFISICHE

NB1R	00	D 69 IG	GE 0000 001	A	80 di 89
------	----	---------	-------------	---	----------

Per le velocità  $V_s$  si descrivono complessivamente valori progressivamente crescenti senza mai superare i 500 m/s fino a -21.0 m dal p.c. Al di sotto si registra un più marcato incremento dei valori, che oltrepassano i 500 m/s fino a valori massimi di poco superiori a 700 m/s sino a -25.0 m dal p.c. Da -26.0 m dal p.c. le velocità  $V_s$  superano gli 800 m/s raggiungendo i 930 m/s a fondo foro.

RELAZIONE

INDAGINI GEOFISICHE

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

NB1R

00

D 69 IG

GE 0000 001

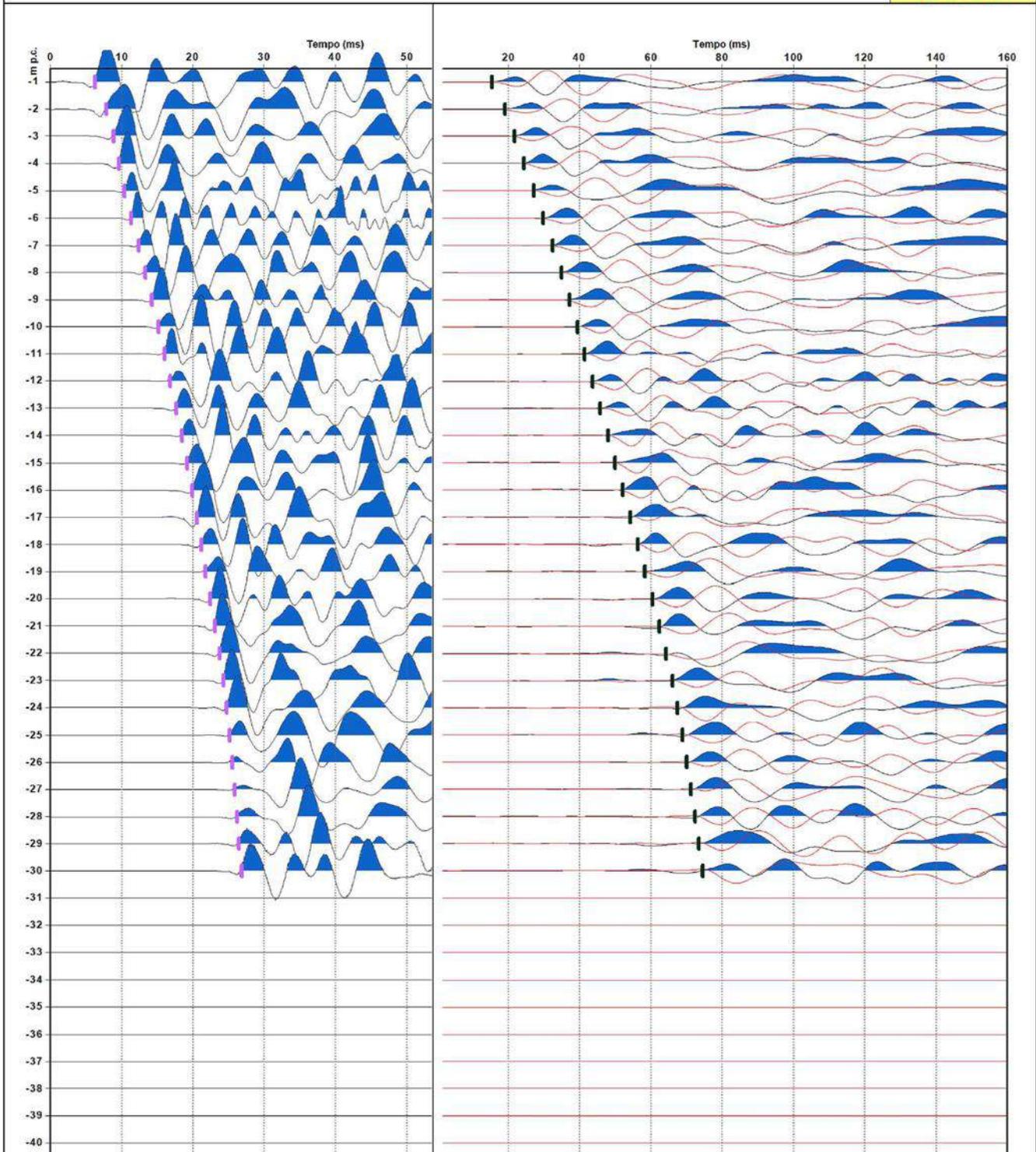
A

81 di 89

SISMOGRAMMI

DOWN HOLE

**DH-2**  
**L1-S16**



Registrazione Onde P

Registrazione Onde S

RELAZIONE

INDAGINI GEOFISICHE

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

NB1R

00

D 69 IG

GE 0000 001

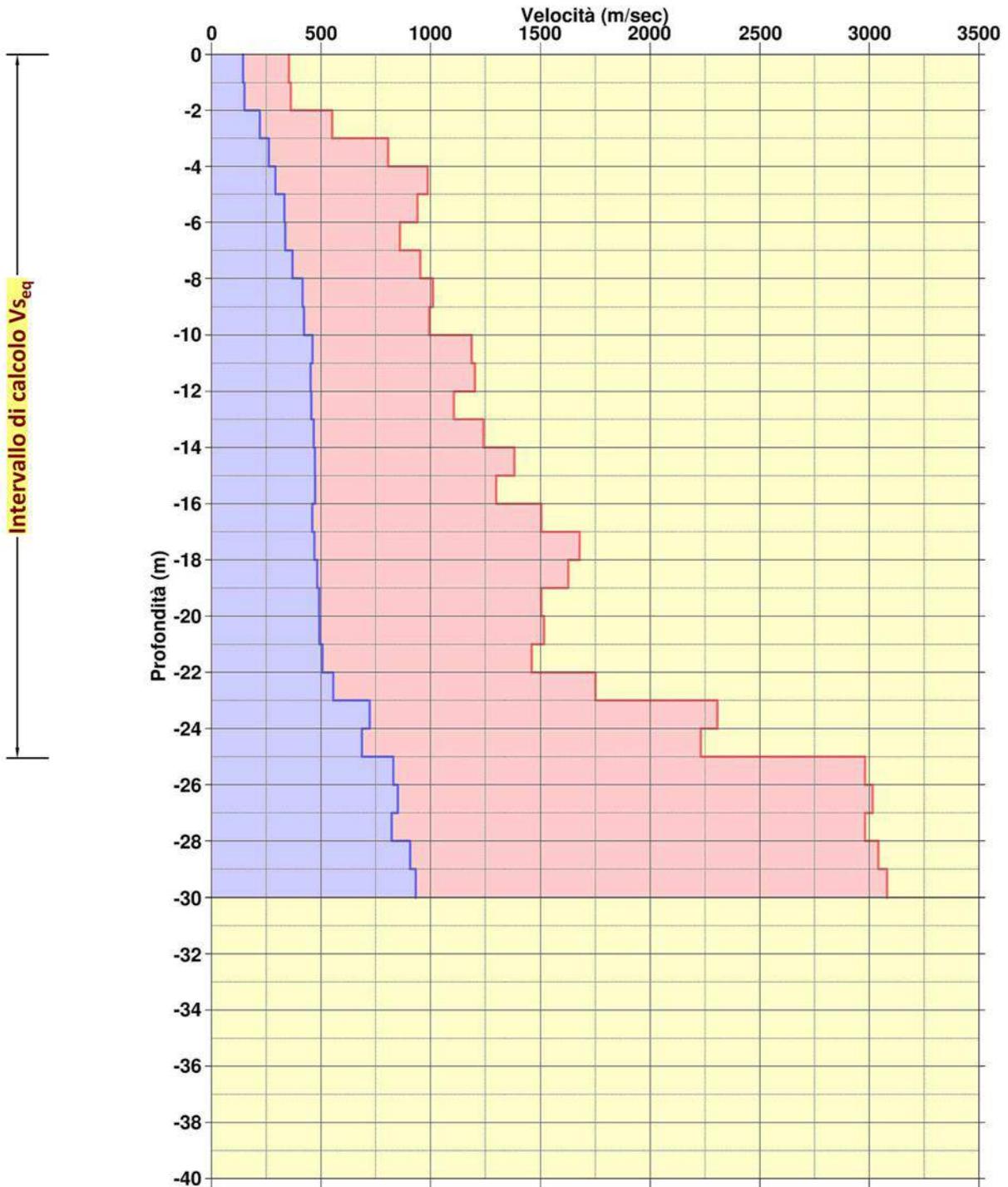
A

82 di 89

GRAFICO VELOCITÀ

DOWN HOLE

**DH-2**  
**L1-S16**



Velocità  
Onde VSH



Velocità  
Onde VP

**$V_{s_{eq}} = 364$  m/sec**  
*calcolata da 0.0 a 25.0 m p.c.*

*Classificazione sismica del  
suolo di fondazione:*

**Categoria B**



## Documentazione fotografica Down-Hole DH-3

### Piazzola



### Ubicazione territoriale



*Energizzazione onde P*



*Energizzazione onde S*

### Commento

Le velocità  $V_p$  e  $V_s$  non sono state considerate nei primi 2.1 m di spessore, in quanto tra 0.7 e 2.1 m è presente una fondazione in cemento armato e quindi non influente ai fini della caratterizzazione sismica dei terreni carotati.

Relativamente alle velocità sismiche  $V_p$  si registra a partire da -3.0 m dal p.c., un'alternanza di valori che rimangono compresi tra 1150 e 1600 m/s fino a -24.0 m dal p.c.. Segue un progressivo incremento di velocità  $V_p$  dapprima fino a 2000 m/s, successivamente da -27.0 m dal p.c. i valori  $V_p$  crescono ulteriormente attestandosi mediamente a 2500 m/s in prossimità del fondo foro.

RELAZIONE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
----------	-------	----------	-----------	------	--------

INDAGINI GEOFISICHE

NB1R	00	D 69 IG	GE 0000 001	A	85 di 89
------	----	---------	-------------	---	----------

Per le velocità  $V_s$  si descrive, da -3.0 fino a -24.0 m dal p.c., un'omogeneità dei valori che rimangono compresi tra 330 e 450 m/s. Al di sotto le velocità tendono progressivamente ad incrementare, attestandosi in prossimità del fondo foro a circa 700 m/s.

RELAZIONE

INDAGINI GEOFISICHE

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

NB1R

00

D 69 IG

GE 0000 001

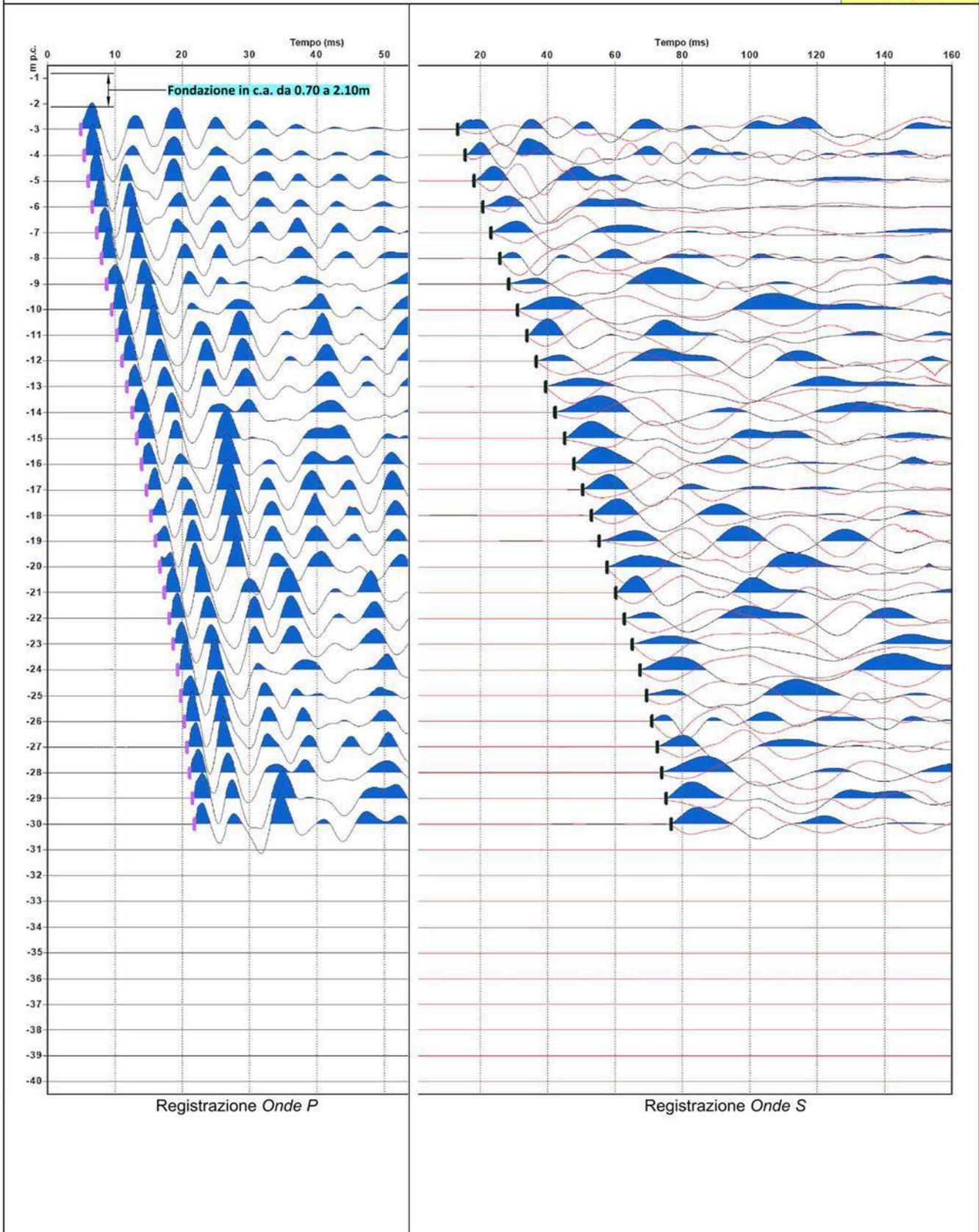
A

86 di 89

SISMOGRAMMI

DOWN HOLE

**DH-3**  
**L1-S5**



RELAZIONE

INDAGINI GEOFISICHE

COMMESSA

NB1R

LOTTO

00

CODIFICA

D 69 IG

DOCUMENTO

GE 0000 001

REV.

A

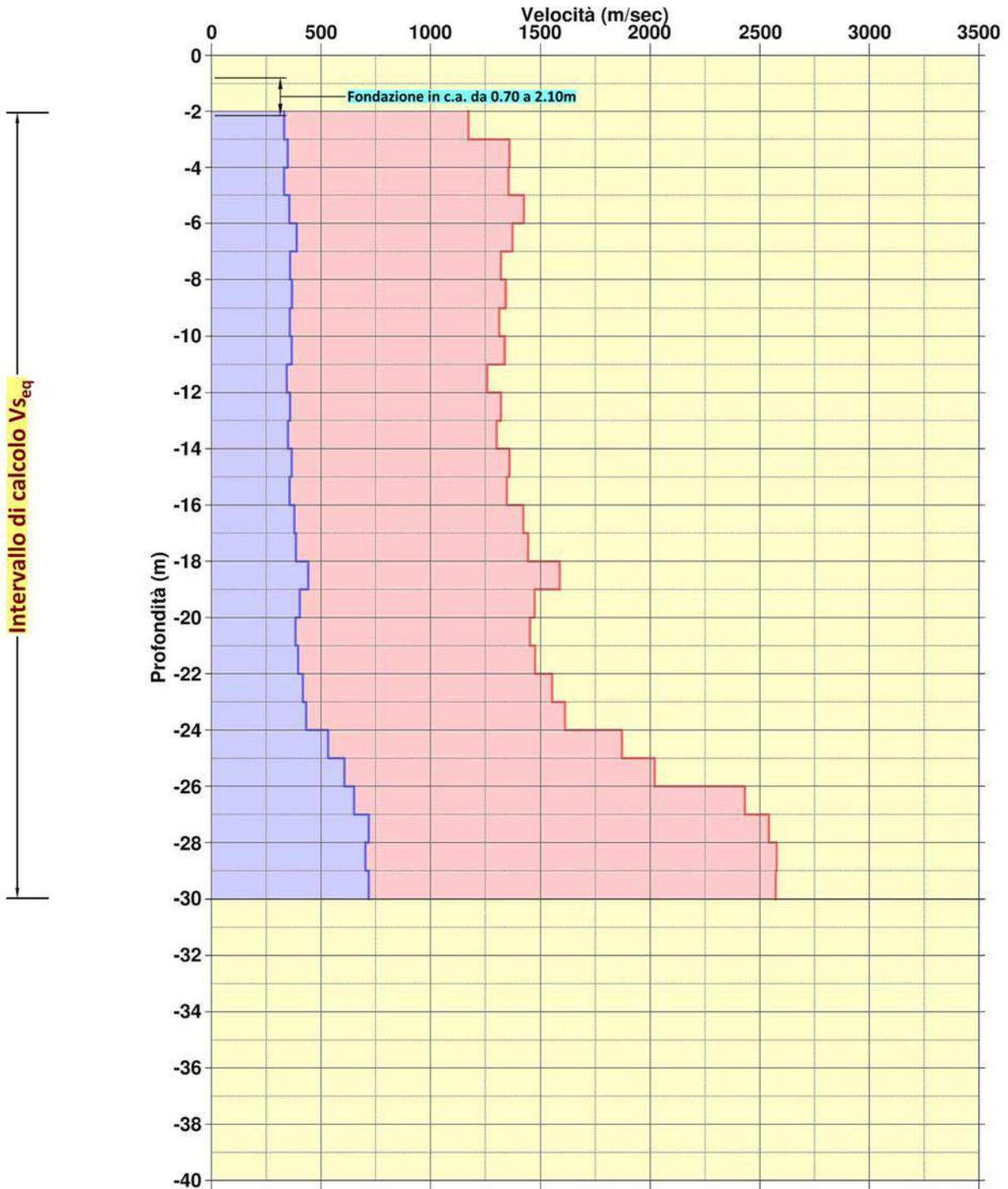
FOGLIO

87 di 89

GRAFICO VELOCITÀ

DOWN HOLE

**DH-3**  
**L1-S5**



Velocità  
Onde VSH



Velocità  
Onde VP

**$V_{seq} = 438$  m/sec**  
calcolata da 2.0 a 30.0 m p.c.

Classificazione sismica del  
suolo di fondazione:

**Categoria B**

RELAZIONE

INDAGINI GEOFISICHE

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

NB1R

00

D 69 IG

GE 0000 001

A

88 di 89

TABELLA PARAMETRI

DOWN HOLE

**DH-3**  
**L1-S5**

Prof. (m)	TP letti (ms)	TP corretti (ms)	VP (m/s)	TSH letti (ms)	TSH corretti (ms)	VSH (m/s)	VP/VSH	Rapporto di Poisson	Mod. taglio G Gdin (MPa)	Mod. Young E Edin (MPa)	Mod. Comp. Vol. Ev (MPa)	Densità (t/m <sup>3</sup> )
0												
-1												
-2												
-3	5.031	4.186	1173	13.235	11.012	332	3.53	0.46	1.9E+02	5.6E+02	2.1E+04	1.70
-4	5.504	4.923	1357	15.525	13.886	348	3.90	0.46	2.2E+02	6.3E+02	3.0E+04	1.75
-5	6.098	5.662	1353	18.199	16.898	332	4.08	0.47	2.0E+02	5.8E+02	3.0E+04	1.75
-6	6.709	6.365	1423	20.773	19.707	356	4.00	0.47	2.3E+02	6.6E+02	3.3E+04	1.75
-7	7.378	7.094	1371	23.169	22.277	389	3.52	0.46	2.7E+02	7.9E+02	3.0E+04	1.75
-8	8.093	7.851	1321	25.834	25.063	359	3.68	0.46	2.3E+02	6.7E+02	2.8E+04	1.75
-9	8.806	8.597	1341	28.458	27.780	368	3.64	0.46	2.4E+02	7.1E+02	2.9E+04	1.75
-10	9.544	9.358	1313	31.179	30.574	358	3.67	0.46	2.3E+02	6.7E+02	2.8E+04	1.75
-11	10.272	10.106	1337	33.844	33.298	367	3.64	0.46	2.4E+02	7.0E+02	2.9E+04	1.75
-12	11.052	10.901	1258	36.705	36.205	344	3.66	0.46	2.1E+02	6.2E+02	2.5E+04	1.75
-13	11.795	11.658	1321	39.450	38.991	359	3.68	0.46	2.3E+02	6.7E+02	2.8E+04	1.75
-14	12.553	12.427	1301	42.281	41.856	349	3.73	0.46	2.2E+02	6.4E+02	2.7E+04	1.75
-15	13.280	13.164	1357	44.983	44.588	366	3.71	0.46	2.4E+02	7.0E+02	3.0E+04	1.75
-16	14.015	13.907	1345	47.758	47.390	357	3.77	0.46	2.3E+02	6.7E+02	2.9E+04	1.75
-17	14.712	14.611	1421	50.380	50.035	378	3.76	0.46	2.6E+02	7.7E+02	3.4E+04	1.80
-18	15.398	15.304	1443	52.950	52.626	386	3.74	0.46	2.7E+02	8.0E+02	3.5E+04	1.80
-19	16.022	15.934	1587	55.191	54.888	442	3.59	0.46	3.7E+02	1.1E+03	4.3E+04	1.85
-20	16.696	16.613	1473	57.656	57.370	403	3.66	0.46	3.1E+02	9.0E+02	3.7E+04	1.85
-21	17.380	17.302	1451	60.245	59.974	384	3.78	0.46	2.8E+02	8.2E+02	3.6E+04	1.85
-22	18.054	17.980	1475	62.757	62.499	396	3.72	0.46	3.0E+02	8.7E+02	3.7E+04	1.85
-23	18.694	18.624	1553	65.142	64.897	417	3.72	0.46	3.3E+02	9.6E+02	4.1E+04	1.85
-24	19.311	19.245	1611	67.445	67.212	432	3.73	0.46	3.6E+02	1.1E+03	4.5E+04	1.90
-25	19.842	19.779	1871	69.309	69.088	533	3.51	0.46	5.5E+02	1.6E+03	6.0E+04	1.90
-26	20.334	20.274	2021	70.944	70.735	607	3.33	0.45	7.3E+02	2.1E+03	7.1E+04	1.95
-27	20.742	20.685	2431	72.470	72.272	651	3.73	0.46	8.7E+02	2.5E+03	1.1E+05	2.00
-28	21.133	21.079	2541	73.852	73.664	718	3.54	0.46	1.1E+03	3.1E+03	1.2E+05	2.00
-29	21.518	21.467	2577	75.265	75.087	703	3.67	0.46	1.0E+03	2.9E+03	1.2E+05	2.00
-30	21.904	21.856	2573	76.649	76.480	718	3.58	0.46	1.1E+03	3.1E+03	1.2E+05	2.00



**PROGETTO DEFINITIVO**

**RADDOPPIO PONTE S.PIETRO – BERGAMO – MONTELLO**

**LOTTO 9: Opere Civili e Impianti Tecnologici di Piazzale per il completamento del raddoppio della linea Ponte SP – Bergamo e per lo spostamento provvisorio della linea Treviglio - Bergamo**

**RELAZIONE**

**INDAGINI GEOFISICHE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	09 D 69	IG	GE0001 001	A	89 di 89