

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



CUP J54H17000130009

U.O. GEOLOGIA, GESTIONE TERRE E BONIFICHE

PROGETTO DEFINITIVO

COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE

PM CARGNACCO

PRG e ACC del nuovo PM di Cagnacco e delle opere sostitutive dei P.L. interferenti con il nuovo PM.

Indagini geofisiche

SCALA:

-

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

I Z 0 9 0 0 D 6 9 I G G E 0 0 0 5 0 0 1 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	T. Vicenzetto	Aprile 2019	S. Giugliano	Aprile 2019	S. Lo Presti	Aprile 2019	F. Marchese Aprile 2019

ITALFERR S.p.A.
Dott. Geologo Francesco MARCHESI
Resp. UO GEOLOGIA, GESTIONE TERRE E BONIFICHE
Ordine Geologi Lazio n. 179 ES

File: IZ0900D69IGGE0005001A

n. Elab.:

	COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PM CARGNACCO PD del PRG e ACC del nuovo PM di Cagnacco e delle opere sostitutive dei P.L. interferenti con il nuovo PM.					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA IZ09	LOTTO 00 D 69	CODIFICA IG	DOCUMENTO GE0005 001	REV. A	FOGLIO 2 di 49

INDICE

1	PREMESSA.....	3
2	METODOLOGIE DI INDAGINE.....	4
3	INDAGINE SISMICA CON METODO ATTIVO (MASW) E PASSIVO (RE.MI)	6
4	RISULTATI PROSPEZIONI MASW	8
5	RISULTATI INDAGINE REMI	22
6	INDAGINE SISMICA CON METODO HVSR.....	30
7	RISULTATI INDAGINE SISMICA PASSIVA (HVSR).....	34
8	TOMOGRAFIA ELETTRICA	44
9	RISULTATI TOMOGRAFIE ELETTRICHE	47

	COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PM CARGNACCO PD del PRG e ACC del nuovo PM di Cagnacco e delle opere sostitutive dei P.L. interferenti con il nuovo PM.					
	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
INDAGINI GEOFISICHE	IZ09	00 D 69	IG	GE0005 001	A	3 di 49

1 PREMESSA

Il presente elaborato illustra e riassume i risultati delle indagini geofisiche eseguite a supporto della progettazione definitiva del PRG e ACC del nuovo PM di Cagnacco e delle opere sostitutive dei P.L. interferenti con il nuovo PM. In dettaglio sono state eseguite due prove MASW, HVSR e RE.MI. ed una stesa di tomografia elettrica dalla lunghezza di 216,00 m. Si riporta di seguito una ortofoto (Figura 1) con le ubicazioni delle indagini eseguite.



Fig. 1 UBICAZIONE DELL'AREA DI INTERVENTO E DELLE INDAGINI ESEGUITE: I SEGNAPOSTO BLU INDICANO LE PROVE MASW, HVSR E RE.MI. ESEGUITE, MENTRE LA LINEA ROSSA LA STESA DI TOMOGRAFIA ELETTRICA

	COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PM CARGNACCO PD del PRG e ACC del nuovo PM di Cagnacco e delle opere sostitutive dei P.L. interferenti con il nuovo PM.					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA IZ09	LOTTO 00 D 69	CODIFICA IG	DOCUMENTO GE0005 001	REV. A	FOGLIO 4 di 49

2 METODOLOGIE DI INDAGINE

La campagna di misure geofisiche condotta, è consistita in indagini sismiche di superficie con metodologia Masw, Metodologia ReMi, metodologia HVSR e indagini geoelettriche eseguite con metodo tomografico. Nei relativi paragrafi si riporta una breve descrizione dei principi base delle tecniche d'indagine ed i risultati.



Fig. 2a



Fig. 2b

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PM CARGNACCO PD del PRG e ACC del nuovo PM di Cagnacco e delle opere sostitutive dei P.L. interferenti con il nuovo PM.					
	INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA IZ09	LOTTO 00 D 69	CODIFICA IG	DOCUMENTO GE0005 001	REV. A



Fig. 2c



Fig. 2d

Fig. 2 STRUMENTAZIONE IMPIEGATA PER L'ESECUZIONE DELLE PROVE MASW (2a), PER LE PROVE HVSR (2b) PER LE PROVE REMI (2c) E PER LE TOMOGRAFIE ELETTRICHE (2d).

	COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PM CARGNACCO PD del PRG e ACC del nuovo PM di Cagnacco e delle opere sostitutive dei P.L. interferenti con il nuovo PM.					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA IZ09	LOTTO 00 D 69	CODIFICA IG	DOCUMENTO GE0005 001	REV. A	FOGLIO 6 di 49

3 INDAGINE SISMICA CON METODO ATTIVO (MASW) E PASSIVO (RE.MI)

Lo scopo della prova MASW è quello di ricostruire il profilo di rigidità del sito tramite la misura della velocità di propagazione delle onde di superficie di Rayleigh con un successivo processo d'inversione, attraverso il quale è fornita una stima indiretta della distribuzione delle Vs (velocità di propagazione delle onde di taglio). La prova consiste nel produrre sulla superficie del terreno, in corrispondenza del sito da investigare, una sollecitazione dinamica verticale in un determinato campo di frequenze e nel registrare tramite uno stendimento lineare di sensori (geofoni) le vibrazioni prodotte, in corrispondenza della superficie, a distanze note e prefissate.

Il profilo che si ricava da questo tipo di indagine è un profilo monodimensionale Vs-Profondità che generalmente, in presenza di stratigrafie costituite da orizzonti piano paralleli, può essere attribuito convenzionalmente alla stratigrafia relativa al centro della stesa, in quanto si assume che lungo tutto lo sviluppo dello stendimento la stratigrafia rimanga invariata.

Il metodo utilizzato sfrutta le onde di superficie (onde di Rayleigh) e il fenomeno della dispersione delle stesse (variazione della velocità di fase con il variare della frequenza).

Il calcolo del profilo delle velocità delle onde di Rayleigh, $V(\text{fase})/\text{freq}$, può essere convertito nel profilo Vs/profondità. Il metodo passivo sfrutta il rumore naturale, mentre il metodo attivo sfrutta sorgenti sismiche (massa battente).

Tale metodo non è univoco e quindi il modello che ne scaturisce è un modello teorico; per questo motivo è preferibile operare in presenza di dati di taratura per avvicinarsi meglio al modello reale.

In riferimento all'acquisizione di onde S con tecnica di sismica attiva e passiva (prova MASW e prova Re.Mi), sono state adottate le seguenti caratteristiche:

- 24 geofoni verticali (frequenza di 4,5Hz);
- Spaziatura dei geofoni: variabile;
- sorgente: massa da 8 kg;
- Distanza energizzazioni: 3-4-5 volte la spaziatura;

	COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PM CARGNACCO PD del PRG e ACC del nuovo PM di Cagnacco e delle opere sostitutive dei P.L. interferenti con il nuovo PM.					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IZ09	00 D 69	IG	GE0005 001	A	7 di 49

- Lunghezza registrazione del singolo evento: 2000 millisecondi;
- Campionamento del segnale: 1 millisecondi.

STRUMENTAZIONI UTILIZZATE

N°	Strumentazione per prove sismiche attive di superficie (MASW e Rifrazione)
1	Sismografo Echo 24-2010 prodotto dalla Ambrogeo s.r.l. di Piacenza (PC)
1	Toughbook Panasonic CF-19
24	geofoni verticali con frequenza 4,5Hz (Geospace)
24	geofoni verticali con frequenza 40 Hz (Hueihai Sunfull)
24	geofoni orizzontali con frequenza 12 Hz (Hueihai Sunfull)
1	cavo di collegamento per geofoni 24 take-out/2,0-5,0 metri
1	massa battente del peso di 8 kg
1	linea trigger con dispositivo hammer-switch

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PM CARGNACCO PD del PRG e ACC del nuovo PM di Cagnacco e delle opere sostitutive dei P.L. interferenti con il nuovo PM.					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA IZ09	LOTTO 00 D 69	CODIFICA IG	DOCUMENTO GE0005 001	REV. A	FOGLIO 8 di 49

4 RISULTATI PROSPEZIONI MASW

MASW_BH 1

L'indagine di sismica superficiale eseguita, ha permesso la determinazione dell'andamento della velocità delle Vs fino a 30 m di profondità.

Di seguito si riportano le immagini relative all'analisi ω -p (trasformata τ -p & trasformata di Fourier) al fine di discriminare l'energia associata alle onde di Rayleigh.

L'inversione della curva di dispersione con il metodo phase shift utilizzando la tecnica di calcolo degli algoritmi genetici.

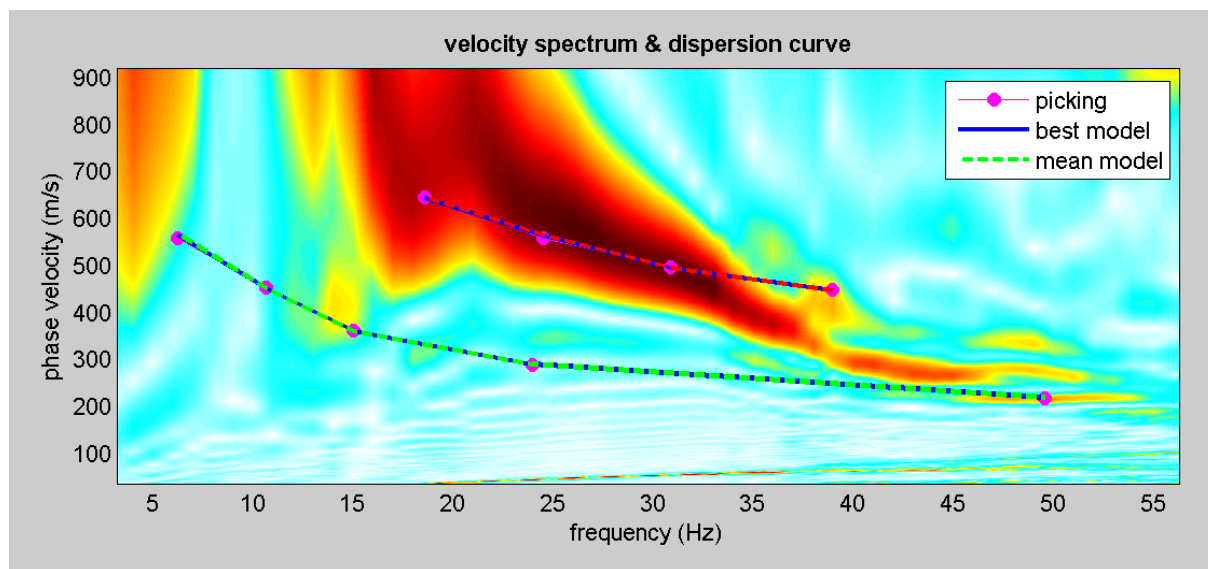


Fig. 3 MODO FONDAMENTALE RELATIVO AL SEGNALE SISMICO REGISTRATO IN SITU

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PM CARGNACCO PD del PRG e ACC del nuovo PM di Cagnacco e delle opere sostitutive dei P.L. interferenti con il nuovo PM.					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA IZ09	LOTTO 00 D 69	CODIFICA IG	DOCUMENTO GE0005 001	REV. A	FOGLIO 9 di 49

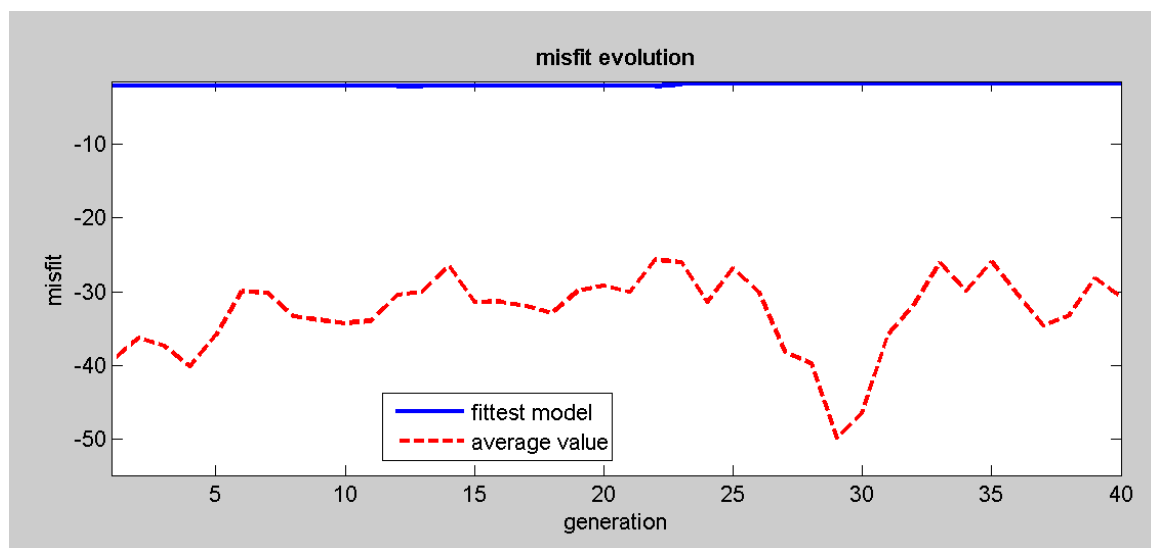


Fig. 4 CONFRONTO TRA LA CURVA DI DISPERSIONE SPERIMENTALE E QUELLA TEORICA

	COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PM CARGNACCO PD del PRG e ACC del nuovo PM di Cagnacco e delle opere sostitutive dei P.L. interferenti con il nuovo PM.					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IZ09	00 D 69	IG	GE0005 001	A	10 di 49

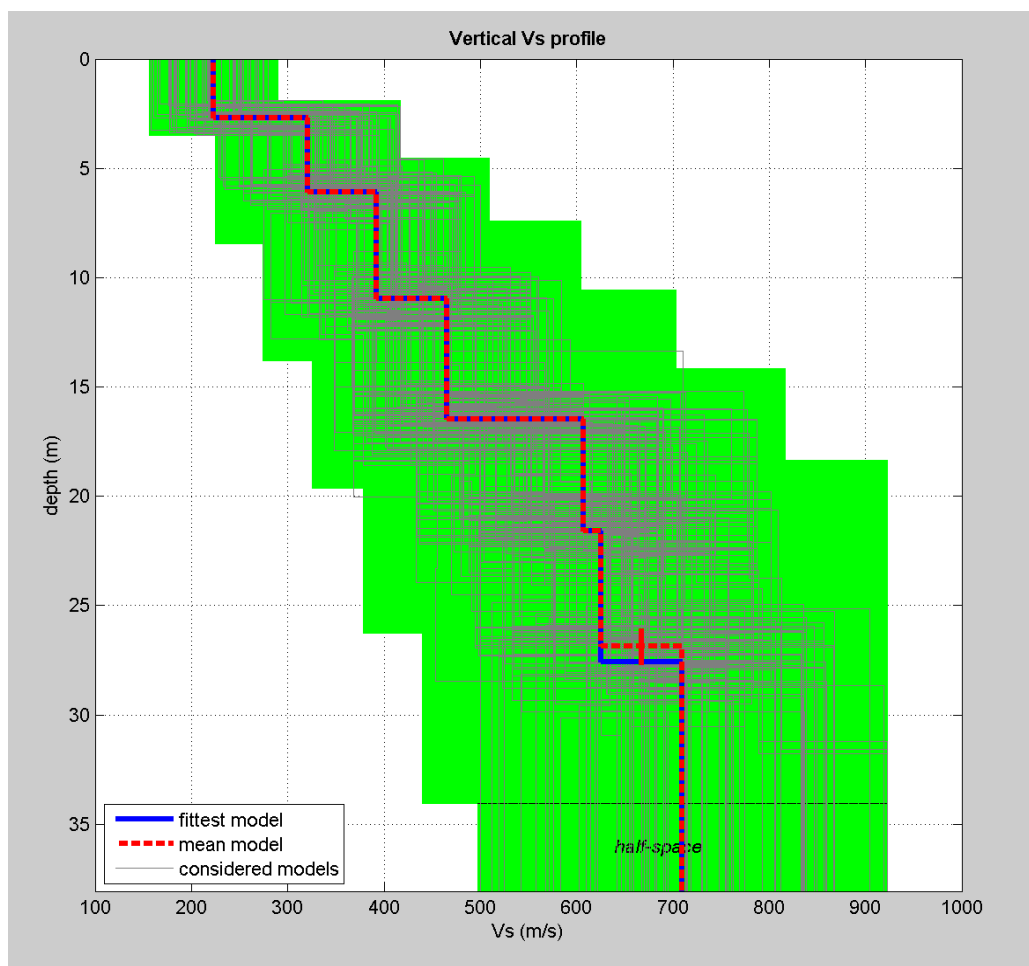


Fig. 5 MODELLO RISULTANTE DALL'INVERSIONE DEI DATI

Per quanto concerne i dettagli relativi alle caratteristiche geometriche dello stendimento, sono stati utilizzati 24 geofoni in linea con interdistanza di 2.5 m.

La $V_{s,eq}$ è stata ricavata dalla formula:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum \frac{h_i}{v_i}}$$

Nel caso specifico è risultato:

$V_{s,eq} = 440$ m/s

Si tratta quindi di un **suolo di tipo B** ($S_s = 1.2$ secondo le NTC 2018).

	COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PM CARGNACCO PD del PRG e ACC del nuovo PM di Cagnacco e delle opere sostitutive dei P.L. interferenti con il nuovo PM.					
	INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA IZ09	LOTTO 00 D 69	CODIFICA IG	DOCUMENTO GE0005 001	REV. A

Da pagina 16 a pagina 18, vengono inoltre fornite tabelle recanti la classificazione del sito e lo spettro di risposta elastico relativo, ricavato considerando una probabilità di superamento del 10% in 50 anni (tempo di ritorno 475 anni). Tale condizione corrisponde allo stato limite ultimo di salvaguardia della vita (secondo NTC).

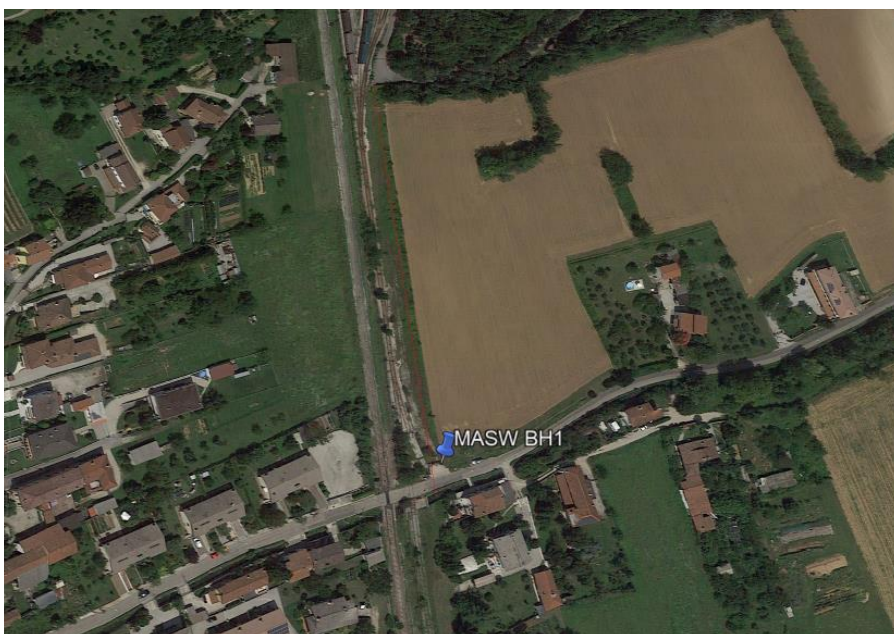


Fig. 6 FOTO E ORTOFOTO RELATIVE ALLA PROSPEZIONE MASW_ BH 1.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PM CARGNACCO PD del PRG e ACC del nuovo PM di Cagnacco e delle opere sostitutive dei P.L. interferenti con il nuovo PM.					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA IZ09	LOTTO 00 D 69	CODIFICA IG	DOCUMENTO GE0005 001	REV. A	FOGLIO 12 di 49

MASW_PD 2

L'indagine di sismica superficiale eseguita, ha permesso la determinazione dell'andamento della velocità delle Vs fino a 30 m di profondità.

Di seguito si riportano le immagini relative all'analisi ω -p (trasformata τ -p & trasformata di Fourier) al fine di discriminare l'energia associata alle onde di Rayleigh.

L'inversione della curva di dispersione con il metodo phase shift utilizzando la tecnica di calcolo degli algoritmi genetici.

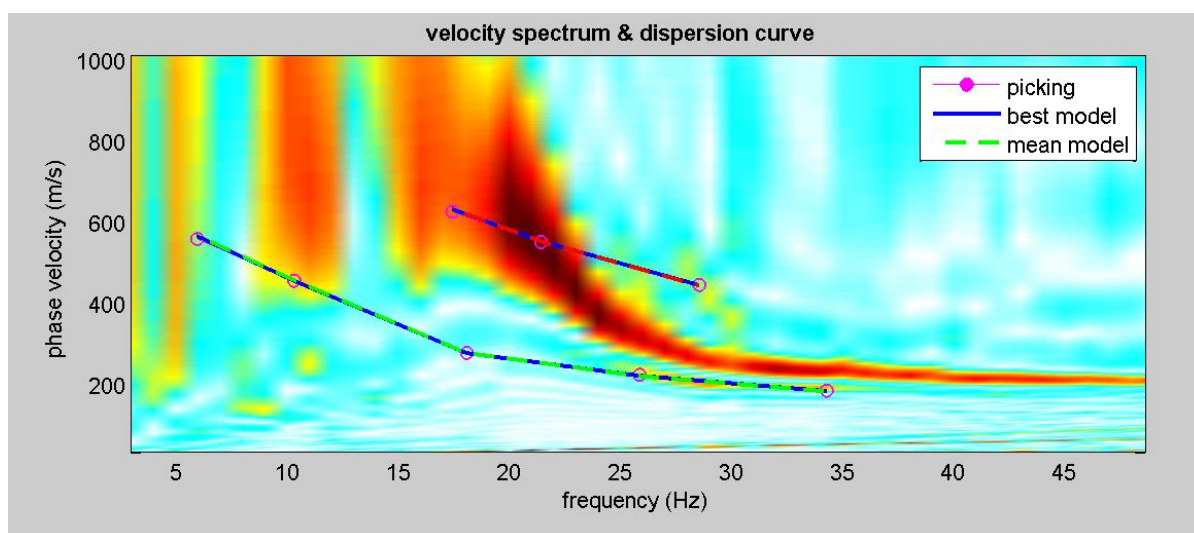


Fig. 7 MODO FONDAMENTALE RELATIVO AL SEGNALE SISMICO REGISTRATO IN SITU

	COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PM CARGNACCO PD del PRG e ACC del nuovo PM di Cagnacco e delle opere sostitutive dei P.L. interferenti con il nuovo PM.					
	INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA IZ09	LOTTO 00 D 69	CODIFICA IG	DOCUMENTO GE0005 001	REV. A

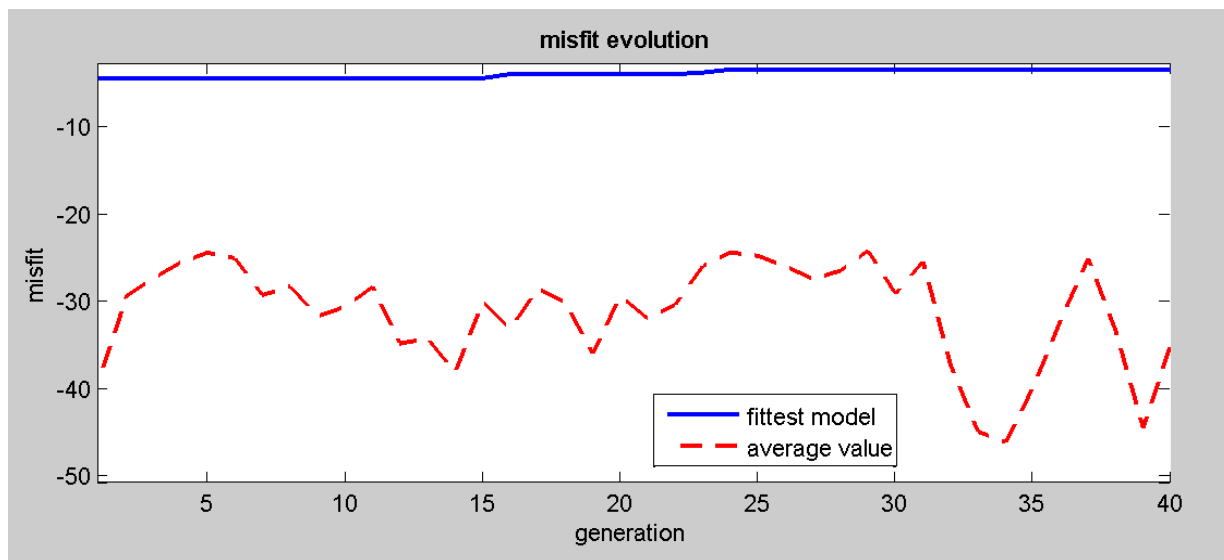


Fig. 8 CONFRONTO TRA LA CURVA DI DISPERSIONE SPERIMENTALE E QUELLA TEORICA

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PM CARGNACCO PD del PRG e ACC del nuovo PM di Cagnacco e delle opere sostitutive dei P.L. interferenti con il nuovo PM.					
	INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA IZ09	LOTTO 00 D 69	CODIFICA IG	DOCUMENTO GE0005 001	REV. A

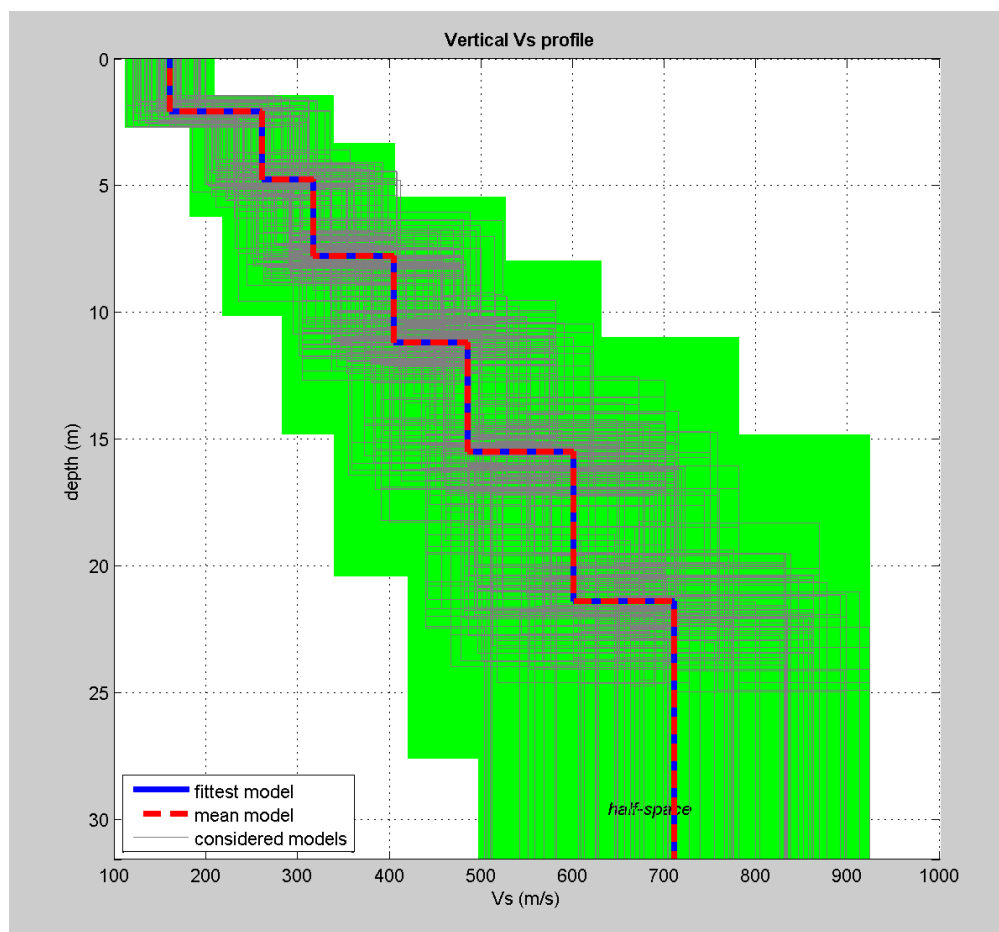


Fig. 9 MODELLO RISULTANTE DALL'INVERSIONE DEI DATI

Per quanto concerne i dettagli relativi alle caratteristiche geometriche dello stendimento, sono stati utilizzati 24 geofoni in linea con interdistanza di 2.5 m.

La $V_{s,eq}$ è stata ricavata dalla formula:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum \frac{h_i}{v_i}}$$

Nel caso specifico è risultato:

$V_{s,eq} = 416 \text{ m/s}$

Si tratta quindi di un **suolo di tipo B** ($S_s = 1.2$ secondo le NTC 2018).

	COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PM CARGNACCO PD del PRG e ACC del nuovo PM di Cagnacco e delle opere sostitutive dei P.L. interferenti con il nuovo PM.					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA IZ09	LOTTO 00 D 69	CODIFICA IG	DOCUMENTO GE0005 001	REV. A	FOGLIO 15 di 49

Da pagina 19 a pagina 21, vengono inoltre fornite tabelle recanti la classificazione del sito e lo spettro di risposta elastico relativo, ricavato considerando una probabilità di superamento del 10% in 50 anni (tempo di ritorno 475 anni). Tale condizione corrisponde allo stato limite ultimo di salvaguardia della vita (secondo NTC).



Fig. 10 FOTO E ORTOFOTO RELATIVE ALLA PROSPEZIONE MASW_PD 2.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PM CARGNACCO PD del PRG e ACC del nuovo PM di Cagnacco e delle opere sostitutive dei P.L. interferenti con il nuovo PM.					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IZ09	00 D 69	IG	GE0005 001	A	16 di 49

CLASSIFICAZIONE DEL SITO NTC 2018 MASW_BH 1

Data: Aprile 2019

Località Udine (UD)

Coordinate LAT 46.001105 LONG 13.250452 (UTM W GS84)

Metodo di indagine MASW

Strumentazione utilizzata Sismografo Echo 24-2010 a 24 Canali, 24 bits

Metodo di energizzazione Mazza da 8 kg

Geometria stendimento: 24 geofoni - interasse 2.5 m

RISPOSTA SISMICA LOCALE

±

(si vedano le tabelle sottostanti per ricavare i valori del Coeff. Cc e del coeff di amplificazione S)

Categorie di sottosuolo di fondazione:

		Ss	Cc	S=S _s *S _T
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.			
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s	1.20	1.37	1.20
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.			
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fine scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.			
E	terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.			

I parametri a/g, F₀ e T* vengono forniti dalla normativa

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PM CARGNACCO PD del PRG e ACC del nuovo PM di Cargnacco e delle opere sostitutive dei P.L. interferenti con il nuovo PM.					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IZ09	00 D 69	IG	GE0005 001	A	17 di 49

Categorie topografiche

St

T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$	1	
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$	1.2	valore alla sommità del pendio
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$	1.2	valore della cresta del rilievo
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$	1.4	valore della cresta del rilievo

Le sovraespresse categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.

SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO @ 5% SMORZAMENTO – COMP. ORIZZONTALE (NTC 2018)

Possibilità di superamento del 10% in 50 anni

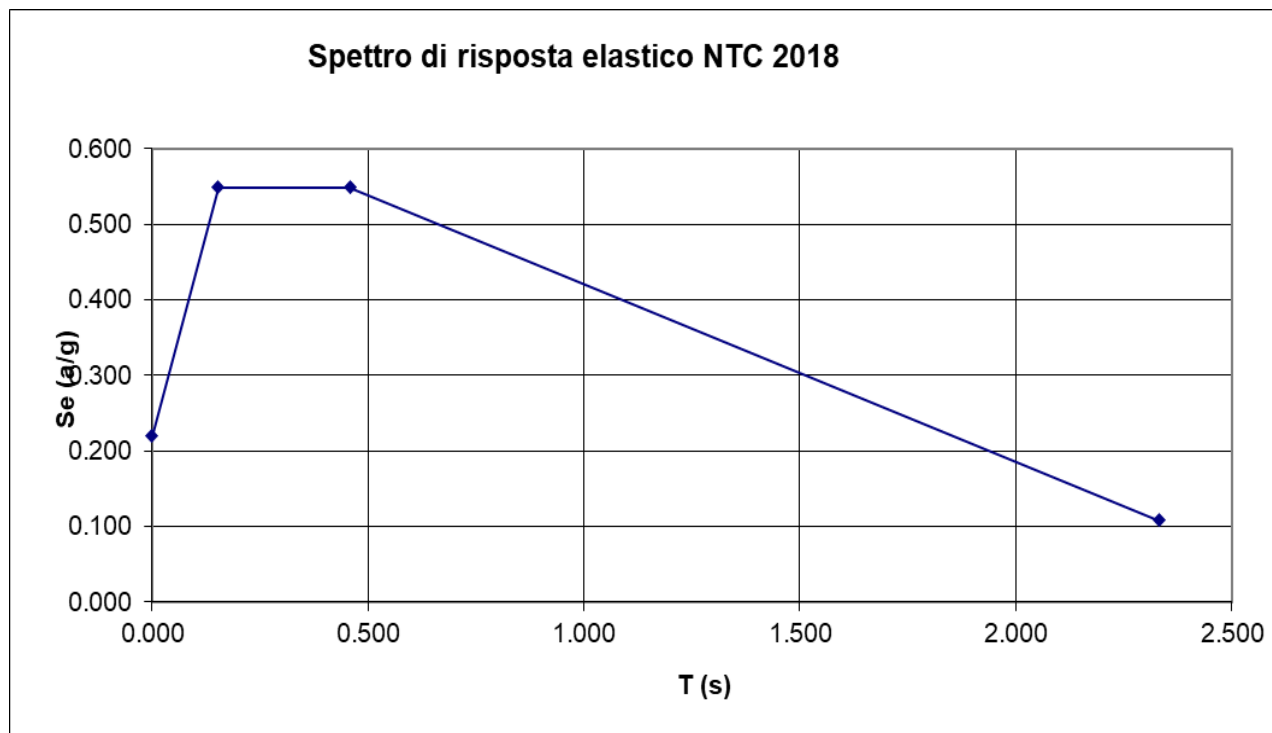
$$T_0 = a_g \cdot S$$

$$T_b = T_c / 3$$

$$T_c = C_c \cdot T_c^*$$

$$T_d = 4.0 \cdot a_g / g + 1.6$$

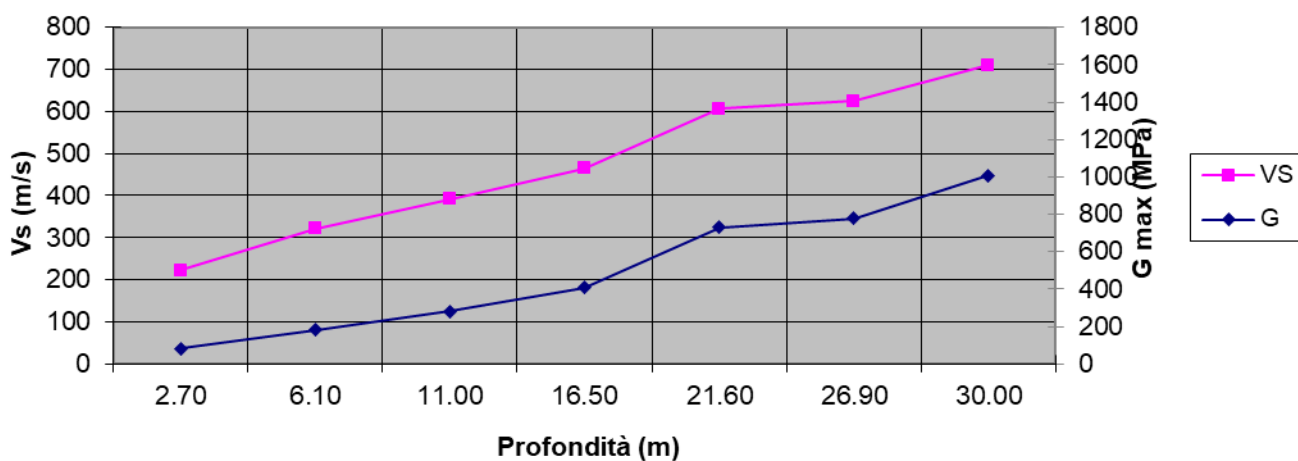
Ascisse (s)	Ordinate (g)
0.000	0.220
0.153	0.549
0.459	0.549
2.332	0.108



Depth (m)	Density (t/mc)	S-velocity (m/s)	Gmax (Mpa)
2.70	1.64	223	82
6.10	1.76	321	182
11.00	1.83	392	282
16.50	1.89	465	408
21.60	1.98	607	731
26.90	1.99	625	779
30.00	2.00	710	1008

$$V_{s,eq} = 439.40 \text{ m/s}$$

Andamento G - Vs con profondità



 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PM CARNACCO PD del PRG e ACC del nuovo PM di Carnacco e delle opere sostitutive dei P.L. interferenti con il nuovo PM.					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA IZ09	LOTTO 00 D 69	CODIFICA IG	DOCUMENTO GE0005 001	REV. A	FOGLIO 19 di 49

CLASSIFICAZIONE DEL SITO NTC 2018 MASW_PD 2

Data: Aprile 2019

Località Pavia di Udine (UD)

Coordinate LAT 45.994054 LONG 13.253378 (UTM W GS84)

Metodo di indagine MASW

Strumentazione utilizzata Sismografo Echo 24-2010 a 24 Canali, 24 bits

Metodo di energizzazione Mazza da 8 kg

Geometria stendimento: 24 geofoni - interasse 2.5 m

RISPOSTA SISMICA LOCALE

±

(si vedano le tabelle sottostanti per ricavare i valori del Coeff. Cc e del coeff di amplificazione S)

Categorie di sottosuolo di fondazione:

		Ss	Cc	S=S _s *S _T
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.			
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s	1.20	1.37	1.20
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.			
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fine scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.			
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.			

I parametri a/g, F₀ e T* vengono forniti dalla normativa

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PM CARGNACCO PD del PRG e ACC del nuovo PM di Cagnacco e delle opere sostitutive dei P.L. interferenti con il nuovo PM.					
	INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	IZ09	00 D 69	IG	GE0005 001	A	20 di 49

Categorie topografiche

St

T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$	1	
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$	1.2	valore alla sommità del pendio
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$	1.2	valore della cresta del rilievo
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$	1.4	valore della cresta del rilievo

Le sovraespote categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.

SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO @ 5% SMORZAMENTO – COMP. ORIZZONTALE (NTC 2018)

Possibilità di superamento del 10% in 50 anni

$$T_0 = a_g \cdot S$$

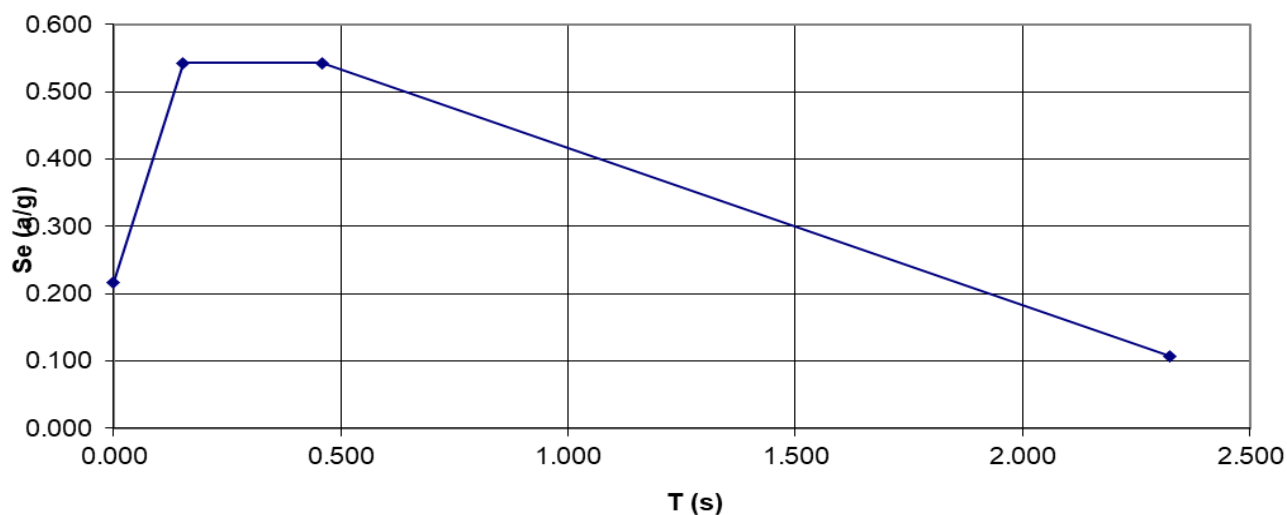
$$T_b = T_c / 3$$

$$T_c = C_c \cdot T_c^*$$

$$T_d = 4.0 \cdot a_g / g + 1.6$$

Ascisse (s)	Ordinate (g)
0.000	0.217
0.153	0.543
0.459	0.543
2.324	0.107

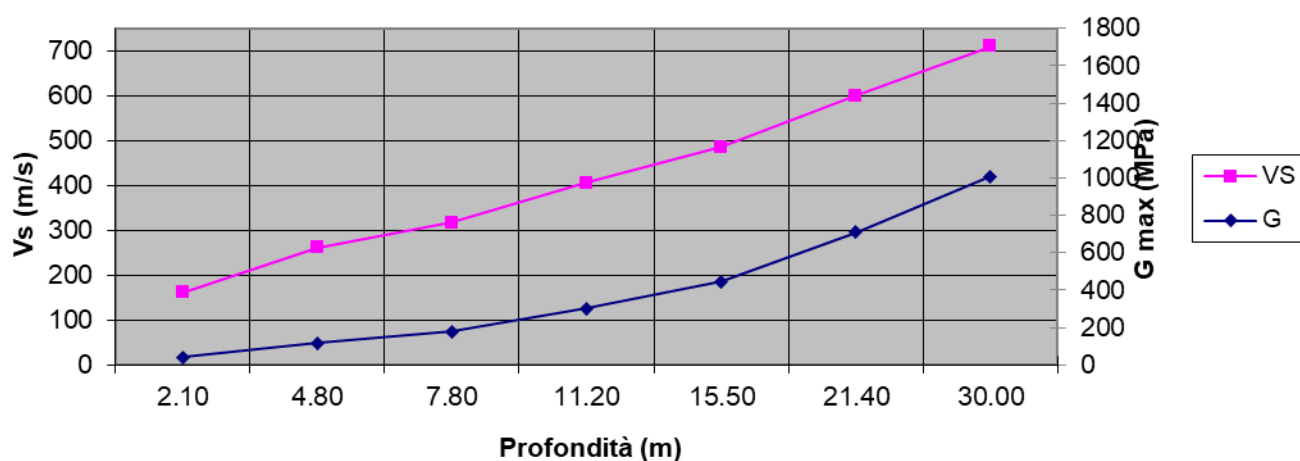
Spettro di risposta elastico NTC 2018



Depth (m)	Density (t/mc)	S-velocity (m/s)	Gmax (Mpa)
2.10	1.55	161	40
4.80	1.69	261	115
7.80	1.76	317	177
11.20	1.84	405	301
15.50	1.89	485	445
21.40	1.97	600	708
30.00	2.00	710	1008

$V_{s,eq} = 416.33 \text{ m/s}$

Andamento G - Vs con profondità



 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PM CARNACCO PD del PRG e ACC del nuovo PM di Carnacco e delle opere sostitutive dei P.L. interferenti con il nuovo PM.					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA IZ09	LOTTO 00 D 69	CODIFICA IG	DOCUMENTO GE0005 001	REV. A	FOGLIO 22 di 49

5 RISULTATI INDAGINE REMI

Re.Mi. BH 1

L'indagine di sismica superficiale eseguita, ha permesso la determinazione dell'andamento della velocità delle Vs fino a 30 m di profondità.

Di seguito si riportano le immagini relative all'analisi ω -p (trasformata τ -p & trasformata di Fourier) al fine di discriminare l'energia associata alle onde di Rayleigh.

L'inversione della curva di dispersione con il metodo phase shift utilizzando la tecnica di calcolo degli algoritmi genetici.

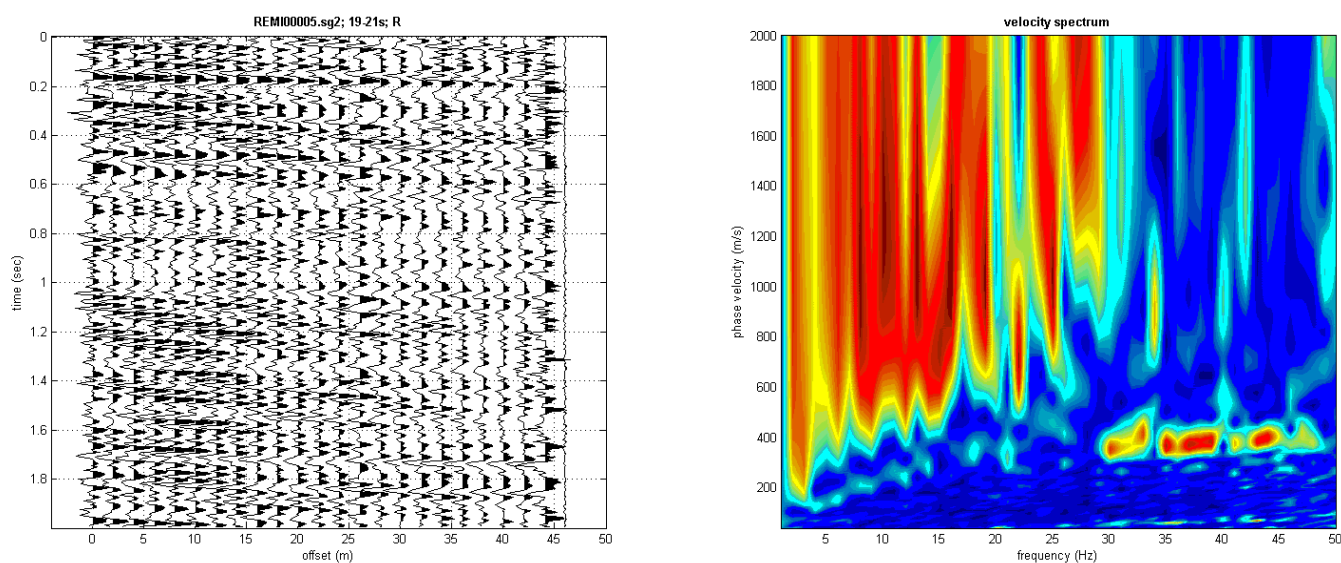


Fig. 11 ACQUISIZIONE RUMORE SISMICO E CURVA DI DISPERSIONE CUMULATIVA METODO PASSIVO

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PM CARNACCO PD del PRG e ACC del nuovo PM di Carnacco e delle opere sostitutive dei P.L. interferenti con il nuovo PM.					
	INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA IZ09	LOTTO 00 D 69	CODIFICA IG	DOCUMENTO GE0005 001	REV. A FOGLIO 23 di 49

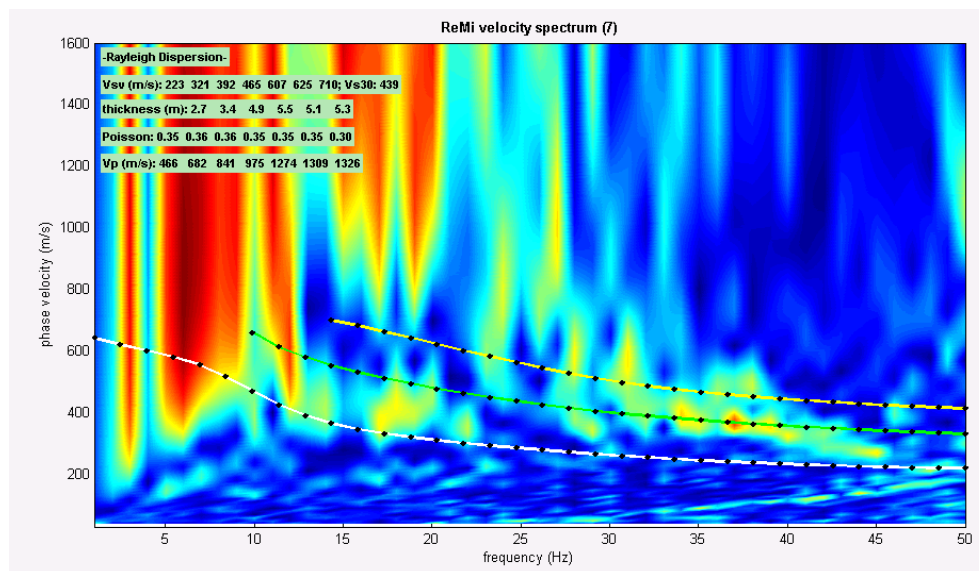


Fig. 12 CURVA DI DISPERSIONE CON MODELLO CALCOLATO

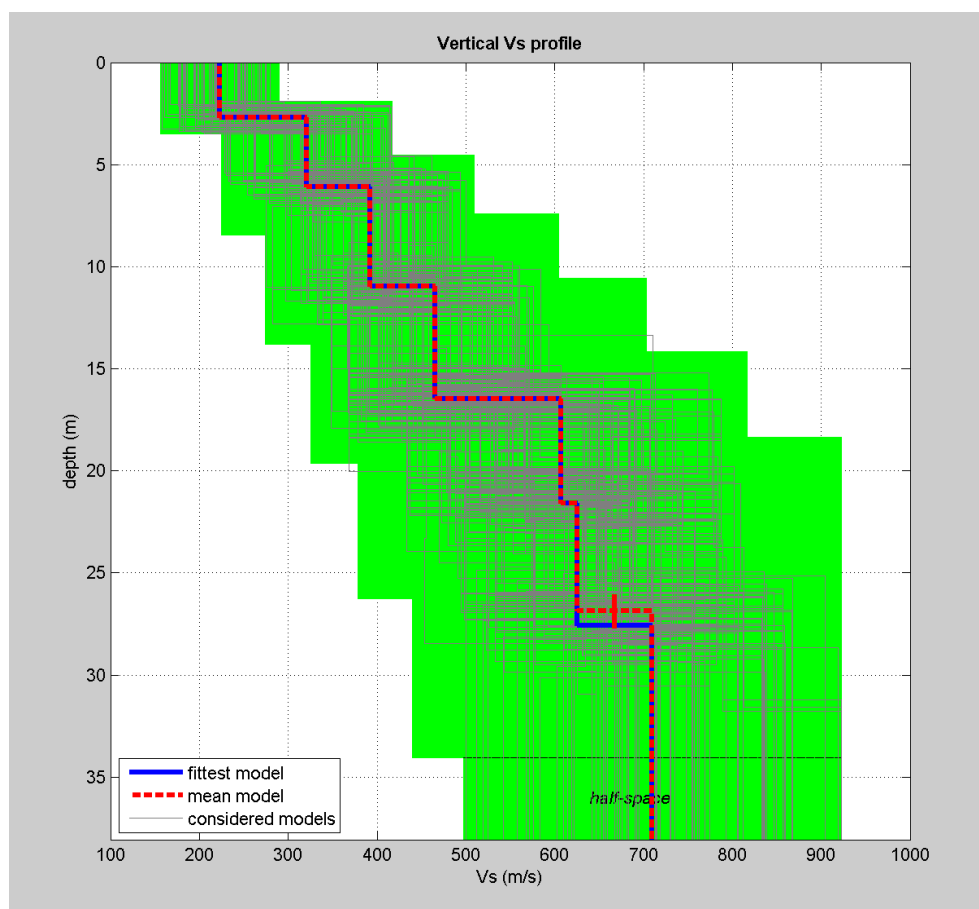


Fig. 13 MODELLO RISULTANTE DALL'INVERSIONE DEI DATI

	COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PM CARGNACCO PD del PRG e ACC del nuovo PM di Cagnacco e delle opere sostitutive dei P.L. interferenti con il nuovo PM.					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA IZ09	LOTTO 00 D 69	CODIFICA IG	DOCUMENTO GE0005 001	REV. A	FOGLIO 24 di 49

Per quanto concerne i dettagli relativi alle caratteristiche geometriche dello stendimento, sono stati utilizzati 24 geofoni in linea con interdistanza di 5 m.

La $V_{s_{eq}}$ è stata ricavata dalla formula:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum \frac{h_i}{v_i}}$$

Nel caso specifico è risultato:

$V_{s_{eq}} = 440$ m/s

Si tratta quindi di un **suolo di tipo B** ($S_s = 1.2$ secondo le NTC).

	COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PM CARGNACCO PD del PRG e ACC del nuovo PM di Cagnacco e delle opere sostitutive dei P.L. interferenti con il nuovo PM.					
	INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA IZ09	LOTTO 00 D 69	CODIFICA IG	DOCUMENTO GE0005 001	REV. A

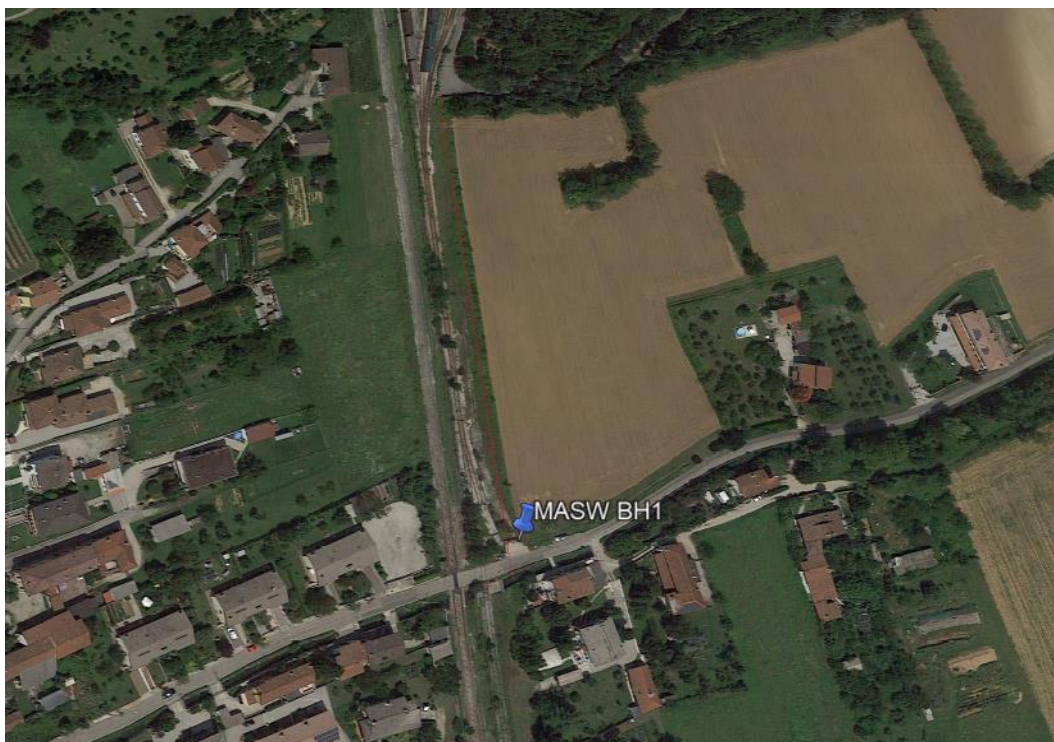


Fig. 14 FOTO E ORTOFOTO RELATIVE ALLA PROSPEZIONE REMI_ BH 1.

	COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PM CARNACCO PD del PRG e ACC del nuovo PM di Carnacco e delle opere sostitutive dei P.L. interferenti con il nuovo PM.					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA IZ09	LOTTO 00 D 69	CODIFICA IG	DOCUMENTO GE0005 001	REV. A	FOGLIO 26 di 49

Re.Mi. PD 2

L'indagine di sismica superficiale eseguita, ha permesso la determinazione dell'andamento della velocità delle Vs fino a 30 m di profondità.

Di seguito si riportano le immagini relative all'analisi ω -p (trasformata τ -p & trasformata di Fourier) al fine di discriminare l'energia associata alle onde di Rayleigh.

L'inversione della curva di dispersione con il metodo phase shift utilizzando la tecnica di calcolo degli algoritmi genetici.

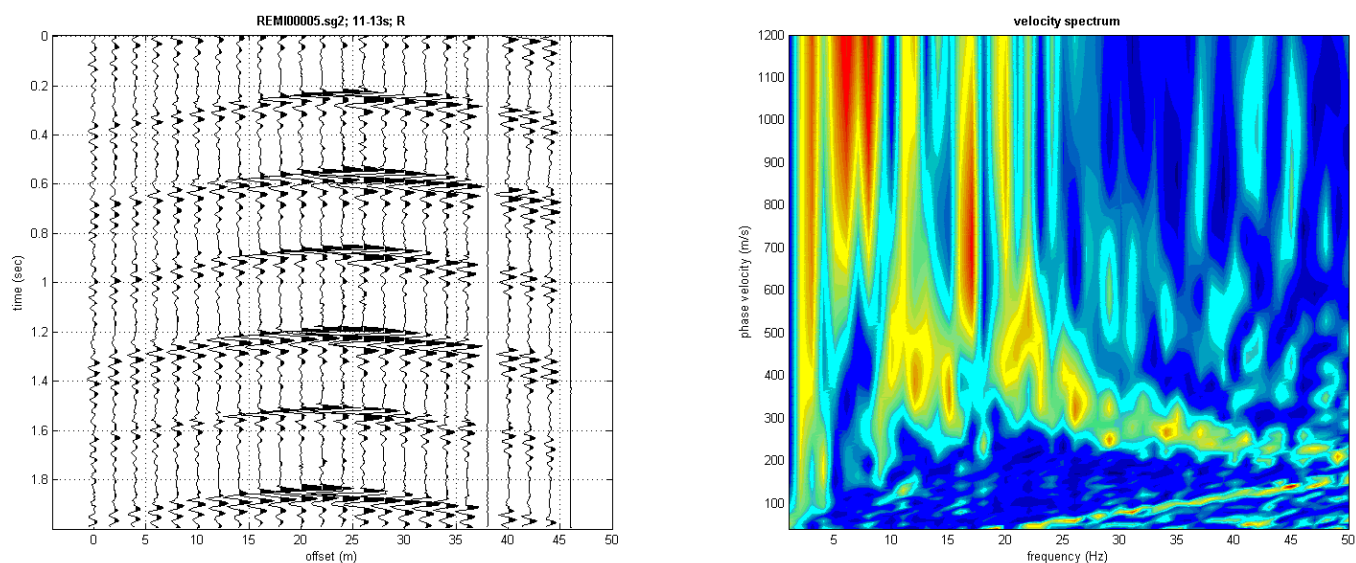


Fig. 15 -ACQUISIZIONE RUMORE SISMICO E CURVA DI DISPERSIONE CUMULATIVA METODO PASSIVO

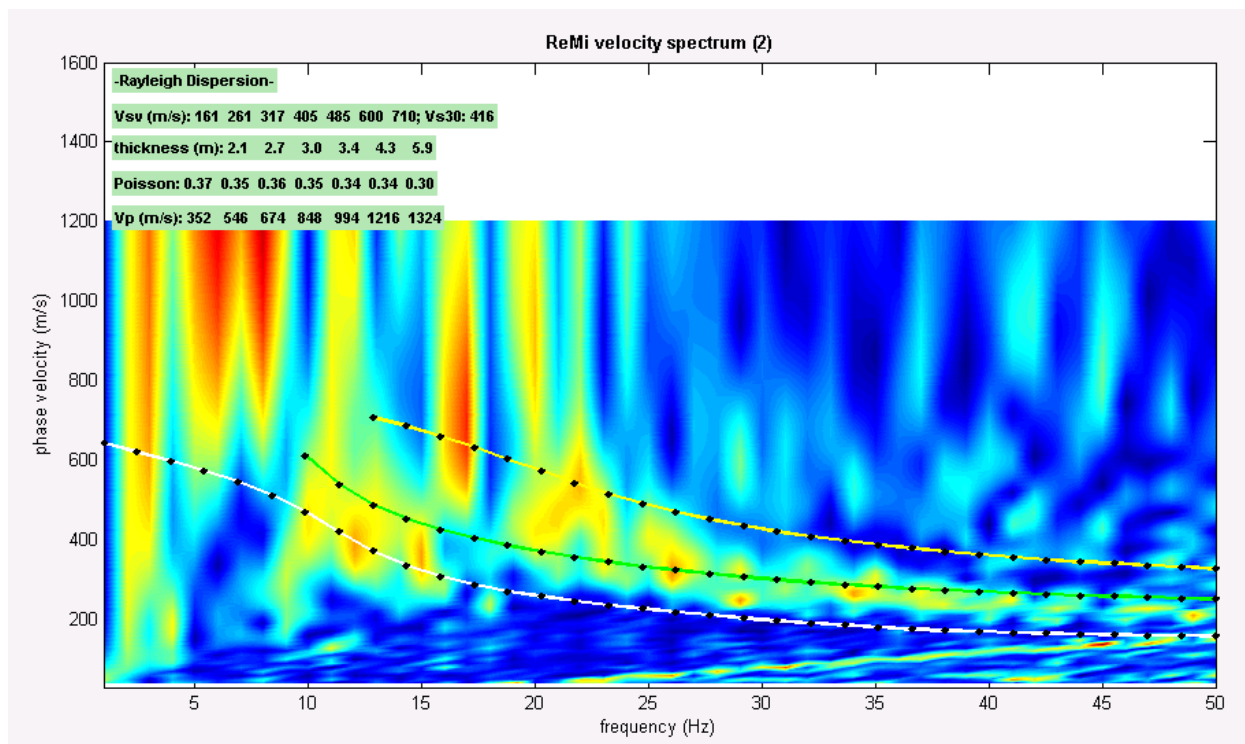


Fig. 16 CURVA DI DISPERSIONE CON MODELLO CALCOLATO

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PM CARGNACCO PD del PRG e ACC del nuovo PM di Cagnacco e delle opere sostitutive dei P.L. interferenti con il nuovo PM.					
	INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA IZ09	LOTTO 00 D 69	CODIFICA IG	DOCUMENTO GE0005 001	REV. A

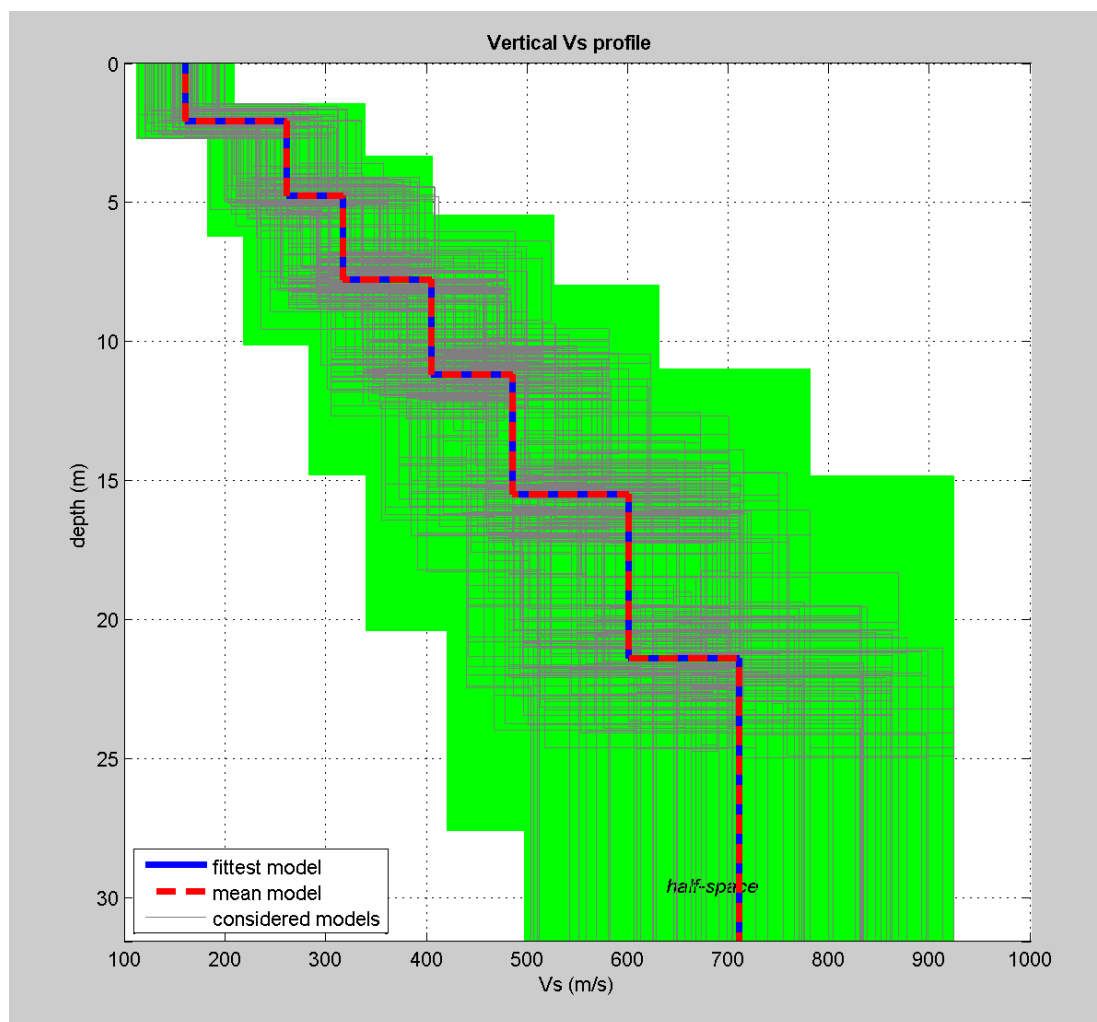


Fig. 17 MODELLO RISULTANTE DALL'INVERSIONE DEI DATI

Per quanto concerne i dettagli relativi alle caratteristiche geometriche dello stendimento, sono stati utilizzati 24 geofoni in linea con interdistanza di 5 m.

La Vs30 è stata ricavata dalla formula:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum \frac{h_i}{v_i}}$$

Nel caso specifico è risultato:

	COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PM CARNACCO PD del PRG e ACC del nuovo PM di Carnacco e delle opere sostitutive dei P.L. interferenti con il nuovo PM.					
	INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA IZ09	LOTTO 00 D 69	CODIFICA IG	DOCUMENTO GE0005 001	REV. A

$V_{seq} = 416 \text{ m/s}$

Si tratta quindi di un **suolo di tipo B** ($S_s = 1.2$ secondo le NTC).



Fig. 18 FOTO E ORTOFOTO RELATIVE ALLA PROSPEZIONE REMI_PD 2.

	COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PM CARGNACCO PD del PRG e ACC del nuovo PM di Cagnacco e delle opere sostitutive dei P.L. interferenti con il nuovo PM.					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA IZ09	LOTTO 00 D 69	CODIFICA IG	DOCUMENTO GE0005 001	REV. A	FOGLIO 30 di 49

6 INDAGINE SISMICA CON METODO HVSR

Come detto sopra, sono state condotte anche delle indagini geofisiche a tecnica passiva (HVSR); sono state infatti eseguite delle registrazioni al fine di evidenziare le caratteristiche di risposta sismica in termini di frequenza caratteristica del sito in base ai valori d'impedenza sismica rilevata.

I risultati che si possono ottenere da una registrazione di questo tipo rivelano principalmente la frequenza caratteristica di risonanza del sito. Essa rappresenta un parametro fondamentale per il corretto dimensionamento degli edifici in termini di risposta sismica locale in quanto si dovranno adottare adeguate precauzioni nel realizzare edifici aventi la stessa frequenza di vibrazione del terreno, al fine di evitare effetti di "doppia risonanza", estremamente pericolosi per la stabilità degli stessi.

Le basi teoriche della tecnica HVSR si rifanno in parte alla sismica tradizionale (riflessione, rifrazione, diffrazione) e in parte alla teoria dei microtremoni. La forma di un'onda registrata in un sito x da uno strumento dipende:

1. dalla forma dell'onda prodotta dalla sorgente s,
2. dal percorso dell'onda dalla sorgente s al sito x (attenuazioni, riflessioni, rifrazioni, incanalamenti per guide d'onda),
3. dalla risposta dello strumento.

Possiamo esprimere questo concetto come:

segnale registrazione al sito x = sorgente * effetti di percorso * funzione trasferimento strumento

Il rumore sismico ambientale, presente ovunque sulla superficie terrestre, è generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica oltre che, ovviamente, dall'attività dinamica terrestre. Si chiama anche microtremore poiché riguarda oscillazioni molto piccole, molto più piccole di quelle indotte dai terremoti. I metodi che si basano sulla sua acquisizione si dicono passivi in quanto il rumore non è generato ad hoc, come ad esempio le esplosioni della sismica attiva.

	COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PM CARGNACCO PD del PRG e ACC del nuovo PM di Cagnacco e delle opere sostitutive dei P.L. interferenti con il nuovo PM.					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA IZ09	LOTTO 00 D 69	CODIFICA IG	DOCUMENTO GE0005 001	REV. A	FOGLIO 31 di 49

Nel tragitto dalla sorgente s al sito x le onde elastiche (sia di terremoto che microtremore) subiscono riflessioni, rifrazioni, intrappolamenti per fenomeni di guida d'onda, attenuazioni che dipendono dalla natura del sottosuolo attraversato. Questo significa che se da un lato l'informazione relativa alla sorgente viene persa e non sono più applicabili le tecniche della sismica classica, è presente comunque una parte debolmente correlata nel segnale che può essere estratta e che contiene le informazioni relative al percorso del segnale ed in particolare relative alla struttura locale vicino al sensore. Dunque, anche il debole rumore sismico, che tradizionalmente costituisce la parte di segnale scartate dalla sismologia classica, contiene informazioni. Questa informazione è però "sepolta" all'interno del rumore casuale e può essere estratta attraverso tecniche opportune.

Una di queste tecniche è la teoria dei rapporti spettrali o, semplicemente, HVSR che è in grado di fornire stime affidabili delle frequenze principali dei sottosuoli; informazione di notevole importanza nell'ingegneria sismica.

Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato un Tromografo digitale "TROMINO", prodotto da Micromed S.p.a., dotato di n. 3 sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati N-S, E-W e verticalmente.

L'accorgimento adottato è stato quello di verificare che i geofoni fossero posizionati in bolla e che la loro componente longitudinale fosse rivolta verso Nord. Il tempo di acquisizione è stato di 20 minuti e le finestre temporali prese in considerazione per l'acquisizione sono di 20 s ciascuna.

La relazione che si applica per il calcolo della profondità delle superfici con i maggiori contrasti di impedenza è la seguente:

$$T_s = 2\pi / \omega = 4H / V_s \quad (1)$$

dove:

- T_s = periodo della vibrazione (s)
- ω = frequenza misurata (rad)
- H = profondità del sismostrato (m)
- V_s = velocità delle onde di taglio (m/s)

	COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PM CARGNACCO PD del PRG e ACC del nuovo PM di Cagnacco e delle opere sostitutive dei P.L. interferenti con il nuovo PM.					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA IZ09	LOTTO 00 D 69	CODIFICA IG	DOCUMENTO GE0005 001	REV. A	FOGLIO 32 di 49

Interpretando i minimi della componente verticale come risonanza del modo fondamentale dell'onda di Rayleigh e i picchi delle componenti orizzontali come contributo delle onde SH, si è potuto ricavare il valore di frequenza caratteristica di ogni sito.

STRUMENTAZIONI UTILIZZATE

N°	Strumentazione per prove HVSr
1	Sismografo-Tromografo digitale "TROMINO", prodotto da Micromed S.p.a.
1	2 Batterie 1.5 V
1	Bussola per corretto orientamento della stazione sismica

CONDIZIONI DI CONGRUITA'

La prima condizione, prima di procedere all'estrazione di qualsiasi informazione e interpretazione, riguarda la verifica di "congruità" della curva H/V; in pratica bisogna verificare l'attendibilità della curva ottenuta secondo i seguenti criteri:

- 1) f_0 (freq. di picco) $> 10 / l_w$ (lunghezza finestra temporale); questa condizione è proposta in maniera tale che, alla frequenza di interesse, in ogni finestra ci siano almeno 10 cicli significativi (tab. 1). Se i dati lo permettono è possibile verificare se la condizione f_0 (freq. di picco) $> 20 / l_w$, il che renderebbe il picco eventuale ancora più significativo, ma questo non è d'obbligo.
- 2) C'è bisogno di un grande numero di cicli e di finestre: quando si usa la selezione automatica delle finestre temporali con i parametri di default, il n. totale di cicli significativi: $nc = l_w \cdot n_w \cdot f_0$ deve essere > 200 (che significa che ad esempio per un picco di 1 Hz, ci siano almeno 20 finestre da 10 secondi ciascuna, o per un picco da 0.5 Hz ci siano 10 finestre da 40 s).
- 3) E' necessario che ci sia un valore di scattering basso tra tutte le finestre: deviazioni standard elevate spesso sono dovute a rumore ambientale non stazionario che può perturbare il segnale e tradursi in un risultato non significativo relativamente alla determinazione del picco di frequenza H/V. Comunque si raccomanda che $\sigma_A(f)$ sia minore di un fattore 2 (per $f_0 > 0.5$ Hz), o un fattore 3 (per $f_0 < 0.5$ Hz), in un range di frequenze di almeno $[0.5f_0, 2f_0]$.

	COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PM CARGNACCO PD del PRG e ACC del nuovo PM di Cagnacco e delle opere sostitutive dei P.L. interferenti con il nuovo PM.					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IZ09	00 D 69	IG	GE0005 001	A	33 di 49

Tabella 1. Durata delle registrazioni raccomandata.

f_0 [Hz]	Minimum value for lw [s]	Minimum number of significant cycles (nc)	Minimum number of windows	Minimum useful signal duration [s]	Recommended minimum record duration [min]
0.2	50	200	10	1000	30'
0.5	20	200	10	400	20'
1	10	200	10	200	10'
2	5	200	10	100	5'
5	5	200	10	40	3'
10	5	200	10	20	2'

Nel nostro caso specifico è sempre stata utilizzata una durata di 20' (1200 s) e un valore delle finestre temporali di 20 s. Di seguito si riportano le curve H/V ottenute.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PM CARGNACCO PD del PRG e ACC del nuovo PM di Cagnacco e delle opere sostitutive dei P.L. interferenti con il nuovo PM.					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IZ09	00 D 69	IG	GE0005 001	A	34 di 49

7 RISULTATI INDAGINE SISMICA PASSIVA (HVSr)

HVSr BH 1

Instrument: TRZ-0017/01-09 Start recording: 18/04/19 12:05:44 End recording: 18/04/19 12:25:45

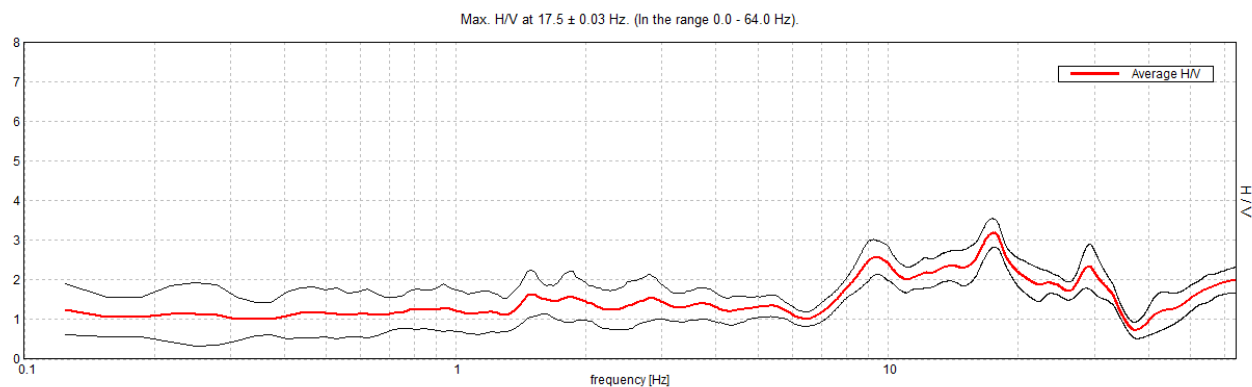
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN GPS data not available

Trace length: 0h20'00". Analyzed 93% trace (manual window selection)

Sampling rate: 128 Hz Window size: 20 s

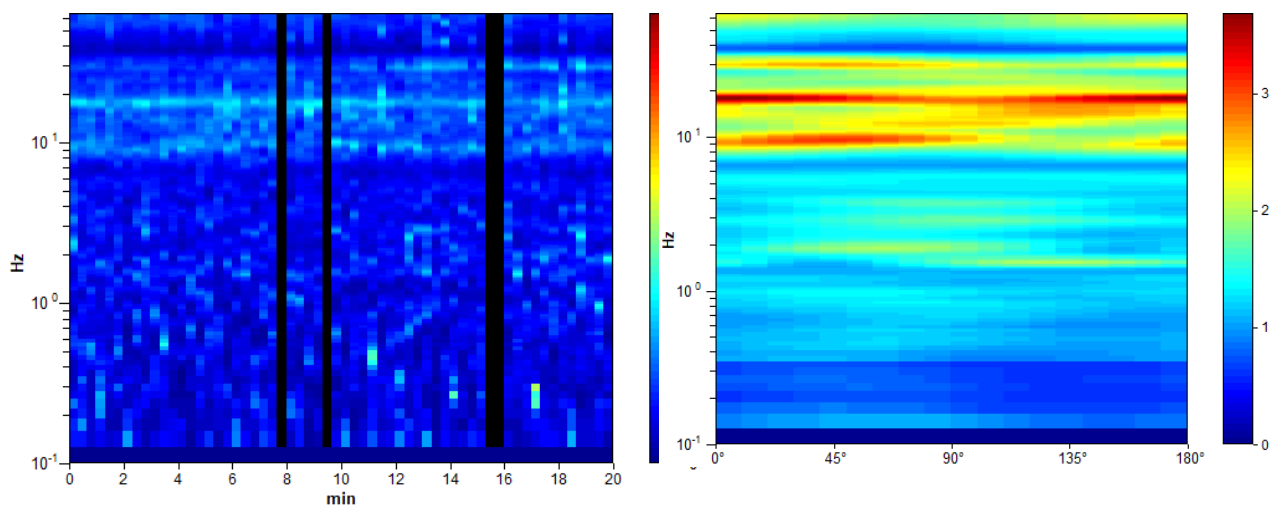
Smoothing type: Triangular window Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

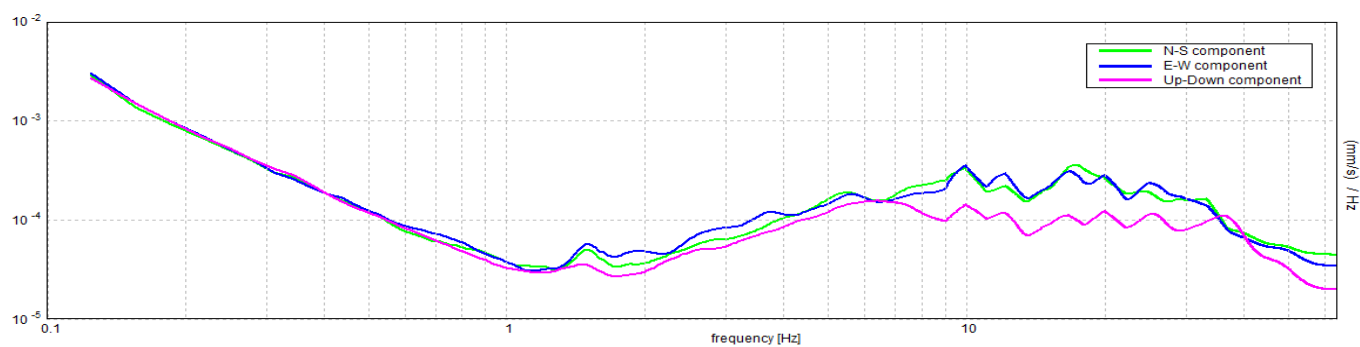


H/V TIME HISTORY

DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA



 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PM CARGNACCO PD del PRG e ACC del nuovo PM di Cagnacco e delle opere sostitutive dei P.L. interferenti con il nuovo PM.					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IZ09	00 D 69	IG	GE0005 001	A	36 di 49

Max. H/V at 17.5 ± 0.03 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$17.50 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$19600.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 841 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	7.719 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	33.313 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$3.18 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.0009 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.01578 < 0.875$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.1807 < 1.58$	OK	

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PM CARNACCO PD del PRG e ACC del nuovo PM di Carnacco e delle opere sostitutive dei P.L. interferenti con il nuovo PM.					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IZ09	00 D 69	IG	GE0005 001	A	37 di 49

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$					
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

	COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PM CARNACCO PD del PRG e ACC del nuovo PM di Carnacco e delle opere sostitutive dei P.L. interferenti con il nuovo PM.					
	INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA IZ09	LOTTO 00 D 69	CODIFICA IG	DOCUMENTO GE0005 001	REV. A



Fig. 19 FOTO SATELLITARE RELATIVA ALL'UBICAZIONE DELLA PROVA HVSR BH 1.



Fig. 20 FOTO DELLA PROVA HVSR BH 1

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PM CARGNACCO PD del PRG e ACC del nuovo PM di Cagnacco e delle opere sostitutive dei P.L. interferenti con il nuovo PM.					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA IZ09	LOTTO 00 D 69	CODIFICA IG	DOCUMENTO GE0005 001	REV. A	FOGLIO 39 di 49

HVSR PD 2

Instrument: TRZ-0017/01-09 Start recording: 18/04/19 14:24:13 End recording: 18/04/19 14:44:14

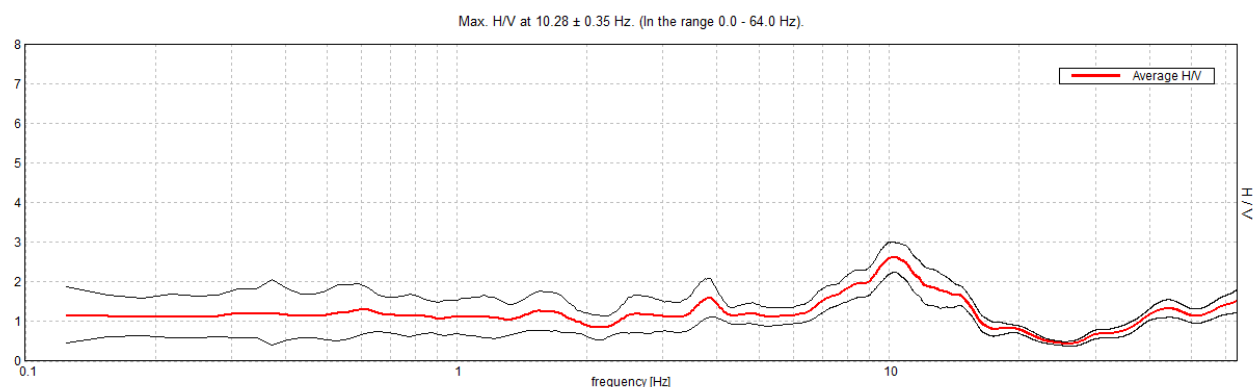
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN GPS data not available

Trace length: 0h20'00". Analyzed 98% trace (manual window selection)

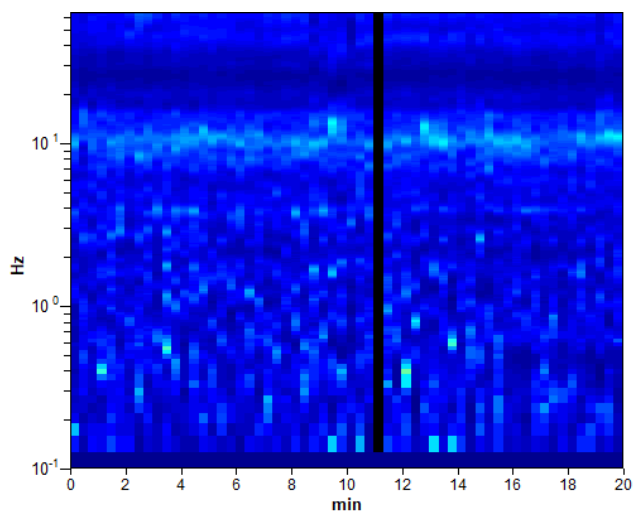
Sampling rate: 128 Hz Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window Smoothing: 10%

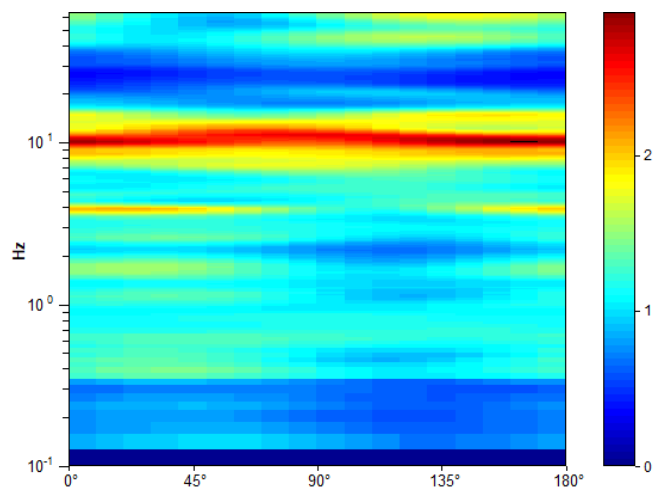
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



H/V TIME HISTORY

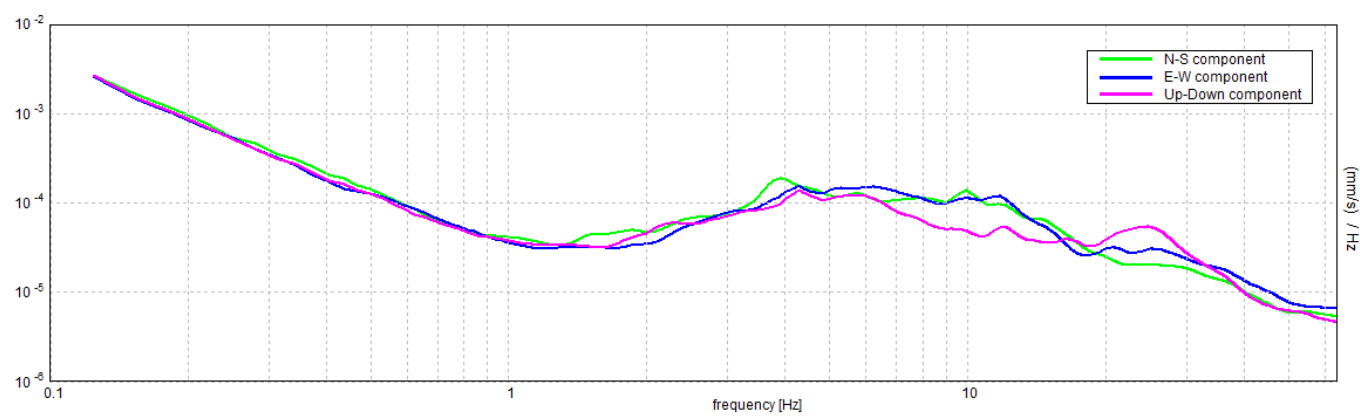


DIRECTIONAL H/V



 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PM CARGNACCO PD del PRG e ACC del nuovo PM di Cagnacco e delle opere sostitutive dei P.L. interferenti con il nuovo PM.					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA IZ09	LOTTO 00 D 69	CODIFICA IG	DOCUMENTO GE0005 001	REV. A	FOGLIO 40 di 49

SINGLE COMPONENT SPECTRA



	COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PM CARGNACCO PD del PRG e ACC del nuovo PM di Cagnacco e delle opere sostitutive dei P.L. interferenti con il nuovo PM.					
	INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA IZ09	LOTTO 00 D 69	CODIFICA IG	DOCUMENTO GE0005 001	REV. A

Max. H/V at 10.28 ± 0.35 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$10.28 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$12131.9 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 494 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	6.625 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	15.625 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$2.62 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.01677 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.17237 < 0.51406$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.1875 < 1.58$	OK	

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PM CARNACCO PD del PRG e ACC del nuovo PM di Carnacco e delle opere sostitutive dei P.L. interferenti con il nuovo PM.					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IZ09	00 D 69	IG	GE0005 001	A	42 di 49

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$					
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

	COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PM CARGNACCO PD del PRG e ACC del nuovo PM di Cagnacco e delle opere sostitutive dei P.L. interferenti con il nuovo PM.					
	INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA IZ09	LOTTO 00 D 69	CODIFICA IG	DOCUMENTO GE0005 001	REV. A

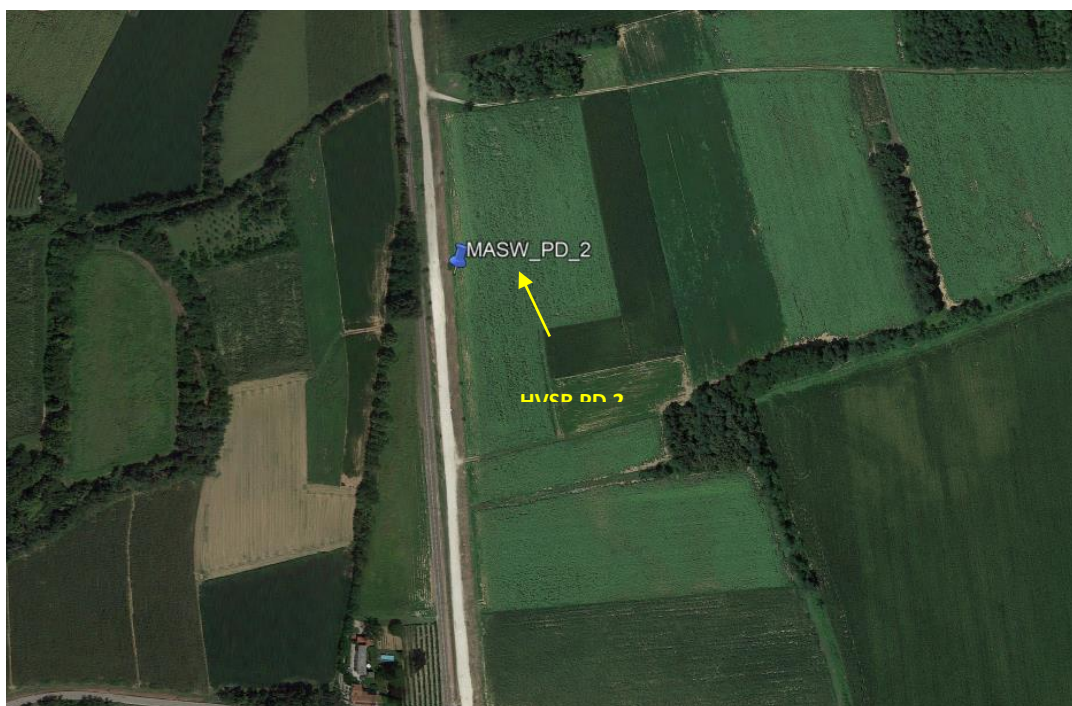


Fig. 21 FOTO SATELLITARE RELATIVA ALL'UBICAZIONE DELLA PROVA HVSR PD 2.



Fig. 22 FOTO DELLA PROVA HVSR PD 2.

	COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PM CARGNACCO PD del PRG e ACC del nuovo PM di Cagnacco e delle opere sostitutive dei P.L. interferenti con il nuovo PM.					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA IZ09	LOTTO 00 D 69	CODIFICA IG	DOCUMENTO GE0005 001	REV. A	FOGLIO 44 di 49

8 TOMOGRAFIA ELETTRICA

L'indagine tomografica 2D è stata eseguita attraverso misure della resistività elettrica del sottosuolo. La resistività apparente in un punto del sottosuolo è un parametro direttamente correlabile con la "difficoltà" con cui una porzione di terreno può essere attraversata da una corrente elettrica. La programmazione della sequenza delle misure è operata sul campo mediante l'apposita interfaccia strumentale. Con tale operazione si definisce il tipo di configurazione ottimale per l'esecuzione del rilievo, determinando così i livelli di misura desiderati al fine di raggiungere la profondità voluta e una copertura ottimale per un buon dettaglio. Una volta definito lo schema del profilo, le misure dell'intensità di corrente e della differenza di potenziale vengono eseguite in successione, automaticamente.

Il metodo ricava quindi la distribuzione della resistività elettrica nel sottosuolo, elettricamente disomogeneo, iniettando una corrente continua mediante due elettrodi conficcati nel terreno, detti convenzionalmente AB, e misurando contemporaneamente la differenza di potenziale (d.d.p.), associata al campo elettrico generato, tra due elettrodi distinti dai primi, detti convenzionalmente MN. In pratica, variando la distanza tra gli elettrodi A e B, o tra M e N, o tra AB e MN, e misurando ogni volta la corrente immessa agli AB e la differenza di potenziale "d.d.p." risultante agli MN, si ottiene la resistività detta apparente, secondo la nota formula:

$$\rho_a = k \frac{\Delta V}{I} \text{ dove } k = \pi \frac{AM * AN}{MN} \quad (\Omega m)$$

k è detta costante geometrica del quadripolo e dipende solo da distanze interelettrodeiche.

Questa resistività apparente varia in funzione della posizione reciproca degli elettrodi A, B, M e N (quadripolo elettrico) in quanto vengono investigate dal passaggio della corrente e dalla misura della risposta in termini di d.d.p. parti diverse del corpo. La misura della resistività apparente del terreno deriva da una serie di letture eseguite attraverso l'inversione di polarità della corrente che, nel presente rilievo, è stata fissata fra tre e otto cicli d'inversione; la validità della misura finale è data dal valore della deviazione standard registrata per ogni quadripolo.

Le misure della resistività elettrica sono state eseguite con georesistivimetro SAS1000

	COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PM CARGNACCO PD del PRG e ACC del nuovo PM di Cagnacco e delle opere sostitutive dei P.L. interferenti con il nuovo PM.					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA IZ09	LOTTO 00 D 69	CODIFICA IG	DOCUMENTO GE0005 001	REV. A	FOGLIO 45 di 49

con LUND Imagin System (ABEM-Svezia) in grado di imporre una differenza di potenziale fino a 800V sugli elettrodi AB. Il georesistivimetro impiegato è dotato di un sistema di gestione e commutazione automatica degli elettrodi, permettendo quindi di considerare tutte le possibili combinazioni quadripolari.

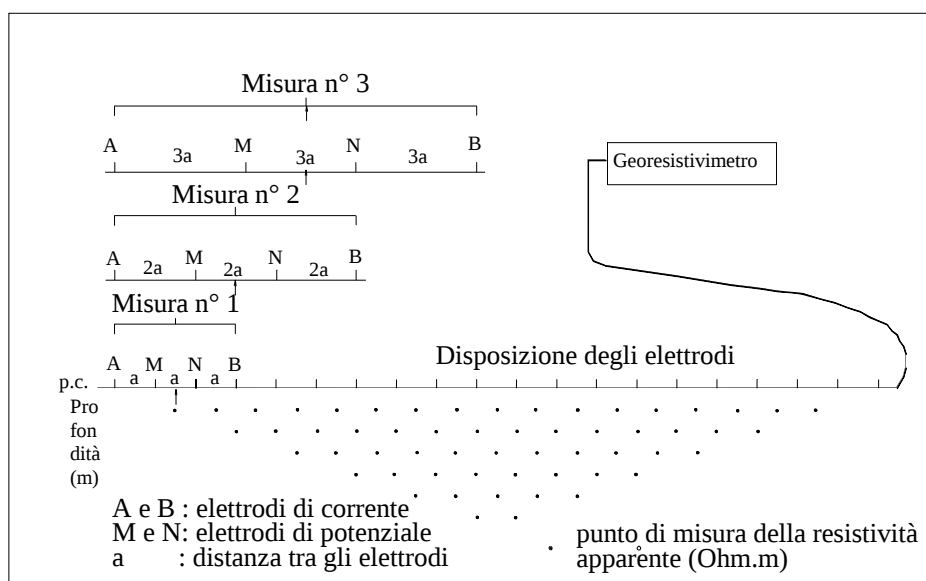


Fig. 23 Sistema di acquisizione "tomografica" dei dati utilizzando configurazione elettrodica di WENNER.

Dalla configurazione utilizzata, poi, si ottiene un grafico nel quale tutti i punti di eguale resistività apparente vengono collegati da una curva detta isoresistiva. Questo quadro deve essere "interpretato" in modo da poter sostituire alle resistività apparenti la geometria della distribuzione ed i valori della resistività reale.

Specificamente, l'indagine è stata effettuata in configurazione Wenner-Schlumberger per un totale di acquisizioni fino a 1336 misure (equivalenti a 1334 quadripoli).

La fase di acquisizione è stata preceduta dalla verifica dell'assenza di resistenze di contatto, dovute all'interferenza elettrica data da uno scadente contatto elettrodo-terreno.

	COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PM CARGNACCO PD del PRG e ACC del nuovo PM di Cagnacco e delle opere sostitutive dei P.L. interferenti con il nuovo PM.					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IZ09	00 D 69	IG	GE0005 001	A	46 di 49

STRUMENTAZIONI UTILIZZATE

N°	Strumentazione per tomografie elettriche
1	Georesistivimetro SAS1000 con LUND Imagin System (ABEM - Svezia) fino a 64 canali in configurazione multielettroica
1	Sistema di immissione di corrente nel terreno (batteria a 12V)
1	Serie di elettrodi (impiegati in serie di quattro, due di corrente e due di potenziale) di acciaio inox, collegati tra loro tramite un cavo multipolare

	COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PM CARGNACCO PD del PRG e ACC del nuovo PM di Cagnacco e delle opere sostitutive dei P.L. interferenti con il nuovo PM.					
	INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA IZ09	LOTTO 00 D 69	CODIFICA IG	DOCUMENTO GE0005 001	REV. A

9 RISULTATI TOMOGRAFIE ELETTRICHE

ERT1

Il profilo elettrico ERT1, della lunghezza di 216 metri con elettrodi spaziati di 3 metri, è stato condotto da Nord (elettrodo n.1) verso Sud (elettrodo n.73).



Fig. 24 UBICAZIONE DEL PROFILO ELETTRICO ERT1

	COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PM CARGNACCO PD del PRG e ACC del nuovo PM di Cagnacco e delle opere sostitutive dei P.L. interferenti con il nuovo PM.					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA IZ09	LOTTO 00 D 69	CODIFICA IG	DOCUMENTO GE0005 001	REV. A	FOGLIO 48 di 49



Fig. 25 FOTO DEL PROFILO ELETTRICO ERT1

L'acquisizione ha previsto l'utilizzo del metodo Wenner-Schlumberger. L'elaborazione tomografica dei dati con software RES2Dinv ha permesso di individuare le peculiarità del sottosuolo in merito al parametro della resistività elettrica. Nell'elaborazione del dato è stata considerata la presenza della topografia perfettamente pianeggiante.

Superficialmente si evidenzia la presenza di un elettrostrato a resistività media (resistività elettrica compresa tra 30-130 $\Omega \cdot m$), riferibile a terreni granulari di tipo limoso-sabbioso con uno spessore medio fino a -7 m p.c.

Al di sotto del suddetto, si evidenzia la presenza di un elettrostrato molto resistivo (con valori compresi tra 250-1000 $\Omega \cdot m$), riferibile a terreni incoerenti ghiaiosi grossolani. Spessore elettrostrato tra -7 e -22 m p.c.

Oltre i -20/-22m p.c. è presente un livello a resistività media (resistività elettrica compresa tra 70-200 $\Omega \cdot m$) riferibile a terreni granulari di tipo ghiaioso sabbioso con una possibile saturazione in falda.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PM CARGNACCO PRG e ACC del nuovo PM di Cagnacco e delle opere sostitutive dei P.L. interferenti con il nuovo PM					
	INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA IZ09	LOTTO 00 D 69	CODIFICA IG	DOCUMENTO GE0005 001	REV. A

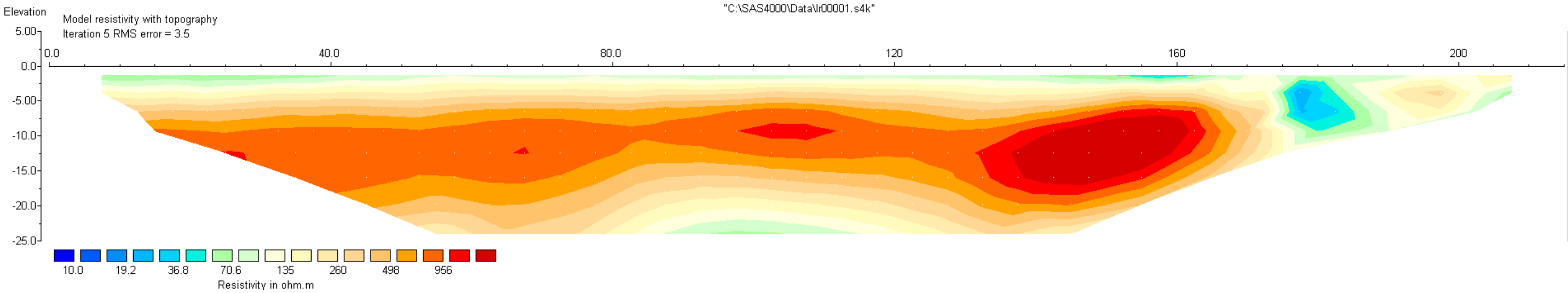


Fig. 26 SEZIONE ELETTROTOMOGRAFICA ERT1