

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



CUP J34G18000150001

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

PROGETTO DEFINITIVO

LINEA VERONA – BRENNERO E LINEA FORTEZZA – SAN CANDIDO
NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO “VARIANTE VAL DI RIGA”

VARIANTE VAL DI RIGA

GEOLOGIA ED IDROGEOLOGIA

REPORT INDAGINI GEOFISICHE (zona L.S. Varna e PM Sciaves)

SCALA:

-

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

I B O H 0 0 D 6 9 I G G E 0 0 0 5 0 1 1 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	D. Roverselli		S. Rodani		C. Mazzocchi		M. Comedini



File:

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA VERONA – BRENNERO E LINEA FORTEZZA – SAN CANDIDO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO “VARIANTE VAL DI RIGA” VARIANTE DI RIGA					
REPORT INDAGINI GEOFISICHE (zona L.S. Varna e PM Sciaves)	COMMESSA IB0H	LOTTO 00	CODIFICA D 69 IG	DOCUMENTO GE 00 05 011	REV. A	FOGLIO 2 di 47

INDICE

1	PREMESSA	3
1.1	ESEMPI DELLE ATTIVITÀ SVOLTE	6
2	INDAGINI SISMICHE M.A.S.W. / RE.MI.....	7
2.1	M.A.S.W. / RE.MI. – RIFERIMENTO NORMATIVO (<i>N.T.C. 2018, D.M. 17/01/2018</i>).....	8
2.2	STENDIMENTI SISMICI CON METODO “M.A.S.W.” E “RE.MI.” CENNI METODOLOGICI	9
2.3	MODALITÀ ESECUTIVE DELL’INDAGINE	11
2.4	ELABORAZIONE DATI.....	11
2.5	DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA DELL’ATTIVITÀ DI REGISTRAZIONE	12
	ALLEGATO 1 SPETTRI DI VELOCITÀ, CURVE DI DISPERSIONE, PROFILI DI VELOCITÀ ONDE VS (M.A.S.W. / RE.MI.)	13
3	RILIEVI SISMICI H.V.S.R.	24
3.1	CENNI TEORICI.....	25
3.2	METODOLOGIA	26
3.3	SINTESI E COMMENTO DEI DATI REGISTRATI	28
	ALLEGATO 2 STAZIONI H.V.S.R. GRAFICI H.V.S.R. MEDIO GRAFICI DELLE TRE COMPONENTI N-S / E-W / UP-DOWN	30
4	PROSPEZIONI SISMICHE A RIFRAZIONE (VP - VS)	36
4.1	CENNI TEORICI.....	37
4.2	ACQUISIZIONE DATI	38
4.3	ELABORAZIONE DATI.....	40
4.4	ANALISI DEI RISULTATI	41
4.4.1	Profilo VA-P1 (Zona Varna).....	42
4.4.2	Profilo VA-P2 (Zona Varna).....	43
4.4.3	Profilo SC-P1 (Zona Sciaves)	45
4.4.4	Profilo SC-P2 (Zona Sciaves)	46

	LINEA VERONA – BRENNERO E LINEA FORTEZZA – SAN CANDIDO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO “VARIANTE VAL DI RIGA” VARIANTE DI RIGA					
REPORT INDAGINI GEOFISICHE (zona L.S. Varna e PM Sciaves)	COMMESSA IB0H	LOTTO 00	CODIFICA D 69 IG	DOCUMENTO GE 00 05 011	REV. A	FOGLIO 3 di 47

1 PREMESSA

Nell’ambito del Progetto Definitivo del nuovo collegamento ferroviario Variante Val di Riga, sono state eseguite specifiche prospezioni geofisiche di supporto alle attività progettuali. L’ubicazione planimetrica delle indagini oggetto del presente report, eseguite in prossimità dell’asse del tracciato ferroviario in progetto, è riportata in uno specifico elaborato grafico (IB0H00D69IGGE0005005A). Nelle figure di seguito (Fig. 1, Fig. 2 e Fig. 3) sono inoltre riportati gli stralci planimetrici delle ubicazioni in formato ridotto.

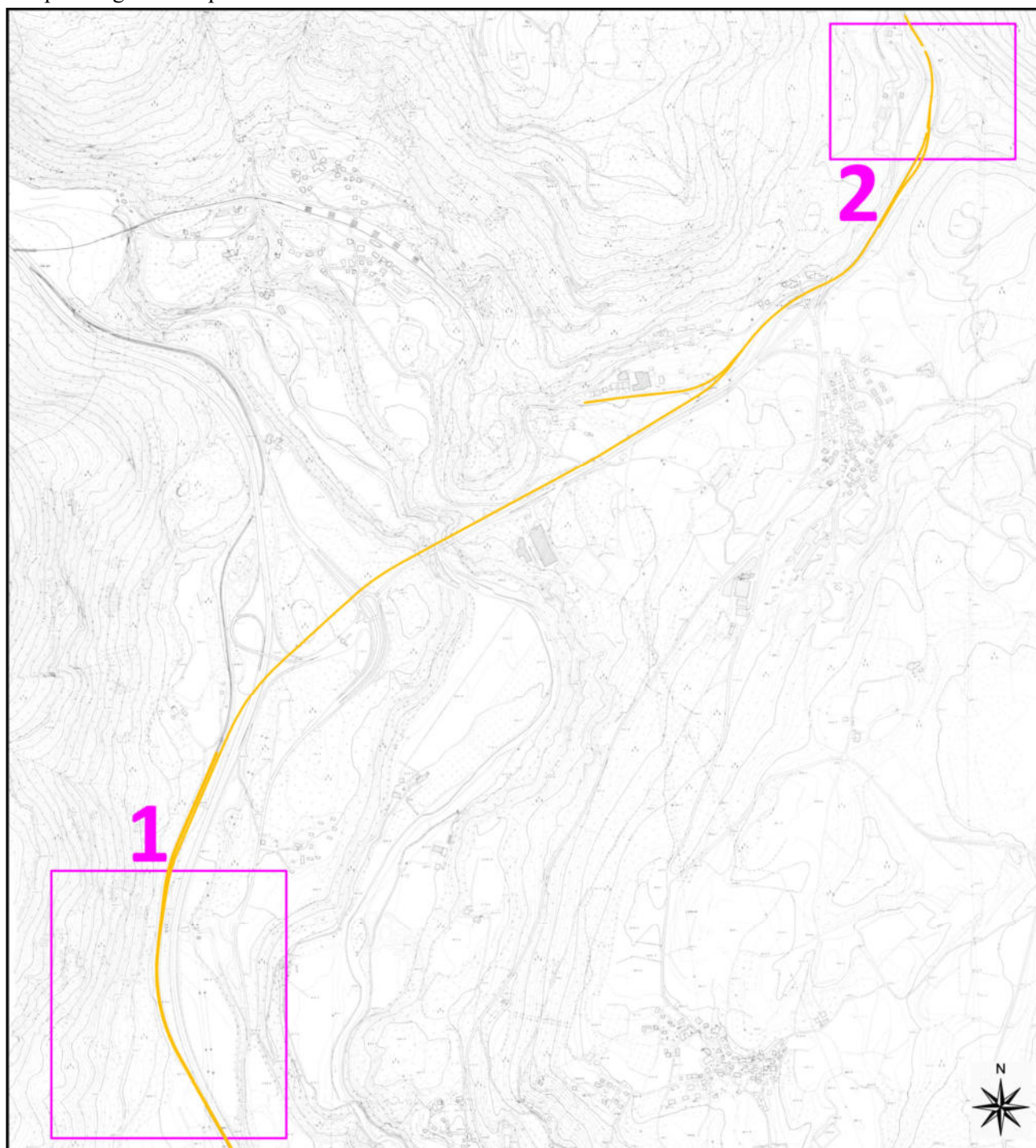


Fig. 1 - Estratto inquadramento territoriale delle aree oggetto di indagine, per zona 1 si intende il settore di Varna mentre per zona 2 quella di Sciaves. In giallo è tracciato l’andamento dei tracciati ferroviari L.S. Varna, “Variante di Riga e PM Sciaves.

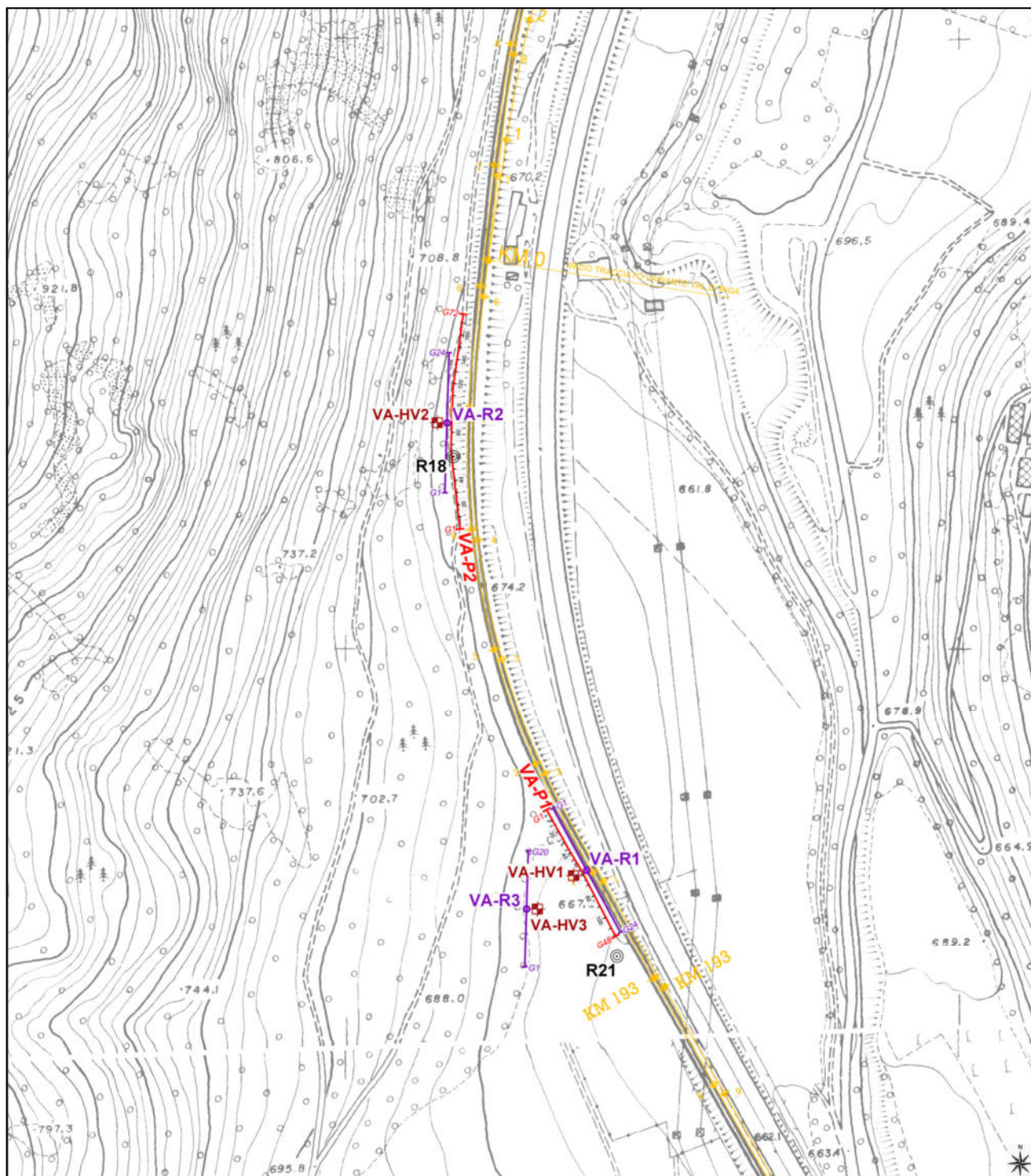


Fig. 2 Estratto planimetrico delle indagini con andamenti dei tracciati ferroviari L.S. Varna e “Variante di Riga” (in giallo) – Zona Varna: VA-R1/R3 (Prove M.A.S.W./Re.Mi.), VA-HV1/HV3 (Prove H.V.S.R.), VA-P1/P2 (Prove sismiche a rifrazione) e R18/R21 (Sondaggi geognostici).

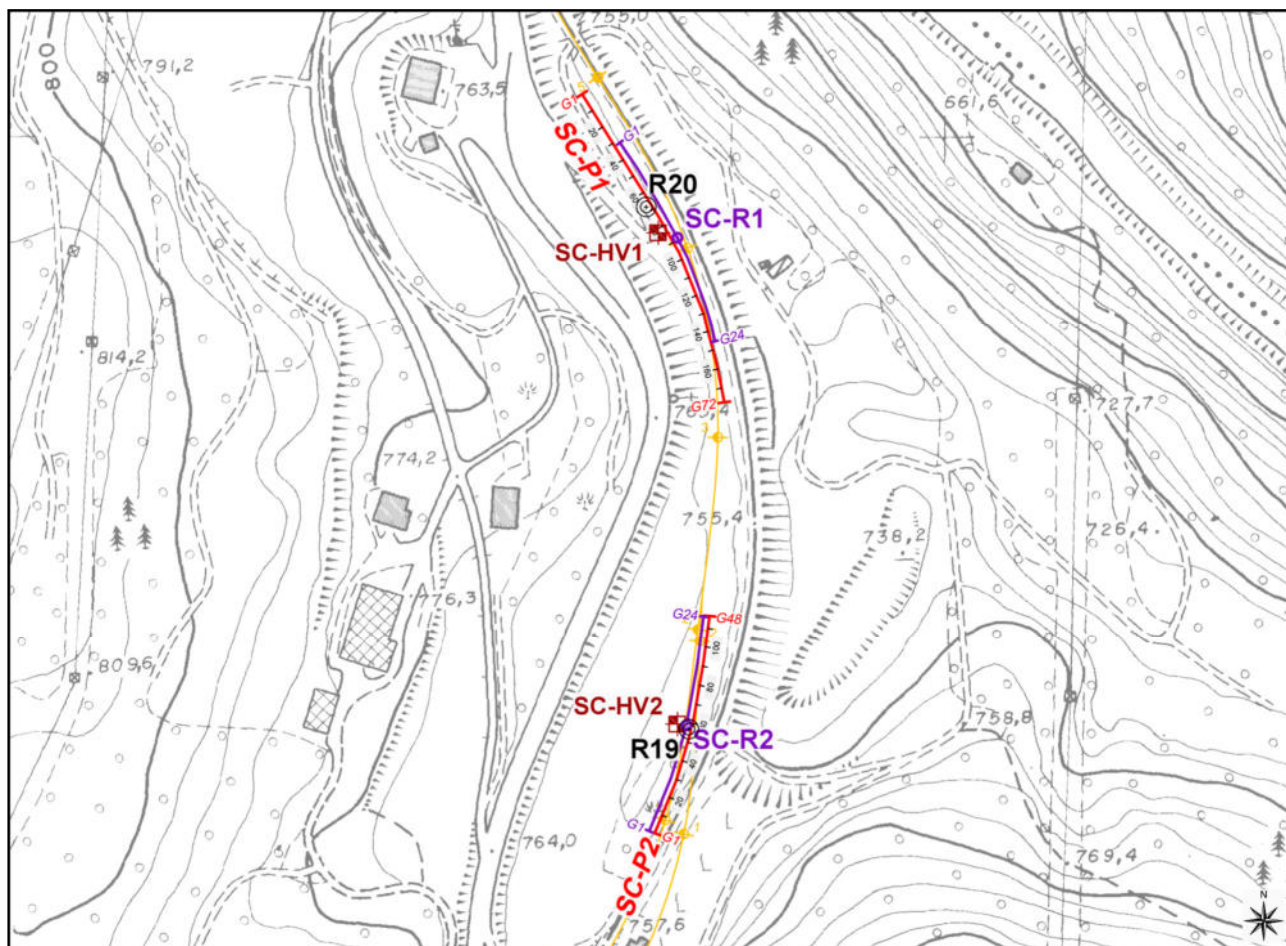


Fig. 3 - Estratto planimetrico delle indagini con andamento del tracciato ferroviario PM Sciaves (in giallo) – Zona Sciaves: SC-R1/R2 (Prove M.A.S.W./Re.Mi.), SC-HV1/HV2 (Prove H.V.S.R.), SC-P1/P2 (Prove sismiche a rifrazione) e R19/R20 (Sondaggi geognostici).

In dettaglio, l'attività è stata svolta con l'acquisizione di:

- N. 5 profili sismici tipo Re.Mi. / M.A.S.W., denominate con sigla da **VA-R1** a **VA-R3** (zona Varna) e da **SC-R1** a **SC-R2** (zona Sciaves). Tali prove sono finalizzate alla determinazione del parametro V_{seq} ed alla definizione della categoria sismica dei suoli di fondazione ai sensi delle N.T.C. 2018; gli stendimenti sono costituiti da n. 24 geofoni posizionati ad intervalli regolari di 5.0 m, eccetto lo stendimento relativo alla prova VA-R3 dove sono stati impiegati n.20 geofoni equispaziati ogni 5.0 m. Le ubicazioni con l'indicazione del punto centrale di riferimento rappresentativo del volume di terreno indagato sono posizionate su foto aerea nella relativa scheda monografica nello specifico capitolo.
- N. 5 prove sismiche passive di tipo H.V.S.R., denominate da **VA-HV1** a **VA-HV3** (zona Varna) e da **SC-HV1** a **SC-HV2** (zona Sciaves), finalizzate alla definizione delle frequenze di risonanza di sito nonché alla verifica congiunta degli eventuali contrasti di impedenza sismica osservati nelle prove di tipo Re.Mi. / M.A.S.W. nella ricostruzione del modello sismo-stratigrafico in termini di velocità Vs. L'ubicazione dei punti di indagine, è riportata in dettaglio nella scheda monografica di ogni singola prova nello specifico capitolo dedicato.
- N. 4 prospezioni sismiche a rifrazione con registrazione in onde P e S per l'elaborazione di profili interpretativi in termini di velocità sismiche, denominati da **VA-P1** a **VA-P2** (zona Varna) e da **SC-P1** a **SC-P2** (zona Sciaves); gli stendimenti sono costituiti da n. 48 (VA-P1 e SC-P2) e n. 72 (VA-P2 e SC-P1)

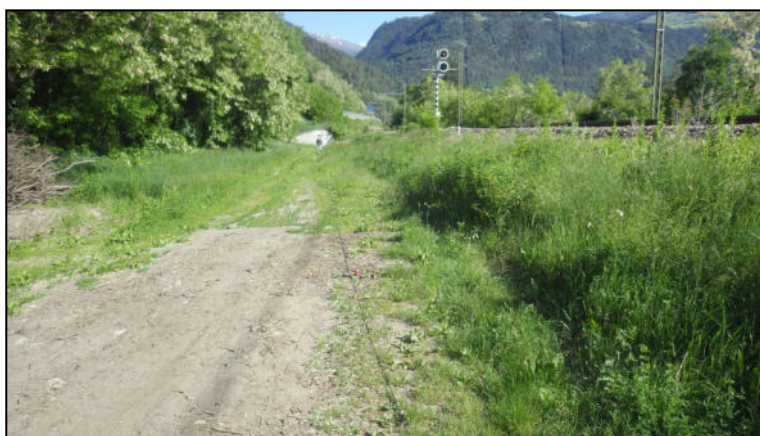
	LINEA VERONA – BRENNERO E LINEA FORTEZZA – SAN CANDIDO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO “VARIANTE VAL DI RIGA” VARIANTE DI RIGA					
REPORT INDAGINI GEOFISICHE (zona L.S. Varna e PM Sciaves)	COMMESSA IB0H	LOTTO 00	CODIFICA D 69 IG	DOCUMENTO GE 00 05 011	REV. A	FOGLIO 6 di 47

geofoni posizionati ad intervalli regolari di 2.5 m, pari ad uno sviluppo lineare rispettivamente di 117.5 m e 177.5 m, per un totale di 590 m.

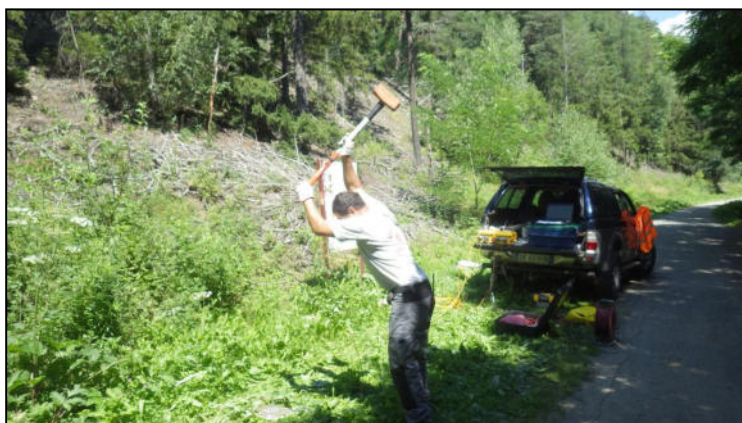
Di seguito vengono descritte le singole attività svolte con le relative interpretazioni dei dati geofisici acquisiti unitamente agli allegati di riferimento e specifica documentazione fotografica.

1.1 Esempi delle attività svolte

INDAGINE SISMICA Prova Re.Mi. / M.A.S.W. (*Stendimento a sinistra e Strumentazione a destra*)



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



INDAGINE SISMICA – PROVA H.V.S.R.



	LINEA VERONA – BRENNERO E LINEA FORTEZZA – SAN CANDIDO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO “VARIANTE VAL DI RIGA” VARIANTE DI RIGA					
REPORT INDAGINI GEOFISICHE (zona L.S. Varna e PM Sciaves)	COMMESSA IB0H	LOTTO 00	CODIFICA D 69 IG	DOCUMENTO GE 00 05 011	REV. A	FOGLIO 7 di 47

2 INDAGINI SISMICHE M.A.S.W. / 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.5 prove sismiche di tipo M.A.S.W./Re.Mi., denominate con sigla da **VA-R1** a **VA-R3** (zona Varna) e da **SC-R1** a **SC-R2** (zona Sciaves); le ubicazioni planimetriche sono riportate nell’elaborato grafico IB0H00D69IGGE0005005A in scala 1:2.000.

Le Fig. 4 e Fig. 5 visualizzano su foto aerea, l’ubicazione delle prove M.A.S.W./Re.Mi. con il punto centrale rappresentativo del volume di terreno investigato.



Fig. 4 - Inquadramento territoriale delle prove M.A.S.W./Re.Mi. nella zona di Varna.



Fig. 5 - Inquadramento territoriale delle prove M.A.S.W./Re.Mi. nella zona di Sciaves.

L’ubicazione di dettaglio su foto aerea delle prove sismiche è riportata in **Allegato 1** “SPETTRI, CURVE DI DISPERSIONE e LOG VELOCITÀ ONDE Vs M.A.S.W. / Re.Mi.”.

2.1 M.A.S.W. / Re.Mi. – Riferimento normativo (N.T.C. 2018, D.M. 17/01/2018)

La normativa D.M. 14.01.08 “Norme tecniche per le costruzioni”, aggiornata con D.M. del 17 gennaio 2018, indica che ai fini della definizione dell’azione sismica di progetto (punto 3.2.2), deve essere valutata l’influenza delle condizioni litologiche e morfologiche locali sulle caratteristiche del moto del suolo in superficie, mediante studi specifici di risposta sismica locale.

In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II, si può fare riferimento ad un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio (Vs), ottenuti mediante specifiche prove geofisiche.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{s,eq}$ (in m/s), definita dall’espressione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}} \quad [3.2.1]$$

con:

h_i spessore dell’i-esimo strato;
 $V_{s,i}$ velocità delle onde di taglio nell’i-esimo strato;

N numero di strati;

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

	LINEA VERONA – BRENNERO E LINEA FORTEZZA – SAN CANDIDO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO “VARIANTE VAL DI RIGA” VARIANTE DI RIGA					
REPORT INDAGINI GEOFISICHE (zona L.S. Varna e PM Sciaves)	COMMESSA IB0H	LOTTO 00	CODIFICA D 69 IG	DOCUMENTO GE 00 05 011	REV. A	FOGLIO 9 di 47

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano d’imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell’opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano d’imposta della fondazione.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro V_{s30} , ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Le categorie di sottosuolo che permettono l’utilizzo dell’approccio semplificato sono definite in Tab. 3.2.II.

Tab. 3.2.II – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.	
Categoria	Caratteristiche sismiche del sottosuolo
A	<i>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.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina 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.</i>
C	<i>Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina 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.</i>
D	<i>Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina 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.</i>
E	<i>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>

Per queste cinque categorie di sottosuolo, le azioni sismiche sono definibili come descritto al § 3.2.3 delle N.T.C. 2018. Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche.

2.2 Stendimenti sismici con metodo “M.A.S.W.” e “Re.Mi.” cenni metodologici

Il metodo M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica d’indagine non invasiva (non è necessario eseguire perforazioni o scavi e ciò limita i costi), che individua il profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s , basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori (accelerometri o geofoni) posti sulla superficie del suolo. Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidezza della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde.

In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d’onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo (Achenbach, J.D., 1999, Aki, K. and Richards, P.G., 1980) o detto in maniera equivalente la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione.

	LINEA VERONA – BRENNERO E LINEA FORTEZZA – SAN CANDIDO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO “VARIANTE VAL DI RIGA” VARIANTE DI RIGA					
REPORT INDAGINI GEOFISICHE (zona L.S. Varna e PM Sciaves)	COMMESSA IB0H	LOTTO 00	CODIFICA D 69 IG	DOCUMENTO GE 00 05 011	REV. A	FOGLIO 10 di 47

La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d’onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi danno informazioni sulla parte più profonda del suolo. Il metodo d’indagine M.A.S.W. si distingue in metodo attivo e metodo passivo (Zywicki, D.J.1999) o in una combinazione di entrambi.

Nel metodo attivo, utilizzato nell’indagine, le onde superficiali generate in un punto sulla superficie del suolo sono misurate da uno stendimento lineare di sensori.

Nel metodo passivo lo stendimento dei sensori può essere sia lineare che circolare e si misura il rumore ambientale di fondo esistente. Il metodo attivo generalmente consente di ottenere una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente nel range di frequenze compreso tra 5 Hz e 70 Hz, quindi dà informazioni sulla parte più superficiale del suolo, sui primi 30m-50m, in funzione della rigidità del suolo. Il metodo passivo in genere consente di tracciare una velocità di fase apparente sperimentale compresa tra 0 Hz e 10 Hz, quindi dà informazioni sugli strati più profondi del suolo, generalmente al di sotto dei 50 m, in funzione della rigidità del suolo.

L’elaborazione dei dati con il metodo M.A.S.W. prevede tre fasi di lavoro:

1. la prima fase prevede il calcolo della velocità di fase (o curva di dispersione) apparente sperimentale;
2. la seconda fase consiste nel calcolare la velocità di fase apparente numerica;
3. la terza ed ultima fase consiste nell’individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s , modificando opportunamente lo spessore h , le velocità delle onde di taglio V_s e di compressione V_p (o in maniera alternativa alle velocità V_p è possibile assegnare il coefficiente di Poisson), la densità di massa degli strati che costituiscono il modello del suolo, fino a raggiungere una sovrapposizione ottimale tra la velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale e la velocità di fase (o curva di dispersione) numerica corrispondente al modello di suolo assegnato.

Il modello di suolo e quindi il profilo di velocità delle onde di taglio verticali possono essere individuati con procedura manuale o con procedura automatica o con una combinazione delle due. Generalmente si assegnano il numero di strati del modello, il coefficiente di Poisson, la densità di massa ρ e si variano lo spessore h e la velocità V_s degli strati.

Nella procedura manuale l’utente assegna per tentativi diversi valori delle velocità V_s e degli spessori h , cercando di avvicinare la curva di dispersione numerica alla curva di dispersione sperimentale. Nella procedura automatica la ricerca del profilo di velocità ottimale è affidata ad un algoritmo di ricerca globale o locale che cerca di minimizzare l’errore tra la curva sperimentale e la curva numerica. In genere quando l’errore relativo, tra curva sperimentale e curva numerica è compresa tra il 5% e il 10% si ha un soddisfacente accordo tra le due curve e il profilo di velocità delle onde di taglio V_s e quindi il tipo di suolo sismico conseguente rappresentano una soluzione valida da un punto di vista ingegneristico.

La tecnica di prospezione “Refraction Microtremor” (Re.Mi.), utilizzata nell’ambito di questo progetto, capovolge il concetto comune del parametro “segnale-disturbo”, per il quale tradizionalmente il primo (segnale) ha necessità di essere rilevato in condizioni favorevoli quindi in assenza o scarsità di rumore. Viceversa, in presenza di forte rumore di fondo (es. ambiente urbano), le tradizionali rilevazioni sismiche hanno sempre trovato una condizione di difficile applicazione a causa della difficoltà di discriminare il segnale dal rumore.

Con questa tecnica, il disturbo, il “noise” ambientale diventa il segnale utilizzato per la caratterizzazione sismica. Sono i microtremori (rumore di fondo generato dal traffico stradale, ferroviario e comunque il rumore presente costantemente in ambito urbanizzato) a costituire la sorgente di energia utile allo scopo.

	LINEA VERONA – BRENNERO E LINEA FORTEZZA – SAN CANDIDO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO “VARIANTE VAL DI RIGA” VARIANTE DI RIGA					
REPORT INDAGINI GEOFISICHE (zona L.S. Varna e PM Sciaves)	COMMESSA IB0H	LOTTO 00	CODIFICA D 69 IG	DOCUMENTO GE 00 05 011	REV. A	FOGLIO 11 di 47

Numerose sperimentazioni hanno consentito di appurare che le registrazioni del rumore di fondo ambientale, effettuate con uno stendimento sismico normalmente utilizzato per la sismica a rifrazione, possono essere utilizzate, con opportune procedure di acquisizione ed elaborazione, per stimare la velocità delle onde di taglio (V_s) fino a profondità che possono essere superiori a 100 m. La metodologia d’indagine più applicata per la determinazione del profilo verticale di velocità delle onde di taglio V_s , è stata proposta e sperimentata da J.N. Louie del Seismological Laboratory and Dept. of Geological Sciences dell’Università del Nevada, ed è basata su due aspetti fondamentali:

- uno pratico, rappresentato dal fatto che alcuni sistemi di acquisizione di sismica a rifrazione (con dinamica a 24 bit) sono in grado di registrare onde di superficie con frequenze fino a 2 Hz per intervalli di tempo sufficientemente lunghi (almeno 10 sec);
- uno teorico, sulla base del quale una semplice trasformata bidimensionale (p-f) slowness-frequency della registrazione di un rumore di fondo (microtremori) è in grado di separare le onde di Rayleigh (onde di superficie) da altri tipi di onde che compongono il sismogramma, rendendo possibile il riconoscimento delle vere velocità di fase dalle velocità apparenti.

2.3 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 “M.A.S.W.” che “Re.Mi.” impiegando geofoni da 4.5 Hz e acquisitori digitali a 24 canali della Geometrics tipo “Geode” con dinamica a 24 bit.

Per quanto riguarda le prove sismiche attive M.A.S.W. 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 in **AII.1**. 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, in **AII.1** nella pagina “Prova M.A.S.W./Re.Mi. - ...” è riportato il grafico dello “spettro medio” ottenuto dall’elaborazione congiunta delle singole registrazioni. In questa stessa pagina è riportato anche lo “spettro medio” delle prove M.A.S.W. acquisite secondo lo schema descritto in precedenza.

2.4 Elaborazione dati

I dati della prova “M.A.S.W.” 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.

Per le prove sismiche VA-R1 e VA-R3, non è stata utilizzata in fase di elaborazione la rispettiva prova Re.Mi. e successivamente alla pulizia del dato si è proceduto alla modellazione diretta delle curve di dispersione riconoscendo tracce di modo fondamentale al di sotto del primo modo superiore nettamente dominante.

	LINEA VERONA – BRENNERO E LINEA FORTEZZA – SAN CANDIDO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO “VARIANTE VAL DI RIGA” VARIANTE DI RIGA					
REPORT INDAGINI GEOFISICHE (zona L.S. Varna e PM Sciaves)	COMMESSA IB0H	LOTTO 00	CODIFICA D 69 IG	DOCUMENTO GE 00 05 011	REV. A	FOGLIO 12 di 47

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.

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

Sigla Prova	V_{seq} (m/sec)	Profondità di riferimento (m)	Categoria suolo
VA-R1	372	30	B
VA-R2	363	30	B
VA-R3	465	30	B
SC-R1	294	30	C
SC-R2	358	30	C

2.5 Documentazione fotografica dell'attività di registrazione

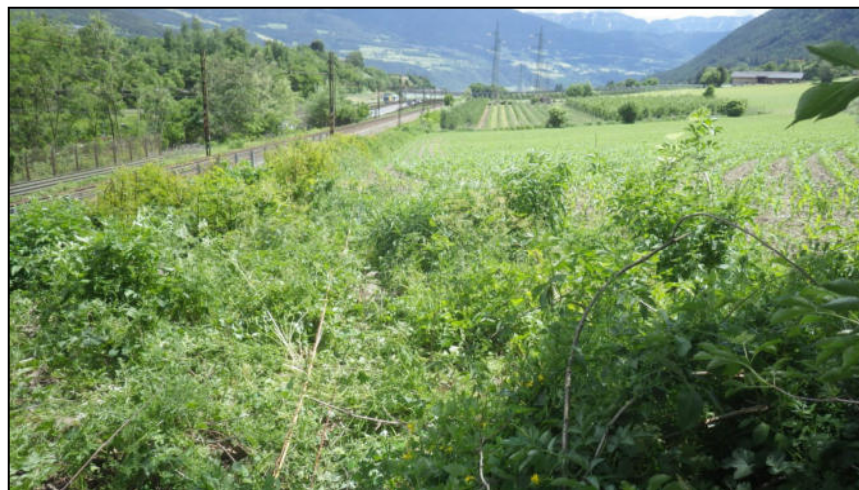


Fig. 6 - Stendimento sismico per registrazione MASW / Re.Mi..



	LINEA VERONA – BRENNERO E LINEA FORTEZZA – SAN CANDIDO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO “VARIANTE VAL DI RIGA” VARIANTE DI RIGA					
REPORT INDAGINI GEOFISICHE (zona L.S. Varna e PM Sciaves)	COMMESSA IB0H	LOTTO 00	CODIFICA D 69 IG	DOCUMENTO GE 00 05 011	REV. A	FOGLIO 13 di 47

Fig. 7 - Attrezzatura di registrazione.

ALLEGATO 1

**Spettri di velocità, curve di dispersione,
profili di velocità onde Vs (M.A.S.W. / Re.Mi.)**

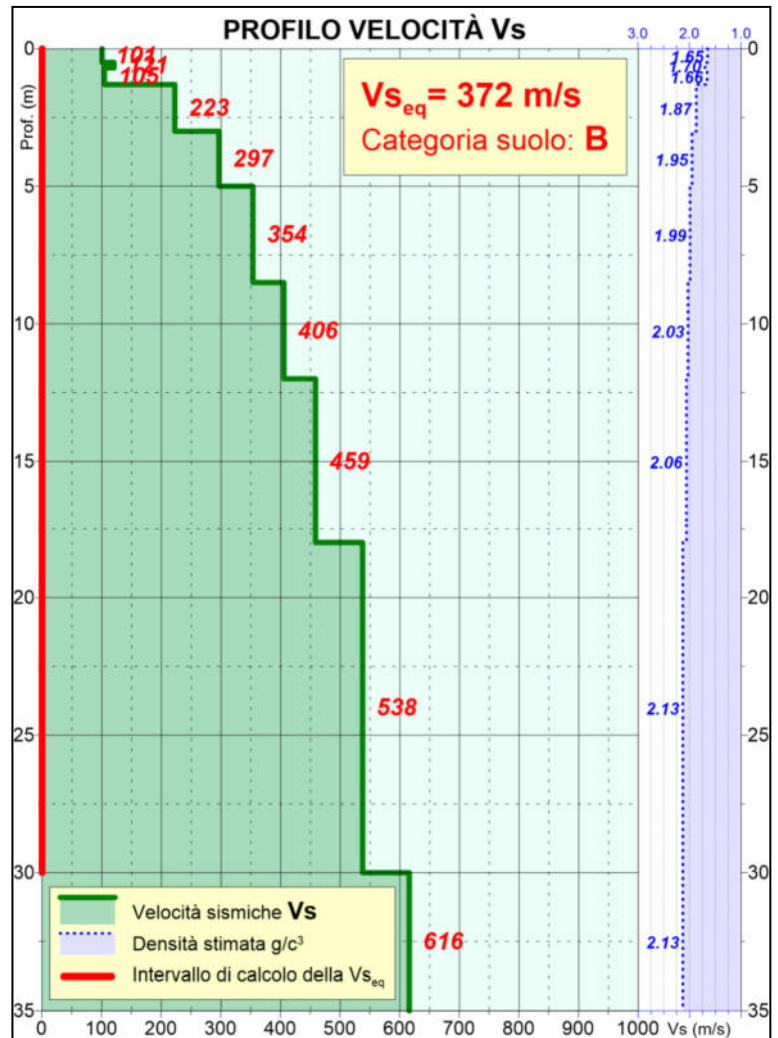
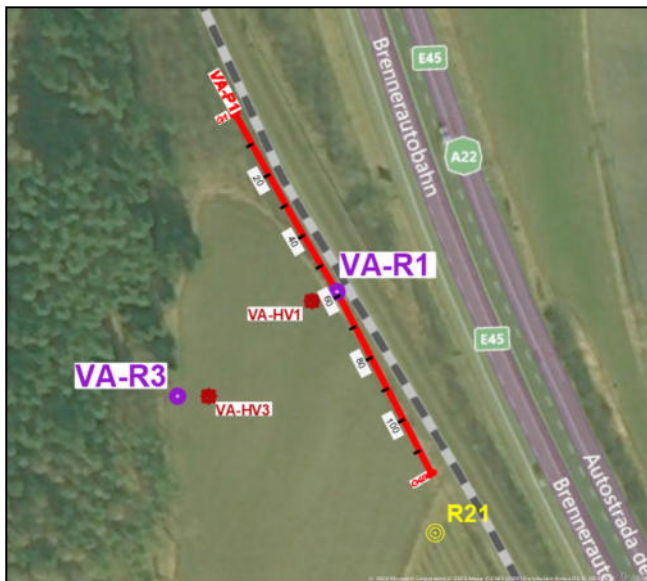
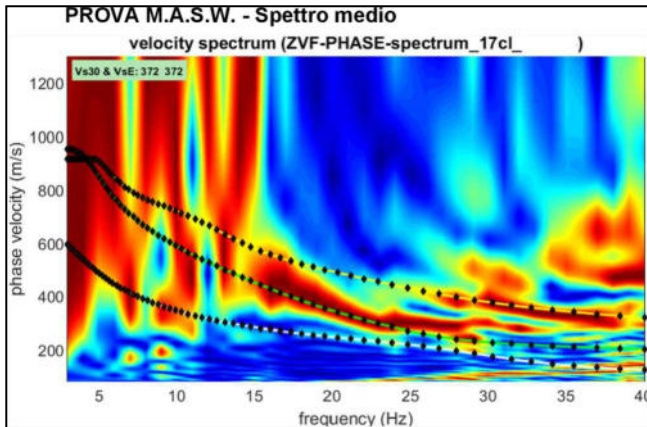
e

**Registrazioni / Spettri
PROVE M.A.S.W.**

VA-R1 / VA-R2 / VA-R3 (Zona Varna)

SC-R1 / SC-R2 (Zona Sciaves)

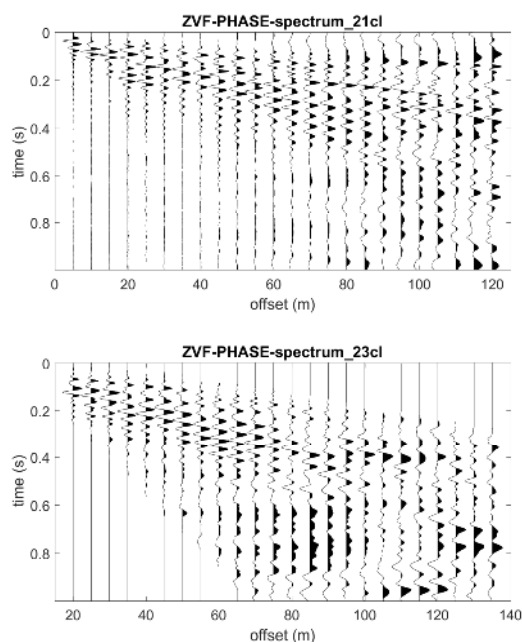
Prova M.A.S.W. – VA-R1



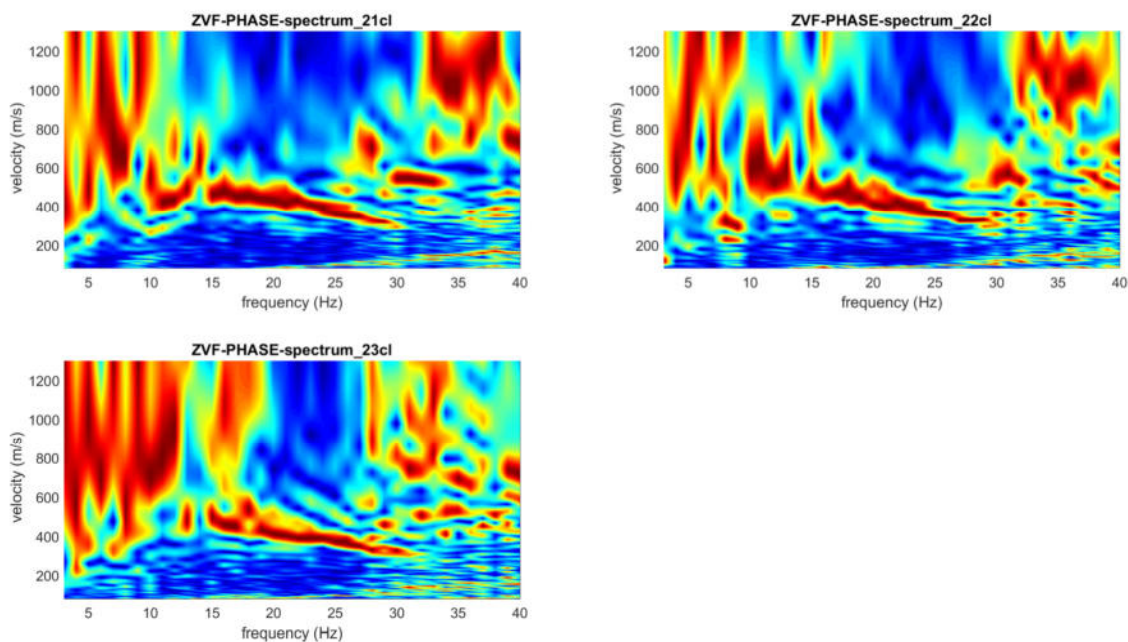
Note:

- Non utilizzata in fase di elaborazione la prova Re.Mi.;
- Modellazione diretta delle curve di dispersione.

Prova M.A.S.W. – Acquisizioni elaborate per VA-R1

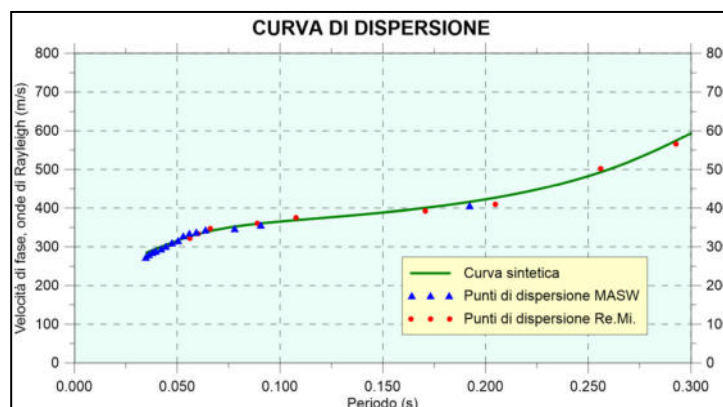
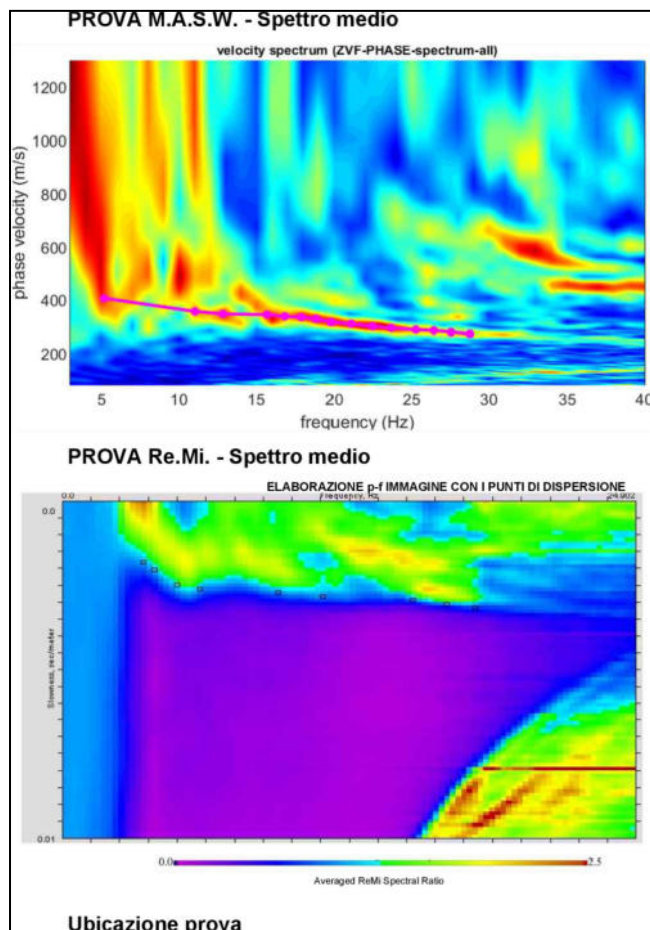


Tracce utilizzate per l'elaborazione dello spettro M.A.S.W. medio.

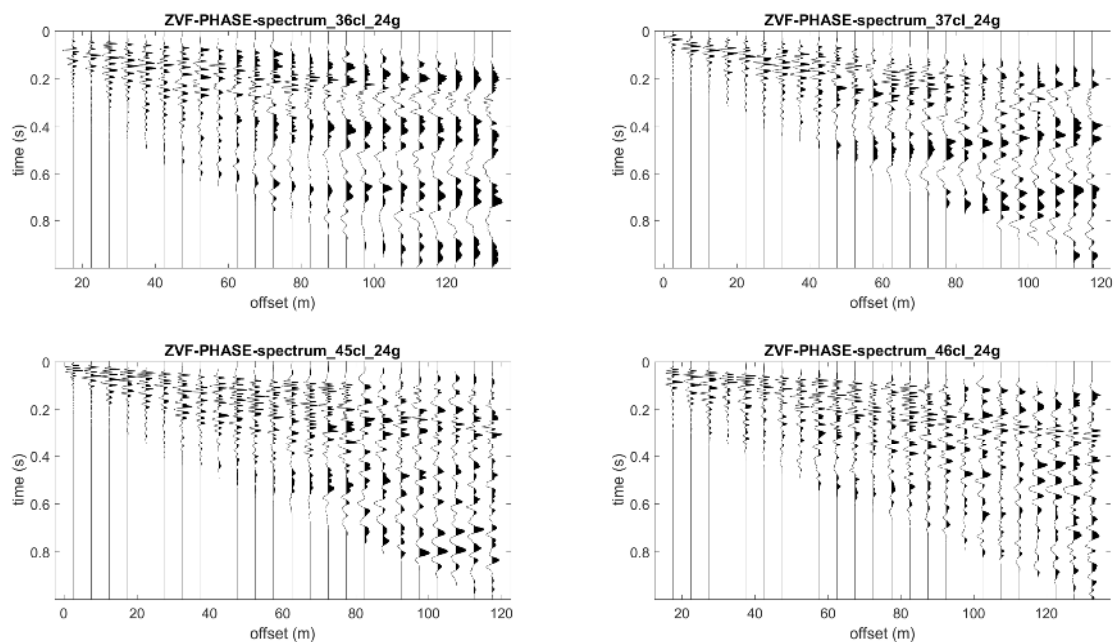


Spettri delle tracce utilizzate per l'elaborazione dello spettro M.A.S.W. medio.

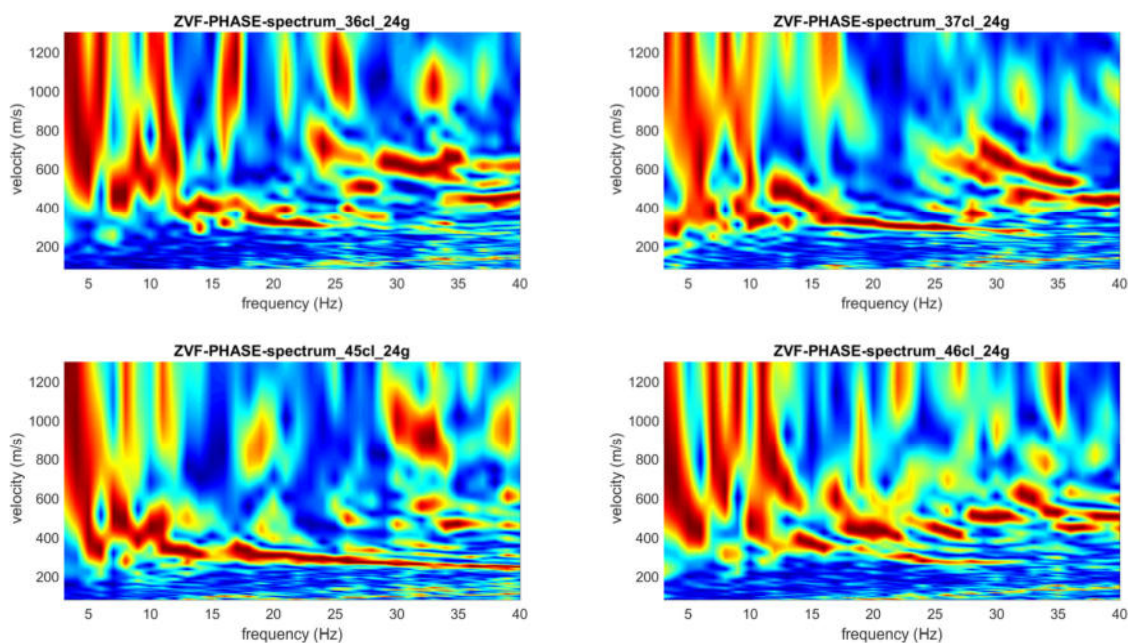
Prova M.A.S.W./Re.Mi. – VA-R2



Prova M.A.S.W. – Acquisizioni elaborate per VA-R2

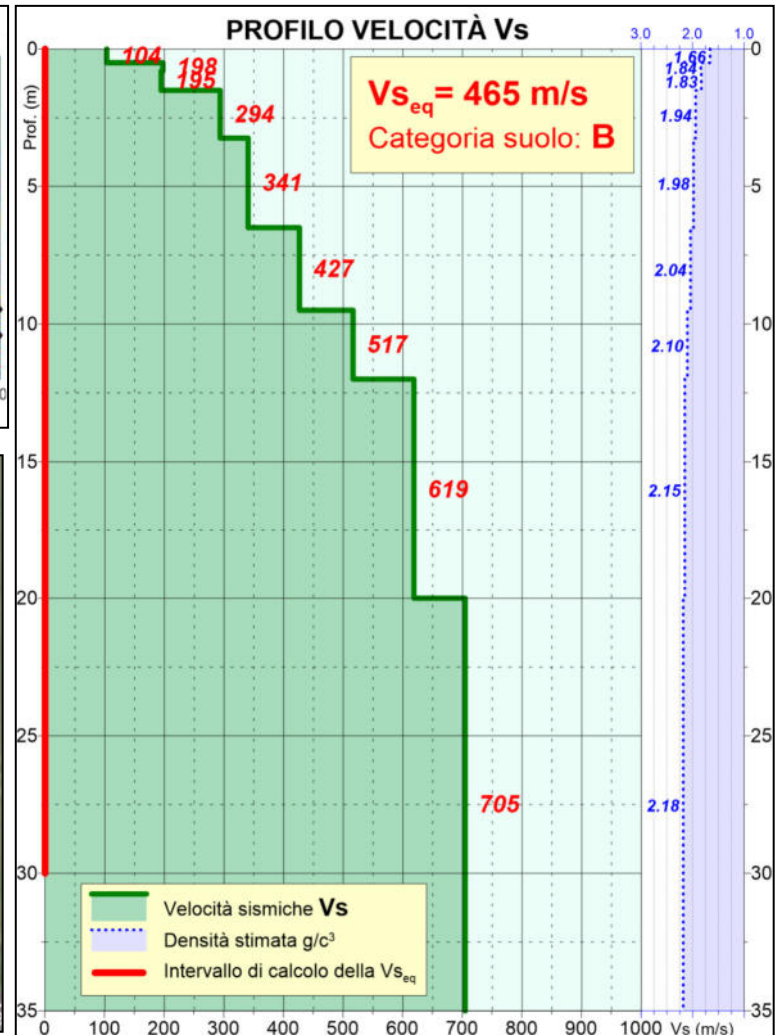
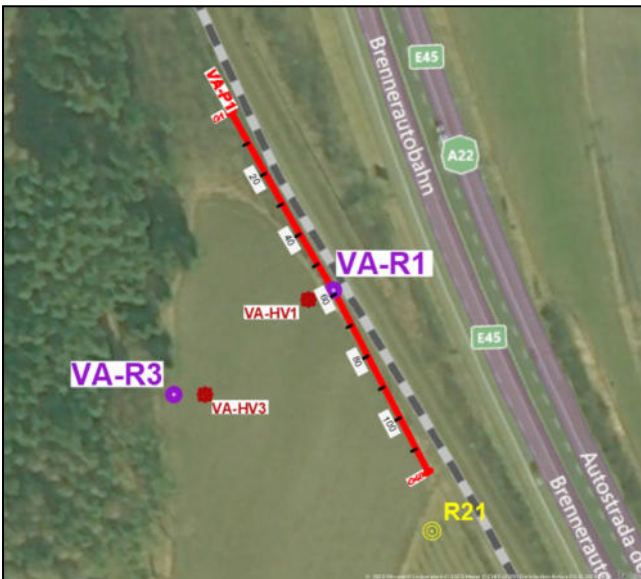
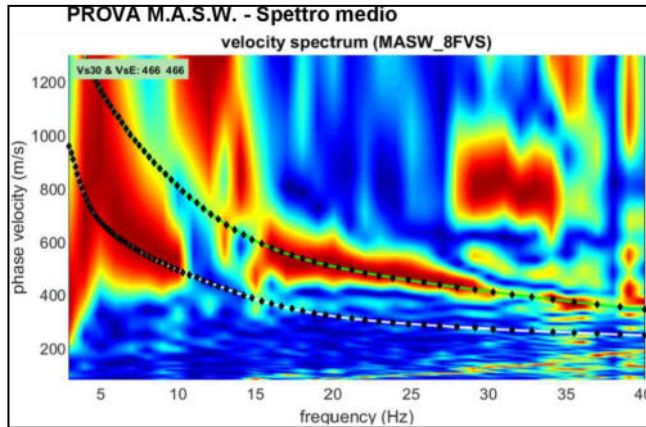


Tracce utilizzate per l'elaborazione dello spettro M.A.S.W. medio (energizzazione a inizio e fine stendimento, distanze varie).



Spettri delle tracce utilizzate per l'elaborazione dello spettro M.A.S.W. medio.

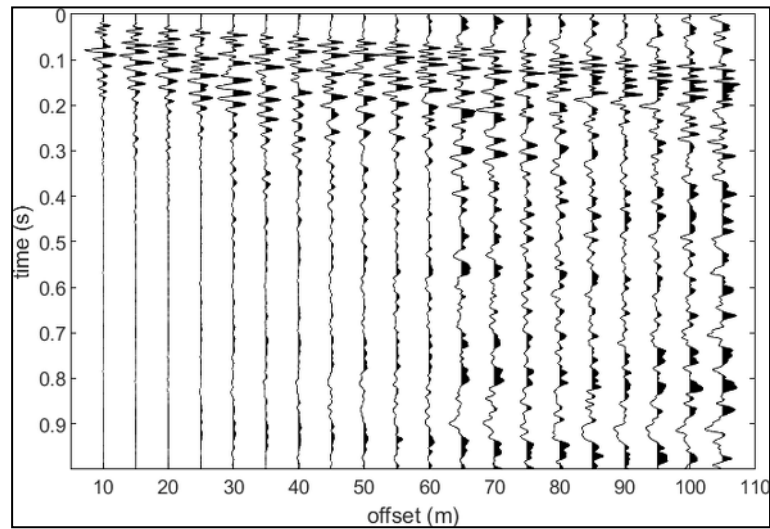
Prova M.A.S.W. – VA-R3



Note:

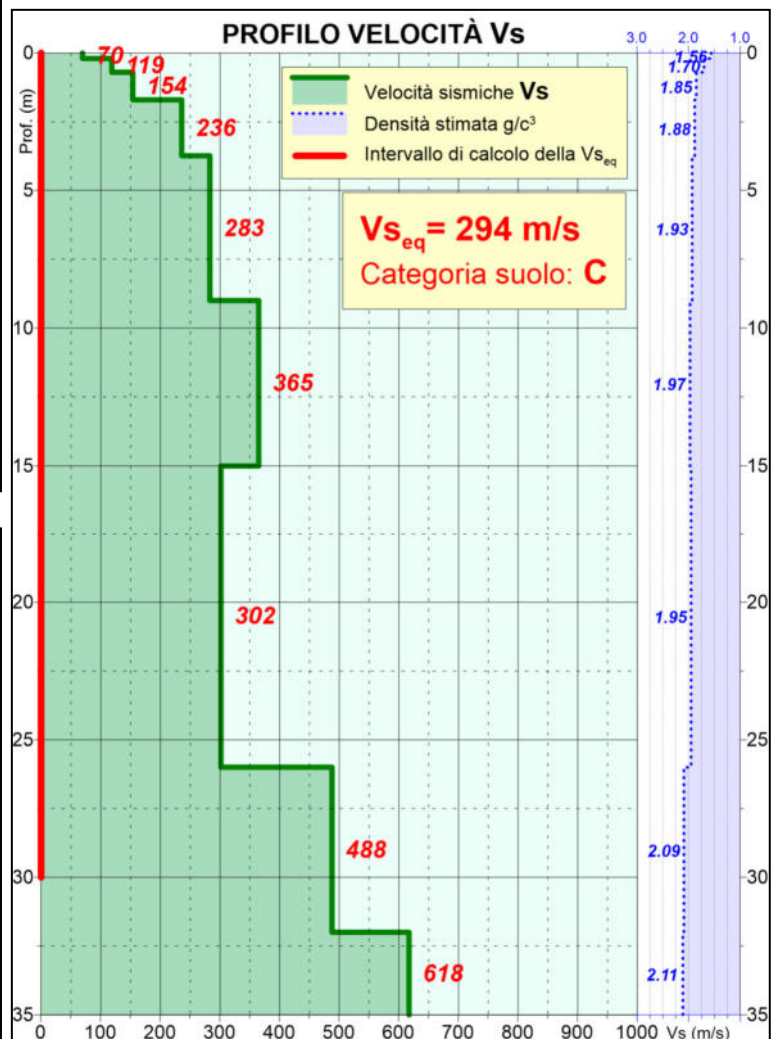
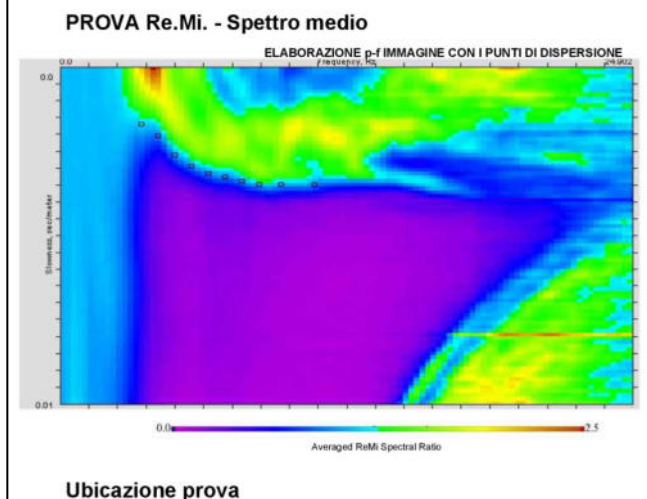
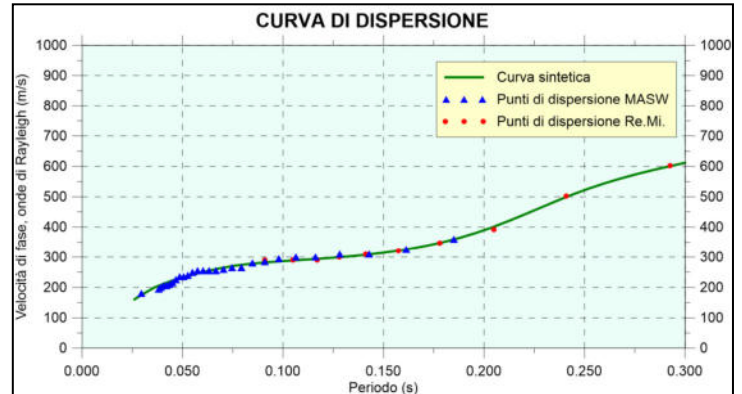
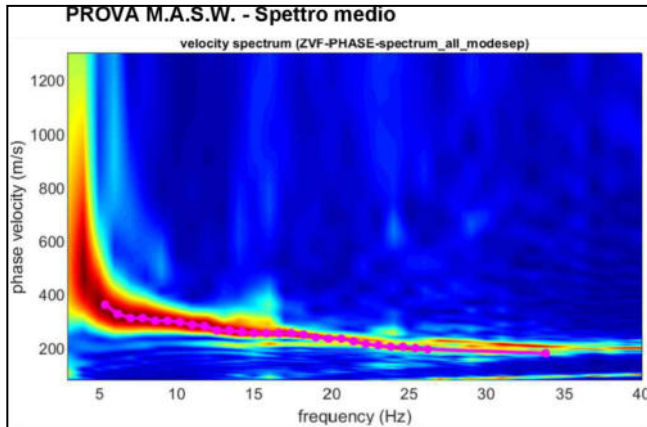
- Non utilizzata in fase di elaborazione la prova Re.Mi.;
- Modellazione diretta delle curve di dispersione.

Prova M.A.S.W. – Acquisizioni elaborate per **VA-R3**

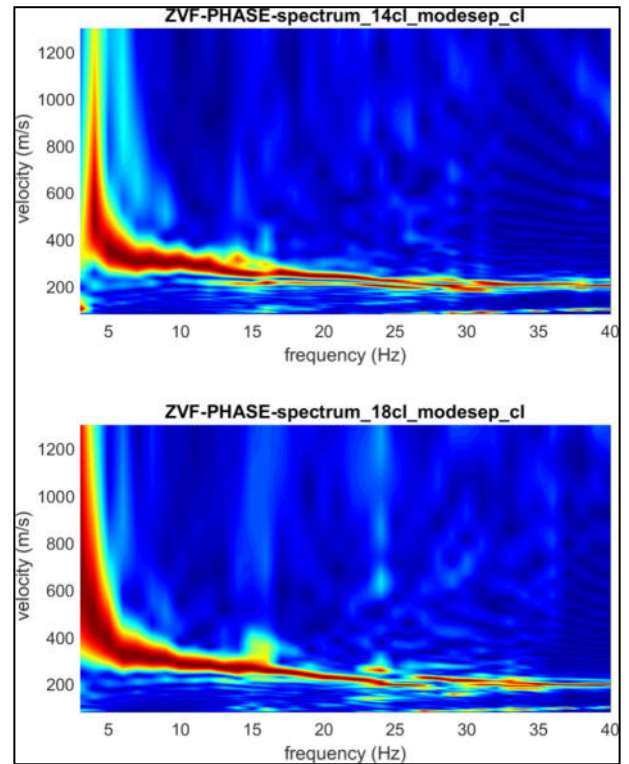
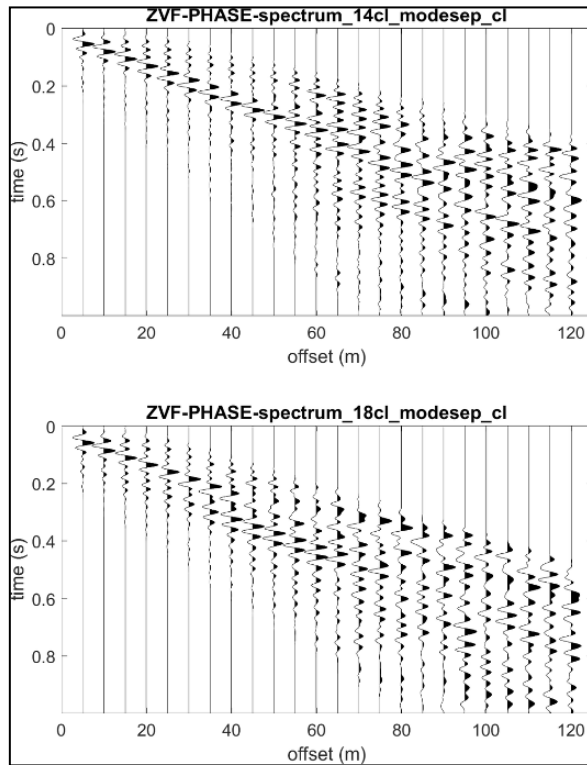


Traccia utilizzata per l’elaborazione dello spettro M.A.S.W. medio.

Prova M.A.S.W./Re.Mi. – SC-R1

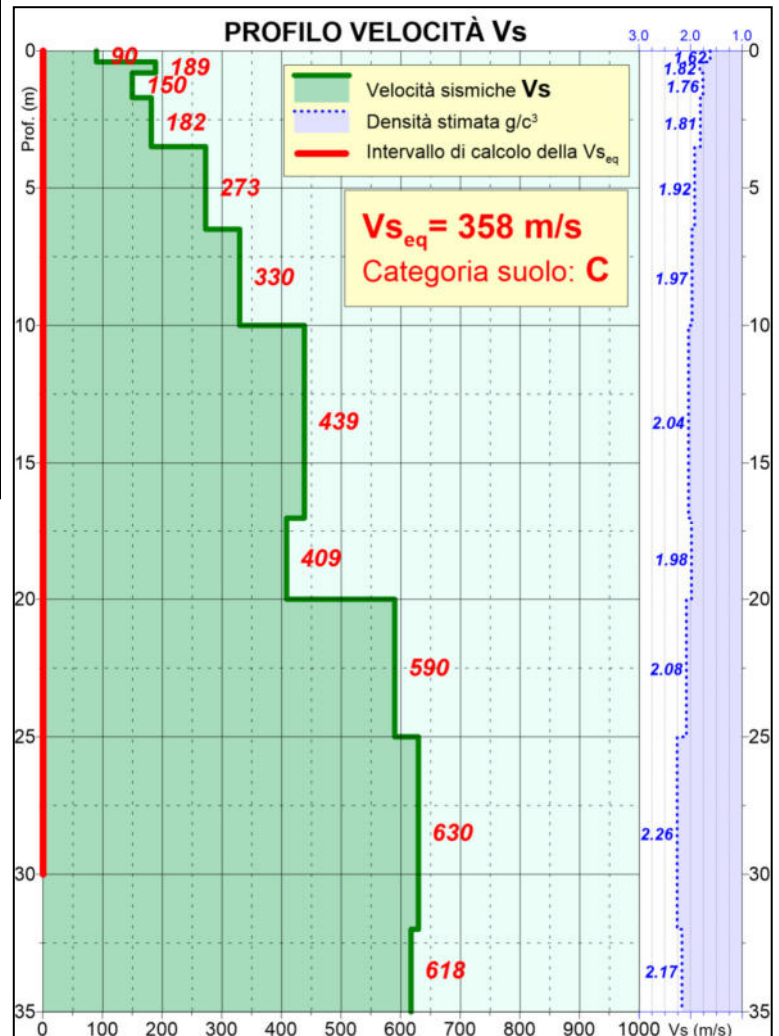
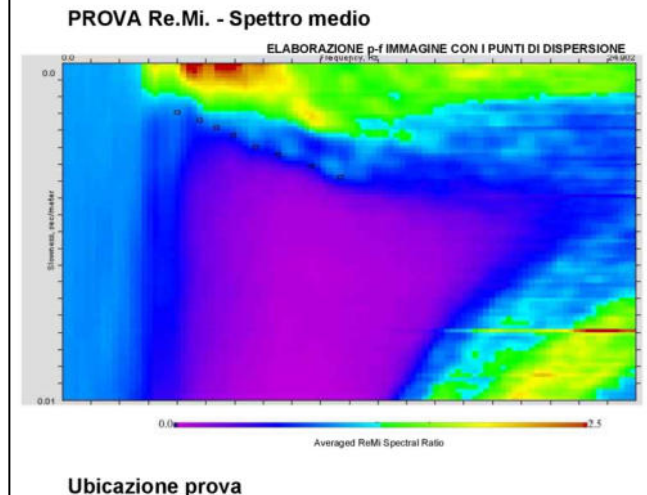
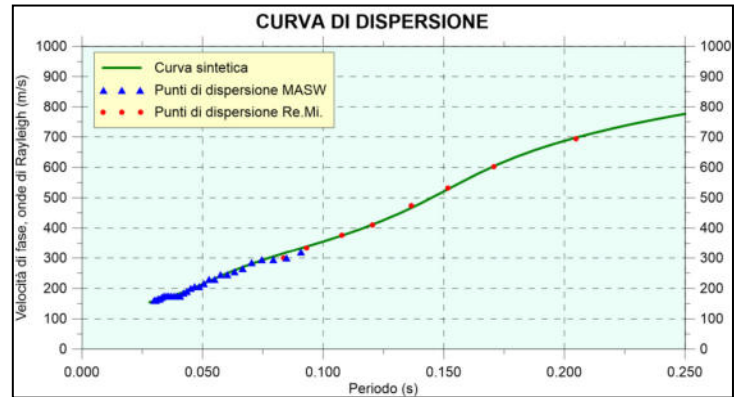
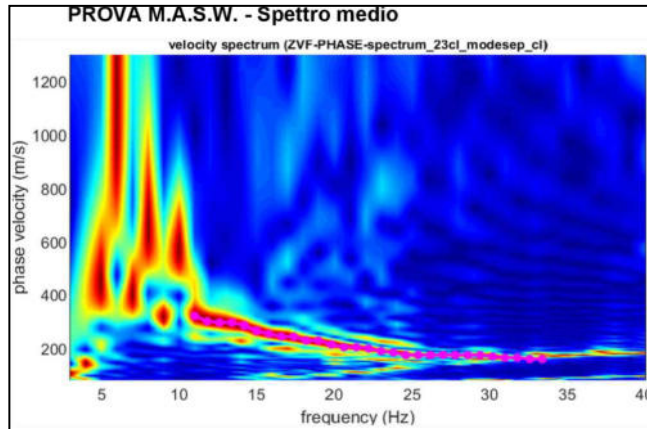


Prova M.A.S.W. – Acquisizioni elaborate per SC-R1

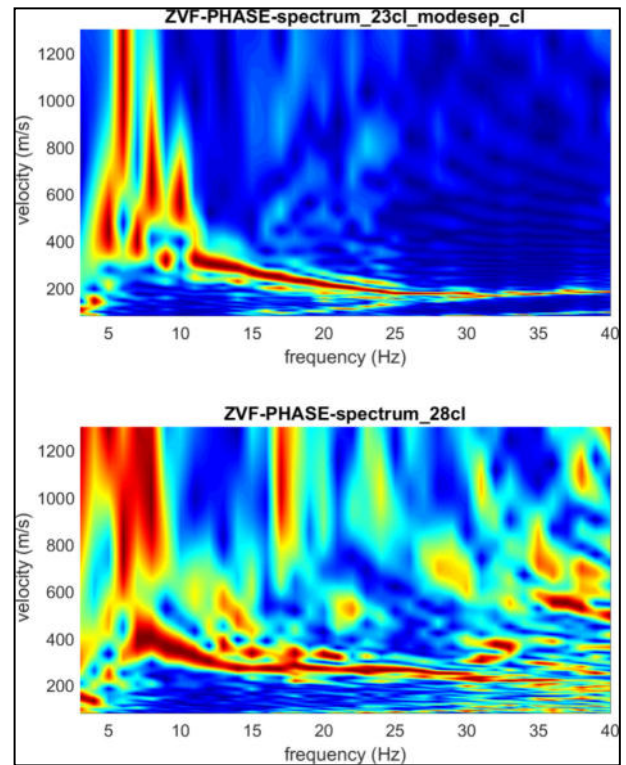
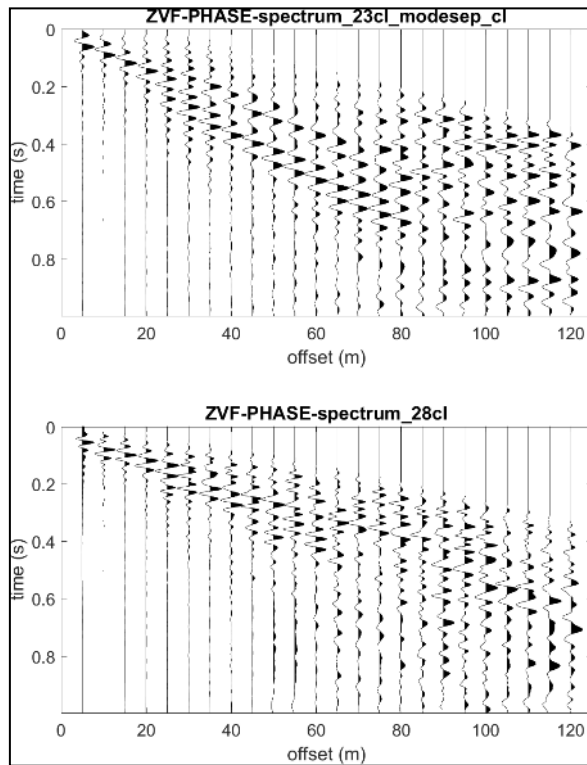


Tracce (a sinistra) e spettri (a destra) utilizzati per l'elaborazione dello spettro M.A.S.W. medio.

Prova M.A.S.W./Re.Mi. – SC-R2



Prova M.A.S.W. – Acquisizioni elaborate per SC-R2



Tracce (a sinistra) e spettri (a destra) utilizzati per l’elaborazione dello spettro M.A.S.W. medio.

	LINEA VERONA – BRENNERO E LINEA FORTEZZA – SAN CANDIDO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO “VARIANTE VAL DI RIGA” VARIANTE DI RIGA					
REPORT INDAGINI GEOFISICHE (zona L.S. Varna e PM Sciaves)	COMMESSA IB0H	LOTTO 00	CODIFICA D 69 IG	DOCUMENTO GE 00 05 011	REV. A	FOGLIO 24 di 47

3 RILIEVI SISMICI H.V.S.R.

Sono state eseguite n.5 specifiche misure H.V.S.R., a stazione singola, denominate da **VA-HV1** a **VA-HV3** (zona Varna) e da **SC-HV1** a **SC-HV2** (zona Sciaves), l’ubicazione territoriale dei punti d’indagine è riportata nell’elaborato grafico allegato (IB0H00D69IGGE0005005A) in scala 1:2.000 e su foto aerea nelle Fig. 8 e Fig. 9, seguenti.



Fig. 8 - Inquadramento territoriale delle prove H.V.S.R. eseguite nella zona di Varna.



Fig. 9 - Inquadramento territoriale delle prove H.V.S.R. eseguite nella zona di Sciaves.

Le misure H.V.S.R., sono state effettuate con tromografo Tromino[®], con frequenza di campionamento di 256 Hz e tempo di acquisizione pari a 20 minuti, così da poter effettuare eventuali pulizie del segnale ed avere comunque sufficienti finestre utili per l’elaborazione.

I dati registrati sono stati elaborati a stazione singola mediante il software Grilla[®]; gli esiti, sono graficizzati nell’**Allegato 2**.

3.1 Cenni teorici

La superficie terrestre è costantemente percorsa da onde di varia natura, generate da sorgenti naturali (prevalentemente perturbazioni atmosferiche e oceaniche che eccitano le basse frequenze, < 1 Hz, Gutenberg 1931; 1936) ed antropiche (che eccitano per lo più le medio-alte frequenze, > 1 Hz). Questo insieme di onde, che prende il nome di microtremore sismico ambientale, può essere immaginato come un rumore bianco, sebbene non sia propriamente così, che viene filtrato dal sottosuolo che attraversa e che un sismometro sufficientemente sensibile posato sul terreno potrà registrare ovunque.

Un’opportuna analisi sarà in grado di inferire - a partire dal segnale filtrato - alcune informazioni sul filtro, ossia sul sottosuolo attraversato dalle onde.

	LINEA VERONA – BRENNERO E LINEA FORTEZZA – SAN CANDIDO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO "VARIANTE VAL DI RIGA" VARIANTE DI RIGA					
REPORT INDAGINI GEOFISICHE (zona L.S. Varna e PM Sciaves)	COMMESSA IB0H	LOTTO 00	CODIFICA D 69 IG	DOCUMENTO GE 00 05 011	REV. A	FOGLIO 26 di 47

Nel microtremore sono presenti onde di tutti i tipi (di volume, P e S, e di superficie, Rayleigh e Love), tuttavia poiché le onde di superficie si attenuano meno velocemente con la distanza rispetto alle onde di volume, il campo del microtremore sismico è costituito principalmente da onde di superficie. Queste ultime hanno velocità molto prossime a quelle delle onde di taglio S (circa 10% inferiori) e sono usate come stimatori di queste ultime da molte tecniche geofisiche di ultima generazione.

In un sistema alluvioni su roccia per esempio, alla frequenza di risonanza dello strato alluvionale si assiste ad un annullamento dello spettro della componente verticale dell'onda di Rayleigh (V), pertanto sarebbe sufficiente analizzare i rapporti 1/V per far emergere i 'picchi di risonanza' del sottosuolo. Nella pratica, poiché i valori spettrali assoluti variano in funzione del livello di rumore che cambia naturalmente con le condizioni atmosferiche ed antropiche, è prassi usare il rapporto H/V (dove H è la media delle componenti spettrali orizzontali) che agisce da efficace normalizzatore. Tale rapporto si mantiene infatti sufficientemente stabile nel tempo.

Dalla formula della risonanza

$$f = n \frac{V_s}{4H} \quad (n=1, 3, 5, ..)$$

si comprende come la tecnica H/V abbia una prima applicazione stratigrafica pratica perché a partire da una misura di microtremore ambientale, nota la V_s delle coperture, si può stimare la profondità dei principali riflettori sismici.

3.2 Metodologia

Nella pratica una misura di microtremore deve avere una durata commisurata alla frequenza d'indagine d'interesse. Nella già citata ipotesi che una misura d'interesse ingegneristico ricada nell'intervallo 1-20 Hz (frequenze dei modi di vibrare della maggior parte delle strutture), segue che un campionamento adeguato deve durare almeno 10-15 min., in modo da poter analizzare il segnale su finestre di almeno 30 s di lunghezza e da avere almeno 20-30 finestre su cui effettuare una media, considerando anche che qualcuna potrà essere rimossa per la presenza di disturbi che alterano lo spettro medio.

Le serie temporali registrate nelle tre componenti del moto vengono analizzate secondo procedure spettrali più o meno classiche (FFT o wavelet) fino alla produzione delle curve H/V, dove H è la media di due componenti spettrali orizzontali ortogonali (SESAME, 2004).

Un esempio di come appaiono i picchi di risonanza in una curva H/V è visibile nel riquadro A della Fig. 10 (tratta da Castellaro S.). Nei riquadri B e C sono invece illustrati i rapporti f-H-Vs (coperture) secondo la citata equazione, da cui si comprende che il picco di risonanza a 0.6 Hz (curva 1) si riferisce alla presenza di un riflettore sismico a circa 200 m di profondità, il picco di risonanza a 4 Hz (curva 2) si riferisce alla presenza di un riflettore sismico a circa 15 m ed il picco di risonanza a 12 Hz (curva 3) si riferisce alla presenza di un riflettore sismico entro 5 m di profondità.

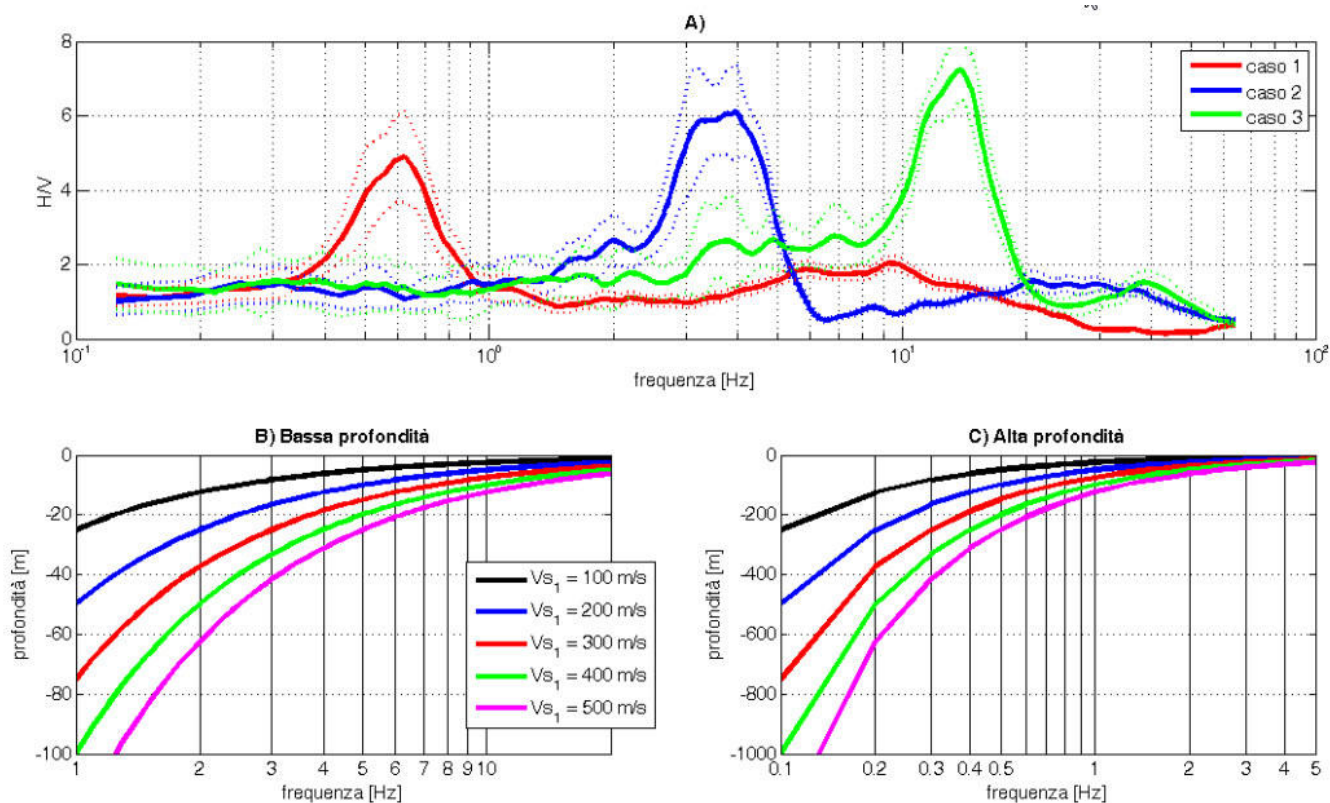


Fig. 10.

La tecnica H/V permette di rilevare variabilità spaziali laterali. Nella Fig. 11 riquadro A (tratta da Castellaro S.) è illustrato il caso di due misure effettuate a 40 m di distanza reciproca, una delle quali effettuata su terreno limoso (caso 2), l'altra effettuata sullo stesso terreno ma che presenta – a circa 12 m di profondità – un paleo alveo di ghiaie (caso 1). È evidente come nel primo caso si generi a 6 Hz una risonanza dei limi sopra le ghiaie, del tutto assente nel secondo sito. Nonostante la vicinanza dei luoghi, il sito 1 è più sfavorevole dal punto di vista degli effetti sismici di sito rispetto al sito 2 per strutture con modi propri attorno a 6-8 Hz.

Questi esempi mostrano come la tecnica H/V sia molto sensibile alle variazioni stratigrafiche laterali, permettendo pertanto di discriminare geometrie 1D da geometrie 2D, ovviamente entro i limiti di visibilità imposti dalla nota legge $\lambda f = V$ (lunghezza d'onda x frequenza = velocità).

Va ricordato inoltre che, le curve H/V devono essere sempre valutate congiuntamente agli spettri delle singole componenti da cui derivano, in modo da consentire la distinzione tra i “picchi” di natura stratigrafica e quelli di natura antropica.

In condizioni normali le componenti spettrali NS, EW e Z (verticale) hanno ampiezze simili. Alla frequenza di risonanza, come si è detto, si genera un picco H/V legato ad un minimo locale della componente spettrale verticale che determina una forma “a ogiva” come quella indicata dalle frecce nella Fig. 11 riquadro B. Questa forma è indicativa di specifiche risonanze stratigrafiche (cfr. anche Castellaro e Mulargia, 2009).

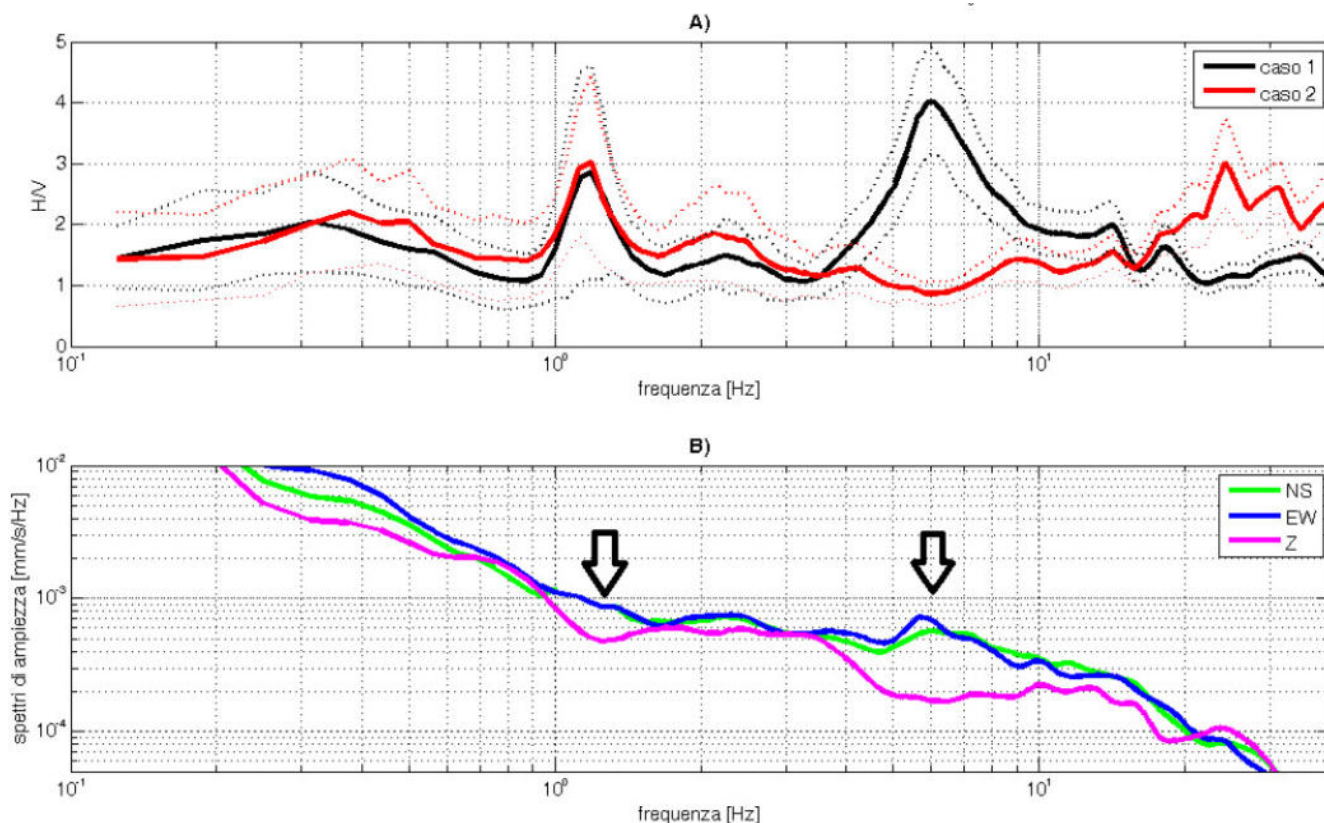


Fig. 11.

3.3 Sintesi e commento dei dati registrati

Di seguito si trasmette la tabella di sintesi dei picchi di frequenza (Hz) in ordine di ampiezza relativi alle stazioni acquisite.

Stazione	f0	f1	f2
VA-HV1			
VA-HV2			
VA-HV3			
SC-HV1	2.75		
SC-HV2	4.28		

- Prove VA-HV1, VA-HV2 e VA-HV3: non mostrano contrasti d'impedenza di natura stratigrafica significativi nel range di frequenze d'interesse ingegneristico (1-20 Hz), in particolare nella prova VA-HV2 si evidenzia un picco caratteristico dato da fonti di rumore antropiche (artefatto);
- Prove SC-HV1 e SC-HV2: le misure eseguite registrano due contrasti d'impedenza di natura stratigrafica a 2.75 Hz (SC-HV1) e 4.28 Hz (SC-HV2), associabili rispettivamente ai marcati incrementi di Vs che si registrano nelle rispettive prove M.A.S.W./Re.Mi. a circa -26.0 m dal p.c. (SC-R1) e -20.0 m dal p.c. (SC-R2).

	LINEA VERONA – BRENNERO E LINEA FORTEZZA – SAN CANDIDO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO “VARIANTE VAL DI RIGA” VARIANTE DI RIGA					
REPORT INDAGINI GEOFISICHE (zona L.S. Varna e PM Sciaves)	COMMESSA IB0H	LOTTO 00	CODIFICA D 69 IG	DOCUMENTO GE 00 05 011	REV. A	FOGLIO 29 di 47

Tali frequenze si definiscono frequenze proprie di risonanza di sito f_0 .

	LINEA VERONA – BRENNERO E LINEA FORTEZZA – SAN CANDIDO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO “VARIANTE VAL DI RIGA” VARIANTE DI RIGA					
REPORT INDAGINI GEOFISICHE (zona L.S. Varna e PM Sciaves)	COMMESSA IB0H	LOTTO 00	CODIFICA D 69 IG	DOCUMENTO GE 00 05 011	REV. A	FOGLIO 30 di 47

ALLEGATO 2

Stazioni H.V.S.R.

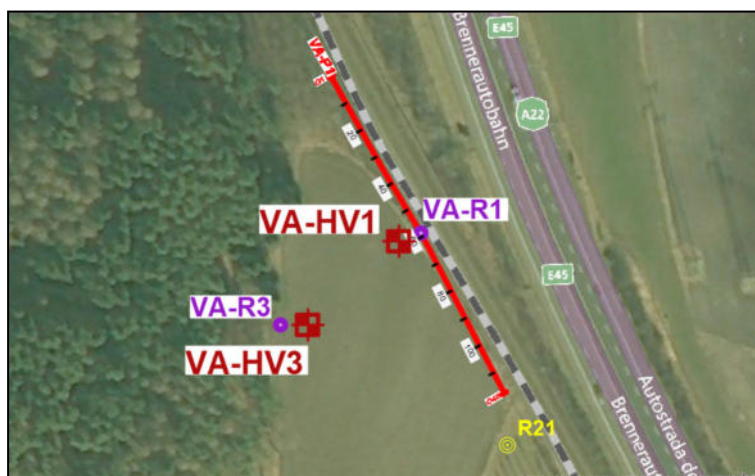
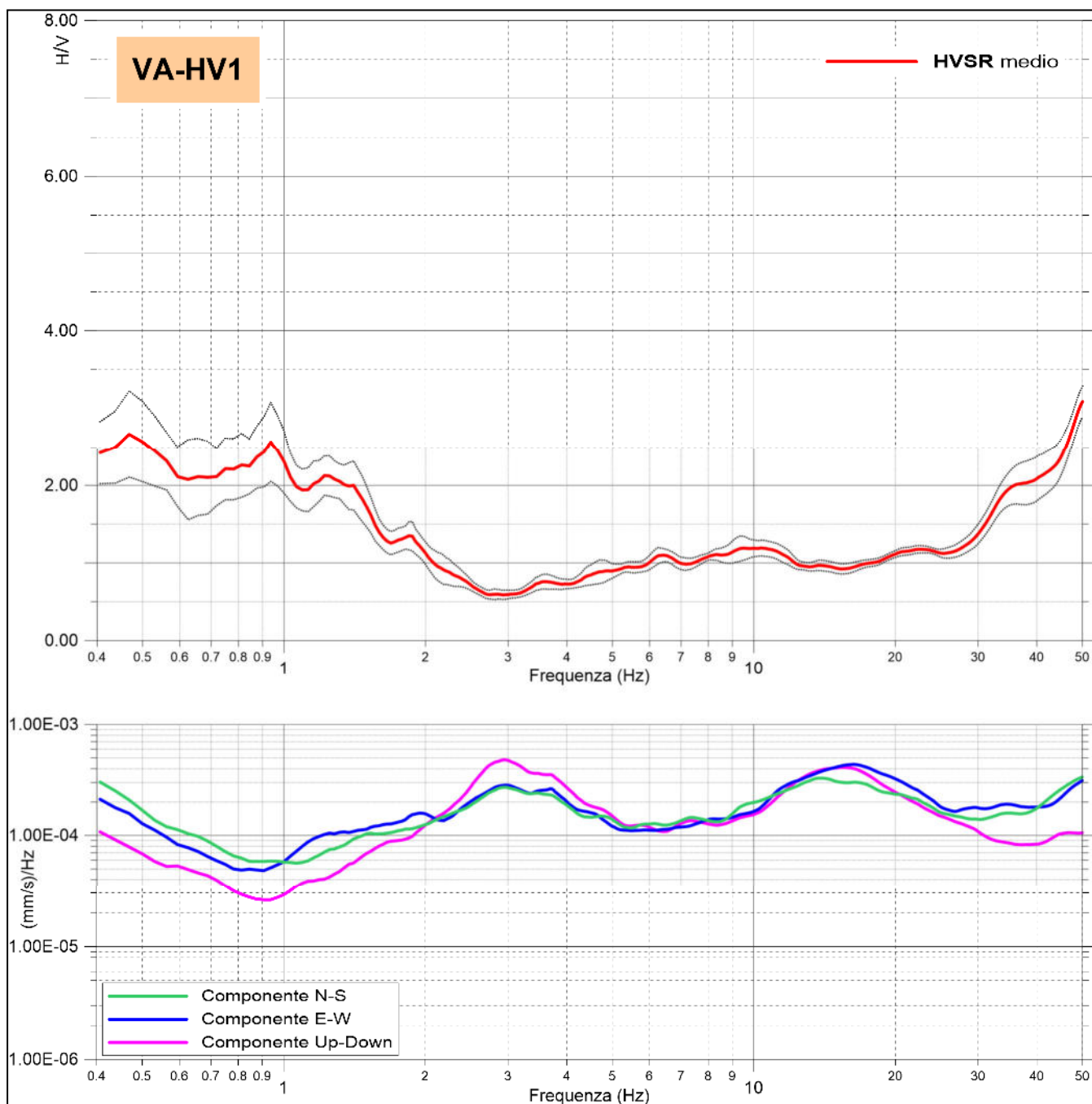
Grafici H.V.S.R. medio

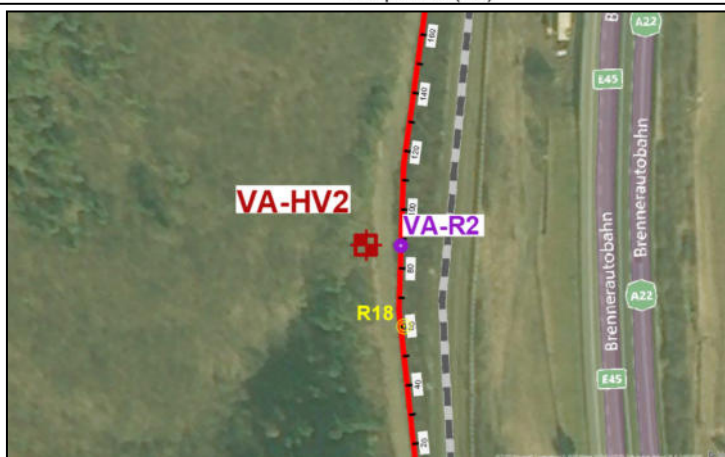
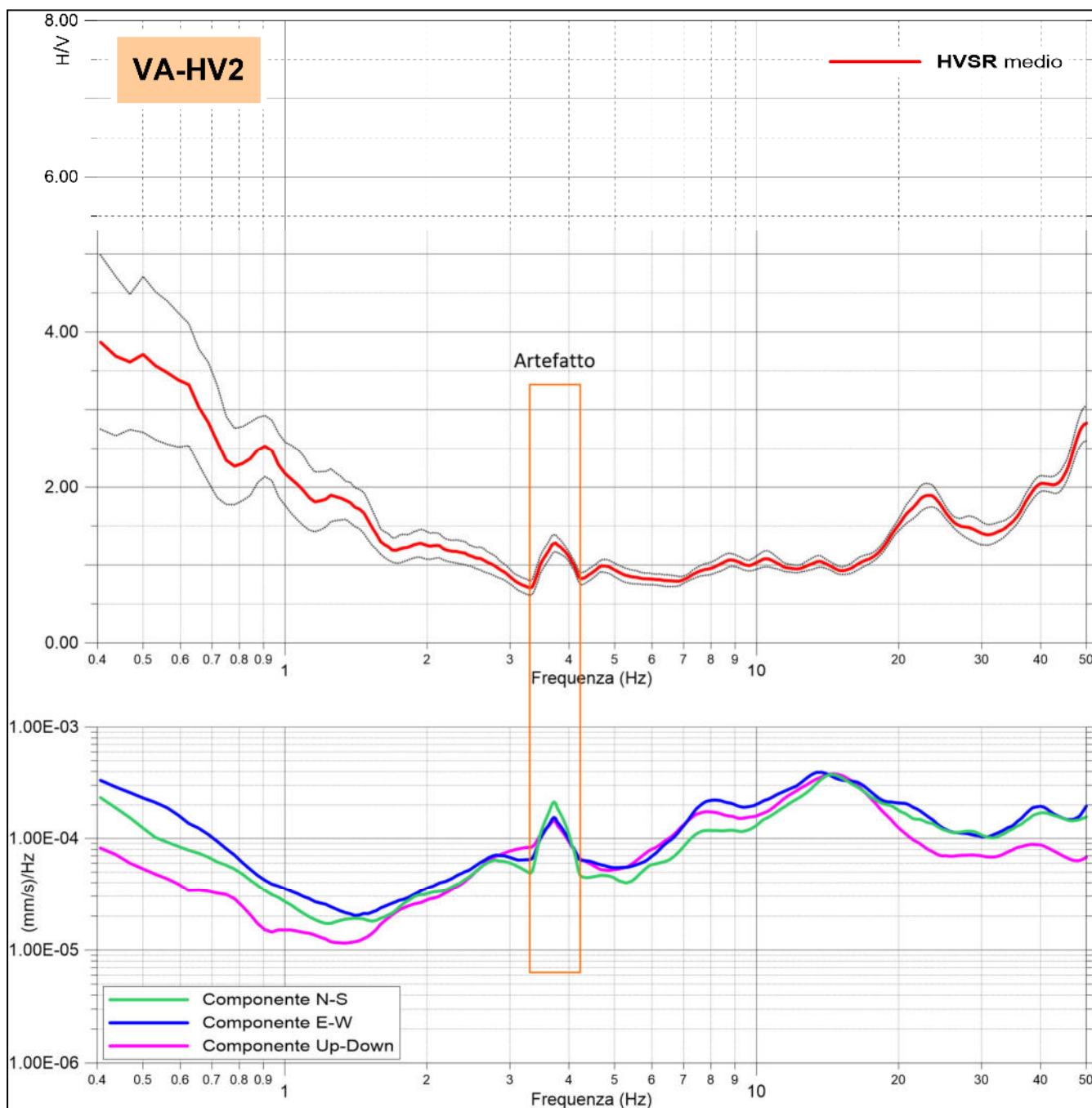
Grafici delle tre componenti N-S / E-W / Up-Down

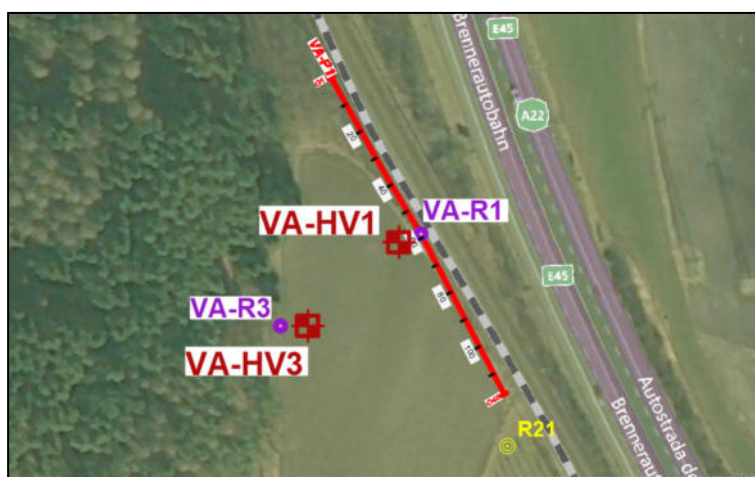
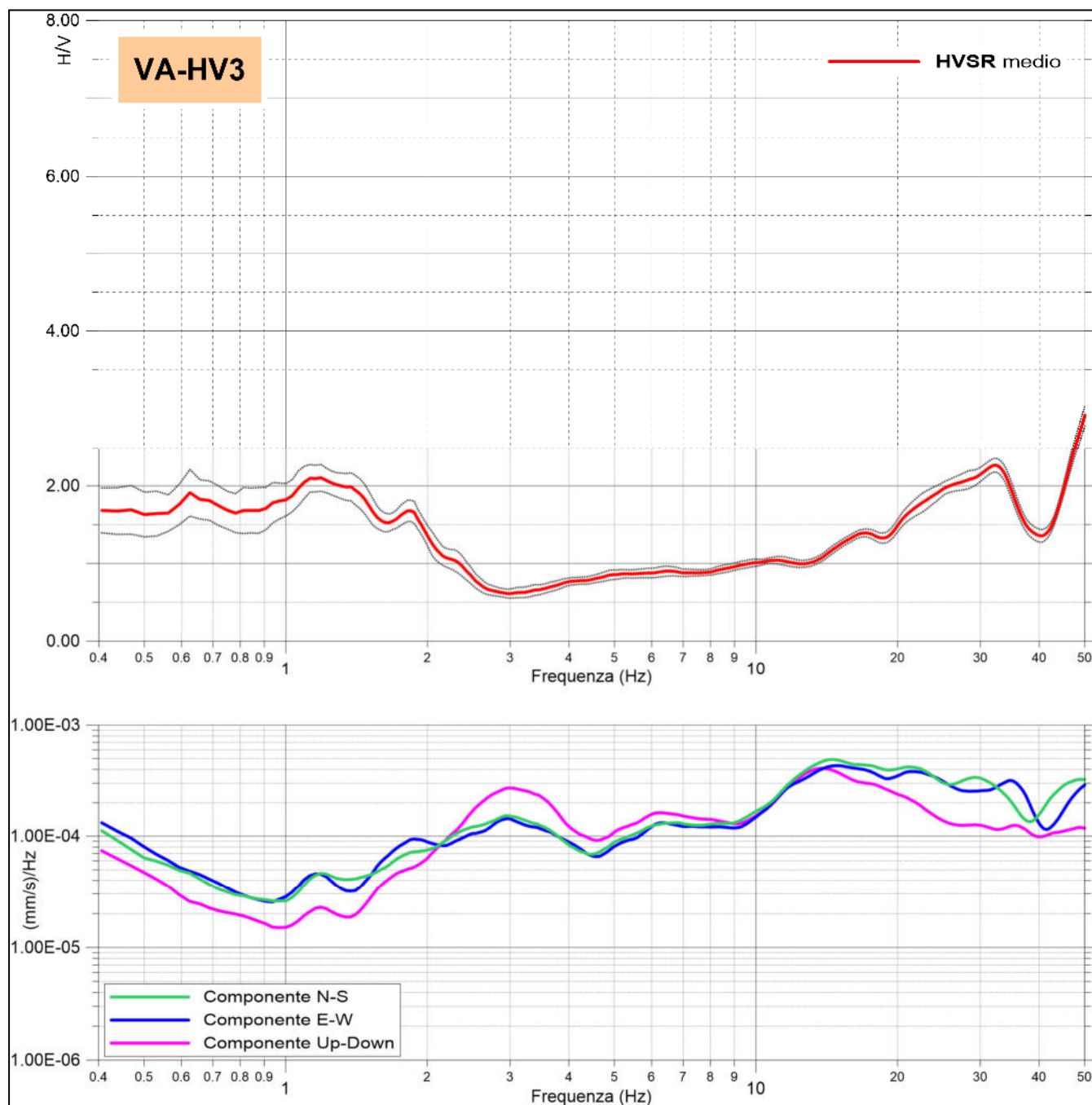
UBICAZIONE PLANIMETRICA SU FOTO AEREA

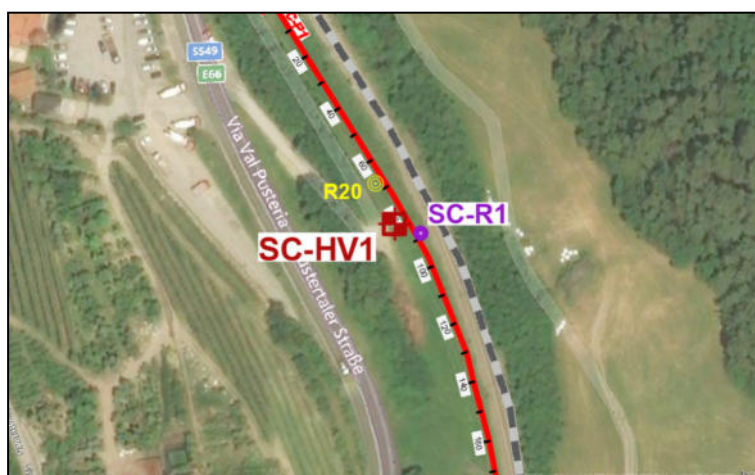
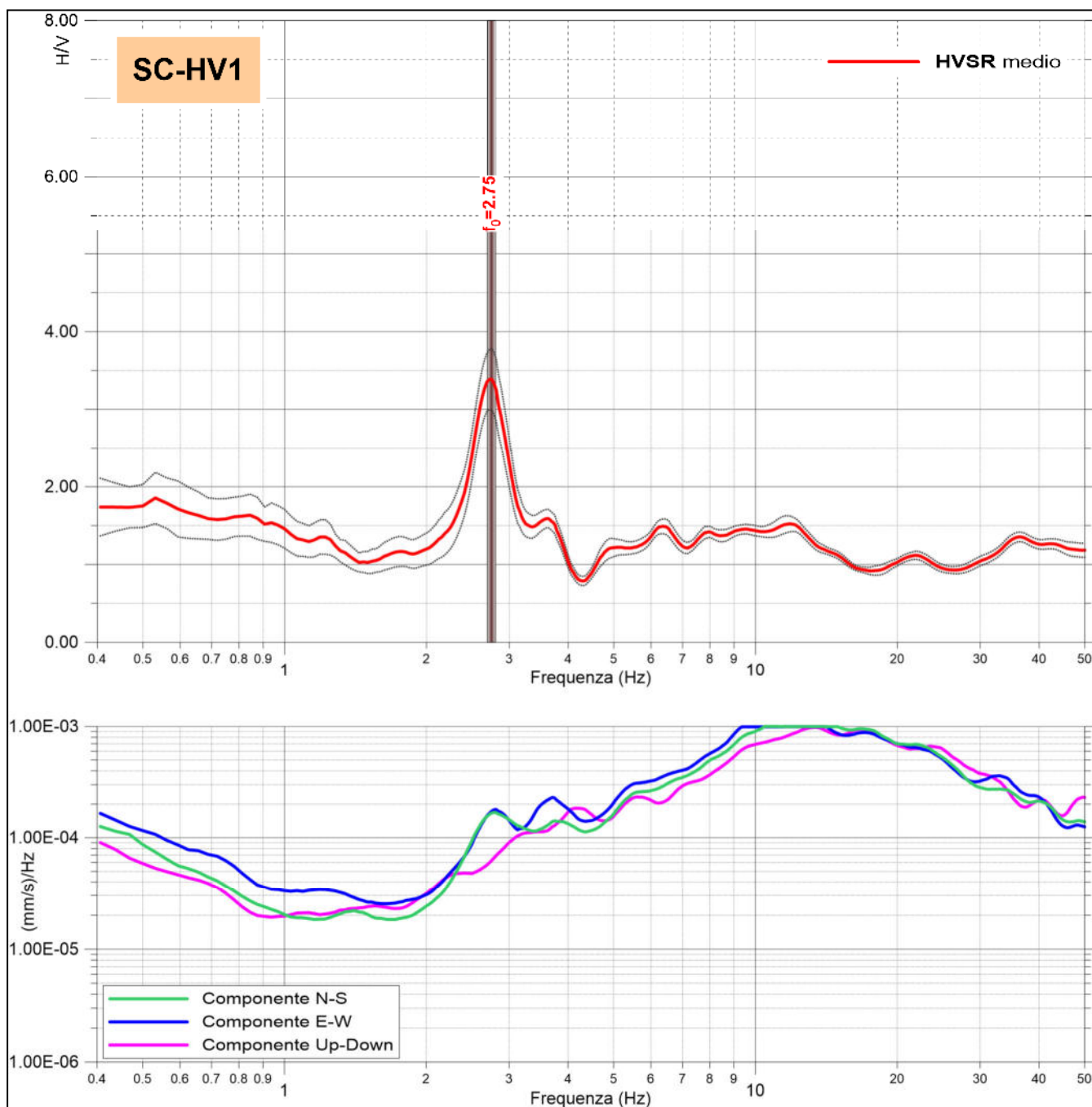
VA–HV1 / VA-HV2 / VA-HV3 (Zona Varna)

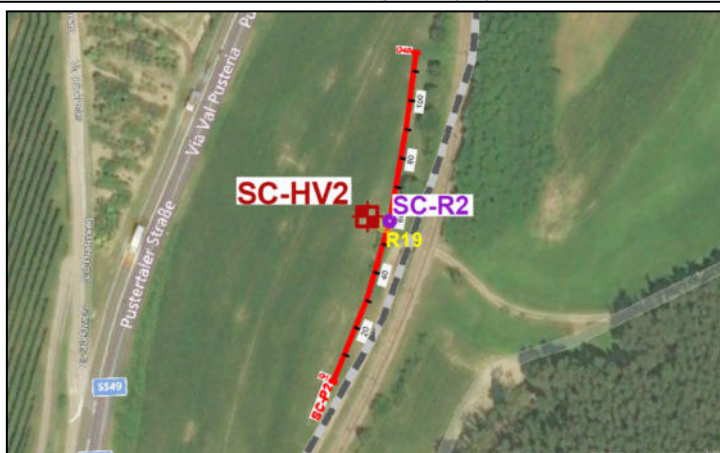
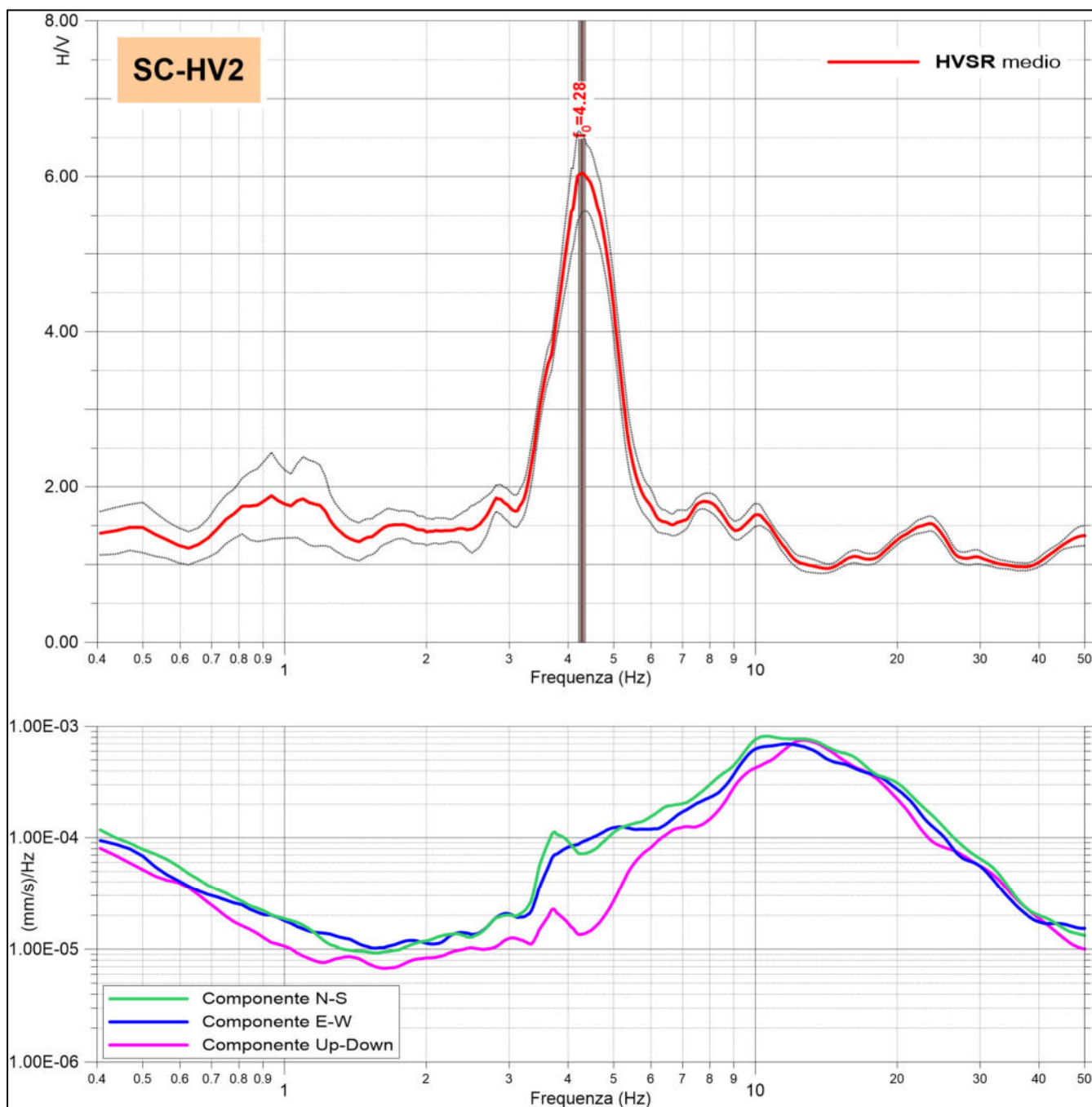
SC–HV1 / SC-HV2 (Zona Sciaves)











4 PROSPEZIONI SISMICHE A RIFRAZIONE ($V_P - V_S$)

Sono state eseguite n. 4 prospezioni sismiche a rifrazione con registrazione delle velocità delle onde sismiche **P** (onde di compressione) e **S** (onde di taglio), denominate da **VA-P1** a **VA-P2** (Zona Varna) e da **SC-P1** a **SC-P2** (Zona Sciaves).

I n. 4 profili sismici a rifrazione sono costituiti rispettivamente da n. 48 (VA-P1 e SC-P2) e n.72 (VA-P2 e SC-P1) geofoni posizionati ad interdistanza di 2.5 m. Lo sviluppo lineare in lunghezza dei profili è rispettivamente di 117.5 m e di 177.5 m. L’ubicazione planimetrica è riportata negli elaborati grafici IB0H00D69IGGE0005005A, IB0H00D69IGGE0005007A e IB0H00D69IGGE0005008A in scala 1:2000.

Le Fig. 12 e Fig. 13 sintetizzano le ubicazioni delle stese sismiche su foto aerea.

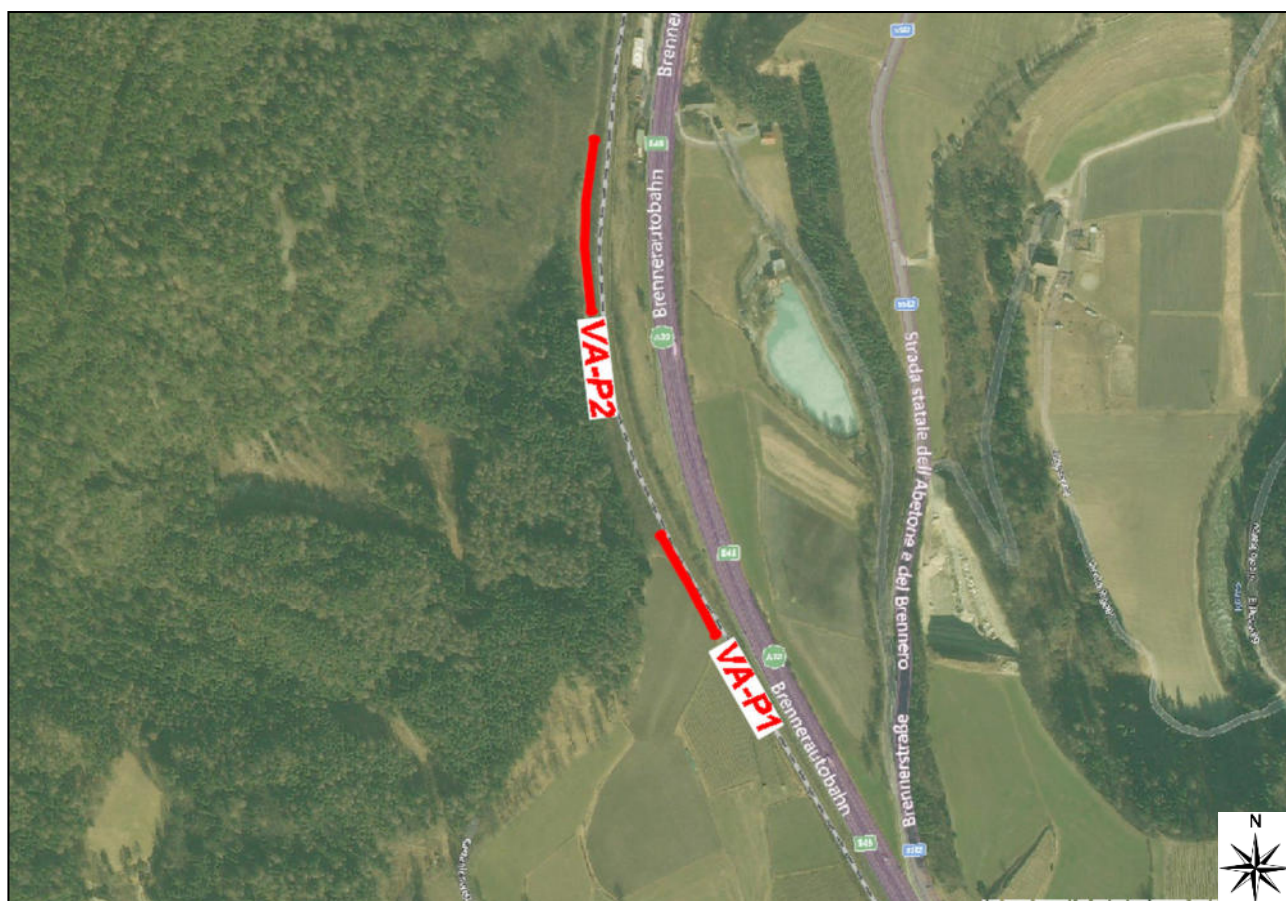


Fig. 12 - Ubicazione territoriale delle indagini sismiche a rifrazione P – S nella zona di Varna.

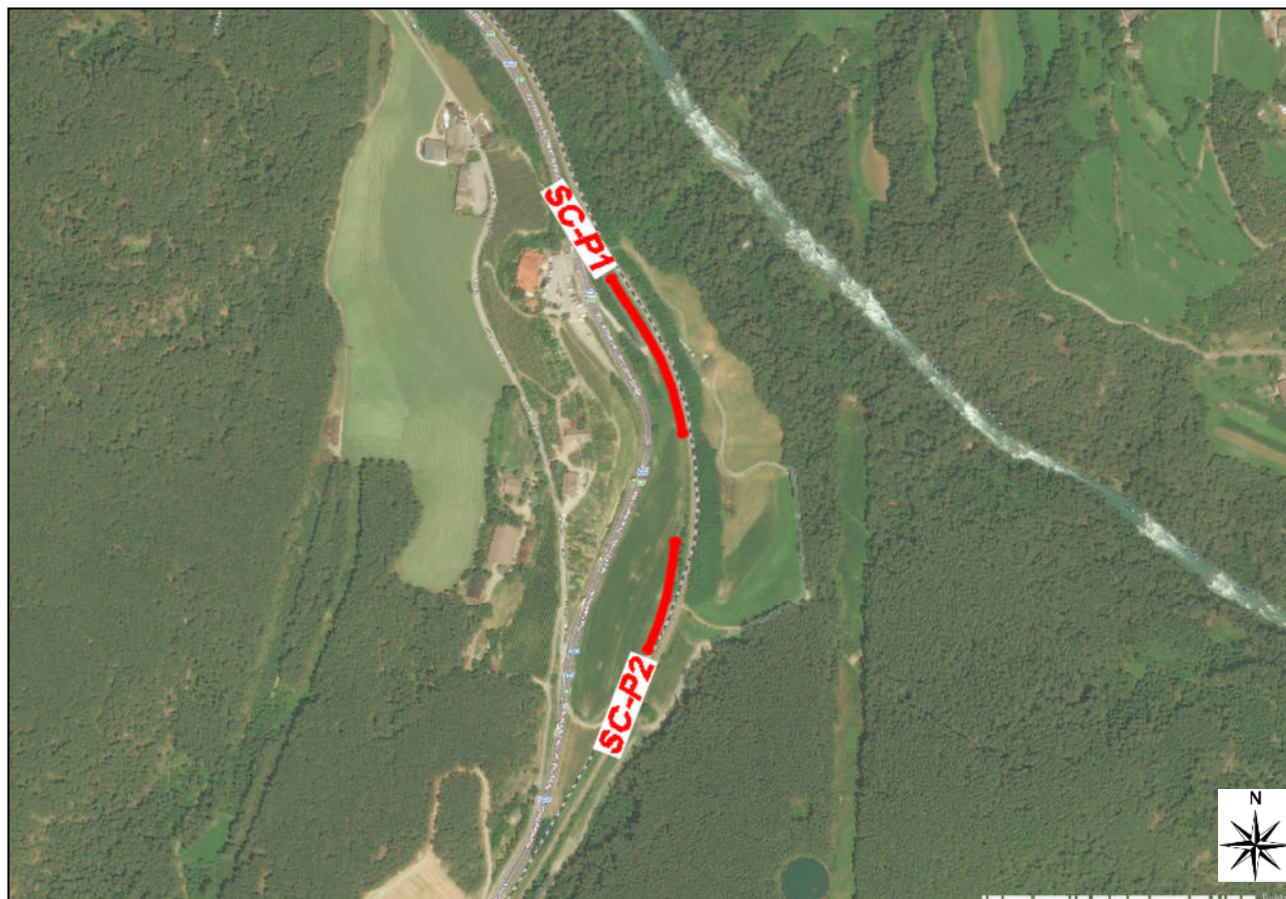


Fig. 13 - Ubicazione territoriale delle indagini sismiche a rifrazione P – S nella zona di Sciaves.

4.1 Cenni teorici

Il metodo sismico a rifrazione si basa sulla misura dei tempi di percorso delle onde sismiche di volume (**P** e **S**) dirette e rifratte che, partendo in un istante noto da una sorgente artificiale di posizione nota, arrivano ai diversi geofoni (sensori collocati a distanze note dalla sorgente). Le onde dirette sono quelle che si propagano direttamente dalla sorgente ai geofoni, senza scendere in profondità, invece, le onde rifratte sono quelle che, dopo essere penetrate in profondità nel sottosuolo, incontrano un rifrattore (superficie di aumento brusco della velocità di propagazione) e vengono da esso trasmesse in superficie (a causa del fenomeno dell'incidenza critica dei raggi sismici).

Pertanto, i dati ricavati da tale tipo di indagine consentono la definizione di un modello bidimensionale del sottosuolo. Utilizzando le distanze tra il punto di scoppio e i vari geofoni e i tempi di arrivo del segnale sismico, si ricavano delle curve tempo-distanza (dromocrone). Dalle dromocrone dei primi arrivi (curve che rappresentano la variazione del tempo di percorso in funzione della distanza sorgente - geofono) si risale al modello di velocità sismica del sottosuolo, fino alla base del rifrattore più profondo individuato (poiché i raggi sismici che scendono a profondità superiori non ritornano in superficie nei punti in cui sono collocati i geofoni).

4.2 Acquisizione dati

Negli stendimenti sono stati utilizzati geofoni “Geospace” con frequenza propria di 14 Hz per registrazioni **V_p** e di 10 Hz per registrazioni **V_s**, posizionati ad una distanza intergeofonica di 2.5 m.

In punti predefiniti del profilo, nello specifico ogni 3 geofoni, sono stati creati artificialmente degli impulsi elastici mediante l'utilizzo di una massa battente da 8.0 Kg; per ogni punto di energizzazione, per migliorare il rapporto segnale-rumore, sono state sommate diverse battute. Il “time-break”, tempo zero di inizio registrazione, è stato fissato attraverso l’apertura di un circuito elettrico posizionato sulla massa battente.

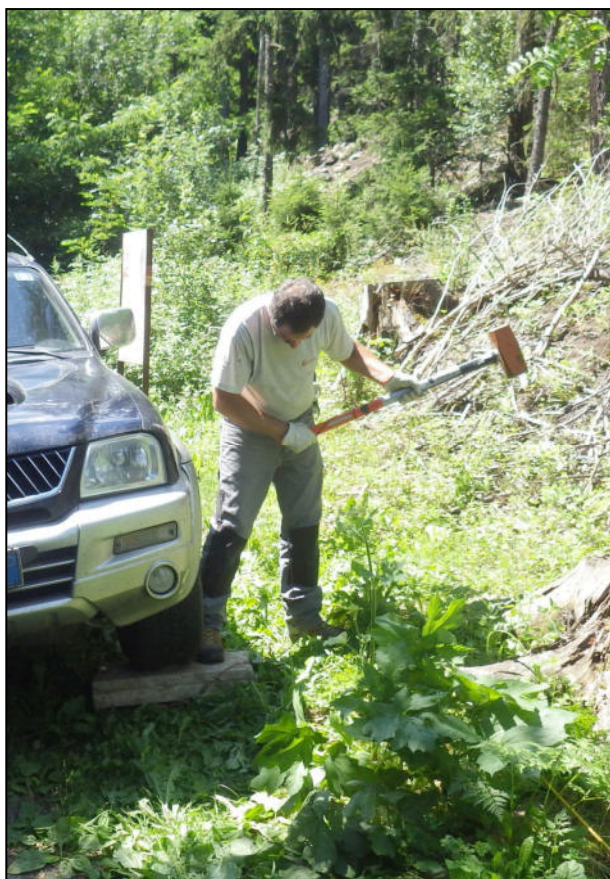


Fig. 14 - Energizzazione Onde S.



Fig. 15 - Energizzazione Onde P.

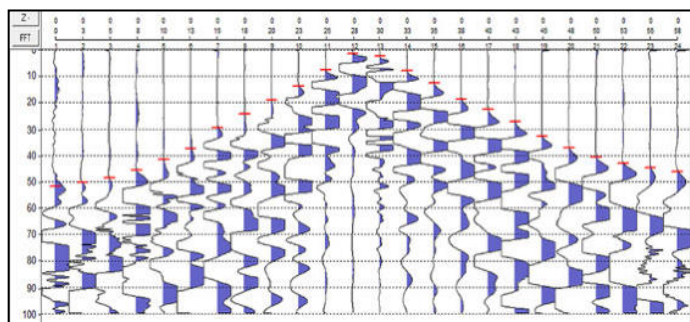
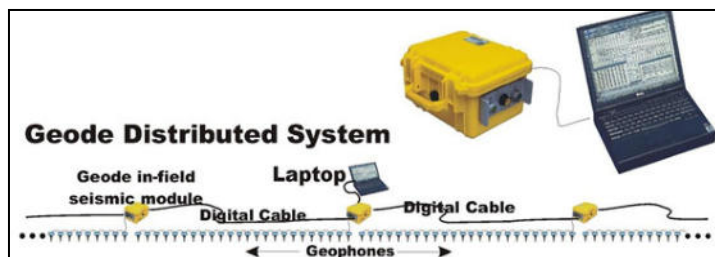


Fig. 16 – Layout di registrazione di un profilo sismico a rifrazione.

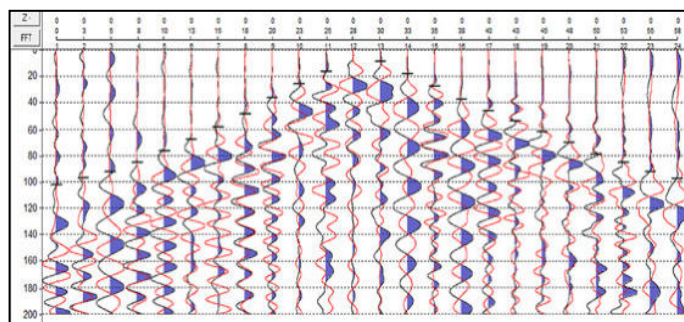
La registrazione dei sismogrammi è stata effettuata mediante una serie di 2 o 3 sismografi digitali modello “Geode” della Geometrics a 24 canali ciascuno.

Il tempo di acquisizione è stato di 1 secondo, con un passo di campionamento di 0.125 ms.

Di seguito un esempio di registrazione sismica utilizzata per il picking dei primi arrivi delle onde **P** tagliata a 0.100 secondi e delle onde **S** tagliata 0.200 secondi.



Esempio registrazione onde P.

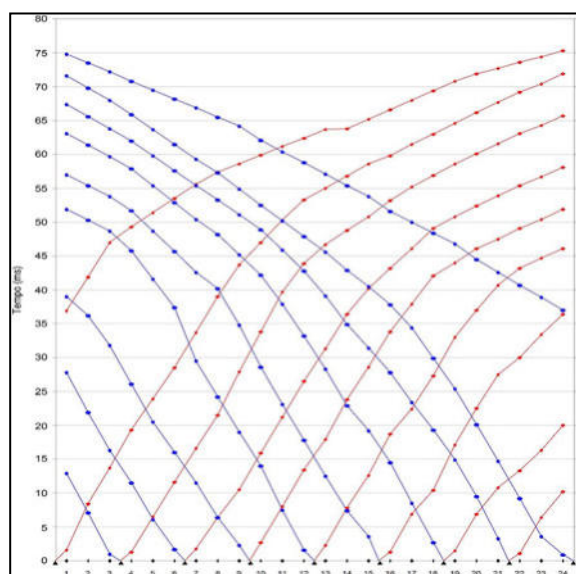


Esempio registrazione onde S

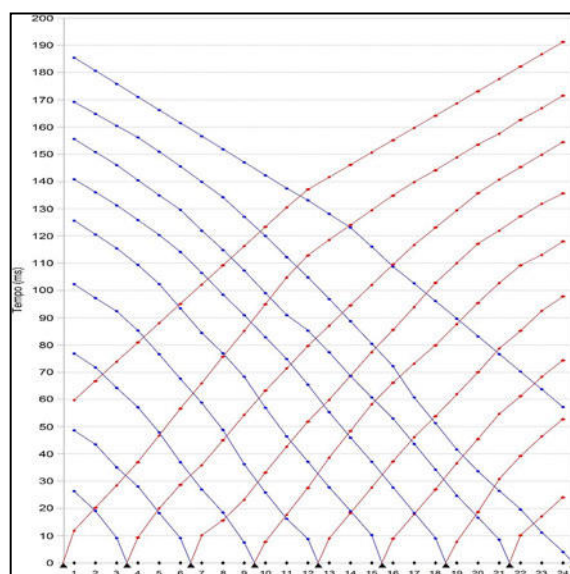
4.3 Elaborazione dati

Tramite software dedicato, sono stati letti i tempi di “primo arrivo” degli impulsi sismici ai vari geofoni (raggi diretti e rifratti) e ricostruiti i relativi diagrammi spazio-tempo.

Le dromocrone sono state interpretate applicando algoritmi di calcolo basati sul metodo “time delay” di Hawkins e sul metodo “delle intercette”. I risultati di tale interpretazione hanno consentito la caratterizzazione in termini di velocità sismica dei materiali costituenti il sottosuolo delle aree indagate e la ricostruzione geometrica delle unità sismiche caratterizzanti il sottosuolo stesso.

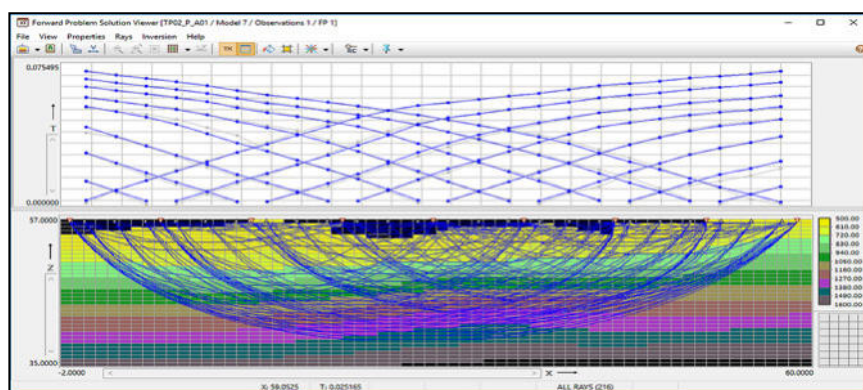


Esempio Dromocrone Onde P.



Esempio Dromocrone Onde S.

Lo schema di velocità ottenuto è quindi stato utilizzato come modello iniziale per l’elaborazione tomografica. Il programma d’inversione tomografica utilizzato è stato “XTomo-LM3” di Xgeo.



“processing” prevede il calcolo, a partire da un semplice modello iniziale, di un modello “diretto”, mentre la successiva inversione è basata su un algoritmo di ottimizzazione e regolarizzazione. La routine di “inversione” bidimensionale attraverso l’assegnazione di una velocità teorica ad ogni singola cella, per iterazioni successive, ne calcola la velocità “reale”. Le iterazioni vengono ripetute fino al raggiungimento del minor scarto possibile tra i valori di velocità teorica e calcolata.

La tecnica tomografica analizza e ricostruisce, tramite i tempi di primo arrivo, i percorsi dei raggi sismici grazie ad un algoritmo di “ray-tracing”. La sezione indagata viene suddivisa in celle di dimensioni regolari in modo che ogni elemento sia attraversato dai molteplici raggi sismici, compresi tra i punti di sparo e i punti di ricezione. La prima fase di

	LINEA VERONA – BRENNERO E LINEA FORTEZZA – SAN CANDIDO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO “VARIANTE VAL DI RIGA” VARIANTE DI RIGA					
REPORT INDAGINI GEOFISICHE (zona L.S. Varna e PM Sciaves)	COMMESSA IB0H	LOTTO 00	CODIFICA D 69 IG	DOCUMENTO GE 00 05 011	REV. A	FOGLIO 41 di 47

Il risultato finale dell’elaborazione consiste in una sezione di velocità sismica nella quale ad ogni cella è stato assegnato un valore di velocità. Tali valori vengono infine elaborati graficamente tramite apposite “routine” di “gridding” e “countouring”. Queste sezioni non presentano una distinzione in unità sismiche caratterizzate da precisi valori di velocità sismica, ma da una variazione continua della velocità stessa, risultando particolarmente efficace nella individuazione delle variazioni laterali e/o con maggior gradiente di velocità sismica presenti lungo le sezioni.

4.4 Analisi dei risultati

Le sezioni sismiche a rifrazione hanno permesso di ricostruire i rapporti stratigrafici fra le differenti unità sismiche elaborate sulla base delle differenti velocità sismiche, la Fig. 17 mostra le scale colorimetriche utilizzate.

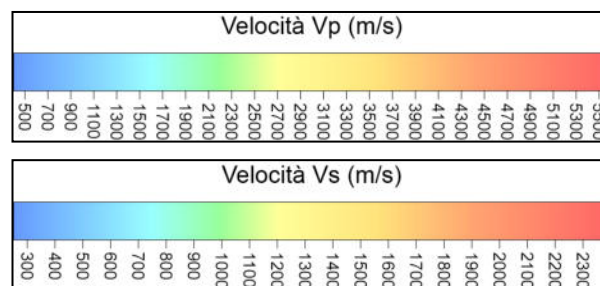


Fig. 17 – Scale colorimetriche di velocità Vp (sopra) e Vs (sotto).

Vengono di seguito esaminate le singole sezioni elaborate, ove si individuano differenti unità sismostratigrafiche corrispondenti a gradi di addensamento/consistenza variabili all’interno dei materiali attraversati.

4.4.1 Profilo VA-P1 (Zona Varna)

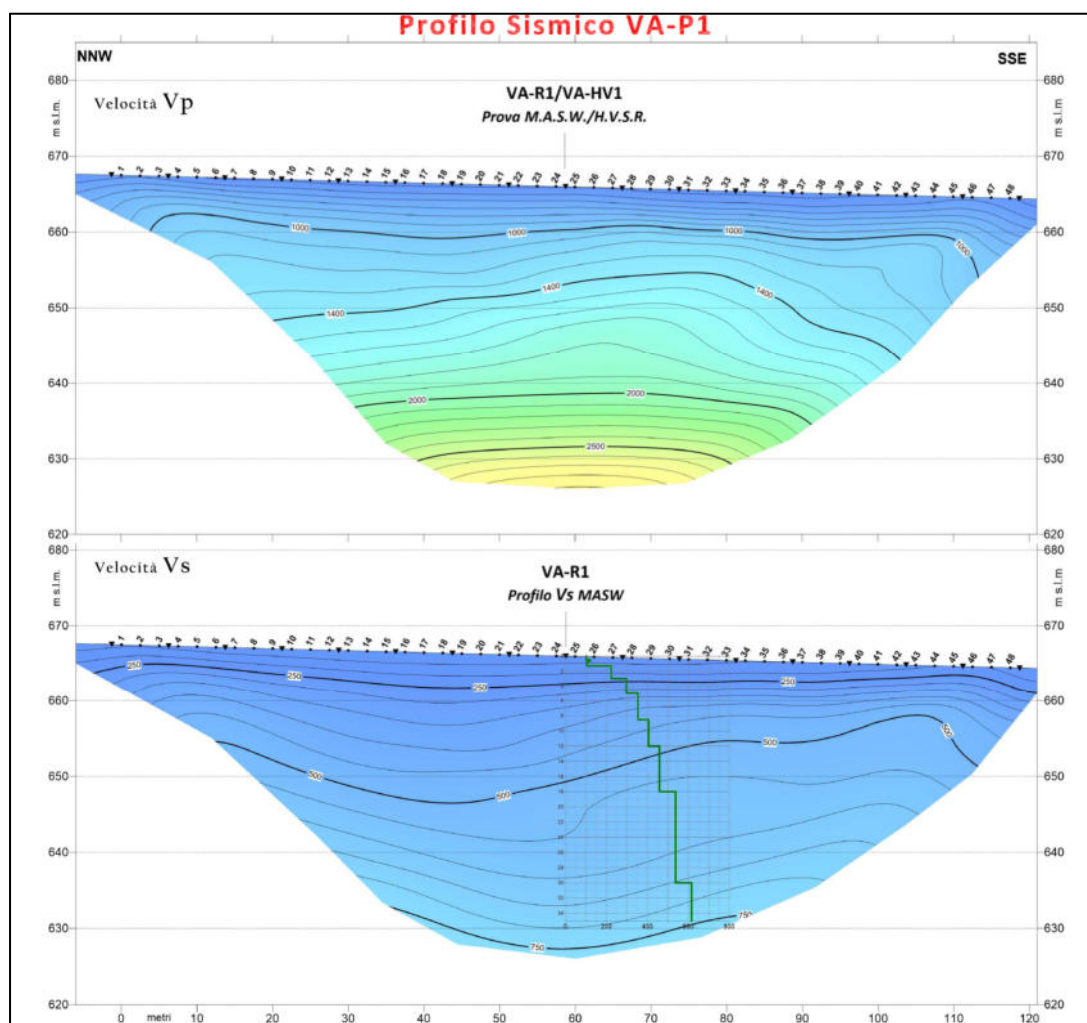


Fig. 18 – Sezioni sismiche VA-P1.

Si osserva un'unità superiore caratterizzata da valori delle velocità sismiche V_p progressivamente crescenti, da 500 a 1400 m/s (colore azzurro-blu), con V_s che si mantengono inferiori a 500/550 m/s, riferibili alla presenza di materiali da poco ($V_p < 1000$ m/s e $V_s < 300$ m/s) a mediamente addensati di tipo quaternario. L'unità si presenta con uno spessore medio di 15-16 m, con una tendenza ad approfondirsi oltre la progressiva 90.0 m.

A profondità intermedie, le velocità sismiche V_p e V_s incrementano progressivamente raggiungendo valori $V_p = 2000$ m/s (colore verde chiaro) e $V_s = 650$ m/s, indicativi di un graduale passaggio a materiali più addensati. Tale unità si attesta sino ad una profondità media di -28.0 m dal p.c.

In profondità le velocità sismiche, incrementando ulteriormente, oltrepassano rispettivamente i 2000 m/s sino a 2900 m/s (colore verde-giallo) e i 650 m/s sino a 750 m/s. Sarebbero quindi riferibili a materiali fluvio-glaciali con grado di addensamento/consistenza da elevato ($2000 \text{ m/s} < V_p < 2500 \text{ m/s}$ – colore verde, $650 \text{ m/s} < V_s < 700 \text{ m/s}$) a molto elevato ($V_p > 2500 \text{ m/s}$ e $V_s > 700 \text{ m/s}$).

4.4.2 Profilo VA-P2 (Zona Varna)

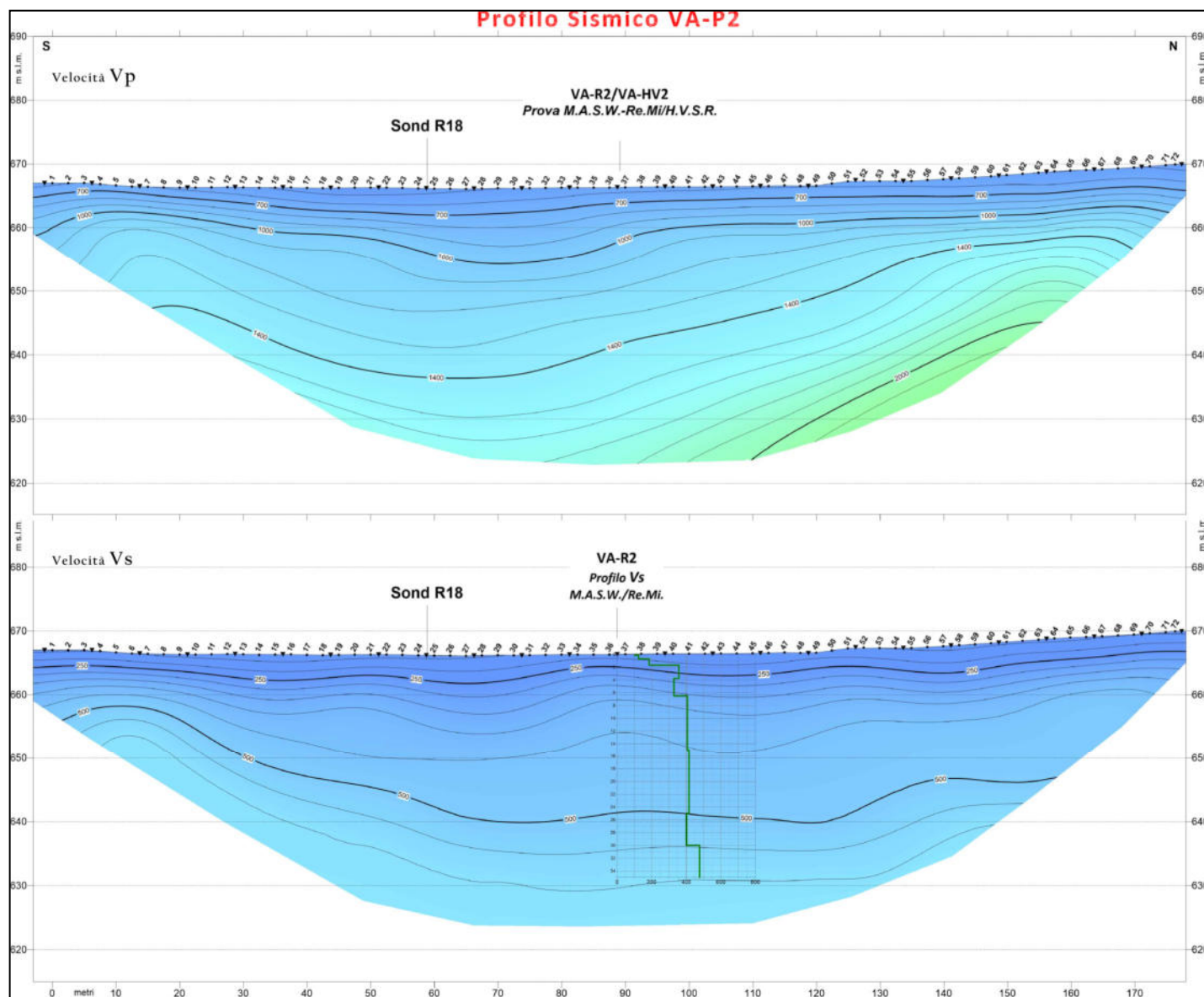


Fig. 19 – Sezioni sismiche VA-P2.

Il profilo è stato realizzato a circa 240 m a nord del precedente profilo VA-P1.

Si osserva l'unità superiore caratterizzata da valori di V_p compresi dapprima tra 500 e 1000 m/s (colore blu) e $V_s < 300$ m/s indicativi di materiali quaternari poco addensati che progressivamente raggiungono i 1400 m/s di velocità V_p (colore azzurro) e i 500 m/s di velocità V_s indicativi di un graduale passaggio a materiali mediamente addensati.

	LINEA VERONA – BRENNERO E LINEA FORTEZZA – SAN CANDIDO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO “VARIANTE VAL DI RIGA” VARIANTE DI RIGA					
REPORT INDAGINI GEOFISICHE (zona L.S. Varna e PM Sciaves)	COMMESSA IB0H	LOTTO 00	CODIFICA D 69 IG	DOCUMENTO GE 00 05 011	REV. A	FOGLIO 44 di 47

Lo spessore dell'unità è differente sia all'interno della singola sezione e sia tra le sezioni Vp e Vs. in particolare:

- Sezione Vp: l'unità è presente fino ad una profondità di circa -18.0 m dal p.c. sino alla progr. 30.0 m, per poi progressivamente incrementare il suo spessore sino a circa -28.0 m dal p.c. fino alla progr. 80.0 m ed infine nel settore centro-settentrionale oltre la progr. 90.0 m risale sino ad una profondità minima di circa -11.0 attorno alla progr. 170.0 m;
- Sezione Vs: l'unità è presente fino ad una profondità di circa -10.0 m dal p.c. sino alla progr. 20.0/25.0 m, progressivamente si approfondisce sino ad una profondità massima di circa -26.0 m dal p.c. fino alla progr. 120.0 m, per poi risalire nel settore settentrionale della sezione fino ad una profondità prossima a -20.0 m dal p.c. tra le progr. 130.0 m e 160.0 m. In tale unità le Vs rimangono complessivamente inferiori a 500 m/s.

Al di sotto le velocità Vp e Vs incrementano oltre i 1400 m/s (colore verde chiaro) e i 500 m/s per poi raggiungere alla base della sezione rispettivamente i 1900 m/s e i 600 m/s, indicativi di materiali a buon grado di addensamento/consistenza. Solamente nella sezione Vp, si registra nel settore settentrionale dopo la progr. 110.0 m un marcato aumento del gradiente delle velocità, ove quest'ultime oltrepassano i 2000 m/s sino a 2100 m/s (colore verde) definendo quindi una porzione caratterizzata da litologie molto addensate/consistenti.

4.4.3 Profilo SC-P1 (Zona Sciaves)

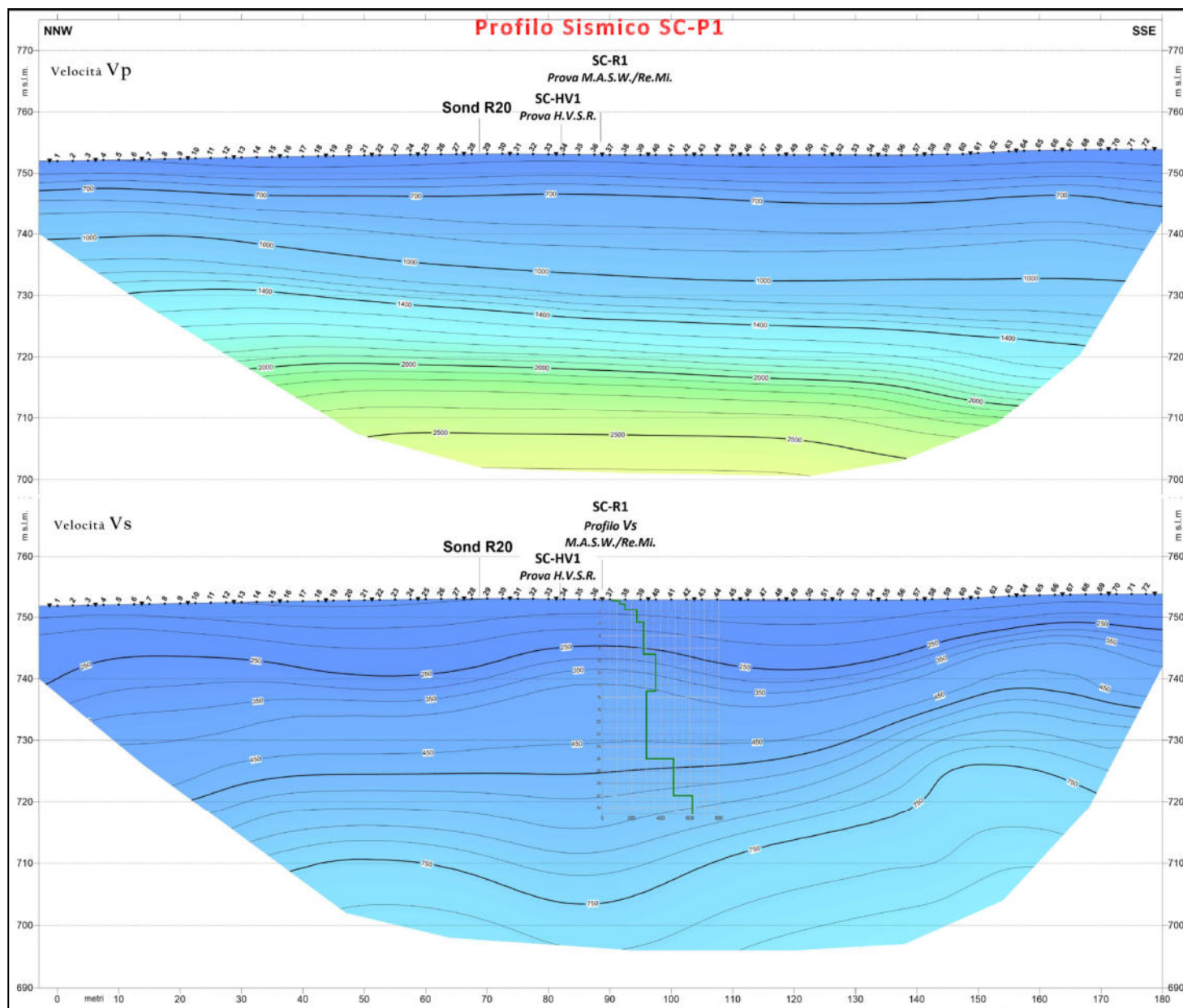


Fig. 20 – Sezioni sismiche SC-P1.

Si osserva un'unità superiore sviluppata con continuità mediamente per spessori medi di 22.0 m, essa è caratterizzata da velocità V_p comprese dapprima tra 400 m/s e 1000 m/s e V_s inferiori mediamente a 350 m/s indicative di materiali poco addensati.

In profondità le velocità V_p e V_s incrementano rispettivamente sino a 1400 m/s e 500 m/s, indicative di un progressivo passaggio a materiali con medio grado di addensamento.

Nella sezione V_s l'andamento dell'unità si presenta più irregolare rispetto la sezione V_p , in particolare nel settore sud-orientale dopo la progr. 130.0 m il suo spessore si assottiglia sino a circa -15.0 m dal p.c..

A profondità intermedie si registra un progressivo incremento delle velocità con $V_p=2000$ m/s (colore verde chiaro) e $V_s=600$ m/s, riferibili a materiali a buon grado di addensamento.

L'unità di fondo, presente nella sezione V_p a partire mediamente da -35.0 m dal p.c., registra valori di velocità superiori a 2000 m/s (colore verde) e alla base della sezione supera i 2500 m/s sino a 2600 m/s (colore giallo).

Nella sezione V_s , la stessa unità registra valori superiori a 600 m/s fino a 800/850 m/s alla base della sezione, in particolare nel settore sud-orientale, dopo la progr. 120 m, si attesta a circa -22.0/-23.0 m dal p.c.. Tali valori di velocità caratterizzanti l'unità di fondo, sono associabili a materiali a grado di addensamento da elevato a molto elevato, laddove le velocità V_p e V_s superano rispettivamente i 2500 m/s e i 750 m/s.

4.4.4 Profilo SC-P2 (Zona Sciaves)

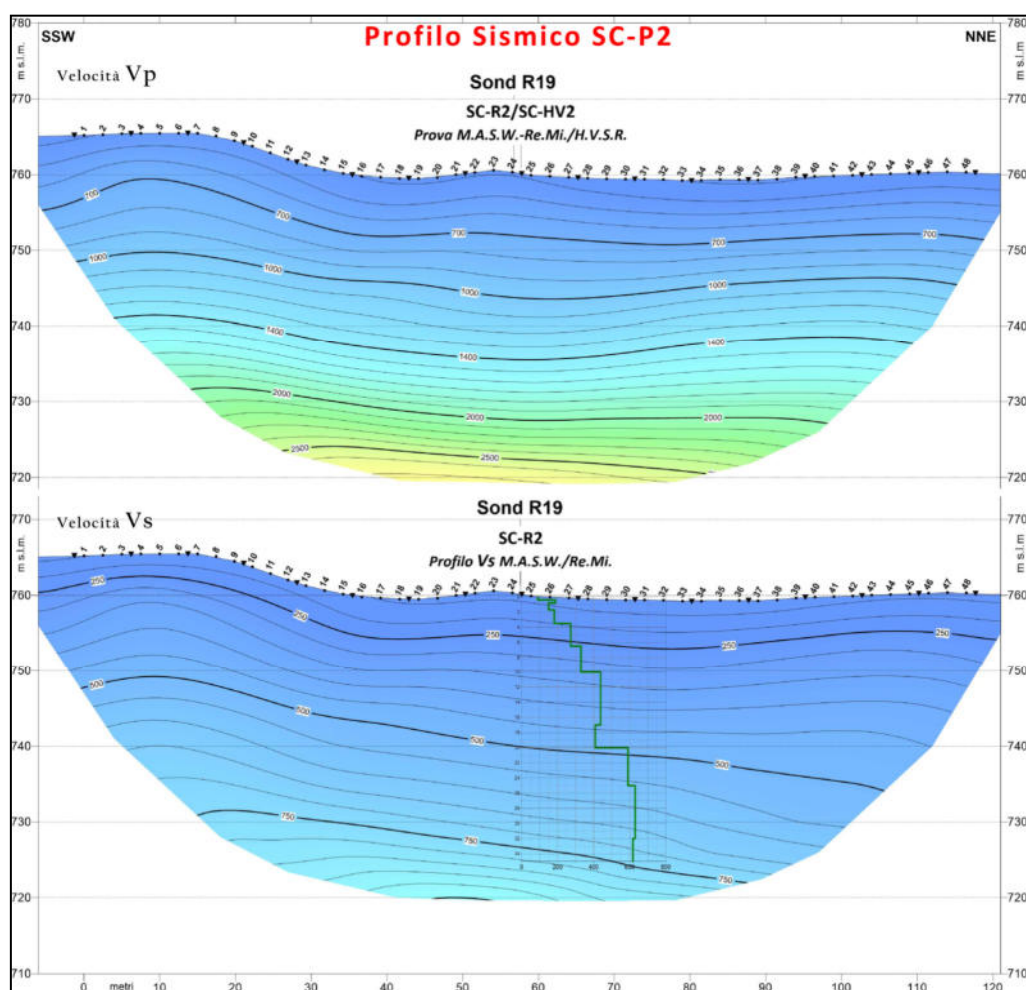


Fig. 21 – Sezioni sismiche SC-P2.

In questo profilo, realizzato a circa 100 m verso sud al precedente SC-P1, si osserva con regolarità l'unità superiore caratterizzata da V_p comprese tra 400 m/s e 1400 m/s e le V_s tra 150 e 500 m/s, associabili ai materiali da poco a mediamente addensati dell'intera sezione indagata.

Lo spessore dell'unità si presenta piuttosto regolare nella sezione V_p ove raggiunge mediamente i -25.0 m dal p.c. dall'inizio del tratto indagato sino alla progr. 20.0 m, mentre nel settore centrale e nord-orientale si attesta a circa -22.0/-23.0 m dal p.c..

Nella sezione V_s lo spessore si presenta piuttosto disomogeneo con il limite inferiore dell'unità che si attesta a circa -15.0 m dal p.c. dall'inizio del tratto indagato sino alla progr. 20.0 m, per poi immergersi regolarmente raggiungendo una profondità media di circa -22.0/-23.0 m oltre la progr. 60.0 m in buona correlazione con il limite individuato nella rispettiva sezione V_p .

In profondità le velocità incrementano rapidamente rispettivamente sino a 2000 m/s (colore verde chiaro) per le V_p e prossime a 600 m/s per le V_s definendo un'unità caratterizzata da materiali a buon grado di addensamento.

Oltre i -30.0/-35.0 m dal p.c. si definisce l'unità di fondo caratterizzata da valori di velocità V_p superiori a 2000 m/s (colore verde) sino ad oltrepassare i 2500 m/s (colore giallo), le velocità V_s superano abbondantemente i 750 m/s sino a lambire alla base della sezione i 1000 m/s. Tali valori di velocità sono associabili ai materiali a grado di addensamento da elevato a molto elevato.