

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



CUP: J41C09000000005

U.O. GEOLOGIA TECNICA, AMBIENTALE E DEL TERRITORIO

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA

ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA

ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO

QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA

LOTTO 3A: CIRCONVALLAZIONE DI TRENTO

GEOLOGIA ED IDROGEOLOGIA

Report indagini geofisiche (sismiche)

SCALA:

-

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

I B 0 Q 3 A R 6 9 I G G E 0 0 0 5 0 0 3 A

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

Dott. Geol. Massimo Comedini
Ordine dei Geologi d'Ateneo
n° 2103

File:

n. Elab.:

INDICE

1	PREMESSA	3
1.1	DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA DELLE ATTIVITÀ SVOLTE	7
2	INDAGINI SISMICHE M.A.S.W. / RE.MI.	9
2.1	M.A.S.W. / RE.MI. – RIFERIMENTO NORMATIVO (<i>N.T.C. 2018, D.M. 17/01/2018</i>).....	10
2.2	STENDIMENTI SISMICI CON METODO “M.A.S.W.” E “RE.MI.” CENNI METODOLOGICI	12
2.3	MODALITÀ ESECUTIVE DELL’INDAGINE	13
2.4	ELABORAZIONE DATI	13
	ALLEGATO 1 SPETTRI DI VELOCITÀ, CURVE DI DISPERSIONE, PROFILI DI VELOCITÀ ONDE VS (M.A.S.W. / RE.MI.)	15
3	PROSPEZIONE SISMICA	21
3.1	CENNI TEORICI	21
3.2	ACQUISIZIONE DATI	22
3.3	ELABORAZIONE DATI	23
3.4	ANALISI DEI RISULTATI	24
3.4.1	<i>Località Acquaviva</i>	24

1 PREMESSA

Il presente report illustra le indagini geofisiche pregresse eseguite nei pressi del settore interessato dal Progetto della Circonvallazione di Trento (Lotto 3A Fortezza – Verona).

Nel dettaglio sono state realizzate le seguenti indagini di tipo geofisico:

- N. 5 prove sismiche di tipo M.A.S.W. e M.A.S.W./Re.Mi., denominate **M01**, **M02**, **M03** (eseguite nel 2015), **R1** e **R2** (eseguite nel 2017), attraverso le quali si è giunti alla determinazione del parametro V_{seq} ed alla definizione della categoria sismica dei suoli di fondazione ai sensi delle N.T.C. 2018;
- N. 6 profili sismici a rifrazione (eseguite nel 2015), denominate **P01**, **P02**, **P03**, **P04**, **P05** e **P06**, finalizzati alla ricostruzione dei rapporti geostratigrafici tra le unità geofisiche individuate.

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

L'elaborato IB0Q3AR69IGGE0005001A "Planimetria indagini geofisiche" in scala 1:25.000 riporta l'inquadramento territoriale delle indagini svolte, che in dettaglio sono mostrate nelle Schede Planimetriche al 10.000 (**A01-A02-A03**) di seguito allegate:

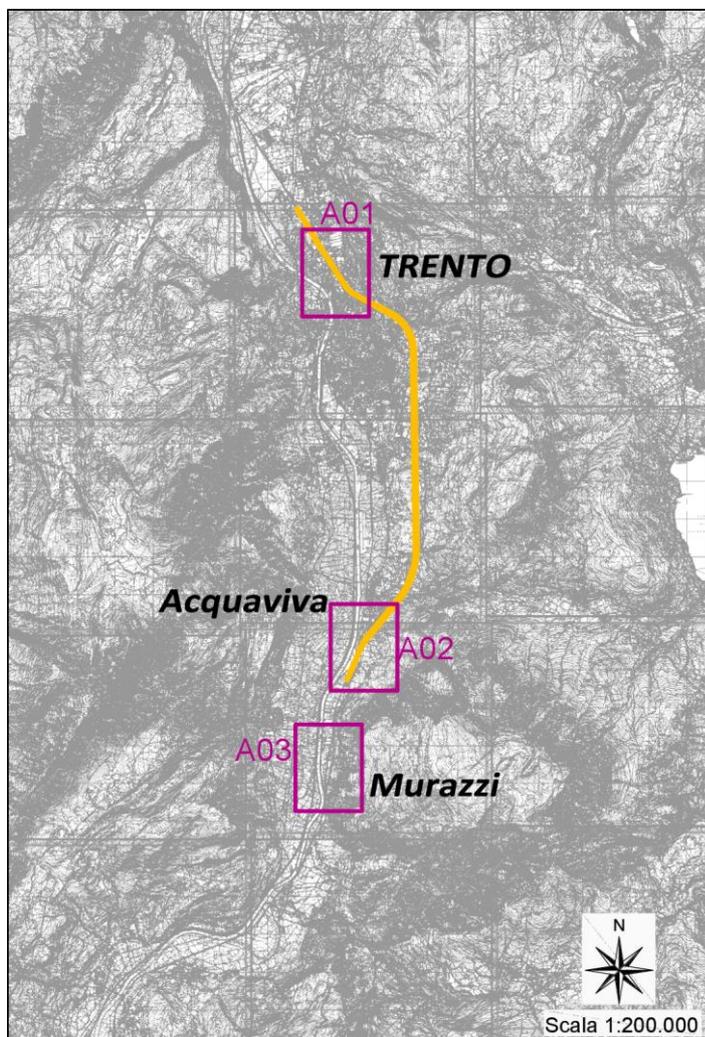
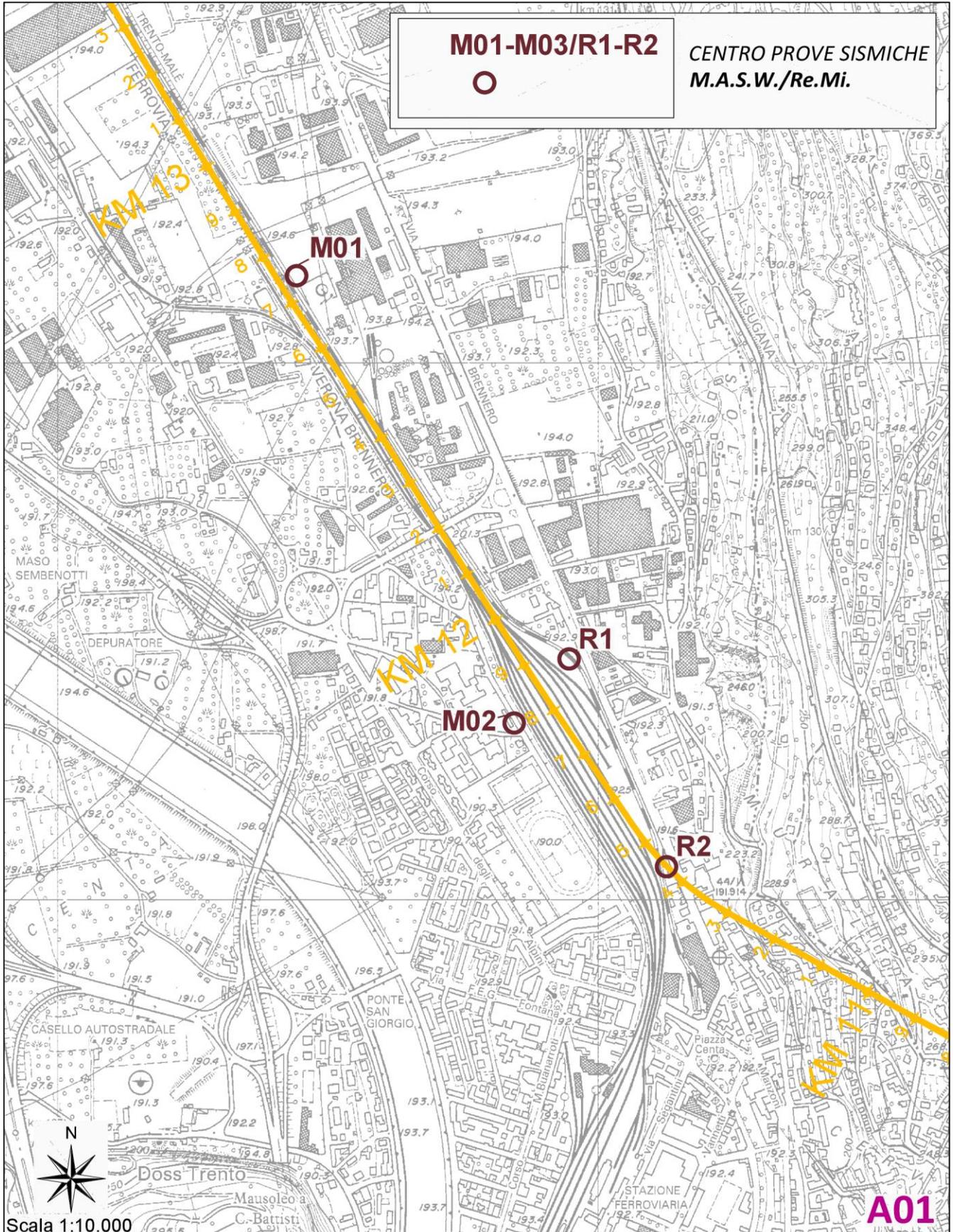
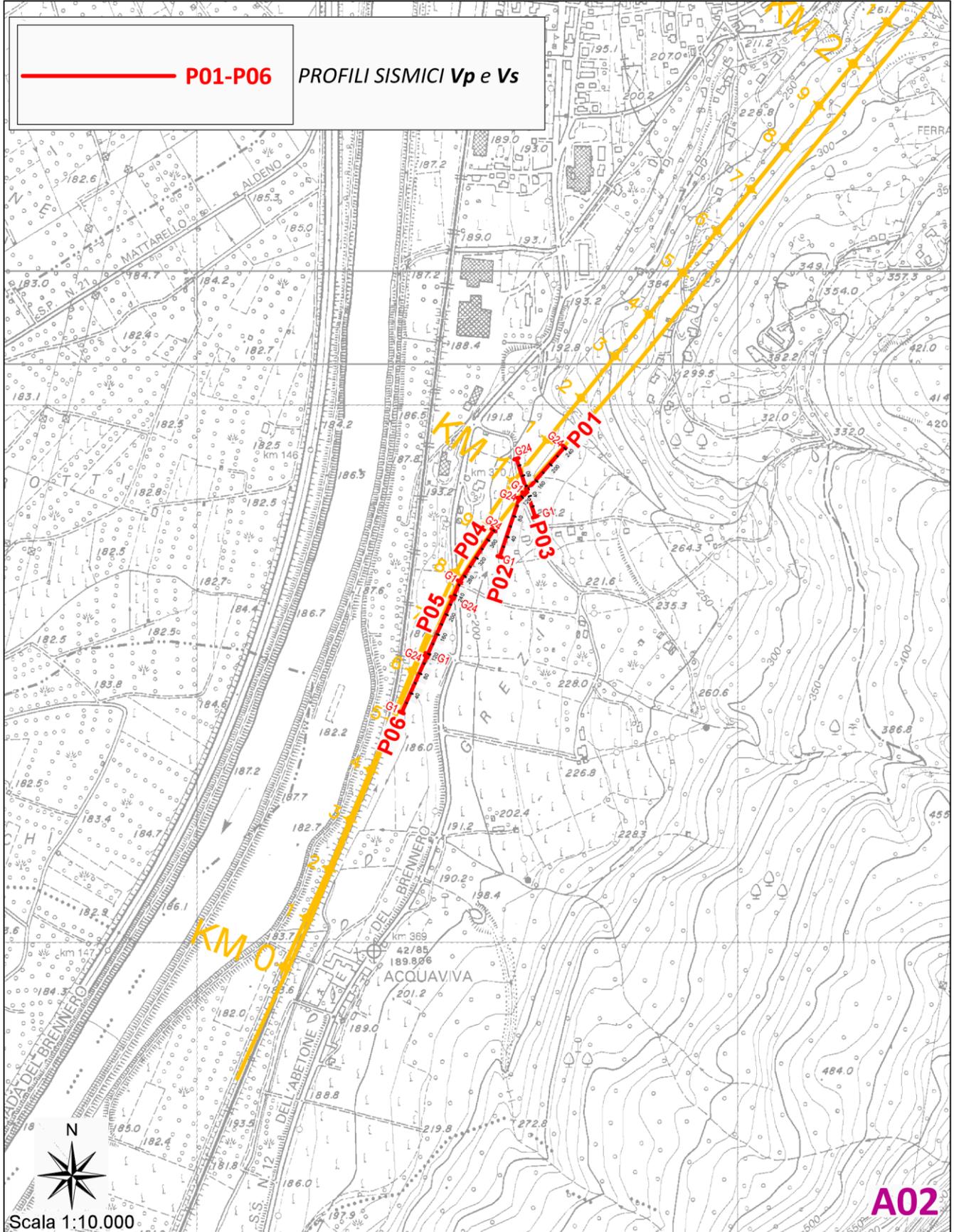


Fig. 1 - Inquadramento Schede Planimetriche A01-A02 – A03 – Scala 1:200.000.

REPORT INDAGINI GEOFISICHE (SISMICHE)

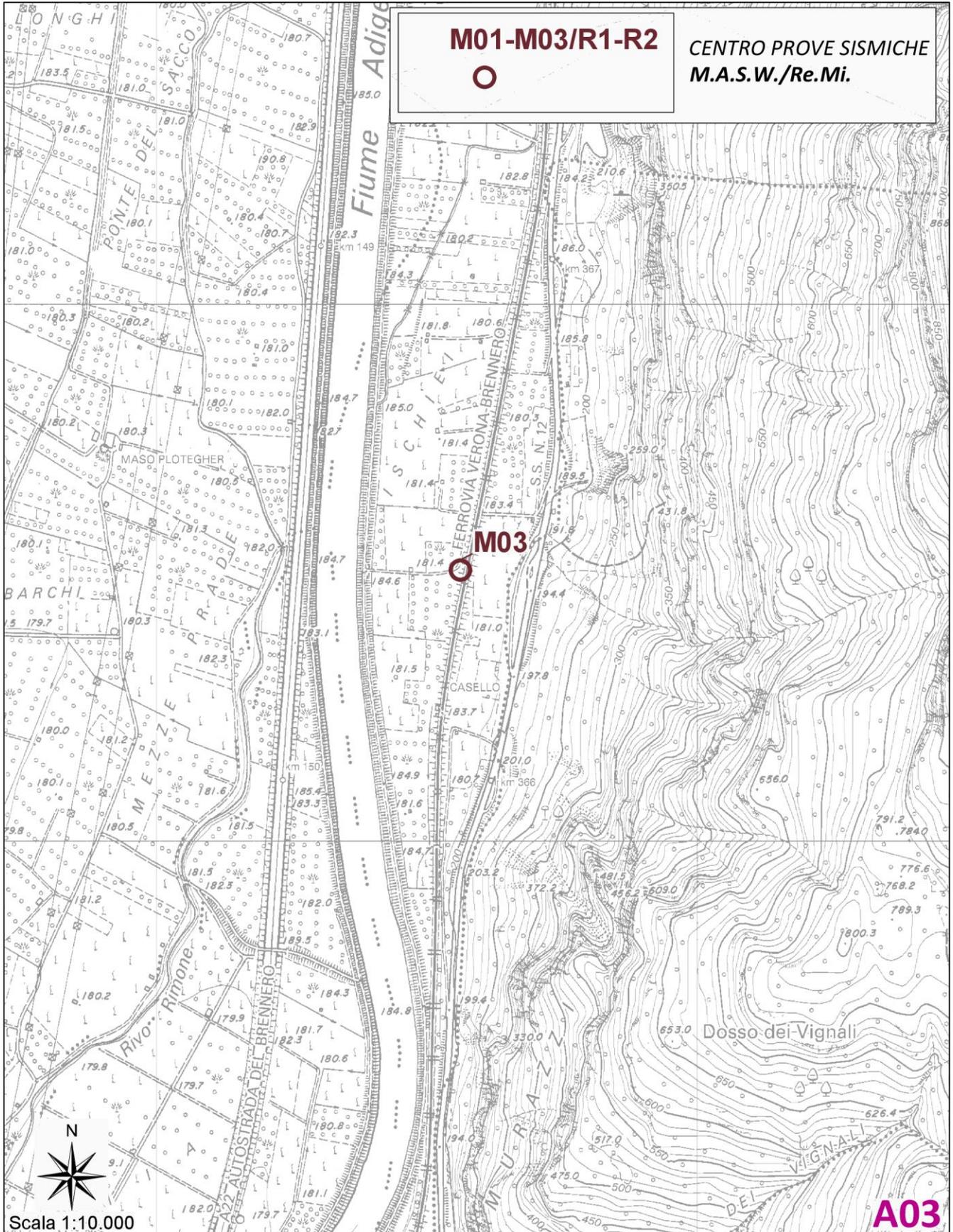
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IB0Q	3A	R 69 IG	GE 00 05 003	A	4 di 25





REPORT INDAGINI GEOFISICHE (SISMICHE)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IB0Q	3A	R 69 IG	GE 00 05 003	A	6 di 25



1.1 Documentazione fotografica delle attività svolte



Fig. 2 – Apparecchiatura di registrazione durante una delle prove M.A.S.W..



Fig. 3 – Punto di energizzazione durante una delle prove M.A.S.W..



Fig. 4 – Punto di energizzazione in onde P lungo uno dei profili sismici a rifrazione eseguiti.



Fig. 5 – Punto di energizzazione in onde S lungo uno dei profili sismici a rifrazione eseguiti.

REPORT INDAGINI GEOFISICHE

Indagini geofisiche pregresse

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IB0Q	3A	R 69 IG	GE 00 05 003	A	9 di 25

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 N.T.C. 2018 sono state eseguite (in precedenti campagne d'indagine) n.5 prove sismiche di tipo M.A.S.W. e M.A.S.W./Re.Mi., denominate con sigla **M01, M02, R1 e R2** (zona Trento) e **M03** (zona Murazzi).

Le Fig. 6 e Fig. 7 visualizzano su foto aerea, l'ubicazione delle prove M.A.S.W./Re.Mi. con il punto centrale rappresentativo del volume di terreno investigato.

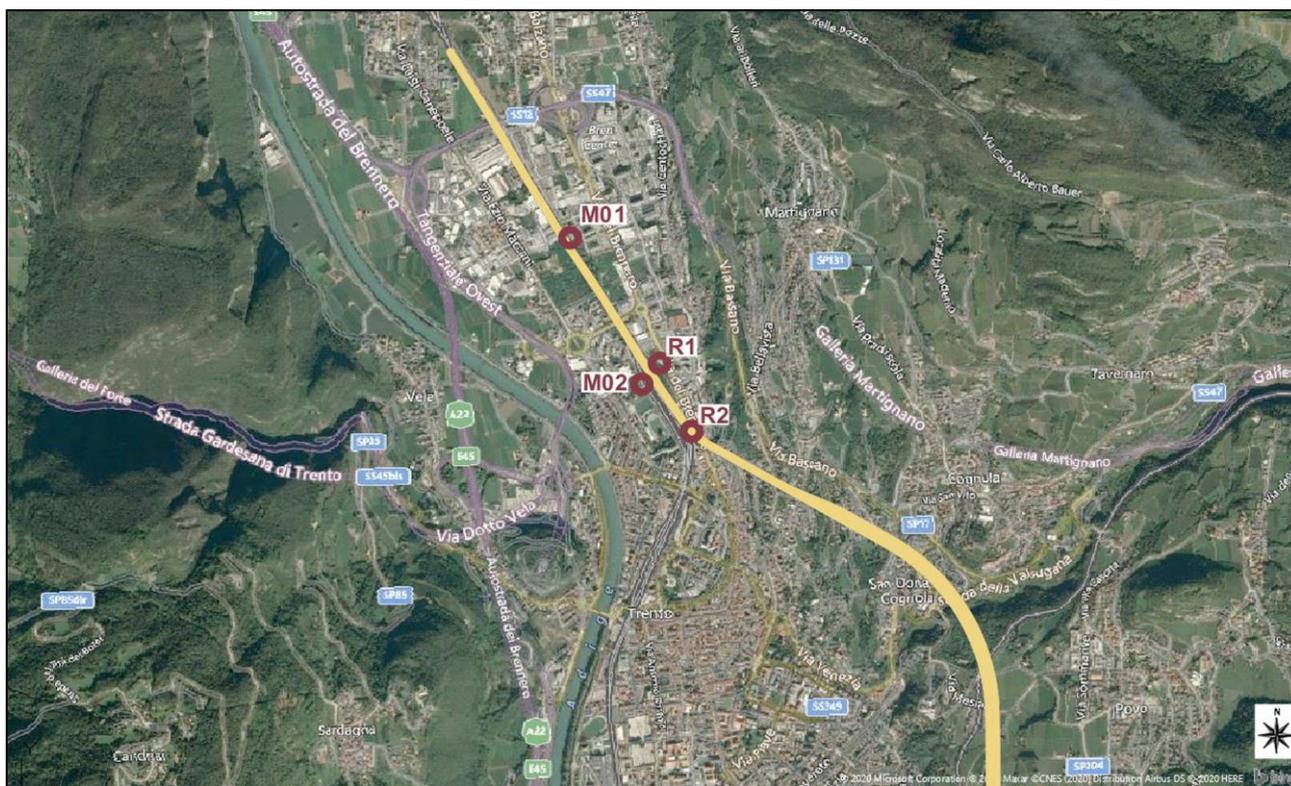


Fig. 6 - Inquadramento territoriale delle prove M.A.S.W./Re.Mi. eseguite nella zona di Trento, in giallo l'andamento del tracciato in progetto della Circonvallazione di Trento.

REPORT INDAGINI GEOFISICHE

Indagini geofisiche pregresse

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IB0Q	3A	R 69 IG	GE 00 05 003	A	10 di 25

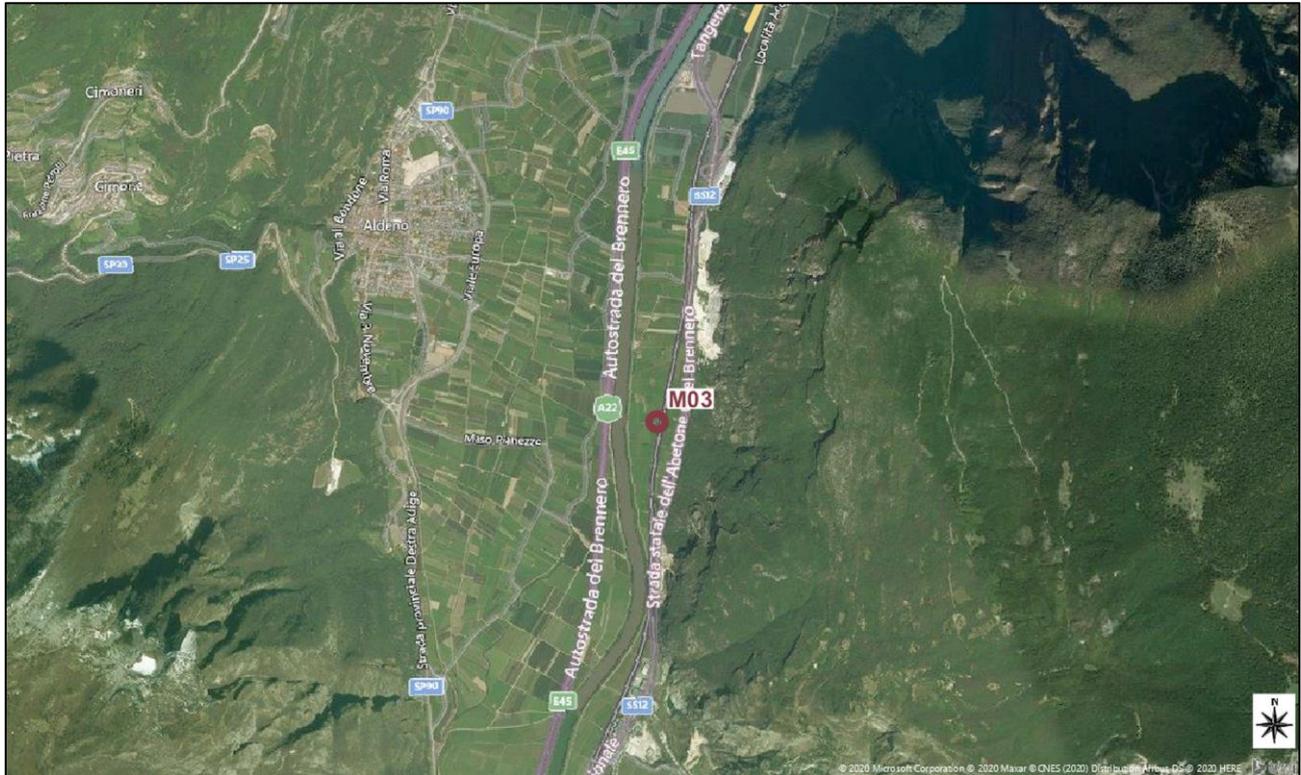


Fig. 7 - Inquadramento territoriale della prova M.A.S.W. eseguita nella zona di Murazzi, a sud di Trento.

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 (V_s), ottenuti mediante specifiche prove geofisiche.

REPORT INDAGINI GEOFISICHE

Indagini geofisiche pregresse

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IB0Q	3A	R 69 IG	GE 00 05 003	A	11 di 25

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 V_s non inferiore a 800 m/s.

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.

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>Depositi 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>Depositi 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.

REPORT INDAGINI GEOFISICHE

Indagini geofisiche pregresse

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IB0Q	3A	R 69 IG	GE 00 05 003	A	12 di 25

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 Vs, 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 rigidità 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.

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 Vs, modificando opportunamente lo spessore h, le velocità delle onde di taglio Vs e di compressione Vp (o in maniera alternativa alle velocità Vp 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 Vs degli strati.

Nella procedura manuale l’utente assegna per tentativi diversi valori delle velocità Vs 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 Vs 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

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	ASSE FERROVIARIO MONACO – VERONA ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA – VERONA LOTTO 3A: CIRCONVALLAZIONE DI TRENTO					
	REPORT INDAGINI GEOFISICHE Indagini geofisiche pregresse	COMMESSA IB0Q	LOTTO 3A	CODIFICA R 69 IG	DOCUMENTO GE 00 05 003	REV. A

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.

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

Si è proceduto ad acquisire sia profili sismici di tipo “M.A.S.W.” che M.A.S.W./“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. 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 **All.1** 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.

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.

REPORT INDAGINI GEOFISICHE

Indagini geofisiche pregresse

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IB0Q	3A	R 69 IG	GE 00 05 003	A	14 di 25

La tabella seguente sintetizza le caratteristiche dei layout di acquisizione delle singole prove con i rispettivi valori di V_{seq} calcolati e conseguente categoria di suolo sismico:

Sigla Prova	Tipologia di indagine	Numero geofoni	Spaziatura intergeofonica (m)	Lunghezza stendimento (m)	V_{seq} (m/sec)	Profondità di riferimento (m)	Categoria suolo
M01	M.A.S.W.	24	5	115	200	30	C
M02	M.A.S.W.	24	5	115	214	30	C
M03	M.A.S.W.	24	5	115	221	30	C
R1	M.A.S.W./ Re.Mi.	24	2.5	57.5	221	30	C
R2	M.A.S.W./ Re.Mi.	24	2.5	57.5	234	30	C

REPORT INDAGINI GEOFISICHE

Indagini geofisiche pregresse

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IB0Q	3A	R 69 IG	GE 00 05 003	A	15 di 25

ALLEGATO 1

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

M01 / M02 / R1 / R2 (Zona Trento)

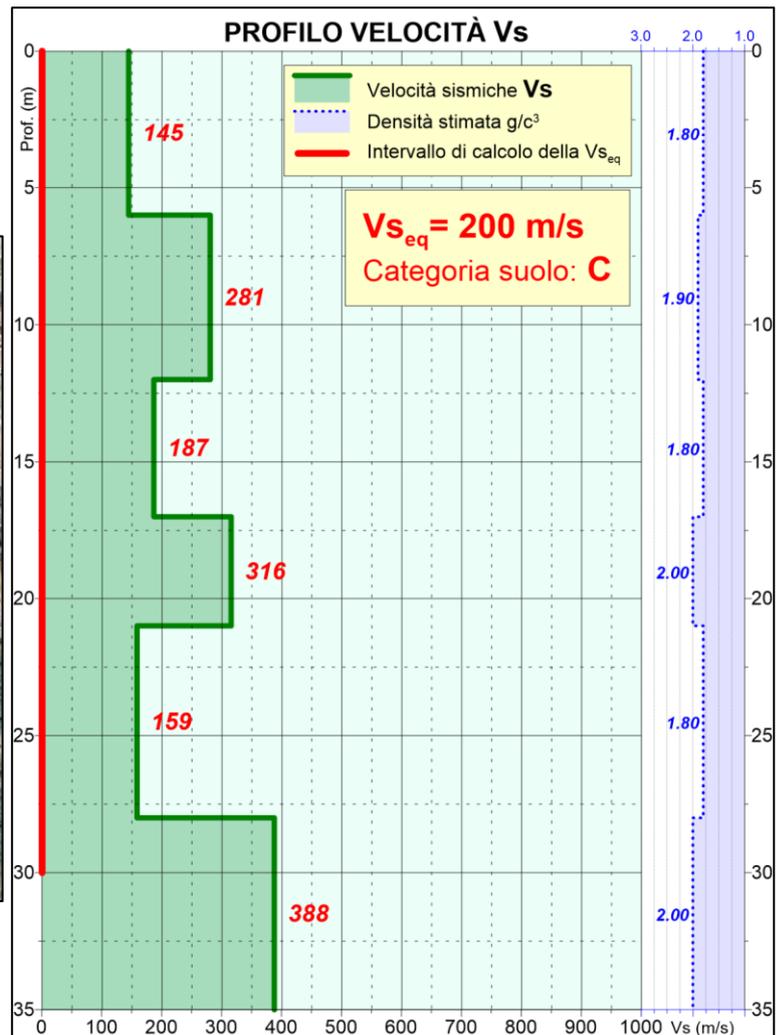
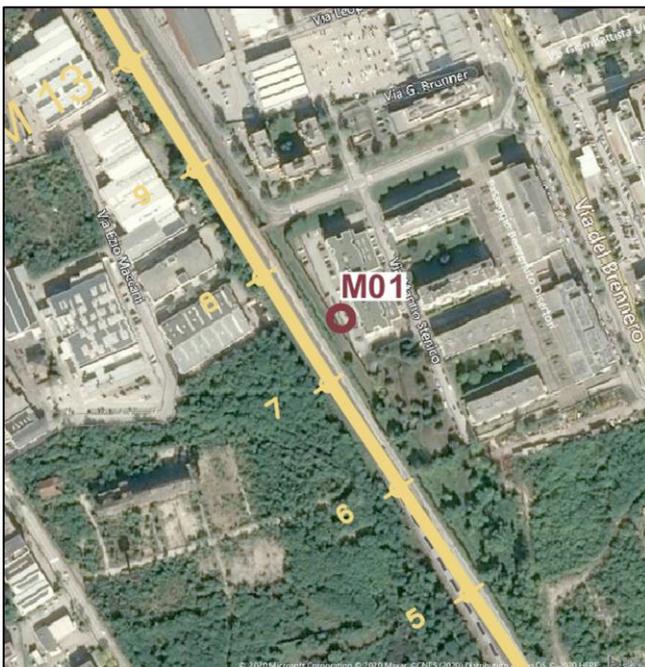
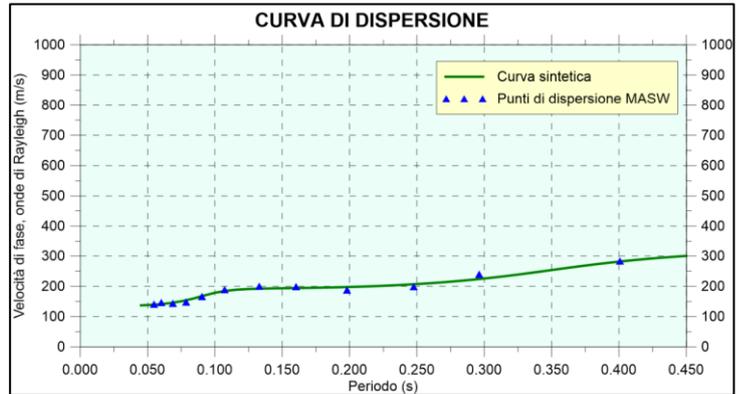
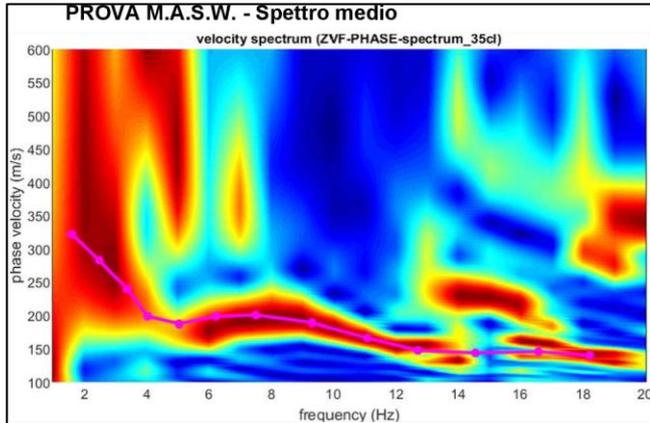
M03 (Zona Murazzi)

REPORT INDAGINI GEOFISICHE

Indagini geofisiche pregresse

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IB0Q	3A	R 69 IG	GE 00 05 003	A	16 di 25

Prova M.A.S.W. – M01

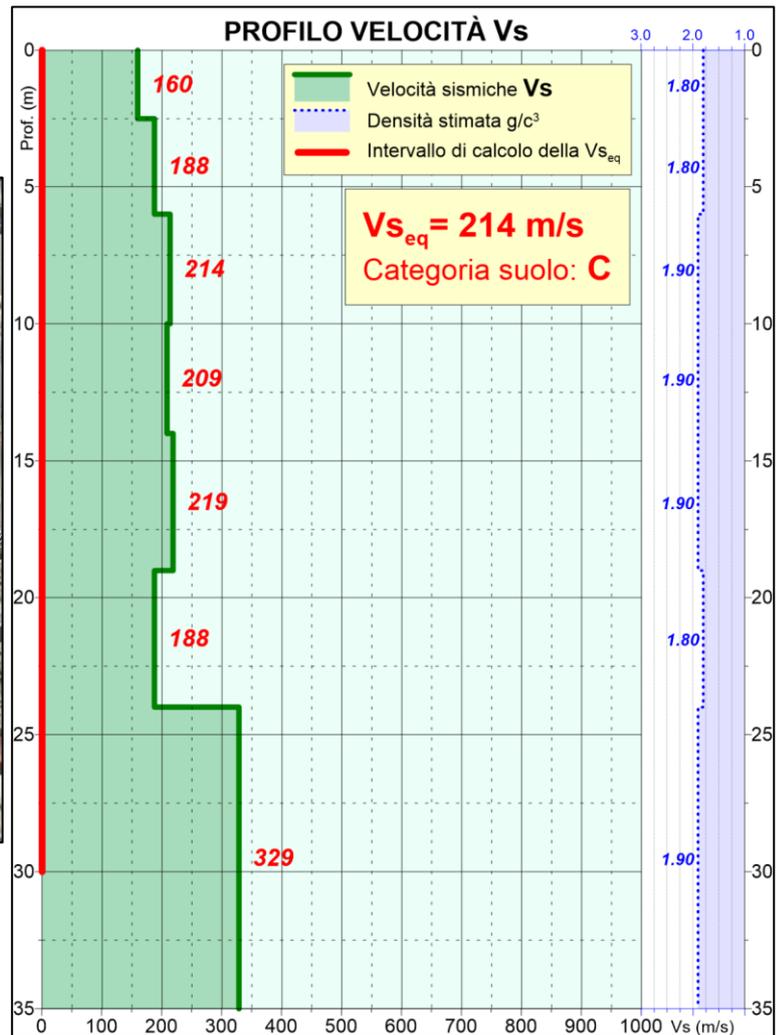
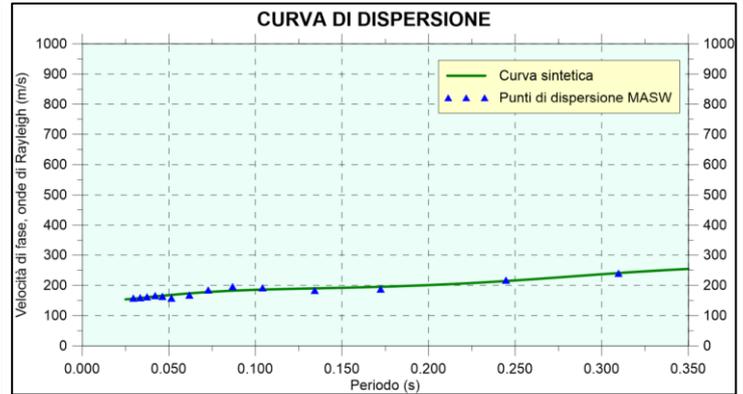
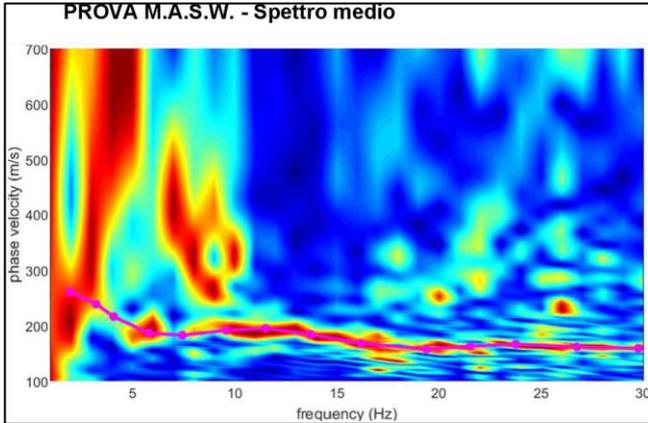


REPORT INDAGINI GEOFISICHE

Indagini geofisiche pregresse

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IB0Q	3A	R 69 IG	GE 00 05 003	A	17 di 25

Prova M.A.S.W. – M02

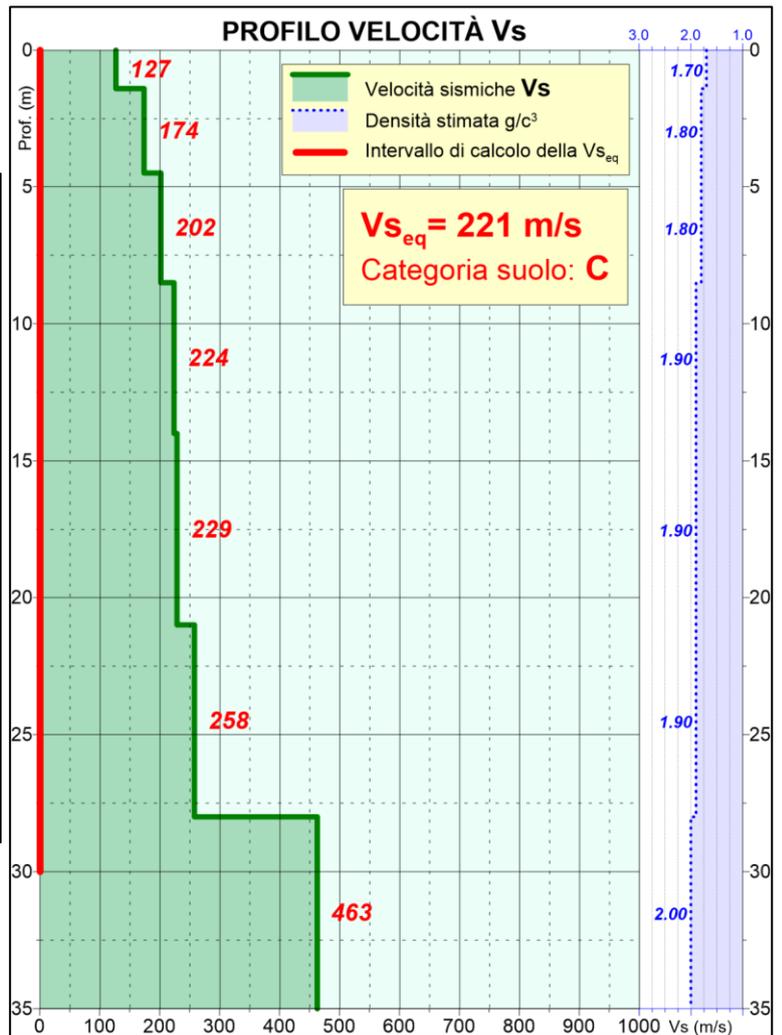
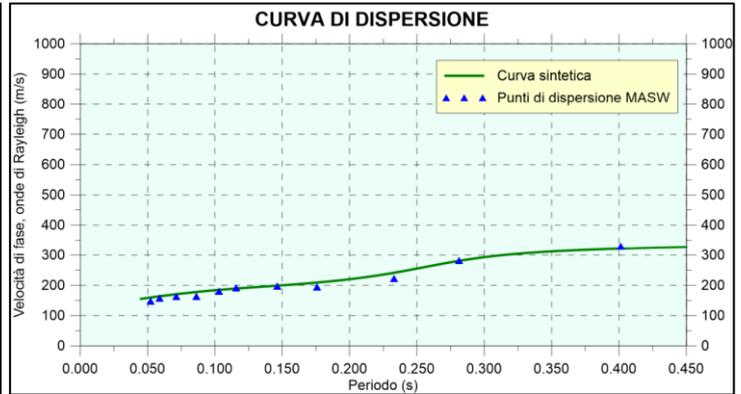
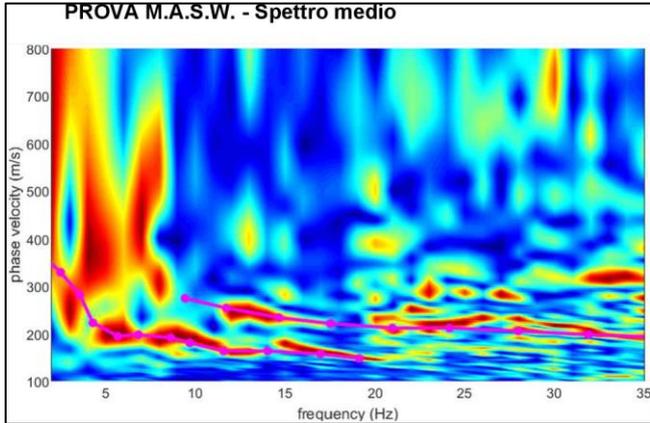


REPORT INDAGINI GEOFISICHE

Indagini geofisiche pregresse

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IB0Q	3A	R 69 IG	GE 00 05 003	A	18 di 25

Prova M.A.S.W. – M03

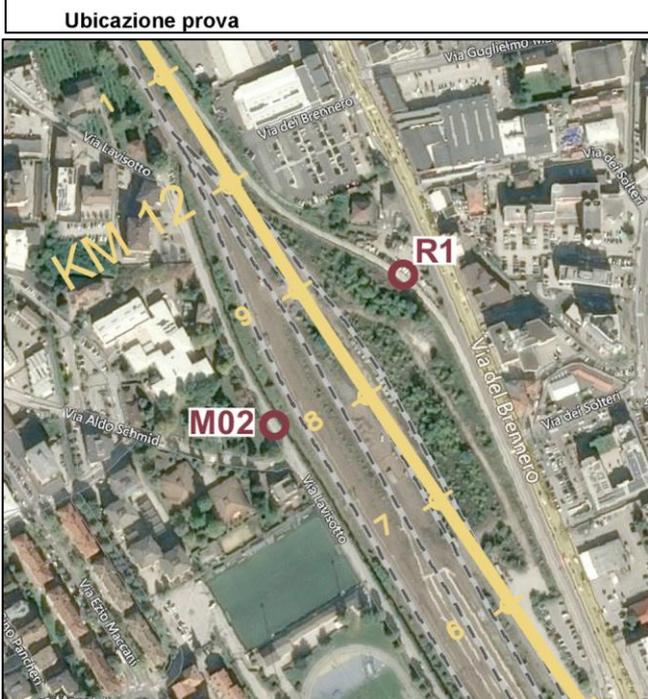
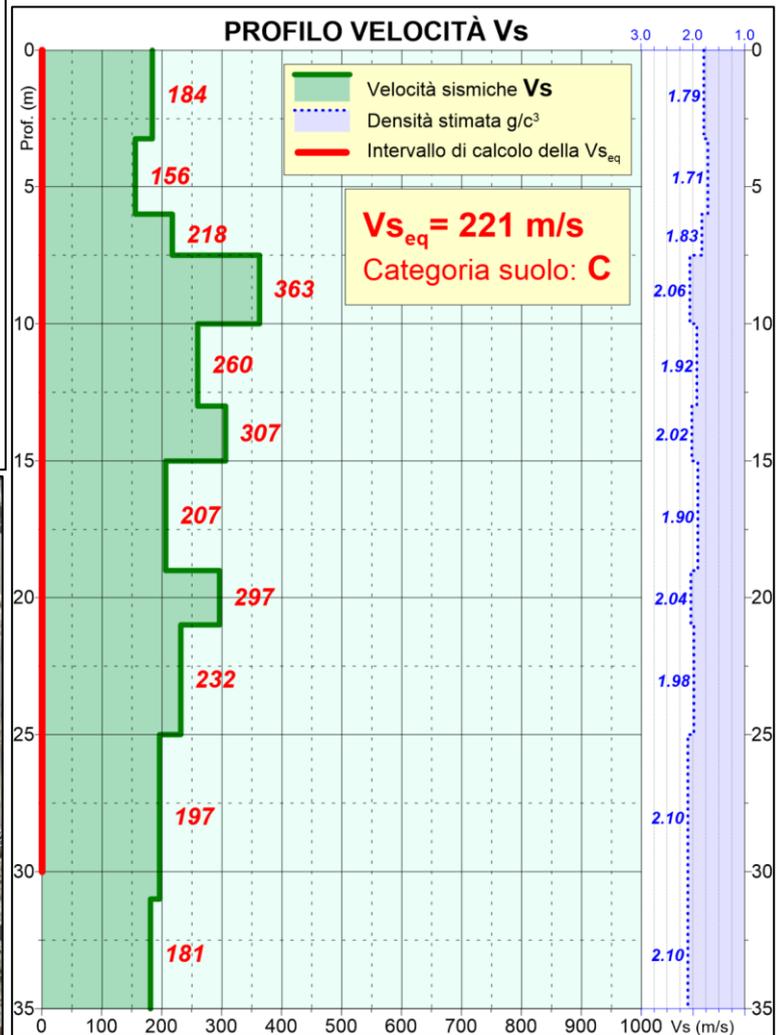
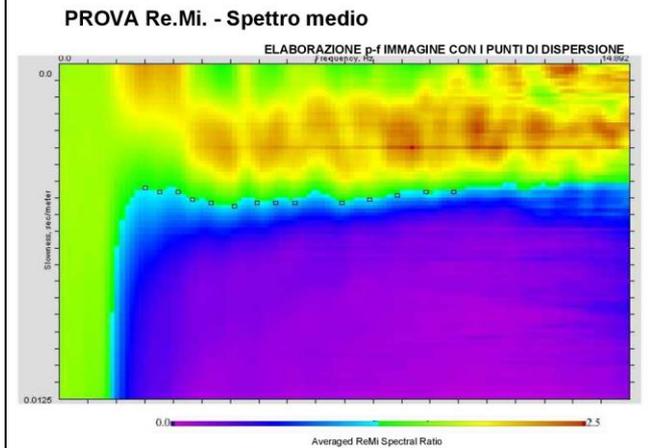
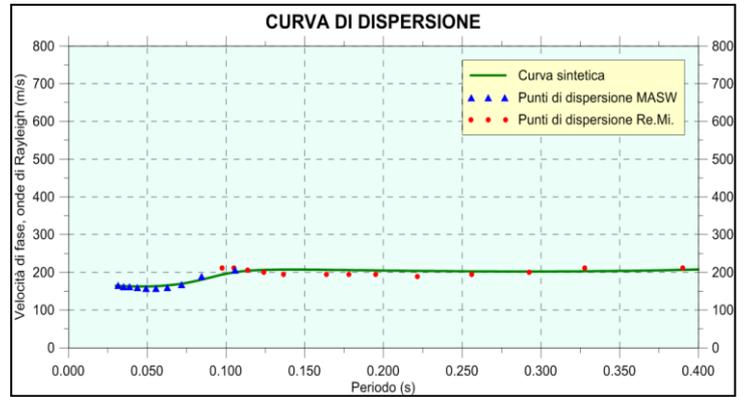
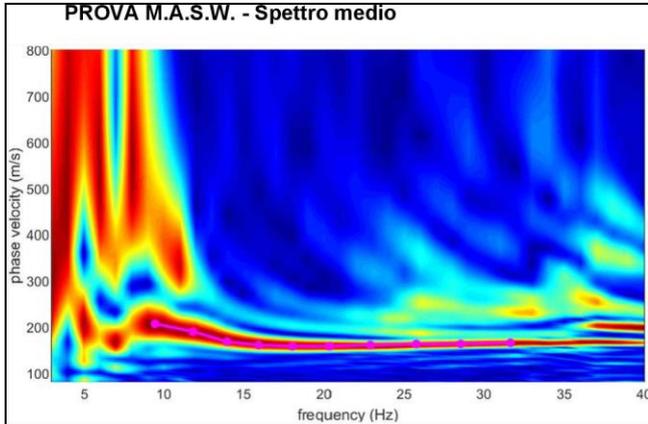


REPORT INDAGINI GEOFISICHE

Indagini geofisiche pregresse

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IB0Q	3A	R 69 IG	GE 00 05 003	A	19 di 25

Prova M.A.S.W./Re.Mi. – R1



REPORT INDAGINI GEOFISICHE

Indagini geofisiche pregresse

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IB0Q	3A	R 69 IG	GE 00.05.003	A	21 di 25

3 PROSPEZIONE SISMICA

La prospezione sismica è stata finalizzata alla determinazione delle velocità delle onde sismiche **P** (onde di compressione) e **S** (onde di taglio) dei litotipi presenti nell'area d'indagine.

Nella totalità sono stati realizzati n.6 profili sismici a rifrazione, denominati da **P01** a **P06**, costituiti da allineamenti di n. 24 geofoni intervallati di 5.0 m. I profili registrati sono stati eseguiti in Loc. Acquaviva e i cui risultati finali sono raccolti nello specifico elaborato interpretativo *IBOQ3AR69IGGE0005002*.

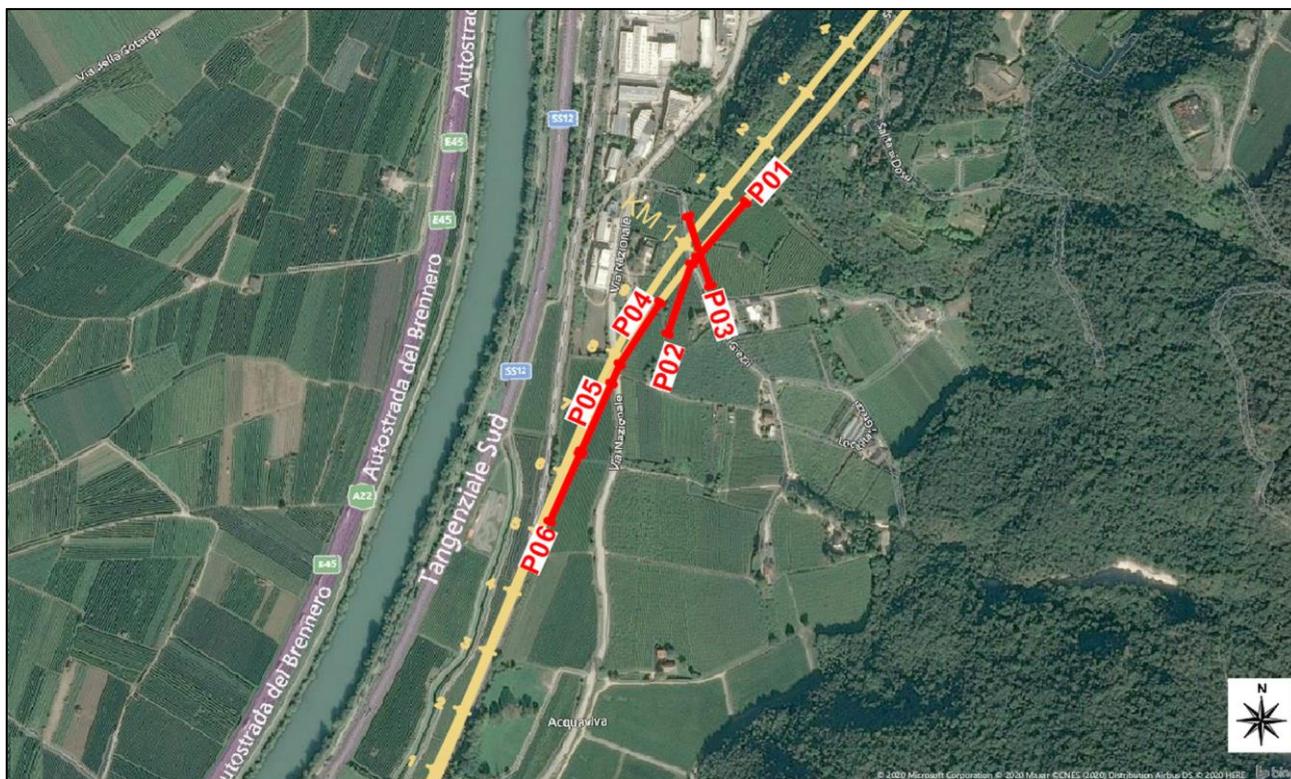


Fig. 8 – Ubicazione profili sismici a rifrazione in Loc. Acquaviva, a sud di Trento.

3.1 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 rifratore (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 rifratore più profondo individuato (poiché i raggi sismici che scendono a profondità superiori non ritornano in superficie nei punti in cui sono collocati i geofoni).

REPORT INDAGINI GEOFISICHE

Indagini geofisiche pregresse

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IB0Q	3A	R 69 IG	GE 00.05.003	A	22 di 25

3.2 Acquisizione dati

Negli stendimenti sono stati utilizzati geofoni “Geospace” con frequenza propria di 14 Hz per registrazioni **V_p** e di 4.5 Hz per registrazioni **V_s**, posizionati ad una distanza intergeofonica di 5.0 m.



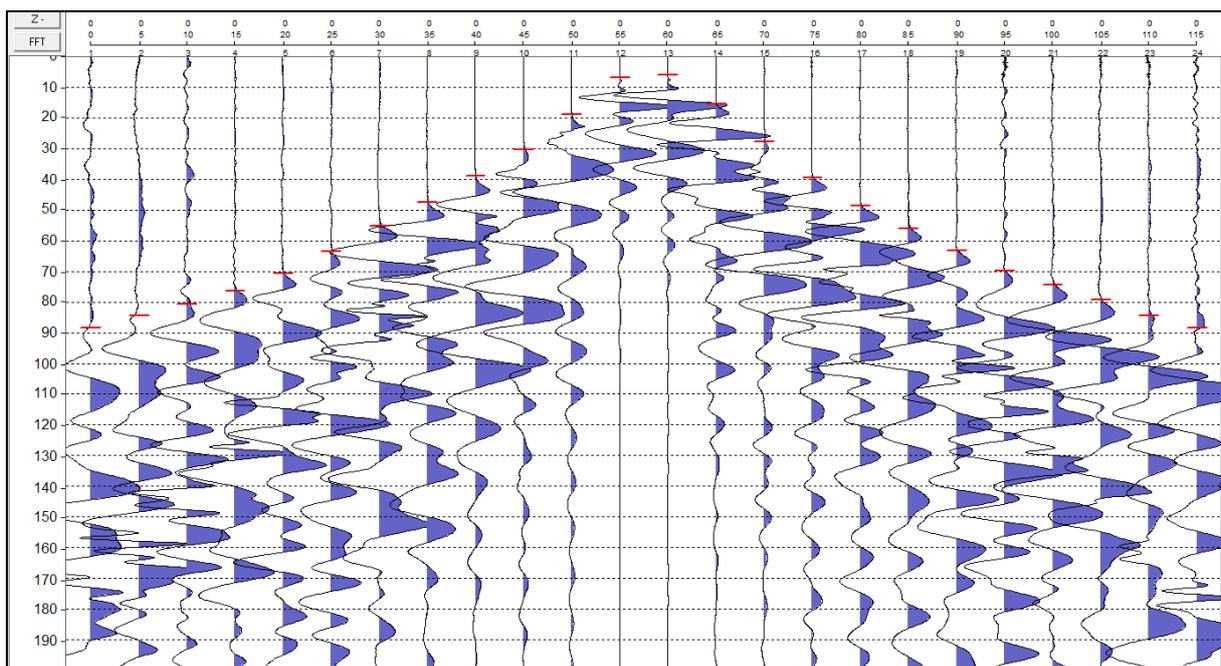
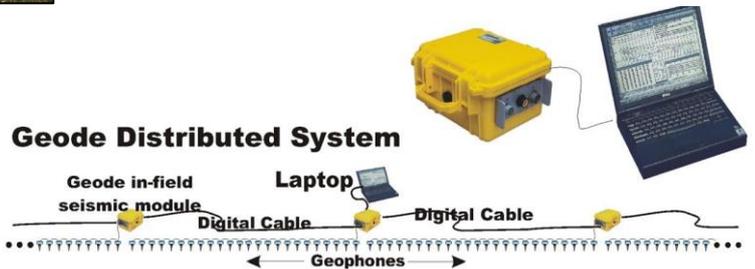
In punti predefiniti del profilo, solitamente ogni 4 geofoni, sono stati creati artificialmente degli impulsi elastici mediante l'utilizzo di una massa battente da 8.0 Kg; per ogni punto di energizzazione, per migliorare il rapporto segnale-rumore, sono state sommate diverse battute. Il “time-break”, tempo zero di inizio registrazione, è stato fissato attraverso l’apertura di un circuito elettrico posizionato sulla massa battente.

La registrazione dei sismogrammi è stata effettuata mediante n.2 sismografi digitali mod. “Geode” della Geometrics a 24 canali, collegati in serie, in modo da consentire la registrazione contemporanea di 48 canali

(ove possibile).

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 tagliata a 0.200 secondi utilizzata per il picking dei primi arrivi delle onde **P**.

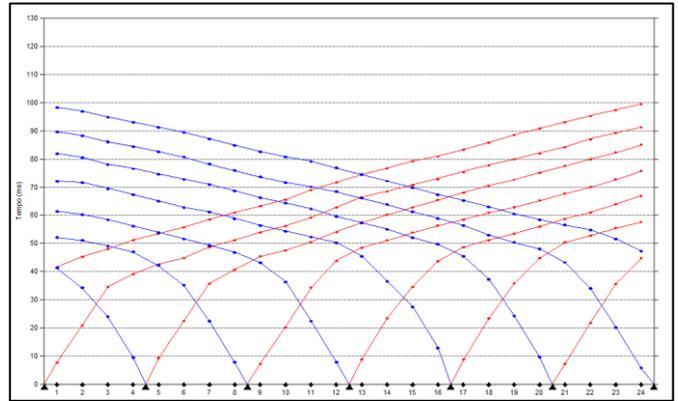


Esempio registrazione.

3.3 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.

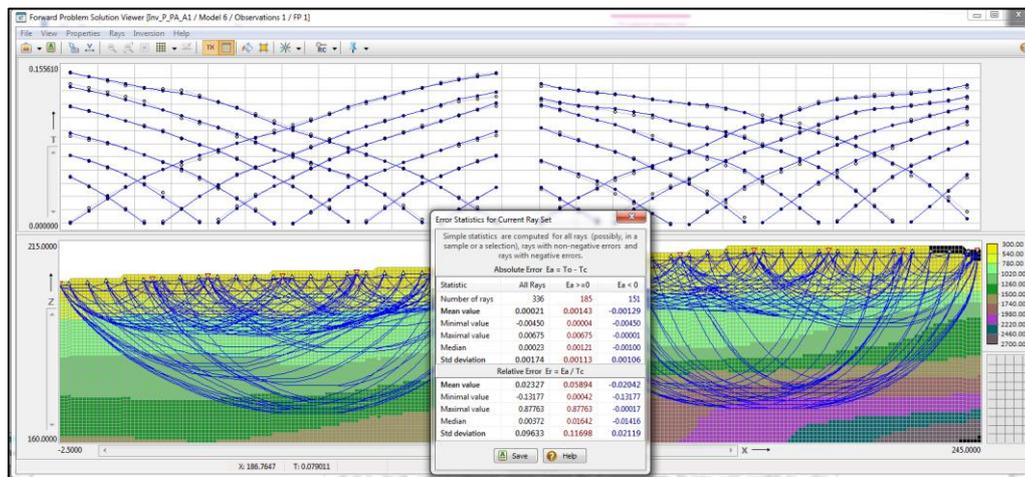
Le dromocrone sono state interpretate applicando algoritmi di calcolo basati sul metodo “time delay” di Hawkins e sul metodo “delle intercette”. I risultati di tale interpretazione hanno consentito la caratterizzazione in termini di velocità sismica dei materiali costituenti il sottosuolo dell’area indagata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



Esemio Dromocrona.



Lo schema di velocità ottenuto è quindi stato utilizzato come modello iniziale per l’elaborazione tomografica. Il programma di inversione tomografica utilizzato è “XTomo-LM3” di Xgeo. 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 sparso e i punti di ricezione. La prima fase di “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.

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”. A differenza delle sezioni elaborate con il metodo delle intercette, 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.

REPORT INDAGINI GEOFISICHE

Indagini geofisiche pregresse

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IB0Q	3A	R 69 IG	GE 00.05.003	A	24 di 25

3.4 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. Vengono di seguito esaminate le singole aree d'indagine.

3.4.1 Località Acquaviva

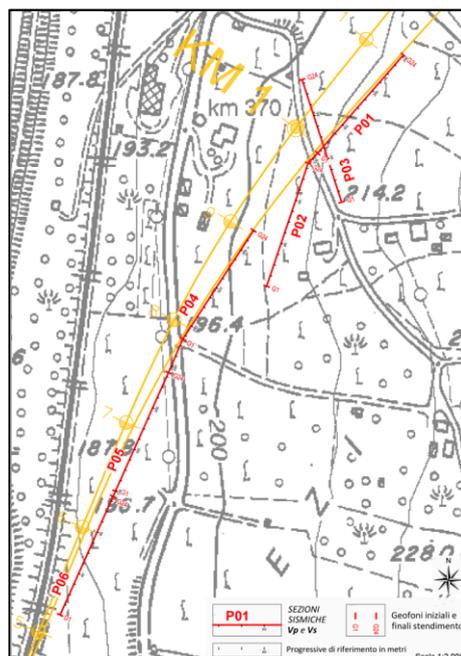


Area profilo P06

È stato registrato un profilo longitudinale a sigla **P02-P01** unitamente ad un profilo trasversale **P03** nel settore settentrionale, unitamente ad un profilo longitudinale (interrotta da via Nazionale) composto dai settori a sigla **P06-P05-P04** nel settore centrale.



Area profilo P03

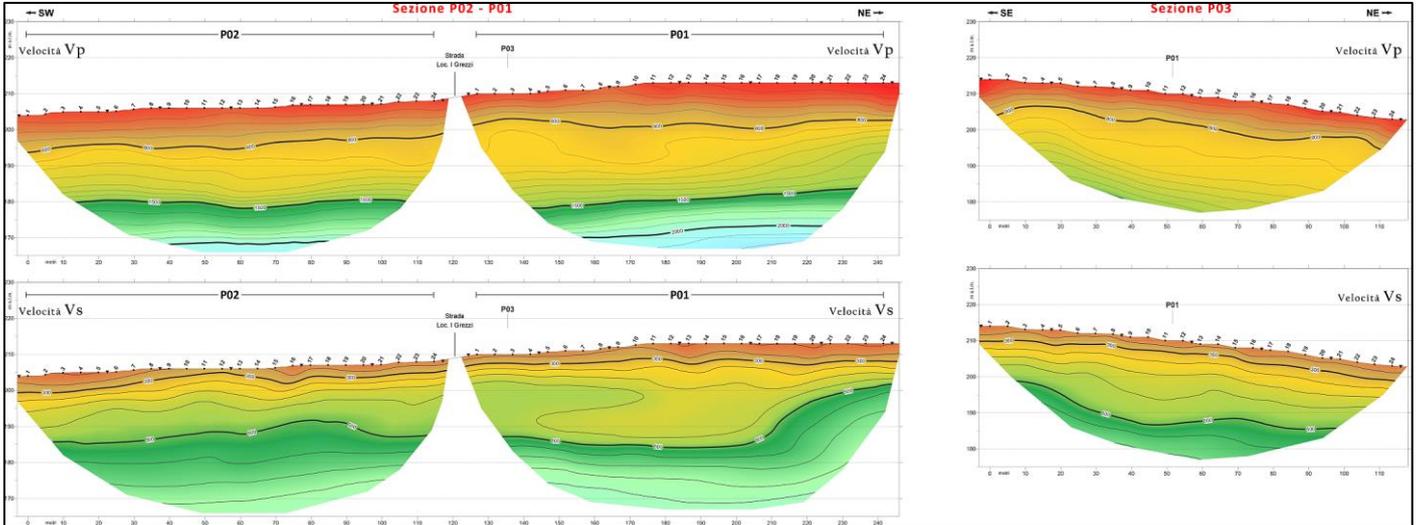


Nella porzione **P02-P01** e **P03** si registrano valori di **Vp** orientativamente riferibili a velocità di 500/1000 m/sec con specifico incremento alla base dei profili **P01** e **P02** con unità tendente a valori di **Vp** dell'ordine di 1500/2000 m/sec (verosimilmente riferibili ad elementi più fini). I valori di **Vs** si attestano fra 300-500 m/sec.

REPORT INDAGINI GEOFISICHE

Indagini geofisiche pregresse

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IB0Q	3A	R 69 IG	GE 00 05 003	A	25 di 25



Relativamente al profilo longitudinale **P06-P05-P04** si descrive un'unità di fondo (tra 15 e 20 m dal p.c.) con velocità tendenti a 2000 m/sec. L'insieme dei valori di Vs si sviluppa fra 300-700 m/sec.

