

COMMITTENTE



PROGETTAZIONE:



**DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO**

**NODO DI CATANIA**

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

**PROGETTO DEFINITIVO**

**INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL' AEROPORTO DI FONTANAROSSA**

**INDAGINI GEOFISICHE LINEA CATANIA - SIRACUSA CAMPAGNA 2012**

SCALA:

---

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

RS3H 00 D 69 IG GE0005 002 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato
A	EMISSIONE ESECUTIVA	F.M. Carli 	Gennaio 2020	F.M. Carli 	Gennaio 2020	S. Vanfiori 	Gennaio 2020	M. Comedini Gennaio 2020 



File: RS3H00D69IGGE0005002A

n. Elab.110

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



**INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA  
LEGGE OBIETTIVO N. 443/01**

**U.O. GEOLOGIA**

**PROGETTO ESECUTIVO**

**VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA CATANIA - SIRACUSA  
TRATTA BICOCCA - TARGIA  
LOTTO I - BICOCCA - AUGUSTA**

**INDAGINI GEOFISICHE:**

**PROSPEZIONI SISMICHE (MASW)**

SCALA:

-

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

L 7 0 2    0 1    E    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 Definitiva	C.Corno	Dic. 2012	F.Romano	Dic. 2012	C.Gambelli	Dic. 2012	F. Marchese Dic. 2012

File

n. Elab

## INDICE

1	PREMESSA .....	3
2	RIFERIMENTO NORMATIVO.....	4
3	STENDIMENTI SISMICI CON METODO “MASW” E CENNI METODOLOGICI .....	5
3.1	MODALITÀ ESECUTIVE DELLE PROVE “MASW” .....	6
3.2	ELABORAZIONE DATI .....	6
4	SINTESI DEI RISULTATI.....	7

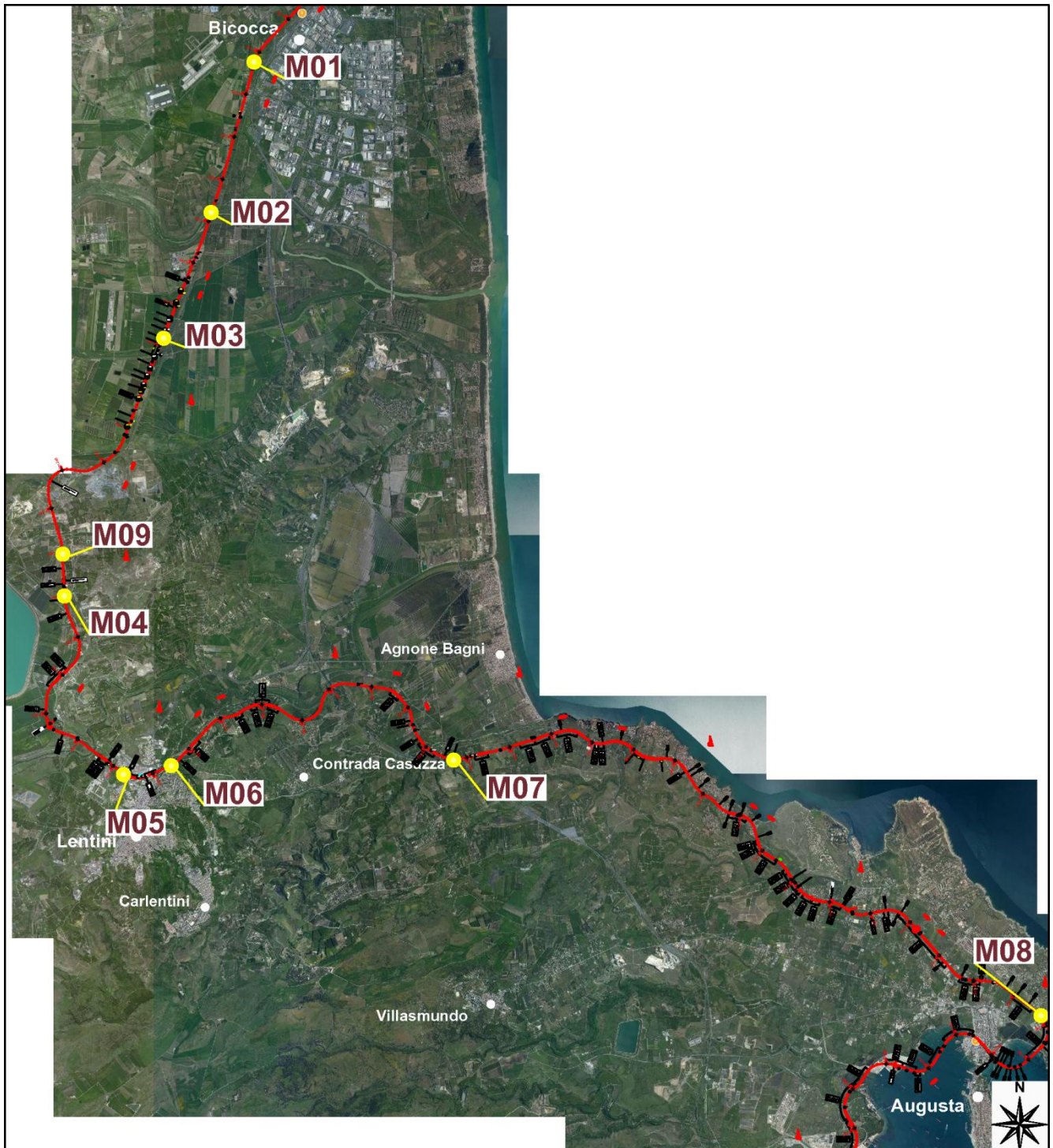
## ALLEGATI

MASW M01.....	8
MASW M02.....	11
MASW M03.....	14
MASW M04.....	17
MASW M05.....	20
MASW M06.....	23
MASW M07.....	26
MASW M08.....	29
MASW M09.....	32

## 1 PREMESSA

Sono stati riassunti i risultati della classificazione sismica dei suoli ottenuti a seguito di specifiche prove geofisiche nelle posizioni definite dalla planimetria allegata.

Sono state eseguite n. 9 prove MASW; di seguito vengono trasmessi i risultati delle indagini e la loro sintesi.



## 2 RIFERIMENTO NORMATIVO

La nuova normativa “Norme tecniche per le costruzioni” afferma che ai fini della definizione della 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 mancanza di tali studi si può utilizzare la classificazione dei terreni descritta di seguito. La classificazione deve riguardare i terreni compresi tra il piano di imposta delle fondazioni degli edifici ed un substrato rigido di riferimento, (bedrock) ovvero quelli presenti ad una profondità commisurata all’estensione ed all’importanza dell’opera.

La classificazione può essere basata sulla stima dei valori della velocità media delle onde sismiche di taglio VS ovvero sul numero medio di colpi NSPT ottenuti in una prova penetrometrica dinamica ovvero sulla coesione non drenata media cu. In base alle grandezze sopra definite si identificano le seguenti le categorie del suolo di fondazione:

- A** – *Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi* caratterizzati da valori di  $V_{S30}$  superiori a 800 m/s, comprendenti eventuali livelli di alterazione superficiale con spessore massimo pari a 5m.
- B** – *Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti*, con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{S30}$  compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero resistenza penetrometrica NSPT > 50, o coesione non drenata  $C_u > 250$  kPa).
- C** – *Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate, o di argille di media consistenza*, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori di  $V_{S30}$  compresi tra 180 e 360 m/s ( $15 < NSPT < 50$ ,  $70 < C_u < 250$  kPa).
- D** – *Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti*, caratterizzati da valori di  $V_{S30} < 180$  m/s ( $NSPT < 15$ ,  $C_u < 70$  kPa).
- E** – *Profili di terreno costituiti da strati superficiali alluvionali*, con valori di  $V_{S30}$  simili a quelli dei tipi C o D e spessore compreso tra 5 e 20 m, giacenti su di un substrato di materiale più rigido con  $V_{S30} > 800$  m/s.

A queste cinque categorie principali si aggiungono altre due categorie per le quali sono richiesti studi speciali per la definizione dell’azione sismica da considerare:

- S1** - Depositi costituiti da, o che includono, uno strato spesso almeno 10 m di argille/limi di bassa consistenza, con elevato indice di plasticità ( $PI > 40$ ) e contenuto di acqua, caratterizzati da valori di  $V_{S30} < 100$  m/s ( $10 < c_u < 20$  kPa).
- S2** - Depositi di terreni soggetti a liquefazione, argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di terreno non classificabile nei tipi precedenti

La classificazione è effettuata sulla base del parametro  $V_{S30}$  che rappresenta la velocità delle onde di taglio S riferita a 30 m di profondità e calcolata con l’espressione:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}}$$

dove  $h_i$  e  $V_i$  indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio  $\gamma < 10^{-6}$ ) dello strato i-esimo, per un totale di N strati presenti nei 30m superiori.

Il sito è classificato sulla base del valore di  $V_{S30}$ , se disponibile, altrimenti sulla base del valore di NSPT.

### 3 STENDIMENTI SISMICI CON METODO “MASW” E CENNI METODOLOGICI

Il metodo Masw (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di 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 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 interessano gli strati più profondi. Il metodo di indagine MASW 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, sia 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 5Hz e 70Hz, 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 10Hz, quindi dà informazioni sugli strati più profondi del suolo, generalmente al di sotto dei 50m, in funzione della rigidità del suolo.

L'elaborazione dei dati con il metodo MASW 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  $\rho$  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 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.

### 3.1 Modalità esecutive delle prove "MASW"

Sono stati realizzati stendimenti di 24 geofoni spaziati di 2 m. La lunghezza delle registrazioni è stata di 1 sec, con un passo di campionamento di 0.125 ms. L'energizzazione, realizzata a distanze di 5 m e 10 m dal primo geofono e dall'ultimo geofono, è stata ottenuta con una massa battente di 10 Kg.

Per ogni punto di energizzazione, dato il rumore di fondo, il segnale è stato incrementato sommando 5-6 battute.

Si ricorda che il punto di determinazione del profilo delle Vs in profondità, si riferisce al centro dello stendimento geofonico. Per l'acquisizione dei sismogrammi è stato utilizzato un sismografo modulare a 24 bit di tipo "Geode" della Geometrics a 24 canali e elevata dinamica. I geofoni utilizzati hanno una frequenza propria di 4.5 Hz.

### 3.2 Elaborazione dati

Il software utilizzato per l'elaborazione dei dati è il "SurfSeis" della Kansas Geological Surveys.

In una prima fase è stata calcolata la velocità di fase (o curva di dispersione apparente sperimentale).

I dati sismici acquisiti, ed elaborati, hanno consentito di determinare i profili di velocità delle onde "S" sino a 35m dal p.c.

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.

#### 4 SINTESI DEI RISULTATI

La tabella allegata sintetizza i valori di  $V_{s30}$  calcolati e conseguente categoria di suolo sismico:

Sigla Prova	Vs30 (m/sec)	Categoria suolo
M01	145	D
M02	159	D
M03	215	C
M04	263	C
M05	255	C
M06	720	B
M07	450	B
M08	428	B
M09	430	B

Di seguito vengono trasmessi gli allegati di riferimento:

- Planimetria
- Documentazione fotografica
- Curva di dispersione
- Log velocità onde Vs

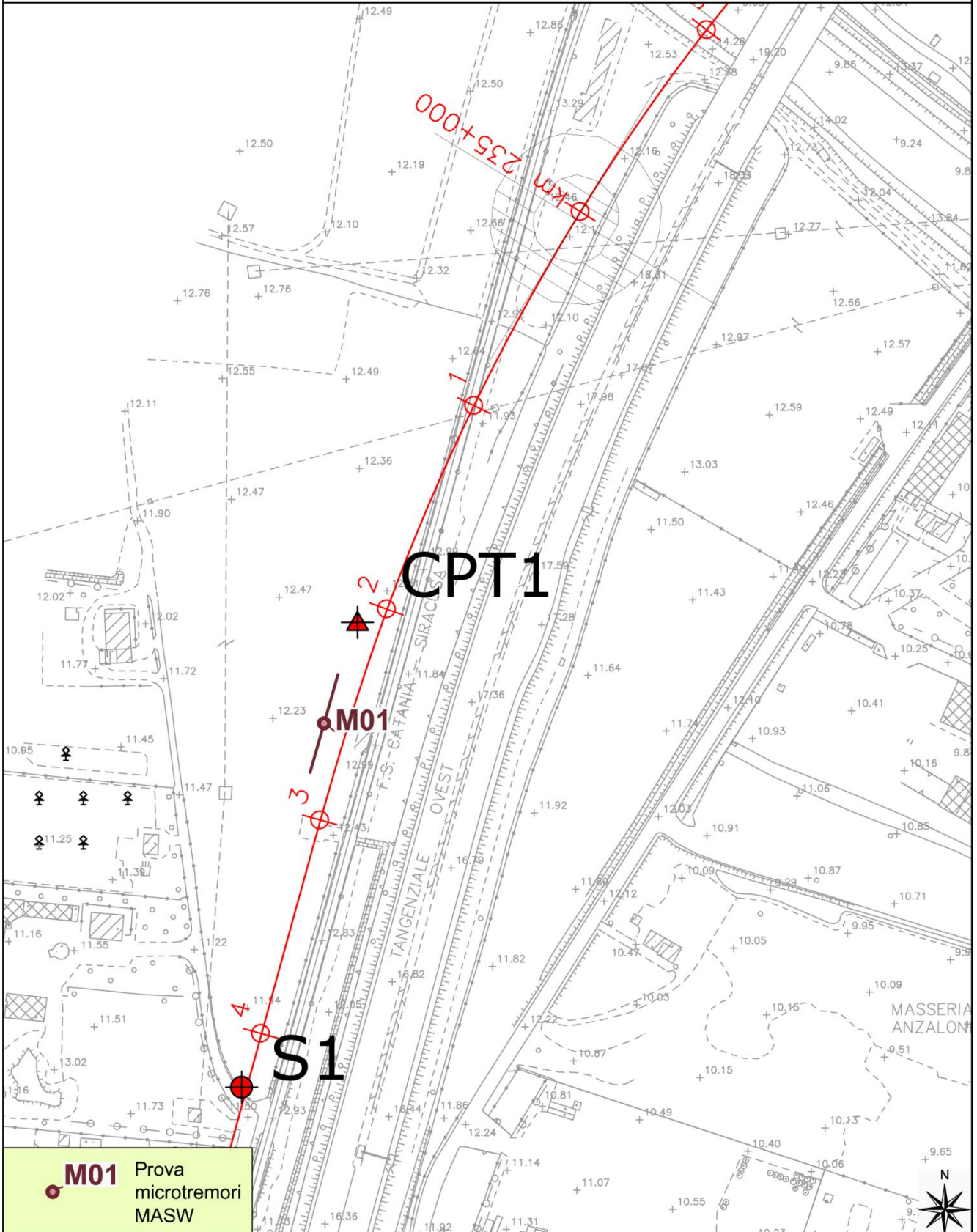


## Inquadramento territoriale Masw M01



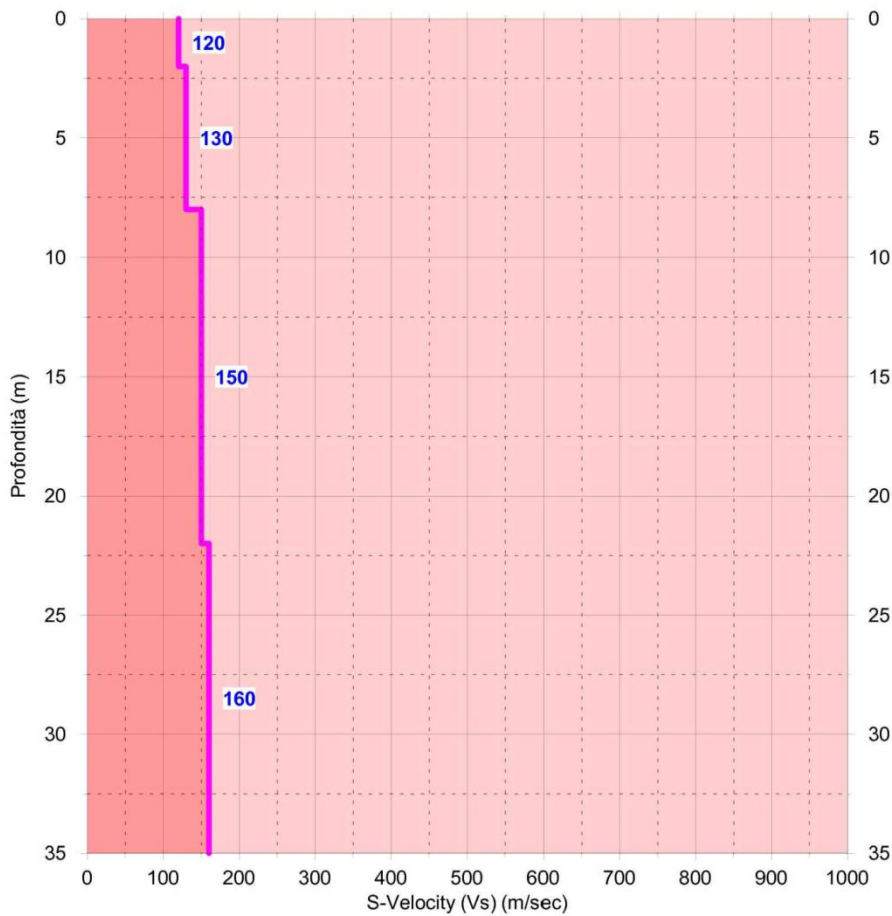
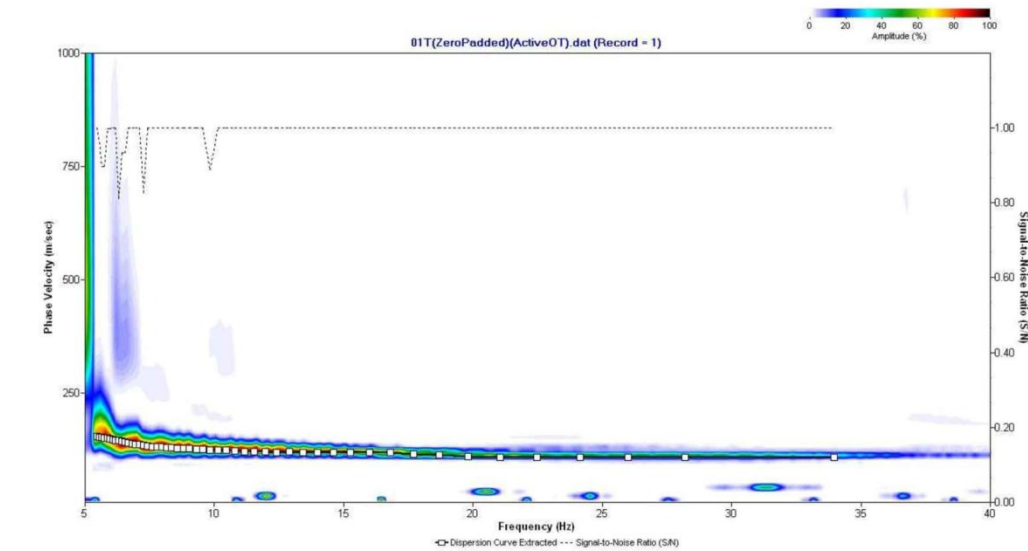
scala 1:2.500

Ubicazione Masw **M01**



Prova Microtremori MASW

**M01**



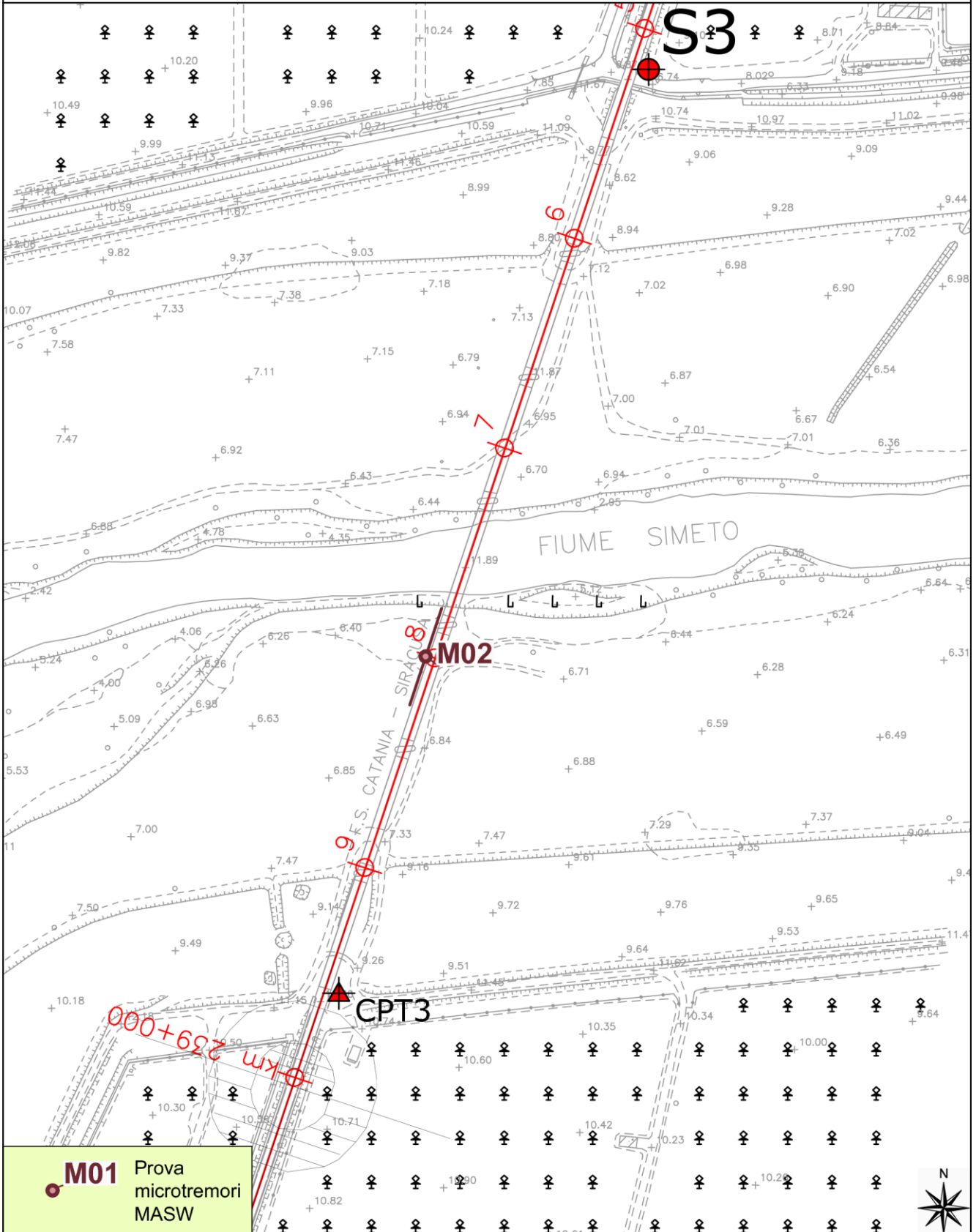
**$V_{s30} = 145$  m/sec Categoria suolo: D**

## Inquadramento territoriale Masw M02



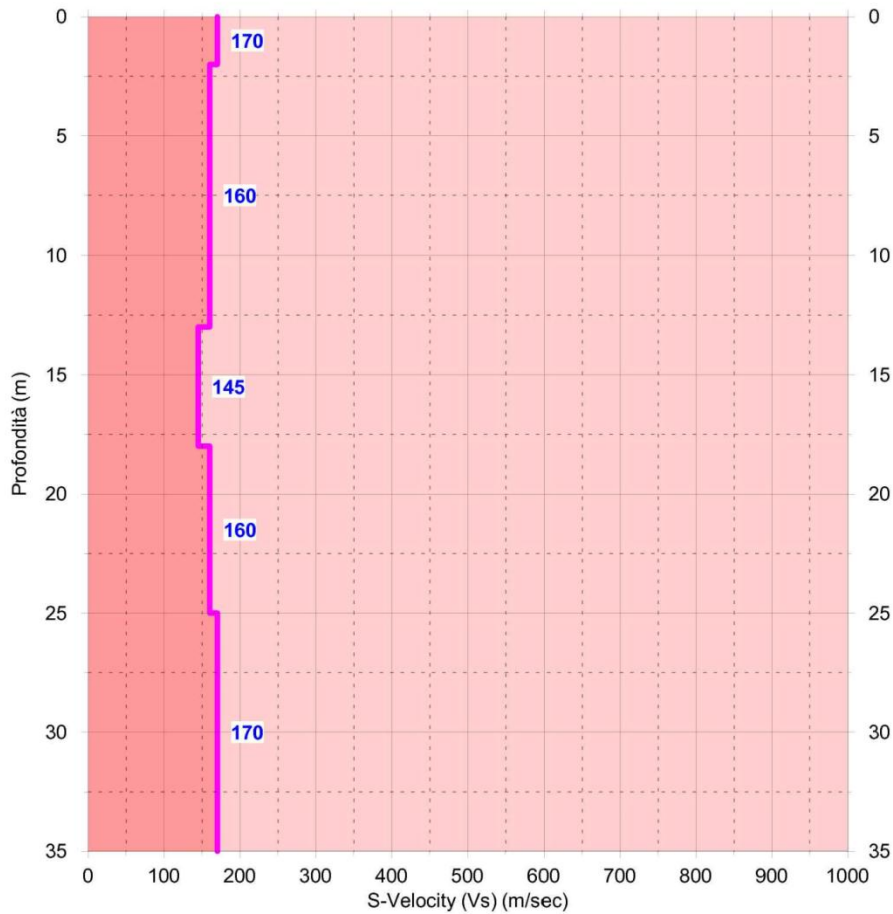
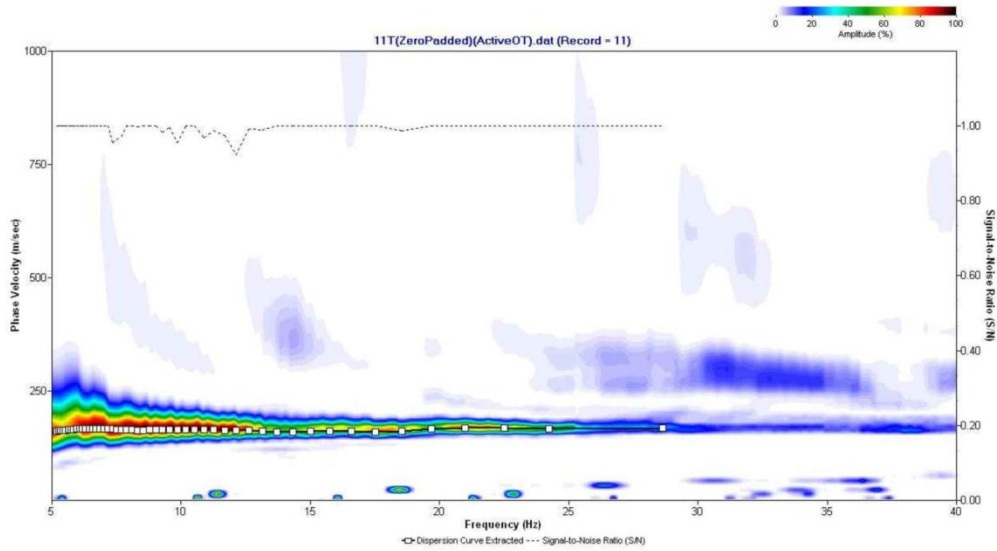
scala 1:2.500

Ubicazione Masw **M02**



Prova Microtremori MASW

**M02**



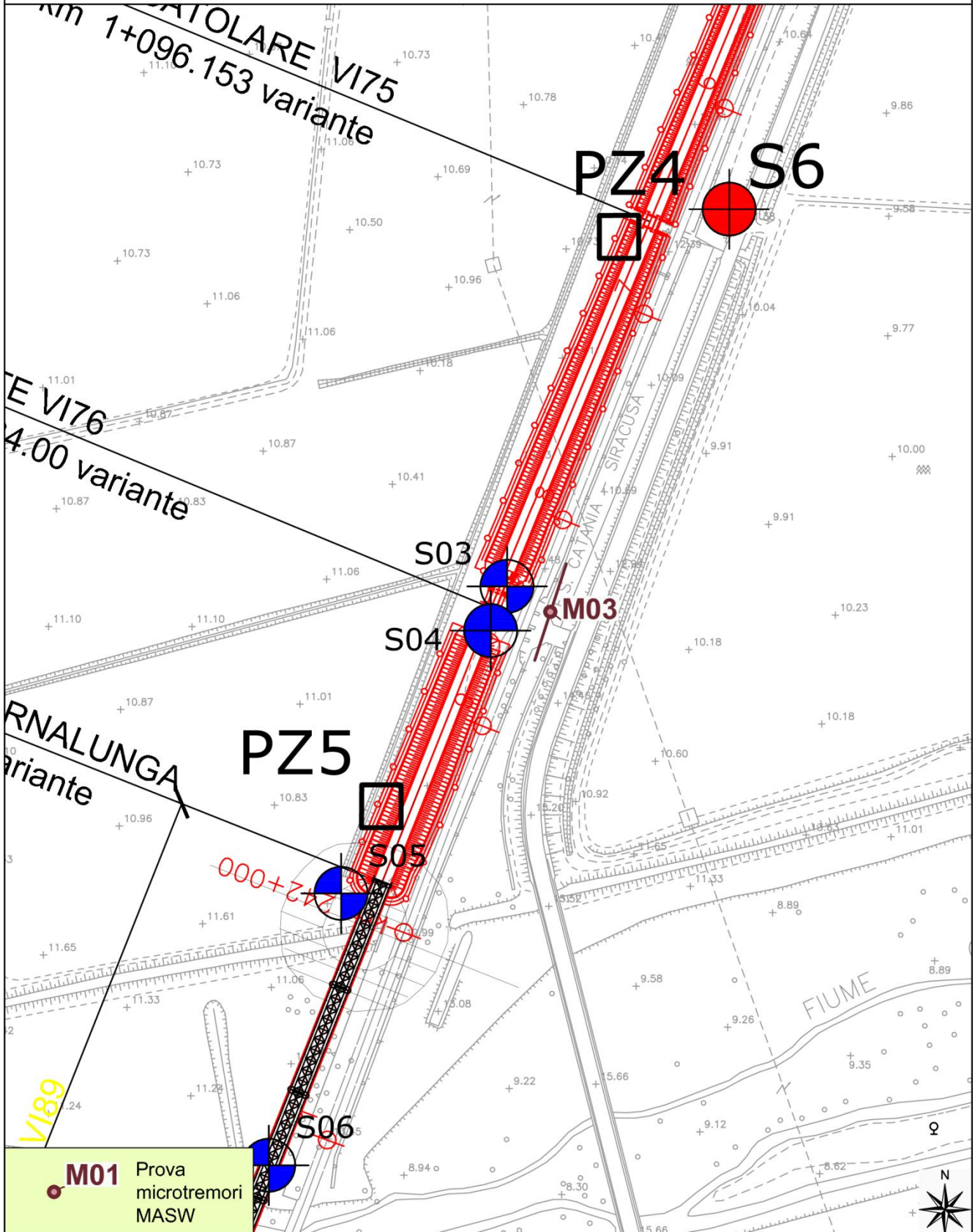
**$V_{s30} = 159$  m/sec Categoria suolo: D**

## Inquadramento territoriale Masw M03



scala 1:2.500

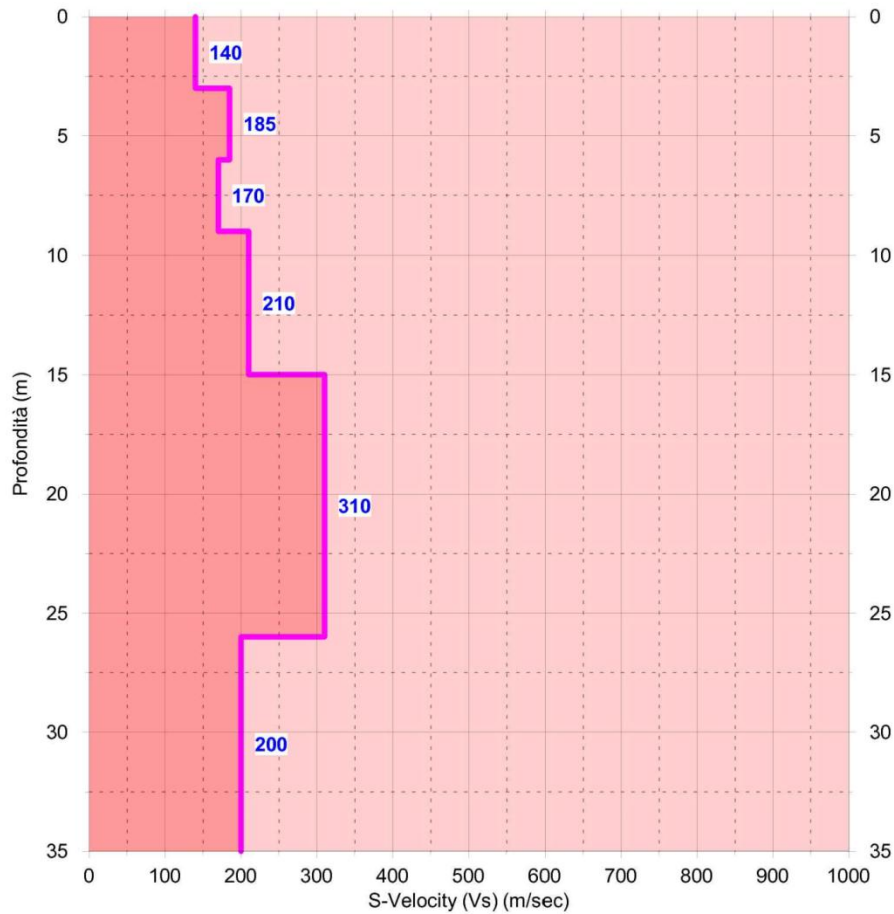
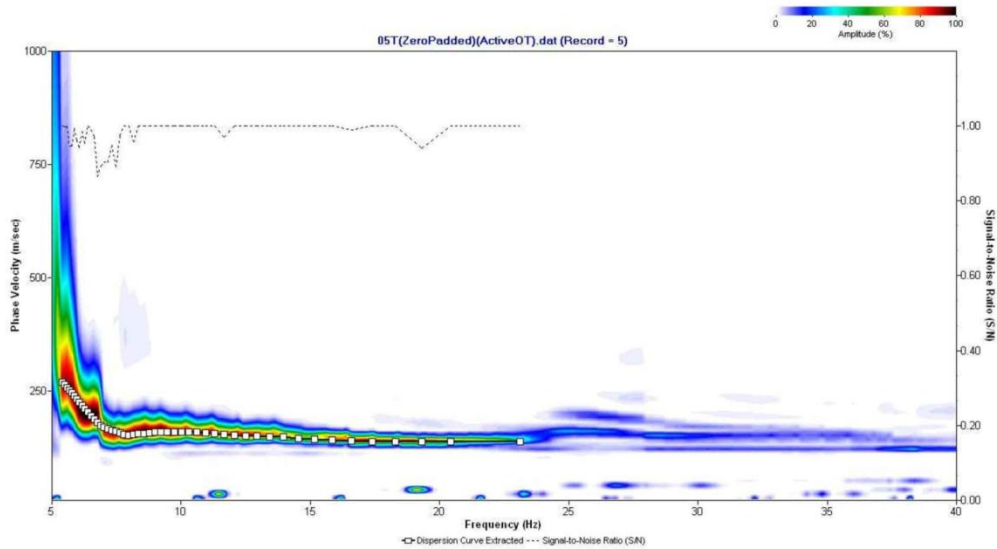
Ubicazione Masw **M03**





Prova Microtremori MASW

**M03**



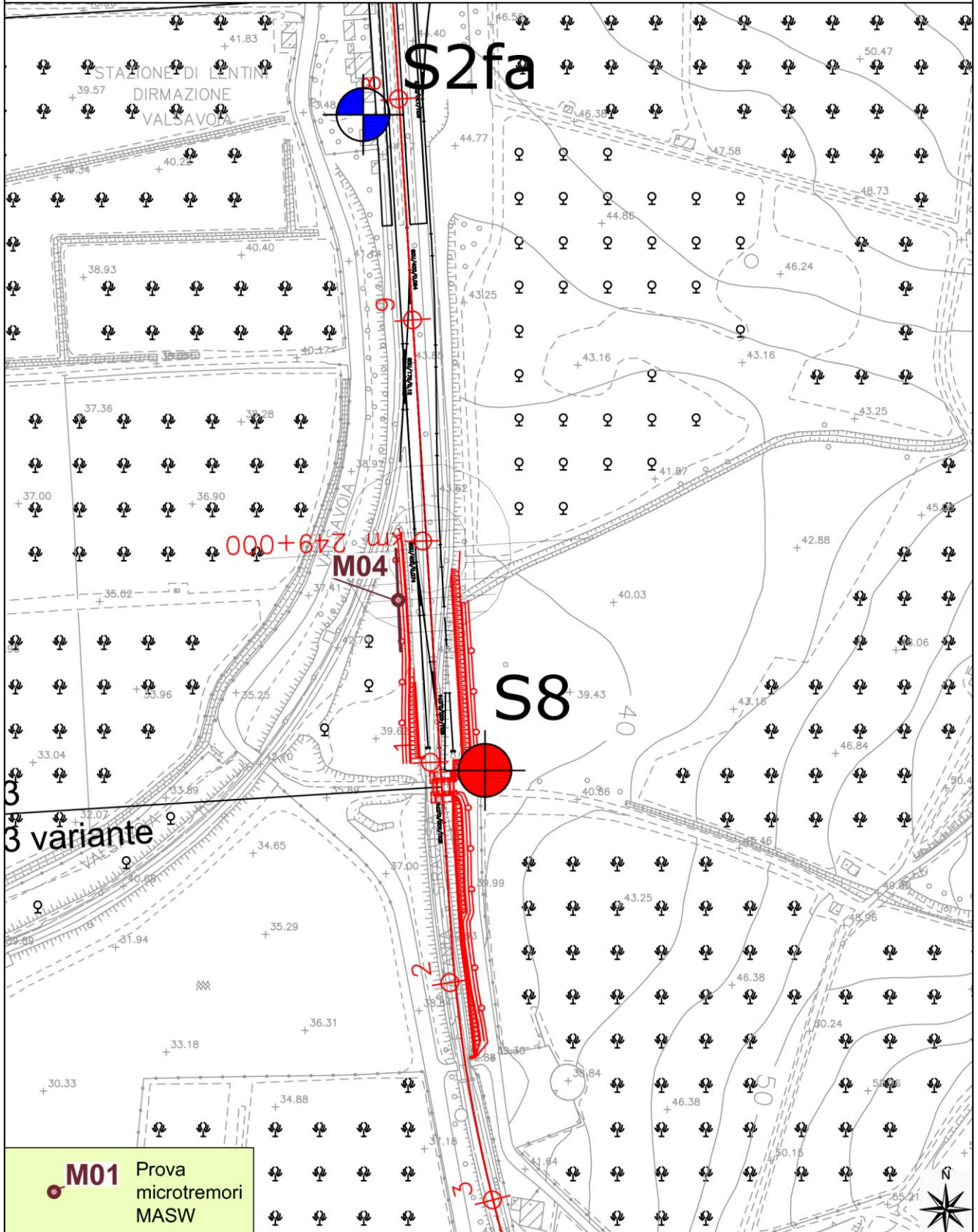
**$V_{s30}=215$  m/sec Categoria suolo: C**

## Inquadramento territoriale Masw M04



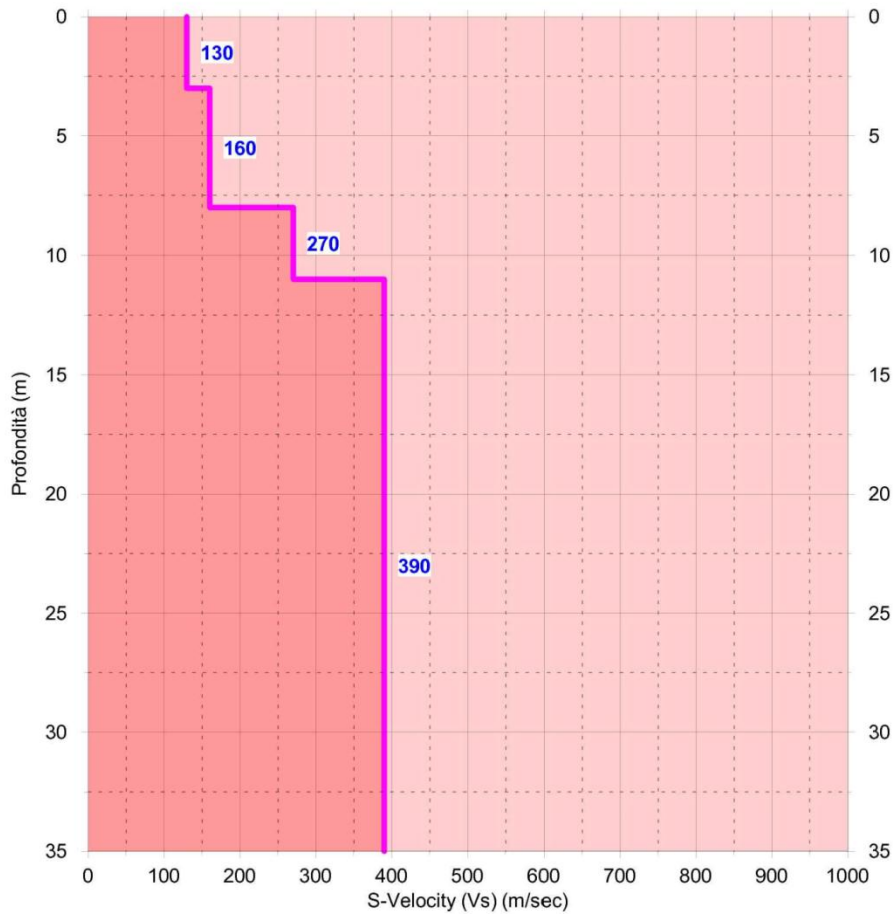
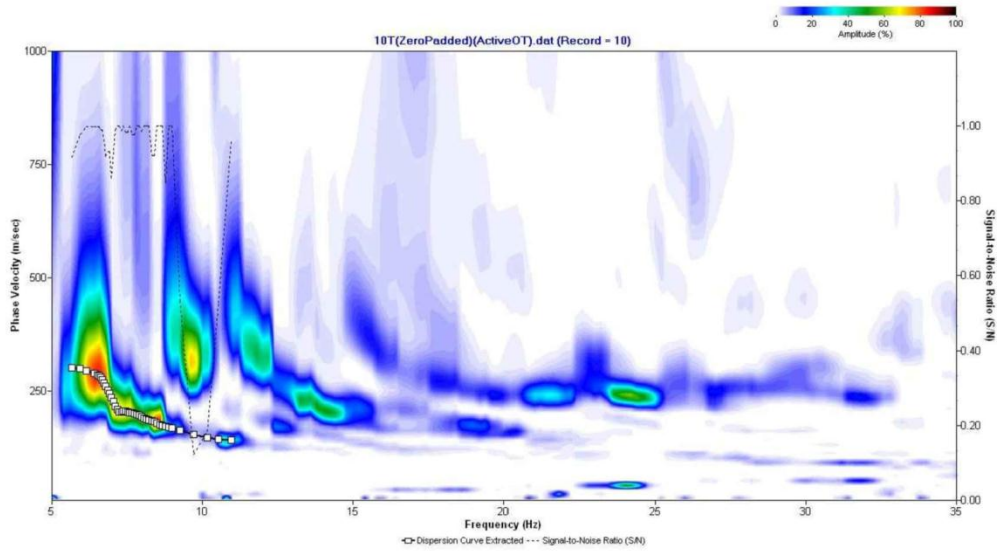
scala 1:2.500

Ubicazione Masw **M04**



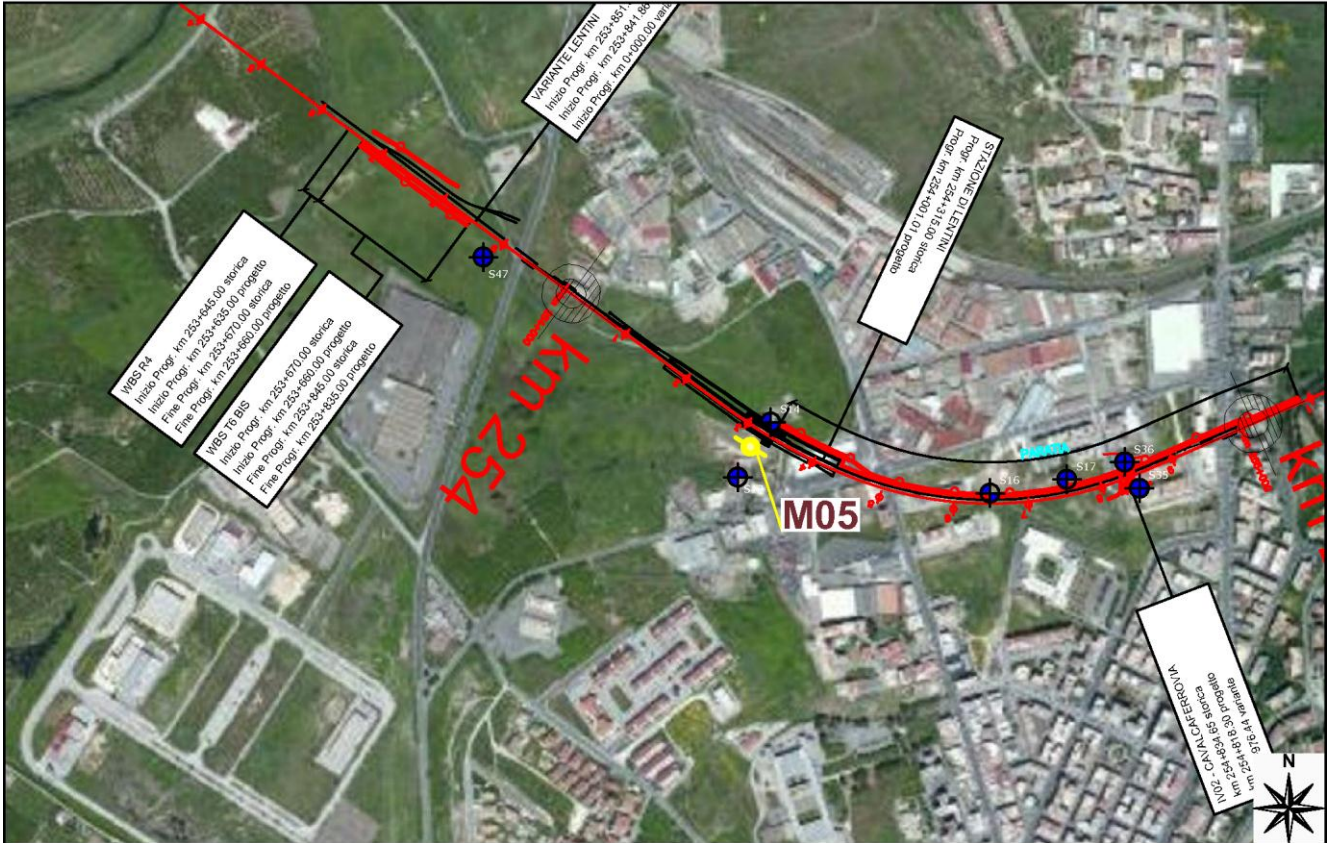
Prova Microtremori MASW

**M04**



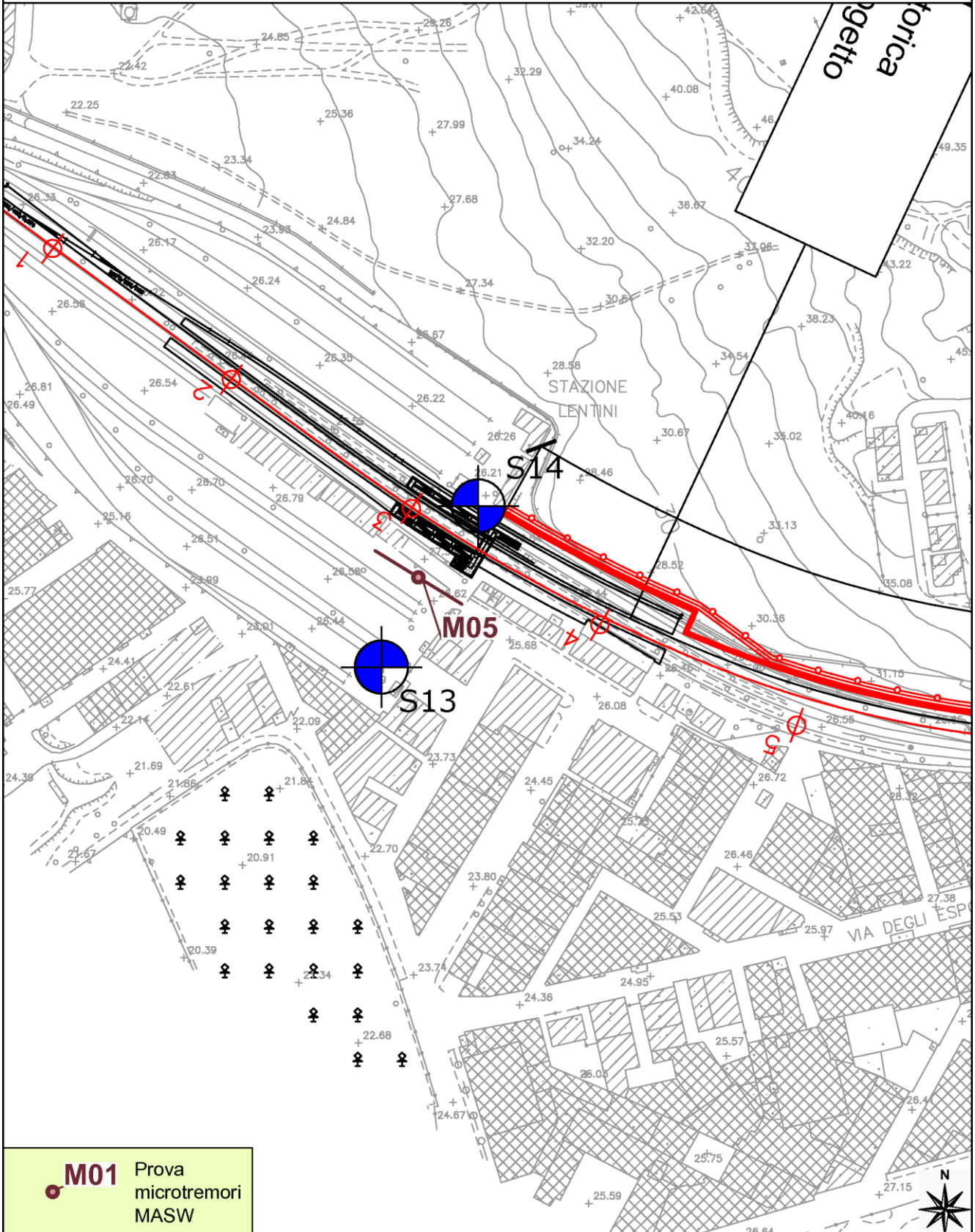
**$V_{s30} = 263$  m/sec Categoria suolo: C**

## Inquadramento territoriale Masw M05



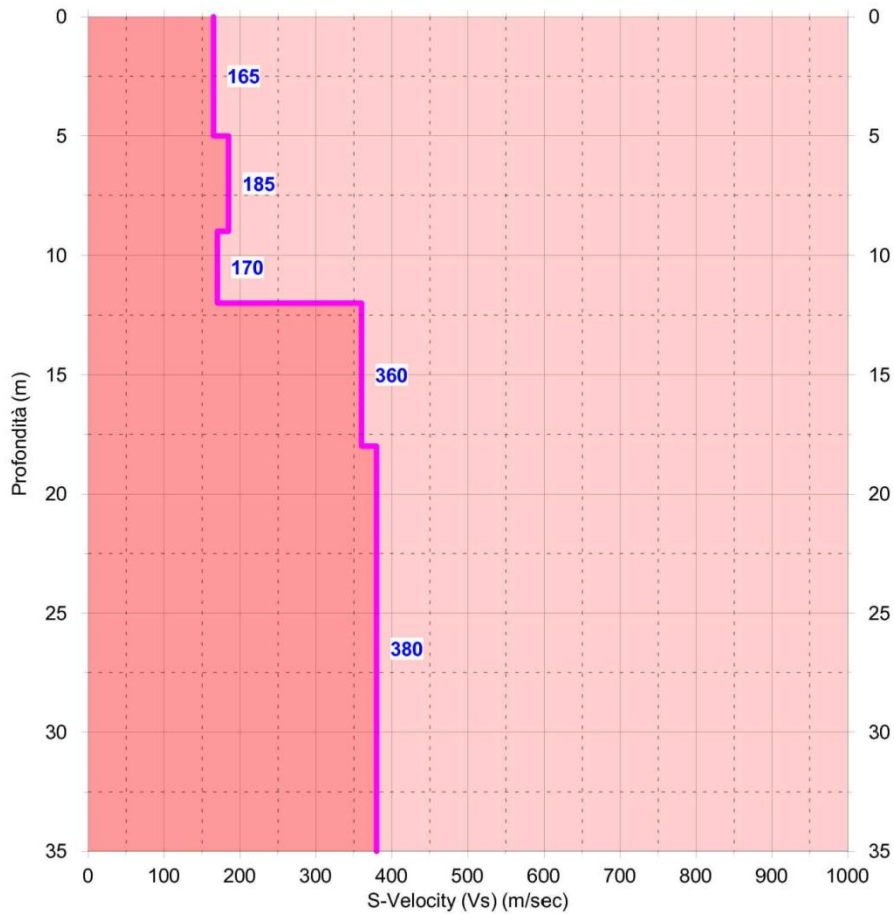
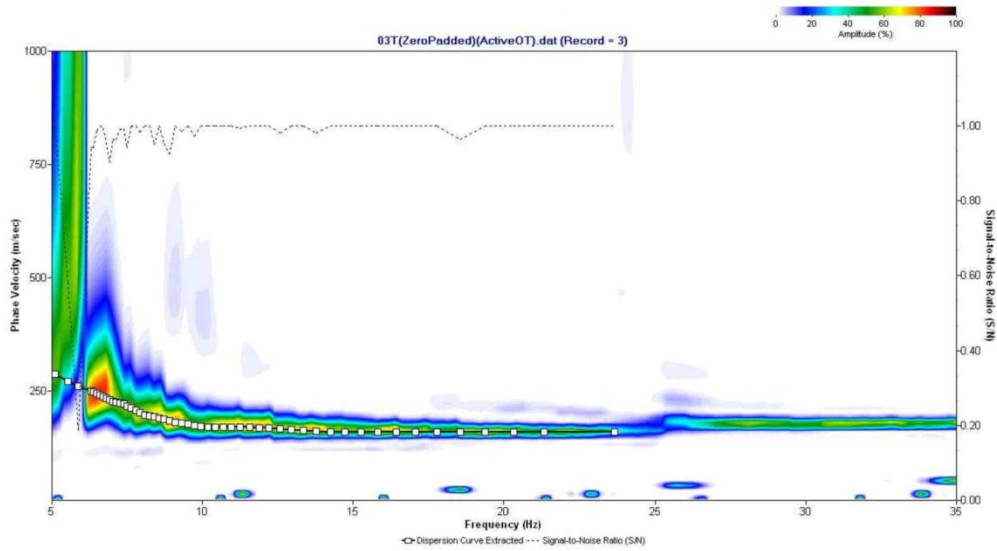
scala 1:2.500

Ubicazione Masw **M05**



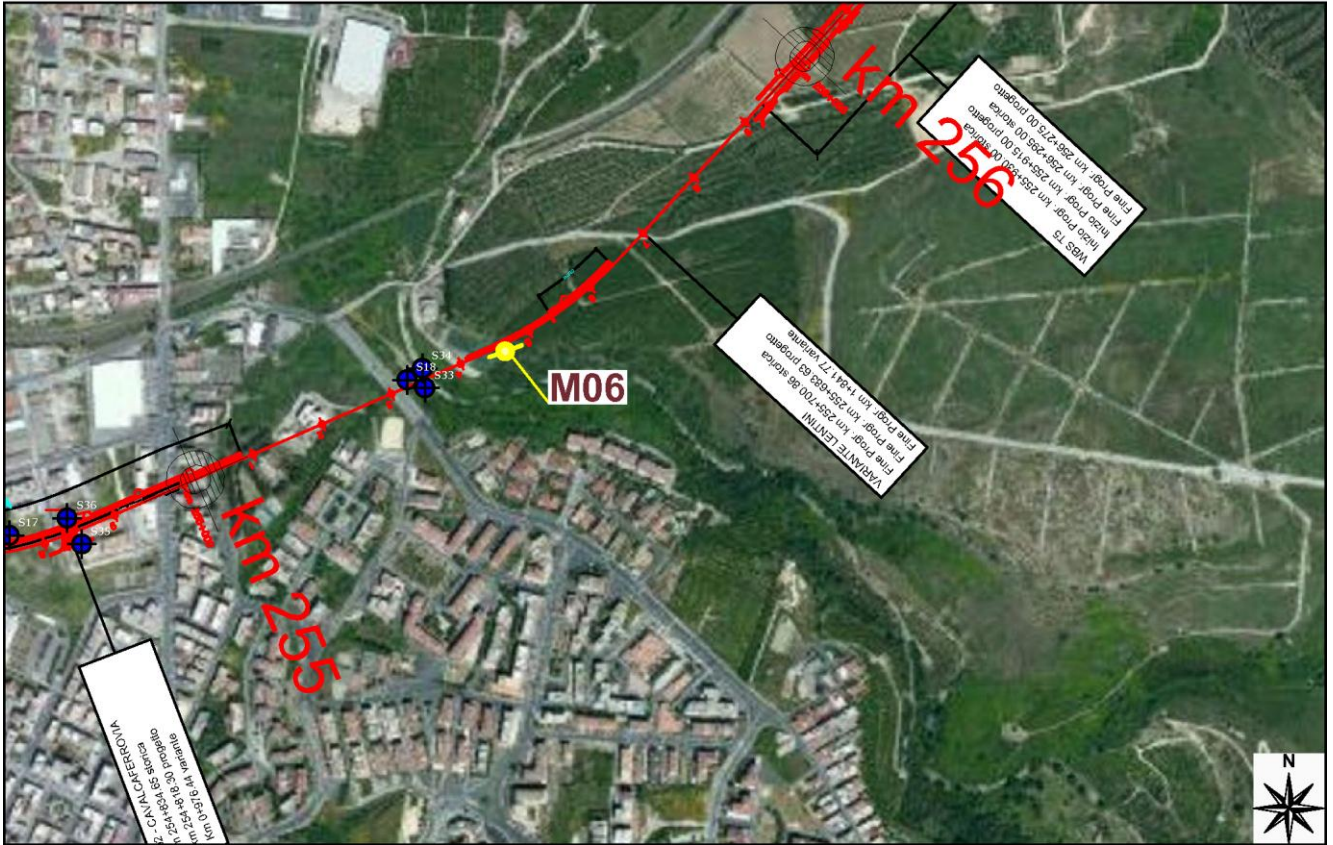
Prova Microtremori MASW

**M05**



**$V_{s30}=255$  m/sec Categoria suolo: C**

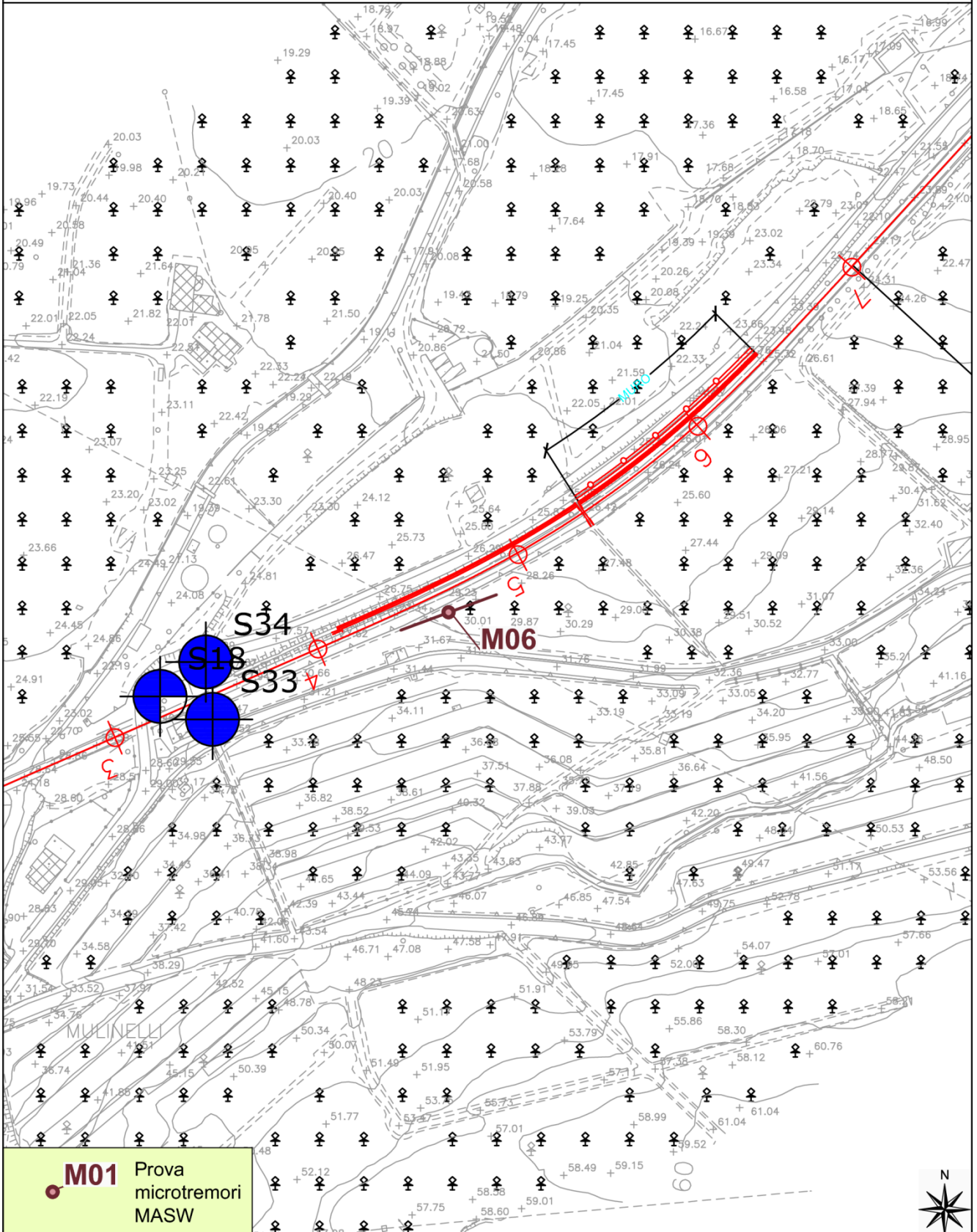
**Inquadramento territoriale Masw M06**





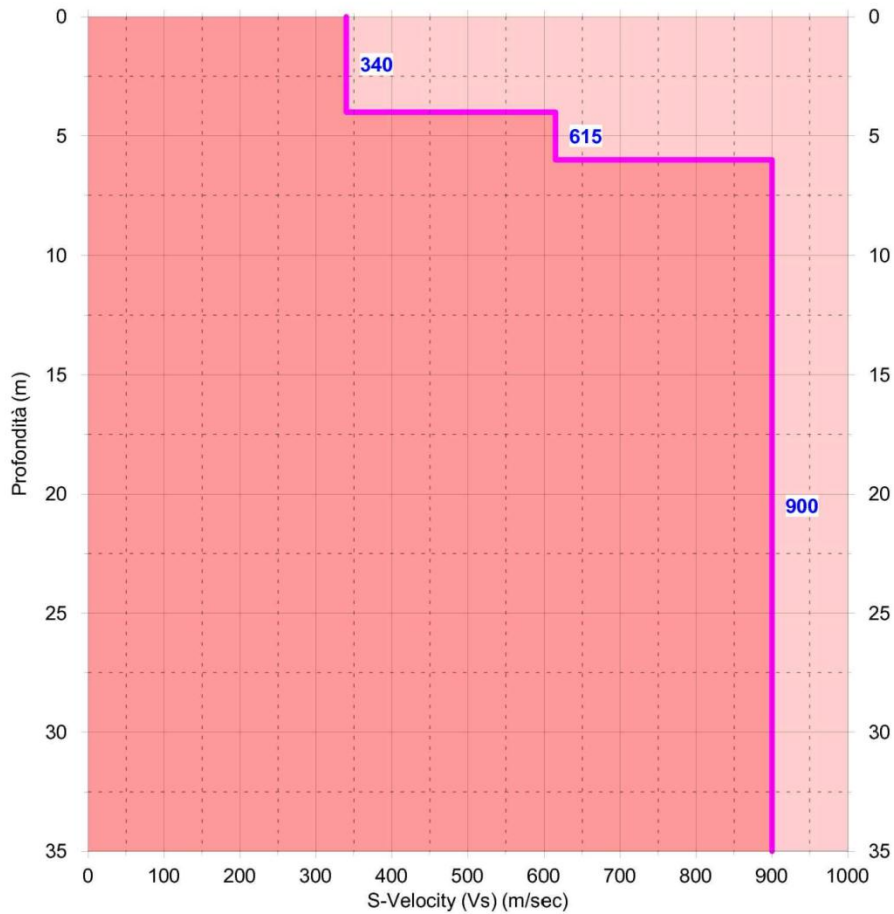
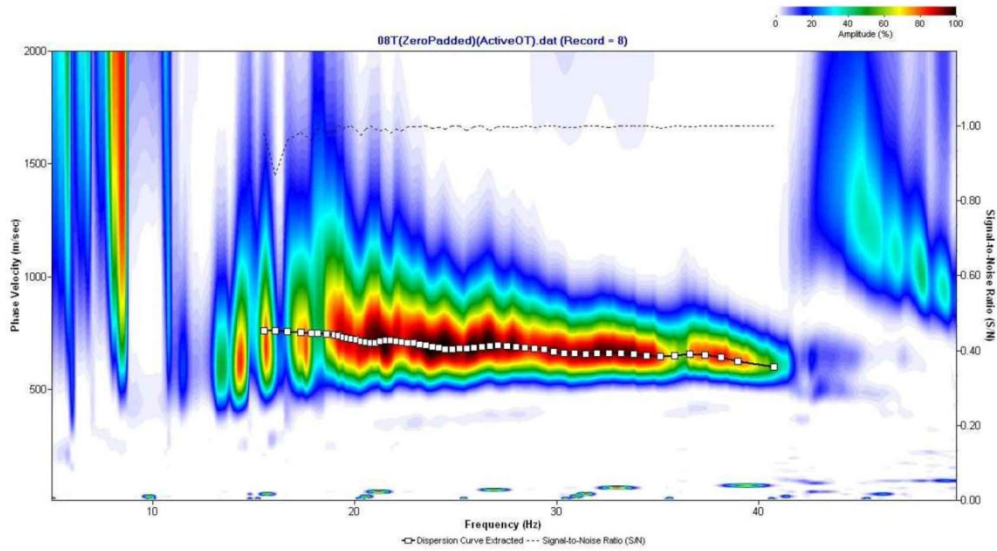
scala 1:2.500

Ubicazione Masw **M06**



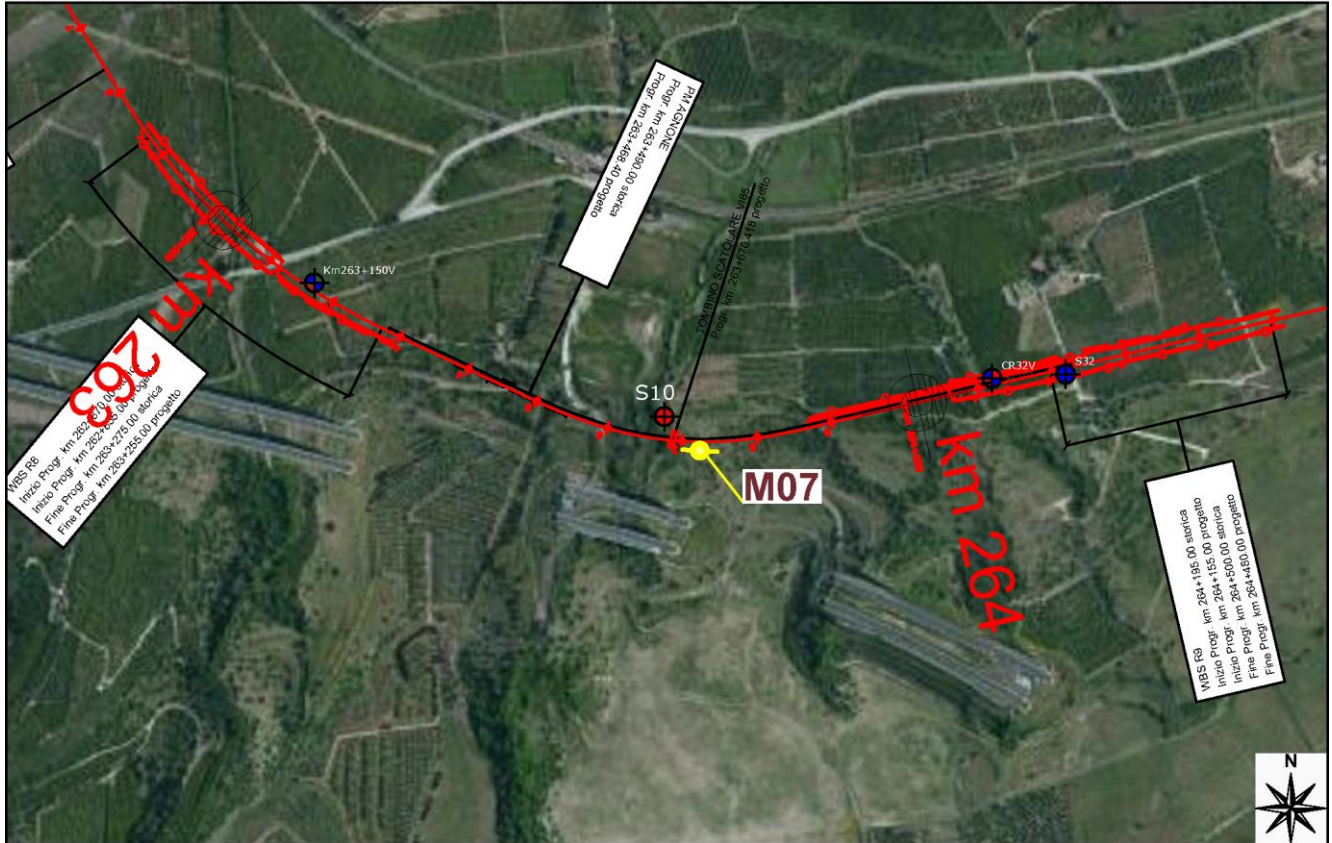
Prova Microtremori MASW

**M06**



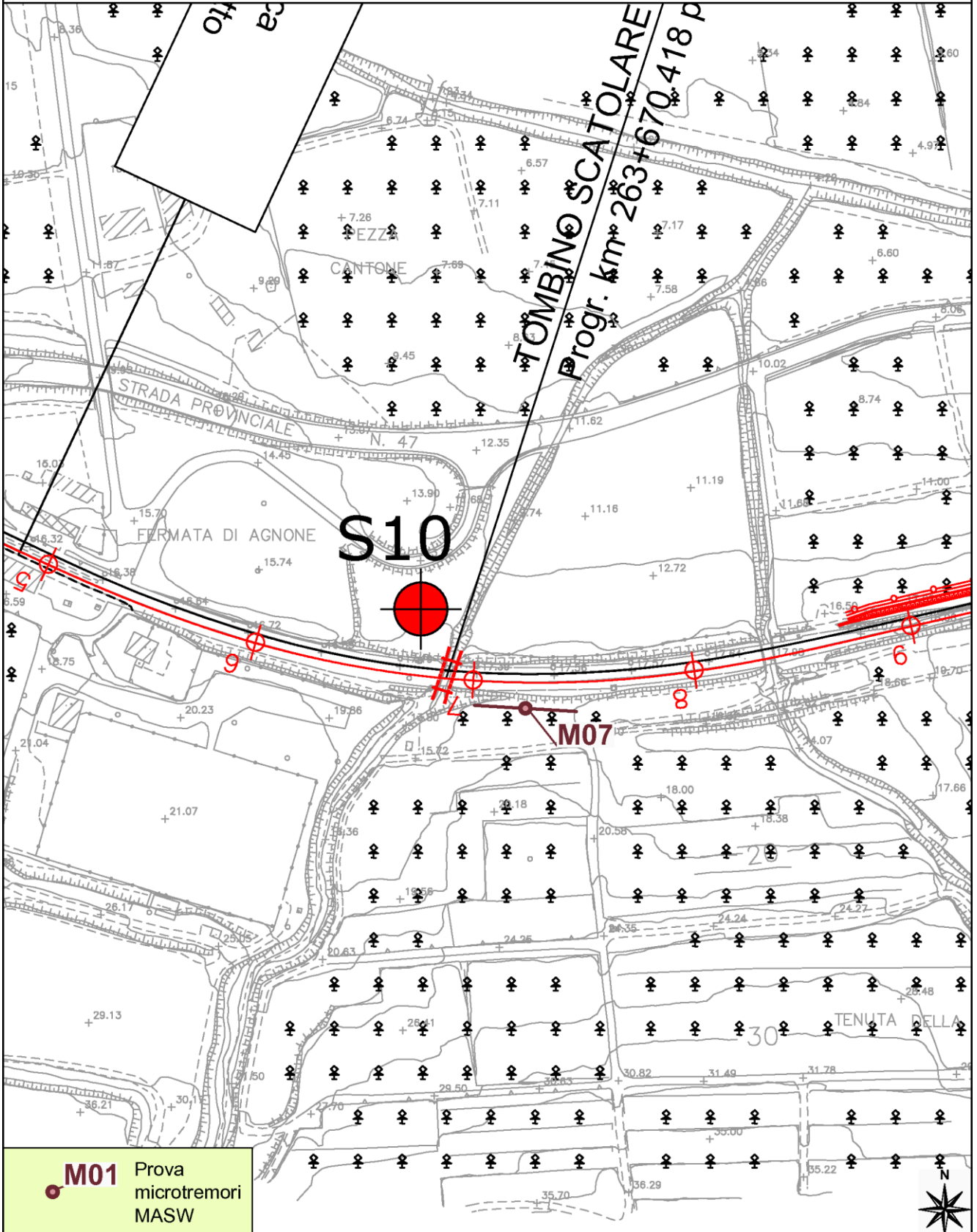
**$V_{s30} = 720$  m/sec Categoria suolo: B**

## Inquadramento territoriale Masw M07



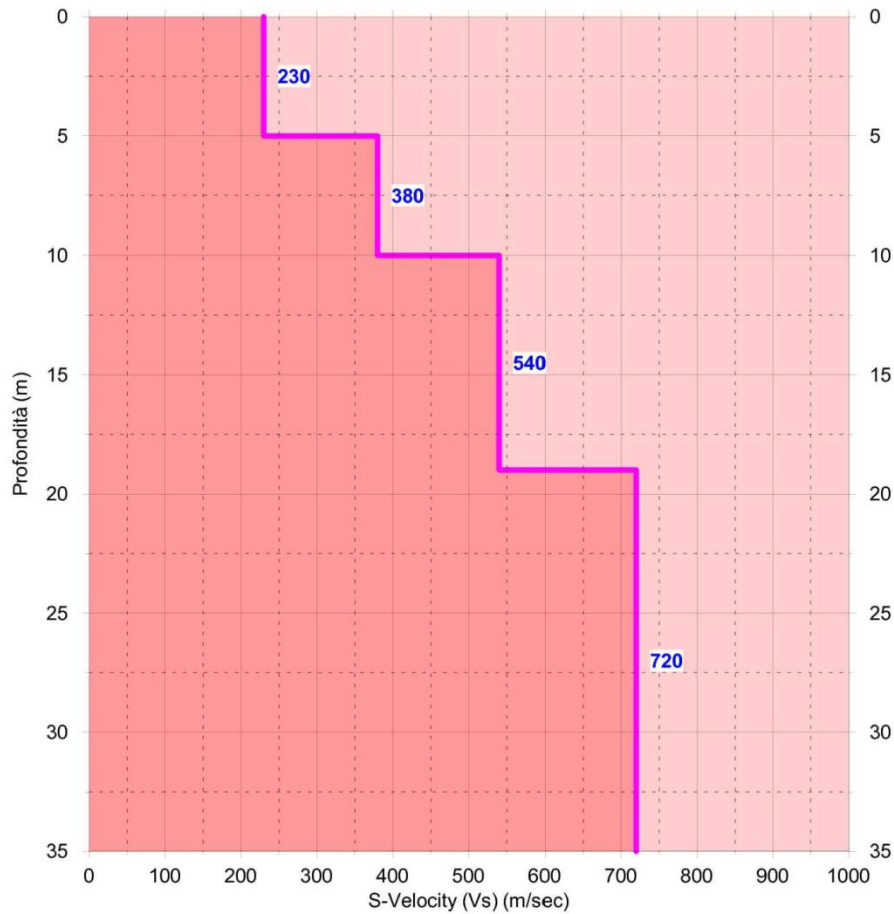
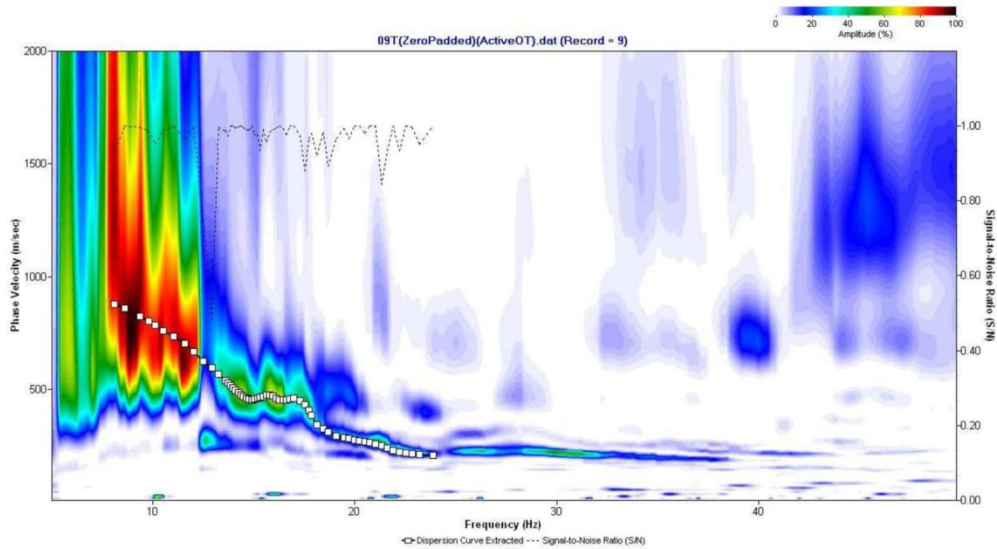
scala 1:2.500

Ubicazione Masw **M07**



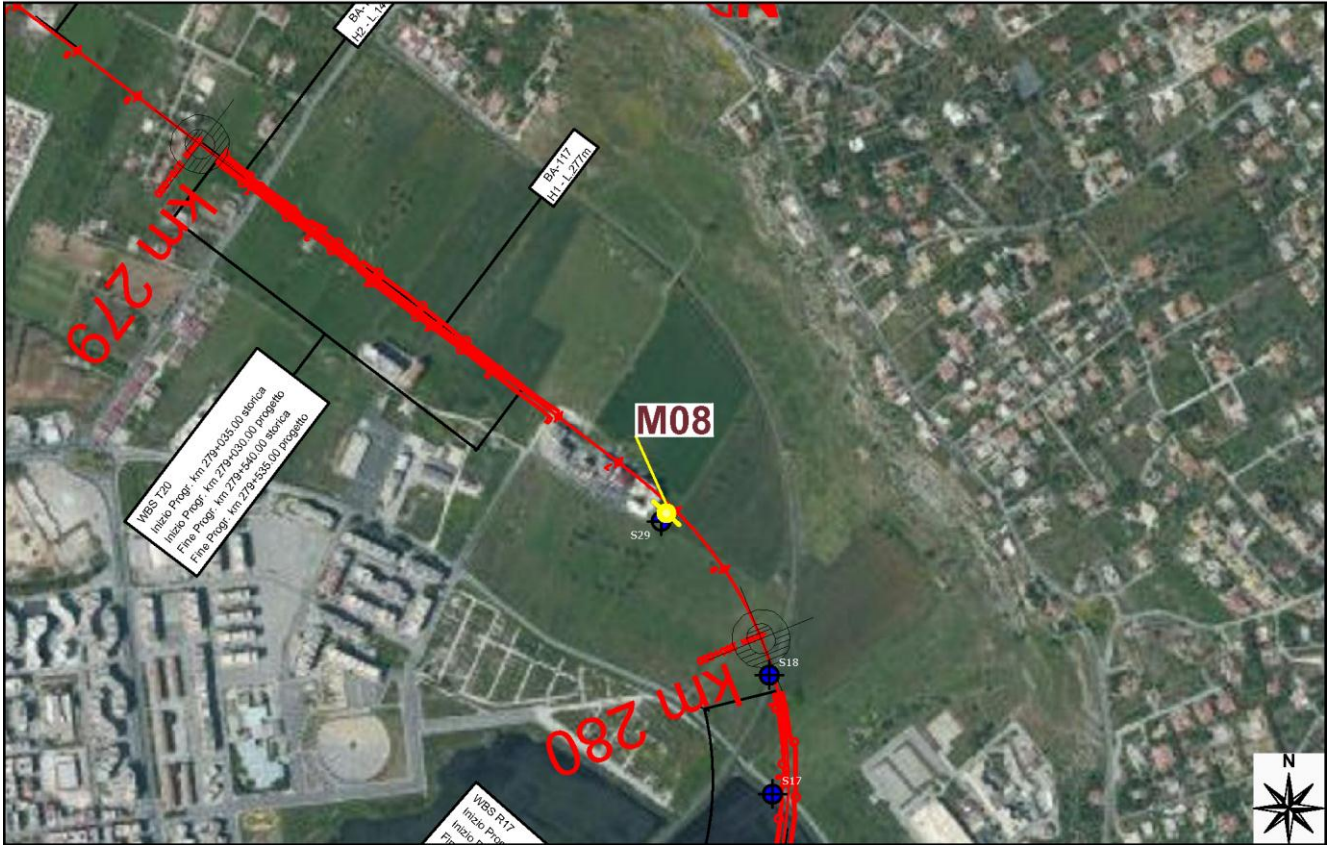
Prova Microtremori MASW

**M07**



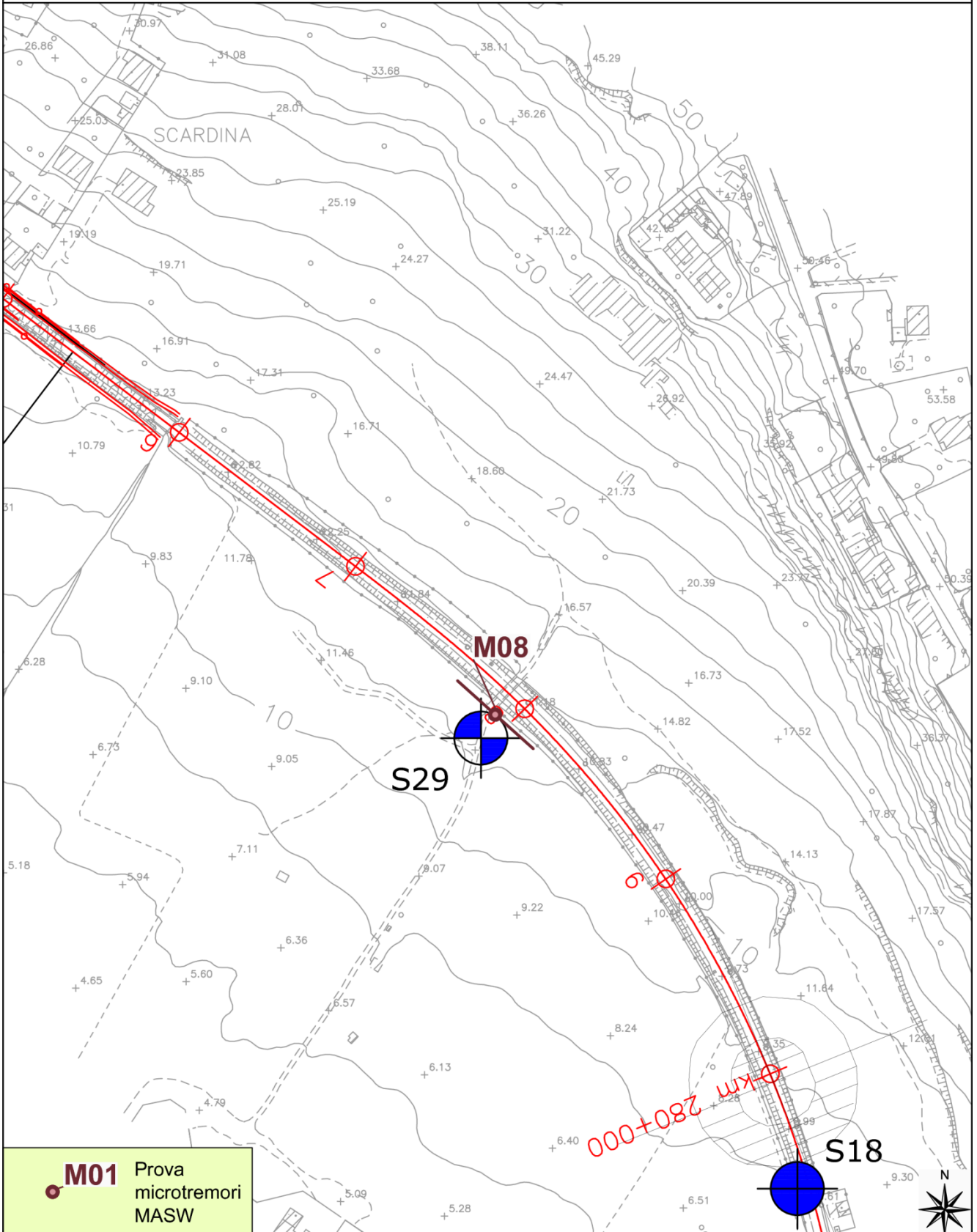
**$V_{s30}$  = 450 m/sec Categoria suolo: B**

## Inquadramento territoriale Masw M08



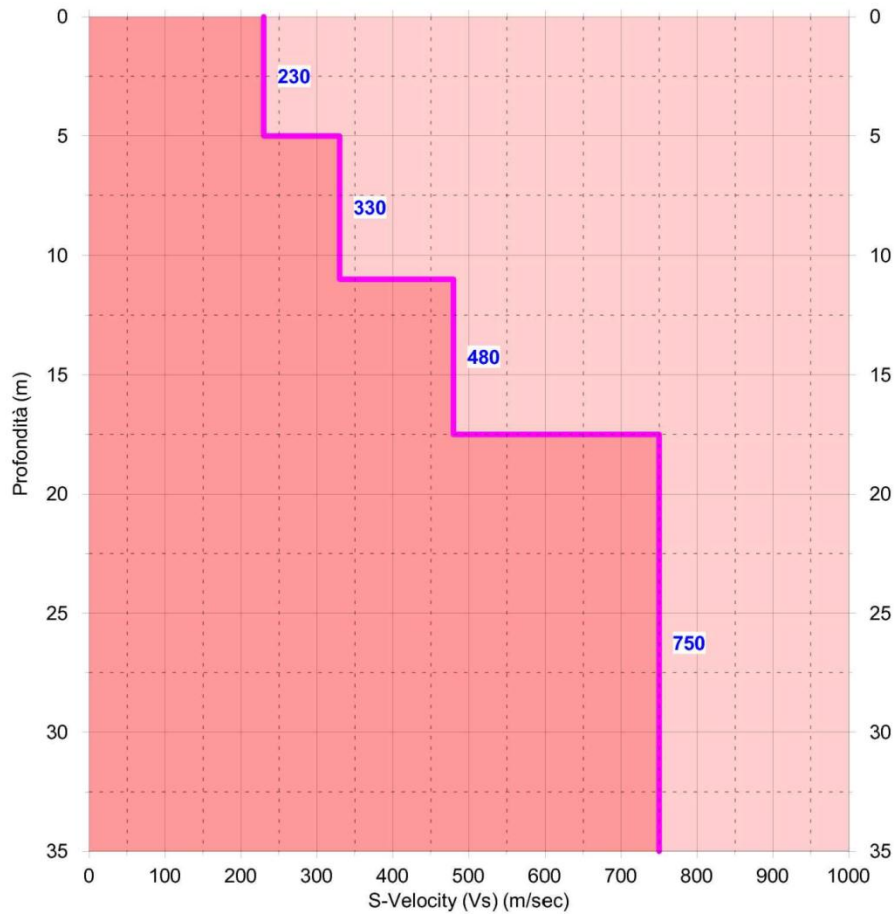
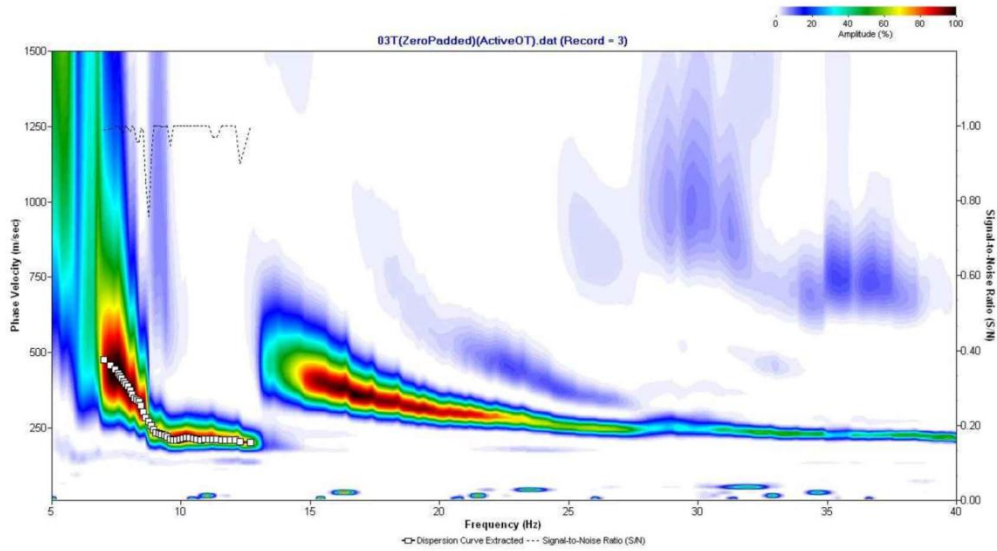
scala 1:2.500

Ubicazione Masw **M08**



Prova Microtremori MASW

**M08**



**$V_{s30} = 428$  m/sec Categoria suolo: B**

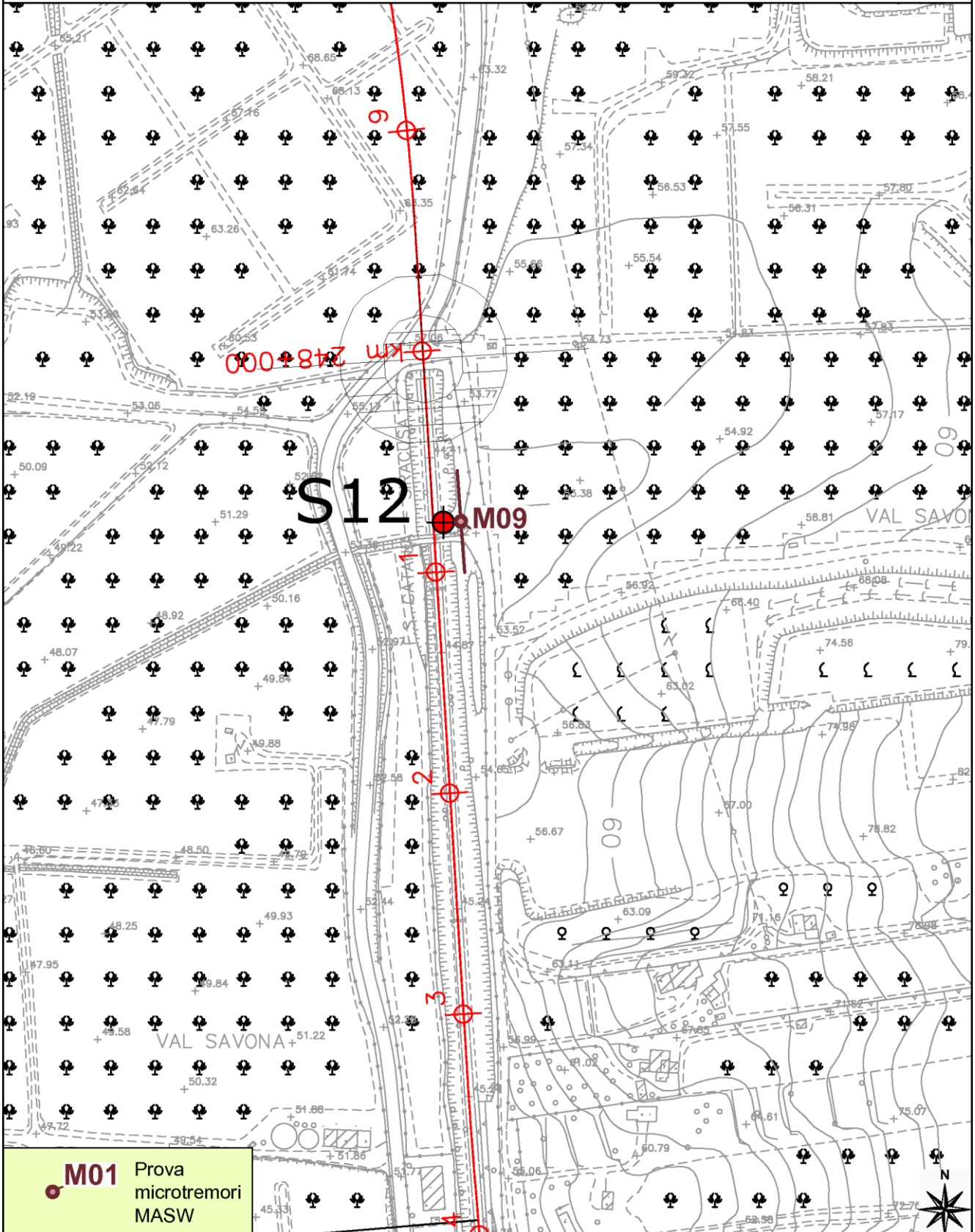


## Inquadramento territoriale Masw M09



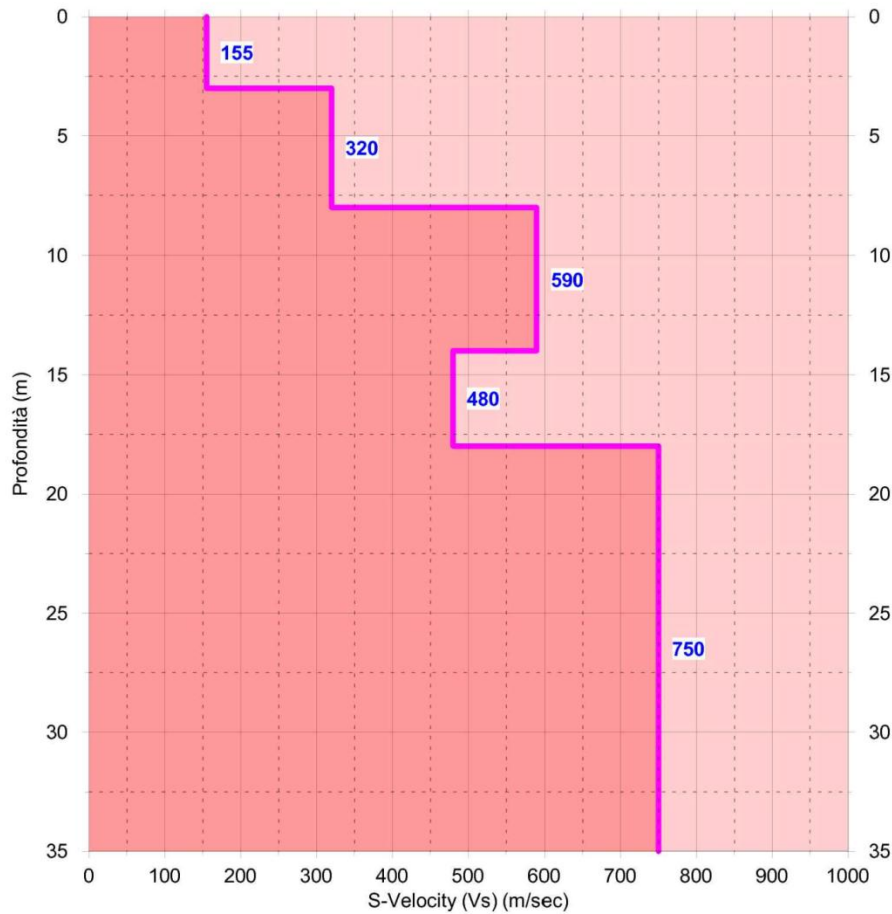
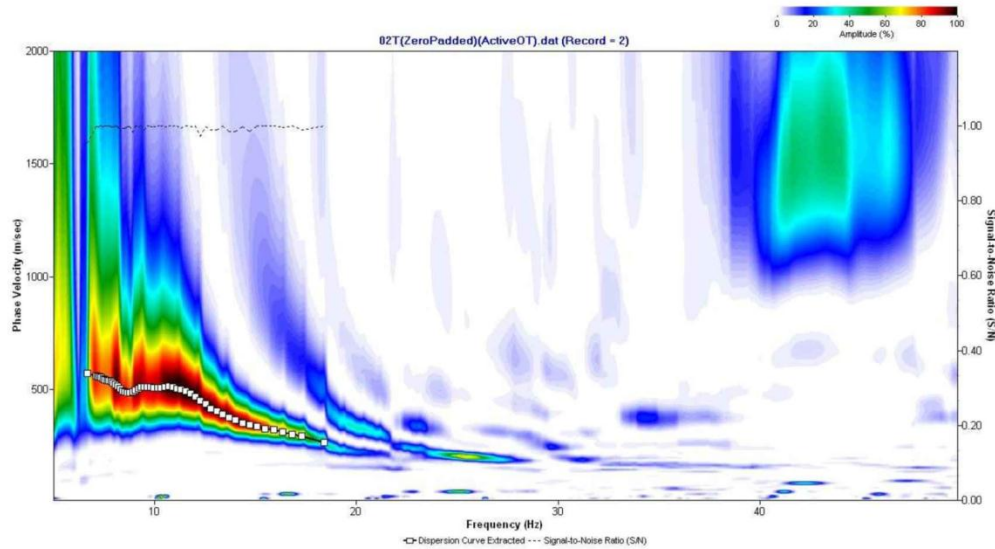
scala 1:2.500

Ubicazione Masw **M09**



Prova Microtremori MASW

**M09**



**$V_{s30} = 430$  m/sec Categoria suolo: B**