

REGIONE
CALABRIA



Provincia di
Catanzaro



Committente:



PLT engineering s.r.l.
via Dismano 1280
47522 Cesena (FC)
P.IVA/C.F. 05857900723

Titolo del Progetto:

PARCO EOLICO "SELLIA MARINA"

Documento:

PROGETTO DEFINITIVO

ID PROGETTO:	PESM
DISCIPLINA:	P
CAPITOLO:	CP

N° Documento:

PESM-S02.01

Elaborato:

RELAZIONE GEOLOGICA

SCALA:	---	FORMATO:	A4	Nome file:	PESM-S02.01.pdf
--------	-----	----------	-----------	------------	------------------------

Progettazione:



Ing. Saverio Pagliuso

**Studi geologici, agronomici,
archeologici e ambientali a
cura di:**



Gruppo di lavoro:

Dott.ssa Maria Antonietta Marino
Dott. Gualtiero Bellomo
Prof. Vittorio Amadio Guidi
Dott. Fabio Interrante
Dott. Sebastiano Muratore
Ing. Claudio Giannobile

VAMIRGEOIND
AMBIENTE GEOLOGIA E GEOFISICA s.r.l.
Direttore Tecnico
Dott.ssa MARINO MARIA ANTONIETTA

Rev:	Data Revisione	Descrizione Revisione	Redatto	Controllato	Approvato
00	01/2021	PRIMA EMISSIONE	VAMIRGEOIND	VAMIRGEOIND	PLT

INDICE

1.	<i>PREMESSE</i>	1
2.	<i>CONSIDERAZIONI GEOLOGICHE</i>	5
3.	<i>CONSIDERAZIONI GEOMORFOLOGICHE E IDROGEOLOGICHE</i>	9
4.	<i>INDAGINI DI SISMICA PASSIVA A STAZIONE SINGOLA (TROMOGRAFIA)</i>	16
5.	<i>CARATTERISTICHE SISMICHE DEL TERRITORIO</i>	48
6.	<i>LIQUEFAZIONE DEI TERRENI</i>	51
7.	<i>CARATTERIZZAZIONE LITOLOGICHE DEI TERRENI INTERESSATI DALLE OPERE IN PROGETTO</i>	59
8.	<i>CAMPAGNA INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOTECNICHE DA ESEGUIRE IN FASE DI PROGETTAZIONE ESECUTIVA</i>	61
9.	<i>CONCLUSIONI</i>	62

REGIONE CALABRIA

COMUNE DI SELLIA MARINA E SOVERIA SIMERI (CZ) ***PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO EOLICO***

RELAZIONE GEOLOGICA

1. PREMESSE

Il presente studio geologico-tecnico è stato eseguito per il progetto definitivo indicato in epigrafe che, in ossequio a quanto descritto nelle normative vigenti in materia (D.M. 17/01/2018), prevede l'esecuzione di tutti i rilievi, le indagini e le prove tecniche necessarie per:

- determinare la costituzione geologica dell'area interessata dal progetto;
- studiarne le caratteristiche geomorfologiche con particolare riguardo alle condizioni di stabilità dei versanti;
- definire l'assetto idrogeologico con riguardo alla circolazione idrica superficiale e sotterranea;
- individuare tutte le problematiche geologico-tecniche che possono interferire con le opere in progetto;
- indicare, in linea di prima approssimazione, eventuali opere di consolidamento o presidio per garantire la realizzazione ottimale delle opere in progetto;

- determinare, in linea di prima approssimazione, le caratteristiche fisiche e meccaniche dei terreni con maggiore interesse a quelle che più da vicino riguardano gli aspetti progettuali;
- verificare l'eventuale presenza di problematiche legate a fenomeni di liquefazione;
- indicare un programma di indagini geognostiche e geotecniche da eseguire nelle successive fasi di progettazione esecutiva.

Lo studio è stato, quindi, articolato come segue:

a) Studio geologico dell'area interessata comprendente la descrizione delle formazioni geologiche presenti, delle loro caratteristiche litologiche, dei reciproci rapporti di giacitura, dei loro spessori, nonché l'indicazione di tutti i lineamenti tettonici.

b) Studio geomorfologico dell'area interessata comprendente la descrizione dei principali lineamenti morfologici, degli eventuali fenomeni di erosione e dissesto, dei principali processi indotti da antropizzazione.

c) Studio idrogeologico dell'area interessata comprendente la descrizione dei lineamenti essenziali sulla circolazione idrica superficiale e sotterranea in relazione alla loro interferenza con le problematiche geotecniche ed all'individuazione delle aree soggette ad esondazione.

d) Studio delle pericolosità geologiche dell'area interessata comprendente tutto quanto necessario ad evidenziare le aree interessate da "pericolosità geologiche" quali frane, colate, crolli, erosioni, esondazioni, rappresentando, cioè, un'attenta analisi ed interpretazione degli studi precedenti.

e) Studio della pericolosità sismica locale atto ad evidenziare le aree con particolari problematiche sismiche e tali da poter provocare fenomeni di amplificazione, liquefazione, cedimenti ed instabilità.

Da quanto detto prima si evince che in una prima fase il nostro lavoro è stato organizzato eseguendo numerosi sopralluoghi finalizzati allo studio di una zona più vasta rispetto a quella direttamente interessata dal progetto per inquadrare, in una più ampia visione geologica, la locale situazione geostrutturale.

Nostro interesse era, inoltre, quello di definire l'habitus geomorfologico e l'assetto idrogeologico concentrando la nostra attenzione sulle condizioni di stabilità dei versanti, sullo stato degli agenti morfogenetici attivi e sulla presenza e profondità di eventuali falde freatiche.

Per la caratterizzazione della serie stratigrafica locale e fisico-meccanica, per l'individuazione delle profondità del livello piezometrico e per la definizione delle problematiche sismiche delle aree in studio, in questa prima fase di lavoro, sono stati utilizzati i dati tratti dalle pubblicazioni scientifiche integrati dai dati acquisiti durante i numerosi sopralluoghi e dall'osservazione degli sbancamenti ed affioramenti presenti nelle aree interessate dallo studio e dalla realizzazione di n. 15 sondaggi di sismica passiva a stazione singola che hanno permesso di stimare la velocità delle onde S e la categoria di suolo ai sensi delle NTC 2018.

Il presente progetto prevede la realizzazione di:

- a. ***Parco eolico*** costituito da n. 14 aerogeneratori;
- b. ***Cavidotto*** di collegamento tra gli aerogeneratori ed alla sottostazione elettrica;
- c. ***Sottostazione elettrica***.

Con i dati in nostro possesso, abbiamo redatto la presente relazione geologico-tecnica corredata dai seguenti elaborati:

- ✓ n. 2 carte geologica, geomorfologiche ed idrogeologiche in scala 1/10.000 (fuori testo);
- ✓ n. 6 carte relative al P.A.I. piano di assetto idrogeologico (fuori testo);
- ✓ n. 3 colonne stratigrafiche tipo dei terreni di sedime;
- ✓ elaborati relativi ai sondaggi di sismica passiva a stazione singola (tromografia) denominati T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, T10, T11, T12, T13, T14 e TSOTT con la relativa documentazione fotografica.

I risultati e le ipotesi geologiche formulate in questa sede sono da confermare con l'esecuzione delle indagini indicate nell'apposito capitolo, nella successiva fase di progettazione esecutiva.

Si ritiene, infatti, che in fase di progetto esecutivo e di calcolo delle strutture di fondazione si renderà necessario integrare le indagini con la realizzazione di un sondaggio e relative prove geotecniche in situ ed in laboratorio in corrispondenza di ciascun aerogeneratore e della sottostazione nell'esatta posizione in cui, a valle dell'iter autorizzativo, saranno effettivamente realizzati ed alcuni pozzetti esplorativi in corrispondenza dei tracciati dei cavidotti.

2. *CONSIDERAZIONI GEOLOGICHE*

Lo studio geologico, di insieme e di dettaglio, è stato realizzato conducendo inizialmente la necessaria ricerca bibliografica sulla letteratura geologica esistente, la raccolta ed il riesame critico dei dati disponibili ed, infine, una campagna di rilievi effettuati direttamente nell'area strettamente interessata dallo studio.

L'insieme dei terreni presenti, delle relative aree di affioramento e dei rapporti stratigrafici e strutturali è riportato nella carta geologica allegata alla presente relazione.

I tipi litologici affioranti nell'area studiata sono riferibili ad un ampio periodo di tempo che va dall'Oligocene medio - superiore all'Olocene e che distinguiamo dal più recente al più antico:

- **DEPOSITI ELUVIALI E COLLUVIALI (Recente):** si tratta di prodotti di soliflussione e dilavamento, coperture detritiche dovute ad alterazione "in situ" o depositi mobilizzati da processi di ruscellamento, costituiti da clasti eterometrici di varia litologia in matrice pelitica e/o sabbiosa.
- **DETRITI DI FALDA (Olocene):** sono costituiti da materiale eterometrico caratterizzato dalla presenza di blocchi angolosi di varia natura immersi in matrice sabbio limosa.
- **DEPOSITI ALLUVIONALI MOBILI (Olocene):** si tratta prevalentemente di rocce sciolte costituite da limi, silt, ghiaie, sabbie e sabbie limose con inclusi sporadici blocchi con giacitura sub-orizzontale. Le sabbie presentano granulometria variabile da fine a grossolana. Le ghiaie sono caratterizzate da sporadici clasti

quarzarenitici arrotondati di dimensioni da millimetriche a decimetri
che, alluvioni mobili ciottolose dei letti fluviali e/o depositi di
litorale

- **ALLUVIONI FISSATE DALLA VEGETAZIONE E/O ARTIFICIALMENTE (Olocene):** si tratta di depositi ghiaiosi-sabbiosilimosi di antichi depositi di dilavamento, misti a materiale di origine alluvionale e a detriti di pendio ormai stabilizzati e fissati dalla vegetazione.
- **COMPLESSO CALCAREO (Miocene sup.):** si tratta di calcari evaporitici grigio chiaro o biancastro generalmente vacuolare con locali intercalazioni marnose con microfaune abbondanti ma limitate come numero di specie. Talora al tetto si hanno fanghi silicei.
- **COMPLESSO CONGLOMERATICO (Miocene Medio - Sup.):** si tratta di conglomerati alluvionali di antichi terrazzi fluviali, conglomerati grossolani ben cementati, conglomerati poligenici con ciottoli arrotondati in matrice sabbiosa bruna e conglomerati poligenici con ciottoli ben arrotondati. Questo complesso presenta una discreta resistenza all'erosione ed elevata permeabilità.
- **COMPLESSO SABBIOSO-ARENACEO (Miocene Medio - Sup.):** si tratta di arenarie bruno-chiare con intercalazioni di argille, argille siltose e silt, arenarie tenere e sabbie grossolane da bruno-chiare a grigie, sabbie da fini a grossolane, ghiaie, conglomerati e sabbioni e sabbie e silt a grana fine, da bruno-chiare a grigie. Il complesso si presenta eterogeneo e con uno sviluppo notevole sia come potenza che come estensione areale. È ben stratificato in alcune zone e sono ben riconoscibili le diverse caratteristiche

litologiche e litotecniche dei vari livelli che lo compongono. In particolare i livelli argillosi, sabbiosi e siltosi si intercalano all'interno dell'ammasso arenaceo compatto, intervallati a volte da livelli conglomeratici.

- **COMPLESSO ARGILLOSO (Miocene Sup.):** sono rocce di deposizione marina riferibili ad ambienti profondi. In generale si presenta argille siltose da grigio-azzurre a grigio-chiare, argille siltose e marnose grigio-azzurre, grigie e grigio-chiare, argille marnose e siltose grigio-azzurre con intercalazioni sabbiose e arenacee a cemento calcareo. La frazione alterata è costituita da limi di colore grigio-marrone con tracce di alterazione sabbiose ed argille grigie con venature limose di colore marrone. Il complesso argilloso si presenta normalconsolidato con struttura omogenea.
- **COMPLESSO GRANITICO (Paleozoico):** si tratta di graniti biotitici fogliettati, graniti, granodioriti, graniti biotitico-muscovitici, quarzo monzoniti e graniti biotitici con muscovite a grana fine. Tali litologie appaiono molto variegata e lungo i numerosi affioramenti presenti è possibile osservare la mineralogia del litotipo costituita da quarzo, feldspati, plagioclasti e biotite e altri minerali secondari. Si presenta notevolmente fratturata e alterata nelle porzioni prossime alla superficie per poi divenire integri e dall'aspetto lapideo, con l'aumentare della profondità. Non sono presenti evidenti fenomeni di metamorfismo spinto.

Dall'analisi della carta geologica e dai rilievi eseguiti in campagna, nonché dalle indagini sismiche eseguite in corrispondenza di ciascun

aerogeneratore e della sottostazione sono stati definiti quattro modelli geologico-tecnici, ed in particolare:

- 1) Sabbie fini di colore variabile dal beige all'ocra, da mediamente a molto addensate, a tratti con incipiente cementazione, a struttura omogenea. Si trovano intercalati strati di conglomerati immersi in matrice sabbiosa fine. La frazione alterata, presente nei primi 3-5 metri di profondità scarsamente consistente. Questi litotipi di spessore variabile tra 2 e 15 metri poggiano sui litotipi argillosi ed interessano gli aerogeneratori 1, 2, 3, 10, 11, 13 e 14.
- 2) Sabbie fini e sabbie siltose a grana fine, di colore bruno chiaro a grigio, mediamente addensate e consistenti. Si trovano intercalati strati di conglomerati immersi in matrice sabbiosa fine. La frazione alterata, presente nei primi 3-5 metri di profondità scarsamente consistente. Questi litotipi di spessore variabile tra 5 e 10 metri poggiano sui litotipi del complesso conglomeratico ed interessano i terreni di sedime degli aerogeneratori 4, 5, 6, 7, 8, 9, 12.
- 3) L'aerogeneratore 12 interessa i litotipi del complesso conglomeratico con spessori superiori ai 30 mt.
- 4) Argille ed argille siltose di colore dal grigio all'azzurro al grigio chiaro mediamente consistenti. La frazione alterata, presente nei primi 5 metri di profondità si presenta plastica. Questi litotipi interessano i terreni di sedime della sottostazione.

Tutti i suddetti terreni sono ricoperti da uno spessore variabile tra circa 0.5 e 3.00 m di terreno vegetale poco consistente e scarsamente addensato.

3. *CONSIDERAZIONI EOMORFOLOGICHE E IDROGEOLOGICHE*

Da un punto di vista geomorfologico, l'area vasta in cui sono ubicati gli aerogeneratori in progetto può essere divisa in due settori: un settore orientale ed un settore occidentale separati dall'attraversamento dal Torrente Uria e delimitati ad est dal Torrente Scilotraco Rocca e ad Ovest dal Fiume Simeri.

In generale l'habitus geomorfologico è piuttosto irregolare ed costituito nell'area a nord da un paesaggio contraddistinto prevalentemente dall'affioramento dei terreni riferibili ai litotipi sabbiosi e conglomeratici che danno luogo a versanti con dolce pendenza interrotti da versanti ripidi caratterizzati da solchi ad elevata erosione di fondo.

Sempre, nell'area posta a Nord, si osserva l'affioramento dei complessi granitici e calcarei caratterizzate a versanti molto pendenti e forti rotture di pendenze.

Nell'area sud sono presenti, aree sub-pianeggianti in corrispondenza delle zone di fondovalle dei torrenti presenti che bordano rilievi sabbiosi/conglomeratici a pendenza medio-elevata.

È quindi, possibile effettuare una prima grande distinzione in quattro zone ad assetto morfologico generale differente:

- ❖ una zona nella quale affiorano i termini sabbiosi e conglomeratici, caratterizzata da rilievi collinari a morfologia irregolare con ripidi versanti interrotti da solchi interessati da una elevata erosione di fondo. Sono interessati da frequenti fenomeni geodinamici attivi spesso di dimensioni areali notevoli ma spessori limitati;

- ❖ una zona in cui affiorano i termini granitici e calcarei, caratterizzata da rilievi acclivi a morfologia piuttosto accidentata, con frequenti rotture di pendenza e generalmente stabili;
- ❖ una zona di fondovalle dove affiorano i termini alluvionali recenti caratterizzati dalla presenza di limi sabbiosi, sabbie e ghiaie.

Questa marcata differenziazione di origine “strutturale” viene ulteriormente accentuata dalla cosiddetta “erosione selettiva”, ossia dalla differente risposta dei terreni agli agenti morfogenetici, che nel sistema morfoclimatico attuale sono dati essenzialmente dalle acque di precipitazione meteorica e da quelle di scorrimento superficiale.

Le litologie più coerenti vengono erose in misura più ridotta e tendono, quindi, a risaltare nei confronti delle circostanti litologie pseudo-coerenti o incoerenti.

I processi morfodinamici prevalenti nel sistema morfoclimatico attuale vedono, infatti, come agente dominante l'acqua, sia per quanto riguarda i processi legati all'azione del ruscellamento ad opera delle acque selvagge, che per i processi di erosione e/o sedimentazione operati dalle acque incanalate.

Sono essenzialmente i processi fluviali quelli che hanno esplicito e tutt'ora esplicano un ruolo fondamentale nell'evoluzione geomorfologica dell'area.

Per quanto riguarda i processi fluviali, il reticolato idrografico risulta organizzato in maniera abbastanza indipendente da discontinuità iniziali, con un pattern molto articolato, come desumibile dal rilievo aerofotogeologico.

Per quanto concerne le forme di dissesto legate ai movimenti franosi presenti nei versanti interessati dalle opere in progetto si mette in evidenza che tramite i rilievi di superficie, integrati dallo studio delle fotografie aeree del territorio, sono state individuate molte aree coinvolte da fenomeni di instabilità caratterizzate prevalentemente da dissesti di tipo “franosità diffusa” attive.

Sono aree caratterizzate da un elevato grado di franosità di varie tipologie (smottamenti, colamenti e scorrimenti rotazionali) spesso interferenti tra loro.

I fenomeni sopra citati sono esclusivamente legati all’azione delle acque e dalla notevole pendenza dei versanti, essendo legati al fatto che la coltre superficiale dei terreni sabbiosi incoerenti, denudati dall’azione erosiva di versante e fortemente alterati, si imbibisce durante i periodi di piogge prolungate e si trasforma in un fluido che tende a muoversi verso valle.

Dette aree sono interessate da un’attività geodinamica piuttosto spinta che si sviluppa gradualmente seguendo alcuni stadi: in un primo tempo si ha un'*erosione diffusa*, ad opera del velo d'acqua che bagna la superficie secondo la linea di massima pendenza; in seguito si genera la cosiddetta *erosione per rigagnoli*, in cui l'erosione si concentra nei solchi generati dalla precedente erosione ed in cui scorre l'acqua; infine si ha l'*erosione a solchi*, in cui l'acqua è riuscita a scavare nel terreno incisioni profonde.

In particolare, le aree di seguito sono indicate sono interessate da “fenomeni geodinamici”, proprio per l’impossibilità frequente di distinguere le varie tipologie di movimenti franosi che si accavallano ma che bisogna tenere nella dovuta considerazione nella scelta delle fondazioni

e del tracciato della viabilità e del cavidotto al fine di evitare che l'evoluzione retrogressiva dello stesso fenomeno possa in futuro interferire con le stesse.

In particolare vi sono alcune criticità che bisogna evidenziare:

- ✓ **Piazzola SM2:** un tratto della viabilità di accesso è interessato da un movimento franoso e, quindi, sono necessarie alcune opere di consolidamento anche a difesa del cavidotto (paratie di pali);
- ✓ **il versante a est dell'Aerogeneratore SM5.** Il dissesto franoso si presenta attivo e sono stati osservati segni sul terreno che indicano un'evidente evoluzione verso una frana di scorrimento "Rotational slide", la cui corona è localizzata a circa 12 m dal ciglio della strada di accesso esistente e coinvolge, nella sua evoluzione retrogressiva, l'area dell'aerogeneratore. Sarà necessario eseguire opere di consolidamento tramite paratie di pali;
- ✓ **i versanti a sud, est ed ovest Aerogeneratore SM12.** Sono presenti dissesti attivi che possono evolvere in frane di scorrimento "Rotational slide" da tenere nella debita considerazione per le opere. Sarà necessario prevedere opere di ingegneria naturalistica per evitare che l'evoluzione retrogressiva possa interessare la piazzola e l'aerogeneratore;

Si tratta di fenomeni geodinamici che a valle dell'autorizzazione, in fase di progettazione esecutiva, devono essere studiati approfonditamente per poter prevedere tutte quelle opere di consolidamento (opere d'arte) e/o di ingegneria naturalistica necessarie a mitigare ed annullare l'attività

erosiva che ha causato i suddetti fenomeni e/o per evitare l'evoluzione retrogressiva delle frane.

Infine, le aree dell'impianto eolico non sono interessate da dissesti indicati dal P.A.I. come a rischio e pericolosità geomorfologica ed idraulica, mentre il cavidotto, in un tratto limitato in c/da Salica, attraversa aree interessate da dissesti indicati dal P.A.I. come:

- zona franosa profonda attiva.

Anche in questo caso si tratta di fenomeni che non ostano la realizzazione del cavidotto ma nella progettazione esecutiva si dovrà prevedere una campagna di indagini geognostiche e geotecniche puntuali al fine di evitare che i fenomeni geodinamici possano in futuro danneggiare lo stesso.

Dal punto di vista idrogeologico l'area in studio è caratterizzata dall'affioramento di terreni diversi che, da un punto di vista idrogeologico, abbiamo suddiviso in 4 tipi di permeabilità prevalente:

- ❖ **Rocce permeabili per porosità:** Si tratta di rocce incoerenti e coerenti caratterizzate da una permeabilità per porosità che varia al variare del grado di cementazione e delle dimensioni granulometriche dei terreni presenti. In particolare la permeabilità risulta essere media nella frazione sabbiosa fine mentre tende ad aumentare nei livelli sabbiosi grossolani e ghiaiosi. Rientrano in questo complesso i terreni afferenti ai depositi eluvio-colluviali, al detrito di falda, ai depositi alluvionali, al Complesso Sabbioso-Arenaceo, al Complesso Conglomeratico.
- ❖ **Rocce impermeabili:** Questo complesso è costituito dalle argille che presentano fessure o pori di piccole dimensioni in cui l'infiltrazione si esplica tanto lentamente da essere considerate praticamente imper-

meabili. Si mette in evidenza, però, che l'acqua, riuscendo a permeare la frazione alterata superficiale ed aumentare le pressioni neutre, tende a destrutturare la frazione alterata azzerando la coesione e rendendola soggetta a possibili movimenti gravitativi lungo i versanti. Rientrano in questo complesso i terreni afferenti al Complesso argilloso.

❖ **Rocce poco permeabili per fratturazione:** Si tratta di rocce che presentano fratture generalmente di piccole dimensioni in cui l'infiltrazione si esplica lentamente da essere considerate con permeabilità bassa fratturazione. Appartengono a questa categoria i litotipi afferenti ai graniti.

❖ **Rocce permeabili per fratturazione e carsismo:** Questa categoria comprende quelle rocce caratterizzate da una bassa o nulla porosità primaria ma che acquistano una permeabilità notevole a causa della fratturazione secondaria piuttosto articolata e dei fenomeni carsici per dissoluzione. Appartengono a questa categoria i litotipi afferenti ai calcari evaporitici.

Nello specifico dalle notizie assunte in loco durante i sopralluoghi eseguiti e dai dati acquisiti dalle pubblicazioni scientifiche e da indagini eseguite da altri professionisti il livello piezometrico si trova variabile intorno alla quota del livello del mare e quindi superiore a 30 mt. da p.c. in corrispondenza degli aerogeneratori.

E', però, presumibile che nel periodo delle piogge invernali la parte rimaneggiata ed alterata possa essere in condizioni di saturazione per il notevole potere di assorbimento che caratterizza le porzioni superficiali dei complessi sabbiosi, sabbio-siltosi e argillosi.

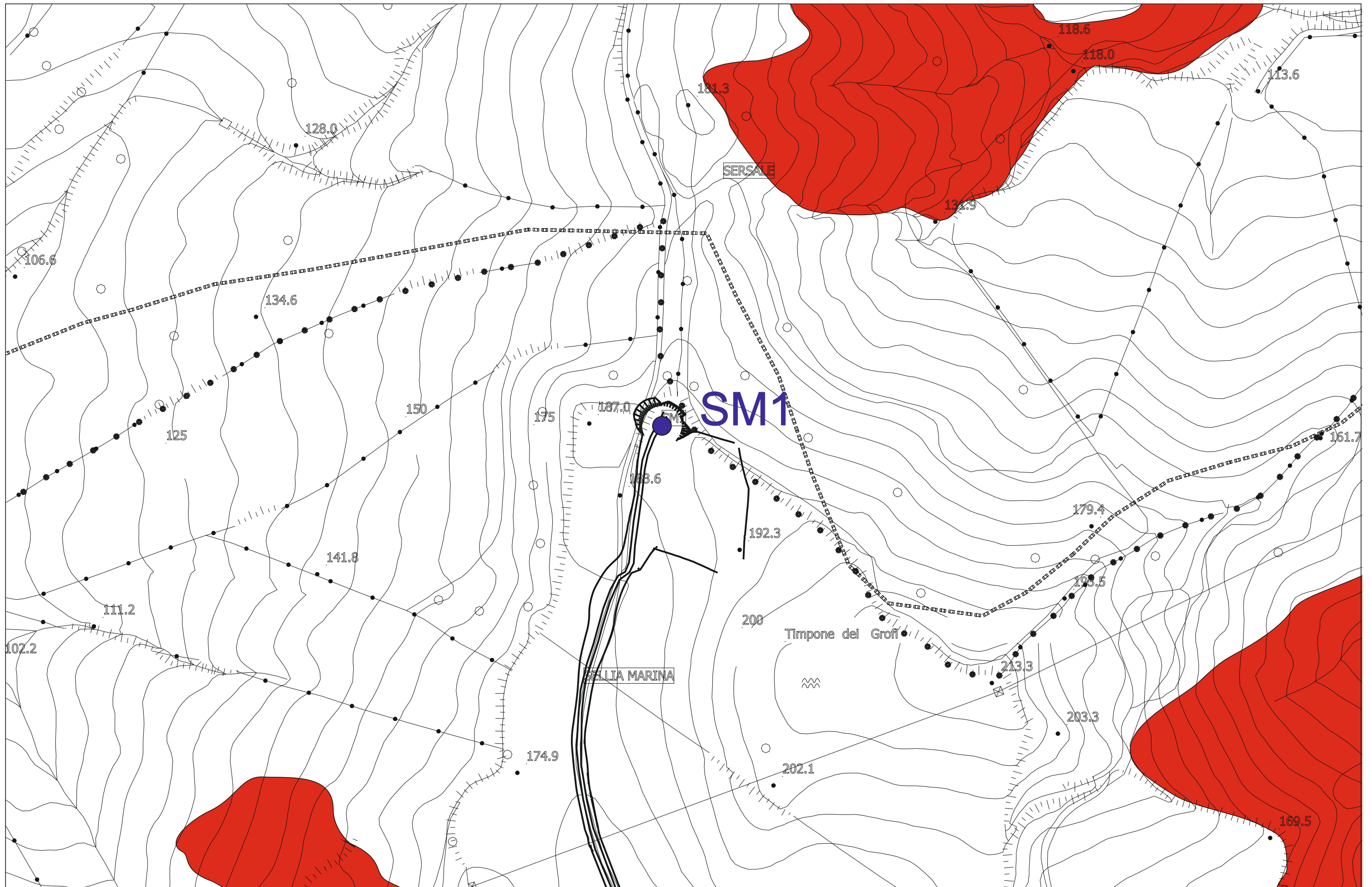
Nell'area vasta sono, però, presenti alcune sorgenti di scarso interesse, la cui ubicazione è visibile nella carta "Idrografia" (il Piano di Tutela delle Acque della Regione Calabria non le inserisce tra quelle da tutelare).

Si tratta di sorgenti, generalmente per limite di permeabilità che sgorgano in corrispondenza dei contatti stratigrafici/tettonici tra litotipi a permeabilità differente e che sono riferibili a bacini idrogeologici secondari e minori di limitata estensione areale.

In ogni caso il sito interessato dal progetto è esterno alle aree di alimentazione e ricarica degli acquiferi individuati dal Piano di Tutela delle Acque e, comunque, i lavori e l'esercizio del parco eolico non potrà in alcun modo interferire negativamente sul circuito idrogeologico superficiale e sotterraneo

Infine, il P.A.I., include numerosi tratti di cavidotto all'interno di "Siti di Attenzione" per fenomeni di inondazione ma essendo il cavidotto completamente interrato e realizzato in parte con la tecnica del microtunnelling ed in parte sull'estradosso dei ponti esistenti, tale rischio non crea alcun problema all'opera in progetto.

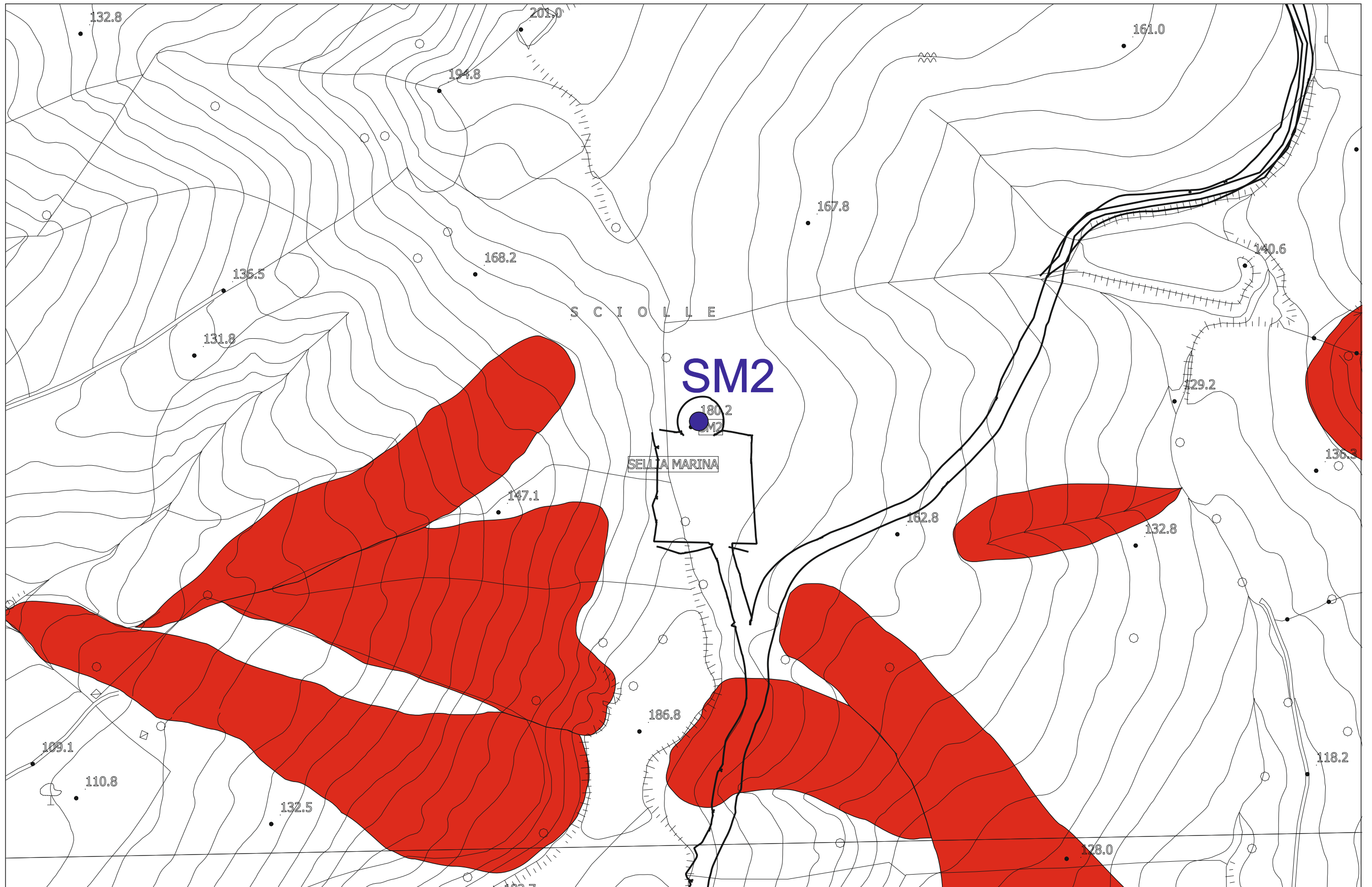
CARTA GEOMORFOLOGICA DI DETTAGLIO SM1



Area interessata da fenomeni geodinamici

Scala 1/2.000

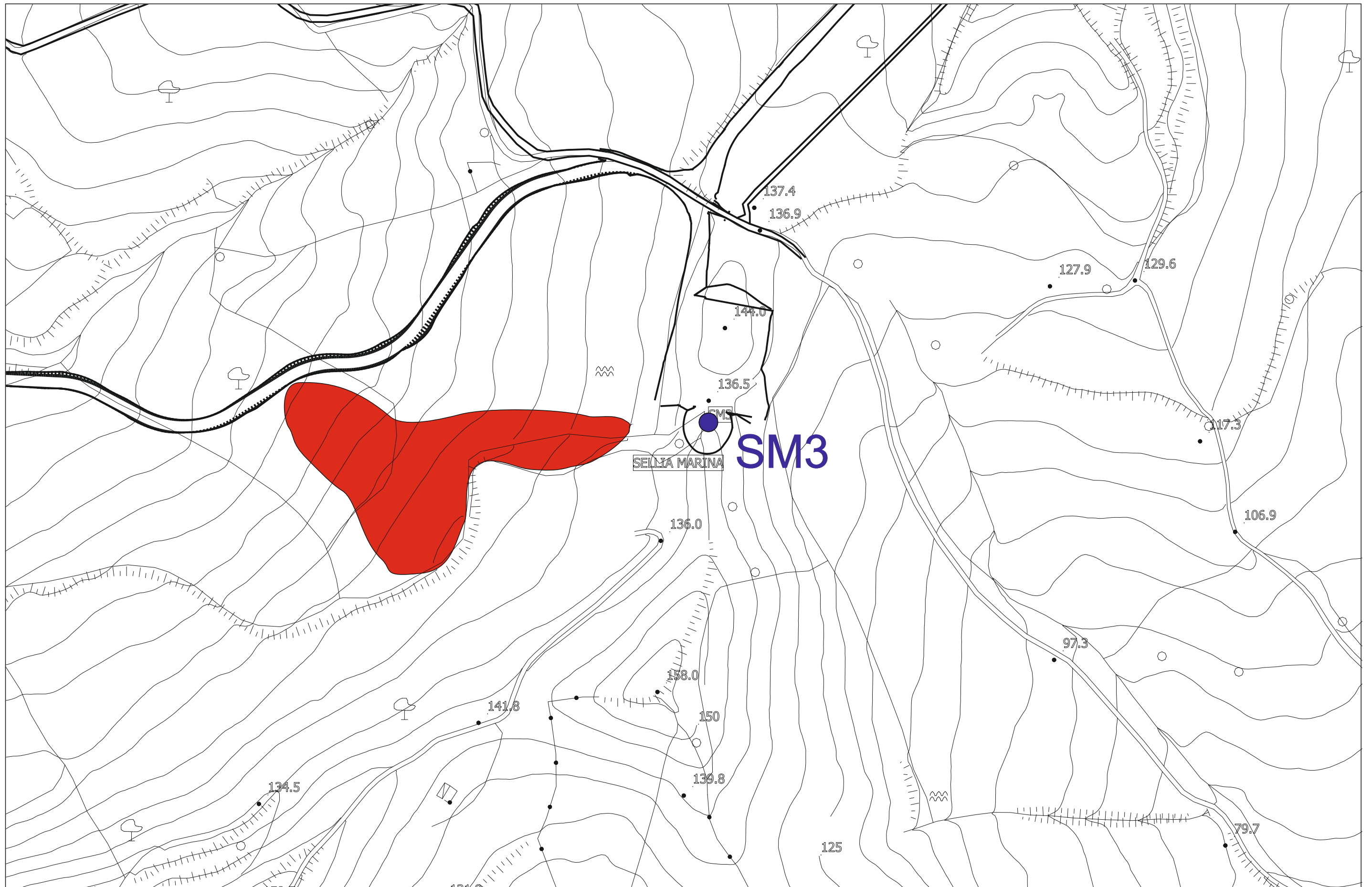
CARTA GEOMORFOLOGICA DI DETTAGLIO SM2




Area interessata da fenomeni geodinamici

Scala 1/2.000

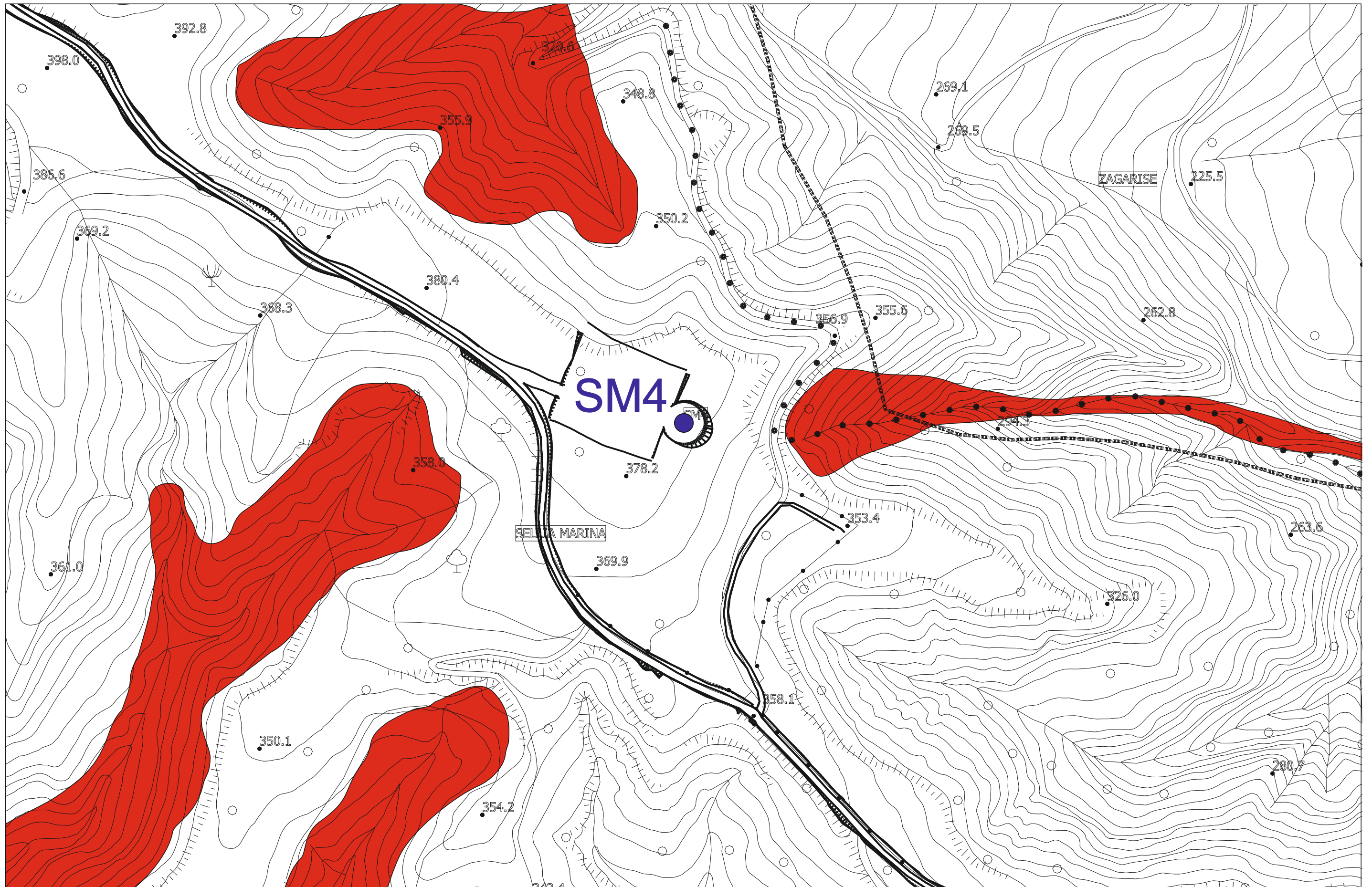
CARTA GEOMORFOLOGICA DI DETTAGLIO SM3



 Area interessata da fenomeni geodinamici

Scala 1/2.000

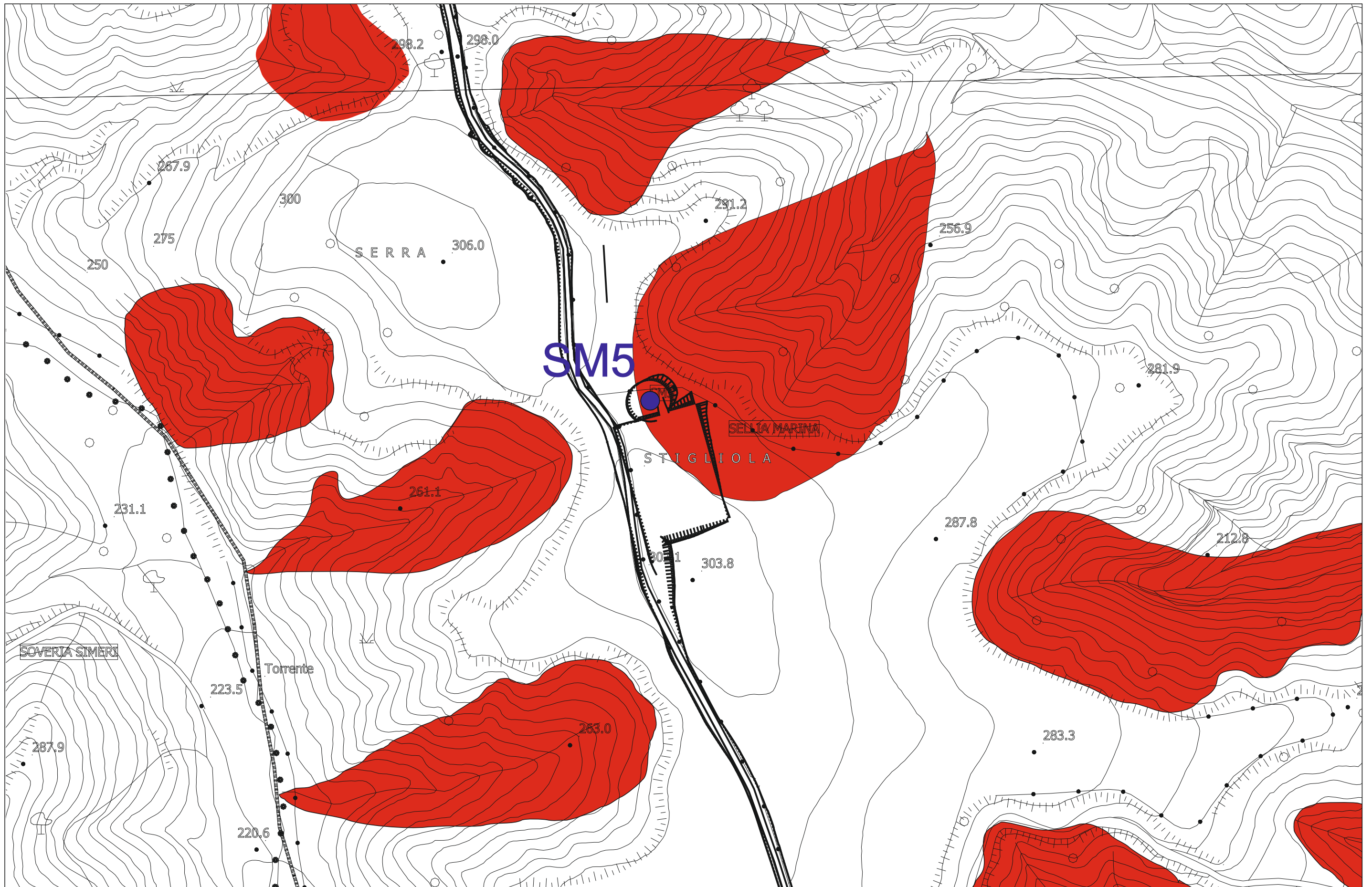
CARTA GEOMORFOLOGICA DI DETTAGLIO SM4



Area interessata da fenomeni geodinamici

Scala 1/2.000

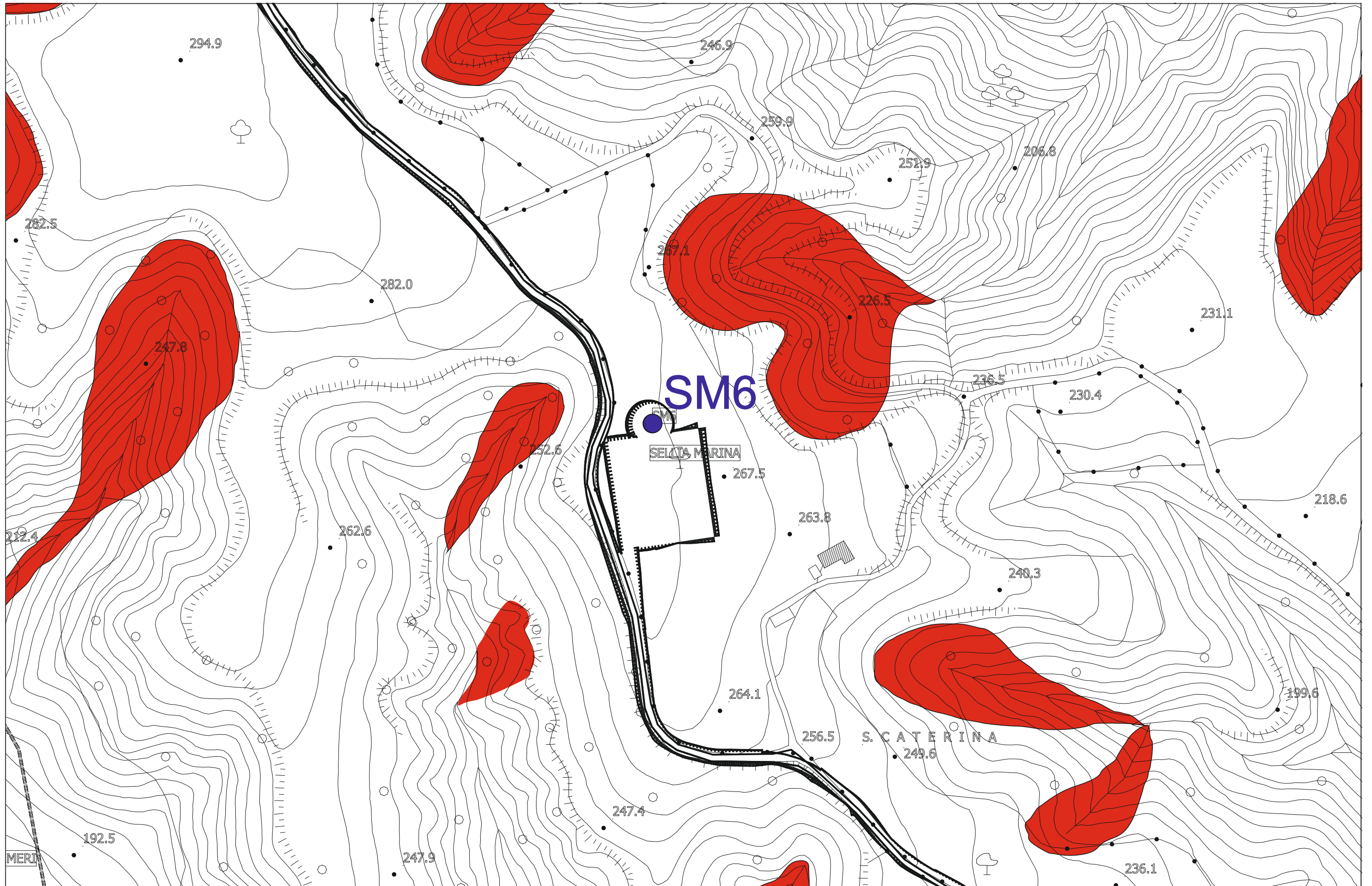
CARTA GEOMORFOLOGICA DI DETTAGLIO SM5



Area interessata da fenomeni geodinamici

Scala 1/2.000

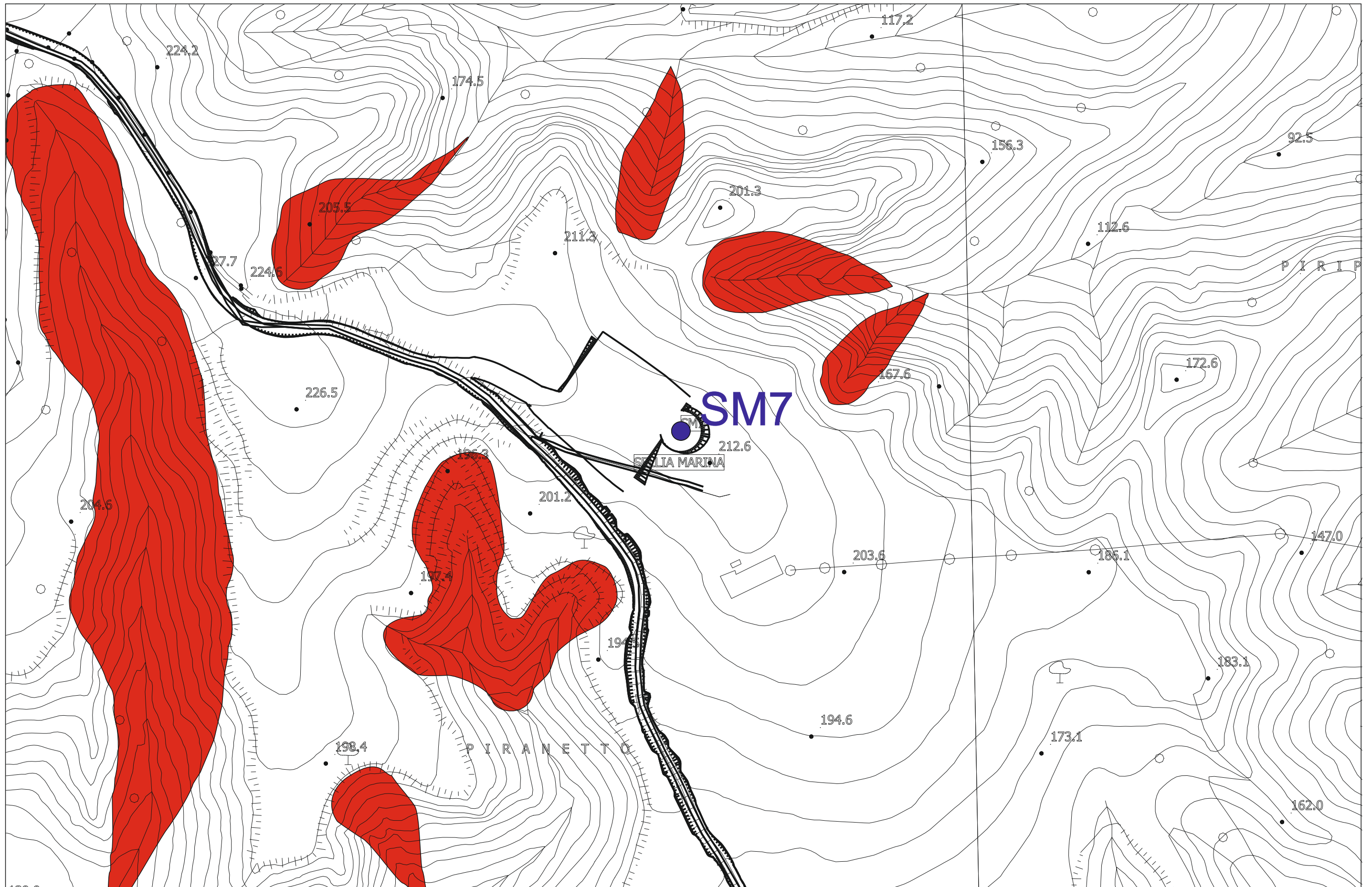
CARTA GEOMORFOLOGICA DI DETTAGLIO SM6



Area interessata da fenomeni geodinamici

Scala 1/2.000

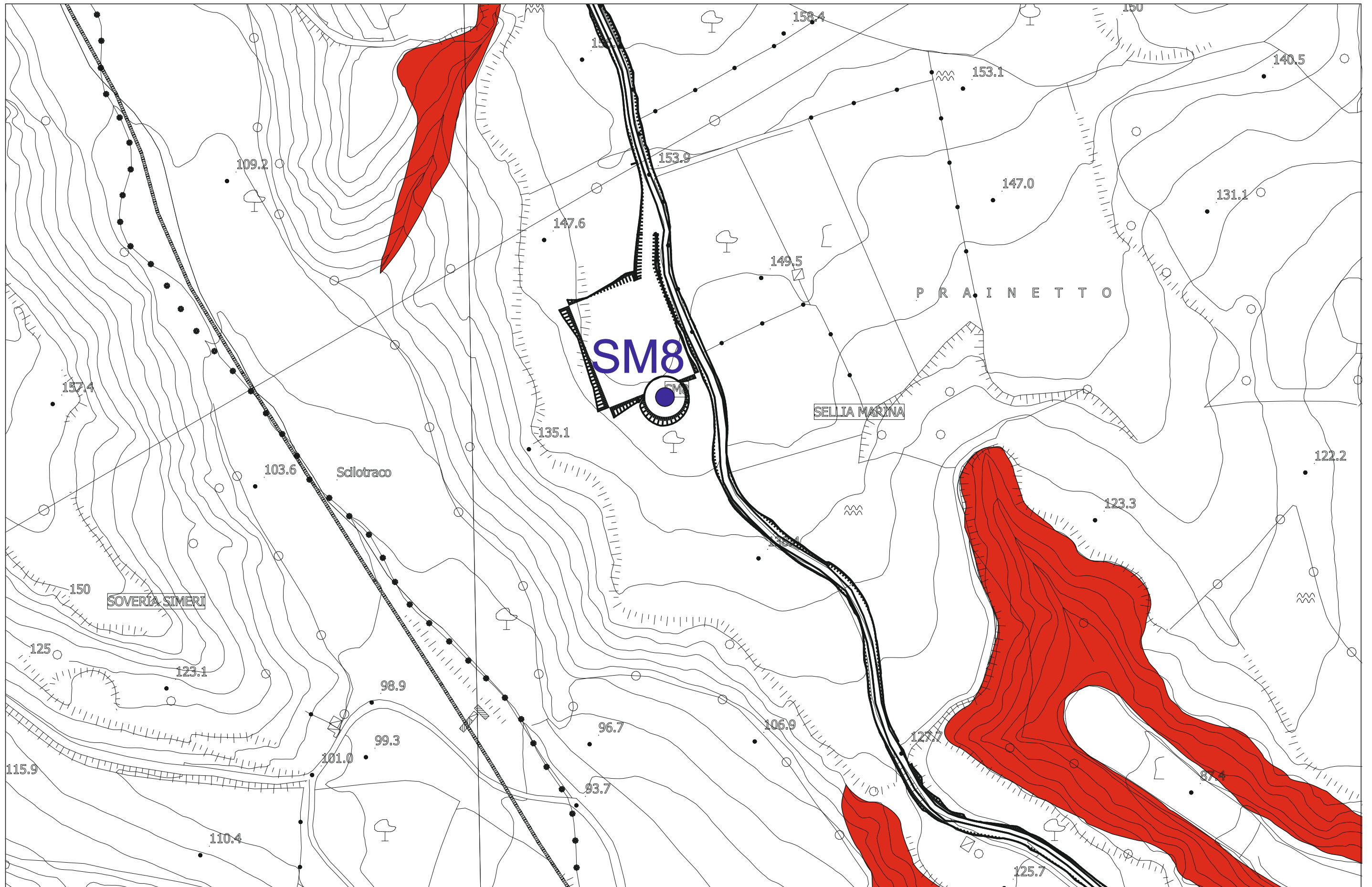
CARTA GEOMORFOLOGICA DI DETTAGLIO SM7



Area interessata da fenomeni geodinamici

Scala 1/2.000

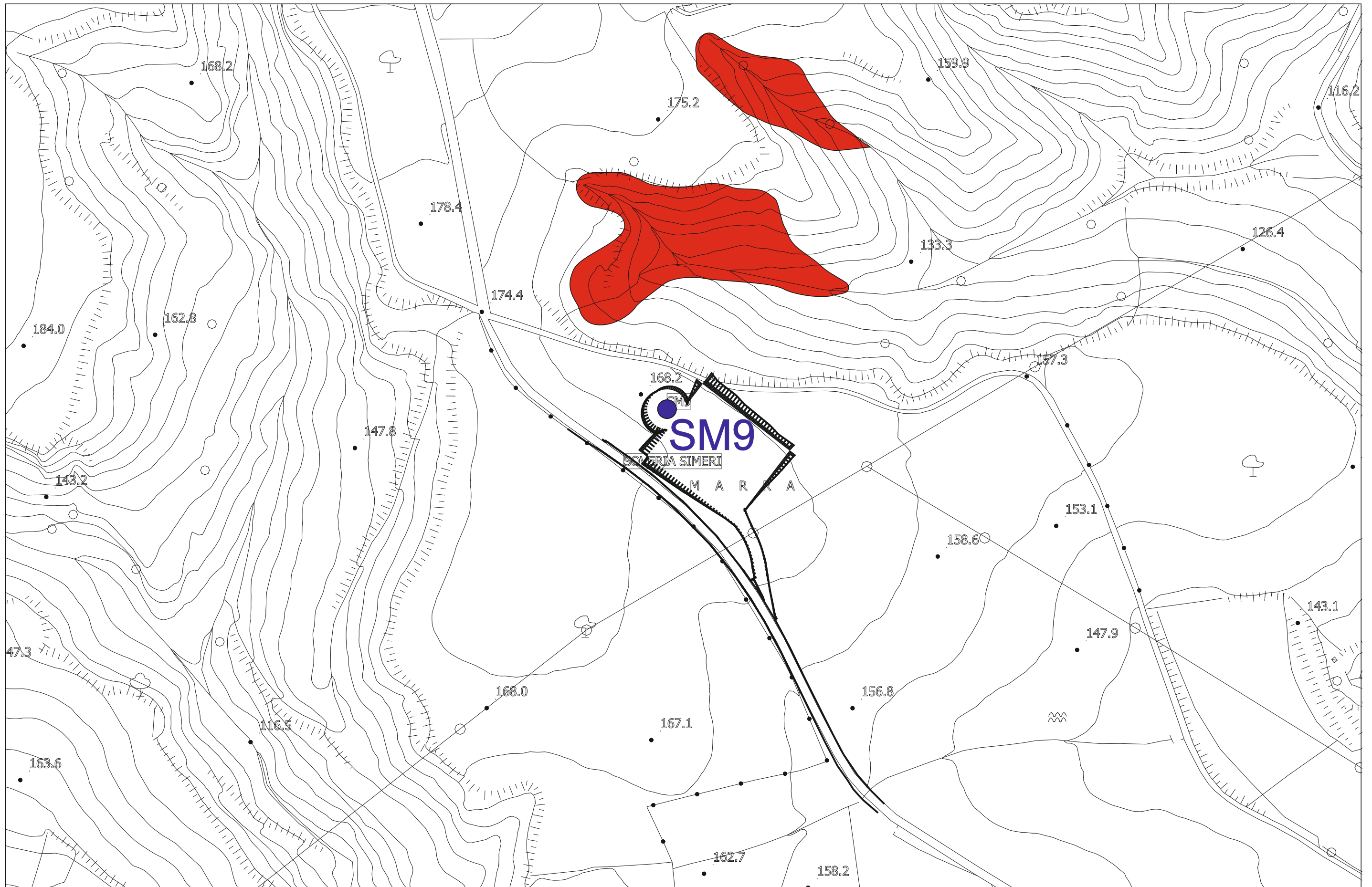
CARTA GEOMORFOLOGICA DI DETTAGLIO SM8



Area interessata da fenomeni geodinamici

Scala 1/2.000

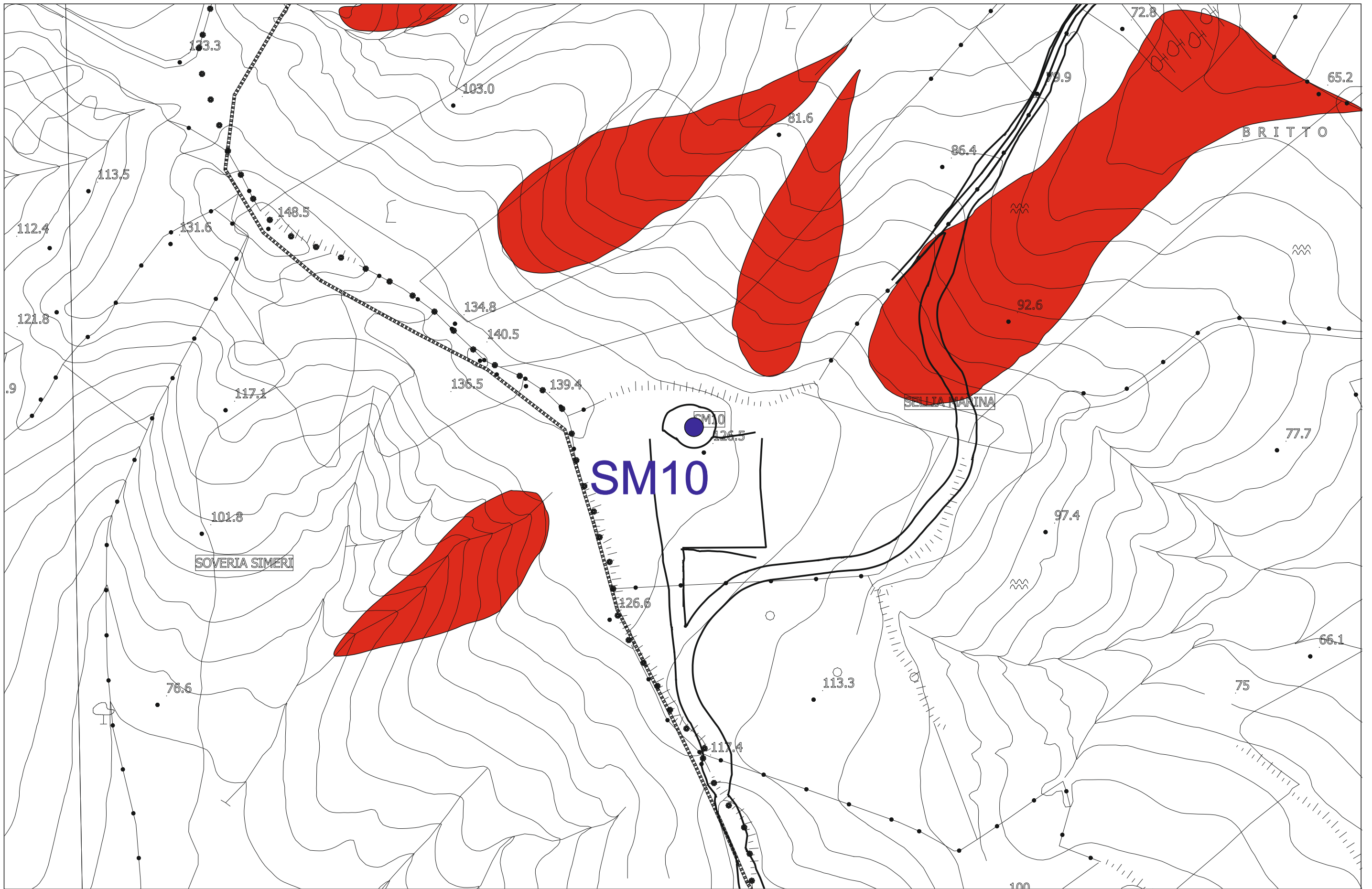
CARTA GEOMORFOLOGICA DI DETTAGLIO SM9



Area interessata da fenomeni geodinamici

Scala 1/2.000

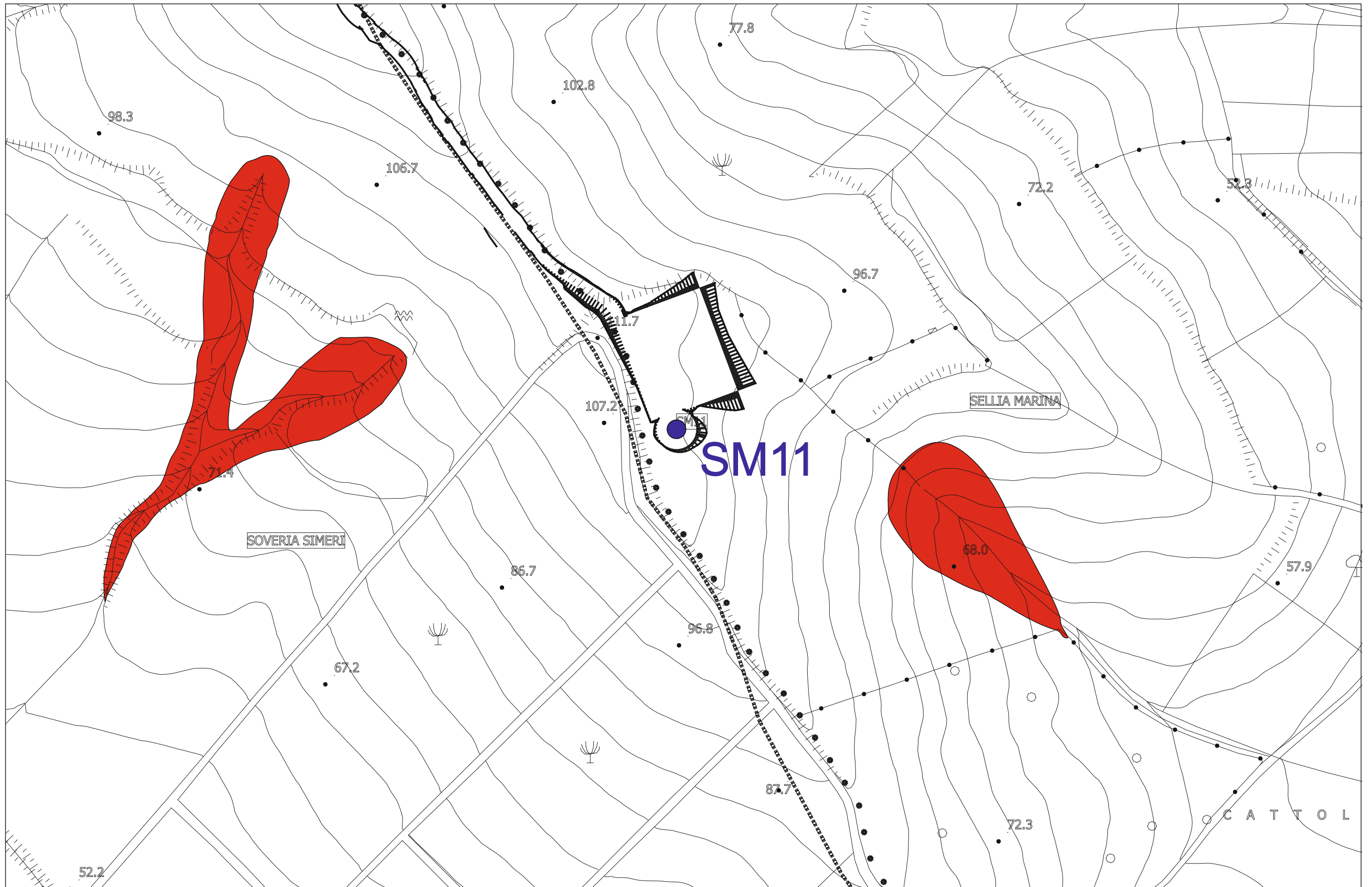
CARTA GEOMORFOLOGICA DI DETTAGLIO SM10




Area interessata da fenomeni geodinamici

Scala 1/2.000

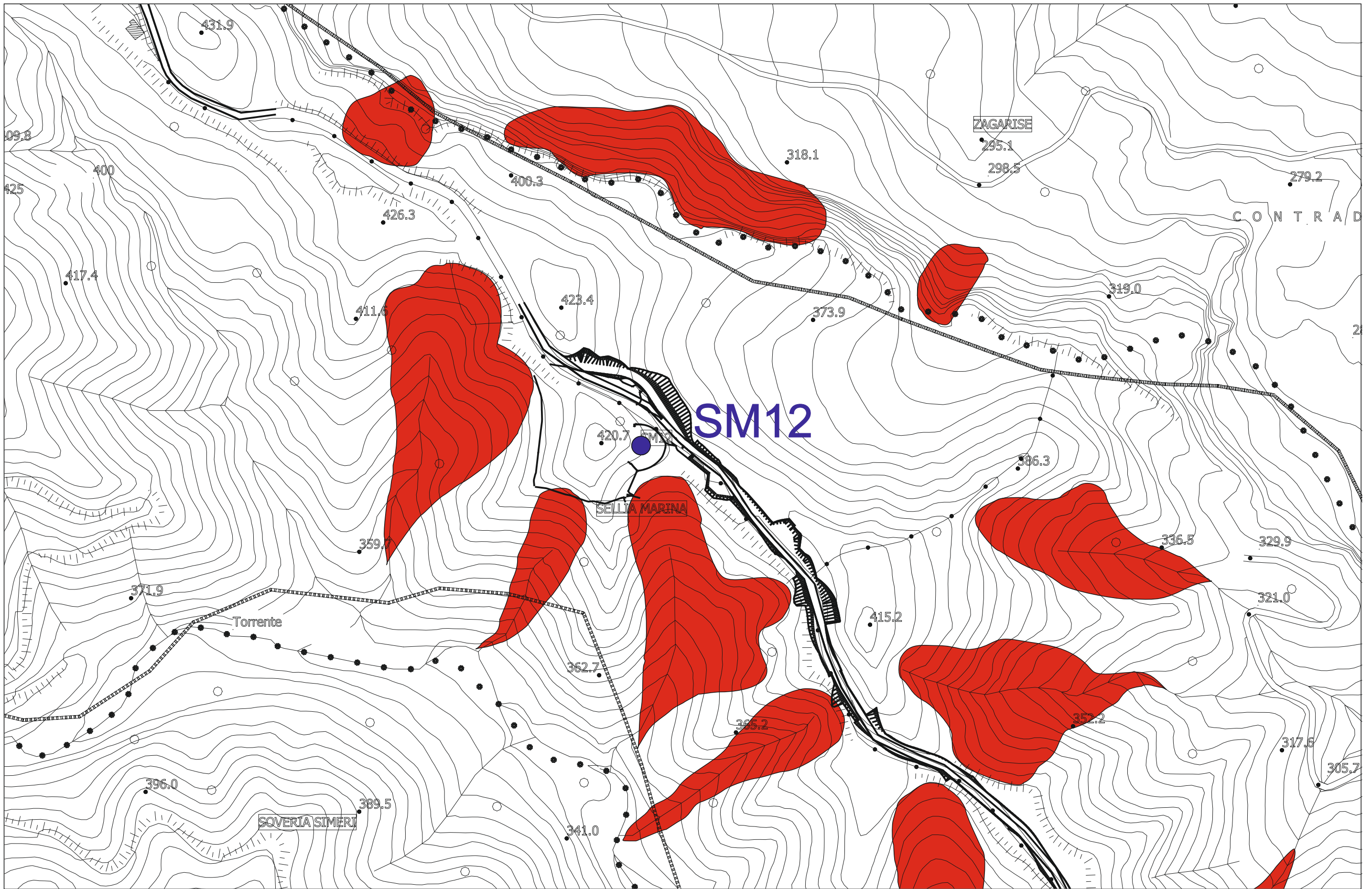
CARTA GEOMORFOLOGICA DI DETTAGLIO SM11



 Area interessata da fenomeni geodinamici

Scala 1/2.000

CARTA GEOMORFOLOGICA DI DETTAGLIO SM12



Area interessata da frana complessa

Scala 1/2.000

4. INDAGINI DI SISMICA PASSIVA A STAZIONE SINGOLA (TROMOGRAFIA)

Si è ritenuto necessario l'utilizzo della tecnica di sismica passiva a stazione singola HVSR (tomografia) allo scopo di determinare le velocità delle onde di taglio (V_s) dei terreni presenti, in corrispondenza delle opere progettate.

In particolare sono state eseguite n. 15 misure di microtremore ambientale, con un tromografo digitale progettato specificatamente per l'acquisizione del rumore sismico.

Di seguito vengono riportati alcuni cenni riguardo la metodologia utilizzata.

La sismica passiva è una tecnica che permette di definire la serie stratigrafica locale basandosi sul concetto di contrasto di impedenza dove per strato si intende un'unità distinta in relazione al rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e densità del mezzo stesso.

I primi studi su questa tecnica sono da attribuire a Kanai (1957) e da allora diversi metodi sono stati proposti per estrarre utili informazioni sul sottosuolo a partire dagli spettri del rumore sismico registrati in sito.

Tra questi la tecnica che si è maggiormente consolidata è quella dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale (HVSR), applicata da Nogoshi e Igarashi (1970).

Successivamente Nakamura (1989) ha applicato tale metodo come strumento per la determinazione dell'amplificazione sismica locale.

Le basi teoriche dell'HVSR sono relativamente semplici in un sistema stratificato in cui i parametri variano solo con la profondità (1-D).

Considerando lo schema illustrato nella figura sotto riportata si osserva che sono presenti due strati (1 e 2) che si differenziano per le densità (ρ_1 e ρ_2) e le velocità delle onde sismiche (V_1 e V_2).

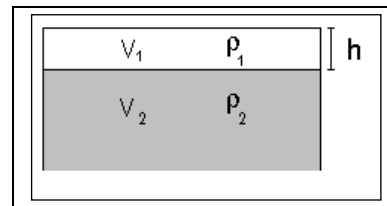


Fig. 5 - Modello di suolo costituito da due strati a diverse velocità delle onde sismiche e densità.

In questo caso un'onda che viaggia nel mezzo 1 viene parzialmente riflessa dalla superficie di strato.

L'onda riflessa interferendo con quelle incidenti si somma e raggiunge le ampiezze massime (condizione di risonanza) quando la lunghezza dell'onda incidente (λ) è 4 volte (o suoi multipli dispari) lo spessore H del primo strato.

Ne consegue che la frequenza di risonanza (f_r) dello strato 1 relativa alle onde P è pari a:

$$f_r = V_{P1}/(4 H) \quad [1]$$

mentre quella relativa alle onde S è

$$f_r = V_{S1}/(4 H). \quad [2]$$

Teoricamente questo effetto è sommabile cosicché la curva HVSR mostra, come massimi relativi, le frequenze di risonanza dei vari strati.

Questo dato, insieme alla stima delle velocità, è in grado di fornire utili previsioni sullo spessore H degli strati.

Questa informazione è contenuta principalmente nella componente verticale del moto ma la prassi di usare il rapporto tra gli spettri orizzontali

e quello verticale, piuttosto che il solo spettro verticale, deriva dal fatto che il rapporto fornisce un'importante normalizzazione del segnale per:

- ❖ il contenuto in frequenza;
- ❖ la risposta strumentale;
- ❖ l'ampiezza del segnale quando le registrazioni vengono effettuate in momenti con rumore di fondo più o meno alto.

La normalizzazione, che rende più semplice l'interpretazione del segnale, è alla base della popolarità del metodo.

Da evidenziare, inoltre, che i microtremori sono costituiti da onde di volume, P o S, ed in misura maggiore da onde superficiali, in particolare da onde di Rayleigh.

Tale inconveniente è facilmente superabile sia perché le onde di superficie sono prodotte da interferenza costruttiva, sia perché la velocità dell'onda di Rayleigh è molto prossima a quella delle onde S.

D'altro canto l'applicabilità pratica della formula [2] è stata già dimostrata in molti studi sia nell'ambito della prospezione geofisica che nell'ambito ingegneristico.

La strumentazione utilizzata per l'acquisizione dei dati sperimentali, consiste in un tromografo digitale denominato "Tromino", dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati N-S, E-W e verticalmente alimentato da 2 batterie AA da 1.5 V, fornito di GPS interno e senza cavi esterni. I dati di rumore, amplificati e digitalizzati a 24 bit equivalenti, sono stati acquisiti alla frequenza di campionamento di 128 Hz.

Dalle registrazioni del rumore sismico sono state ricavate e analizzate due serie di dati:

- le curve HVSR che sono state ottenute col software Grilla eseguendo un processing con i seguenti parametri:
 - ✓ larghezza delle finestre d'analisi pari a 20 s per tempi di acquisizione di 20 minuti;
 - ✓ lisciamento secondo finestra triangolare con ampiezza pari al 15% della frequenza centrale,
 - ✓ rimozione delle finestre con rapporto STA/LTA (media a breve termine/media a lungo termine) superiore a 2;
 - ✓ rimozione manuale di eventuali transienti ancora presenti.
- le curve dello spettro di velocità delle tre componenti del moto sono state ottenute dopo l'analisi con gli stessi parametri sopra riportati.

Le profondità H delle discontinuità sismiche sono state ricavate tramite la formula sotto riportata, in cui:

- ✓ V_0 è la velocità al tetto dello strato;
- ✓ ad un fattore che dipende dalle caratteristiche del sedimento (granulometria, coesione ecc.);
- ✓ v la frequenza fondamentale di risonanza.

$$H = \left[\frac{V_0(1-\alpha)}{4v} + 1 \right]^{1/(1-\alpha)} - 1$$

Le ubicazioni dei sondaggi che sono stati eseguiti sono visibili nelle planimetrie allegate mentre di seguito sono riportate, in dettaglio, le interpretazioni dei dati sperimentali ottenuti.

I dati sperimentali ricavate dalle indagini di sismica passiva a stazione singola permettono di ricavare una stima delle velocità delle onde di taglio V_s .

In generale, la frequenza di risonanza delle onde S che viaggiano all'interno di uno strato è legata al tempo di tragitto delle onde S nello strato stesso dalla relazione

$$f_r = \frac{1}{4T_H}$$

Dove T_H è il tempo di tragitto dall'interfaccia risonante e f_r è la frequenza di risonanza.

A partire dalla formula precedente e conoscendo la profondità h dell'interfaccia risonante è definibile la velocità media delle onde S nella struttura risonante

$$V = \frac{H}{T_H}$$

e

$$f_r = \frac{1}{4T_H}$$

da cui si ricava

$$V = 4 f_r h$$

In allegato sono riportate, in dettaglio, le interpretazioni dei dati sperimentali ottenuti.

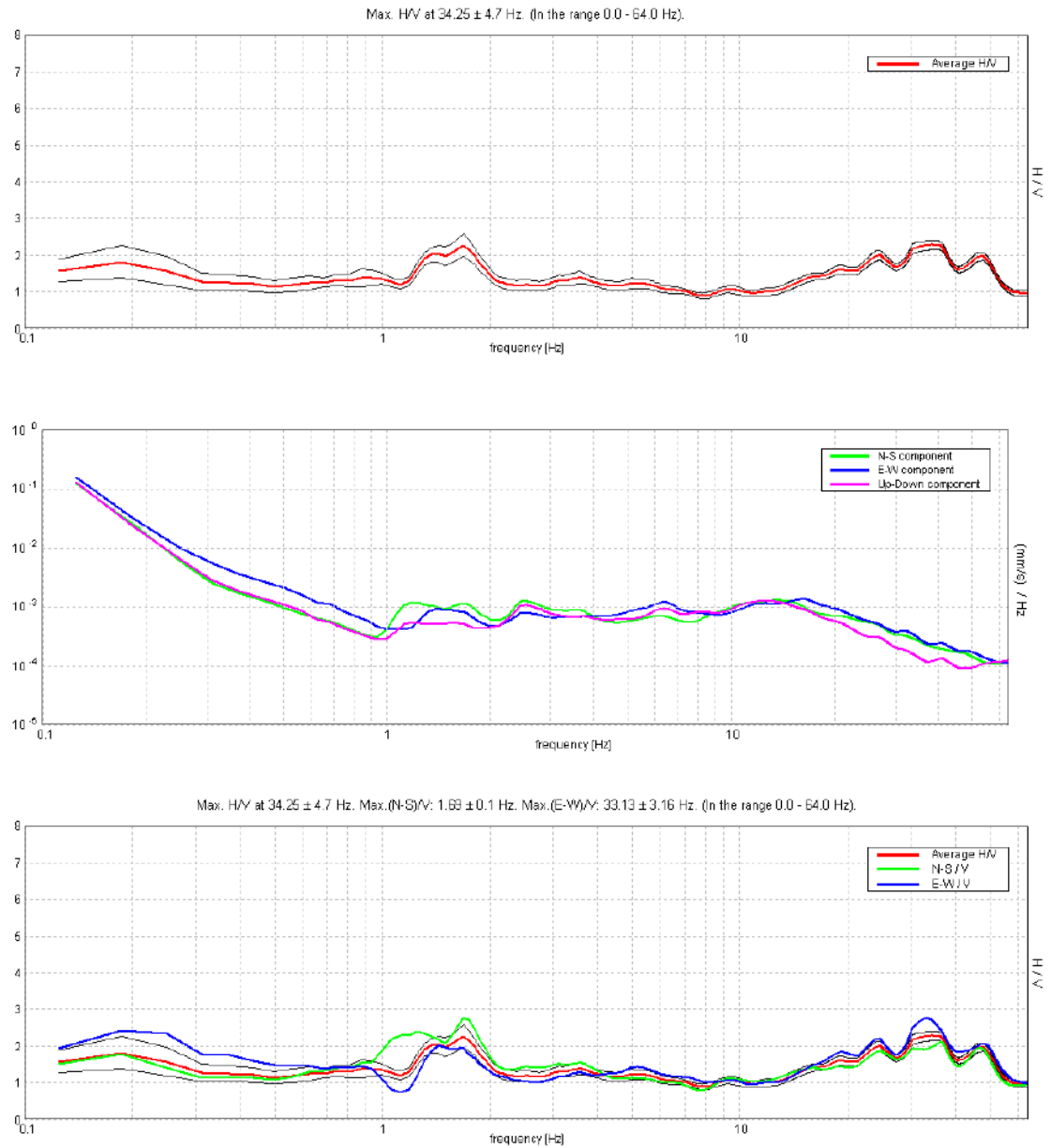


Grafico n. 1 - Sondaggio tromografico T1

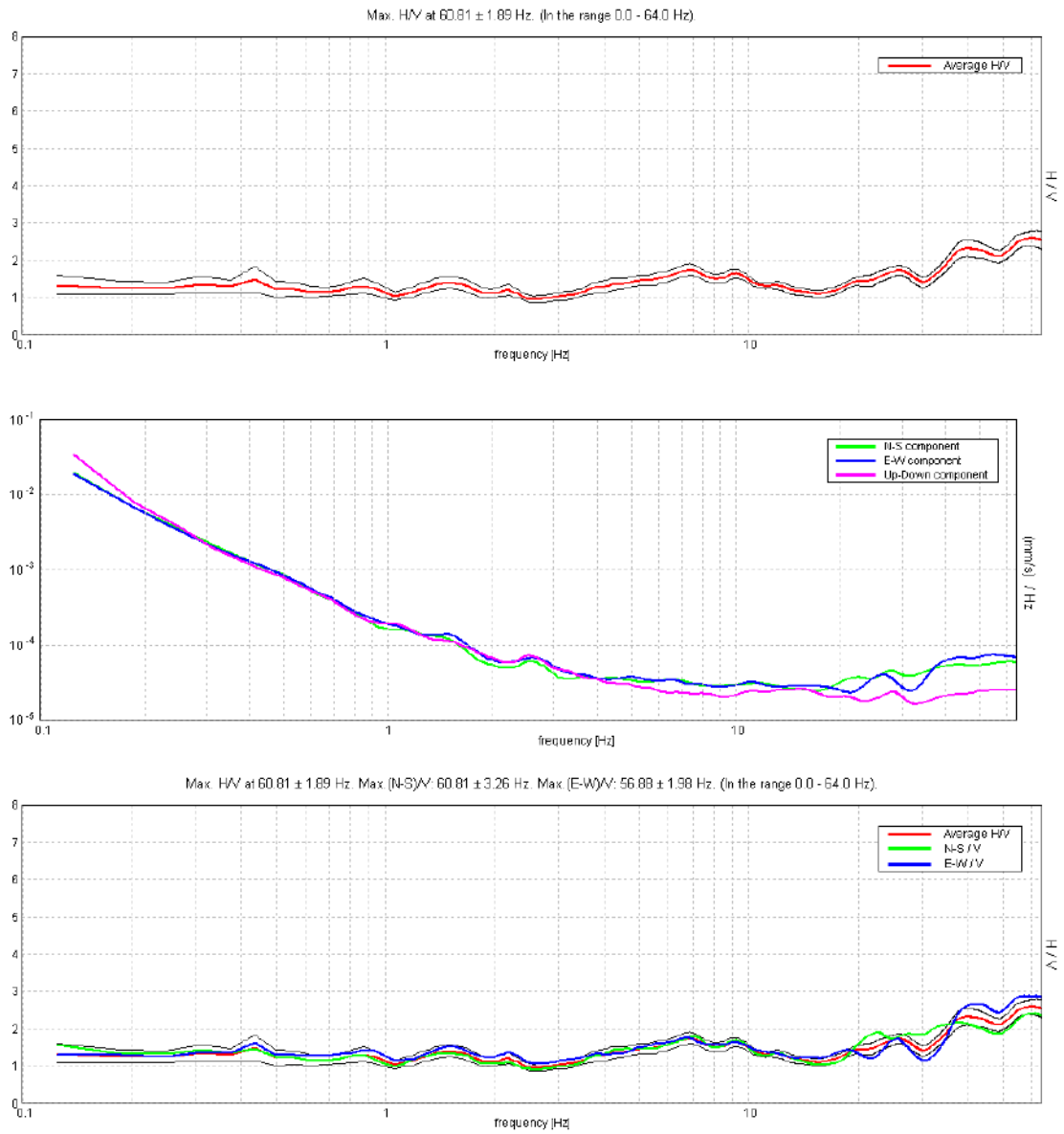


Grafico n. 2 - Sondaggio tromografico T2

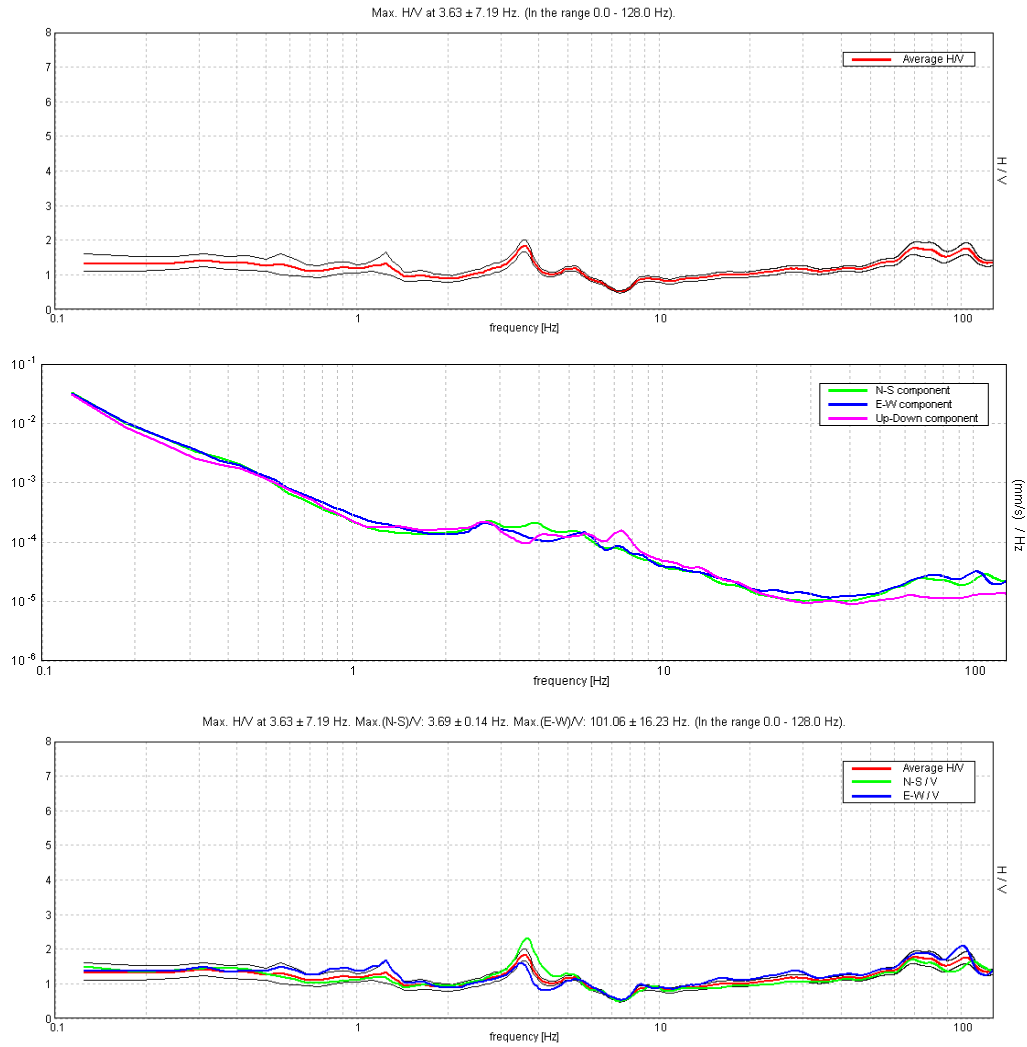


Grafico n. 3 - Sondaggio tomografico T3

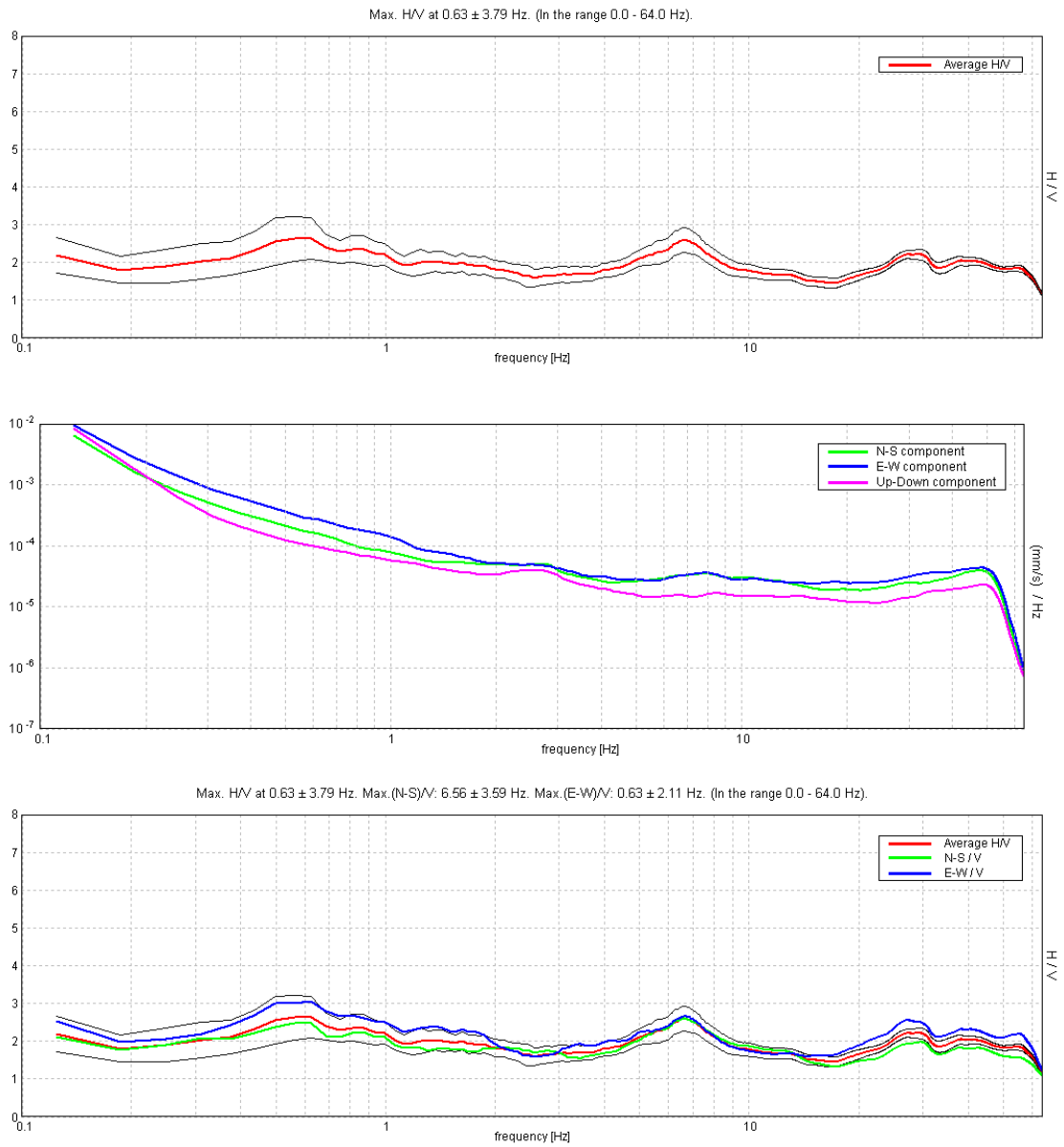


Grafico n. 4 - Sondaggio tromografico T4

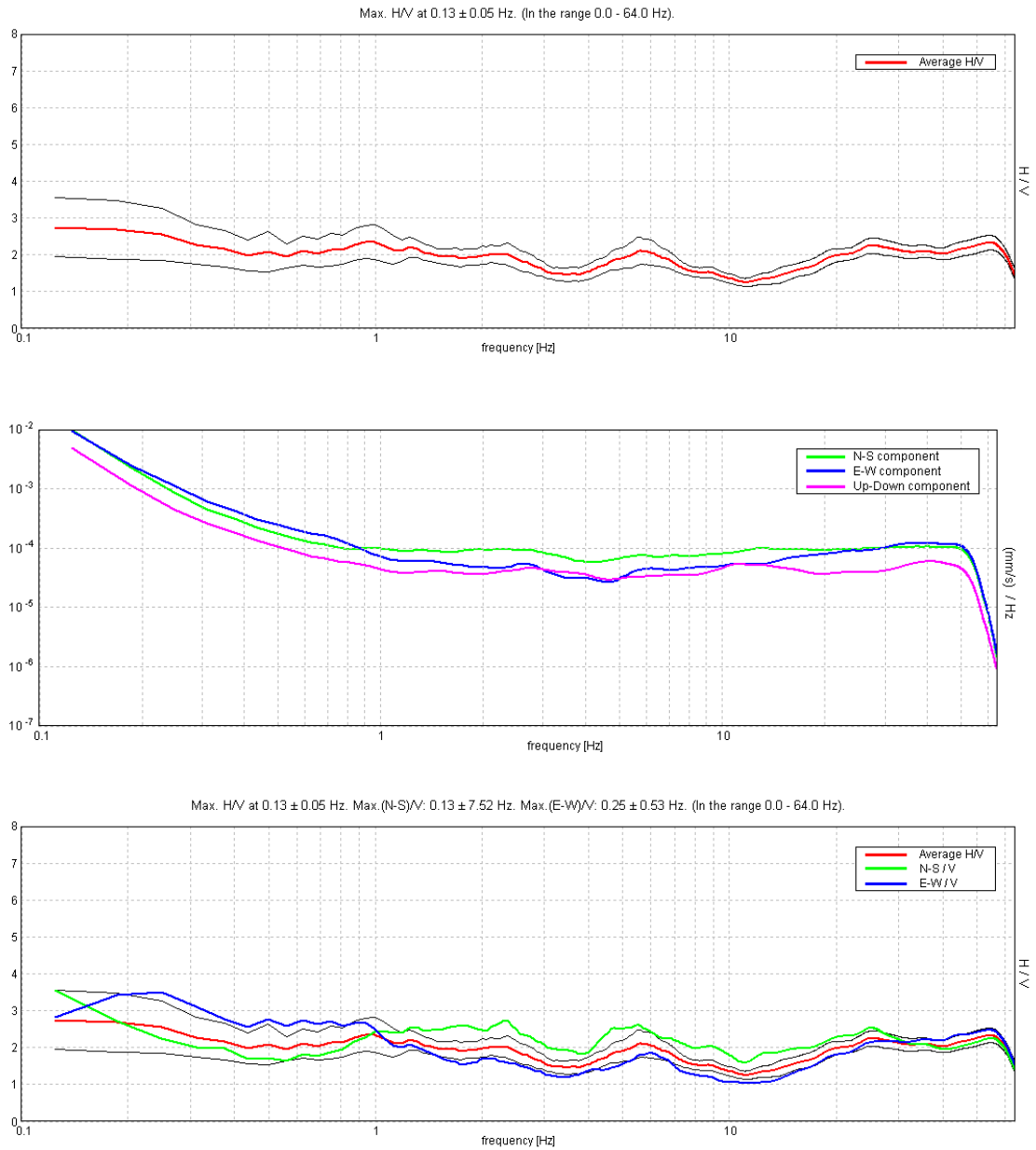


Grafico n. 5 - Sondaggio tomografico T5

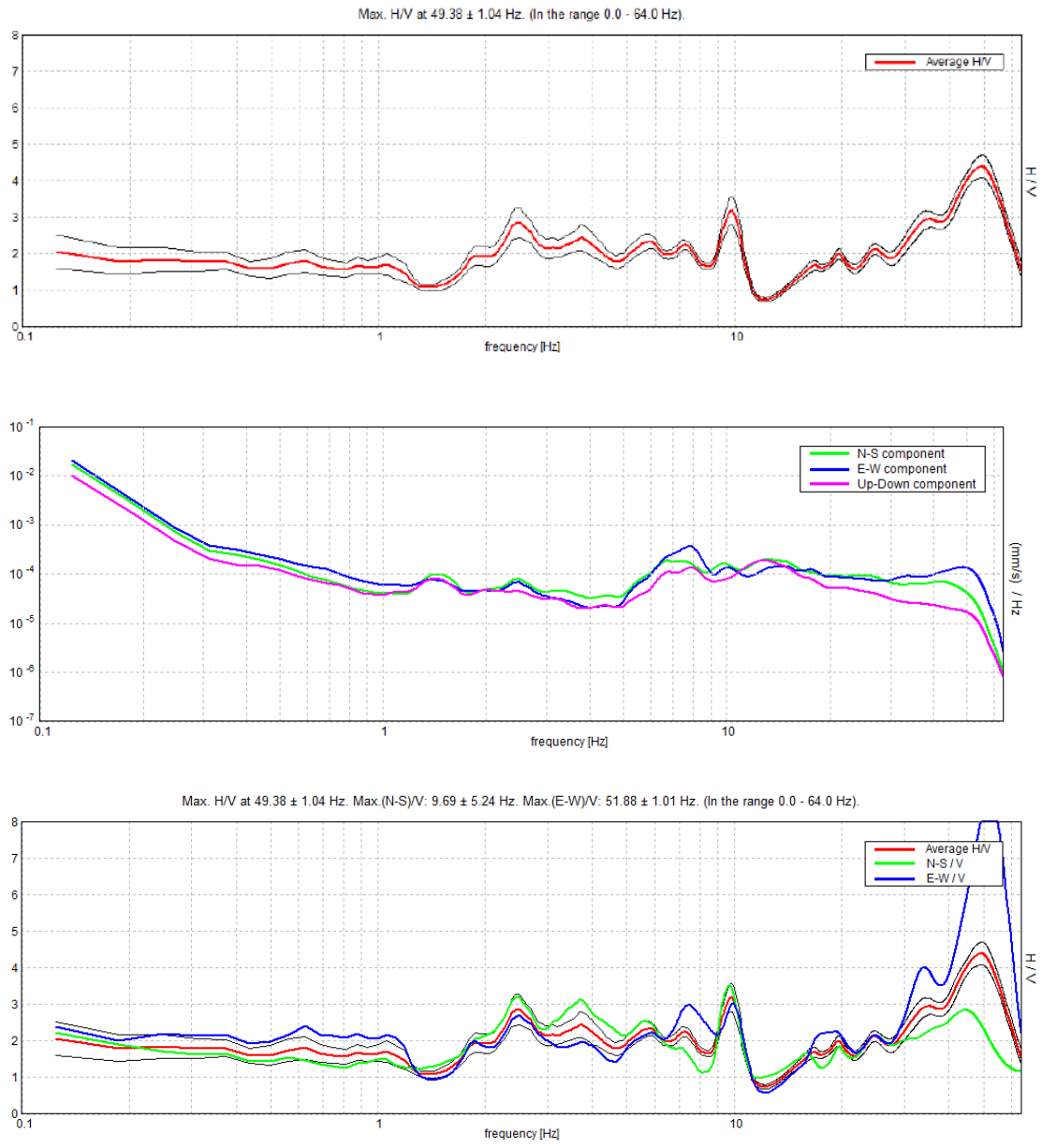


Grafico n. 6 - Sondaggio tromografico T6

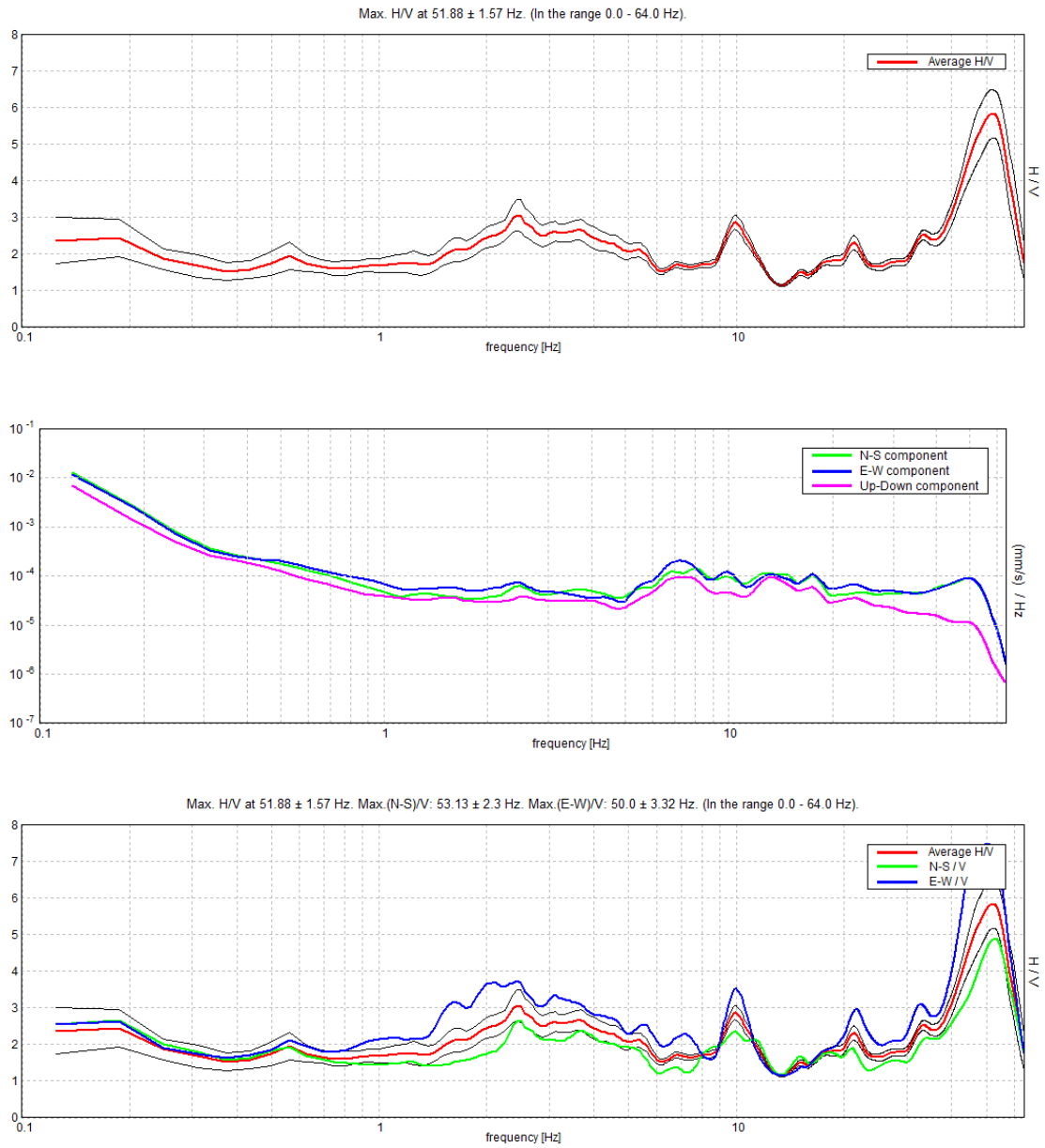


Grafico n. 7 - Sondaggio tromografico T7

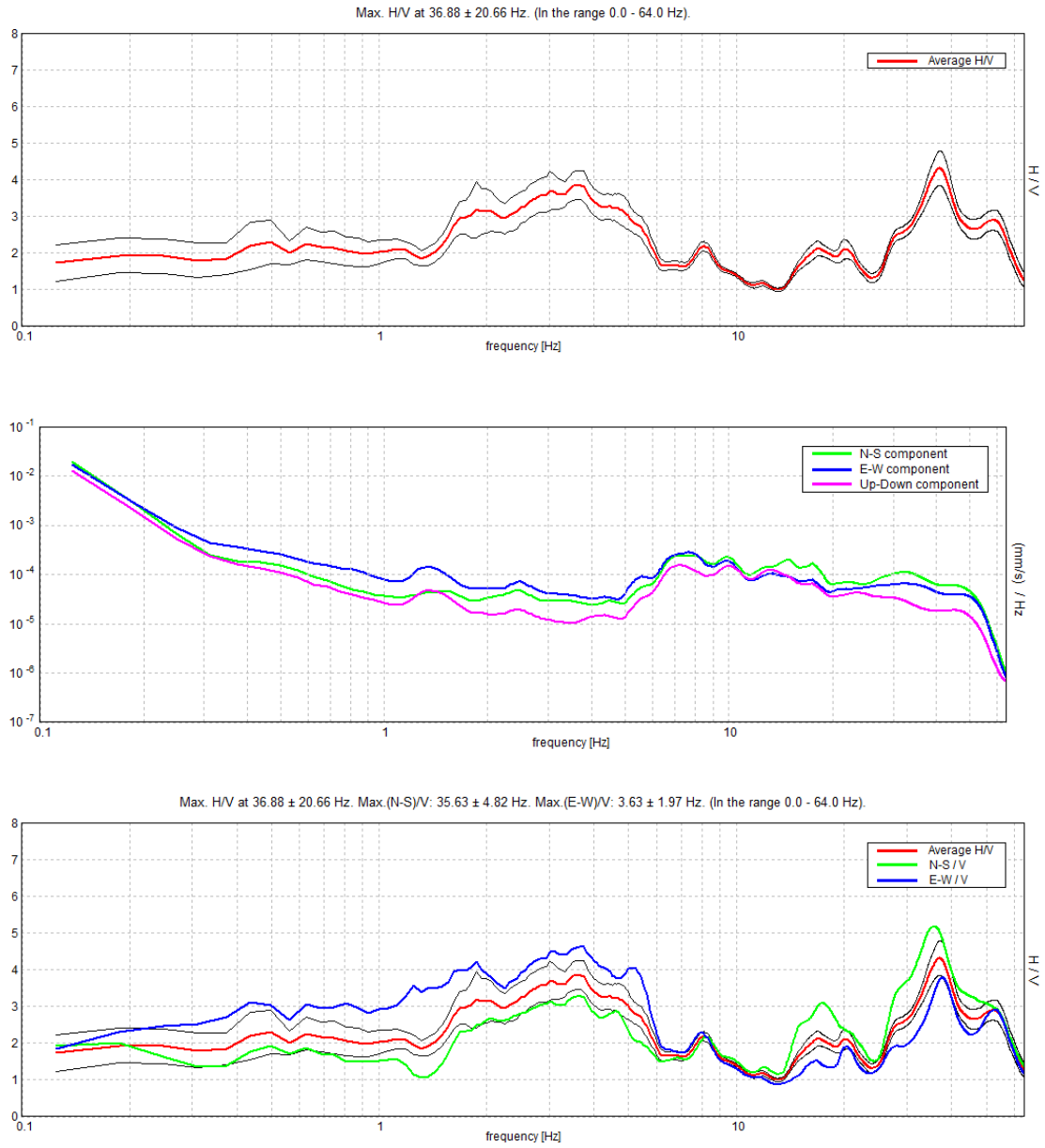


Grafico n. 8 - Sondaggio tromografico T8

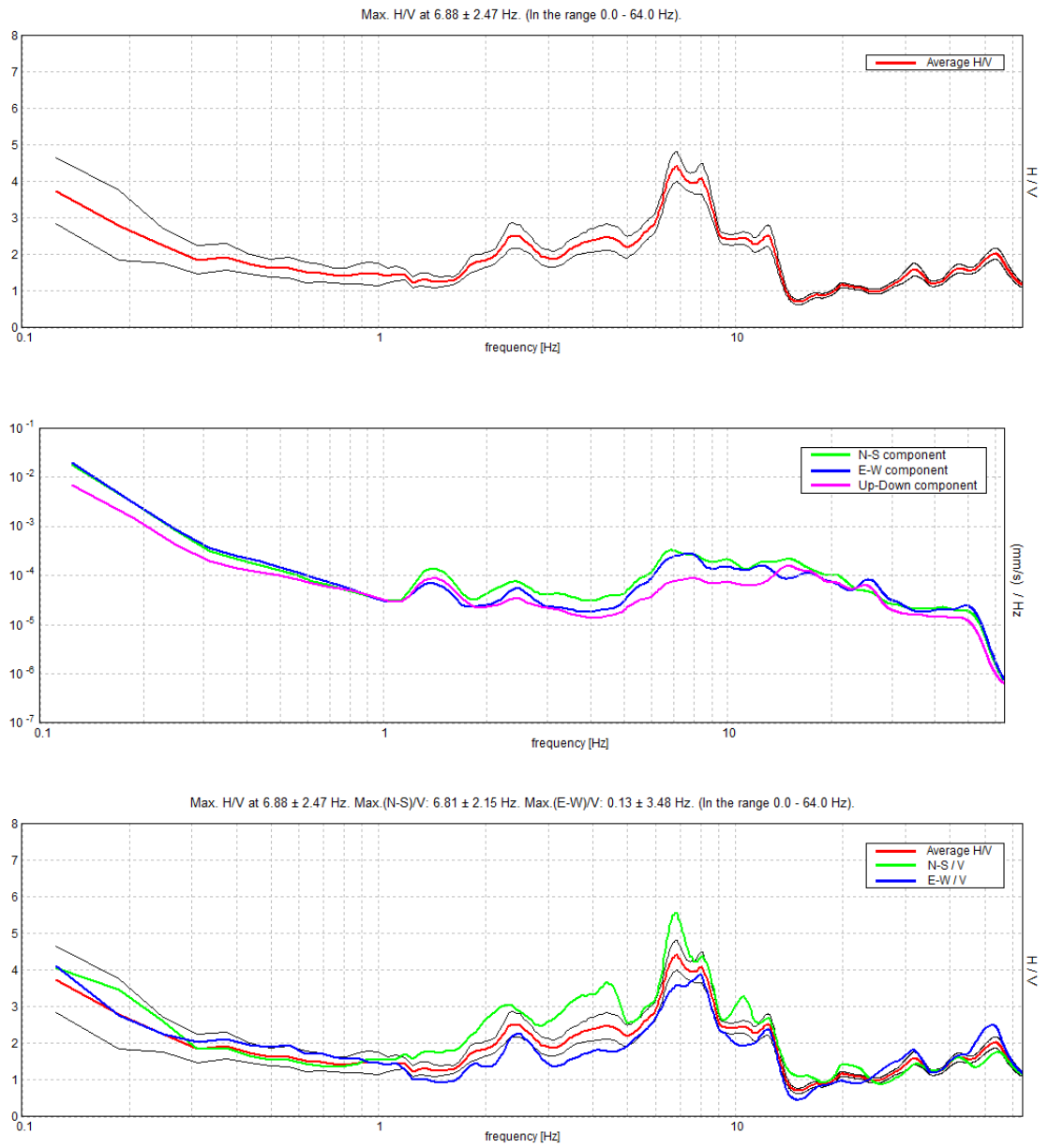


Grafico n. 9 - Sondaggio tromografico T9

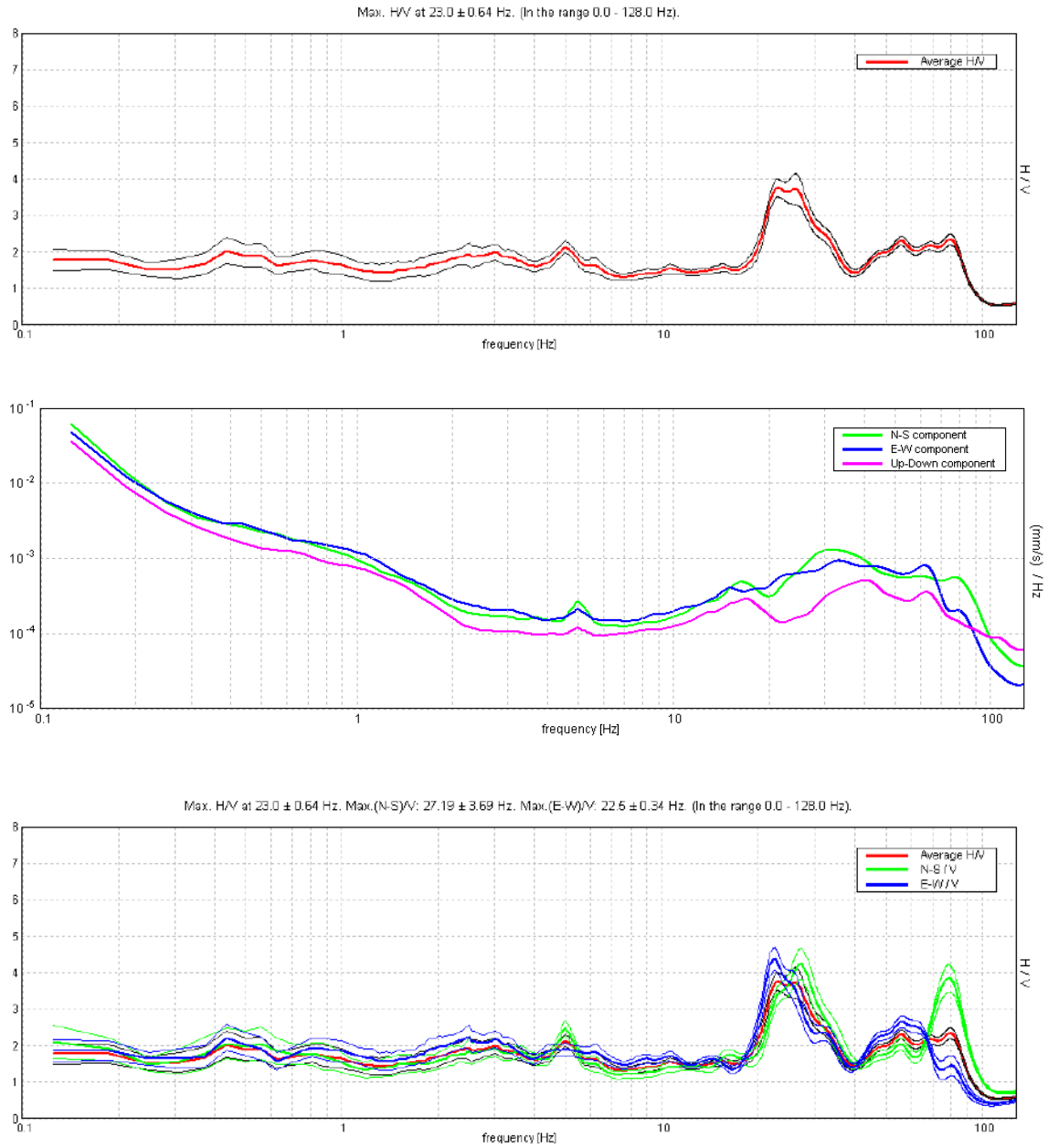


Grafico n. 10 - Sondaggio tromografico T10

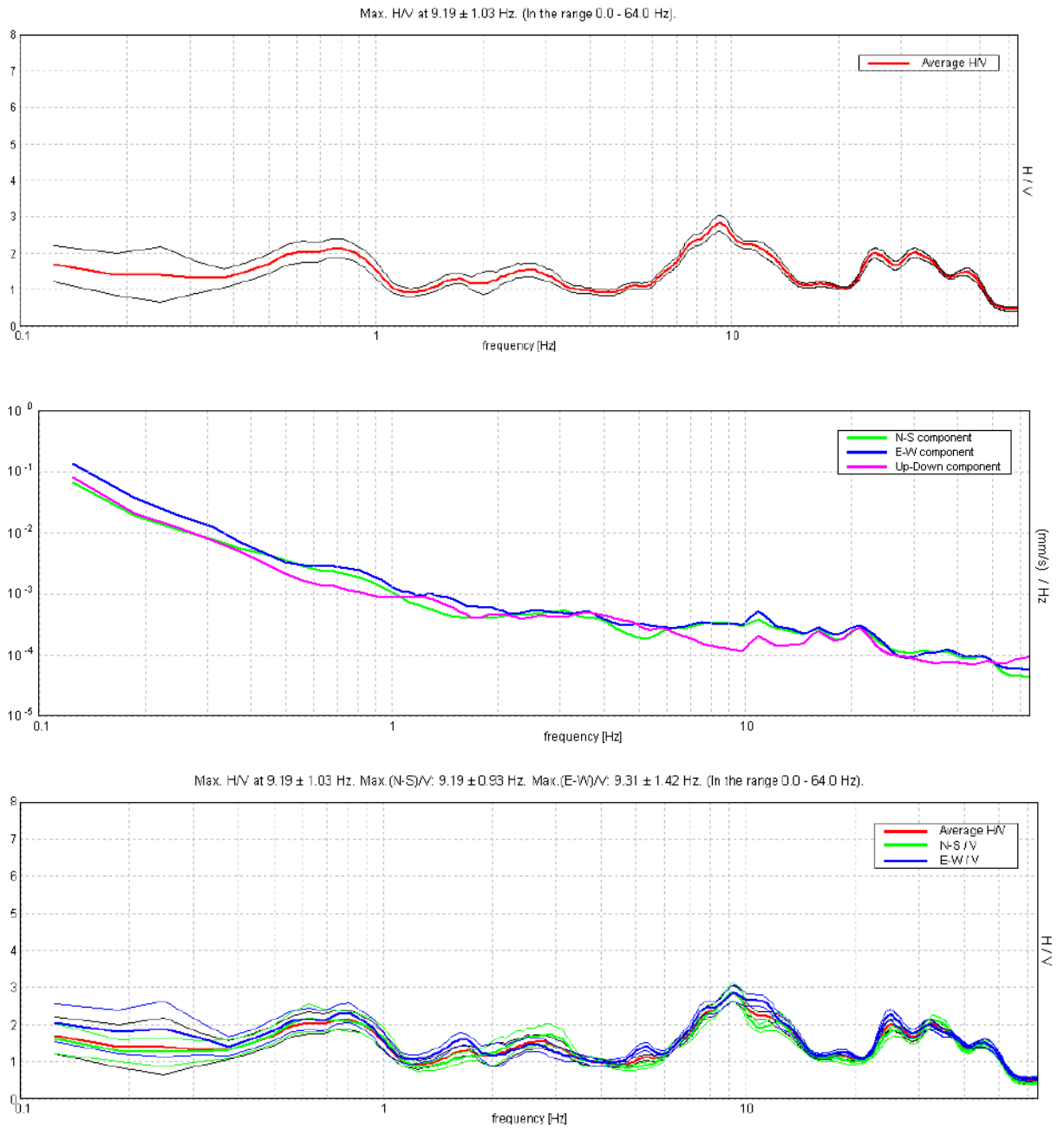


Grafico n. 11 - Sondaggio tromografico Tsott

I dati sperimentali ricavate dalle indagini di sismica passiva a stazione singola permettono di ricavare una stima delle velocità delle onde di taglio Vs.

In generale, la frequenza di risonanza delle onde S che viaggiano all'interno di uno strato è legata al tempo di tragitto delle onde S nello strato stesso dalla relazione

$$f_r = \frac{1}{4T_H}$$

Dove T_H è il tempo di tragitto dall'interfaccia risonante e f_r è la frequenza di risonanza.

A partire dalla formula precedente e conoscendo la profondità h dell'interfaccia risonante è definibile la velocità media delle onde S nella struttura risonante

$$V = \frac{H}{T_H}$$

e

$$f_r = \frac{1}{4T_H}$$

da cui si ricava

$$V = 4 f_r h$$

In allegato sono riportate, in dettaglio, le interpretazioni dei dati sperimentali ottenuti.

Profondità (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018	
0.00 – 1.00	100	D	C (Vs30=344 m/s)
1.00 – 6.00	290	C	
6.00 – 30.00	400	B	

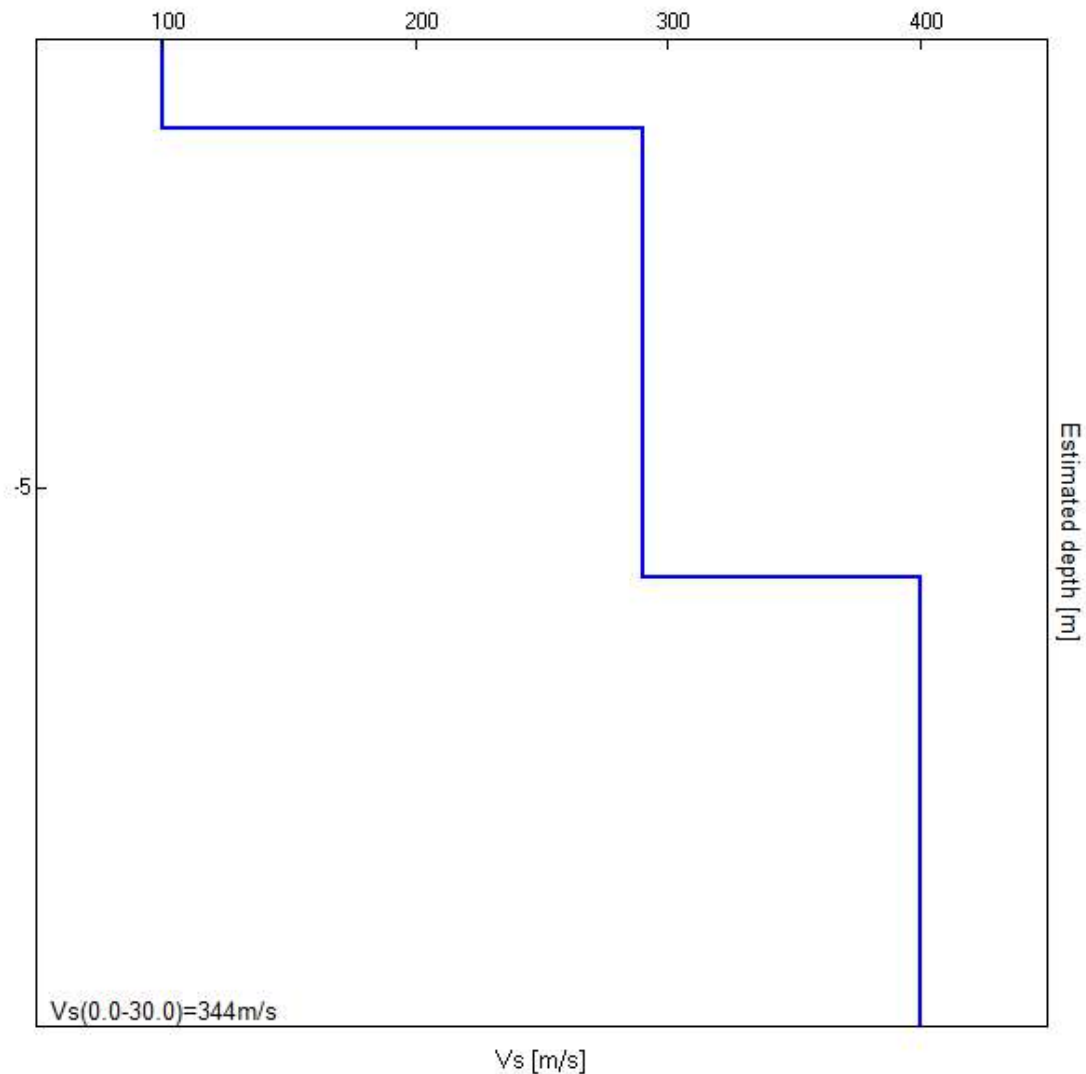


Tabella n. 2 - Interpretazione sondaggio tomografico T1

Profondità (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018	
0.00 – 1.00	100	D	C (Vs30=350 m/s)
1.00 – 5.00	300	C	
5.00 – 30.00	400	B	

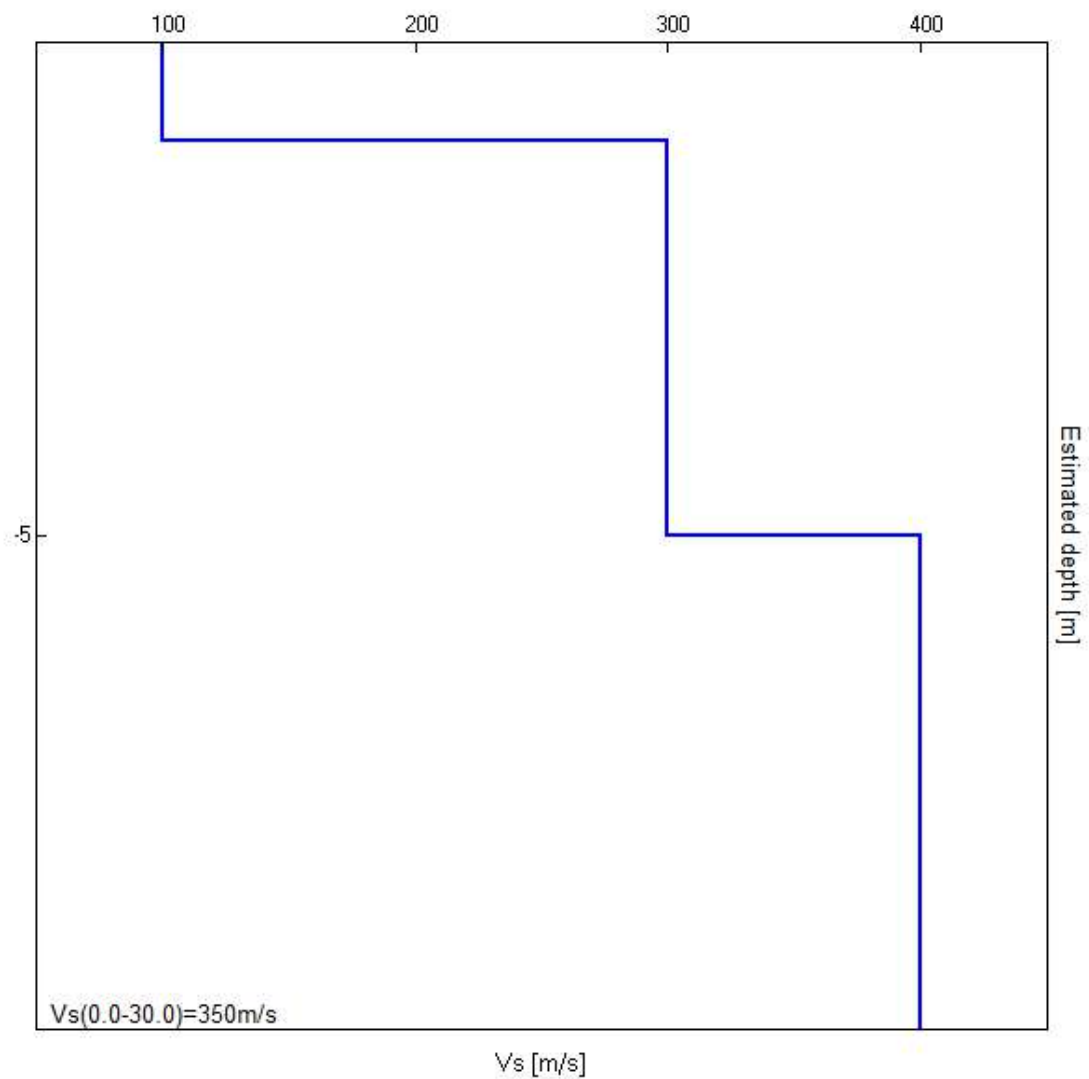


Tabella n. 3 - Interpretazione sondaggio tomografico T2

Profondità (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018	
0.00 – 2.00	120	C	C (Vs30=346 m/s)
2.00 – 6.00	310	C	
6.00 – 30.00	420	B	

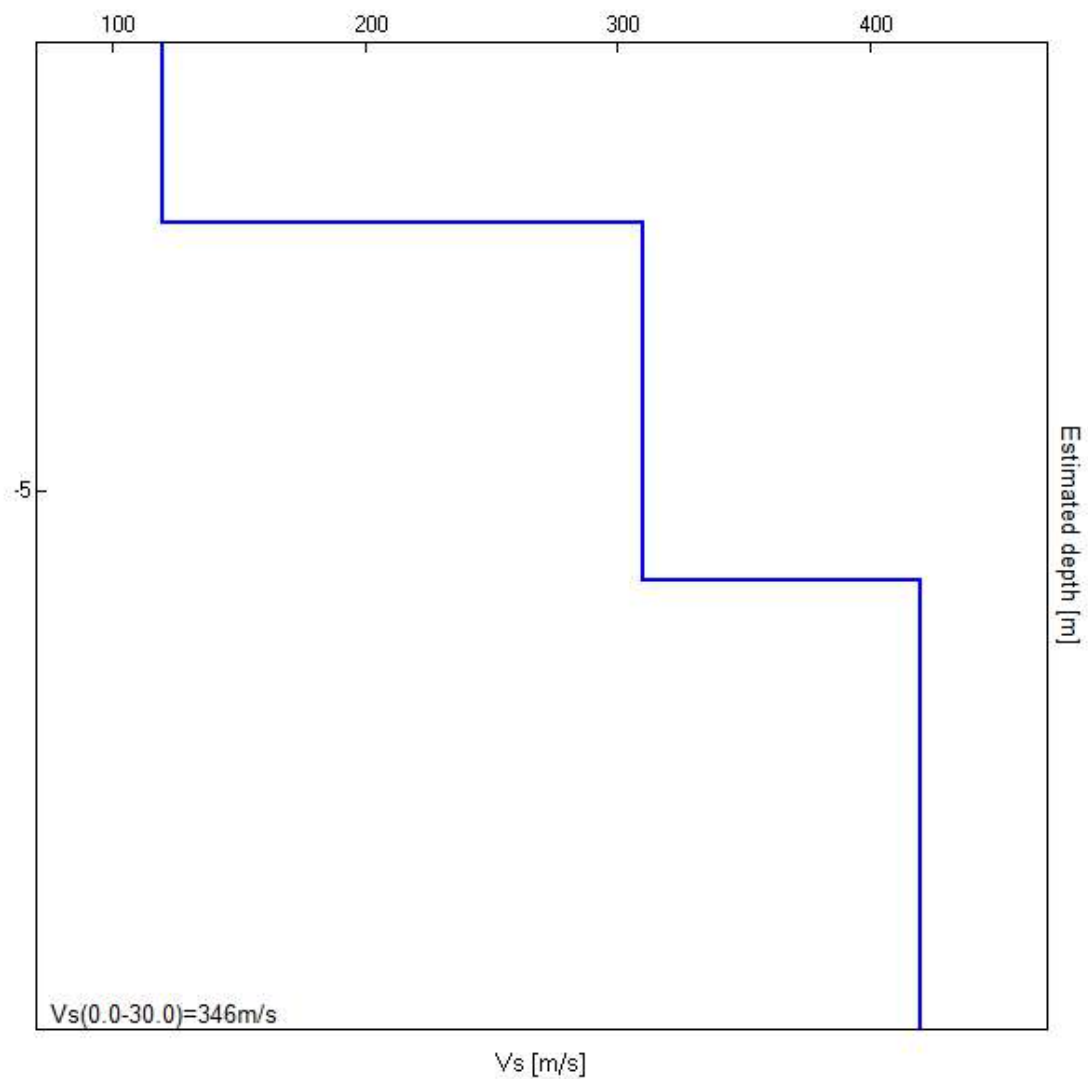


Tabella n. 4 - Interpretazione sondaggio tromografico T3

Profondità (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018	
0.00 – 2.00	110	C	C (Vs30=342 m/s)
2.00 – 5.00	310	C	
5.00 – 30.00	430	B	

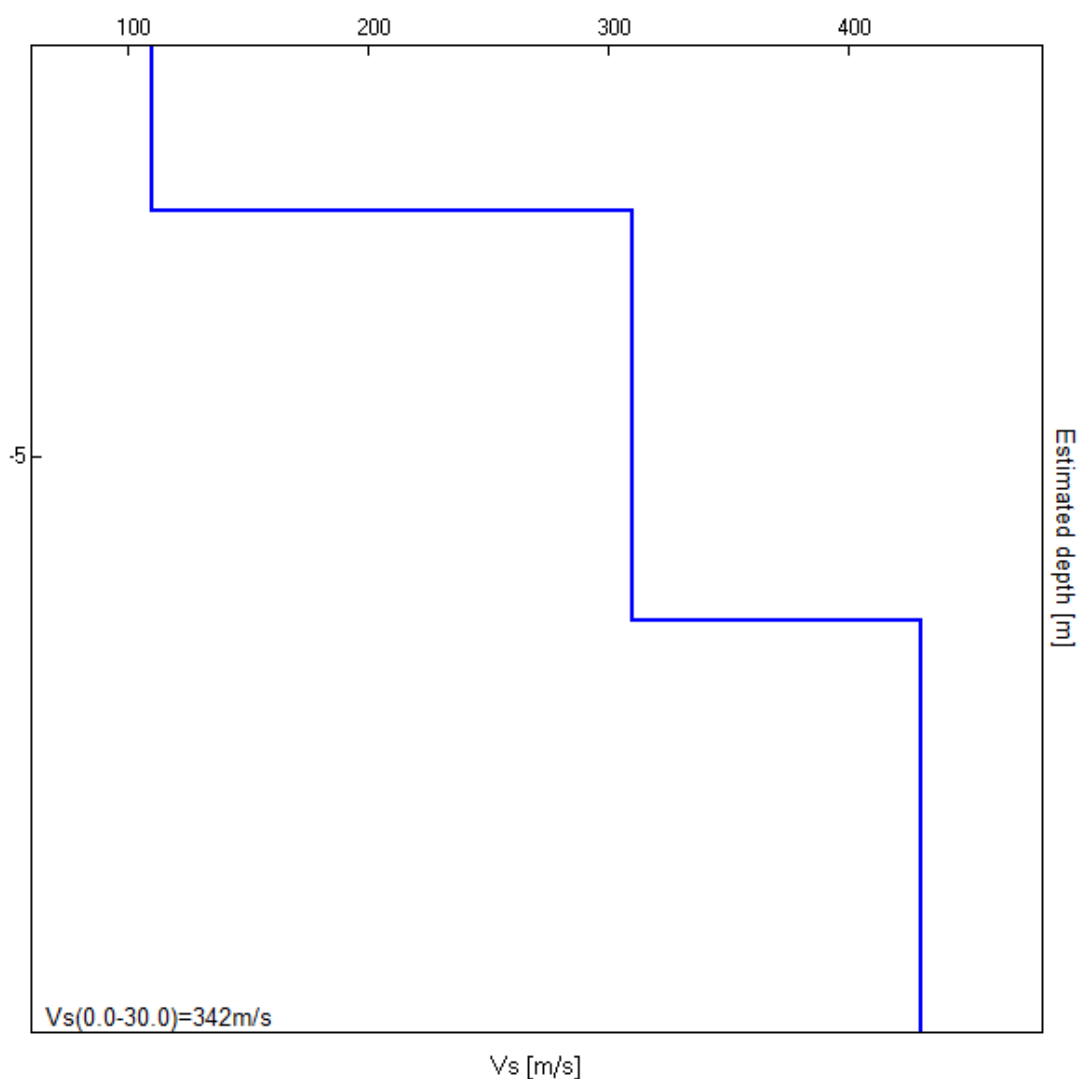


Tabella n. 5 - Interpretazione sondaggio tromografico T4

Profondità (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018	
0.00 – 1.00	100	D	C (Vs30=331 m/s)
1.00 – 5.00	190	C	
5.00 – 30.00	420	B	

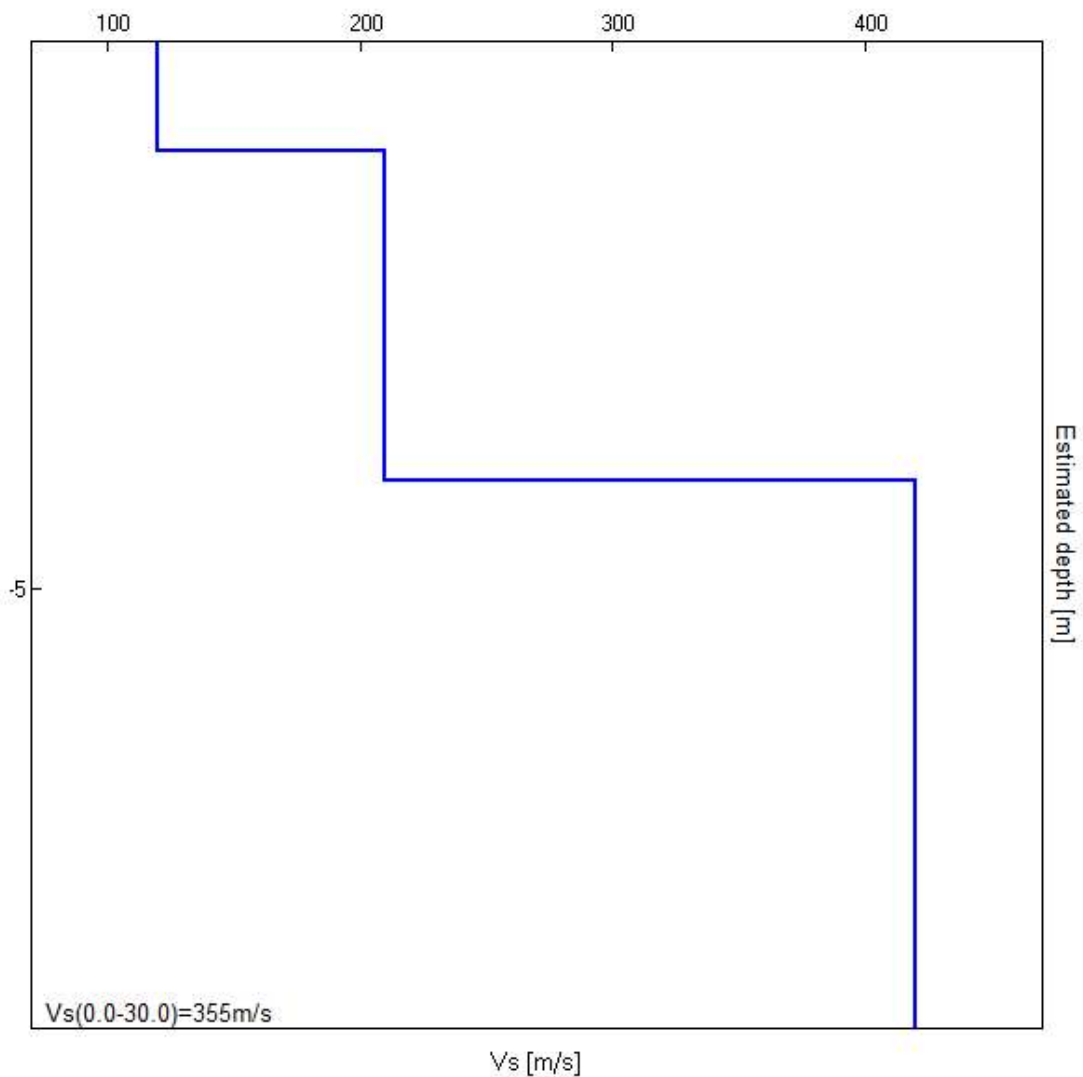


Tabella n. 6 - Interpretazione sondaggio tomografico T5

Profondità (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018	
0.00 – 2.00	120	C	C (Vs30=320 m/s)
2.00 – 6.00	200	C	
6.00 – 30.00	420	B	

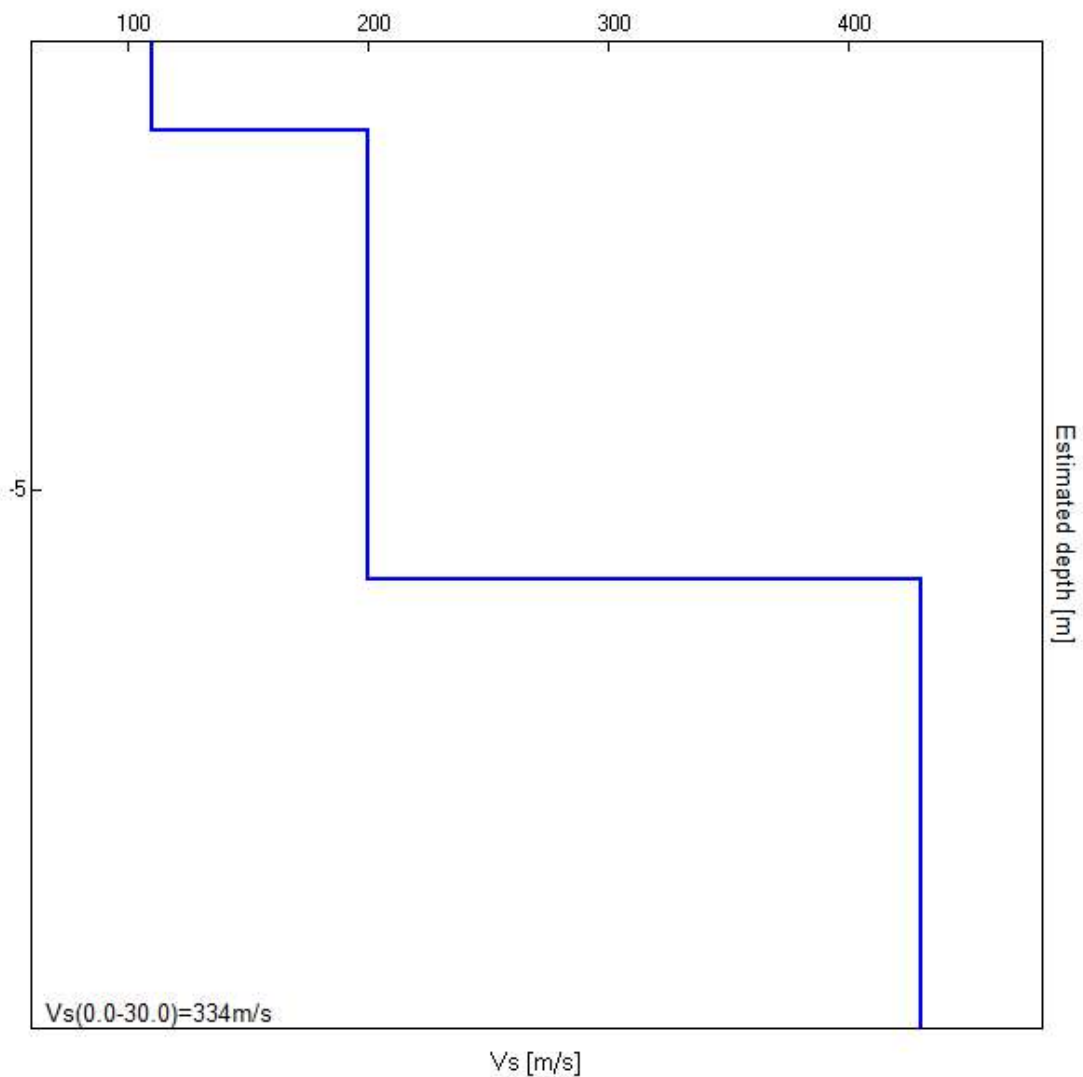


Tabella n. 7 - Interpretazione sondaggio tomografico T6

Profondità (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018	
0.00 – 1.00	100	D	C (Vs30=330 m/s)
1.00 – 4.00	190	C	
4.00 – 30.00	400	B	

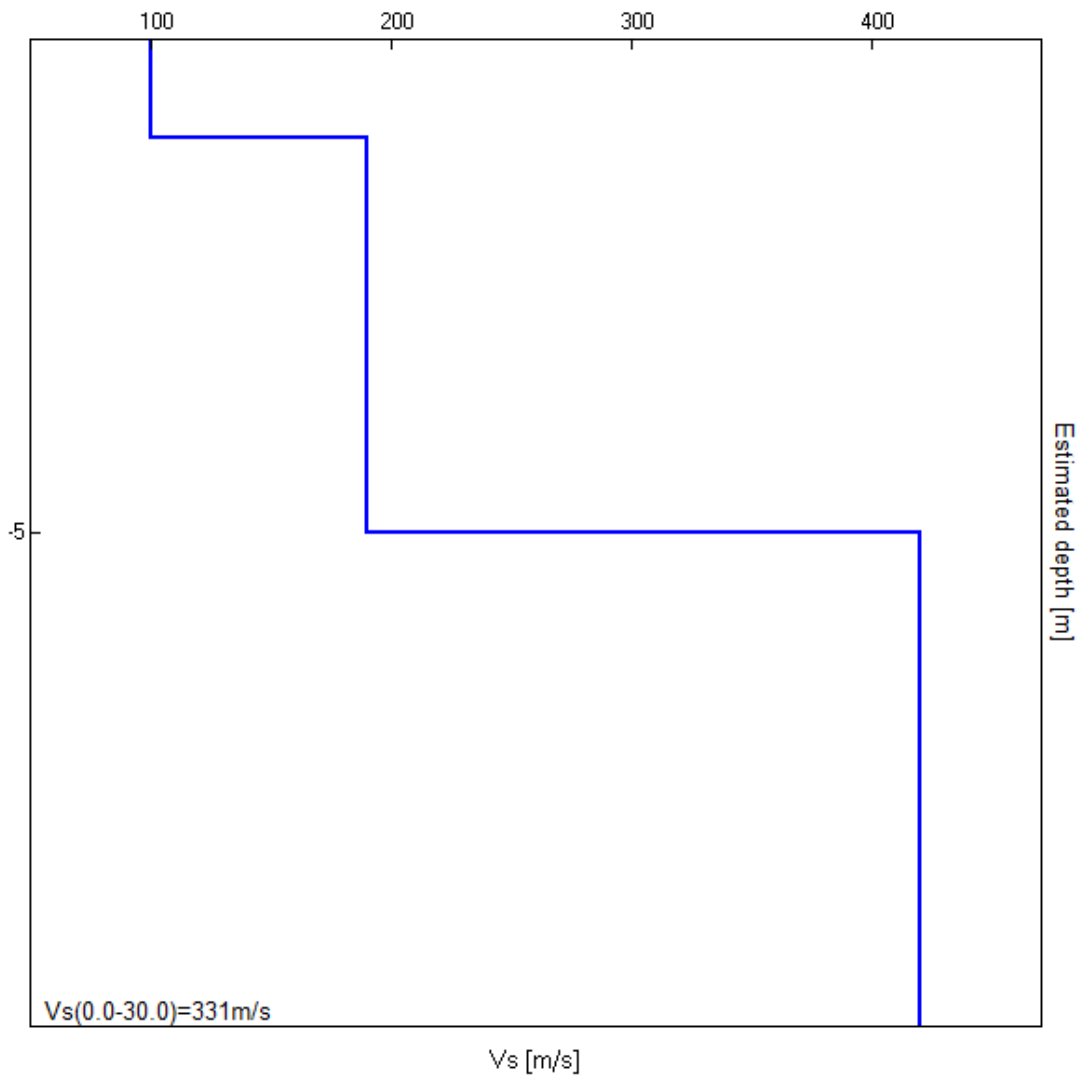


Tabella n. 8 - Interpretazione sondaggio tomografico T7

Profondità (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018	
0.00 – 1.00	110	D	C (Vs30=338 m/s)
1.00 – 6.00	220	C	
6.00 – 30.00	430	B	

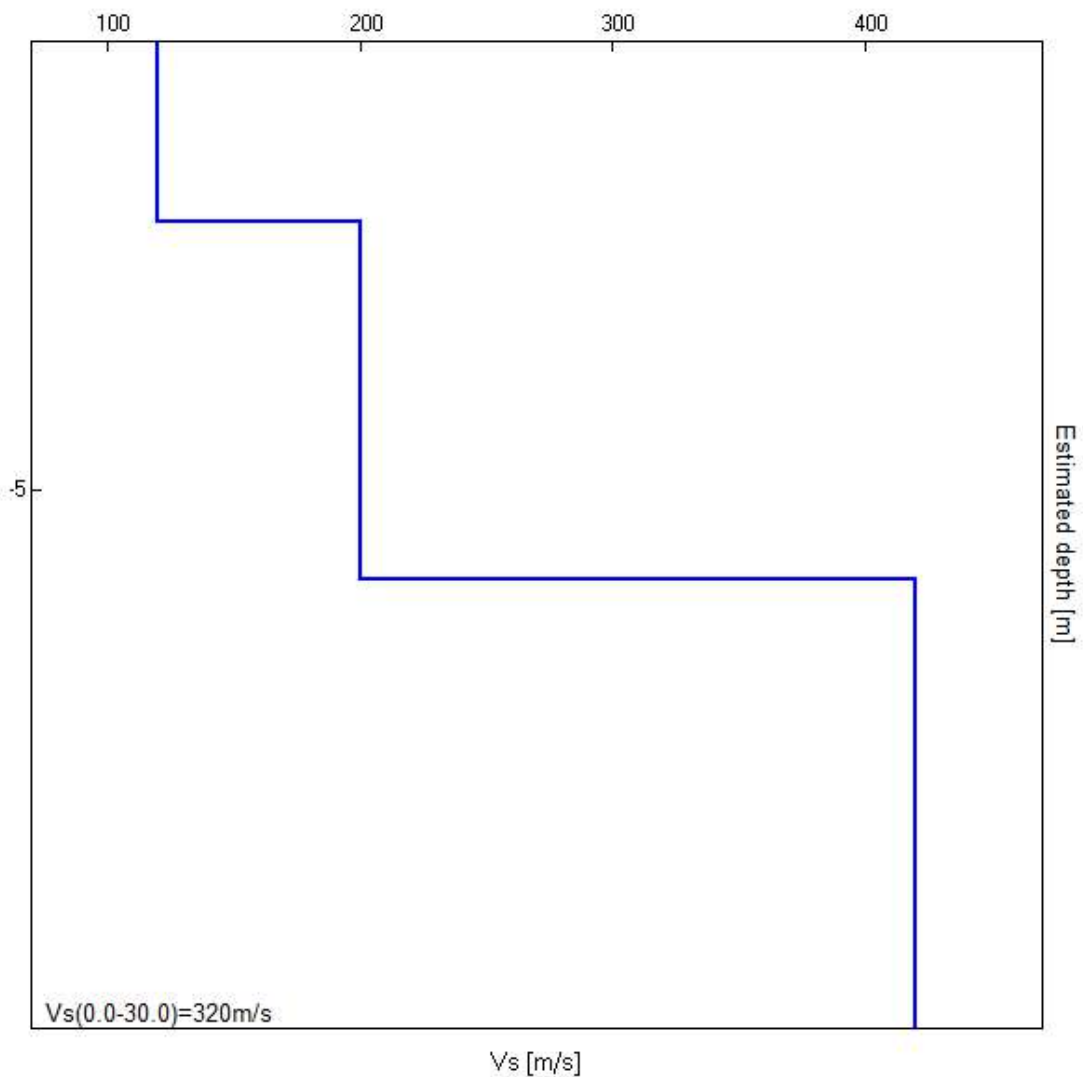


Tabella n. 9 - Interpretazione sondaggio tromografico T8

Profondità (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018	
0.00 – 1.00	120	C	C (Vs30=355 m/s)
1.00 – 4.00	210	C	
4.00 – 30.00	420	B	

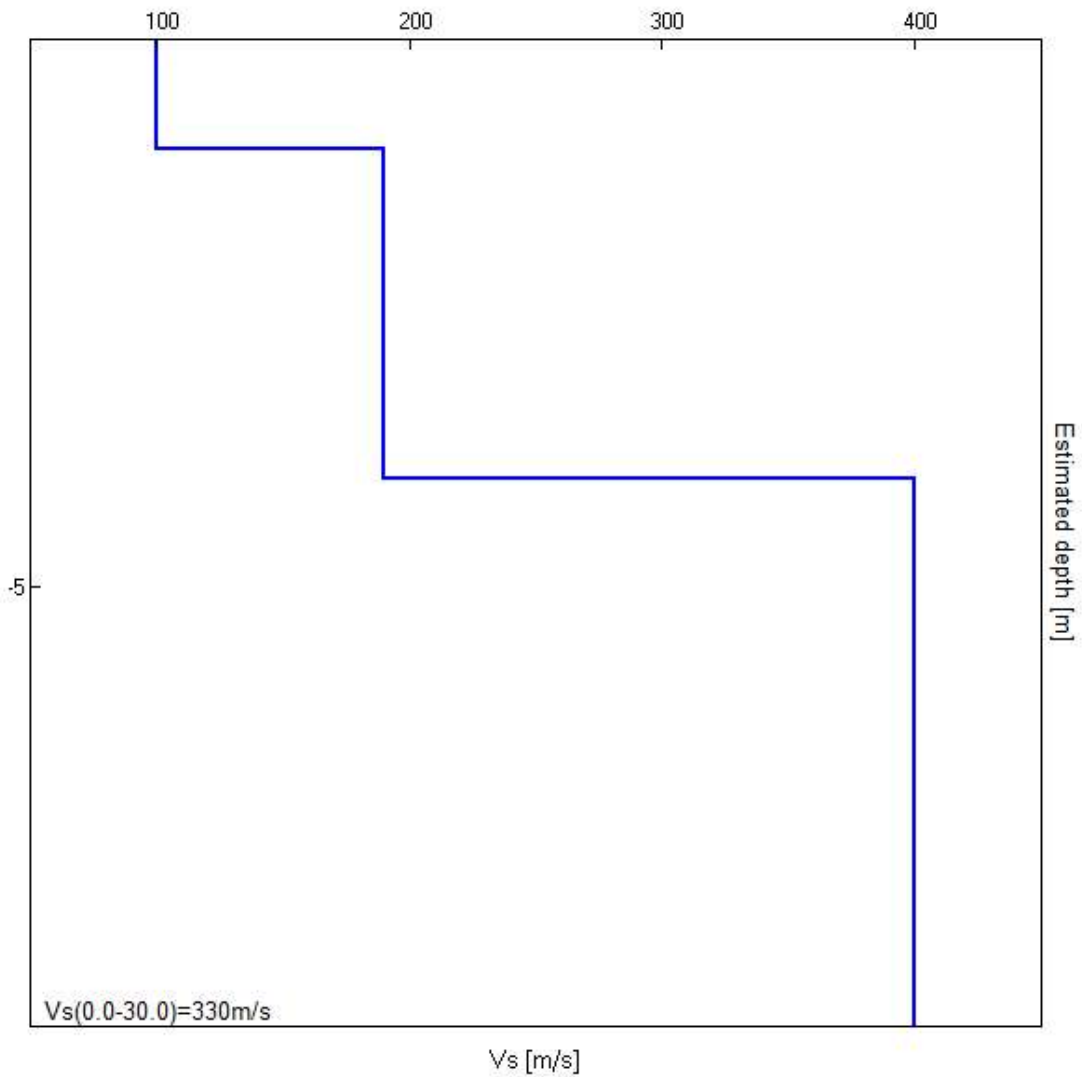


Tabella n. 10 - Interpretazione sondaggio tomografico T9

Profondità (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018	
0.00 – 1.00	110	D	C (Vs30=334 m/s)
1.00 -6.00	200	C	
6.00 – 30.00	430	B	

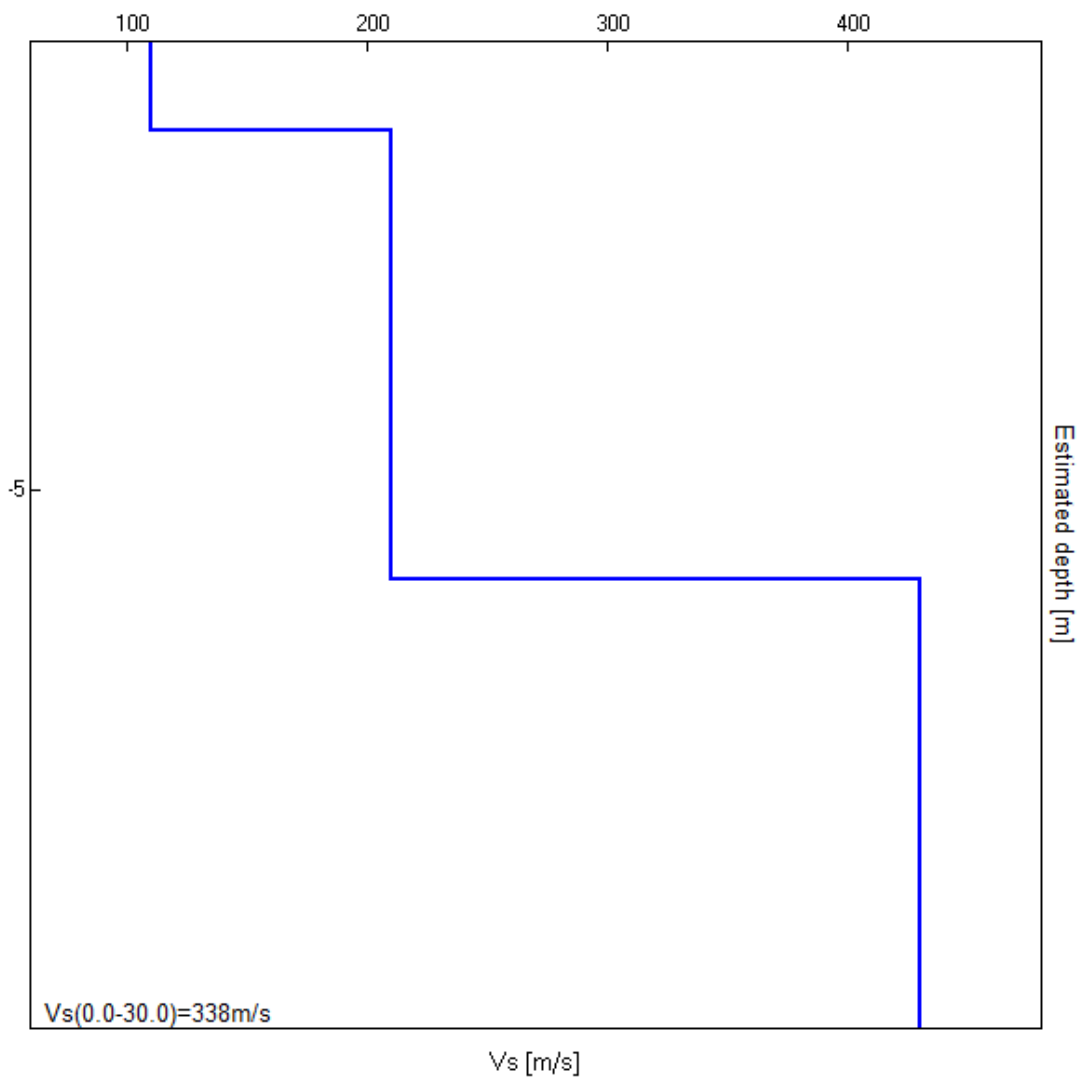


Tabella n. 11 - Interpretazione sondaggio tomografico T10

Profondità (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018	
0.00 – 2.00	100	C	C (Vs30=345 m/s)
2.00 - 6.00	220	C	
6.00 – 30.00	410	B	

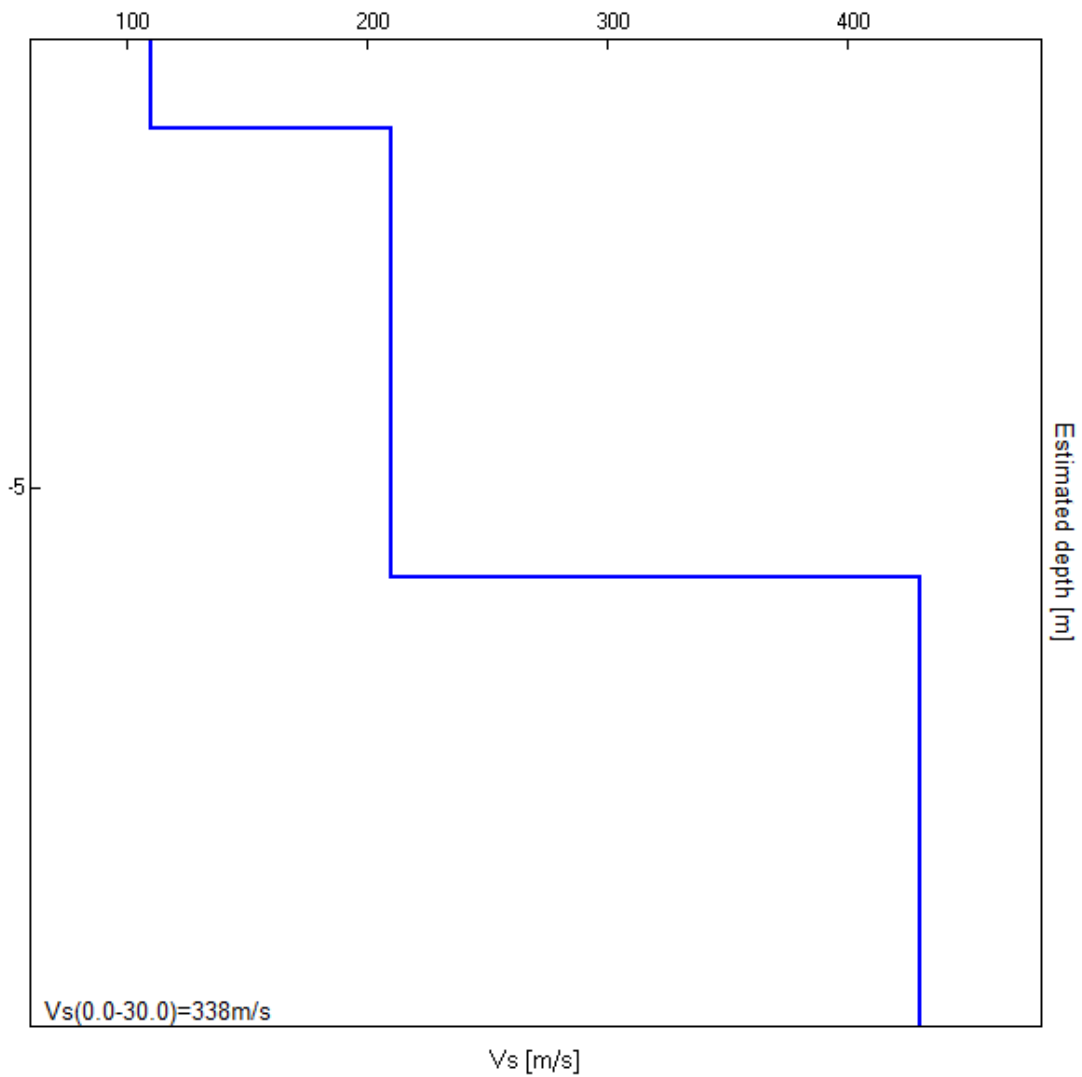


Tabella n. 11 - Interpretazione sondaggio tomografico T11

Profondità (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018	
0.00 – 1.00	130	C	C (Vs30=345 m/s)
1.00 - 5.00	220	C	
5.00 – 30.00	410	B	

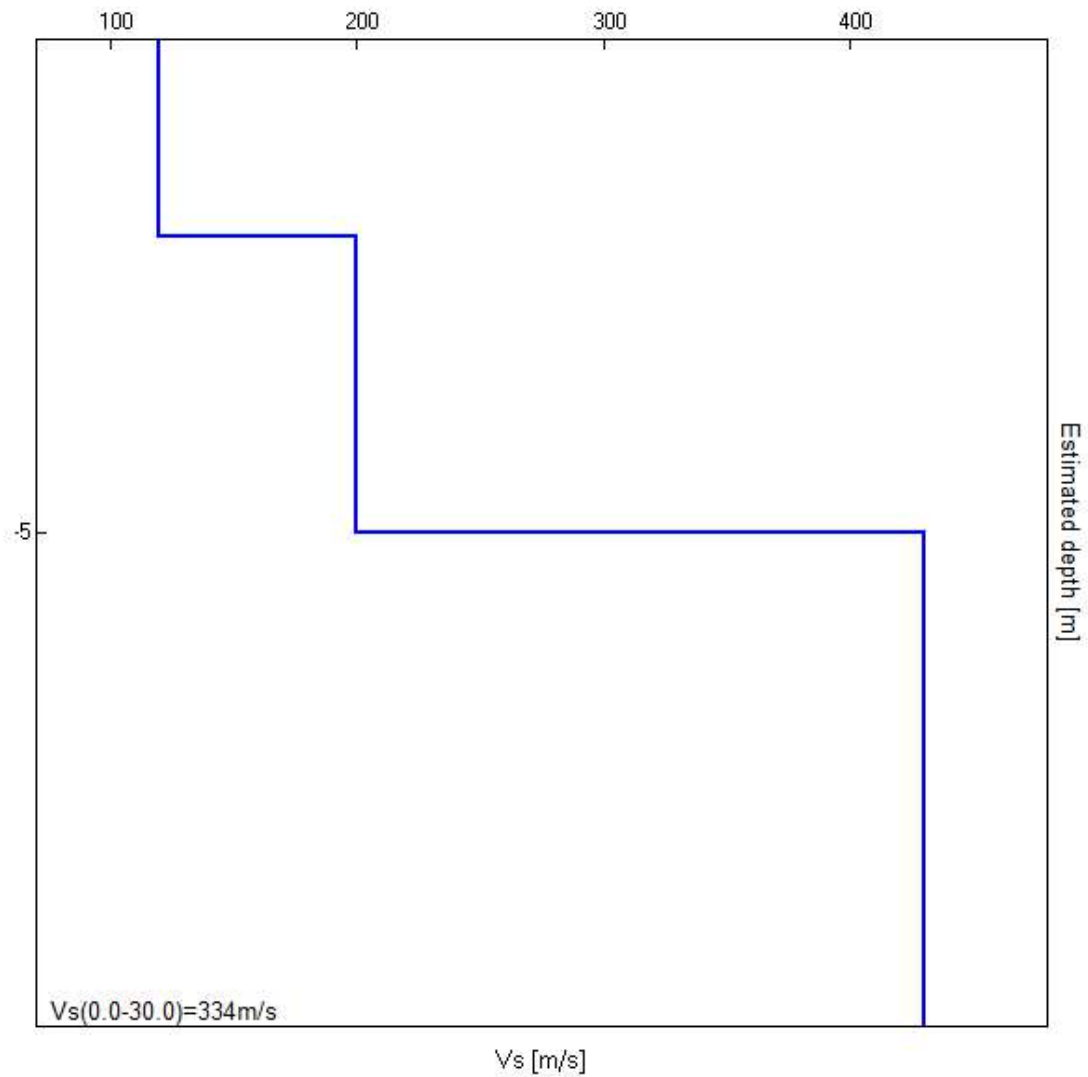


Tabella n. 11 - Interpretazione sondaggio tomografico T12

Profondità (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018	
0.00 – 2.00	110	D	C (Vs30=331 m/s)
2.00 -6.00	250	C	
6.00 – 30.00	430	B	

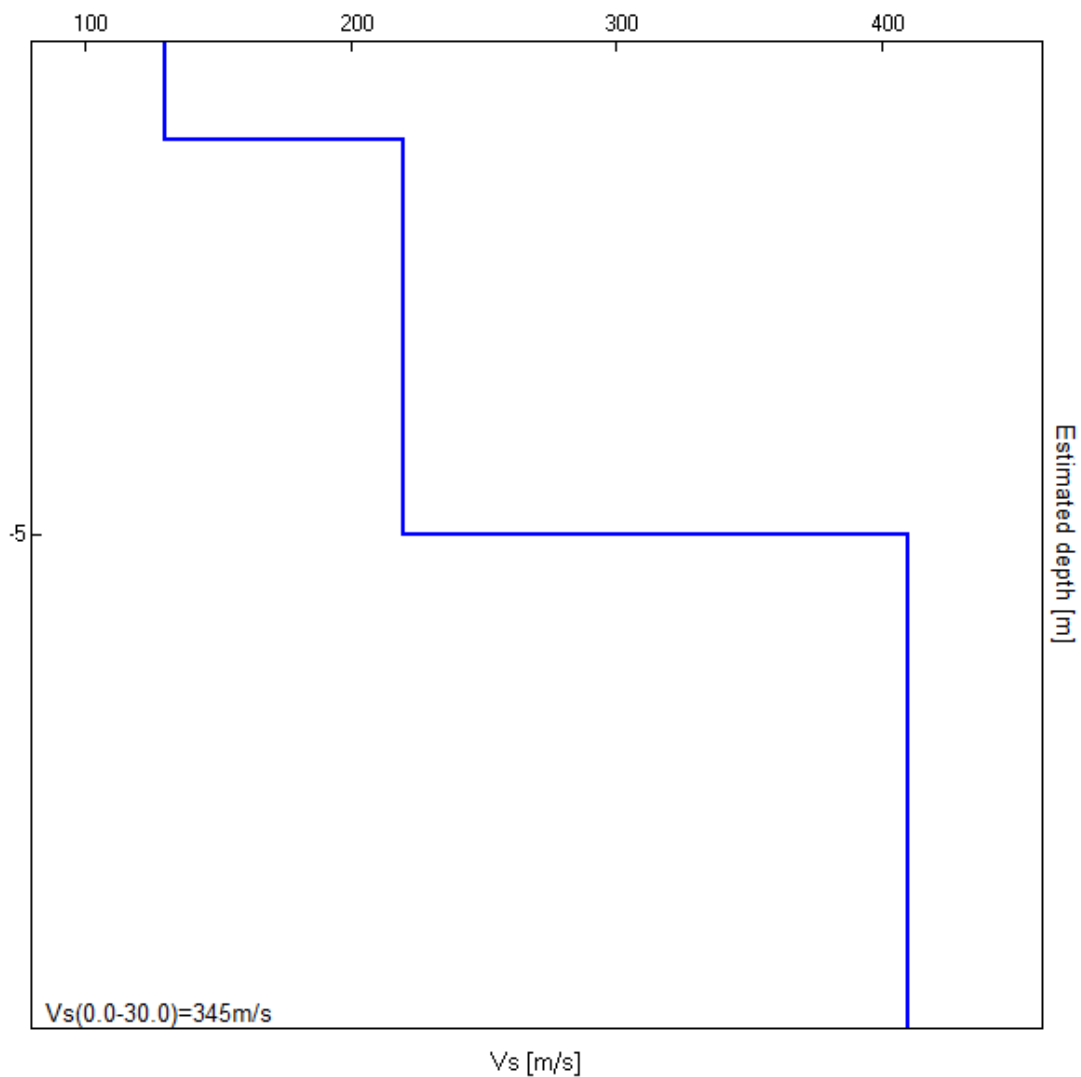


Tabella n. 11 - Interpretazione sondaggio tomografico T13

Profondità (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018	
0.00 – 2.00	110	D	C (Vs30=304 m/s)
2.00 -6.00	210	C	
6.00 – 30.00	390	B	

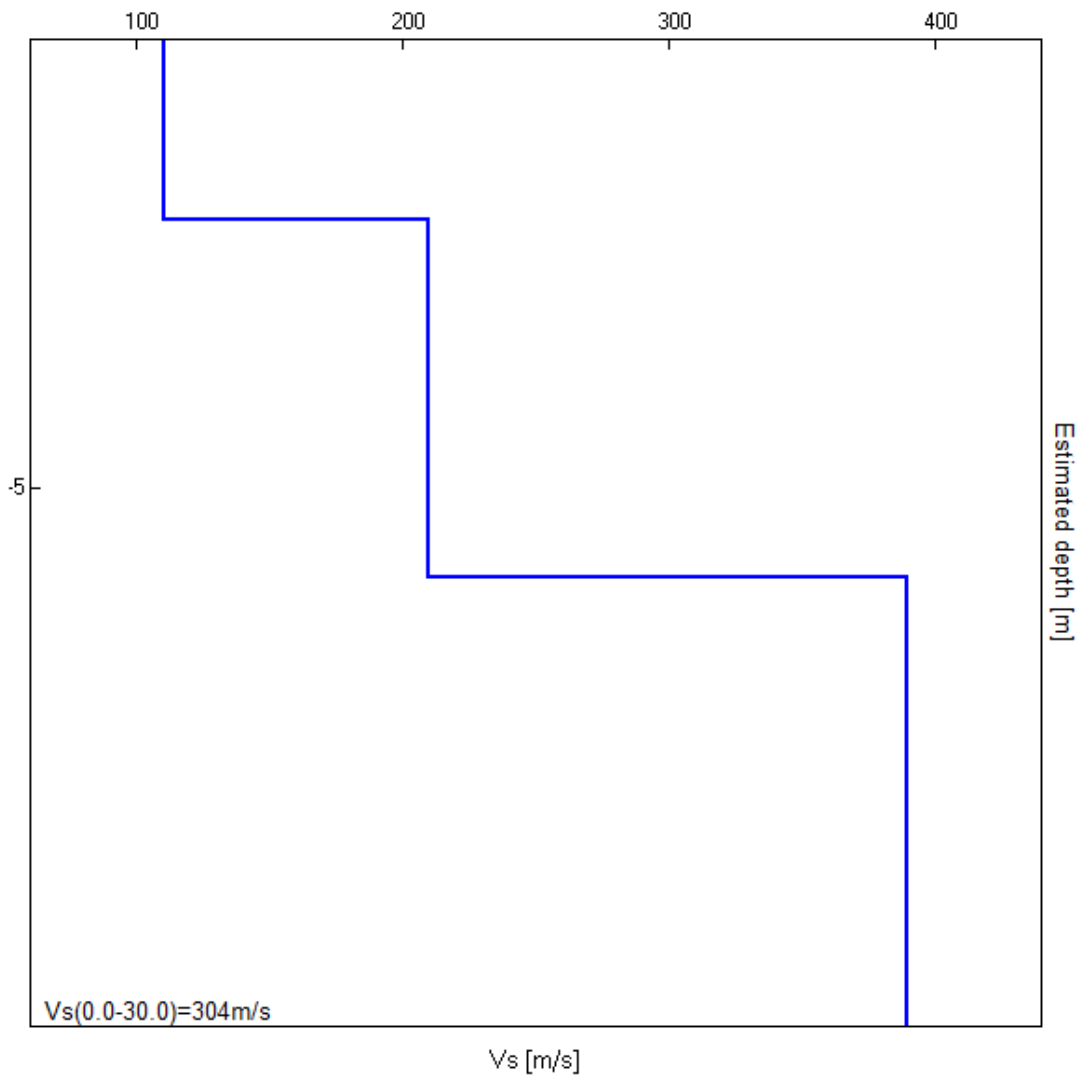


Tabella n. 11 - Interpretazione sondaggio tomografico T14

Profondità (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 17/01/2018	
0.00 – 2.00	110	D	C (Vs30=340 m/s)
2.00 -7.00	200	C	
7.00 – 30.00	510	B	

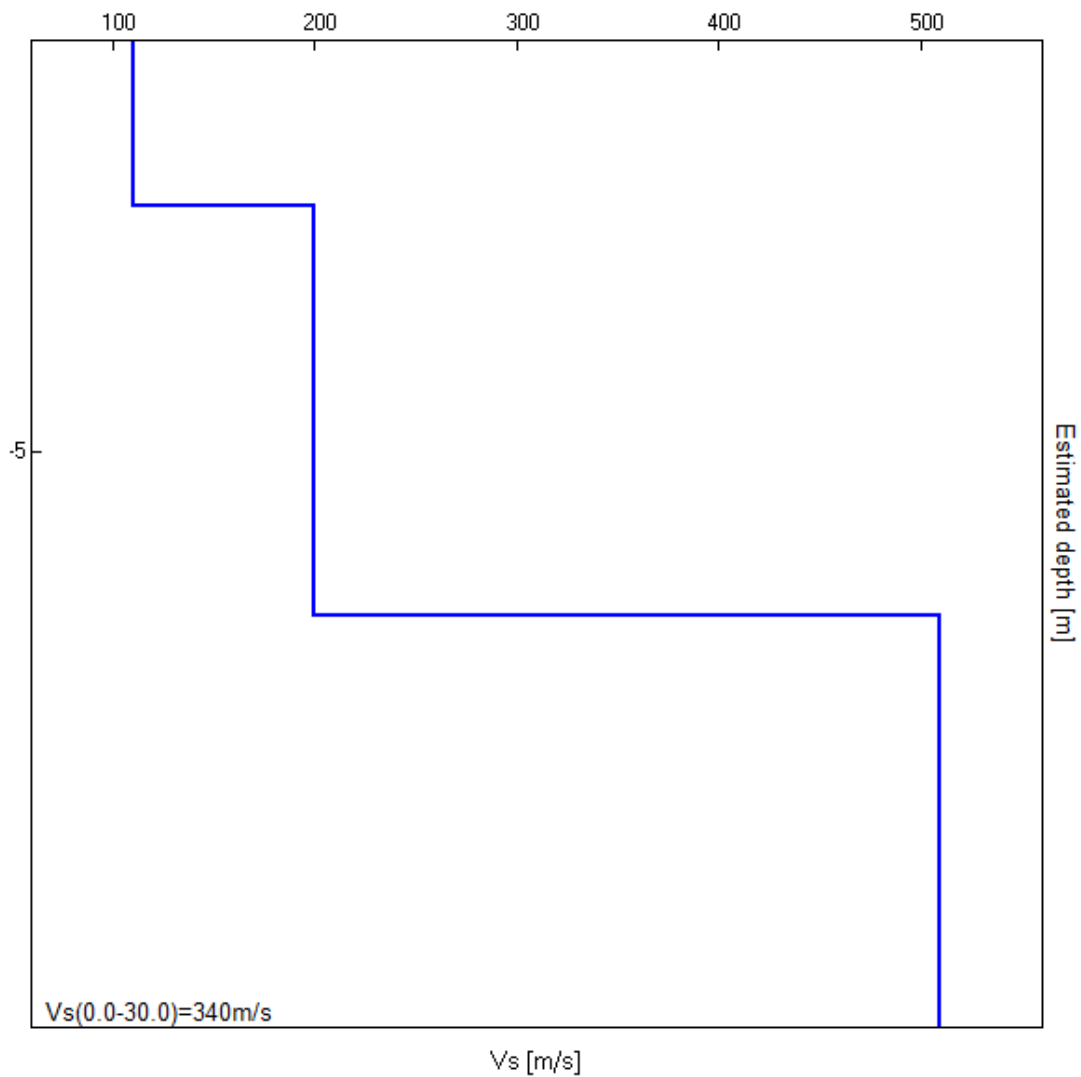


Tabella n. 12 - Interpretazione sondaggio tromografico TSott

5. CARATTERISTICHE SISMICHE DEL TERRITORIO

Ai fini sismici il territorio interessato è incluso nell'elenco delle località sismiche con un livello di pericolosità 2.

Tale classificazione è stata dettata dalla O.P.C.M. n. 3274 del 20/03/03 e dall'OPCM 28 aprile 2006, n. 3519 e recepita dalla Regione Calabria (DGR 10/02/2004).

In questo quadro trova conferma la classificazione sismica dell'area e la necessità di studiare le eventuali modificazioni che dovessero subire le sollecitazioni sismiche ad opera dei fattori morfologici, strutturali e litologici.

Tali studi, eseguiti anche in Italia nelle zone dell'Irpinia, del Friuli, dell'Umbria e più recentemente di Palermo e del Molise, hanno evidenziato notevoli differenze di effetti da zona a zona nell'ambito di brevi distanze, associate a differenti morfologie dei siti o a differenti situazioni geologiche e geotecniche dei terreni.

In tal senso sembra opportuno soffermarsi su alcuni aspetti di carattere generale riguardanti la tematica in oggetto, utili all'inquadramento del "problema sismico".

La propagazione delle onde sismiche verso la superficie è influenzata dalla deformabilità dei terreni attraversati. Per tale ragione gli accelerogrammi registrati sui terreni di superficie possono differire notevolmente da quelli registrati al tetto della formazione di base, convenzionalmente definita come substrato nel quale le onde di taglio, che rappresentano la principale causa di trasmissione degli effetti delle azioni sismiche verso la superficie, si propagano con velocità maggiori o uguali a 1.000 m/sec.

Si può osservare in generale che nel caso in cui la "formazione di base" sia ricoperta da materiali poco deformabili e approssimativamente omogenei gli accelerogrammi che si registrano al tetto della formazione di base non differiscono notevolmente da quelli registrati in superficie: inoltre in tale caso lo spessore dei terreni superficiali non influenza significativamente la risposta dinamica locale.

Nel caso in cui la formazione di base è ricoperta da materiali deformabili, gli accelerogrammi registrati sulla formazione ed in superficie possono differire notevolmente, in particolare le caratteristiche delle onde sismiche vengono modificate in misura maggiore all'aumentare della deformabilità dei terreni.

La trasmissione di energia dal bed-rock verso la superficie subisce trasformazioni tanto più accentuate quanto più deformabili sono i terreni attraversati; all'aumentare della deformabilità alle alte frequenze di propagazione corrispondono livelli di energia più bassi e viceversa a frequenze più basse corrispondono livelli di energia più alti.

Il valore del periodo corrispondente alla massima accelerazione cresce quanto la rigidità dei terreni diminuisce; nel caso di rocce sciolte tale valore aumenta anche all'aumentare della potenza dello strato di terreno.

Di particolare importanza è, inoltre, lo studio dei contatti stratigrafici in affioramento soprattutto tra terreni a risposta sismica differenziata.

Ai sensi del DM 17/01/2018, in corrispondenza degli aerogeneratori e della sottostazione, la categoria di suolo è la C *“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”.

6. LIQUEFAZIONE DEI TERRENI

Il problema della liquefazione dei terreni è di estrema importanza in aree a rischio sismico, come quella in cui si deve realizzare il progetto.

Si tratta di un fenomeno estremamente importante e pericoloso in particolari condizioni.

Il termine *liquefazione* viene usato, per definire un processo per cui una massa di terreno saturo, a seguito dell'intervento di forze esterne, statiche o dinamiche perde resistenza al taglio e si comporta come un fluido.

Ricordando la relazione di un terreno incoerente saturo:

$$\tau_f = (\sigma_f - u) \operatorname{tg} \varphi$$

se per effetto delle azioni esterne la pressione applicata si trasferisce integralmente alla fase liquida, ossia $\sigma = u$, viene $\tau_f = 0$ e quindi resistenza tangenziale nulla.

Sono soprattutto le azioni dinamiche a disturbare l'equilibrio dello scheletro solido orientando le particelle di roccia, immerse in acqua, verso una maggiore compattezza.

Le particelle di terreno sotto la vibrazione, si dispongono infatti facilmente in un nuovo assetto ed in questa fase di transizione perdono il contatto fra di loro e, quindi, sono «flottanti» temporaneamente nell'acqua perdendo ogni funzione portante.

La presenza dell'acqua pone le sabbie, sottoposte a rapide alternanze di carico, in situazione analoga a quella delle argille sature sottoposte rapidamente a carichi statici; infatti la velocità con la quale si producono le variazioni di volume è talmente elevata che, nonostante la forte permea-

bilità dello scheletro granulare della sabbia, l'acqua non riesce a sfuggire mentre avviene la riduzione di volume del tessuto e, quindi, le pressioni interstiziali annullano la resistenza di attrito.

Di qui la liquefazione del terreno e lo sprofondamento delle opere.

La predisposizione alla liquefazione dipende, quindi, dalla capacità del terreno ad aumentare la propria densità, il che è legato evidentemente alla percentuale di vuoti iniziale.

Il fenomeno della liquefazione si verifica per stratificazioni superficiali, a profondità di 15 m può dirsi che esso sia escluso a causa della compattezza prodotta dalla pressione geostatica.

Notevoli assestamenti possono verificarsi con terreni anche asciutti sottoposti a vibrazioni ma senza la presenza della falda non è possibile l'istaurarsi del fenomeno della liquefazione.

I metodi con cui si calcola la tendenza alla liquefazione sono divisi in due categorie: a) Metodi semplificati; b) Metodi empirici ed il nostro studio utilizza quelli definiti dal programma Liquiter della Geostru.

I metodi semplificati si basano sul rapporto che intercorre fra le sollecitazioni di taglio che producono liquefazione e quelle indotte dal terremoto; hanno perciò bisogno di valutare i parametri relativi sia all'evento sismico sia al deposito, determinati questi ultimi privilegiando metodi basati su correlazioni della resistenza alla liquefazione con parametri desunti da prove in situ ed indagini geofisiche per il calcolo delle Vs30.

La resistenza del deposito alla liquefazione viene, quindi, valutata in termini di fattore di resistenza alla liquefazione

$$(1.0)F_s = \frac{CRR}{CSR}$$

dove CRR (Cyclic Resistance Ratio) indica la resistenza del terreno agli sforzi di taglio ciclico e CSR (Cyclic Stress Ratio) la sollecitazione di taglio massima indotta dal sisma.

I metodi semplificati proposti differiscono fra loro soprattutto per il modo con cui viene ricavata CRR, la resistenza alla liquefazione.

Il parametro maggiormente utilizzato è il numero dei colpi nella prova SPT anche se oggi, con il progredire delle conoscenze, si preferisce valutare il potenziale di liquefazione utilizzando prove di misurazione delle onde di taglio Vs.

I metodi di calcolo del potenziale di liquefazione adottati dal programma sono:

- 1) *Metodo di Seed e Idriss (1982);*
- 2) *Metodo di Iwasaki et al. (1978; 1984);*
- 3) *Metodo di Tokimatsu e Yoshimi (1983);*
- 4) *Metodo di Finn (1985);*
- 5) *Metodo di Cortè (1985);*
- 6) *Metodo di Robertson e Wride modificato (1997);*
- 7) *Metodo di Andrus e Stokoe (1998);*
- 8) *Metodi basati sull'Eurocodice 8 (ENV 1998-5);*
- 9) *Metodo basato sull'NTC 2008.*

In base all'Eurocodice 8 (ENV 1998-5) si può escludere pericolo di liquefazione per i terreni sabbiosi saturi che si trovano a profondità di 15 m o quando $a_g < 0,15$ e, contemporaneamente, il terreno soddisfi almeno una delle seguenti condizioni:

- ❖ contenuto in argilla superiore al 20%, con indice di plasticità > 10 ;

- ❖ contenuto di limo superiore al 10% e resistenza $N_{1,60} > 20$;
- ❖ frazione fine trascurabile e resistenza $N_{1,60} > 25$.

Quando nessuna delle precedenti condizioni è soddisfatta, *la suscettibilità a liquefazione deve essere verificata come minimo mediante i metodi generalmente accettati dall'ingegneria geotecnica, basati su correlazioni di campagna tra misure in situ e valori critici dello sforzo ciclico di taglio che hanno causato liquefazione durante terremoti passati.*

Lo sforzo ciclico di taglio CSR viene stimato con l'espressione semplificata:

$$CSR = 0,65 \frac{a_g}{g} S \frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} \frac{r_d}{MSF}$$

dove **S** è il coefficiente di profilo stratigrafico, definito come segue:

<i>Categoria suolo</i>	<i>Spettri di Tipo 1- S (M > 5,5)</i>	<i>Spettri di Tipo 2 - S (M < 5,5)</i>
A	1,00	1,00
B	1,20	1,35
C	1,15	1,50
D	1,35	1,80
E	1,40	1,60

Il fattore di correzione della magnitudo **MSF** consigliato dalla normativa è quello di Ambraseys.

Nel caso vengano utilizzati dati provenienti da prove SPT, la resistenza alla liquefazione viene calcolata mediante la seguente relazione di Blake, 1997:

(a)

$$CRR = \frac{0,04844 - 0,004721 (N_{1,60})_{cs} + 0,0006136 [(N_{1,60})_{cs}]^2 - 0,00001673 [(N_{1,60})_{cs}]^3}{1 - 0,1248 (N_{1,60})_{cs} + 0,009578 [(N_{1,60})_{cs}]^2 - 0,0003285 [(N_{1,60})_{cs}]^3 + 0,000003714 [(N_{1,60})_{cs}]^4}$$

dove $(N_{1,60})_{cs}$ viene valutato con il metodo proposto da Youd e Idriss (1997) e raccomandato dal NCEER:

$$(N_{1,60})_{cs} = \alpha + \beta N_{1,60}$$

dove $N_{1,60}$ è la normalizzazione dei valori misurati dell'indice N_m (ridotti del 25% per profondità < 3 m) nella prova SPT rispetto ad una pressione efficace di confinamento di 100 KPa ed a un valore del rapporto tra l'energia di impatto e l'energia teorica di caduta libera pari al 60%, cioè:

$$N_{1,60} = C_N C_E N_m$$

$$C_N = \left(\frac{100}{\sigma'_{vo}} \right)^{0,5}$$

$$C_E = \frac{ER}{60}$$

dove ER è pari al rapporto dell'energia misurato rispetto al valore teorico x 100 e dipende dal tipo di strumento utilizzato.

Attrezzatura	C_E
Safety Hammer	0,7 – 1,2
Donut Hammer (USA)	0,5 – 1,0
Donut Hammer (Giappone)	1,1 – 1,4
Automatico-Trip Hammer (Tipo Donut o Safety)	0,8 – 1,4

I parametri α e β , invece, dipendono dalla frazione fine (FC):

$$\alpha = 0 \quad \text{per } FC \leq 5\%$$

$$\alpha = \exp[1,76 -(190 / FC^2)] \quad \text{per } 5\% < FC \leq 35\%$$

$$\alpha = 5 \quad \text{per } FC > 35\%$$

$$\beta = 1,0 \quad \text{per } FC \leq 5\%$$

$$\beta = [0,99 + (FC^{1,5} / 1000)] \quad \text{per } 5\% < FC \leq 35\%$$

$$\beta = 1,2 \quad \text{per } FC > 35\%$$

Se invece si possiedono dati provenienti da una prova penetrometrica statica (CPT), i valori di resistenza alla punta misurati q_c devono essere normalizzati rispetto ad una pressione efficace di confinamento pari a 100 KPa e vanno calcolati mediante la seguente formula

$$q_{c1N} = \frac{q_c}{Pa} \left(\frac{Pa}{\sigma'_{vo}} \right)^n$$

Per poter tenere conto della eventuale presenza di particelle fini, il software utilizza il metodo di Robertson e Wride.

Poiché, come dimostrato, è possibile assumere:

$$\frac{(q_{c1N})_{cs}}{(N_{1,60})_{cs}} = 5$$

come proposto dall'EC8, derivato $(N_{1,60})_{cs}$, si utilizza la (a) per il calcolo di CRR.

Quando invece si possiedono dati provenienti da prove sismiche, si calcola la velocità di propagazione normalizzata con la formula:

$$V_{S1} = V_s \left(\frac{100}{\sigma'_{vo}} \right)^{0,25}$$

e la resistenza alla liquefazione mediante la formula di Andrus e Stokoe:

$$CRR = 0,03 \left(\frac{V_{S1}}{100} \right)^2 + 0,9 \left[\frac{1}{(V_{S1})_{cs} - V_{S1}} - \frac{1}{(V_{S1})_{cs}} \right]$$

Rispetto alla normativa europea, la normativa italiana (NTC 2008) è meno accurata e non fornisce proposte di metodologie per valutare il potenziale di liquefazione.

La normativa richiede che il controllo della possibilità di liquefazione venga effettuato quando la falda freatica si trova in prossimità della superficie ed il terreno di fondazione comprende strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda, anche se contenenti una frazione fine limo-argillosa.

Secondo le normative europea e italiana è suscettibile di liquefazione un terreno in cui lo sforzo di taglio generato dal terremoto supera l'80% dello sforzo critico che ha provocato liquefazione durante terremoti passati.

La probabilità di liquefazione P_L , invece, è data dall'espressione di Juang et al. (2001):

$$P_L = \frac{1}{1 + \left(\frac{F_s}{0,72} \right)^{3,1}}$$

Nello specifico del nostro lavoro e dai dati in nostro possesso, si evince che pur essendo presenti i litotipi sabbiosi e sabbio-limosi con intercalazioni conglomeratiche, dai dati in nostro possesso si evince che il livello piezometrico si trova a profondità maggiori di 15 m dai punti in cui si prevedere di realizzare le opere in progetto.

In questa fase sono stati eseguiti i primi preliminari calcoli, simulando la presenza di falda, che ci confortano in base alla notevole presenza di materiali a granulometria grossolana e/o fine che inibiscono l'istaurarsi di tale fenomeno per cui si può dire che in generale il problema non sussiste, come peraltro dimostra la serie storica dei terremoti che si sono avvertiti in zona.

Infatti, in tutta la storia recente, pur in presenza di terremoti anche di magnitudo importante, non si sono osservati fenomeni di liquefazione in sito.

Si ritiene, comunque, indispensabile che in fase di progettazione esecutiva e di calcolo delle strutture in c.a. si eseguano le indagini di verifica delle su esposte ipotesi geologiche.

7. CARATTERIZZAZIONE LITOLOGICHE DEI TERRENI INTERESSATI DALLE OPERE IN PROGETTO

Da quanto desumibile dalle indagini geognostiche, geofisiche e geotecniche in situ ed in laboratorio eseguite in questa prima fase, i terreni che costituiscono il volume geotecnicamente significativo delle opere in progetto sono riferibili alle seguenti litologie: **a) Complesso sabbioso-arenaceo; b) Complesso Conglomeratico; c) Complesso argilloso (Sottostazione).**

Ne descriviamo singolarmente le caratteristiche litologiche e meccaniche così come desumibili dai dati ricavati dalle pubblicazioni scientifiche e dall'esperienza maturata su questi terreni, tenendo conto che in fase di progettazione esecutiva e di calcolo delle strutture fondali sarà necessario integrare le indagini eseguite di questa fase come descritto in premessa.

- **Complesso sabbioso:** si tratta di arenarie bruno-chiare con intercalazioni di argille, argille siltose e silt, arenarie tenere e sabbie grossolane da bruno-chiare a grigie, sabbie da fini a grossolane, ghiaie, conglomerati e sabbioni e sabbie e silt a grana fine, da bruno-chiare a grigie. Il complesso si presenta eterogeneo e con uno sviluppo notevole sia come potenza che come estensione areale. È ben stratificato in alcune zone e sono ben riconoscibili le diverse caratteristiche litologiche e litotecniche dei vari livelli che lo compongono. In particolare i livelli argillosi, sabbiosi e siltosi si intercalano all'interno dell'ammasso arenaceo. Per la caratterizzazione fisico-meccanica di tale complesso può farsi riferimento, a tutto vantaggio della sicurezza, ai seguenti parametri desunti dall'esperienza maturata su questi terreni:

$$\varphi' = 30^\circ; c' = 00,0 - 1,00 \text{ kN/m}^2; \gamma = 1,9 - 2,0 \text{ kN/m}^3.$$

- **Complesso conglomeratico:** si tratta di conglomerati alluvionali di antichi terrazzi fluviali, conglomerati grossolani ben cementati, conglomerati poligenici con ciottoli arrotondati in matrice sabbiosa bruna e conglomerati poligenici con ciottoli ben arrotondati. Per la caratterizzazione fisico-meccanica di tale complesso può farsi riferimento, a tutto vantaggio della sicurezza, ai seguenti parametri desunti dall'esperienza maturata su questi terreni:

$$\varphi' = 35-40^\circ; c' = 00,0 - 1,00 \text{ kN/m}^2; \gamma = 2,0-2,1 \text{ kN/m}^3.$$

- **Complesso argilloso:** sono rocce di deposizione marina riferibili ad ambienti profondi. In generale si presenta con argille siltose da grigio-azzurre a grigio-chiare, argille siltose e marnose grigio-azzurre, grigie e grigio-chiare, argille marnose e siltose grigio-azzurre con intercalazioni sabbiose e arenacee a cemento calcareo. La frazione alterata è costituita da limi di colore grigio-marrone con tracce di alterazione sabbiose ed argille grigie con venature limose di colore marrone. Il complesso argilloso si presenta normalconsolidato con struttura omogenea.

Per la caratterizzazione fisico-meccanica di tale complesso può farsi riferimento, a tutto vantaggio della sicurezza, ai seguenti parametri desunti dall'esperienza maturata su questi terreni:

$$\varphi' = 22-25^\circ; c' = 1,0 - 2,0 \text{ kN/m}^2; \gamma = 2,0 - 2,1 \text{ kN/m}^3.$$

8. CAMPAGNA INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOTECNICHE DA ESEGUIRE IN FASE DI PROGETTAZIONE ESECUTIVA

Fermo restando che il piano di indagini sotto indicato sarà individuato in modo definitivo prima della redazione della progettazione esecutiva utile per la realizzazione dell'impianto, sulla base di un'analisi preliminare si ritiene opportuno eseguire, nelle successive fasi di progettazione, le indagini di seguito elencate.

In corrispondenza di ciascun aerogeneratore, della sottostazione e nei tratti di cavidotto interessata da dissesti:

- ✓ n. 1 sondaggio a carotaggio continuo di profondità pari a 30 mt. dal p.c.;
- ✓ prelievo di n. 3 campioni indisturbati sui quali eseguire le prove geotecniche in laboratorio per la caratterizzazione fisico-meccanica;
- ✓ n. 5 S.P.T. in foro;
- ✓ installazione di un piezometro per l'individuazione della profondità del livello freatico.

9. CONCLUSIONI

Da quanto detto precedentemente, in ordine alle caratteristiche geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche e tecniche del sito si evince che:

❖ sono stati definiti quattro modelli geologico-tecnici:

- 1) Sabbie fini di colore variabile dal beige all'ocra, da mediamente a molto addensate, a tratti con incipiente cementazione, a struttura omogenea. Si trovano intercalati strati di conglomerati immersi in matrice sabbiosa fine. La frazione alterata, presente nei primi 3-5 metri di profondità scarsamente consistente. Questi litotipi di spessore variabile tra 2 e 15 metri poggiano sui litotipi argillosi ed interessano gli aerogeneratori 1, 2, 3, 10, 11, 13 e 14.
- 2) Sabbie fini e sabbie siltose a grana fine, di colore bruno chiaro a grigio, mediamente addensate e consistenti. Si trovano intercalati strati di conglomerati immersi in matrice sabbiosa fine. La frazione alterata, presente nei primi 3-5 metri di profondità scarsamente consistente. Questi litotipi di spessore variabile tra 5 e 10 metri poggiano sui litotipi del complesso conglomeratico ed interessano i terreni di sedime degli aerogeneratori 4, 5, 6, 7, 8, 9, 12;
- 3) l'aerogeneratore 12 interessa i litotipi del complesso conglomeratico con spessori superiori ai 30 mt;
- 4) Argille ed argille siltose di colore dal grigio all'azzurro al grigio chiaro mediamente consistenti. La frazione alterata, presente nei primi 5 metri di profondità si presenta plastica.

Questi litotipi interessano i terreni di sedime della sottostazione.

- ❖ tutti i suddetti terreni sono ricoperti da uno spessore variabile tra circa 0.5 e 3.00 m di terreno vegetale poco consistente e scarsamente addensato;
- ❖ le condizioni geomorfologiche sono caratterizzate da una notevole evoluzione con la presenza di numerosi fenomeni geodinamici ma le aree scelte per la realizzazione degli aerogeneratori sono stabili e la realizzazione del parco è fattibile. Bisogna tenere in debita considerazione, nella fase di progettazione esecutiva le seguenti situazioni geomorfologicamente delicate:
 - ✓ **Piazzola SM2:** un tratto della viabilità di accesso è interessato da un movimento franoso e, quindi, sono necessarie alcune opere di consolidamento anche a difesa del cavidotto (paratie di pali);
 - ✓ **il versante a est dell'Aerogeneratore SM5.** Il dissesto franoso si presenta attivo e sono stati osservati segni sul terreno che indicano un'evidente evoluzione verso una frana di scorrimento "Rotational slide", la cui corona è localizzata a circa 12 m dal ciglio della strada di accesso esistente e coinvolge, nella sua evoluzione retrogressiva, l'area dell'aerogeneratore. Sarà necessario eseguire opere di consolidamento tramite paratie di pali;
 - ✓ **i versanti a sud, est ed ovest Aerogeneratore SM12.** Sono presenti dissesti attivi che possono evolvere in frane di scorrimento "Rotational slide" da tenere nella debita

- considerazione per le opere. Sarà necessario prevedere opere di ingegneria naturalistica per evitare che l'evoluzione retrogressiva possa interessare la piazzola e l'aerogeneratore
- ✓ alcuni tratti di cavidotto interno a parco interessano aree a morfologia in evoluzione dove dovranno essere previste opere di ingegneria naturalistica per evitare che la naturale evoluzione dei fenomeni possa danneggiare il cavidotto;
 - ✓ in un tratto limitato in c/da Salica, attraversa aree interessate da dissesti indicati dal P.A.I. come zona franosa profonda attiva. Anche in questo caso si tratta di fenomeni che non ostano la realizzazione del cavidotto ma nella progettazione esecutiva si dovrà prevedere una campagna di indagini geognostiche e geotecniche puntuali al fine di evitare che i fenomeni geodinamici possano in futuro danneggiare lo stesso.
- il livello piezometrico della falda presente è sufficientemente profondo da non interessare il volume geotecnicamente significativo anche se dove gli aerogeneratori sono ubicati in corrispondenza della tipologia 1) è possibile ritrovare al contatto tra le sabbie e le argille modesti livelli freatici a prevalente carattere stagionale. In ogni caso la realizzazione e l'esercizio dell'impianto non potrà interferire negativamente sui circuiti dell'idrografia superfiale e sotterranea;
 - il parco si trova all'esterno dei bacini idrogeologici di interesse regionale e delle loro rispettive aree di alimentazione e ricarica;
 - non esistono pericolosità geologiche e sismiche che possano ostare la realizzazione del progetto;

- dai primi calcoli preliminari i terreni non danno luogo a fenomeni di liquefazione in caso di sisma;
- si ritiene indispensabile eseguire, in fase di progettazione esecutiva e dei calcoli delle strutture, una campagna di indagini ai sensi del D.M. 17/01/2018, come sopra descritta.

Dott. Geol. ~~Guillermo~~ Bellomo

