
PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PER LA
PRODUZIONE DI ENERGIA MEDIANTE LO SFRUTTAMENTO DEL VENTO
NEL TERRITORIO COMUNALE DI CAMUGNANO (BO) LOC. TRASSERRA
POTENZA NOMINALE 27 MW

PROGETTO DEFINITIVO - SIA

PROGETTAZIONE E SIA

ing. Fabio PACCAPELO

ing. Andrea ANGELINI

ing. Antonella Laura GIORDANO

ing. Francesca SACCAROLA

COLLABORATORI

ing. Giulia MONTRONE

geom. Rosa Contini

dr. Pietro Paolo Lopetuso

STUDI SPECIALISTICI

GEOLOGIA

geol. Matteo DI CARLO

ACUSTICA

ing. Sabrina SCARAMUZZI

VINCA E STUDIO FAUNISTICO

dr. Luigi Raffaele LUPO

STUDIO BOTANICO VEGETAZIONALE E

PEDO-AGRONOMICO

dr. Gianfranco GIUFFRIDA

ARCHEOLOGIA

NÒSTOI S.R.L.

INTERVENTI DI COMPENSAZIONE E VALORIZZAZIONE

arch. Gaetano FORNARELLI

arch. Andrea GIUFFRIDA

PD.R. ELABORATI DESCRITTIVI

REV. DATA DESCRIZIONE

R.4 Relazione geologica, morfologica e idrogeologica



INDICE

1. PREMESSA	1
2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E COORDINATE	3
3. SCHEMA TETTONICO DELL'AREA MEDITERRANEA	8
1.1. INQUADRAMENTO TETTONICO	9
4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE	10
5. GEOLOGIA PARTICOLAREGGIATA DELLA ZONA OGGETTO DI STUDIO	14
6. TOMOGRAFIE SISMICHE	22
7. CARATTERI SISMICI DEL TERRITORIO	27
7.1. CLASSIFICAZIONE SISMICA	32
7.2. ZONIZZAZIONE SISMOGENETICA	34
7.3. RISPOSTA SISMICA LOCALE	37
8. COEFFICIENTE DI AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA	42
8.1. CATEGORIE TOPOGRAFICHE	42
8.2. CATEGORIA DI SUOLO DI FONDAZIONE	42
9. AMBIENTE IDRICO SUPERFICIALE E PROFONDO	49
9.1. INQUADRAMENTO IDROGRAFICO E IDROLOGICO GENERALE	50
9.1.1. <i>Modalità di attraversamento del reticolo idrografico</i>	50
9.2. VINCOLI PIANO DI ASSETTO IDROGEOMORFOLOGICO (PAI) - PERICOLOSITÀ IDRAULICA	51
9.3. VINCOLI PIANO DI ASSETTO IDROGEOMORFOLOGICO (PAI) - PERICOLOSITÀ GEOMORFOLOGICA	51
10. CONCLUSIONI	57
ELENCO ALLEGATI	60

1. PREMESSA

La Società **Santa Chiara Energia Srl** ha commissionato al sottoscritto il presente studio di compatibilità geologica, idrogeomorfologica e sismica, inerente il "Progetto per la realizzazione di un impianto eolico sito nei comuni di Camugnano (BO), composto da 6 aerogeneratori da 4,5 MW ciascuno per una potenza complessiva di 27,0 MW. La Soluzione Tecnica Minima Generale (STMG) elaborata, prevede la connessione alla Rete di Trasmissione Nazionale avvenga in antenna a 132 kV su una nuova Stazione Elettrica (SE) della RTN a 132 kV da inserire in entrata – uscita alle linee RTN a 132 kV "Ca' di Landino - Grizzana" e "Le Piane - S. Maria". Scopo dello studio è quello di stabilire la natura litologica dei terreni affioranti nell'area in studio per risalire al loro prevedibile comportamento in dipendenza dei fattori geomorfologici, stratigrafici, tettonici, idrogeologici e geomeccanici. A tale scopo è stato eseguito un rilevamento geologico dell'area oggetto di studio, che ha consentito di tracciare un quadro generale della variabilità litologica dei terreni e dei fenomeni macroscopici connessi con le modificazioni e le alterazioni del suolo con finalità geomorfologiche e geomeccaniche applicative, come previsto dalla normativa vigente.

Il presente studio geologico è stato redatto in ottemperanza alle leggi vigenti ed in particolare a:

- **Legge 64/74**
- **DM 11/03/1988** "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno e delle opere di fondazione" e successive modifiche ed integrazioni
- **D.M LL.PP. del 24/01/1986** "Norme tecniche relative alle costruzioni antisismiche"
- **D.M. LL.PP. del 14/01/2008** (G.U n. 29 del 04/02/2008)
- **Circolare del 02/02/2009 n. 617** "Istruzioni per l'applicazione delle Nuove norme tecniche per le costruzioni"
- **D.M. 17/01/2018** pubblicato sul S.O. - G.U 20 febbraio 2018 n. 42 "Norme tecniche per le costruzioni"

Raccomandazioni dell'AGI in merito alle indagini geognostiche in situ ed alle indagini geotecniche di laboratorio

Stando alla cartografia del Piano Stralcio Assetto Idrogeologico (PAI) Autorità di bacino interregionale del fiume Reno, le aree di sedime delle fondazioni degli aerogeneratori non rientrano in aree soggette a vincolo sia dal punto di vista della pericolosità geomorfologica, che dal punto di vista della pericolosità idraulica. Come da cartografia allegata, scaricata dall'Autorità di Bacino

La Caratterizzazione e la Modellazione Geologica del Sito è stata eseguita con la ricostruzione dei caratteri litologici, stratigrafici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici e, più in generale, della pericolosità geologica del territorio. In considerazione degli interventi da realizzare e della complessità del contesto geologico sono state eseguite specifiche indagini finalizzate alla documentata ricostruzione del "modello geologico". I metodi e i risultati delle indagini verranno esaurientemente esposti e commentati in questa Relazione Geologica. Sono stati effettuati numerosi sopralluoghi nella zona interessata e si è portato a termine il seguente piano di lavoro:

- Ricerca bibliografica di pubblicazioni e studi di carattere geologico effettuati nell'area d'interesse;
- Rilevamento geologico e geomorfologico di un'area sufficientemente ampia e delle zone specificatamente interessate dalle opere di progetto;
- Raccolta di indagini geognostiche precedentemente eseguite ed altre informazioni e dati provenienti da precedenti studi di carattere geologico-geotecnico-sismico-idrogeologico e idraulico ricadenti nell'area oggetto d'intervento ed in aree attigue;
- Sono state eseguite 4 tomografie sismiche e 4 MASW, di cui 3 nell'area dell'impianto eolico e 1 nell'area della SSE nel comune di Castiglione dei Pepoli.

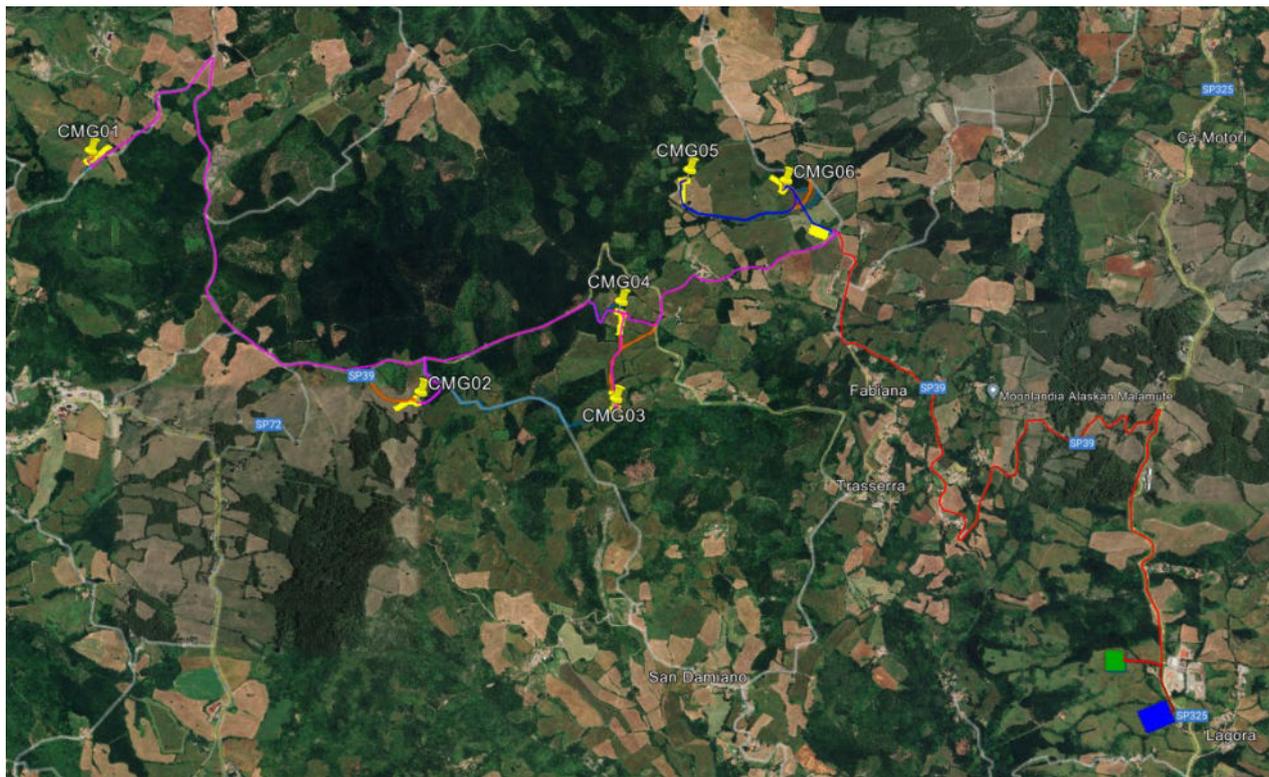
Obiettivo dello studio è stato quello di fornire un quadro di riferimento geologico e tecnico dei terreni affioranti nell'area esaminata al fine di una congrua valutazione delle caratteristiche geostrutturali per le conseguenti scelte progettuali.

Il presente studio analizza gli impatti associati alle seguenti opere:

- Localizzazione puntuale dell'impianto eolico con le relative fondazioni nel Comune di Camugnano (BO);
- Cavidotto interrato in MT di collegamento alla Sottostazione Elettrica ricadente nel Comune di Castiglione dei Pepoli (BO);
- Sottostazione di Trasformazione Elettrica ricadente nel comune di Castiglione dei Pepoli (BO);

Tutte le operazioni di campagna e la loro elaborazione sono state eseguite secondo il D.M. 17/01/2018 pubblicato sul S.O. - G.U 20 febbraio 2018 n. 42 "Norme tecniche per le costruzioni" e Circolare esplicativa NTC 2018 pubblicate il 12.02.2019.

2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E COORDINATE

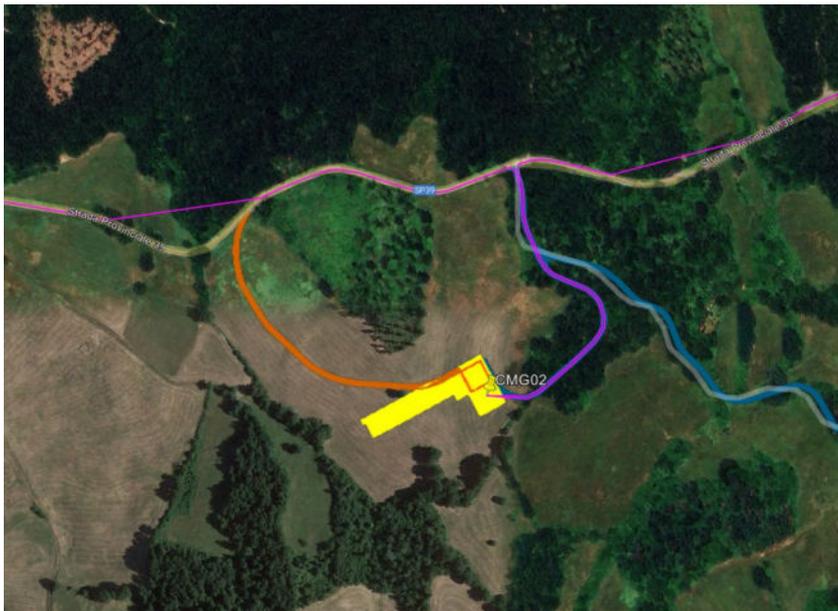


Inquadramento su ortofoto layout di impianto

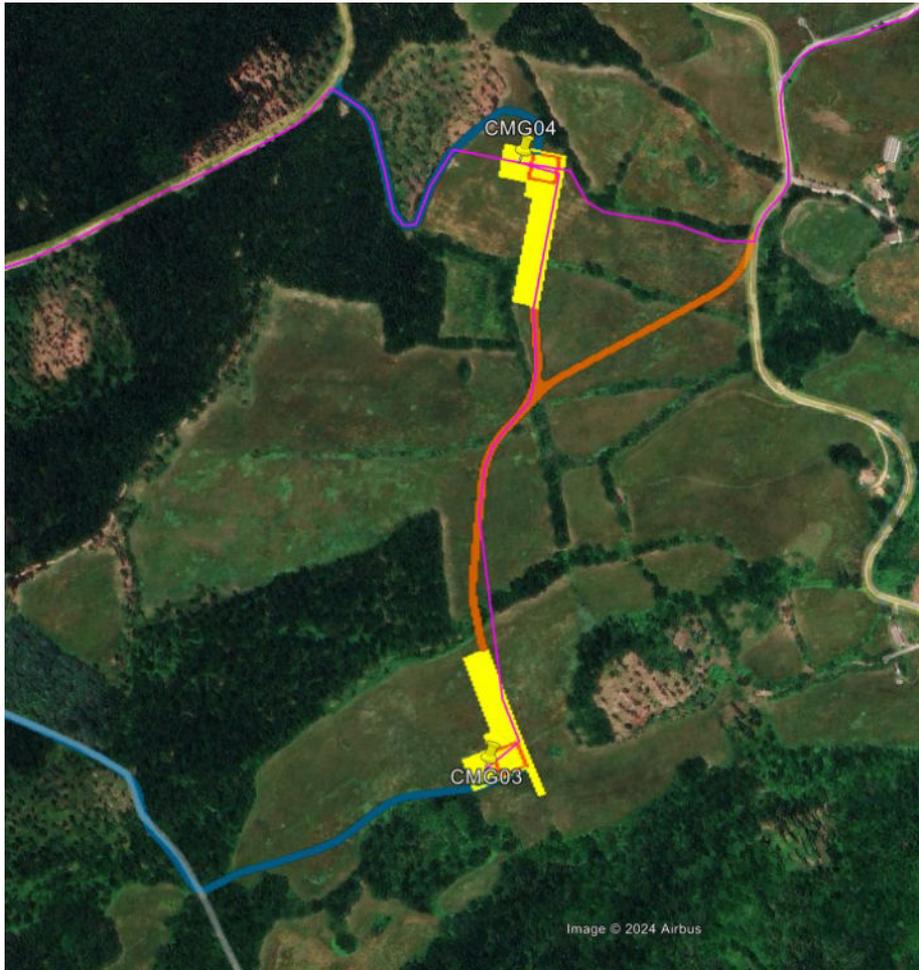
WTG	WGS84 (fuso 32T)	
	EST	NORD
CMG01	667700.04	4894365.45
CMG02	669446.61	4893167.11
CMG03	670427.59	4893158.77
CMG04	670441.55	4893655.02
CMG05	670773.97	4894345.92
CMG06	671276.92	4894317.03
SSE	673084.84	4891907.97



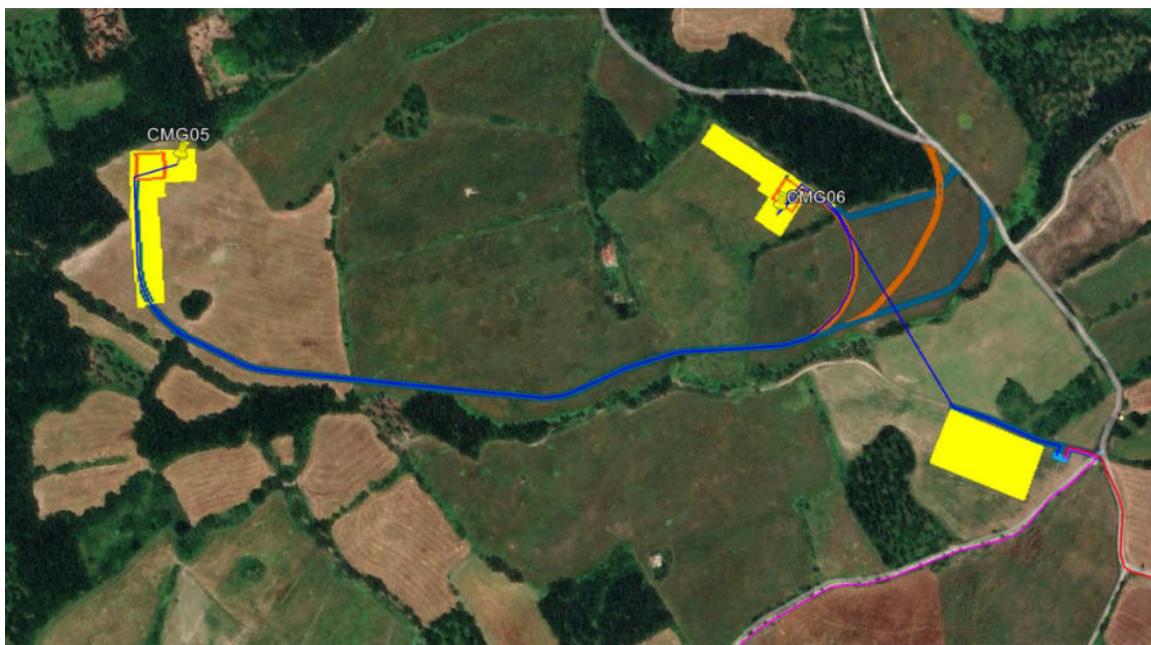
Inquadramento su ortofoto WTG CMG01



Inquadramento su ortofoto WTG CMG02



Inquadramento su ortofoto WTG CMG03 e CMG04



Inquadramento su ortofoto WTG CMG05 e CMG06, area di cantiere e cabina di raccolta

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA
MEDIANTE LO SFRUTTAMENTO DEL VENTO NEL TERRITORIO COMUNALE DI
CAMUGNANO (BO) LOC. TRASSERRA
POTENZA NOMINALE 27,0 MW



Inquadramento su ortofoto Area Sottostazione di Trasformazione Elettrica (SSE) utente e TERNA



Localizzazione Area Impianto Eolico su base IGM 1:250.000

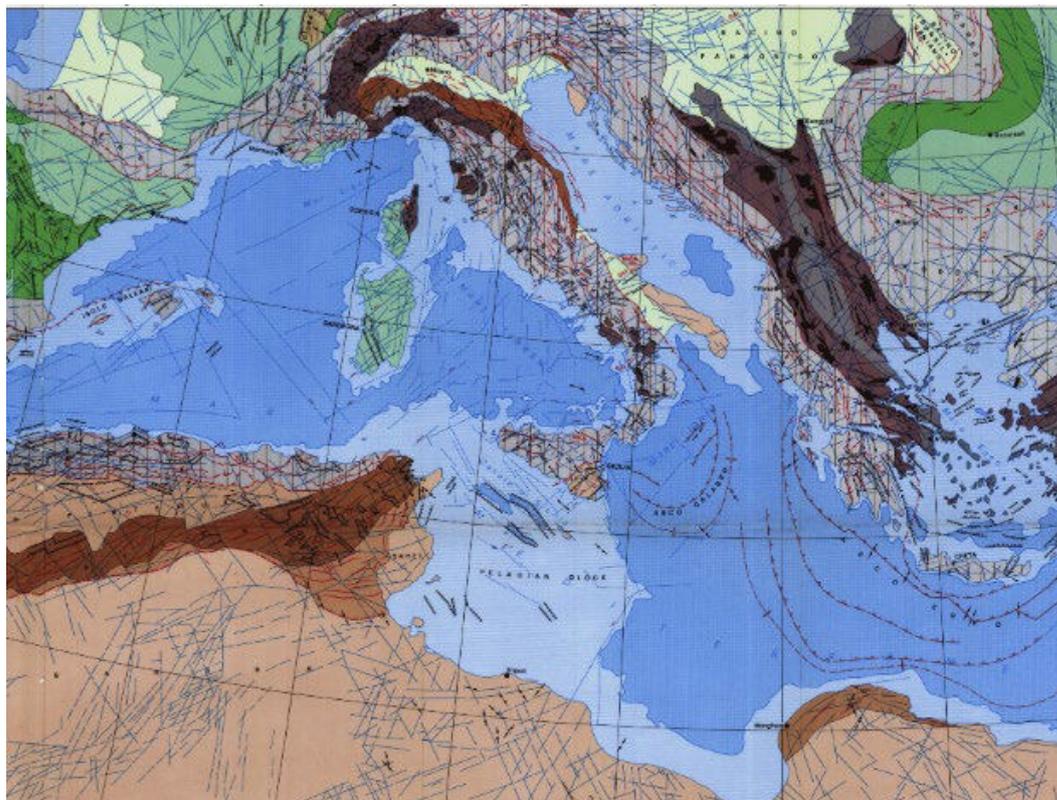


Localizzazione Area Impianto Eolico su base IGM 1:100.000

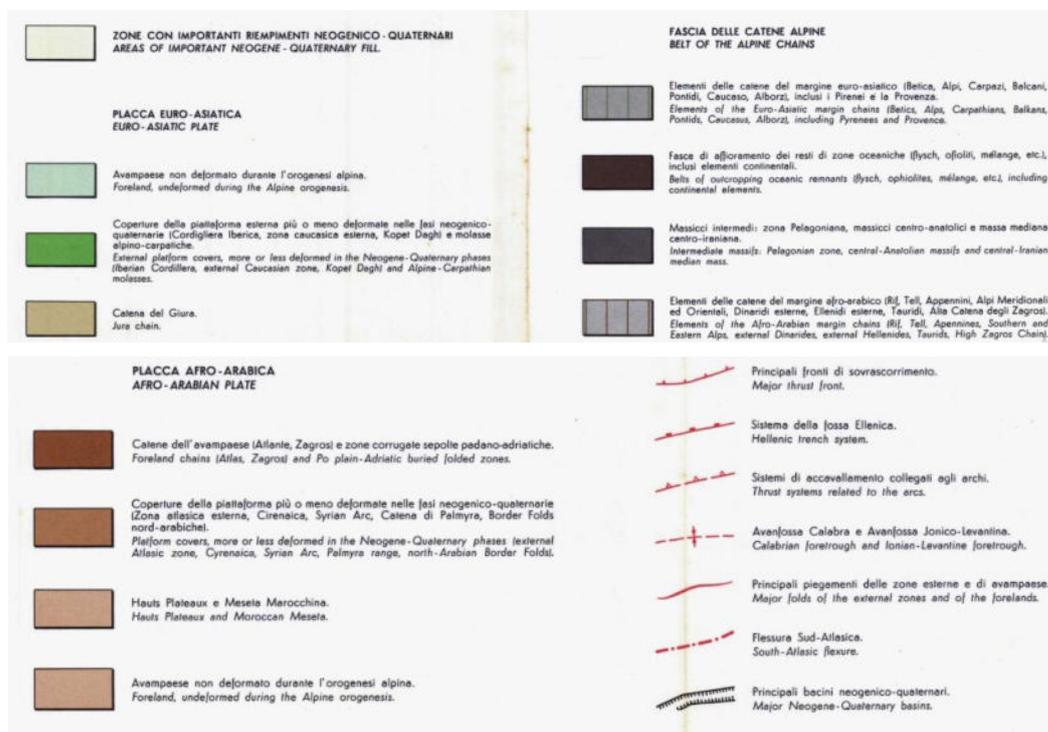


Localizzazione Area Impianto Eolico su base IGM 1:25.000

3. SCHEMA TETTONICO DELL'AREA MEDITERRANEA



Schema Tettonico area Mediterranea da Boccaletti M. & Danieli P. 1982



Legenda Schema Tettonico Area Mediterranea da Boccaletti M. & Danieli P. 1982

1.1. INQUADRAMENTO TETTONICO

I rilievi geologici di dettaglio e i dati di sottosuolo per la ricerca di idrocarburi sono la base per individuare le principali strutture neotettoniche, ricostruire l'evoluzione recente e definire il quadro sismotettonico del settore esterno (padano-adriatico) dell'Appennino settentrionale (Martelli L. et al., 2009; Martelli L., 2011). Si osserva che le strutture tettoniche che mostrano attività recente nel settore compreso tra il crinale appenninico e il Po si concentrano in determinate aree: • nell'alto Appennino, in particolare lungo il crinale • nel basso Appennino, lungo il margine appenninico • in pianura, in corrispondenza degli archi sepolti delle Pieghe Emiliane e delle Pieghe Ferraresi e a nord del Po L'Appennino settentrionale è una catena formata da falde sovrapposte secondo una strutturazione a duplex complesso. Il versante padano dell'Appennino ha subito un'evoluzione differenziata, tale da distinguere un settore emiliano a W e un settore romagnolo ad E. La differenza più evidente è il maggiore sollevamento (avvenuto tra il Pliocene superiore ed il Pleistocene medio) e la strutturazione ad anticlinale dell'Appennino romagnolo, dove è assente la coltre alloctona ligure e affiorano i terreni oligo-miocenici delle successioni toscane e umbro-romagnole. Per questo l'Appennino romagnolo è considerato una finestra tettonica. Anche nell'Appennino emiliano sono presenti varie finestre tettoniche concentrate soprattutto nella parte alta della catena e lungo il crinale. Anche in queste strutture al nucleo affiorano terreni oligo-miocenici, che verso N, si accavallano sulle liguri, testimoniando un'attivazione o riattivazione di strutture soprattutto nel tardo Quaternario. Le prospezioni geofisiche e i sondaggi per la ricerca di idrocarburi hanno individuato nel sottosuolo padano strutture profonde, sviluppatesi tra il Miocene superiore ed il Pleistocene, geneticamente connesse all'evoluzione strutturale dell'Appennino. I fronti dei sovrascorrimenti sepolti sono marcati da pieghe anticlinali simmetriche, vergenti a N-NE, con asse orientato NW-SE, fra le quali si trovano le pieghe della cosiddetta Dorsale Ferrarese. Le indagini geofisiche hanno messo in luce un importante sistema di faglie a carattere compressivo, chiamato "sovrascorrimento pedeappenninico": esso separa la fascia collinare in sollevamento dalla pianura in subsidenza. Il comportamento di tale lineamento concorda con il generale sovrascorrimento degli elementi appenninici al di sopra di quelli padani. La pianura bolognese è quindi compresa tra il sistema tettonico del "sovrascorrimento pedeappenninico" ed il fianco meridionale delle pieghe della Dorsale Ferrarese.

4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE

L'Appennino settentrionale è una catena a falde sviluppatasi principalmente nel terziario in seguito alla collisione tra due blocchi continentali rappresentati dalla zolla europea, o sarda-corsa, e dalla micro-placca Adriatico-Padana, inizialmente conne. Il processo di collisione tra queste due zolle continentali è stato preceduta dalla chiusura di un'area oceanica; il paleo-oceano ligure-piemontese, parte della Tedita Il settore investigato ricade nella Provincia di Bologna a cavallo del crinale principale della catena dell'Appennino Settentrionale.

Questa catena, che fa parte del sistema alpino-himalaiano, è il risultato della chiusura di un originario oceano e della successiva deformazione del suo margine continentale passivo (placca Adria Auctt.). L'evoluzione tettonica che ha portato all'attuale assetto è avvenuta in varie fasi deformative a partire dal Triassico ed è strettamente connessa all'evoluzione della catena alpina prima, e successivamente all'evoluzione del Mediterraneo centrale. Nel Triassico medio le prime fasi sono riconducibili al rifting di una crosta continentale a cui segue, dal Giurassico inferiore-medio, la formazione di un oceano (Oceano Ligure-Piemontese). Dal Cretaceo superiore iniziano le fasi di convergenza con la creazione di una zona di subduzione che porta, nell'Eocene superiore-Oligocene, alla collisione continentale a seguito della completa consunzione dell'Oceano Ligure-Piemontese. Dal punto di vista paleogeografico è dunque possibile distinguere un dominio oceanico ed un dominio continentale. Nel dominio oceanico si imposta, a partire dal Giurassico superiore, la sedimentazione pelagica sia calcarea che silicea che darà origine alle Unità Liguri s.l. Nel dominio continentale, fin dal Triassico medio, si depositano successioni che ricalcano l'evoluzione di un margine passivo; questo margine diventa attivo negli ultimi stadi della sua evoluzione in età oligo-miocenica. Tali successioni vengono generalmente denominate "toscani" e "umbro-marchigiane" sulla base della loro attuale distribuzione geografica. Durante le fasi collisionali le Unità Liguri si impilano le une sulle altre e successivamente sovra scorrono sulle unità più esterne toscane ed umbro-marchigiane.

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA
MEDIANTE LO SFRUTTAMENTO DEL VENTO NEL TERRITORIO COMUNALE DI
CAMUGNANO (BO) LOC. TRASSERRA
POTENZA NOMINALE 27,0 MW

Esse costituiscono una coltre alloctona relativamente continua nel settore settentrionale dell'Appennino, dalla Liguria, a NW, fino al T. Sillaro, in corrispondenza del versante emiliano. Durante le fasi di avanzamento verso est e nord-est sulle Unità Liguri si depongono in discordanza i depositi epiliguri prevalentemente affioranti sul versante padano dell'Appennino Settentrionale. Più a sud, in Toscana ed in Umbria, gli affioramenti delle Unità Liguri e della Successione epiligure sono molto discontinui e sporadici. Il fronte della catena, deformato da sistemi di pieghe e *thrusts* strutturati in una serie di archi (PIERI & GROPPI, 1981; CASTELLARIN *et alii*, 1986) e sepolto dai sedimenti quaternari padano-adriatici, si sviluppa prevalentemente nel Pliocene e nel Pleistocene con l'incorporazione di parte dei sedimenti coevi entro la catena stessa. Nella porzione più interna della catena, già a partire dal Tortoniano superiore-Messiniano inferiore, dopo una fase di sollevamento ed erosione, inizia la sedimentazione di potenti successioni prevalentemente terrigene di ambiente da continentale a lacustre e marino, deposte sia sulla coltre alloctona ligure che sulle sottostanti unità toscane. Questi depositi attualmente si rinvengono in bacini allungati in senso longitudinale separati tra loro da "dorsali" costituite dal substrato tosco-ligure. In parziale sovrapposizione con la sedimentazione nei bacini, si è sviluppato un magmatismo a vario chimismo a partire dal Miocene superiore (SERRI *et alii*, 1993 con bibliografia).

Da un punto di vista strutturale (fig.2) si individua una serie di strutture con andamento circa E-W che mettono a contatto queste differenti unità (Unità tettoniche Toscane s.s., Unità tettonica Sestola-Vidiciatico, Unità tettoniche Liguri). Più ad est si hanno strutture dislocative complesse ad andamento NNE-SSW riconducibili alla così detta "Linea Livorno-Sillaro" (BORTOLOTTI, 1966; BRUNI, 1973; DE JAGER, 1979; BETTELLI & PANINI, 1992b), lungo le quali le unità citate vengono a contatto nuovamente. Altra vistosa caratteristica strutturale del Foglio in esame è la presenza della grande struttura di Castiglione dei Pepoli nota da tempo come un'aticlinale nella quale affiorano le Unità tettoniche Toscane più esterne.

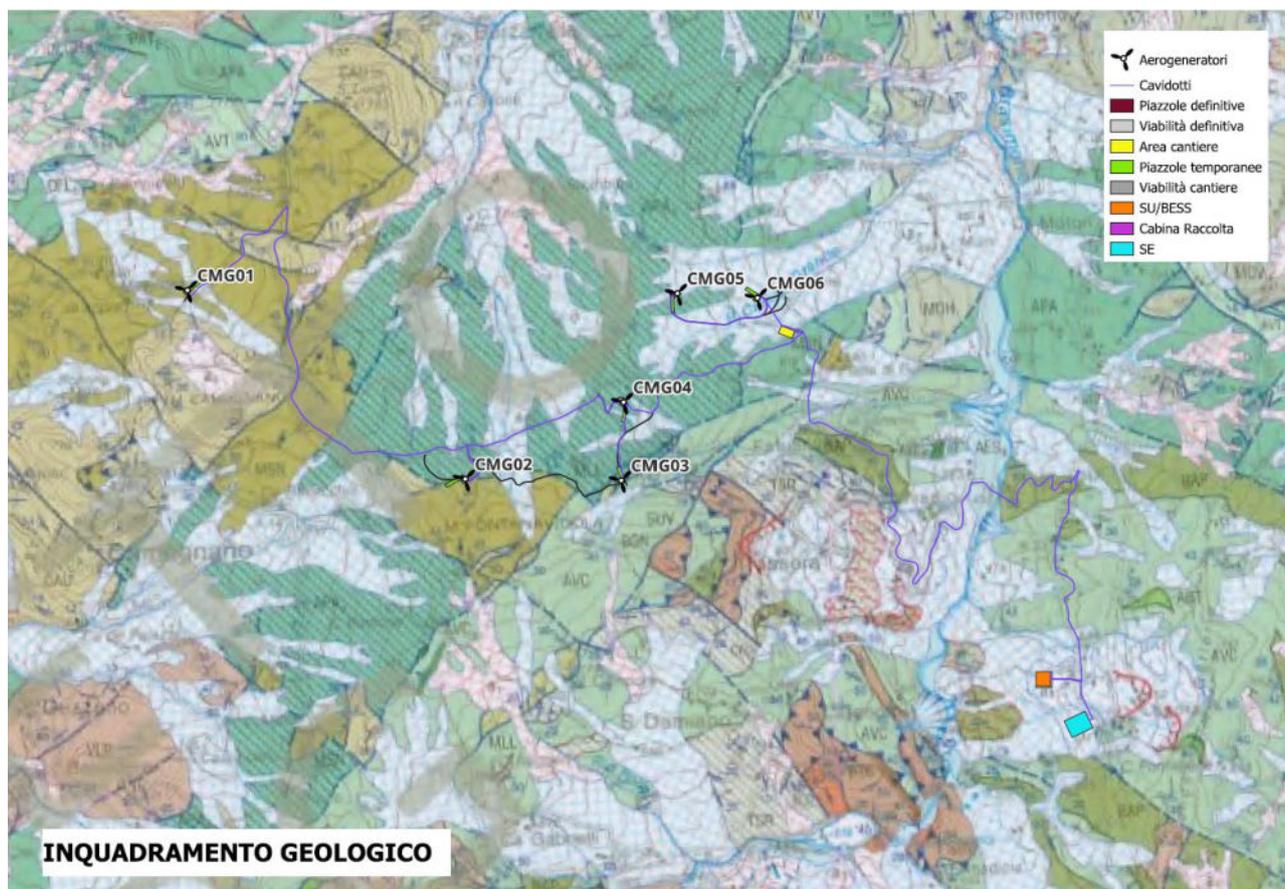
Le Unità tettoniche Liguri nel settore settentrionale del Foglio costituiscono una coltre continua, mentre nel settore meridionale esse affiorano sottoforma di klippen, sovrapposte alle Unità tettoniche Toscane o ad esse giustapposte da dislocazioni ad alto angolo connesse alla tettonica più recente. Le Unità tettoniche Liguri sono rappresentate dalle seguenti unità: Unità tettonica Monghidoro, Unità tettonica Leo e Unità tettonica Morello. L'Unità tettonica Leo è a sua volta suddivisa in Sottounità tettonica Camugnano e Sottounità tettonica di base. I rapporti tra le formazioni all'interno di ciascuna unità, pur presentandosi spesso di natura tettonica, è presumibile che fossero stati originariamente di natura stratigrafica o sono stati osservati come tali in altre aree dell'Appennino settentrionale.

Le Unità tettoniche Toscane sono rappresentate da due unità tettoniche principali, l'Unità tettonica Sestola-Vidiciatico e l'Unità tettonica Cervarola, quest'ultima suddivisa al suo interno in quattro sottounità tettoniche separate tra loro da superfici di sovrascorrimento: Sottounità tettonica Acquerino, Sottounità tettonica T. Carigiola, Sottounità tettonica Granaglione e Sottounità tettonica Castiglione dei Pepoli.

In discordanza sulle Unità tettoniche Liguri (prevalentemente sull'Unità tettonica Monghidoro) si sono depositi i terreni appartenenti alla Successione epiligure, affioranti molto limitatamente nella porzione nord-occidentale di questo Foglio e attualmente anch'essi in contatto prevalentemente tettonico (attraverso faglie ad alto angolo) con le Unità tettoniche Liguri.

Nel settore sud-orientale del Foglio affiorano infine i terreni continentali appartenenti alla Successione del Mugello, depositi in discordanza sia sull'Unità tettonica Cervarola sia sull'Unità tettonica Morello. Alla Successione neogenico-quadernaria del margine padano-adriatico sono invece stati attribuiti i depositi terrazzati presenti lungo le più importanti aste vallive del settore emiliano. I rapporti tra le varie unità tettoniche, evidenziate nel Foglio e nello schema tettonico allegato, sono piuttosto complessi poiché siamo in presenza di terreni che hanno avuto una storia deformativa lunga ed articolata durante la strutturazione della catena appenninica, dalla "fase ligure" o da altre più precoci, alla tettonica più recente, quadernaria.

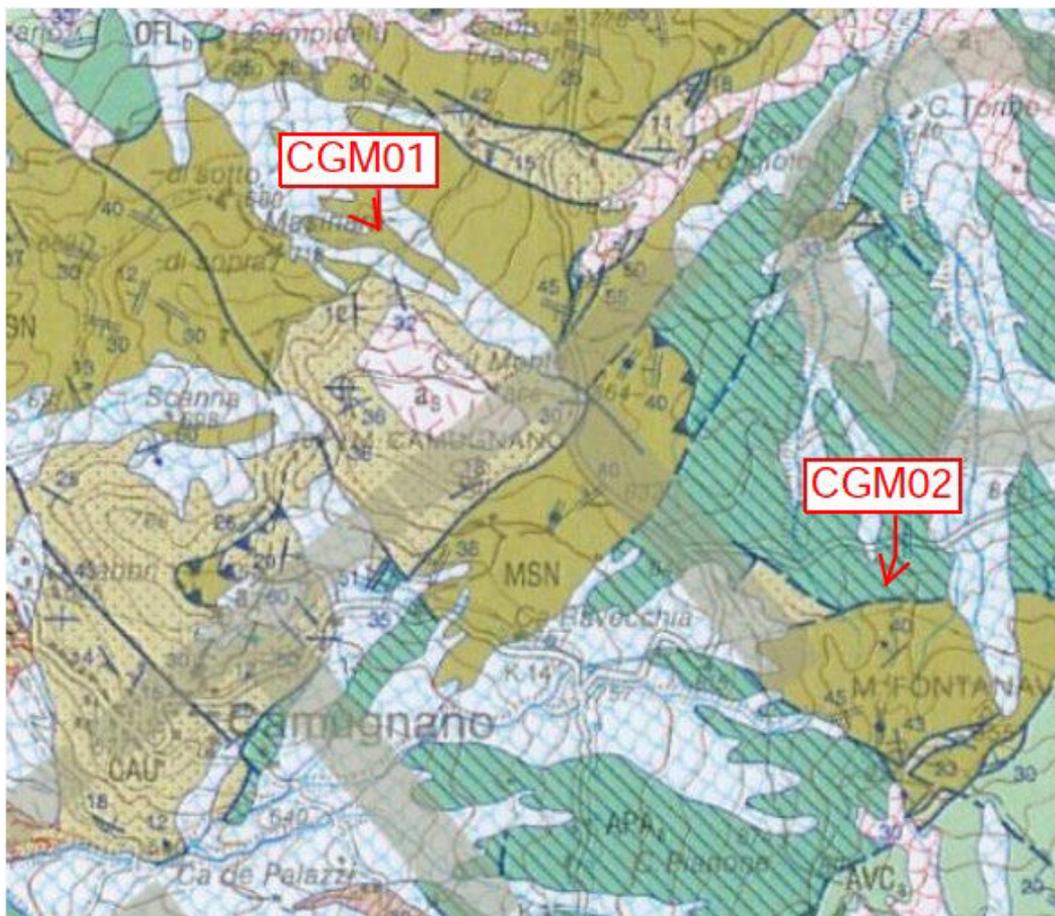
5. GEOLOGIA PARTICOLAREGGIATA DELLA ZONA OGGETTO DI STUDIO



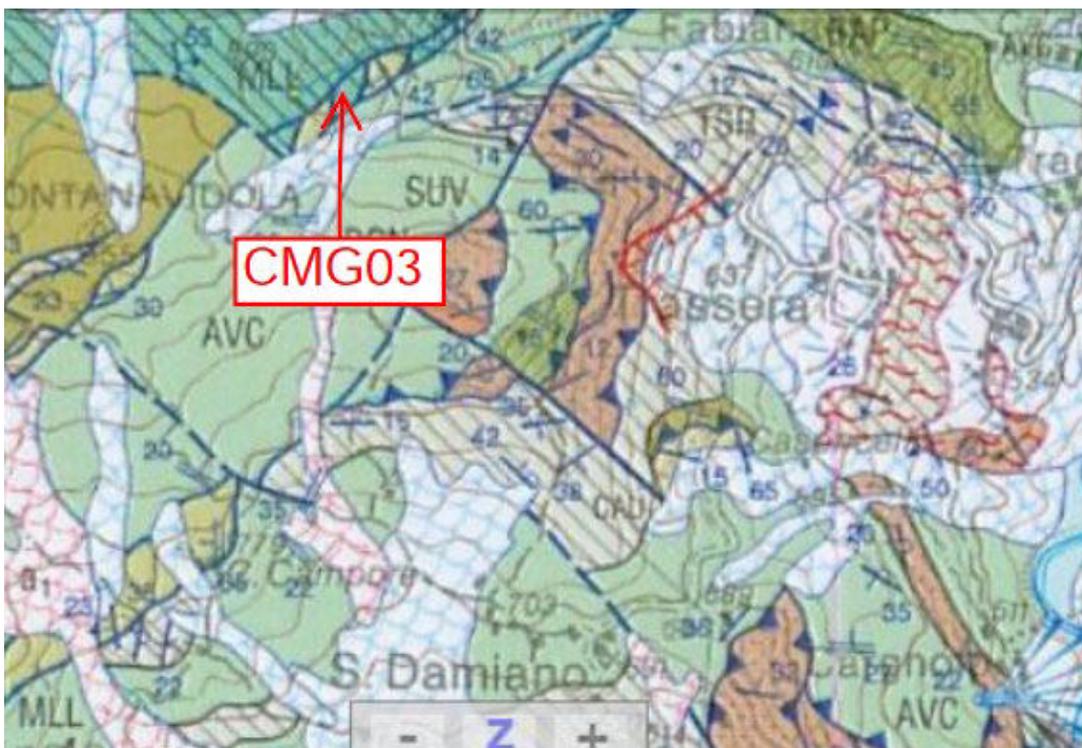
Inquadramento impianto su carta geologica 1: 50.000 Foglio 252

Aerogeneratori e cavidotto nel comune di Camugnano (BO), SSE nel comune di Castiglione dei Pepoli (BO)

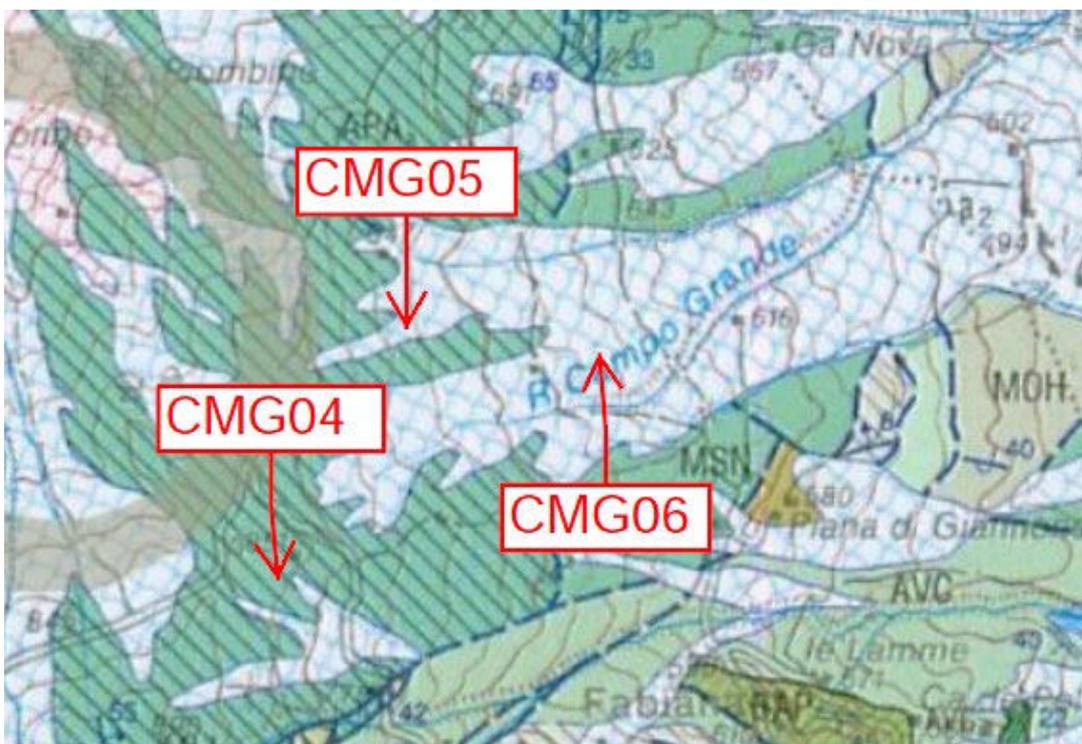
PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA
MEDIANTE LO SFRUTTAMENTO DEL VENTO NEL TERRITORIO COMUNALE DI
CAMUGNANO (BO) LOC. TRASSERRA
POTENZA NOMINALE 27,0 MW



Inquadramento geologico Aerogeneratori CMG01 e CMG02 Carta geologica 1:50.000 Foglio 252 –“Barberino del Mugello”

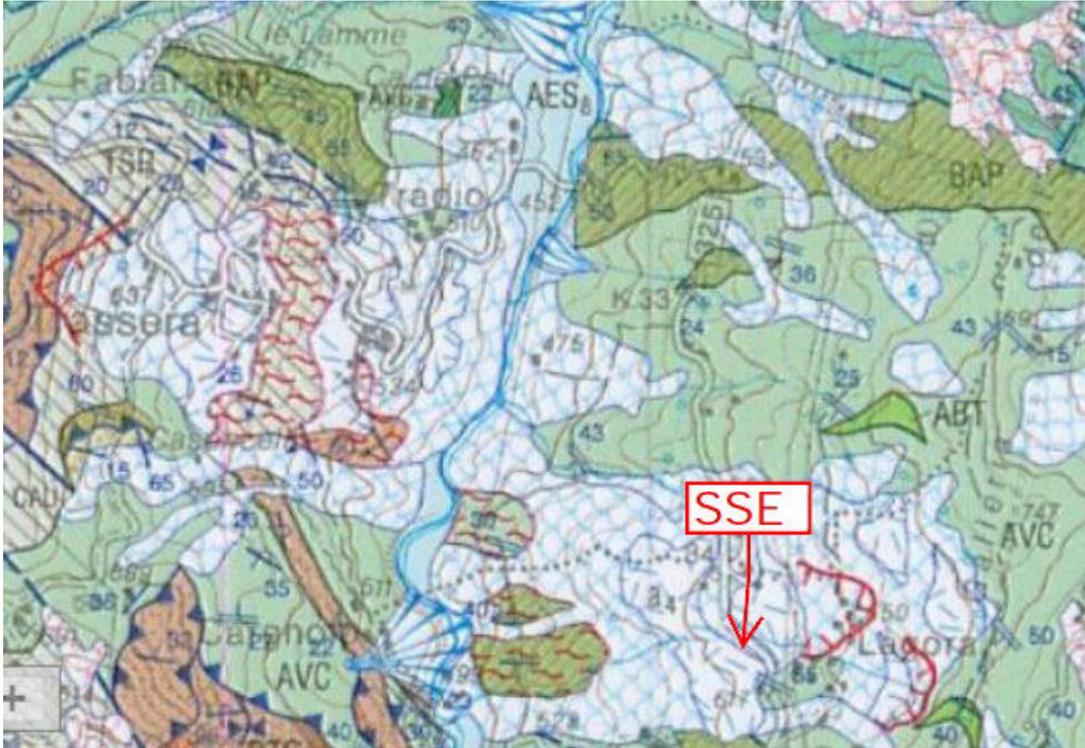


Inquadramento geologico Aerogeneratori CMG03 Carta geologica 1:50.000 Foglio 252 –“Barberino del Mugello”



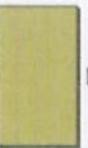
Inquadramento geologico Aerogeneratori CMG04, CMG05 e CMG06 Carta geologica 1:50.000 Foglio 252 –
“Barberino del Mugello”

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA
MEDIANTE LO SFRUTTAMENTO DEL VENTO NEL TERRITORIO COMUNALE DI
CAMUGNANO (BO) LOC. TRASSERRA
POTENZA NOMINALE 27,0 MW



Inquadramento geologico Area Sottostazione Elettrica Carta geologica 1:50.000 Foglio 252 –“Barberino del Mugello”

LEGENDA CARTA GEOLOGICA (FOGLIO 252 della carta geologica in scala 1:50.000)

	a₃	Depositi di versante s.l. Materiale eterogeneo ed eterometrico accumulato lungo i versanti per gravità e ruscellamento.
	a₄	Depositi eluvio-colluviali Sabbie, limi ed argille, talora pedogenizzati, derivanti dall'alterazione della roccia del substrato ed accumulati in posto o dopo un breve trasporto per ruscellamento.
	a₆	Detrito di falda Materiale eterogeneo ed eterometrico accumulato per gravità ai piedi di scarpate, costituito da frammenti litoidi e spigolosi, non cementati, generalmente privi di matrice.
	b₁	Depositi alluvionali in evoluzione Depositi prevalentemente ghiaiosi, talora embriciati, localmente con blocchi e/o materiali fini, affioranti in alveo o in aree adiacenti stagionalmente interessate dalle piene.
	b₂	Depositi alluvionali terrazzati Depositi ghiaiosi, sabbiosi e limosi talora embriciati, attualmente posti a quote più elevate rispetto all'alveo (bacino idrografico del F. Bisenzio).
	f₁	Depositi lacustri attuali Depositi sabbioso-limosi, subordinatamente ghiaiosi, di origine lacustre.
	MSN	ARGILLITI DI MASINARA Argilliti fissili con intercalazioni di siltiti e areniti finissime gradate in strati sottili e medi. Il colore è verde, grigio-nerastro e rossastro in superficie fresca e viola ocraceo in superficie alterata. La foliazione è molto sviluppata; è presente una silicizzazione diffusa con ricristallizzazione delle siltiti ed i carbonati sono assenti. I livelli più competenti sono spesso budinati o interessati da pieghe isoclinali e trasposizione. Potenza geometrica massima di 300-400 metri. Contatto stratigrafico inferiore non preservato. Depositi pelagici (?) e torbiditici distali. CENOMANIANO-TURONIANO
	SUV	ARENARIE DI SUVIANA Alternanze arenaceo-pelliche in strati gradati prevalentemente spessi e molto spessi. Le areniti alla base degli strati sono da medie a grossolane (localmente molto grossolane) con composizione feldspatolitica. A/P variabile da > a >> 1. Paleocorrenti dai quadranti occidentali. Potenza massima 150 metri. Contatto inferiore netto su BGN ₁ , BGN e, localmente, su BLD. Depositi torbiditici di lobo arenaceo (e di riempimento di canale?). BURDIGALIANO-LANGHIANO (MN₃₋₄)
	BAP	BRECCIE ARGILLOSE POLIGENICHE Breccie poligeniche a matrice argillosa, grigie in superficie fresca e nocciola in superficie alterata. All'interno sono inclusi clasti argillitici di dimensione millimetrica e di calcari micritici, di età cretacea, grigi in superficie fresca e bianco-giallastri in superficie alterata, di dimensioni centimetriche, decimetriche o più raramente metriche. Occasionalmente sono anche presenti clasti decimetrici di siltiti, areniti e marne calcaree, queste ultime di età oligo-miocenica, ed inclusi costituiti da grossi lembi di successioni stratigrafiche (metrici o decametrici) riferibili a MMA e AVC. Potenza stimata massima 150 metri. Questa unità affiora in vari lembi con contatti attualmente tettonizzati con AVC. Depositi di colata sottomarina di fango e detrito grossolano. EOCENE-MIOCENE INF.
	MLL	FORMAZIONE DI MONTE MORELLO Calcareniti e calcilutiti gradate passanti al tetto a calcari marnosi e marne biancastre, in strati da medi a molto spessi, fino a banchi. Localmente areniti fini in strati da medi a spessi di colore grigio, marrone all'alterazione. Potenza parziale affiorante circa 600 metri. Contatti stratigrafici inferiore e superiore non preservati. Depositi torbiditici di piana bacinale con megatorbiditi carbonatiche. EOCENE INF-MEDIO
	AVC_a AVC	UNITÀ ARGILLOSO-CALCAREA Argilliti, talora marnose, in bande blu, verdi, grigie e nerastre in superficie fresca e nocciola piuttosto uniforme in superficie alterata, in strati sottili, con intercalate calcilutiti grigie (bianco-giallastre in superficie alterata), talora marnose al tetto prevalentemente in strati medi e spessi. Talora sono presenti anche strati gradati sottili di siltiti e areniti. Rapporto Argilla/Calcarea > 1 o >> 1; a luoghi le calcilutiti e le siltiti sono assenti. Deformazione tettonica molto intensa che dà origine ad una foliazione ben marcata estremamente pervasiva nelle argilliti, mentre i livelli più competenti si presentano sottoforma di boudins e cerniere sradicate; solo molto raramente la stratificazione originale è preservata. Sono presenti inclusi ofiolitici rappresentati da basalti, gabbri, serpentiniti e peridotiti e inclusi di breccie poligeniche ad elementi ofiolitici, talora di dimensioni cartografabili; queste sono rappresentate da breccie mono o poligeniche che presentano clasti da millimetrici a decimetrici di rocce ofiolitiche, arenarie ofiolitiche, calcilutiti e diaspri (AVC _a). Potenza geometrica massima fino a 700-800 metri. Contatti stratigrafici inferiore e superiore non preservati. Depositi pelagici e torbiditici di piana bacinale. ALBIANO-EOCENE?

FORMAZIONE DI CASTIGLIONE DEI PEPOLI (CDP)

Alternanze arenaceo-pelitiche in strati gradati con areniti da nettamente prevalenti a leggermente subordinate. Le areniti hanno colore grigio, composizione litofeldspatica e sono ben cementate. La peliti sono anch'esse grigie e moderatamente indurite. Paleocorrenti con provenienza dei flussi da W-NW. La formazione è stata interamente suddivisa in due membri parzialmente eteropici. Potenza presunta oltre 1000 metri. Contatto inferiore netto su STA₃. Depositi di un singolo sistema torbiditico interrotto da un ricoprimento tettonico e da depositi gravitativi associati.

BURDIGALIANO?-LANGHIANO (MNN_{4a}? - MNN_{5a})



CDP₂

membro arenaceo-pelitico

Alternanze arenaceo-pelitiche in strati gradati da spessi e molto spessi (prevalenti) a sottili e medi (subordinati), con geometria piano-parallela. Gli strati variano da arenaceo-pelitici a pelitico-arenacei. La grana alla base degli strati arenitici varia da media a molto fine. Il rapporto A/P complessivo varia da poco > 1 a poco < 1. Contatto stratigrafico inferiore non affiorante. Potenza parziale affiorante 600-700 metri. Depositi torbiditici di lobo arenaceo e di frangia di lobo.

LANGHIANO (MNN_{4b}-MNN_{5a})



CDP₁

membro arenaceo

Alternanze arenaceo-pelitiche in strati gradati da molto spessi (nettamente prevalenti) a sottili e medi (da nettamente subordinati a quasi assenti), con geometria piano-parallela. Gli strati più spessi sono quasi esclusivamente arenacei con base a grana media e con tetto costituito da pochi centimetri o decimetri di pelite; gli strati sottili e medi variano da prevalentemente pelitici a pelitico-arenacei. Il rapporto A/P complessivo è comunemente >> 1. Potenza parziale affiorante circa 500 metri. Contatto inferiore stratigrafico netto su STA₃. Depositi torbiditici di lobo arenaceo.

BURDIGALIANO?-LANGHIANO (MNN_{4a}? - MNN_{5a})

ARGILLE A PALOMBINI



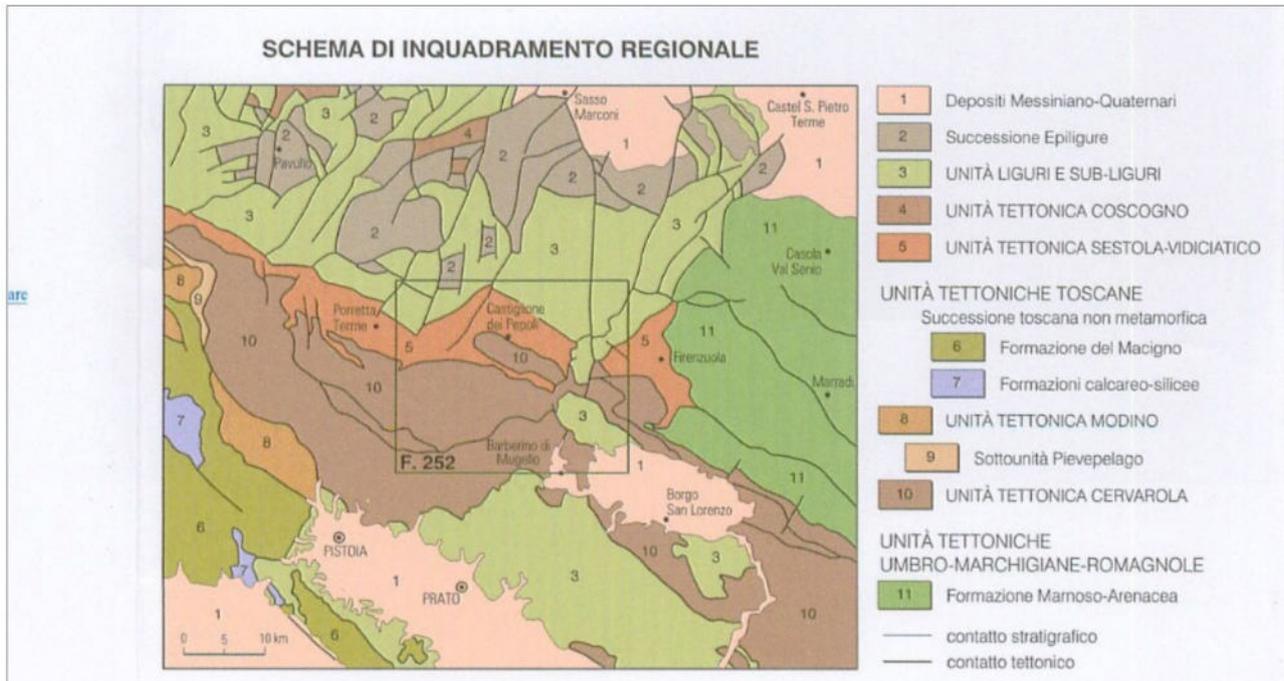
APA

APA_a

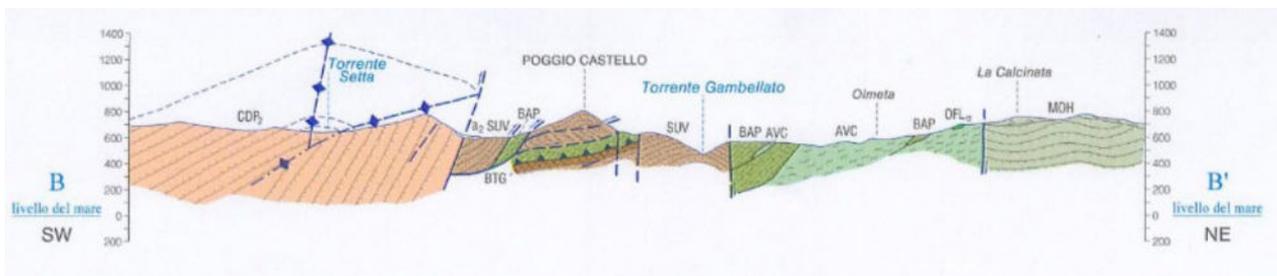
Argille e argilliti grigio-scuro e grigio-azzurrognole con intercalati strati gradati medi e spessi di calcilutiti grigie, biancastre in superficie alterata, spesso silicee, talora con base arenitica da fine a grossolana. Rapporto Calcare/Argilla quasi sempre < 1. Subordinate alternanze pelitico-arenacee in strati sottili e sottilissimi. Si presentano intensamente deformate con foliazione della frazione argillitica e boudinage degli strati più competenti. Localmente è stata distinta una litofacies argillitica (APA_a) costituita da argilliti grigie o verdognole con fissilità molto evidente. Presenti inclusi da metrici a decametrici di ofiolti talora cartografabili. Potenza geometrica massima fino a 700-800 metri. Contatto stratigrafico inferiore con CCL tettonizzato, contatto superiore non preservato. Depositi pelagici e torbiditici di piana bacinale.

CRETACEO INF.-TURONIANO

direzione ed immersione degli strati	↕ ¹⁰	strati dritti	▽▽▽	faglia inversa certa, incerta i triangoli indicano la parte rialzata
	+	strati orizzontali	▽▽▽	sovrascorrimento certo, incerto i triangoli indicano la parte sovrascorsa
	⊕	strati rovesciati orizzontali	▬▬▬	orlo di terrazzo
	↙ ¹⁰	strati rovesciati	▬▬▬	orlo di scarpata di frana
	•	strati verticali (il pallino indica la base)	•••	superficie assiale di sinclinale certa, incerta
	↗ ¹⁰	strati a polarità sconosciuta	•••	superficie assiale di anticlinale certa, incerta
	+	strati verticali a polarità sconosciuta	•••	superficie assiale di antiforme certa, incerta
	+	superficie di clivaggio o scistosità orizzontale	•••	superficie assiale di sinforme certa, incerta
	↙ ¹⁰	superficie di clivaggio o scistosità inclinata	▧▧▧	zona cataclastica
	↕	superficie di clivaggio o scistosità verticale	▧▧▧	crolli e scivolamento in blocco
	↗ ¹⁰	asse di piega	▲▲▲	conoide alluvionale attivo
	⇒	direzione e verso di paleocorrente	◆	discarica
	▧	slumping	▭▭	cava attiva, inattiva
	▬	contatto stratigrafico certo, incerto	⊗	pozzo per ricerca mineraria
	▬▬▬	contatto stratigrafico inconforme certo, incerto	⊙	sondaggio per ricerca di idrocarburi
	▬▬▬	contatto tettonico indifferenziato certo, incerto	▧▧▧	struttura antropica
	⋯	orizzonte e strato guida	A A'	traccia di sezione geologica
	▬	faglia certa, incerta		
▬▬▬	faglia diretta certa, incerta i trattini indicano la parte ribassata			



SEZIONI GEOLOGICHE



La Geologia del comprensorio comunale di Camugnano è caratterizzata in gran parte da litotipi ascrivibili alle Unità Liguri, alla successione Epiligure e alle Unità Toscane.

L'Aerogeneratore **CMG01** insiste su terreni costituiti da argilliti con intercalazioni di siltititi e areniti finissime in strati sottili e medi. il colore è grigio-verdastro con sfumature rossastre e nerastre, la foliazione è molto accentuata ed è presente una silicizzazione diffusa. (MSN), la potenza massima è dell'ordine 300-400 metri .

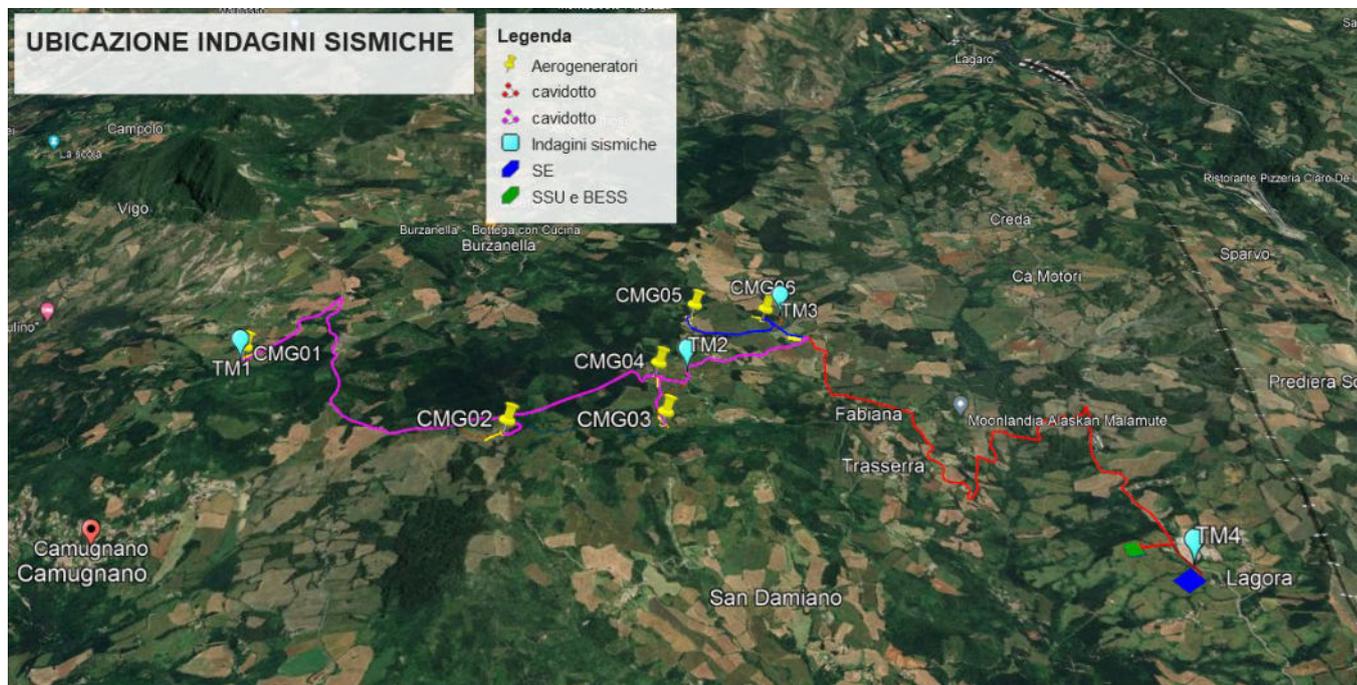
Gli aerogeneratori **CGM02**, **CGM03** e **CGM04**) insistono su terreni costituiti da argilliti grigie e verdognole, argille e argilliti grigio scure, a volte, grigio-azzurrognole con intercalazioni di calcilutiti grigiastre e biancastre, in superficie sempre alterate, il rapporto tra calcare e argilla è sempre inferiore all'unità, subordinatamente si rinvengono alternanze di livelli arenacei in strati sottilissimi. Si presentano intensamente deformate con foliazione della frazione argillitica, localmente e soprattutto dove insistono gli aerogeneratori è stata rinvenuta una litofacies argillitica costituita da argilliti grigie e verdognole Sono costituite da un'alternanza irregolare di argille ed argilliti nerastre, fissili, con strati di calcilutiti grigie risedimentate, di spessore da decimetro a superiore al metro. Nelle argilliti, che a luoghi, come in quest'area, sono il litotipo dominante, si possono rinvenire intercalati strati singoli o pacchi di sottili torbiditi arenaceo-pelitiche con grana da media a finissima.

Normalmente la Formazione ha perso il suo ordine stratigrafico interno infatti, quasi ovunque, le Argille a Palombini sono così intensamente deformate da assumere un aspetto stratigraficamente disordinato o caotico. La stratificazione non è quasi mai riconoscibile con sicurezza, poiché gli strati calcarei appaiono ridotti a blocchi più o meno allineati, deformati in modo fragile con forme, in sezione, da squadrate a lenticolari e con gli assi maggiori orientati parallelamente gli uni agli altri. La pelite, che nelle porzioni poco deformate è costituita da argilliti con una pronunciata fissilità parallela alla stratificazione, assume di norma una spiccata struttura scagliosa con carattere penetrativo (clivaggio scaglioso). Alla stratificazione si sostituisce così una struttura planare mesoscopica d'origine strutturale, una "stratificazione tettonica", che ha una persistenza ed una continuità di tipo cartografico. Questa stratificazione tettonica, oltre che dall'allineamento preferenziale dei boudins di litotipi competenti, è individuata anche dalla fissilità o dal clivaggio scaglioso presente nella pelite. All'interno della massa pelitica compaiono di frequente, sotto forma di inclusi, masse di rocce ofiolitiche, di dimensioni estremamente variabili, costituite prevalentemente da serpentiniti e basalti a luoghi pillows lavas, ma soprattutto breccie poligeniche esclusivamente formate da clasti ofiolitici, o con clasti di rocce sedimentarie (diaspri, calcari tipo Calcari a Calpionella, ecc..). L'età delle Argille a Palombini è ancora mal definita per la scarsità di microfaune e di nanofossili: ben documentata è la presenza del Cretaceo inferiore ed incerta quella del Cenomaniano. La formazione rappresenta un deposito di piana sottomarina sottoalimentata situata sotto il livello di compensazione dei carbonati (APA₂).

Gli aerogeneratori **CMG05** e **CMG06** e l'**Area della Sottostazione Elettrica SSE** ricadono su terreni costituiti da depositi di versante, limi e argille con pietrisco talora pedogenizzati, terreni caotici eterogenei costituiti da una matrice argillosa di colore grigio plumbea associata a livelli calcarei, il tutto deriva dall'alterazione del substrato delle argille varicolori.

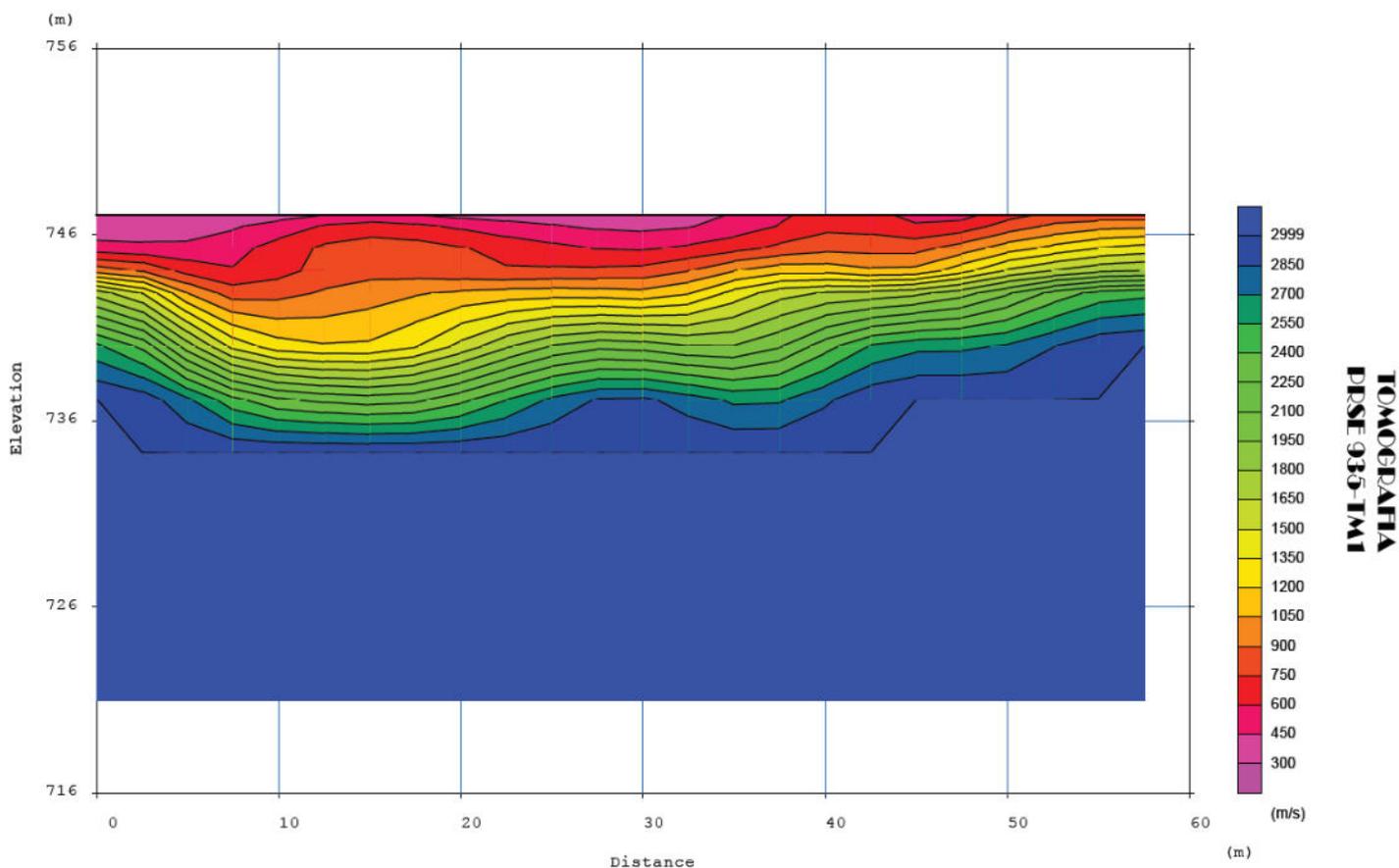
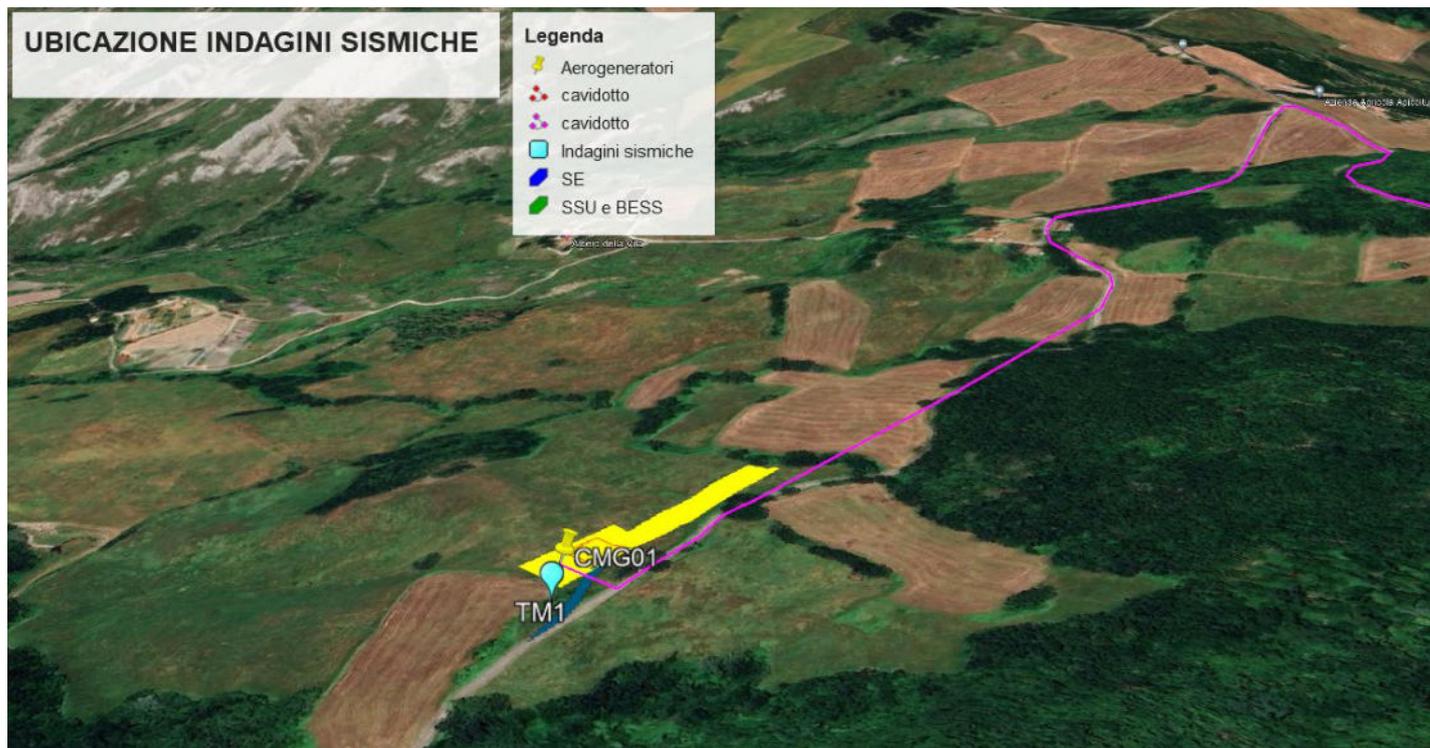
6. TOMOGRAFIE SISMICHE

Per la **modellazione geologica-geotecnica del substrato fondazionale** degli aerogeneratori, si è tenuto conto delle tomografie sismiche e Masw eseguite nell'area del Parco Eolico e anche di tutti i lavori e indagini eseguiti in terreni simili.

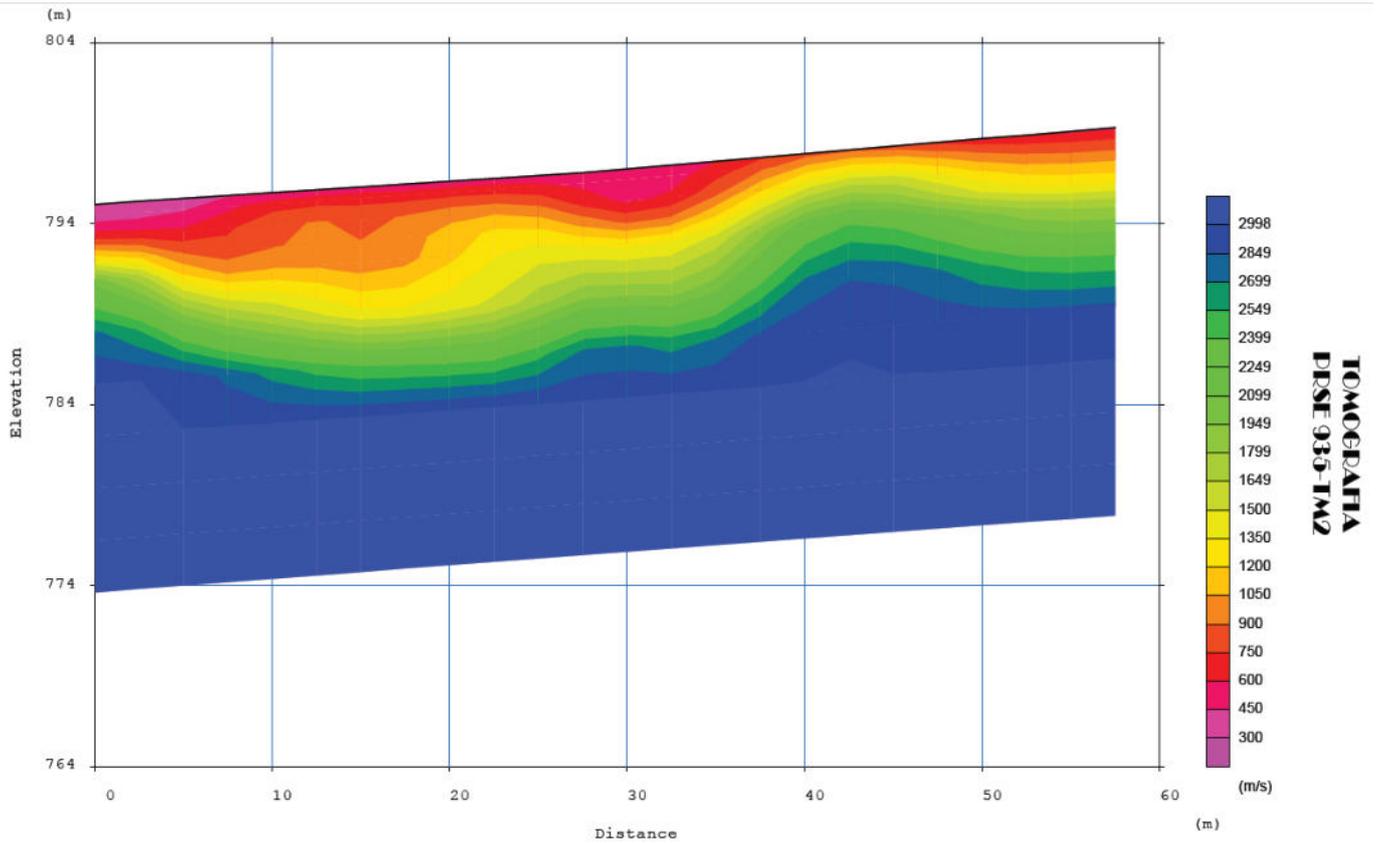
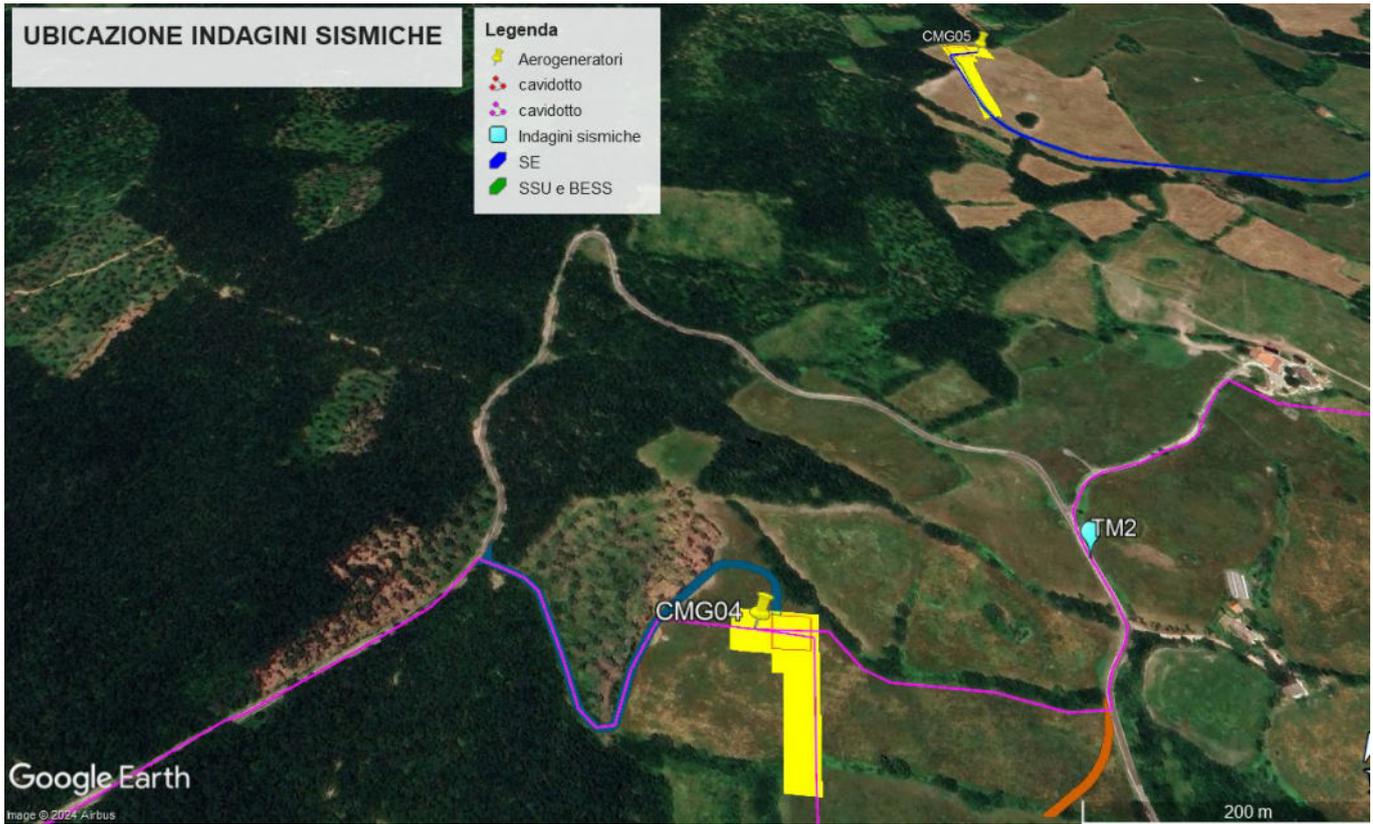


Ubicazione indagini sismiche Area Aerogeneratori e Area Sottostazione Elettrica

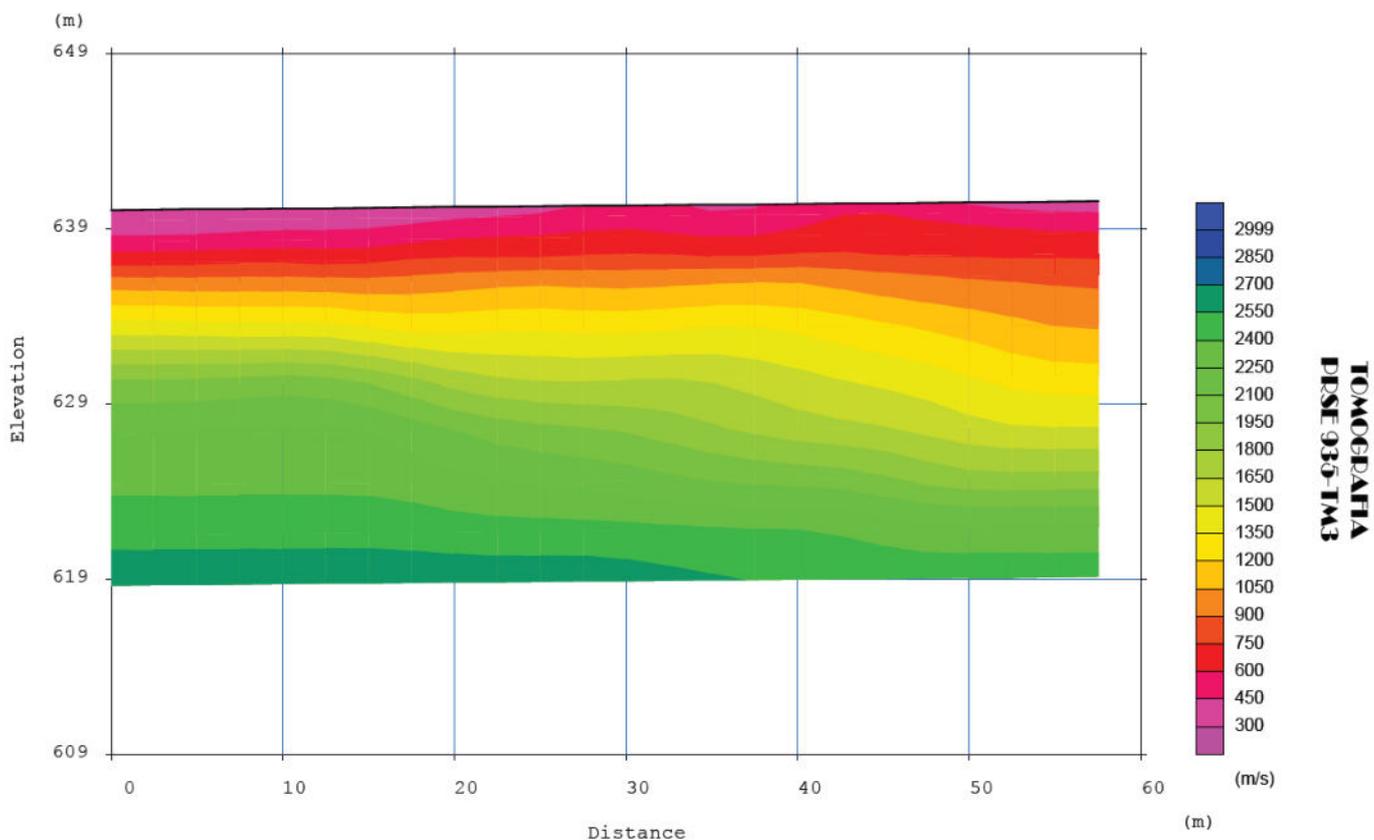
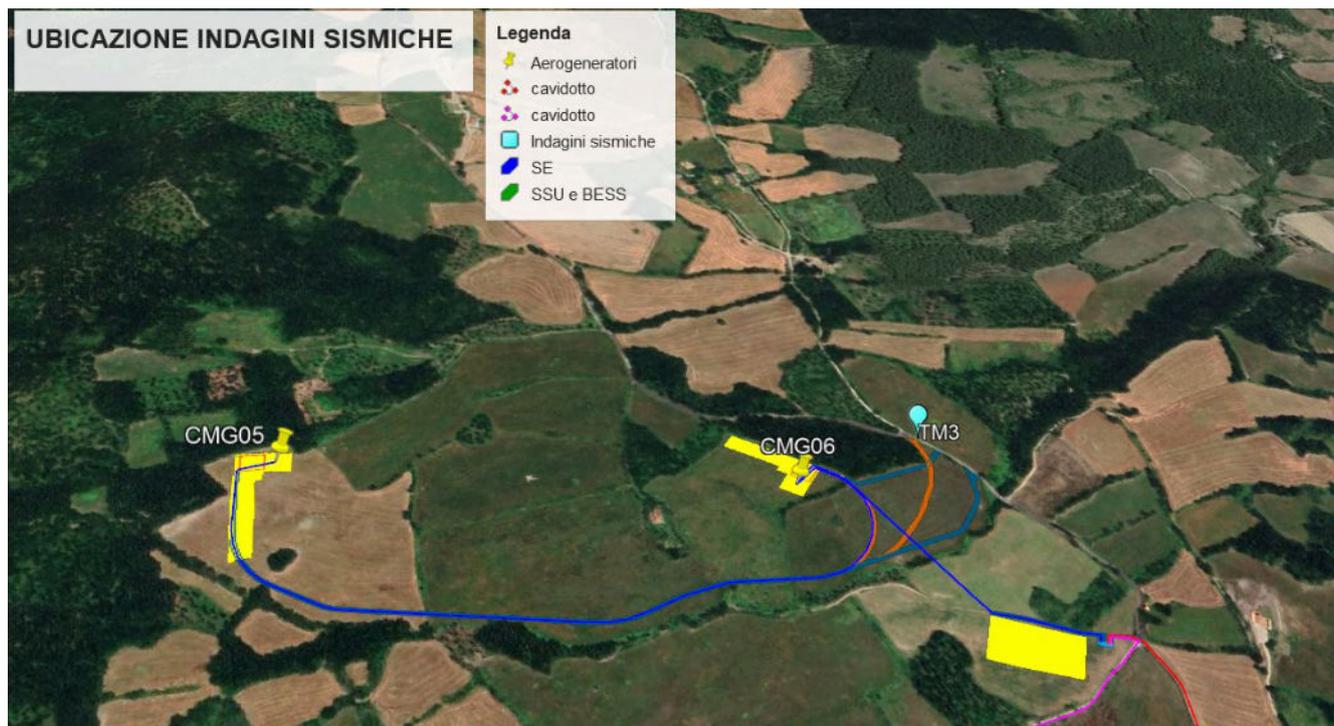
TOMOGRAFIA N. TM1



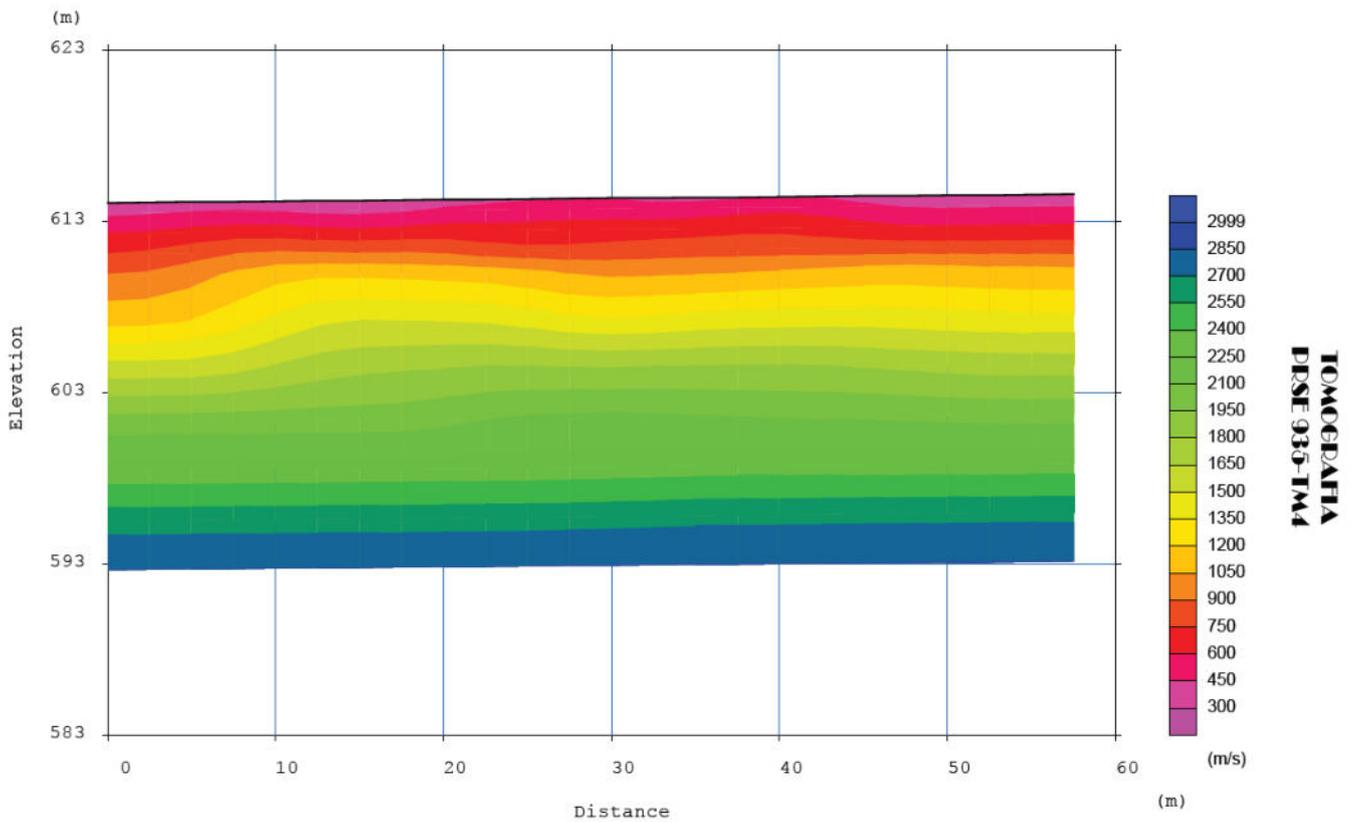
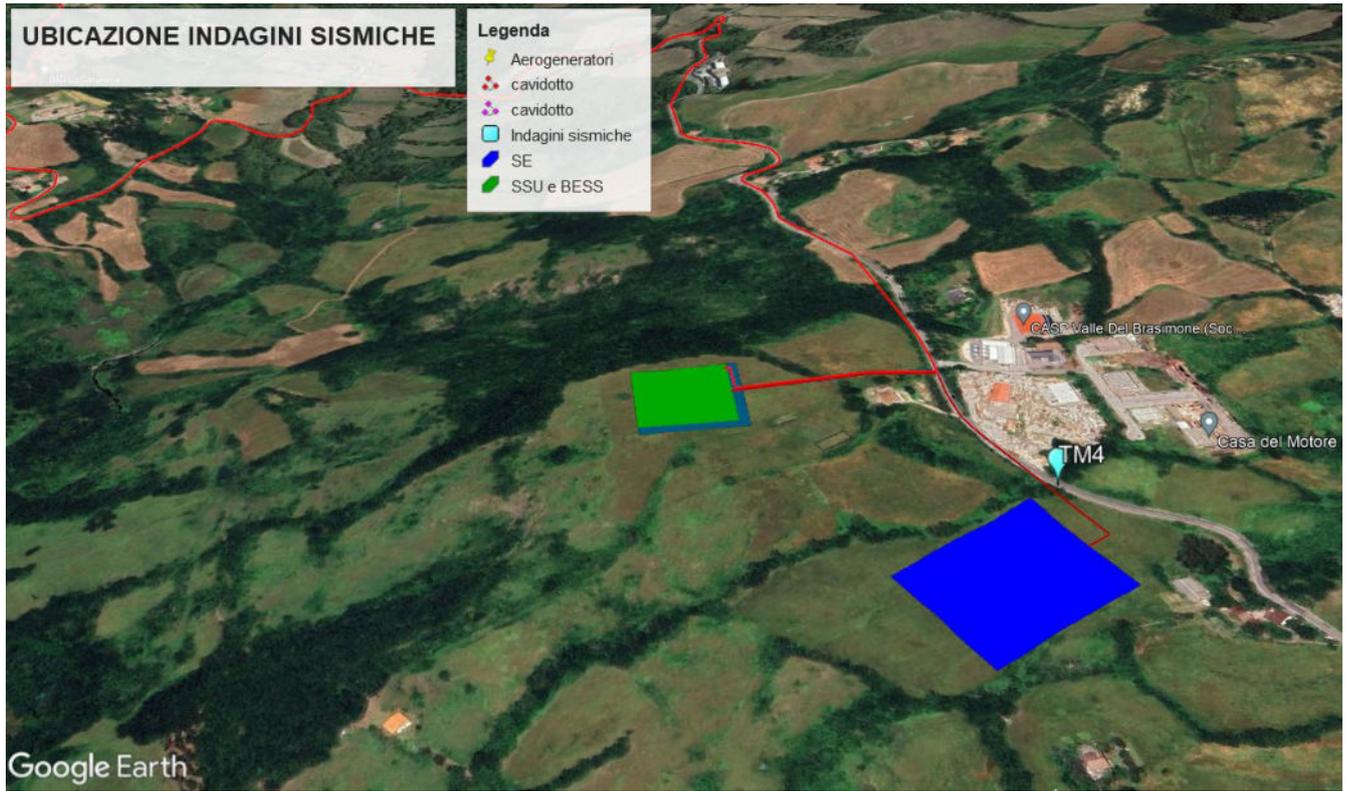
TOMOGRAFIA N. TM2



TOMOGRAFIA N. TM3



TOMOGRAFIA N. TM4



7.CARATTERI SISMICI DEL TERRITORIO

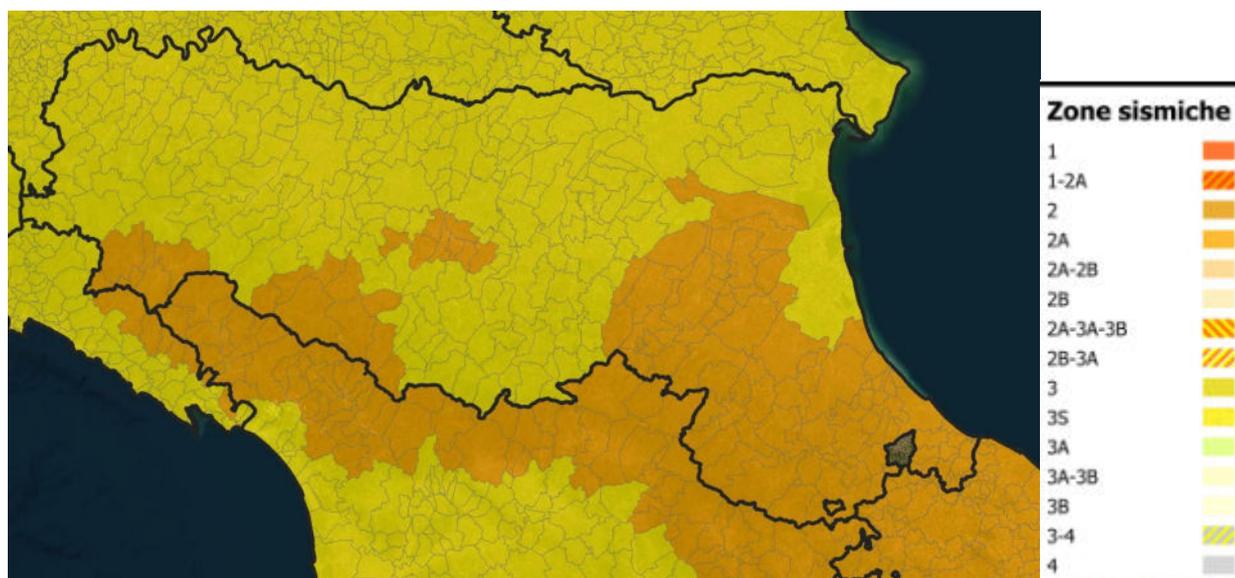


Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile

Ufficio II - Attività Tecnico Scientifiche per la previsione e la prevenzione dei Rischi - Servizio Rischio Sismico

Classificazione sismica al 31 marzo 2023

Recepimento da parte delle Regioni e delle Province autonome dell'OPCM 20 marzo 2003, n. 3274 e dell'OPCM 28 aprile 2006, n. 3519
Atti di recepimento al 31 dicembre 2022: Abruzzo DGR n. 438/05 - Basilicata DCR n.731/03 - Calabria DGR n.47/04 - Campania DGR n. 5447/02 - Emilia Romagna DGR n. 146/23 - Friuli Venezia Giulia DGR n. 845/10 - Lazio DGR n. 387/09 - Liguria DGR n. 216/17 - Lombardia DGR n. X/2129/14 - Marche DGR n. 1142/22 - Molise DGR n. 194/06 - Piemonte DGR n. 17-8404/19 - Puglia DGR n. 153/04 - Sardegna DGR n. 15/31/04 - Sicilia DGR n. 81/22 - Toscana DGR n. 421/14 - Trentino Alto Adige-Bolzano DGP n. 4017/06 - Trentino Alto Adige-Trento DGP n. 2919/12 s049/20 - Umbria DGR n. 1111/12 - Veneto DGR n. 244/21 - Valle d'Aosta DGR n. 1603/13



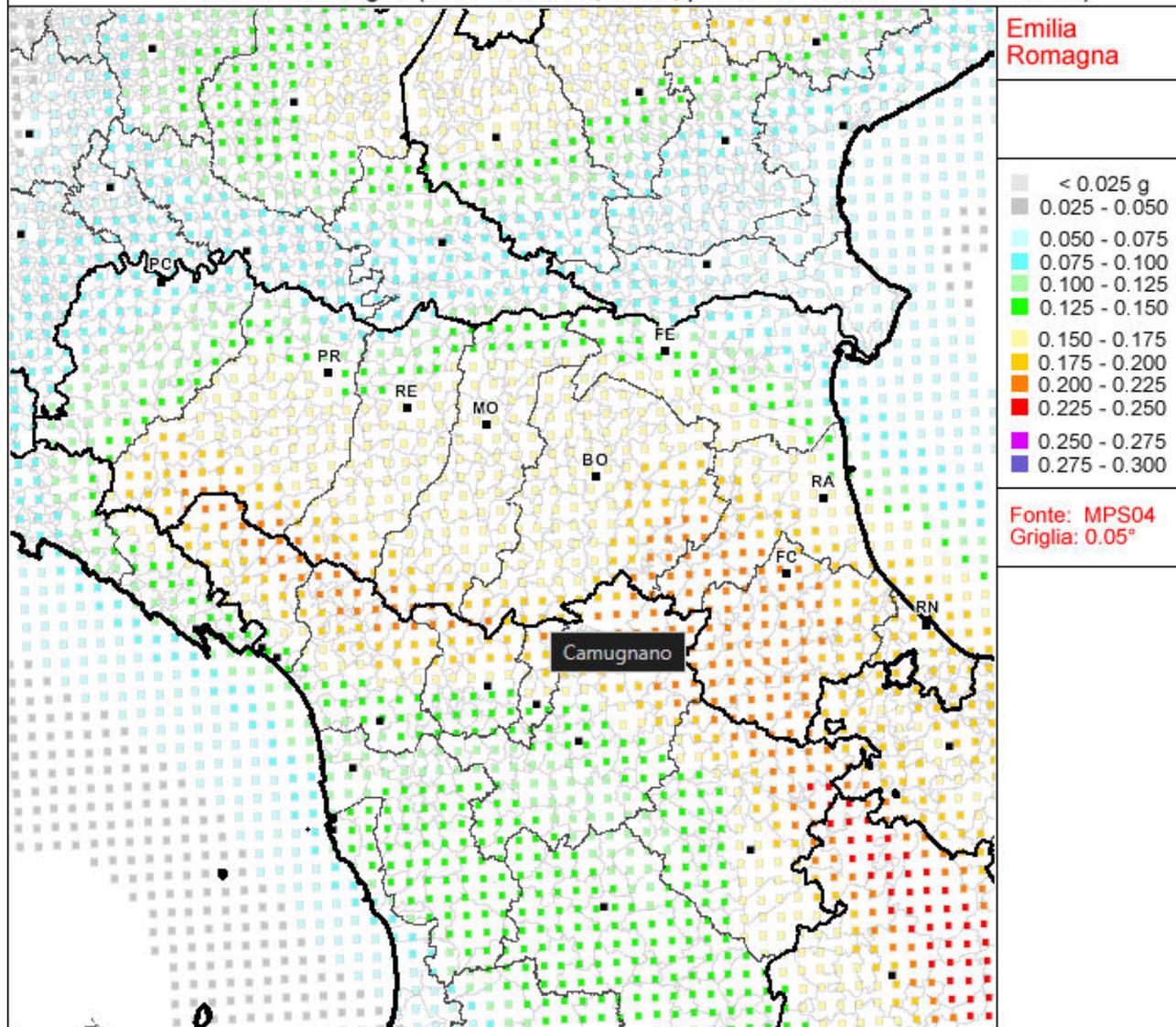
Classificazione sismica



ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

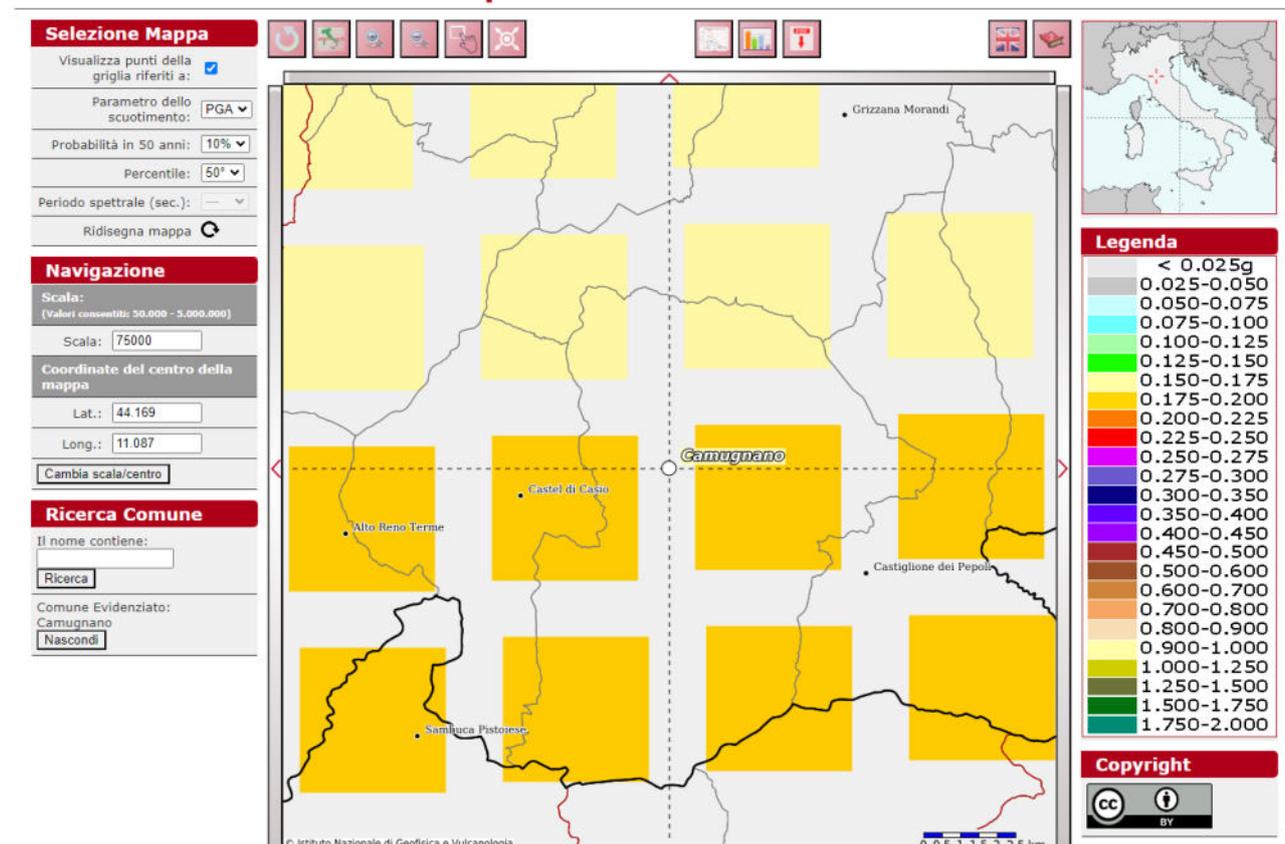
Valori di pericolosità sismica del territorio nazionale

(riferimento: Ordinanza PCM del 28 aprile 2006 n.3519, All.1b)
espressi in termini di accelerazione massima del suolo
con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni
riferita a suoli rigidi ($V_{s30} > 800$ m/s; cat.A, punto 3.2.1 del D.M. 14.09.2005)



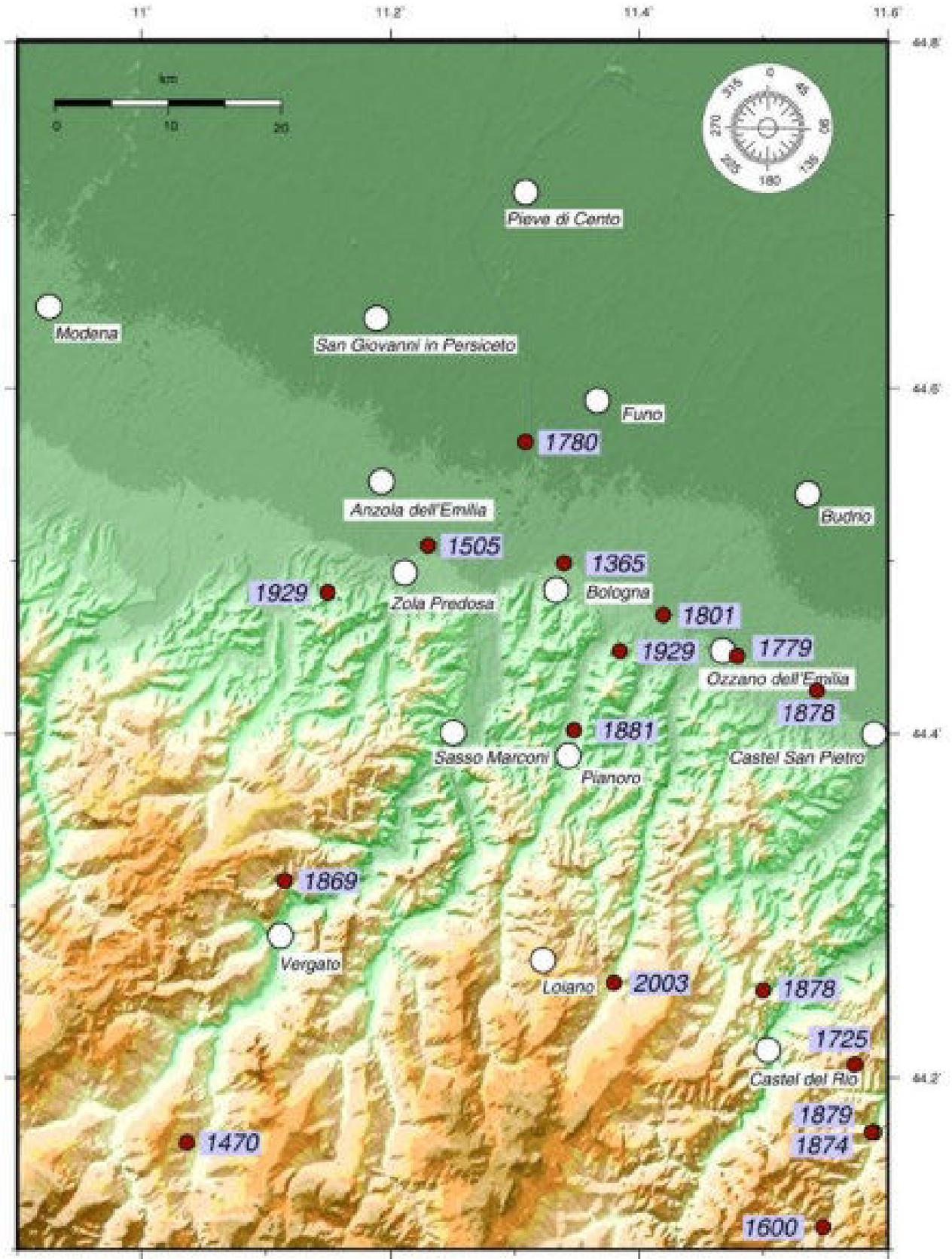
Pericolosità sismica nel territorio in esame

Modello di pericolosità sismica MPS04-S1



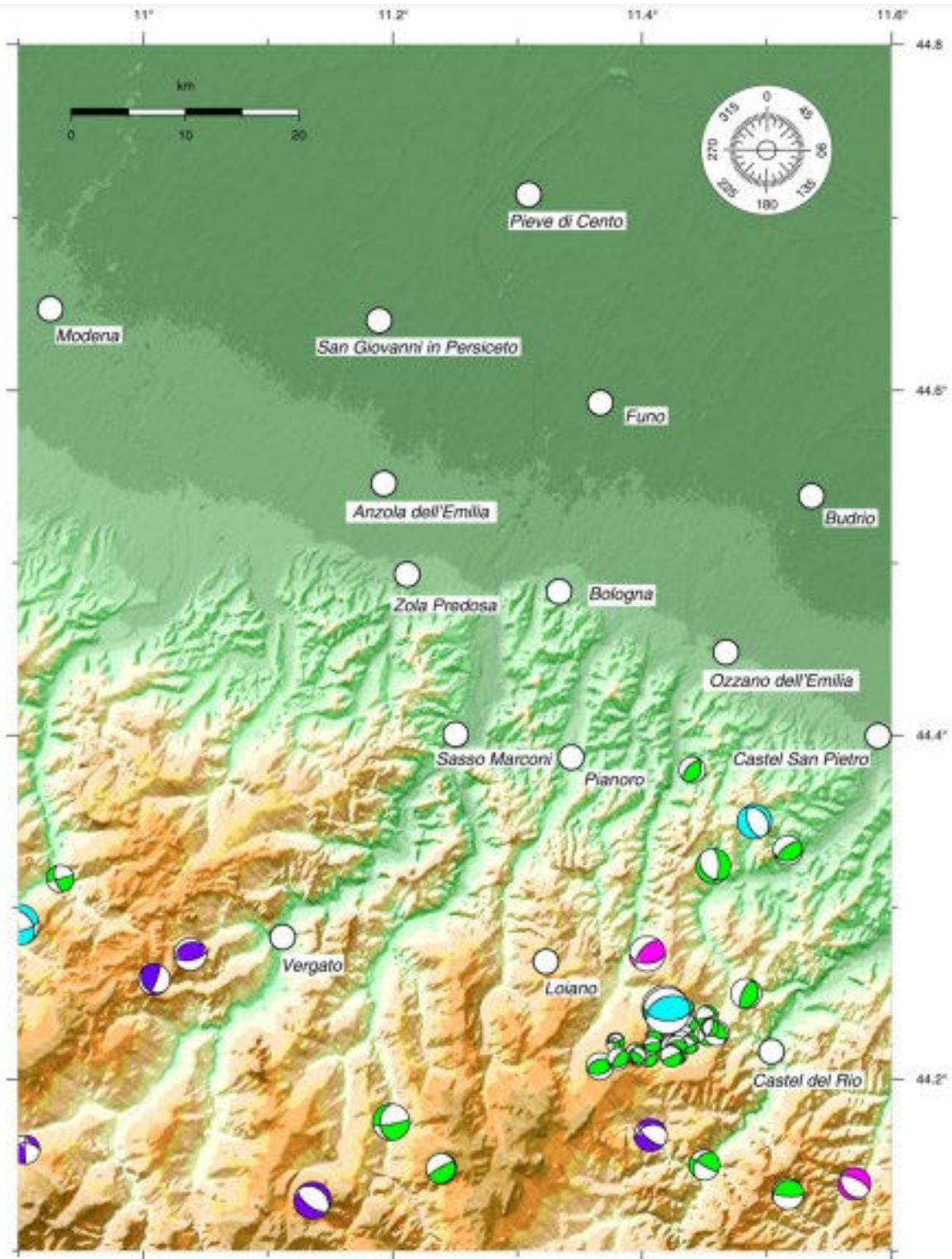
Dettaglio di pericolosità sismica nel territorio in esame

I territori comunali di Camugnano (BO) e Castiglione dei Pepoli (BO) ricadono in un distretto geografico mediamente sismico.



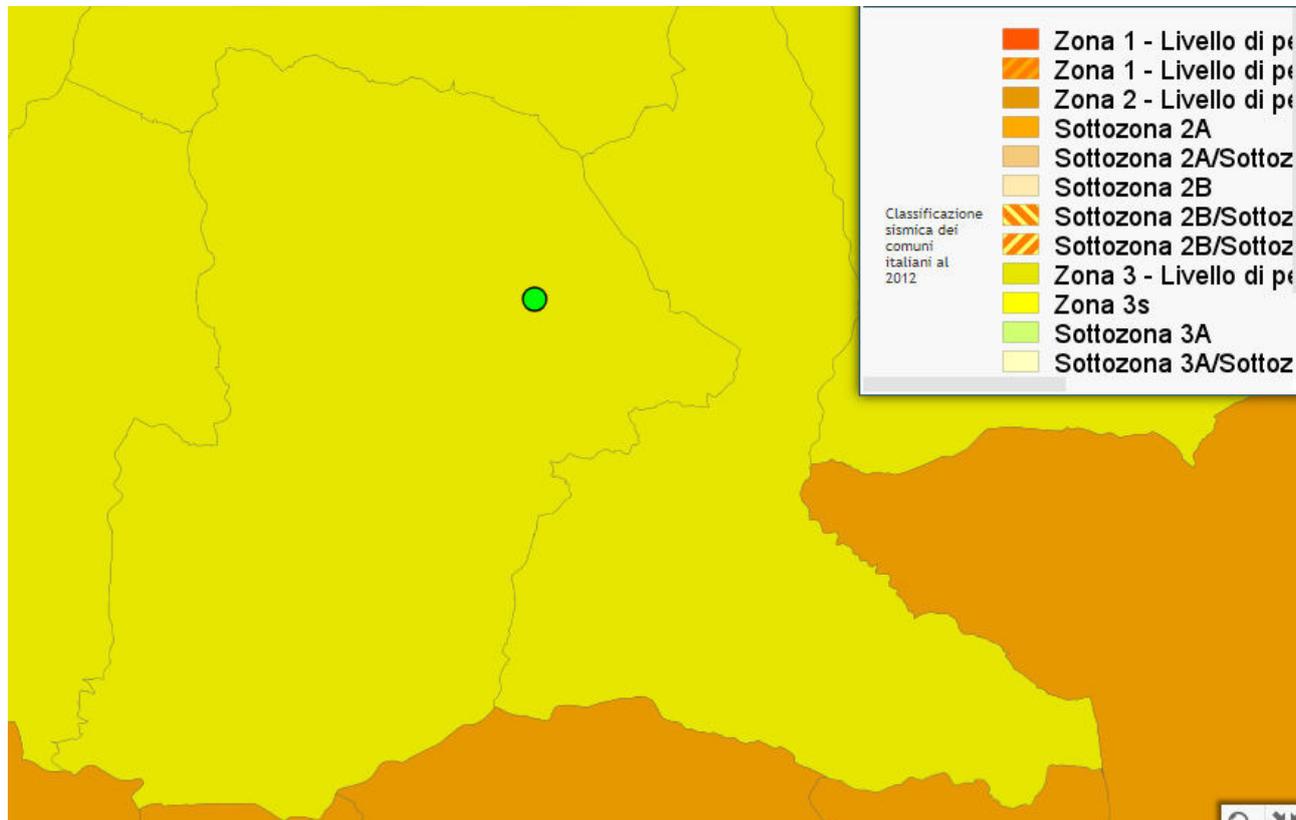
Mapa con le posizioni epicentrali dei principali terremoti del Bolognese con $M > 5$

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA
 MEDIANTE LO SFRUTTAMENTO DEL VENTO NEL TERRITORIO COMUNALE DI
 CAMUGNANO (BO) LOC. TRASSERRA
 POTENZA NOMINALE 27,0 MW

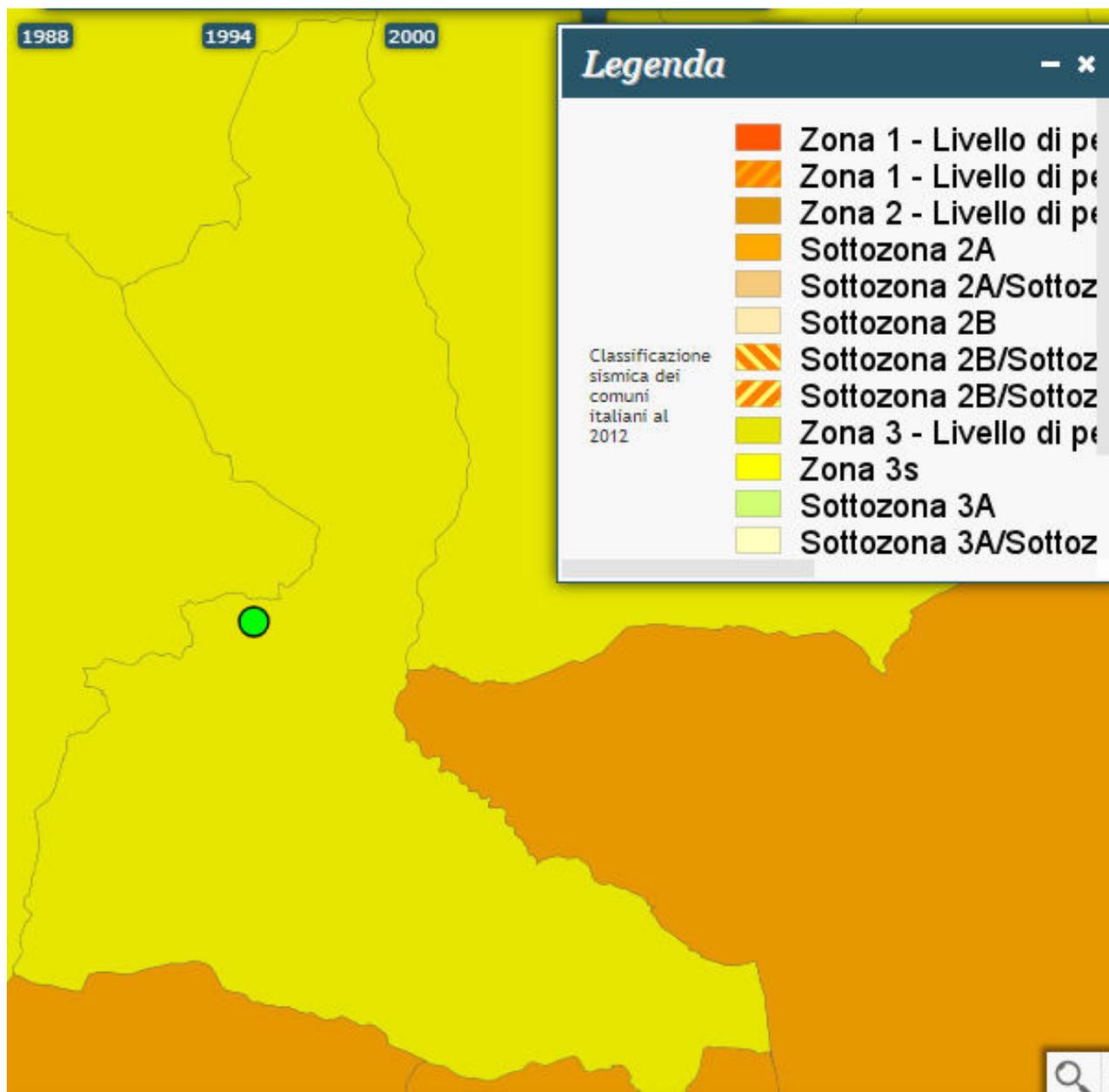


7.1. CLASSIFICAZIONE SISMICA

Si illustra di seguito la Classificazione sismica dei Comuni di Camugnano (BO) Castiglione dei Pepoli (BO), secondo l'O.P.C.M 3274 del 20.03-2003 Gazzetta Ufficiale n. 105 dell'8 maggio 2003, aggiornata con la Deliberazione della Giunta Regionale n. 1435 del 21 luglio 2003



Classificazione sismica area Aerogeneratori sta nel comune di Camugnano (BO)



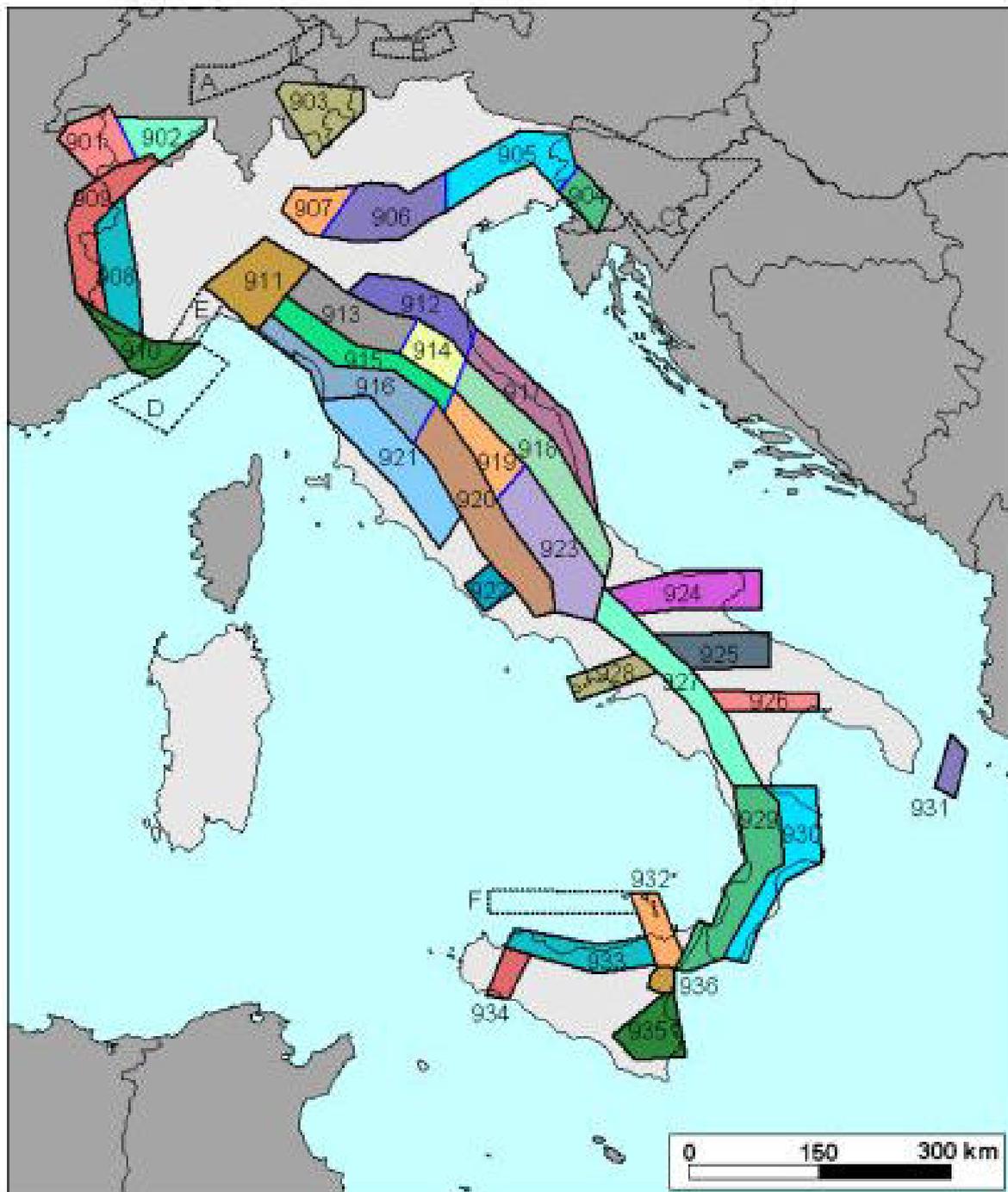
Classificazione sismica Area Sottostazione Elettrica sita nel comune di Castiglione dei Pepoli (BO)

	Classificazione 2003	PGA (g)
Comune di Camugnano (BO)	Zona 3	0.05 g < PGA < 0.15 g
Comune di Castiglione dei Pepoli (BO)	Zona 3	0.05 g < PGA < 0.15 g

7.2. ZONIZZAZIONE SISMOGENETICA

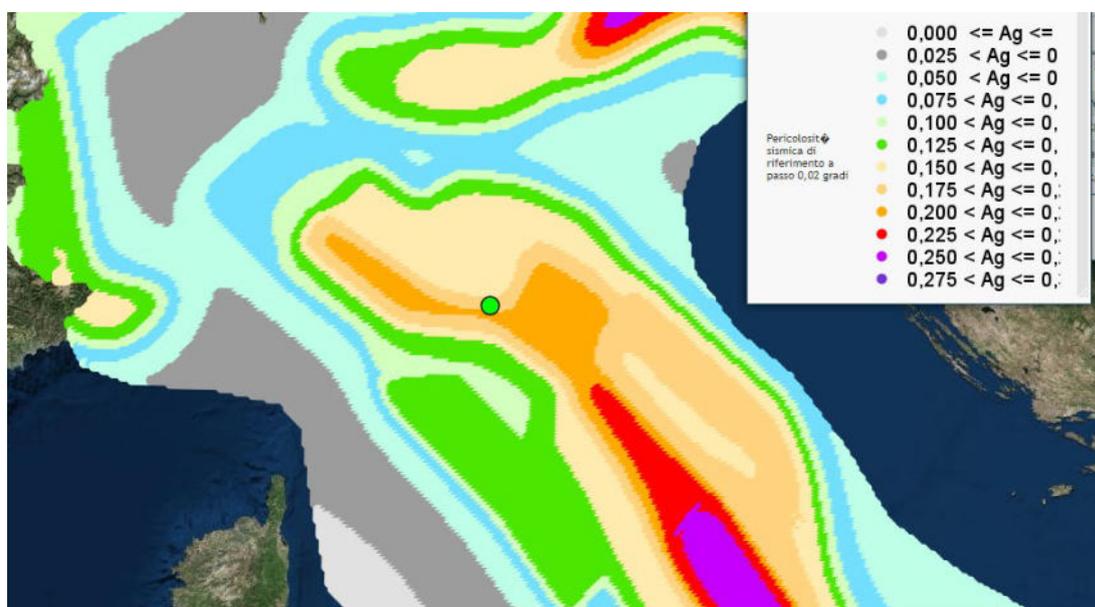
Negli ultimi anni e fino al 2002, il punto di riferimento per la valutazione della pericolosità sismica nell'area italiana è stata la zonazione sismogenetica ZS4 (Scandone et alii 1996).

Gli sviluppi più recenti in materia di sismogenesi (Galadini et alii 2000, DISS Catalogo sorgenti sismogenetiche Valensise e Pantosti 2001) hanno però evidenziato alcune incoerenze con il catalogo CTPI. Per tale motivo, al fine di ottenere un modello più coerente con i nuovi dati e con il quadro sismotettonico oggi disponibile, è stata sviluppata una nuova zonazione denominata ZS9.



Zonizzazione sismogenetica dell'Italia

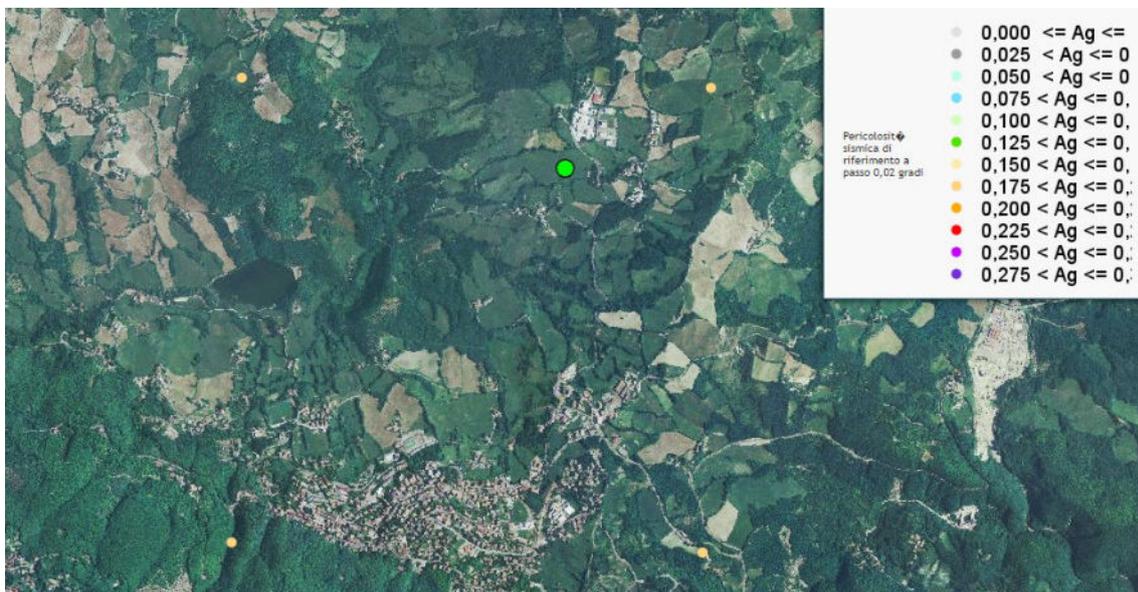
La ZS9 propone la suddivisione del territorio nazionale in fasce che presentano al loro interno requisiti di omogeneità in relazione alle caratteristiche geo-strutturali, cinematiche e sismiche. Una base essenziale per la zonazione del territorio è rappresentata dal modello sismotettonico dell'area italiana, e contributi rilevanti per la definizione delle singole zone sono forniti dai cataloghi sismici disponibili. In particolare ZS9 è costruita facendo riferimento al modello sismotettonico di *Meletti et al. (2000)*, rivisto ed integrato negli anni successivi alla sua formulazione. Inoltre, la ZS9 è definita sulla scorta delle informazioni disponibili dai cataloghi CPTI2 (catalogo parametrico dei terremoti italiani) e DISS (database delle sorgenti sismogenetiche). La ZS9 non introduce drastici elementi di novità rispetto alle precedenti zonazioni, in modo particolare rispetto a ZS4 che rappresenta una sorta di caposaldo nell'evoluzione del processo di zonazione. L'elemento di novità è rappresentato dall'impiego di un catalogo sismico più aggiornato (CPTI2) e dall'introduzione delle conoscenze più recenti sulla geometria delle sorgenti sismogenetiche (database DISS). Negli ultimi anni, infatti, la quantità di informazioni sulla sismogenesi del territorio italiano (sia per quanto riguarda gli aspetti geometrici delle sorgenti che, per quanto attiene al loro comportamento atteso) è notevolmente aumentata rispetto a quella disponibile nel periodo in cui i ricercatori procedevano alla realizzazione di ZS4. Tali conoscenze rappresentano uno degli elementi chiave per il tracciamento delle nuove zone. Un altro elemento di novità rispetto al passato è rappresentato dall'utilizzo del database delle soluzioni dei meccanismi focali dei terremoti italiani (EMMA; *Vannucci e Gasperini, 2003*). Tale database contiene meccanismi tratti da cataloghi on-line (come il catalogo CMT dell'Università di Harvard, il catalogo dell'ETH di Zurigo e il catalogo RCMT dell'INGV) o dalla letteratura cartacea pubblicata. Tra tutti i meccanismi contenuti nel database sono stati selezionati quelli che ricadono all'interno delle zone sorgente di ZS9: si tratta di 1051 records relativi a terremoti avvenuti tra il 1905 ed il 2003, con magnitudo M_w compresa tra 1.9 e 6.6. Utilizzando tutti i dati disponibili e avendo cura di scegliere il meccanismo più affidabile nel caso di soluzioni multiple per lo stesso evento.



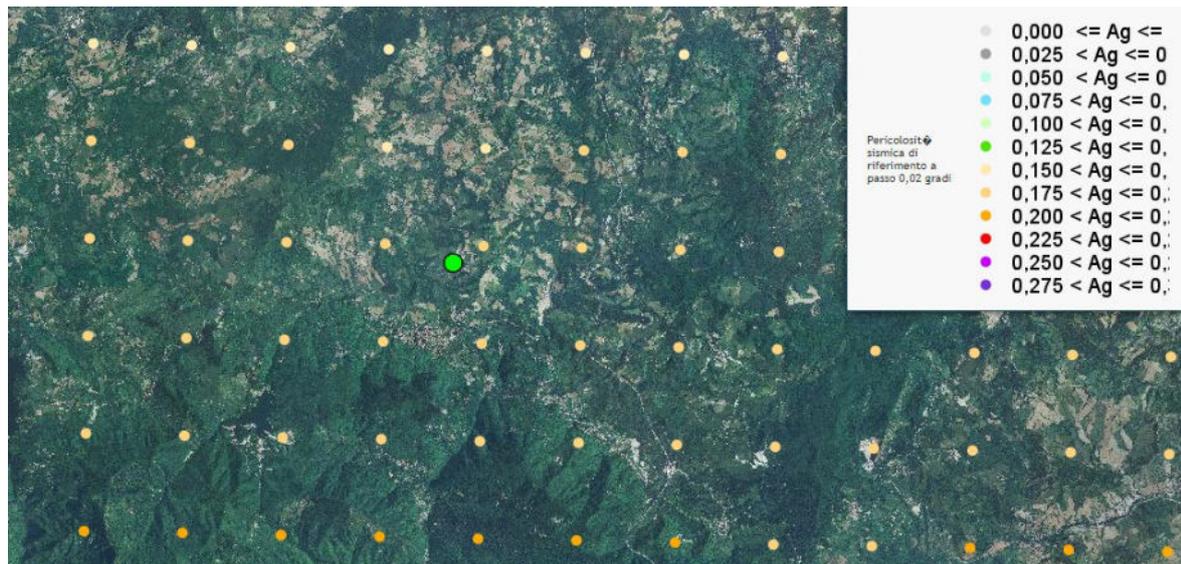
Pericolosità sismica dell'ITALIA Centrosettentrionale



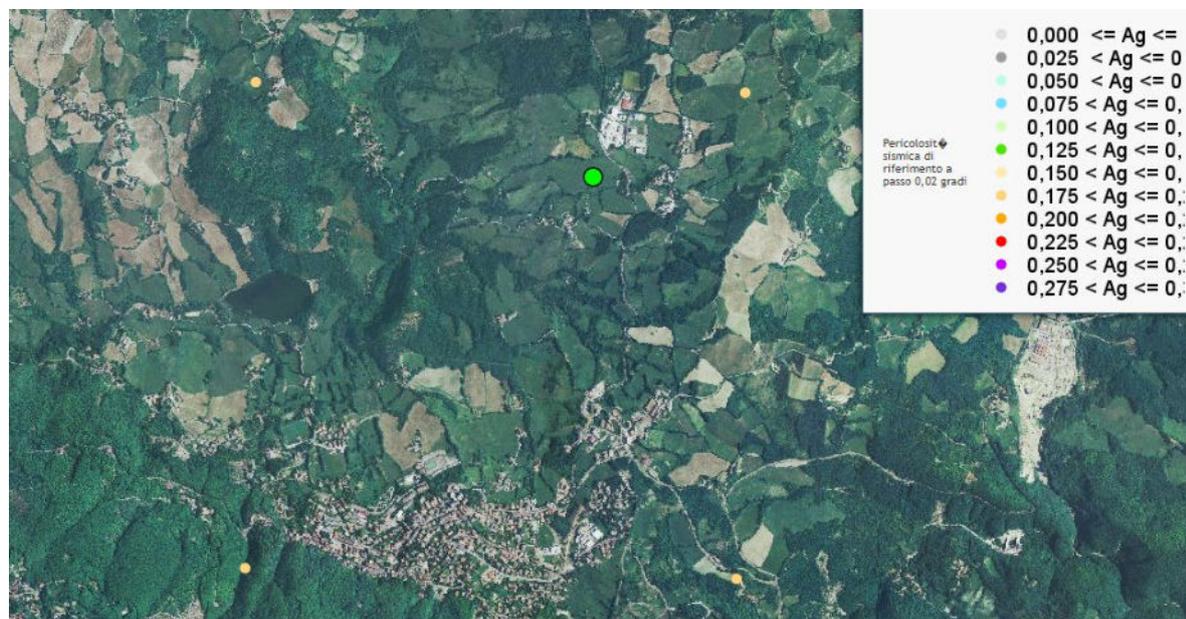
Dettaglio pericolosità sismica area Impianto



Dettaglio pericolosità sismica area Impianto



Dettaglio pericolosità sismica area Impianto



Dettaglio pericolosità sismica Area Aerogeneratori nel comune di Castiglione ed area Sottostazione nel comune di Castiglione dei Pepoli

Gli aerogeneratori CMG01 - CMG02 - CMG03 - CMG04 - CMG05 - CMG06 e l'Area della Sottostazione Elettrica ricadono in un'area avente tutti la massima accelerazione orizzontale del suolo compresa tra $0.175 < g < 0.200$

7.3. RISPOSTA SISMICA LOCALE

Allo stato delle conoscenze, la sola arma nei confronti degli eventi sismici è la prevenzione, basata sia su previsioni di tipo statistico che su studi geologici e geofisici regionali e locali

L'esperienza ci ha ampiamente dimostrato che in ogni evento sismico e nell'ambito dello stesso comune si osservano livelli di danno differenziati tra loro, anche due o tre gradi della scala MCS. Anche il sisma di

S. Giuliano di Puglia ha confermato tale dato, territori molto vicini tra loro e con strutture simili possano subire danni notevolmente diversi. È ormai chiaro che la differenza nel danno è imputabile, sia ai diversi sistemi costruttivi con cui sono realizzati i manufatti, sia alla diversa risposta sismica locale dell'immediato sottosuolo (i primi 30 metri) su cui insistono gli stessi. Il substrato geologico superficiale, infatti, può esaltare o al contrario smorzare in modo molto significativo l'intensità dei diversi moti vibranti indotti sui manufatti dalle onde sismiche generate, quasi sempre, a diversi chilometri di profondità. La risposta sismica locale del substrato geologico durante il sisma si può ormai modellare con sufficiente scientificità. Osservazioni ormai innumerevoli provano che la variabilità spaziale dei danni e degli effetti prodotti da un terremoto è sempre molto elevata, e che in molti casi una causa importante è l'esistenza di condizioni locali sfavorevoli dei siti e dei terreni che possono mettere in crisi anche strutture molto resistenti e progettate per resistere a forti terremoti. È il caso dei pendii franosi, dei depositi argillosi soffici, dei terreni liquefacibili, dove possono aversi **effetti locali** di instabilità, consistenti in veri e propri collassi e talora in movimenti di grandi masse di terreno incompatibili con la stabilità delle strutture. Alcuni scenari tipici: movimenti franosi nei pendii, scorrimenti e cedimenti differenziali in corrispondenza di contatti geologici o di faglie, scivolamenti e rotture nel terreno, fenomeni di liquefazione nei terreni granulari fini saturi, fenomeni di subsidenza in corrispondenza di cavità, ecc.

Ma vi sono anche altre condizioni, meno spettacolari e meno facilmente riconoscibili, che possono essere molto gravose per le sovrastanti strutture e infrastrutture. Sono quelle in cui, a causa di particolari **condizioni locali**, le caratteristiche vibratorie dei movimenti sismici possono subire modificazioni ed esaltazioni locali. Tali effetti vengono indicati nella terminologia sismica come **effetti di sito**; con il termine 'condizioni locali' si intende, invece, l'insieme dei fattori geomorfologici e geotecnici che interagendo con le onde sismiche possono modificare, rispetto allo scuotimento che si avrebbe sulla roccia sottostante (bedrock), le caratteristiche vibratorie del moto sismico in superficie. Tali fattori comprendono principalmente: la morfologia superficiale e sepolta, le caratteristiche stratigrafiche, le proprietà geotecniche dei terreni in campo statico e dinamico. Gli effetti di sito sono spesso all'origine di molti fenomeni di instabilità delle strutture, sia per l'esaltazione locale delle azioni sismiche trasmesse dal terreno, sia perché possono aversi anche fenomeni di 'doppia risonanza' fra modi di vibrare del terreno e della struttura.

Per quanto riguarda l'aspetto sismo-tettonico, anche se l'area non è direttamente interessata da lineamenti strutturali visibili sulla superficie del suolo, ha subito influenze distruttive durante eventi sismici passati, i cui epicentri si sono localizzati in aree limitrofe.

La differenza nel danno è imputabile, sia alla diversa risposta sismica locale dell'immediato sottosuolo (circa i primi 30 metri) su cui insistono gli stessi, sia ai diversi sistemi costruttivi con cui sono realizzati i manufatti. Il substrato geologico superficiale, infatti, può esaltare o al contrario smorzare in modo molto significativo l'intensità dei diversi moti vibranti indotti sui manufatti dalle onde sismiche generate, quasi sempre, a diversi chilometri di profondità.

La "pericolosità sismica di base" deve essere verificata in termini di valori di accelerazione orizzontale massima a_g e dei parametri che permettono di definire gli spettri di risposta nelle condizioni di sito di riferimento rigido, in corrispondenza dei punti di un reticolo (reticolo di riferimento) per diverse probabilità di superamento in diversi periodi di ritorno TR ricadenti in un intervallo di riferimento compreso almeno tra 30 e 475 anni.

Le azioni di progetto si ricavano dalle accelerazioni a_g e dalle relative forme spettrali su sito di riferimento rigido orizzontale, in funzione dei tre parametri, a_g accelerazione orizzontale massima del terreno, F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale, T_c periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale. L'azione sismica così individuata viene successivamente variata per tener conto delle modifiche prodotte dalle condizioni locali stratigrafiche e dalla morfologia della superficie. Tali modifiche caratterizzano la risposta sismica locale. Per quanto riguarda il passato è sufficiente sfogliare il "Catalogo dei terremoti italiani dal 1000 al 1980", edito nell'ambito del Progetto Finalizzato Geodinamica del Centro Nazionale per le Ricerche o il "Catalogo dei forti terremoti italiani dal 461 a.c. al 1980, edito dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia di Roma,

Elenco dei principali eventi storici e strumentali della zona Bolognese

Anno	Mese	Giorno	Ora	Min	Lat	Lon	Imax	Mw	Località
1323	2	25	19	-	44.572	11.133	5-6	4.30	Bologna
1365	7	25	18	-	44.498	11.340	7-8	5.35	Bologna
1433	5	4	8	-	44.498	11.340	7	4.72	Bologna
1470	4	11	-	-	44.162	11.037	8	5.57	APPENNINO BOLOGNESE
1505	1	3	2	-	44.508	11.231	8	5.57	Bolognese
1561	11	24	1	25	44.781	11.454	6-7	4.51	Ferrara
1586	1	12	12	-	44.583	11.000	-	4.72	SPILAMBERTO
1600	-	-	-	-	44.113	11.548	7-8	5.35	PALAZZUOLO
1666	4	14	18	58	44.641	11.113	6	4.30	Bolognese
1725	10	29	17	40	44.207	11.573	8	5.43	Appennino tosco-emiliano
1771	8	13	-	-	44.141	11.161	6	4.72	Castiglione dei Pepoli (BO)
1779	6	4	7	-	44.444	11.479	7	5.24	Bolognese
1779	8	20	10	50	44.462	11.389	5-6	4.30	Bolognese
1779	11	23	18	30	44.425	11.527	6	4.99	Bolognese
1780	2	6	4	-	44.568	11.309	6-7	5.13	Bolognese
1801	10	8	7	52	44.468	11.420	6	5.07	Bologna
1830	1	26	4	30	44.223	11.083	6-7	4.74	Appennino bolognese
1834	10	4	19	-	44.480	11.319	6	4.85	Bolognese
1850	9	18	6	20	44.572	11.133	6	4.30	Modenese
1864	3	15	-	-	44.337	11.059	6-7	4.90	ZOCCA
1869	6	25	13	58	44.314	11.116	7-8	5.42	Media valle del Reno
1874	10	7	-	-	44.168	11.589	7	5.02	IMOLESE
1878	3	12	21	36	44.424	11.543	6	5.06	Bolognese
1878	11	9	17	49	44.250	11.500	-	5.14	CASTEL DEL RIO
1879	4	27	4	6	44.168	11.587	7-8	5.05	Valle del Senio
1881	1	24	16	14	44.401	11.348	7	5.16	Bolognese
1889	3	8	2	57	44.355	11.314	6	4.73	Bolognese
1892	12	29	13	48	44.245	11.387	6	4.52	Appennino bolognese
1929	4	10	5	43	44.447	11.385	7	5.03	Bolognese
1929	4	20	1	9	44.481	11.150	7-8	5.34	Bolognese
1931	6	10	17	1	44.541	11.021	4	4.42	Modenese
1934	9	18	9	37	44.495	11.012	4	4.57	VIGNOLA
1956	4	26	3	0	44.204	11.333	6	4.77	Appennino tosco-emiliano
1962	5	11	1	5	44.200	11.167	5-6	4.71	Appennino tosco-emiliano
1964	9	5	21	8	44.000	11.300	5	4.92	RONCOBILACCIO
1992	4	17	11	59	44.433	11.012	5-6	4.15	Monteveglia
2003	9	14	21	41	44.382	11.270	7	5.24	Appennino bolognese

Le principali sequenze sismiche riportate nei documenti storici giunti fino ai giorni nostri sono: quella del 1504-1505, quella del 1779-1780, le varie scosse dell'800, ed infine, la sequenza sismica del 1929. Tutte queste scosse hanno avuto una magnitudo compresa tra il 5 ed il 6, quindi sufficientemente grandi da causare paura e scompiglio nella popolazione ma comunque non così elevate da causare morti e crolli di interi edifici. Da questi dati della sismicità storica possiamo ricavare due informazioni importanti: la prima è che l'occorrenza dei terremoti è abbastanza bassa (circa un terremoto forte ogni 100 anni), la seconda è che i terremoti avvenuti hanno una magnitudo non distruttiva. Inoltre, sempre analizzando i terremoti storici, si osserva che l'epicentro è raramente localizzato a Bologna città, ma più spesso nella zona di provincia. Questa è un'informazione positiva in quanto in provincia la densità abitativa è minore ed in più il patrimonio edilizio ha un'importanza culturale e storica limitata rispetto a quella del capoluogo. Dopo questa lunga carrellata di date di terremoti, solo per citare i più nefasti, possiamo asserire con certezza che nessuna zona dell'Italia viene risparmiata. Tutto ciò al solo scopo per non dimenticare che viviamo in un territorio altamente sismico, e, dal punto di vista geologico, molto fragile.

8. COEFFICIENTE DI AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA

L'ordinanza sismica n. 3274 del 20.03.2003 ha introdotto, tra l'altro, la necessità di considerare, per le costruzioni sui pendii o in loro prossimità, un coefficiente di amplificazione topografica St .

Tale coefficiente è direttamente proporzionale alla pendenza del versante,

$St = 1$ (assenza di amplificazione) per acclività minori di 15° (pendenze inferiori al 26.8%).

$St = 1,2$ per acclività comprese tra 15° e 30° (pendenze superiori al 26.8% ed inferiori al 57%)

$St = 1,4$ per acclività maggiori di 30° .

8.1. CATEGORIE TOPOGRAFICHE

Sono state contraddistinte quattro categorie Topografiche così come segue:

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i \geq 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

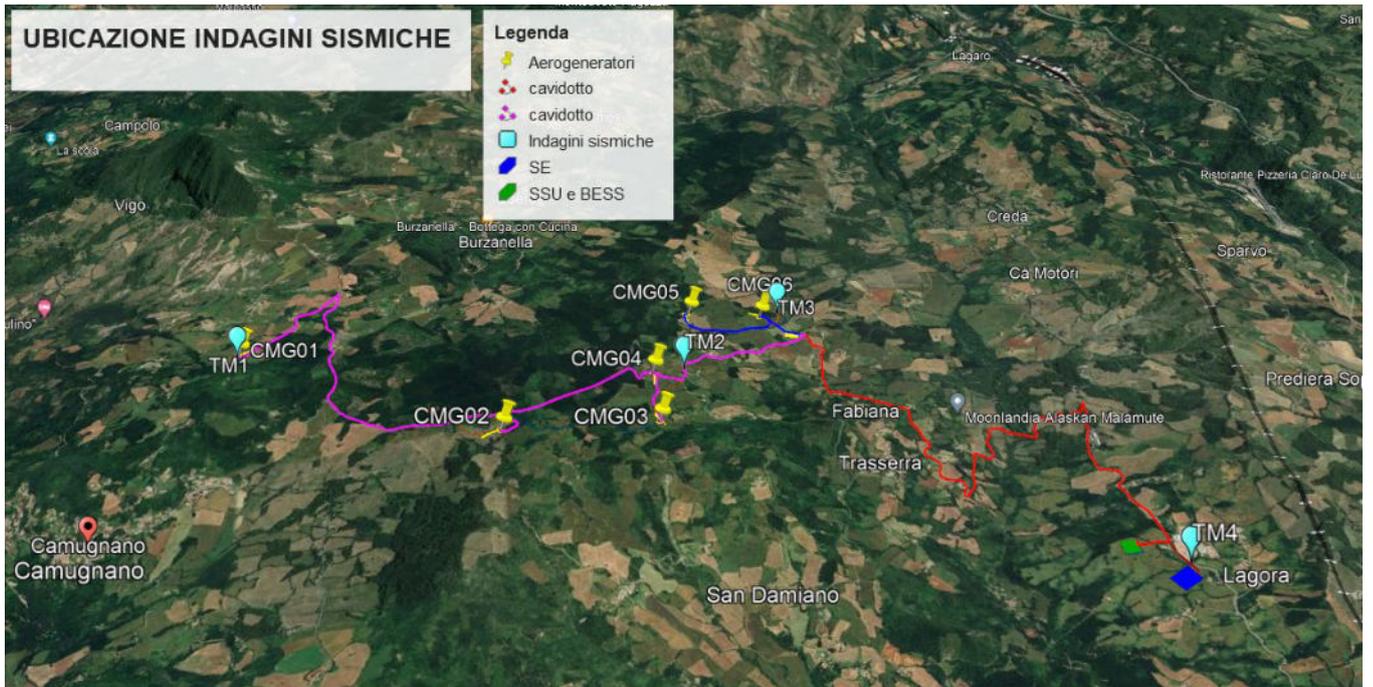
Nel nostro caso specifico, essendo l'acclività $< 15^\circ$, il coefficiente di amplificazione sismica topografica St risulta pari a 1.0 e categoria topografica T1 per tutti e 14 Aerogeneratori e la Sottostazione di Trasformazione Elettrica (SSE)

8.2. CATEGORIA DI SUOLO DI FONDAZIONE

CATEGORIA	DESCRIZIONE
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi con $Vs_{30} > 800$ m/s
B	Ghiaie e sabbie molto addensate o argille molto consistenti con $360 < Vs_{30} < 800$ m/s
C	Ghiaie e sabbie mediamente addensate o argille mediamente consistenti con $180 < Vs_{30} < 360$ m/s
D	Terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fina scarsamente consistenti con $Vs_{30} < 180$ m/s
E	Terreni con sottosuoli di tipo C o D per spessori non superiori a 20 metri, posti su substrato con $Vs > 800$ m/s
S1	Terreni caratterizzati da valori di $Vs_{30} < 100$ m/s.
S2	Terreni suscettibili di liquefazione o di argille sensitive

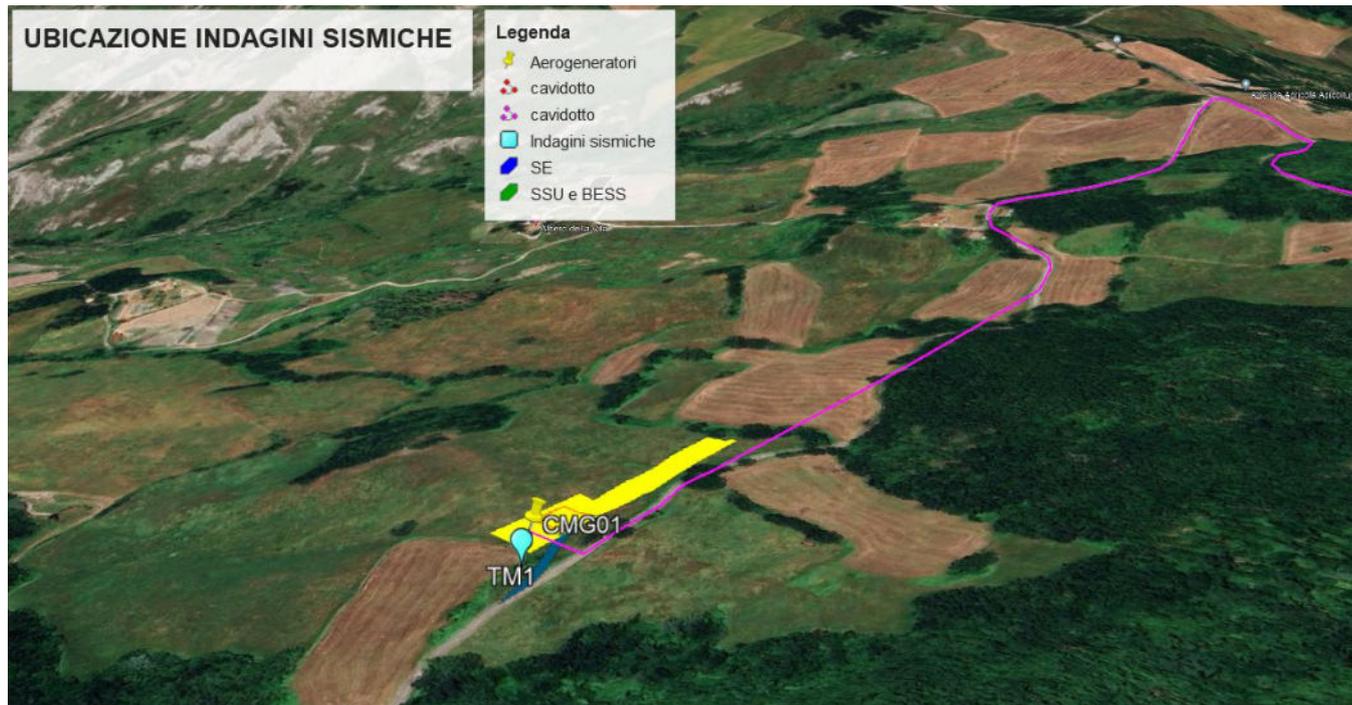
Per caratterizzare la **Categoria dei suoli di Fondazione** sono state eseguite N. 4 MASW.

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA
MEDIANTE LO SFRUTTAMENTO DEL VENTO NEL TERRITORIO COMUNALE DI
CAMUGNANO (BO) LOC. TRASSERRA
POTENZA NOMINALE 27,0 MW



Ubicazione indagini sismiche Area Aerogeneratori e Area Sottostazione Elettrica

MASW TM1



Ubicazione indagine sismica **TM1**

PRSE 935-TM1

Depth [m]	Spessore [m]	S-velocity [m/s]	P-velocity (m/s)	Density [KN/m ³]	ν (-)	Vp/Vs (-)	G [Mpa]	Edin [Mpa]	
1	0.0	5.0	229.49	1544.73	18.02	0.49	6.73	97	288
2	5.0	10.0	381.43	1713.39	18.55	0.47	4.49	275	811
3	15.0	15.0	748.43	2120.75	19.77	0.43	2.83	1129	3228
4	30.0 -		748.43	2120.75	19.77	0.43	2.83	1129	3228
5									

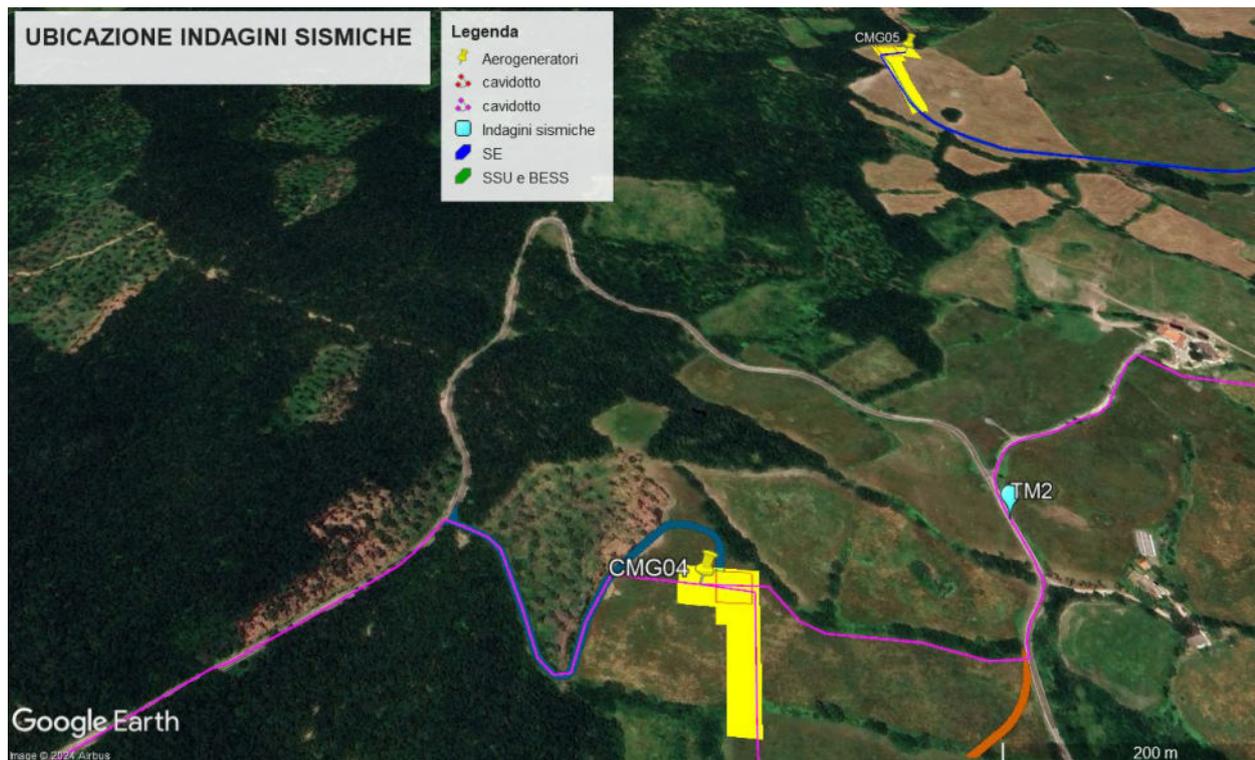
H = 30 m

Vs,eq : 440.9 (m/s)

Categoria suolo : B

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 e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

MASW TM2



Ubicazione indagine sismica **TM2**

PRSE 935-TM2

Depth [m]	Spessore [m]	S-velocity [m/s]	P-velocity (m/s)	Density [KN/m ³]	ν (-)	Vp/Vs (-)	G [Mpa]	Edin [Mpa]	
1	0.0	5.0	191.60	1502.68	17.89	0.49	7.84	67	200
2	5.0	10.0	445.77	1784.80	18.77	0.47	4.00	380	1116
3	15.0	15.0	724.17	2093.83	19.69	0.43	2.89	1053	3017
4	30.0 -		724.17	2093.83	19.69	0.43	2.89	1053	3017
5									

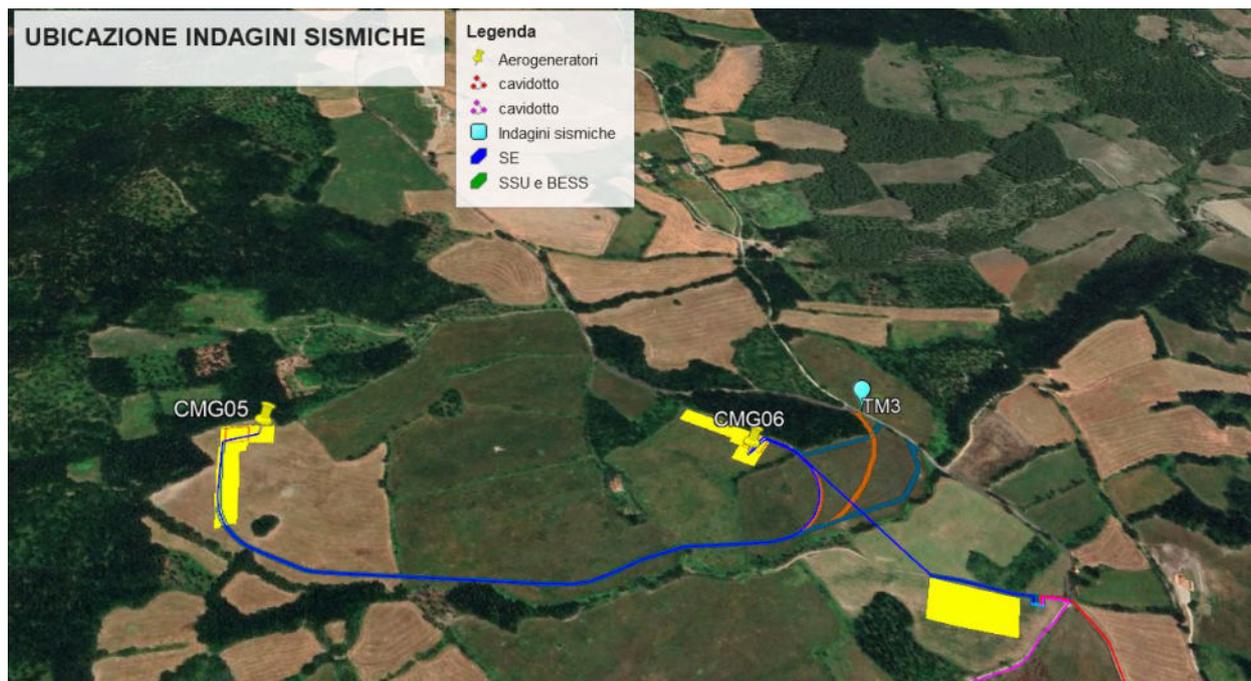
H = 30 m

Vs,eq : 433.3 (m/s)

Categoria suolo : **B**

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 e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

MASW TM3



Ubicazione indagine sismica **TM3**

PRSE 935-TM3

Depth [m]	Spessore [m]	S-velocity [m/s]	P-velocity (m/s)	Density [KN/m ³]	ν (-)	Vp/Vs (-)	G [Mpa]	Edin [Mpa]	
1	0.0	5.0	291.82	1613.92	18.24	0.48	5.53	158	470
2	5.0	10.0	313.52	1638.01	18.32	0.48	5.22	184	544
3	15.0	15.0	446.22	1785.30	18.77	0.47	4.00	381	1118
4	30.0 -		583.35	1937.52	19.23	0.45	3.32	667	1936
5									

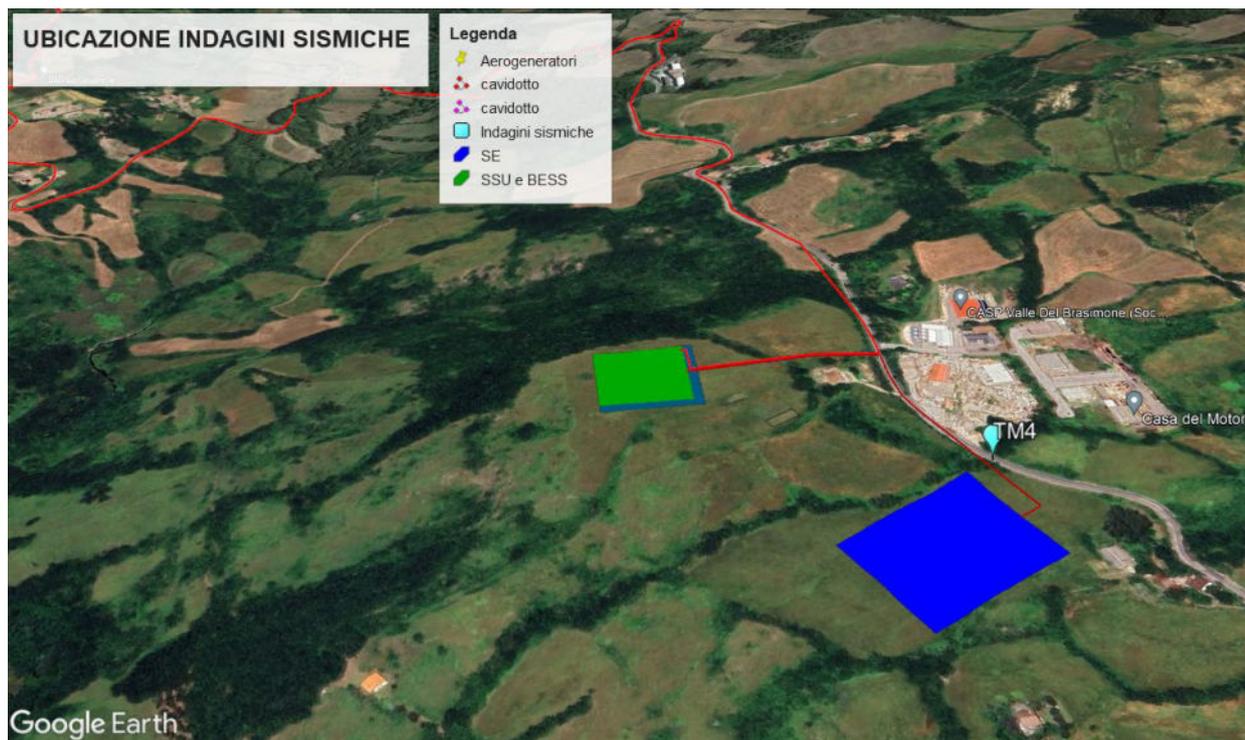
H = 30 m

V_{s,eq} : 363.0 (m/s)

Categoria suolo : B

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 e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

MASW TM4



Ubicazione indagine sismica **TM4**

PRSE 935-TM4

Depth [m]	Spessore [m]	S-velocity [m/s]	P-velocity (m/s)	Density [KN/m ³]	ν (-)	Vp/Vs (-)	G [Mpa]	Edin [Mpa]	
1	0.0	5.0	263.54	1582.53	18.14	0.49	6.00	128	382
2	5.0	10.0	308.70	1632.65	18.30	0.48	5.29	178	527
3	15.0	15.0	506.51	1852.22	18.98	0.46	3.66	496	1449
4	30.0 -		506.64	1852.37	18.98	0.46	3.66	497	1450
5									

H = 30 m

Vs,eq : 370.5 (m/s)

Categoria suolo : **B**

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 e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

Per l'**Aerogeneratore CMG01**, l'area è classificata come **Categoria "B"** Depositi di ghiaia e sabbia addensate o di argille molto consistenti con **Vs30** pari a **440.9 m/s**

Per **gli Aerogeneratore CMG02-CMG03 e CMG04**, l'area è classificata come **Categoria "B"** Depositi di ghiaia e sabbia addensata o di argille molto consistenti con **Vs30** pari a **433.3 m/s**

Per gli **Aerogeneratori CMG05 e CMG06**, le aree **sono** classificate come **Categoria "B"** Depositi di ghiaia e sabbia addensate o di argille consistenti con **Vs30 pari a 363.0**

Per la **Sottostazione Elettrica**, le aree **sono** classificate come **Categoria "B"** Depositi di ghiaia e sabbia addensate o di argille consistenti con **Vs30** pari 370.5 m/s

9. AMBIENTE IDRICO SUPERFICIALE E PROFONDO

Nella presente relazione vengono analizzate le componenti fisiche del territorio che saranno interessate dalle opere in progetto sotto il punto di vista degli aspetti geologici, geomorfologici, idrografici ed idrogeologici.

Il comune di Camugnano è posto sull'Appennino bolognese, nella valle del torrente Limentra di Treppio, nel tratto compreso tra il Lago di Suviana e la sua confluenza col Fiume Reno; il suo territorio comprende anche il grande invaso artificiale del Brasimone, mentre il comune di Castiglione dei Pepoli è attraversato dal torrente Setta.

L'area oggetto di studio è ubicata all'interno del bacino idrografico del Fiume Reno. L'unità idrogeologica del torrente Limentra del torrente Setta nel settore di nostro interesse, in sponda destra e sinistra sono costituite da terreni in prevalenza argilliti e argille limose, di conseguenza scarsamente permeabili.

Nell'ambito del bacino idrografico, che si estende su di una superficie di circa 4.628 km² è in gran parte alimentato dagli affluenti di destra a causa del vicino Panaro a ovest, la morfologia risulta sufficientemente tormentata nelle zone ubicate alle quote Via via che si scende verso la costa il paesaggio diviene più dolce e ondulato, tipico dei terreni a matrice prevalentemente argillosa.

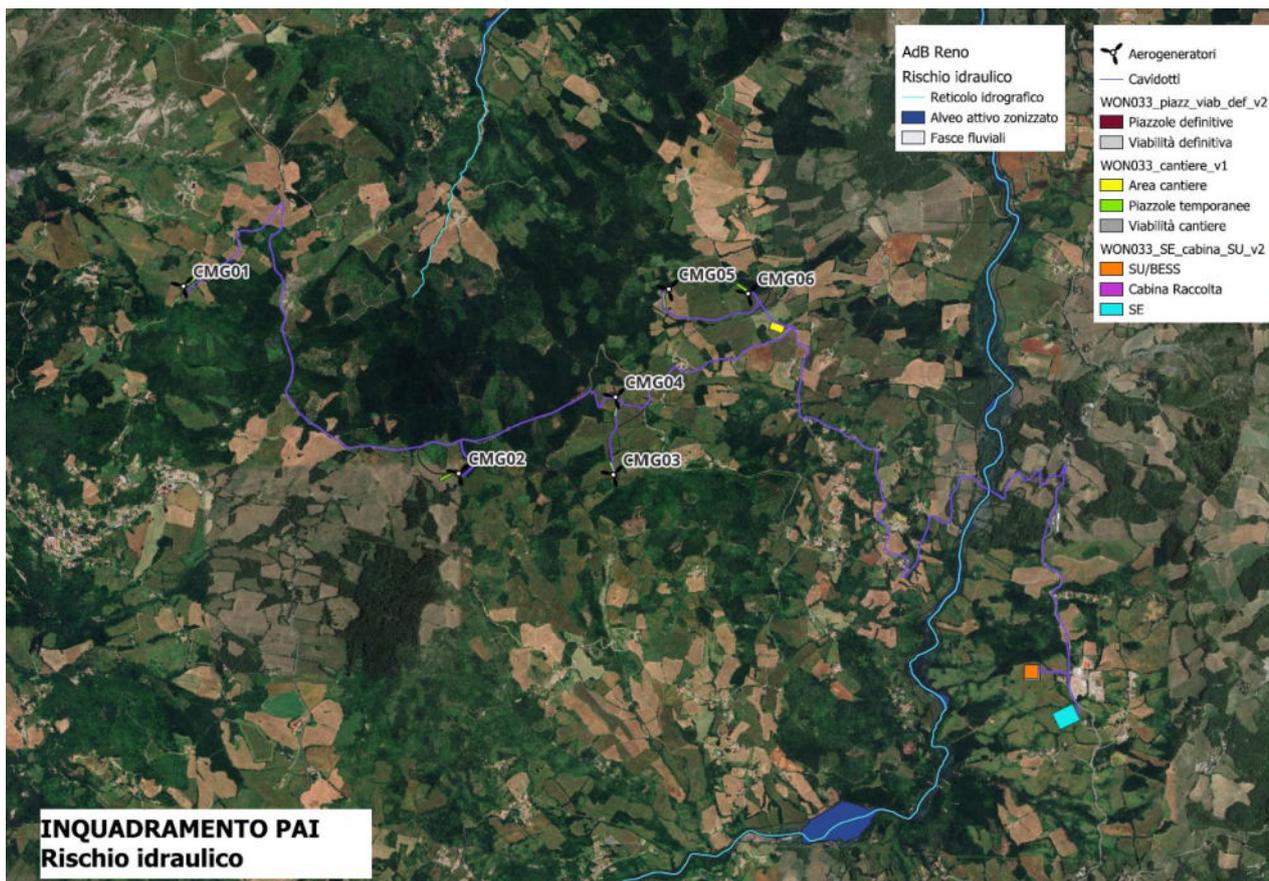
La circolazione idrica sotterranea può essere considerata preferenzialmente basale, anche se si esplica secondo "falde sovrapposte" appartenenti, quasi sempre, ad un'unica circolazione), a causa della sostanziale eterogeneità che caratterizza la giacitura dei vari litotipi (con lenti più o meno estese e tra loro interdigitale a depositi con differente grado di permeabilità).



Inquadramento idrologico Area Impianto Eolico su base IGM 1:100.000

I territori comunali interessati dal parco ricadono su terreni costituiti per oltre il 70% della loro estensione da terreni essenzialmente argillosi, praticamente impermeabili, le condizioni geologiche non sono favorevoli alla costituzione di risorse idriche sotterranee di una certa entità. Nell'area del parco eolico, è possibile rinvenire una falda freatica di piccola entità alla profondità di circa 8-10 m.

9.1. INQUADRAMENTO IDROGRAFICO E IDROLOGICO GENERALE

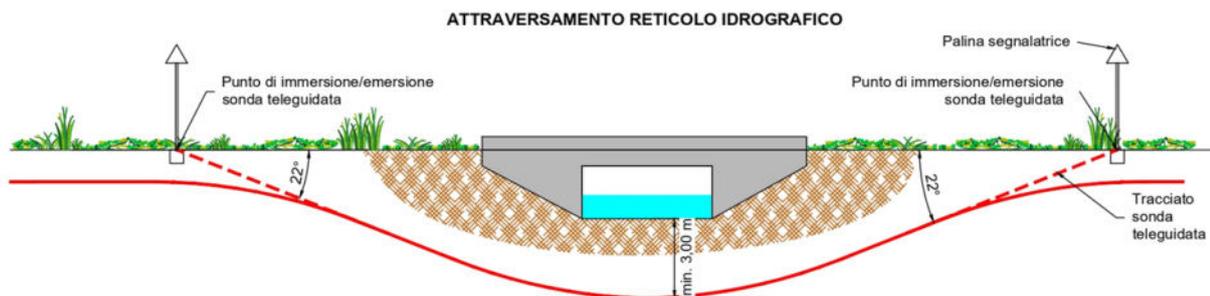


Inquadramento idrografico dell'area

Le interferenze riscontrate riguardano il percorso del cavidotto interrato di collegamento alla sottostazione. Per la risoluzione di tali interferenze si rimanda al paragrafo successivo.

9.1.1. Modalità di attraversamento del reticolo idrografico

Per quanto riguarda le interferenze dei cavidotti di progetto con il reticolo idrografico, queste saranno risolte mediante la posa in opera dei cavidotti utilizzando la tecnologia no-dig (senza scavo) ovvero mediante TOC – Trivellazione orizzontale controllata.



9.2.VINCOLI PIANO DI ASSETTO IDROGEOMORFOLOGICO (PAI) – PERICOLOSITÀ IDRAULICA

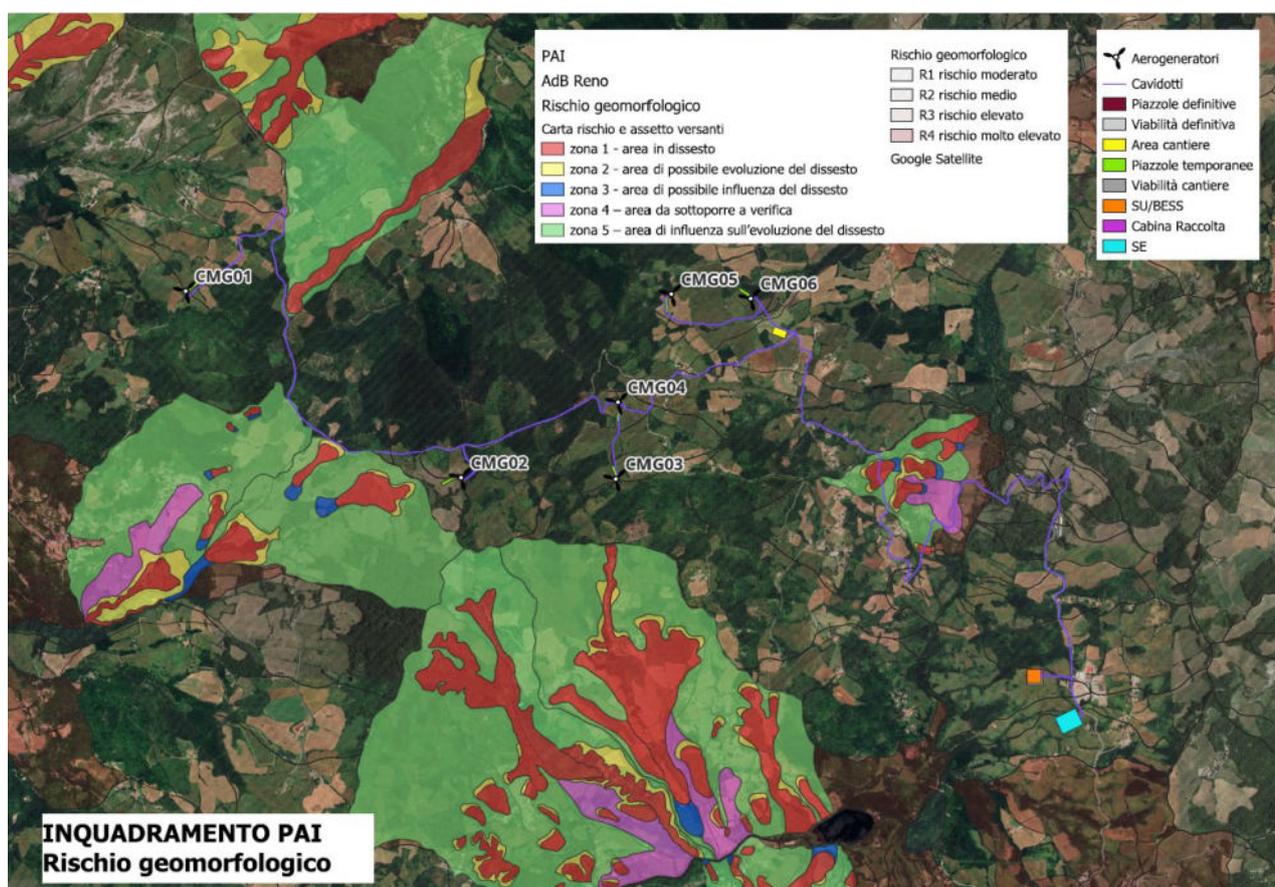
Come si evince dagli allegati stralci planimetrici, le fondazioni degli Aerogeneratori sono tutte fuori dalle aree a pericolosità idraulica, ad ogni buon fine sarà trattata con maggiori dettagli nella **verifica idraulica**.

La realizzazione dei 6 Aerogeneratori ivi compresi strade di accesso, piazzole, cavidotto e Sottostazione Elettrica, saranno realizzati adottando accorgimenti tecnici che consentiranno di mantenere intatto il sistema drenante della zona e renderanno le opere in progetto perfettamente compatibili con il sistema idrogeologico dell'area.

Si attesta la **PIENA COMPATIBILITÀ IDROGEOLOGICA** delle opere in progetto con il reticolo idrografico e con il sistema idrogeologico locale e con l'intero bacino idrogeologico.

9.3.VINCOLI PIANO DI ASSETTO IDROGEOMORFOLOGICO (PAI) – PERICOLOSITÀ GEOMORFOLOGICA

Si riporta di seguito un'immagine rappresentativa



Inquadramento PAI – PERICOLOSITÀ GEOMORFOLOGICA

- I 6 aerogeneratori non risultano insistere su aree vincolate dal punto di vista della pericolosità geomorfologica.
- La Sottostazione Elettrica non risulta insistere su area vincolata dal punto di vista della pericolosità geomorfologica,

Le strade di accesso ai vari aerogeneratori non risultano insistere su aree vincolate dal punto di vista della pericolosità geomorfologica, mentre, parte del cavidotto attraversa aree vincolate dal punto di vista della pericolosità geomorfologica, ma, trattandosi di opere minori e superficiali con i dovuti accorgimenti tecnici che consentiranno di mantenere intatto il sistema drenante della zona e renderanno le opere in progetto perfettamente compatibili con il sistema idrogeologico della zona.

Si illustrano qui di seguito i modelli geologico-geotecnici.

MODELLAZIONE GEOLOGICA GEOTECNICA WTG CMG01

Comune di CAMUGNANO (BO)
PARCO EOLICO della Società Santa Chiara Energia Srl
MODELLO GEOLOGICO-GEOTECNICO CMG01

CARATTERI STRUTTURALI:	Unità tettonica a - Argilliti di Masinara argilliti con intercalazioni di siltiti e areniti finissime in strati sottili e medi. Il colore è grigio-verdastro con sfumature rossastre e nerastre
COEFFICIENTE D'INTENSITA' SISMICA	ZONA 3 (Sismicità 0.05g<PGA <0.15g PERICOLOSITA' DEL SITO = 0.176 < q < 200
CATEGORIA DI SUOLO DI FONDAZIONE	CATEGORIA "B " Depositi di sabbie e ghiala addensate o di argille molto consistenti Vs30 uguale 440.9 m/s
CATEGORIA TOPOGRAFICA	T1

p. 1/1

CARATTERISTICHE LITOLOGICHE GEOTECNICHE AL DI SOTTO DELLA COPERTURA SUPERFICIALE

1° LITOLOGIA E CARATTERISTICHE GEOTECNICHE RELATIVE AL PRIMO LIVELLO				
LITOLOGIA da 0,00 a 3,00 metri Limo argilloso a struttura caotica	CARATTERISTICHE GEOTECNICHE	Peso dell'unità di volume	Y =	18.20 KN/m ³
		Peso dell'unità di volume Saturo	Y _{sat} =	18.75 KN/m ³
		Angolo di attrito	φ' =	16.00 °
		Coesione drenata	c' =	5.00 KPa
		Coesione non drenata	C _u =	40.00 KPa
		Modulo Edometrico	E _{ed} =	3.00 MPa
		Velocità onde S	V =	229 m/s
		Coefficiente di Poisson	ν =	0.49 -
		Coefficiente di Winkler	K =	15310 KN/m ³
		Coefficiente tangenziale	Kr =	14221 KN/m ³
Coefficiente di rigidità verticale dinamico	Kd =	13455 KN/m ³		
2° LITOLOGIA E CARATTERISTICHE GEOTECNICHE RELATIVE AL SECONDO LIVELLO				
LITOLOGIA da 3,00 a 8,50 metri Argille siltose sabbiose prevalentemente di colore giallastro con livelletti grigiastri con di alterazione	CARATTERISTICHE GEOTECNICHE	Peso dell'unità di volume	Y =	18.55 KN/m ³
		Peso dell'unità di volume Saturo	Y _{sat} =	19.15 KN/m ³
		Angolo di attrito	φ' =	20.00 °
		Coesione drenata	c' =	10.00 KPa
		Coesione non drenata	C _u =	80.00 KPa
		Modulo Edometrico	E _{ed} =	5.00 MPa
		Velocità onde S	V =	381 m/s
		Coefficiente di Poisson	ν =	0.47 -
		Coefficiente di Winkler	K =	20105 KN/m ³
		Coefficiente tangenziale	Kr =	17154 KN/m ³
Coefficiente di rigidità verticale dinamico	Kd =	18021 KN/m ³		
3° LITOLOGIA E CARATTERISTICHE GEOTECNICHE RELATIVE AL TERZO LIVELLO				
LITOLOGIA da 8,50 a 35,00 metri Argille grigiastre scure con livelli di calcareniti e calcilutiti	CARATTERISTICHE GEOTECNICHE	Peso dell'unità di volume	Y =	19.77 KN/m ³
		Peso dell'unità di volume Saturo	Y _{sat} =	20.51 KN/m ³
		Angolo di attrito	φ' =	25.00 °
		Coesione drenata	c' =	20.00 KPa
		Coesione non drenata	C _u =	150.00 KPa
		Modulo Edometrico	E _{ed} =	8.00 MPa
		Velocità onde S	V =	748 m/s
		Coefficiente di Poisson	ν =	0.43 -
		Coefficiente di Winkler	K =	48240 KN/m ³
		Coefficiente tangenziale	Kr =	39200 KN/m ³
Coefficiente di rigidità verticale dinamico	Kd =	44024 KN/m ³		
TIPO di fondazioni consigliate	Pali diametro 1200 mm, lunghezza 25 metri - numero di pali e loro disposizione e per ogni altre ulteriori valutazioni e considerazioni si rimanda al tecnico progettista			

MODELLAZIONE GEOLOGICA GEOTECNICA WTG CMG02, CMG03, CMG04

Comune di CAMUGNANO (BO)
PARCO EOLICO della Società Santa Chiara Energia Srl
MODELLO GEOLOGICO-GEOTECNICO CMG02-CMG03-CMG04

CARATTERI STRUTTURALI:	Unità tettonica d - Argille a Palombini argilliti grigie e verdognole, argille e argilliti grigio scure, a volte, grigio-azzurrognole con intercalazioni di calcilutiti grigiastre e biancastre,
COEFFICIENTE D'INTENSITA' SISMICA	ZONA 3 (Sismicità 0.05g<PGA<0.15g PERICOLOSITA' DEL SITO = 0.175 < q < 200
CATEGORIA DI SUOLO DI FONDAZIONE	CATEGORIA "B" Depositi di sabbie e ghiaie addensate o di argille molto consistenti
CATEGORIA TOPOGRAFICA	Vs30 uguale 433.3 m/s T1

p. 1/1

CARATTERISTICHE LITOLOGICHE GEOTECNICHE AL DI SOTTO DELLA COPERTURA SUPERFICIALE

1° LITOLOGIA E CARATTERISTICHE GEOTECNICHE RELATIVE AL PRIMO LIVELLO

LITOLOGIA da 0,00 a 2.00 metri Limo argilloso a struttura caotica	CARATTERISTICHE GEOTECNICHE	Peso dell'unità di volume	Y	=	17.89	KN/m ³
		Peso dell'unità di volume Saturo	Y _{sat}	=	18.29	KN/m ³
		Angolo di attrito	φ'	=	15.00	°
		Coesione drenata	c'	=	5.00	KPa
		Coesione non drenata	C _u	=	40.00	KPa
		Modulo Edometrico	E _{ed}	=	3.00	MPa
		Velocità onde S	V	=	192	m/s
		Coefficiente di Poisson	ν	=	0.49	-
		Coefficiente di Winkler	K	=	15025	KN/m ³
		Coefficiente tangenziale	K _r	=	13987	KN/m ³
		Coefficiente di rigidità verticale dinamico	K _d	=	14775	KN/m ³

2° LITOLOGIA E CARATTERISTICHE GEOTECNICHE RELATIVE AL SECONDO LIVELLO

LITOLOGIA da 2.00 a 5.50 metri Argille siltose e limi prevalentemente di colore giallo-grigiastri con fenomeni di alterazione	CARATTERISTICHE GEOTECNICHE	Peso dell'unità di volume	Y	=	18.77	KN/m ³
		Peso dell'unità di volume Saturo	Y _{sat}	=	19.26	KN/m ³
		Angolo di attrito	φ'	=	18.00	°
		Coesione drenata	c'	=	15.00	KPa
		Coesione non drenata	C _u	=	50.00	KPa
		Modulo Edometrico	E _{ed}	=	4.00	MPa
		Velocità onde S	V	=	445	m/s
		Coefficiente di Poisson	ν	=	0.47	-
		Coefficiente di Winkler	K	=	19994	KN/m ³
		Coefficiente tangenziale	K _r	=	17254	KN/m ³
		Coefficiente di rigidità verticale dinamico	K _d	=	18621	KN/m ³

3° LITOLOGIA E CARATTERISTICHE GEOTECNICHE RELATIVE AL TERZO LIVELLO

LITOLOGIA da 5.50 a 35.00 metri Argille grigiastre scure con livelli di calcilutiti	CARATTERISTICHE GEOTECNICHE	Peso dell'unità di volume	Y	=	19.69	KN/m ³
		Peso dell'unità di volume Saturo	Y _{sat}	=	20.66	KN/m ³
		Angolo di attrito	φ'	=	24.00	°
		Coesione drenata	c'	=	25.00	KPa
		Coesione non drenata	C _u	=	160.00	KPa
		Modulo Edometrico	E _{ed}	=	8.00	MPa
		Velocità onde S	V	=	724	m/s
		Coefficiente di Poisson	ν	=	0.43	-
		Coefficiente di Winkler	K	=	42310	KN/m ³
		Coefficiente tangenziale	K _r	=	38626	KN/m ³
		Coefficiente di rigidità verticale dinamico	K _d	=	41414	KN/m ³

TIPO di fondazioni consigliate

Pali diametro 1200 mm, lunghezza 25 metri - numero di pali e loro disposizione e per ogni altre ulteriori valutazioni e considerazioni si rimanda al tecnico progettista

MODELLAZIONE GEOLOGICA GEOTECNICA WTG CMG05, CMG06

Comune di CAMUGNANO (BO)
PARCO EOLICO della Società Santa Chiara Energia Srl
MODELLO GEOLOGICO-GEOTECNICO CMG05-CMG06

CARATTERI STRUTTURALI:	Unità tettonica d - ArgilleVaricolori argilliti con intercalazioni di siltiti e areniti finissime in strati sottili e medi il colore è grigio-verdastro con sfumature rossastre e nerastre, la foliazione è molto accentuata
COEFFICIENTE D'INTENSITA' SISMICA	ZONA 3 (Sismicità 0.05g<PGA <0.15g PERICOLOSITA' DEL SITO = 0.175 < g < 200
CATEGORIA DI SUOLO DI FONDAZIONE	CATEGORIA "B " Depositi di sabbie e ghiaia addensate o di argille molto consistenti Vs30 uguale 363.0 m/s
CATEGORIA TOPOGRAFICA	T1

p. 1/1

CARATTERISTICHE LITOLOGICHE GEOTECNICHE AL DI SOTTO DELLA COPERTURA SUPERFICIALE

1° LITOLOGIA E CARATTERISTICHE GEOTECNICHE RELATIVE AL PRIMO LIVELLO

LITOLOGIA da 0,00 a 2.00 metri Limo argilloso a struttura caotica	CARATTERISTICHE GEOTECNICHE	Peso dell'unità di volume	Y =	18.24	KN/m ³
		Peso dell'unità di volume Saturo	Y _{sat} =	18.99	KN/m ³
		Angolo di attrito	φ' =	14.00	°
		Coazione drenata	c' =	5.00	KPa
		Coazione non drenata	C _u =	35.00	KPa
		Modulo Edometrico	E _{ed} =	3.00	MPa
		Velocità onde S	V =	291	m/s
		Coefficiente di Poisson	ν =	0.48	-
		Coefficiente di Winkler	K =	14222	KN/m ³
		Coefficiente tangenziale	K _τ =	13655	KN/m ³
Coefficiente di rigidità verticale dinamico	K _d =	13987	KN/m ³		

2° LITOLOGIA E CARATTERISTICHE GEOTECNICHE RELATIVE AL SECONDO LIVELLO

LITOLOGIA da 2.00 a 5.50 metri Argille siltose e limi prevalentemente di colore giallo-grigiastri con fenomeni di alterazione	CARATTERISTICHE GEOTECNICHE	Peso dell'unità di volume	Y =	18.32	KN/m ³
		Peso dell'unità di volume Saturo	Y _{sat} =	18.98	KN/m ³
		Angolo di attrito	φ' =	20.00	°
		Coazione drenata	c' =	15.00	KPa
		Coazione non drenata	C _u =	60.00	KPa
		Modulo Edometrico	E _{ed} =	4.00	MPa
		Velocità onde S	V =	446	m/s
		Coefficiente di Poisson	ν =	0.47	-
		Coefficiente di Winkler	K =	20124	KN/m ³
		Coefficiente tangenziale	K _τ =	18045	KN/m ³
Coefficiente di rigidità verticale dinamico	K _d =	19123	KN/m ³		

3° LITOLOGIA E CARATTERISTICHE GEOTECNICHE RELATIVE AL TERZO LIVELLO

LITOLOGIA da 5.50 a 35.00 metri Argille grigiastre scure con livelli di calciliti	CARATTERISTICHE GEOTECNICHE	Peso dell'unità di volume	Y =	19.23	KN/m ³
		Peso dell'unità di volume Saturo	Y _{sat} =	20.01	KN/m ³
		Angolo di attrito	φ' =	25.00	°
		Coazione drenata	c' =	30.00	KPa
		Coazione non drenata	C _u =	150.00	KPa
		Modulo Edometrico	E _{ed} =	8.00	MPa
		Velocità onde S	V =	583	m/s
		Coefficiente di Poisson	ν =	0.45	-
		Coefficiente di Winkler	K =	40215	KN/m ³
		Coefficiente tangenziale	K _τ =	36127	KN/m ³
Coefficiente di rigidità verticale dinamico	K _d =	39545	KN/m ³		

TIPO di fondazioni consigliate Pali diametro 1200 mm, lunghezza 25 metri - numero di pali e loro disposizione e per ogni altre ulteriori valutazioni e considerazioni si rimanda al tecnico progettista

MODELLAZIONE GEOLOGICA GEOTECNICA SSE

Comune di CAMUGNANO (BO)																																																									
PARCO EOLICO della Società Santa Chiara Energia Srl																																																									
MODELLO GEOLOGICO-GEOTECNICO SOTTOSTAZIONE ELETTRICA (SSE)																																																									
CARATTERI STRUTTURALI:	Unità tettonica d - ArgilleVaricolori argille con intercalazioni di siltiti e areniti finissime in strati sottili e medi Il colore è grigio-verdastro con sfumature rossastre e nerastre, la foliazione è molto accentuata																																																								
COEFFICIENTE D'INTENSITA' SISMICA	ZONA 3 (Sismicità 0.05g<PGA<0.15g PERICOLOSITA' DEL SITO = 0.175 < q < 200																																																								
CATEGORIA DI SUOLO DI FONDAZIONE	CATEGORIA "B" Depositi di sabbie e ghiaie addensate o di argille molto consistenti																																																								
CATEGORIA TOPOGRAFICA	Vs30 uguale 373.5 m/s T1																																																								
p. 1/1																																																									
CARATTERISTICHE LITOLOGICHE GEOTECNICHE AL DI SOTTO DELLA COPERTURA SUPERFICIALE																																																									
1° LITOLOGIA E CARATTERISTICHE GEOTECNICHE RELATIVE AL PRIMO LIVELLO																																																									
LITOLOGIA da 0,00 a 3,00 metri Limo argilloso a struttura caotica	<table border="1"> <tr><td rowspan="10" style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">CARATTERISTICHE GEOTECNICHE</td><td>Peso dell'unità di volume</td><td>Y</td><td>=</td><td>18.14</td><td>KN/m³</td></tr> <tr><td>Peso dell'unità di volume Saturo</td><td>Y_{sat}</td><td>=</td><td>18.77</td><td>KN/m³</td></tr> <tr><td>Angolo di attrito</td><td>φ'</td><td>=</td><td>16.00</td><td>°</td></tr> <tr><td>Coesione drenata</td><td>c'</td><td>=</td><td>5.00</td><td>KPa</td></tr> <tr><td>Coesione non drenata</td><td>C_u</td><td>=</td><td>45.00</td><td>KPa</td></tr> <tr><td>Modulo Edometrico</td><td>E_{ed}</td><td>=</td><td>4.00</td><td>MPa</td></tr> <tr><td>Velocità onde S</td><td>V</td><td>=</td><td>263</td><td>m/s</td></tr> <tr><td>Coefficiente di Poisson</td><td>ν</td><td>=</td><td>0.49</td><td>-</td></tr> <tr><td>Coefficiente di Winkler</td><td>K</td><td>=</td><td>15246</td><td>KN/m³</td></tr> <tr><td>Coefficiente tangenziale</td><td>K_r</td><td>=</td><td>13985</td><td>KN/m³</td></tr> <tr><td>Coefficiente di rigidità verticale dinamico</td><td>K_d</td><td>=</td><td>14024</td><td>KN/m³</td></tr> </table>	CARATTERISTICHE GEOTECNICHE	Peso dell'unità di volume	Y	=	18.14	KN/m ³	Peso dell'unità di volume Saturo	Y _{sat}	=	18.77	KN/m ³	Angolo di attrito	φ'	=	16.00	°	Coesione drenata	c'	=	5.00	KPa	Coesione non drenata	C _u	=	45.00	KPa	Modulo Edometrico	E _{ed}	=	4.00	MPa	Velocità onde S	V	=	263	m/s	Coefficiente di Poisson	ν	=	0.49	-	Coefficiente di Winkler	K	=	15246	KN/m ³	Coefficiente tangenziale	K _r	=	13985	KN/m ³	Coefficiente di rigidità verticale dinamico	K _d	=	14024	KN/m ³
CARATTERISTICHE GEOTECNICHE	Peso dell'unità di volume		Y	=	18.14	KN/m ³																																																			
	Peso dell'unità di volume Saturo		Y _{sat}	=	18.77	KN/m ³																																																			
	Angolo di attrito		φ'	=	16.00	°																																																			
	Coesione drenata		c'	=	5.00	KPa																																																			
	Coesione non drenata		C _u	=	45.00	KPa																																																			
	Modulo Edometrico		E _{ed}	=	4.00	MPa																																																			
	Velocità onde S		V	=	263	m/s																																																			
	Coefficiente di Poisson		ν	=	0.49	-																																																			
	Coefficiente di Winkler		K	=	15246	KN/m ³																																																			
	Coefficiente tangenziale	K _r	=	13985	KN/m ³																																																				
Coefficiente di rigidità verticale dinamico	K _d	=	14024	KN/m ³																																																					
2° LITOLOGIA E CARATTERISTICHE GEOTECNICHE RELATIVE AL SECONDO LIVELLO																																																									
LITOLOGIA da 3,00 a 9,00 metri Argille siltose e limi prevalentemente di colore giallo-grigiastri	<table border="1"> <tr><td rowspan="10" style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">CARATTERISTICHE GEOTECNICHE</td><td>Peso dell'unità di volume</td><td>Y</td><td>=</td><td>18.30</td><td>KN/m³</td></tr> <tr><td>Peso dell'unità di volume Saturo</td><td>Y_{sat}</td><td>=</td><td>19.23</td><td>KN/m³</td></tr> <tr><td>Angolo di attrito</td><td>φ'</td><td>=</td><td>20.00</td><td>°</td></tr> <tr><td>Coesione drenata</td><td>c'</td><td>=</td><td>15.00</td><td>KPa</td></tr> <tr><td>Coesione non drenata</td><td>C_u</td><td>=</td><td>50.00</td><td>KPa</td></tr> <tr><td>Modulo Edometrico</td><td>E_{ed}</td><td>=</td><td>5.00</td><td>MPa</td></tr> <tr><td>Velocità onde S</td><td>V</td><td>=</td><td>308</td><td>m/s</td></tr> <tr><td>Coefficiente di Poisson</td><td>ν</td><td>=</td><td>0.48</td><td>-</td></tr> <tr><td>Coefficiente di Winkler</td><td>K</td><td>=</td><td>21023</td><td>KN/m³</td></tr> <tr><td>Coefficiente tangenziale</td><td>K_r</td><td>=</td><td>18745</td><td>KN/m³</td></tr> <tr><td>Coefficiente di rigidità verticale dinamico</td><td>K_d</td><td>=</td><td>19025</td><td>KN/m³</td></tr> </table>	CARATTERISTICHE GEOTECNICHE	Peso dell'unità di volume	Y	=	18.30	KN/m ³	Peso dell'unità di volume Saturo	Y _{sat}	=	19.23	KN/m ³	Angolo di attrito	φ'	=	20.00	°	Coesione drenata	c'	=	15.00	KPa	Coesione non drenata	C _u	=	50.00	KPa	Modulo Edometrico	E _{ed}	=	5.00	MPa	Velocità onde S	V	=	308	m/s	Coefficiente di Poisson	ν	=	0.48	-	Coefficiente di Winkler	K	=	21023	KN/m ³	Coefficiente tangenziale	K _r	=	18745	KN/m ³	Coefficiente di rigidità verticale dinamico	K _d	=	19025	KN/m ³
CARATTERISTICHE GEOTECNICHE	Peso dell'unità di volume		Y	=	18.30	KN/m ³																																																			
	Peso dell'unità di volume Saturo		Y _{sat}	=	19.23	KN/m ³																																																			
	Angolo di attrito		φ'	=	20.00	°																																																			
	Coesione drenata		c'	=	15.00	KPa																																																			
	Coesione non drenata		C _u	=	50.00	KPa																																																			
	Modulo Edometrico		E _{ed}	=	5.00	MPa																																																			
	Velocità onde S		V	=	308	m/s																																																			
	Coefficiente di Poisson		ν	=	0.48	-																																																			
	Coefficiente di Winkler		K	=	21023	KN/m ³																																																			
	Coefficiente tangenziale	K _r	=	18745	KN/m ³																																																				
Coefficiente di rigidità verticale dinamico	K _d	=	19025	KN/m ³																																																					
3° LITOLOGIA E CARATTERISTICHE GEOTECNICHE RELATIVE AL TERZO LIVELLO																																																									
LITOLOGIA da 5,50 a 35,00 metri Argille grigiastre scure con livelli di calcilutiti	<table border="1"> <tr><td rowspan="10" style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">CARATTERISTICHE GEOTECNICHE</td><td>Peso dell'unità di volume</td><td>Y</td><td>=</td><td>19.05</td><td>KN/m³</td></tr> <tr><td>Peso dell'unità di volume Saturo</td><td>Y_{sat}</td><td>=</td><td>19.78</td><td>KN/m³</td></tr> <tr><td>Angolo di attrito</td><td>φ'</td><td>=</td><td>24.00</td><td>°</td></tr> <tr><td>Coesione drenata</td><td>c'</td><td>=</td><td>30.00</td><td>KPa</td></tr> <tr><td>Coesione non drenata</td><td>C_u</td><td>=</td><td>150.00</td><td>KPa</td></tr> <tr><td>Modulo Edometrico</td><td>E_{ed}</td><td>=</td><td>8.00</td><td>MPa</td></tr> <tr><td>Velocità onde S</td><td>V</td><td>=</td><td>506</td><td>m/s</td></tr> <tr><td>Coefficiente di Poisson</td><td>ν</td><td>=</td><td>0.46</td><td>-</td></tr> <tr><td>Coefficiente di Winkler</td><td>K</td><td>=</td><td>38445</td><td>KN/m³</td></tr> <tr><td>Coefficiente tangenziale</td><td>K_r</td><td>=</td><td>35421</td><td>KN/m³</td></tr> <tr><td>Coefficiente di rigidità verticale dinamico</td><td>K_d</td><td>=</td><td>37498</td><td>KN/m³</td></tr> </table>	CARATTERISTICHE GEOTECNICHE	Peso dell'unità di volume	Y	=	19.05	KN/m ³	Peso dell'unità di volume Saturo	Y _{sat}	=	19.78	KN/m ³	Angolo di attrito	φ'	=	24.00	°	Coesione drenata	c'	=	30.00	KPa	Coesione non drenata	C _u	=	150.00	KPa	Modulo Edometrico	E _{ed}	=	8.00	MPa	Velocità onde S	V	=	506	m/s	Coefficiente di Poisson	ν	=	0.46	-	Coefficiente di Winkler	K	=	38445	KN/m ³	Coefficiente tangenziale	K _r	=	35421	KN/m ³	Coefficiente di rigidità verticale dinamico	K _d	=	37498	KN/m ³
CARATTERISTICHE GEOTECNICHE	Peso dell'unità di volume		Y	=	19.05	KN/m ³																																																			
	Peso dell'unità di volume Saturo		Y _{sat}	=	19.78	KN/m ³																																																			
	Angolo di attrito		φ'	=	24.00	°																																																			
	Coesione drenata		c'	=	30.00	KPa																																																			
	Coesione non drenata		C _u	=	150.00	KPa																																																			
	Modulo Edometrico		E _{ed}	=	8.00	MPa																																																			
	Velocità onde S		V	=	506	m/s																																																			
	Coefficiente di Poisson		ν	=	0.46	-																																																			
	Coefficiente di Winkler		K	=	38445	KN/m ³																																																			
	Coefficiente tangenziale	K _r	=	35421	KN/m ³																																																				
Coefficiente di rigidità verticale dinamico	K _d	=	37498	KN/m ³																																																					
TIPO di fondazioni consigliate	Pali diametro 1200 mm, lunghezza 25 metri - numero di pali e loro disposizione e per ogni altra ulteriori valutazioni e considerazioni si rimanda al tecnico progettista																																																								

10. CONCLUSIONI

Nel seguito vengono illustrate nel dettaglio le opere progettuali:

- **FONDAZIONI AEROGENERATORI**

Fondazioni del tipo Plinto su pali della lunghezza di metri 25 e diametro 1200 mm come dai seguenti modelli geologico-geotecnici ↓.

- **CAVIDOTTO**

Il tracciato in progetto impegna terreni che presentano problematiche diverse dal punto di vista geologico. Esso si sviluppa in terreni dove è possibile la presenza di una falda superficiale anche al di sopra dei 2 metri dal piano campagna. Durante le operazioni di scavo per la posa in opera dei cavi elettrici, gli addetti ai lavori dovranno procedere sempre con cautela in quanto trattasi di terreni incoerenti e/o pseudocoerenti che potrebbero dar luogo a smottamenti e rifluimenti e mettere in pericolo l'incolumità degli stessi.

La posa in opera dei cavi sarà effettuata sul fondo dello scavo, ad una profondità di -1.50 metri p.c., spianato e livellato, eliminando ogni asperità che possa danneggiare cavi e rivestimenti.

Per il letto di posa del primo rinterro si dovrà utilizzare materiale diverso da quello proveniente dallo scavo. Il piano di posa dovrà garantire una assoluta continuità di appoggio e, nei tratti in cui si temono assestamenti, si dovranno adottare particolari provvedimenti quali impiego di giunti adeguati, trattamenti speciali del fondo della trincea o, se occorre, appoggi discontinui stabili, quali selle o mensole.

Il rinterro parziale verrà effettuato con materiale proveniente dagli scavi previa accurata selezione o diversamente da cave di prestito con opportuna pezzatura al fine di non danneggiare sia i cavi che gli eventuali rivestimenti.

Il materiale di riempimento dovrà essere disposto nella trincea in modo uniforme, in strati di spessore opportuno, accuratamente costipato sotto e lateralmente al tubo, per ottenere un buon appoggio esente da vuoti e per impedire i cedimenti e gli spostamenti laterali.

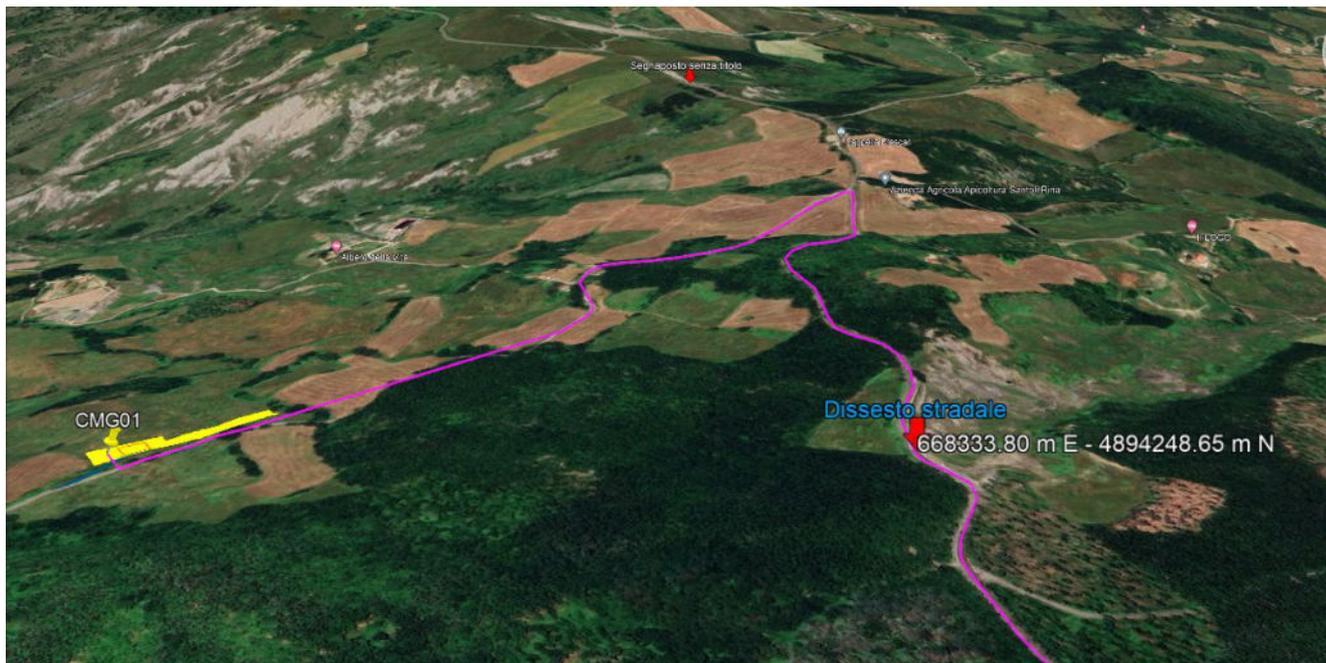
Il rinterro definitivo avverrà impiegando materiali idonei disposti per strati successivi, spianati e accuratamente compattati dopo aver eliminato le pietre di maggiori dimensioni.

A rinterro ultimato si avrà cura di effettuare gli opportuni ricarichi laddove si dovessero manifestare assestamenti.

La **conducibilità elettrica** di questi terreni nei loro primi metri di spessore è dell'ordine di circa 150-200 Ω m.

Prestare la massima attenzione nella posa in opera del cavidotto che conduce all'aerogeneratore CMG01, nell'attraversare la SP 72, nel tratto come appresso contrassegnato, il quale risulta in frana, e quindi, prima va bonificata e sistemata la sede stradale, e, comunque il cavidotto nell'attraversare il tratto in frana, dopo la sistemazione della strada, dovranno essere collocati, fuori del tratto in frana, due pozzetti di ispezione, in modo che in caso di un nuovo dissesto, il cavidotto potrà agevolmente essere sistemato.

Il tratto in frana è contraddistinto dalle coordinate WGS84 come riportato nell'allegato stralcio di mappa.



Tratto stradale in dissesto

- **FONDAZIONI SOTTOSTAZIONE MT/AT**

Le fondazioni saranno del tipo platea armata, ubicate ad una profondità di m -1.50 p.c.

Da quanto innanzi esposto si possono trarre le seguenti considerazioni e le verifiche ai singoli aspetti esaminati:

LITOLOGIA

Sotto il profilo litologico, la zona non appare interessata da anomalie che possano interrompere il quadro statico globale.

Per quanto riguarda le prescrizioni relativi ai terreni di fondazione si fa esplicito riferimento alle "Norme tecniche per il progetto sismico di opere di fondazione e di sostegno" e dalle disposizioni vigenti, in particolare dal D.M. 11.3.1988 ed eventuali sue successive modifiche e integrazioni. e **D.M. 17/01/2018**.

MORFOLOGIA e RISCHIO IDROGEOLOGICO

Non si rilevano fenomeni suscettibili di modificare in tempi brevi la situazione attuale, l'area in studio, ricade in zona stabile; non esistono movimenti franosi in atto e/o potenziali, nè pericoli di alluvioni e/o impaludamenti

In relazione agli aspetti geomorfologici relativi a possibili dissesti superficiali e profondi, non si evidenziano situazioni che possano modificare l'attuale stato di equilibrio dei luoghi ed è possibile affermare che l'area si presenta **globalmente stabile** e che:

- le opere di che trattasi non determinano turbativa all'assetto idrogeologico del suolo
- dal punto di vista idrogeologico non sussistono fenomeni e processi morfoevolutivi di tipo erosivo in atto né potenziali.

- le opere previste in progetto non interferiscono in modo sostanziale con il regime delle acque superficiali, di infiltrazione o di falda, e quindi non determinano turbativa all'assetto idrogeologico del suolo;

Tutti i lavori di cui sopra, dovranno svolgersi nel rispetto delle indicazioni della presente relazione, ed in tale ottica si esprime parere favorevole alla fattibilità degli interventi progettati, attestando la coerenza e compatibilità geologica, idrogeomorfologica, geotecnica e sismica.

Nella fase di **Studio Geologico esecutivo** si eseguiranno dettagliate indagini geognostiche con la esecuzione di indagini sismiche (tomografie e Masw) una per ogni aerogeneratore e di n. 6 sondaggi meccanici a rotazione con carotaggio continuo spinti fino a 35 metri, con prelievo di campioni indisturbati e prove geotecniche di laboratorio per tutti gli aerogeneratori, mentre per la SSE saranno sufficienti n. 2 Sondaggi meccanici a rotazione spinti fino alla profondità di metri 15 con prelievo di campioni indisturbati e prove geotecniche di laboratorio, una tomografia sismica ed una MASW

Si può pertanto concludere che non esistono **preclusioni di ordine geologico-tecnico-idrogeologico e sismico** alla realizzazione del Parco Eolico costituito da n. 6 aerogeneratori ed opere connesse.

Tanto dovevasi per l'espletamento dell'incarico ricevuto

Lucera marzo 2024

Il geologo
dott. Matteo Di Carlo

ELENCO ALLEGATI

- MODELLAZIONE GEOLOGICA-GEOTECNICA
- INDAGINI GEOFISICHE
- INQUADRAMENTO GEOLOGICO
- INQUARAMENTO PAI – PERICOLOSITÀ GEOMORFOLOGICA
- INQUARAMENTO PAI – PERICOLOSITÀ IDRAULICA
- INQUARAMENTO PAI – RETICOLO IDROGRAFICO

Comune di CAMUGNANO (BO)
PARCO EOLICO della Società Santa Chiara Energia Srl
MODELLO GEOLOGICO-GEOTECNICO CMG01

CARATTERI STRUTTURALI:	Unità tettonica a - Argilliti di Masinara argilliti con intercalazioni di siltititi e areniti finissime in strati sottili e medi. il colore è grigio-verdastro con sfumature rossastre e nerastre
COEFFICIENTE D'INTENSITA' SISMICA	ZONA 3 (Sismicità 0.05g<PGA <0.15g PERICOLOSITA' DEL SITO = 0.175 < g < 200
CATEGORIA DI SUOLO DI FONDAZIONE	CATEGORIA "B " Depositi di sabbie e ghiaia addensate o di argille molto consistenti
CATEGORIA TOPOGRAFICA	Vs30 uguale 440.9 m/s T1

CARATTERISTICHE LITOLOGICHE GEOTECNICHE AL DI SOTTO DELLA COPERTURA SUPERFICIALE

1° LITOLOGIA E CARATTERISTICHE GEOTECNICHE RELATIVE AL PRIMO LIVELLO

LITOLOGIA da 0,00 a 3.00 metri Limo argilloso a struttura caotica	CARATTERISTICHE GEOTECNICHE	Peso dell'unità di volume	Y =	18.20	KN/m ³
		Peso dell'unità di volume Saturo	Y _{sat} =	18.75	KN/m ³
		Angolo di attrito	φ' =	16.00	°
		Coesione drenata	c' =	5.00	KPa
		Coesione non drenata	C _u =	40.00	KPa
		Modulo Edometrico	E _{ed} =	3.00	MPa
		Velocità onde S	V =	229	m/s
		Coefficiente di Poisson	ν =	0.49	-
		Coefficiente di Winkler	K =	15310	KN/m ³
		Coefficiente tangenziale	Kτ =	14221	KN/m ³
		Coefficiente di rigidezza verticale dinamico	K _d =	13455	KN/m ³

2° LITOLOGIA E CARATTERISTICHE GEOTECNICHE RELATIVE AL SECONDO LIVELLO

LITOLOGIA da 3.00 a 8.50 metri Argille siltose sabbiose prevalentemente di colore giallastro con livelletti grigiastri con di alterazione	CARATTERISTICHE GEOTECNICHE	Peso dell'unità di volume	Y =	18.55	KN/m ³
		Peso dell'unità di volume Saturo	Y _{sat} =	19.15	KN/m ³
		Angolo di attrito	φ' =	20.00	°
		Coesione drenata	c' =	10.00	KPa
		Coesione non drenata	C _u =	80.00	KPa
		Modulo Edometrico	E _{ed} =	5.00	MPa
		Velocità onde S	V =	381	m/s
		Coefficiente di Poisson	ν =	0.47	-
		Coefficiente di Winkler	K =	20105	KN/m ³
		Coefficiente tangenziale	Kτ =	17154	KN/m ³
		Coefficiente di rigidezza verticale dinamico	K _d =	18021	KN/m ³

3° LITOLOGIA E CARATTERISTICHE GEOTECNICHE RELATIVE AL TERZO LIVELLO

LITOLOGIA da 8.50 a 35.00 metri Argille grigiastre scure con livelli di calcareniti e calcilutiti	CARATTERISTICHE GEOTECNICHE	Peso dell'unità di volume	Y =	19.77	KN/m ³
		Peso dell'unità di volume Saturo	Y _{sat} =	20.51	KN/m ³
		Angolo di attrito	φ' =	25.00	°
		Coesione drenata	c' =	20.00	KPa
		Coesione non drenata	C _u =	150.00	KPa
		Modulo Edometrico	E _{ed} =	8.00	MPa
		Velocità onde S	V =	748	m/s
		Coefficiente di Poisson	ν =	0.43	-
		Coefficiente di Winkler	K =	48240	KN/m ³
		Coefficiente tangenziale	Kτ =	39200	KN/m ³
		Coefficiente di rigidezza verticale dinamico	K _d =	44024	KN/m ³

TIPO di fondazioni consigliate **Pali diametro 1200 mm, lunghezza 25 metri -** numero di pali e loro disposizione e per ogni altre ulteriori valutazioni e considerazioni si rimanda al tecnico progettista

Comune di CAMUGNANO (BO)
PARCO EOLICO della Società Santa Chiara Energia Srl
MODELLO GEOLOGICO-GEOTECNICO CMG02-CMG03-CMG04

CARATTERI STRUTTURALI:	Unità tettonica d - Argille a Palombini argilliti grigie e verdognole, argille e argilliti grigio scure, a volte, grigio-azzurrognole con intercalazioni di calcilutiti grigiastre e biancastre,
COEFFICIENTE D'INTENSITA' SISMICA	ZONA 3 (Sismicità $0.05g < PGA < 0.15g$ PERICOLOSITA' DEL SITO = $0.175 < g < 200$
CATEGORIA DI SUOLO DI FONDAZIONE	CATEGORIA "B " Depositi di sabbie e ghiaia addensate o di argille molto consistenti
CATEGORIA TOPOGRAFICA	Vs30 uguale 433.3 m/s T1

p. 1/1

CARATTERISTICHE LITOLOGICHE GEOTECNICHE AL DI SOTTO DELLA COPERTURA SUPERFICIALE

1° LITOLOGIA E CARATTERISTICHE GEOTECNICHE RELATIVE AL PRIMO LIVELLO																																																										
LITOLOGIA da 0,00 a 2.00 metri Limo argilloso a struttura caotica	CARATTERISTICHE GEOTECNICHE	<table border="0" style="width: 100%;"> <tr><td>Peso dell'unità di volume</td><td>Y</td><td>=</td><td>17.89</td><td>KN/m³</td></tr> <tr><td>Peso dell'unità di volume Saturo</td><td>Y_{sat}</td><td>=</td><td>18.29</td><td>KN/m³</td></tr> <tr><td>Angolo di attrito</td><td>φ'</td><td>=</td><td>15.00</td><td>°</td></tr> <tr><td>Coesione drenata</td><td>c'</td><td>=</td><td>5.00</td><td>KPa</td></tr> <tr><td>Coesione non drenata</td><td>C_u</td><td>=</td><td>40.00</td><td>KPa</td></tr> <tr><td>Modulo Edometrico</td><td>E_{ed}</td><td>=</td><td>3.00</td><td>MPa</td></tr> <tr><td>Velocità onde S</td><td>V</td><td>=</td><td>192</td><td>m/s</td></tr> <tr><td>Coefficiente di Poisson</td><td>ν</td><td>=</td><td>0.49</td><td>-</td></tr> <tr><td>Coefficiente di Winkler</td><td>K</td><td>=</td><td>15025</td><td>KN/m³</td></tr> <tr><td>Coefficiente tangenziale</td><td>Kτ</td><td>=</td><td>13987</td><td>KN/m³</td></tr> <tr><td>Coefficiente di rigidità verticale dinamico</td><td>K_d</td><td>=</td><td>14775</td><td>KN/m³</td></tr> </table>	Peso dell'unità di volume	Y	=	17.89	KN/m ³	Peso dell'unità di volume Saturo	Y_{sat}	=	18.29	KN/m ³	Angolo di attrito	φ'	=	15.00	°	Coesione drenata	c'	=	5.00	KPa	Coesione non drenata	C_u	=	40.00	KPa	Modulo Edometrico	E_{ed}	=	3.00	MPa	Velocità onde S	V	=	192	m/s	Coefficiente di Poisson	ν	=	0.49	-	Coefficiente di Winkler	K	=	15025	KN/m ³	Coefficiente tangenziale	Kτ	=	13987	KN/m ³	Coefficiente di rigidità verticale dinamico	K_d	=	14775	KN/m ³	
Peso dell'unità di volume	Y	=	17.89	KN/m ³																																																						
Peso dell'unità di volume Saturo	Y_{sat}	=	18.29	KN/m ³																																																						
Angolo di attrito	φ'	=	15.00	°																																																						
Coesione drenata	c'	=	5.00	KPa																																																						
Coesione non drenata	C_u	=	40.00	KPa																																																						
Modulo Edometrico	E_{ed}	=	3.00	MPa																																																						
Velocità onde S	V	=	192	m/s																																																						
Coefficiente di Poisson	ν	=	0.49	-																																																						
Coefficiente di Winkler	K	=	15025	KN/m ³																																																						
Coefficiente tangenziale	Kτ	=	13987	KN/m ³																																																						
Coefficiente di rigidità verticale dinamico	K_d	=	14775	KN/m ³																																																						
2° LITOLOGIA E CARATTERISTICHE GEOTECNICHE RELATIVE AL SECONDO LIVELLO																																																										
LITOLOGIA da 2.00 a 5.50 metri Argille siltose e limi prevalentemente di colore giallo-grigiastri con fenomeni di alterazione	CARATTERISTICHE GEOTECNICHE	<table border="0" style="width: 100%;"> <tr><td>Peso dell'unità di volume</td><td>Y</td><td>=</td><td>18.77</td><td>KN/m³</td></tr> <tr><td>Peso dell'unità di volume Saturo</td><td>Y_{sat}</td><td>=</td><td>19.26</td><td>KN/m³</td></tr> <tr><td>Angolo di attrito</td><td>φ'</td><td>=</td><td>18.00</td><td>°</td></tr> <tr><td>Coesione drenata</td><td>c'</td><td>=</td><td>15.00</td><td>KPa</td></tr> <tr><td>Coesione non drenata</td><td>C_u</td><td>=</td><td>50.00</td><td>KPa</td></tr> <tr><td>Modulo Edometrico</td><td>E_{ed}</td><td>=</td><td>4.00</td><td>MPa</td></tr> <tr><td>Velocità onde S</td><td>V</td><td>=</td><td>445</td><td>m/s</td></tr> <tr><td>Coefficiente di Poisson</td><td>ν</td><td>=</td><td>0.47</td><td>-</td></tr> <tr><td>Coefficiente di Winkler</td><td>K</td><td>=</td><td>19994</td><td>KN/m³</td></tr> <tr><td>Coefficiente tangenziale</td><td>Kτ</td><td>=</td><td>17254</td><td>KN/m³</td></tr> <tr><td>Coefficiente di rigidità verticale dinamico</td><td>K_d</td><td>=</td><td>18621</td><td>KN/m³</td></tr> </table>	Peso dell'unità di volume	Y	=	18.77	KN/m ³	Peso dell'unità di volume Saturo	Y_{sat}	=	19.26	KN/m ³	Angolo di attrito	φ'	=	18.00	°	Coesione drenata	c'	=	15.00	KPa	Coesione non drenata	C_u	=	50.00	KPa	Modulo Edometrico	E_{ed}	=	4.00	MPa	Velocità onde S	V	=	445	m/s	Coefficiente di Poisson	ν	=	0.47	-	Coefficiente di Winkler	K	=	19994	KN/m ³	Coefficiente tangenziale	Kτ	=	17254	KN/m ³	Coefficiente di rigidità verticale dinamico	K_d	=	18621	KN/m ³	
Peso dell'unità di volume	Y	=	18.77	KN/m ³																																																						
Peso dell'unità di volume Saturo	Y_{sat}	=	19.26	KN/m ³																																																						
Angolo di attrito	φ'	=	18.00	°																																																						
Coesione drenata	c'	=	15.00	KPa																																																						
Coesione non drenata	C_u	=	50.00	KPa																																																						
Modulo Edometrico	E_{ed}	=	4.00	MPa																																																						
Velocità onde S	V	=	445	m/s																																																						
Coefficiente di Poisson	ν	=	0.47	-																																																						
Coefficiente di Winkler	K	=	19994	KN/m ³																																																						
Coefficiente tangenziale	Kτ	=	17254	KN/m ³																																																						
Coefficiente di rigidità verticale dinamico	K_d	=	18621	KN/m ³																																																						
3° LITOLOGIA E CARATTERISTICHE GEOTECNICHE RELATIVE AL TERZO LIVELLO																																																										
LITOLOGIA da 5.50 a 35.00 metri Argille grigiastre scure con livelli di calcilutiti	CARATTERISTICHE GEOTECNICHE	<table border="0" style="width: 100%;"> <tr><td>Peso dell'unità di volume</td><td>Y</td><td>=</td><td>19.69</td><td>KN/m³</td></tr> <tr><td>Peso dell'unità di volume Saturo</td><td>Y_{sat}</td><td>=</td><td>20.66</td><td>KN/m³</td></tr> <tr><td>Angolo di attrito</td><td>φ'</td><td>=</td><td>24.00</td><td>°</td></tr> <tr><td>Coesione drenata</td><td>c'</td><td>=</td><td>25.00</td><td>KPa</td></tr> <tr><td>Coesione non drenata</td><td>C_u</td><td>=</td><td>160.00</td><td>KPa</td></tr> <tr><td>Modulo Edometrico</td><td>E_{ed}</td><td>=</td><td>8.00</td><td>MPa</td></tr> <tr><td>Velocità onde S</td><td>V</td><td>=</td><td>724</td><td>m/s</td></tr> <tr><td>Coefficiente di Poisson</td><td>ν</td><td>=</td><td>0.43</td><td>-</td></tr> <tr><td>Coefficiente di Winkler</td><td>K</td><td>=</td><td>42310</td><td>KN/m³</td></tr> <tr><td>Coefficiente tangenziale</td><td>Kτ</td><td>=</td><td>38626</td><td>KN/m³</td></tr> <tr><td>Coefficiente di rigidità verticale dinamico</td><td>K_d</td><td>=</td><td>41414</td><td>KN/m³</td></tr> </table>	Peso dell'unità di volume	Y	=	19.69	KN/m ³	Peso dell'unità di volume Saturo	Y_{sat}	=	20.66	KN/m ³	Angolo di attrito	φ'	=	24.00	°	Coesione drenata	c'	=	25.00	KPa	Coesione non drenata	C_u	=	160.00	KPa	Modulo Edometrico	E_{ed}	=	8.00	MPa	Velocità onde S	V	=	724	m/s	Coefficiente di Poisson	ν	=	0.43	-	Coefficiente di Winkler	K	=	42310	KN/m ³	Coefficiente tangenziale	Kτ	=	38626	KN/m ³	Coefficiente di rigidità verticale dinamico	K_d	=	41414	KN/m ³	
Peso dell'unità di volume	Y	=	19.69	KN/m ³																																																						
Peso dell'unità di volume Saturo	Y_{sat}	=	20.66	KN/m ³																																																						
Angolo di attrito	φ'	=	24.00	°																																																						
Coesione drenata	c'	=	25.00	KPa																																																						
Coesione non drenata	C_u	=	160.00	KPa																																																						
Modulo Edometrico	E_{ed}	=	8.00	MPa																																																						
Velocità onde S	V	=	724	m/s																																																						
Coefficiente di Poisson	ν	=	0.43	-																																																						
Coefficiente di Winkler	K	=	42310	KN/m ³																																																						
Coefficiente tangenziale	Kτ	=	38626	KN/m ³																																																						
Coefficiente di rigidità verticale dinamico	K_d	=	41414	KN/m ³																																																						
TIPO di fondazioni consigliate	Pali diametro 1200 mm, lunghezza 25 metri - numero di pali e loro disposizione e per ogni altre ulteriori valutazioni e considerazioni si rimanda al tecnico progettista																																																									

Comune di CAMUGNANO (BO)
PARCO EOLICO della Società Santa Chiara Energia Srl
MODELLO GEOLOGICO-GEOTECNICO CMG05-CMG06

CARATTERI STRUTTURALI:	Unità tettonica d - ArgilleVaricolori argilliti con intercalazioni di siltititi e areniti finissime in strati sottili e medi il colore è grigio-verdastro con sfumature rossastre e nerastre, la foliazione è molto accentuata
COEFFICIENTE D'INTENSITA' SISMICA	ZONA 3 (Sismicità 0.05g<PGA <0.15g PERICOLOSITA' DEL SITO = 0.175 < g < 200
CATEGORIA DI SUOLO DI FONDAZIONE	CATEGORIA "B " Depositi di sabbie e ghiaia addensate o di argille molto consistenti
CATEGORIA TOPOGRAFICA	Vs30 uguale 363.0 m/s T1

CARATTERISTICHE LITOLOGICHE GEOTECNICHE AL DI SOTTO DELLA COPERTURA SUPERFICIALE

1° LITOLOGIA E CARATTERISTICHE GEOTECNICHE RELATIVE AL PRIMO LIVELLO

LITOLOGIA da 0,00 a 2.00 metri Limo argilloso a struttura caotica	CARATTERISTICHE GEOTECNICHE	Peso dell'unità di volume	Y =	18.24	KN/m ³
		Peso dell'unità di volume Saturo	Y _{sat} =	18.99	KN/m ³
		Angolo di attrito	φ' =	14.00	°
		Coesione drenata	c' =	5.00	KPa
		Coesione non drenata	C _u =	35.00	KPa
		Modulo Edometrico	E _{ed} =	3.00	MPa
		Velocità onde S	V =	291	m/s
		Coefficiente di Poisson	ν =	0.48	-
		Coefficiente di Winkler	K =	14222	KN/m3
		Coefficiente tangenziale	Kτ =	13655	KN/m3
		Coefficiente di rigidezza verticale dinamico	Kd =	13987	KN/m3

2° LITOLOGIA E CARATTERISTICHE GEOTECNICHE RELATIVE AL SECONDO LIVELLO

LITOLOGIA da 2.00 a 5.50 metri Argille siltose e limi prevalentemente di colore giallo-grigiastri con fenomeni di alterazione	CARATTERISTICHE GEOTECNICHE	Peso dell'unità di volume	Y =	18.32	KN/m ³
		Peso dell'unità di volume Saturo	Y _{sat} =	18.98	KN/m ³
		Angolo di attrito	φ' =	20.00	°
		Coesione drenata	c' =	15.00	KPa
		Coesione non drenata	C _u =	60.00	KPa
		Modulo Edometrico	E _{ed} =	4.00	MPa
		Velocità onde S	V =	446	m/s
		Coefficiente di Poisson	ν =	0.47	-
		Coefficiente di Winkler	K =	20124	KN/m3
		Coefficiente tangenziale	Kτ =	18045	KN/m3
		Coefficiente di rigidezza verticale dinamico	Kd =	19123	KN/m3

3° LITOLOGIA E CARATTERISTICHE GEOTECNICHE RELATIVE AL TERZO LIVELLO

LITOLOGIA da 5.50 a 35.00 metri Argille grigiastre scure con livelli di calciliti	CARATTERISTICHE GEOTECNICHE	Peso dell'unità di volume	Y =	19.23	KN/m ³
		Peso dell'unità di volume Saturo	Y _{sat} =	20.01	KN/m ³
		Angolo di attrito	φ' =	25.00	°
		Coesione drenata	c' =	30.00	KPa
		Coesione non drenata	C _u =	150.00	KPa
		Modulo Edometrico	E _{ed} =	8.00	MPa
		Velocità onde S	V =	583	m/s
		Coefficiente di Poisson	ν =	0.45	-
		Coefficiente di Winkler	K =	40215	KN/m3
		Coefficiente tangenziale	Kτ =	36127	KN/m3
		Coefficiente di rigidezza verticale dinamico	Kd =	39545	KN/m3

TIPO di fondazioni consigliate **Pali diametro 1200 mm, lunghezza 25 metri -** numero di pali e loro disposizione e per ogni altre ulteriori valutazioni e considerazioni si rimanda al tecnico progettista

Comune di CAMUGNANO (BO)

PARCO EOLICO della Società Santa Chiara Energia Srl MODELLO GEOLOGICO-GEOTECNICO SOTTOSTAZIONE ELETTRICA (SSE)

CARATTERI STRUTTURALI:	Unità tettonica d - ArgilleVaricolori argilliti con intercalazioni di siltititi e areniti finissime in strati sottili e medi il colore è grigio-verdastro con sfumature rossastre e nerastre, la foliazione è molto accentuata
COEFFICIENTE D'INTENSITA' SISMICA	ZONA 3 (Sismicità 0.05g<PGA <0.15g PERICOLOSITA' DEL SITO = 0.175 < g < 200
CATEGORIA DI SUOLO DI FONDAZIONE	CATEGORIA "B " Depositi di sabbie e ghiaia addensate o di argille molto consistenti
CATEGORIA TOPOGRAFICA	Vs30 uguale 373.5 m/s T1

p. 1/1

CARATTERISTICHE LITOLOGICHE GEOTECNICHE AL DI SOTTO DELLA COPERTURA SUPERFICIALE

1° LITOLOGIA E CARATTERISTICHE GEOTECNICHE RELATIVE AL PRIMO LIVELLO

LITOLOGIA da 0,00 a 3.00 metri Limo argilloso a struttura caotica	CARATTERISTICHE GEOTECNICHE	Peso dell'unità di volume	Y	=	18.14	KN/m ³
		Peso dell'unità di volume Saturo	Y _{sat}	=	18.77	KN/m ³
		Angolo di attrito	φ'	=	16.00	°
		Coesione drenata	c'	=	5.00	KPa
		Coesione non drenata	C _u	=	45.00	KPa
		Modulo Edometrico	E _{ed}	=	4.00	MPa
		Velocità onde S	V	=	263	m/s
		Coefficiente di Poisson	ν	=	0.49	-
		Coefficiente di Winkler	K	=	15246	KN/m ³
		Coefficiente tangenziale	Kτ	=	13985	KN/m ³
		Coefficiente di rigidezza verticale dinamico	K _d	=	14024	KN/m ³

2° LITOLOGIA E CARATTERISTICHE GEOTECNICHE RELATIVE AL SECONDO LIVELLO

LITOLOGIA da 3.00 a 9.00 metri Argille siltose e limi prevalentemente di colore giallo-grigiastri	CARATTERISTICHE GEOTECNICHE	Peso dell'unità di volume	Y	=	18.30	KN/m ³
		Peso dell'unità di volume Saturo	Y _{sat}	=	19.23	KN/m ³
		Angolo di attrito	φ'	=	20.00	°
		Coesione drenata	c'	=	15.00	KPa
		Coesione non drenata	C _u	=	50.00	KPa
		Modulo Edometrico	E _{ed}	=	5.00	MPa
		Velocità onde S	V	=	308	m/s
		Coefficiente di Poisson	ν	=	0.48	-
		Coefficiente di Winkler	K	=	21023	KN/m ³
		Coefficiente tangenziale	Kτ	=	18745	KN/m ³
		Coefficiente di rigidezza verticale dinamico	K _d	=	19025	KN/m ³

3° LITOLOGIA E CARATTERISTICHE GEOTECNICHE RELATIVE AL TERZO LIVELLO

LITOLOGIA da 5.50 a 35.00 metri Argille grigiastre scure con livelli di calcituti	CARATTERISTICHE GEOTECNICHE	Peso dell'unità di volume	Y	=	19.05	KN/m ³
		Peso dell'unità di volume Saturo	Y _{sat}	=	19.78	KN/m ³
		Angolo di attrito	φ'	=	24.00	°
		Coesione drenata	c'	=	30.00	KPa
		Coesione non drenata	C _u	=	150.00	KPa
		Modulo Edometrico	E _{ed}	=	8.00	MPa
		Velocità onde S	V	=	506	m/s
		Coefficiente di Poisson	ν	=	0.46	-
		Coefficiente di Winkler	K	=	38445	KN/m ³
		Coefficiente tangenziale	Kτ	=	35421	KN/m ³
		Coefficiente di rigidezza verticale dinamico	K _d	=	37498	KN/m ³

TIPO di fondazioni consigliate

Pali diametro 1200 mm, lunghezza 25 metri - numero di pali e loro disposizione e per ogni altre ulteriori valutazioni e considerazioni si rimanda al tecnico progettista

REGIONE EMILIA-ROMAGNA

COMUNE DI CAMUGNANO

Provincia di BOLOGNA

OGGETTO: Indagini geognostiche in sito

COMMESSA n°
PRSE - 935

LOCALITA' : Camugnano (BO)

CANTIERE : Parco eolico Camugnano

GeoSveva di Luigi Di Carlo

Laboratorio sperimentale di analisi geotecniche

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Autorizzazione n° 02610 - 26/03/2010

- via Montesanto n°64
- 71036 Lucera (FG)

- P.IVA 03 06 20 20 718
- Cod. Fisc. DCRLGU81A09D643E

T +39 0881 31 81 66
F +39 0881 31 81 67

www.geosveva.it

geosvevalaboratori@gmail.com
geosvevalaboratori@mailcertificata.it

c/o SANPAOLO Banco di Napoli Via Gramsci 13
Lucera (FG)
IBAN : IT94N0306978444100000000506



Ministero delle
Infrastrutture
e dei Trasporti



Socio
ALGI



Sistema di gestione
Qualità certificato
UNI EN ISO 9001:2008

COMMITTENTE :



CONTIENE:

– Prospezioni geofisiche tipo MASW

DATA
ACCETTAZIONE

29/02/2024

DATA
INIZIO

12/03/2024

DATA
EMISSIONE

14/03/2024

DRSE933 MASW-TM1



DRSE933 MASW-TM1

La geofisica osserva il comportamento delle onde che si propagano all'interno dei materiali. Un segnale sismico, infatti, si modifica in funzione delle caratteristiche del mezzo che attraversa. Le onde possono essere generate in modo artificiale attraverso l'uso di masse battenti, di scoppi, etc.

Moto del segnale sismico

Il segnale sismico può essere scomposto in più fasi ognuna delle quali identifica il movimento delle particelle investite dalle onde sismiche. Le fasi possono essere:

- P-Longitudinale: onda profonda di compressione;
- S-Trasversale: onda profonda di taglio;
- L-Love: onda di superficie, composta da onde P e S;
- R-Rayleigh: onda di superficie composta da un movimento ellittico e retrogrado.

Onde di Rayleigh – “R”

In passato gli studi sulla diffusione delle onde sismiche si sono concentrati sulla propagazione delle onde profonde (P,S) considerando le onde di superficie come un disturbo del segnale sismico da analizzare. Recenti studi hanno consentito di creare dei modelli matematici avanzati per l'analisi delle onde di superficie in mezzi a differente rigidità.

Analisi del segnale con tecnica MASW Secondo l'ipotesi fondamentale della fisica lineare (Teorema di Fourier) i segnali possono essere rappresentati come la somma di segnali indipendenti, dette armoniche del segnale. Tali armoniche, per analisi monodimensionali, sono funzioni trigonometriche seno e coseno, e si comportano in modo indipendente non interagendo tra di loro. Concentrando l'attenzione su ciascuna componente armonica il risultato finale in analisi lineare risulterà equivalente alla somma dei comportamenti parziali corrispondenti alle singole armoniche. L'analisi di Fourier (analisi spettrale FFT) è lo strumento fondamentale per la caratterizzazione spettrale del segnale. L'analisi delle onde di Rayleigh, mediante tecnica MASW, viene eseguita con la trattazione spettrale del segnale nel dominio trasformato dove è possibile, in modo abbastanza agevole, identificare il segnale relativo alle onde di Rayleigh rispetto ad altri tipi di segnali, osservando, inoltre, che le onde di Rayleigh si propagano con velocità che è funzione della frequenza. Il legame velocità frequenza è detto spettro di dispersione. La curva di dispersione individuata nel dominio f-k è detta curva di dispersione sperimentale, e rappresenta in tale dominio le massime ampiezze dello spettro.

Modellizzazione

E' possibile simulare, a partire da un modello geotecnico sintetico caratterizzato da spessore, densità, coefficiente di Poisson, velocità delle onde S e velocità delle Onde P, la curva di dispersione teorica la quale lega velocità e lunghezza d'onda secondo la relazione:

Modificando i parametri del modello geotecnico sintetico, si può ottenere una sovrapposizione della curva di dispersione teorica con quella sperimentale: questa fase è detta di inversione e consente di determinare il profilo delle velocità in mezzi a differente rigidità.

DRSE933 MASW-TM1

Modi di vibrazione

Sia nella curva di inversione teorica che in quella sperimentale è possibile individuare le diverse configurazioni di vibrazione del terreno. I modi per le onde di Rayleigh possono essere: deformazioni a contatto con l'aria, deformazioni quasi nulle a metà della lunghezza d'onda e deformazioni nulle a profondità elevate.

Profondità di indagine

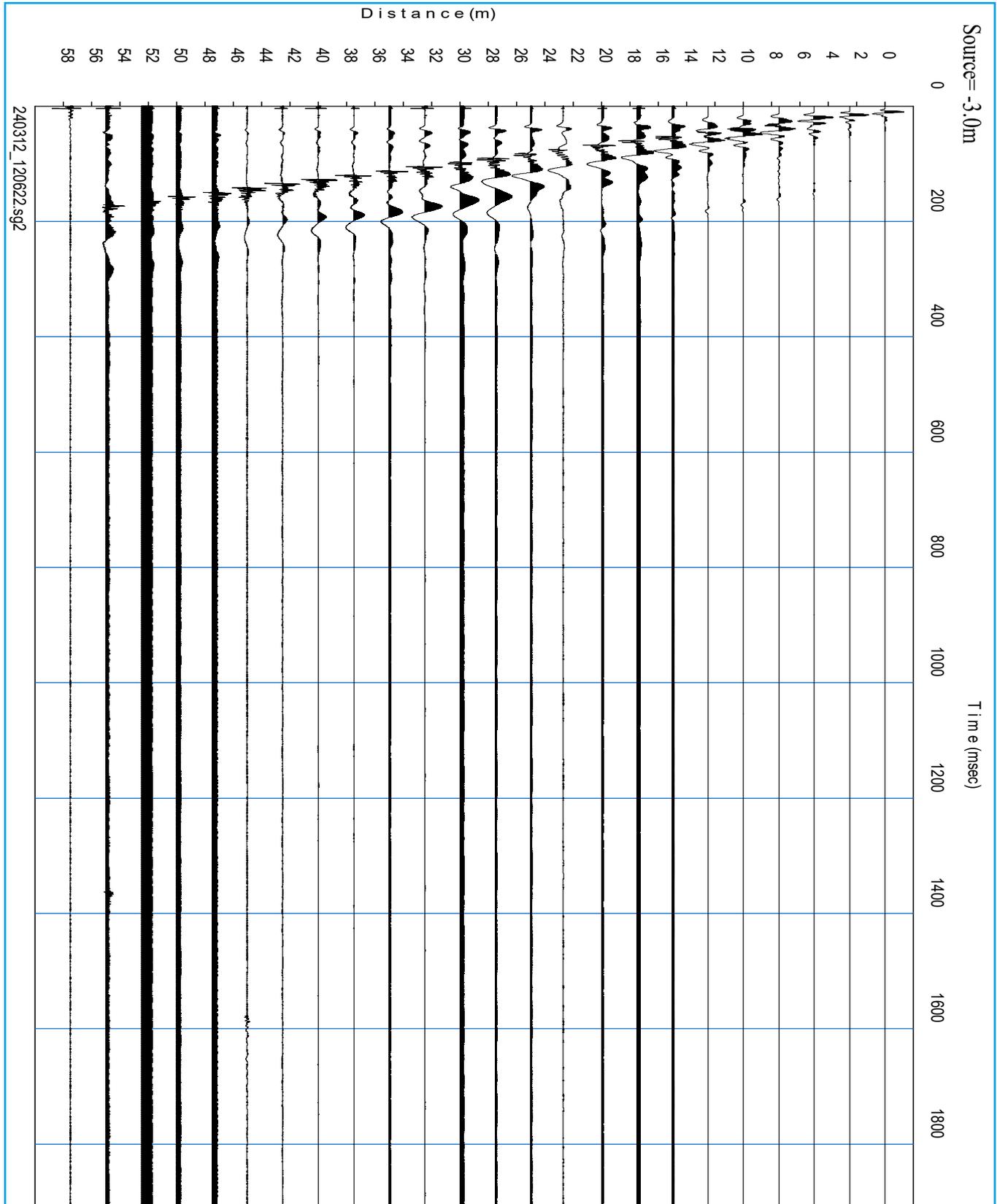
Le onde di Rayleigh decadono a profondità circa uguali alla lunghezza d'onda. Piccole lunghezze d'onda (alte frequenze) consentono di indagare zone superficiali mentre grandi lunghezze d'onda (basse frequenze) consentono indagini a maggiore profondità.

Id indagine **MASW-TM1**
LOCALITA' **CAMUGNANO (BO)**
DATA E ORA **12/03/2024**
Distanza tra i geofoni **2.5 metri battuta -3m.**

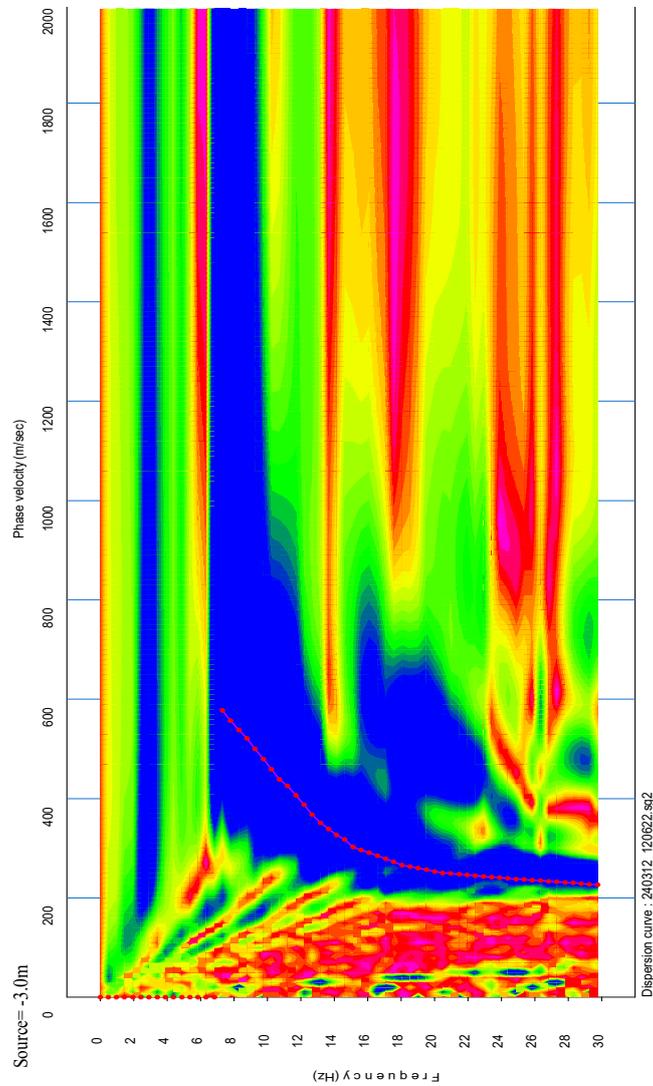
Coordinate WGS 84 : 667697.00E - 4894315.00N



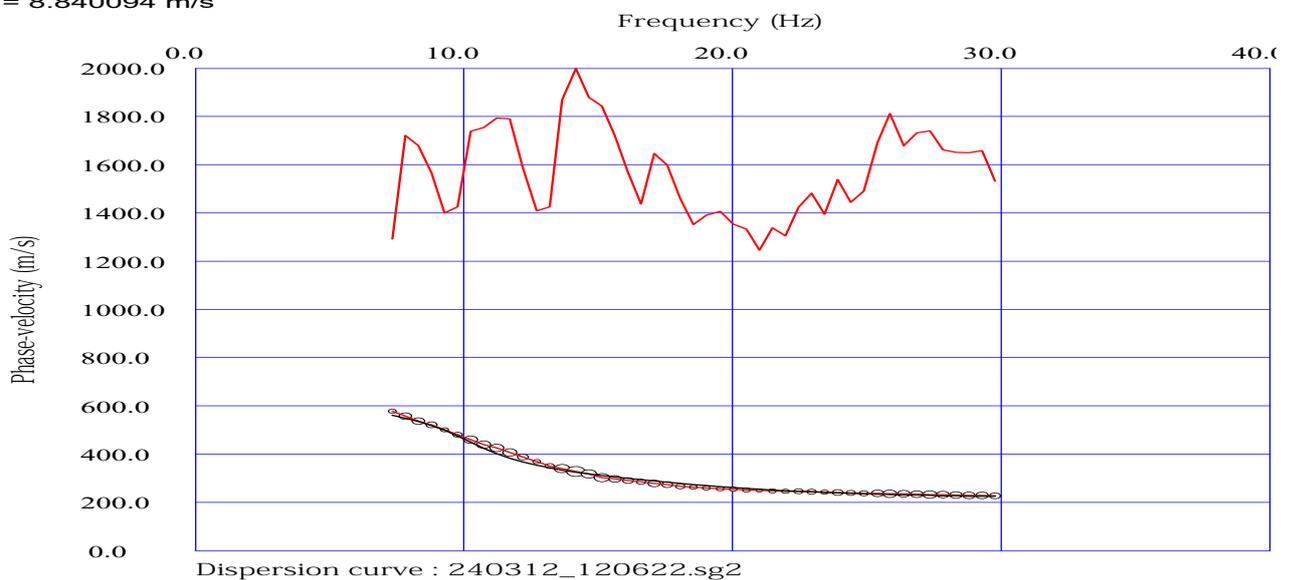
DRSE933 MASW-TM1



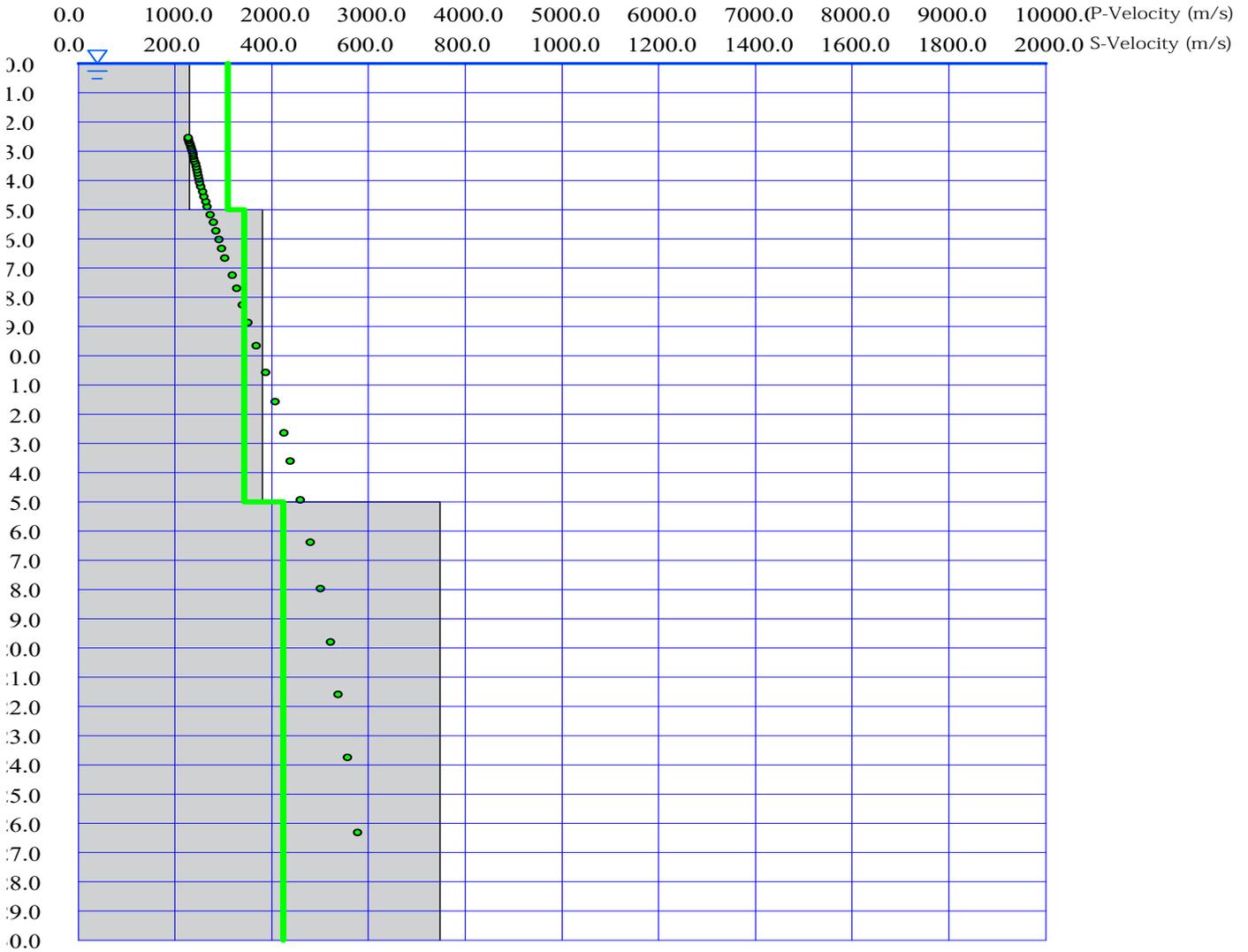
DRSE933 MASW-TM1



RMSE = 8.840094 m/s



DRSE933 MASW-TM1



PRSE933 MASW-TM1

PRSE 935-TM1

Depth [m]	Spessore [m]	S-velocity [m/s]	P-velocity (m/s)	Density [KN/m ³]	ν (-)	Vp/Vs (-)	G [Mpa]	Edin [Mpa]	
1	0.0	5.0	229.49	1544.73	18.02	0.49	6.73	97	288
2	5.0	10.0	381.43	1713.39	18.55	0.47	4.49	275	811
3	15.0	15.0	748.43	2120.75	19.77	0.43	2.83	1129	3228
4	30.0 -		748.43	2120.75	19.77	0.43	2.83	1129	3228
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									

H = 30 m

Vs,eq : 440.9 (m/s)

Categoria suolo : **B**

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 e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

Legenda:

- v: Coefficiente di Poisson (-)
- Vp: Velocità delle onde longitudinali (m/s)
- Vs: Velocità delle onde di taglio (m/s)
- G: Modulo di rigidezza al taglio (Mpa)
- Ed: Modulo dinamico (Mpa)

DRSE933 MASW-TM1



DRSE933 MASW-TM2



DRSE933 MASW-TM2

Modi di vibrazione

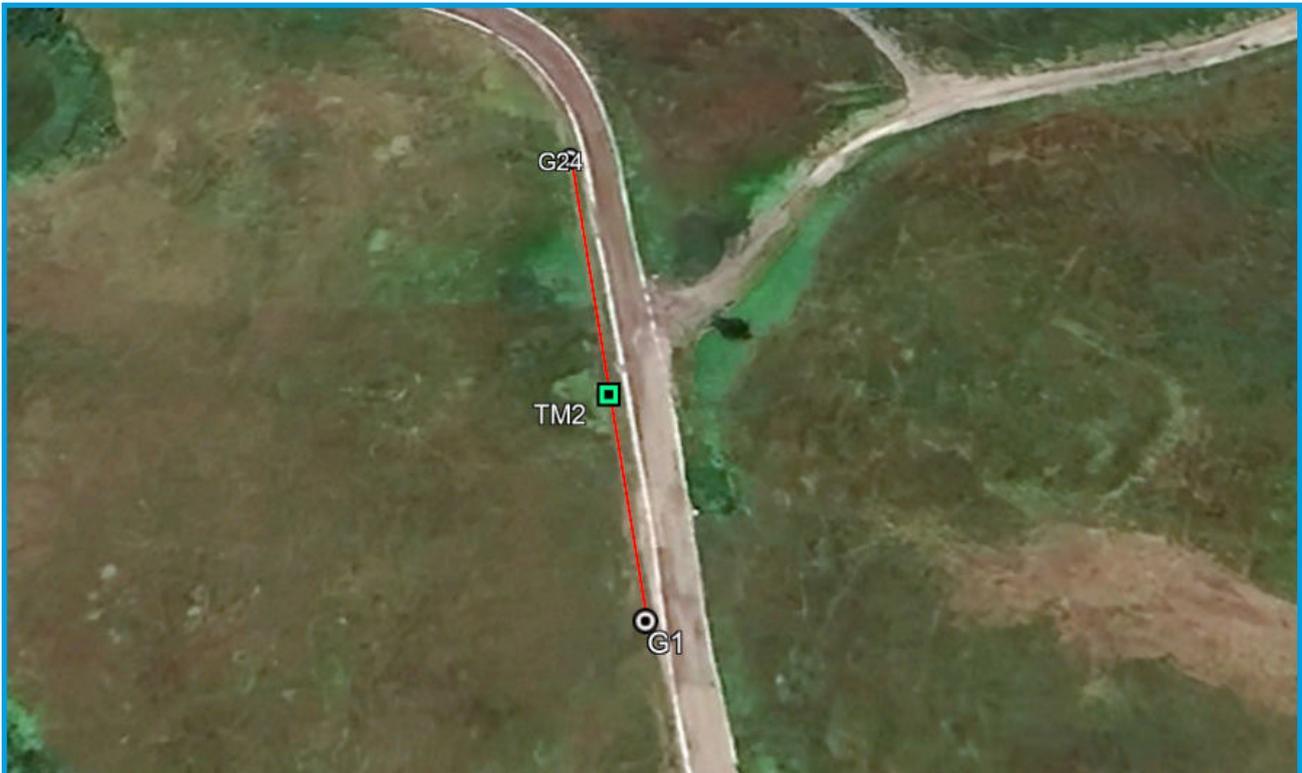
Sia nella curva di inversione teorica che in quella sperimentale è possibile individuare le diverse configurazioni di vibrazione del terreno. I modi per le onde di Rayleigh possono essere: deformazioni a contatto con l'aria, deformazioni quasi nulle a metà della lunghezza d'onda e deformazioni nulle a profondità elevate.

Profondità di indagine

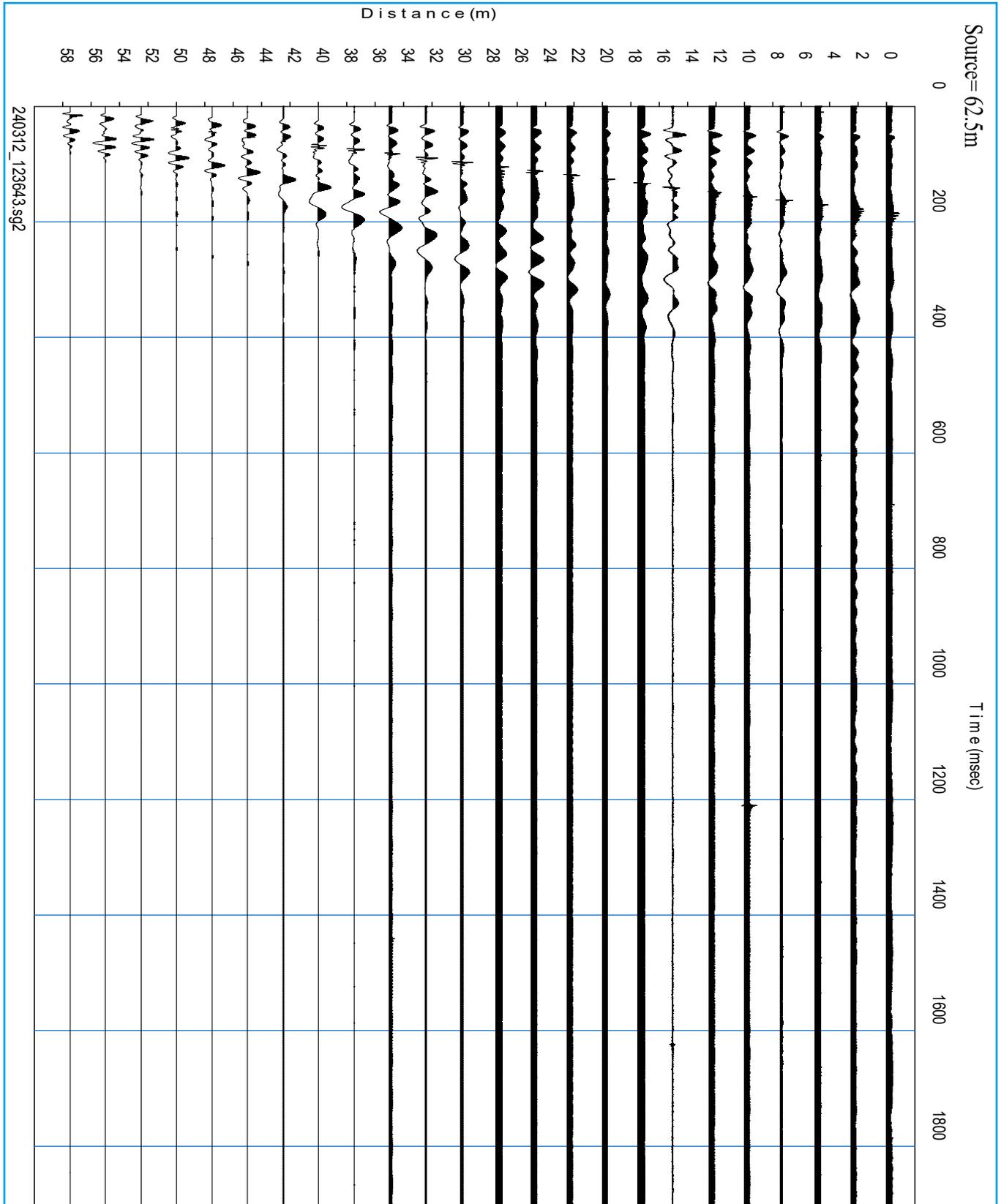
Le onde di Rayleigh decadono a profondità circa uguali alla lunghezza d'onda. Piccole lunghezze d'onda (alte frequenze) consentono di indagare zone superficiali mentre grandi lunghezze d'onda (basse frequenze) consentono indagini a maggiore profondità.

Id indagine MASW-TM2
LOCALITA' CAMUGNANO (BO)
DATA E ORA 12/03/2024
Distanza tra i geofoni 2.5 metri battuta +3m.

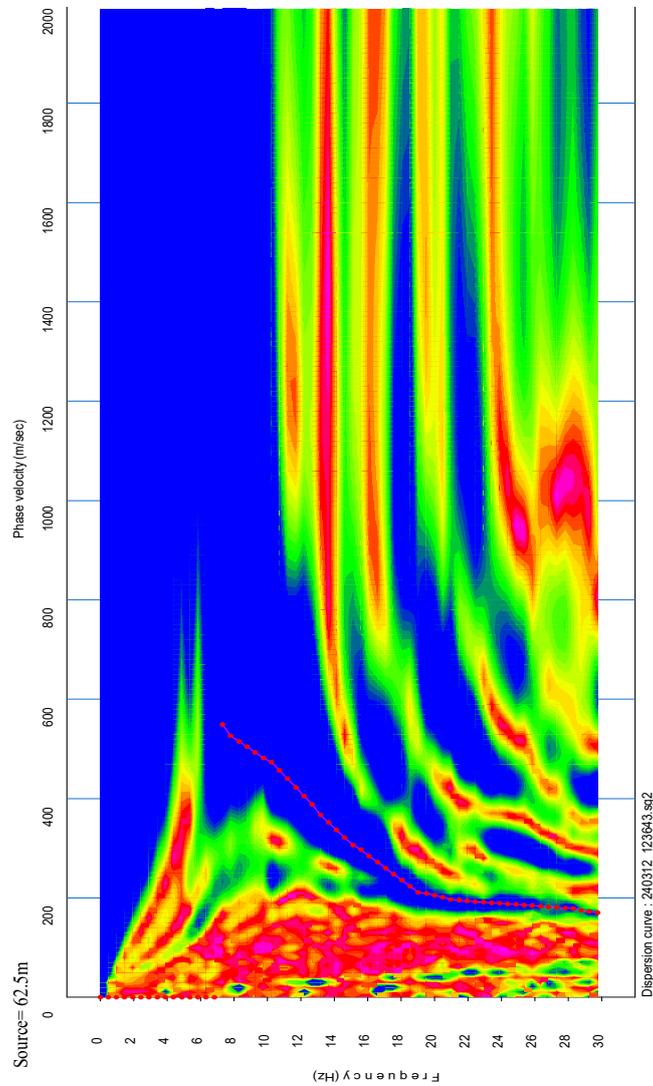
Coordinate WGS 84 : 670652.00E - 4893723.00N



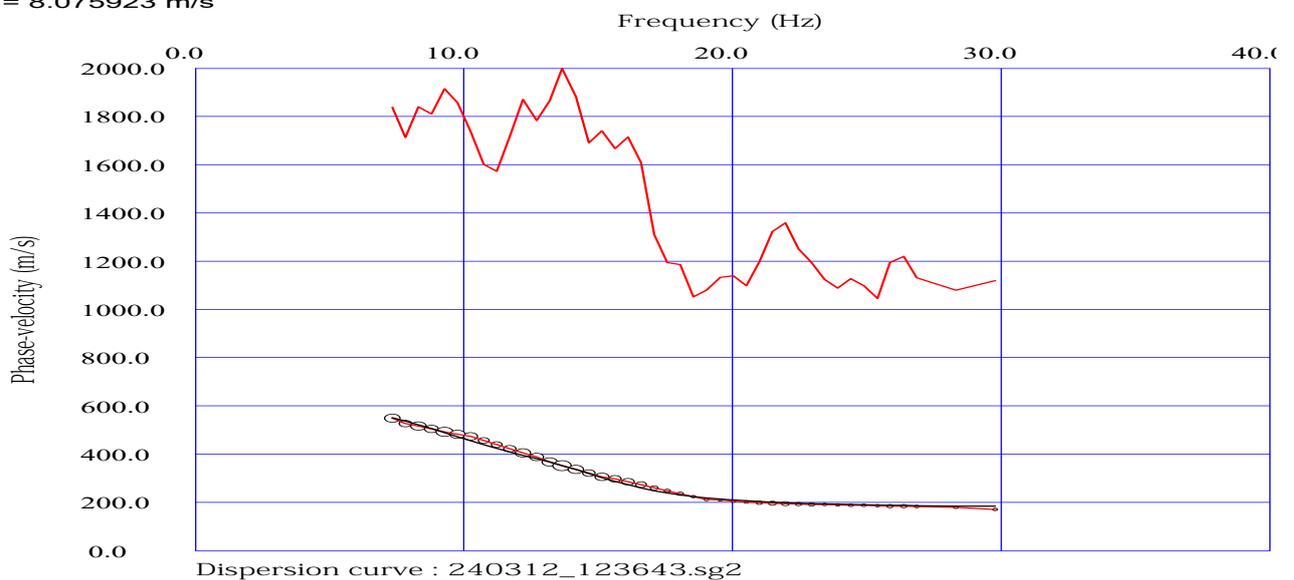
DRSE933 MASW-TM2



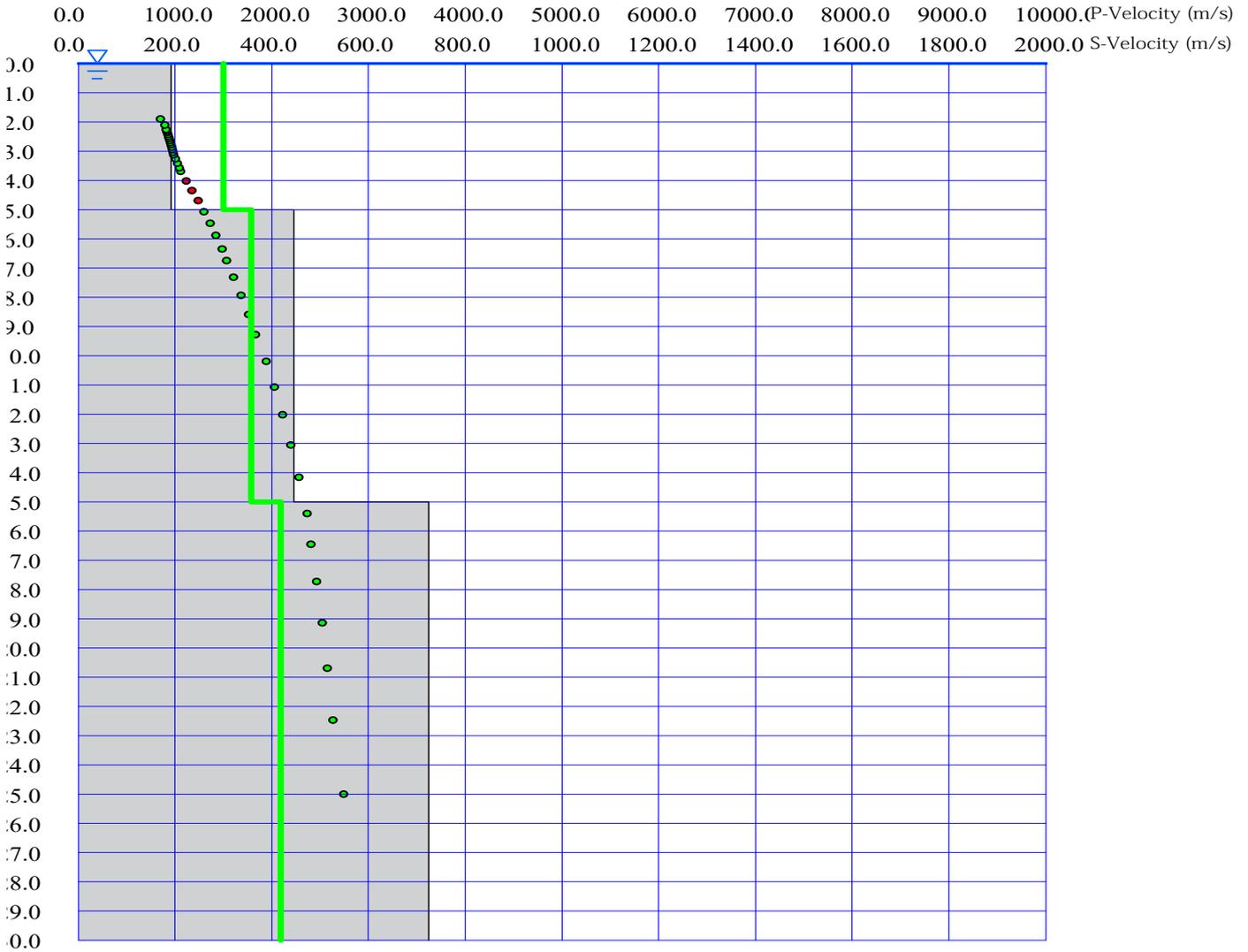
DRSE933 MASW-TM2



RMSE = 8.075923 m/s



DRSE933 MASW-TM2



S-velocity model : 240312_123643.sg2

PRSE933 MASW-TM2

PRSE 935-TM2

Depth [m]	Spessore [m]	S-velocity [m/s]	P-velocity (m/s)	Density [KN/m ³]	ν (-)	Vp/Vs (-)	G [Mpa]	Edin [Mpa]	
1	0.0	5.0	191.60	1502.68	17.89	0.49	7.84	67	200
2	5.0	10.0	445.77	1784.80	18.77	0.47	4.00	380	1116
3	15.0	15.0	724.17	2093.83	19.69	0.43	2.89	1053	3017
4	30.0 -		724.17	2093.83	19.69	0.43	2.89	1053	3017
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									

H = 30 m

Vs,eq : 433.3 (m/s)

Categoria suolo : B

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 e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

Legenda:

- v: Coefficiente di Poisson (-)
- Vp: Velocità delle onde longitudinali (m/s)
- Vs: Velocità delle onde di taglio (m/s)
- G: Modulo di rigidezza al taglio (Mpa)
- Ed: Modulo dinamico (Mpa)

DRSE933 MASW-TM2



DRSE933 MASW-TM3



DRSE933 MASW-TM3

Modi di vibrazione

Sia nella curva di inversione teorica che in quella sperimentale è possibile individuare le diverse configurazioni di vibrazione del terreno. I modi per le onde di Rayleigh possono essere: deformazioni a contatto con l'aria, deformazioni quasi nulle a metà della lunghezza d'onda e deformazioni nulle a profondità elevate.

Profondità di indagine

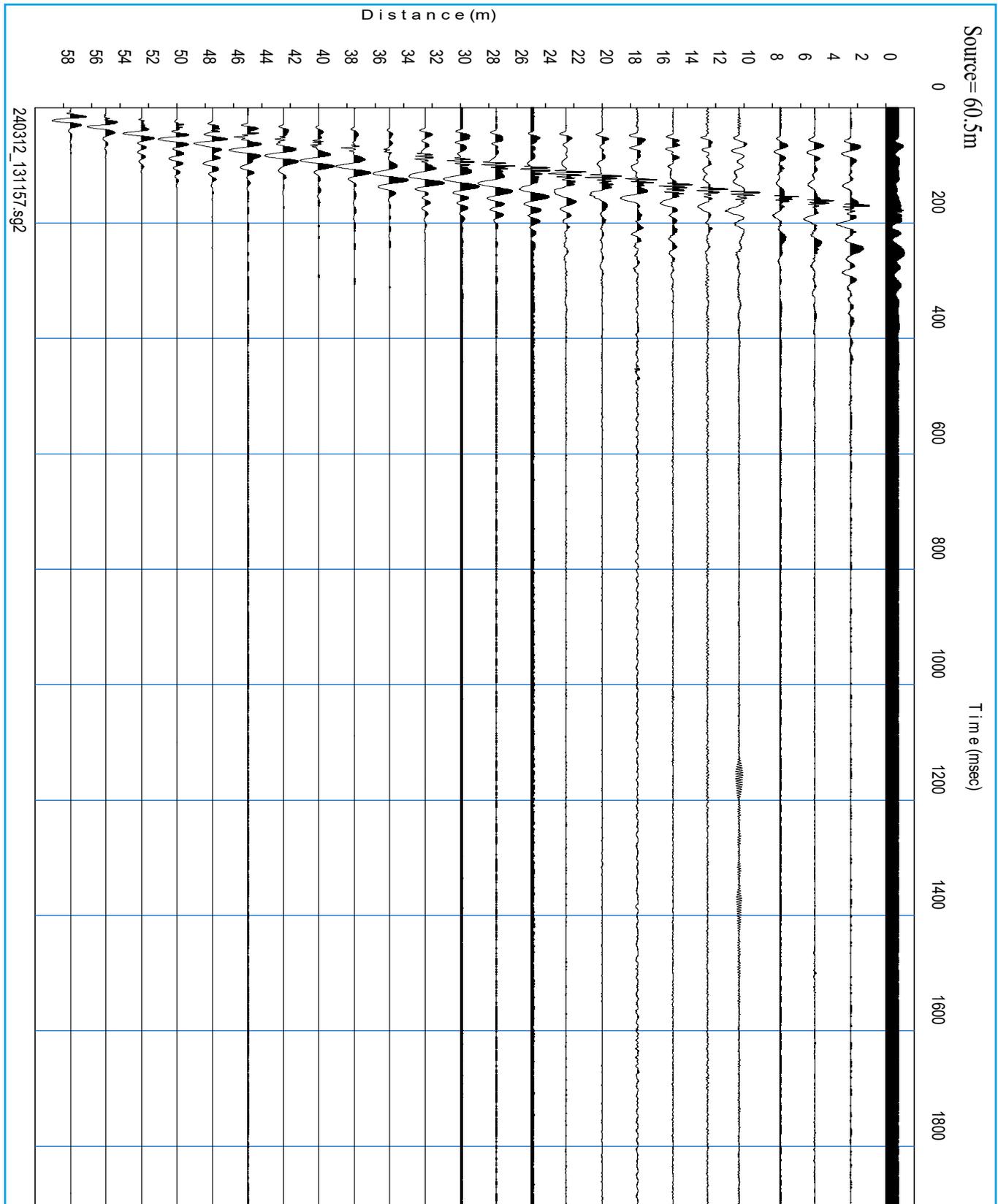
Le onde di Rayleigh decadono a profondità circa uguali alla lunghezza d'onda. Piccole lunghezze d'onda (alte frequenze) consentono di indagare zone superficiali mentre grandi lunghezze d'onda (basse frequenze) consentono indagini a maggiore profondità.

Id indagine **MASW-TM3**
LOCALITA' **CAMUGNANO (BO)**
DATA E ORA **12/03/2024**
Distanza tra i geofoni **2.5 metri battuta +3m.**

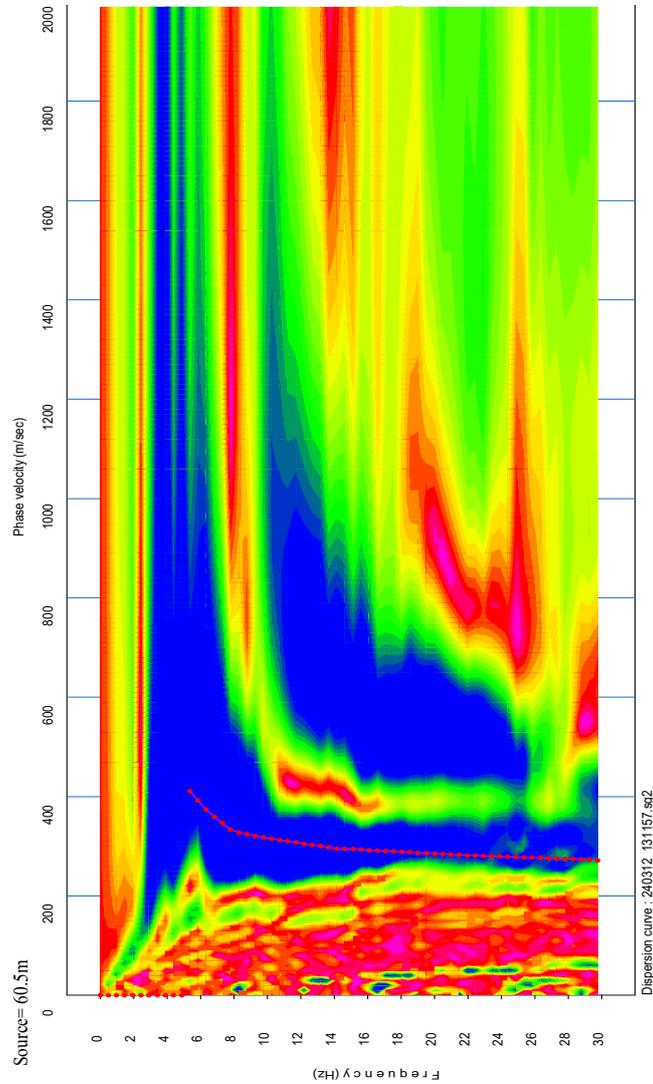
Coordinate WGS 84 : 671440.00E - 4893723.00N



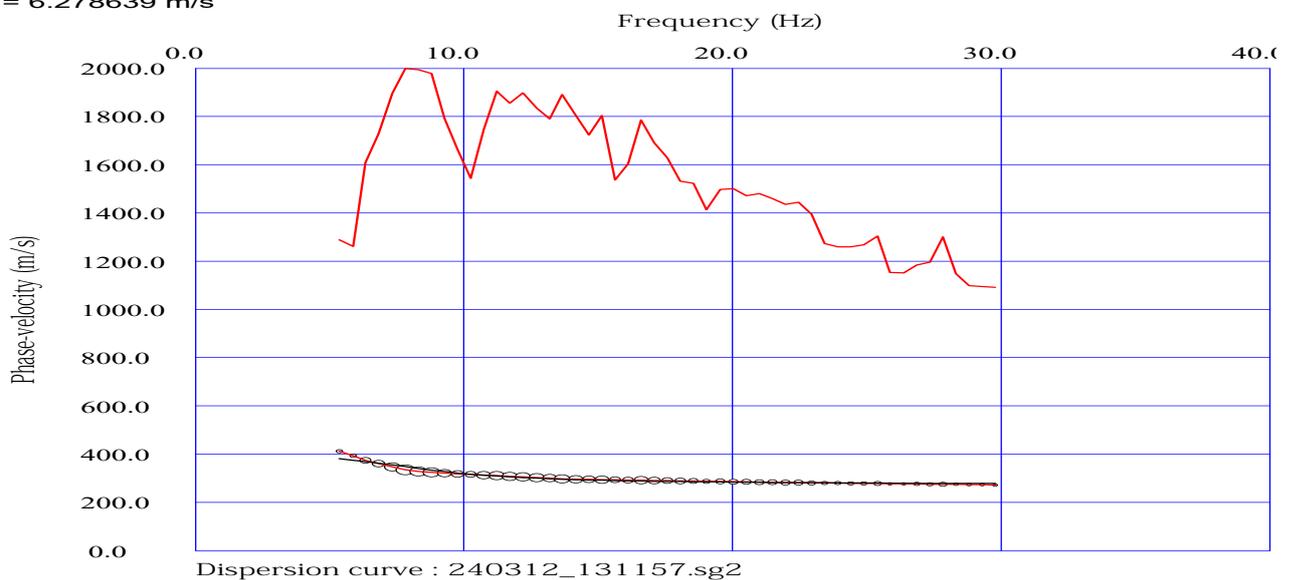
DRSE933 MASW-TM3



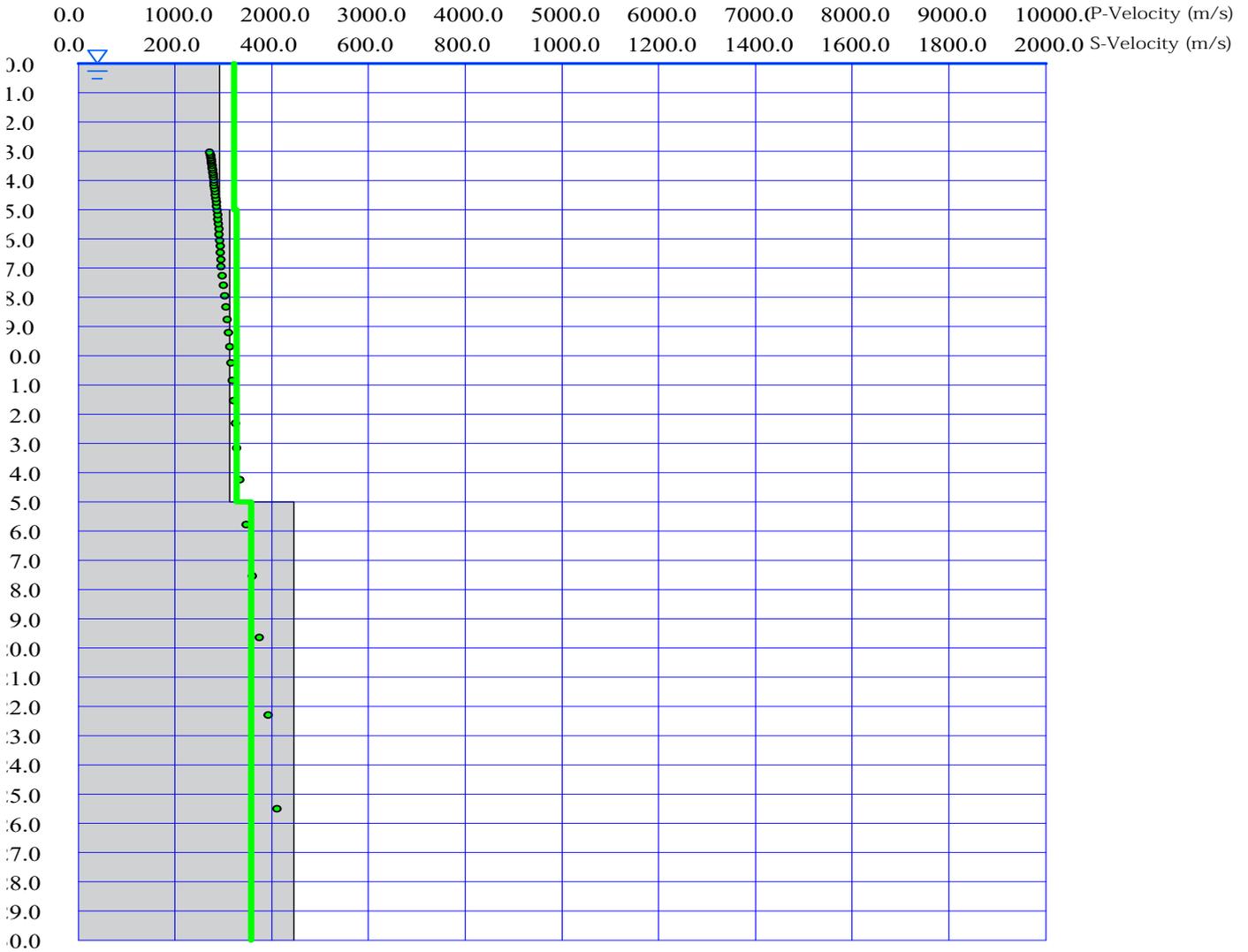
DRSE933 MASW-TM3



RMSE = 6.278639 m/s



DRSE933 MASW-TM3



S-velocity model : 240312_131157.sg2

PRSE933 MASW-TM3

PRSE 935-TM3

Depth [m]	Spessore [m]	S-velocity [m/s]	P-velocity (m/s)	Density [KN/m ³]	ν (-)	Vp/Vs (-)	G [Mpa]	Edin [Mpa]	
1	0.0	5.0	291.82	1613.92	18.24	0.48	5.53	158	470
2	5.0	10.0	313.52	1638.01	18.32	0.48	5.22	184	544
3	15.0	15.0	446.22	1785.30	18.77	0.47	4.00	381	1118
4	30.0 -		583.35	1937.52	19.23	0.45	3.32	667	1936
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									

H = 30 m

Vs,eq : 363.0 (m/s)

Categoria suolo : B

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 e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

Legenda:

- v: Coefficiente di Poisson (-)
- Vp: Velocità delle onde longitudinali (m/s)
- Vs: Velocità delle onde di taglio (m/s)
- G: Modulo di rigidezza al taglio (Mpa)
- Ed: Modulo dinamico (Mpa)

DRSE933 MASW-TM3



DRSE933 MASW-TM4



DRSE933 MASW-TM4

Modi di vibrazione

Sia nella curva di inversione teorica che in quella sperimentale è possibile individuare le diverse configurazioni di vibrazione del terreno. I modi per le onde di Rayleigh possono essere: deformazioni a contatto con l'aria, deformazioni quasi nulle a metà della lunghezza d'onda e deformazioni nulle a profondità elevate.

Profondità di indagine

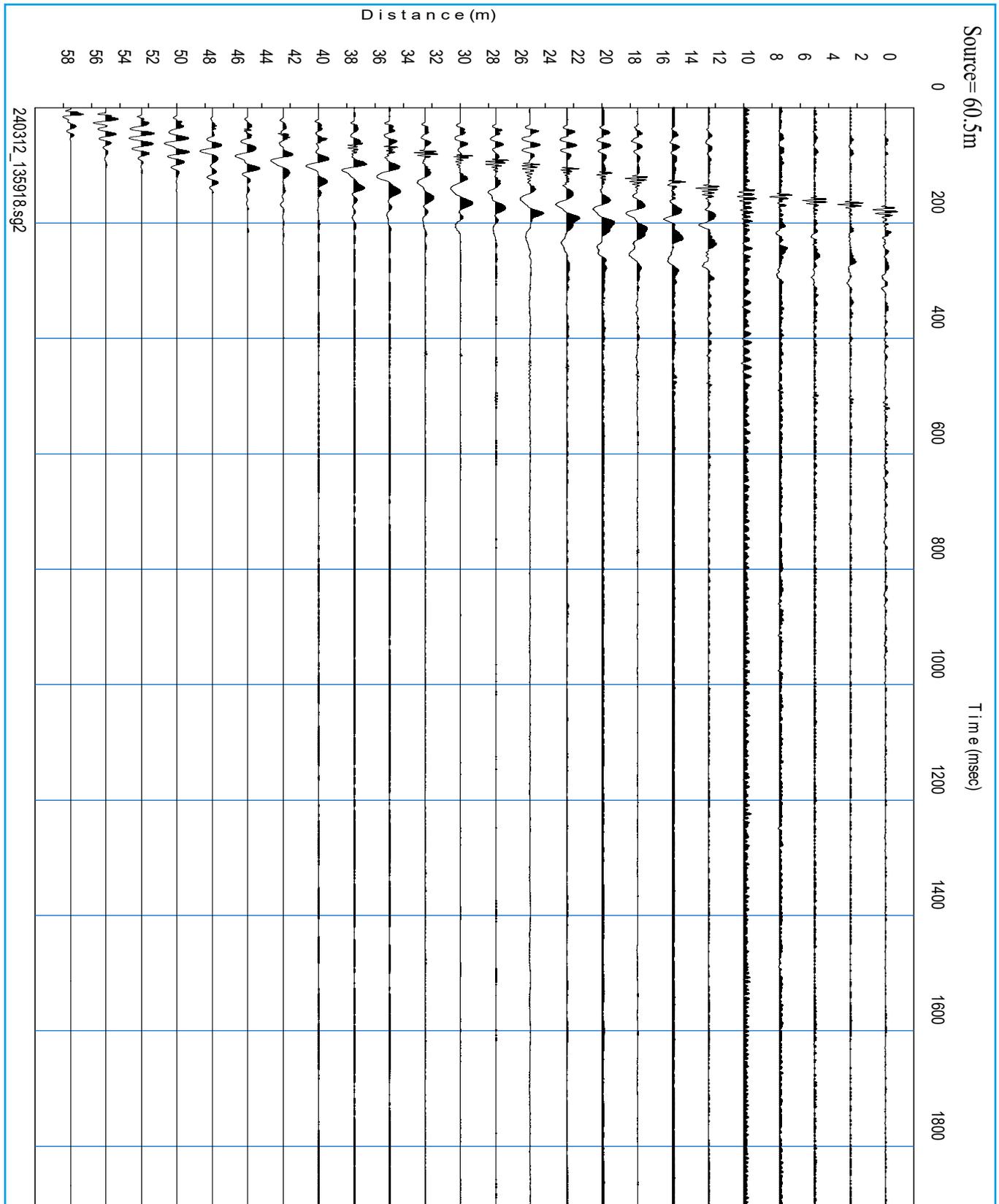
Le onde di Rayleigh decadono a profondità circa uguali alla lunghezza d'onda. Piccole lunghezze d'onda (alte frequenze) consentono di indagare zone superficiali mentre grandi lunghezze d'onda (basse frequenze) consentono indagini a maggiore profondità.

Id indagine **MASW-TM4**
LOCALITA' **CAMUGNANO (BO)**
DATA E ORA **12/03/2024**
Distanza tra i geofoni **2.5 metri battuta +3m.**

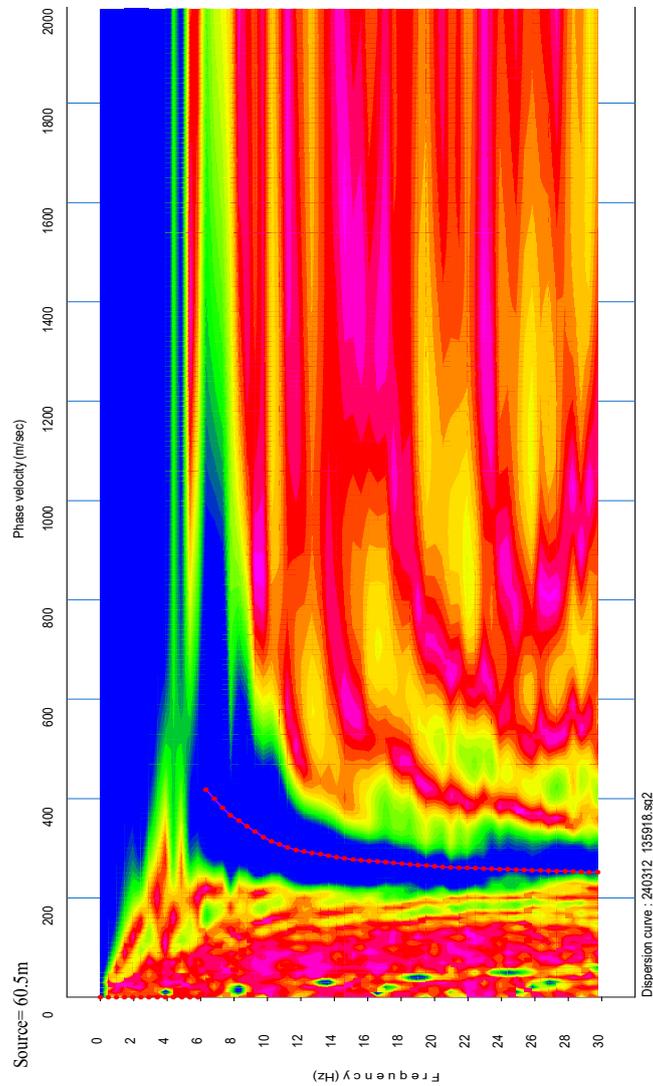
Coordinate WGS 84 : 667697.00E - 4894315.00N



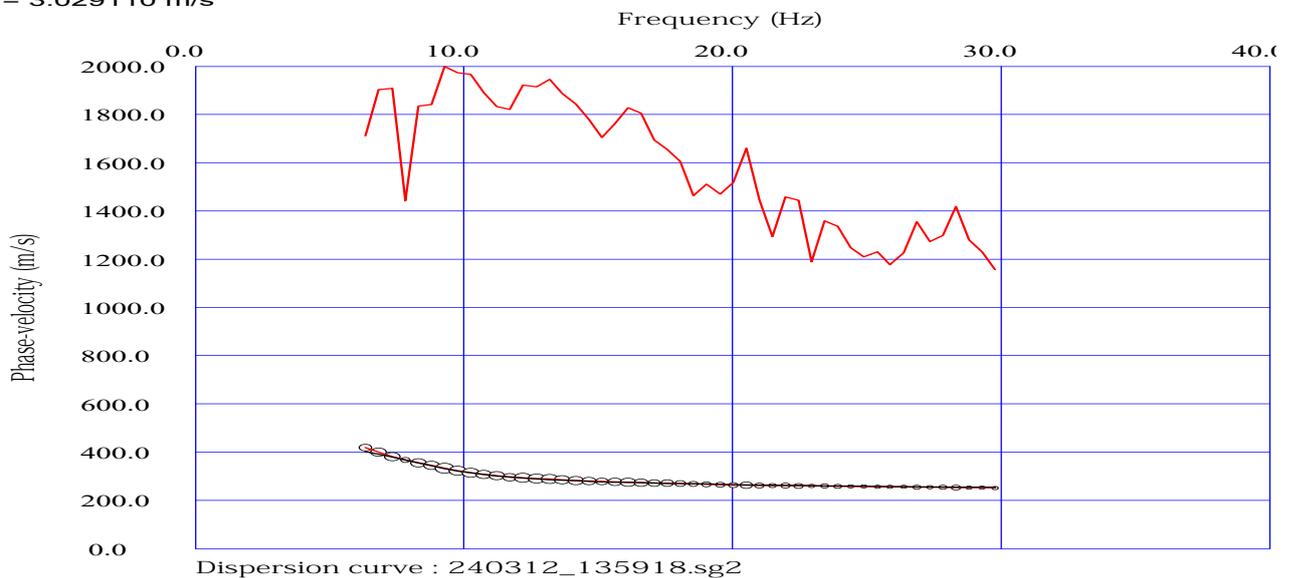
DRSE933 MASW-TM4



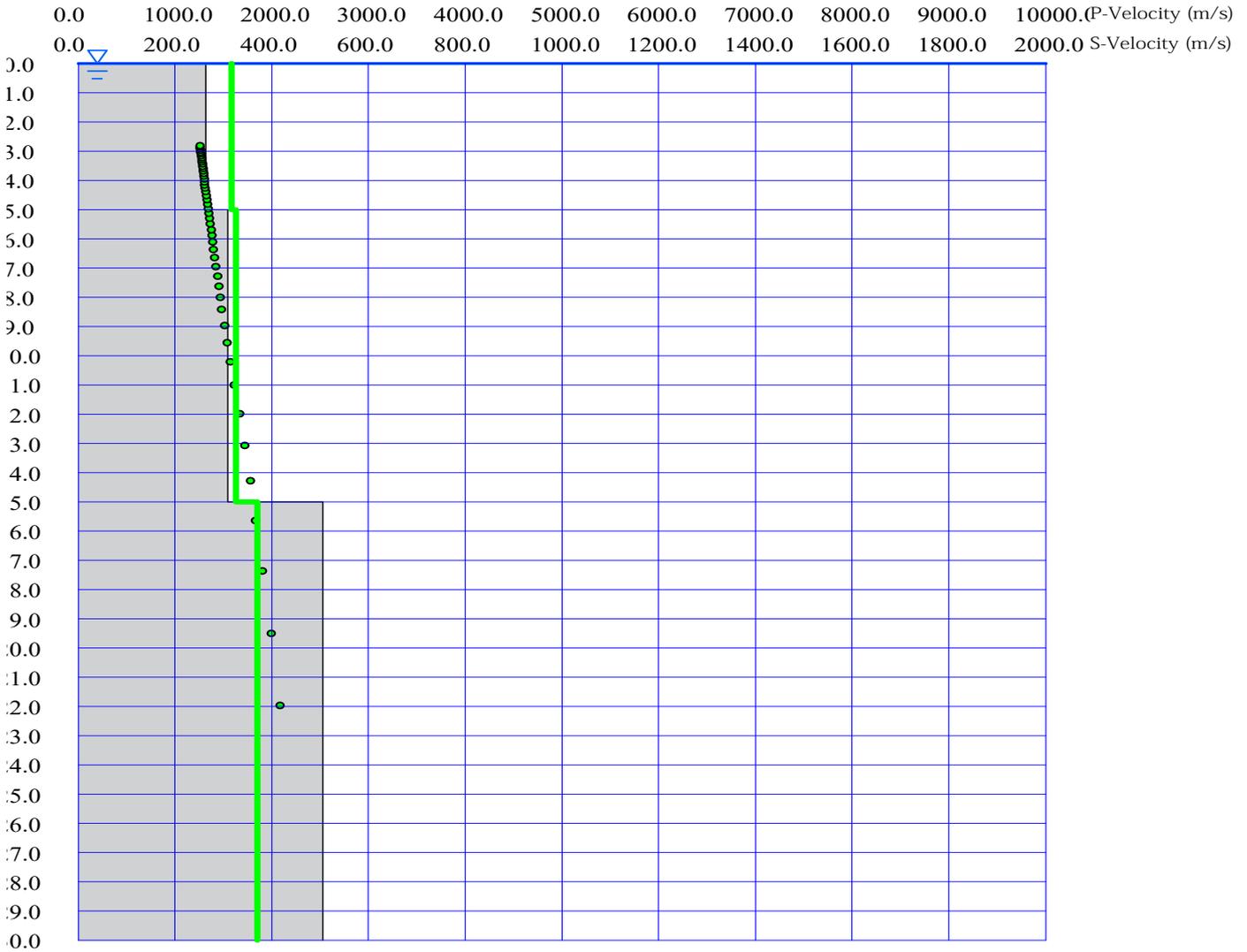
DRSE933 MASW-TM4



RMSE = 3.029110 m/s



DRSE933 MASW-TM4



S-velocity model : 240312_135918.sg2

PRSE933 MASW-TM4

PRSE 935-TM4

Depth [m]	Spessore [m]	S-velocity [m/s]	P-velocity (m/s)	Density [KN/m ³]	ν (-)	Vp/Vs (-)	G [Mpa]	Edin [Mpa]	
1	0.0	5.0	263.54	1582.53	18.14	0.49	6.00	128	382
2	5.0	10.0	308.70	1632.65	18.30	0.48	5.29	178	527
3	15.0	15.0	506.51	1852.22	18.98	0.46	3.66	496	1449
4	30.0 -		506.64	1852.37	18.98	0.46	3.66	497	1450
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									

H = 30 m

Vs,eq : 370.5 (m/s)

Categoria suolo : **B**

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 e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

Legenda:

- v: Coefficiente di Poisson (-)
- Vp: Velocità delle onde longitudinali (m/s)
- Vs: Velocità delle onde di taglio (m/s)
- G: Modulo di rigidezza al taglio (Mpa)
- Ed: Modulo dinamico (Mpa)

DRSE933 MASW-TM4



REGIONE EMILIA-ROMAGNA

COMUNE DI CAMUGNANO

Provincia di BOLOGNA

OGGETTO: Indagini geognostiche in sito

COMMESSA n°
PRSE - 935

LOCALITA' : Camugnano (BO)

CANTIERE : Parco eolico Camugnano

GeoSveva di Luigi Di Carlo

Laboratorio sperimentale di analisi geotecniche

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Autorizzazione n° 02610 - 26/03/2010

- via Montesanto n°64
- 71036 Lucera (FG)

- P.IVA 03 06 20 20 718
- Cod. Fisc. DCRLGU81A09D643E

T +39 0881 31 81 66
F +39 0881 31 81 67

www.geosveva.it

geosvevalaboratori@gmail.com
geosvevalaboratori@mailcertificata.it

c/o SANPAOLO Banco di Napoli Via Gramsci 13
Lucera (FG)
IBAN : IT94N0306978444100000000506



Ministero delle
Infrastrutture
e dei Trasporti



Socio
ALGI



Sistema di gestione
Qualità certificato
UNI EN ISO 9001:2008

COMMITTENTE :



CONTIENE:

– Prospezioni geofisiche tipo Sismica a rifrazione P

DATA
ACCETTAZIONE

29/02/2024

DATA
INIZIO

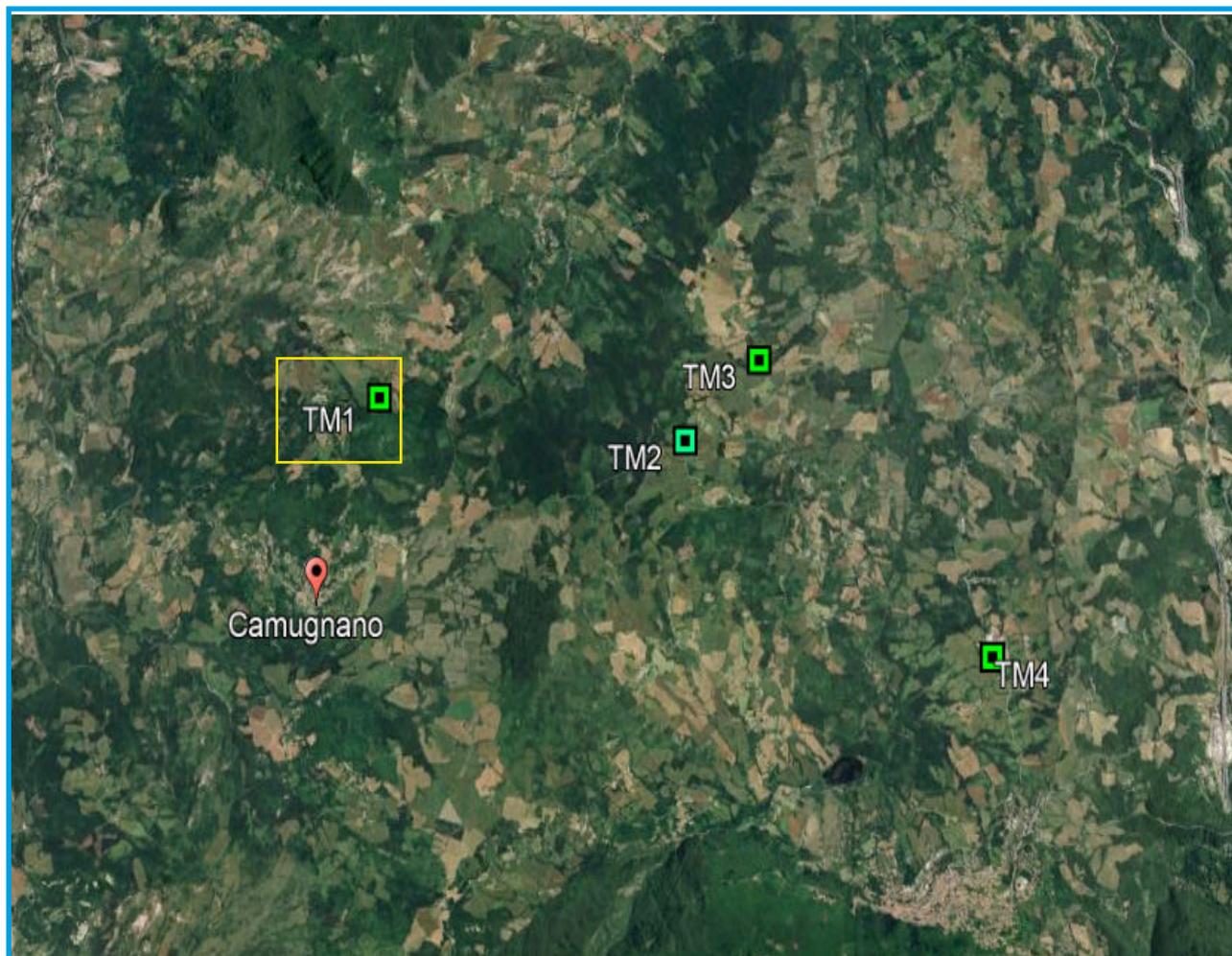
12/03/2024

DATA
EMISSIONE

14/03/2024

TOMOGRAFIA PRSE 935-TM1

OGGETTO: PARCO EOLICO CAMUGNANO
COMMITTENZA: HOPE S.R.L.



TOMOGRAFIA PRSE 935-TM1

LA SISMICA A RIFRAZIONE

Come noto, la sismica a rifrazione utilizza le onde acustiche nei corpi solidi, ricorrendo per l'energizzazione ad un martello percussore, una massa battente oppure una piccola carica esplosiva.

Le onde sismiche (sonore) viaggiano nel sottosuolo a differente velocità a seconda dei litotipi attraversati e subiscono lungo le superfici di discontinuità geologica i fenomeni della riflessione, rifrazione e diffrazione. Le superfici di confine degli strati geologici, caratterizzati da una differenza di velocità tra lo strato superiore (V_1) e lo strato ad esso sottostante (V_2), producono dei raggi rifratti che viaggeranno parallelamente alla superficie di discontinuità (con la stessa velocità dello strato "più veloce") rifrangendo continuamente verso l'alto (quindi verso lo strato "più lento") energia elastica.

Una delle condizioni principali per l'applicazione del metodo della sismica a rifrazione è che la velocità di propagazione delle onde sismiche aumenti con la profondità ($V_1 < V_2$). Un altro requisito indispensabile per il buon funzionamento di questa metodologia è che gli strati posseggano uno spessore sufficiente per essere rilevati; in caso contrario occorre aumentare il numero di geofoni e diminuirne la spaziatura.

L'energia rifratta che ritorna alla superficie viene misurata utilizzando dei geofoni.

Attraverso lo studio dei tempi di percorso e, quindi, delle velocità si può risalire alla disposizione geometrica ed alle caratteristiche meccanico-elastiche dei litotipi presenti nella zona di indagine. È buona norma commisurare l'intensità dell'energizzazione alla lunghezza dello stendimento e, quando possibile, utilizzare le opzioni di controllo automatico del guadagno. Diversamente i primi arrivi potrebbero essere difficili da riconoscere sia per l'eccessiva debolezza del segnale (geofoni lontani dal punto di scoppio) sia per la possibile saturazione dei geofoni più vicini.

IL COMPORTAMENTO SISMICO DELLE ONDE P

Le onde P sono anche chiamate Onde "Primarie" in quanto si propagano nel mezzo attraversato con maggiore velocità rispetto alle altre onde. Nelle onde P le particelle che costituiscono il mezzo attraversato vengono spostate nello stesso senso di propagazione dell'onda: in questo caso in senso radiale. Quindi, il materiale si estende e si comprime con il propagarsi dell'onda.

Le onde P viaggiano attraverso il terreno in modo analogo a quello delle onde sonore attraverso l'aria e la velocità con la quale si propagano in un mezzo dipende dalle proprietà fisiche (cioè rigidità, densità, saturazione) e dal grado di omogeneità del terreno. Dalla sorgente di energizzazione viene emanato un "treno d'onde" i cui segnali saranno rilevati dalle stazioni riceventi ad intervalli di tempo dipendenti dalle caratteristiche elastiche del terreno. La registrazione grafica del treno d'onda in arrivo è chiamata "sismogramma".

I fronti d'onda possono essere superfici sferiche o di forma qualsiasi. Il principio di Huygens, basilare nello studio di qualsiasi perturbazione ondosa, stabilisce però che "in ogni istante, qualsiasi punto di un fronte d'onda di forma qualsiasi può essere considerato come sorgente puntiforme d'onde circolari (oppure sferiche se la perturbazione è in tre dimensioni)".

La propagazione di onde può, quindi, essere interpretata come una continua generazione di onde circolari che, interferendo fra loro, danno luogo a un'onda risultante osservabile macroscopicamente.

Le semirette normali ai fronti d'onda sono chiamate "raggi sismici" ed indicano la direzione di propagazione dell'onda elastica.

Per l'analisi dei dati ottenuti tramite la sismica a rifrazione, è usuale considerare sia le immagini delle onde sismiche sia i percorsi dei raggi sismici. Questi ultimi possono sostituire i fronti d'onda con buona approssimazione, permettendo di trattare soltanto i tempi di percorso delle onde elastiche e non tutte le altre grandezze tipiche di un fenomeno ondulatorio quali ampiezza, frequenza e fase. Quando un raggio incontra un'eterogeneità sul percorso, per esempio un contatto litologico con un altro materiale, il raggio incidente si trasforma in diversi nuovi raggi. Gli angoli che il raggio incidente, i raggi riflessi ed i raggi rifratti formano con la normale alla superficie di contatto tra i due materiali sono legati fra loro ed alle velocità di propagazione da alcune relazioni note come "leggi di SNELL".

Le leggi di Snell affermano che il raggio incidente, riflesso e rifratto giacciono sullo stesso piano; inoltre valgono le seguenti relazioni tra gli angoli:

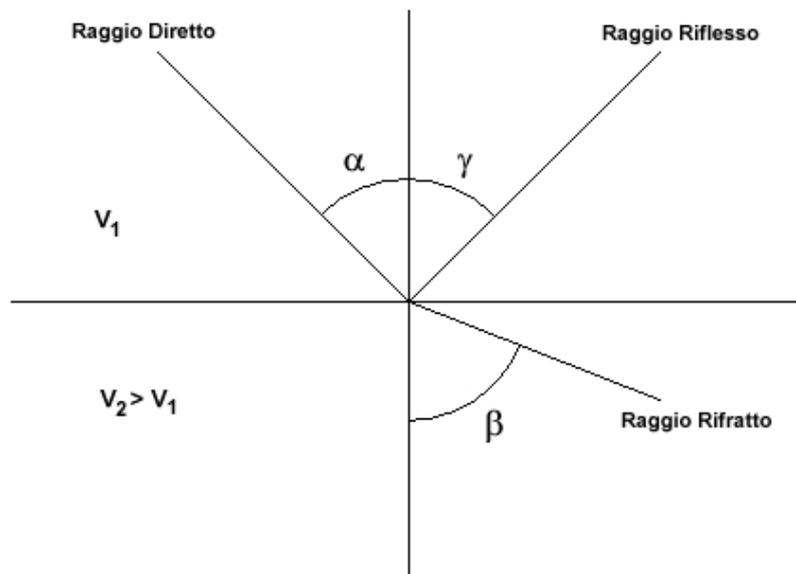
TOMOGRAFIA PRSE 935-TM1

per la riflessione: $\alpha = \gamma$

per la rifrazione: $V_1 \cdot \sin \alpha = V_2 \cdot \sin \beta$

Esiste un particolare valore dell'angolo di incidenza, chiamato "angolo critico" o "angolo limite" (i_c) particolarmente significativo per la sismologia di rifrazione. Si definisce infatti angolo critico l'angolo d'incidenza che rende $\beta=90^\circ$.

Se l'angolo di incidenza è uguale a 90° l'onda rifratta, secondo la teoria di Huygen, si propaga lungo il contorno dello strato e funge da fonte per un nuovo fronte d'onda secondario e per nuovi raggi. I percorsi dei raggi sismici escono con un angolo pari all'angolo critico. E' possibile determinare l'angolo critico calcolando l'inverso del seno del valore della velocità del primo strato/velocità del secondo strato. Se l'angolo di incidenza è maggiore dell'angolo limite, il fenomeno della rifrazione scompare e si ha riflessione totale senza propagazione dell'onda nel secondo strato.



APPLICAZIONI

Le indagini di sismica a rifrazione vengono normalmente impiegate per le seguenti problematiche:

- Mappatura delle zone formate da materiale disgregato
- Ricerca della profondità della falda freatica
- Determinazione della resistenza allo scavo
- Mappatura della permeabilità di strati ghiaiosi
- Mappatura degli strati composti da materiale sciolto
- Localizzazione delle zone di frattura
- Mappatura del substrato roccioso

TOMOGRAFIA PRSE 935-TM1

PROBLEMI E LIMITAZIONI DELLA SISMICA A RIFRAZIONE

- Le velocità sismiche dei terreni interessati dall'indagine devono crescere con la profondità
- Gli strati debbono possedere uno spessore sufficiente per essere rilevati
- Rilievi eseguiti su terreni di riporto o in aree adibite a discariche e in presenza di forte rumore antropico conducono spesso a risultati non affidabili
- Fratture singole e strette spesso non possono essere identificate.

INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI

Gli strumenti capaci di registrare movimenti nel terreno sono detti sismometri o geofoni. Essi saranno necessariamente posti sulla superficie del terreno.

Solitamente, si hanno sismogrammi di diversi geofoni, posti a diversa distanza dalla sorgente: questi possono essere stampati in funzione del tempo e della distanza, in quelle che vengono definite "registrazioni di scoppio" (shot records) e la variazione Tempo/Distanza è detta "scostamento" (moveout). Arrivi con ampio scostamento sono fortemente inclinati nella registrazione di scoppio e viceversa; dalle registrazioni di scoppio è quindi possibile distinguere l'arrivo delle diverse onde sismiche (dirette, riflesse, rifratte).

A piccole distanze (offset) il primo arrivo è delle onde dirette: questo arrivo ha grande ampiezza e lo scostamento è costante a tutte le distanze. A maggiori distanze il primo arrivo comincia ad essere quello dell'onda rifratta. Questo arrivo è caratterizzato da piccola ampiezza d'onda e da scostamento costante ma minore di quello dell'onda diretta. L'ultimo arrivo ad ogni geofono è quello dell'onda riflessa: il suo scostamento tende ad aumentare con la distanza secondo una funzione iperbolica.

Il diagramma che rappresenta i tempi di propagazione delle onde sismiche in funzione della distanza del punto di emissione si definisce "curva di propagazione" o "dromocrona" ("travel time curve"). Definirne l'andamento è compito primario nell'interpretazione della sismica a rifrazione.

Ciò che essenzialmente conta, per il metodo a rifrazione, è identificare il tempo di arrivo della prima onda in ogni geofono ("first break picking"). Questa distinzione non è sempre agevole.

I due segmenti relativi all'arrivo delle onde dirette, prima, e delle rifratte frontali poi, non sono sempre facilmente distinguibili. Il punto di ginocchio, il punto cioè a partire dal quale si verifica la variazione di inclinazione, è detto distanza critica ("cross-over distance"). È quindi importante osservare che la scelta dei primi arrivi deve essere considerata già come parte dell'interpretazione dei dati più che della raccolta; l'operatore dovrà perciò aver cura di verificare direttamente sul sito che il rapporto segnale/rumore sia accettabile, ed eventualmente ripetere l'acquisizione.

METODI DI INTERPRETAZIONE

I metodi di interpretazione per la sismica a rifrazione possono essere raggruppati in tre classi principali:

- (1) Metodi dei Tempi di intercetta (ITM - Intercept-Time Methods)
- (2) Metodi dei Tempi di ritardo o Reciproci (DTM - Delay Time Method)
- (3) Metodi di Ray tracing

Il livello di calcoli richiesto è progressivamente maggiore da metodo a metodo. I metodi ITM richiedono essenzialmente una calcolatrice. I metodi DTM variano dalla versione più semplice a quella generalizzata, e richiedono l'uso di un personal computer. I metodi basati sul Ray Tracing richiedono risorse di calcolo decisamente più elevate e non saranno presi in esame in questo contesto.

I metodi ITM - Time-Intercept Methods.

La dromocrona, o curva distanza-tempo, nel caso di un rilevamento sismico per rifrazione è espressa su un grafico dall'equazione di una retta.

In presenza di stratificazioni piane ed orizzontali l'inclinazione delle rette dei primi arrivi è uguale al reciproco della velocità di propagazione nel mezzo 1 (V_1) o nella discontinuità o secondo mezzo (V_2). Dai diagrammi di queste rette possiamo determinare lo spessore dello strato superiore.

TOMOGRAFIA PRSE 935-TM1

In base alla potenza dello strato superiore, infatti, si avrà una retta con uguale inclinazione (essendo questa legata solo alle velocità) ma con un punto di ginocchio diversamente posizionato: più è potente lo strato superiore, maggiore sarà il tempo impiegato dall'onda frontale rifratta per generarsi e tornare in superficie, dunque varierà la distanza di ricezione delle onde dirette e delle rifratte frontali. Lo spessore può essere calcolato considerando l'ascissa del punto di ginocchio (x_c) oppure considerando il tempo di intercetta t_0 cioè il valore del tempo di arrivo dell'onda rifratta a distanza 0, ottenuto proiettando sull'asse dei tempi la retta relativa alla velocità di propagazione nel secondo mezzo.

$$h = \frac{x_c}{2} \sqrt{\frac{V_2 - V_1}{V_2 + V_1}}$$

$$h = \frac{t_0}{2} \frac{V_2 V_1}{\sqrt{V_2^2 - V_1^2}}$$

Caso di un singolo strato non orizzontale

Prendendo in considerazione la pendenza dello strato i calcoli si complicano:

- le velocità osservate per il secondo strato risultano essere velocità apparenti, che variano significativamente con la pendenza (maggiore alla velocità reale in direzione up-dip e minore in direzione down-dip);
- le profondità determinate mediante i tempi di intercetta sono le profondità inclinate e non le profondità reali sotto il punto di scoppio;
- sono richiesti stendimenti coniugati, in quanto i sismogrammi ottenuti in un'unica direzione forniscono unicamente una velocità apparente per il secondo strato.

Le equazioni per il calcolo delle profondità inclinate sono le seguenti:

$$\text{Profondità}_{(\text{down-dip})} = \frac{V_1 \cdot t_{i(\text{down-dip})}}{2 \cos \alpha}$$

$$\text{Profondità}_{(\text{up-dip})} = \frac{V_1 \cdot t_{i(\text{up-dip})}}{2 \cos \alpha}$$

Dove:

Profondità (down-dip) = il rifrattore immerge dal punto di sparo verso i geofoni

Profondità (up-dip) = il rifrattore risale verso il punto di sparo

V_1 = velocità del terreno

t_i (up-dip) = tempo di intercetta up-dip

t_i (down-dip) = tempo di intercetta down-dip

$$\cos \alpha = \frac{\sqrt{V_2^2 - V_1^2}}{V_2}$$

Un' approssimazione utile per V_2 (che non può essere misurato direttamente dalla curva dei tempi di percorso) è data dalla seguente equazione:

$$V_2 = \frac{2 \cdot V_{2(\text{up-dip})} \cdot V_{2(\text{down-dip})}}{V_{2(\text{up-dip})} + V_{2(\text{down-dip})}} \cos \delta$$

TOMOGRAFIA PRSE 935-TM1

Dove:

V2 = velocità approssimata dello strato sottostante

V2(up-dip) = velocità apparente dello strato sottostante misurata up-dip

V2(down-dip) = velocità apparente dello strato sottostante misurata down-dip

J = valore stimato della pendenza

Il valore dell'angolo d è calcolabile utilizzando la seguente formula:

$$\delta = \frac{\sin^{-1}\left(\frac{V_1}{V_{2(\text{down-dip})}}\right) - \sin^{-1}\left(\frac{V_1}{V_{2(\text{up-dip})}}\right)}{2}$$

Poiché il coseno dell'angolo d è approssimativamente 1.0, è necessario che le pendenze siano basse.

E' necessario sottolineare che il presupposto primario nell' uso dei metodi ITM è che la geometria della superficie di contatto sia piana. Questo presupposto permette di usare le informazioni derivate dalle osservazioni (arrivi) oltre la distanza del punto di ginocchio per derivare una profondità che è determinata nell'intorno del punto di energizzazione.

Tuttavia, questi metodi sono utili per una valutazione di massima delle profondità e per eseguire un semplice controllo dei risultati ottenuti con tecniche di interpretazione più sofisticate.

Caso di terreno multistrato

Il caso di terreni multistrato non comporta particolari variazioni. I principi di calcolo rimangono gli stessi, con la sovrapposizione (arrivi da entrambe le direzioni) per tutti gli strati necessari. Per gli strati orizzontali possono essere utilizzate le seguenti equazioni:

$$h_2 = \frac{t_{i3} V_2 V_3}{2 \sqrt{V_3^2 - V_2^2}} - h_1 \left(\frac{V_2}{V_1} \right) \sqrt{\frac{V_3^2 - V_1^2}{V_3^2 - V_2^2}}$$

Lo spessore h1 del primo strato è determinata usando il caso di un terreno con due strati ed il tempo di intercetta ti2 del secondo segmento di linea o la distanza critica Xc2 determinata dai primi due segmenti di linea. Questo spessore è usato nel calcolo dello spessore dello strato seguente h2.

In termini di distanza critica l'equazione può essere così riscritta:

$$h_2 = \frac{X_{c3}}{2} \sqrt{\frac{V_3 - V_2}{V_3 + V_2}} + \frac{h_1}{V_1} \left(\frac{V_3 \sqrt{V_2^2 - V_1^2} - V_2 \sqrt{V_3^2 - V_1^2}}{\sqrt{V_3^2 - V_2^2}} \right)$$

Il calcolo può essere esteso agli strati più profondi usando estensioni di queste equazioni generali. Poiché le equazioni in questa forma contengono gli spessori degli strati meno profondi, il calcolo comincia con il primo strato e progredisce verso il basso. Si noti che queste equazioni non comprendono la pendenza.

Le equazioni per gli strati piani inclinati sono utilizzate nel metodo GRM (Palmer - 1980).

Metodi del Reciproco (Reciprocal methods)

I metodi reciproci includono più di 20 metodi di interpretazione, compresi i metodi basati sui tempi di ritardo, i quali possono o non possono richiedere la misura di un tempo reciproco.

Il tempo reciproco è il tempo di corsa lungo il rifrattore da una sorgente di energizzazione ad un'altra.

Esistono diverse versioni di questi metodi che si differenziano per alcuni fattori di correzione. In generale si ipotizza una superficie di contatto non eccessivamente inclinata ed una velocità del rifrattore costante.

Conoscendo il tempo di percorso dalla sorgente di energizzazione S ad un certo geofono G ed il tempo di percorso

TOMOGRAFIA PRSE 935-TM1

coniugato dalla sorgente S' al medesimo geofono G ed il tempo di percorso dalla sorgente di energizzazione S ad un certo geofono G1 (possibilmente distante dal primo) ed il tempo di percorso coniugato dalla sorgente S' al medesimo geofono G1 è possibile calcolare la velocità V2 del rifrattore utilizzando la seguente formulazione:

$$V_2 = \frac{2|\Delta x|}{|\Delta t| + |\Delta t'|}$$

Dove:

Δx = distanza in superficie compresa tra il geofono G ed il geofono G1

Δt = differenza dei tempi di percorso diretti

$\Delta t'$ = differenza dei tempi di percorso coniugato

Il tempo t di percorso diretto per il geofono G può essere espresso dalla seguente formulazione:

$$t = \frac{h_g + h_s}{V_1} \cos i_c + \frac{x_g}{V_2}$$

Dove:

h_g = minima profondità in corrispondenza del geofono

h_s = minima profondità in corrispondenza della sorgente

x_g = distanza fra il geofono e lo sparo

Analogamente potrà essere scritta una equazione equivalente per il tempo impiegato dall'onda sismica a raggiungere il geofono G partendo dalla sorgente coniugata.

I tempi calcolati saranno ovviamente differenti; ciò che invece deve essere uguale è il tempo del percorso totale, fra le sorgenti dirette e coniugate. Questo tempo è chiamato tempo di estremità:

$$t = \frac{h_s + h_{s'}}{V_1} \cos i_c + \frac{x_0}{V_2}$$

dove x_0 è uguale alla somma della distanza del geofono dal punto di sparo del percorso diretto e della distanza del geofono dal punto di sparo nel percorso coniugato.

Sottraendo al tempo di estremità la somma dei tempi precedentemente calcolati, è possibile risolvere l'equazione rispetto ad h ed ottenere la profondità minima. Tale procedimento dovrà essere eseguito per ogni geofono.

La profondità h rappresenta il raggio di un arco di circonferenza con centro nella posizione del relativo geofono: il contorno del rifrattore toccherà almeno in un punto ciascuno di questi archi e quindi potrà essere determinato graficamente come involucro degli archi.

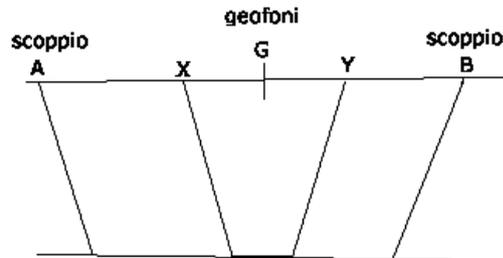
Metodo del Reciproco Generalizzato (Generalized Reciprocal Method - GRM)

Il metodo reciproco generalizzato è stato sviluppato per sormontare alcune imperfezioni dei metodi più semplici, i quali sono messi in difficoltà dalla presenza di superfici, topografiche o del sottosuolo, particolarmente accidentate. Il metodo di Palmer utilizza due funzioni: la funzione di analisi-velocità e la funzione tempo-profondità.

La funzione Analisi Velocità

La particolarità del metodo è l'uso degli arrivi diretti ed inversi a due geofoni, posti ad una distanza XY. Se la posizione di XY è scelta in modo che il punto di emersione dal rifrattore sia comune, il tempo di percorso, e quindi il calcolo della velocità, dipenderà soltanto dalle caratteristiche del materiale.

TOMOGRAFIA PRSE 935-TM1



La funzione analisi-velocità, riferendosi alla figura sottostante, è definita dall'equazione:

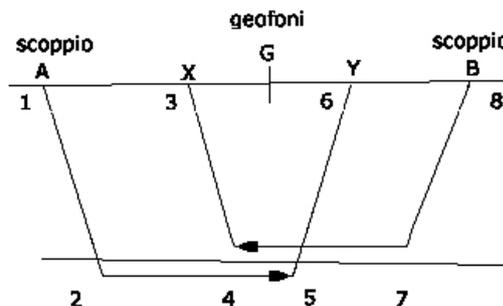
$$t = \frac{t_{AY} - t_{BX} + t_{AB}}{2}$$

$$t_{AY} = (12) + (34) + (45) + (56)$$

$$t_{BX} = (78) + (57) + (45) + (34)$$

$$t_{AB} = (12) + (24) + (45) + (57) + (78)$$

$$t = \frac{2(12) + 2(24) + (45)}{2}$$



Il valore di questa funzione è riferito al punto mediano G fra X ed Y.

Producendo i grafici dei tempi di percorso in relazione alla posizione dei geofoni è possibile derivare la velocità V_2 del rifrattore, indipendentemente dall'inclinazione e dalla topografia. Ciò che influenza il calcolo è dunque la scelta dei geofoni XY. Se la posizione di XY è scelta in modo che il punto d'uscita sul rifrattore sia comune, il tempo di percorso, e quindi il calcolo della velocità, dipenderà soltanto dalle caratteristiche del materiale.

La funzione Tempo-Profondità

Il metodo GRM prevede ora la creazione di funzioni tempo-profondità per ciascun geofono.

Facendo riferimento alla figura precedente la funzione generalizzata tempo-profondità è definita. Calcolo del valore di XY ottimale dall'equazione:

$$t = \frac{t_{AY} + t_{BX} - (t_{AB} + XY/V_2)}{2}$$

TOMOGRAFIA PRSE 935-TM1

Calcolo del valore di XY ottimale

La valutazione della distanza XY ottimale può essere ottenuta utilizzando le velocità e gli spessori di strato precedentemente determinati: se sono noti gli spessori e le velocità di ciascuno strato, il valore XY per ogni strato può essere calcolato direttamente, quindi applicando un procedimento iterativo è possibile determinare tali valori automaticamente e con notevole precisione.

Metodo del Ray Tracing

I programmi basati su questa metodologia partono solitamente da una prima interpretazione effettuata con uno dei metodi precedentemente descritti, quindi viene calcolato il tempo di arrivo previsto ad un geofono in base ad un modello iniziale.

La complessità del calcolo aumenta in funzione del modello utilizzato. Il calcolo è eseguito in forma iterativa fino a convergenza, che nei modelli più complessi deve a volte essere forzata.

Dopo aver determinato i tempi di arrivo ai geofoni occorre correggere il modello così da far coincidere, per quanto possibile, i tempi calcolati ed i tempi osservati, quindi si procede nuovamente con il calcolo dei tempi di percorso basati sul modello corretto.

Onde P-Descrizione del metodo e della strumentazione

L'indagine geosismica del tipo a rifrazione di superficie, come tutti i metodi d'indagine indiretta del sottosuolo, permette di investigare un certo volume di sottosuolo variabile a seconda sia della lunghezza dei profili eseguiti ma anche della natura litologica del sito.

Il metodo consiste nell'inviare nel terreno un impulso sismico, tramite un' opportuna sorgente a impatto o esplosiva e nel rilevare il primo arrivo di energia, costituito da un' onda elastica diretta e da una rifratta. L' onda rifratta, emergente in superficie, è generata da interfacce rifrangenti che separano mezzi a differente velocità sismica (sismostrati), generalmente, crescente con la profondità. I primi arrivi, individuati su sismogrammi rilevati dai geofoni e registrati tramite un sismografo, sono riportati su grafici tempo-distanza (dromocrone), in seguito interpretati per ottenere informazioni sismo stratigrafiche.

Onde P-Elaborazione dei dati

L'elaborazione dei dati è stata eseguita secondo la procedura descritta schematicamente di seguito:

- Inserimento delle geometrie mediante il software Pickwin (distanze fra geofoni e posizioni dei punti di scoppio);
- Applicazione dei filtri "lowpass" e "highpass" per la lettura ottimale dei primi arrivi eliminando le frequenze di disturbo;
- Picking dei primi arrivi;
- Export delle dromocrone;
- Inversione tomografica dei dati attraverso l'applicativo Plotrefa;
- Definizione del modello sismostratigrafico.

Onde P-Rappresentazione dei dati

I dati elaborati sono stati esportati e restituiti come di seguito riportato:

- sismogrammi relativi agli scoppi;
- dromocrone relative rispettivamente alle onde P;
- sezioni tomografiche
- modelli sismo stratigrafici.

In particolare l'elaborazione tomografica rappresenta l'andamento dei sismo strati, lungo la sezione corrispondente al profilo in superficie, ottenuta dalla elaborazione ed inversione dei dati sismici; il modello sismo stratigrafico rappresenta invece l'interpretazione degli stessi sismo strati.

Onde P-Interpretazione dei risultati

Ai fini della corretta interpretazione dei risultati dell' indagine sismica è importante precisare che generalmente:

- a) i sismostrati non sono necessariamente associabili a litotipi ben definiti, ma sono rappresentativi di livelli con simili caratteristiche elastiche, in cui le onde sismiche si propagano con la stessa velocità;
- b) la risoluzione del metodo è funzione della profondità di indagine e la risoluzione diminuisce con la profondità: considerato uno strato di spessore h ubicato a profondità z dal piano campagna, in generale non è possibile individuare sismostrati in cui $h < 0.25 * z$.
- c) i terreni esaminati possono ricoprire un ampio campo delle velocità sismiche, in relazione alla presenza di materiale di riporto, di terreno vegetale e di acqua di falda nonché ai vari gradi di stratificazione, carsificazione e di fratturazione dell'ammasso roccioso.

TOMOGRAFIA PRSE 935-TM1

Id indagine PRSE 935 - TM1
LOCALITA' CAMUGNANO (BO)
DATA E ORA 12/03/2024

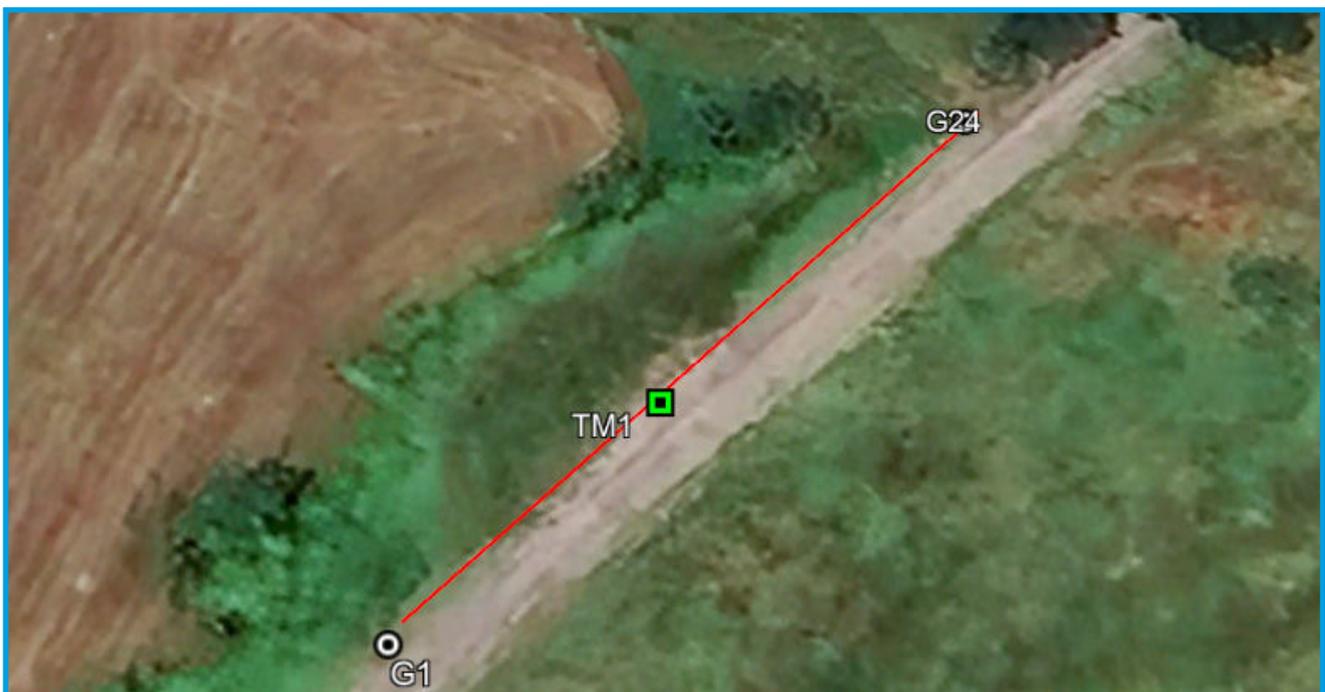
Coordinate WGS 84 :

Geofono 1: 0667691 N- 4894312 E
Geofono 12-13: 0667697 N- 4894315 E
Geofono 24: 0667741 N- 4891341 E

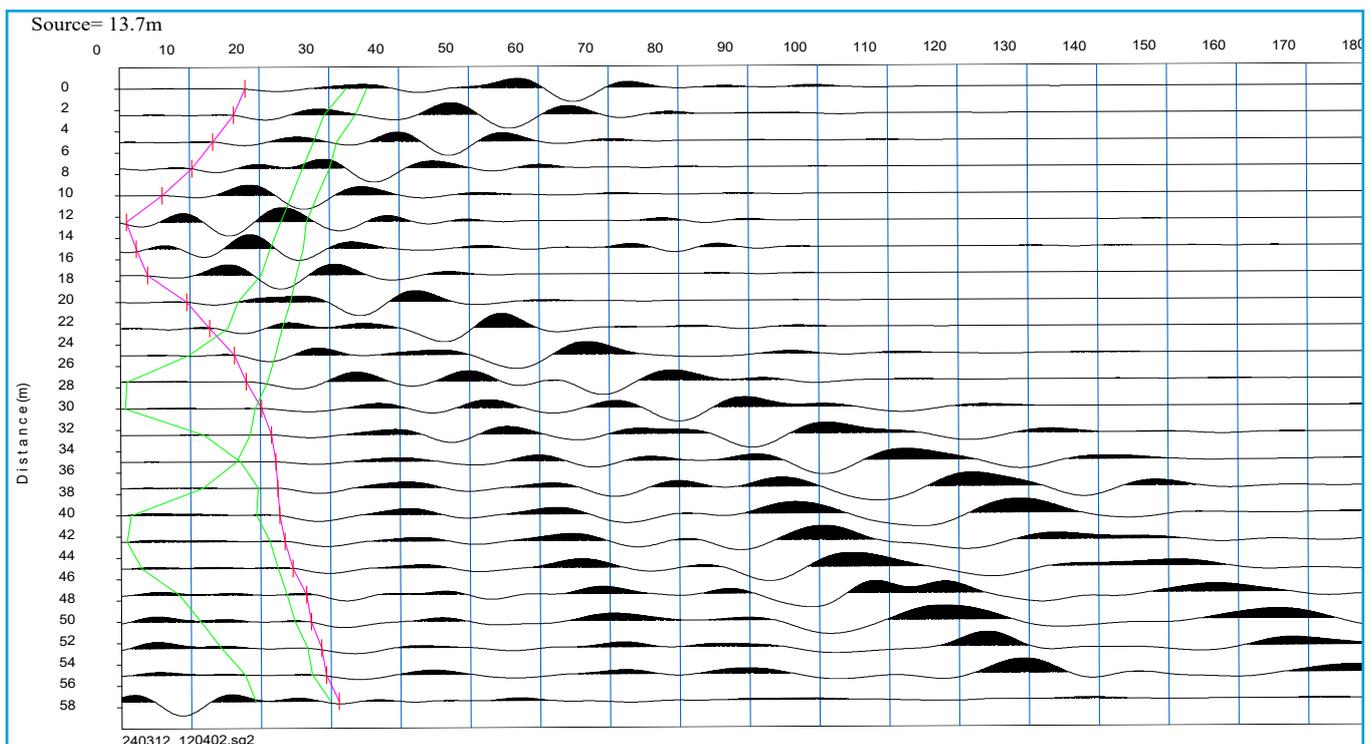
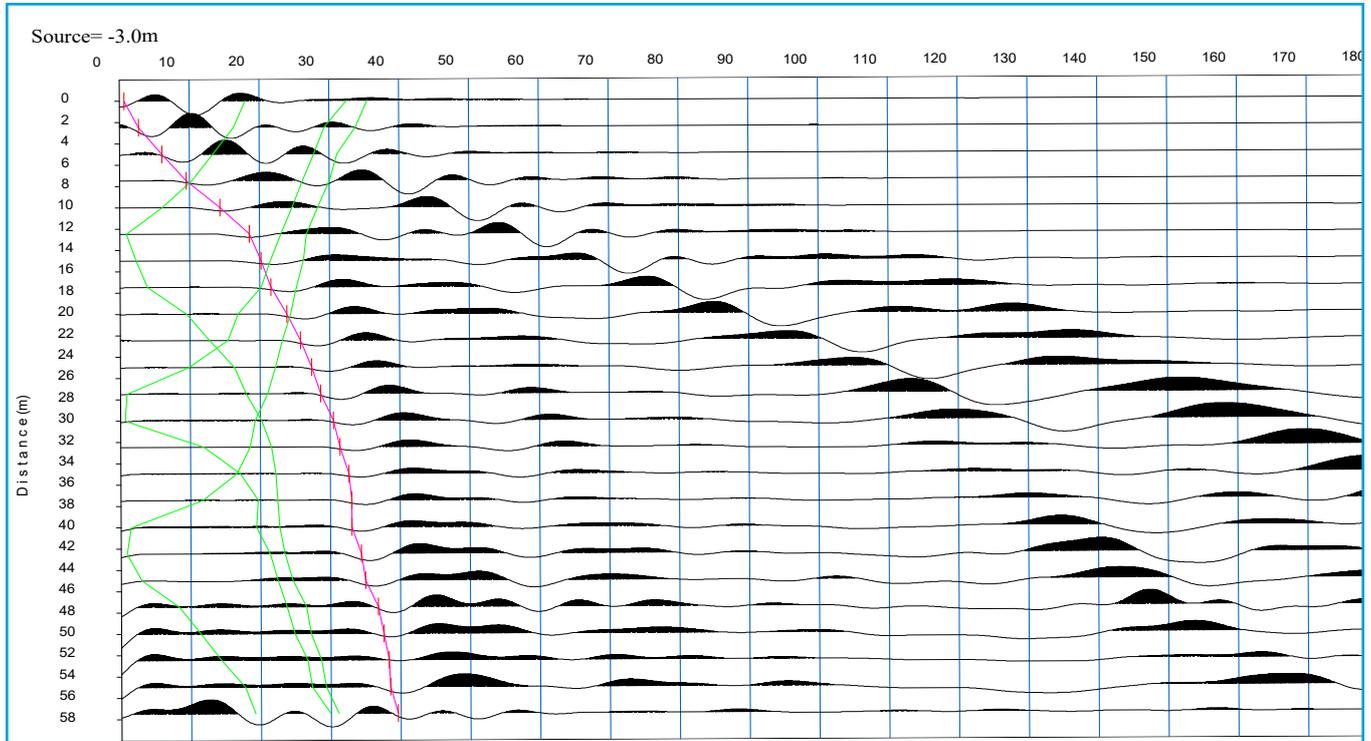
Onde P-Acquisizione dei dati

Distanza tra i geofoni : 2.5 m
Estensione della prova: 60 m
Posizione dello scoppio:

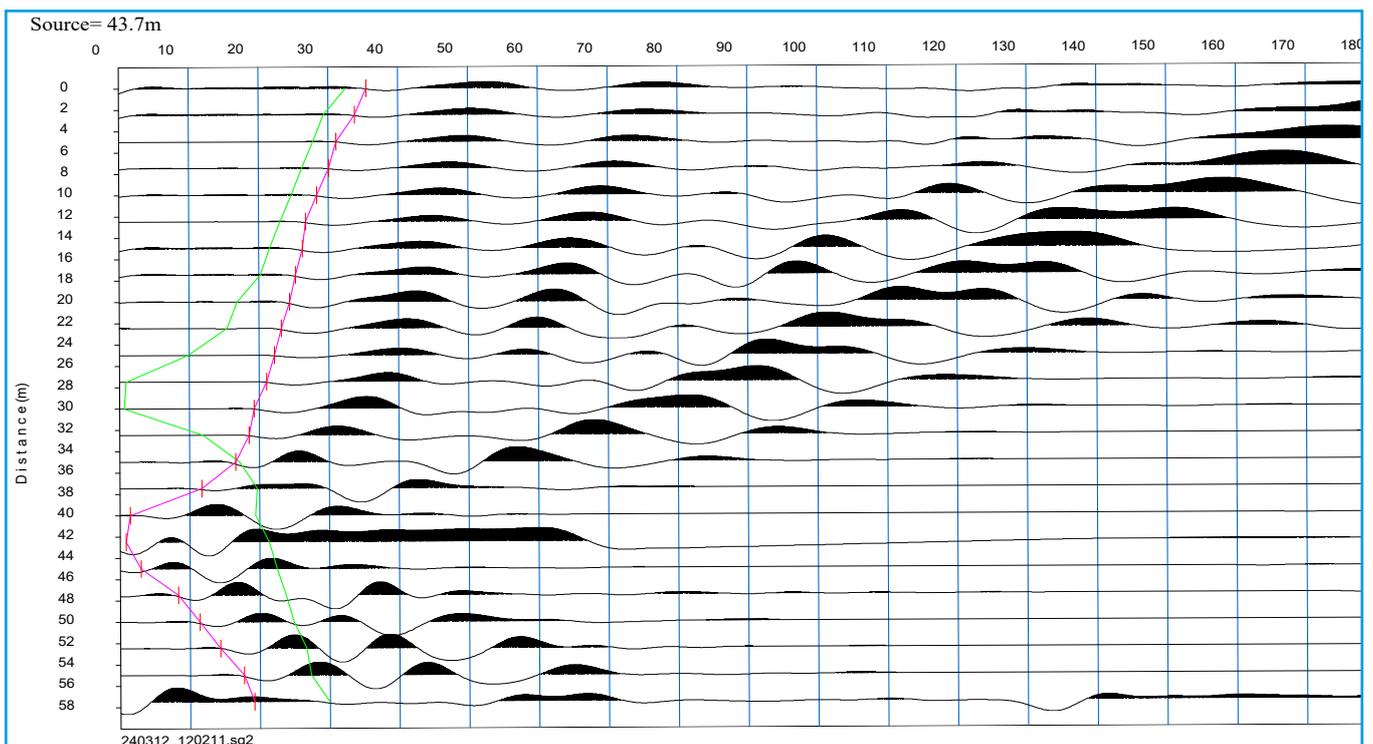
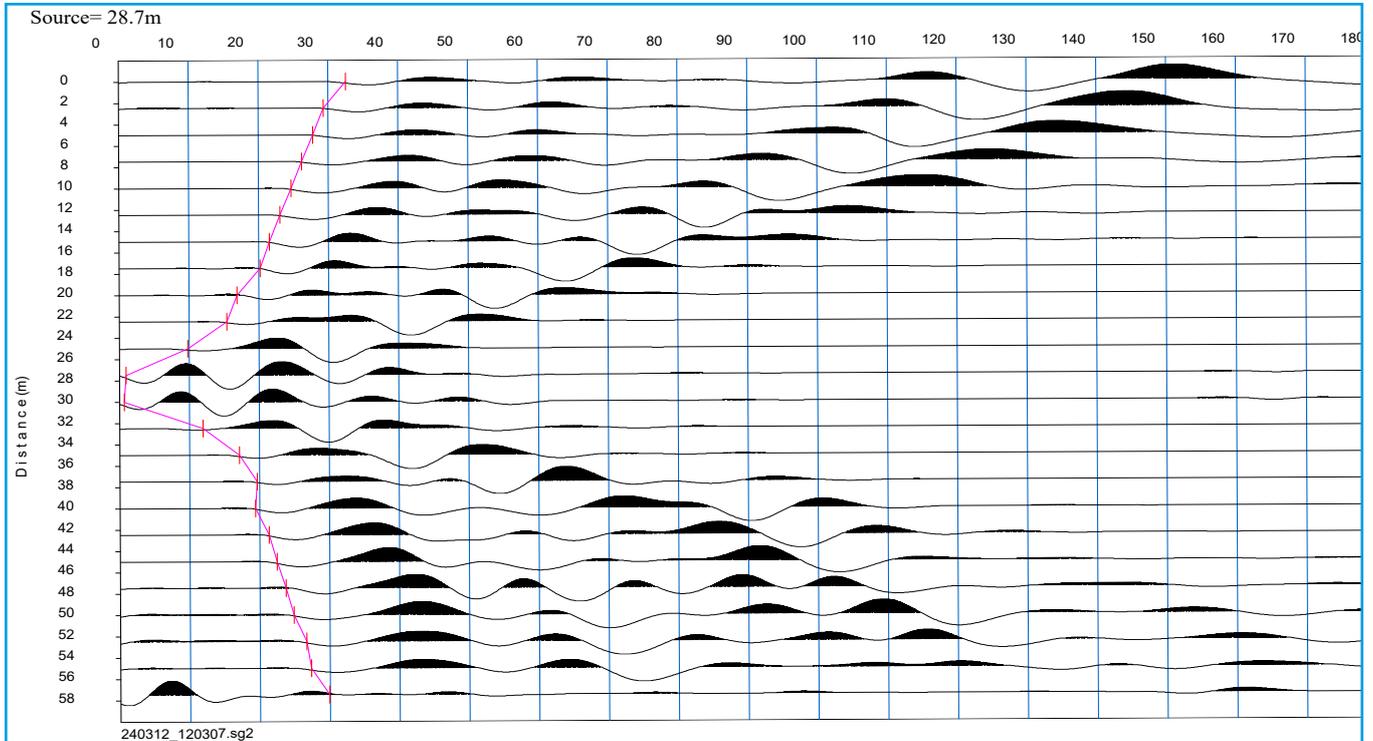
Scoppio 1: -3 m;
Scoppio 2: 13.75 m;
Scoppio 3: 28.75 m;
Scoppio 4: 43.75m;
Scoppio 5: 60.5 m;



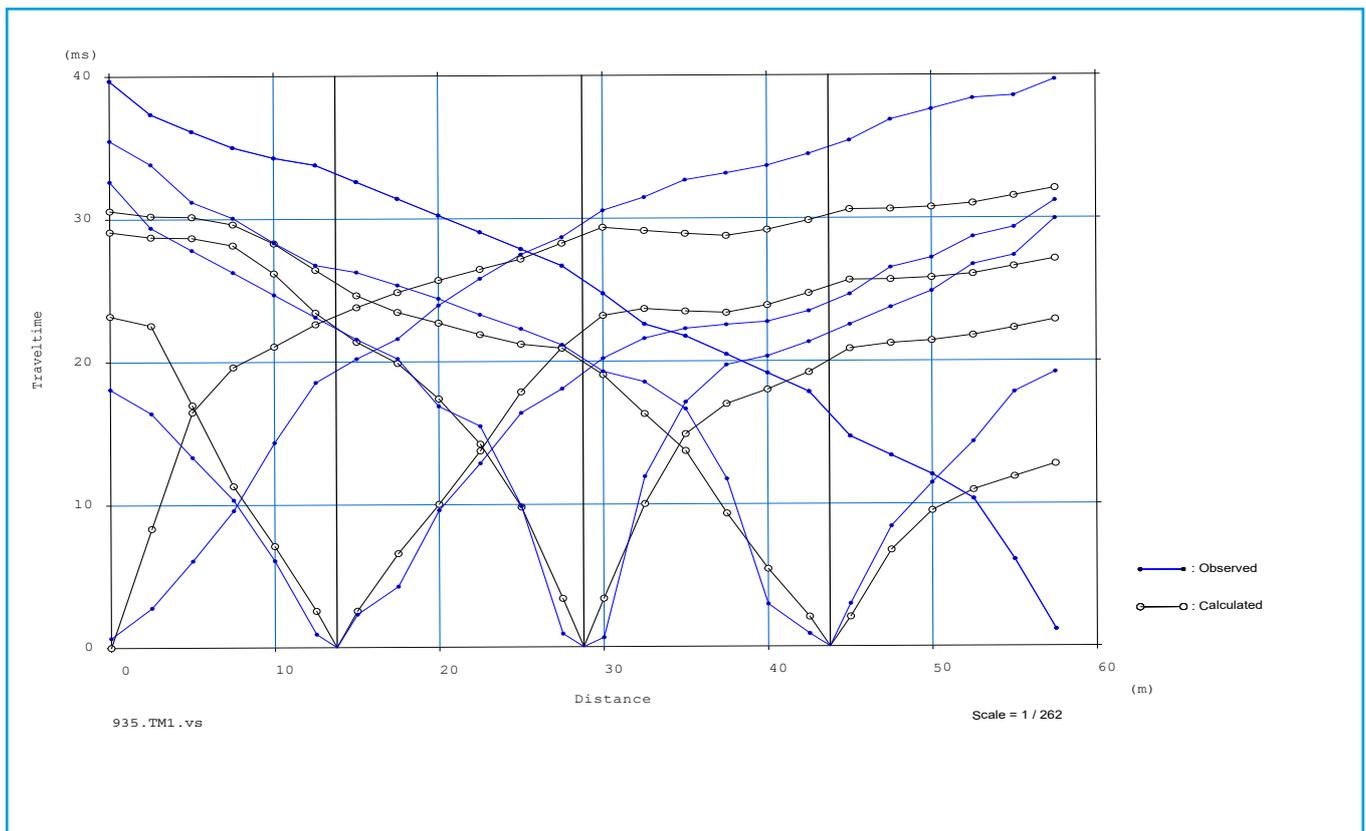
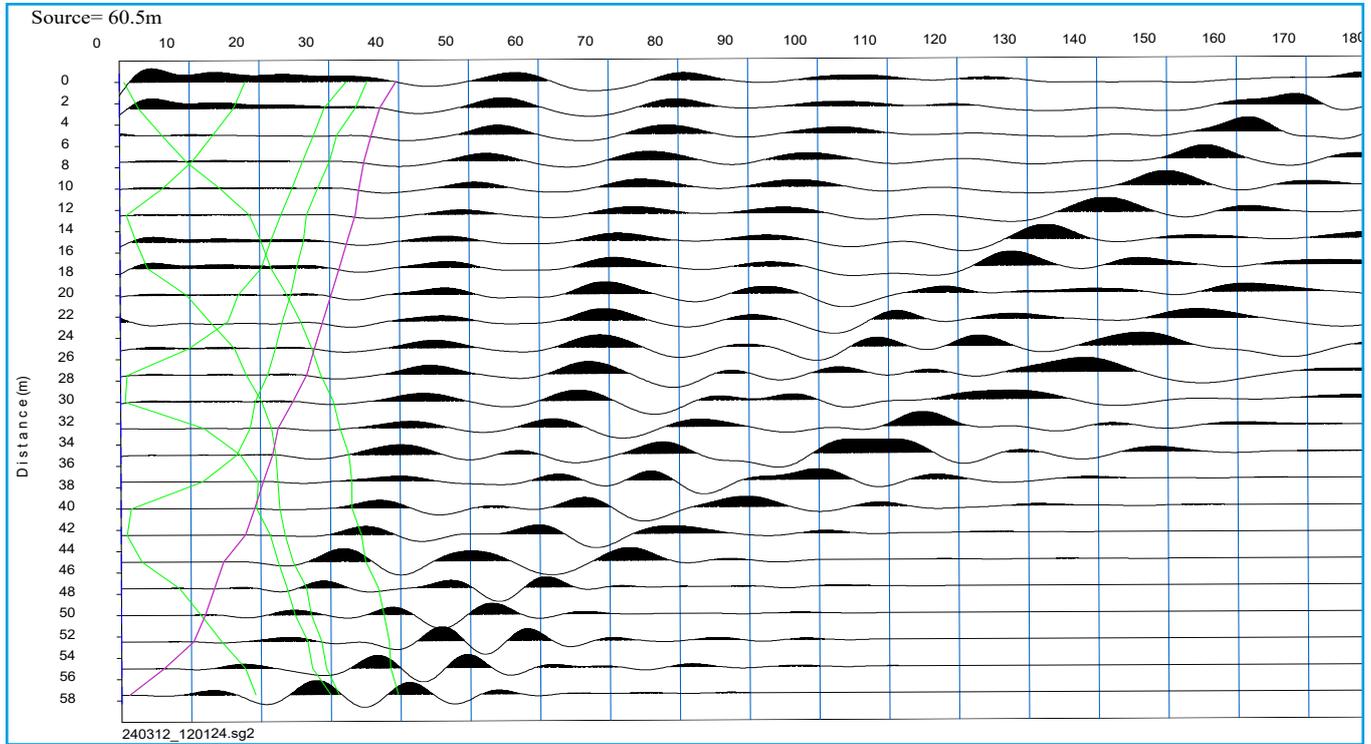
TOMOGRAFIA PRSE 935-TM1



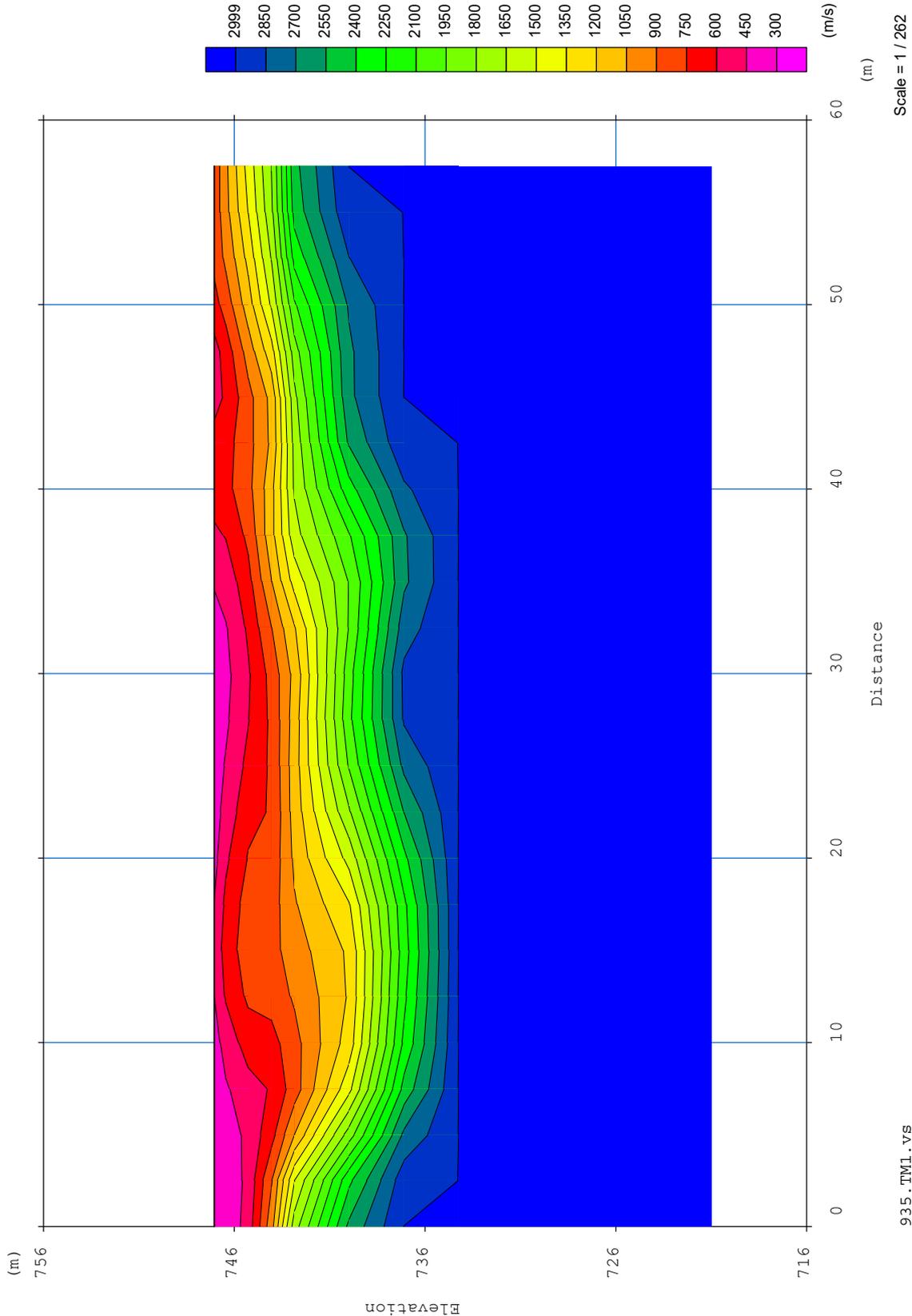
TOMOGRAFIA PRSE 935-TM1



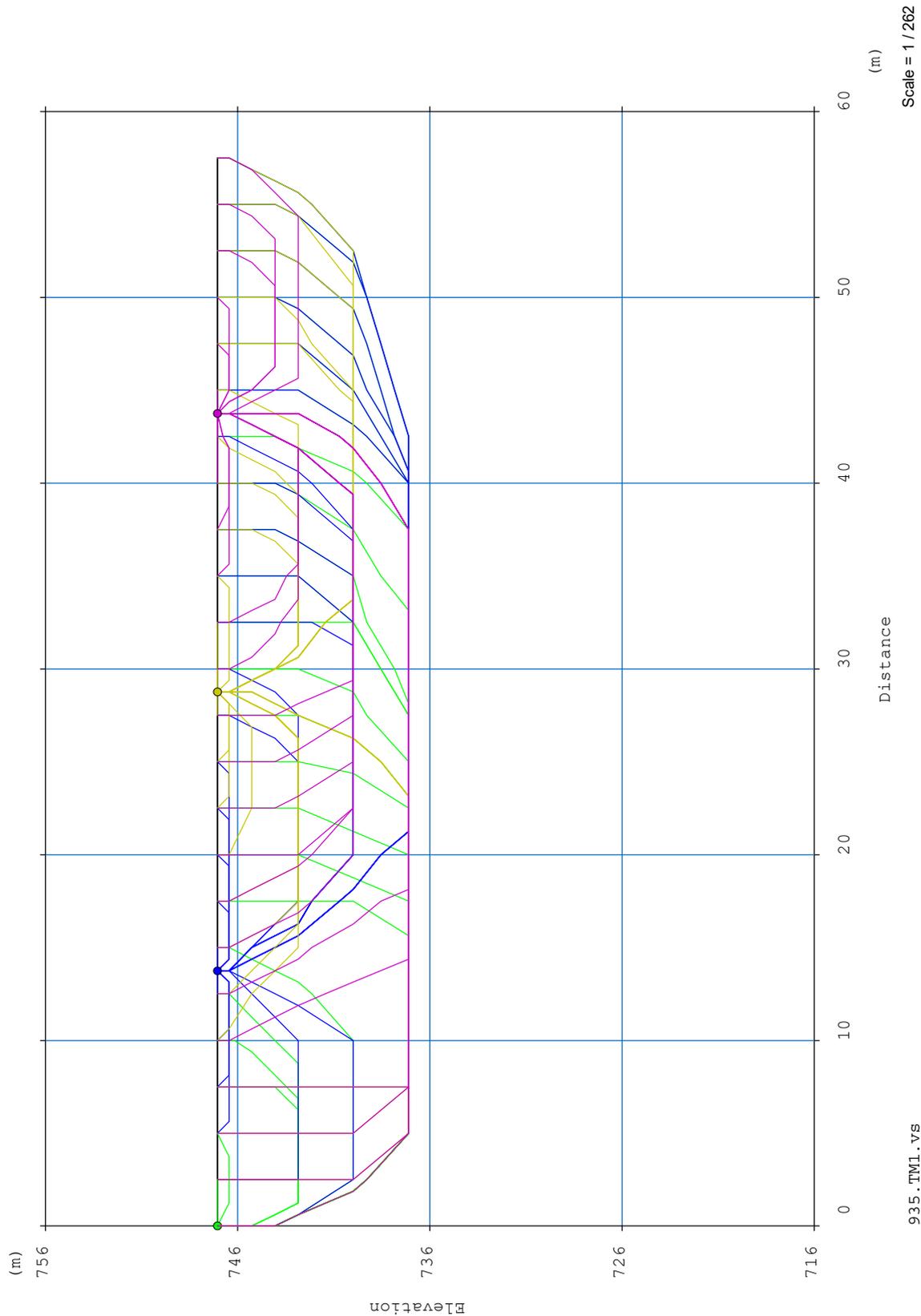
TOMOGRAFIA PRSE 935-TM1



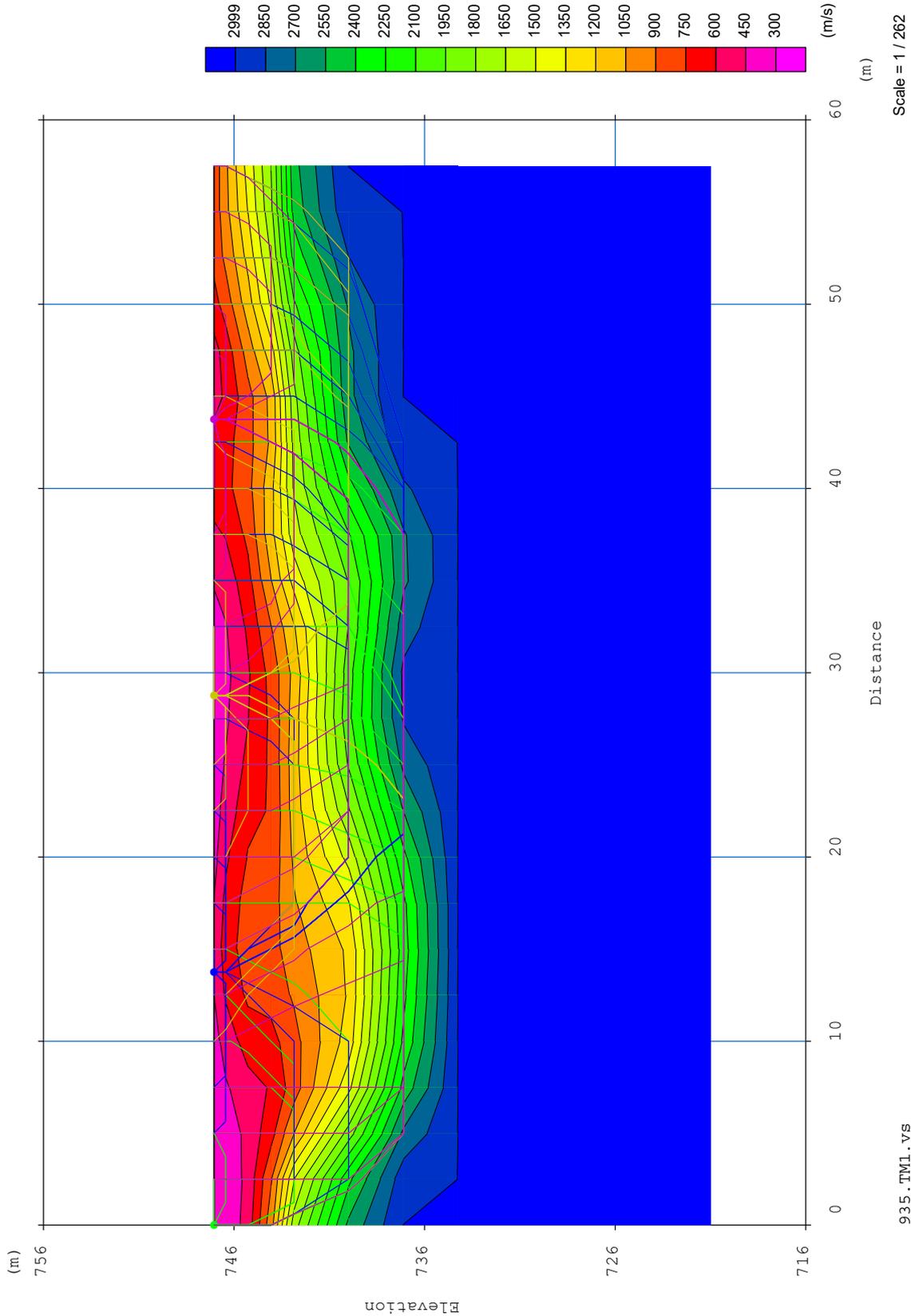
TOMOGRAFIA PRSE 935-TM1



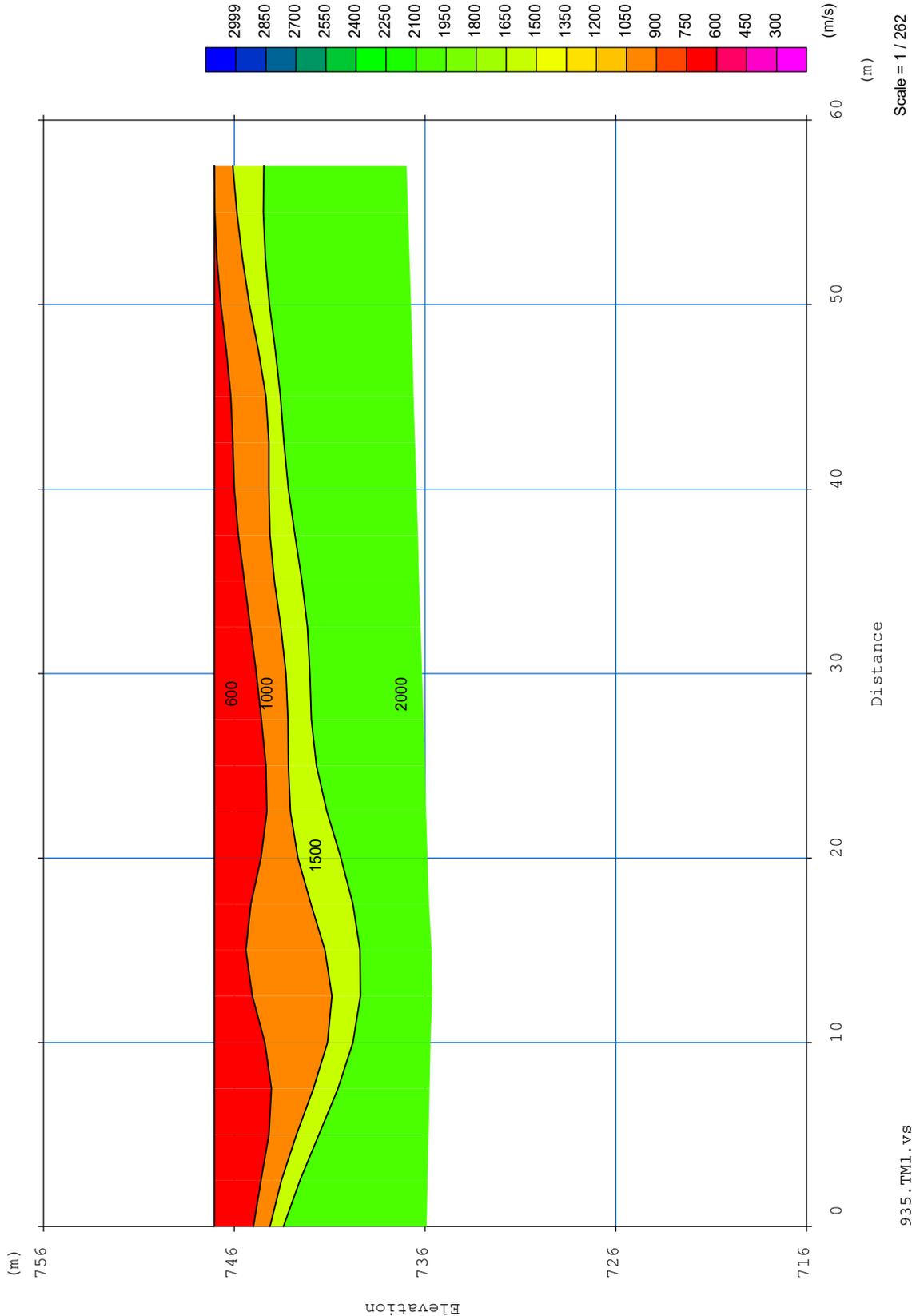
TOMOGRAFIA PRSE 935-TM1



TOMOGRAFIA PRSE 935-TM1



TOMOGRAFIA PRSE 935-TM1



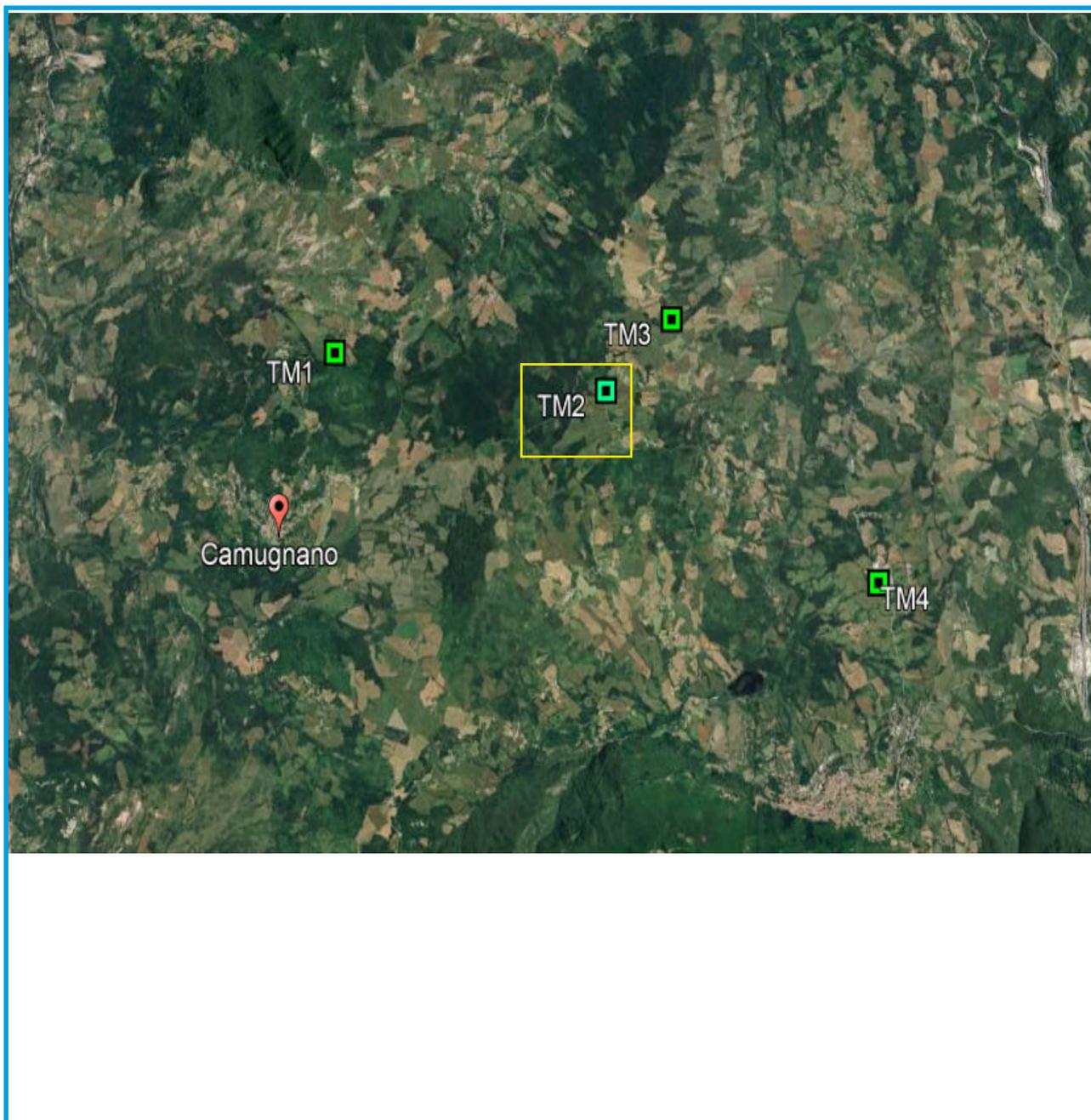
935.TM1.vs

TOMOGRAFIA PRSE 935-TM1



TOMOGRAFIA PRSE 935-TM2

OGGETTO: PARCO EOLICO CAMUGNANO
COMMITTENZA: HOPE S.R.L.



TOMOGRAFIA PRSE 935-TM2

Id indagine PRSE 935 - TM2
LOCALITA' CAMUGNANO (BO)
DATA E ORA 12/03/2024

Coordinate WGS 84 :

Geofono 1: 0670659 N- 4893699 E
Geofono 12-13: 0670652 N- 4893723 E
Geofono 24: 0670647 N- 4893754 E

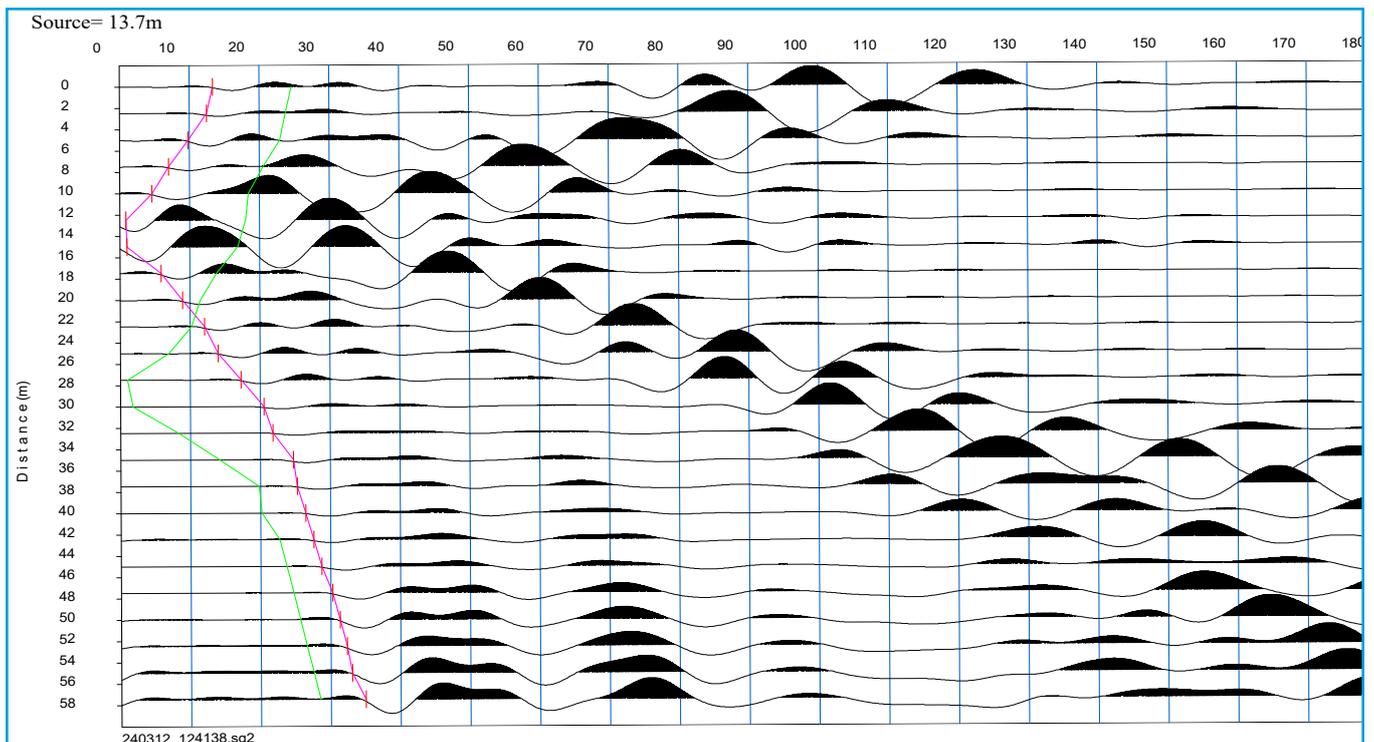
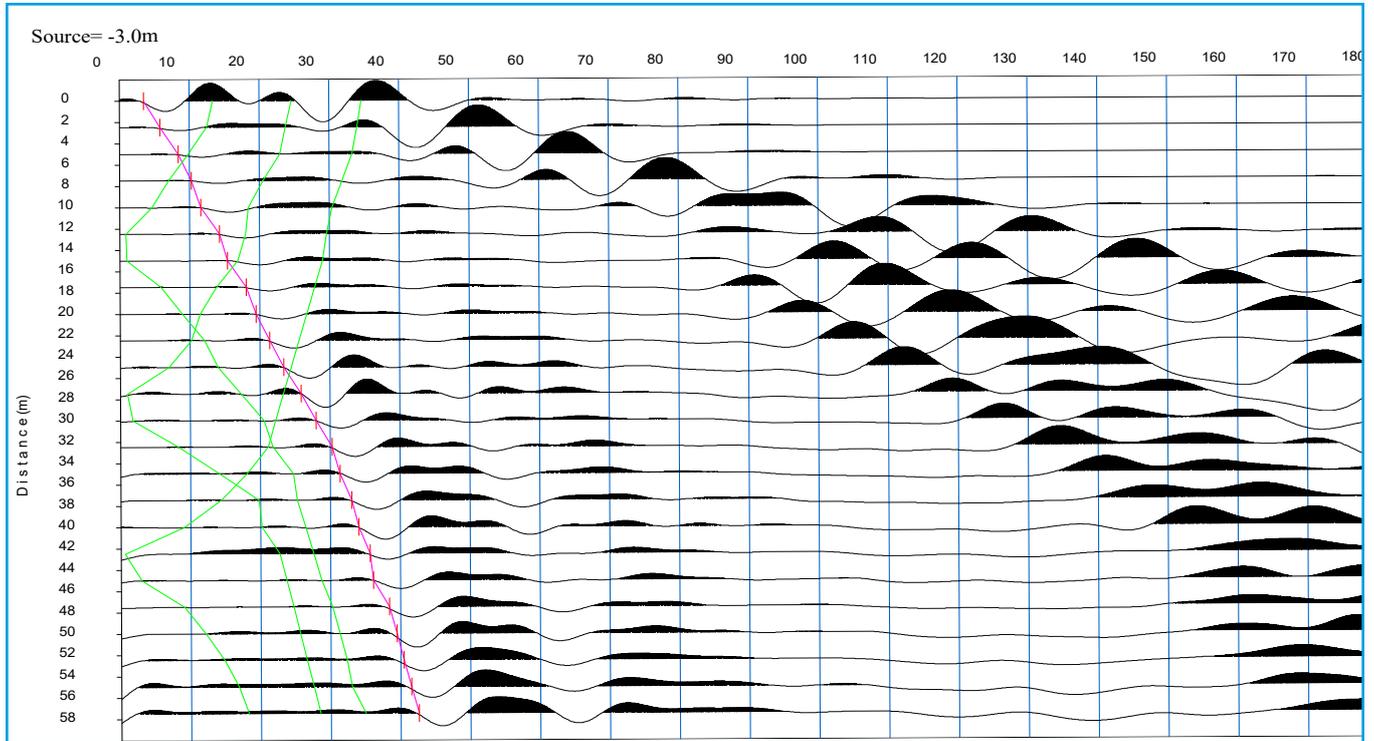
Onde P-Acquisizione dei dati

Distanza tra i geofoni : 2.5 m
Estensione della prova: 60 m
Posizione dello scoppio:

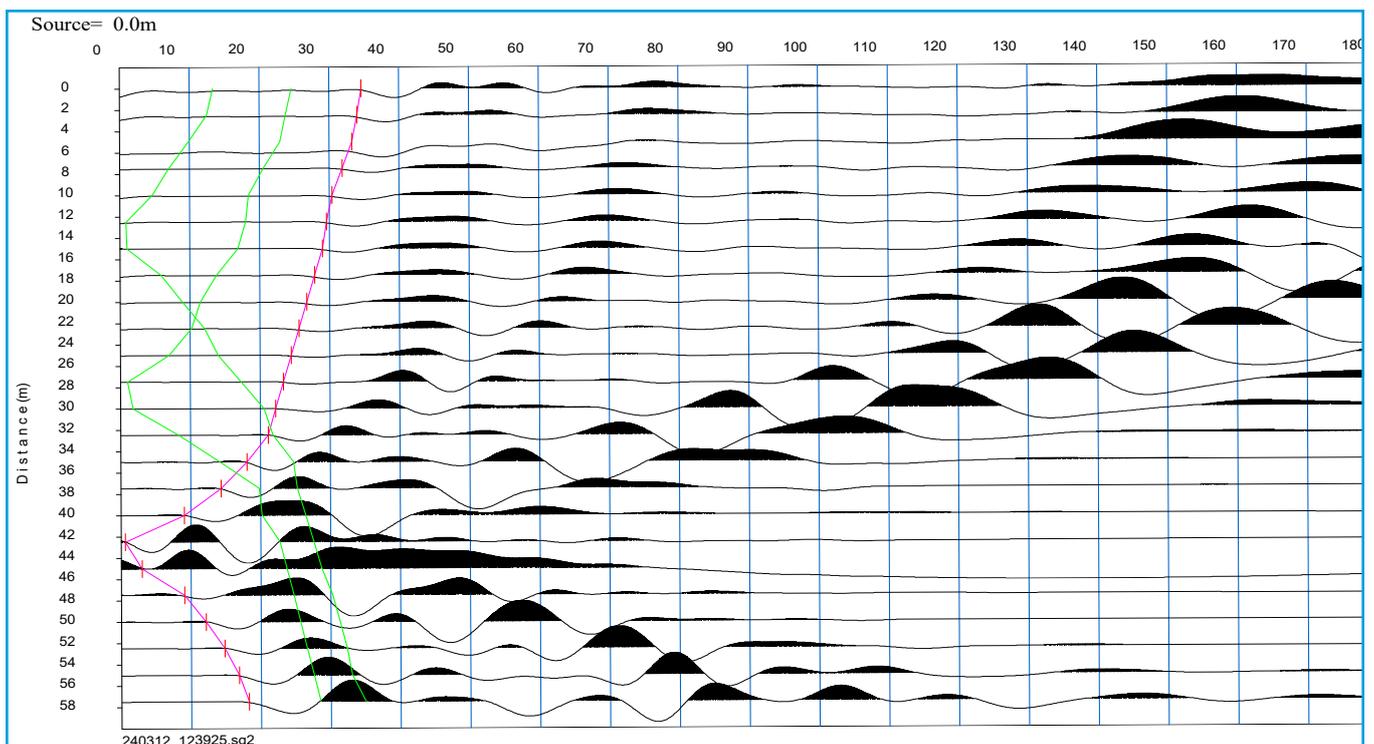
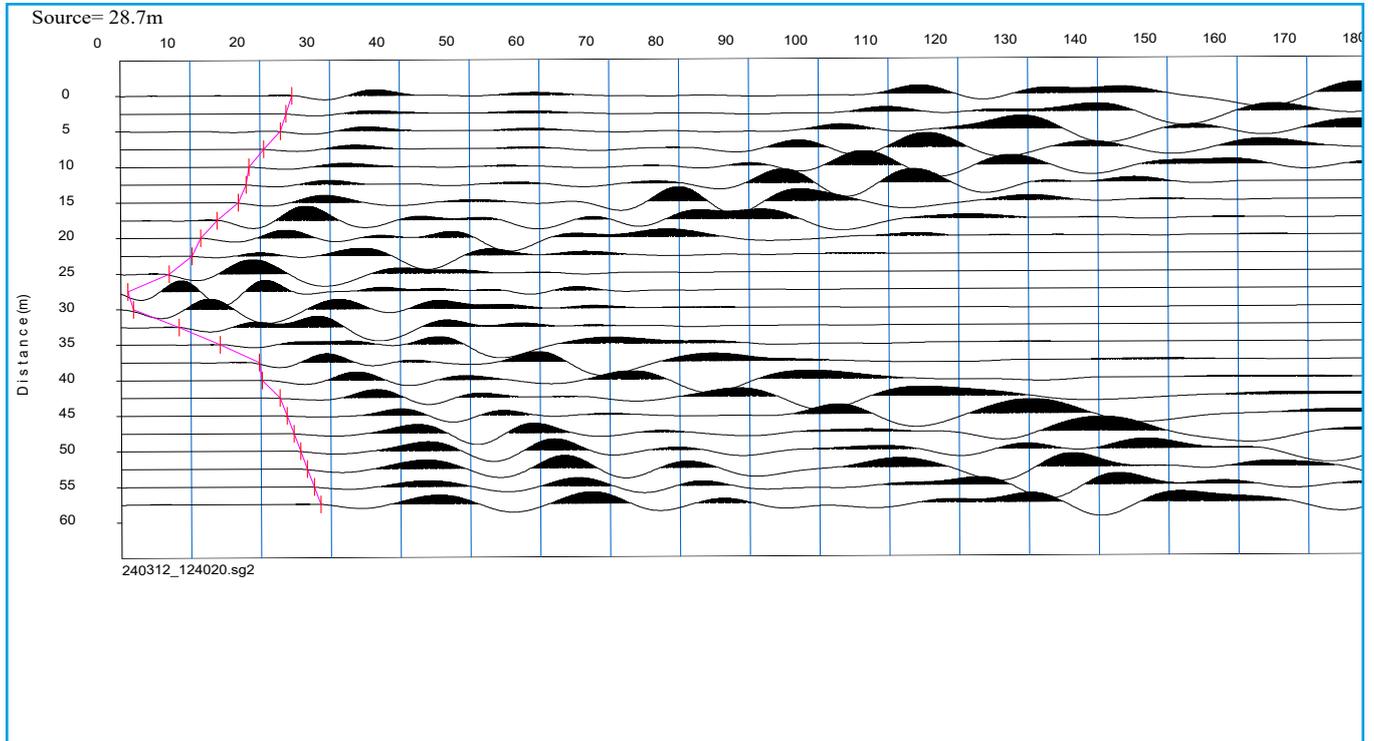
Scoppio 1: -3 m;
Scoppio 2: 13.75 m;
Scoppio 3: 28.75 m;
Scoppio 4: 43.75m;
Scoppio 5: 60.5 m;



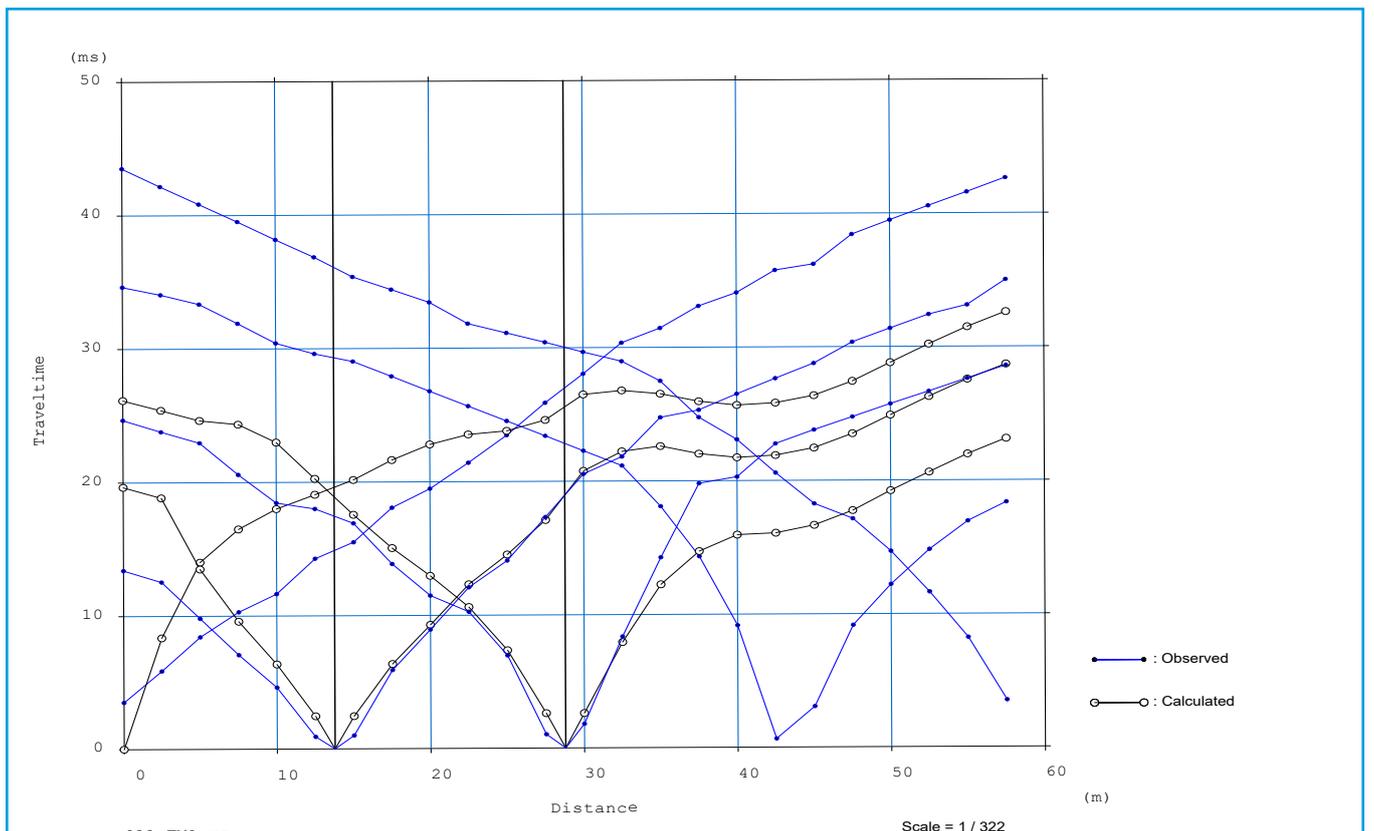
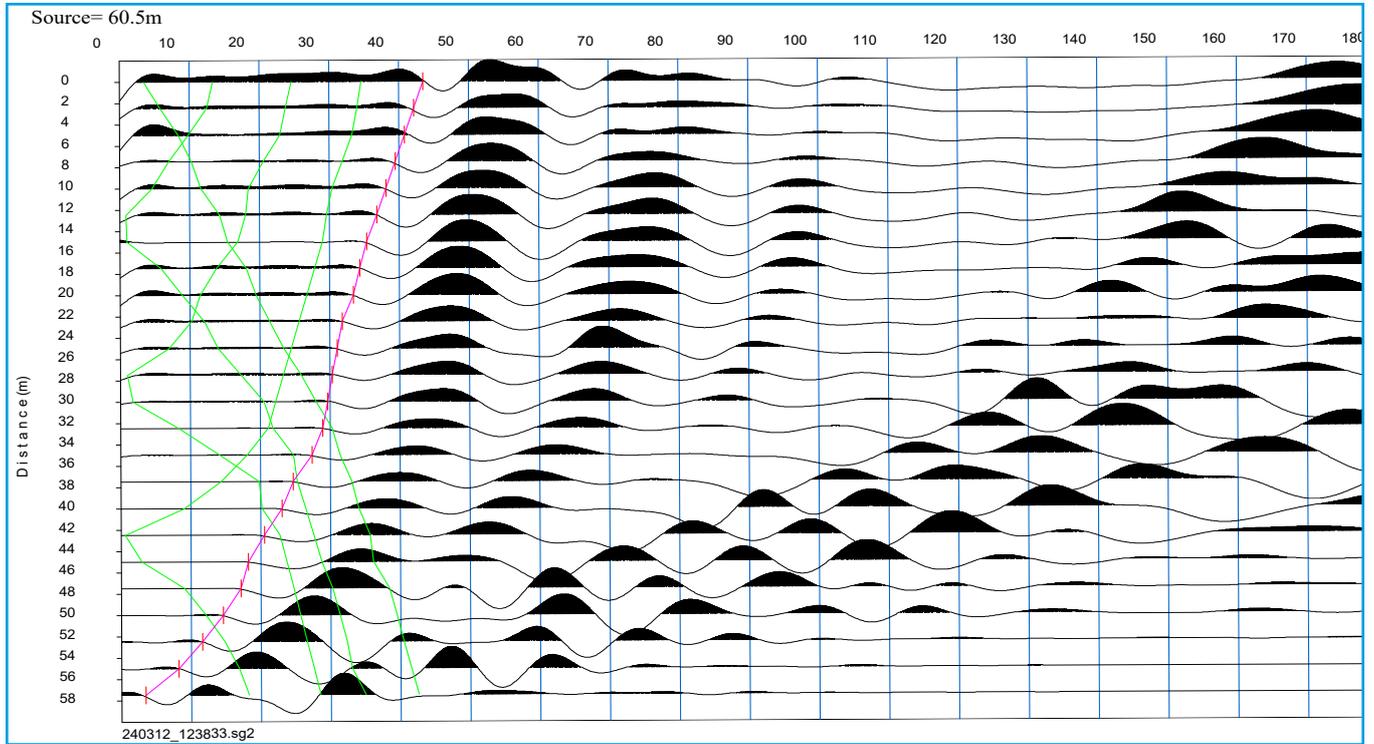
TOMOGRAFIA PRSE 935-TM2



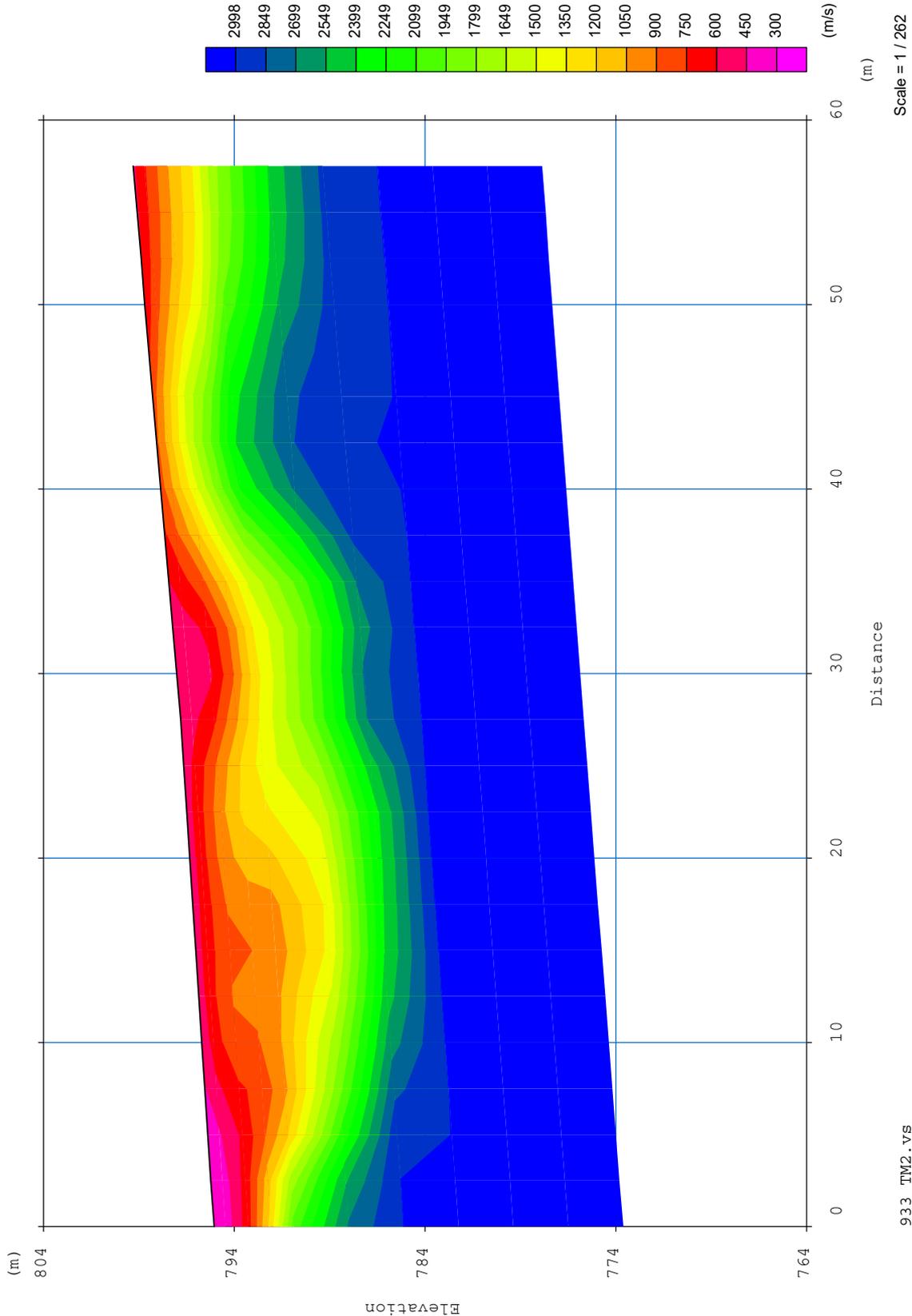
TOMOGRAFIA PRSE 935-TM2



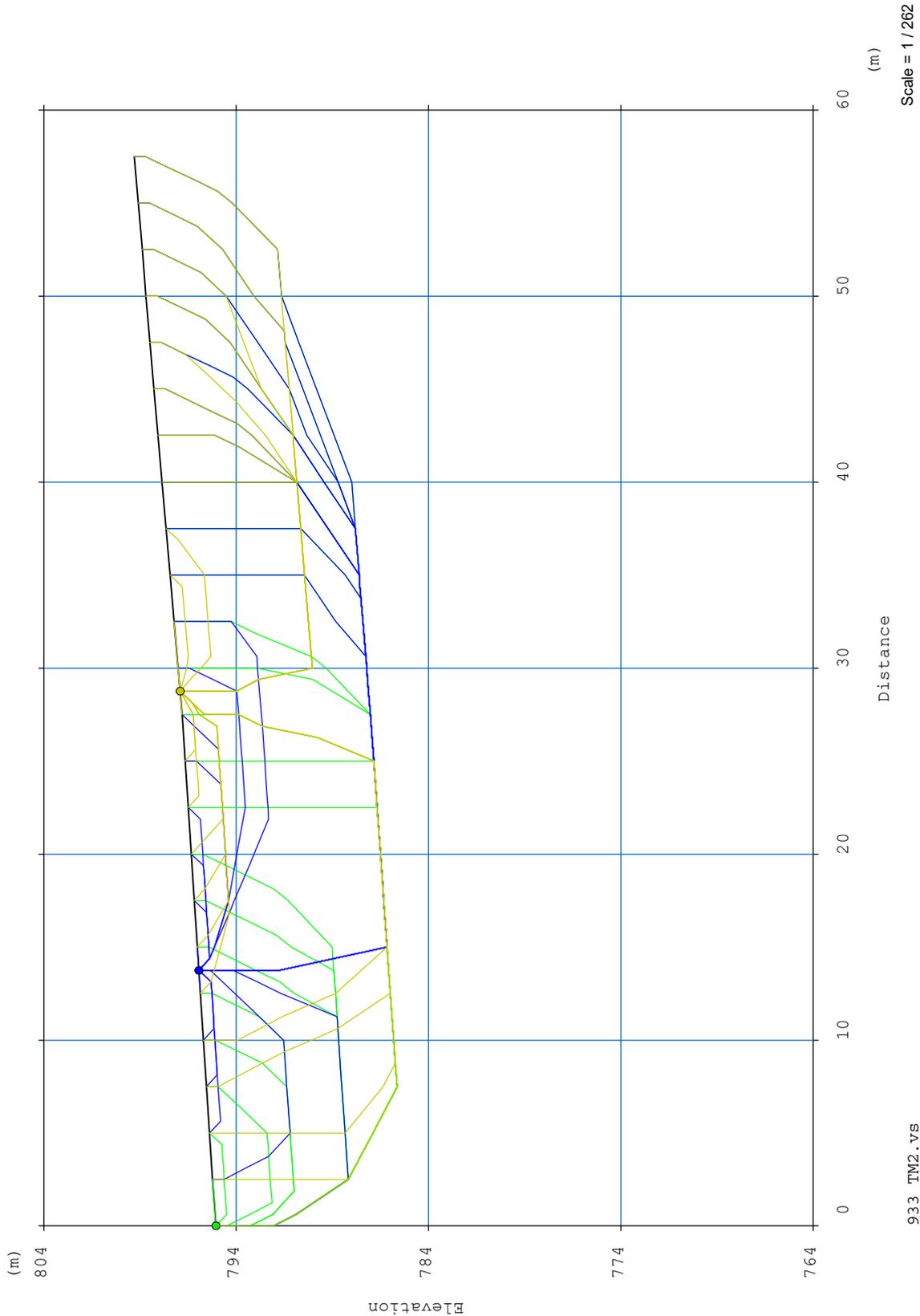
TOMOGRAFIA PRSE 935-TM2



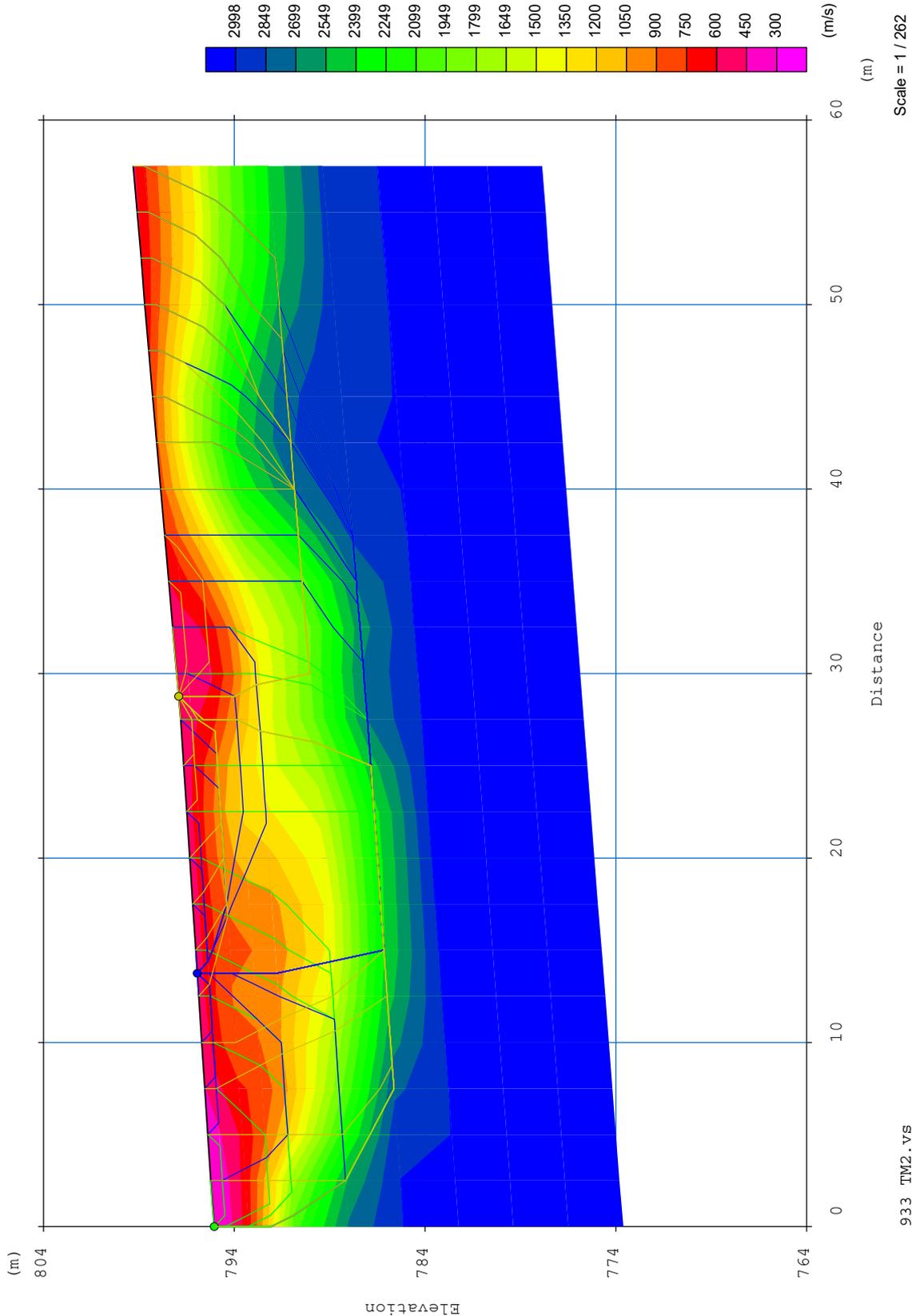
TOMOGRAFIA PRSE 935-TM2



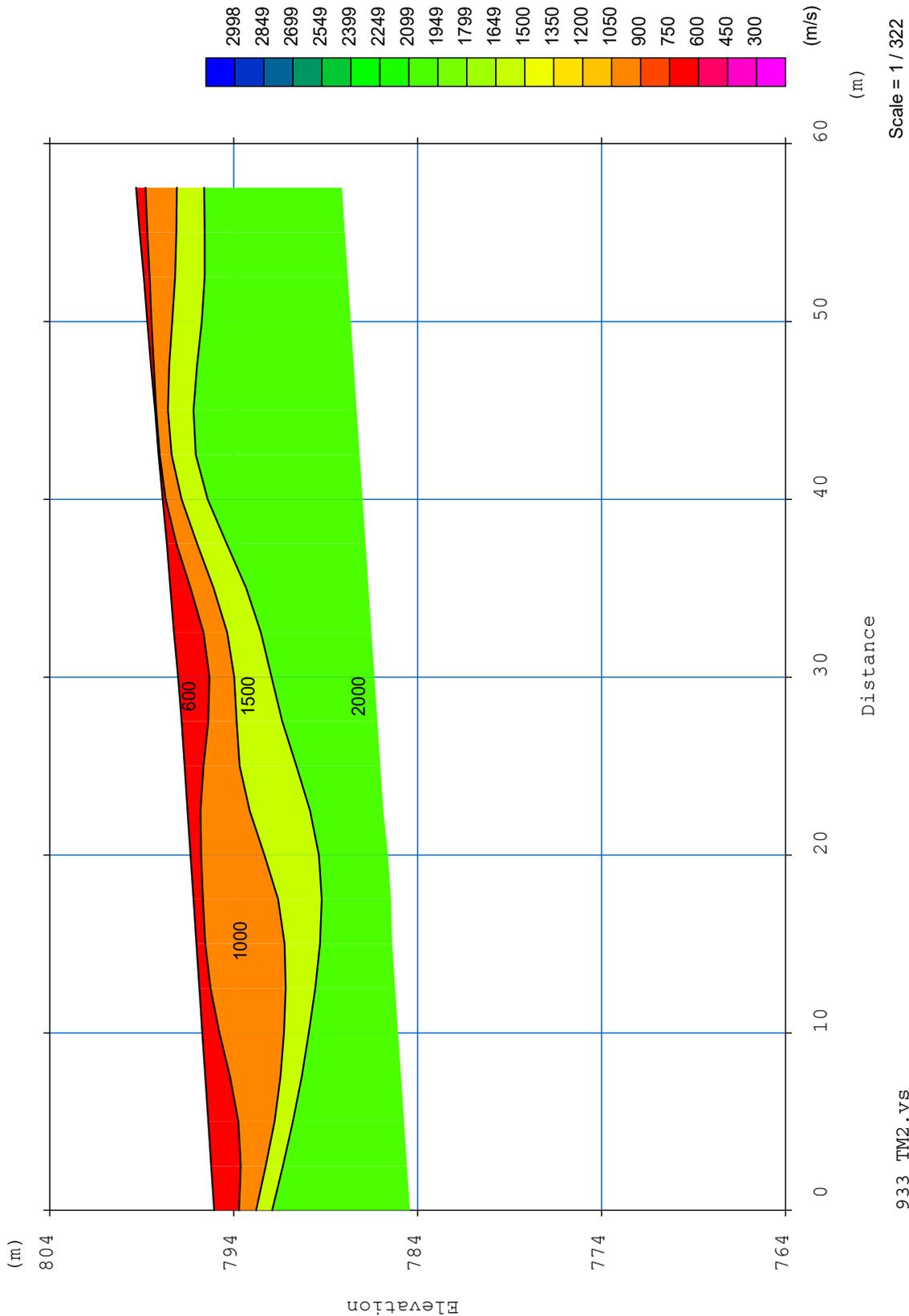
TOMOGRAFIA PRSE 935-TM2



TOMOGRAFIA PRSE 935-TM2



TOMOGRAFIA PRSE 935-TM2

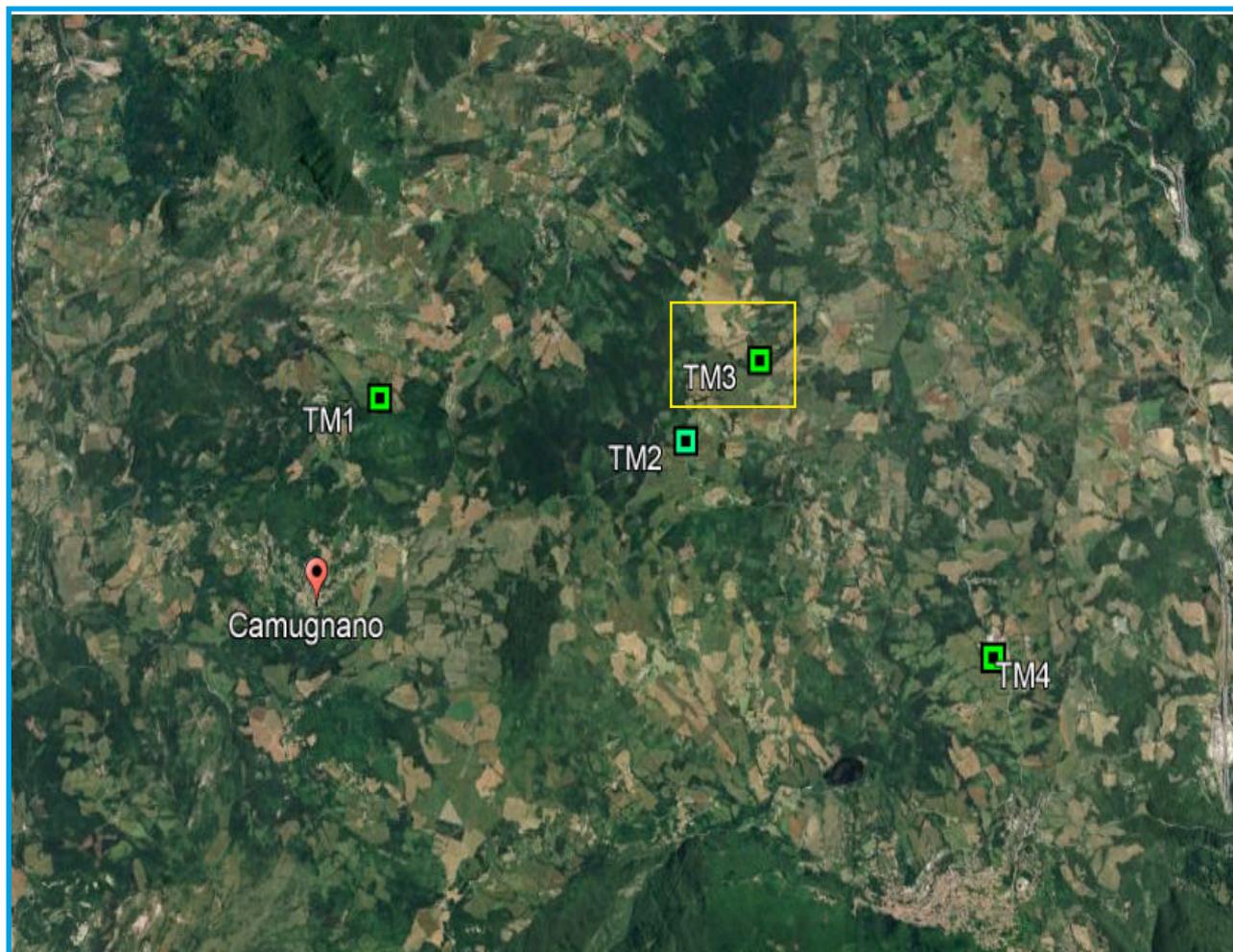


TOMOGRAFIA PRSE 935-TM2



TOMOGRAFIA PRSE 935-TM3

OGGETTO: PARCO EOLICO CAMUGNANO
COMMITTENZA: HOPE S.R.L.



TOMOGRAFIA PRSE 935-TM3

Id indagine PRSE 935 - TM3
LOCALITA' CAMUGNANO (BO)
DATA E ORA 12/03/2024

Coordinate WGS 84 :

Geofono 1: 0671421 N- 4894393 E
Geofono 12-13: 0671440 N- 4894371 E
Geofono 24: 0671457 N- 4894351 E

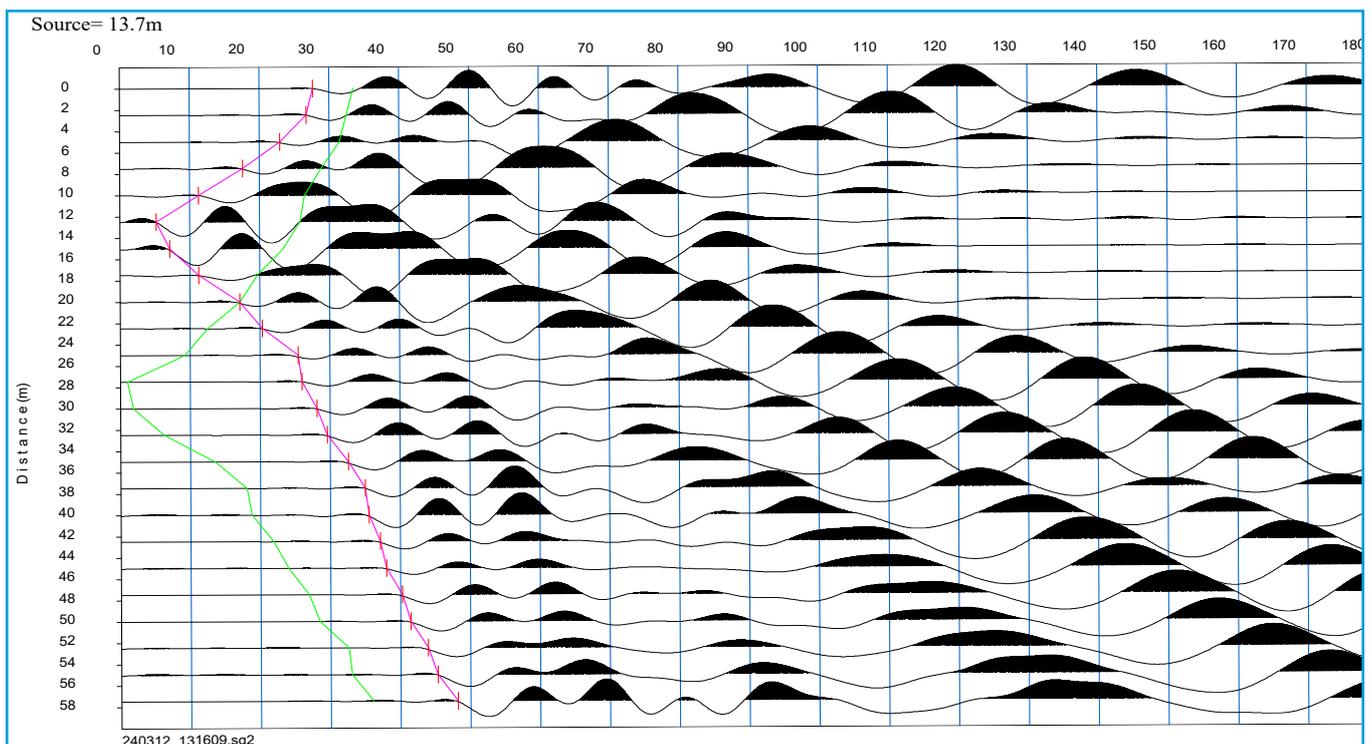
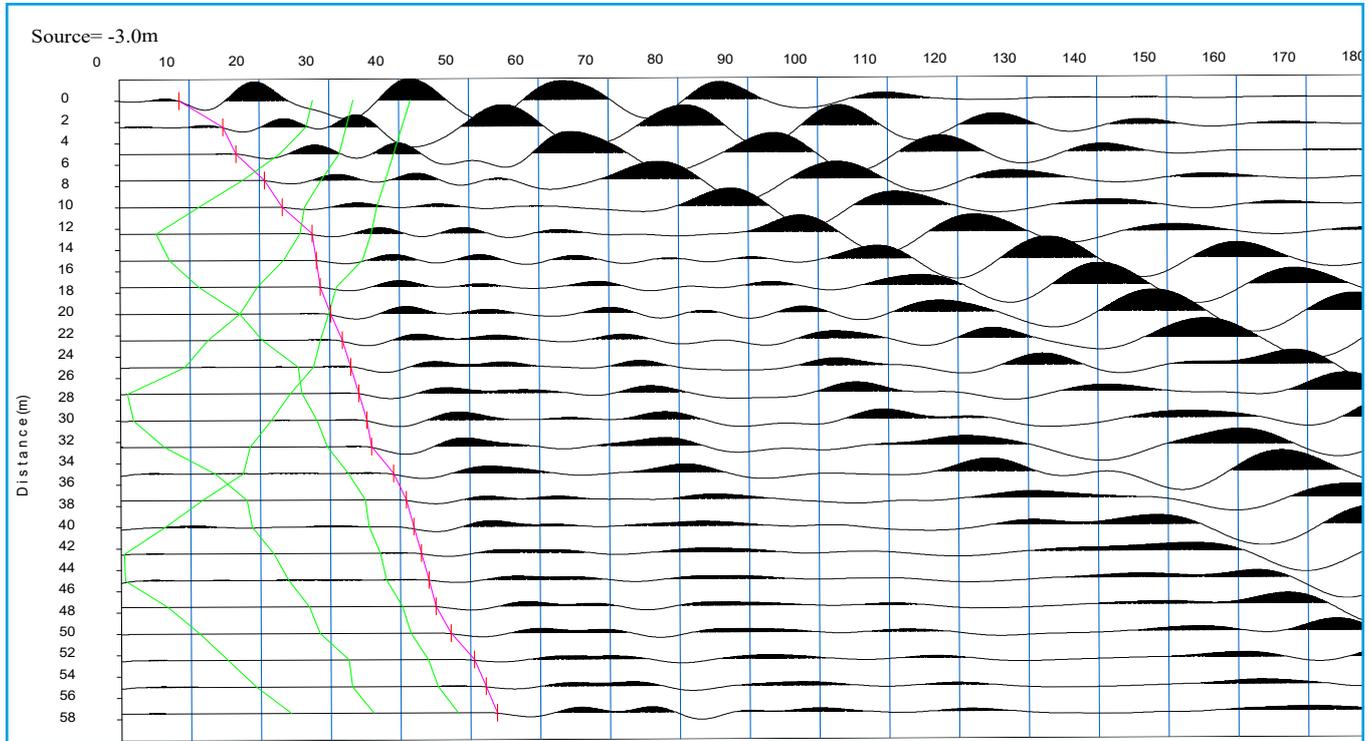
Onde P-Acquisizione dei dati

Distanza tra i geofoni : 2.5 m
Estensione della prova: 60 m
Posizione dello scoppio:

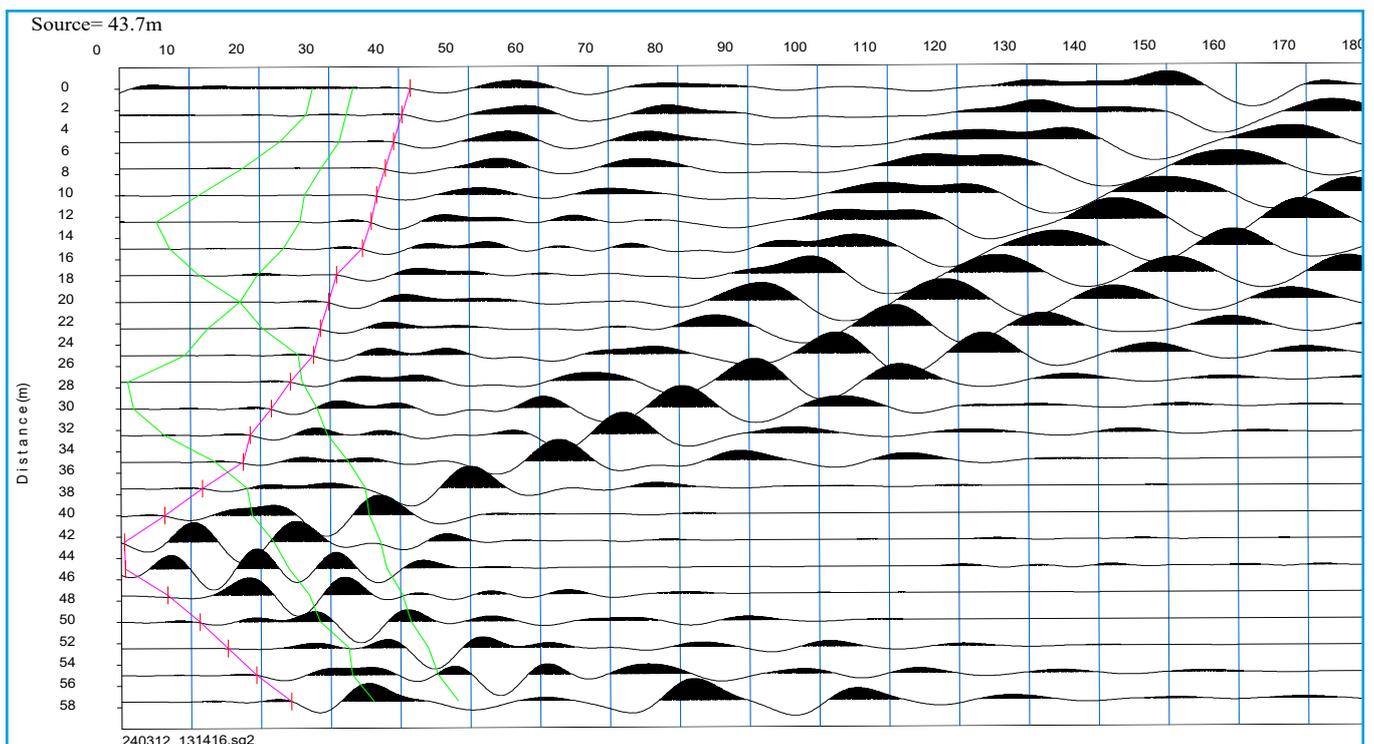
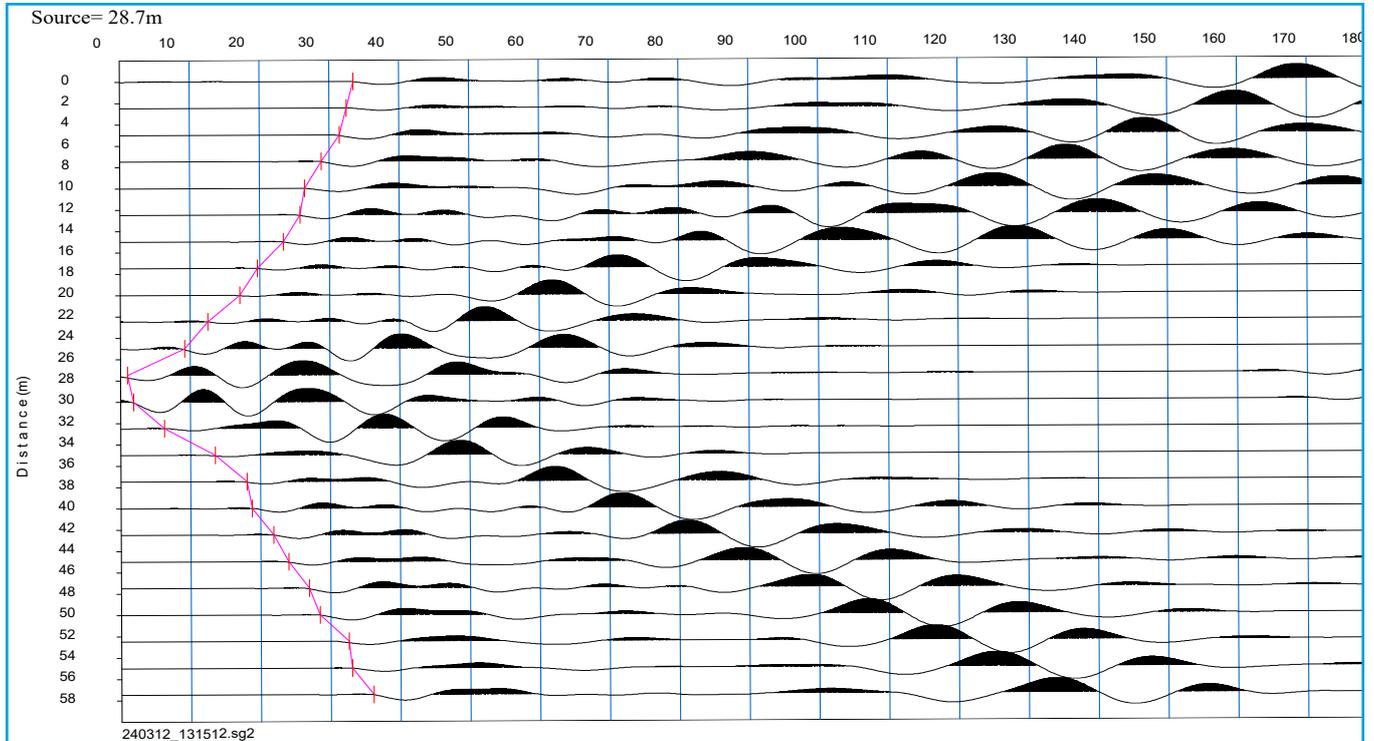
Scoppio 1: -3 m;
Scoppio 2: 13.75 m;
Scoppio 3: 28.75 m;
Scoppio 4: 43.75m;
Scoppio 5: 60.5 m;



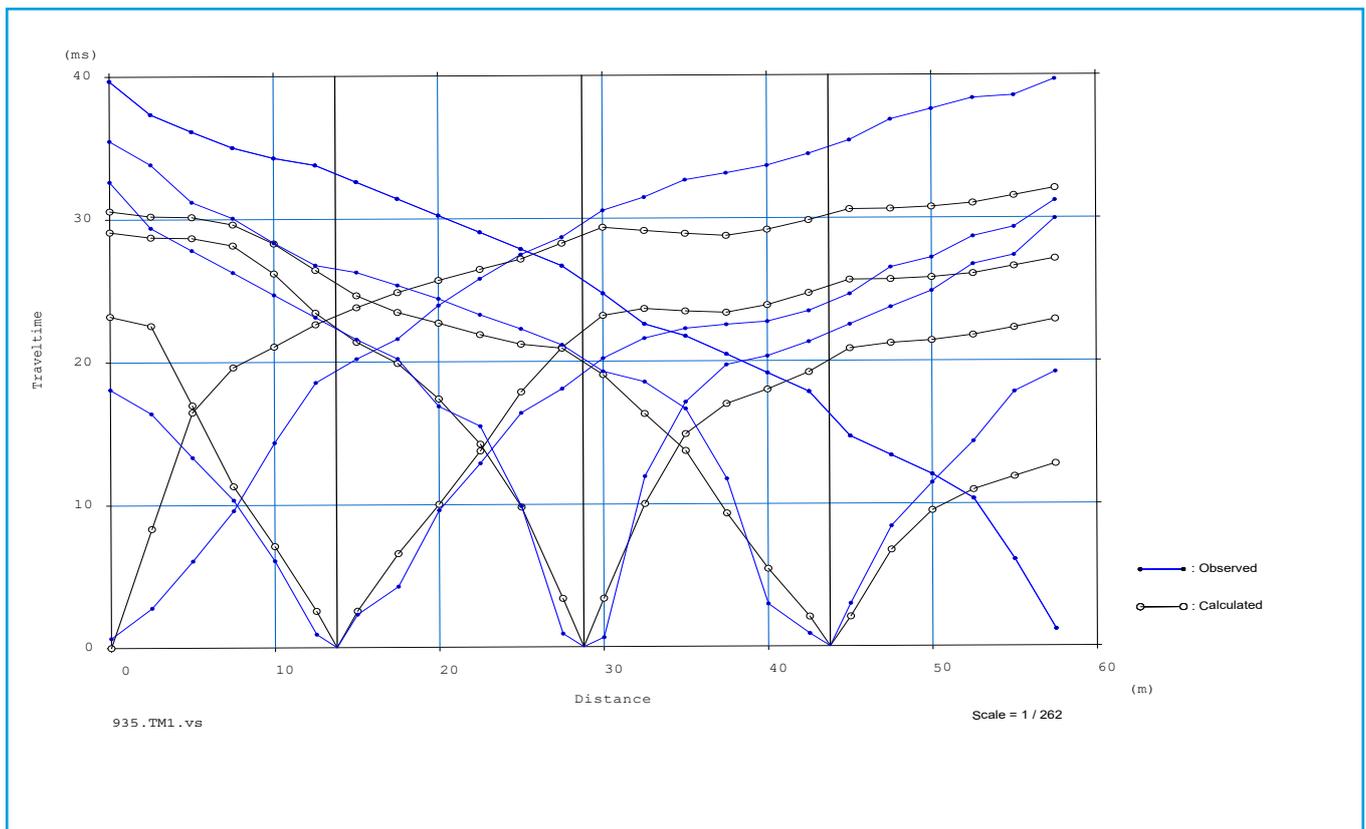
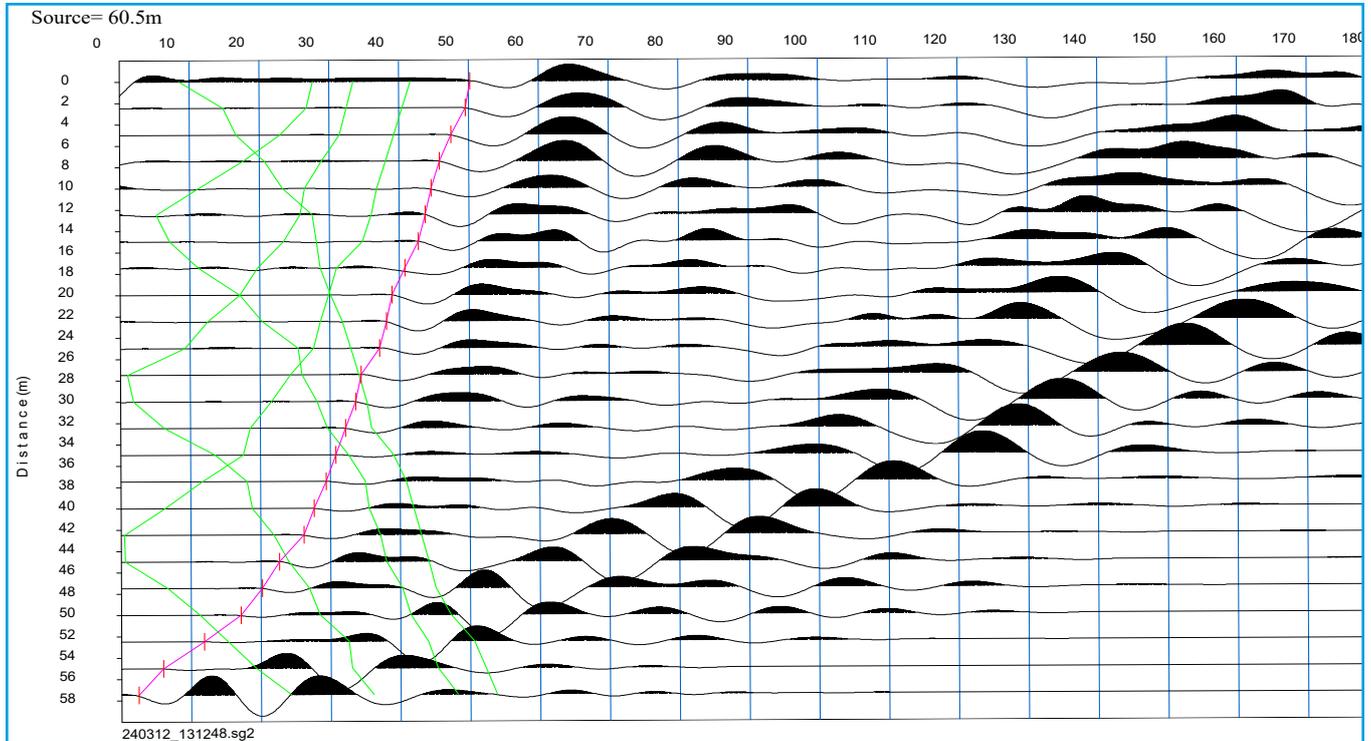
TOMOGRAFIA PRSE 935-TM3



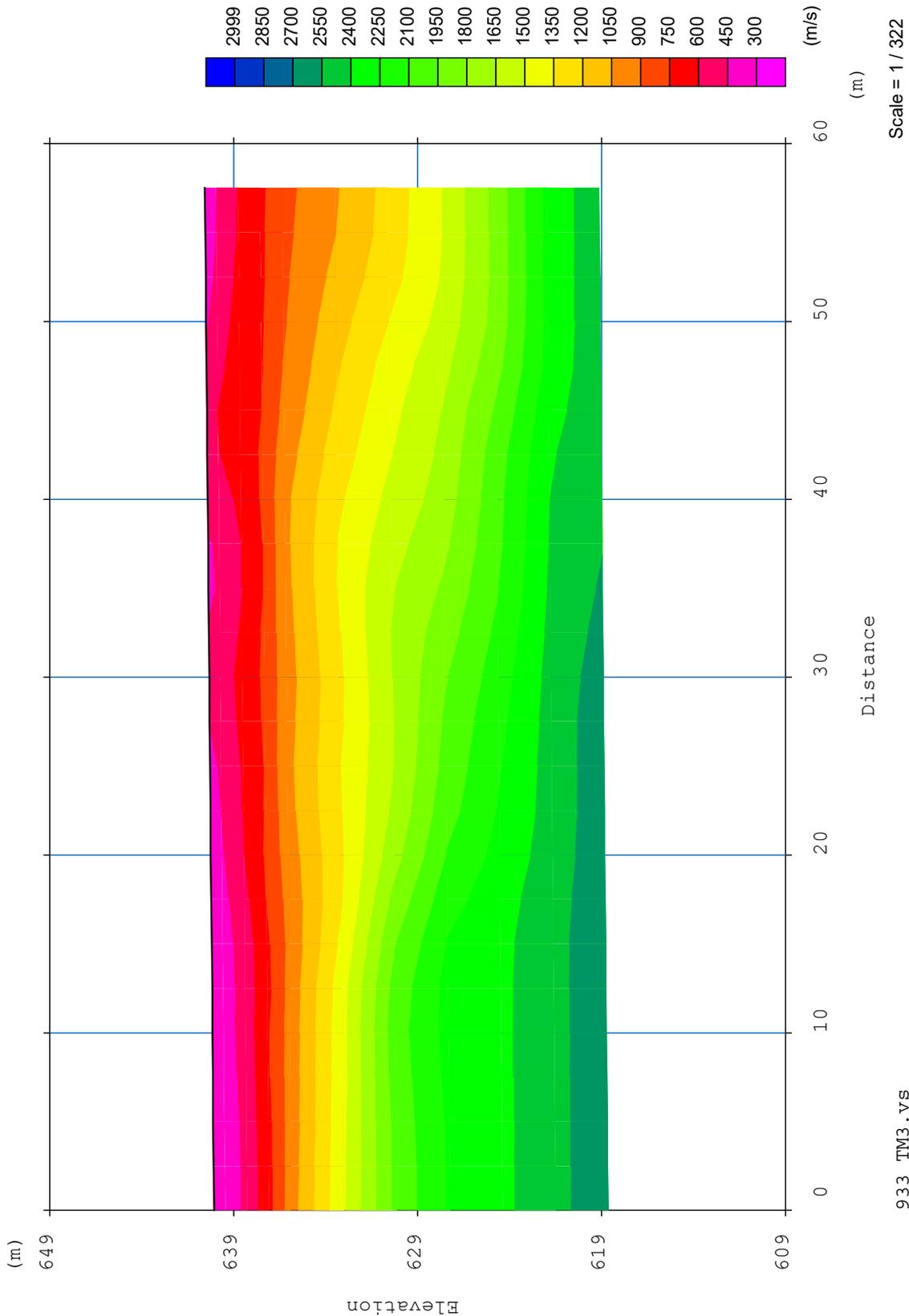
TOMOGRAFIA PRSE 935-TM3



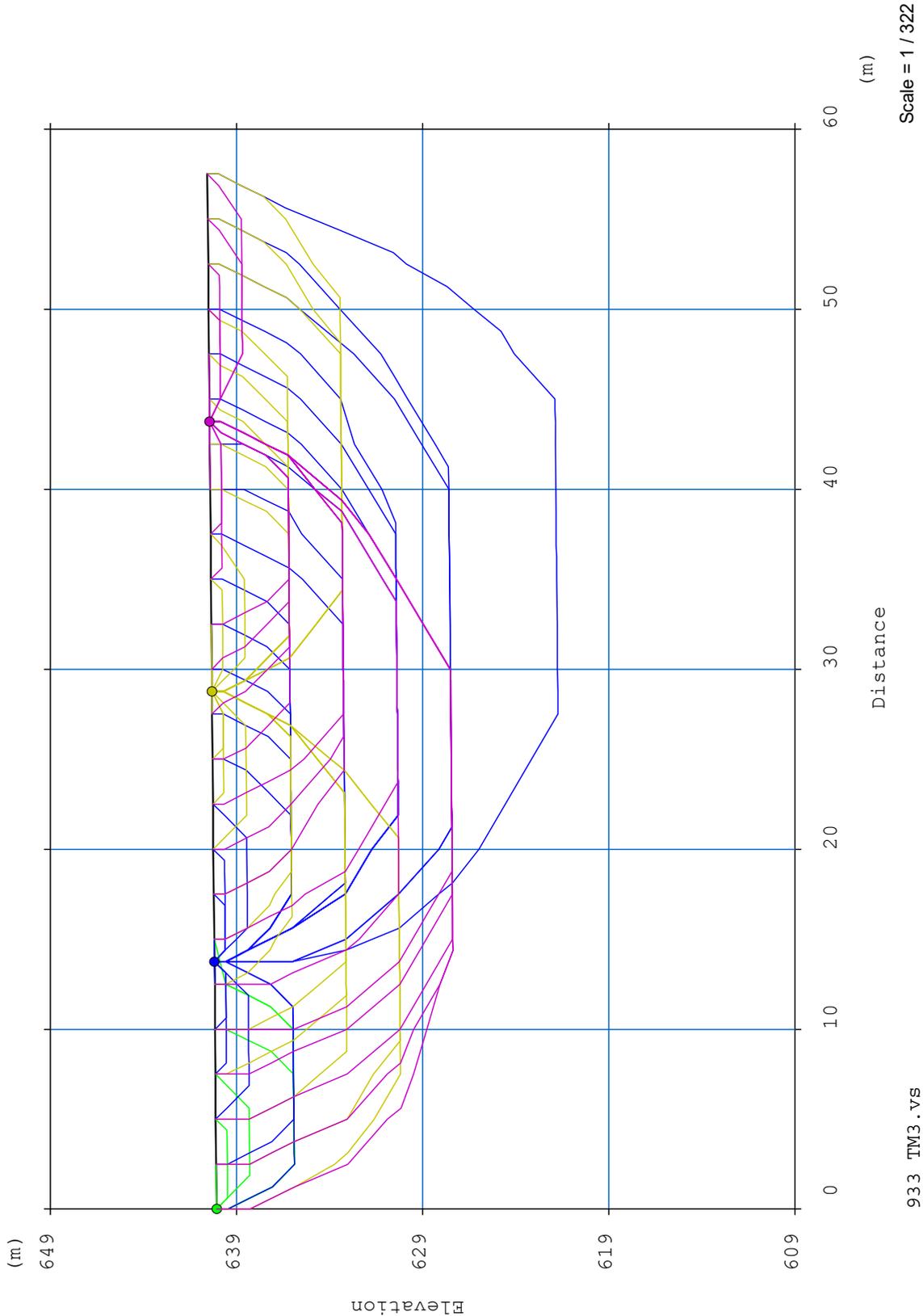
TOMOGRAFIA PRSE 935-TM3



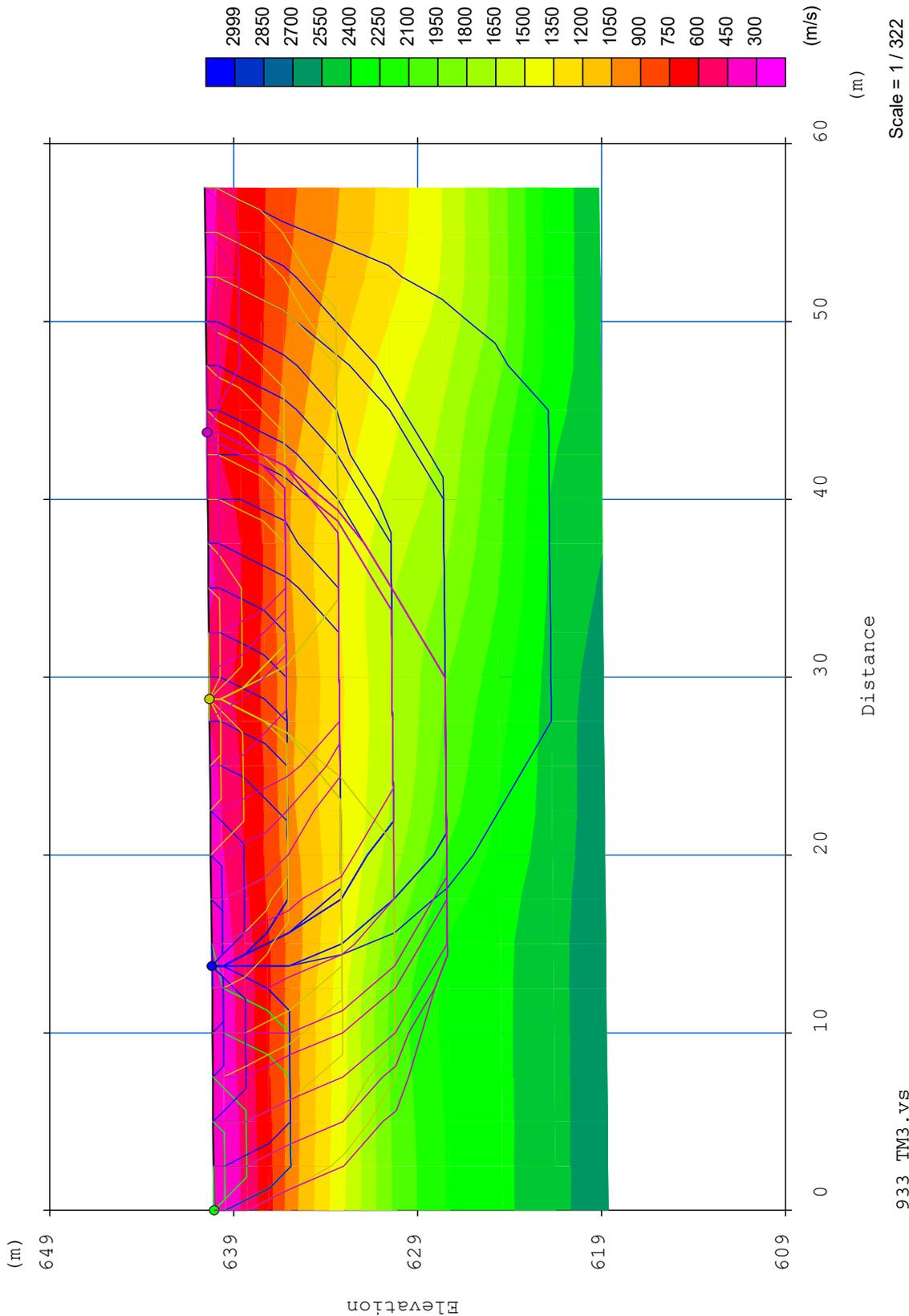
TOMOGRAFIA PRSE 935-TM3



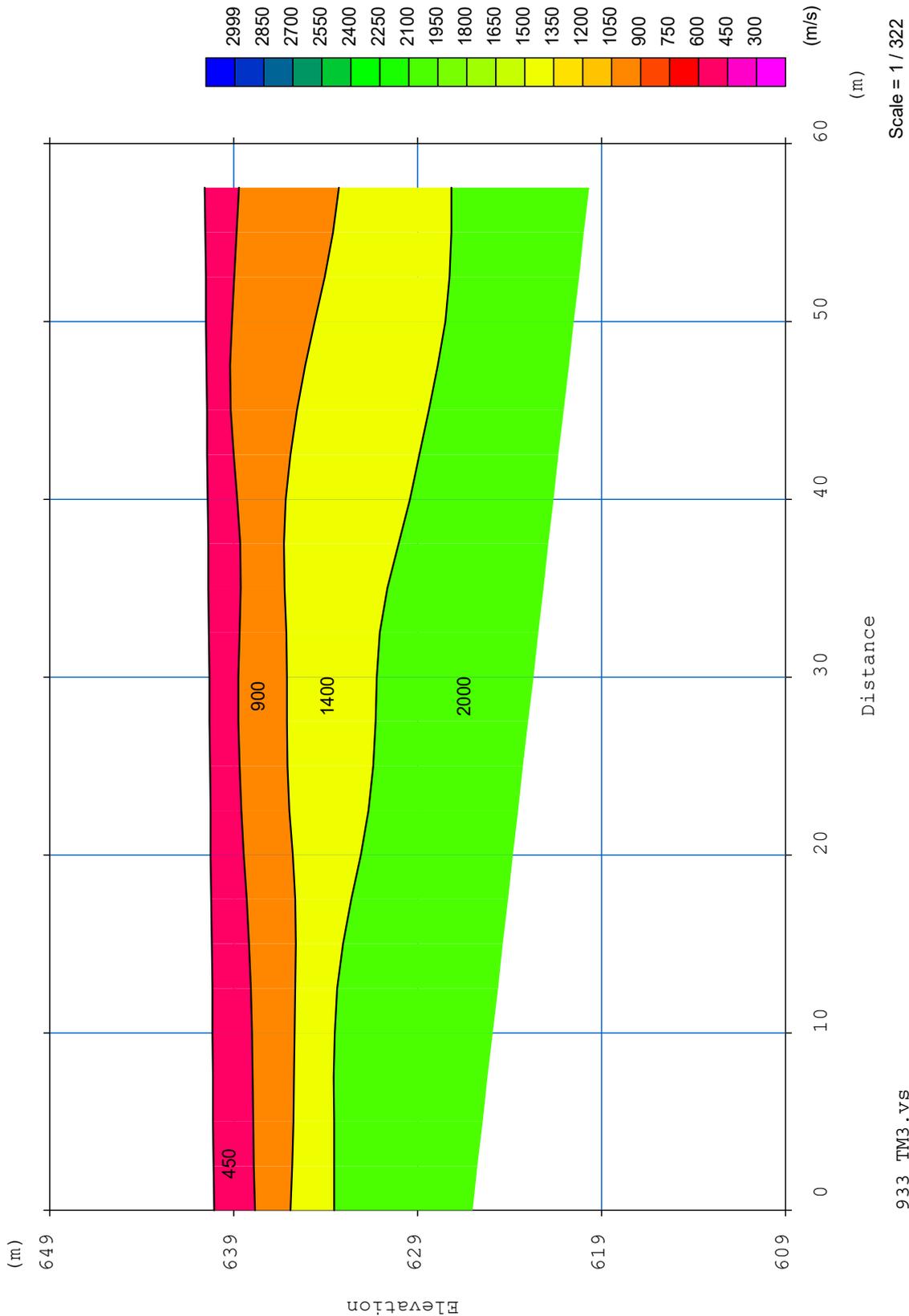
TOMOGRAFIA PRSE 935-TM3



TOMOGRAFIA PRSE 935-TM3



TOMOGRAFIA PRSE 935-TM3

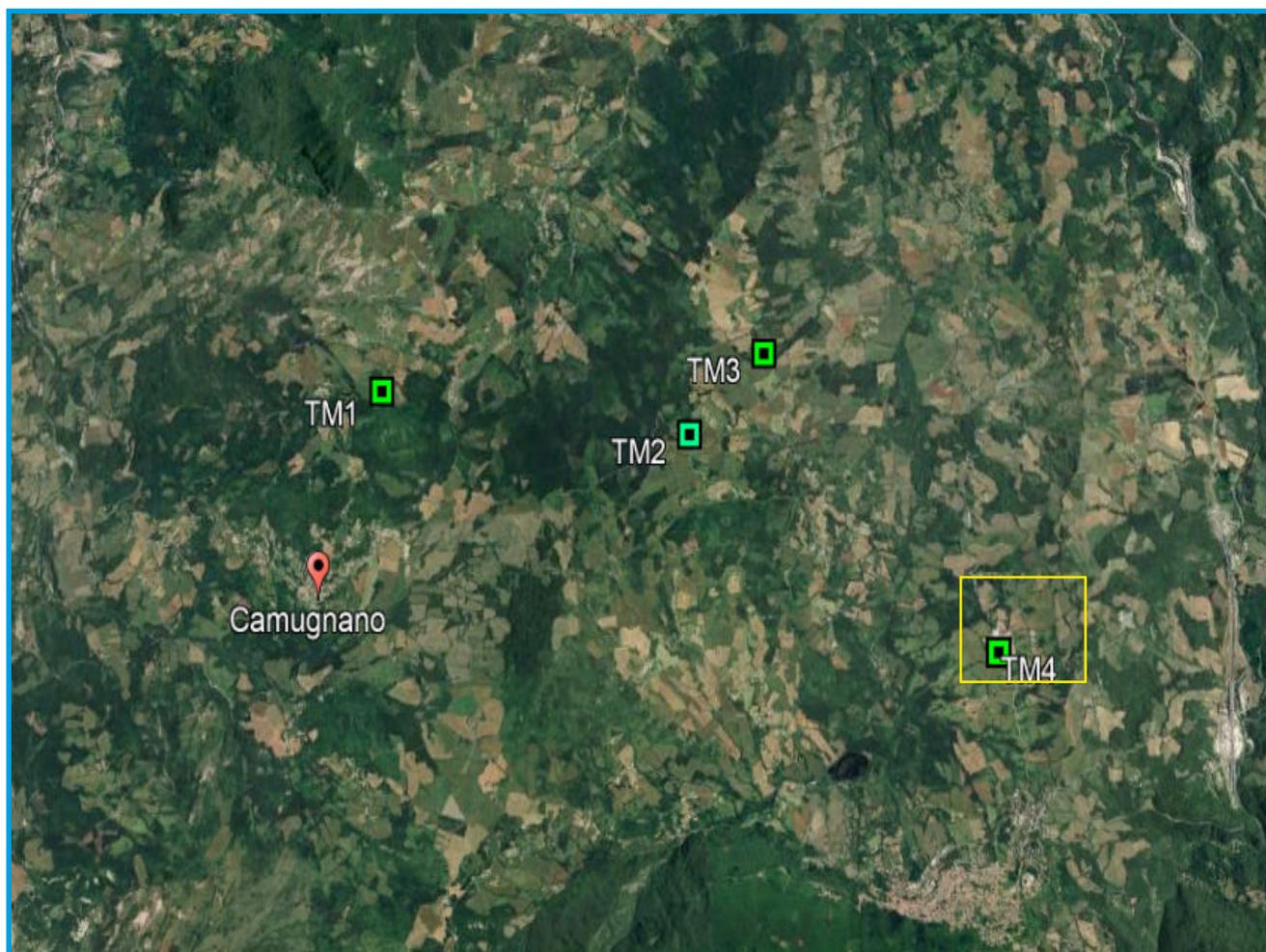


TOMOGRAFIA PRSE 935-TM3



TOMOGRAFIA PRSE 935-TM4

OGGETTO: PARCO EOLICO CAMUGNANO
COMMITTENZA: HOPE S.R.L.



TOMOGRAFIA PRSE 935-TM4

Id indagine PRSE 935 - TM4
LOCALITA' CAMUGNANO (BO)
DATA E ORA 12/03/2024

Coordinate WGS 84 :

Geofono 1: 0673373 N- 4891712 E
Geofono 12-13: 0671440 N- 4891689 E
Geofono 24: 0673424 N- 4891669 E

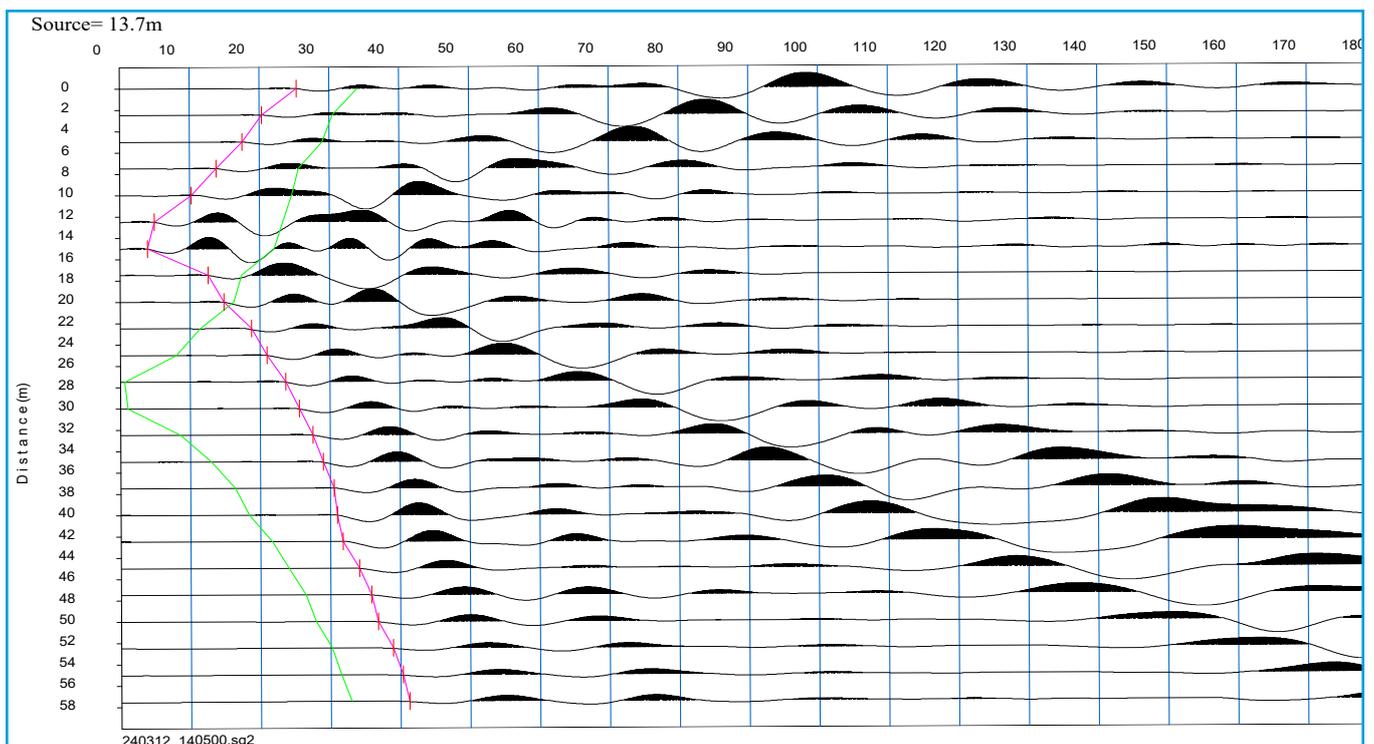
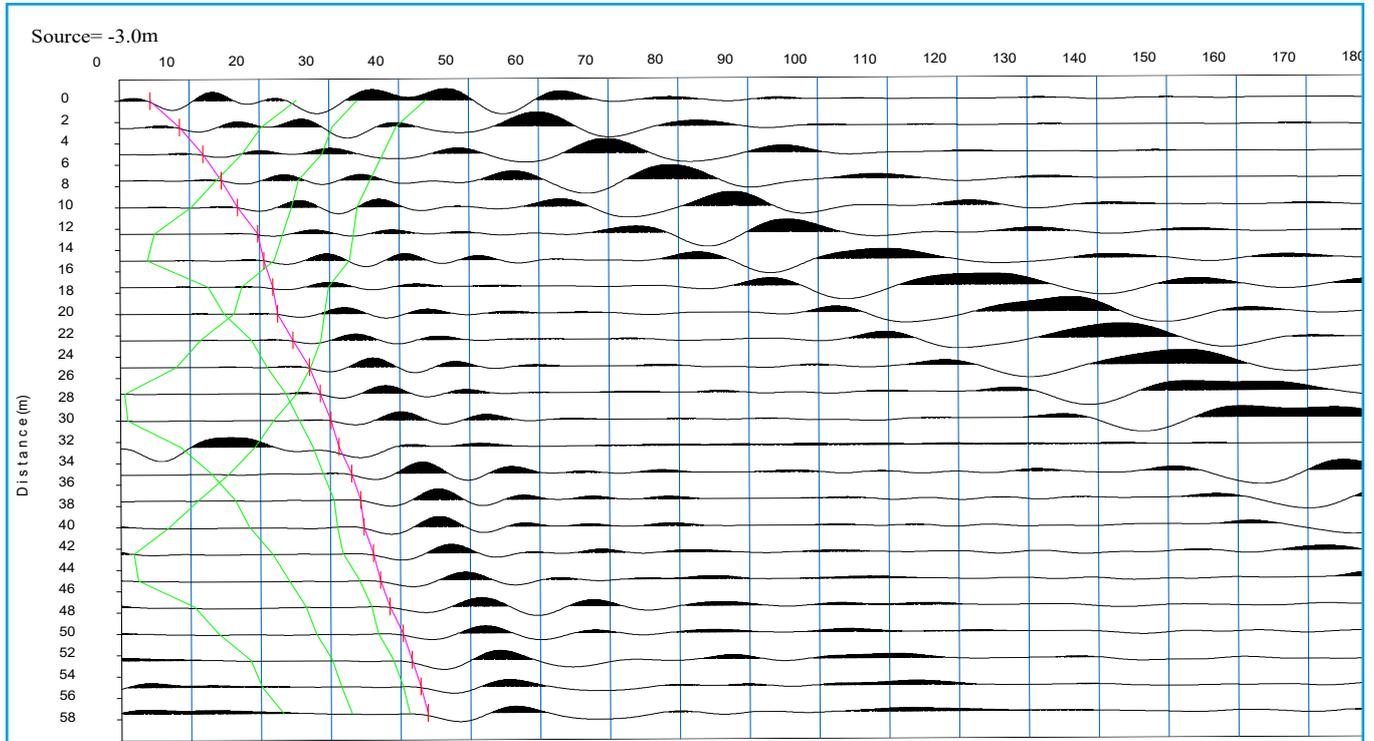
Onde P-Acquisizione dei dati

Distanza tra i geofoni : 2.5 m
Estensione della prova: 60 m
Posizione dello scoppio:

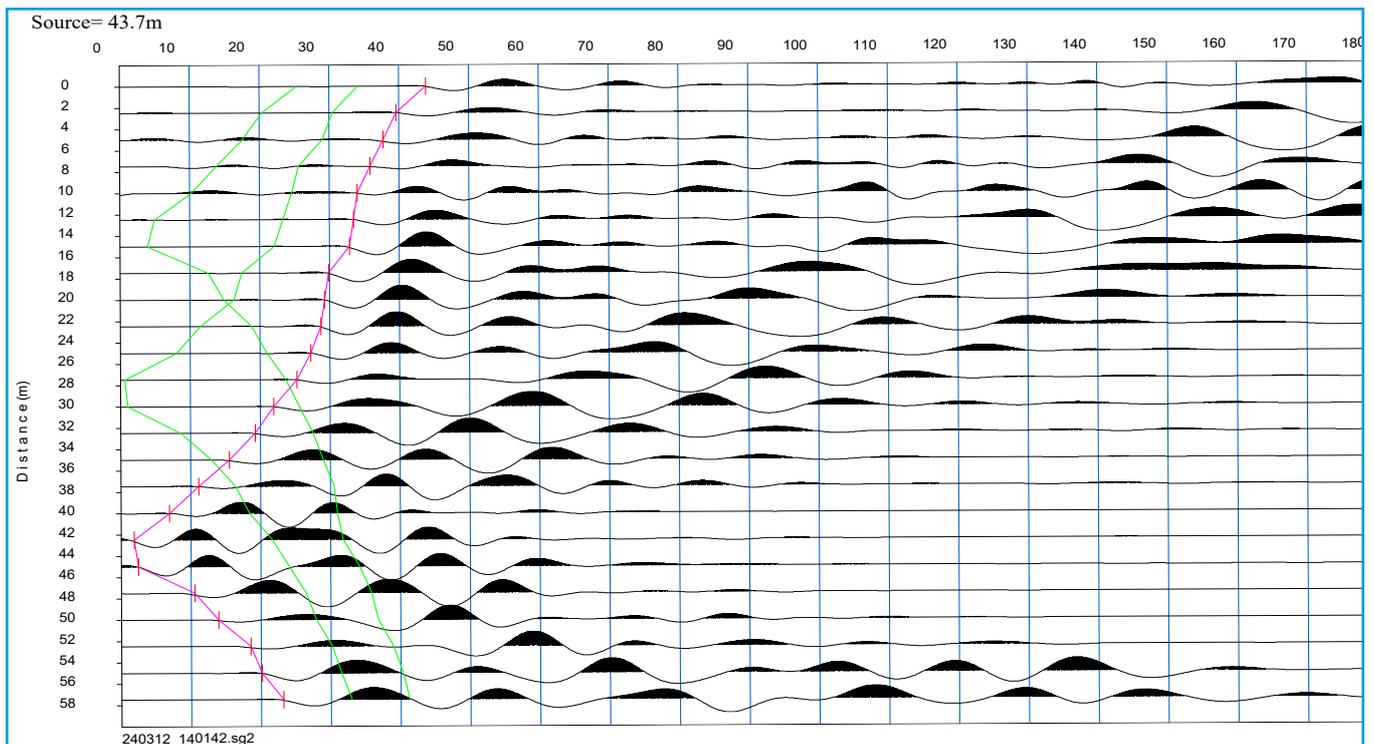
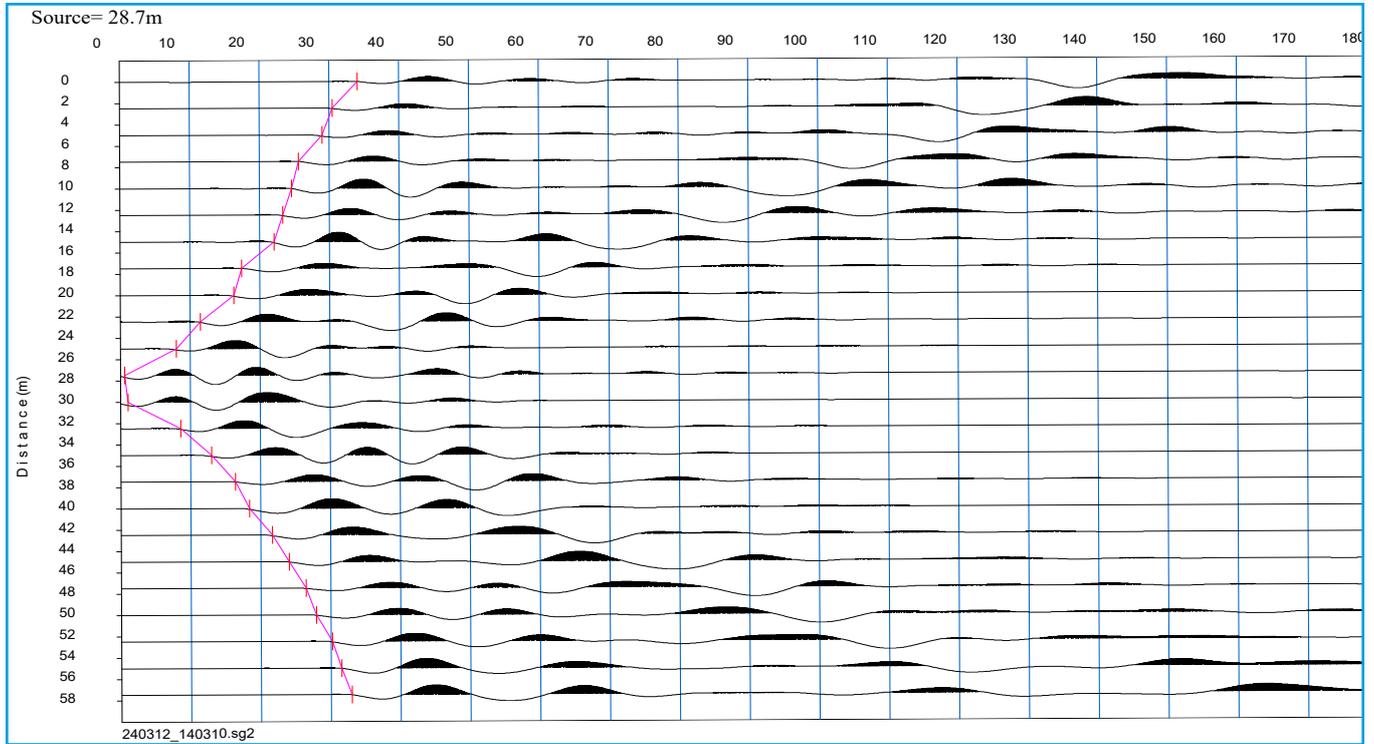
Scoppio 1: -3 m;
Scoppio 2: 13.75 m;
Scoppio 3: 28.75 m;
Scoppio 4: 43.75m;
Scoppio 5: 60.5 m;



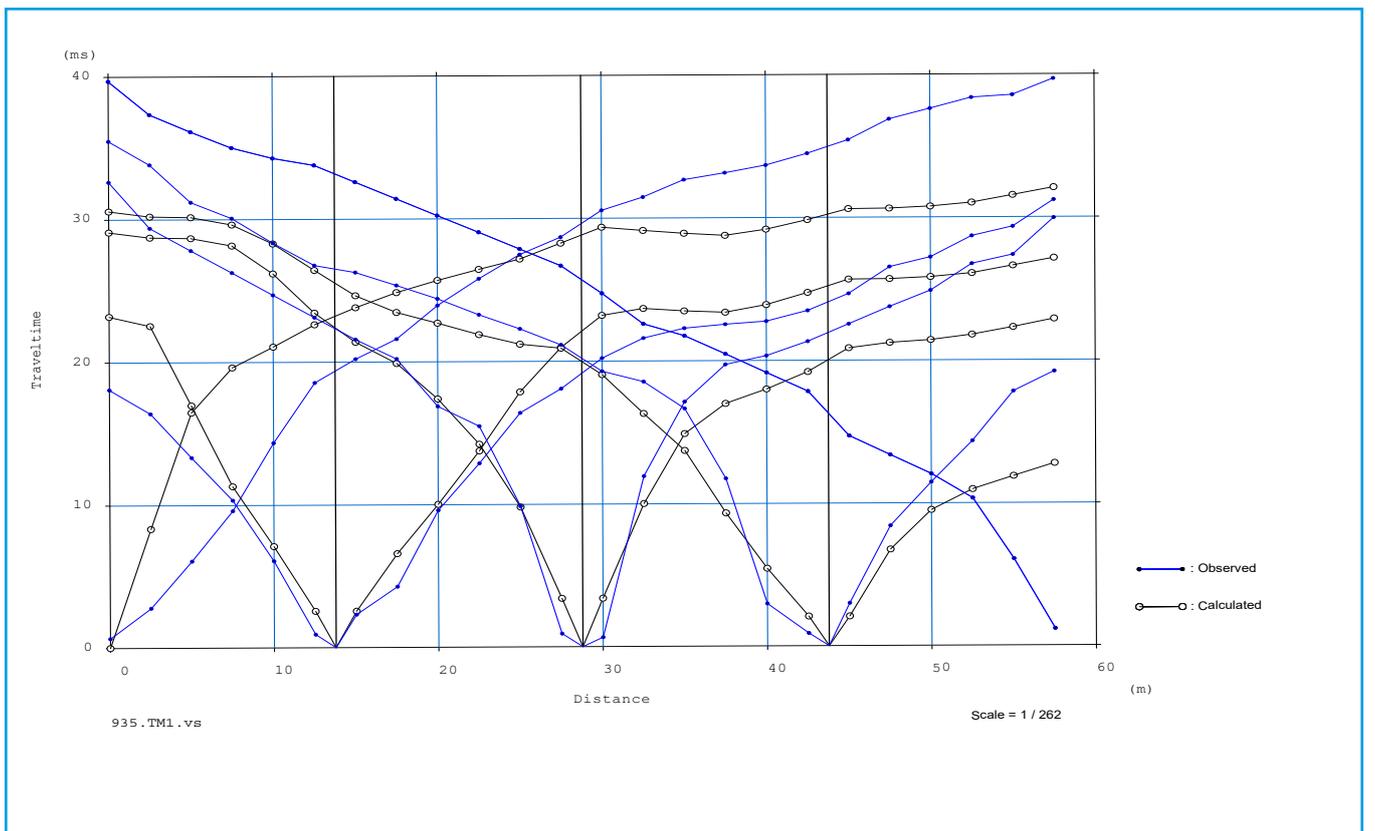
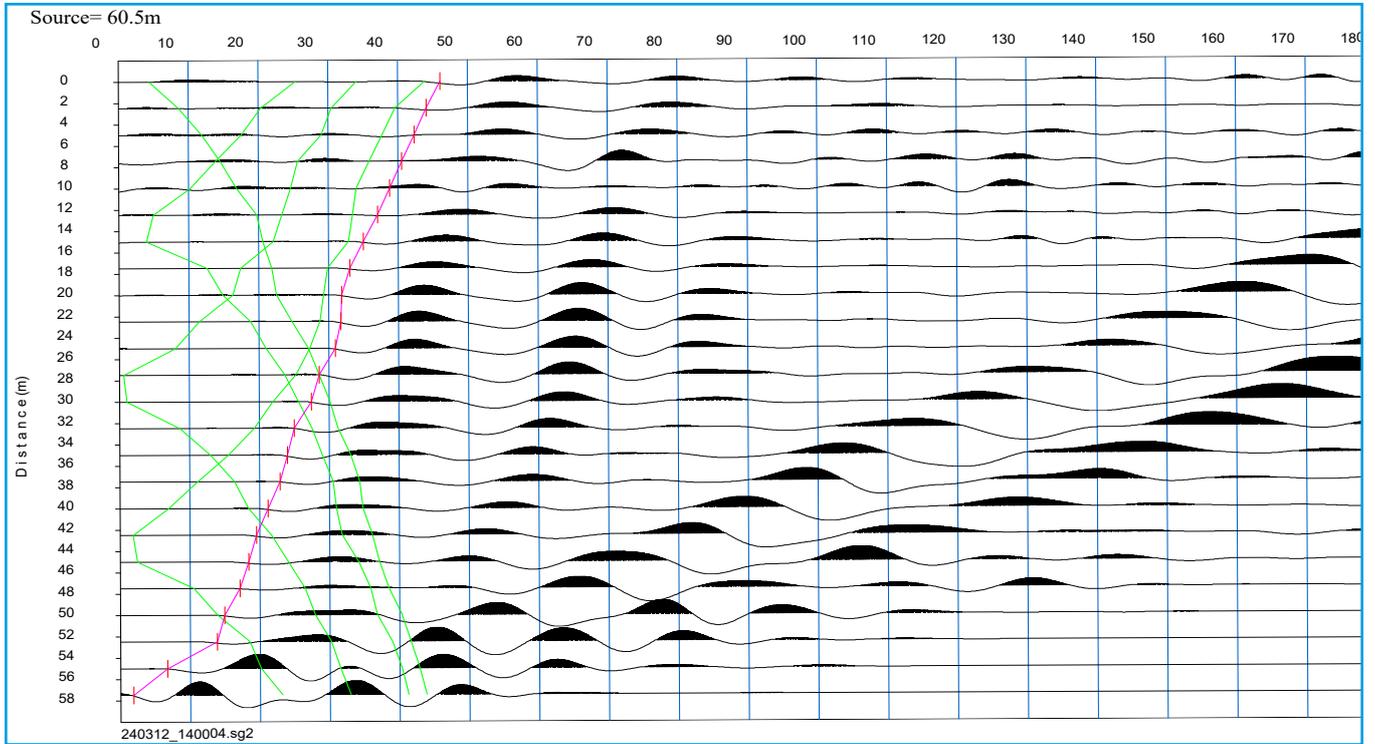
TOMOGRAFIA PRSE 935-TM4



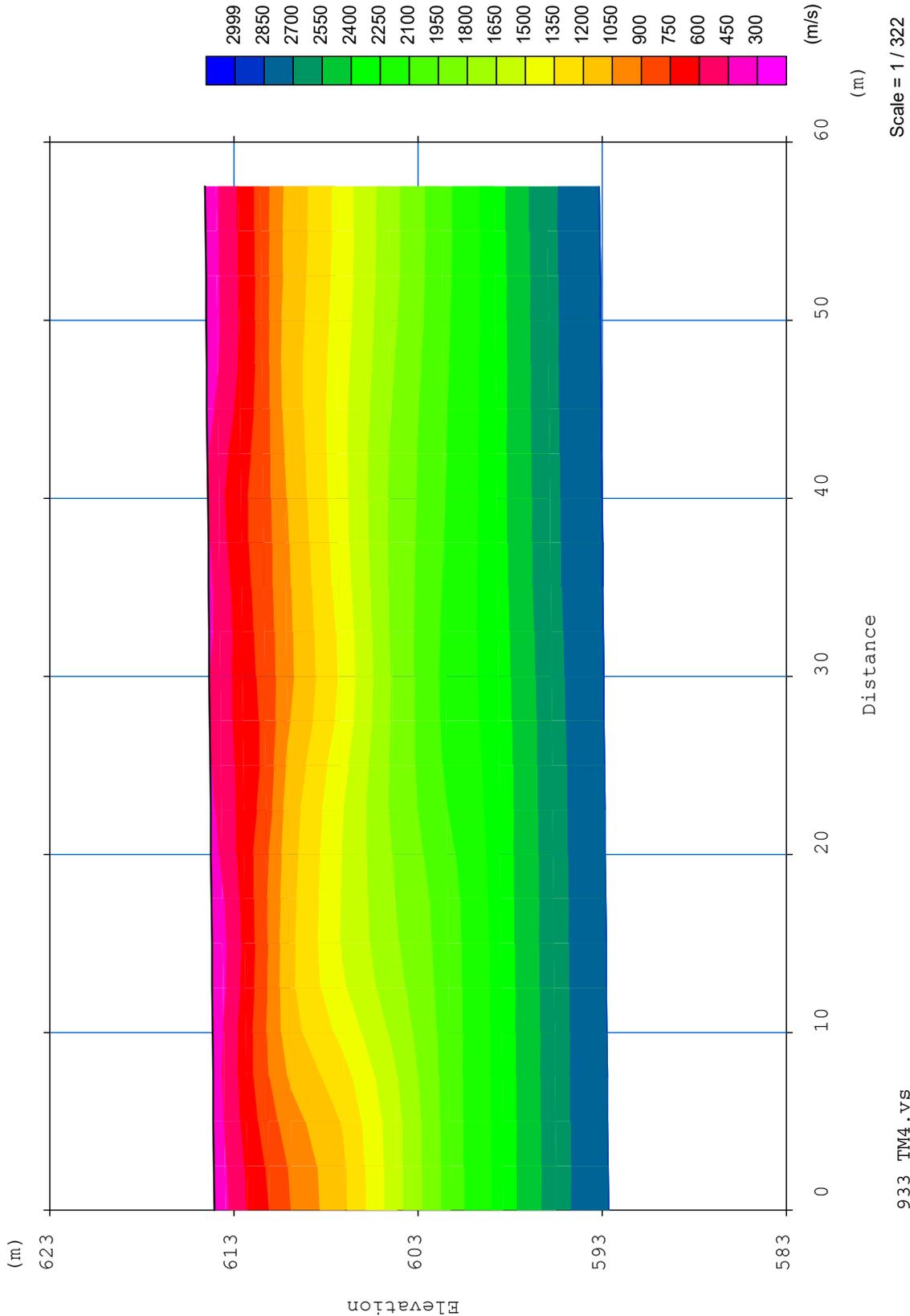
TOMOGRAFIA PRSE 935-TM4



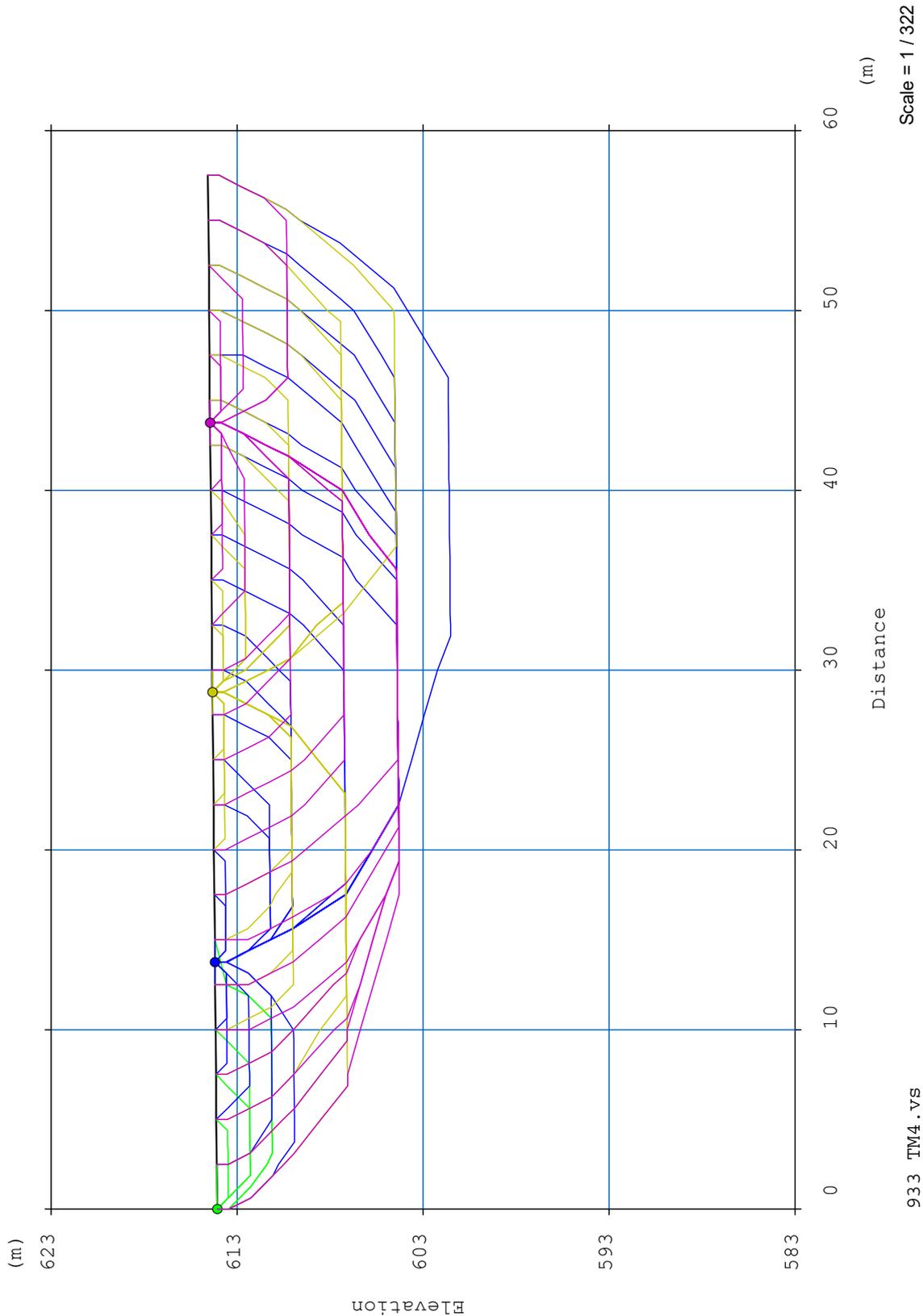
TOMOGRAFIA PRSE 935-TM4



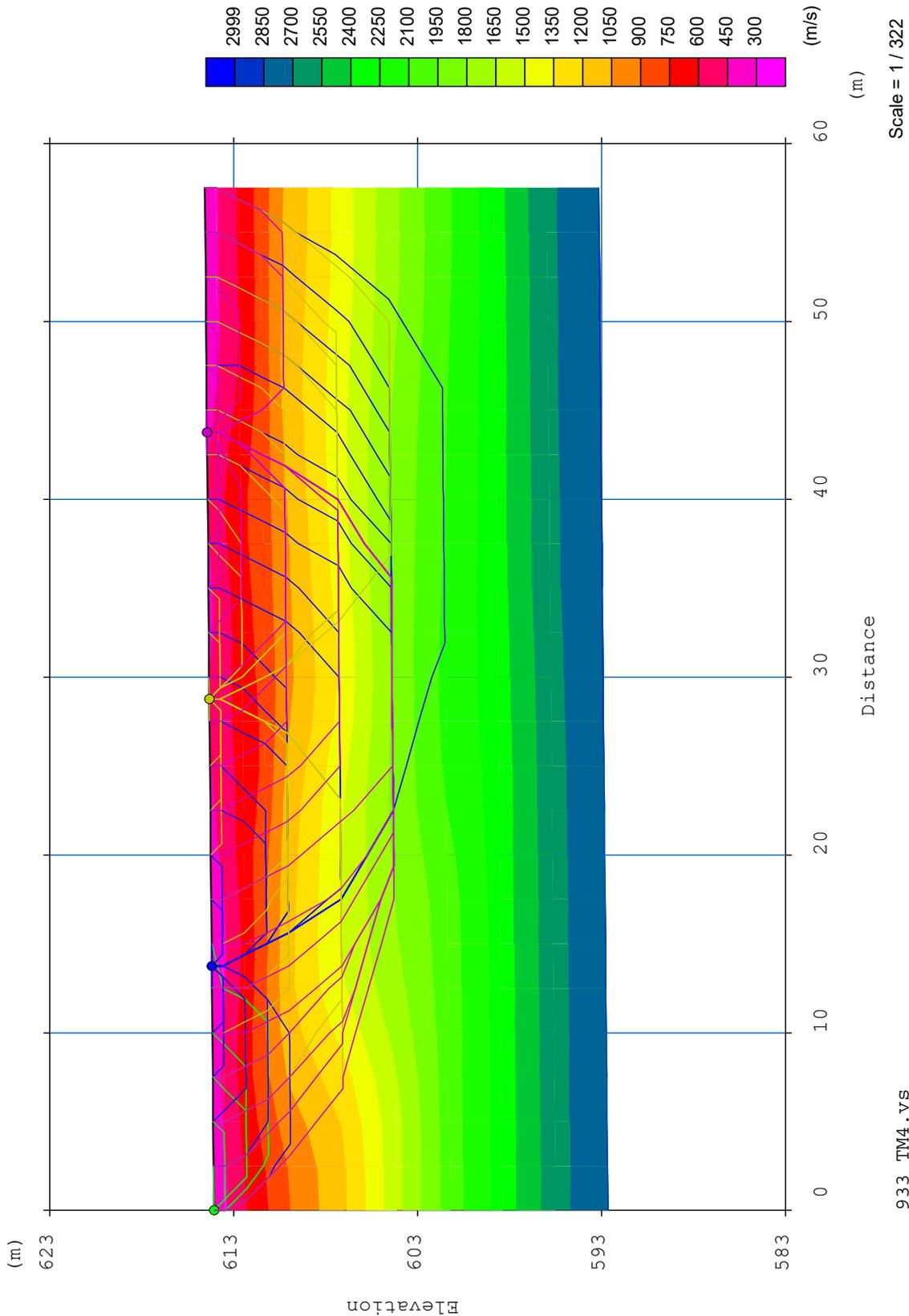
TOMOGRAFIA PRSE 935-TM4



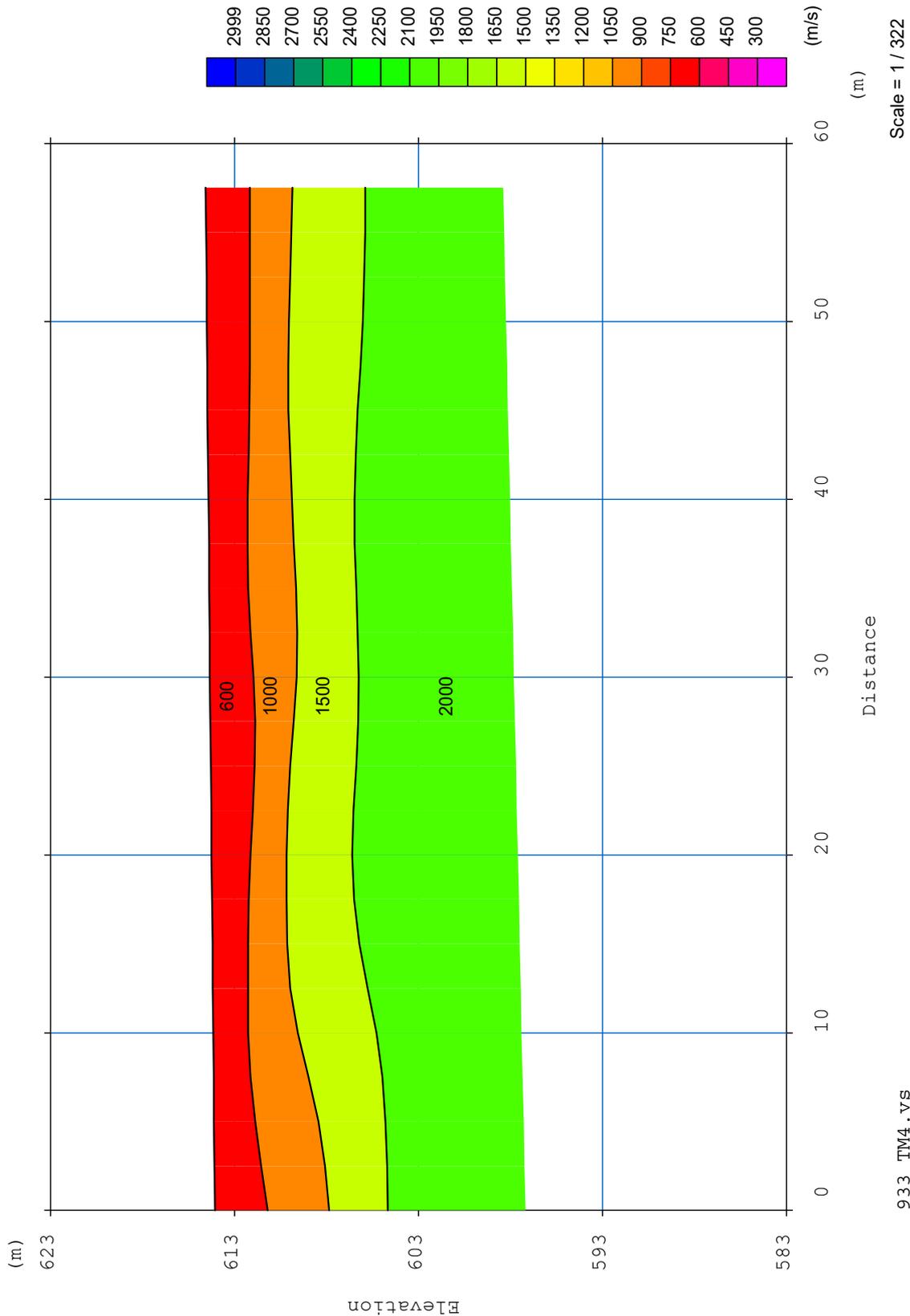
TOMOGRAFIA PRSE 935-TM4



TOMOGRAFIA PRSE 935-TM4

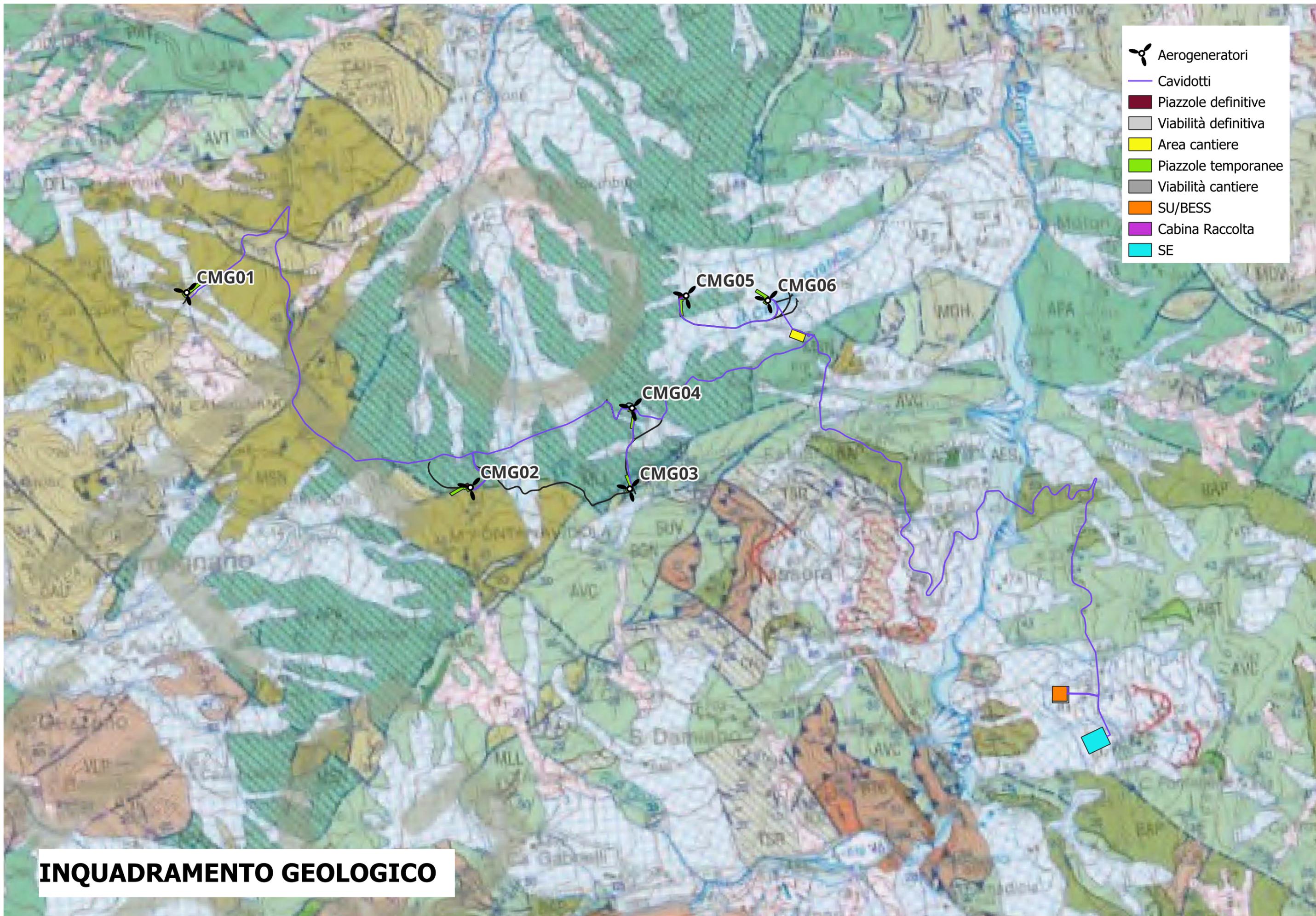


TOMOGRAFIA PRSE 935-TM4

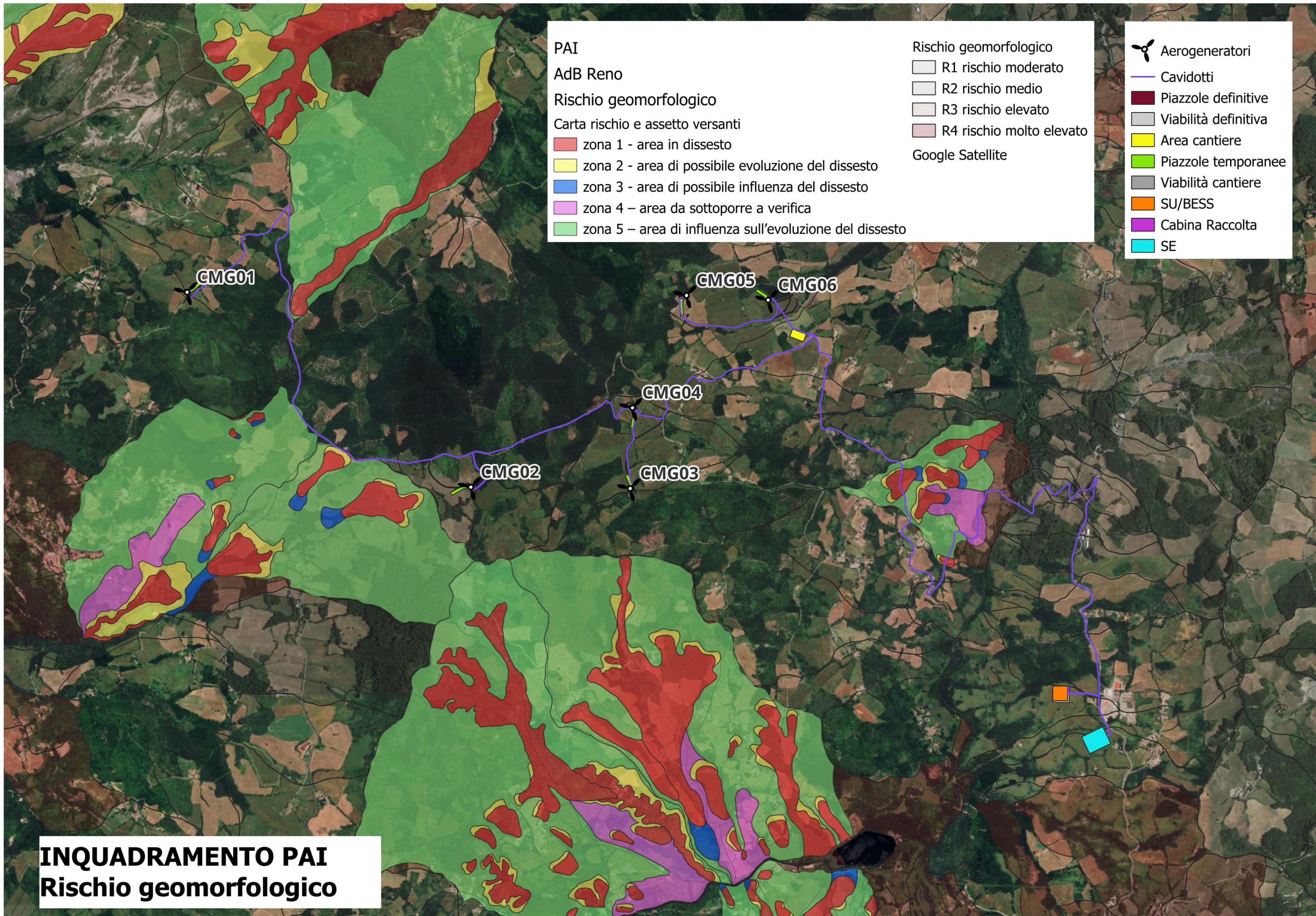


TOMOGRAFIA PRSE 935-TM4





INQUADRAMENTO GEOLOGICO



PAI
 AdB Reno
 Rischio geomorfologico
 Carta rischio e assetto versanti

- zona 1 - area in dissesto
- zona 2 - area di possibile evoluzione del dissesto
- zona 3 - area di possibile influenza del dissesto
- zona 4 - area da sottoporre a verifica
- zona 5 - area di influenza sull'evoluzione del dissesto

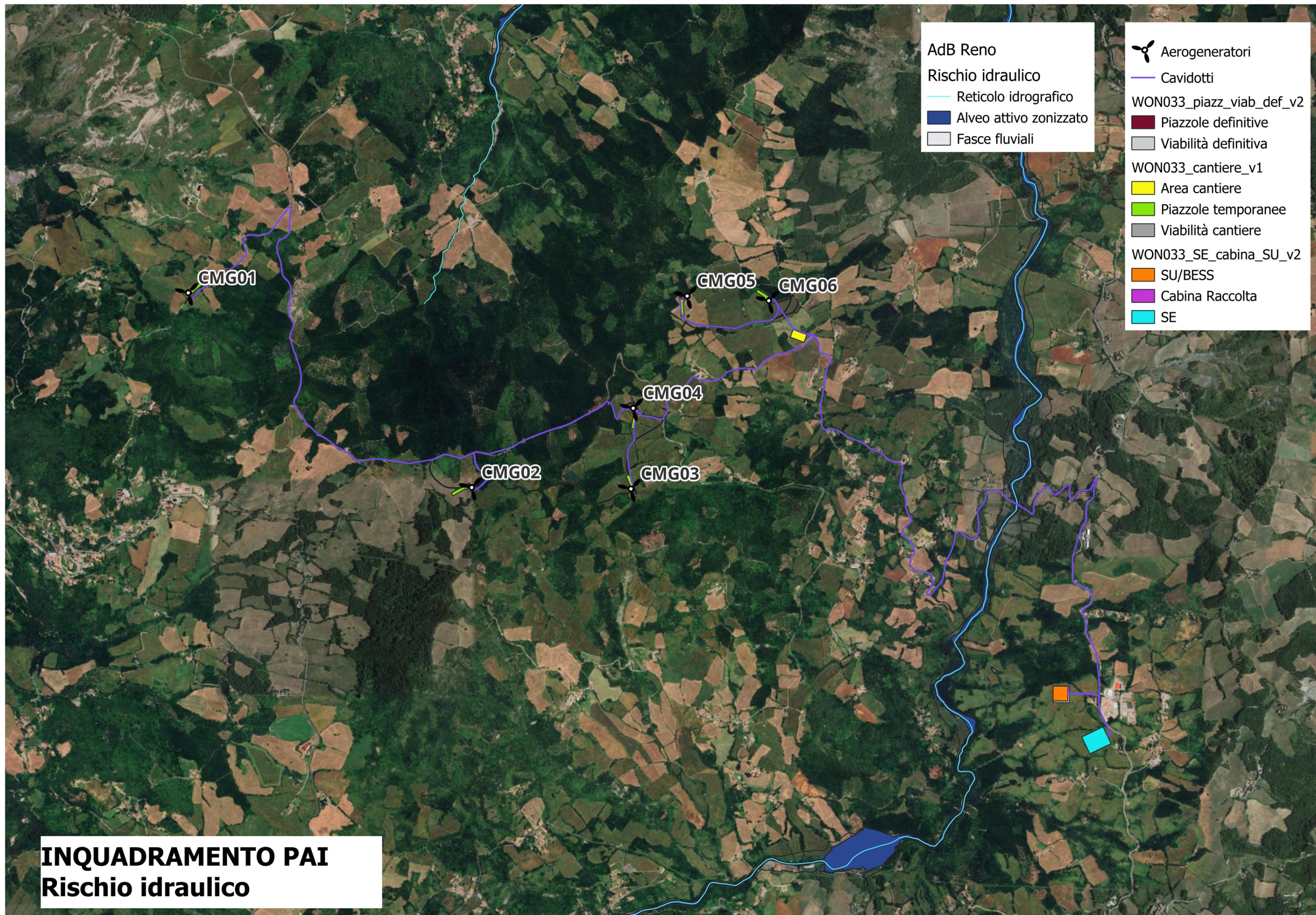
Rischio geomorfologico

- R1 rischio moderato
- R2 rischio medio
- R3 rischio elevato
- R4 rischio molto elevato

Google Satellite

- Aerogeneratori
- Cavidotti
- Piazzole definitive
- Viabilità definitiva
- Area cantiere
- Piazzole temporanee
- Viabilità cantiere
- SU/BESS
- Cabina Raccolta
- SE

INQUADRAMENTO PAI
Rischio geomorfologico



AdB Reno
Rischio idraulico
— Reticolo idrografico
■ Alveo attivo zonizzato
■ Fasce fluviali

✶ Aerogeneratori
— Cavidotti
WON033_piazz_viab_def_v2
■ Piazzole definitive
■ Viabilità definitiva
WON033_cantiere_v1
■ Area cantiere
■ Piazzole temporanee
■ Viabilità cantiere
WON033_SE_cabina_SU_v2
■ SU/BESS
■ Cabina Raccolta
■ SE

INQUADRAMENTO PAI
Rischio idraulico