
PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PER LA
PRODUZIONE DI ENERGIA MEDIANTE LO SFRUTTAMENTO DEL VENTO
NEL TERRITORIO COMUNALE DI CANOSA DI PUGLIA E MINERVINO MURGE (BT)
POTENZA NOMINALE 57,6 MW

PROGETTO DEFINITIVO - SIA

PROGETTAZIONE E SIA

ing. Fabio PACCAPELO

ing. Andrea ANGELINI

ing. Antonella Laura GIORDANO

ing. Francesca SACCAROLA

COLLABORATORI

dr.ssa Anastasia AGNOLI

ing. Giulia MONTRONE

STUDI SPECIALISTICI

IMPIANTI ELETTRICI

ing. Roberto DI MONTE

GEOLOGIA

geol. Matteo DI CARLO

ACUSTICA

ing. Francesco PELLEGRINO PAPEO

STUDIO FAUNISTICO

dott. nat. Fabio MASTROPASQUA

VINCA, STUDIO BOTANICO VEGETAZIONALE E PEDO-AGRONOMICO

dr.ssa Lucia PESOLA

ARCHEOLOGIA

dr.ssa archeol. Domenica CARRASSO

INTERVENTI DI COMPENSAZIONE E VALORIZZAZIONE

arch. Gaetano FORNARELLI

arch. Andrea GIUFFRIDA

PD.R. ELABORATI DESCRITTIVI

R.4 Relazione geologica, morfologica e idrogeologica

REV.	DATA	DESCRIZIONE

INDICE

1	PREMESSA	1
2	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E COORDINATE	3
3	SCHEMA TETTONICO DELL'AREA MEDITERRANEA	5
4	INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE	10
5	GEOLOGIA PARTICOLAREGGIATA DELLA ZONA OGGETTO DI STUDIO	14
6	UBICAZIONE TOMOGRAFIE SISMICHE	16
7	CARATTERI SISMICI DEL TERRITORIO	19
8	CLASSIFICAZIONE SISMICA	22
9	ZONIZZAZIONE SISMOGENETICA	24
9.1.	RISPOSTA SISMICA LOCALE	26
10	COEFFICIENTE DI AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA	34
10.1.	CATEGORIE TOPOGRAFICHE	34
11	CATEGORIA DI SUOLO DI FONDAZIONE	35
12	AMBIENTE IDRICO SUPERFICIALE E PROFONDO	40
12.1.	INQUADRAMENTO IDROGRAFICO E IDROLOGICO GENERALE	41
12.2.	MODALITÀ DI ATTRAVERSAMENTO DEL RETICOLO IDROGRAFICO	43
12.3.	VINCOLI PIANO DI ASSETTO IDROGEOMORFOLOGICO (PAI) – PERICOLOSITÀ IDRAULICA	44
12.4.	VINCOLI PIANO DI ASSETTO IDROGEOMORFOLOGICO (PAI) – PERICOLOSITÀ GEOMORFOLOGICA	46
13	CONCLUSIONI	48
14	ELENCO ALLEGATI	50



1 PREMESSA

La Società **Santa Rita Energia S.R.L** ha commissionato al sottoscritto il presente studio di compatibilità geologica, idrogeomorfologica e sismica, inerente il "Progetto per la realizzazione di un Parco Eolico, costituito da n. **8 Aerogeneratori** con potenza nominale di 7.2 MW **per una capacità produttiva complessiva pari a 57.6 MW** siti nei comuni di Canosa di Puglia (BAT) e Minervino Murge (BAT) ed opere connesse ivi compresa la **Sottostazione di Trasformazione Elettrica** sita in in agro del comune di Montemilone (PZ).

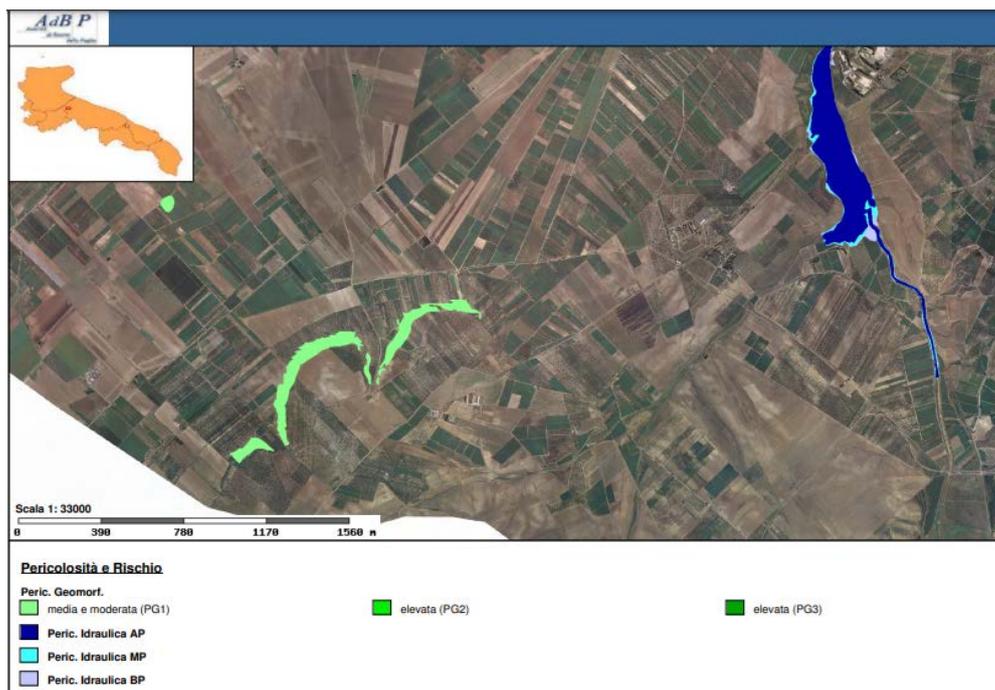
Scopo dello studio è quello di stabilire la natura litologica dei terreni affioranti nell'area in studio per risalire al loro prevedibile comportamento in dipendenza dei fattori geomorfologici, stratigrafici, tettonici, idrogeologici e geomeccanici, A tale scopo è stato eseguito un rilevamento geologico 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**
- **Piano di Assetto Idrogeologico (PAI) emanato dall'Autorità di Bacino della Puglia.**

Stando alla cartografia del Piano Stralcio Assetto Idrogeologico (PAI) dell'AdB Puglia, 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 della Puglia, nessuno degli 8 aerogeneratori ricade in aree vincolate.





Inquadramento PAI

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;

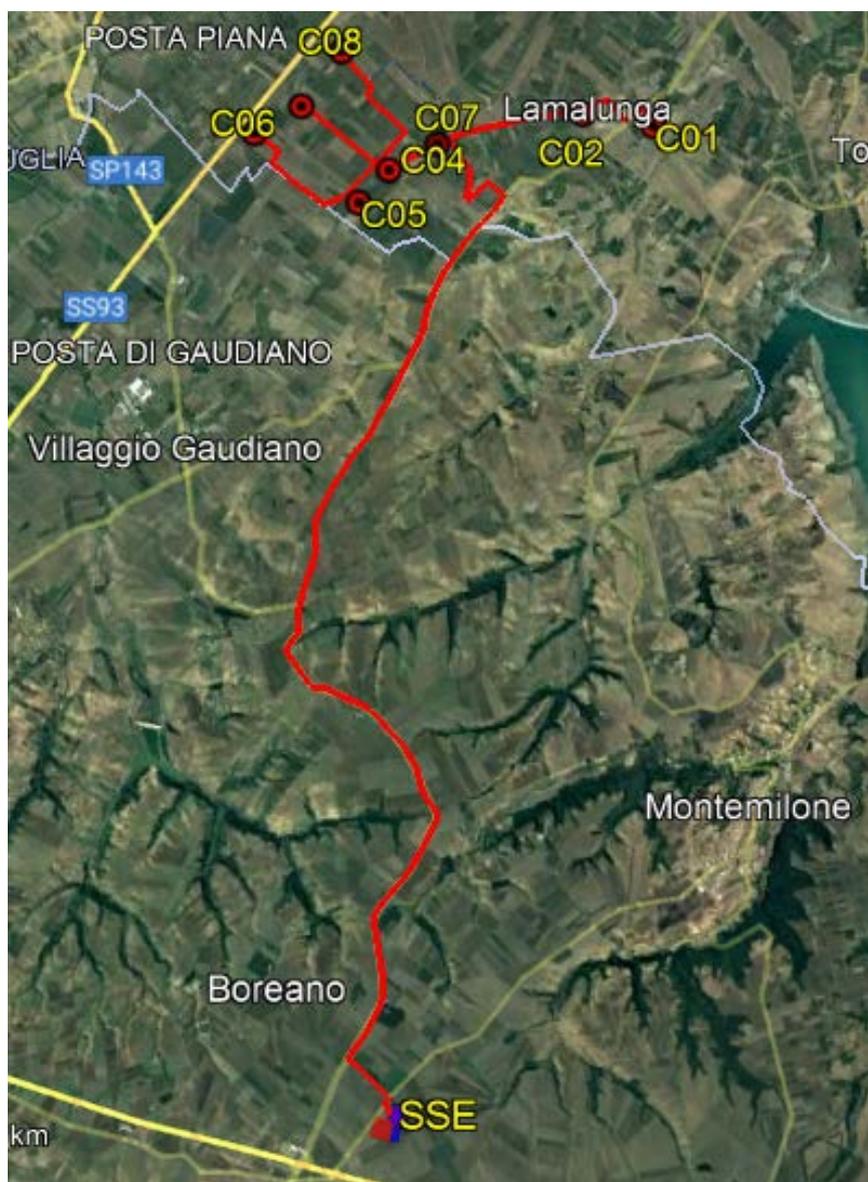
Sono state eseguite 3 tomografie sismiche e 3 MASW

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.



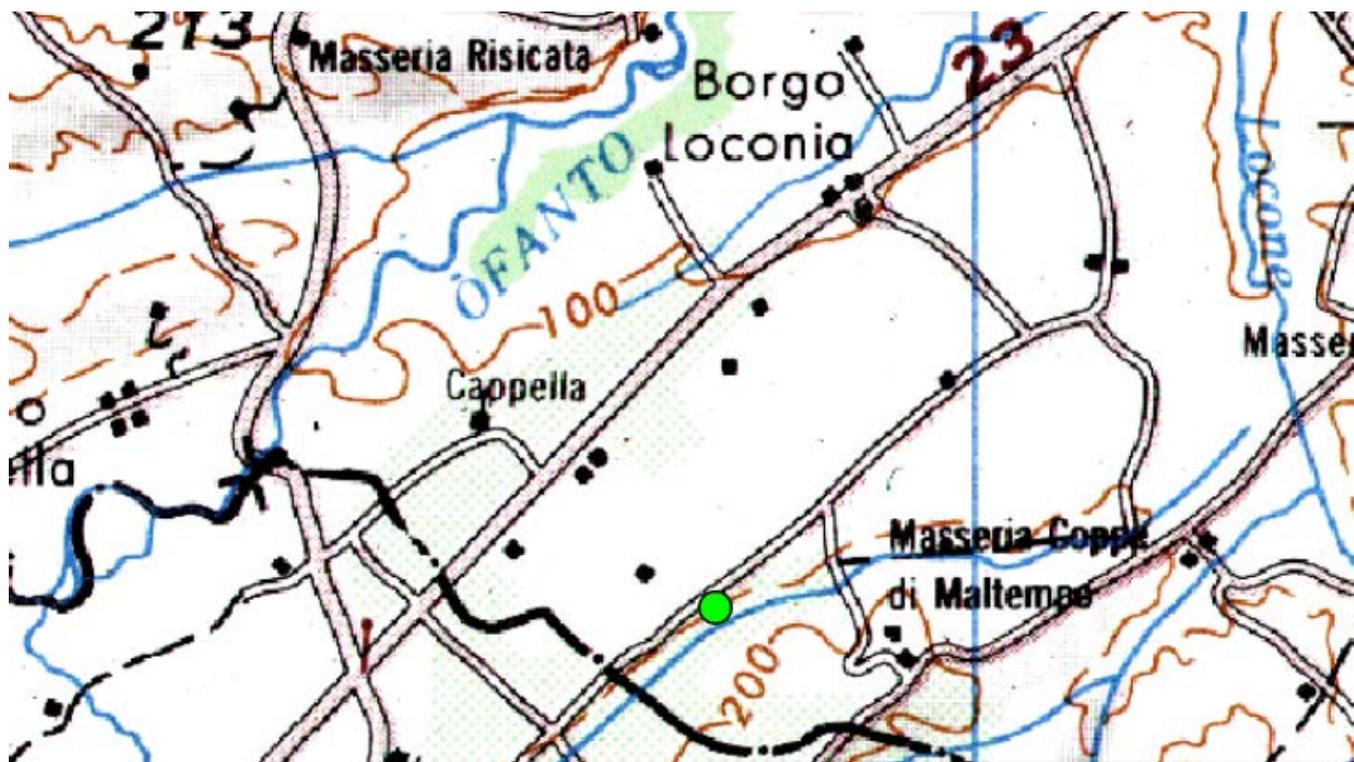
2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E COORDINATE

WTG	COORDINATE WGS84 FUSO 33N	
C01	581596.70	4553032.67
C02	580542.87	4553353.61
C03	578264.39	4553128.65
C04	577480.42	4552810.91
C05	576963.80	4552346.27
C06	575486.73	4553658.07
C07	576249.11	4554006.68
C08	576960.22	4554823.92

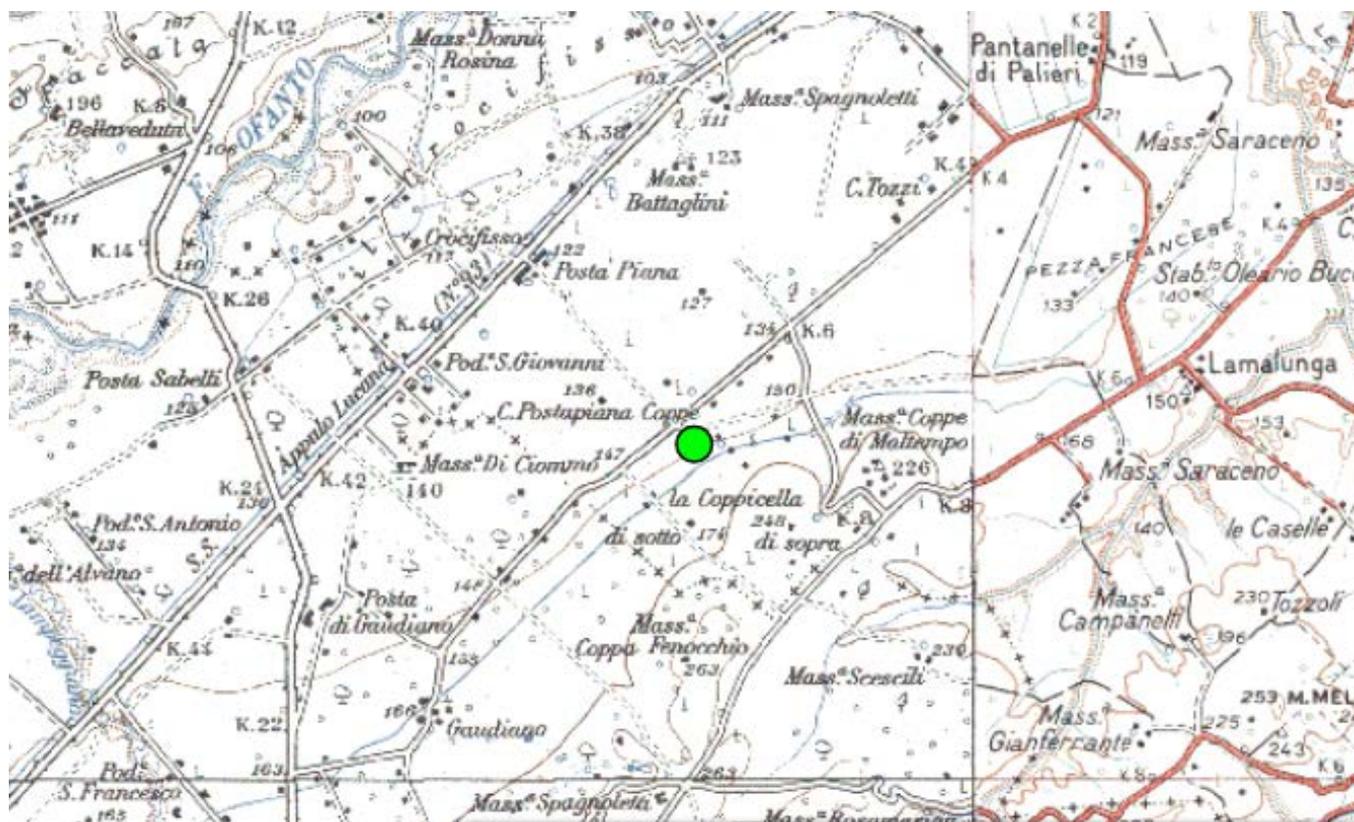


Localizzazione Area Impianto



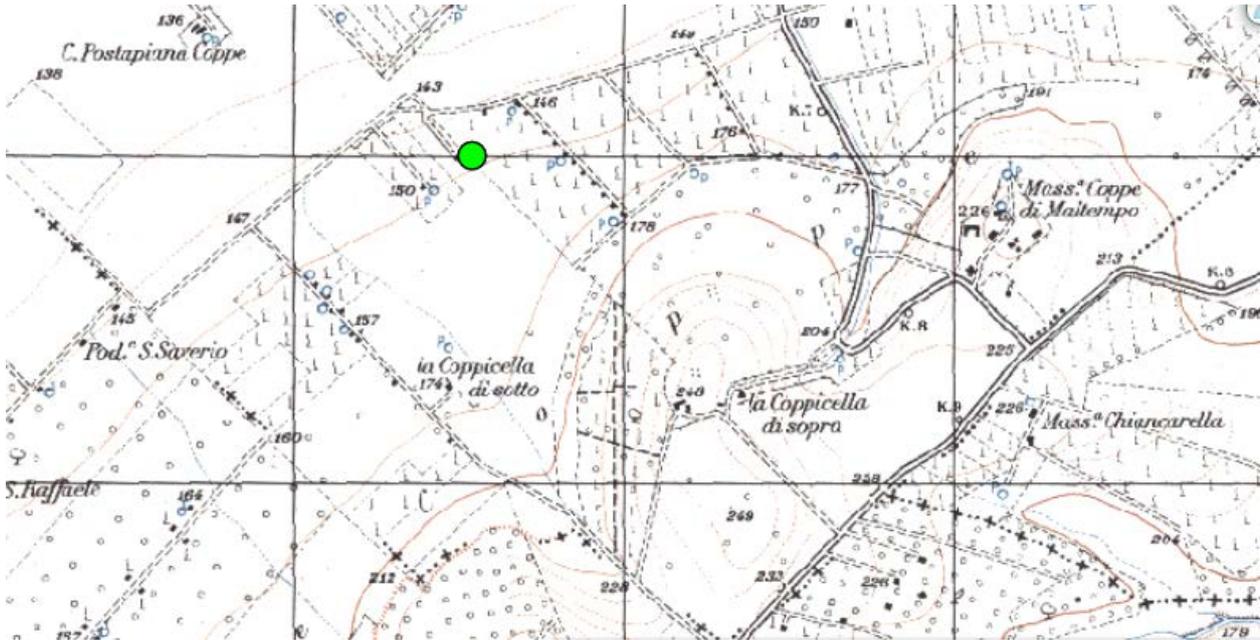


Localizzazione Area Impianto su base IGM 1:250.000



Localizzazione Area Impianto su base IGM 1:100.000

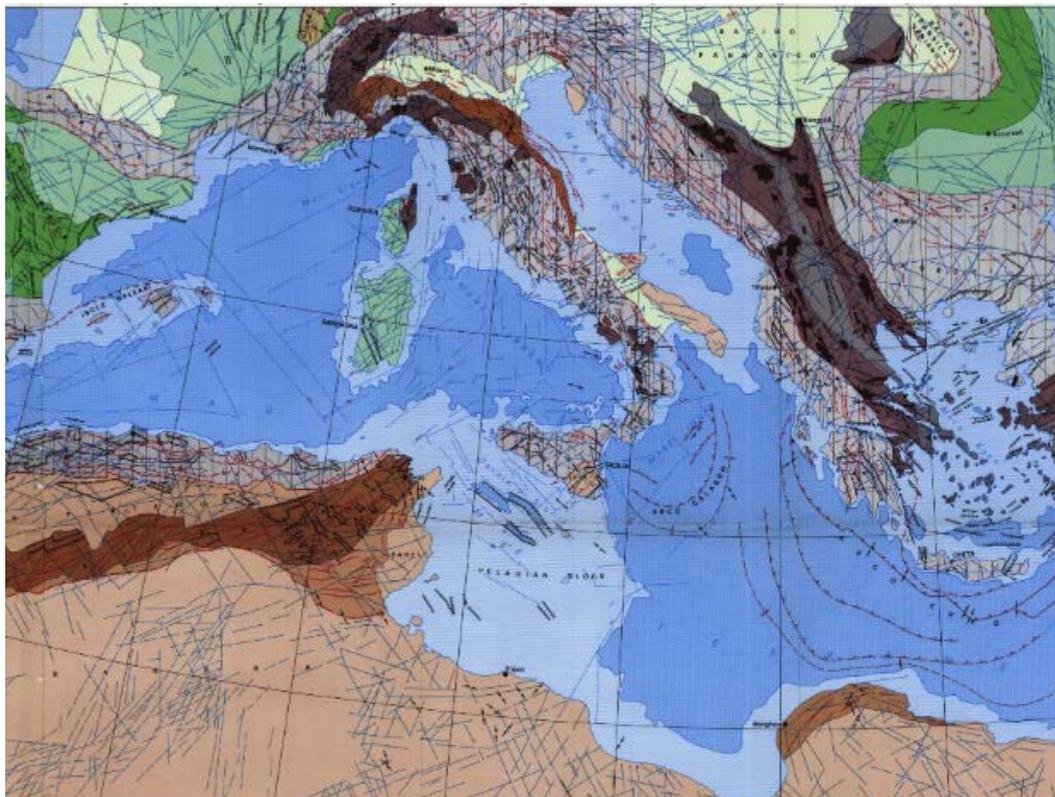




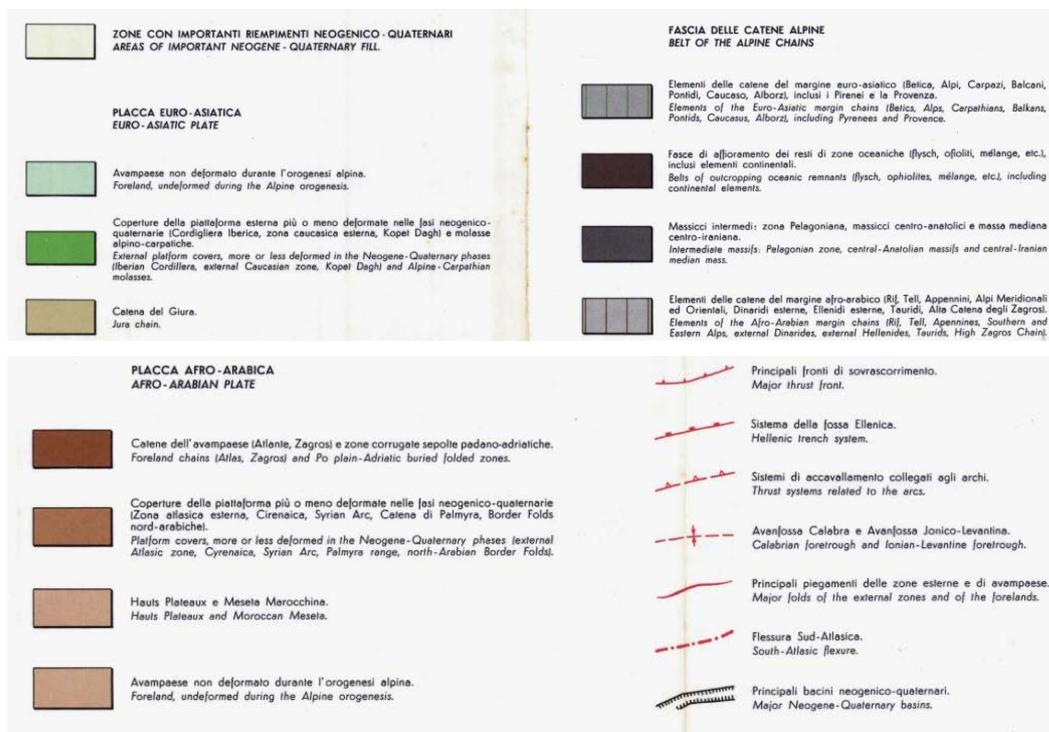
Localizzazione Area Impianto su base IGM 1:25.000



3 SCHEMA TETTONICO DELL'AREA MEDITERRANEA

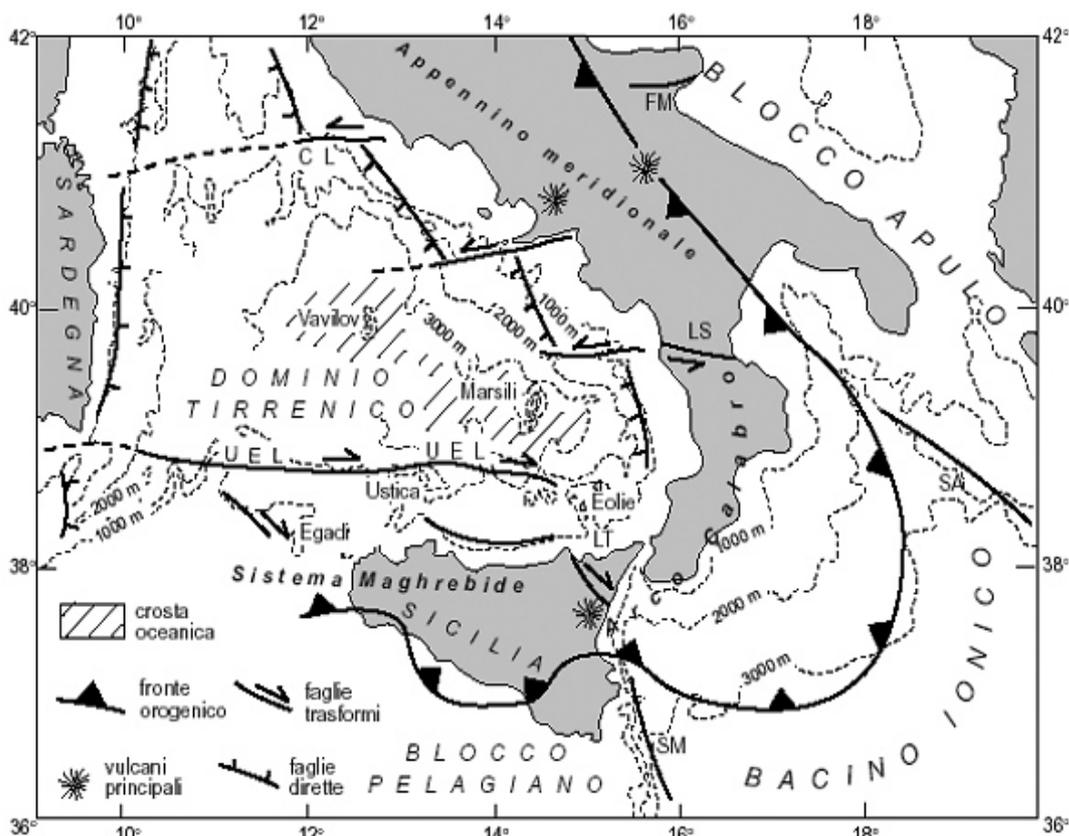


Schema Tettonico area Mediterranea da Boccaletti M. & Danieli P. 1982



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





Schema tettonico del sistema Tirreno - Appennino meridionale (modificato da ReNda et alii, 2000). Acronimi: FM = Faglia di Mattinata; CL = Linea del Circeo; LP: Linea del Pollino; UEL: Linea Ustica-Eolie; SA: Scarpata Apula; LT: Linea di Taormina; SM: Scarpata di Malta.

La genesi della Catena dell'Appennino Meridionale inizia nell'Oligocene Superiore-Miocene e deriva dall'evoluzione del margine continentale passivo mesozoico e dalla sua inversione in margine attivo durante la subduzione della placca Adriatica verso ovest. La tettonica compressiva è stata quindi la causa dell'impilamento delle diverse unità di derivazione differente e della geometria a pieghe e sovrascorrimenti (fold-and-thrust belt) est-vergente che la catena possiede attualmente. La struttura profonda dell'Appennino meridionale è definita, come ben noto, da un sistema duplex sepolto di carbonati mesozoico-terziari derivanti dal margine interno della Piattaforma Apula ricoperto da un sistema di falde di provenienza occidentale. Il sistema di falde comprende unità di piattaforma, scarpata e bacino la cui ricostruzione palinspastica è tuttora oggetto di discussione. Un recente riprocessamento della linea CROP-04 mostra che la superficie di scorrimento basale del cuneo tettonico raggiunge una profondità superiore ai 20 chilometri in corrispondenza della costa tirrenica. L'assetto geometrico generale della catena è complicato da numerosi sovrascorrimenti fuori sequenza e dallo sviluppo di sistemi duplex all'interno delle coltri di tetto (in particolare potenti catoste antiformali di embrici lagonegresi). La propagazione della deformazione è avvenuta in maniera non cilindrica, per cui segmenti di catena adiacenti, deformati nello stesso intervallo temporale, possono mostrare geometrie fortemente diverse risultanti dalle diverse traiettorie delle superfici di scorrimento.

Lo studio dei depositi pliocenico-quadernari discordanti sulle coltri di ricoprimento, lo studio dei coevi depositi di avanfossa nel sottosuolo bradanico e l'analisi delle strutture tettoniche in catena hanno portato alla costruzione di un nuovo modello sulle relazioni tra tettonica e sedimentazione che descrive



l'evoluzione cinematica dell'Appennino meridionale come un processo di raccorciamento continuo e non come un susseguirsi di fasi di trasporto e fasi di quiescenza tettonica. L'attivazione di superfici di scorrimento fuori sequenza è stata responsabile sia di forti raccorciamenti all'interno del cuneo tettonico (es. generazione dei duplex all'interno delle unità di tetto) sia di cambiamenti della struttura 15/08/13 Patacca & Scandone 1998-StruttTett-Palermo SGI.doc generale della catena, con passaggio da sistemi ad embrici a sistemi di tipo duplex dove il cuneo delle falde occupa una vasta porzione della depressione di avanfossa. La propagazione delle superfici di scorrimento verso l'avampaese, invece, è stata responsabile sia di passaggi da sistemi duplex a sistemi ad embrici sia della progressiva deformazione dell'avampaese con conseguente incorporazione di nuove strutture nel duplex carbonatico profondo. La complessità dell'assetto geometrico e la complessità dell'evoluzione cinematica spiegano, almeno in parte, le diversità esistenti nelle ricostruzioni palinspastiche proposte in letteratura. Il dominio di catena comprende l'Appennino meridionale, allungato in direzione NO-SE, ed il Sistema Maghrebide, che si estende invece in direzione media O-E. Questi due tratti di catena sono collegati attraverso un importante elemento arcuato, l'Arco Calabro, nel quale sono esposte unità di basamento cristallino provenienti dalle porzioni più interne dell'Appennino (Complesso Calabride di OGNIBEN, 1969). Il dominio tirrenico di retroarco si è formato a partire dal Tortoniano (SCAN- DONE, 1979; DEWEY et alii, 1989) ed è caratterizzato da una crosta continentale estremamente assottigliata che fa passaggio graduale ad una crosta oceanica dove si sviluppa un vulcanismo quaternario caratterizzato da prodotti a diversa affinità geochemica.

L'Appennino meridionale costituisce un *thrust belt* con un insieme di pieghe e sovrascorrimenti con vergenza verso NE, che coinvolgono terreni del dominio oceanico neotetideo (Unità Liguridi ed Unità Sicilidi), terreni dell'adiacente dominio continentale africano (Blocco Apulo) con sequenze carbonatiche meso-cenozoiche di piattaforma (D'ARGENIO *et alii*, 1973, 1975; BUROLLET *et alii*, 1978; PATACCA *et alii*, 1979) e di bacino ("Bacino di Lagonegro", SCANDONE, 1975) spesse fino a 10km, e le relative coperture terrigene terziarie (OGNIBEN, 1969; SCANDONE, 1972; AMODIO-MORELLI *et alii*, 1976)

L'edificio orogenico già parzialmente strutturato è sovrascorso sull'avampaese apulo flessurato dal Messiniano in poi, dando origine ad importanti bacini flessurali di avanfossa (Bacino di Sant'Arcangelo e Avanfossa Bradanica, Fig. 2). La parte frontale del *thrust belt* è tettonicamente intercalata ai sedimenti del Pliocene superiore - Pleistocene inferiore del foredeep bradanico. Nel settore interno dell'Appennino meridionale sono presenti le coltri cristalline nord-calabresi dell'Arco Calabro derivate dalla delaminazione del paleomargine europeo, e sotto le unità di catena sono state riconosciute, grazie a sondaggi pro- fondi ed all'interpretazione di numerosi profili sismici, successioni apule che formano la cosiddetta "Catena Apula" (CELLO *et alii*, 1989). I terreni del Complesso Liguride (OGNIBEN, 1969; KNOTT, 1987) depositi su crosta oceanica durante il Giurassico superiore - Eocene medio, sono costituiti da due unità: la successione sedimentaria a grana fine ofiolitica della formazione delle Crete Nere, e la successione metasedimentaria della formazione del Frido, contenente grossi blocchi esotici di crosta oceanica e continentale. Questi terreni rappresentano i resti di un prisma di accrezione derivante dalla subduzione della crosta oceanica neotetidea (MAURO & SCHIATTARELLA, 1988) al di sotto del margine continentale europeo, di cui l'Unità del Frido costituisce la porzione subdotta. Le Unità Liguridi sono ricoperte da due successioni terrigene torbiditiche (formazioni del Saraceno e di Albidona), deposte durante il tardo Eocene e il Miocene medio (BONARDI *et alii*, 1985, 1988) in bacini ubicati al tetto del



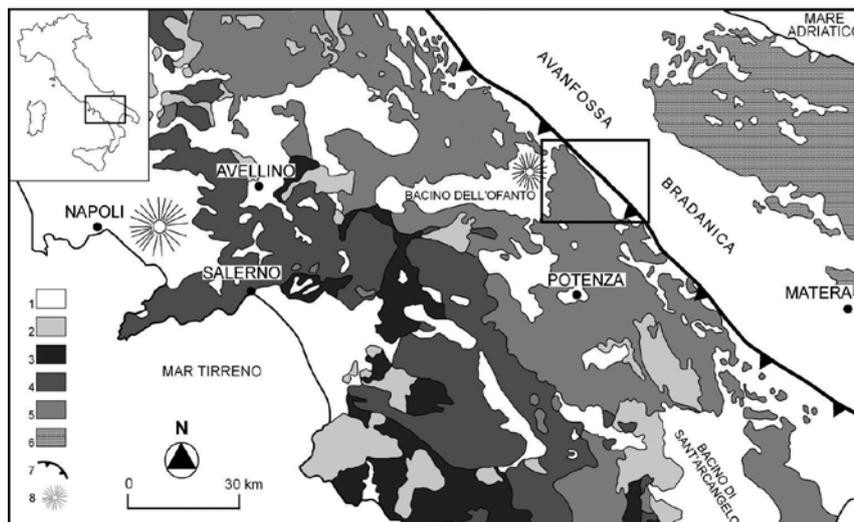
prisma (MONACO & TORTORICI, 1995). Nelle porzioni più esterne dell'Appennino meridionale affiorano i terreni del dominio Sicilide, costituiti da coltri accavallate di sedimenti pelagici del Cretacico superiore - Oligocene cui sono associate torbiditi quarzarenitiche e vulcanoclastiche di età Oligocene superiore - Miocene inferiore (Tufiti di Tusa, formazione di Corleto Perticara e flysch numidico; CARBONE et alii, 1987). Le coltri sono ricoperte in discontinuità stratigrafica da successioni silicoclastiche torbiditiche del Miocene medio-superiore (flysch di Gorgoglione) deposte in bacini di tipo thrust-top dopo la collisione continentale. Il flysch di Gorgoglione giace in discontinuità stratigrafica sulle Sicilidi e sulle Liguridi.

Le porzioni più interne dell'Appennino meridionale sono costituite da successioni carbonatiche mesozoiche di piattaforma (mare basso) e bacino (mare profondo). Le successioni bacinali più complete fanno parte del bacino lagonegrese-molisano (Unità Lagonegresi) e sono costituite dal basso verso l'alto da Calcari con Selce del Triassico superiore - Giurassico inferiore, Scisti Silicei del Giurassico, e da sedimenti argilloso-marnosi silicei del Giurassico superiore - Cretacico inferiore (formazione dei Galestri).

Depositi sinorogenici e postorogenici si sviluppano in bacini che migrano insieme alla catena a thrust verso l'avampaese africano (PESCATORE et alii, 1999). Il flysch numidico rappresenta il primo riempimento di bacini precursori di foredeep ed è costituito da circa 1500 m di quarzareniti e argilliti inframioceniche. La migrazione dei thrust e del foredeep verso est è marcata dalla presenza dei cosiddetti "flysch esterni" del Langhiano-Serravalliano. A tetto dei sovrascorrimenti si formano anche bacini minori che migrano verso est insieme agli stessi, e che durante il Miocene medio-superiore vengono riempiti da potenti successioni torbiditiche (flysch di Gorgoglione). Nel corso del Pliocene si instaurano in maniera diffusa sulle unità strutturate bacini di tipo thrust-top.



4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE



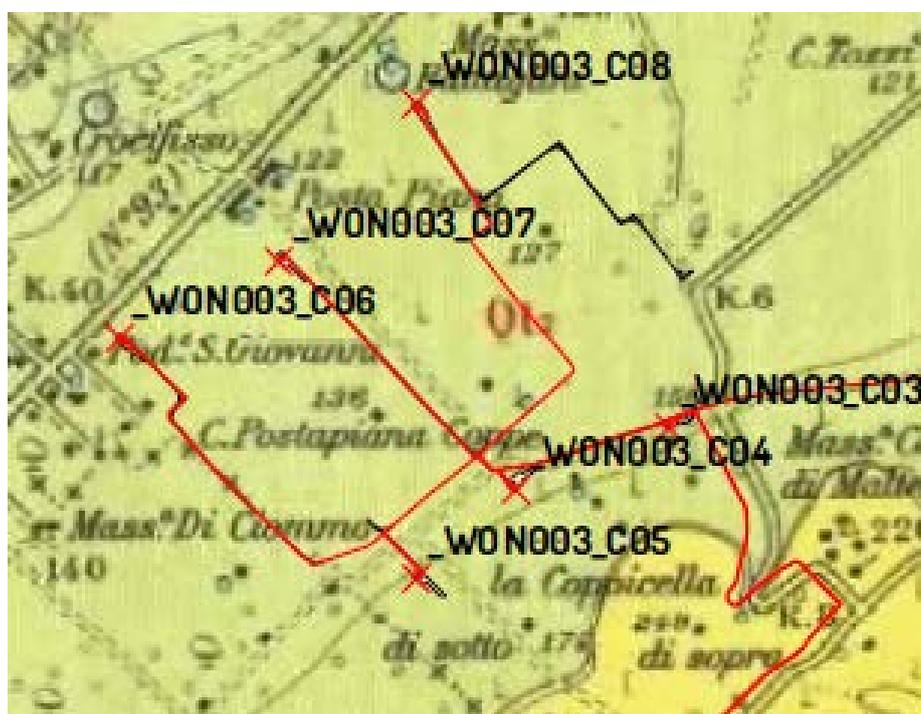
Schema geologico regionale e ubicazione dell'area del (nel riquadro). Legenda: 1) sedimenti plio-quadernari e vulcaniti quadernarie; 2) depositi sinorogenici mio- cenici; 3) unità interne ofiolitifere cretaceo-oligoceniche; 4) carbonati meso-cenozoici della piattaforma sudappenninica; 5) successioni triassico-mioceniche del Bacino di Lagonegro; 6) carbonati meso- cenozoici della Piattaforma Apula; 7) fronte di sovrascorrimento della catena; 8) edifici vulcanici.

L'area di indagine si colloca, da un punto di vista geologico, nella zona compresa tra le formazioni del rilievo delle Murge (piattaforma carbonatica apula) e la successione delle argille subappennine del Tavoliere di Puglia. La Valle del fiume Ofanto segna approssimativamente il confine tra queste due unità. Le Murge rappresentano la porzione centrale dell'Avampese Apulo; si sviluppano dalla linea Ofanto-Sele, una trascorrente sinistra orientata in direzione NE-SW, fino alla linea Taranto Brindisi, in direzione NW-SE. A SW confinano con il dominio della Fossa Bradanica, al di sotto della quale scendono grazie ad una serie di faglie dirette. Verso NE, procedendo verso l'Adriatico, le Murge digradano sino al livello del mare attraverso una sequenza di ripiani collegati da scarpate poco acclivi. La struttura delle Murge è il risultato di un susseguirsi di eventi tettonici che si sono imposti a partire dal Cretaceo superiore, e sono proseguiti fino al Miocene con l'instaurarsi della tettonogenesi appenninica. Tutta l'area dell'Avampese, caratterizzata da rocce calcaree mesozoiche spesse diversi chilometri, si articola in tre distinti settori: Gargano, Murge e Salento, limitati da importanti strutture tettoniche orientate EW. I terreni che costituiscono le Murge, sono costituiti da una potente successione di rocce calcareo-dolomitiche di età cretacea, spesso oltre 3000 m. L'ambiente di sedimentazione di tale successione è di piattaforma carbonatica, caratterizzata da una subsidenza lenta e continua compensata da una sedimentazione carbonatica di mare basso. La valle dell'Ofanto, così come si rileva lungo il perimetro a NW di Canosa, è caratterizzata dalla presenza di depositi alluvionali in più ordini di terrazzi dei quali quelli appartenenti ai depositi più recenti costituiscono un'estesa fascia pianeggiante lungo il corso del fiume. La topografia del terreno, priva di grandi sbalzi, e la diffusa copertura pleistocenica o recente, non consente di individuare con sicurezza le dislocazioni/deformazioni che hanno determinato il sollevamento del rilievo murgiano. Un'importante serie di faglie a gradinata si sviluppa lungo il margine Murge-Fossa bradanica, coperta dai sedimenti marini pleistocenici. Il Parco eolico ivi compresa la Sottostazione di Trasformazione Elettrica

ricade su tre fogli della carta geologica d'Italia 1:100.000 e precisamente gli Aerogeneratori 1 e 2 ricadono nel foglio 176, nel comune di Minervino Murge (BAT), gli Aerogeneratori 3 – 4- 5 – 6 – 7 e 8 ricadono ne foglio 175, nel comune di Canosa di Puglia (BAT) e la Sottostazione di trasformazione Elettrica ricade nel foglio 187 nel comune di Montemilone (PZ), il cavidotto necessariamente interessa tutt'e tre i fogli sopramenzionati.

FOGLIO 175

della Carta 1:100,000 dell' I. G. M.



LEGENDA

	Qt₂ Terrazzi medi dell' Ojanto e del Carapelle alti 15 m. circa sull' alveo attuale, costituiti in prevalenza da ghiaie e sabbie localmente torbose.
	Qc₁ Conglomerati poligenici con ciottoli di medie e grandi dimensioni a volte fortemente cementati e con intercalazioni di sabbie e arenarie (fine Calabriano?)

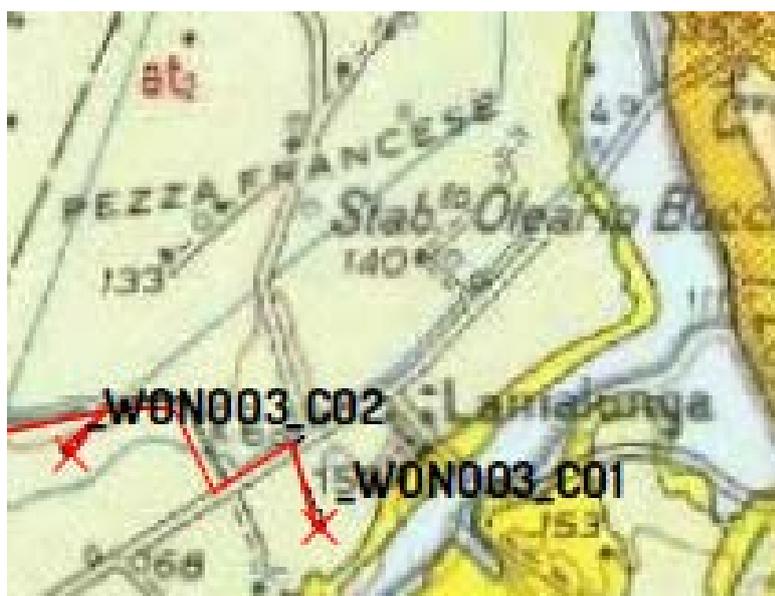




Sabbie e sabbie argillose a volte con livelli arenacei di colore giallastro; lenti ciottolose localmente fossilifere (*Ostrea edulis*, *Chlamys opercularis*, *Ch. multi-striata*, *Venus multilamella*)

FOGLIO 176

della Carta 1:100.000 dell' I.G.M.



LEGENDA



Depositi alluvionali terrazzati, sabbiosi e ciottolosi (terrazzi medi del F. Ofanto e dei suoi affluenti); depositi ciottolosi e terrosi sui fianchi delle "lame" ad Ovest di Andria. **PLEISTOCENE.**

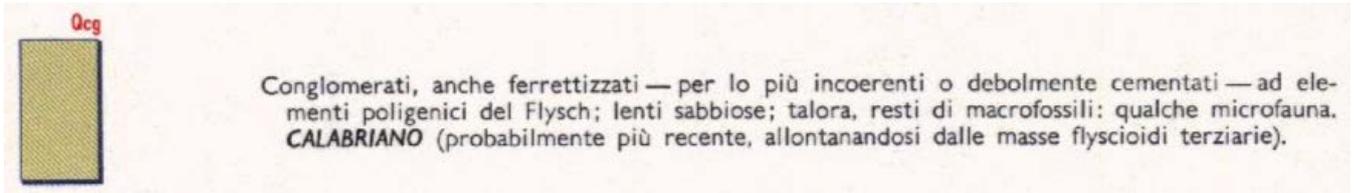
FOGLIO 187

della Carta 1:100.000 dell' I.G.M.

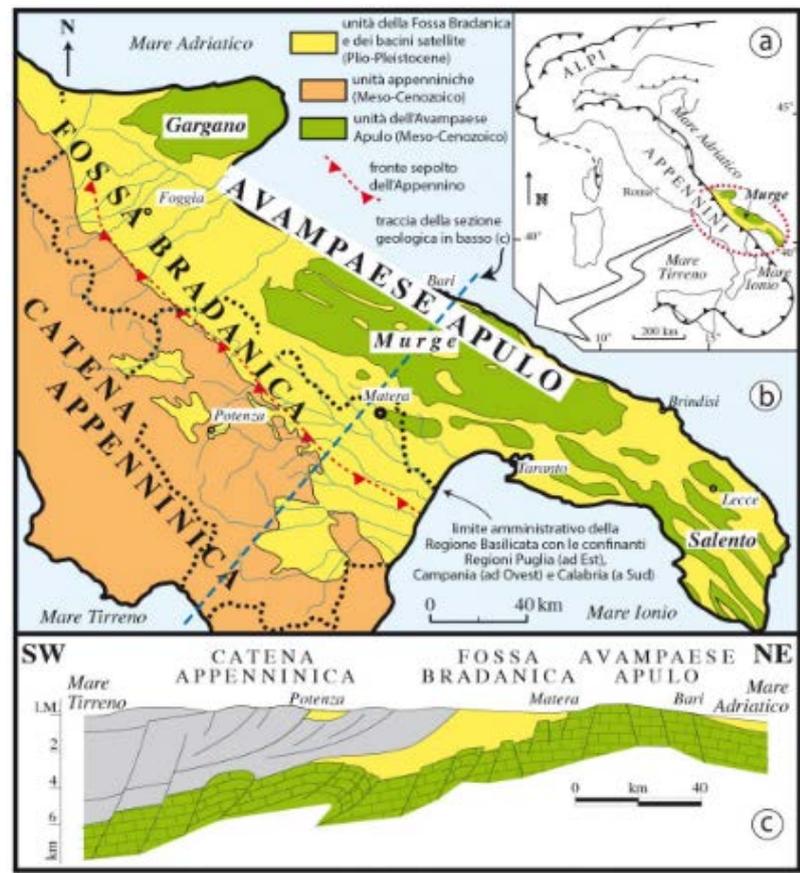
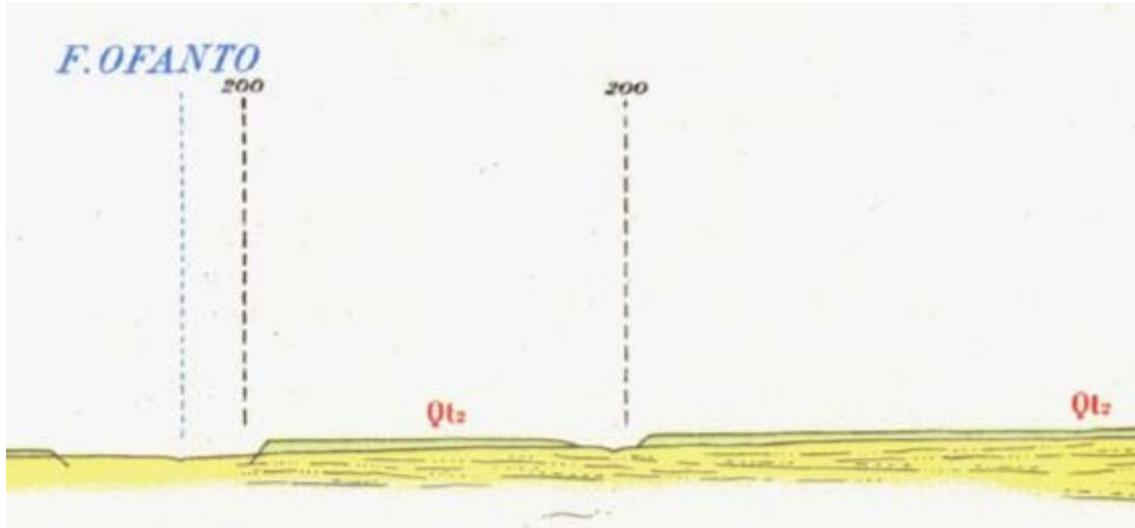


LEGENDA





SEZIONE F. 175

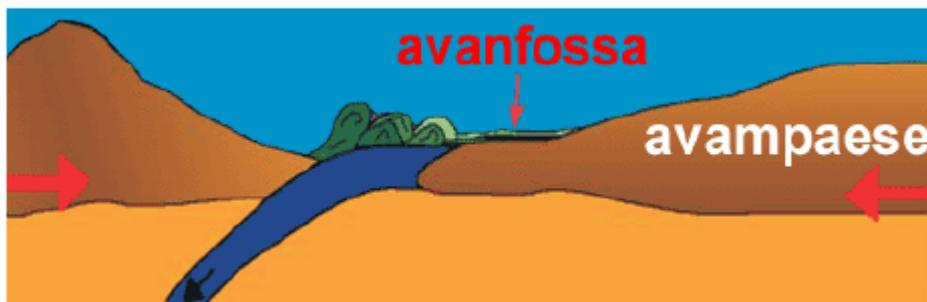


Schema Tettonico

Al fine di considerare in un contesto regionale più ampio le unità presenti, è opportuno ricordare che la catena appenninica, strutturatasi sostanzialmente nel corso dell'Oligocene-Miocene, riflette le



deformazioni subite dal margine occidentale della Placca Apula in subduzione verso Ovest, a seguito della convergenza Africa-Europa.

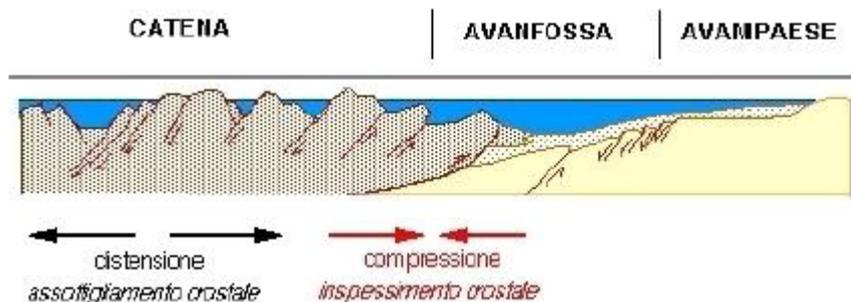


Subduzione placca africana-placca europea

Tale edificio orogenico costituisce l'ossatura della penisola italiana di cui l'Appennino meridionale fa parte.

Nel sistema sud-orogenico da Est verso Ovest si distinguono tre domini strutturali sovrapposti.

L'avampaese, rappresentato in affioramento dal blocco apulo-garganico, si estende dall'Adriatico fino all'avanfossa proseguendo verso Ovest sotto i thrust appenninici. È costituito da una successione autoctona formata prevalentemente da carbonati di età meso-cenozoica (Unità dell'Avampaese) sui quali sovrascorrono le unità alloctone della catena appenninica, costituite essenzialmente da depositi mesozoici-terziari sia di bacino di margine passivo che di avanfossa. Infine, interposta tra l'area di catena e l'area di avampaese è presente l'area di avanfossa plio-quadernaria (Unità della Fossa Bradanica).



La piattaforma apula, che in questo sistema costituisce l'avampaese, in un sistema orogenico è la regione più stabile. L'avampaese, infatti, è la regione che si estende ai margini di una catena montuosa e verso la quale avanzano le falde di ricoprimento. In altre parole, la catena, sotto la spinta di forze orizzontali, si sposta verso l'avampaese che rimane un baluardo costituito da formazioni rocciose autoctone, in questo avanzare verso l'avampaese, il materiale roccioso che costituisce la catena montuosa in via di formazione, si piega, si frattura, le rocce si avallano, per cui rocce più antiche si vengono a trovare al di sopra di rocce più recenti (falde di ricoprimento)

Per meglio capire i concetti di seguito espressi si rende necessario un inquadramento geologico di carattere regionale.

L'area in studio occupa la parte centro settentrionale della Fossa Bradanica, corrispondente al settore nord-occidentale dell'avanfossa della catena appenninica e l'avampaese murgiano.



5 GEOLOGIA PARTICOLAREGGIATA DELLA ZONA OGGETTO DI STUDIO

Tutti gli Aerogeneratori insistono su terreni alluvionali, costituiti da sedimenti ghiaiosi in abbondante matrice sabbioso-limosa (terrazzi medi del Fiume Ofanto alti 15 m circa sull'alveo attuale), cartografati con sigla (Qt2) nel foglio 175 e con sigla (at2) nel foglio 176, trattasi degli stessi sedimenti, cartografati con sigle diverse, solo perché, appartengono a fogli geologici diversi.

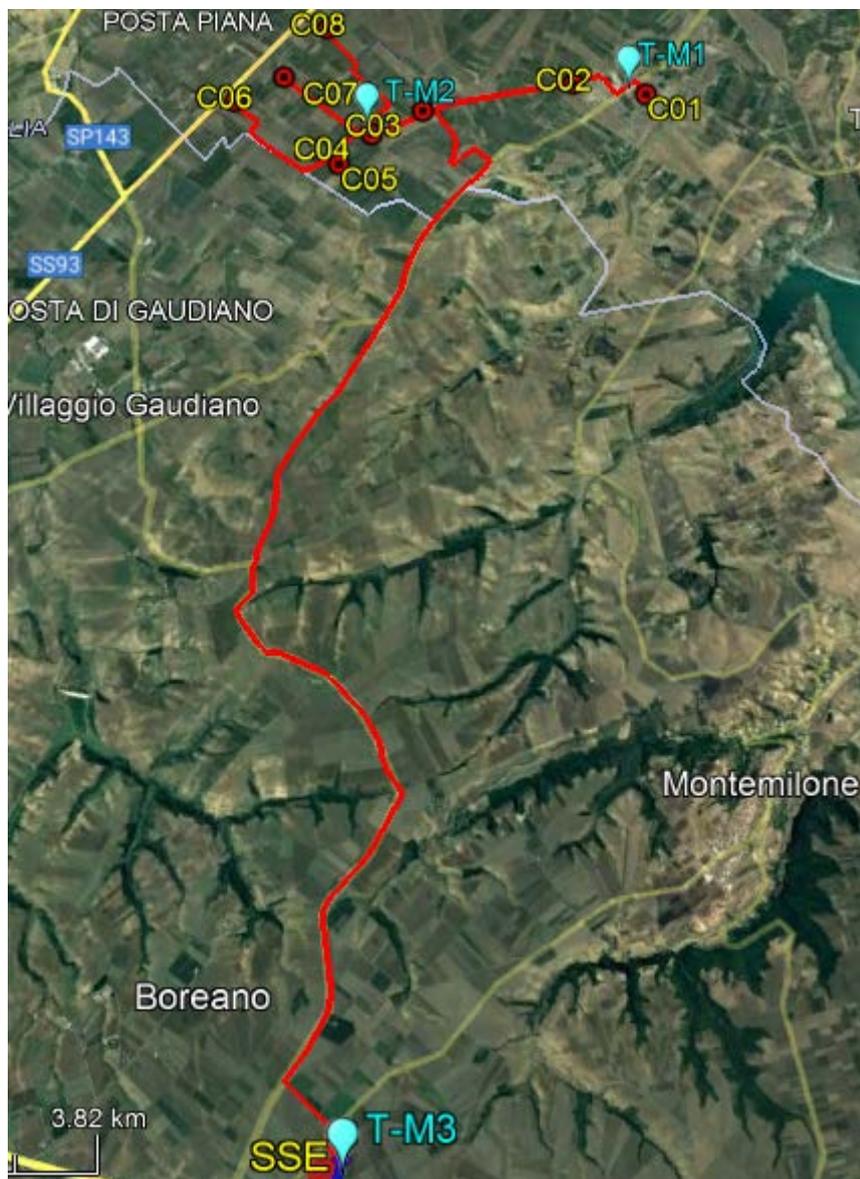
La Sottostazione di Trasformazione Elettrica SSE insiste su terreni conglomeratici per lo più incoerenti, a luoghi debolmente cementati cartografati con la sigla Ocg

Il cavidotto inizia con l'attraversare terreni alluvionali, costituiti da sedimenti ghiaiosi in abbondante matrice sabbioso-limosa cartografati con sigla (Qt2) nel **foglio 175** e con sigla (at2) nel **foglio 176**, segue proseguendo verso la sottostazione elettrica attraversando terreni costituiti da sabbie e sabbie argillose, a volte, con livelli arenacei di colore giallastro, a luoghi, con lenti ciottolose cartografati con la sigla (PQs), prosegue attraversando terreni costituiti da sedimenti conglomeratici per lo più incoerenti, a luoghi debolmente cementati cartografati con la sigla (Qc1) nel foglio 175 per terminare nella Sottostazione Elettrica sempre su sedimenti conglomeratici cartografati con la sigla Ocg nel foglio 187.



6 UBICAZIONE TOMOGRAFIE SISMICHE

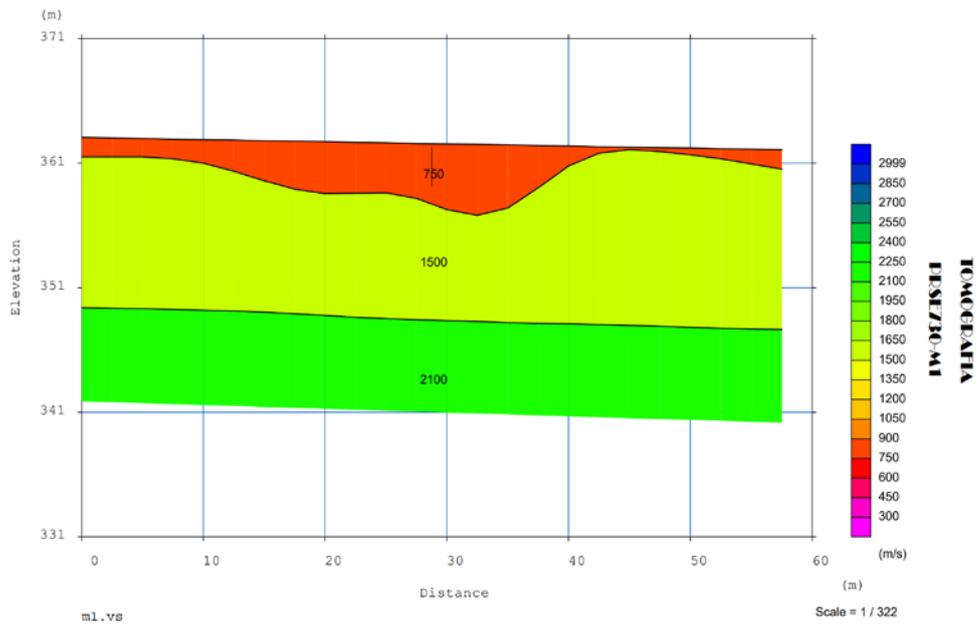
Per la modellazione geologica-geotecnica del substrato fondazionale degli aerogeneratori, si è tenuto conto delle tomografie sismiche e Masw eseguite .



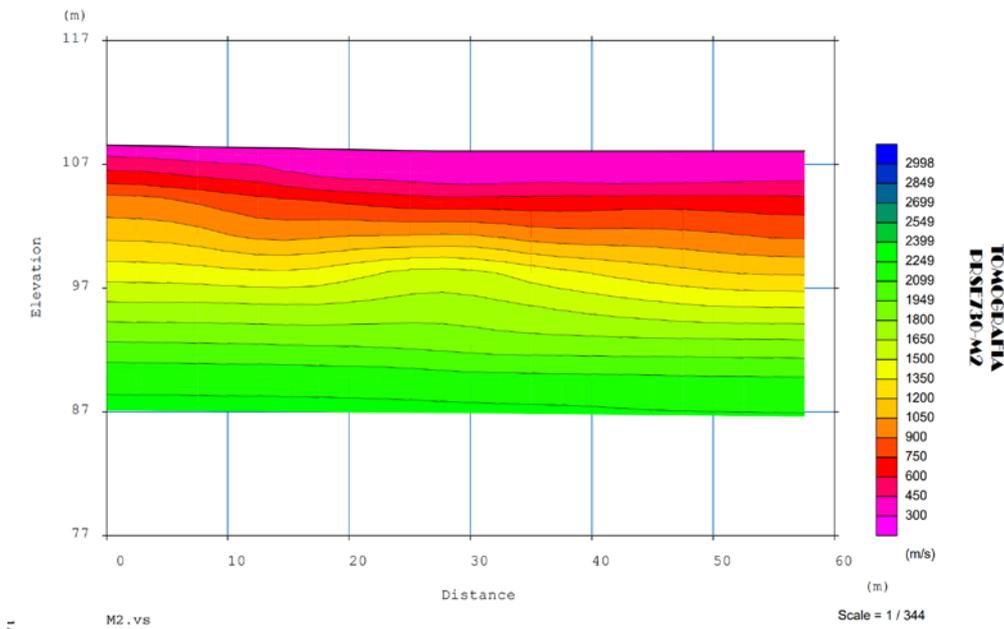
Ubicazione indagini sismiche



TOMOGRAFIA N. 1

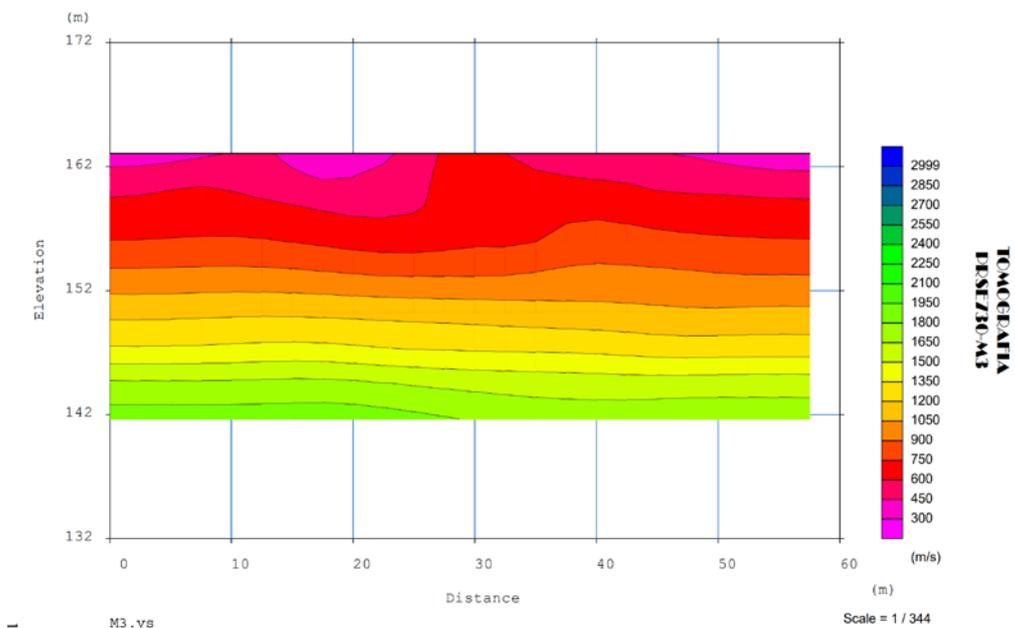


TOMOGRAFIA N. 2

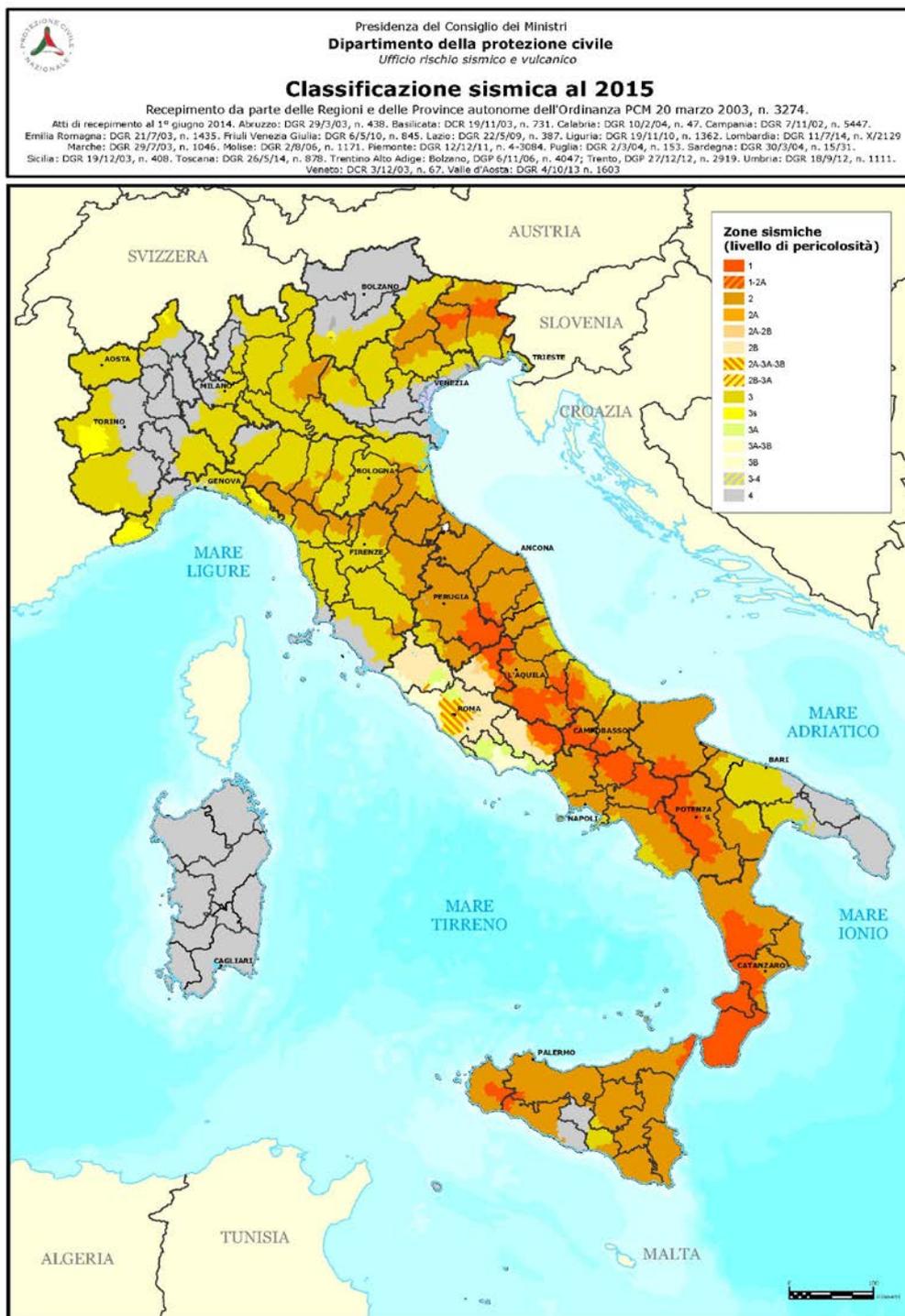


TOMOGRAFIA N. 3

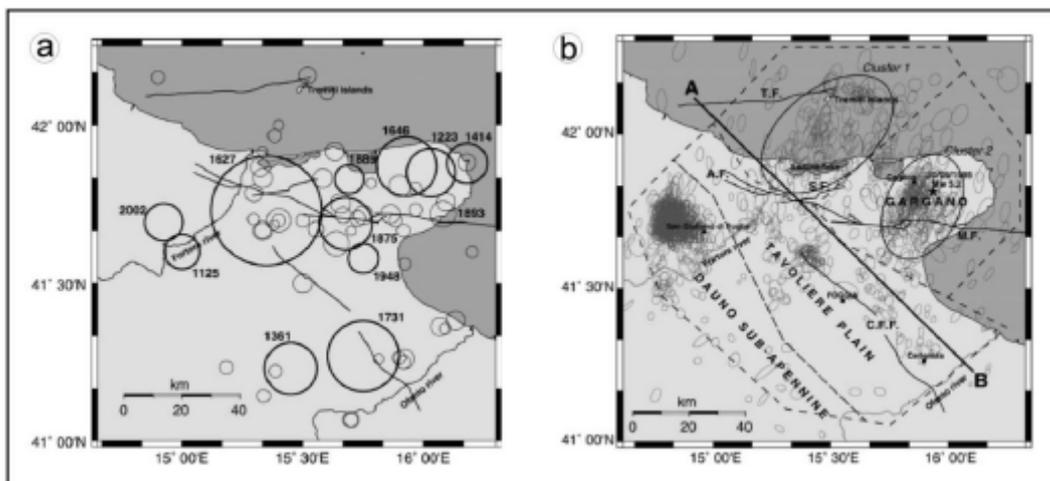




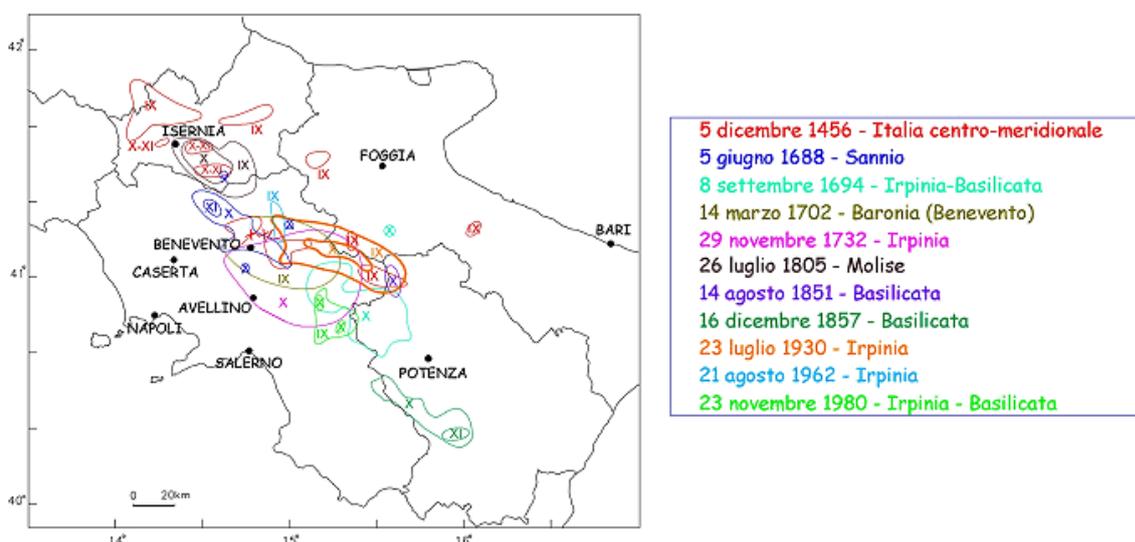
7 CARATTERI SISMICI DEL TERRITORIO



I territori comunali di Foggia e Manfredonia (FG) ricadono in un distretto geografico sicuramente sismico. Nel territorio in oggetto, infatti, si risentono i terremoti con epicentri garganici, molisani, sanniti ed irpini. L'attività recente delle strutture discusse nel paragrafo precedente o di alcune di esse è dimostrata sia dai forti terremoti storici del passato (1627 D.C., 1646 D.C., 1731 D.C.) sia dalla sismicità strumentale attuale (Del Gaudio et al., 2007; CPTI Gruppo di lavoro, 2004).

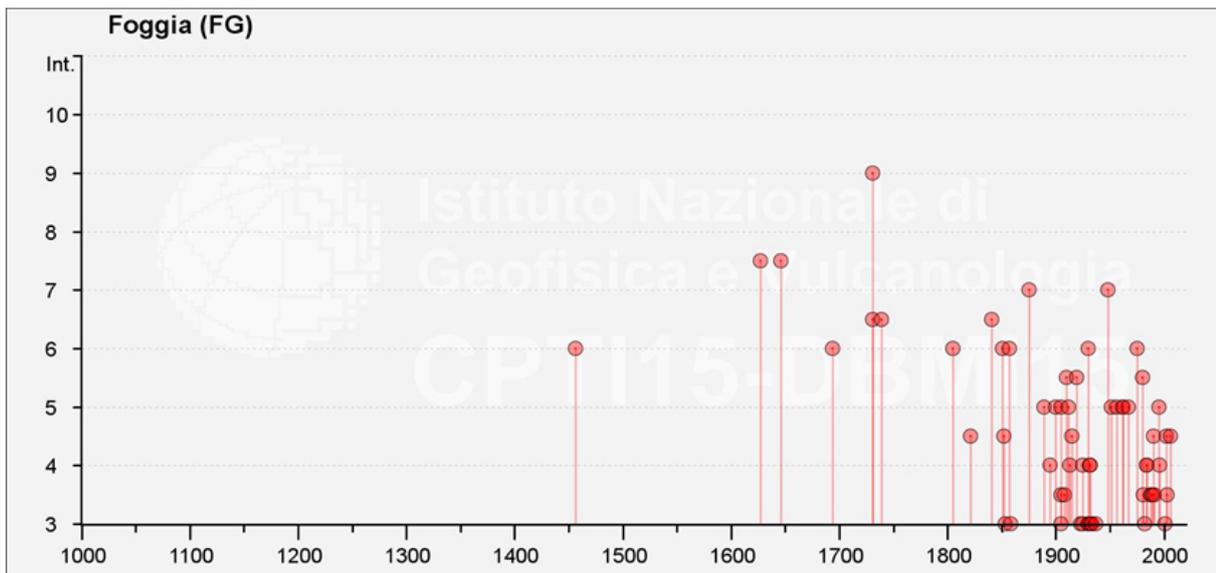


Principali strutture a) Terremoti Storici principali dell'area garganica; b) Sismicità strumentale dell'area garganica. Le ellissi indicano il margine d'errore nella localizzazione dell'evento (modificata da Del Gaudio et al., 2007).

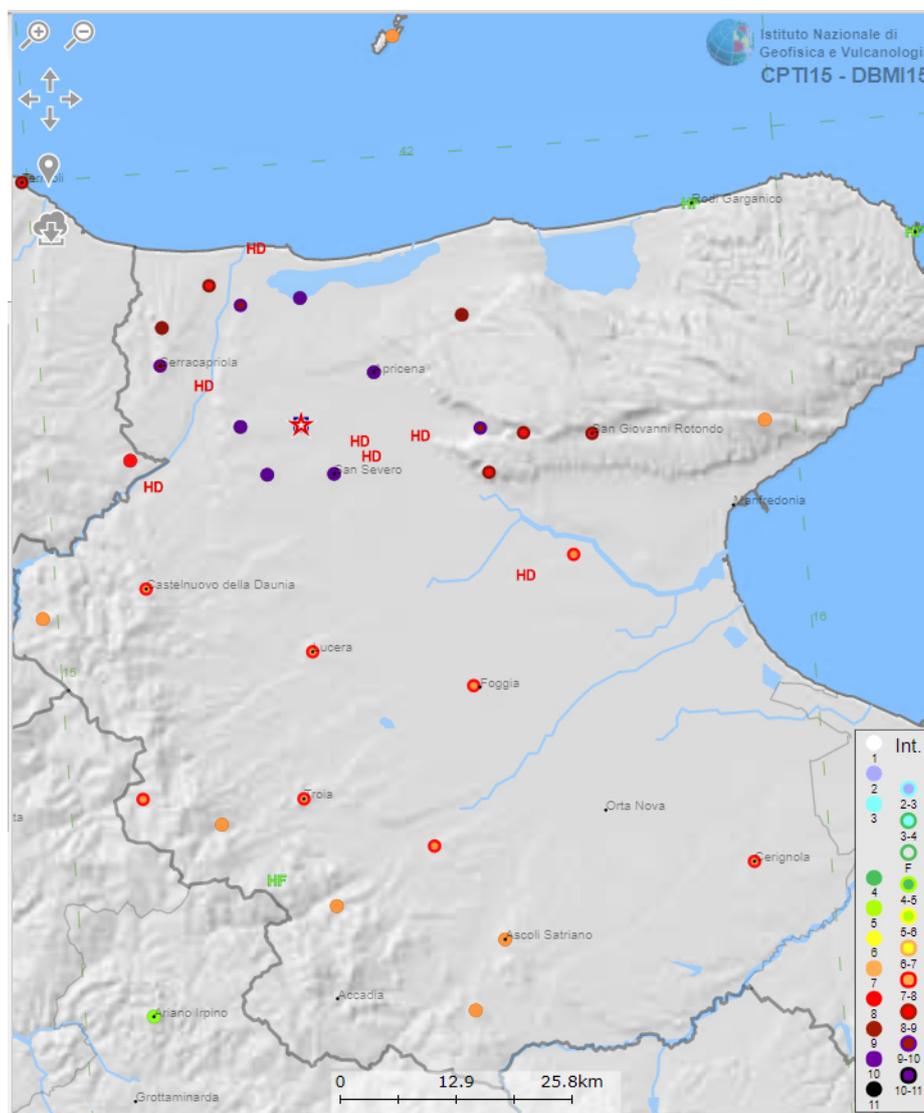


Rappresentazione delle isosiste di intensità superiore al IX grado della scala Mercalli rilevate per i terremoti distruttivi avvenuti in Appennino Meridionale negli ultimi 600 anni





Intensità dei principali terremoti distruttivi avvenuti in Appennino Meridionale negli ultimi 600 anni

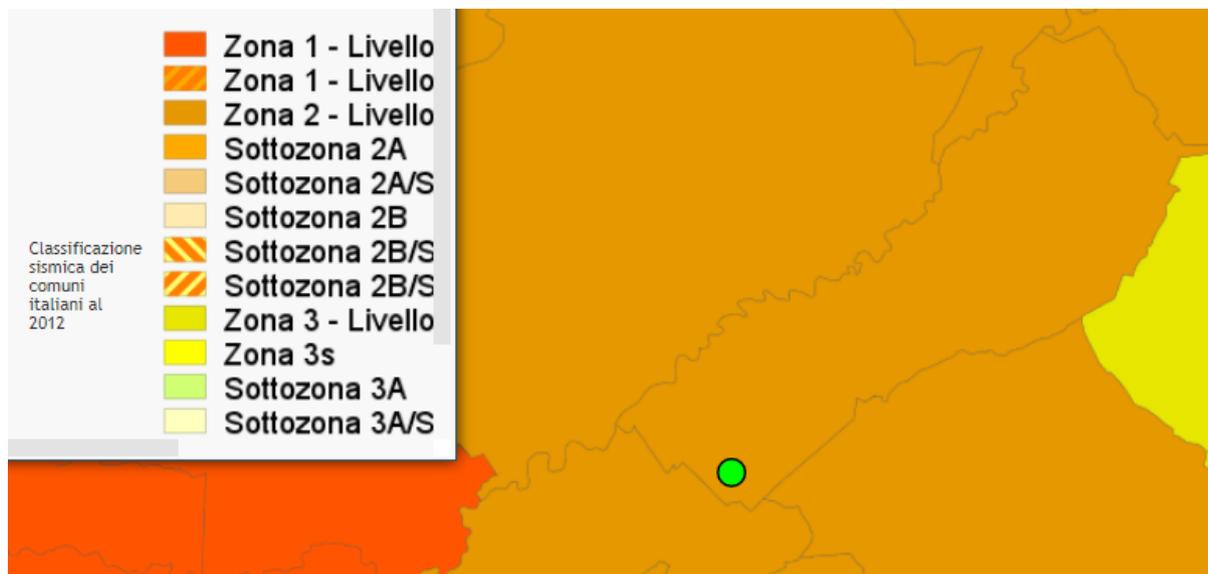


Dislocazione dei principali terremoti distruttivi avvenuti in Appennino Meridionale negli ultimi 600 anni

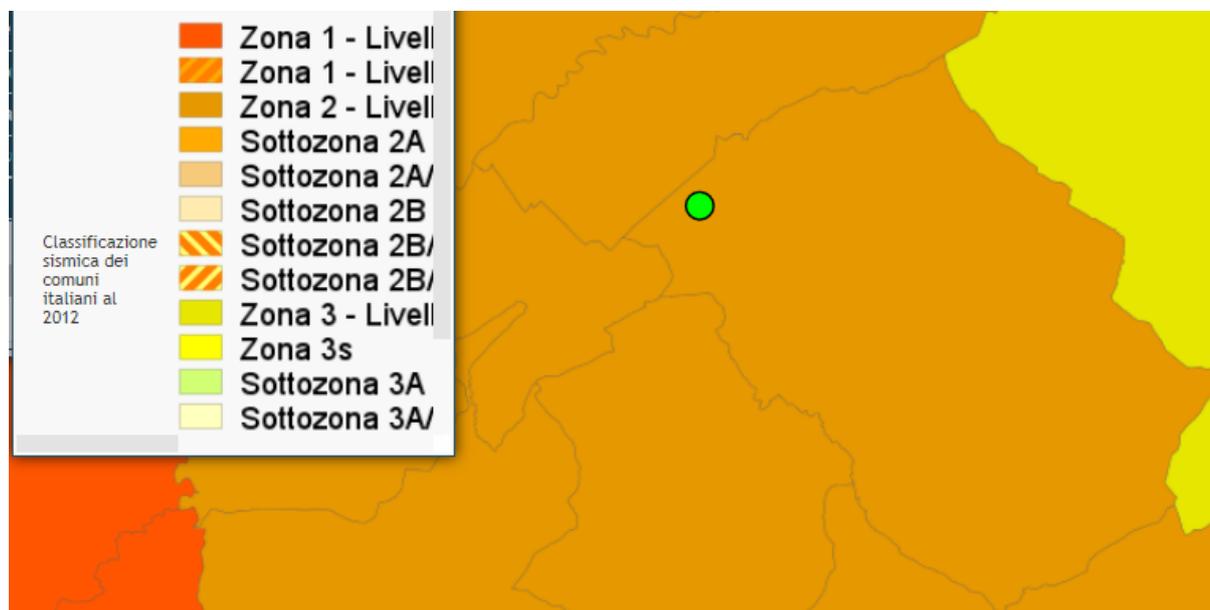


8 CLASSIFICAZIONE SISMICA

Si illustra di seguito la Classificazione sismica dei comuni di Canosa di Puglia, Minervino Murge e Montemilone secondo l'O.P.C.M 3274 del 30.03-2003 aggiornata al 2006, dove nel primo comune ricadono 6 Aerogeneratori, nel secondo 2 Aerogeneratori e ne terzo la Sottostazione Elettrica e buona parte del cavidotto.

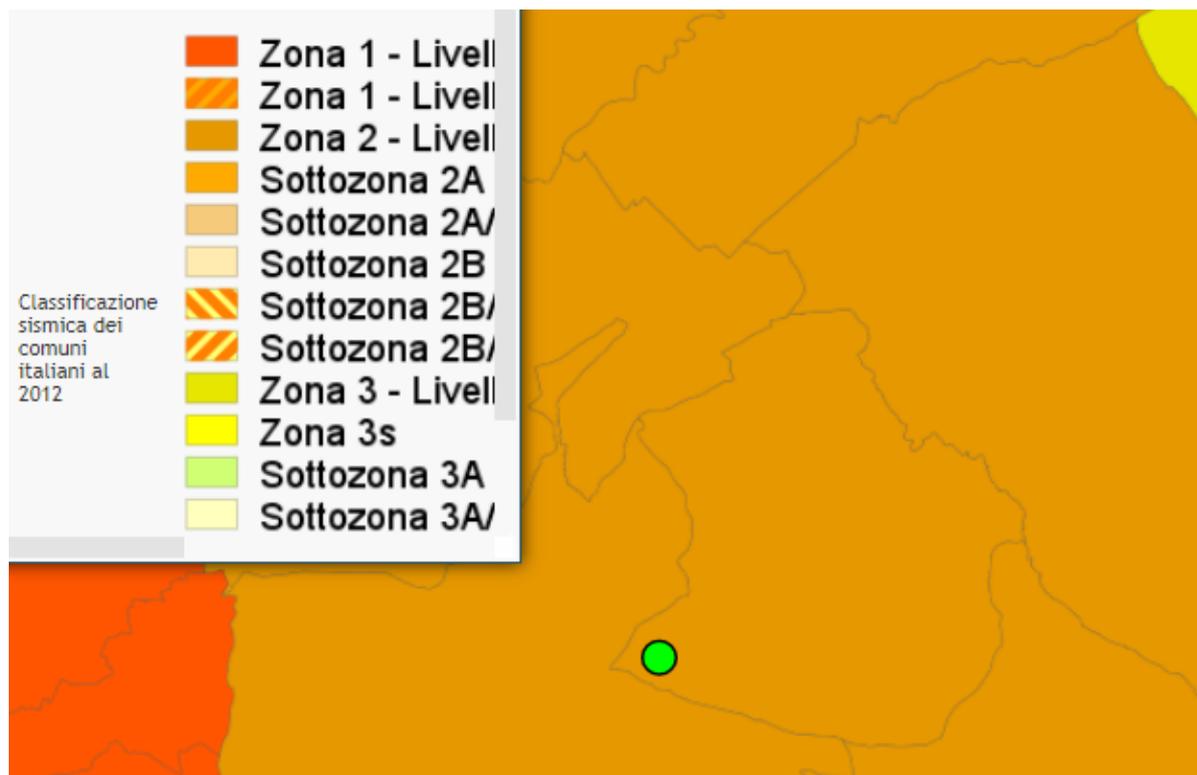


Individuazione del Comune di Canosa di Puglia in funzione della classificazione sismica



Individuazione del Comune di Minervino Murge in funzione della classificazione sismica





Individuazione del Comune di Montemilone in funzione della classificazione sismica

Tutt'e tre i comuni sono classificati come **zona 2** con PGA compreso tra 0.15g e 0.25g

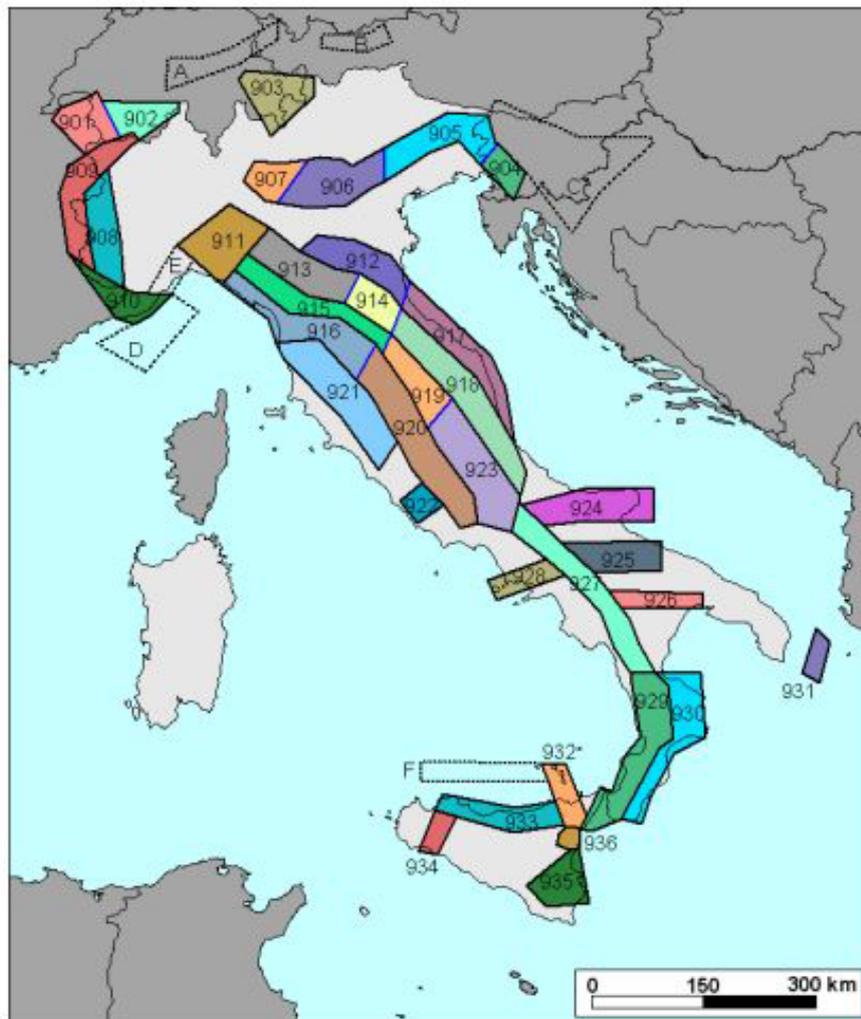
Classificazione 2003	PGA (g)
Zona 2	0.15 g < PGA < 0.25 g



9 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.

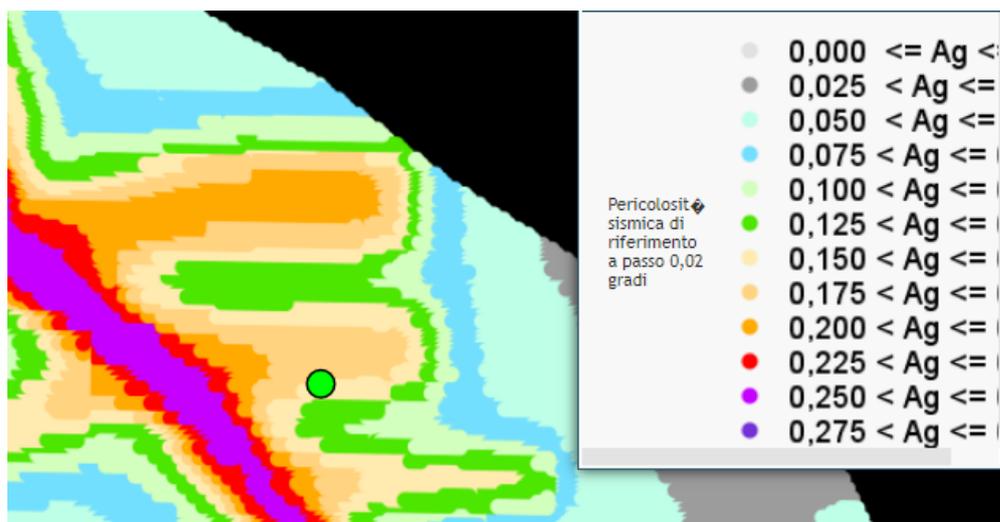


Zonizzazione sismogenetica dell'Italia

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 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'area oggetto di studio





Dettaglio pericolosità sismica dell'area ricadente nel comune di Canosa di Puglia



Dettaglio pericolosità sismica dell'area ricadente nel comune di Minervino Murge

Tutti gli aerogeneratori e la sottostazione SSE ricadono in un'area avente tutti la massima accelerazione orizzontale del suolo compresa tra **$0.175 < g < 0.200$**

9.1. RISPOSTA SISMICA LOCALE

Dopo il sisma irpino del 1980, risentito a Foggia con intensità del VI°-VII° Mercalli, tutto il territorio della Provincia di Foggia fu classificato come sismico. L'ultimo episodio importante in ordine cronologico è stato il sisma di S. Giuliano di Puglia (CB), del 30.10.2002 e con replica intensa il giorno successivo, la magnitudo di questo evento è stata stimata pari a 5.4 della scala Richter, un valore che comporta effetti fino al grado VIII della scala Mercalli. L'INGV ha assegnato a Foggia, per questo sisma un'intensità macrosismica pari a V°-VI° della scala Mercalli

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, per rendersi conto dei terremoti che hanno avuto come epicentro le zone nord-occidentali della Puglia, in particolare quello di Ascoli Satriano del 17 luglio 1361, di Barletta dell’11 maggio 1560 e della Capitanata del luglio 1627, di Foggia del 20 marzo 1731, di Mattinata del 10 agosto 1893, giusto per citare i più disastrosi con intensità superiore all’VIII°-IX° della scala Mercalli-Cancani-Sieber (MCS).

Anche il sisma del 1930, con epicentro nell’area di Scampitella (AV), al confine tra la Puglia e l’avellinese, fu risentito a Foggia con intensità sismica del VII°- VIII° Mercalli circa.

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 similari 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. E’ 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 sismotettonico, 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. Le strutture sismogenetiche dell'Appennino Dauno e più in generale dell'Appennino Campano hanno infatti fatto registrare eventi sismici i cui effetti hanno avuto ripercussioni sulla stabilità del territorio sin da tempi storici.

Barletta dell'11 maggio 1560 e della Capitanata del luglio 1627, di Foggia del 20 marzo 1731, di Mattinata del 10 agosto 1893, giusto per citare i più disastrosi con intensità superiore all'VIII°IX° della scala MercalliCancaniSieber (MCS). Anche il sisma del 1930, con epicentro nell'area di Scampitella (AV), al confine tra la Puglia e l'avellinese, fu risentito a Foggia con intensità sismica del VII°VIII° Mercalli circa. 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 similari possano subire danni notevolmente diversi. E' 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. 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. Anche il sisma di S. Giuliano di Puglia ha confermato la considerazione che territori anche molto vicini tra loro e con strutture similari possano subire danni notevolmente diversi.

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.

L'ultimo episodio importante in ordine cronologico è stato il sisma di S. Giuliano di Puglia (CB), del 31.10.2003 e con replica intensa il giorno successivo. L'INGV ha assegnato a Foggia, per questo sisma un'intensità macrosismica pari a V°-VI° Mercalli.



Per quanto riguarda il passato è sufficiente sfogliare il “Catalogo dei terremoti italiani.

Per quanto riguarda l'aspetto sismotettonico, 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. Le strutture sismogenetiche appenniniche garganiche hanno infatti fatto registrare eventi sismici i cui effetti hanno avuto ripercussioni sulla stabilità del territorio sin da tempi storici. Di seguito si ricordano i più importanti.

- 5 febbraio 62 d.c. (Magnitudo 5.8 scala Richter)
Certamente danneggiata Pompei ed Ercolano oltre a Nocera ed alcune zone di Napoli.
- 25 agosto 79 d.c. (Magnitudo 5.7 scala Richter)
Associato alla celebre eruzione distruttiva del Vesuvio
- Anno 99 d.c. (Magnitudo 6.3 scala Richter)
Epicentro vicino Circello (BN)
- Anno 346 d.c. (Magnitudo 6.0 scala Richter)
Epicentro nei pressi di Castelpagano (BN), prossimo a quello del 99. Effetti importanti anche nel Matese, confermato da studi archeosismologici su lapidi ed epigrafi
- 21 Luglio 369 d.c. (Magnitudo 6.0 scala Richter)
Sisma a Benevento, dove andò distrutta la maggior parte degli edifici importanti dell'epoca. Morì la metà degli abitanti della città (migliaia).
- Anno 848 d.c. (Magnitudo 6.0 scala Richter)
Epicentro a sud di Castelpizzuto (IS). Interessati Campania e Molise, diversi morti ad Isernia
- 25 Ottobre 989 d.c. (Magnitudo 6.0 scala Richter)
Epicentro tra Benevento e l'Irpinia, epicentro nei pressi di Carife. Distrutto il paese di Ronza, mai più ricostruito, ingenti danni a Benevento, Capua, Conza(dove muore il vescovo), Frigento il terremoto distrusse interi villaggi e provocò numerosi morti.
- Anno 1180 (Magnitudo // scala Richter)
Questo terremoto colpì l'Irpinia; secondo alcune fonti Ariano “fu inghiottito da una voragine” e Napoli restò in gran parte distrutta.
- Anno 1223 (Magnitudo 6.0 scala Richter)
Epicentro nei pressi di Vico del Gargano. Danni ingenti in tutto il Gargano e la Capitanat. Distrutta Siponto che, ricostruita per volere di re Manfredi, diverrà l'attuale Manfredonia, Colpite duramente anche Vieste, la Foresta Umbra e per l'appunto Vico.
- 4 Settembre 1293 (Magnitudo 5.9 scala Richter)
Epicentro nel Sannio (Campania) di VIII-IX grado scala Mercalli. A Napoli venne gravemente danneggiata la Chiesa di Santa Maria Donnaregina.
- Anno 1349 (Magnitudo 6.6 scala Richter)
Terremoto sull'Appennino centro-meridionale (VIII-IX Mercalli) con epicentro nella zona di Venafro (IS) che risultò distrutta. Danneggiata gravemente tutta l'area; a Napoli crolla la facciata della cattedrale.
- Anno 1361 (Magnitudo 6 scala Richter)
Epicentro tra Bovino ed Ascoli Satriano, colpita anche la città di Canosa e Sant'Agata di Puglia
- Anno 1414 (Magnitudo 5.8 scala Richter)



Epicentro tra Bovino ed Ascoli Satriano , colpita anche la città di Canosa e Sant'Agata di Puglia

- 5 Dicembre 1456 (Magnitudo 7.1 scala Richter)
Fortissimo terremoto, con epicentro nella zona di Benevento, magnitudo di 7.2 scala Richter. Il sisma interessò buona parte del Centro-Sud Italia. A Napoli crollò il campanile della chiesa di Santa Chiara, la chiesa di San Domenico Maggiore dovrà essere ricostruita, così come il Duomo e la cappella palatina di Santa Barbara in Castel Nuovo restaurati. A Teramo morirono più di 200 persone, Rivisondoli fu completamente rasa al suolo e l'insediamento di Roccapizzi (Abruzzo) dopo essere stato completamente raso al suolo venne abbandonato dagli abitanti, e mai più ricostruito. Le scosse si susseguirono distruttrici anche il 15 e 17 Dicembre. In tutto si contarono circa 30mila morti.
- maggio 1560 (Magnitudo 5.6 scala Richter)
Epicentro prossimo alla costa, a nord-ovest di Bisceglie dove si verificano numerosi crolli come a Barletta. Circa 300 vittime segnalate
- 31 maggio 1627 (Magnitudo 7.1 scala Richter)
Forte terremoto (XI scala Mercalli) tra Puglia e Campania. Rase al suolo le cittadine di San Severo, Torremaggiore e diversi centri limitrofi del Foggiano. La scossa provocò un maremoto sulle coste del Gargano, soprattutto presso il Lago di Lesina. Persero la vita oltre 4500 persone.
- 30 Luglio 1646 (Magnitudo 6.6 scala Richter)
Epicentro a sud di Vico. La più colpita è Vieste dove si registrano 132 vittime. Danni a anche a Peschici, Ischitella, Rodi, Vico, Carpino, San Giovanni Rotondo, Monte S. Angelo. Lesioni anche a Foggia. Tsumani nel lago di Varano.
- 29 gennaio 1657 (Magnitudo 6.3 scala Richter)
Sisma tra i più dimenticati della storia, recentemente rivalutato grazie a ricerche annalistiche. Scossa principale notturna. Distrutta Lesina, gravi danni per tutto il Gargano in particolare a Vico, S. Severo, Torremaggiore, Apricena e Monte S. Angelo. Ignoto il numero delle vittime
- 5 Giugno 1688 (Magnitudo 6.7 scala Richter)
Un immane terremoto (XI Mercalli) con epicentro nel Sannio a Cerreto Sannita (BN) rase quasi al suolo la città di Benevento. Gravissimi danni subì anche Napoli; qualcuno anche a L'Aquila e nel Molise. Serie lesioni ad Ariano e Casalbore I morti ammontarono a 2115.
- 8 Settembre 1694 (Magnitudo 6.8 scala Richter)
Forte terremoto tra Irpinia e Basilicata . Calitri fu il paese irpino più colpito (311 vittime). Danni anche a Cava de' Tirreni e Benevento. Circa 6000 i morti.
- 14 Marzo 1702 (Magnitudo 6.3 scala Richter)
Epicentro nel Beneventano (IX-X Mercalli), il sisma provocò alcuni danni fino a Napoli ed in Irpinia, oltre che la morte di circa 400 persone.
- 20 marzo 1731 (Magnitudo 6.3 scala Richter)
Epicentro a sud-ovest di Canosa. Gravi danni a Cerignola, dove crolla parzialmente il castello, a Foggia e nella sua intera provincia. Crolli anche a Barletta , Molfetta, Ascoli Satriano e Canosa. Circa 2500 vittime. Leggero Tsumani a Manfredonia e Barletta..
- 29 novembre 1732 (Magnitudo 6.6 scala Richter)



Epicentro nei pressi di Grottaminarda. Colpita in particolare l'Irpinia settentrionale. Tra i paesi semidistrutti Mirabella, Ariano, Castel Baronia e Flumeri. Ad Avellino crolla il 50% degli edifici. Circa 2000 morti

- 20 febbraio 1743 (Magnitudo 7.0 scala Richter)
Epicentro nel canale d'Otranto. Scossa serale, poco prima della mezzanotte. Semidistrutti Nardò (dove muiono 100 persone) E francavilla Fontana. Danni rilevanti a Lecce ed in tutto il Salento. A Brindisi crollano diversi edifici e la cattedrale rimane seriamente lesionata. Effetti anche sull'altra sponda dello Jonio, crolli pure a Corfù, circa 250 vittime.
- 26 Luglio 1805 (Magnitudo 6.5 scala Richter)
Sisma alle ore 22 (6.5 gradi scala Richter), con epicentro tra Campania e Molise. A Napoli, grazie alla sopraelevazione dell'edificio del Real Museo Borbonico, il gran salone resse durante il terremoto. A Campobasso si ebbero gravi perdite umane e materiali, fra cui il duecentesco convento dei Celestini. Le vittime salirono a 5573.
- 1 gennaio 1826 (Magnitudo 5.7 scala Richter)
Epicentro tra Calvello e Tito, semidistrutta. Danni ingenti a Potenza e Melfi,. Colpite anche Satriano di Lucania, avvertito anche a Napoli.
- 1 gennaio 1826 (Magnitudo 5.7 scala Richter)
Epicentro tra Calvello e Tito, semidistrutta. Danni ingenti a Potenza e Melfi,. Colpite anche Satriano di Lucania, avvertito anche a Napoli.
- 4 agosto 1851 (Magnitudo 6.3 scala Richter)
Epicentro nei pressi di Barile. Colpita l'area circostante il massiccio del Vulture e la val d'Agri. Distrutta Melfi dove ci sono stati almeno 400 morti. Altri paesi semidistrutti : Rapolla, Barile, Atella, Lavello, Venosa, Rionero. Avvertito nelle regioni confinanti Campania e Puglia. Numero di vittime certamente superiore a 700, forse un migliaio. Il sisma ebbe vasta risonanza, anche per la visita del Re Ferdinando II a Melfi e nei luoghi colpiti.
- 16 dicembre 1857 (Magnitudo 6.9 scala Richter)
Evento distruttivo su ampia area geografica, interessati almeno 150 siti. Colpita la val d'Agri Epicentro tra Viggiano e Villa d'Agri. Tra i paesi più devastati Montemurro con 3000 morti,, Sarconi, Saponara, Viggiano, Marsico, Tito. Gravi danni anche a Potenza, crolli e decessi anche in Irpinia e Salernitano, stimati in complessivo circa 11 mila morti, per alcuni 19 mila. Almeno 6000 gli edifici distrutti. Forti ripercussioni sociali, con ricostruzione lenta e scarsa. Per conto della Royal Society di Londra lo scienziato Robert Mallet, padre della moderna sismologia, compì un'ampia ricognizione della zona interessata e descrisse dettagliatamente gli effetti del sisma.
- 6 dicembre 1875 (Magnitudo 6.0 scala Richter)
Sisma notturno . Epicentro tra S. Marco in Lamis e S. Giovanni Rotondo che risulta il paese più colpito con crollo di 300 case ed abitanti costretti a rifugiarsi in tende e baracche. Avvertito in tutto il Gargano e il Tavoliere.
- agosto 1893 (Magnitudo 5.4 scala Richter)
Il terremoto del Gargano del 1893 è stato un evento sismico che colpì la costa meridionale del Gargano con epicentro localizzato all'altezza del porto di Mattinata, all'epoca semplice frazione rurale di Monte Sant'Angelo. La scossa principale si verificò nella serata del 10 agosto, dopo una



giornata caratterizzata da un continuo susseguirsi di altre scosse relativamente meno intense, all'interno di una sequenza sismica che perdurava fin dal 27 giugno ed esauritasi solo nel gennaio dell'anno successivo, dopo che a novembre si era registrata una tregua poi rivelatasi momentanea. Durante l'intera sequenza vennero registrate non meno di 400 scosse.

- 7 giugno 1910 (Magnitudo 5.8 scala Richter)
Epicentro nei pressi di Calitri dove crolla il 30% degli edifici, con diverse vittime. Una sessantina i comuni interessati, la parte più occidentale della Basilicata e l'Irpinia orientale. Circa 50 i morti.
- 23 Luglio 1930 (Magnitudo 6.7 scala Richter)
Sisma notturno, importante per lo sviluppo areale. Epicentro nei pressi di Lacedonia, il paese più devastato con il crollo del 70% delle abitazioni, forte terremoto nel Vulture colpì Campania, Basilicata e Puglia. I comuni più colpiti, dove crollò il 70% degli edifici, furono Aquilonia e Lacedonia. Le vittime furono 1404.
- 21 Agosto 1962 (Magnitudo 6.2 scala Richter)
Epicentro nei pressi di Apice, Ariano Irpino e Melito i paesi più colpiti. Sisma popolarmente definito "signore" perché ha danneggiato gli edifici e provocò pochi 17 morti. Crollo di un ponte sulla ferrovia Avellino Foggia, 10 mila i senza tetto.
- 23 Novembre 1980 (Magnitudo 6.9 scala Richter)
Il più terribile terremoto in Italia, dopo la Seconda Guerra Mondiale, con epicentro in Irpinia, furono devastate diverse zone tra la Campania e la Basilicata e Puglia, con danni ingentissimi, soprattutto nell'area del Vulture. Vennero distrutti numerosi paesi. A Napoli, nel quartiere di Poggioreale, crollò un palazzo di diversi piani, provocando 52 morti. Danni ingenti nelle province di Avellino, Salerno, Benevento, Matera e Potenza e Foggia. In totale vi furono circa 8000 feriti, 2914 morti, oltre 250 mila senzatesto.
- 5 maggio 1990 (Magnitudo 5.8 scala Richter)
Epicentro nei pressi di Colliano, colpì l'area a cavallo tra la Campania e la Basilicata. Avvertito anche nelle province di Benevento e Matera. Danni e lesioni a Potenza e Melfi, 2 i morti.
- 31 ottobre 2002 (Magnitudo 5.7 scala Richter)
Epicentro nei pressi di Bonefro (CB). Danni principali a S. Giuliano di Puglia dove nel crollo di una scuola morirono 27 bambini ed una maestra. Lesione anche in provincia di Foggia. 30 le vittime totali, 5000 senzatesto.

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. 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 similari possano subire danni notevolmente diversi. E' 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.



10 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° .

10.1. 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 $i > 30^\circ$

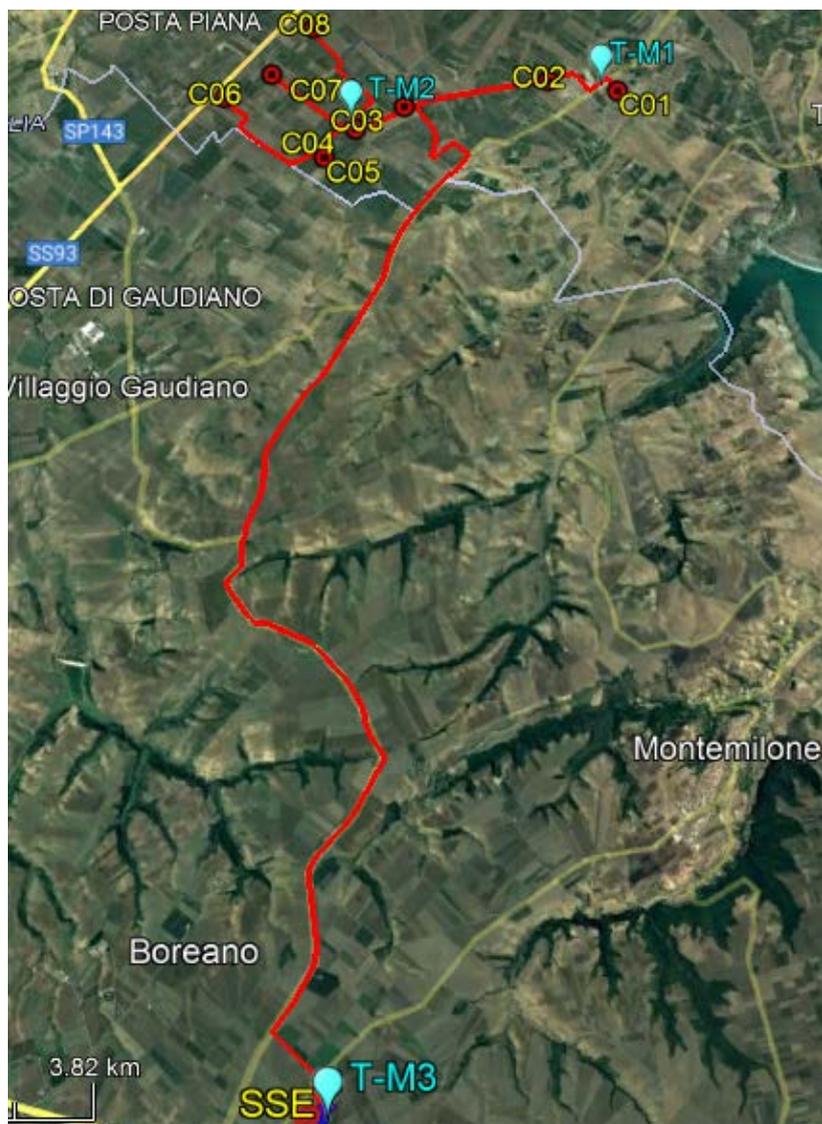
Nel nostro caso specifico, essendo l'acclività $< 15^\circ$, il coefficiente di amplificazione sismica topografica St risulta pari a 1.0 e categoria topografica T1 per tutti gli Aerogeneratori e la Sottostazione di Trasformazione Elettrica (SSE)



11 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. 3 MASW.



Ubicazione MASW



Nel seguito verranno esplicitati i risultati ottenuti.

MASW1

PRSE 730 - MASW -M1

PRSE 730 - M2

Depth	Spessore	S-velocity	P-velocity	Density	ν	Vp/Vs	G	Edin	
[m]	[m]	[m/s]	(m/s)	[KN/m ³]	(-)	(-)	[Mpa]	[Mpa]	
1	0.0	3.8	270.01	1589.71	18.16	0.49	5.89	135	401
2	3.8	6.3	500.44	1845.49	18.96	0.46	3.69	484	1414
3	10.0	8.8	777.18	2152.67	19.86	0.43	2.77	1224	3487
4	18.8	11.2	796.99	2174.66	19.93	0.42	2.73	1291	3672
5	30.0 -		796.99	2174.66	19.93	0.42	2.73	1291	3672
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									

H = 30 m
 Vs,eq : 579.7 (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.

MASW2

PRSE 730 - MASW -M2

PRSE 730 - M2

Depth	Spessore	S-velocity	P-velocity	Density	ν	Vp/Vs	G	Edin	
[m]	[m]	[m/s]	(m/s)	[KN/m ³]	(-)	(-)	[Mpa]	[Mpa]	
1	0.0	3.8	208.93	1521.91	17.95	0.49	7.28	80	238
2	3.8	6.3	385.83	1718.27	18.57	0.47	4.45	282	831
3	10.0	8.8	375.14	1706.40	18.53	0.47	4.55	266	784
4	18.8	11.2	634.55	1994.35	19.40	0.44	3.14	797	2300
5	30.0 -		853.15	2237.00	20.10	0.41	2.62	1492	4223
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									

H = 30 m
 Vs,eq : 398.9 (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.



MASW3

PRSE 730 - MASW -M3

PRSE 730 - M1

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	3.0	211.13	1524.35	17.96	0.49	7.22	82	243
2	3.0	4.5	354.44	1682.31	18.45	0.48	4.75	236	698
3	7.5	6.0	355.01	1690.92	18.48	0.48	4.76	238	702
4	13.5	7.5	354.01	1684.71	18.46	0.48	4.76	236	697
5	21.0	9.0	488.03	1833.51	18.92	0.46	3.76	460	1344
6	30.0 -		555.12	1908.44	19.15	0.45	3.44	602	1749
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									

H = 30 m
Vs,eq : 359.6 (m/s)
 Categoria suolo : C

Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e

Per gli aerogeneratori **CO1**, **CO2** l'area in studio è classificata come **Categoria "B"** Ghiaie e sabbie molto addensate o argille molto consistenti con **Vs30** pari a **579.7 m/s**.

Per gli aerogeneratori **CO3**, **CO4**, **CO5**, **CO6**, **CO7** e **CO8**, l'area in studio è classificata sempre come **Categoria "B"** Ghiaie e sabbie molto addensate o argille molto consistenti con con **Vs30** pari a **398.9 m/s**.

Per la Sottostazione di Trasformazione Elettrica (**SSE**) l'area in studio è classificata sempre come **Categoria "C"** Depositi di ghiaia e sabbia mediamente addensate o di argille di media consistenza con **Vs30** pari a **359.6 m/s**.

Si illustrano di seguito i modelli geologico-geotecnici



Modello geologico-geotecnico **SSE**

Comune di Montemilone (PZ) PARCO EOLICO della Società Santa Rita Energia S.r.l. MODELLO GEOLOGICO-GEOTECNICO SSE																																														
CONDIZIONE DI STABILITA':	Area con pendenza media del 1% verso SE, non vi sono segni manifesti di impaludamenti																																													
CARATTERI STRUTTURALI:	Unità tettonica della Fossa Bradanica - Argille Subappennine (ASP), Argille siltose e silt sabbiosi di colore grigio-azzurro, i caratteri di facies sono indicativi di ambienti di piattaforma, nell'area in studio sono sormontate da depositi alluvionali appartenenti al subsistema dell'Incoronata (RPL1), per uno spessore massimo di 25-30 metri																																													
COEFFICIENTE D'INTENSITA' SISMICA	ZONA 2 (Sismicità $0.15 < PGA < 0.25 g$) PERICOLOSITA' DEL SITO $0.175g < Ag < 0.200 g$																																													
CATEGORIA DI SUOLO DI FONDAZIONE	CATEGORIA "C" Depositi di sabbie e ghiaia mediamente addensate o di argille poco consistenti																																													
CATEGORIA TOPOGRAFICA	V_{s30} = a 359,6 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 1,20 a 4,00 metri limo argilloso sabbioso con fenomeni di alterazione superficiale	<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>17,50 KN/m³</td></tr> <tr><td>Peso dell'unità di volume Saturo</td><td>Y_{sat}</td><td>=</td><td>18,20 KN/m³</td></tr> <tr><td>Angolo di attrito</td><td>φ'</td><td>=</td><td>20,00 °</td></tr> <tr><td>Coesione drenata</td><td>c'</td><td>=</td><td>5,00 KPa</td></tr> <tr><td>Coesione non drenata</td><td>C_u</td><td>=</td><td>50,00 KPa</td></tr> <tr><td>Modulo Edometrico</td><td>E_{ed}</td><td>=</td><td>5,00 MPa</td></tr> <tr><td>Velocità onde S</td><td>V</td><td>=</td><td>354 m/s</td></tr> <tr><td>Coefficiente di Poisson</td><td>n</td><td>=</td><td>0,48 -</td></tr> <tr><td>Coefficiente di Winkler</td><td>K</td><td>=</td><td>24.516 KN/m³</td></tr> <tr><td>Coefficiente tangenziale</td><td>Kτ</td><td>=</td><td>18.475 KN/m³</td></tr> <tr><td>Coefficiente di rigidezza verticale dinamico</td><td>Kd</td><td>=</td><td>22.132 KN/m³</td></tr> </table>	CARATTERISTICHE GEOTECNICHE	Peso dell'unità di volume	Y	=	17,50 KN/m ³	Peso dell'unità di volume Saturo	Y _{sat}	=	18,20 KN/m ³	Angolo di attrito	φ'	=	20,00 °	Coesione drenata	c'	=	5,00 KPa	Coesione non drenata	C _u	=	50,00 KPa	Modulo Edometrico	E _{ed}	=	5,00 MPa	Velocità onde S	V	=	354 m/s	Coefficiente di Poisson	n	=	0,48 -	Coefficiente di Winkler	K	=	24.516 KN/m ³	Coefficiente tangenziale	Kτ	=	18.475 KN/m ³	Coefficiente di rigidezza verticale dinamico	Kd	=	22.132 KN/m ³
CARATTERISTICHE GEOTECNICHE	Peso dell'unità di volume		Y	=	17,50 KN/m ³																																									
	Peso dell'unità di volume Saturo		Y _{sat}	=	18,20 KN/m ³																																									
	Angolo di attrito		φ'	=	20,00 °																																									
	Coesione drenata		c'	=	5,00 KPa																																									
	Coesione non drenata		C _u	=	50,00 KPa																																									
	Modulo Edometrico		E _{ed}	=	5,00 MPa																																									
	Velocità onde S		V	=	354 m/s																																									
	Coefficiente di Poisson		n	=	0,48 -																																									
	Coefficiente di Winkler		K	=	24.516 KN/m ³																																									
	Coefficiente tangenziale	Kτ	=	18.475 KN/m ³																																										
Coefficiente di rigidezza verticale dinamico	Kd	=	22.132 KN/m ³																																											
2° LITOLOGIA E CARATTERISTICHE GEOTECNICHE RELATIVE AL SECONDO LIVELLO																																														
LITOLOGIA da 4,00 a 10,00 metri Ciottolame poligenico eterodimensionale in abbondante matrice sabbiosa limosa	<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>19,00 KN/m³</td></tr> <tr><td>Peso dell'unità di volume Saturo</td><td>Y_{sat}</td><td>=</td><td>19,50 KN/m³</td></tr> <tr><td>Angolo di attrito</td><td>φ'</td><td>=</td><td>30,00 °</td></tr> <tr><td>Coesione drenata</td><td>c'</td><td>=</td><td>0,00 KPa</td></tr> <tr><td>Coesione non drenata</td><td>C_u</td><td>=</td><td>0,00 KPa</td></tr> <tr><td>Modulo Edometrico</td><td>E_{ed}</td><td>=</td><td>6,00 MPa</td></tr> <tr><td>Velocità onde S</td><td>V</td><td>=</td><td>430 m/s</td></tr> <tr><td>Coefficiente di Poisson</td><td>n</td><td>=</td><td>0,33 -</td></tr> <tr><td>Coefficiente di Winkler</td><td>K</td><td>=</td><td>34.121 KN/m³</td></tr> <tr><td>Coefficiente tangenziale</td><td>Kτ</td><td>=</td><td>23.122 KN/m³</td></tr> <tr><td>Coefficiente di rigidezza verticale dinamico</td><td>Kd</td><td>=</td><td>27.174 KN/m³</td></tr> </table>	CARATTERISTICHE GEOTECNICHE	Peso dell'unità di volume	Y	=	19,00 KN/m ³	Peso dell'unità di volume Saturo	Y _{sat}	=	19,50 KN/m ³	Angolo di attrito	φ'	=	30,00 °	Coesione drenata	c'	=	0,00 KPa	Coesione non drenata	C _u	=	0,00 KPa	Modulo Edometrico	E _{ed}	=	6,00 MPa	Velocità onde S	V	=	430 m/s	Coefficiente di Poisson	n	=	0,33 -	Coefficiente di Winkler	K	=	34.121 KN/m ³	Coefficiente tangenziale	Kτ	=	23.122 KN/m ³	Coefficiente di rigidezza verticale dinamico	Kd	=	27.174 KN/m ³
CARATTERISTICHE GEOTECNICHE	Peso dell'unità di volume		Y	=	19,00 KN/m ³																																									
	Peso dell'unità di volume Saturo		Y _{sat}	=	19,50 KN/m ³																																									
	Angolo di attrito		φ'	=	30,00 °																																									
	Coesione drenata		c'	=	0,00 KPa																																									
	Coesione non drenata		C _u	=	0,00 KPa																																									
	Modulo Edometrico		E _{ed}	=	6,00 MPa																																									
	Velocità onde S		V	=	430 m/s																																									
	Coefficiente di Poisson		n	=	0,33 -																																									
	Coefficiente di Winkler		K	=	34.121 KN/m ³																																									
	Coefficiente tangenziale	Kτ	=	23.122 KN/m ³																																										
Coefficiente di rigidezza verticale dinamico	Kd	=	27.174 KN/m ³																																											
TIPO di fondazioni consigliate x gli Aerogeneratori	PLATEA generale armata con piano di sedime ad una profondità di m 1.50 p.c.																																													



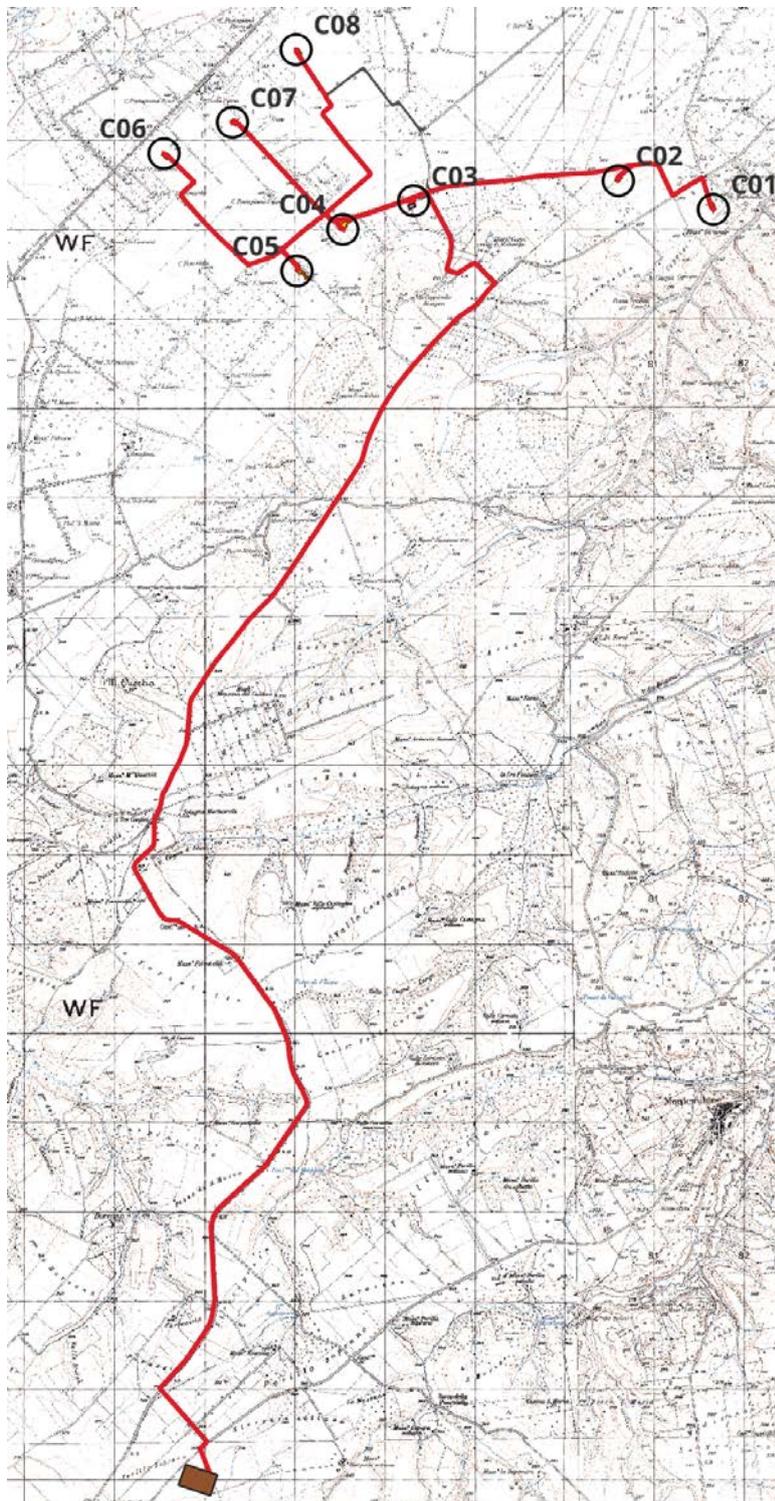
Modello geologico-geotecnico **AEROGENERATORI**

Comuni di Canosa di Puglia e Mnervino Murge PARCO EOLICO della Società Santa Rita Energia S.r.l. MODELLO GEOLOGICO-GEOTECNICO Aerogeneratori																																																									
CONDIZIONE DI STABILITA':	Area con pendenza media del 1% verso SE, non vi sono segni manifesti di impaludamenti																																																								
CARATTERI STRUTTURALI:	Unità tettonica della Fossa Bradanica - Argille Subappennine (ASP), Argille silteose e silt sabbiosi di colore grigio-azzurro, I caratteri di facies sono indicativi di ambienti di piattaforma, nell'area in studio sono sormontate da depositi alluvionali, costituiti essenzialmente da terreni sabbioso-limosi con ghiaia																																																								
COEFFICIENTE D'INTENSITA' SISMICA	ZONA 2 (Sismicità 0.15 < PGA < 0.25 g) Codice Istat 16071029 PERICOLOSITA' DEL SITO 0,175 < g < 0,200																																																								
CATEGORIA DI SUOLO DI FONDAZIONE	CATEGORIA "B " Depositi di sabbie e ghiaia molto addensate o di argille molto consistenti																																																								
CATEGORIA TOPOGRAFICA	Vs30 compreso tra 398 m/s e 580 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 1,50 a 6500 metri Sabbie limose Possibilità di intercettare una falda acquifera superficiale ad una profondità di m 5-6 m p.c.	<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>18,00</td><td>KN/m³</td></tr> <tr><td>Peso dell'unità di volume Saturo</td><td>Y_{sat}</td><td>=</td><td>18,60</td><td>KN/m³</td></tr> <tr><td>Angolo di attrito</td><td>φ'</td><td>=</td><td>23,00</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>50,00</td><td>KPa</td></tr> <tr><td>Modulo Edometrico</td><td>E_{ed}</td><td>=</td><td>6,00</td><td>MPa</td></tr> <tr><td>Velocità onde S</td><td>V</td><td>=</td><td>385-590</td><td>m/s</td></tr> <tr><td>Coefficiente di Poisson</td><td>n</td><td>=</td><td>0,47</td><td>-</td></tr> <tr><td>Coefficiente di Winkler</td><td>K</td><td>=</td><td>24.419</td><td>KN/m³</td></tr> <tr><td>Coefficiente tangenziale</td><td>Kτ</td><td>=</td><td>18.923</td><td>KN/m³</td></tr> <tr><td>Coefficiente di rigidezza verticale dinamico</td><td>Kd</td><td>=</td><td>21.666</td><td>KN/m³</td></tr> </table>	CARATTERISTICHE GEOTECNICHE	Peso dell'unità di volume	Y	=	18,00	KN/m ³	Peso dell'unità di volume Saturo	Y _{sat}	=	18,60	KN/m ³	Angolo di attrito	φ'	=	23,00	°	Coesione drenata	c'	=	5,00	KPa	Coesione non drenata	C _u	=	50,00	KPa	Modulo Edometrico	E _{ed}	=	6,00	MPa	Velocità onde S	V	=	385-590	m/s	Coefficiente di Poisson	n	=	0,47	-	Coefficiente di Winkler	K	=	24.419	KN/m ³	Coefficiente tangenziale	Kτ	=	18.923	KN/m ³	Coefficiente di rigidezza verticale dinamico	Kd	=	21.666	KN/m ³
CARATTERISTICHE GEOTECNICHE	Peso dell'unità di volume		Y	=	18,00	KN/m ³																																																			
	Peso dell'unità di volume Saturo		Y _{sat}	=	18,60	KN/m ³																																																			
	Angolo di attrito		φ'	=	23,00	°																																																			
	Coesione drenata		c'	=	5,00	KPa																																																			
	Coesione non drenata		C _u	=	50,00	KPa																																																			
	Modulo Edometrico		E _{ed}	=	6,00	MPa																																																			
	Velocità onde S		V	=	385-590	m/s																																																			
	Coefficiente di Poisson		n	=	0,47	-																																																			
	Coefficiente di Winkler		K	=	24.419	KN/m ³																																																			
	Coefficiente tangenziale	Kτ	=	18.923	KN/m ³																																																				
Coefficiente di rigidezza verticale dinamico	Kd	=	21.666	KN/m ³																																																					
2° LITOLOGIA E CARATTERISTICHE GEOTECNICHE RELATIVE AL SECONDO LIVELLO																																																									
LITOLOGIA da 6.00 a 30.00 metri Limo sabbioso con livelli di ghiaia eterodimensionale	<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>20,40</td><td>KN/m³</td></tr> <tr><td>Peso dell'unità di volume Saturo</td><td>Y_{sat}</td><td>=</td><td>20,90</td><td>KN/m³</td></tr> <tr><td>Angolo di attrito</td><td>φ'</td><td>=</td><td>30,00</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>/</td><td>KPa</td></tr> <tr><td>Modulo Edometrico</td><td>E_{ed}</td><td>=</td><td>10,00</td><td>MPa</td></tr> <tr><td>Velocità onde S</td><td>V</td><td>=</td><td>634-796</td><td>m/s</td></tr> <tr><td>Coefficiente di Poisson</td><td>n</td><td>=</td><td>0,42-0,44</td><td>-</td></tr> <tr><td>Coefficiente di Winkler</td><td>K</td><td>=</td><td>78.453</td><td>KN/m³</td></tr> <tr><td>Coefficiente tangenziale</td><td>Kτ</td><td>=</td><td>54.122</td><td>KN/m³</td></tr> <tr><td>Coefficiente di rigidezza verticale dinamico</td><td>Kd</td><td>=</td><td>61.654</td><td>KN/m³</td></tr> </table>	CARATTERISTICHE GEOTECNICHE	Peso dell'unità di volume	Y	=	20,40	KN/m ³	Peso dell'unità di volume Saturo	Y _{sat}	=	20,90	KN/m ³	Angolo di attrito	φ'	=	30,00	°	Coesione drenata	c'	=	30,00	KPa	Coesione non drenata	C _u	=	/	KPa	Modulo Edometrico	E _{ed}	=	10,00	MPa	Velocità onde S	V	=	634-796	m/s	Coefficiente di Poisson	n	=	0,42-0,44	-	Coefficiente di Winkler	K	=	78.453	KN/m ³	Coefficiente tangenziale	Kτ	=	54.122	KN/m ³	Coefficiente di rigidezza verticale dinamico	Kd	=	61.654	KN/m ³
CARATTERISTICHE GEOTECNICHE	Peso dell'unità di volume		Y	=	20,40	KN/m ³																																																			
	Peso dell'unità di volume Saturo		Y _{sat}	=	20,90	KN/m ³																																																			
	Angolo di attrito		φ'	=	30,00	°																																																			
	Coesione drenata		c'	=	30,00	KPa																																																			
	Coesione non drenata		C _u	=	/	KPa																																																			
	Modulo Edometrico		E _{ed}	=	10,00	MPa																																																			
	Velocità onde S		V	=	634-796	m/s																																																			
	Coefficiente di Poisson		n	=	0,42-0,44	-																																																			
	Coefficiente di Winkler		K	=	78.453	KN/m ³																																																			
	Coefficiente tangenziale	Kτ	=	54.122	KN/m ³																																																				
Coefficiente di rigidezza verticale dinamico	Kd	=	61.654	KN/m ³																																																					
TIPO di fondazioni consigliate	Pali diametro 1200 mm, lunghezza 30 metri - numero di pali e loro disposizione e per ogni altre ulteriori valutazioni e considerazioni si rimanda al tecnico progettista																																																								



12 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.



Localizzazione Area Impianto su base IGM 1:25.000



12.1. INQUADRAMENTO IDROGRAFICO E IDROLOGICO GENERALE

Il reticolo idrografico superficiale dell'area oggetto di studio è caratterizzato da numerosi corsi d'acqua a regime torrentizio ad andamento SO-NE e decorso parallelo che scorrono in valli ampie, presentano un deflusso occasionale, infatti le portate hanno un valore significativo in seguito a precipitazioni copiose. Un elemento morfologico ampiamente diffuso soprattutto nei territori comunali di Canosa di Puglia e Montemilone è quello rappresentato dagli orli di terrazzo morfologico. Essi rappresentano l'evoluzione morfologica dei processi di terrazzamento dovuto sia a processi di natura fluviale che marina. Infatti le variazioni eustatiche, dovute all'azione combinata del sollevamento e abbassamento del livello del mare e dalla terraferma, hanno determinato nella storia geologica una forte attività di modellamento morfologico. I terrazzi morfologici sono la testimonianza di fenomeni di erosione o deposizione sedimentaria sia dei corsi d'acqua che del mare; in particolare nell'ambito del territorio di Canosa di Puglia sembra che i terrazzi siano stati generati per una prevalente attività di deposizione ed erosione fluviale. Essi si sviluppano con un'orientazione prevalente nord-est/sud-ovest, all'incirca parallela a quella del F. Ofanto; tutto ciò spiega come essi possano essere il risultato dell'evoluzione morfologica dettata dall'attività di deposizione ed erosione dell'Ofanto stesso. Orli di terrazzo morfologico sono presenti sia ad est che a sud-ovest dell'abitato di Canosa, in particolare quelli posti a sud-ovest dell'abitato sono attribuibili, in relazione alla loro posizione rispetto al Canale della Piena delle Murge, proprio all'attività deposizionale ed erosiva di quest'ultimo. Il reticolo idrografico, così come tracciato da parte dell'AdB della Puglia, nel territorio di Canosa presenta corsi d'acqua più importanti quali il Torrente Locone, il Canale della Piena delle Murge e l'incisione di Valle Marchesa i quali hanno un andamento orientato in direzione nord-ovest/sud-est e rappresentano reticoli tributari del F. Ofanto che scorre lungo il confine comunale del territorio in oggetto in direzione nord-est/sud-ovest. Vi è inoltre una serie di incisioni che alimentano, nonostante il presumibile regime idraulico effimero. Si sottolinea inoltre che il reticolo idrografico risulta in alcuni punti obliterato, in particolare in corrispondenza di piccoli reticoli tributari del Canale della Piena delle Murge e del T. Locone. Una particolarità del territorio di Canosa è la presenza di piccole sorgenti posizionate nel settore a sud-ovest del territorio comunale in prossimità del limite litologico tra terreni a prevalente componente ruditica e terreni a prevalente componente pelitica; tali terreni in relazione alla granulometria fine e a bassi valori di permeabilità fungono in genere da materiale 'tampone' rispetto al deflusso delle acque sotterranee determinando, in corrispondenza del contatto tra terreni a maggiore permeabilità e terreni a minore permeabilità, venute naturali d'acqua.





Opere in progetto ed eventuali interferenze con il reticolo idrografico

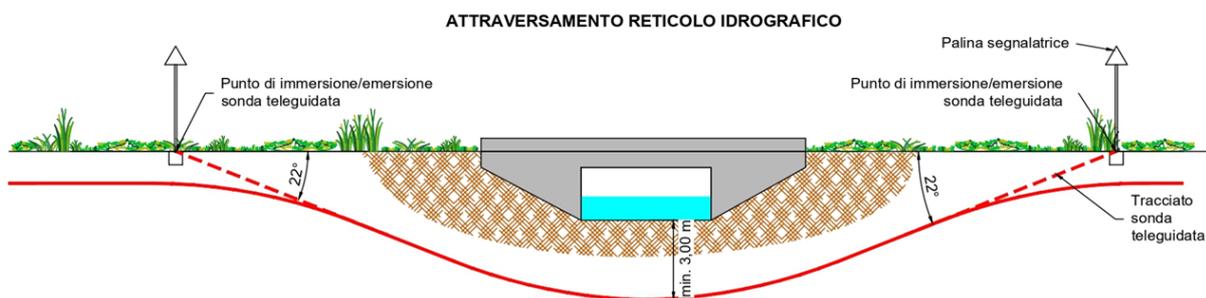


Le interferenze riscontrate riguardano il percorso del cavidotto interrato di collegamento alla sottostazione. Per la risoluzione di tali interferenze si rimanda al paragrafo successivo.

Nell'area oggetto di studio è possibile intercettare a varie profondità falde freatiche di notevole consistenza. Nel dettaglio è stata riscontrata una falda ad una profondità pari a -1.50 metri dal piano campagna così come individuato nella modellazione geologica-geotecnica.

12.2. 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.



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



Inquadramento impianto con classificazione PAI – PERICOLOSITÀ IDRAULICA



Come si evince dall'allegato stralcio planimetrico 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 7 Aerogeneratori ivi compresi strade di accesso, piazzole e cavidotto, 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 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.



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

Nessuna area risulta vincolata dal punto di vista della pericolosità Geomorfológica come mostrato di seguito.



Inquadramento PAI – PERICOLOSITÀ GEOMORFOLOGICA

L'inquadramento del caso studio con il **PAI** aggiornato al 19/11/2019 definisce che:



- Gli 8 aerogeneratori non risultano insistere su aree vincolate dal punto di vista della pericolosità geomorfologica.
- La Sottostazione Elettrica (LATO UTENTE) non risulta insistere su area vincolata dal punto di vista della pericolosità geomorfologica, mentre ricade in area a media pericolosità idraulica (MP),
- Il cavidotto e le strade di accesso non risultano insistere su aree vincolate dal punto di vista della pericolosità geomorfologica, ma, attraversano area vincolate dal punto di vista punto di vista della pericolosità idraulica, che sarà oggetto di approfondito studio e considerazioni nella relazione idraulica



13 CONCLUSIONI

Nel seguito vengono illustrate nel dettaglio le opere progettuali

FONDAZIONI AEROGENERATORI

Fondazioni del tipo Plinto su pali della lunghezza di metri 30 e diametro 1200 mm come dai modelli geologico-geotecnici allegati.

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 disopra 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 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 Ωm \dot{A}

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**;

- 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. 8 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. 8 aerogeneratori ed opere connesse.

Tanto dovevasi per l'espletamento dell'incarico ricevuto

Lucera maggio 2023

Il geologo
dott. Matteo Di Carlo



14 ELENCO ALLEGATI

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



Comune di Montemilone (PZ)

PARCO EOLICO della Società Santa Rita Energia S.r.l.

MODELLO GEOLOGICO-GEOTECNICO SSE

CONDIZIONE DI STABILITA':	Area con pendenza media del 1% verso SE, non vi sono segni manifesti di impaludamenti
CARATTERI STRUTTURALI:	Unità tettonica della Fossa Bradanica - Argille Subappennine (ASP), Argille siltose e silt sabbiosi di colore grigio-azzurro, I caratteri di facies sono indicativi di ambienti di piattaforma, nell'area in studio sono sormontate da depositi alluvionali appartenenti al subsistema dell'Incoronata (RPL1), per uno spessore massimo di 25-30 metri
COEFFICIENTE D'INTENSITA' SISMICA	ZONA 2 (Sismicità $0.15 < PGA < 0.25$ g) PERICOLOSITA' DEL SITO $0.175g < Ag < 0.200$ g
CATEGORIA DI SUOLO DI FONDAZIONE	CATEGORIA "C" Depositi di sabbie e ghiaia mediamente addensate o di argille poco consistenti V_{s30} = a 359,6 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 1,20 a 4.00 metri limo argilloso sabbioso con fenomeni di alterazione superficiale	CARATTERISTICHE GEOTECNICHE	Peso dell'unità di volume	Y	=	17,50	KN/m ³
		Peso dell'unità di volume Saturo	Y _{sat}	=	18,20	KN/m ³
		Angolo di attrito	φ'	=	20,00	°
		Coesione drenata	c'	=	5,00	KPa
		Coesione non drenata	C _u	=	50,00	KPa
		Modulo Edometrico	E _{ed}	=	5,00	MPa
		Velocità onde S	V	=	354	m/s
		Coefficiente di Poisson	n	=	0,48	-
		Coefficiente di Winkler	K	=	24.516	KN/m ³
		Coefficiente tangenziale	K _τ	=	18.475	KN/m ³
		Coefficiente di rigidezza verticale dinamico	K _d	=	22.132	KN/m ³

2° LITOLOGIA E CARATTERISTICHE GEOTECNICHE RELATIVE AL SECONDO LIVELLO

LITOLOGIA da 4.00 a 10.00 metri Ciottolame poligenico eterodimensionale in abbondante matrice sabbiosa limosa	CARATTERISTICHE GEOTECNICHE	Peso dell'unità di volume	Y	=	19,00	KN/m ³
		Peso dell'unità di volume Saturo	Y _{sat}	=	19,50	KN/m ³
		Angolo di attrito	φ'	=	30,00	°
		Coesione drenata	c'	=	0,00	KPa
		Coesione non drenata	C _u	=	0,00	KPa
		Modulo Edometrico	E _{ed}	=	6,00	MPa
		Velocità onde S	V	=	430	m/s
		Coefficiente di Poisson	n	=	0,33	-
		Coefficiente di Winkler	K	=	34.121	KN/m ³
		Coefficiente tangenziale	K _τ	=	23.122	KN/m ³
		Coefficiente di rigidezza verticale dinamico	K _d	=	27.174	KN/m ³

TIPO di fondazioni consigliate x gli Aerogeneratori

PLATEA generale armata con piano di sedime ad una profondità di m 1.50 p.c.

Comuni di Canosa di Puglia e Mnervino Murge

PARCO EOLICO della Società Santa Rita Energia S.r.l.

MODELLO GEOLOGICO-GEOTECNICO Aerogeneratori

CONDIZIONE DI STABILITA':	Area con pendenza media del 1% verso SE, non vi sono segni manifesti di impaludamenti
CARATTERI STRUTTURALI:	Unità tettonica della Fossa Bradanica - Argille Subappennine (ASP), Argille siltose e silt sabbiosi di colore grigio-azzurro, I caratteri di facies sono indicativi di ambienti di piattaforma, nell'area in studio sono sormontate da depositi alluvionali, costituiti essenzialmente da terreni sabbioso-limosi con ghiaia
COEFFICIENTE D'INTENSITA' SISMICA	ZONA 2 (Sismicità 0.15<PGA< 0.25 g) Codice Istat 16071029 PERICOLOSITA' DEL SITO 0,175 < g < 0,200
CATEGORIA DI SUOLO DI FONDAZIONE	CATEGORIA "B " Depositi di sabbie e ghiaia molto addensate o di argille molto consistenti
CATEGORIA TOPOGRAFICA	Vs30 compreso tra 398 m/s e 580 m/s T1

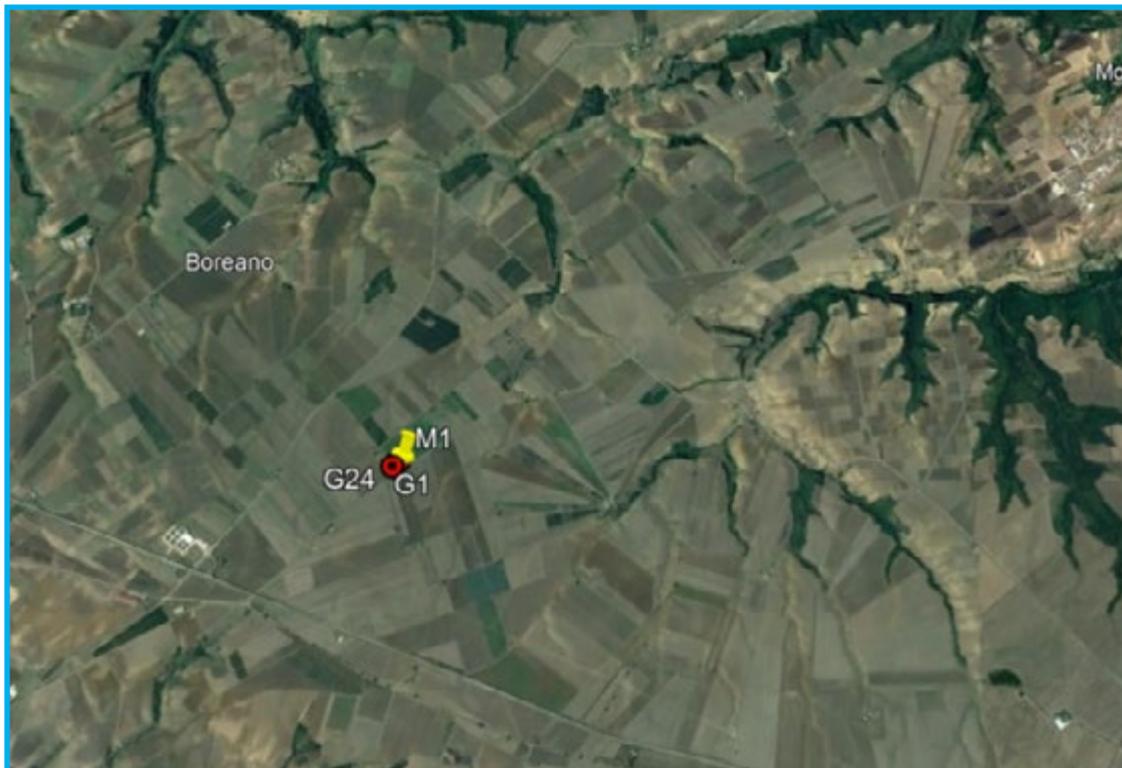
p. 1/1

CARATTERISTICHE LITOLOGICHE GEOTECNICHE AL DI SOTTO DELLA COPERTURA SUPERFICIALE

1° LITOLOGIA E CARATTERISTICHE GEOTECNICHE RELATIVE AL PRIMO LIVELLO			
LITOLOGIA da 1,50 a 6500 metri	CARATTERISTICHE GEOTECNICHE	Peso dell'unità di volume	Y = 18,00 KN/m³
Sabbie limose		Peso dell'unità di volume Saturo	Y_{sat} = 18,60 KN/m³
Possibilità di intercettare una falda acquifera superficiale ad una profondità di m 5-6 m p.c.		Angolo di attrito	φ' = 23,00 °
		Coesione drenata	c' = 5,00 KPa
		Coesione non drenata	C_u = 50,00 KPa
		Modulo Edometrico	E_{ed} = 6,00 MPa
		Velocità onde S	V = 385-590 m/s
		Coefficiente di Poisson	n = 0,47 -
		Coefficiente di Winkler	K = 24.419 KN/m³
		Coefficiente tangenziale	K_τ = 18.923 KN/m³
		Coefficiente di rigidezza verticale dinamico	K_d = 21.666 KN/m³
2° LITOLOGIA E CARATTERISTICHE GEOTECNICHE RELATIVE AL SECONDO LIVELLO			
LITOLOGIA da 6.00 a 30.00 metri	CARATTERISTICHE GEOTECNICHE	Peso dell'unità di volume	Y = 20,40 KN/m³
Limo sabbioso con livelli di ghiaia eterodimensionale		Peso dell'unità di volume Saturo	Y_{sat} = 20,90 KN/m³
		Angolo di attrito	φ' = 30,00 °
		Coesione drenata	c' = 30,00 KPa
		Coesione non drenata	C_u = / KPa
		Modulo Edometrico	E_{ed} = 10,00 MPa
		Velocità onde S	V = 634-796 m/s
		Coefficiente di Poisson	n = 0,42-0,44 -
		Coefficiente di Winkler	K = 78.453 KN/m³
		Coefficiente tangenziale	K_τ = 54.122 KN/m³
		Coefficiente di rigidezza verticale dinamico	K_d = 61.654 KN/m³
TIPO di fondazioni consigliate	Pali diametro 1200 mm, lunghezza 30 metri - numero di pali e loro disposizione e per ogni altre ulteriori valutazioni e considerazioni si rimanda al tecnico progettista		

PRSE 730 - MASW - M1

OGGETTO: PARCO EOLICO - SE - CANOSA DI P. (BAT) SANTA RITA ENERGIA S.R.L.



PRSE 730 – MASW – M1

MASW

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, 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 e 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; si 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:

$$v = f \times l$$

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.

PRSE 730 – MASW – M1

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

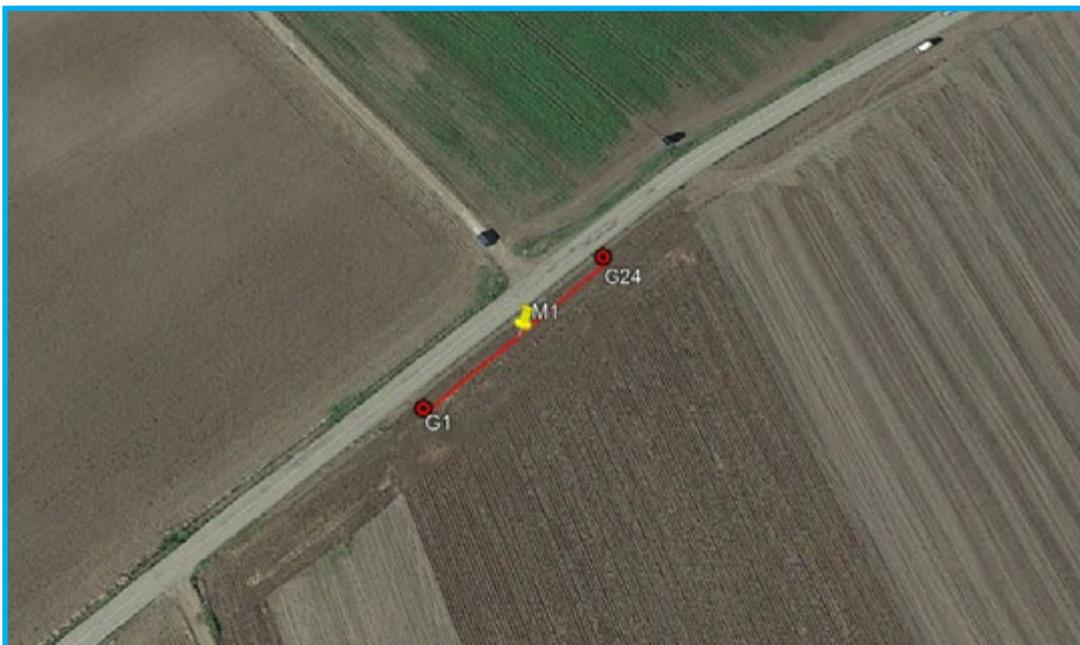
Le onde di Rayleigh decadono a profondità circa uguali alla lunghezza d'onda. Piccole lunghezze d'onda (alte frequenze) consentono di indagare zone superficiali mentre grandi lunghezze d'onda (basse frequenze) consentono indagini a maggiore profondità.

Id indagine	MASW-M1
LOCALITA'	CANOSA DI PUGLIA (BAT)
DATA E ORA	24/04/23

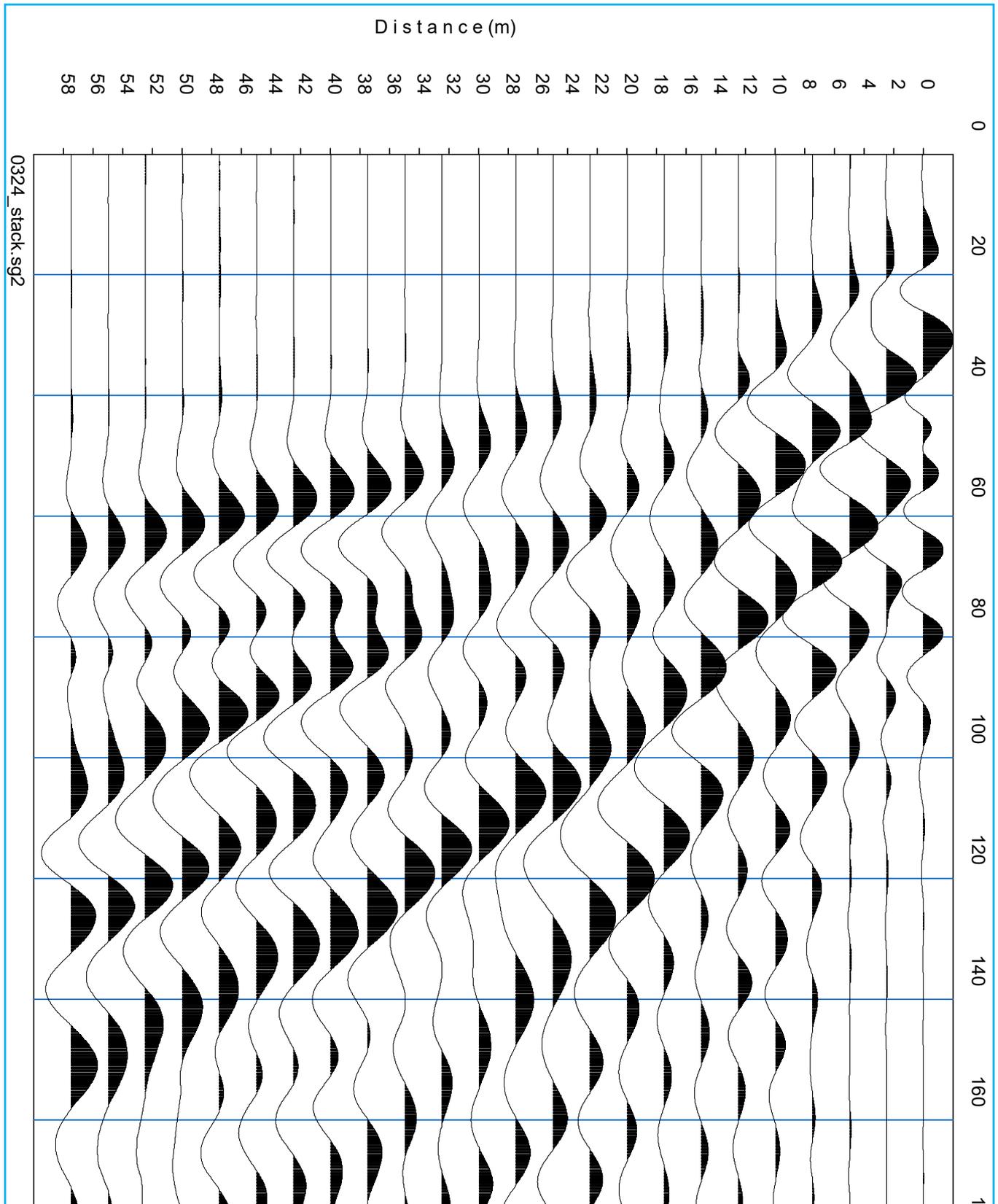
Distanza tra i geofoni 2.5 metri battuta +3m.

Coordinate WGS 84 :

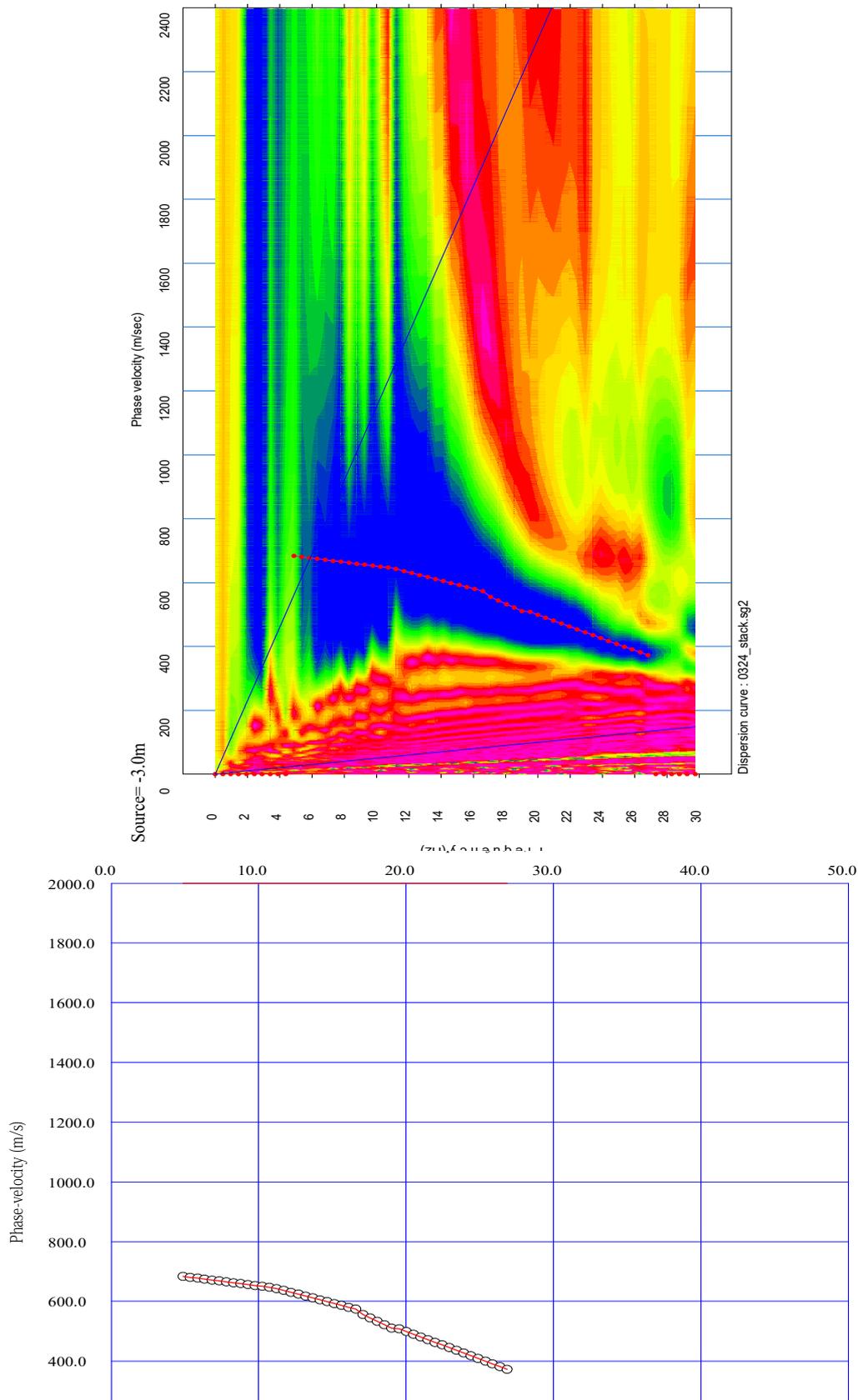
Geofono 1:	0575939-4539185
Geofono 12-13:	0575960-4539206
Geofono 24:	0575982-4539228



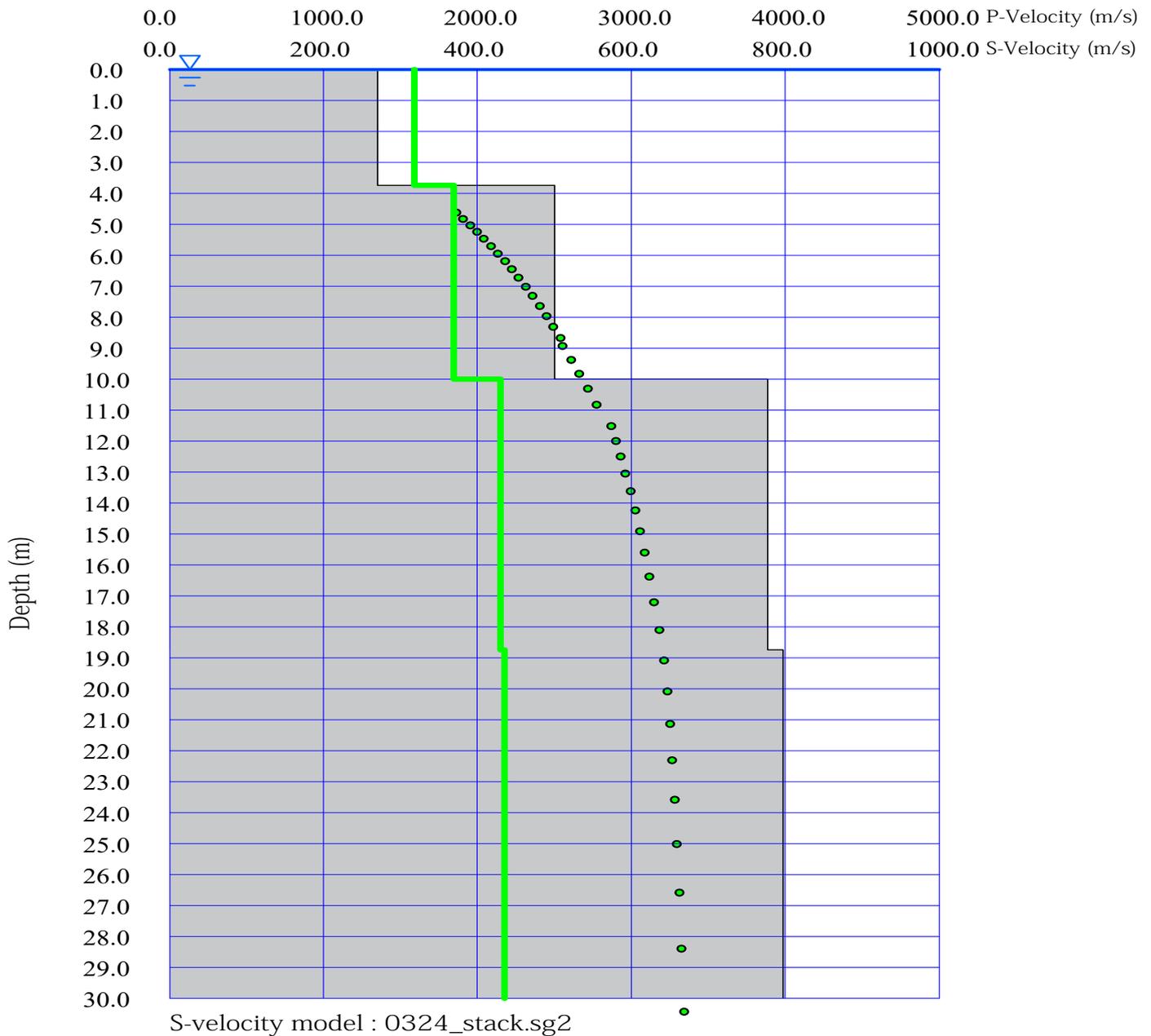
PRSE 730 - MASW - M1



PRSE 730 - MASW - M1



PRSE 730 - MASW - M1



PRSE 730 - MASW - M1

PRSE 730 - M2

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	3.8	270.01	1589.71	18.16	0.49	5.89	135	401
2	3.8	6.3	500.44	1845.49	18.96	0.46	3.69	484	1414
3	10.0	8.8	777.18	2152.67	19.86	0.43	2.77	1224	3487
4	18.8	11.2	796.99	2174.66	19.93	0.42	2.73	1291	3672
5	30.0 -		796.99	2174.66	19.93	0.42	2.73	1291	3672
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									

H = 30 m

Vs,eq : 579.7 (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:

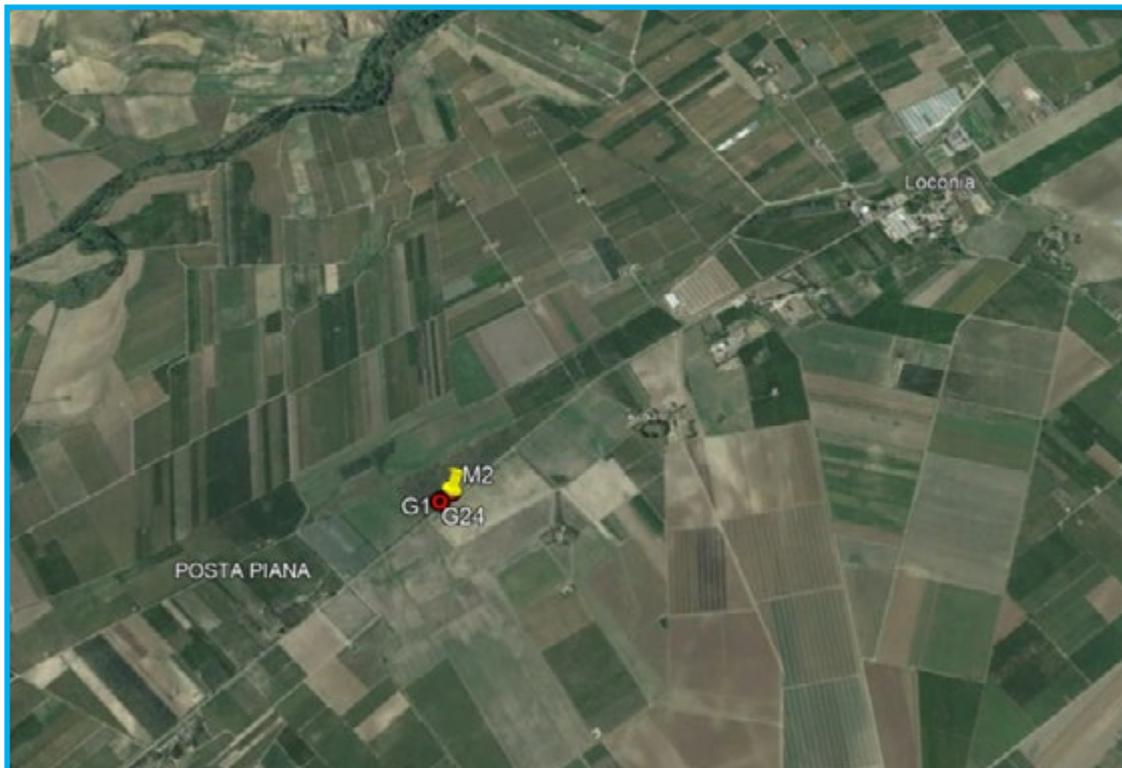
- v: Coefficiente di Poisson (-)
- Vp: Velocità delle onde longitudinali (m/s)
- Vs: Velocità delle onde di taglio (m/s)
- G: Modulo di rigidezza al taglio (Mpa)
- Ed: Modulo dinamico (Mpa)

PRSE 730 – MASW – M1



PRSE 730 - MASW - M2

OGGETTO: PARCO EOLICO - CANOSA DI P. (BAT)
COMMITTENZA: SANTA RITA ENERGIA S.R.L.



PRSE 730 – MASW – M2

MASW

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, 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 e 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; si 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:

$$v = f \times l$$

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.

PRSE 730 – MASW – M2

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-M1
LOCALITA'	CANOSA DI PUGLIA (BAT)
DATA E ORA	24/04/23

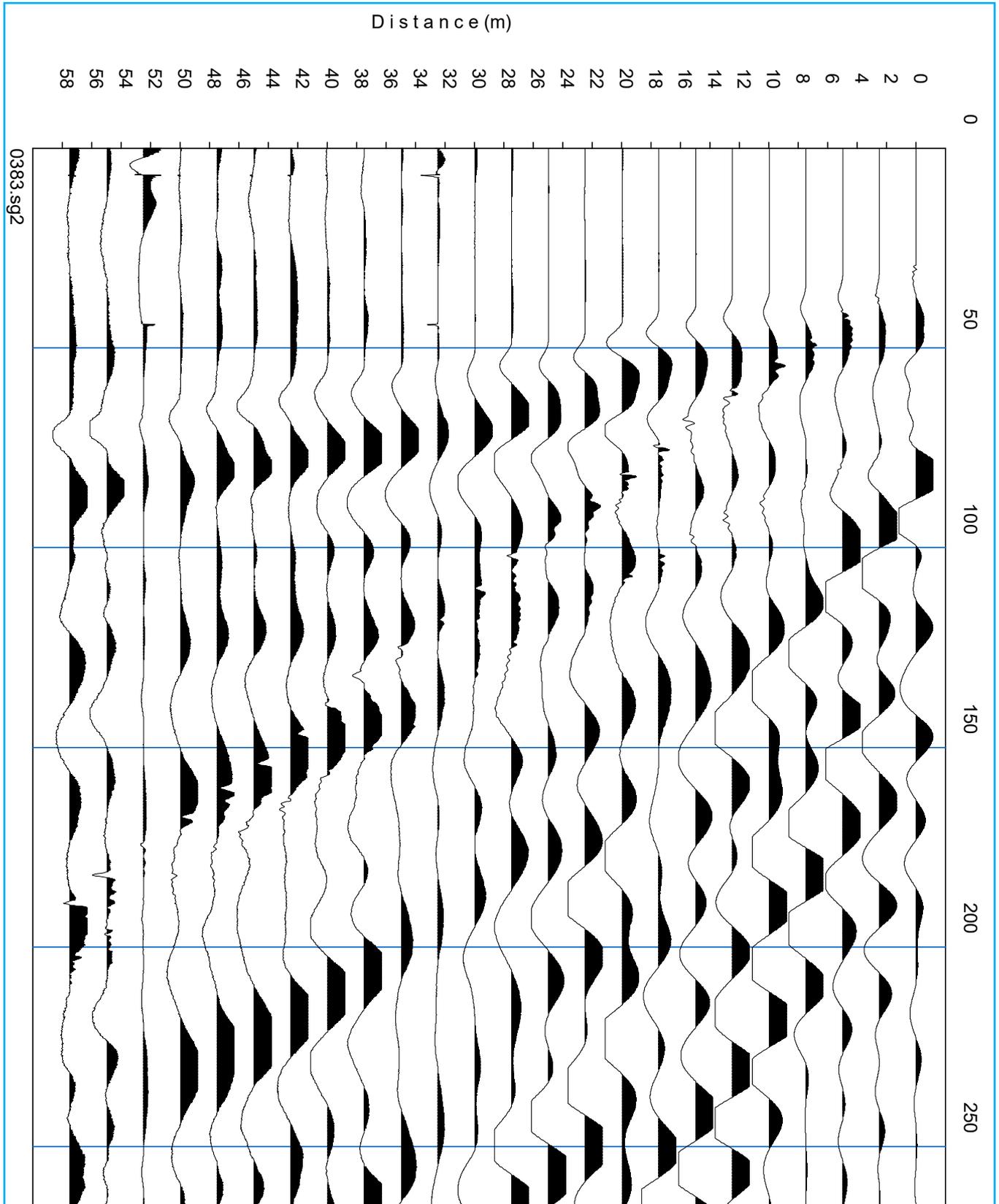
Distanza tra i geofoni 2.5 metri battuta +10m.

Coordinate WGS 84 :

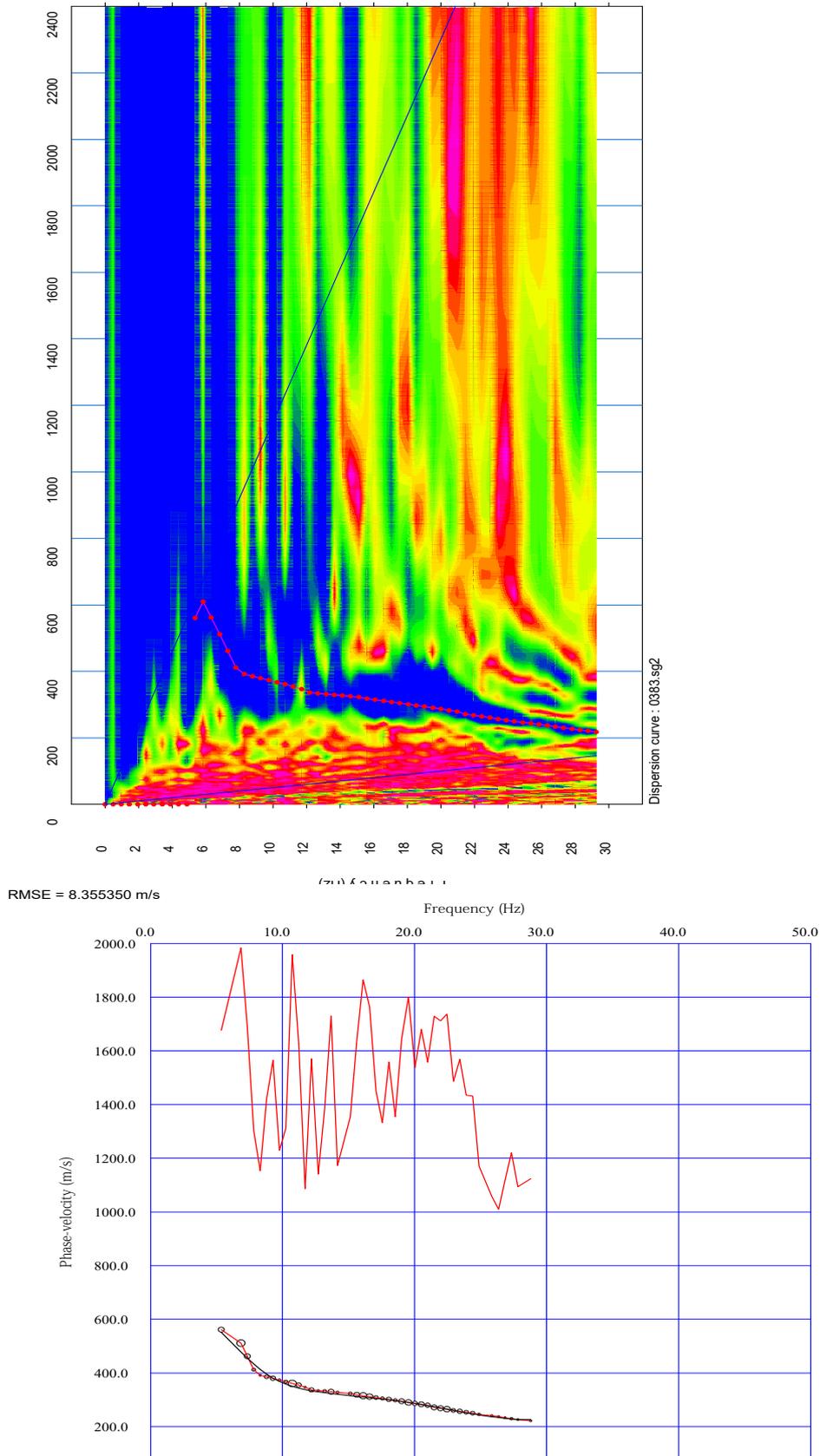
Geofono 1:	0575939-4539183
Geofono 12-13:	0575960-4539206
Geofono 24:	0575982-4539228



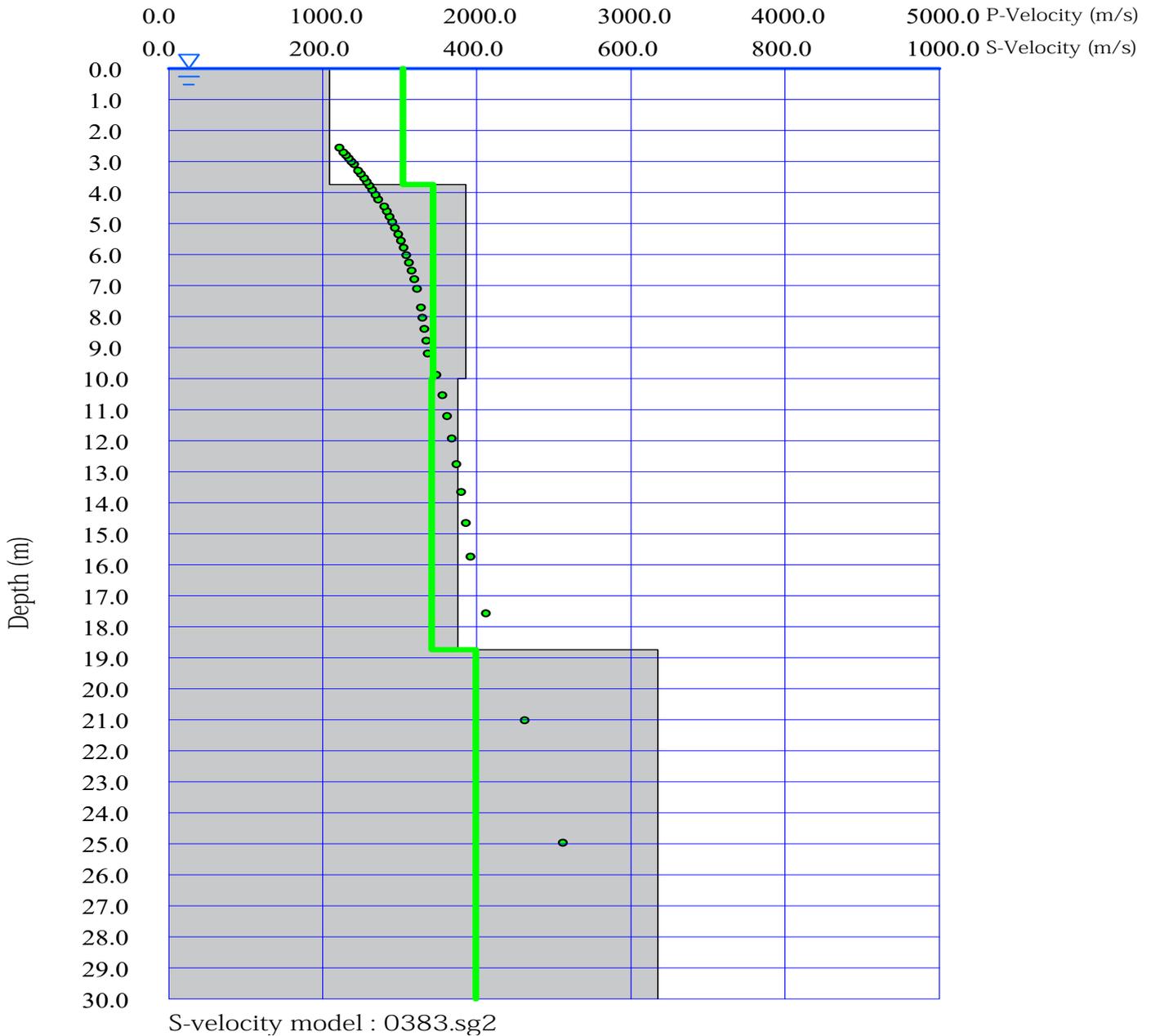
PRSE 730 - MASW - M2



PRSE 730 - MASW - M2



PRSE 730 - MASW - M2



PRSE 730 - MASW - M2

PRSE 730 - M2

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	3.8	208.93	1521.91	17.95	0.49	7.28	80	238
2	3.8	6.3	385.83	1718.27	18.57	0.47	4.45	282	831
3	10.0	8.8	375.14	1706.40	18.53	0.47	4.55	266	784
4	18.8	11.2	634.55	1994.35	19.40	0.44	3.14	797	2300
5	30.0 -		853.15	2237.00	20.10	0.41	2.62	1492	4223
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									

H = 30 m

Vs,eq : 398.9 (m/s)

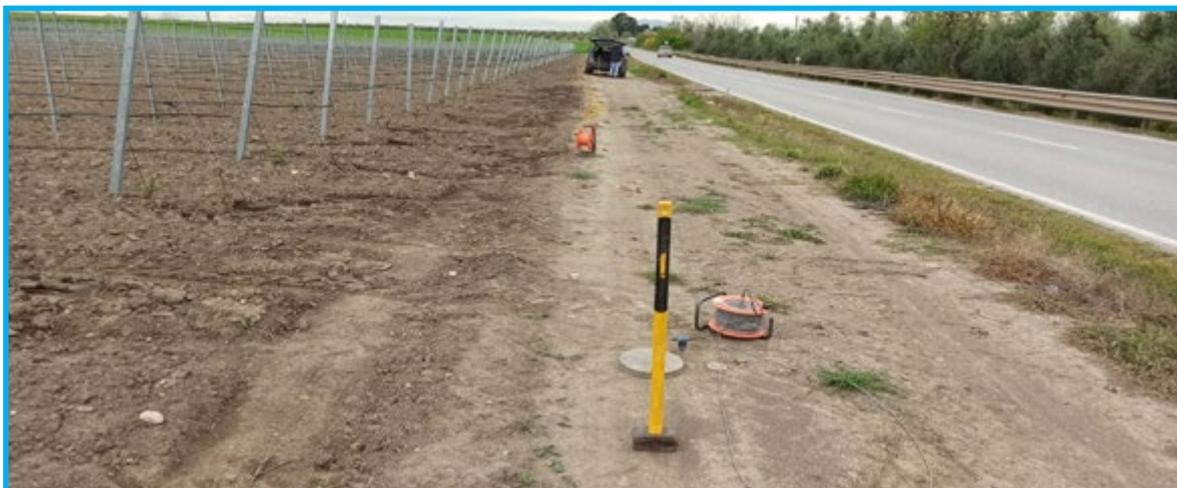
Categoria suolo : B

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:

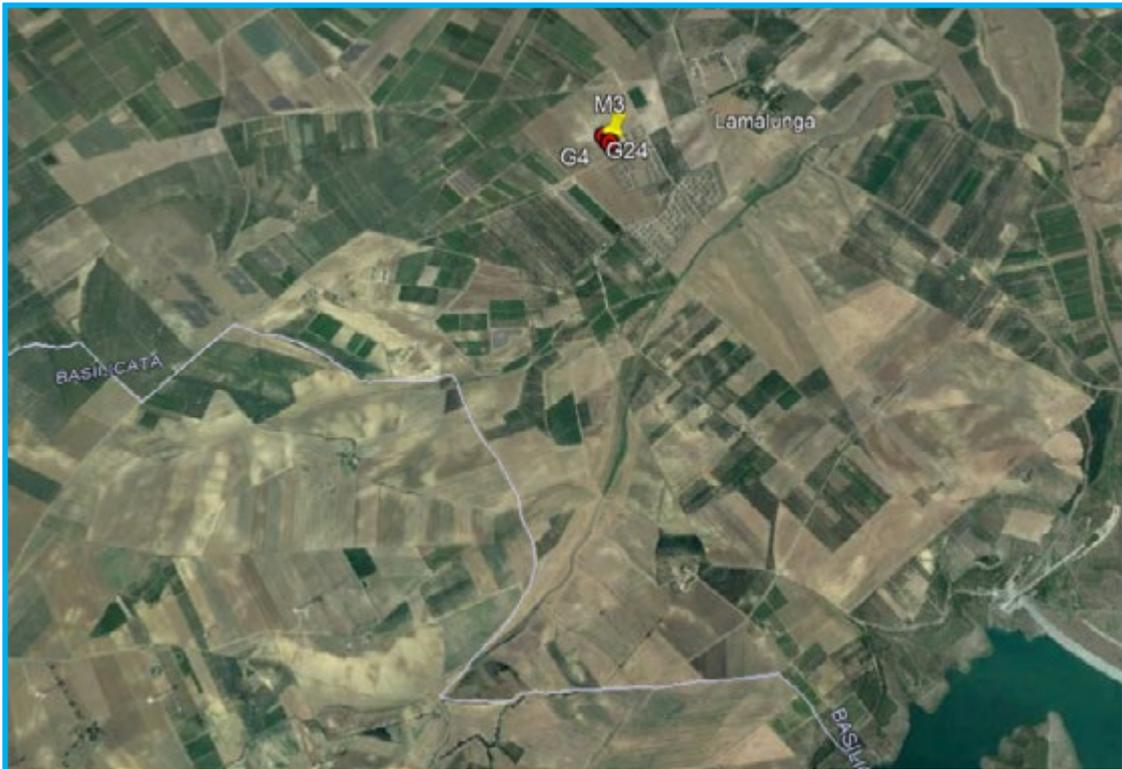
- v: Coefficiente di Poisson (-)
- Vp: Velocità delle onde longitudinali (m/s)
- Vs: Velocità delle onde di taglio (m/s)
- G: Modulo di rigidezza al taglio (Mpa)
- Ed: Modulo dinamico (Mpa)

PRSE 730 – MASW – M2



PRSE 730 - MASW - M3

OGGETTO: PARCO EOLICO - SE - CANOSA DI P. (BAT) SANTA RITA ENERGIA S.R.L.



PRSE 730 – MASW – M3

MASW

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, 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 e 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; si 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:

$$v = f \times l$$

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.

PRSE 730 – MASW – M3

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

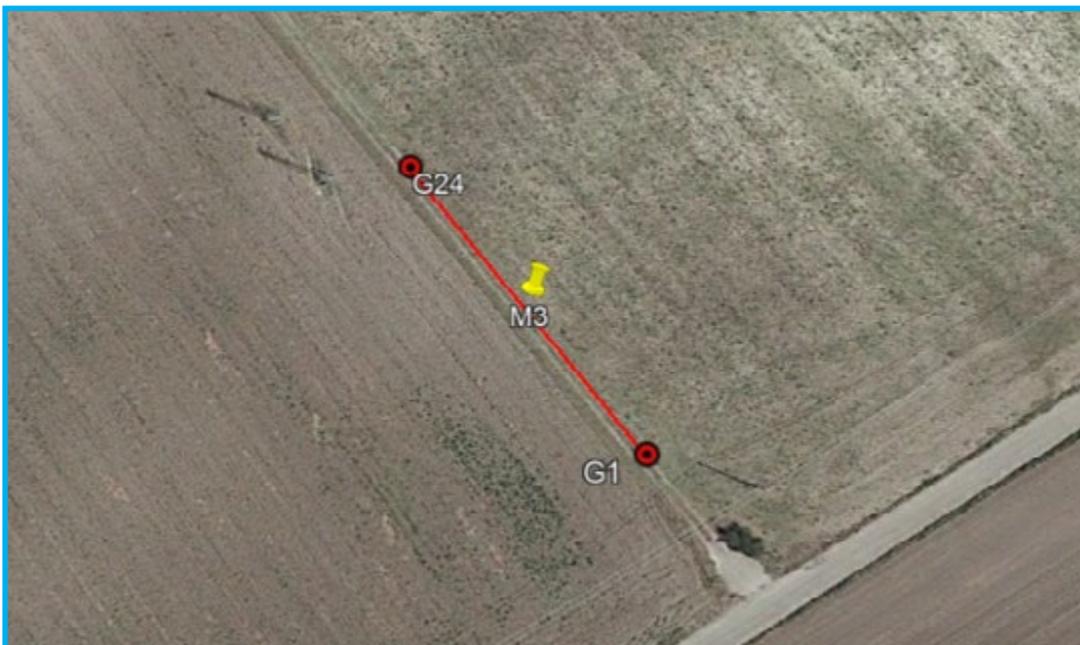
Le onde di Rayleigh decadono a profondità circa uguali alla lunghezza d'onda. Piccole lunghezze d'onda (alte frequenze) consentono di indagare zone superficiali mentre grandi lunghezze d'onda (basse frequenze) consentono indagini a maggiore profondità.

Id indagine	MASW-M3
LOCALITA'	CANOSA DI PUGLIA (BAT)
DATA E ORA	24/04/23

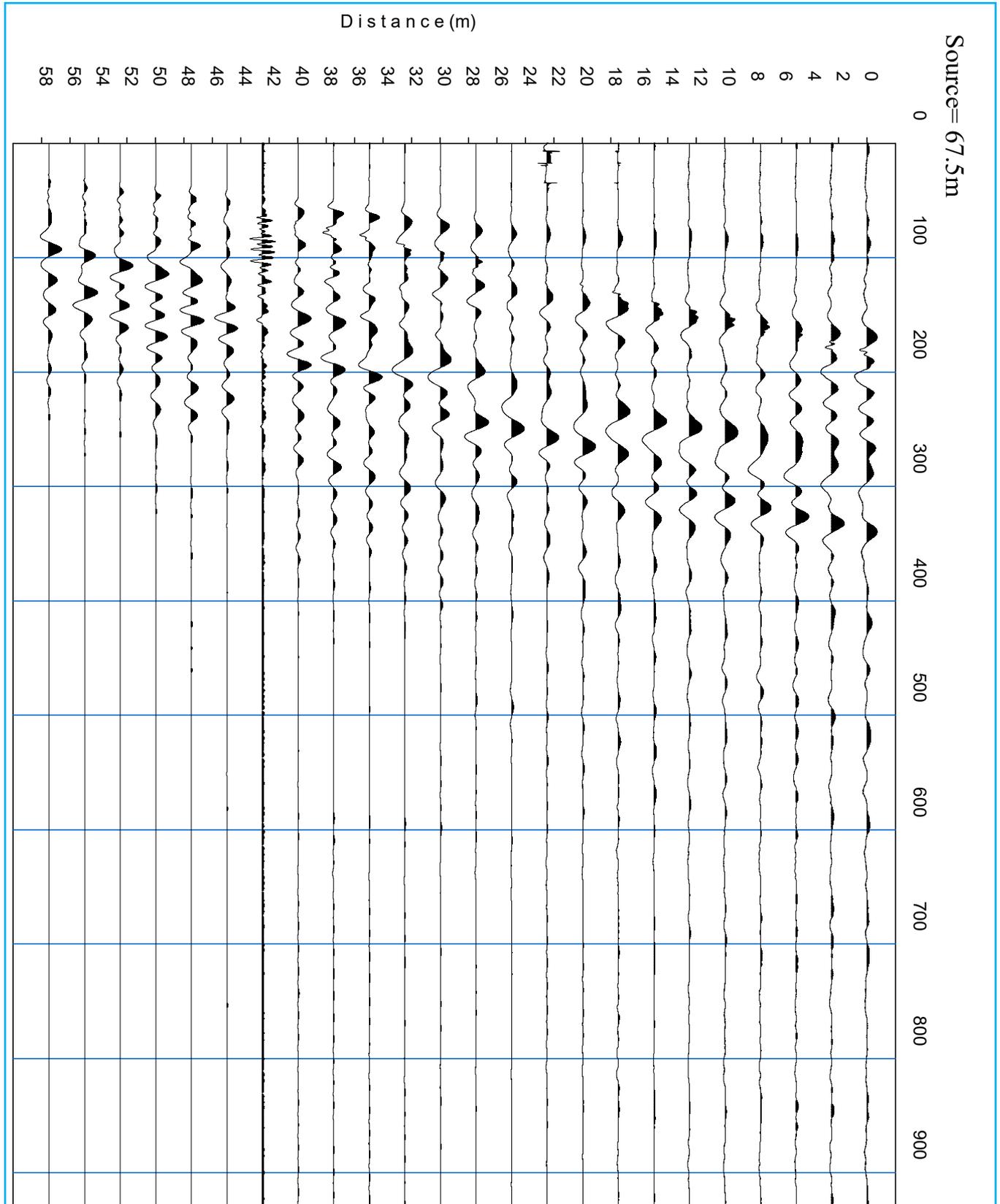
Distanza tra i geofoni 2.5 metri battuta +10m.

Coordinate WGS 84 :

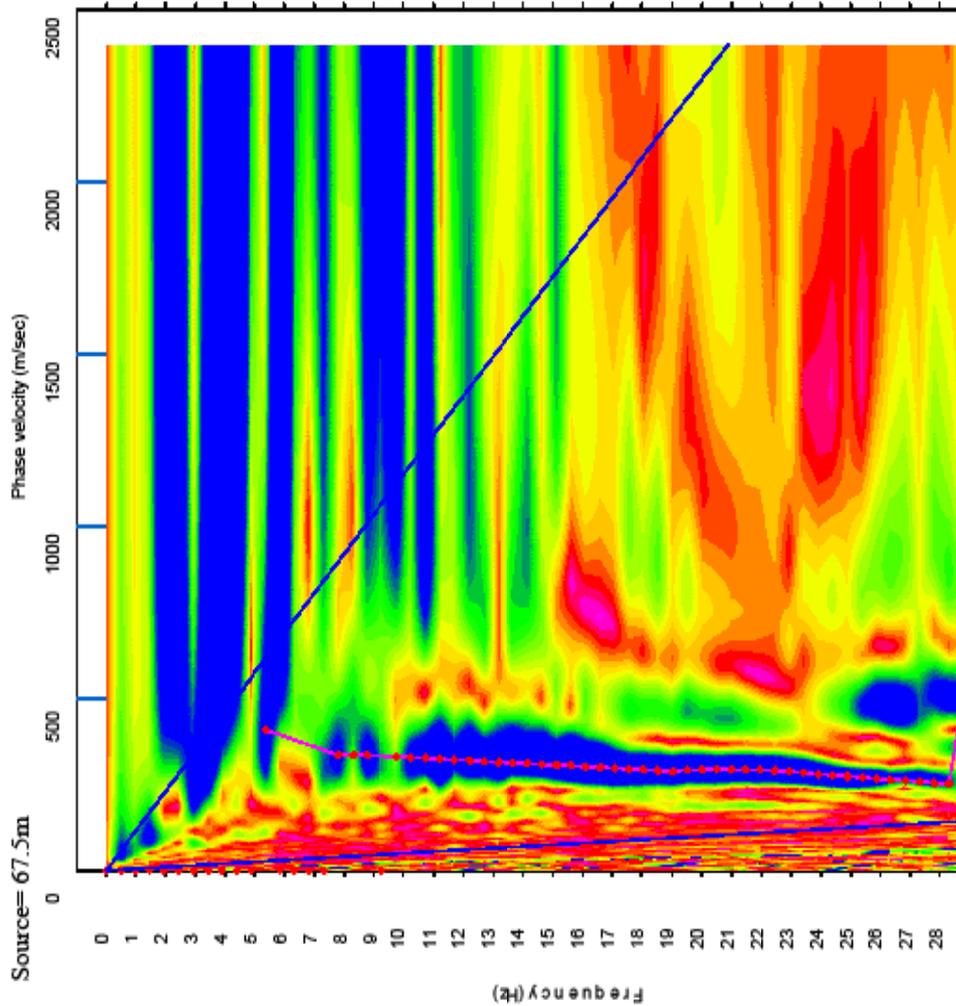
Geofono 1:	0580919-4553064
Geofono 12-13:	0580901-4553090
Geofono 24:	0580883-4553113



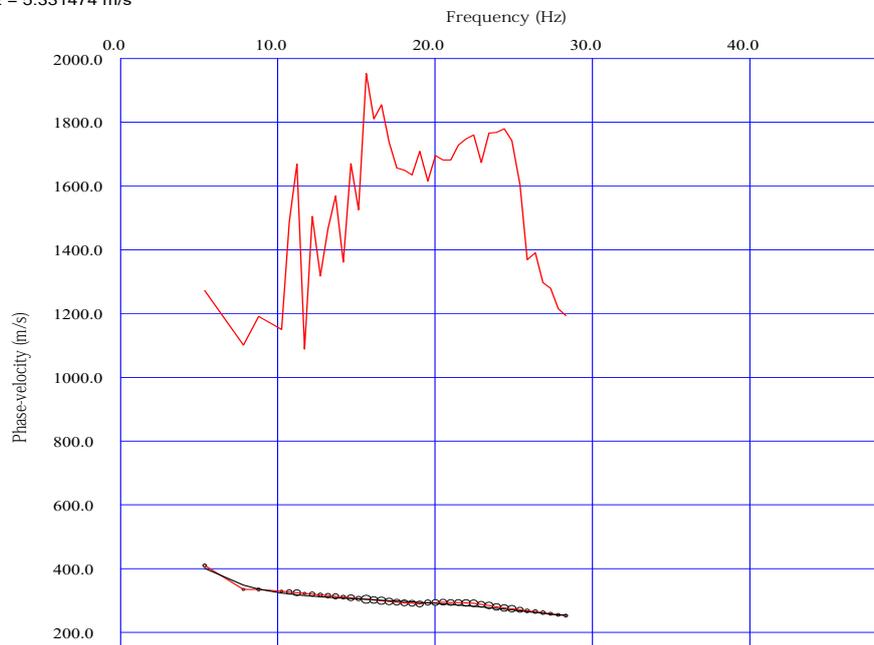
PRSE 730 - MASW - M3



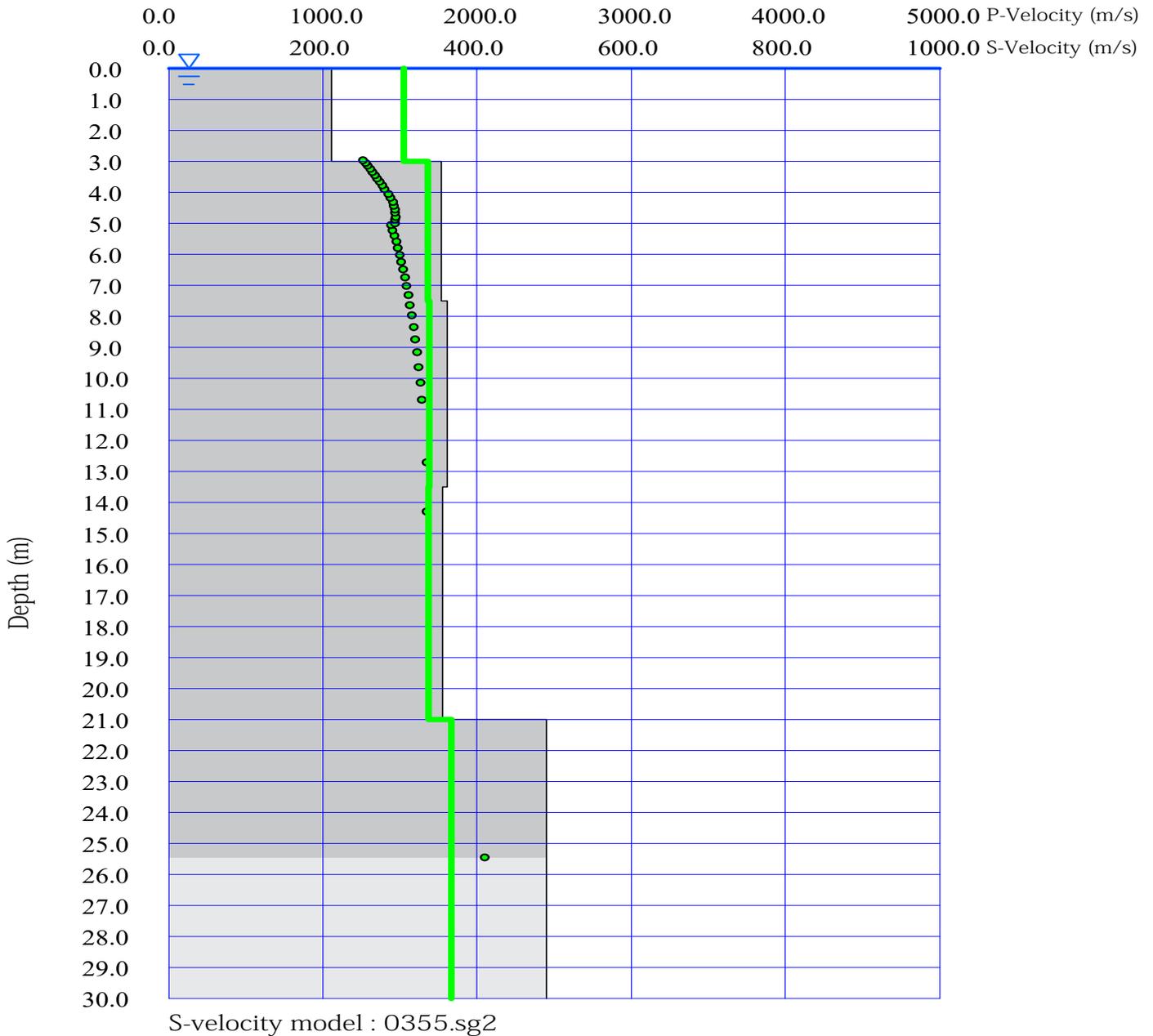
PRSE 730 - MASW - M3



RMSE = 5.331474 m/s



PRSE 730 - MASW - M3



PRSE 730 - MASW - M3

PRSE 730 - M1

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	3.0	211.13	1524.35	17.96	0.49	7.22	82	243
2	3.0	4.5	354.44	1682.31	18.45	0.48	4.75	236	698
3	7.5	6.0	355.01	1690.92	18.48	0.48	4.76	238	702
4	13.5	7.5	354.01	1684.71	18.46	0.48	4.76	236	697
5	21.0	9.0	488.03	1833.51	18.92	0.46	3.76	460	1344
6	30.0 -		555.12	1908.44	19.15	0.45	3.44	602	1749
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									

H = 30 m

Vs,eq : 359.6 (m/s)

Categoria suolo : C

Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e

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)

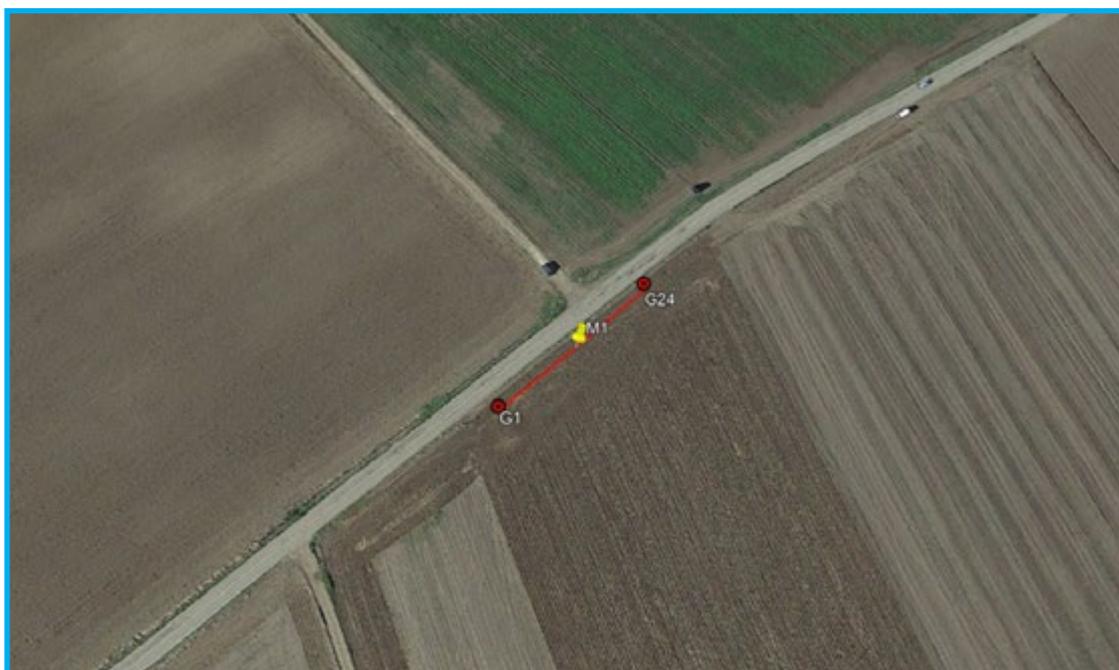
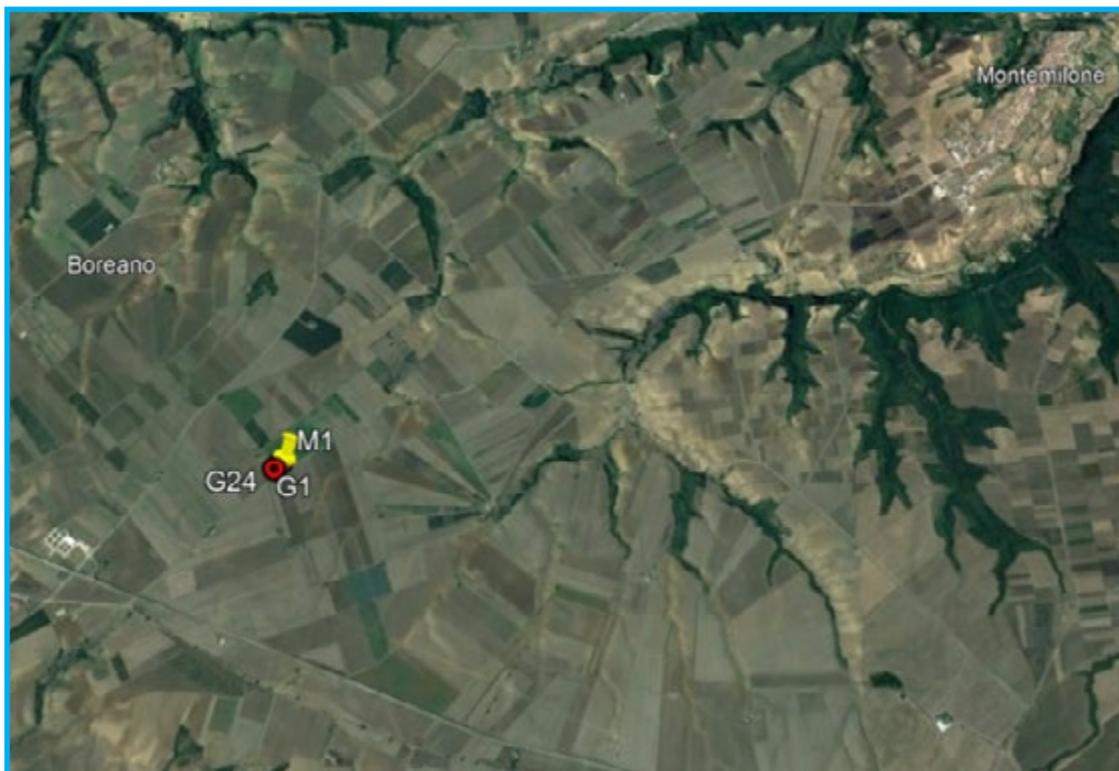
PRSE 730 - MASW - M3



TOMOGRAFIA

DRSE730-M1

OGGETTO: PARCO EOLICO - CANOSA DI PUGLIA (BAT)
COMMITTENZA: SANTA RITA ENERGIA S.R.L.



TOMOGRAFIA PRSE730-M1

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

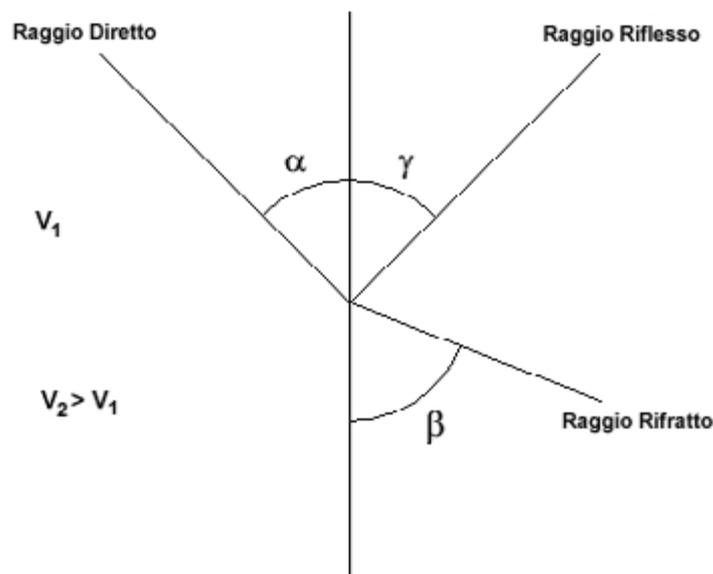
DRSE730-M1

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 PRSE730-M1

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

DRSE730-M1

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 PRSE730-M1

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

DRSE730-M1

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.

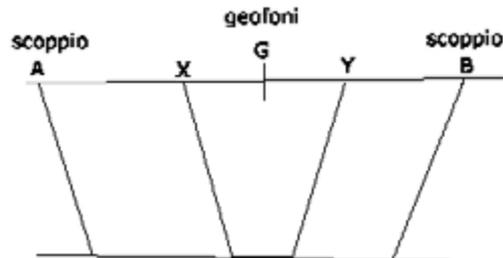
Metodo del Reciproco Generalizzato (Generalized Reciprocal Method - GRM)

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 PRSE730-M1



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

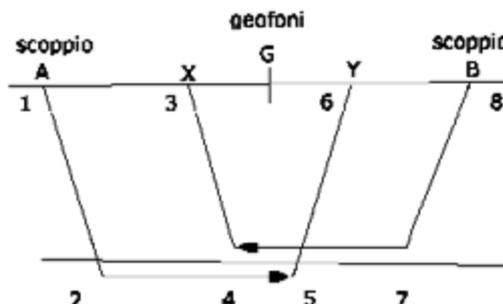
$$t = \frac{t_{AY} - t_{BX} + t_{AB}}{2}$$

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

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

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

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



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

DRSE730-M1

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 PRSE730-M1

Id indagine PRSE730 - M1
LOCALITA' MONTEMILONE (PZ)
DATA E ORA 24/04/23

Coordinate WGS 84 :

Geofono 1: 575939;4539183
Geofono 12: 575960;4539206
Geofono 24: 575982;4539228

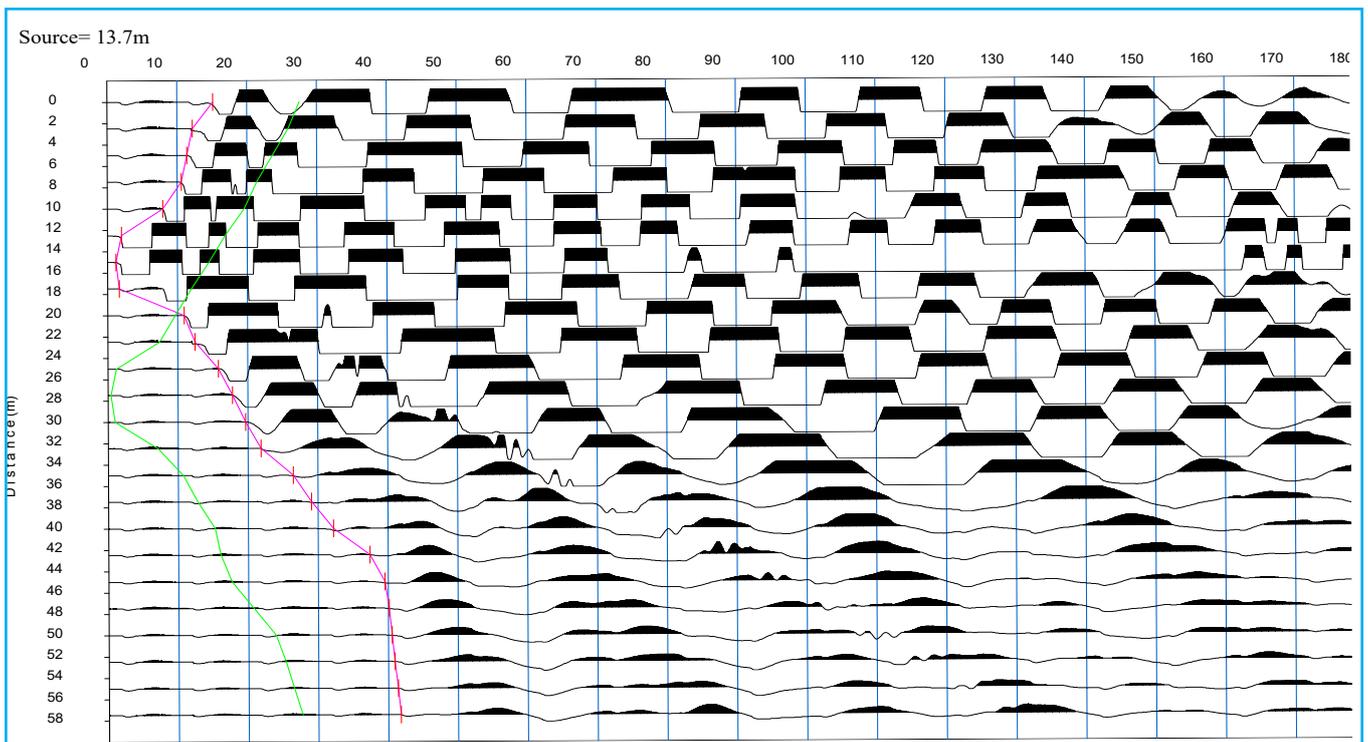
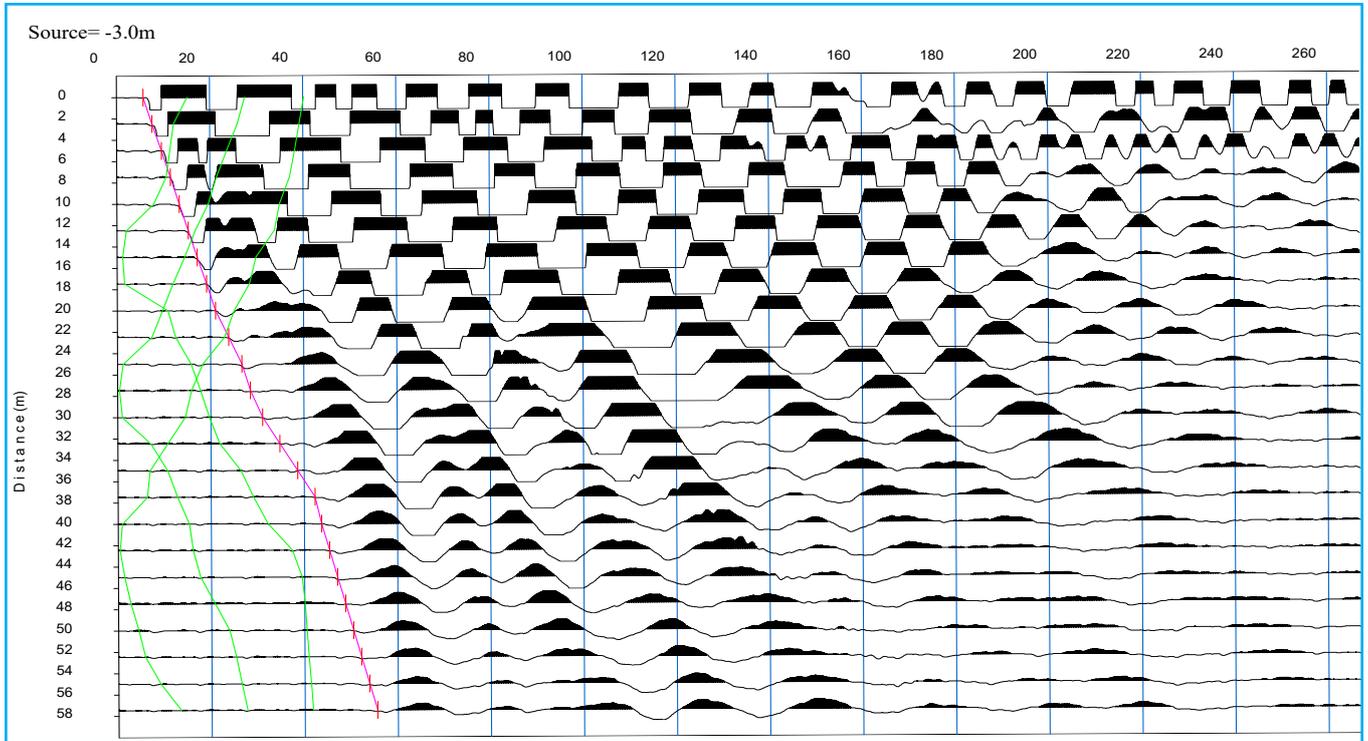
Onde P-Acquisizione dei dati

Distanza tra i geofoni : 2.5 m
Estensione della prova: 60 m
Posizione dello scoppio:
Scoppio 1: -3.00 m;
Scoppio 2: 13.75 m;
Scoppio 3: 28.75 m;
Scoppio 4: 43.75 m;
Scoppio 5: 60.50 m;

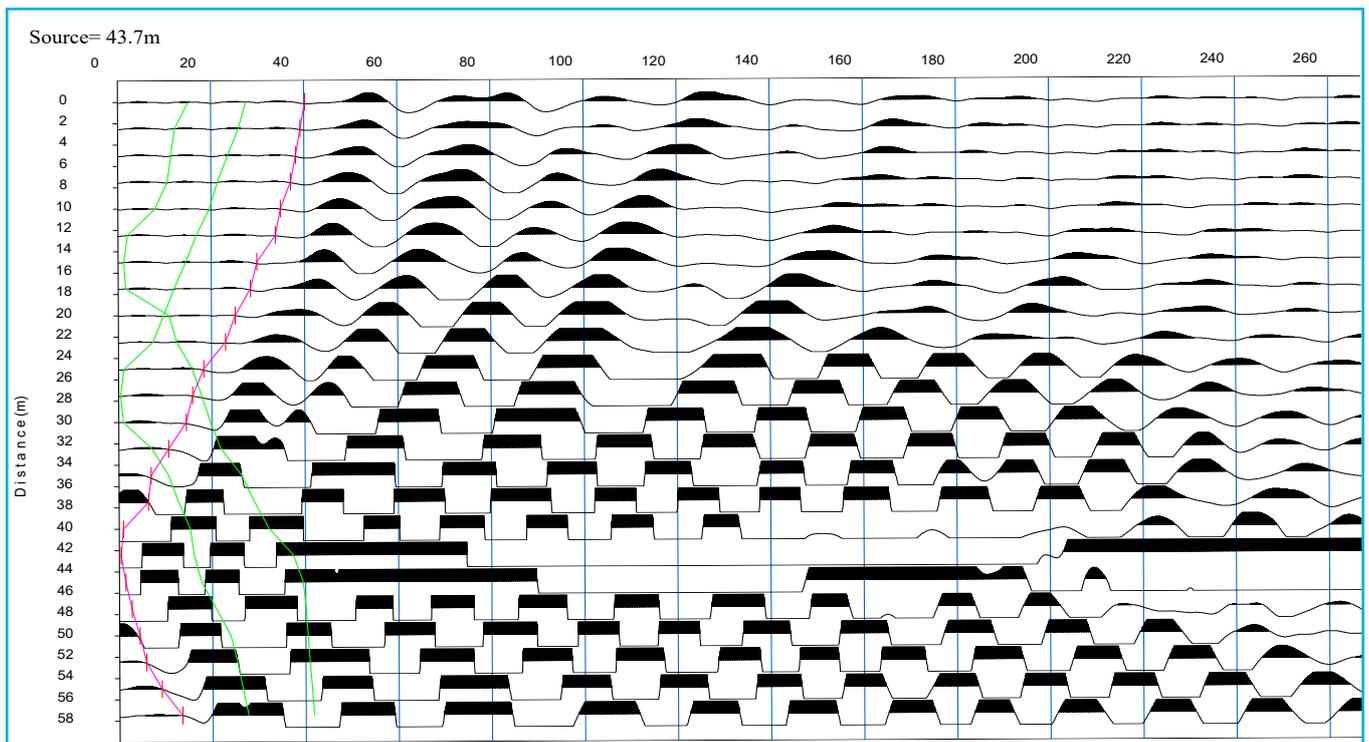
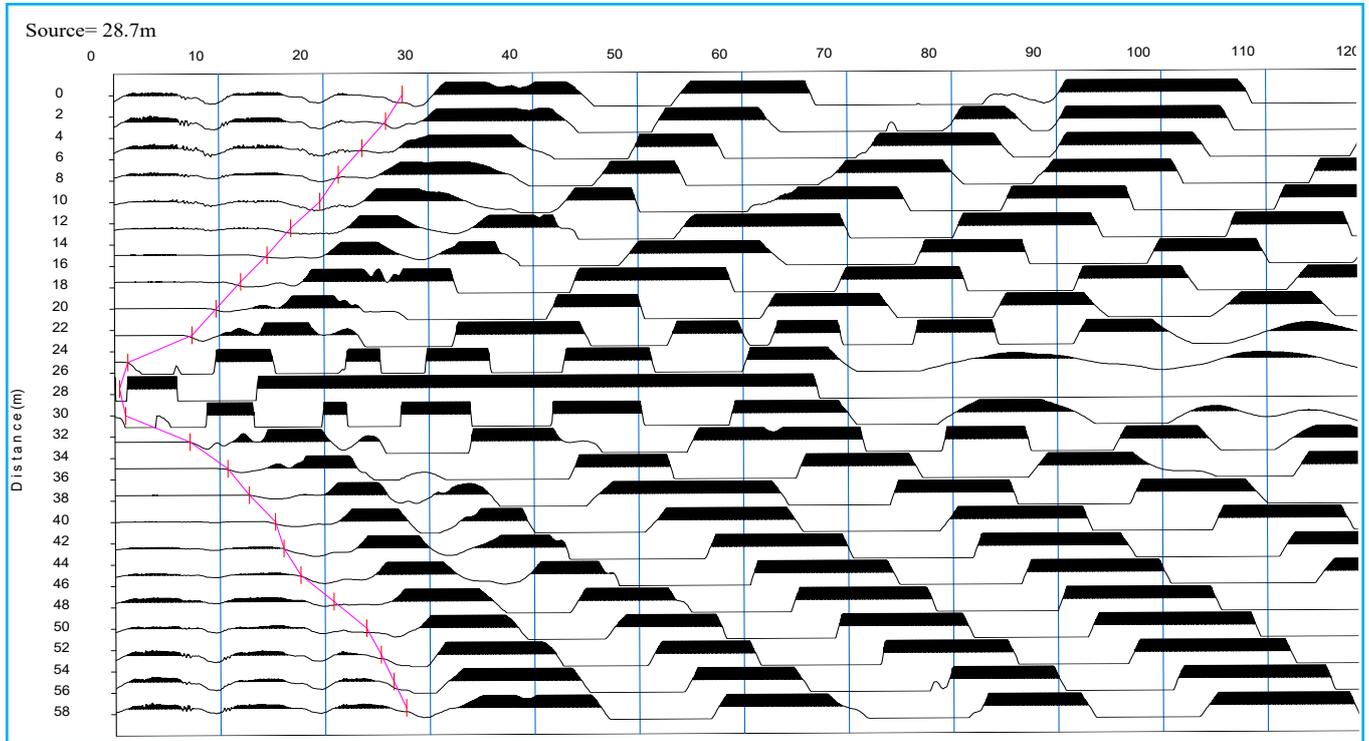


TOMOGRAFIA

DRSE730-M1

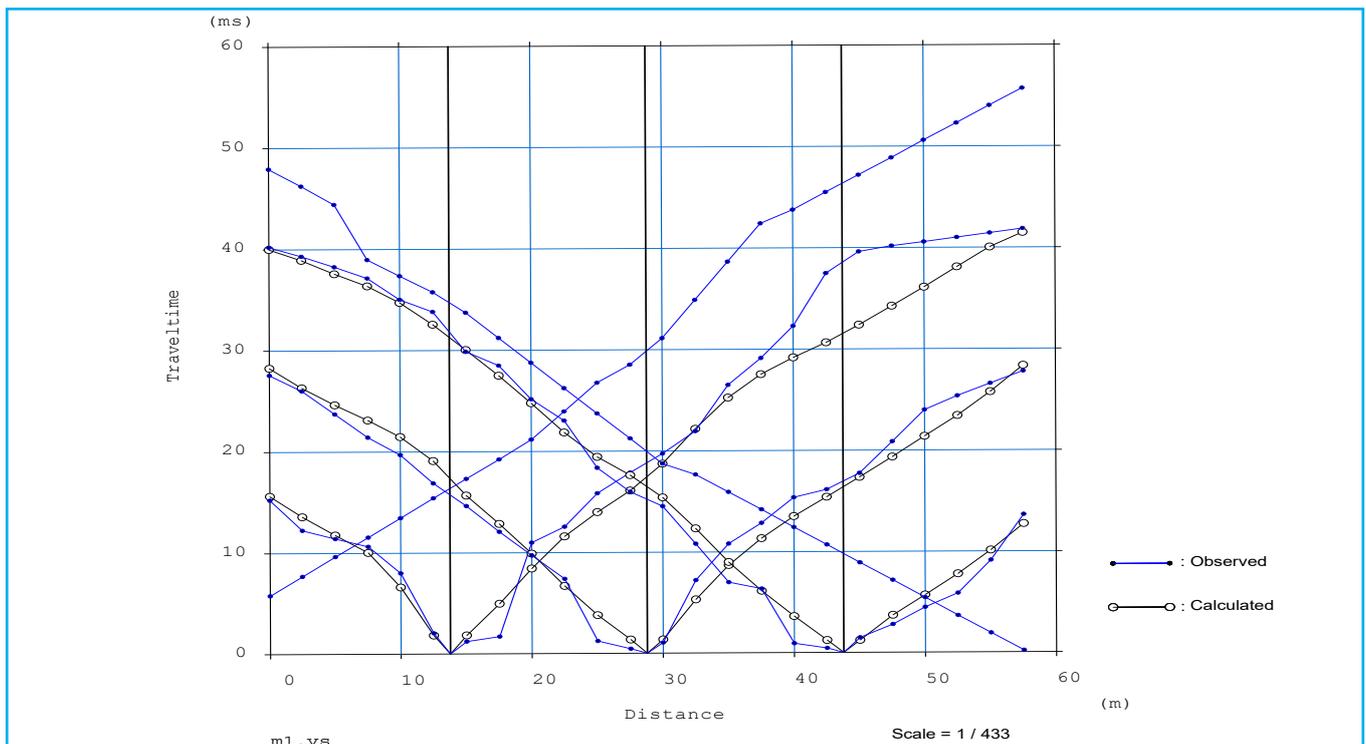
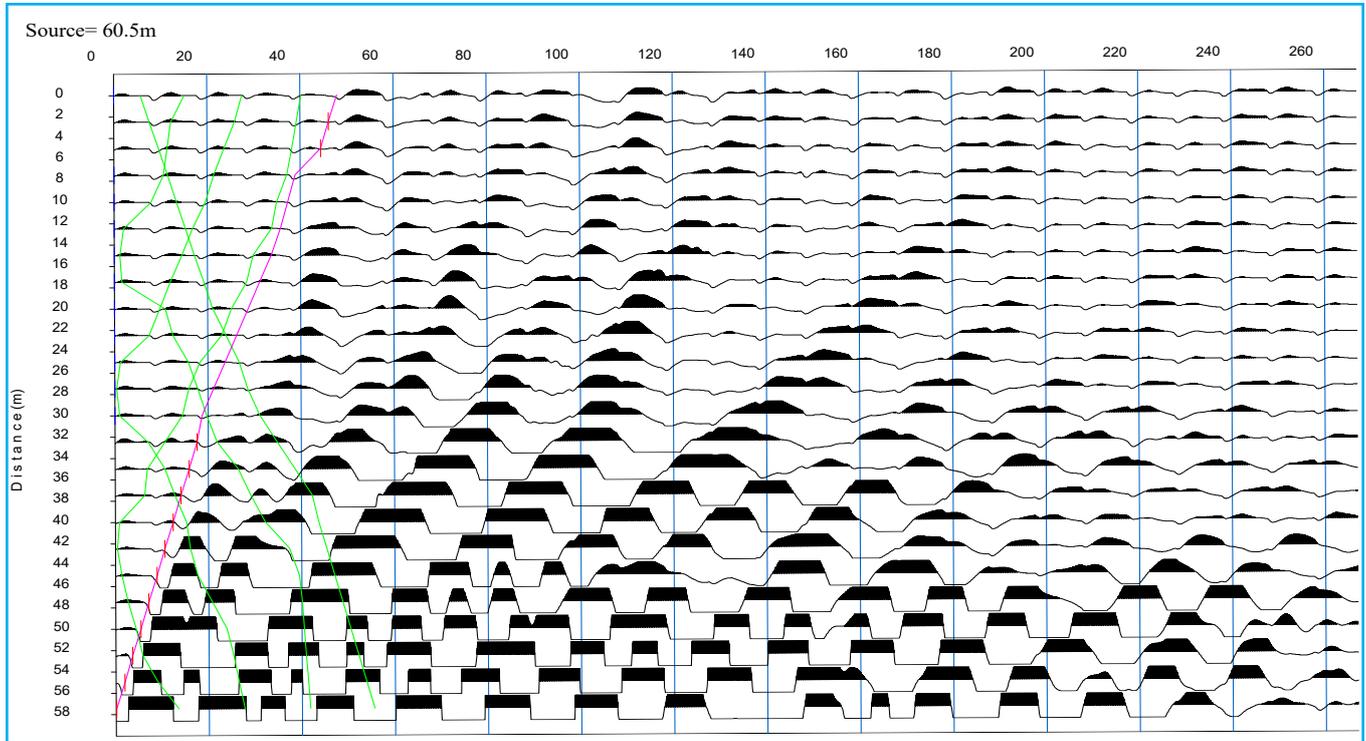


TOMOGRAFIA PRSE730-M1

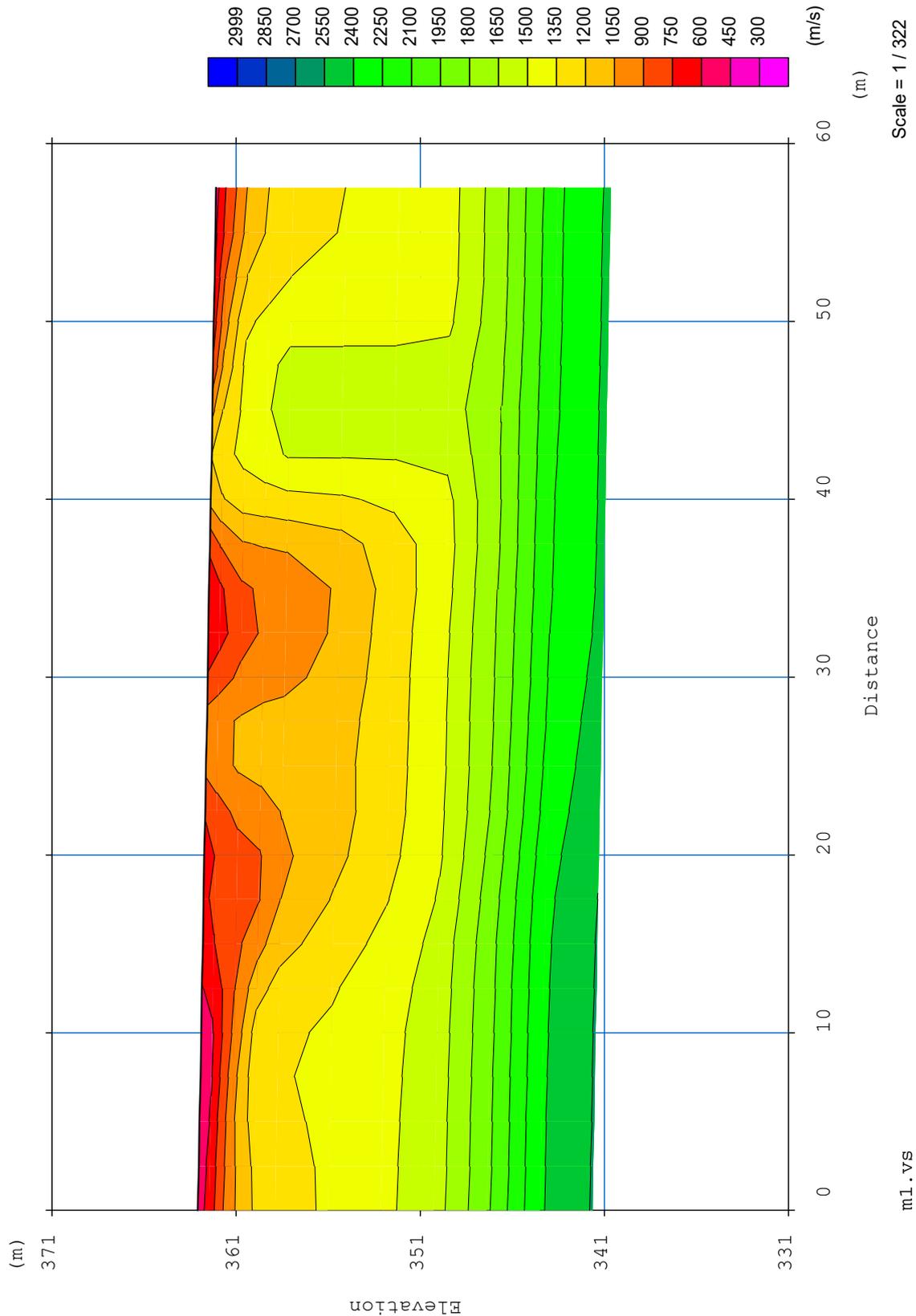


TOMOGRAFIA

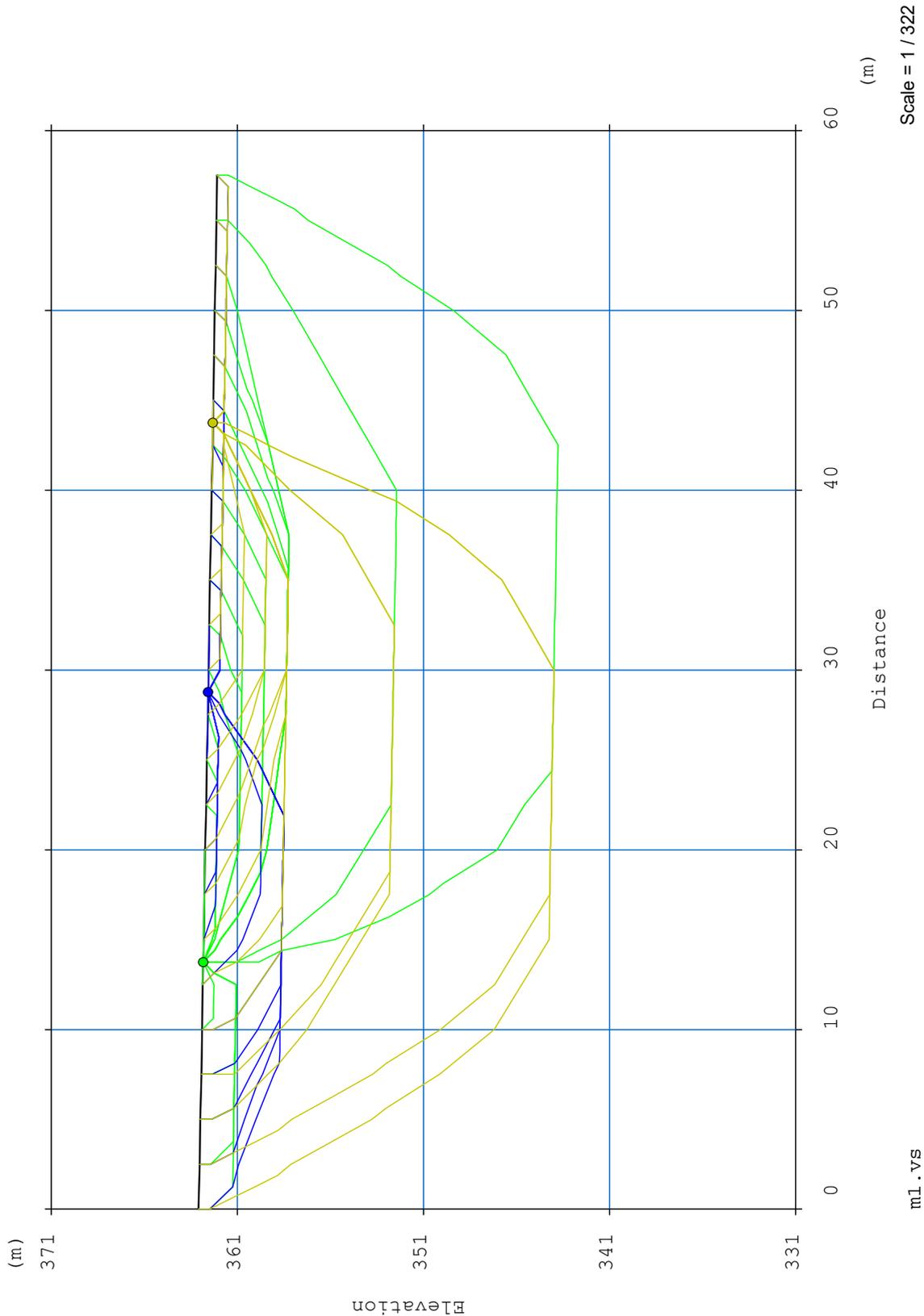
DRSE730-M1



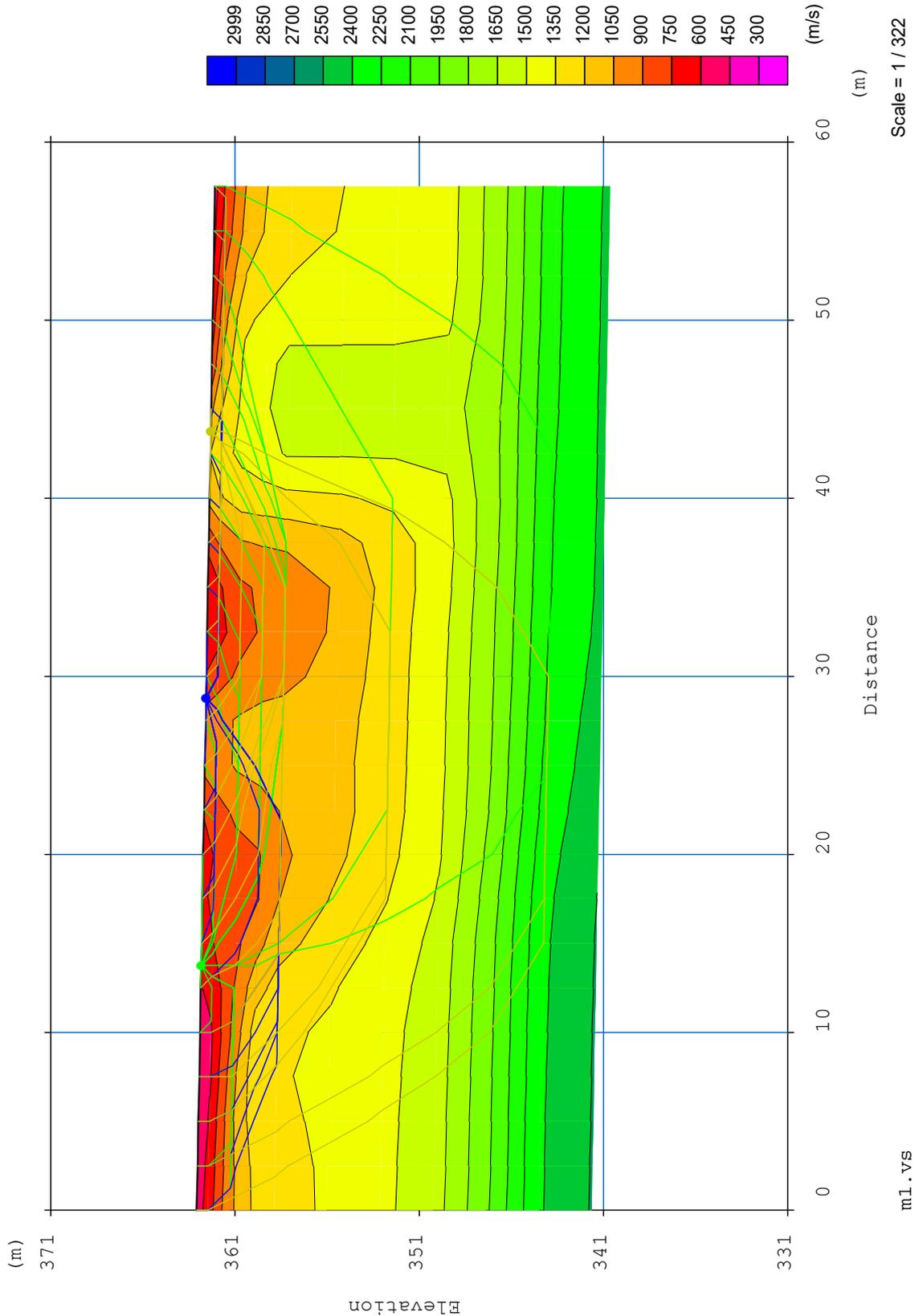
TOMOGRAFIA PRSE730-M1



TOMOGRAFIA DRSE730-M1



TOMOGRAFIA PRSE730-M1

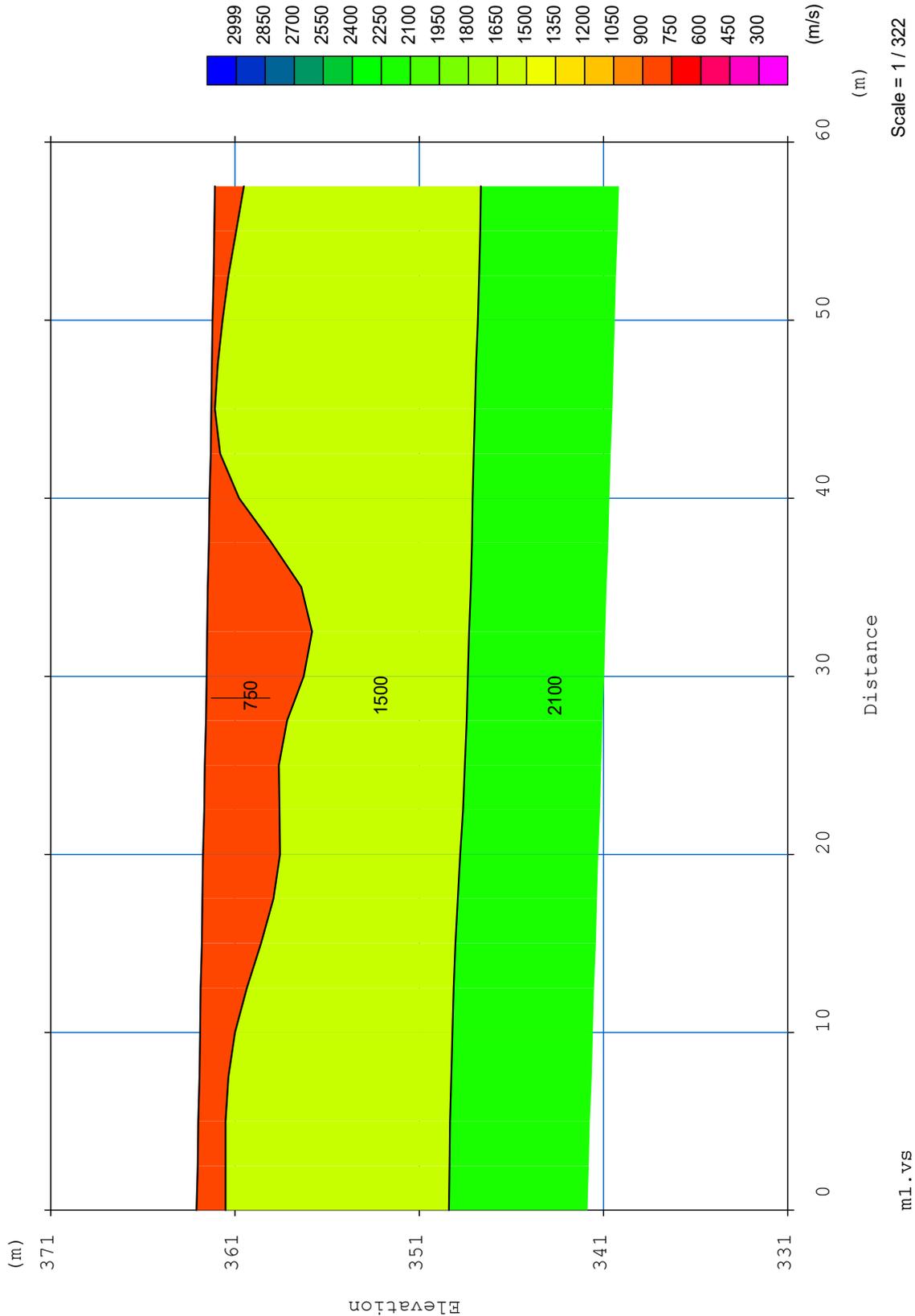


m1.vs

Scale = 1 / 322

TOMOGRAFIA

DRSE730-M1



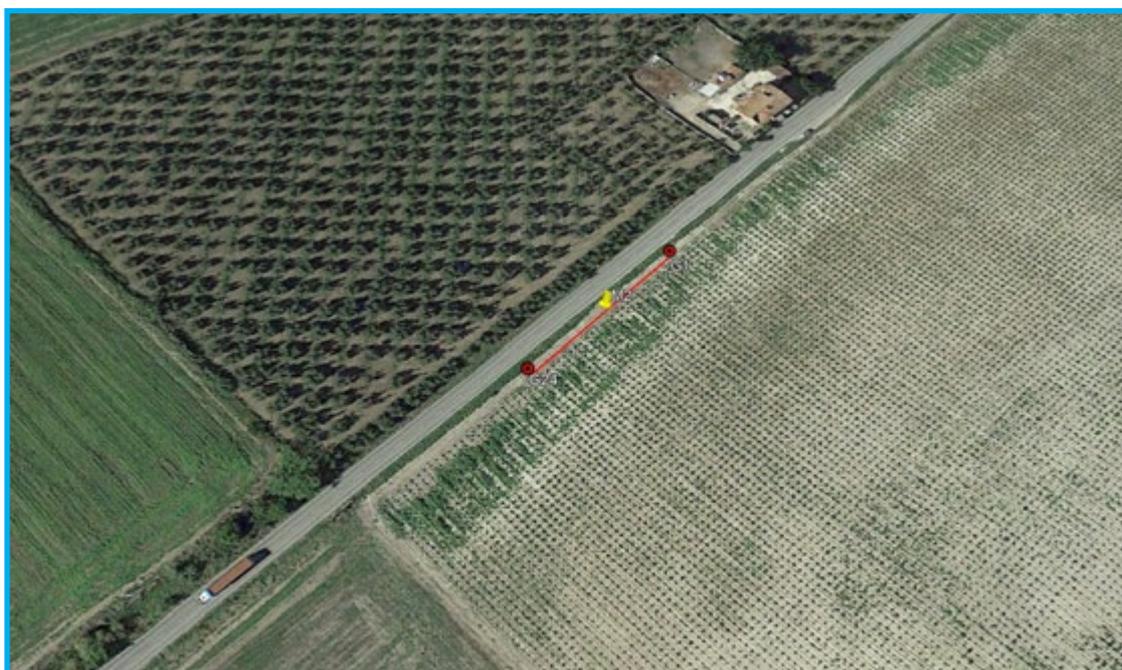
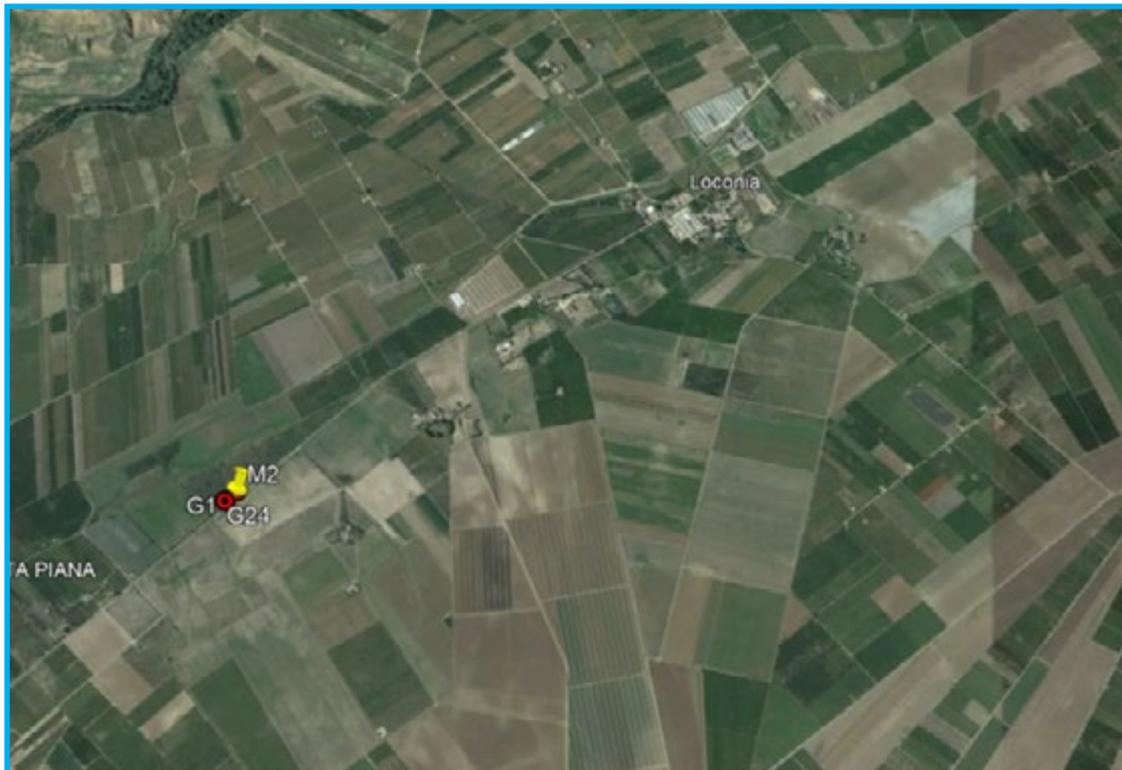
TOMOGRAFIA PRSE730-M1



TOMOGRAFIA

DRSE730-M2

OGGETTO: PARCO EOLICO - CANOSA DI PUGLIA (BAT)
COMMITTENZA: SANTA RITA ENERGIA S.R.L.



TOMOGRAFIA PRSE730-M2

Id indagine PRSE730 - M2
LOCALITA' CANOSA DI PUGLIA (BAT)
DATA E ORA 24/04/23

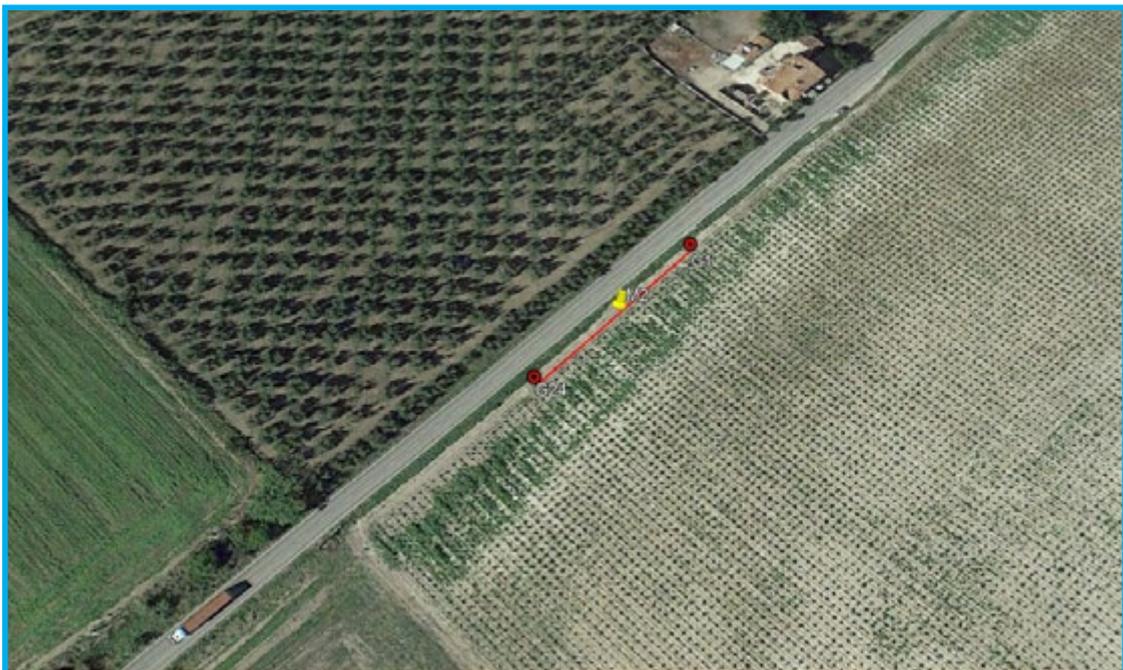
Coordinate WGS 84 :

Geofono 1: 576895;4555485
Geofono 12: 576874;4555463
Geofono 24: 576853;4555441

Onde P-Acquisizione dei dati

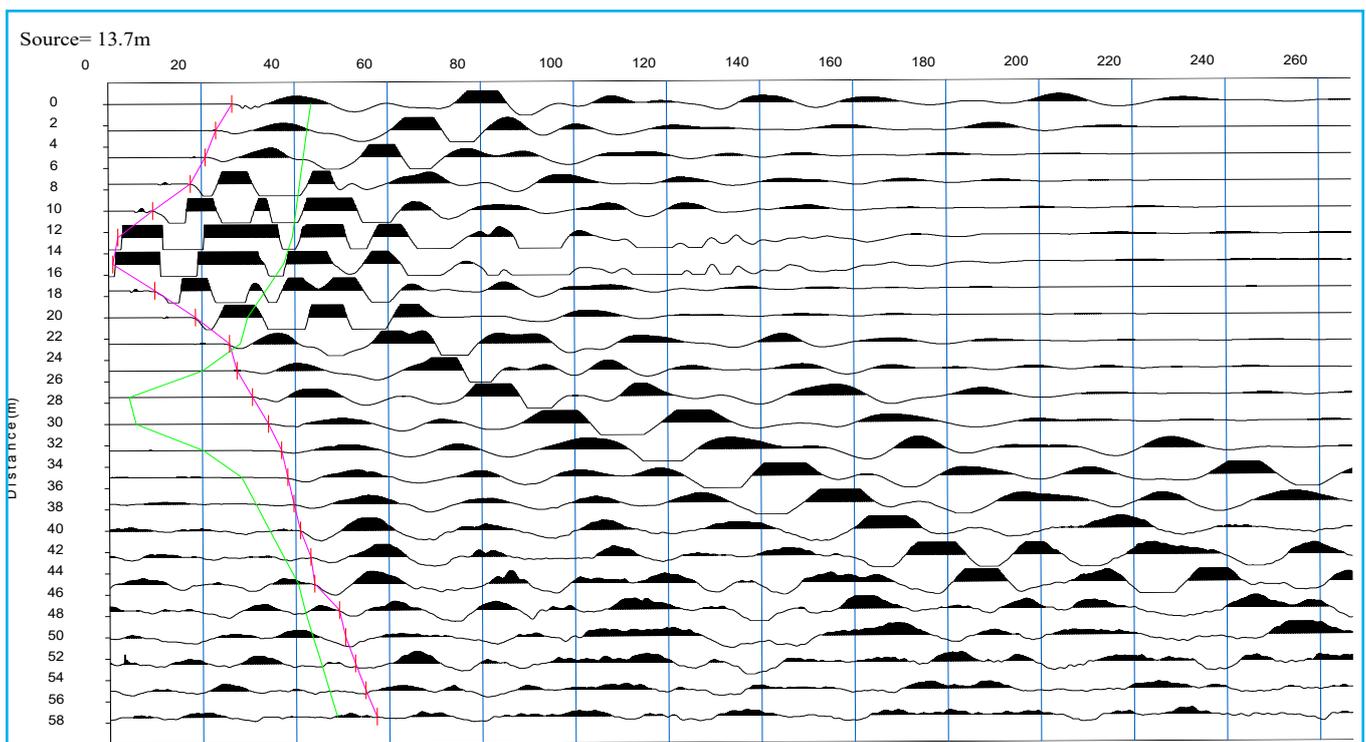
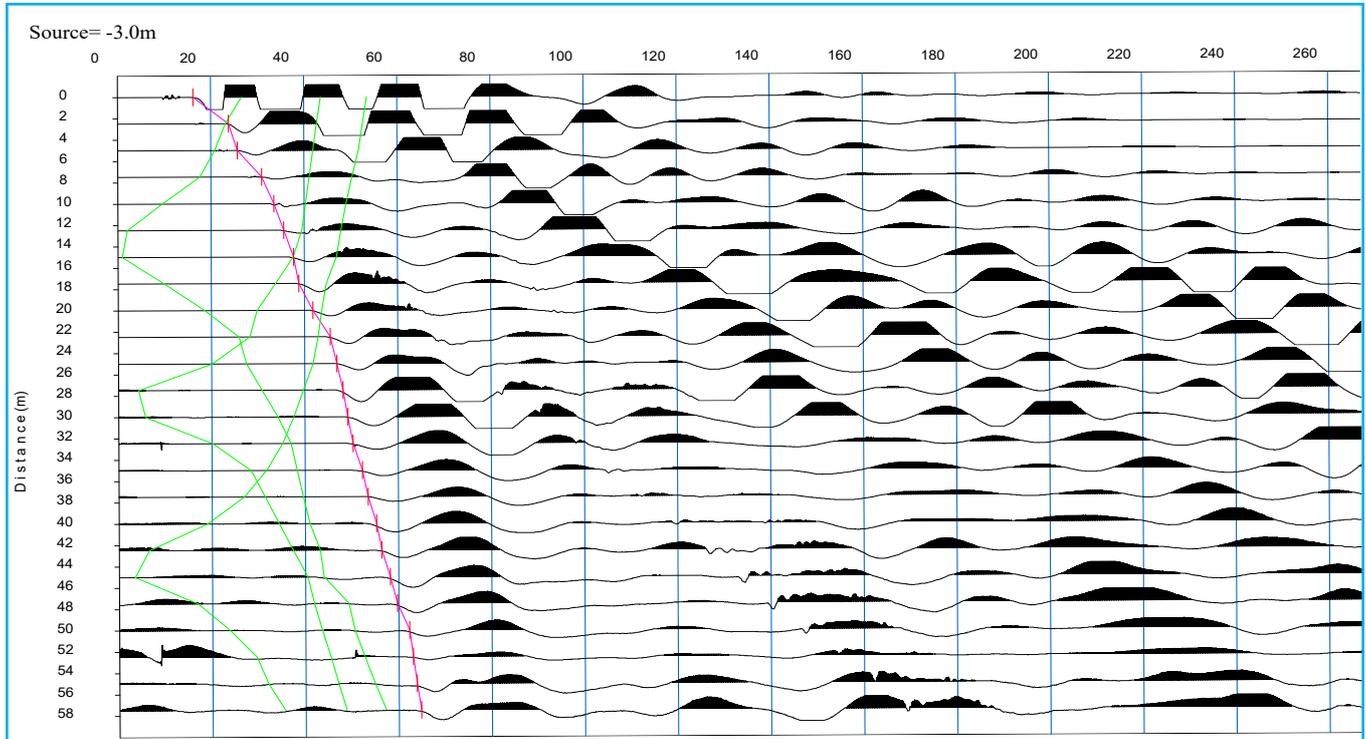
Distanza tra i geofoni : 2.5 m
Estensione della prova: 60 m
Posizione dello scoppio:

Scoppio 1: -3.00 m;
Scoppio 2: 13.75 m;
Scoppio 3: 28.75 m;
Scoppio 4: 43.75 m;
Scoppio 5: 60.50 m;

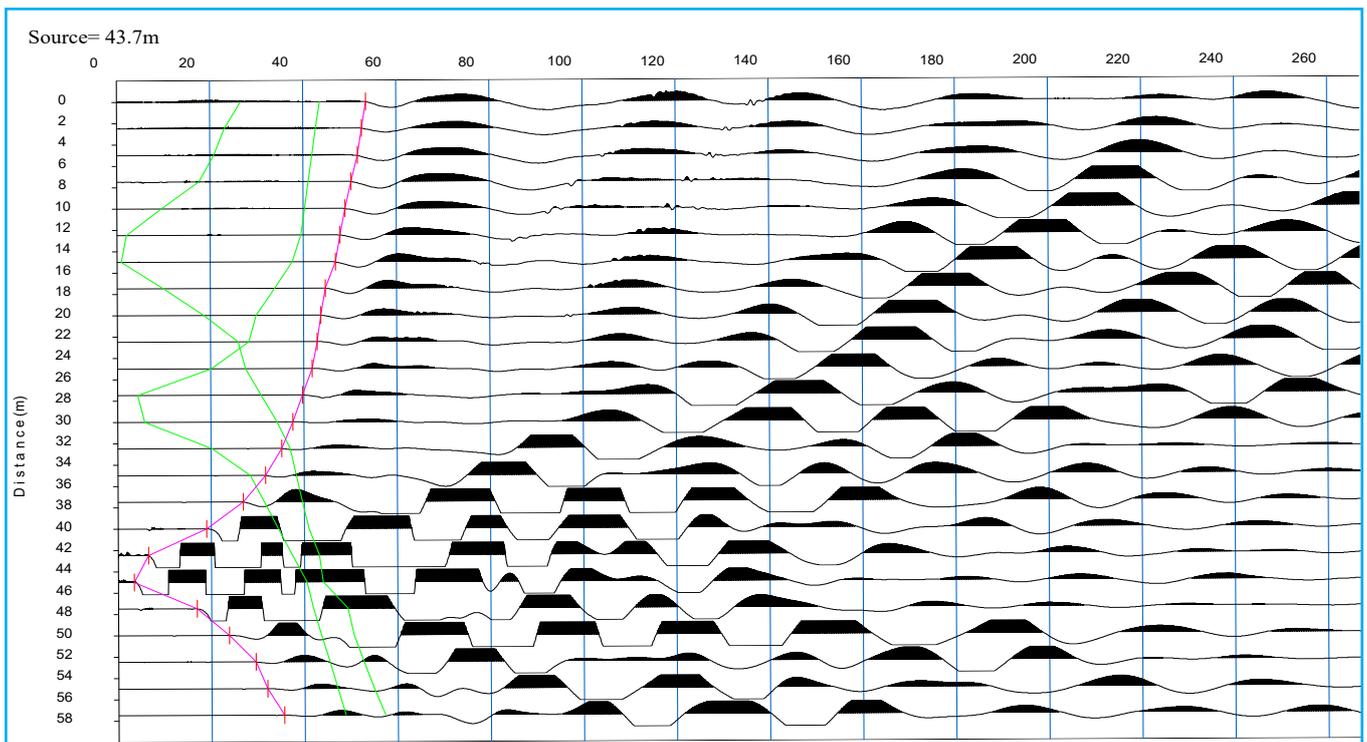
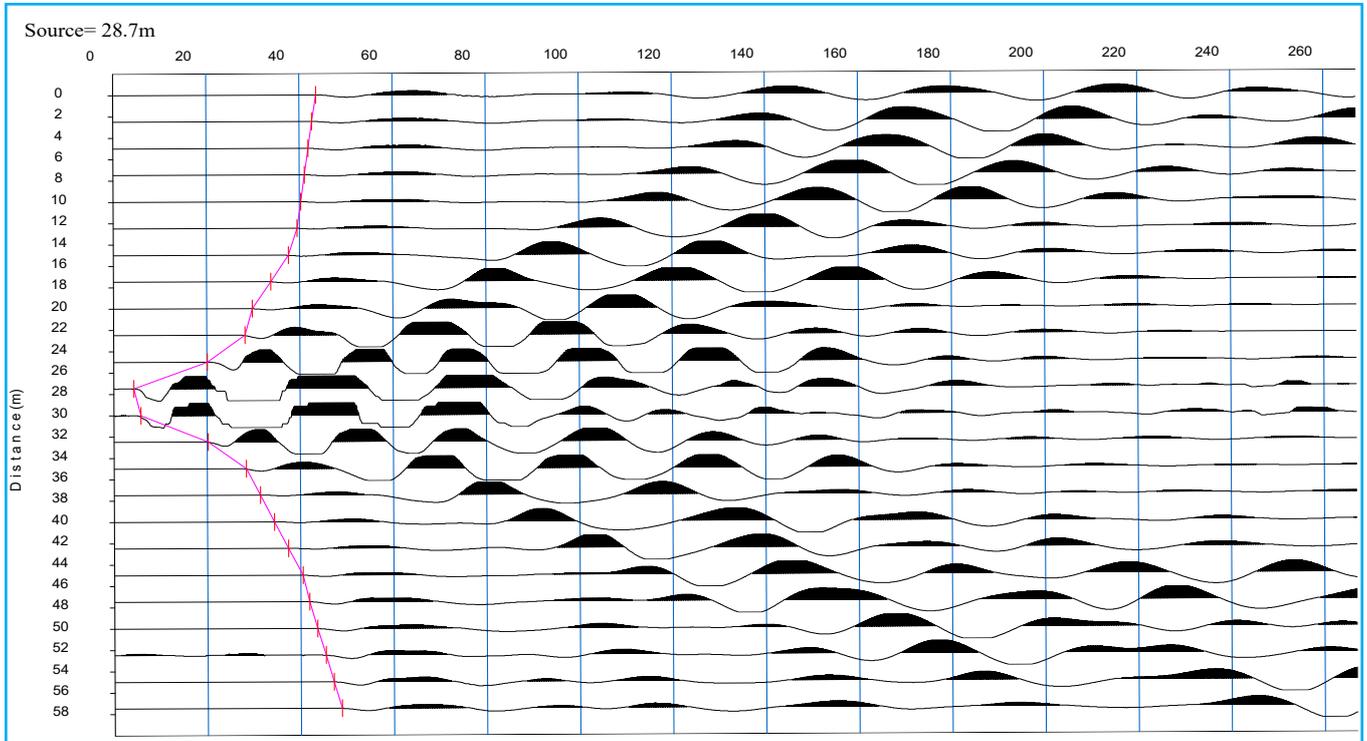


TOMOGRAFIA

DRSE730-M2

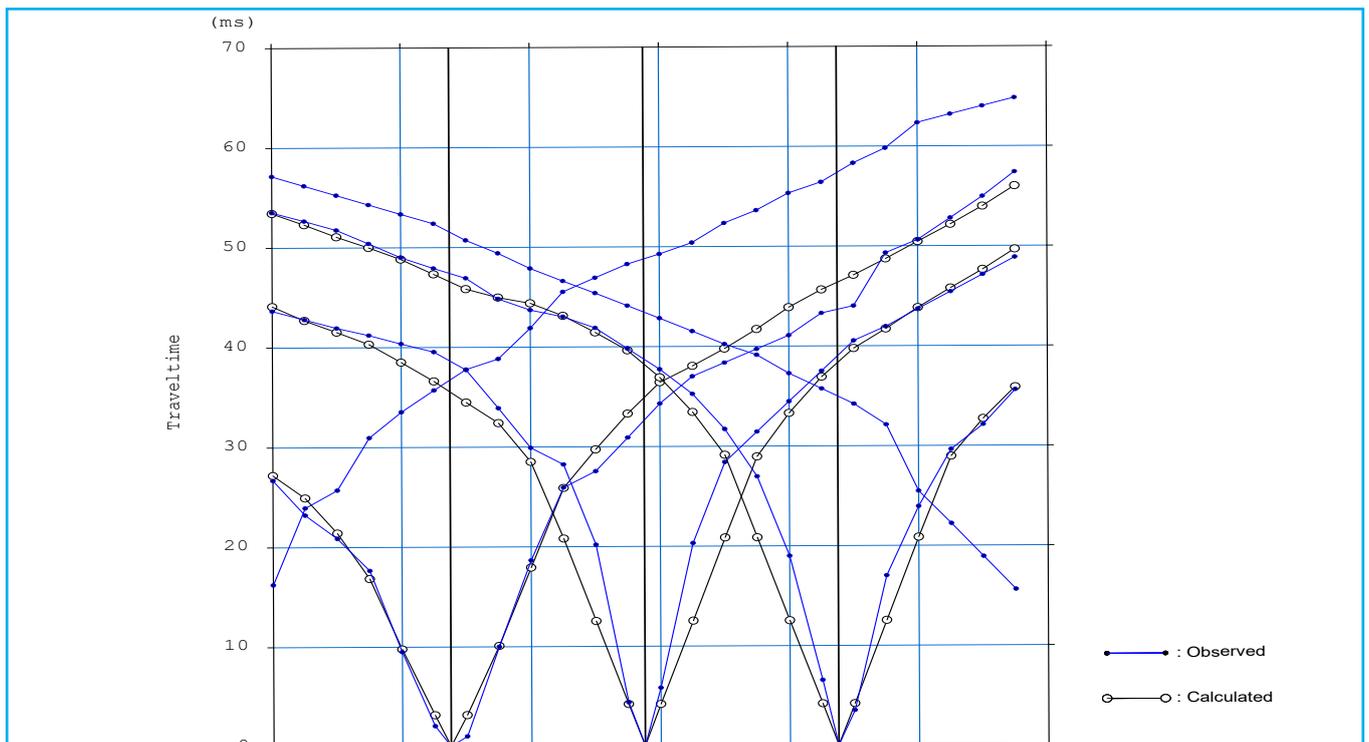
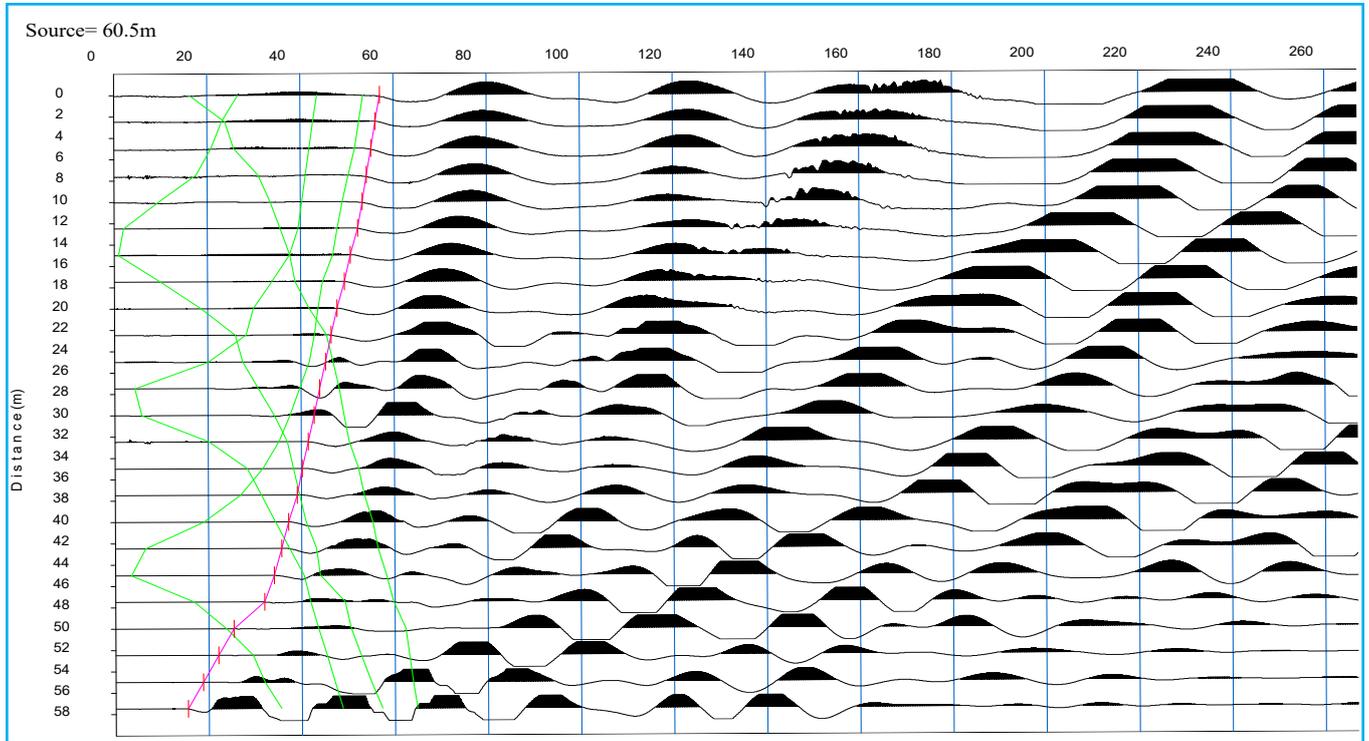


TOMOGRAFIA PRSE730-M2

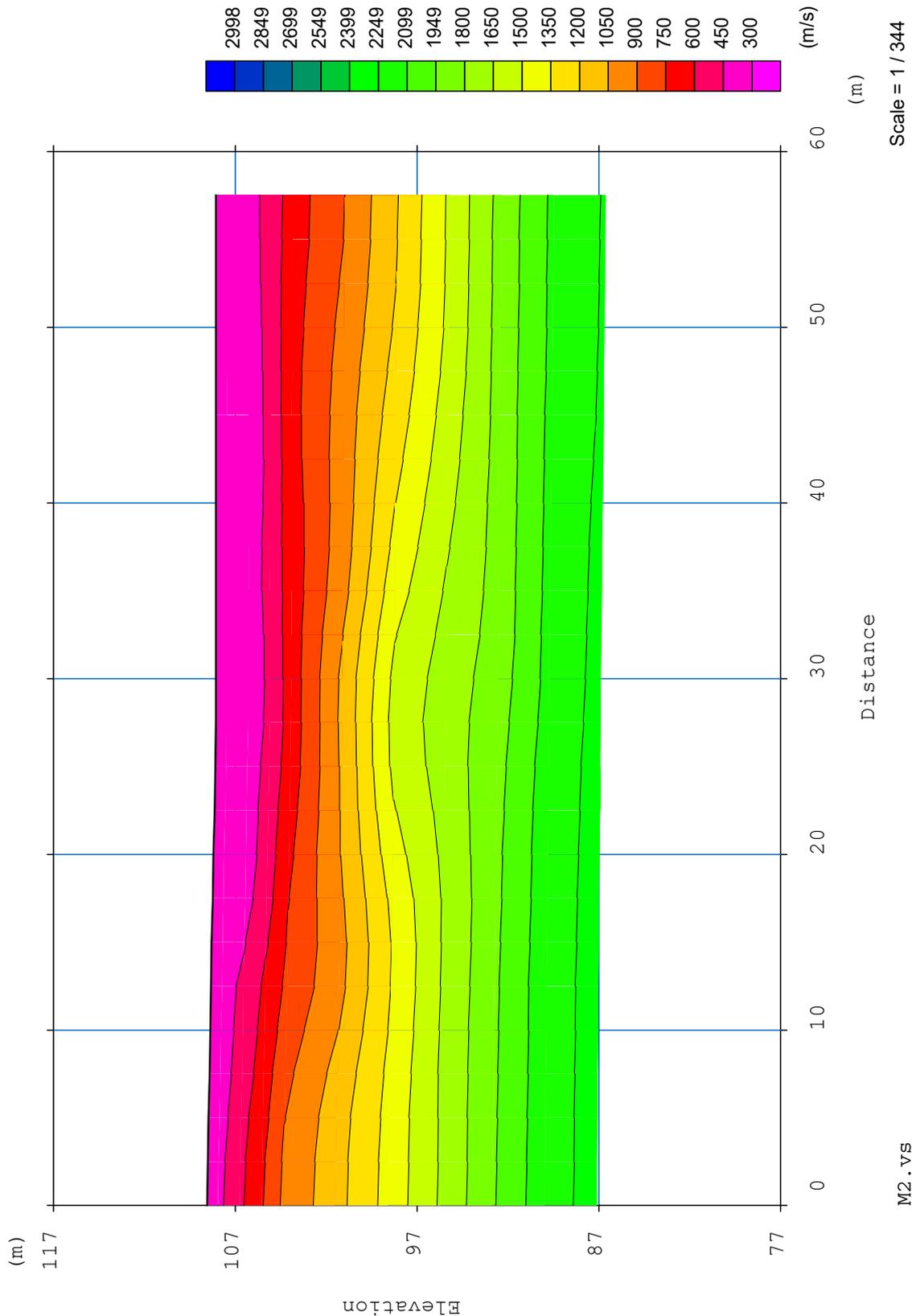


TOMOGRAFIA

DRSE730-M2

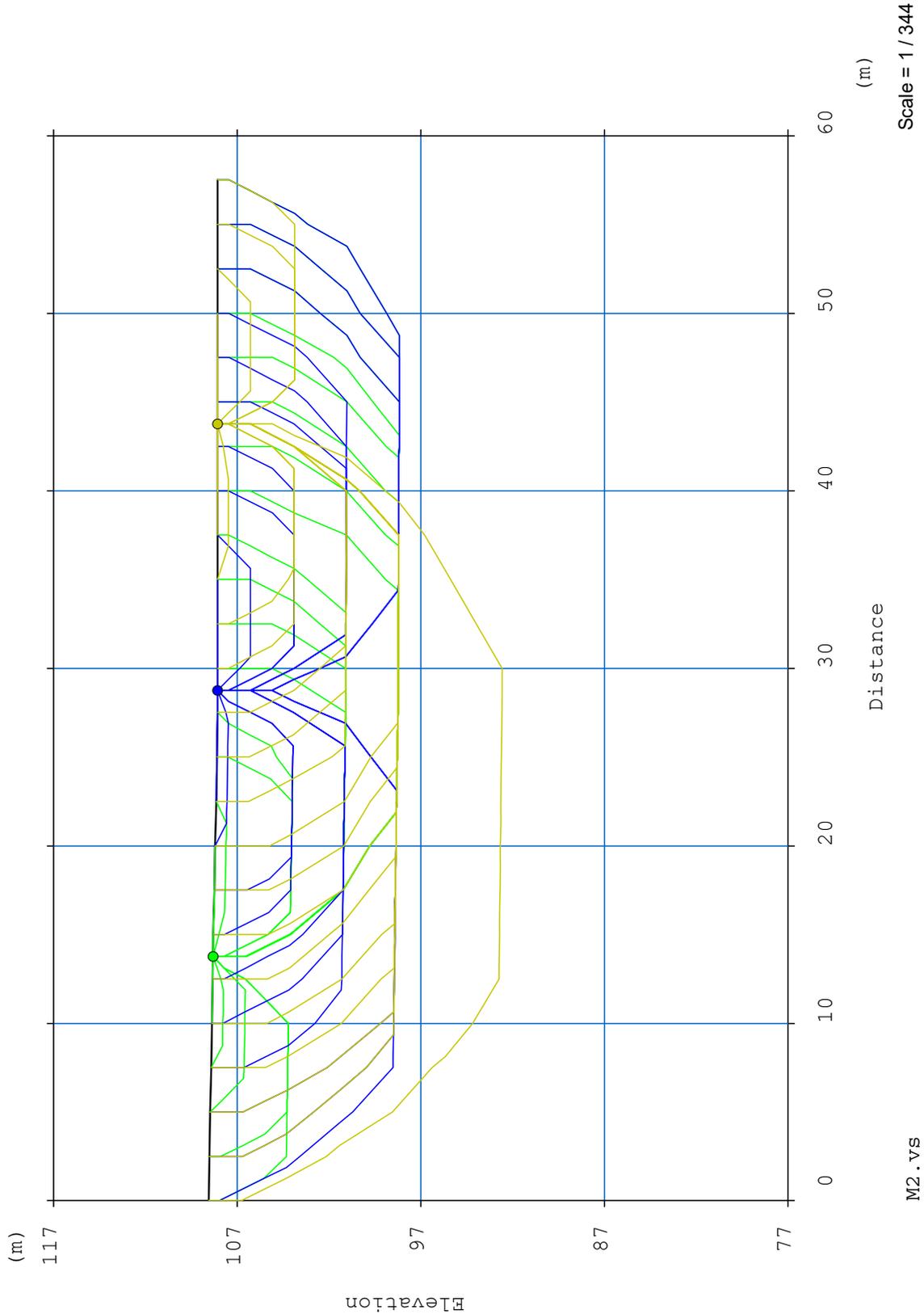


TOMOGRAFIA PRSE730-M2

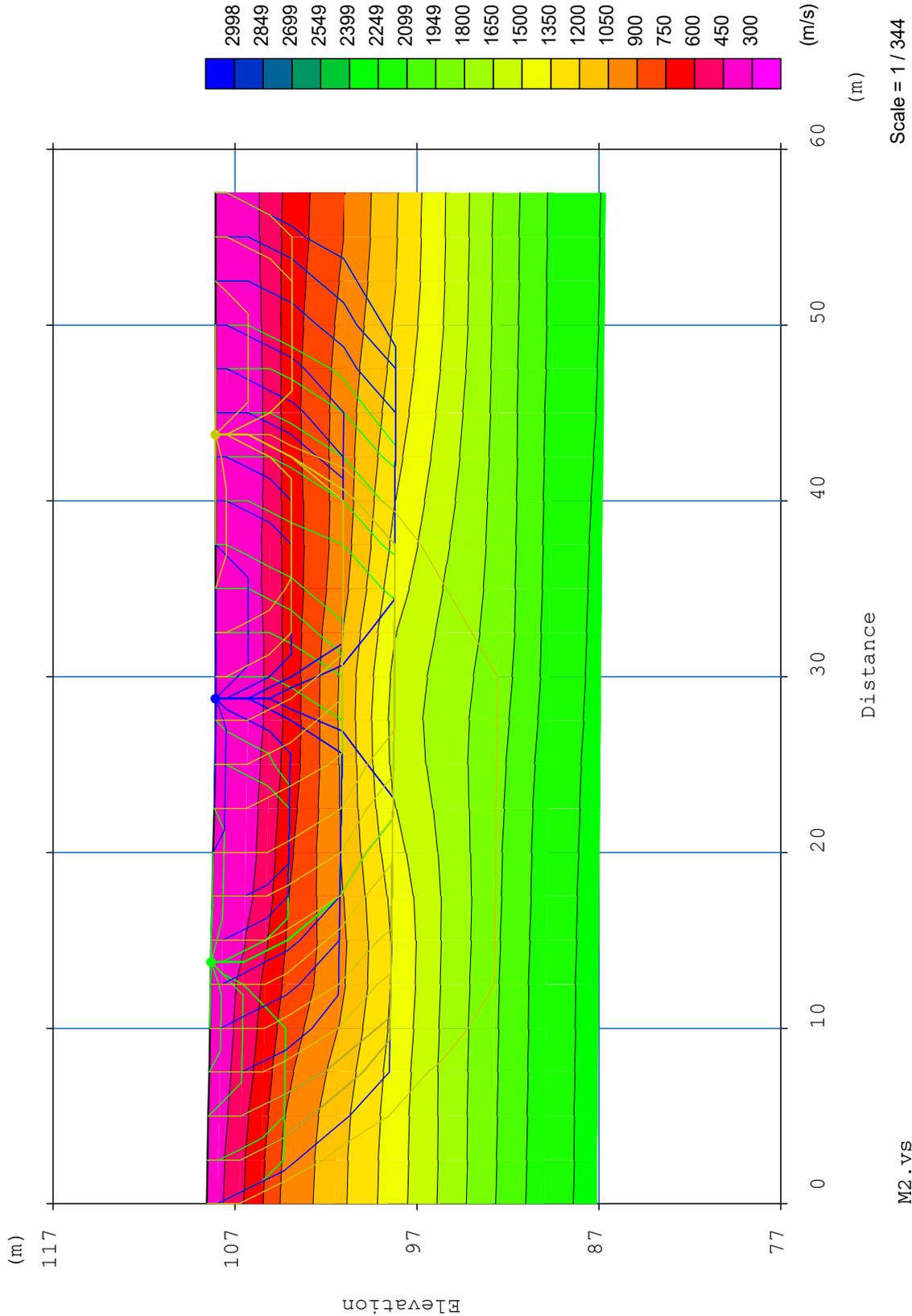


TOMOGRAFIA

DRSE730-M2



TOMOGRAFIA PRSE730-M2

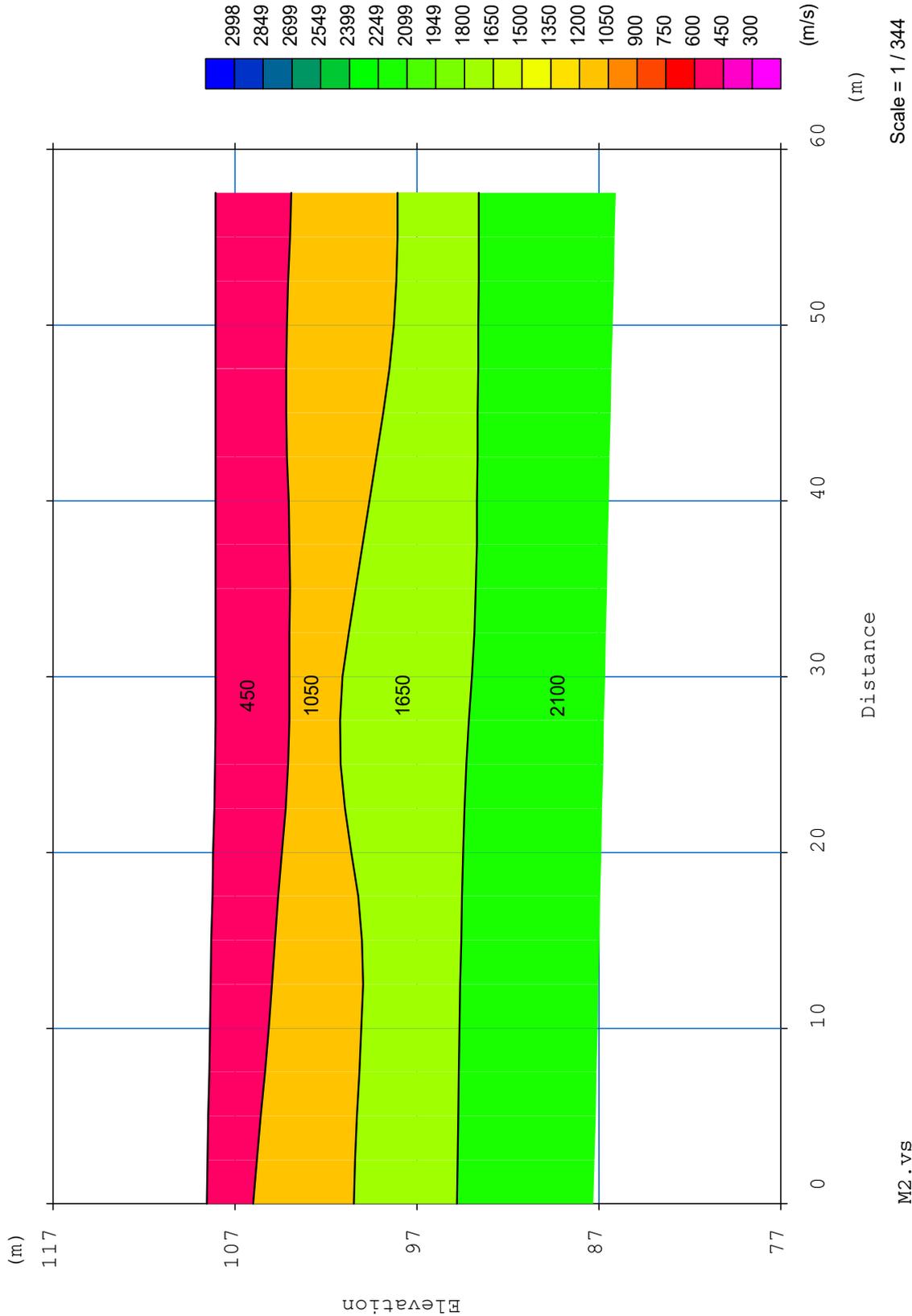


Scale = 1 / 344

M2 . vs

TOMOGRAFIA

DRSE730-M2



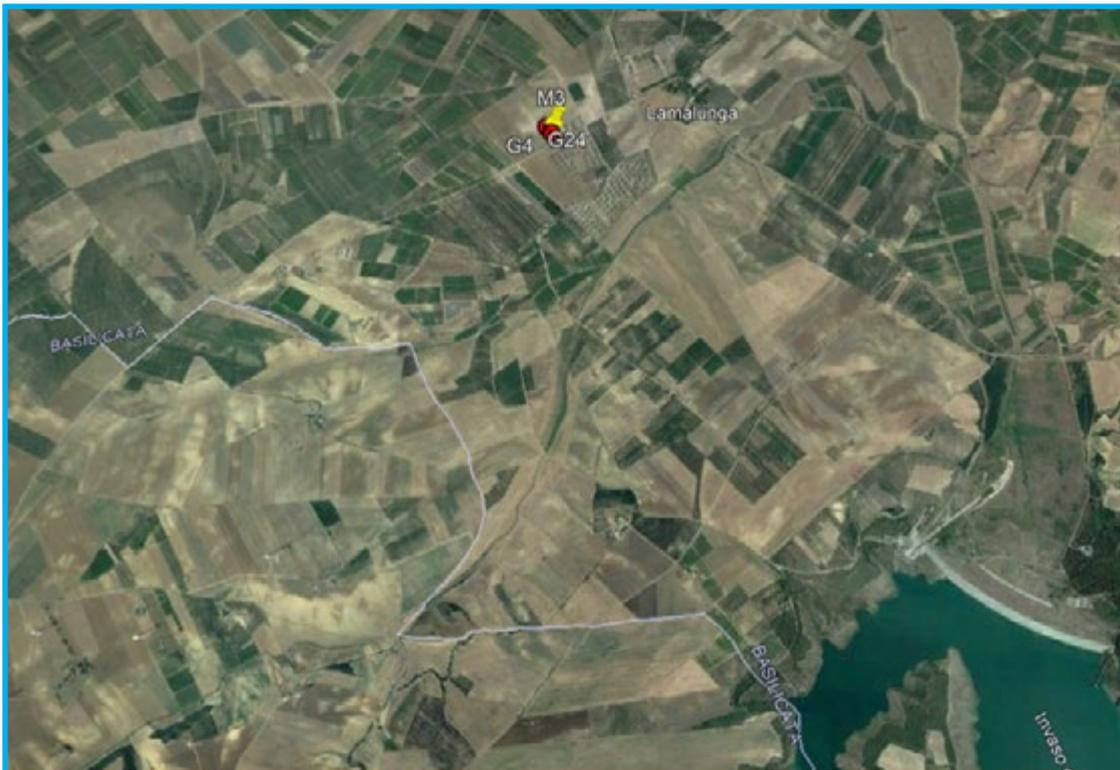
TOMOGRAFIA PRSE730-M2



TOMOGRAFIA

DRSE730-M3

OGGETTO: PARCO EOLICO - CANOSA DI PUGLIA (BAT)
COMMITTENZA: SANTA RITA ENERGIA S.R.L.



TOMOGRAFIA PRSE730-M3

Id indagine PRSE730 - M3
LOCALITA' CANOSA DI PUGLIA (BAT)
DATA E ORA 24/04/23

Coordinate WGS 84 :

Geofono 1: 580919;4553064

Geofono 12: 580901;4553090

Geofono 24: 580883;4553113

Onde P-Acquisizione dei dati

Distanza tra i geofoni : 2.5 m

Estensione della prova: 60 m

Posizione dello scoppio:

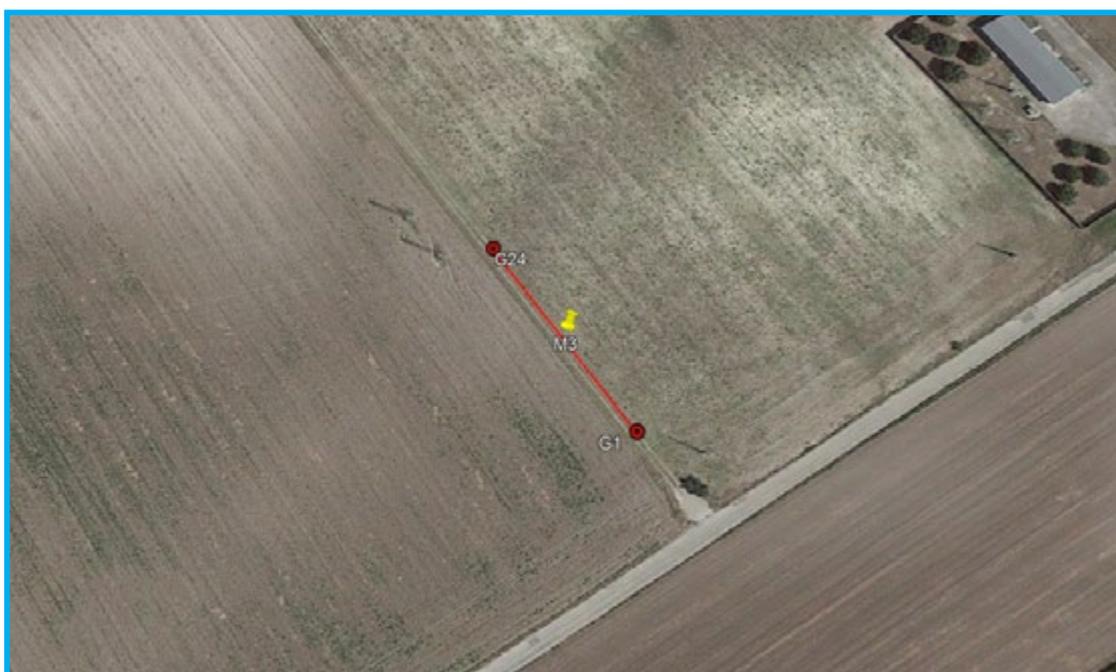
Scoppio 1: -3.00 m;

Scoppio 2: 13.75 m;

Scoppio 3: 28.75 m;

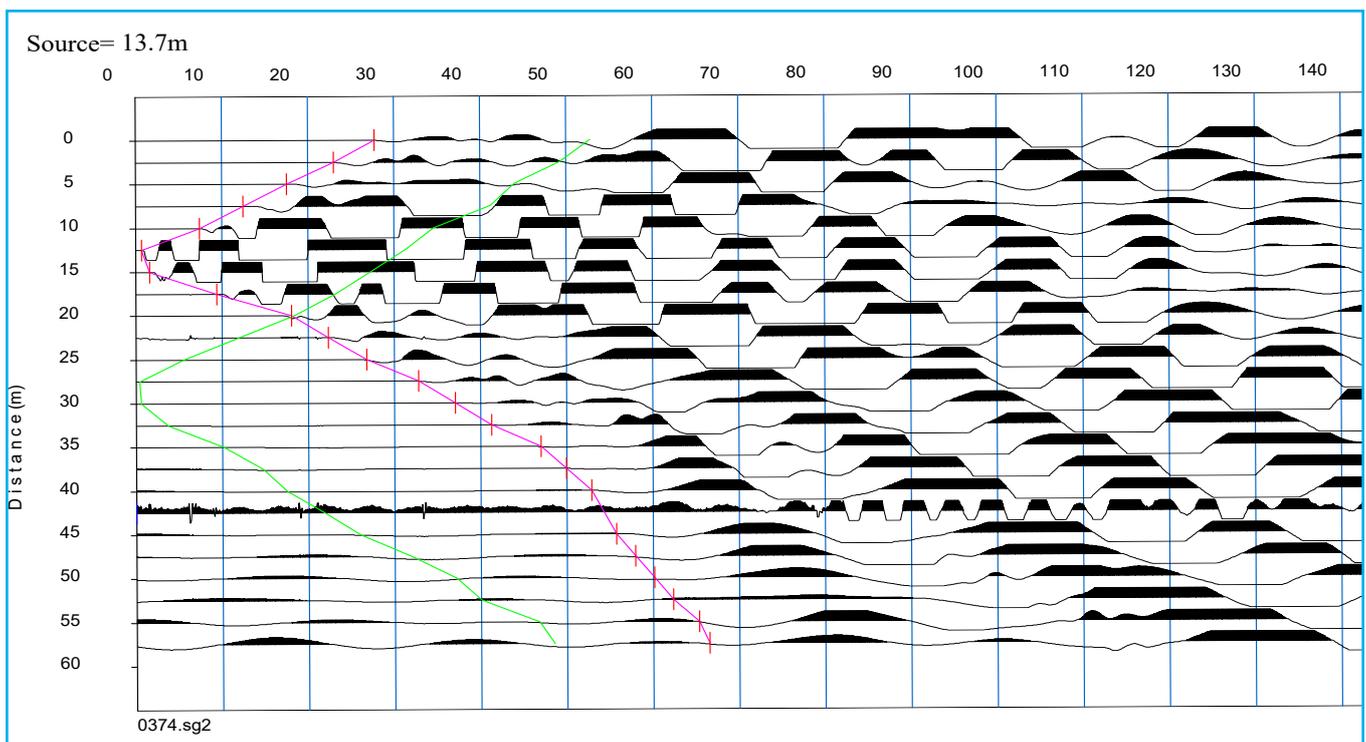
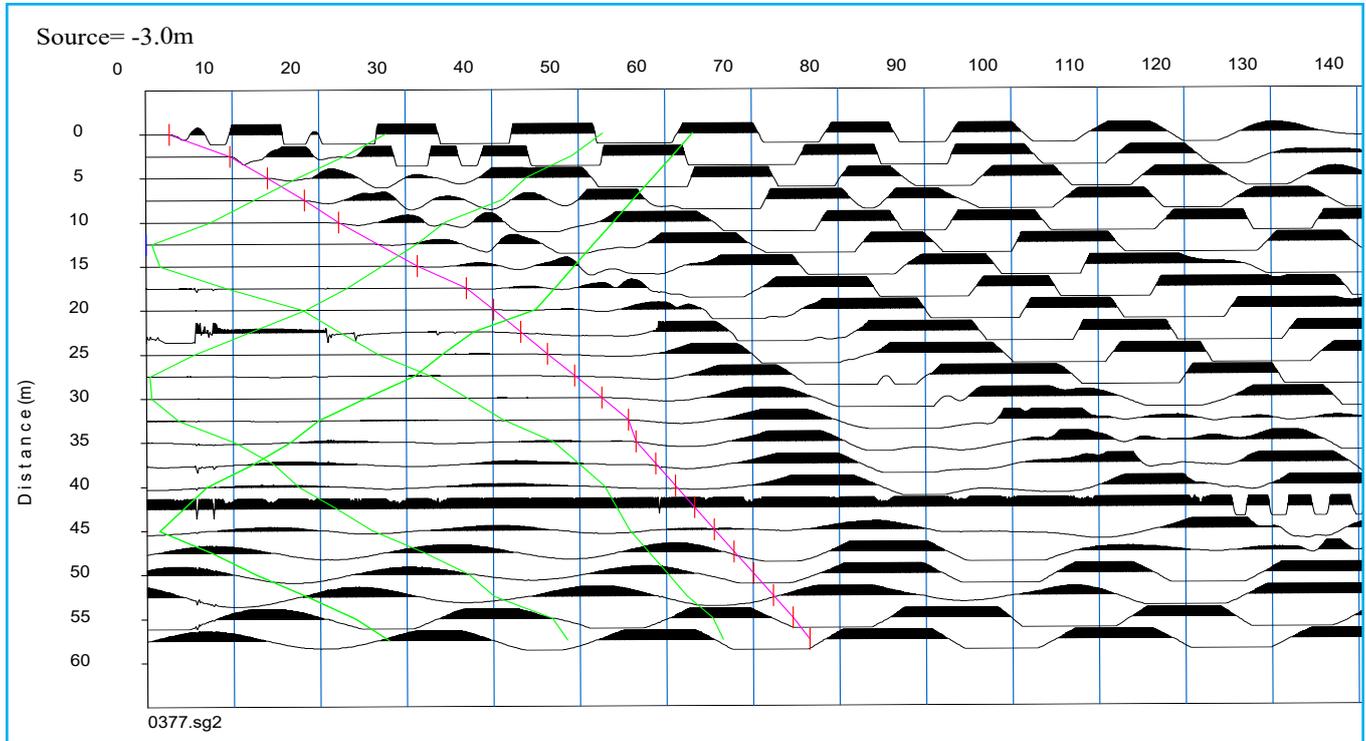
Scoppio 4: 43.75 m;

Scoppio 5: 60.50 m;

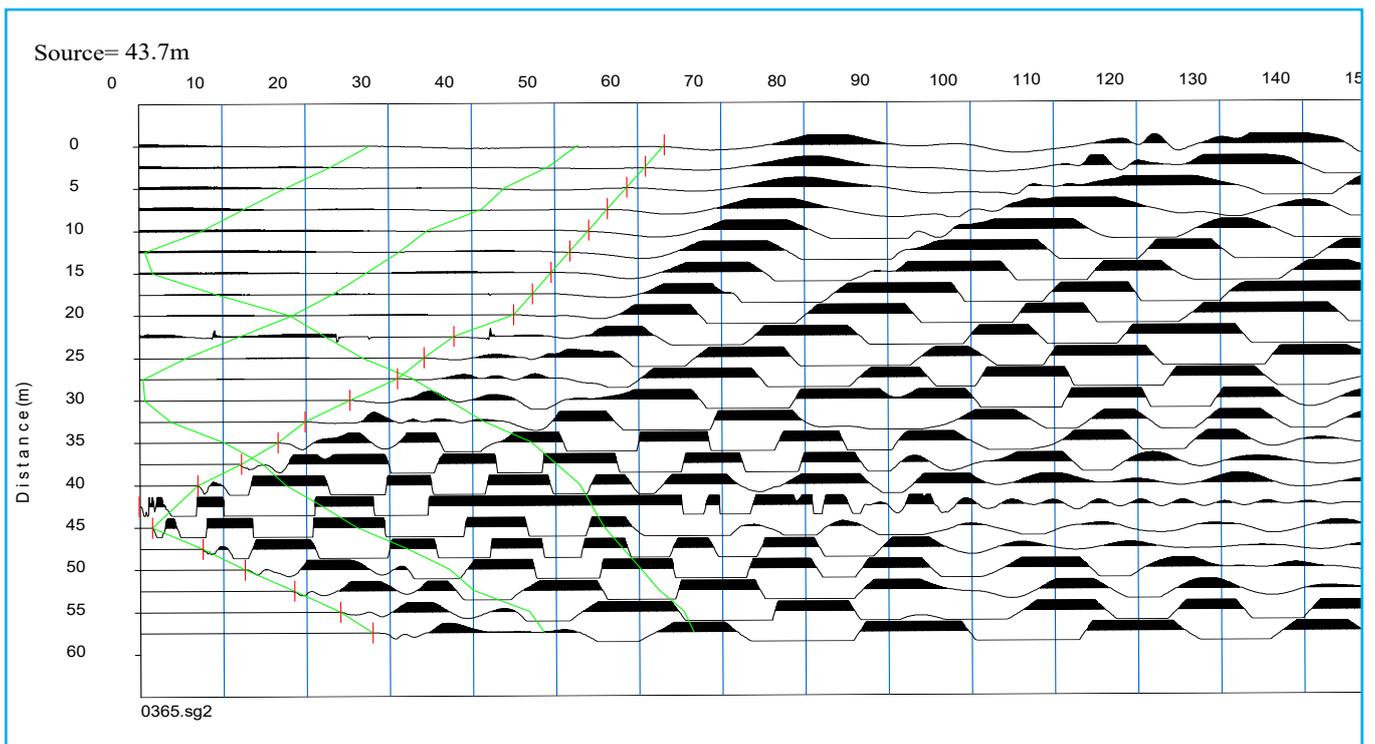
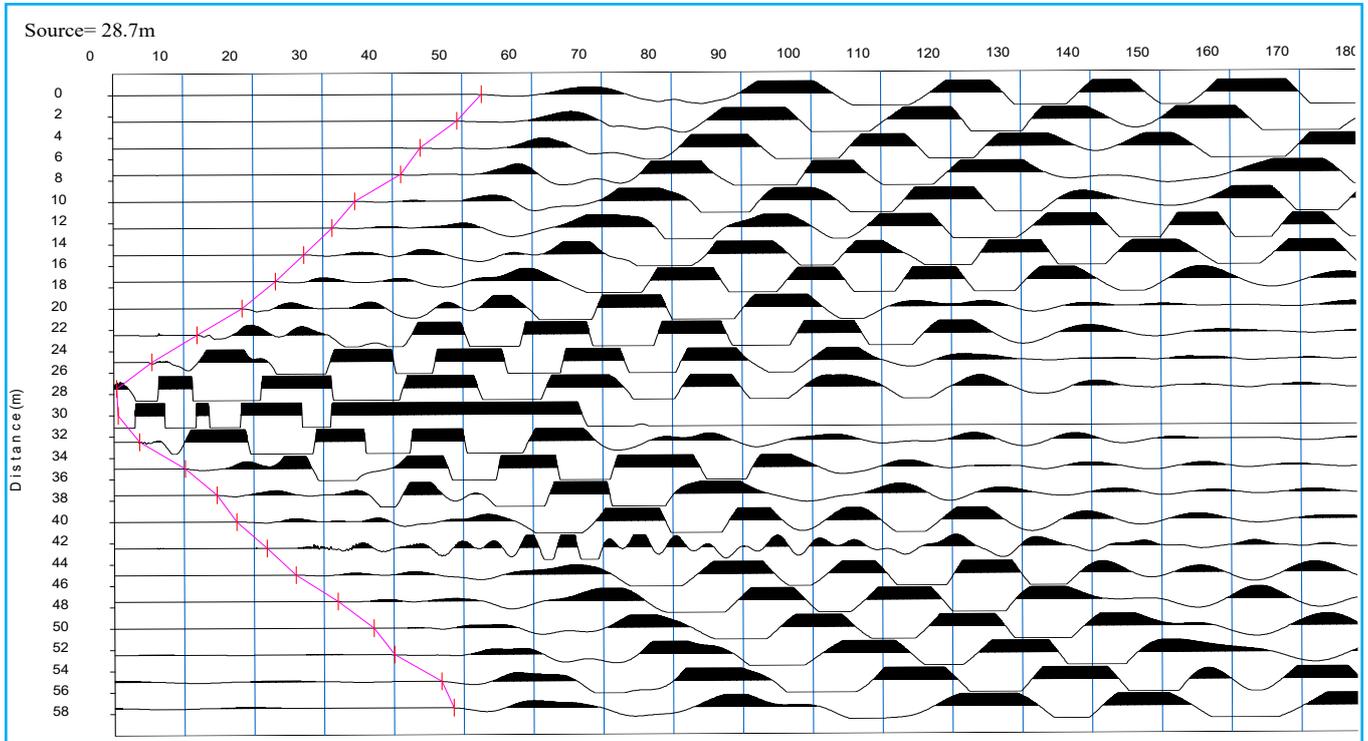


TOMOGRAFIA

DRSE730-M3

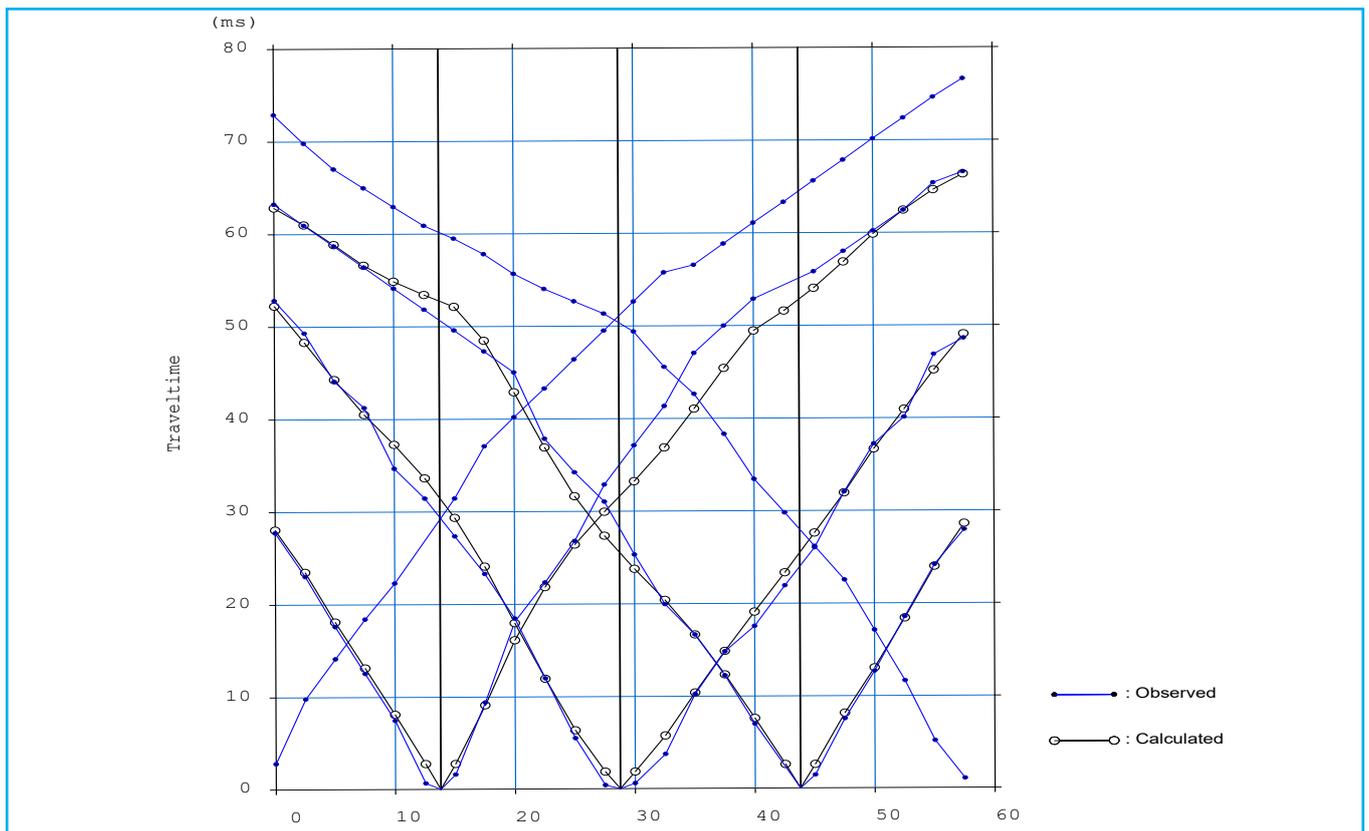
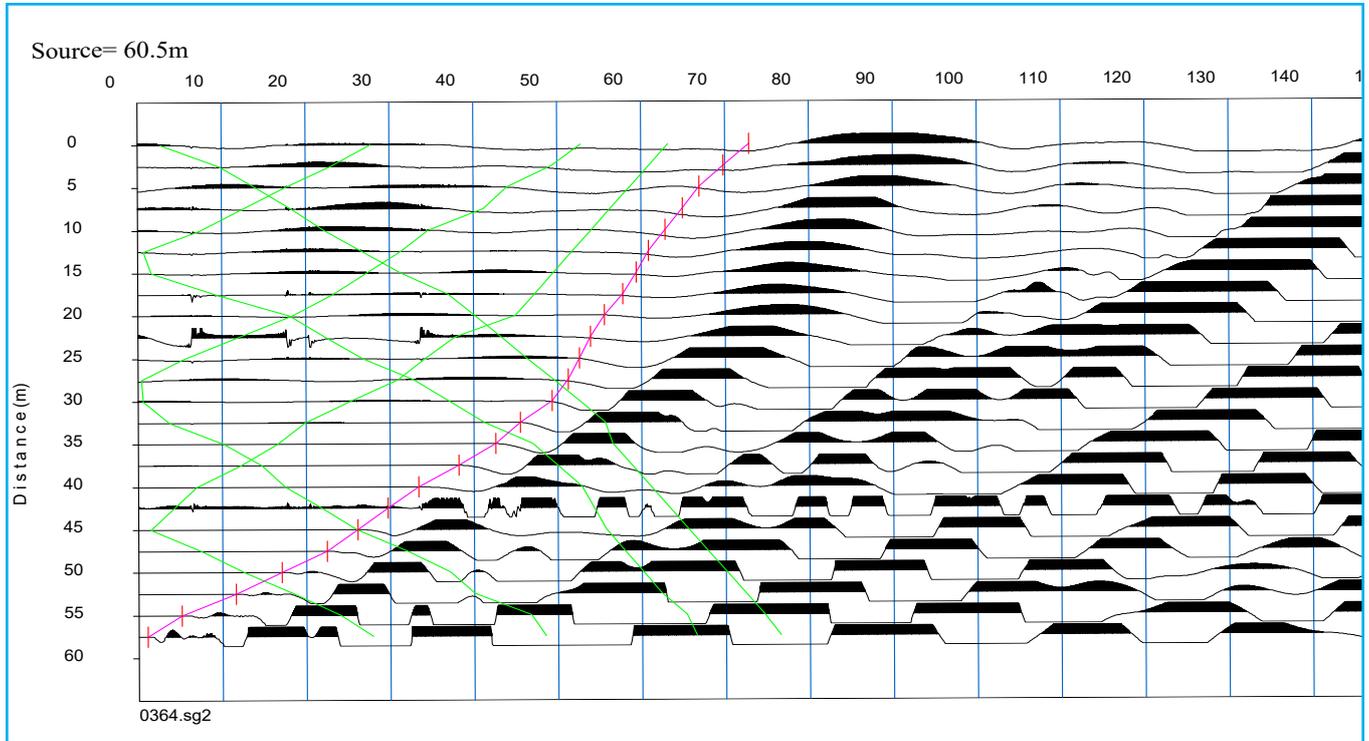


TOMOGRAFIA PRSE730-M3

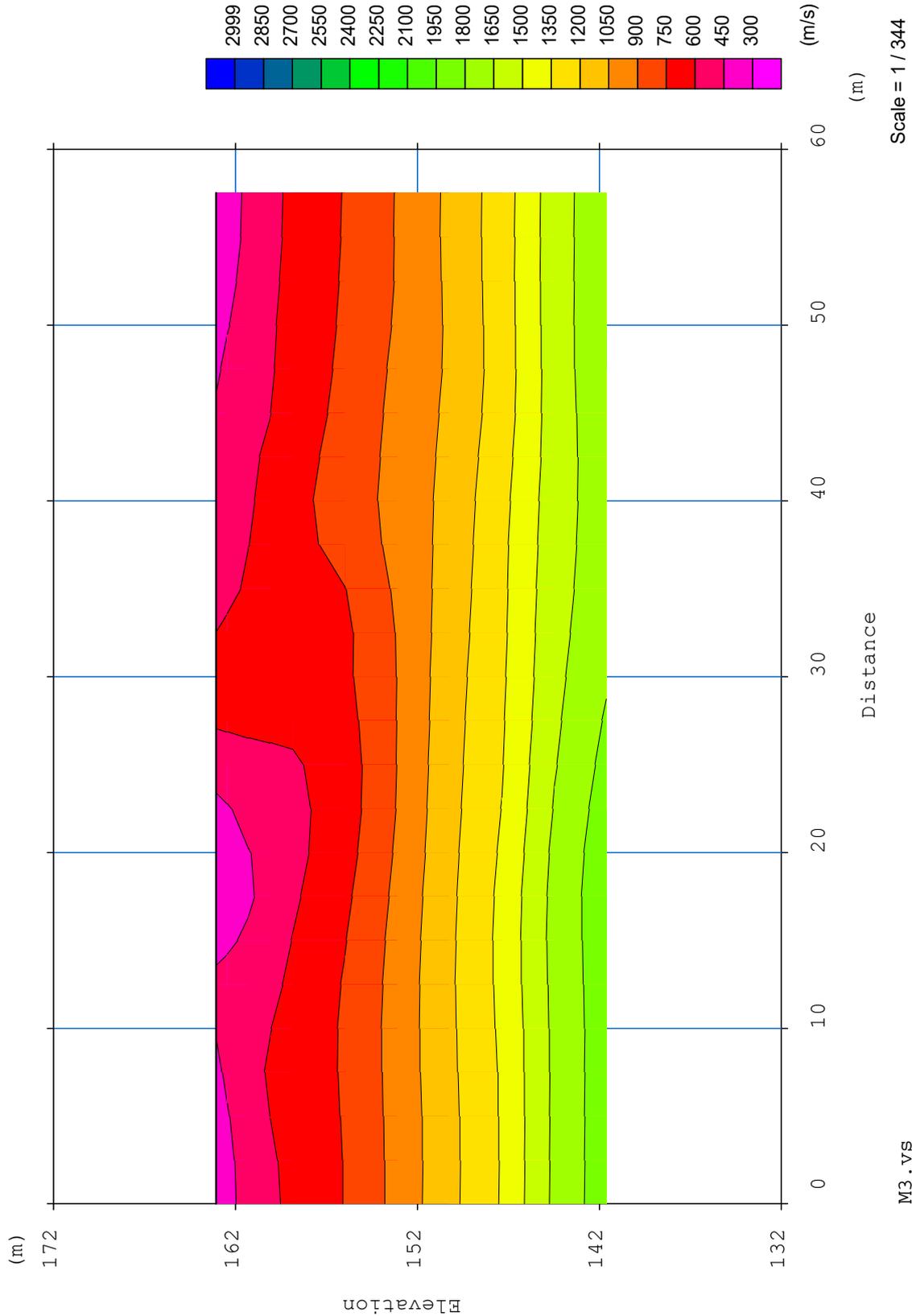


TOMOGRAFIA

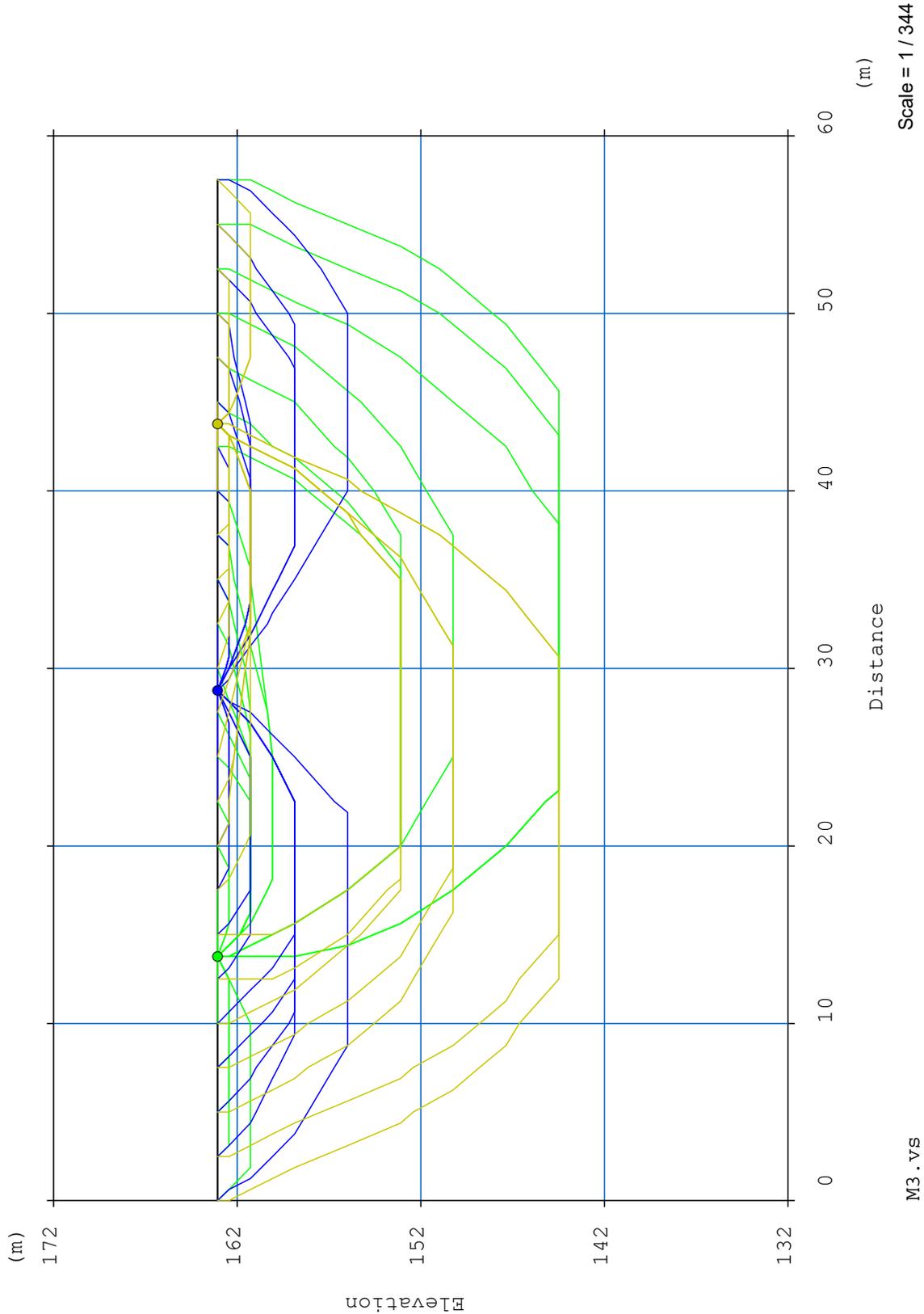
DRSE730-M3



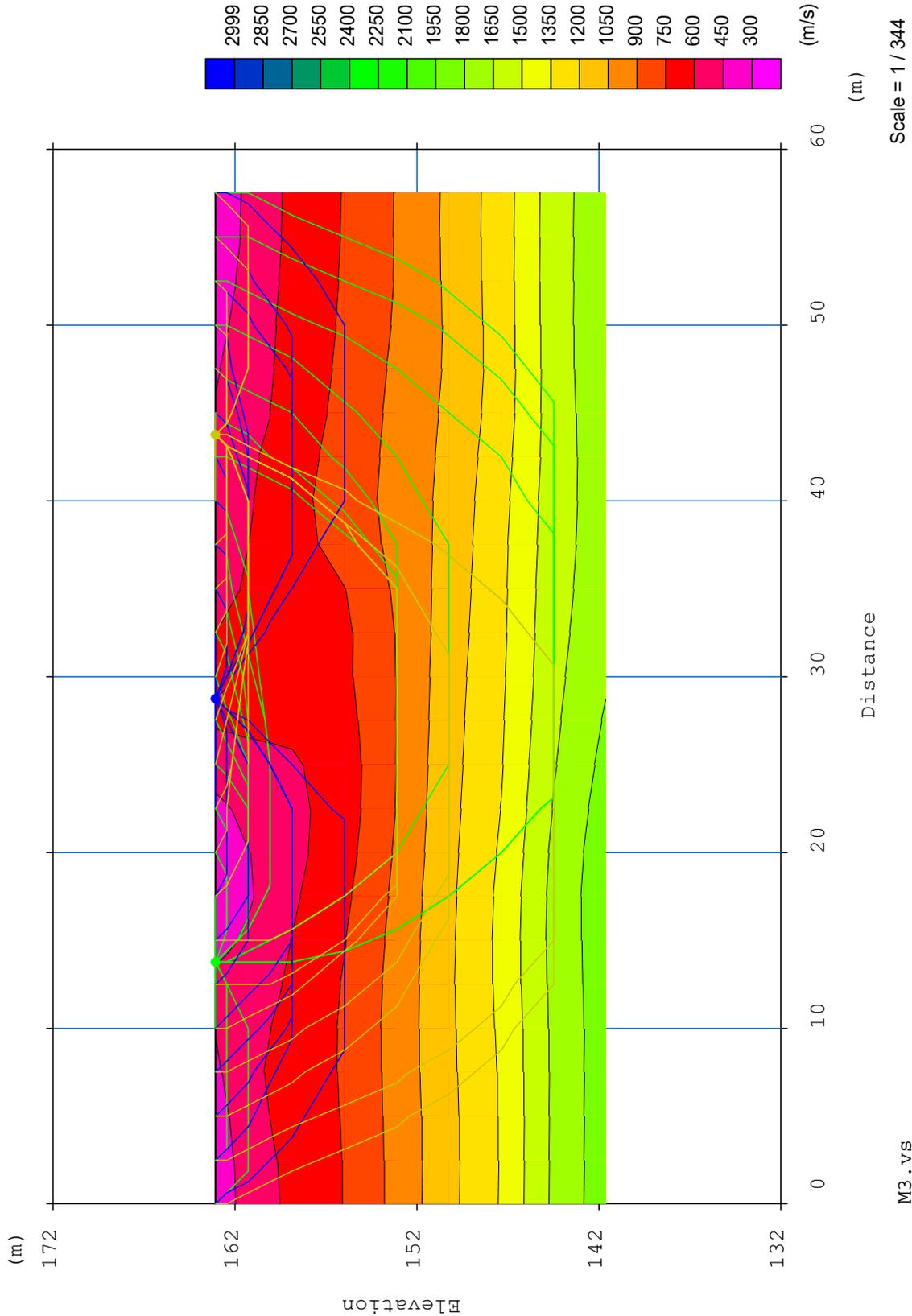
TOMOGRAFIA PRSE730-M3



TOMOGRAFIA
DRSE730-M3

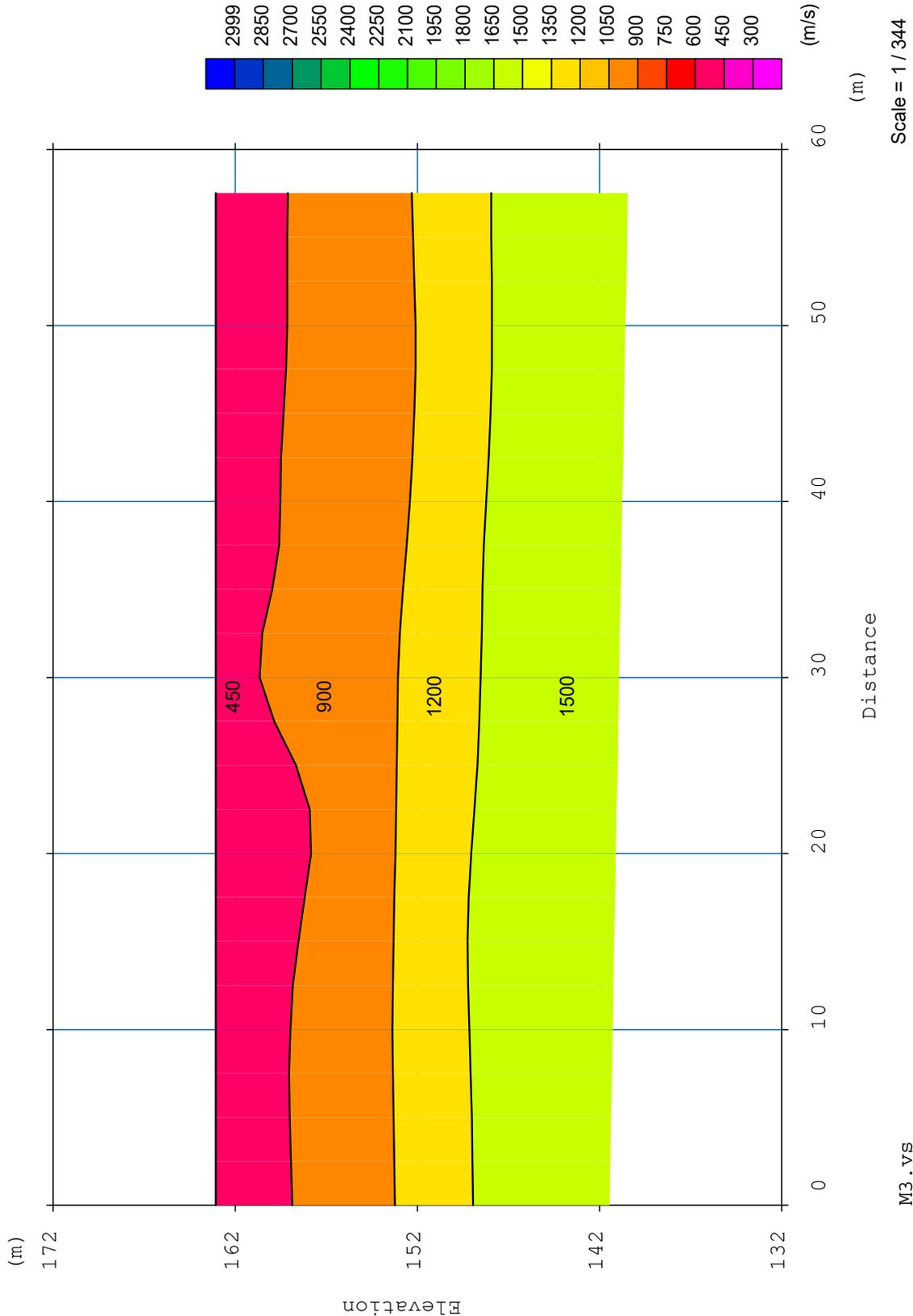


TOMOGRAFIA PRSE730-M3



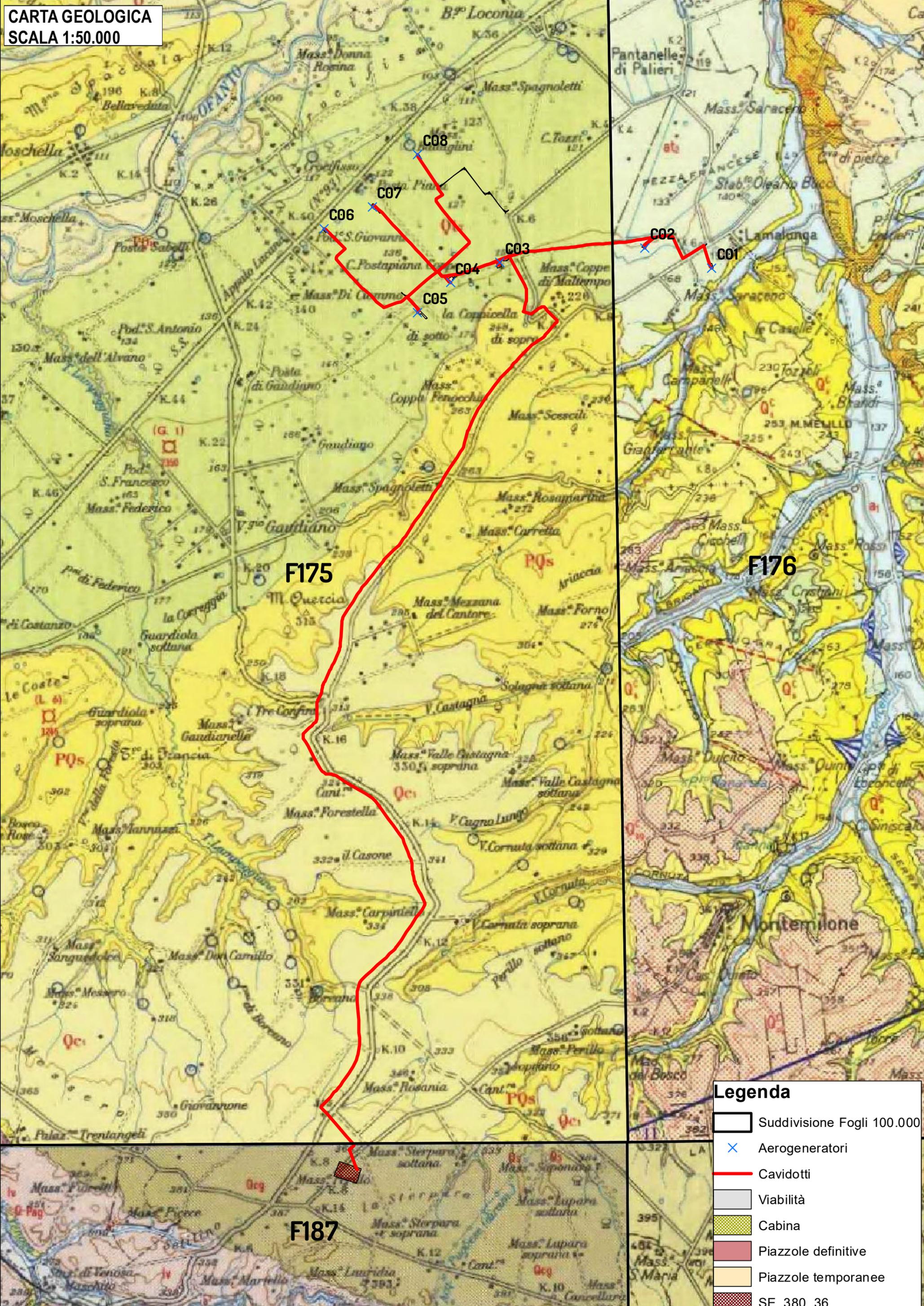
TOMOGRAFIA

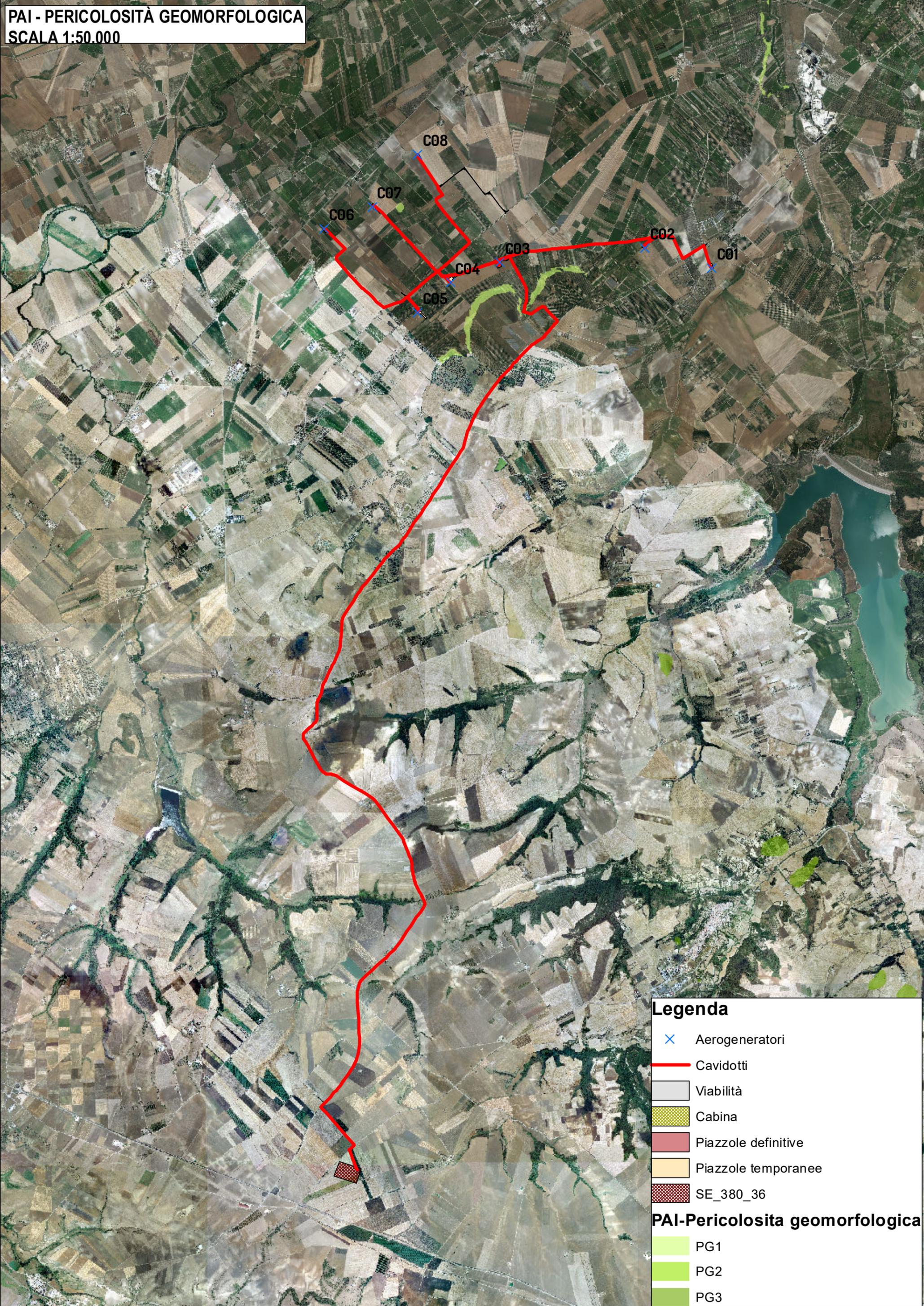
DRSE730-M3



TOMOGRAFIA PRSE730-M3







Legenda

- × Aerogeneratori
- Cavidotti
- Viabilità
- Cabina
- Piazzole definitive
- Piazzole temporanee
- SE_380_36

PAI-Pericolosità geomorfologica

- PG1
- PG2
- PG3



Legenda

-  Aerogeneratori
-  Cavidotti
-  Viabilità
-  Cabina
-  Piazzole definitive
-  Piazzole temporanee
-  SE_380_36
-  AP
-  MP
-  BP



Legenda

- × Aerogeneratori
- Cavidotti
- Viabilità
- ▨ Cabina
- ▨ Piazzole definitive
- ▨ Piazzole temporanee
- ▨ SE_380_36