

REGIONE BASILICATA
COMUNE DI COLOBRARO
Provincia di MATERA

PROGETTO

**REALIZZAZIONE DI UN'AREA PIC-NIC IN
LOCALITA' SERRE SIRIANNI IN AGRO
DEL COMUNE DI COLOBRARO**

DENOMINAZIONE:

**RELAZIONE GEOLOGICA ED
IDROGEOLOGICA**

CARATTERIZZAZIONE, MODELLAZIONE GEOLOGICA E SISMICA DEL SITO

(D.M. 14 gennaio 2008 Circ. Espl. N. 617 del 2 febbraio 2009)

L.Reg. n. 3/94, Delibera di G.R. n. 1235, art. 3 e 4 ("Norme Tecniche di attuazione")

Committente: PLT ENGINEERING SRL

IL GEOLOGO

Dott. Matteo Di Carlo



CODICE
PROGETTO:

DATA
PROGETTO:

ottobre 2016

N° STESURA
ELABORATO:

1

PREMESSA

Come da convenzione tra il comune di Colobrarò e la Società PLT Engineering Srl, che prevedeva un *progetto di sviluppo locale* alla cui realizzazione la società si impegna quale compensazione di carattere ambientale e territoriale. L'intervento di *“rispristino e riqualificazione ambientale della zona area attrezzata adiacente al Parco Eolico di Colobrarò”*, consiste sostanzialmente nella realizzazione di un **Box per servizi, informazioni e ristoro in legno lamellare** ubicato nel Bosco Sirianni a circa 4 km dal centro abitato. Lo smaltimento delle acque reflue dei servizi igienici che verranno realizzati nel box in legno sarà effettuato attraverso il trattamento secondario di depurazione di tipo naturale con sub-irrigazione con condotta dipendente e drenante.. La Società PLT Engineering Srl dovendo procedere alla realizzazione del box con relativo smaltimento di acque reflue (**TRATTATE IN VASCA SETTICA IMHOFF**) per dispersione nel terreno mediante SUB-IRRIGAZIONE, provenienti dal sopraccitato box da un fabbricato dava incarico al sottoscritto di eseguire il presente studio geologico tecnico e idrogeologico, in ottemperanza alle leggi vigenti, così come prescritto dalla L.Reg. n. 3/94, Delibera di G.R. n. 1235, art. 3 e 4 (“Norme Tecniche di attuazione”) e dall’art. 28, comma 7, lett. e) D.L. n.152/99 aggiorn. D.L. n.158/00) -) ; *riutilizzo acque di scarico* (art.28 comma 10 – D. Lgs 258/00) -*scarico sul suolo* (art.29 com.1 lett. a -testo agg. D.L. 152/99 su dispos. D.Lgs 258/00),

il presente studio è stato eseguito anche secondo quanto prescritto dal D.M. 14 Gennaio 2008 pubblicato sul S.O. della G.U. n° 30 del 4 Febbraio 2008 , che prevede , tra l’altro, una **“Caratterizzazione e Modellazione Geologica del Sito”** in studio . 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, di pericolosità idrogeologica del territorio.

In considerazione dell’intervento da realizzare e della complessità del contesto geologico sono state eseguite specifiche indagini finalizzate alla documentata ricostruzione del **“modello geologico”**. Nonché in attuazione della legge **Merloni** e del Piano di Assetto Idrogeologico (**PAI**) emanato dall’Autorità di Bacino della Basilicata, Stando alla cartografia del Piano Stralcio Assetto Idrogeologico (PAI) dell’AdB della Basilicata, la zona in studio **non rientra** in aree soggette a vincolo classificate come **“R4”** ossia *“aree a rischio idrogeologico molto elevato”*, come **“R3”** ossia *“aree a rischio idrogeologico elevato”*, come **“R2”** *“aree a rischio idrogeologico medio*, come **“R1”** ossia *“aree a rischio idrogeologico moderato”*, **“P”** ossia *“aree pericolose”*

Il lavoro in oggetto si avvale, oltre che dell’esperienza professionale per aver operato numerosi interventi in terreni simili della esecuzione di 57 sondaggi meccanici a rotazione con carotaggio continuo, ognuno eseguito nell’area di sedime della fondazione o in prossimità di

Relazione geologica ed idrogeologica
Area pic-nic Bosco Sirianni del comune di Colobraro

essa, nonché della letteratura tecnico-scientifica esistente, della carta geologica d'Italia e precisamente il Foglio N. **507 PISTICCI in scala 1 : 50.000**, onde contribuire nel migliore dei modi alla risoluzione delle problematiche geologiche.

I metodi e i risultati delle indagini verranno esaurientemente esposti e commentati in questa Relazione Geologica.

Sono stati effettuati numerosi sopralluoghi nella zona interessata e si è portato a termine il seguente piano di lavoro:

- Ricerca bibliografica di pubblicazioni e studi di carattere geologico effettuati nell'area d'interesse;
- Rilevamento geologico e geomorfologico di un'area sufficientemente ampia e delle zone specificatamente interessate dalle opere di progetto;
- Raccolta ed analisi di informazioni e dati provenienti da precedenti studi di carattere geologico-geotecnico-sismico-idrogeologico e idraulico ricadenti nell'area oggetto d'intervento ed in aree attigue.
- Sono stati presi in visione sondaggi geognostici a carotaggio continuo eseguiti per il costruendo parco eolico.
- Sono state realizzate n.3 Tomografie sismiche ed una Masw per la caratterizzazione del Vs30

Obiettivo dello studio è stato quello di fornire un quadro di riferimento idrogeologico dei terreni affioranti nell'area esaminata al fine di una congrua valutazione delle caratteristiche idrogeomorfologiche.

Lo studio ha peraltro puntato ad individuare le possibili problematiche di ordine idrogeologico per poter pianificare e programmare le più opportune misure di prevenzione, protezione e mitigazione della pericolosità idrogeologica. La presente relazione, pertanto, è lo studio delle caratteristiche del sito ricettore per una valutazione di fattibilità. Lo studio è stato articolato nell'esame dell'aspetto geologico e idrogeologico generale, e nell'esame dei dati concernenti le caratteristiche topografiche, morfologiche, idrologiche, climatiche e pedologiche.

INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE

Il comune di Colobraro è ubicato a Sud-Ovest della città di Matera facente parte dell'Appennino meridionale, un edificio tettonico a falde di ricoprimento, i terreni che lo costituiscono si possono raggruppare in diverse unità stratigrafico-strutturali, le quali unità sono dei grandi corpi geologici, unitari o in frammenti non necessariamente continui, corrispondenti a parti di unità paleogeografiche preesistenti. Esse possono avere conservato i rapporti stratigrafici con il loro basamento originario oppure possono risultare rimosse dalla loro giacitura iniziale, possono inoltre aver subito deformazioni più o meno notevoli o al limite, possono essere per niente deformate.

Le unità stratigrafico-strutturali dell'Appennino meridionale a Nord del cristallino Calabro possono essere divise in:

Unità dell'avampaese e dell'avanfossa

Unità tardotettonogenetiche

Unità esterne della catena

Unità interne della catena (**Unità Sicilidi, Unità Silentina, Unità del Frido**).

Tralasciando tutte le altre unità che non interessano la zona oggetto di studio ci soffermiamo solamente sull'unità Sicilidi e precisamente delle **-marne arenacee di serra cortina** (dove insiste l'area oggetto di studio), fitta alternanza di marne siltose grigio-giallastre, di argille marmose grigio-verdi e/o azzurre in livelli di 2-10 m e di areniti arcose torbiditiche fini di colore grigio-plumbeo, in livelli molto sottili, sovente gradati, raramente in grossi banchi. Nell'intervallo apicale le arenarie si riducono a favore delle argille marnose. I termini basali della formazione di transizione al flysch numidico sono caratterizzati da intervalli caotici contenenti olistoliti eterometrici ed eterogenei rappresentati prevalentemente da calcari e marne di formazione delle unità sicilidi, da calcareniti mesozoiche di piattaforma e da interi lembi di alternanze argillose-arenacee.

Per quanto riguarda l'area del parco eolico che interessa il comune di Colobraro situata nella parte medio-alta della dorsale Masseria Giordanelli-Monte S. Arcangelo a circa 700 s.l.m. è caratterizzato da formazioni geologiche relativamente recenti risalenti al periodo Miocenico.

Relazione geologica ed idrogeologica
Area pic-nic Bosco Sirianni del comune di Colobrarò

Il rilevamento geologico di dettaglio, eseguito nell'area oggetto di studio e nelle zone limitrofe ha evidenziato che i terreni sono costituiti da terreni appartenenti al complesso sicilide.

L'unità tettonica del complesso sicilide è costituito da argille variegata, Membro S. Arcangelo, Membro di Rosito o Falda di Rocca Imperiale e Tufiti di Tusa.

Le argille variegata sono costituite da argille rosse e verdi, scagliettate per tettonizzazione, con intercalazioni calcarenitico-calclutitiche e con inglobati frammenti delle Formazioni vicine.

Il membro di S. Arcangelo è costituito da alternanza calcari e calcari marnosi grigio chiari o biancastri tipo "maiolica", in strati da pochi cm fino a 10-15 metri, e di argille grigio-verdastre o scure, con subordinate intercalazioni di arenarie, brecciole calcaree, siltiti e argille brune e rossastre.

Falda di Rocca Imperiale, costituita essenzialmente da argille marnose azzurrastre con intercalazioni di arenarie torbiditiche.

Le Tufiti di Tusa sono costituiti da alternanza di tufiti e di arenarie tufitiche grigio-verdi-azzurre talora gradate, spesso poco cementate, di marne brune e grigie e di calcari biancastri, in banchi di spessore compreso tra 2 e 6-7 metri.

Le località del parco eolico Cozzo Pisone-Serra Scoperta-C. Comparata insistono sul membro argilloso delle argille varicolori, mentre Cozzo Monachelle insiste su terreni essenzialmente argillosi marnosi

L'area del parco ricadente nel comune di Colobrarò, oltre alle già citate unità Sicilidi ci soffermiamo anche sul complesso Valsinni Colobrarò.

In detto complesso si rinvengono dall'alto verso il basso

- Formazione di Serra Palazzo (membro calcareo), costituito da una fitta alternanza di calcareniti, calcari marnosi bianchi e calcisiltiti grigio nerastro in strati di spessore variabile compreso tra 20 cm a qualche metro.
- Marne arenacee di Serra Cortina, marne argillose grigio-giallastre talora siltose con intercalazioni di arenarie e siltiti;
- Flysch Numidico, quarzareniti grigio giallastre, in banchi talora gradati da qualche dm a 2-3 metri con intercalazioni di argille marnose grigie e di siltiti brune.

LITOSTRATIGRAFIA PARTICOLAREGGIATA DELL'AREA INDAGATA

L'area in esame è interessata da **Depositi di alterazione superficiale dello (spessore di circa 1.0-1.20)** con residui di decomposizione organica, essenzialmente sono costituiti da terreni di colore nerastro inglobanti, a volte, elementi litici di piccole dimensioni di varia natura; essi derivano dall'accumulo di prodotti originati dall'alterazione superficiale dei terreni in posto

**Relazione geologica ed idrogeologica
Area pic-nic Bosco Sirianni del comune di Colobrarò**

humificati dalla notevole presenza di materiale organico e dall'alterazione del sottostante substrato.

Sotto il profilo litologico la loro costituzione varia da zona a zona a seconda delle caratteristiche litologiche peculiari della Formazione da cui traggono origine.

In gran parte dei casi si tratta di materiale piuttosto omogenei a grana fine che inglobano dei relitti di varie dimensioni della roccia originaria possono variare notevolmente anche all'interno della coltre, le dimensioni, la forma, il numero e l'assetto dei litorelitti inglobati e con essi le caratteristiche geotecniche che di solito sono assai scadenti.

CARATTERISTICHE FISICO- MECCANICHE DEL SUBSTRAT FONDAZIONALE .

In questo paragrafo vengono descritte le proprietà fisico meccaniche e le caratteristiche geotecniche più salienti dei termini litologici che costituiscono l'area oggetto di studio, considerando l'estrema difficoltà della loro caratterizzazione, in quanto le stesse sono caratterizzate da una spinta variabilità di comportamento fisico-meccanico da punto a punto.

$Y = 1.85 \text{ KN/m}^3$ (Peso dell'unità di volume)

$\Phi = 20^\circ$ (Angolo d'attrito)

$c' = 10 \text{ KPa}$ (coesione drenata)

$C_u = 50 \text{ KPa}$ (Coesione non drenata)

,

CARATTERI SISMICI DEL TERRITORIO

Il territorio comunale di Colobraro ricade in un distretto geografico sicuramente sismico. Nel territorio in oggetto, infatti, si risentono i terremoti con epicentri pugliesi, campani e calabresi..

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 sud-orientali della Puglia.

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 (circa 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.

RISCHIO SISMICO RELATIVO AI TERRENI INTERESSATI DAL PARCO EOLICO

In tutti i problemi connessi con l'ingegneria e, più in generale, ogni qualvolta si progettano delle opere che hanno grande rilevanza per la Società è necessario considerare "il rischio sismico" delle zone interessate dalle opere in progetto, inteso come potenziale distruttivo di eventuali terremoti. Il grado di intensità massima del rischio sismico di un terremoto dipende da due fattori:

- 1) Caratteristiche fisiche dei terremoti, che permettono, tra l'altro una differenziazione dei loro effetti su costruzioni di tipo diverse.
- 2) Le condizioni geologiche locali che influenzano le caratteristiche fisiche delle onde sismiche, raggiungenti la superficie, hanno una notevole importanza per quanto riguarda gli effetti distruttivi dei terremoti per il territorio che viene interessato dalla **progettando parco eolico**. Considerando un coefficiente di intensità sismica $c = 0,07$

**Relazione geologica ed idrogeologica
Area pic-nic Bosco Sirianni del comune di Colobraro**

(Tab. I) assumendo $S = 9$ è facile giungere ai valori delle "Fa" sotto l'azione statica.

- 3) La zona è stata suddivisa in aree aventi medesima caratteristica geosismica. Per ogni tipo litologico si sono considerate le principali caratteristiche delle onde sismiche, funzioni delle proprietà elastiche dei vari tipi di terreno che queste attraverseranno
- 4) Massima accelerazione della roccia "A"
- 5) Ampiezza "a°" (delle onde spaziali)
- 6) Frequenza "T°".

Dall'esame effettuato si è notato che i terreni in cui si ha una massima accelerazione (0,76 cm/sec²), sono quelli Pliocenici costituiti da sabbia argillosa, argille sabbiose ed argille marnose grigio-azzurre. In tali terreni si ha un rapporto $A/T = 0,26$ (cm/sec² /sec).

Si riporta qui di seguito la tabella che elenca i tipi di terreno in ordine crescente dall'alto verso il basso, dal terreno avente comportamento peggiore al migliore in termini di sollecitazioni sismiche.

Litologia	Simbolo	I. max	A/T	Amax cm/sec²
Eluviali o terreno di alterazione)	E	VI °	0,51	0,58
Sabbie ed arenarie.	SA	V°	0,44	0,58
Argille e argille marnose	AA	VI°	0,26	0,76

Dalla visione di suddetta tabella si evince che i terreni più scadenti sono quelli relativi ai terreni eluviali e quelle di ghiaia e sabbie quindi la zona a maggiore rischio sismico.

- Coefficiente di amplificazione topografica

La recente 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°

Nel nostro caso specifico St risulta pari a 1 per

- Categoria Topografica

La categoria topografica viene classificata come T3

- Categoria di suolo di fondazione

La zona è classificata come categoria **“B” ARGILLE MOLTO CONSISTENTI** con V_{s30} pari a 646 m/s.

ZONAZIONE IN PROSPETTIVA SISMICA

In questo paragrafo viene descritta la metodologia usata per la Microzonazione Sismica del sito dove insisterà il parco eolico di Tursi e Colobrarò. Gli studi di geologia e geomorfologia hanno permesso di caratterizzare l'assetto stratigrafico e strutturale, le litologie e la geomorfologia del sito. I sondaggi sismici sia in foro che quelli superficiali hanno individuato i profili di velocità delle onde sismiche nei terreni. Il prodotto finale, che ha tenuto conto in sintesi degli studi ed analisi precedenti, è costituito da una carta in cui sono individuate zone, alle quali vengono attribuiti parametri omogenei caratterizzanti l'azione sismica attesa e l'instabilità dei terreni. La Microzonazione Sismica ha lo scopo di riconoscere ad una scala sufficientemente piccola le condizioni di sito che possono modificare sensibilmente le caratteristiche del moto sismico atteso (moto sismico di riferimento) o possono produrre effetti cosismici rilevanti per le costruzioni, manufatti e le infrastrutture. In sostanza lo studio di Microzonazione restituisce una mappa del territorio nella quale sono indicate:

- le zone in cui il moto sismico viene amplificato (e come) a causa delle caratteristiche litostratigrafiche del terreno e geomorfologiche del territorio.
- le zone in cui sono presenti o suscettibili di attivazione dissesti del suolo dovuti o incrementati dal sisma (frane, assestamenti, liquefazioni, fagliazioni superficiali).

La Microzonazione, strumento di base propedeutico all'attività di progettazione del parco eolico, ha tenuto presente :

1. geologia e geomorfologia (caratterizzazione dell'assetto stratigrafico e strutturale, delle litologie e della geomorfologia dei siti, con indicazioni generali sullo stato di consistenza e fratturazione dei terreni);

**Relazione geologica ed idrogeologica
Area pic-nic Bosco Sirianni del comune di Colobrarò**

2. geofisica (individuazione mediante prospezioni dei profili di velocità delle onde sismiche nei terreni)
3. geotecnica (individuazione delle proprietà meccaniche dei terreni sulla base delle indagini già disponibili e di quelle appositamente eseguite)

Le attività condotte per raggiungere gli obiettivi prima dichiarati sono state le seguenti:

- a) individuazione dell'assetto geologico e geomorfologico del sito (comprensivo di sequenze stratigrafiche ed elementi tettonico-strutturali) e delle zone soggette ad instabilità di versante;
- b) individuazione delle caratteristiche geotecniche dei terreni di interesse per la determinazione della risposta dinamica dei terreni;
- c) valutazione del moto sismico di riferimento, sulla base di risultati di pericolosità di tipo probabilistico;
- d) determinazione dei parametri descrittivi dell'azione sismica da adottare nella progettazione degli interventi e coerenti con la normativa emanata con l'ordinanza n. 3274 del 20.3.2003;

VALUTAZIONE DEL MOTO SISMICO DI RIFERIMENTO

La definizione del moto sismico di riferimento è uno dei punti di partenza per la Microzonazione Sismica poiché porta alla determinazione dei livelli di deformazione attesa nei terreni e, conseguentemente, alla caratterizzazione dinamica della risposta degli stessi in profondità ed in superficie.

Tale moto è stato definito in accordo con quanto previsto nella norma tecnica per la verifica di sicurezza delle costruzioni (Ordinanza PCM n.3274/03), ossia con riferimento a livelli di scuotimento corrispondenti ad una probabilità di superamento del 10% in 50 anni (periodo medio di ritorno uguale a 475 anni).

Da quest'analisi emerge che generalmente i risentimenti nei due comuni sono legati ad eventi localizzati in aree sismogenetiche "lontane", situate lungo la dorsale dell'Appennino meridionale

INDIVIDUAZIONE DELL'ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DEL SITO E DELLE ZONE SOGGETTE AD INSTABILITÀ DI VERSANTE

Stratigrafia

Il settore esaminato è caratterizzato dalla presenza di due unità litostratigrafiche principali, che

rappresentano il substrato costituito dal complesso indifferenziato delle argille varicolori e da una seconda unità litostratigrafica costituita da sabbie, arenarie e argille sabbiose. Dette unità sono variamente ricoperte da terreni di alterazione superficiale.

Tettonica

Il presente studio riguarda i sedimenti che interessano i margini dell'area orientale della piattaforma carbonatica campana, e sono caratterizzati da sedimenti del ciclo sedimentario del Langhiano-Tortoniano. Il ciclo ha inizio con la fase tettonica langhiana durante la quale si modificano le preesistenti condizioni paleogeografiche, costituite dal bacino lagonegrese intermedio alle due piattaforme carbonatiche, infatti la piattaforma campana - lucana e le coltri ad essa sovrapposte (complesso sicilide e liguride) subiscono una traslazione verso l'avampaese coprendo in parte i sedimenti del bacino lagonegrese sono trasgressivi e discordanti sui terreni della piattaforma carbonatica campano-lucana. In essi sono intercalati blocchi calcarei della serie mesozoica e masse del materiale alloctono costituito dalle argille varicolori, scivolati dal margine nel bacino (Wild Flysch). L'area oggetto di studio ricade nel complesso delle argille varicolori. Il rilevamento geologico di dettaglio, eseguito nell'area oggetto di studio e nelle zone limitrofe ha evidenziato che i terreni sono costituiti da terreni appartenenti al complesso sicilide. L'unità tettonica del complesso sicilide è costituita da argille variegata, Membro S. Arcangelo, Membro di Rosito o Falda di Rocca Imperiale e Tufiti di Tusa. Le argille variegata sono costituite da argille rosse e verdi, scagliettate per tettonizzazione, con intercalazioni calcarenitico-calclutitiche e con inglobati frammenti delle Formazioni vicine. Il membro di S. Arcangelo è costituito da alternanza calcari e calcari marnosi grigio chiari o biancastri tipo "maiolica", in strati da pochi cm fino a 10-15 metri, e di argille grigio-verdastre o scure, con subordinate intercalazioni di arenarie, brecciole calcaree, siltiti e argille brune e rossastre. Falda di Rocca Imperiale, costituita essenzialmente da argille marnose azzurrastre con intercalazioni di arenarie torbiditiche. Le Tufiti di Tusa sono costituiti da alternanza di tufiti e di arenarie tufitiche grigio-verdi-azzurre talora gradate, spesso poco cementate, di marne brune e grigie e di calcari biancastri, in banchi di spessore compreso tra 2 e 6-7 metri. Le località del parco eolico Cozzo Pisone-Serra Scoperta-C. Comparata insistono sul membro argilloso delle argille varicolori, mentre Cozzo Monachelle insiste su terreni essenzialmente argillosi marnosi. L'area in esame è interessata da **Depositi di alterazione superficiale** con residui di decomposizione organica, essenzialmente sono costituiti da terreni di colore nerastro inglobanti, a volte, elementi litici di piccole dimensioni di varia natura; essi derivano dall'accumulo di prodotti originati dall'alterazione superficiale dei terreni in posto humificati dalla notevole presenza di materiale organico e dall'alterazione del sottostante substrato. Sotto il profilo litologico la loro costituzione

**Relazione geologica ed idrogeologica
Area pic-nic Bosco Sirianni del comune di Colobrarò**

varia da zona a zona a seconda delle caratteristiche litologiche peculiari della Formazione da cui traggono origine. In gran parte dei casi si tratta di materiale piuttosto omogeneo a grana fine che inglobano dei relitti di varie dimensioni della roccia originaria possono variare notevolmente anche all'interno della coltre, le dimensioni, la forma, il numero e l'assetto dei litorelitti inglobati e con essi le caratteristiche geotecniche che di solito sono assai scadenti. Sono materiali che offrono scarsa sicurezza ad ospitare strutture fondazionali. Sono terreni, fatta eccezione della coltre superficiale, che appartengono totalmente al sopracitato membro argilloso delle argille varicolori e/o del membro argilloso di Rocca Imperiale. Nell'area in esame abbonda soprattutto la componente argilloso-marnosa.

CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE DELL'AREA INDAGATA.

Una idonea composizione litologica che permette un adeguato assorbimento ed uno spessore adeguato alla continuità di smaltimento, affinché vi possa essere il completamento dei necessari fenomeni di depurazione.

Almeno per le caratteristiche sopra citate i terreni esaminati possono ritenersi idonei per lo smaltimento di acque reflue di tipo domestiche con dispersione nel terreno mediante subirrigazione non presentando caratteristiche negative.

Le condizioni morfologiche, topografiche, idrogeologiche e litologiche dei terreni in studio sono tali da permettere l'utilizzo a scopo smaltimento.

La parte superficiale del terreno è porosa a profondità più o meno variabile. I pori in questa parte della litosfera possono essere parzialmente o totalmente pieni d'acqua. La parte superiore, dove i pori sono solo parzialmente pieni d'acqua, si chiama "zona di aerazione"; immediatamente al di sotto di questa, dove tutti i pori sono pieni di acqua, si trova la "zona di saturazione".

La zona di aerazione è divisa in tre fasce: La fascia dell'acqua del suolo vegetale, la fascia intermedia e la frangia capillare. Tali fasce variano sia per profondità e sia per spessore ed i loro limiti non sono ben distinti o delimitati da differenze fisiche del materiale roccioso; tra una fascia e l'altra si ha una transizione graduale.

La fascia dell'acqua del suolo vegetale è di particolare interesse ed importanza per l'agricoltura in quanto essa fornisce l'acqua per la crescita delle piante.

L'acqua che oltrepassa tale fascia, sfugge all'azione delle radici di molte piante. L'acqua viene trattenuta, nella fascia del suolo vegetale, da forze molecolari o per azione capillare, contro la forza di gravità. L'attrazione molecolare tende a trattenere una parte dell'acqua attorno alle particelle solide, in forma pellicolare. La capillarità trattiene l'acqua nei pori molto piccoli tra

**Relazione geologica ed idrogeologica
Area pic-nic Bosco Sirianni del comune di Colobrarò**

i grani del terreno. Solo quando l'acqua entrata in tale fascia è in quantità sufficiente a soddisfare o saturare le forze molecolari e quelle capillari, un apporto successivo passerà oltre filtrando o percolando verso il basso.

Lo spessore della fascia intermedia varia enormemente e tale spessore ha un effetto significativo sul tempo necessario perché l'acqua lo attraversi prima di ricaricare i corpi idrici. La frangia capillare giace immediatamente al di sotto della fascia intermedia e sopra la zona di saturazione, e in terreni limoso-argillosi può raggiungere anche spessori di 3 metri.

Un fattore molto importante nella filtrazione lo giuoca l'inclinazione della superficie del suolo.

Una elevata inclinazione favorisce lo scorrimento superficiale, mentre una lieve inclinazione permette al terreno di trattenere l'acqua più a lungo, favorendo così l'infiltrazione.

Da queste brevi considerazioni, si vede come i fattori che controllano l'infiltrazione delle precipitazioni e della ricarica naturale dei corpi idrici possono essere divisi in due ben distinti gruppi:

un gruppo comprende le dimensioni, l'inclinazione e le altre condizioni fisiche degli strati di terreno drenanti; l'altro gruppo include le condizioni climatiche, le quali variano enormemente da stagione a stagione e negli anni. Nel nostro caso lo spessore delle fasce filtranti si aggira in media intorno ai 3-4 metri.

La permeabilità per le loro caratteristiche strutturali e deposizionali, sono terreni a granulometria medio-fine, incoerenti o pseudocoerenti, che presentano un tipo di permeabilità per porosità ed un grado di permeabilità medio, o scarso specie se costituito in percentuale maggiore da granulometrie fini con coefficiente di permeabilità $K = (10^{-4} \div 10^{-5})$ cm/s;

Per quanto concerne il **clima**, i dati reperiti per la zona di studio indicano:

- a) **piovosità** media annua di mm. 700 ;
- b) **temperatura** media annua di 13,0 C° ;
- c) **radiazione solare** media annua di 04h -15 m - 00 s;
- d) **direzione e velocità dei venti**:

I quattro venti predominanti che si alternano e si susseguono nelle quattro stagioni sono per ordine di intensità e frequenza **libeccio, maestrale, tramontana, scirocco** e subordinatamente il grecale.

Il **suolo** interessato alla ricezione delle acque reflue, è rappresentato, come precedentemente

**Relazione geologica ed idrogeologica
Area pic-nic Bosco Sirianni del comune di Colibraro**

descritto, da una coltre di terreno eluviale, costituito da terriccio bruno, incoerente, sabbioso-limoso, frammisto, nella parte inferiore, ad elementi eterometrici ghiaiosi calcarei che ne dotano di una certa presenza di aria, tale da favorire i fenomeni di ossido-riduzione con trasformazione della sostanza organica in sostanza minerale, utile alla vita dei vegetali. Tale suolo risulta abbastanza poroso, di scarsa resistenza meccanica e con spessore sufficiente allo scopo. Presenta un profilo sub-orizzontale, una struttura soffice, una tessitura sufficientemente equilibrata tra i suoi termini (sabbia, limo, argilla). Attualmente, presenta una vegetazione costituita da filari di alberi e sparse associazioni di piante spontanee locali. Terreni di questo genere, sono caratterizzati da **media permeabilità, buona areazione, normali processi ossidativi, con abbondante presenza di humus**, soprattutto nel primo metro di spessore.

CONCLUSIONI

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

MORFOLOGIA

Non si rilevano fenomeni suscettibili di modificare in tempi brevi la situazione attuale, per cui la zona sotto il profilo morfologico, è stata ritenuta zona stabile

ANALISI LITOSTRATIGRAFICA

Dalla correlazione analitica dei dati raccolti si deriva una situazione litologica formazionale dei terreni in sito, fatta eccezione del terreno di alterazione superficiale, costituita dai seguenti tipi fondamentali:

- 1) Terreno vegetale e/o di alterazione superficiale (**1.0-1.20 metri di spessore**)
- 2) Fitta alternanza di livelle di arenarie e sabbie con livelli più cementati in profondità

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

IDROGEOLOGIA

I litotipi interessati dalla realizzazione della vasca settica, da dove si dipartono le linee di condotte disperdenti (per lo smaltimento delle acque reflue domestiche con dispersione nel terreno mediante subirrigazione) sono rappresentati da terreni essenzialmente sabbiosi-limosi con rari ciottoli in dispersione, con variabilità di compattazione da punto a punto. Da ciò scaturisce che essi sono caratterizzati da una percolazione acquifera legata alla granulometria; ossia la percolazione è più elevata nei termini più superficiali mentre è minore in quelli più profondi riducendosi ulteriormente nei termini limoso-argillosi, tali da consentire una modesta falda freatica a carattere prevalentemente stagionale, legata soprattutto agli eventi meteorologici..

La realizzazione della vasca settica e condotte disperdenti sono assolutamente compatibile con le condizioni idrogeologiche locali.

La vasca è composta di tre elementi circolari collegati in serie del diametro di 2.0 metri e altezza pari a 2.45 metri, con tubi di raccordo al terreno del piano campagna di circa 1.60 metri dai quali si dipartono i rami delle condotte disperdenti.

Lo smaltimento con reflui chiarificati e parzialmente stabilizzati (Acque reflue tipo

**Relazione geologica ed idrogeologica
Area pic-nic Bosco Sirianni del comune di Colobrarò**

civile) nella Vasca Imhoff per Servizio igienico-sanitario domestico per utilizzo presunto di n. 15 utenti equivalenti . L'approvvigionamento idrico avviene tramite allacciamento all'acquedotto comunale. La superficie disponibile risulta sufficiente, il suolo risulta di media permeabilità con una idonea conducibilità idrica; Falda sotterranea è abbastanza modesta e si potrebbe rinvenire ad una profondità di circa 5-6 metri p.c.

Le condizioni topografiche e morfologiche possono considerarsi idonee, non si rilevano fenomeni suscettibili tali di modificare in tempi brevi la situazione attuale.

_ L'idrologia superficiale non viene modificata e non vi sono condizioni particolari che possono interessare l'area in esame.

_ Le condizioni climatiche sono tali da ritenersi favorevoli alla sub-irrigazione e al normale processo di assorbimento.

_ Il suolo interessato, per spessore, permeabilità, profilo, struttura e tessitura, possiede idonea capacità di assorbimento, dispersione e di depurazione naturale.

_ Le acque di scarico sono provenienti da un insediamento di tipo civile (acque reflue domestiche) e sono condotte in vasca settica tipo Imhoff, subendo un trattamento di chiarificazione e parziale stabilizzazione, da quest'ultima si dipartono le condotte disperdenti

Sulla base di tali considerazioni si può, pertanto, concludere che per il sito in esame è verificata la fattibilità di ricevere le acque reflue domestiche; le stesse possono essere smaltite per dispersione nel terreno mediante sub-irrigazione.

Per l'esercizio si avrà cura di controllare che non vi sia intasamento nella trincea o del terreno sottostante, che non si manifestino impaludamenti superficiali o altri inconvenienti ambientali, oltre al numero degli utenti ed il volume di reflui giornalmente

disperso.

Per la posa in opera della Vasca settica Imhoff è stato calcolato uno SLU su un substrato fondazionale, ad una profondità di circa 30-40 metri p.c. esso pari a 4.5 Kg/cm^2 . (4.5 daN/cm^2),

In base alla ordinanza sismica n. **3274 del 20.03.2003**, per quanto riguarda il coefficiente di amplificazione topografica. nel nostro caso specifico, essendo la pendenza inferiore a 15° il coefficiente di amplificazione sismica topografica è da ritenersi pari a **1**.

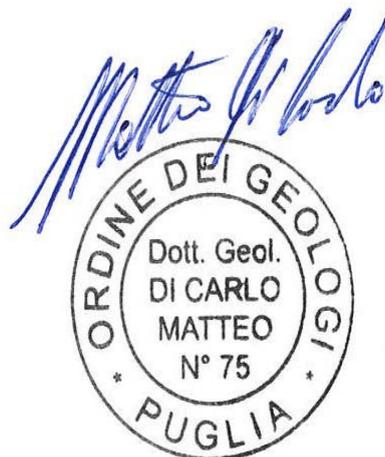
In base ai dati conosciuti dell'area oggetto di studio e a quelli rilevati, la zona può essere classificata come categoria “ **B** ” **DEPOSITI DI SABBIE E GHIAIE MOLTO ADDENSATE** V_{s30} pari a **646 m/s**

Sulla base di tali considerazioni, si può pertanto concludere che non esistono **preclusioni di ordine geologico-tecnico** alla realizzazione della vasca settica ed alla realizzazione delle condotte disperdenti per la subirrigazione. .

Lucera 03 ottobre 2016

Il geologo

dott. Matteo Di Carlo



LEGENDA



ADB

ARGILLE DIATOMITICHE BIANCHE DI MONTICELLI (cfr. argille diatomitiche bianche, Foglio Sant'Arcangelo)

Argille diatomitiche bianche fogliettate, con più o meno abbondante frazione argilloso-sabbiosa grigia, passanti verso il basso e lateralmente alle sabbie e calcareniti (SCN).



SCN

CONGLOMERATI, SABBIE E CALCARENITI DEL T. RACANELLO (cfr. conglomerati, sabbie e calcareniti, Foglio Sant'Arcangelo)

La formazione è caratterizzata da varie litofacies. Nell'area del Foglio prevalgono sabbie di colore grigio-cenere o giallo-rossastre; sabbie argillose giallastre, grossolane e variamente cementate, con rari livelli ghiaiosi.



AGL

AGL₂

ARGILLE LAGUNARI DI LA FIUMARELLA (cfr. argille lagunari, Foglio Sant'Arcangelo)

Argille marnose grigio nerastre, siltiti e sabbie giallastre con caratteristici livelli sottili neri di facies salmastra, passanti latero-verticalmente alla formazione SCN. Verso il basso la superficie di trasgressione è segnata da sottili lenti di calcareniti ad ostree (AGL₂).



AV

cm

cr

tu

GRUPPO DELLE ARGILLE VARIEGATE

Argille rosse, verdi e grigio-piombo con strati spessi 2-40 cm di diaspri varicolori e calcari siliciferi, estremamente caotiche. Microfaune arenacee scarse e poco significative; nannoflore scarse di probabile età cretacea (cfr. Argille Varicolori Inferiori AVF). Inglobano olistoliti riferibili a formazioni di età variabile dal Cretaceo al Miocene inferiore, costituiti da: alternanze calcarenitico-marnose a nummuliti di età eo-oligocenica (cm), areniti micacee (tu), blocchi eterometrici di calcari grigi ad *Orbitoides* e a rudiste (cr). Lo spessore, difficilmente misurabile, è compreso fra 400 e 1000 m.



TUT

TUFITI DI TUSA

Alternanza di areniti micacee, di tufiti grigio-verdi a grana omogenea, da minuta a media, generalmente poco cementate in banchi di 1-2 m, con interstrati sottili argilloso-siltoso-marnosi e di marne grigio-brune e livelli sottili calcareo-marnosi biancastri a frattura concoide. Localmente sono presenti calcareniti grigie a grana medio-grossa con lepidocline e miogipsine oltre ad alghe e briozoi. Nelle areniti sono frequenti strutture gradate, laminate e/o convolute.



ALV

qz

ARGILLE VARICOLORI SUPERIORI

Argille marnose marroni, debolmente policrome, scagliettate, con intercalazioni spesse 20-50 cm di calcari marnosi a frattura prismatica, e di calcareniti e di brecciole a nummuliti, discocycline ed alveoline. Localmente inglobano tettonicamente lembi di arenarie quarzose (qz) riferite al flysch numidico (FYN). Le argille sono generalmente sterili e solo raramente contengono fossili rimaneggiati di età cretacea.



FMS

FORMAZIONE DI M. SANT'ARCANGELO

Alternanza di calcari marnosi grigi o biancastri in strati da 3 a 15 cm, di argille grigio-verdastre o rossastre, di calcareniti intraclastiche laminate grigie in strati sottili e di subordinate areniti e brecciole carbonatiche fini grigio-verdi gradate.

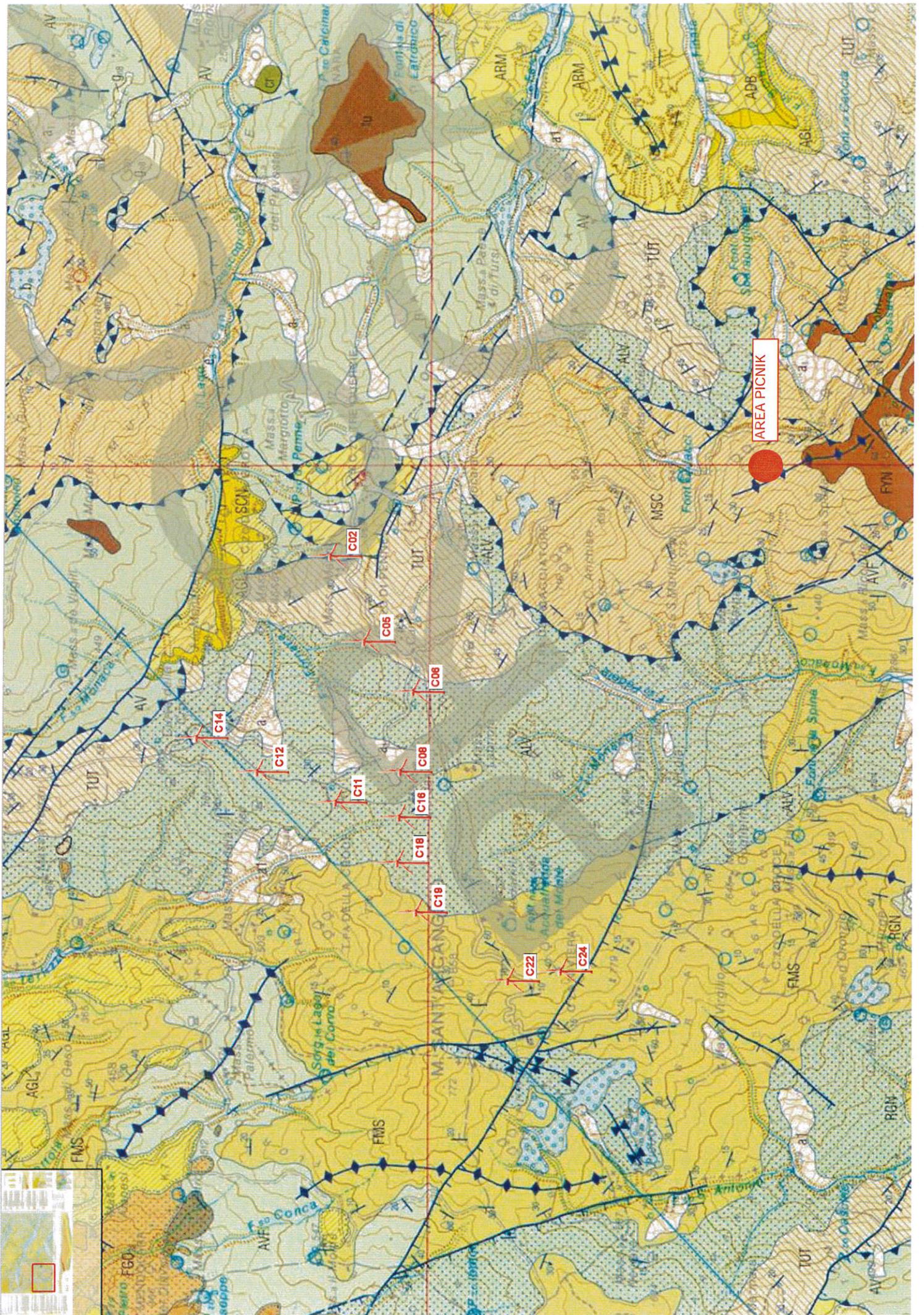


MSC

MSC₂

MARNE ARENACEE DI SERRA CORTINA

Fitta alternanza di marne siltose grigio-giallastre, di argille marnose grigio-verdi o azzurre in livelli di 2-10 m e di areniti arcose torbiditiche fini di colore grigio-acciaio in livelli molto sottili, sovente gradati, raramente in grossi banchi (MSC₂). Nell'intervallo apicale le arenarie si riducono a favore delle argille marnose. I termini basali della formazione di transizione al flysch numidico sono caratterizzati da intervalli caotici contenenti olistoliti eterometrici ed eterogenei rappresentati in prevalenza da calcari e marne di formazioni delle unità sicilidi, da calcareniti mesozoiche di piattaforma e da interi lembi di alternanze argilloso-arenacee.



--	--	--

REGIONE BASILICATA
COMUNE DI COLOBRARO
Provincia di MATERA

OGGETTO TOMOGRAFIE SISMICHE + MASW

--

COMMESSA
C-125

Rispristino e riqualificazione ambientale della zona attrezzata ad Area Pic-nic ubicata nel Bosco Sirianni del comune di Colobraro

Committente: PLT ENGINEERING SRL

IL GEOLOGO

Dott. Matteo Di Carlo



Codice commessa
C-125

DATA
ACCETTAZIONE
14-09 2016

DATA
INIZIO
14/09/2016

DATA EMISSIONE
03-10-2016

TOMOGRAFIA - C125 - R135

OGGETTO: Realizzazione area picnic



TOMOGRAFIA – C125 – R135

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.

La velocità con la quale le onde P 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.

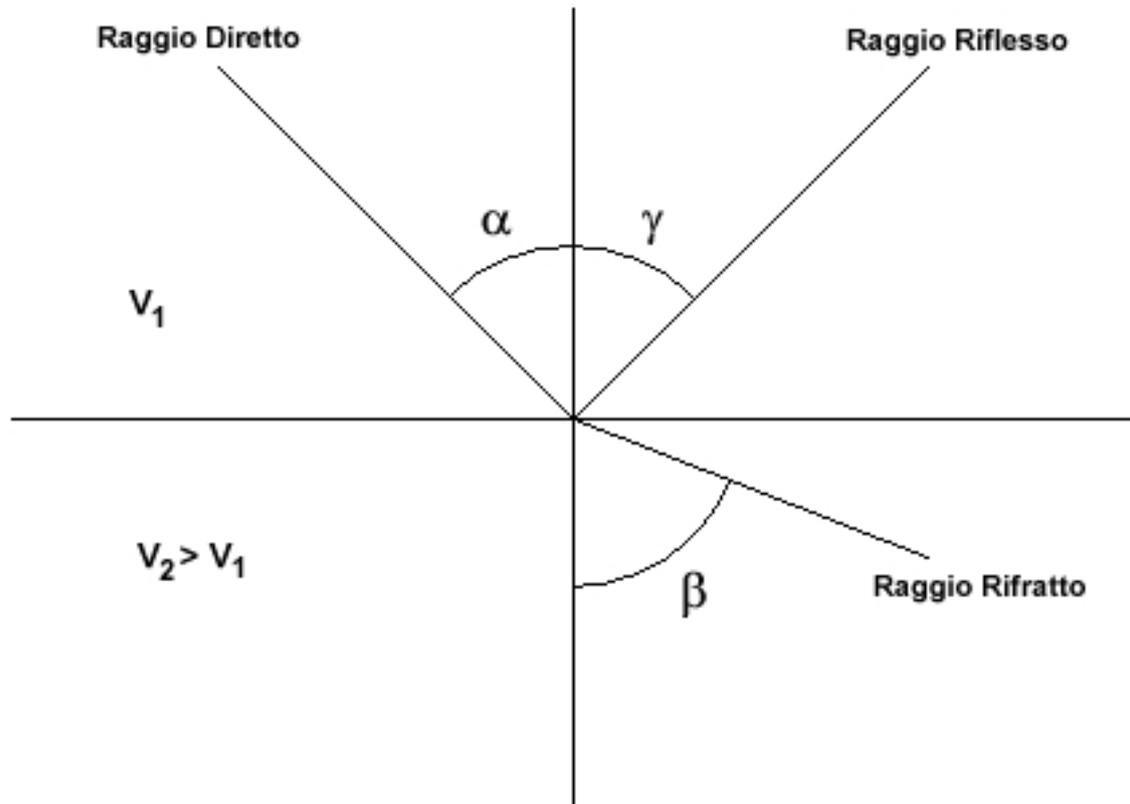
Le semirette normali ai fronti d'onda sono chiamate "raggi sismici" ed indicano la direzione di propagazione dell'onda elastica.

TOMOGRAFIA - C125 - R135

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:



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.

TOMOGRAFIA – C125 – R135

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

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). 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”).

E' 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.

TOMOGRAFIA - C125 - R135

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.

In base alla pendenza 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:

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

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

TOMOGRAFIA - C125 - R135

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

V1 = velocità del terreno

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

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

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

Un' approssimazione utile per V2 (che non può essere misurato direttamente dalla curva dei tempi di percorso) è data dalla seguente equazione:

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

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.

TOMOGRAFIA - C125 - R135

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 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:

TOMOGRAFIA - C125 - R135

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

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

Sottraendo al tempo di estemità 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.

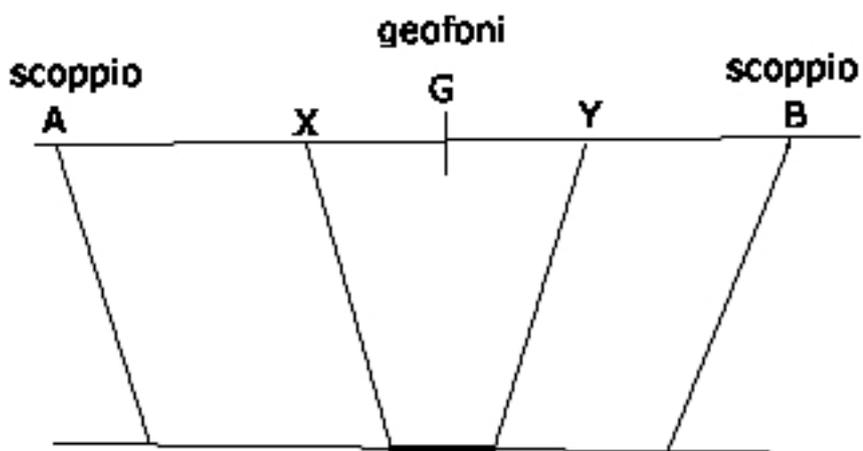
La profondità h rappresenta il raggio di un arco di circonferenza con centro nella posizione del relativo geofono: il contorno del rifrattore toccherà almeno in un punto ciascuno di questi archi e quindi potrà essere determinato graficamente come involuppo degli archi.

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.



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

TOMOGRAFIA - C125 - R135

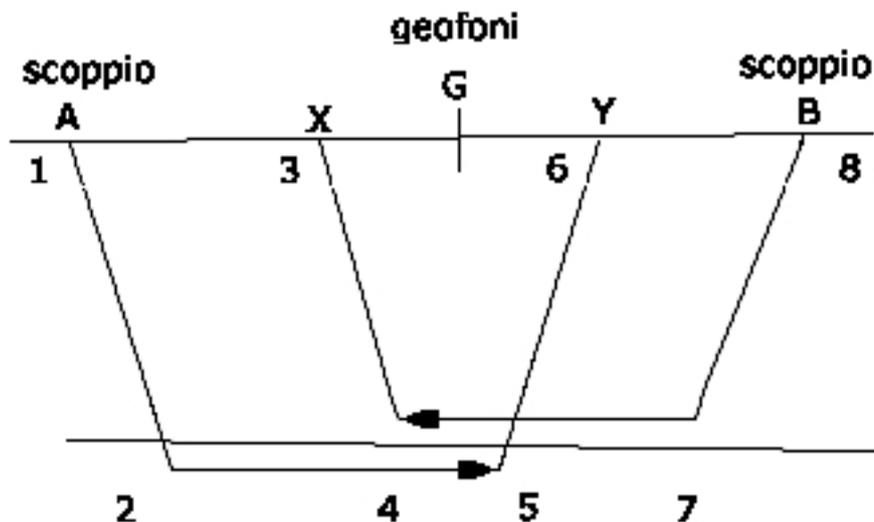
$$t = \frac{t_{AY} - t_{BX} + t_{AB}}{2}$$

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

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

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

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



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 – C125 – R135

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.

Prospezione sismica a rifrazione in onde

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-Acquisizione dei dati

Estensione della prova:60m

TOMOGRAFIA - C125 - R135

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 - C125 - R135-S1

Id indagine C125 - R135
LOCALITA' Clobraro (MT)
DATA 14/09/2016

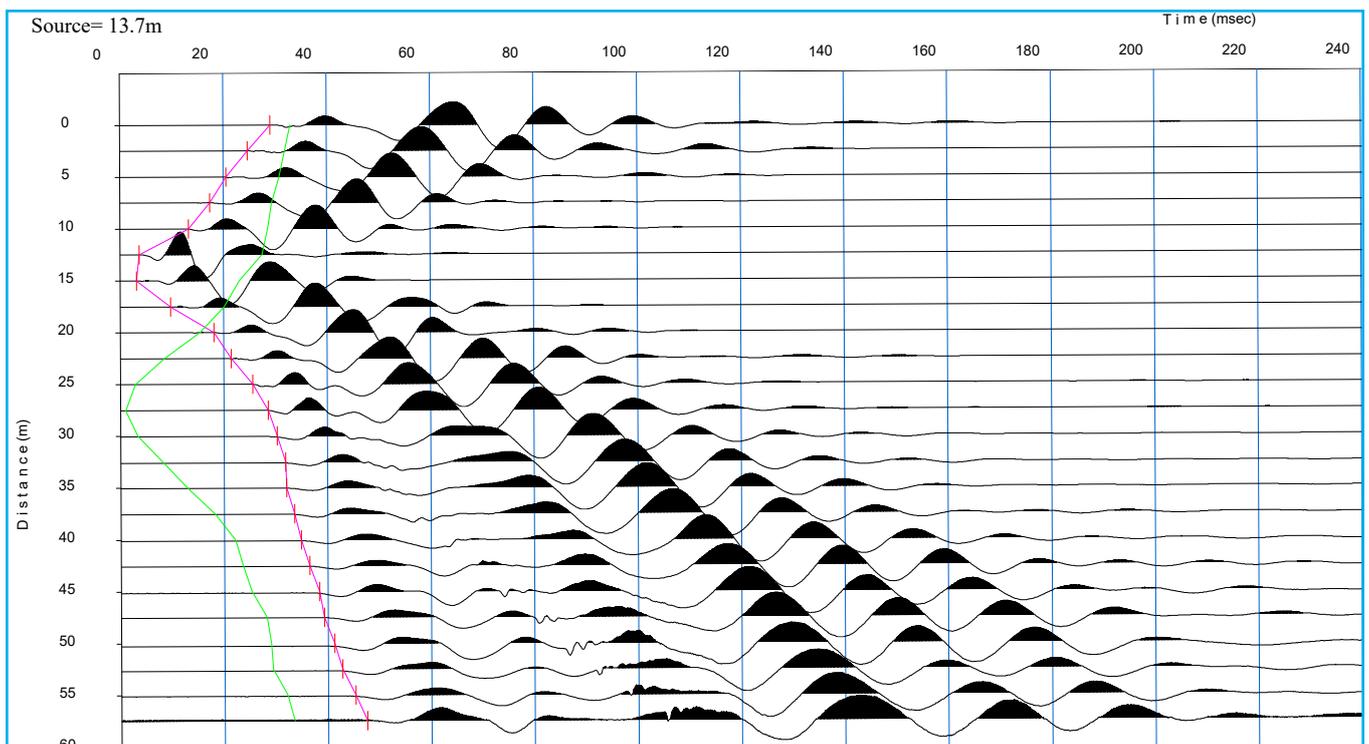
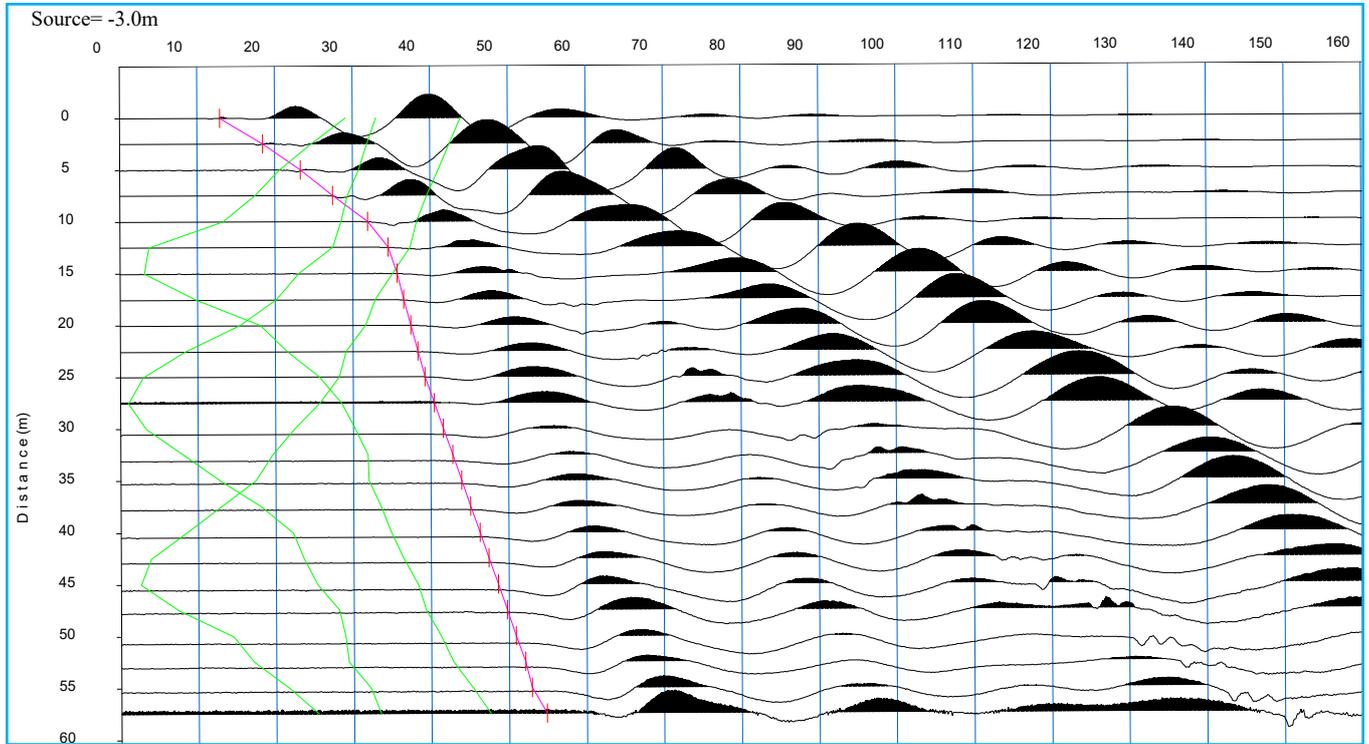
Distanza tra i geofoni 2.5 metri battuta 3m.

Coordinate WGS 84 :

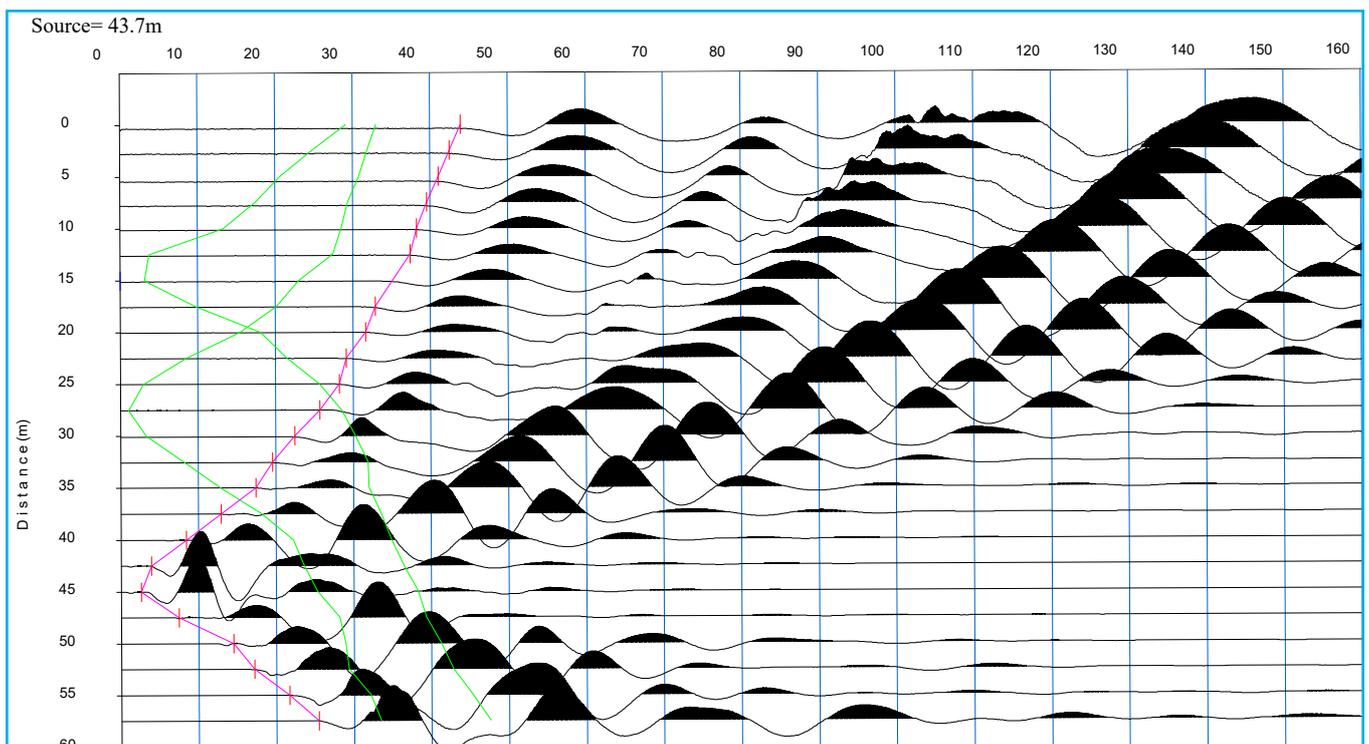
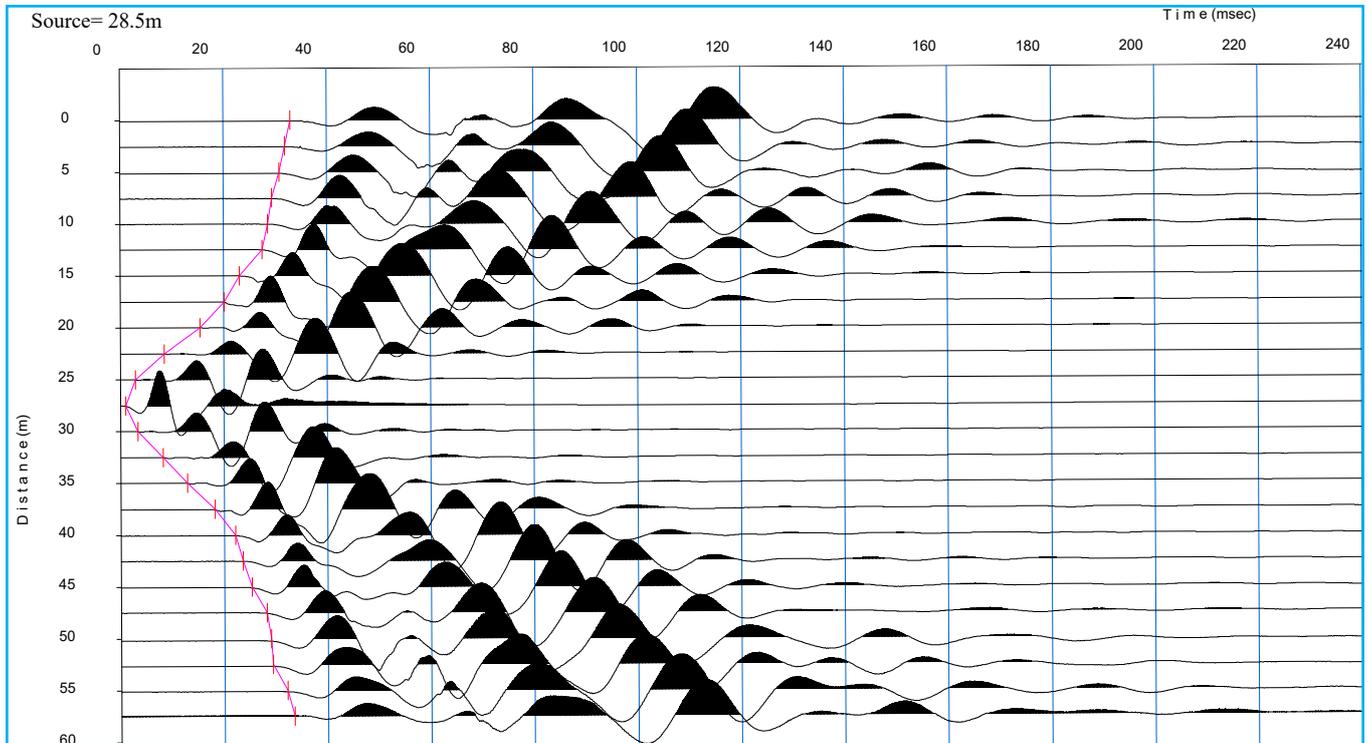
Geofono 1: 0620196 - 4451840
Geofono 12: 0620202 - 4451816
Geofono 24: 0620211 - 4451759



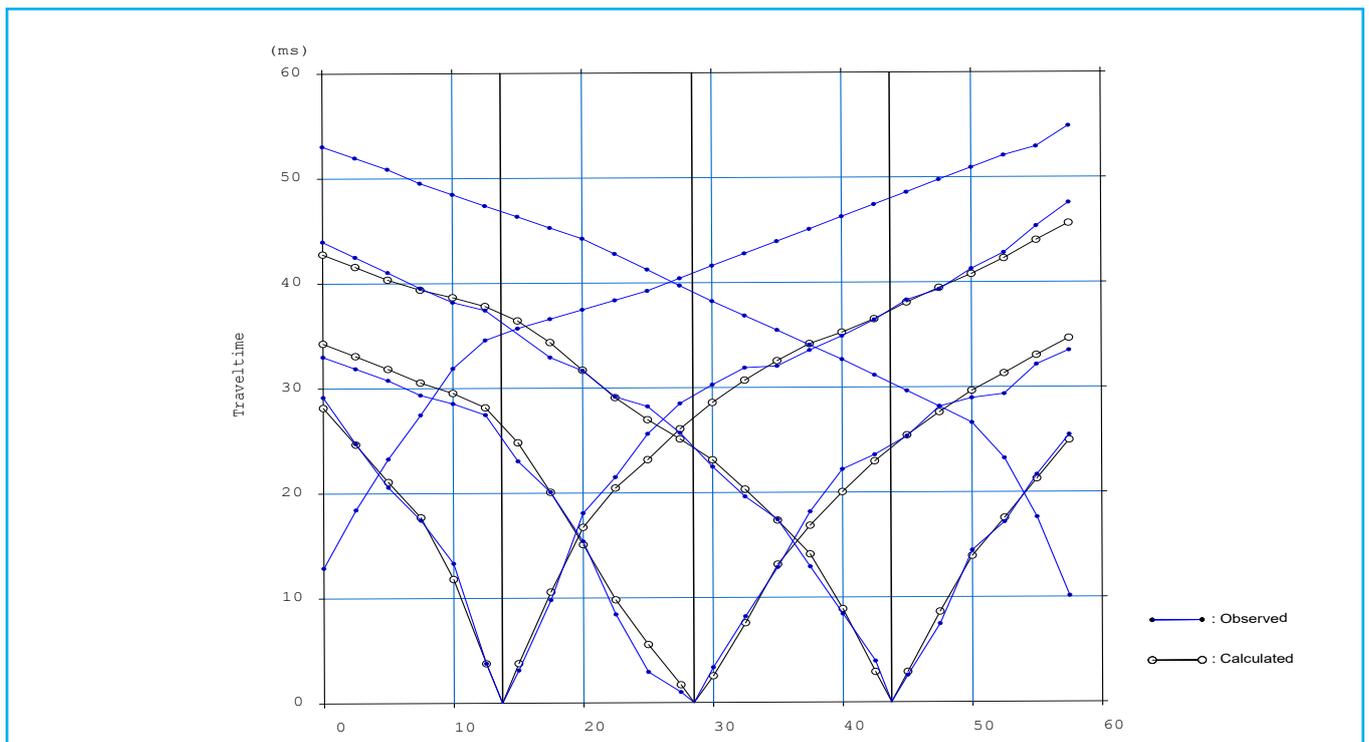
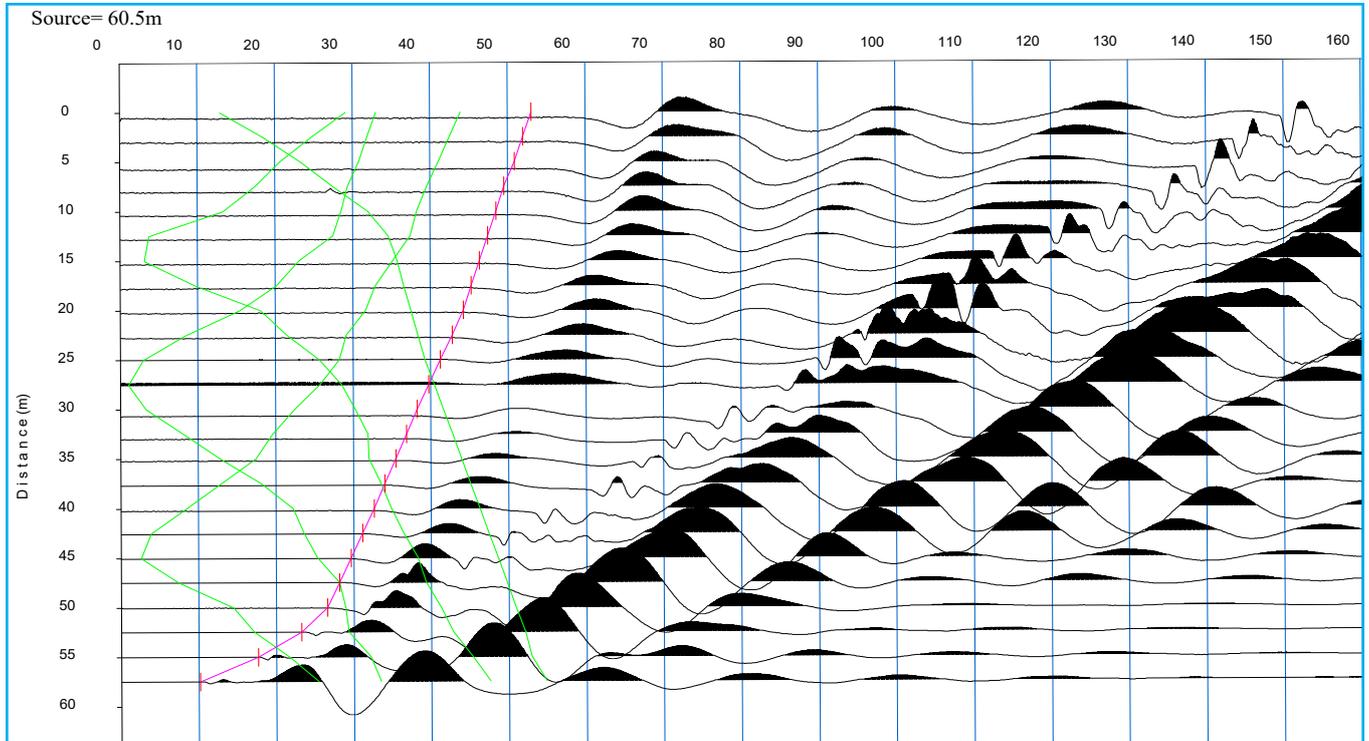
TOMOGRAFIA - C125 - R135 - S1



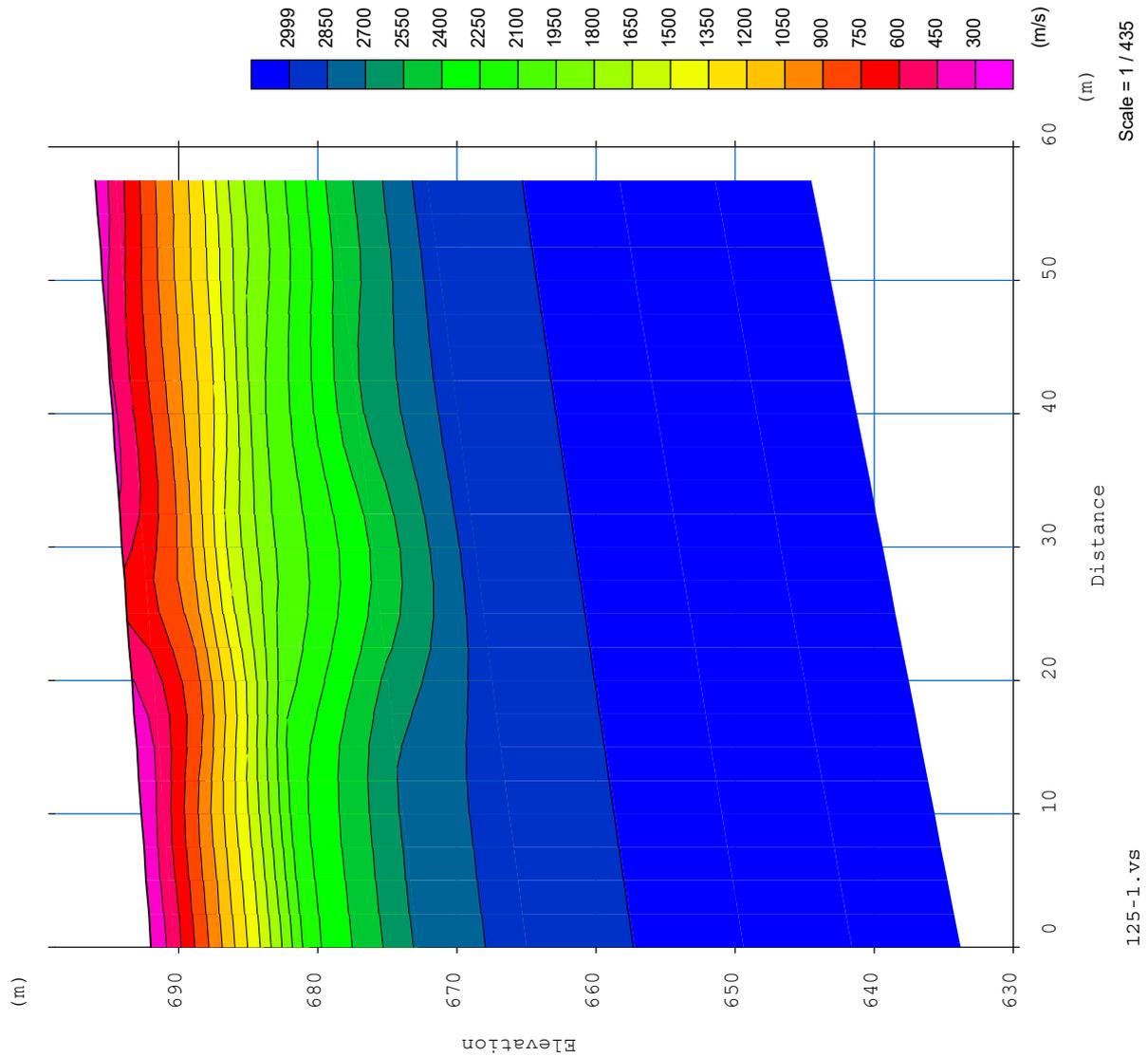
TOMOGRAFIA - C125 - R135-S1



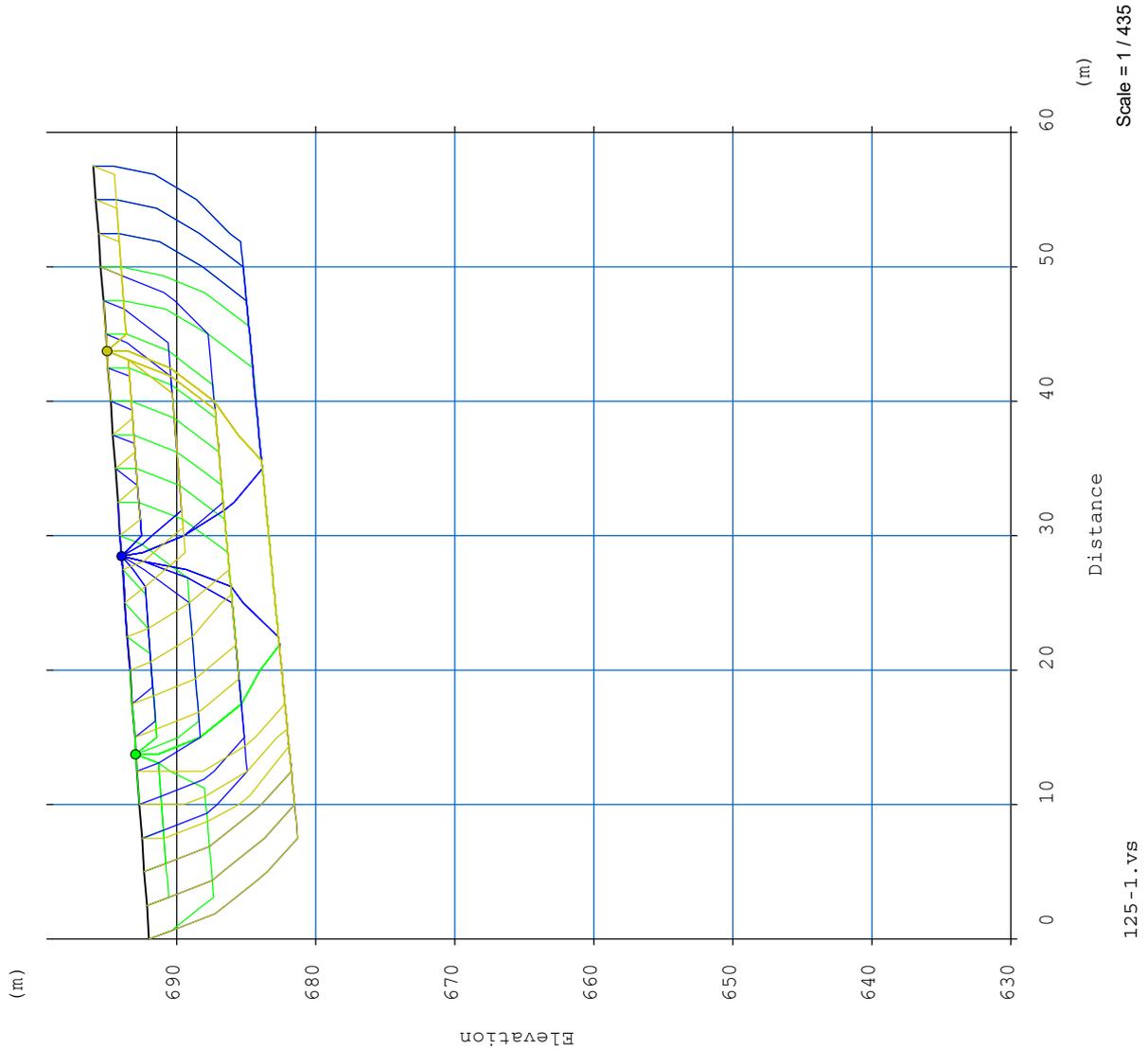
TOMOGRAFIA - C125 - R135 - S1



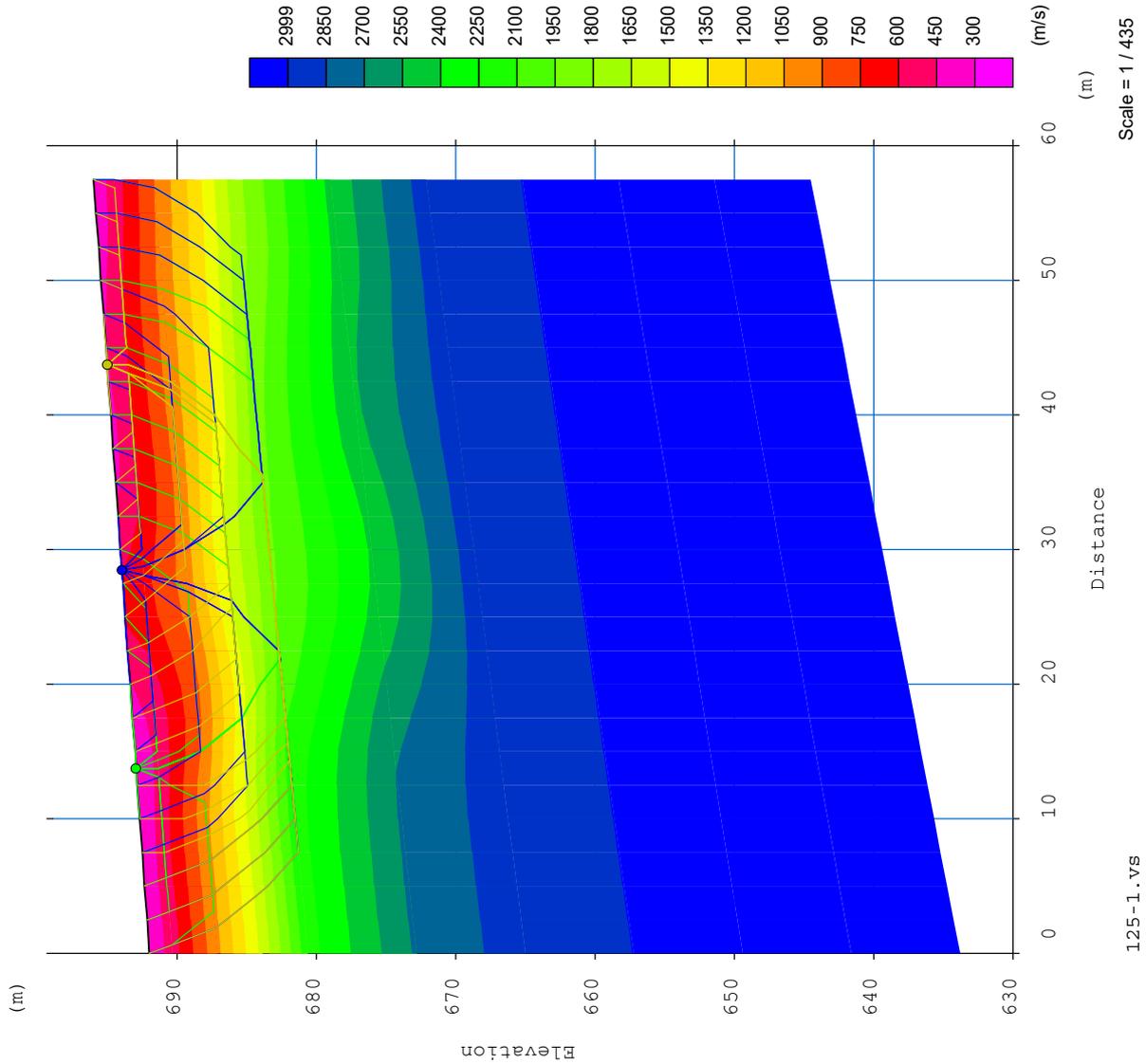
TOMOGRAFIA - C125 - R135-S1



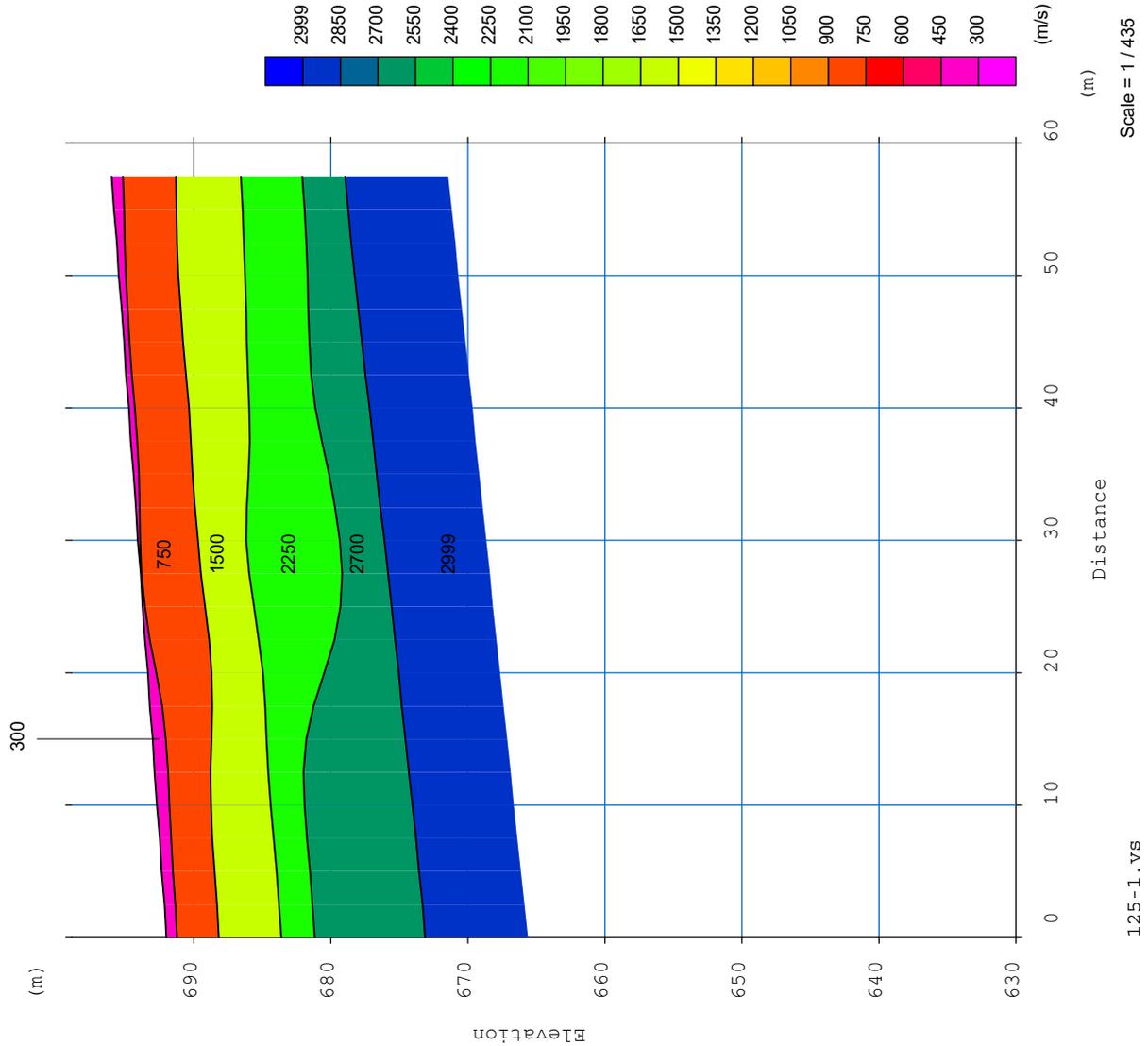
TOMOGRRAFIA - C125 - R135 - S1



TOMOGRAFIA - C125 - R135-S1



TOMOGRAFIA - C125 - R135 - S1



TOMOGRAFIA - C125 - R135-S1



TOMOGRAFIA - C125 - R135 - S2

Id indagine C125 - R135 - 2
LOCALITA' Clobraro (MT)
DATA 14/09/2016

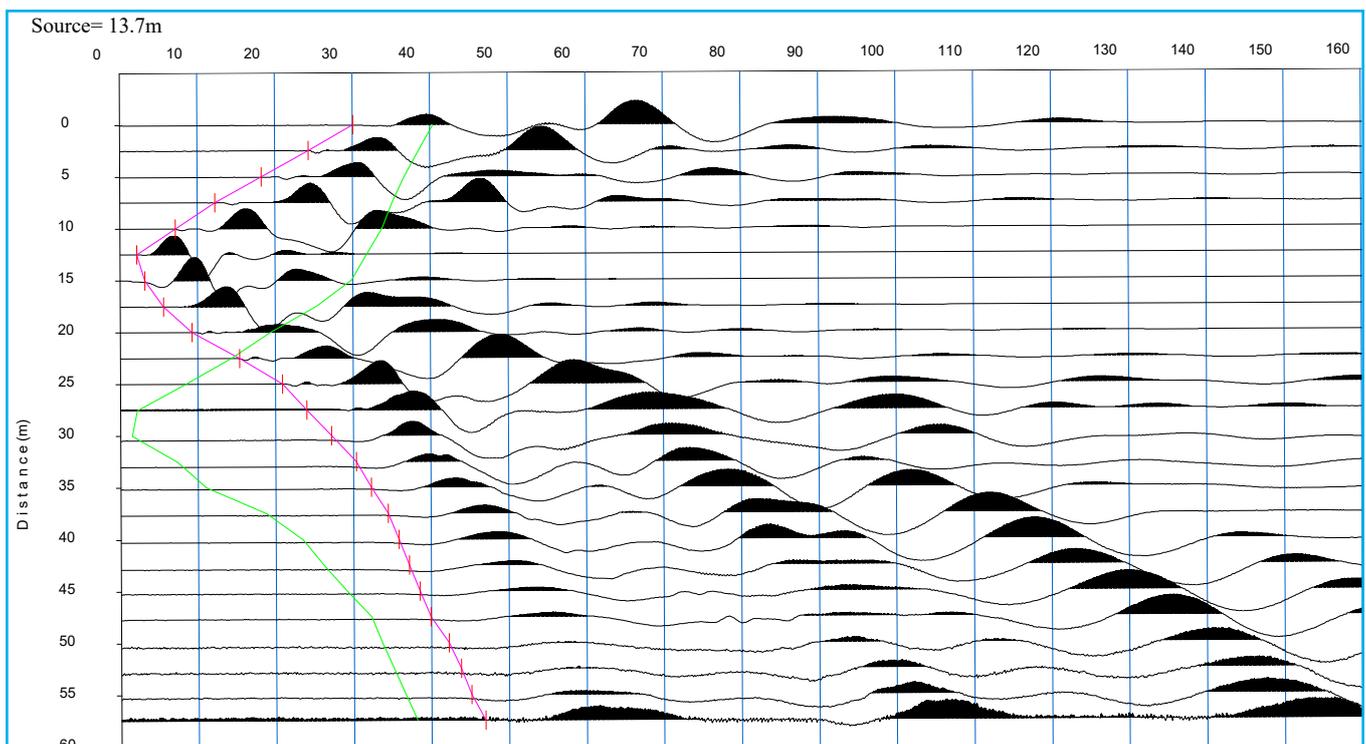
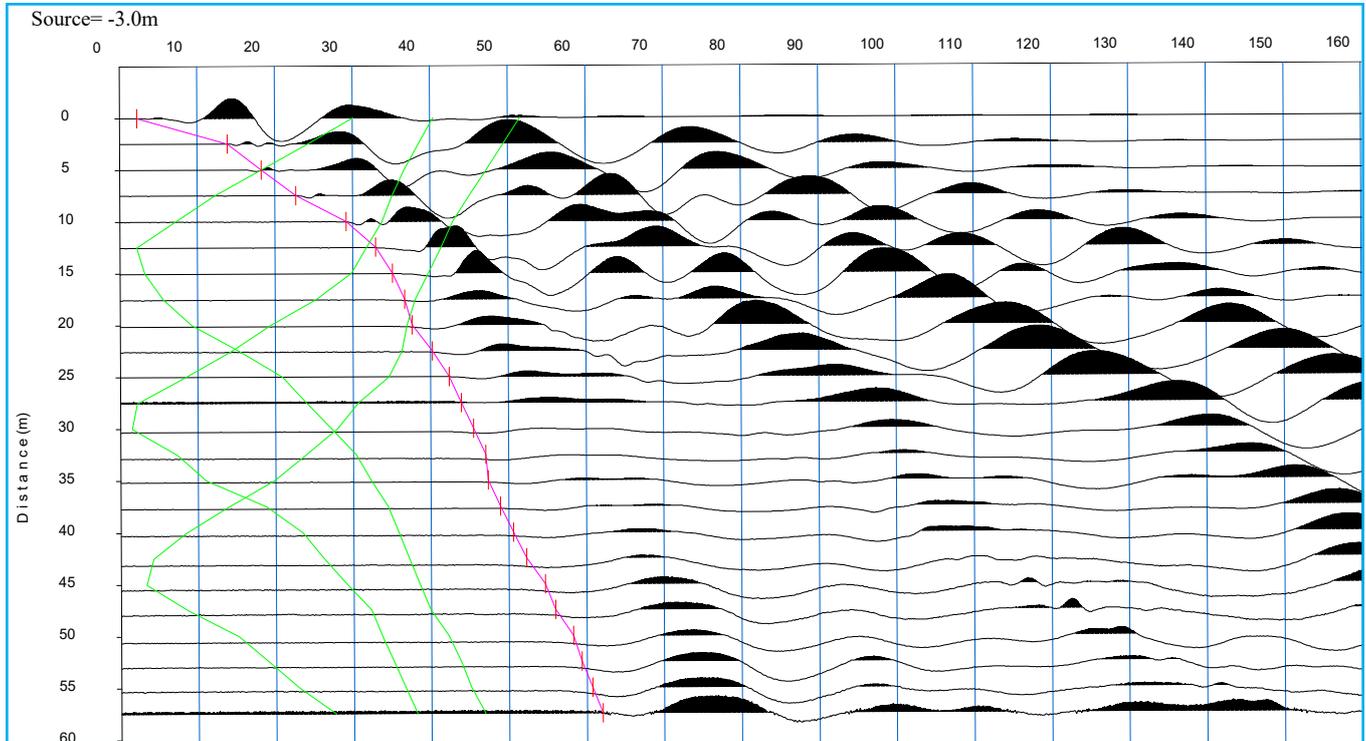
Distanza tra i geofoni 2.5 metri battuta 3m.

Coordinate WGS 84 :

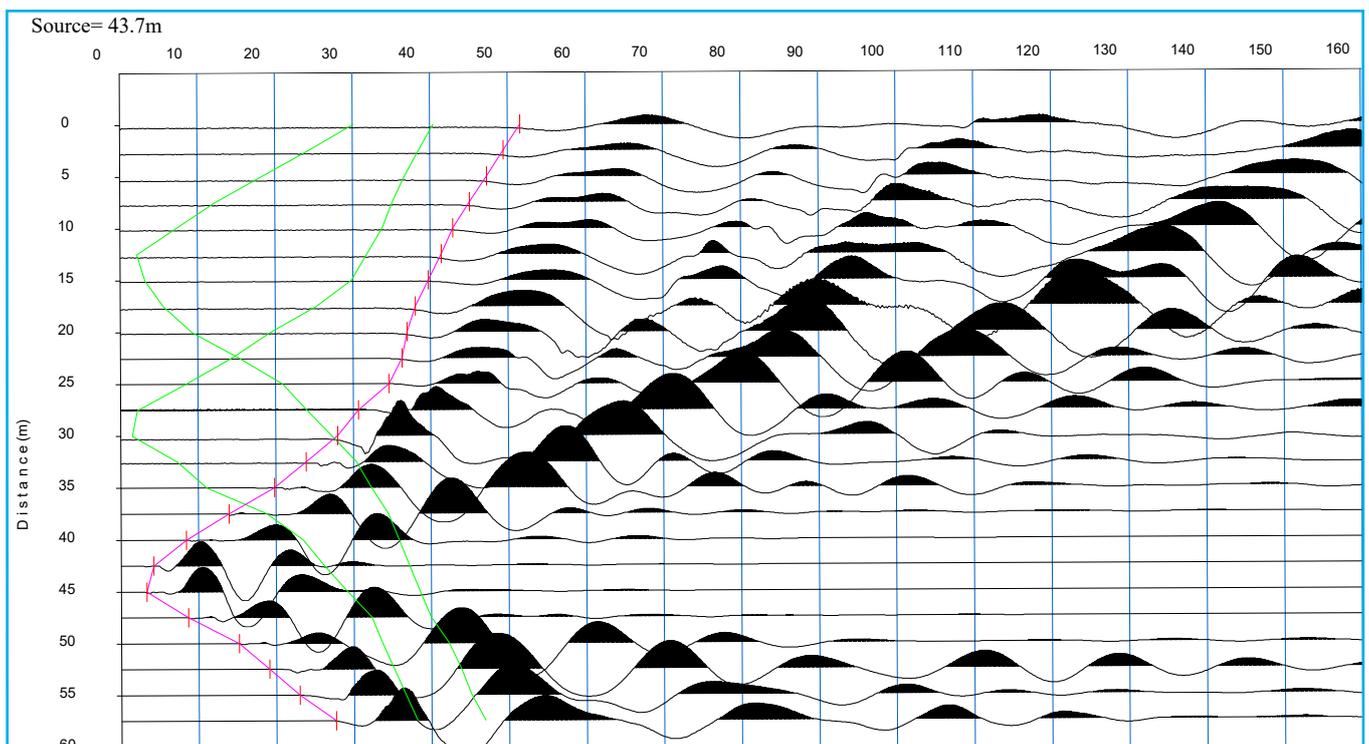
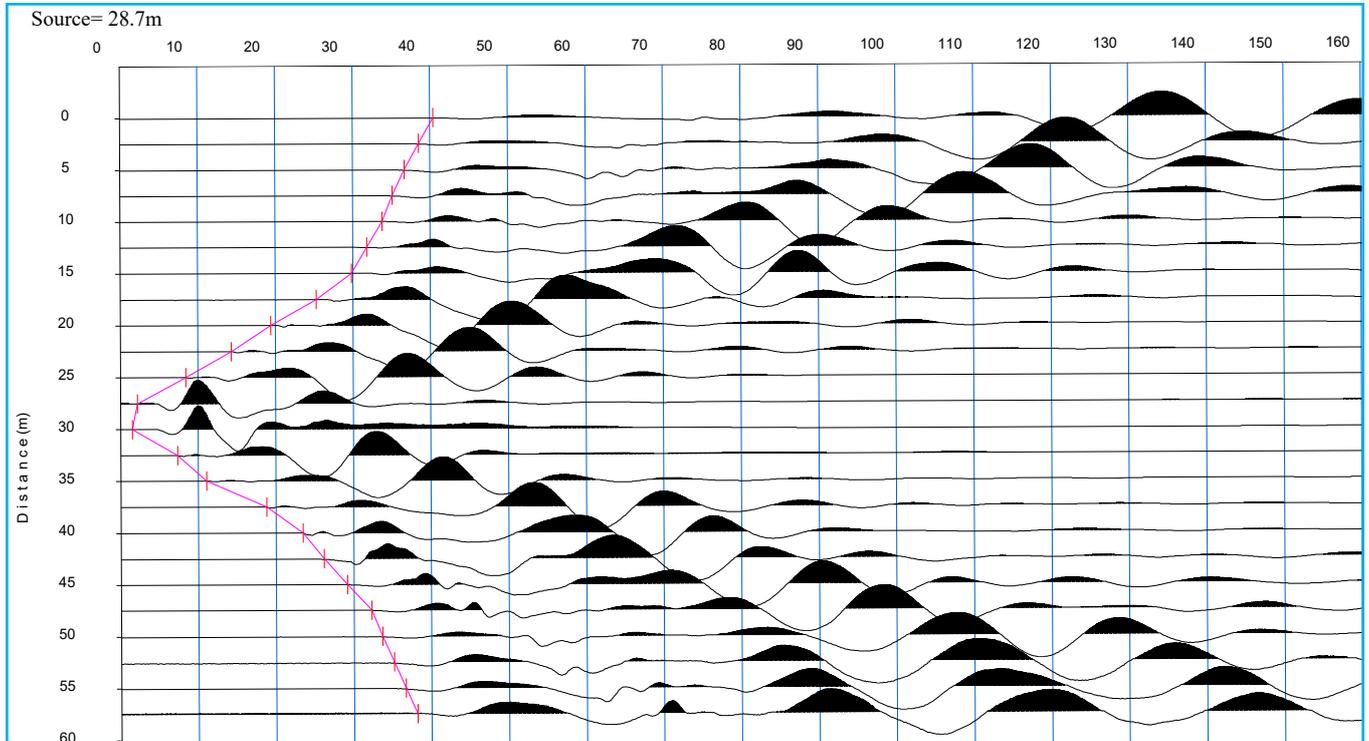
Geofono 1: 0620214 - 4451807
Geofono 12: 0620214 - 4451795
Geofono 24: 0620209 - 4451825



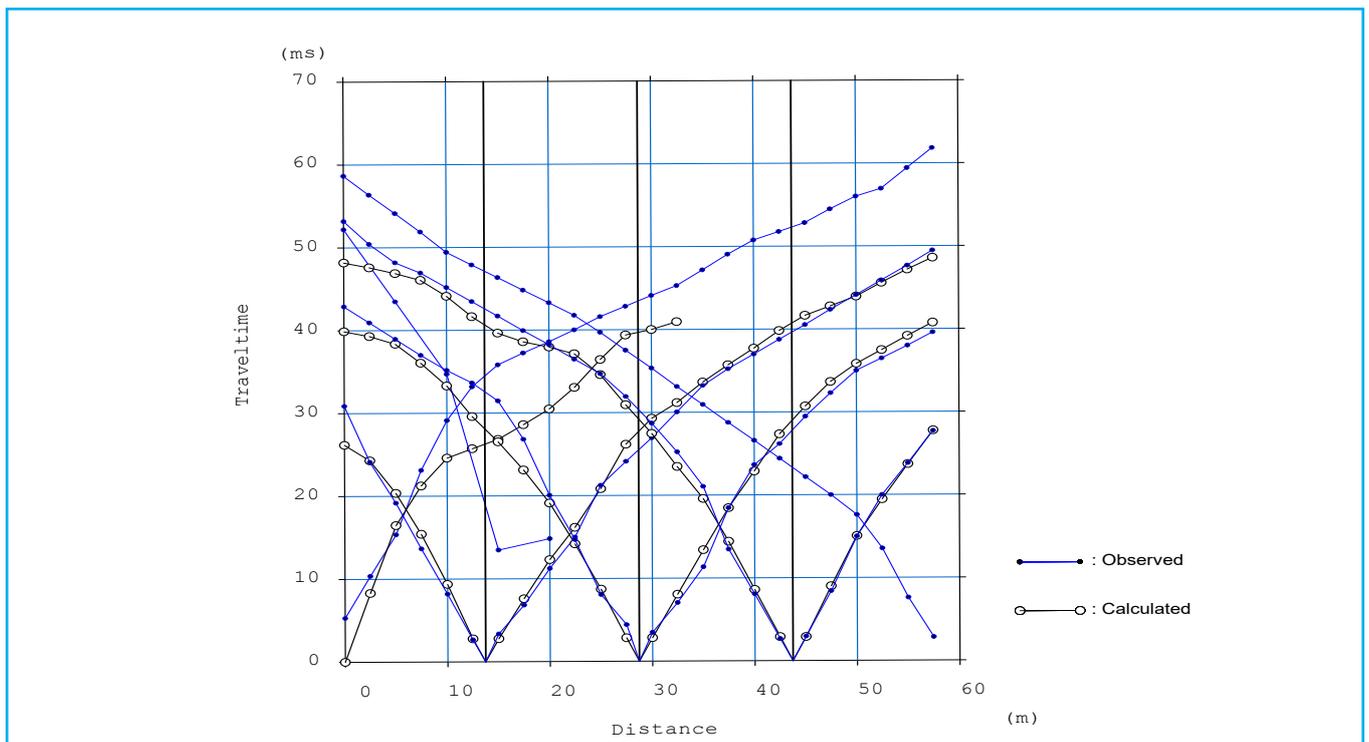
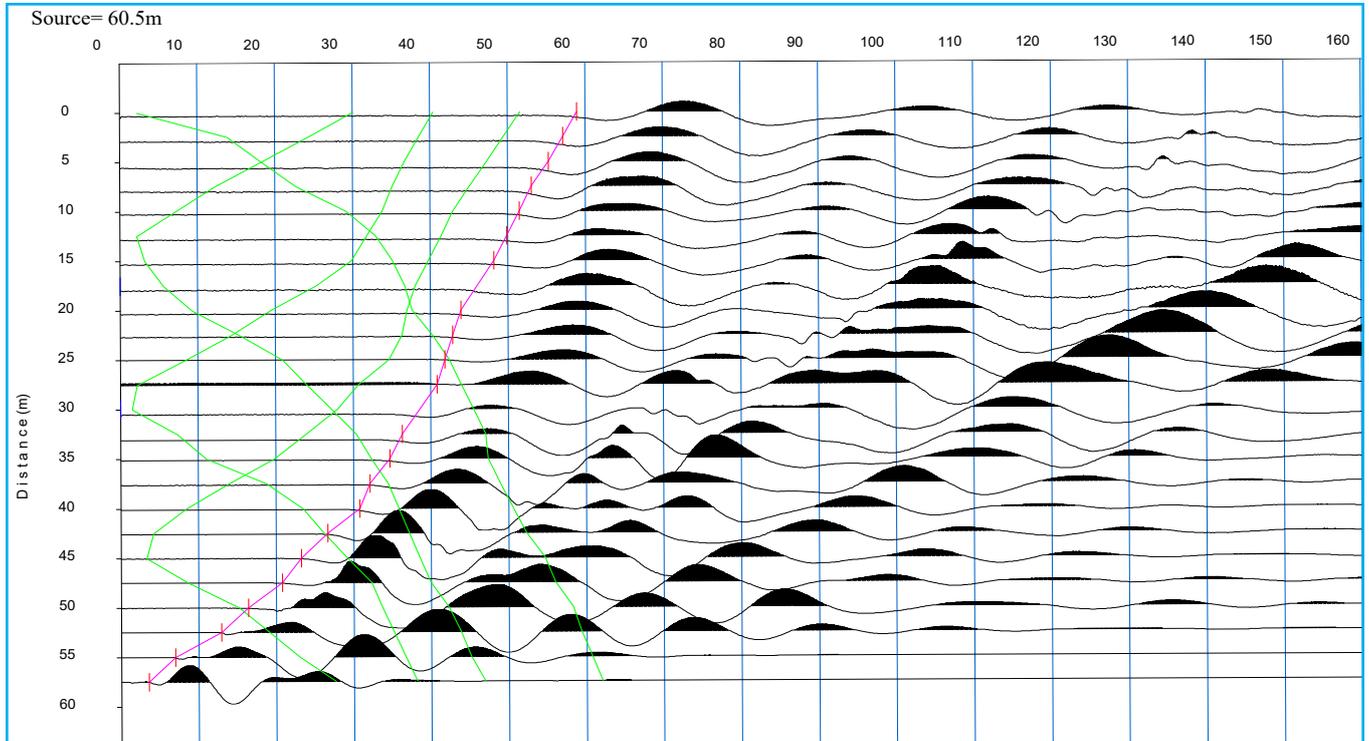
TOMOGRAFIA - C125 - R135-S2



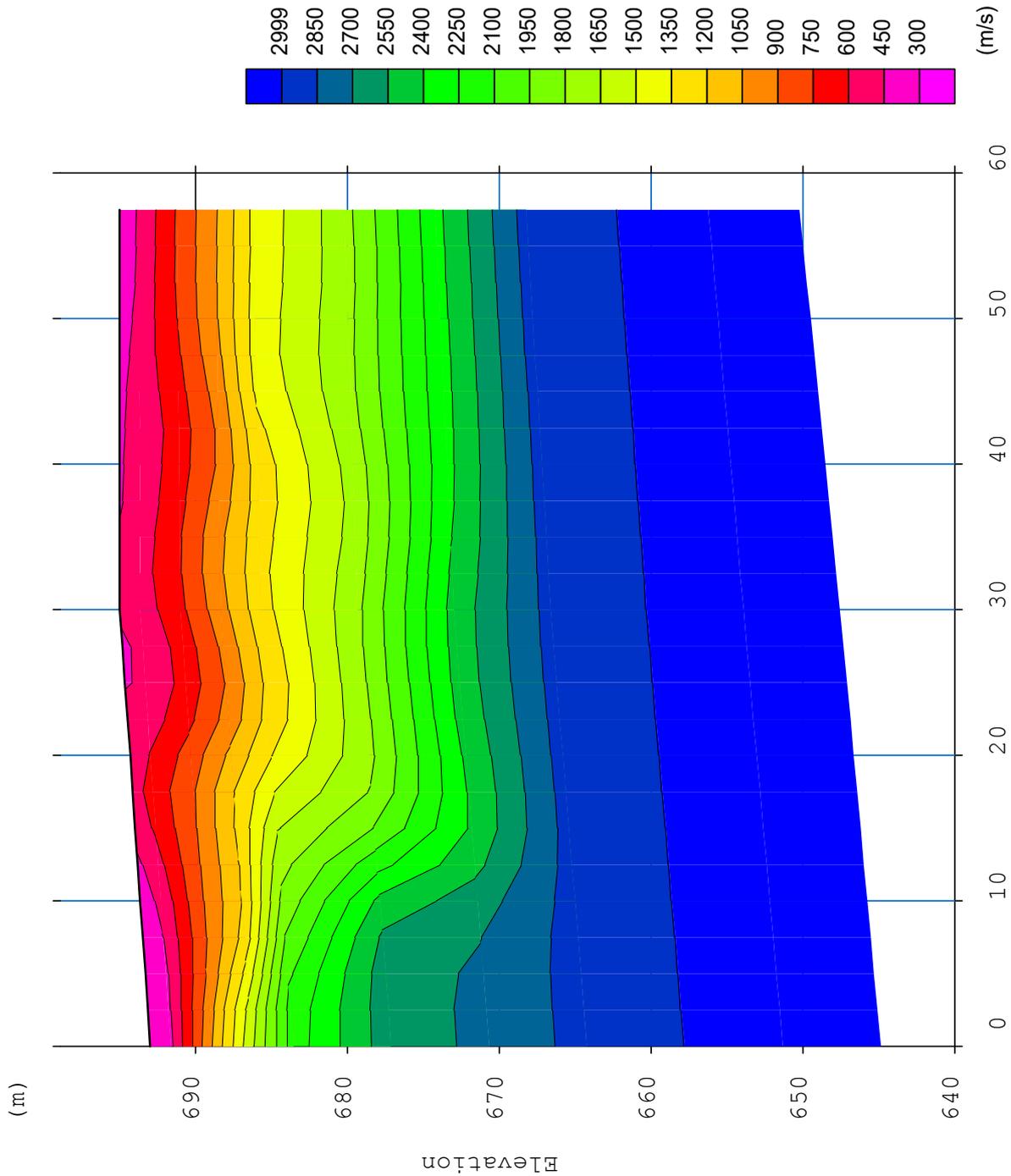
TOMOGRAFIA - C125 - R135 - S2



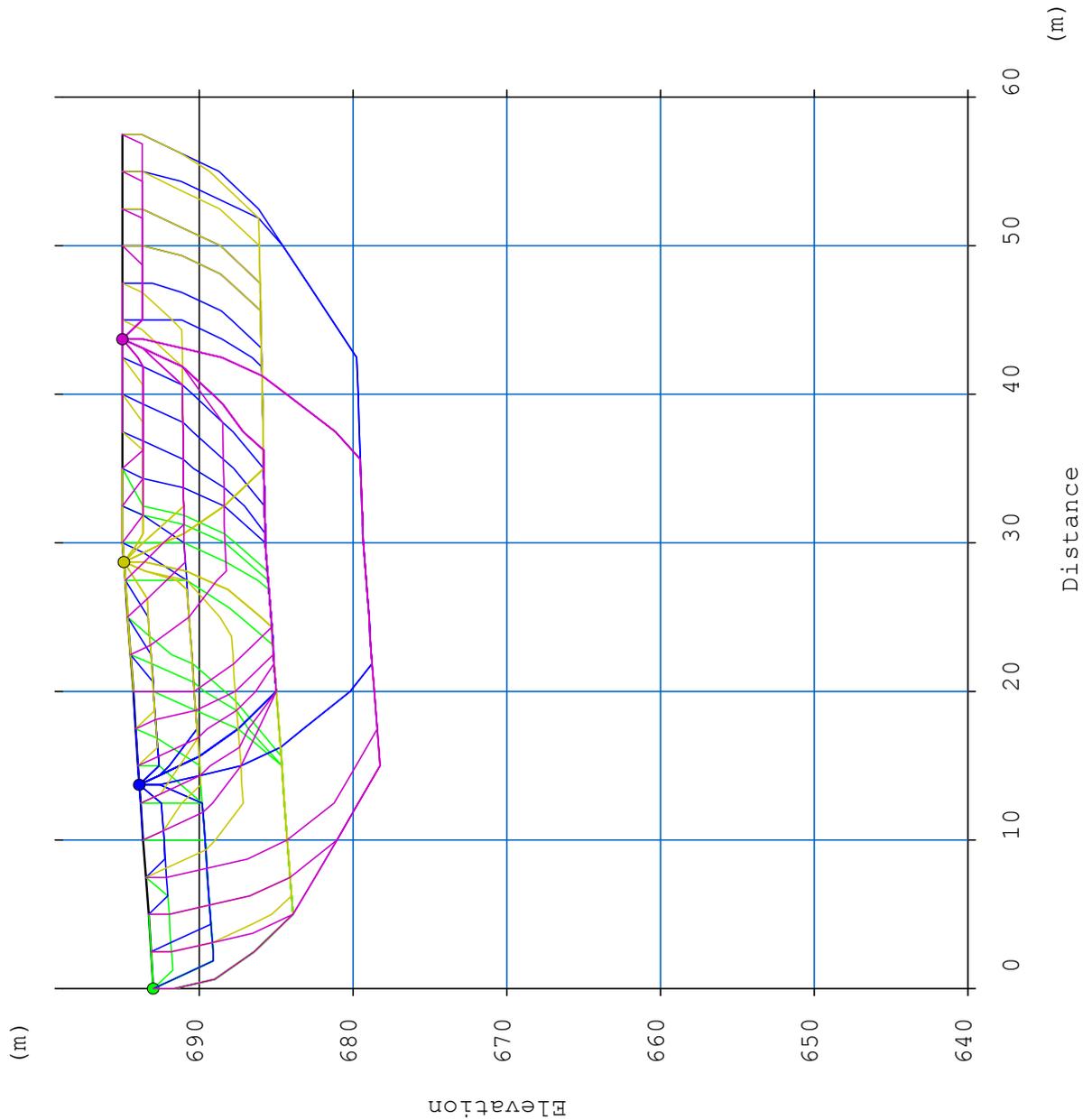
TOMOGRAFIA - C125 - R135 - S2



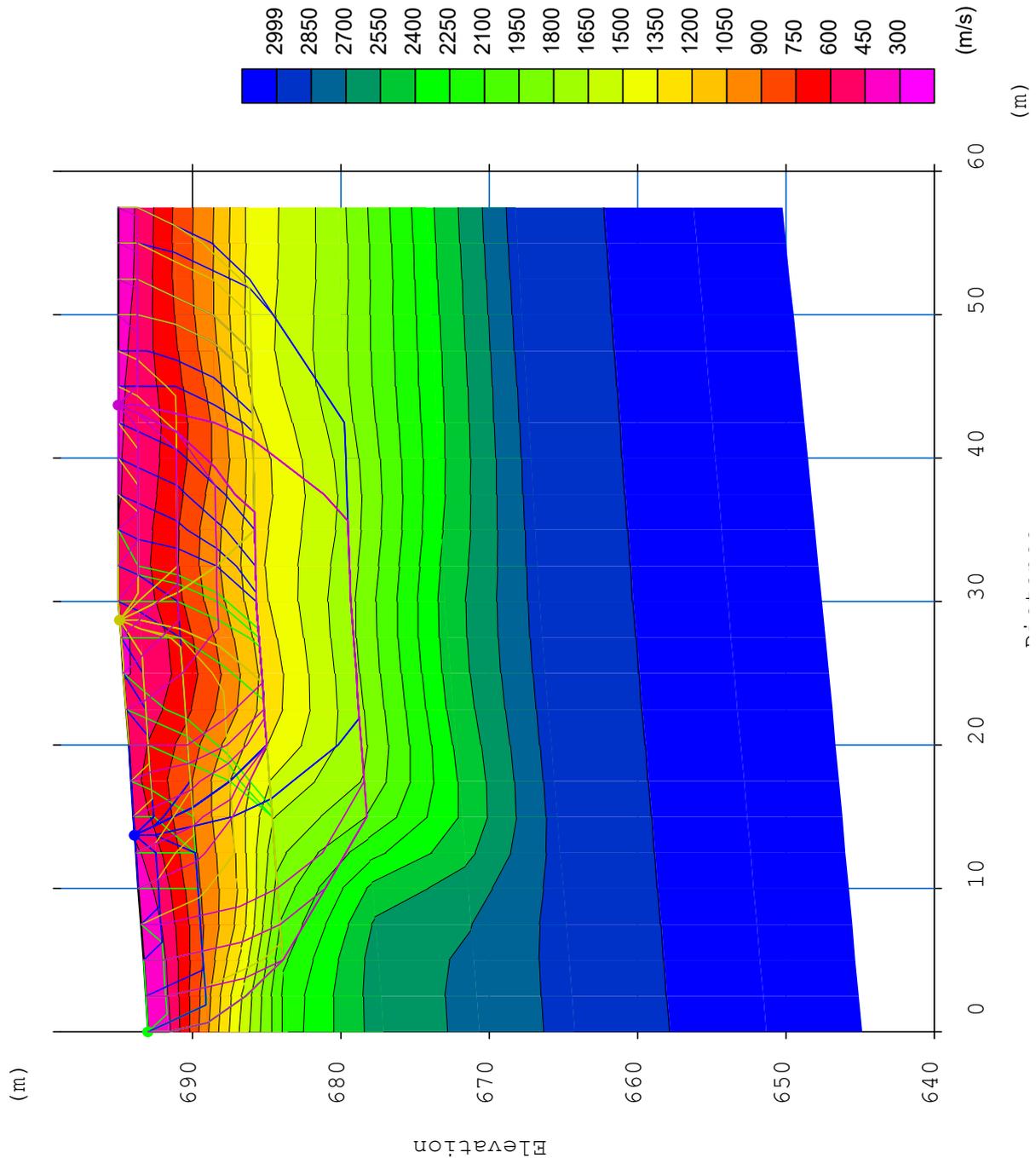
TOMOGRAFIA - C125 - R135 - S2



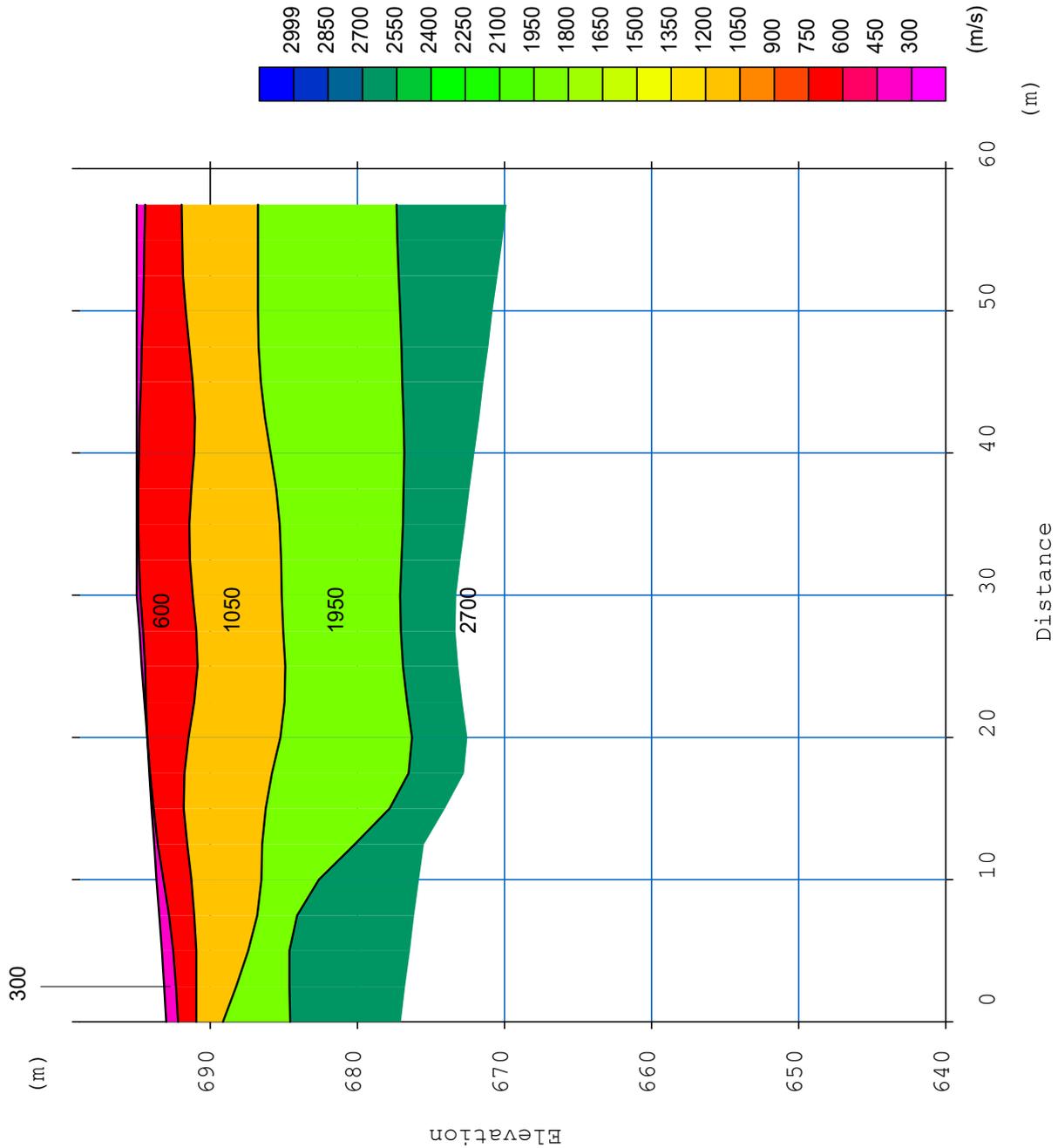
TOMOGRAFIA - C125 - R135 - S2



TOMOGRAFIA - C125 - R135 - S2



TOMOGRAFIA - C125 - R135-S2



TOMOGRAFIA - C125 - R135 - S2



TOMOGRRAFIA - C125 - R135 - S3

Id indagine C125 - R135 -3
LOCALITA' Clobraro (MT)
DATA 14/09/2016

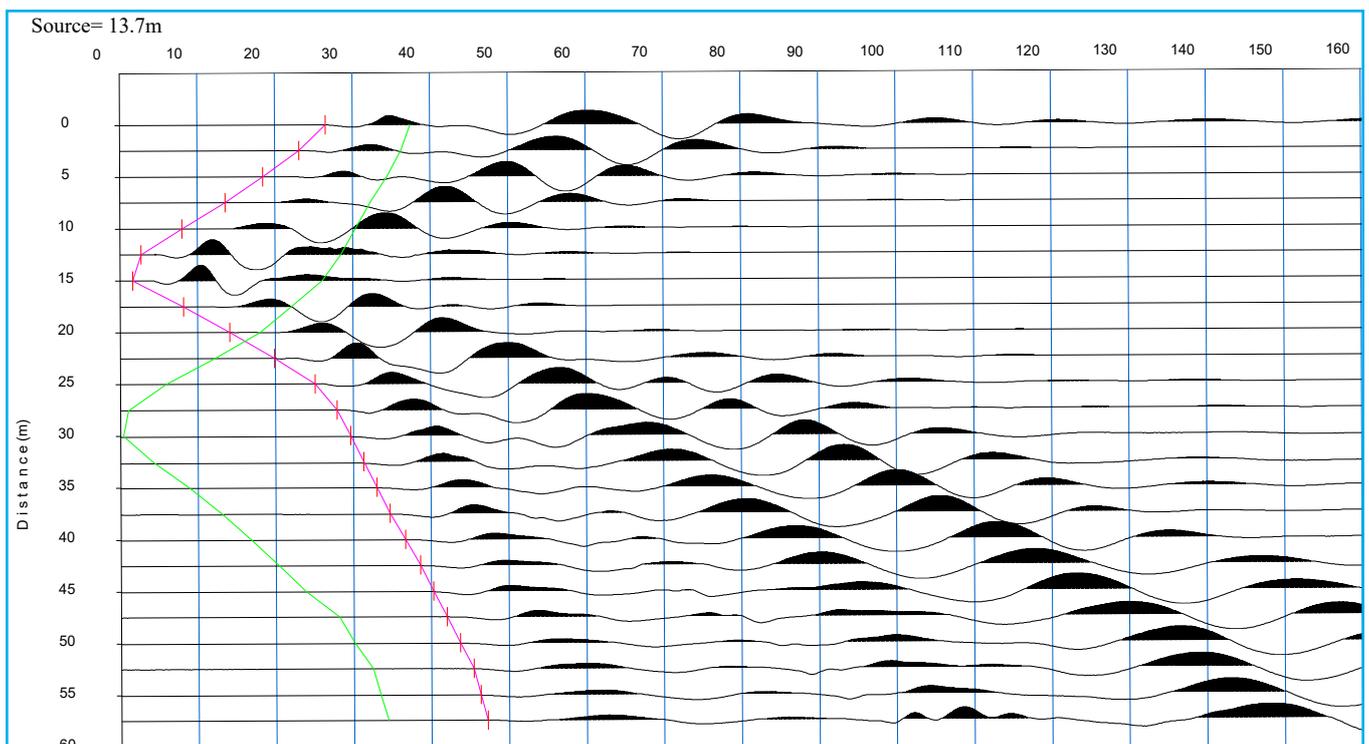
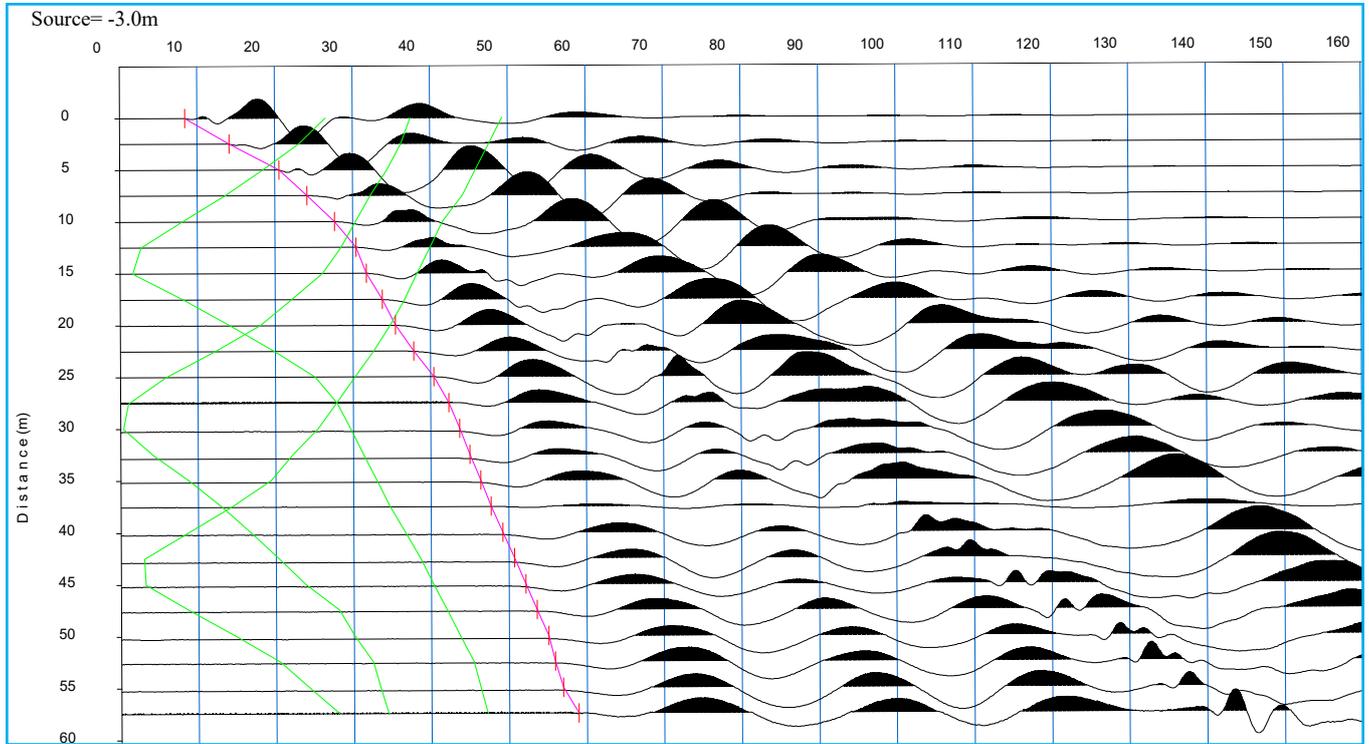
Distanza tra i geofoni 2.5 metri battuta 3m.

Coordinate WGS 84 :

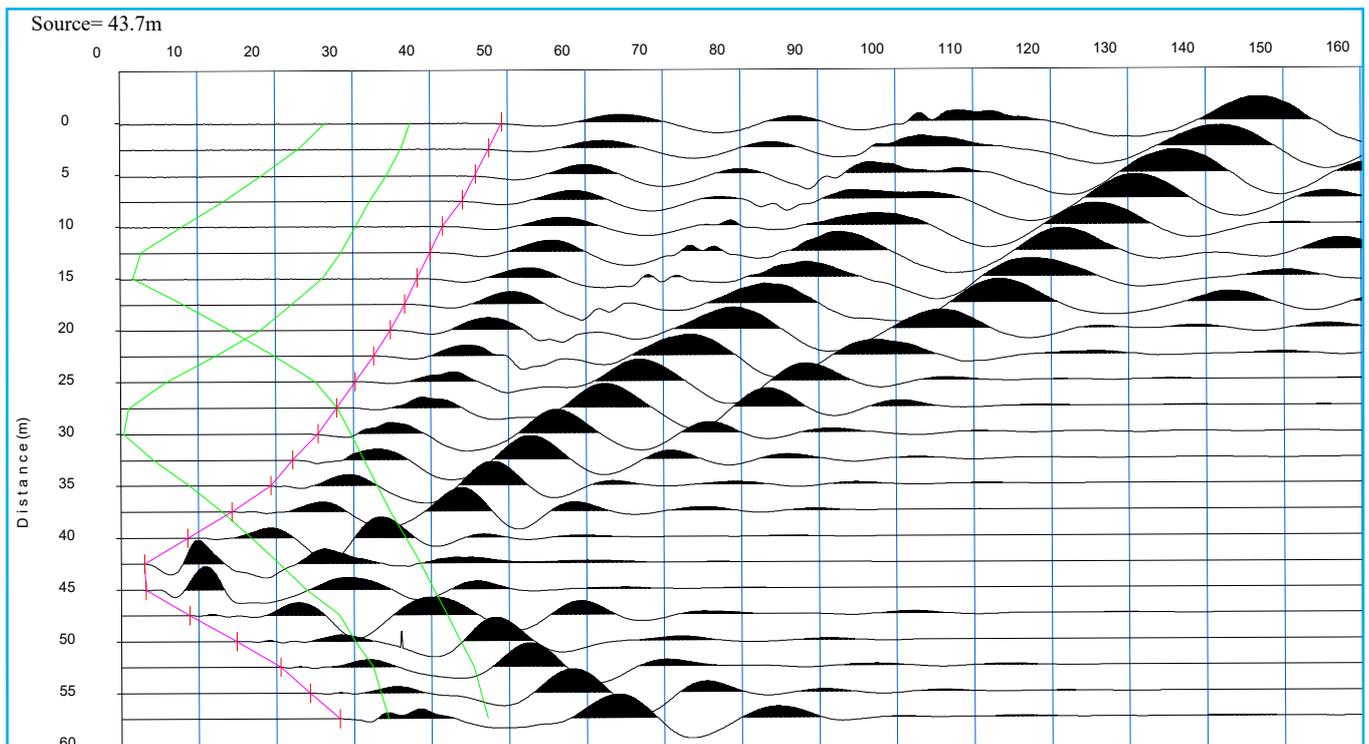
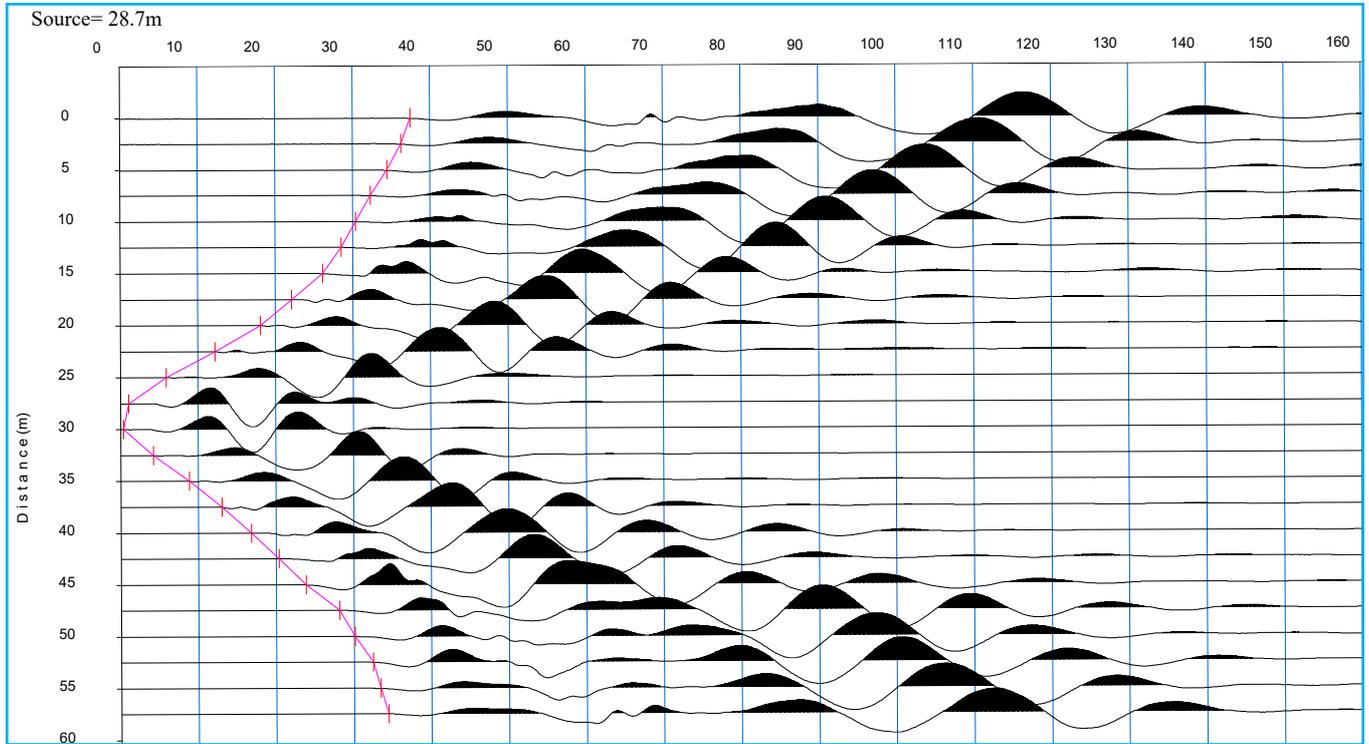
Geofono 1: 0620209 - 4451825
Geofono 12: 0620212 - 4451805
Geofono 24: 0620216 - 4451777



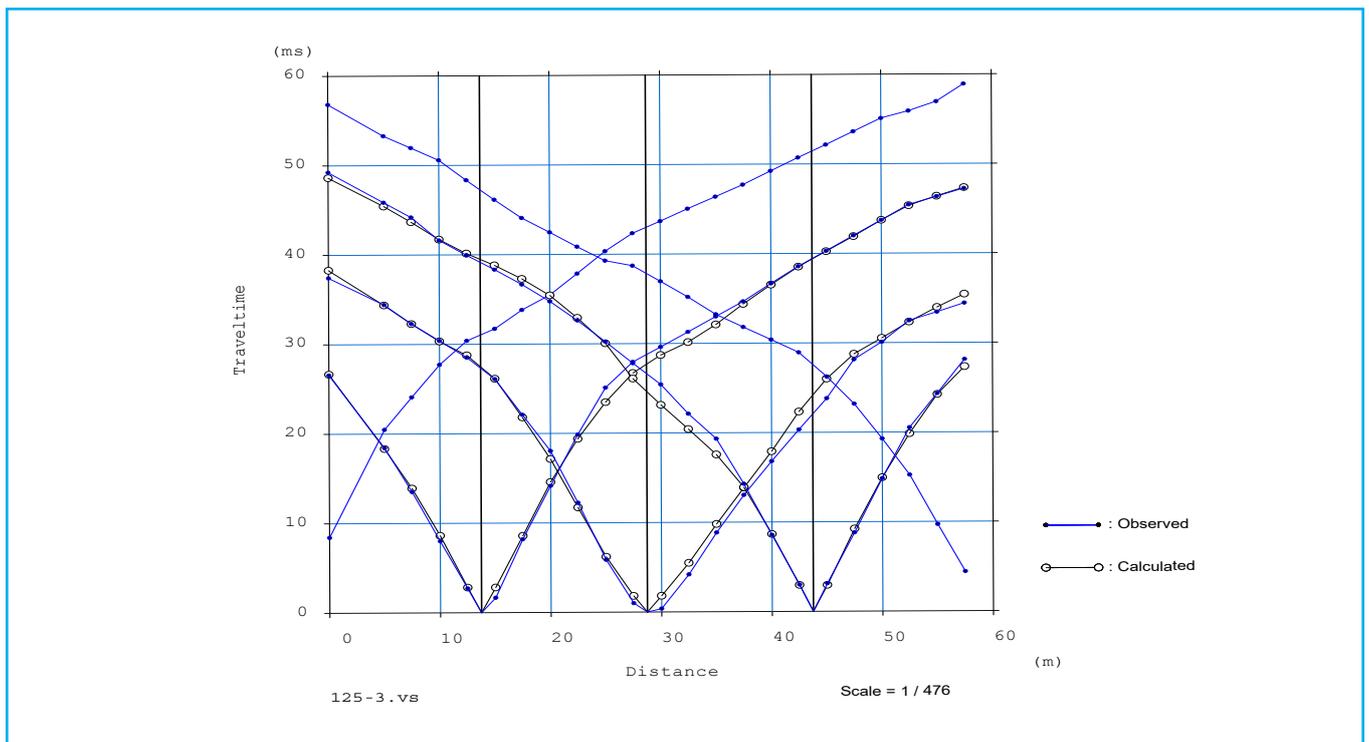
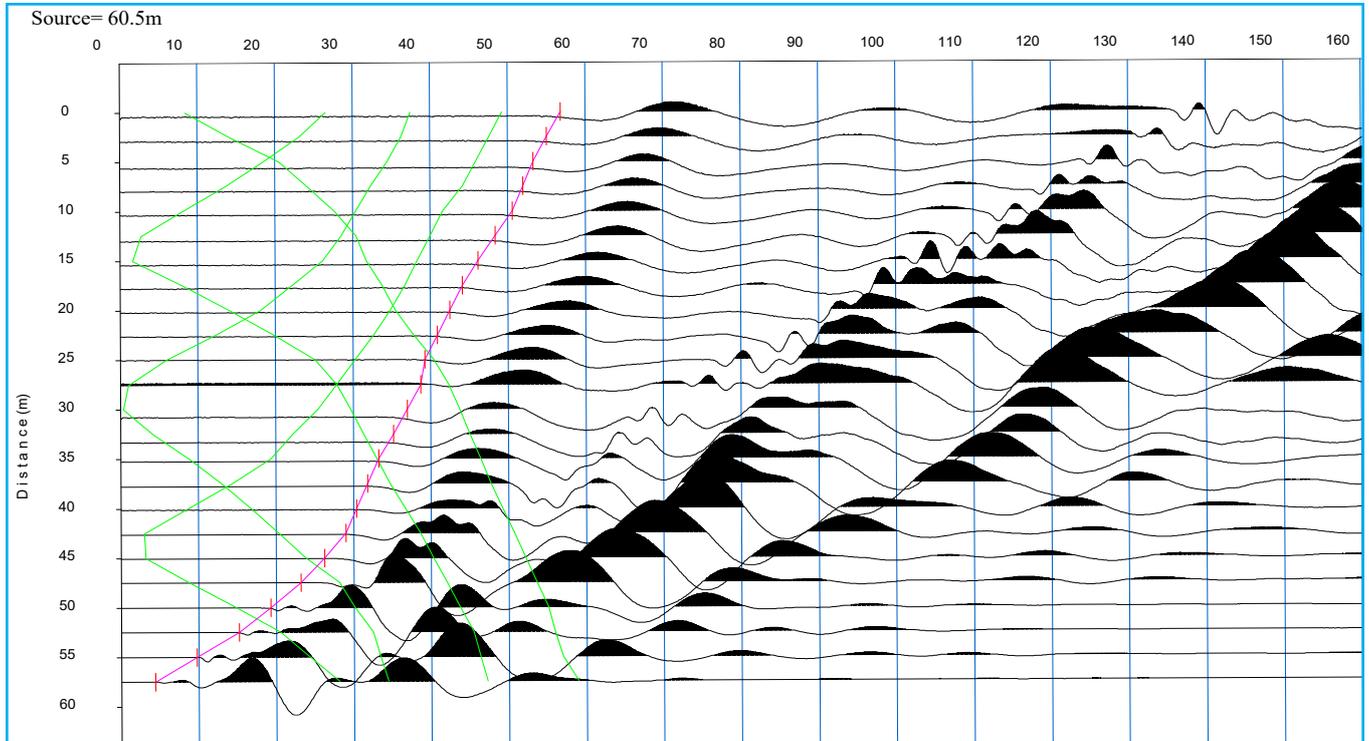
TOMOGRAFIA - C125 - R135 - S3



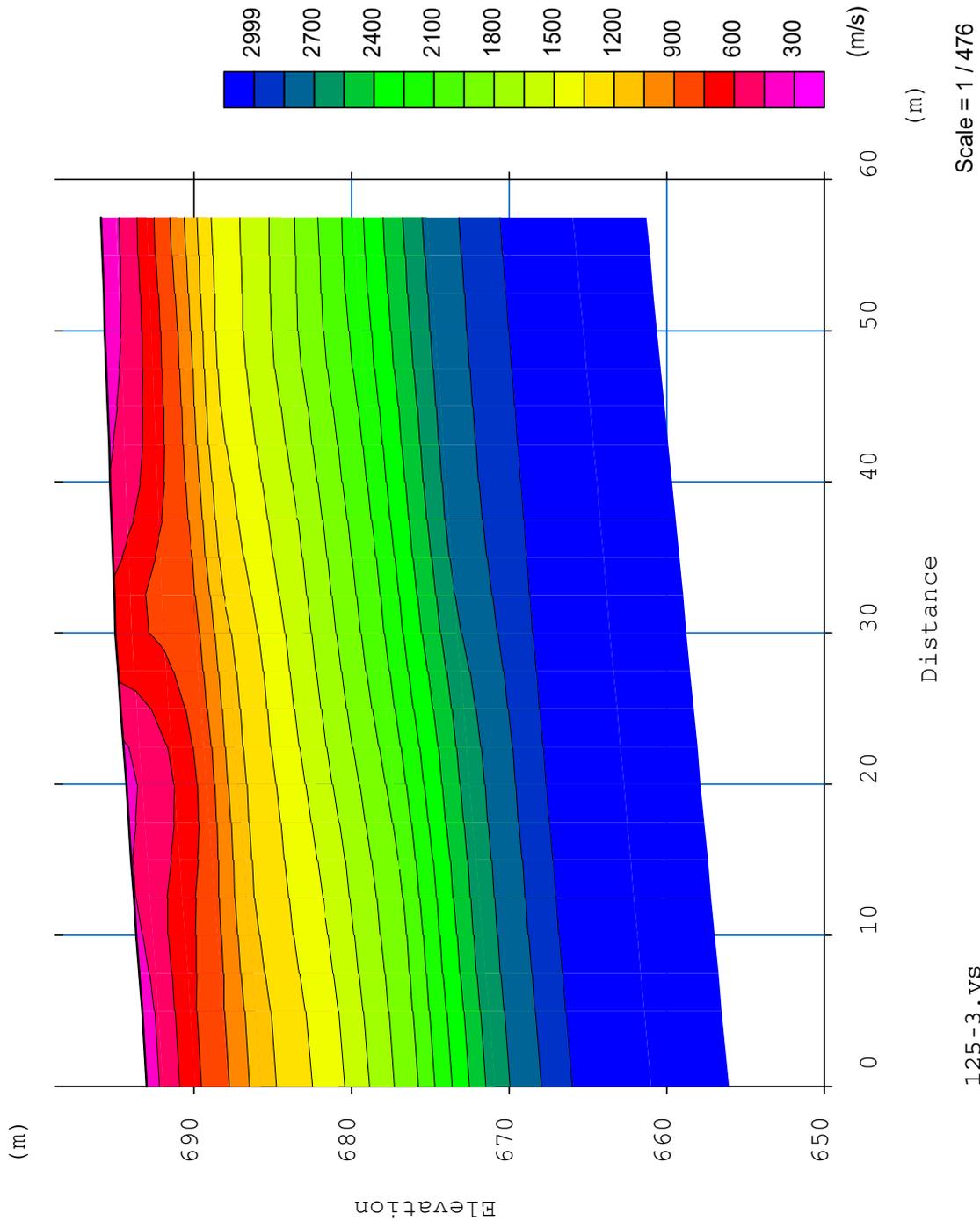
TOMOGRAFIA - C125 - R135 - S3



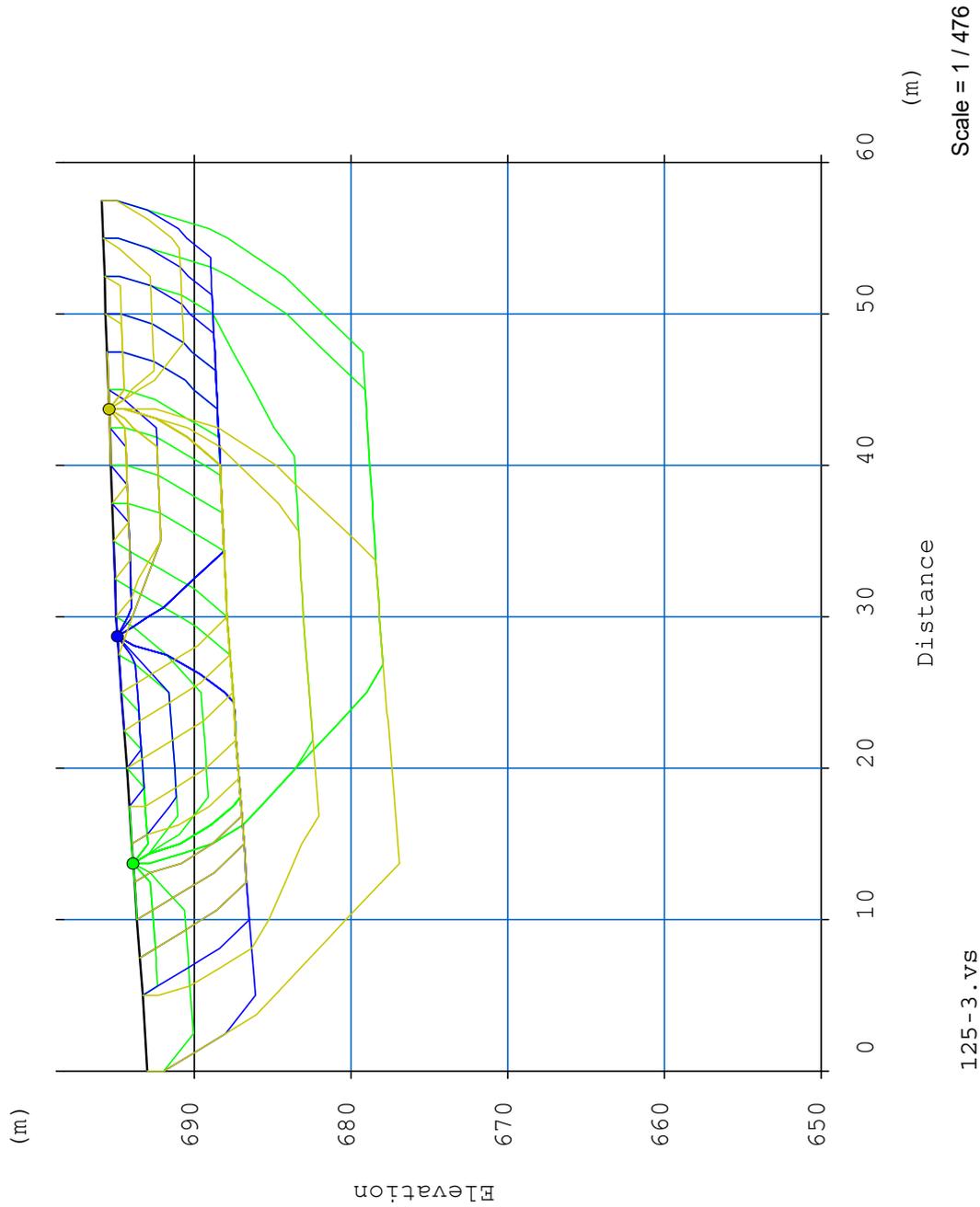
TOMOGRAFIA - C125 - R135 - S3



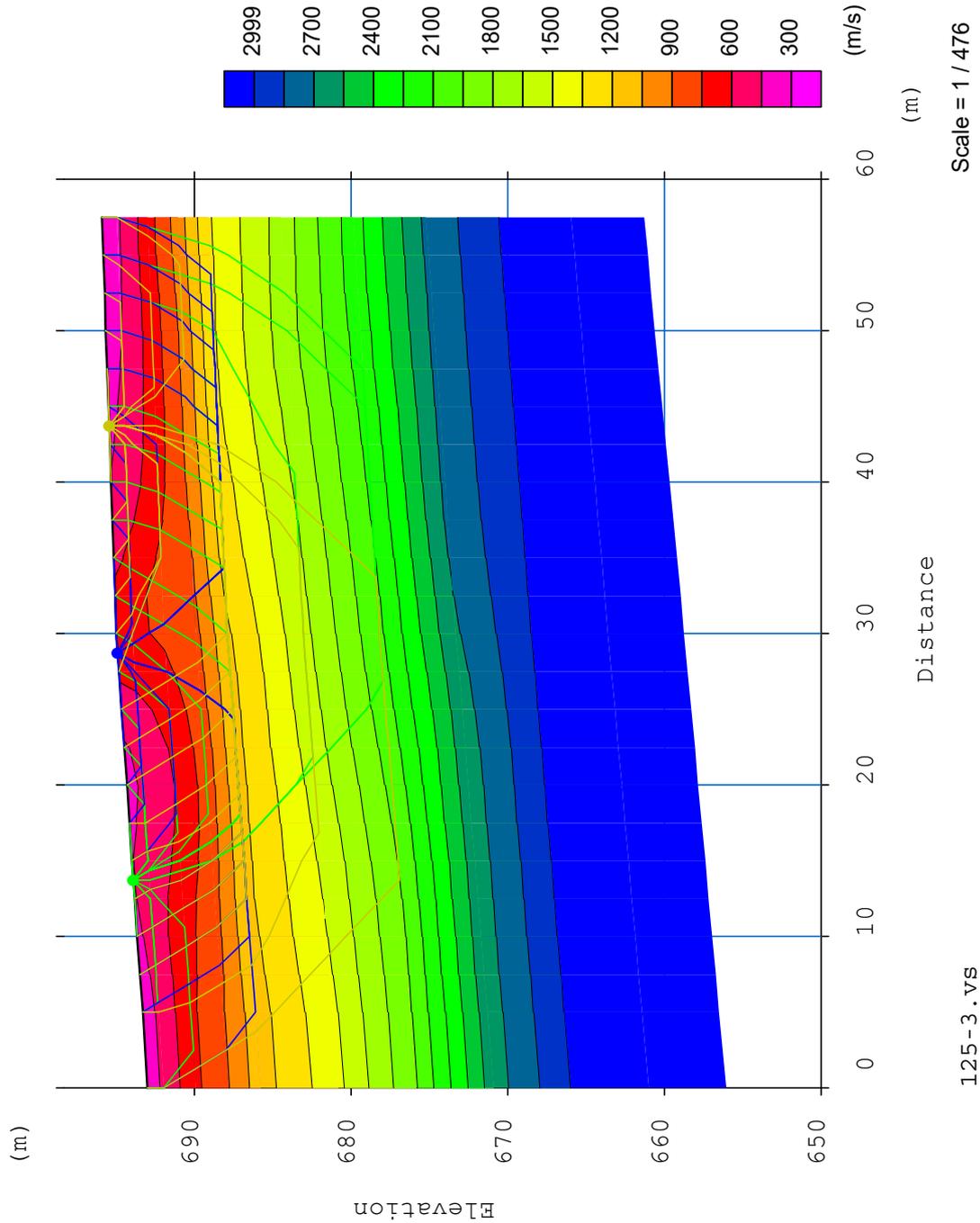
TOMOGRAFIA - C125 - R135 - S3



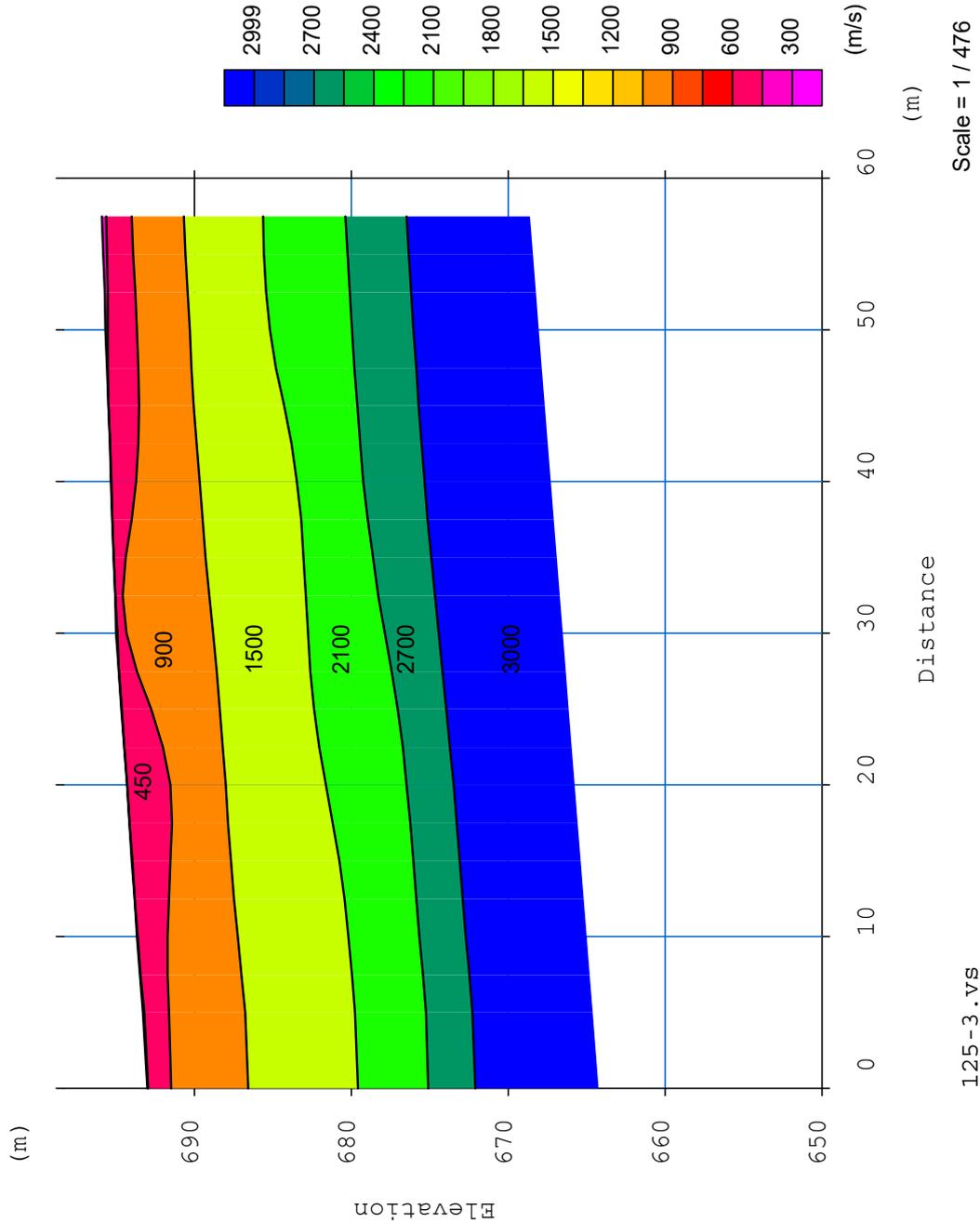
TOMOGRAFIA - C125 - R135 - S3



TOMOGRAFIA - C125 - R135 - S3



TOMOGRAFIA - C125 - R135 - S3

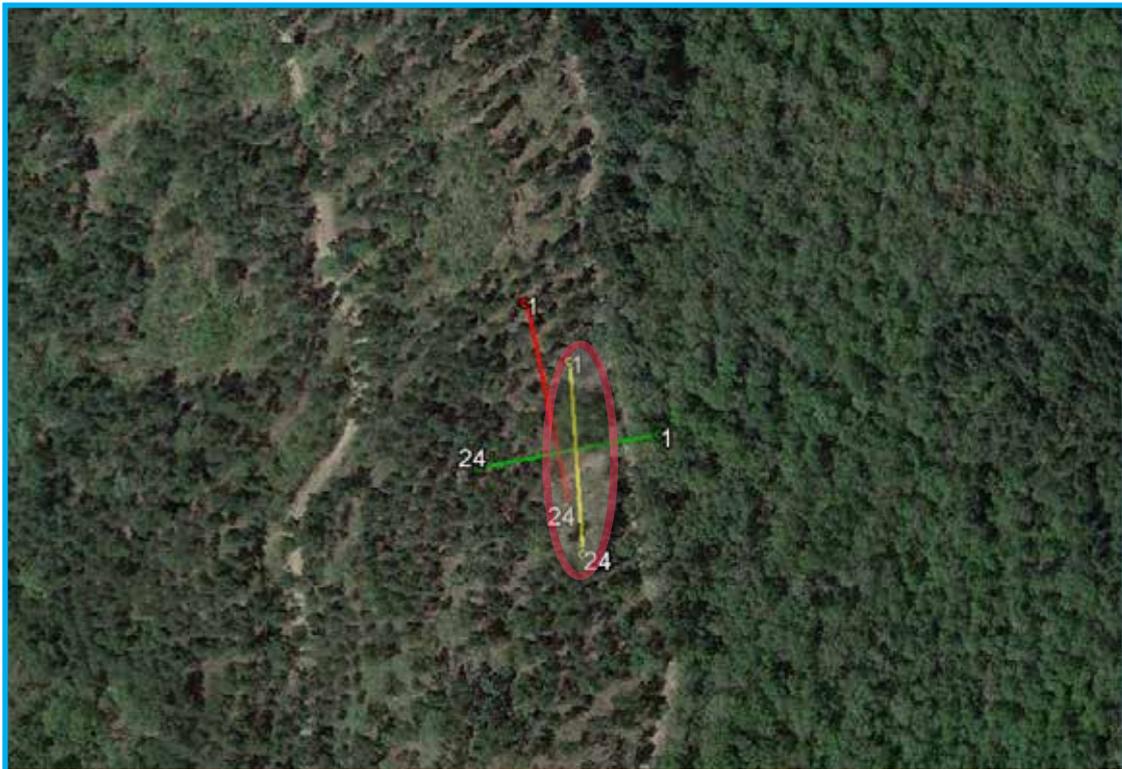


TOMOGRAFIA - C125 - R135 -S3



MASW C125-R135- S3

OGGETTO: Realizzazione area picnic



MASW C125-R135-S3

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, di scoppi, etc.

Moto del segnale sismico

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

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

Onde di Rayleigh – “R”

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

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

Modellizzazione

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

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

MASW C125-R135- S3

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

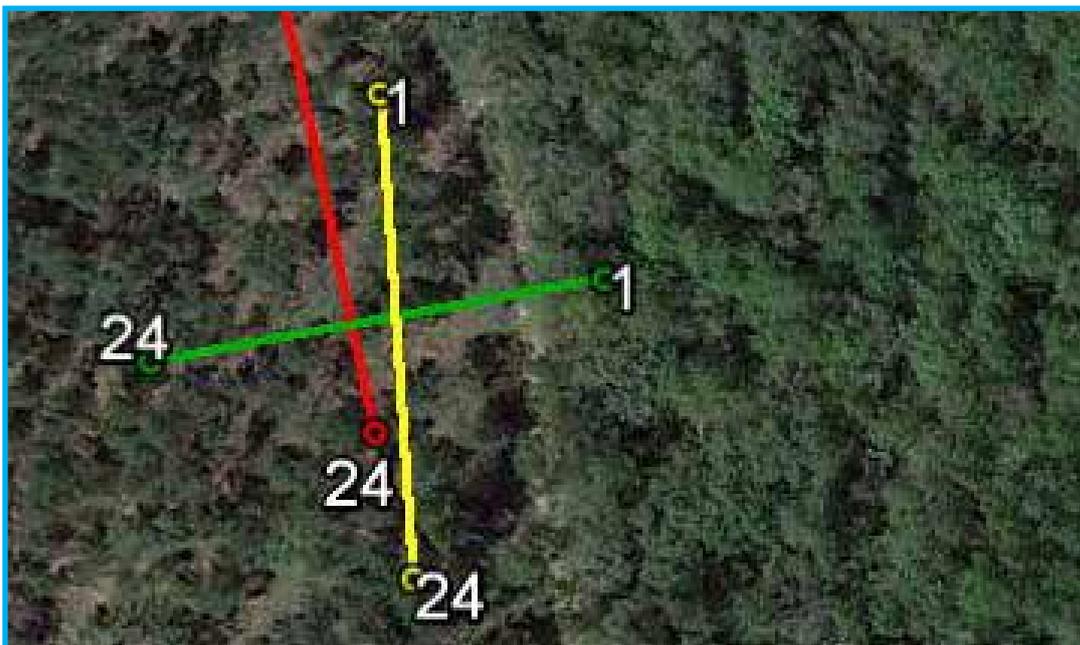
Le onde di Rayleigh decadono a profondità circa uguali alla lunghezza d'onda. Piccole lunghezze d'onda (alte frequenze) consentono di indagare zone superficiali mentre grandi lunghezze d'onda (basse frequenze) consentono indagini a maggiore profondità.

Id indagine	C125 - R135 -3
LOCALITA'	Clobraro (MT)
DATA	14/09/2016

Distanza tra i geofoni geofoni 2.5 metri battuta 3m.

Coordinate WGS 84 :

Geofono 1:	0620209 - 4451825
Geofono 12:	0620212 - 4451805
Geofono 24:	0620216 - 4451777





GeoSveva
Laboratorio di Analisi Geotecniche

GeoSveva di Luigi Di Carlo

Laboratorio sperimentale di
analisi geotecniche

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

- via Montesanto 64-66
- 71036 Lucera (FG)

- P.IVA 03 06 20 20 718
- C.F. DCRI GUB1A/290643E

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

www.geosveva.it
geosvevalaboratori@alice.it



Ministero delle
Infrastrutture
e dei Trasporti

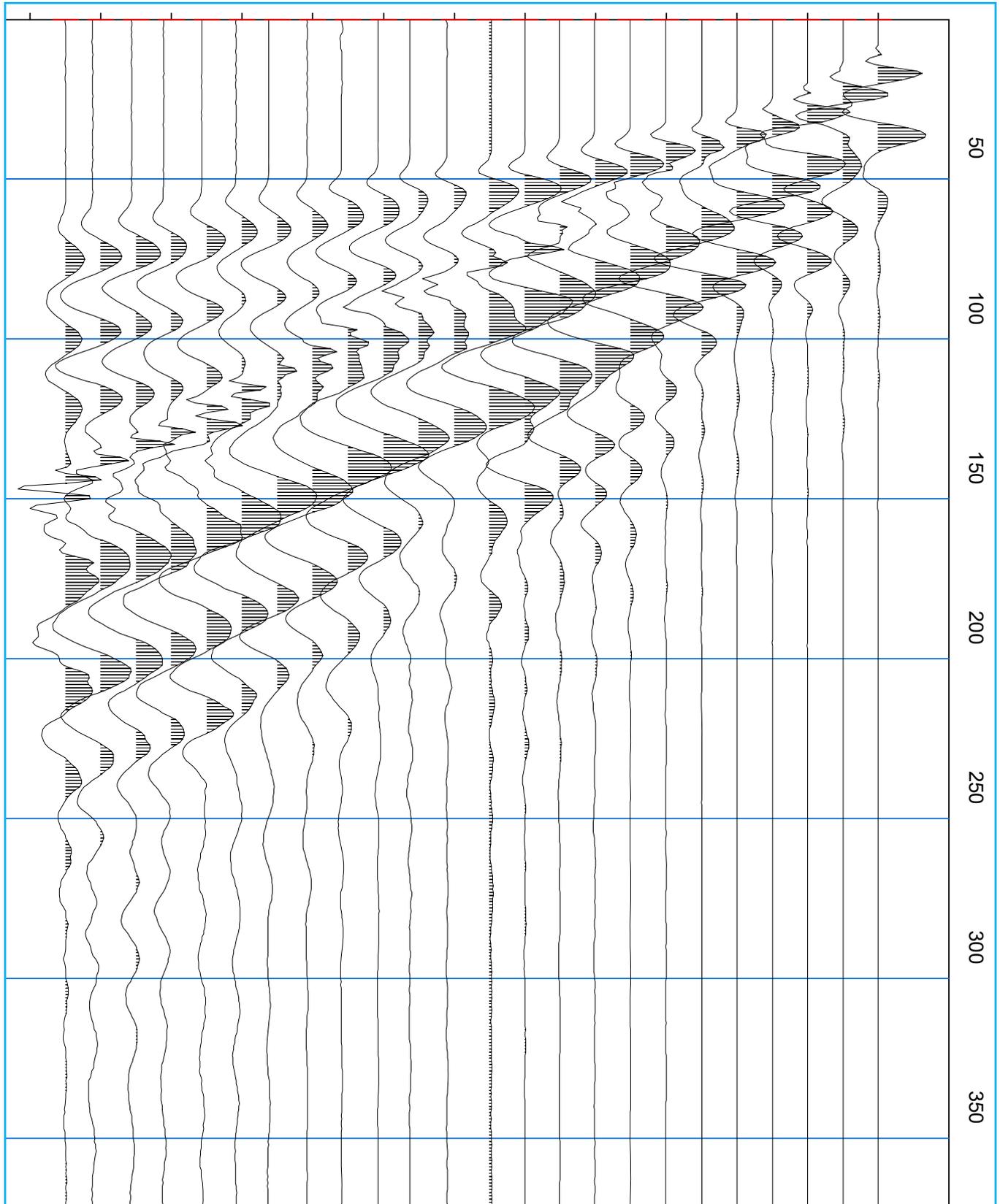


Socio
AI Ge

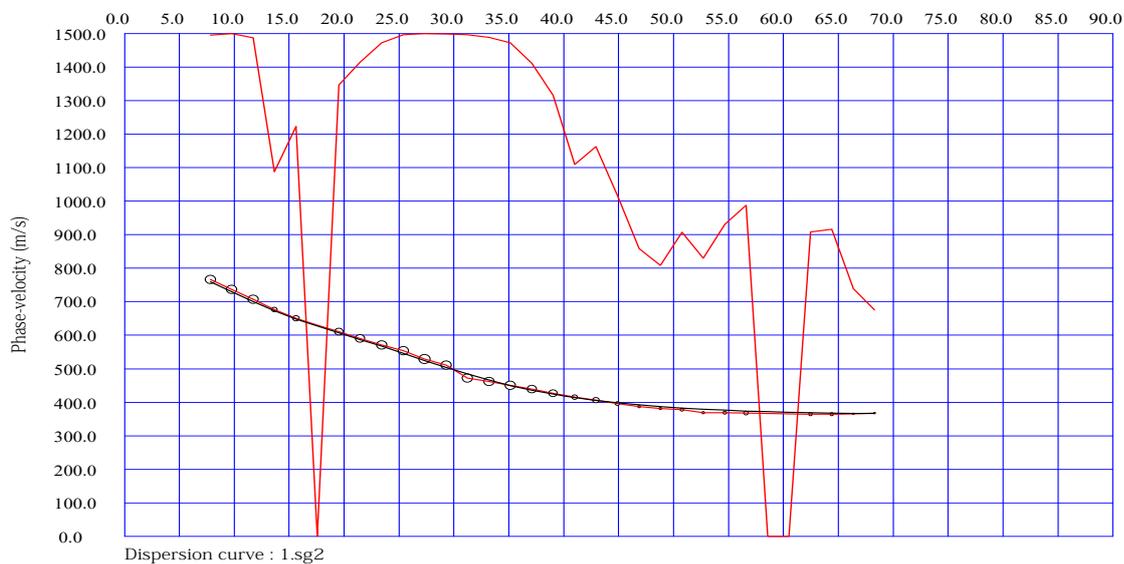
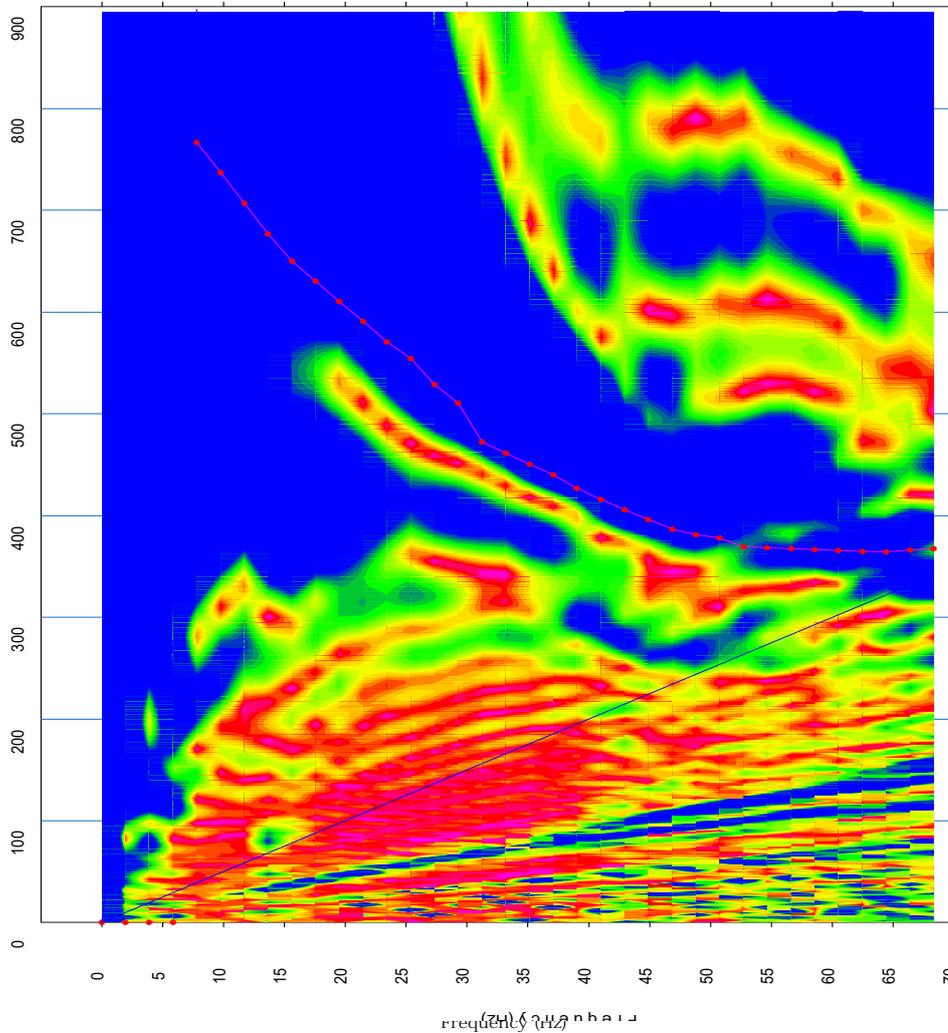


Sistema di gestione
qualità certificato
UNE EN ISO 9001:2008

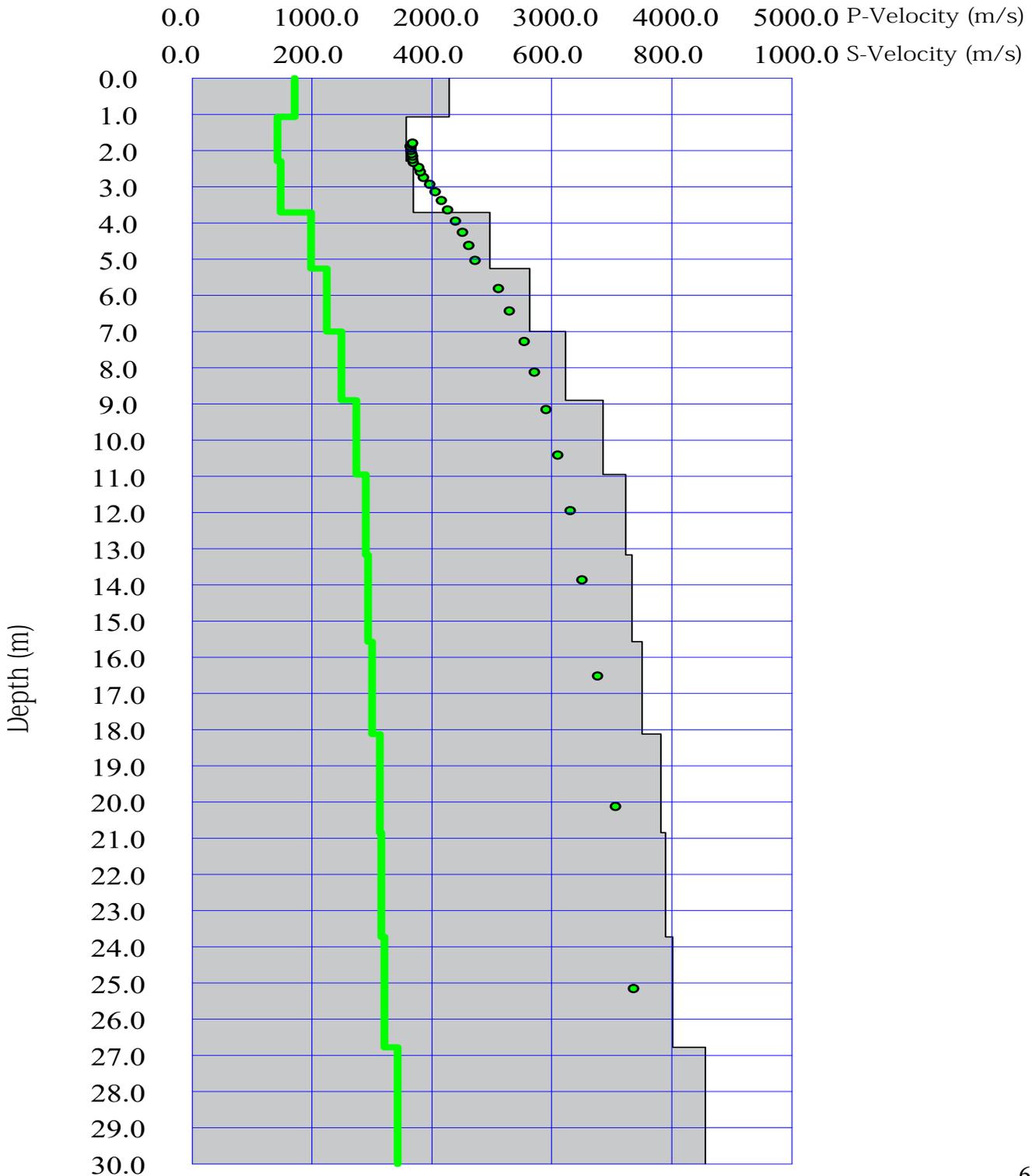
MASW C125-R135-S3



MASW C125-R135-S3



MASW C125-R135- S3



MASW C125-R135- S3

C125 - R135 S3

Depth	Spessore	S-velocity	P-velocity	Density	ν	Vp/Vs	G	Ed	
[m]	[m]	[m/s]	(m/s)	[KN/m ³]	(-)	(-)	[Mpa]	[Mpa]	
1	0.0	1.1	429.20	858.39	15.41	0.33	2.00	289	772
2	1.1	1.2	357.92	715.84	14.90	0.33	2.00	195	519
3	2.3	1.4	369.65	739.31	14.99	0.33	2.00	209	557
4	3.7	1.6	497.21	994.43	15.87	0.33	2.00	400	1067
5	5.3	1.7	562.58	1125.16	16.31	0.33	2.00	527	1404
6	7.0	1.9	623.22	1246.44	16.72	0.33	2.00	662	1766
7	8.9	2.1	685.42	1370.85	17.12	0.33	2.00	820	2187
8	11.0	2.2	723.15	1446.29	17.36	0.33	2.00	926	2469
9	13.2	2.4	733.32	1466.64	17.43	0.33	2.00	956	2548
10	15.6	2.6	751.26	1502.51	17.54	0.33	2.00	1009	2692
11	18.1	2.7	782.29	1564.59	17.73	0.33	2.00	1107	2951
12	20.9	2.9	789.23	1578.45	17.78	0.33	2.00	1129	3011
13	23.7	3.0	800.96	1601.92	17.85	0.33	2.00	1168	3114
14	26.8	3.2	856.74	1713.47	18.19	0.33	2.00	1362	3631
15	30.0 -		895.16	2283.63	19.84	0.41	2.55	1621	4570

Vs30 : 646.0 (m/s)

Categoria suolo : **B**

Depositi di sabbie e ghiaia molto addensate o argille molto consistenti, con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di VS30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero resistenza penetrometrica NSPT >50, o coesione non drenata $c_u > 250$ kPa).

MASW C125-R135- S3

