

S.S. 131 di "Carlo Felice"
Adeguamento e messa in sicurezza della S.S.131
Risoluzione dei nodi critici - 2° stralcio
dal km 108+300 al km 158+000

PROGETTO ESECUTIVO

CA284

R.T.I. di PROGETTAZIONE:

Mandataria



**PRO
ITER**
Progetto
Infrastrutture
Territorio s.r.l.

Via G.B. Sammartini n°5
20125 - Milano
Tel. 02 6787911
email: mail@proiter.it

Mandante



Via Artemide n°3
92100 Agrigento
Tel. 0922 421007
email: deltaingegneria@pec.it

PROGETTISTI:

Ing. Riccardo Formichi - Pro Iter srl (Integratore prestazioni specialistiche)
Ordine Ing. di Milano n. 18045

Ing. Riccardo Formichi
Ordine Ing. di Milano n. 18045

IL GEOLOGO

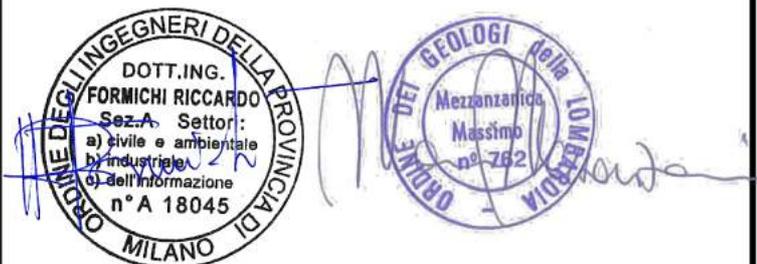
Dott. Geol. Massimo Mezzanatica - Pro Iter srl
Albo Geol. Lombardia n. A762

COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE

Ing. Diego Ceccherelli
Ordine Ing. di Milano n. 15813

VISTO: IL RESP. DEL PROCEDIMENTO

Dott. Ing. Salvatore FRASCA



PROTOCOLLO

DATA

GEOLOGIA

Documentazione indagini geofisiche - 2015/2016

CODICE PROGETTO

PROGETTO LIV. PROG. N. PROG.

L O P L S Q E 1 9 0 1

NOME FILE

T00GE00GEORE06A.pdf

**CODICE
ELAB.**

T 0 0 G E 0 0 G E O R E 0 6

REVISIONE

SCALA:

A

-

D

C

B

A

Emissione

Marzo 2020

Vitiello

Mezzanatica

Formichi

REV.

DESCRIZIONE

DATA

REDATTO

VERIFICATO

APPROVATO

CAMPAGNA DI INDAGINI GEOFISICHE

Impresa esecutrice: **Progeo s.r.l.**

ANNO 2015



Anas SpA Società con Socio Unico
 Cap. Soc. € 2.269.892.000,00 – Iscr. R.E.A. 1024951 – P.IVA 02133681003 – C.F. 80208450587
 Sede legale: Via Monzambano, 10 – 00185 Roma – Tel. 06 44461 - Fax 06 4456224
 Sede Compartimentale: V.le dei Mille,36 - 50131 Firenze - Tel. 055.56401 - Fax. 055.573497

DIREZIONE GENERALE - DIREZIONE CENTRALE PROGETTAZIONE

**PROGETTO DEFINITIVO DI ADEGUAMENTO E MESSA IN SICUREZZA
 DELLA S.S.131 "CARLO FELICE", DAL KM 108+300 AL KM 159+290,
 CON RISOLUZIONE DEI NODI CRITICI**

INDAGINI GEOFISICHE I STRALCIO

PROGEO S.r.l.

Indagini geofisiche
 Via Talete 10/8
 47122 Forlì
 tel. 0543 723580
 fax. 0543 721486



Società certificata con sistema di Qualità UNI EN ISO 9001 - 2008 n° 2619-A

PER L'ANAS:

IL RESPONSABILE DEI SERVIZI TECNICI

VISTO: IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO

CONTRATTO:

CODICE CIG XXXXXXXXXXXX

AGGIORNAMENTI REVISIONS		DATA DATE	DESCRIZIONE DESCRIPTION	DISEGNATO DRAWING	CONTROLLATO CHECKED	
D	-		-	-	-	
C	-		-	-	-	
B	-		-	-	-	
A	-		-	-	-	
TITOLO INDAGINI GEOSISMICHE RELAZIONE TECNICA 1562/2015 File: 1562-ANAS - Indagini geofisiche Carlo Felice 1 stralcio.doc				PROGETTO N. DESIGN N. DISEGNO N. DRAWING N. SCALA DATA		
<small>QUESTO DISEGNO E' DI NOSTRA PROPRIETA' ESCLUSIVA E' PROIBITA LA RIPRODUZIONE ANCHE PARZIALE E LA CESSIONE A TERZI SENZA LA NOSTRA AUTORIZZAZIONE</small>				DISEGNATO Dott. R. Masotti	CONTROLLATO Dott. M. Furani	APPROVATO

INDICE

1. <u>INDICAZIONI GENERALI.....</u>	3
2. <u>ELABORATI CARTOGRAFICI</u>	6
3. <u>ATTREZZATURE TECNICHE</u>	6
4. <u>PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE TOMOGRAFICA.....</u>	8
4.1. MODALITA' OPERATIVE	8
4.2. ELABORAZIONE DATI	10
5. <u>PROSPEZIONE SISMICA IN FORO CON TECNICA DOWN HOLE</u>	14
5.1. MODALITÀ OPERATIVE	14
5.2. ELABORAZIONE DATI	15
5.3. ELABORAZIONE DEI LOG DI Vs, VP E DEI MODULI ELASTICI DINAMICI	21
5.4. ELABORATI PROVE DOWN HOLE	22
5.5. CAROTAGGIO SONICO	22
6. <u>RISULTANZE</u>	23

ANAS

DIREZIONE CENTRALE PROGETTAZIONE

PROGETTO DEFINITIVO DI ADEGUAMENTO E MESSA IN SICUREZZA DELLA S.S.131 "CARLO FELICE", DAL KM 108+300 AL KM 159+290, CON RISOLUZIONE DEI NODI CRITICI

INDAGINI GEOFISICHE I STRALCIO

1. INDICAZIONI GENERALI

A seguito di incarico dell'ANAS – Direzione Centrale Progettazione, si sono eseguite indagini geofisiche finalizzate a fornire informazioni sulle consistenze e sulle deformabilità dei materiali relativamente ad alcuni settori per il progetto definitivo e messa in sicurezza della S.S. "Carlo Felice" dal km 108+300 al km 159+290.

Lungo questa tratta l'indagine sismica si è focalizzata principalmente in corrispondenza dello svincolo di Mulargia-Macomer (LS1 – LS2 - S4_DH) e della viabilità secondaria in zona Ospedale di Macomer (LS6bis).

Come da incarico l'indagine si è sviluppata effettuando:

n° 5 sezioni sismiche ad onde di compressione e taglio:

Sez. LS1: n° stazioni 24	interdistanza staz. 2.5 m	lunghezza: 57.50 m
Sez. LS2: n° stazioni 24	interdistanza staz. 2.5 m	lunghezza: 57.50 m
Sez. LS6bis: n° stazioni 24	interdistanza staz. 5 m	lunghezza: 115.00 m

Per un complessivo di 230.00 m

n° 1 Down Hole

S4_DH lunghezza prova 36.00 m

Le sezioni geofisiche sono state acquisite in copertura "full fold" cioè con l'array interamente posizionato sul terreno.

Questo ha permesso di ottenere sezioni complete sull'intero tratto in una unica fase di acquisizione senza le problematiche connesse all'unione di più elementi che deriva dall'utilizzo di meno sensori.

Le sezioni sismiche sono state effettuate acquisendo onde di compressione P e di taglio Sh con shot polarizzato mediamente ogni 3-4 stazioni.

Nelle pagine seguenti sono riportate alcune immagini relative alle acquisizioni in sito.



Stendimento sismico LS1



Stendimento sismico LS2



Prova down-hole in S4



Stendimento sismico LS6bis

2. ELABORATI CARTOGRAFICI

Allegati alla presente relazione tecnica sono riportati gli elaborati cartografici costituiti da:

- Planimetria indagini geofisiche Sez S1, S2, S4_DH (svincolo Mulargia-Macomer);
- Planimetria indagini geofisiche Sez S6bis (viabilità secondaria Ospedale Macomer),
- Sezioni sismiche tomografiche S1 – Velocità onde Compressione e di Taglio;
- Sezioni sismiche tomografiche S1 - Coefficiente di Poisson, Modulo di Taglio;
- Sezioni sismiche tomografiche S1 - Modulo Elasticità e di Compressibilità;
- Sezioni sismiche tomografiche S2 - Velocità onde Compressione e di Taglio;
- Sezioni sismiche tomografiche S2 – Coefficiente di Poisson, Modulo di Taglio;
- Sezioni sismiche tomografiche S2- Modulo Elasticità e di Compressibilità;
- Sezioni sismiche tomografiche S6 bis - Velocità onde Compressione e di Taglio;
- Sezioni sismiche tomografiche S6 bis - Coefficiente di Poisson, Modulo di Taglio;
- Sezioni sismiche tomografiche S6 bis - Modulo Elasticità e di Compressibilità;
- Down hole S4 - Sismogrammi e carotaggio sonico.
- Down hole S4 - Tabella dati.
- Down hole S4 - Logs dati - Velocità onde Compressione, M. Taglio, C. Poisson.
- Down hole S4 - Logs dati - Modulo Elasticità, Taglio e Compressibilità.

3. ATTREZZATURE TECNICHE

Sono state utilizzate le seguenti strumentazioni e software

Tomografia sismica

Sismografi	n° 1 Geometrics Geode da 24 canali;
Ricevitori	n° 24 geofoni verticali da 40 Hz e 24 geofoni orizzontali da 14 Hz specifici per le onde di taglio.
Energizzazione	Shot mediante mazza strumentata da 10 Kg per onde di compressione e di taglio polarizzate.
Software	SEISVIEW (Progeo srl) per analisi dei sismogrammi; SRA (Progeo srl) per analisi tomografica in velocità.

Down Hole

Sismografi	n° 1 Geometrics Geode;
Ricevitori	3D singolo e differenziale costituita da 3 o 6 sensori in uno o due gruppi interdistanti 1 m.
Energizzazione	Shot mediante mazza strumentata da 10 Kg sia per le onde di compressione sia per le onde di taglio con polarizzazione orizzontale.
Software	DOWN HOLE (Progeo srl) per analisi in modalità tomografica.

Rilievo topografico

Strumentazione	GPS differenziale Trimble.
----------------	----------------------------

SISMOMETRO PER ACQUISIZIONE DATI

Modello: GEOMETRICS ES-3000 GEODE



December 6, 2001

01

San Jose, California, USA

EC DECLARATION OF CONFORMITY

We, Geometrics, Inc.
Geometrics Europe
2190 Fortune Dr.
San Jose, CA 95131 USA
Ph: (408) 954-0522
FAX: (408) 954-0902

Declare under our sole responsibility that our seismograph StrataVisor models NZC, NZII/0, NZII/8 through NZII/64, ES-3000, and Geode models to which this declaration relates are in conformity with the following standards as these units operate from batteries under 15VDC:

EN 55011: 1998, A1:1999, EN50082-2: 1995, ENV 50140: 1994, ENV 50141: 1994,
EN 61000-4-2 : 1995, EN 61000-4-4 : 1995

per the provisions of the **Electromagnetic Compatibility Directive 89/336/EEC** of May 1989 as Amended by **92/31/EEC** of 28 April 1992 and **93/68-EEC, Article 5** of 22 July 1993.

The authorized representative located within the Community is:

Geometrics Europe
Christopher Leech
Manor Farm Cottage
Galley Lane
Great Brickhill
Bucks.MK17 9AB, U.K.
ph: +44 1525 261874
FAX: +44 1525 261867



Mark Prouty, President,
San Jose, CA, USA



4. PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE TOMOGRAFICA

4.1. MODALITA' OPERATIVE

4.1.1. Generalità

La tecnica di prospezione sismica a rifrazione prevede la misura dei tempi di propagazione delle onde di compressione (P) e/o di taglio (S) tra il punto di energizzazione in superficie (shot) e vari punti di ricezione (geofoni) disposti sulla superficie topografica.

L'analisi della velocità di propagazione delle onde elastiche nel sottosuolo, longitudinali (V_p) e/o trasversali (V_s), ottenuta conoscendo la distanza shot-ricevitore ed il relativo tempo di arrivo dell'impulso sismico ($\text{velocità} = \text{spazio}/\text{tempo}$), consente di rilevare in sintesi le proprietà fisiche e meccaniche dei terreni, poiché i valori di V_p e/o V_s sono proporzionali al grado di compattezza dei mezzi percorsi.

L'elaborazione dei dati e le relative rappresentazioni cartografiche sono state effettuate secondo le disposizioni della Committenza, tramite tecnica analitica tomografica.

L'analisi tomografica, nella quale cioè il sottosuolo della sezione sismica viene suddiviso in minime celle analitiche, ha consentito rispetto ad analisi standard per rifrattori (ad esempio G.R.M., Generalized Reciprocal Method -Palmer 1980-) un'elaborazione più di dettaglio in termini di velocità particellari dell'intero ammasso, permettendo di distinguere mediante rappresentazioni a countour line di isovelocità anche intorno minimi con caratteristiche differenziate per variazioni di consistenza, grado di alterazione, petrografia, granulometria o addensamento.

Quindi, le prospezioni geosismiche a rifrazione, specialmente quelle con tecnica tomografica, mediante la delineazione particolareggiata di aree di discontinuità fisica possono validamente contribuire alla definizione dello stato di resistenza del materiale, ad ampie correlazioni stratigrafico-geomeccaniche ed a significative ricostruzioni geomorfologiche.

Riguardo inoltre alla correlazione con i contatti litostratigrafici individuati nei sondaggi geomeccanici, nel caso questi siano presenti, l'identificazione dei livelli o settori rilevati dalla prospezione geosismica con tecnica tomografica dipende dal grado di effettiva omogeneità dello spessore litostratigrafico.

Cioè molto spesso interferiscono, con effetti opposti, fenomeni di cementazione o di disaddensamento al tetto e/o al letto dello strato geologico, i quali causano rispettivamente un innalzamento e un abbassamento dei valori particellari di velocità sismica per cui non necessariamente devono coincidere livelli di discontinuità fisica e semplici delimitazioni geologiche.

Anzi la prospezione geosismica a rifrazione, specialmente quella con tecnica tomografica grazie al suo estremo dettaglio analitico, può mettere in luce importanti effetti di anisotropia laterale anche entro uno stesso livello litostratigrafico indicati da significative variazioni verticolaterali dei valori di velocità di propagazione delle onde elastiche che evidenziano stati particolari di degradazione non sempre individuabili direttamente dalle analisi litologiche e geotecniche relative ai limitati prelievi nei punti di perforazione.

Per l'insieme delle osservazioni sopra esposte, l'elaborazione dei diversi risultati ottenuti mediante un accurato rilievo di sismica a rifrazione, può rispondere validamente ad esigenze di sintesi analitica e geognostica secondo convenienti criteri di praticità.

4.1.2. Sorgente di energia

Per la generazione delle onde sismiche di compressione e taglio è stato utilizzato un sistema "leggero", vista l'acclività della pendice, che è rappresentato da un maglio da 8 Kg strumentato con sensori che impatta su una piastra in metallo per le onde di compressione e su una trave, premuta sul terreno, per quelle di taglio con polarizzazione Sh oppure con shot inclinato per la generazione di onde accoppiate Sv.

4.1.3. Apparato di ricezione

Sono stati utilizzati geofoni da 40 Hz con asse strumentale verticale per ricezione onde P e da 12 Hz con asse strumentale orizzontale per la ricezione delle onde S, posizionati sul terreno ad intervalli variabili in funzione del dettaglio richiesto (2.5 m) collegati tra loro da cavo elettrico e tramite questo al sistema di registrazione.

Inoltre è stato usato un geofono (geofono del time break o hammer switch) applicato nelle estreme vicinanze dell'apparato energizzatore, il quale costituisce il dispositivo di trigger per l'inizio della registrazione; tale segnale viene trasmesso tramite impulsi radio al sismografo.

4.1.4. Operazioni di campagna

Le operazioni di campagna per consentire l'elaborazione tomografica più di dettaglio sono analoghe a quelle di sismica standard con elaborazione per rifrattori anche se, per i rilievi di sismica tomografica, il numero di registrazioni che vengono realizzate è assai superiore (anche più del doppio) per consentire di avere a disposizione una quantità di dati tale da coprire con la giusta geometria dei raggi e in maniera omogenea l'intera sezione sismica in tutti i settori e fino alle profondità adeguate senza lasciare tratti scoperti o disomogenei.

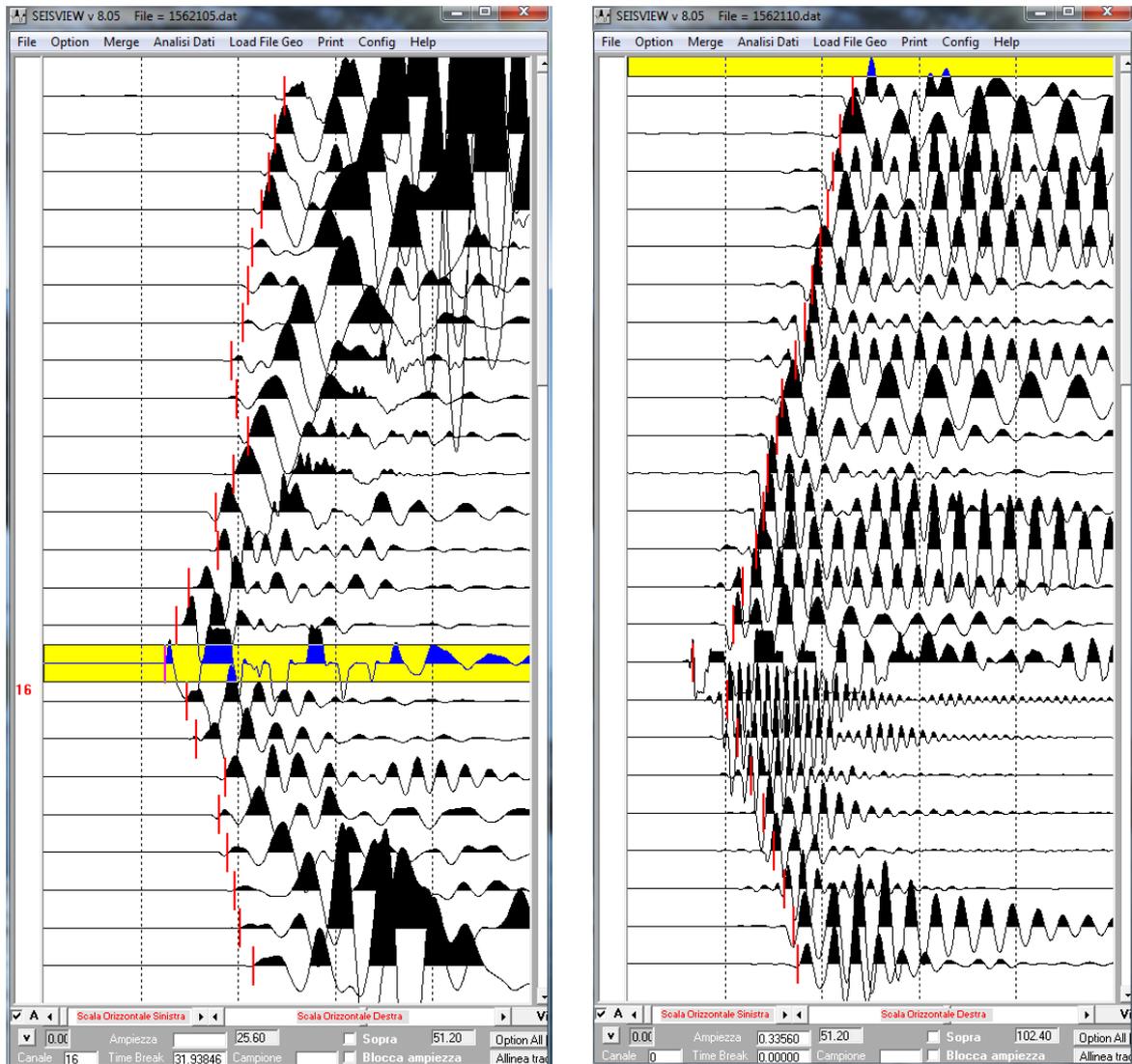
Eseguito il posizionamento dei geofoni sul terreno, collegati questi tramite morsetti bipolari al cavo elettrico e quest'ultimo al sistema di registrazione, verificati i segnali via radio tra apparato di energizzazione e di ricezione, sono stati realizzati alcuni shot di prova allo scopo di tarare i parametri di acquisizione dello strumento di registrazione dati.

Effettuata la taratura della strumentazione si è proceduto alla prospezione sismica a rifrazione in modo tale che dopo ogni energizzazione (o somma di energizzazioni) su ciascun punto d'impatto prestabilito, si fosse acquisito e registrato il segnale sull'hard disk del p.c. collegato al sismografo per la successiva elaborazione da effettuarsi in sede.

4.1.5. Acquisizione dati

Gli impulsi sismici ricevuti dai geofoni posizionati sulla superficie topografica sono stati acquisiti utilizzando vari sismografi EG&G Geometrics Geode a 24 canali di registrazione simultanea in modo che, avendo a disposizione un numero sufficiente di canali attivi per tutti i geofoni collegati, si procede con gli impatti lungo l'allineamento sismico senza dover effettuare altri collegamenti e registrazioni parziali durante la fase di acquisizione dati e quindi con notevole guadagno in tempi esecutivi di campagna.

I dati acquisiti, dopo amplificazione, conversione analogico/digitale e filtraggio, sono stati registrati nel supporto magnetico (computer) al quale sono collegati in serie i Geodi utilizzati.



Esempio di records acquisiti sezione LS1 da 24 stazioni, con shot sul geofono 16.
 Onde di compressione P con tempo di acquisizione di 0-250 sec (a sinistra)
 ed onde di taglio disaccoppiate Sh con tempo di acquisizione di 0-500 sec (a destra)

4.2. ELABORAZIONE DATI

4.2.1. Elaborazione sismogrammi (preprocessing)

a) Traduzione tracce sismiche

La prima operazione che è stata eseguita in sede, una volta terminata la fase di acquisizione dati in campagna, è stata quella di tradurre i file di dati.

Questa fase di preprocessing permette di convertire il formato con cui i dati sismici sono registrati dal sismografo EG&G GEOMETRICS GEODE in quello del programma elaborativo (**SeisView®**).

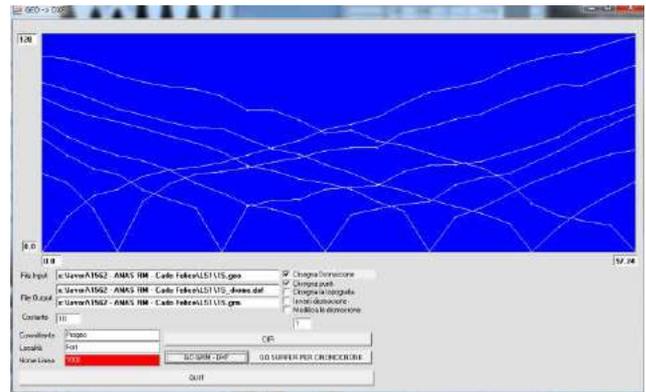
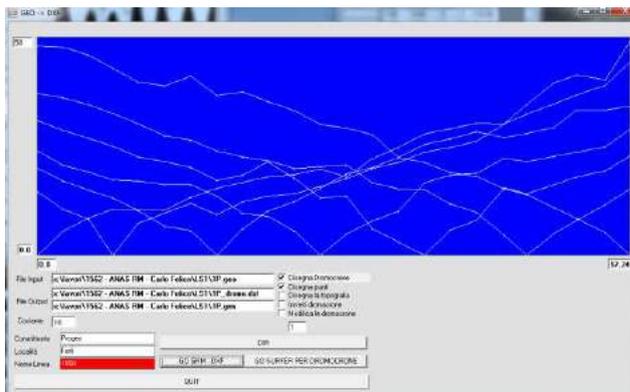
b) Analisi dei first break peak (F.B.P.)

Di seguito è stata fatta all'elaboratore col programma **Seisview**® la ricerca su ciascuna traccia di ogni sismogramma del primo arrivo (F.B.P. first break peak) dell'onda di taglio (S).

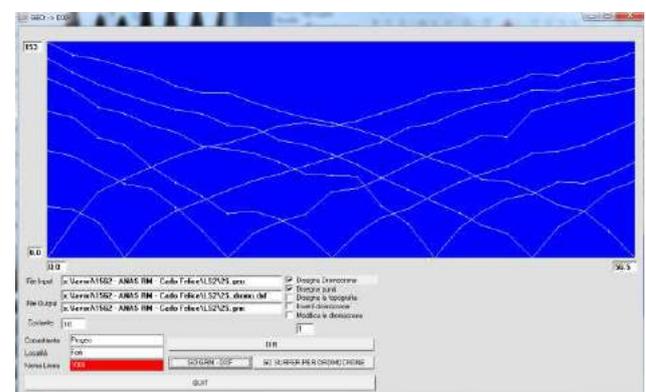
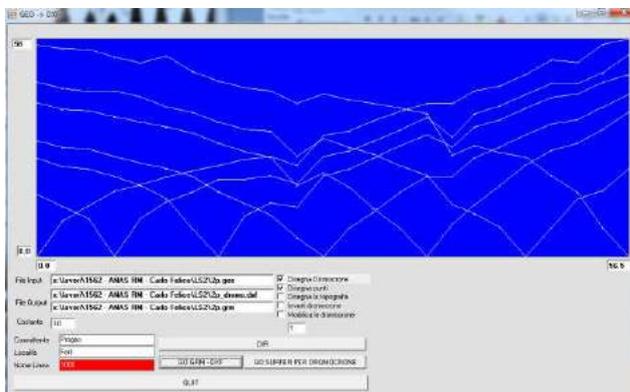
Di ogni file di dati acquisito in campagna è stato quindi creato un nuovo file con i tempi di arrivo (in millisec) degli F.B.P.; tutti i file F.B.P. relativi ad una singola sezione sismica sono stati riuniti in un unico file di dati (con programma originale **Graf-Dxf**®).

Tali dati possono essere graficizzati per ottenere la rappresentazione delle Diagrafie Tempi- distanze (Dromocrone) della sezione sismica.

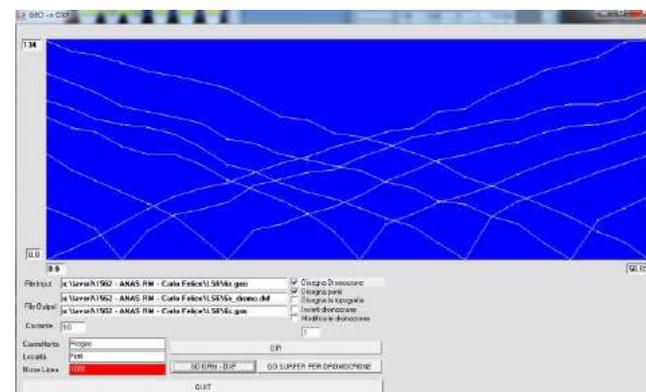
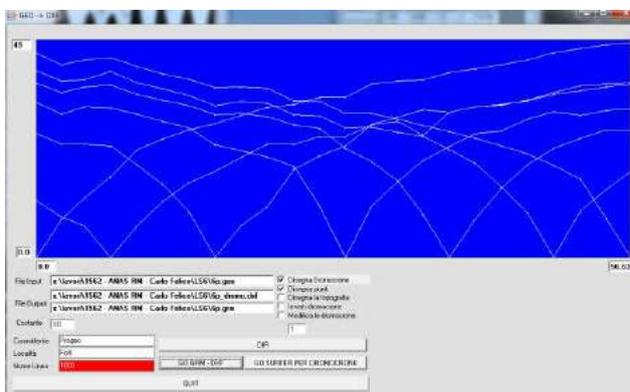
I dati in formato numerico sono invece stati inseriti (opportunamente tradotti per poter essere analizzati dagli specifici programmi elaborativi) nel programma originale **S.R.A.**® (Seismic Refraction Analysis) per l'elaborazione tomografica.



Dromocrone sezione LS1 (a sinistra le onde di compressione, a destra quelle di taglio)



Dromocrone sezione LS2 (a sinistra le onde di compressione, a destra quelle di taglio)



Dromocrone sezione LS6 (a sinistra le onde di compressione, a destra quelle di taglio)

4.2.2. Processing in velocità

L'elaborazione delle sezioni mediante analisi tomografica viene effettuata sia per avere un maggior dettaglio in termini di consistenza dell'ammasso sia per raggiungere maggiori profondità d'investigazione sopperendo quindi alla comune mancanza di rifrattori significativi procedendo in profondità specialmente in seguito alla presenza di materiale non sufficientemente differenziato nei termini dei parametri elastici.

a) Definizione della geometria della ricerca

La prima procedura di elaborazione tomografica consiste nella ricerca della geometria di percorso dei raggi sismici da ogni punto di energizzazione a ciascun geofono collegato che ha registrato l'impulso proveniente da quello stesso punto.

Tale operazione preliminare viene effettuata mediante tecniche di Ray Tracing Curvilineo.

b) Ray tracing e definizione dei parametri di calcolo

Il file di dati di ciascuna sezione sismica precedentemente ottenuto, è stato per questo inserito nel programma di calcolo **S.R.A.**[®] (Seismic Refraction Analysis, programma originale sviluppato dalla Progeo che utilizza la piattaforma di Windows); il quale traccia, sulla base di una prima modellazione in velocità del sottosuolo, i vari raggi sismici che coprono da un estremo all'altro dello stendimento sismico l'intera area investigata al di sotto della superficie topografica.

La profondità d'indagine è funzione della lunghezza dello stendimento, di quella dei "tiri" di registrazione degli impulsi sismici e della velocità del materiale investigato dai raggi sismici.

La geometria d'investigazione dei raggi sismici mediante elaborazione tomografica consente infatti il raggiungimento di profondità massime al centro della sezione (la figura geometrica della sezione sismica è assimilabile a quella di un trapezio con la base maggiore in superficie) di circa 1/5 della lunghezza dell'allineamento in superficie considerando che questo sia stato interamente coperto da un estremo all'altro dal "tiro" sismico.

L'elaborazione tomografica è ottenuta utilizzando celle di analisi di larghezza coerente con la geometria d'indagine ed approssimativamente con larghezza pari alla metà della spaziatura dei sensori ed altezza pari ad un quarto di quest'ultima.

c) Analisi delle risultanze delle velocità

Il passo successivo è stato l'applicazione sempre con lo stesso programma **S.R.A.**[®] di procedure tipo **S.I.R.T.** (Simultaneous Iterative Reconstruction Technique) le quali forniscono valori di velocità sismica per partizioni unitarie (celle di analisi di dimensione metrica), col quale l'operatore ha cercato, con successive iterazioni dalla prima modellazione del sottosuolo, di far convergere (dal punto di vista statistico fino a quando gli scarti quadratici e le varianze dei tempi calcolati sono minimi rispetto a quelli definiti in input) i dati modellati con quelli reali e corrispondenti ai tempi ottenuti dalle dromocrone originali.

In pratica le successive approssimazioni calcolate dall'elaboratore coi dati sempre più affinati e inseriti dall'operatore terminano quando le dromocrone, relative a quella data distribuzione di velocità partecellari, sono coincidenti e con scarto minimo (mediamente inferiore a 0.5%) con quelle reali ottenute dalle letture degli F.B.P. sui sismogrammi.

Inoltre con tale tecnologia elaborativa si sopperisce alla mancanza di rifrattori significativi e alla presenza, assai comune col procedere in profondità, di materiale non sufficientemente differenziato nei termini fisici dei parametri elastici, per cui le tecniche tradizionali di sismica a rifrazione non riescono a discriminare il grado di consistenza, alterazione o disomogeneità dell'ammasso.

La rappresentazione tomografica delle sezioni geofisiche avviene mediante software (Surfer della Golden Software - Colorado) con il quale i valori dei parametri geofisici vengono espressi mediante contour line e campitura di colore.

4.2.5. Analisi del gradiente geotomografico

Per localizzare i principali livelli di consistenza si è sviluppata l'analisi del gradiente geosismico il quale consiste in un'analisi matematica (*processing di gradiente*) allo scopo di rintracciare i luoghi ove il parametro elastico tomografico subisce significativi incrementi in brevi tratti.

E' in questi luoghi, i quali non necessariamente coincidono per un'area ad un unico valore, ove la probabilità di individuare una interfaccia significativa è maggiormente elevata.

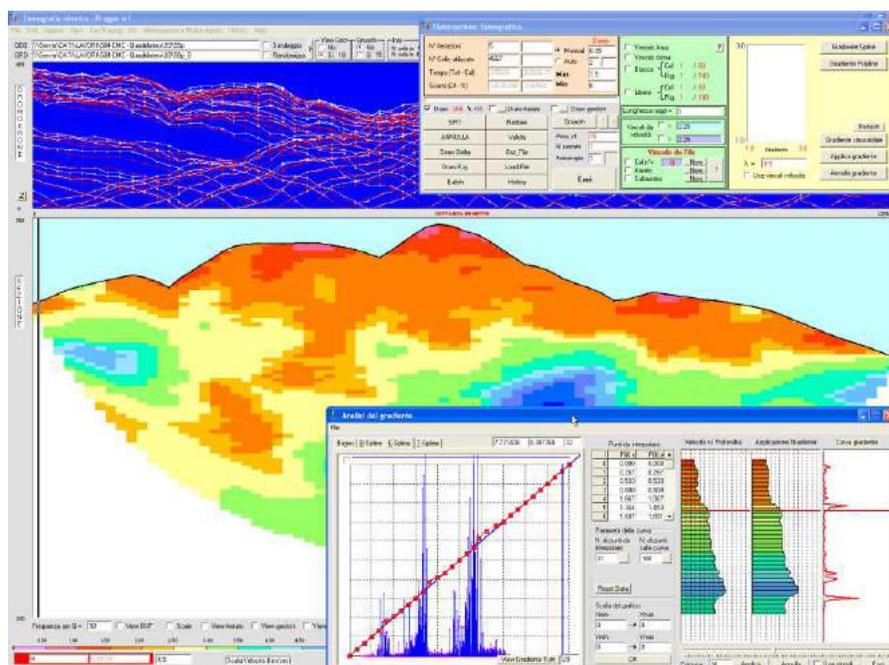
Per la determinazione ed individuazione quindi di tali orizzonti è stato applicato sui dati tomografici un algoritmo statistico il quale valuta la variazione del parametro tomografico (ad es. Velocità, Attenuazione) in termini di gradiente verticolaterale.

E' evidente che se i parametri geofisici non variano arealmente oppure variano di poco il gradiente è pressoché nullo o molto basso, laddove invece si presentano variazioni verticolaterali importanti il gradiente si presenta con i massimi valori.

E' in tali tratti quindi che è possibile localizzare passaggi significativi e suddividere il sottosuolo in "strati" di consistenza differenziata ed inoltre, nel caso in cui sia possibile una taratura mediante sondaggi geomeccanici, effettuare anche una correlazione litologica.

Di seguito viene presentata una immagine a monitor del software di elaborazione tomografica relativamente ad un momento della valutazione del gradiente.

L'esempio di processing di gradiente riporta le varie schermate ottenibili dal programma di calcolo in fase elaborativa: dall'alto in basso si osservano i dati di input –dromocrone-, la sezione sismostratigrafica con differenziazione cromatica del parametro considerato, log parametrici e diagrafie lungo tratti di sezione prestabiliti nei quali sono marcati i "top" del gradiente parametrico (al quale o ai quali corrisponderà in sezione tomografica una o più isolinee differenziate di countour line e cromatismi di diversa tonalità).



Esempio di "Processing di Gradiente" (immagine di repertorio)

5. PROSPEZIONE SISMICA IN FORO CON TECNICA DOWN HOLE

5.1. Modalità operative

La tecnica down-hole prevede la misura dei tempi di propagazione delle onde di compressione (P) e di taglio (S) tra il punto di energizzazione in superficie (shot) ed il punto di ricezione mobile in profondità entro il foro di sondaggio.

5.1.1. Sorgente di energia

Per effettuare tali operazioni è necessario utilizzare una sorgente di energia a polarizzazione verticale ed orizzontale: con la prima si generano onde di compressione P mentre con la seconda onde di taglio Sh.

Nel caso in esame si è scelta una sorgente di energia che potesse garantire una buona risposta sismica in alta frequenza oltre a caratteristiche dinamiche ripetitive similari; il generatore usato e denominato “Hammer Blow” è rappresentato da un maglio di 8 Kg usato da un operatore lasciato cadere con forza da circa 2 m su una piastra di acciaio per la generazione delle onde di compressione ed orizzontalmente, colpendo un supporto solidale per attrito radente al terreno, (trave in legno con sopra un autocarro) per quelle di taglio.

3.1.2. Apparato di ricezione

L'apparato di ricezione è provvisto di un apposito meccanismo di ancoraggio alle pareti del foro durante la registrazione dell'impulso e di disancoraggio per essere mobilizzato lungo la verticale del sondaggio stesso; tale apparato ha la possibilità di essere orientato sul piano orizzontale mediante l'utilizzo di “aste in alluminio” (vedasi foto allegata a fianco).

Tale apparato (sonda 3D) è formato da due gruppi di sensori composti ciascuno da tre geofoni da 14 Hz smorzati del 70%, dei quali uno con l'asse funzionale verticale (V) e due orizzontali (H1 e H2) fra loro ortogonali; l'interdistanza fra i due gruppi è di 1 m. (vedasi foto a lato).

Oltre alla sonda calettata entro il foro si utilizza in superficie un interruttore piezoelettrico applicato all'apparato energizzatore, il quale costituisce il dispositivo di trigger per l'inizio della registrazione ed alcuni geofoni di riferimento posizionati nelle vicinanze della bocca del foro che rimangono fissi per tutte le misure effettuate nel sondaggio e che costituiscono il dispositivo di controllo affinché tutti gli impulsi sismici siano in fase ed utilizzabili per le correzioni nella fase di preprocessing nel caso in cui si opti per una elaborazione di tipo tomografico.

Tali geofoni risultano superflui nel caso in cui si intraprenda l'iter elaborativo di tipo differenziale, cioè per ogni ordinata o step di misura, in quanto è sufficiente determinare, per differenza tra i tempi sismici di propagazione (Δt) fra i due ricevitori posti alle estremità opposte della sonda, i singoli valori di velocità sia dell'onda di compressione (per i ricevitori verticali) sia dell'onda di taglio (per i ricevitori orizzontali).



5.1.3. Operazioni di campagna

Dopo aver eseguito il collegamento al sismografo del cavo elettrico per i 6 canali della sonda 3D, dell'interruttore piezoelettrico solidale all'apparato di energizzazione e dei geofoni di riferimento si è effettuato il posizionamento della sonda 3D a fondo foro e si sono realizzati alcuni shot di prova allo scopo di tarare i parametri di acquisizione dello strumento di registrazione dati.

Effettuata la taratura della strumentazione si è proceduto alla prospezione down-hole a partire da fondo foro.

5.1.4. Acquisizione dati

Gli impulsi sismici ricevuti dalla sonda in foro sono stati acquisiti utilizzando l'apparecchiatura EG&G Geometrics Geode dotata di estremo dettaglio di campionatura (0.02 millisecc) tramite la quale, dopo amplificazione, conversione analogico/digitale e filtraggio, sono trasferiti e registrati su P.C.

I files dei dati sono così realizzati:

canale 1	-	segnale del geofono orizzontale superiore direzione ortogonale	(H2)
canale 2	-	segnale del geofono orizzontale inferiore direzione ortogonale	(H2)
canale 3	-	segnale del geofono orizzontale superiore direzione parallela	(H1)
canale 4	-	segnale del geofono orizzontale inferiore direzione parallela	(H1)
canale 5	-	segnale del geofono verticale superiore	(V)
canale 6	-	segnale del geofono verticale inferiore	(V)

In tal modo, per ogni step di misura di un metro in profondità, si possono analizzare i first break imputabili all'arrivo dell'onda di compressione (P) sia sul geofono del canale 5 sia sul geofono del canale 6 e per differenza si ottiene il valore della differenza di tempo di percorrenza relativa all'intervallo in oggetto.

Analogamente per ogni step di misura di un metro di profondità, si possono analizzare i first break imputabili all'arrivo dell'onda di taglio (S) sia sul geofono del canale 3 sia sul geofono del canale 4 e per differenza si ottiene il valore della differenza di tempo di percorrenza relativa all'intervallo in oggetto.

5.2. Elaborazione dati

Il procedimento elaborativo dei dati down hole può essere sviluppato secondo due differenti modalità:

- down hole tomografico,
- down hole differenziale.

5.2.1. Down hole tomografico

Si sviluppa fondamentalmente in due fasi.

- 1) Elaborazione sismogrammi:
 - display sismogrammi,
 - convoluzione,
 - lettura first break (realizzazione dromocrone per analisi down hole).

- 2) Elaborazione delle sezioni down-hole:
- analisi delle velocità – generalizzazione tempo-profondità,
 - routine di ottimizzazione,
 - routine per trasferimento dati in un sistema C.A.D.

Esprimendo in parole i punti sopraindicati si può affermare che una volta ottenute le velocità delle onde di compressione (V_p) e di taglio (V_s) entro i fori vengono calcolate tramite programmi all'elaboratore le distribuzioni areali di V_p e V_s ottimizzando l'elaborazione mediante assemblaggio delle risultanze di una molteplicità di registrazioni sismiche e tramite trasformazioni dei dati da valori numerici ad informazioni grafiche per plot delle risultanze.

Come si è visto il procedimento elaborativo si sviluppa fundamentalmente in due fasi: la prima è relativa allo studio delle tracce sismiche, la seconda riguarda lo studio delle velocità V_p e V_s lungo la verticale del foro.

Vengono riportati qui di seguito i principali step dell'elaborazione dove viene fatta una differenziazione del materiale in celle unitarie (una cella per ogni sensore).

Preprocessing

In questa fase si utilizzano sia programmi originali all'elaboratore sia routine sviluppate dalla I.C.I. (Interactive Concepts Incorporated) distribuite dal Kansas Geological Survey.

a) Traduzione tracce sismiche

Questa fase di preprocessing permette di convertire il formato con cui i dati sismici sono registrati dal sismografo EG&G GEOMETRICS GEODE in quello dei programmi elaborativi.

b) Gathering dei canali 1, 2, 3 e 4

Fase di preprocessing nella quale vengono riunite le tracce omologhe dei sismogrammi acquisiti in un unico file di dati: si realizzano pertanto n° 4 file, ognuno dei quali rappresenta la raccolta di tutte le tracce corrispondenti.

- Gather 1 traccia 1 (onda di compressione P ricevuta dal geofono verticale in superficie=riferimento " T_0 " per correzioni time break)
- Gather 2 traccia 2 (onda di compressione P ricevuta dal geofono verticale V nella sonda 3D alle varie profondità nel foro)
- Gather 3 traccia 3 (onda di taglio S ricevuta dal geofono orizzontale H1 nella sonda 3D alle varie profondità nel foro)
- Gather 4 traccia 4 (onda di taglio S ricevuta dal geofono orizzontale H2, ortogonale all'H1 nella sonda 3D, alle varie profondità nel foro)

c) Analisi dei singoli gather

Viene effettuata l'analisi del gather 1 onde ricavare, traccia per traccia, la correzione da apportare, in millisecondi alle corrispondenti tracce 2, 3 e 4 (della stessa profondità) relative ai diversi shot effettuati in ciascun foro per investigare l'intera profondità.

L'analisi, che si sviluppa con criteri statistici, definisce un termine di riferimento 0 e gli spostamenti positivi o negativi di ciascuna traccia.

d) Analisi spettrale (F.F.T.)

Vengono realizzate le analisi spettrali in frequenza (Fast Fourier Transform) di alcune tracce campione relative ai gather 2, 3 e 4 a finestre sia nei settori con rumore di fondo sia in quelli con segnale utile (onda P e onda S).

Note queste frequenze fondamentali si procede alla costruzione di appositi filtri digitali per ridurre il rumore di fondo ed esaltare i segnali utili.

e) Stacking canali 3 e 4

Somma dei canali 3 e 4 (orizzontali) con rotazione dell'asse di vibrazione lungo la direzione della massima fase coerente.

Il procedimento viene realizzato mediante elaborazioni statistiche con ricerca automatica delle massime fasi coerenti delle onde di taglio (S).

Si ottiene pertanto un nuovo file di dati (canale 5) delle onde di taglio.

f) First break peak canali 2 e 5

Lettura dei primi arrivi dell'onda di compressione P e di taglio S. Nei nuovi files di dati creati al punto b) e al punto e) dall'assemblaggio delle varie tracce sismiche vengono considerati i files dei canali 2 (assemblaggio onde P) e dei canali 5 (assemblaggio onde S).

g) Muting

Operazione che riduce il segnale sismico dal tempo 0 al time break letto sulle singole tracce al passo (f) e che accentua visivamente i primi arrivi. Viene così ridotto il disturbo aleatorio costituito da rumore di fondo non eliminabile dall'operatore in fase di filtraggio (punto c) in quanto caratterizzato dalle stesse frequenze del segnale utile.

h) Plot

Stampa finale delle tracce sismiche relative alle onde di compressione e di taglio.

Processing tomografico

Questo consiste nell'interpretazione dei tempi di arrivo delle onde di compressione P e di taglio S. Per l'analisi di questi dati vengono utilizzati programmi al calcolatore di utilità, originali della Progeo.

Il procedimento di calcolo si sviluppa secondo i seguenti ulteriori step.

i) Definizione della geometria della ricerca

- coordinate del sensore in pozzo (3D),
- posizionamento punto di shot.

l) Input tempi di arrivo onde P e onde S

Realizzazione dei file dei dati relativi ai tempi di arrivo delle onde P ed S associate alle coordinate spaziali delle stazioni di misura.

m) Input modello di velocità

In base alle conoscenze stratigrafiche e sismiche vengono definiti degli intervalli a velocità costante lungo l'asse del foro in funzione dei quali viene realizzato il ray tracing (step n).

n) Ray tracing

Vengono create le traiettorie dei raggi sismici in base ai modelli di velocità definiti allo step m).

Per il calcolo si sono utilizzati i seguenti parametri:

- anisotropia ellittica (massima velocità in senso verticale)
- tolleranza lineare (.05%)
- tolleranza angolare (1")
- numero di iterazioni (500)
- multi pathing (on)
- plane layer (on)

o) Definizione dei parametri di calcolo

Il programma utilizzato necessita, per il calcolo della sezione in profondità lungo la verticale del foro e in funzione dei valori di velocità, dei seguenti parametri di calcolo:

- definizione tipo di griglia (1 cella ogni m)
- tipo di anisotropia del mezzo investigato (verticale)
- numero di iterazioni (500)
- algoritmo di calcolo (S.I.R.T.)

L'algoritmo S.I.R.T. (Simultaneous Iterative Reconstruction Technique) crea un'immagine di velocità apprezzabile, sufficientemente stabile e che converge velocemente verso i valori sperimentali.

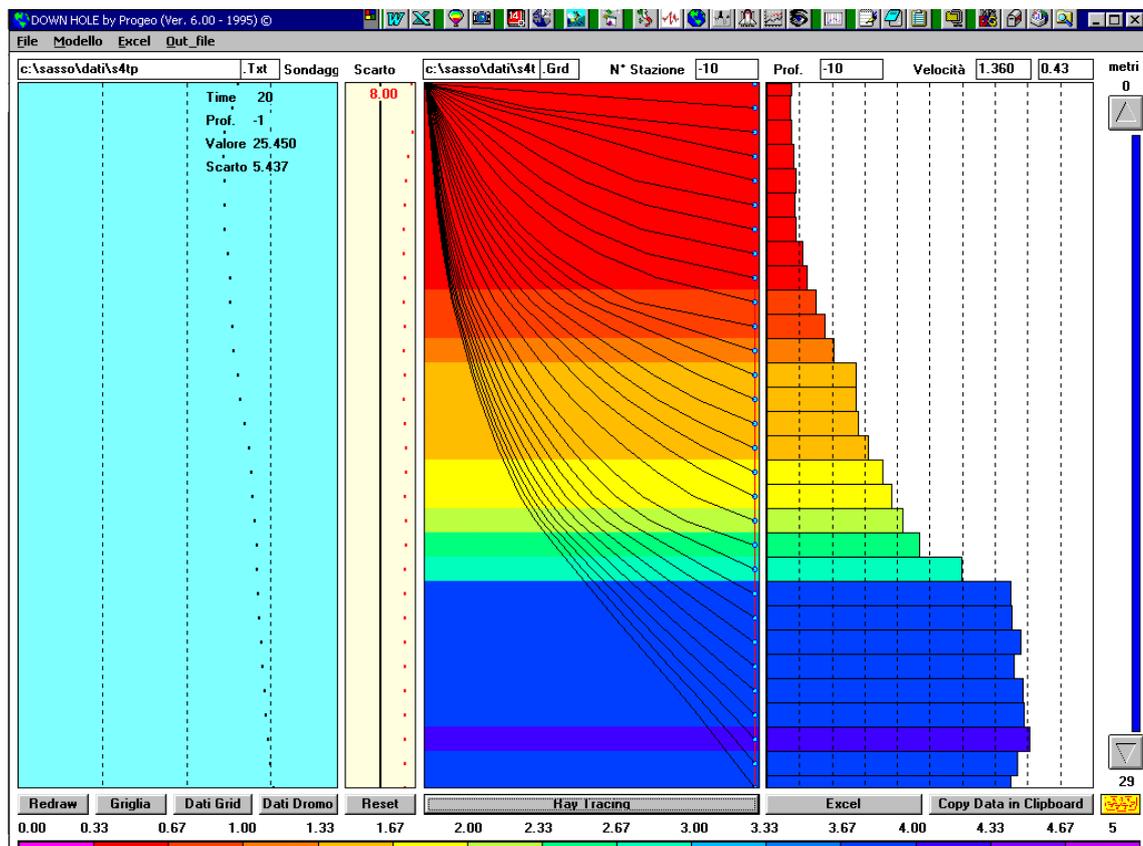


Immagine di repertorio del processing del Down Hole Tomografico

p) Analisi delle risultanze

Queste vengono inizialmente valutate dal punto di vista statistico attraverso gli scarti quadratici e le varianze dei tempi calcolati rispetto a quelli definiti in input. In base a tali valori possono essere modificati i parametri di calcolo per una migliore ottimizzazione. Si passa in seguito all'analisi delle velocità intergeofoniche relative alle onde P ed S dalla quale si ricava un modello di velocità più adeguato (a tale modello si farà riferimento in seguito come velocità intervallari). Il calcolo riprende perciò dallo step m) con l'input del nuovo modello di velocità e si procede fino a quando gli scarti e le varianze divengono minimi.

g) Predisposizione tabelle e grafici dei dati

I dati calcolati al punto p) vengono riportati in un foglio elettronico appositamente predisposto allo scopo di calcolare i moduli elastici relativi e graficizzare le risultanze.

r) Conversione in immagini computerizzate

La prospezione down hole con elaborazione tomografica si concretizza nella definizione di celle analitiche elementari; per ogni cella il valore della velocità tomografica rappresenta il valore medio risultante dei valori differenziali relativi a tutti i tragitti elementari dei raggi di investigazione che attraversano la cella considerata. La determinazione delle celle elementari che definiscono la rappresentazione tomografica deriva dalle variazioni dei parametri cinematici V_p e V_s in funzione del grado di consistenza differenziata del materiale.

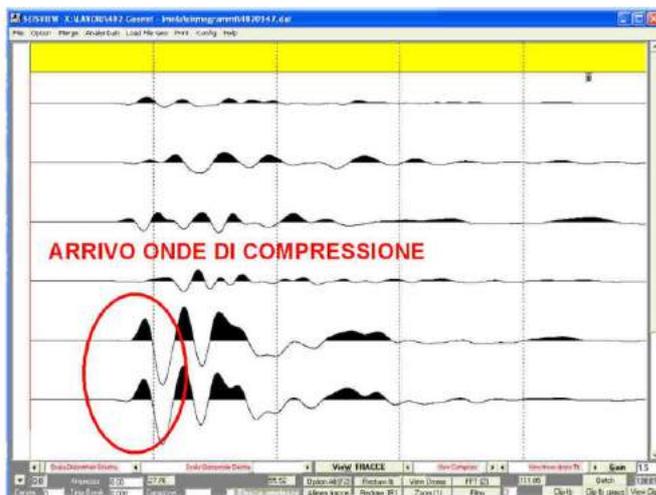
5.2.2. Down hole differenziale (cross correlazione)

In questo caso specifico si è utilizzata questa tecnica elaborativa perché è stato possibile utilizzare in foro una sonda ricevente con spaziatura intergeofonica di 1 metro la quale, grazie anche al ridotto intervallo di campionamento (0.020 millisecondi) consentito dal sismografo EG&G GEOMETRICS GEODE permette di determinare per partizioni discrete direttamente nel tratto interessato i valori cinematici differenziali.

La valutazione dei tempi di arrivo delle onde di compressione e di taglio viene effettuata mediante Cross Correlazione.

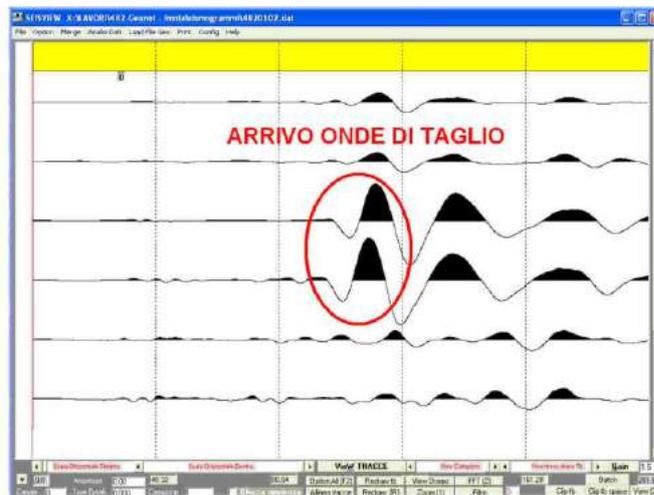
Tale tecnica viene normalmente impiegata allo scopo di aumentare il grado di affidabilità dei tempi.

Questa metodologia è indicata e sufficientemente precisa per la valutazione dei tempi di arrivo delle onde di compressione P; nell'immagine sottostante si ha un esempio di quanto indicato.



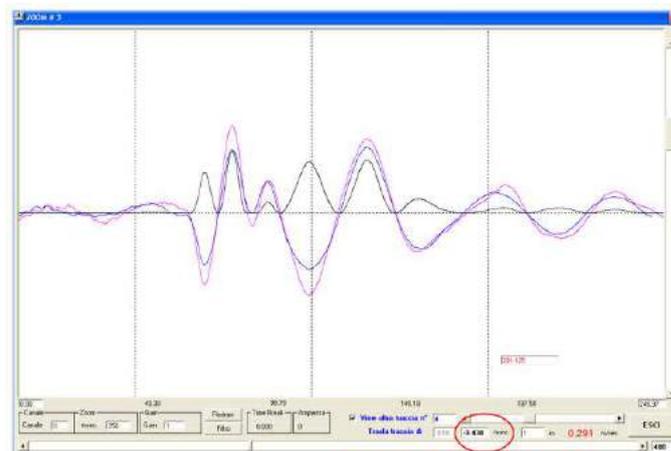
Per le onde di taglio S si procede all'analisi dell'inversione delle tracce sismografiche individuando quale sia il primo arrivo dell'onda di taglio (inversione di polarità), poi si affina la ricerca mediante Cross Correlazione (applicando la metodologia proposta da Willis e Toksoz - 1983-) e si determina così il valore del tempo differenziale fra le due tracce omologhe.

Nell'immagine sottostante si evidenzia il primo arrivo delle onde di taglio fra le tracce sismografiche relative ai geofoni dei canali 3 e 4.



Una volta individuato il primo arrivo dell'onda di taglio (con procedura analoga per le onde di compressione) si procede con una serie di passaggi di Cross Correlazione a finestre variabili tra le varie tracce allo scopo di individuare la massima rassomiglianza tra gli arrivi omologhi e determinare la massima verosimiglianza tra le tracce dei canali indicati nelle tabelle dei down hole riportate alle pagine precedenti.

Tale tecnica in pratica consiste nel valutare il "ritardo" di arrivo dell'onda di compressione e/o di taglio fra il geofono inferiore e quello superiore valutando unicamente su base sismografica il valore di tempo che intercorre fra i due arrivi; qui di seguito è riportato un esempio di tale tecnica elaborativa.



Differenziale tempi onde di taglio
fra canale 3 e canale 4

Una volta stabiliti i tempi di "ritardo" delle onde correlate nelle posizioni interdistanti 1 m si procede alla composizione delle tabelle e log dei parametri elastici.

5.3. Elaborazione dei log di Vs, Vp e dei Moduli Elastici Dinamici

Attraverso la determinazione sia delle velocità delle onde di compressione sia delle velocità delle onde di taglio è possibile ricavare i seguenti parametri (per ulteriori dettagli si veda, tra i più recenti, "The rock physics handbook – tools for seismic analysis in porous media" di G. Mavko, T. Mukerji e J. Dvorkin, Cambridge University Press, UK, pp. 1-329, 1998):

- Coefficiente di Poisson	(ν)	
- Peso di volume	(γ_{din})	in t/m ³
- Modulo di Elasticità dinamico	(E_{din})	in Kg/cm ²
- Modulo di Taglio dinamico	(G_{din})	in Kgcm ²
- Modulo di Compressibilità dinamico	(K_{din})	in Kgcm ²

Il *Coefficiente di Poisson* (ν), noto come la costante che lega le deformazioni in un corpo, può essere collegato, da un punto di vista bidimensionale, ad uno sforzo di trazione, che causa nel corpo stesso un allungamento in una direzione e un raccorciamento nell'altra, o ad uno sforzo di compressione che, analogamente, determina una contrazione in una direzione e una dilatazione nella direzione opposta.

Tale parametro può presentare un range di variazione compreso tra un massimo di 0.5 ed un minimo di 0; il valore di 0.5 è caratteristico di materiali che si deformano senza cambiamenti di volume (es. acqua), valori leggermente inferiori (0.47 - 0.49) sono tipici di argille o materiali molto saturi; valori inferiori sono indicativi di materiali da poco consolidati a sovraconsolidati.

Per le rocce si presentano range di variazioni molto ampi collegati in particolare sia al grado di fratturazione sia alla presenza di cavità, stratificazioni e litologie e comunque tra (0.46 e 0.20).

In funzione di Vp e di Vs il parametro è definito dalla seguente relazione:

$$\text{Coefficiente di Poisson} \quad \nu = \frac{V_p^2 - 2 \cdot V_s^2}{2 \cdot (V_p^2 - V_s^2)}$$

Il *Peso di volume* (γ_{din}) del terreno può essere indicativamente ricavato, in via empirica, anche dalla velocità delle onde di compressione sulla base della seguente relazione:

$$\text{Peso di volume} \quad \gamma_{din} = 0.51 \cdot V_p^{0.19} \quad (\gamma_{din} \text{ in T/m}^3)$$

Da tale relazione si può ottenere anche la densità geofisica, intesa come:

$$\text{Densità geofisica} \quad \delta_{din} = \frac{\gamma}{g} \quad (g = 9.8 - \text{accelerazione di gravità m/sec}),$$

la quale viene utilizzata come parametro nelle formule per ricavare i moduli di elasticità e di taglio.

Il *Modulo di Young* o di *Elasticità normale* E_{din} , definisce la *deformazione longitudinale* di un corpo, intesa come il rapporto tra l'allungamento (o l'accorciamento) e la lunghezza originale del corpo stesso; in funzione dei valori della velocità delle onde di compressione V_p , della densità geofisica e del coefficiente di Poisson il parametro è definito dalla seguente relazione:

$$\text{Modulo di Elasticità} \quad E_{din} = V_p^2 \cdot \delta_{din} \cdot \frac{(1 + \nu) \cdot (1 - 2\nu)}{(1 - \nu)} \quad (E_{din} \text{ in Kg/cm}^2).$$

Il *Modulo di Taglio* o di *Rigidità* G_{din} definisce invece la *deformazione tangenziale* di un corpo, intesa come l'angolo di cui ruota il corpo stesso in seguito ad uno sforzo di taglio; in funzione dei valori della velocità delle onde di taglio V_s e della densità geofisica il parametro è definito dalla seguente relazione:

$$\text{Modulo di Taglio} \quad G_{din} = \delta_{din} \cdot V_s^2 \quad (G_{din} \text{ in Kg/cm}^2).$$

Infine, il *Modulo di Compressibilità* o *Modulo di Volume* è quel parametro ottenibile se lo sforzo viene applicato tridimensionalmente (lungo tutti i tre assi cartesiani) generando una pressione idrostatica uniforme con la quale si avranno componenti dello sforzo uguali e con deformazione rappresentata da una variazione di volume la quale può essere indicata numericamente dall'inverso del coefficiente di compressibilità; utilizzando i valori del modulo di elasticità e del coefficiente di Poisson il parametro è definito dalla seguente relazione:

$$\text{Modulo di Compressibilità} \quad K_{din} = \frac{E_{din}}{3 \cdot (1 - 2 \cdot \nu)} \quad (K_{din} \text{ in Kg/cm}^2).$$

5.4. Elaborati prove down hole

Nella documentazione down hole riportata al termine della presente relazione sono presentate in dati in 3 tavole distinte per prova:

- Sismogrammi delle onde di compressione e taglio oltre alla prova sonica per la valutazione della cementazione del pvc nell'intercapedine del foro;
- Tabelle numeriche
- Logs relativi ai parametri geosismici e moduli elastici dinamici analizzati.

5.5. Carotaggio sonico

La misura del carotaggio sonico è stata effettuata con la strumentazione MAE AU3000 e consente, utilizzando due sonde alla distanza di 50 cm, di valutare il tempo di trascorrenza di un'onda sonica. Questo tempo sarà tanto più ridotto quanto più elevata risulta la velocità nell'intorno del pvc.

L'utilità in questo caso non è tanto stabilire la velocità delle onde di compressione dell'ammasso bensì di verificare il contatto tra il Pvc e l'ammasso il quale dovrebbe essere stato ottenuto mediante cementazione.

Nel caso in cui questo contatto risulti ridotto o assente ovviamente le misure di Down Hole ne possono risultare influenzate negativamente.

Nel caso in oggetto, a parte qualche leggera anomalia, il contatto tra il Pvc e la roccia incassante, risulta presente e sufficiente per tutte le prove come si può verificare dai log del sonico presente nei certificati delle prove Down Hole.

6. RISULTANZE

In coda alla relazione sono riportate le planimetrie dei due siti indagati a cui seguono le sezioni sismiche tomografiche in onde Compressione, Taglio e relativi Parametri Elastici (Coefficiente di Poisson, Modulo di taglio, Modulo Elasticità, Modulo Compressibilità).

Relativamente al sito Svincolo Mulargia-Macomer sono state anche riportate le risultanze della prova in foro Down Hole eseguita nel sondaggio S4.

Nelle sezioni tomografiche sono riportati i dati di velocità delle onde di compressione e di taglio mediante isolinee e falsi colori mantenendo fisso il range della scala cromatica.

Sulle sezioni sono visibili lungo il profilo topografico le posizioni dei sensori che trovano riscontro anche sulle planimetrie ed eventualmente i sondaggi presenti.

Dalle sezioni 1 e 2 situate sullo Svincolo Mulargia-Macomer si può osservare una certa gradualità nell'incremento delle velocità delle onde sismiche e dei relativi parametri elastici in profondità, questo ad indicare l'assenza di interfacce geofisiche ben definite. Dalla stratigrafia del sondaggio S4 si rileva infatti la presenza, sino alla profondità indagata dalle tomografie sismiche, di Piroclastiti man mano più addensate e litoidi con la profondità. Tale tipologia di materiale risulta presente per tutto il profilo delle 2 sezioni indagate con minori addensamenti superficiali in corrispondenza dei tratti di sezione prossimi alla S.S. 131 (geofono 18 al 24 della sez. 1 e geofono 1 al 10 della sezione 2).

In sezione 1 è anche riportato il profilo stratigrafico e geofisico (in onde di compressione P e taglio S) del sondaggio S4, il quale ricalca quanto rappresentato nelle sezioni tomografiche.

Nella sezione 6bis (viabilità secondaria Ospedale Macomer) realizzata sub parallela ad un viadotto della S.S.131 è ancora possibile osservare un andamento sub orizzontale dell'incremento delle velocità e parametri con la profondità, ma con valori e profondità superiori determinati dalla maggiore profondità raggiunta dalle sezione tomografica. Si osserva inoltre che nella parte di sezione lungo il versante più a sud (dal geofono 9 al geofono 24) è riscontrabile uno spessore di coltre allentata a spessore man mano crescente verso sud.

Nei certificati del Down Hole è riportata la categoria di suolo ed i valori di V_{s30} corretti, anche in questo caso è riportato il valore di V_{sH} il quale fa riferimento, in questo caso, ai soli parametri con $V_s < 800$ m/sec che può coincidere al valore di V_{s30} nel caso in cui si sia in presenza di un suolo B, C o D.

A lato dei sismogrammi è riportato il diagramma risultante dal carotaggio sonico che indica il grado di cementazione lungo la colonna in PVC installata nel foro di sondaggio

Per quanto riguarda l'analisi di dettaglio in ottica progettuale si rimanda alle singole sezioni tenendo presente quanto sopra indicato.

PROGEO

Dott. Maurizio Furani



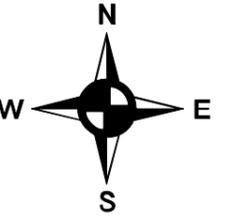
Hanno collaborato:
Dott. Gabriele Pulelli
Dott. Andrea Fabbri
Dott. Stefano Tomidei



PROGEO S.r.L.
 Via Talete 10/9
 47100 Forlì - Italia
 tel. +39 0543 723580
 fax +39 0543 721486
 mail proggeo@gmail.com
 www.proggeo.info

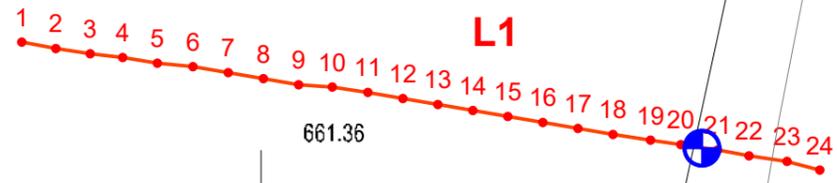


Cliente: ANAS SpA - Direzione Generale
 Lavoro: I° stralcio (km 108+300 - 159+290)
 Sito: Svincolo Mulargia-Macomer
 Titolo: Planimetria indagini geofisiche
 Data: Luglio 2015
 Figura: 1
 Scala: 1: 500



Legenda

- Sezioni sismiche tomografiche
- Stazioni geofisiche



662.49

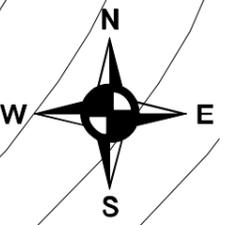
662.16



PROGEO S.r.L.
Via Talete 10/9
47100 Forlì - Italia
tel. +39 0543 723580
fax +39 0543 721486
mail proggeo@gmail.com
www.proggeo.info



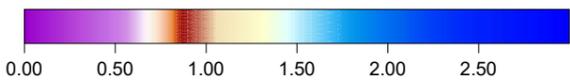
Cliente: ANAS SpA - Direzione Generale
Lavoro: I° stralcio (km 108+300 - 159+290)
Sito: Viabilità secondaria Ospedale Macomer
Titolo: Planimetria indagini geofisiche
Data: Luglio 2015
Figura: 2
Scala: 1: 500



Legenda

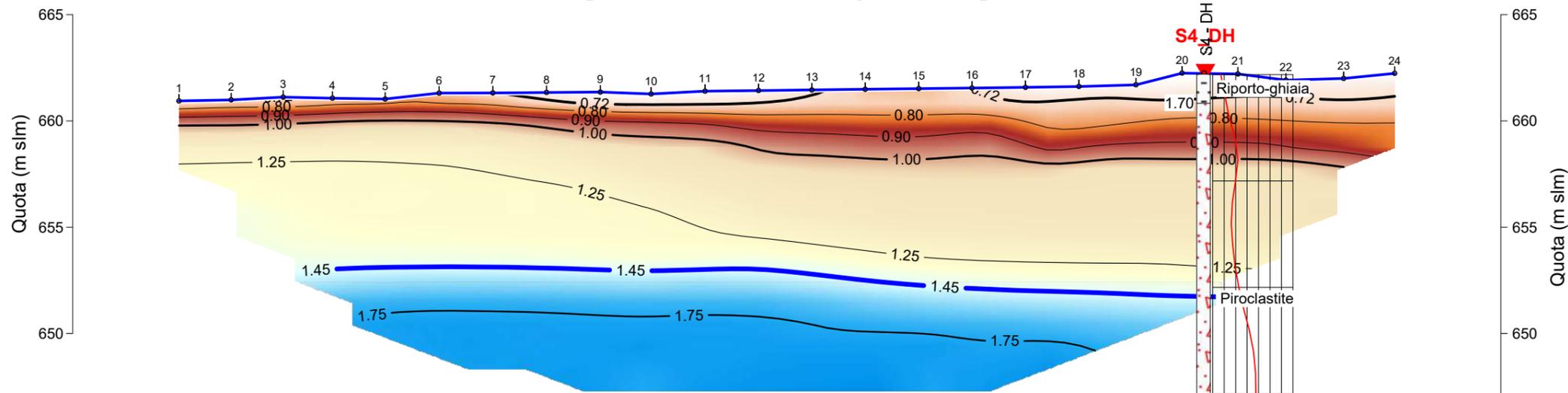
- Sezioni sismiche tomografiche
- 12 Stazioni geofisiche



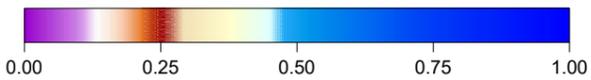
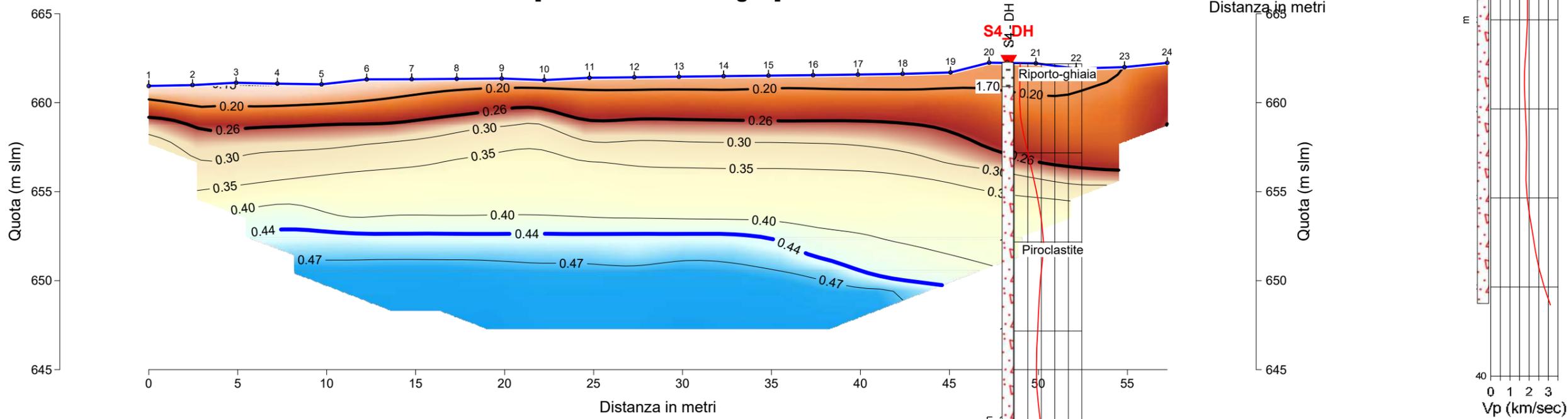


Scala della velocità delle onde di compressione Vp in km/sec

SEZIONE SISMICA TOMOGRAFICA 1 [Velocità onde di compressione]



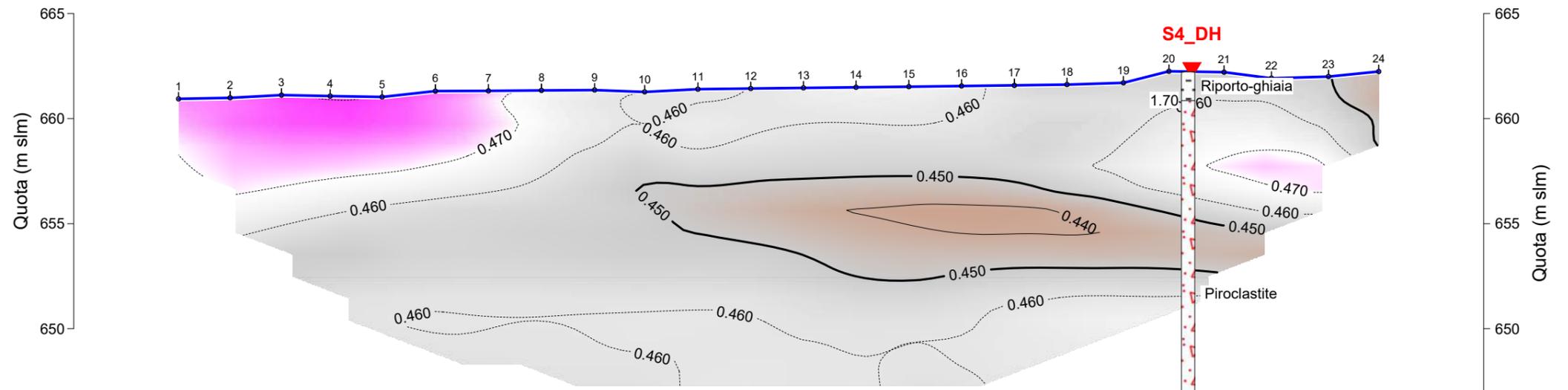
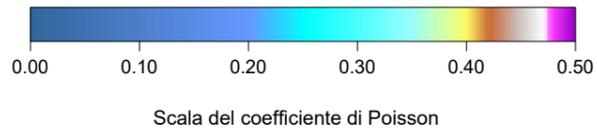
SEZIONE SISMICA TOMOGRAFICA 1 [Velocità onde di taglio]



Scala della velocità delle onde di taglio Vs in km/sec

Fig. 3
Scale 1 : 250

SEZIONE SISMICA TOMOGRAFICA 1 [Coefficiente di Poisson]



SEZIONE SISMICA TOMOGRAFICA 1 [Modulo di Taglio G°]

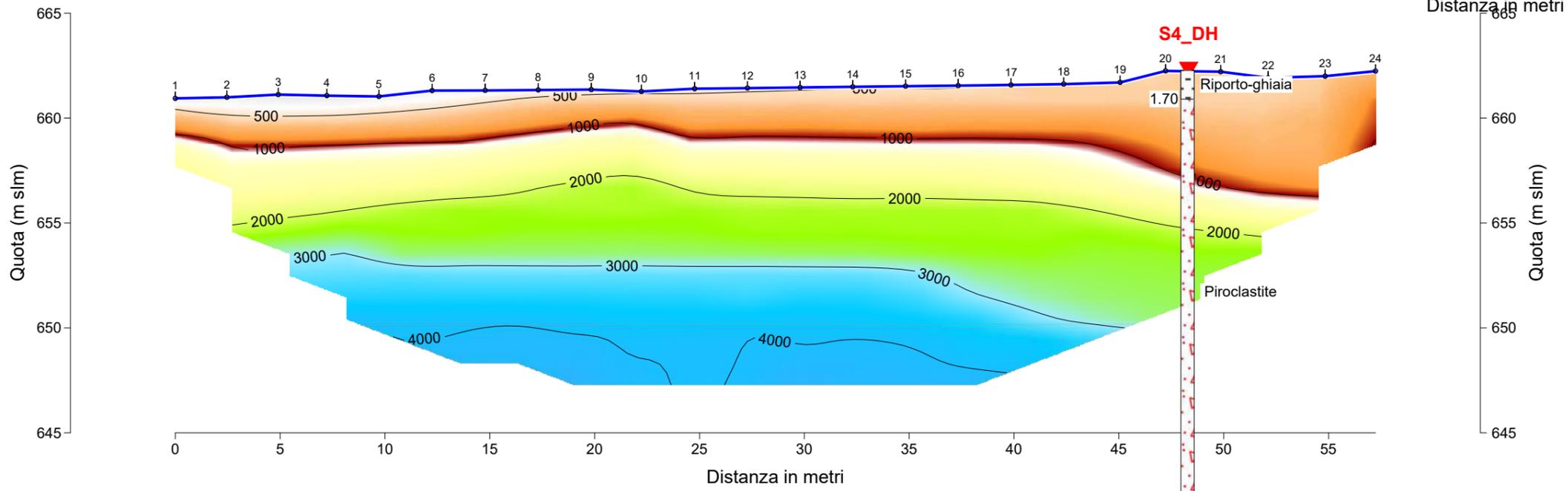
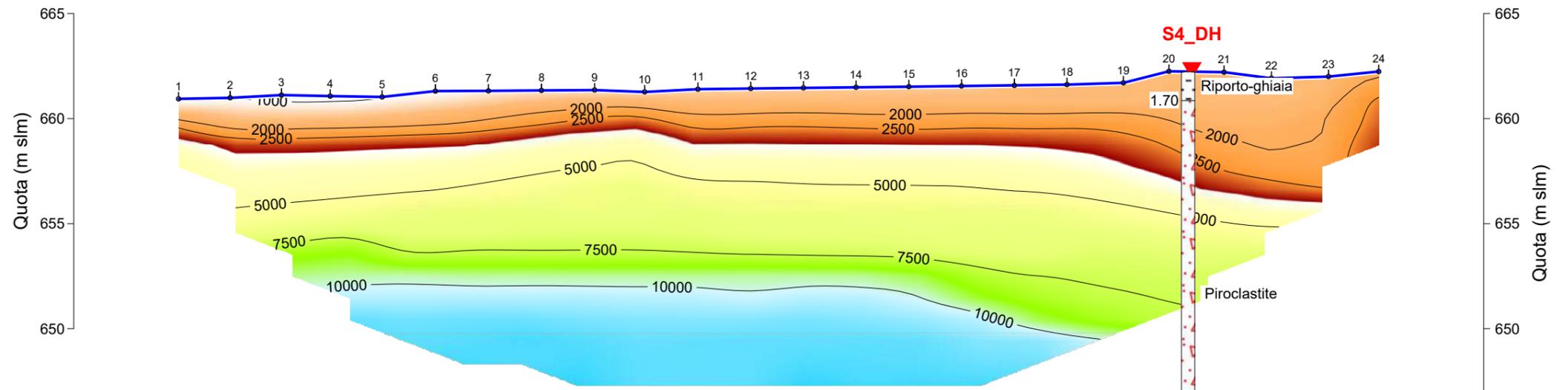
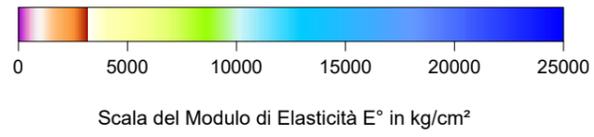


Fig. 4
Scale 1 : 250

SEZIONE SISMICA TOMOGRAFICA 1 [Modulo di Elasticità E°]



SEZIONE SISMICA TOMOGRAFICA 1 [Modulo di Compressibilità K°]

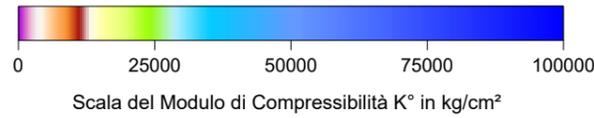
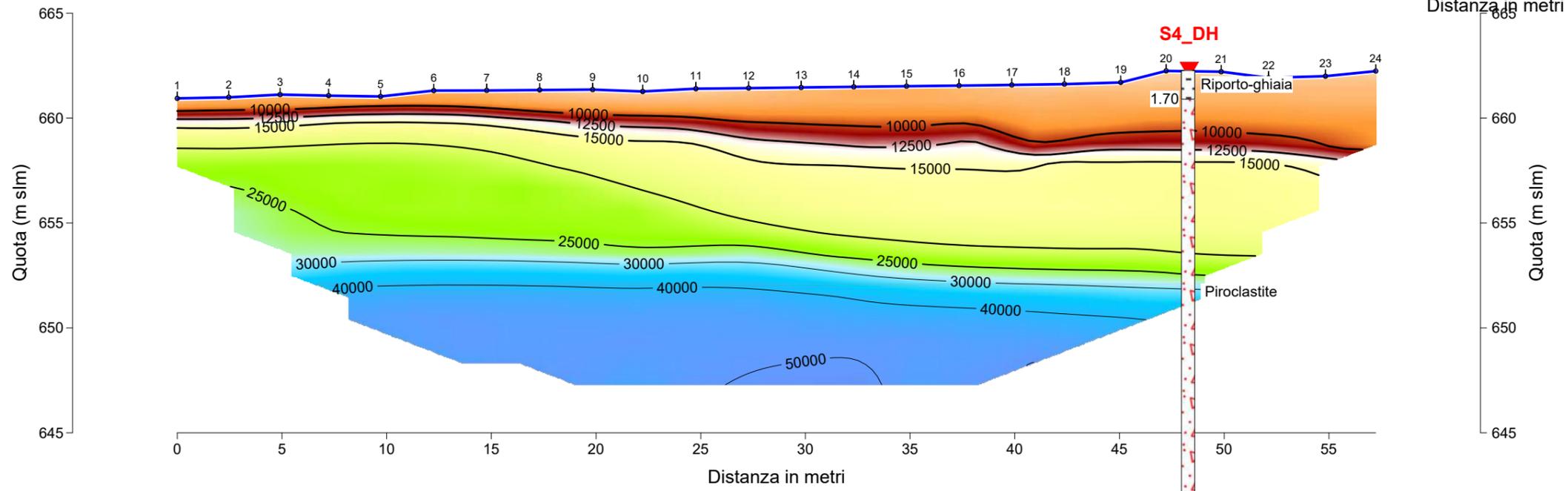
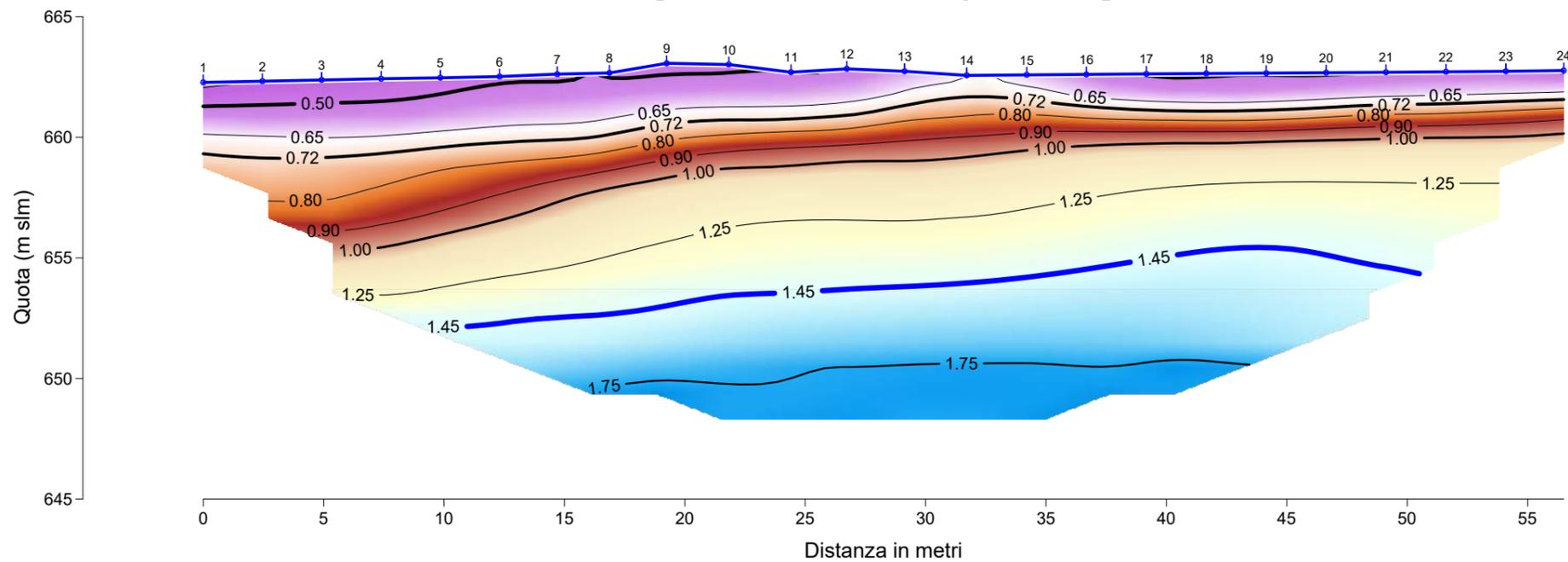


Fig. 5
Scale 1 : 250

SEZIONE SISMICA TOMOGRAFICA 2 [Velocità onde di compressione]



SEZIONE SISMICA TOMOGRAFICA 2 [Velocità onde di taglio]

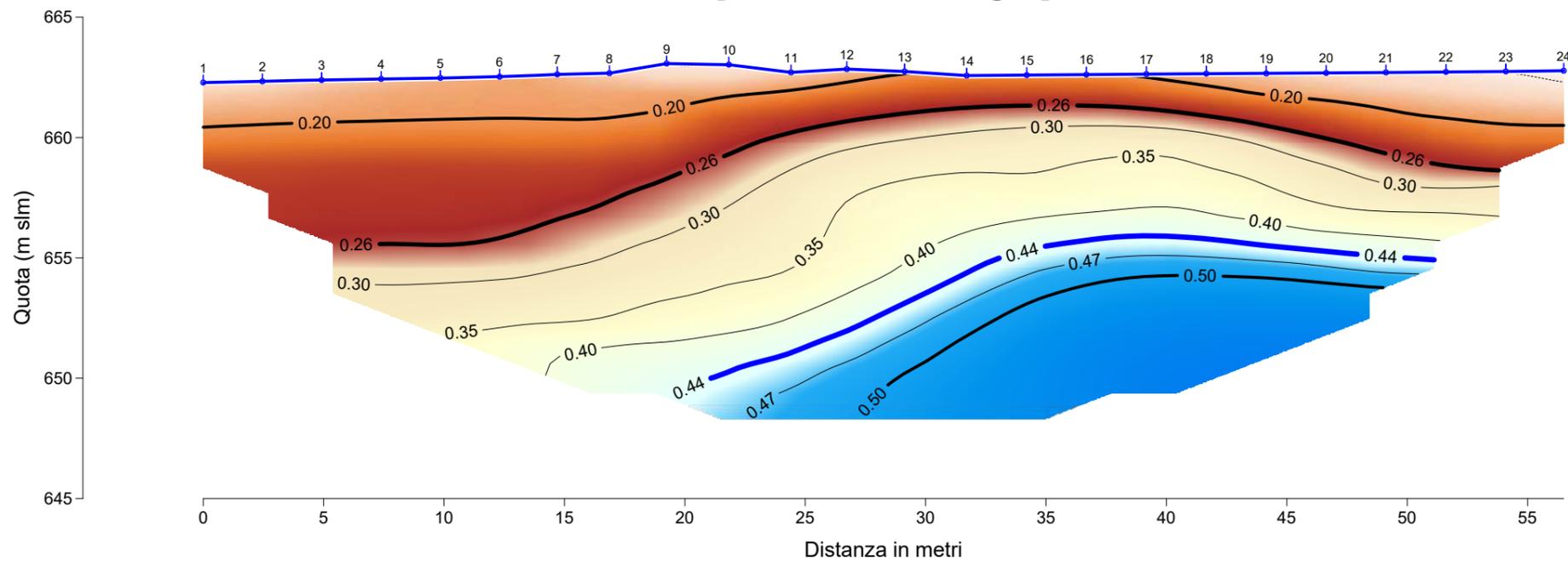
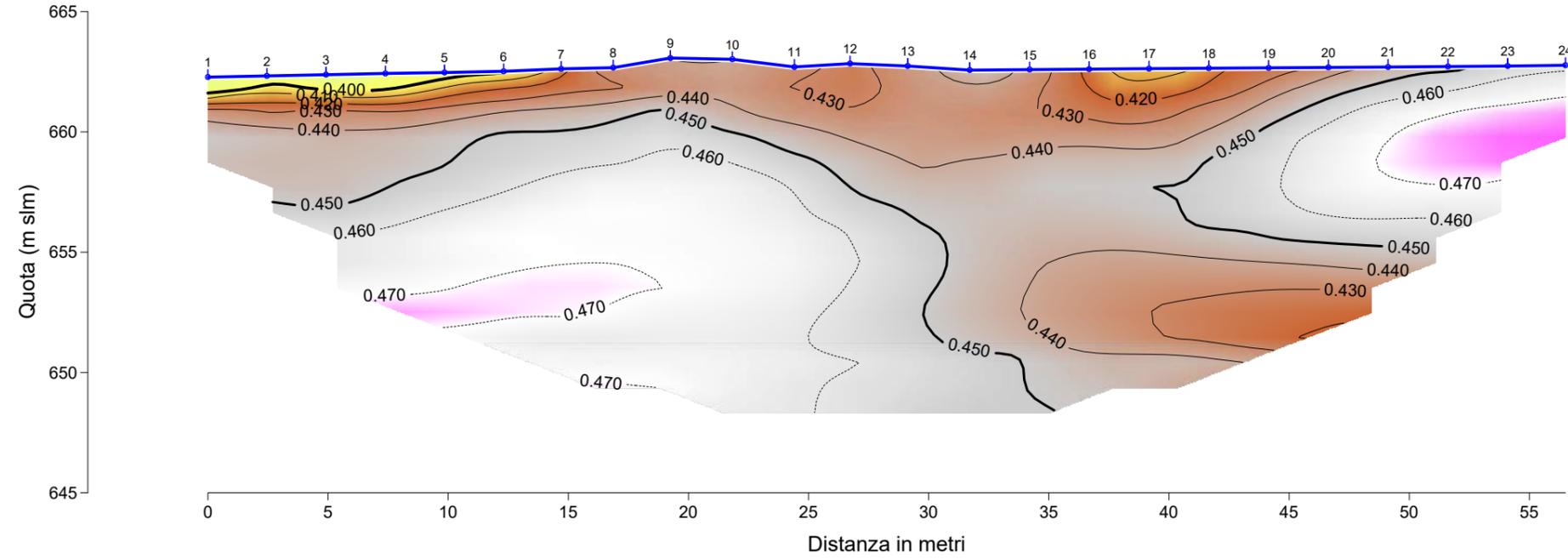


Fig. 6
Scale 1 : 250

SEZIONE SISMICA TOMOGRAFICA 2 [Coefficiente di Poisson]



SEZIONE SISMICA TOMOGRAFICA 2 [Modulo di Taglio G°]

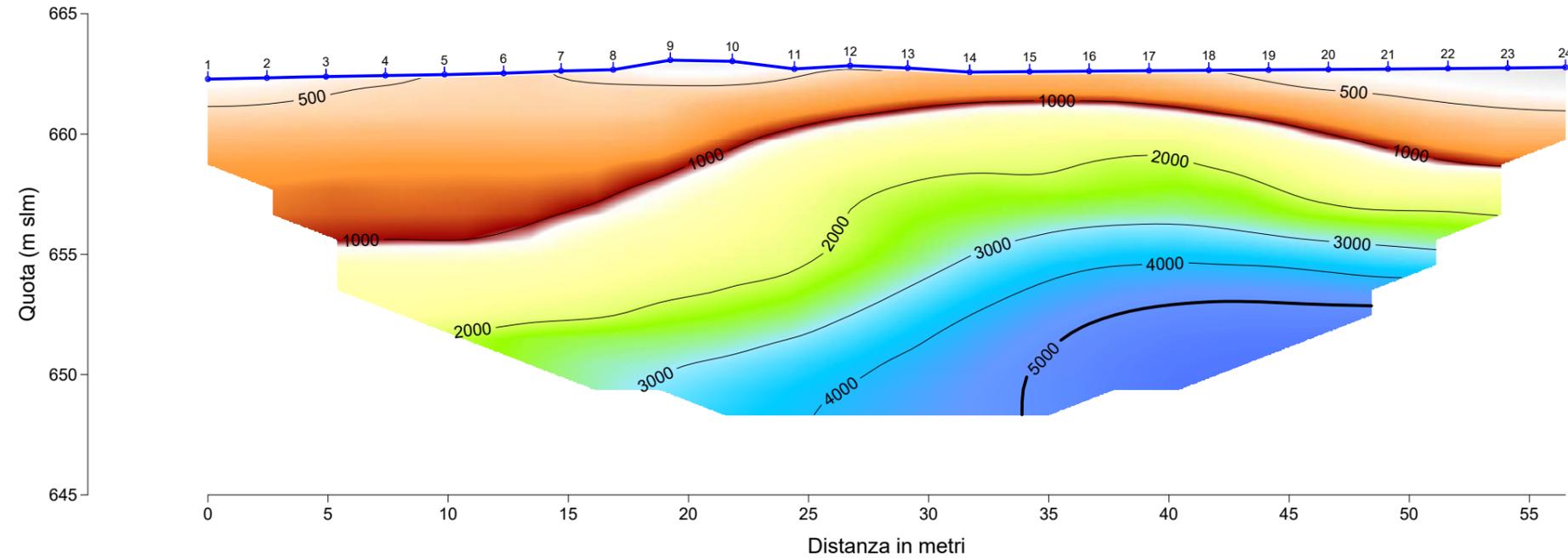
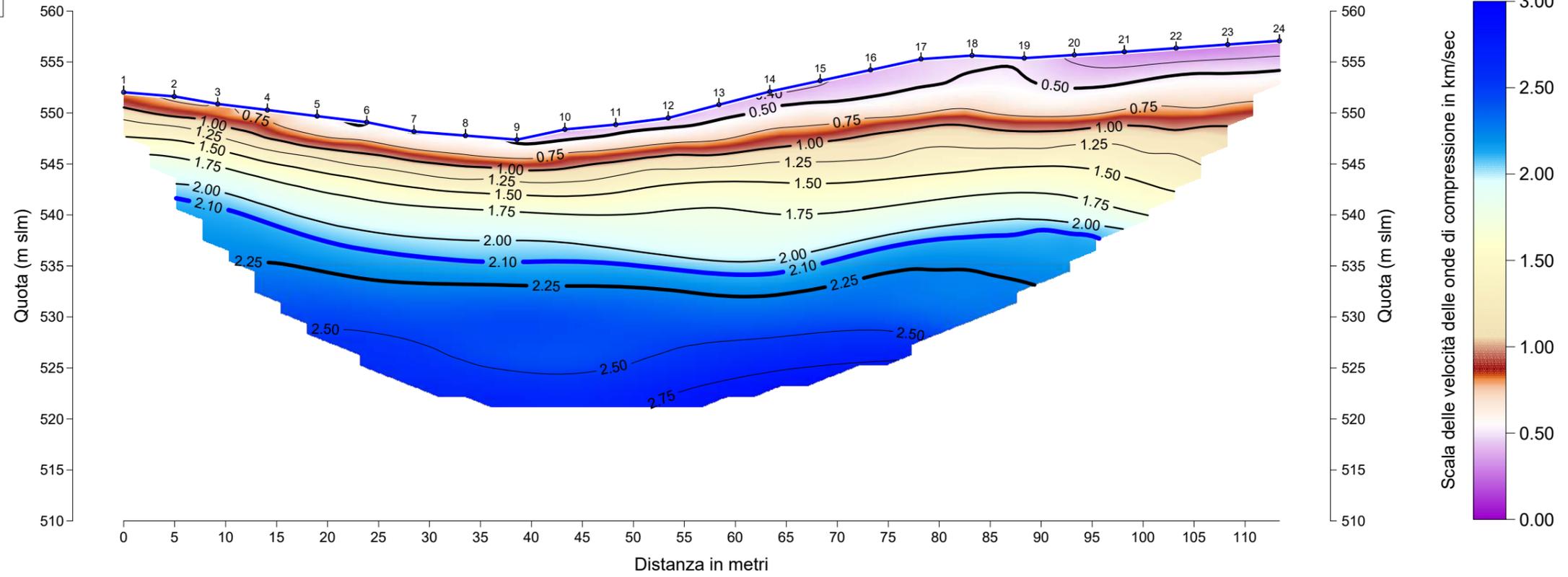


Fig. 7
Scale 1 : 250

SEZIONE SISMICA TOMOGRAFICA 6bis [Velocità onde di compressione]



SEZIONE SISMICA TOMOGRAFICA 6bis [Velocità onde di taglio]

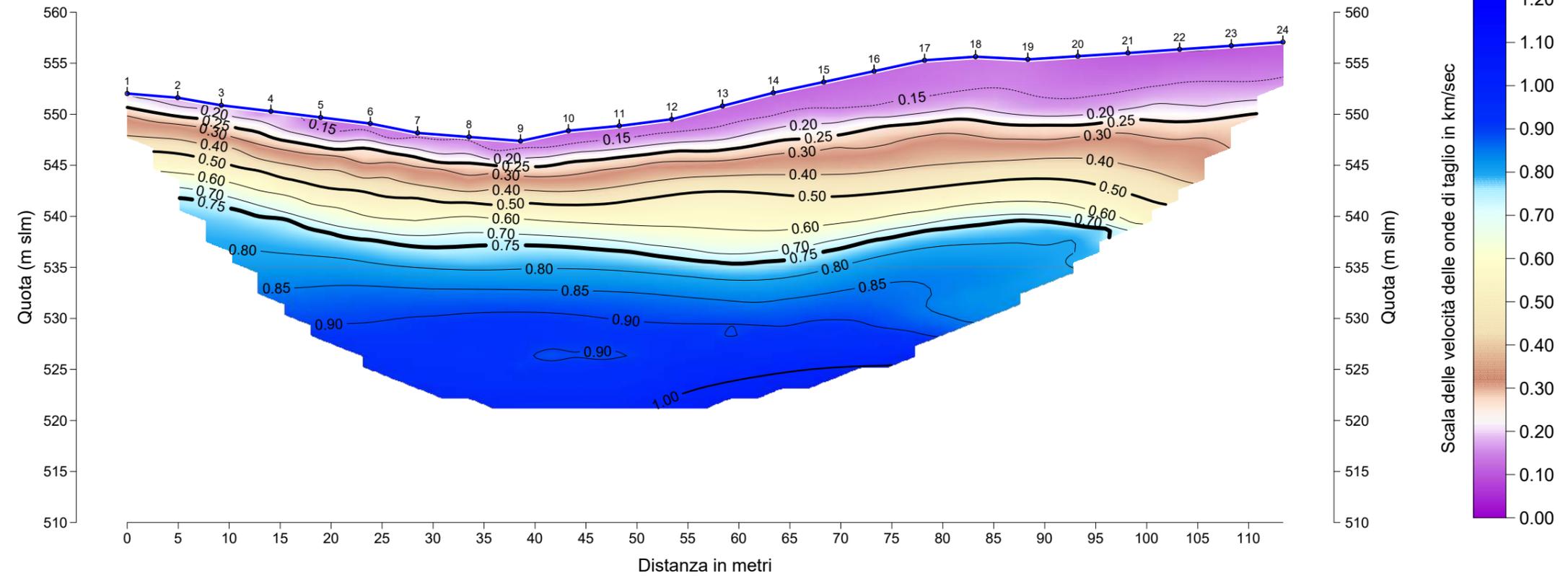
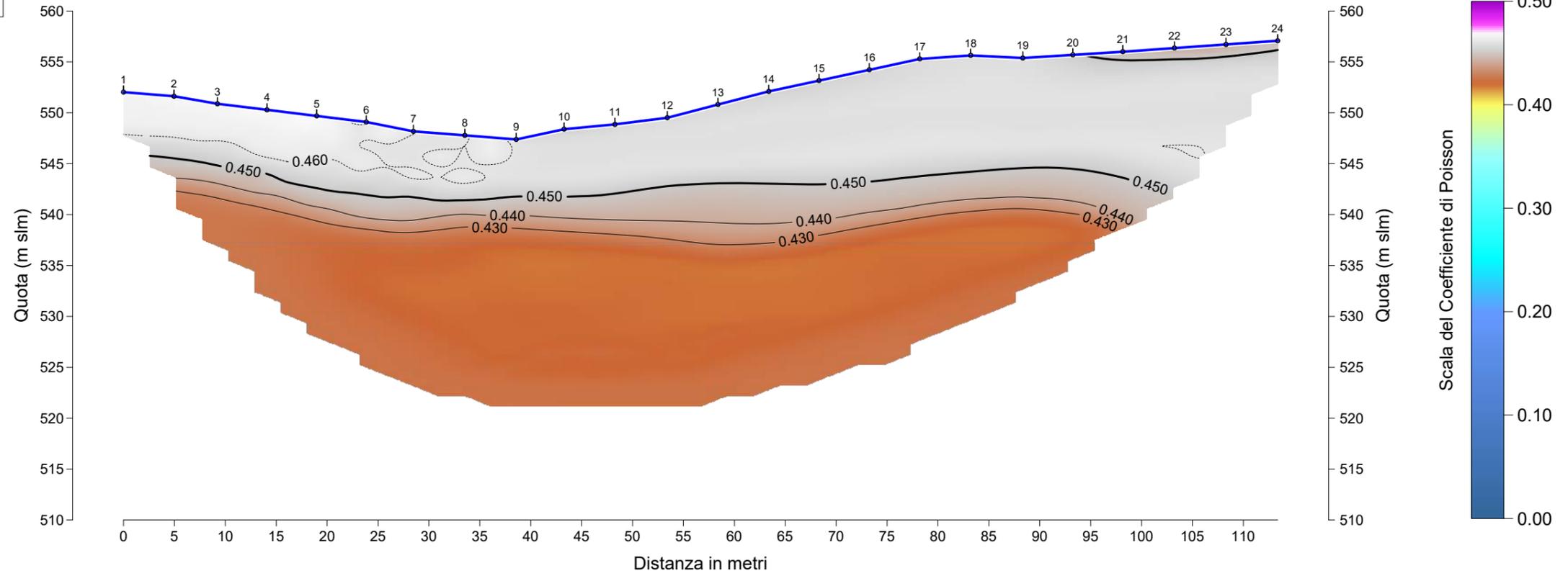


Fig. 9

Scale 1 : 250

SEZIONE SISMICA TOMOGRAFICA 6bis [Coefficiente di Poisson]



SEZIONE SISMICA TOMOGRAFICA 6bis [Modulo di Taglio G°]

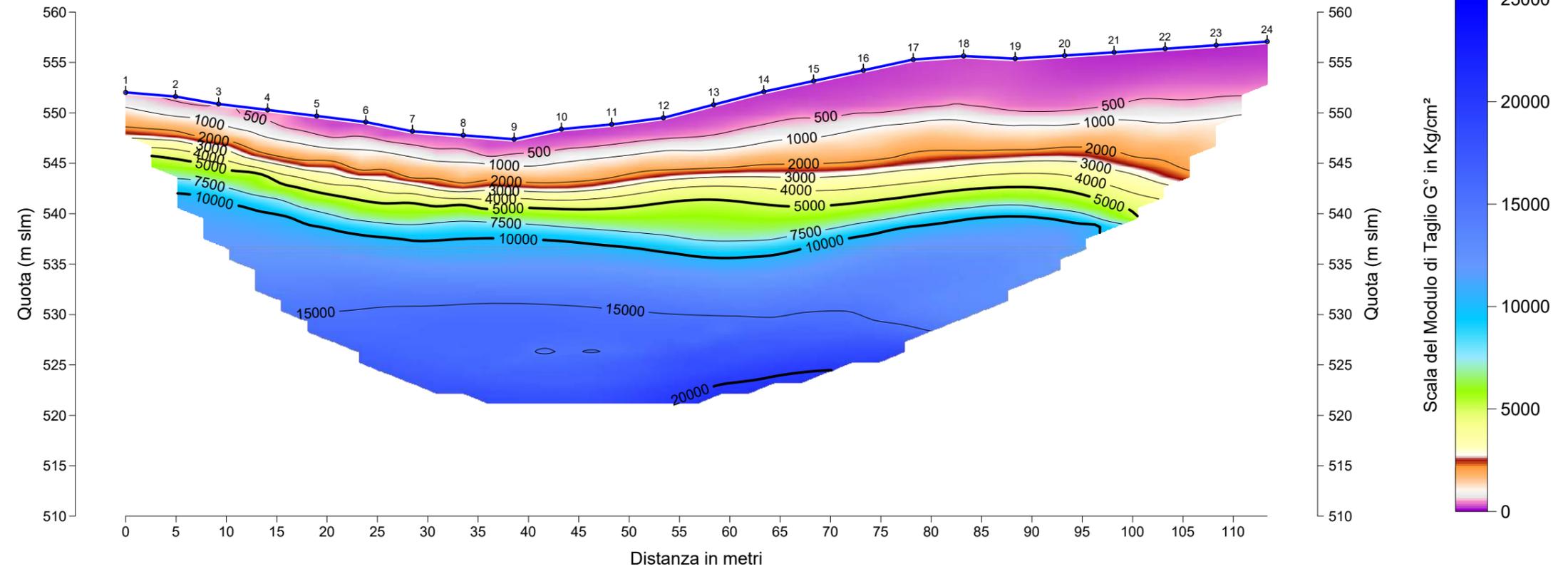
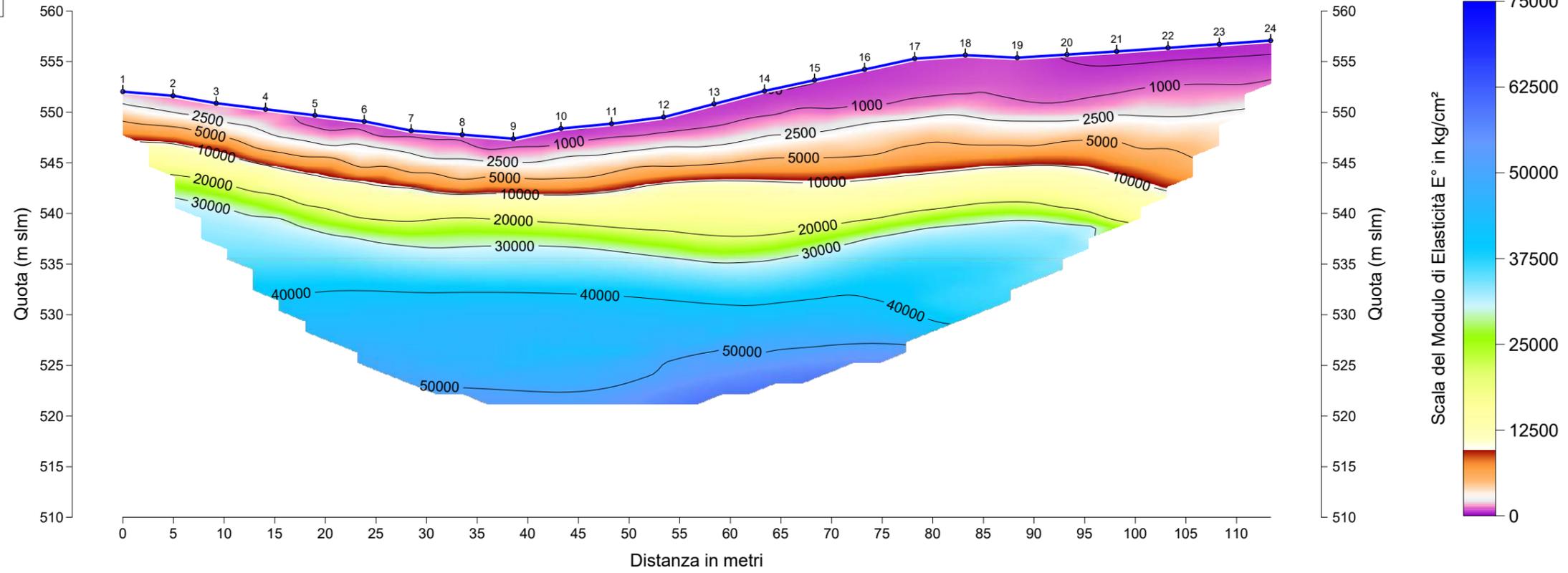


Fig. 10
Scale 1 : 250

SEZIONE SISMICA TOMOGRAFICA 6bis [Modulo di Elasticità E°]



SEZIONE SISMICA TOMOGRAFICA 6bis [Modulo di Compressibilità K°]

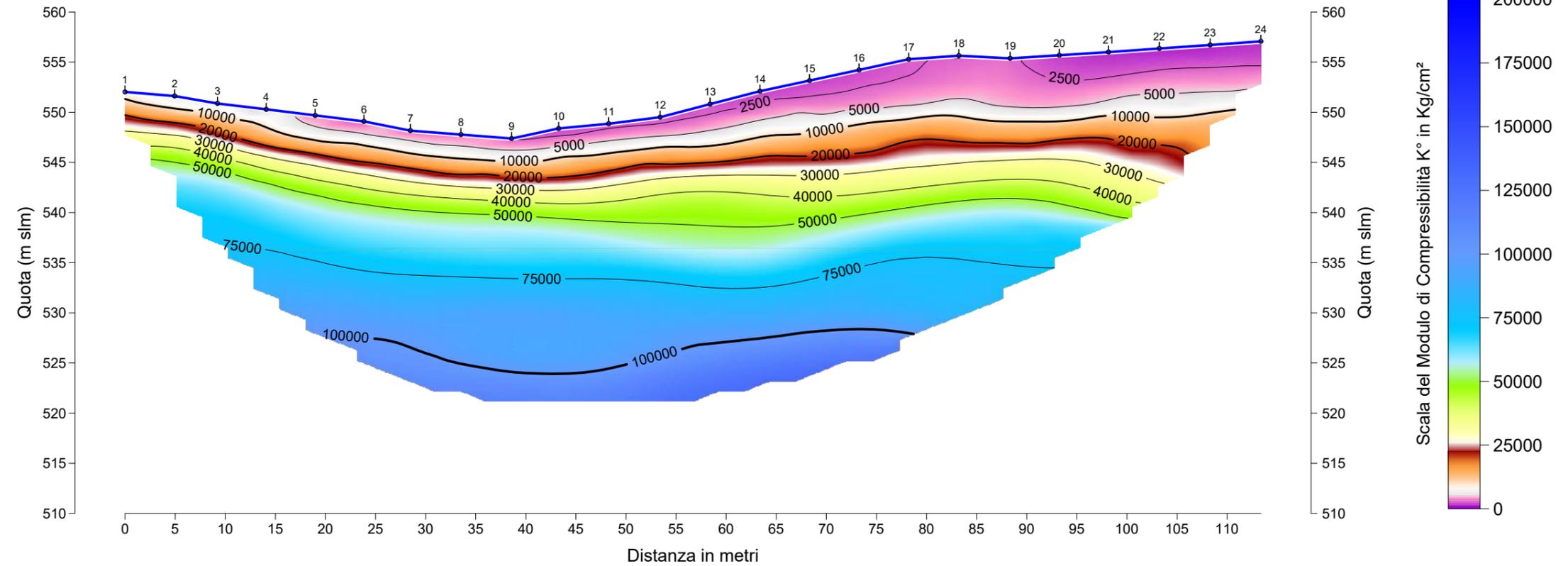
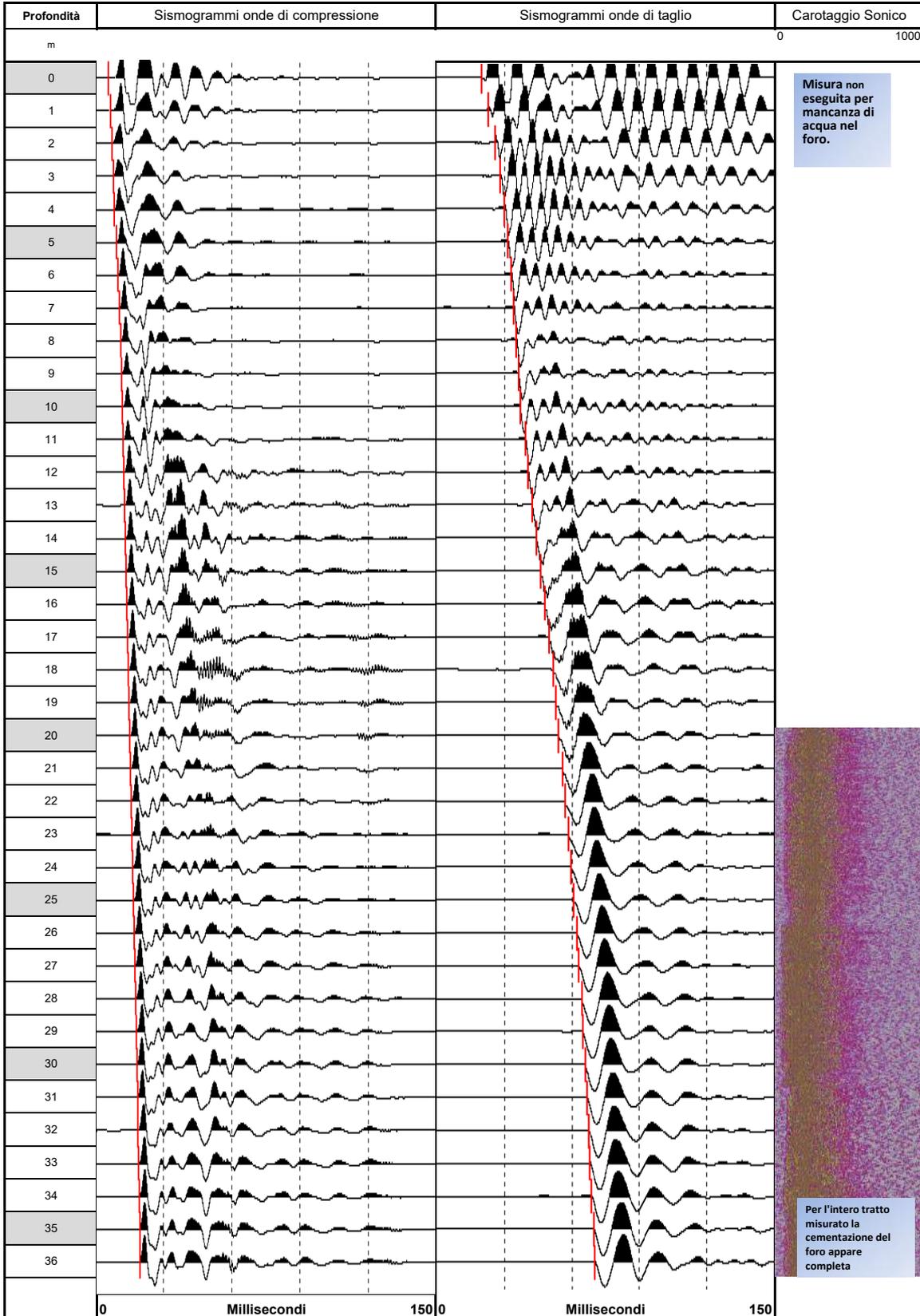


Fig. 11

Scale 1 : 250

COMMITTENTE	ANAS DIREZIONE GENERALE		
DOWN HOLE	S4		
Località - Progetto	Svincolo Mulargia-Macomer		
Data acquisizione	15/07/2015	Cod.	1562

Sismogrammi



COMMITTENTE	ANAS DIREZIONE GENERALE		
DOWN HOLE	S4		
Località - Progetto	Svincolo Mulargia-Macomer		
Data acquisizione	15/07/2015	Cod.	1562

Metodologia DH
Differenziale
Progressivo



Falda _____ 2 di 4

Profondità	Tp	Ts	Vp	Vs	Poisson	Densità	E°	G°	K°
m	msec	msec	km/sec	km/sec		t/m³	Kg/cm²	Kg/cm²	Kg/cm²
0	5.24	23.17	0.35	0.09	0.469	1.56	346	118	1838
1	4.27	28.12	0.54	0.08	0.488	1.68	348	117	4774
2	3.20	33.35	0.72	0.08	0.494	1.78	337	113	9183
3	3.63	36.79	0.98	0.09	0.496	1.89	495	166	18342
4	4.38	39.95	1.10	0.14	0.492	1.93	1151	386	23234
5	6.09	42.29	1.00	0.20	0.479	1.89	2281	771	18243
6	7.26	45.18	0.86	0.26	0.448	1.84	3790	1309	12208
7	8.23	47.16	0.81	0.32	0.409	1.82	5274	1871	9694
8	9.19	49.14	0.87	0.37	0.392	1.85	7106	2553	10949
9	10.26	50.56	0.98	0.41	0.395	1.89	8933	3202	14186
10	10.84	51.80	1.14	0.43	0.415	1.94	10492	3707	20663
11	11.44	55.98	1.35	0.42	0.447	2.01	10341	3573	32555
12	11.97	57.91	1.60	0.39	0.468	2.07	9386	3196	49438
13	12.29	60.92	1.78	0.37	0.477	2.11	8772	2969	64355
14	12.93	63.92	1.87	0.36	0.481	2.13	8214	2773	72298
15	13.57	67.13	1.88	0.35	0.483	2.14	7715	2602	73793
16	14.00	70.05	1.88	0.33	0.484	2.14	7131	2403	73753
17	14.53	73.24	1.89	0.33	0.484	2.14	6975	2349	74997
18	15.08	76.68	1.91	0.33	0.485	2.14	7024	2366	76344
19	15.49	78.60	1.92	0.35	0.482	2.14	8065	2720	76661
20	15.97	80.67	1.92	0.38	0.479	2.14	9430	3187	76041
21	16.66	83.28	1.87	0.40	0.475	2.13	10505	3560	71142
22	17.14	85.76	1.82	0.42	0.472	2.12	11243	3820	66352
23	17.77	87.68	1.76	0.43	0.468	2.11	11938	4067	61426
24	18.37	89.74	1.76	0.45	0.465	2.11	12788	4364	61101
25	18.91	91.94	1.79	0.47	0.464	2.12	13733	4691	63269
26	19.23	94.06	1.85	0.48	0.463	2.13	14935	5103	67596
27	19.88	95.63	1.87	0.51	0.460	2.13	16413	5620	68738
28	20.42	97.79	1.85	0.54	0.453	2.13	18389	6326	65709
29	21.10	98.78	1.84	0.58	0.445	2.13	20863	7218	63395
30	21.51	100.33	1.90	0.62	0.441	2.14	24190	8396	67898
31	21.93	102.06	2.03	0.66	0.440	2.17	28085	9754	77611
32	22.34	103.38	2.19	0.72	0.438	2.20	33868	11774	91347
33	22.79	104.03	2.33	0.80	0.434	2.23	41131	14341	103990
34	23.16	105.10	2.52	0.85	0.435	2.26	48311	16831	124269
35	23.51	106.80	2.78	0.87	0.446	2.30	50938	17608	158421
36	23.73	107.83	3.10	0.83	0.461	2.35	48411	16564	208538

STRATIGRAFIA
semplificata
0,0-0,6m: Terreno di riporto
0,6-1,7m: Ghiaia, da sciolta a poco addensata.
1,7-2,6: Piroclastite, addensata.
2,6-8,0m: Piroclastite a granulometria sabbiosa-limosa, con ghiaia, da addensata a molto addensata.
8,0-14,4m: Piroclastite da semilitoide a litoide, a struttura granulare fine. Grado di alterazione da elevato a medio, molto fratturata.
14,4-19,3m: Piroclastite a granulometria limosa sabbiosa fine, da semilitoide a litoide, asciutta, molto addensata.
19,3-22,4m: Piroclastite a granulometria limosa argillosa debolmente sabbiosa, dura, a luoghi debolmente cementata.
22,4-26,5m: Piroclastite litoide a struttura granulare fine, fratturata.
26,4-32,5m: Piroclastite litoide. Struttura granulare clastica, da poco alterata a molto alterata, da fratturata a frantumata.
32,5-35,0m: il livello si presenta semilitoide con aumento della matrice limosa debolmente sabbiosa.

Legenda parametri dinamici	
Tp	Tempi onde di compressione (msec)
Ts	Tempi onde di taglio (msec)
Vp	Velocità onde di compressione (km/sec)
Vs	Velocità onde di taglio (km/sec)
v	Coefficiente di Poisson
γ	Peso di volume (T/m³)
Edin	Modulo di Elasticità dinamico (Kg/cm²)
Gdin	Modulo di Taglio dinamico (Kg/cm²)
Kdin	Modulo di Compressibilità dinamico (Kg/cm²)

CLASSIFICAZIONE SISMICA DEI SUOLI
(NUOVE NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI)
D.M. del 14 gennaio 2008 e successivi)

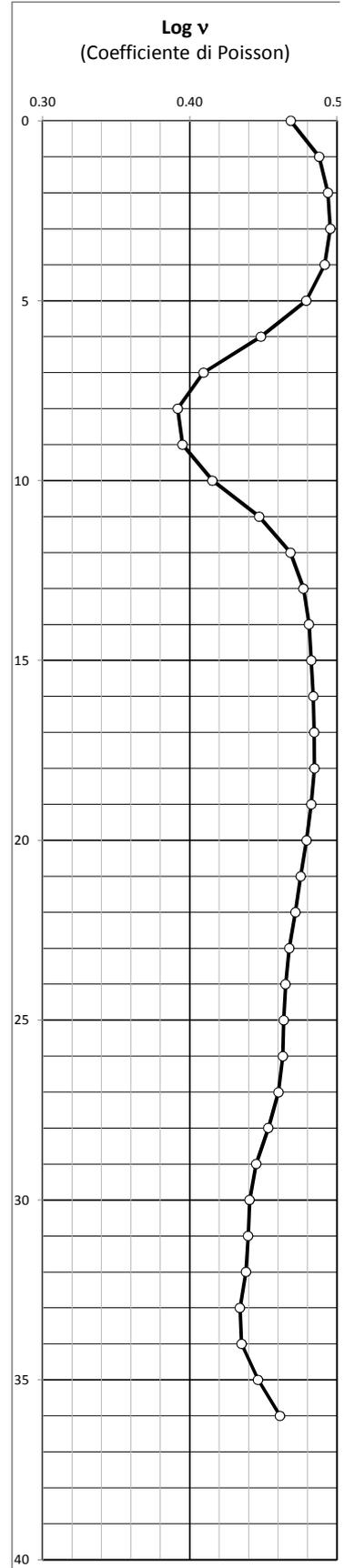
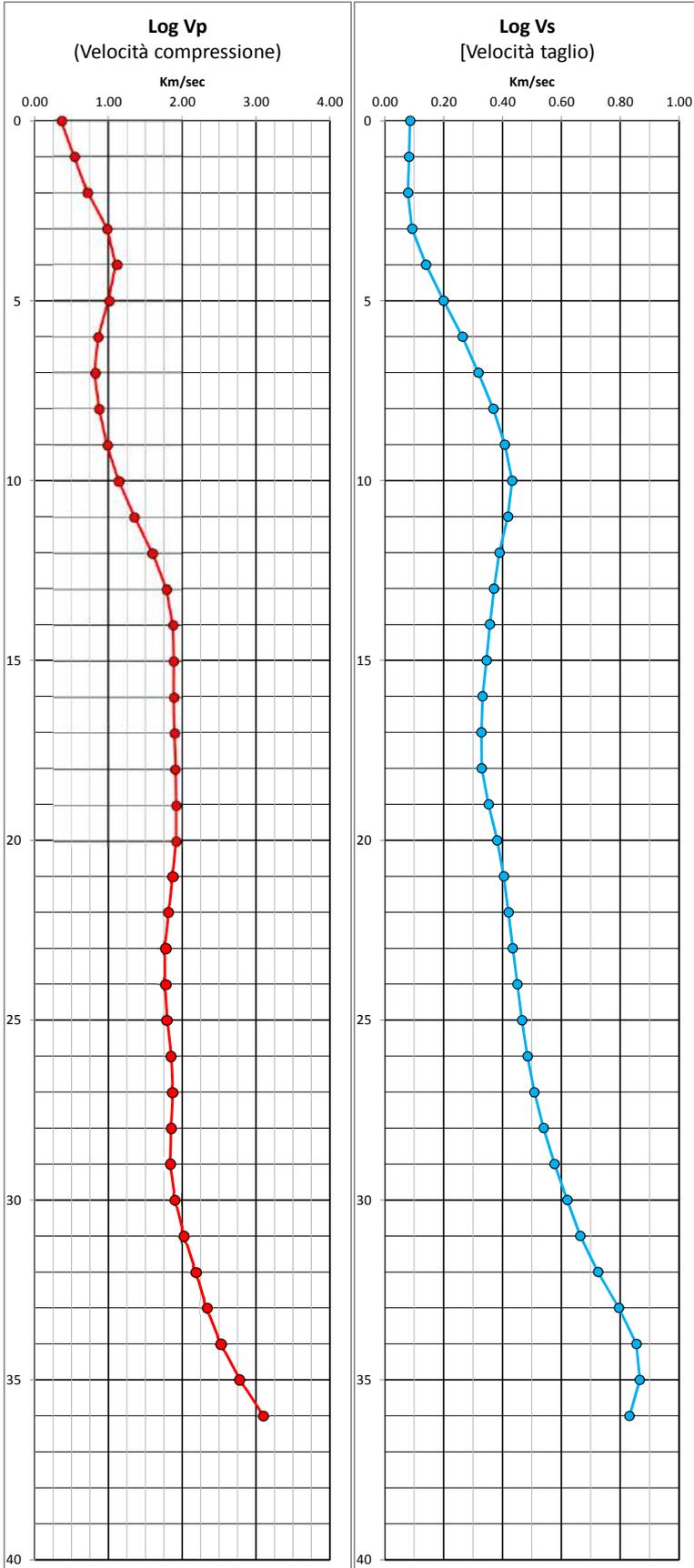
$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{v_i}}$$

VsH (0-30m) 245 m/sec
Vs30 245 m/sec
G0 1197 Kg/cm²
G0 122 Mpa

CATEGORIA SUOLO C

COMMITTENTE	ANAS DIREZIONE GENERALE		
DOWN HOLE	S4		
Località - Progetto	Svincolo Mulargia-Macomer		
Data acquisizione	15/07/2015	Cod.	1562

Log Parametri elastici
Log Vp - Vs - v



COMMITTENTE	ANAS DIREZIONE GENERALE		
DOWN HOLE	S4		
Località - Progetto	Svincolo Mulargia-Macomer		
Data acquisizione	15/07/2015	Cod.	1562

Log Parametri elastici
Log E - G - K

