



PORTI
di ROMA
e del LAZIO



Anas SpA

Direzione Centrale Progettazione

TRANS-EUROPEAN TRANSPORT NETWORK EXECUTIVE AGENCY
TEN-T EA

Ministero
delle Infrastrutture e dei Trasporti

**PROGETTAZIONE PRELIMINARE ED ANALISI ECONOMICA DEL TRATTO
TERMINALE DEL COLLEGAMENTO DEL PORTO DI CIVITAVECCHIA CON IL
NODO INTERMODALE DI ORTE PER IL COMPLETAMENTO DELL'ASSE
VIARIO EST-OVEST (CIVITAVECCHIA-ANCONA)
2012-IT-91060-P**

TRATTA: MONTE ROMANO EST – CIVITAVECCHIA

PROGETTO PRELIMINARE

PROGETTAZIONE: ANAS - DIREZIONE CENTRALE PROGETTAZIONE

| | | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| PROGETTISTA: <i>Ing. Maurizio Mancinetti</i> <i>Ordine Ing. di Roma n° 19506</i> | | GRUPPO DI PROGETTAZIONE ANAS Ing. F. Bario Ing. F. Bezzi Geol. G. Cardillo Ing. L. Cedrone Ing. P. G. D'Armini Sig.ra A. M. D'Aversa Ing. A. De Leo Geom. E. De Masi Geom. M. Diamente Ing. P. Fabbro Ing. G. Giovannini | | Geom. R. Izzo Ing. E. Luziatelli Geom. D. Maggi Geom. M. Maggi Ing. E. Mittiga Ing. M. Panebianco Dott.ssa D. Perfetti Ing. A. Petrillo Ing. F. Pisani Arch. R. Roggi | |
| IL GEOLOGO <i>Dott. Geol. Stefano Serangeli</i> <i>Ordine Geol. Lazio n. 659</i> | | | | | |
| IL RESPONSABILE DEL S.I.A. <i>Dott. Geol. Serena Majetta</i> | | | | | |
| COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE <i>Arch. Roberto Roggi</i> | | | | | |
| IL RESP. DEL PROCEDIMENTO <i>Ing. Ilaria COPPA</i> | | SERVIZI SUPPORTO ESTERNO | | | |
| PROTOCOLLO | DATA | VISTO: IL DIRETTORE CENTRALE <i>Ing. Ugo DIBENNARDO</i> | | | |

STUDIO GEOLOGICO E GEOTECNICO
Indagini geofisiche progetto preliminare
Rapporto tecnico

| | | | | | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|------------------------------------------------------------------|-------------|------------------|---------------|---------------|
| CODICE PROGETTO PROGETTO LIV. PROG. N. PROG. L0402D P 1301 | | NOME FILE L0402D_P_1301_T00_GEO0_GEO_RE03_A.DWG | | REVISIONE | TAVOLA | SCALA: |
| CODICE ELAB. | | T00GEO0GEORE03 | A | - | - | |
| | | | | | | |
| C | | | | | | |
| B | | | | | | |
| A | EMISSIONE | | GIUGNO_2014 | SERANGELI | MANCINETTI | COPPA |
| REV. | DESCRIZIONE | | | REDATTO | VERIFICATO | APPROVATO |



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

ASSE VIARIO EST-OVEST "PORTO DI CIVITAVECCHIA - ORTE" TRATTA MONTE ROMANO EST - CIVITAVECCHIA

INDAGINI GEOFISICHE DI SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE PRELIMINARE

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

1376/2014

File: 1376-ANAS - Indagini geofisiche Orte-Civitavecchia.doc

PROGETTO N.

-

DESIGN N.

DISEGNO N.

DRAWING N.

SCALA

DATA

QUESTO DISEGNO E' DI NOSTRA PROPRIETA' ESCLUSIVA
 E' PROIBITA LA RIPRODUZIONE ANCHE PARZIALE E LA
 CESSIONE A TERZI SENZA LA NOSTRA AUTORIZZAZIONE

DISEGNATO

Dott. R. Masotti

CONTROLLATO

Dott. M. Furani

APPROVATO

INDICE

| | | |
|-----------|----------------------------------------------------------------------|------------------|
| 1. | <u>INDICAZIONI GENERALI</u> | <u>3</u> |
| 2. | <u>ELABORATI CARTOGRAFICI</u> | <u>6</u> |
| 3. | <u>ATTREZZATURE TECNICHE.....</u> | <u>6</u> |
| 4. | <u>PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE TOMOGRAFICA</u> | <u>8</u> |
| 4.1. | MODALITA' OPERATIVE | 8 |
| 4.2. | ELABORAZIONE DATI..... | 10 |
| 5. | <u>PROSPEZIONE SISMICA IN FORO CON TECNICA DOWN HOLE.....</u> | <u>16</u> |
| 5.1. | MODALITÀ OPERATIVE..... | 16 |
| 5.2. | ELABORAZIONE DATI | 17 |
| 5.3. | ELABORAZIONE DEI LOG DI Vs, VP E DEI MODULI ELASTICI DINAMICI..... | 23 |
| 5.4. | ELABORATI PROVE DOWN HOLE..... | 24 |
| 5.5. | CAROTAGGIO SONICO | 24 |
| 6. | <u>RISULTANZE</u> | <u>25</u> |

ANAS

DIREZIONE CENTRALE PROGETTAZIONE

ASSE VIARIO EST-OVEST "PORTO DI CIVITAVECCHIA - ORTE" TRATTA MONTE ROMANO EST – CIVITAVECCHIA

INDAGINI GEOFISICHE DI SUPPORTO AL PROGETTO PRELIMINARE

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 dell'asse attrezzato "Asse viario Porto di Civitavecchia con il nodo internodale di Orte per il completamento dell'asse viario est-ovest – Tratta Monte Romano est – Civitavecchia".

Come da incarico l'indagine si è sviluppata effettuando:

n° 5 sezioni sismiche ad onde di taglio:

| | | |
|--------------------------|------------------------------|---------------------|
| Sez. LS1: n° stazioni 24 | interdistanza stazioni 2.5 m | lunghezza: 57.50 m |
| Sez. LS2: n° stazioni 31 | interdistanza stazioni 5.0 m | lunghezza: 150.00 m |
| Sez. LS3: n° stazioni 42 | interdistanza stazioni 5.0 m | lunghezza: 205.00 m |
| Sez. LS4: n° stazioni 24 | interdistanza stazioni 5.0 m | lunghezza: 115.00 m |
| Sez. LS5: n° stazioni 21 | interdistanza stazioni 5.0 m | lunghezza: 100.00 m |

Per un complessivo di 627.50 m

E' stata inoltre acquisita una sezione ad onde di compressione (LS4), non prevista dall'incarico, a nostro carico

| | | |
|--------------------------|------------------------------|---------------------|
| Sez. LS4: n° stazioni 24 | interdistanza stazioni 5.0 m | lunghezza: 115.00 m |
|--------------------------|------------------------------|---------------------|

n° 3 Down Hole

| | |
|-------|-------------------------|
| S2_DH | lunghezza prova 35.00 m |
| S5_DH | lunghezza prova 35.00 m |
| S8_DH | lunghezza prova 35.00 m |

Per un complessivo di 105.00 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 taglio Sh con shot polarizzato orizzontalmente mediamente ogni 3-4 stazioni.

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



Stendimento sismico LS2



Stendimento sismico LS4



Prova down-hole in S5



Carotaggio sonico in S8

2. ELABORATI CARTOGRAFICI

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

- Fig. 1 Planimetria indagini geofisiche Sez LS1, LS2, S2_DH
- Fig. 2 Planimetria indagini geofisiche Sez LS3, S8_DH
- Fig. 3 Planimetria indagini geofisiche Sez LS4, LS5
- Fig. 4 Planimetria indagini geofisiche S5_DH
- Fig. 5 Sezione sismica tomografica LS1;
- Fig. 6 Sezioni sismiche tomografiche LS2;
- Fig. 7 Sezioni sismiche tomografiche LS3;
- Fig. 8 Sezioni sismiche tomografiche LS4;
- Fig. 9 Sezioni sismiche tomografiche LS5;
- Fig. 10 S2_Dh - Sismogrammi e sonico.
- Fig. 11 S2_Dh - Tabella dati.
- Fig. 12 S2_Dh - Logs dati.
- Fig. 13 S5_Dh - Sismogrammi e sonico.
- Fig. 14 S5_Dh - Tabella dati.
- Fig. 15 S5_Dh - Logs dati.
- Fig. 16 S8_Dh - Sismogrammi e sonico.
- Fig. 17 S8_Dh - Tabella dati.
- Fig. 18 S8_Dh - Logs dati.

3. ATTREZZATURE TECNICHE

Sono state utilizzate le seguenti strumentazioni e software

Tomografia sismica

| | |
|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Sismografi | n° 2 Geometrics Geode da 24 canali; |
| Ricevitori | n° 55 stazioni orizzontali da 14 Hz specifici per le onde di taglio. |
| Energizzazione | Shot mediante mazza strumentata da 10 Kg per onde di taglio con polarizzazione orizzontale. |
| 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 differenziale costituita da 6 sensori in 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 Topcon. |
|----------------|-------------|

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 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 trasversali (V_s), ottenuta conoscendo la distanza shot-ricevitore ed il relativo tempo di arrivo dell'impulso sismico (velocità=spazio/tempo), consente di rilevare in sintesi le proprietà fisiche e meccaniche dei terreni, poiché i valori di 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, 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

Sono stati usati vari dispositivi di energizzazione a seconda del tipo di onda sismica da generare e registrare e dell'accessibilità del sito.

Per le onde di taglio si è impiegato un maglio, da 10 kg, polarizzato orizzontale in grado di fornire onde di taglio Sh.

4.1.3. Apparato di ricezione

Sono stati utilizzati geofoni da 12 Hz con asse strumentale orizzontale per la ricezione delle onde S, posizionati sul terreno ad intervalli variabili in funzione del dettaglio richiesto 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.

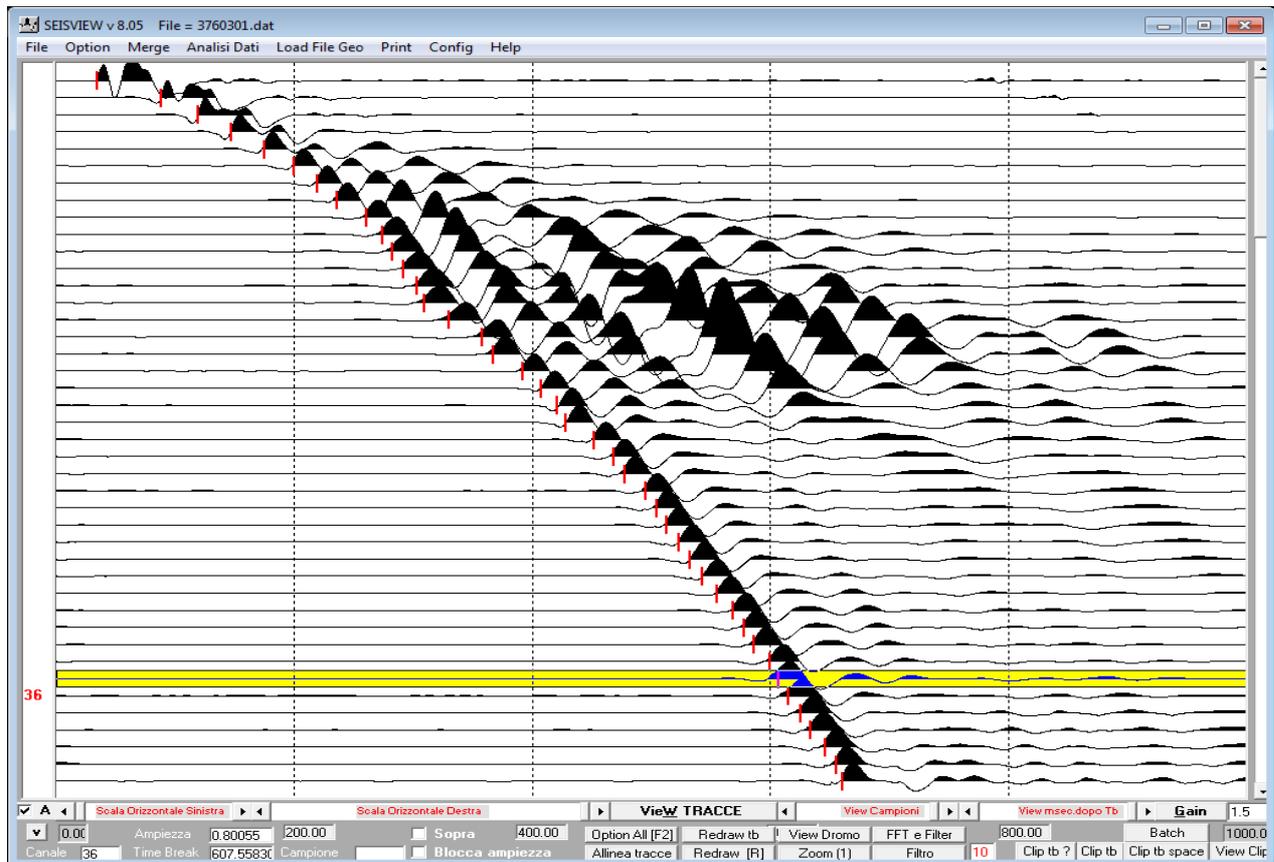
Eseguito il posizionamento dei geofoni sul terreno, collegati questi tramite morsetti bipolari al cavo elettrico e quest'ultimo al sistema di registrazione, verificati i segnali via radio tra apparato di energizzazione e di ricezione, sono stati realizzati alcuni shot di prova allo scopo di tarare i 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 apparecchiature elettroniche EG&G Geometrics Geode a 24 canali di registrazione, si possono anche collegare in serie di registrazione simultanea in modo che, avendo a disposizione un numero sufficiente di canali attivi per tutti i geofoni collegati, si può procedere 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 da 42 canali - sezione LS5: onde di taglio disaccoppiate Sh, con shot sul geofono 1 e tempo di acquisizione 1 sec con 4000 campioni.

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**[®]).

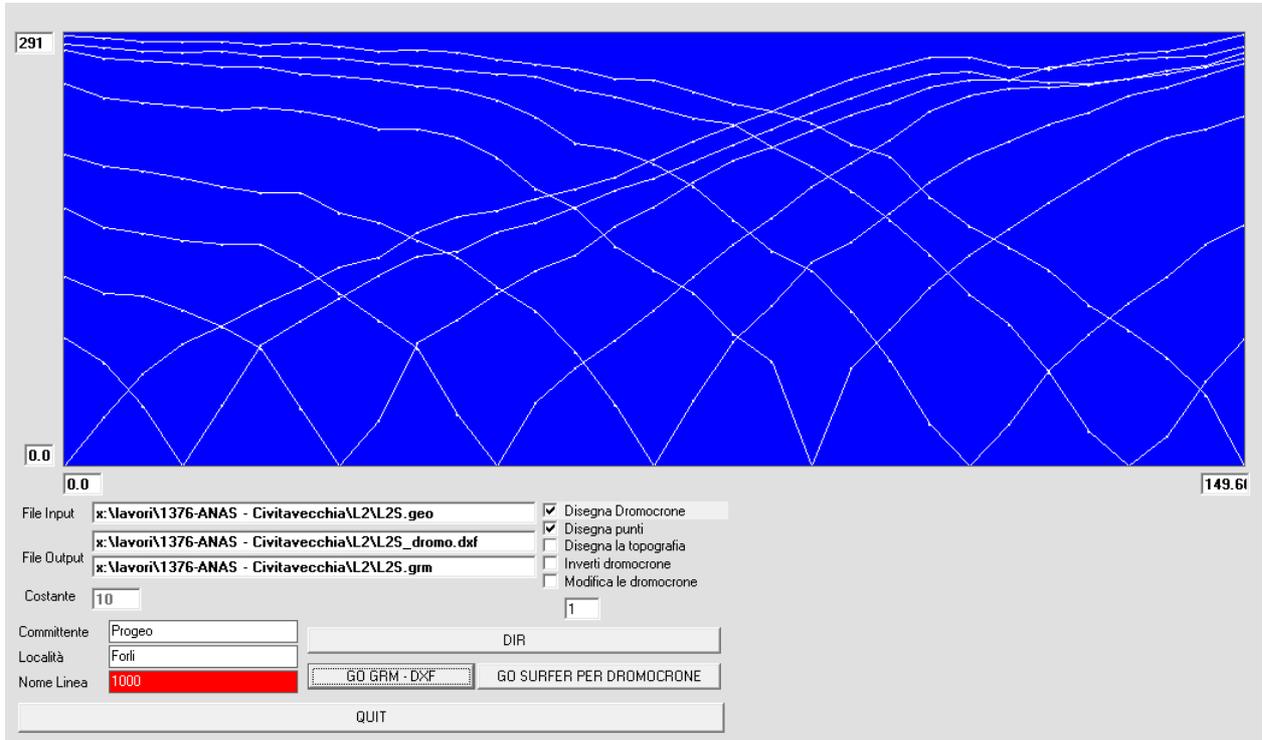
b) Analisi dei first break peak (F.B.P.)

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).

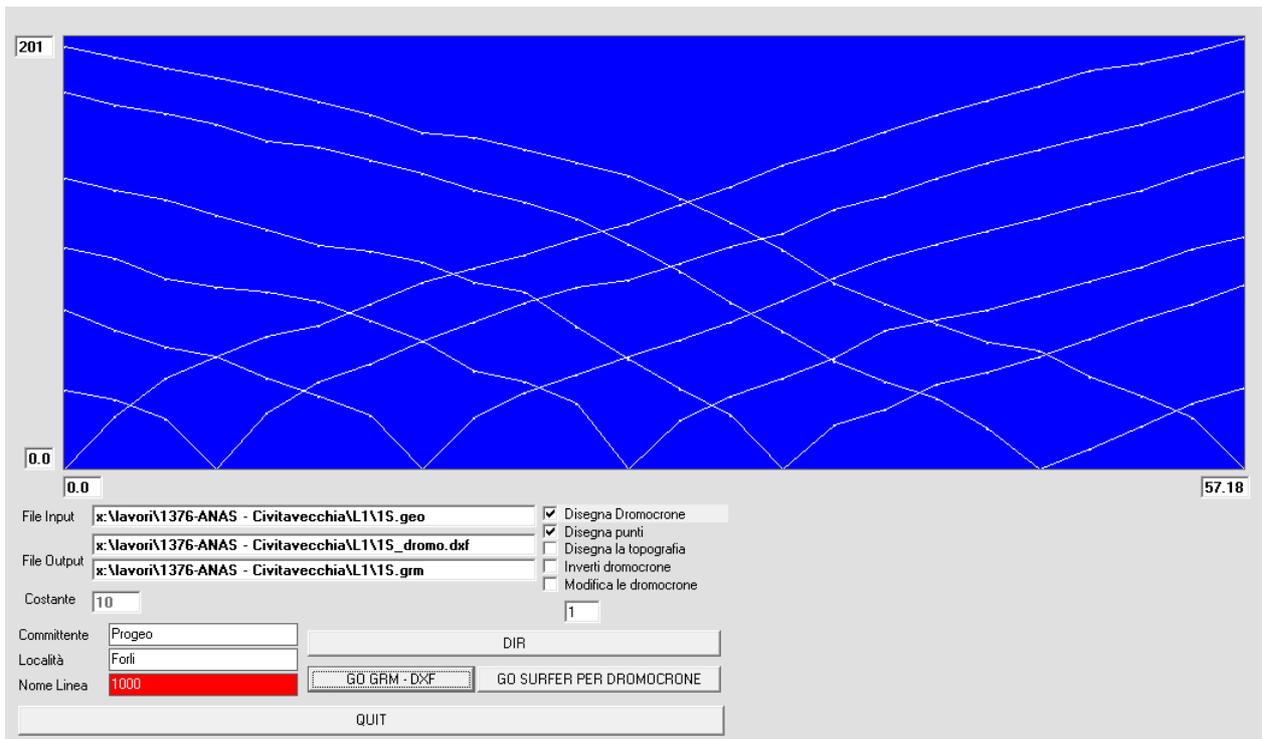
Di ogni file di dati acquisito in campagna è stato quindi creato un nuovo file con i tempi di arrivo (in millisec) degli F.B.P.; tutti i file F.B.P. relativi ad una singola sezione sismica sono stati riuniti in un unico file di dati (con programma originale **Graf-Dxf**[®]).

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

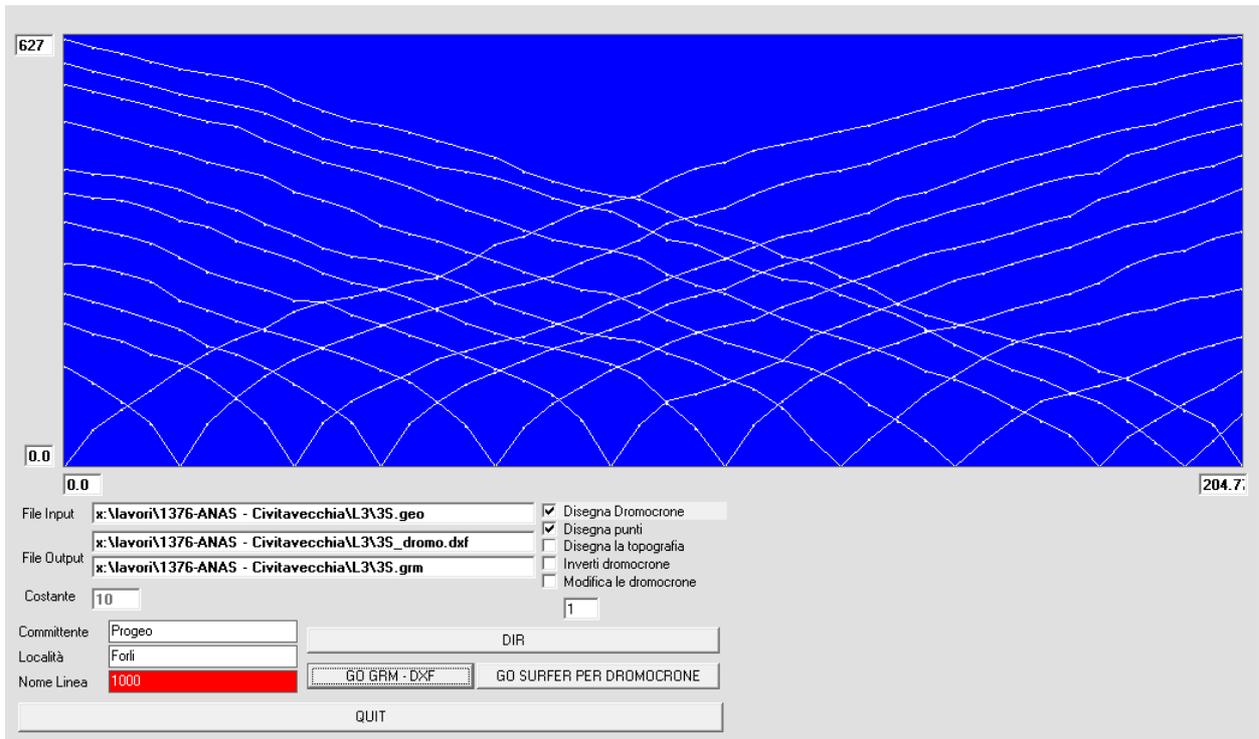
I dati in formato numerico sono invece stati inseriti (opportunamente tradotti per poter essere analizzati dagli specifici programmi elaborativi) nel programma originale **S.R.A.**[®] (Seismic Refraction Analysis) per l'elaborazione tomografica.



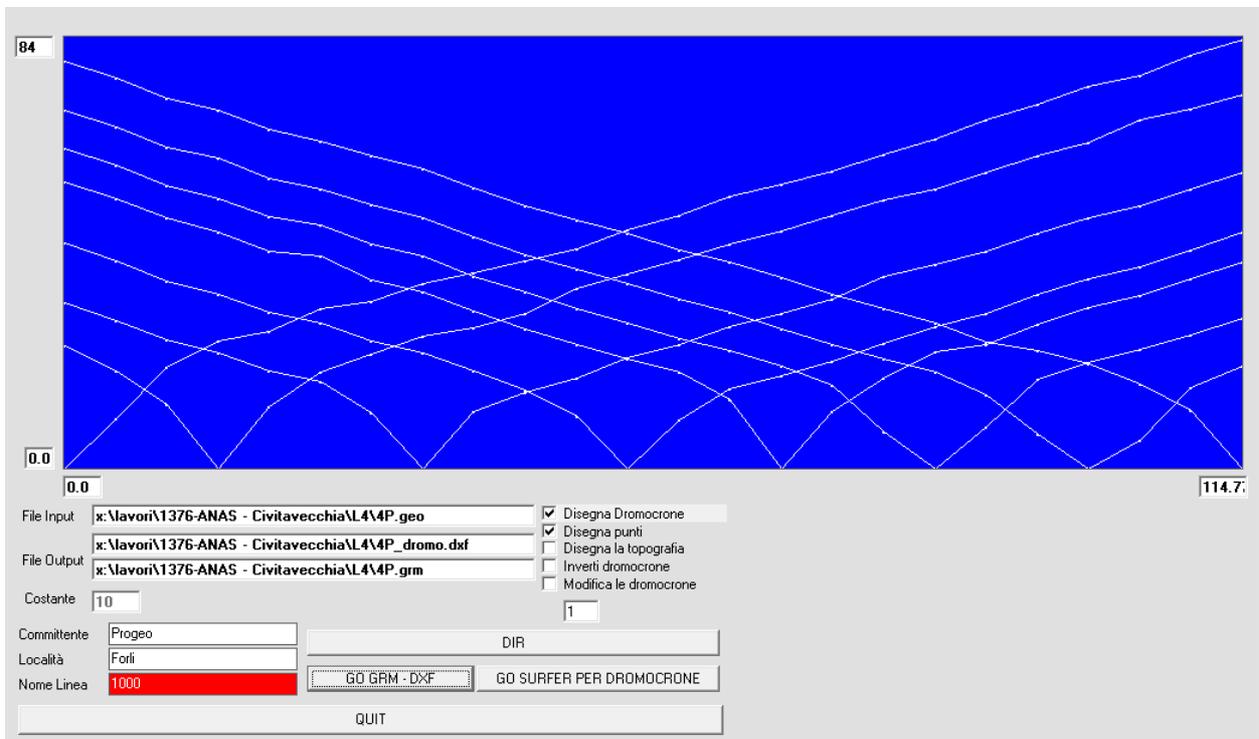
Dromocrone onde di taglio - sezione LS1_S



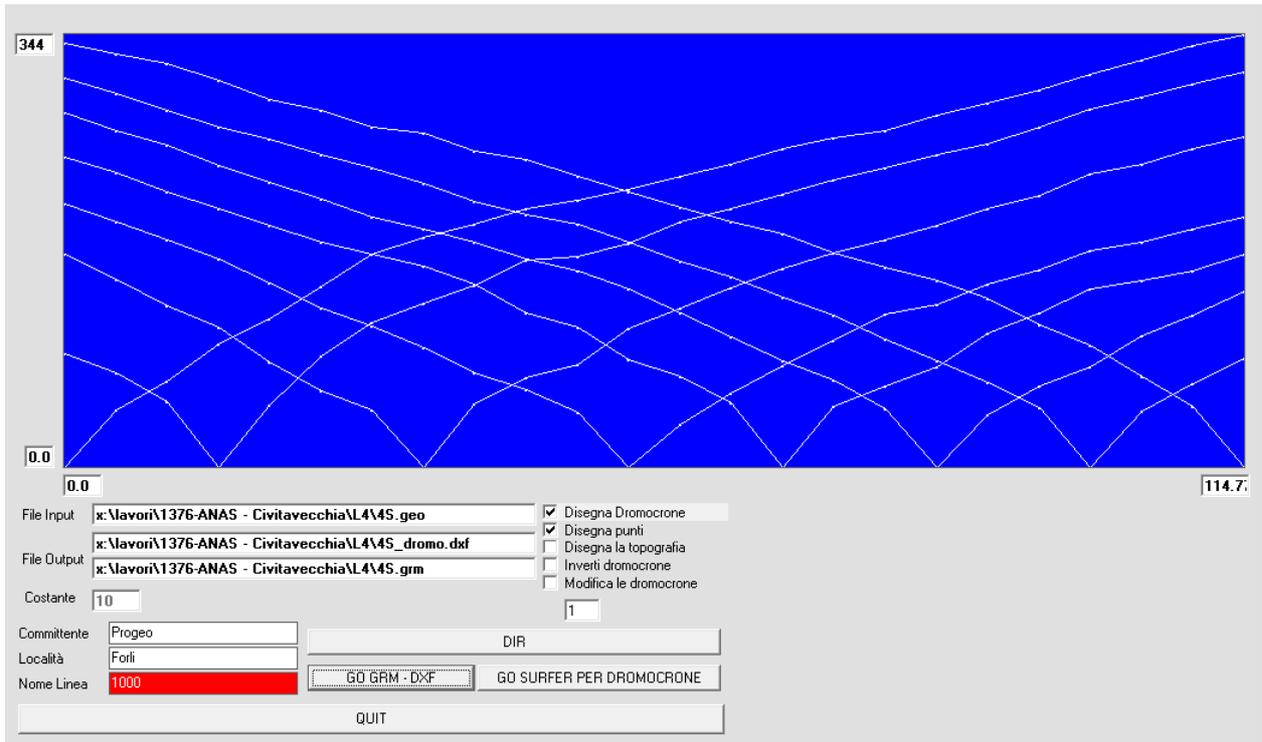
Dromocrone onde di taglio - sezione LS2_S



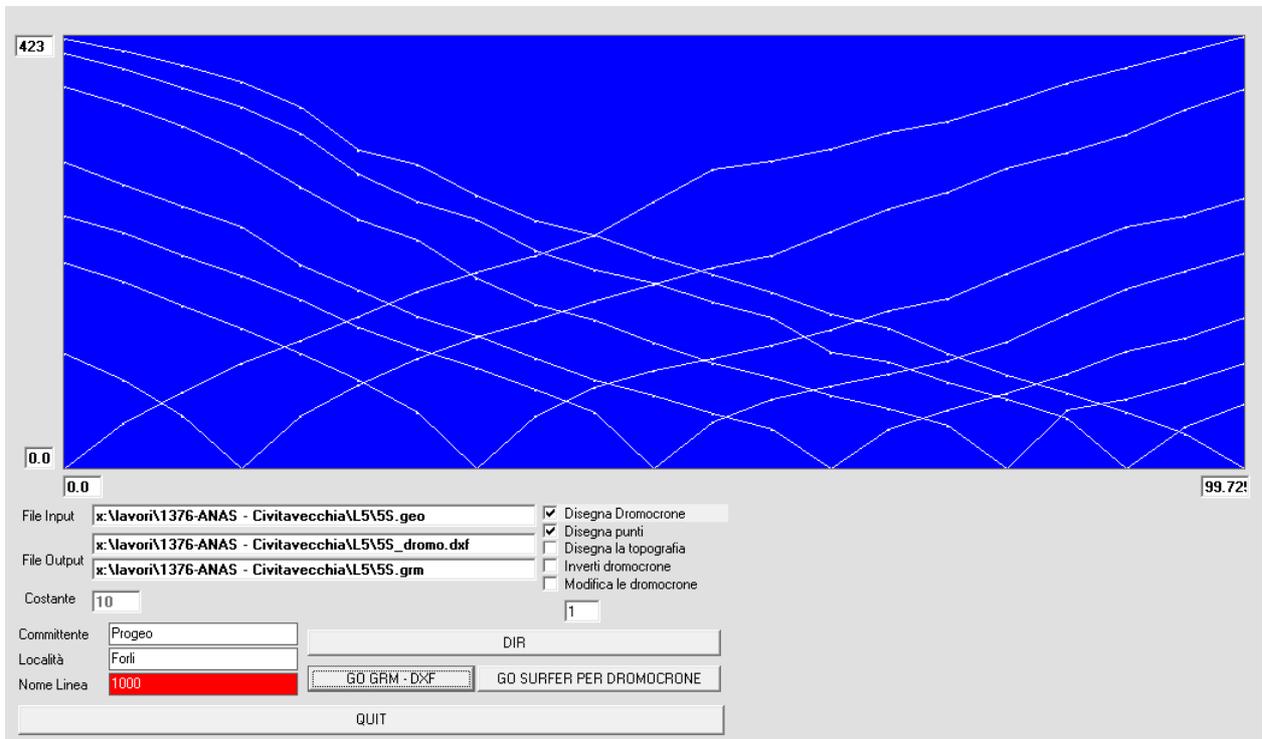
Dromocrone onde di taglio - sezione LS3_S



Dromocrone onde di compressione - sezione LS4_P



Dromocrone onde di taglio - sezione LS4_S



Dromocrone onde di taglio - sezione LS5_S

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.

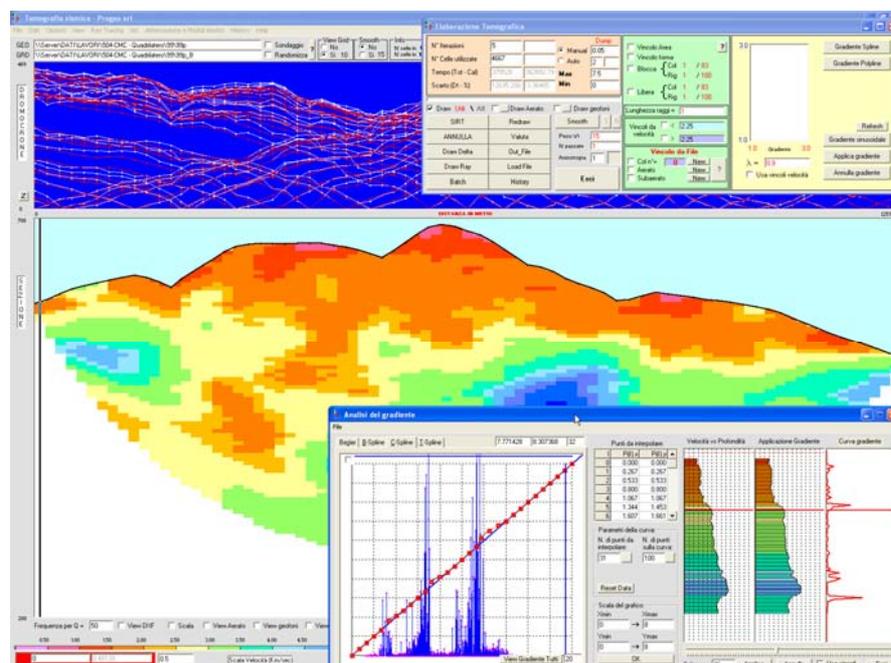
Per la determinazione ed individuazione quindi di tali orizzonti è stato applicato sui dati tomografici un algoritmo statistico il quale valuta la variazione del parametro tomografico (ad es. Velocità, Attenuazione) in termini di gradiente verticolaterale.

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.

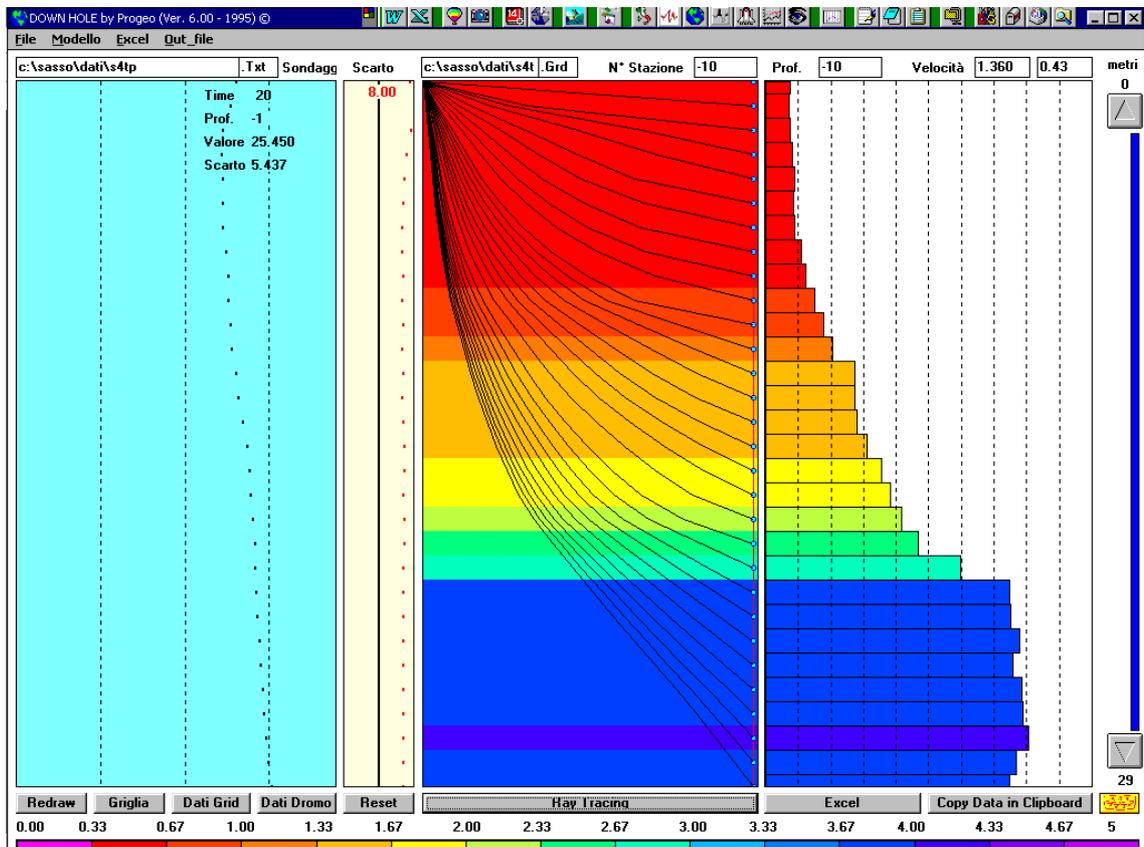


Immagine di repertorio del processing del Down Hole Tomografico

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.

q) 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.

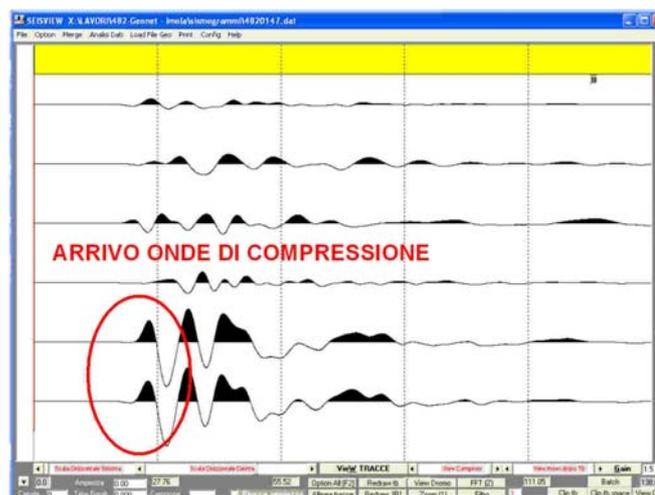
5.2.2. Down hole differenziale (cross correlazione)

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.

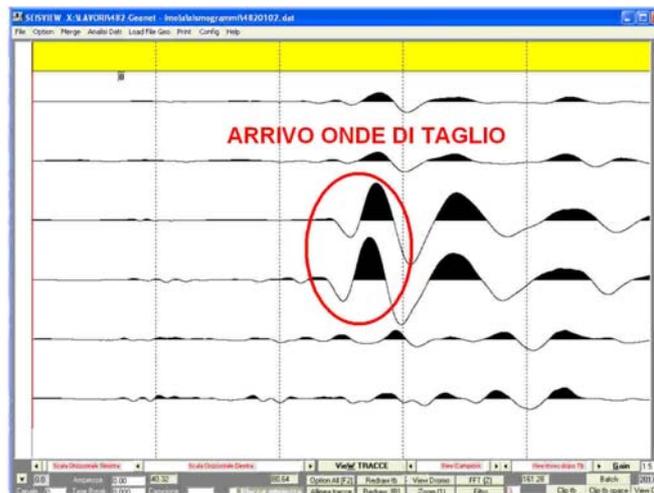
Tale tecnica viene normalmente impiegata allo scopo di aumentare il grado di affidabilità dei tempi.

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.



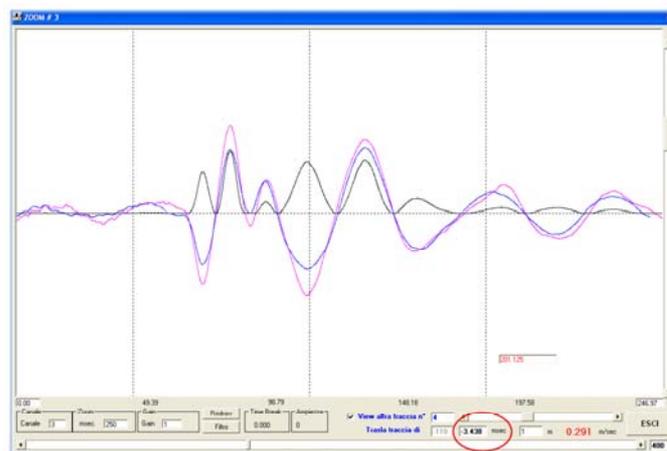
Per le onde di taglio S si procede all'analisi dell'inversione delle tracce sismografiche individuando quale sia il primo arrivo dell'onda di taglio (inversione di polarità), poi si affina la ricerca mediante Cross Correlazione (applicando la metodologia proposta da Willis e Toksoz - 1983-) e si determina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



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 presenti 4 figure con le planimetrie alla scala 1:1000 a cui seguono le sezioni sismiche tomografiche.

Queste sono riportate esprimendo i dati di velocità delle onde di taglio calcolati mediante isolinee e falsi colori mantenendo fisso il range della scala cromatica.

Al di sotto della sezione sismica è riportato il log del valore di V_sH cioè del parametro equivalente di V_s utile se si vuole classificare il sito secondo la normativa NTC2008.

E' da dire questo riguardo che il valore indicato fa riferimento alla colonna di dati tomografici: quando la colonna non giunge a 30 m viene riportato il valore in blu mentre se giunge a 30 m viene riportato in rosso.

Nei certificati dei Down Hole sono altresì riportati le categorie 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.

Sulle sezioni, in scala 1:500/1:1000, sono riportate le posizioni dei sensori che trovano riscontro anche sulle planimetrie, ed eventualmente i sondaggi dell'ultima campagna del 2013.

Sulla base dell'analisi del gradiente geosismico si sono rilevate due interfacce significative che sono, con un piccolo scarto, del medesimo ordine per tutte le sezioni indagate.

La prima ($V_s \sim 0.25$ km/sec) risulta maggiormente evidente mentre la seconda non sempre appare nitida dalle analisi di gradiente infatti è soggetta ad un maggiore scarto.

Queste interfacce rilevate, espresse in grassetto sulle sezioni, sono a:

1. $V_s = 0.25$ km/sec +/- 0.05
2. $V_s = 0.45$ km/sec per le sezioni LS3, LS4 e LS5 (con scarto valutato in -0.05 / +0.15) mentre 0.52 km/sec -0.05/+0.10 per la sezione LS1.

La prima interfaccia si pone a separazione di un materiale molto allentato riferibile alla coltre superficiale (suolo e detrito disaddensato) da un materiale, probabilmente sempre di natura detritica, leggermente più consistente.

La seconda interfaccia a 0.45 km/sec separa la porzione principalmente detritica della copertura dalla formazione di base più consistente o comunque da un materiale già in buono stato di consistenza, tendenzialmente abbastanza rigido e poco deformabile (lapideo della formazione di base locale – sezioni LS3 - LS4) mentre 0.52 km/sec sulla LS1 dove questa interfaccia dovrebbe rappresentare la base del corpo detritico di versante.

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

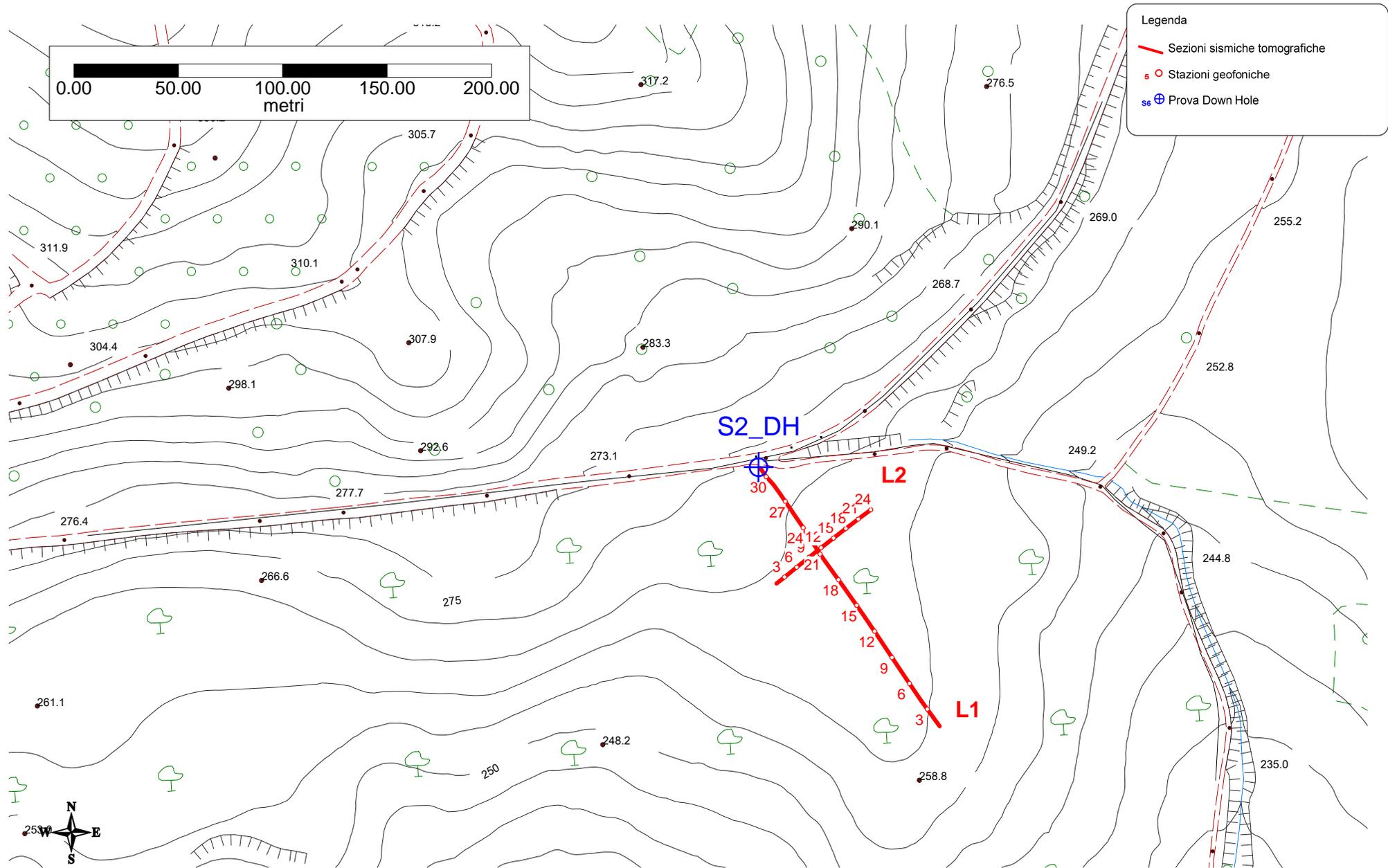


Fig. 1

| | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | PROGEO S.r.l. Via Talete 10/8 47100 Forlì tel. 0543 723580 fax. 0543 721486 mail.progeo@gmail.com www.progeo.info |  <small>SISTEMI DI MONITORAGGIO CARISERVIZIO</small> |  <small>UNIVERSITÀ DI ACCREDITAMENTO</small> |
| | <small>REG. N. 2513 - A UNIFICI 02/03/2008</small> | | |

| | |
|-----------|------------------------------------------|
| Cliente: | ANAS S.p.A. |
| Progetto: | Tratta Monte Romano est - Civitavecchia. |
| Lavoro: | Servizi di indagine geofisica |

| | |
|--------|-------------------------------------------------|
| Nome: | Planimetria sezioni sismiche L1-L2 e DH2 |
| Scala: | 1:2500 |
| File: | 1376 - Planimetria sezioni L1-L2 e DH2.srf |

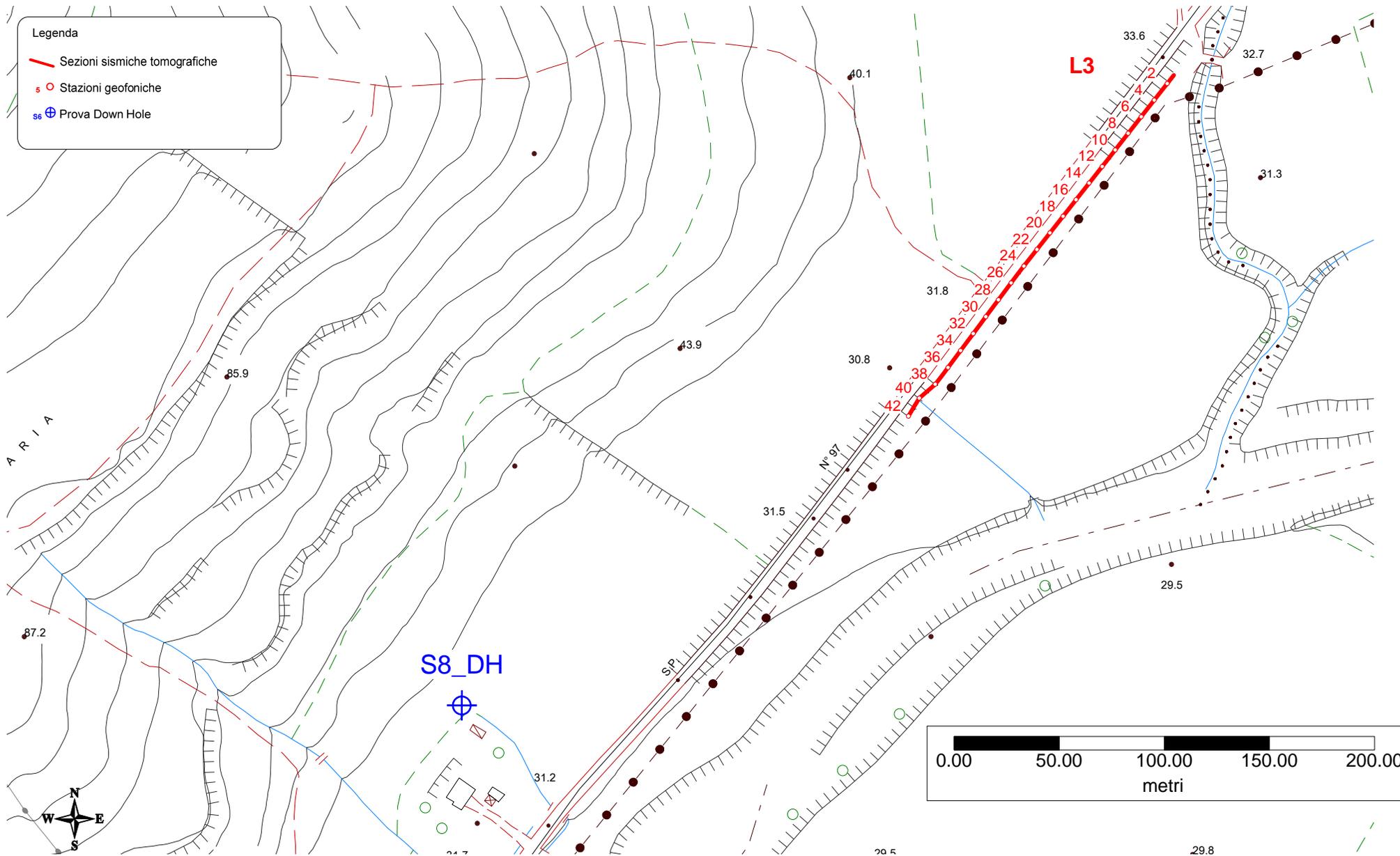


Fig. 2

| | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | PROGEO S.r.L. Via Talete 10/8 47100 Forlì tel. 0543 723580 fax. 0543 721486 mail.progeo@gmail.com www.progeo.info |   |
| | Cliente: ANAS S.p.A. | |
| | Progetto: Tratta Monte Romano est - Civitavecchia. | |
| | Lavoro: Servizi di indagine geofisica | |
| | Nome: Planimetria sezioni sismiche L3 e DH8 | |
| Scala: 1:2500 | | |
| File: 1376 - Planimetria sezioni L3_ DH8.srf | | |

| | |
|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Cliente: ANAS S.p.A. | Nome: Planimetria sezioni sismiche L3 e DH8 |
| Progetto: Tratta Monte Romano est - Civitavecchia. | Scala: 1:2500 |
| Lavoro: Servizi di indagine geofisica | File: 1376 - Planimetria sezioni L3_ DH8.srf |

Legenda

-  Sezioni sismiche tomografiche
-  Stazioni geofoniche
-  Prova Down Hole

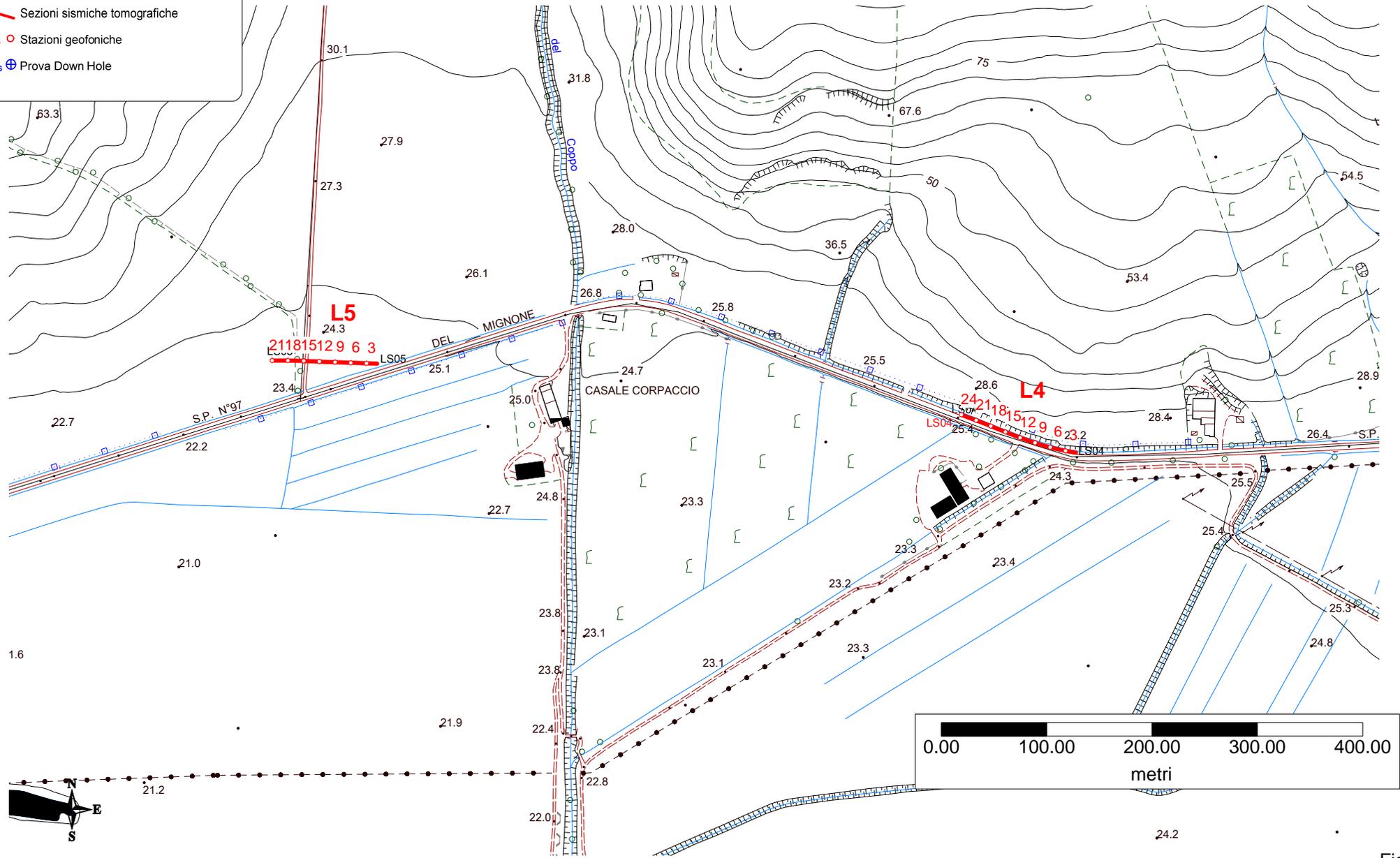


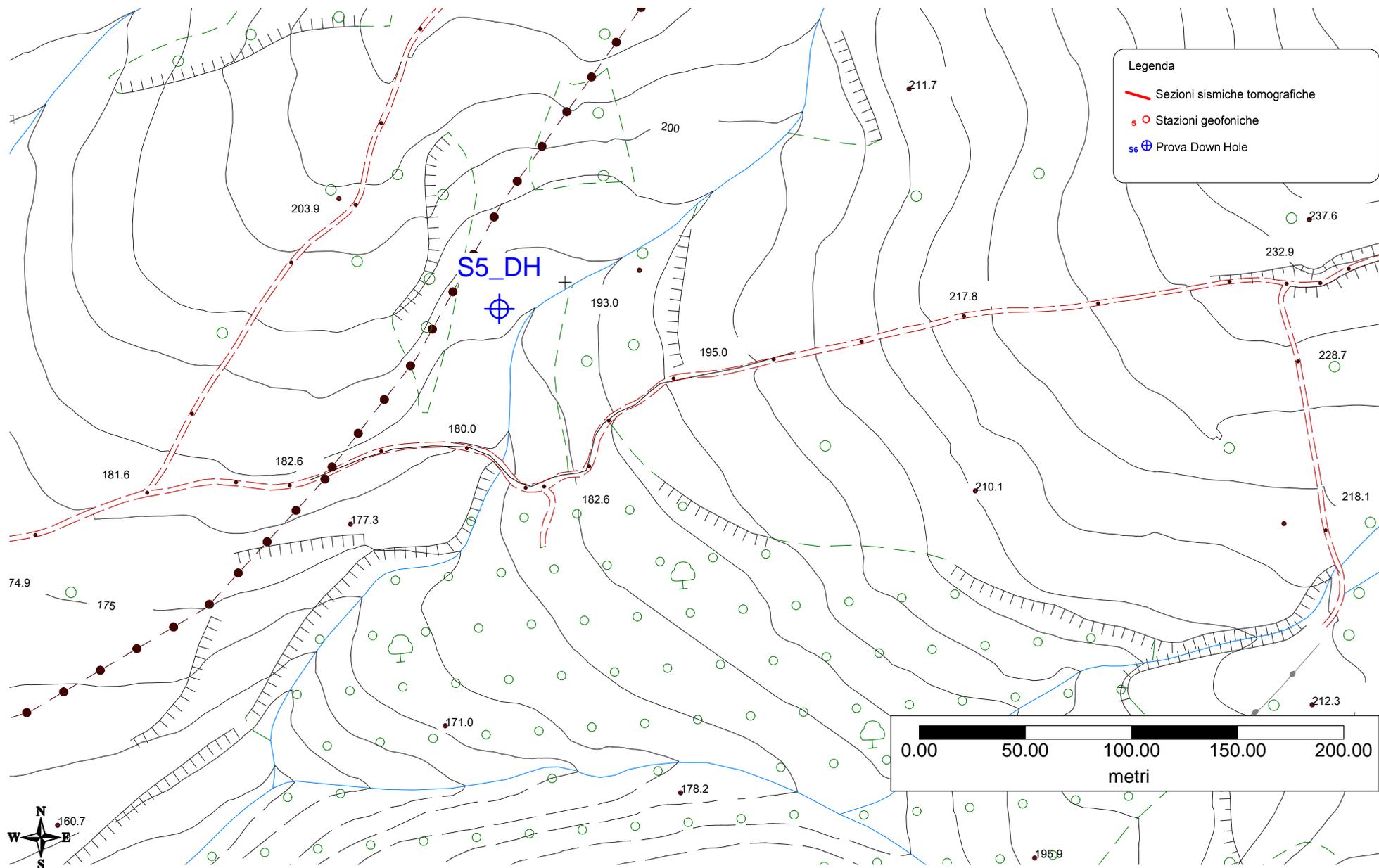
Fig. 3



PROGEO S.r.l.
 Via Talete 10/8
 47100 Forlì
 tel. 0543 723580
 fax. 0543 721486
 mail.progeo@gmail.com
 www.progeo.info




| | | | |
|-----------|------------------------------------------|--------|----------------------------------------|
| Cliente: | ANAS S.p.A. | Nome: | Planimetria sezioni sismiche L4-L5 |
| Progetto: | Tratta Monte Romano est - Civitavecchia. | Scala: | 1:5000 |
| Lavoro: | Servizi di indagine geofisica | File: | 1376 - Planimetria sezioni L4 - L5.srf |



Legenda

- Sezioni sismiche tomografiche
- Stazioni geofoniche
- ⊕ Prova Down Hole

Fig. 4



PROGEO S.r.l.
 Via Talete 10/8
 47100 Forlì
 tel. 0543 723580
 fax. 0543 721486
 mail.progeo@gmail.com
 www.progeo.info




| | |
|-----------|------------------------------------------|
| Cliente: | ANAS S.p.A. |
| Progetto: | Tratta Monte Romano est - Civitavecchia. |
| Lavoro: | Servizi di indagine geofisica |

| | |
|--------|----------------------------|
| Nome: | Planimetria DH5 |
| Scala: | 1:2500 |
| File: | 1376 - Planimetria DH5.srf |

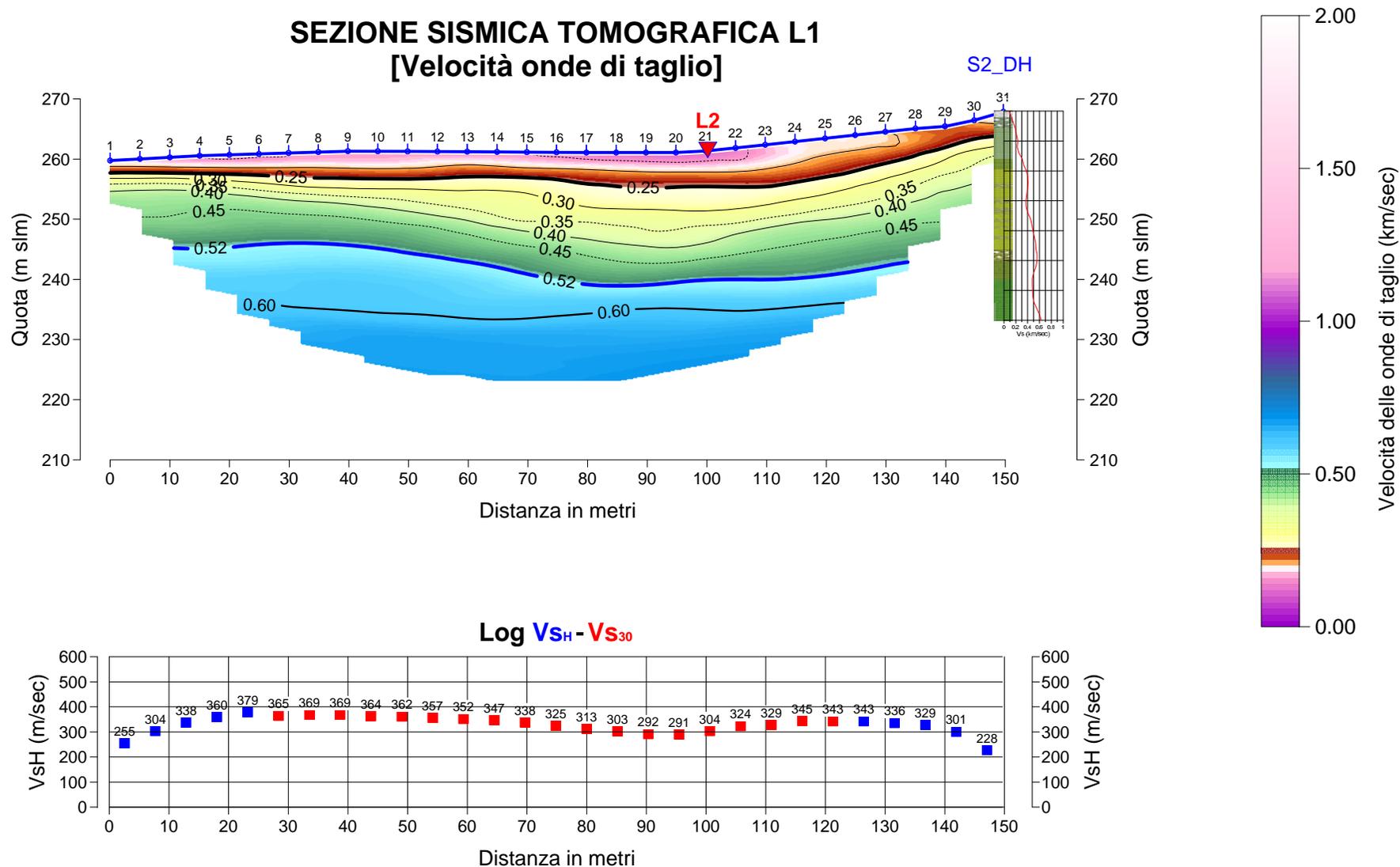


Fig. 5

| | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <p>PROGEO S.r.L. Via Talete 10/8 47100 Forlì tel. 0543 723580 fax. 0543 721486 mail.progeo@gmail.com www.progeo.info</p> |   |
|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

| | | | |
|-----------|------------------------------------------|--------|------------------------------------|
| Cliente: | ANAS S.p.A. | Nome: | Sezione sismica 1 - onde di taglio |
| Progetto: | Tratta Monte Romano est - Civitavecchia. | Scala: | 1:1000 |
| Lavoro: | Servizi di indagine geofisica | File: | 1376 - Sezione L1.srf |

SEZIONE SISMICA TOMOGRAFICA L2 [Velocità onde di taglio]

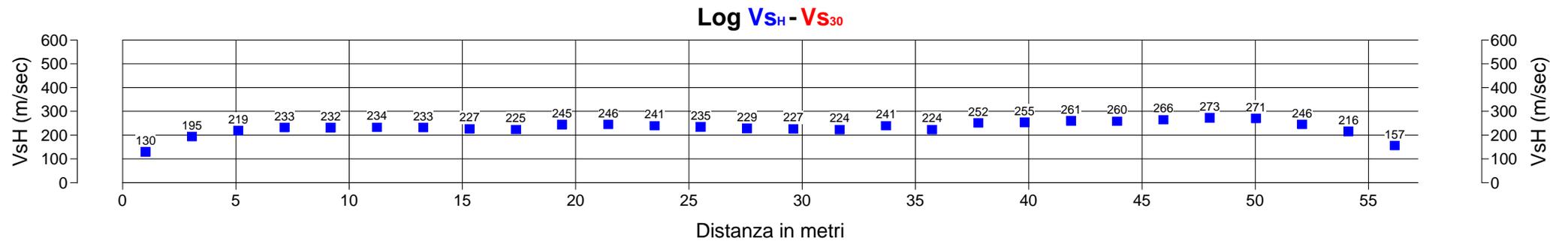
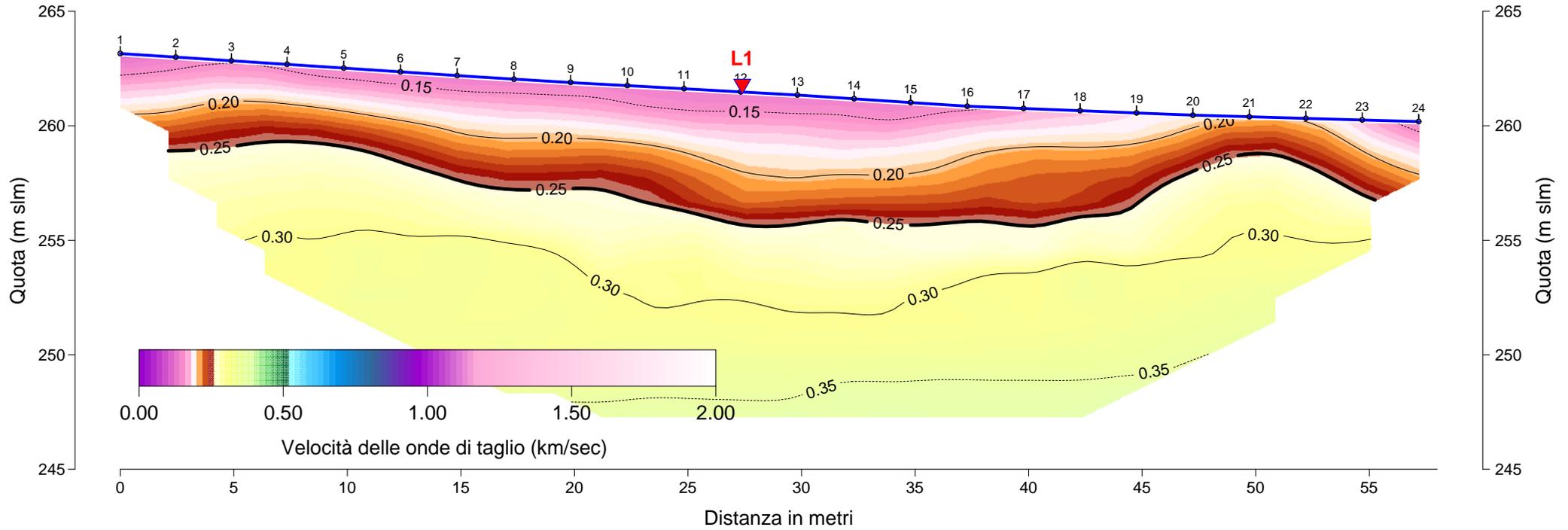


Fig. 6

| | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <p>PROGEO S.r.l. Via Talete 10/8 47100 Forlì tel. 0543 723580 fax. 0543 721486 mail.progeo@gmail.com www.progeo.info</p> |   |
|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

| | | | |
|-----------|------------------------------------------|--------|------------------------------------|
| Cliente: | ANAS S.p.A. | Nome: | Sezione sismica 2 - onde di taglio |
| Progetto: | Tratta Monte Romano est - Civitavecchia. | Scala: | 1:250 |
| Lavoro: | Servizi di indagine geofisica | File: | 1376 - Sezione L2.srf |

SEZIONE SISMICA TOMOGRAFICA L3 [Velocità onde di taglio]

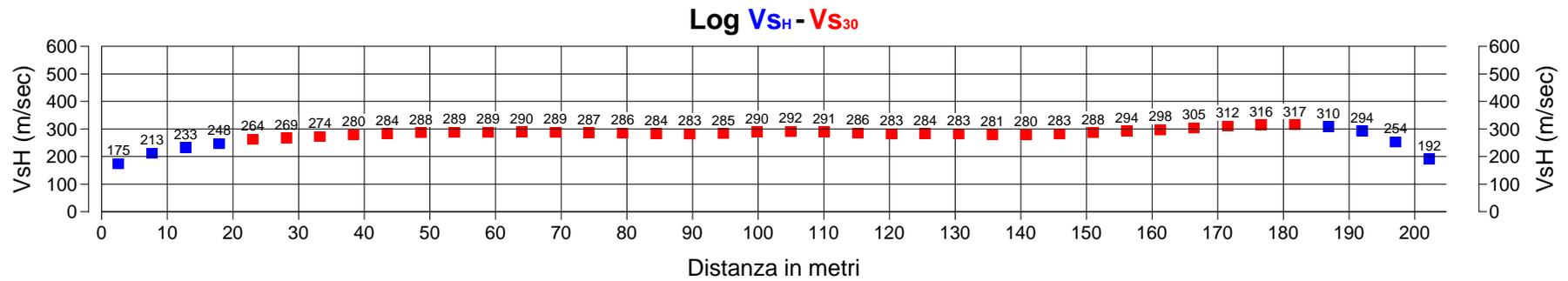
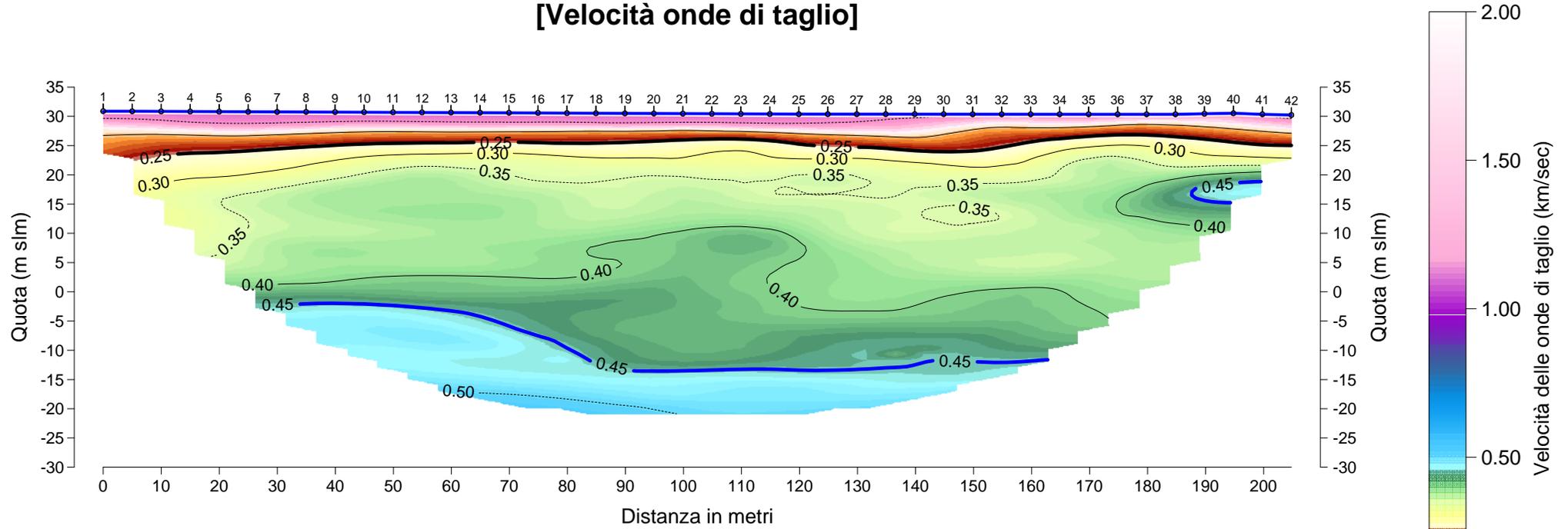
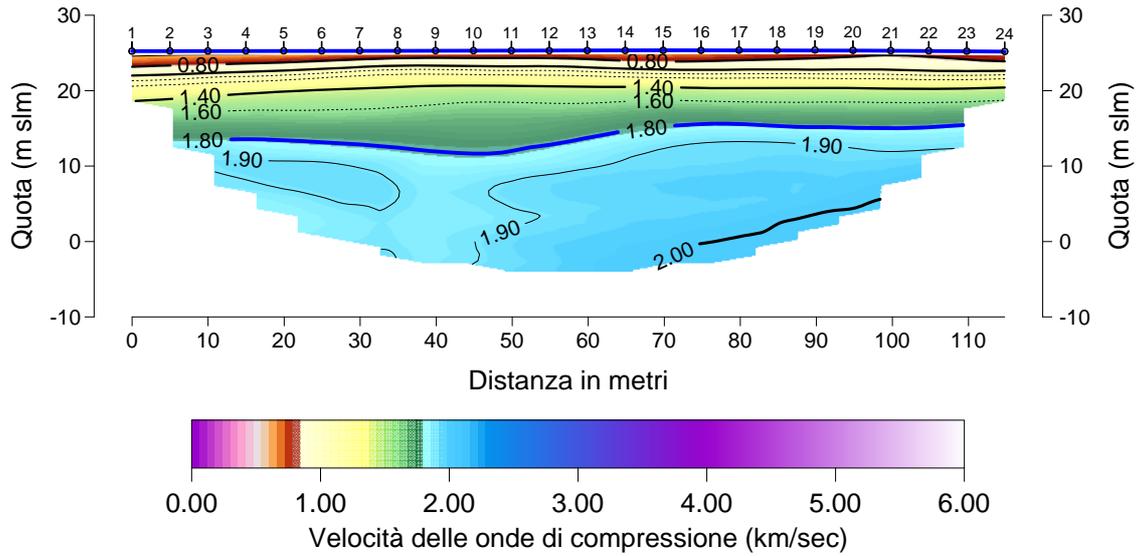


Fig. 7

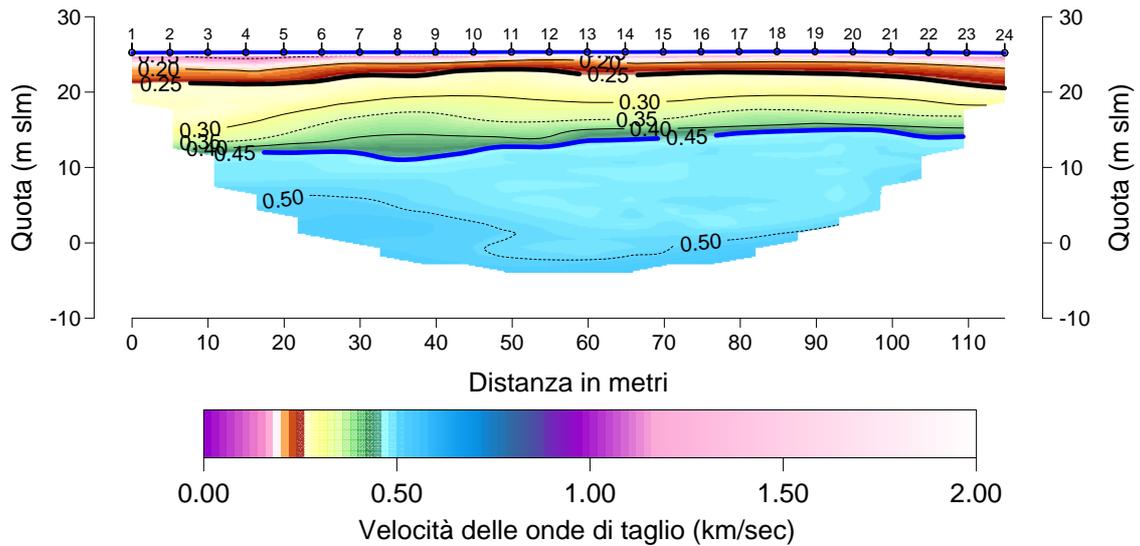
PROGEO S.r.L.
Via Talete 10/8
47100 Forlì
tel. 0543 723580
fax. 0543 721486
mail.progeo@gmail.com
www.progeo.info

| | | | |
|-----------|------------------------------------------|--------|------------------------------------|
| Cliente: | ANAS S.p.A. | Nome: | Sezione sismica 3 - onde di taglio |
| Progetto: | Tratta Monte Romano est - Civitavecchia. | Scala: | 1:1000 |
| Lavoro: | Servizi di indagine geofisica | File: | 1376 - Sezione L3.srf |

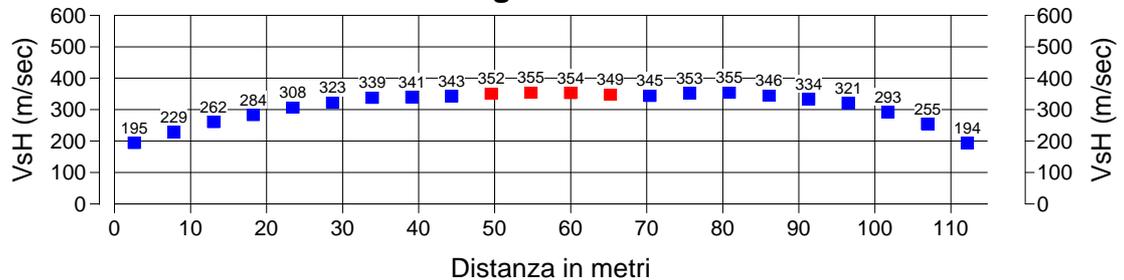
SEZIONE SISMICA TOMOGRAFICA L4 [Velocità onde di compressione]



SEZIONE SISMICA TOMOGRAFICA L4 [Velocità onde di taglio]



Log VsH - Vs30





PROGEO S.r.L.
Via Talette 10/8
47100 Forlì
tel. 0543 723580
fax. 0543 721486
mail. progeo@gmail.com
www.progeo.info




Fig. 8

| | | | |
|-----------|------------------------------------------|--------|---------------------------------------------------|
| Cliente: | ANAS S.p.A. | Nome: | Sezione sismica 4 - onde di compressione e taglio |
| Progetto: | Tratta Monte Romano est - Civitavecchia. | Scala: | 1:1000 |
| Lavoro: | Servizi di indagine geofisica | File: | 1376 - Sezione L4.srf |

SEZIONE SISMICA TOMOGRAFICA L5 [Velocità onde di taglio]

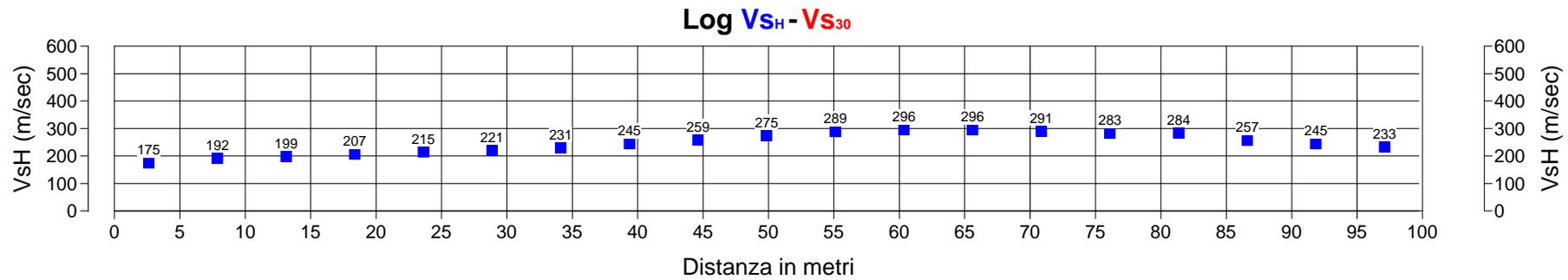
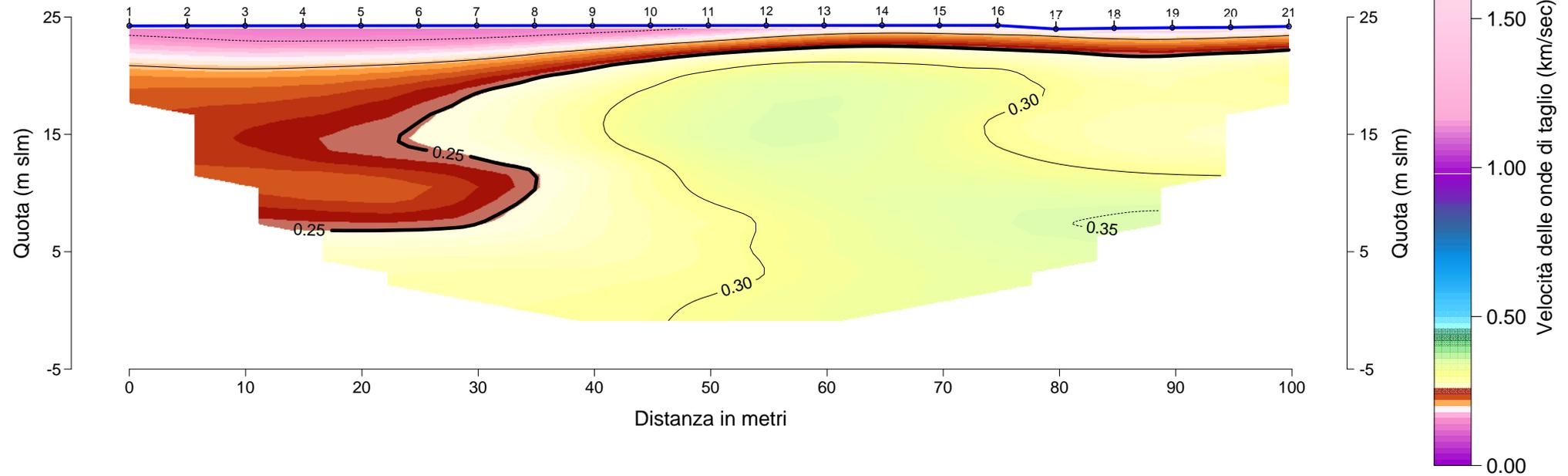


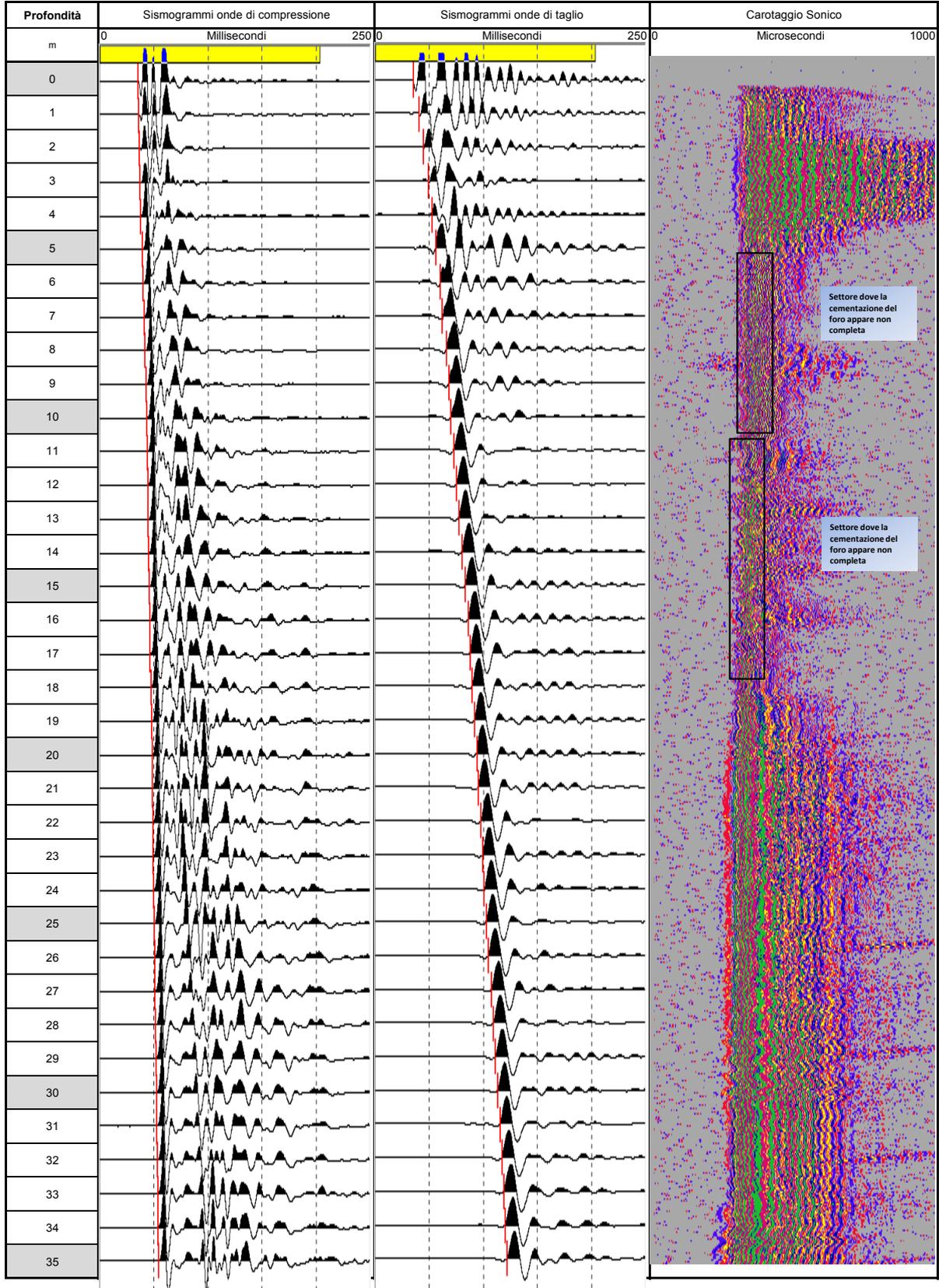
Fig. 9

PROGEO S.r.l.
Via Talette 10/8
47100 Forlì
tel. 0543 723580
fax. 0543 721486
mail.progeo@gmail.com
www.progeo.info

| | | | |
|-----------|------------------------------------------|--------|----------------------------------------------------------|
| Cliente: | ANAS S.p.A. | Nome: | Sezione sismica 5 - onde di compressione e taglio |
| Progetto: | Tratta Monte Romano est - Civitavecchia. | Scala: | 1:500 |
| Lavoro: | Servizi di indagine geofisica | File: | 1376 - Sezione L5.srf |

| | | | |
|----------------------------|--------------------------------|-------------|-------------|
| COMMITTENTE | ANAS SpA | | |
| DOWN HOLE | S2_DH | | |
| Località - Progetto | Monte Romano (S.S. 675) | | |
| Data acquisizione | 11/03/2014 | Cod. | 1376 |

| Sismogrammi | |
|---------------------|------------------------|
| Coordinate in WGS84 | Est (m) = 1740358.788 |
| | Nord (m) = 4682239.952 |
| | Quota (m) = 268.38 |



Settore dove la cementazione del foro appare non completa

Settore dove la cementazione del foro appare non completa

| | | | |
|----------------------------|--------------------------------|-------------|-------------|
| COMMITTENTE | ANAS SpA | | |
| DOWN HOLE | S2_DH | | |
| Località - Progetto | Monte Romano (S.S. 675) | | |
| Data acquisizione | 11/03/2014 | Cod. | 1376 |

| |
|-----------------------|
| Metodologia DH |
| Differenziale |
| Progressivo |



Falda -5.00 m 2 di 3

| 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 | 4.96 | 8.66 | 0.26 | 0.09 | 0.435 | 1.46 | 321 | 112 | 821 |
| 1 | 5.76 | 10.63 | 0.35 | 0.13 | 0.425 | 1.55 | 724 | 254 | 1614 |
| 2 | 6.11 | 14.46 | 0.45 | 0.16 | 0.427 | 1.63 | 1211 | 424 | 2750 |
| 3 | 6.68 | 18.08 | 0.59 | 0.19 | 0.440 | 1.72 | 1893 | 657 | 5284 |
| 4 | 7.25 | 20.51 | 0.76 | 0.21 | 0.457 | 1.80 | 2442 | 838 | 9572 |
| 5 | 9.09 | 25.51 | 0.79 | 0.23 | 0.452 | 1.81 | 2947 | 1015 | 10132 |
| 6 | 9.90 | 29.89 | 0.83 | 0.22 | 0.461 | 1.83 | 2749 | 941 | 11608 |
| 7 | 10.70 | 31.72 | 0.89 | 0.25 | 0.457 | 1.85 | 3482 | 1195 | 13496 |
| 8 | 11.51 | 35.39 | 1.04 | 0.31 | 0.452 | 1.91 | 5407 | 1862 | 18689 |
| 9 | 12.42 | 37.70 | 1.11 | 0.33 | 0.450 | 1.93 | 6356 | 2192 | 21130 |
| 10 | 13.23 | 39.54 | 1.19 | 0.38 | 0.443 | 1.96 | 8275 | 2867 | 24250 |
| 11 | 13.69 | 42.09 | 1.45 | 0.40 | 0.459 | 2.03 | 9675 | 3317 | 38877 |
| 12 | 14.03 | 44.62 | 1.86 | 0.41 | 0.475 | 2.13 | 10597 | 3593 | 69979 |
| 13 | 14.38 | 46.73 | 2.20 | 0.40 | 0.483 | 2.20 | 10502 | 3540 | 104071 |
| 14 | 14.84 | 49.83 | 2.30 | 0.38 | 0.486 | 2.22 | 9947 | 3348 | 114864 |
| 15 | 15.41 | 52.80 | 2.17 | 0.37 | 0.485 | 2.20 | 9032 | 3041 | 101270 |
| 16 | 15.99 | 55.59 | 2.03 | 0.37 | 0.482 | 2.17 | 9182 | 3097 | 86921 |
| 17 | 16.22 | 57.11 | 2.02 | 0.40 | 0.479 | 2.17 | 10523 | 3556 | 85452 |
| 18 | 16.91 | 59.22 | 1.91 | 0.45 | 0.471 | 2.14 | 12869 | 4375 | 73593 |
| 19 | 17.82 | 61.39 | 1.77 | 0.47 | 0.462 | 2.11 | 13980 | 4781 | 61334 |
| 20 | 18.05 | 63.31 | 1.88 | 0.49 | 0.464 | 2.14 | 15239 | 5206 | 69840 |
| 21 | 18.31 | 64.83 | 2.34 | 0.51 | 0.475 | 2.23 | 17603 | 5968 | 116212 |
| 22 | 18.74 | 67.22 | 2.75 | 0.53 | 0.480 | 2.30 | 19781 | 6681 | 168520 |
| 23 | 19.09 | 68.66 | 2.84 | 0.54 | 0.481 | 2.31 | 20358 | 6872 | 180371 |
| 24 | 19.43 | 70.19 | 2.69 | 0.56 | 0.478 | 2.29 | 21513 | 7280 | 159585 |
| 25 | 19.89 | 71.95 | 2.51 | 0.56 | 0.474 | 2.26 | 21249 | 7208 | 135701 |
| 26 | 20.47 | 74.04 | 2.30 | 0.54 | 0.471 | 2.22 | 19354 | 6579 | 111319 |
| 27 | 20.81 | 76.67 | 2.17 | 0.50 | 0.472 | 2.20 | 16696 | 5672 | 98253 |
| 28 | 21.39 | 78.65 | 2.18 | 0.48 | 0.475 | 2.20 | 15115 | 5125 | 99111 |
| 29 | 21.62 | 80.42 | 2.34 | 0.48 | 0.478 | 2.23 | 15267 | 5164 | 116951 |
| 30 | 22.19 | 82.65 | 2.35 | 0.48 | 0.478 | 2.23 | 15624 | 5286 | 118030 |
| 31 | 22.53 | 84.67 | 2.40 | 0.49 | 0.479 | 2.24 | 15886 | 5372 | 123880 |
| 32 | 22.99 | 86.41 | 2.43 | 0.51 | 0.477 | 2.24 | 17403 | 5891 | 127080 |
| 33 | 23.22 | 88.02 | 2.77 | 0.55 | 0.479 | 2.30 | 21110 | 7135 | 169898 |
| 34 | 23.57 | 89.60 | 2.94 | 0.60 | 0.478 | 2.33 | 25061 | 8475 | 194059 |
| 35 | 24.03 | 91.12 | 2.85 | 0.63 | 0.474 | 2.31 | 27671 | 9385 | 179354 |

| STRATIGRAFIA | |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| semplificata | |
| 0.00-1.10 | Terreno di riporto. |
| 1.10-2.80 | Frammenti e blocchi angolari calcarenitici intercalati in argilla limosa molto consistente. |
| 2.80-8.00 | Argilla limosa alterata, ossidata, caotica a tratti decompressa. Presenti clasti calcarenitici angolari. Marnosa in profondità. Presenti intercalazioni sabbiose nell'ultimo metro. |
| 8.00-9.70 | Calcarenite, da molto fratturate a poco fratturate in profondità. Molto fratturata da 8.00 a |
| 9.70-23.00 | Limo argilloso sabbioso alterato, ossidato a struttura caotica con inclusi frammenti marnoso arenacei e calcareo marnosi angolari da millimetrici a centimetrici. Molto consistente, localmente duro; di colore avana beige. Presenti intercalazioni e/o blocchi calcareo marnoso/marnoso arenacei alterati e fratturati alle seguenti profondità: 12,00+12,70, 14,20+14,35, 14,70+15,20, 16,00+17,10, 17,90+18,40, 19,10+19,40, 20,70+21,20 m. |
| 23.00-25.00 | Frammenti e blocchi marnoso arenacei e calcareo marnosi alterati e fratturati di colore grigio avana |
| 25.00-28.00 | Argilla limosa sabbiosa debolmente marnosa alterata; da dura a molto dura; di colore beige. Presenti inclusi calcareo marnosi e marnoso arenacei angolari da millimetrici a centimetrici. |
| 28.00-35.00 | Argilla limosa sabbiosa debolmente marnosa con intercalati elementi o livelli centimetrici marnosi e calcareo marnosi prevalentemente da 31,40+32,20 e da 34,70+35,00 m. Da dura a molto dura di colore da grigio scuro a grigio con sfumature ocracee da 30,20 a 31,50. |

| 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)

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}} \quad V_{sH} (0-30m) \quad \mathbf{308} \text{ m/sec}$$

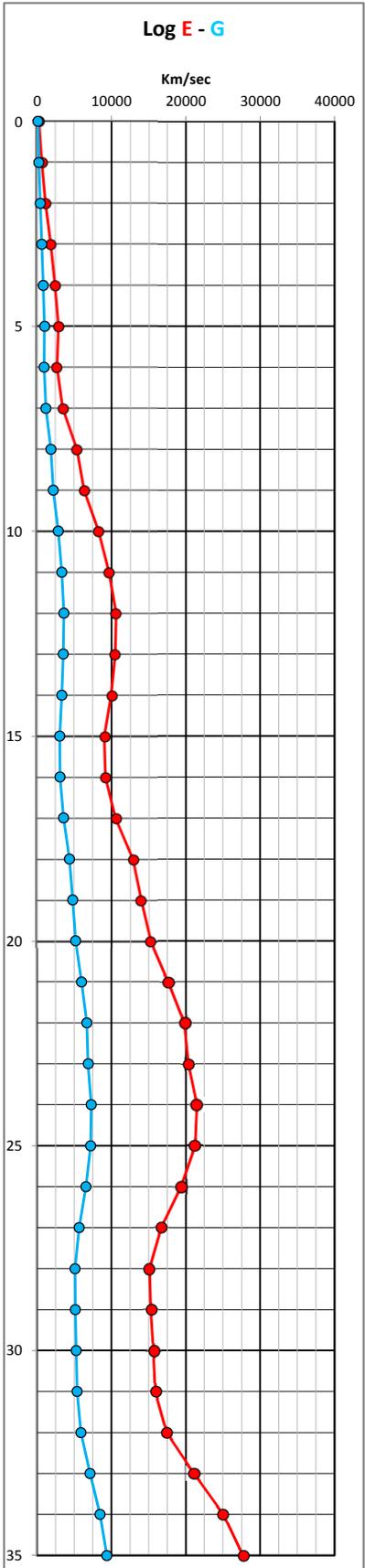
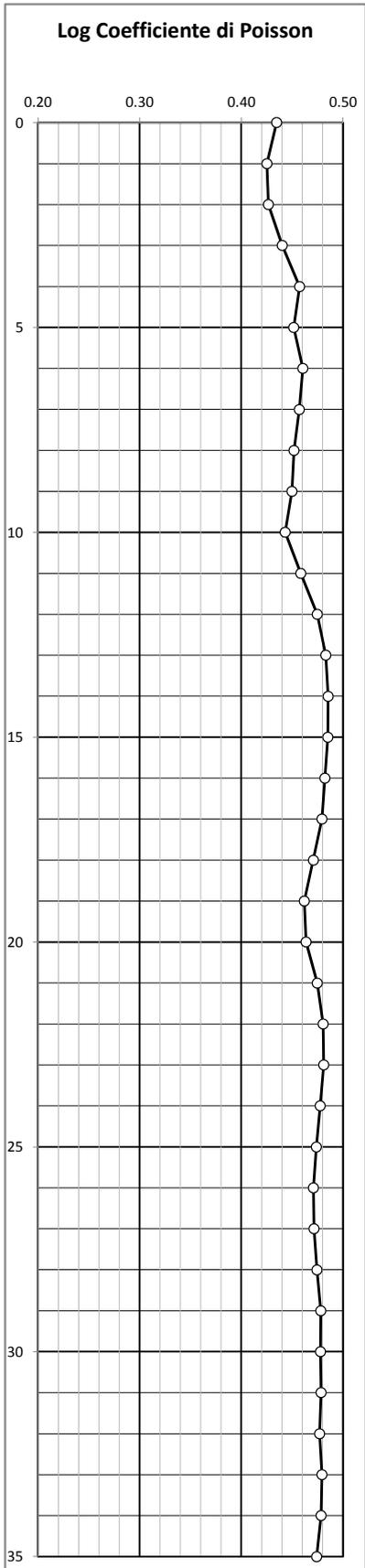
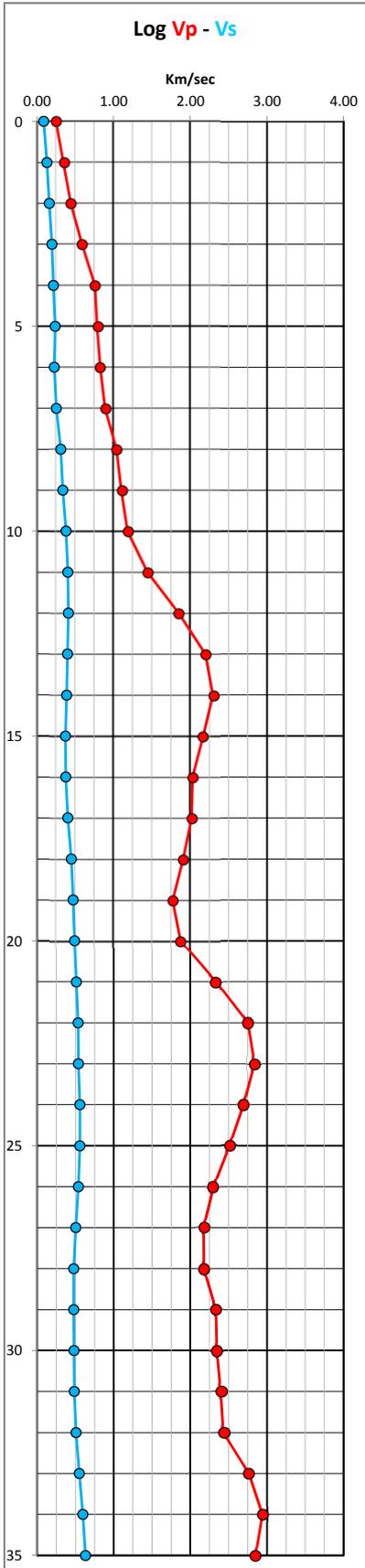
$$V_{s30} \quad \mathbf{308} \text{ m/sec}$$

$$G_0 \quad \mathbf{1868} \text{ Kg/cm}^2$$

CATEGORIA SUOLO C

| | | | |
|---------------------|-------------------------|------|------|
| COMMITTENTE | ANAS SpA | | |
| DOWN HOLE | S2_DH | | |
| Località - Progetto | Monte Romano (S.S. 675) | | |
| Data acquisizione | 11/03/2014 | Cod. | 1376 |

| |
|-------------------------|
| Log Parametri elastici |
| Log Vp - Vs - v - E - G |

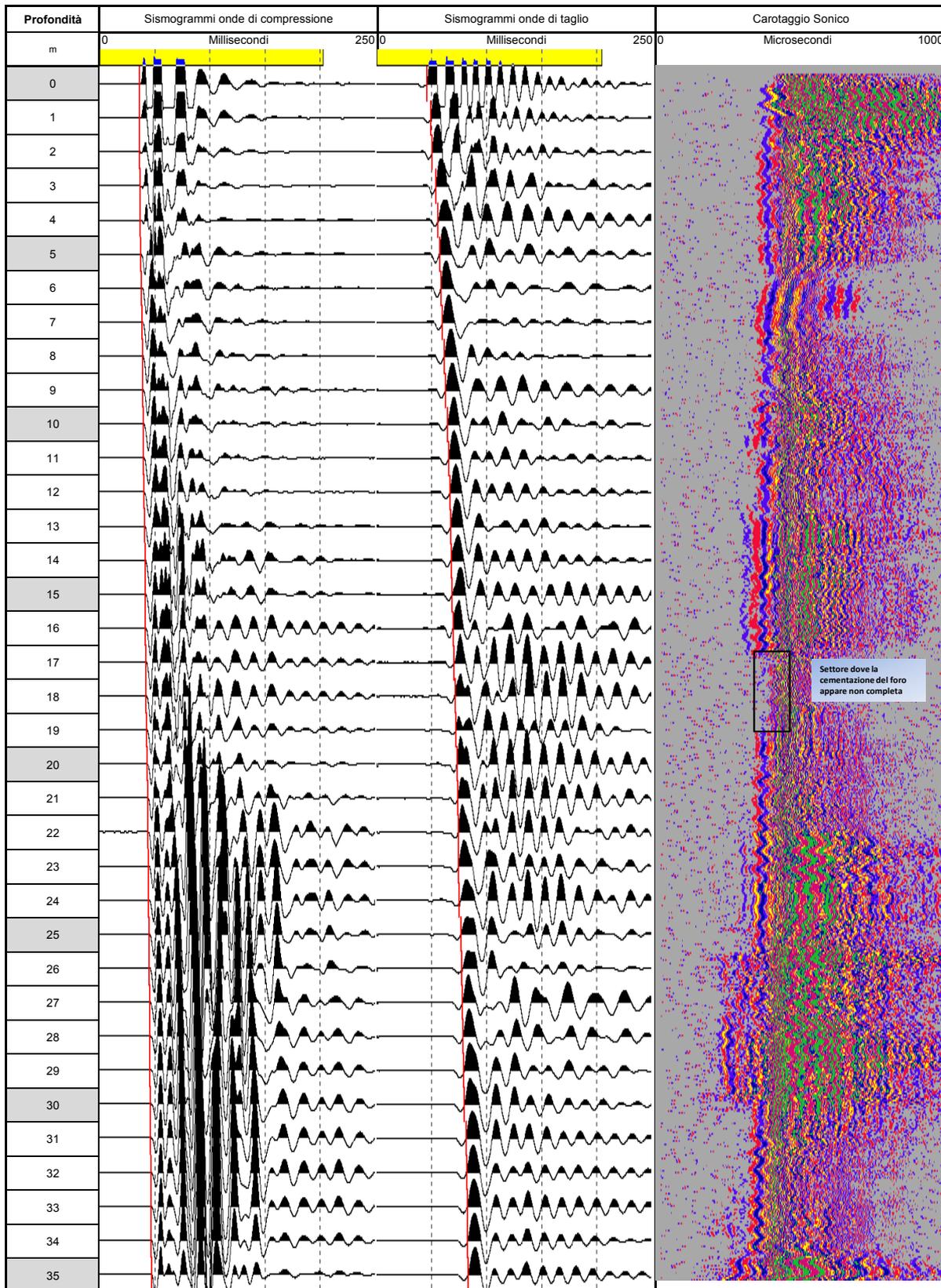


| | | | |
|----------------------------|--------------------------------|-------------|-------------|
| COMMITTENTE | ANAS SpA | | |
| DOWN HOLE | S5_DH | | |
| Località - Progetto | Monte Romano (S.S. 675) | | |
| Data acquisizione | 11/03/2014 | Cod. | 1376 |

| Sismogrammi | |
|---------------------|------------------------|
| Coordinate in WGS84 | Est (m) = 1738980.683 |
| | Nord (m) = 4682059.714 |
| | Quota (m) = 185.73 |



PROGEO s.r.l.
 Via Torino 10/B
 01100 Frosinone
 Tel. 0433 721486
 email proggeo@proggeo.com
 www.proggeo.info



Settore dove la cementazione del foro appare non completa

| | | | |
|----------------------------|--------------------------------|-------------|-------------|
| COMMITTENTE | ANAS SpA | | |
| DOWN HOLE | S5_DH | | |
| Località - Progetto | Monte Romano (S.S. 675) | | |
| Data acquisizione | 11/03/2014 | Cod. | 1376 |

| |
|-----------------------|
| Metodologia DH |
| Differenziale |
| Progressivo |



Falda -1.70 m 2 di 3

| 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 | 6.14 | 14.59 | 0.25 | 0.11 | 0.391 | 1.46 | 471 | 169 | 723 |
| 1 | 5.99 | 17.99 | 0.34 | 0.11 | 0.444 | 1.54 | 525 | 182 | 1562 |
| 2 | 5.96 | 19.77 | 0.43 | 0.12 | 0.453 | 1.61 | 734 | 253 | 2629 |
| 3 | 6.20 | 22.45 | 0.65 | 0.17 | 0.465 | 1.75 | 1431 | 488 | 6885 |
| 4 | 6.66 | 24.06 | 0.98 | 0.22 | 0.474 | 1.89 | 2654 | 900 | 17293 |
| 5 | 7.07 | 25.73 | 1.28 | 0.33 | 0.463 | 1.98 | 6589 | 2251 | 29975 |
| 6 | 7.77 | 27.10 | 1.46 | 0.44 | 0.449 | 2.04 | 11759 | 4057 | 38589 |
| 7 | 8.08 | 28.40 | 1.66 | 0.54 | 0.442 | 2.09 | 17699 | 6139 | 50446 |
| 8 | 8.42 | 29.99 | 1.93 | 0.59 | 0.449 | 2.15 | 21841 | 7535 | 71796 |
| 9 | 8.78 | 31.32 | 2.22 | 0.60 | 0.460 | 2.21 | 24021 | 8227 | 99923 |
| 10 | 9.14 | 32.78 | 2.47 | 0.64 | 0.464 | 2.25 | 27693 | 9459 | 127748 |
| 11 | 9.47 | 33.95 | 2.60 | 0.71 | 0.460 | 2.27 | 33988 | 11641 | 140928 |
| 12 | 9.82 | 34.76 | 2.71 | 0.86 | 0.444 | 2.29 | 49421 | 17108 | 148035 |
| 13 | 10.22 | 35.48 | 2.67 | 1.01 | 0.416 | 2.28 | 67578 | 23865 | 133779 |
| 14 | 10.63 | 36.32 | 2.61 | 1.13 | 0.385 | 2.27 | 81539 | 29430 | 118487 |
| 15 | 11.04 | 37.03 | 2.58 | 1.20 | 0.362 | 2.27 | 90570 | 33248 | 109417 |
| 16 | 11.33 | 37.78 | 2.65 | 1.26 | 0.354 | 2.28 | 100154 | 36979 | 114486 |
| 17 | 11.60 | 38.46 | 2.80 | 1.29 | 0.366 | 2.30 | 106597 | 39016 | 132640 |
| 18 | 11.98 | 39.42 | 2.87 | 1.28 | 0.377 | 2.32 | 105999 | 38488 | 143692 |
| 19 | 12.32 | 40.19 | 2.88 | 1.23 | 0.390 | 2.32 | 98566 | 35465 | 148823 |
| 20 | 12.69 | 41.07 | 2.79 | 1.22 | 0.382 | 2.30 | 96843 | 35042 | 136557 |
| 21 | 13.05 | 41.77 | 2.74 | 1.26 | 0.366 | 2.30 | 101956 | 37329 | 126486 |
| 22 | 13.51 | 42.42 | 2.65 | 1.25 | 0.358 | 2.28 | 97836 | 36022 | 114827 |
| 23 | 13.84 | 43.07 | 2.71 | 1.31 | 0.349 | 2.29 | 107655 | 39906 | 118700 |
| 24 | 14.14 | 43.76 | 2.90 | 1.33 | 0.367 | 2.32 | 114302 | 41821 | 142761 |
| 25 | 14.38 | 44.55 | 3.24 | 1.40 | 0.385 | 2.37 | 131441 | 47447 | 190716 |
| 26 | 14.62 | 45.28 | 3.54 | 1.39 | 0.408 | 2.41 | 134204 | 47654 | 243440 |
| 27 | 14.89 | 45.95 | 3.74 | 1.41 | 0.417 | 2.43 | 139764 | 49306 | 281657 |
| 28 | 15.10 | 46.51 | 3.93 | 1.43 | 0.423 | 2.46 | 146722 | 51543 | 318843 |
| 29 | 15.34 | 47.26 | 4.05 | 1.45 | 0.427 | 2.47 | 150890 | 52887 | 342256 |
| 30 | 15.61 | 48.09 | 4.20 | 1.40 | 0.438 | 2.49 | 142348 | 49508 | 380348 |
| 31 | 15.82 | 48.86 | 4.31 | 1.34 | 0.447 | 2.50 | 131946 | 45602 | 412792 |
| 32 | 16.00 | 49.57 | 4.56 | 1.33 | 0.453 | 2.53 | 132960 | 45744 | 474469 |
| 33 | 16.24 | 50.17 | 4.68 | 1.38 | 0.452 | 2.54 | 143962 | 49568 | 501734 |
| 34 | 16.45 | 50.91 | 4.73 | 1.43 | 0.449 | 2.55 | 154279 | 53219 | 508794 |
| 35 | 16.69 | 51.59 | 4.56 | 1.44 | 0.445 | 2.53 | 154078 | 53326 | 464309 |

| STRATIGRAFIA | |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| semplificata | |
| 0.00-1.00 | Terrano colturale recente, rimangiato, granulometricamente |
| 1.00-2.00 | Limo sabbioso argilloso, rimangiato, con inclusi clasti calcarei. |
| 2.00 - 9.00 | Limo argilloso localmente sabbioso debolmente marmoso a tratti scaglioso. Da molto consistente a duro nei tratti coesivi; da addensato a molto addensato a molto maggiormente granulari. Colore da marrone violaceo a grigio (4,80+5,70 m; 6,30+7,70 m). |
| 9.00 - 16.70 | Argilla limosa sabbiosa, marmosa, molto dura con intercalati livelli marnosi arenacei teneri da semi litoidi a litoidi alle seguenti profondità: 9,20+9,30 m; 9,40+9,60 m; 10,00+10,50 m; 11,00+11,20 m; 12,00+12,20 m. Colore grigio, localmente con sfumature rosate (10,00+10,50 m) fino a 12,00 m marrone violaceo in profondità. |
| 16.70 - 25.40 | Argilla limosa sabbiosa, scagliosa, a tratti arenacea con intercalazioni di dimensioni centimetriche (da 18,70+19,00 m; 19,70+20,00 m; 20,15+20,40 m). Presenti, inoltre, livelli marnosi arenacei scagliosi litoidi alle seguenti profondità: 20,70+21,15 m; 22,30+23,20 m; 23,60+23,80 m. Da dura a semilitoidi con tratti litoidi di colore grigio con sfumature rosate soprattutto da 23,90 a 25,00 m. |
| 25.40 - 35.00 | Calcarenite a grana media litoidi con presenza di venature calcifiche a stratificazione suborizzontale, localmente incrociata. Generalmente litoidi compatti localmente fratturati alle seguenti profondità: 25,40+25,70 m; 28,30+28,40 m; 30,80+31,00 m; 32,00+32,15 m. Da m 30,00 a 34,10 maggiormente fratturata con con intercalati frequenti riempimenti calcifici di spessore centimetrico e tratti marnosi scistososi alle seguenti profondità: 31,00+31,30 m; 31,60+32,00 m; 32,60+33,00 m; 33,20+34,00 m. Presenti inoltre fratture variamente inclinate prevalentemente con pareti rugose e riempimento da assente a calcifico alle seguenti profondità: 28,75 m; 29,50 m; 30,20 m; 31,50 m; 31,90 m; 32,30 m; 32,70 m; 33,30 m; 33,50 m; 34,40 m. |

| 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) |

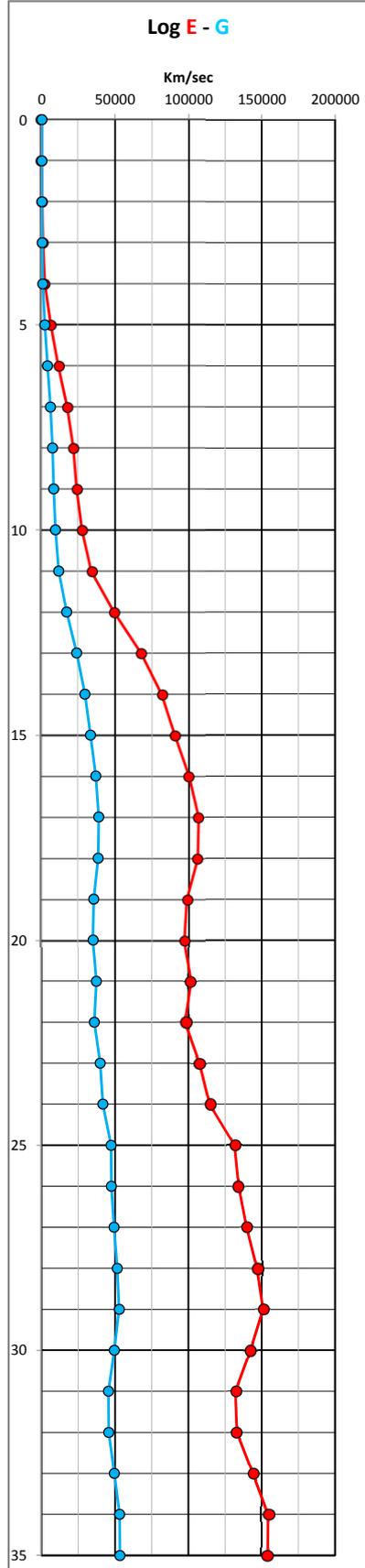
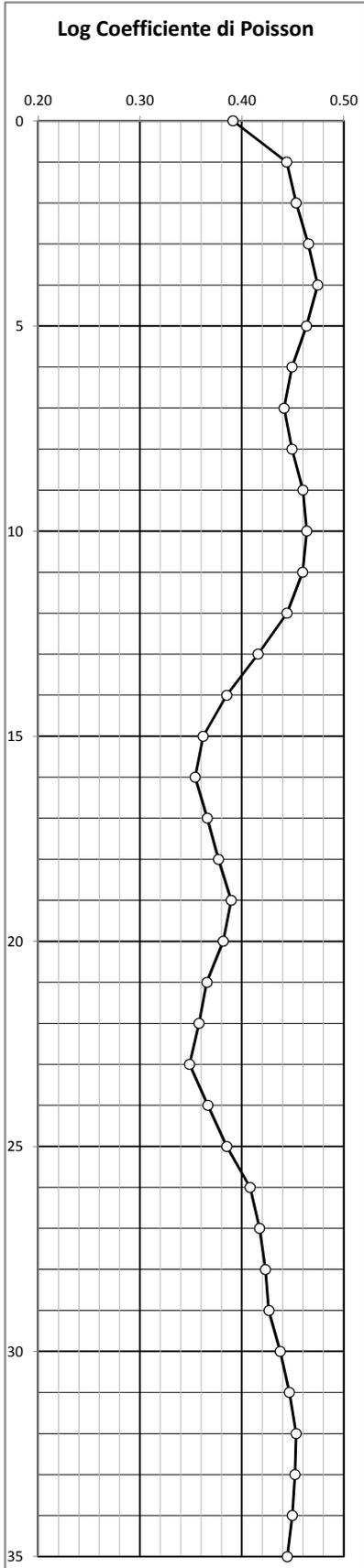
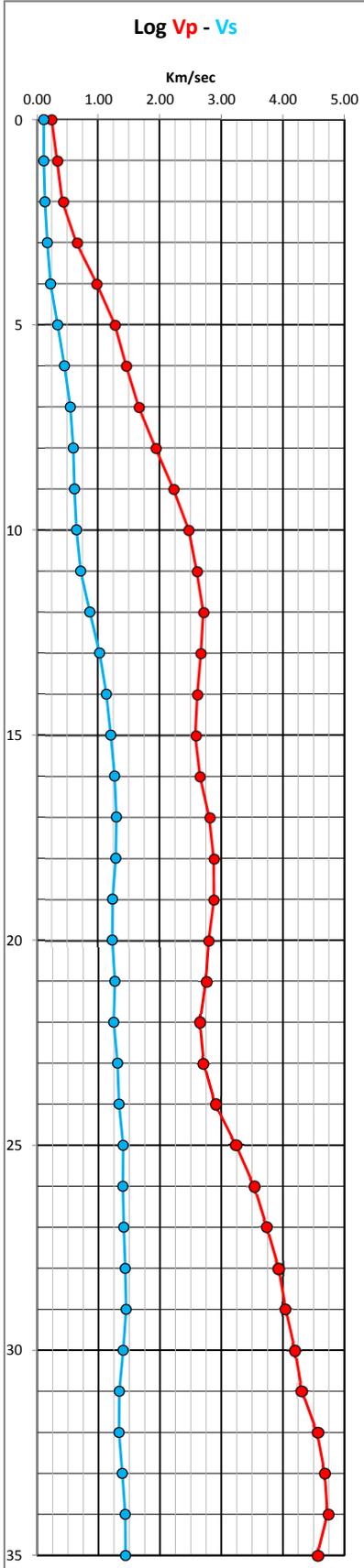
CLASSIFICAZIONE SISMICA DEI SUOLI
(NUOVE NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI
D.M. del 14 gennaio 2008 e successivi)

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}} \quad V_{sH} (0-12m) \quad \begin{matrix} 256 & \text{m/sec} \\ 469 & \text{m/sec} \\ 4539 & \text{Kg/cm}^2 \end{matrix}$$

CATEGORIA SUOLO **E**

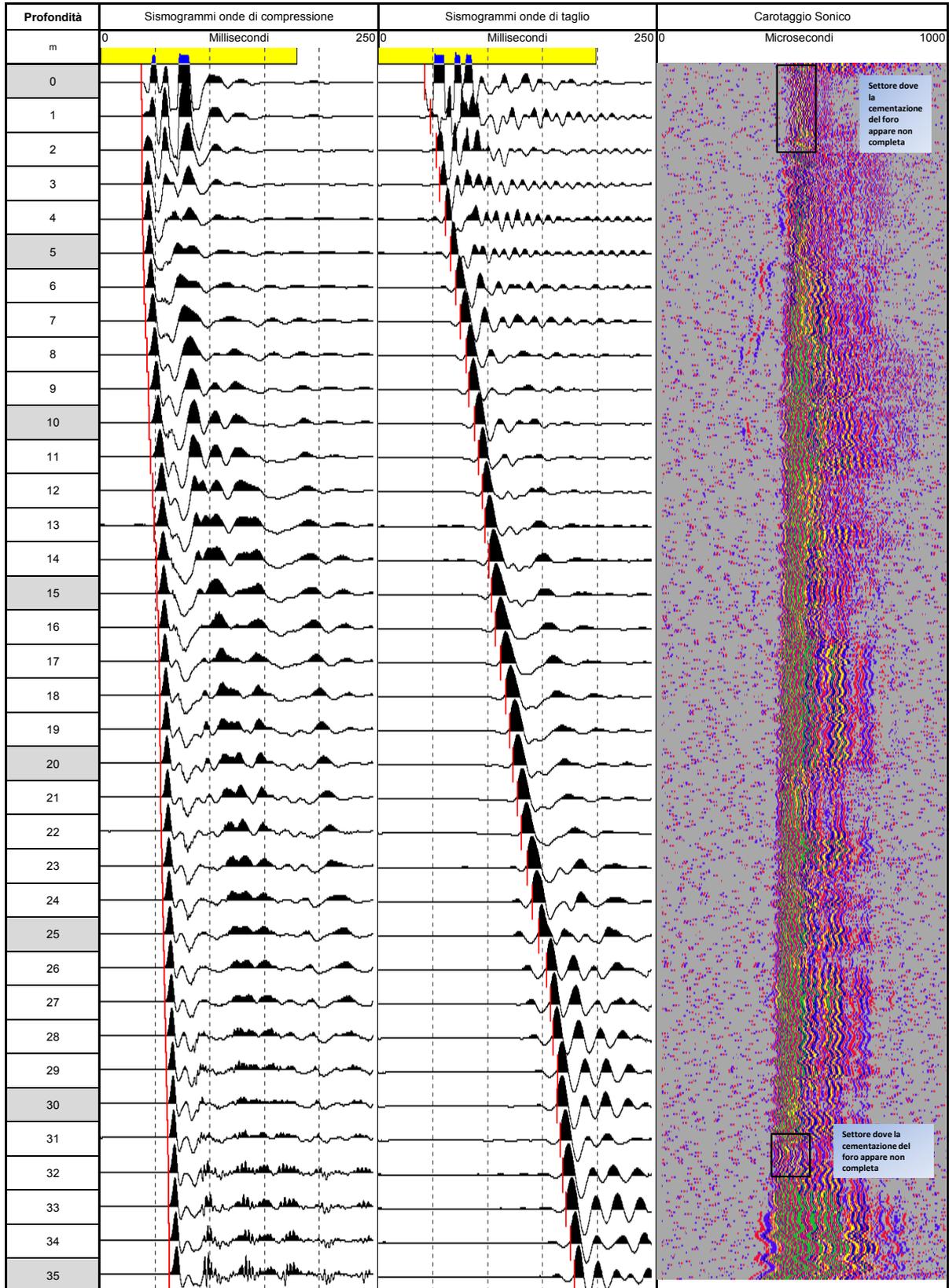
| | | | |
|----------------------------|--------------------------------|-------------|-------------|
| COMMITTENTE | ANAS SpA | | |
| DOWN HOLE | S5_DH | | |
| Località - Progetto | Monte Romano (S.S. 675) | | |
| Data acquisizione | 11/03/2014 | Cod. | 1376 |

| |
|-------------------------|
| Log Parametri elastici |
| Log Vp - Vs - v - E - G |



| | | | |
|----------------------------|--------------------------------|-------------|-------------|
| COMMITTENTE | ANAS SpA | | |
| DOWN HOLE | S8_DH | | |
| Località - Progetto | Monte Romano (S.S. 675) | | |
| Data acquisizione | 11/03/2014 | Cod. | 1376 |

| Sismogrammi | |
|---------------------|------------------------|
| Coordinate in WGS84 | Est (m) = 1737566.371 |
| | Nord (m) = 4679170.014 |
| | Quota (m) = 34.77 |



Settore dove la cementazione del foro appare non completa

Settore dove la cementazione del foro appare non completa

| | | | |
|----------------------------|--------------------------------|-------------|-------------|
| COMMITTENTE | ANAS SpA | | |
| DOWN HOLE | S8_DH | | |
| Località - Progetto | Monte Romano (S.S. 675) | | |
| Data acquisizione | 11/03/2014 | Cod. | 1376 |

| |
|-----------------------|
| Metodologia DH |
| Differenziale |
| Progressivo |



Falda -6.00 m 2 di 3

| 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 | 7.29 | 20.24 | 0.27 | 0.10 | 0.432 | 1.48 | 392 | 137 | 954 |
| 1 | 7.47 | 21.18 | 0.29 | 0.10 | 0.430 | 1.49 | 437 | 153 | 1045 |
| 2 | 7.64 | 24.47 | 0.30 | 0.11 | 0.429 | 1.51 | 486 | 170 | 1141 |
| 3 | 7.76 | 32.94 | 0.49 | 0.12 | 0.466 | 1.65 | 759 | 259 | 3690 |
| 4 | 8.16 | 36.47 | 0.87 | 0.11 | 0.492 | 1.85 | 640 | 215 | 14009 |
| 5 | 9.03 | 39.29 | 1.05 | 0.18 | 0.486 | 1.91 | 1785 | 601 | 20751 |
| 6 | 9.90 | 42.82 | 1.04 | 0.24 | 0.471 | 1.91 | 3394 | 1153 | 19706 |
| 7 | 11.12 | 46.34 | 0.95 | 0.25 | 0.462 | 1.88 | 3581 | 1225 | 15712 |
| 8 | 12.57 | 50.81 | 0.80 | 0.25 | 0.447 | 1.82 | 3294 | 1138 | 10400 |
| 9 | 13.39 | 54.34 | 0.77 | 0.23 | 0.453 | 1.80 | 2733 | 940 | 9775 |
| 10 | 14.43 | 58.57 | 0.90 | 0.25 | 0.460 | 1.86 | 3367 | 1153 | 13927 |
| 11 | 15.65 | 63.04 | 0.94 | 0.23 | 0.468 | 1.87 | 2988 | 1018 | 15382 |
| 12 | 17.39 | 66.10 | 0.82 | 0.23 | 0.455 | 1.82 | 2977 | 1023 | 11015 |
| 13 | 18.96 | 69.24 | 0.60 | 0.23 | 0.414 | 1.72 | 2581 | 913 | 4999 |
| 14 | 21.31 | 71.92 | 0.51 | 0.24 | 0.355 | 1.67 | 2713 | 1001 | 3113 |
| 15 | 22.08 | 74.23 | 0.61 | 0.25 | 0.394 | 1.72 | 3164 | 1135 | 4961 |
| 16 | 22.60 | 77.30 | 1.39 | 0.38 | 0.460 | 2.02 | 8605 | 2947 | 35590 |
| 17 | 23.14 | 79.97 | 1.44 | 0.37 | 0.466 | 2.03 | 8086 | 2758 | 39271 |
| 18 | 23.65 | 82.06 | 1.70 | 0.37 | 0.475 | 2.10 | 8726 | 2958 | 57586 |
| 19 | 24.18 | 85.38 | 1.91 | 0.38 | 0.480 | 2.14 | 9289 | 3139 | 75878 |
| 20 | 24.53 | 88.91 | 2.05 | 0.33 | 0.487 | 2.17 | 7240 | 2435 | 90064 |
| 21 | 25.03 | 91.49 | 2.13 | 0.30 | 0.490 | 2.19 | 6149 | 2064 | 98825 |
| 22 | 25.58 | 95.96 | 2.13 | 0.31 | 0.489 | 2.19 | 6301 | 2115 | 97915 |
| 23 | 26.10 | 99.25 | 2.00 | 0.26 | 0.491 | 2.16 | 4497 | 1508 | 86330 |
| 24 | 26.63 | 102.78 | 1.87 | 0.28 | 0.489 | 2.14 | 4902 | 1646 | 74262 |
| 25 | 27.32 | 106.54 | 1.73 | 0.28 | 0.487 | 2.10 | 4975 | 1673 | 62317 |
| 26 | 27.95 | 109.36 | 1.59 | 0.28 | 0.483 | 2.07 | 5060 | 1706 | 50940 |
| 27 | 28.60 | 113.36 | 1.54 | 0.31 | 0.479 | 2.06 | 5835 | 1972 | 46987 |
| 28 | 29.13 | 116.89 | 1.57 | 0.27 | 0.485 | 2.06 | 4616 | 1555 | 49856 |
| 29 | 29.75 | 119.47 | 1.68 | 0.29 | 0.485 | 2.09 | 5253 | 1769 | 58044 |
| 30 | 30.30 | 123.24 | 1.70 | 0.33 | 0.480 | 2.10 | 6941 | 2344 | 58690 |
| 31 | 30.88 | 125.59 | 1.75 | 0.31 | 0.484 | 2.11 | 6143 | 2070 | 63170 |
| 32 | 31.36 | 128.18 | 1.80 | 0.37 | 0.477 | 2.12 | 8948 | 3028 | 65921 |
| 33 | 31.85 | 131.94 | 1.98 | 0.36 | 0.483 | 2.16 | 8281 | 2792 | 82627 |
| 34 | 32.34 | 134.52 | 2.05 | 0.30 | 0.489 | 2.17 | 6040 | 2028 | 90238 |
| 35 | 32.71 | 137.35 | 2.16 | 0.35 | 0.486 | 2.19 | 8236 | 2770 | 100232 |

| STRATIGRAFIA | |
|---------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| semplificata | |
| 0.00-7.70 | Argilla limosa sabbiosa caotica, alterata e sovraconsolidata per essiccazione; con inclusi minuti elementi di natura marmosa e arenacea di dimensioni da millimetriche a centimetriche con Ø max > 10cm. Da dura a molto consistente, di colore marrone bruno. Presente da 2,50+2,85 m blocco calcareo arenaceo; fratturato da 1,00+2,50 m. (probabile corpo di frana) |
| 7.70 - 11.70 | Sabbia da fine a media localmente grossa) con limo, debolmente argillosa, alterata ed ossidata. Maggiore argillosa al tetto, nel primo metro e da 11,20+12,00 m. Presenti tracce di elementi vulcanici. Moderatamente addensata di colore |
| 11.70 - 15.00 | Argilla limosa con rari noduli carboniosi e sottili intercalazioni sabbiose. Molto consistente; colore grigio azzurro. |
| 15.00 - 35.00 | Argilla limosa con rari noduli carboniosi e sottili intercalazioni sabbiose. Molto consistente; colore grigio azzurro. |

| 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)

$$Vs_{30} = \frac{30}{\sum_{i=1, N} \frac{h_i}{V_i}} \quad VsH (0-30m) \quad \mathbf{217} \quad \text{m/sec}$$

$$Vs_{30} \quad \mathbf{217} \quad \text{m/sec}$$

$$G_0 \quad \mathbf{880} \quad \text{Kg/cm}^2$$

CATEGORIA SUOLO C

| | | | |
|----------------------------|--------------------------------|-------------|-------------|
| COMMITTENTE | ANAS SpA | | |
| DOWN HOLE | S8_DH | | |
| Località - Progetto | Monte Romano (S.S. 675) | | |
| Data acquisizione | 11/03/2014 | Cod. | 1376 |

| |
|-------------------------|
| Log Parametri elastici |
| Log Vp - Vs - v - E - G |

