

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



**CONTRATTO ISTITUZIONALE DI SVILUPPO PER LA REALIZZAZIONE DELLA DIRETTRICE FERROVIARIA NAPOLI-BARI-LECCE-TARANTO**

**U.O. GEOLOGIA**

**PROGETTO DEFINITIVO**

**LINEA POTENZA-FOGGIA - AMMODERNAMENTO**

**SOTTOPROGETTO 2 - ELETTRIFICAZIONE, RETTIFICHE DI TRACCIATO, SOPPRESSIONE P.L. E CONSOLIDAMENTO SEDE**

**INDAGINI GEOFISICHE**

COMMESSA    LOTTO    FASE    ENTE    TIPO DOC.    OPERA/DISCIPLINA    PROGR.    REV.

IA0X    00    D    69    IG    GE0001    001    A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	EMISSIONE DEFINITIVA	FABBRI		MANCINI		G. Lestingi		F. MARCHESE
		<i>X</i>		<i>th</i>		<i>sm</i>		ITALFERR S.p.A. Dott. Geologo Francesco MARCHESE Resp. UO GEODINAMICA Ordine Geologi Lazio n. 179-SS

n. Elab.: X

L0.4.1

## INDICE

1. INDICAZIONI GENERALI .....	3
2. INDAGINE ELETTROMAGNETICA .....	3
CARATTERISTICHE OPERATIVE .....	4
POTENZIALI FONTI DI DISTURBO .....	5
PROFONDITA' DI INDAGINE.....	6
3. INDAGINE SISMICA TOMOGRAFICA.....	7
INDICAZIONI GENERALI .....	7
ELABORATI CARTOGRAFICI .....	7
ATTREZZATURE TECNICHE.....	9
MODALITA' OPERATIVE DELLA TOMOGRAFIA SISMICA .....	12
Generalità .....	12
Sorgente di energia .....	12
Apparato di ricezione .....	12
Operazioni di campagna.....	13
Elaborazione sismogrammi (preprocessing) .....	13
Elaborazione tomografica in velocità .....	14
Analisi del gradiente geosismico .....	15
4. PROVE IN FORO CON TECNICA DOWN HOLE .....	16
MODALITÀ OPERATIVE .....	18
SORGENTE DI ENERGIA .....	18
APPARATO DI RICEZIONE .....	18
OPERAZIONI DI CAMPAGNA .....	19
ACQUISIZIONE DATI .....	19
ELABORAZIONE DATI .....	21
PREPROCESSING.....	22
Processing tomografico .....	26
Elaborazione dei log di Vs, Vp e dei moduli elastici dinamici.....	29
Elaborati prove down hole .....	31

# ITALFERR S.p.A.

## **RILIEVI E SONDAGGI FUNZIONALE ALLA SUCCESSIVA FASE DI PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEGLI INTERVENTI DI ELETTRIFICAZIONE E/O DI MESSA IN SICUREZZA DELLA LINEA FERROVIARIA POTENZA-FOGGIA**

### **INDAGINI GEOFISICHE**

#### **1. INDICAZIONI GENERALI**

Allo scopo di caratterizzare alcune zone particolari soggette ad opere di ammodernamento della linea Potenza Foggia è stata realizzata a scopo propedeutico all'indagine geognostica anche una indagine geofisica.

L'indagine geofisica è consistita in tre tipologie di indagine differenti :una indagine elettromagnetica al fine di scongiurare la presenza di oggetti metallici sepolti (residui bellici) nella zona in cui si dovranno realizzare i sondaggi ambientali; un'indagine sismica tomografica al fine di determinare il grado di consistenza differenziata dei materiali interessati dalle fondazioni delle strutture in progetto; ed un'indagine down hole all'interno di sondaggi opportunamente rivestiti in PVC al fine di caratterizzare secondo la nuova normativa tecnica i terreni di fondazione

#### **2. INDAGINE ELETTROMAGNETICA**

Per le indagini elettromagnetiche è stato utilizzato un elettromagnetometro GSSI POFLER EMP – 400 prodotto negli Stati Uniti d'America (USA).

Le indagini elettromagnetiche in dominio di frequenza (FEM) consentono di ottenere, in modo speditivo, profili e mappe dei valori della variazione di fase e dell'intensità del campo elettromagnetico secondario rispetto ai valori del campo primario. Il metodo di prospezione EM fa intervenire simultaneamente 3 processi fisici distinti:

1. il passaggio di corrente alternata in una bobina trasmittente genera un campo magnetico  $H_p$  (campo magnetico primario) variabile con il tempo;
2. il flusso del campo magnetico primario genera delle correnti indotte (correnti di *Foucault*) in tutti i conduttori sui quali esso agisce (suoli, rocce);
3. le correnti indotte generano un campo magnetico secondario  $H_s$  il quale insieme al campo primario che si propaga direttamente attraverso l'aria provoca il passaggio di corrente alternata in una bobina ricevente.

L'ampiezza delle correnti indotte in un corpo conduttore nel sottosuolo dipende da diversi fattori :

- proprietà elettriche del conduttore;
- dimensioni e dalla forma del conduttore;
- frequenza del campo primario;
- posizione del conduttore rispetto agli strumenti di indagine geofisica.

La conduttività elettrica (l'inverso della resistività) dei suoli e delle rocce dipende inoltre dal grado di saturazione in acqua, dalla salinità dell'acqua contenuta nei pori della roccia, dalla composizione mineralogica, dalla presenza di metalli o contaminati organici (benzina, gasolio, nafta ecc.).

Si analizza quindi la variazione in ampiezza e fase che un segnale (onda sinusoidale) subisce nell'attraversare mezzi a diversa conduttività.

Tra le diverse soluzioni tecniche disponibili sono da evidenziare, per il loro utilizzo in geofisica ambientale, gli strumenti denominati Ground Conductivity Meters (GCM), commercializzati da Geonics Ltd (EM31), GSSI (GEM300) e Geophex Ltd (GEM-2). Tali dispositivi elettromagnetici in dominio di frequenza (di tipo Slingram) utilizzano due bobine di piccole dimensioni (Small-loop systems), una trasmittente ed una ricevente, affiancate secondo specifiche configurazioni e mantenute ad una distanza costante  $s$  (a seconda delle strumentazioni compresa tra 0,75 m e 100 m). L'acquisizione prevede lo spostamento dello strumento lungo una serie di profili paralleli secondo una geometria prestabilita.

Le strumentazioni GCM consentono di ricavare, sotto opportune ipotesi, dalla componente in quadratura del campo magnetico secondario, misurato alla bobina ricevente, il valore della conducibilità apparente del volume di suolo indagato.

## CARATTERISTICHE OPERATIVE

Per la presente indagine si è utilizzata la strumentazione elettromagnetica PROFILER EMP-400 prodotta dalla GSSI (USA), un conducivimetro multifrequenza che rientra nella categoria delle strumentazioni elettromagnetiche in dominio di frequenza di tipo GCM. Nell'immagine qui sotto si vede la strumentazione utilizzata.



Il Profiler può utilizzare simultaneamente fino a 3 frequenze definite dall'utente, in un range compreso tra 1 kHz e 16 kHz, registrando le componenti in fase ed in quadratura del campo magnetico secondario, normalizzate rispetto al campo magnetico primario. Il sensore dello strumento è costituito da una bobina trasmittente e da una ricevente, poste ad una distanza pari a 1.219 m. Tale geometria, chiamata configurazione bistatica, contiene anche una terza bobina accoppiata bucking coil che rimuove (avendo polarità opposta) il campo



magnetico primario registrato alla bobina ricevente, di intensità molto superiore a quello indotto.

Le bobine riceventi registrano, tramite un convertitore A/D (analogico-digitale) a 16 bit, il segnale dovuto al campo magnetico indotto; dall'analisi di convoluzione tra il campo magnetico primario ed il secondario viene elaborato il loro rapporto ed espresso in ppm (parti per milione).

Estraendo la componente in fase e la componente in quadratura di fase, si ha:

$$\text{In fase: } \operatorname{Re}\left(\frac{H_s}{H_p}\right) \cdot 10^6 \text{ [ppm]}$$

$$\text{In quadratura: } \operatorname{Im}\left(\frac{H_s}{H_p}\right) \cdot 10^6 \text{ [ppm]}$$

La componente in fase risulta sensibile ad oggetti metallici (fusti sepolti, tubazioni interrato ecc.). La componente in quadratura di fase è proporzionale alla conducibilità del mezzo indagato.

I conducivimetri LIN (a basso numero d'induzione) consentono, per un range di frequenze e di conducibilità determinato, di calcolare la conducibilità elettrica apparente del terreno indagato. Il GEM-2 fornisce direttamente il valore della conducibilità apparente, calcolato con la formula:

$$\sigma_a = 360 \cdot \text{ppm}(Q) / f \text{ [mS/m]}$$

essendo ppm(Q) la componente in quadratura di fase ed  $f$  la frequenza [Hz].

Delle frequenze acquisite e comprese tra i 1000 ed i 15000 Hz, si è scelta la più significativa, e cioè la frequenza a 15000 Hz, in quanto fornisce le informazioni più dettagliate relativamente ai primi metri di sottosuolo. I valori della componente in quadratura (convertita in conducibilità elettrica, in millisiemens per metro – mS/m) delle singole sub-aree sono stati elaborati con un programma di *contouring* per la definizione di una mappa di variazione del parametro geofisico (correlato alle caratteristiche dei materiali presenti nel sottosuolo).

## POTENZIALI FONTI DI DISTURBO

Il Profiler EMP-400 fornisce un valore relativo di conducibilità elettrica a partire dal confronto tra due campi magnetici (campo primario e campo indotto). E' evidente, quindi, che la presenza di campi elettromagnetici nella zona del rilievo possono essere fonte di disturbo. La misura elettromagnetica, in particolare, fortemente disturbata da:

- elettrodotti;

- motori elettrici di grosse dimensioni;
- accumuli di rottami metallici ecc..

## **PROFONDITA' DI INDAGINE**

L'utilizzo di più frequenze consente d'individuare anomalie diverse prodotte da target di diversa natura. La profondità d'indagine è funzione della frequenza, della conducibilità del mezzo e della geometria e disposizione dell'anomalia da indagare.

Il Profiler EMP-400, con spaziatura pari a 1,219 m tra le bobine, ha una profondità massima di investigazione di circa 10m, in base alle caratteristiche del mezzo investigato. Sulla base di queste considerazioni, se gli eventuali obbiettivi dovessero trovarsi in zone a profondità maggiore occorre approfondire l'indagine con indagini geofisiche di dettaglio (linee di tomografia elettrica) o direttamente con sondaggi geognostici.

### **3. INDAGINE SISMICA TOMOGRAFICA**

#### **INDICAZIONI GENERALI**

Nel Novembre 2014, su incarico di ITALFERR, è stata realizzata una campagna geosismica sui terreni interessati da varianti alla linea ferroviaria Foggia Potenza.

L'incarico era finalizzato a:

1. valutare le caratteristiche di consistenza dell'ammasso;
2. localizzare le eventuali strutture tettoniche presenti ed il loro andamento;
3. fornire alla committenza uno strumento di confronto e correlazione tra le informazioni ottenute dai rilievi geognostici meccanici e le indagini geofisiche.

#### **ELABORATI CARTOGRAFICI**

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

- Fig. 1 Planimetria indagini elettromagnetiche;
- Fig. 2 Indagine elettromagnetica sondaggi S2 e S3;
- Fig. 3 Indagine elettromagnetica sondaggi S4;
- Fig. 4 Indagine elettromagnetica sondaggi S5;
- Fig. 5 Indagine elettromagnetica sondaggi S8;
- Fig. 6 Indagine elettromagnetica sondaggi S9;
- Fig. 7 Indagine elettromagnetica sondaggi S12;
- Fig. 8 Indagine elettromagnetica sondaggi S13;
- Fig. 9 Indagine elettromagnetica sondaggi S14;
- Fig. 10 Indagine elettromagnetica sondaggi S16;
- Fig. 11 Indagine elettromagnetica sondaggi S17;
- Fig. 12 Indagine elettromagnetica sondaggi S18;
- Fig. 13 Indagine elettromagnetica sondaggi S21;

- Fig. 14 Planimetria Sezione Tomografica 1;
- Fig. 15 Sezione tomografica 1;
- Fig. 16 Planimetria Sezione Tomografica 2;
- Fig. 17 Sezione tomografica 2;
- Fig. 18 Planimetria Sezione Tomografica 3;
- Fig. 19 Sezione tomografica 3;
- Fig. 20 Planimetria Sezione Tomografica 4;
- Fig. 21 Sezione tomografica 4;
- Fig. 22 Planimetria Sezione Tomografica 5;
- Fig. 23 Sezione tomografica 5;
- Fig. 24 Planimetria Sezioni Tomografiche 6-66;
- Fig. 25 Sezioni tomografiche 6-66;
- Fig. 26 Planimetria Sezione Tomografica 7;
- Fig. 27 Sezione tomografica 7;
- Fig. 28 Planimetria Sezioni Tomografiche 8-88;
- Fig. 29 Sezioni tomografiche 8-88
- Fig. 30 Planimetria Sezioni Tomografiche 9-99;
- Fig. 31 Sezione tomografica 9-99
- Fig. 32 Indagine Down Hole S 3-1
- Fig. 33 Indagine Down Hole S 3-2
- Fig. 34 Indagine Down Hole S 5-1
- Fig. 35 Indagine Down Hole S 5-2
- Fig. 36 Indagine Down Hole S 9-1
- Fig. 37 Indagine Down Hole S 9-2
- Fig. 36 Indagine Down Hole S 13-1
- Fig. 37 Indagine Down Hole S 13-2
- Fig. 36 Indagine Down Hole S 16-1
- Fig. 37 Indagine Down Hole S 16-2



## ATTREZZATURE TECNICHE

La prospezione sismica si è realizzata posizionando l'intero array sul terreno ed acquisendo dati adeguati al processing della sismica tomografica in onde di compressione.

Ogni sezione era collegata tramite rete locale e cavi ad una serie di sismografi Geometrics Geode.

Sono state utilizzate le seguenti strumentazioni e software:

Sismografi	n° 4 Geometrics Geode collegati in rete locale (max 96 canali);
Geofoni	stazioni verticali da 40 Hz per le onde di compressione. Energizzazione Shot mediante THUMPER
Topografia	Teodolite e GPS Topcon.
Software	SEISVIEW (Progeo srl) per analisi dei sismogrammi; SRA (Progeo srl) per analisi tomografica in velocità ed attenuazione.

**SISMOMETRO PER ACQUISIZIONE DATI**

**Modello: GEOMETRICS ES-3000 GEODE**



**01**

December 6, 2001

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

## SPECIFICHE TECNICHE SISMOGRAFO

### ES-3000 Seismographs

**Configurations:** 8 and 12 channels in weatherproof field deployable module. ES-3000 is operated from Windows 98/NT/2K/XI based laptop<sup>1</sup>

**A/D Conversion:** 24 bit result using Crystal Semiconductor sigma-delta converters and Geometrics proprietary oversampling.

**Dynamic Range:** 144 dB (system), 110 dB (instantaneous, measured) at 2 ms, 24 dB.

**Distortion:** 0.0005% @ 2 ms, 1.75 to 208 Hz.

**Bandwidth:** 1.75 Hz to 8 kHz.

**Common Mode Rejection:** > 100dB at <= 100 Hz, 36 dB.

**Crosstalk:** -125 dB at 23.5 Hz, 24 dB, 2 ms.

**Noise Floor:** 0.20 uV, RFI at 2 ms, 36 dB, 1.75 to 208 Hz.

**Stacking Trigger Accuracy:** 1/32 of sample interval.

**Maximum Input Signal:** 175 mV PP at 24dB

**Input Impedance:** 20 kOhm, 0.02 uF.

**Preamplifier Gains:** Software selectable between 24 and 36 dB.

**Anti-alias Filters:** -3 dB at 83% of Nyquist frequency, down 90 dB.

**Acquisition and Display Filters:**

Low Cut: OUT, 10, 15, 25, 35, 50, 70, 100, 140, 200, 280, 400 Hz, 24 or 48 dB/octave, Butterworth.

Notch: 50, 60, 150, 180 Hz and OUT, with the 50 dB rejection bandwidth 2% of center frequency.

High Cut: OUT, 250, 500 or 1000 Hz, 24 or 48 dB/octave.

**Sample Interval:** 0.0625, 0.125, 0.25, 0.5, 1.0, 2.0 ms.

**Maximum Record Length:** 4,096 samples per channel standard.

**Pre-trigger Data:** Up to 4,096 Samples.

**Delay:** 0 to 9999 ms in 1 sample interval steps.

**Data Transmission:** Uses reliable Ethernet connections and requires no custom transmission software. Interfaces directly with network capabilities of Windows 98/NT/2K/XP.

**Auxiliary Channels:** All ES-3000 channels can be programmed as either AUX or DATA. Fixed data and aux channels available in StrataVisor NZ.

**Data Formats:** SEG-2 standard.

**System Software:**

ES-3000 Operating Software (ESOS): Includes full compliment of acquisition, display, plotting, filtering and storage features.

**Data Storage:** Stores data locally on laptop hard drive for transfer to portable media<sup>2</sup>.

**Plotters:** Drives a variety of NT compatible printers including Printrex 4, 8 and 12 inch plotters. Consult factory.

**Triggering:** Positive, negative or contact closure, software adjustable threshold.

**Power:** Requires 12V external battery. Uses 0.65W/channel during acquisition, sleep mode reduces power consumption by 70% while in standby.

**Environmental:** ES-3000: -30 to 70 degrees C. Waterproof and submersible. Withstands a 1 m drop onto concrete on 6 sides and 8 corners.

**Physical:** ES-3000: 12.2"L x 9 3/4"W x 7"D (31cmL x 24.75cmW x 17.75cm), weighs 3.5 kg.

**Operating System:** Windows 98/NT/XP/2000.

## MODALITA' OPERATIVE DELLA TOMOGRAFIA SISMICA

### Generalità

La tecnica di prospezione sismica tomografica prevede la registrazione dell'onda sismica prodotta tra un punto di energizzazione e vari punti di ricezione (geofoni).

Dai tempi di arrivo dell'onda sismica, conoscendo la distanza shot-ricevitore, si può determinare la velocità di propagazione delle onde elastiche longitudinali nel sottosuolo ( $V_p$ ), consentendo di conoscere, in sintesi, le proprietà fisiche e meccaniche dei terreni, poiché i valori di  $V_p$  sono proporzionali al grado di compattezza dei mezzi attraversati.

L'elaborazione dei dati e le relative rappresentazioni cartografiche vengono effettuate mediante elaborazione tomografica.

Il processing tomografico consiste nella realizzazione di una griglia ad elementi distinti della sezione di analisi, nell'applicazione di algoritmi di ray tracing ed inversione tomografica.

L'analisi consente quindi di ottenere una immagine di dettaglio delle caratteristiche geofisiche del mezzo permettendo di distinguere, mediante rappresentazioni a countour line di isovelocità e falsi colori, anche intorni minimi con caratteristiche differenziate del materiale per variazioni di consistenza, grado di alterazione, fratturazione, ecc.

Le prospezioni geosismiche tomografiche mediante la delineazione particolareggiata di aree di discontinuità fisica possono validamente contribuire alla definizione dello stato di resistenza/addensamento del materiale, a correlazioni stratigrafico-geomeccaniche ed a ricostruzioni geomorfologiche, ad effetti di anisotropia laterale indicate da significative variazioni verticolaterali dei valori dei parametri geofisici analizzati che evidenziano stati particolari di degradazione non sempre individuabili direttamente dalle analisi litologiche e geotecniche.

### Sorgente di energia



Per l'indagine in oggetto è stato utilizzato un energizzatore di onde sismiche costituito da un da una macchina operatrice che trasporta un grosso peso (500 Kg) che viene scagliato a terra con il quale si crea un fronte d'onda sismico di energia adeguata alle indagini di dettaglio in oggetto.

### Apparato di ricezione

Sono stati utilizzati arrays fissi da 96 geofoni con interdistanza 5 m.



## **Operazioni di campagna**

Eseguito il posizionamento dei geofoni, collegati al cavo elettrico e quest'ultimo al sistema di registrazione, verificati i segnali 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 (tempo di acquisizione, eventuali filtri e stack).

Effettuata la taratura della strumentazione si è proceduto alla prospezione sismica tomografica in modo che, dopo ogni energizzazione su ciascun punto d'impatto prestabilito, si fosse acquisito e registrato il segnale per la successiva elaborazione da effettuarsi in sede.

Ciascuna sezione sismica è stata perciò esplorata secondo un modulo prestabilito di energizzazioni e geofoni.

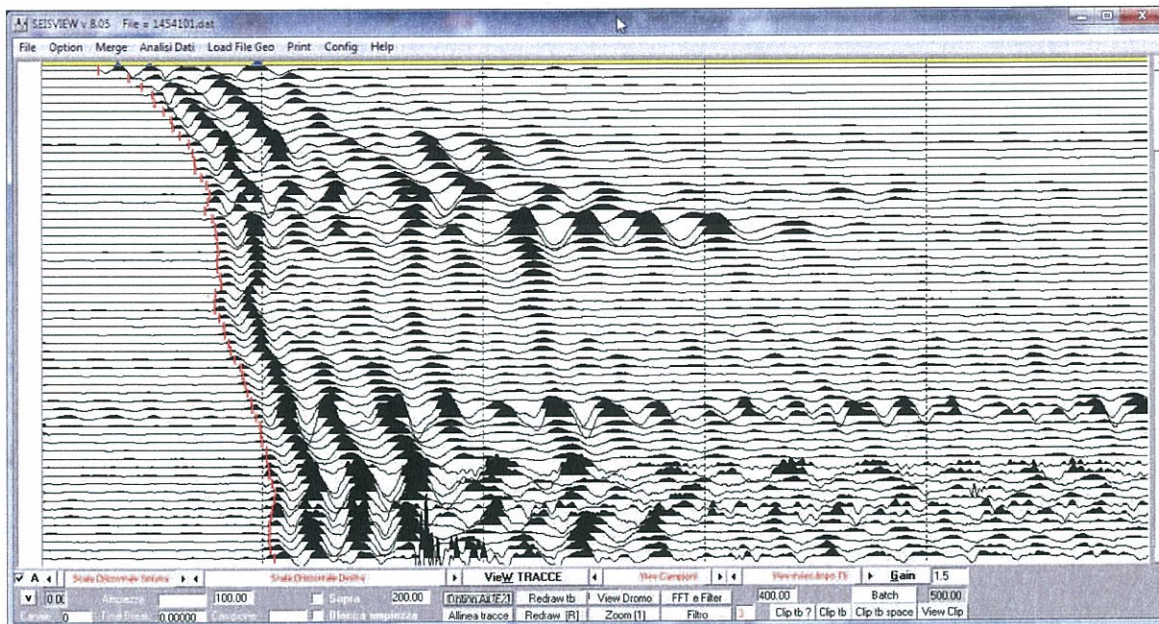
## **Elaborazione sismogrammi (preprocessing)**

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 (un file ogni punto di energizzazione).

Questa fase di preprocessing ha permesso di convertire il formato con cui i dati sismici sono registrati dai sismografi EG&G GEOMETRICS in quello del programma elaborativo della Progeo (SeisView®).

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 compressione (P).

In questa fase di preprocessing vengono utilizzate procedure di filtraggio dei dati allo scopo di ridurre il rumore aleatorio, senza però alterare lo spettro caratteristico, ed effettuare un'analisi delle singole tracce eliminando quelle che effettivamente possono produrre artefatti sia nei tempi di trasmissione che nelle ampiezze dei segnali per l'analisi dell'attenuazione.



Sismogramma acquisito sulla sezione L1 con shot dalla stazione 1

I dati in formato numerico sono inseriti nel programma originale Progeo S.R.A.® (Seismic Refraction Analysis) per l'elaborazione tomografica.

### Elaborazione tomografica in velocità

La prima procedura di analisi 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 tecnica di Ray Tracing Curvilineo partendo da un modello isotropo (l'esempio di ray tracing presentato nelle pagine precedenti si riferisce al primo tracciamento dei raggi su modello iniziale isotropo, quindi raggi rettilinei).

Il file di dati viene caricato nel programma di calcolo S.R.A.® (Seismic Refraction Analysis, programma originale sviluppato dalla Progeo) il quale traccia i vari raggi sismici sulla base di una prima modellazione in velocità della sezione

Per il tracciamento dei raggi sismici si procede ad una suddivisione dell'area di analisi in elementi distinti costituiti da celle di elaborazione la cui dimensione deve risultare la minore possibile in funzione della densità dei raggi sismici utilizzati.

Il passo successivo è stata l'applicazione, sempre utilizzando 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 stabilita), col quale

l'operatore ha portato, con successive iterazioni dalla prima modellazione, alla convergenza i dati modellati con quelli reali cioè quelli corrispondenti ai tempi delle dromocrone originali (dal punto di vista statistico significa ridurre l'errore fino a quando gli scarti quadratici e le varianze dei tempi calcolati sono minimi rispetto a quelli definiti in input).

Nella pratica il processo iterativo termina quando le dromocrone, relative a quella data distribuzione di velocità particellari, sono coincidenti o con scarto minimo (mediamente inferiore a 0.2%) rispetto a quelle misurate ottenute dalle letture degli F.B.P. sui sismogrammi. In questi vari passaggi iterativi l'operatore valuta la convergenza e stabilisce se la procedura iterativa può continuare secondo i medesimi parametri di calcolo oppure se questi devono essere modificati per ottenere una migliore qualità del dato.

### **Analisi del gradiente geosismico**

Per localizzare i principali livelli di consistenza si è sviluppata altresì 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.



## 4. PROVE IN FORO CON TECNICA DOWN HOLE

### AZIONE SISMICA

#### *Categorie di suolo di fondazione*

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi.

Per la definizione dell'azione sismica si può anche fare riferimento ad un approccio semplificato che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento (Tab. 3.2.II e 3.2.III).

Tabella 3.2.II – *Categorie di sottosuolo*

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

Fatta salva la necessità della caratterizzazione geotecnica dei terreni nel volume significativo, ai fini della identificazione della categoria di sottosuolo la classificazione si effettua in base ai valori della velocità equivalente  $V_{s,30}$  di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità.

Per le fondazioni superficiali, tale profondità è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali.



Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera.

Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

La misura diretta della velocità di propagazione delle onde di taglio è fortemente raccomandata.

Nei casi in cui tale determinazione non sia disponibile, la classificazione può essere effettuata in base ai valori del numero equivalente di colpi della prova penetrometrica dinamica (Standard Penetration Test) SPT,30N nei terreni prevalentemente a grana grossa e della resistenza non drenata equivalente  $c_{u,30}$  nei terreni prevalentemente a grana fina.

Per sottosuoli appartenenti alle ulteriori categorie S1 ed S2 di seguito indicate (Tab. 3.2.III), è necessario predisporre specifiche analisi per la definizione delle azioni sismiche, particolarmente nei casi in cui la presenza di terreni suscettibili di liquefazione e/o di argille d'elevata sensibilità possa comportare fenomeni di collasso del terreno.

Tabella 3.2.III – *Categorie aggiuntive di sottosuolo.*

Categoria	Descrizione
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

La velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{s30}$  è definita dall'espressione:

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

dove  $h_i$  e  $V_i$  indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio  $\gamma < 10^{-6}$ ) dello strato  $i$ -esimo, per un totale di  $N$  strati presenti nei 30 m superiori.

Il sito verrà classificato sulla base del valore di  $V_{s30}$ , se disponibile, altrimenti sulla base del valore di  $NSPT$ .

## **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.

L'indagine geofisica è finalizzata quindi alla determinazione in dettaglio delle variazioni verticali di velocità sismica delle onde di compressione ( $V_p$ ) e delle onde di taglio ( $V_s$ ) in corrispondenza del sondaggio nonché alla determinazione complementare (mediante le relazioni che collegano tra loro i valori di  $V_p$  e di  $V_s$ ) dei moduli elastici dinamici – modulo di elasticità ( $E_{din}$ ), modulo di taglio ( $G_{din}$ ) e modulo di compressibilità ( $K_{din}$ ) – nonché del coefficiente di Poisson ( $\nu$ ), utili per la caratterizzazione dinamica del sottosuolo.

## **SORGENTE DI ENERGIA**

Nei pressi della verticale di misura è stato generato ad ogni step di misura (ogni metro) un treno d'onda polarizzato sia orizzontalmente sia verticalmente.

Infatti, per effettuare le operazioni di acquisizione dati, 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 S.

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 e 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.

## **APPARATO DI RICEZIONE**

E' stata utilizzata una strumentazione appositamente costruita e provvista di un apposito meccanismo di ancoraggio alle pareti del foro che è stata mobilizzata lungo la verticale del sondaggio a partire dalla massima profondità accessibile alla strumentazione stessa.

La sonda calettata in foro contiene un gruppo di sensori noto con il nome di "Geofono 3D".

Lo strumento utilizzato è costituito da 3 sensori a frequenza di 14 Hz disposti tridimensionalmente rispetto all'asse del foro di cui 2 orizzontali (H1 e H2) a 90° ed 1 verticale (V).

Oltre alla sonda calettata entro il foro è stato utilizzato in superficie un accelerometro, applicato all'apparato energizzatore, il quale costituisce il dispositivo di trigger per l'inizio della registrazione e 6 geofoni di riferimento (geofoni del  $t_0$ ), posizionati nelle vicinanze della bocca del foro che sono rimasti fissi per tutte le misure effettuate nel sondaggio e che costituiscono il dispositivo di controllo affinché tutti gli impulsi sismici siano in fase per le correzioni nella fase di preprocessing.

## **OPERAZIONI DI CAMPAGNA**

Eseguito il collegamento del cavo elettrico per i 3 canali della sonda 3D allo switch di selezione canali posizionato tra il sismografo e la sonda stessa e collegati altresì al medesimo switch i cavi elettrici sia per i 6 geofoni di riferimento in superficie sia per il dispositivo del time break sull'apparato energizzatore si è effettuato il posizionamento della sonda 3D fino alla massima profondità accessibile, ancorandola alle pareti del 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 dalla massima profondità accessibile alla sonda 3D entro il foro, si è effettuato quindi lo shot sia in verticale su piastra per acquisizione onde P sia in orizzontale su entrambi gli estremi del supporto solidale per attrito radente al terreno, (trave in legno con sopra un autocarro) per quelle di taglio S, registrando il segnale sull'hard disk del p.c. collegato al sismografo.

Tale procedura è continuata in risalita, con registrazione degli impulsi sismici delle onde di compressione e di taglio ad intervalli di 1 m fino a bocca foro.

## **ACQUISIZIONE DATI**

Gli impulsi sismici ricevuti dalla sonda in foro sono stati acquisiti utilizzando una apparecchiatura EG&G Geometrics GEODE (a 24 canali) dotata di estremo dettaglio di campionatura (0.018 millisecc) collegata ad un computer portatile Compaq Presario 1500 che ha consentito, dopo amplificazione, conversione analogico/digitale e filtraggio, di trasferire e registrare i dati su supporto magnetico.

Gli impulsi sismici ricevuti dalla sonda in profondità nel foro sono stati acquisiti ad ogni metro di profondità e, dopo amplificazione, conversione analogico/digitale e filtraggio, trasferiti e registrati su P.C.

I files dei dati sono stati così realizzati:

canale 1- segnale del geofono verticale (V);

canale 2- segnale del geofono orizzontale (H1);

- canale 3- segnale del geofono orizzontale (H2);
- canale 4- segnale del geofono verticale di riferimento a 0 m dal punto di shot;
- canale 5- segnale del geofono verticale di riferimento sulla bocca sondaggio;

Il punto di shot con l'apparato energizzatore è stato effettuato a distanza di 2 m dal sondaggio stesso.

Ad ogni step di misura si sono effettuate due energizzazioni: una ortogonale rispetto alla superficie del piano campagna che ha generato un treno di onde di compressione (P) ed una parallela al piano campagna che ha generato un treno di onde di taglio polarizzate sul piano orizzontale (Sh).

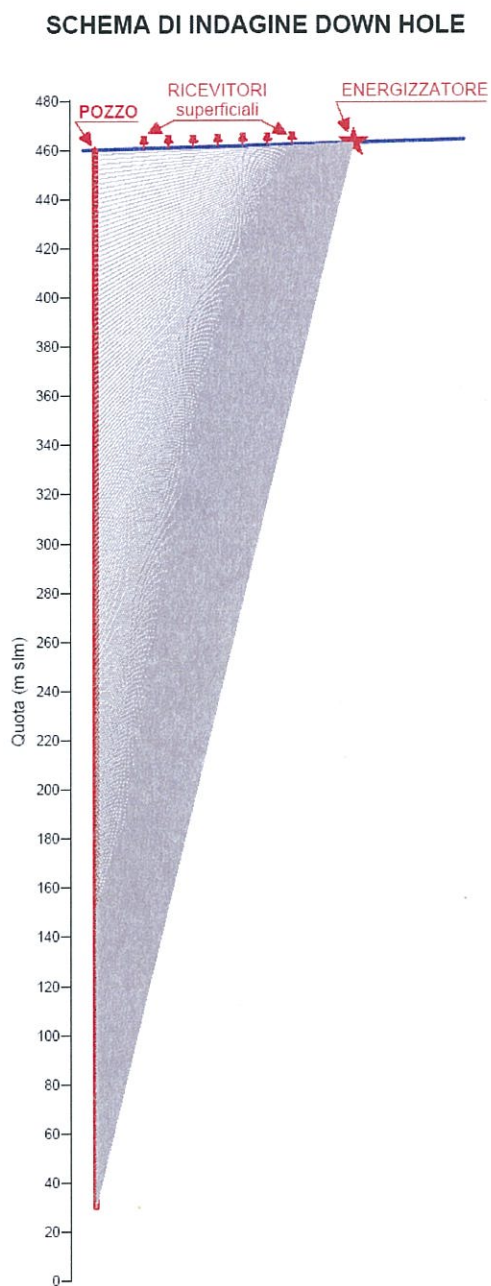
Per ogni energizzazione si è registrato un sismogramma; quindi ci saranno sismogrammi sui quali sarà possibile determinare gli arrivi dell'onda di compressione (P) ed altri sui quali sarà possibile determinare gli arrivi dell'onda di taglio (Sh).

Infatti, per ogni step di misura di 1 m in profondità si sono potuti analizzare i first break imputabili all'arrivo dell'onda di compressione (P) sul geofono del canale 1 (V) mentre sui geofoni (H1) e (H2) dei canali 2 e 3 si è analizzato l'impulso relativo all'onda di taglio (S).

Per evidenziare un ottimo arrivo delle onde di taglio è necessario avere una relativamente bassa amplificazione per i geofoni H; questi avranno una bassa sensibilità alla componente verticale dell'onda di compressione ed invece un'ottima sensibilità per la componente orizzontale dell'onda di taglio.



Vedasi lo schema dell'indagine down hole qui di seguito riportato.



### Elaborazione dati

Il procedimento elaborativo si sviluppa fondamentalmente in due fasi.

1) Elaborazione sismogrammi:

- display sismogrammi,

- fast fourier transform (F.F.T.),
- convoluzione,
- lettura first break.

L'ultimo punto è quello che produce le dromocrone (grafici tempi-distanze) per l'analisi del down-hole.

## 2) Elaborazione della sezione 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 il foro di sondaggio vengono calcolate tramite programmi all'elaboratore le distribuzioni areali di  $V_p$  e  $V_s$  (=variazioni di consistenza del materiale) 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 fondamentalmente 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, 4, 5, 6, 7, 8, 9**

Fase di preprocessing nella quale vengono riunite le tracce omologhe dei sismogrammi acquisiti in un unico file di dati: si realizzano pertanto n° 9 file, ognuno dei quali rappresenta la raccolta di tutte le tracce corrispondenti.

Gather 1    traccia 1 (onda di compressione P ricevuta dal geofono verticale V nella sonda 3D alle varie profondità nel foro);

Gather 2    traccia 2 (onda di taglio S ricevuta dal geofono orizzontale H1 nella sonda 3D alle varie profondità nel foro);

Gather 3 traccia 3 (onda di taglio S ricevuta dal geofono orizzontale H2 nella sonda 3D alle varie profondità nel foro);

Gather 4 traccia 4 (onda di compressione P ricevuta dal geofono verticale in superficie a 0 m dal punto di shot =primo riferimento " $T_0$ " per correzioni time break);

Gather 5 traccia 5 (onda di compressione P ricevuta dal geofono verticale in superficie a 1 m dal punto di shot =secondo riferimento " $T_0$ " per correzioni time break);

Gather 6 traccia 6 (onda di compressione P ricevuta dal geofono verticale in superficie a bocca sondaggio=terzo riferimento " $T_0$ " per correzioni time break);

### **c) Analisi dei singoli gather**

Viene scelto, sulla base del migliore segnale, il gather tra i 3 relativi ai geofoni posizionati in superficie sul quale ricavare, traccia per traccia, la correzione da apportare, in millisecondi alle corrispondenti tracce 1, 2 e 3 (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 1, 2 e 3 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 2 e 3**

Somma dei canali 2 e 3 (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 e unico file di dati (canale 10) delle onde di taglio.

Il procedimento elaborativo dei dati viene sviluppato secondo la tecnica differenziale (cross correlazione).

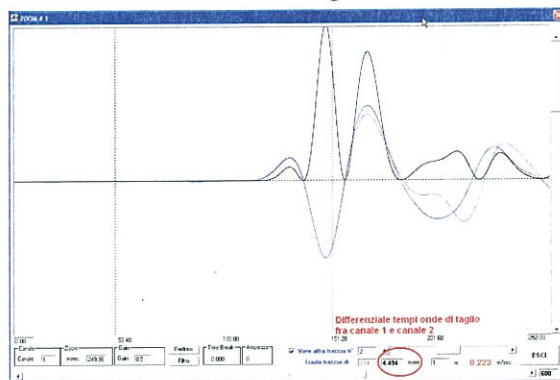
Tale tecnica viene normalmente impiegata allo scopo di aumentare il grado di affidabilità nella valutazione dei tempi.

Mediante una opzione, realizzata appositamente dalla Progeo, del software di lettura dei sismogrammi (Seisview), si selezionano le due tracce omologhe delle onde S realizzate alla stessa profondità ma con polarità o verso opposto le quali, una volta selezionate, vengono mostrate a monitor sovrapposte; lo step successivo consiste nel far "scorrere" sull'asse dei tempi (asse x) una delle due tracce omologhe e, variando

opportunamente l'ampiezza del segnale registrato (asse y), ricercare le migliori analogie di pattern tra le due tracce nel tratto più immediato (dopo la fase di quiete) relativo all'impulso ottenuto dallo shot in superficie.

In pratica, si procede con una serie di passaggi di Cross Correlazione a finestre variabili tra le due tracce selezionate allo scopo di individuare la massima rassomiglianza tra gli arrivi omologhi e determinare quindi la massima verosimiglianza tra le tracce stesse.

Nell'immagine riportata qui a lato è presentato un esempio di tale tecnica elaborativa riferito ad una finestra di analisi relativa alle onde di taglio; in ciano e magenta sono riportate le due tracce sismiche omologhe mentre la traccia in nero è il modulo della somma delle due precedenti e può essere utile nelle operazioni di cross correlazione.



#### **f) First break peak canali 1 e 10**

Letture 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 (merge) delle varie tracce sismiche vengono considerati i files dei canali 1 (assemblaggio onde P) e dei canali 10 (assemblaggio onde S).

#### **G) Muting**

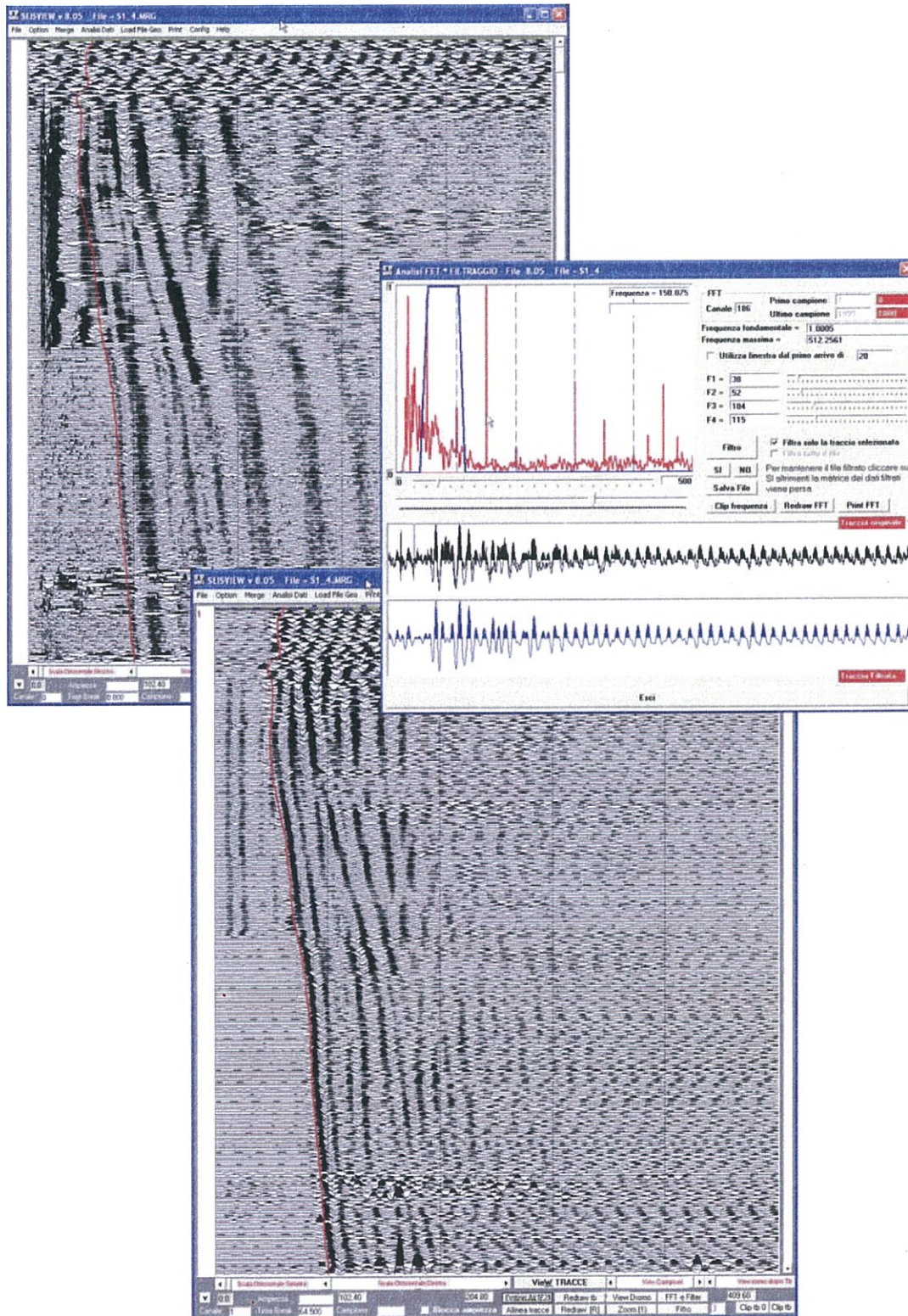
Operazione che riduce il segnale sismico dal tempo 0 al time break letto sulle singole tracce al passo (f) e che accentua visivamente i primi arrivi. Viene così ridotto il disturbo aleatorio costituito da rumore di fondo non eliminabile dall'operatore in fase di filtraggio (punto c) in quanto caratterizzato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

#### **H) Plot**

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

Alla pagina seguente è presentato un esempio di assemblaggio di tracce sismiche di una prova down hole prima e dopo la fase di analisi F.F.T. (operazione di filtraggio delle tracce sismografiche).





Processing sismogrammi

## 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 sono stati utilizzati programmi al calcolatore di utilità, originali della Progeo. Il procedimento di calcolo si sviluppa secondo i seguenti 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 1 metro)
- 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.

**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).

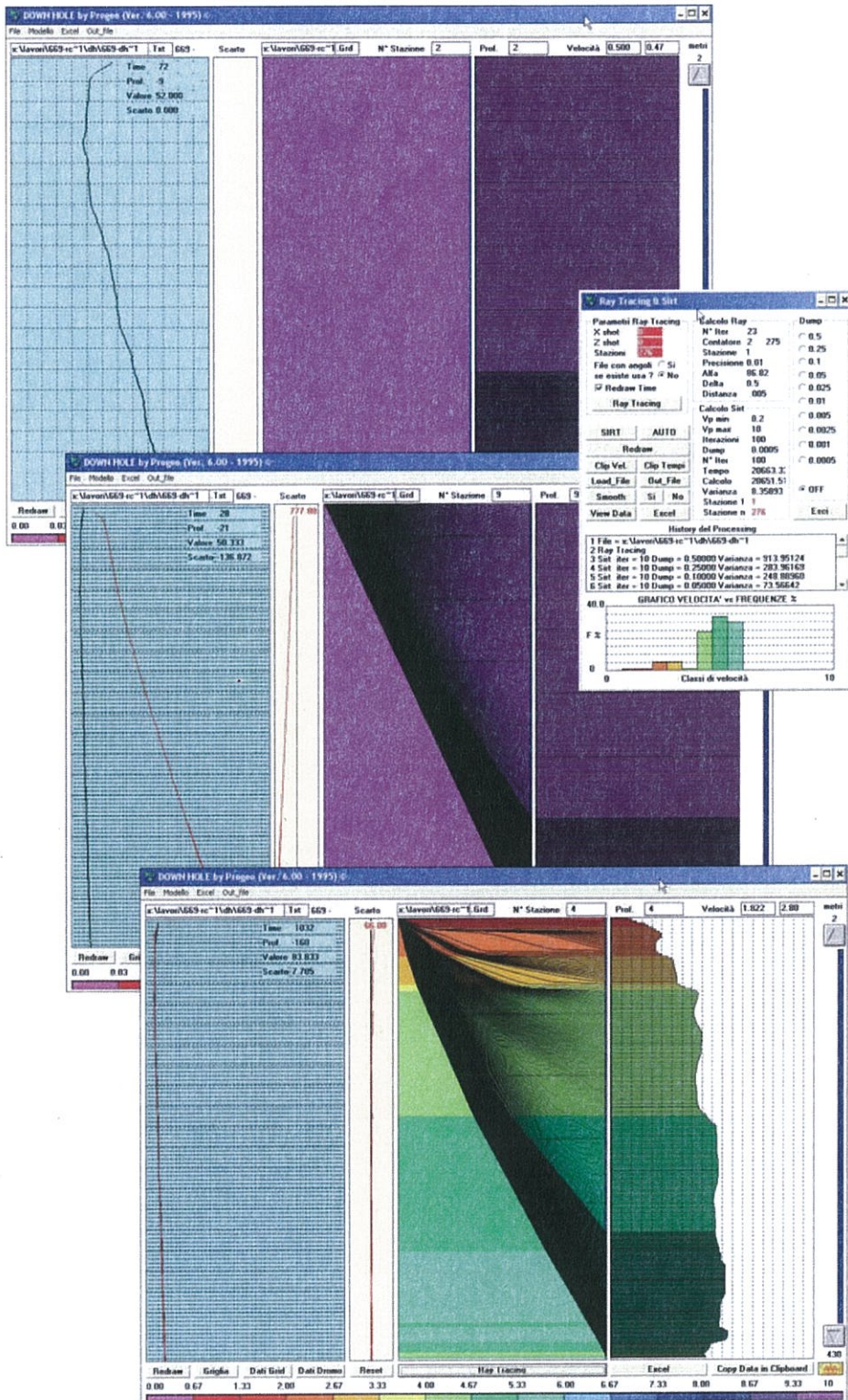
Il calcolo riprende perciò dallo step m) con l'input del nuovo modello di velocità e si procede fino a quando gli scarti e le varianze divengono minimi.

**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.

Alla pagina seguente è riportato un esempio dei vari step di analisi ed elaborazione dei dati.





Processing tomografico Down Hole

## Elaborazione dei log di Vs, Vp e dei moduli elastici dinamici

Dopo aver inserito nel programma elaborativo le geometrie di ricerca (distanza punto di energizzazione in superficie, coordinate della sonda in profondità) ed elaborato per ciascun canale di ricezione i tempi di arrivo dell'energia sismica prodotta dalla superficie topografica, sono state realizzate tabelle e diagrafie (per step di misura di metro) relative ai parametri sismici cinematici Vp e Vs ed ai corrispondenti moduli elastici dinamici che si possono ottenere dalle interrelazioni che collegano le velocità delle onde di compressione e quelle di taglio.

Infatti, per la caratterizzazione del sito e del terreno in esame, specialmente in termini di deformabilità dei materiali in associazione ai dati geotecnici e/o di prove di laboratorio su campioni prelevati nei sondaggi geognostici, può essere opportuno fornire al Committente altri parametri (oltre ai singoli valori di velocità sismica) che la prova down hole è in grado di fornire contemporaneamente alla rilevazione delle velocità di propagazione delle onde sismiche (Vp e Vs) nel sottosuolo.

Si tratta dei Moduli elastici dinamici del terreno i quali possono contribuire ad una migliore definizione dei carichi e delle spinte da parte del manufatto sul terreno di fondazione.

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  $(\nu)$
- Peso di volume  $(\gamma_{din})$  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 ( $\nu$ ), 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, pur essendo complicata una sua completa valutazione in quanto si riferisce ad un mezzo trifasico (solido + acqua + gas) di cui normalmente non sono note le percentuali, può presentare un range di variazione compreso tra un massimo di 0.5 ed un minimo di 0.

A livello indicativo il valore di 0.5 è caratteristico di materiali che si deformano senza cambiamenti di volume (es. acqua) e principalmente materiali saturi, 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  $V_p$  e di  $V_s$  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* ( $\gamma_{din}$ ) 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:

Modulo di Compressibilità

$$K_{\text{din}} = \frac{E_{\text{din}}}{3 \cdot (1 - 2 \cdot \nu)} \quad (K_{\text{din}}$$

in Kg/cm<sup>2</sup>).

I moduli dinamici così calcolati risultano comunque sempre più elevati di quelli statici forniti da prove di carico in situ in quanto gli impulsi sismici sono di breve durata e le sollecitazioni ad essi associate sono relativamente modeste e rientrano nel campo delle deformazioni istantanee.

Il modulo di taglio  $G_{\text{din}}$ , oltre ad essere utilizzato nel campo geotecnico per lo studio delle resistenze al taglio dei materiali detritici e lapidei, viene impiegato nello studio di microzonazioni sismiche in particolare nel calcolo delle seguenti relazioni relative alla valutazione dei parametri caratteristici sia di spessori (H) sia di interfacce stratigrafiche (nel qual caso vengono utilizzati i parametri elastici di  $G_{\text{din}}$  dei due strati):

Rigidità sismica  $R = \gamma_t \cdot V_s \equiv \delta_{\text{din}} \sqrt{\frac{G_{\text{din}}}{\delta_{\text{din}}}} \quad (\mathbf{R} \text{ in } t/(m^2 \cdot \text{sec}))$

Periodo proprio  $T = \frac{4H}{\sqrt{\frac{G_{\text{din}}}{\delta_{\text{din}}}}} \quad (\mathbf{T} \text{ in sec})$

Rapporto di Impedenza  $\lambda = \frac{\delta_{\text{din}1} \cdot G_{\text{din}1}}{\delta_{\text{din}2} \cdot G_{\text{din}2}} \quad (\lambda \text{ adimensionale})$

Il modulo di compressibilità  $K_{\text{din}}$  o di deformabilità volumetrica è confrontabile con quello ottenuto da prove di compressione idrostatica realizzabili mediante prove triassiali non drenate nella fase iniziale del carico (fase elastica) e quindi è comparabile al modulo idrostatico di compressibilità geotecnico  $B$  o, inversamente, al coefficiente o indice di compressibilità  $C_c$ .

### **Elaborati prove down hole**

Nella documentazione down hole riportata al termine della presente relazione sono presentate in 2 tavole distinte, le tabelle e i grafici relativi ai parametri geosismici e moduli elastici dinamici analizzati.

Sono rappresentate le tabelle numeriche dei parametri geofisici intergeofonici rilevati ogni 1 m di profondità ed intervallari medi per livelli stratigrafici principali con descrizione stratigrafica sintetica di riferimento.

Più in dettaglio, sono riportati in tabella numerica i seguenti dati distinti per colonna:

1. Profondità (step di misura 1 m);
2.  $V_p$  velocità onde di compressione (km/sec);
3.  $V_s$  velocità onde di taglio (km/sec);
4.  $\nu$  coefficiente di Poisson;
5.  $\gamma$  peso di volume ( $t/m^3$ );
6.  $E_{din}$  modulo di elasticità dinamico -Young- ( $kg/cm^2$ );
7.  $G_{din}$  modulo di taglio dinamico ( $kg/cm^2$ );
8.  $K_{din}$  modulo di compressibilità dinamico ( $kg/cm^2$ );

### Grafici

Sono rappresentati i grafici dei parametri elastici dinamici relativi ai valori di velocità delle onde di compressione (P) e di taglio (S) nonché ai valori dei moduli elastici dinamici (elasticità o di Young, taglio, compressibilità) e del coefficiente di Poisson; i log dei valori rilevati ogni metro di profondità lungo la verticale del foro sono riportati nel seguente ordine:

- velocità onde P e onde S;
- coefficiente di Poisson  $\nu$ ;
- modulo di elasticità  $E_{din}$ ;
- modulo di taglio  $G_{din}$ ;
- modulo di compressibilità  $K_{din}$ .

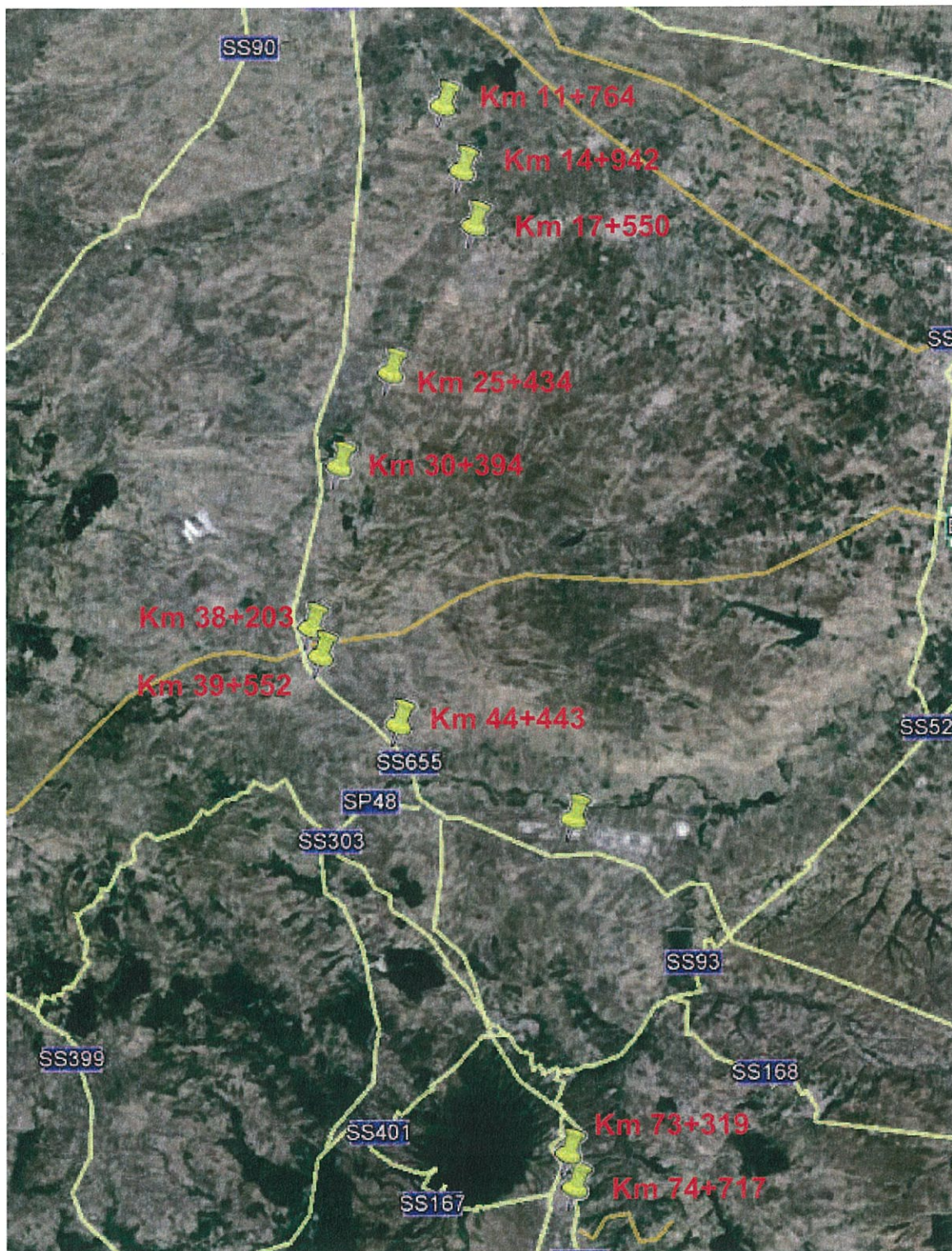
PROGEO S.R.L.

Dr. Gabriele Pulelli



## **ALLEGATI GRAFICI**





### LEGENDA



AREA SOGGETTA AD INDAGINE

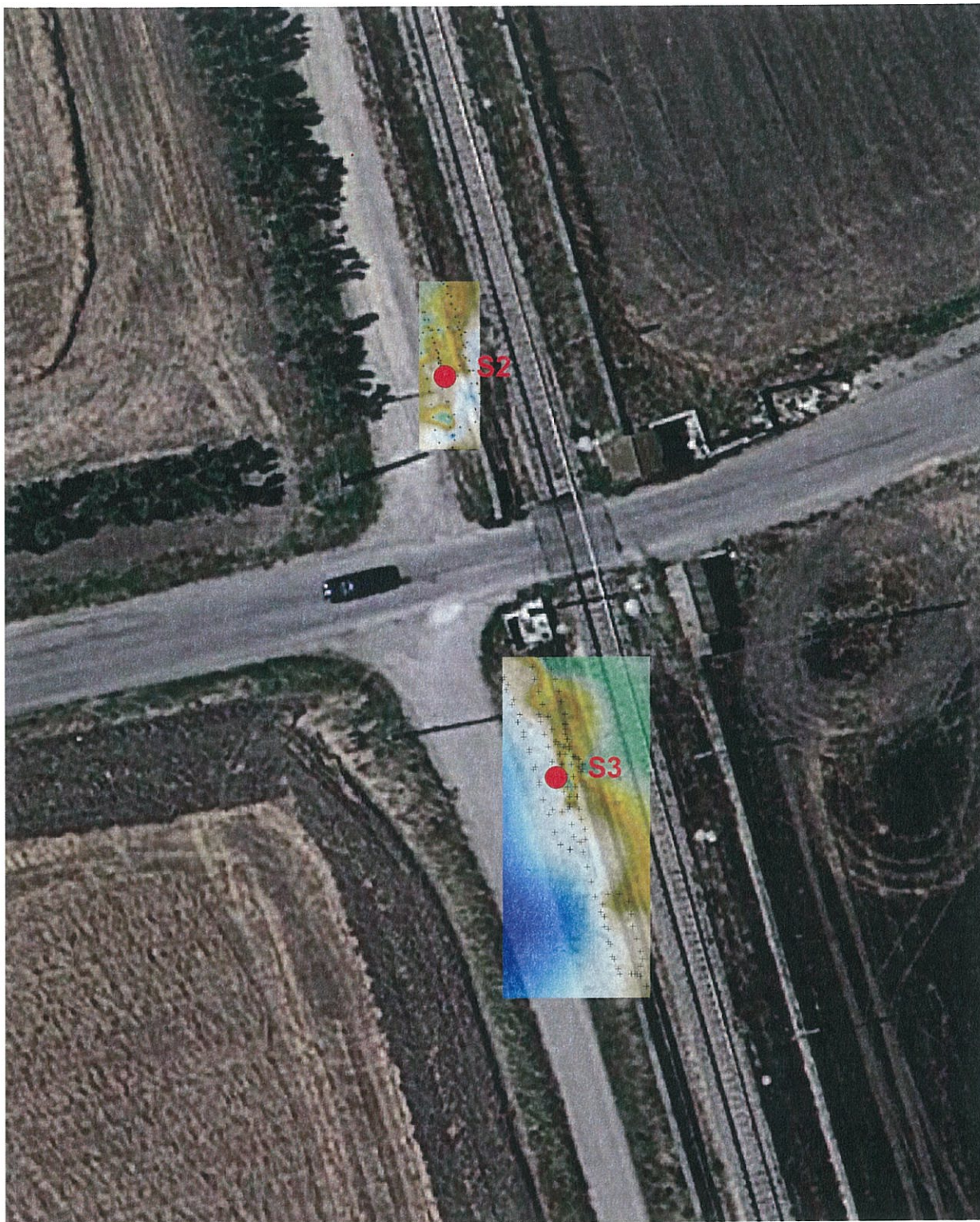


**PROGEO S.r.L.**  
Via Talete 10/8  
47100 Forlì  
tel. 0543 723580  
fax. 0543 721486  
mail. progeo@gmail.com  
www.progeo.info



Cliente:	ITALFERR
Lavoro:	INDAGINE ELETTROMAGNETICA LINEA POTENZA FOGGIA
Sito:	--
Titolo:	Ricerca masse metalliche
Data:	Dicembre 2014
Figura:	1
Scala:	-----





## LEGENDA

 **SONDAGGIO**

 **AREA INDAGATA**

**CONDUCIBILITA' ELETTRICA**



Probabilità presenza oggetti metallici  
bassa alta



**PRO GEO S.r.L.**

Via Talete 10/8  
47100 Forlì  
tel. 0543 723580  
fax. 0543 721486  
mail. [progeo@gmail.com](mailto:progeo@gmail.com)  
[www.progeo.info](http://www.progeo.info)

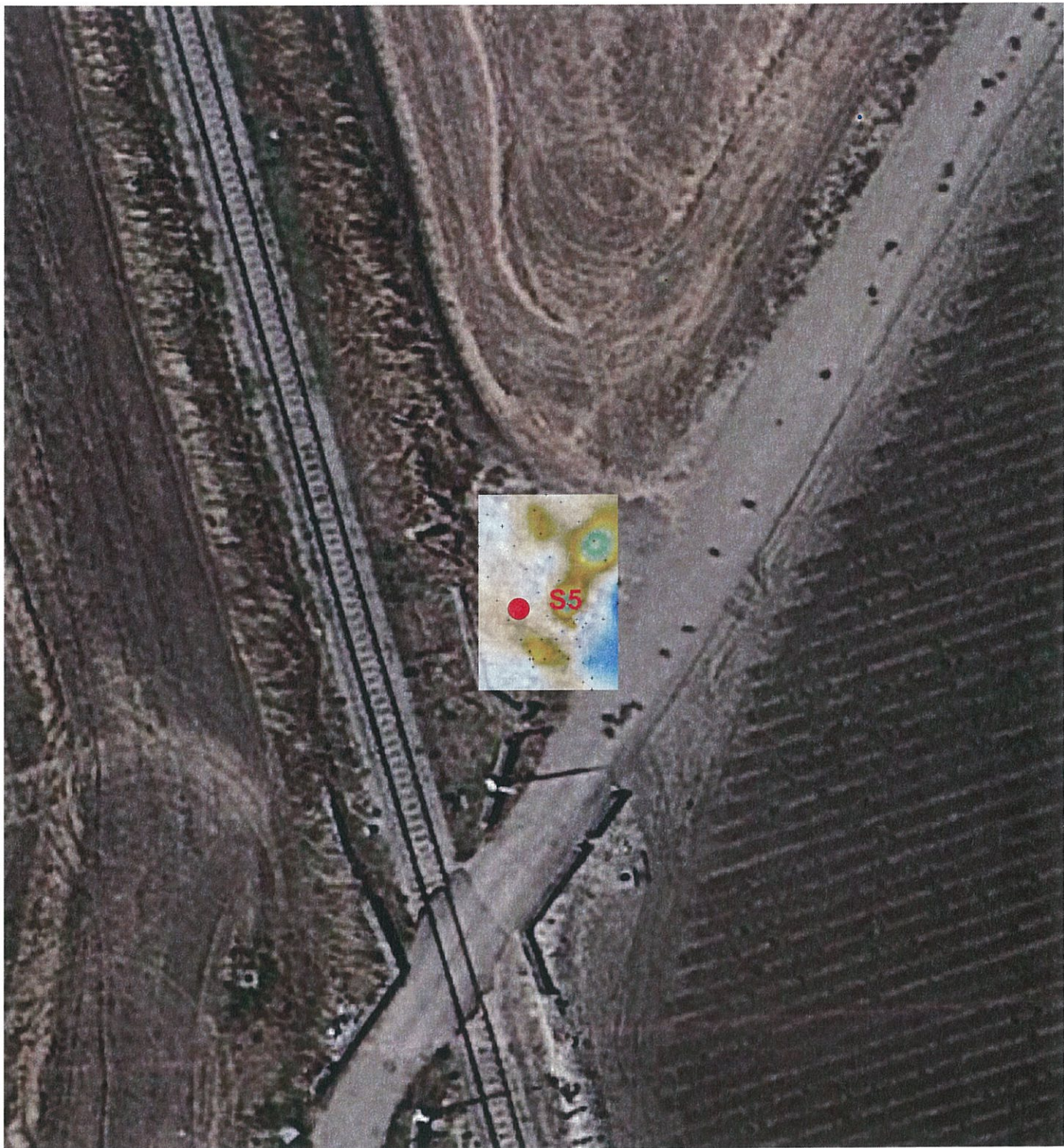


Cliente:	ITALFERR
Lavoro:	INDAGINE ELETTROMAGNETICA LINEA POTENZA FOGGIA
Sito:	Km 11+764
Titolo:	Posizionamenti indagini geognostiche
Data:	Dicembre 2014
Figura:	2
Scala:	----









**LEGENDA**

 **SONDAGGIO**

 **AREA INDAGATA**

**CONDUCIBILITA' ELETTRICA**



**Probabilità presenza oggetti metallici**  
bassa alta

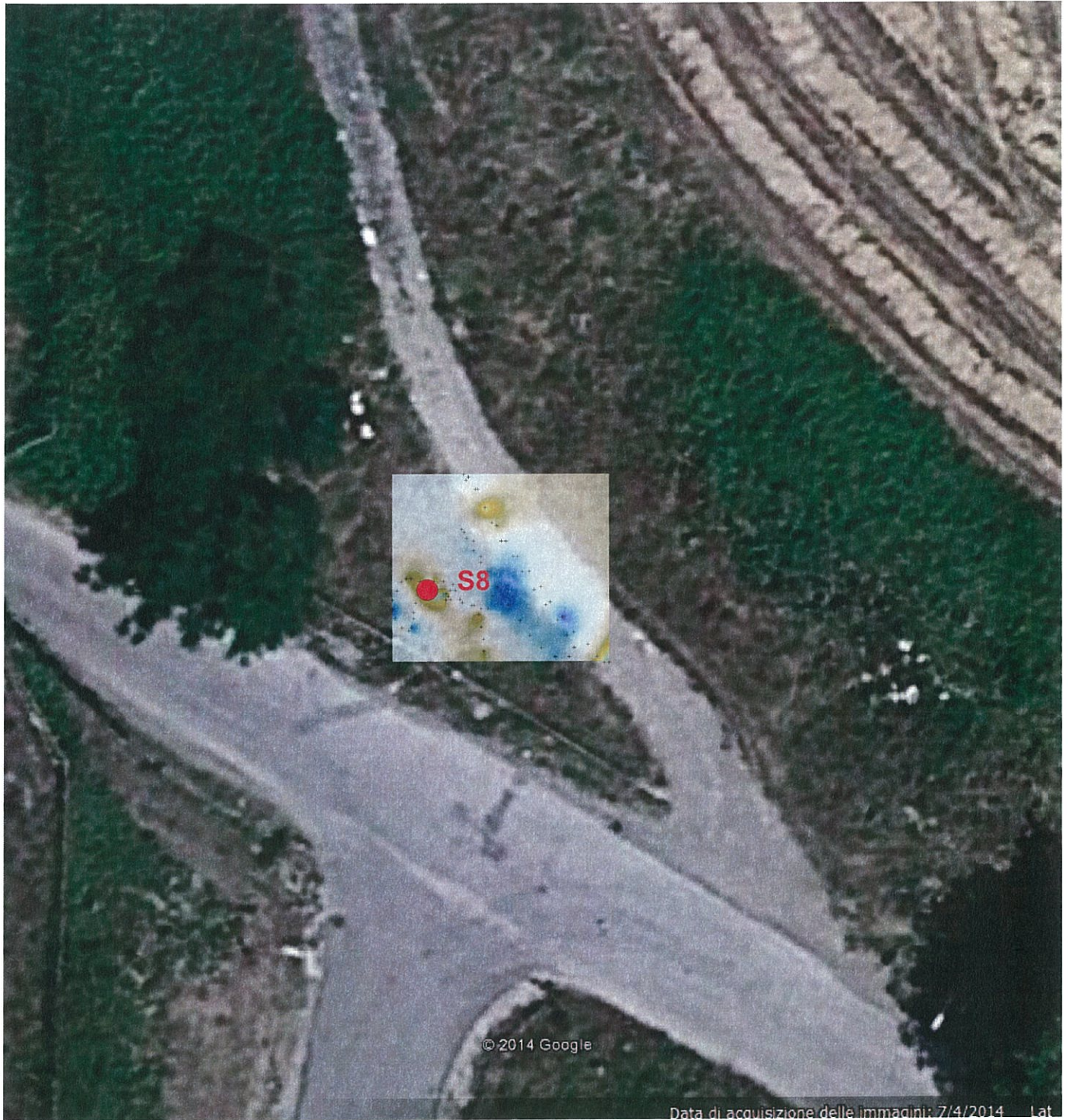


**PROGEO S.r.l.**  
Via Talete 10/8  
47100 Forlì  
tel. 0543 723580  
fax. 0543 721486  
mail. progeo@gmail.com  
www.progeo.info



Cliente:	ITALFERR
Lavoro:	INDAGINE ELETTROMAGNETICA LINEA POTENZA FOGGIA
Sito:	Km 14+942
Titolo:	Posizionamenti indagini geognostiche
Data:	Dicembre 2014
Figura:	4
Scala:	-----





© 2014 Google

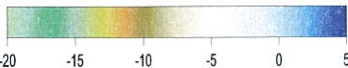
Data di acquisizione delle immagini: 7/4/2014 Lat

**LEGENDA**

 **SONDAGGIO**

 **AREA INDAGATA**

**CONDUCIBILITA' ELETTRICA**



Probabilità presenza oggetti metallici  
bassa alta

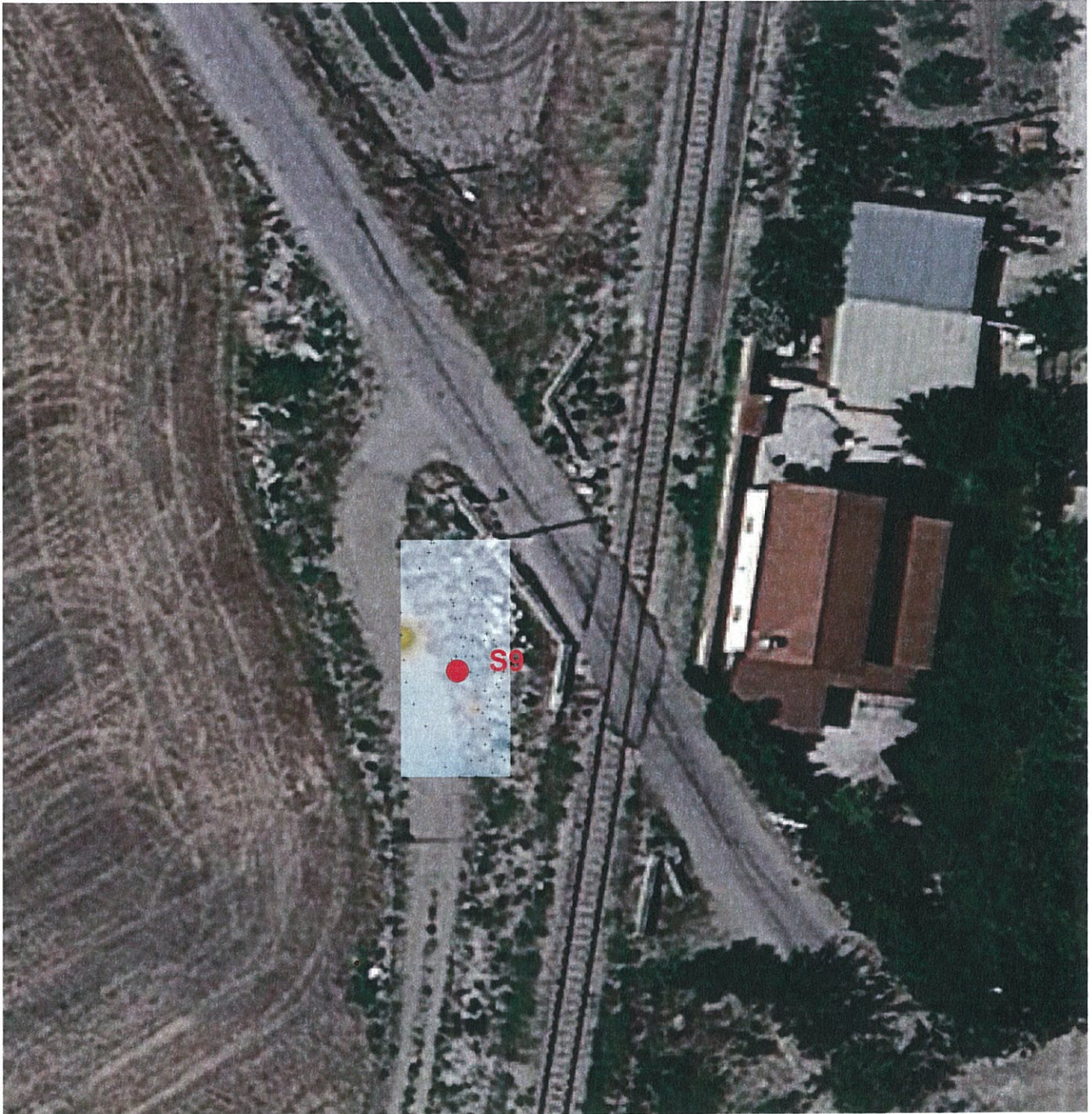


**PROGEO S.r.L.**  
Via Talete 10/8  
47100 Forlì  
tel. 0543 723580  
fax. 0543 721486  
mail. progeo@gmail.com  
www.progeo.info



Cliente:	ITALFERR
Lavoro:	INDAGINE ELETTROMAGNETICA LINEA POTENZA FOGGIA
Sito:	Km 74+895
Titolo:	Posizionamenti indagini geognostiche
Data:	Dicembre 2014
Figura:	5
Scala:	-----





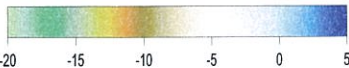
## LEGENDA

 **SONDAGGIO**



**AREA INDAGATA**

**CONDUCIBILITA' ELETTRICA**



**Probabilità presenza oggetti metallici**  
bassa alta



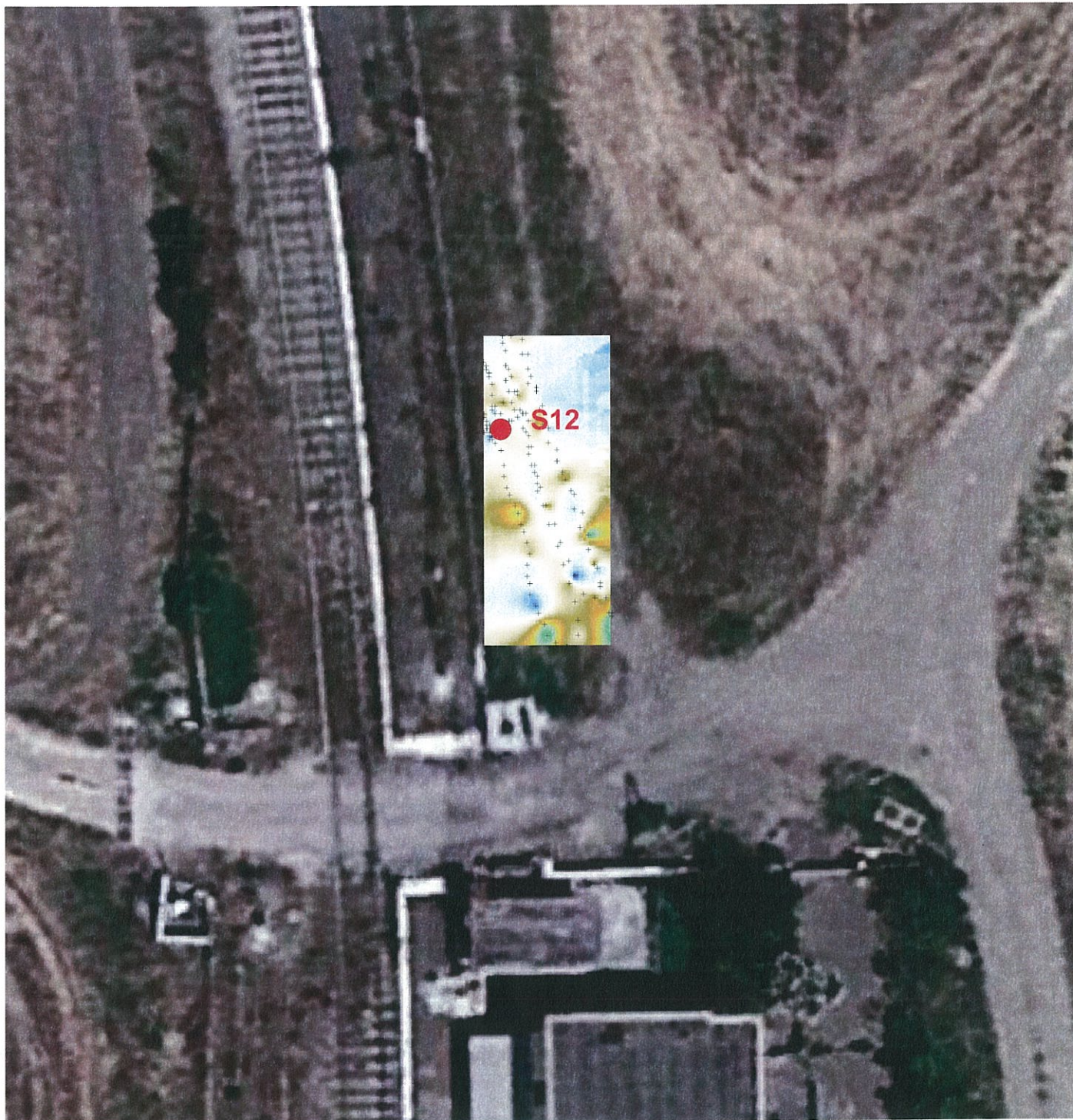
**PROGEO S.r.L.**

Via Talete 10/8  
47100 Forlì  
tel. 0543 723580  
fax. 0543 721486  
mail. [progeo@gmail.com](mailto:progeo@gmail.com)  
[www.progeo.info](http://www.progeo.info)



Cliente:	ITALFERR
Lavoro:	INDAGINE ELETTROMAGNETICA LINEA POTENZA FOGGIA
Sito:	Km 17+550
Titolo:	Posizionamenti indagini geognostiche
Data:	Dicembre 2014
Figura:	6
Scala:	----





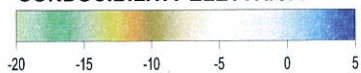
## LEGENDA

 **SONDAGGIO**



**AREA INDAGATA**

**CONDUCIBILITA' ELETTRICA**



Probabilità presenza oggetti metallici  
bassa alta

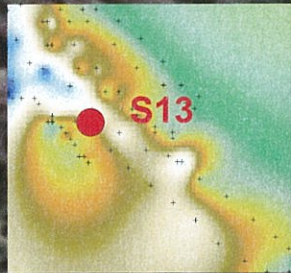
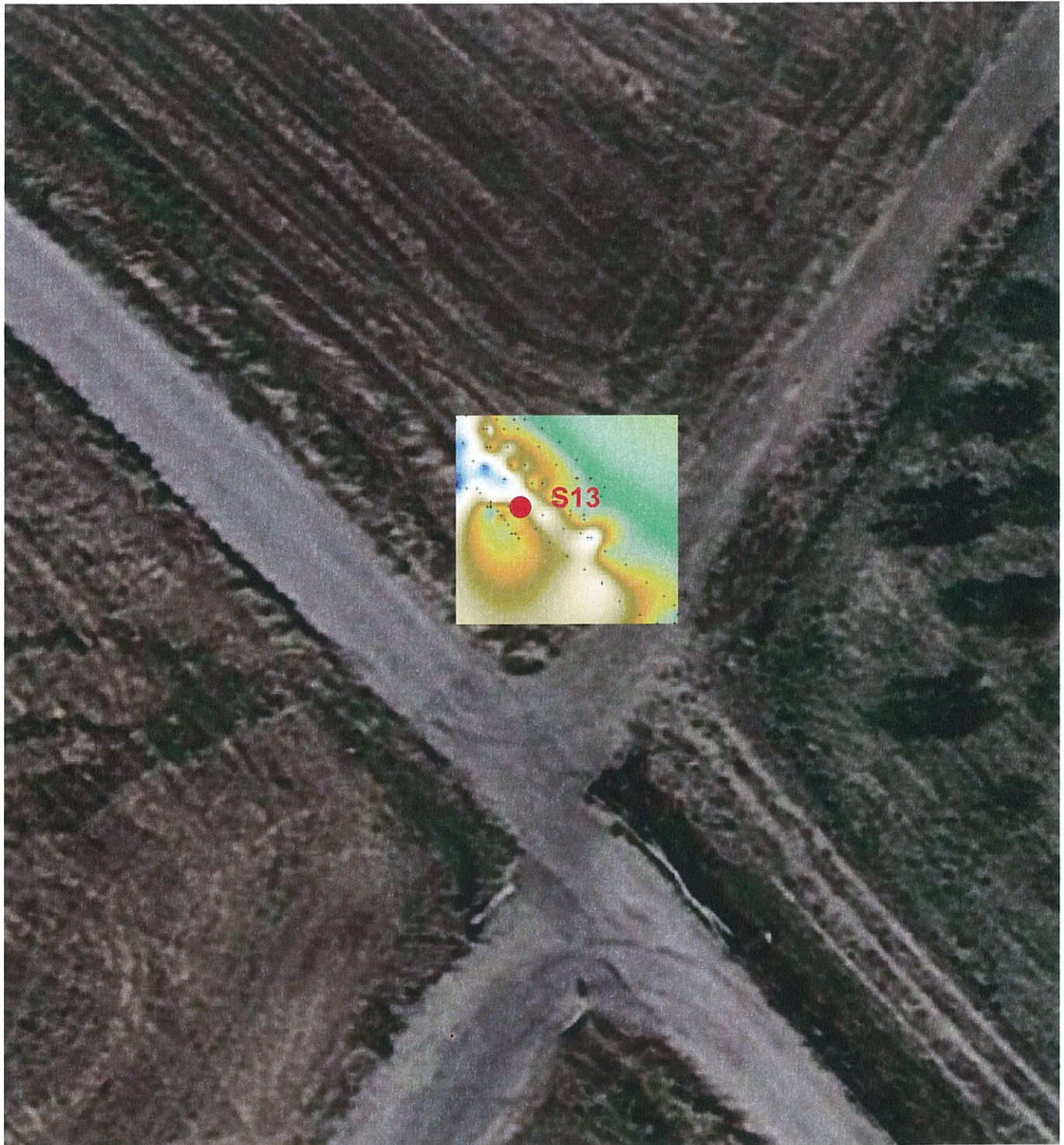


**PROGEO S.r.l.**  
Via Talete 10/8  
47100 Forlì  
tel. 0543 723580  
fax. 0543 721486  
mail. progeo@gmail.com  
www.progeo.info



Cliente:	ITALFERR
Lavoro:	INDAGINE ELETTROMAGNETICA LINEA POTENZA FOGGIA
Sito:	Km 44+443
Titolo:	Posizionamenti indagini geognostiche
Data:	Dicembre 2014
Figura:	7
Scala:	-----





## LEGENDA

 **SONDAGGIO**



**AREA INDAGATA**

**CONDUCIBILITA' ELETTRICA**



Probabilità presenza oggetti metallici  
bassa alta

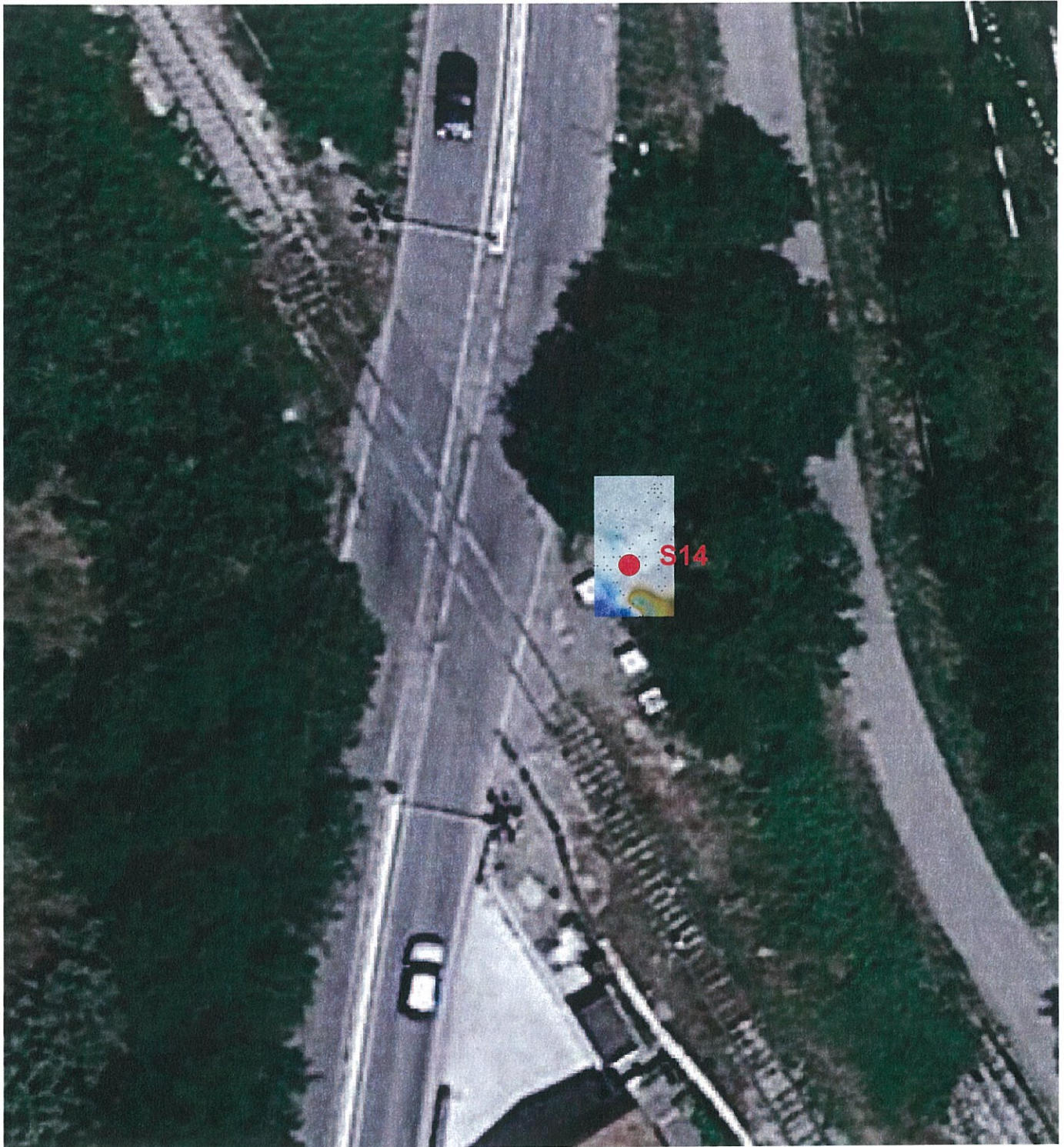


**PROGEO S.r.L.**  
Via Talete 10/8  
47100 Forlì  
tel. 0543 723580  
fax. 0543 721486  
mail.progeo@gmail.com  
www.progeo.info



Cliente:	ITALFERR
Lavoro:	INDAGINE ELETTROMAGNETICA LINEA POTENZA FOGGIA
Sito:	Km 25+434
Titolo:	Posizionamenti indagini geognostiche
Data:	Dicembre 2014
Figura:	8
Scala:	----





## LEGENDA

 **SONDAGGIO**



**AREA INDAGATA**

**CONDUCIBILITA' ELETTRICA**

Probabilità presenza oggetti metallici  
bassa alta



**PROGEO S.r.l.**  
Via Talete 10/8  
47100 Forlì  
tel. 0543 723580  
fax. 0543 721486  
mail. [progeo@gmail.com](mailto:progeo@gmail.com)  
[www.progeo.info](http://www.progeo.info)



Cliente:	ITALFERR
Lavoro:	INDAGINE ELETTROMAGNETICA LINEA POTENZA FOGGIA
Sito:	Km 73+319
Titolo:	Posizionamenti indagini geognostiche
Data:	Dicembre 2014
Figura:	9
Scala:	-----





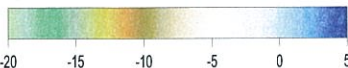
## LEGENDA

 **SONDAGGIO**



**AREA INDAGATA**

**CONDUCIBILITA' ELETTRICA**



Probabilità presenza oggetti metallici  
bassa alta



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



Cliente:	ITALFERR
Lavoro:	INDAGINE ELETTROMAGNETICA LINEA POTENZA FOGGIA
Sito:	Km 30+356
Titolo:	Posizionamenti indagini geognostiche
Data:	Dicembre 2014
Figura:	10
Scala:	----









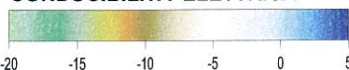
## LEGENDA

 **SONDAGGIO**



**AREA INDAGATA**

**CONDUCIBILITA' ELETTRICA**



Probabilità presenza oggetti metallici  
bassa alta

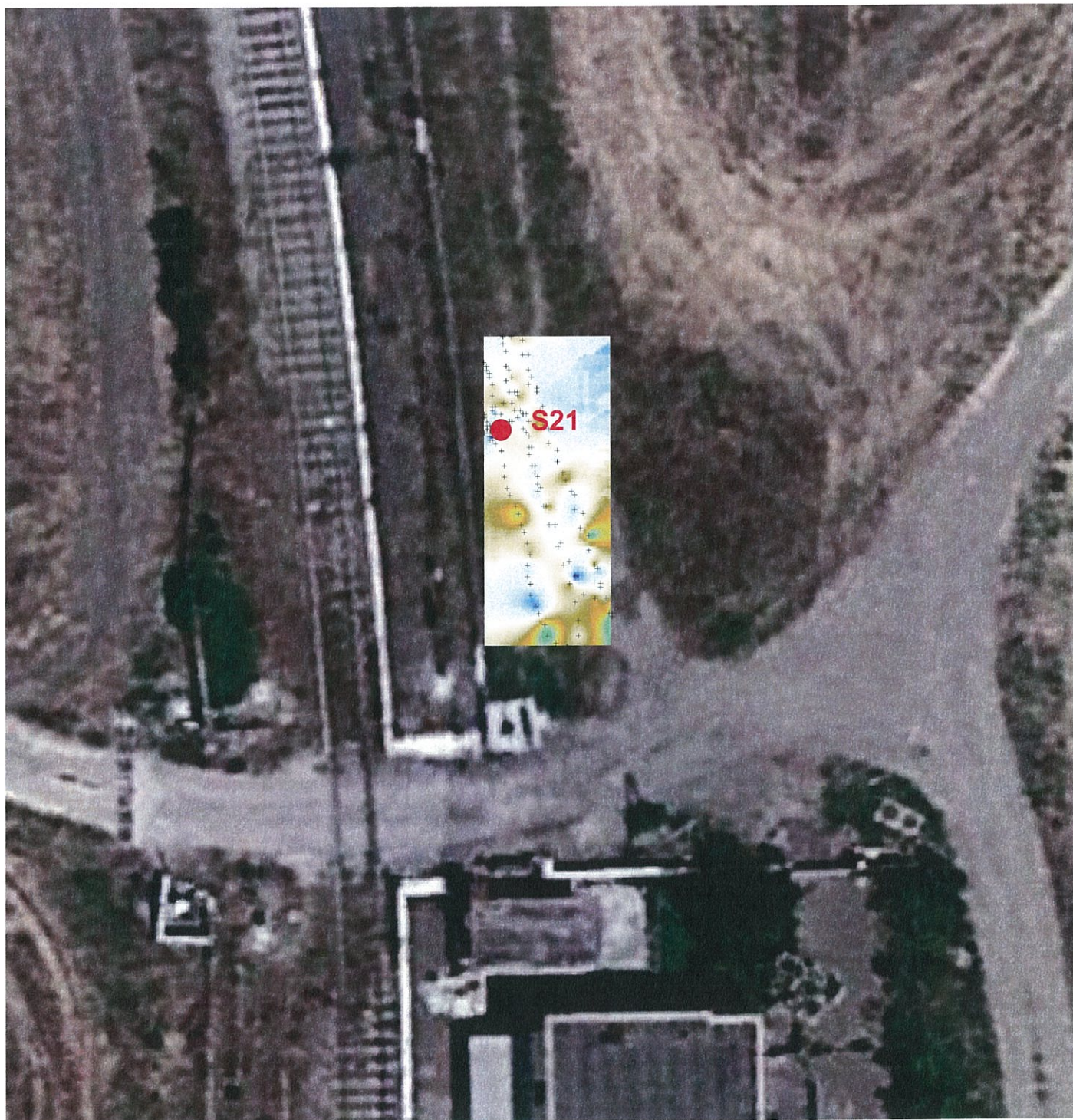


**PROGEO S.r.L.**  
Via Talete 10/6  
47100 Forlì  
tel. 0543 723580  
fax. 0543 721486  
mail.progeo@gmail.com  
www.progeo.info





Cliente:	ITALFERR
Lavoro:	INDAGINE ELETTROMAGNETICA LINEA POTENZA FOGGIA
Sito:	Km 38+203
Titolo:	Posizionamenti indagini geognostiche
Data:	Dicembre 2014
Figura:	12
Scala:	----






**LEGENDA**

 **SONDAGGIO**

 **AREA INDAGATA**

**CONDUCIBILITA' ELETTRICA**



Probabilità presenza oggetti metallici  
bassa alta

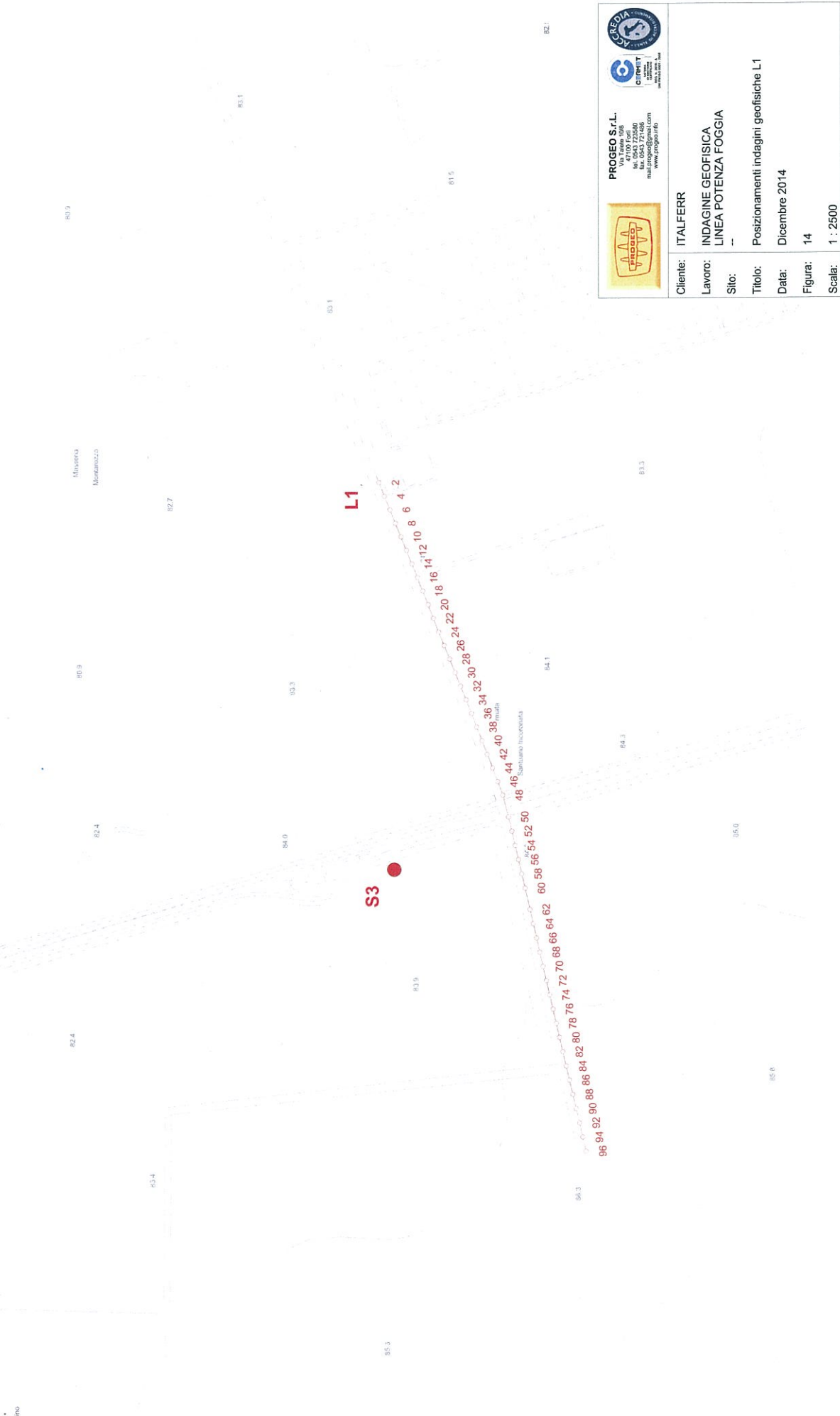
		<p><b>PROGEO S.r.L.</b> Via Talete 10/B 47100 Forlì tel. 0543 723580 fax. 0543 721486 mail. progeo@gmail.com www.progeo.info</p>		 	
Cliente:	ITALFERR				
Lavoro:	INDAGINE ELETTROMAGNETICA LINEA POTENZA FOGGIA				
Sito:	Km 44+443				
Titolo:	Posizionamenti indagini geognostiche				
Data:	Dicembre 2014				
Figura:	13				
Scala:	----				



**Legenda**

- Sezioni sismiche tomografiche
- 120 Stazioni geofoniche

File = 1231-36 - Planimetria indagini geofisiche L1.srf



	<b>PROGEO S.r.l.</b> Via S. Maria 108 47100 Forlì Tel. 0543 725088 Fax 0543 725089 mail: progeo@gmail.com www.progeo.info
	<b>CENEDIA</b> Consorzio Nazionale per lo Studio e l'Indagine Geofisica
	<b>CIRIPIET</b> Consorzio Italiano per lo Studio e l'Indagine Geofisica
<b>Cliente:</b>	ITALFERR
<b>Lavoro:</b>	INDAGINE GEOFISICA LINEA POTENZA FOGGIA
<b>Sito:</b>	--
<b>Titolo:</b>	Posizionamenti indagini geofisiche L1
<b>Data:</b>	Dicembre 2014
<b>Figura:</b>	14
<b>Scala:</b>	1 : 2500



### SEZIONE SISMICA TOMOGRAFICA 1 [Velocità onde di compressione]

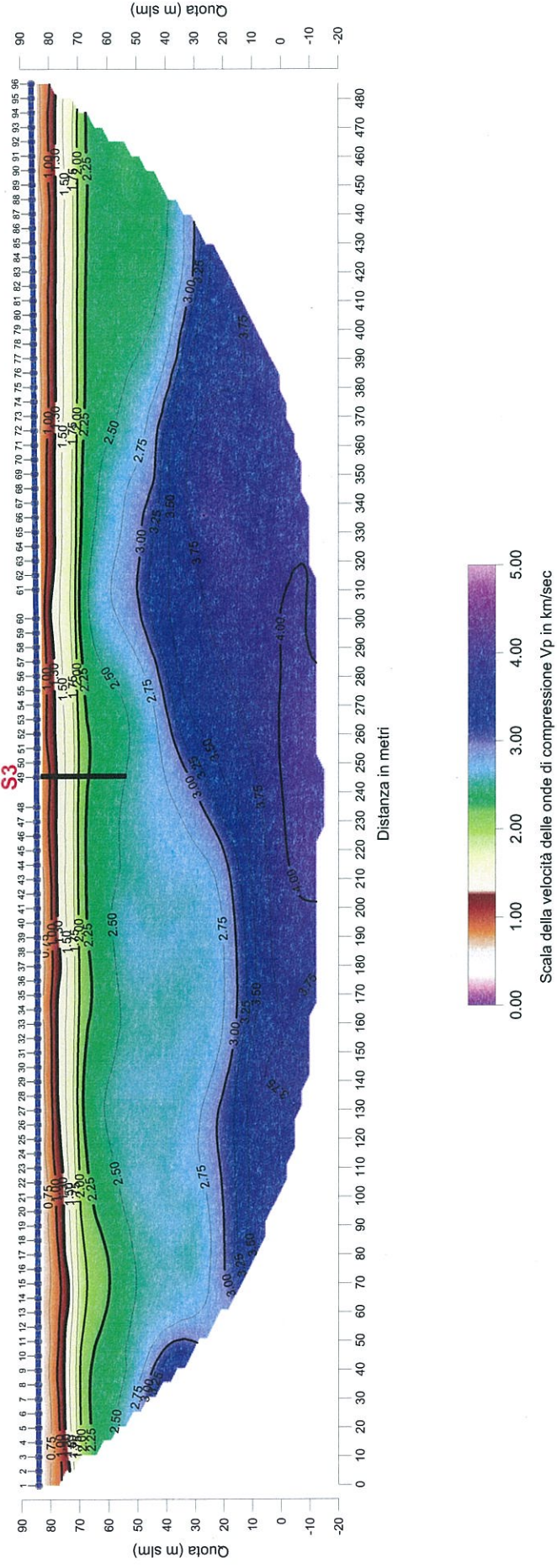


Fig. 15

Scale 1 : 1500



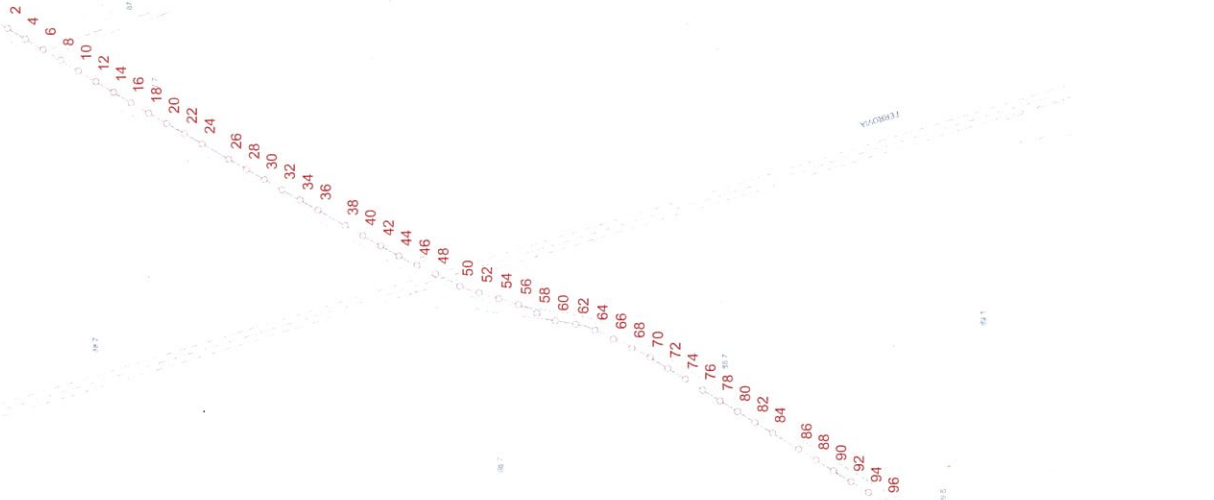


**Legenda**

- Sezioni sismiche tomografiche
- 120 Stazioni geofoniche

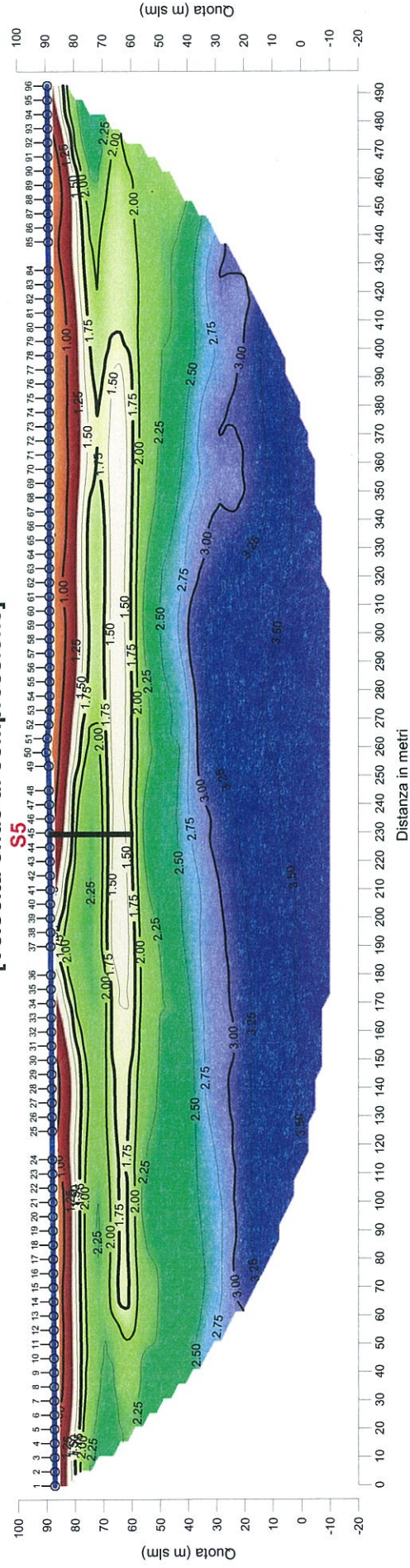
File = 1231-36 - Planimetria indagini geofisiche L2.srf

**L2**



 <b>PROGEO S.r.l.</b> Via... 47100 Forlì Tel. 0543 724986 mha.progeo@gmail.com www.progeo.info	 <b>CIRENET</b> CIRCOLO ITALIANO RISERCHISTE ELETTRICHE N. 00120000100	 <b>ACREDIA</b> CIRCOLO ITALIANO RISERCHISTE ELETTRICHE N. 00120000100
<b>Cliente:</b> ITALFERR	<b>Lavoro:</b> INDAGINE GEOFISICA LINEA POTENZA FOGGIA	
<b>Sito:</b> ---	<b>Titolo:</b> Posizionamenti indagini geofisiche L2	
<b>Data:</b> Dicembre 2014	<b>Figura:</b> 16	
<b>Scala:</b> 1 : 2500		

## SEZIONE SISMICA TOMOGRAFICA 2 [Velocità onde di compressione]



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

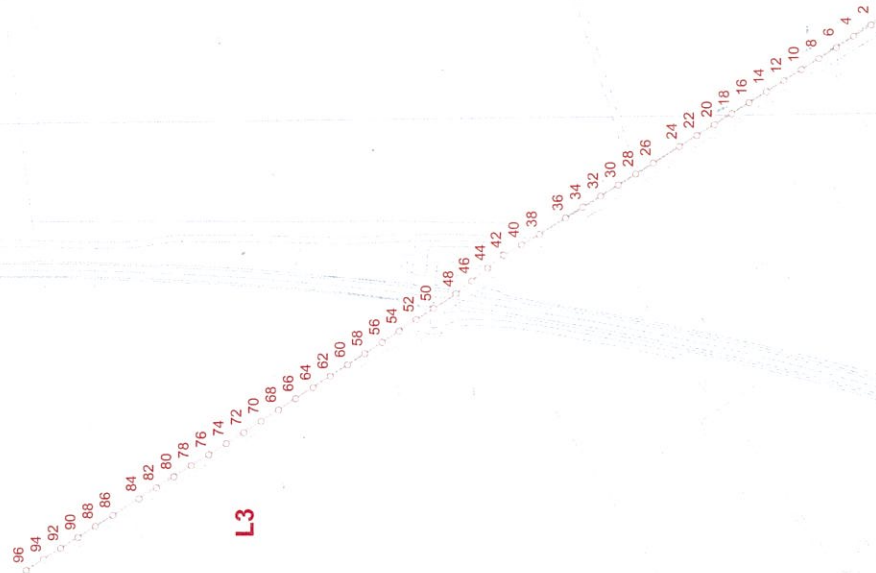
Fig. 17



**Legenda**

- Sezioni sismiche tomografiche
- 12 O Stazioni geofoniche

File = 1231-36 - Planimetria indagini geofisiche L3.srf



	<b>PROCEO S.r.L.</b> Via S. Maria 36 47100 Fano Tel. 0543 721486 mail: proceo@gmail.com www.proceo.it		
<b>Cliente:</b>	ITALFERR		
<b>Lavoro:</b>	INDAGINE GEOFISICA LINEA POTENZA FOGGIA		
<b>Sito:</b>	---		
<b>Titolo:</b>	Posizionamenti indagini geofisiche L3		
<b>Data:</b>	Dicembre 2014		
<b>Figura:</b>	18		
<b>Scala:</b>	1 : 2500		

### SEZIONE SISMICA TOMOGRAFICA 3 [Velocità onde di compressione]

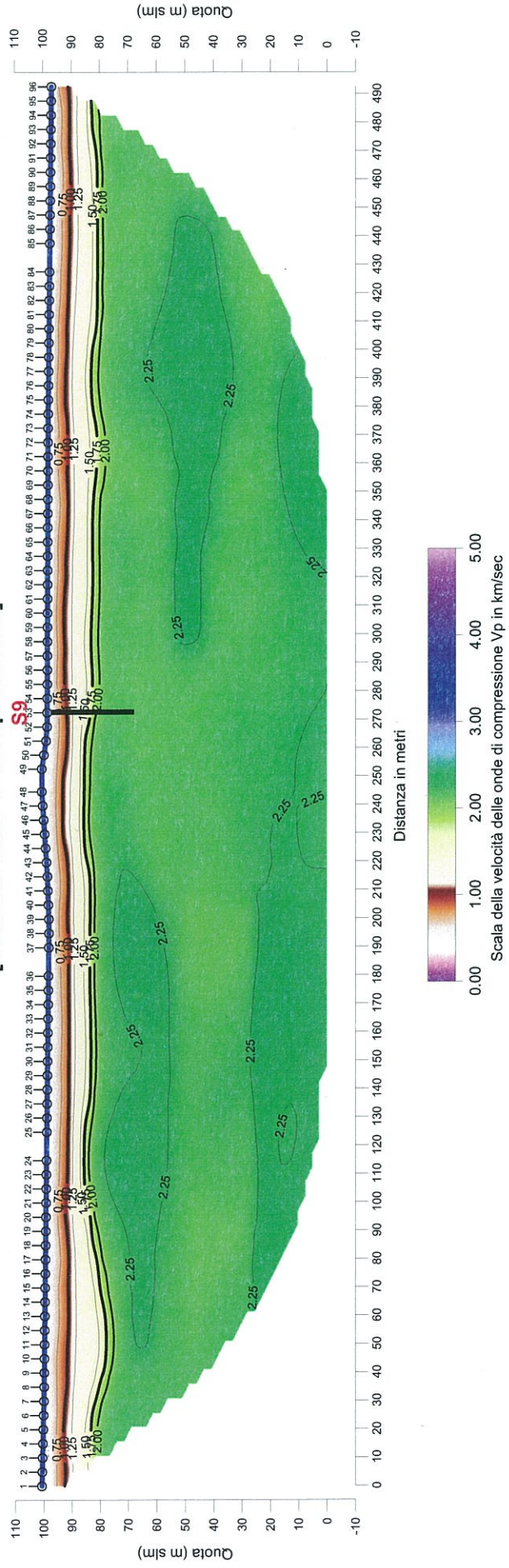


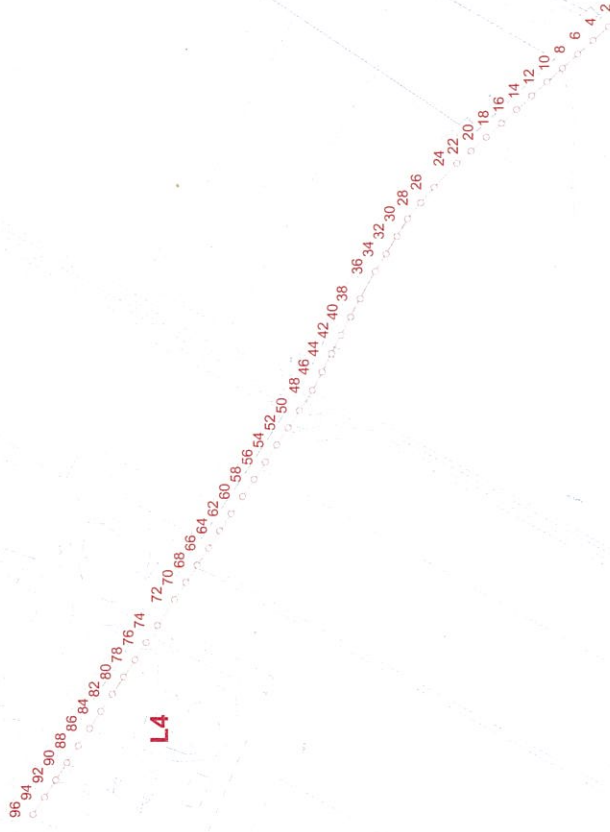
Fig. 19



Legenda

- Sezioni sismiche tomografiche
- 12 O Stazioni geofoniche

File = 1231-36 - Planimetria indagini geofisiche L4.srf



	<b>PROCEO S.r.L.</b> Via S. Maria 10A 47100 Forlì Tel. 0543 721896 mail: proceo@proceo.com www.proceo.it		
<b>Cliente:</b>	ITALFERR		
<b>Lavoro:</b>	INDAGINE GEOFISICA LINEA POTENZA FOGGIA		
<b>Sito:</b>	--		
<b>Titolo:</b>	Posizionamenti indagini geofisiche L4		
<b>Data:</b>	Dicembre 2014		
<b>Figura:</b>	20		
<b>Scala:</b>	1 : 2500		



### SEZIONE SISMICA TOMOGRAFICA 4 [Velocità onde di compressione]

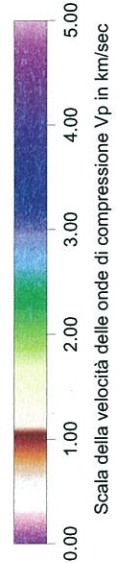
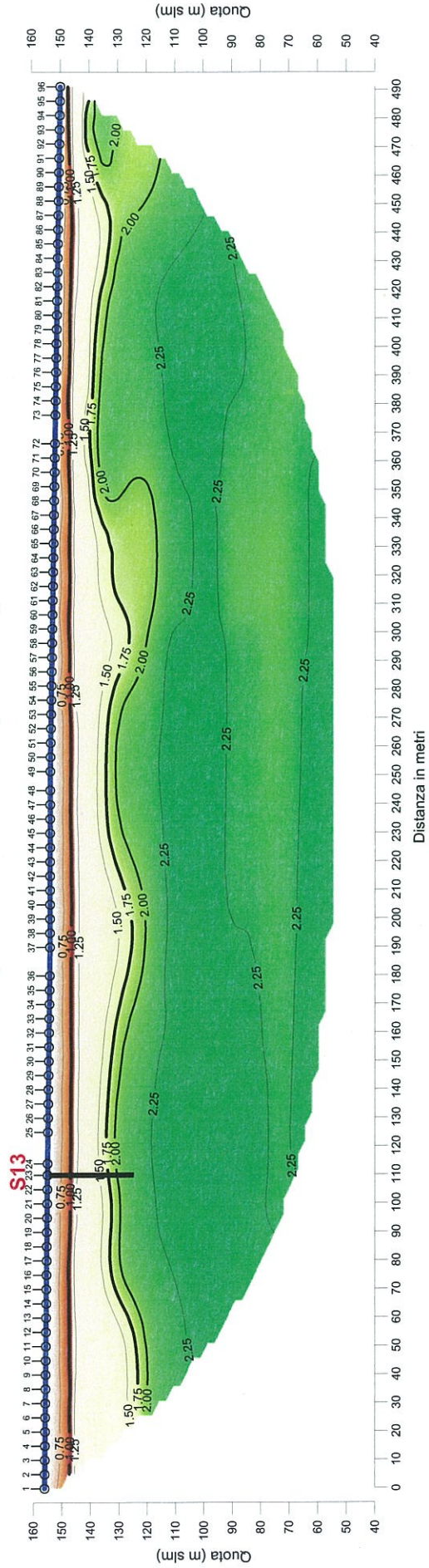


Fig. 21

Scale 1 : 1500

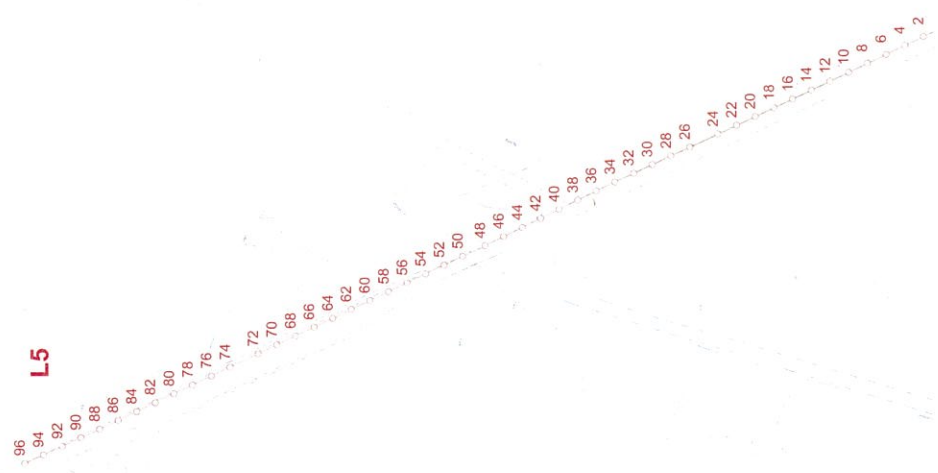




**Legenda**

- Sezioni sismiche tomografiche
- 12 ○ Stazioni geofoniche

File = 1231-36 - Planimetria indagini geofisiche L5.srf



	
<b>PROGEO S.r.l.</b> Via Lamezia, 109 47100 Fossò Tel. 0543 721486 fax 0543 721486 mailto:info@proggeo.com www.proggeo.com	
<b>Cliente:</b> ITALFERR	<b>Lavoro:</b> INDAGINE GEOFISICA LINEA POTENZA FOGGIA
<b>Sito:</b> ---	<b>Titolo:</b> Posizionamenti indagini geofisiche L5
<b>Data:</b> Dicembre 2014	<b>Figura:</b> 22
<b>Scala:</b> 1 : 2500	

### SEZIONE SISMICA TOMOGRAFICA L5 [Velocità onde di compressione]

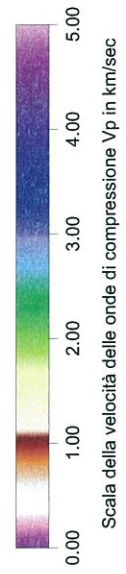
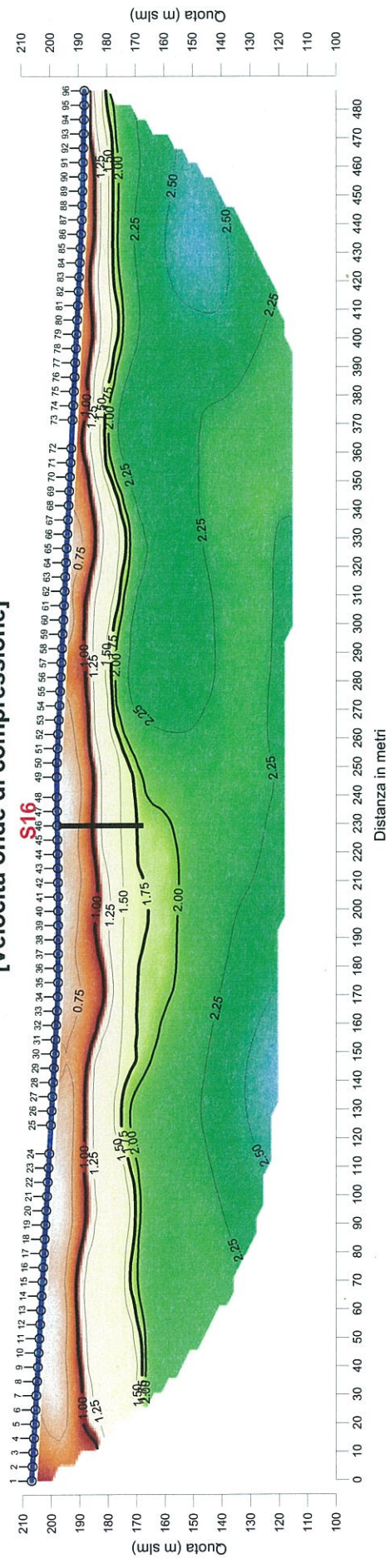


Fig. 23

Scale 1 : 1500



Legenda

— Sezioni sismiche tomografiche

12 O Stazioni geofoniche

File = 1231-36 - Planimetria indagini geofisiche L6-66.srf



PROCEO s.r.l.  
Via  
47100 Fano  
Tel. 0543 724696  
Fax 0543 724696  
mail.proceo@gmail.com  
www.proceo.it





Cliente:	ITALFERR
Lavoro:	INDAGINE GEOFISICA LINEA POTENZA FOGGIA
Sito:	---
Titolo:	Posizionamenti indagini geofisiche L6-66
Data:	Dicembre 2014
Figura:	24
Scala:	1 : 2500







**Legenda**

-  Sezioni sismiche tomografiche
-  Stazioni geofoniche



File = 1231-36 - Planimetria indagini geofisiche L7.srf



**PROGEO S.r.l.**  
 Via F.lli Rossini 15  
 71100 Foggia  
 Tel. 0883 723286  
 mail: proggeo@gmail.com  
 www.proggeo.info



Cliente:	ITALFERR
Lavoro:	INDAGINE GEOFISICA LINEA POTENZA FOGGIA
Sito:	---
Titolo:	Posizionamenti indagini geofisiche L7
Data:	Dicembre 2014
Figura:	26
Scala:	1 : 2500



## SEZIONE SISMICA TOMOGRAFICA L7 [Velocità onde di compressione]

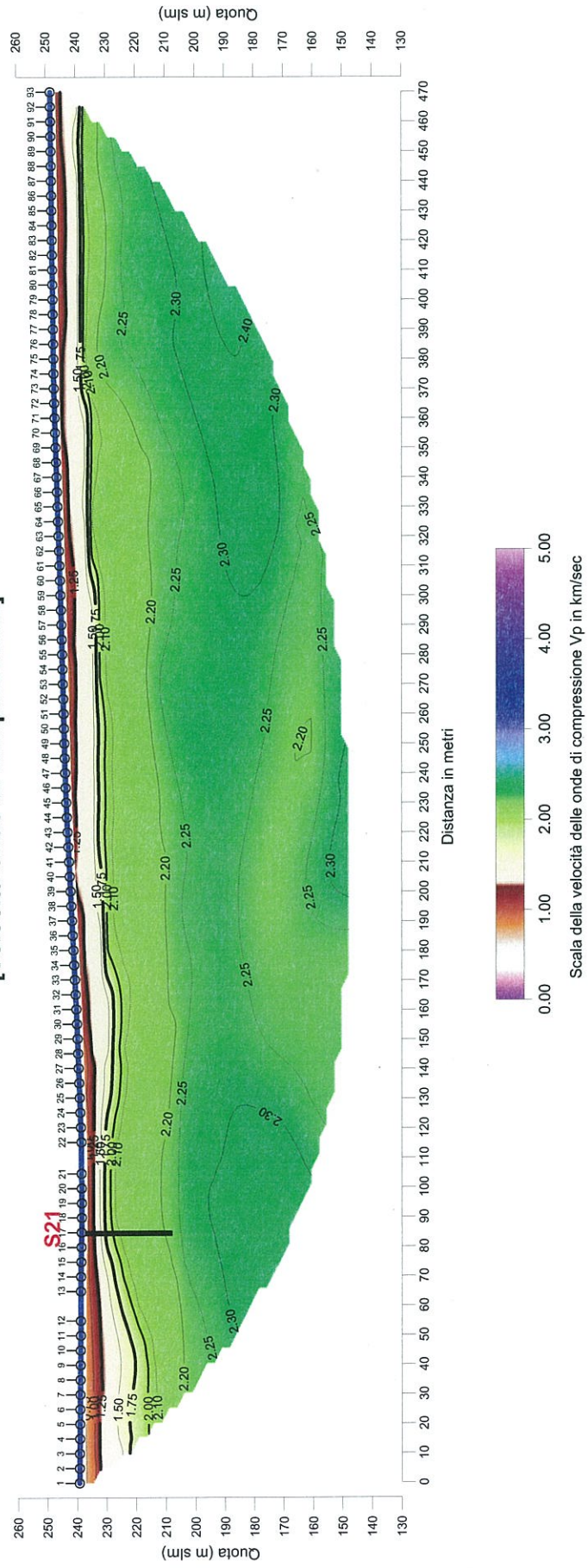


Fig. 27

Scale 1 : 1500

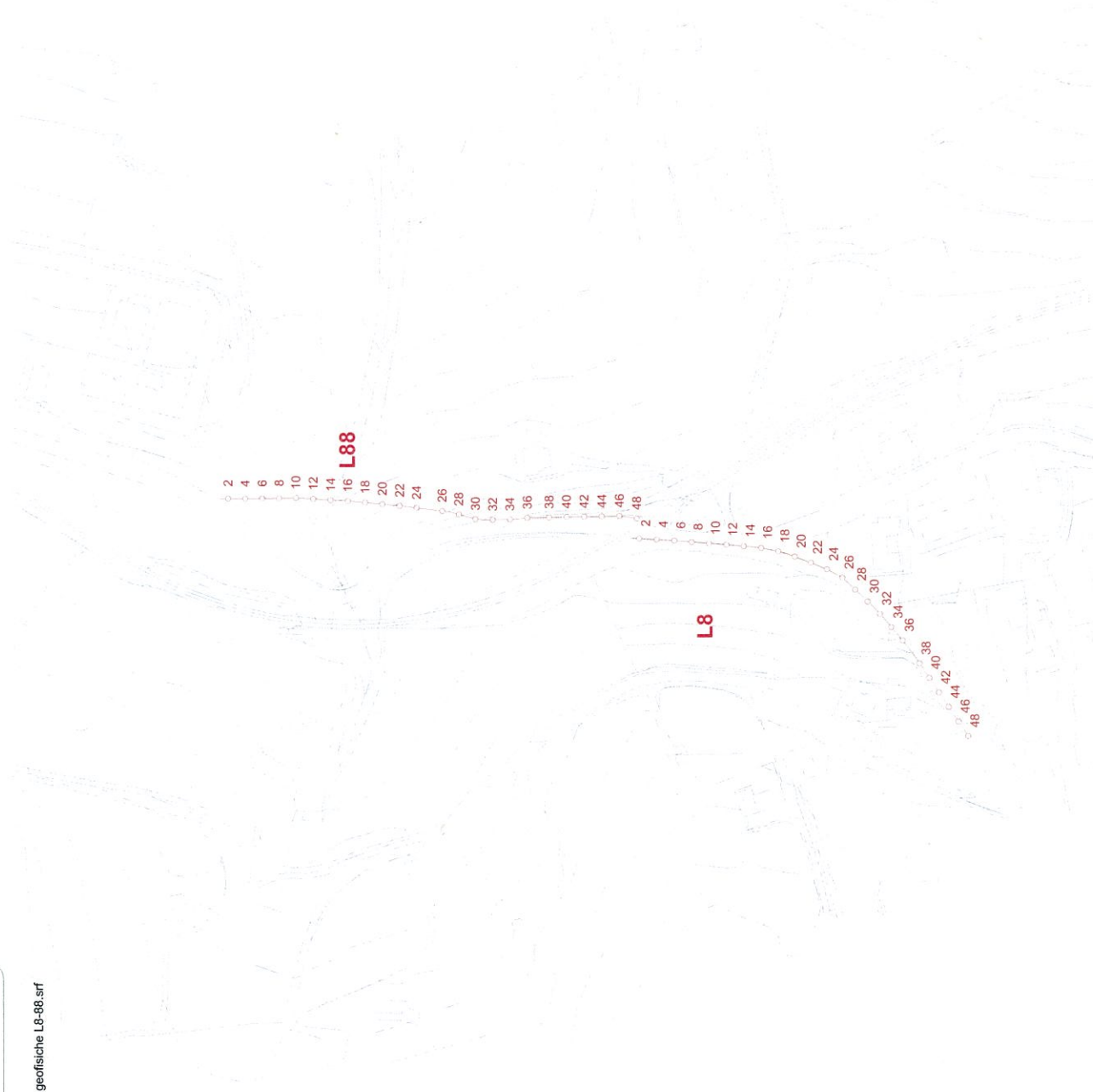


Legenda

Sezioni sismiche tomografiche

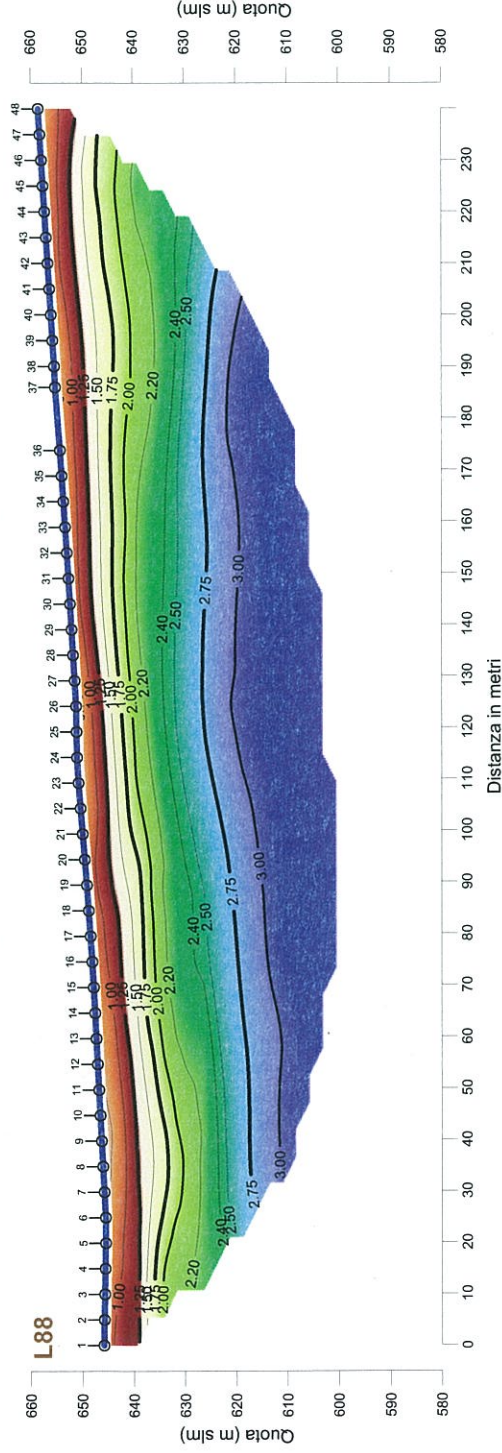
12 O Stazioni geofoniche

File = 1231-36 - Planimetria indagini geofisiche L8-88.srf



	<b>PROGEO S.r.l.</b> Via F.lli Rossini 18 47100 Foggia Tel. 0843 732589 mail: proggeo@gmail.com www.proggeo.info		
<b>Cliente:</b>	ITALFERR		
<b>Lavoro:</b>	INDAGINE GEOFISICA LINEA POTENZA FOGGIA		
<b>Sito:</b>	--		
<b>Titolo:</b>	Posizionamenti indagini geofisiche L8-88		
<b>Data:</b>	Dicembre 2014		
<b>Figura:</b>	28		
<b>Scala:</b>	1 : 2500		

### SEZIONE SISMICA TOMOGRAFICA 8 [Velocità onde di compressione]



### SEZIONE SISMICA TOMOGRAFICA 88 [Velocità onde di compressione]

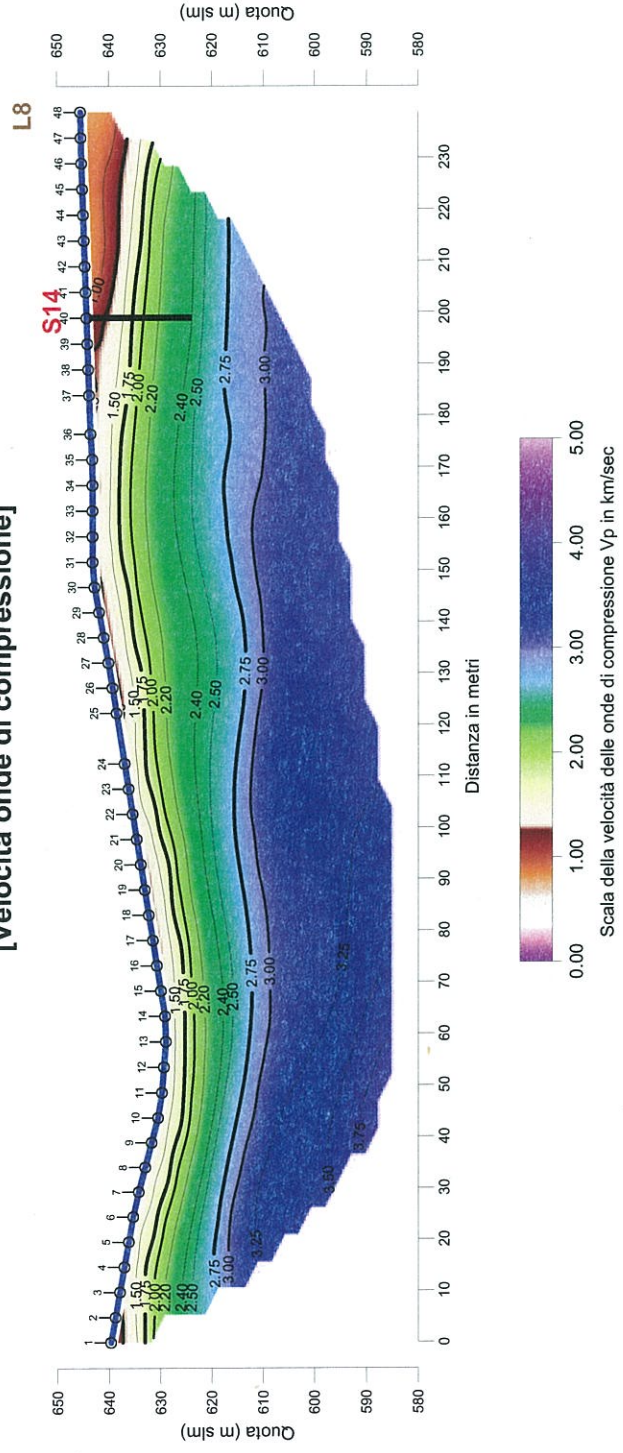


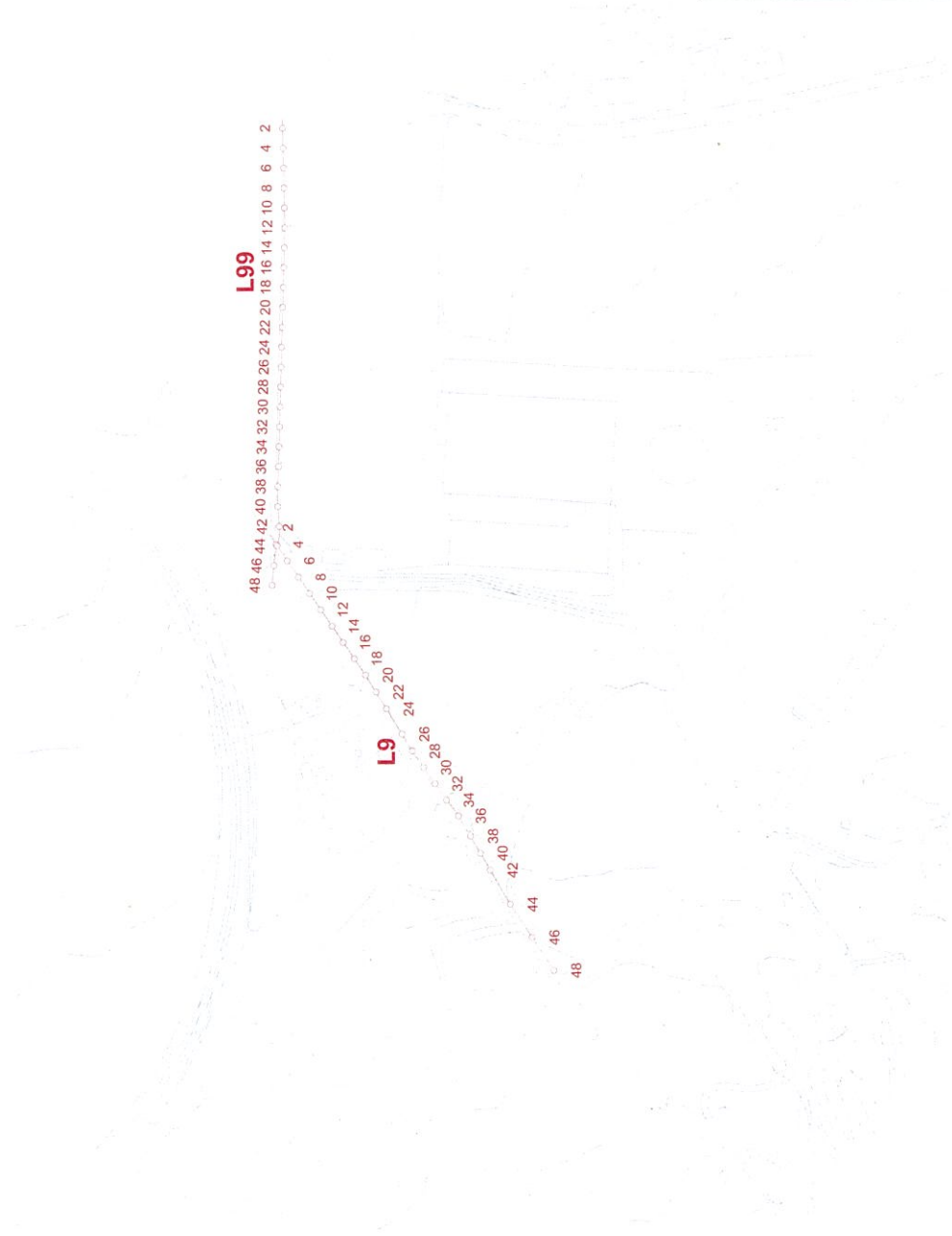
Fig. 29



Legenda

- Sezioni sismiche tomografiche
- 120 Stazioni geofoniche

File = 1231-36 - Planimetria indagini geofisiche L9-99.srf



	<b>PROGEO S.r.L.</b> Via S. Maria 18 71100 Foggia Tel. 0843 720580 Fax 0843 720581 mail: proggeo@gmail.com www.proggeo.it		
<b>Cliente:</b>	ITALFERR		
<b>Lavoro:</b>	INDAGINE GEOFISICA LINEA POTENZA FOGGIA		
<b>Sito:</b>	--		
<b>Titolo:</b>	Posizionamenti indagini geofisiche L9-99		
<b>Data:</b>	Dicembre 2014		
<b>Figura:</b>	30		
<b>Scala:</b>	1 : 2500		







COMMITTENTE	ITALFERR
DOWN HOLE	S3
LINEA	Potenza Foggia
Data acquisizione	26/11/2014

Codice lavoro 1231-36

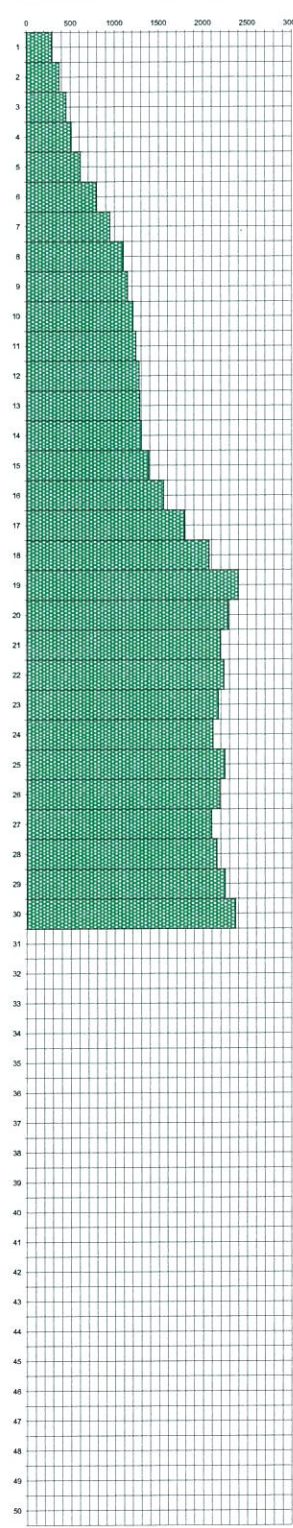


PROGEO s.r.l.  
Via Sante 108  
47100 Forlì  
tel. 0543 727260  
fax. 0543 721498  
mail proggeo@gmail.com  
www.proggeo.it

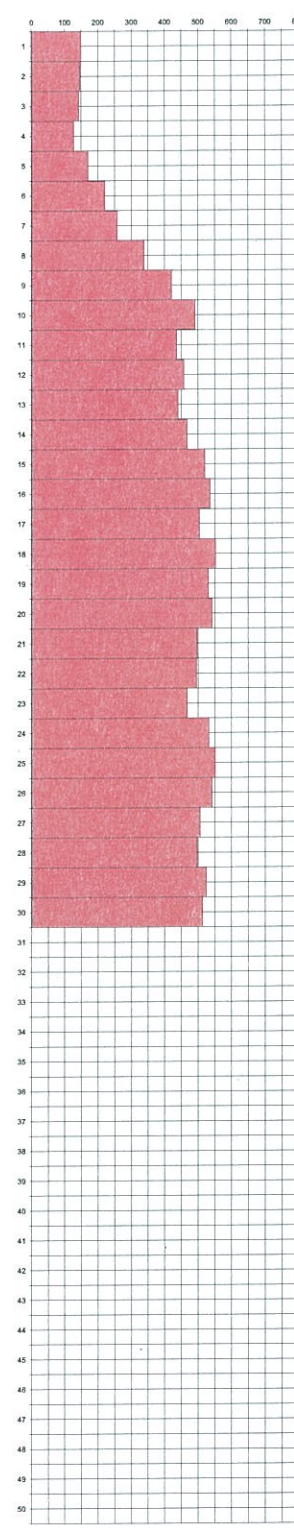
Profondità	Vp	Vs	v	γ	E <sub>din</sub>	G <sub>din</sub>	K <sub>din</sub>
	m/sec.	m/sec.		T/m³	Kg/cm²	Kg/cm²	Kg/cm²

0							
1	289	150	0.31	1.50	905	344	813
2	371	147	0.41	1.57	973	346	1742
3	453	144	0.44	1.63	992	344	2957
4	509	128	0.47	1.67	815	278	4035
5	611	170	0.46	1.73	1488	510	5876
6	789	221	0.46	1.81	2631	903	10302
7	946	258	0.46	1.87	3707	1270	15398
8	1097	339	0.45	1.93	6529	2256	20633
9	1146	421	0.42	1.94	10011	3520	21350
10	1207	491	0.40	1.96	13538	4832	22732
11	1243	436	0.43	1.97	10943	3827	25988
12	1276	458	0.43	1.98	12104	4244	27287
13	1284	441	0.43	1.99	11290	3939	28122
14	1303	468	0.43	1.99	12687	4449	28547
15	1388	521	0.42	2.02	15826	5580	32191
16	1555	536	0.43	2.06	17292	6035	42776
17	1789	504	0.46	2.12	15967	5480	61746
18	2067	552	0.46	2.18	19750	6756	85735
19	2399	531	0.47	2.24	18962	6431	122682
20	2284	542	0.47	2.22	19519	6638	109031
21	2198	498	0.47	2.20	16389	5563	100960
22	2236	496	0.47	2.21	16324	5537	105141
23	2174	467	0.48	2.20	14410	4882	99294
24	2113	532	0.47	2.18	18478	6302	91008
25	2246	551	0.47	2.21	20078	6839	104511
26	2187	542	0.47	2.20	19320	6584	98416
27	2098	506	0.47	2.18	16728	5693	90281
28	2156	498	0.47	2.19	16317	5543	96504
29	2248	524	0.47	2.21	18202	6186	105603
30	2365	514	0.48	2.23	17731	6010	119218
31							
32							
33							
34							
35							
36							
37							
38							
39							
40							
41							
42							
43							
44							
45							
46							
47							
48							
49							
50							

VELOCITA' ONDE DI COMPRESIONE  
m/sec



VELOCITA' ONDE DI TAGLIO  
m/sec



Legenda parametri dinamici					
Tp	Tempi onde di compressione	m/secondi	γ	Peso di volume	T/m³
Ts	Tempi onde di taglio	m/secondi	E <sub>din</sub>	Modulo di Elasticità dinamico	Kg/cm²
Vp	Velocità onde di compressione	m/sec	G <sub>din</sub>	Modulo di Taglio dinamico	Kg/cm²
Vs	Velocità onde di taglio	m/sec	K <sub>din</sub>	Modulo di Compressibilità dinamico	Kg/cm²
v	Coefficiente di Poisson	-			

CLASSIFICAZIONE SISMICA DEI SUOLI  
(NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI - D.M. del 14/09/2008)

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum_{i=1, N} h_i} V_i$$

V<sub>S30</sub> = 335 m/sec

CATEGORIA SUOLO = C



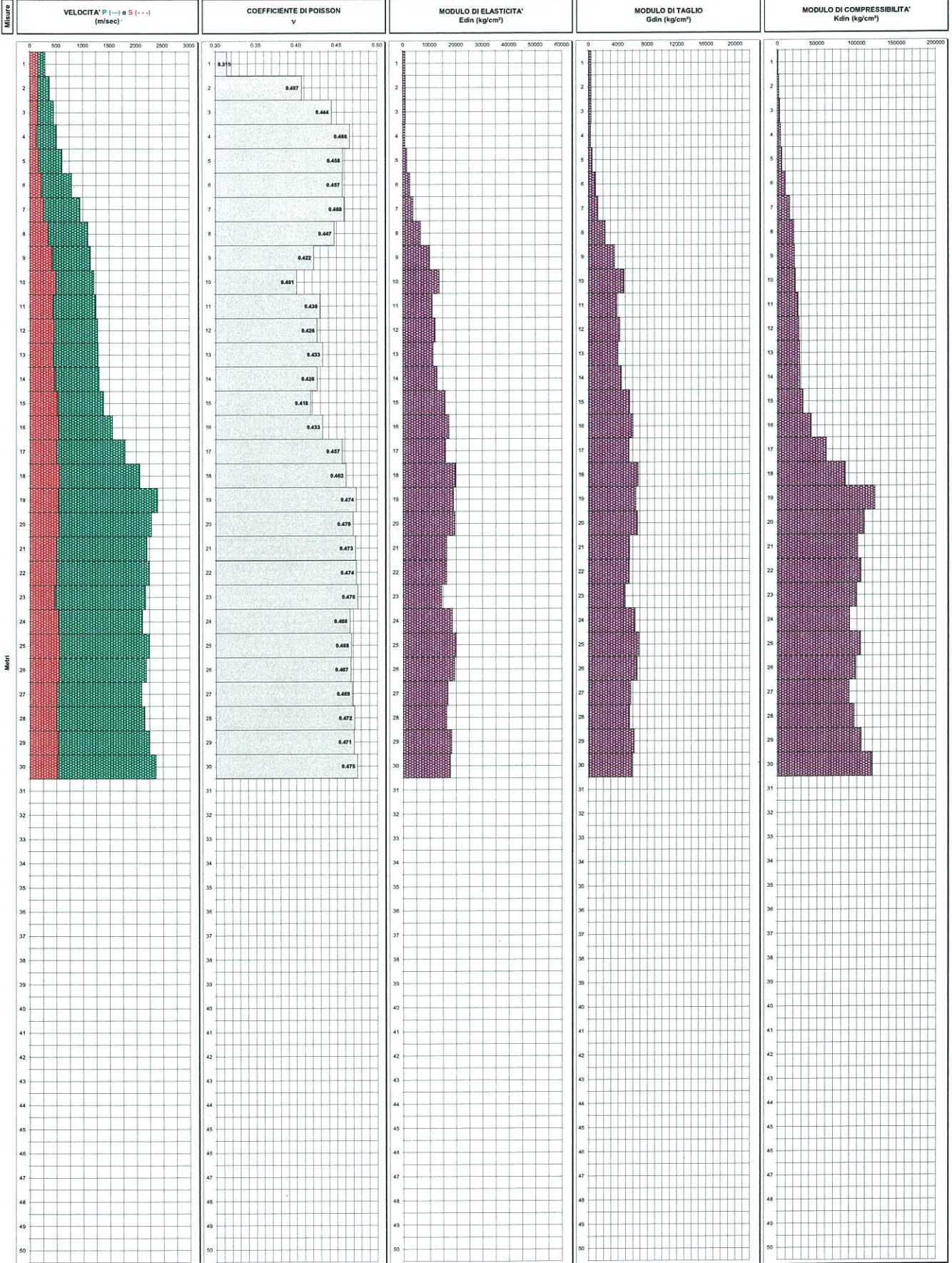
**COMMITTENTE**  
**DOWN HOLE**  
**LINEA**  
**Data acquisizione**

**ITALFERR**  
**S3**  
**Potenza Foggia**  
**26/11/2014**



**PROGEO S.r.l.**  
 Via Talele 10/B - 47100 Forlì  
 tel. 0543 / 723580  
 fax 0543 / 721486  
 e-mail: proggeo@tin.it

**GRAFICI DEI PARAMETRI ELASTICI DINAMICI**





COMMITTENTE	ITALFERR
DOWN HOLE	S5
LINEA	Potenza Foggia
Data acquisizione	26/11/2014

Codice lavoro 1231-36

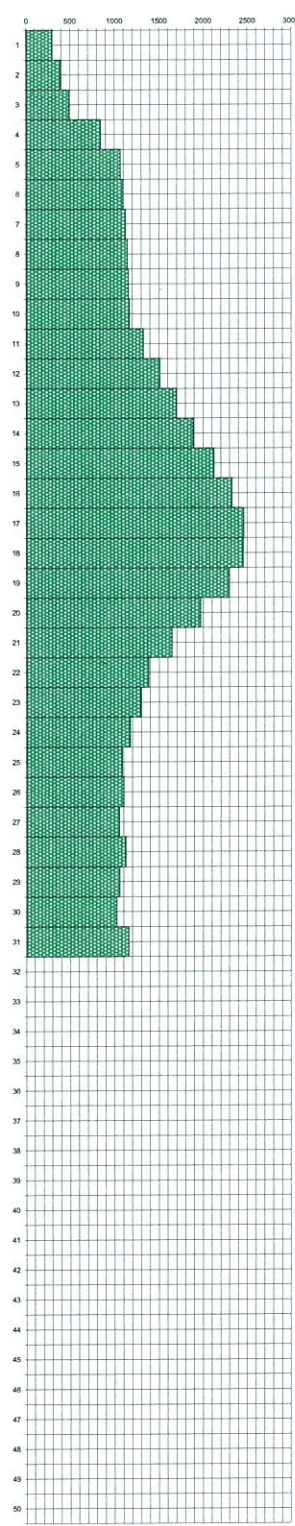


PROGEO s.r.l.  
Via Tevere 10/8  
01100 Frosinone  
Tel. 0434 725688  
Fax 0434 724486  
mail proggeo@proggeo.com  
www.proggeo.com

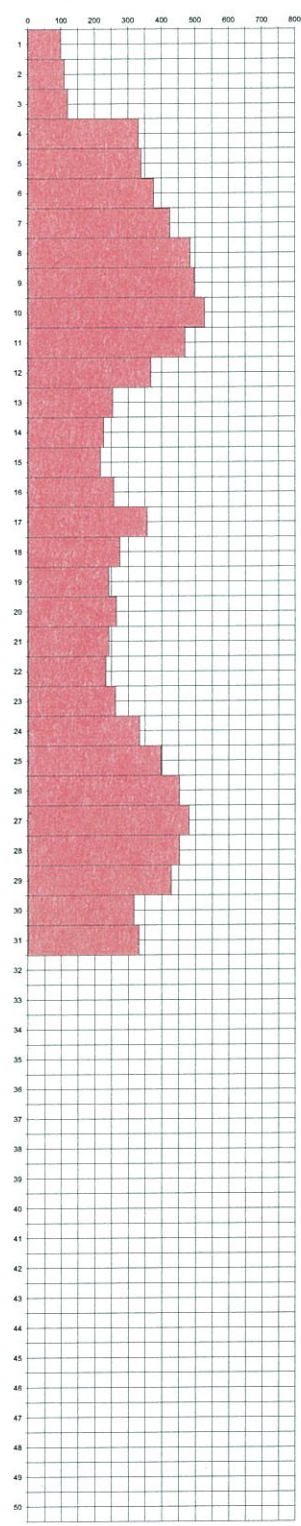
Profondità	Vp m/sec.	Vs m/sec.	v	γ T/m³	E <sub>din</sub> Kg/cm²	G <sub>din</sub> Kg/cm²	K <sub>din</sub> Kg/cm²
------------	--------------	--------------	---	-----------	----------------------------	----------------------------	----------------------------

0							
1	300	100	0.44	1.51	443	154	1180
2	395	110	0.46	1.59	574	197	2266
3	490	120	0.47	1.65	718	245	3726
4	847	331	0.41	1.84	5793	2055	10687
5	1069	339	0.44	1.92	6489	2247	19345
6	1098	377	0.43	1.93	7990	2787	19997
7	1124	425	0.42	1.94	10110	3569	20182
8	1149	486	0.39	1.95	13040	4688	19917
9	1157	497	0.39	1.95	13624	4913	20022
10	1169	528	0.37	1.95	15219	5547	19789
11	1324	470	0.43	2.00	12847	4498	29727
12	1510	368	0.47	2.05	8323	2834	43867
13	1696	254	0.49	2.09	4101	1378	59550
14	1891	227	0.49	2.14	3360	1126	76446
15	2122	218	0.49	2.19	3162	1058	98922
16	2325	257	0.49	2.22	4486	1501	120580
17	2461	356	0.49	2.25	8647	2903	134903
18	2452	276	0.49	2.25	5195	1739	135446
19	2298	243	0.49	2.22	3989	1335	117656
20	1969	265	0.49	2.16	4592	1540	83157
21	1644	243	0.49	2.08	3733	1254	55713
22	1382	234	0.49	2.01	3328	1120	37729
23	1295	262	0.48	1.99	4119	1393	32179
24	1177	333	0.46	1.95	6439	2211	24631
25	1085	398	0.42	1.92	8858	3114	18941
26	1103	453	0.40	1.93	11316	4046	18555
27	1053	481	0.37	1.91	12359	4517	15605
28	1124	453	0.40	1.94	11393	4061	19536
29	1057	428	0.40	1.91	10007	3568	17051
30	1024	317	0.45	1.90	5648	1952	17743
31	1156	331	0.46	1.95	6331	2175	23620
32							
33							
34							
35							
36							
37							
38							
39							
40							
41							
42							
43							
44							
45							
46							
47							
48							
49							
50							

VELOCITA' ONDE DI COMPRESSIONE  
m/sec



VELOCITA' ONDE DI TAGLIO  
m/sec



Legenda parametri dinamici

Tp	Tempi onde di compressione	millisecondi	γ	Peso di volume	T/m³
Ts	Tempi onde di taglio	millisecondi	E <sub>din</sub>	Modulo di Elasticità dinamico	Kg/cm²
Vp	Velocità onde di compressione	m/sec	G <sub>din</sub>	Modulo di Taglio dinamico	Kg/cm²
Vs	Velocità onde di taglio	m/sec	K <sub>din</sub>	Modulo di Compressibilità dinamico	Kg/cm²
v	Coefficiente di Poisson				

CLASSIFICAZIONE SISMICA DEI SUOLI  
(NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI - D.M.del 14/09/2008)

$$Vs_{30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} h_i} V_i$$

Vs<sub>30</sub> = 272 m/sec

CATEGORIA SUOLO = C



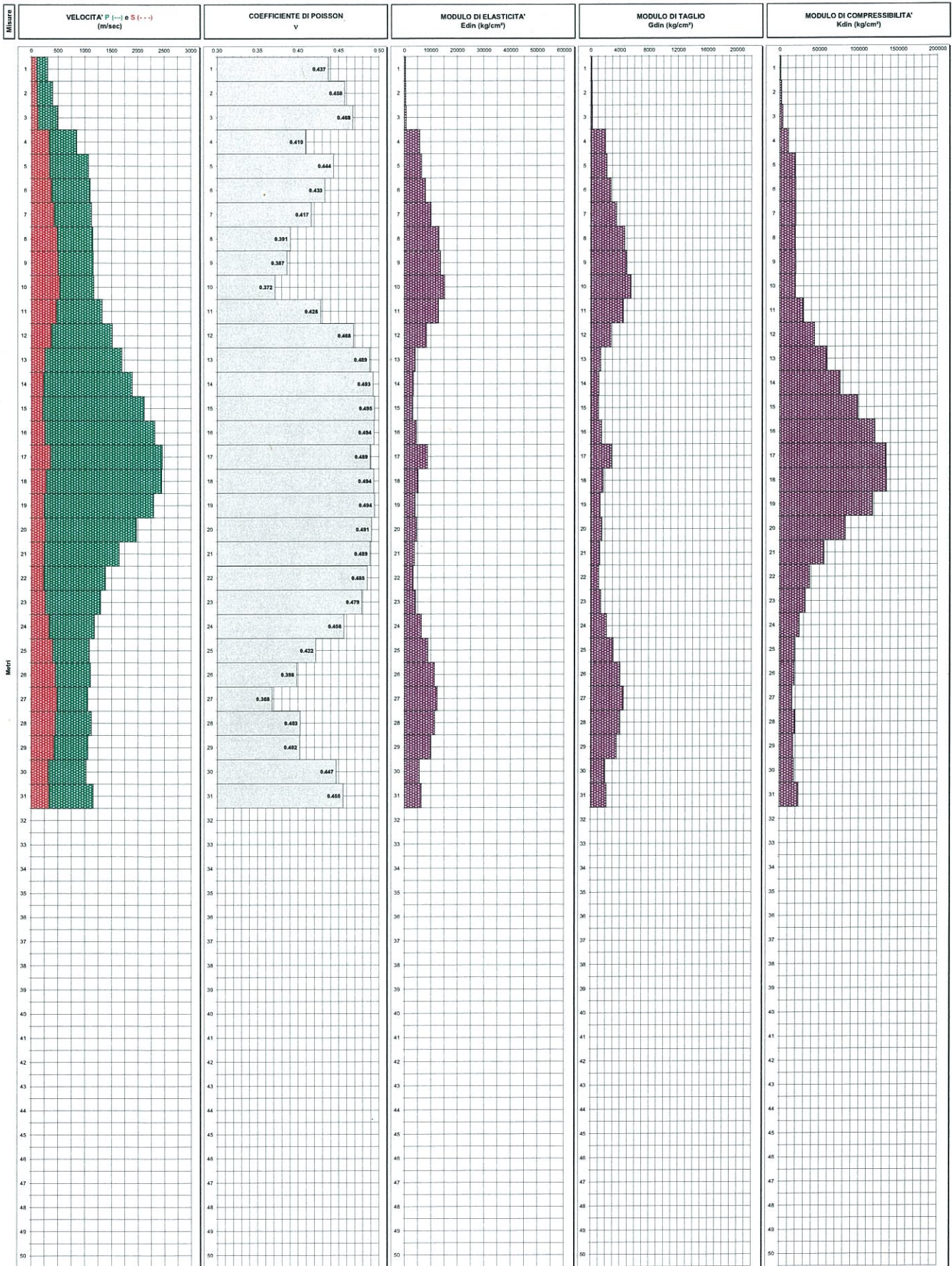
COMMITTENTE
DOWN HOLE
LINEA
Data acquisizione

ITALFERR
S5
Potenza Foggia
26/11/2014



**PRO GEO S.r.l.**  
 Via Talea 10B - 47100 Forlì  
 tel. 0543 / 723586  
 fax 0543 / 721486  
 e-mail: progeo@em.it

**GRAFICI DEI PARAMETRI ELASTICI DINAMICI**





COMMITTENTE	ITALFERR
DOWN HOLE	S9
LINEA	Potenza Foggia
Data acquisizione	26/11/2014

Codice lavoro 1231-36

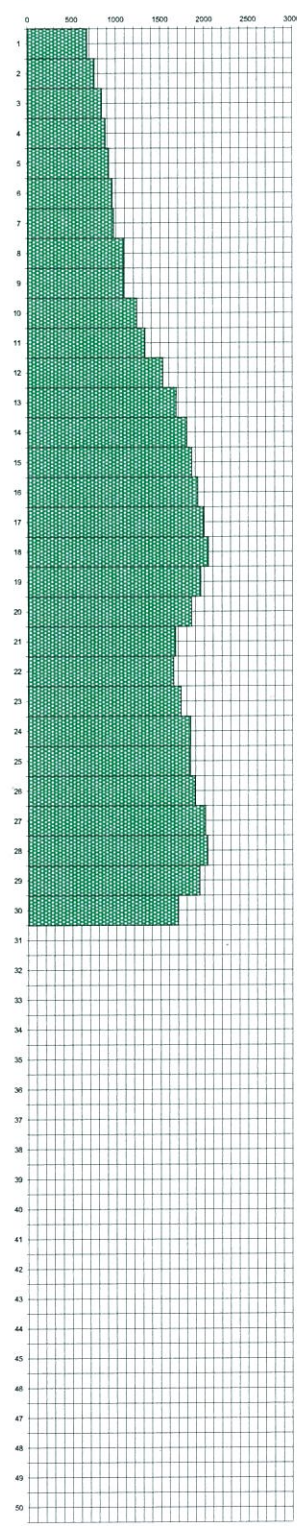


PROGEO s.r.l.  
Via Tabacchi 10/9  
47100 Forlì  
tel. 0543 725600  
fax 0543 721499  
mail proggeo@proggeo.com  
www.proggeo.it

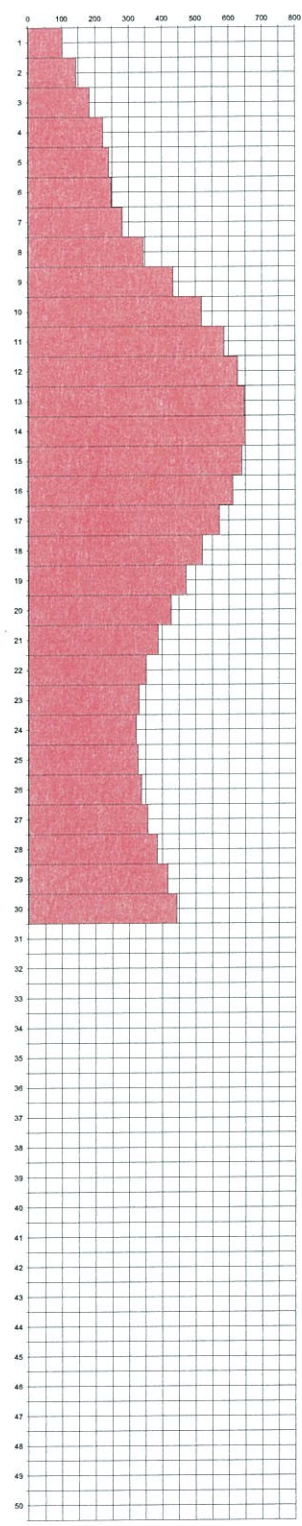
Profondità	Vp	Vs	v	γ	E <sub>din</sub>	G <sub>din</sub>	K <sub>din</sub>
	m/sec.	m/sec.		T/m <sup>3</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>

0							
1	675	103	0.49	1.76	568	191	7921
2	759	143	0.48	1.80	1114	376	10058
3	843	183	0.48	1.83	1852	628	12440
4	880	223	0.47	1.85	2745	936	13350
5	923	241	0.46	1.87	3237	1106	14732
6	963	248	0.46	1.88	3468	1184	16206
7	975	282	0.45	1.89	4432	1524	16242
8	1089	345	0.44	1.93	6759	2340	20160
9	1089	434	0.41	1.93	10388	3695	18354
10	1236	518	0.39	1.97	15041	5397	23513
11	1328	586	0.38	2.00	19283	6990	26610
12	1528	626	0.40	2.05	22990	8217	37924
13	1682	647	0.41	2.09	25217	8921	48451
14	1800	650	0.43	2.12	26000	9122	57841
15	1857	639	0.43	2.13	25451	8882	63048
16	1927	613	0.44	2.15	23729	8218	70256
17	1992	571	0.46	2.16	20910	7184	77819
18	2045	521	0.47	2.17	17598	6005	84565
19	1960	472	0.47	2.15	14395	4899	77759
20	1853	427	0.47	2.13	11667	3963	69312
21	1672	388	0.47	2.09	9419	3200	55296
22	1648	352	0.48	2.08	7762	2629	54176
23	1733	331	0.48	2.10	6939	2343	61301
24	1843	322	0.48	2.13	6670	2247	70722
25	1840	326	0.48	2.13	6857	2311	70346
26	1894	337	0.48	2.14	7365	2482	74949
27	2008	357	0.48	2.16	8331	2808	85200
28	2036	385	0.48	2.17	9690	3270	87321
29	1944	416	0.48	2.15	11182	3788	77772
30	1701	443	0.46	2.10	12280	4195	56255
31							
32							
33							
34							
35							
36							
37							
38							
39							
40							
41							
42							
43							
44							
45							
46							
47							
48							
49							
50							

VELOCITA' ONDE DI COMPRESSIONE  
m/sec



VELOCITA' ONDE DI TAGLIO  
m/sec



Legenda parametri dinamici				
Tp	Tempi onde di compressione	milisecondi	γ	Peso di volume T/m <sup>3</sup>
Ts	Tempi onde di taglio	milisecondi	E <sub>din</sub>	Modulo di Elasticità dinamico Kg/cm <sup>2</sup>
Vp	Velocità onde di compressione	m/sec	G <sub>din</sub>	Modulo di Taglio dinamico Kg/cm <sup>2</sup>
Vs	Velocità onde di taglio	m/sec	K <sub>din</sub>	Modulo di Compressibilità dinamico Kg/cm <sup>2</sup>
v	Coefficiente di Poisson			

CLASSIFICAZIONE SISMICA DEI SUOLI  
(NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI - D.M. del 14/09/2008)

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

V<sub>s30</sub> = 330 m/sec

CATEGORIA SUOLO = C



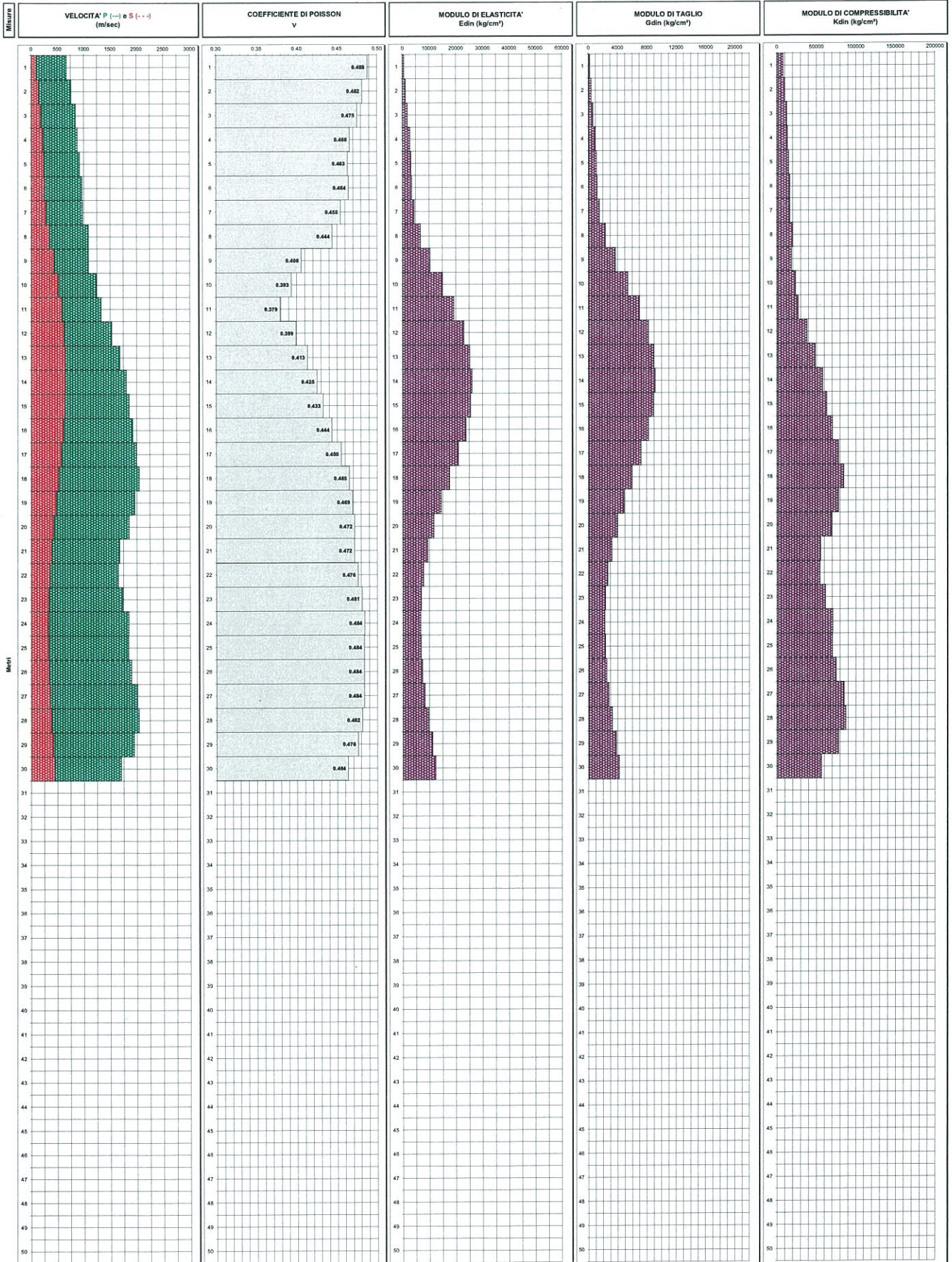
**COMMITTENTE**  
**DOWN HOLE**  
**LINEA**  
**Data acquisizione**

**ITALFERR**  
**S9**  
**Potenza Foggia**  
**26/11/2014**



**PROGEO S.r.l.**  
 Via Taleale 108 - 47100 Forlì  
 tel: 0543 / 723840  
 fax: 0453 / 721486  
 e-mail: proggeo@en.it

**GRAFICI DEI PARAMETRI ELASTICI DINAMICI**





COMMITTENTE	ITALFERR
DOWN HOLE	S13
LINEA	Potenza Foggia
Data acquisizione	26/11/2014

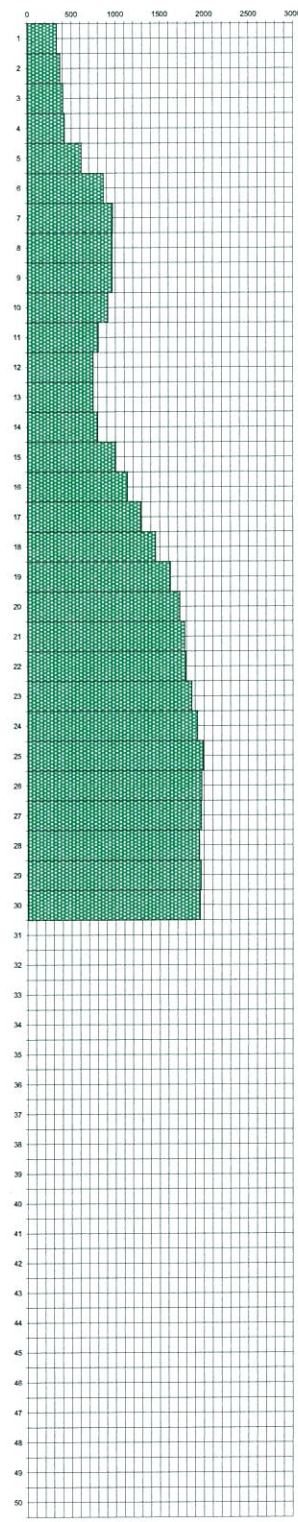
Codice lavoro **1231-36**



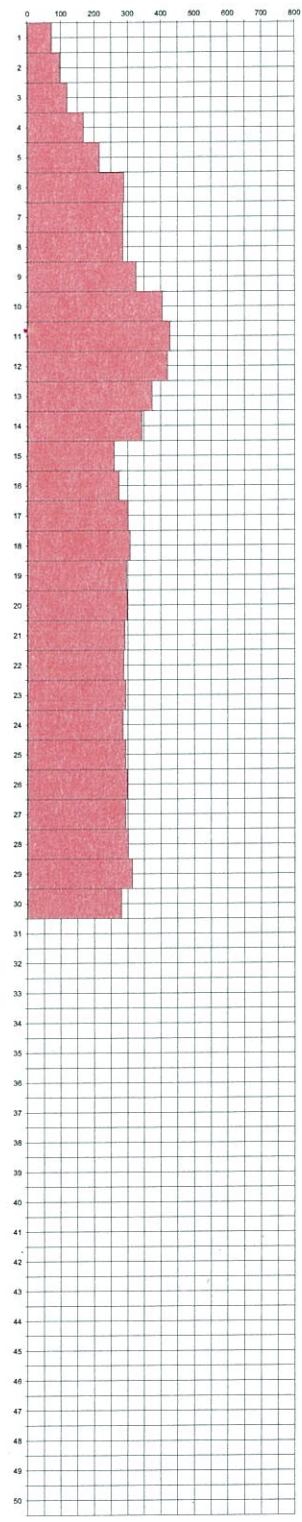
Profondità	Vp	Vs	v	γ	E <sub>din</sub>	G <sub>din</sub>	K <sub>din</sub>
	m/sec.	m/sec.		T/m³	Kg/cm²	Kg/cm²	Kg/cm²

0							
1	336	73	0.48	1.54	247	84	1657
2	371	96	0.46	1.57	435	148	2000
3	406	120	0.45	1.60	677	233	2367
4	421	168	0.41	1.61	1300	463	2288
5	613	216	0.43	1.73	2347	821	5527
6	862	289	0.44	1.84	4506	1568	11862
7	968	286	0.45	1.88	4560	1570	15880
8	964	286	0.45	1.88	4556	1569	15746
9	964	326	0.44	1.88	5853	2039	15120
10	914	405	0.38	1.86	8581	3114	11697
11	805	428	0.30	1.82	8848	3395	7484
12	748	420	0.27	1.79	8191	3225	5937
13	748	374	0.33	1.79	6820	2557	6828
14	795	343	0.39	1.81	6029	2176	8786
15	1003	260	0.46	1.90	3825	1306	17686
16	1136	274	0.47	1.94	4365	1486	23557
17	1291	302	0.47	1.99	5441	1849	31328
18	1452	307	0.48	2.03	5771	1954	41129
19	1619	297	0.48	2.08	5536	1867	52968
20	1726	300	0.48	2.10	5725	1928	61285
21	1778	292	0.49	2.11	5461	1837	65695
22	1794	288	0.49	2.12	5323	1790	67079
23	1861	294	0.49	2.13	5588	1879	72740
24	1927	286	0.49	2.15	5329	1790	78889
25	1992	294	0.49	2.16	5667	1903	84829
26	1974	300	0.49	2.16	5888	1978	83041
27	1968	294	0.49	2.16	5653	1899	82578
28	1949	302	0.49	2.15	5950	2000	80623
29	1967	314	0.49	2.15	6440	2166	82127
30	1956	281	0.49	2.15	5161	1732	81605
31							
32							
33							
34							
35							
36							
37							
38							
39							
40							
41							
42							
43							
44							
45							
46							
47							
48							
49							
50							

VELOCITA' ONDE DI COMPRESIONE  
m/sec



VELOCITA' ONDE DI TAGLIO  
m/sec



Legenda parametri dinamici				
Tp	Tempi onde di compressione	millisecondi	γ	Peso di volume T/m³
Ts	Tempi onde di taglio	millisecondi	E <sub>din</sub>	Modulo di Elasticità dinamico Kg/cm²
Vp	Velocità onde di compressione	m/sec	G <sub>din</sub>	Modulo di Taglio dinamico Kg/cm²
Vs	Velocità onde di taglio	m/sec	K <sub>din</sub>	Modulo di Compressibilità dinamico Kg/cm²
v	Coefficiente di Poisson	-		

CLASSIFICAZIONE SISMICA DEI SUOLI  
(NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI - D.M. del 14/09/2008)

$$Vs_{30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}}$$

$Vs_{30} = 242$  m/sec

CATEGORIA SUOLO = **C**



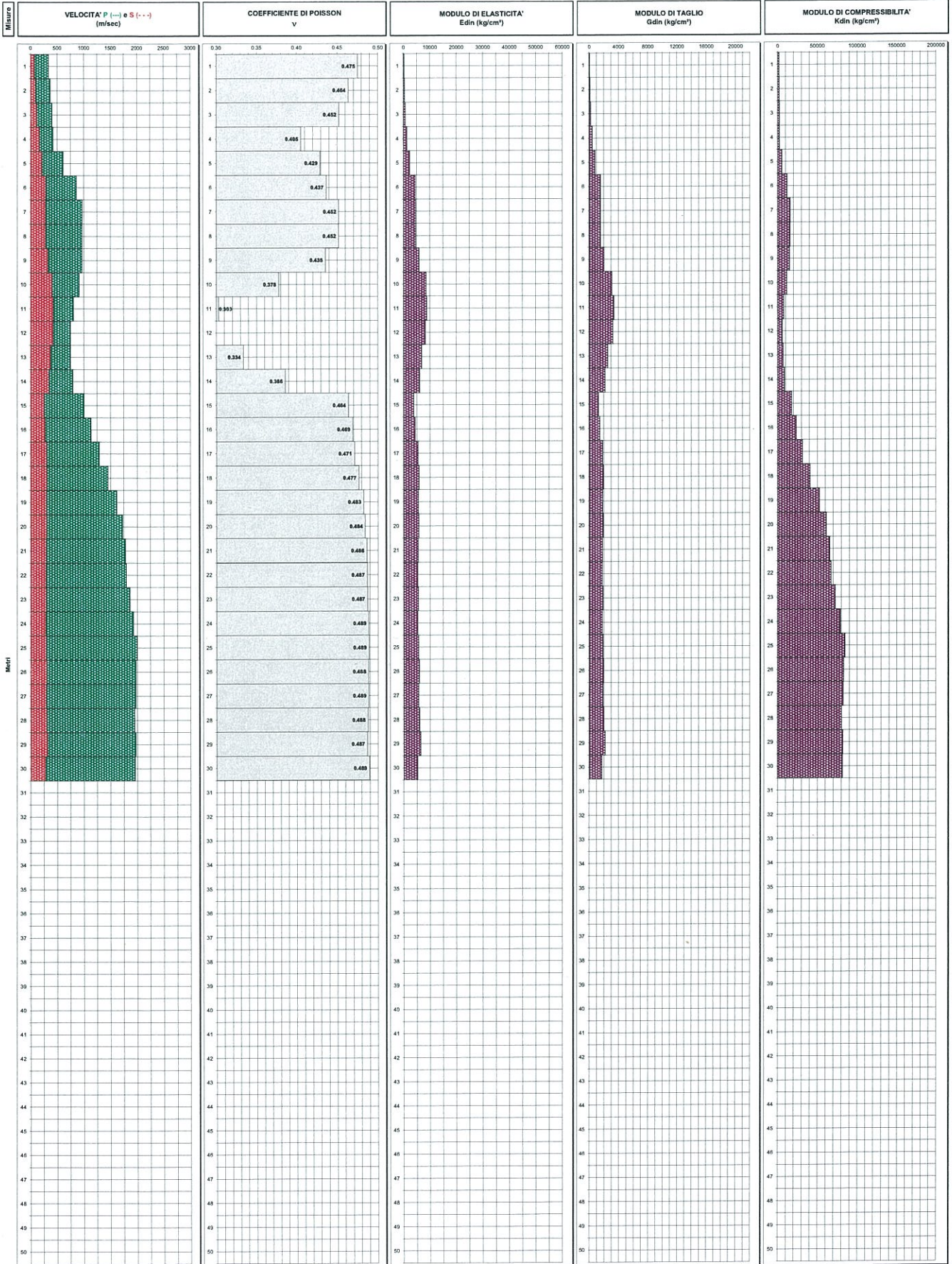
**COMMITTENTE**  
**DOWN HOLE**  
**LINEA**  
**Data acquisizione**

**ITALFERR**  
**S13**  
**Potenza Foggia**  
**26/11/2014**



**PROGEO S.r.l.**  
 Via Taleate 108 - 47100 Forlì  
 tel 0543 / 720380  
 fax 0453 / 721466  
 e-mail: proggeo@progeo.it

**GRAFICI DEI PARAMETRI ELASTICI DINAMICI**





COMMITTENTE	ITALFERR
DOWN HOLE	S16
LINEA	Potenza Foggia
Data acquisizione	26/11/2014

Codice lavoro 1231-36

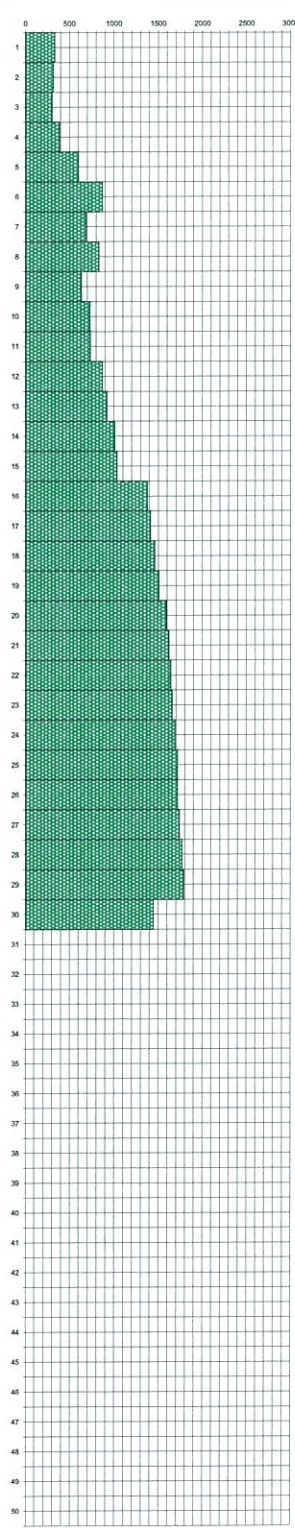


PROGEO s.r.l.  
Via Tacoli 108  
61100 Fano  
tel. 0543 725680  
fax 0543 724336  
mail proggeo@proggeo.com  
www.proggeo.com

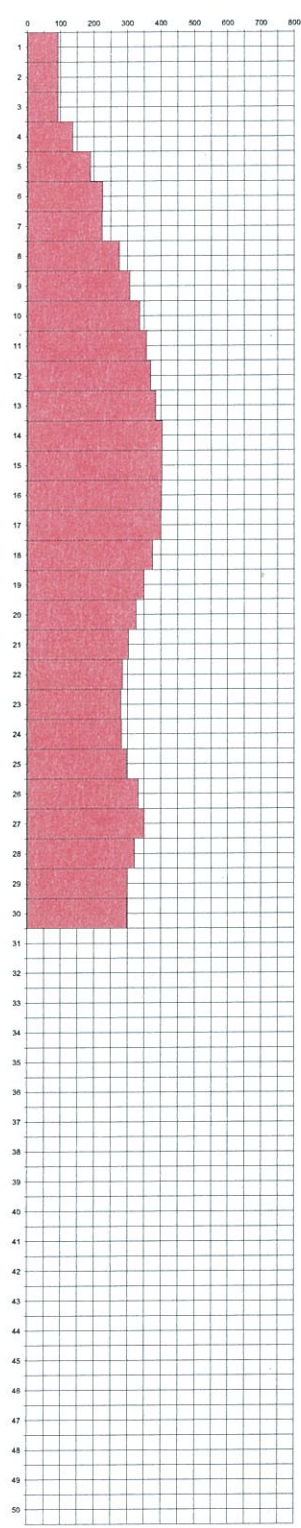
Profondità	Vp m/sec.	Vs m/sec.	v	γ T/m³	E <sub>din</sub> Kg/cm²	G <sub>din</sub> Kg/cm²	K <sub>din</sub> Kg/cm²
------------	--------------	--------------	---	-----------	----------------------------	----------------------------	----------------------------

0							
1	332	92	0.46	1.54	389	134	1547
2	318	92	0.45	1.52	386	133	1391
3	304	93	0.45	1.51	383	132	1243
4	388	136	0.43	1.58	858	300	2032
5	602	190	0.44	1.72	1823	631	5508
6	872	226	0.46	1.85	2822	964	13024
7	687	224	0.44	1.76	2607	905	7282
8	831	275	0.44	1.83	4067	1414	11004
9	634	307	0.35	1.74	4497	1669	4894
10	731	336	0.37	1.79	5614	2055	6989
11	736	357	0.35	1.79	6253	2322	6774
12	870	369	0.39	1.85	7133	2566	10810
13	922	385	0.39	1.87	7848	2814	12397
14	1009	404	0.40	1.90	8856	3153	15482
15	1032	403	0.41	1.91	8901	3156	16506
16	1380	402	0.45	2.01	9648	3319	34708
17	1412	400	0.46	2.02	9597	3294	36747
18	1460	375	0.46	2.04	8550	2919	40372
19	1508	350	0.47	2.05	7515	2553	44070
20	1589	326	0.48	2.07	6626	2242	50258
21	1619	303	0.48	2.08	5759	1943	52883
22	1641	285	0.48	2.08	5118	1724	54857
23	1658	280	0.49	2.09	4952	1667	56211
24	1691	282	0.49	2.09	5055	1701	58769
25	1719	298	0.48	2.10	5645	1901	60720
26	1719	332	0.48	2.10	7002	2365	60102
27	1741	350	0.48	2.11	7791	2634	61548
28	1769	321	0.48	2.11	6592	2223	64391
29	1786	301	0.49	2.12	5791	1949	66153
30	1444	300	0.48	2.03	5508	1864	40694
31							
32							
33							
34							
35							
36							
37							
38							
39							
40							
41							
42							
43							
44							
45							
46							
47							
48							
49							
50							

VELOCITA' ONDE DI COMPRESSIONE  
m/sec



VELOCITA' ONDE DI TAGLIO  
m/sec



Legenda parametri dinamici

Tp	Tempi onde di compressione	milisecondi	γ	Peso di volume	T/m³
Ts	Tempi onde di taglio	milisecondi	E <sub>din</sub>	Modulo di Elasticità dinamico	Kg/cm²
Vp	Velocità onde di compressione	m/sec	G <sub>din</sub>	Modulo di Taglio dinamico	Kg/cm²
Vs	Velocità onde di taglio	m/sec	K <sub>din</sub>	Modulo di Compressibilità dinamico	Kg/cm²
v	Coefficiente di Poisson				

CLASSIFICAZIONE SISMICA DEI SUOLI  
(NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI - D.M. del 14/09/2008)

$$Vs_{30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}}$$

Vs<sub>30</sub> = 243 m/sec

CATEGORIA SUOLO = C



**COMMITTENTE**  
**DOWN HOLE**  
**LINEA**  
**Data acquisizione**

**ITALFERR**  
**S16**  
**Potenza Foggia**  
**26/11/2014**



**PROGEO S.r.l.**  
 Via Talele 10/8 - 47100 Forlì  
 tel. 0543 / 723580  
 fax 0543 / 721486  
 e-mail: proggeo@en.it

**GRAFICI DEI PARAMETRI ELASTICI DINAMICI**

