

## AUTOSTRADA (A1): MILANO-NAPOLI

AMPLIAMENTO ALLA TERZA CORSIA  
NEL TRATTO INCISA - VALDARNO  
LOTTO1

### PROGETTO ESECUTIVO


#### DOCUMENTAZIONE GENERALE

#### GEOLOGIA INDAGINI GEOGNOSTICHE IN SITO

#### PROSPEZIONI SISMICHE - PREGRESSE (FIRENZE SUD - INCISA)

IL GEOLOGO  Dott. Vittorio Boerio Ord. Geol. Lombardia N. 794  Responsabile Geologia	IL RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE  Ing. Paola Castiglioni Ord. Ingg. Varese N. 2725	IL DIRETTORE TECNICO  Ing. Orlando Mazza Ord. Ingg. Pavia N. 1496  Progettazione Nuove Opere Autostradali
---	---	--

CODICE IDENTIFICATIVO											ORDINATORE
RIFERIMENTO PROGETTO			RIFERIMENTO DIRETTORIO				RIFERIMENTO ELABORATO				
Codice Commessa	Lotto, Sub-Prog. Cod. Appalto	Fase	Capitolo	Paragrafo	W B S	Parte d'opera	Tip.	Disciplina	Progressivo	Rev.	XXX
119941	LL01	PE	DG	GEO	SI000	00000	R	GEO	1025	-0	SCALA -

 gruppo Atlantia	PROJECT MANAGER:  Ing. Paola Castiglioni Ord. Ingg. Varese N. 2725	SUPPORTO SPECIALISTICO:	REVISIONE
	REDATTO:	VERIFICATO:	n. data 0 OTTOBRE 2019

VISTO DEL COMMITTENTE    IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO Ing. Furio Cruciani	VISTO DEL CONCEDENTE    <b>Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti</b> <small>DIPARTIMENTO PER LE INFRASTRUTTURE, GLI AFFARI GENERALI ED IL PERSONALE STRUTTURA DI VIGILANZA SULLE CONCESSIONARIE AUTOSTRADALI</small>
---	---

## INDICE

1	INTRODUZIONE	Pag.	3
2	INDAGINI ESEGUITE	Pag.	4
3	PERSONALE E STRUMENTAZIONI IMPIEGATE	Pag.	5
4	SISTEMA "QUALITÀ "	Pag.	7
5	METODOLOGIA DEI RILIEVI	Pag.	8
6	METODOLOGIA INTERPRETATIVA	Pag.	9
7	ANALISI DEI RISULTATI	Pag.	11

## ELENCO TAVOLE ALLEGATE

<b>TAV. 1</b>	Planimetria ubicativa delle indagini	Scala 1: 5.000
<b>TAV. 2</b>	Profili sismici tomografici GA 10a – GA 10b – GA 11 – GA12	Scala 1: 500

---

### A1 Milano Napoli

Ampliamento alla terza corsia BARBERINO DI MUGELLO – INCISA VALDARNO  
Tratto: FIRENZE SUD – INCISA VALDARNO LOTTO 3 FASE A  
PROSPEZIONE SISMICA

## 1. INTRODUZIONE

Nel quadro della CAMPAGNA DI INDAGINI GEOGNOSTICHE per il PROGETTO DEFINITIVO PER L'AMPLIAMENTO ALLA TERZA CORSIA BARBERINO DI MUGELLO – INCISA VALDARNO TRATTO : FIRENZE SUD – INCISA VALDARNO LOTTO 3 FASE A, la “ *spea ingegneria europea* ” ha affidato una prospezione geofisica basata su metodologie sismiche .

Il programma di indagini prevedeva due fasi distinte (Fase A e Fase B), questa relazione riferisce i risultati della Fase A .

L'indagine eseguita prevedeva la ricostruzione del sottosuolo, in alcuni tratti del nuovo tracciato autostradale mediante l'esecuzione di profili sismici a rifrazione con metodo tomografico.

L'ubicazione generale delle indagini eseguite, unitamente alla posizione del tracciato autostradale, è riportata nella planimetria in scala 1:5.000 di tavola 1.

I lavori si sono svolti in 2 interventi nei giorni 06/02/2003 e 06/03/2003.

---

**A1 Milano Napoli**

Ampliamento alla terza corsia BARBERINO DI MUGELLO – INCISA VALDARNO  
Tratto: FIRENZE SUD – INCISA VALDARNO LOTTO 3 FASE A  
**PROSPEZIONE SISMICA**

## 2. INDAGINI ESEGUITE

In relazione al programma d'indagine concordato per la fase A direttamente con la Direzione Lavori sono state eseguite le seguenti indagini:

Sono stati eseguiti 4 profili. Tali profili, eseguiti ed interpretati secondo la metodologia tomografica, hanno avuto la seguente consistenza :

Profilo n°	Lunghezza ml
<b>GA 10a</b>	120
<b>GA 10b</b>	120
<b>GA 11</b>	120
<b>GA 12</b>	120

Complessivamente sono stati eseguiti 480 ml di profili sismici a rifrazione con metodo tomografico.



### 3. PERSONALE E STRUMENTAZIONI IMPIEGATE

Per l'esecuzione delle misure sperimentali sono state utilizzate le seguenti strumentazione ed attrezzature :

n°	Strumentazione SISMICA A RIFRAZIONE TOMOGRAFICA	COD. IDENT.
1	Sismografo GEOMETRICS "GEODE" 24 ch	SGG-SI-39
1	P.C. compatibile : portatile	
24	Geofoni verticali con frequenza pari a 14 Hz	SGG-SI-02
1	Esplositore con invio segnale via radio	SGG-SI-05
1	Cavo di collegamento per geofoni	SGG-SI-01a
1	Cavo di collegamento per geofoni	SGG-SI-01c
2	Serie di prolunghe per cavi geofonici da 100 a 300 metri	SGG-SI-01d SGG-SI-01e
4	Ricetrasmittenti VHF	

Per l'energizzazione sono state utilizzate specifiche cartucce sismiche ad innesco elettrico.

Tutti gli strumenti di misura di misure impiegate, in accordo con il calendario di taratura afferente al "sistema di qualità" in uso presso questo studio, ed in accordo con lo specifico "piano di controllo della qualità" redatto appositamente per la prospezione, risultavano tarate presso il LABORATORIO CE.TA.CE "FIRENZE TECNOLOGIA" di Prato accreditato SIT (Servizio di Taratura in Italia).

#### AUTOMEZZI

- ◆ 1 Fuoristrada Nissan Pick-up D (AW 745 BC).

---

**A1 Milano Napoli**

Ampliamento alla terza corsia BARBERINO DI MUGELLO – INCISA VALDARNO  
Tratto: FIRENZE SUD – INCISA VALDARNO LOTTO 3 FASE A

**PROSPEZIONE SISMICA**

RISORSE COINVOLTE

Per l'esecuzione della prospezione di campagna e della relativa interpretazione in ufficio, sono state coinvolte le seguenti risorse:

- Responsabile dell'incarico A.M. BALDI
- Responsabile della prospezione M. DOMINICI
- Responsabile della sicurezza per la prospezione ai sensi della 494/96 e 626/94 M. SCHEGGI
- Prospettori geofisici M. DOMINICI M. SCHEGGI
- Rilievi topografici ed ubicazione M. DOMINICI
- Responsabile Assicurazione Qualità per la prospezione A.M. BALDI
- Interpretazione rilievo sismico a rifrazione A.M. BALDI - M. DOMINICI
- Editing M. DOMINICI

---

**A1 Milano Napoli**

Ampliamento alla terza corsia BARBERINO DI MUGELLO – INCISA VALDARNO  
Tratto: FIRENZE SUD – INCISA VALDARNO LOTTO 3 FASE A  
**PROSPEZIONE SISMICA**

## 4 SICUREZZA E "QUALITÀ"

I lavori sono stati eseguiti in conformità all'offerta tecnica a suo tempo presentata e nello specifico, in relazione alle due tematiche in oggetto, sono stati prodotti i relativi documenti.

### SICUREZZA DEL CANTIERE GEOFISICO

Preliminarmente all'inizio dei lavori per la prospezione geofisica sono stati redatti, dalla funzione preposta, i seguenti documenti:

- *Piano di sicurezza per le indagini di superficie.*

### SISTEMA QUALITÀ

In relazione alle "procedure di qualità" in sede di offerta era stato deciso di adottare il consueto piano controllo qualità predisposto per la prospezione sismica.

Tutte le fasi operative di controllo sono state registrate nell'apposita modulistica.

---

#### **A1 Milano Napoli**

Ampliamento alla terza corsia BARBERINO DI MUGELLO – INCISA VALDARNO  
Tratto: FIRENZE SUD – INCISA VALDARNO LOTTO 3 FASE A  
**PROSPEZIONE SISMICA**

## 5 METODOLOGIE DEI RILIEVI

L'ubicazione generale dei profili è stata riportata sulla planimetria in tavola 1.

Nello specifico le principali caratteristiche del rilievo sono state le seguenti:

- *Spaziatura dei geofoni : 5 metri;*
- *Spaziatura dei tiri : 30 metri (ogni 6 geofoni);*
- *Sorgente : specifiche cartucce sismiche ad innesco elettrico.*

La prospezione è stata eseguita in ottemperanza delle "specifiche tecniche" consegnate dalla Committenza.

---

### **A1 Milano Napoli**

Ampliamento alla terza corsia BARBERINO DI MUGELLO – INCISA VALDARNO  
Tratto: FIRENZE SUD – INCISA VALDARNO LOTTO 3 FASE A  
**PROSPEZIONE SISMICA**

## 6 METODOLOGIA INTERPRETATIVA

I tempi di arrivo sono stati letti attraverso uno specifico programma di picking e successivamente tabellati. Tale programma computerizzato permette anche di apprezzare variazioni di tempo nell'ordine di  $0,1 \text{ sec} \times 10^{-3}$ .

Successivamente a mezzo dello specifico programma "SeisOpt@2D" è stata eseguita un'interpretazione con metodologia tomografica del profilo sismico a rifrazione.

La metodologia tomografica prevede la suddivisione dello spazio bidimensionale in celle, secondo una maglia prefissata, con l'attribuzione ad ognuna di un determinato valore di velocità sismica. Successivamente, il programma torna a calcolare il tempo di transito dell'onda sismica attraverso le maglie del modello e si confronta tale valore con quello sperimentale impiegando iterativamente algoritmi di calcolo adeguati previo controllo dei tragitti dei raggi sismici. Per successive iterazioni si perviene a dei valori di velocità sismica per le diverse celle che soddisfino contemporaneamente più raggi sismici.

L'elaborazione dei dati viene sviluppata tramite un'analisi con modellazione del sottosuolo su base anisotropia, la quale fornisce, previa elaborazione con metodologie iterative R.T.C. e algoritmi di ricostruzione tomografica il campo delle velocità sismiche del sottosuolo attraverso la suddivisione dello spazio in celle regolari.

Nel caso specifico è stata sempre utilizzata una maglia quadrata di lato 2,5 m e nella restituzione i valori crescenti di velocità sismica attribuiti alla singola cella, vengono rappresentati con una scala colorimetrica.

Per la determinazione del modello di interpretazione il programma "SeisOpt@2D" utilizza il metodo di inversione controllato "Monte Carlo" basato

---

### A1 Milano Napoli

Ampliamento alla terza corsia BARBERINO DI MUGELLO – INCISA VALDARNO  
Tratto: FIRENZE SUD – INCISA VALDARNO LOTTO 3 FASE A

PROSPEZIONE SISMICA

su una modellizzazione avanzata, dove i modelli derivati dagli algoritmi propri del programma vengono accettati o rifiutati basandosi su un criterio statistico.

In particolare i risultati in termine di affidabilità statistica risultano essere i seguenti :

Profilo sismico	Precisione media sec <sup>2</sup>	n° di iterazioni
GA 10a	2.11414 <sup>-005</sup>	93.943
GA 10b	3.15206 <sup>-005</sup>	73.982
GA 11	2.62543 <sup>-005</sup>	79.587
GA 12	2.78332 <sup>-005</sup>	68.435

Ove per precisione si intende la sommatoria degli scarti al quadrato tra i valori sperimentali e quelli calcolati nelle dromocrone diviso per il numero dei punti; e per iterazioni il numero di volte che il programma ha eseguito la verifica del modello totale.

---

**A1 Milano Napoli**

Ampliamento alla terza corsia BARBERINO DI MUGELLO – INCISA VALDARNO

Tratto: FIRENZE SUD – INCISA VALDARNO LOTTO 3 FASE A

**PROSPEZIONE SISMICA**

## 7 ANALISI DEI RISULTATI

L'interpretazione della sismica a rifrazione è stata mirata alla caratterizzazione dei terreni mediante la velocità sismica e prescinde dall'assetto geologico generale dell'area.

L'interpretazione con metodo tomografico ha previsto la suddivisione dello spazio bidimensionale in celle secondo una maglia quadrata di lato 2,5 m , attribuendo ad ognuna di queste celle un determinato valore di velocità. I valori crescenti di velocità sismica di ogni singola cella, sono stati rappresentati con una scala colorimetrica.

Infine sono state disegnate le curve di isovelocità che delimitano aree aventi stesso passo di velocità sismica.

Di seguito viene riportata una descrizione dell'interpretazione per ogni singolo profilo.

### ***Profilo GA 10a***

Questo profilo, eseguito sul lato Est del nuovo sovrappasso autostradale ha una lunghezza totale pari a 120 m.

Questo profilo è contraddistinta da velocità sismiche inferiori a 1.000 m/sec fino ad una profondità da p.c. pari a 5 – 10 m. Inferiormente vi è un progressivo aumento delle velocità sismica fino a raggiungere valori >2.000 m/sec . Si segnala altresì in corrispondenza del punto di scoppio 4 un maggior spessore dei terreni con velocità sismica < 2.000 m/sec (spessore pari a 15-17 m da p.c. )

### ***Profilo GA 10b***

Questo profilo, eseguito sul lato Ovest del nuovo sovrappasso autostradale ha una lunghezza totale pari a 120 m.

La parte più superficiale è contraddistinta da un progressivo aumento di velocità dalla superficie verso le zone più profonde dove si raggiungono , a

---

#### **A1 Milano Napoli**

Ampliamento alla terza corsia BARBERINO DI MUGELLO – INCISA VALDARNO

Tratto: FIRENZE SUD – INCISA VALDARNO LOTTO 3 FASE A

PROSPEZIONE SISMICA

profondità di 12 –15 metri da p.c. , valori di velocità sismica superiore a 1.600 m/sec .

**Profilo GA 11**

Questo profilo, eseguito in corrispondenza dell'imbocco Nord della futura galleria "Bruscheto" ha una lunghezza totale pari a 120 m .

Il profilo mette in evidenza la presenza di terreni più allentati in superficie (velocità sismica < 800 m/sec) con spessori pari a 4 – 6 metri da p.c.

Inferiormente viene messo in risalto un progressivo aumento delle velocità sismiche fino a raggiungere valori superiori a 3.000 m/sec (terreni litoidi) .

**Profilo GA 12**

Questo profilo, eseguito in corrispondenza dell'imbocco Sud della futura galleria "Bruscheto" ha una lunghezza totale pari a 120 m .

Il profilo evidenzia la presenza di terreni allentati superficiali in corrispondenza del punto di scoppio 3 ( velocità sismica < 600 m/sec) con spessori di 2 – 4 metri da p.c.

Inferiormente viene messo in risalto una struttura circa parallela al profilo topografico contraddistinta da velocità sismiche con valori superiori a 3.000 m/sec (terreni litoidi) .

Marzo 2003

---

**A1 Milano Napoli**

Ampliamento alla terza corsia BARBERINO DI MUGELLO – INCISA VALDARNO

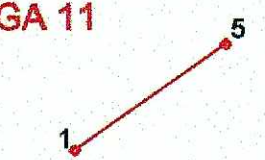
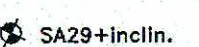
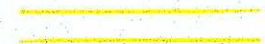
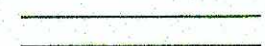
Tratto: FIRENZE SUD – INCISA VALDARNO LOTTO 3 FASE A

**PROSPEZIONE SISMICA**





LEGENDA :

-  **GA 11** - Profili sismici a rifrazione, sigla identificativa e punti di scoppio di riferimento.
-  **SA29+inclin.** - Sondaggi meccanici.
-  - Tracciato autostradale esistente.
-  - Tracciato autostradale in progetto.

**autostrade**  
 CONCESSIONI E COSTRUZIONI AUTOSTRADE S.p.A. - ROMA

AUTOSTRADA (A1) : MILANO - NAPOLI  
 AMPLIAMENTO ALLA TERZA CORSIA  
 BARBERINO DI MUGELLO - INCISA VALDARNO  
 TRATTO : FIRENZE SUD - INCISA VALDARNO

**PROGETTO DEFINITIVO**

CAMPAGNA DI INDAGINI  
 GEOGNOSTICHE  
 FASE A - LOTTO 3

AGG.	DESCRIZIONE AGGIORNAMENTO	DATA	FIRMA
PRECISIONE:	COMMITTENTE:	 <b>spea</b> <small>ingegneria europea</small>	
Distanze: m	 <b>spea</b> <small>ingegneria europea</small>	N. Arch. <b>2672/03</b>	
Quote: m		N. Commessa <b>G288</b>	
Profondita':	INDAGINE: <b>PROSPEZIONE GEOFISICA</b>		
UNITA': (m)	OGGETTO: <b>UBICAZIONE DELLE INDAGINI</b>		
SCALA: 1:5.000	TAVOLA: <b>PLANIMETRIA GENERALE</b>		
TAVOLA: <b>PLANIMETRIA GENERALE</b>		N. Tavole: 2	FORMATO: A1
TECNICI:		TAV. <b>1</b>	0
COLLABORATORE:		DATA	CONTROLLO

Tutti i diritti sono riservati.  
 La riproduzione e la circolazione e' vietata senza permesso scritto dalla SO.RI.GE.







## INDICE

I.	Introduzione	Pag.	1
II.	Descrizione dei lavori eseguiti	Pag.	1
IIa.	Elenco degli stendimenti sismici registrati	Pag.	6
III.	Finalità della prospezione sismica a rifrazione	Pag.	9
IV.	Inquadramento geologico dell'area di studio	Pag.	11
V.	Esito dell'indagine sismica	Pag.	16

### Appendice:

Sismogrammi	Pag.	19
Tomografia geoelettrica	Pag.	53
Elaborazione dati topografici degli stendimenti sismici	Pag.	60

### Allegati:

Planimetria (All. 1)

Dromocrone (All. 2a – 2c)

Sezioni sismostratigrafiche (All. 3a – 3c)

Tomogrammi sismici (All. 4a – 4c)

Carta geologica (All. 5)

## **I. INTRODUZIONE**

Su incarico della Società SPEA sono stati eseguiti rilievi sismici a rifrazione con elaborazione tradizionale e tomografica finalizzati ad ottenere informazioni sulla successione sismostratigrafica dei terreni nei pressi della Galleria Bruschetto in località Incisa Valdarno – vedi planimetria in Allegato 1.

Le indagini sismiche sono state articolate come segue:

- a) registrazione di N. 4 linee denominate GB-A2 (ml. 90), GB-A3 (ml. 115), GB-15 (ml. 355) e GB-16 (ml. 355) per una lunghezza totale di metri 915 di stendimento.
- b) elaborazione degli eventi rifratti con ricostruzione delle interfacce delle velocità sismiche ed inversione tomografica.

Nel presente rapporto sono descritti i lavori eseguiti, le attrezzature utilizzate e si riassumono i risultati della prospezione geofisica svolta.

## **II. DESCRIZIONE DEI LAVORI ESEGUITI**

Il programma delle indagini ci è stato consegnato dalla Committente. L'ubicazione dei geofoni e punti di scoppio lungo gli stendimenti sismici (in sito sono stati lasciati picchetti in legno con relativa scritta indelebile del nome della linea e del numero di geofono – vedi Foto 1) è stata rilevata topograficamente.

Le linee sismiche sono composte da stendimenti di geofoni spazati 5 metri. I collegamenti elettrici sono stati realizzati mediante cavi De Regt; i geofoni utilizzati sono del tipo verticale SM-4 con frequenza naturale di 10 Hz, prodotti dalla Sensor. Per ciascuna base sono stati effettuati minimo 7 punti d'energizzazione tramite massa battente Seis-Pulse (vedi Foto 4) e cannoncino sismico calibro 8 equipaggiato con cartucce industriali a pallettoni di piombo (vedi Foto 3).

I sismogrammi (vedi stampe in Appendice e files su CD allegato) sono stati acquisiti con un'apparecchiatura Geometrics *StrataView* a 24 canali (Foto 2).

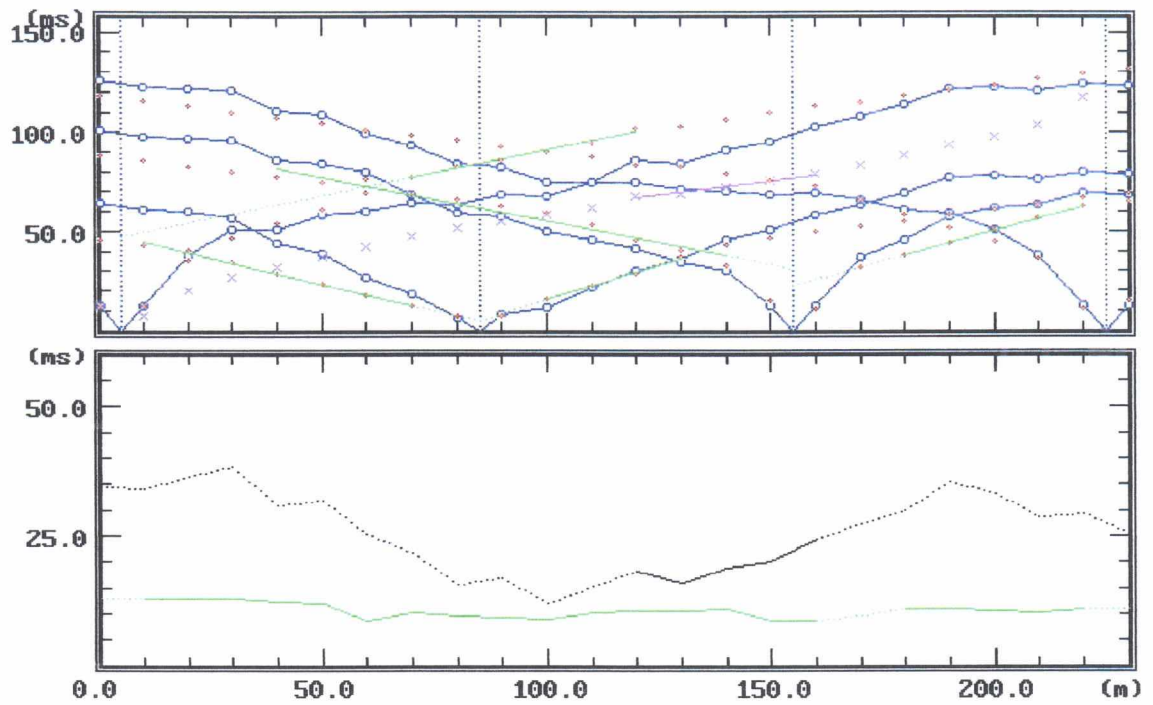
Per migliorare il rapporto segnale/disturbo in conseguenza delle forti interferenze causate dal traffico autostradale, oltre ad aver effettuato la somma di tiri multipli, a volte, sui sismogrammi sono stati inseriti filtri taglia-basso.

I tempi di percorso diretto e rifratto delle onde P fra i punti in cui è stato energizzato il terreno ed i singoli geofoni, ubicati su ciascun stendimento, sono riportati su diagrammi (dromocrone – vedi Allegati 2) con le distanze in metri sull'ascissa e i tempi in millesimi di secondo sull'ordinata.

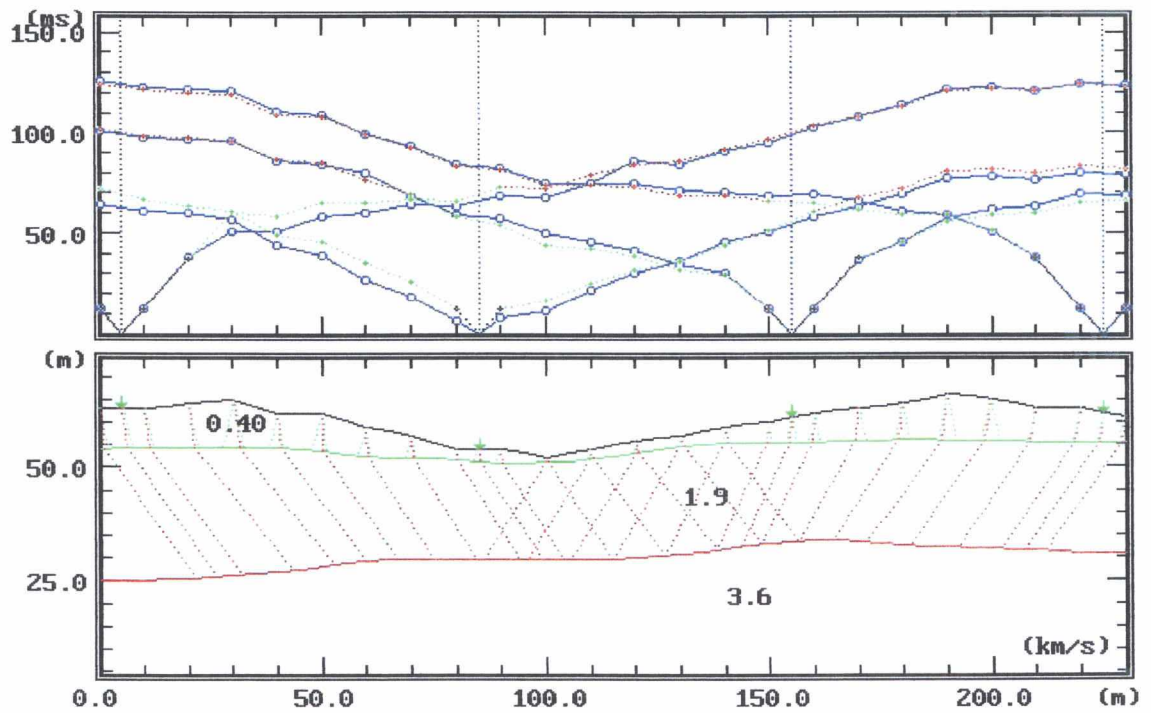
L'elaborazione e analisi tradizionale dei dati è stata eseguita tramite PC opportunamente programmato con un nostro software denominato GeoRifra – vedi esempio di procedimento alle pagine seguenti - che svolge un processo iterativo d'inversione con metodo reciproco convenzionale (GRM), modellazione tramite un'estensione (TJ) del metodo delay-time (Figura 1 e Figura 2) e restituisce gli elaborati finali sotto forma di files in formato AutoCAD.

La stampa delle dromocrone e delle sismosezioni è stata effettuata mediante plotter Hewlett Packard a colori.

Le sezioni sismostratigrafiche (Allegati 3) riportano il profilo del terreno ottenuto mediante rilievo topografico e l'intorno delle discontinuità fisiche riscontrate all'interno dei mezzi attraversati con indicazione delle rispettive velocità di propagazione degli impulsi sismici, espresse in chilometri/secondo (Km/sec.).

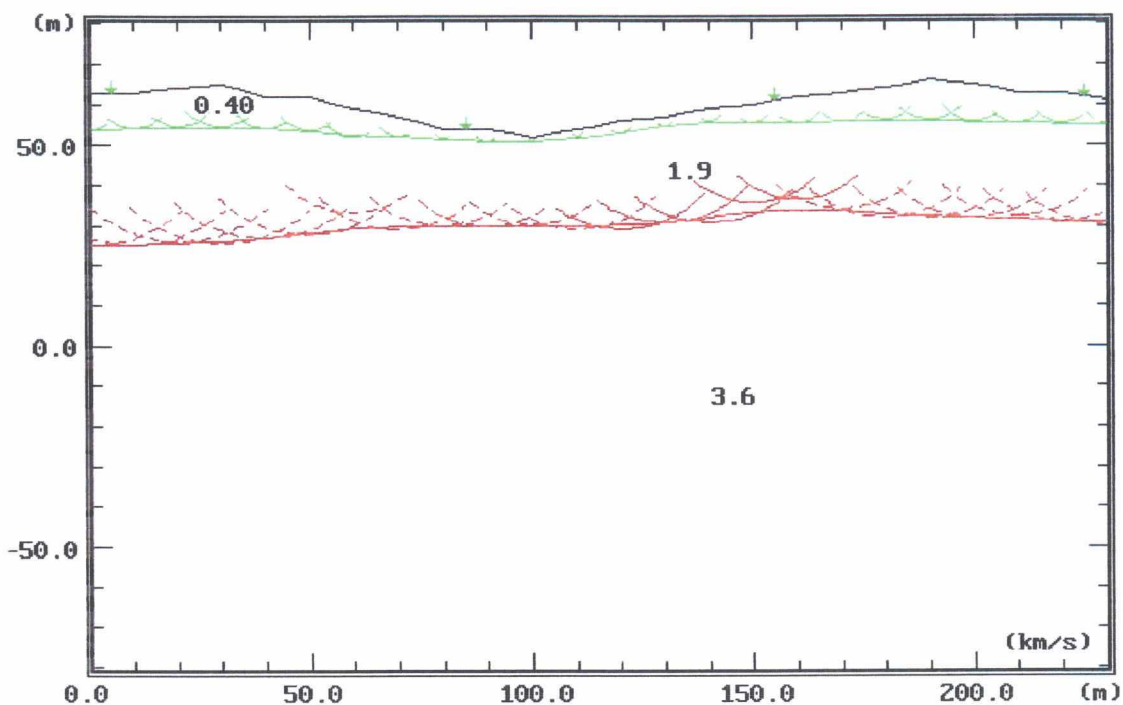


Determinazione velocità sismiche e analisi delay-time

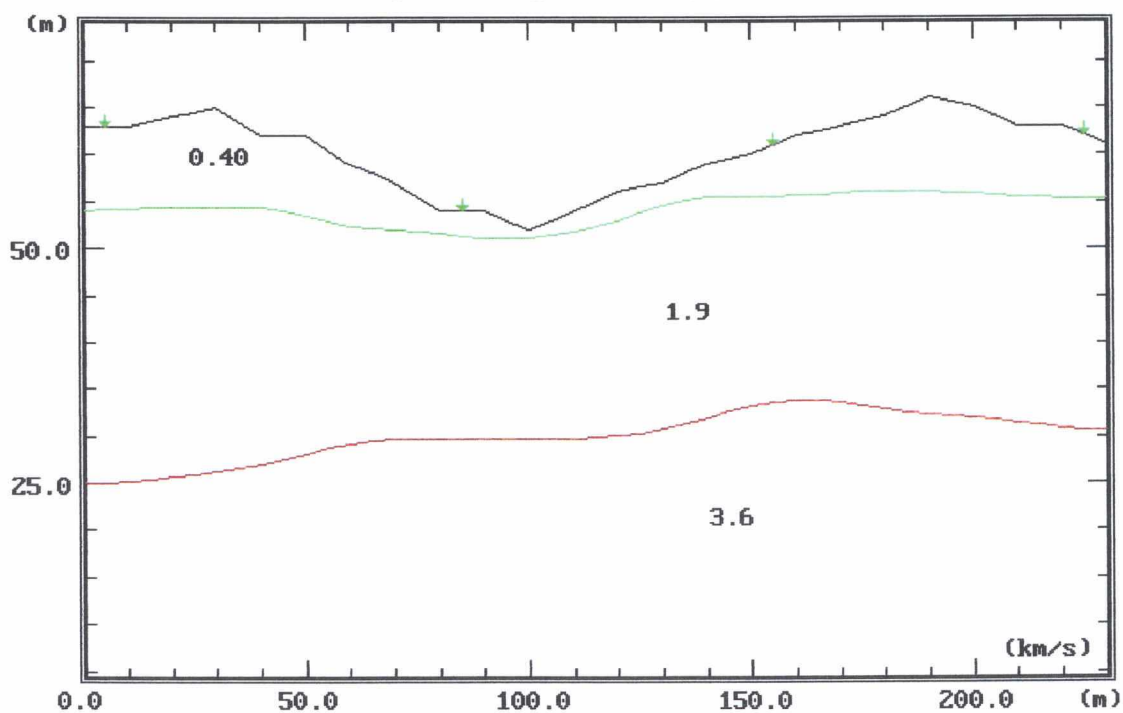


Elaborazione tomocrone e processo d'inversione dati

Figura 1



Ricostruzione di sismosezione con G.R.M.



Sezione sismostratigrafica finale

Figura 2

I tomogrammi delle velocità sismiche (vedi Allegati 4) sono stati ottenuti mediante l'utilizzo del programma SeisOpt Pro (versione 2.5) realizzato dalla Optim Software & Data Solutions.

Per la ricostruzione del modello è necessario inserire i dati del rilievo topografico eseguito lungo la linea sulla quale è stato effettuato lo stendimento, le coordinate xz dei geofoni e punti di energizzazione ed il tempo dei primi arrivi registrati dal sismografo. Non sono richieste informazioni sulle strutture del sottosuolo né stratigrafie dell'area d'indagine.

Il metodo impiegato è detto "Inversione di Monte-Carlo" ed i modelli iterativi derivano da un algoritmo specifico in cui essi vengono accettati o rifiutati attraverso criteri di probabilità. Questo test di verifica permette di creare un modello di isovelocità strutturale unico, globale e ottimizzato, a partire da una serie di dati locali e puntuali. In pratica l'ottimizzazione viene effettuata eseguendo un confronto fra il modello di velocità creato dall'algoritmo e quello generato dai dati registrati, e ad ogni confronto corrisponde una determinata discrepanza fra il modello calcolato e quello reale.

Il programma restituisce il modello che più si avvicina a quello effettivo a cui corrisponde cioè l'errore minore. Il profilo di terreno indagato viene suddiviso in tante celle di uguali dimensioni (scelte dall'utente) ed il procedimento algoritmico di confronto viene effettuato per ogni cella. Naturalmente maggiore è il numero delle celle e più piccola sarà la loro dimensione, poiché la superficie in analisi è la medesima, e maggiore sarà quindi la risoluzione dell'output.

Le curve riportate sui tomogrammi sono relative ad incrementi di velocità pari a 0.2 Km/sec. riscontrati all'interno dei mezzi attraversati.



## **IIa. ELENCO DEGLI STENDIMENTI SISMICI REGISTRATI**

<i>Nome stendimento</i>	<i>Base/Numero geofoni</i>	<i>N. registrazioni/Files</i>
GB-A2 (90 ml)	1, 19	7 da 1 a 7
GB-A3 (115 ml)	1, 24	7 da 8 a 14
GB-15 (355 ml)	A, 24 B, 24 C, 24	8 da 15a 22 9 da 23a 31 7 da 32a 38
GB-16 (355 ml)	A, 24 B, 24 C, 24	8 da 39 a 46 9 da 47 a 55 7 da 56 a 62



**Foto 1 Picchetto identificativo dell'inizio dello stendimento GB-A3**



**Foto 2 Apparecchiatura di registrazione dei sismogrammi**



**Foto 3 Cannoncino sismico**



**Foto 4 Energizzatore sismico Seis-Pulse**



### **III. FINALITA' DELLA PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE**

Le indagini geofisiche con metodo sismico sono indispensabili per poter conseguire un'esplorazione dettagliata e continua del sottosuolo e come supporto primario di correlazione stratigrafica che generalmente è basata soltanto su un'interpolazione di informazioni puntuali, ottenute tramite sondaggi geognostici, e su rilevamenti di superficie di carattere puramente geologico.

Al fine di facilitare l'interpretazione delle sezioni sismostratigrafiche, si ribadiscono le caratteristiche fondamentali che distinguono le facoltà risolutive della sismica a rifrazione.

Il metodo si basa sulla determinazione della velocità di propagazione delle onde elastiche longitudinali attraverso il terreno, a seguito di un'esplosione di una piccola carica di dinamite oppure generate da una massa battente, opportunamente studiata per immettere nel terreno una banda di frequenza sismica tale da evidenziare gli obiettivi della ricerca, in relazione ai componenti litologici del sottosuolo investigato.

Per il buon esito delle indagini sarebbe opportuno effettuare la taratura delle velocità tramite sondaggi sismici in foro (tecnica downhole).

Le misure servono anche per verificare l'affidabilità della metodologia a rifrazione che non prevede inversioni di velocità con l'aumentare della profondità.

L'elaborazione dei dati consente, tramite i valori delle velocità congiuntamente ai tempi di percorso dei raggi rifratti, la ricostruzione di sezioni rappresentanti i profili sismostratigrafici, caratterizzati da differenti velocità di propagazione.

E' noto che il valore della velocità sismica dipende dal grado di compattezza del terreno attraversato e quindi i due parametri sono fra di loro direttamente proporzionali.

L'analisi effettuata sulle sezioni sismostratigrafiche permette quindi di discriminare livelli contraddistinti da proprietà fisico-meccaniche differenziate.

Ciò è molto vantaggioso nella fase interpretativa dei dati perché se ci si trova in presenza di materiali appartenenti alla medesima formazione, si potranno distinguere intorni rifrangenti che delimitano strati aventi una compattezza diversa; viceversa, nel caso di reale eterogeneità, le interfacce saranno di origine litologica.

Va inoltre ricordato anche che un consistente addensamento di terreni a granulometria medio-fine e detritici potrebbe presentare la medesima velocità sismica di rocce molto fratturate, in tale circostanza l'indagine di tipo indiretto a rifrazione richiede la verifica con carotaggi meccanici e possibilmente la disponibilità di informazioni dettagliate conseguite dal rilevamento geologico locale.

Infine è da segnalare la rilevante funzione indicatrice delle superfici di discontinuità fisica per visualizzare in sezione, eventuali fenomeni di scorrimento franoso.

## **V. ESITO DELL'INDAGINE SISMICA**

Lo scopo specifico della prospezione eseguita, consisteva essenzialmente nell'acquisire informazioni dettagliate e continue relative agli spessori sismici dei terreni presenti nell'area di studio.

L'indagine è stata effettuata realizzando 4 sismosezioni formate da stendimenti di geofoni spazati 5 metri.

Per quanto riguarda in dettaglio lo spessore e la disposizione delle interfacce sismiche, l'andamento geometrico delle superfici di discontinuità e la presenza di variazioni laterali di velocità, si rimanda alla visione degli elaborati allegati.

I punti d'intersezione fra le linee e l'ubicazione o proiezione dei sondaggi geognostici sono indicati sulle sezioni.

L'attribuzione delle velocità sismiche è stata effettuata in considerazione dei litotipi descritti nel paragrafo precedente ed a quelli estratti nel corso dei sondaggi geognostici perforati in prossimità delle linee sismiche.

La prospezione ha consentito l'identificazione di massima della seguente successione sismostratigrafica:

- Velocità delle onde dirette e prime rifratte, comprese fra 0.15 e 1.1 Km/sec., associate a suolo e materiali alterati superficiali, talora di riporto, limo sabbioso con ciottoli calcarei e ghiaie, addensati proporzionalmente ai valori delle velocità misurate.
- Velocità di un rifratte variabili da 1.5 a 1.7 Km/sec., riconducibili a terreni sabbiosi sulle sezioni GB-A2 e GB-A3 e limo argilloso o sabbioso con eventuali inclusi e lenti argillose lungo le altre due sezioni, mediamente poco compatti. Sulle sezioni GB-15 e GB-16, l'andamento dei rifrattori delimitanti l'intervallo delle velocità in esame evidenzia fenomeni d'instabilità (vedi tipiche geometrie ad arco delle discontinuità) probabilmente attivabili da intensa circolazione idrica locale.
- Velocità sismiche comprese fra 2.2 e 2.3 Km/sec. osservabili solo sulle sezioni GB-A2 e GB-A3, ascrivibili a limo sabbioso con clasti calcarei piuttosto addensati e saturi d'acqua.

- Le velocità sismiche che incrementano da 2.4 a 3.0 Km/sec. sono associabili al substrato sismico locale costituito da calcare marnoso fratturato da poco a mediamente consistente.

L'elaborazione tomografica dei dati sismici è rappresentata sugli Allegati 4 e va utilizzata soprattutto per un controllo qualitativo di massima dei terreni e per individuare eventuali inversioni notevoli di velocità.

Analizzando i tomogrammi, complessivamente, si nota la conferma e una discreta corrispondenza della ricostruzione tradizionale e dei valori delle velocità sismiche.

Ad ulteriore supporto dei dati sismici acquisiti lungo il tracciato stradale posto a Nord-Ovest del Fiume Arno e precisamente in sovrapposizione alla linea sismica GB-A3, di nostra iniziativa ed a scopo promozionale, è stato realizzato uno stendimento geoelettrico con 32 elettrodi spazati 4 metri per la ricostruzione con tecnica tomografica dei profili di resistività dei terreni.

La restituzione cromatica delle curve iso-resistive è visibile sul tomogramma fornito in appendice dove sono anche riportate alcune note descrittive della tecnica adottata per l'acquisizione ed elaborazione delle letture.

E' molto evidente il contrasto di resistività fra i materiali sciolti e sabbiosi superficiali con quelli limo-sabbiosi sottostanti contenenti clasti calcarei e saturi, posti a contatto col substrato calcareo marnoso.

## **APPENDICE**

### **Elaborazione dati topografici degli stendimenti sismici**



Si riportano di seguito i dati topografici delle linee sismiche effettuate in località Incisa Val d'Arno e descritte precedentemente.

Nelle Tabelle 1,2,3 e 4 sono illustrate rispettivamente le coordinate in Gauss Boaga e le quote in metri (riferiti al medio mare), dei punti corrispondenti all'ubicazione dei geofoni disposti con spaziatura di 5m lungo il profilo del terreno.

Le sezioni topografiche sono stati utilizzati per l'elaborazione e riportati in seguito sia nei tomogrammi che sulle sezioni sismostratigrafiche.

<b>LINEA SISMICA GBA2</b>			
<i>n° geofono</i>	<i>E</i>	<i>N</i>	<i>quota</i>
1.00	1697814.42	4838990.58	121.60
2.00	1697817.05	4838986.35	122.04
3.00	1697819.65	4838982.23	121.57
4.00	1697821.96	4838978.55	123.64
5.00	1697824.59	4838974.34	123.88
6.00	1697827.05	4838970.42	121.98
7.00	1697829.67	4838966.23	121.96
8.00	1697832.32	4838962.00	121.76
9.00	1697834.97	4838957.77	121.48
10.00	1697837.62	4838953.54	121.20
11.00	1697840.27	4838949.31	120.93
12.00	1697842.92	4838945.08	120.65
13.00	1697845.57	4838940.85	120.59
14.00	1697848.15	4838936.74	119.40
15.00	1697850.73	4838932.62	118.22
16.00	1697853.31	4838928.50	117.04
17.00	1697855.89	4838924.39	115.85
18.00	1697858.47	4838920.27	114.67
19.00	1697861.13	4838916.04	114.67

**Tabella 1**

<b>LINEA SISMICA GBA3</b>			
<i>n° geofono</i>	<i>E</i>	<i>N</i>	<i>quota</i>
1	1697811.1200	4838886.6900	114.0100
2	1697813.9500	4838890.4700	115.6500
3	1697816.8600	4838894.3500	116.6200
4	1697819.8600	4838898.3500	116.8500
5	1697822.8600	4838902.3400	117.0800
6	1697825.8500	4838906.3400	117.3100
7	1697828.8500	4838910.3300	117.5400
8	1697831.8500	4838914.3300	117.7700
9	1697834.8500	4838918.3200	118.0000
10	1697837.8400	4838922.3200	118.2300
11	1697840.8400	4838926.3100	118.4600
12	1697843.8400	4838930.3100	118.6800
13	1697846.8400	4838934.3000	118.9100
14	1697849.8300	4838938.3000	119.1400
15	1697852.8300	4838942.3000	119.3700
16	1697855.8300	4838946.2900	119.6000
17	1697858.8300	4838950.2900	119.8300
18	1697861.8200	4838954.2800	119.7300
19	1697864.8200	4838958.2800	119.4900
20	1697867.8100	4838962.2700	119.1700
21	1697870.8000	4838966.2400	118.6400
22	1697873.7800	4838970.2200	118.1200
23	1697876.7600	4838974.2000	117.5900
24	1697879.7500	4838978.1800	117.0700

**Tabella 2**

<b>LINEA SISMICA GB15</b>			
<i>n° geofono</i>	<i>E</i>	<i>N</i>	<i>quota</i>
1	1697889.9000	4838844.8900	106.0000
2	1697891.9600	4838840.3300	106.0000
3	1697893.9300	4838836.0300	107.1400
4	1697895.8600	4838831.7900	108.8600
5	1697897.7800	4838827.5700	110.7200
6	1697899.7100	4838823.3400	112.5800
7	1697901.6100	4838819.1700	114.5000
8	1697903.4500	4838815.1400	116.7200
9	1697905.4400	4838810.7800	117.9900
10	1697907.2200	4838806.8700	120.3600
11	1697908.9600	4838803.0600	123.1000
12	1697910.8300	4838798.9400	125.0100
13	1697912.5900	4838795.0900	127.5700
14	1697914.2900	4838791.3700	130.3900
15	1697916.2100	4838787.1500	132.2300
16	1697918.0600	4838783.0900	134.4900
17	1697919.8800	4838779.1000	136.8900
18	1697921.6800	4838775.1600	139.3700
19	1697923.4200	4838771.3300	142.0800
20	1697925.1500	4838767.5400	144.8400
21	1697926.9800	4838763.5300	147.1500
22	1697928.8600	4838759.4000	149.2500
23	1697930.7800	4838755.2000	151.1500
24	1697932.7400	4838750.9100	152.8200
25	1697934.6900	4838746.6200	154.4800
26	1697936.6300	4838742.3800	156.2300
27	1697938.6600	4838737.9100	157.2000
28	1697940.7000	4838733.4400	158.0700
29	1697942.7700	4838728.9000	158.4900
30	1697944.8300	4838724.3700	158.9000
31	1697946.9000	4838719.8400	159.3100
32	1697948.9700	4838715.3000	159.7300
33	1697951.0200	4838710.8000	160.3600
34	1697953.0300	4838706.3900	161.5900
35	1697955.0200	4838701.8200	161.8700
36	1697956.8400	4838697.4600	162.7900
37	1697958.1800	4838693.7800	165.9000
38	1697959.7500	4838689.9300	166.0100
39	1697961.5300	4838685.8300	164.1500
40	1697963.3700	4838681.2300	164.8500
41	1697965.2100	4838676.6300	165.5600
42	1697967.0500	4838672.0400	166.2500
43	1697968.8800	4838667.4400	166.9400
44	1697970.7200	4838662.8400	167.6300

45	1697972.5400	4838658.2900	168.5900
46	1697974.3400	4838653.8100	169.9000
47	1697976.1100	4838649.3800	171.3900
48	1697977.9000	4838644.8900	172.6500
49	1697979.7200	4838640.3600	173.7300
50	1697981.5200	4838635.8500	174.9200
51	1697983.3200	4838631.3600	176.1600
52	1697985.1200	4838626.8600	177.3900
53	1697986.9300	4838622.3400	178.5200
54	1697988.7500	4838617.7900	179.5500
55	1697990.5600	4838613.2700	180.6600
56	1697992.3600	4838608.7500	181.8200
57	1697994.1800	4838604.2200	182.8900
58	1697995.9900	4838599.6800	183.9400
59	1697997.8300	4838595.1000	184.7400
60	1697999.6600	4838590.5100	185.5200
61	1698001.3800	4838586.2100	186.2000
62	1698003.2200	4838581.6200	186.9700
63	1698005.0500	4838577.0300	187.7400
64	1698006.8900	4838572.4500	188.5100
65	1698008.7200	4838567.8600	189.2800
66	1698010.5500	4838563.2900	190.1600
67	1698012.3500	4838558.8000	191.4200
68	1698014.1500	4838554.3000	192.6400
69	1698015.9800	4838549.7200	193.4600
70	1698017.8000	4838545.1700	194.4700
71	1698019.6100	4838540.6400	195.5600
72	1698021.2900	4838536.4500	196.9000

**Tabella 3**

<b>LINEA SISMICA GB16</b>			
<i>n° geofono</i>	<i>E</i>	<i>N</i>	<i>quota</i>
1	1698041.4200	4838508.9900	197.6300
2	1698042.5800	4838504.3200	196.7800
3	1698043.5900	4838499.7800	195.4800
4	1698044.3800	4838494.8800	195.8800
5	1698045.1800	4838489.9700	195.3800
6	1698045.9700	4838485.0600	194.8900
7	1698046.6800	4838480.6700	192.8600
8	1698047.4800	4838475.7400	192.5100
9	1698048.2800	4838470.8200	192.1600
10	1698049.0700	4838465.9200	191.5700
11	1698049.8600	4838461.0400	190.8000
12	1698050.6500	4838456.1700	190.0400
13	1698051.4300	4838451.3100	189.1600
14	1698052.2200	4838446.4500	188.2900
15	1698053.0100	4838441.5900	187.4200
16	1698053.7900	4838436.7200	186.5500
17	1698054.5800	4838431.8600	185.6900
18	1698055.3700	4838427.0000	184.8200
19	1698056.1500	4838422.1400	183.9500
20	1698056.9400	4838417.2700	183.1500
21	1698057.7300	4838412.4000	182.3500
22	1698058.5200	4838407.5200	181.5900
23	1698059.3100	4838402.6400	180.8600
24	1698060.1000	4838397.7500	180.1300
25	1698060.8900	4838392.8700	179.3900
26	1698061.6800	4838387.9900	178.6600
27	1698062.4700	4838383.1100	177.9300
28	1698063.2600	4838378.2200	177.2300
29	1698064.0500	4838373.3300	176.5300
30	1698064.8500	4838368.4400	175.8700
31	1698065.6400	4838363.5300	175.3400
32	1698066.4300	4838358.6200	174.8100
33	1698067.6700	4838353.8800	173.9800
34	1698069.3000	4838349.2600	172.9600
35	1698070.9300	4838344.6500	171.9400
36	1698072.5600	4838340.0300	170.9200
37	1698074.1900	4838335.4200	169.9000
38	1698075.8300	4838330.7800	168.9800
39	1698077.4700	4838326.1500	168.0600
40	1698079.0600	4838321.6400	166.6000
41	1698080.6600	4838317.1100	165.2500
42	1698082.2800	4838312.5500	163.9900
43	1698083.8900	4838307.9600	162.8100
44	1698085.5200	4838303.3600	161.7700

45	1698087.1700	4838298.6900	161.0300
46	1698088.8200	4838294.0300	160.3000
47	1698090.2500	4838289.9900	158.0400
48	1698091.6900	4838285.8300	156.2400
49	1698093.3000	4838281.1000	156.0600
50	1698094.8500	4838276.5500	154.9000
51	1698096.3900	4838272.0200	153.4500
52	1698097.9500	4838267.4300	152.2300
53	1698099.5100	4838262.8400	151.0300
54	1698101.0800	4838258.2400	149.8500
55	1698102.6500	4838253.6300	148.7200
56	1698103.9300	4838249.8600	145.8500
57	1698105.3600	4838245.6500	144.5200
58	1698106.9700	4838240.9200	144.6800
59	1698108.5800	4838236.2100	144.2300
60	1698110.1900	4838231.4800	144.3600
61	1698111.6900	4838227.0800	143.6200
62	1698112.8700	4838223.5900	140.2600
63	1698114.4700	4838218.8800	139.8200
64	1698115.8700	4838214.7800	137.5700
65	1698117.3500	4838210.4200	136.0900
66	1698118.9600	4838205.6900	136.0400
67	1698120.6500	4838201.0300	136.5600
68	1698122.6300	4838196.4400	136.5000
69	1698124.6100	4838191.8500	136.4400
70	1698126.5900	4838187.2600	136.3700
71	1698128.5700	4838182.6700	136.3100
72	1698130.5500	4838178.0800	136.2600

**Tabella 4**







**spea**  
autostrade

**ingegneria  
europea**

AUTOSTRADA A1 MILANO-NAPOLI  
AMPLIAMENTO ALLA TERZA CORSIA  
BARBERINO DI MUGELLO-INCISA VALDARNO  
Tratto: FIRENZE SUD-INCISA VALDARNO

INDAGINI GEOGNOSTICHE  
LOTTO 3 FASE B

PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE  
*Dromocrone stendimenti GB-A2 e GB-A3*

Allegato 2a/ Vol. 3

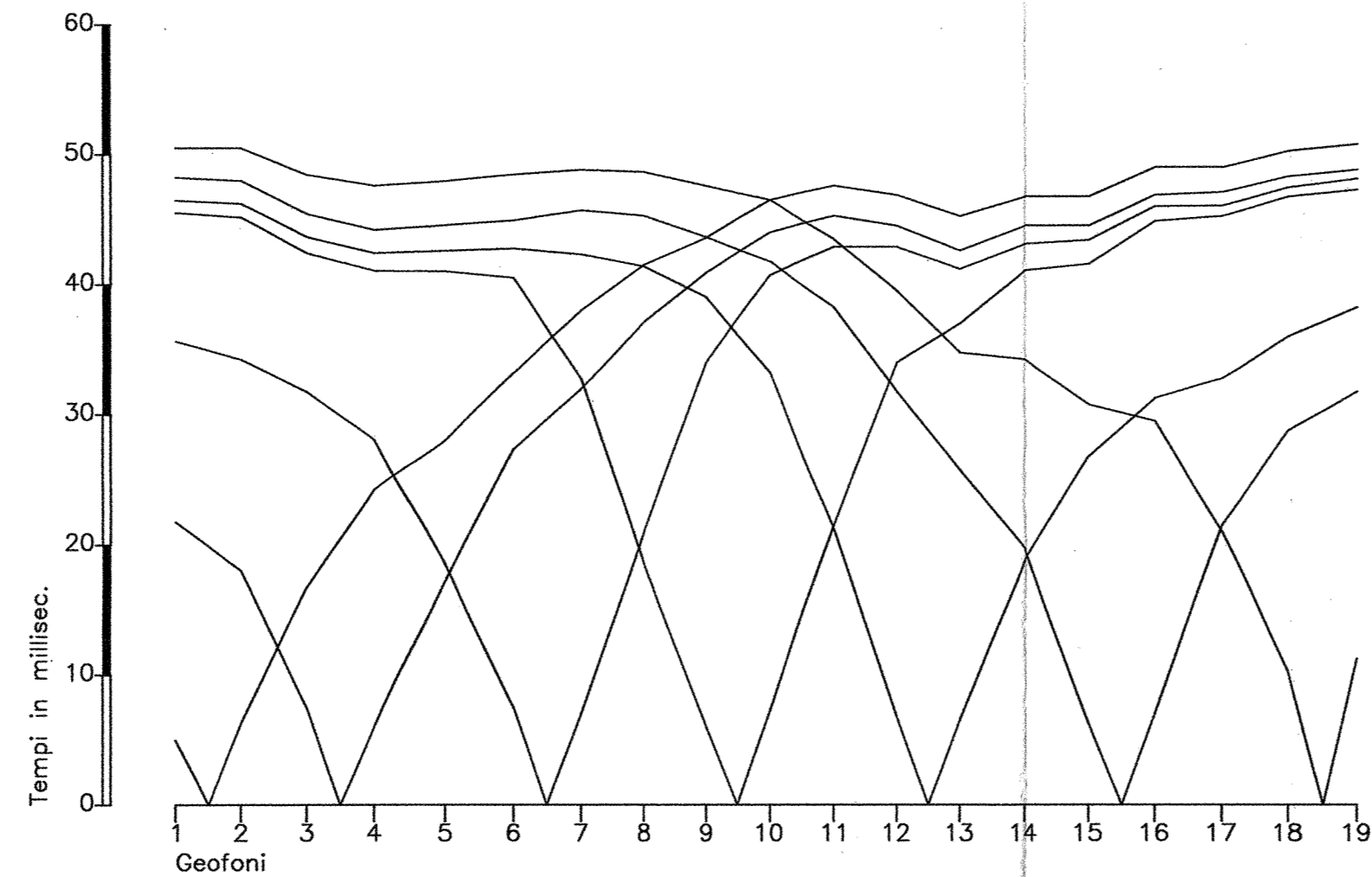
Novembre 2004

Scala 1:500

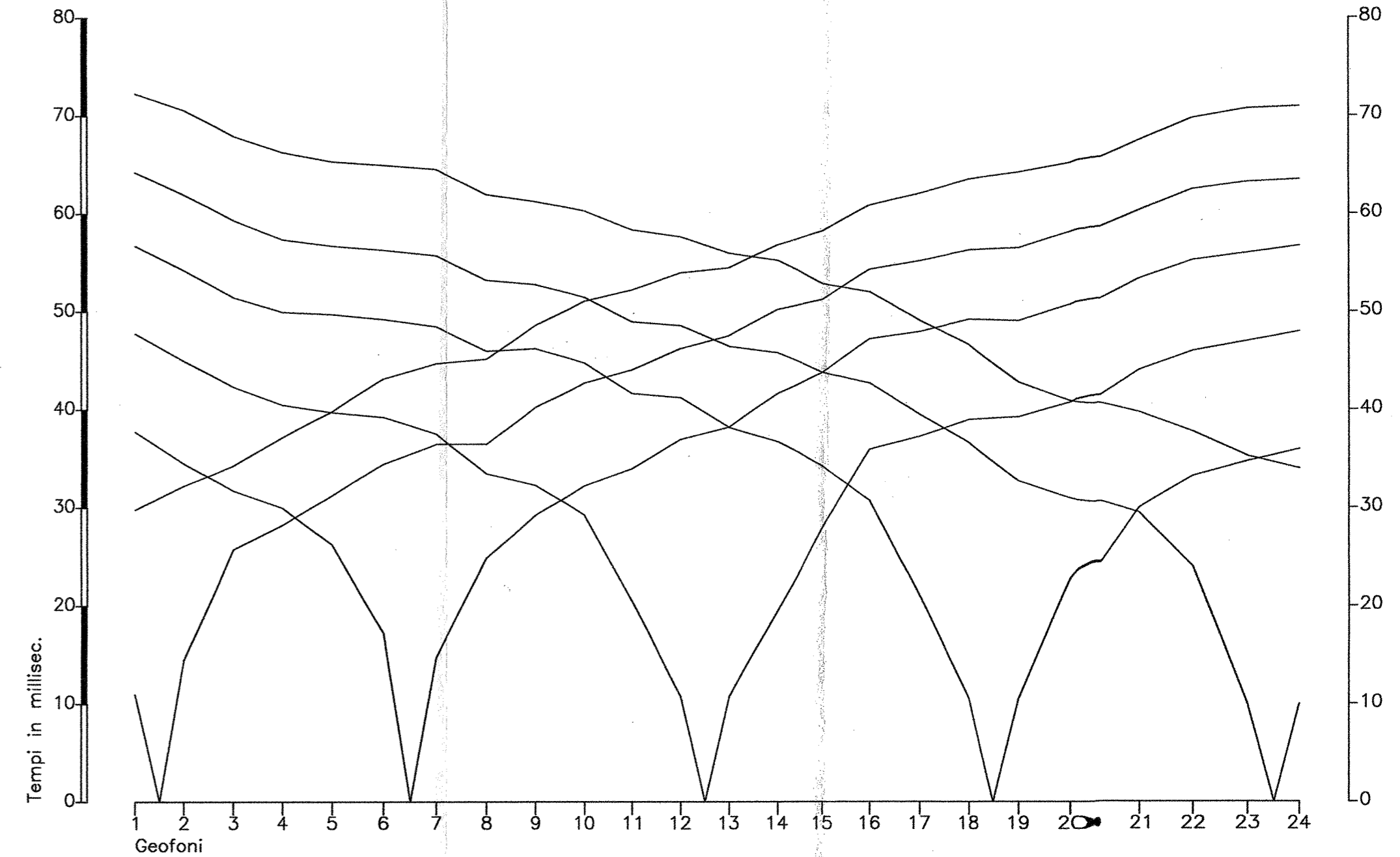
**GeoExploration**  
Prospezioni Geofisiche  
Via Costiera 3/A - 47100 FORLÌ

**SO.RI.GE.**  
s.r.l.

Dromocrone stendimento GB-A2



Dromocrone stendimento GB-A3





**spea**  
autostrade

ingegneria  
europea

AUTOSTRADA A1 MILANO-NAPOLI

AMPLIAMENTO ALLA TERZA CORSIA

BARBERINO DI MUGELLO-INCISA VALDARNO

Tratto: FIRENZE SUD-INCISA VALDARNO

INDAGINI GEOGNOSTICHE

LOTTO 3 FASE B

PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE

*Dromocrone stendimento GB-15*

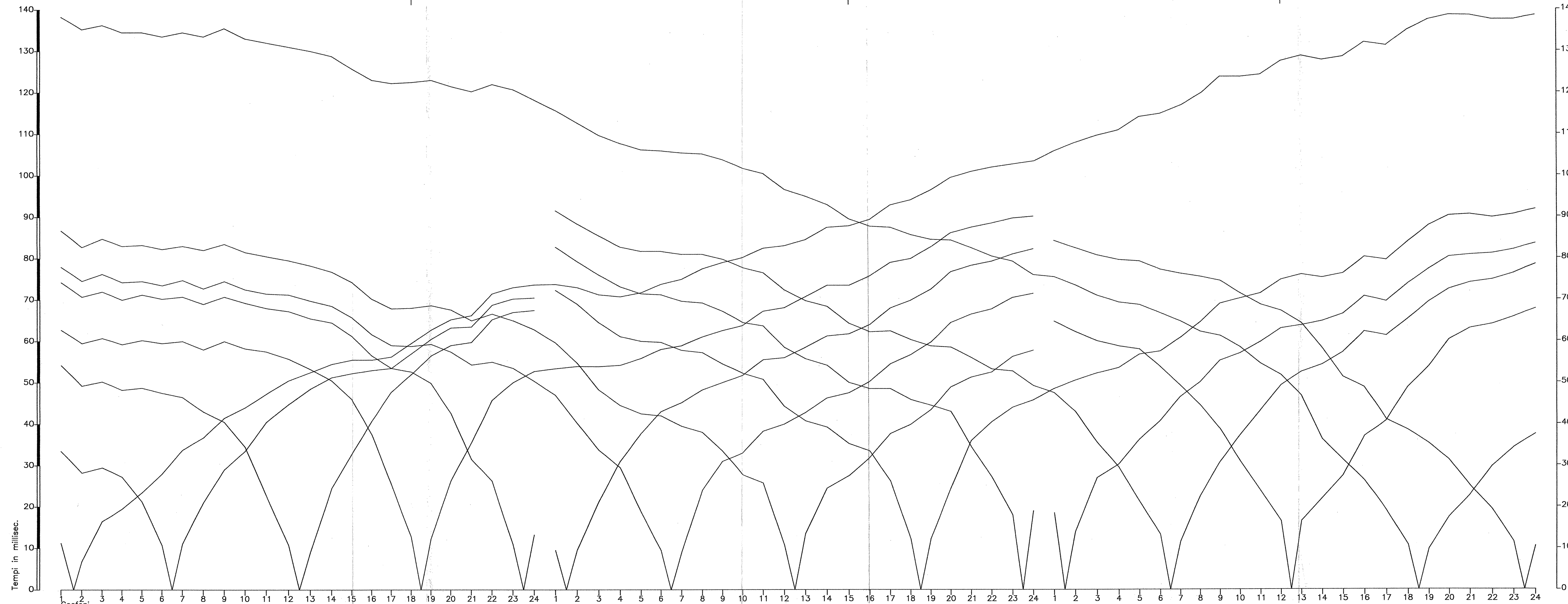
Allegato 2b/ Vol. 3

Novembre 2004

Scala 1:500

**GeoExploration**  
Prospezioni Geofisiche  
Via Costiera 3/A - 47100 FORLÌ

**SO.RI.GE.**  
s.r.l.



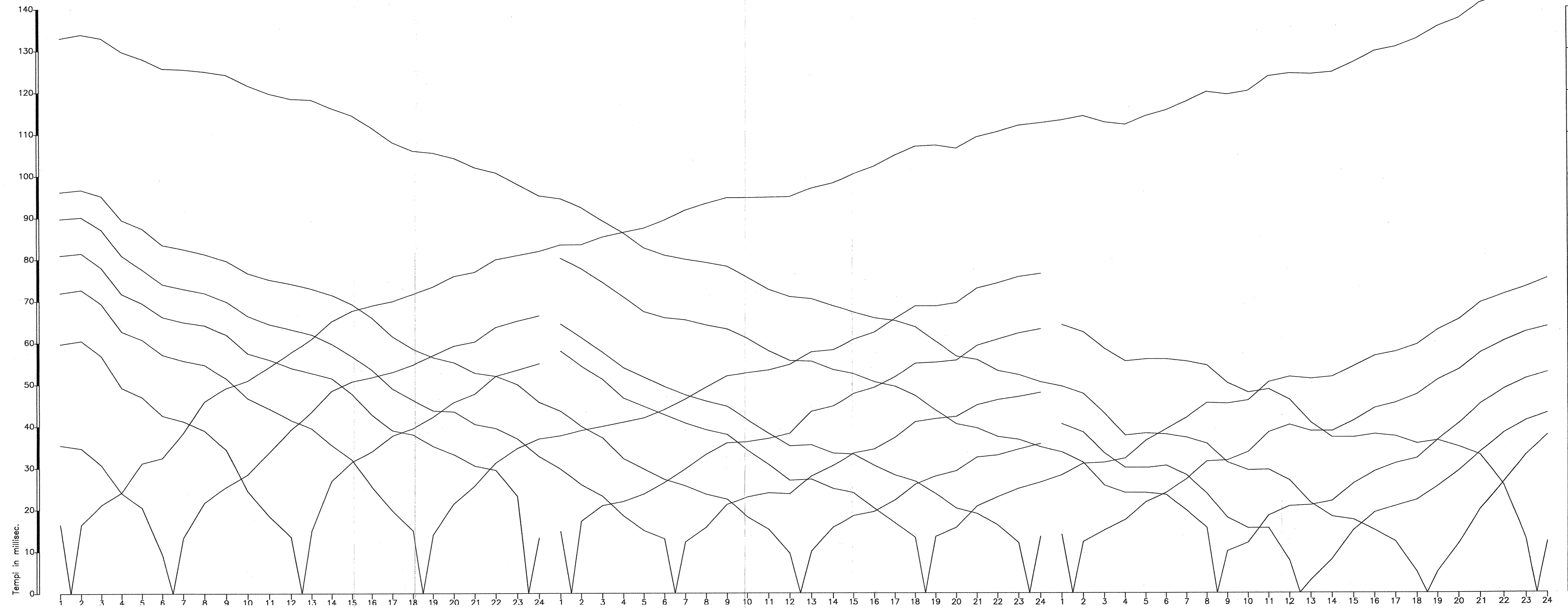


AUTOSTRADA A1 MILANO-NAPOLI  
AMPLIAMENTO ALLA TERZA CORSIA  
BARBERINO DI MUGELLO-INCISA VALDARNO  
Tratto: FIRENZE SUD-INCISA VALDARNO

INDAGINI GEOGNOSTICHE  
LOTTO 3 FASE B

PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE  
*Dromocrone stendimento BG-16*

Allegato 2c/ Vol. 3    Novembre 2004    Scala 1:500





**spea**  
autostrade

**ingegneria  
europea**

**AUTOSTRADA A1 MILANO-NAPOLI**  
**AMPLIAMENTO ALLA TERZA CORSIA**  
**BARBERINO DI MUGELLO-INCISA VALDARNO**  
Tratto: FIRENZE SUD-INCISA VALDARNO

**INDAGINI GEOGNOSTICHE**  
LOTTO 3 FASE B

**PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE**  
Sezioni sismostratigrafiche GB-A2 e GB-A3

Allegato 3a/ Vol. 3

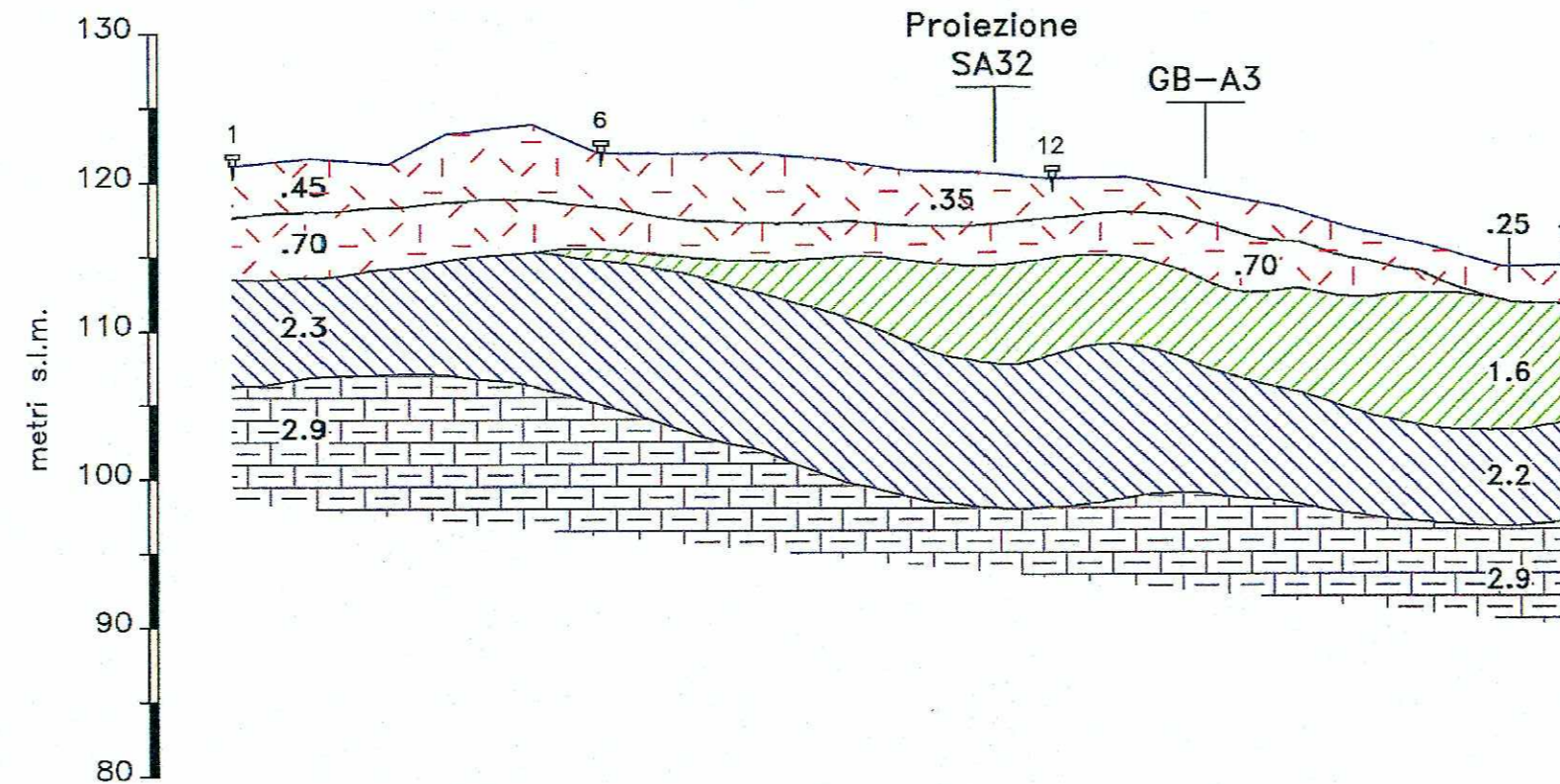
Novembre 2004

Scala 1:500

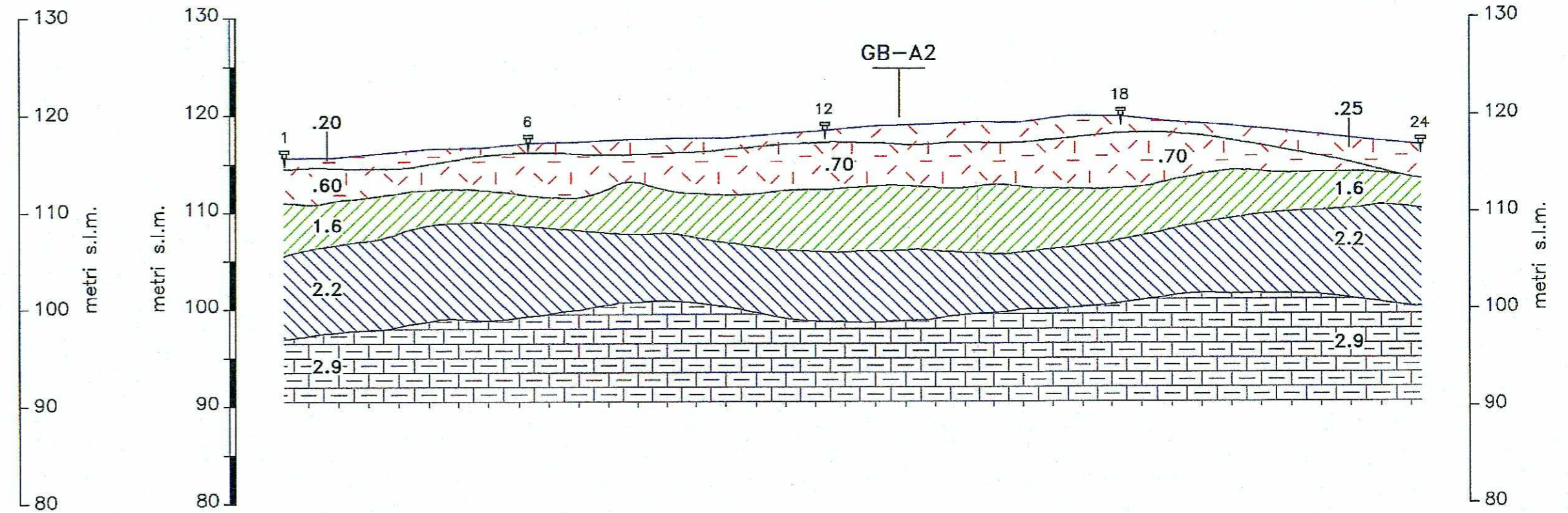
**GeoExploration**  
Prospezioni Geofisiche  
Via Costiera 3/A - 47100 FORLÌ

**SO.RI.GE.**  
s.r.l.

Sezione sismostratigrafica stendimento GB-A2



Sezione sismostratigrafica stendimento GB-A3



**LEGENDA**

- Profilo topografico del terreno con quote riferite al livello del mare
- Intorno di discontinuità fisica (passaggio verticale di velocità sismica)
- Variazione vertico-laterale di velocità sismica

- SA32**  
Ubicazione (o proiezione) di sondaggio geognostico di riferimento
- GB-A3**  
Intersezione con linea sismica

- Velocità sismiche comprese fra 0.15 e 1.1 Km/sec.
- Velocità sismiche comprese fra 1.5 e 1.7 Km/sec.
- Velocità sismiche comprese fra 2.1 e 2.2 Km/sec.

- Velocità sismiche comprese fra 2.4 e 2.5 Km/sec.
- Velocità sismiche comprese fra 2.9 e 3.0 Km/sec.



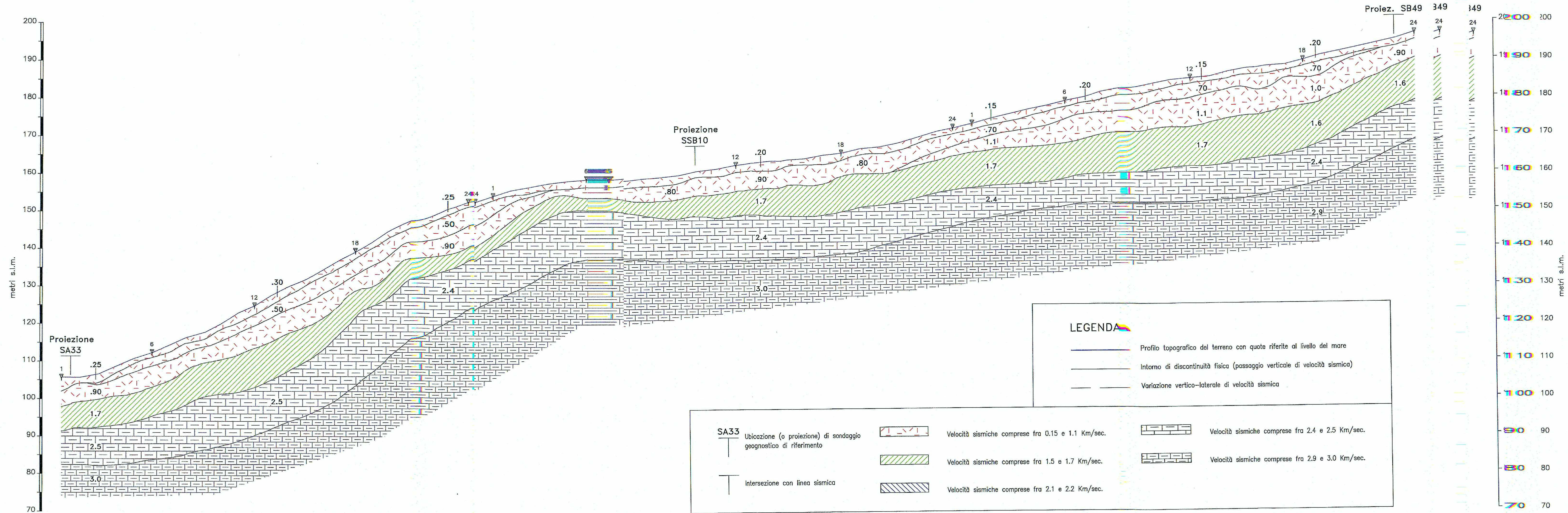


AUTOSTRADA A1 MILANO-NAPOLI  
 AMPLIAMENTO ALLA TERZA CORSIA  
 BARBERINO DI MUGELLO-INCISA VALDARNO  
 Tratto: FIRENZE SUD-INCISA VALDARNO

INDAGINI GEOGNOSTICHE  
 LOTTO 3 FASE B

PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE  
 Sezione sismostratigrafica GB15

Allegato 3b/ Vol. 3    Novembre 2004    Scala 1:500





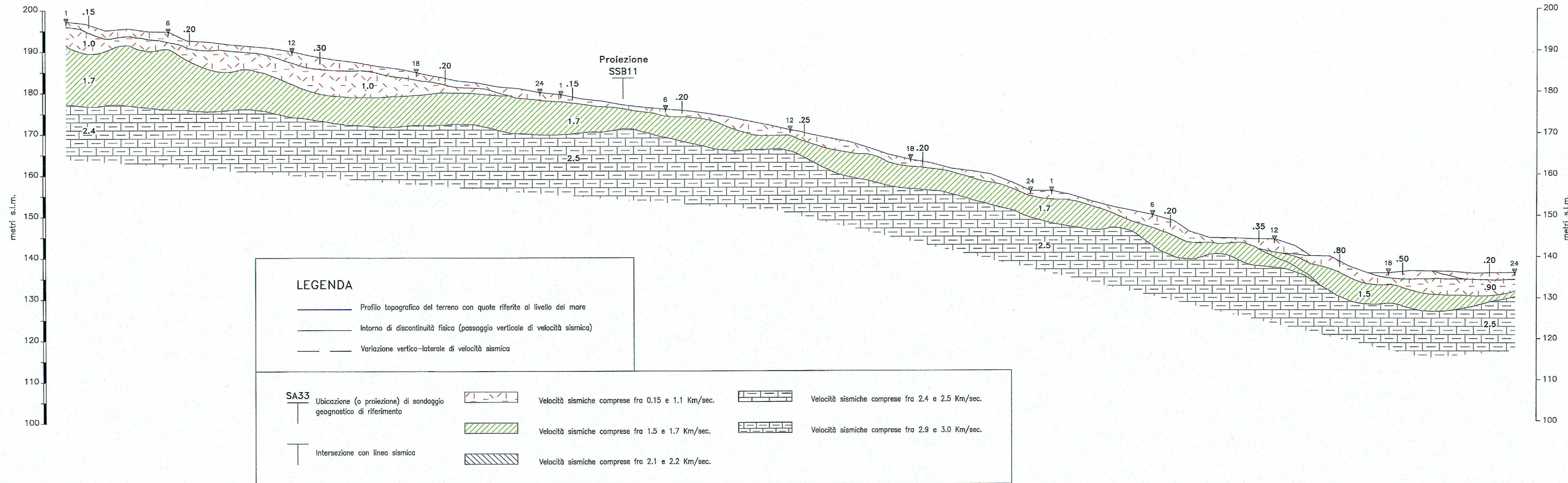


AUTOSTRADA A1 MILANO-NAPOLI  
 AMPLIAMENTO ALLA TERZA CORSIA  
 BARBERINO DI MUGELLO-INCISA VALDARNO  
 Tratto: FIRENZE SUD-INCISA VALDARNO

INDAGINI GEOGNOSTICHE  
 LOTTO 3 FASE B

PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE  
 Sezione sismostratigrafica GB16

Allegato 3c/ Vol. 3    Novembre 2004    Scala 1:500





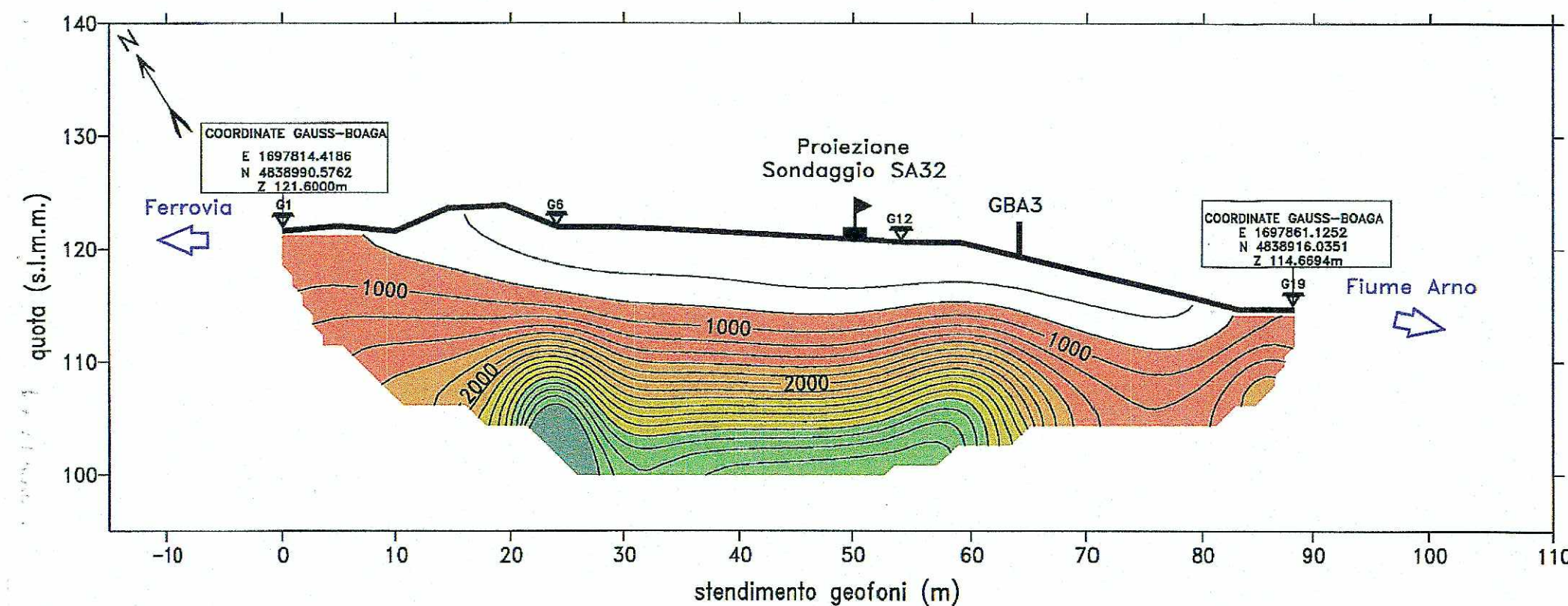
AUTOSTRADA A1 MILANO-NAPOLI  
AMPLIAMENTO ALLA TERZA CORSIA  
BARBERINO DI MUGELLO-INCISA VALDARNO  
Tratto: FIRENZE SUD-INCISA VALDARNO

INDAGINI GEOGNOSTICHE  
LOTTO 3 FASE B

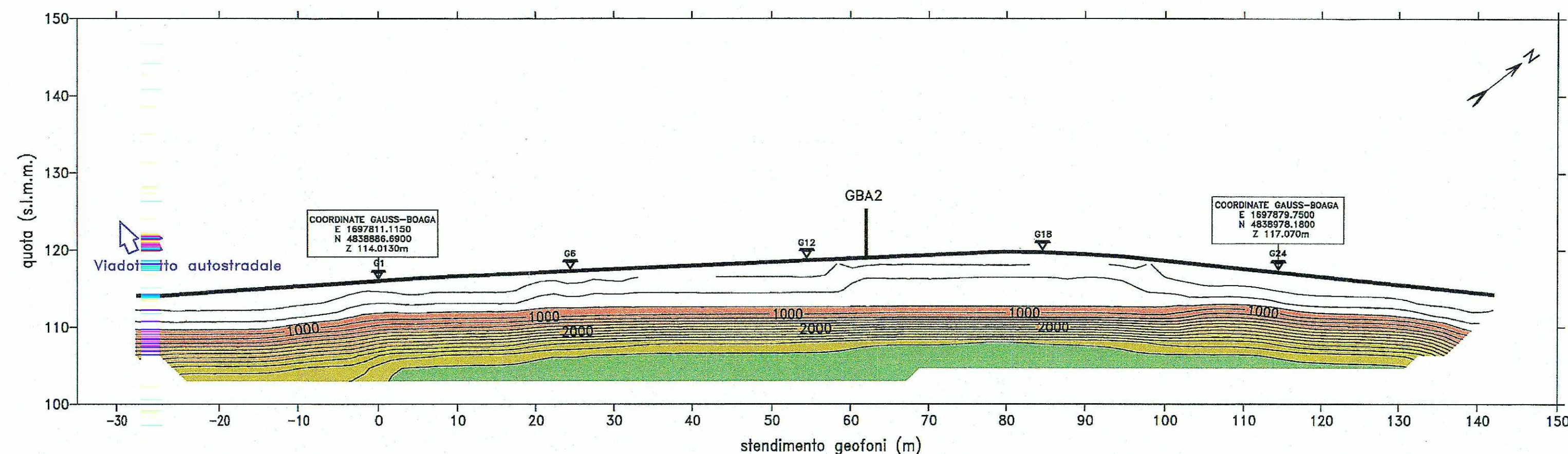
PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE  
Tomogrammi stendimenti GB-A2 e GB-A3

Allegato 4a/ Vol. 3    Novembre 2004    Scala 1:500

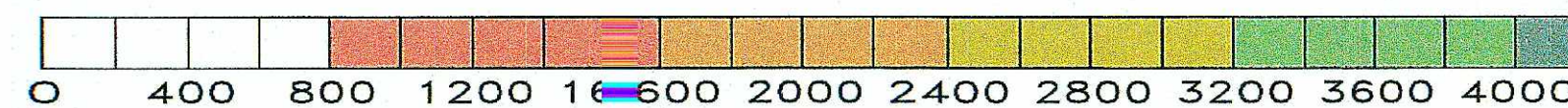
Tomogramma stendimento GB-A2



Tomogrammi stendimento GB-A3



Velocità onde P in m/s





spea  
autostrade

ingegneria  
europea

AUTOSTRADA A1 MILANO-NAPOLI

AMPLIAMENTO ALLA TERZA CORSIA

BARBERINO DI MUGELLO-INCISA VALDARNO

Tratto: FIRENZE SUD-INCISA VALDARNO

INDAGINI GEOGNOSTICHE

LOTTO 3 FASE B

PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE

Tomogramma stendimento GB-1616

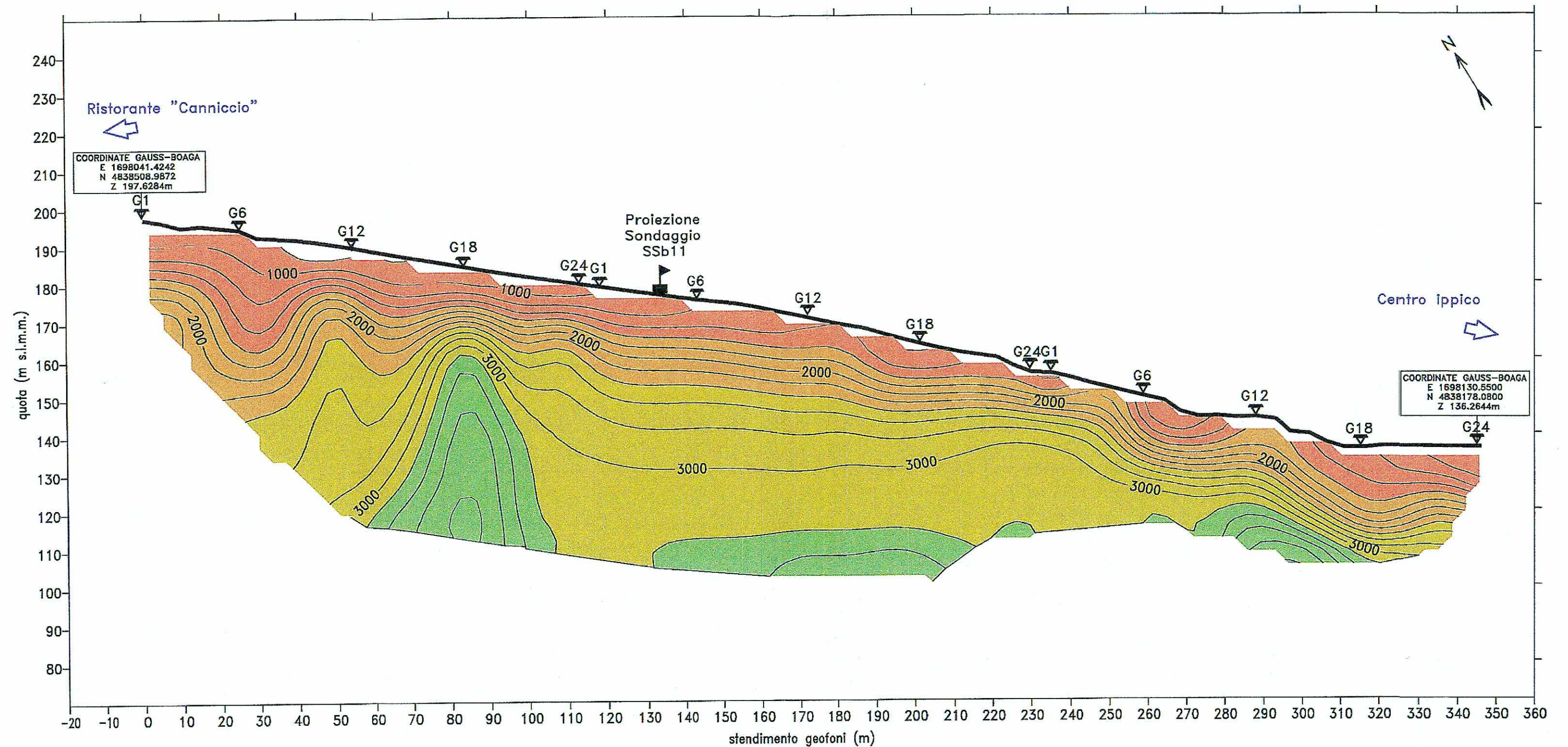
Allegato 4c/ Vol. 3

Novembre 2004

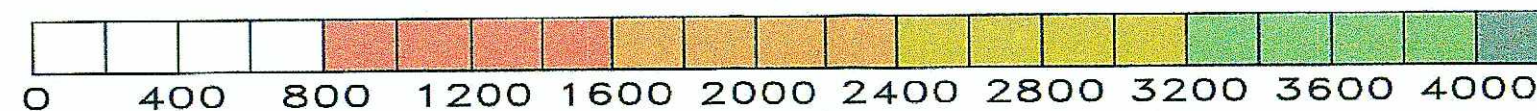
Scala 1:1000

GeoExploration  
Prospezioni Geofisiche  
Via Costiera 3/A - 47100 FORLÌ

SO. RI. GE.  
s.r.l.



Velocità onde P in m/s





## **APPENDICE**

### **Tomografia geoelettrica**



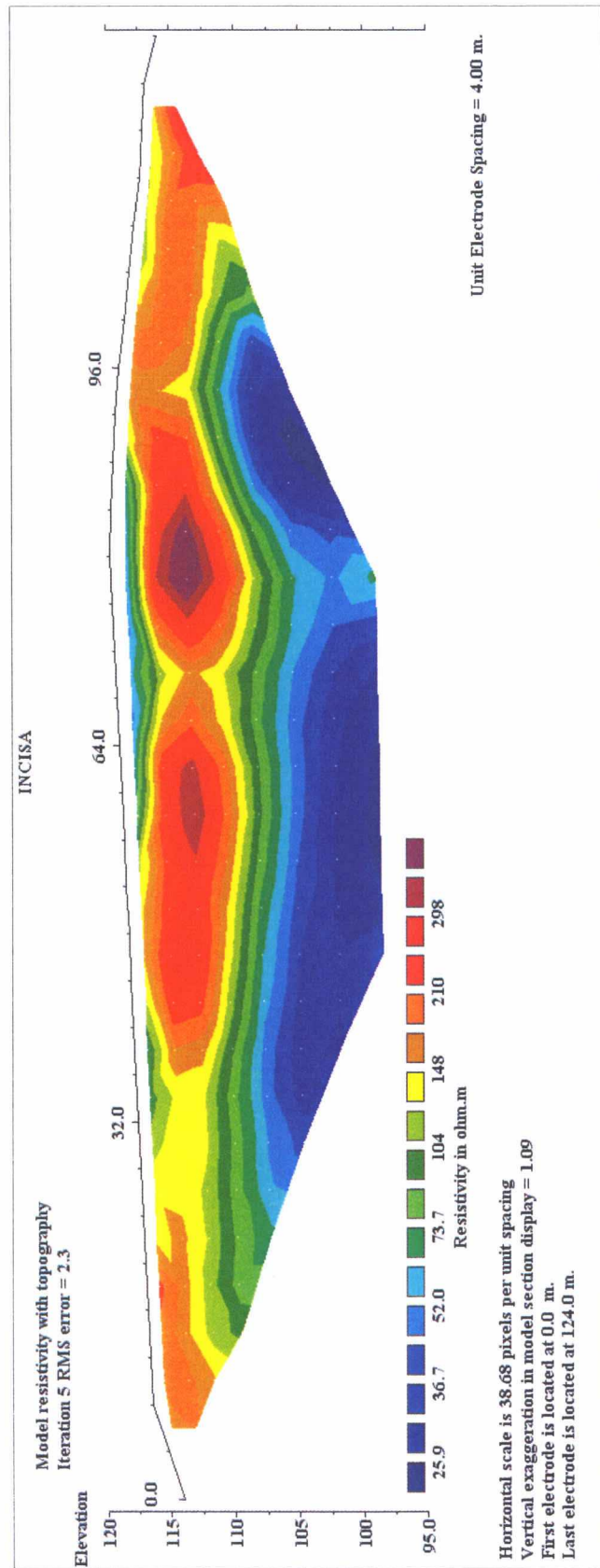


Figura 5 tomografia elettrica

## INDAGINE GEOELETRICA

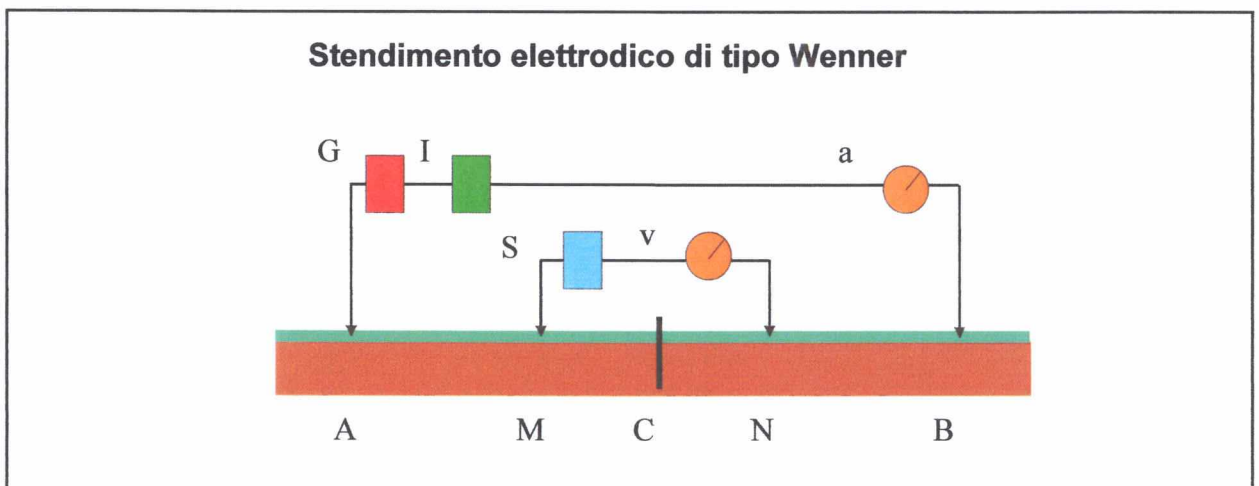
Lo scopo dei metodi geoelettrici è quello di ottenere informazioni sulla natura e struttura del sottosuolo, attraverso una serie di misure opportunamente effettuate dalla superficie.

E' noto che, se agli estremi di un conduttore si applica una differenza di potenziale  $\Delta V$ , in esso passerà una corrente di intensità  $I$  che è legata alla differenza di potenziale dalla legge di Ohm:  $R = \Delta V/I$  dove  $R$  è la resistenza elettrica che dipende dalla natura e dalle caratteristiche geometriche del conduttore.

Nel caso specifico, la formulazione della suddetta legge diventa  $\rho = K (\Delta V/I)$  in cui  $K$  è il coefficiente geometrico del conduttore (vedi dimensionamento dello stendimento elettrodo) e  $\rho$  rappresenta una proprietà intrinseca del materiale e indica la resistenza al passaggio della corrente. Questo fattore è noto col nome di resistività, si misura in *Ohm\*metro* e fornisce elementi utili per l'individuazione della natura dei litotipi investigati.

Il valore di tale parametro dipende dalla composizione mineralogica dei terreni, dalla presenza di eventuali fluidi di saturazione, dalla temperatura, dalla porosità e dal grado di cementazione.

Lo schema "elettrodo", utilizzato per l'acquisizione dei dati lungo i profili geoelettrici, è il quadripolo Wenner rappresentato sotto.



*A e B = elettrodi di corrente; G = generatore di corrente continua;  
I = invertitore di polarità; a = amperometro per la misura di corrente.  
M ed N = elettrodi di potenziale; S = soppressore dei potenziali  
spontanei;  
v = voltmetro per la misura della differenza di potenziale.*

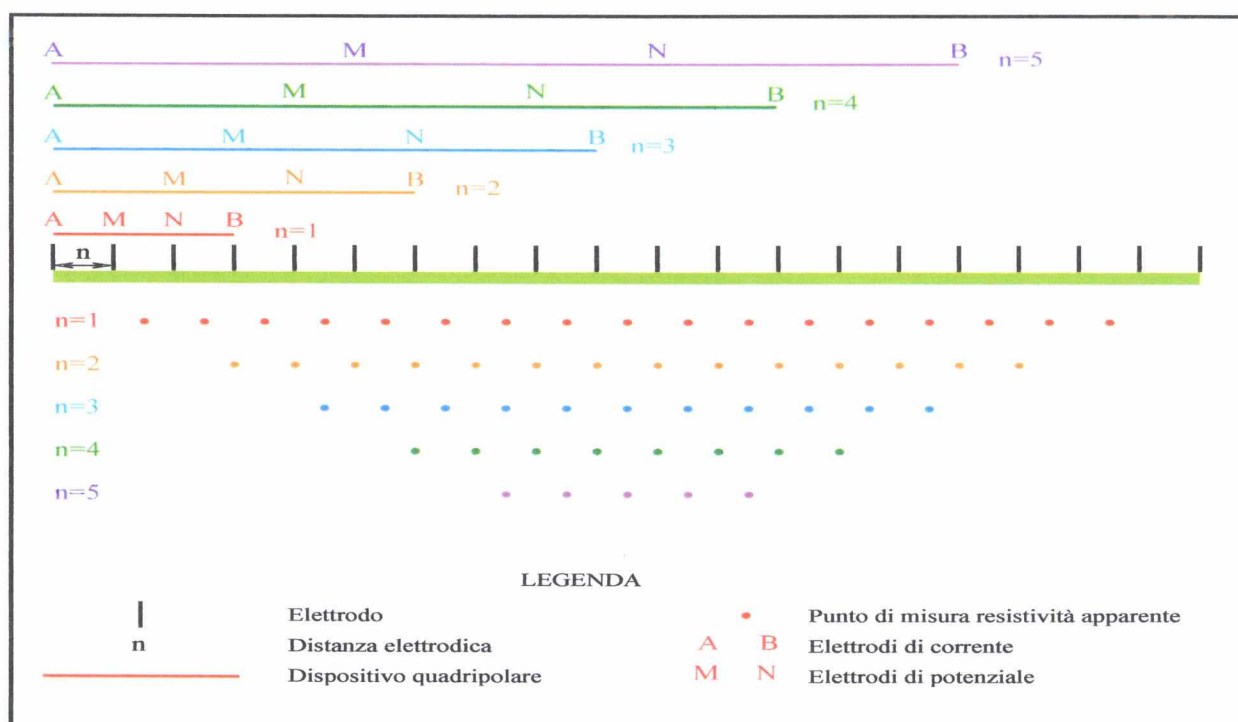
I quattro elettrodi sono disposti: ad intervalli costanti (es. 5 metri) e allineati simmetricamente rispetto al centro di misura indicato con la lettera C.

Collegando la sorgente di corrente continua alle due prese di terra A e B si avrà un passaggio di corrente e conseguentemente si manifesterà una caduta di potenziale (misurata fra i due punti M e N) lungo il conduttore a larga sezione rappresentato dal terreno.

Lasciando fissa la distanza fra i vari elettrodi e spostandoli contemporaneamente di un identico intervallo si ottengono i valori di resistività apparente (livello) lungo tutto il profilo; modificando progressivamente la distanza elettrodica (es.  $n \times 5$  m) si aumenta la profondità d'indagine.

Operando con questo sistema si ottengono delle pseudosezioni (vedi figura sotto) costituite da diversi livelli a seconda del numero di elettrodi utilizzati.

### Schema acquisizione dati e ricostruzione della relativa pseudosezione



Essendo il sottosuolo non omogeneo, perché composto di più litotipi, si otterranno valori di resistività apparente dipendenti dalle proprietà elettriche dei materiali stessi alle varie profondità investigate.

Negli ultimi anni le tecniche d'acquisizione ed elaborazione di dati con metodo tomografico, hanno trovato ampia utilizzazione e diffusione.

I primi contributi scientifici sull'impiego di sistemi geoelettrici multi-elettrodo, in grado di fornire una quantità di dati sperimentali congrua, necessaria alla ricostruzione di un'immagine (bidimensionale) della resistività dei terreni, risalgono a circa dieci anni fa.

A differenza dei sondaggi elettrici verticali, per l'elaborazione dei dati, sono state prese in considerazione, in un primo tempo, situazioni con interfacce non omogenee anche se orizzontalmente stratificate e successivamente si è affrontato il problema delle variazioni laterali della resistività, avvicinandosi a modelli geologici veri e propri.

Il tutto è stato possibile utilizzando nuove strumentazioni sperimentali multi-elettrodiche e soprattutto "software" molto complicati che hanno consentito tecniche d'inversione dei dati.

### **Strumentazione utilizzata ed elaborazione dei dati**

Georesistivimetro PASI Mod. 16SG multi-elettrodo (fino a 96 elettrodi – vedi Foto 5) caratterizzato da: acquisizione con dispositivo elettrodico Wenner, circuito di soppressione dei potenziali spontanei, loro misura e memorizzazione, variabilità del numero cicli e della durata dell'immissione della corrente nel terreno, ripetitività delle letture, registrazione dati su Hard Disk interno, tensione massima 300 V, risoluzione a 16 bit (1 in 65536), accuratezza relativa  $\pm 0.75$  LSB (Least Significant Bit), massima risoluzione 30 nV (nano-Volt).

Sono stati inoltre utilizzati: energizzatore in c.c. Mod. P-300T, n. 6 Link Box e cavi di connessione degli elettrodi.

L'elaborazione dei dati di resistività apparente è stata effettuata con un Personal Computer opportunamente programmato con software denominato RES2DINV ver. 3.3 (by M. H. Loke) con restituzione dei "file" in formato grafico (\*.bmp o \*.pcx).

Sugli elaborati stampati a colori sono riportate le sezioni dei valori delle resistività ottenute dopo l'inversione bidimensionale con iterazioni dei dati apparenti misurati.

Alla base dei suddetti elaborati è riportata la sequenza dei colori associati ai valori delle resistività.





Foto 5 Apparecchiatura di acquisizione geoelettrica

La routine d'inversione utilizzata in questo programma è basata sullo smoothness-constrained least-squares method, dato dalla seguente equazione:

$$(\mathbf{J}^T \mathbf{J} + \mu \mathbf{F}) \mathbf{d} = \mathbf{J}^T \mathbf{g}$$

dove:

$\mathbf{J}$  = matrix of partial derivatives

$\mu$  = damping factor

$\mathbf{F} = \mathbf{f}_x \mathbf{f}_x^T + \mathbf{f}_z \mathbf{f}_z^T$ ,  $\mathbf{f}_x$  = horizontal flatness filter

$\mathbf{f}_z$  = vertical flatness filter

$\mathbf{d}$  = model perturbation vector

$\mathbf{g}$  = discrepancy vector