

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

**PROGETTO ESECUTIVO**

CA284

R.T.I. di PROGETTAZIONE:

Mandataria



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

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

Mandante



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

PROGETTISTI:

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

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

IL GEOLOGO

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

COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE

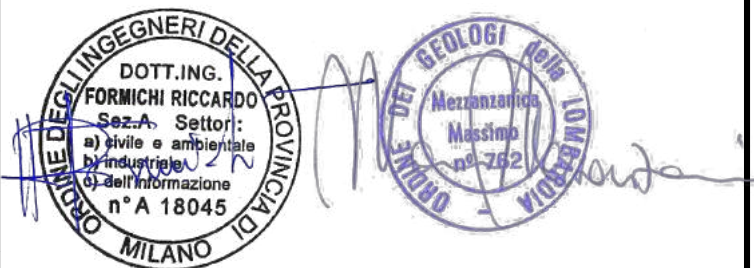
Ing. Diego Ceccherelli  
Ordine Ing. di Milano n. 15813

VISTO: IL RESP. DEL PROCEDIMENTO

Dott. Ing. Salvatore FRASCA

PROTOCOLLO

DATA



**GEOLOGIA**

**Documentazione indagini geofisiche preesistenti**

CODICE PROGETTO

PROGETTO                      LIV. PROG.                      N. PROG.

**L O P L S Q    E    1 9 0 1**

NOME FILE

T00GE00GEORE03A.pdf

CODICE  
ELAB.

**T 0 0 G E 0 0 G E O R E 0 3**

REVISIONE

SCALA:

**A**

-

D

C

B

A

Emissione

Marzo 2020

Vitiello

Mezzanzanica

Formichi

REV.

DESCRIZIONE

DATA

REDATTO

VERIFICATO

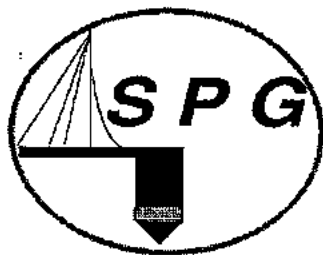
APPROVATO



## CAMPAGNA DI INDAGINI GEOFISICHE

Impresa esecutrice: **S.P.G. s.r.l.**

**ANNO 1997**



**SACCHETTO PERFORAZIONI GEOTECNICA s.r.l.**  
Via dell'Artigianato 24 45011 ADRIA (Ro) - I-  
P.IVA 01050690296  
tel. 0426 900977 fax 900053

**INDAGINI GEOGNOSTICHE**  
**INGEGNERIA del SOTTOSUOLO**

COMMITTENTE

**ENTE NAZIONALE PER LE STRADE**

**A.N.A.S.**

Ente pubblico economico

Compartimento della viabilità per la Sardegna

via Dante, 23 - Cagliari

OGGETTO:

**Strada statale 131 "CARLO FELICE"**

Esecuzione di indagini geognostiche tra i Km 98+300 e 118+650

Rif.: Progetto n°6 LOTTI 4-5; Km 98+300 : 118+650

ALLEGATO:

**E.6.3.**

|  |              |
|--|--------------|
| ENTE NAZIONALE PER LE STRADE<br>ENTE PUBBLICO ECONOMICO<br><b>A N A S</b><br>Compartim. della Viabilità con Sede in Cagliari |              |
| Arrivo   | 30 MAG. 1997 |
| Num. di Prot. <b>14535</b>   |              |

**DOCUMENTAZIONE INDAGINE GEOFISICA**



**SACCHETTO PERFORAZIONI  
GEOTECNICA s.r.l.**  
Via dell'Artigianato 24 - 45011 ADRIA (RO)  
Tel. 0426 900977 fax 900053  
**INDAGINI GEOGNOSTICHE**  
**INGEGNERIA del SOTTOSUOLO**

### **Scopi dell'indagine**

Scopo generale dell'indagine geofisica effettuata è stato quello di quantificare la velocità di propagazione delle onde sismiche longitudinali ( $V_p$ ) dei rifrattori presenti nell'area d'indagine e di individuarne le caratteristiche fisiche e meccaniche.

In particolare lo studio è stato rivolto ad accertare lo stato di alterazione delle rocce costituenti il bed-rock e la loro continuità nell'area interessata dal progetto, nonché lo spessore della coltre dei terreni di copertura.

### **Inquadramento geografico**

L'area interessata dalle indagini è localizzata lungo il tracciato della S.S. n° 131 "Carlo Felice" all'altezza del km 110+000, in territorio del Comune di Paulilatino, prov. di Oristano, ove sono previste alcune opere d'arte.

Topograficamente è individuata nel F° 206 III S.E. "S. VERO MILIS" della Carta d'Italia alla scala 1:25000 edita dall'I.G.M. ed è ubicata ad una quota media di 88 m s.l.m.

## **PROSPEZIONE SISMICA**

L'esecuzione della prospezione sismica ha comportato la levata di n° 7 (sette) profili sismici a rifrazione per complessivi 770 m di stendimenti, disposti ad investigare l'asse stradale in prossimità delle opere d'arte in progetto.

Solamente la base "D", per un approfondimento dell'indagine in corrispondenza della base "C", è stata realizzata ortogonalmente all'asse stradale.

### **Basi sismiche a rifrazione**

Come già detto, sono state eseguite sette basi sismiche a rifrazione per un totale di 770 metri d'indagine.

Ciascuna base sismica è stata realizzata predisponendo un allineamento di 12 geofoni, interspaziati di m 10, e n° 5 (cinque) punti di energizzazione per la generazione delle onde elastiche.

Tutto il sistema energizzazione-ricezione è stato collegato ad un'apparecchiatura di registrazione che ha provveduto all'analisi degli impulsi sismici provenienti dai geofoni e alla loro registrazione.

Per la levata sismica è stato impiegato un registratore sismografico EG&G Geometrics 1225 che consente la registrazione simultanea degli impulsi sismici su 12 canali nonché l'acquisizione di più segnali (sommatoria di segnale) per una migliore definizione dell'onda sismica ed un più facile riconoscimento dei disturbi occasionali.

La registrazione, della durata di 500 millisecondi, è avvenuta su carta termosensibile e, mediante un software dedicato, anche su un apposito supporto magnetico tramite un computer collegato al registratore.

La fonte di energia sismica è stata ottenuta mediante l'utilizzo di un dispositivo esploditore MINIBANG che, mediante lo scoppio di cartucce cal. 8 ind., genera sul terreno l'onda elastica necessaria alla creazione di onde sismiche i cui tempi di arrivo a ciascun apparecchio di ricezione vengono registrati dal sismografo.

Nei disegni allegati, che costituiscono il prodotto finale dell'indagine, vengono rappresentati i risultati dell'interpretazione di ciascun profilo sismico, con rappresentazione in scala variabile a seconda della profondità dell'ultimo rifrattore.

Più precisamente, sono illustrati, dall'alto verso il basso:

- il profilo topografico e quello dei rifrattori, con individuazione dello spessore del 1° e del 2° strato;
- la tavola con le dromocrone;
- la tavola con le variazioni della distribuzione delle velocità di propagazione delle onde elastiche longitudinali lungo il profilo investigato.

Le velocità di propagazione delle onde elastiche longitudinali ( $V_p$ ), rilevate durante l'investigazione, sono espresse in metri al secondo.

### **Esecuzione della levata sismica**

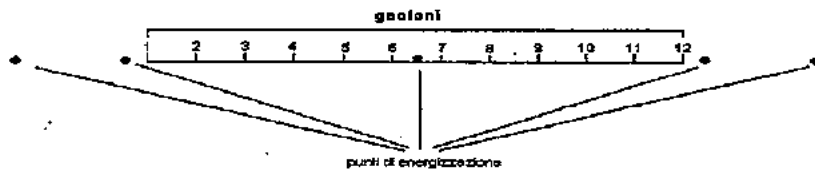
La levata sismica è stata effettuata, secondo lo stendimento tipo di seguito descritto.

Ciascuna base è costituita da un allineamento di 12 geofoni posti ad una distanza di 10 metri l'uno dall'altro, collegati tramite un cavo sismico ad un apposito ricevitore sismografico; la lunghezza totale di ciascuna base è di 110 metri.

L'energizzazione è ottenuta mediante lo sparo di una serie di cartucce del cal. 8 industriale effettuata in 5 differenti posizioni lungo l'allineamento dei geofoni.

schema della disposizione degli scoppi:

- 1 scoppio centrale tra i geofoni 6 e 7;
- 2 scoppi alle estremità, simmetrici, esterni, rispettivamente a 5 metri dai geofoni 1 e 12;
- 2 scoppi esterni, simmetrici, posti ad una distanza di 35 m dai geofoni 1 e 12.



La disposizione degli scoppi è stata prescelta in maniera tale da investigare gli orizzonti più superficiali con gli scoppi interni e quelli via via più profondi con quelli esterni.



## Interpretazione dei risultati

I dati della levata sismica sono stati utilizzati per la costruzione delle dromocrone.

L'interpretazione è stata effettuata mediante l'impiego di un apposito software che, opportunamente guidato, ha anche provveduto alla misurazione automatica dei tempi di arrivo dell'onda sismica a ciascun geofono.

L'elaborazione ha fornito, per ciascuna base sismica, gli atti interpretativi allegati al presente studio, dove sono rappresentati lo spessore e la velocità di propagazione dell'onda sismica per ciascun orizzonte individuato dall'indagine.

Nel dettaglio, sono stati individuati i seguenti orizzonti:

### BASE "A"

Si stende lungo il tracciato in progetto; il geofono n° 1 è posto tra il Sondaggio. n° 43 e il Sondaggio. n° 32, quello n° 12 è situato lungo il tracciato stradale, alla distanza di 110 metri, immediatamente dopo un muretto a secco.

- coltre superficiale

E' stata individuata la presenza di una coltre di materiale poco addensato, con spessore variabile da circa 2 metri in prossimità degli ultimi geofoni sino a oltre 6 metri nella parte iniziale della base.

E' caratterizzata da una velocità di propagazione dell'onda sismica di circa 500 m/s che tende ad essere più elevata nella zona iniziale della base.

Litologicamente è da individuare nei terreni alluvionali e nella porzione più alterata del substrato.

- 1° rifratore

E' caratterizzato da una velocità di propagazione dell'onda sismica che varia da 2.000 a 2.800 m/s; è correlabile alla presenza di un orizzonte sedimentario il cui spessore è superiore alla decina di metri.

- 2° rifratore

E' caratterizzato da una velocità di circa 5.000 m/s, rappresentativa di materiali lapidei. E' individuabile nei litotipi vulcanici poco fratturati che costituiscono il basamento della zona.

### BASE "B"

E' la prosecuzione, con direzione Nord, della base precedente; il geofono n° 1 è posto in corrispondenza del geofono n° 12 della base "A".

Si presenta con le stesse caratteristiche della precedente confermando lo spessore di circa 2 metri per l'orizzonte più superficiale.

### BASE "C"

E' anch'essa la prosecuzione della base precedente; il geofono n° 1 è posto sul geofono n° 12 della base precedente.

- coltre superficiale

Anche lungo questa base la coltre di materiale poco addensato si presenta con spessore di circa 2-3 metri.

E' confermata la velocità di propagazione dell'onda sismica di circa 600 m/s.

- 1° rifrattore

La velocità del 1° rifrattore è di circa 2.500 m/s; è, probabilmente, correlabile alla presenza di un orizzonte sedimentario il cui spessore, in questo caso, è variabile da qualche metro sino alla decina di metri.

- 2° rifrattore

La velocità di questo rifrattore è di circa 3.500 m/s; è, probabilmente, correlabile al basamento vulcanico dell'area investigata.

### BASE "D"

Si tratta di un incremento di indagine in prossimità della base "B" ove sono state incontrate alcune difficoltà interpretative. Si stende parallelamente agli stendimenti effettuati in precedenza, distanziata di 5 metri verso monte. Il geofono n° 1 è situato in corrispondenza del Sondaggio. n° 47 mentre il geofono n° 12 è allineato verso Nord.

- coltre superficiale

Lo spessore della coltre di materiale poco addensato si mantiene abbastanza regolare confermando gli spessori già registrati negli stendimenti precedenti.

E' però caratterizzata da un incremento della velocità di propagazione dell'onda sismica sino a 1.000 m/s. E' opportuno ricordare che il mezzo interessato dall'indagine non sempre è isotropo.

- 1° rifrattore

Si discosta debolmente da quanto osservato nella "base B" in quanto è stata individuata la sua presenza solamente nella seconda parte della base. La sua velocità è di circa 2.200 m/s.

- 2° rifrattore

Si presenta con velocità di propagazione dell'onda sismica di circa 3.200 m/s ; anche in questo caso potrebbe essere correlato alla presenza dei depositi sedimentari già individuati dai sondaggi geognostici.

### BASE "E"

Si stende perpendicolarmente alle basi "B" e "D"; interseca la base "B" all'altezza del sesto geofono. Il geofono n° 1 è posto verso la S.S. 131.

Questo stendimento, che è stato l'unico con profilo ortogonale al tracciato stradale, è stato realizzato onde verificare il comportamento dei rifrattori in quest'area: ove si supponeva la presenza di un probabile disturbo tettonico.

- coltre superficiale

Anche qui è presente una coltre di materiale poco addensato il cui spessore è di circa 4 metri. La velocità di propagazione dell'onda sismica di circa 600 m/s manifesta una debole anisotropia rispetto a quanto fin qui osservato.

Litologicamente è da individuare nei terreni alluvionali e nella porzione più alterata del substrato.

- 1° rifrattore

Ha una velocità di propagazione dell'onda sismica di 1.800 m/s; litologicamente è individuabile con l'orizzonte sedimentario già individuato dai sondaggi geognostici.

- 2° rifrattore

Ha una velocità di circa 2.300 m/s e, litologicamente, potrebbe essere rappresentativo del substrato vulcanico.

### BASE "F"

Questo stendimento interessa un'area completamente diversa da quella investigata con gli stendimenti precedenti. E' ubicato tra le progressive 41163 e 41448 dove è prevista la realizzazione di un viadotto che scavalca il corso d'acqua.

Il geofono n° 1 è posto verso Sud.

- coltre superficiale

Il suo spessore varia da 0 m, in prossimità del geofono n° 1, sino ad un massimo di 3 m lungo il corso d'acqua per ritornare a 0 m in prossimità del dodicesimo geofono.

E' caratterizzata da una velocità di propagazione dell'onda sismica di circa 1.200 m/s.

- 1° rifrattore

E' caratterizzato da una velocità di propagazione dell'onda sismica di circa 2.600 m/s.

- 2° rifrattore

Ha una velocità di 4.000 m/s; potrebbe rappresentare in bed-rock.

### BASE "G"

Si stende tra le progressive 43500 e 44000; il geofono n° 1 è situato verso Nord, a circa 10 metri dalla carrareccia che, partendo dall'attuale tracciato della S.S. 131 consente di arrivare al sito delle indagini.

- coltre superficiale

Anche qui è stata individuata una coltre di materiale poco addensato il cui spessore è di circa 5 metri. La velocità di propagazione dell'onda sismica è di circa 500 m/s.

- refrattore

E' caratterizzato da una velocità di propagazione dell'onda sismica di circa 2.200 m/s; litologicamente è individuabile nella porzione più fratturata del substrato vulcanico.

## CONCLUSIONI

Sulla base dei risultati dell'indagine sismica, si può osservare che lo spessore della coltre superficiale é dell'ordine dei 5 metri e che la sua velocità é sempre compresa tra 500 e 600 m/s.

Per quanto riguarda il rifratore si osserva come si presenti con due differenti velocità caratteristiche.

La più bassa, di circa 2300 m/s, é attribuibile ai litotipi sedimentari già individuati dai sondaggi geognostici e che localmente, si sovrappongono al substrato dell'area investigata. L'altra di 2700 m/s, é, con tutta probabilità, da attribuirsi alla formazione vulcanica che costituisce il basamento di tutta la zona.

E' comunque da considerare che, per la lunghezza delle basi sismiche, l'investigazione ha interessato i terreni sino alla profondità di di circa 30 - 40 m da piano campagna.

L'indagine geofisica, oltre alla determinazione dei vari orizzonti presenti, ha altresì consentito una definizione geotecnica dei litotipi individuati.

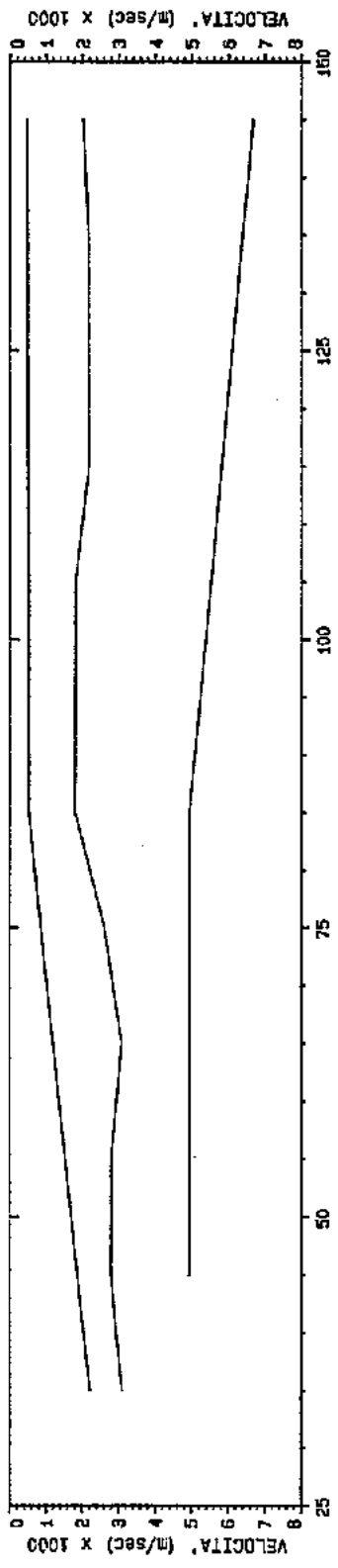
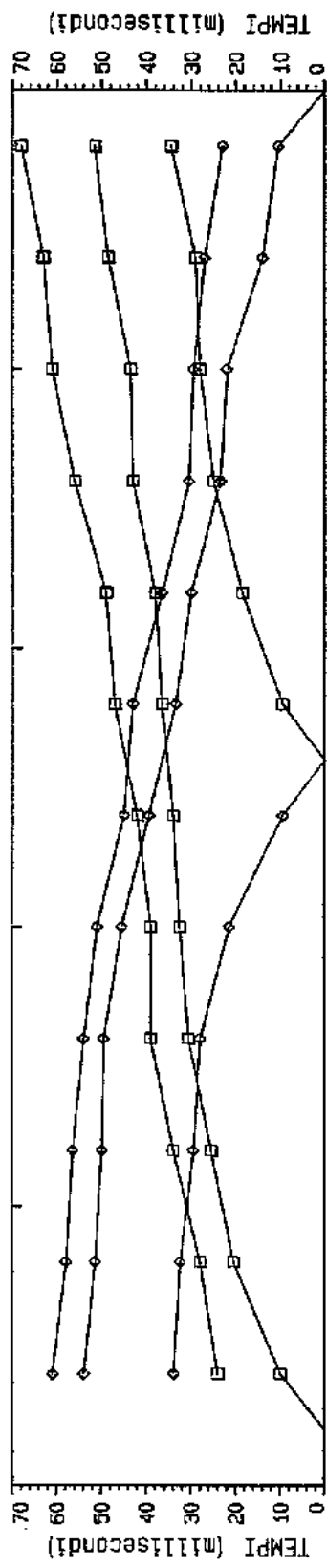
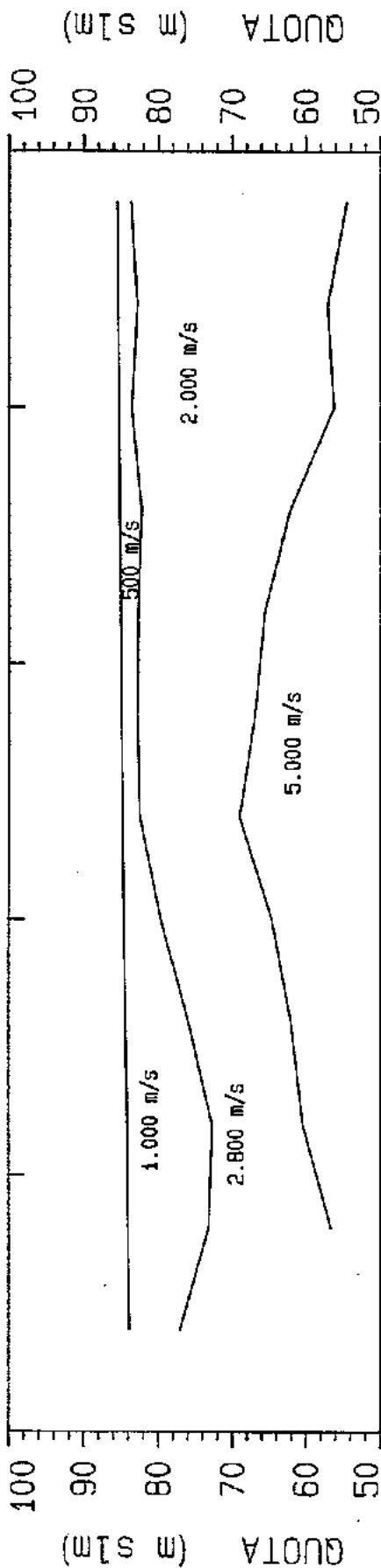
Infatti, sulla base dei valori di  $V_p$  (velocità di propagazione dell'onda sismica) si deduce che la "coltre superficiale" ed, in parte, il "rifratore" sono costituiti da materiali lavorabili e asportabili con i normali mezzi di cantiere; per le sezioni ove i valori di  $V_p$  sono maggiori di 5.000 m/s il materiale presente é da definirsi "roccia da mina", con tutte le applicazioni che ne conseguono.



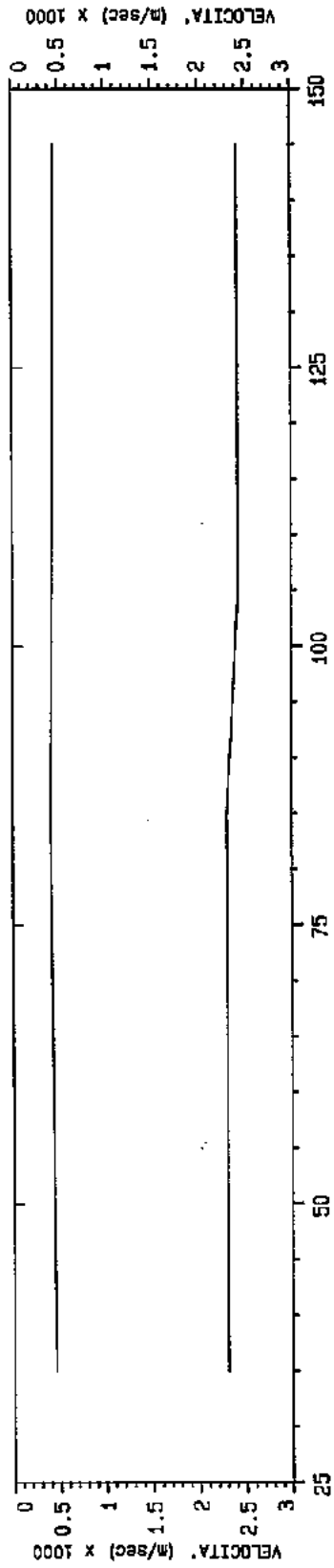
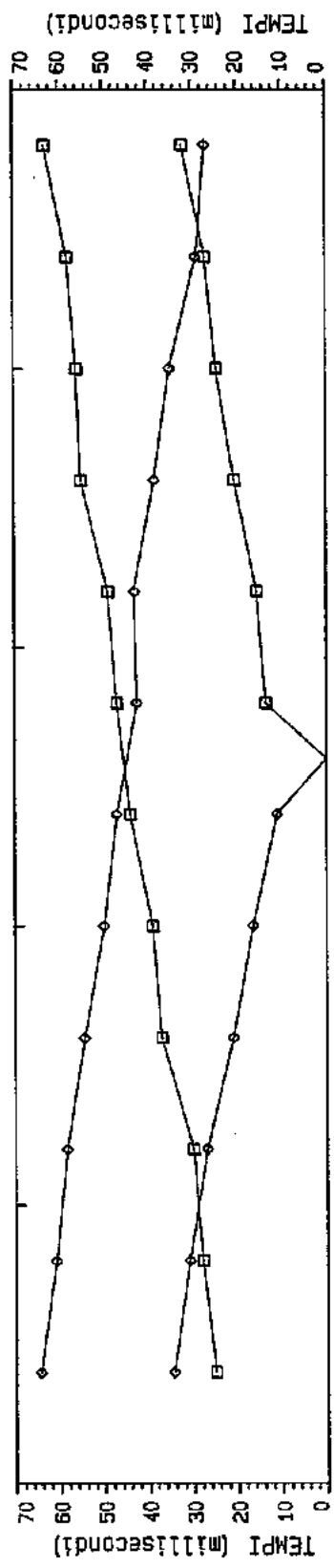
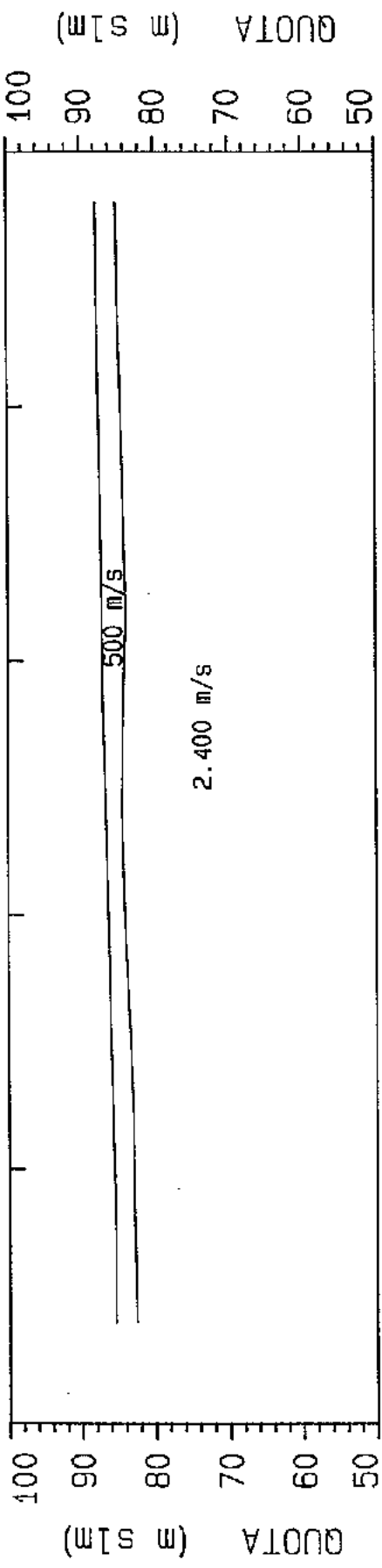
**SACCHETTO PERFORAZIONI  
GEOTECNICHE & S.p.A.**  
Via dell'Industria, 43 - 45017 ADRIA (RO)  
Tel. 0426/900063 Fax 0426/900063  
P.IVA N° 01502900265  
**INDAGINI GEOGNOSTICHE  
INGEGNERIA del SOTTOSUOLO**

Sono allegati alla presente

- n° 7 tavole relative all'interpretazione di ciascun profilo sismico
- n° 35 sismogrammi relativi a ciascun tiro effettuato nel corso dell'indagine

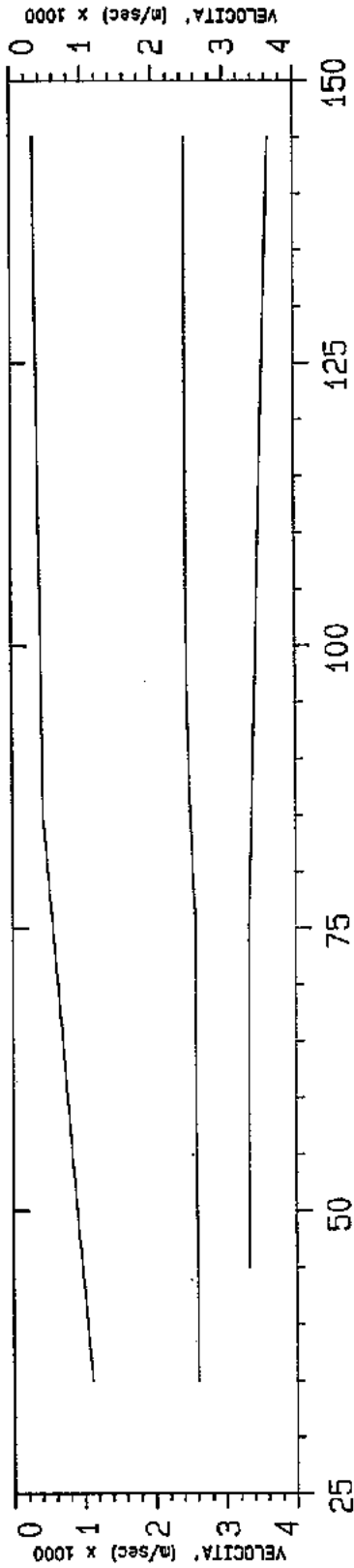
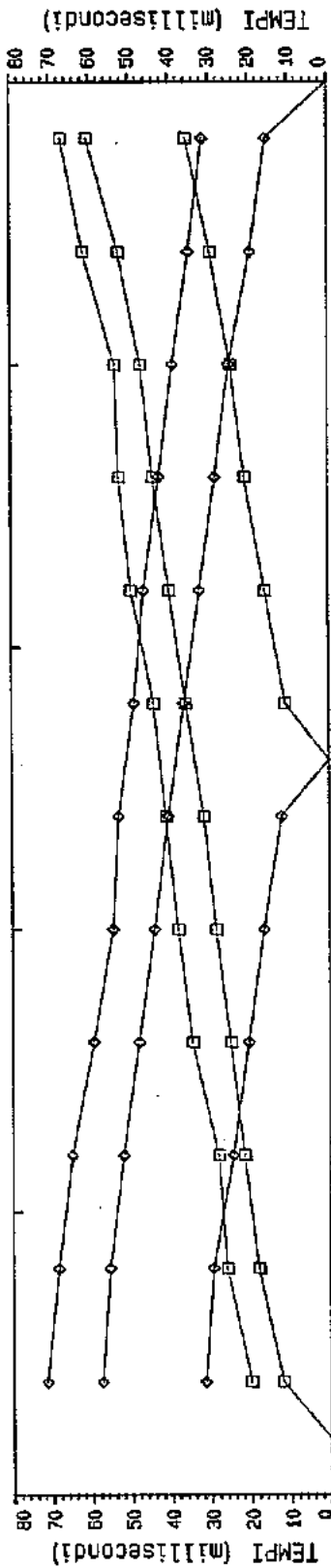
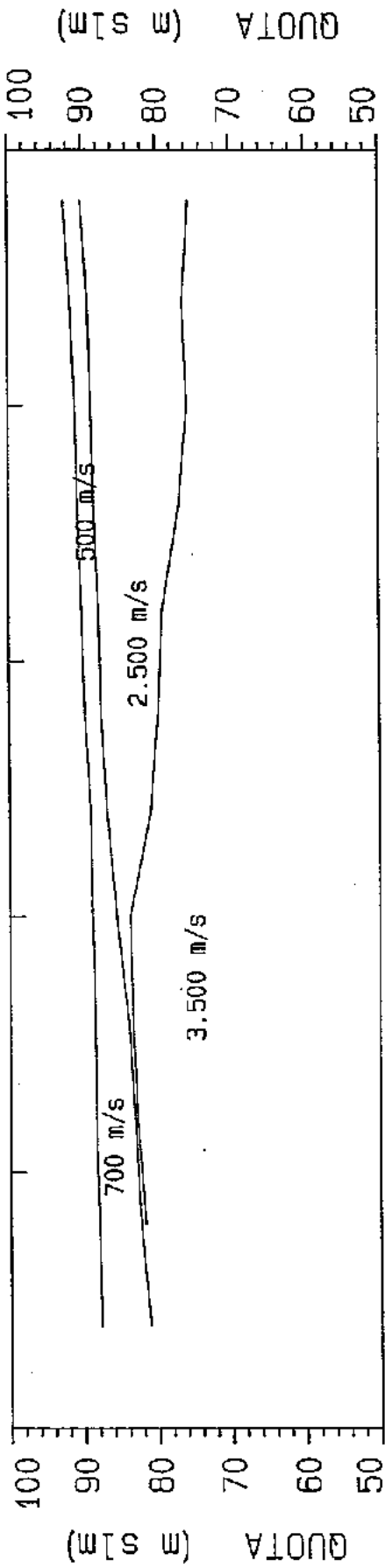


|                        |  |                         |  |
|------------------------|--|-------------------------|--|
| for: ANAS              |  | VIADOTTO                |  |
| Data Set: CRIST_3A     |  | S.S. 131 "CARLO FELICE" |  |
| Equipment: 6548 651225 |  | S. CRISTINA             |  |
| Spread: A              |  | Azimuth:                |  |



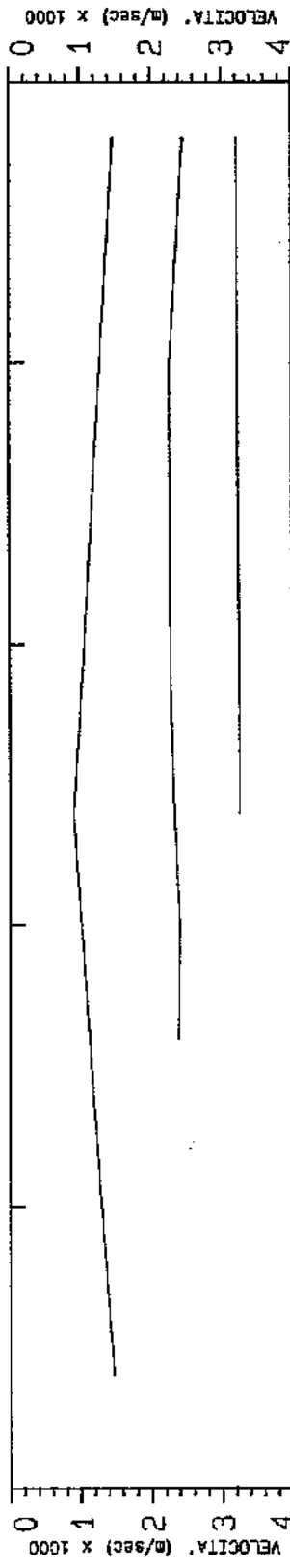
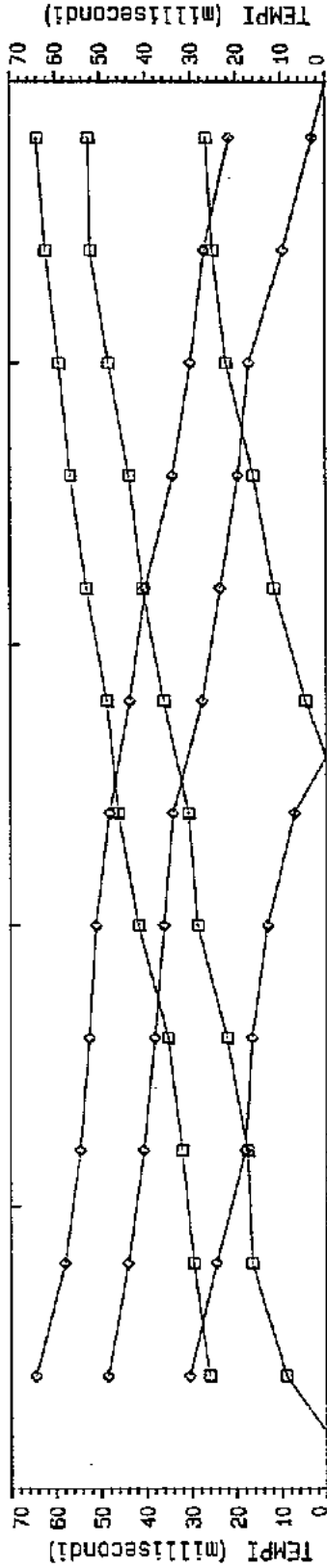
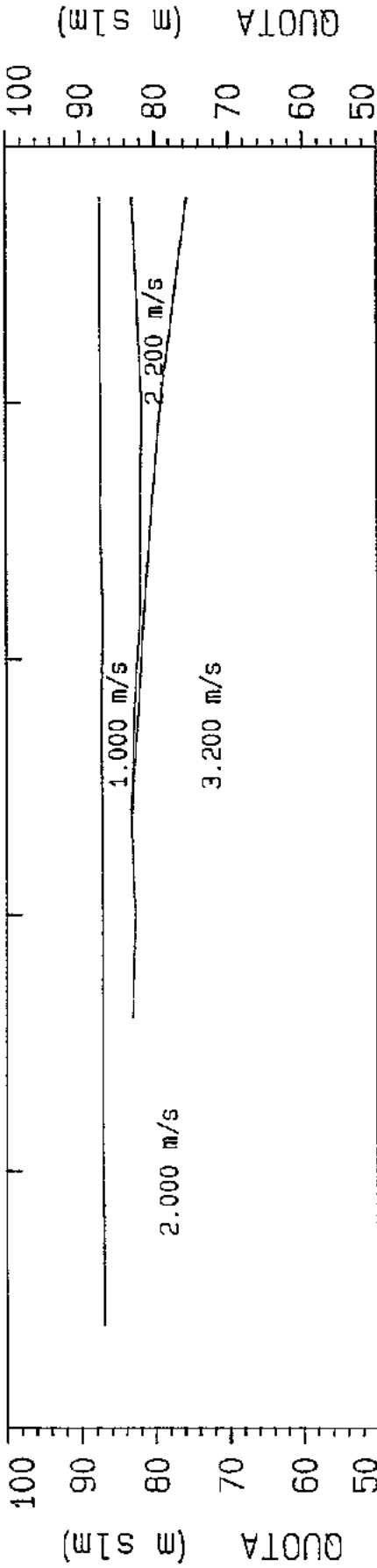
DISTANZA (m)

|                        |  |                         |  |
|------------------------|--|-------------------------|--|
| for: ANAS              |  | VIADOTTO                |  |
| Data Set: CRIST_BB     |  | S.S. 131 "CARLO FELICE" |  |
| Equipment: EGSS 851228 |  | S. CRISTINA             |  |
| Spread: B              |  | Azimuth:                |  |



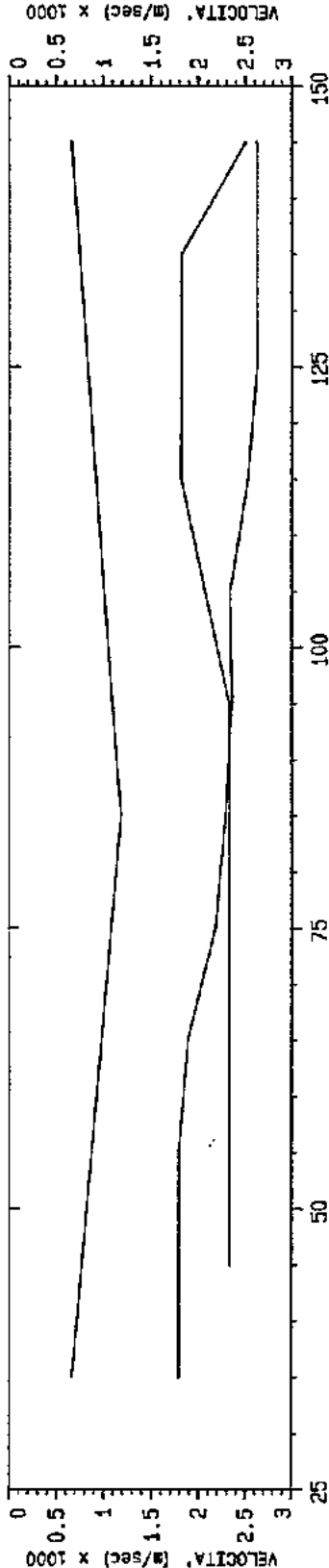
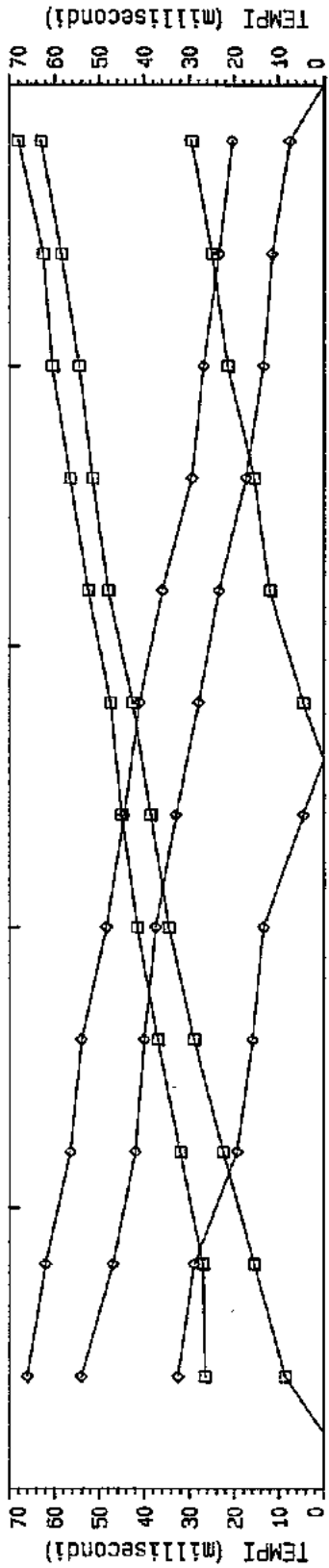
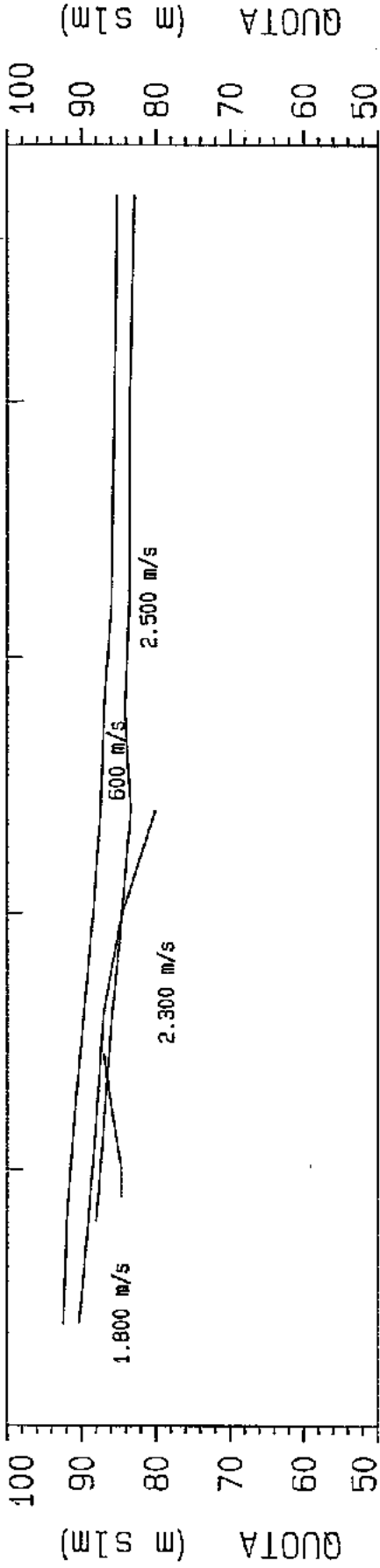
|                        |  |                         |  |
|------------------------|--|-------------------------|--|
| for: ANAS              |  | VIADOTTIO               |  |
| Data SetCRIST_C        |  | S.S. 131 "CARLO FELICE" |  |
| Equipment: EGGS ES1228 |  | S. CRISTINA             |  |
| Spread: C              |  | Azimuth:                |  |



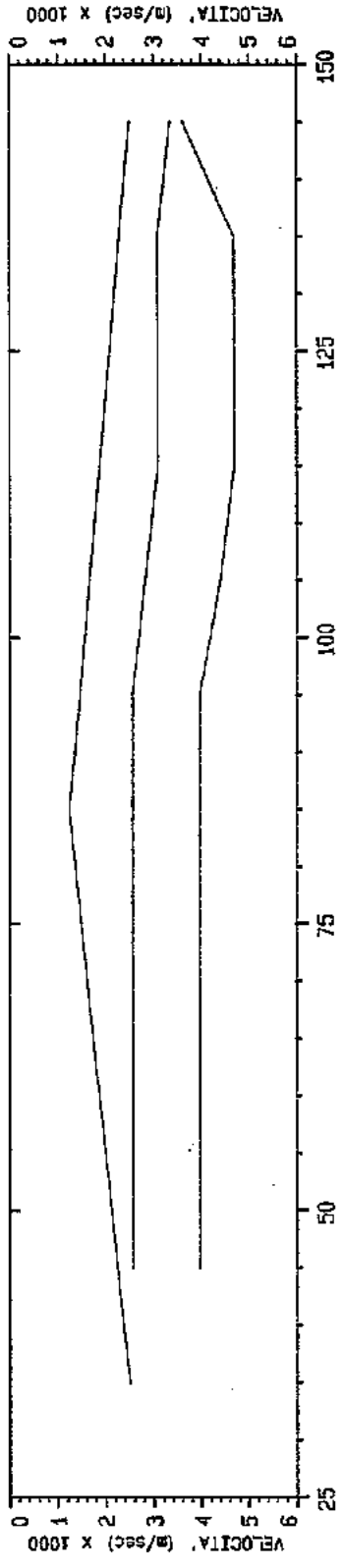
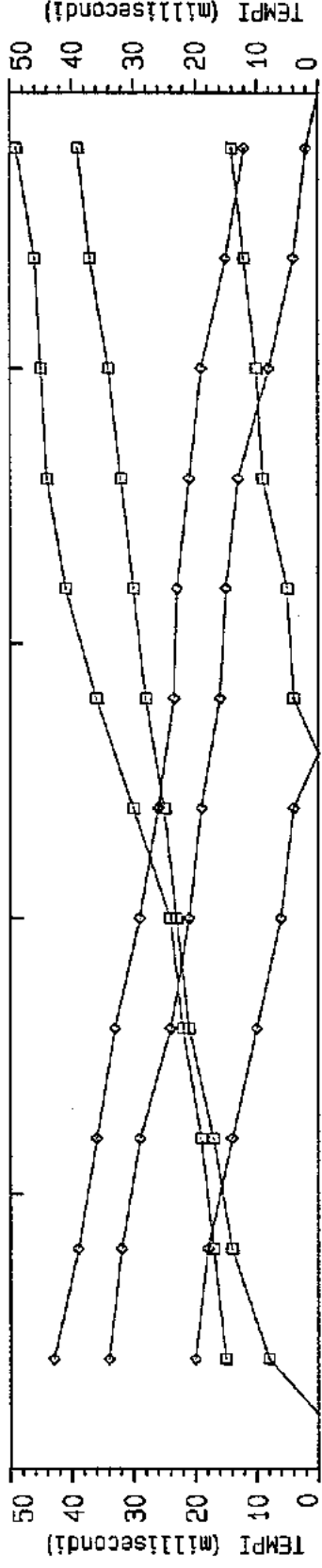
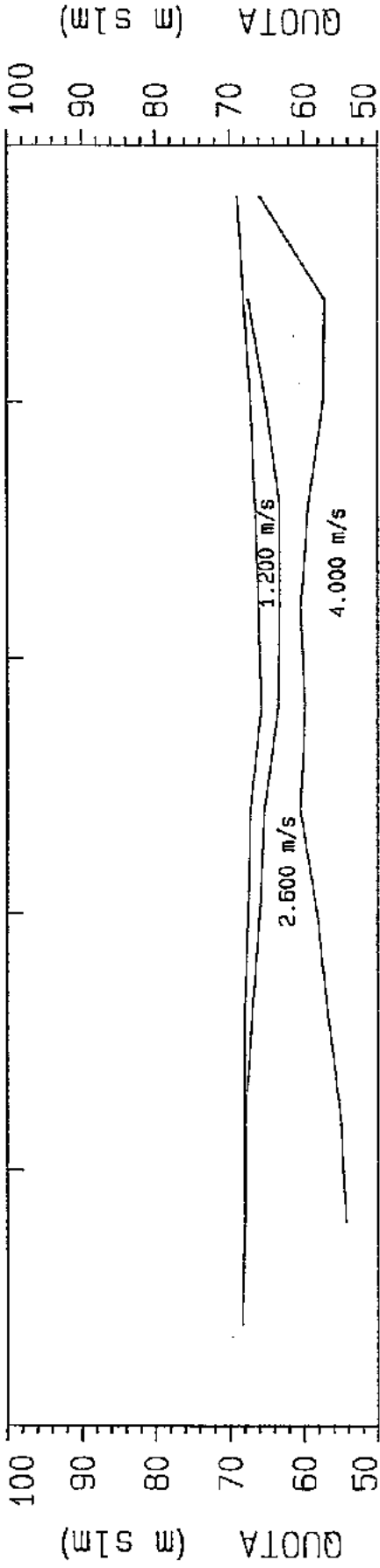


DISTANZA (m)

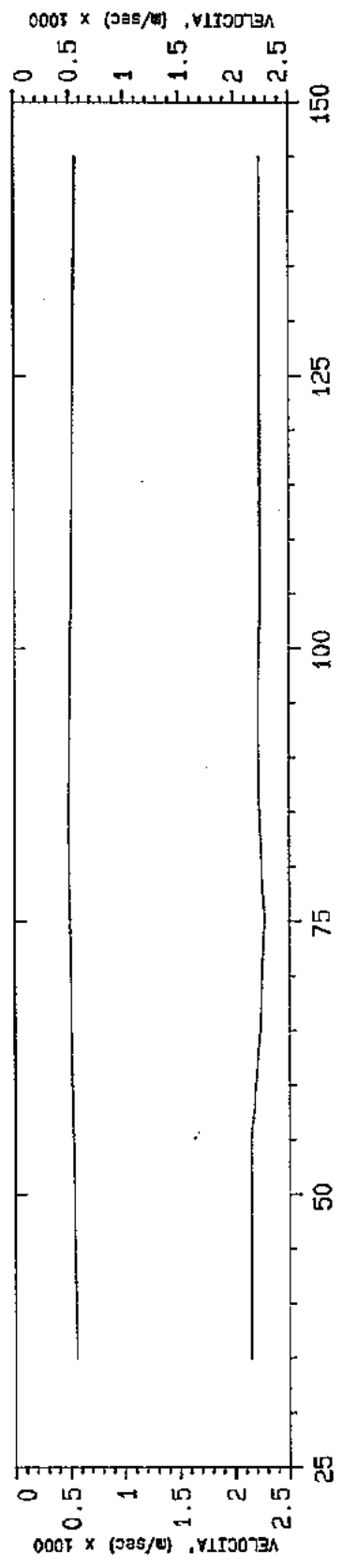
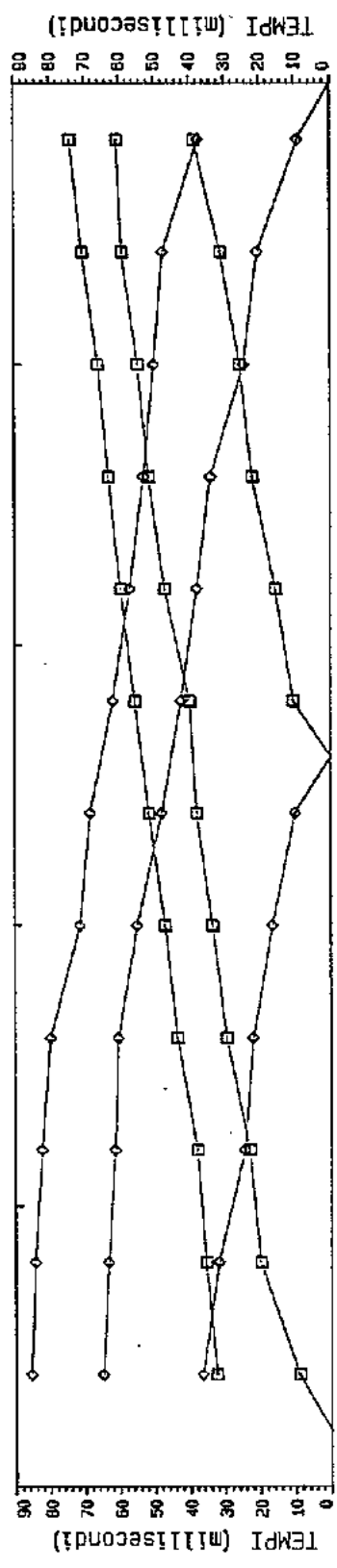
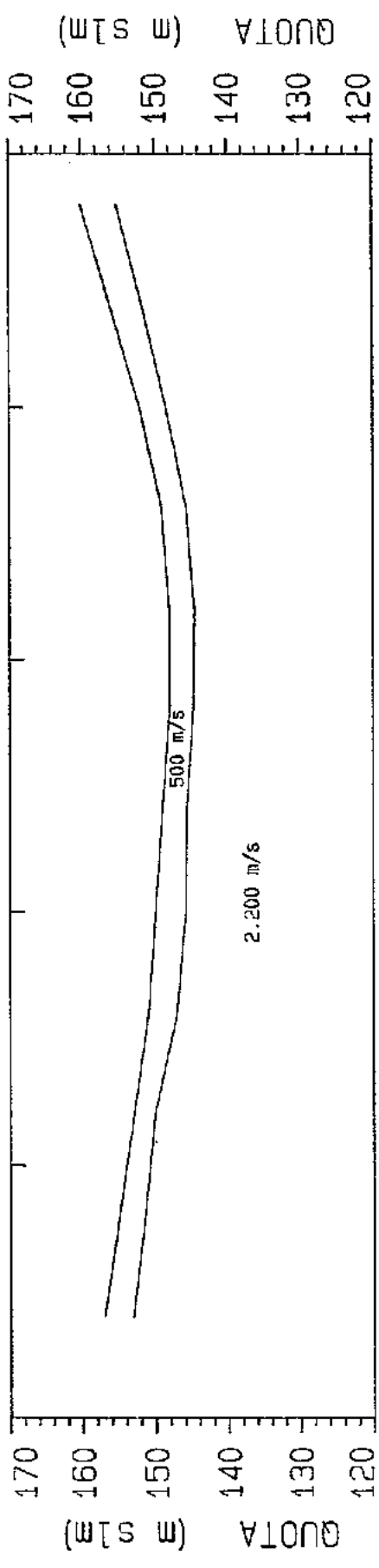
|                        |  |                     |  |
|------------------------|--|---------------------|--|
| for: ANAS              |  | VIADOTTO            |  |
| Data SetCRIST-80       |  | S.S. "Carlo Felice" |  |
| Equipment: EG46 681225 |  | S. CRISTINA         |  |
| Spread: D              |  | Azimuth:            |  |



|                        |  |                     |  |
|------------------------|--|---------------------|--|
| for: ANAS              |  | VIADOTTO            |  |
| Data Set CRISTINE      |  | S.S. "Carlo Felice" |  |
| Equipment: EGGS ES1225 |  | S. CRISTINA         |  |
| Spread: E              |  | Azimuth:            |  |



|                       |  |                         |  |
|-----------------------|--|-------------------------|--|
| for: ANAS             |  | VIADOTTO                |  |
| Data ScCRIST_FF       |  | S.S. 131 "CARLO FELICE" |  |
| Equipment: 5566 55125 |  | S. CRISTINA             |  |
| Spread: FFF           |  | Azimuth: 150            |  |



DISTANZA (m)

|                        |  |                         |  |
|------------------------|--|-------------------------|--|
| for: ANAS              |  | VIADOTTO                |  |
| Data SCOTCHIST G       |  | S.S. 131 "CARLO FELICE" |  |
| Equipment: ES46 ES1225 |  | S. CRISTINA             |  |
| Spread: G              |  | Azimuth:                |  |

## CAMPAGNA DI INDAGINI GEOFISICHE

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

**ANNO 1997**

## **6) Indagine geofisica mediante sismica a rifrazione e riflessione ad alta risoluzione**

Allo scopo di indagare mediante indagine geofisica l'imbocco della galleria di progetto ed il tratto non coperto dai sondaggi geognostici, sono state acquisite rispettivamente n° 4 linee sismiche a rifrazione, di cui una di dettaglio (linea 6) ed una linea sismica riflessione ad alta risoluzione (Tav. 1):

### **SISMICA A RIFRAZIONE**

- Linea 1 Direzione NW-SE; quota media 645 m s.l.m.; lunghezza 230 metri
- Linea 2 Direzione SE-NW; quota media 665 m s.l.m.; lunghezza 110 metri
- Linea 3 Direzione SE-NW; quota media 630 m s.l.m.; lunghezza 110 metri
- Linea 6 Direzione W-E; quota media 632 m s.l.m.; lunghezza 46 metri

### **SISMICA A RIFLESSIONE**

- Linea A Direzione NW-SE; quota iniziale 705 m s.l.m.; quota iniziale 705m s.l.m.  
Quota finale 775 m s.l.m.; lunghezza 440 metri.

Di ogni profilo sismico è stato in seguito eseguito un rilievo topografico di dettaglio.

#### **6.1-Apparecchiatura di registrazione**

Lo strumento di registrazione a 24 canali utilizzato per l'acquisizione è denominato "Smartseis" ed appartiene all'ultima generazione dei prodotti Geometrics; questo strumento è dotato di un convertitore analogico-digitale a 16 bit (15+1) ed un amplificatore analogico digitale (24 dB) che determinano un dynamic range (120 dB) in grado di riprodurre in modo molto accurato il segnale sismico, anche nelle sue componenti in frequenza più elevate. I sensori disposti sul terreno sono geofoni (Mark Products L40 A-2) caratterizzati da una frequenza di smorzamento di 14 Hz per l'acquisizione a rifrazione, mentre per l'acquisizione a riflessione sono utilizzati geofoni con frequenza di smorzamento di 100 Hz.

#### **6.2-Sorgente sismica**

L'energia sismica in superficie è stata prodotta utilizzando un fucile sismico modello ISOTTA caricato a cartucce a pallettoni calibro 8 (mod. S800M). Gli spari sono stati effettuati in fori prodotti nel terreno profondi mediamente 50 cm.

Nei casi in cui lo si è ritenuto necessario, varie registrazioni sono state sommate con ripetizione degli spari nella stessa posizione per migliorare la qualità del dato.

## 6.3-Parametri di acquisizione sismica a rifrazione

I profili sismici a rifrazione, sia quelli lunghi 230 metri (24 canali), sia quelli di 110 metri (12 canali), sono stati acquisiti attraverso l'impiego di una geometria che prevede spaziature tra i geofoni di 10 metri.

Il profilo sismico a rifrazione di dettaglio (linea 6) che si estende invece per una lunghezza di 46 metri, è stato effettuato con una spaziatura tra i geofoni di 2 metri.

Per le linee sismiche a rifrazione L1 e L6 (24 canali) sono stati effettuati 7 spari: 2 alle estremità, 3 lungo lo stendimento del profilo, più 2 spari esterni.

Per le linee sismiche a rifrazione L2 e L3 (12 canali) sono invece stati effettuati 5 spari: 2 alle estremità, 1 alla metà dello stendimento, più 2 spari esterni.

I dati acquisiti in formato SEG-2 sono stati trasferiti su PC; sia il picking dei primi arrivi che la loro conversione in un modello superficiale di velocità, sono stati eseguiti con due prodotti software della Europex Ltd. Denominati rispettivamente Firstpix e Gremix; quest'ultimo prodotto è basato sull'algoritmo di D. Palmer noto come GMR (Generalized Reciprocal Method).

## 6.4-Parametri di acquisizione sismica a riflessione

I profili sismici a riflessione sono stati acquisiti con geometria di acquisizione di tipo "split spread", in cui la sorgente sismica è disposta al centro dello stendimento dei geofoni.

Questa geometria ha consentito l'acquisizione di profili sismici a copertura 1200% con distanza tra le CDP di 5 metri.

Le registrazioni in campagna sono state eseguite con un intervallo di campionamento di 500 microsecondi ed una durata di 512 millisecondi.

I dati acquisiti in formato SEG-2 sono stati trasferiti su Personal Computer; per l'elaborazione è stato utilizzato un software specifico denominato Seistrix, prodotto dalla Interpex Ltd.

La sequenza di elaborazione può essere riassunta nei seguenti passi principali:

### - Reformat ed Editing:

I dati sono stati convertiti in formato SEG-Y standard; le tracce sismiche affette da anomalie di ampiezza sono state rimosse.

### - Processor

Le geometrie utilizzate in fase di acquisizione sono state inserite nelle headers delle tracce sismiche e i dati ordinati in CDP. Un prefiltro di tipo passa banda 20-350 Hz è stato applicato per l'attenuazione del rumore in alta frequenza. Un guadagno di tipo AGC (200 msec) è stato applicato ai dati per compensare l'effetto di divergenza sferica dell'energia.

### - Deconvoluzione

Un operatore di deconvoluzione è stato applicato per attenuare le riverberazioni e bilanciare la banda spettrale del dato sismico.

I parametri utilizzati sono i seguenti:

lunghezza dell'operatore      40 msec

distanza di predizione      4 msec  
white light                    0,01 %

## - Analisi di velocità

Le analisi di velocità sono state eseguite circa ogni 20 metri integrando tutti i metodi convenzionali (CVS, CDS e matrici di coerenza); mediamente i valori di velocità di stack si aggirano attorno ai 2500 – 3000 m/sec.

## - Correzioni dinamiche (NMO)

Utilizzando le analisi di velocità stimate nel passo precedente, ai dati sono state applicate correzioni dinamiche ai tempi di arrivo, dette anche correzioni di NMO; con questa operazione gli andamenti iperbolici associati ai segnali riflessi vengono “appiattiti” a tempi costanti sulle tracce di ciascun CDP, eliminando i tempi differenziali dovuti alle diverse distanze sorgente-ricevitore.

## - Correzioni statiche residuali

Per migliorare la coerenza e la continuità degli orizzonti sismici è stato applicato un algoritmo per il calcolo delle correzioni statiche residuali di tipo “CDP consistent”; questa procedura, attraverso misure di correlazione, stima le piccole traslazioni temporali da applicare ai dati per migliorarne la coerenza all’interno delle CDP.

## - Correzioni statiche a lungo periodo

Per rimuovere le distorsioni dei segnali sismici dovuti a disomogeneità superficiali, sono state applicate correzioni statiche a lungo periodo. L’operazione si è resa necessaria nei casi in cui variazioni di velocità superficiali provocavano anomale ondulazioni nell’immagine sismica degli orizzonti sismici.

## - Stack

Dopo la fase di analisi di velocità e l’applicazione delle correzioni statiche e dinamiche, le tracce di ciascuna CDP sono state sommate (stacking) per ottenere la sezione sismica finale.

## 6.5-Tomografia

I dati relativi ai tempi di percorso (traveltimes) dei profili sismici a rifrazione sono stati interpretati anche attraverso un approccio di tipo tomografico.

Per questo processo le sezioni a rifrazione sono state suddivise in celle elementari (1 metro x 2 metri) e come modello di velocità iniziale sono stati considerati i risultati ottenuti attraverso l’elaborazione classica dei dati a rifrazione (metodo Gardner).

L’algoritmo di inversione utilizzato è di tipo maximum flatness; attraverso una serie di 4 iterazioni successive il modello iniziale è stato progressivamente migliorato, modificando i valori di velocità all’interno delle celle elementari in modo di ridurre al minimo le differenze esistenti tra i tempi di percorso misurati in campagna e quelli calcolabili dal modello stesso. I risultati ottenuti non si discostano sensibilmente da quelli del metodo classico anche se l’approccio tomografico consente di apprezzare informazioni di maggior dettaglio.



## 7) Considerazioni conclusive

Le indagini svolte hanno permesso di riscontrare due situazioni differenti:

- A) Zona indagata attraverso i sondaggi a carotaggio continuo H1, H2, H3 e H4 in cui il sottosuolo risulta essere contraddistinto dalla presenza di una formazione di natura basaltica avente mediamente buoni valori dell'indice di qualità dell'ammasso roccioso (RQD)
- B) Zona indagata attraverso i sondaggi a carotaggio continuo da H5 a H16 ed i sondaggi a distruzione di nucleo, con registrazione dei parametri di perforazione mediante il metodo della diagrafia, da H16 a H21 in cui i sondaggi geognostici, integrati con l'indagine geofisica, hanno permesso di riscontrare al di sotto di una copertura superficiale, un orizzonte costituito da rocce ignimbriche caratterizzato mediamente da un elevato stato di fratturazione; le fratture risultano essere per lo più riempite da materiale limo-argilloso.

L'esame della diagrafia conferma la presenza di una formazione rocciosa intensamente fratturata, testimoniata dalla estrema variabilità dei parametri di perforazione registrati.

L'analisi del cutting di perforazione permette di assimilare la formazione investigata, alle rocce ignimbriche di colore rosso osservate nel carotaggio continuo H 15.

Si rileva in particolare, nei sondaggi H15-16 e H17, un livello maggiormente impermeabile, rispettivamente alle quote di -20 e -30 m da p.c., che sottende abbondante acqua in pressione; forato tale orizzonte l'acqua risale a piano campagna.

L'indagine sismica a rifrazione, ha evidenziato la presenza di due distinte unità sismiche che possono essere elencate nel modo seguente:

- Strato aerato: caratterizzato da velocità non superiori a 600 m/sec
- Strato subaerato: contraddistinto da elevati valori di velocità (1900-2600 m/sec) e profondità oscillanti tra i 3 e 5 metri.

L'irregolarità osservata sull'andamento delle dromocrone testimonia una forte disomogeneità della litologia prossima alla superficie caratterizzata, dal punto di vista fisico, da rapide variazioni laterali di velocità.

Per questo motivo l'indagine a rifrazione è stata integrata con la tomografia sismica che, pur confermando i risultati, ha consentito di individuare con maggior dettaglio le anomalie di velocità. Inoltre, in alcuni casi questo approccio ha consentito di ottenere informazioni a maggiore profondità.

Con l'ausilio delle informazioni desunte dai sondaggi geognostici, si può attribuire lo strato aerato, che costituisce la parte sismicamente più lenta tra le unità rilevate, alla coltre superficiale presente in zona caratterizzata da una rilevante presenza di elementi litoidi ascrivibili all'orizzonte sottostante.

L'elaborazione dei dati acquisiti con il metodo a riflessione ha consentito di individuare una superficie riflettente posta ad una profondità oscillante tra i 120 ed i 140 metri.

# edilsuolo

La continuità di questa superficie viene talvolta interrotta in corrispondenza di faglie caratterizzate da rigetto limitato. Tale superficie rappresenta un forte contrasto di impedenza acustica.

Pavia, *Novembre 1997*

EDILSUOLO S.r.l.  
*L'Amministratore Unico*  
*Pierluigi Barbero*



## 8) Documentazione fotografica

- Foto 1:* Panoramica area oggetto dell'indagine (la linea unisce i sondaggi da H5 a H21)
- Foto 2:* Sonda perforatrice idraulica Clivio RAP3 posizionata sul foro H15 (visibile mezzo per approvvigionamento idrico)
- Foto 3:* Sonda posizionata su foro H16 (visibile personal computer per registrazione parametri di perforazione)
- Foto 4:* Posizionamento sonda su foro H21
- Foto 5:* Strumentazione utilizzata per le prove di permeabilità (Lugeon)
- Foto 6:* Panoramica dell'area oggetto dell'indagine (visibile sullo sfondo il Monte Manai: 796.8 m s.l.m.)
- Foto 7:* Panoramica Linea 3. Fase di acquisizione dati (spostamento del cannoncino sismico sull'esterno della linea)
- Foto 8:* Particolare sull'esterno della linea 2 – Fase di energizzazione (visibile il cannoncino carico, inserito nel foro di energizzazione)
- Foto 9:* Geofono 14 Hz di linea per acquisizione a rifrazione. Dettaglio sulla connessione al relativo cavo sismico
- Foto 10:* Panoramica sulla linea a riflessione lato - E – Fase di stendimento dei cavi sismici
- Foto 11:* Linea a riflessione. Fase di energizzazione mediante cannoncino sismico (visibile il sismografo Smartseis a 24 canali)
- Foto 12:* Tratto sommitale della linea a riflessione. Fase di registrazione
- Foto 13:* Linea a rifrazione di dettaglio n° 6 (c/o imbocco galleria). Fase di registrazione
- Foto 14:* Panoramica verso Macomer (la freccia indica l'ospedale) – Visibile sonda perforatrice idraulica Casagrande C6 posizionata su foro H8



FOTO n° 6 - Panoramica dell'area oggetto dell'indagine (visibile sullo sfondo il Monte Manai: 796.8 m.s.l.m.)

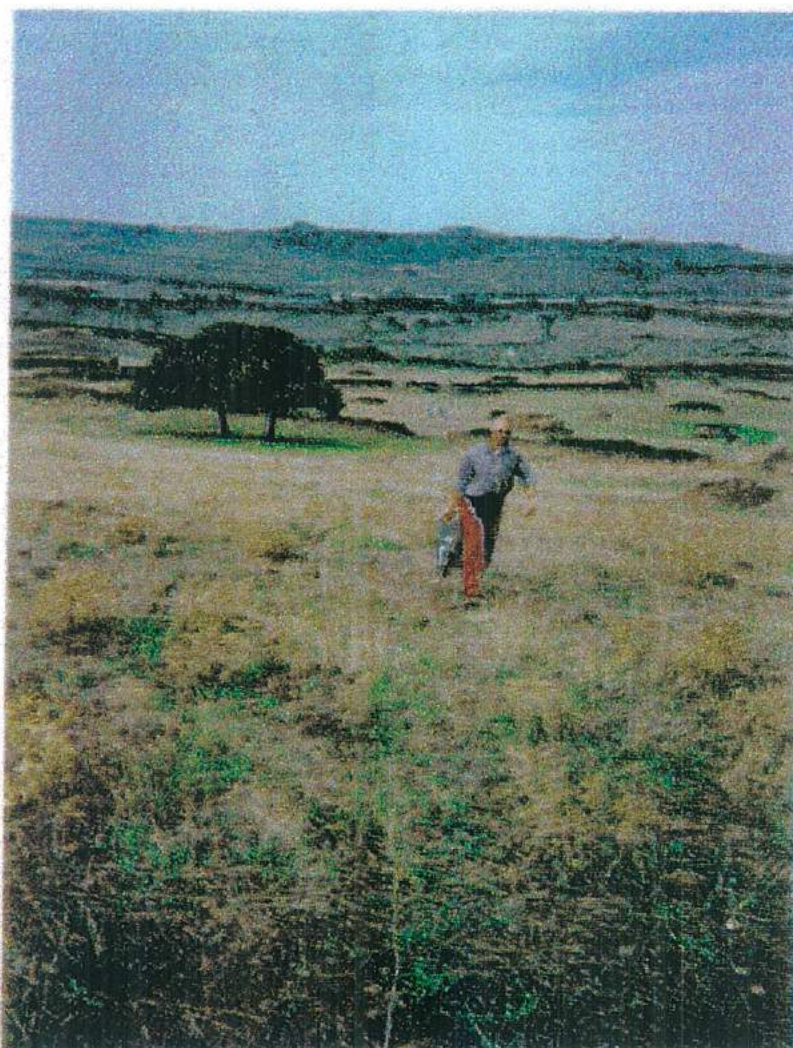


FOTO n° 7 - Panoramica Linea 3. Fase di acquisizione dati (spostamento del connoncino sismico sull'esterno della linea)

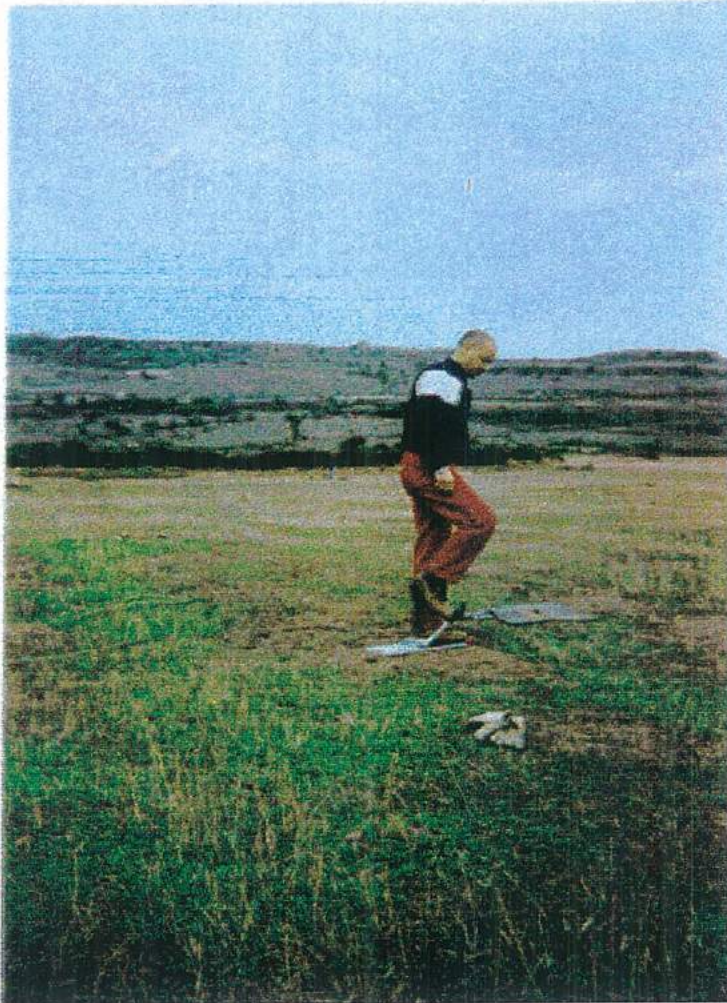


FOTO n° 8 - Particolare sull'esterno della linea 2 - Fase di energizzazione (visibile il cannonecino carico, inserito nel foro di energizzazione)



FOTO n° 9 - Geofono 14Hz di linea per acquisizione a rifrazione. Dettaglio sulla connessione al relativo cavo sismico.



FOTO n° 10 - Panoramica sulla linea a riflessione - lato E - Fase di stendimento dei cavi sismici

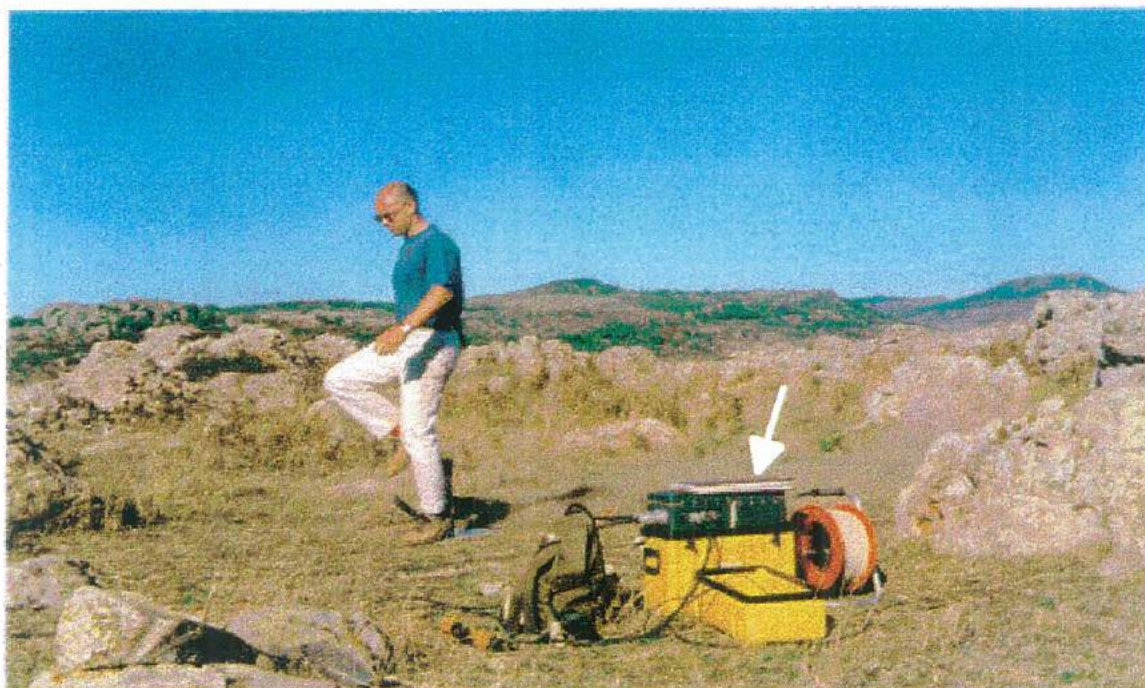


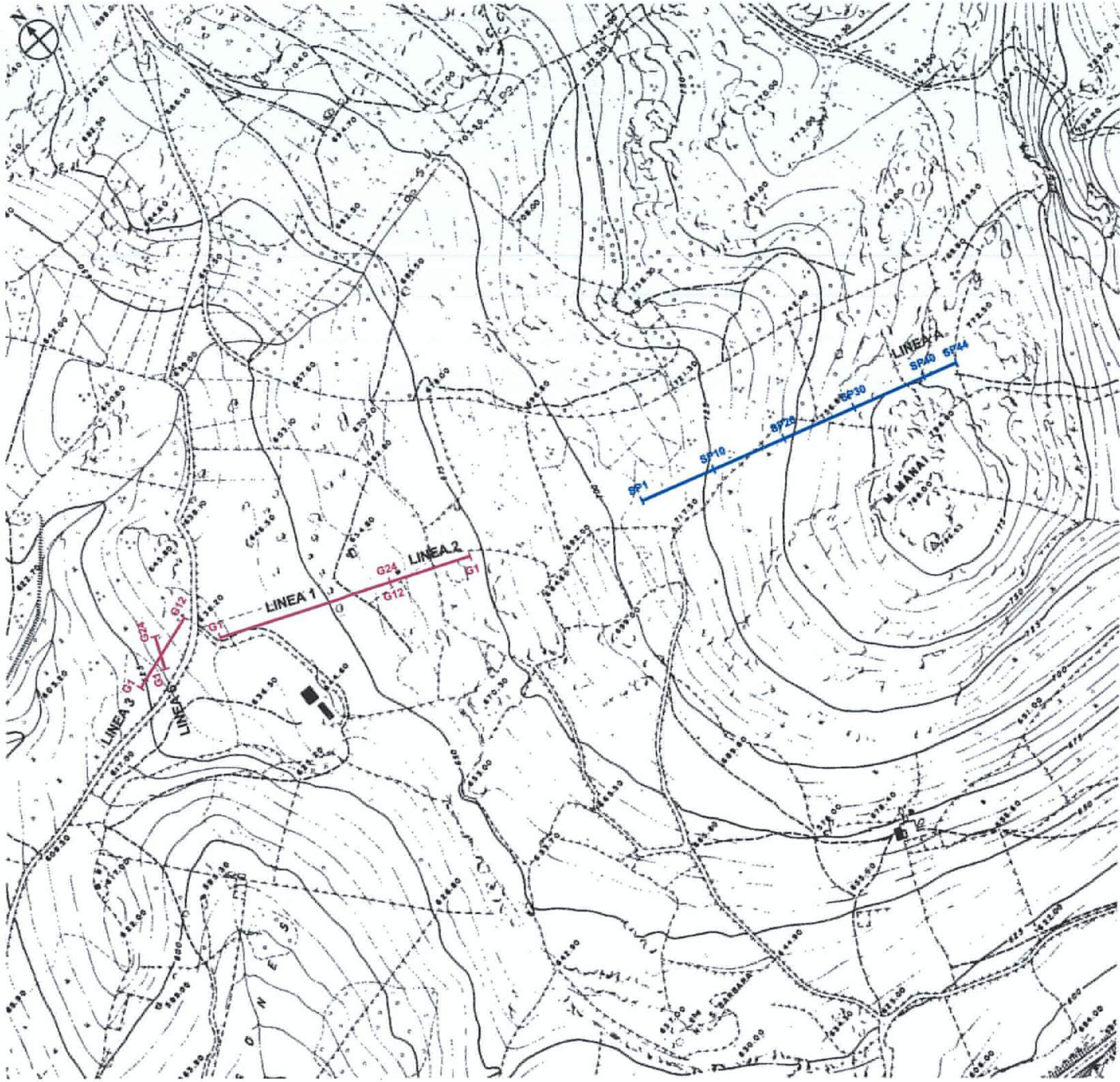
FOTO n° 11 - Linea a riflessione. Fase di energizzazione mediante cannoncino sismico (visibile il sismografo Smartseis a 24 canali)



FOTO n° 12 - Tratto sommitale della linea a riflessione. Fase di registrazione



FOTO n° 13 - Linea a rifrazione di dettaglio n° 6 (c/o imbocco galleria). Fase di registrazione dati



## LEGENDA

Traccia profilo sismico a rifrazione

Traccia profilo sismico a riflessione

Posizione geofoni

Posizione shot point



G8



SP10



00 Novembre '97  
REV. DATA

A. Carpena  
REDAZIONE

G. Bricchi  
APPROVAZIONE

MODIFICHE

COMMITTENTE

ANAS

ENTE NAZIONALE PER LE STRADE  
COMPARTIMENTO DELLA VIABILITA' DELLA  
SARDEGNA

STRADA DI GRANDE COMUNICAZIONE  
SS.131 "CARLO FELICE" - MACOMER NORD (NU)

COMMESSA

Indagine geofisica mediante sismica a rifrazione  
e riflessione ad alta risoluzione

ELABORATO

Planimetria di riferimento  
Scala 1:5000

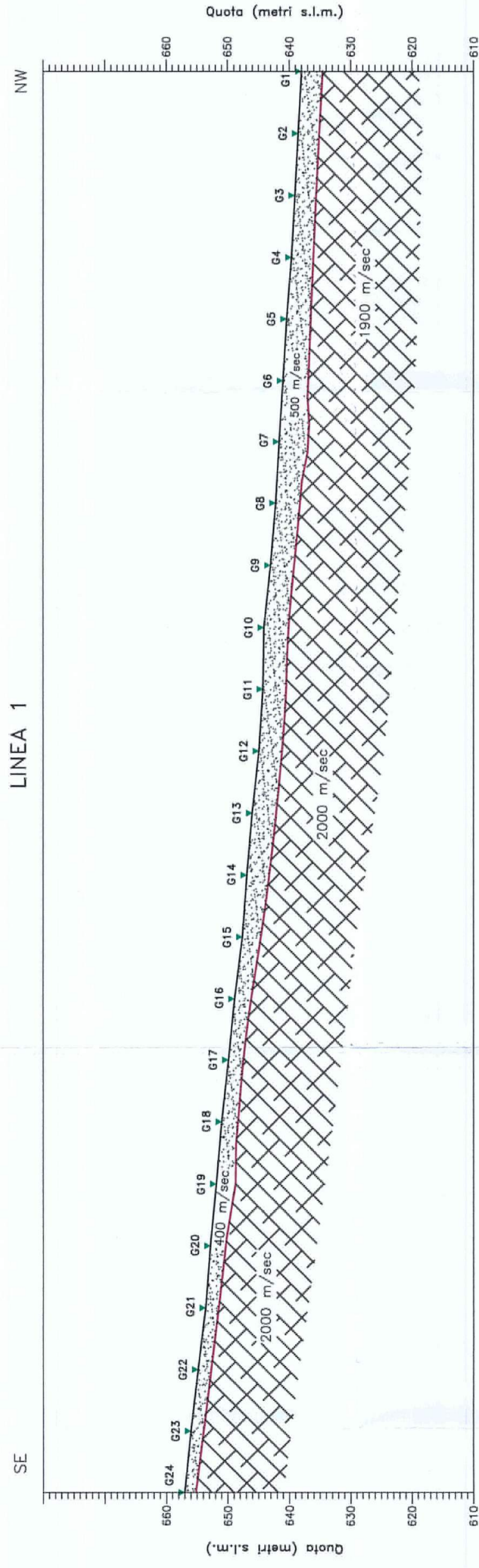
EDILSUOLO srl via Basilicata, 11 27100 Pavia tel. 0382/473835 fax 0382/473836

Tiratura

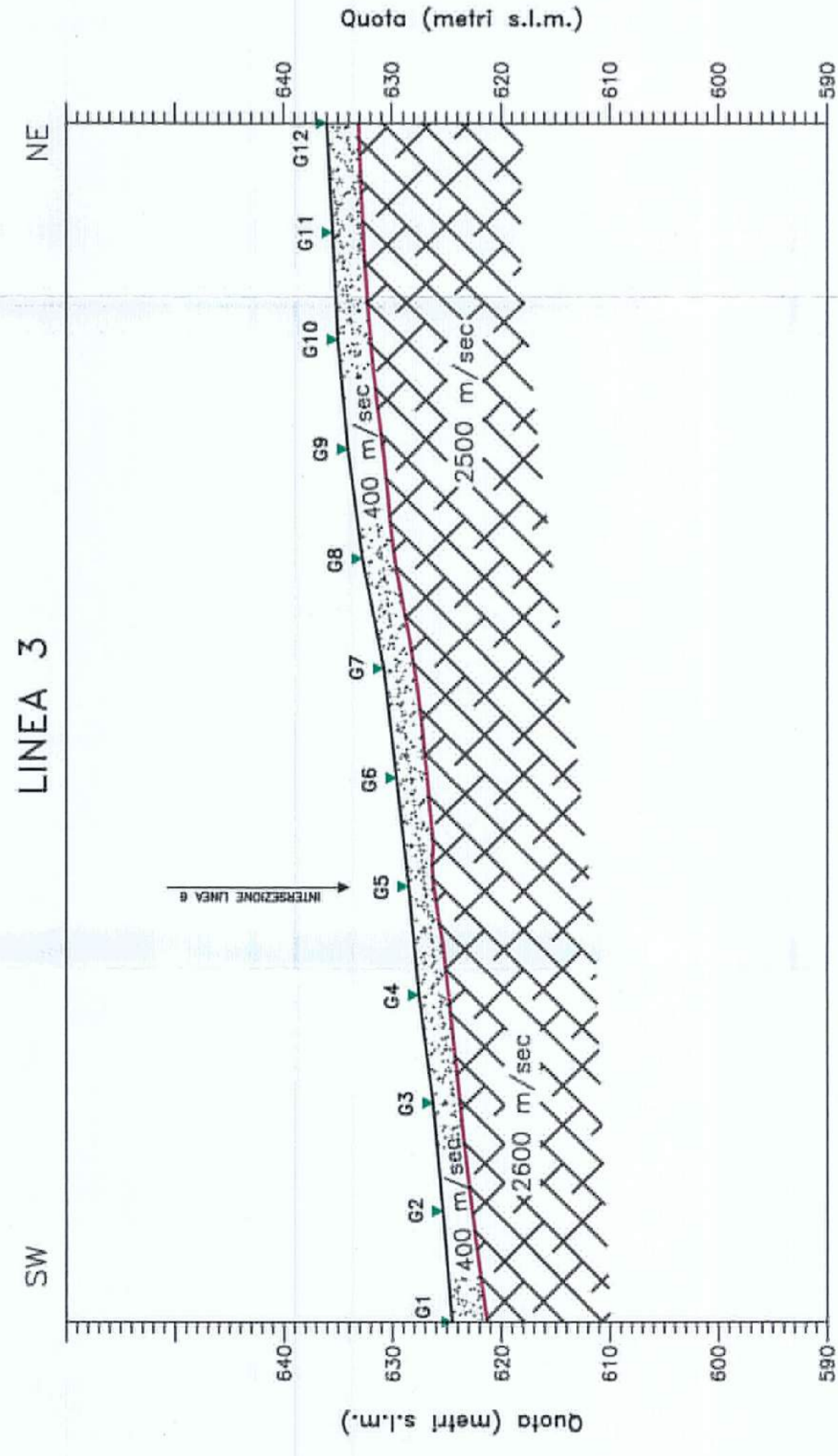
1



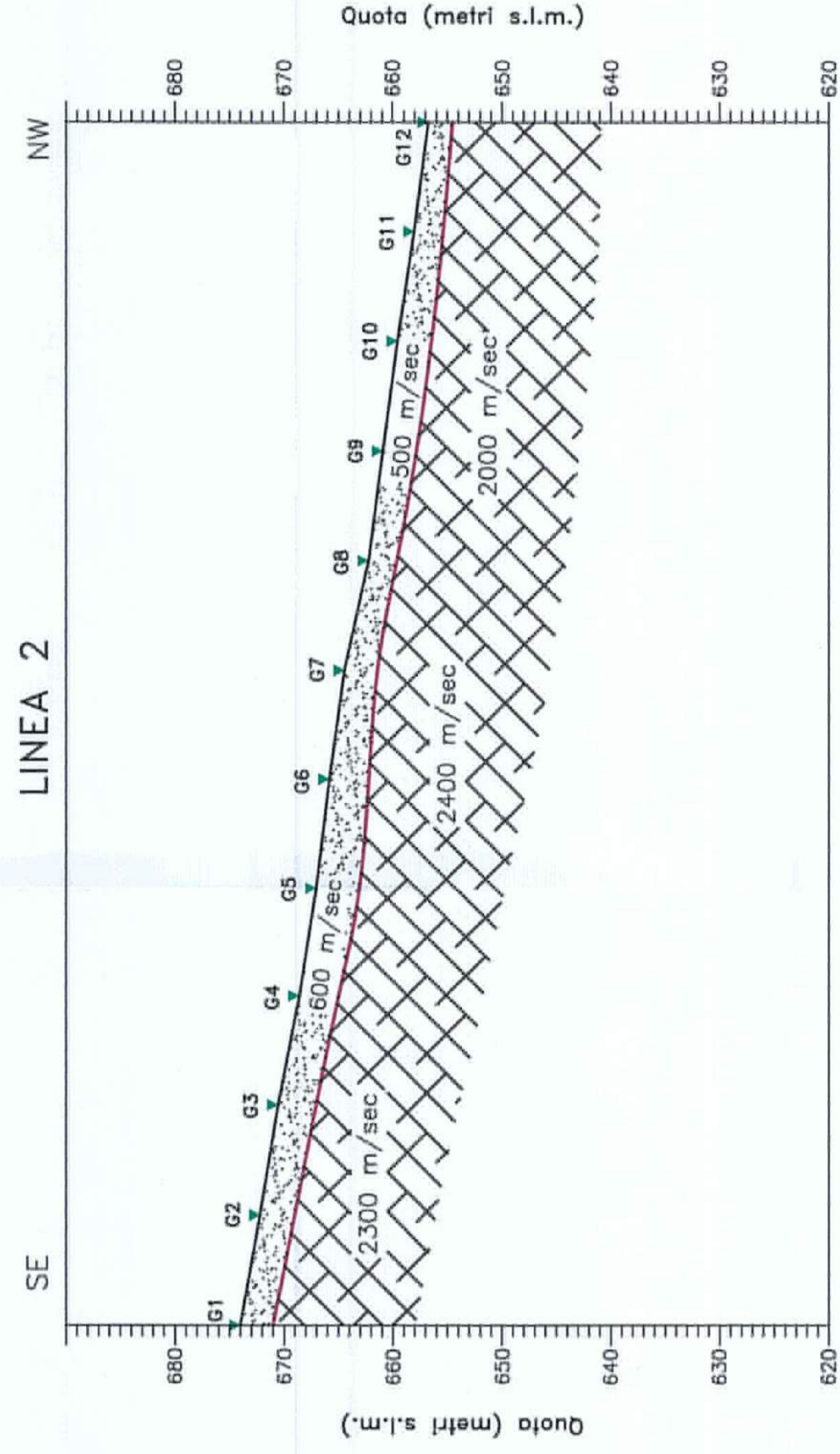
LINEA 1



LINEA 3



LINEA 2



LEGENDA

Strato areato superficiale con velocità di 400-600 m/sec



Strato sub-areato fratturato con velocità di 1900-2600 m/sec



G1



Posizione geofoni lungo le sezioni sismiche

Interfaccia rifratte veloce (1900-2600 m/sec)



EDILSUOLO S.R.L. Via Basilicata, 11-27100 Pavia-tel.0382/473835-fax0382/473836

TAVOLA 2



| REV. | DATA         | REDAZIONE  | APPROVAZIONE | MODIFICHE |
|------|--------------|------------|--------------|-----------|
| 00   | Novembre '97 | A. CARFENA | G. BRICCHI   |           |

COMMITTENTE  
ANAS ENTE NAZIONALE PER LE STRADE  
COMPARTIMENTO DELLA VIABILITA' DELLA SARDEGNA

CONMESSA  
STRADA DI GRANDE COMUNICAZIONE SS. 131 "CARLO FELICE"  
LAVORI DI AMMODERNAMENTO E DI ADEGUAMENTO  
DEL TRONCO COMPRESO TRA IL KM 69.5 E IL KM 146.8  
(MACOMER NORD)

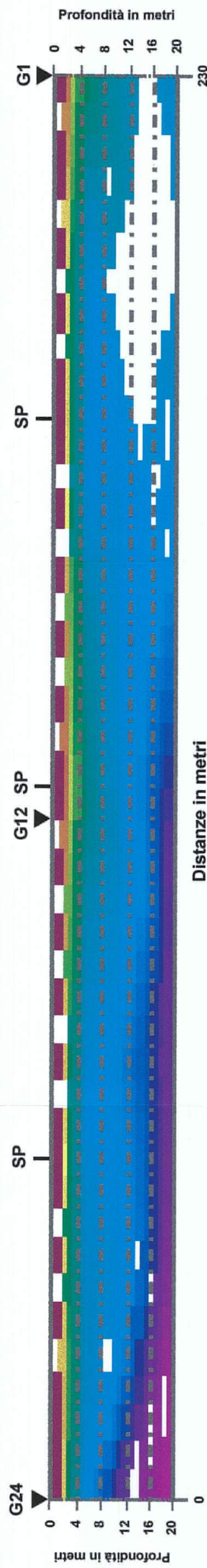
LOCALITA' : MACOMER PROVINCIA DI NUORO  
Indagine geofisica mediante sismica a rifrazione  
e riflessione ad alta risoluzione

ELABORATO

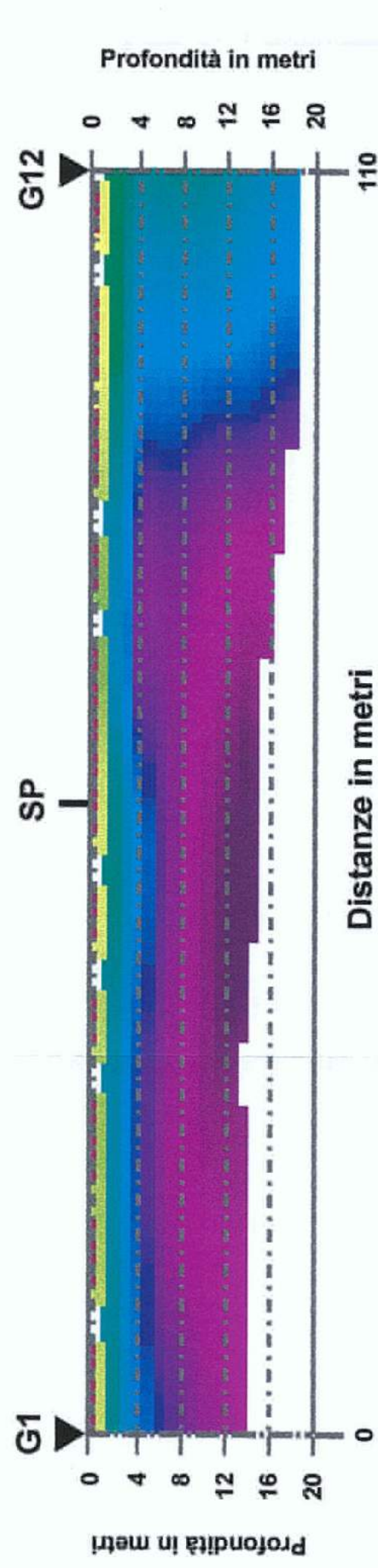
PROFILI SISMICI A RIFRAZIONE N° 1-2-3

SCALA 1:500

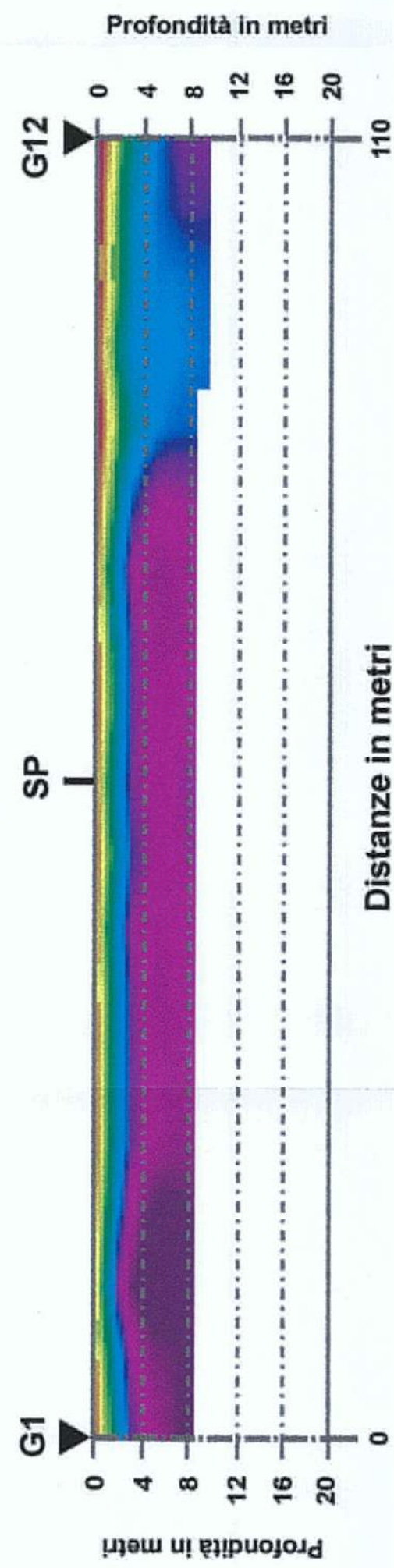
### LINEA 1



### LINEA 2



### LINEA 3



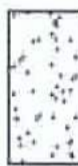



### LEGENDA

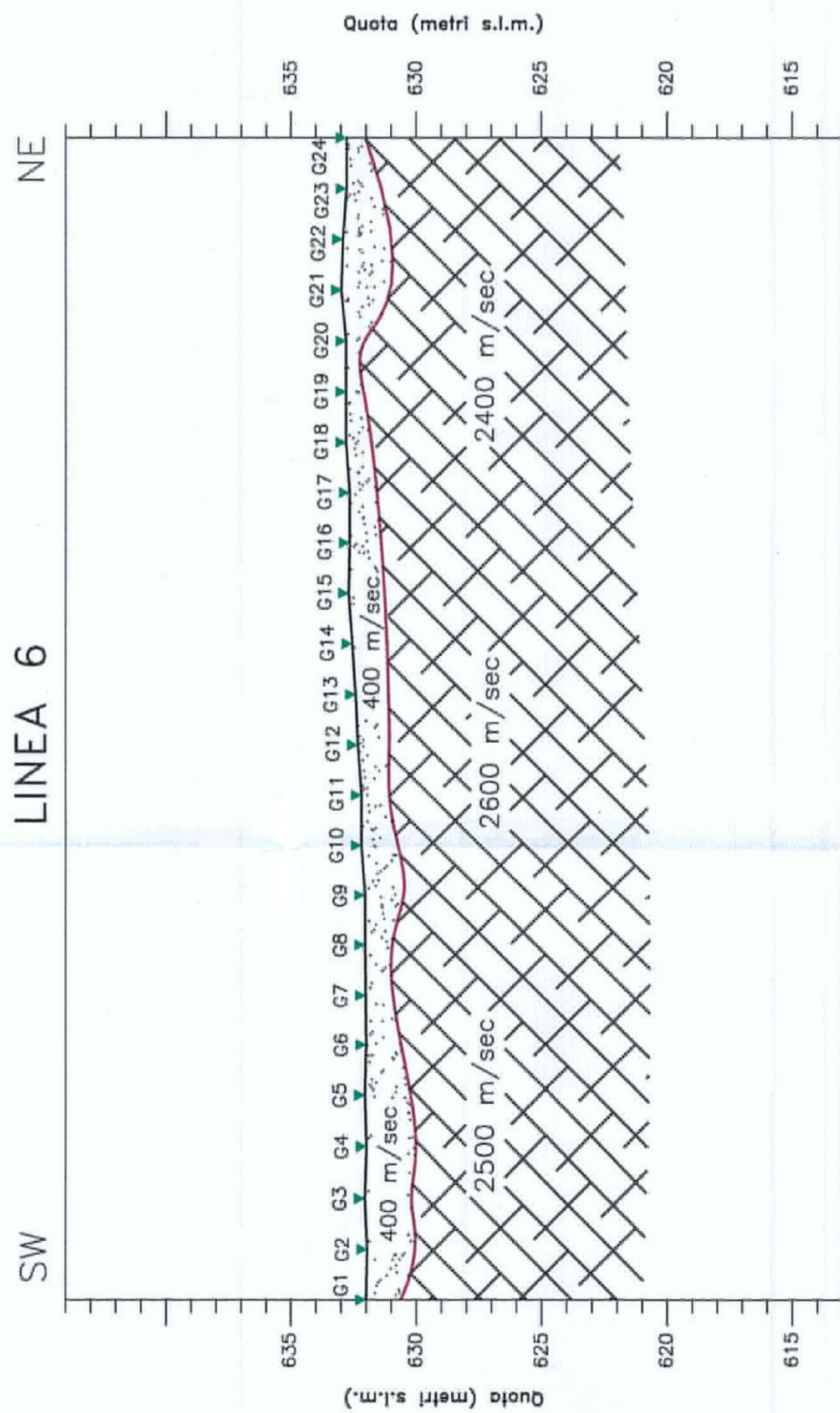
- Traccia linea sismica a rifrazione
- G8 ▼ Posizione geofoni
- SP | Punti di energizzazione (shot point)



|   |              |            |              |
|---|--------------|------------|--------------|
| 00  | Novembre '97 | A. Carpena | G. Bricchi   |
| REV.  | DATA         | REDAZIONE  | APPROVAZIONE |
| <b>ANAS</b>   |              |            |              |
| <b>ENTE NAZIONALE PER LE STRADE</b>                     |              |            |              |
| <b>COMPARTIMENTO DELLA VIABILITA' DELLA</b>             |              |            |              |
| <b>SARDEGNA</b>   |              |            |              |
| <b>STRADA DI GRANDE COMUNICAZIONE</b>                   |              |            |              |
| <b>SS.131 "CARLO FELICE" - MACOMER NORD (NU)</b>        |              |            |              |
| COMMESSA  |              |            |              |
| <b>Indagine geofisica mediante sismica a rifrazione</b> |              |            |              |
| <b>e riflessione ad alta risoluzione</b>                |              |            |              |
| ELABORATO   |              |            |              |
| <b>Modello Tomografico Linea 1 - 2 - 3</b>              |              |            |              |
| <b>Scala 1:500</b>                                      |              |            |              |
|   |              |            | Tavola       |
|   |              |            | <b>4</b>     |

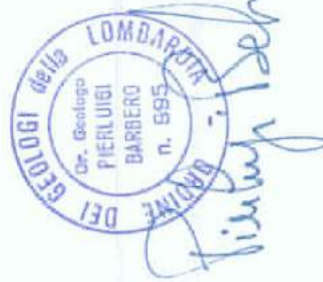
# LEGENDA

-  Strato areato superficiale con velocità di 400 m/sec.
-  Strato sub-areato fratturato con velocità di 2400-2600 m/sec
- G1  Posizione geofoni lungo le sezioni sismiche
-  Interfaccia rifrattore veloce (2400-2600 m/sec)



EDILSUOLO s.r.l. Via Basilica, 11 - 27100 PAVIA - tel. 0382/473835 - fax: 0382/473836

TAVOLA 3



| REV. | DATA         | REDAZIONE  | APPROVAZIONE | MODIFICHE |
|------|--------------|------------|--------------|-----------|
| 00   | Novembre '97 | A. CARPENA | G. BRICCHI   |           |

COMMITTENTE

ANAS ENTE NAZIONALE PER LE STRADE  
COMPARTIMENTO DELLA VIABILITA' DELLA SARDEGNA

COMMESSA

STRADA DI GRANDE COMUNICAZIONE SS.131 "CARLO FELICE"  
LAVORI DI AMMODERNAMENTO E DI ADEGUAMENTO  
DEL TRONCO COMPRESO TRA IL KM 69.5 ED IL KM 146.8  
(MACOMER NORD)

LOCALITA': MACOMER-PROVINCIA DI NUORO





Indagine geofisica mediante sismica a rifrazione  
e riflessione ad alta risoluzione

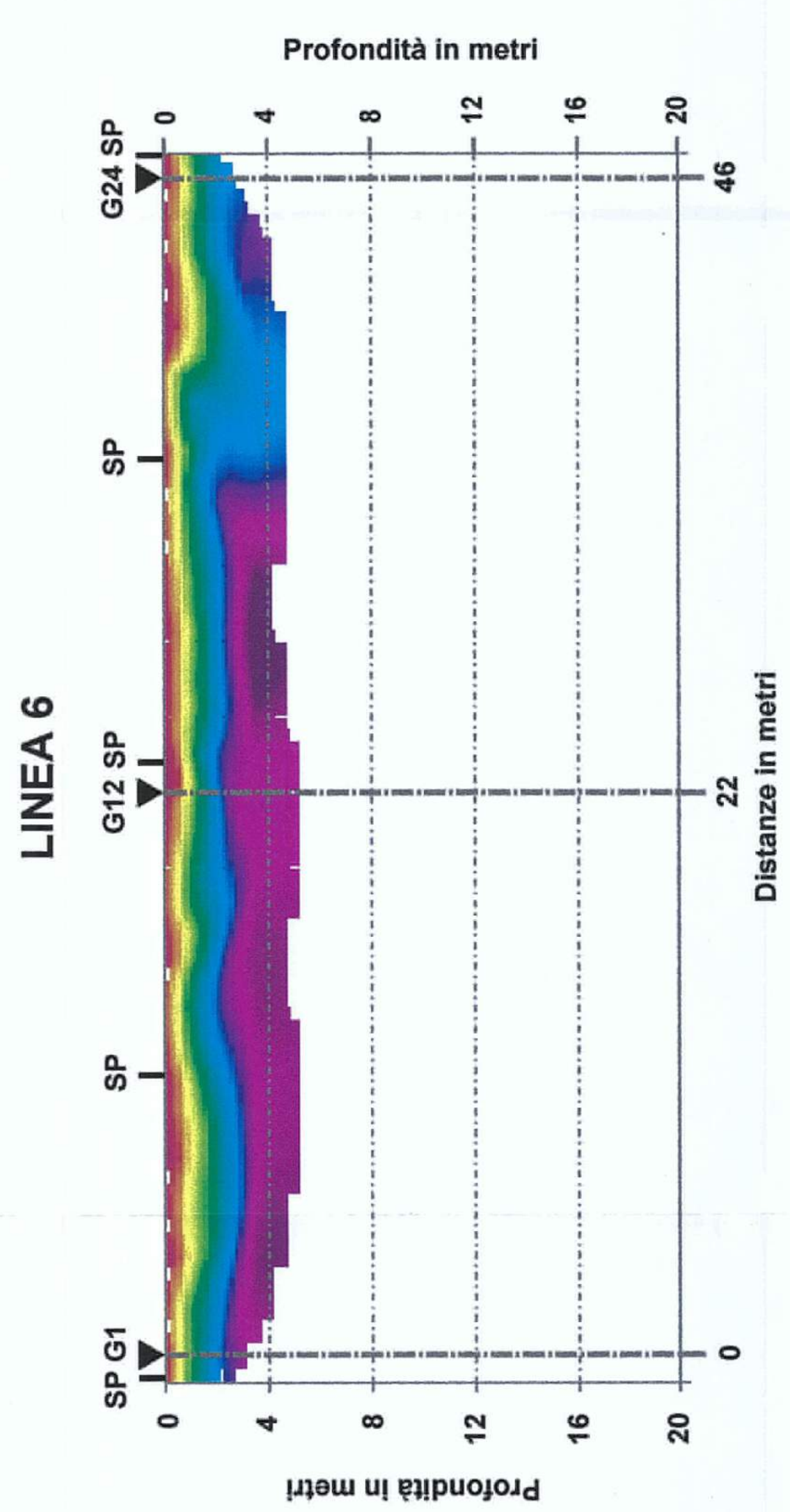
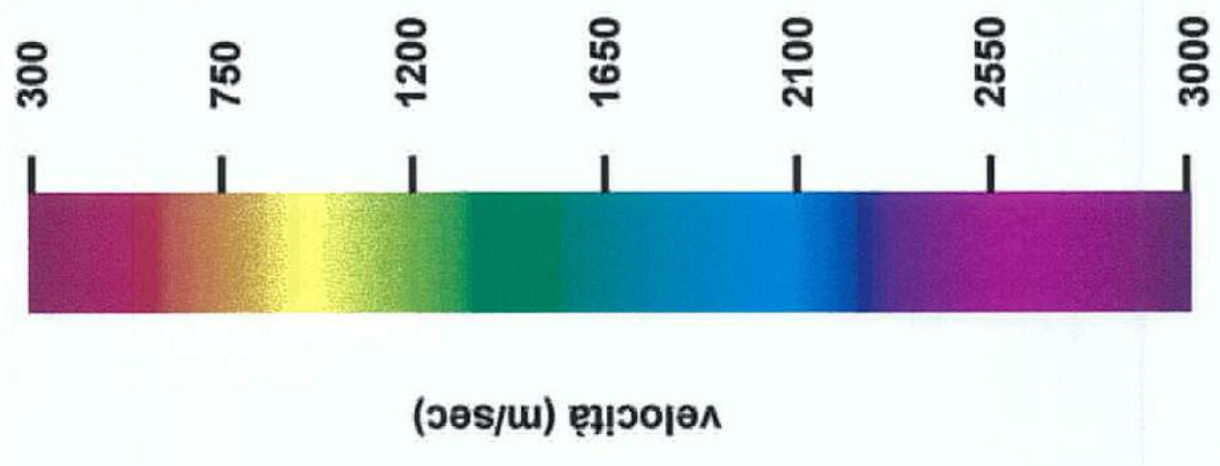
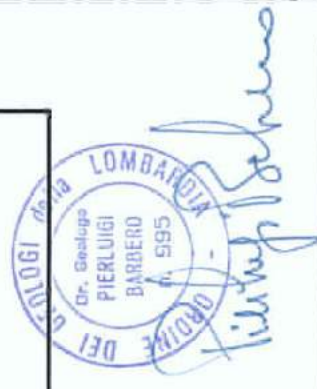
ELABORATO

PROFILO SISMICO A RIFRAZIONE N° 6

SCALA 1:200

### LEGENDA

 Traccia linea sismica a rifrazione  
 G8  Posizione geofoni  
 SP  Punti di energizzazione (shot point)



|           |              |            |              |
|-----------|--------------|------------|--------------|
| 00        | Novembre '97 | A. Carpena | G. Briocchi  |
| REV.      | DATA         | REDAZIONE  | APPROVAZIONE |
| MODIFICHE |              |            |              |

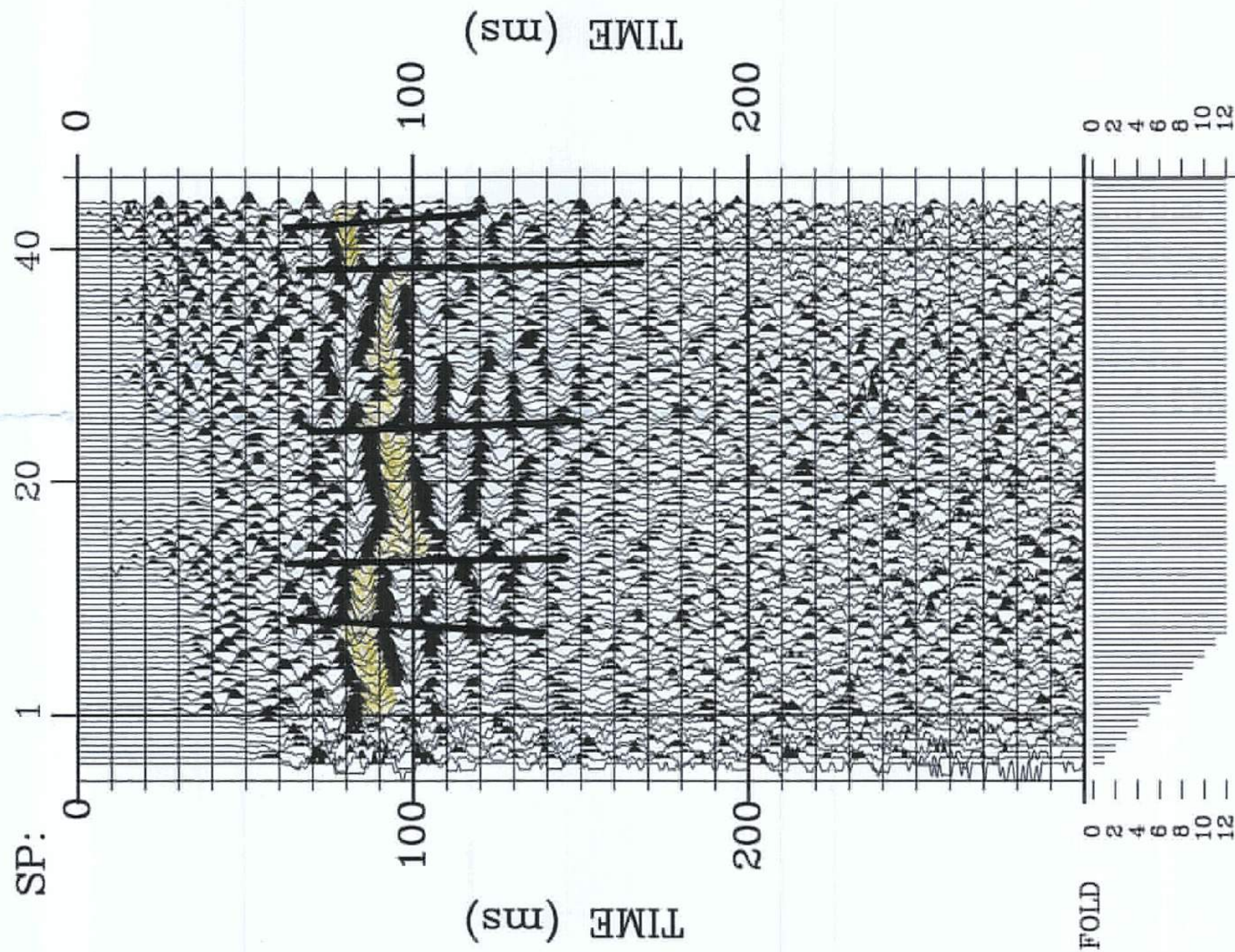
**ANAS**  
**ENTE NAZIONALE PER LE STRADE**  
**COMPARTIMENTO DELLA VIABILITA' DELLA**  
**SARDEGNA**  
**STRADA DI GRANDE COMUNICAZIONE**  
**SS.131 "CARLO FELICE" - MACOMER NORD (NU)**

COMMESSA  
**Indagine geofisica mediante sismica a rifrazione**  
**e riflessione ad alta risoluzione**

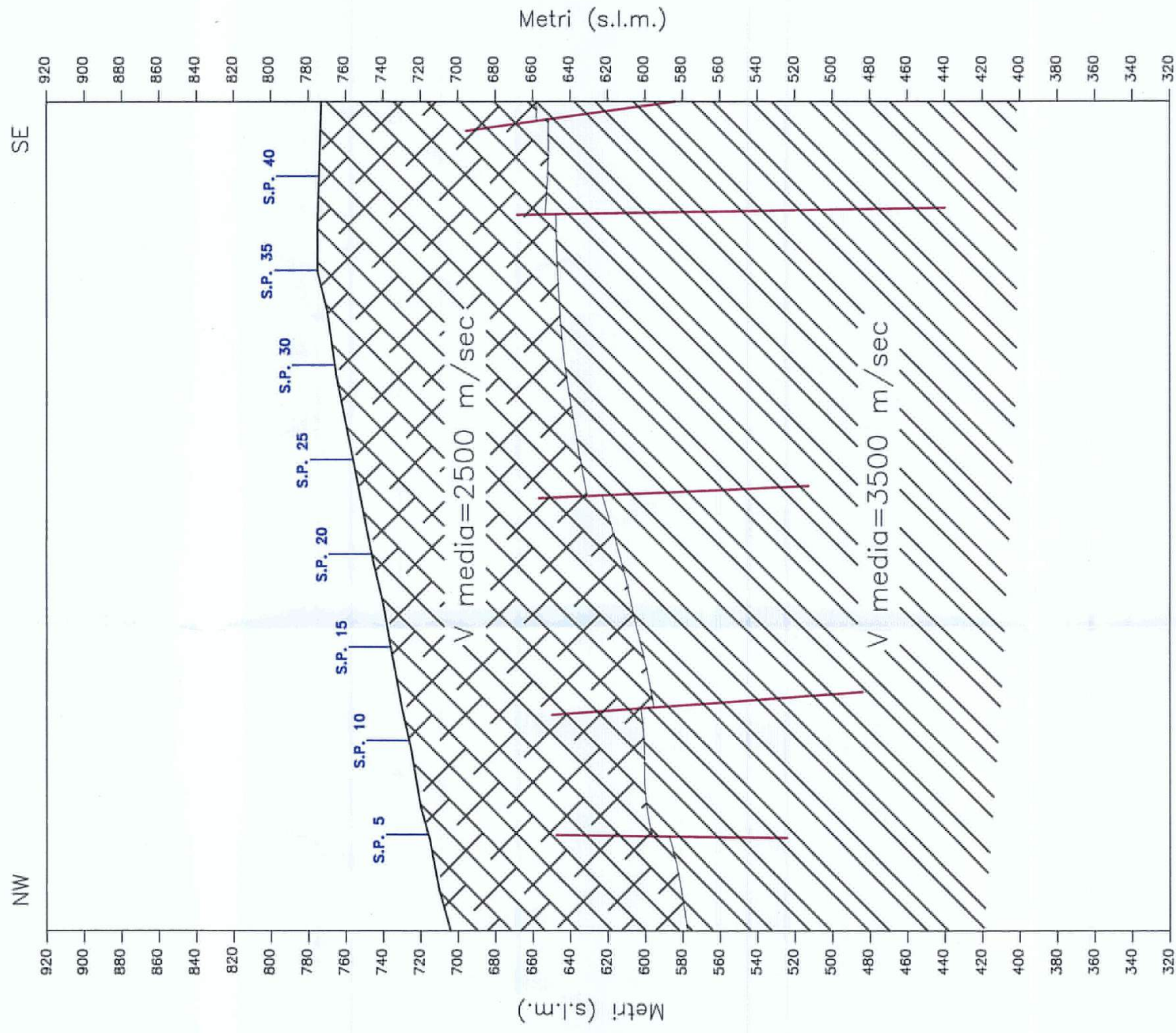
ELABORATO  
**Modello Tomografico Linea 6**  
**Scala 1:200**

LINEA A (S.P. 1-44)

SEZIONE SISMICA



LINEA A (S.P. 1-44)  
SCHEMA INTERPRETATIVO STRUTTURALE



LEGENDA



Strato superficiale lento (velocita' media 2500 m/sec)



Strato profondo veloce (velocita' media 3500 m/sec)

S.P. 10

Shot point (punti di energizzazione)

Faglia

|   |        |
|---|--------|
| EDILSUOLO S.T.L. Via Basilicata, 11-27100 PAVIA-tel.0382/473835-fax.0382/473836 | TAVOLA |
|   | 6      |



| REV. | DATA         | REDAZIONE  | APPROVAZIONE | MODIFICHE |
|------|--------------|------------|--------------|-----------|
| 00   | Novembre '97 | A. CARPENA | G. BRICCHI   |           |

COMMITTENTE  
ANAS ENTE NAZIONALE PER LE STRADE  
COMPARTIMENTO DELLA VIABILITA' DELLA SARDEGNA

COMMESSA  
STRADA DI GRANDE COMUNICAZIONE SS. 131 "CARLO FELICE"  
LAVORI DI AMMODERNAMENTO E DI ADEGUAMENTO  
DEL TRONCO COMPRESO TRA IL KM 69.5 ED IL KM 146.8  
(MACOMER NORD)  
LOCALITA': MACOMER - PROVINCIA DI NUORO  
Indagine geofisica mediante sismica a rifrazione  
e riflessione ad alta risoluzione

ELABORATO  
SISMICA A RIFLESSIONE - LINEA A  
SCALA 1:2000

Stampato in formato A3. La stampa, l'uso e la ristampa sono vietati senza permesso scritto dalla EdilSuolo S.T.L.

## CAMPAGNA DI INDAGINI GEOFISICHE

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

**ANNO 1997/98/99**

**ANAS**  
**ENTE NAZIONALE PER LE STRADE**  
**COMPARTIMENTO DELLA VIABILITA'**  
**DELLA SARDEGNA**

**STRADA DI GRANDE COMUNICAZIONE**  
**SS. 131 "CARLO FELICE"**  
**LAVORI DI AMMODERNAMENTO E DI ADEGUAMENTO**  
**DEL TRONCO COMPRESO TRA IL KM 69.5 ED IL KM 146.8**  
**(MACOMER SUD)**

**LOCALITA': MACOMER - PROVINCIA DI NUORO**

**Indagine geofisica mediante sismica a rifrazione  
e riflessione ad alta risoluzione**

**Tea srl**

*Fabio Brusaporci*

---

Uffici: via Amero Cagnoni, 8 - 20146 Milano - Tel.: 02/4071776

|      |              |            |              |           |
|------|--------------|------------|--------------|-----------|
| 00   | Novembre '97 | A. Carpena | G. Bricchi   |           |
| REV. | DATA         | REDAZIONE  | APPROVAZIONE | MODIFICHE |

|   |
|---|
| <p>COMMITTENTE</p> <p style="text-align: center;"><b>ANAS</b><br/> <b>ENTE NAZIONALE PER LE STRADE</b><br/> <b>COMPARTIMENTO DELLA VIABILITA' DELLA</b><br/> <b>SARDEGNA</b><br/> <b>STRADA DI GRANDE COMUNICAZIONE</b><br/> <b>SS.131 "CARLO FELICE"</b></p> |
|---|

|   |
|---|
| <p>COMMESSA</p> <p style="text-align: center;"><b>LAVORI DI AMMODERNAMENTO E DI ADEGUAMENTO</b><br/> <b>DEL TRONCO COMPRESO TRA IL KM 69.5 E 146.8</b><br/> <b>(MACOMER SUD)</b><br/> <b>LOCALITA': MACOMER (NUORO)</b></p> |
|---|

|   |
|---|
| <p>ELABORATO</p> <p style="text-align: center;"><b>Indagine geofisica mediante sismica a rifrazione</b><br/> <b>e riflessione ad alta risoluzione</b></p> |
|---|

|                |                      |              |                 |
|----------------|----------------------|--------------|-----------------|
| <b>TEA srl</b> | via Amero Cagnoni, 8 | 20146 Milano | tel. 02/4071776 |
|----------------|----------------------|--------------|-----------------|



## Indice

|    |  |      |   |
|----|--|------|---|
| 1. | Introduzione.....  | pag. | 3 |
| 2. | Apparecchiatura di registrazione .....                       | "    | 5 |
| 3. | Sorgente sismica.....  | "    | 5 |
| 4. | Parametri di acquisizione sismica a rifrazione.....          | "    | 5 |
| 5. | Parametri di acquisizione sismica a riflessione.....         | "    | 6 |
| 6. | Sequenza di elaborazione dei dati sismici a rifrazione.....  | "    | 6 |
| 7. | Sequenza di elaborazione dei dati sismici a riflessione..... | "    | 6 |
| 8. | Tomografia.....  | "    | 8 |
| 9. | Commento ai risultati finali.....                            | "    | 8 |

## Allegati

- A. Documentazione fotografica

## Figure

1. Inquadramento geografico scala 1:300.000

## Tavole

- |    |                                       |  |              |
|----|---------------------------------------|--|--------------|
| 1. | Planimetria di riferimento            |  | scala 1:5000 |
| 2. | Profilo sismico a rifrazione n° 4     |  | scala 1:500  |
| 3. | Profilo sismico a rifrazione n° 5     |  | scala 1:200  |
| 4. | Modello Tomografico Linea 4           |  | scala 1:500  |
| 5. | Modello Tomografico Linea 5           |  | scala 1:200  |
| 6. | Profilo sismico a riflessione Linea A |  | scala 1:2000 |

## 1. Introduzione

Il presente lavoro, commissionato dall'ANAS della Sardegna, consiste nella prospezione geofisica mediante sismica a rifrazione e riflessione ad alta risoluzione di un'area situata a Nord Est di Macomer (NU) ubicata tra le località di Birori e Mulargia.

La ditta TEA S.r.l. di Milano è stata incaricata di eseguire l'indagine geofisica, nell'ambito dei lavori di ammodernamento e di adeguamento della strada di grande comunicazione SS. 131 "Carlo Felice" in corrispondenza del tronco compreso tra il Km 69.5 ed il Km 146.8, è finalizzata a valutare le caratteristiche fisiche dei terreni interessanti il progetto, con particolare attenzione al settore non investigato da indagini geognostiche mediante sondaggi a carotaggio continuo.

Con questo scopo sono state acquisite 2 linee sismiche a rifrazione, di cui una di dettaglio (Linea 5) in corrispondenza dell'imbocco della galleria di progetto ed una linea sismica a riflessione ad alta risoluzione che indaga tutta la zona in cui non sono stati realizzati sondaggi geognostici (Tav. 1).

### SISMICA A RIFRAZIONE

- **Linea 4** Direzione NW-SE; quota media 590 m s.l.m.; lunghezza 230 metri.
- **Linea 5** Direzione N-S; quota media 585 m s.l.m.; lunghezza 46 metri.

### SISMICA A RIFLESSIONE AD ALTA RISOLUZIONE

- **Linea A** Direzione NW-SE; quota iniziale 775 m s.l.m.;  
quota finale 648 m s.l.m.; lunghezza 440 metri.

Il rilievo è stato eseguito nel mese di novembre 1997, con un gruppo di lavoro di 4 persone: un operatore addetto allo strumento, un incaricato all'energizzazione mediante il fucile sismico e due operatori addetti allo spostamento del cavo sismico e dei geofoni.

Di ogni profilo sismico è stato in seguito eseguito un rilievo topografico di dettaglio.

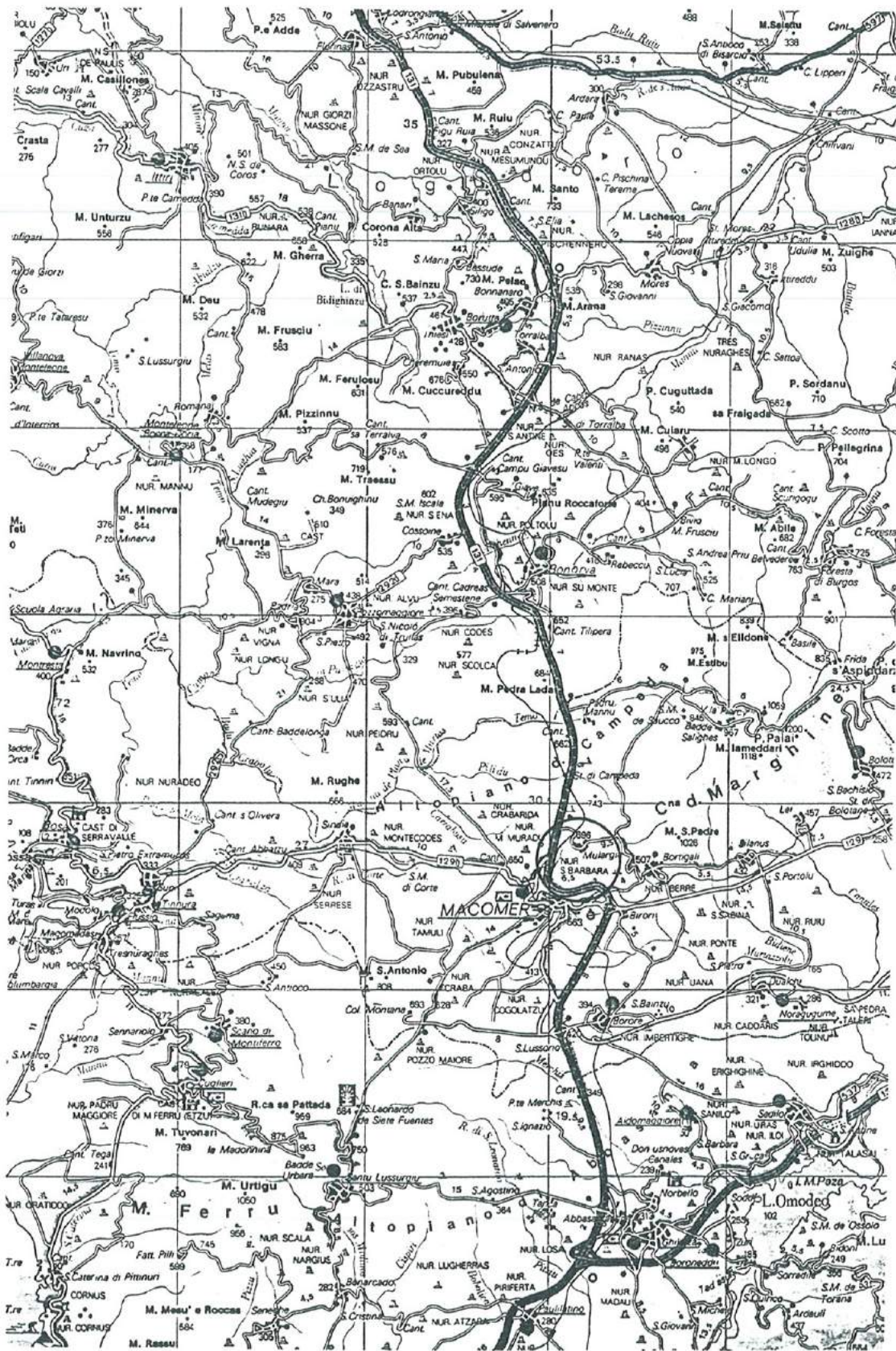


Fig. 1 Inquadramento geografico - scala 1:300.000

## 2. Apparecchiatura di registrazione

Lo strumento di registrazione a 24 canali utilizzato per l'acquisizione è denominato *SMARTSEIS* e fa parte dell'ultima generazione dei prodotti Geometrics; questo strumento è dotato di un convertitore analogico-digitale a 16 bit (15+1) ed un amplificatore analogico digitale (24 dB) che determinano un *dynamic range* (120 dB) in grado di riprodurre in modo molto accurato il segnale sismico, anche nelle sue componenti in frequenza più elevate.

I sensori disposti sul terreno sono geofoni (Mark Products L40 A-2) caratterizzati da una frequenza di smorzamento di 14 Hz per l'acquisizione a rifrazione, mentre per l'acquisizione a riflessione sono stati utilizzati geofoni con frequenza di smorzamento di 100 Hz.

## 3. Sorgente sismica

L'energia sismica in superficie è stata prodotta utilizzando un fucile sismico modello ISOTTA caricato a cartucce a pallettoni calibro 8 (mod. S800M). Gli spari sono stati effettuati in fori prodotti nel terreno profondi mediamente 50 cm.

Nei casi in cui lo si è ritenuto necessario, varie registrazioni sono state sommate con ripetizione degli spari nella stessa posizione per migliorare la qualità del dato.

## 4. Parametri di acquisizione sismica a rifrazione

Il profilo sismico a rifrazione (Linea 4) a 24 canali, della lunghezza di 230 metri, è stato acquisito attraverso l'impiego di una geometria che prevede spaziature tra i geofoni di 10 metri.

Il profilo sismico a rifrazione di dettaglio (Linea 5) che si estende invece per una lunghezza di 46 metri, è stato effettuato con una spaziatura tra i geofoni di 2 metri.

Per entrambe le linee sismiche a rifrazione L4 ed L5 (24 canali) sono stati effettuati 7 spari: 2 alle estremità, 3 lungo lo stendimento del profilo, più 2 spari esterni.

## 5. Parametri di acquisizione sismica a riflessione

Il profilo sismico a riflessione è stato acquisito con geometria di acquisizione di tipo "split spread", in cui la sorgente sismica è disposta al centro dello stendimento dei geofoni.

Questa geometria ha consentito l'acquisizione di profili sismici a copertura 1200% con distanza tra le CDP di 5 metri.

Le registrazioni in campagna sono state eseguite con un intervallo di campionamento di 500 microsecondi ed una durata di 512 millisecondi.

## 6. Sequenza di elaborazione dei dati sismici a rifrazione

I dati acquisiti in formato SEG-2 sono stati trasferiti su PC; sia il "picking" dei primi arrivi che la loro conversione in un modello superficiale di velocità, sono stati eseguiti con due prodotti software della Europex Ltd. denominati rispettivamente *Firstpix* e *Gremix*; quest'ultimo prodotto è basato sull'algoritmo di D. Palmer noto come GRM ("Generalized Reciprocal Method").

## 7. Sequenza di elaborazione dei dati sismici a riflessione

I dati acquisiti in formato SEG-2 sono stati trasferiti su Personal Computer; per l'elaborazione è stato utilizzato un software specifico denominato *Seistrix*, prodotto dalla Interpex Ltd.

La sequenza di elaborazione può essere riassunta nei seguenti passi principali:

### Reformat ed Editing.

I dati sono stati convertiti in formato SEG-Y standard; le tracce sismiche affette da anomalie di ampiezza sono state rimosse.

### Preprocessor

Le geometrie utilizzate in fase di acquisizione sono state inserite nelle headers delle tracce sismiche e i dati ordinati in CDP. Un prefiltro di tipo passa banda 20-350 Hz è stato applicato per l'attenuazione del rumore in alta frequenza. Un guadagno di tipo AGC (200 msec) è stato applicato ai dati per compensare l'effetto di divergenza sferica dell'energia.

### Deconvoluzione

Un operatore di deconvoluzione è stato applicato per attenuare le riverberazioni e bilanciare la banda spettrale del dato sismico.

I parametri utilizzati sono i seguenti:

|                          |         |
|--------------------------|---------|
| lunghezza dell'operatore | 40 msec |
| distanza di predizione   | 4 msec  |
| White light              | 0.01 %  |

### Analisi di Velocità

Le analisi di velocità sono state eseguite circa ogni 20 metri integrando tutti i metodi convenzionali (CVS , CDS e matrici di coerenza); mediamente i valori di velocità di stack si aggirano attorno ai 2500 -3000 m/sec.

### Correzioni Dinamiche (NMO)

Utilizzando le analisi di velocità stimate nel passo precedente, ai dati sono state applicate correzioni dinamiche ai tempi di arrivo, dette anche correzioni di NMO; con questa operazione gli andamenti iperbolici associati ai segnali riflessi vengono "appiattiti" a tempi costanti sulle tracce di ciascuna CDP, eliminando i tempi differenziali dovuti alle diverse distanze sorgente-ricevitore.

### Correzioni statiche residuali

Per migliorare la coerenza e la continuità degli orizzonti sismici è stato applicato un algoritmo per il calcolo delle correzioni statiche residuali di tipo "CDP consistent"; questa procedura, attraverso misure di correlazione, stima le piccole traslazioni temporali da applicare ai dati per migliorarne la coerenza all'interno delle CDP.

### Correzioni statiche a lungo periodo

Per rimuovere le distorsioni dei segnali sismici dovuti a disomogeneità superficiali, sono state applicate correzioni statiche a lungo periodo. L'operazione si è resa necessaria nei casi in cui variazioni di velocità superficiali provocavano anomale ondulazioni nell'immagine sismica degli orizzonti sismici.

### Stack

Dopo la fase di analisi di velocità e l'applicazione delle correzioni statiche e dinamiche, le tracce di ciascuna CDP sono state sommate ("stacking") per ottenere la sezione sismica finale.

## 8. Tomografia

I dati relativi ai tempi di percorso (*traveltimes*) dei profili sismici a rifrazione sono stati interpretati anche attraverso un approccio di tipo tomografico.

Per questo processo le sezioni a rifrazione sono state suddivise in celle elementari (1 metro X 2 metri) e come modello di velocità iniziale sono stati considerati i risultati ottenuti attraverso l'elaborazione classica dei dati a rifrazione (Metodo Gardner).

L'algoritmo di inversione utilizzato è di tipo *maximum flatness*; attraverso una serie di 4 iterazioni successive il modello iniziale è stato progressivamente migliorato, modificando i valori di velocità all'interno delle celle elementari in modo da ridurre al minimo le differenze esistenti tra i tempi di percorso misurati in campagna e quelli calcolabili dal modello stesso.

I risultati ottenuti non si discostano sensibilmente da quelli del metodo classico anche se l'approccio tomografico consente di apprezzare informazioni di maggior dettaglio.

## 9. Commento ai risultati finali

L'indagine sismica a rifrazione, ha evidenziato la presenza di due distinte unità sismiche che possono essere elencate nel modo seguente:

- Strato aerato: caratterizzato da velocità non superiori a 600 m/sec.
- Strato subaerato: contraddistinto da valori di velocità compresi tra i 1400 e i 2000 m/sec e profondità oscillanti tra i 2,5 e i 7 metri.

L'irregolarità osservata sull'andamento delle dromocrone testimonia una forte disomogeneità della litologia prossima alla superficie caratterizzata, dal punto di vista fisico, da rapide variazioni laterali di velocità.

Per questo motivo l'indagine a rifrazione è stata integrata con la tomografia sismica che, pur confermando i risultati, ha consentito di individuare con maggiore dettaglio le anomalie di velocità. Inoltre, in alcuni casi questo approccio ha consentito di ottenere informazioni a maggiore profondità.

Sulla base delle informazioni desunte dai sondaggi a carotaggio continuo eseguiti nell'area

investigata, si può attribuire lo strato aerato, che costituisce la parte sismicamente più lenta tra le unità rilevate, alla coltre superficiale presente in zona caratterizzata da una rilevante presenza di elementi litoidi ascrivibili alle formazioni sottostanti.

Le unità sismiche presenti al di sotto della copertura, sembrerebbero invece rappresentare rocce ignimbriche (Riodaci, Rioliti, Commenditi in colate ed ignimbriti: Miocene inf. Medio) tipiche dell'area in differenti condizioni di fratturazione.

L'elaborazione dei dati acquisiti con il metodo a riflessione ha consentito di individuare una superficie riflettente posta ad una profondità oscillante tra i 100 ed i 130 metri.

La continuità di questa superficie viene talvolta interrotta in corrispondenza di faglie caratterizzate da rigetto limitato. La scarsità di informazioni a disposizione, per il momento, non consente di attribuire un significato geologico a questa superficie, che rappresenta un forte contrasto di impedenza acustica.



ALLEGATO A

**DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA**



Foto 1 -Panoramica dell'area oggetto d'indagine.



Foto 2 - Panoramica sulla Linea a rifrazione L5 di dettaglio. Fase di stendimento dei cavi sismici ed infissione geofoni.

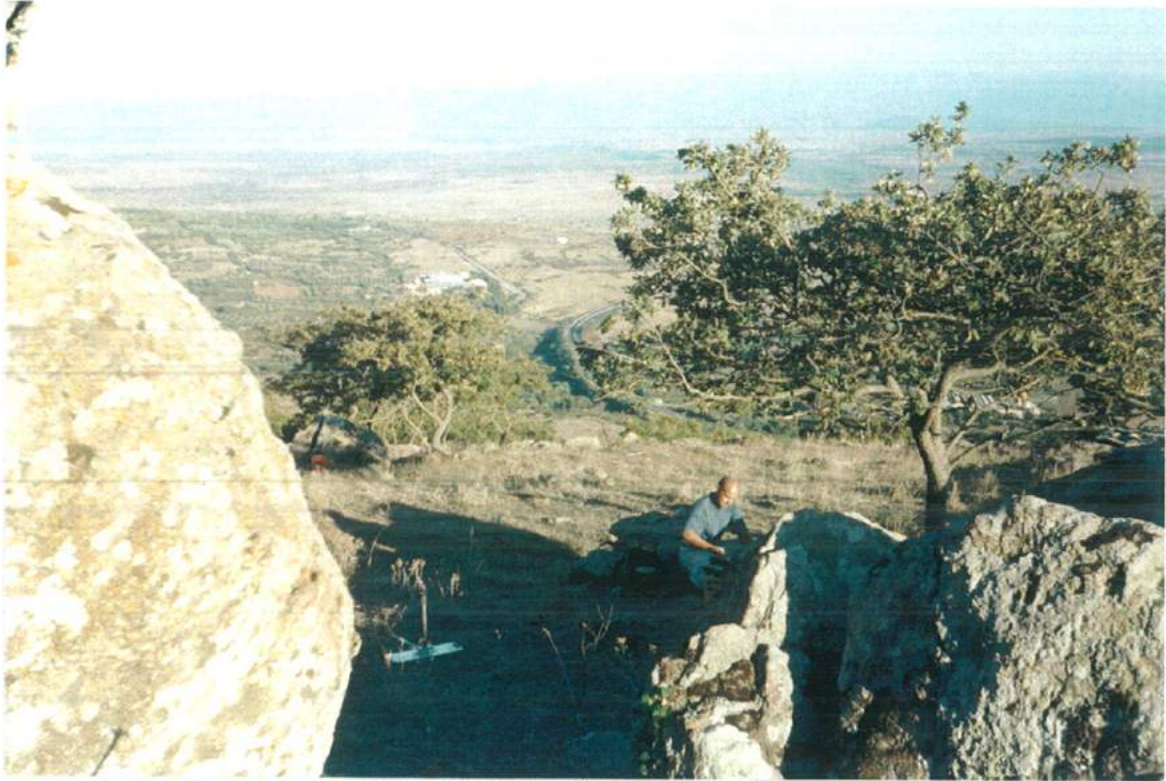


Foto 3 - Panoramica della Linea a riflessione nel settore SP44-SP50



Foto 4 - Particolare del sismografo Smartseis a 24 canali e relativo cannoncino sismico a pallettoni (fase di verifica dei geofoni sulla linea a riflessione).

**ANAS**

**ENTE NAZIONALE PER LE STRADE  
COMPARTIMENTO DELLA VIABILITA'  
DELLA SARDEGNA**

**STRADA DI GRANDE COMUNICAZIONE  
SS. 131 "CARLO FELICE"  
LAVORI DI AMMODERNAMENTO E DI ADEGUAMENTO  
DEL TRONCO COMPRESO TRA IL KM 69.5 ED IL KM 146.8  
(MACOMER SUD)**

**LOCALITA': MACOMER - PROVINCIA DI NUORO**

**Indagine geofisica mediante sismica a rifrazione**

**DROMOCRONE**

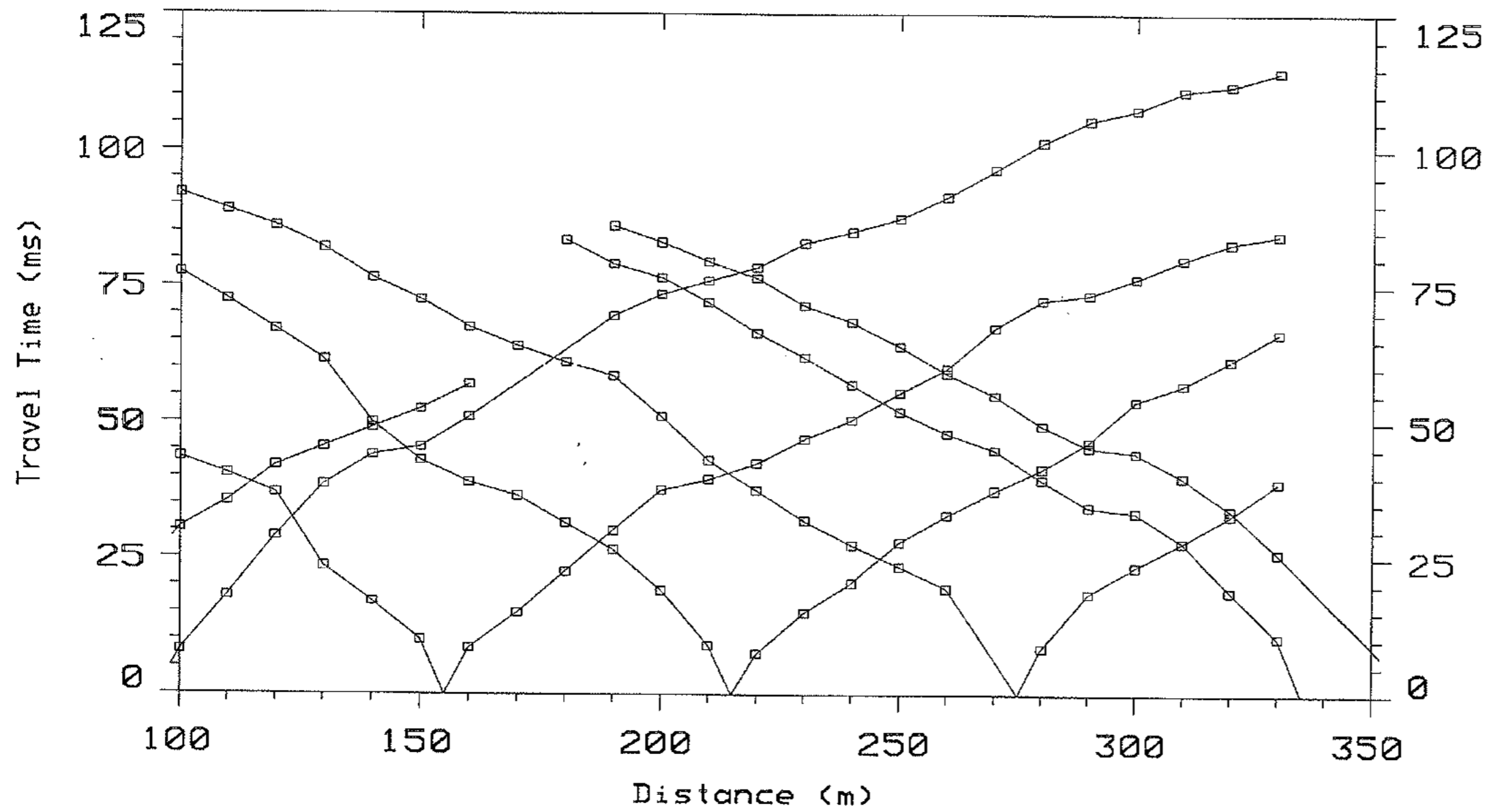
**Tea srl**

*Felice Olivero*

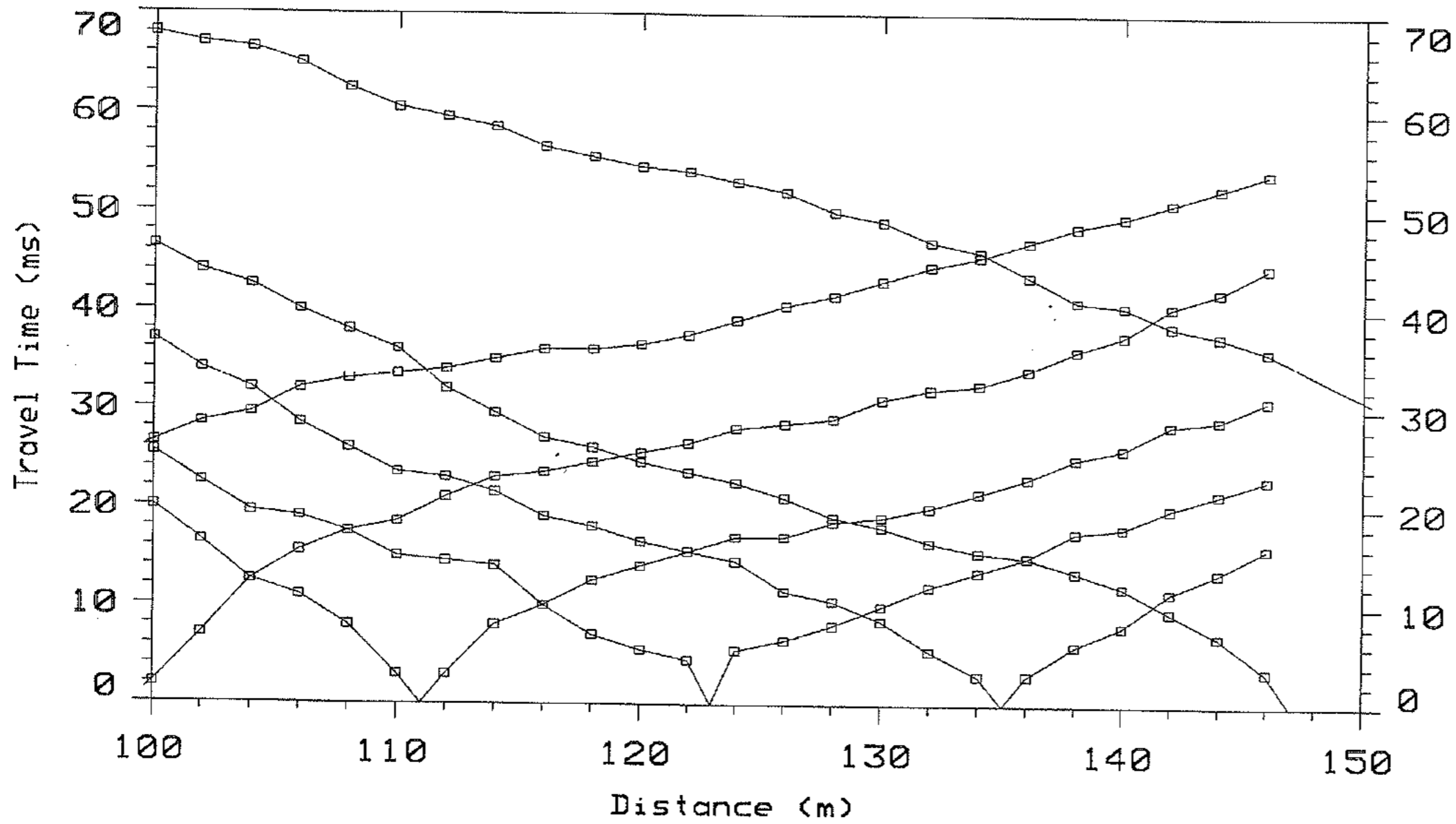
---

Uffici: via Amero Cagnoni, 8 - 20146 Milano - Tel.: 02/4071776

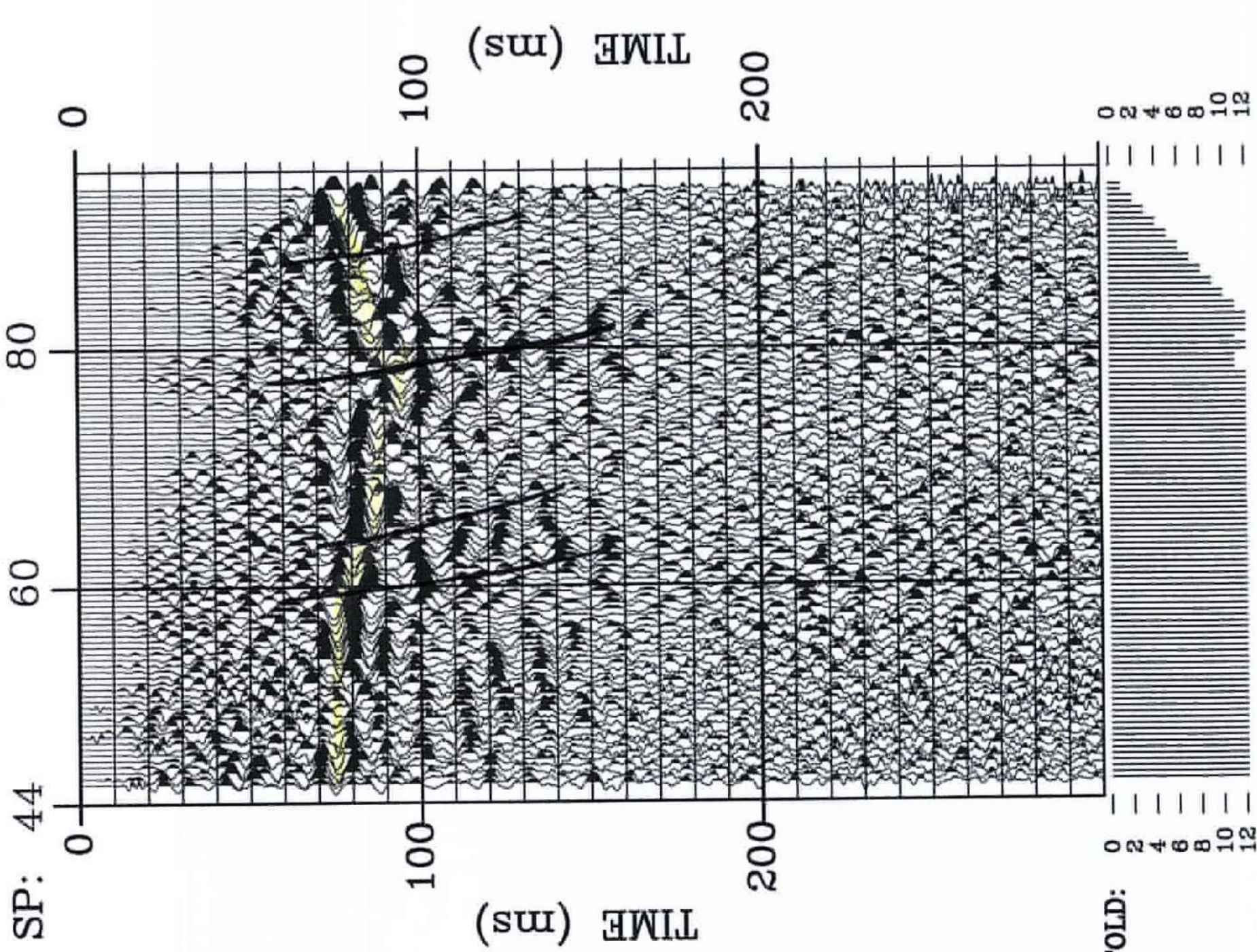
LINEA4 shots: 1 2 3 4 5 6 7



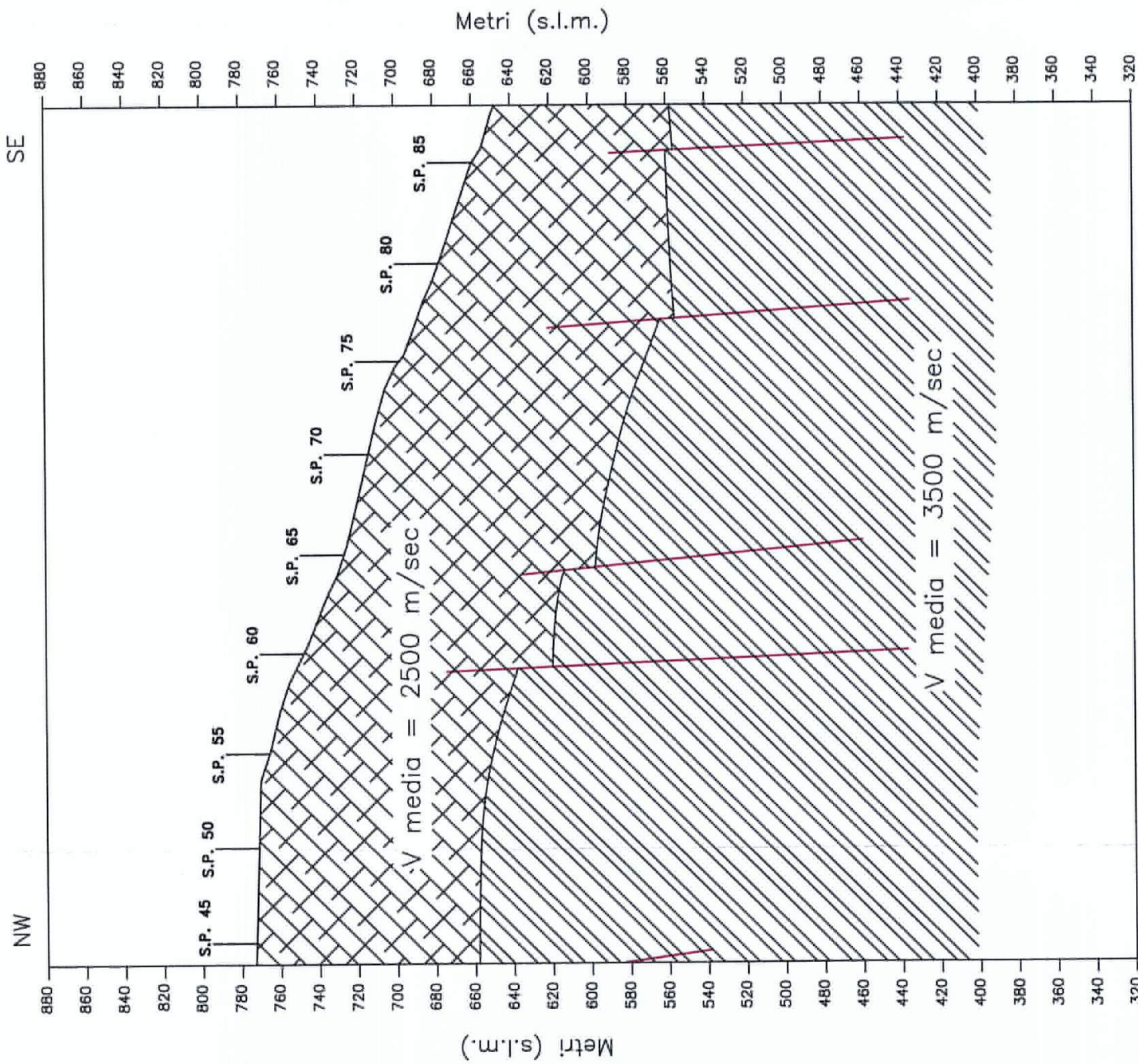
LINEA5 shots: 7 6 5 4 3 2 1





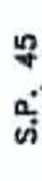

LINEA "A" (S.P. 44-88)  
SEZIONE SISMICA STACK



LINEA "A" (S.P. 44-88)  
SCHEMA INTERPRETATIVO STRUTTURALE



LEGENDA

-  Strato superficiale lento (velocita' media 2500 m/sec)
-  Strato profondo veloce (velocita' media 3500 m/sec)
-  Shot point (punti di energizzazione)
-  Faglia

TEA s.r.l.  
Via Amero Cognoni, 8 - 20146 MILANO - tel.02/4071776  
Firma *Giulio Bricchi*

PIAGOLA 6

| REV. | DATA         | REDAZIONE  | APPROVAZIONE | MODIFICHE |
|------|--------------|------------|--------------|-----------|
| 00   | Novembre '97 | A. CARRENA | G. BRICCHI   |           |





COMMITTENTE  
ANAS ENTE NAZIONALE PER LE STRADE  
COMPARTIMENTO DELLA VIABILITA' DELLA SARDEGNA

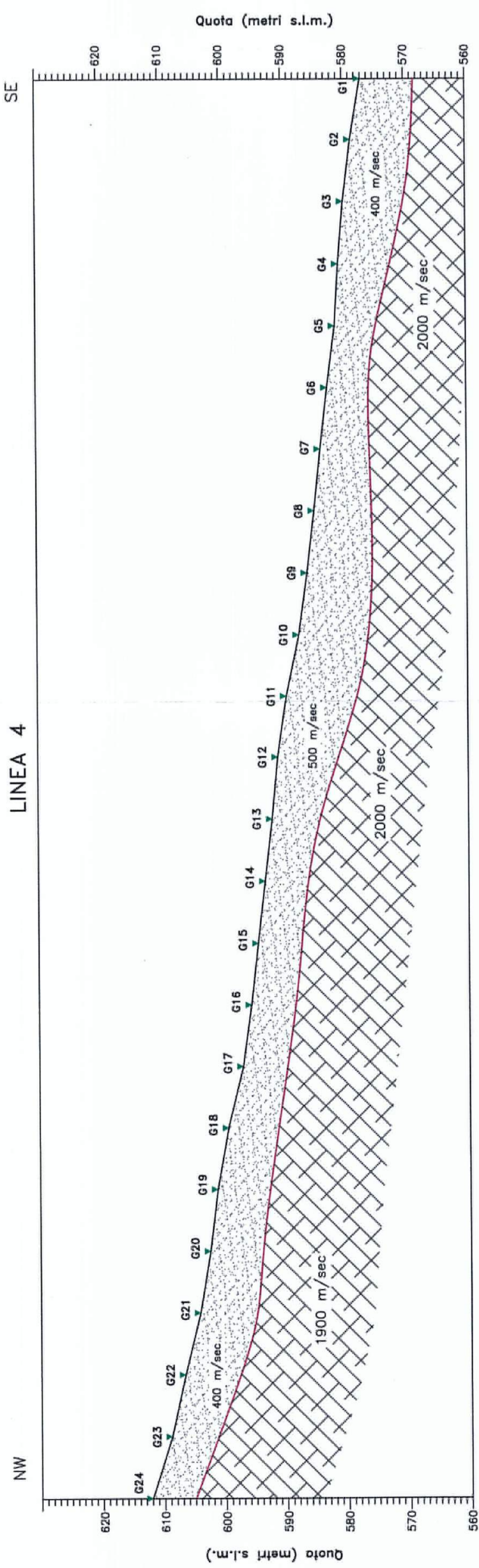
COMMESSA  
STRADA DI GRANDE COMUNICAZIONE SS. 13 "CARLO FELICE"  
LAVORI DI AMMODERNAMENTO E DI ADEGUAMENTO  
DEL TRONCO COMPRESO TRA IL KM 69.5 ED IL KM 146.8  
(MACOMER SUD)  
LOCALITA': MACOMER - PROVINCIA DI NUORO  
Indagine geofisica mediante sismica a rifrazione  
e riflessione ad alta risoluzione

ELABORATO  
SISMICA A RIFLESSIONE - LINEA A  
SCALA 1:2000

Documentazione di proprietà TEA - In Brevetto "Sismica" è vietata espressamente la ristampa o l'uso non autorizzato senza permesso scritto dalla TEA.

LEGENDA

-  Strato areato superficiale con velocità di 400-500 m/sec
-  Strato intermedio (sub-areato) con velocità di 1900-2000 m/sec
-  G9 Posizione geofoni lungo le sezioni sismiche
-  Interfaccia rifrattore veloce (1900-2000 m/sec)



| REV. | DATA         | REDAZIONE  | APPROVAZIONE | MODIFICHE |
|------|--------------|------------|--------------|-----------|
| 00   | Novembre '97 | A. CARPENA | G. BRICCHI   |           |

COMMITTENTE  
**ANAS ENTE NAZIONALE PER LE STRADE**  
 COMPARTIMENTO DELLA VIABILITA' DELLA SARDEGNA

CONMESSA  
 STRADA DI GRANDE COMUNICAZIONE SS. 131 "CARLO FELICE"  
 LAVORI DI AMMODERNAMENTO E DI ADEGUAMENTO  
 DEL TRONCO COMPRESO TRA IL KM 69.5 E IL KM 146.8  
 (MACOMER SUD)

LOCALITA' : MACOMER PROVINCIA DI NUORO  
 Indagine geofisica mediante sismica a rifrazione  
 e riflessione ad alta risoluzione

ELABORATI  
**PROFILO SISMICO A RIFRAZIONE N° 4**  
 SCALA 1:500

Documento di proprietà TEA - La Società "Autodesk" è proprietaria di tutti i diritti e marchi di Autodesk. Questo documento è proprietà di TEA, che ne è autorizzata all'uso secondo le condizioni di licenza.



# LEGENDA

Traccia linea sismica a rifrazione

G8

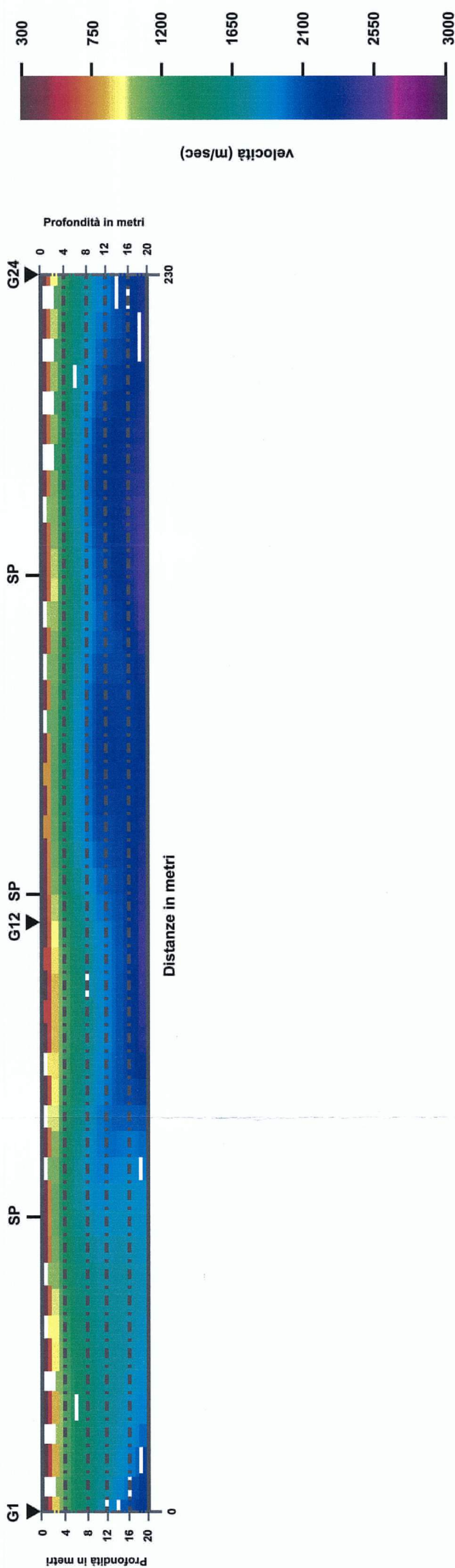


Posizione geofoni

SP



Punti di energizzazione (shot point)



|             |              |            |              |
|-------------|--------------|------------|--------------|
| 00          | Novembre '97 | A. Carpina | G. Bricchi   |
| REV.        | DATA         | REDAZIONE  | APPROVAZIONE |
| COMMITTENTE |              |            |              |

**ANAS**  
**ENTE NAZIONALE PER LE STRADE**  
**COMPARTIMENTO DELLA VIABILITA' DELLA**  
**SARDEGNA**  
**STRADA DI GRANDE COMUNICAZIONE**  
**SS.131 "CARLO FELICE" - MACOMER SUD (NU)**





COMMESSA  
**Indagine geofisica mediante sismica a rifrazione**  
**e riflessione ad alta risoluzione**

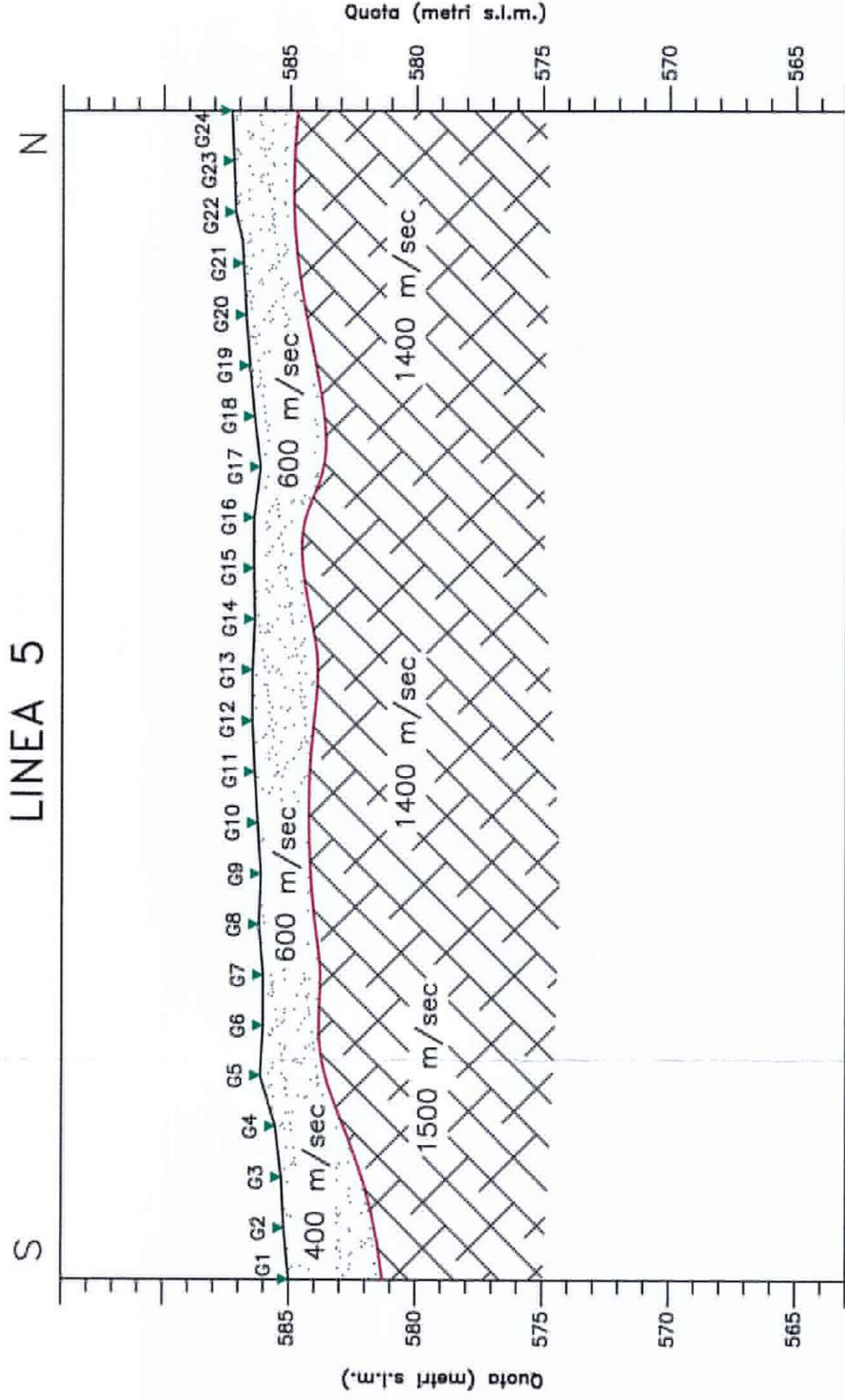
ELABORATO  
**Modello Tomografico Linea 4**  
**Scala 1:500**

TEA srl  
 via Amerigo Cagnoni, 8  
 20146 Milano  
 tel. 02/4071776

*Roberto Brusaporci*

**LEGENDA**

-  Strato areato superficiale con velocità di 400-600 m/sec.
-  Strato sub-areato fratturato con velocità di 1400-1500 m/sec
-  Posizione geofoni lungo le sezioni sismiche
-  Interfaccia rifrattore veloce (1400-1500 m/sec)



| REV. | DATA         | REDAZIONE  | APPROVAZIONE | MODIFICHE |
|------|--------------|------------|--------------|-----------|
| 00   | Novembre '97 | A. CARPENA | G. BRICCHI   |           |

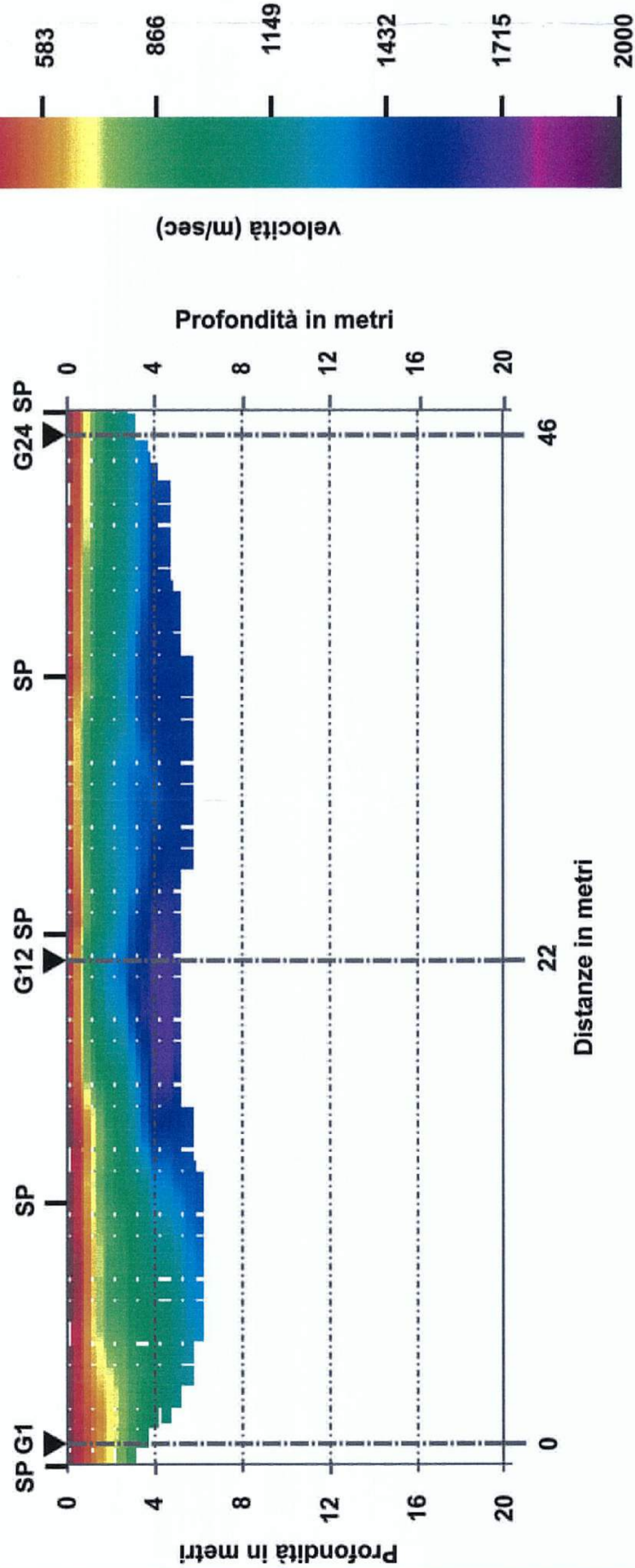
COMMITTENTE  
ANAS ENTE NAZIONALE PER LE STRADE  
COMPARTIMENTO DELLA VIABILITA' DELLA SARDEGNA

COMMESSA  
STRADA DI GRANDE COMUNICAZIONE SS.131 "CARLO FELICE"  
LAVORI DI AMMODERNAMENTO E DI ADEGUAMENTO  
DEL TRONCO COMPRESO TRA IL KM 69.5 ED IL KM 146.8  
(MACOMER SUD)  
LOCALITA': MACOMER-PROVINCIA DI NUORO  
Indagine geofisica mediante sismica a rifrazione  
e riflessione ad alta risoluzione

ELABORATO  
PROFILO SISMICO A RIFRAZIONE N° 5  
SCALA 1:200

Documento di proprietà TEA - La Società Italiana per i servizi sismici in sede civile e pubblica - Società a partecipazione paritetica  
The document is property of TEA s.p.a. del Gruppo IRI s.p.a. - Società a partecipazione paritetica in sede civile e pubblica

# LINEA 5



## LEGENDA

Traccia linea sismica a rifrazione

G8



Posizione geofoni

SP



Punti di energizzazione (shot point)

|      |              |            |              |
|------|--------------|------------|--------------|
| 00   | Novembre '97 | A. Carpena | G. Bricchi   |
| REV. | DATA         | REDAZIONE  | APPROVAZIONE |
|      |              |            | MODIFICHE    |

COMMITTENTE

**ANAS**

**ENTE NAZIONALE PER LE STRADE  
COMPARTIMENTO DELLA VIABILITA' DELLA  
SARDEGNA  
STRADA DI GRANDE COMUNICAZIONE  
SS.131 "CARLO FELICE" - MACOMER SUD (NU)**

COMMESSA

**Indagine geofisica mediante sismica a rifrazione  
e riflessione ad alta risoluzione**

ELABORATO

**Modello Tomografico Linea 5  
Scala 1:200**

TEA srl  
via Amero Cagnoni, 8  
20146 Milano  
tel. 02/4071776

Tavola

**5**

*Fabrizio Amadio*  
riproduzione e consegna a terzi solo dietro specifica autorizzazione

## CAMPAGNA DI INDAGINI GEOFISICHE

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

**ANNO 2005**

## **PREMESSA**

Su richiesta della società ANAS Spa Compartimento della Sardegna, la SIGECO srl con sede in Nuoro (Nu) ha eseguito un' indagine geofisica mediante sismica a rifrazione con onde SH per la progettazione di una Galleria Stradale su cui passerà una variante alla "S.S. 131 Carlo Felice" nella zona del Nuraghe Santa Barbara a Macomer. La Galleria è ubicata tra le Progressive metriche 73.531 - 74.851 del nuovo tracciato.

Il presente rapporto è relativo all' indagine geofisica consistente in due profili sismici a rifrazione con onde SH, di cui uno lungo il tracciato in progetto per un tratto di 1080 m e l'altro di 120 m trasversale al precedente.

L'ubicazione dei profili, dei punti di posizionamento dei geofoni è riportata nella planimetria allegata (PIANO DI POSIZIONE) alla scala di 1:2.000.

Per la descrizione della situazione geologica si rimanda alla specifica relazione del professionista incaricato. In questa sede sulla base della stratigrafia dei sondaggi si segnala che nella zona in oggetto, sono presenti formazioni vulcaniche di natura basaltica in assetto notevolmente fratturato.

## ACQUISIZIONE DATI

Le operazioni di acquisizione dati si sono svolte nel mese di Giugno 2005, mediante l'utilizzo di un sismografo digitale OYO McSeis SX, 24 geofoni orizzontali OYO GEOSPACE a 10 Hz.

Per la generazione delle onde S è stato utilizzato un pendolo di 20 Kg ancorato ad un braccio di 1 m di lunghezza con impatto su di una piastra d'acciaio precedentemente collocata sul terreno, in modo tale da creare un impatto tra pendolo e piastra ad un angolo di circa  $90^\circ$  e parallelo al piano di campagna, quindi con la generazione di una sollecitazione a prevalente componente orizzontale con direzione ortogonale a quella del profilo.

Nella fotografia allegata è possibile vedere la fase di energizzazione in onde SH.

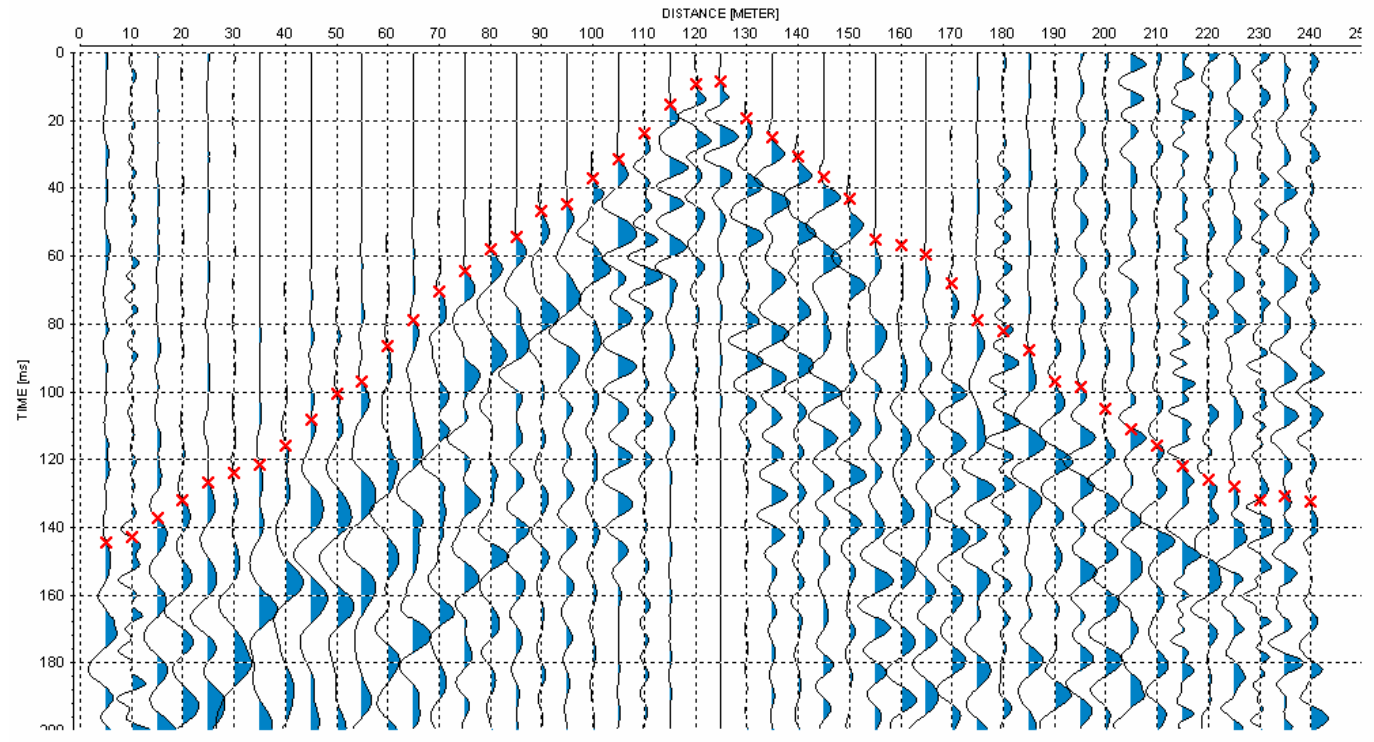


Le registrazioni relative alle onde SH sono state effettuate dopo la sommatoria, con polarità invertita del segnale, di impulsi generati ai due lati opposti della fossetta realizzata per collocare la piastra metallica nel terreno.

In questo modo si ottiene l'annullamento delle onde di compressione eventualmente generate e l'incremento del segnale delle onde SH.

I tiri sismici sono stati effettuati con cadenza di 30 m. Nella figura seguente si riporta un esempio di dromocrone ricostruita nel punto di attaccatura di due stendimenti successivi di 24 geofoni. Nel caso specifico il punto di tiro è ubicato alla progressiva 122.5 m (tra il geofono 24 e 25) e la dromocrone è ricostruita tra il geofono 1 ed il 48.

1. C:\SURVEY\1039\_MACOMER\PR-1\PROCDATA\MX0001\_\_04T / traces: 48 / samples: 4096



## **ELABORAZIONE DATI**

### **PICKING**

La determinazione degli istanti di primo arrivo è stata effettuata mediante l'ausilio del software Reflexw versione 3.5 che permette la visualizzazione ed eventuale miglioramento del segnale mediante tecniche di filtraggio digitale. In questo caso, tuttavia, data la buona qualità delle registrazioni le operazioni di filtraggio sono state usate solamente per alcuni tiri. In genere si è proceduto alla regolarizzazione della scala di ampiezza della traccia, al filtraggio di rumori ad alta frequenza e/o a bassa frequenza oltre alla eliminazione di componenti monotoni a 50 Hz derivanti da linee elettriche presenti nelle vicinanze.

In ognuna di queste viene indicato il punto selezionato come istante di primo arrivo delle vibrazioni per ciascuna traccia. Questa selezione è stata effettuata manualmente con l'ausilio della funzione "PHASE FOLLOWER" di Reflexw che, laddove i segnali sono chiari, porta alla individuazione dello stesso segnale selezionato nelle tracce successive a quella in cui è stato individuato con chiarezza.



## ELABORAZIONE TOMOGRAFICA

Partendo dai dati ottenuti dal picking dei punti di primo è stata effettuata la elaborazione tomografica con il software RAYFRACT che parte da un modello iniziale generato con la tecnica Delta-t-V. Successivamente viene effettuata l'inversione iterativa del modello con la tecnica WET (Wavepath Eikonal Traveltime tomography processing) che analizza la propagazione dei vari fronti d'onda generati nei punti di tiro fino ad ogni geofono, nel caso del profilo 1 sono stati analizzati 1440 fronti d'onda e 96 nel caso del Pr-2. Questi fronti d'onda attraversano molteplici volte i vari elementi infinitesimi (dell'ordine di grandezza di pochi decimetri) con cui viene suddiviso il sottosuolo.

Il modello stratigrafico ottenuto come insieme di elementi caratterizzati da una specifica velocità viene, quindi rappresentato mediante il contour a linee di isovelocità. La colorazione dei vari elementi secondo una scala cromatica riferita ad una predefinita sequenza di velocità facilita l'immediata visione dei risultati.

Nel caso specifico la tomografia per le onde SH è stata calcolata nel range tra 0 e 2000 m/sec e la rappresentazione ad isolinee è effettuata con intervallo di 100 m/sec; la scala cromatica parte da colori Blu-azzurro per le zone bassa velocità fino a colori arancio-rosso per le zone ad alta velocità.

Le tomografie ottenute sono riportate nella tavola 2 insieme alle rispettive sezioni interpretative. Queste ultime sono state ricostruite tenendo conto che è diffusa l'indicazione della velocità VSH = 800 m/sec come distintiva tra terreni e rocce alterate di copertura ed il Bedrock o substrato sismico, quindi da sulla base di questa linea isovelocità è stata tracciata la probabile superficie di base dello strato alterato che, come indicato nella sezione stessa, attraversa varie volte la zona interessata di lavori di costruzione della galleria.

## CONSIDERAZIONI SUI RISULTATI OTTENUTI

I risultati ottenuti da queste stese sismiche che hanno portato alla ricostruzione di una sezione interpretativa lungo un tratto di oltre 1000 m del tracciato della galleria in progetto sono state individuate ed indicate nel diagramma di previsione delle difficoltà di scavo lungo il tracciato le zone in cui sono prevedibili problemi per l'attraversamento di zone di frattura o per la presenza di un terreno notevolmente alterato nella zona della volta che potrebbe portare a notevoli difficoltà di consolidamento della stessa.

In particolare con riferimento alla tavola 2 si segnalano le zone alle progressive: 73.804, 73.862, 73.924, 73.988, 74.042, 74.042, 74.078, 74.112, 74.142, 74.156, 74.241, 74.290, 74.450, 74.536, 74.627 e 74.673 come punti di attraversamento di fratture con problemi di stabilità del fronte di avanzamento.

Inoltre nelle zone comprese tra le progressive : 73.390-74.021, 74.080-74.111, 74.142-74.190, 74.222-74.240 e 74.448-74.535 come le zone in cui si avranno, molto probabilmente, problemi di stabilità della volta.

Si segnala, inoltre che, per finalità geotecniche, i dati ottenuti con la presente indagine potranno fornire informazioni sul modulo di taglio dinamico ( $G_0$ ) utilizzando la seguente Formula:

$$G_0 = VSH^2 * \mathbf{g}; \text{ dove } \mathbf{g} \text{ è il peso specifico del materiale in questione.}$$

Nuoro, Giugno 2005