



PROVINCIA DI RAVENNA

Presidente della Provincia
Claudio Casadio

Assessore ai LL.PP. - Viabilità
Secondo Valgimigli

SETTORE LAVORI PUBBLICI

UNITA' ORGANIZZATIVA PROGETTAZIONE STRADE

RAZIONALIZZAZIONE E MESSA IN SICUREZZA CON ELIMINAZIONE PUNTI CRITICI LUNGO LA EX S.S. 306 CASOLANA 1° LOTTO 2° STRALCIO

PROGETTO ESECUTIVO

Tavola/Elaborato

GER_006

RELAZIONE SISMICA

Scala

-

Data

05 dicembre 2011

Dirigente del Settore Lavori Pubblici:

Dott. Ing. Valentino Natali

Responsabile Unico del Procedimento:

Dott. Ing. Valentino Natali

Progettista:



Prof. Ing. Claudio Comastri

Studio Tecnico di Ingegneria
40037 Sasso Marconi (BO) - via Castello n.7
tel. +39.51.6750312 fax. +39.51.6750370
E-mail: thesis@studiothesis.it

Rel. N. 1362

THESIS ENGINEERING
(BO)

Indagine sismica a rifrazione (V_P e V_S) per la
valutazione dei litotipi e per la stima della V_{S30}
lungo la SS306.

rel. dr. geol. R. Parenti

1. PREMESSE

Su richiesta e per incarico di THESIS ENGINEERING Sasso Marconi (BO), in ottemperanza al D.M. 14/01/2008 relativo alle Norme Tecniche per le Costruzioni, è stata eseguita lungo la SS306 nel Comune di Riolo Terme (RA), una prospezione geofisica con metodologia sismica a rifrazione con la rilevazione delle onde sismiche di compressione V_P e di taglio V_S al fine di ottenere la valutazione dei litotipi presenti e la stima delle V_{S30} per l'identificazione della categoria del suolo di fondazione stabilita dalla vigente normativa.

Si sono perciò eseguiti i lavori :

- n. 5 basi sismiche, di cui una di lunghezza 88 m e le restanti di lunghezza 110 m con n. 5 tiri nei punti geofonici 1, 3 – 4, 6 – 7, 9 – 10 e 12 per la rilevazione delle velocità V_P e V_S per profondità investigativa da 30 a 33 m.
- interpretazione delle basi sismiche con determinazione delle velocità V_P e V_S e con restituzione di diagrammi dromocronici; sezioni sismiche con velocità V_S .
- determinazione delle V_{S30} nell'ambito delle sezioni investigate.

Il presente rapporto riassume e compendia le misure eseguite e le conclusioni che se ne possono trarre.

- In allegato: planimetria CTR scala 1: 5000 con ubicazione delle basi sismiche; dromocrone con le velocità sismiche V_P e V_S (m/s); sezioni sismiche 1: 1.000 con velocità V_S e relative profondità di separazione in m da p.c.; tabella con valori di V_{S30} per ogni punto di energizzazione di ogni base sismica.

2. PROSPEZIONE SISMICA

La prospezione sismica a rifrazione consiste nell'eseguire una serie di misure in superficie per determinare le variazioni di velocità sismica dei terreni e/o delle rocce in profondità.

Tale metodo richiede l'immissione nel terreno di una certa quantità di energia, la cui intensità, data la distanza variabile tra sorgente di energia e sensori di ricezione, può essere regolata al fine di rispondere, nel modo più esauriente possibile, ai quesiti posti dall'indagine.

Il metodo sismico a rifrazione utilizza i dati forniti dalla rifrazione subita dalle onde elastiche nell'attraversare i terreni e le rocce investigate; più in particolare, attraverso una serie di geofoni (ricevitori) posti a distanze variabili dalla sorgente di energia, tali onde vengono trasformate in impulsi elettrici che opportunamente amplificati e decodificati dall'apparecchiatura di registrazione, permettono la lettura dei tempi di arrivo delle onde sismiche su uno schermo e quindi memorizzati per essere trasferiti successivamente sul computer di servizio.

L'elaborazione dei valori di tali tempi rispetto alle distanze dei geofoni, permette di determinare le velocità dei sismostrati e le loro profondità rispetto alla superficie topografica.

Scopo principale del rilievo sismico a rifrazione è quello di ricostruire il "bed rock", ossia l'orizzonte caratterizzato dalle velocità di propagazione più elevate e quindi dalle migliori caratteristiche di elasticità e resistenza meccanica.

2.1. METODOLOGIA

La base sismica a rifrazione è stata realizzata con il sistema delle dromocrone reciproche, in modo da ottenere un controllo sulle reali velocità sismiche dei rifrattori.

Lo stendimento è stato eseguito con lunghezza di 88 e 110 m con schema tipico di 12 geofoni ad interdistanza di 8 e 10 m.

Per ogni base sismica sono stati effettuati cinque punti doppi di energizzazione (scoppi e registrazioni per V_P e V_S) ubicati secondo uno schema che ne prevede: due alle estremità sui geofoni 1 e 12, uno tra i geofoni 3 e 4, uno al centro tra i geofoni 6 e 7 ed uno tra i geofoni 9 e 10.

Operando in tal modo, si sono ottenuti dati sufficienti per una corretta interpretazione delle velocità, dell'andamento dei rifrattori e della loro profondità di separazione dal piano campagna.

Gli impulsi nel terreno sono stati prodotti mediante cannoncino Minibang della Four Ltd alimentato con cartucce calibro 8 SM tipo industriale.

Per ogni punto di energizzazione è stata effettuata una registrazione dei tempi di arrivo ai vari geofoni degli impulsi sismici mediante memorizzazione.

Tali tempi sono stati successivamente riportati su un grafico tempi/distanze, ottenendo dei tratti di velocità chiamate dromocrone.

L'interpretazione opportuna di tali dromocrone ha permesso di determinare le velocità sismiche dei terreni e delle rocce investigate e le loro profondità dal piano campagna.

2.2. MODALITA' D'INTERPRETAZIONE

L'interpretazione della base sismica a rifrazione è stata effettuata partendo dalle dromocrone con l'aiuto di un PC e di software opportuno (WinSism) basato su algoritmi matematici relativi al metodo dei tempi di intercetta.

Le operazioni effettuate risultano perciò : input dei primi tempi di arrivo ai geofoni previa correzione topografica; output con visualizzazione dei diagrammi tempi/distanze geofoni; input con scelta dei tratti delle dromocrone attribuibili ai diversi strati sismici; output con calcolo delle velocità e delle profondità dei sismostrati, con visualizzazione e restituzione grafica della sezione interpretativa.

2.3. STRUMENTAZIONE

La strumentazione utilizzata nella prospezione è la seguente :

Sismografo registratore ES-1225 Geometrics (USA), alimentato con batteria da 12 V/60 Ah, con 12 canali ed amplificatori su ciascun canale (guadagni 0 - 66 db e forme di traccia 0 - 51 db) filtri, addizionale di impulsi, visualizzazione e memorizzazione dati; geofoni Sensor ad asse verticale da 14 Hz e ad asse orizzontale da 10 Hz; cavi sismici multipli Cannon ITT con 12 prese ciascuno ad intervalli di 10 m fra le prese; energizzatore cannoncino Minibang da 1.000 Kg.m di potenza con geofono starter, cavi di collegamento e materiali di ricambio.

2.4. DESCRIZIONE DEI RISULTATI

L'interpretazione delle basi sismiche eseguite ha permesso d'individuare unità caratterizzate da diversi valori di velocità delle onde sismiche longitudinali (V_P medie) e trasversali (V_S medie) crescenti con le profondità.

Sono stati adottati modelli interpretativi a tre e quattro strati con:

- V_{P1} variabile da 230 a 360 m/s; V_{P2} variabile da 1000 a 1350 m/s; V_{P3} variabile da 700 a 1150 m/s; V_{P4a} variabile da 900 a 1100 m/s, V_{P4b} variabile da 1400 a 1700 m/s, V_{P4c} variabile da 2000 a 2500 m/s.
- V_{S1} variabile da 60 a 92 m/s; V_{S2} variabile da 280 a 370 m/s; V_{S3} variabile da 250 a 360 m/s; V_{S4a} variabile da 250 a 320 m/s, V_{S4b} variabile da 500 a 600 m/s, V_{S4c} variabile da 800 a 900 m/s.

Per le correlazioni tra velocità sismiche e litologia, disponendo dei dati di n. 5 sondaggi meccanici nei dintorni delle linee sismiche e della geologia locale, si sono effettuati i seguenti abbinamenti:

Strato	Velocità sismiche (m/s)		Litotipi
	V_P	V_S	
1	230 – 360	60 – 92	Detrito, eluvium, alluvioni di fondovalle limo – argillose prevalenti
2	1000 – 1350	280 – 370	Alluvioni attuali variamente sciolte di fondovalle sabbioso – ghiaiose prevalenti con acqua
3	700 - 1150	250 – 360	Alluvioni antiche terrazzate sabbioso – ghiaiose variamente cementate
4a	900 – 1100	250 – 320	Argille grigie e grigio -azzurre plioceniche molto alterate e fratturate con acqua (zone franose a), alterate e fratturate (b), meno fratturate e/o inalterate (c)
4b	1400 – 1700	500 – 600	
4c	2000 – 2500	800 - 900	

Come si può notare esiste sovrapposizione nei range di velocità sismica tra gli strati 2, 3 e 4a. Tale sovrapposizione sismica viene rimossa dal momento che i litotipi 3 si trovano al tetto dei litotipi 4a (sez. A) e 4b (sez. B e D) nelle zone altimetriche più elevate, mentre i litotipi 2 si trovano al tetto dei litotipi 4c (sez. C e E) nelle zone altimetriche più basse.

2.4.1 COEFFICIENTE DI POISSON

La determinazione contemporanea delle velocità longitudinali V_P (onde di compressione) e di quelle trasversali V_S (onde di taglio) ha permesso di determinare il coefficiente di Poisson mediante la relazione :

$$\nu = \frac{(V_P / V_S)^2 - 2}{2(V_P / V_S)^2 - 2}$$

I campi di variabilità del coefficiente di Poisson (ν) per i vari strati risultano:

1° strato: $\nu_1 = 0.46$

2° strato: $\nu_2 = 0.44$

3° strato: $\nu_3 = 0.43$

4° strato: $\nu_{4a} = 0.45$

$\nu_{4b} = 0.42$

$\nu_{4c} = 0.40$

2.5. SEZIONI SISMICHE

Sezione Sismica A

E' stata eseguita in direzione WSW – ENE, dove è prevista la rettifica del tracciato stradale tortuoso della SS306 mediante un viadotto per superare l'incisione valliva secondaria del rio presente in zona. L'analisi della sezione permette di distinguere una copertura detritico – eluviale (55 – 65 m/s) che si sviluppa dal tiro 1 fino al tiro 9 – 10 dove viene sostituita fino al tiro 12 da una lente di circa 7 m di alluvioni antiche terrazzate (300 m/s) che si raccordano e scaricano acqua ad uno strato sottostante di argille plioceniche molto alterate e fratturate miste ad alluvioni di fondovalle (250 – 310 m/s) e la profondità di tale strato varia da 5 a 8 m circa da p.c.

Tra il tiro 9 – 10 ed il tiro 6 – 7 (in prossimità dell'incisione del rio) si evidenzia uno stato franoso in atto di tipo colata multipla con uscita di acqua. Il substrato è rappresentato da argille plioceniche alterate e fratturate (500 – 570 m/s) per profondità variabili da 16 a 35 m circa da p.c. passante oltre tali quote ad argille plioceniche meno fratturate e/o inalterate (870 m/s).

Sezione Sismica B - C

E' stata eseguita in direzione NW – SE rispetto al tracciato stradale della SS306 per verificare la situazione litologica sia a monte che a valle della strada stessa. Nella parte alta della base B si nota una copertura detritico – eluviale di alluvioni antiche terrazzate (70 – 85 m/s) per profondità variabili da 1.5 a 3.5 m passante ad alluvioni antiche terrazzate (250 – 360 m/s) fino a profondità di 4 -12 m da p.c.

Nella parte medio – bassa della base B si riscontra una copertura detritico – eluviale (68 m/s) di circa 3.5 m poggiante su un substrato di argille plioceniche alterate e fratturate (520 – 600 m/s) fino a profondità di 12 – 30 m da p.c. passanti ad argille plioceniche poco fratturate e/o inalterate (900 m/s). Nella base C si nota una situazione litologica strutturata diversamente pur raccordandosi alla base B dal momento che la copertura è rappresentata da alluvioni di fondovalle limo – argillose prevalenti (60 – 70 m/s) per profondità da 2 a 3 m da p.c. poggianti su alluvioni attuali variamente sciolte di fondovalle sabbioso – ghiaiose prevalenti con acqua (280 – 370 m/s) per profondità variabili da 8 a 10 m da p.c. Tali alluvioni rappresentano forse il paleoalveo del T. Senio con l'intersezione del conoide del Rio Cocco. Oltre tali profondità si riscontra il substrato ad argille plioceniche meno fratturate e/o inalterate (800 – 820 m/s).

Sezione Sismica D - E

Come la sezione precedente, è stata eseguita in direzione NW – SE rispetto al tracciato stradale della SS306, parallela ad essa e spostata verso W di 55 m.

Nella base D si nota una copertura detritico – eluviale delle alluvioni antiche terrazzate (87 – 92 m/s) dal tiro 9 – 10 al tiro 4 – 3 per profondità di 1.5 – 2.5 m da p.c.; dal tiro 10 – 9 al tiro 12 e dal tiro 4 – 3 al tiro 1 si nota una copertura detritico – eluviale delle argille plioceniche (62 – 72 m/s) per profondità di 3 m da p.c. poggiante su un substrato ad argille plioceniche alterate e fratturate (500 – 570 m/s) per profondità da 6 a 25 m da p.c. passanti ad argille plioceniche meno fratturate e/o inalterate (800 – 870 m/s). Nella base E si nota una situazione litologica strutturata diversamente pur raccordandosi alla base D, in quanto la copertura è rappresentata da alluvioni di fondovalle limo – argillose prevalenti (60 – 72 m/s), per profondità da 2 a 3 m da p.c., poggianti su alluvioni attuali variamente sciolte di fondovalle sabbioso – ghiaioso prevalenti con acqua (280 – 340 m/s) per profondità variabili da 8 a 13 m da p.c.

Oltre tali profondità si riscontra il substrato ad argille plioceniche poco fratturate e/o inalterate (800 – 850 m/s). Tali alluvioni rappresentano forse il paleoalveo del T. Senio con l'intersezione del conoide del Rio Cocco. Tra la base D e la base E si nota un approfondimento maggiore del substrato ad argille plioceniche (800 – 850 m/s).

3. CALCOLO DELLA V_{S30}

Sulla base della classificazione sismica prevista dalla Delibera 112/2007 Atto di Indirizzo di Microzonazione Sismica, il territorio nazionale è stato suddiviso in 4 zone sismiche in base all'accelerazione orizzontale massima (a_g) convenzionale su suolo di categoria A. Il Comune di Riolo Terme ricade nella zona sismica 2 contraddistinta da una accelerazione di picco orizzontale del suolo $a_g = 0.208 g$.

La normativa richiede che le aree edificabili siano inserite in una delle sette categorie di suolo previste sulla base dei seguenti parametri, come in tabella:

- Misure dirette delle V_{S30}
- Valore di c_u (coesione non drenata) per terreni coerenti
- Valore dell' N_{SPT} per terreni incoerenti

Categoria Descrizione

A *Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi* caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.

B *Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti* con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $NSPT_{,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).

C *Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti* con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < NSPT_{,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).

D *Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti*, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $NSPT_{,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).

E *Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m*, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

S1 *Depositati di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa)*, che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.

S2 *Depositati di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.*

Ai fini della definizione dell'azione sismica per le aree edificabili, la Regione E.R. ha definito delle categorie di profilo stratigrafico dei suoli di fondazione rappresentati dalla V_{S30} che risulta come velocità media di propagazione delle onde di taglio entro 30 m di profondità da p.c. e viene calcolata con la seguente espressione:

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

dove h_i e V_i indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio (m/s) dello strato i – esimo, per un totale di N strati presenti nei 30 m superiori.

Sviluppando questa formula per i cinque punti di energizzazione di ogni linea sismica, nel caso in oggetto, i terreni indagati ricadono per le linee A, B e D nelle **categorie B e C** mentre per le linee C ed E i terreni indagati ricadono nella **categoria E** in quanto i terreni alluvionali intermedi di categoria C hanno uno spessore inferiore a 13 m posti su un substrato di riferimento > 800 m/s come riportato nella descrizione di Normativa.

Per il dettaglio delle V_{S30} vedere tabella in allegato.

marzo 2011



dr. geol. R. Parenti

TABULATI V_{S30}

Base A

A1	$V_{S30} = 295 \text{ m/s}$	$262 < V_{S30} < 471 \text{ m/s}$
A3 - 4	$V_{S30} = 317 \text{ m/s}$	
A6 - 7	$V_{S30} = 371 \text{ m/s}$	
A9 - 10	$V_{S30} = 262 \text{ m/s}$	
A12	$V_{S30} = 471 \text{ m/s}$	

Base B

B1	$V_{S30} = 342 \text{ m/s}$	$336 < V_{S30} < 468 \text{ m/s}$
B3 - 4	$V_{S30} = 412 \text{ m/s}$	
B6 - 7	$V_{S30} = 468 \text{ m/s}$	
B9 - 10	$V_{S30} = 354 \text{ m/s}$	
B12	$V_{S30} = 336 \text{ m/s}$	

Base C

C1	$V_{S30} = 352 \text{ m/s}$	$333 < V_{S30} < 365 \text{ m/s}$
C3 - 4	$V_{S30} = 357 \text{ m/s}$	
C6 - 7	$V_{S30} = 348 \text{ m/s}$	
C9 - 10	$V_{S30} = 333 \text{ m/s}$	
C12	$V_{S30} = 365 \text{ m/s}$	

Base D

D1	$V_{S30} = 428 \text{ m/s}$	$366 < V_{S30} < 463 \text{ m/s}$
D3 - 4	$V_{S30} = 463 \text{ m/s}$	
D6 - 7	$V_{S30} = 408 \text{ m/s}$	
D9 - 10	$V_{S30} = 418 \text{ m/s}$	
D12	$V_{S30} = 366 \text{ m/s}$	

Base E

E1	$V_{S30} = 328 \text{ m/s}$	$315 < V_{S30} < 356 \text{ m/s}$
E3 - 4	$V_{S30} = 330 \text{ m/s}$	
E6 - 7	$V_{S30} = 347 \text{ m/s}$	
E9 - 10	$V_{S30} = 356 \text{ m/s}$	
E12	$V_{S30} = 315 \text{ m/s}$	

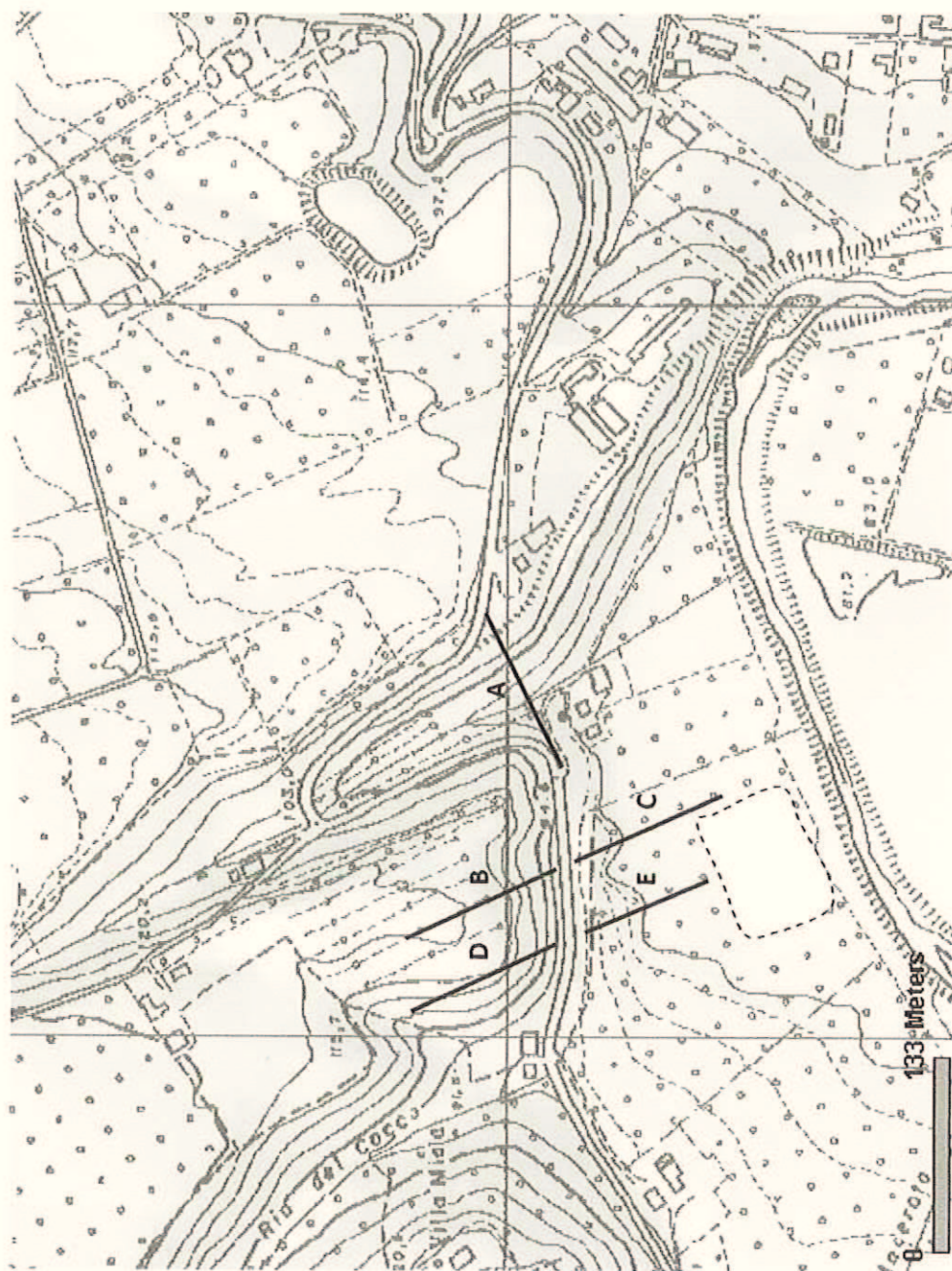
ALLEGATI

PLANIMETRIA CTR

1: 5.000

_____ A

Base sismica a rifrazione



DIAGRAMMI DROMOCRONICI
E
SEZIONI GEOSISMICHE

1: 1.000

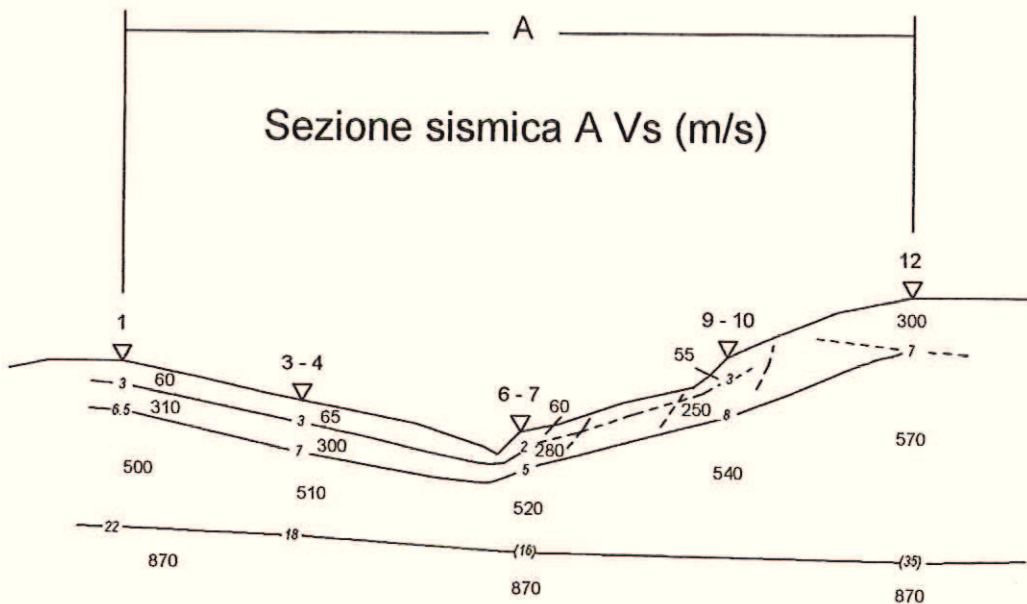
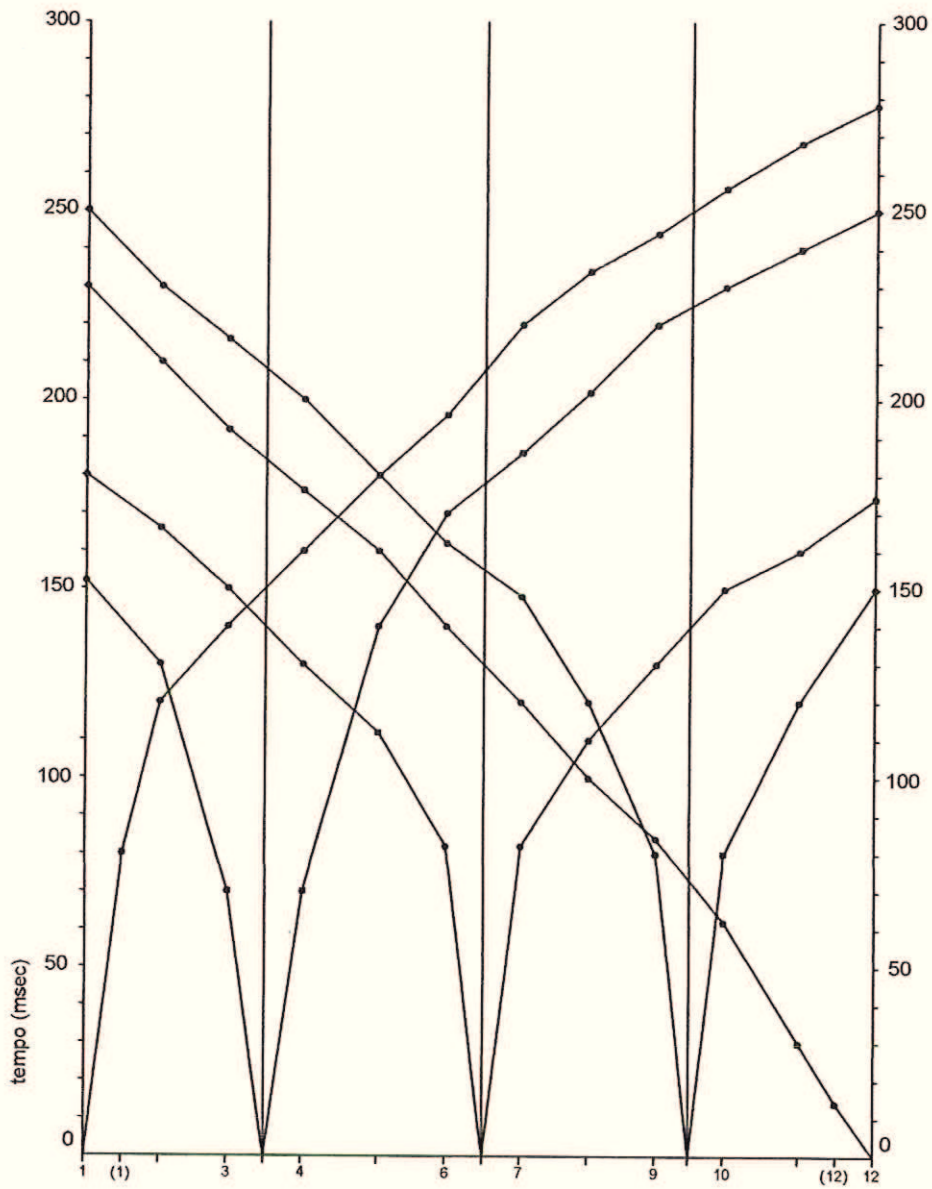
Legenda

A_{12} punto di battuta

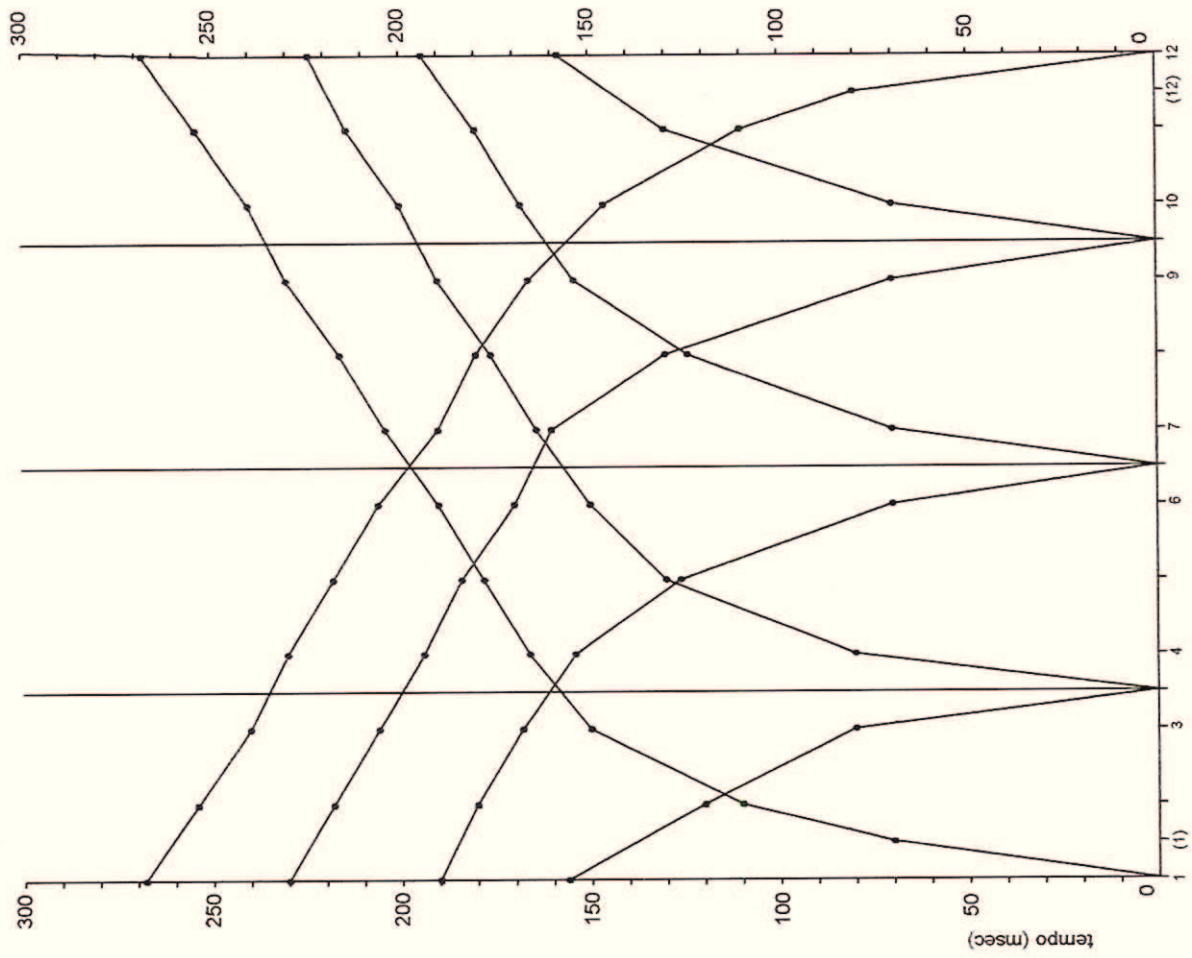
70 vel. sismica di taglio in m/s degli strati sismici

— 10 — profondità in m da p.c. degli strati sismici

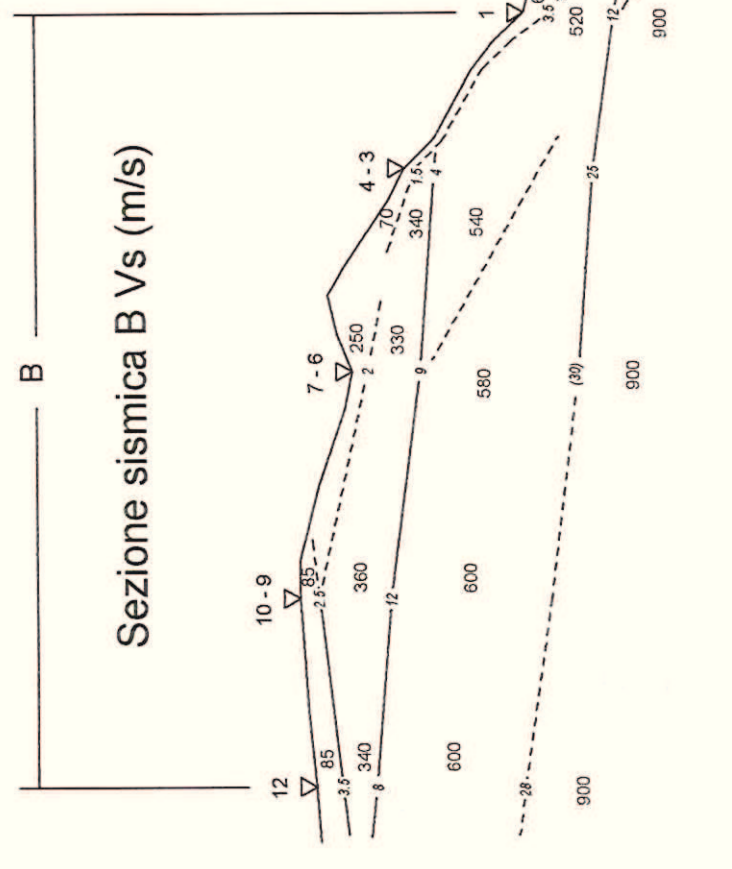
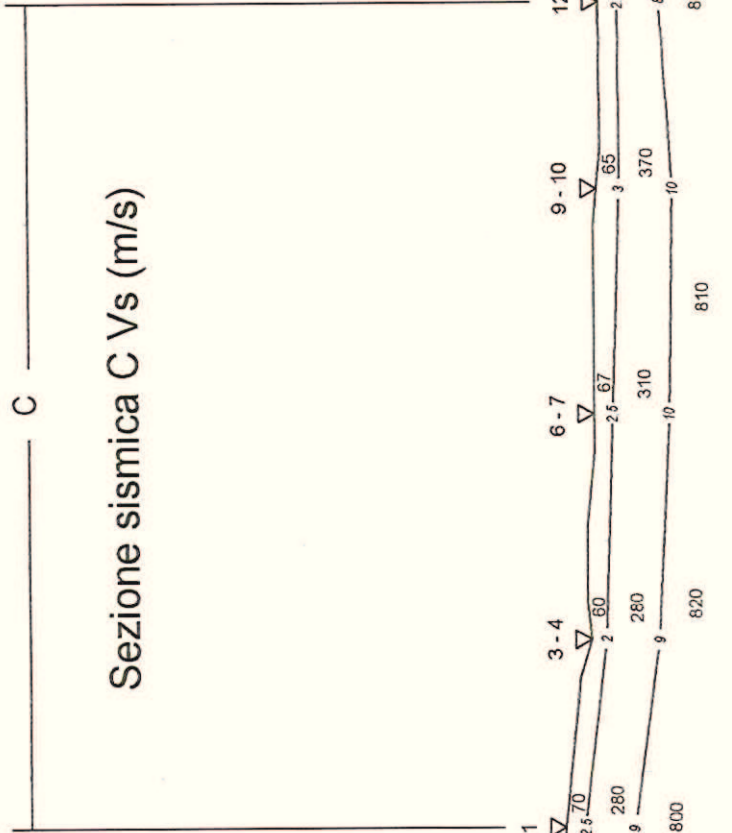
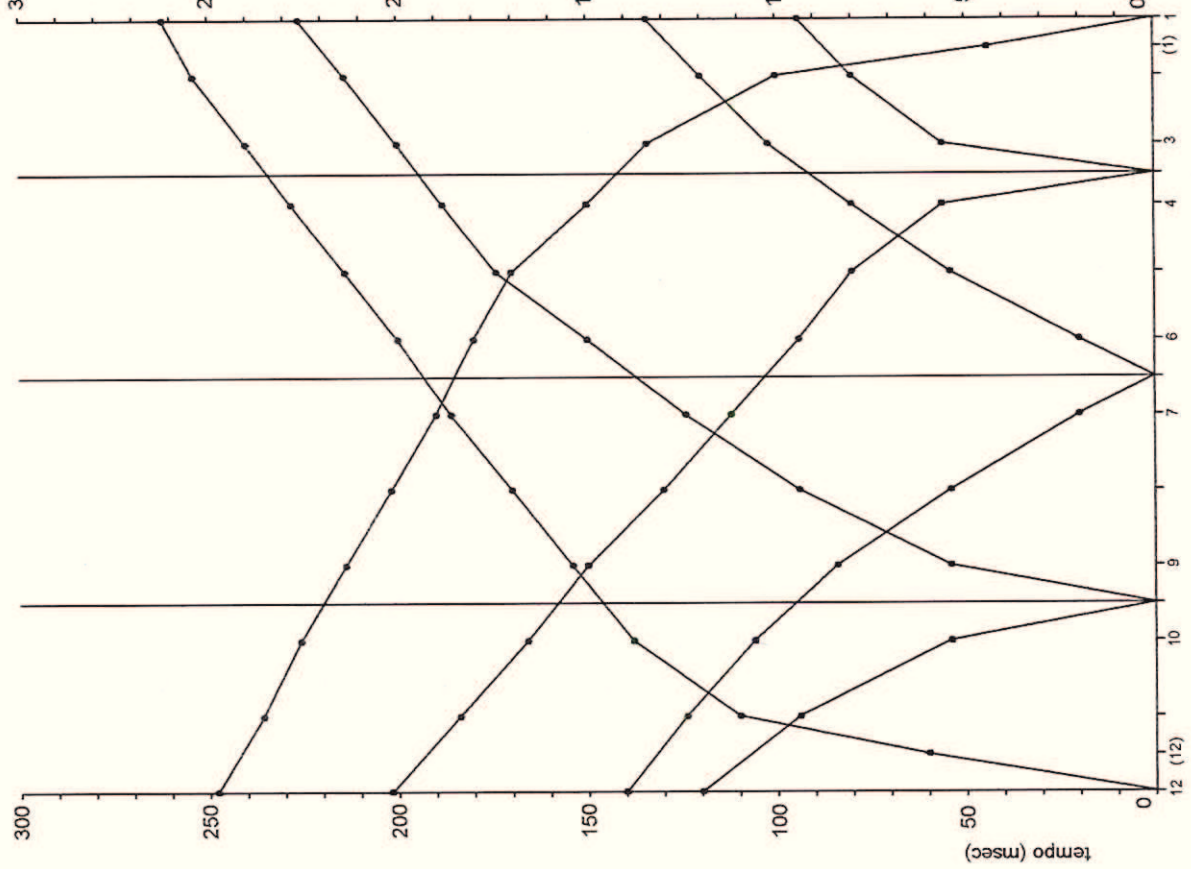
Vs



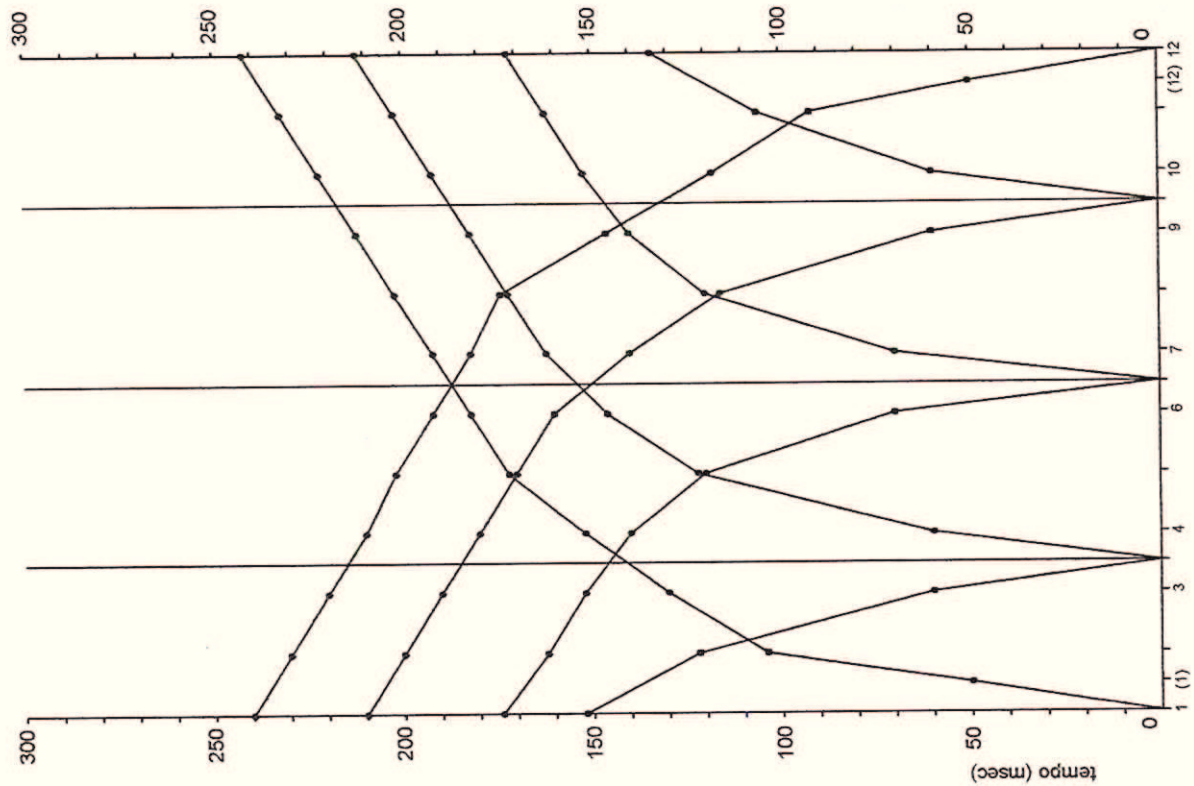
Vs



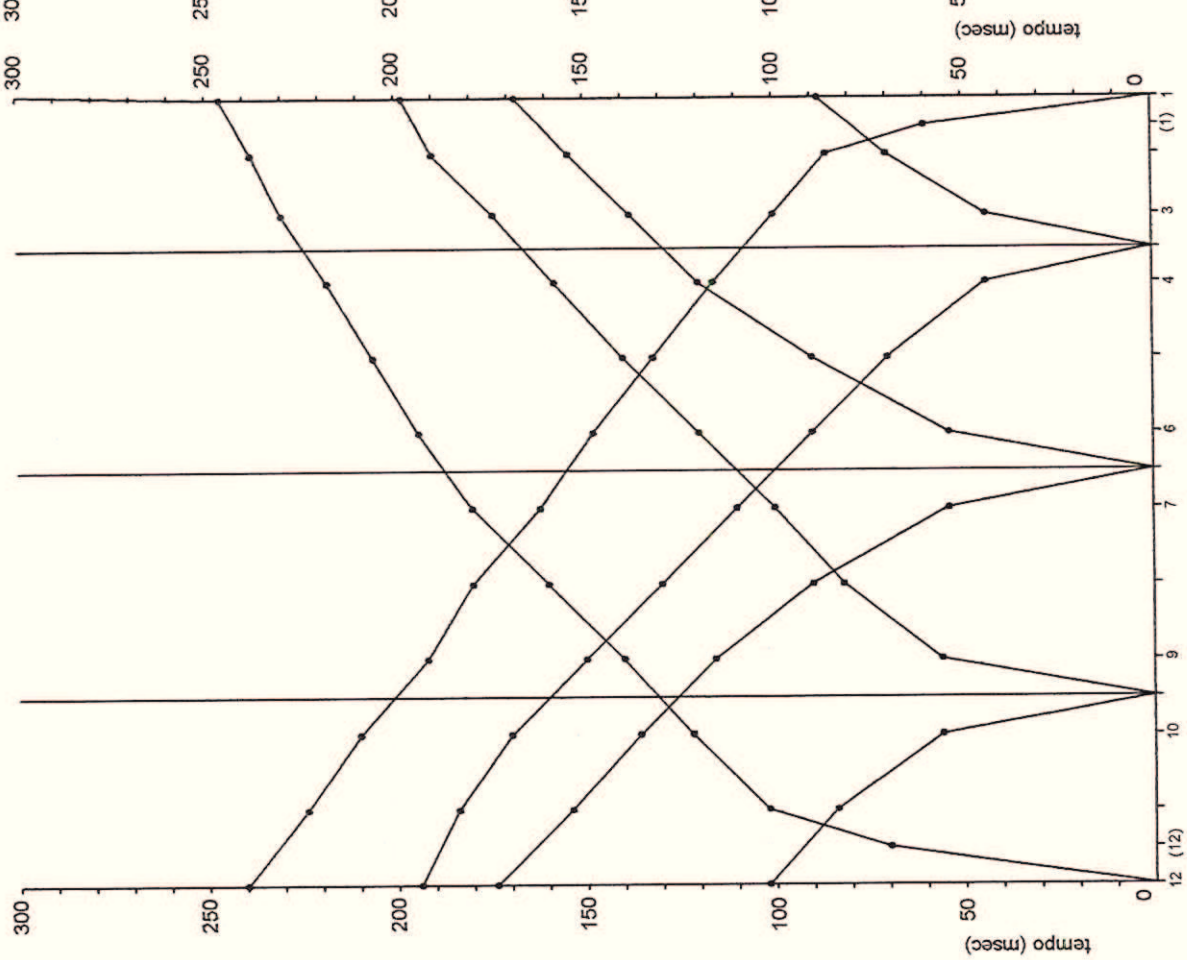
Vs



Vs



Vs

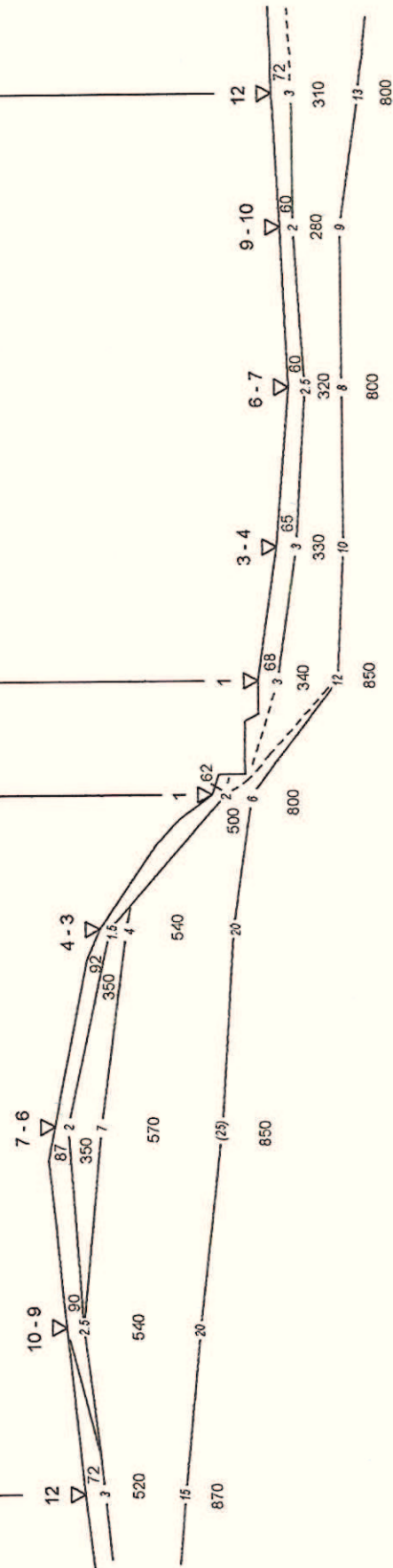


E

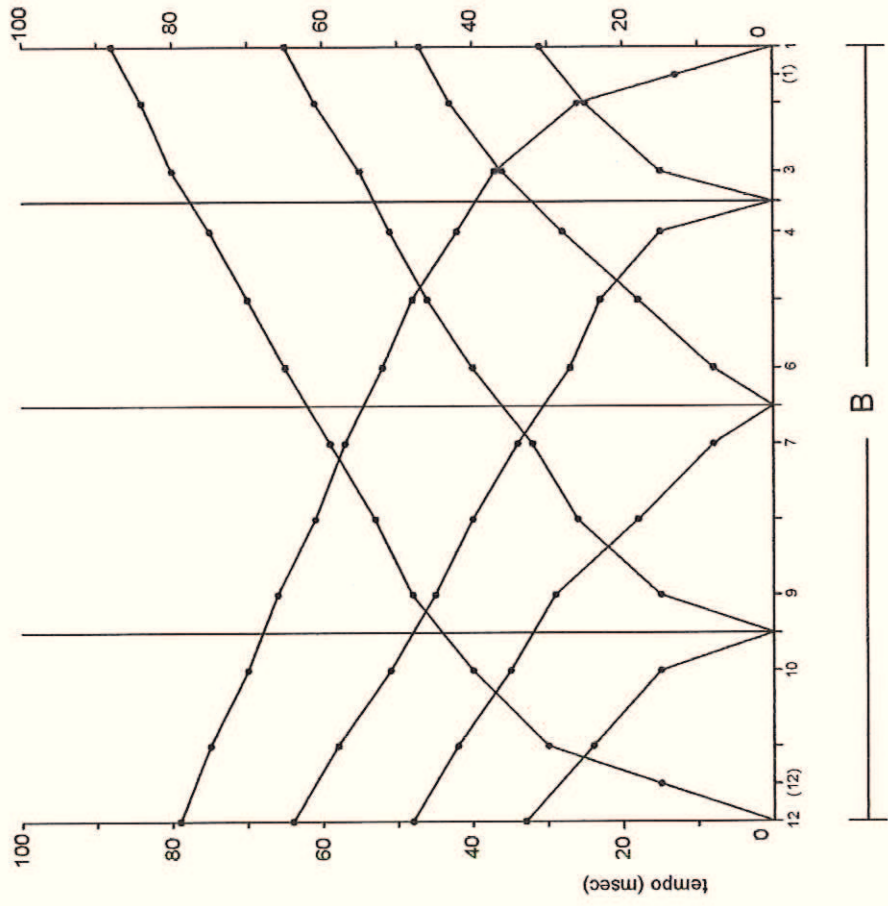
Sezione sismica E Vs (m/s)

D

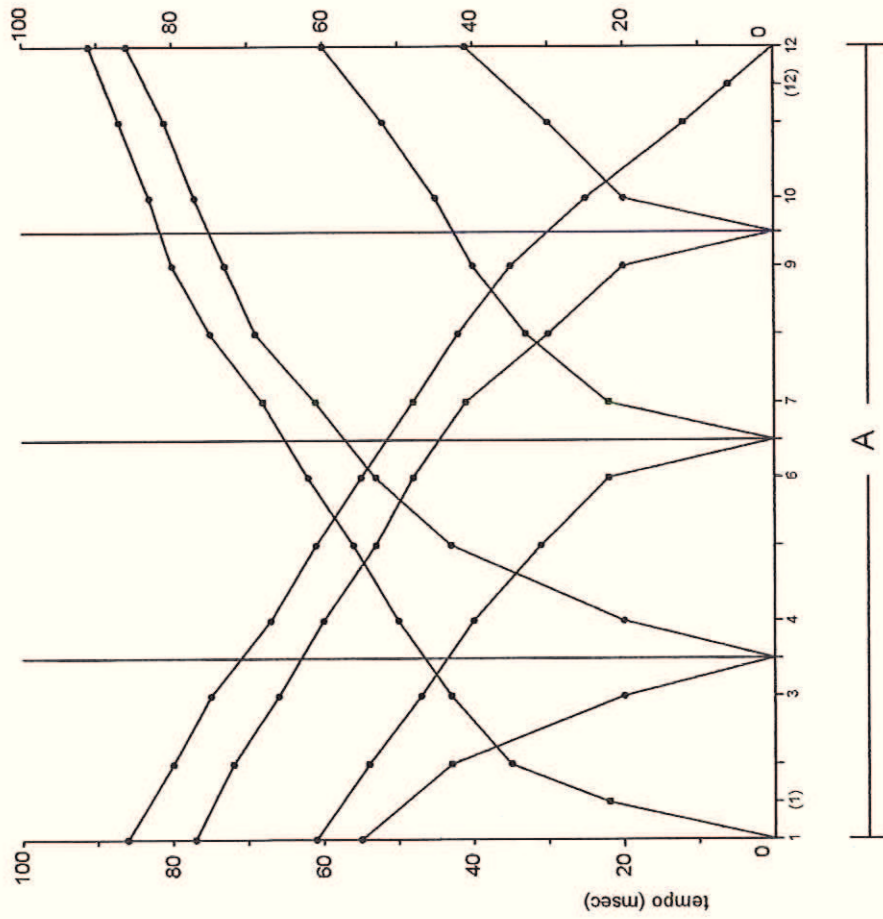
Sezione sismica D Vs (m/s)



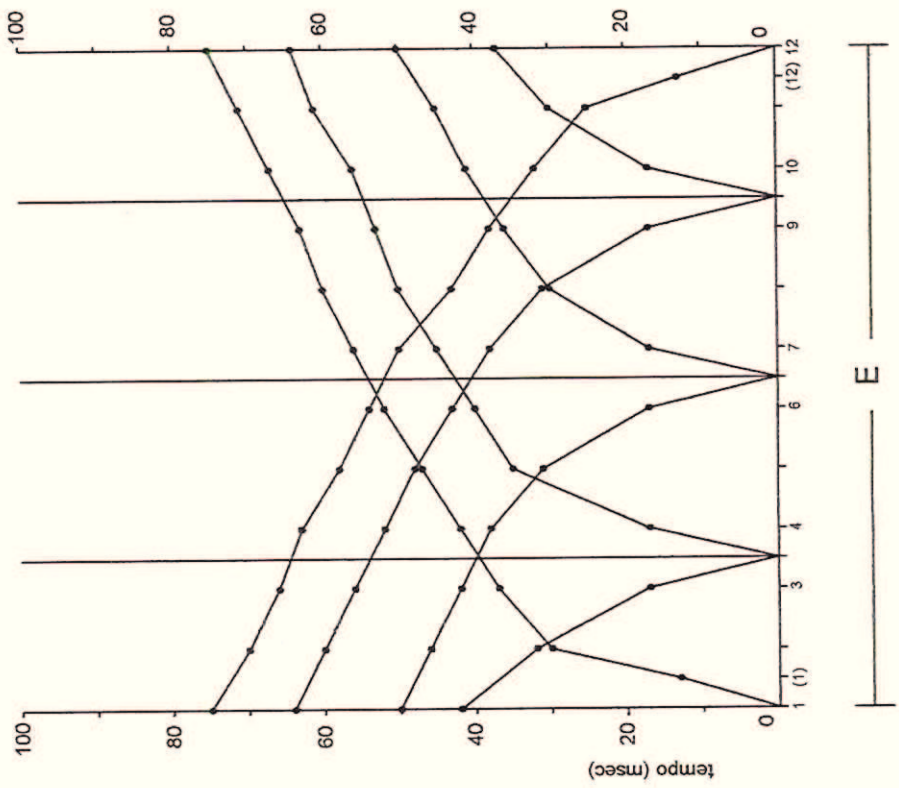
Vp



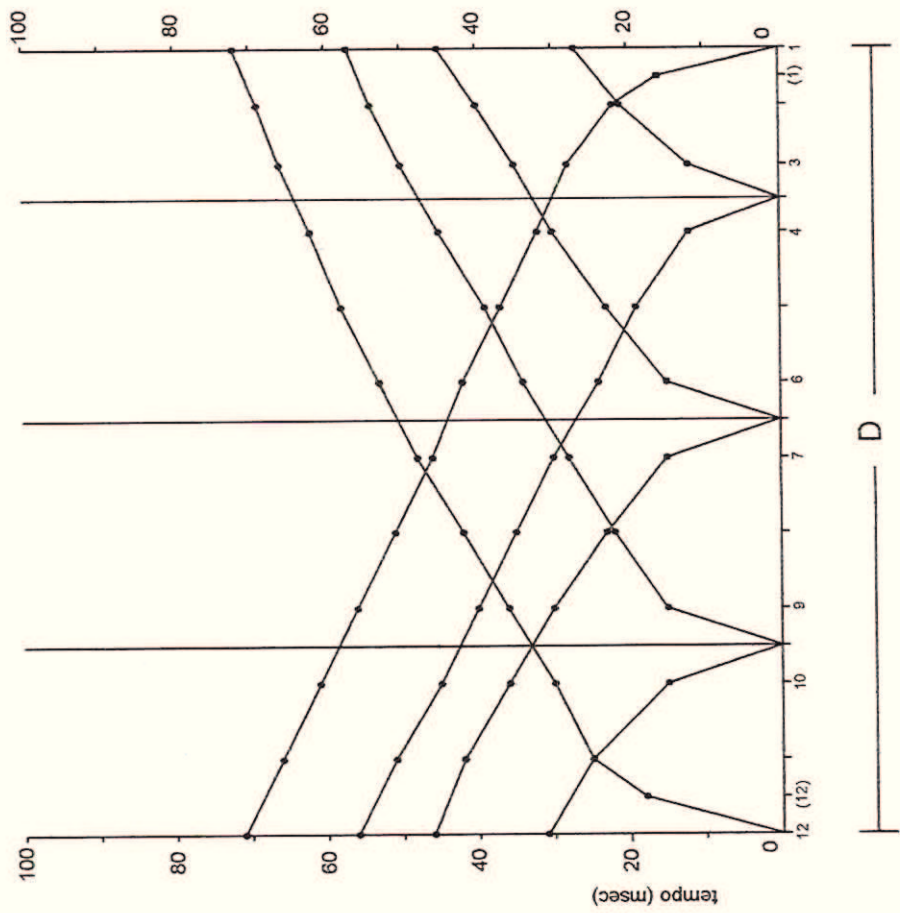
Vp



Vp



Vp



Vp

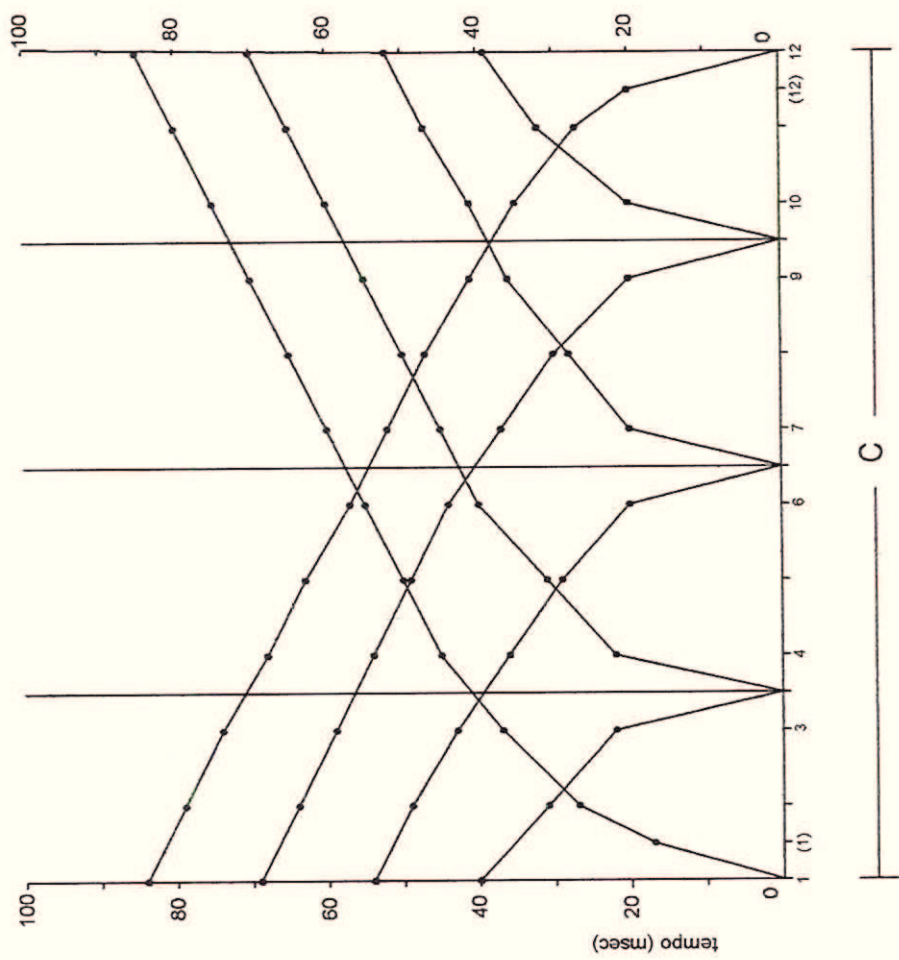


FOTO LINEE SISMICHE

Linea A



Linea B



Linea C



Linea D



Linea E



Picking

