



REGIONE TOSCANA

DIREZIONE GENERALE DELLE POLITICHE  
TERRITORIALI, AMBIENTALI E PER LA MOBILITA'  
COORDINAMENTO REGIONALE PREVENZIONE SISMICA

# INDAGINI DI SISMICA ATTIVA CON ONDE DI VOLUME

**V. D'INTINOSANTE, M. BAGLIONE, P. FABBRONI**

*Coordinamento Regionale Prevenzione sismica  
Regione Toscana*

# ***“NORME IN MATERIA DI PREVENZIONE E RIDUZIONE DEL RISCHIO SISMICO”***

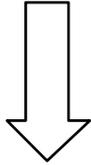
---

## **Art. 3 - ATTIVITA' DI STUDIO, ANALISI E RICERCA SUL RISCHIO SISMICO**

**da parte della struttura regionale competente**

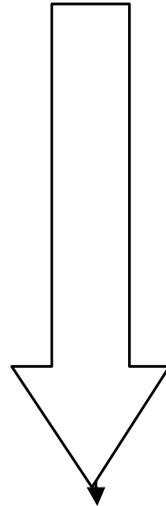
monitoraggio del livello di sismicità del territorio regionale e di  
parametri precursori, mediante la realizzazione di reti di tipi  
sismometrico, accelerometrico, geodetico e geochimico;  
programmazione ed effettuazione di indagini ed analisi di  
microzonazione sismica per la valutazione di effetti locali nei  
centri urbani e sugli edifici strategici e rilevanti;  
programmazione ed effettuazione di indagini e studi di  
valutazione sulla vulnerabilità sismica dei centri urbani e degli  
edifici strategici e rilevanti.

*Programmi Regionali di Indagine*



***VSCA***

*Vulnerabilità edifici in  
Cemento Armato*



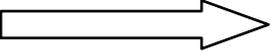
***VSM***

*Vulnerabilità Sismica  
edifici in Muratura*

***VEL***

*Valutazione degli effetti Locali*

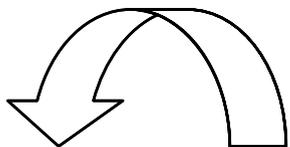
- Del. G.R.T. n. 1209 del 19 ottobre 1998 -

ferimenti Normativi 

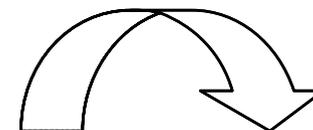
L.R. 56/1997 - Del. G.R.T. 1209/1997  
L.R. 58/2009

## Scopo del Programma

Identificare aree a comportamento omogeneo sotto il profilo della risposta sismica locale all'interno degli ambiti territoriali a scala comunale (capoluoghi e frazioni);  
Definire i possibili effetti locali sui principali centri urbani, sulle infrastrutture ed in corrispondenza degli edifici strategici e rilevanti ed effettuare valutazioni di rischio sismico a scala territoriale;  
Fornire agli enti locali informazioni e parametri utili alla:  
Progettazione edilizia (**Spettri di risposta, Fattori di amplificazione**);  
Pianificazione urbanistica (Cartografia degli Ambiti Pericolosità Locale e Carte di Microzonazione)



## UN PROBLEMA DI SCALA...



OBIETTIVO  
CENTRO URBANO  
INSEDIAMENTI PRODUTTIVI

- OBIETTIVO
- EDIFICIO STRATEGICO

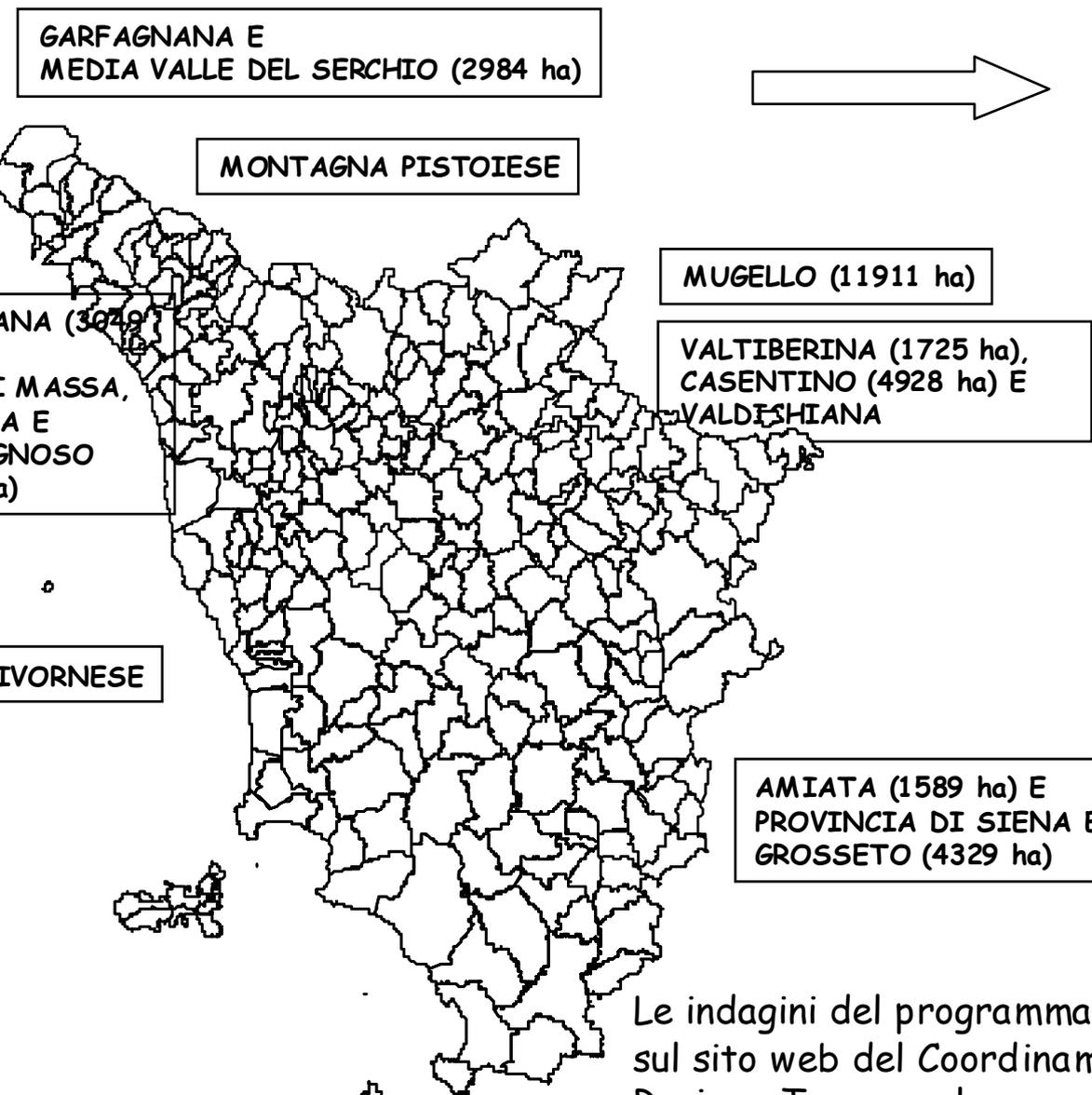


Valutazione effetti locali centri urbani ed insediamenti

- Valutazione vulnerabilità sismica di singoli edifici

# Ambito di applicazione del Programma VEL

urbani; Insediamenti produttivi; Edifici pubblici strategici e rilevanti



... per un totale di 83 Comuni e 192 centri urbani

## INDAGINI ESEGUITE NEL PROGRAMMA VEL

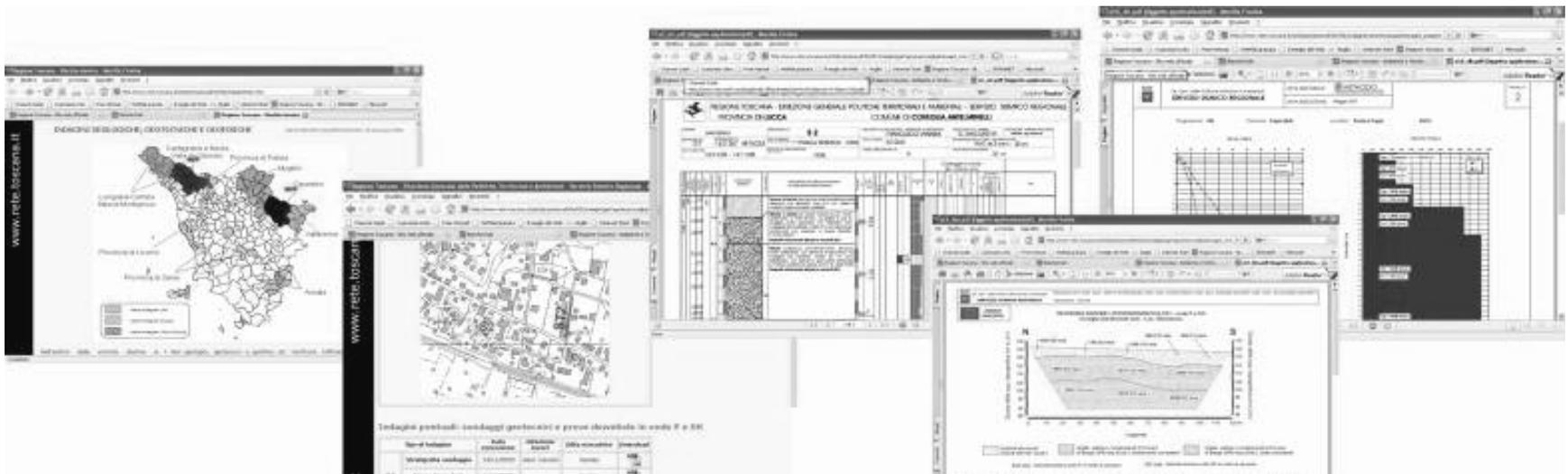
- più di 1000 linee di sismica a rifrazione con onde P e SH (circa Km totali);
- circa 500 sondaggi geotecnici (di 1400 prove SPT) con relative down-hole in foro (più di 15Km di profondità totale);
- n. 506 campioni indisturbati prelevati su cui sono state eseguite circa 500 prove statiche e circa 200 prove dinamiche.
- 12 comuni indagati mediante campagne di misura delle frequenze naturali di sito

Le indagini del programma VEL si possono scaricare gratuitamente sul sito web del Coordinamento Regionale Prevenzione Sismica Regione Toscana all' seguente indirizzo:

# QUADRO RIEPILOGATIVO

Attività già realizzate nel Programma VEL - Risorse economiche stanziati  
3.850.000,00 (di cui 3.300K RT e 550K a carico dei comuni)

- Su un totale di **90 Comuni (207 centri urbani)** classificati in zona sismica sono state realizzate cartografie geologiche in scala 1:2.000; indagini geofisiche e geotecniche finalizzate alla ricostruzione del modello geologico di sottosuolo;
- Tale quantitativo di informazioni sul sottosuolo è stato informatizzato e reso disponibile gratuitamente su web in modo da poter essere fruibile da professionisti e dagli enti locali interessati.



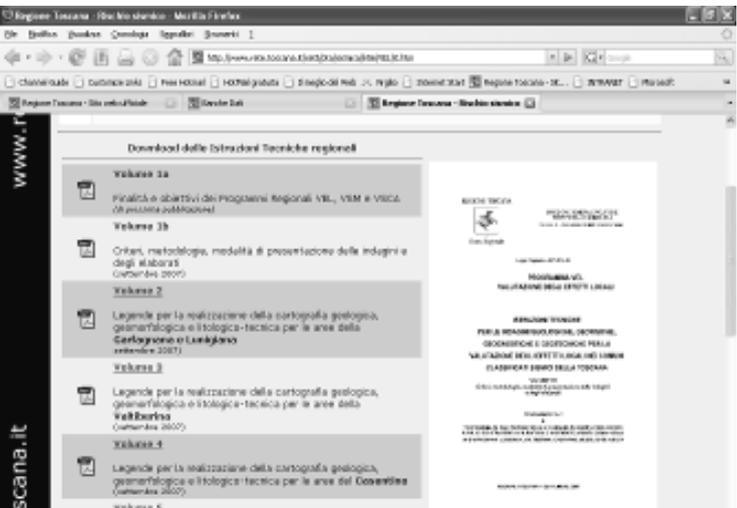


# ...metodologie operative: ISTRUZIONI TECNICHE

## Obiettivi generali

- Fissare i criteri e gli standard per il rilievo geologico, geomorfologico e litologico-tecnico in scala 1:2.000;
- Fissare i criteri e gli standard per una adeguata programmazione ed esecuzione delle indagini geofisiche (sismica a rifrazione e down-hole con onde P ed SH), geotecniche (sondaggi e analisi dinamiche di laboratorio) e un controllo sulla qualità del dato;
- Modalità di presentazione di tutti gli elaborati previsti dalle indagini.

...sono scaricabili dal sito Internet della Regione Toscana all'indirizzo:  
<http://www.rete.toscana.it/sett/pta/sismica/lr56/VEL/it.htm>

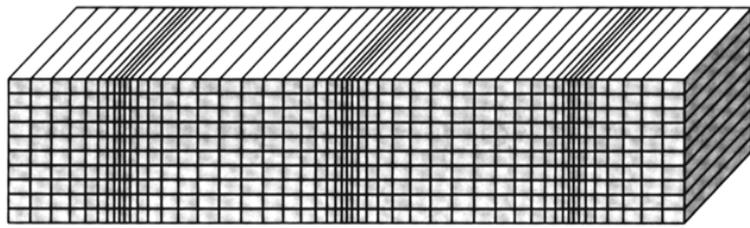


## STRUTTURA:

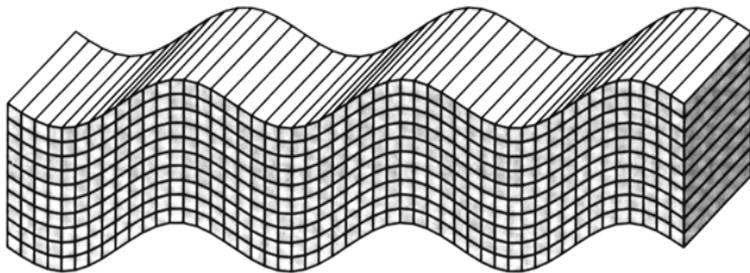
- **Volume 1A - IN FASE DI REVISIONE**
- **Volume 1B - Criteri, Metodologie, modalità di presentazione delle indagini e degli elaborati;**
- **Volume 2,3,4,5,6 - Legende per la realizzazione della cartografia per le aree della Lunigiana, Garfagnana, Valtiberina, Casentino, Mugello e Amiata;**

# INDAGINI SISMICHE

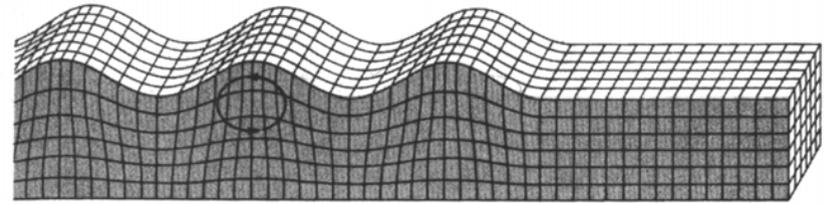
**Parametro fisico: velocità onde sismiche  
(di corpo e di superficie –  $V_p$ ;  $V_s$ ; Rayleigh, Love).**



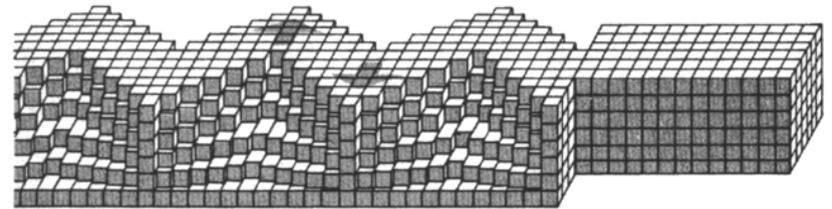
(a)



(b)



(a)



(b)

$$V_P = \sqrt{\frac{k + 4\mu/3}{\rho}}$$

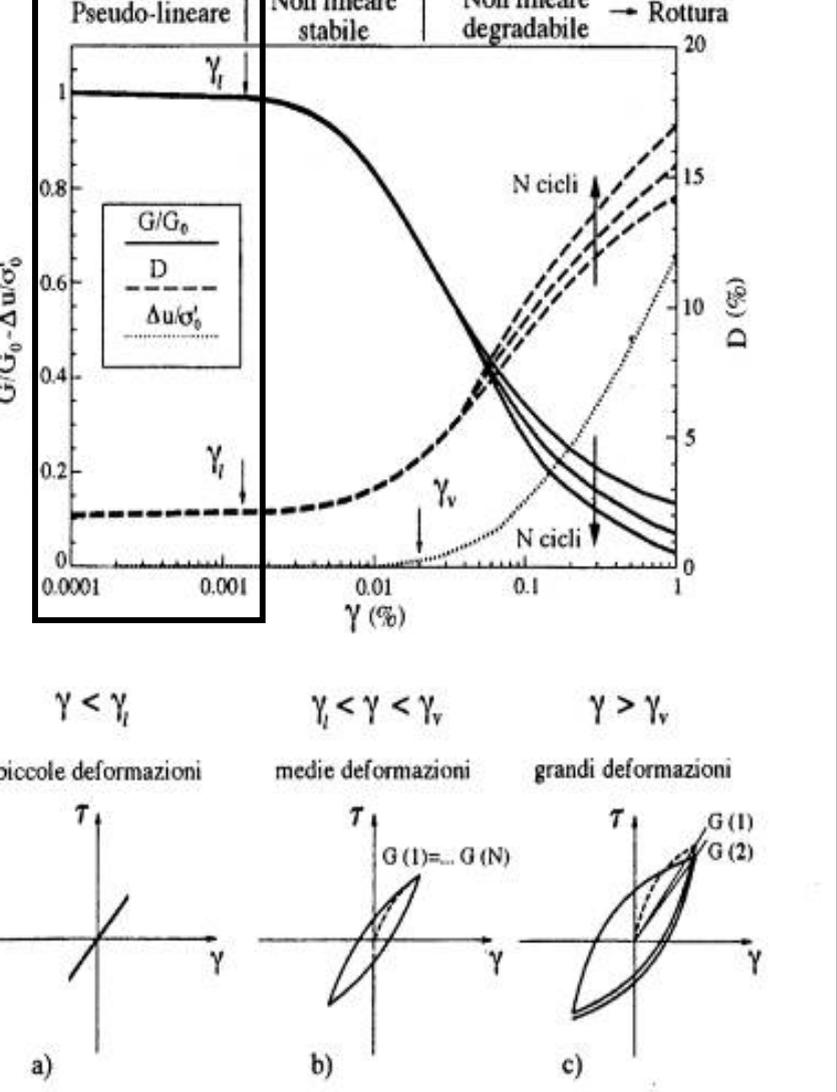
$$V_S = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$$

sono dispersive, cioè le loro differenti componenti a lunghezza d'onda diversa viaggiano con velocità differenti

La parametrizzazione dinamica dei terreni costituisce un aspetto fondamentale non solo nell'ambito degli studi per la risposta sismica locale, ma anche in molti problemi di natura geologico-tecnica.

Più in particolare, la misura della velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ), consente la determinazione di un'importante caratteristica meccanica del terreno: la c.d. rigidezza iniziale ( $G_0$  o  $G_{\max}$ )

**la rigidezza a livelli di deformazione molto bassi**



## Livelli deformativi ed aspetti del comportamento meccanico del terreno in condizioni di taglio semplice ciclico

Per un singolo processo di carico scarico-ricarico in termini di tensioni tangenziali il terreno mostra un comportamento efficacemente rappresentabile da una coppia di parametri:

- **il modulo di rigidità al taglio ( $G$ )**
- **il fattore di smorzamento  $D$**

Questi parametri mostrano una variazione in base al livello di deformazione tangenziale  $\gamma$  impresso sull'elemento di terreno.

Sono individuabili tre campi di comportamento distinti ma contigui per piccole, medie e grandi deformazioni (fino a rottura).

# INDAGINI SISMICHE ATTIVE

**SISMICA A RIFLESSIONE (onde P ed SH)**

**SISMICA A RIFRAZIONE (onde P ed SH)**

**CROSS-HOLE (onde P ed SV)**

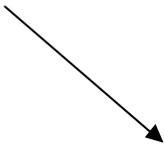
**DOWN-HOLE (onde P ed SH)**

**ASW (onde superficiali)**

**SONDO SISMICO (onde P ed SH)**



**Interpretazione in tecnica a  
riflessione**



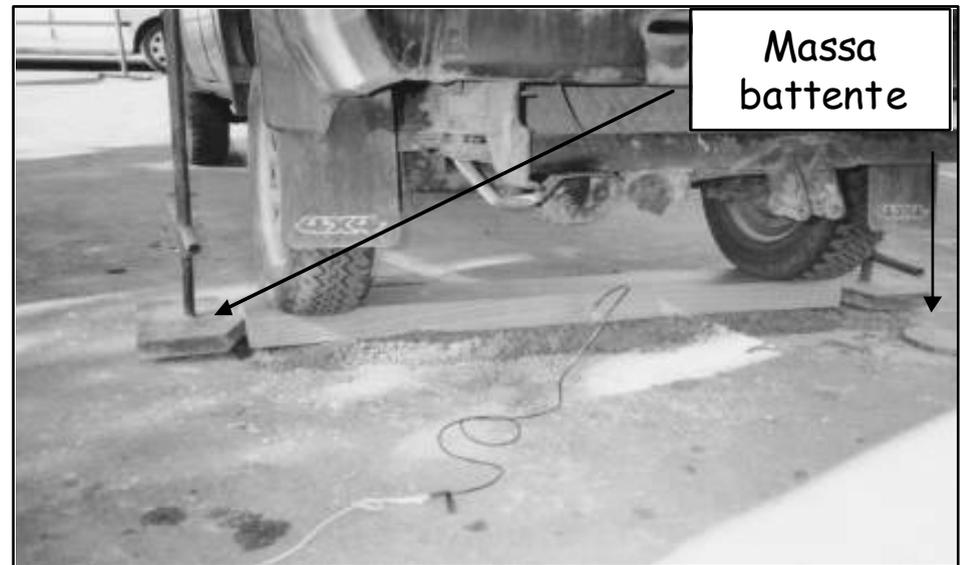
**VSP (vertical seismic profiling)**

# Il sistema di energizzazione

Onde P: Masse battenti – esplosivo

Onde SH: Masse battenti

Particolare della fase di energizzazione in onde SH



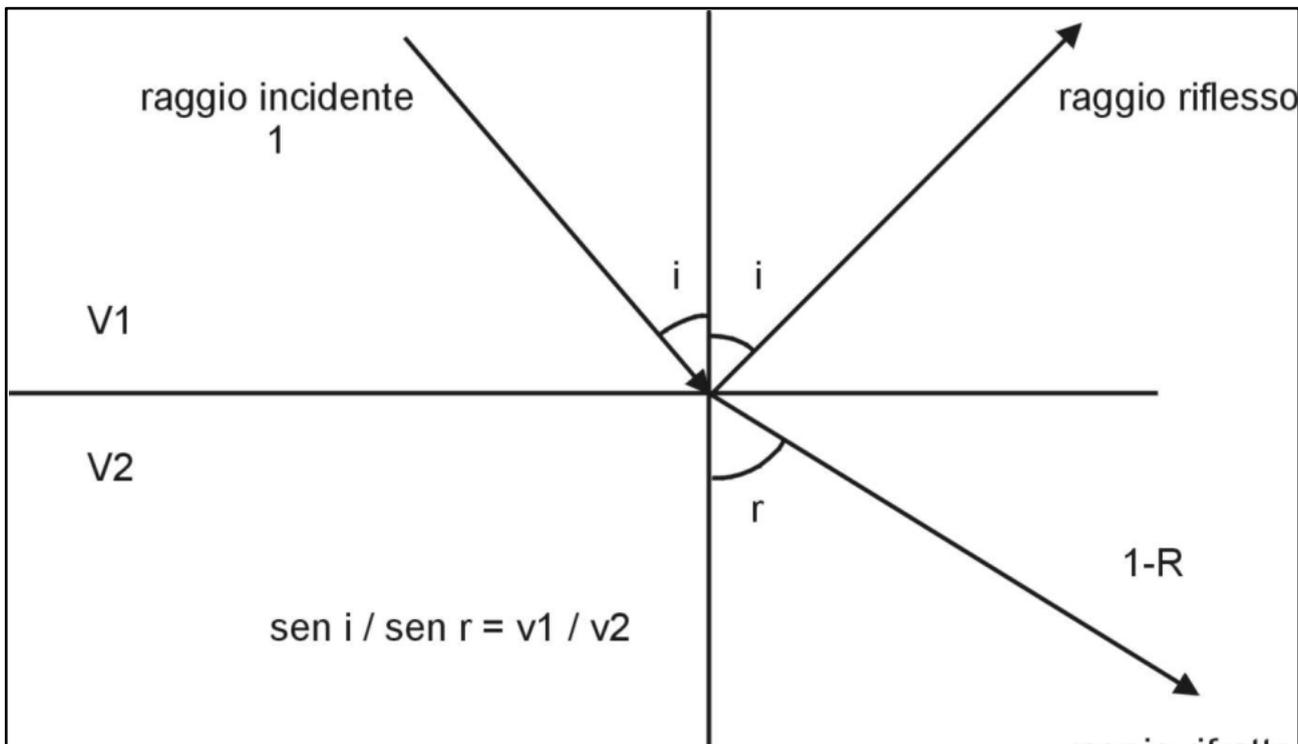
**(Barsanti et al., 2000)**

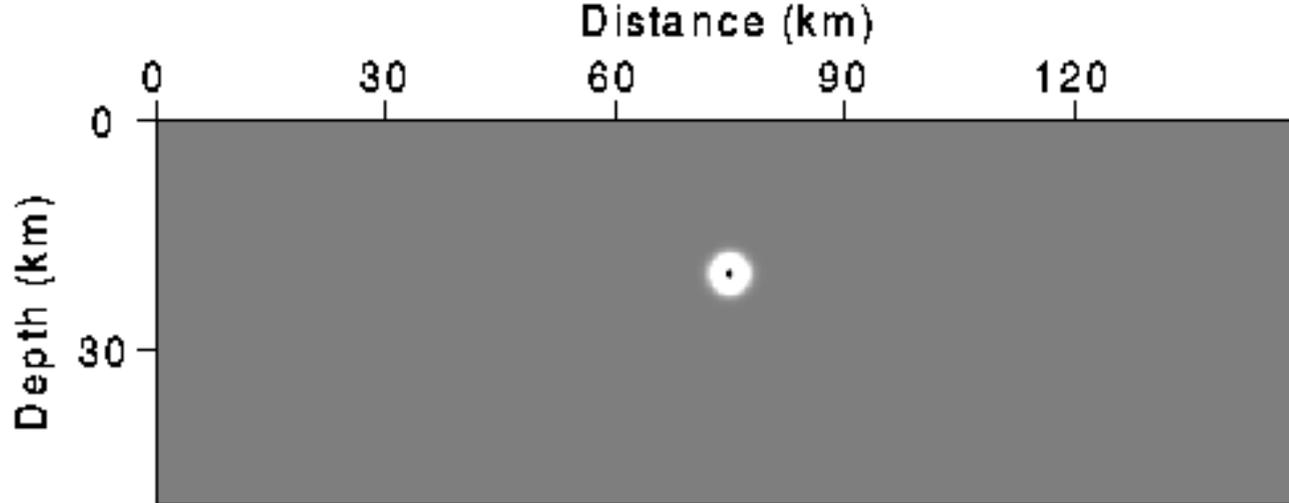
Perché l'energizzazione in onde SH ?

la differenza delle onde P ed S e le onde S non subiscono trasmutazione durante i fenomeni di rifrazione e riflessione;

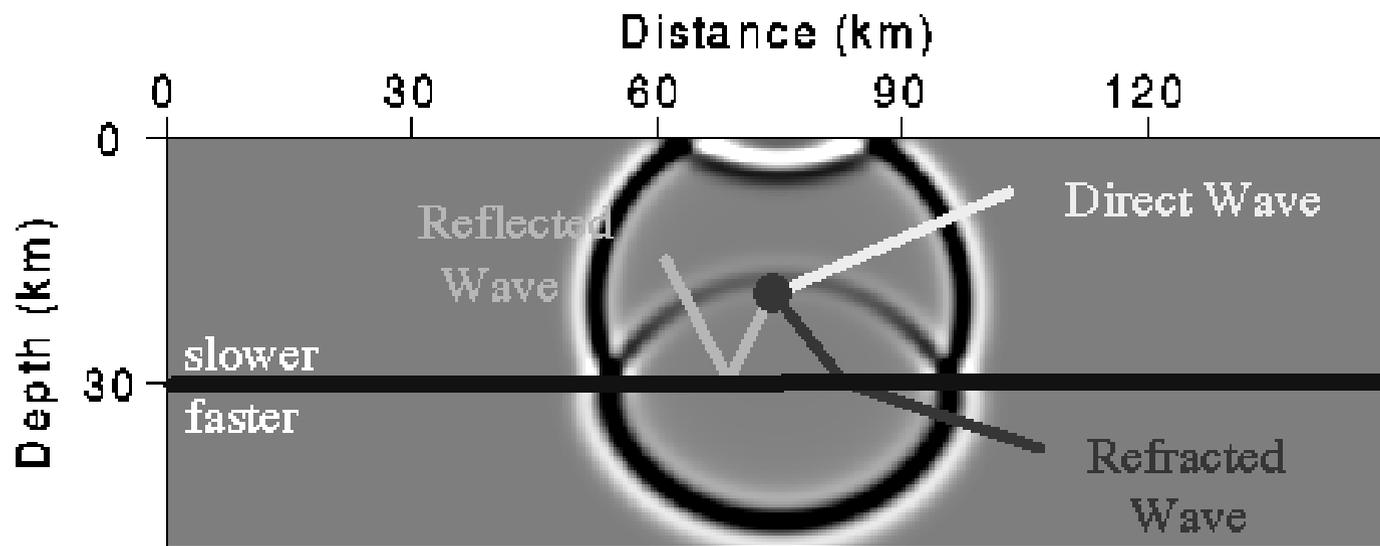
- a parità di spettro di frequenza generato dalla sorgente, consentono una migliore risoluzione dovuta alla loro minore lunghezza d'onda;

- consentono una più esatta conoscenza delle problematiche di propagazione delle onde elastiche in mezzi anisotropi





**P-wave Propagation**



**P-wave Propagation**

# SISMICA A RIFRAZIONE

L'utilizzo di prospezioni sismiche a rifrazione (per mezzo soprattutto di un'energizzazione in onde P) ha riscontrato nel corso degli anni una crescente applicabilità negli studi geologico-tecnici (ricerche idrogeologiche, geotecniche, ingegneristiche, etc.). Di contro, la sismica a rifrazione con onde di taglio (SH) è tutt'ora meno utilizzata e meno standardizzata (soprattutto per ciò che riguarda le sue fasi esecutive), pur avendo dimostrato una buona applicabilità (Barsanti et alii, 2000) e presentando costi di esecuzione contenuti rispetto ad altre tecniche sismiche.

Lo scopo della prova, come è noto, consiste nel determinare il profilo di rigidità del sito tramite la misura diretta della velocità di propagazione delle onde di compressione (VP) e/o di taglio polarizzate orizzontalmente (VSH) secondo fasi di acquisizione differenti e determinare le geometrie sepolte (spessori e superfici di contatto) dei sismostrati individuati.

La caratterizzazione in termini di velocità di propagazione sia delle onde di compressione sia di taglio consente il computo, per ogni livello sismico individuato, dei principali moduli elasto-dinamici e del coefficiente di Poisson.

(segue...)

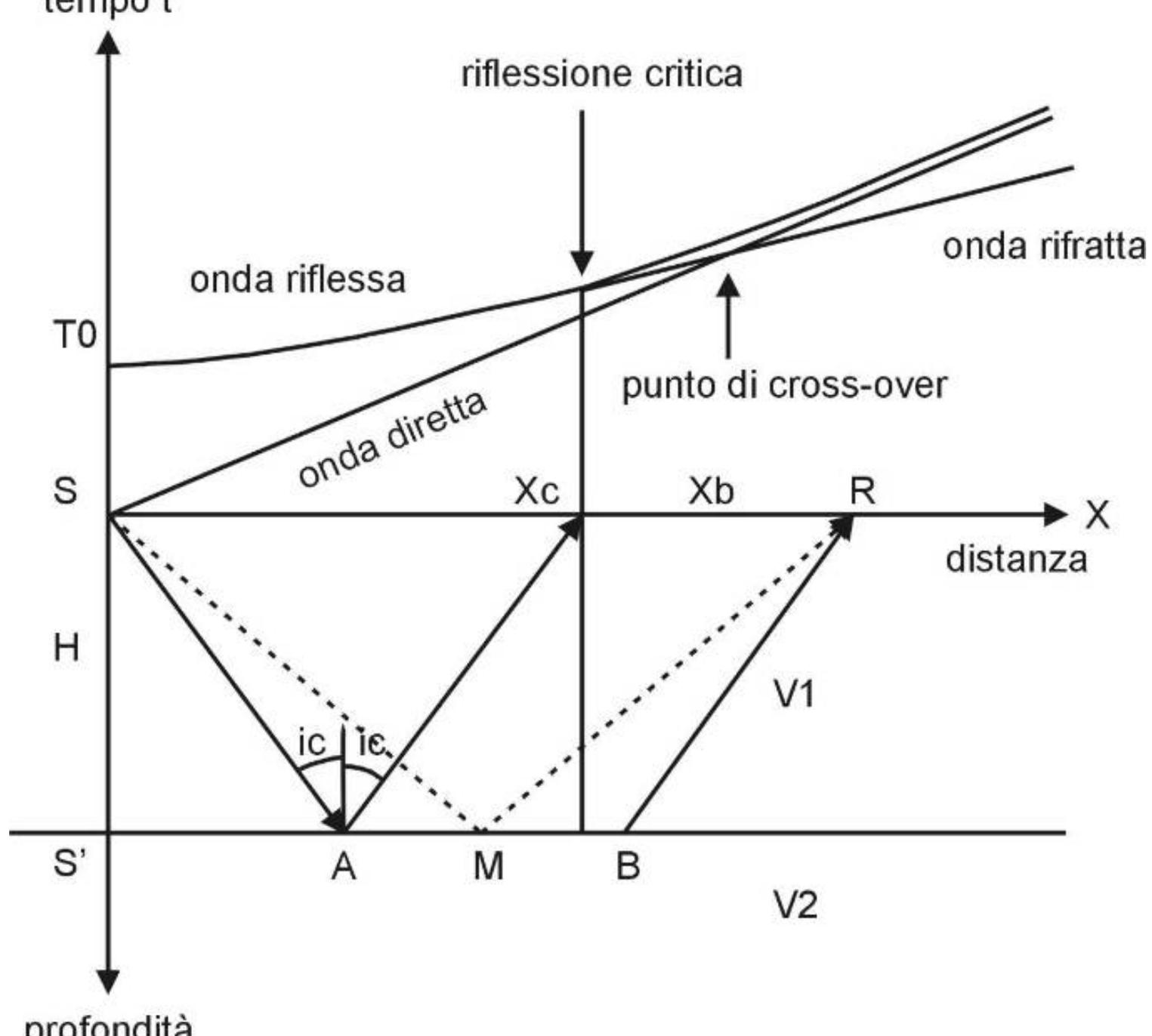
La prova trova un'ottima applicabilità con profondità delle coperture da esplorare inferiore ai 30-40 m. Qualora siano necessarie maggiori profondità d'indagine si può provvedere all'organizzazione di stese sismiche a rifrazione caratterizzate da maggiore lunghezza (poiché la profondità d'investigazione è funzione della distanza tra gli scoppi estremi); per basi sismiche di elevata estensione lineare (ad esempio di 480m) è preferibile l'utilizzo di sistemi sorgente mediante l'uso di esplosivo (utilizzato per prospezioni in onde P) ovvero caratterizzati da energia sufficiente a coprire le enormi distanze.

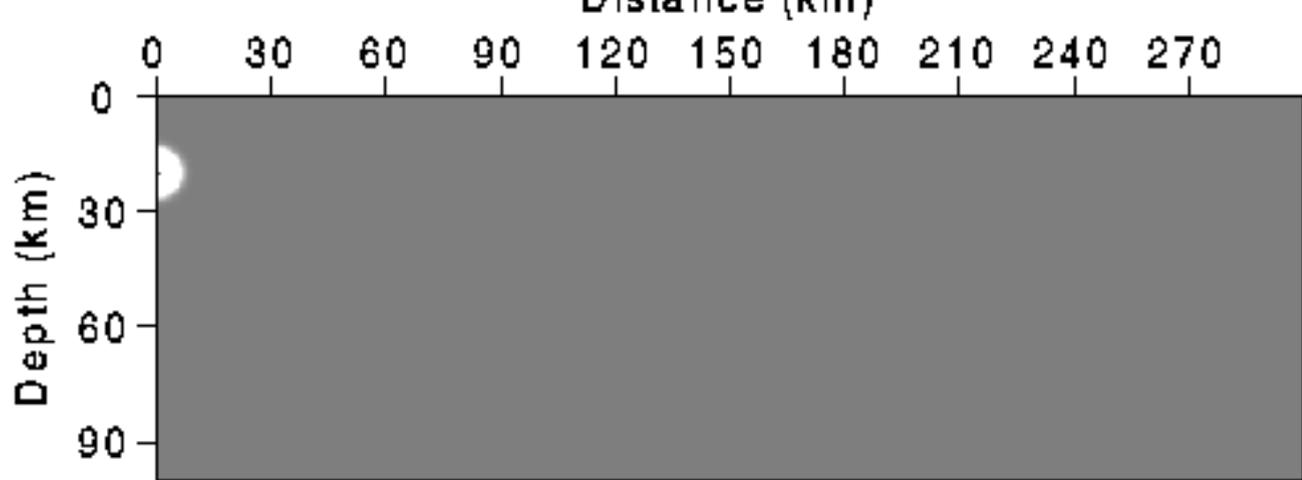
Indagini sismiche a rifrazione si rendono necessarie soprattutto quando i risultati da ottenere devono essere di qualità e precisione discrete e quando interessano dati medi relativi ad ampi volumi di terreno. Come è noto, si suppone che, nell'ambito della porzione di sottosuolo indagata, la distribuzione delle velocità sismiche sia crescente con la profondità; questa infatti è la condizione necessaria affinché si verifichi il fenomeno della doppia rifrazione, attraverso il quale il treno d'onde sismico generato è in grado di essere registrato dai geofoni posti in superficie. Altrimenti, si potrà incorrere nel fenomeno cosiddetto dell'"orizzonte muto", ovvero nell'impossibilità di poter distinguere ed individuare strati con velocità di propagazione delle onde sismiche inferiori rispetto ai livelli sovrastanti.

(segue...)

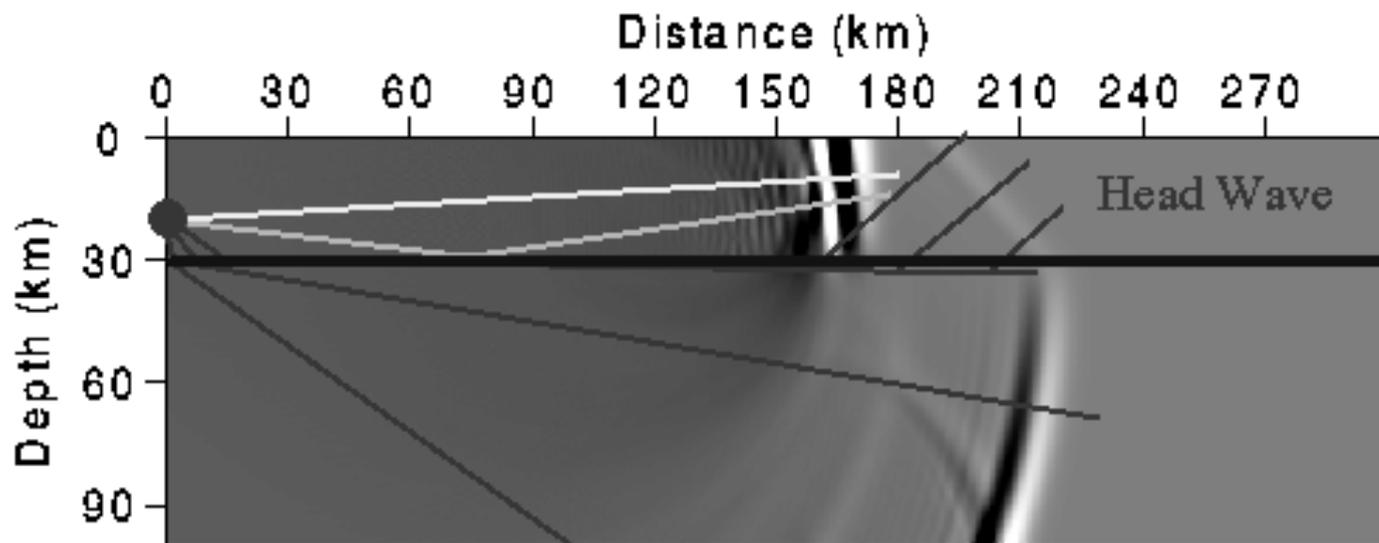
Malgrado le limitazioni intrinseche nella metodologia ed il grado di dettaglio sicuramente inferiore rispetto alle altre tipologie di prospezione sismica, l'indagine a rifrazione consente di acquisire informazioni distribuite in un contesto bidimensionale con costi complessivi d'esecuzione contenuti.

A tal fine, nell'ambito VEL, la fase di caratterizzazione del terreno tramite indagini sismiche a rifrazione (evidenziando, se presenti, particolari condizioni in grado di indurre potenzialmente fenomeni d'amplificazione locale, è utile per la successiva pianificazione delle indagini geognostiche, geotecniche e geofisiche in foro, finalizzate all'approfondimento del quadro conoscitivo sulle conoscenze dei caratteri fisico-meccanici dei litotipi in un intorno più limitato.



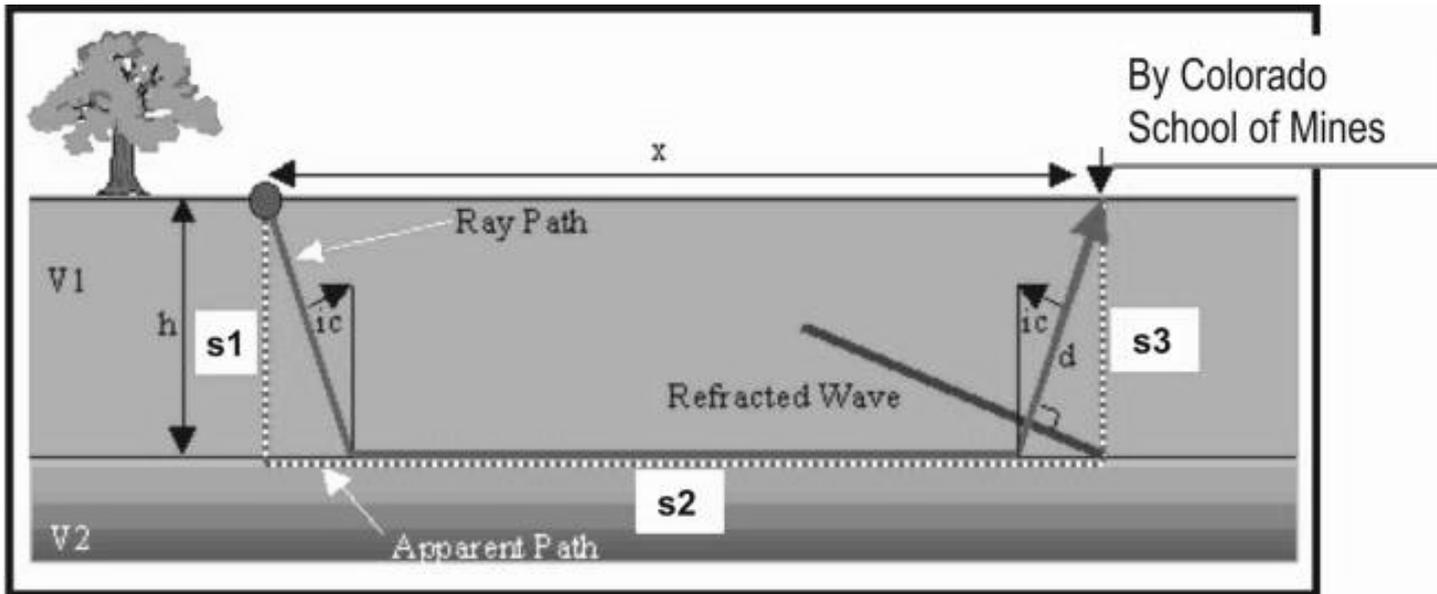


**Reflection and Refraction at a Boundary**



**Reflection and Refraction at a Boundary**

# Didattico sulla teoria della rifrazione



equazione della prima onda rifratta

$$t_T = x / V_2 + 2 H / V_1 \cos i_c - 2 H \tan i_c / V_2 = x / V_2 + 2 H \cos i_c / V_1$$

$$t_T = t_1 + t_2 + t_3 = \frac{s_1}{V_1} + \frac{s_2}{V_2} + \frac{s_3}{V_1}$$

$$t_2 = \frac{x}{V_2}$$

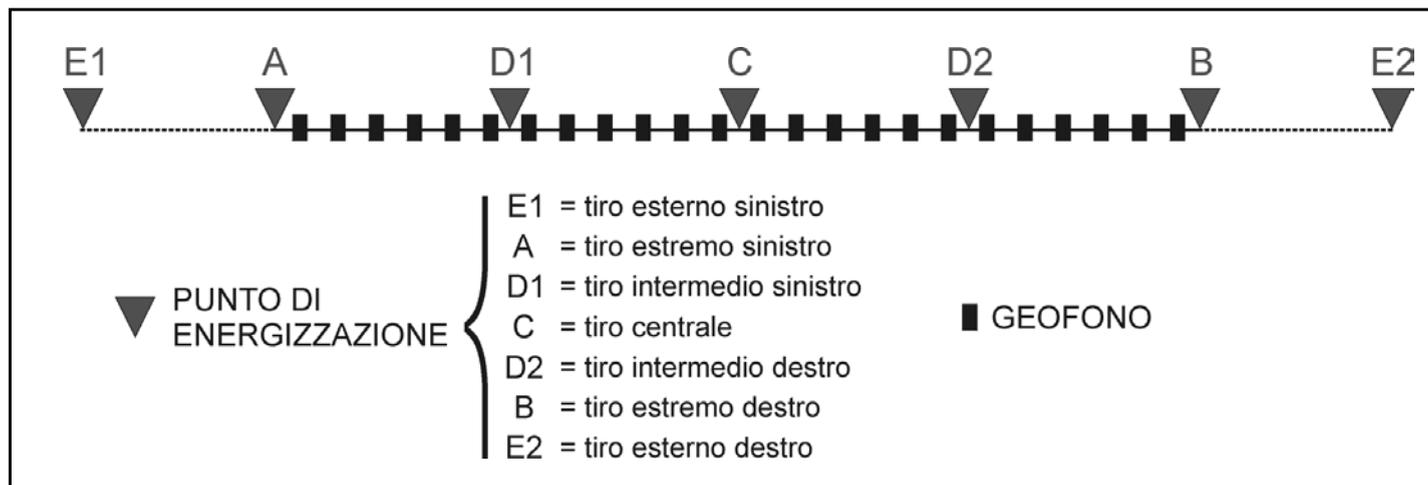
$$t_1 = t_3 = \frac{d}{V_1} = \frac{h \cos i_c}{V_1}$$

$$t_T = \frac{x}{V_2} + \frac{2h \cos i_c}{V_1}$$

# Apparecchiatura

L'apparecchiatura utilizzata per questo tipo di prova si compone delle seguenti parti:

- sistema sorgente
- sistema di ricezione
- sistema di acquisizione dati
- trigger





# SISTEMA SORGENTE = Onde P

sistemi energizzanti (sia per la generazione delle onde P sia delle onde SH) devono essere in grado di generare onde elastiche ad alta frequenza ricche di energia, con forme d'onda ripetibili e direzionali.

Per la generazione in onde P, la sorgente è generalmente costituita da un gravido a caduta libera (massa da 150 kg o superiore), secondariamente se la logistica non lo consente può essere utilizzato il cannoncino industriale (tipo "minibang" o simili) ed eventualmente la mazza. Per l'energizzazione relativa a basi sismiche in onde P ad elevata estensione lineare (ad esempio stese sismiche di 30m con distanza intergeofonica di 20 metri), si potrà ricorrere all'utilizzo di esplosivo in quantità sufficiente da generare onde elastiche ad alta frequenza ricche di energia, con forme d'onda ripetibili.



# SISTEMA SORGENTE - Onde SH

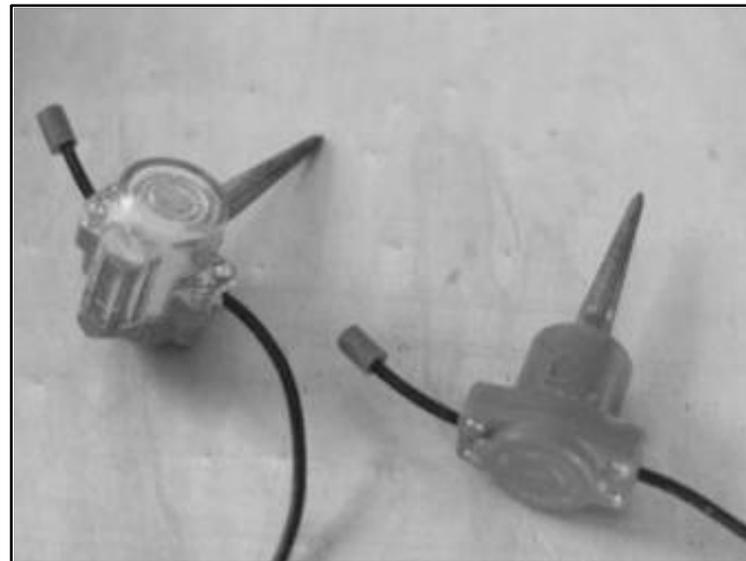
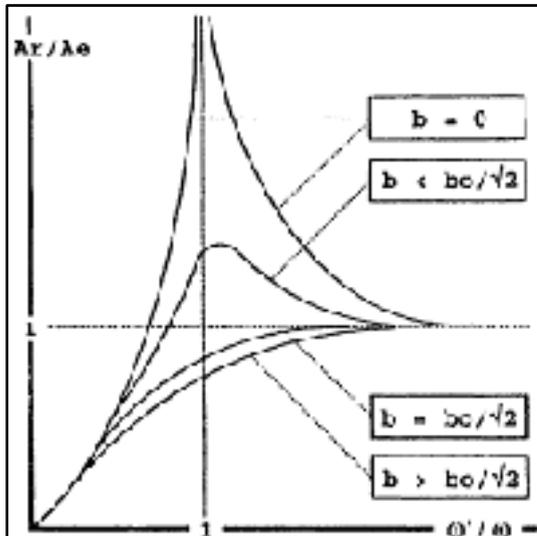
Il sistema sorgente per le onde SH è generalmente costituito da un parallelepipedo di forma tale da poter essere colpito lateralmente ad entrambe le estremità con una massa pesante. È importante che il parallelepipedo venga premuto di un carico statico addizionale in modo che possa rimanere aderente al terreno sia al momento in cui viene colpita sia successivamente, affinché l'energia prodotta non venga in parte dispersa. Con questo dispositivo è possibile generare essenzialmente delle onde elastiche di taglio polarizzate orizzontalmente, con uniformità sia nella direzione di propagazione che nella polarizzazione e con una generazione di onde P trascurabile. L'accoppiamento parallelepipedo-terreno deve essere per "contatto" e non per "infissione". Un buon accoppiamento tra il parallelepipedo e terreno si ottiene facilmente in terreni a granulometria fine (normalmente con dimensioni inferiori al limite superiore delle sabbie); nel caso contrario, di presenza di terreni a granulometria più grossolana sarà necessario approntare delle piazzole appiattendole e ricoprendole con uno strato di materiale fine al contatto con il parallelepipedo sorgente.



# SISTEMA DI RICEZIONE

Il sistema di ricezione è costituito da 24 geofoni verticali per le onde P con frequenza propria variabile tra 4 e 14 Hz e 24 geofoni orizzontali per le onde SH con frequenza variabile tra 4,5 Hz e 15 Hz.

Per l'acquisizione in onde P i geofoni devono essere ben accoppiati sul terreno e posizionati verticalmente; l'acquisizione in SH prevede, invece, che i geofoni debbano essere ben accoppiati sul terreno, posizionati verticalmente e con l'asse di oscillazione parallelo al parallelepipedo energizzante. Il parallelepipedo energizzante sarà posto con l'asse maggiore perpendicolare alla direzione di stendimento.



# TRIGGER

Il Trigger consiste in un circuito elettrico che viene chiuso nell'istante in cui il grave colpisce la base di battuta, consentendo ad un condensatore di scaricare la carica precedentemente immagazzinata e la produzione di un impulso che viene inviato a un sensore collegato al sistema di acquisizione dati; in questo modo è possibile individuare e visualizzare l'esatto istante in cui la sorgente viene attivata e parte la sollecitazione dinamica. Nel caso di sistemi d'energizzazione che prevedano l'utilizzo dell'esplosivo, il Trigger consisterà in un circuito elettrico che viene chiuso nell'istante in cui la microcarica di esplosivo, posizionata in tubi di PVC collocati in fori opportunamente predisposti, viene fatta brillare mediante detonatori elettrici antistatici istantanei (IPS). L'attivazione avviene mediante un esploditore collegato alla strumentazione di acquisizione e registrazione (sismografo). In ogni caso, l'attivazione del circuito per individuare l'istante di energizzazione deve, all'atto delle sollecitazioni ripetute, consentire una differenza di chiusura non superiore a 1 msec.

# SISTEMA DI ACQUISIZIONE DATI

Il sistema di acquisizione dati deve essere di tipo multicanale (24 canali) in grado di registrare su ciascuno di essi in forma digitale le forme d'onda e di conservarle su memoria di massa dinamica minimo a 16 bit.

Il sistema è collegato a ciascuno dei trasduttori di velocità al trigger e consente quindi di registrare in forma numerica e visualizzare come tracce su un apposito monitor le vibrazioni a partire dall'impulso inviato dal trigger.

Il sistema deve avere anche le seguenti caratteristiche:

- Lunghezza di registrazione pari a 1 sec. con tasso di campionamento non inferiore a 500 msec;

- Filtri per l'eliminazione delle interferenze derivanti da linee di tensione;

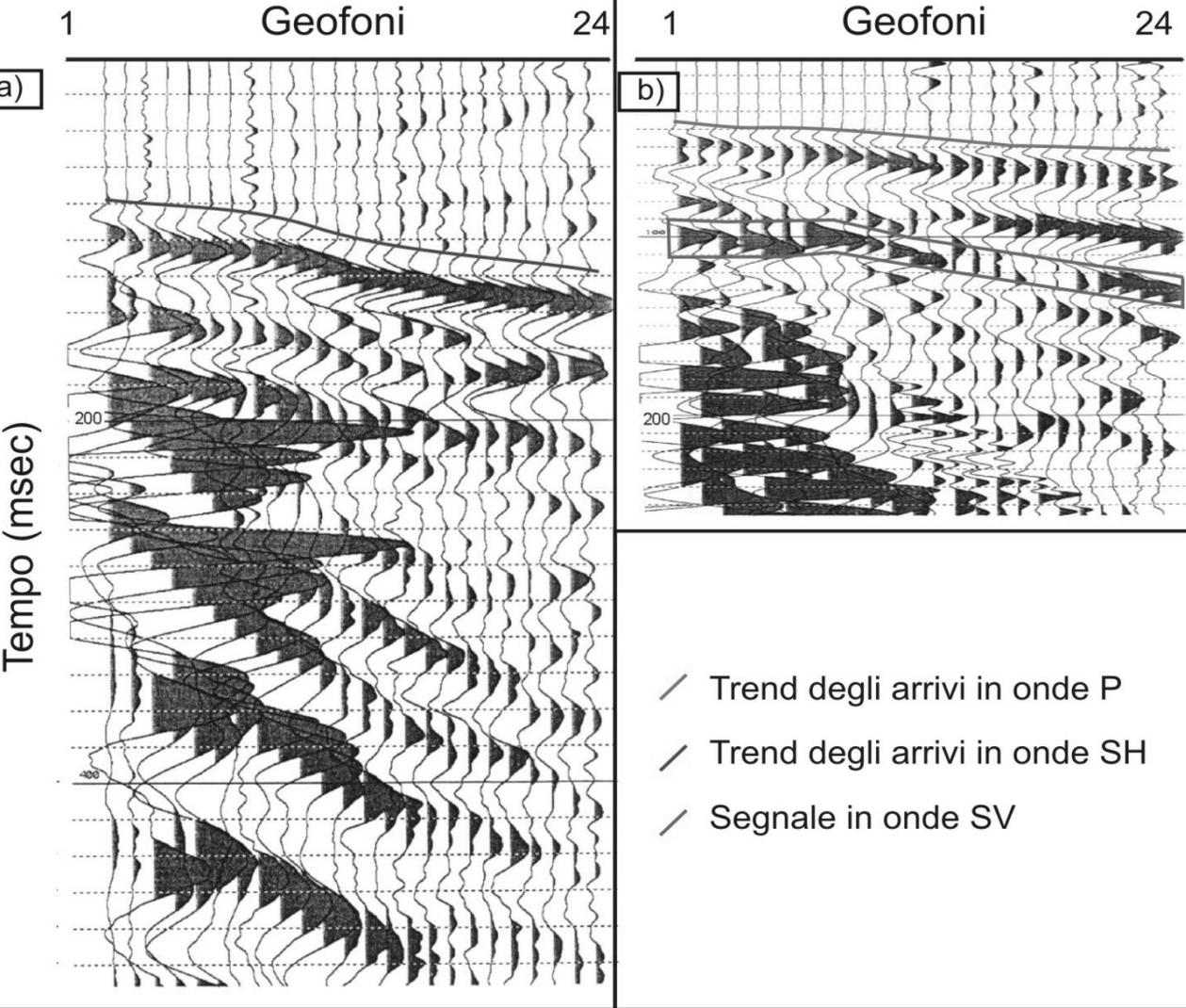
- Filtri in acquisizione ed in uscita;

- Essere dotato di un display in grado di visualizzare simultaneamente le 24 tracce o tracce selezionate;

- Possibilità di registrazione su floppy disk o su HD;

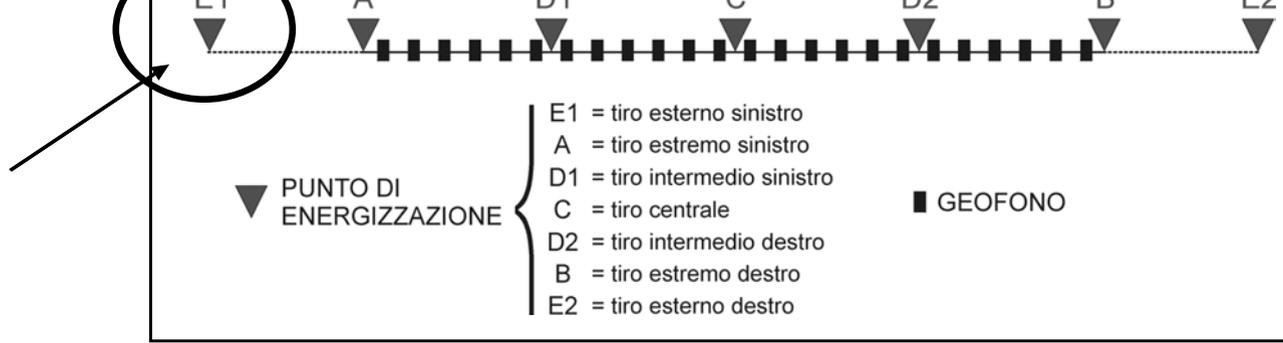
- Sistema per l'effettuazione dell'inversione di polarità di versione di polarità nell'acquisizione in onde SH.



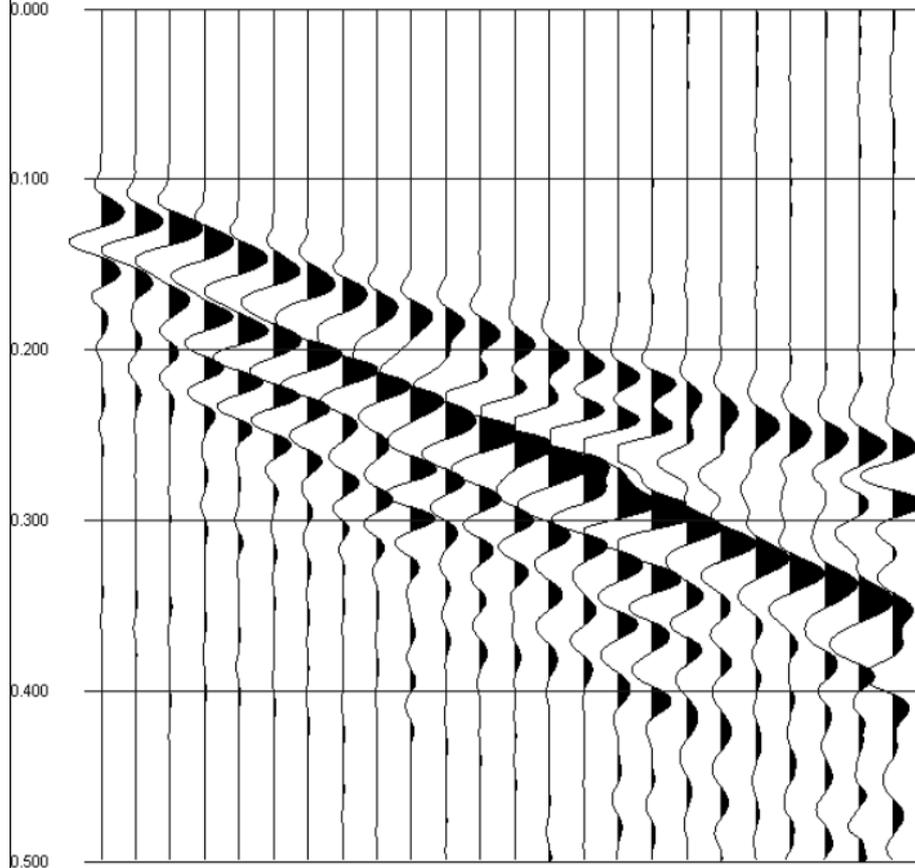


Si noti come, grazie ad una buona esecuzione delle fasi di acquisizione, sia possibile rilevare nel sismogramma in SH un primo arrivo delle onde P. Il taglio totalmente privo di onde P.

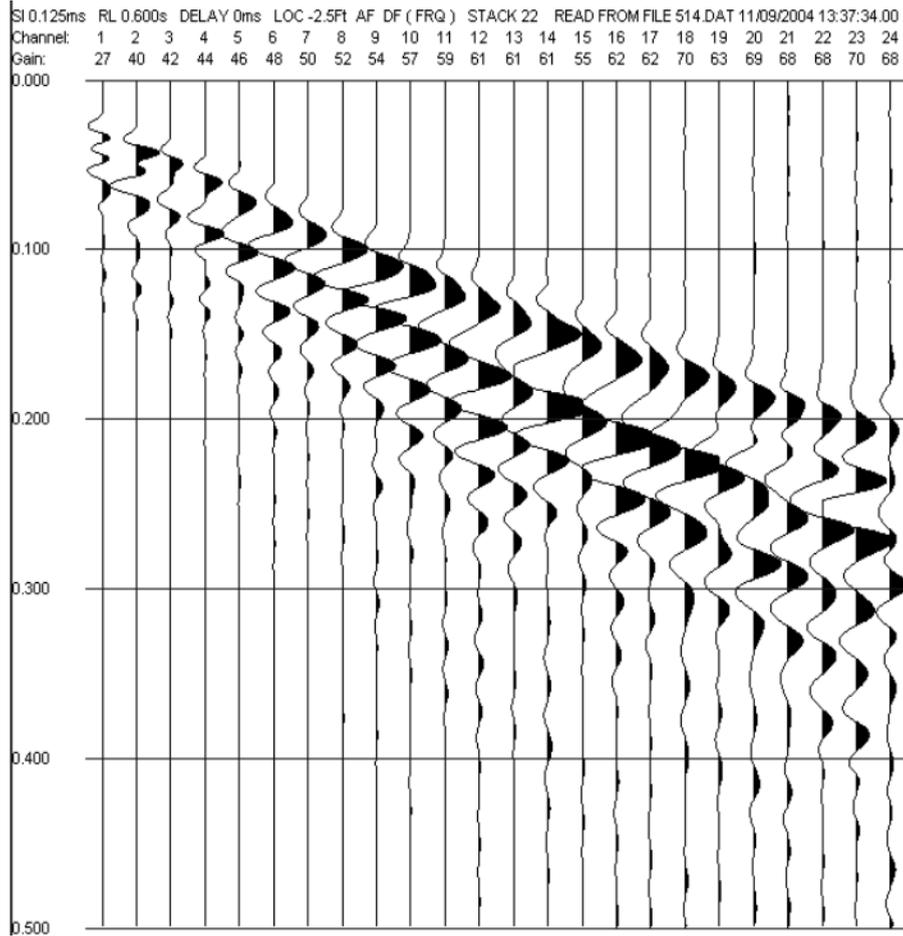
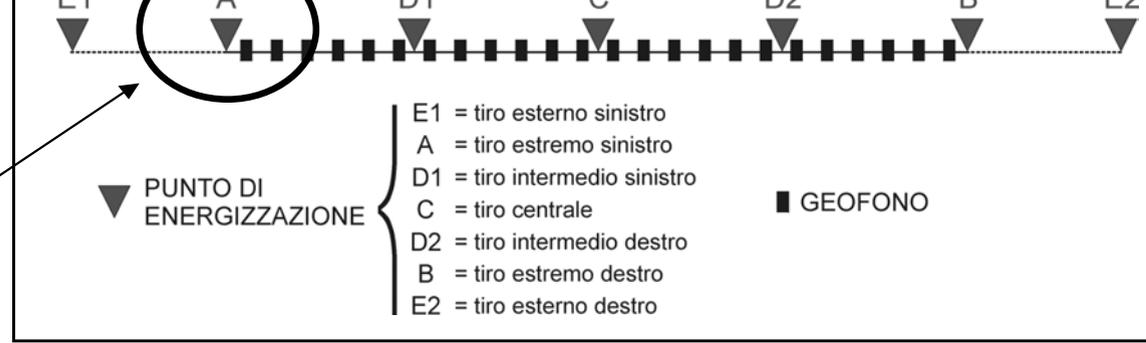
Sismogrammi relativi ad una registrazione esterna di una prospezione in SH (a) ed in P (b), riferiti alla stessa linea sismica. **(Barsanti et al., 2000 mod)**



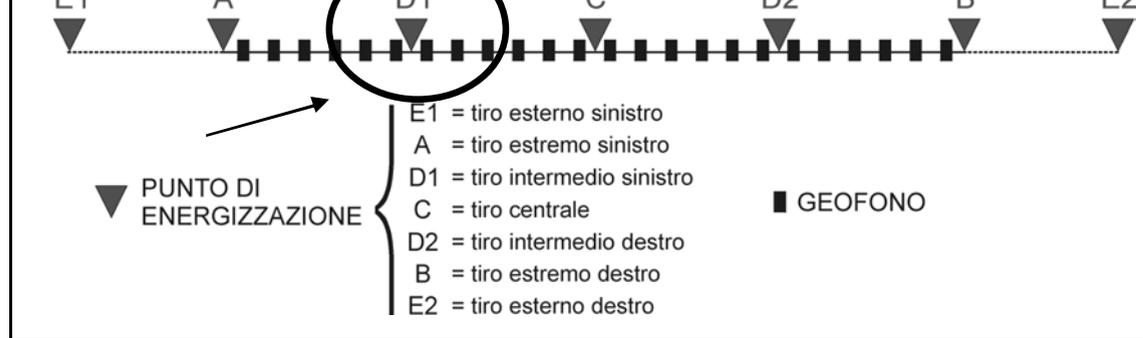
SI 0.125ms RL 0.600s DELAY 0ms LOC -60ft AF DF (FRQ) STACK 30 READ FROM FILE 516.DAT 11/09/2004 13:57:26.00  
 Channel: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24  
 Gain: 51 55 60 59 58 57 59 58 57 60 62 64 64 67 64 68 71 73 69 72 71 71 73 74



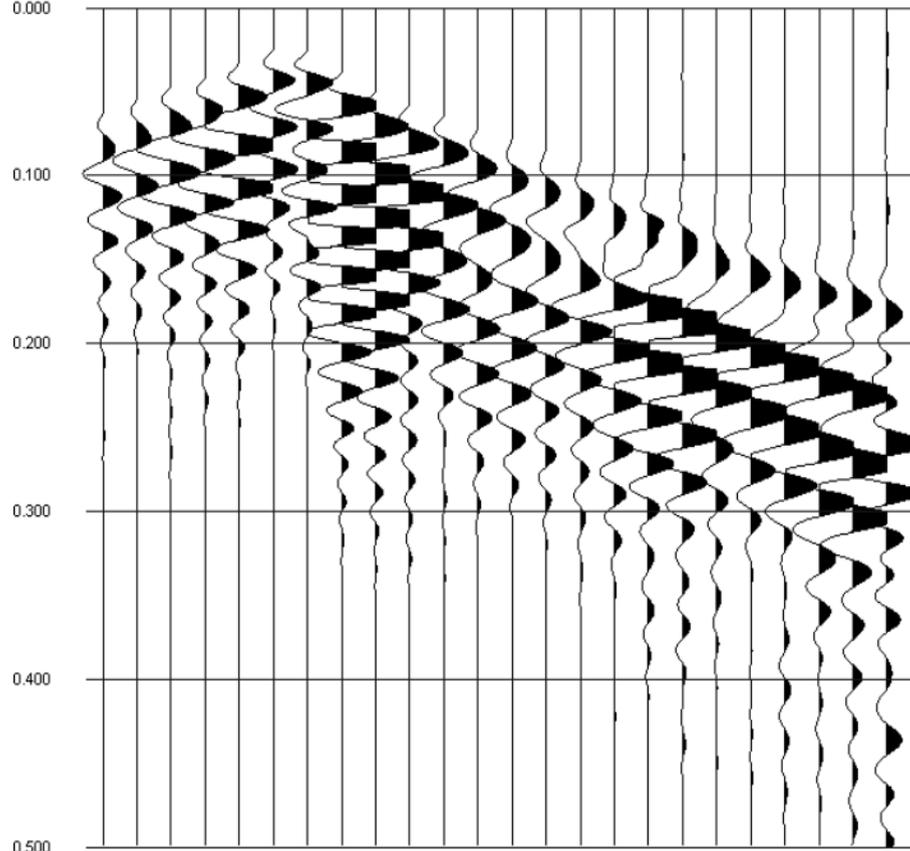
**SCOPPIO E1**



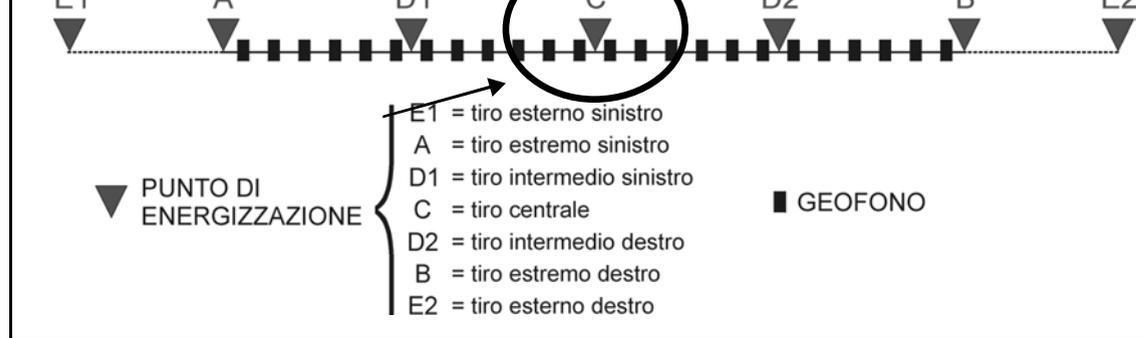
**SCOPPIO A**



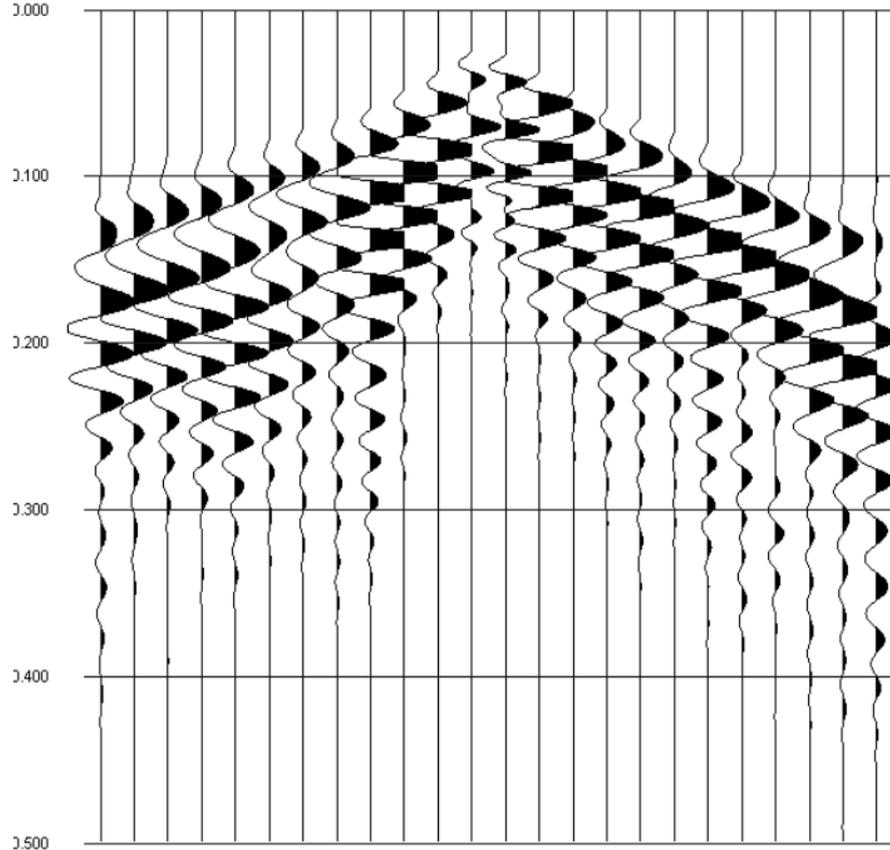
SI 0.125ms RL 0.600s DELAY 0ms LOC 27.5ft AF DF (FRQ) STACK 10 READ FROM FILE 513.DAT 11/09/2004 13:20:53.00  
 Channel: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24  
 Gain: 54 55 57 50 52 39 41 52 54 57 56 55 58 61 61 65 62 70 63 69 68 68 70 74  
 0.000



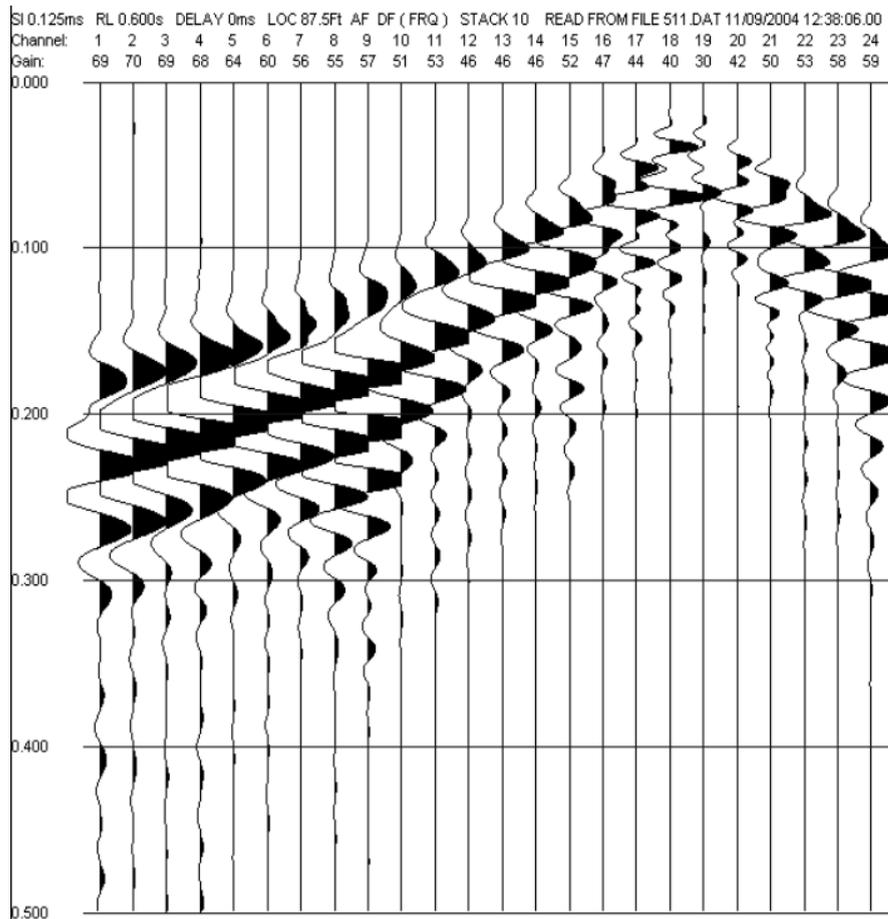
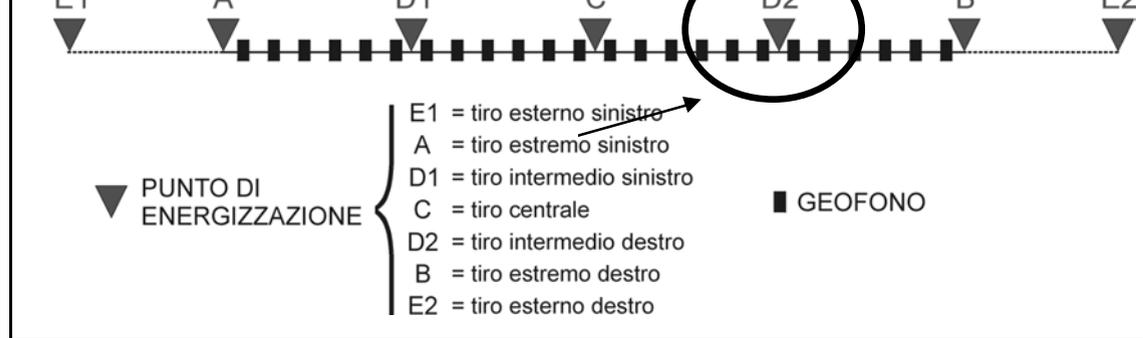
**SCOPPIO D1**



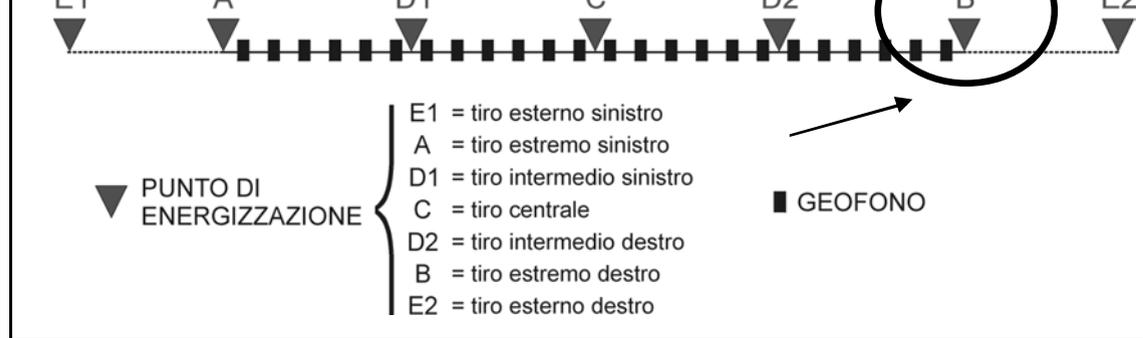
SI 0.125ms RL 0.600s DELAY 0ms LOC 57.5ft AF DF (FRQ) STACK 10 READ FROM FILE 512.DAT 11/09/2004 13:00:02.00  
 Channel: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24  
 Gain: 69 70 69 65 61 54 53 49 48 45 41 31 34 46 43 47 53 58 60 66 65 65 67 68  
 3.000



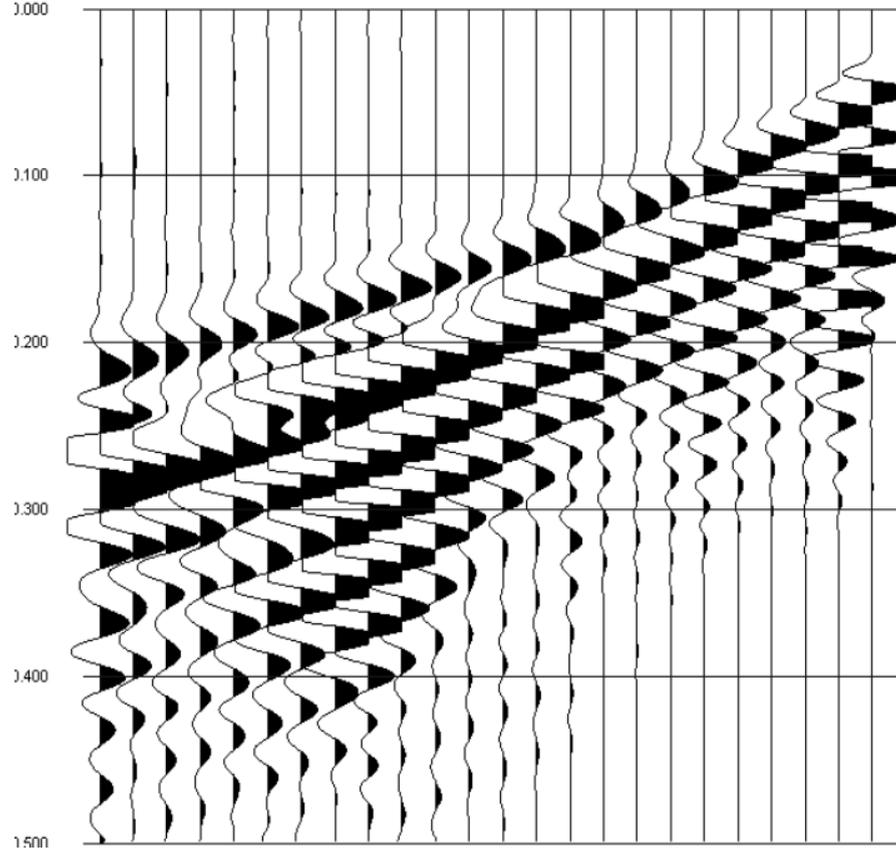
**SCOPPIO C**



**SCOPPIO D2**



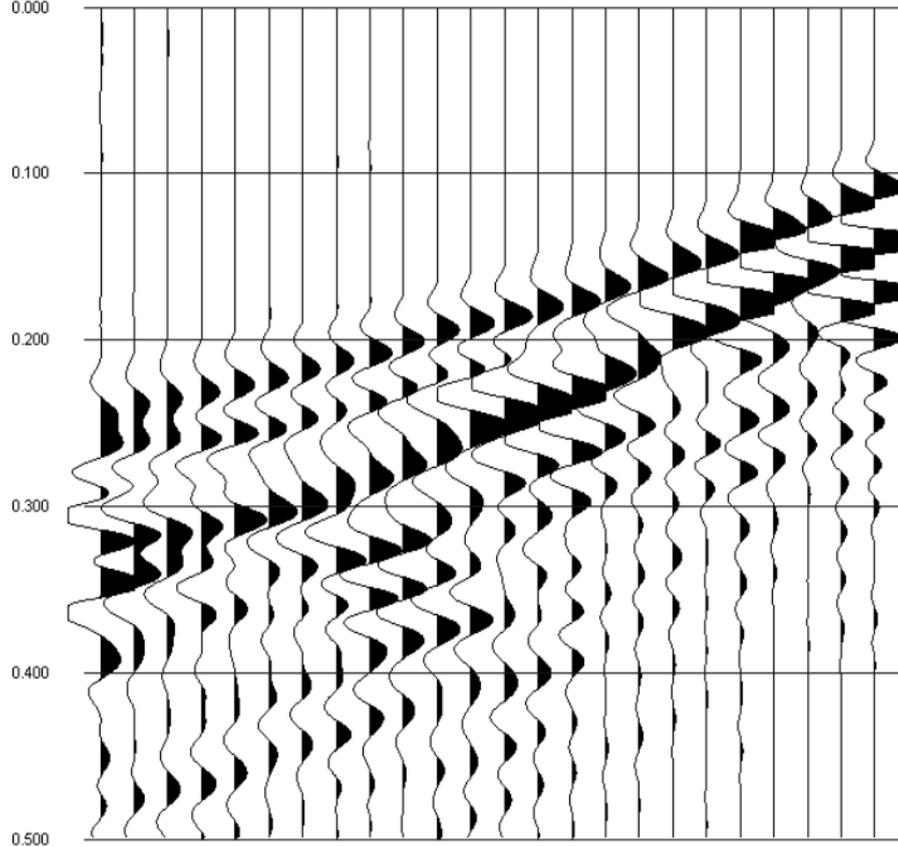
SI 0.125ms RL 0.600s DELAY 0ms LOC 117.5ft AF DF (FRQ) STACK 20 READ FROM FILE 510.DAT 11/09/2004 12:23:03.00  
 Channel: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24  
 Gain: 78 76 75 71 70 69 68 67 69 69 68 64 64 64 61 56 56 55 54 54 50 44 43 32  
 3.000



**SCOPPIO B**

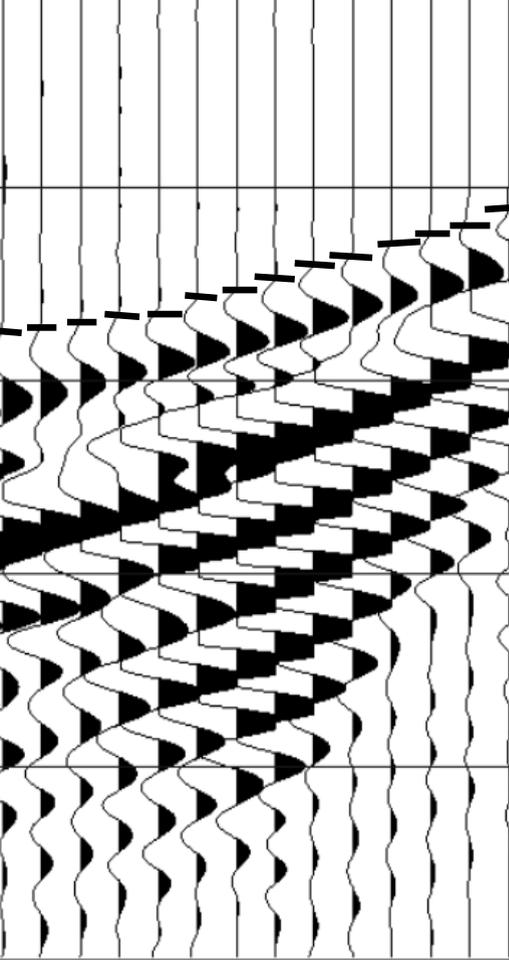


SI 0.125ms RL 0.600s DELAY 0ms LOC 175Ft AF DF (FRQ) STACK 24 READ FROM FILE 509.DAT 11/09/2004 11:59:47.00  
 Channel: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24  
 Gain: 72 70 69 65 64 60 59 58 57 57 59 58 58 58 55 53 53 55 51 54 47 41 43 38  
 0.000



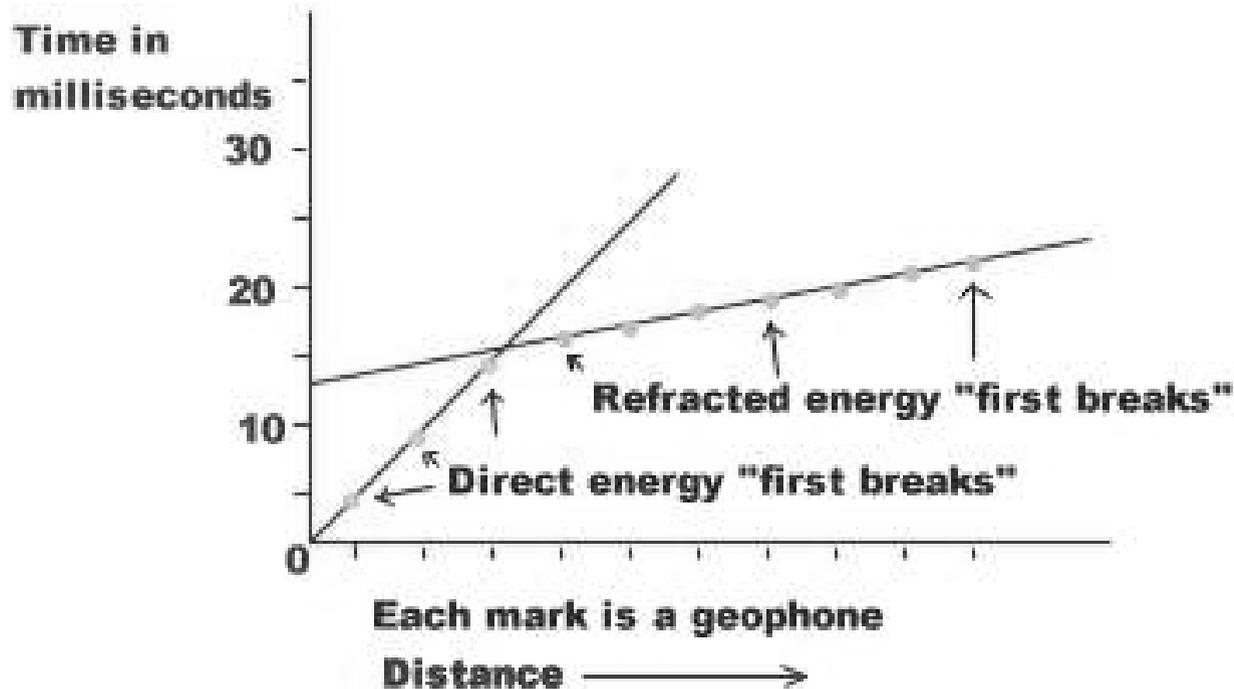
**SCOPPIO E2**

2 – picking dei primi arrivi (onde diretta e rifrattiva)



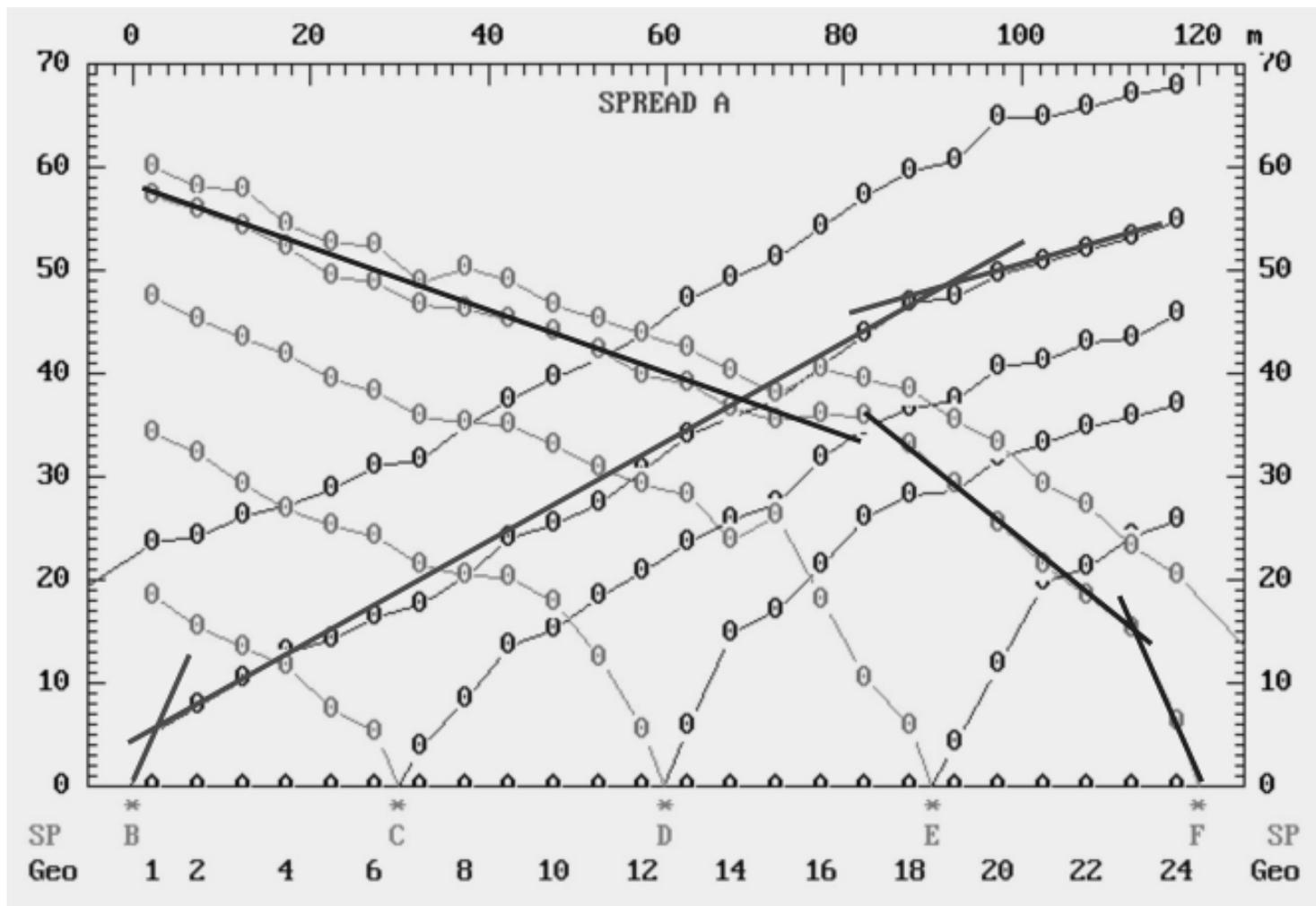
Geofoni	Shot E1 ms	Shot A ms	Shot D1 ms	Shot C ms	Shot D2 ms	Shot B ms	Shot ms
G. n° 1	53.12	5.19	33.18	42.31	52.12	62.31	93.12
G. n° 2	56.18	16.62	34.37	41.06	53.18	61.81	94.12
G. n° 3	59.25	25.37	32.37	40.50	50.68	58.56	91.12
G. n° 4	61.18	29.62	25.31	37.56	49.31	55.62	88.12
G. n° 5	60.68	32.43	16.87	35.12	45.75	53.31	85.12
G. n° 6	61.50	33.00	4.63	33.00	44.56	52.43	82.12
G. n° 7	63.31	35.12	4.56	30.68	42.31	51.31	80.12
G. n° 8	66.62	36.93	16.93	31.93	40.93	50.50	80.12
G. n° 9	67.68	38.93	25.62	28.62	39.31	48.18	78.12
G. n° 10	68.00	40.93	27.62	25.50	35.43	45.06	75.12
G. n° 11	68.50	41.93	29.12	19.37	33.06	42.06	72.12
G. n° 12	71.00	44.00	31.56	3.13	35.00	42.12	73.12
G. n° 13	71.50	45.37	32.68	3.25	32.31	40.00	70.12
G. n° 14	73.56	47.50	35.00	18.31	29.93	39.31	68.12
G. n° 15	77.50	50.56	36.00	26.31	28.87	38.56	68.12
G. n° 16	80.18	53.56	39.62	30.37	22.12	36.43	67.12
G. n° 17	80.81	54.18	42.81	33.06	15.50	33.56	63.12
G. n° 18	81.75	57.06	43.56	34.06	6.50	31.00	60.12
G. n° 19	83.12	58.56	45.81	35.00	6.13	28.81	59.12
G. n° 20	86.31	60.25	48.87	37.93	16.25	26.56	57.12
G. n° 21	85.43	60.50	46.43	36.62	23.87	22.56	53.12
G. n° 22	87.93	64.25	46.37	39.12	27.18	22.00	52.12
G. n° 23	89.43	64.87	49.25	41.25	29.62	18.18	50.12

### 3 - plottaggio tempi misurati per ogni scoppio e costruzione delle dromocrone



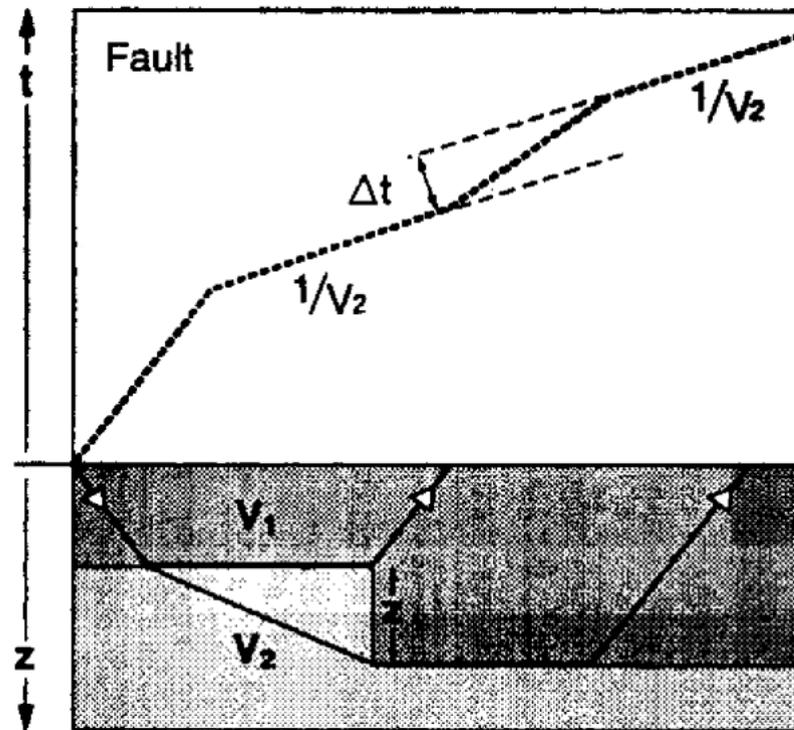
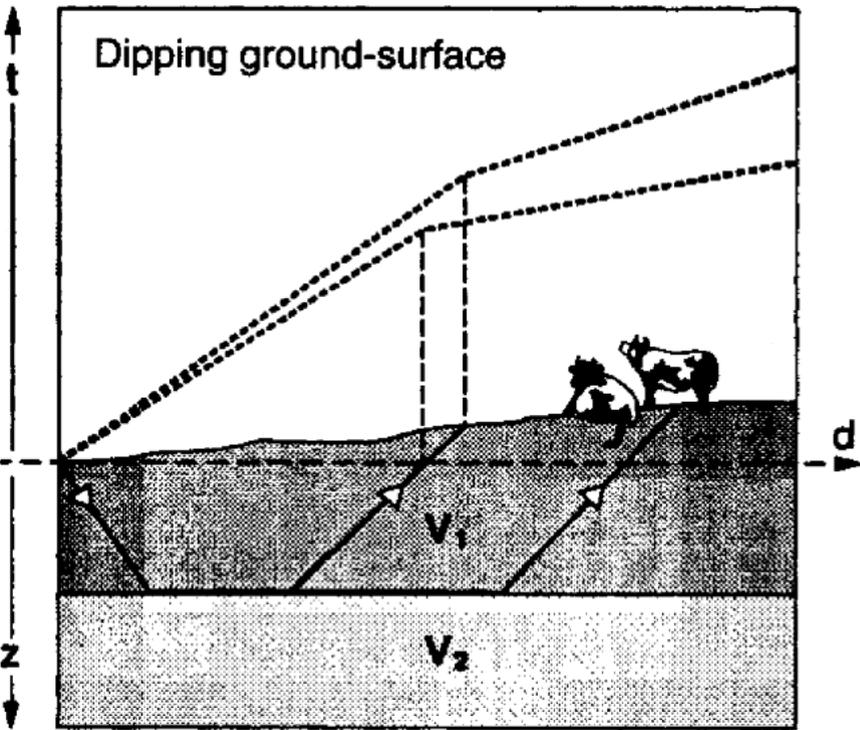
determinazione di una serie di segmenti di retta che passano "al meglio" attraverso i punti associati ai primi arrivi ottenuti sperimentalmente

**unica informazione rilevante nel processo d'inversione**



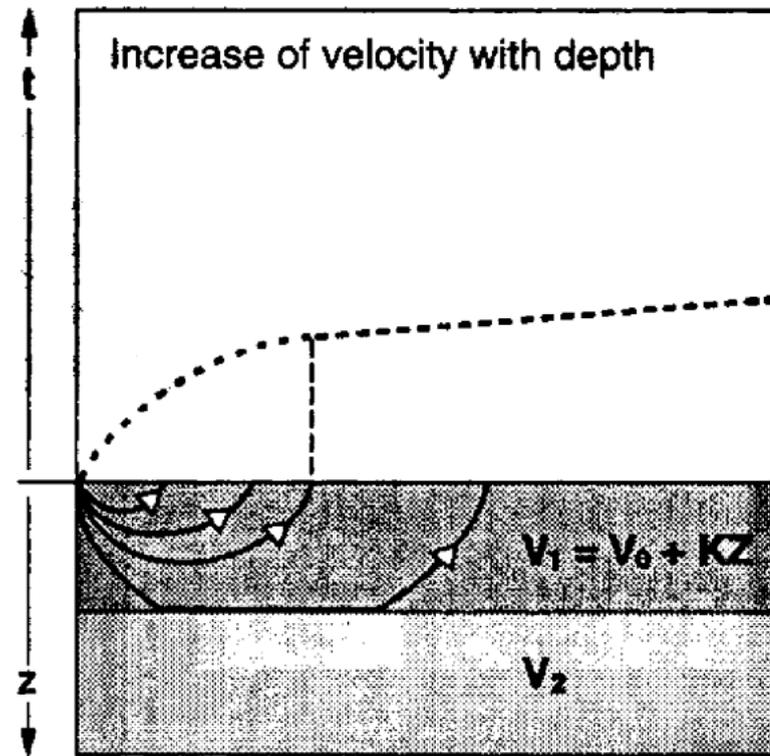
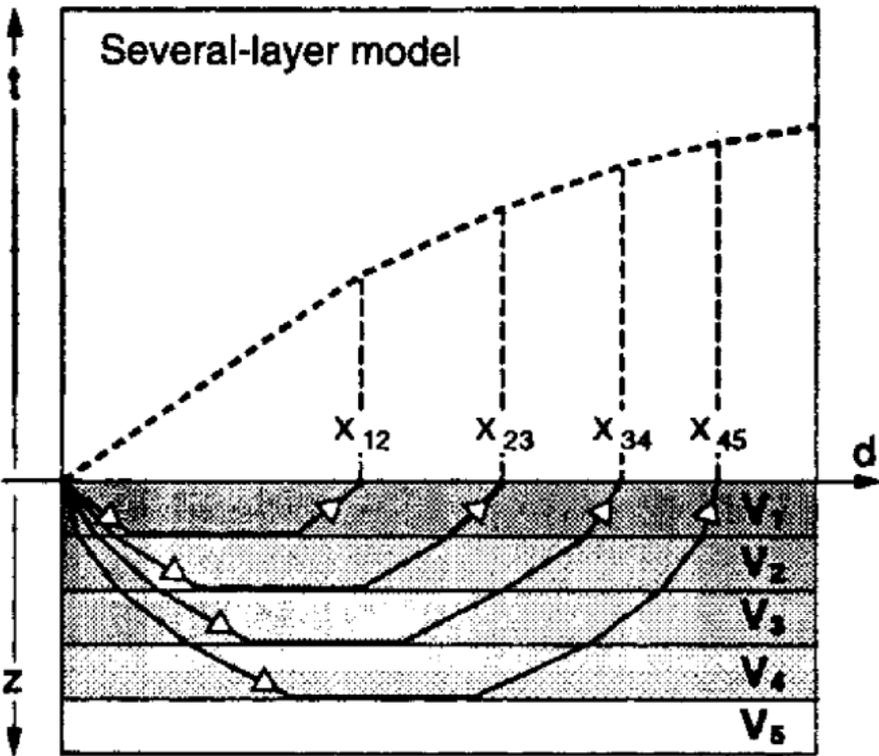
# Modelli geologici e curve associate

## Modelli geologici e curve associate



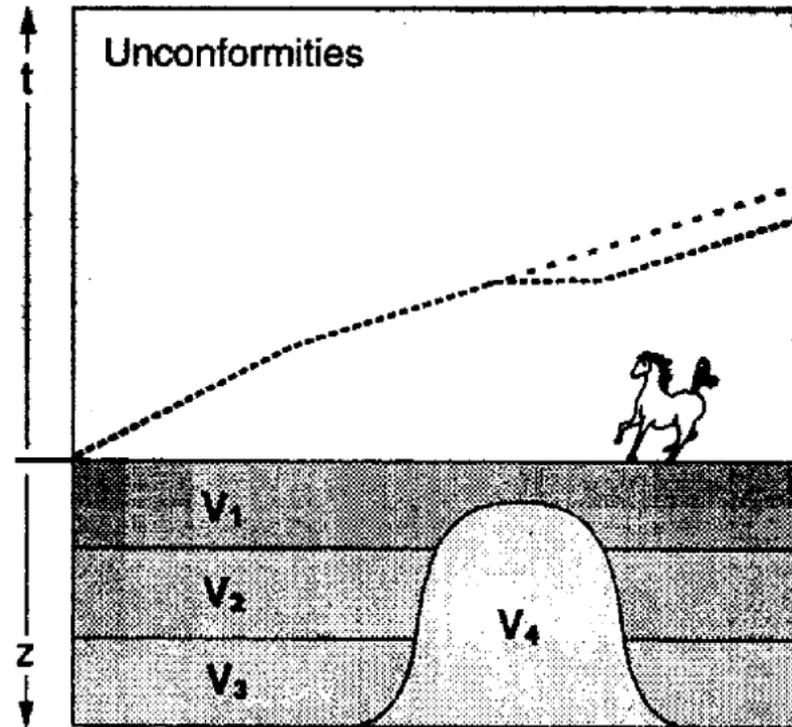
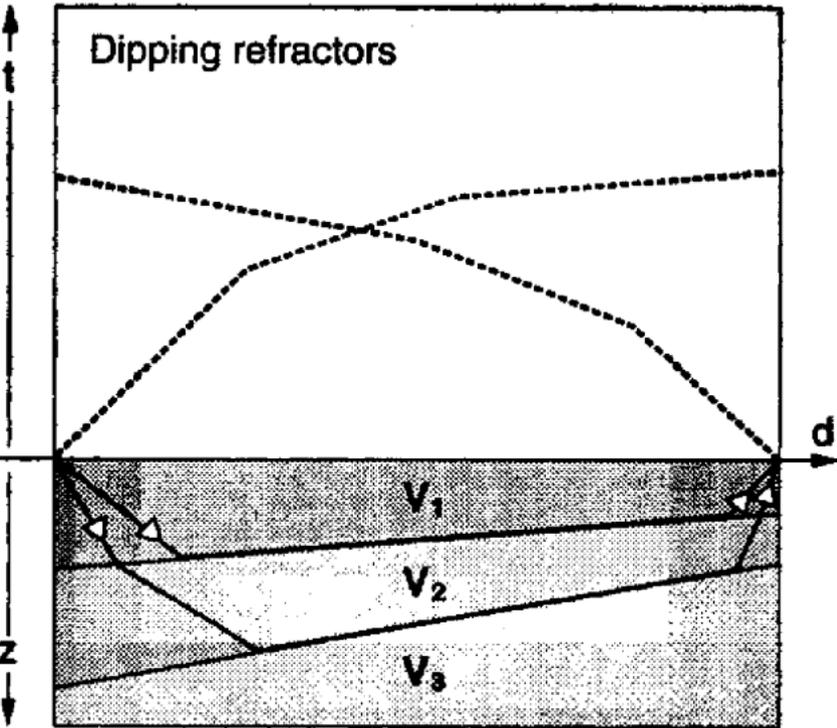
# Modelli geologici e curve associate

## Modelli geologici e curve associate



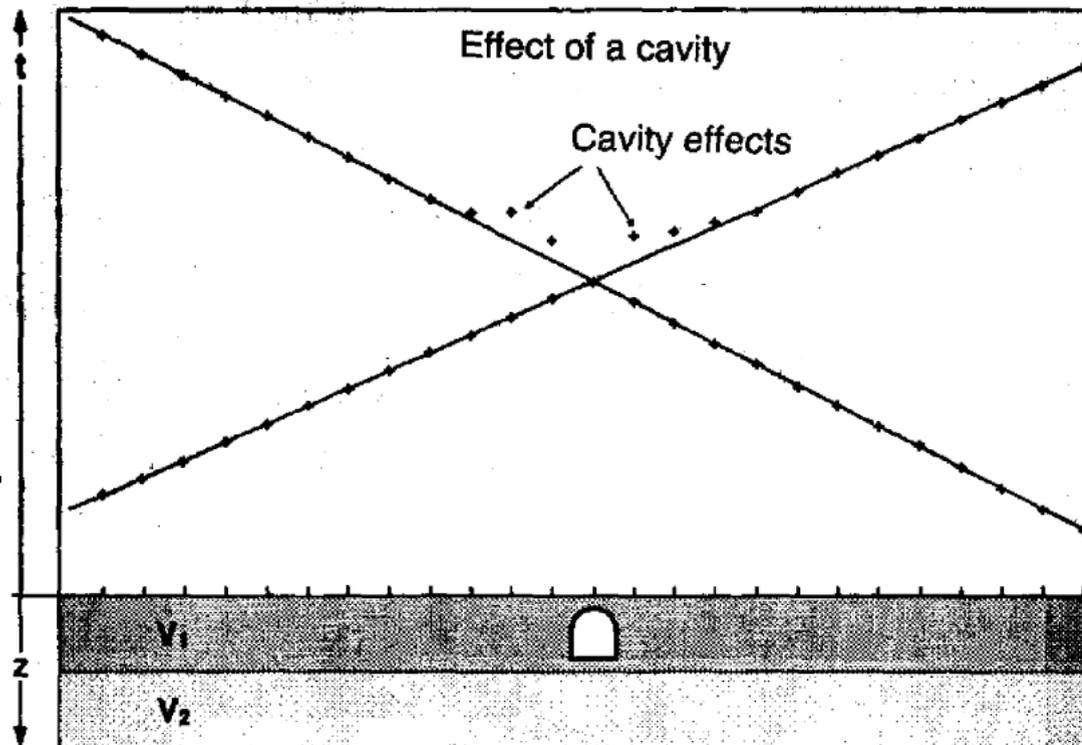
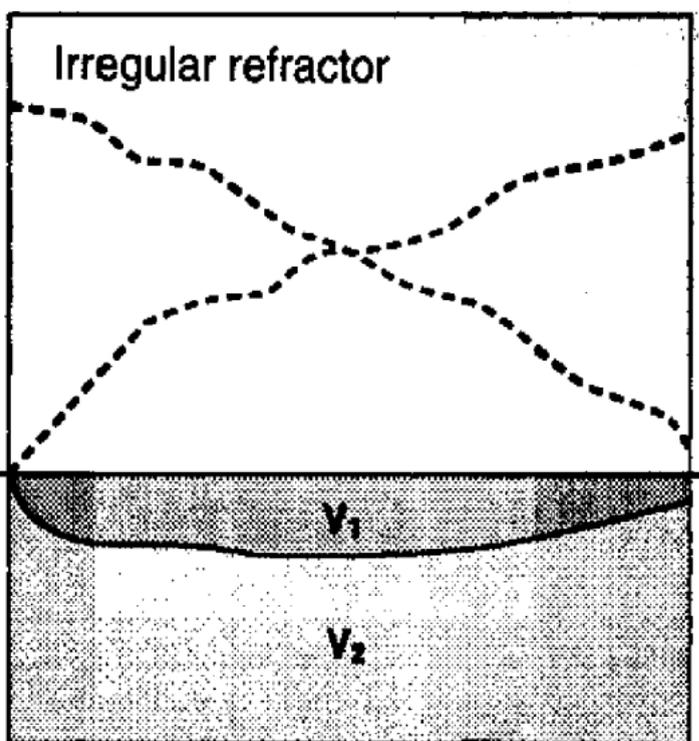
# Modelli geologici e curve associate

## Modelli geologici e curve associate



# Modelli geologici e curve associate

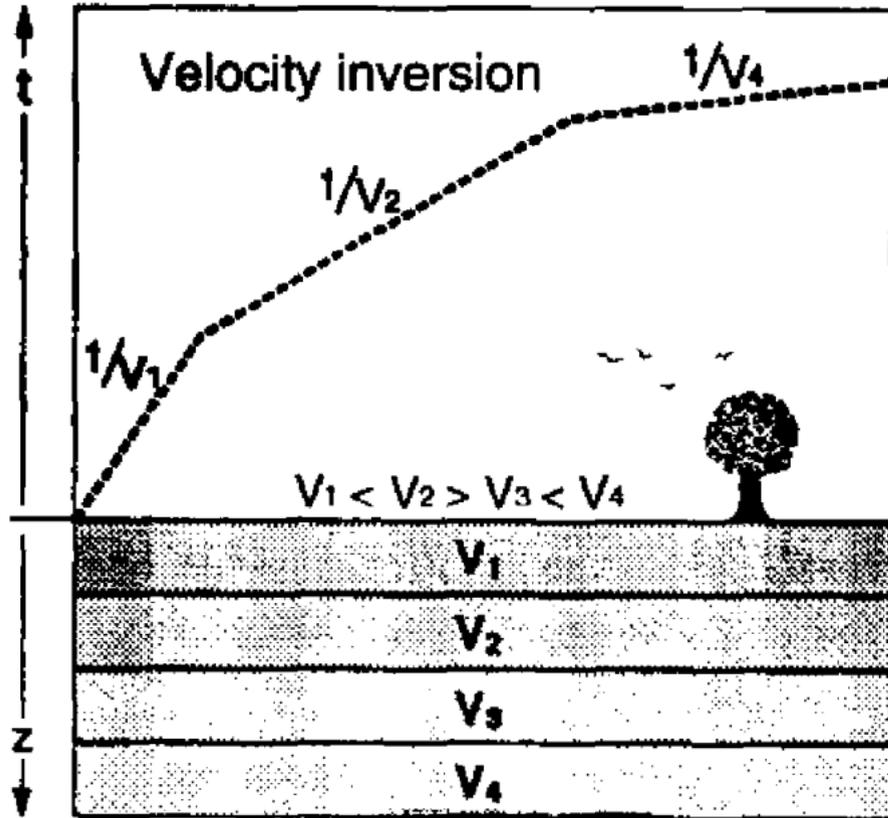
## Modelli geologici e curve associate



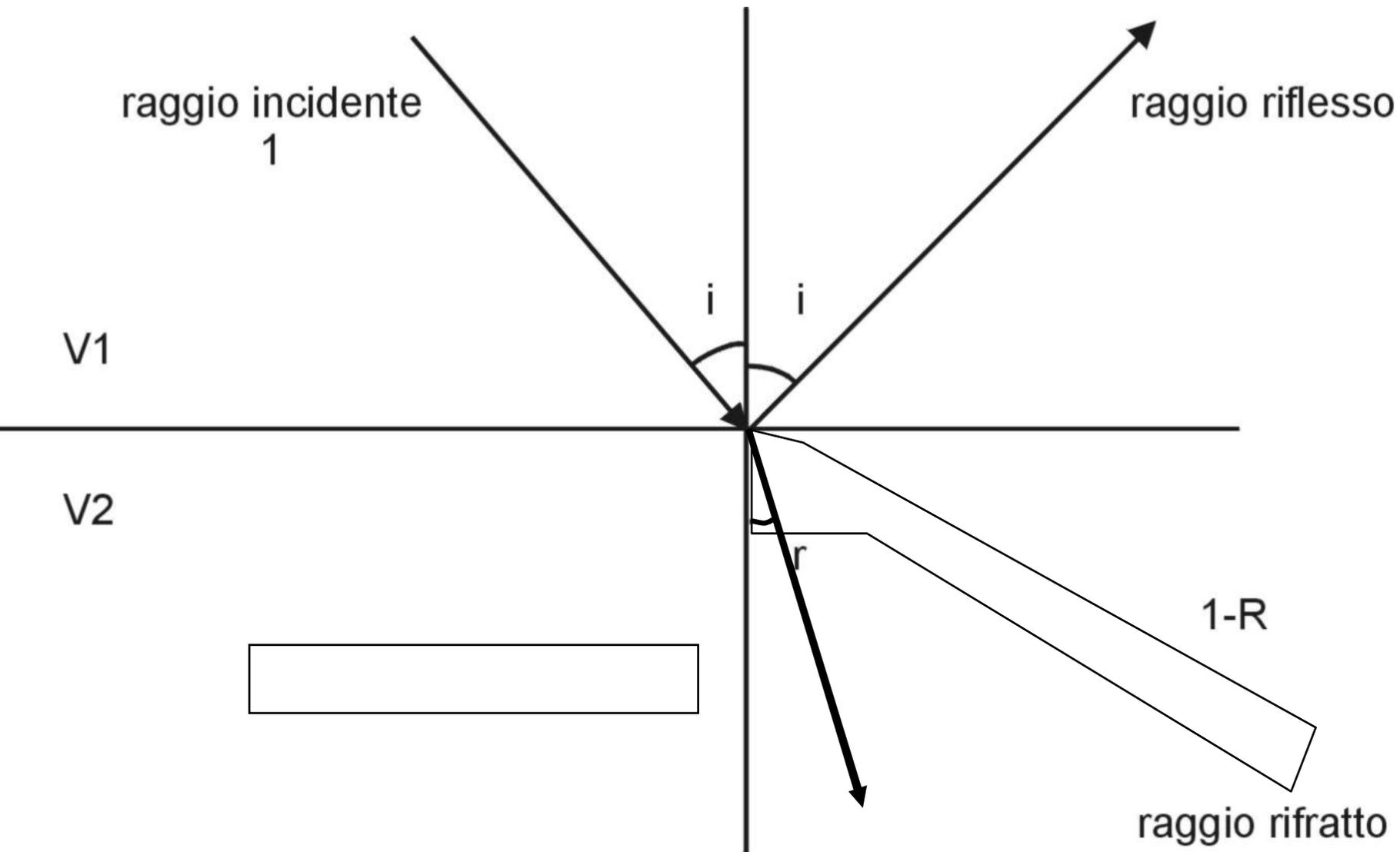
# Modelli geologici e curve associate

## Limiti della metodologia

$$V_1 < V_2 > V_3 < V_4$$



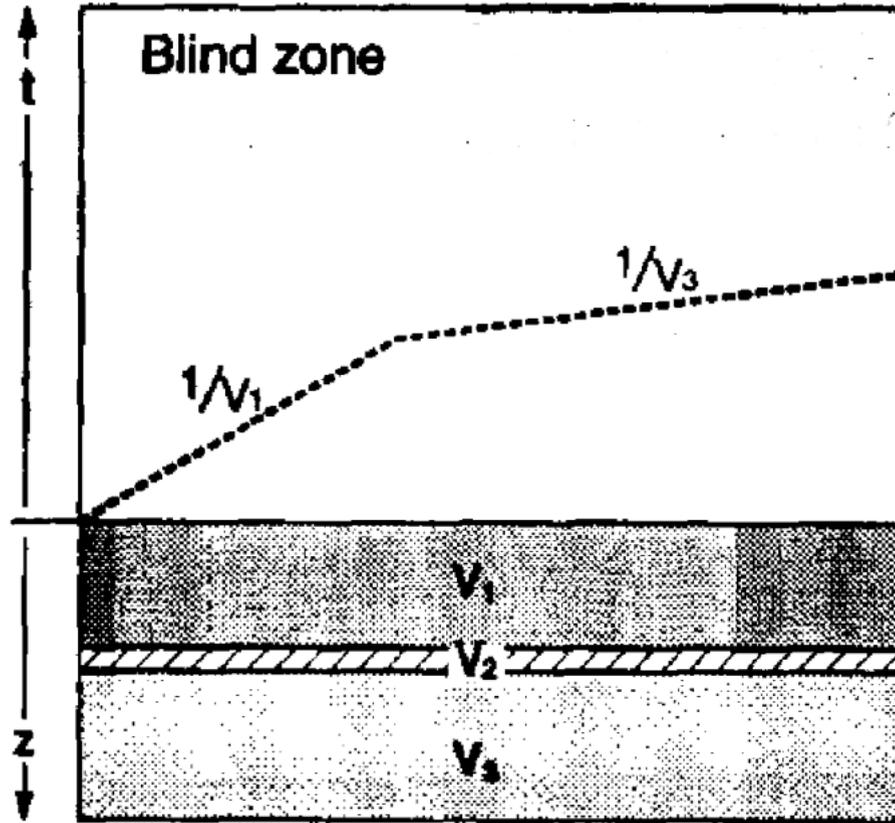
te le limitazioni della metodologia, nella maggior parte dei contesti si ha un errore del **20-30%** nel calcolo di profondità



# Limiti della metodologia

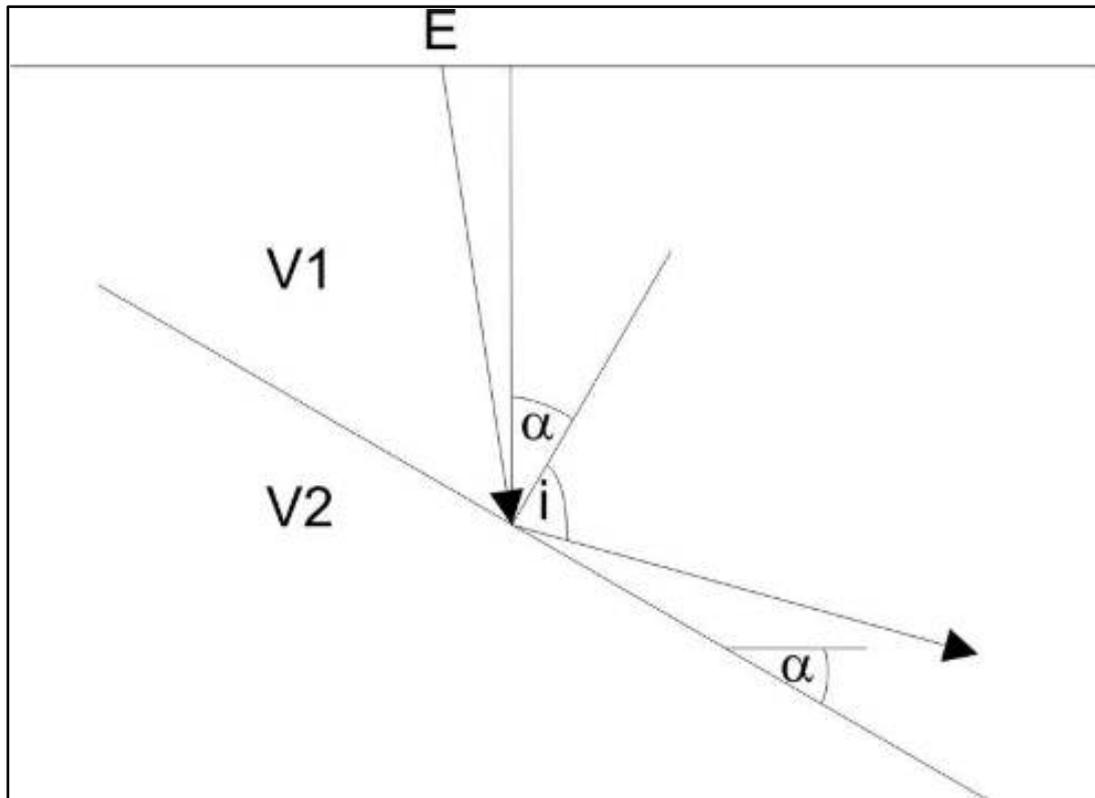
$$V_1 < V_2 < V_3$$

$$h_2 / h_1 \leq 0.3$$



## Strato “troppo inclinato”

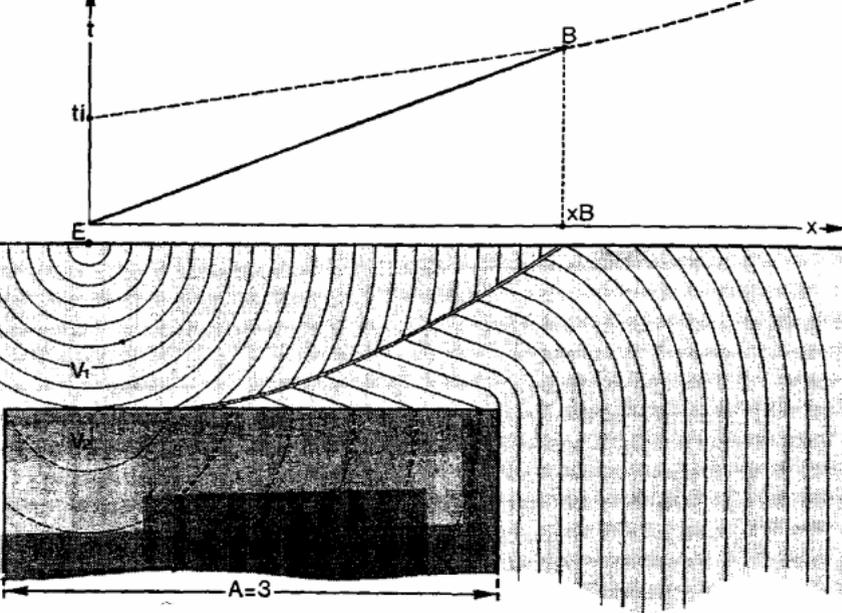
Se  $i + \alpha > 90^\circ$ , il raggio rifratto non emerge in superficie



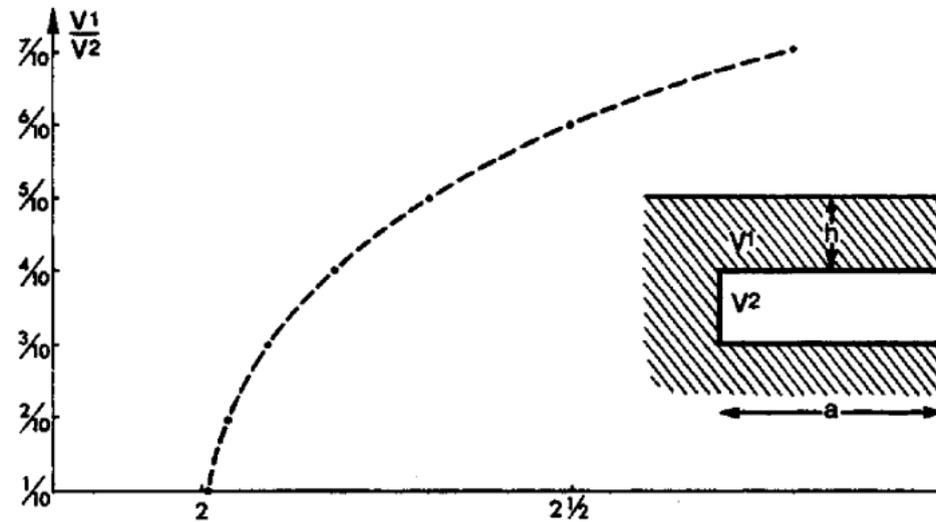
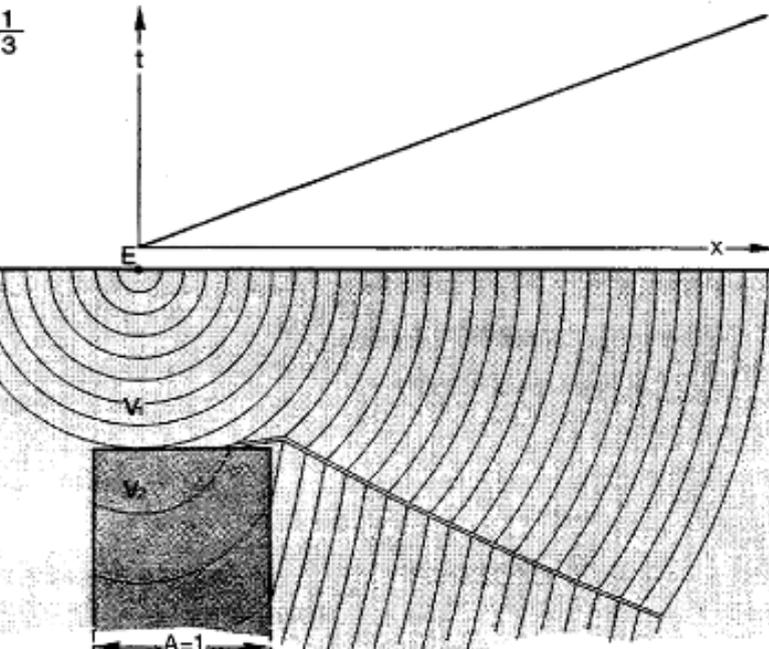
# Strato non continuo

L'offset adeguato è funzione:

1. della profondità dell'obiettivo;
2. della lunghezza dell'obiettivo;
3. della variazione di velocità.

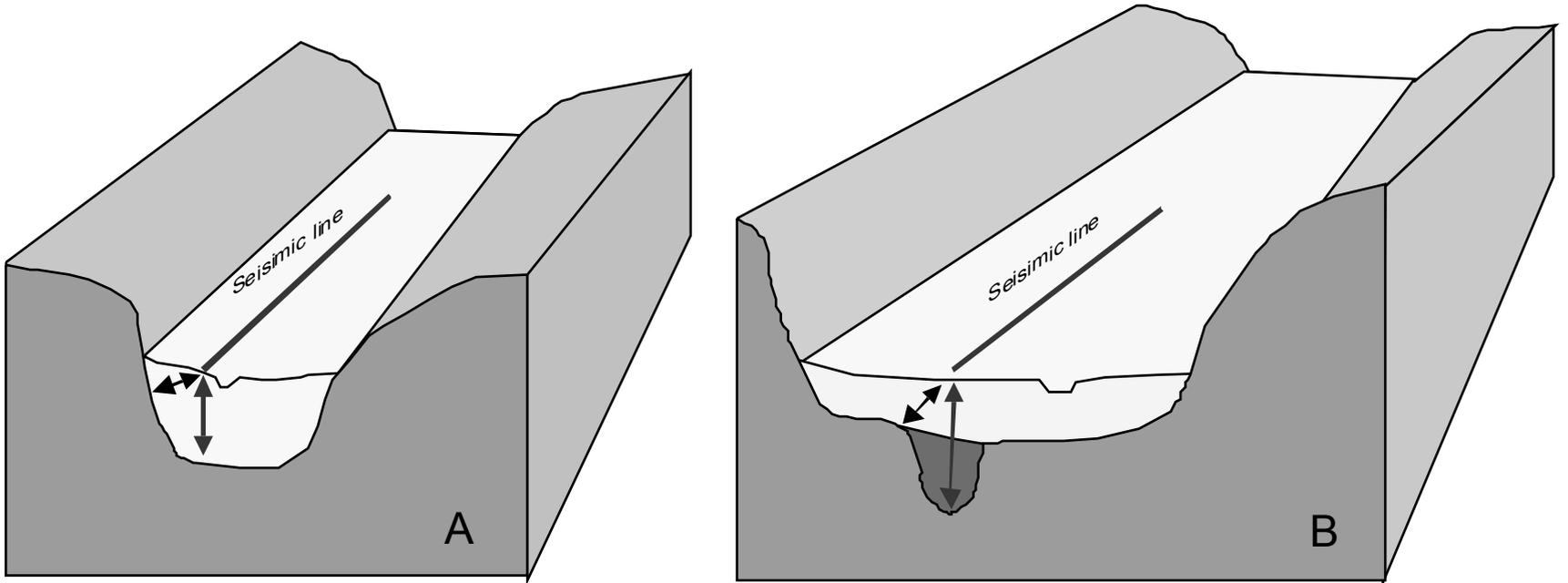


Refraction of seismic waves and time-distance curve for the case  $A = h$

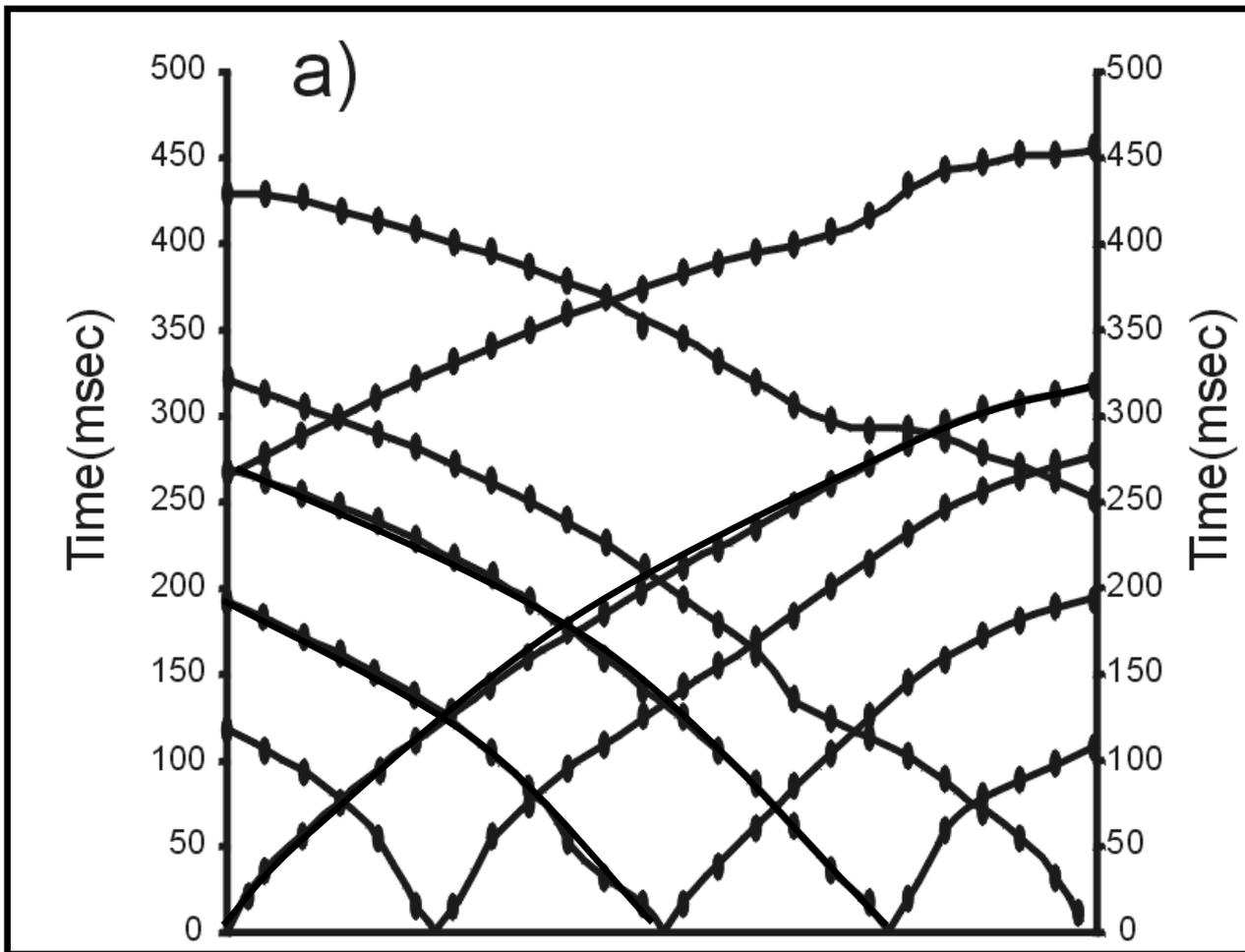


Minima lunghezza di un corpo identificabile con la sismica a rifrazione

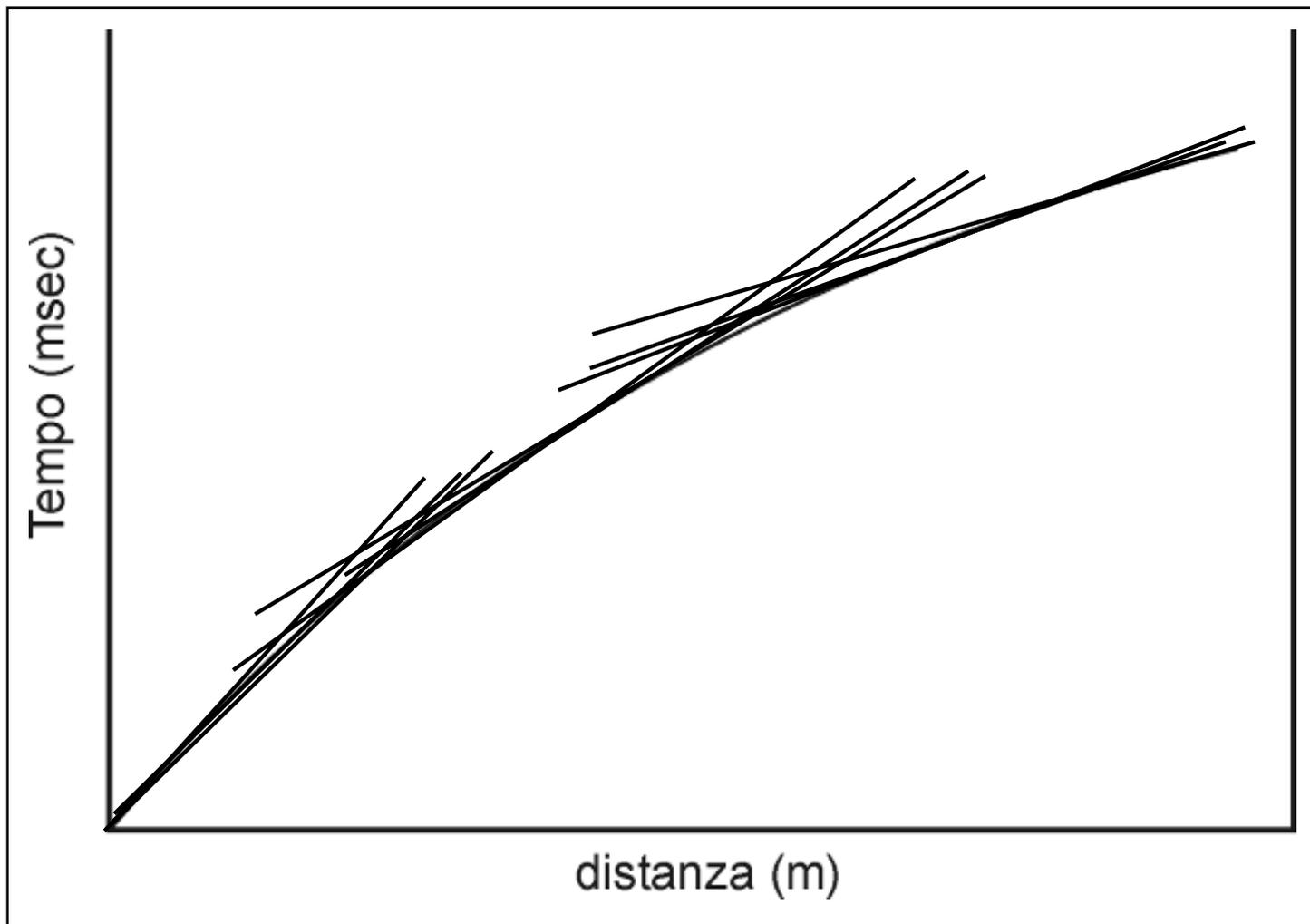
# Contesti geologici sfavorevoli



I percorsi rossi sono nascosti da quelli neri



Dromocrone curvilinee relative ad una prospezione sismica a rifrazione in onde SH

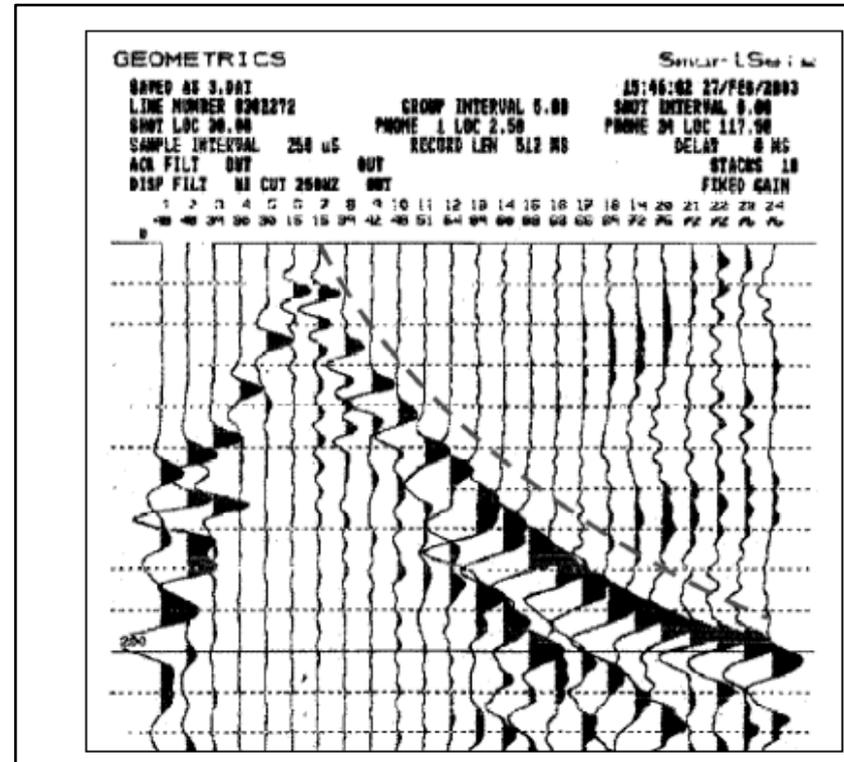


Ambiguità interpretativa nel caso di dromocrone curvilinee

# INTERPRETAZIONE DI PROSPEZIONI SISMICHE A RIFRAZIONE IN TECNICA TOMOGRAFICA

Le caratteristiche di acquisizione di campagna rimarranno invariate rispetto alle configurazioni geometriche previste secondo l'approccio classico;

Dovrà essere utilizzato come input di prima iterazione il modello desunto dall'interpretazione sismostratigrafica classica (sia in termini di geometrie che di distribuzione delle velocità sismiche nel sottosuolo).



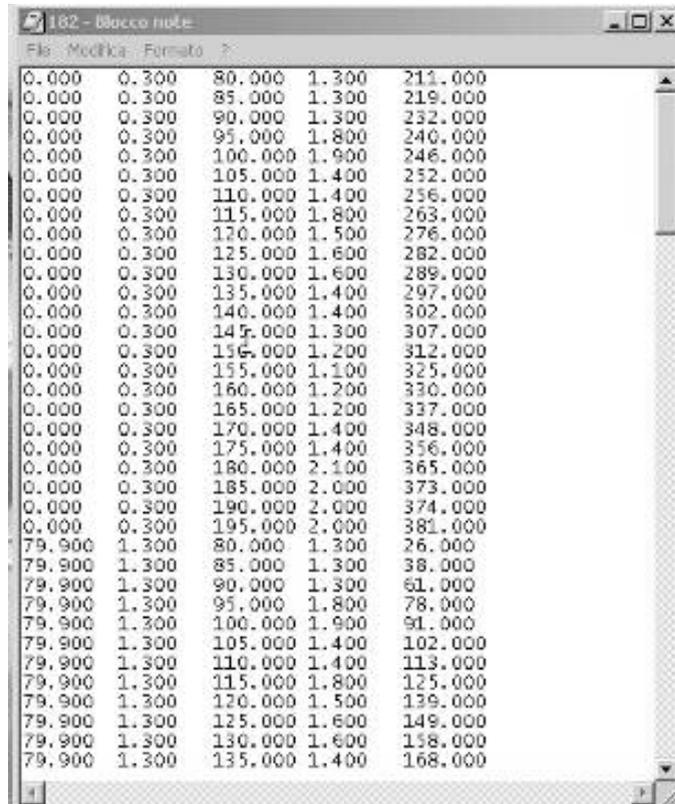
**Esempio di sismogramma caratterizzato da andamento curvilineo dei segnali**

# PROCEDURA D'INTERPRETAZIONE

La tecnica tomografica permette la ricostruzione della distribuzione di una delle caratteristiche elastiche (velocità di propagazione nei mezzi), mediante l'analisi delle onde che hanno attraversato una determinata porzione di sottosuolo, attraverso le seguenti operazioni:

1. immissione dei parametri di input (geometria del sistema energizzante e ricevente, tempi di registrazione dei primi arrivi rifratti, modello iniziale di distribuzione di velocità);
2. risoluzione del problema diretto che consiste nel calcolo dei primi arrivi in termini di tempi e di relative traiettorie dei raggi sismici, utilizzando come base il modello di input; i tempi di viaggio residui (differenze tra tempi osservati e calcolati) vengono utilizzati come parametri di input per la fase successiva;
3. risoluzione del problema inverso che consiste nella ricerca delle perturbazioni e per via iterativa riduzione al minimo dei tempi di viaggio residui.

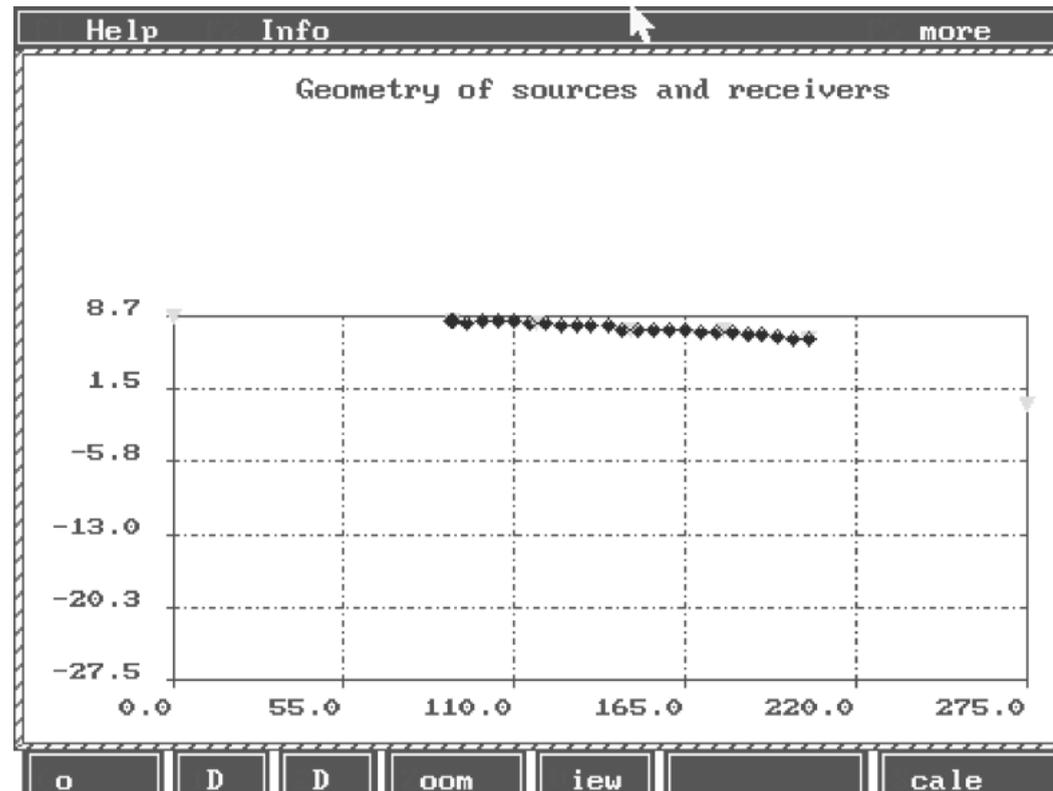
## Esempio di file di input per l'interpretazione tomografica



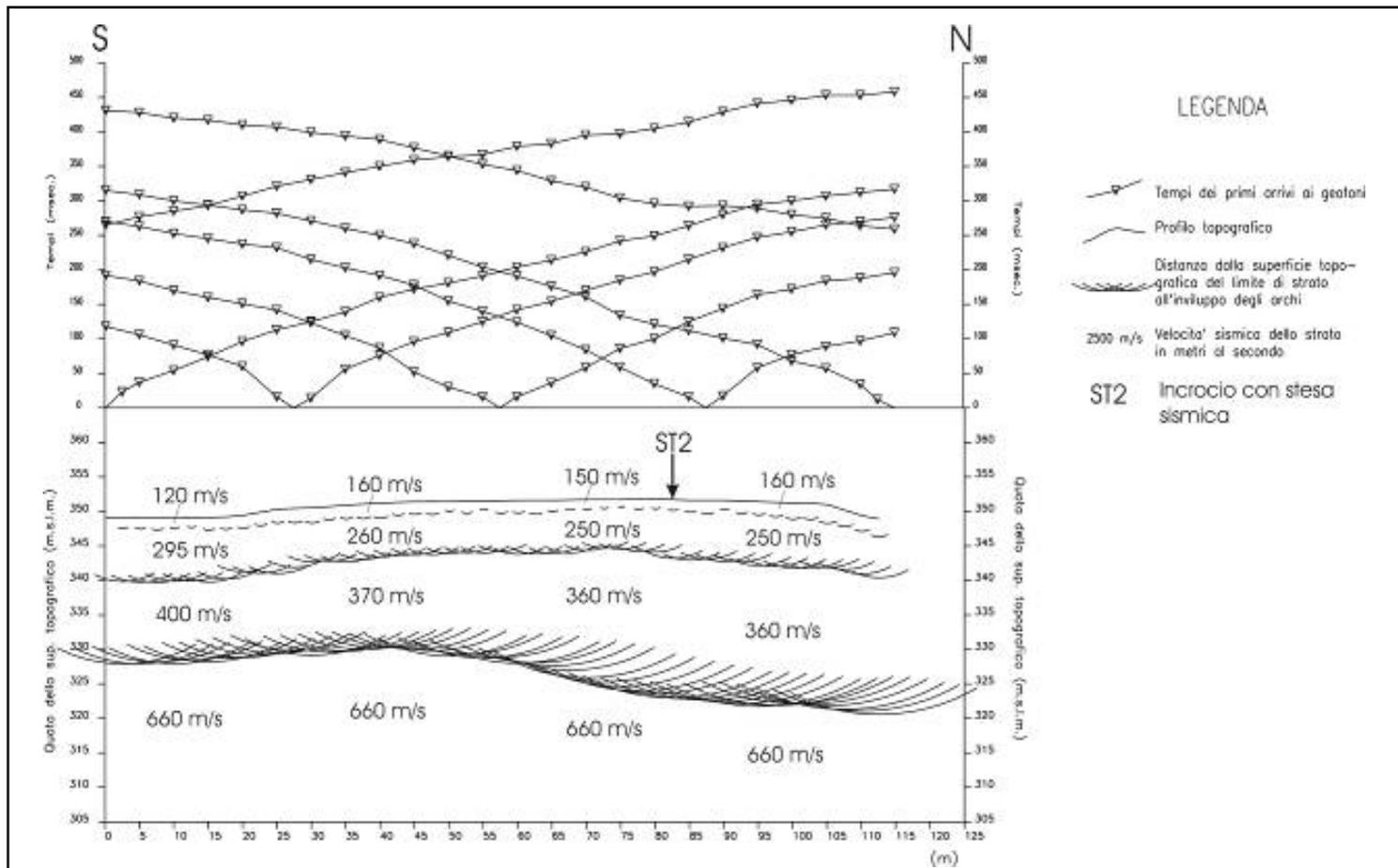
182 - Blocco note

File Modifica Formato ?

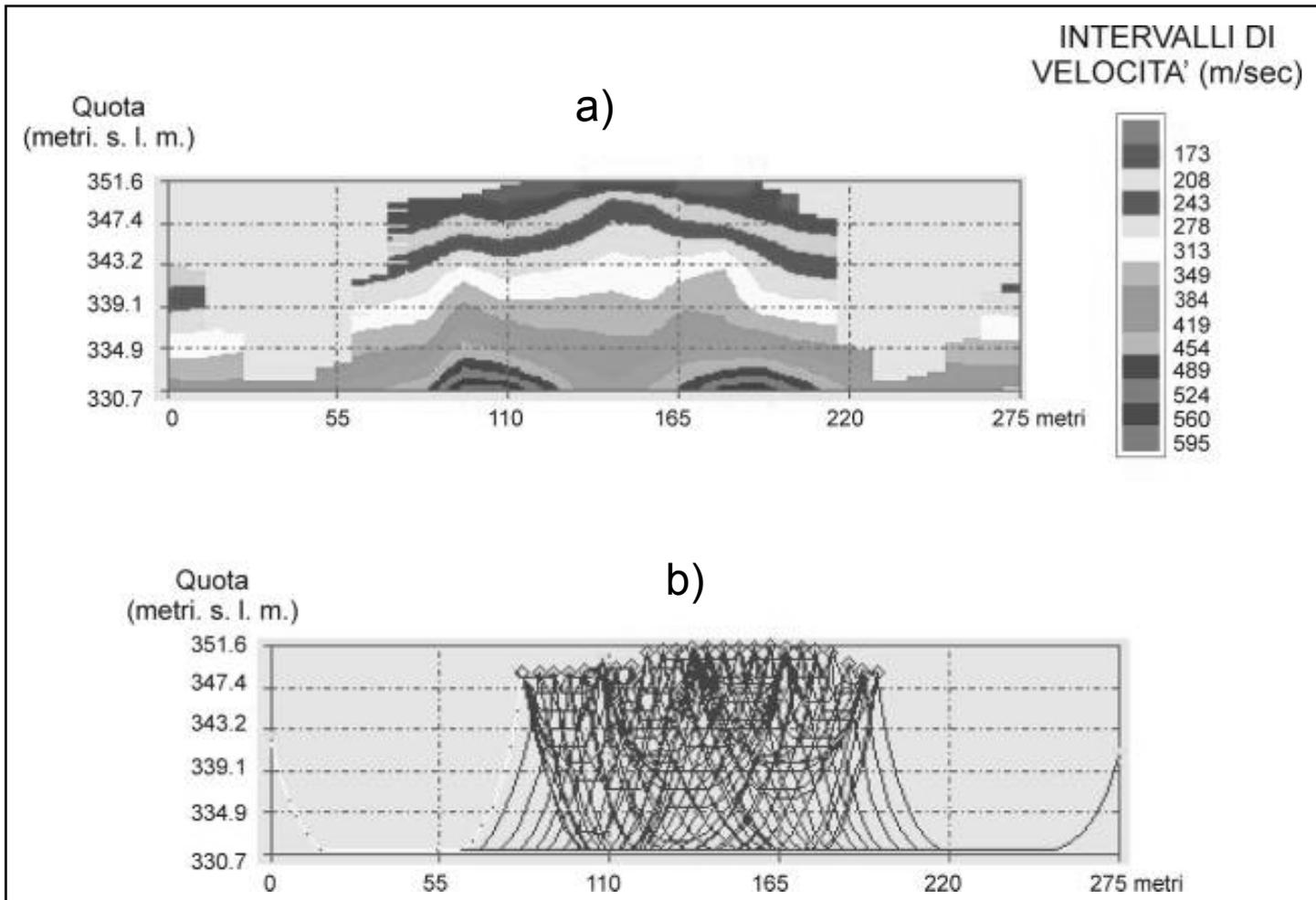
0.000	0.300	80.000	1.300	211.000
0.000	0.300	85.000	1.300	219.000
0.000	0.300	90.000	1.300	232.000
0.000	0.300	95.000	1.800	240.000
0.000	0.300	100.000	1.900	246.000
0.000	0.300	105.000	1.400	252.000
0.000	0.300	110.000	1.400	256.000
0.000	0.300	115.000	1.800	263.000
0.000	0.300	120.000	1.500	276.000
0.000	0.300	125.000	1.600	282.000
0.000	0.300	130.000	1.600	289.000
0.000	0.300	135.000	1.400	297.000
0.000	0.300	140.000	1.400	302.000
0.000	0.300	145.000	1.300	307.000
0.000	0.300	150.000	1.200	312.000
0.000	0.300	155.000	1.100	325.000
0.000	0.300	160.000	1.200	330.000
0.000	0.300	165.000	1.200	337.000
0.000	0.300	170.000	1.400	348.000
0.000	0.300	175.000	1.400	356.000
0.000	0.300	180.000	2.100	365.000
0.000	0.300	185.000	2.000	373.000
0.000	0.300	190.000	2.000	374.000
0.000	0.300	195.000	2.000	381.000
79.900	1.300	80.000	1.300	26.000
79.900	1.300	85.000	1.300	38.000
79.900	1.300	90.000	1.300	61.000
79.900	1.300	95.000	1.800	78.000
79.900	1.300	100.000	1.900	91.000
79.900	1.300	105.000	1.400	102.000
79.900	1.300	110.000	1.400	113.000
79.900	1.300	115.000	1.800	125.000
79.900	1.300	120.000	1.500	139.000
79.900	1.300	125.000	1.600	149.000
79.900	1.300	130.000	1.600	158.000
79.900	1.300	135.000	1.400	168.000



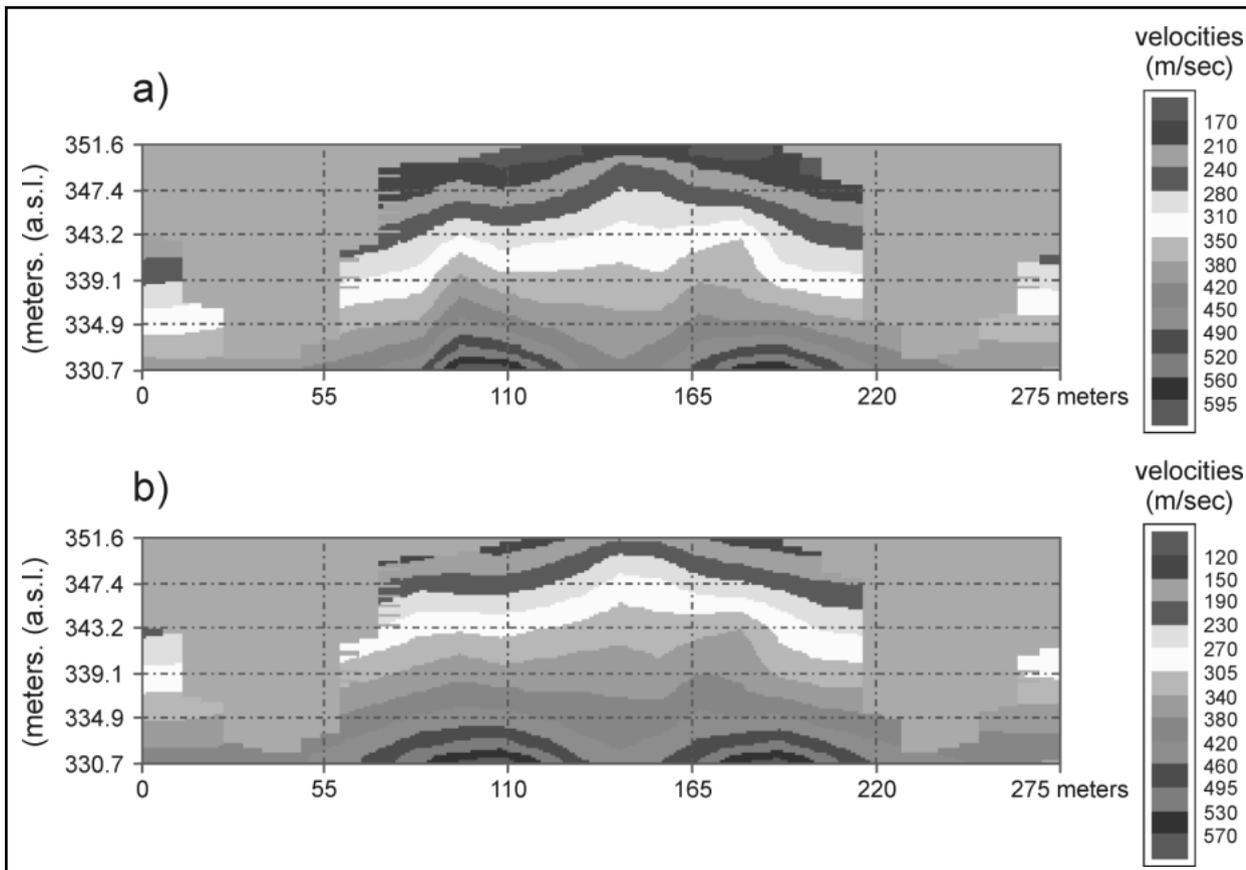
Rappresentazione grafica  
della geometria  
dell'indagine



**Interpretazione classica dell'indagine a rifrazione utilizzata come modello iniziale di distribuzione di velocità**



**Modello sismostratigrafico (a) e relativa distribuzione dei raggi sismici elaborati secondo interpretazione con tecnica tomografica**



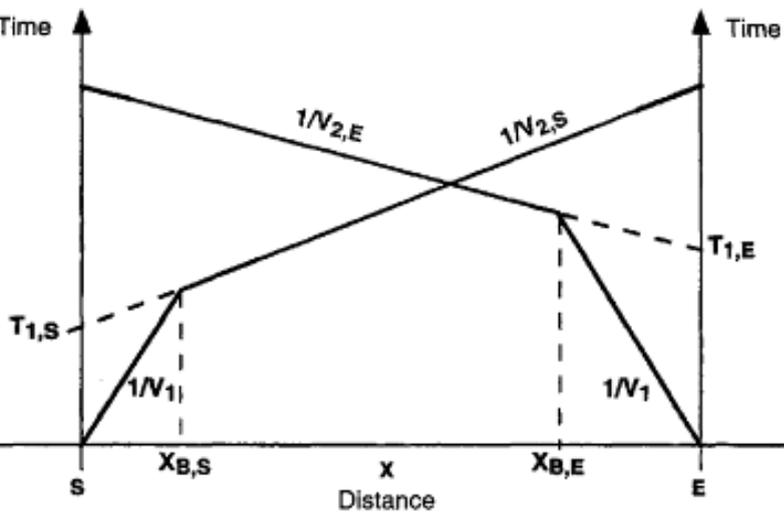
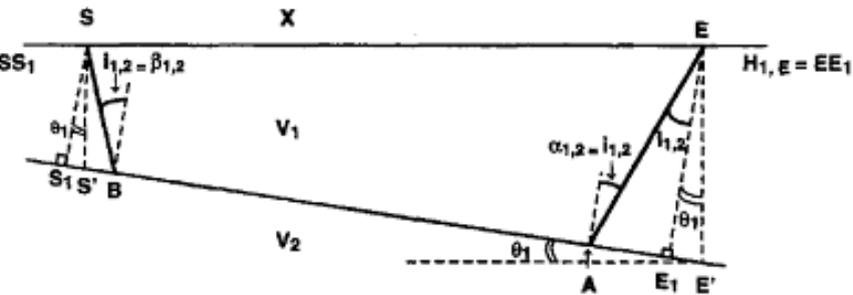
**Interpretazione tomografica della linea SUG1; a) modello a tre strati; modello a quattro strati**

## Metodi d'interpretazione

- Tempo intercetto
- Delay time (Barry K.M., 1967)
- Generalized Reciprocal Method – G.R.M. (Palmer, 1980)

maggiore è la complessità del sito, più semplice dovrebbe essere il metodo di interpretazione

informazioni in base alla copertura (numero di scoppi e distanze geofoni)



Questo metodo presenta due restrizioni:  
 1) la topografia deve essere piatta;  
 2) i rifrattori devono essere piatti.

La seconda restrizione può essere

Avendo a disposizione le curve tempo-distanza in entrambe le direzioni è possibile ottenere col metodo del tempo intercettato la velocità reale, l'inclinazione e lo spessore di ciascuno strato.

I parametri da misurare una volta ottenute le cronogrammi dal picking dei primi arrivi sono:

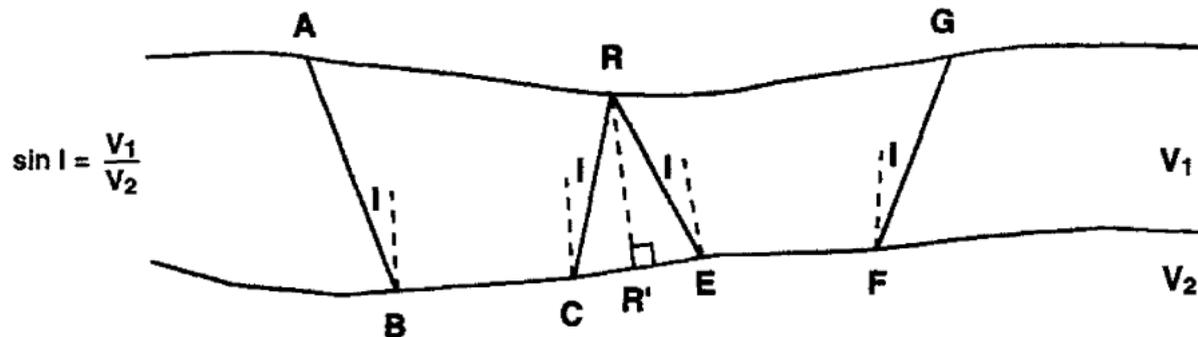
- la **velocità (reale)** dell'onda diretta e le **velocità apparenti** dell'onda rifratta per lo scoppio diretto e inverso per ogni rifrattore; l'onda diretta dà la velocità del primo strato e le onde rifratte danno le velocità apparenti degli altri strati che dipendono dalla velocità reale, sia dalla geometria;

- i **tempi intercetti** dai quali si calcolano i spessori dei vari strati.

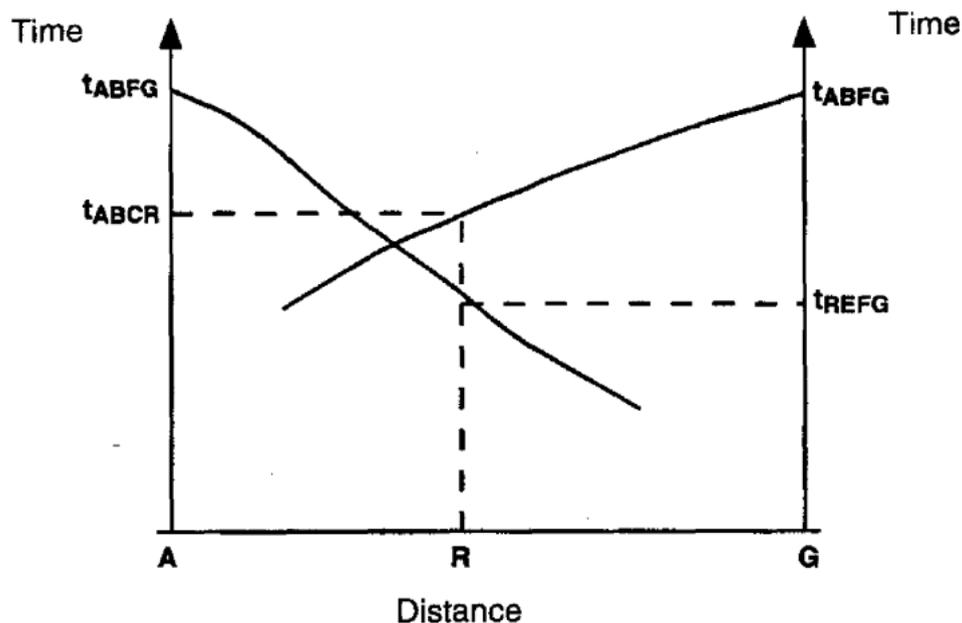
# Metodo delay time

Barry K.M., (1967)

$$t = x / V_2 + 2 H \cos i_c / V_1$$



la quantità  $D_R = H \cos i_c / V_1$  è chiamato **delay time** e rappresenta la metà del tempo intercetto, cioè la metà del tempo in cui l'onda rifratta ha un percorso sub-verticale



$D_R$  è misurato in superficie in ogni punto R sulle curve tempo-distanza

$$D_R = \frac{1}{2} \left( \frac{CR}{V_1} - \frac{CR'}{V_2} + \frac{ER}{V_1} - \frac{ER'}{V_2} \right) = \frac{RR'}{V_1} \cos i = \frac{Z \cos i}{V_1}$$

$$D_R = \frac{1}{2} (t_{ABCR} + t_{REFG} - t_{ABFG}) = \frac{1}{2} t^+$$

# Method delay time (Plus-Minus)

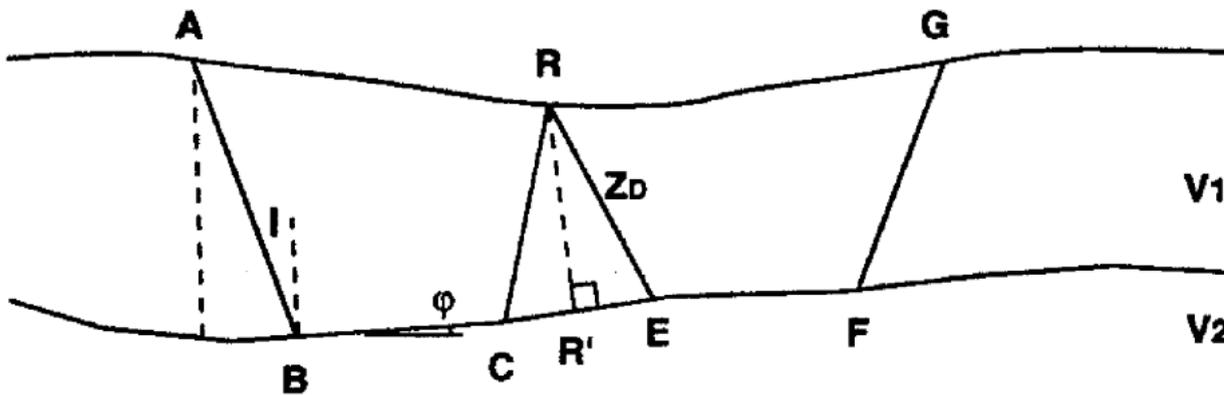
calcolano due curve relative ad ogni punto R:

la curva  $t$  dà la velocità del rifrattore

la curva  $t^+$  dà la profondità del rifrattore in metri.

limitazioni:

interpolazione tra i punti C ed E



$$t^+ = t_{ABCR} + t_{REFG} - t_{ABFG}$$

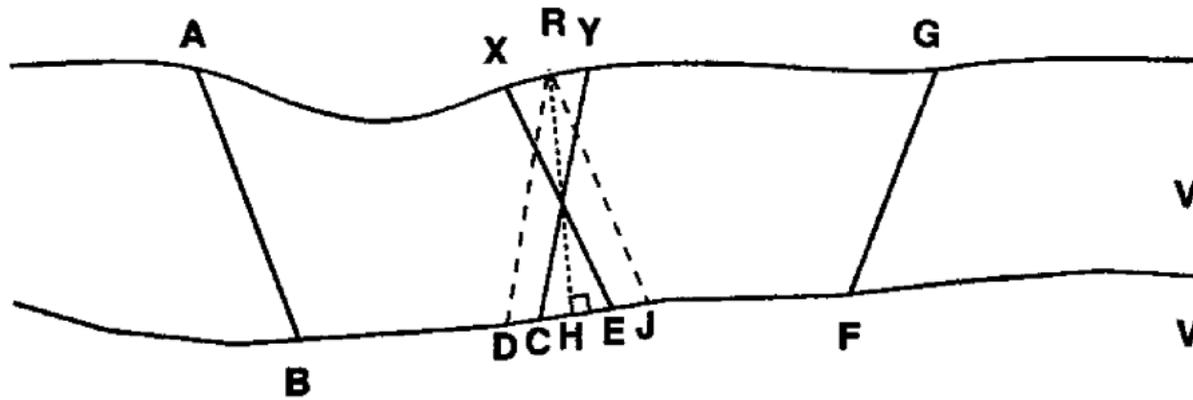
$$t^+ = t_{CR} + t_{RE} - t_{CE}$$

$$t^+ = 2 D_R$$

$$t^- = t_{ABCR} - t_{REFG} + t_{ABFG}$$

il rifrattore piatto è un'assunzione locale, dato che si considera tale solo sulla verticale di R, R' e non è raggiunto dagli arrivi rifratti. Quando il marker è orizzontale, gli arrivi rifratti registrati da R si originano da C ed E traslati da una distanza chiamata half-offset =  $h \tan i$

Per calcolare il delay time relativo alle rifrazioni che originano tra D e J, si considerano gli arrivi tratti registrati dai geofonometri X e Y situati in entrambi i lati del punto R



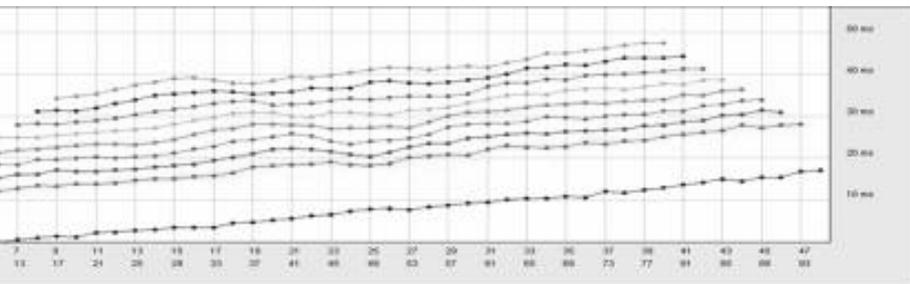
Assumption : R is the midpoint of XY  
 $DJ = CE + XY$

Miglioramento del delay time che consiste nel calcolare le curve  $t^+$  e  $t^-$  in funzione della distanza XY

$$t^-(R) = t_{ABCY} - t_{XEFG} + t_{ABFG}$$

$$t^+(R) = t_{ABCY} + t_{XEFG} - t_{ABFG} - \frac{XY}{V_2}$$

$$t^+(R) = 2(t_{DR} - t_{DC} - t_{CH}) = 2D_R$$



Il valore ottimale di XY è la distanza per la quale:

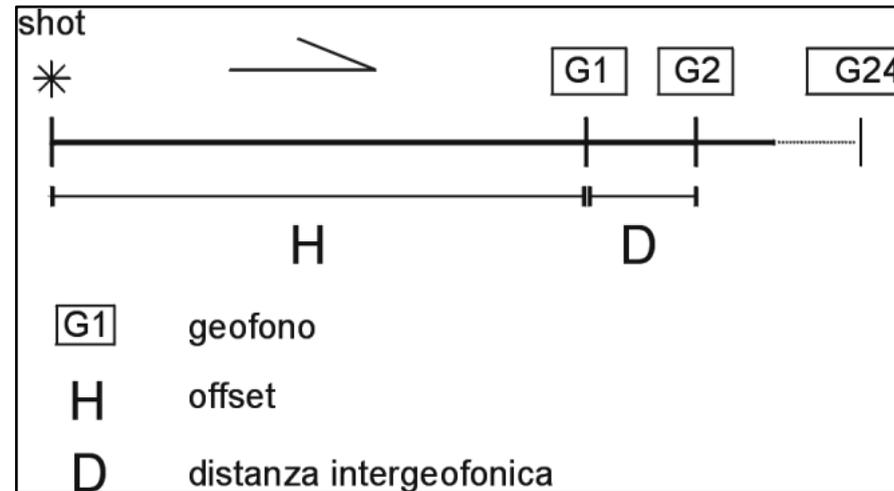
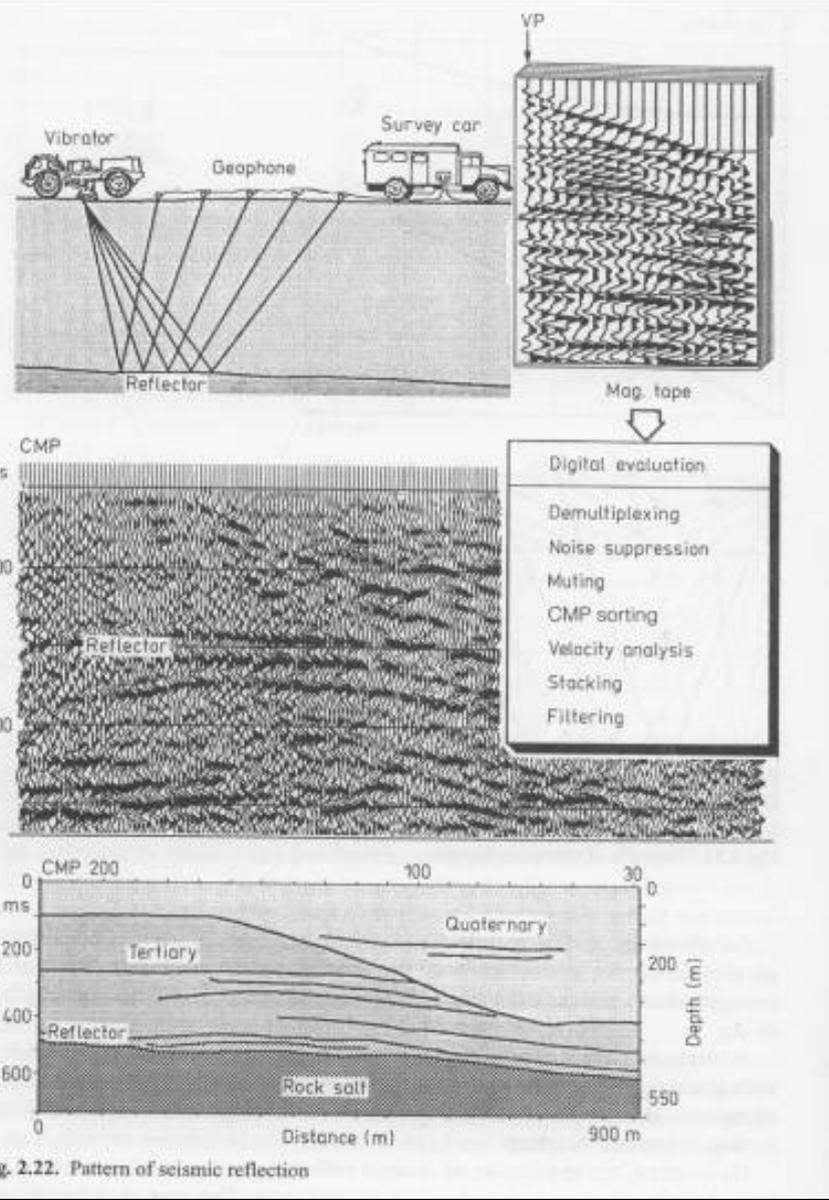
- ✓ la curva  $t^-$  dà il profilo di velocità più liscio
- ✓ la curva  $t^+$  dà un profilo di profondità (tempi) meno liscio.

# SISMICA A RIFLESSIONE

A differenza della metodologia sismica a rifrazione, nella prospezione sismica a riflessione si utilizza tutta la registrazione e per quanto attiene la metodologia "multicanale", l'elemento caratterizzante è rappresentato, in sintesi, dalla correzione e somma di tutte le tracce che convergono in un unico punto (CDP).

Mediante un opportuno processing vengono raccolte varie tracce dei sismogrammi che convergono sul medesimo CDP (famiglia). Quindi viene individuata la velocità di propagazione dei singoli livelli riflettori e si applica così una correzione temporale alle tracce di ogni singola famiglia (correzione di move-out) in modo da poterle poi sommare aumentando il rapporto segnale - rumore (stacking e creando una sezione stack) in cui visualmente è possibile riconoscere i singoli riflettori.

# Geometria di acquisizione



Schema semplificato di esecuzione di una prospezione sismica a riflessione secondo una geometria di tipo **off-end push increase**

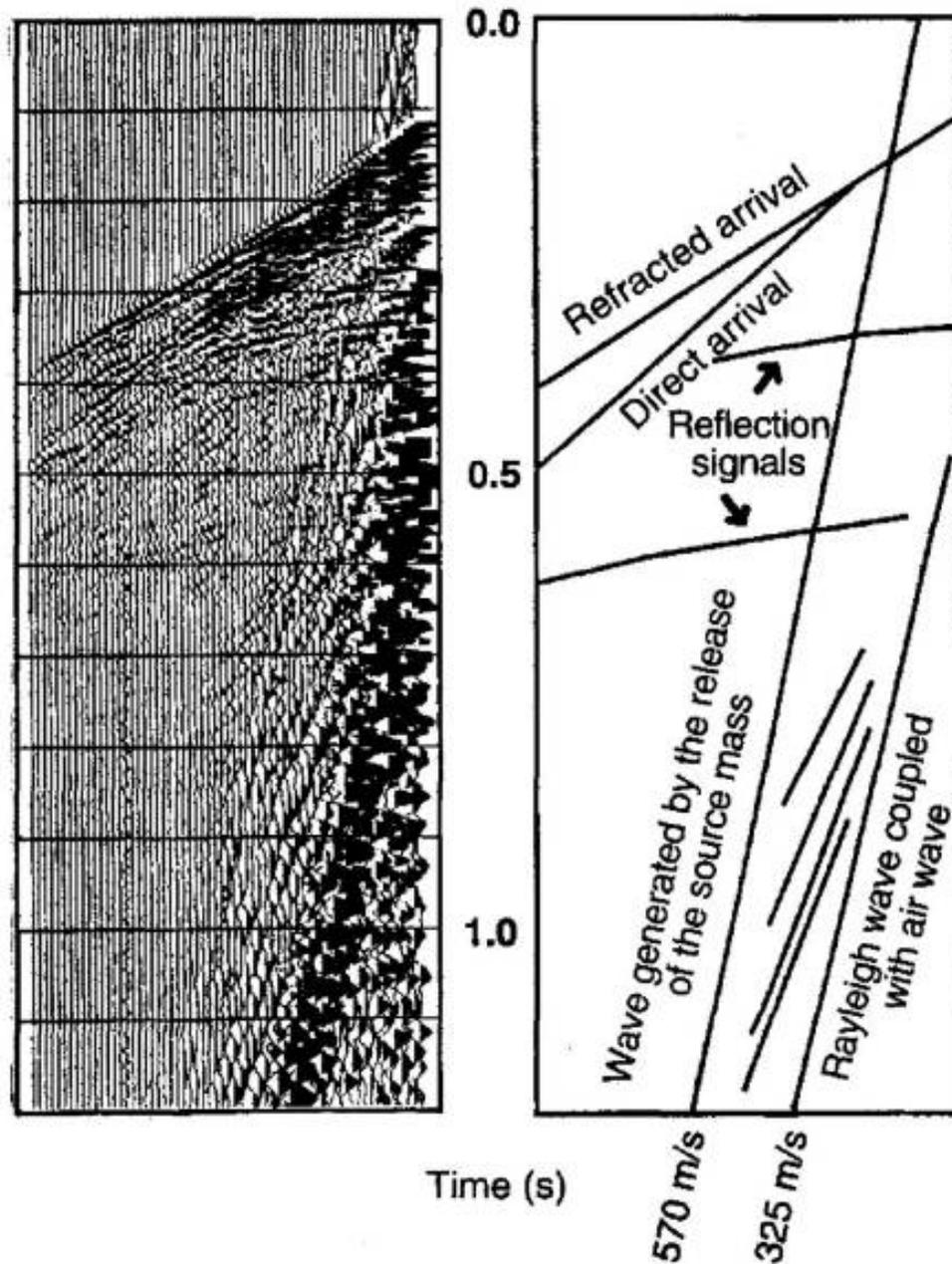
**Vogelsang (1995)**



**Particolare di una postazione geofonica in onde SH (array a 5 geofoni per aumentare il rapporto segnale/rumore)**

# Sismogramma

riflesse  
primarie  
multiple.  
diffratte  
dirette  
rifratte  
onde di  
superficie  
(Raileigh,  
Love)  
onde  
trasmutate



# Processing

REGISTRAZIONI DI  
CAMPAGNA

EVO TOPOGRAFICO

PRE-PROCESSING

BILANCIAMENTO SPETTRALE  
DIFFERENZA  
GEOMETRIA  
(CORR. TOPOGRAFICA)

PROCESSING

FILTRAGGIO  
SORT  
ANALISI DI VELOCITÀ  
CORREZIONE NMO

STACK

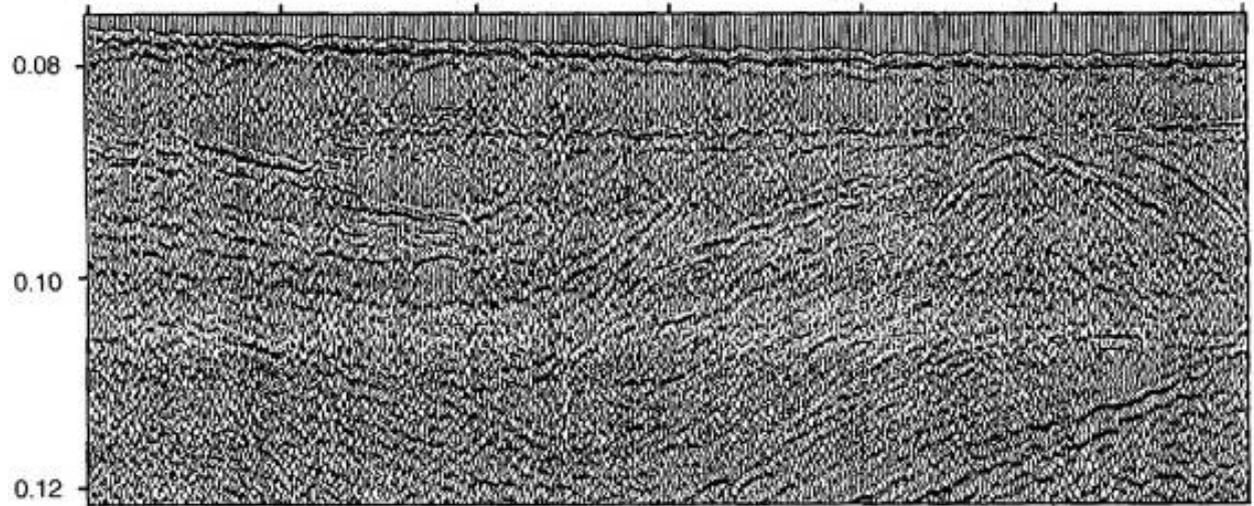
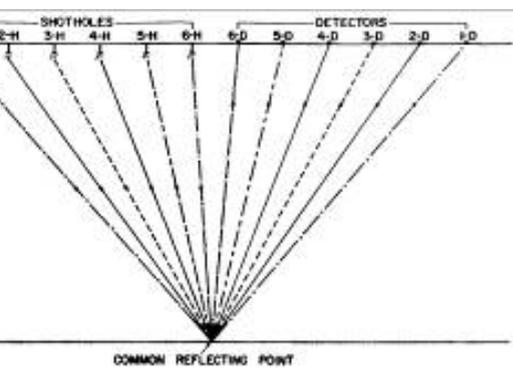
DECONVOLUZIONE  
(SPIKE)

SEZIONE FINALE

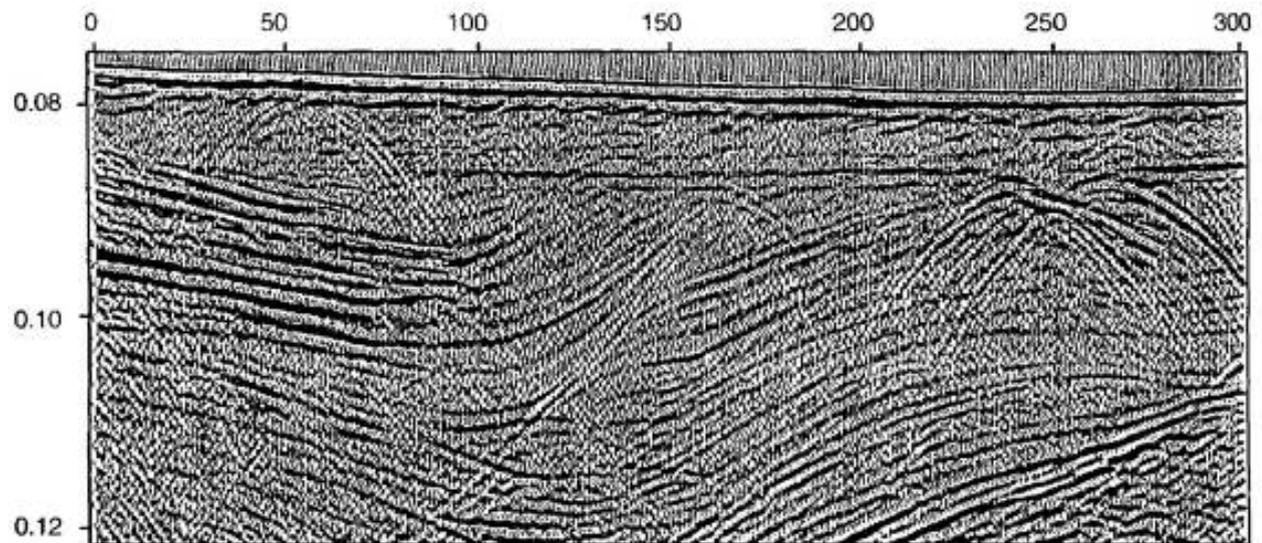
Fasi principali del processing di  
una linea sismica a riflessione

# Stacking

copertura  
singola

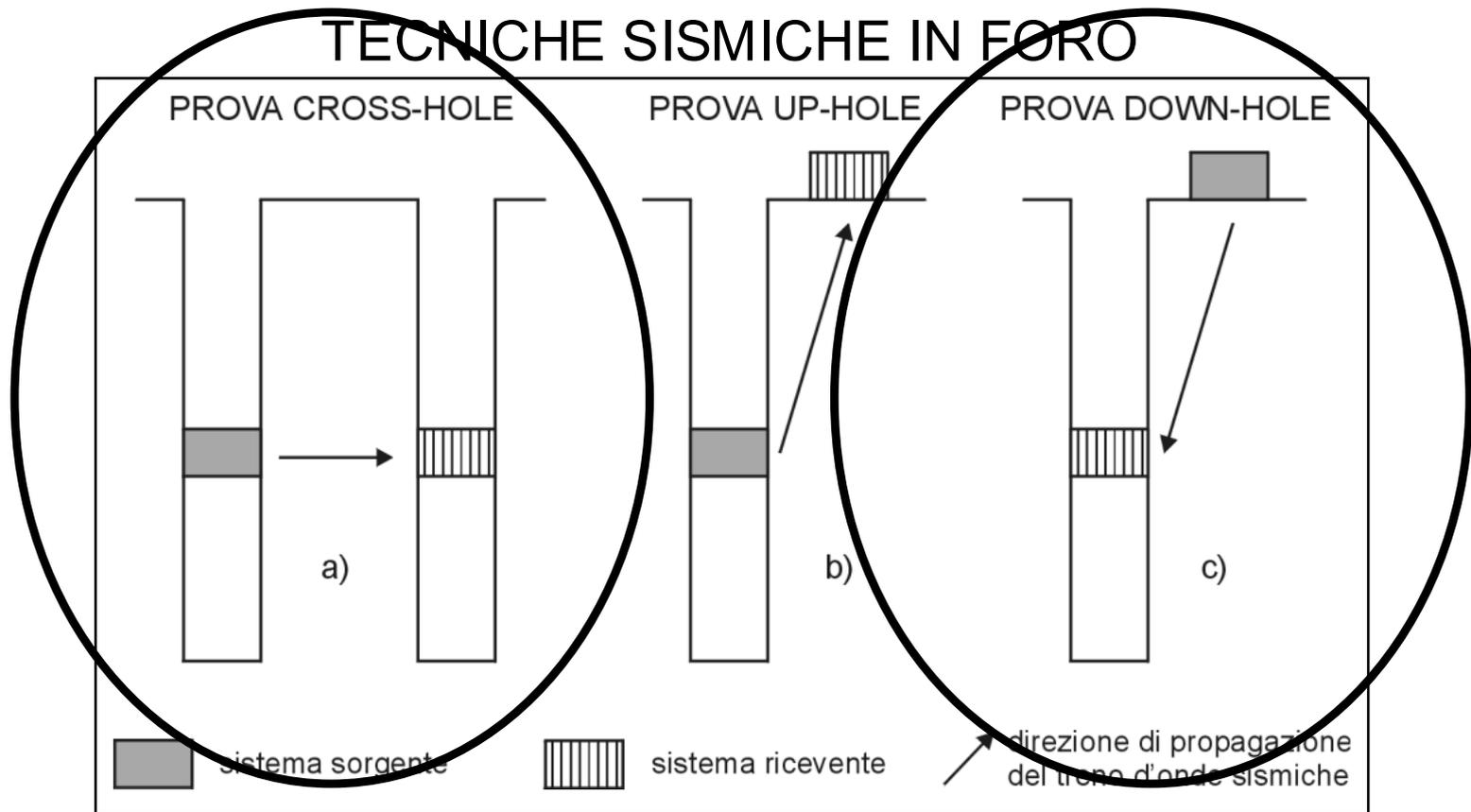


copertura  
multipla  
24 fold



# SISMICA IN FORO

## TECNICHE SISMICHE IN FORO



**Schema semplificato della geometria di acquisizione delle prove sismiche in foro: a) prova cross-hole, b) prova up-hole, c) prova down-hole**

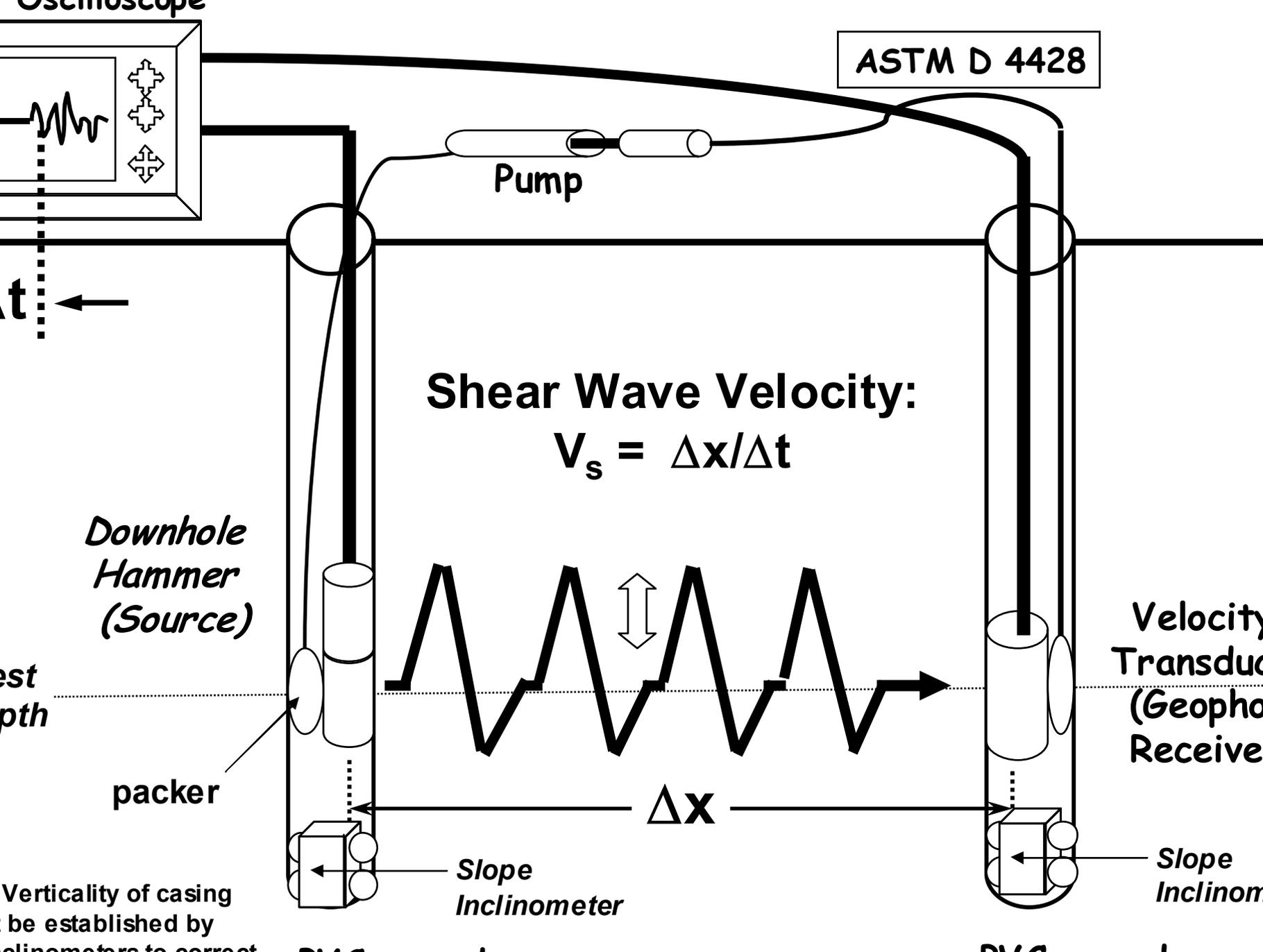
# CROSS-HOLE

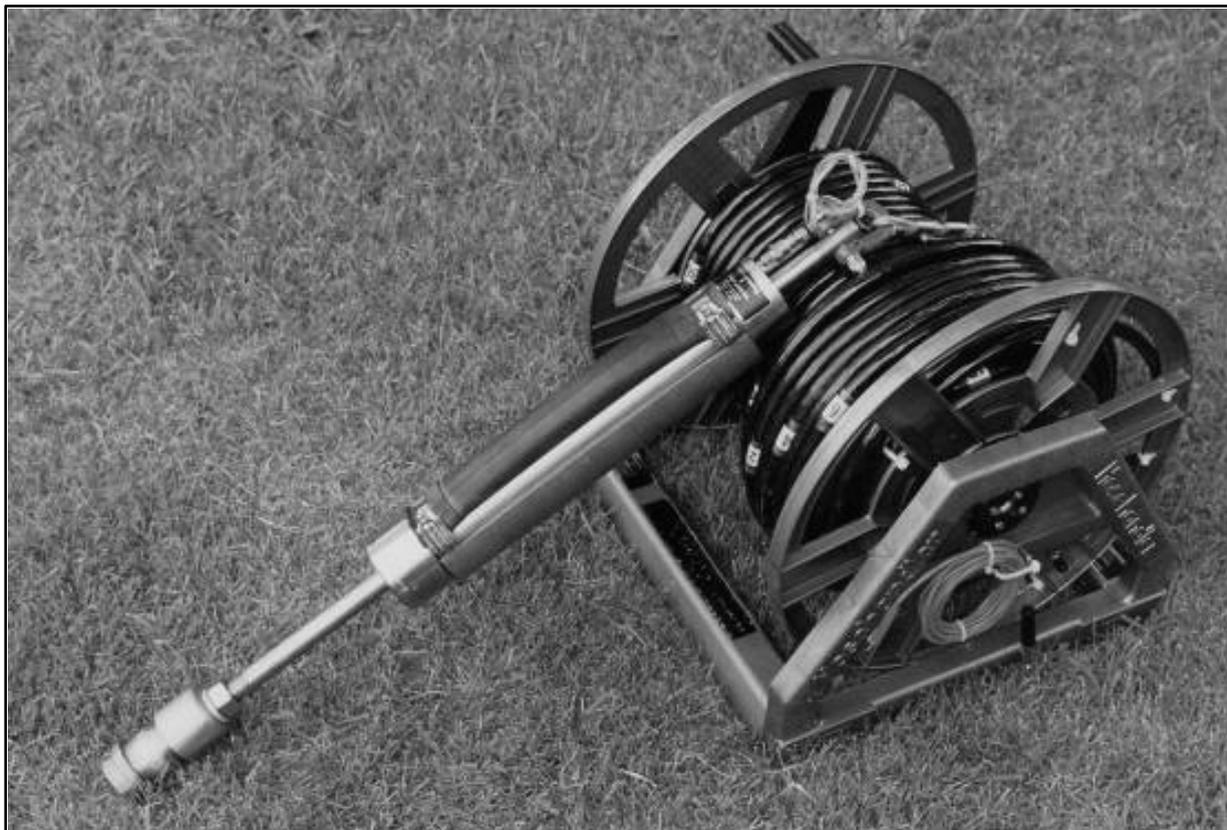
(ASTM D4428M-91; Mancuso, 1996; Istruzioni Tecniche Regione Toscana, 2003)

La finalità dell'indagine è quella di determinare la velocità di propagazione delle onde di compressione (onde P) e di taglio (onde S), calcolando il tempo ad esse necessario per spostarsi tra due o più punti (sorgente e ricevitori), nella porzione di terreno compresa tra due o più sondaggi (uno in cui è alloggiato il sistema energizzante e l'altro, o gli altri, in cui sono ospitati i sistemi riceventi) di cui è nota la distanza.

La prova in foro viene descritta nei suoi dettagli esecutivi dalla normativa **ASTM D4428M-91**, a cui viene fatto riferimento.

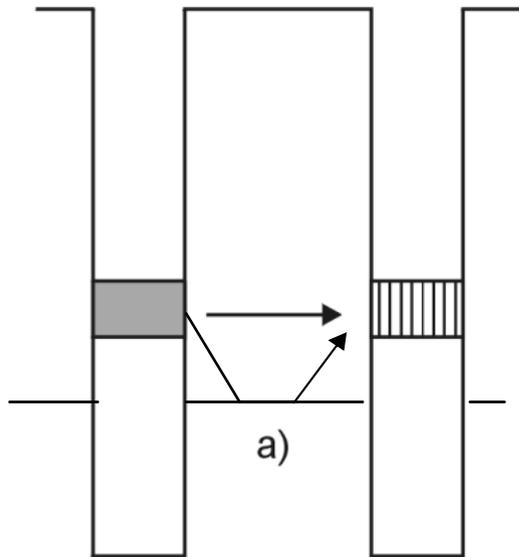
La prova Cross-hole dovrebbe essere effettuata quando la profondità delle aperture da esplorare sono superiori ai 25-30 m e si rende necessaria soprattutto quando i risultati da ottenere devono essere di qualità e precisione elevate soprattutto in profondità, anche in considerazione degli elevati costi esecutivi (necessità di realizzazione di fori di sondaggio e di energizzazione in foro), in confronto con altre tipologie di indagine sismica, sia di superficie sia in foro.





**Sistema energizzante da foro per indagini cross-hole**

## PROVA CROSS-HOLE



 sistema sorgente



### Problematiche e limiti:

- necessità di 2 o 3 fori
- Controllo di verticalità
- Energizzazione in SV
- Trasmutazione delle SV

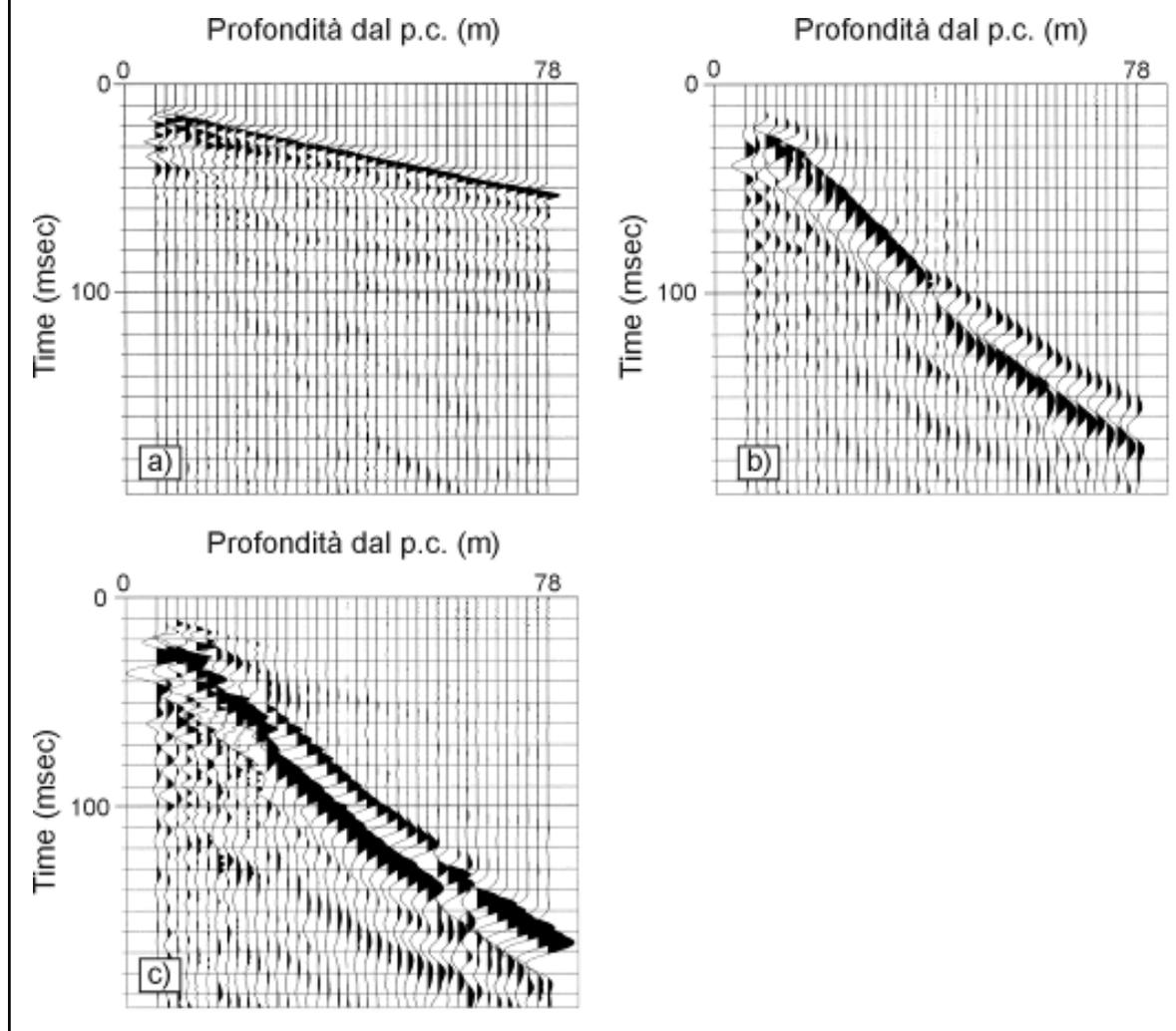
(Gasperini & Signanini, 1983; Mancuso, 1996; Istruzioni Tecniche Regione Toscana, 2003)

Il metodo down-hole rappresenta una delle più accurate misure sismiche per la determinazione delle proprietà fisico-meccaniche dinamiche dei terreni (Gasperini & Signanini, 1983).

Lo scopo della prova consiste nel determinare la velocità di propagazione delle onde di volume, di compressione (onde P) e di taglio (onde S), calcolando il tempo ad esse necessario per spostarsi dalla sorgente ai ricevitori, di cui è nota la distanza.

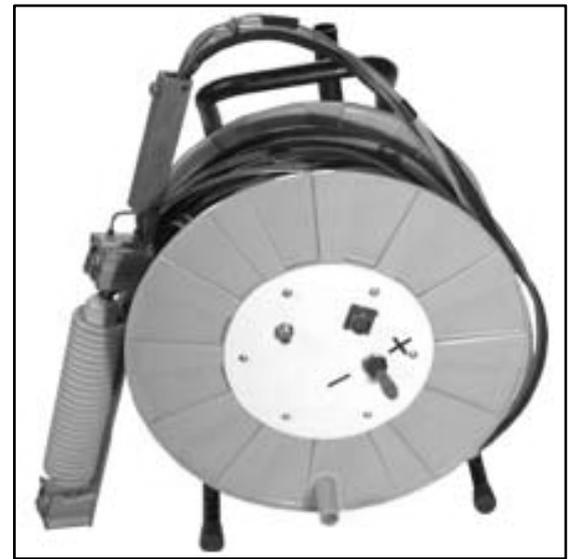
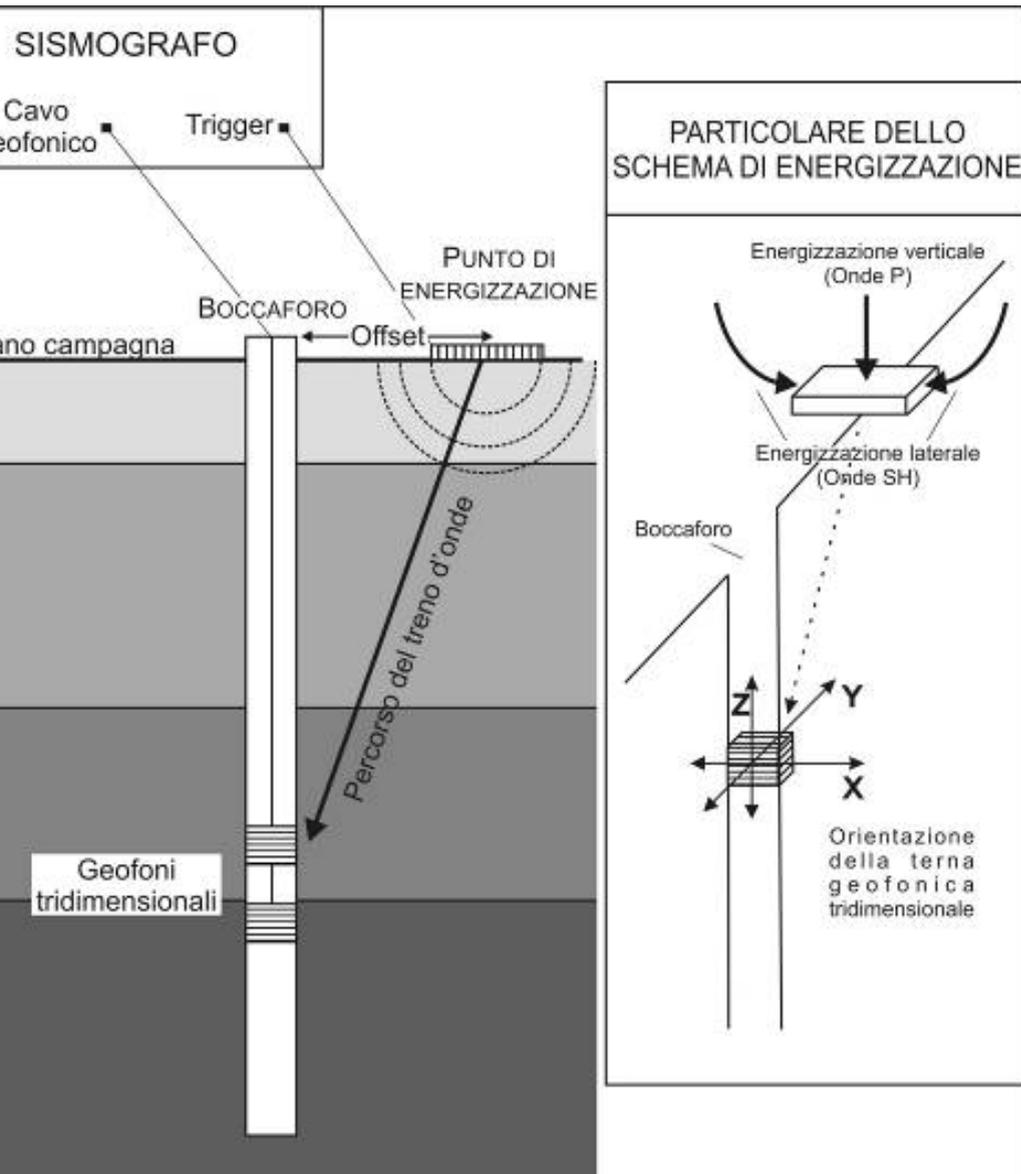
La prova down-hole dovrebbe essere effettuata quando la profondità delle aperture da esplorare è superiore a qualche metro, tenendo comunque presente che in taluni contesti geologici l'affidabilità della prova con tecniche di interpretazione convenzionali oltre i 40 m di profondità è generalmente scarsa, l'energia generata dalla sorgente potrebbe non essere sufficiente all'univoca individuazione dei primi arrivi. In altri contesti, invece, si è verificata la fattibilità di indagini down-hole fino ad oltre la profondità di 80m dal piano campagna.

Si suppone che il volume di terreno, interessato dalle indagini sia stratificato orizzontalmente e che all'interno di ogni strato il comportamento del terreno possa considerare elastico, omogeneo ed isotropo. Qualora queste caratteristiche non siano verificate è necessario operare con più punti di energizzazione.



**Sismogrammi relativi ad una prova down-hole : a) componente Z dell'indagine in onde P; b) componente X e c) componente Y della prova in onde di taglio polarizzate orizzontalmente (Rainone et alii, 2003)**

# Schema semplificato di un'indagine down-hole



[www.ambrogeo.com/borehole.htm](http://www.ambrogeo.com/borehole.htm)



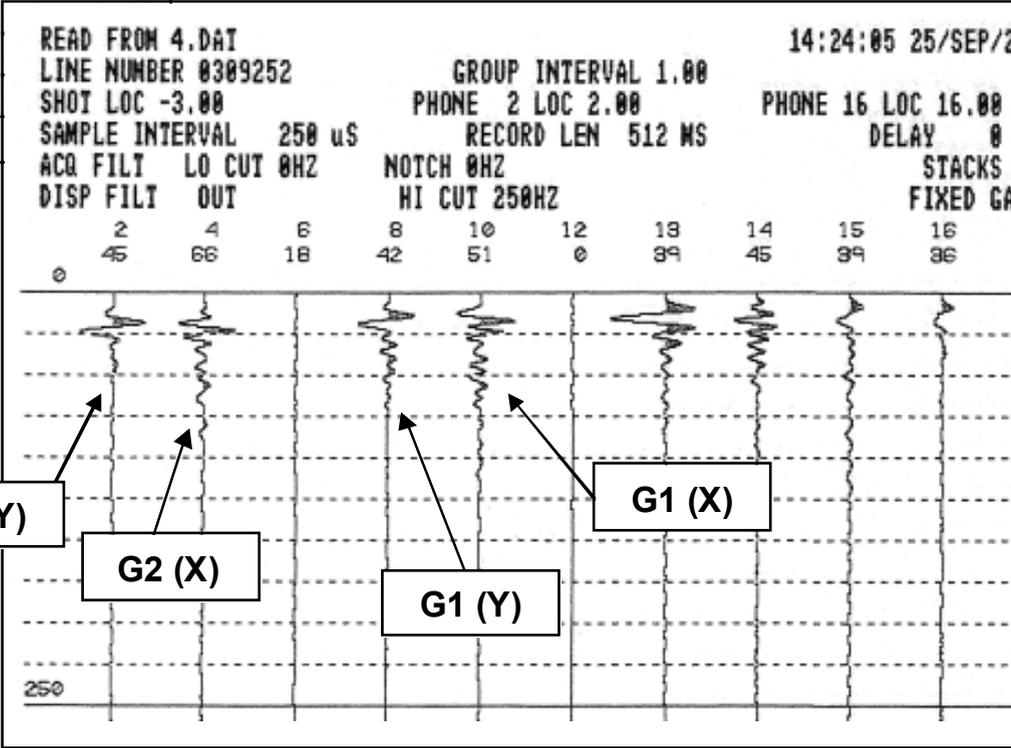
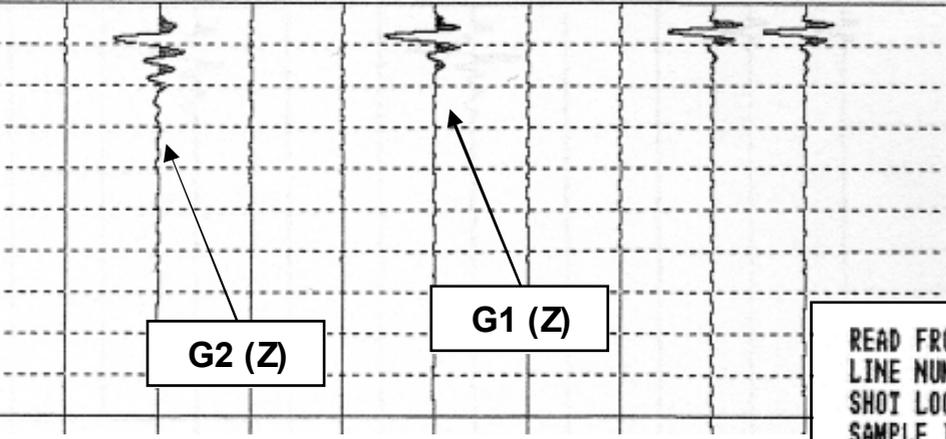
L'interpretazione del down-hole si articola nelle seguenti fasi :

- 1 picking dei primi arrivi;
- 2 misura dei tempi dei primi arrivi;
- 3 calcolo dei tempi verticali  $t_v$ ;
- 4 diagramma profondità-tempi verticali;
- 5 individuazione di intervalli caratterizzati da una pendenza costante;
- 6 calcolo delle velocità intervallari.

NUMBER 0309252      GROUP INTERVAL 1.00  
 LOC -3.00      PHONE 2 LOC 2.00      PHONE 16 LOC 16.00  
 SAMPLE INTERVAL 250 uS      RECORD LEN 512 MS      DELAY 0 MS  
 LO CUT 0HZ      NOTCH 0HZ      STACKS 2  
 HI CUT 250HZ      FIXED GAIN

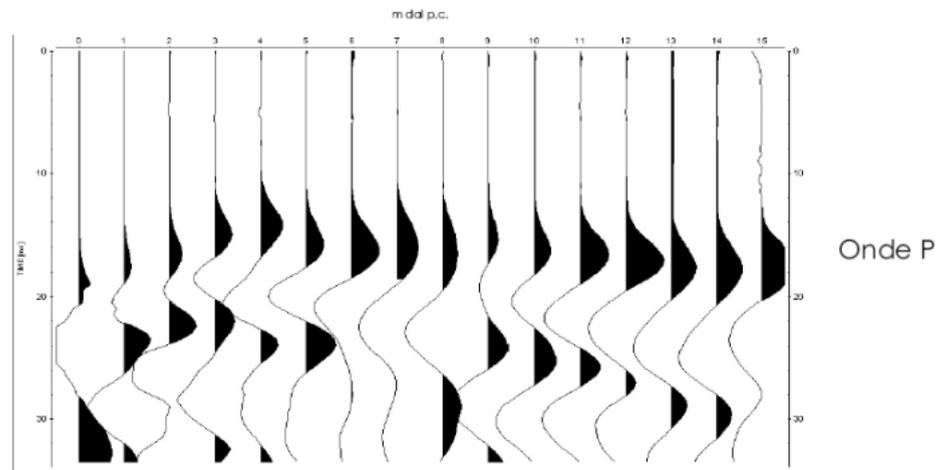
4	6	8	10	12	13	14	15	16
0	48	0	0	42	0	0	27	27

# REGISTRAZIONE DI CAMPAGNA ONDE P

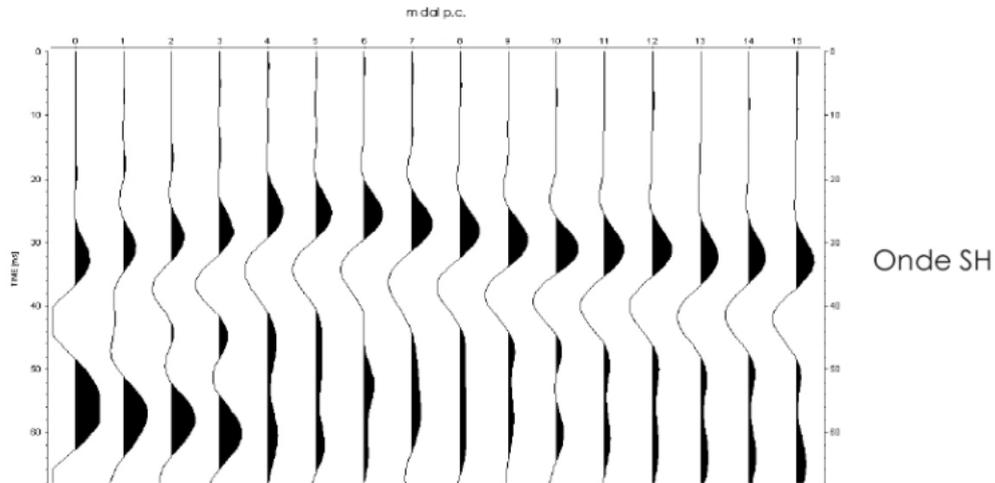


# REGISTRAZIONE DI CAMPAGNA ONDE SH

a)



b)



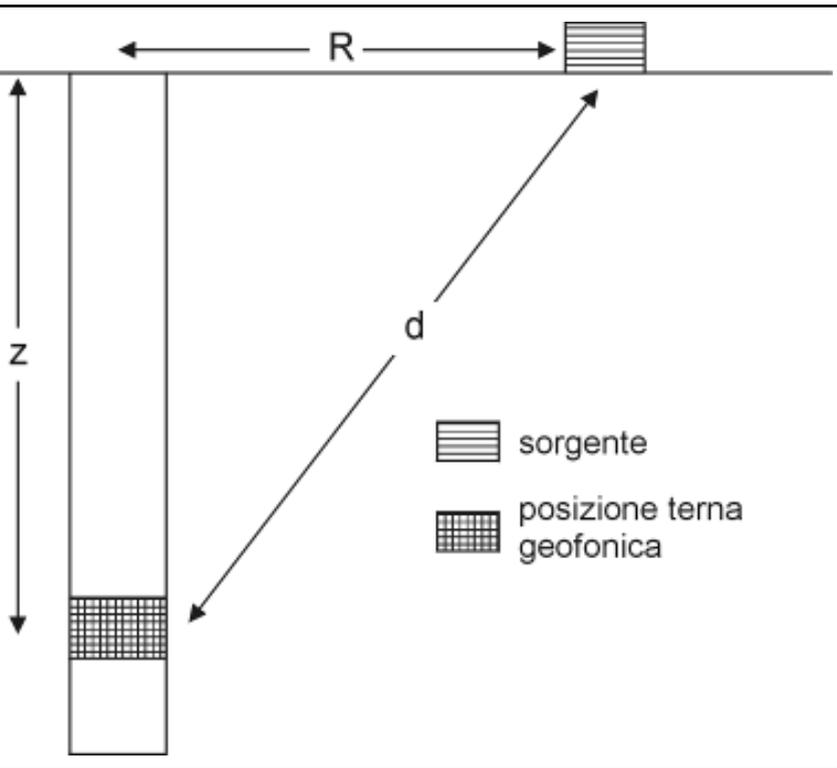
**Assemblaggio delle tracce (relative ai tempi obliqui) di un'indagine down-hole: a) onde P, b) onde SH**

l'energizzazione dovrebbe essere eseguita il più vicino possibile al pozzo (per mantenere i raggi sismici più verticali possibili)  
Ciò non è però consigliabile a causa della probabile rifrazione sul casing delle onde generate

Per cui l'energizzazione viene disposta ad una certa distanza (generalmente variabile tra 3 e 7 m a seconda della profondità di indagine) dal boccaforo denominata **offset**

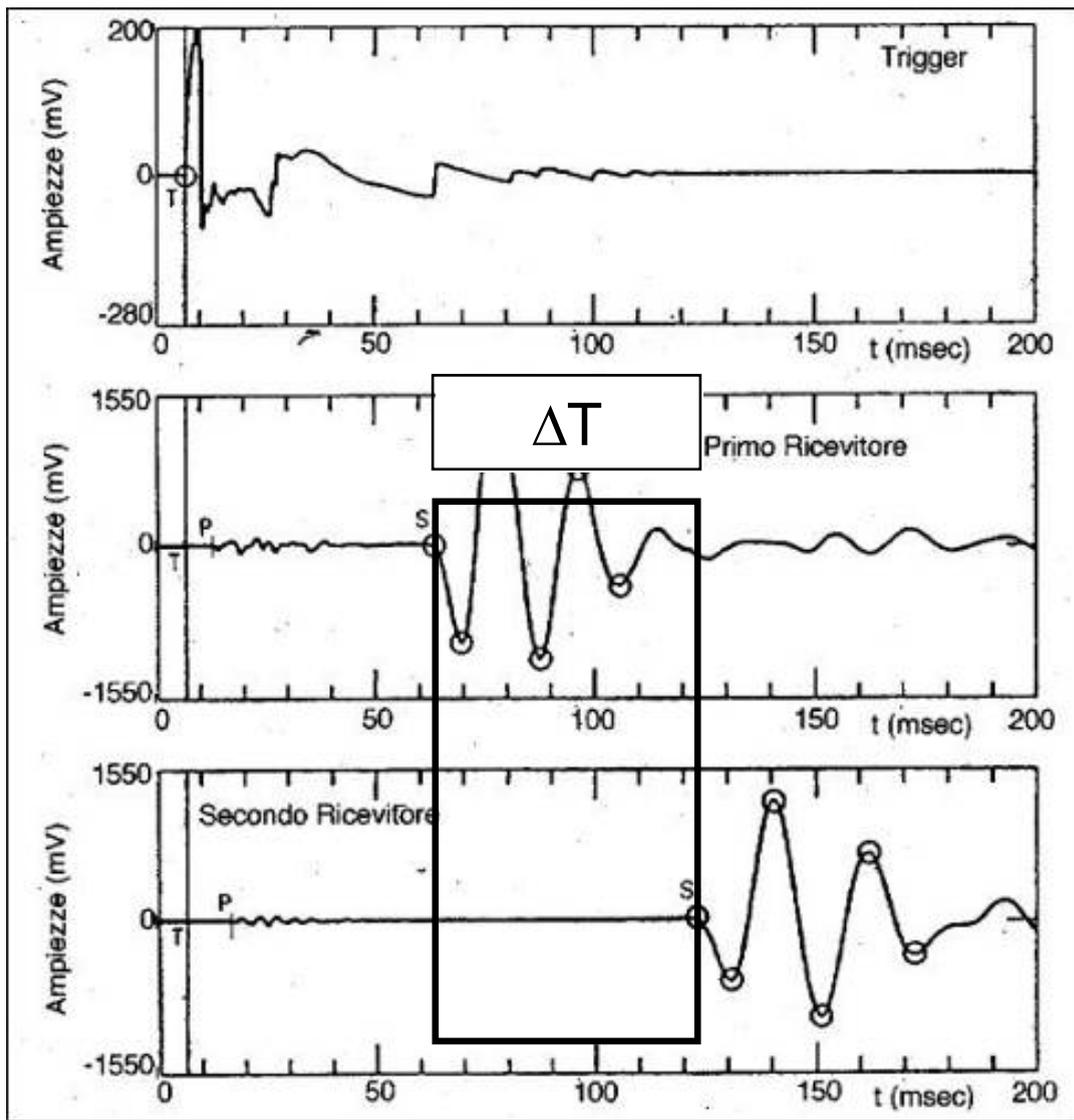
la prova è attendibile quando la profondità del geofono  $z$  è maggiore della distanza boccaforo-punto energizzante  $d$ :

$$z > d$$

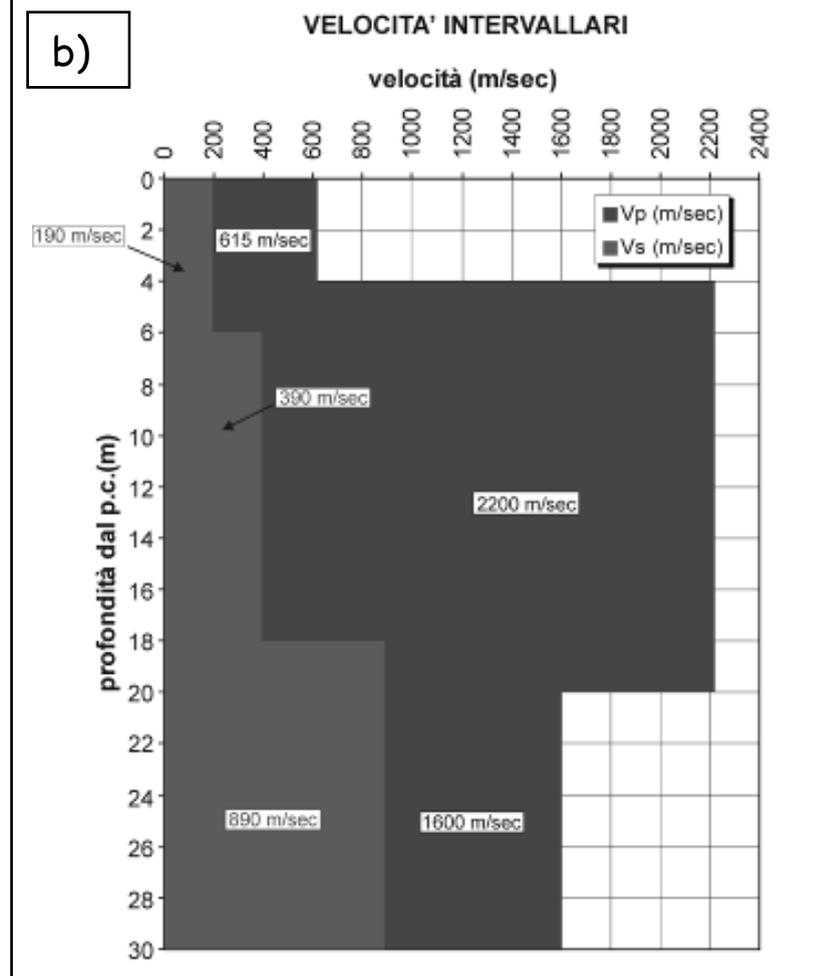
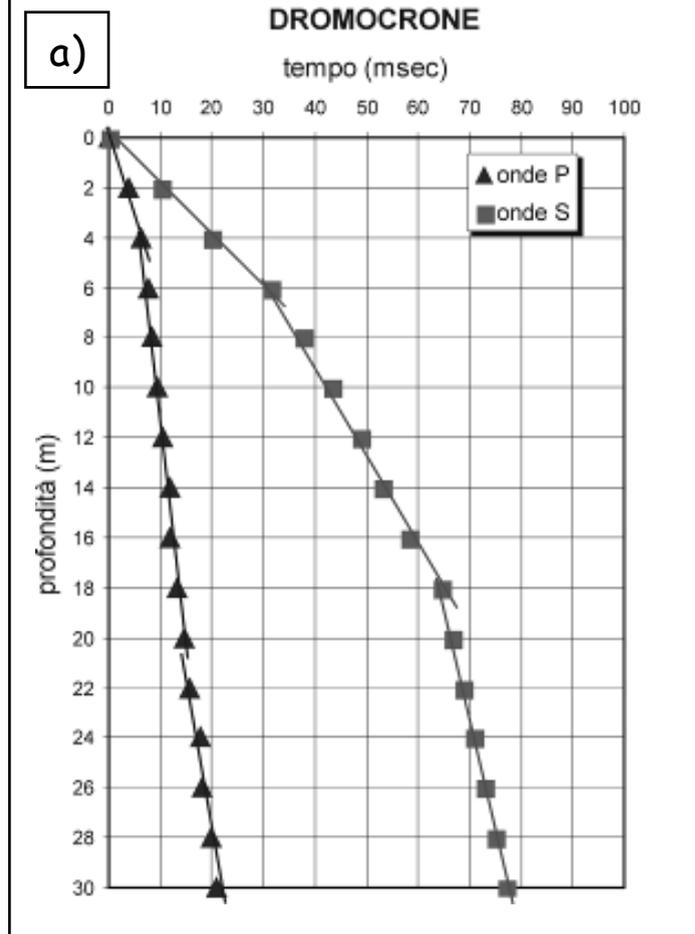


$$t^* = \frac{z}{d} t = \frac{z}{\sqrt{z^2 + R^2}} t$$

m dal p.c.	ONDE P		ONDE SH	
	tempi obliqui (msec)	tempi verticali (msec)	tempi obliqui (msec)	tempi verticali (msec)
0	16.2	0.0	27.3	0.0
1	14.5	4.6	26.4	8.4
2	13.1	7.2	24.7	13.7
3	11.6	8.2	23.0	16.3
4	10.5	8.4	19.6	15.7
5	11.9	10.2	20.3	17.4
6	11.6	10.4	20.5	18.3
7	11.3	10.4	21.8	20.1
8	11.7	10.9	23.2	21.7
9	12.0	11.4	24.7	23.5
10	12.5	12.0	26.1	25.0
11	12.8	12.3	25.7	24.8
12	12.9	12.5	26.1	25.3
13	13.3	13.0	26.6	25.9
14	13.6	13.3	26.8	26.2
15	13.7	13.5	27.3	26.7



**Schema grafico della valutazione del  $\Delta T$  tra i due geofoni disposti nell'ambito di un'indagine down-hole, al fine della stima della velocità intervallare (Mancuso, 1996, mod)**



**Dromocrone interpretate (a) e relative velocità intervallari (b) di una prova down-hole eseguita in località Castelli (TE), Dipartimento di Scienze della Terra, Università "D'Annunzio di Chieti (2000)**

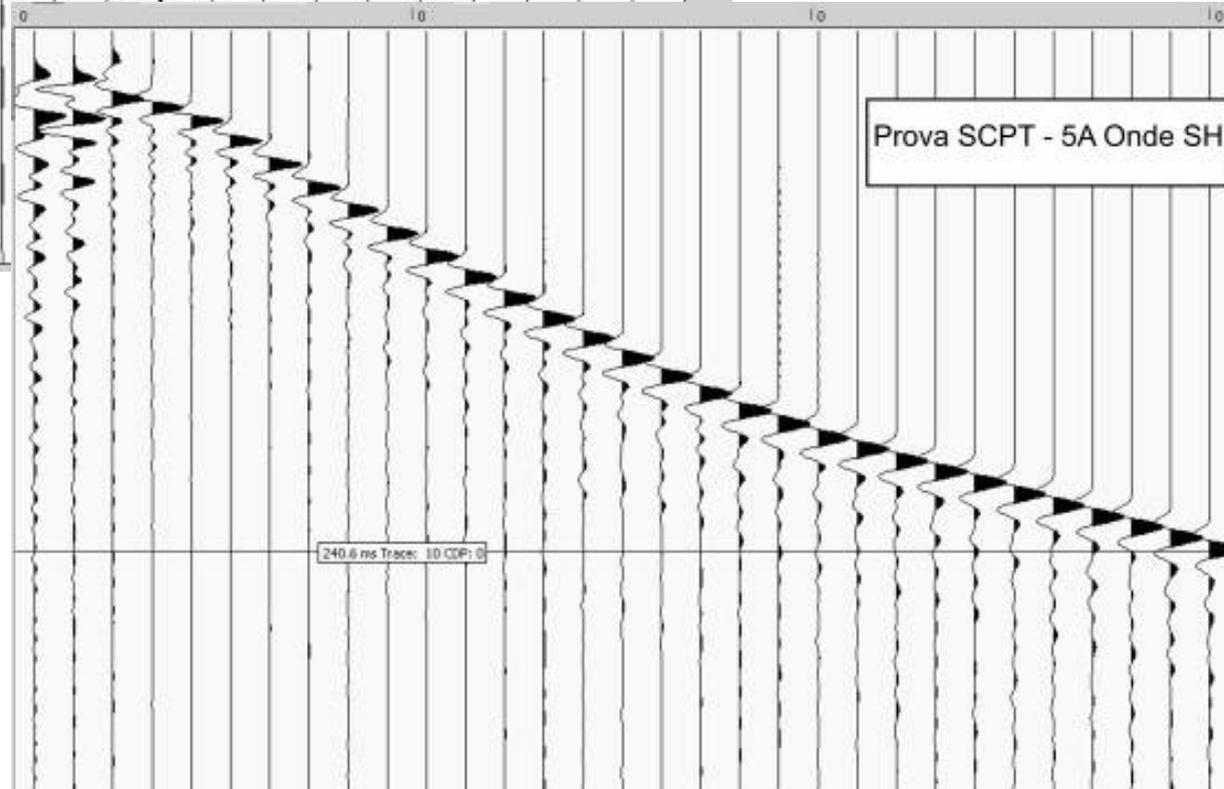
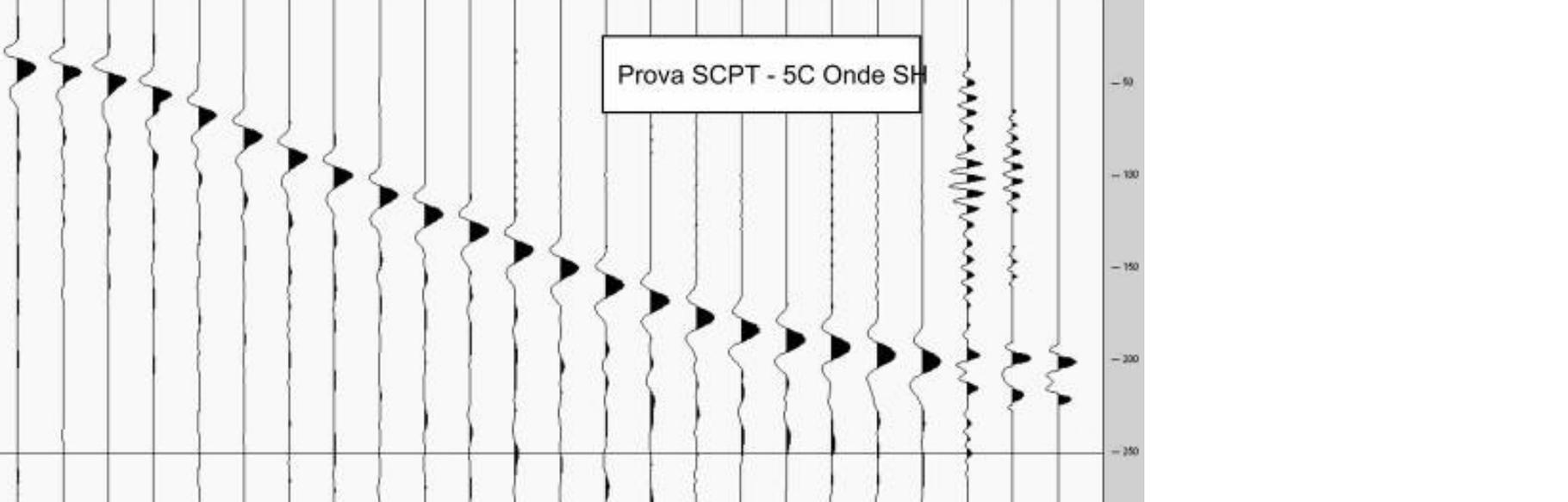
# PROVA DEL CONO SISMICO

## 2B2.7.1 SCHEMA ESECUTIVO DELLA PROVA

La prova può essere condotta secondo la procedura Down-hole o secondo la procedura cross-hole, in entrambi i casi viene utilizzato un penetrometro a punta conica, sulla quale viene installato un geofono, che può essere così condotto all'interno del terreno alle profondità desiderate, senza l'esecuzione e la preparazione preliminare di uno o più fori.

A seconda che la sorgente venga posizionata sulla superficie del deposito da investigare o venga condotta alla medesima profondità del ricevitore, utilizzando sempre un penetrometro a punta conica che proceda nel terreno parallelamente al penetrometro su cui è installato il ricevitore, la prova SCPT sarà rispettivamente del tipo down-hole o cross-hole.

Le modalità esecutive dell'indagine e le modalità di elaborazione dati, quindi, saranno le medesime descritte nei paragrafi 2B2.3 per le indagini down-hole e 3B2.4 per le prove cross-hole. L'unica differenza è relativa al sistema di ricezione dati che, nell'indagine SCPT secondo un assetto down-hole, prevede una sola terna geofonica, invece della coppia di ricevitori prevista nell'indagine down-hole standard.





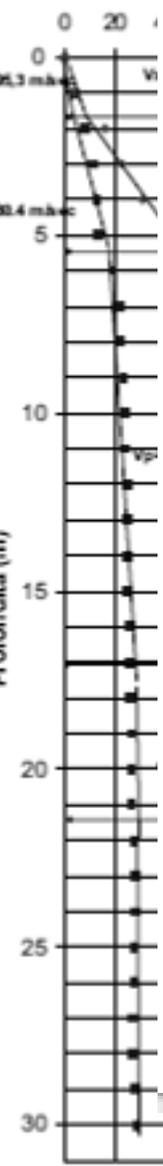
Dir. Gen. delle Politiche Territoriali e Ambientali  
**SERVIZIO SISMICO REGIONALE**

DITTA ESECUTRICE: Geoprove s.a.s.

DATA ESECUZIONE: 11/08/2005



Programma DOCUP - Comune di: Collesalvetti - Località: Guasticce - Prova penetrometrica statica - CPT 5a



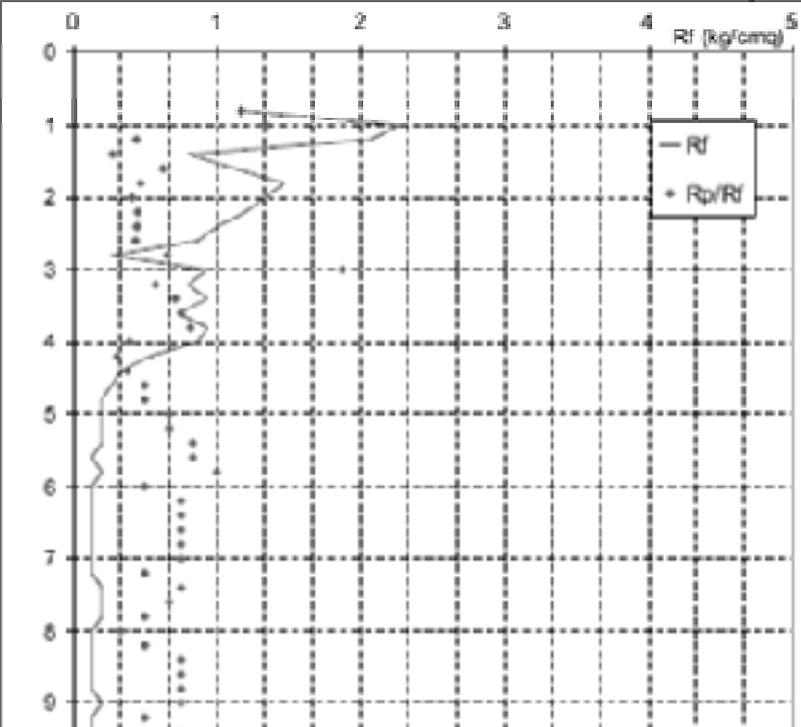
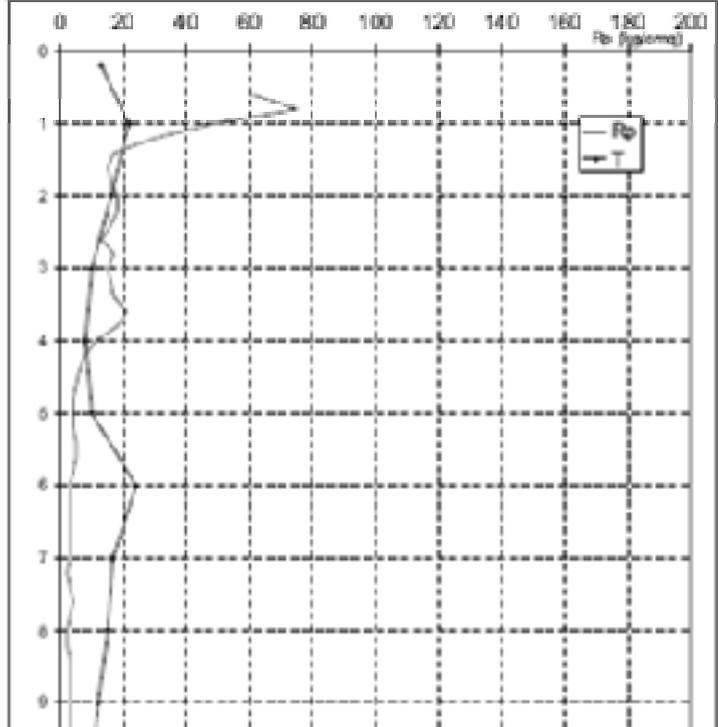
Prova penetrometrica statica

Prova N° CPT 5A

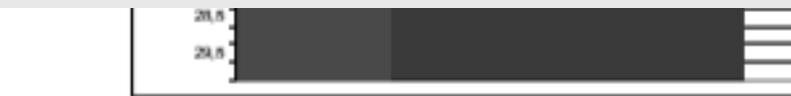
Geoprove S.a.s.

Comit. Regione Toscana  
 Località Guasticce - L/

Date: 11/08/2005  
 File: pr050011



Profondità (m)	Rp (kg/cm²)	Rf (kg/cm²)
0	20	0.5
1	180	1.5
2	100	1.8
3	100	1.5
4	100	1.5
5	100	1.5
6	100	1.5
7	100	1.5
8	100	1.5
9	100	1.5
10	100	1.5
11	100	1.5
12	100	1.5
13	100	1.5
14	100	1.5
15	100	1.5
16	100	1.5
17	100	1.5
18	100	1.5
19	100	1.5
20	100	1.5
21	100	1.5
22	100	1.5
23	100	1.5
24	100	1.5
25	100	1.5
26	100	1.5
27	100	1.5
28	100	1.5
29	100	1.5
30	100	1.5



Profondità (m)	Rp (kg/cm²)	Rf (kg/cm²)
0	20	0.5
1	180	1.5
2	100	1.8
3	100	1.5
4	100	1.5
5	100	1.5
6	100	1.5
7	100	1.5
8	100	1.5
9	100	1.5
10	100	1.5
11	100	1.5
12	100	1.5
13	100	1.5
14	100	1.5
15	100	1.5
16	100	1.5
17	100	1.5
18	100	1.5
19	100	1.5
20	100	1.5
21	100	1.5
22	100	1.5
23	100	1.5
24	100	1.5
25	100	1.5
26	100	1.5
27	100	1.5
28	100	1.5
29	100	1.5
30	100	1.5

# VSP DA DATI DOWN-HOLE

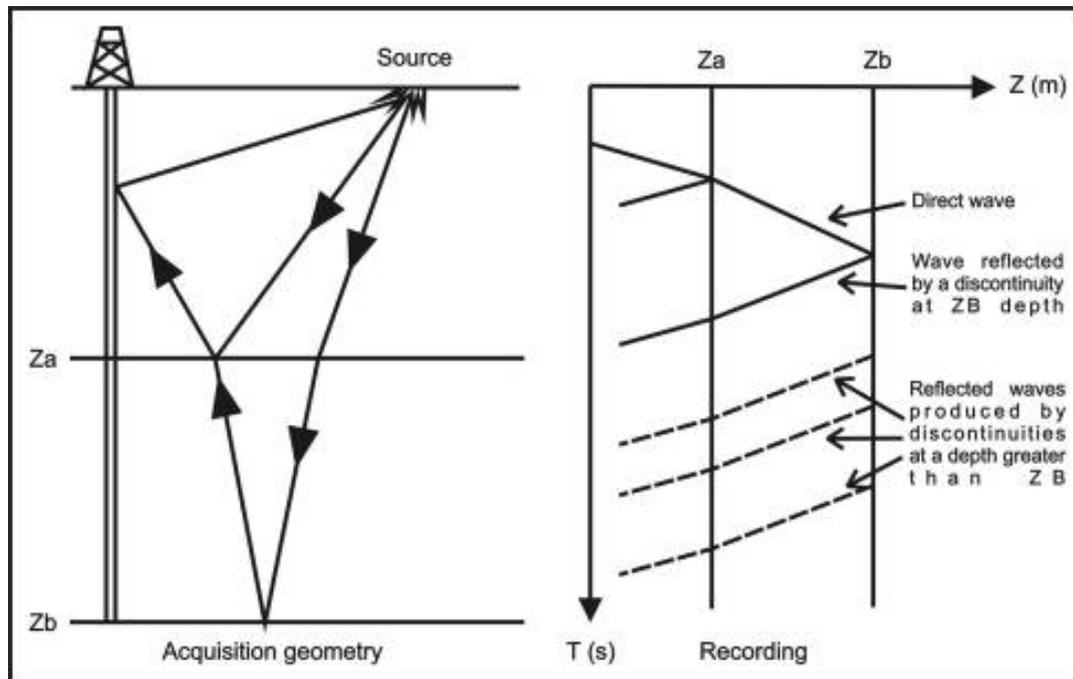
(Mari et alii, 1999)

## Scopo della prova

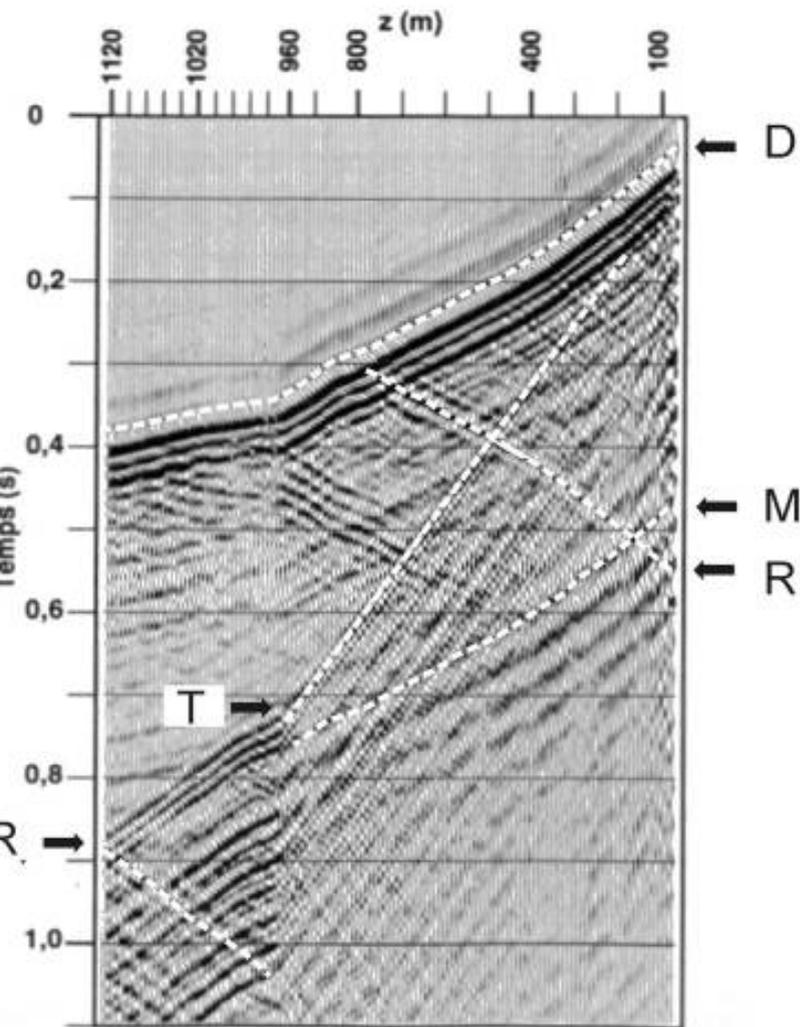
Individuare eventuali riflettori presenti a profondità maggiori di quelle esplorate con un down-hole classico.

## Campo di applicazione della prova

La profondità d'indagine può raggiungere il triplo della profondità del sondaggio



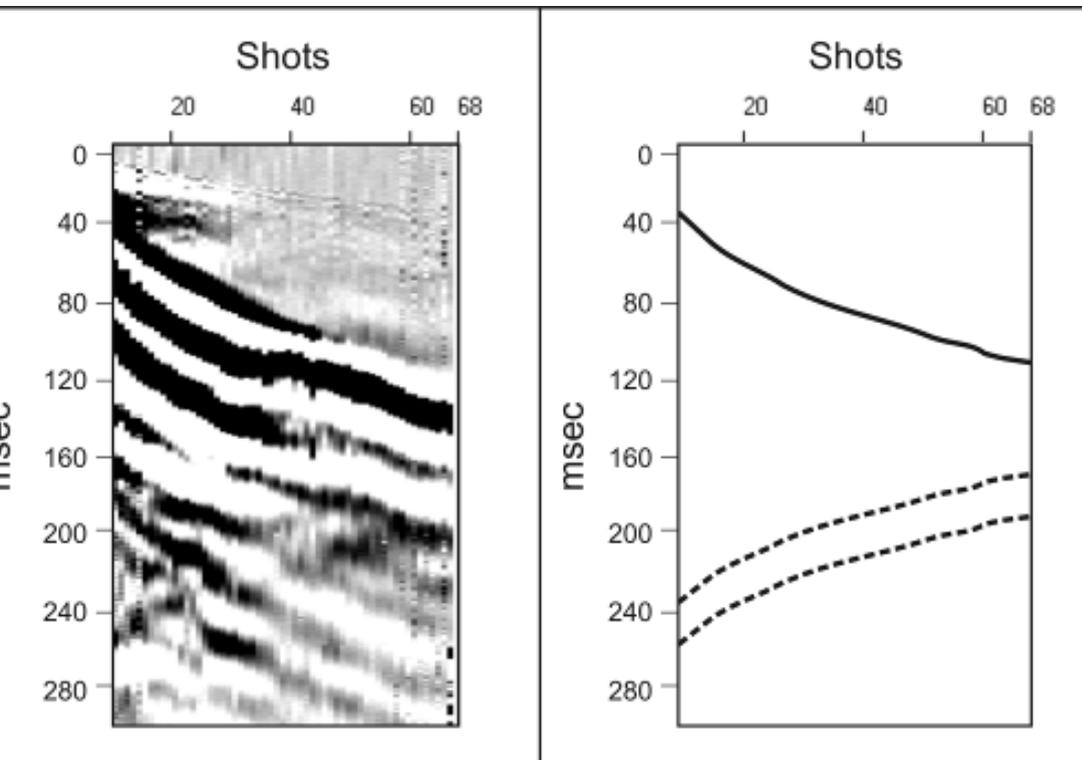
**Schema di un'indagine VSP  
(Mari et alii, 1999)**



- D = segnale diretto
- M = multipla
- R = segnale riflesso
- T = onda di tubo
- Rt = segnale riflesso dell'onda di tubo

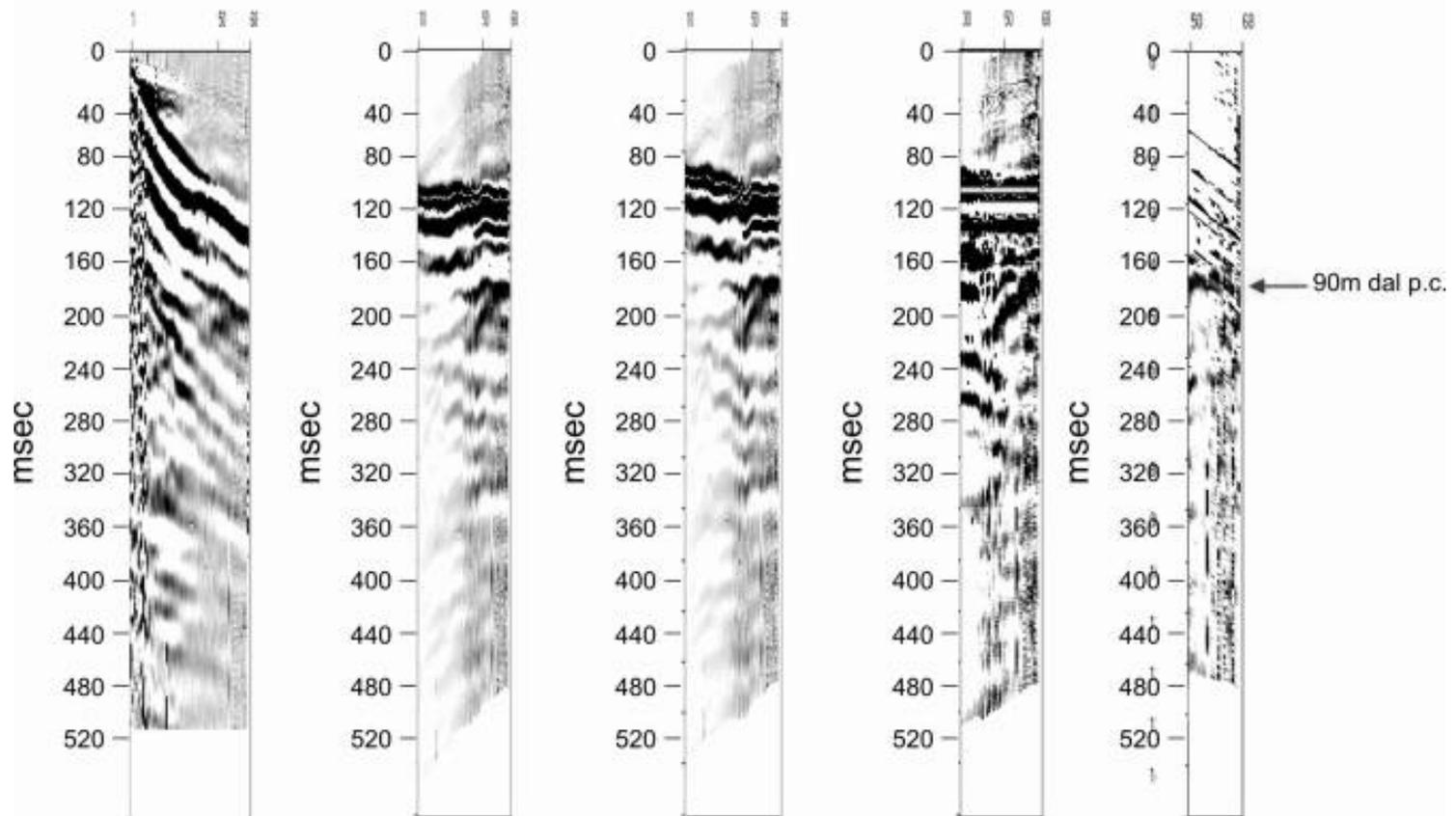
**Esempio di sismogramma da indagine VSP (Mari et alii, 1999, mod)**





 Primi arrivi in onde sh dell'indagine down-hole classica  
 Eventi riflessi

**Visualizzazione iniziale di un sismogramma derivante da un'indagine classica down-hole in onde di taglio per analisi in tecnica VSP**



## SEQUENZA DI PROCESSING

- 1= dato iniziale
- 2= linear gain (50 db), static (146), str, asr, static (25), asr
- 3= asr
- 4= hbf, linear gain (30 db)
- 5= hbf, str

# **LA VALUTAZIONE DELLE INDAGINI SISMICHE A RIFRAZIONE IN SUPERFICIE ED IN FORO**

# PROSPEZIONI SISMICHE A RIFRAZIONE

## GEOMETRIE D'ACQUISIZIONE

### ENERGIZZAZIONI

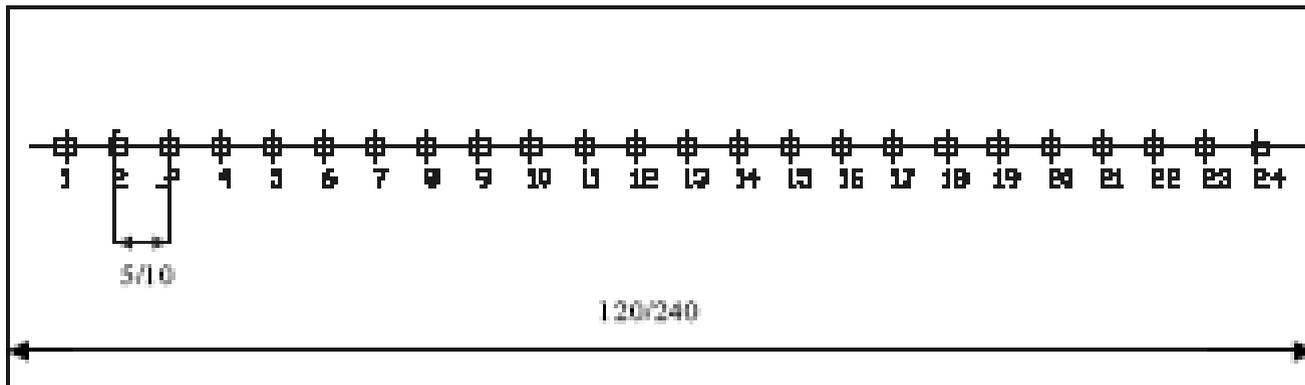
100 METRI

Esterno a sx	Estremo a sx	Intermedio a sx	Centrale	Intermedio a dx	Estremo a dx	Esterno a dx
-----------------	-----------------	--------------------	----------	--------------------	-----------------	-----------------

100 METRI

Est. a sx	Estr. a sx	Interm. a 1/6	Interm. a 2/6	Centr.	Interm. a 4/6	Interm. a 5/6	Estr. a dx	Est. a dx
--------------	---------------	------------------	------------------	--------	------------------	------------------	---------------	--------------

## SISTEMA DI ACQUISIZIONE



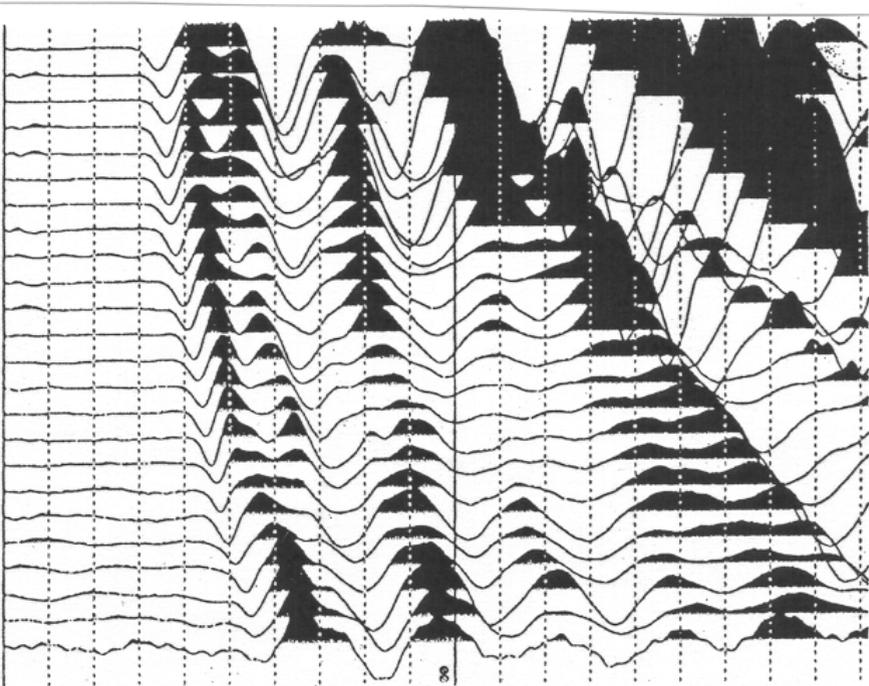
## STANDARD DI VALUTAZIONE DEI RISULTATI

Per il Programma VEL sono state predisposte una serie di definizioni per valutare la qualità dei dati acquisiti ai fini di una loro possibile utilizzazione per un'attendibile interpretazione ai fini geologici. La valutazione dei risultati sarà effettuata da referenti scientifici incaricati dalla Regione Toscana, i quali dovranno rispettare, nelle loro valutazioni, i seguenti parametri:

> **Valutazione delle registrazioni:** la chiara lettura del segnale costituisce l'elemento essenziale per procedere alle successive operazioni di interpretazione ed elaborazione, pertanto il segnale di tutte le registrazioni si deve leggere per tutte le tracce e per tutti i punti di misura.

> **Valutazione della congruenza tra dromocrone ed i dati di registrazione:** il presupposto della congruenza è la buona individuazione del primo arrivo, pertanto le dromocrone devono essere perfettamente congruenti con i dati di registrazione.

> **Valutazione della congruenza tra l'interpretazione sismostratigrafica e le dromocrone:** nella fase di interpretazione devono essere rispettati il numero degli strati evidenziati nelle dromocrone ed analizzate le eventuali variazioni di velocità e profondità dei singoli sismostrati, pertanto l'interpretazione sismostratigrafica deve essere perfettamente congruente con le dromocrone.



## ELLE REGISTRAZIONI

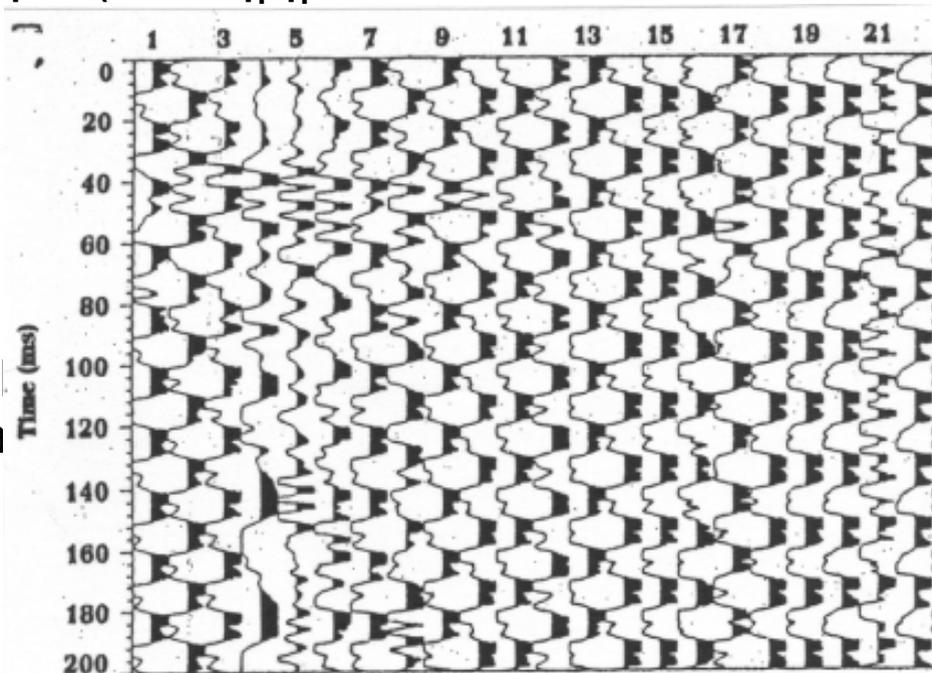
ce l'elemento essenziale per procedere a lizzazione ed elaborazione. A tal fine si ne:

ni si legge fino in fondo, ivi compreso è procedere alla ricostruzione delle

l'interpretazione geologica e possibile

✓ **C**: il segnale di gran parte de facilmente solo per circa 2/3 delle tra delle dromocrone e l'Interpretazione molte approssimazioni.

✓ **D**: il segnale nella maggior parte per meno della metà delle tracce. R dromocrone e l'interpretazione gec



SPREAD: ST3B1A SHOT: 1 REC: 101.FPX

## VALUTAZIONE DELLA CONGRUENZA TRA DROMOCRONE ED I DATI DI REGISTRAZIONE

Il presupposto della congruenza è la buona individuazione del primo arrivo, a  
fine s'individuano due possibili classi di valutazione:

**A:** le dromocrone sono perfettamente congruenti con i dati di registrazione

**B:** le dromocrone non sono perfettamente congruenti, tale incongruenza può  
variare fino a risultare tale da richiedere il rifacimento delle operazioni  
elaborazione e d'interpretazione.

### 3. VALUTAZIONE DELLA CONGRUENZA TRA L'INTERPRETAZIONE SISMOSTRATIGRAFICA E LE DROMOCRONE

ella fase d'interpretazione, devono essere rispettati il numero degli strati individuati nelle dromocrone ed analizzate le eventuali variazioni di velocità e profondità dei singoli sismostrati.

ngono in tal senso individuate tre classi di valutazione:

**A:** l'interpretazione sismostratigrafica è perfettamente congruente con le dromocrone.

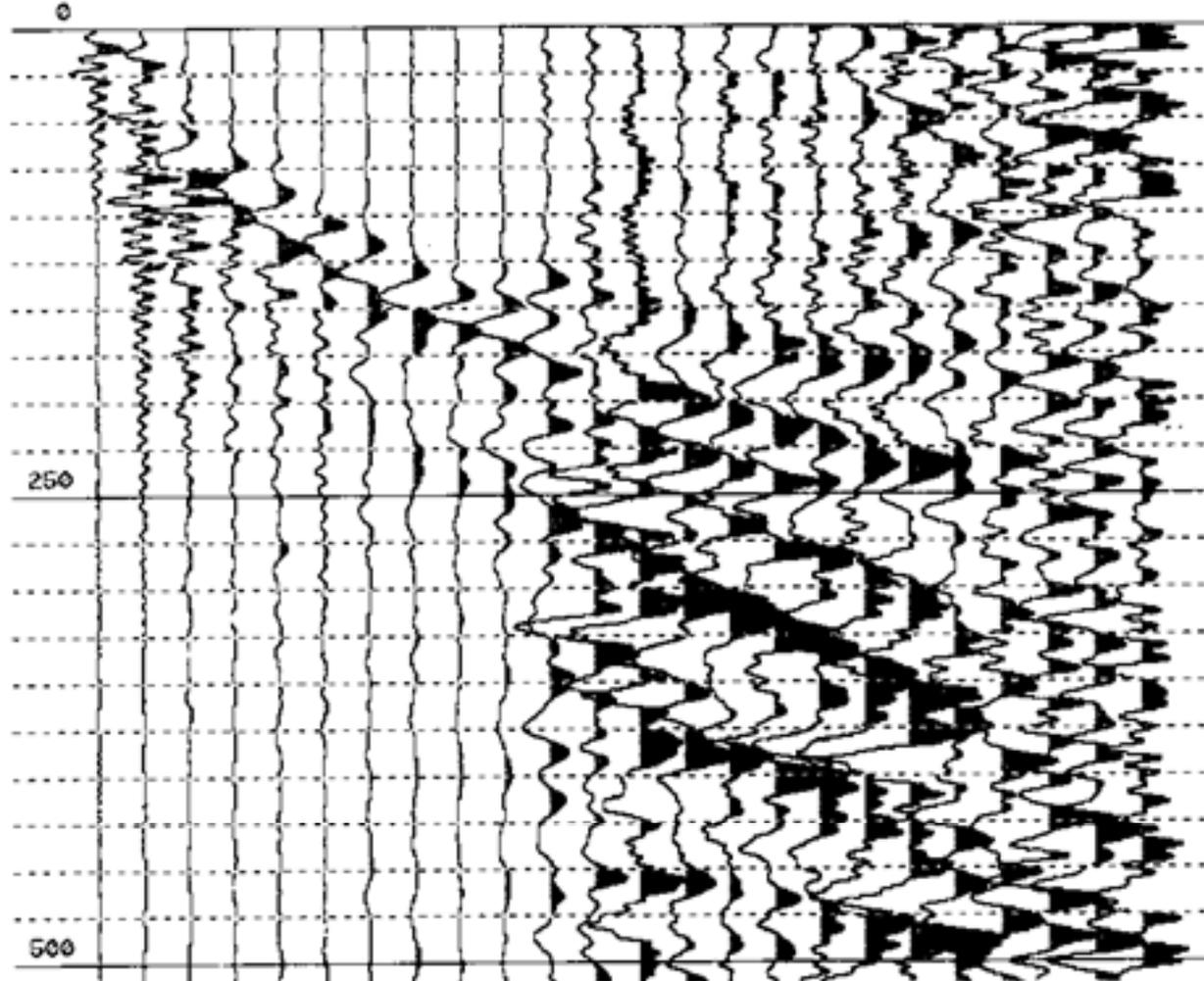
**B:** l'interpretazione sismostratigrafica è parzialmente congruente con le dromocrone. E' necessario affinare l'interpretazione.

**C:** l'interpretazione sismostratigrafica è incongruente con le dromocrone. E' necessario rifare l'interpretazione.

# **SISMOGRAMMI RELATIVI A LINEE SISMICHE A RIFRAZIONE**

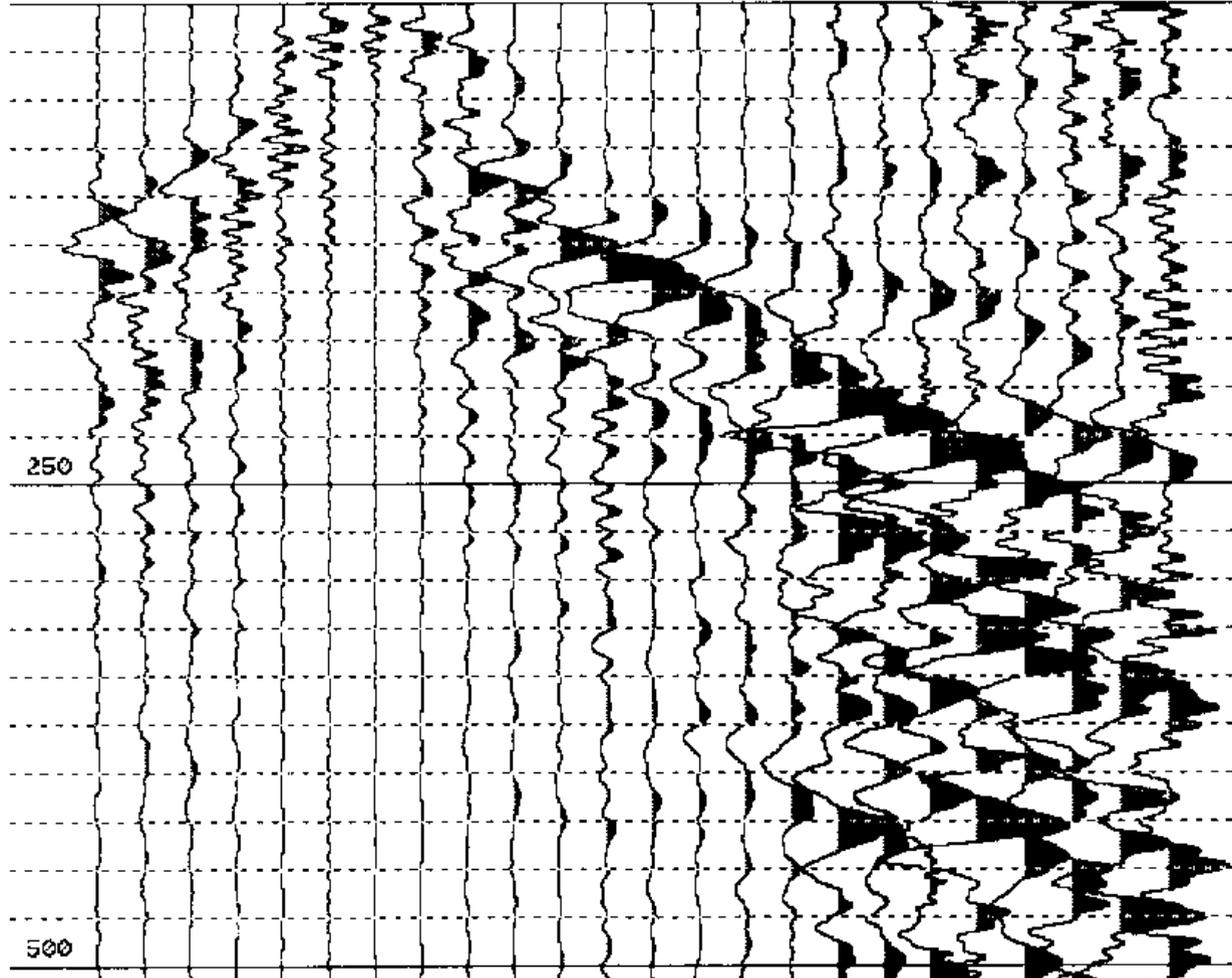
**ESEMPIO DI DISTURBO AD ALTE  
FREQUANZE**

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24  
3 24 33 33 36 33 39 42 39 48 60 60 69 69 69 72 72 75 78 72 72 72 75



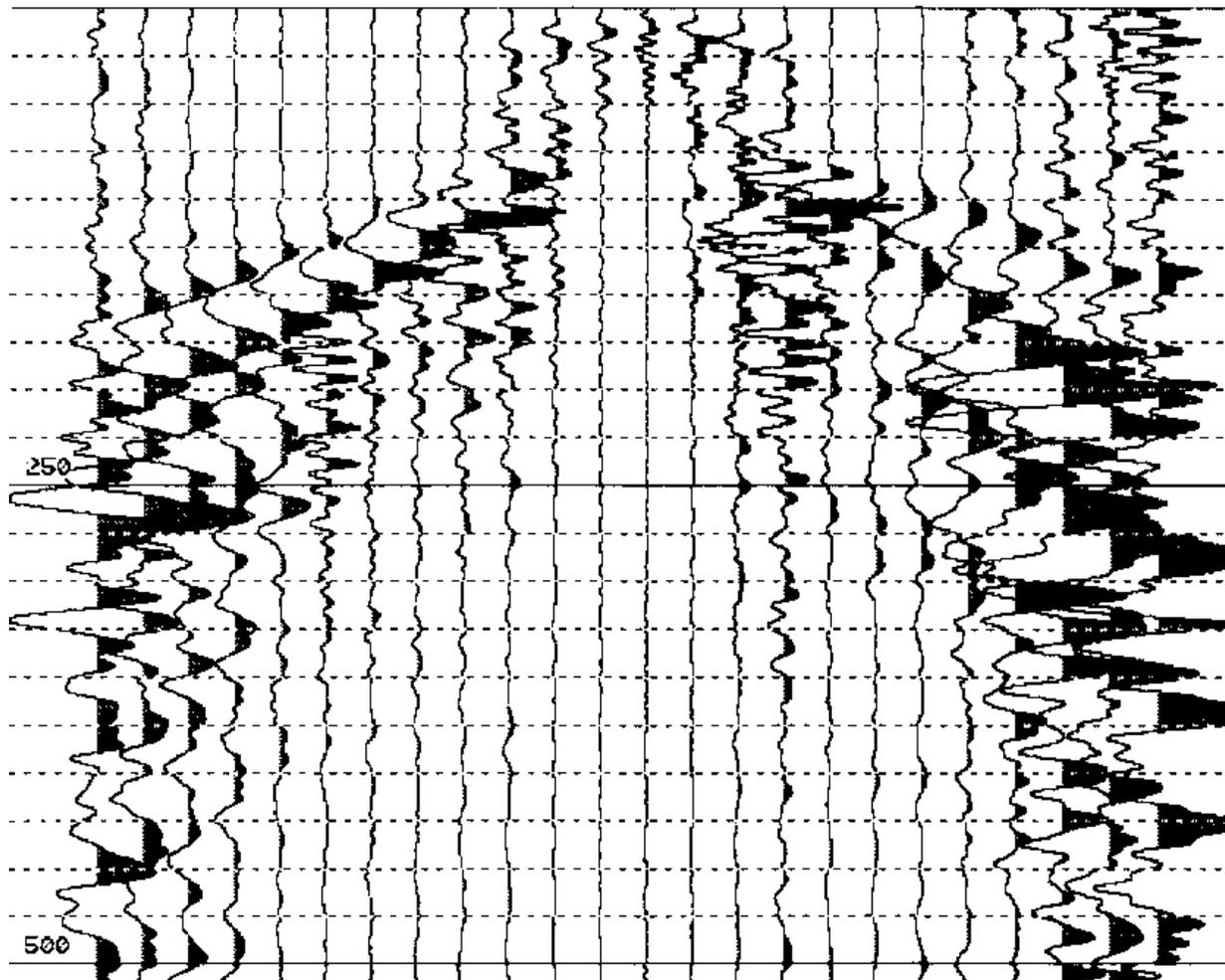
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24  
39 39 39 36 27 6 0 27 39 42 45 45 48 51 54 57 60 60 69 72 66 63 69 66

0

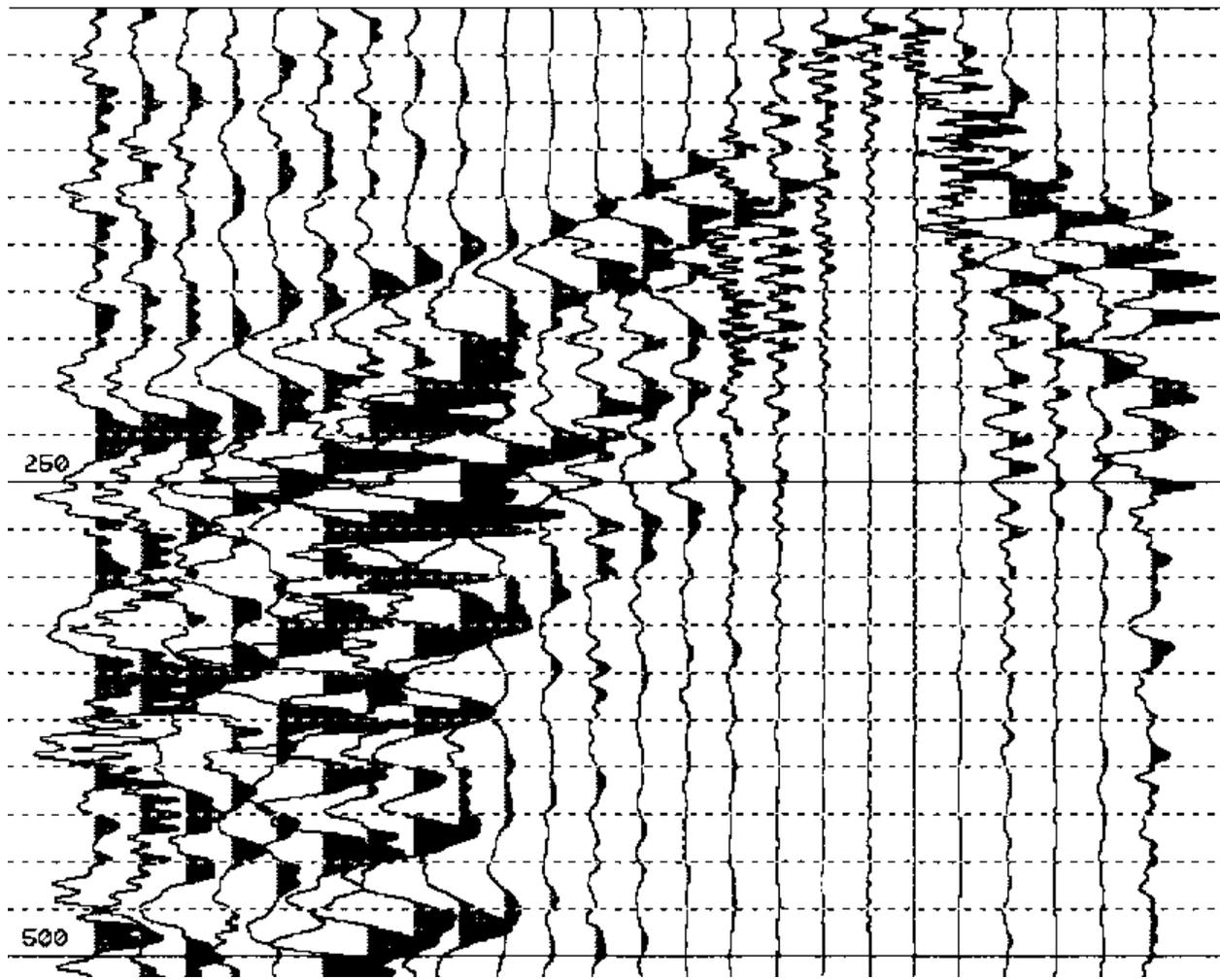


1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24  
69 66 63 60 54 45 48 45 48 48 36 9 9 36 48 54 48 48 54 60 66 66 69 72

0



1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24  
72 72 72 72 72 72 75 72 69 60 67 54 54 61 48 39 30 12 15 36 45 36 39 51



# SISMOGRAMMI RELATIVI ALLA STESSA PROVA DI SISMICA A RIFRAZIONE IN ONDE S

Per ogni scoppio vengono riportati i sismogrammi con

## Acquisizione carente – Buona acquisizione

Dovuta ad una scarsa energizzazione

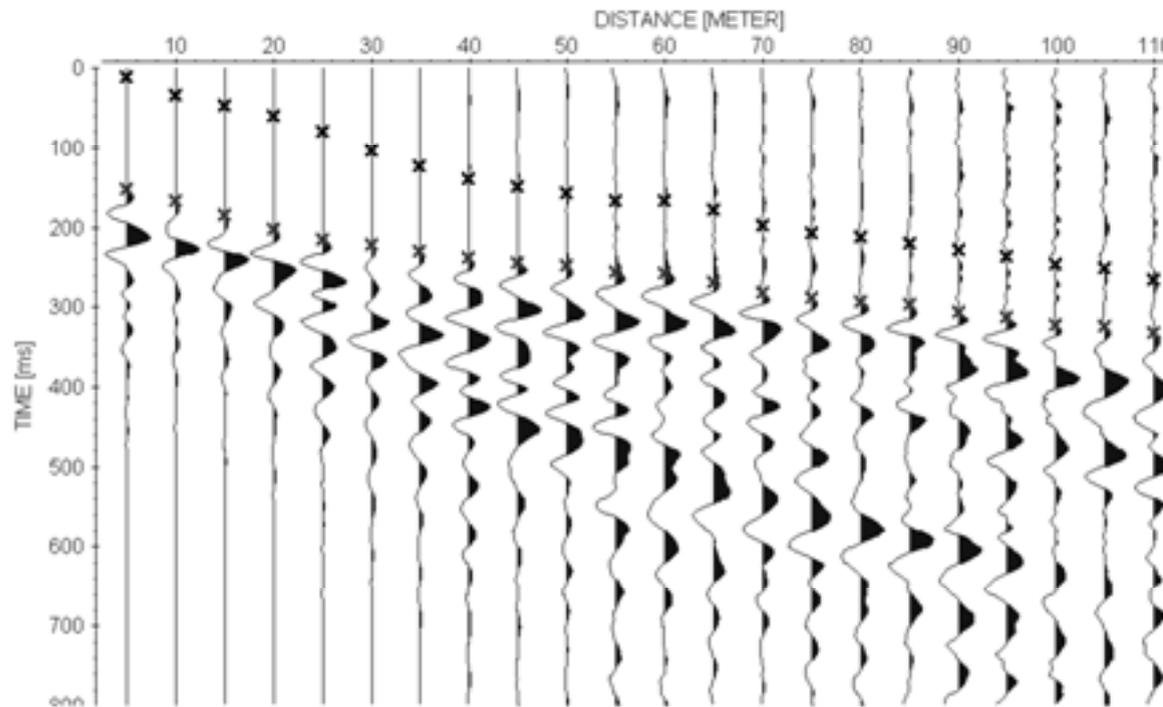
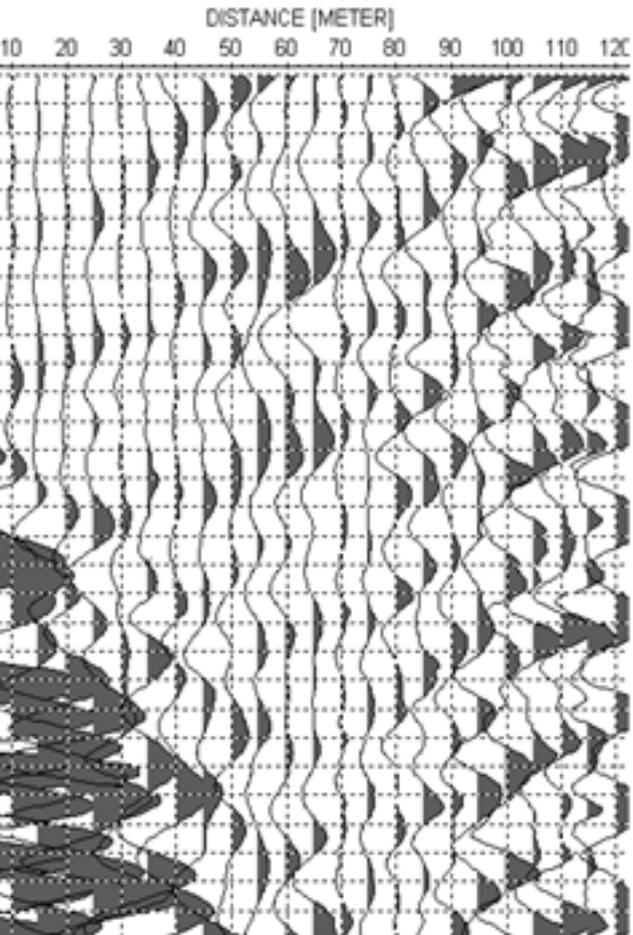


VALUTAZIONE **C**

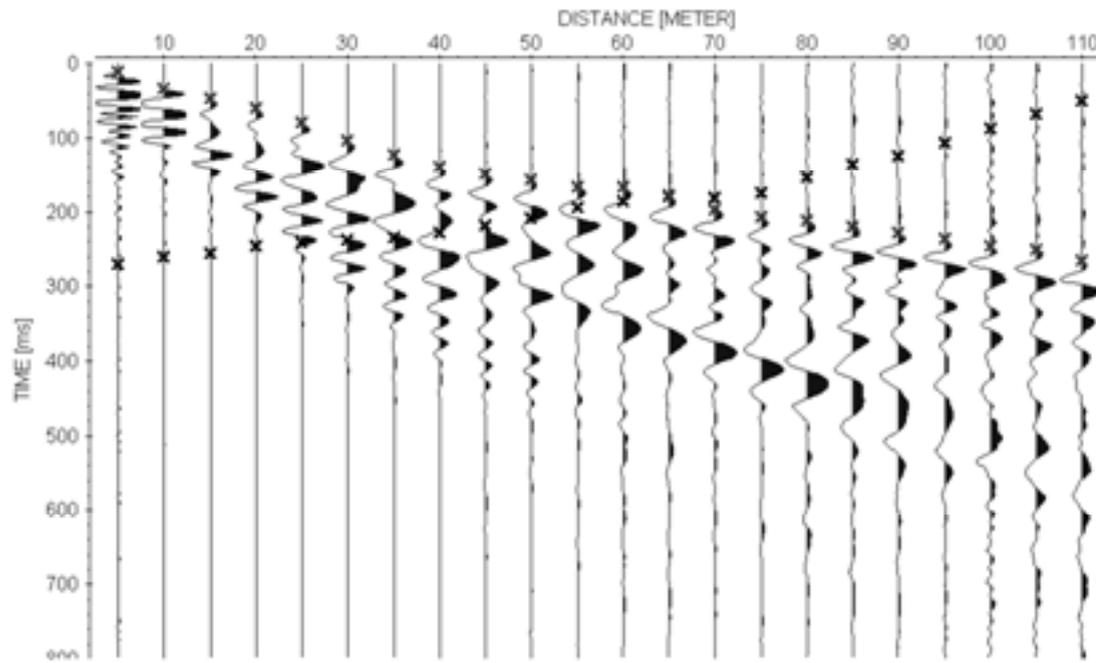
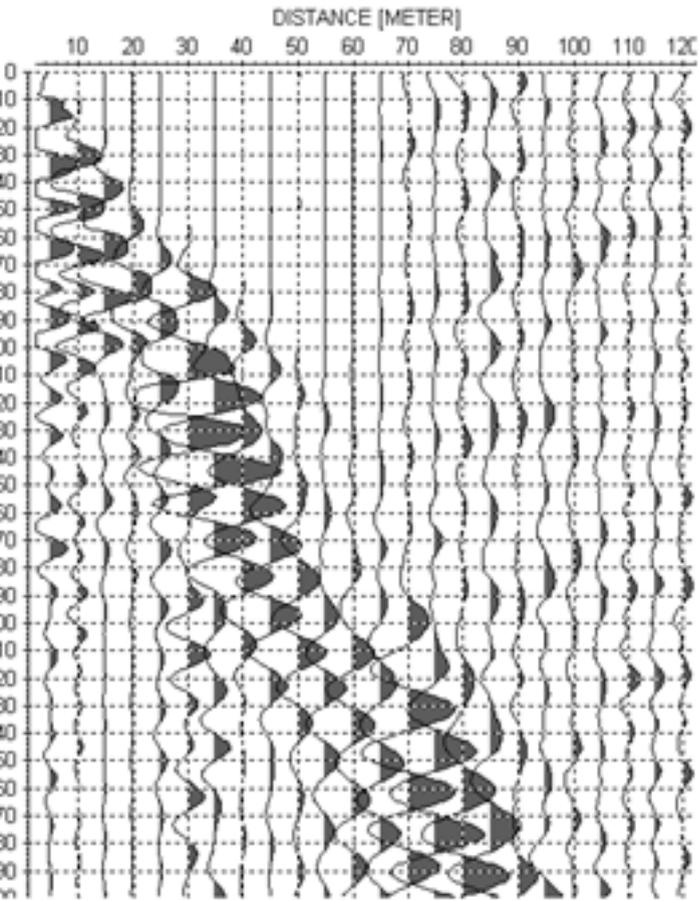


VALUTAZIONE **A**

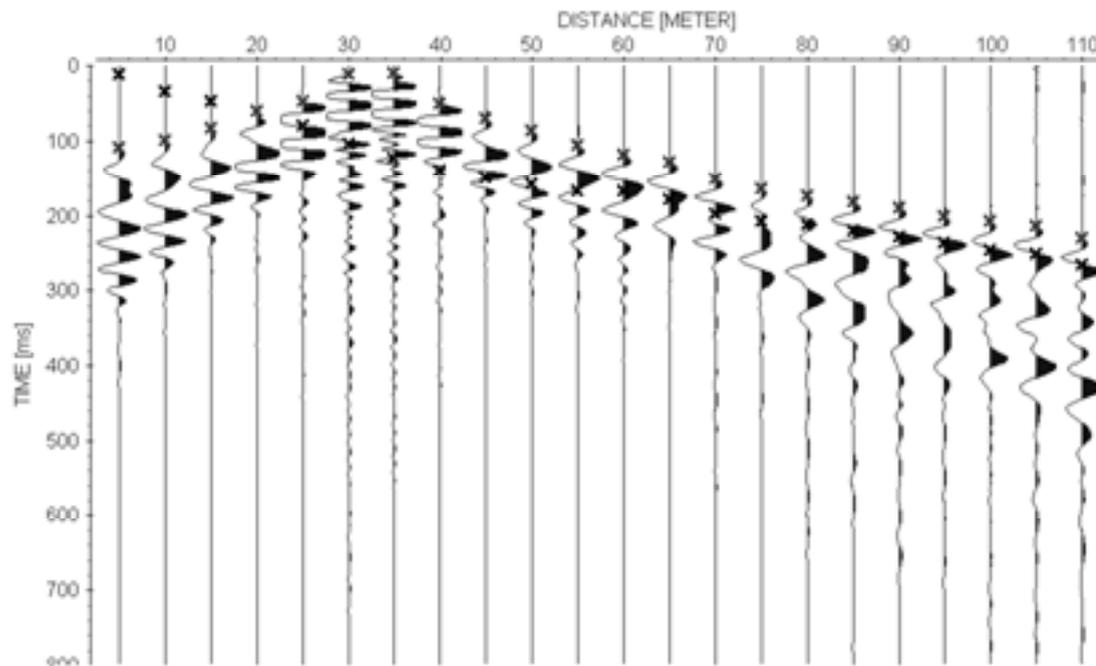
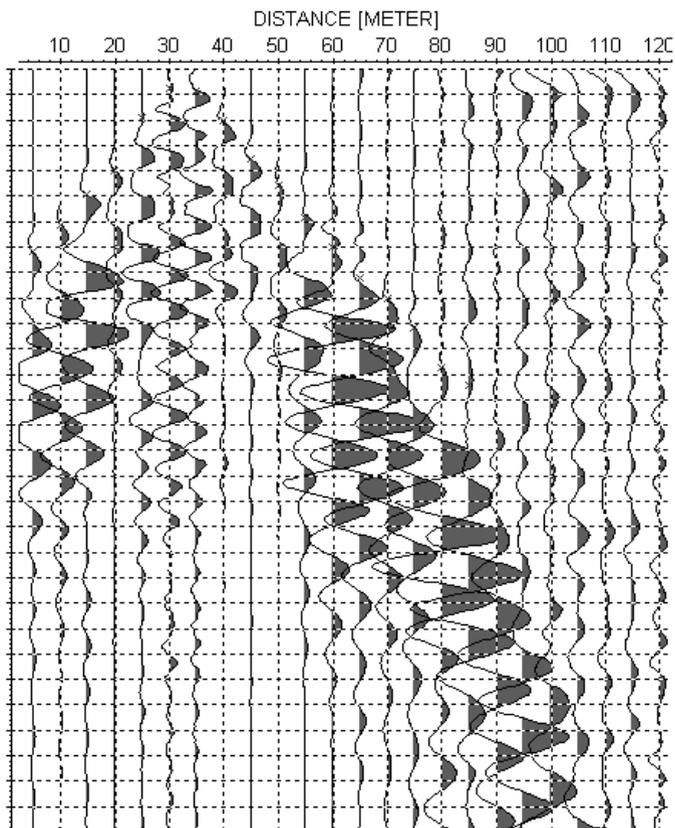
# SCOPPIO E1



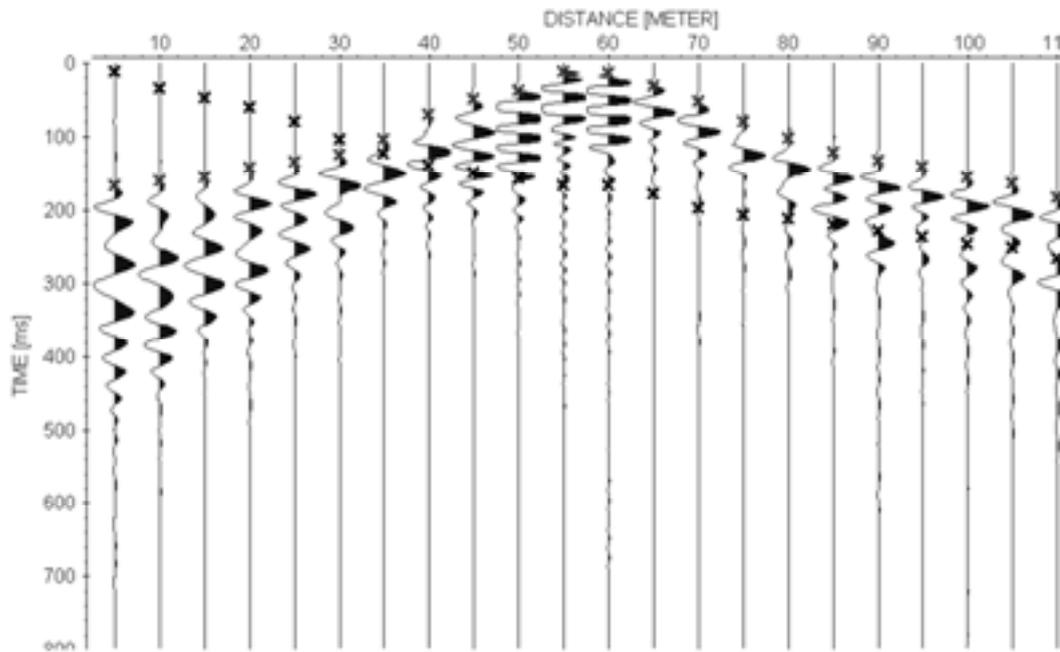
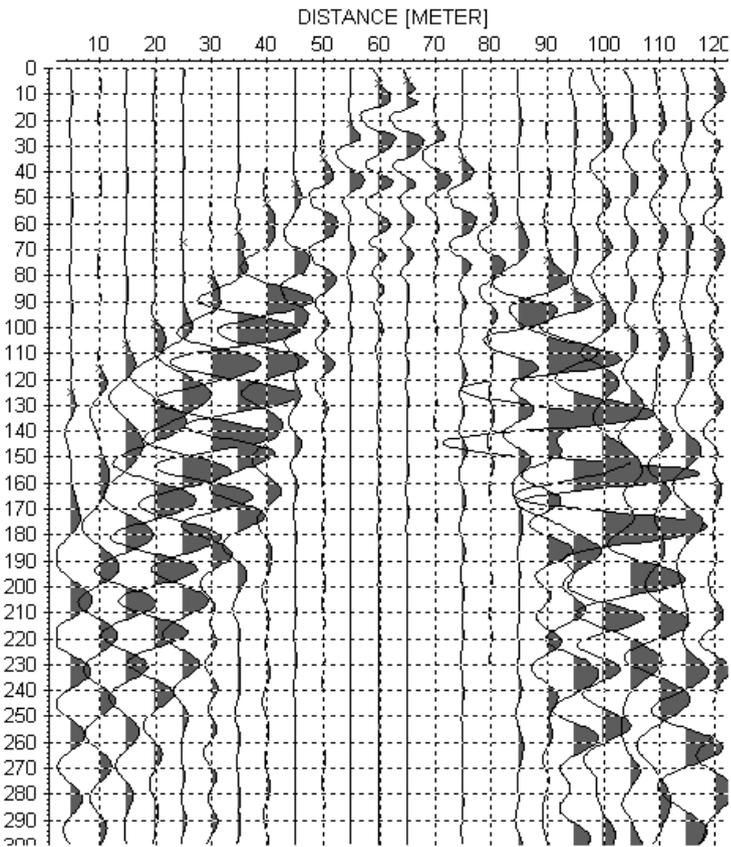
# SCOPPIO A



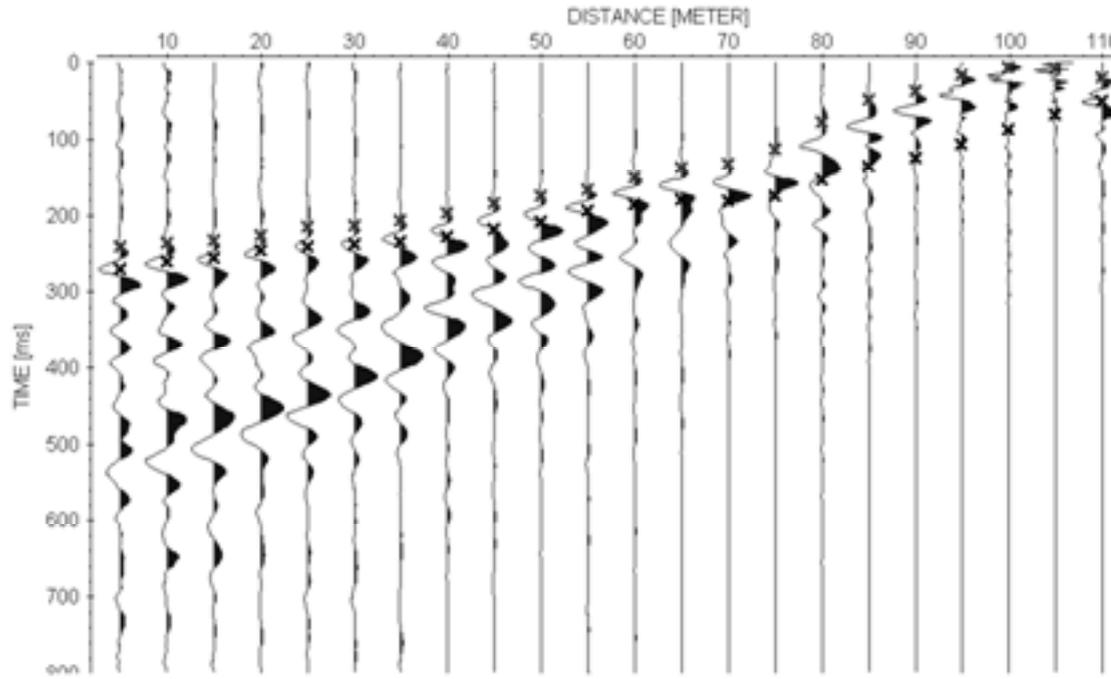
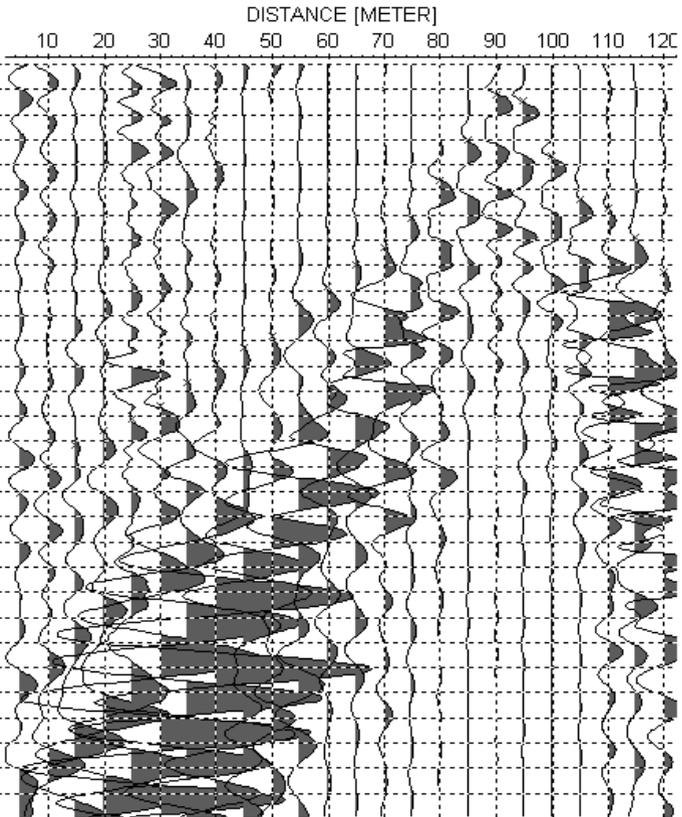
# SCOPPIO D1



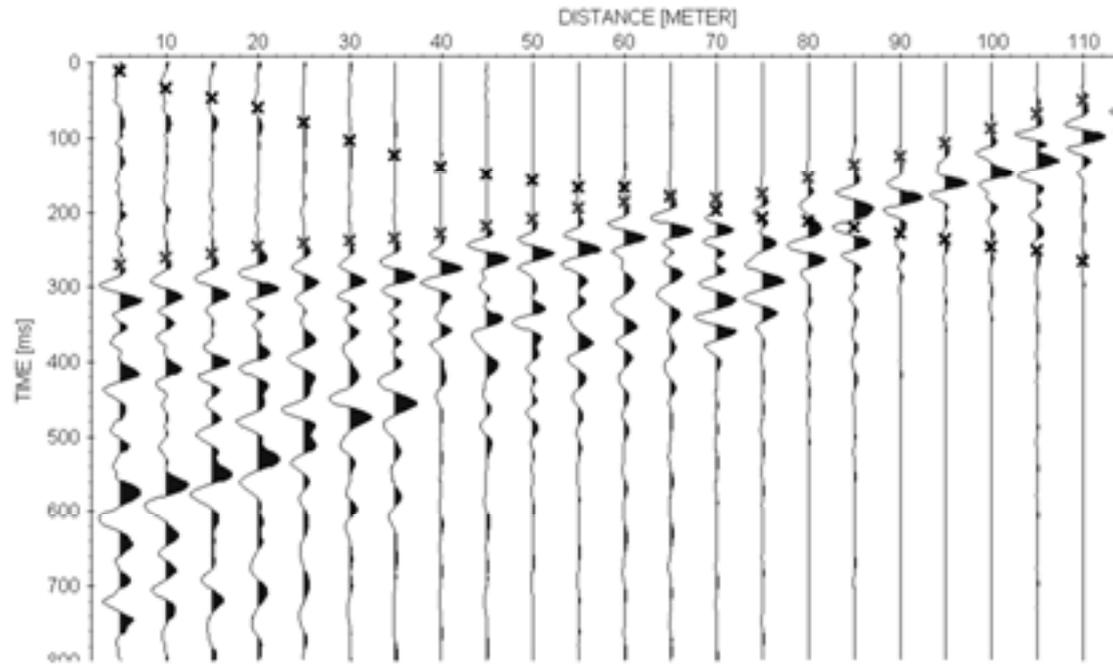
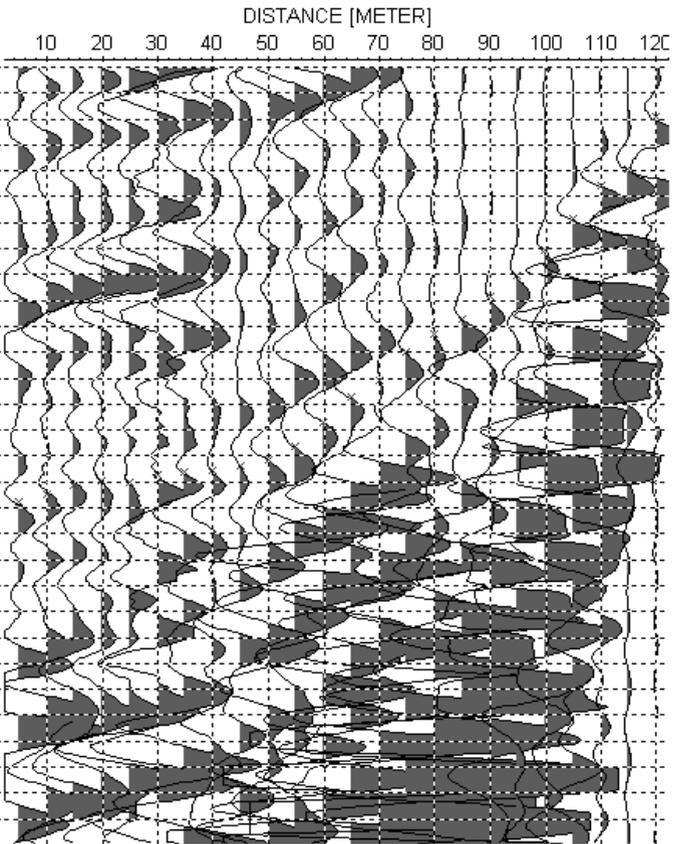
# SCOPPIO C



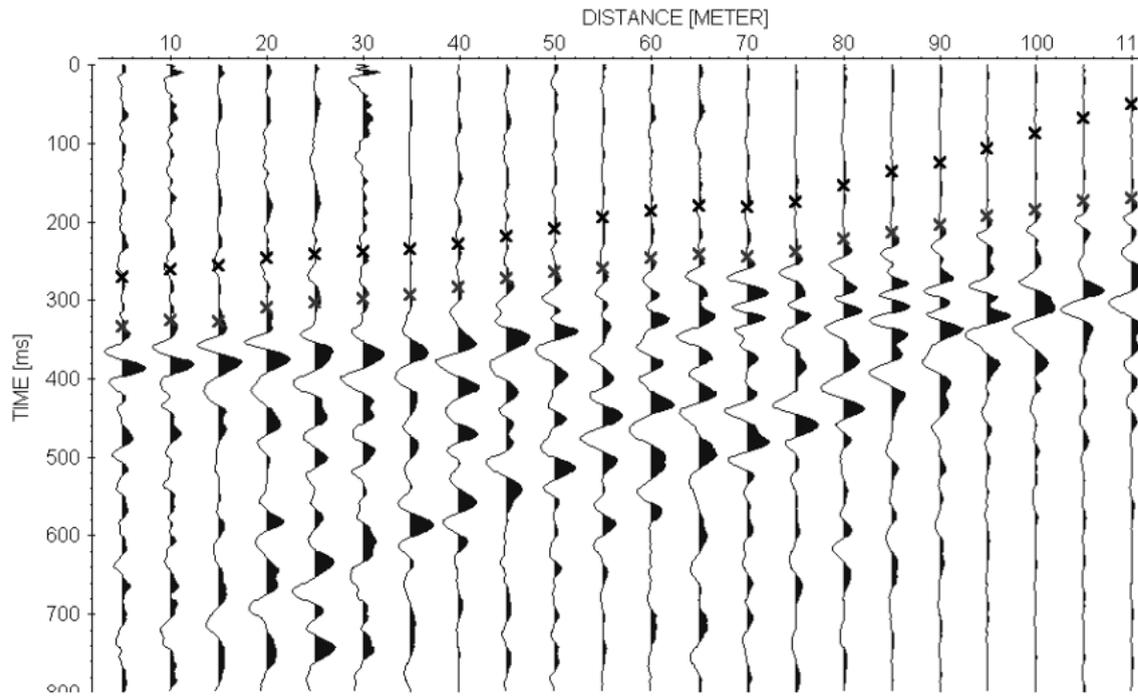
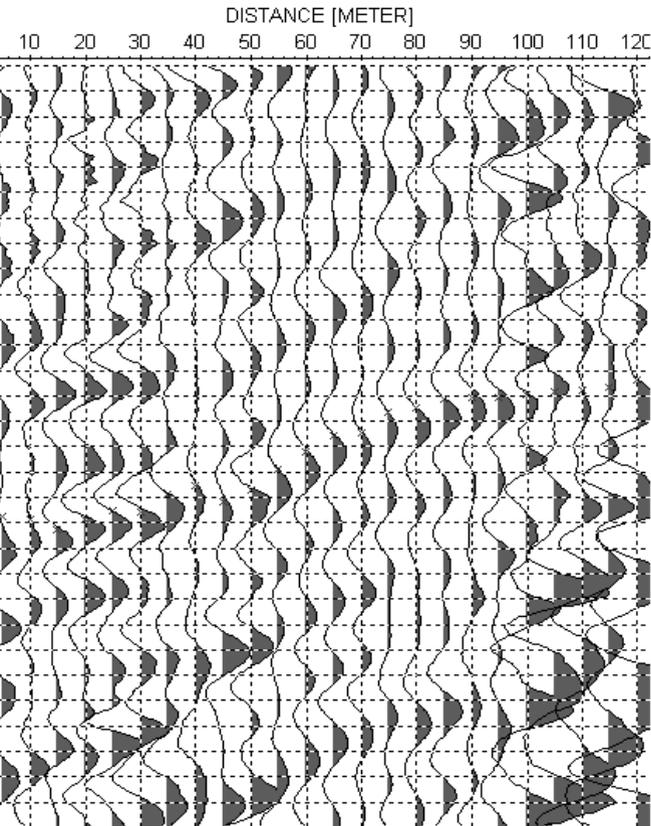
# SCOPPIO D2



# SCOPPIO B



# SCOPPIO E2



# **SISMOGRAMMI RELATIVI AD UN PROFILO DI SISMICA A RIFRAZIONE IN ONDE SH**

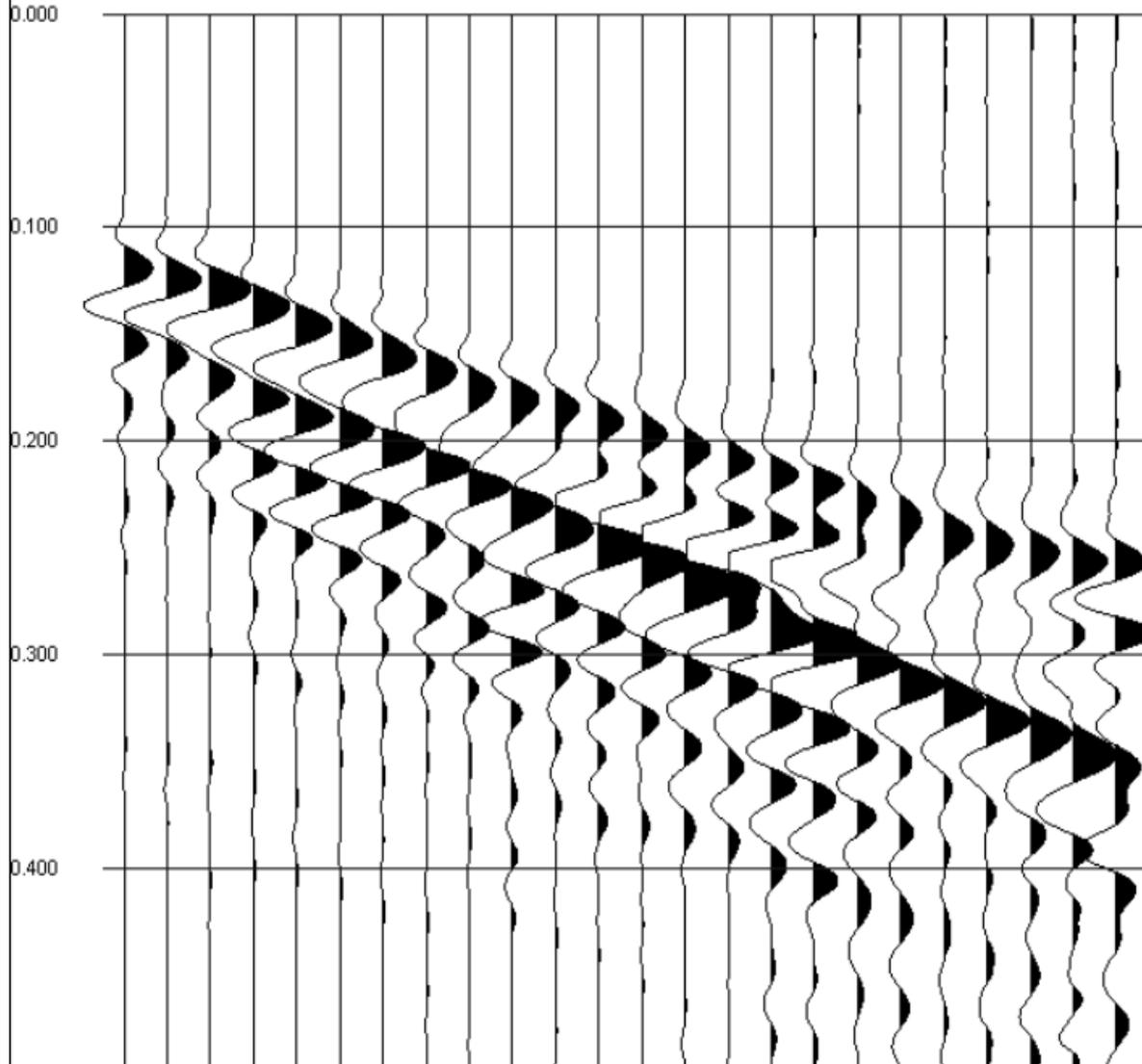
**Esempio di ottima acquisizione**

**VALUTAZIONE A**

SI 0.125ms RL 0.600s DELAY 0ms LOC -60ft AF DF (FRQ) STACK 30 READ FROM FILE 516.DAT 11/09/2004 13:57:26.00

Channel: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24

Gain: 51 55 60 59 58 57 59 58 57 60 62 64 64 67 64 68 71 73 69 72 71 71 73 74

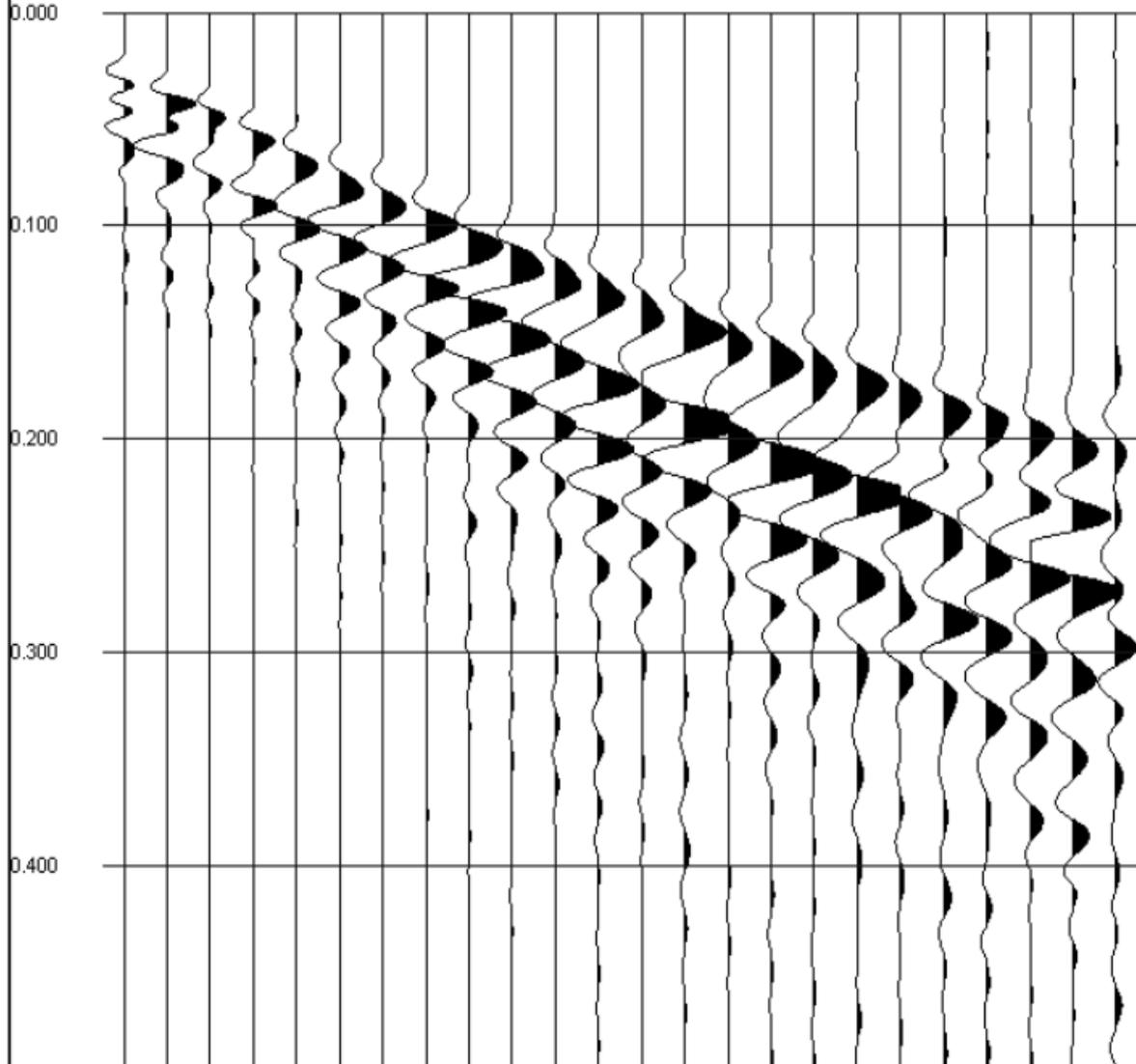


**SCOPPIO E1**

SI 0.125ms RL 0.600s DELAY 0ms LOC -2.5ft AF DF (FRQ) STACK 22 READ FROM FILE 514.DAT 11/09/2004 13:37:34.00

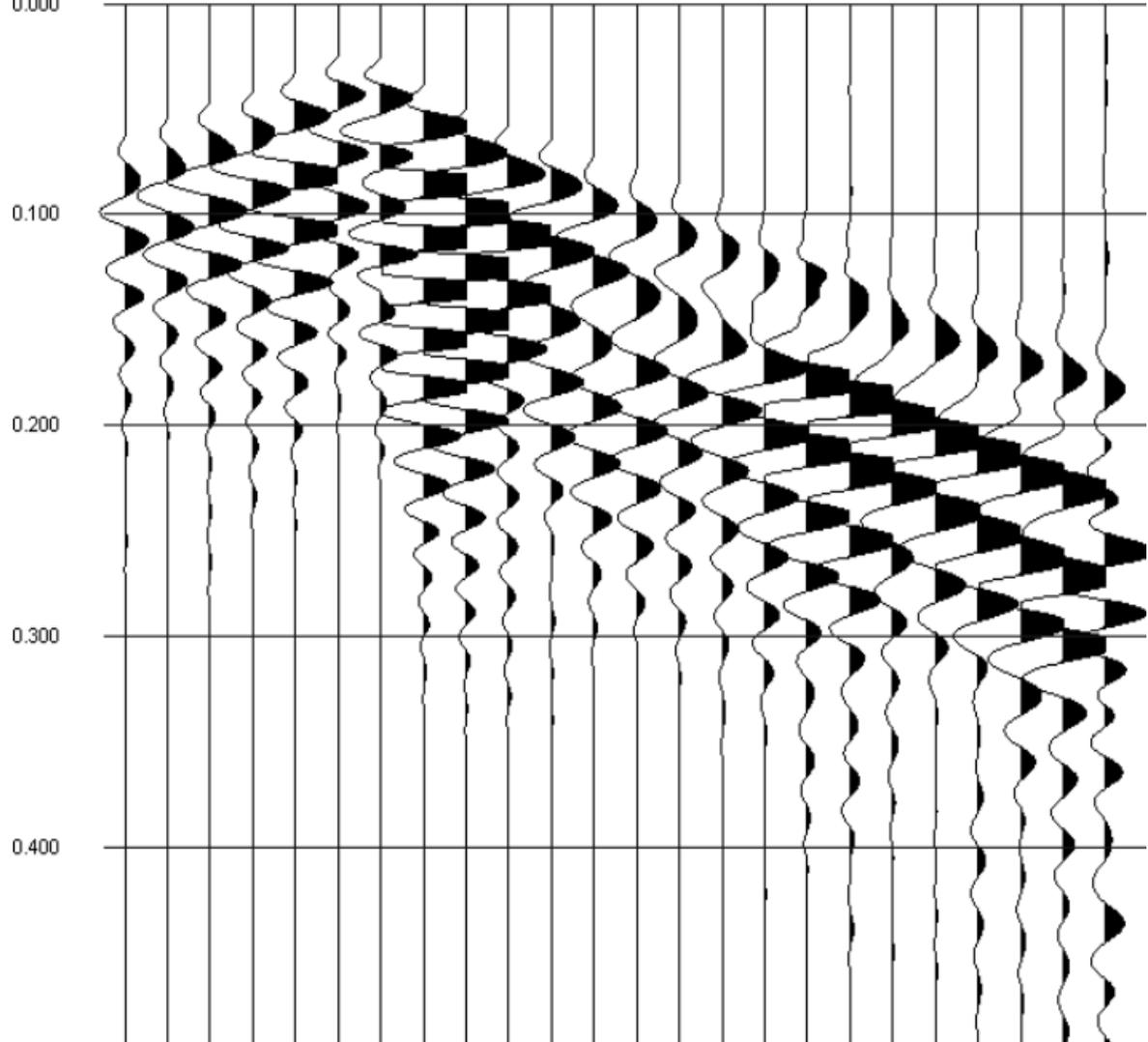
Channel: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24

Gain: 27 40 42 44 46 48 50 52 54 57 59 61 61 61 55 62 62 70 63 69 68 68 70 68



**SCOPPIO A**

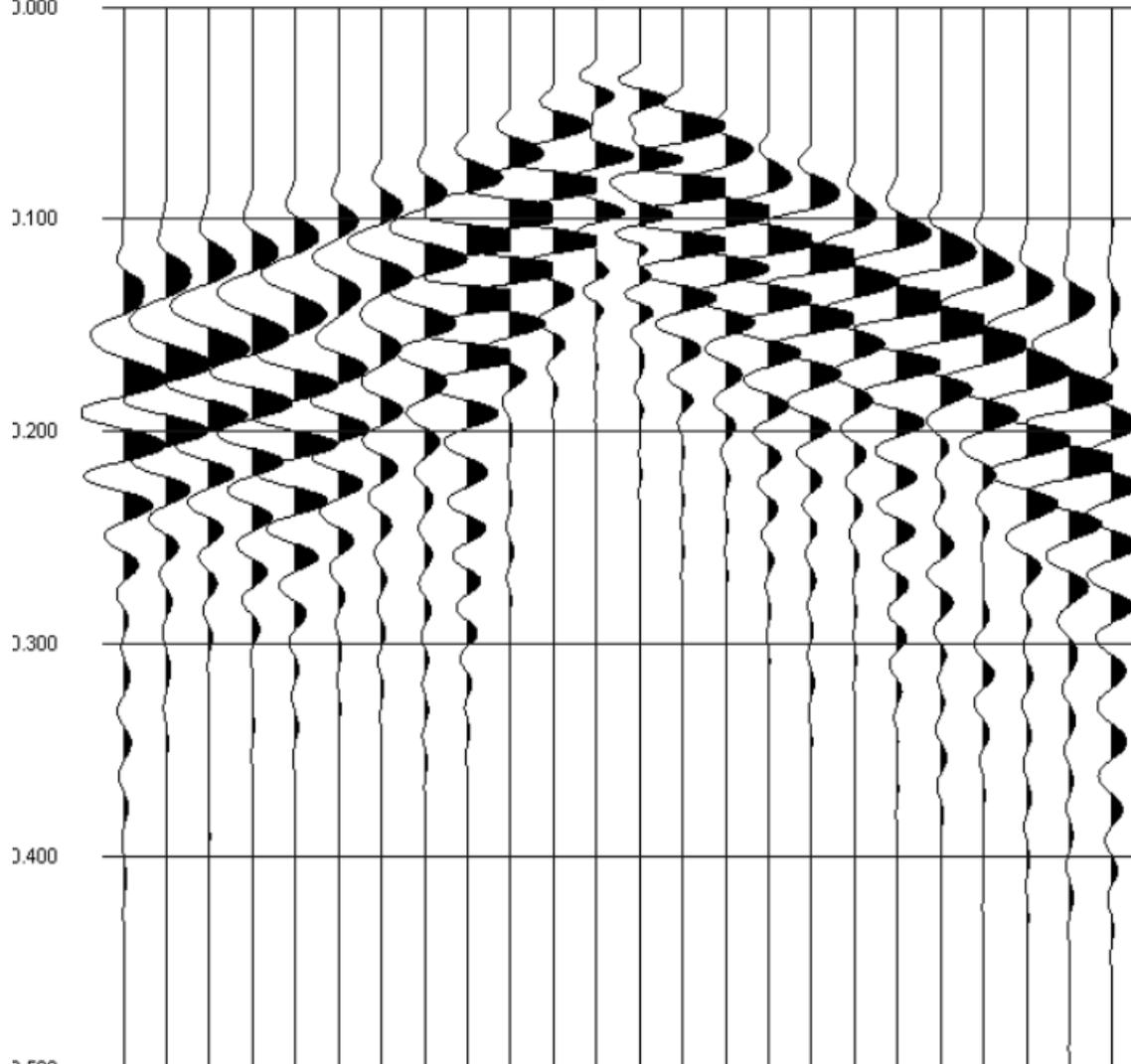
SI 0.125ms RL 0.600s DELAY 0ms LOC 27.5ft AF DF (FRQ) STACK 10 READ FROM FILE 513.DAT 11/09/2004 13:20:53.00  
Channel: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24  
Gain: 54 55 57 50 52 39 41 52 54 57 56 55 58 61 61 65 62 70 63 69 68 68 70 74  
0.000



# SCOPPIO D1

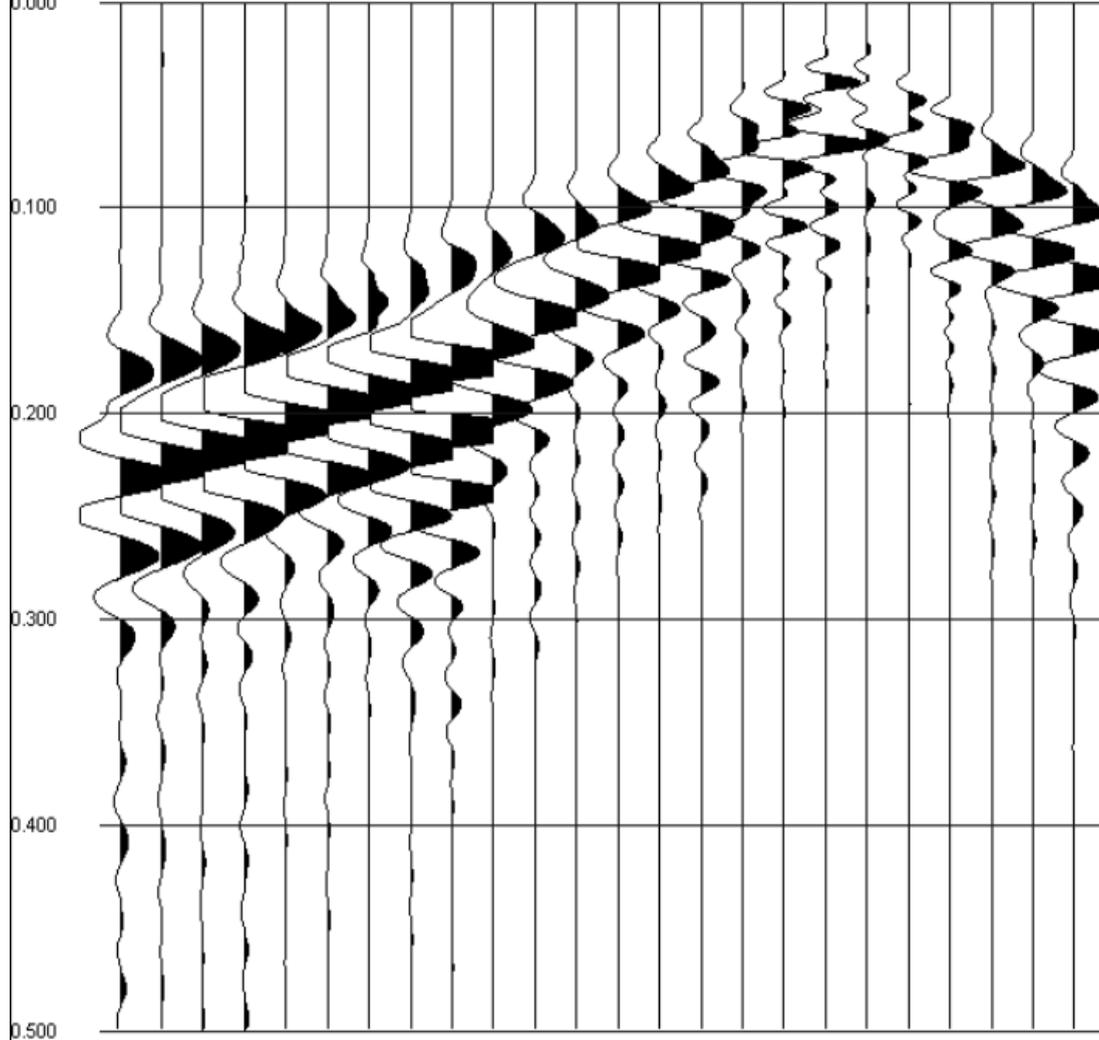
SI 0.125ms RL 0.600s DELAY 0ms LOC 57.5ft AF DF (FRQ) STACK 10 READ FROM FILE 512.DAT 11/09/2004 13:00:02.00

Channel:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Gain:	69	70	69	65	61	54	53	49	48	45	41	31	34	46	43	47	53	58	60	66	65	65	67	68



**SCOPPIO C**

SI 0.125ms RL 0.600s DELAY 0ms LOC 87.5Ft AF DF (FRQ) STACK 10 READ FROM FILE 511.DAT 11/09/2004 12:38:06.00  
Channel: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24  
Gain: 69 70 69 68 64 60 56 55 57 51 53 46 46 46 52 47 44 40 30 42 50 53 58 59  
0.000



**SCOPPIO D2**

SI 0.125ms RL 0.600s DELAY 0ms LOC 117.5Ft AF DF (FRQ) STACK 20 READ FROM FILE 510.DAT 11/09/2004 12:23:03.00

Channel: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24

Gain: 78 76 75 71 70 69 68 67 69 69 68 64 64 64 61 56 56 55 54 54 50 44 43 32

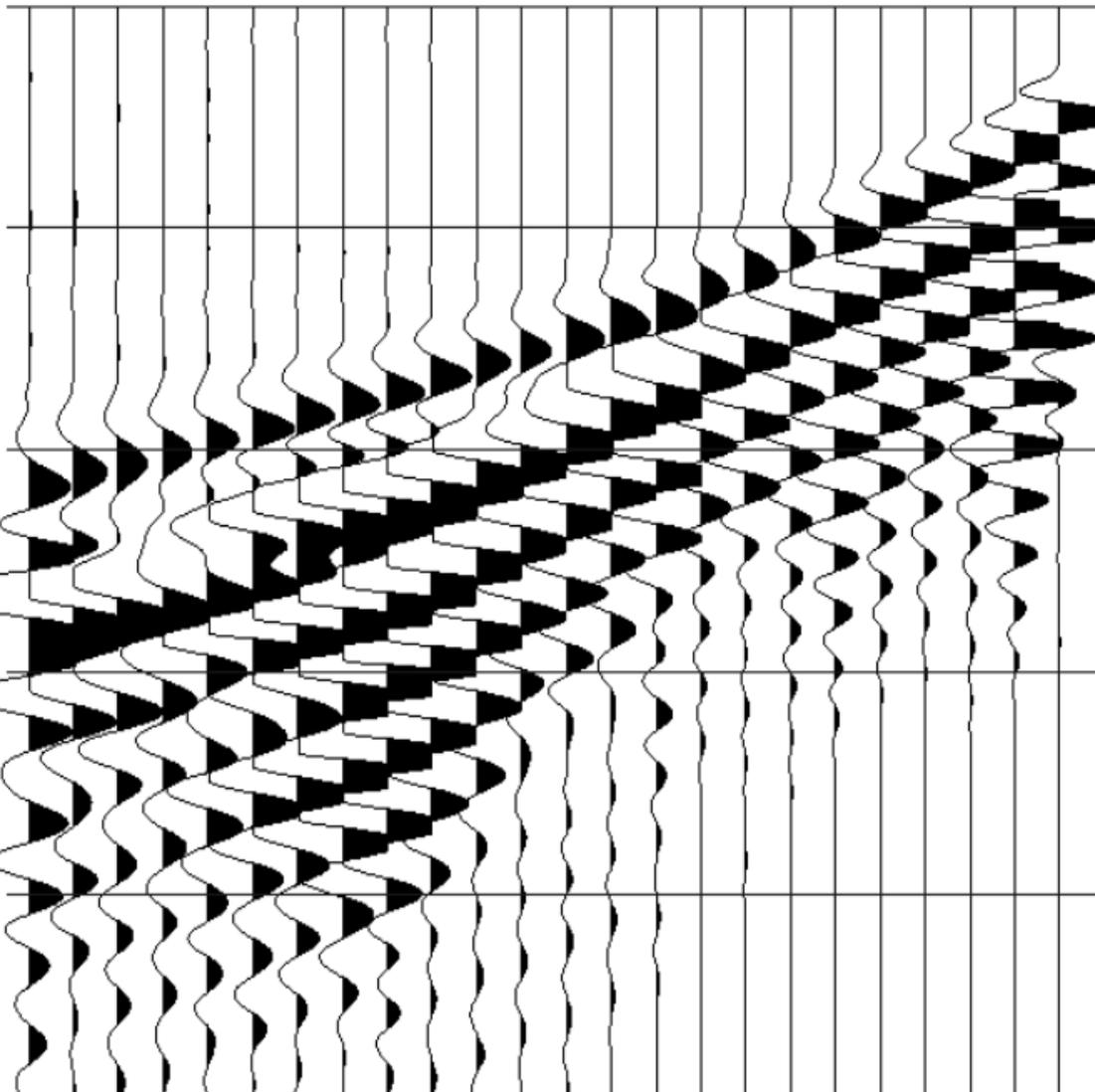
0.000

0.100

0.200

0.300

0.400

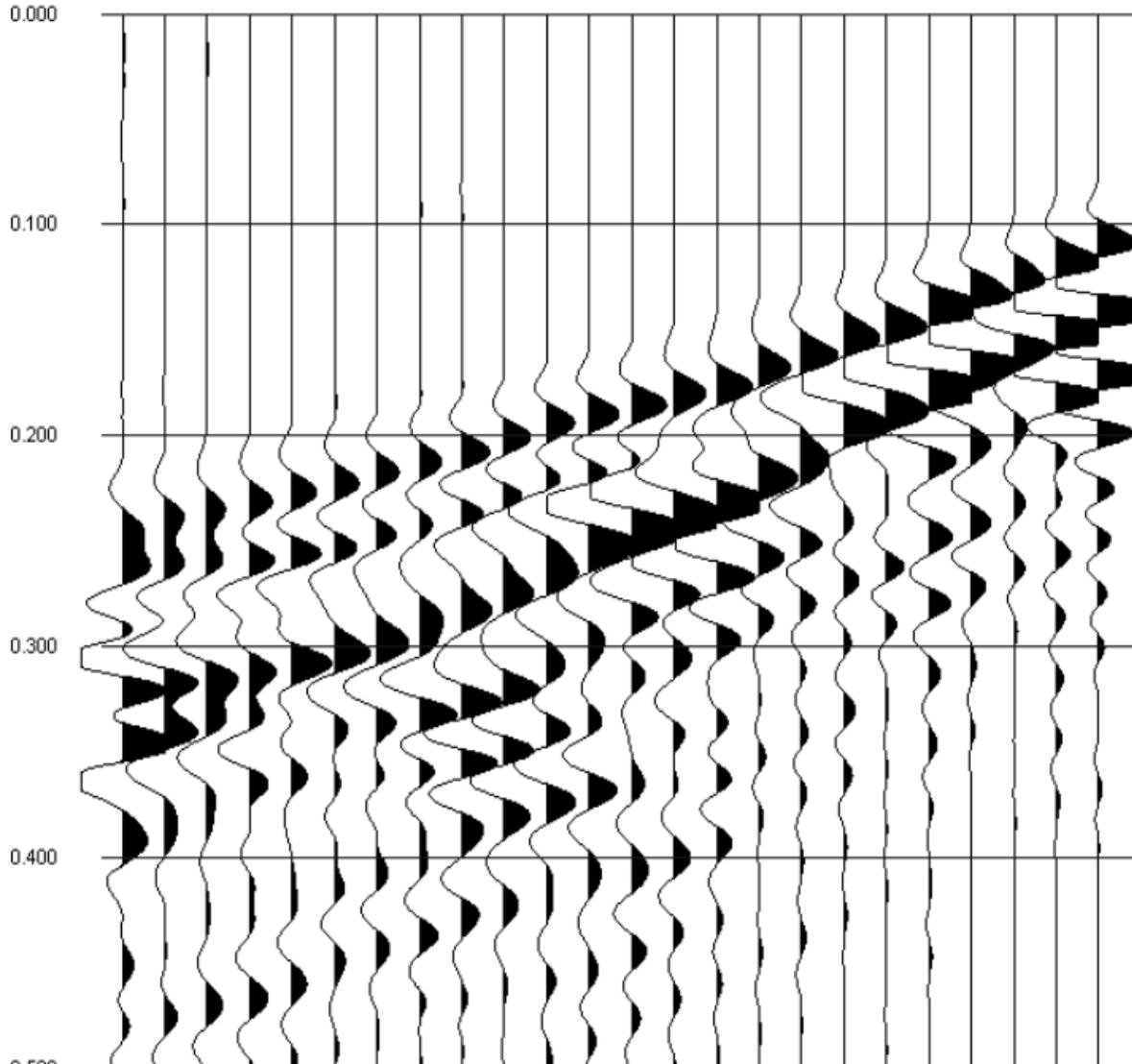


**SCOPPIO B**

SI 0.125ms RL 0.600s DELAY 0ms LOC 175Ft AF DF (FRQ) STACK 24 READ FROM FILE 509.DAT 11/09/2004 11:59:47.00

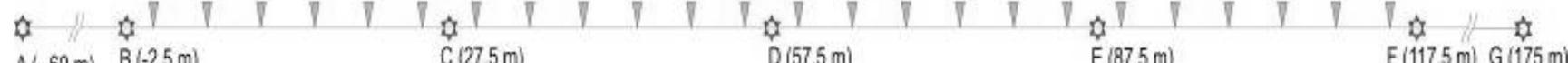
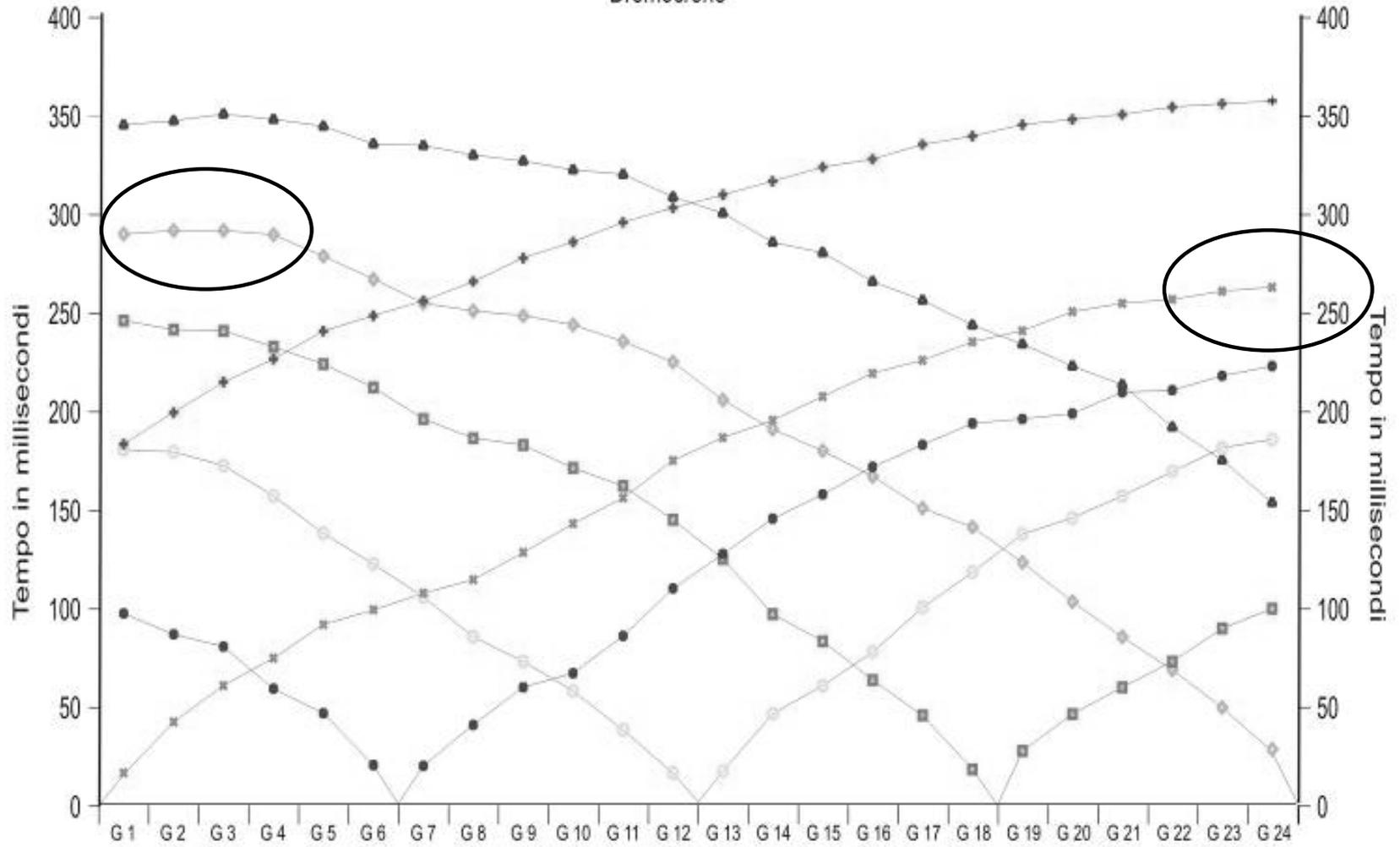
Channel: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24

Gain: 72 70 69 65 64 60 59 58 57 57 59 58 58 58 55 53 53 55 51 54 47 41 43 38



**SCOPPIO E2**

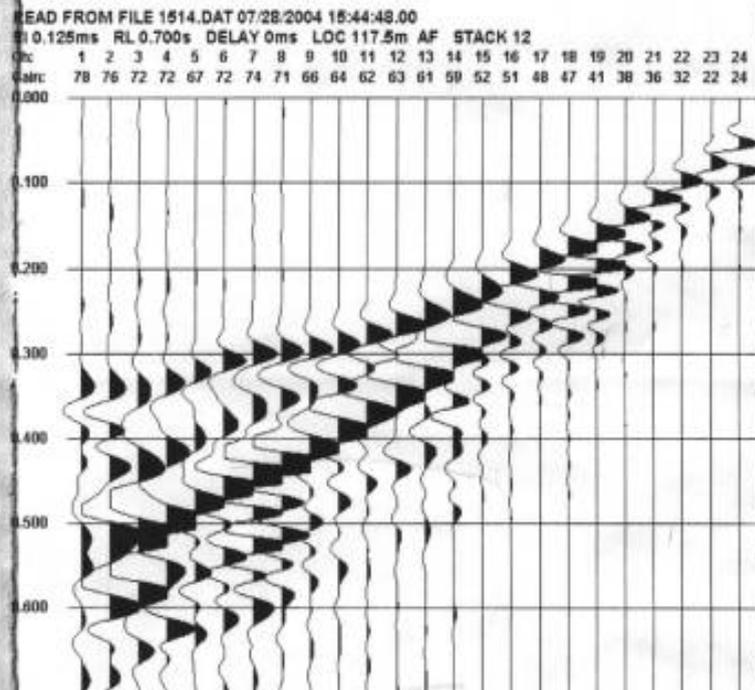
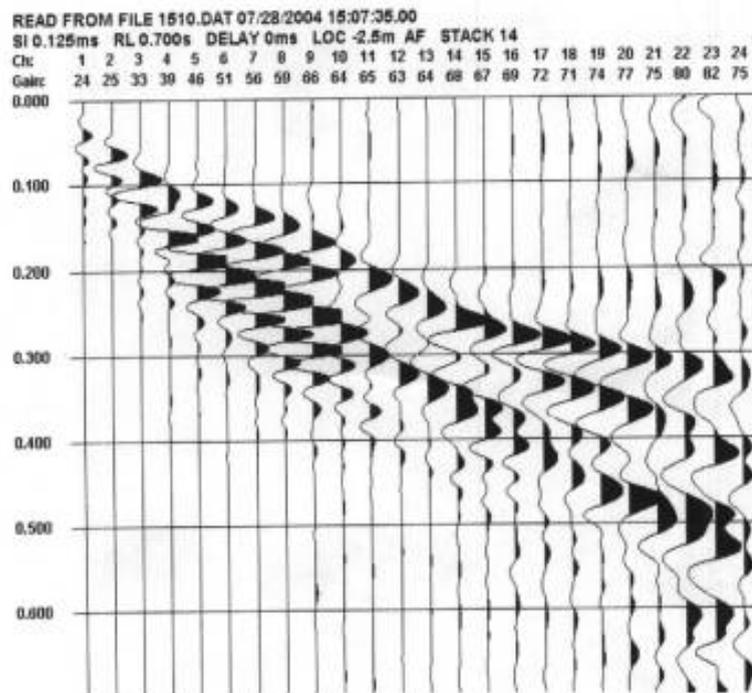
### Dromocrone

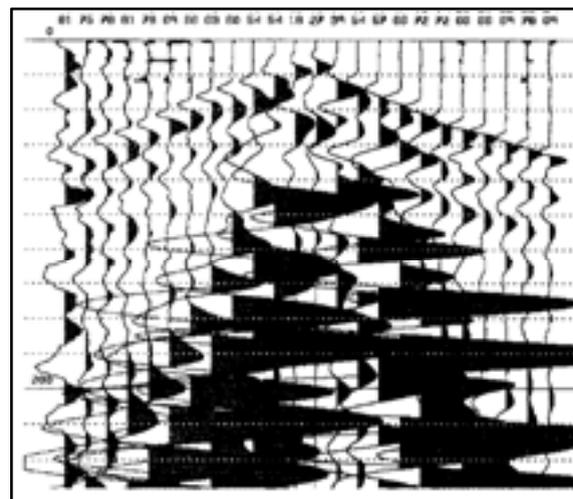
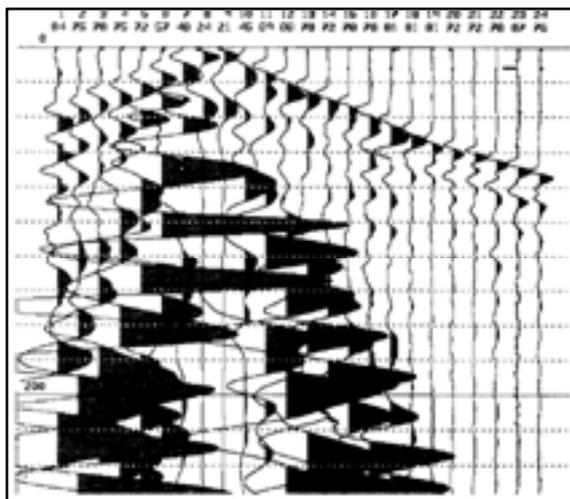
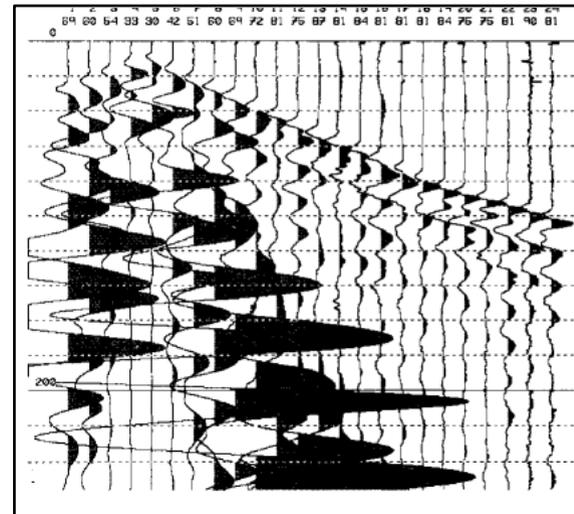
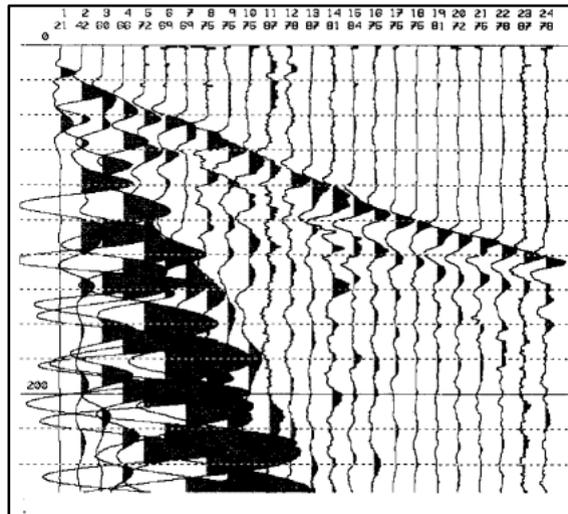
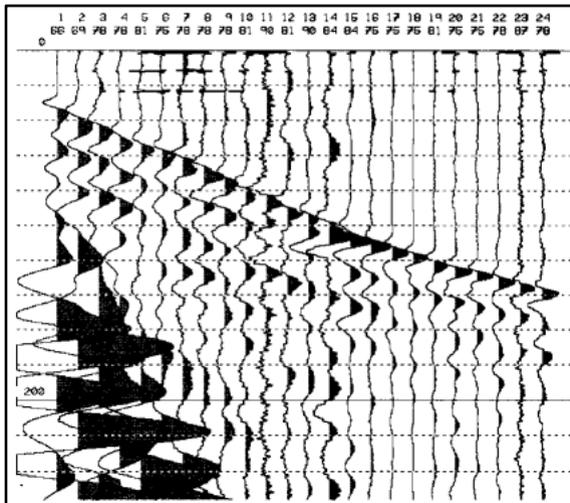


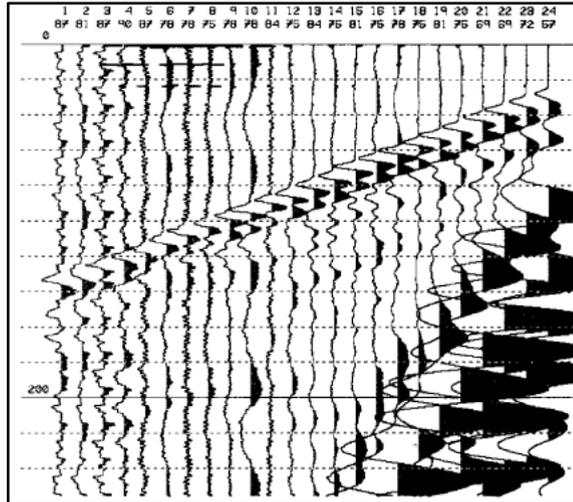
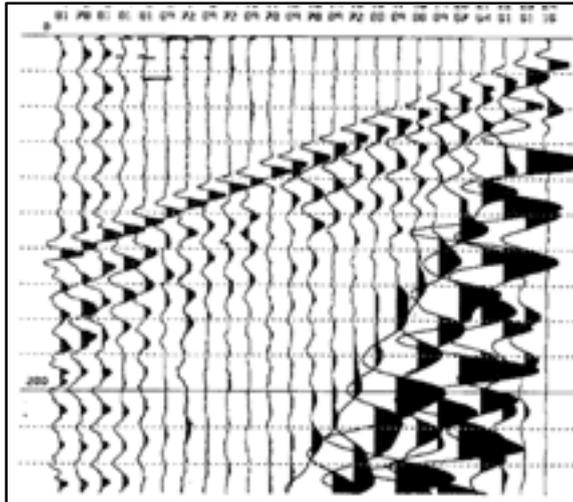
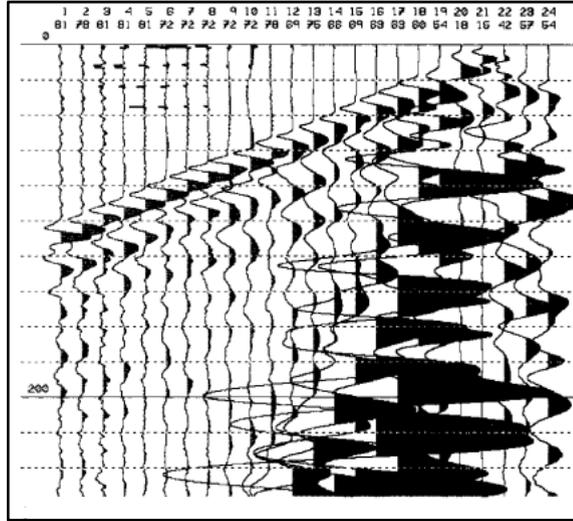
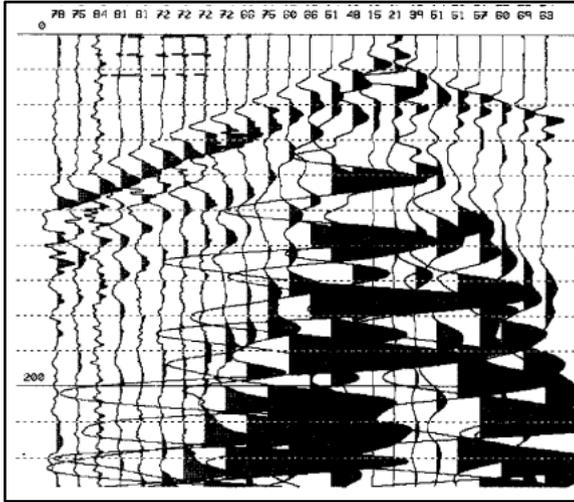
# DROMOCRONE RELATIVE AI TIRI ESTREMI A E B

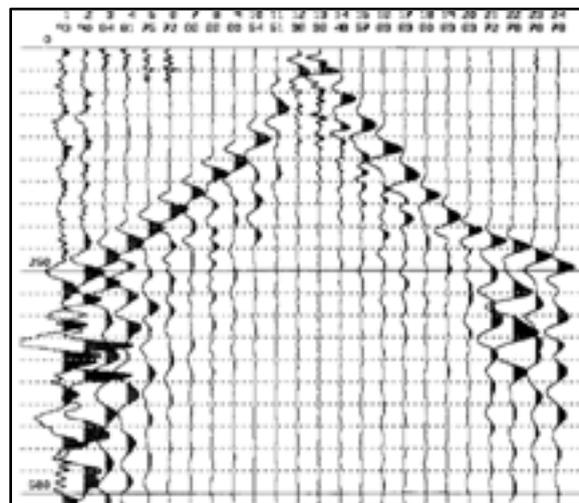
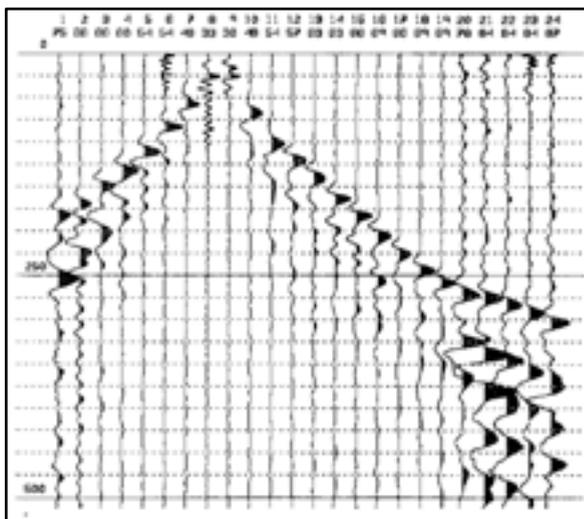
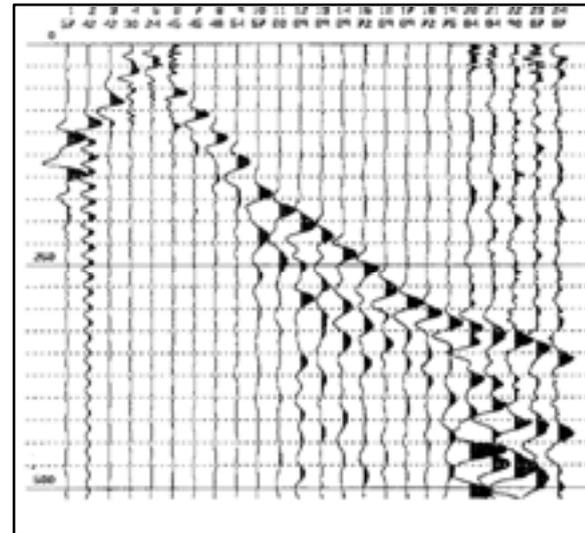
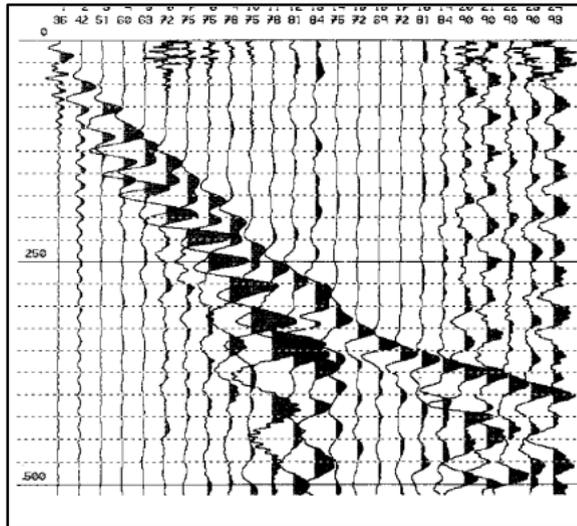
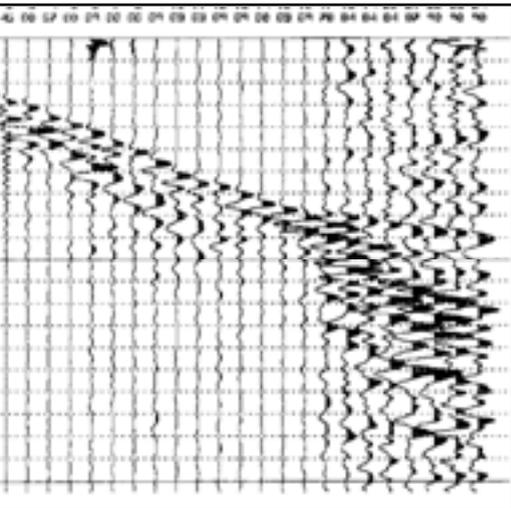
## Tiro Estremo sx A

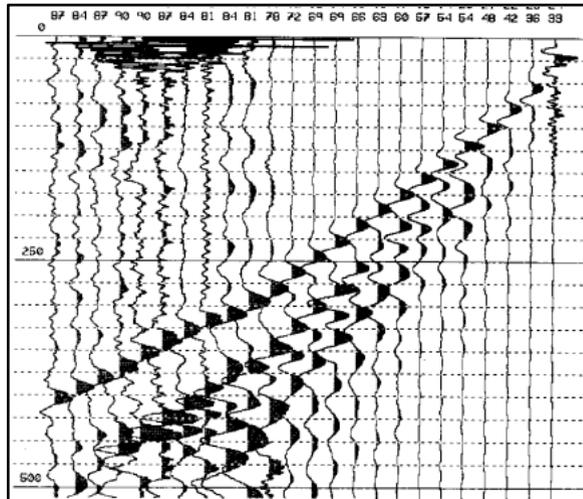
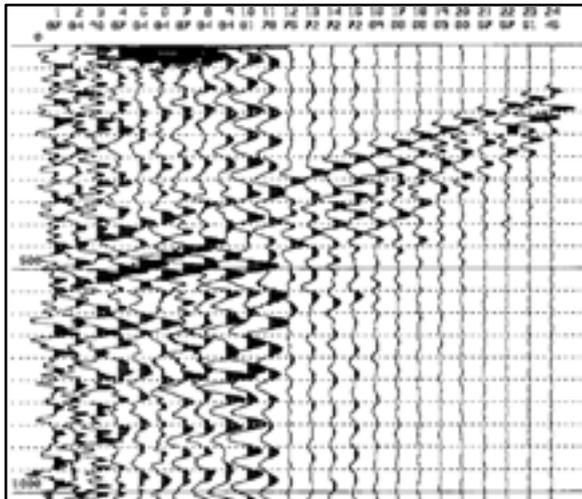
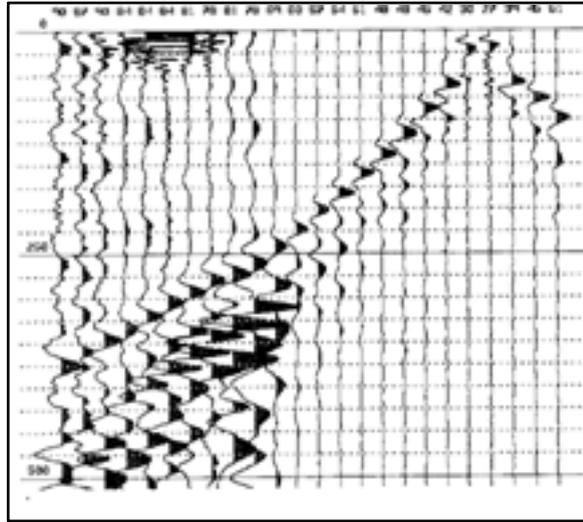
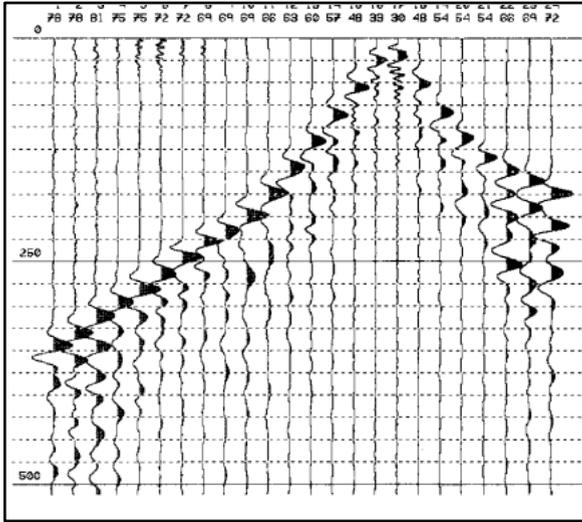
## Tiro Estremo dx B

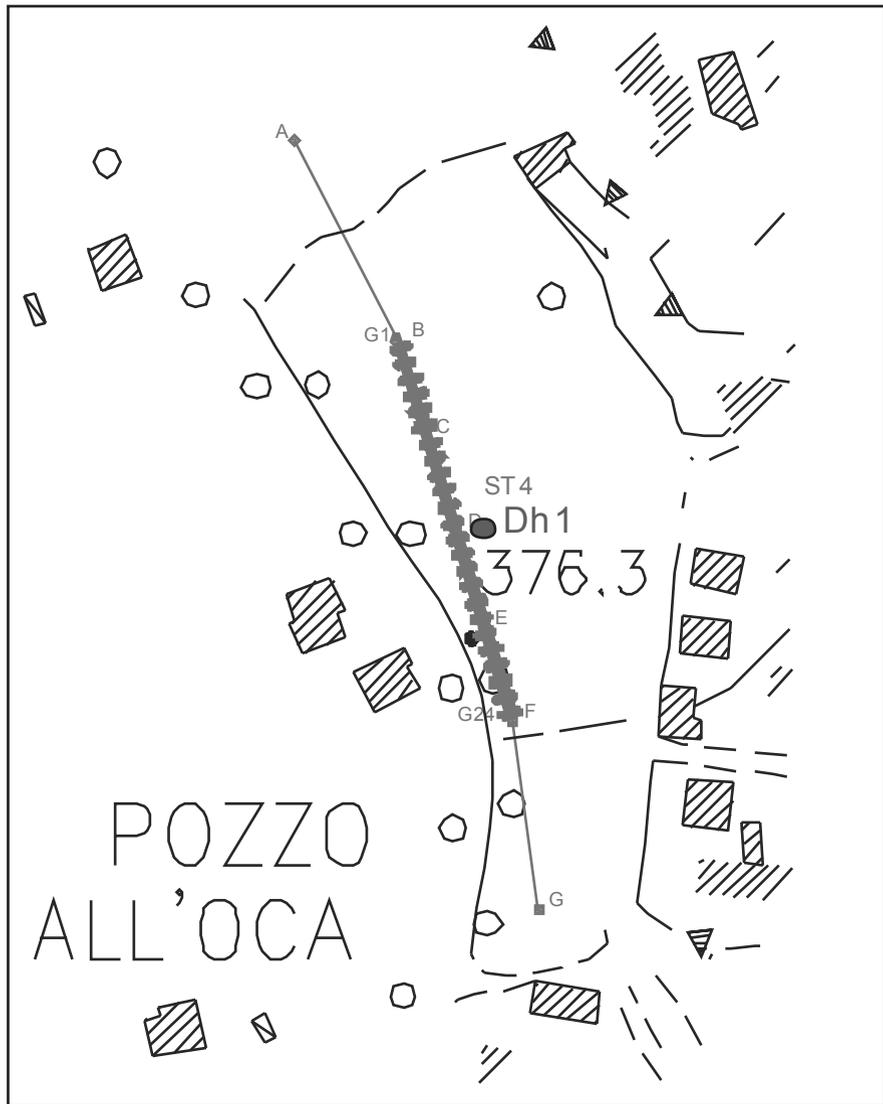




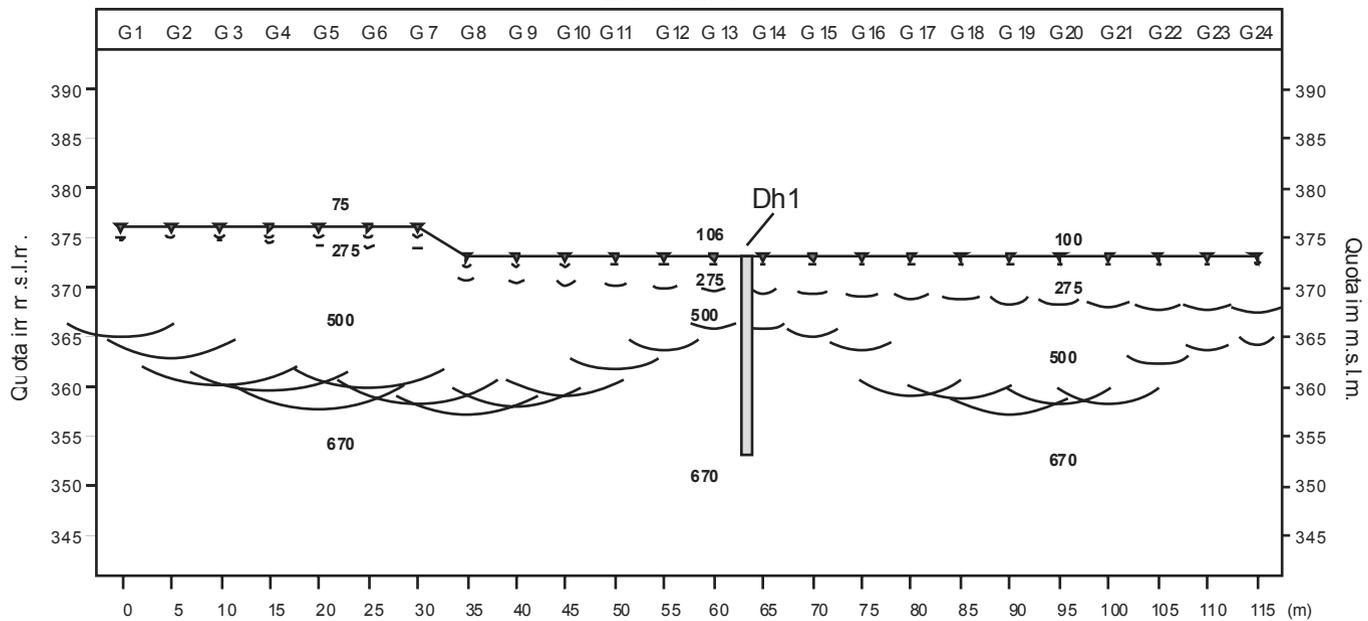




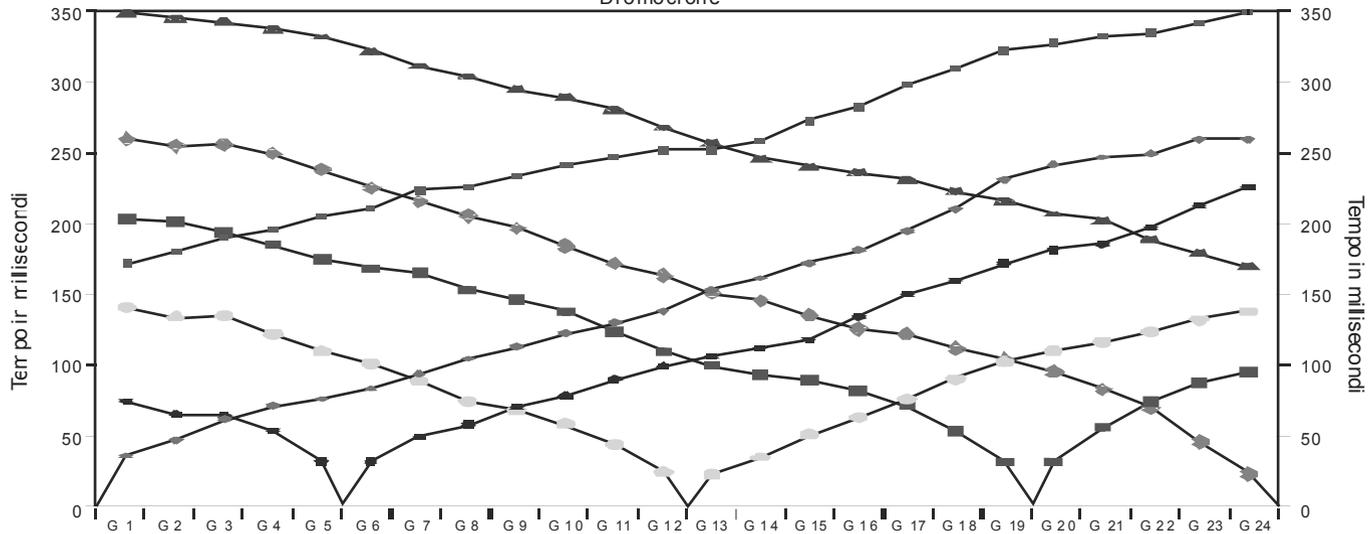




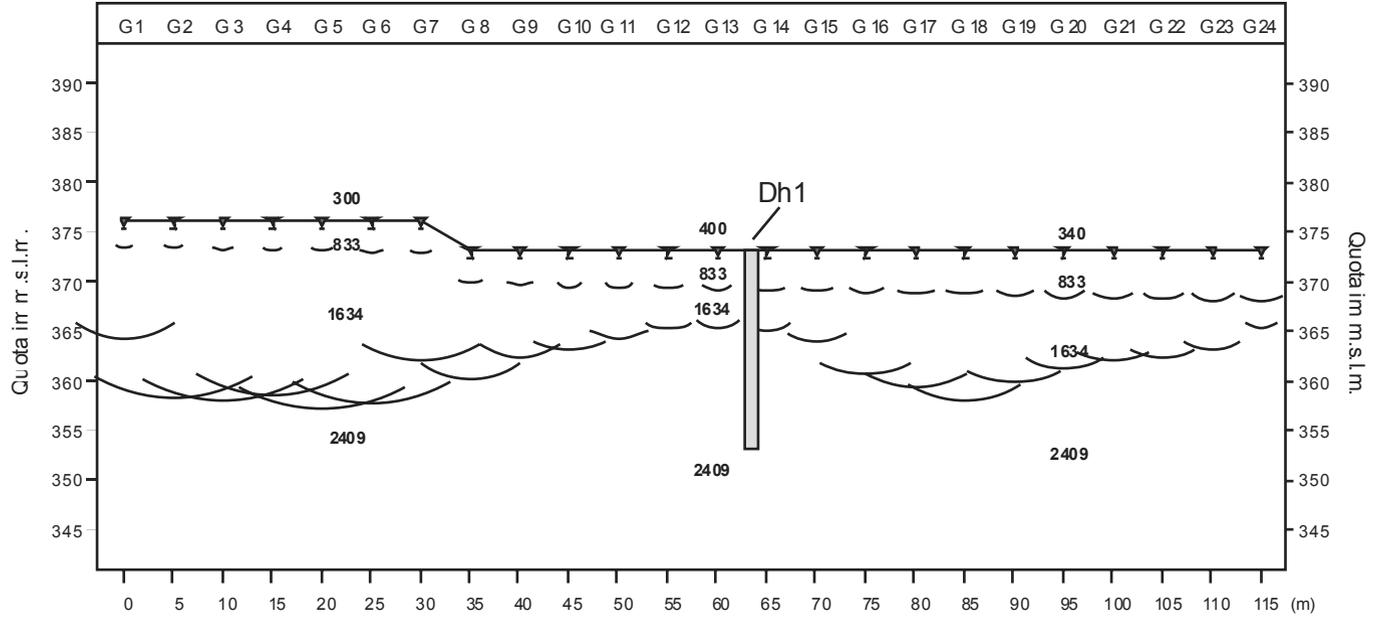
### Sezione Sismica



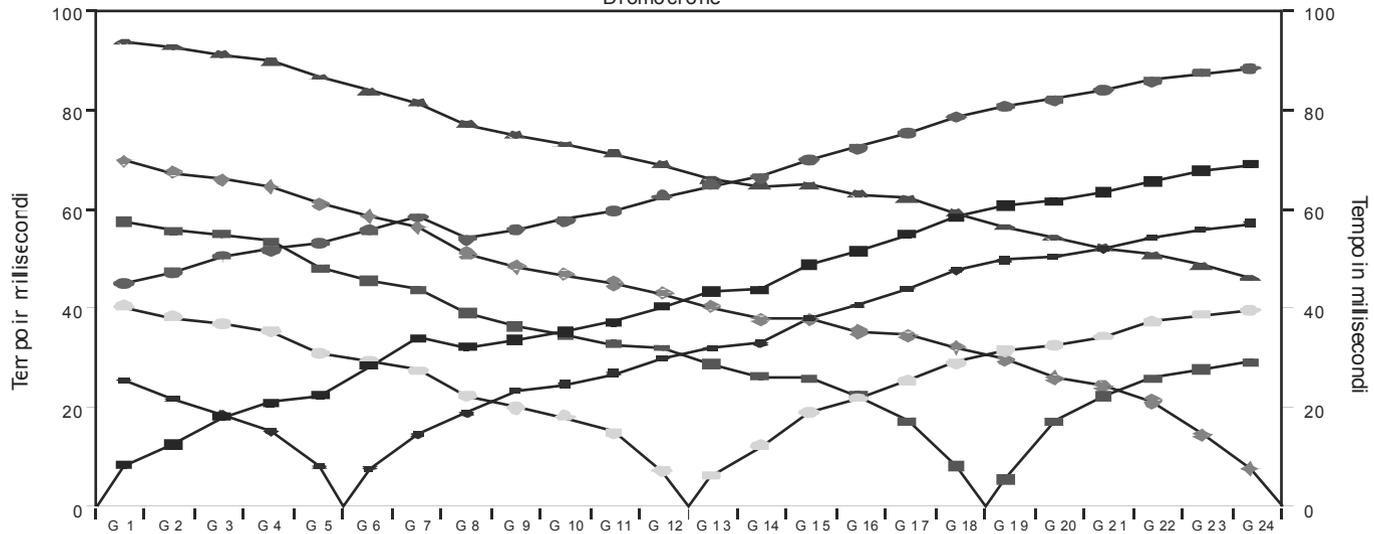
### Dromocrone

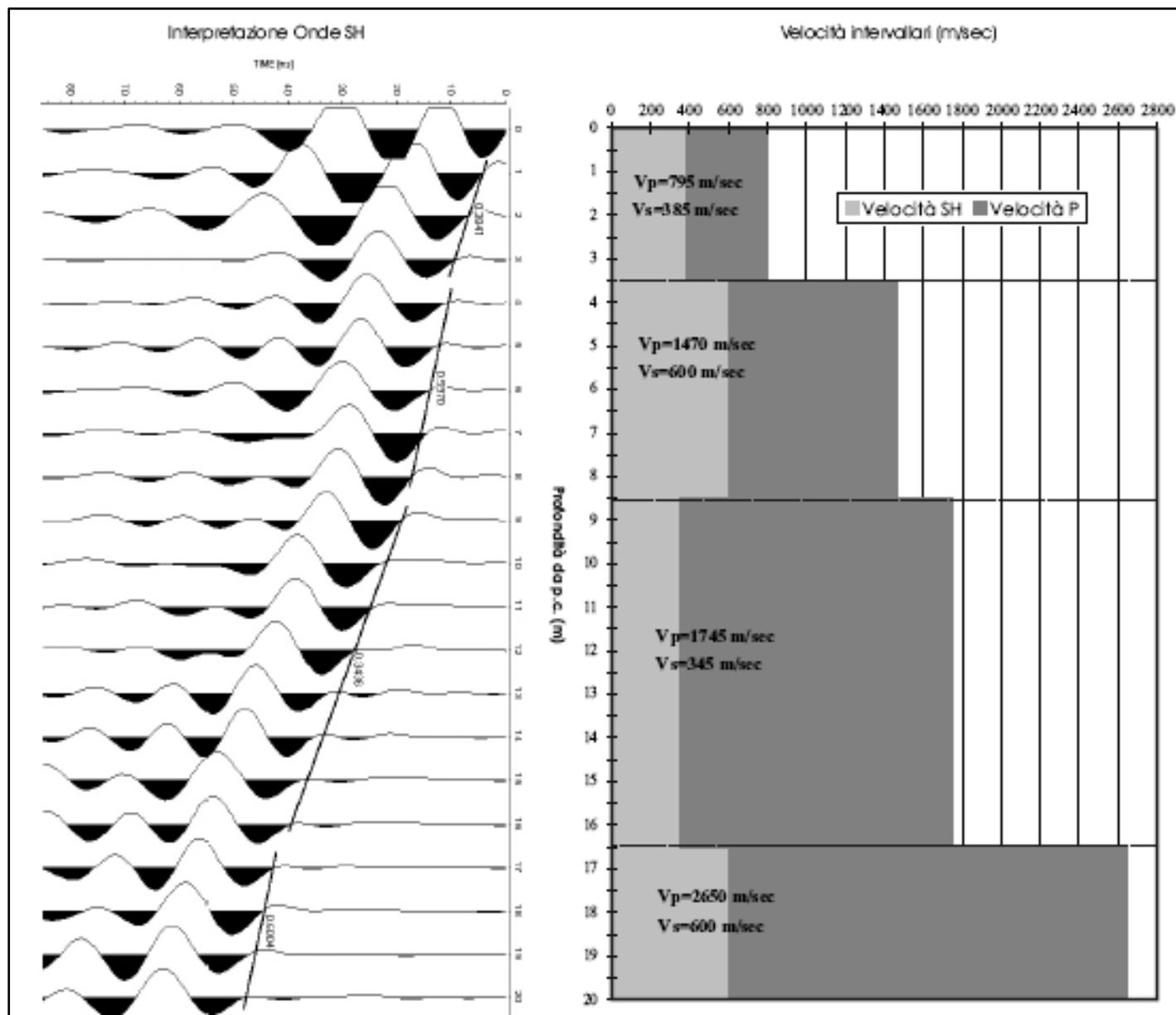


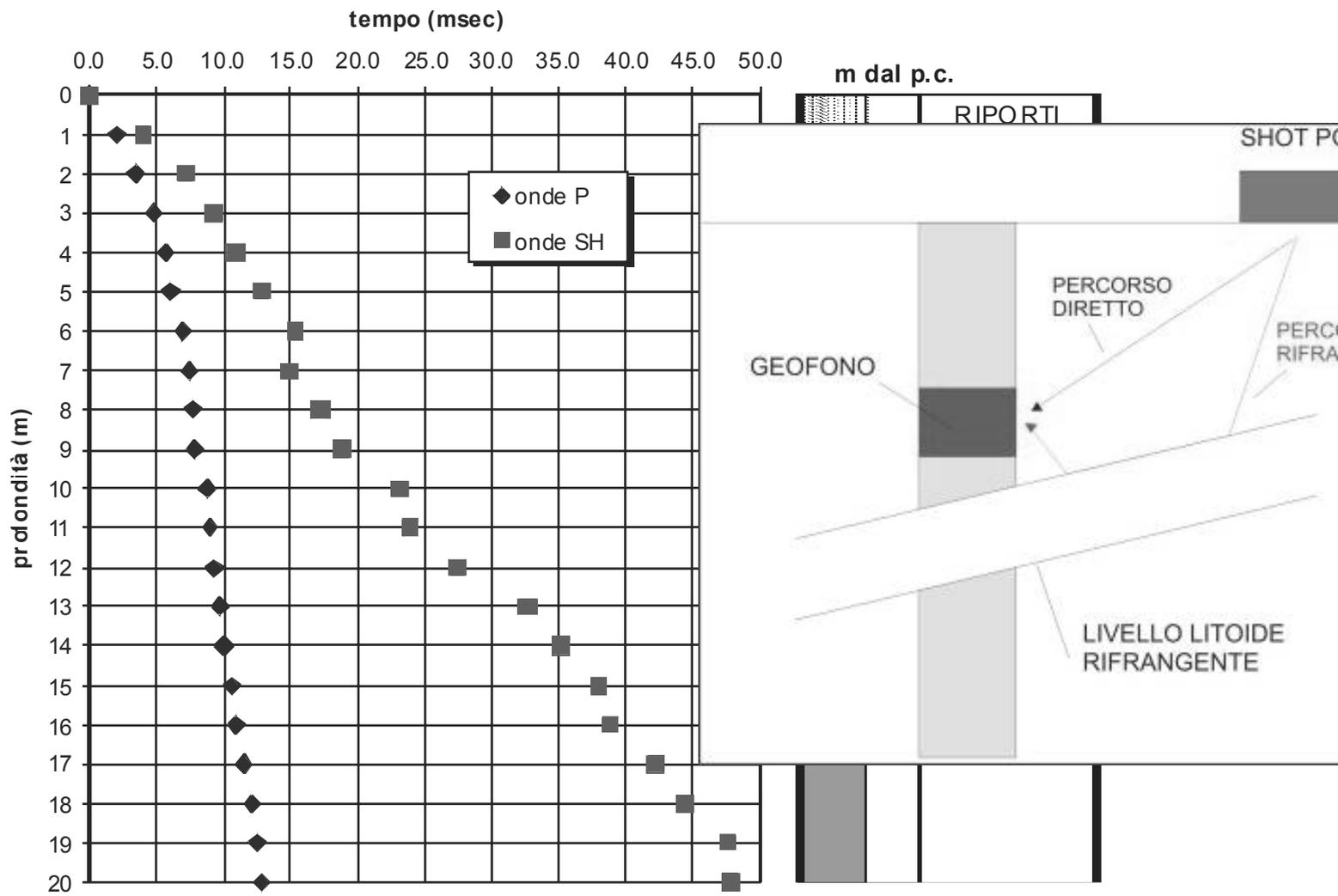
### Sezione Sismica

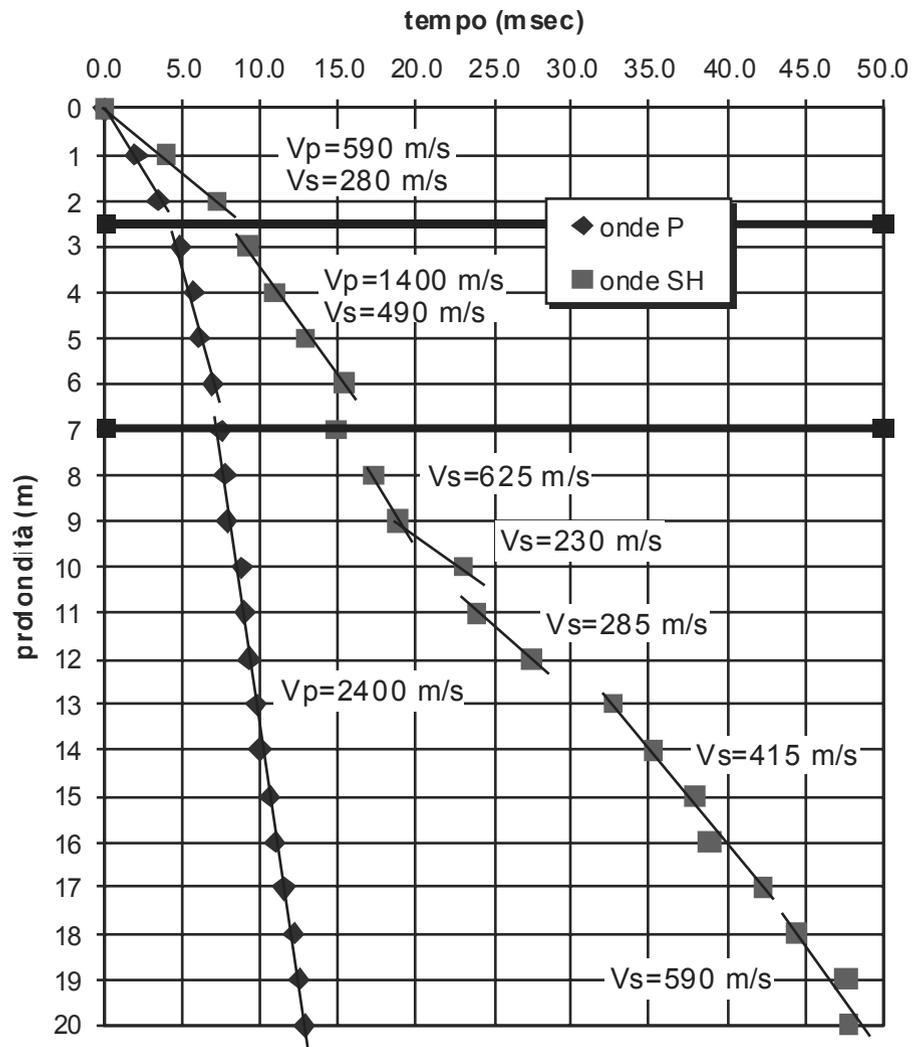


### Dromocrone

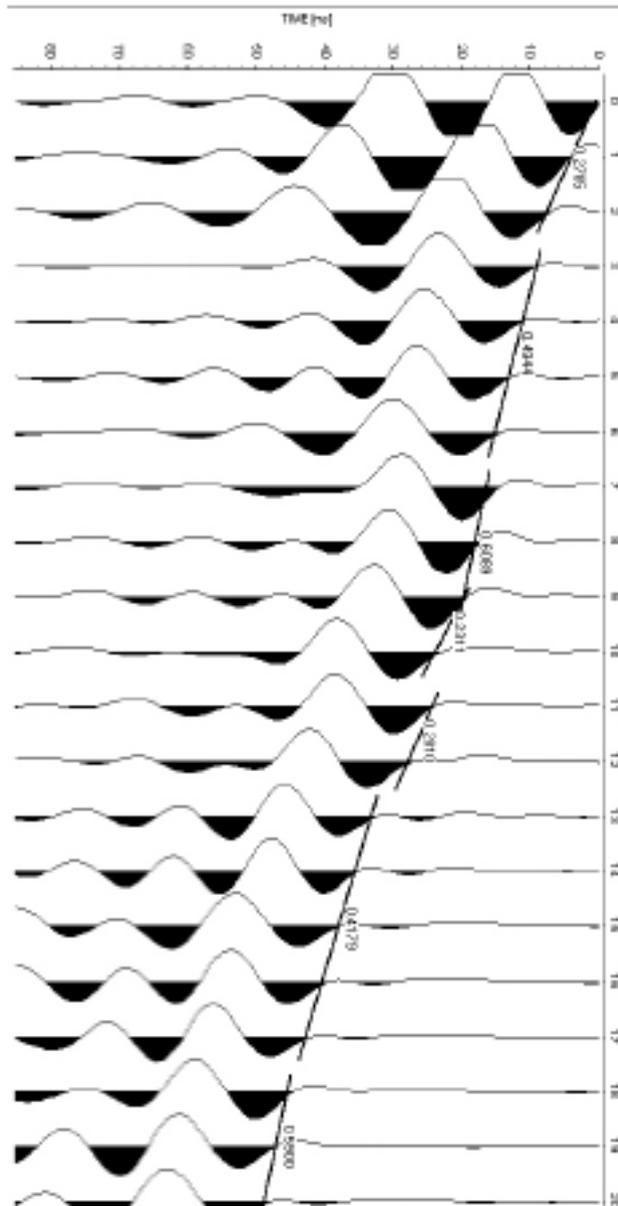




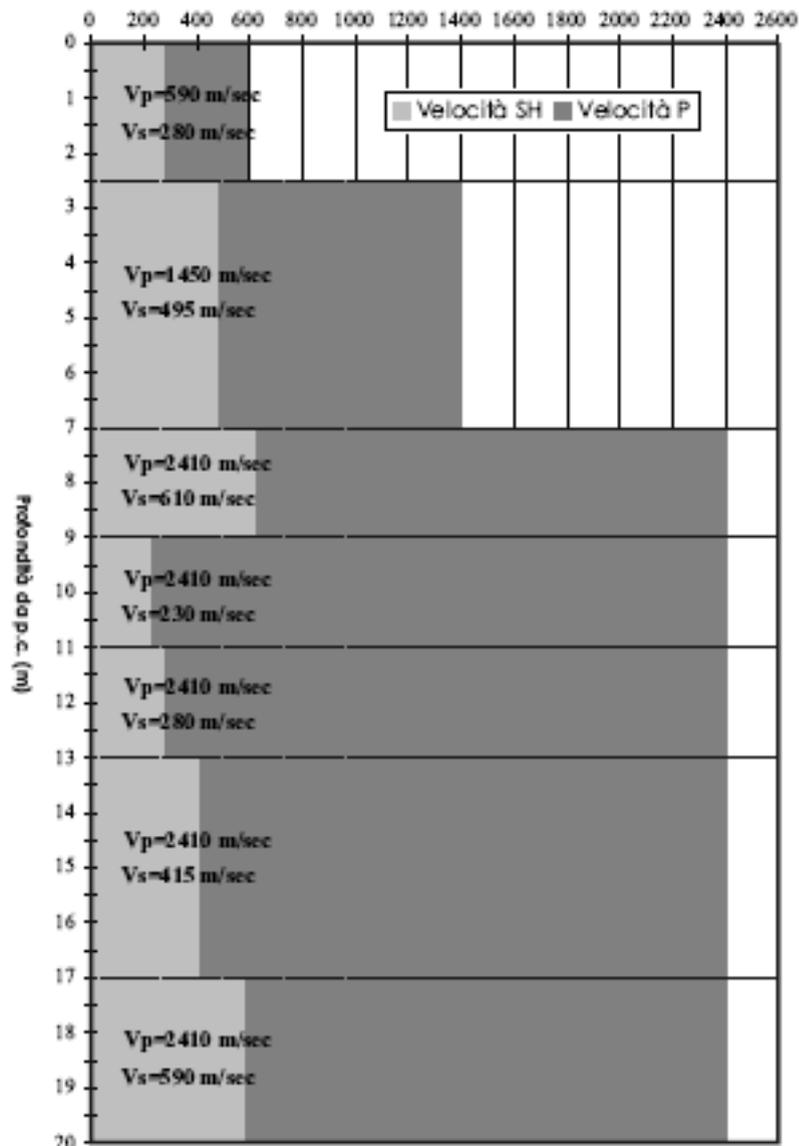




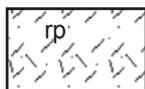
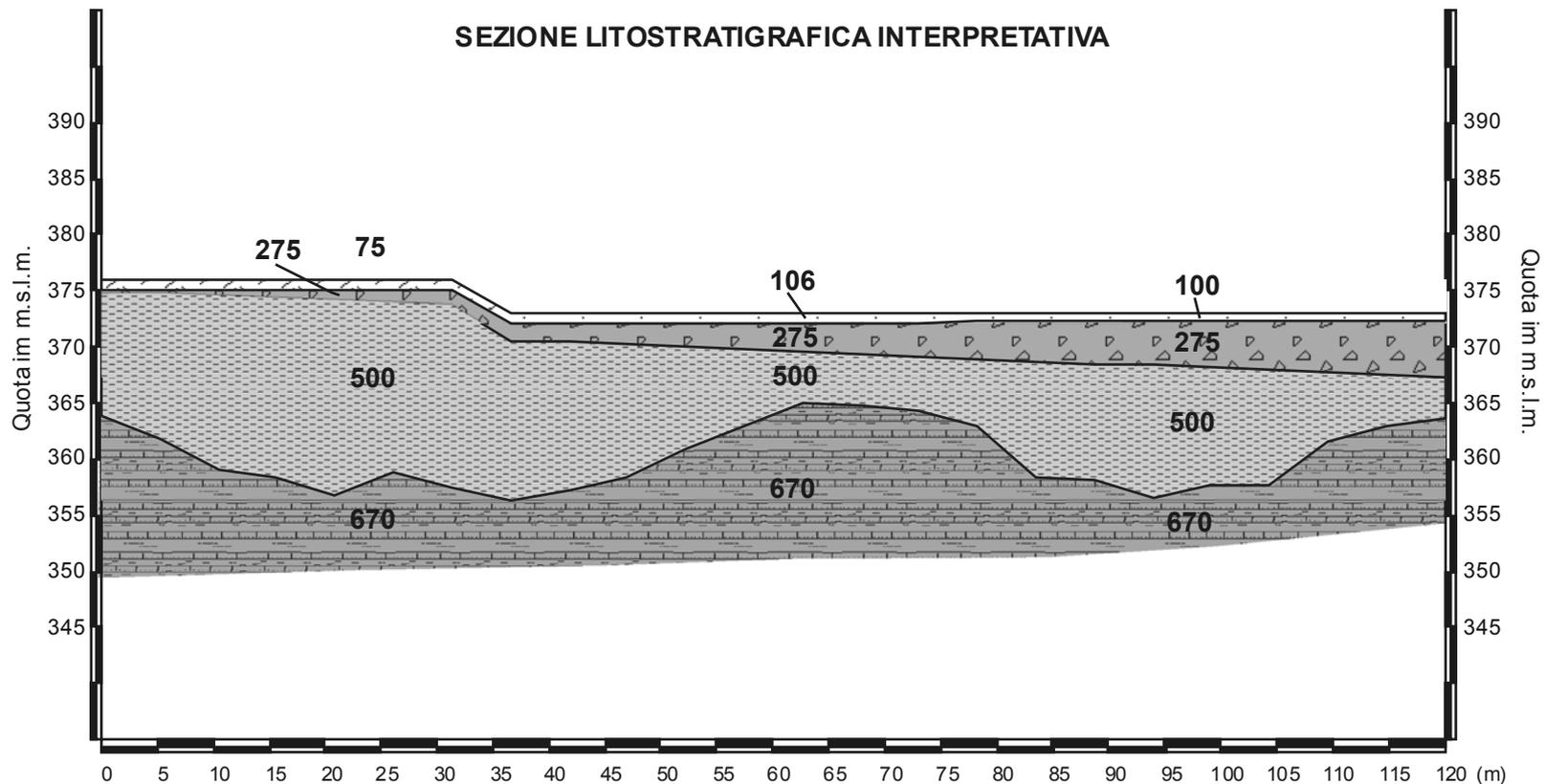
### Interpretazione Onde SH



### Velocità Intervallari (m/sec)



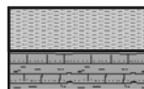
### SEZIONE LITOSTRATIGRAFICA INTERPRETATIVA



rp - terreni di riporto e terreno naturale areato



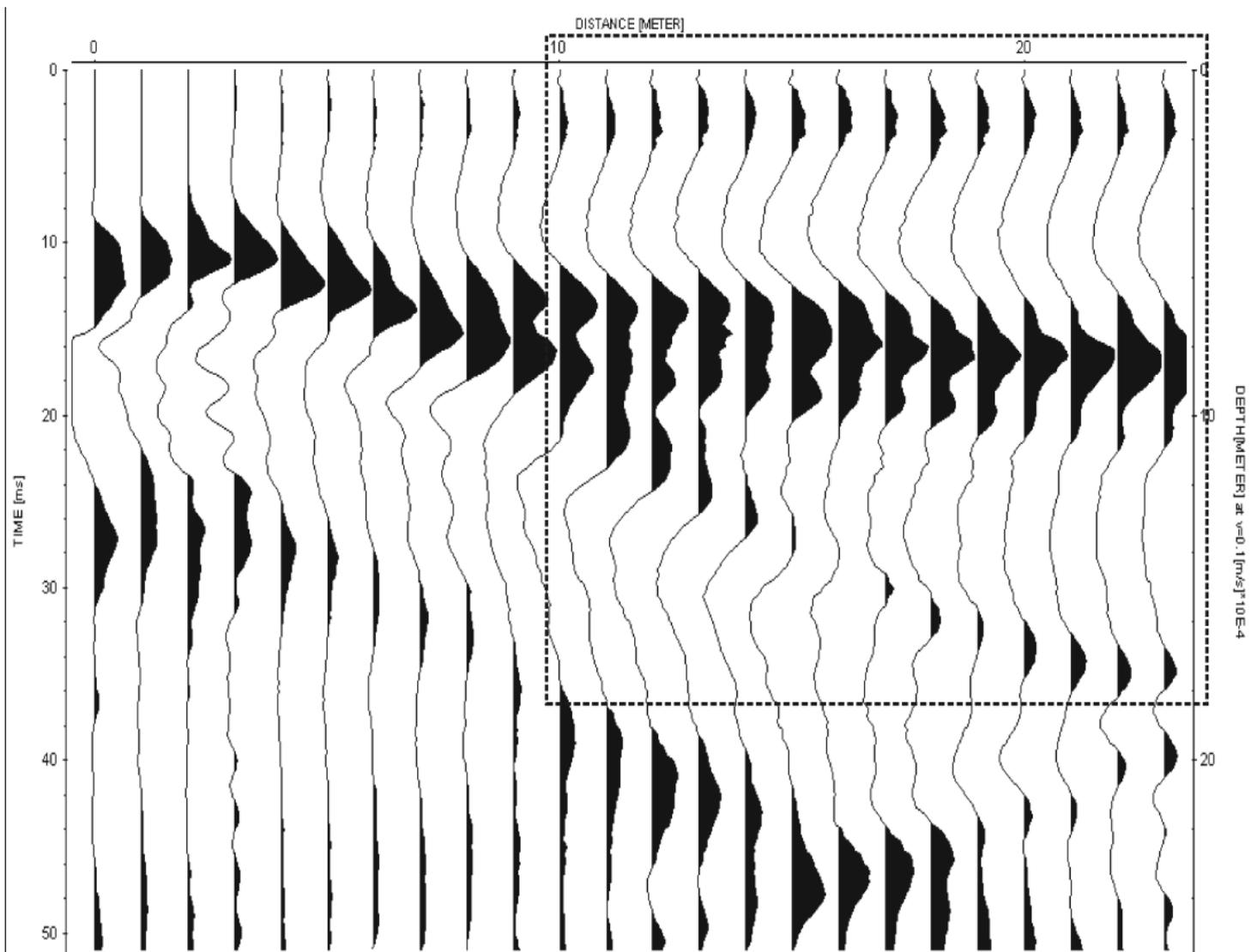
- materiali sciolti

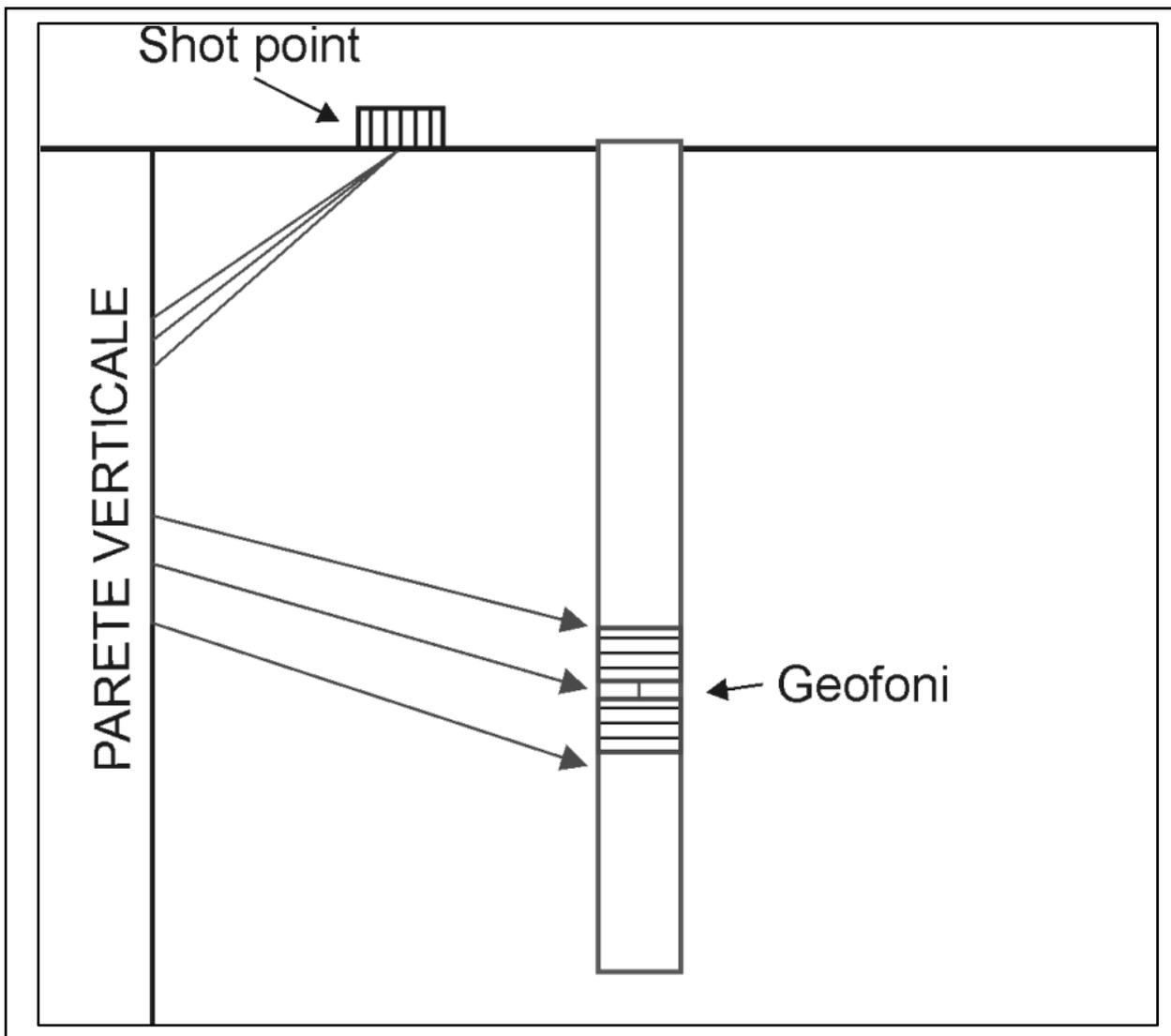


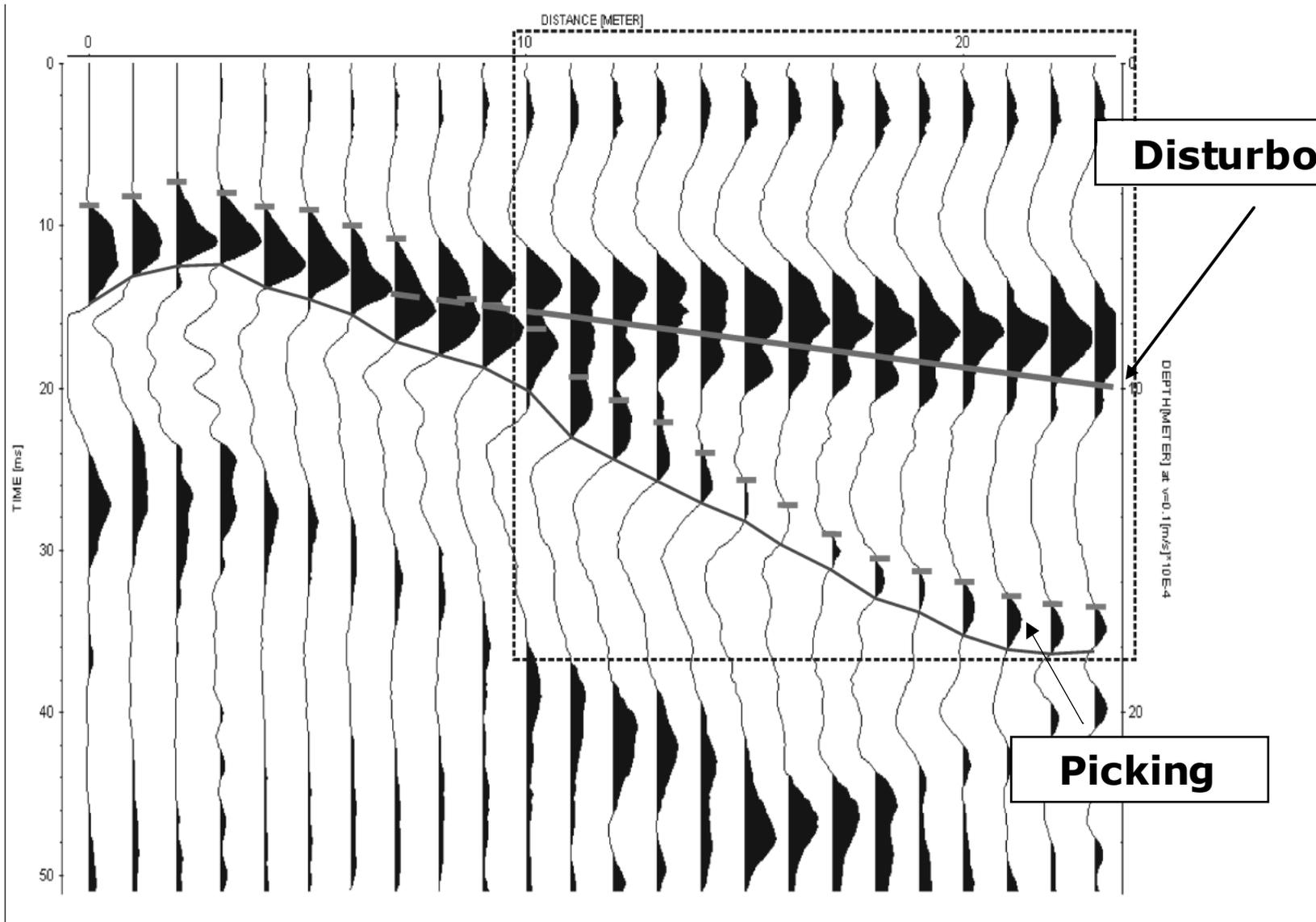
- Sillano

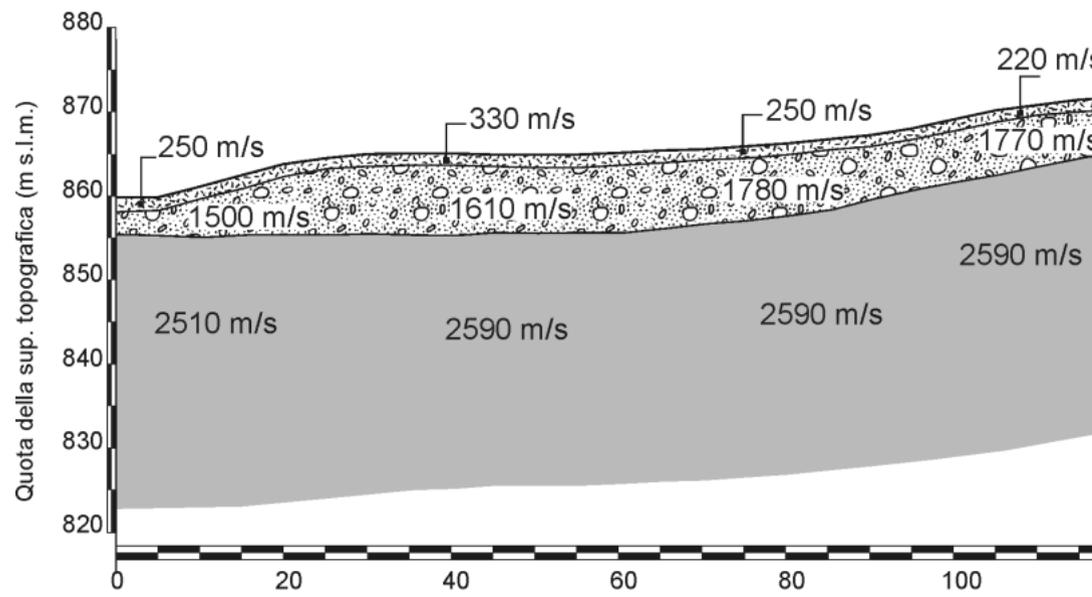
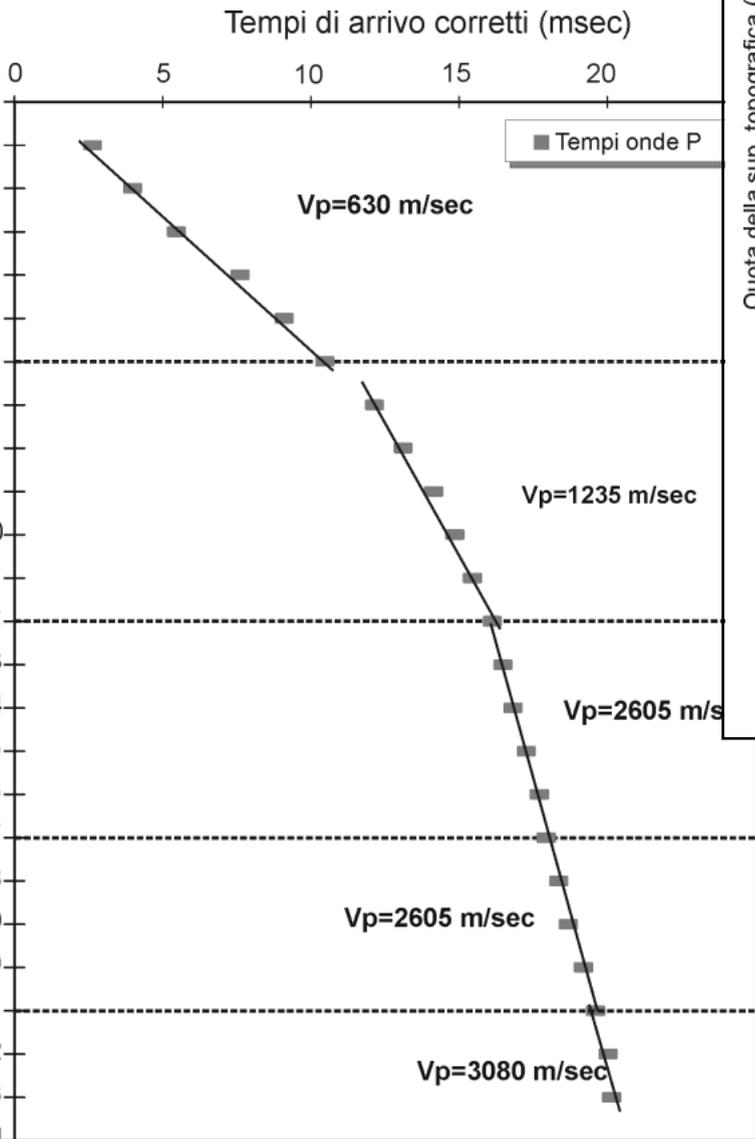
**1250**

Velocità in m/sec.





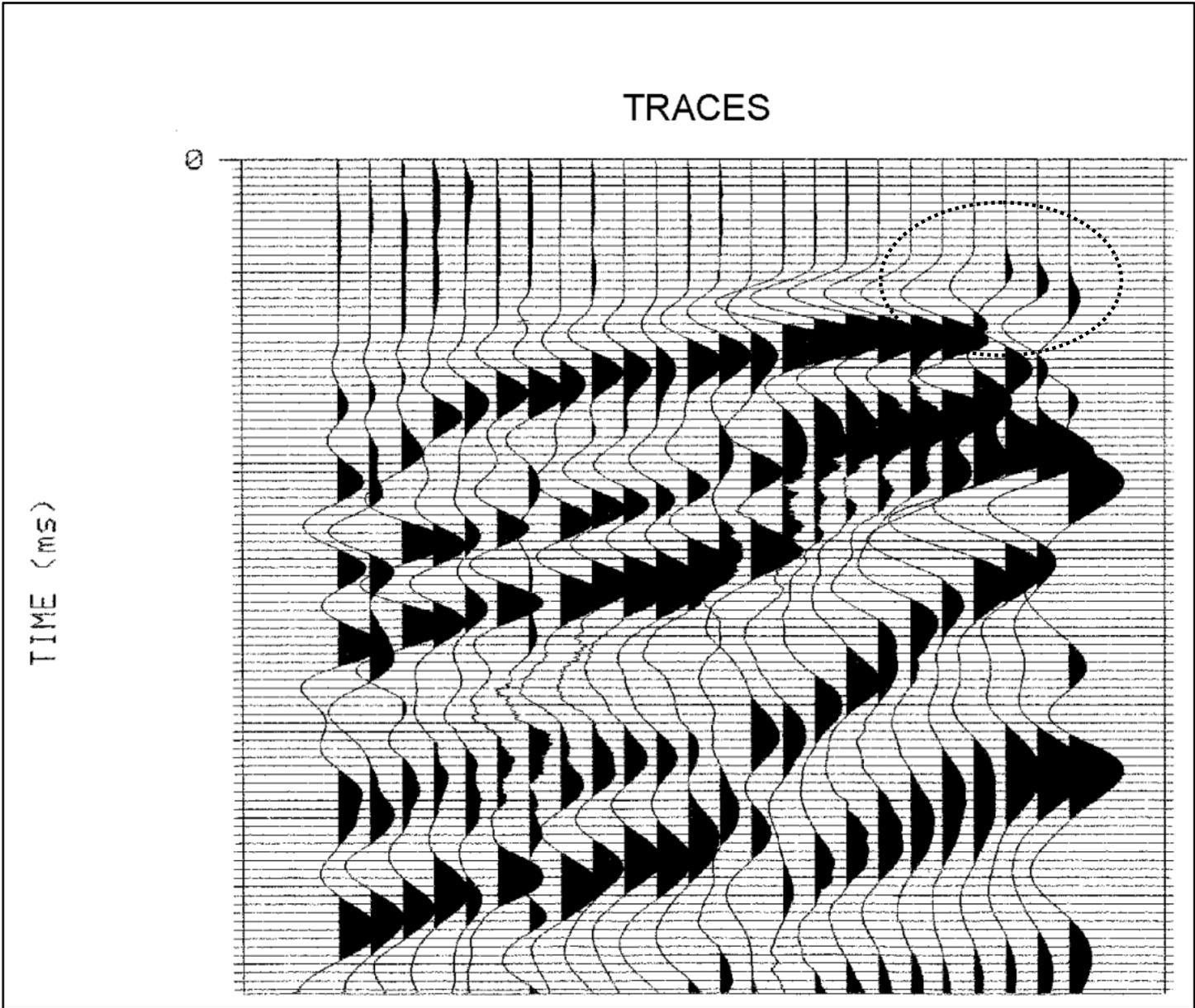




**LEGENDA**

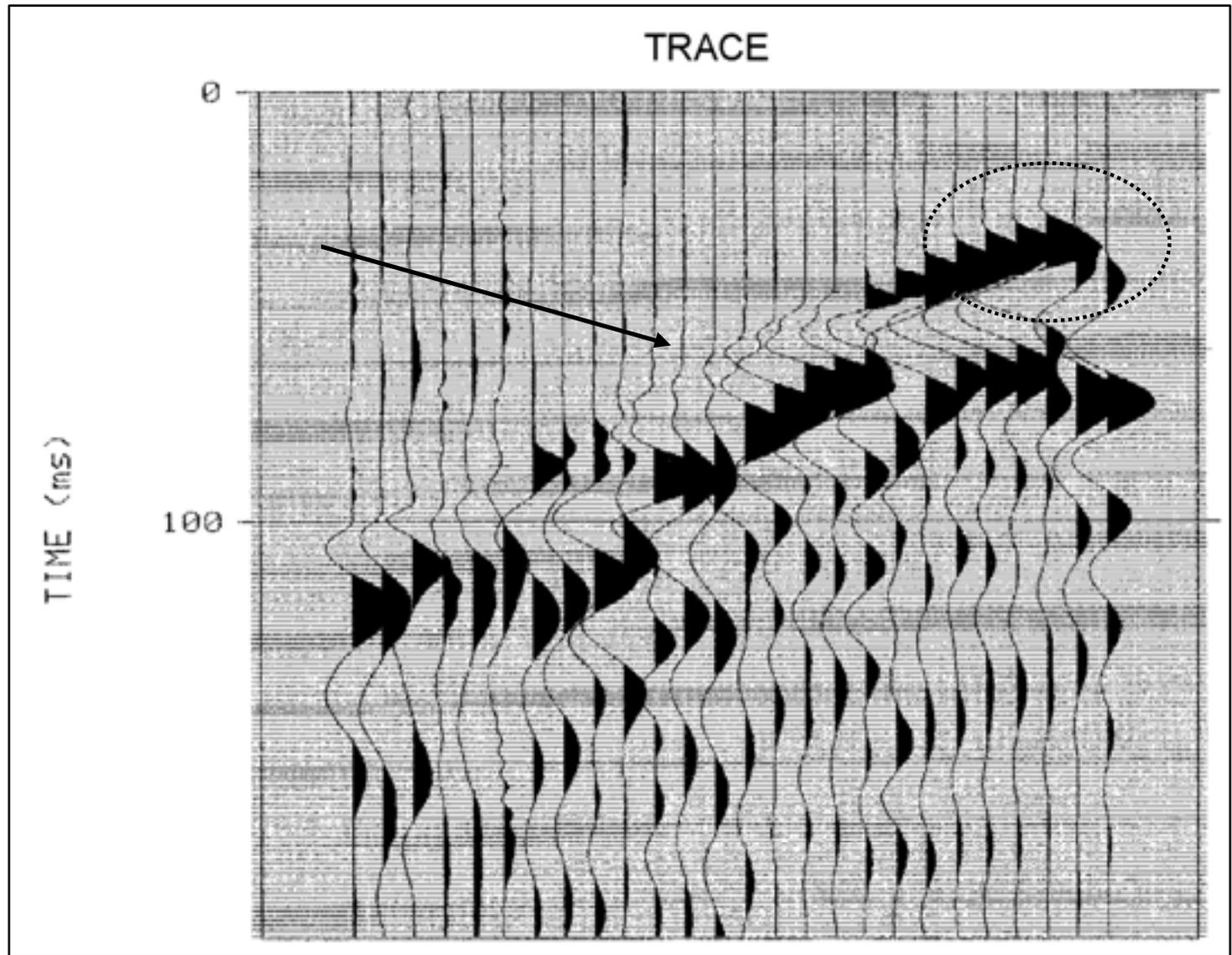
- 250 m/s Velocità sismica onde P (m/sec)
- Terreno agrario; copertura detritica mediamente addensata/addensata, sopra falda (dt)

- Copertura detritica molto addensata, con intercalazioni argillose molto alterate e fratturate ("Arenaria macigno" - mg)
- Arenarie con intercalazioni argillose mediamente fratturate ("Arenaria macigno" - mg)



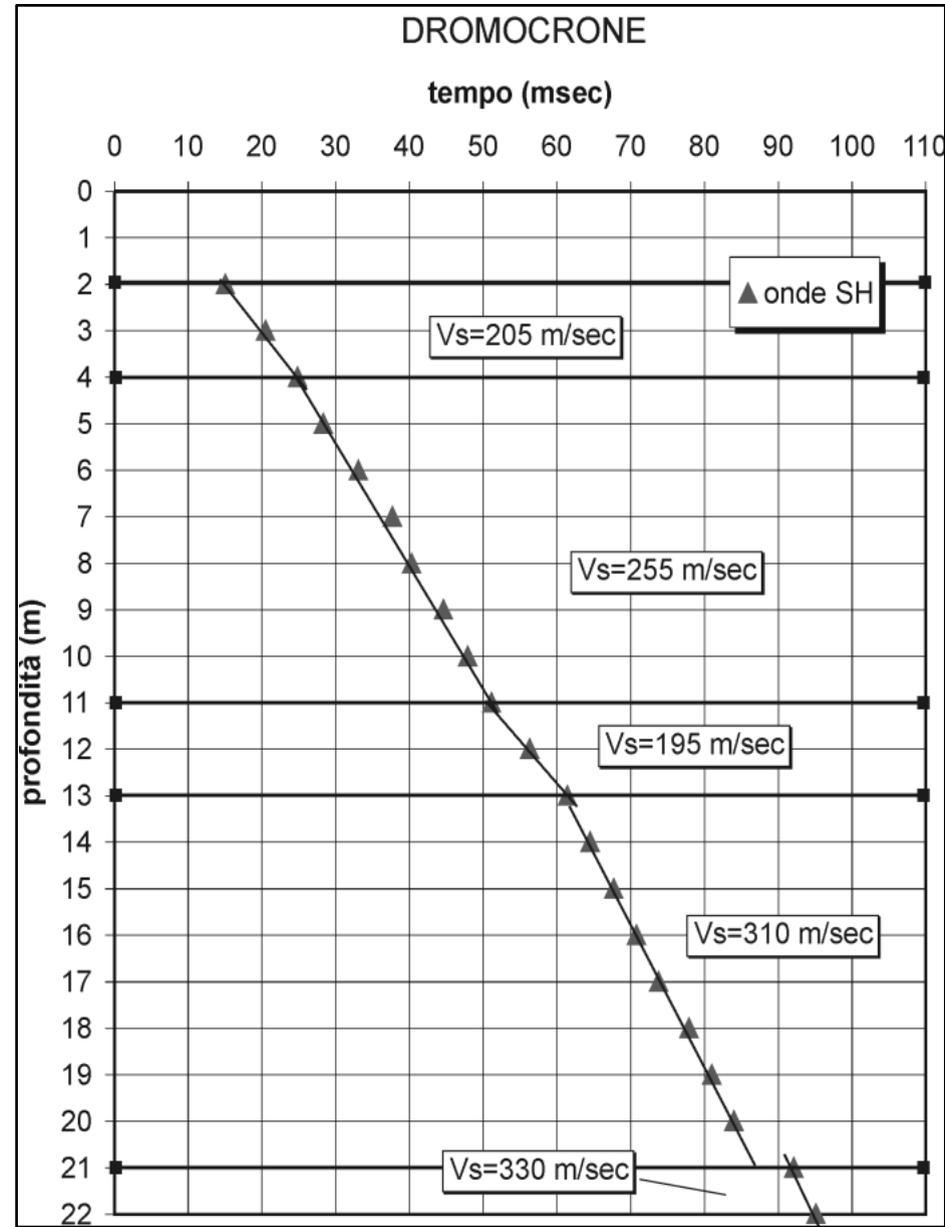
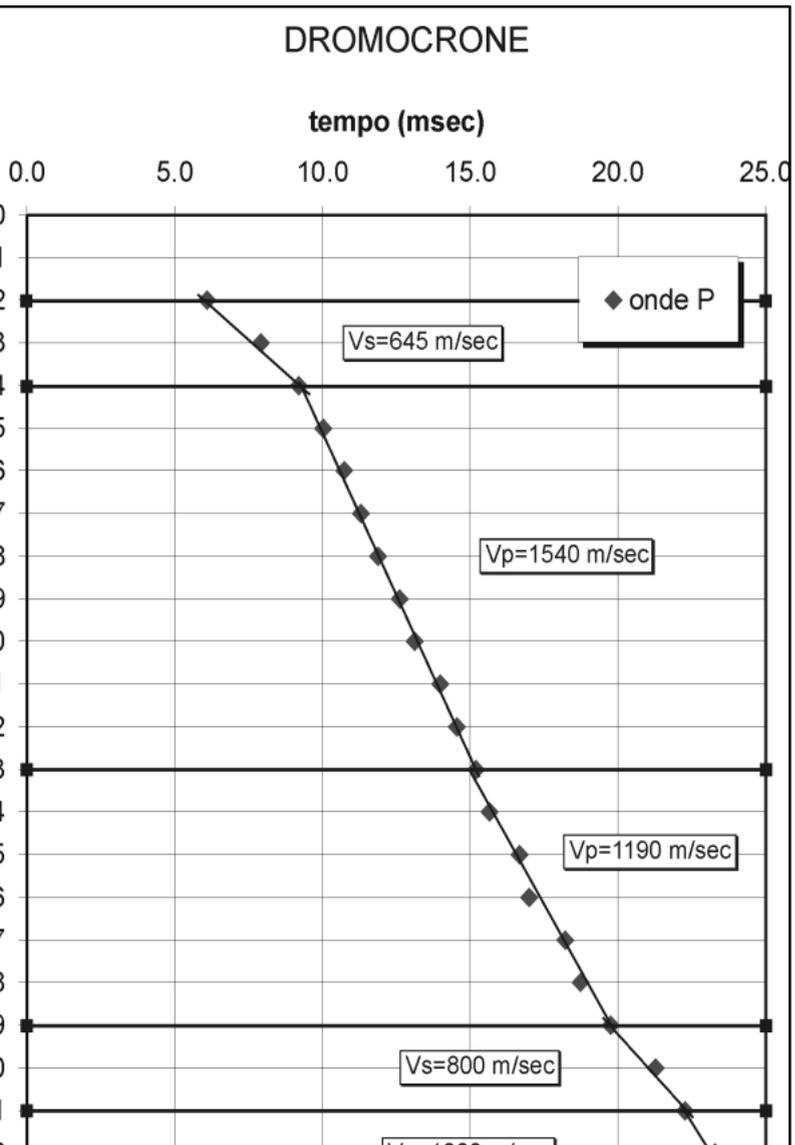
**Signanini et alii, 2004**

# Esempio n°2

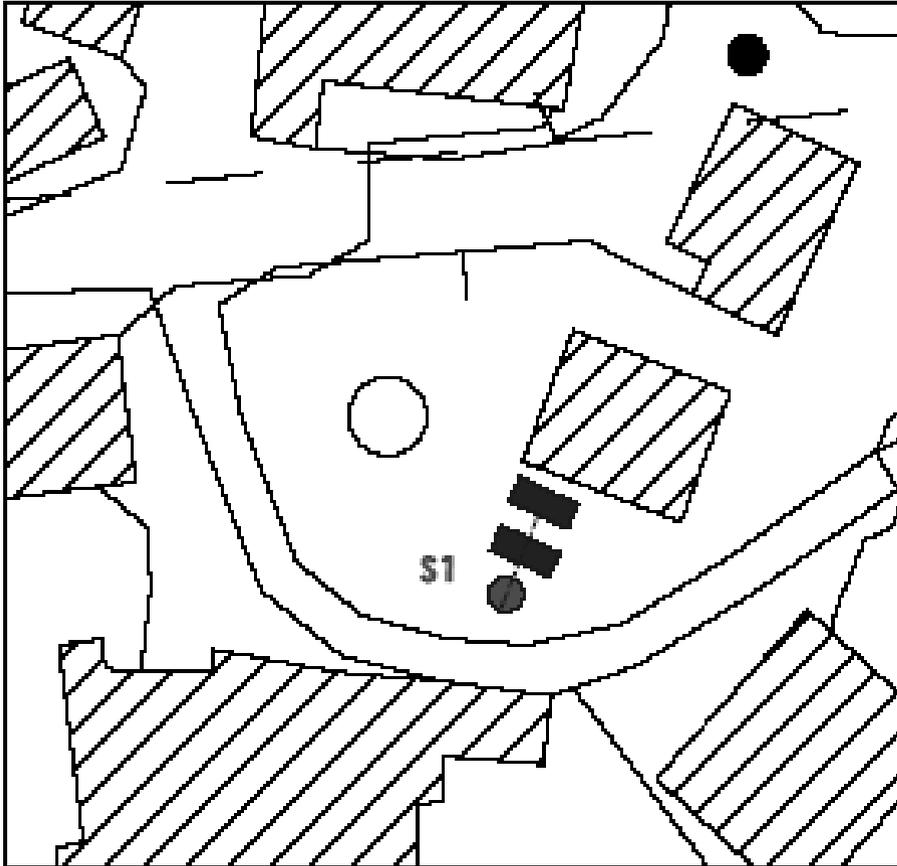


Signanini et alii, 2004

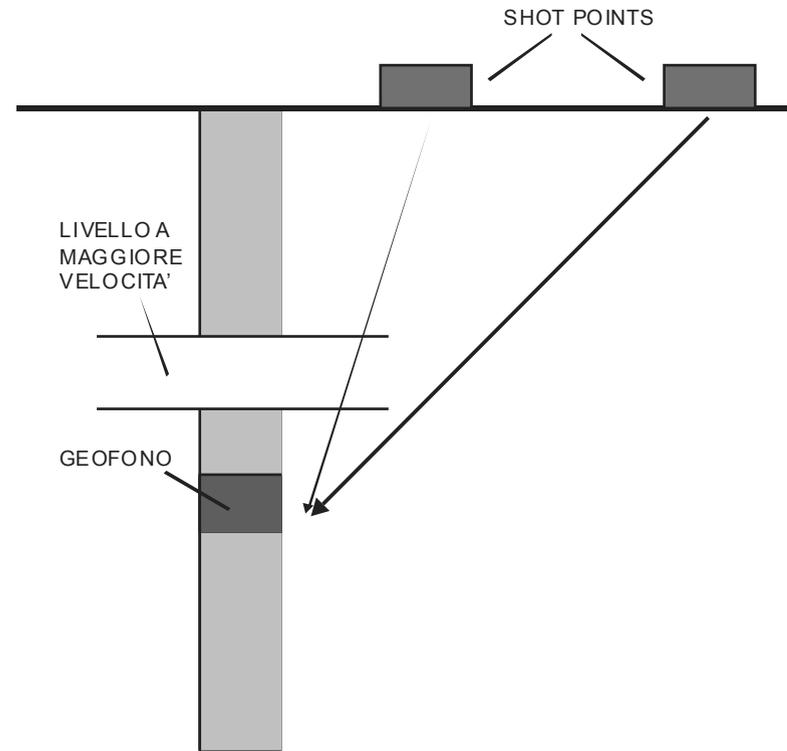
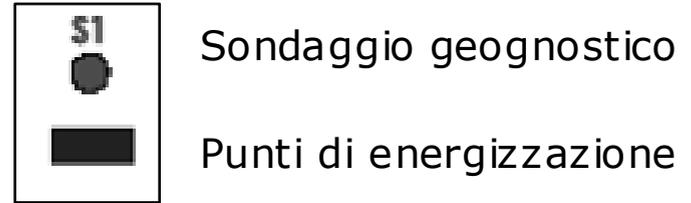
# Esempio n°2



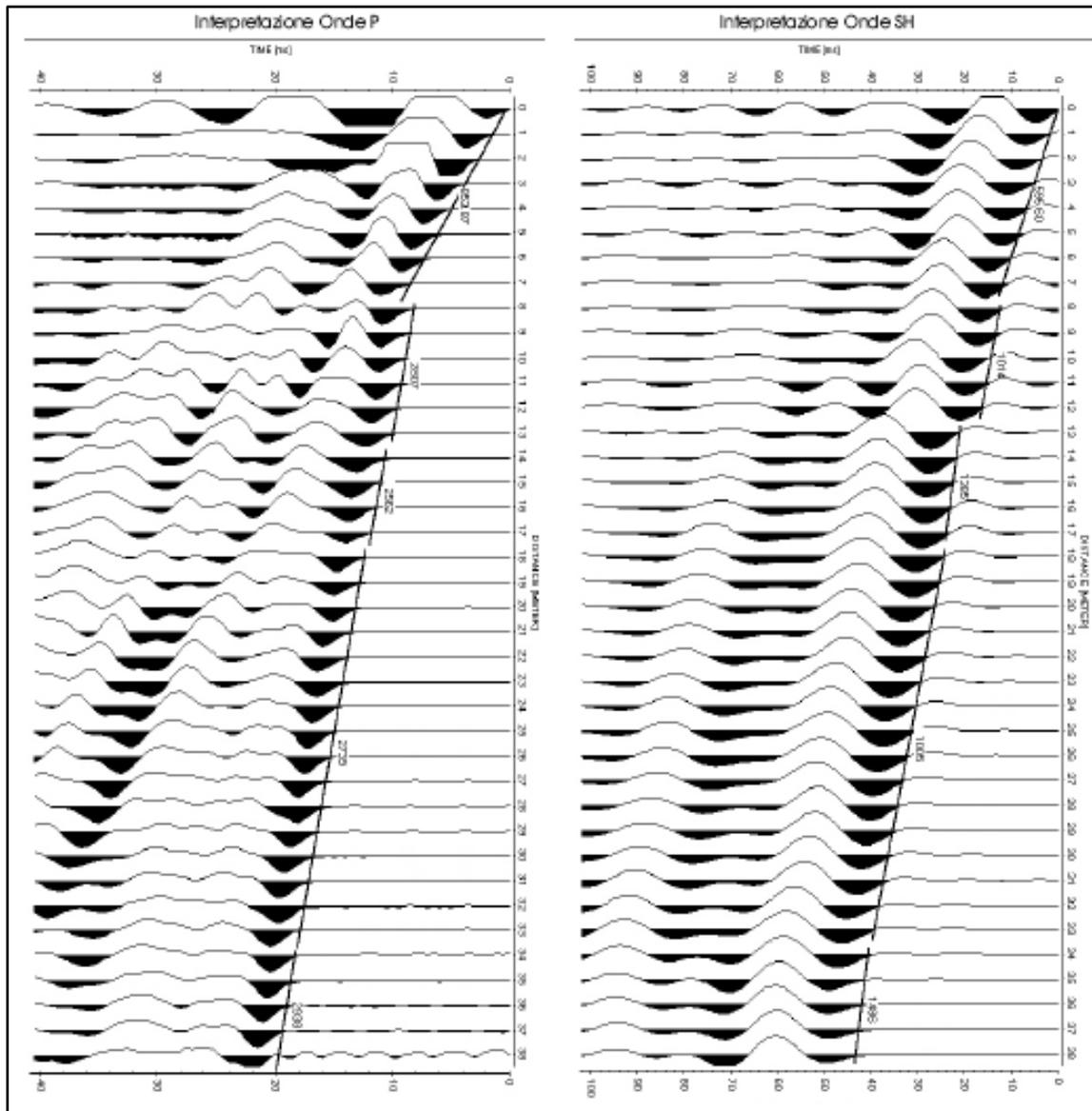
# Esempio n°3



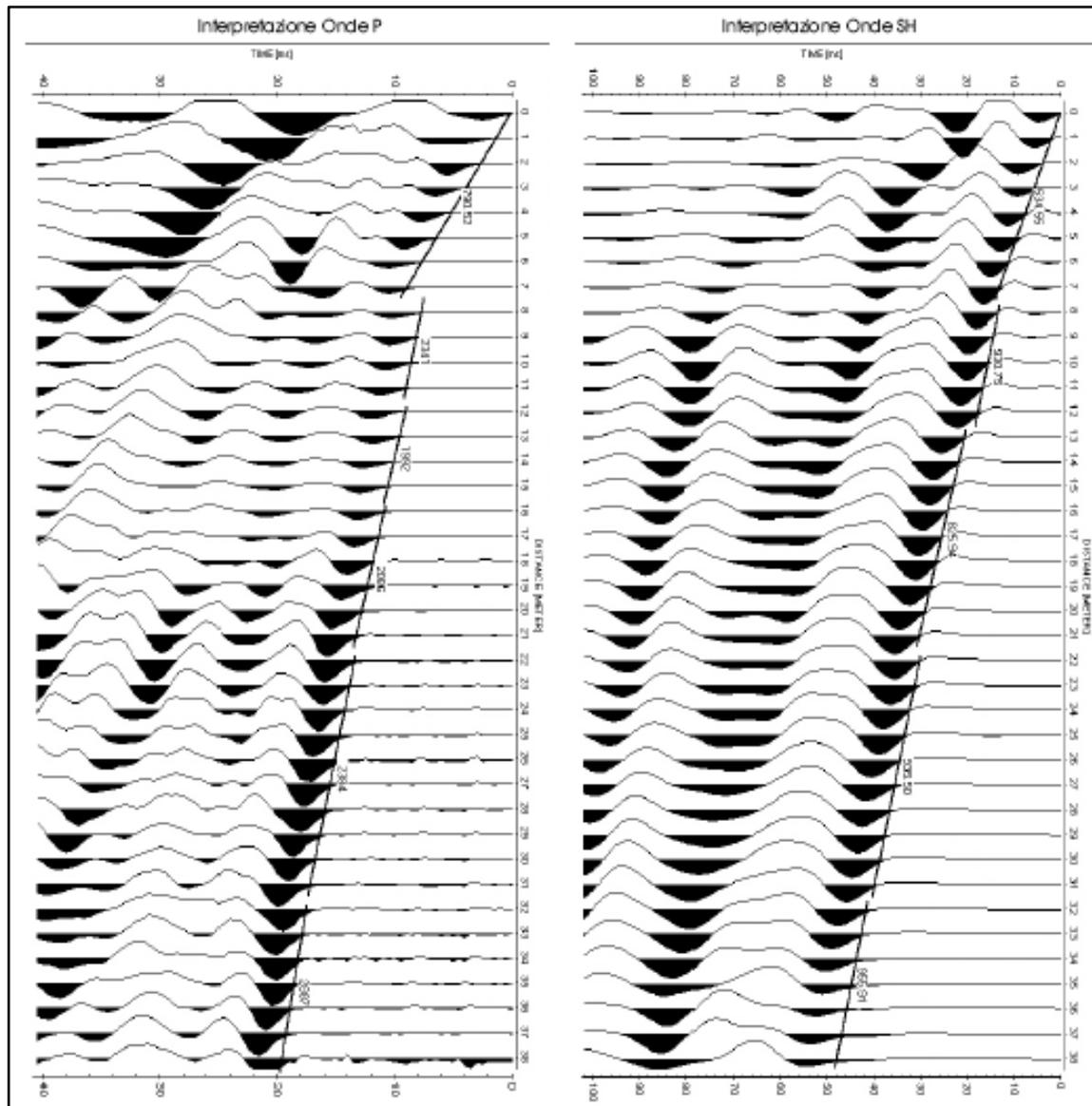
Ubicazione indagine down-hole



DISTANZA SHOT-BOCCAFFORO = 3m

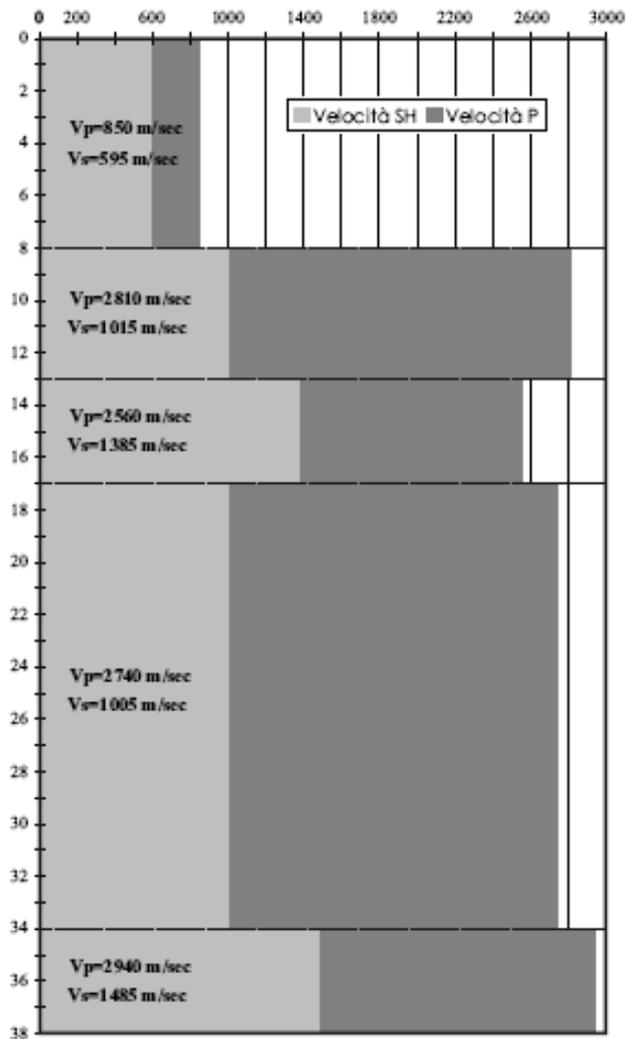


DISTANZA SHOT-BOCCAFFORO = 7m



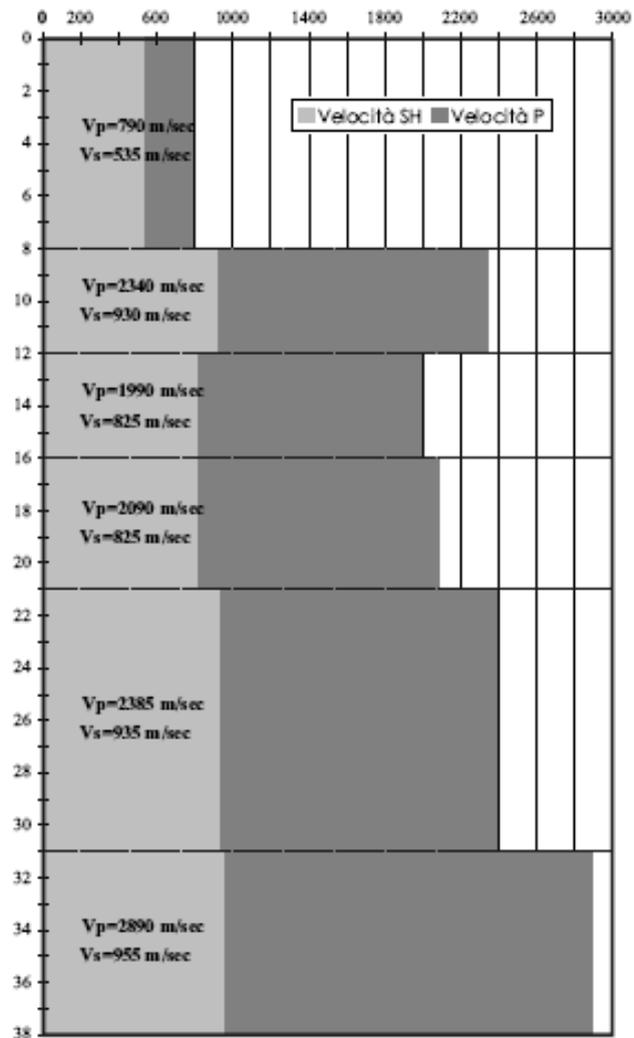
# 3m

Velocità intervalari (m/sec)

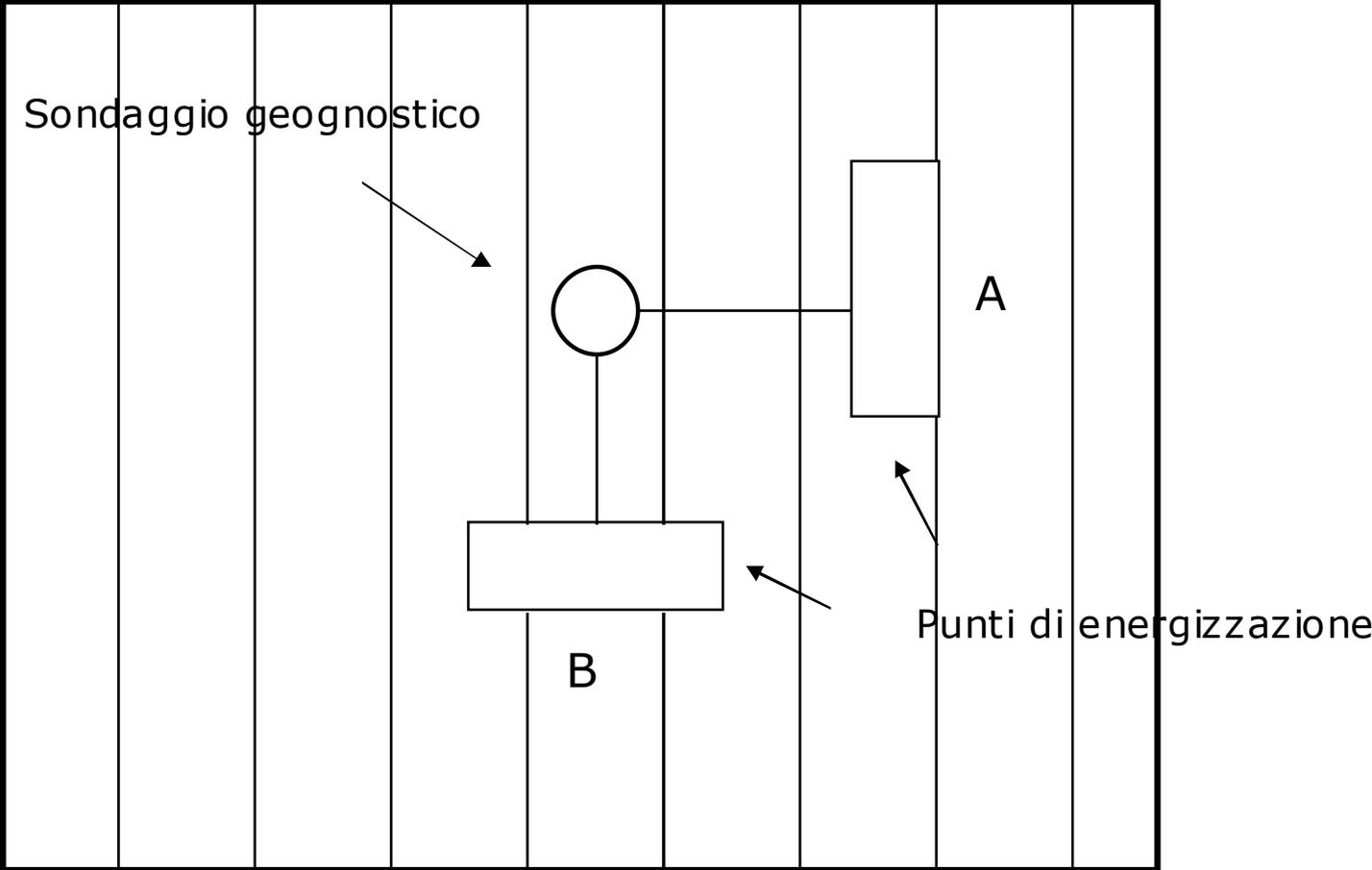


# 7m

Velocità intervalari (m/sec)

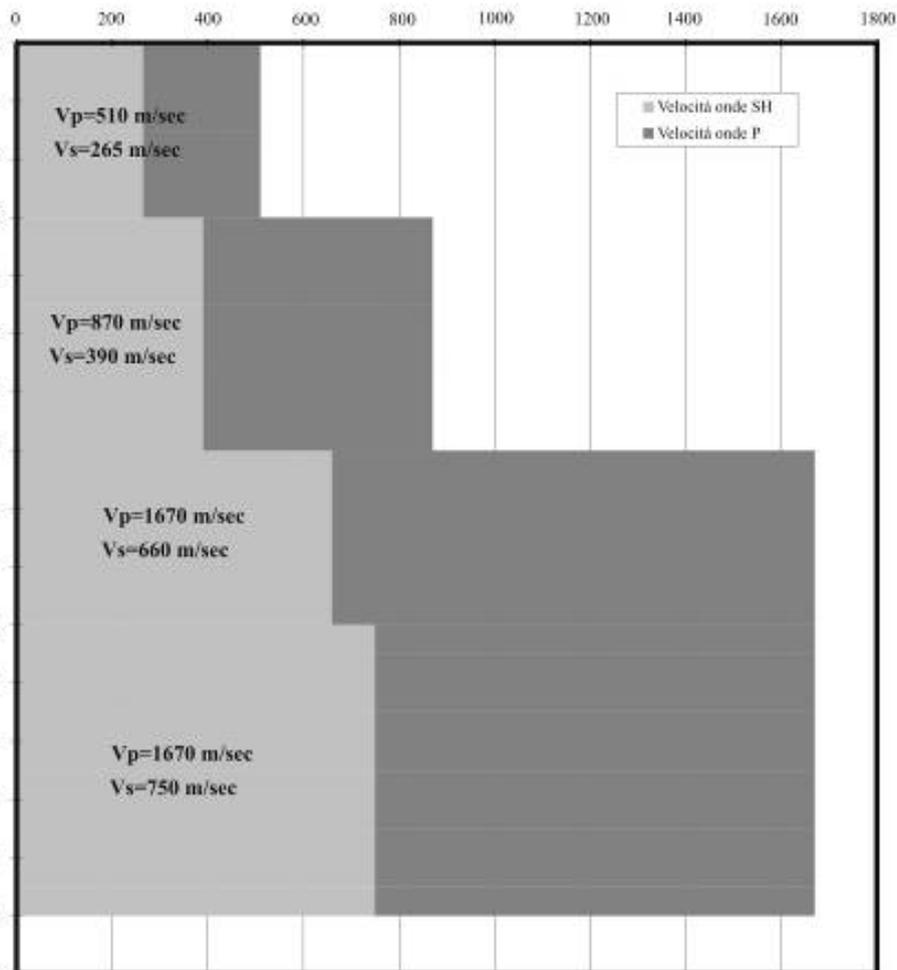


# Esempio n°5



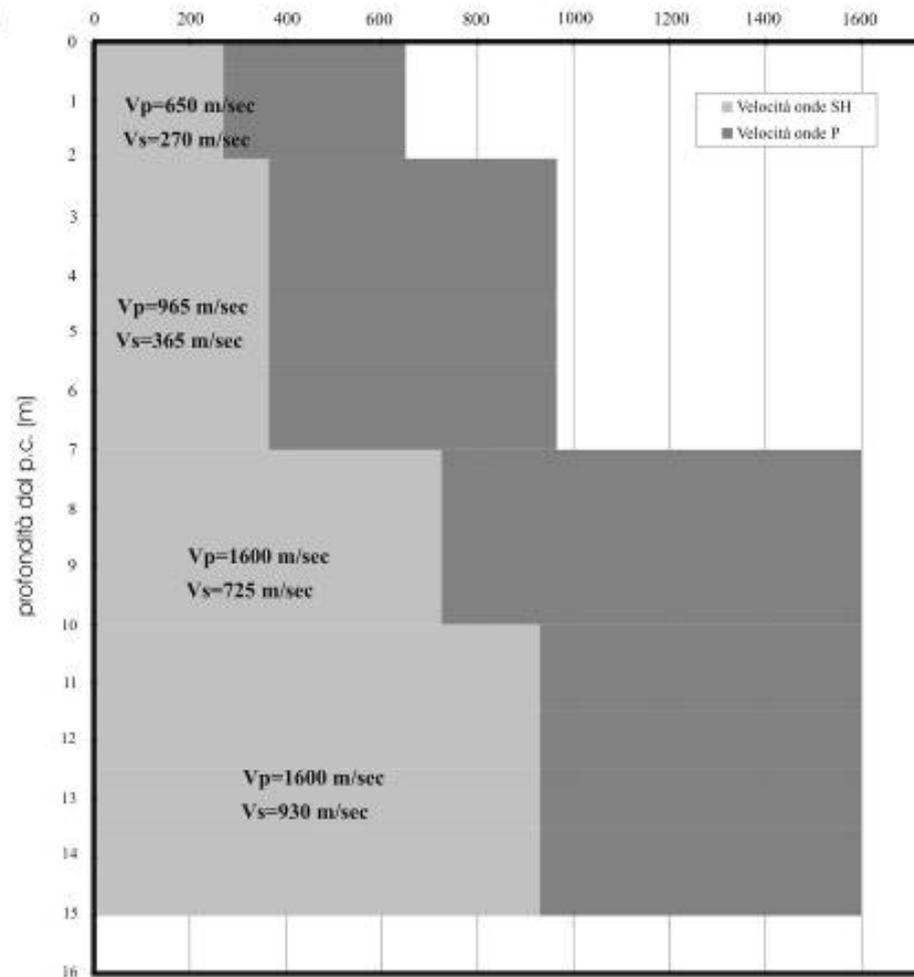
## INTERPRETAZIONE DOWN - HOLE DH A

Velocità intervalari (m/sec)



## INTERPRETAZIONE DOWN - HOLE DH B

Velocità intervalari (m/sec)



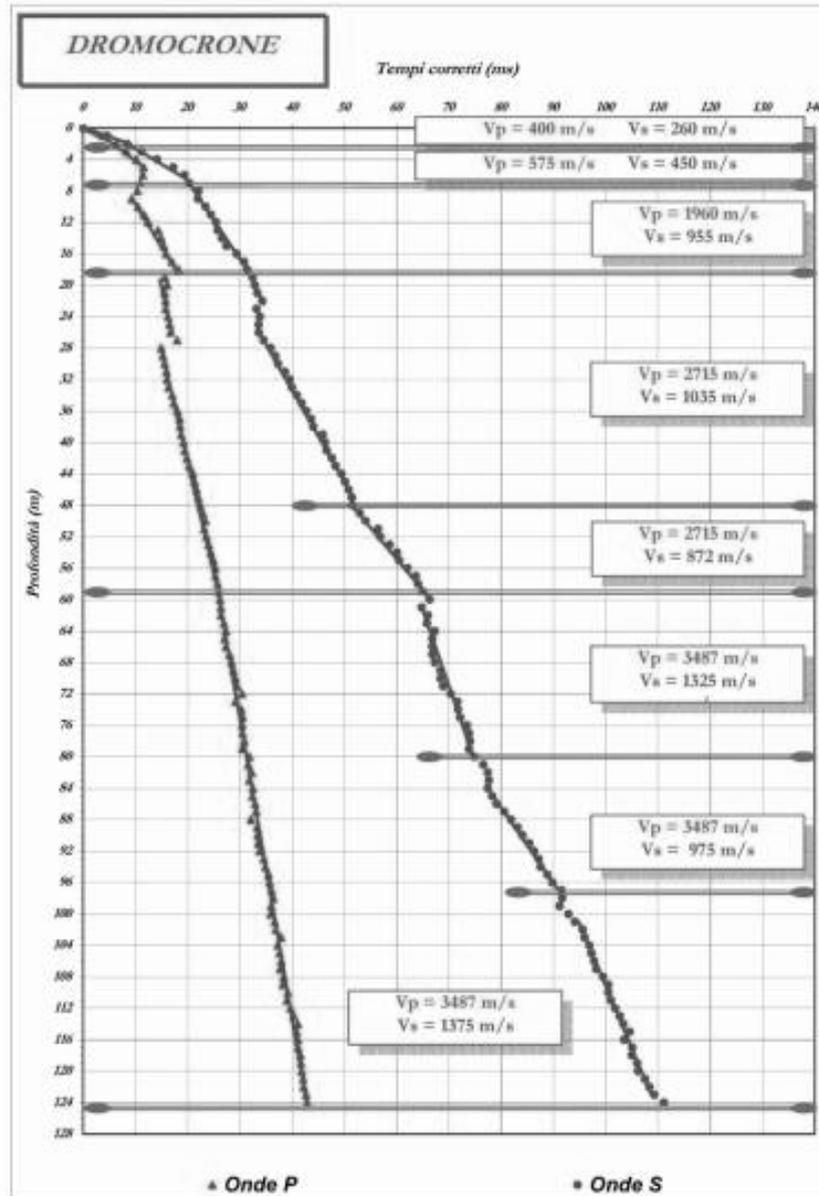
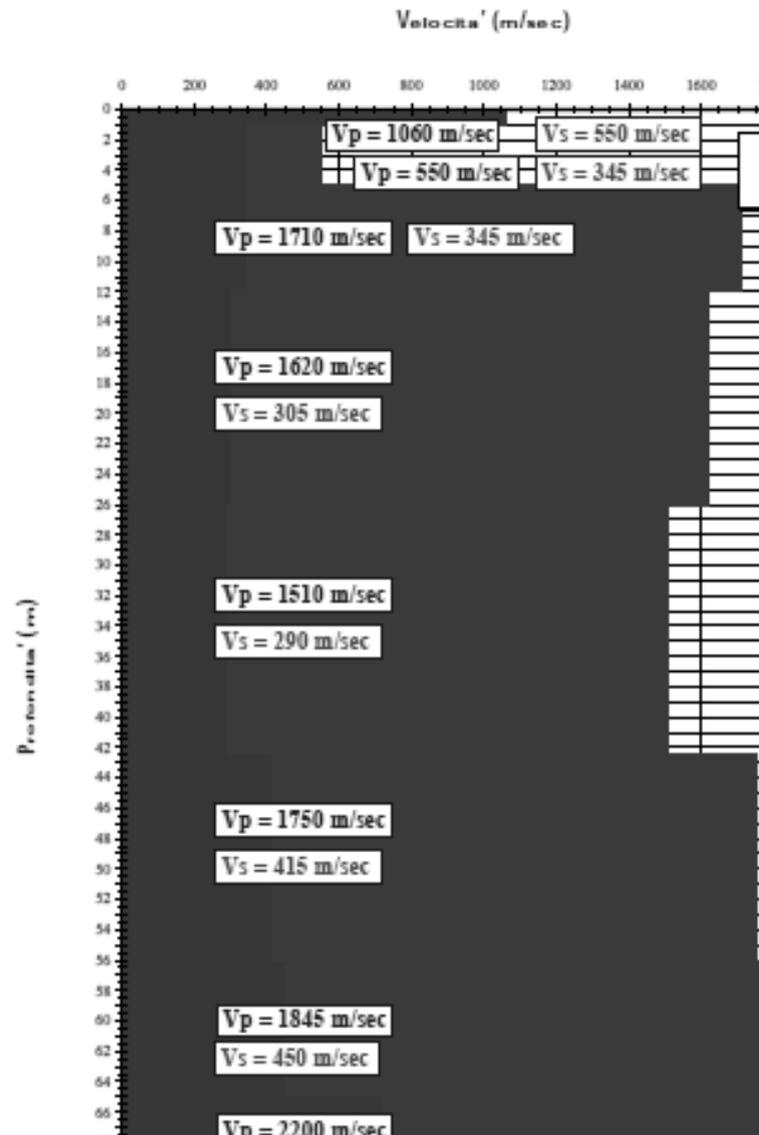
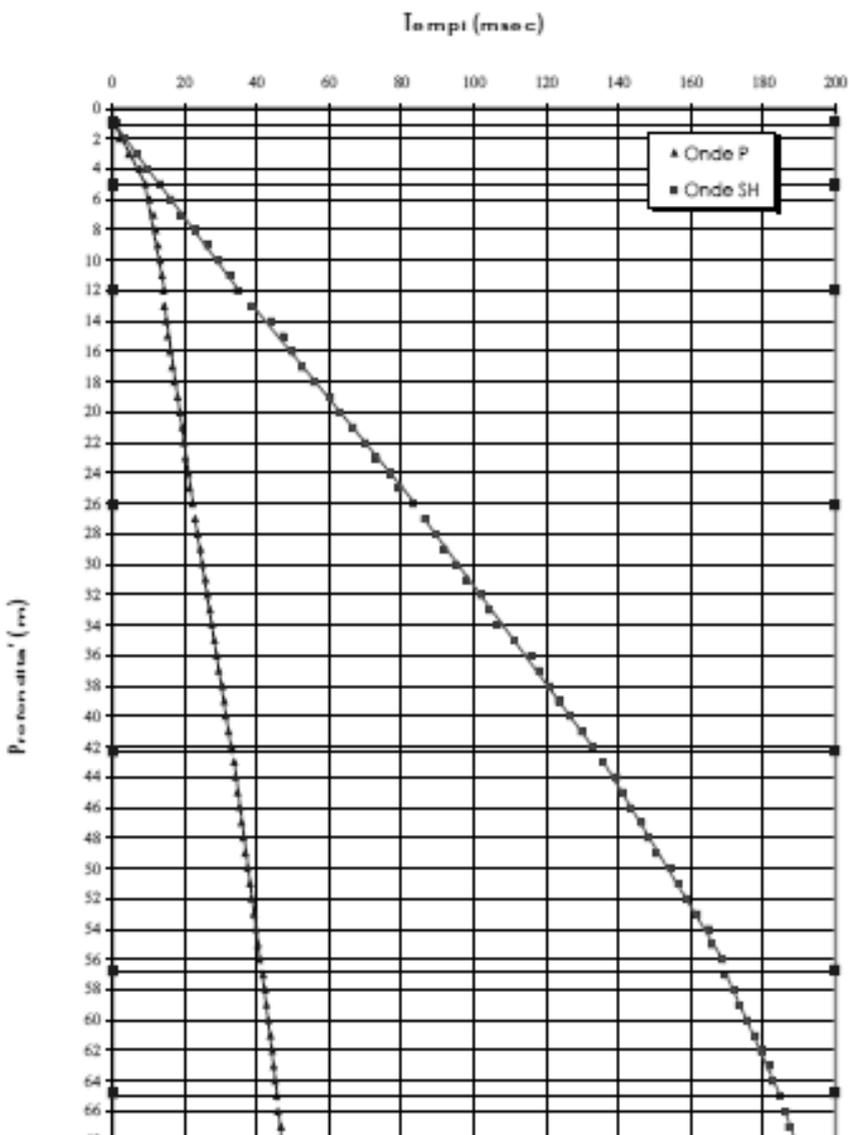


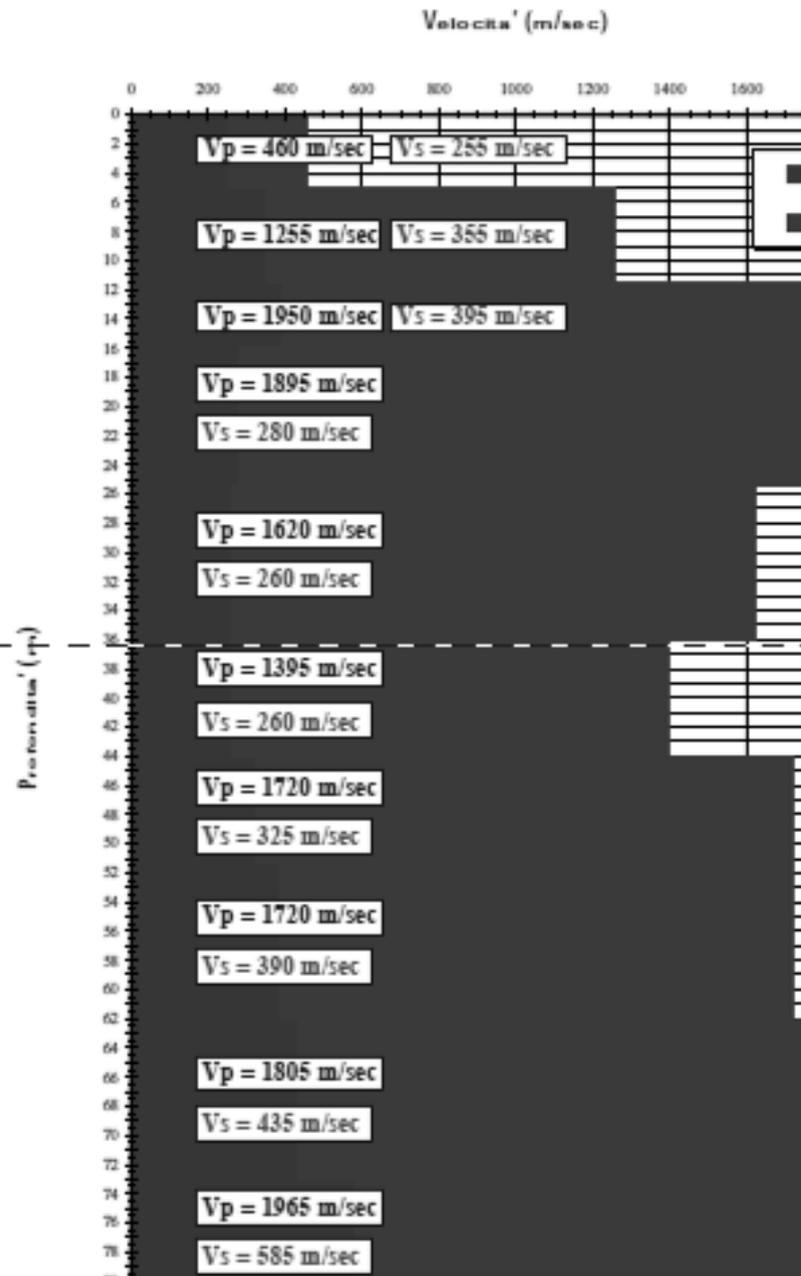
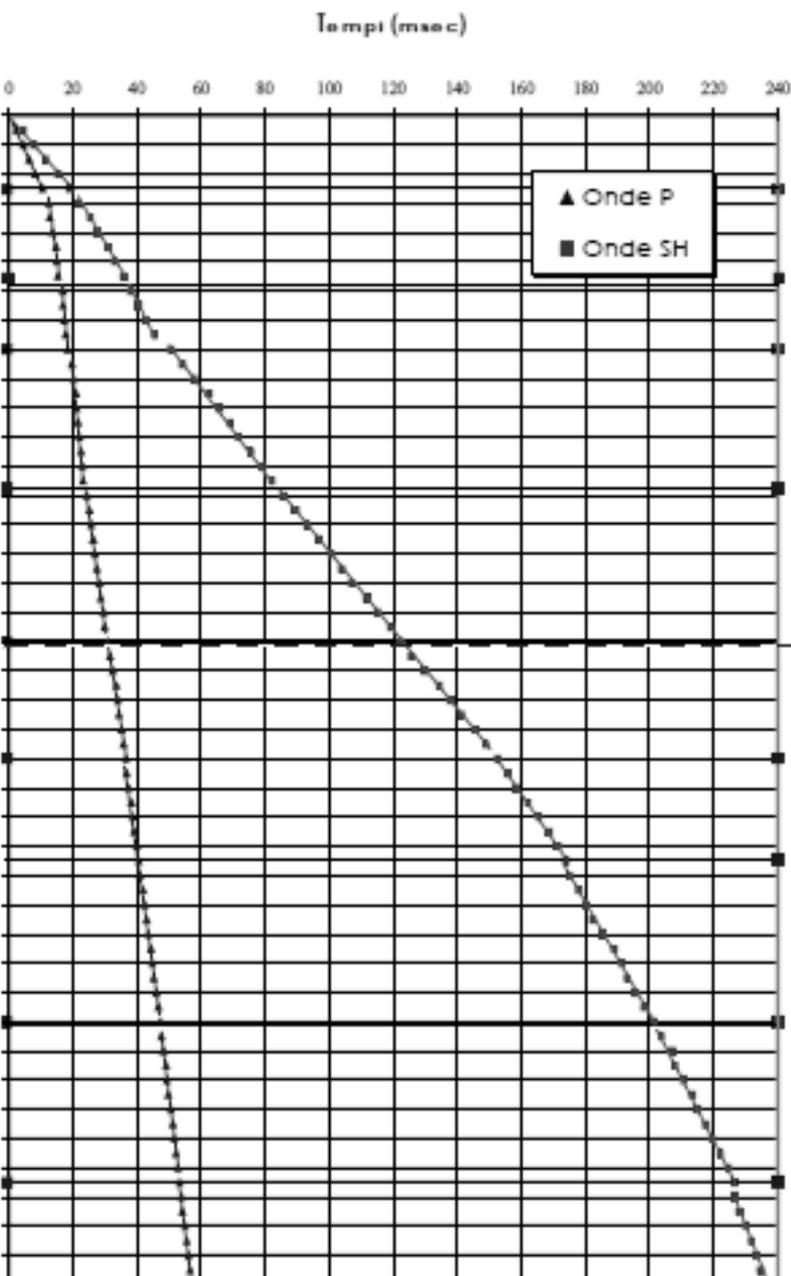
Figura 1. Interpretazione delle dromocrone. Sondaggio S8.

Programma: DOCUP

Comune: Barberino del Mugello (FI) Localita': Capoluogo

DH12

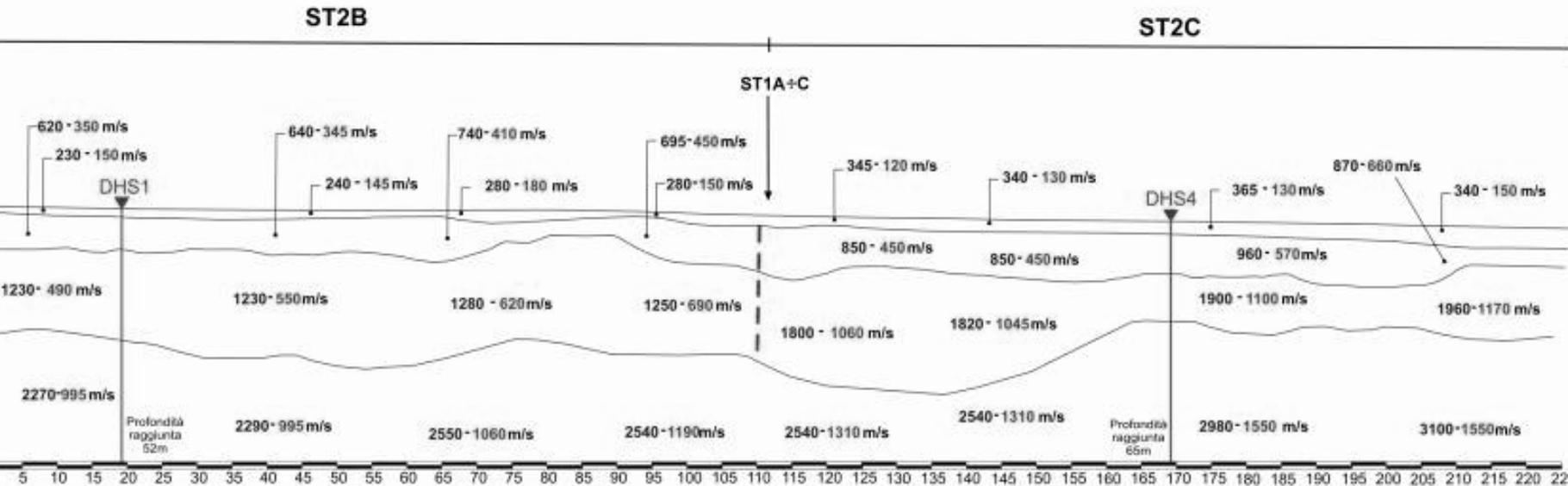




# ESEMPI DI PROSPEZIONI SISMICHE A RIFRAZIONE

Esempi di utilizzo in differenti  
contesti sismostratigrafici

**STESE SISMICHE A RIFRAZIONE - ONDE P ed SH**  
Galliciano (LU) - loc. Capoluogo, Via Serchio



**Legenda**

**620 m/s** Velocità sismica onde P in metri al secondo  
**350 m/s** Velocità sismica onde SH in metri al secondo

 discontinuità sismica

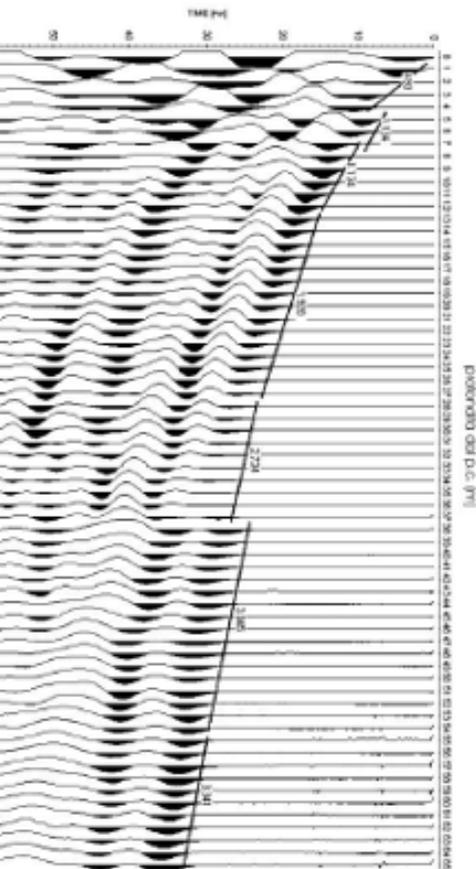
**DHS1**  
 Ubicazione prova down-hole in onde P ed SH

La ricostruzione della sezione porta a due sezioni sismostratigrafiche, in onde P ed in onde SH, congruenti. Pertanto viene utilizzata un'unica sezione grafica, valida per entrambe le onde. Vengono rappresentati i sismostrati individuati, indicando le rispettive velocità di propagazione delle onde P (in blu) e delle onde SH (in rosso). Lungo la sezione è indicato il punto di esecuzione delle prove geofisiche in foro (prove down-hole in onde P ed SH), con relativa profondità. In particolare, il down-hole DHS1 è distante circa 10m ad est della stesa ST2B, mentre il down-hole DHS4 corrisponde alla stesa ST2C. L'assetto sismostratigrafico, inoltre, è confermato dall'esecuzione delle stese ST1A, ST1B ed ST2C, che incrociano in direzione perpendicolare la sezione.

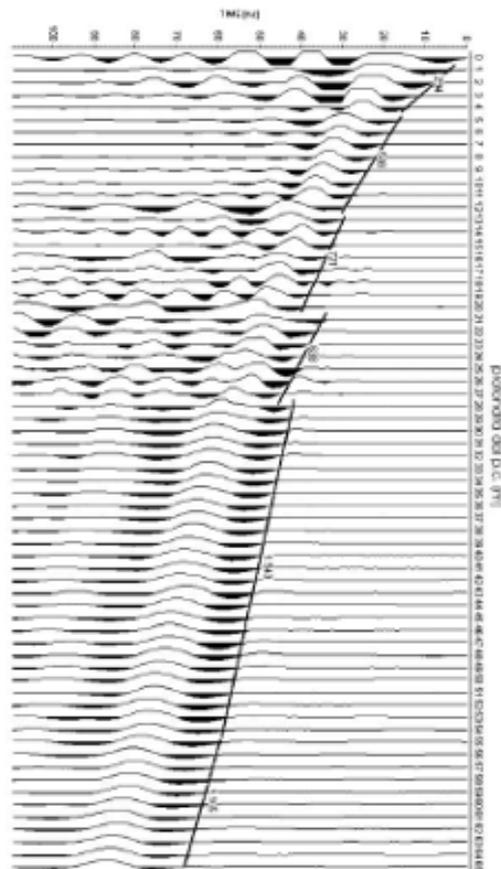
**DATI:** La ricostruzione della sezione, elaborata nella fase di omogeneizzazione, considerando il quadro geologico di riferimento, ha confermato, per quanto attiene alla sezione sismostratigrafica, i dati forniti dalla Ditta esecutrice dell'indagine. Pertanto, in questo caso si è provveduto soltanto all'omogeneizzazione del formato grafico della sezione.

Capacità di caratterizzazione valori medi di ampie porzioni di terreni

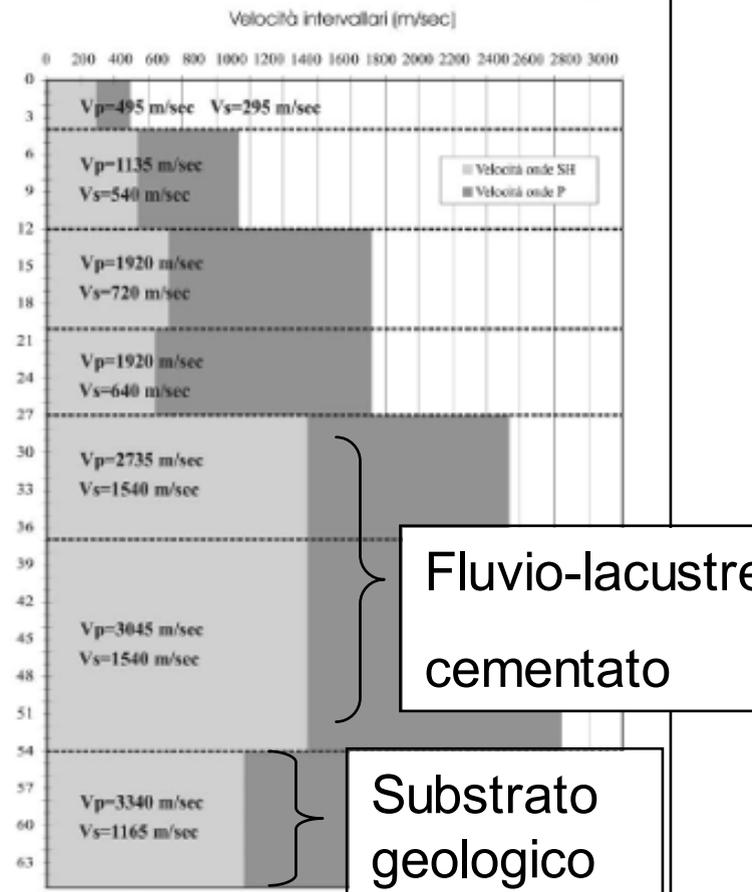
# INTERPRETAZIONE DOWN - HOLE DH4



Interpretazione Onde P



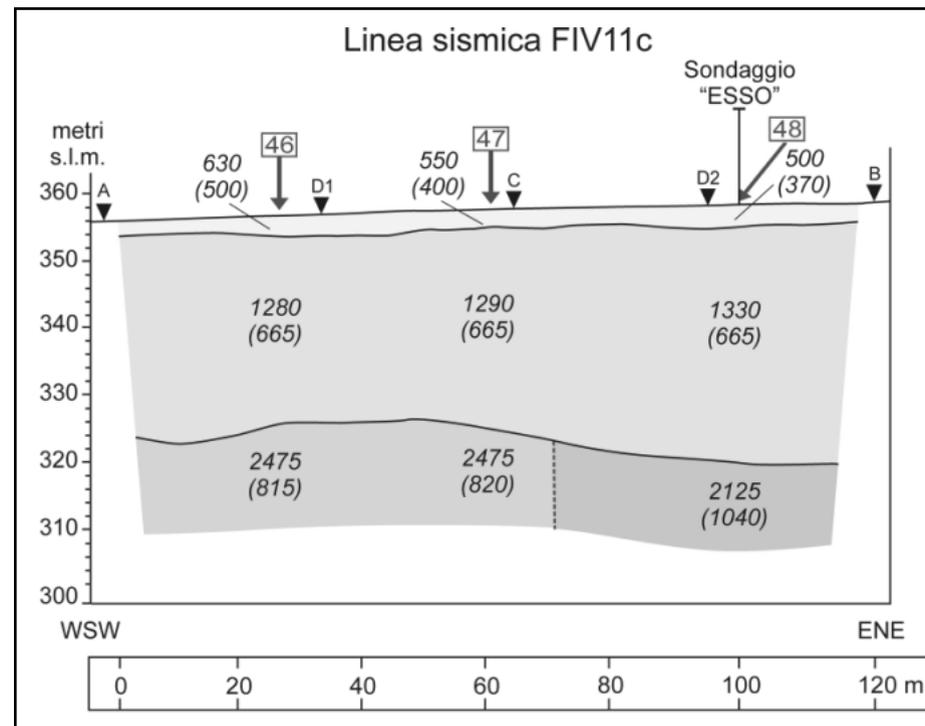
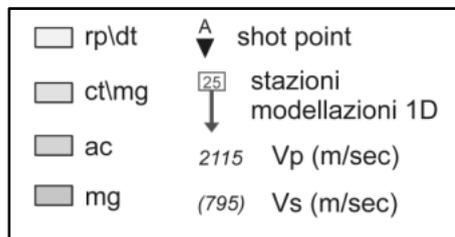
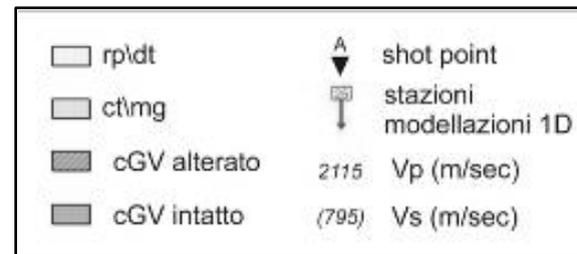
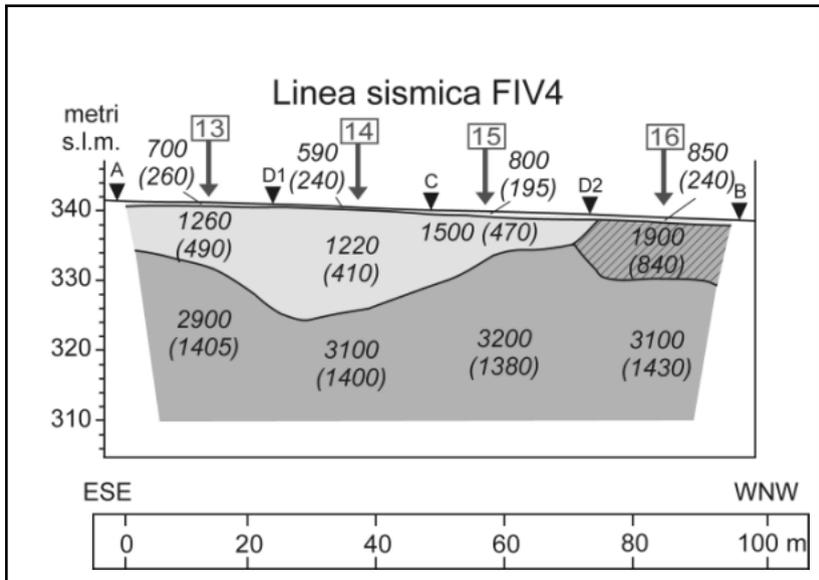
Interpretazione Onde SH



Fluvio-lacustre  
cementato

Substrato  
geologico

# linee sismiche a rifrazione FIV4 e FIV11c



Depositi di colmata e terreni di riporto (Olocene)

Depositi detritici (Olocene)

Depositi alluvionali terrazzati (Quaternario)

Canetolo

Calcarei del Gruppo del Vescovo (Eocene inf.)

Argille e calcari di Canetolo (Cretaceo sup. (?) / Paleocene - Eocene medio)

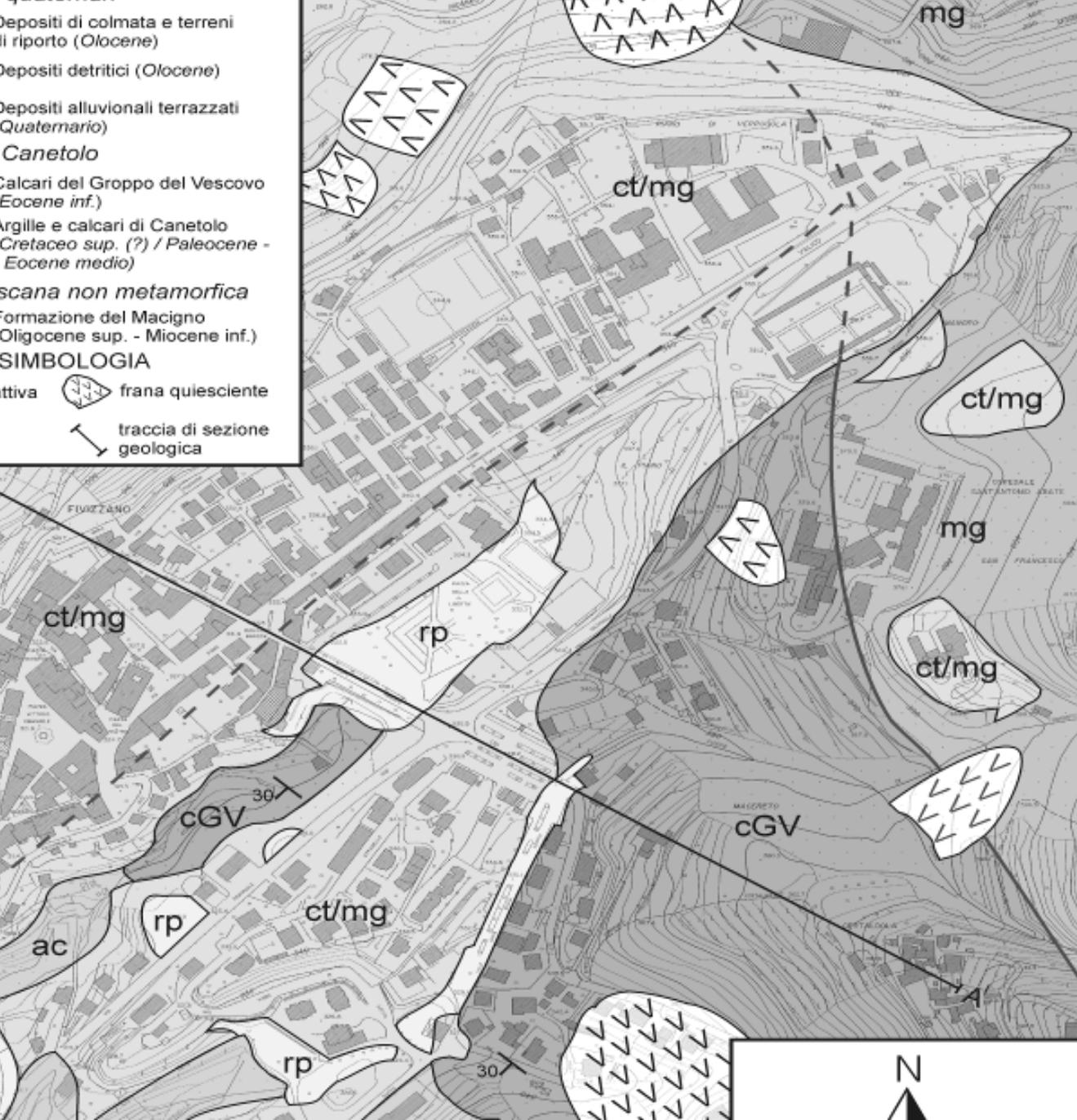
scana non metamorfica

Formazione del Macigno (Oligocene sup. - Miocene inf.)

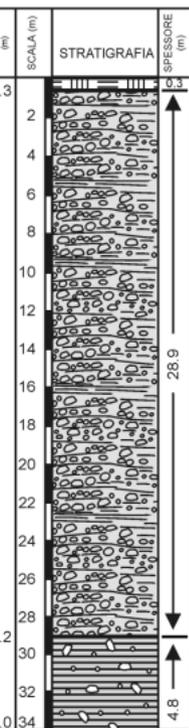
### SIMBOLOGIA

frattiva  frana quiescente

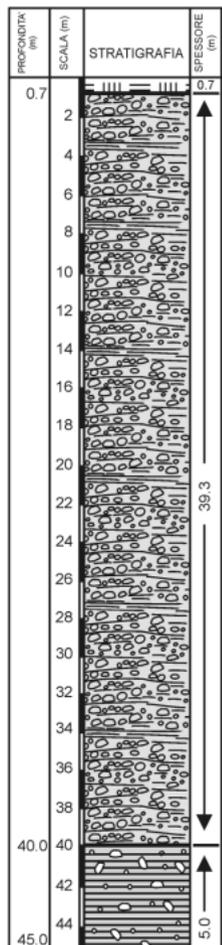
 traccia di sezione geologica



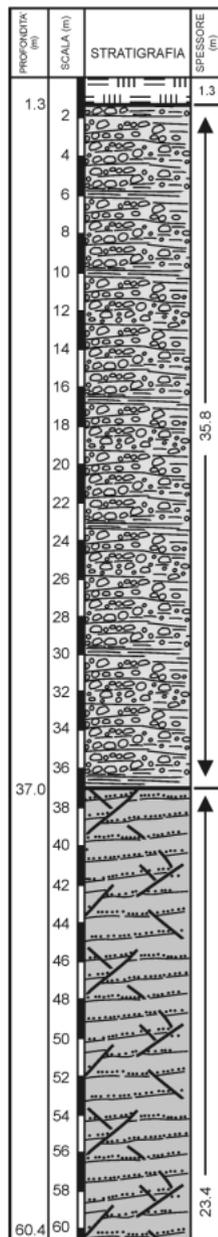
SONDAGGIO S1



SONDAGGIO S2



SONDAGGIO S3



## LEGENDA

### Depositi quaternari

- rp  Depositi di colmata e terreni di riporto - Olocene
- ct/mg  Depositi alluvionali terrazzati Quaternario

### Unità di Canetolo

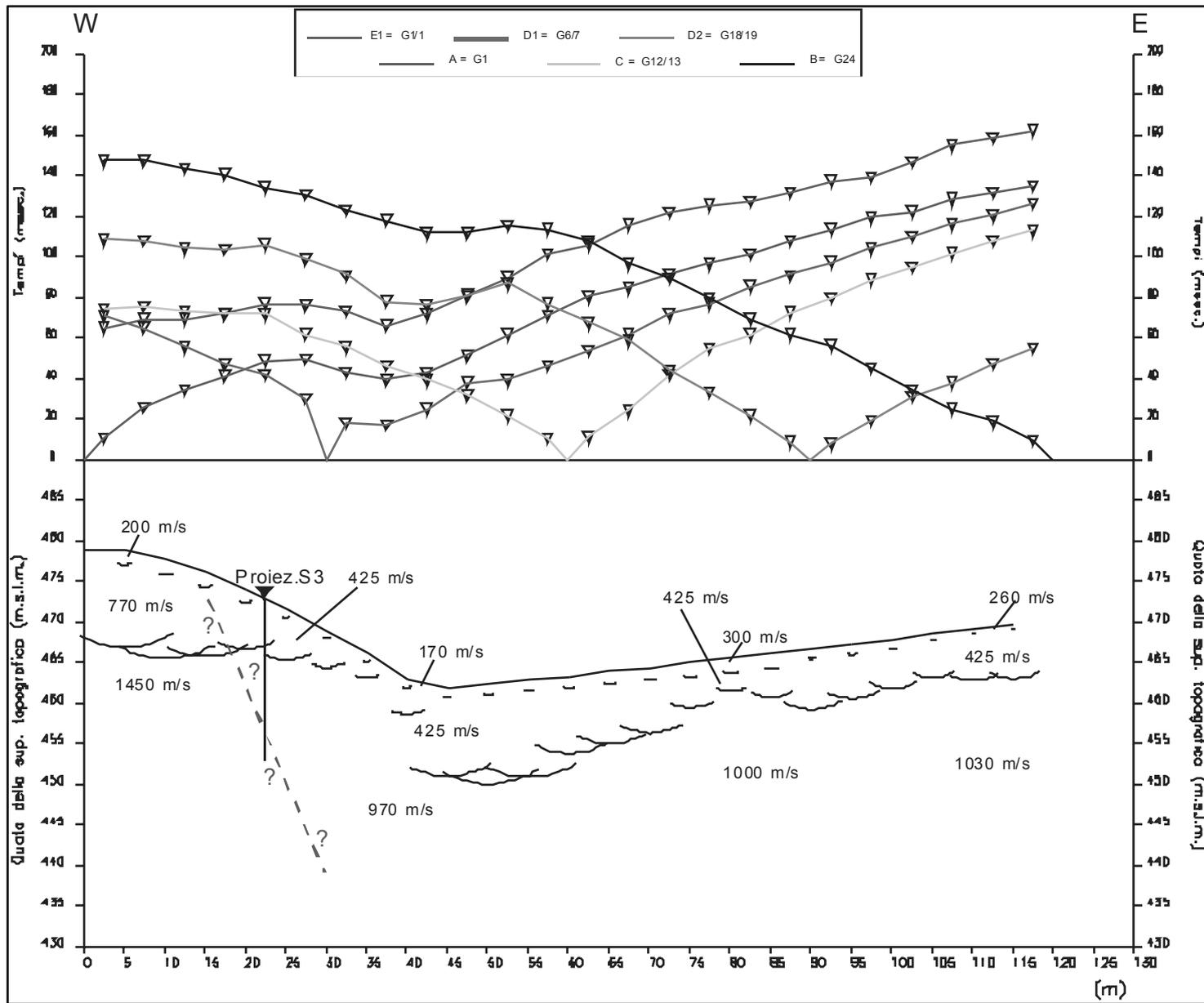
- ac  Argille e calcari di Canetolo  
Cretaceo sup. (?) / Paleocene -  
- Eocene medio

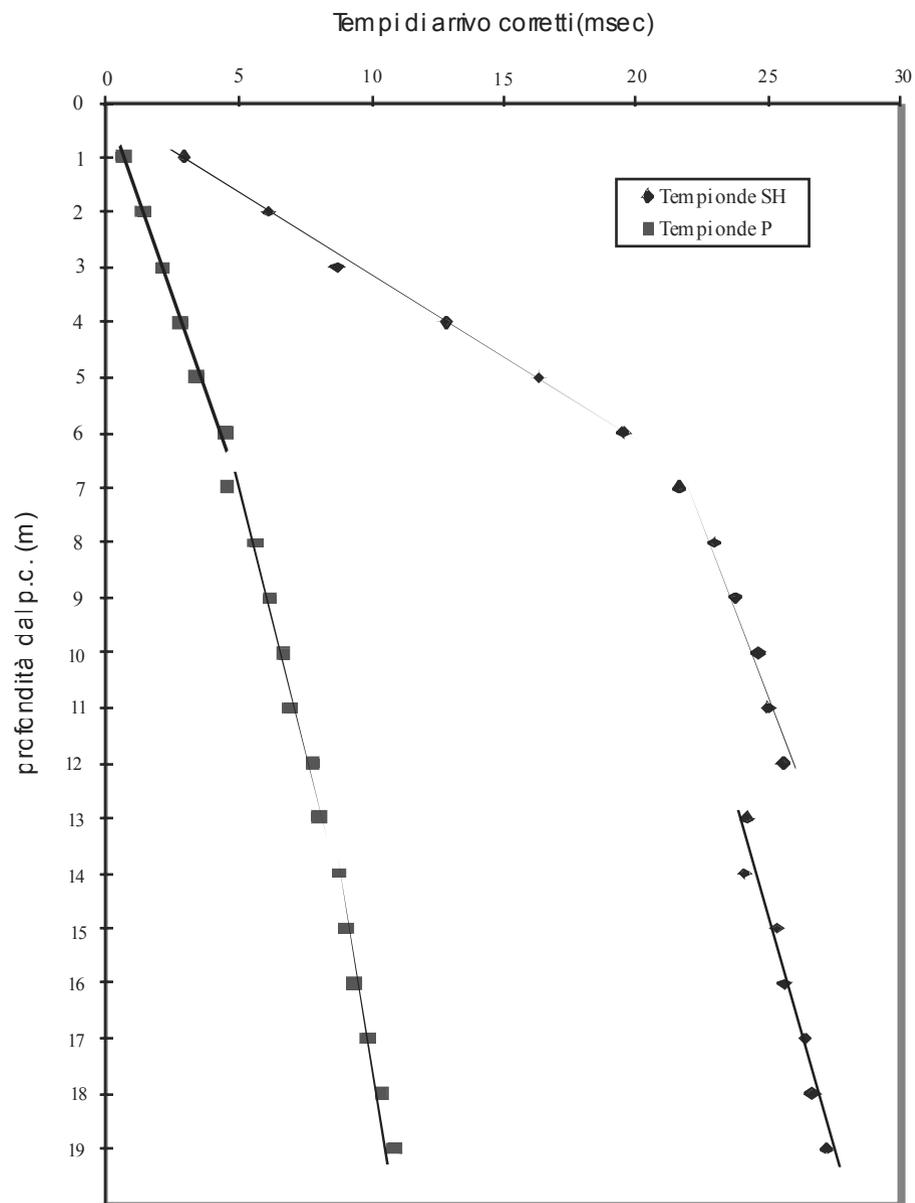
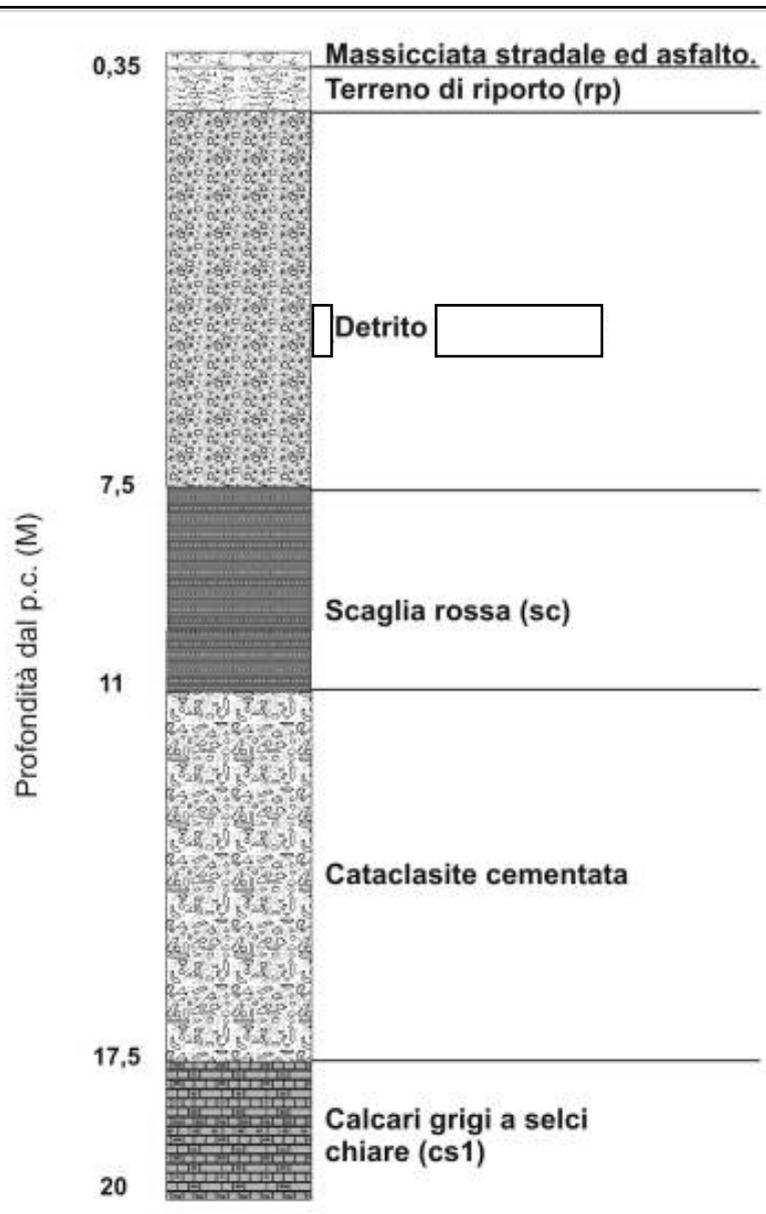
### Serie toscana non metamorfica

- mg  Formazione del Macigno  
(Oligocene sup. - Miocene inf.)

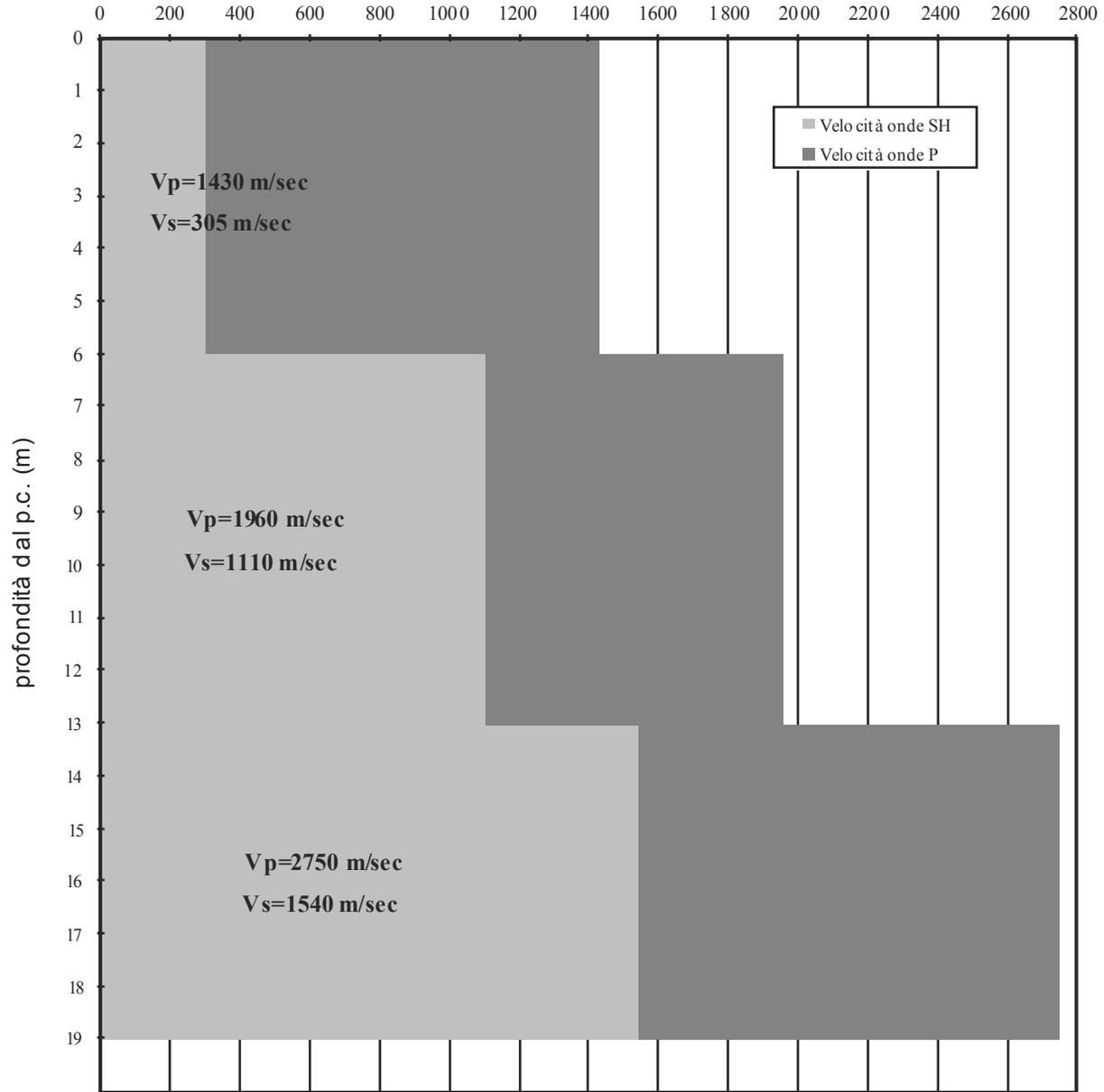
Stratigrafie semplificate dei tre sondaggi realizzati nel centro abitato di Fivizzano

**(D'Intinosante, 2003)**





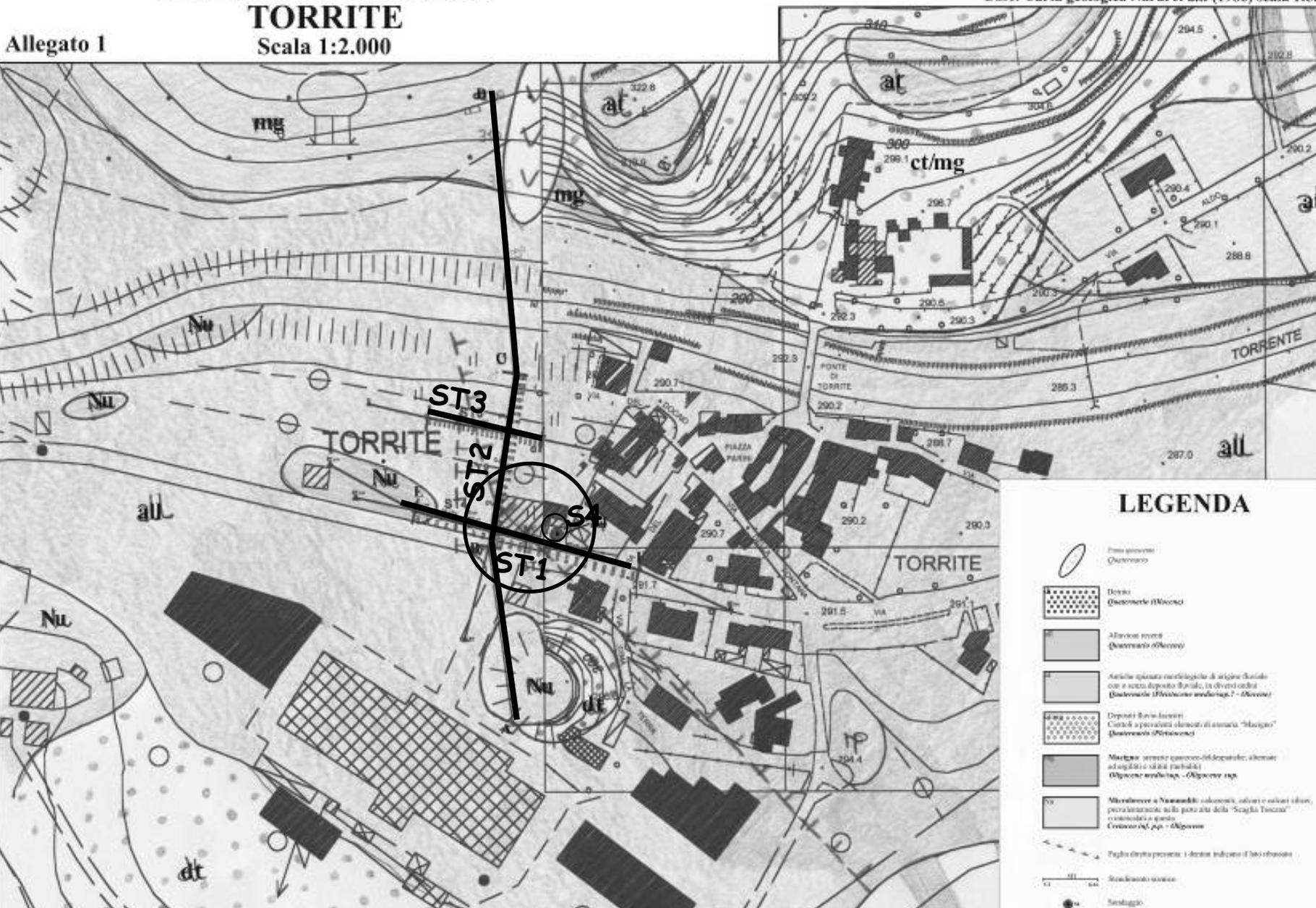
Velocità intervalari (m/sec)



# CARTA GEOLOGICA TORRITE

Allegato 1  
Scala 1:2.000

Base: Carta geologica Nardi *et alii* (1986) scala 1:5.000



## LEGENDA

- Area coperta da Quaternario
- Doria Quarternario (Macedo)
- Afluviali conici (Quaternario alluvionale)
- Artificio spaziale masonry blocks di origine fluviale con deposito di pietra (Quaternario alluvionale, 7 - alluvium)
- Depositi dal mare (Coastal or periglacial deposits of the sea "Macedo") (Quaternario alluvionale)
- Terrazza marina (Quaternario alluvionale, alluvium) (Quaternario alluvionale)
- Micaceous or Nonmicaceous calcareous, siliceous and siliceous tuffs, particularly on the site of the "Scaglia Toscana" (Quaternario alluvionale)
- Faglia (linea tratteggiata)
- Scala grafica (0-100)
- Insediamento



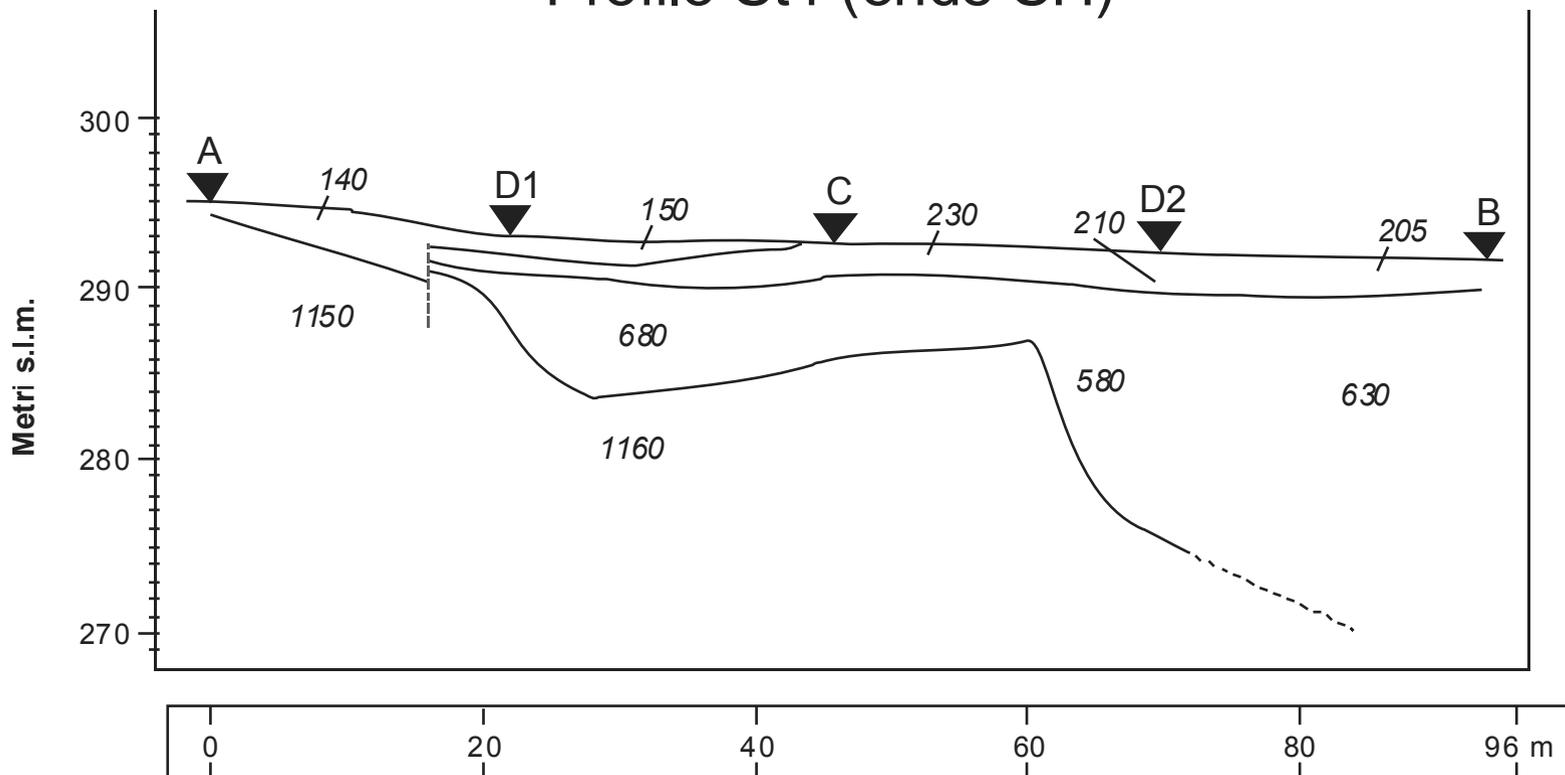
**Panoramica linea ST1**



**Postazione sondaggio S4**



# Località: Torrite (LU) Profilo St1 (onde SH)

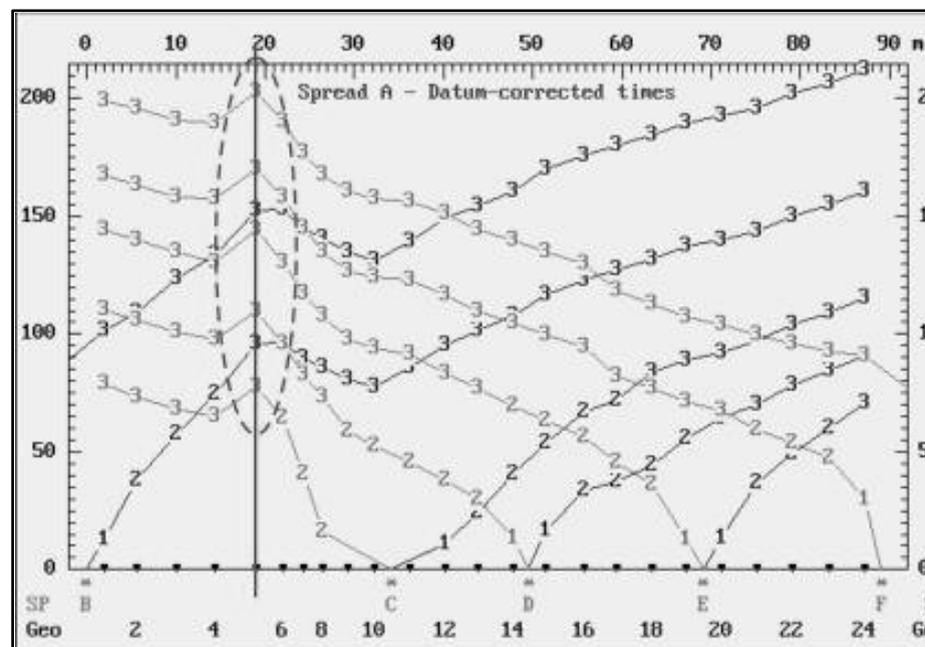
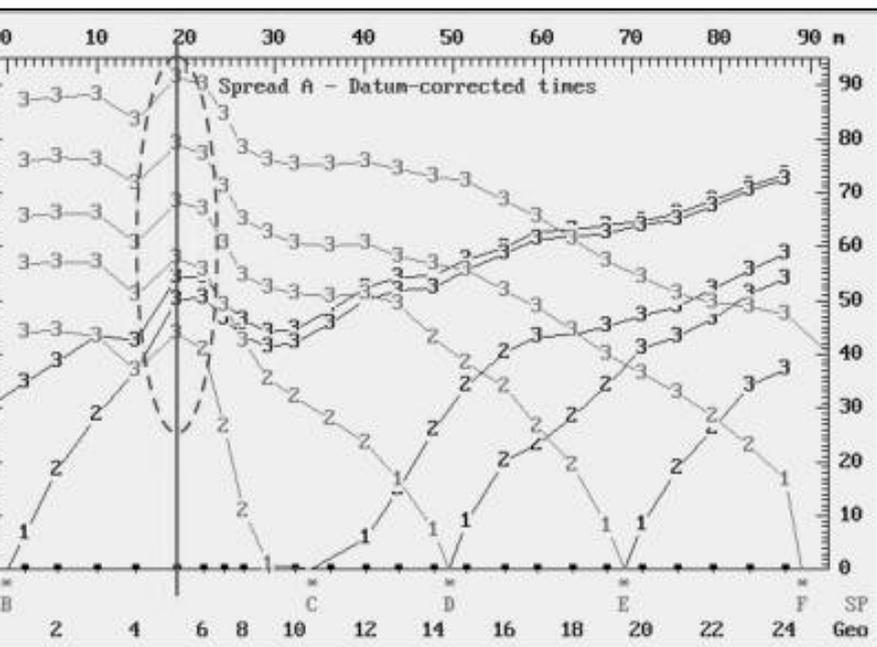


▼ A Punto di energizzazione

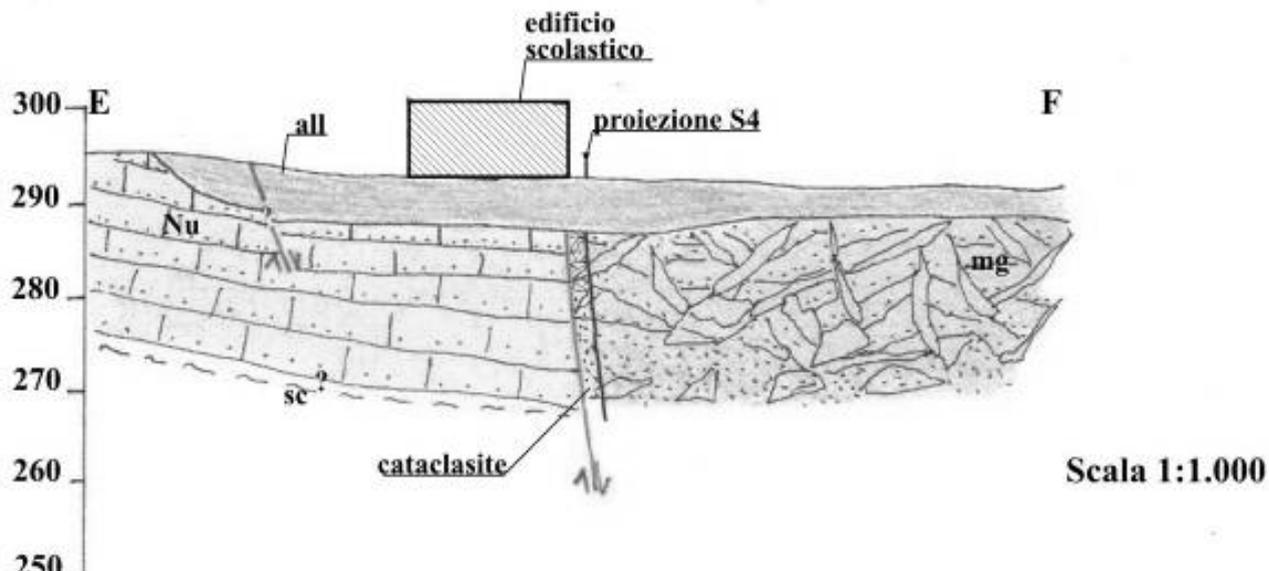
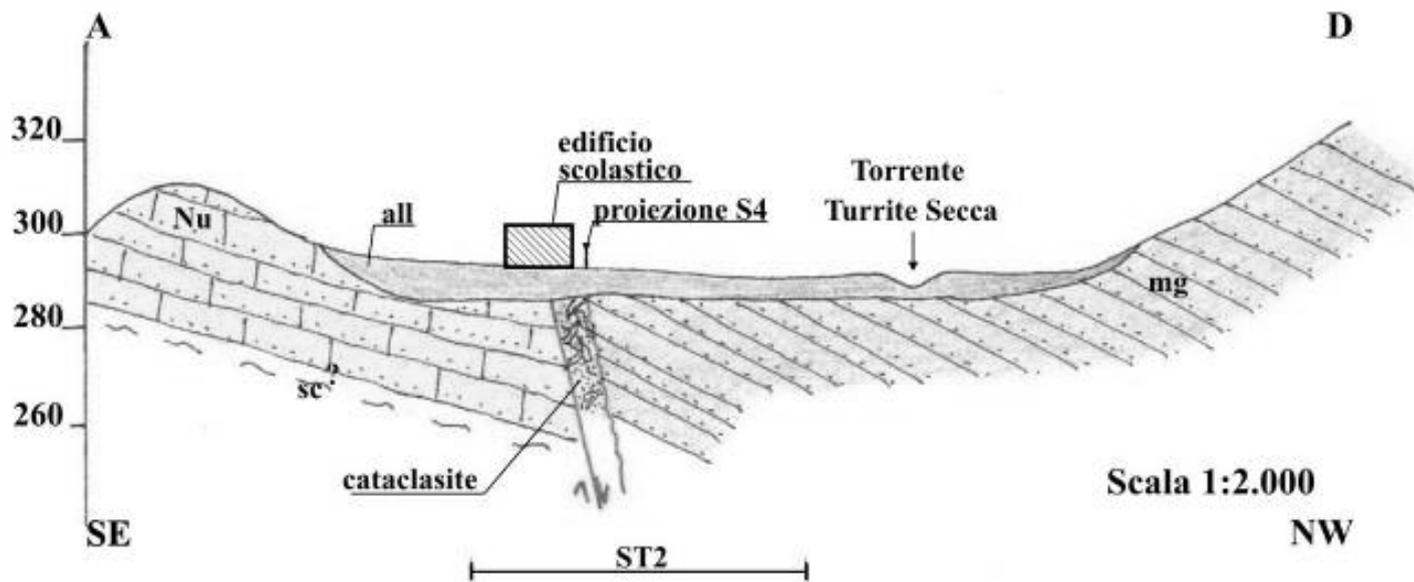
1160

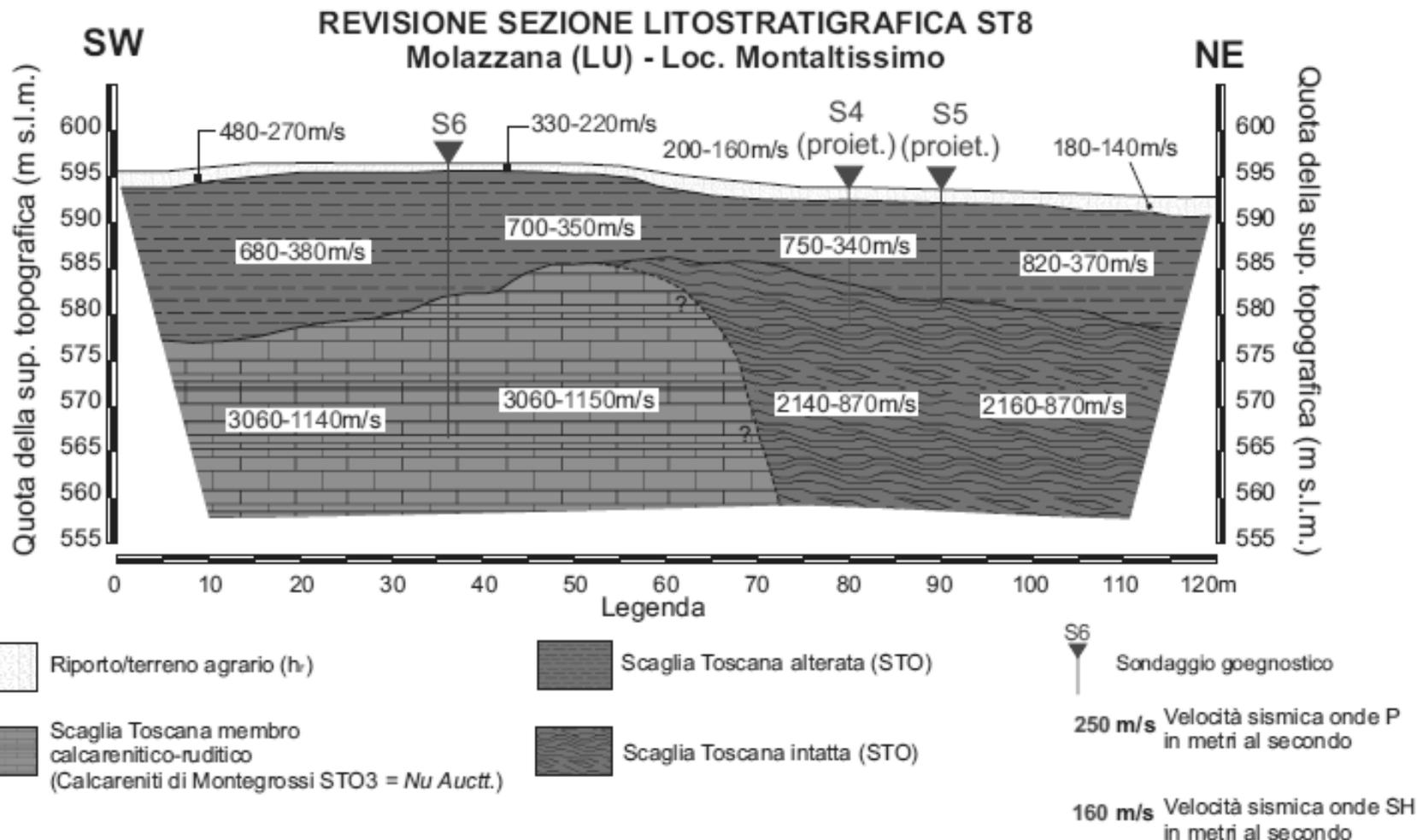
Velocità onde di taglio (m/sec)

⋮ Discontinuità sismica



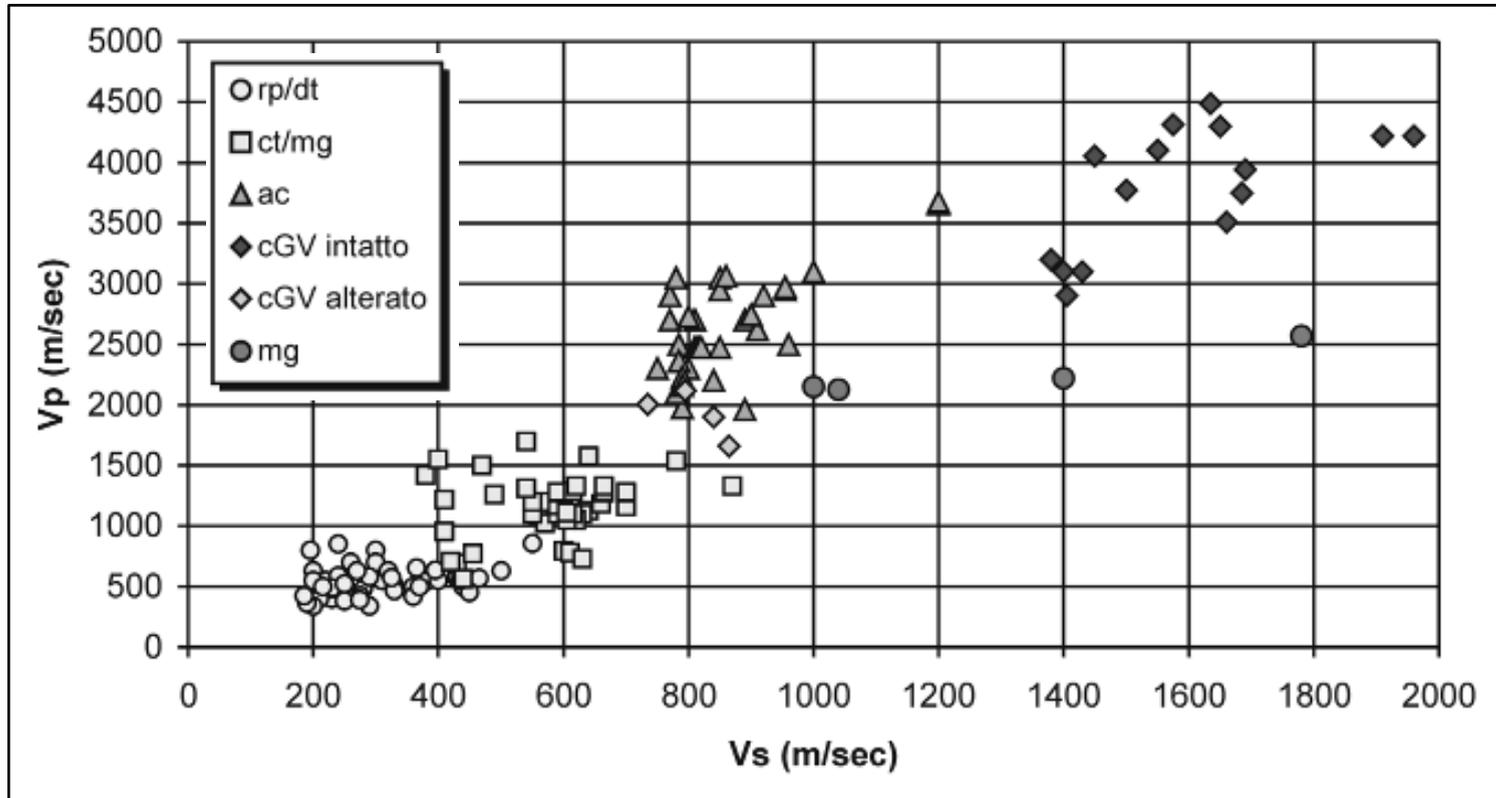
# SEZIONI GEOLOGICHE - LOCALITA' TORRITE



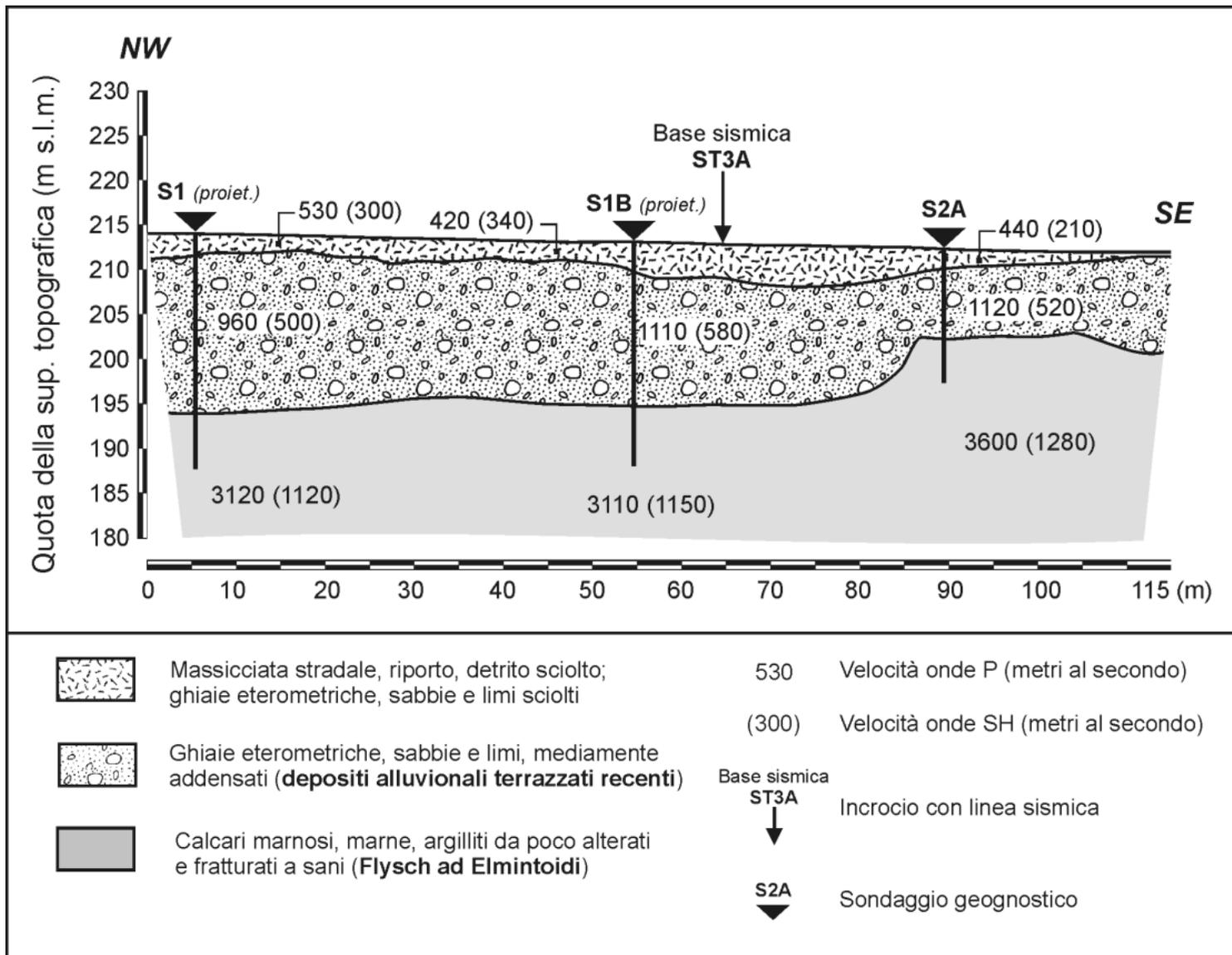


Variazioni laterali di velocità

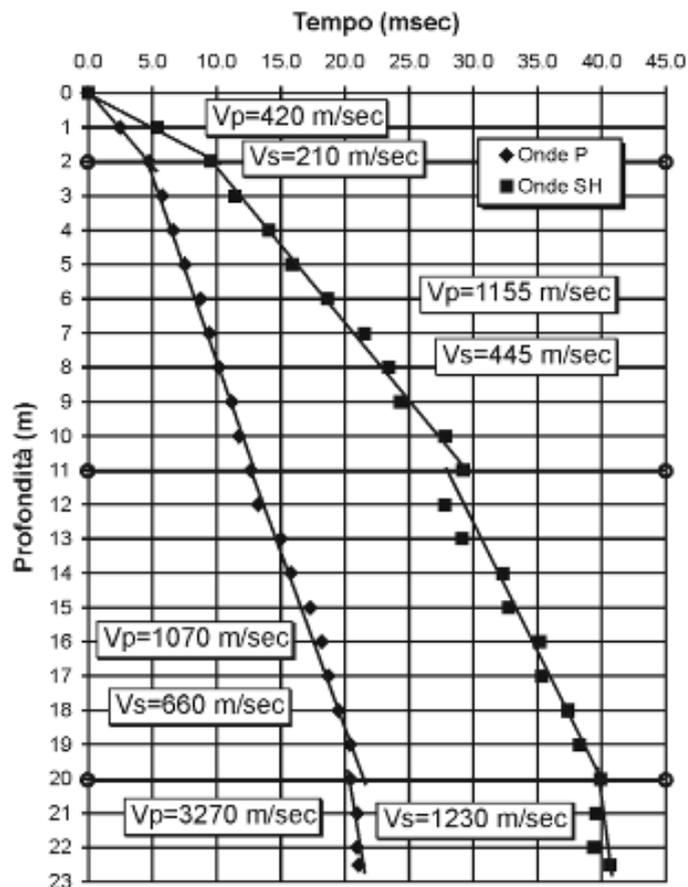
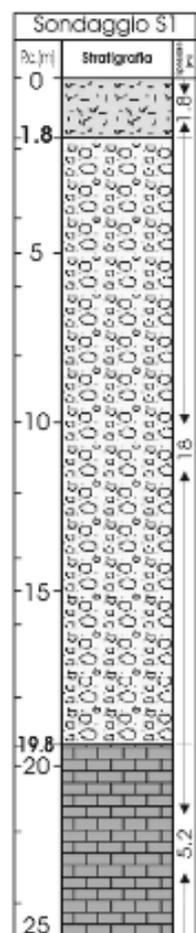
## (D'Intinosante, 2003)



Confronto fra i valori di  $V_p$  e  $V_s$  per i litotipi presenti nell'area fivizzanese, ricavati dall'esecuzione delle indagini sismiche in foro ed in superficie



Sezione litostratigrafica relativa alla base sismica St2



Risultati dell'indagine down-hole eseguita nel foro di sondaggio S1

#### DEPOSITI QUATERNARI



Depositi di colmata e terreni di riporto (rp) - **Olocene**

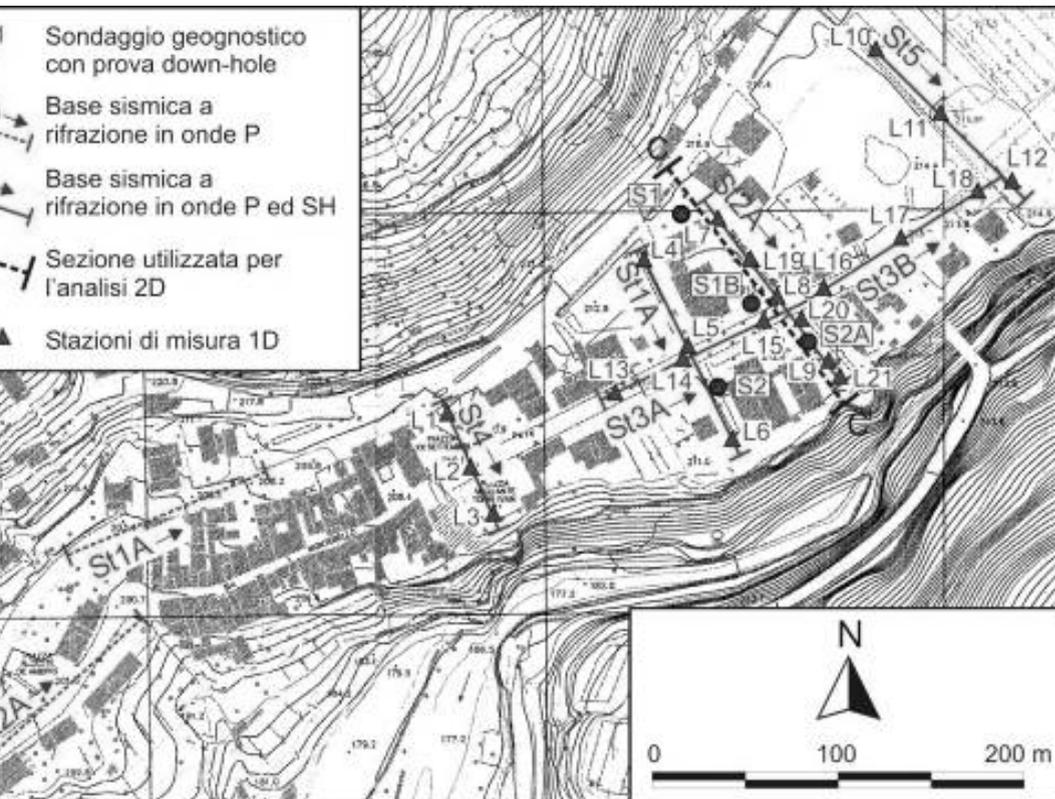


Depositi alluvionali terrazzati (ct/mg) - **Quaternario**

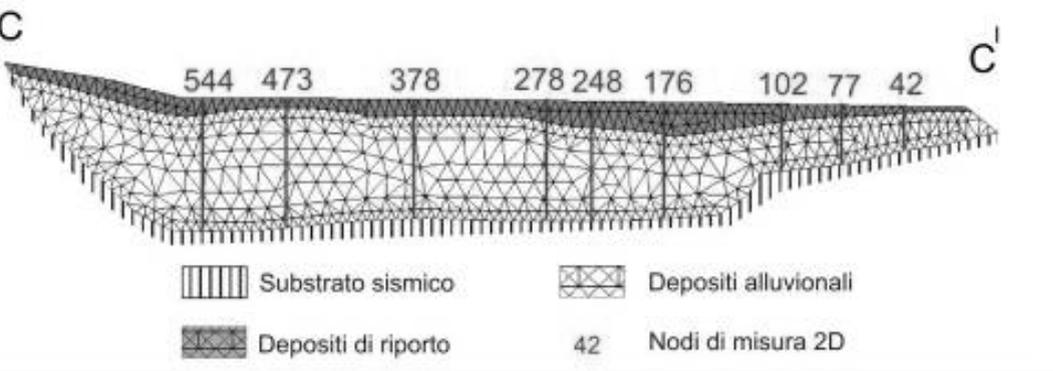
#### UNITA' DI OTTONE - S. STEFANO

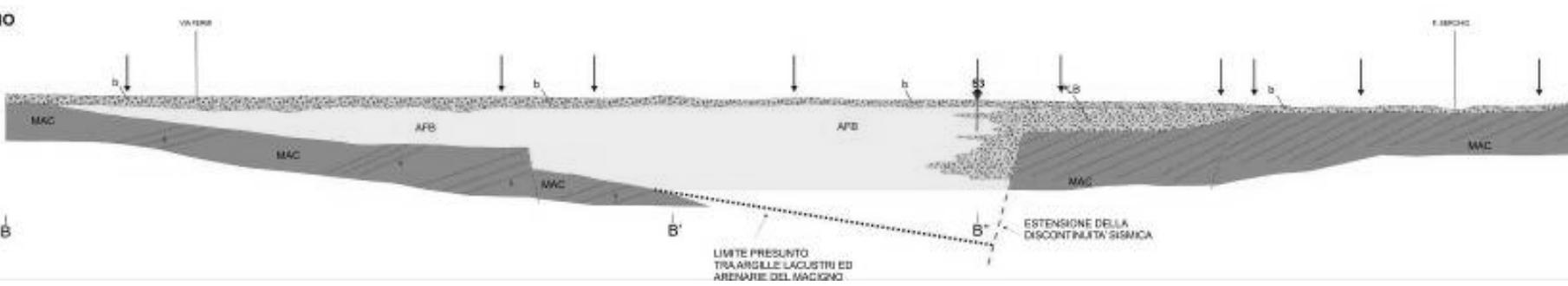
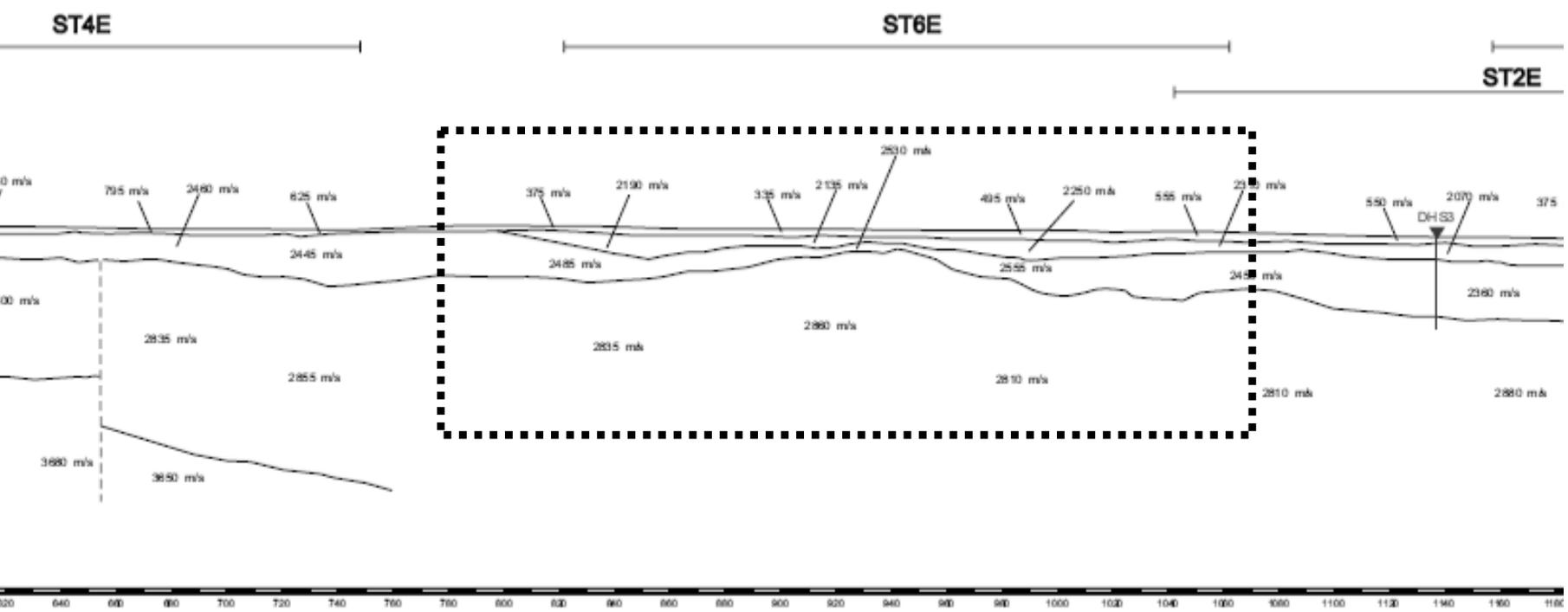


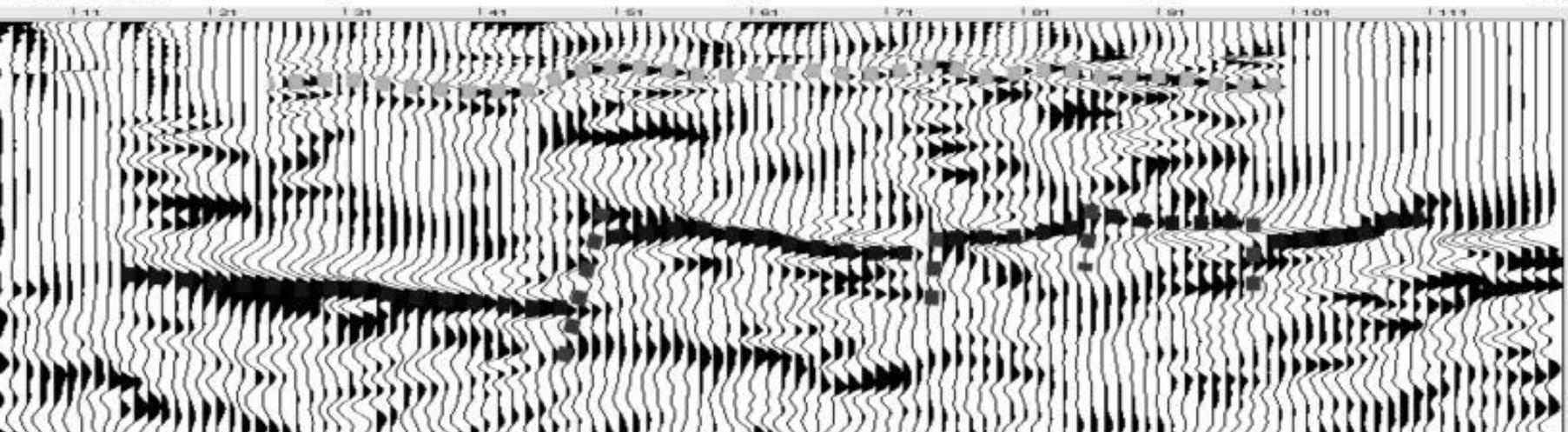
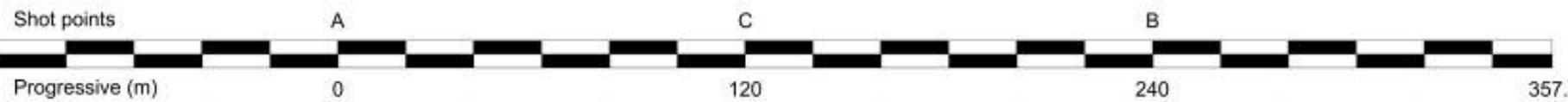
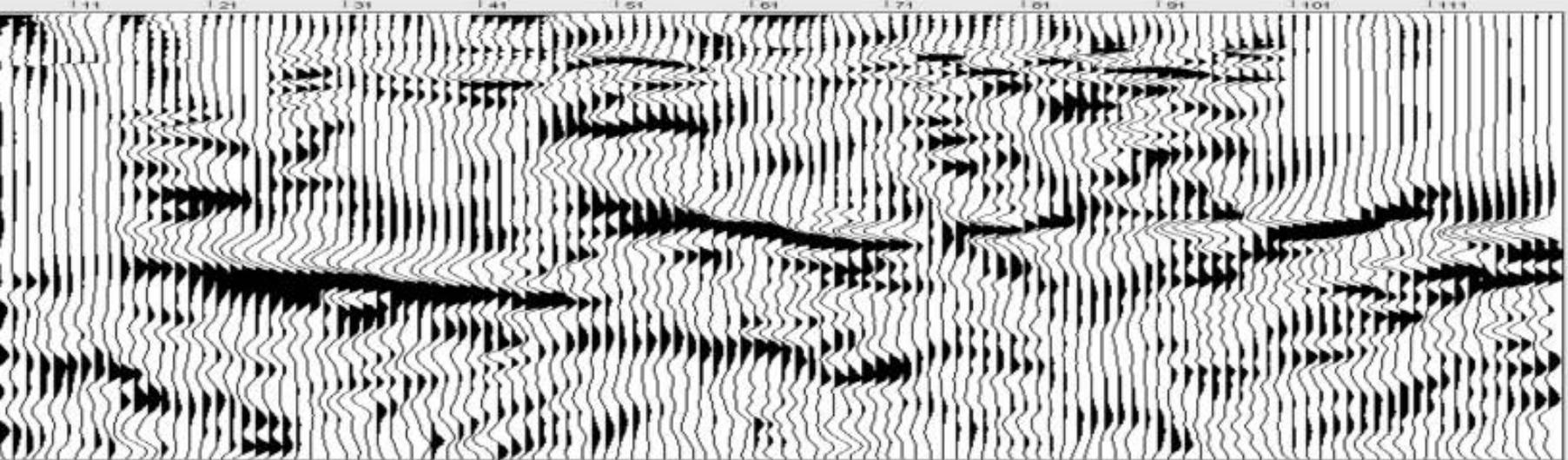
Flysh ad Elmintoidi (fh)



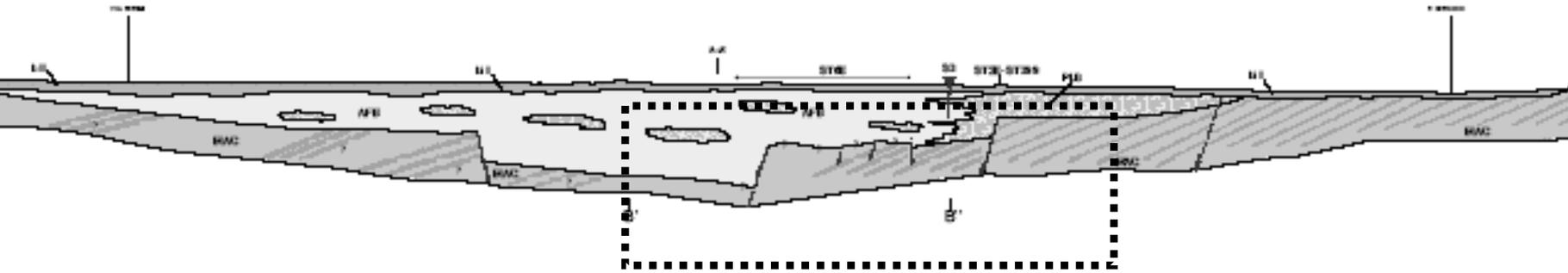
Ubicazione delle indagini di esplorazione del sottosuolo e di modellazione numerica nel sito di Licciana Nardi (MS)





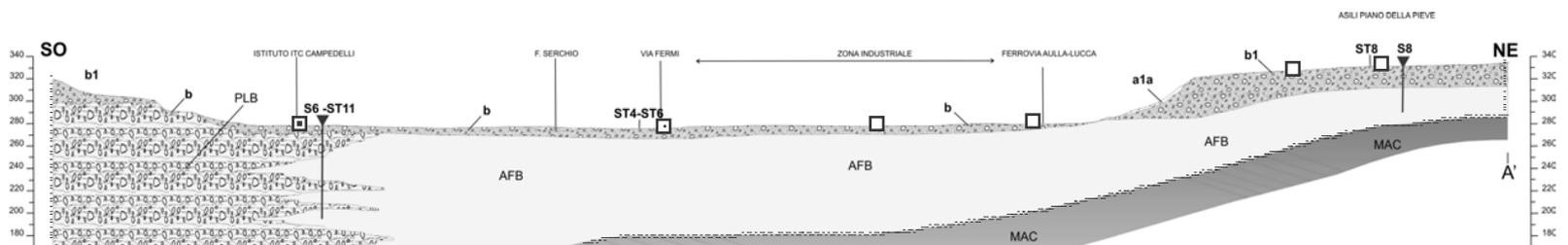


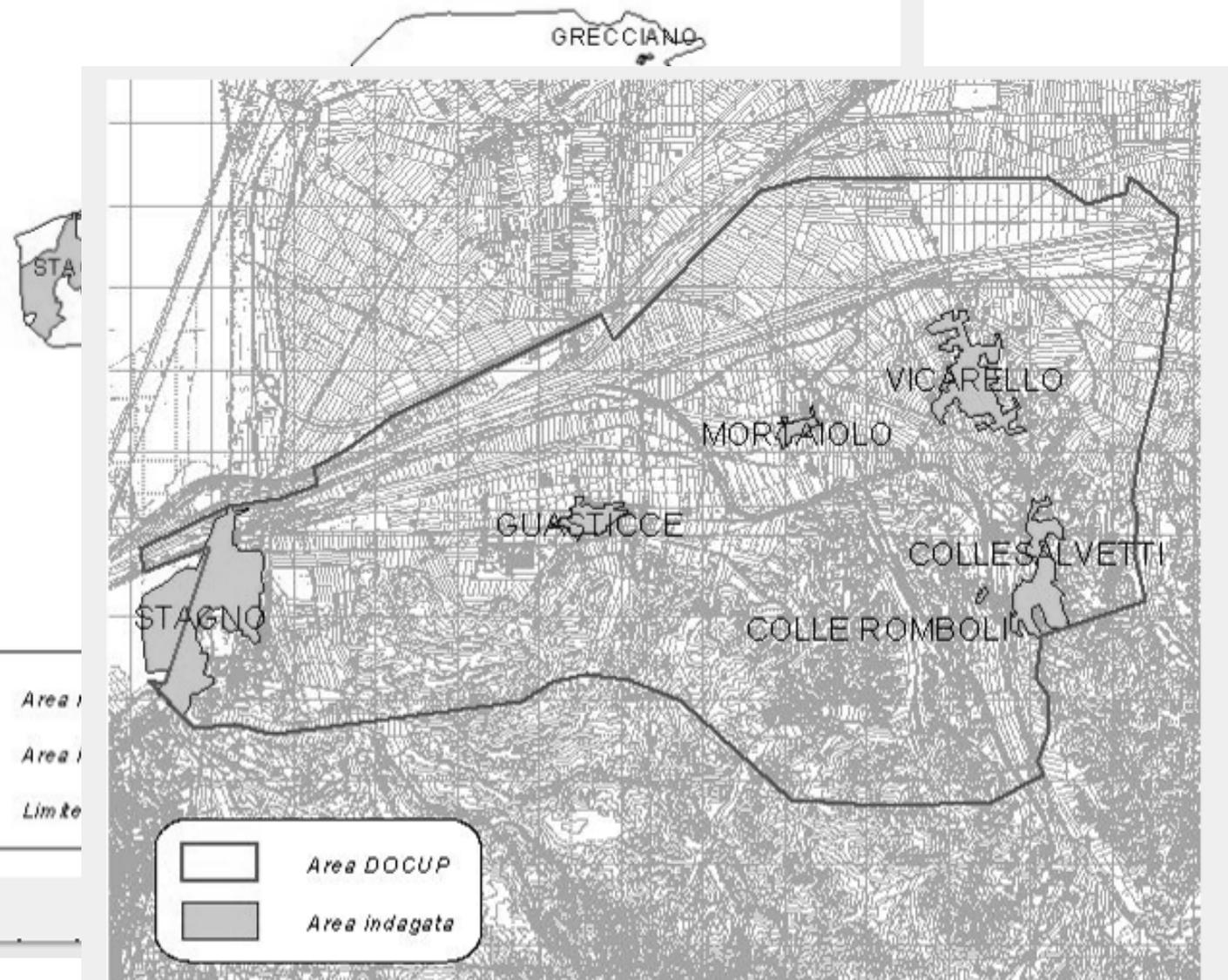
# MODELLAZIONE



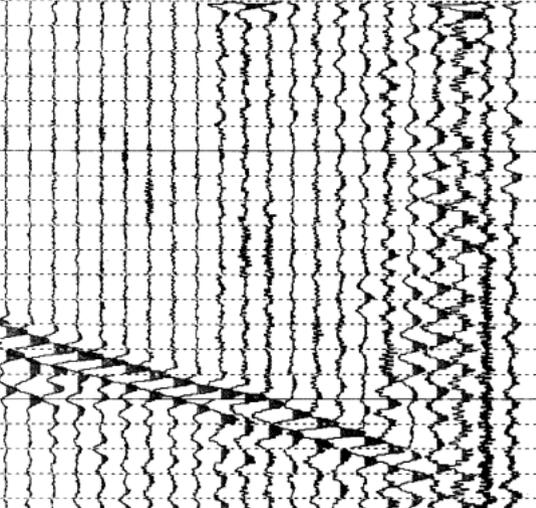
Simbolo	Litologia	Litologia adottata nello studio
	Depositi alluvionali attuali e recenti sopra falda; Materiale di riporto; ghiaie, sabbie e ciottoli addensati; Depositi alluvionali ghiaioso-limosi; Sabbie e sabbie limose sciolte; Copertura detritica addensata; Ghiaie poligeniche e sabbie.	Alluvioni
AFB	Argille, argille sabbiose, sabbie con livelli di ciottoli, sovraconsolidate dure	Argille
MAC	suolo	Aerato
	Arenarie del Macigno non alterate; Arenarie del Macigno	Bedrock

**Castelnuovo Garfagnana**  
**Sezioni modellate**

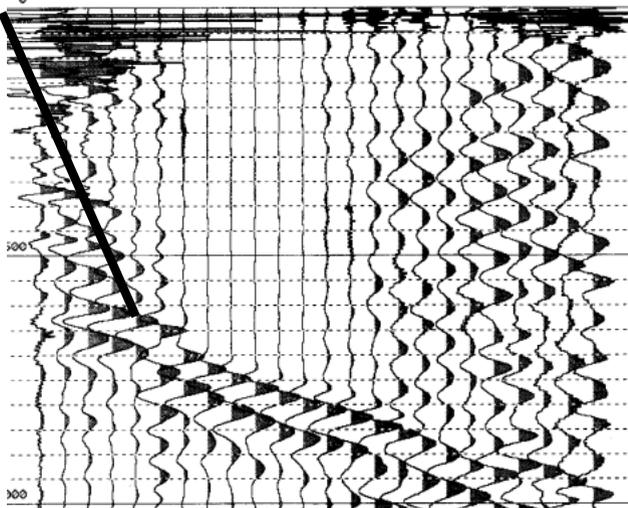




**TRICS**  
 9.DAT  
 ER 0507262  
 -00.00  
 INTERVAL 500 uS  
 LO CUT 10HZ  
 LO CUT 25HZ  
 GROUP INTERVAL 10.00  
 PHONE 1 LOC 5.00  
 RECORD LEN 1024 MS  
 NOTCH 50HZ  
 NOTCH 150HZ  
 SmartSeis  
 1:18:10 27/JUL/2005  
 PHONE 24 LOC 235.00  
 DELAY 200 MS  
 STACKS 50  
 FIXED GAIN  
 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24  
 00 09

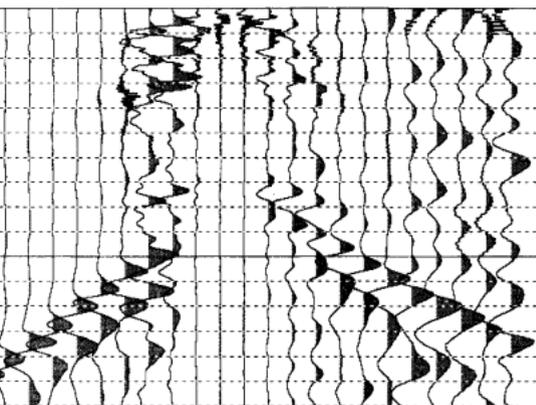


**SEOMETRICS**  
 SAVED AS 0.DAT  
 LINE NUMBER 0507262  
 SHOT LOC 0.00  
 SAMPLE INTERVAL 500 uS  
 ACFI FILT LO CUT 10HZ  
 DISP FILT LO CUT 10HZ  
 GROUP INTERVAL 10.00  
 PHONE 1 LOC 5.00  
 RECORD LEN 1024 MS  
 NOTCH 50HZ  
 NOTCH 150HZ  
 SmartSeis  
 1:05:00 27/JUL/2005  
 PHONE 24 LOC 235.00  
 DELAY 0 MS  
 STACKS 50  
 FIXED GAIN  
 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24  
 00 09 09 09 72 81 75 09 09 72 72 75 81 84 84 84 81 78 81 78 81 78 87 87

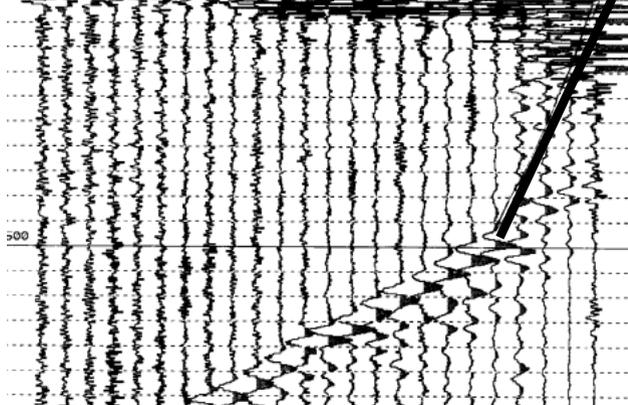


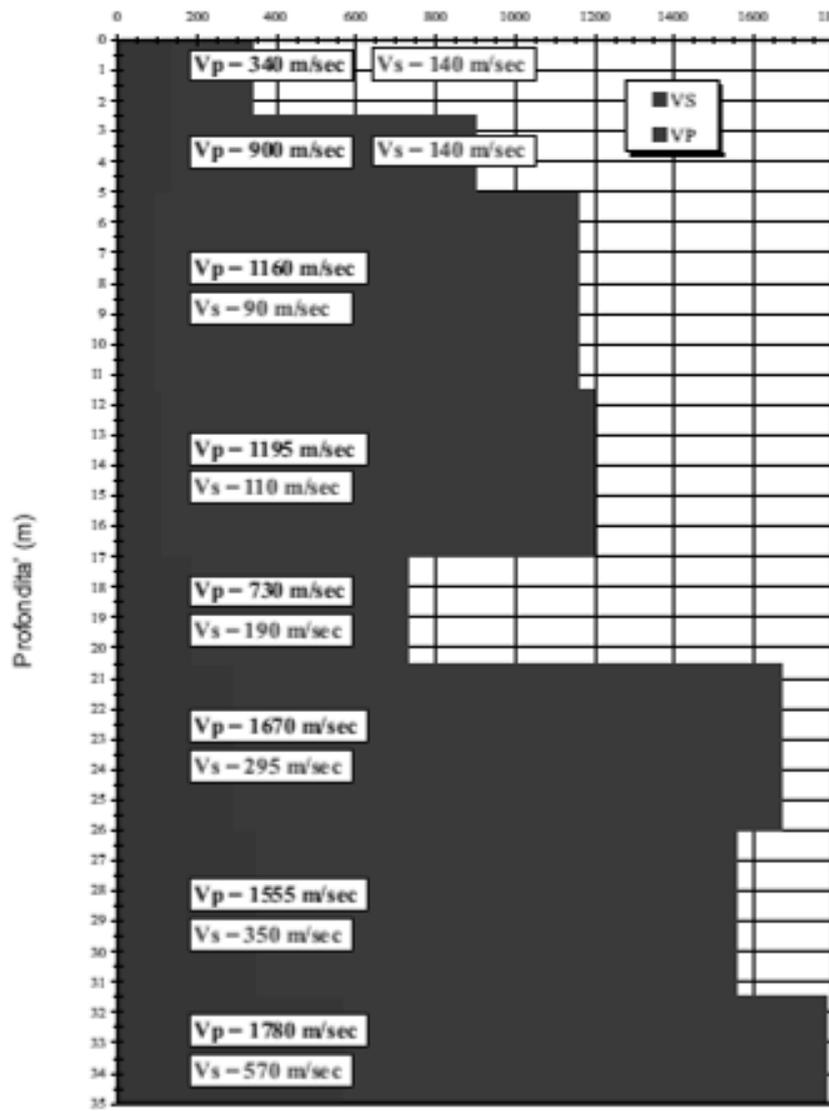
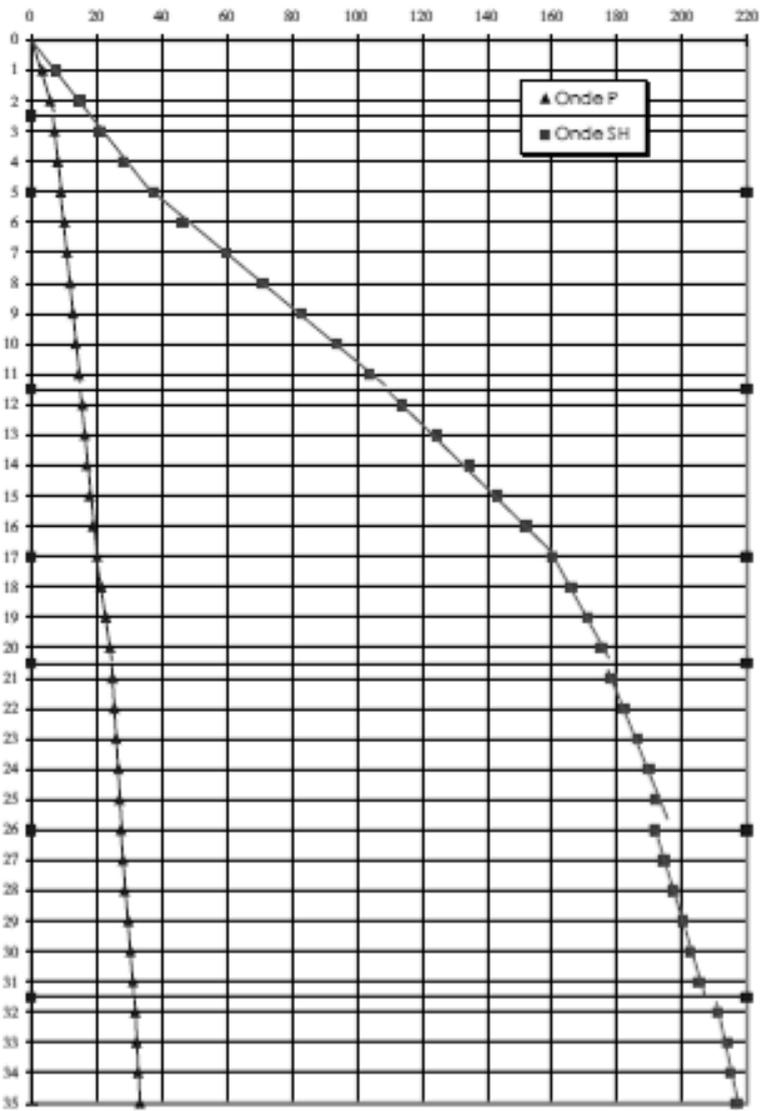
**Assenza di segnale ad eccezione del rifrattore di base**

**TRICS**  
 5.DAT  
 ER 0507262  
 120.00  
 INTERVAL 500 uS  
 OUT  
 OUT  
 GROUP INTERVAL 10.00  
 PHONE 1 LOC 5.00  
 RECORD LEN 1024 MS  
 NOTCH 50HZ  
 HI CUT 250HZ  
 SmartSeis  
 0:35:00 27/JUL/2005  
 PHONE 24 LOC 235.00  
 DELAY 0 MS  
 STACKS 50  
 FIXED GAIN  
 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24  
 66 66 63 63 63 66 72 63 42 18 24 48 57 63 63 63 63 66 66 69 69 75



**SEOMETRICS**  
 SAVED AS 2.DAT  
 LINE NUMBER 0507262  
 SHOT LOC 240.00  
 SAMPLE INTERVAL 500 uS  
 ACFI FILT OUT  
 DISP FILT NOTCH 150HZ  
 LO CUT 25HZ  
 GROUP INTERVAL 10.00  
 PHONE 1 LOC 5.00  
 RECORD LEN 1024 MS  
 NOTCH 50HZ  
 LO CUT 25HZ  
 SmartSeis  
 23:56:27 26/JUL/2005  
 PHONE 24 LOC 235.00  
 DELAY 0 MS  
 STACKS 50  
 FIXED GAIN  
 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24  
 99





DOCUP LIVORNESE - Comune di Collesalvetti  
 DOWNHOLE CONO SISMICO SCPT 5A  
 Velocità intervallari

sante-SSR (12/2008)

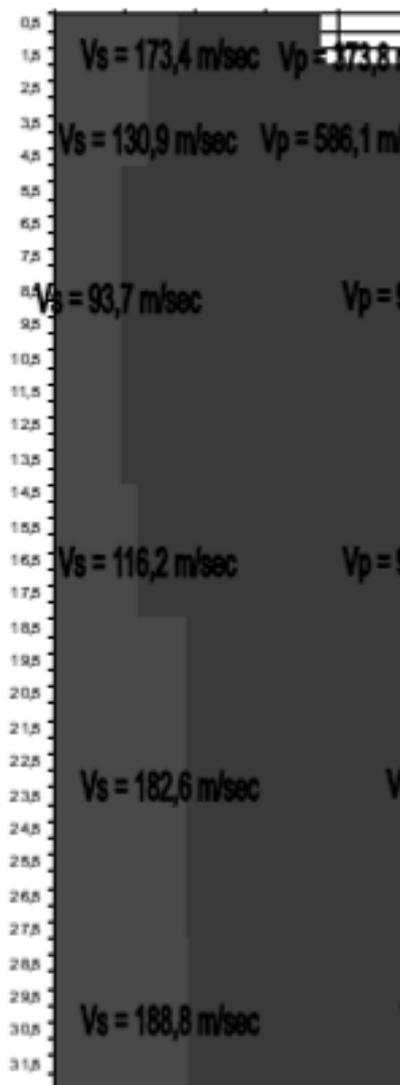
ita dalla Ditta.



UNIONE EUROPEA

Velocità (m/sec)

0 100 200 300 400 500



Dir. Gen. delle Politiche Territoriali e Ambientali  
**SERVIZIO SISMICO REGIONALE**

DITTA ESECUTRICE: Studio Prof. Marchetti

DATA ESECUZIONE: 7 novembre 2005

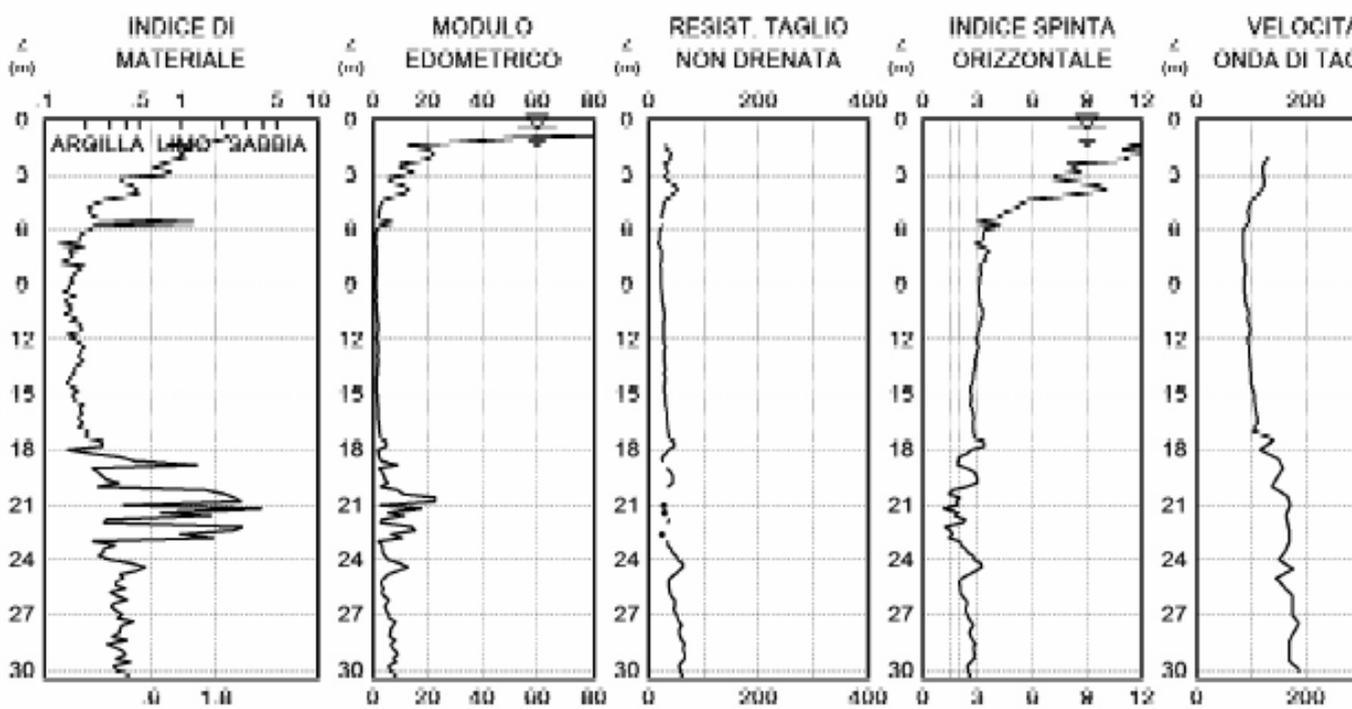


Programma DOCUP - Comune di: Collesalvetti - Località: Guasticce - Profili dei principali parametri SDMT 1

STUDIO PROF. MARCHETTI  
 INTERPORTO DI LIVORNO

UNIVERSITA' DI PISA  
 GUASTICCE COLLESALVETTI (LI)

PR  
 SDM  
 7 NOV



ARGILLA LIMO SABBIA

INDICE DI MATERIALE

MODULO EDOMETRICO

RESIST. TAGLIO NON DRENATA

INDICE SPINTA ORIZZONTALE

VELOCITA' ONDA DI TAGLIO

Sondaggi  
geotecnici  
e prove  
down-hole

S12

Vai

Sismica a  
Rifrazione  
in onde P e  
SH

ST13

Vai



io e prova downhole



Sismica a rifrazione in onde P e SH

Area di rilevamento VEL



### LEGENDA

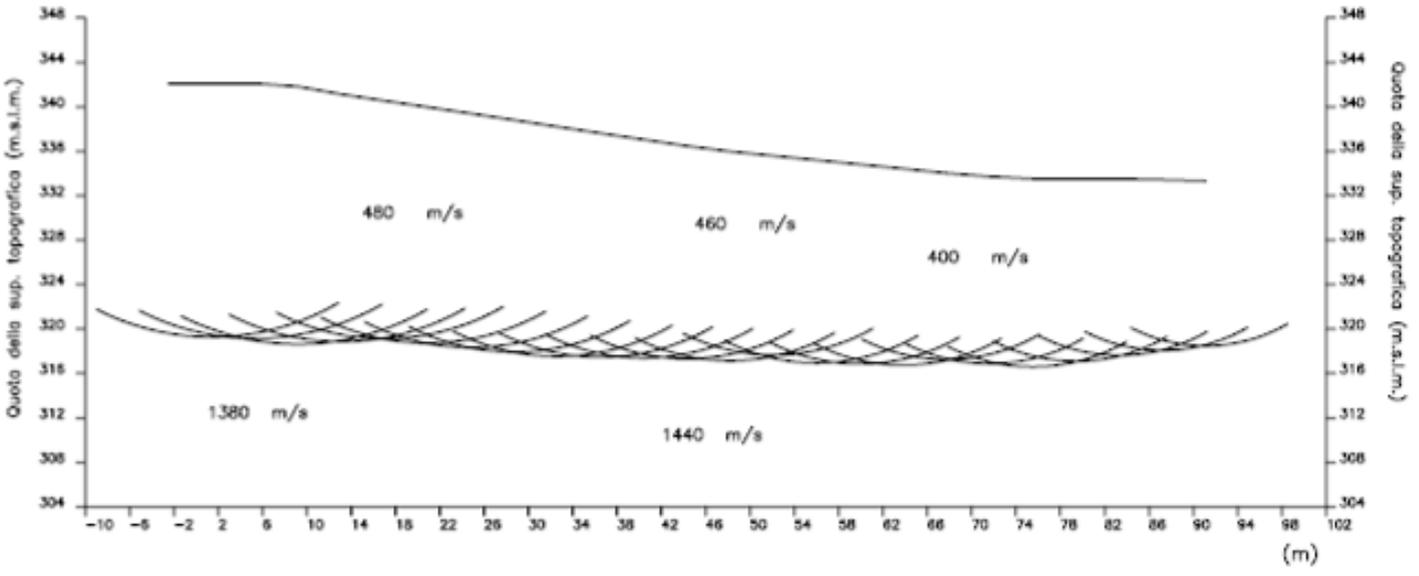
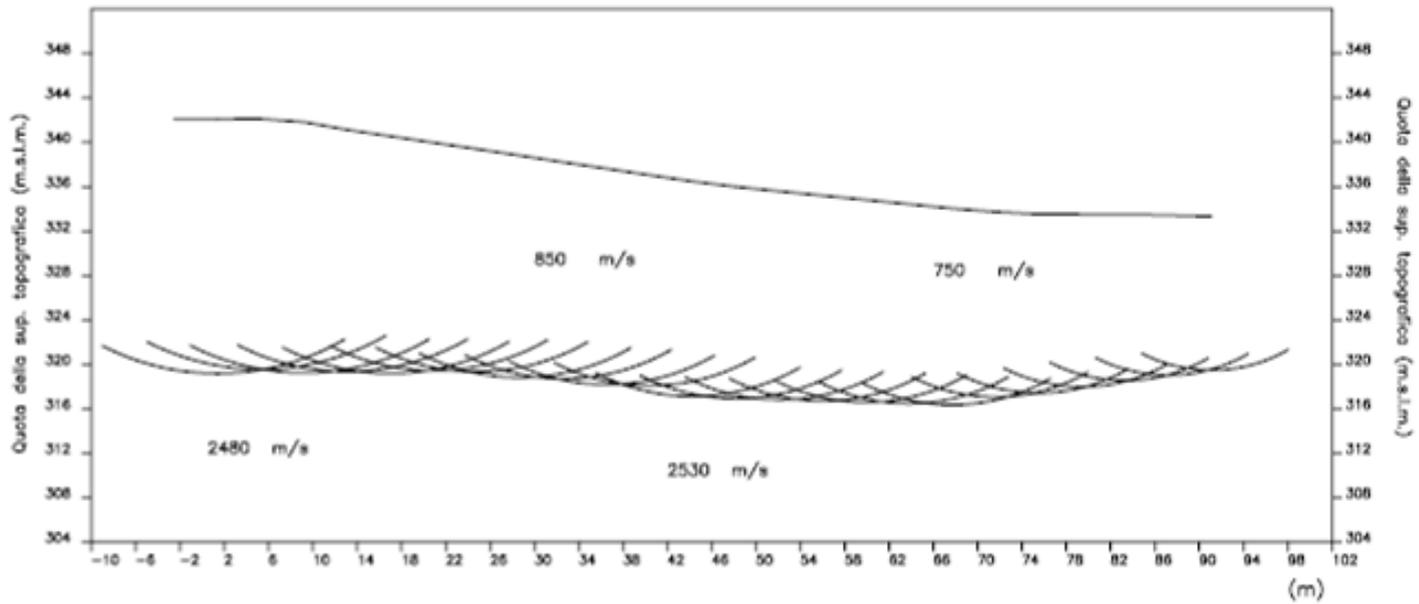
-  Profilo topografico
-  Distanza dalla superficie topografica del limite di strato all'involuppo degli archi
-  2500 m/s Velocita' sismica dello strato in metri al secondo

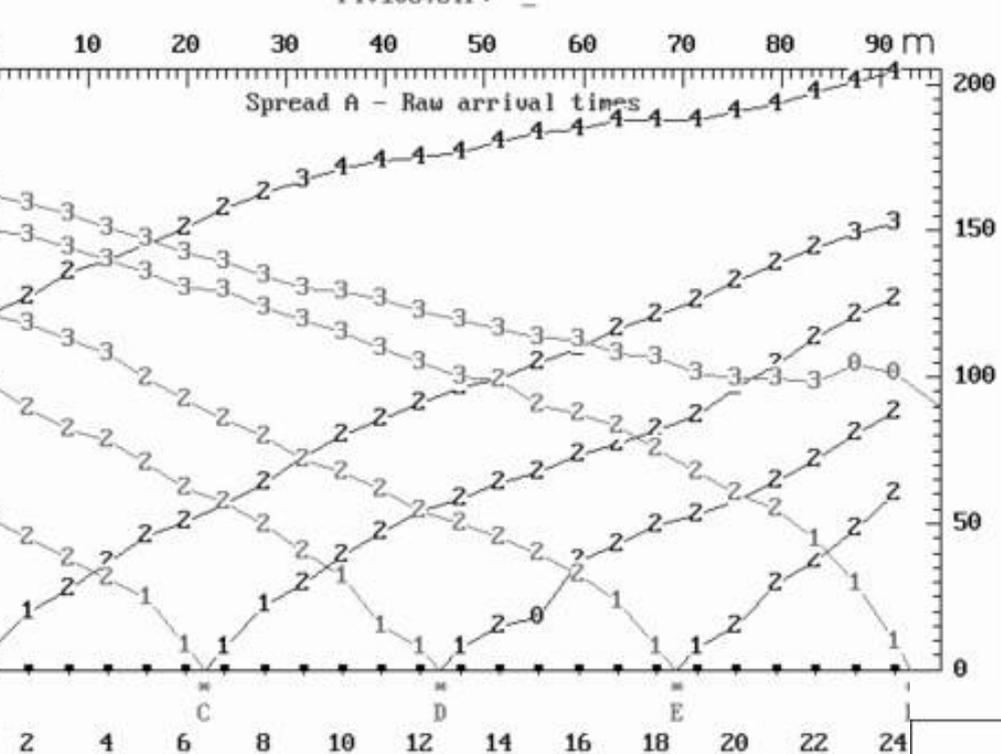
### PROSPEZIONE SISMICA

Comm:

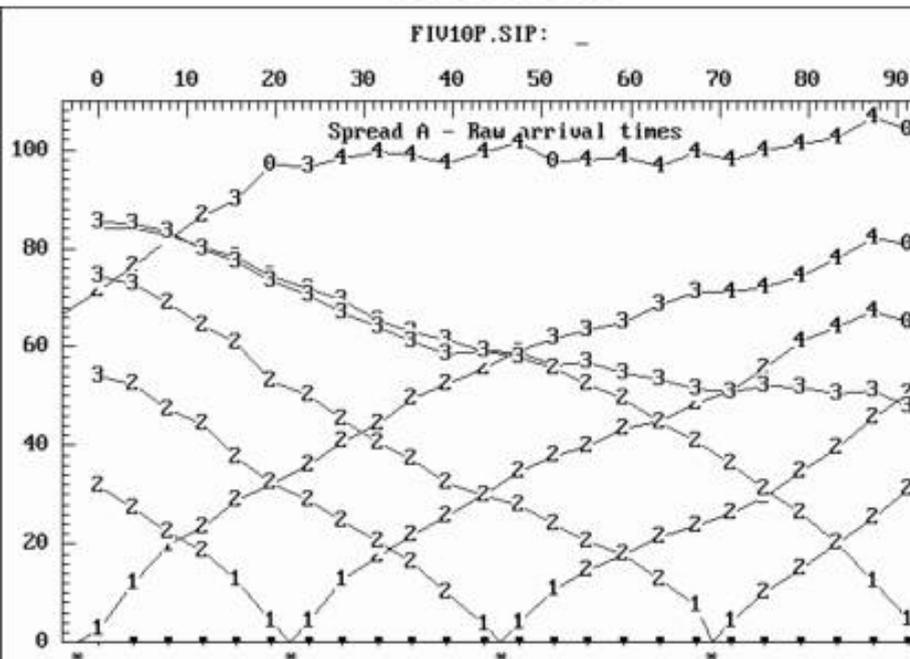
Base sismica : ST10

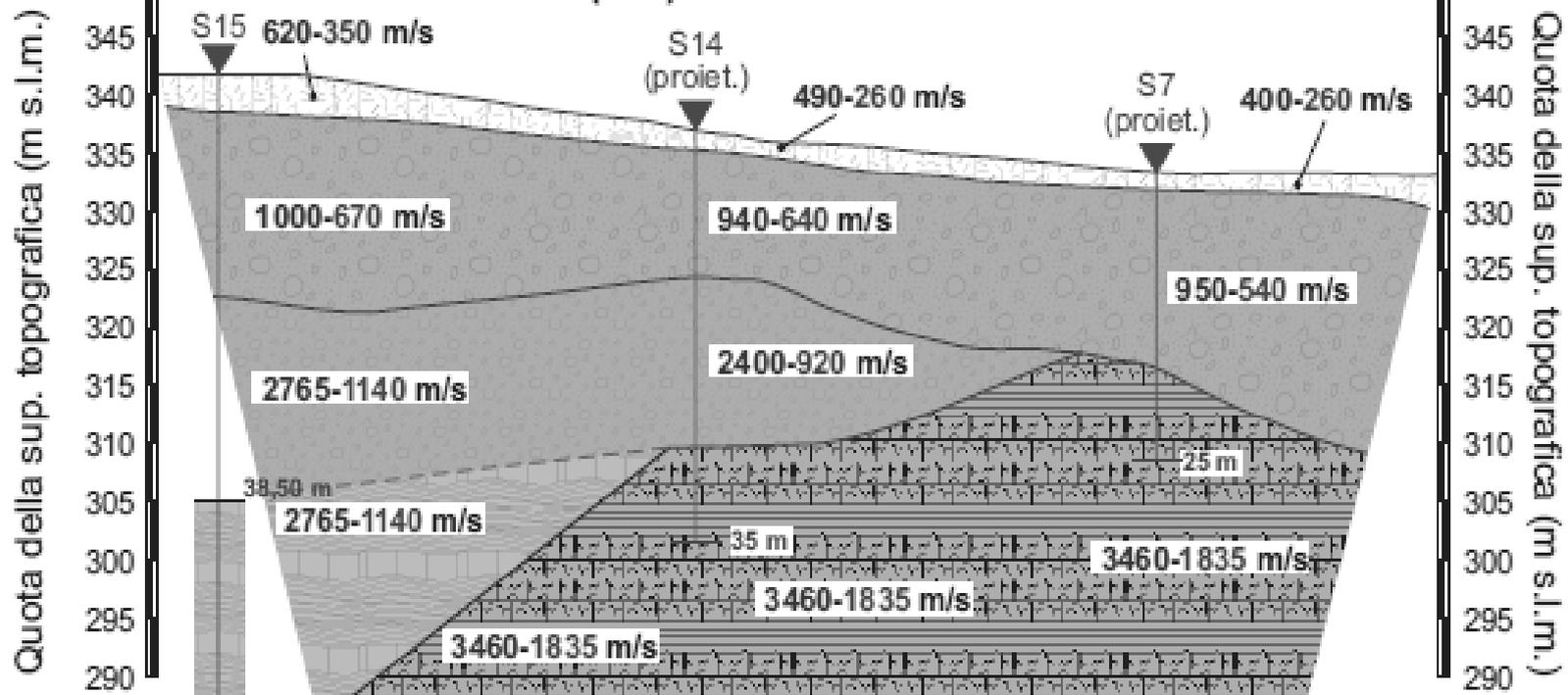
All. 1		
--------	--	--





Press Esc to EXIT





### Legenda

Terreno di riporto e/o massicciata stradale

Argille e calcari di Canetolo (ACC)

620 m/s Velocità sismica onde P in metri al secondo

350 m/s Velocità sismica onde SH in metri al secondo

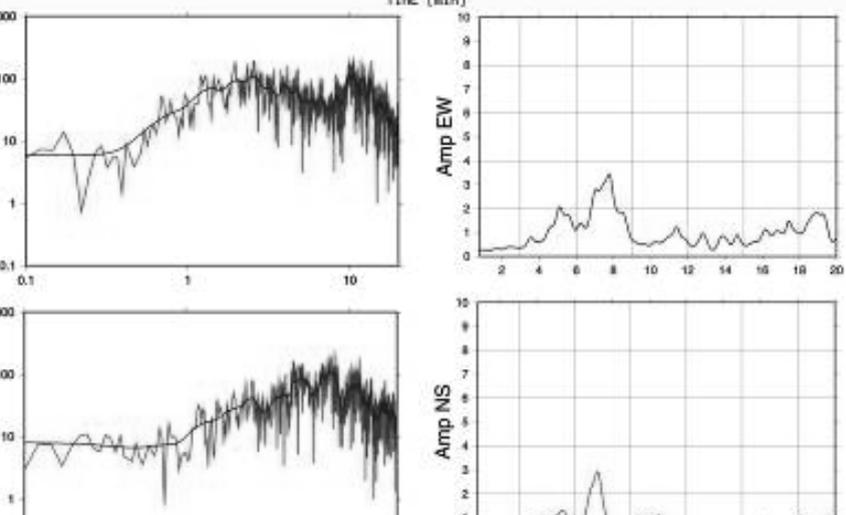
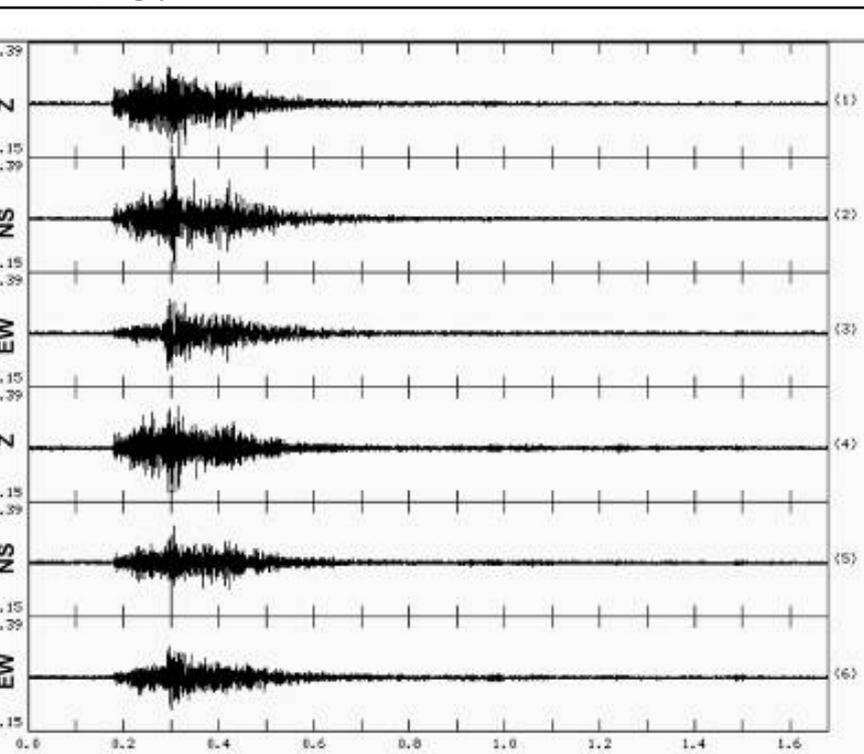
depositi alluvionali terrazzati (bn):  
a) sabbiosi b) sabbioso-ghiaiosi

Calcari del Gruppo del Vesco (CGV)

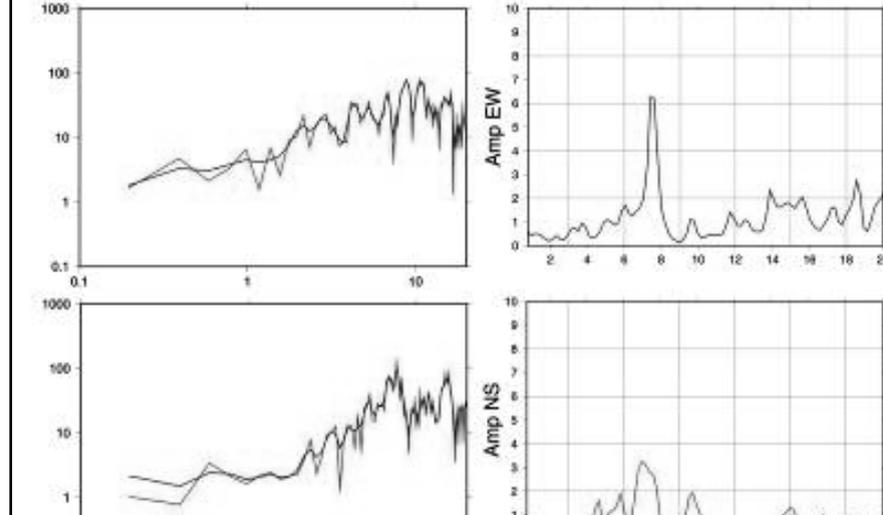
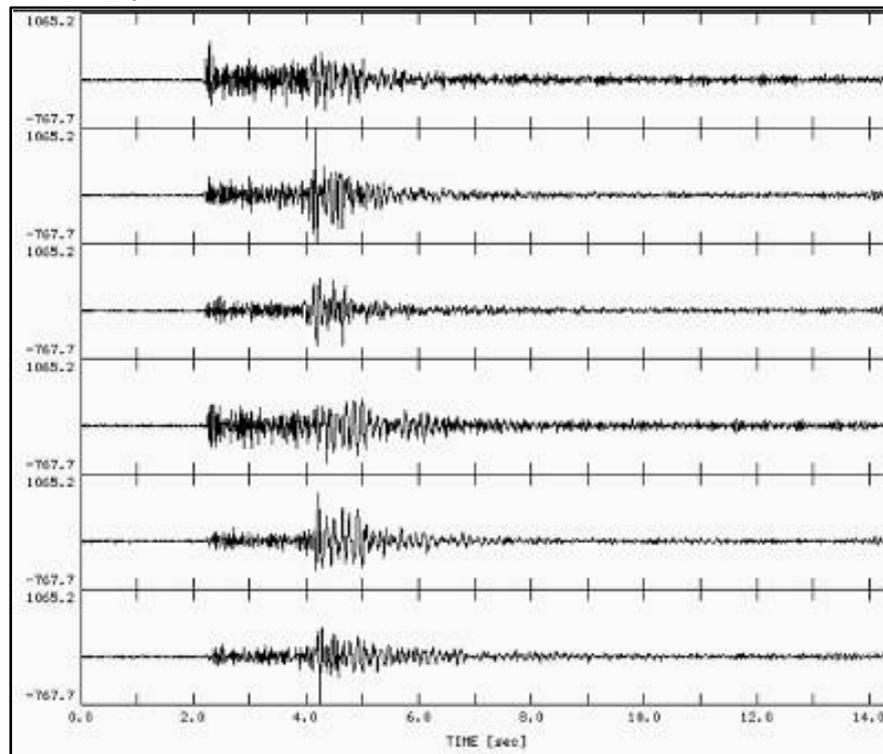
Passaggio litostratigrafico desunto dal log stratigrafico



M=3.1



M=2.1



## LEGENDA

### Depositi quaternari

rp  Depositi di colmata e terreni di riporto (*Olocene*)

ct/mg  Depositi alluvionali terrazzati (*Quaternario*)

### Unità di Canetolo

ac  Argille e calcari di Canetolo  
Cretaceo sup. (?) / Paleocene -  
- *Eocene medio*

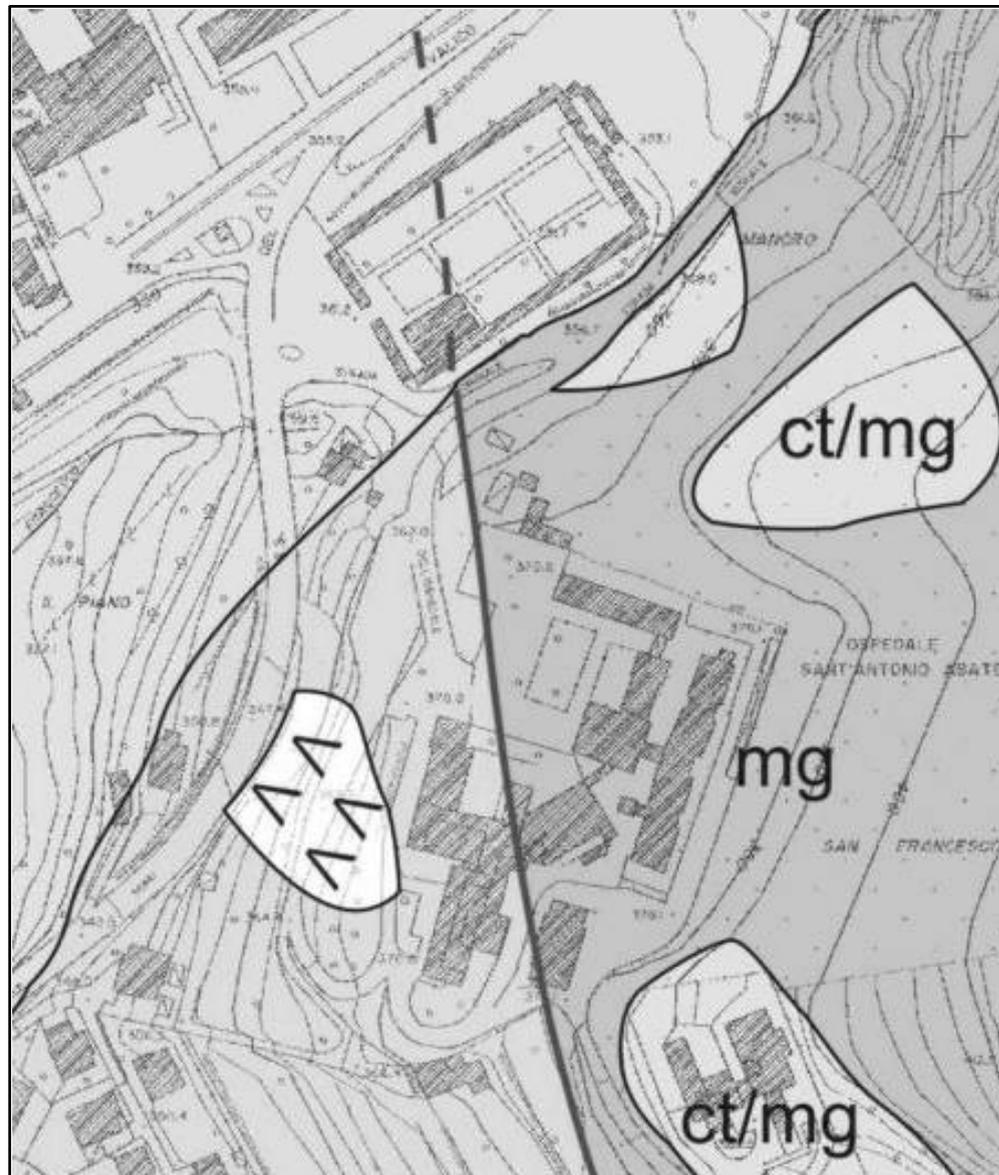
### Serie toscana non metamorfica

mg  Formazione del Macigno  
(Oligocene sup. - Miocene inf.)

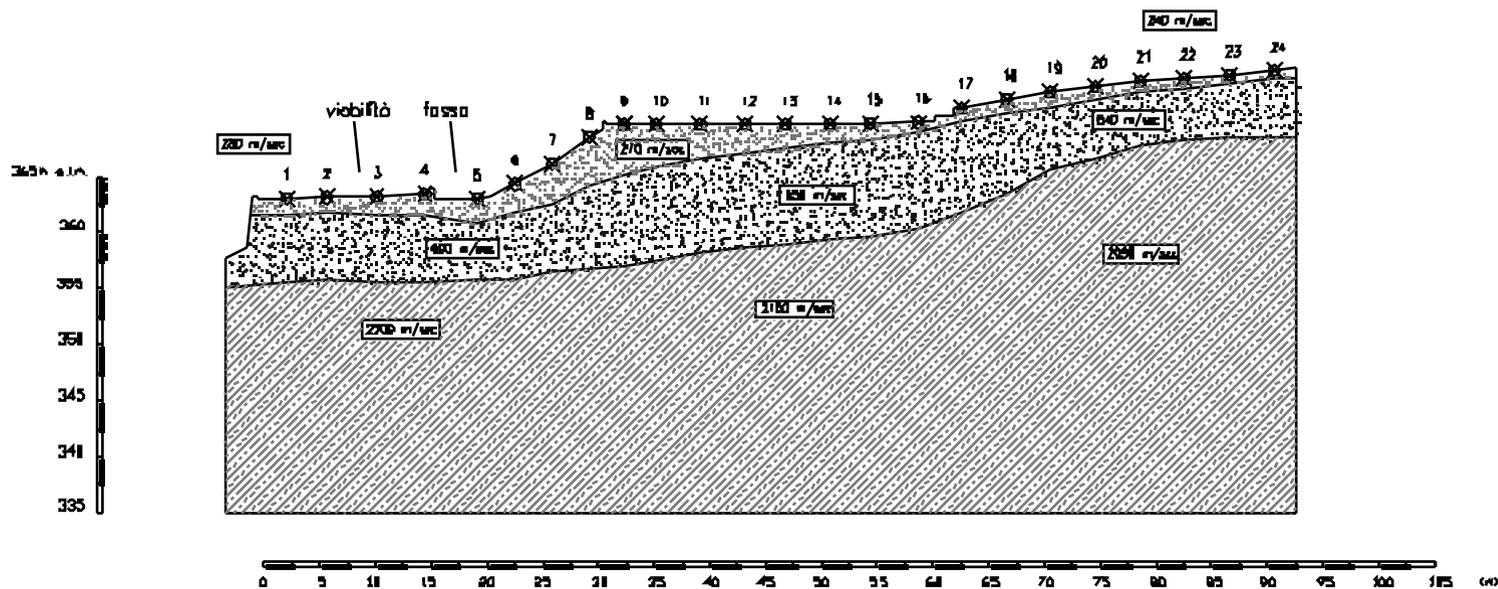
## SIMBOLOGIA

 faglia

 frana quiescente







## LEGENDA

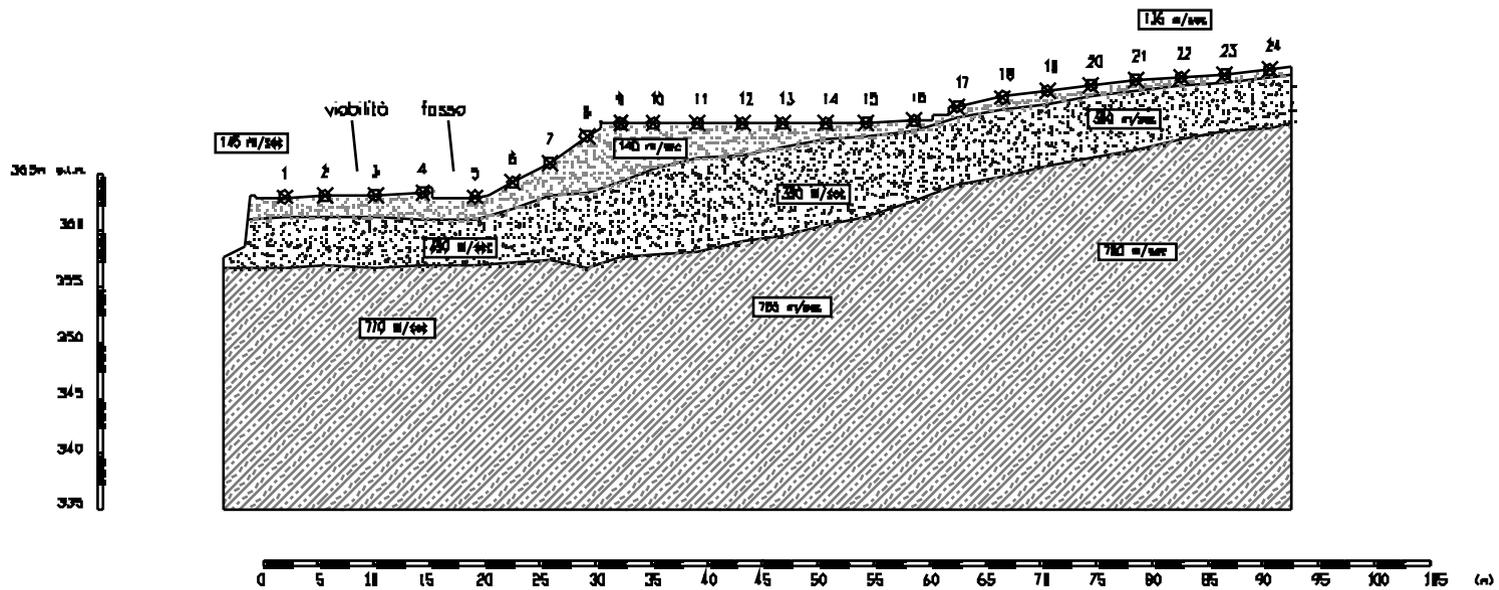
2800 m/sec Velocità sismica onde P in metri al secondo

\* Geofana

 Massciata stradale e terreno arato

 Detrito di copertura e terreno di riporto

 Substrato roccioso (Argille e Calcarei e Mucigno ?)



## LEGENDA

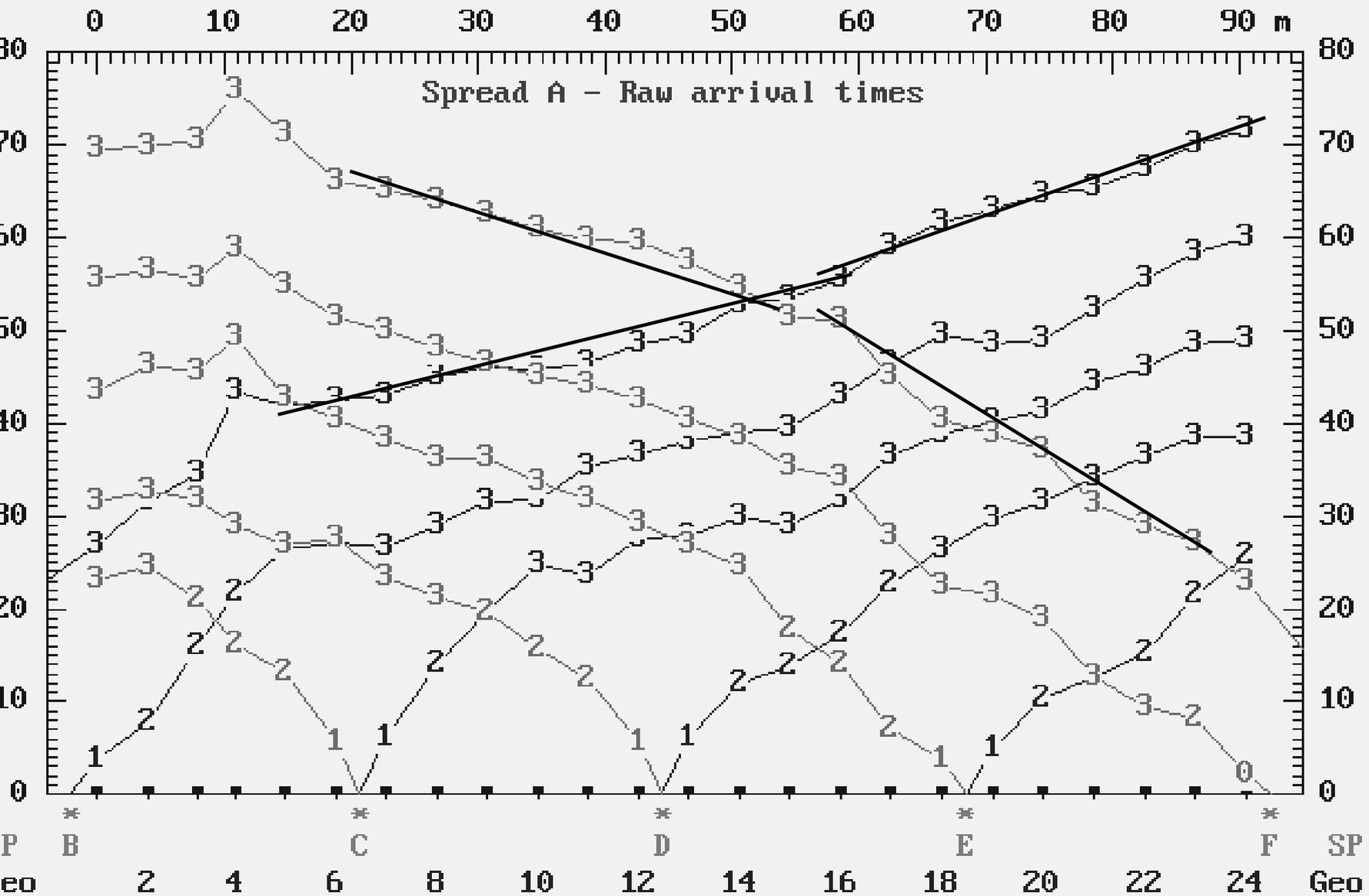
2800 m/sec Velocità sismica onde SH in metri al secondo

\* Profondo

-  Massiccata stradale e terreno arenato
-  Detrito di copertura e terreno di riporto
-  Substrato rocciosa (Argille e Calcari e Macigno ?)

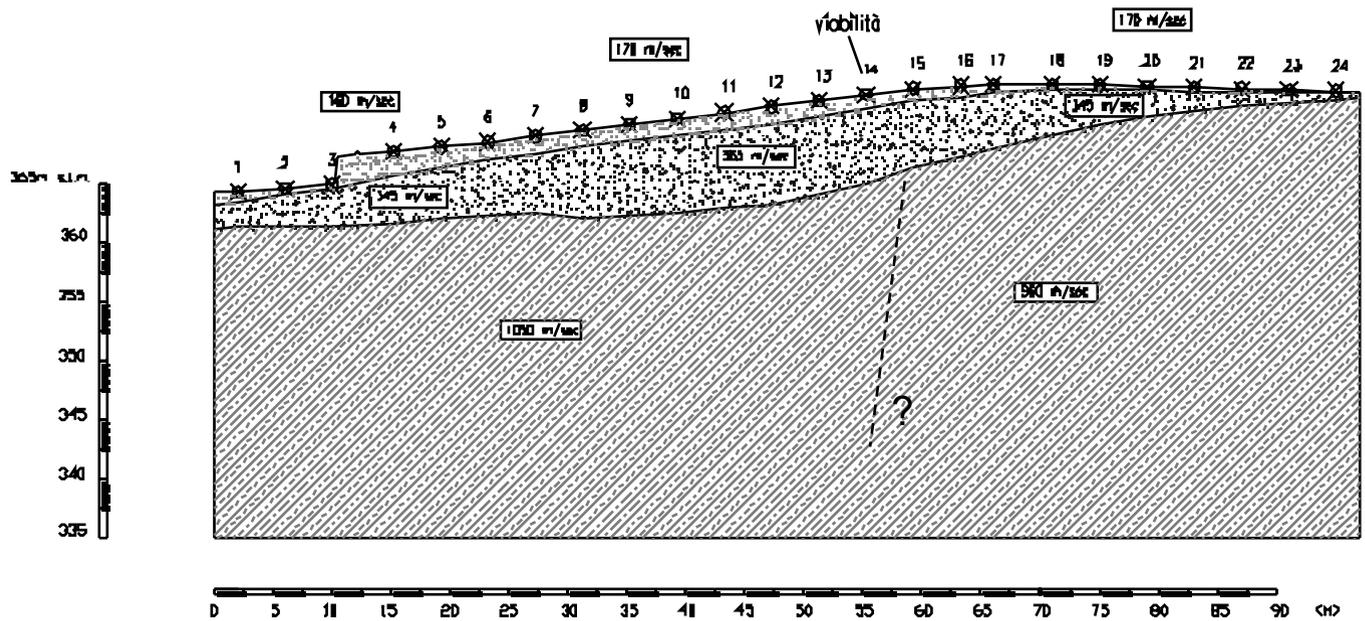






P  
eo

SP  
Geo



## LEGENDA

2800 m/sec Velocità sismica onde SH in metri al secondo

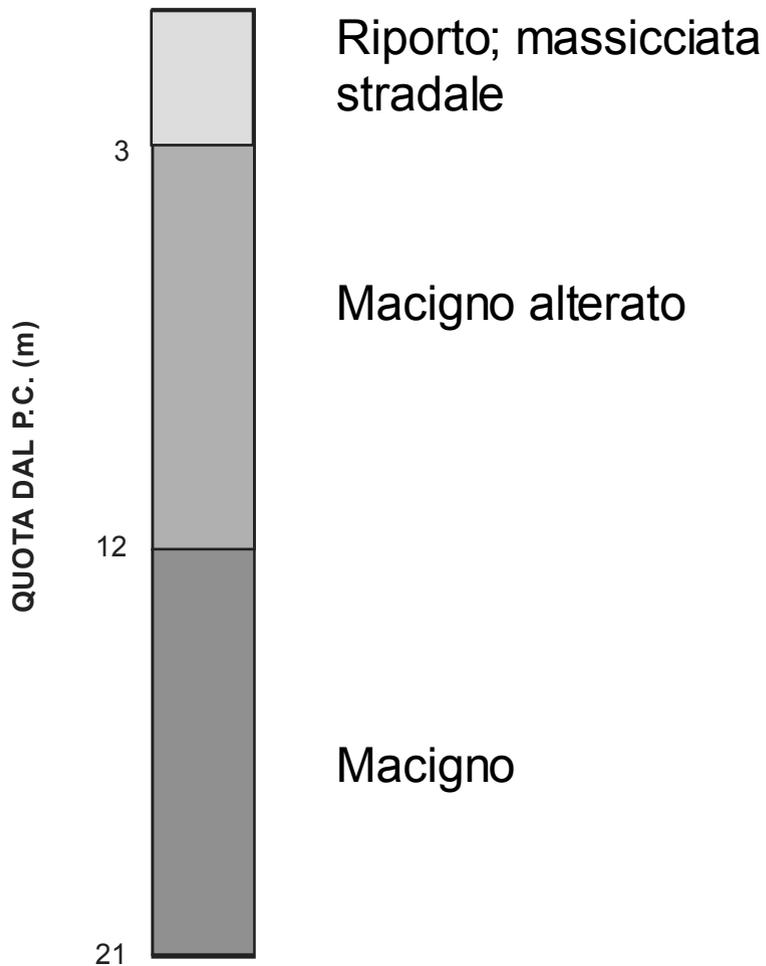
⊗ Geofono

 Massicciata stradale e terreno adato

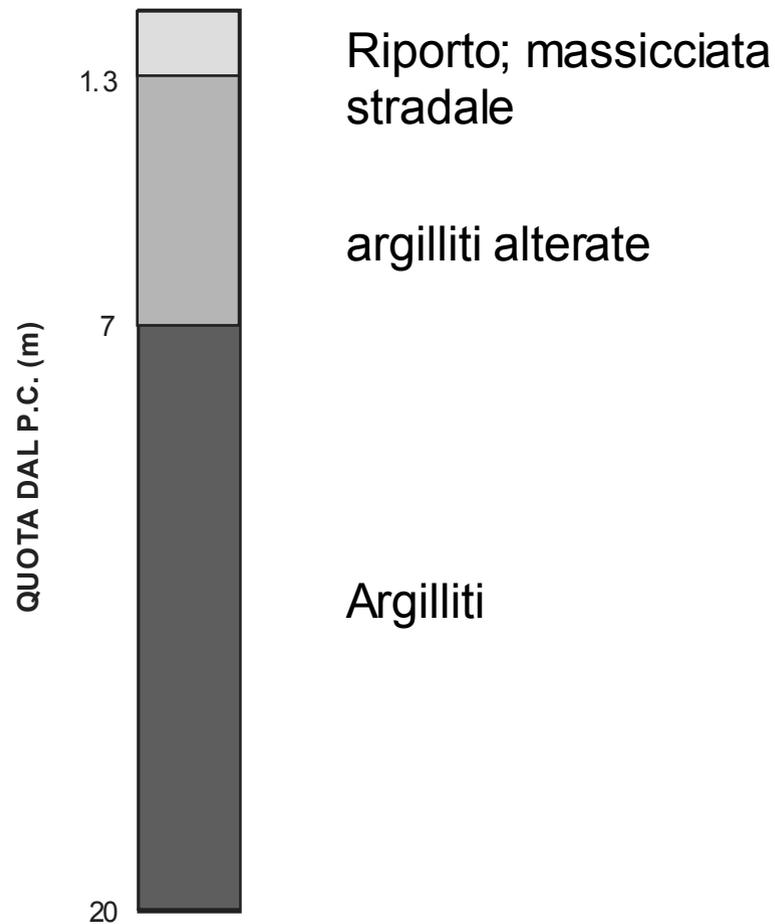
 Detrito di copertura e terreno di riporto

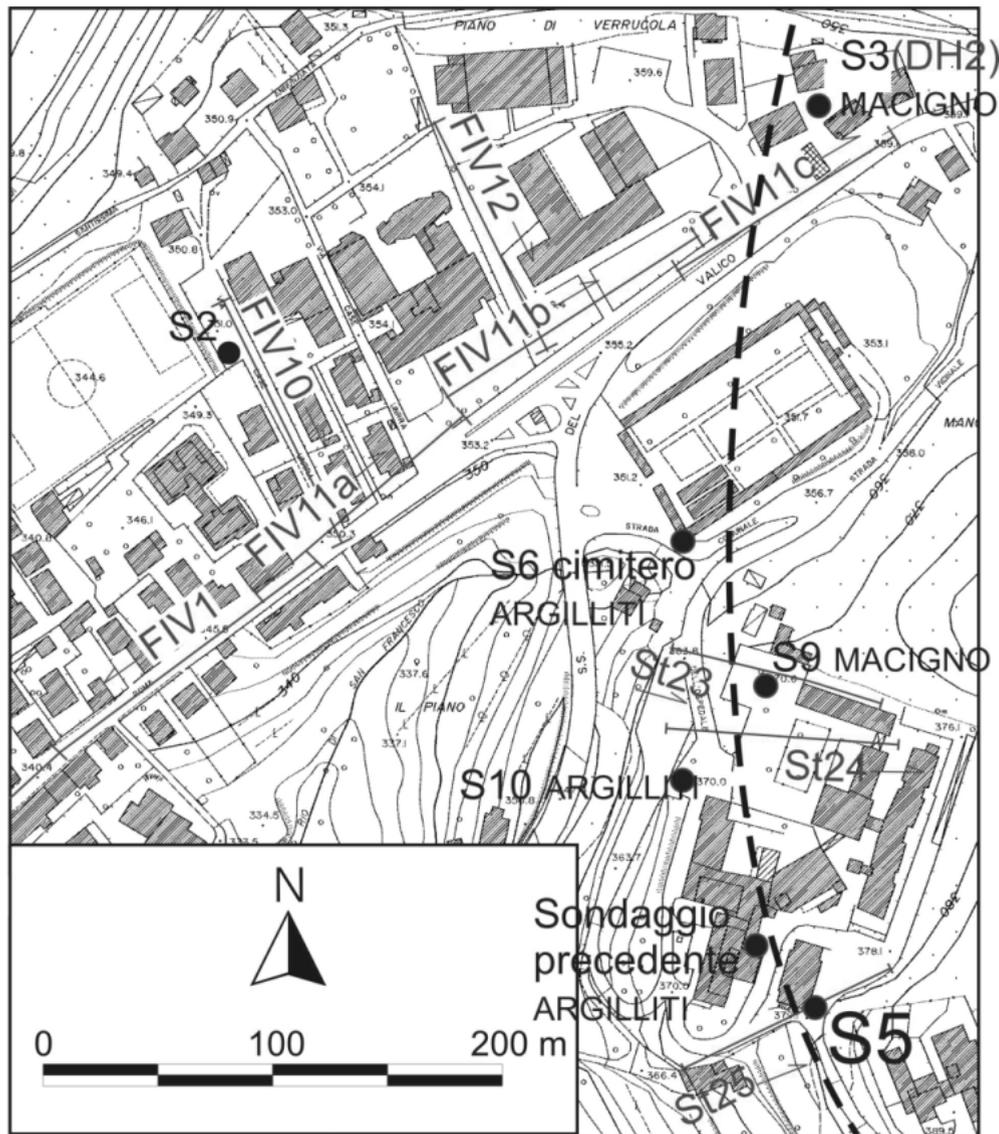
 Substrato roccioso

# S9

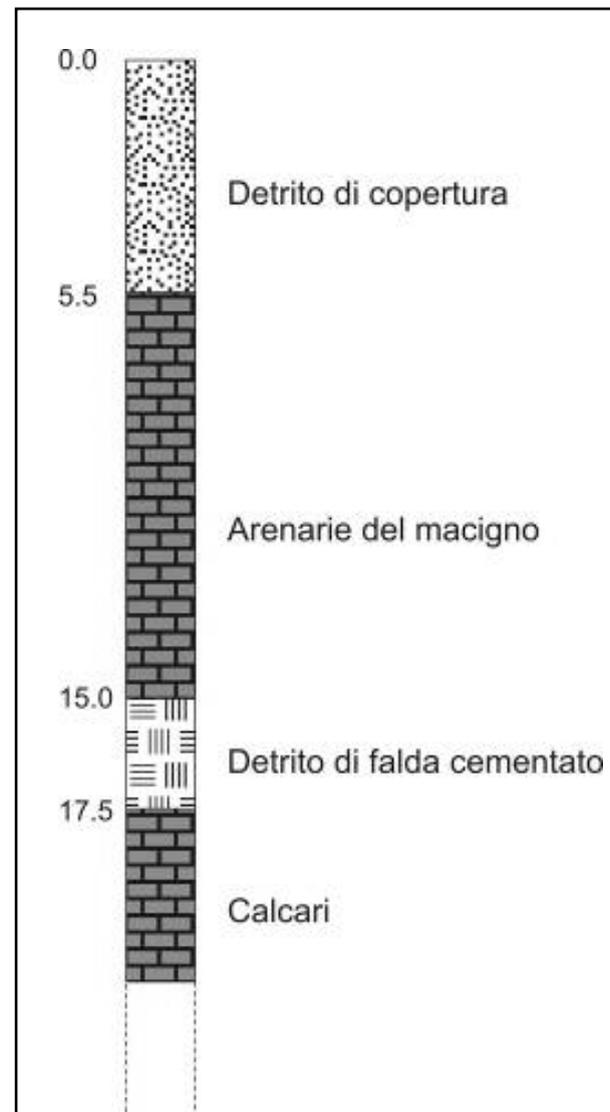


# S10





S5



Linea sismica a rifrazione



Sondaggio geognostico

Prova down-hole

Ubicazione contatto tettonico

**SISMICA A RIFRAZIONE MEDIANTE  
INTERPRETAZIONE IN TECNICA  
TOMOGRAFICA**

## Schema geologico dell'area d'indagine



 anthropic and gravitative deposits (*Quaternary*)

 sands and clayed sands (*Lower Pliocene*)

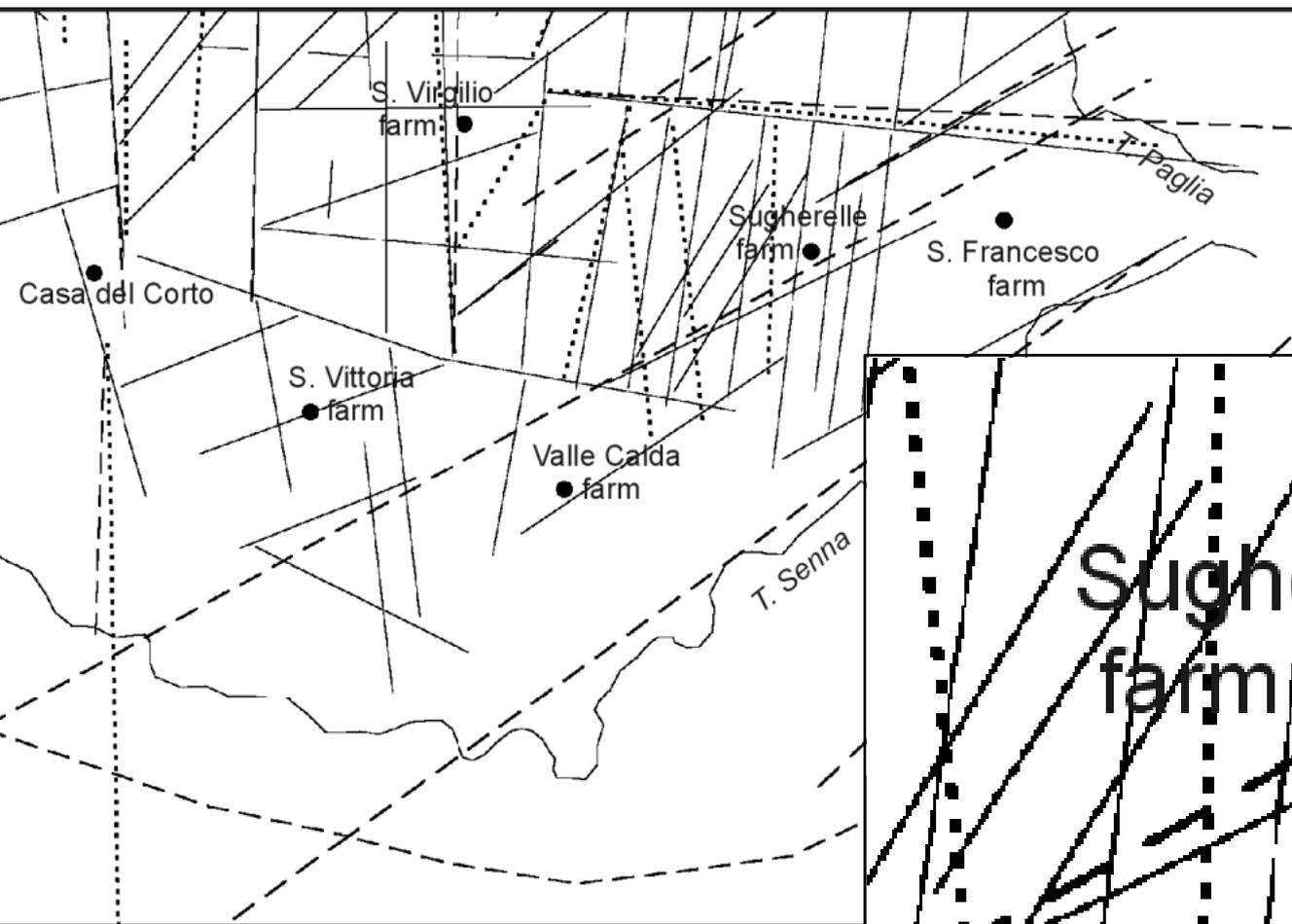
 fault

 fluvio-lacustrine deposits (*Quaternary*)

 clays and sanded clays (*Lower Pliocene*)

 trachidacitic ignimbrites (*Pleistocene*)

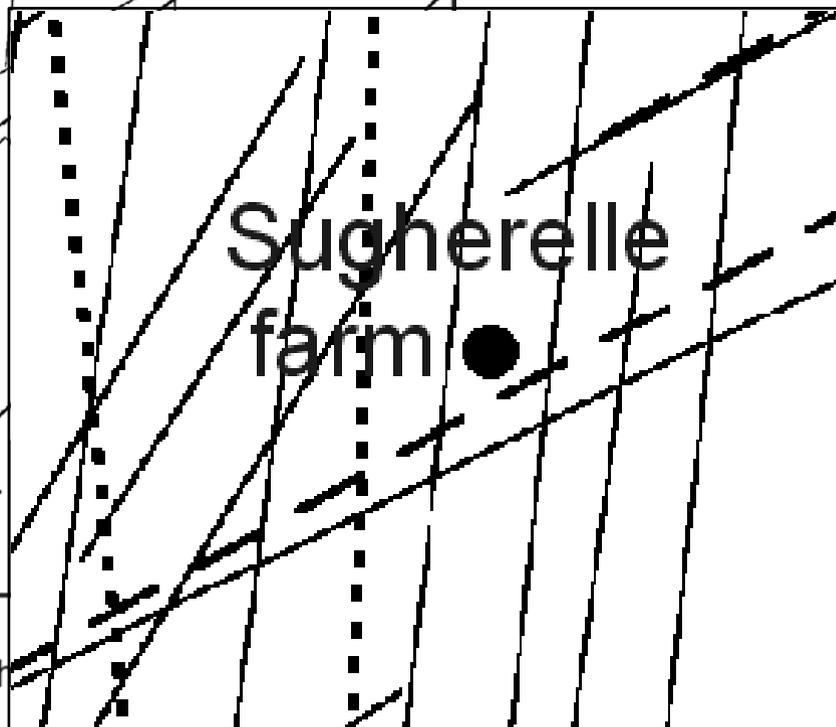
 ophiolitic deposits (*Lower Cretaceous*)



Distribuzione delle  
principali lineazioni  
interpretazione  
aerofotogrammetri

--- Aerial photograph  
of the year 1993

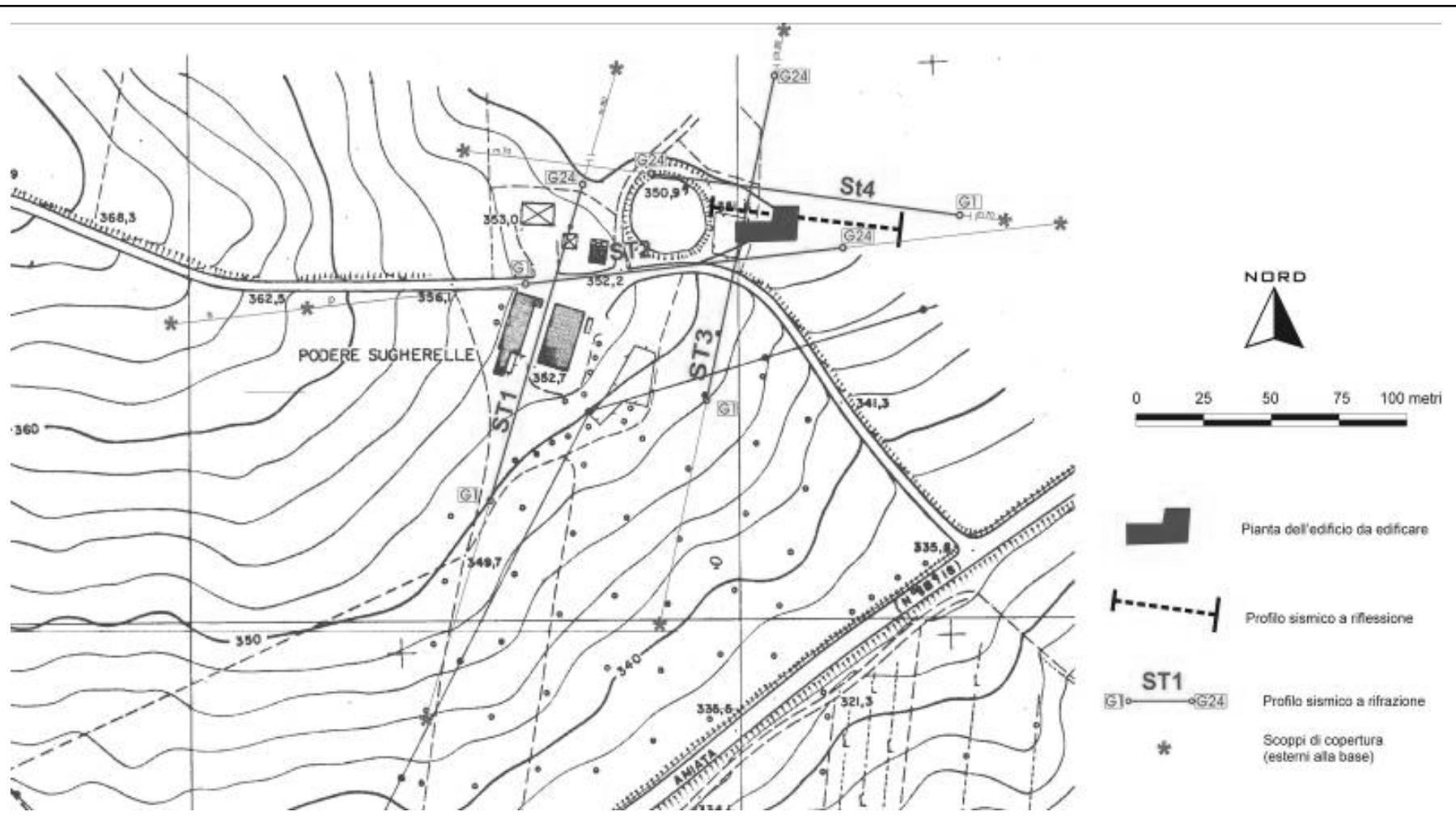
..... Aerial photograph  
of the year 1954

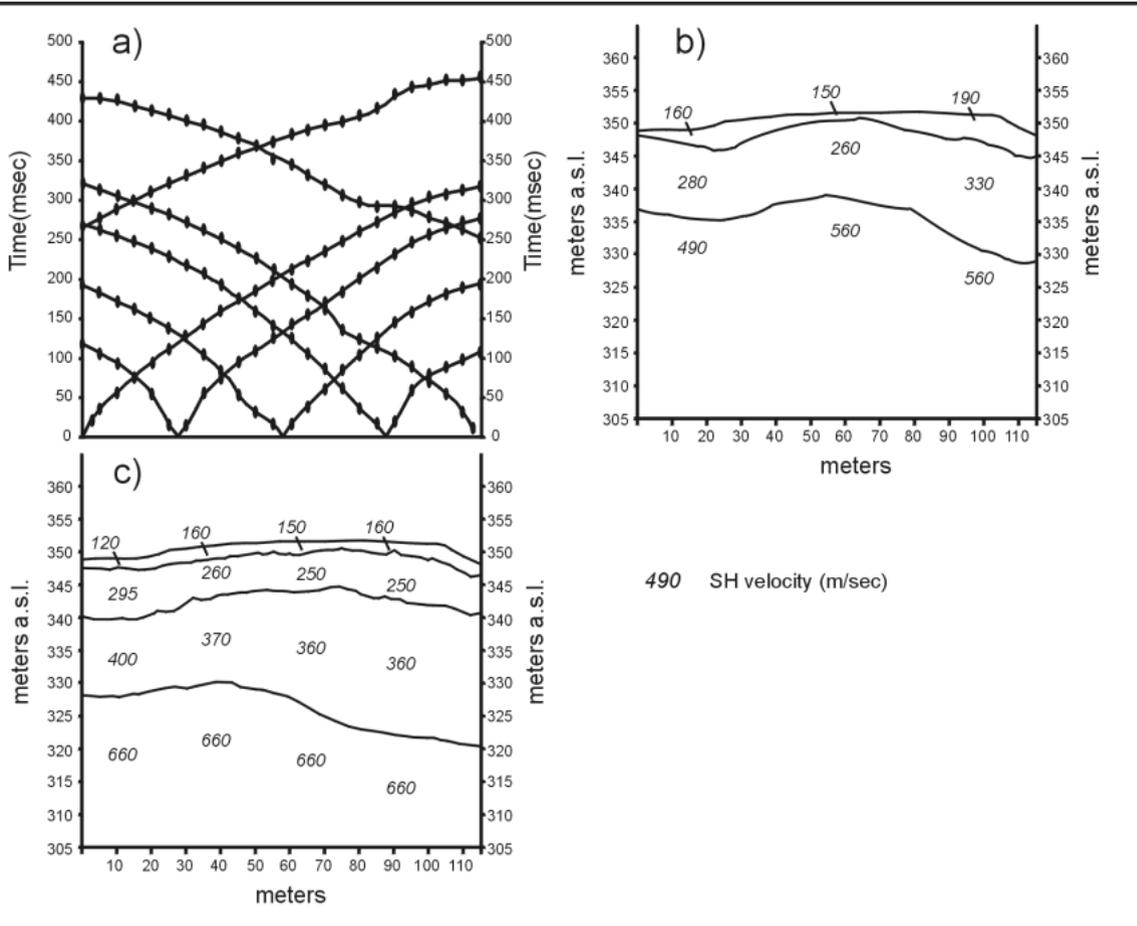




Edificio severamente  
danneggiato dall'evento sismico  
dell'Aprile 2000 in località  
Sugherelle

# Ubicazione delle indagini geofisiche nell'area di Sugherelle

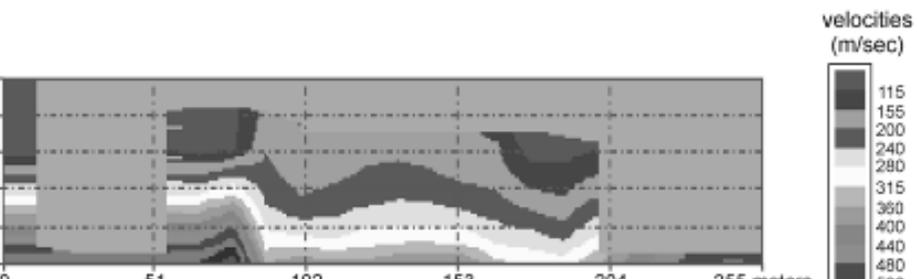
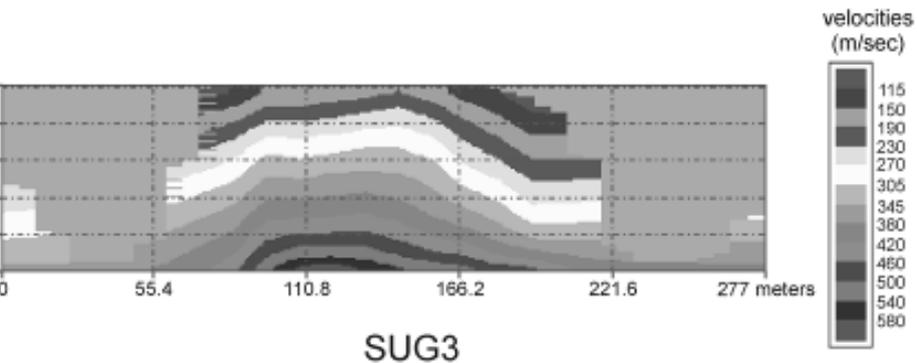
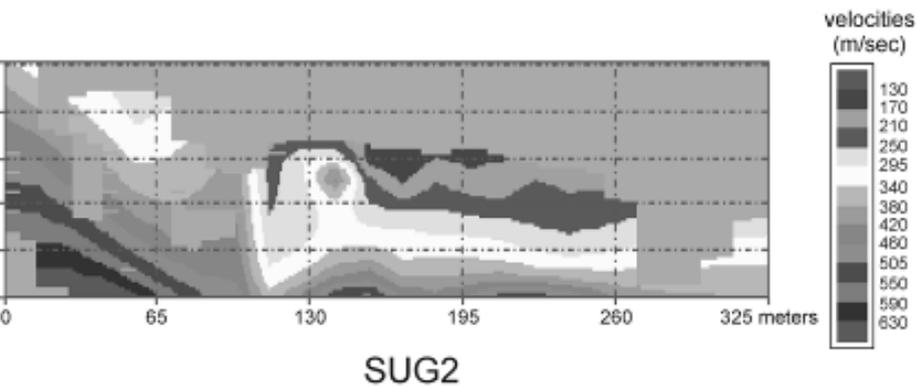
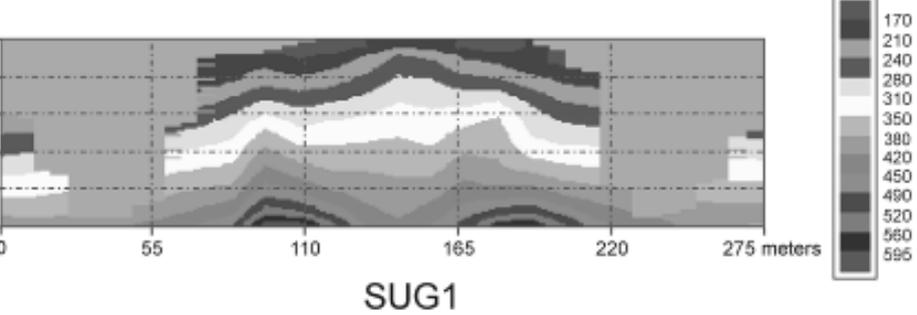




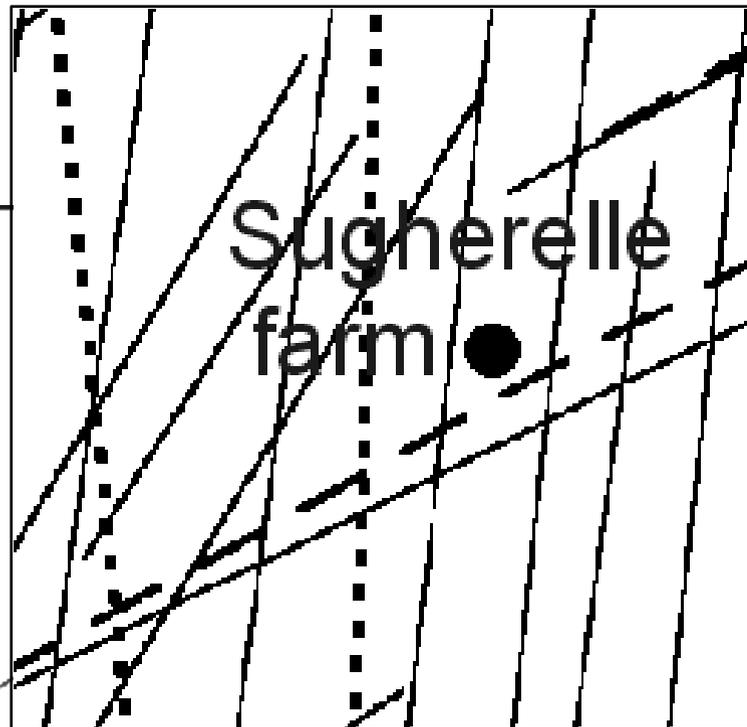
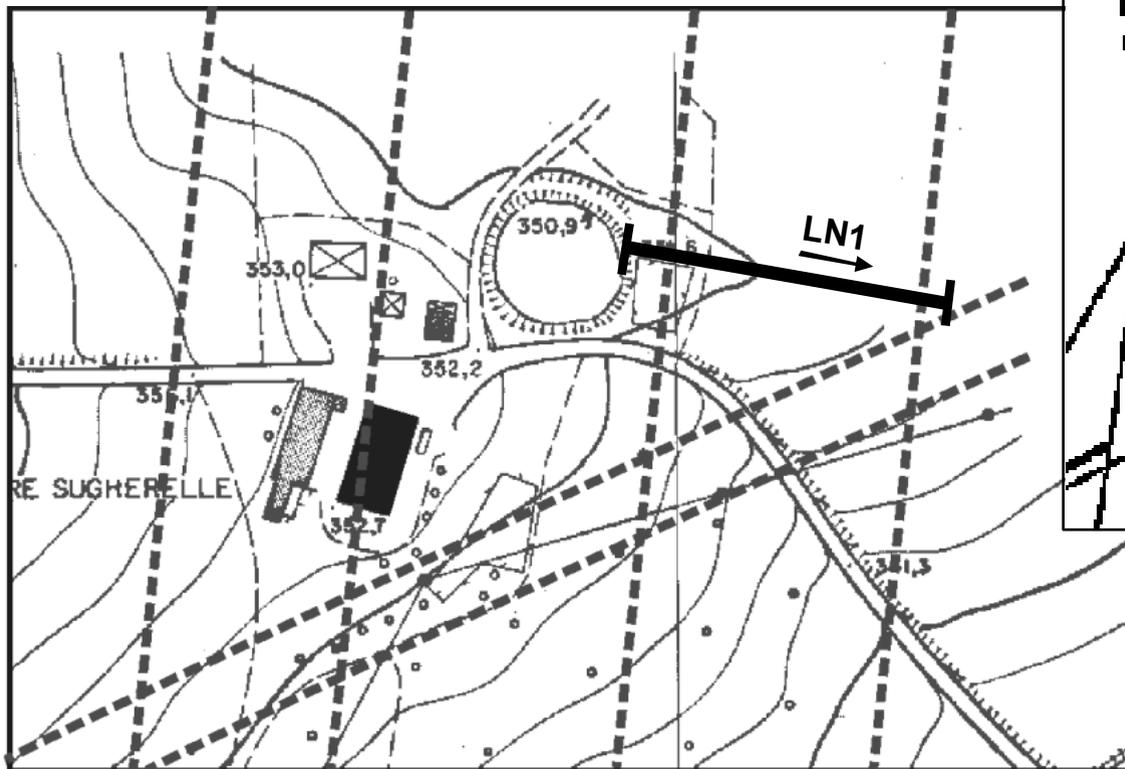
a) Dromocroni relative alla linea di sismica a rifrazione SUG1;

b) interpretazione a tre strati;

c) interpretazione a quattro strati



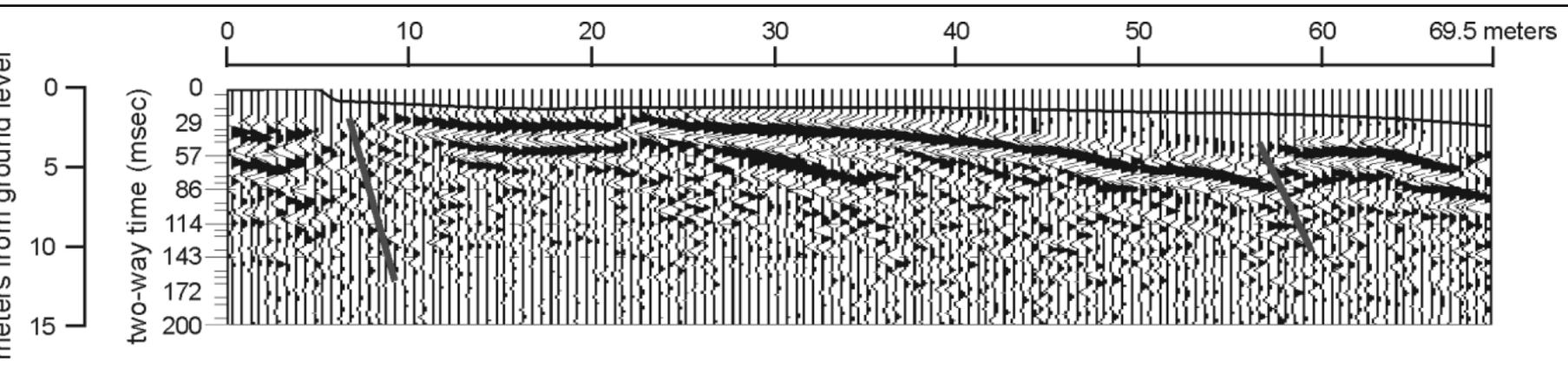
Sezioni tomografiche relative alle quattro linee di sismica a rifrazione realizzate nel podere Sugherelle



Distribuzione delle discontinuità rilevate da indagine tomografica nell'area del podere Sugherelle



Sezione "stack" finale relativa alla linea Ln1 in località Sugherelle. Le linee tratteggiate indicano due probabili fratture del sottosuolo sabbioso-argilloso



esecuzione dell'indagine di  
sismica a riflessione HR in onde  
nell'area del cantiere del

(a)

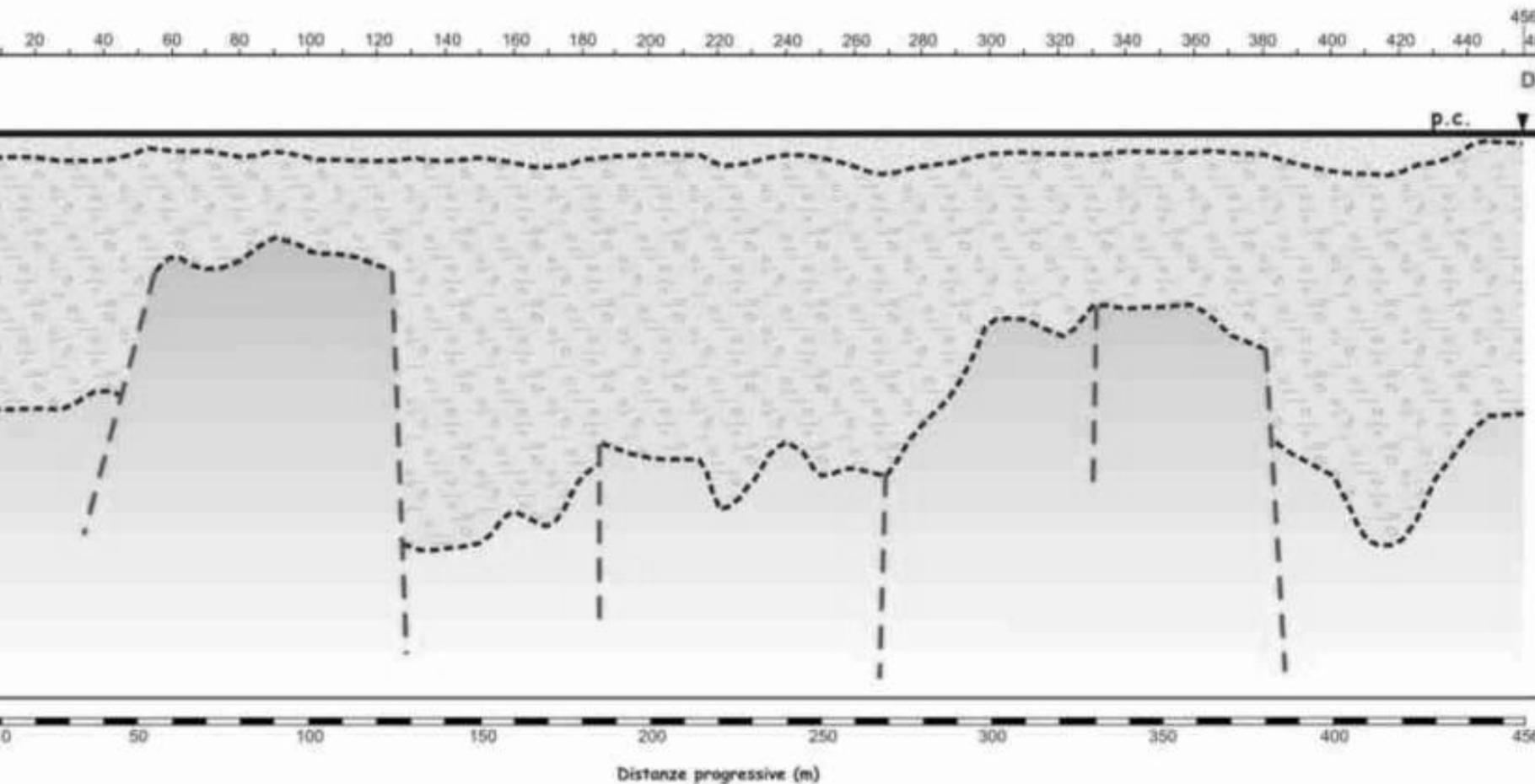
RECORDING PARAMETERS	
ENERGY SOURCE	SH waves
GROUP INTERVAL	1m
SHOT INTERVAL	1m
OFFSET	4m
SPREAD	Offend push increase
TRACES	12
RECORD LENGTH	1024 msec
SAMPLE RATE	0.5 msec
FOLD	600%

(b)

PROCESSING PARAMETERS	
TRACE EDITING	
CDP SORT	
VELOCITY ANALYSIS	
BANDPASS FILTER	24-117 Hz
SPIKING DECONVOLUTION	Operator length: 32 m Prewhitner: 0.1 %
BANDPASS FILTER	24-117 Hz
VELOCITY ANALYSIS	
NORMAL MOVEOUT	Stretch 0.5
STACK	Straight stack scalar
BANDPASS FILTERING	24-117 Hz
TRACE SCALING	RMS amplitude AG Time gate 307 msec Amplitude 510 Trace balancing

Caratteristiche di acquisizione  
(a) e di processing (b)

## BBN1S – SEZIONE LITOTECNICA



### LEGENDA



Depositi alluvionali del Bacino del Casentino (ARN2, ARN3)



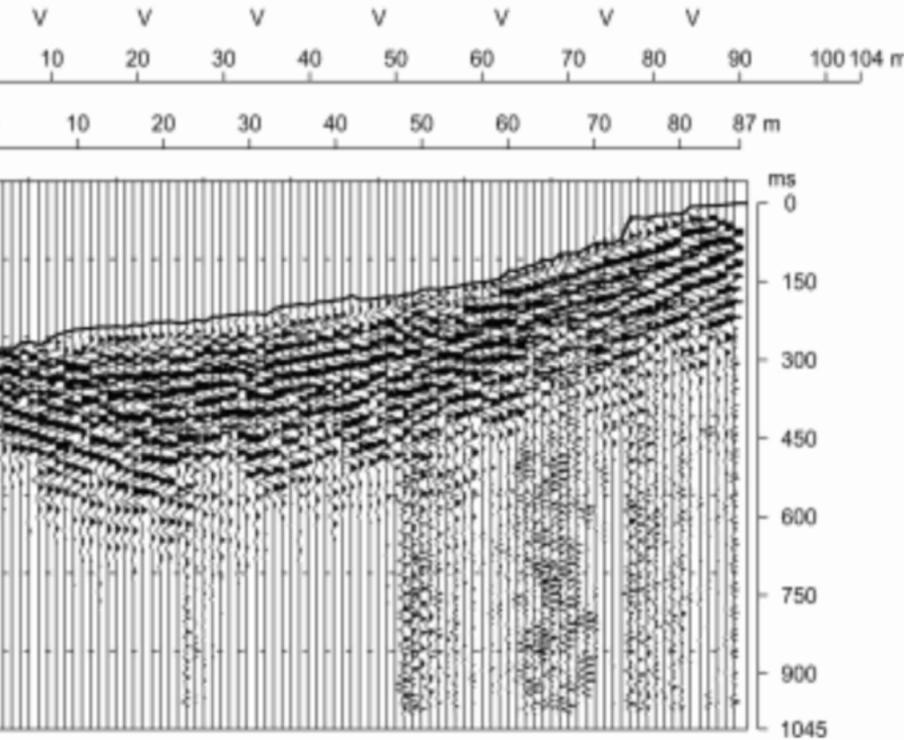
Depositi fluviali recenti del Bacino del Casentino (CAS1)



Discontinuità sismica orizzontale



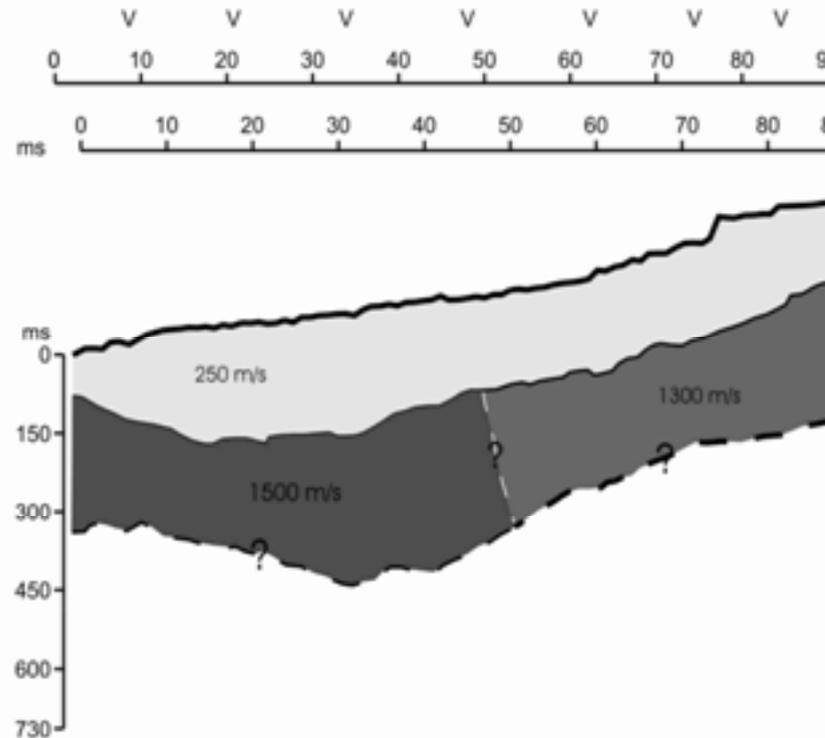
Discontinuità sismica verticale

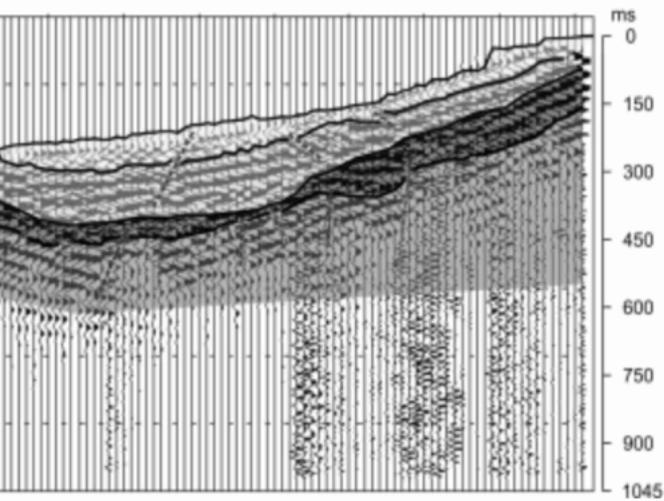
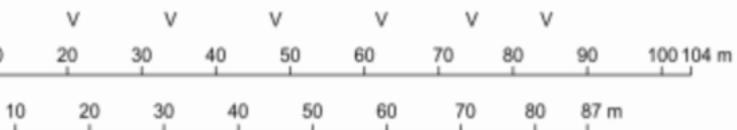


Sezione stack finale

**dagini sismiche a riflessione HR**  
**nea sismica a riflessione PSS1S**

## Comune di Pieve Santo Stefano (AR)

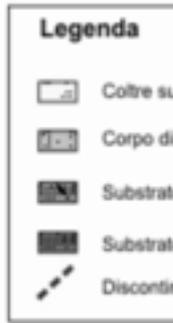
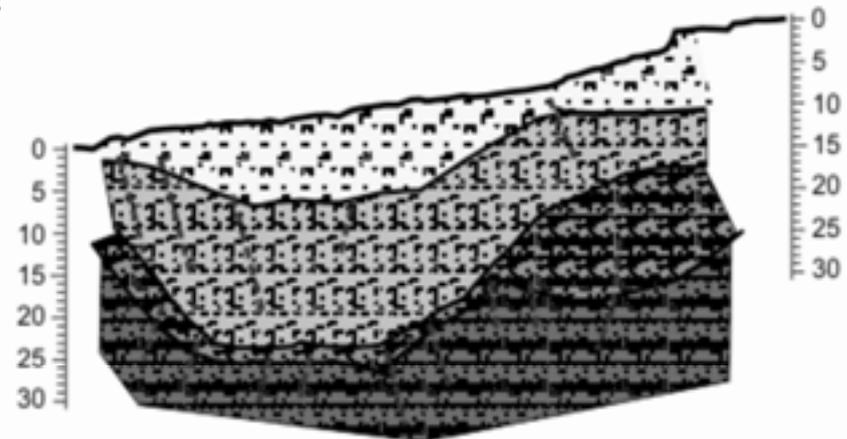




## Comune di Pieve Santo Stefano (

Sezione tempi-distanze interpre

Sezione profondità Ln 1

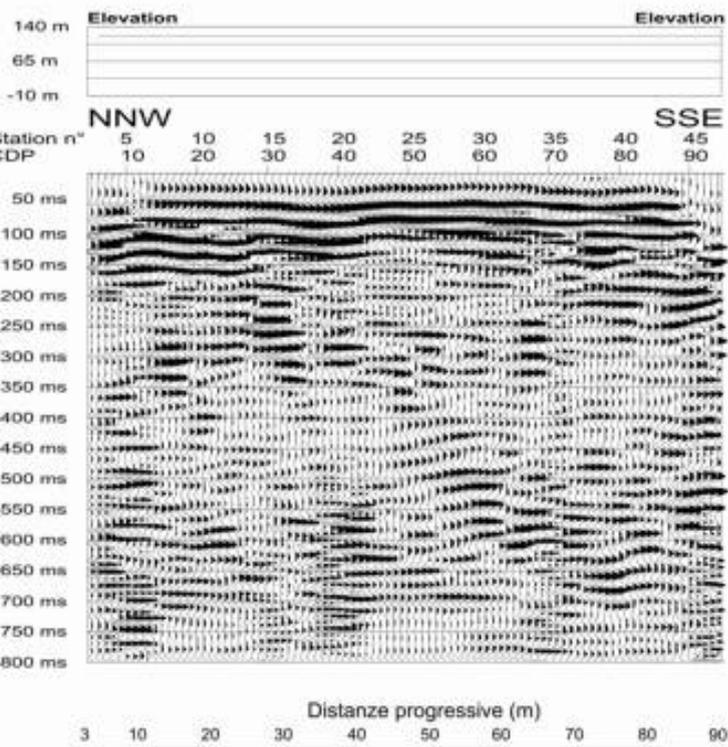


**Indagini sismiche a riflessione HR**  
**Teoria sismica a riflessione PSS1S**



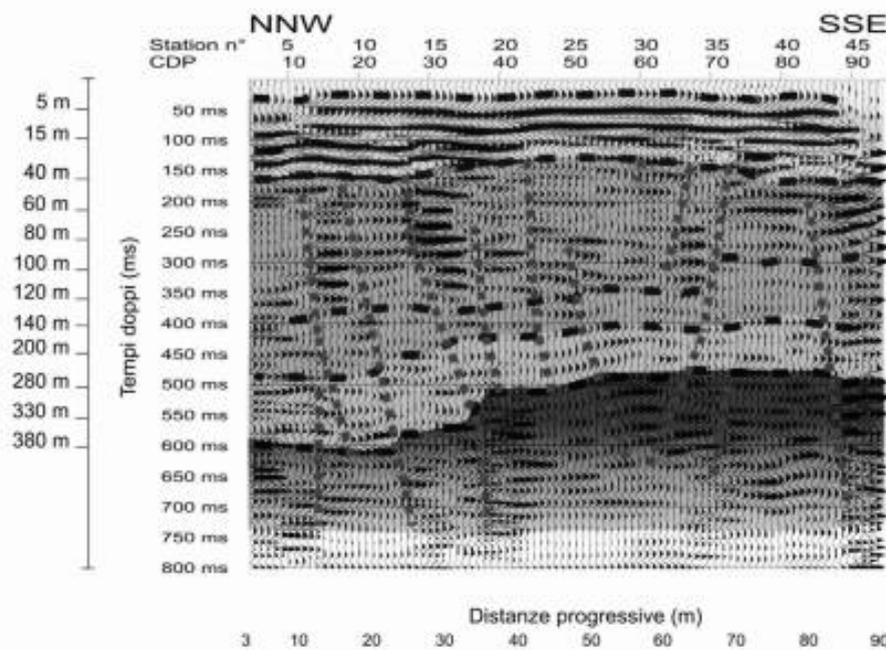
# Comune di Coreglia Antelminelli (LU)

## COR1SH - Sezione Stack

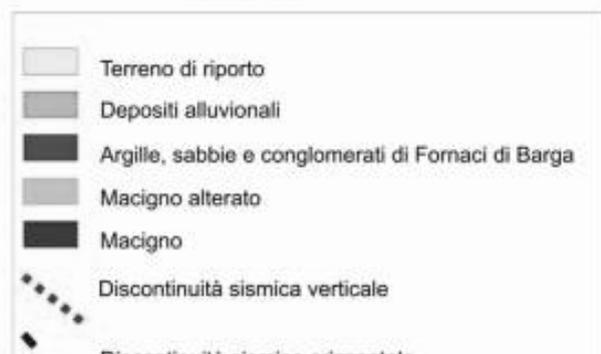


COR1SH	
TEMPI (ms)	VELOCITÀ (m/s)
0-50	190
50-100	230
100-160	390
160-400	650
400-500	750
600	1000

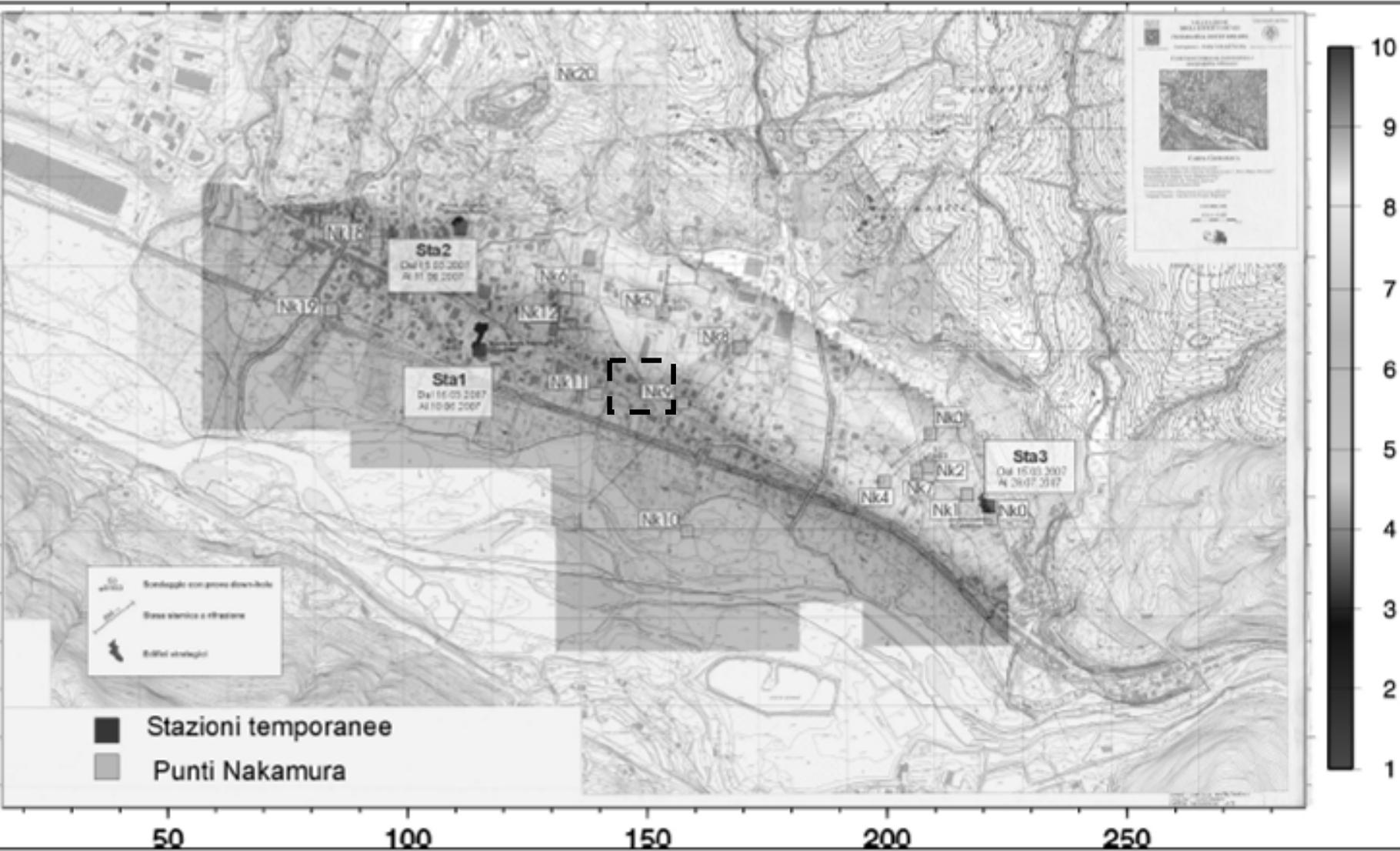
## COR1SH - Sezione Stack Interpretata



### LEGENDA



# Comune di Coreglia Antelminelli (LU)



# CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

La parametrizzazione dinamica dei terreni può essere eseguita attraverso differenti tecniche sismiche attive di superficie (caratterizzate da costi più contenuti delle analoghe metodologie in foro);

## PROBLEMATICHE:

- Talora non univocità dei risultati;
- Necessità di operare una scelta della metodologia di indagine più idonea;
- Necessità di conoscere i principi fondamentali su cui sono basate;
- Limiti della metodologia – Condizionamento del sistema;
- Necessità di scegliere la soluzione più “coerente” nel contesto in cui si opera;

Attenzione agli “effetti speciali” !!!