



PRESIDENZA DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI
 MESSA IN SICUREZZA DEL SISTEMA ACQUEDOTTISTICO
 DEL PESCHIERA PER L'APPROVVIGIONAMENTO IDRICO
 DI ROMA CAPITALE E DELL'AREA METROPOLITANA

IL COMMISSARIO STRAORDINARIO ING. PhD MASSIMO SESSA

SUB COMMISSARIO ING. MASSIMO PATERNOSTRO

aceq
 acqua
 ACEA ATO 2 SPA



IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Ing. PhD Alessia Delle Site

SUPPORTO AL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Dott. Avv. Vittorio Gennari
 Sig.ra Claudia Iacobelli
 Ing. Barnaba Paglia

aceq
 Ingegneria
 e servizi



CONSULENTE

Ing. Biagio Eramo

ELABORATO

A194PD R002 8

COD. ATO2 APE10116

DATA OTTOBRE 2019

SCALA

Progetto di sicurezza e ammodernamento
 dell'approvvigionamento della città
 metropolitana di Roma

"Messa in sicurezza e ammodernamento del sistema
 idrico del Peschiera",
 L.n.108/2021, ex DL n.77/2021 art. 44 Allegato IV

AGG. N.	DATA	NOTE	FIRMA
1	DIC-19	AGGIORNAMENTO PER SIA	
2	MAR-20	AGGIORNAMENTO ELABORATI	
3	LUG-20	AGGIORNAMENTO ELABORATI	
4	GEN-21	AGGIORNAMENTO PARERE CSLLPP VOTO DEL 14/10/2020	
5	SETT-21	AGGIORNAMENTO ELABORATI	
6	GIU-22	AGGIORNAMENTO ELABORATI	
7	OTT-22	AGGIORNAMENTO UVP	
8	APR-23	INTEGRAZIONI ED AGGIORNAMENTI IN AMBITO AUTORIZZATIVO	
9			
10			

**NUOVO TRONCO SUPERIORE ACQUEDOTTO
 DEL PESCHIERA
 dalle Sorgenti alla Centrale di Salisano**

CUP G33E17000400006

PROGETTO DEFINITIVO

TEAM DI PROGETTAZIONE

CAPO PROGETTO

Ing. Angelo Marchetti

IDRAULICA

Ing. Eugenio Benedini

GEOLOGIA E IDROGEOLOGIA

Geol. Stefano Tosti

GEOTECNICA E STRUTTURE

Ing. Angelo Marchetti

ASPETTI AMBIENTALI

Ing. Nicoletta Stracqualursi

ATTIVITA' TECNICHE DI SUPPORTO

Geom. Stefano Francisci

ATTIVITA' PATRIMONIALI

Geom. Fabio Pompei

Hanno collaborato:

Ing. Geol. Eliseo Paolini

Geol. Yousef Abu Sabha

Geol. PhD Paolo Caporossi

Geol. Simone Febo

Geol. Filippo Arsie

Geol. Marco Marrocco



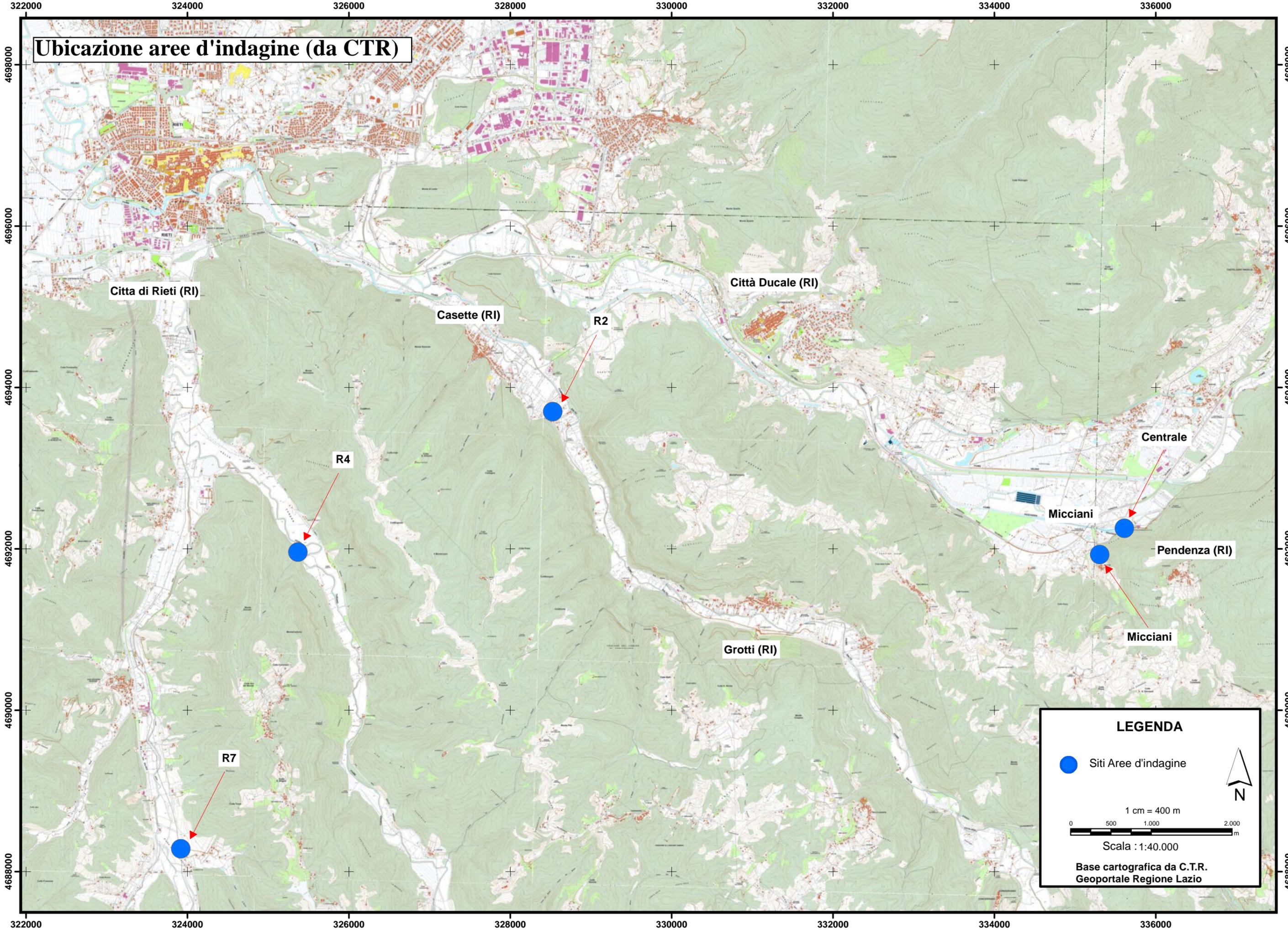
RELAZIONE GEOLOGICA

ALLEGATO 14

CONSULENTI

CERI - Centro di Ricerca Previsione, Prevenzione e Controllo dei Rischi Geologici

Ubicazione aree d'indagine (da CTR)



LEGENDA

● Siti Aree d'indagine

1 cm = 400 m
0 500 1.000 2.000 m

Scala : 1:40.000

Base cartografica da C.T.R.
Geoportale Regione Lazio



INDICE

PREMESSA	2
INDAGINE GEOELETTRICA IN LOC. CAMPO DI POZZI.....	3
SONDAGGI ELETTRICI CON RICOSTRUZIONE TOMOGRAFICA	4
STRUMENTAZIONE UTILIZZATA	5
IL METODO DELLA RESISTIVITÀ.....	6
PROFILO GEOELETTRICO 1-1'	13
ALLEGATI INDAGINE GEOELETTRICA	16
INDAGINE SISMICA “R7”	17
PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE.....	18
TECNICHE OPERATIVE	18
ANALISI DEI DATI.....	19
RISULTATI	21
PROSPEZIONE SISMICA A RIFLESSIONE	23
TECNICHE OPERATIVE	23
ANALISI DEI DATI.....	24
RISULTATI	25
ALLEGATI INDAGINE SISMICA.....	27

PREMESSA

La Geoprove s.r.l. di Ruffano è risultata aggiudicataria in data 03.10.2018 della procedura “Servizi specialistici di indagini geofisiche” (rif. gara n. 8800001490 – lotto unico CIG 75762864FD), indetta da Acea Elabori Spa.

Il presente documento riporta l’esito delle indagini geofisiche eseguite in località Campo di Pozzi (profili geoelettrici) e sul sito denominato “R7” (profili sismici). Le aree ricadono nel territorio comunale di San Giovanni Reatino.

Nello specifico:

- **Indagine geoelettrica in loc. Campo di Pozzi:**

Indagine geoelettrica tomografica, sono stati eseguiti un totale di 307 metri lineari con ricostruzione di tipo bidimensionale.

- **Indagine sismica R7:**

Sono stati eseguiti 4 profili sismici a rifrazione in onde longitudinali (onde P) e trasversali (Sh) ed un profilo di sismica a riflessione.

INDAGINE GEOELETTRICA IN LOC. CAMPO DI POZZI

L'area indagata è individuata dalle seguenti coordinate geografiche:

Latitudine: 42.330576° N

Longitudine: 12.846559° E



Immagine da Google Earth ®

SONDAGGI ELETTRICI CON RICOSTRUZIONE TOMOGRAFICA

L'indagine elettrica prevede sempre una fase preliminare al fine di comprendere al meglio le problematiche da affrontare e le peculiarità del sito. Il metodo scelto permette di stimare la resistività del sottosuolo in esame; tale parametro è fondamentale per l'individuazione dei passaggi stratigrafici, cavità ed eventuali sottoservizi presenti.

I valori di resistività vengono rilevati introducendo nel sottosuolo una corrente attraverso due elettrodi di corrente e misurando la differenza di potenziale attraverso altri due elettrodi, detti appunto di misura. L'invio della corrente nel sottosuolo, utilizzando delle sorgenti puntiformi in superficie, determina l'irraggiamento delle linee di corrente attraverso superfici di forma semisferica. In generale il terreno non è elettricamente omogeneo né isotropo, perciò quando viene immessa corrente in esso, una qualsiasi causa di variazione di conducibilità, ne altera il flusso, provocando un'anomala distribuzione del potenziale.

La misura di questo valore prende il nome di "resistività apparente", in quanto dipende dalla disposizione degli elettrodi nel terreno. La raccolta di queste informazioni avviene lungo tutto il tratto percorso dai filetti elettrici e, di conseguenza, da tutta la semisfera prodotta dall'immissione di corrente nel sottosuolo.

La tomografia elettrica di superficie (TES) si basa su un elevato numero di misure elettriche che, nel caso specifico, sono state effettuate su 48 elettrodi (metodologia multielettrodo), disposti sul terreno lungo i profili scelti. La restituzione dei risultati (ricostruzione tomografica) viene realizzata approssimando il terreno (sottosuolo) in maglie o celle ("elementi finiti") e riportando in un'apposita sezione gli elementi finiti con resistività omogenea.

Il tipo di configurazione scelta per la presente campagna d'indagine sono è stata la polo-polo.

STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

La strumentazione utilizzata per le misure (Syscal Pro) contiene assemblati sia il sistema di energizzante che quello ricevente. Il sistema di ricezione è costituito da un millivoltmetro digitale, atto a misurare la tensione correlata al segnale di corrente inviato; mentre il trasmettitore, alimentato da batteria esterna, invia nel terreno un segnale di corrente regolare. L'apparecchiatura procede ad una rimozione immediata del fattore di disturbo stazionario (generato da fenomeni di polarizzazione spontanea) tramite l'inversione della polarità del flusso di corrente continua nel sottosuolo, cioè grazie all'uso dell'onda quadra di corrente.

La strumentazione utilizzata nelle indagini è quindi costituita da:

- Un georesistivimetro Syscal Pro della Iris Instruments;
- elettrodi (picchetti di acciaio) da collegare ai canali del georesistivimetro, più due elettrodi remoti per il dispositivo polo-polo;
- cavi multicanale per collegare gli elettrodi al georesistivimetro;
- cavetti per collegare gli elettrodi alle boccole dei cavi;
- batterie da 12V per alimentare il georesistivimetro.

Per l'elaborazione dati è stato utilizzato il programma ERTLlab della Geostudi Astier S.r.l.

IL METODO DELLA RESISTIVITÀ

Lo scopo di un'indagine geoelettrica in una certa area è quello di determinare la distribuzione del parametro fisico *resistività elettrica* nel sottosuolo.

La resistività di un materiale è una misura di quanto esso si oppone al passaggio di corrente elettrica, ed è l'inverso della conducibilità (o conduttività). Essa dipende dai fattori chimico-fisici che hanno influenzato la struttura delle rocce e da quelli che ne determinano le modifiche nel tempo.

Le rocce possono essere considerate, nella maggioranza dei casi, degli elettroliti solidi. In essi la conduzione avviene per processi che interessano gli ioni legati a formare le strutture cristalline; in generale la forza esercitata sugli ioni da parte di un campo elettrico, è minore delle forze che legano tali ioni e pertanto gli elettroliti solidi possono considerarsi *isolanti*.

Le rocce naturali, però, sono in genere permeate da una certa quantità di acqua interstiziale ricca in sali e pertanto acquistano una conduttività ionica che dipende dalla quantità di spazi nella roccia (pori, microfessure, fratture) che sono saturati dall'acqua. In generale si ha dunque che quanto più porosa e fessurata è una roccia, tanto più è elevato il suo contenuto in acqua e tanto più, quindi, è alta la sua conduttività (e ovviamente bassa la sua resistività).

In generale, la *resistività* delle rocce porose, sottosature di acqua, si può ottenere dalla *relazione empirica di Archie*: $\rho = \rho_w a \Phi^{-m} S^{-n}$

dove ρ_w è la resistività dell'acqua di imbibizione; Φ è la porosità (rapporto tra il volume dei pori e quello della roccia); S è il grado di saturazione (o imbibizione - rapporto tra il volume dei pori riempiti d'acqua e quello complessivo dei pori) della roccia (variabile tra 0.1 e 1); a , m , n , sono fattori numerici ed in particolare: m è il fattore di cementazione

(varia da 1.3 a 2.5) ed a è il coefficiente di tessitura. Per quanto riguarda n , tale parametro assume generalmente un valore pari a 2. La *tessitura* esprime la disposizione, forma e dimensione dei granuli che compongono la roccia, nonché la rete di canalicoli irregolari e tortuosi riempiti di elettrolita (Norinelli, 1982).

Un altro fattore che influenza la resistività è la *temperatura*: un aumento di quest'ultima, infatti, causa un incremento della mobilità degli ioni presenti nella soluzione elettrolitica e quindi della conduttività.

Roccia/Materiale	Resistività ($\Omega \cdot m$)
Argille, marne grasse	3 - 30
Argille, marne magre	10 - 40
Argille sabbiose, silt	25 - 105
Sabbie con argille	50 - 300
Sabbia, ghiaia in falda	200 - 400
Sabbia, ghiaia asciutta	800 - 5000
Calcere, gesso	500 - 3500
Arenaria	300 - 3000
Granito	2000 - 10 000
Gneiss	400 - 6000

Valori di resistività dei terreni più comuni (Leucci, 2015; Leucci, 2019)

Dai valori noti di corrente erogata, dalla configurazione geometrica degli elettrodi e dalla differenza di potenziale misurata si calcola analiticamente la *resistività apparente* dei terreni indagati.

In particolare, la resistività di un terreno omogeneo e isotropo è data dalla seguente relazione:

$$\rho = (\Delta V/I) * K \quad (3.2)$$

dove K è il coefficiente geometrico che dipende dalla disposizione degli elettrodi sulla superficie, ΔV è la differenza di potenziale misurata e I l'intensità di corrente.

Tuttavia, il sottosuolo non è elettricamente omogeneo e isotropo pertanto, quando in esso si immette corrente, una qualsiasi causa di variazione di conducibilità, ne altera il flusso provocando, di conseguenza, una anomala distribuzione del potenziale rispetto a quella che si avrebbe per un sottosuolo omogeneo.

In conclusione, il valore di resistività che si misura in realtà è una *resistività apparente* e va considerata come un'anomalia rispetto a quella misurabile per una distribuzione teorica del potenziale in un sottosuolo omogeneo ed isotropo di resistività pari a quella propria dell'elettrostatato più superficiale (Rapolla, Carrara, Roberti, 1992).

I profili geoelettrici acquisiti con il sistema multielettrodo permettono di effettuare un'elaborazione tomografica che restituisce la distribuzione bidimensionale o tridimensionale di resistività dei materiali indagati ottenuta da un apposito programma di inversione.

In particolare, si parla di **tomografia bidimensionale (2D)** se il sottosuolo è indagato lungo una sezione piana verticale e gli elettrodi, disposti sulla superficie del terreno, sono allineati ed equidistanti (Fig. a); invece, nella **tomografia tridimensionale (3D)** si analizza un intero volume di sottosuolo e gli elettrodi sono posti nei nodi di una griglia sulla superficie del terreno stesso (Fig.b).

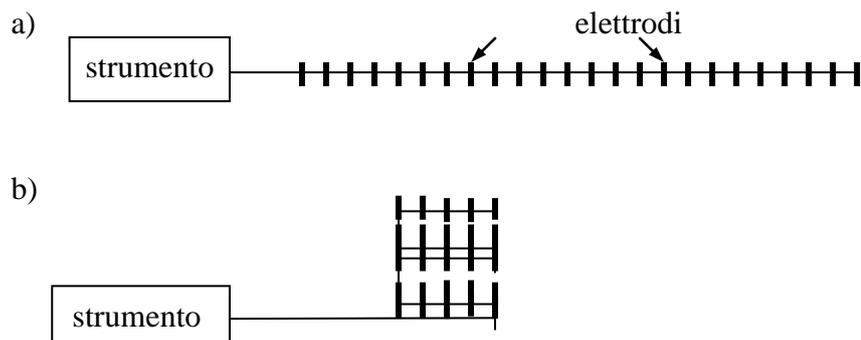


Illustrazione di due disposizioni elettrodeiche bidimensionale a) e tridimensionale b)

Nei profili tomografici, gli elettrodi, in genere picchetti di ferro o di rame sono distribuiti lungo un profilo a distanza fissa (dell'ordine del metro). La scelta della distanza dipende dalla risoluzione e dalla profondità d'indagine richiesta. Gli elettrodi vengono collegati mediante un cavo multicanale allo strumento di misura e ad un computer. Il software gestisce l'emissione di corrente e la misura della differenza di potenziale utilizzando i diversi elettrodi disponibili.

Per le prospezioni tomografiche vengono utilizzate diverse configurazioni di elettrodi di corrente e potenziale, quali ad esempio Schlumberger, Wenner, dipolo-dipolo, polo-dipolo, ecc. (Loke, 2001); la loro scelta dipende dagli scopi dell'indagine, dalle caratteristiche della regione interessata dalla misura, dal tempo a disposizione e dalla quantità di memoria disponibile sul computer.

Sono normalmente utilizzate correnti elettriche a bassa frequenza per minimizzare l'entità dei disturbi causati da servizi sotterranei e/o in superficie tipicamente presenti all'interno dei complessi industriali.

La tomografia elettrica multielettrodica aumenta di molto le prestazioni dell'indagine poiché consente di individuare le interfacce di resistività sia verticali sia orizzontali, che sono legate alla geologia stratigrafica, all'idrogeologia, alla geotecnica, ai problemi ambientali, ecc.;

la sezione di resistività completata con la sezione morfologica, restituisce una visione complessa e realistica del terreno in oggetto di studio.

In Fig. 2 sono rappresentati i vari tipi di dispositivi elettrodi. Indicheremo sempre con C1 e C2 i due elettrodi di corrente e con P1 e P2 i due elettrodi di potenziale.

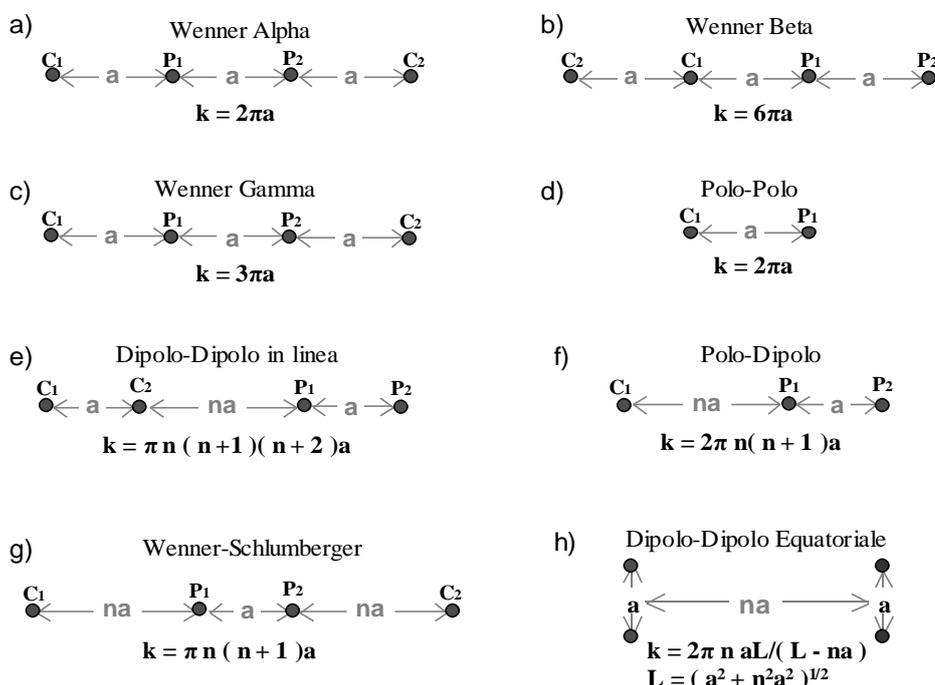


Fig. 2:

Dispositivi elettrodi e corrispondenti fattori geometrici (Loke, 2001).

Essendo, nella realtà, il sottosuolo da investigare disomogeneo, la tomografia elettrica multielettrodi bidimensionale permette solo di ricostruire una sezione di resistività apparente, detta *pseudosezione* in funzione della lunghezza dello stendimento e della posizione degli elettrodi sullo stendimento stesso.

Il nome *pseudosezione* è giustificato dal fatto che la distanza interelettrodica, usata come variabile indipendente, determina la profondità, ma non coincide con essa.

I risultati rappresentati sotto forma di pseudosezioni di resistività apparente possono essere presentati come linee iso-resistive o con colori convenzionali, che permettono di distinguere aree a bassa resistività da aree a resistività relativamente maggiore. Inoltre la forma a trapezio del disegno dipende dalla graduale diminuzione del numero dei dati ottenuti aumentando la distanza degli elettrodi.

La pseudosezione dà dunque un'immagine molto approssimativa della reale distribuzione di resistività del mezzo analizzato che, dunque, appare con forme e contorni distorti rispetto a quelli reali.

A causa delle difficoltà riscontrate nell'interpretazione dei dati, bisogna trasformare mediante algoritmo d'inversione i valori di resistività apparente, graficati in forma di pseudosezione, in sezione di resistività reale; il risultato dell'indagine multielettrodica è dunque una mappatura in termini di resistività 2D o una distribuzione volumetrica di resistività 3D, dalle quali si deducono le caratteristiche litologiche del sottosuolo.

L'algoritmo di inversione, sulla base di un modello iniziale di distribuzione di resistività, calcola, tramite un procedimento agli elementi finiti, i valori di resistività apparente nei punti in cui la resistività stessa è stata misurata.

La tecnica è essenzialmente un'ottimizzazione del metodo dei minimi quadrati in cui un modello di partenza viene iterativamente modificato finché la differenza tra questo e la pseudosezione sperimentale risulta ridotta al minimo. L'assunto di base della tecnica per la costruzione del modello è che nel sottosuolo ci sono tanti strati quanti sono i valori di resistività sulla curva sperimentale di ρ_a .

La profondità media di ogni strato è uguale alla spaziatura elettrodica utilizzata per la misura di resistività moltiplicata per una costante il cui valore deve essere tale da ridurre al minimo la differenza tra la curva teorica (ricavata dal modello) e la curva sperimentale. Questa costante viene determinata utilizzando l'algoritmo del *trial and error*, ovvero calcolando la percentuale di scarto *root mean squared* (*r.m.s.*, *radice quadrata media*) tra i valori di ρ_a osservati ed i valori ρ_a calcolati nei punti considerati.

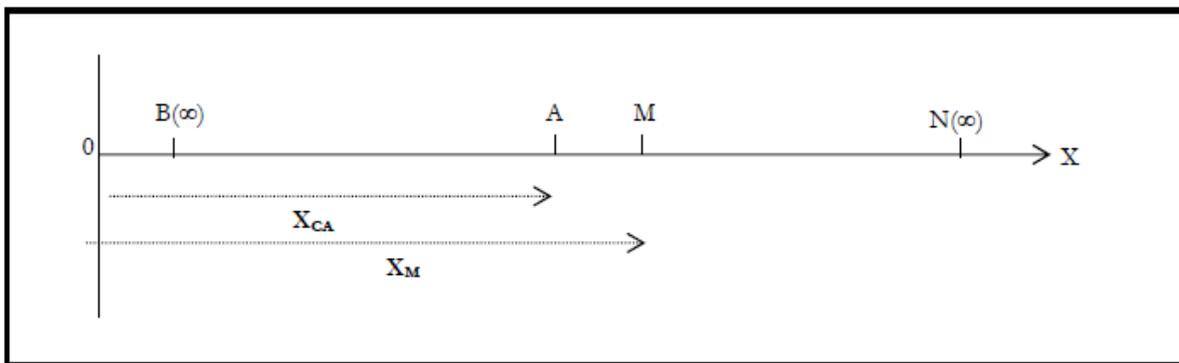
E' da sottolineare, tuttavia, il fatto che non sempre, al più basso valore *r.m.s.* possibile, corrisponde il modello geologico di sottosuolo più vicino alla realtà, a volte, infatti, si possono ottenere variazioni poco realistiche nei valori di resistività del modello. Pertanto, l'approccio più corretto è quello di scegliere il modello di sottosuolo corrispondente all'iterazione dopo la quale l'errore *r.m.s.* non cambia significativamente. Generalmente ciò accade tra la terza e la quarta iterazione.

L'algoritmo associa, infine ad ogni maglia della griglia 2D o 3D, in cui viene suddiviso il corpo da ricostruire, un valore di resistività reale, imponendo a maglie vicine di non poter assumere valori di resistività reale arbitrariamente diversi. Questo tipo di limitazione deve infatti compensare il fatto che per ottenere un modello dettagliato e sufficientemente esteso da coprire l'intero volume del corpo investigato con tutte le misure, il numero di maglie è molto superiore al numero di dati sperimentali di resistività apparente.

PROFILO GEOELETTRICO 1-1'

Le misure sono state eseguite con il dispositivo polo-polo: infatti, in base a quanto si legge in letteratura, il dispositivo polo-polo, equivalentemente al dispositivo Wenner, riesce meglio a mettere in evidenza variazioni verticali di resistività. Esso offre però la possibilità una più alta copertura orizzontale rispetto al dispositivo Wenner e la possibilità di ottenere una profondità di indagine più elevata.

In tale metodologia gli elettrodi B ed N sono posti estremamente distanti (in linea teorica all'infinito) da A ed M in maniera tale da ignorare $1/BM$, $1/BN$ e $1/AN$.



Schema operativo della metodologia polo-polo con XCA: ascissa dell'elettrodo di corrente, X_M : ascissa dell'elettrodo di potenziale. Fattore $K = 2\pi / (1/AM)$

Sono stati pertanto utilizzati 96 elettrodi disposti lungo un profilo prescelto e resi consecutivi mediante la tecnica del roll-along.

Attraverso uno studio preliminare dell'indagine da eseguire è stato preimpostato il grado di dettaglio massimo per tale metodologia agendo sul numero di livelli possibili. Tutto ciò è stato eseguito con l'ausilio del software di gestione delle sequenze elettriche Electre Pro.

L'inversione dei dati è stata realizzata mediante un processo iterativo che minimizza la differenza fra la resistività apparente misurata e quella calcolata in base ad un modello di sottosuolo.

Analisi dei risultati

Dall'elaborazione dei dati acquisiti è stato possibile ottenere un modello bidimensionale dell'area.

La profondità d'indagine è stata pari a 196m.

Dal modello di distribuzione della resistività risulta la presenza di un sottosuolo eterogeneo con valori di resistività compresi tra 54 e 2670 ohm m.

Per una più facile lettura, nella descrizione sottostante si farà riferimento, oltre alla sezione di resistività, a n.4 verticali rappresentative, posizionate lungo la sezione come segue: Verticale 1 – inizio della sezione; Verticale 2 – posizionata a circa 80m, lungo l'asse x, dall'inizio della sezione; Verticale 3 – posizionata a circa 190m dall'inizio della sezione; Verticale 4 – poco prima della fine della sezione. Tutte le quote indicate si riferiscono alla locale quota del p.c.

Nella restituzione grafica del profilo geoelettrico eseguito, si nota la presenza di aree a più bassa resistività nella parte superiore della sezione (medie di 60/80 ohm m) con limiti inferiori a profondità variabili: Verticale 1 – 11/14m; Verticale 2 – 16/18m; Verticale 3 – 25/28m; Verticale 4 – 4/6m. Tali valori possono essere associati alla presenza di depositi alluvionali costituiti da ghiaie, limi sabbiosi e sabbie limose.

Sotto tali depositi i valori tendono ad aumentare gradualmente e si può sintetizzare la sequenza stratigrafica in:

Depositi con valori di resistività media di 650 ohm m ed associabili alla presenza di un calcare selcifero, fratturato ed intercalato ed alternato a sabbioni calcarei ghiaiosi presenti sino alle seguenti quote: Verticale 1 – 22/26m; Verticale 2 – 25/28m; Verticale 3 – 35/40m; Verticale 4 – 10/14m.

Depositi riferibili a calcare fratturato, localmente selcifero presentano resistività media di 1000 ohm m e sono presenti fino alle seguenti quote:

Verticale 1 – 35/40m; Verticale 2 – 38/42m; Verticale 3 – 47/50m;
Verticale 4 – 16/20m.

In basso tale formazione passa gradualmente a calcari e calcari tenaci (in profondità) con resistività >1200 ohm m.

Si rimanda alla sezione di resistività, elaborazione dei profili eseguiti, per una migliore lettura dell'indagine eseguita.

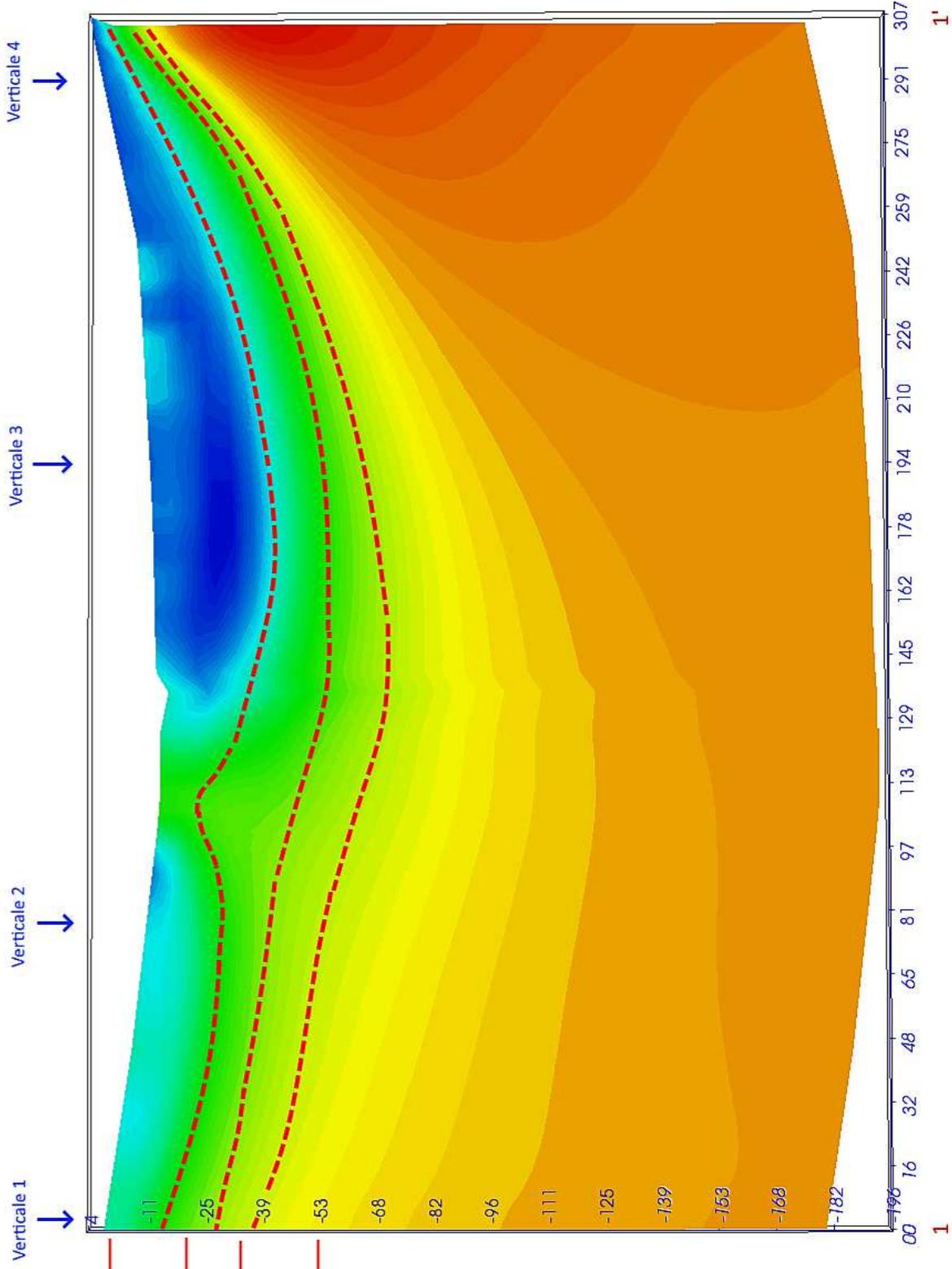
ALLEGATI INDAGINE GEOELETTRICA

Posizione profilo geoelettrico (da Ortofoto) - scala 1:2.000

Sezione di resistività

Documentazione fotografica

Profilo geoelettrico 1-1'
Località: Campo di Pozzi



Depositi alluvionali (ghiaie, limi sabbiosi e sabbie limose)
Calcare selcifero fratturato, intercalato ed alternato con sabbioni calcarei ghiaiosi
Calcare fratturato, localmente selcifero
Calcare



POSIZIONE PROFILO GEOELETTICO

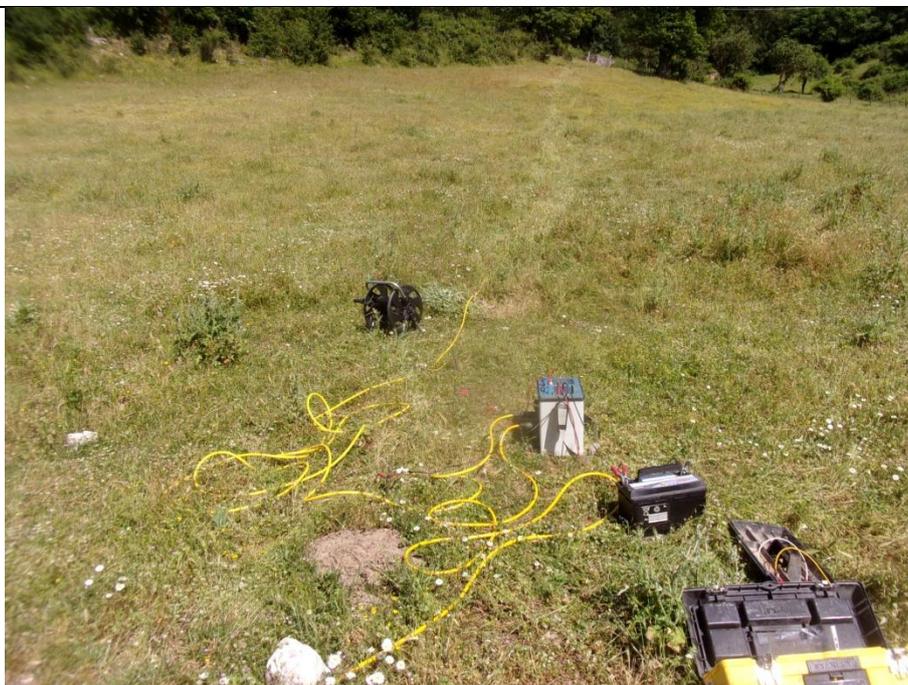
— Profilo geoelettrico

scala 1:2000

Documentazione fotografica indagine geoelettrica



Esecuzione profilo geoelettrico 1-1'



Esecuzione profilo geoelettrico 1-1'



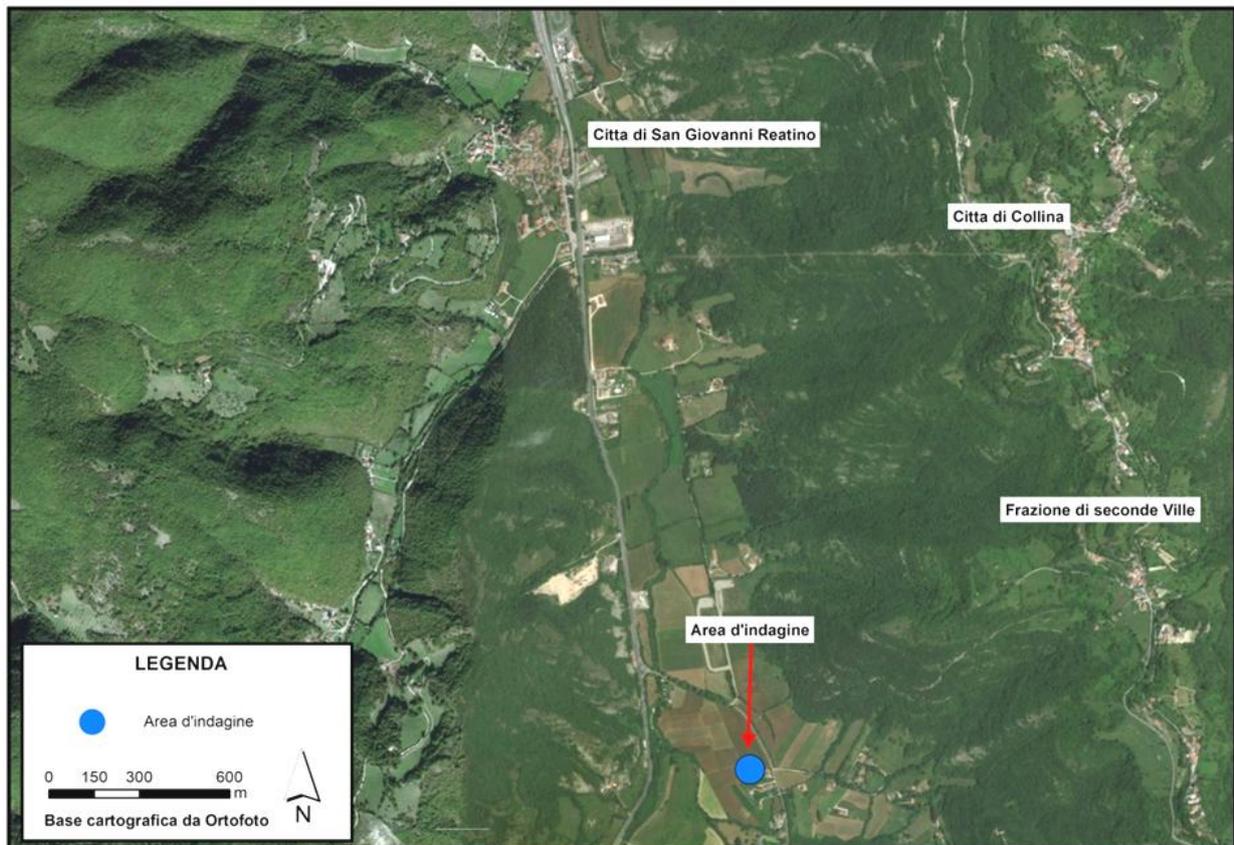
Esecuzione profilo geoelettrico 1-1'

INDAGINE SISMICA “R7”

L’area indagata è individuata dalle seguenti coordinate geografiche:

Latitudine: 42.32690° N

Longitudine: 12.86302° E



Ubicazione del sito d’indagine

PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE

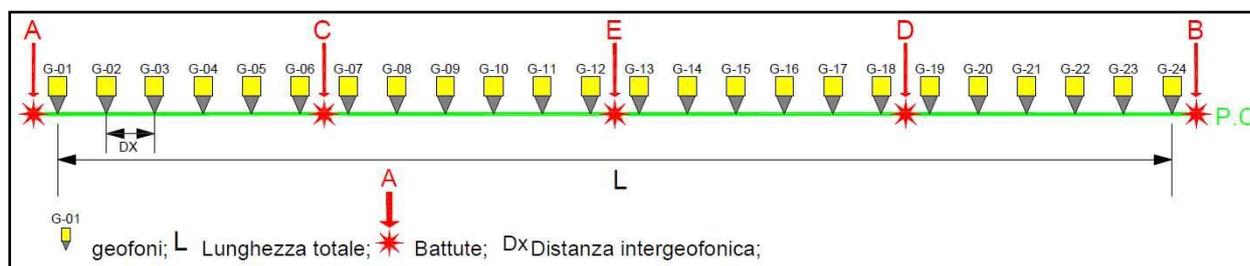
TECNICHE OPERATIVE

Sono stati effettuati 4 profili sismici a rifrazione in onde P ed Sh utilizzando geofoni a 14 Hz. Le tracce sono state registrate impostando i seguenti parametri:

	frequenza di campionamento	Lunghezza registrazioni	sorgente
Onde P	0.0625 millisecondi	500 ms	martello
Onde Sh	0.125 millisecondi	1 secondo	martello

Di seguito sono tabellate le caratteristiche dei profili acquisiti:

Denominazione	Lunghezza	Distanza geofonica	Numero scoppi	N. Canali
Profilo 1	120 m	5.0 m	5.0	24
Profilo 2	120 m	5.0 m	5.0	24
Profilo 3	120 m	5.0 m	5.0	24
Profilo 4	120 m	5.0 m </td <td>5.0</td> <td>24</td>	5.0	24



Schema geometrico di acquisizione

ANALISI DEI DATI

Per prima cosa sono stati individuati sui sismogrammi i tempi dei primi arrivi delle onde P. Questa operazione è definita picking e si effettua dopo aver registrato e opportunamente filtrato il segnale acquisito.

I file così ottenuti vengono caricati nel software TomTime della Geotom, LCC che consente di amplificare il segnale in modo da facilitare l'operazioni di picking e registra i valori dei tempi del reale punto di primo arrivo. I tempi vengono importati in un altro software Gremix (Interpex Limited, 1990) che a partire da questi dati e dalle geometrie dello stendimento traccia le dromocrone.

Attraverso un'interpolazione grafica manuale ottimizzata dalle funzioni del software si ottiene, attraverso il metodo del G.R.M operato dal Gremix, lo spessore relativo degli strati presenti e le rispettive velocità. Si visualizza graficamente il modello ottenuto in funzione della velocità e profondità dei rifrattori.

E' stata successivamente eseguita l'interpretazione tomografica che a partire da una simulazione numerica del fenomeno di propagazione dell'impulso sismico, individua i campi incogniti di velocità delle onde calcolando i tempi di percorrenza e fornisce una discretizzazione del sottosuolo restituendo un' immagine bidimensionale.

Il software utilizzato per la tomografia è il Rayfract v. 2.71 (della Intelligent Resources Inc), che applica un metodo di inversione che ricostruisce i fronti d'onda e le geometrie dei percorsi rifratti e l'angolo con cui riemergono al ricevitore.

Importati i tempi dei primi arrivi e le geometrie si visualizzano le dromocrone e tramite il comando "Smooth Invert/WET with gradient initial model" è stato avviato il processo di inversione. Quando il risultato non è

stato ritenuto soddisfacente, si è provveduto a variare le impostazioni di default del comando regolando alcuni parametri tramite il comando “Interactive WET Tomography” e “ Maximum Valid Velocity”. Aggiornato il modello sono stati riavviati tutti i calcoli iterativi di inversione fino al raggiungimento dei requisiti che soddisfano l’algoritmo che individua la soluzione ottimale.

Infine sono stati verificati i risultati ottenuti e verificata la coerenza della rappresentazione grafica in scala cromatica.

RISULTATI

L'elaborazione dei dati ha permesso di ricostruire il sottosuolo secondo 3 “sismostrati” così caratterizzati:

1. **Il primo sismostrato** (con una profondità compresa tra 1.5 e 5.0 mt dal p.c.) ha velocità V_p compresa tra 440-870 m/s e V_{sh} compresa tra 200-340 m/s;
2. **Il secondo sismostrato** (con una profondità compresa tra 10 e 25 dal p.c.) ha velocità V_p compresa tra 1690-1770 m/s e V_{sh} compresa tra 590-810 m/s;
3. **Il substrato rifrattore** ha velocità V_p compresa tra 3180-3280 m/s e V_{sh} compresa tra 1100-1230 m/s.

Per ciò che concerne la correlazione delle caratteristiche fisico-dinamiche con quelle geologico-tecniche del sottosuolo esplorato, si può ritenere che:

1. **Il primo sismostrato** è associabile a *Terreno vegetale frammisto a ghiaie*;
2. **Il secondo sismostrato** è associabile a *Conglomerato*;
3. **Il terzo sismostrato** è associabile a *Calcere marnoso e/o alternanza di livelli conglomeratici e strati rocciosi tenaci*.

Nella tabella che segue sono mostrati tutti i valori delle velocità sismiche, il coefficiente di Poisson ed i valori dei moduli dinamici E (di Young), G (di taglio) e K (di compressibilità), espressi in Kg/cm². Questi valori sono calcolati considerando per un peso di volume unitario pertanto, per ottenere i moduli reali, è necessario moltiplicarli per il peso di volume dei litotipi presenti.

Profilo 1

Spessori sismostrati (m)	Vp	Vsh	σ	γ	E	G	K
1° sismostrato 0÷5.0	440	200	0.37	1	1118	408	1431
2° sismostrato 5.0÷25	1690	610	0.43	1	10822	3797	24081
substrato rifrattore >25.0	3180	1100	0.43	1	35363	12347	86725

Profilo 2

Spessori sismostrati (m)	Vp	Vsh	σ	γ	E	G	K
1° sismostrato 0÷4.0	460	210	0.37	1	1232	450	1559
2° sismostrato 4.0÷20.0	1710	590	0.43	1	10176	3552	25102
substrato rifrattore >20.0	3250	1120	0.43	1	36675	12800	90714

Profilo 3

Spessori sismostrati (m)	Vp	Vsh	σ	γ	E	G	K
1° sismostrato 0÷1.5	580	260	0.37	1	1896	690	2513
2° sismostrato 1.5÷10.0	1720	740	0.39	1	15494	5588	22737
substrato rifrattore >10.0	3270	1230	0.42	1	43769	15438	88528

Profilo 4

Spessori sismostrati (m)	Vp	Vsh	σ	γ	E	G	K
1° sismostrato 0÷2.0	870	340	0.41	1	3326	1180	6151
2° sismostrato 2.0÷10.0	1770	810	0.37	1	18311	6695	23042
substrato rifrattore >10.0	3280	1230	0.42	1	43787	15438	89196

V_p = velocità onde longitudinali in m/s

V_s = velocità onde trasversali in m/s

σ = coefficiente di Poisson

γ = peso di volume in g/cm^3

E = modulo dinamico di Young in Kg/cm^2

G = modulo dinamico di taglio in Kg/cm^2

K = modulo dinamico di compressibilità in Kg/cm^2

PROSPEZIONE SISMICA A RIFLESSIONE

TECNICHE OPERATIVE

E' stato acquisito un profilo sismico a riflessione utilizzando geofoni a 14 Hz shuntati con filtro passivo, in grado di spostare la banda di risposta dei geofoni verso frequenze più alte. Le tracce sono state registrate con i seguenti parametri:

frequenza di campionamento	Lunghezza registrazioni	sorgente
0.0625 millisecondi	1 secondo	Martello/Peg-40

Di seguito sono tabellate le caratteristiche del profilo acquisito:

Denominazione	Lunghezza	Distanza geofonica	Numero scoppi	N. Stazioni
Profilo 1	525 m	3.0 m	73	176



Schema geometrico di acquisizione

ANALISI DEI DATI

I dati della sismica a riflessione sono stati trattati col software Seistrix 3 (Interpex L.t.d., 1993). Uno dei grandi vantaggi di questo software è la capacità di gestire le geometrie complesse, dovendo trattare dati acquisiti secondo la tecnica del Common Mid Point Multi-Offset.

Sono stati acquisiti sismogrammi a 48 tracce, in allegato vengono riportati quattro sismogrammi acquisiti.

Per prima cosa sono stati caricati nel programma tutti i file a 24 tracce con punto sorgente a distanza uguale e impostate le geometrie di ogni profilo. Si è poi proceduto all'analisi delle linee sismiche per ogni singolo offset, in seguito è stato esaminato solo il profilo ad offset più indicativo (offset a 12 metri). Sono state impostate le geometrie è stato effettuato il "sort" dei dati. Questa operazione serve a riorganizzare i dati secondo le geometrie di common mid-point e nel rispetto delle distanze di offset. Infatti al momento dell'acquisizione i dati sono memorizzati in base alle posizioni degli scoppi e dei ricevitori, con il sorting vengono riorganizzati in modo da raggruppare per ogni coppia scoppio-ricevitore le tracce relative ai segnali provenienti dallo stesso midpoint.

Successivamente le operazioni di processing sui dati sono le seguenti:

- ✓ Correzione Statica dei Tempi sulle Tracce
- ✓ Filtro Passa Banda
- ✓ Mute
- ✓ Normal Move Out
- ✓ Filtraggio f - k
- ✓ Trace Mix

Esse sono state ampiamente descritte nella relazione generale.

RISULTATI

Dall'analisi della "sezione tempo", riportata nell'allegato "analisi prospezione sismica a riflessione", si evince la presenza di un primo riflettore, piuttosto energetico, posto tra circa 20 e 60 millisecondi, esso, dalla stazione 82 in poi, non è più visibile. Per ultimo è ben visibile un riflettore posto tra 70 e 130 millisecondi. Tra questi due riflettori sono presenti riflessioni che hanno andamenti disarticolati. Inoltre, sono state individuate una serie di discontinuità verticali.

Per ciò che concerne le profondità associabili alle sezioni tempo, queste sono state ottenute utilizzando, per i terreni superficiali, velocità e spessori ricavati dall'elaborazione tomografica del sottosuolo effettuata con la sismica a rifrazione e, per i sedimenti più profondi, effettuando un'analisi di velocità dei sismogrammi relativi alla sismica a riflessione.

In virtù delle considerazioni fatte e, quindi, passando da sezioni tempo a sezione profondità, vedi figura "Analisi prospezione sismica a riflessione", la prima riflessione individuata risulta posizionabile tra circa 15 e 30 metri di profondità mentre, la seconda riflessione, si posiziona tra circa 95 e 130 metri di profondità.

Per quanto riguarda la correlazione tra i riflettori individuati e la litologia del sito si può asserire che la prima riflessione potrebbe associarsi ad un netto cambio litologico tra sedimenti alluvionali cementati, costituiti da sabbie e ghiaie con livelli limoso-sabbioso-argillosi (Conglomerati), e basamento carbonatico costituita o da calcare marnoso e/o alternanza di livelli conglomeratici e strati rocciosi tenaci. Mentre la riflessione più profonda potrebbe correlarsi alla presenza del basamento calcareo in posto o ad una roccia calcarea più tenace. Le riflessioni intermedie indicherebbero i piani di strato intermedi con tenui coefficienti di riflessione.

Per quando riguarda le discontinuità verticali, queste potrebbero associarsi a fratture verticali con possibile dislocazione degli strati citati.

La seconda riflessione è quella che con più probabilità è imputabile alla presenza del substrato carbonatico. Questo perché nella sezione tempo analizzata è l'ultima riflessione sub-orizzontale visibile, dopodiché i segnali riflessi risultano disallineati e con minore energia. Ciò avviene, tipicamente, al raggiungimento del substrato roccioso.

ALLEGATI INDAGINE SISMICA

Ubicazione misure sismiche (da Ortofoto-CTR) - scala 1:2.000

Sismogrammi sismica a rifrazione onde longitudinali (onde P)

Sismogrammi sismica a rifrazione onde trasversali (onde Sh)

Dromocrone onde longitudinali (onde P)

Dromocrone onde trasversali (onde Sh)

Tomografie sismiche

Sezione sismostratigrafica

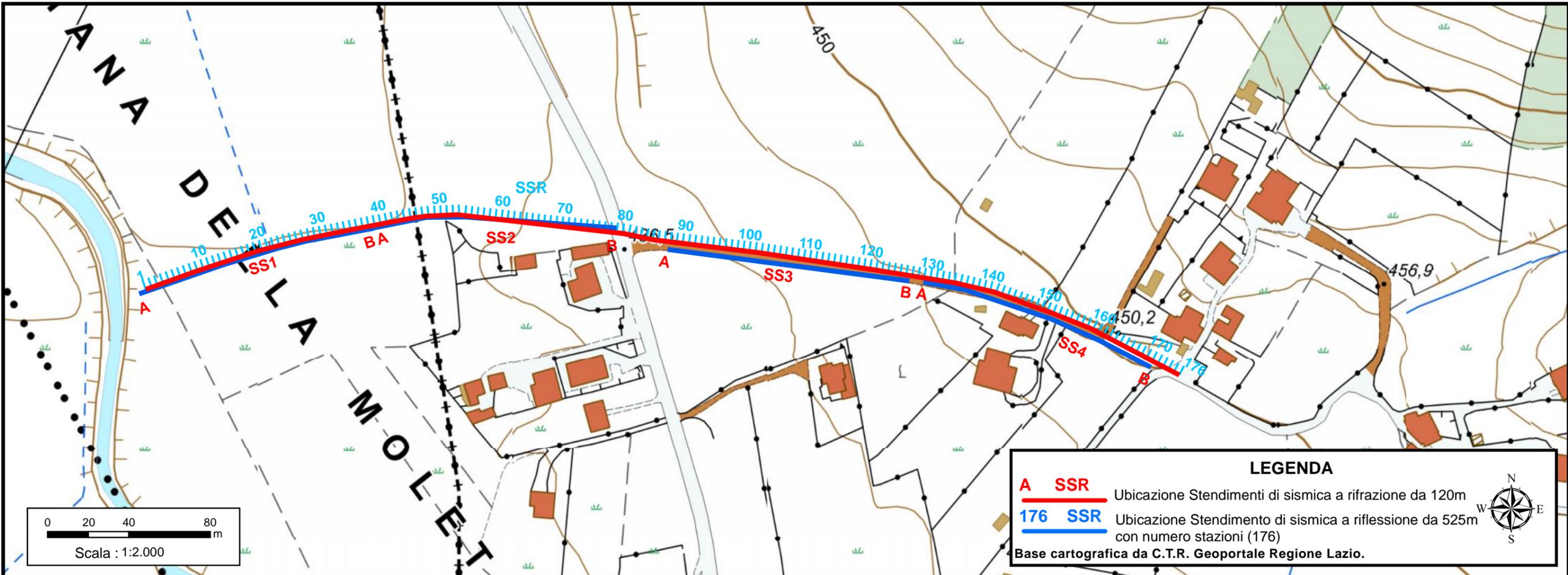
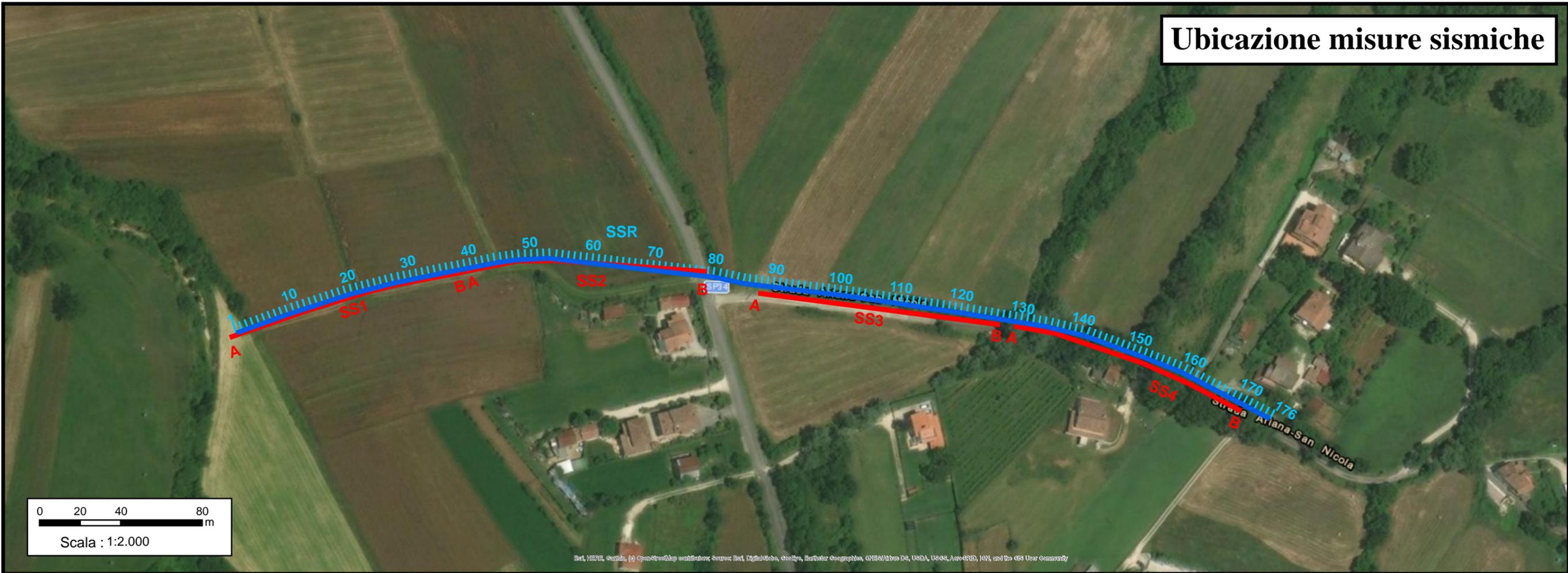
Esempio di sismogramma a 48 tracce (sismica a riflessione)

Sismogrammi a 24 tracce utilizzati per l'analisi in Common Mid Point

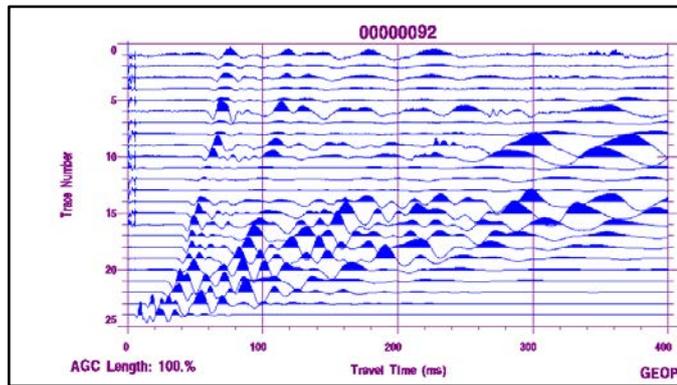
Analisi prospezione sismica a riflessione

Documentazione fotografica

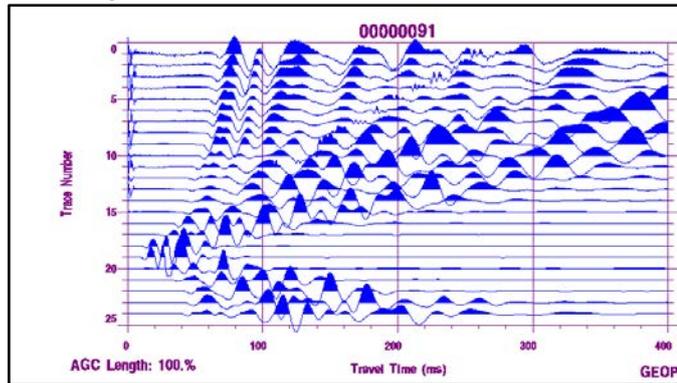
Ubicazione misure sismiche



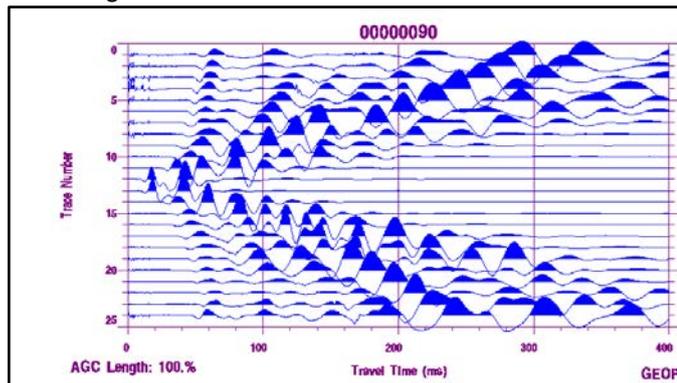
SISMOGRAMMI SISMICA A RIFRAZIONE ONDE LONGITUDINALI (ONDE P) PROFILO 1



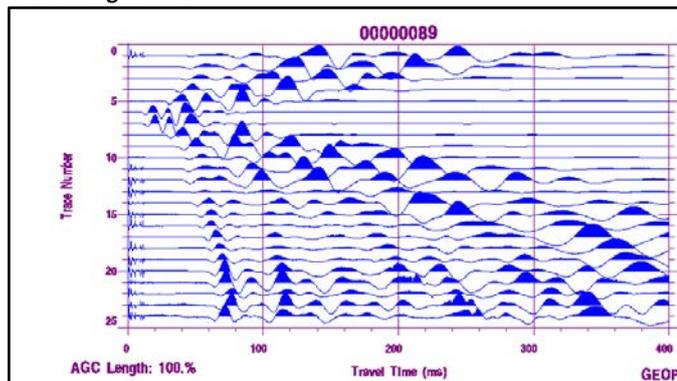
Punto sorgente "A"



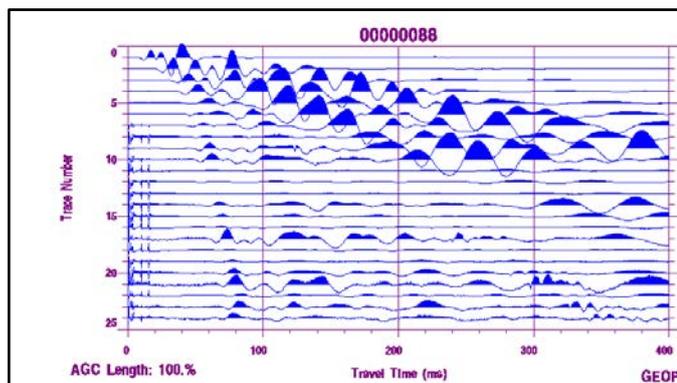
Punto sorgente "C"



Punto sorgente "E"

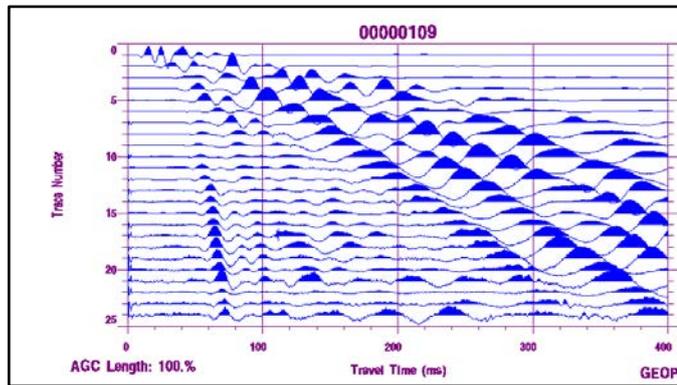


Punto sorgente "D"

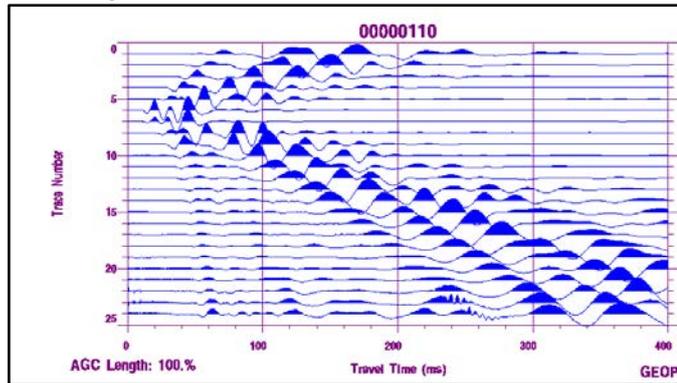


Punto sorgente "B"

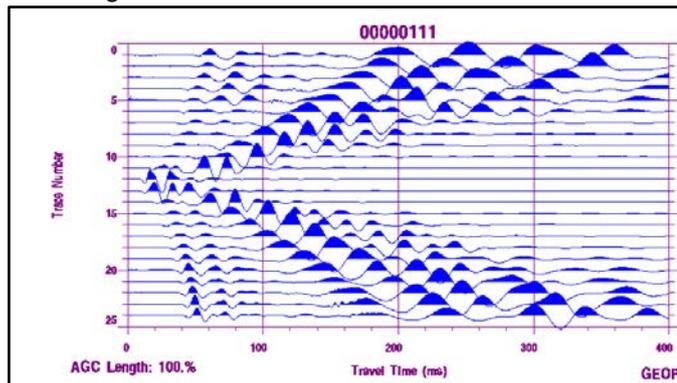
SISMOGRAMMI SISMICA A RIFRAZIONE ONDE LONGITUDINALI (ONDE P) PROFILO 2



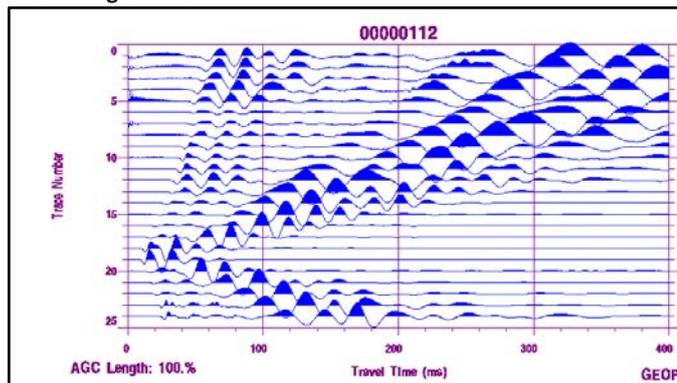
Punto sorgente "A"



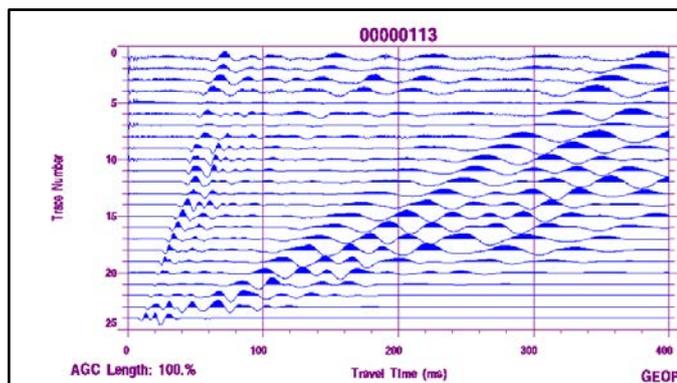
Punto sorgente "C"



Punto sorgente "E"

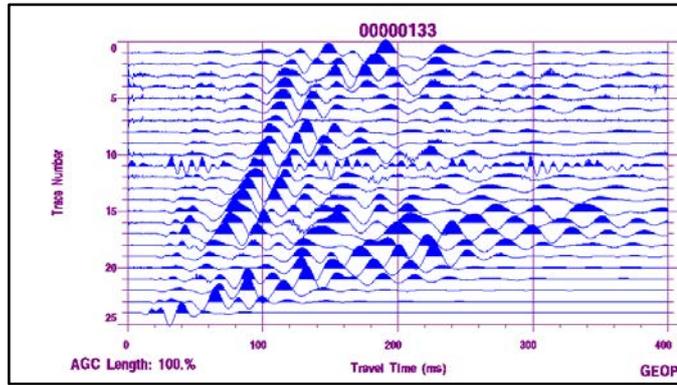


Punto sorgente "D"

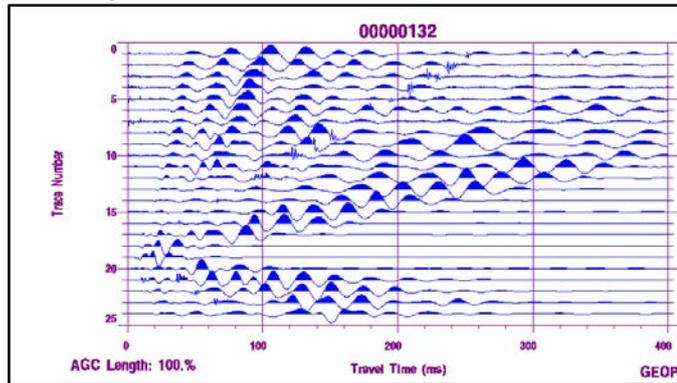


Punto sorgente "B"

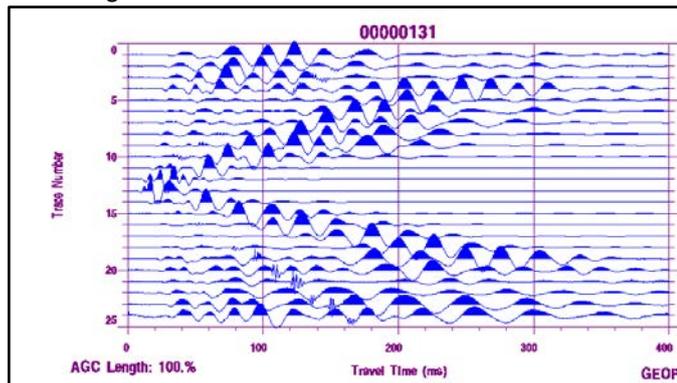
SISMOGRAMMI SISMICA A RIFRAZIONE ONDE LONGITUDINALI (ONDE P) PROFILO 3



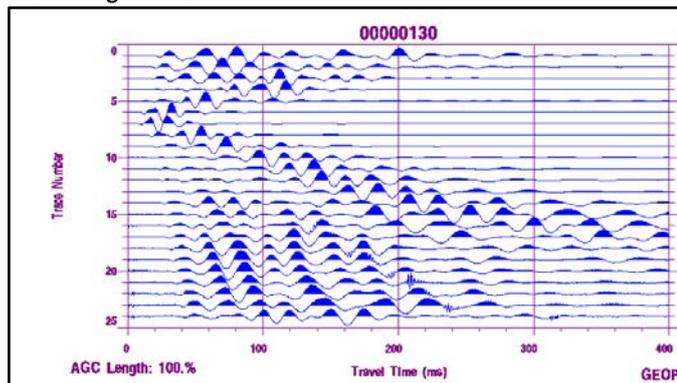
Punto sorgente "A"



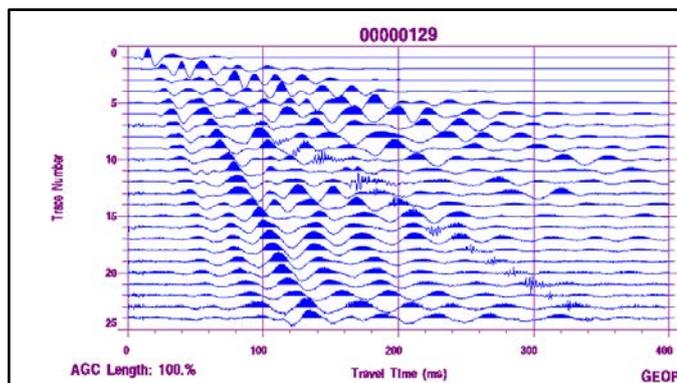
Punto sorgente "C"



Punto sorgente "E"

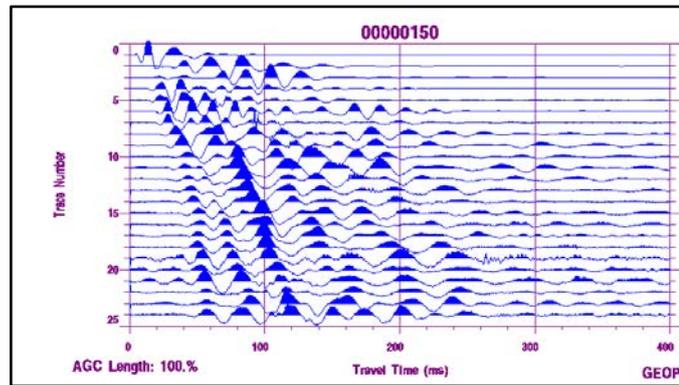


Punto sorgente "D"

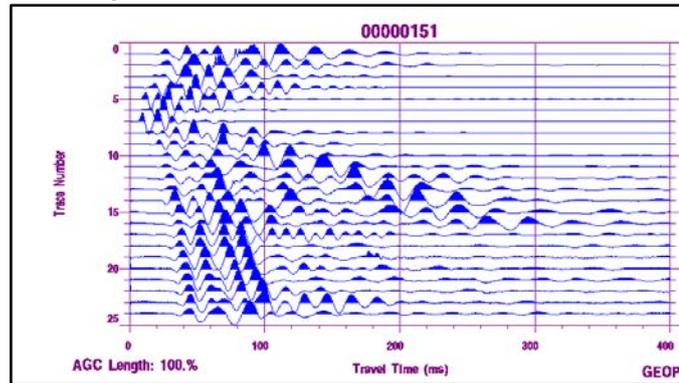


Punto sorgente "B"

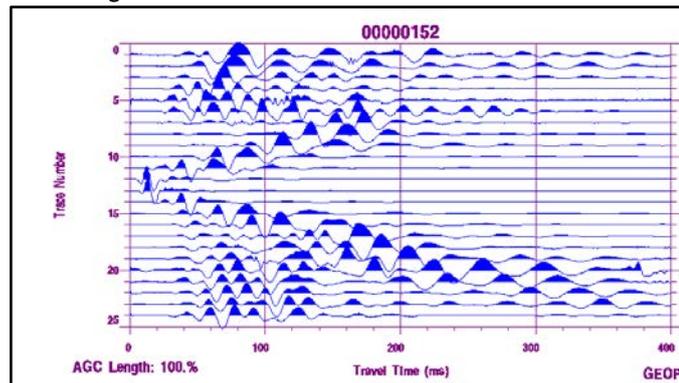
SISMOGRAMMI SISMICA A RIFRAZIONE ONDE LONGITUDINALI (ONDE P) PROFILO 4



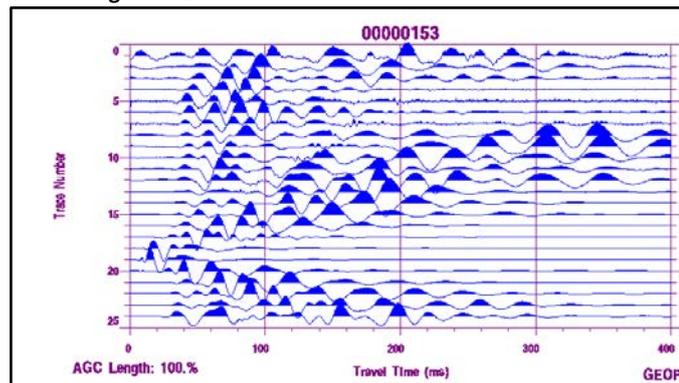
Punto sorgente "A"



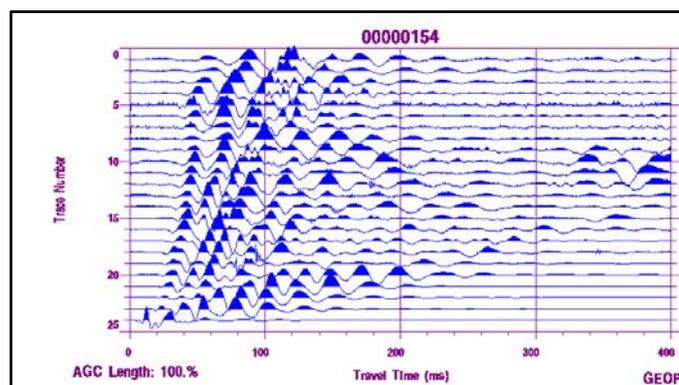
Punto sorgente "C"



Punto sorgente "E"

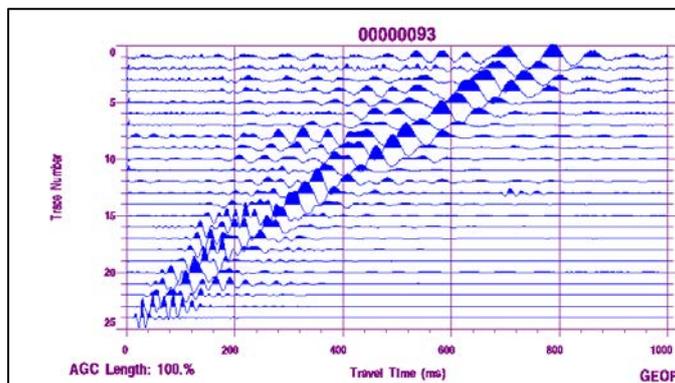


Punto sorgente "D"

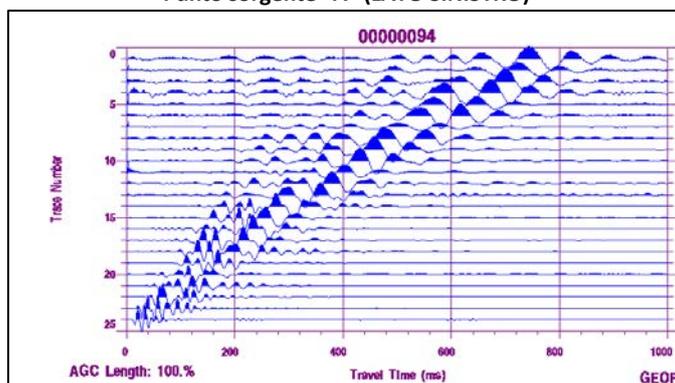


Punto sorgente "B"

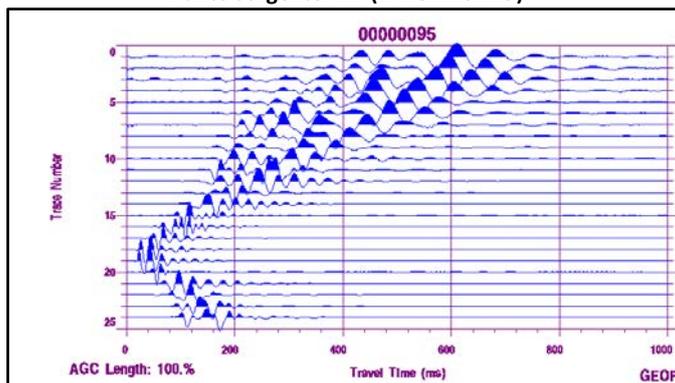
SISMOGRAMMI SISMICA A RIFRAZIONE ONDE TRASVERSALI (ONDE SH) PROFILO 1



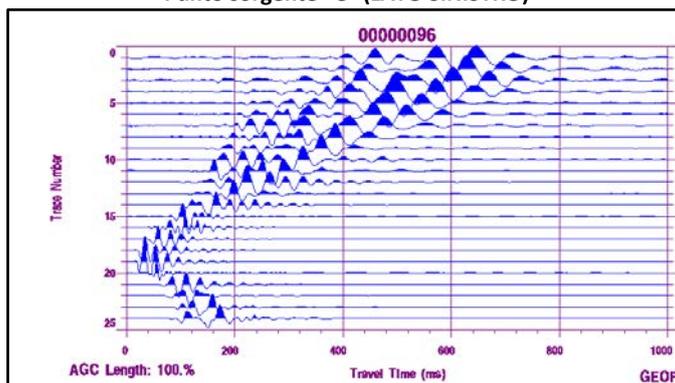
Punto sorgente "A" (LATO SINISTRO)



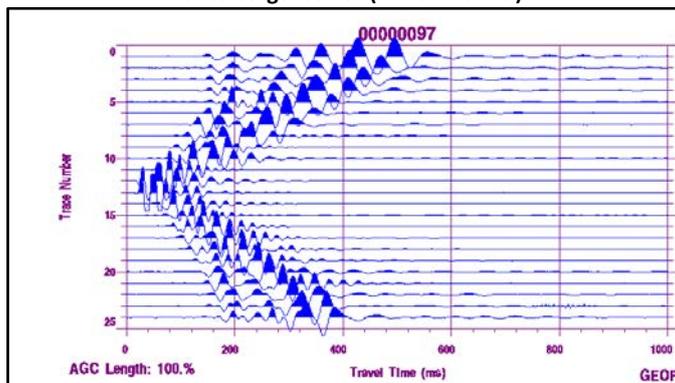
Punto sorgente "A" (LATO DESTRO)



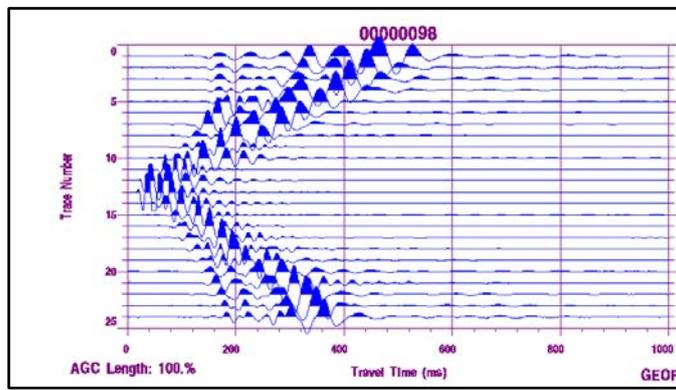
Punto sorgente "C" (LATO SINISTRO)



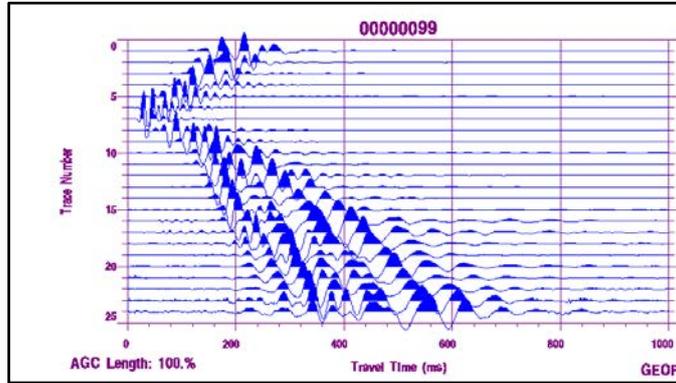
Punto sorgente "C" (LATO DESTRO)



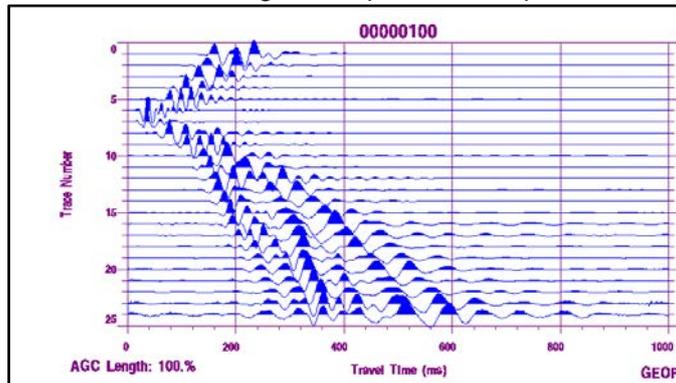
Punto sorgente "E" (LATO SINISTRO)



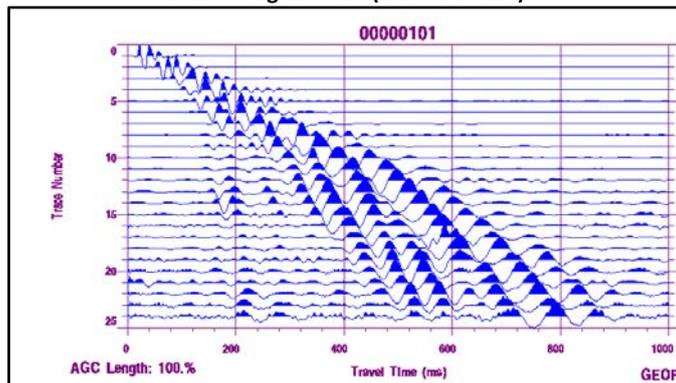
Punto sorgente "E" (LATO DESTRO)



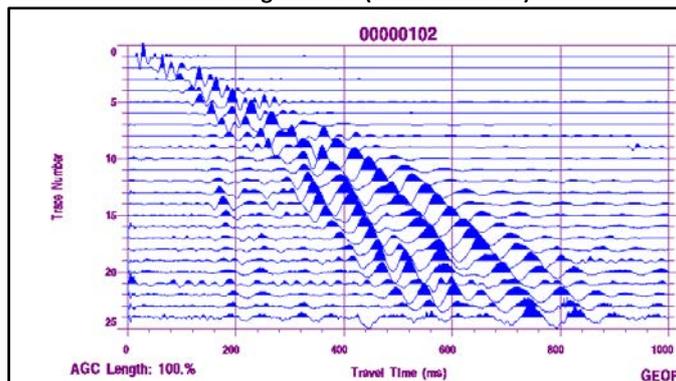
Punto sorgente "D" (LATO SINISTRO)



Punto sorgente "D" (LATO DESTRO)

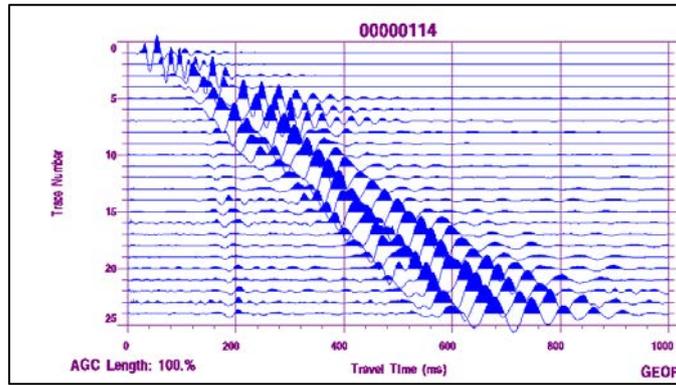


Punto sorgente "B" (LATO SINISTRO)

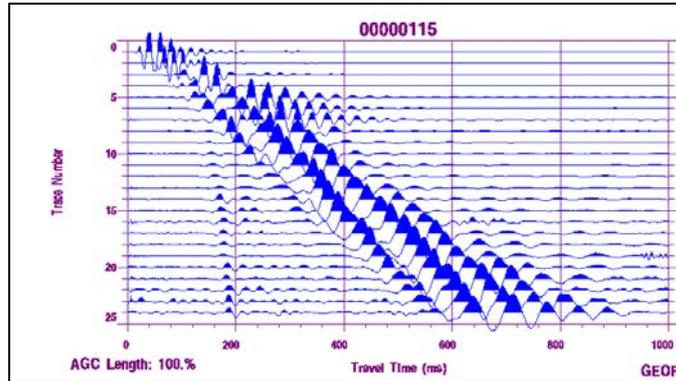


Punto sorgente "B" (LATO DESTRO)

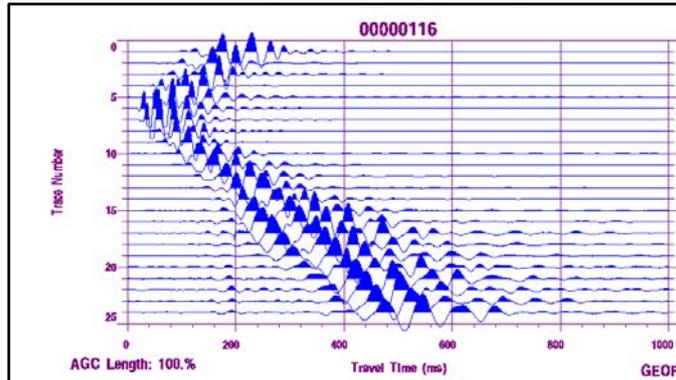
SISMOGRAMMI SISMICA A RIFRAZIONE ONDE TRASVERSALI (ONDE SH) PROFILO 2



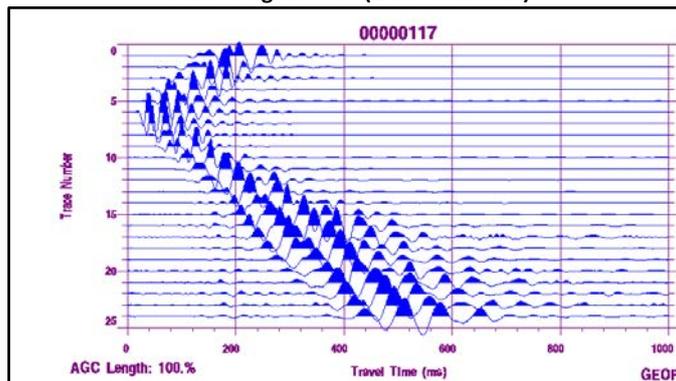
Punto sorgente "A" (LATO SINISTRO)



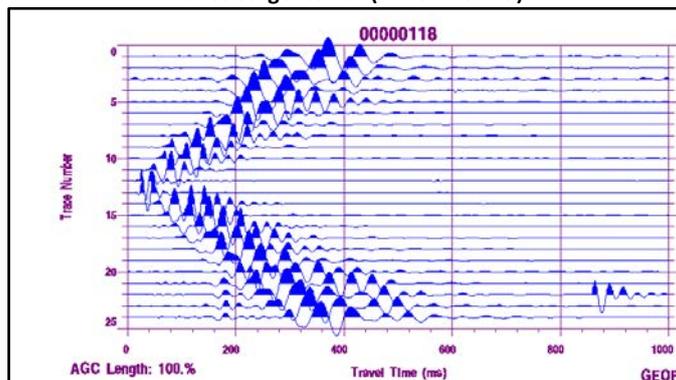
Punto sorgente "A" (LATO DESTRO)



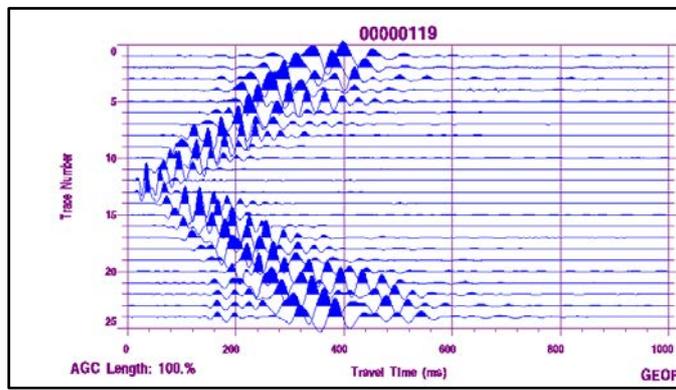
Punto sorgente "C" (LATO SINISTRO)



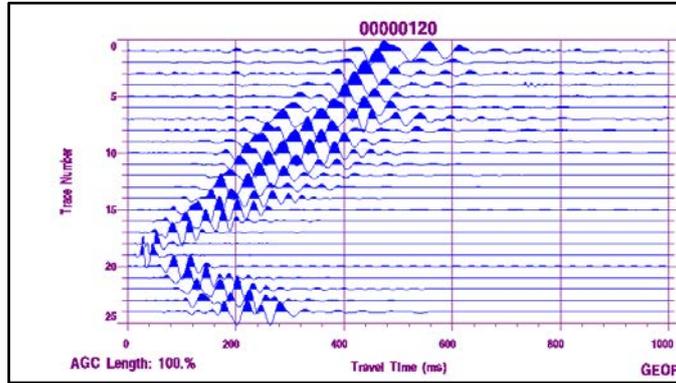
Punto sorgente "C" (LATO DESTRO)



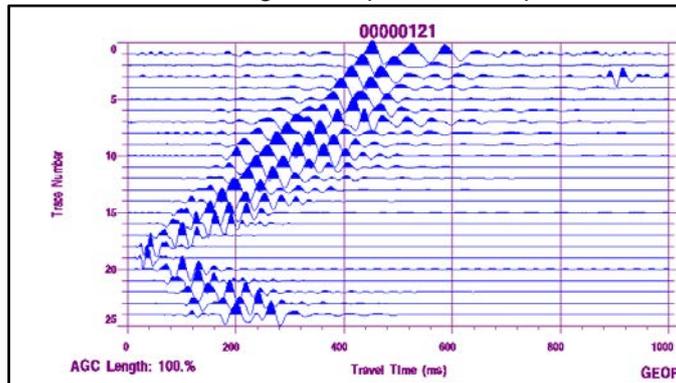
Punto sorgente "E" (LATO SINISTRO)



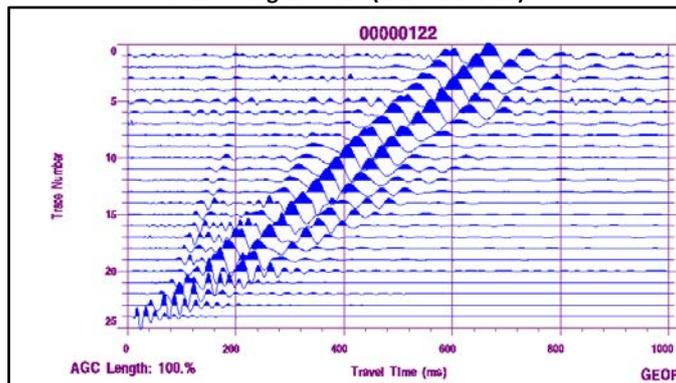
Punto sorgente "E" (LATO DESTRO)



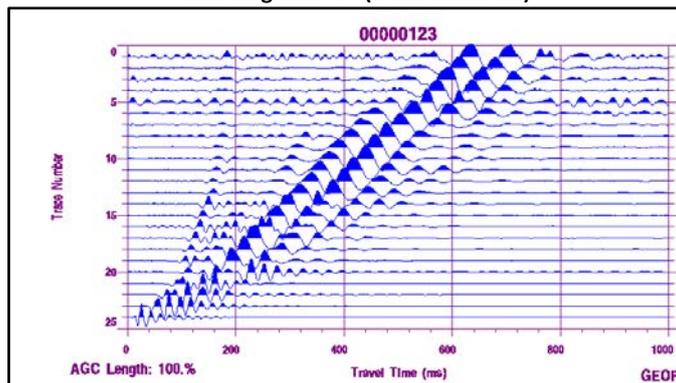
Punto sorgente "D" (LATO SINISTRO)



Punto sorgente "D" (LATO DESTRO)

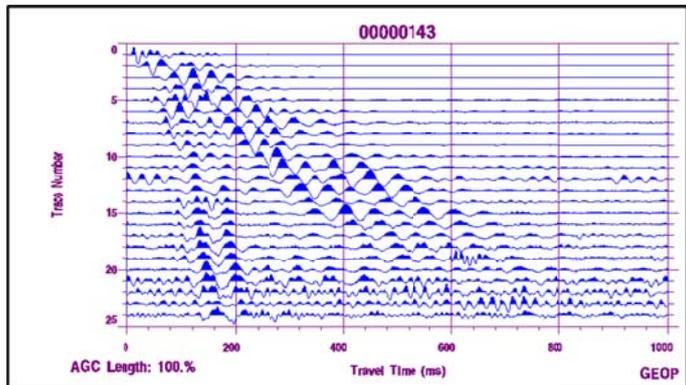


Punto sorgente "B" (LATO SINISTRO)

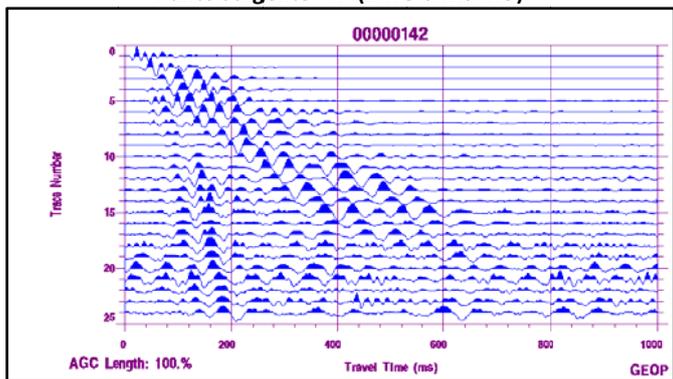


Punto sorgente "B" (LATO DESTRO)

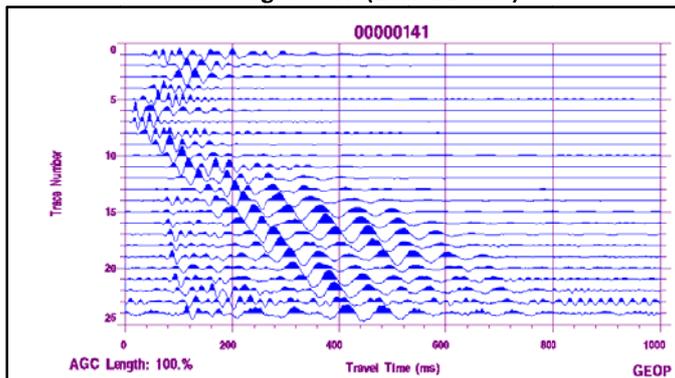
SISMOGRAMMI SISMICA A RIFRAZIONE ONDE TRASVERSALI (ONDE SH) PROFILO 3



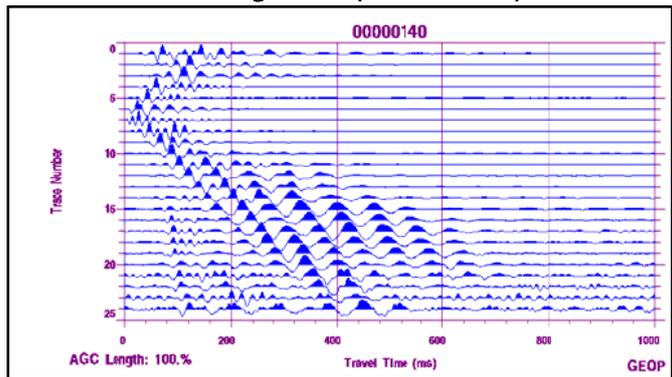
Punto sorgente "A" (LATO SINISTRO)



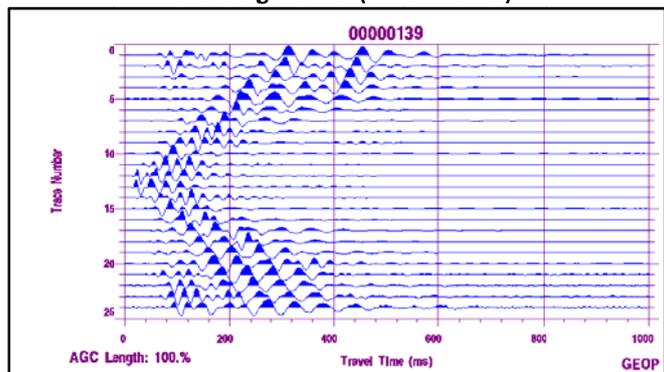
Punto sorgente "A" (LATO DESTRO)



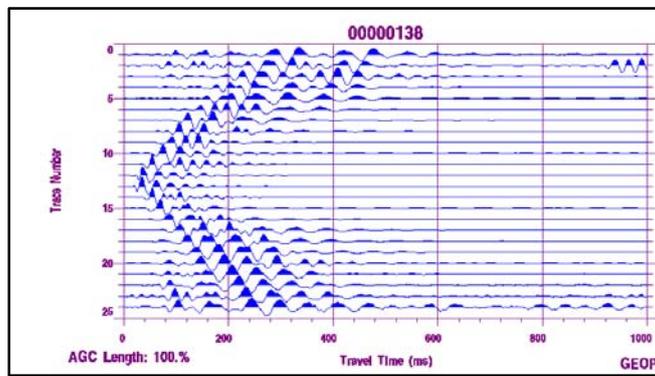
Punto sorgente "C" (LATO SINISTRO)



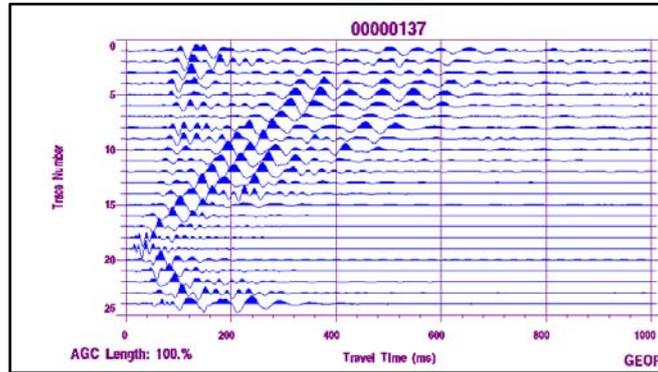
Punto sorgente "C" (LATO DESTRO)



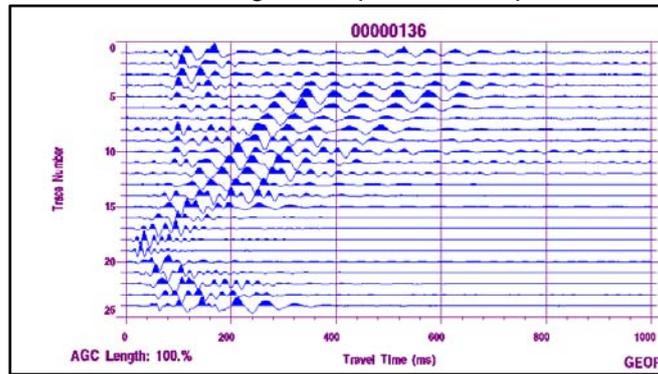
Punto sorgente "E" (LATO SINISTRO)



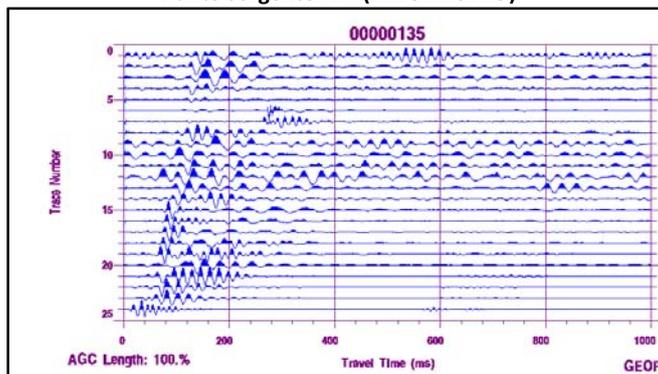
Punto sorgente "E" (LATO DESTRO)



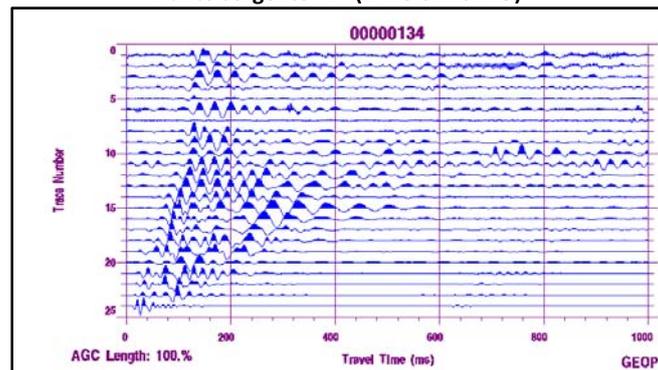
Punto sorgente "D" (LATO SINISTRO)



Punto sorgente "D" (LATO DESTRO)

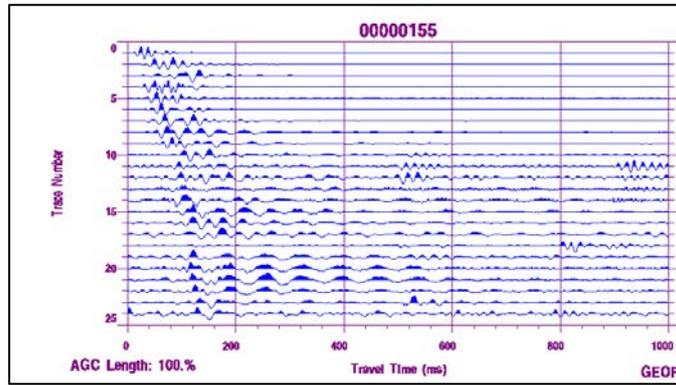


Punto sorgente "B" (LATO SINISTRO)

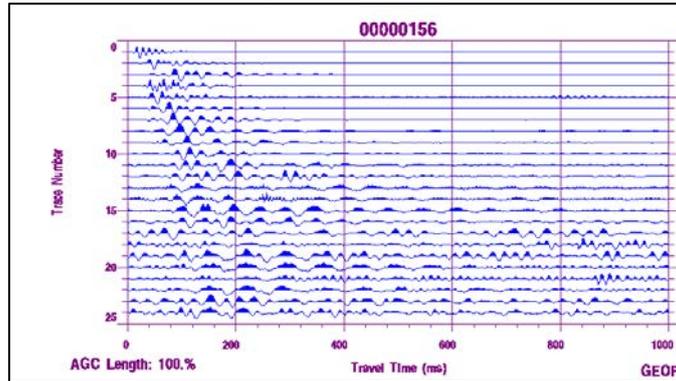


Punto sorgente "B" (LATO DESTRO)

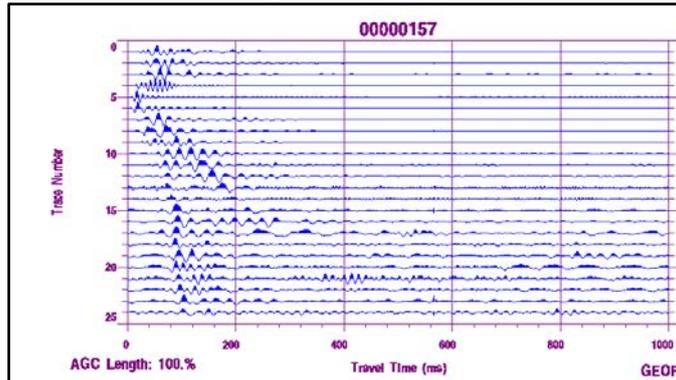
SISMOGRAMMI SISMICA A RIFRAZIONE ONDE TRASVERSALI (ONDE SH) PROFILO 4



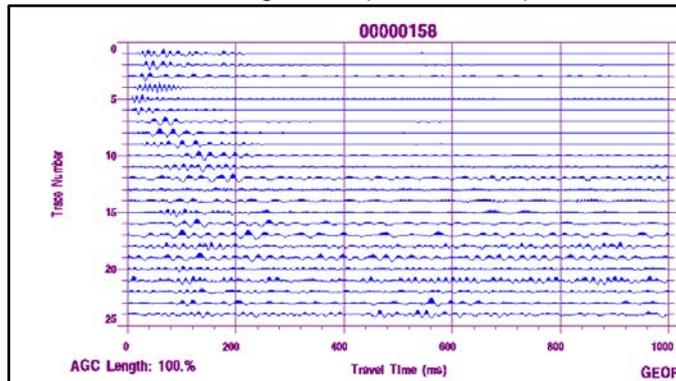
Punto sorgente "A" (LATO SINISTRO)



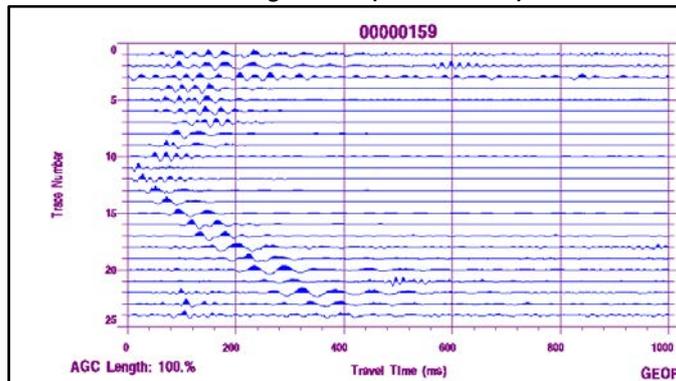
Punto sorgente "A" (LATO DESTRO)



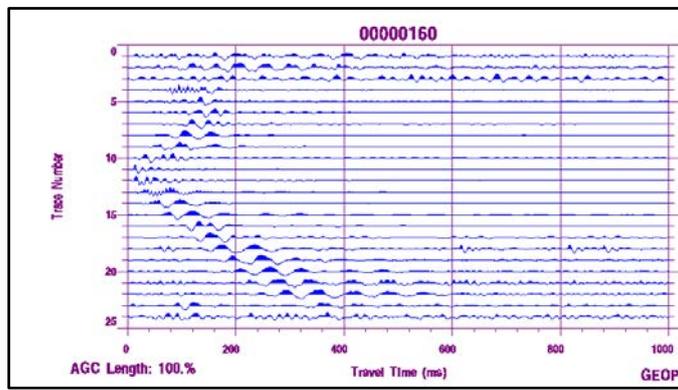
Punto sorgente "C" (LATO SINISTRO)



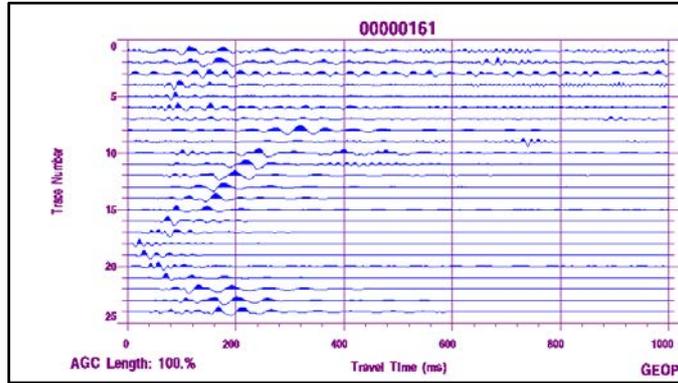
Punto sorgente "C" (LATO DESTRO)



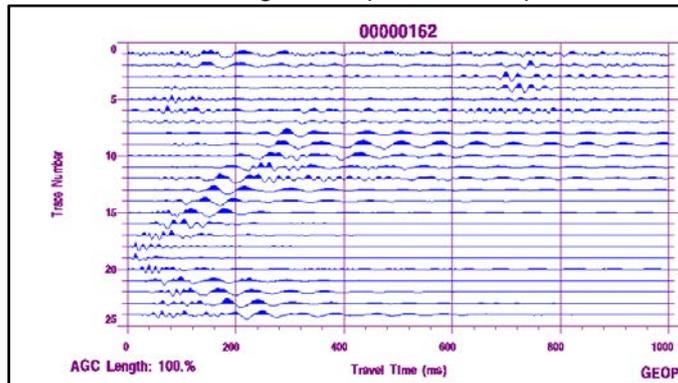
Punto sorgente "E" (LATO SINISTRO)



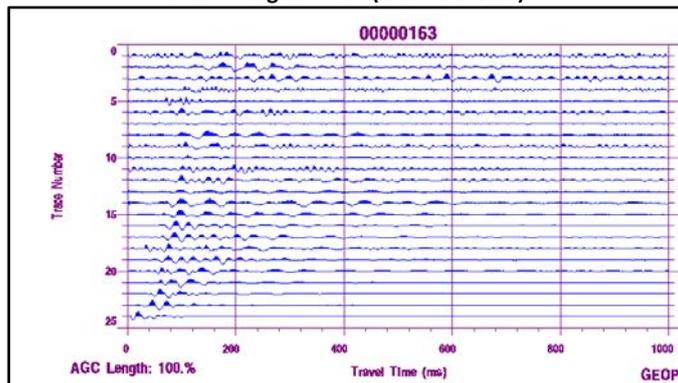
Punto sorgente "E" (LATO DESTRO)



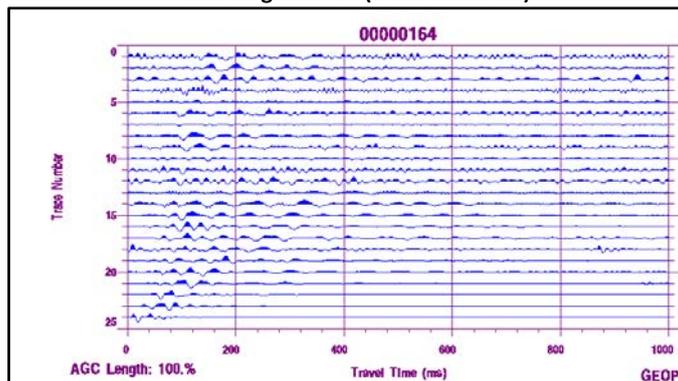
Punto sorgente "D" (LATO SINISTRO)



Punto sorgente "D" (LATO DESTRO)

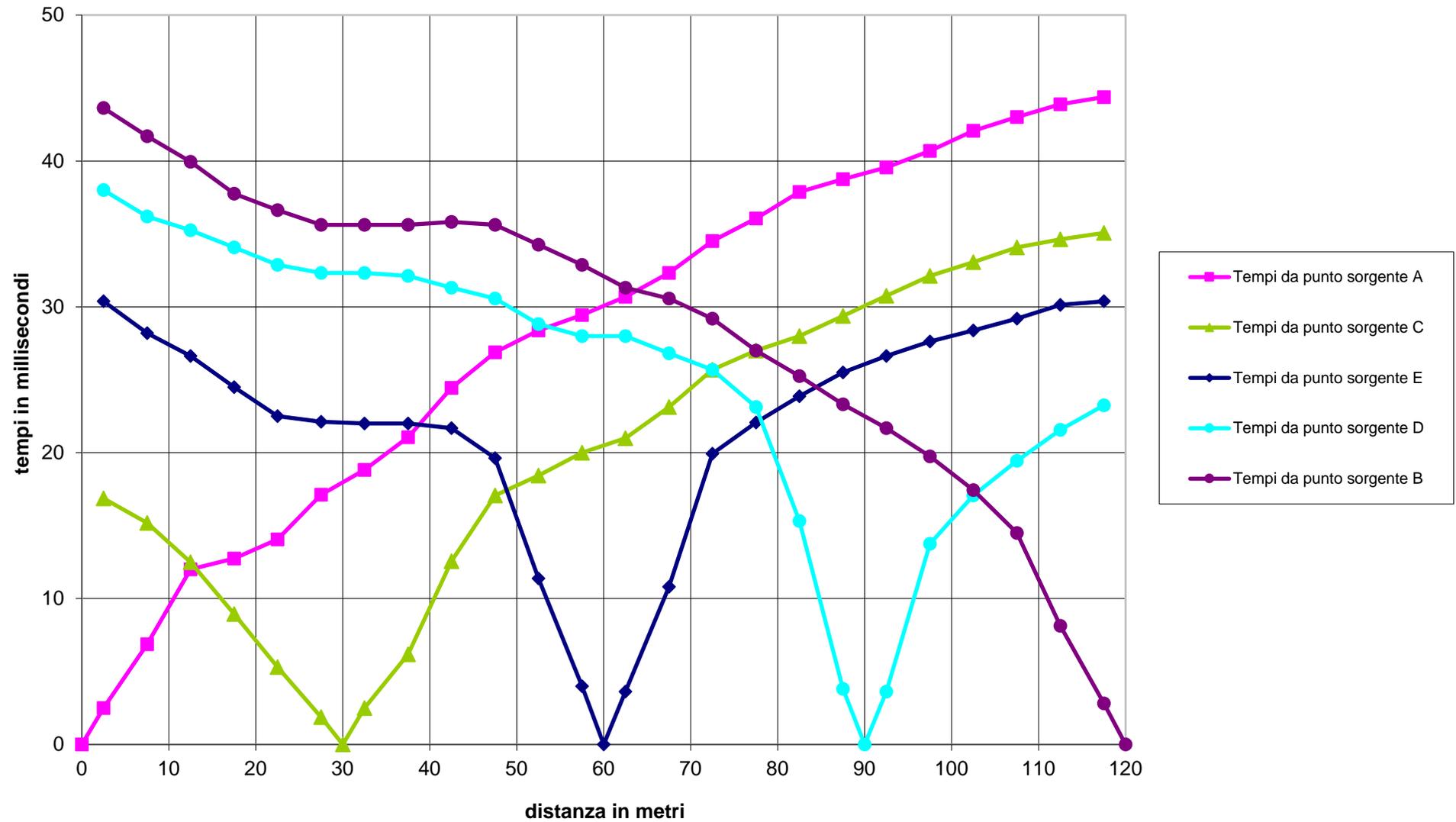


Punto sorgente "B" (LATO SINISTRO)

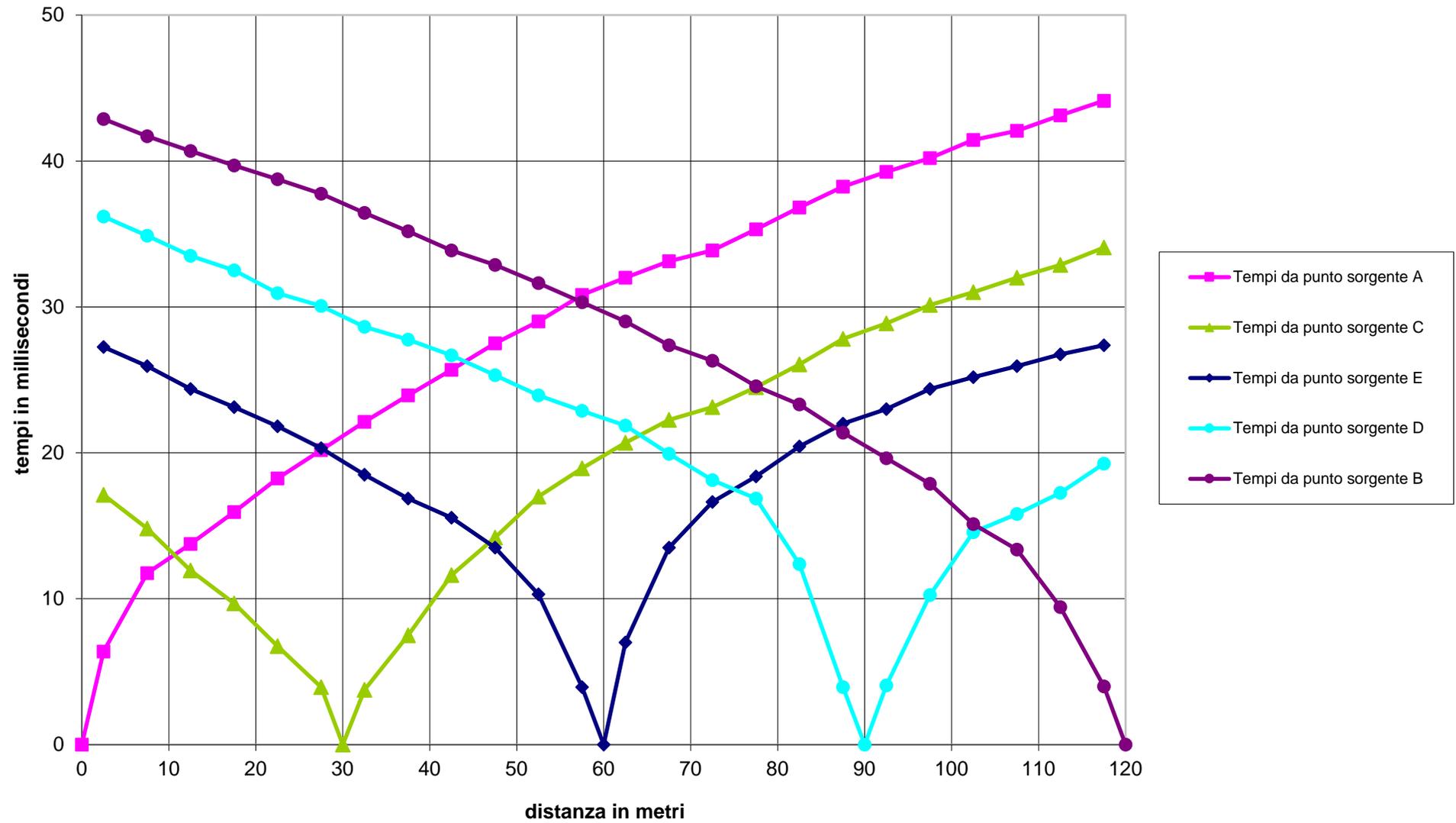


Punto sorgente "B" (LATO DESTRO)

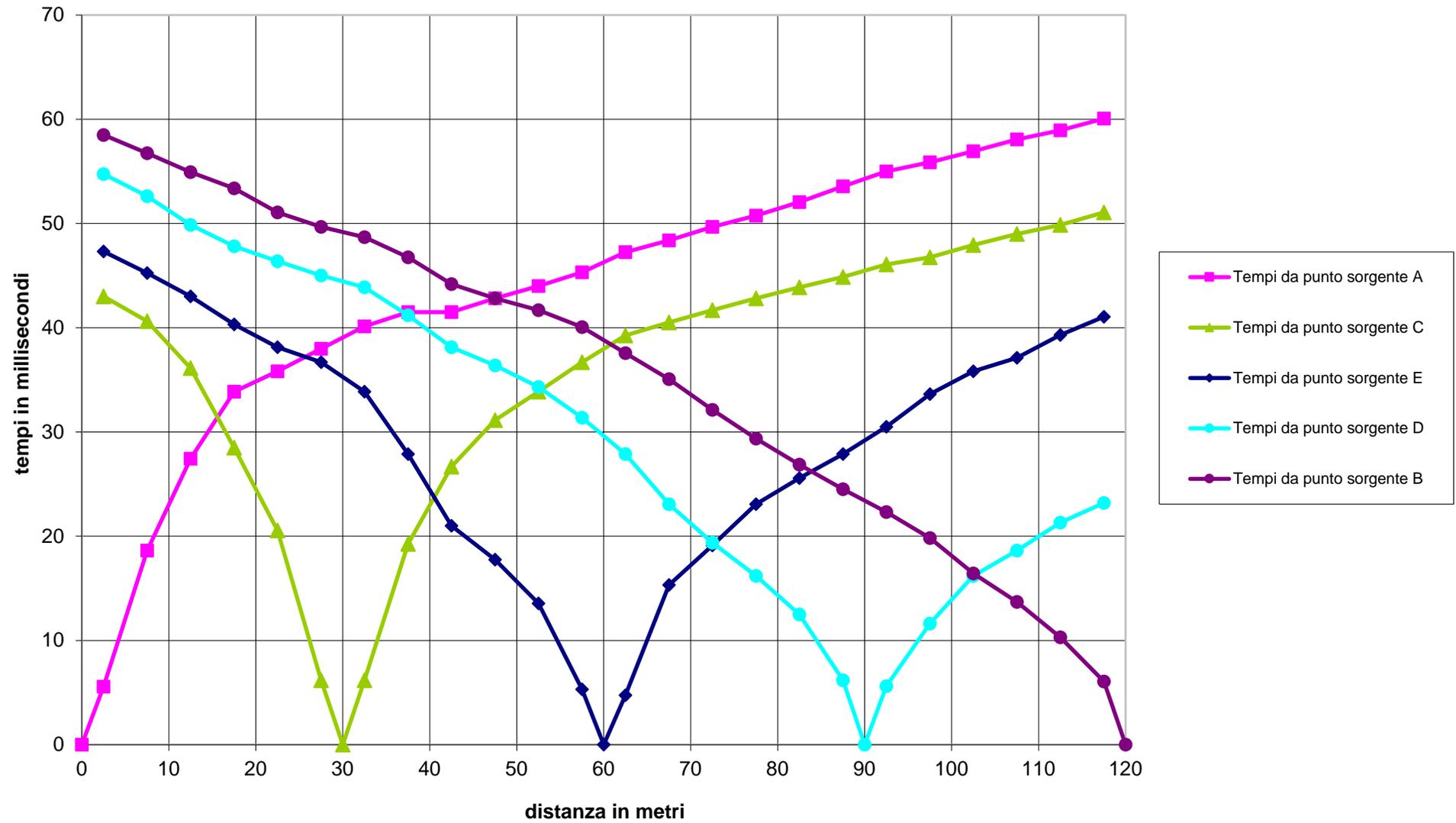
Dromocrone onde longitudinali - Profilo sismico 4



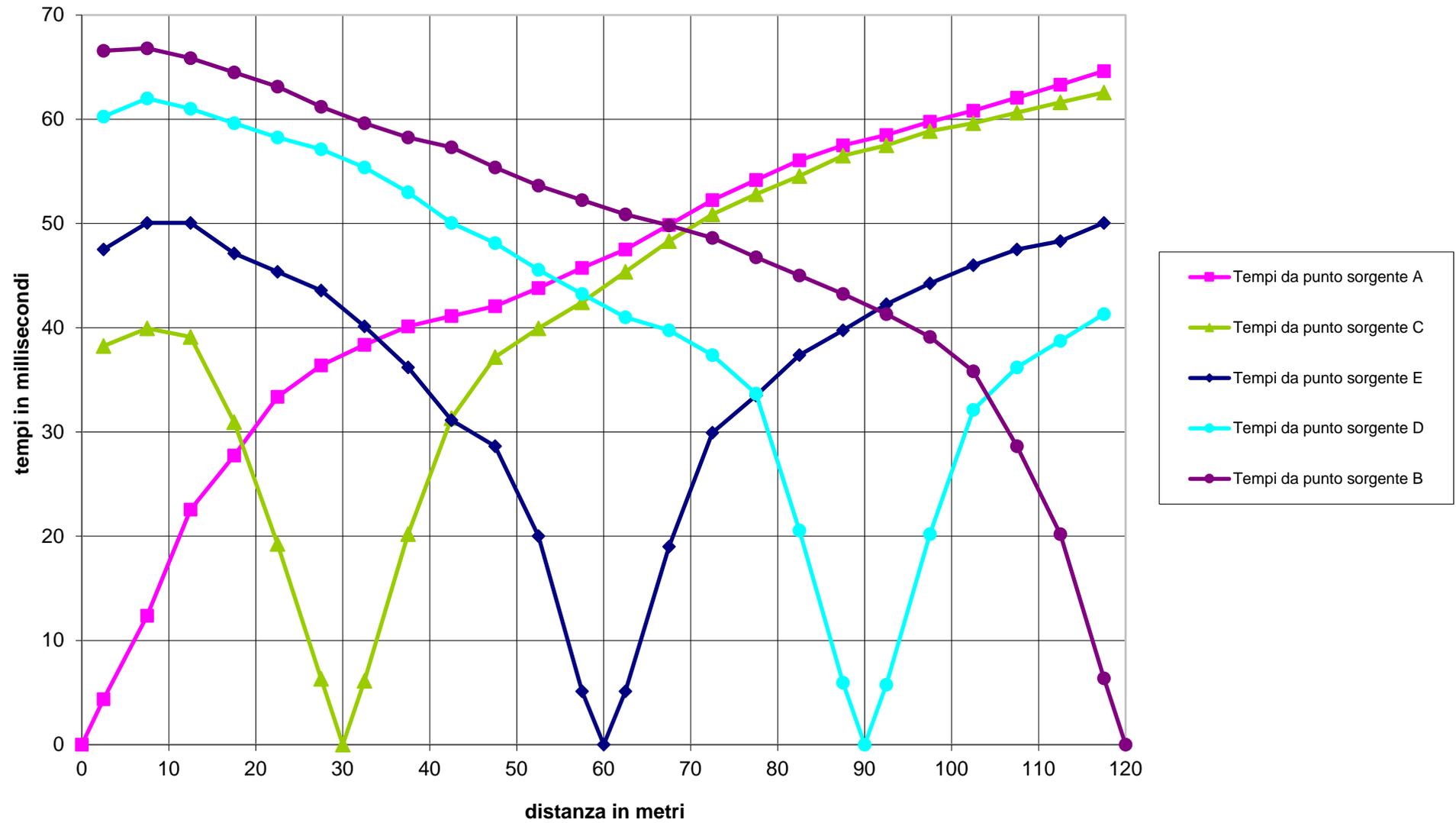
Dromocrone onde longitudinali - Profilo sismico 3



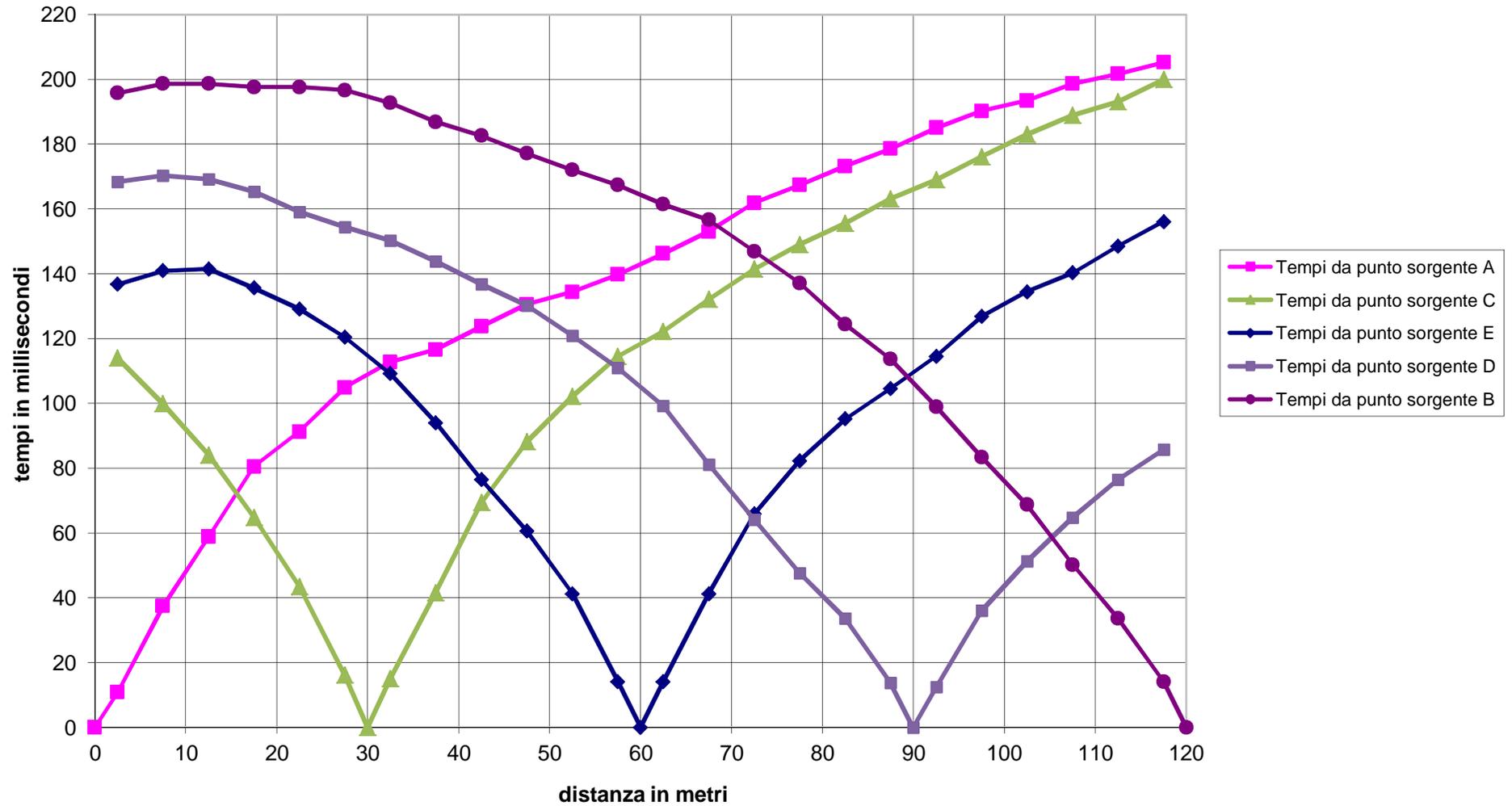
Dromocrone onde longitudinali - Profilo sismico 2



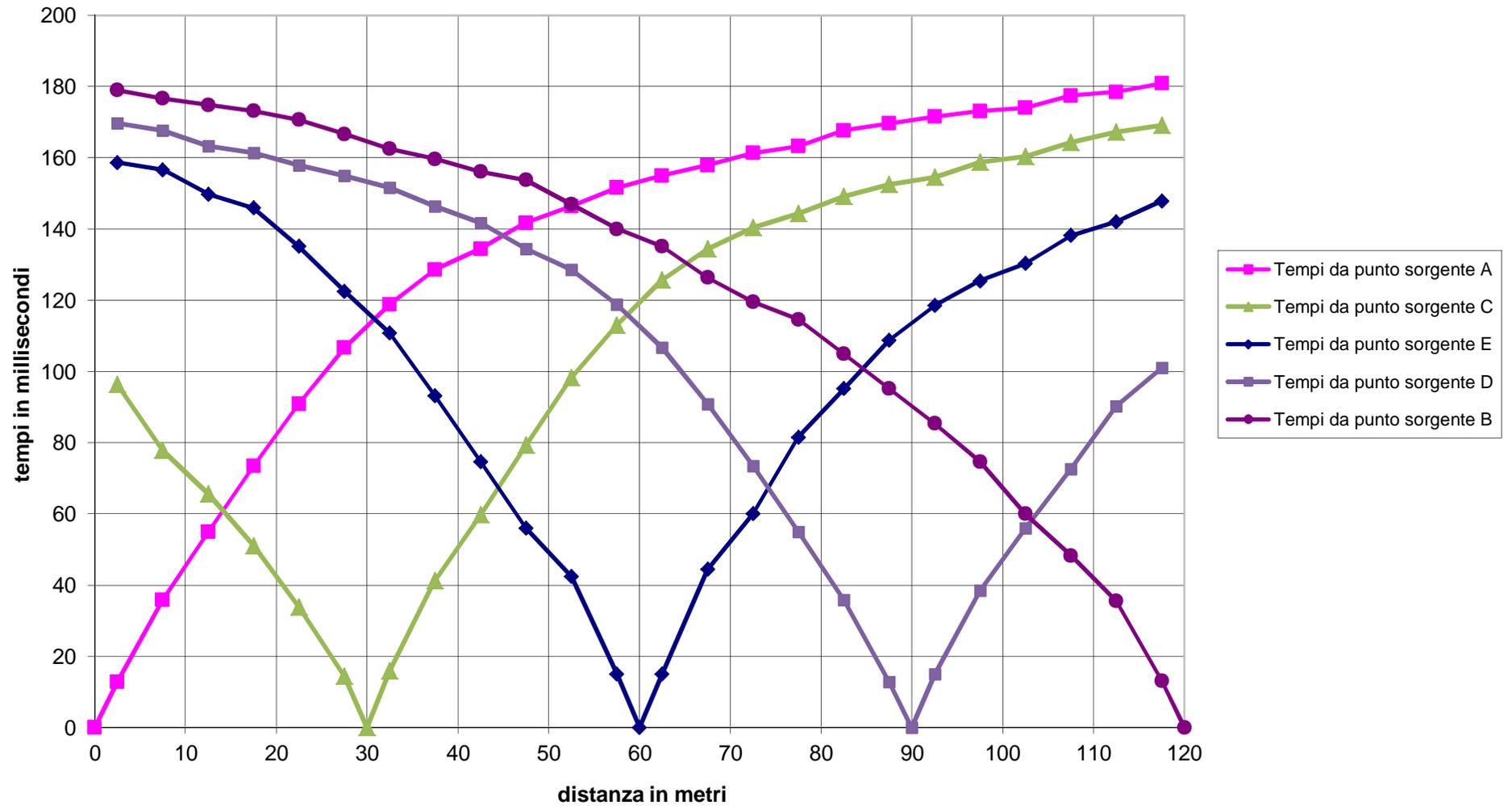
Dromocrone onde longitudinali - Profilo sismico 1



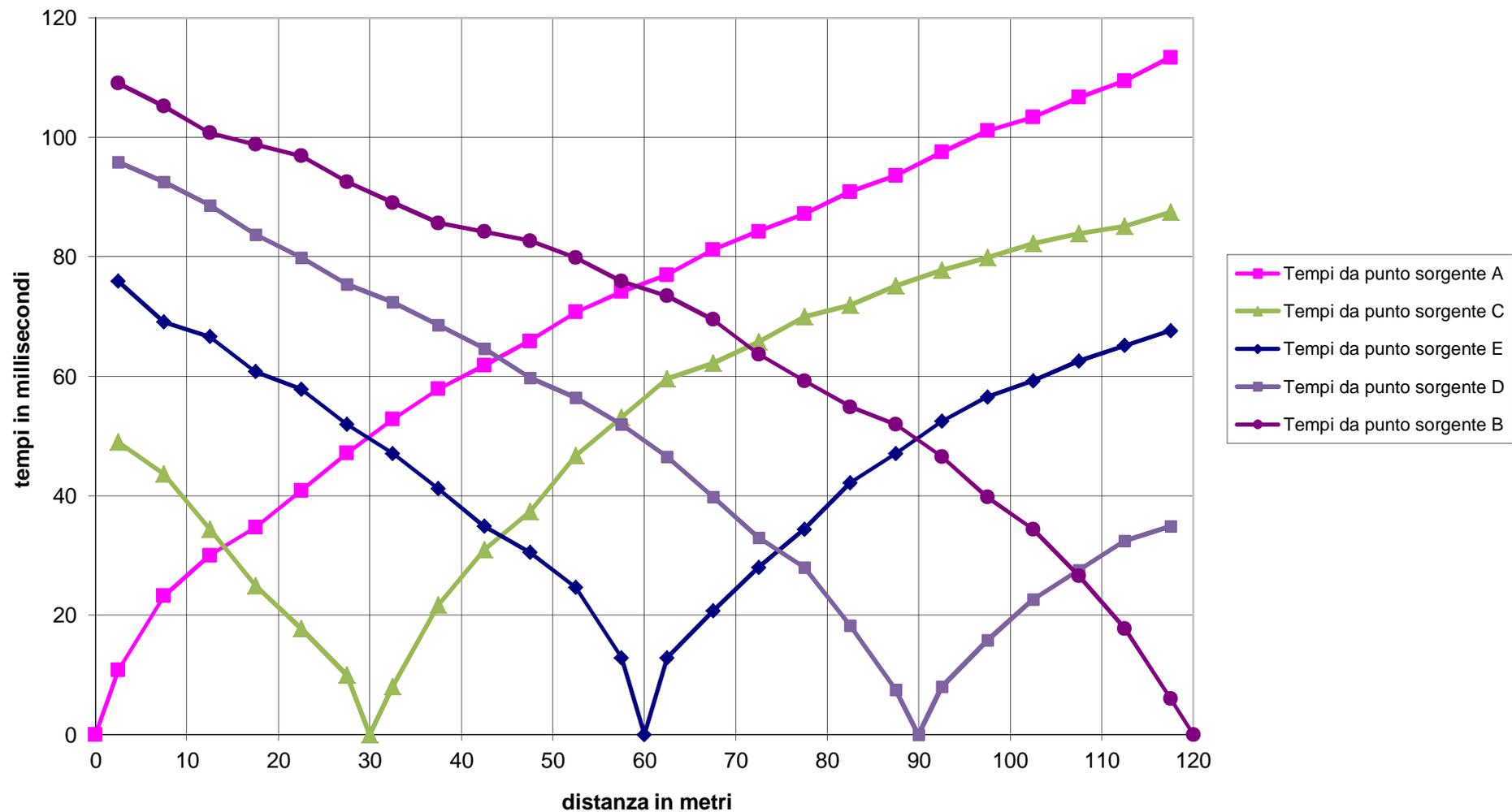
Dromocrone profilo sismico 1 - ONDE TRASVERSALI



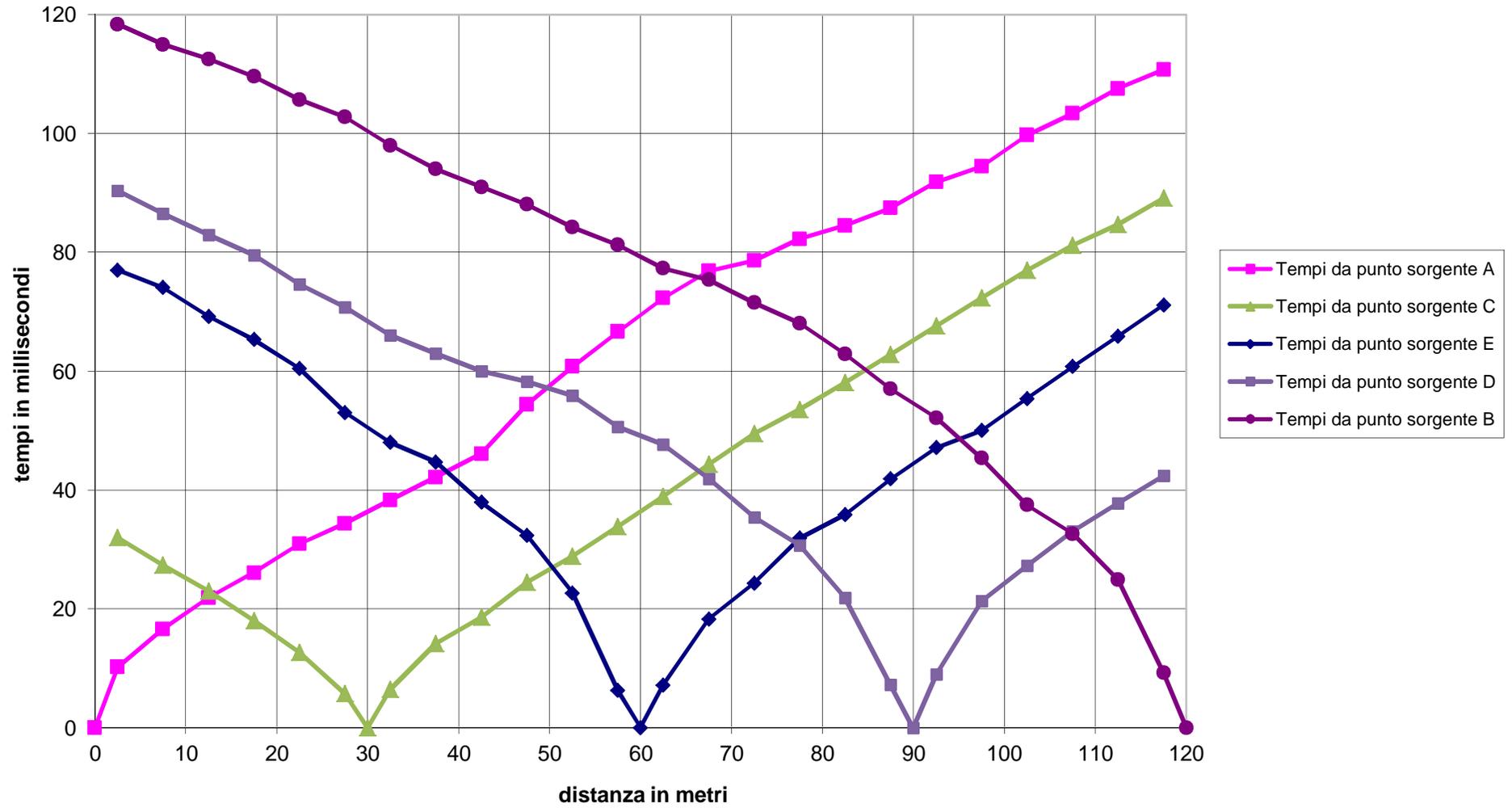
Dromocrone profilo sismico 2 - ONDE TRASVERSALI



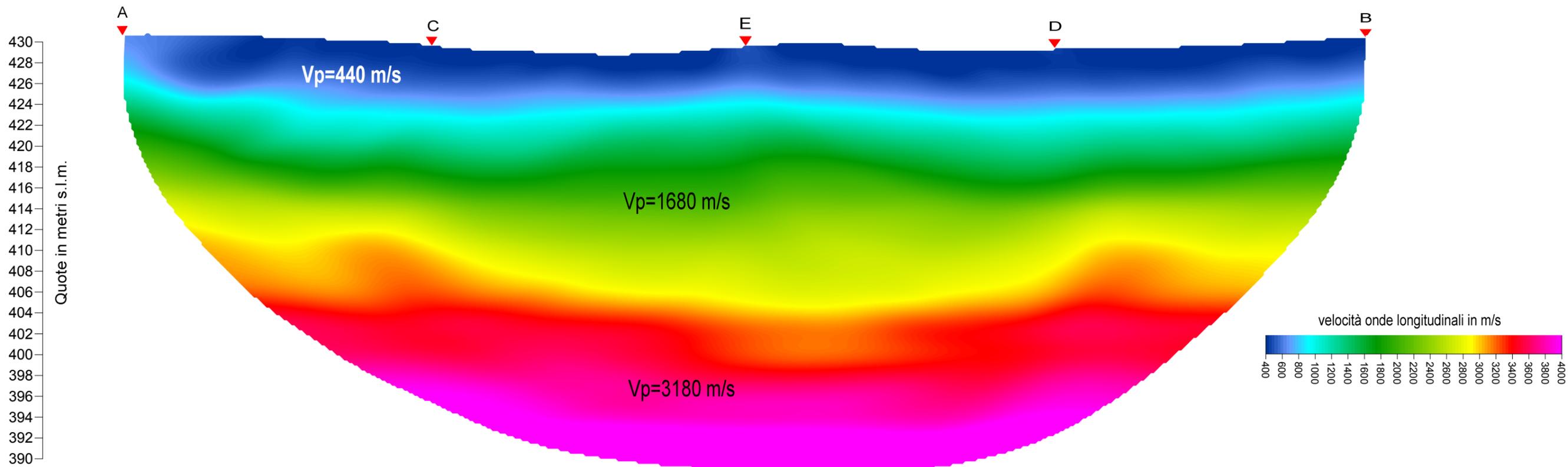
Dromocrone profilo sismico 3 - ONDE TRASVERSALI



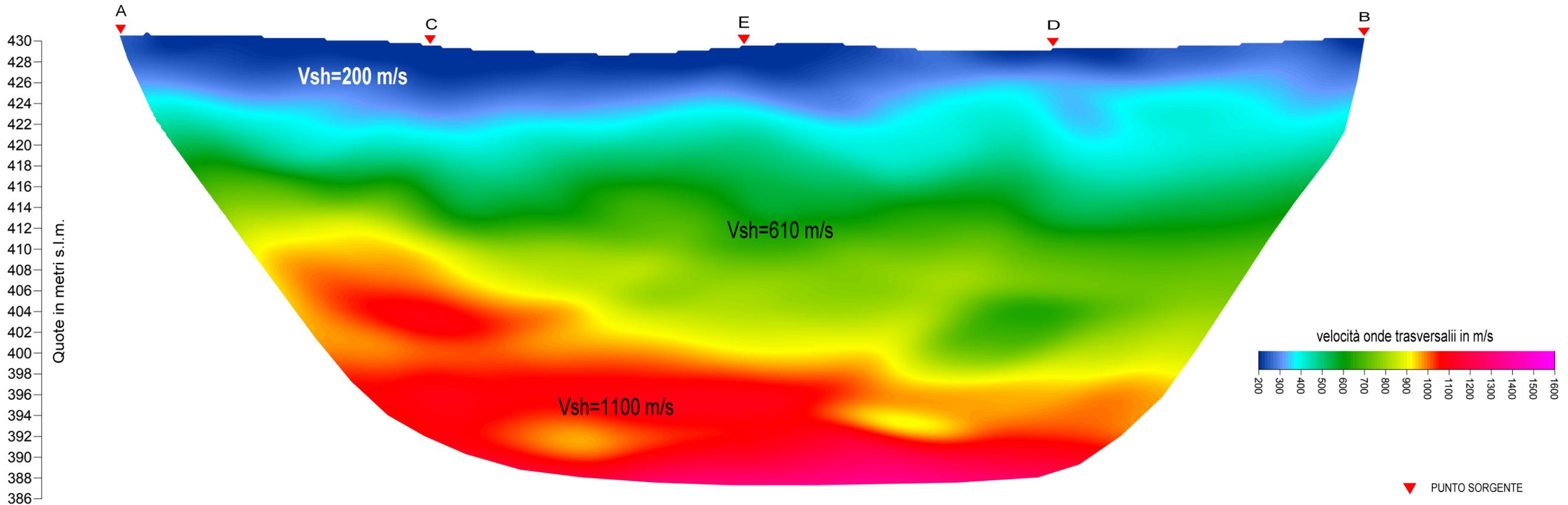
Dromocrone profilo sismico 4 - ONDE TRASVERSALI

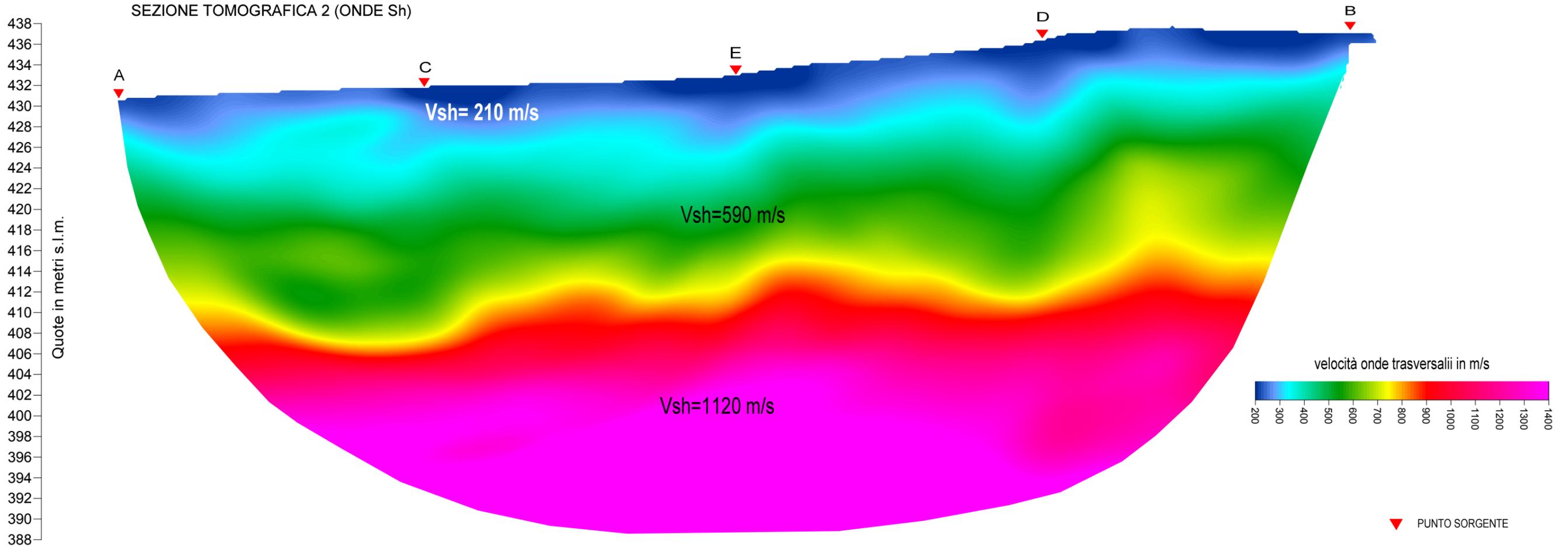
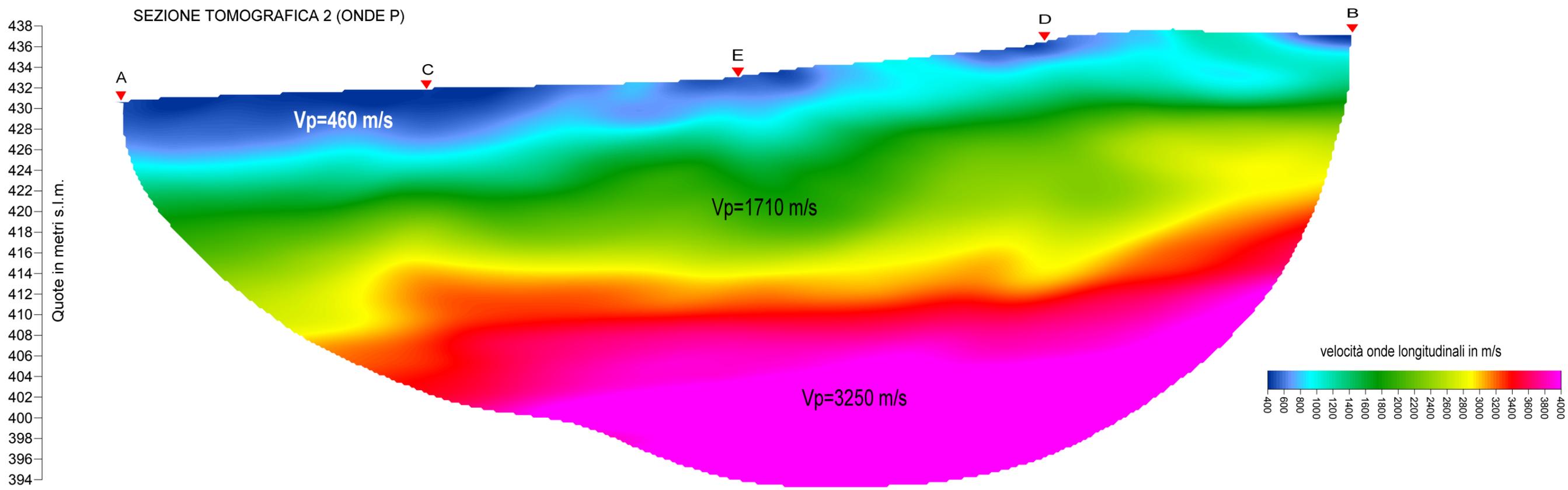


SEZIONE TOMOGRAFICA 1 (ONDE P)



SEZIONE TOMOGRAFICA 1 (ONDE Sh)

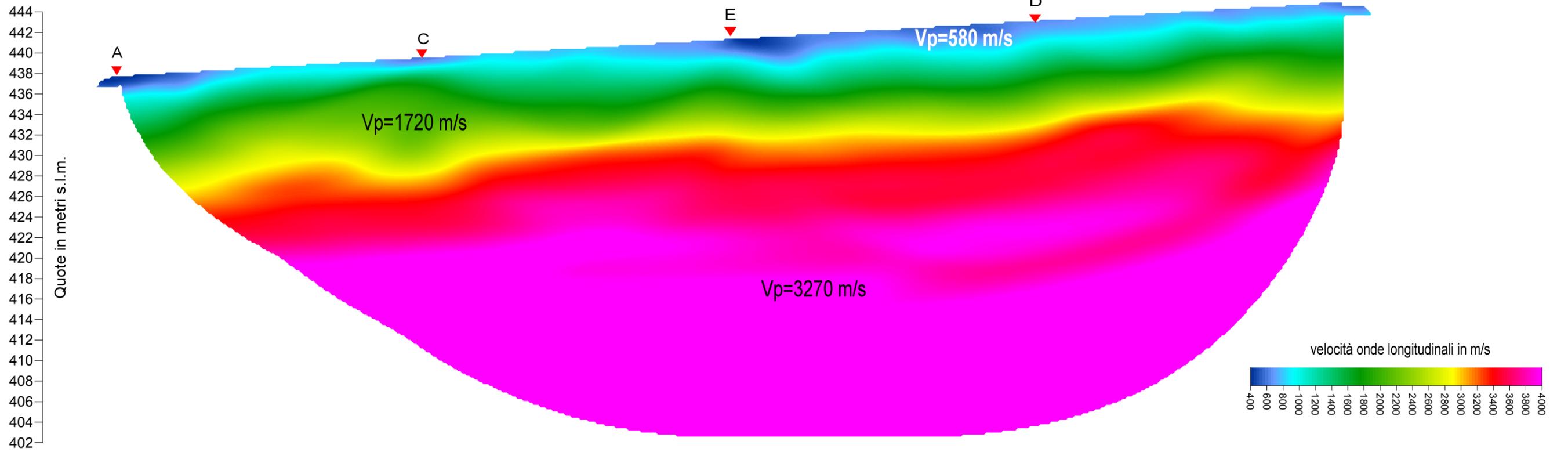




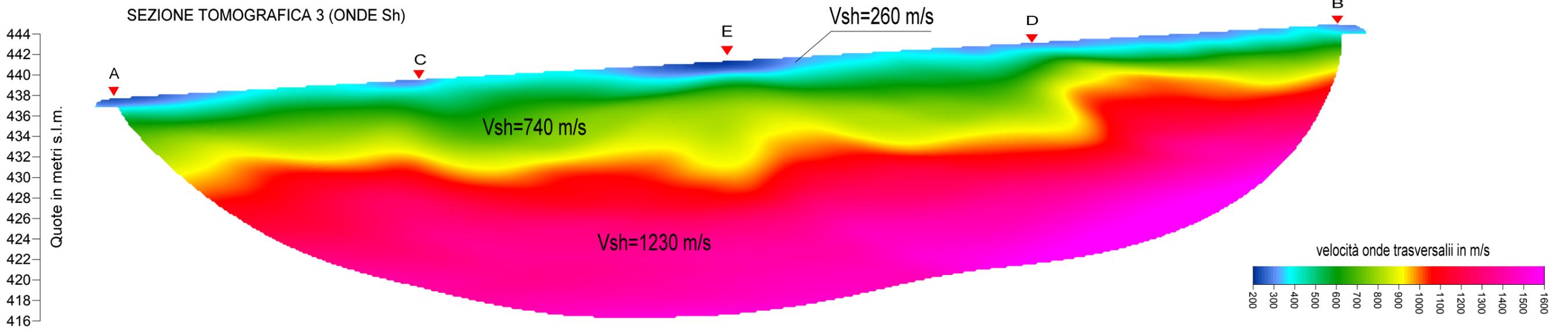
▼ PUNTO SORGENTE



SEZIONE TOMOGRAFICA 3 (ONDE P)



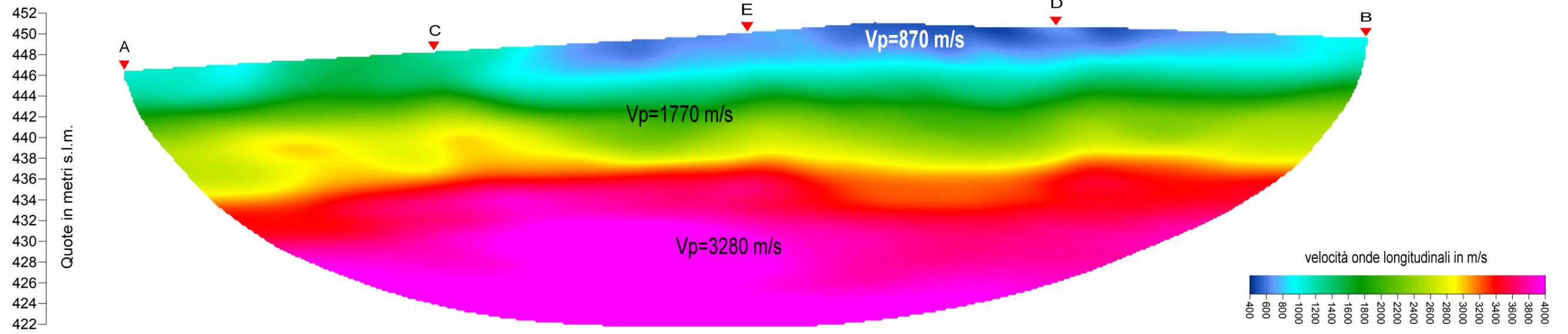
SEZIONE TOMOGRAFICA 3 (ONDE Sh)



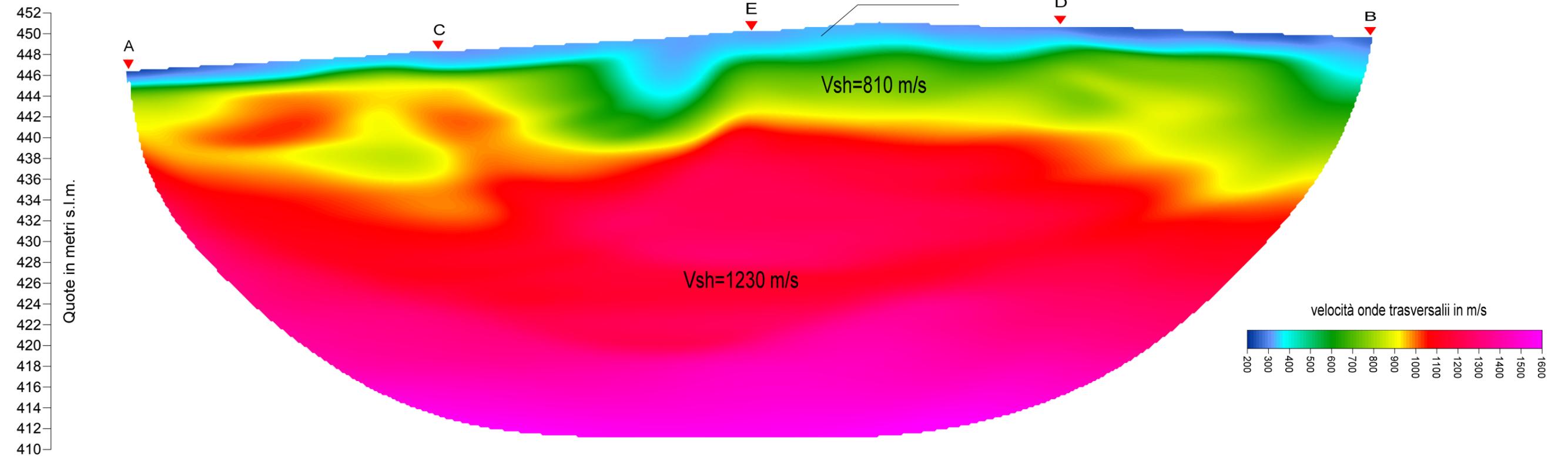
▼ PUNTO SORGENTE



SEZIONE TOMOGRAFICA 4 (ONDE P)



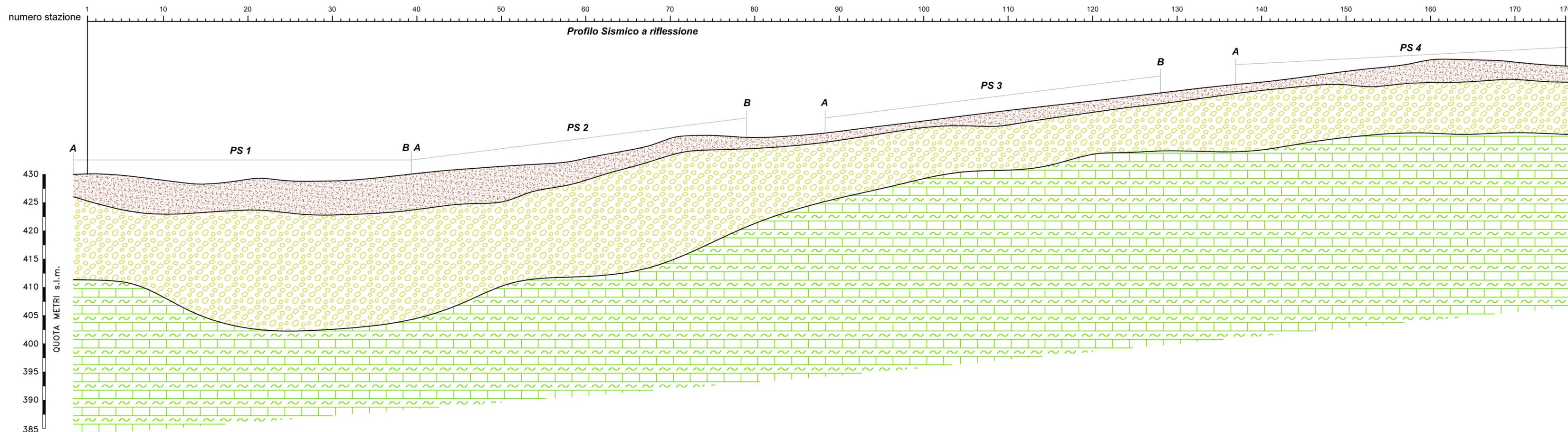
SEZIONE TOMOGRAFICA 4 (ONDE Sh)



▼ PUNTO SORGENTE



SEZIONE SISMOSTRATIGRAFICA



PS n° Profilo sismico a rifrazione.

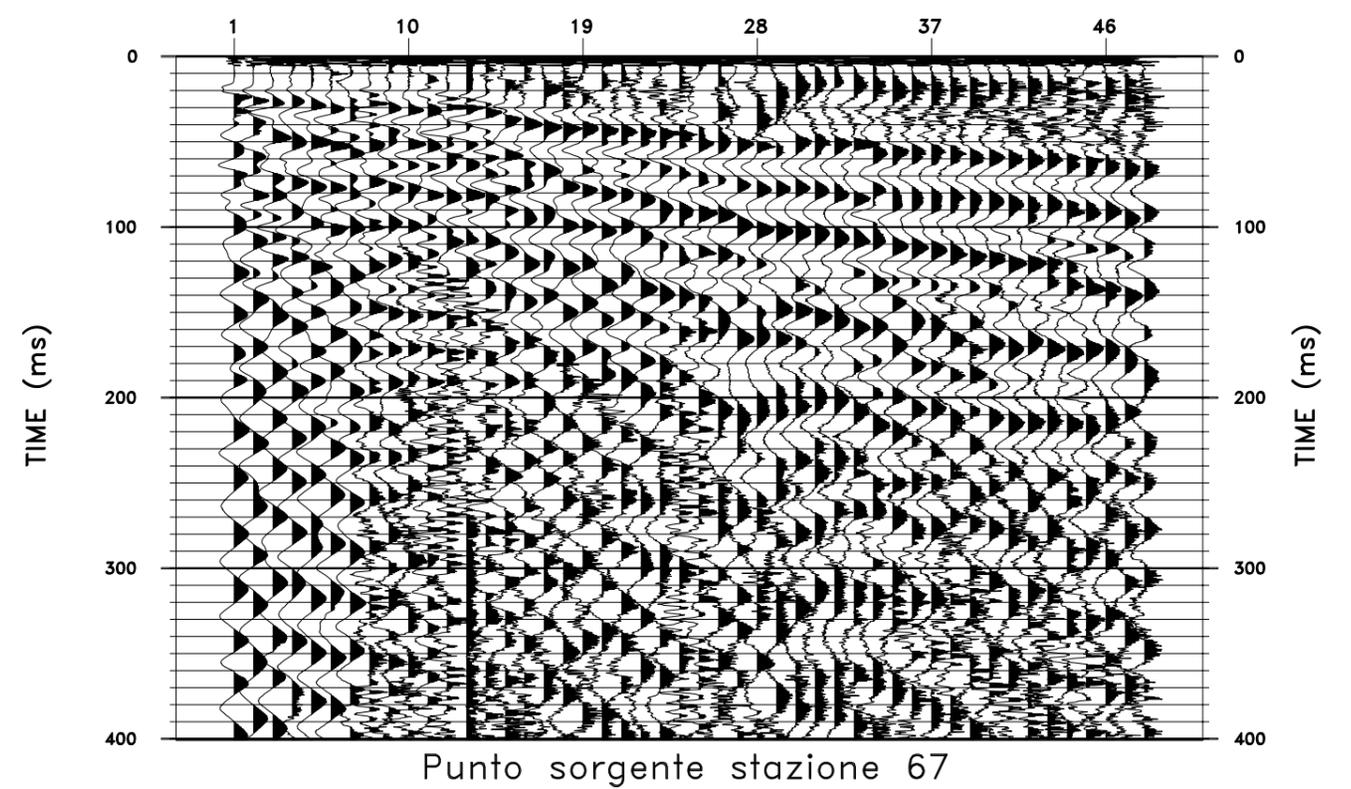
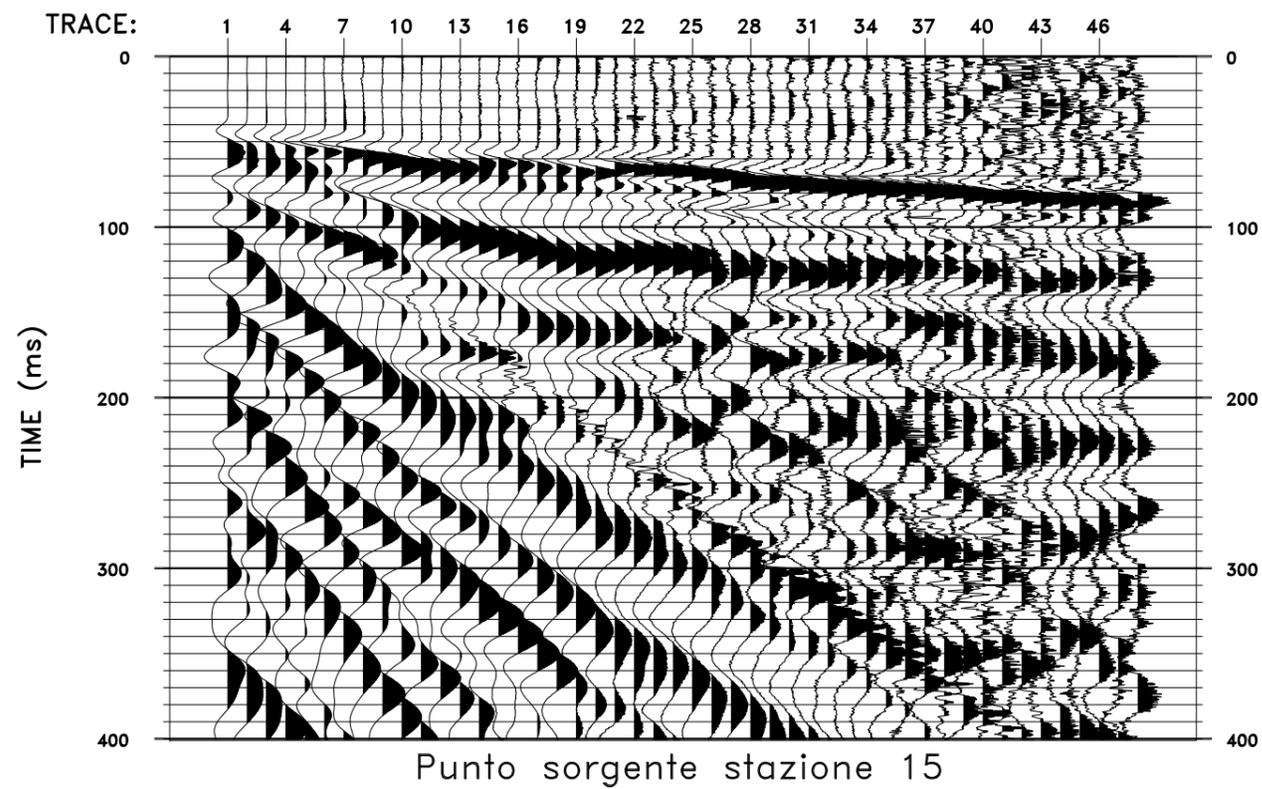
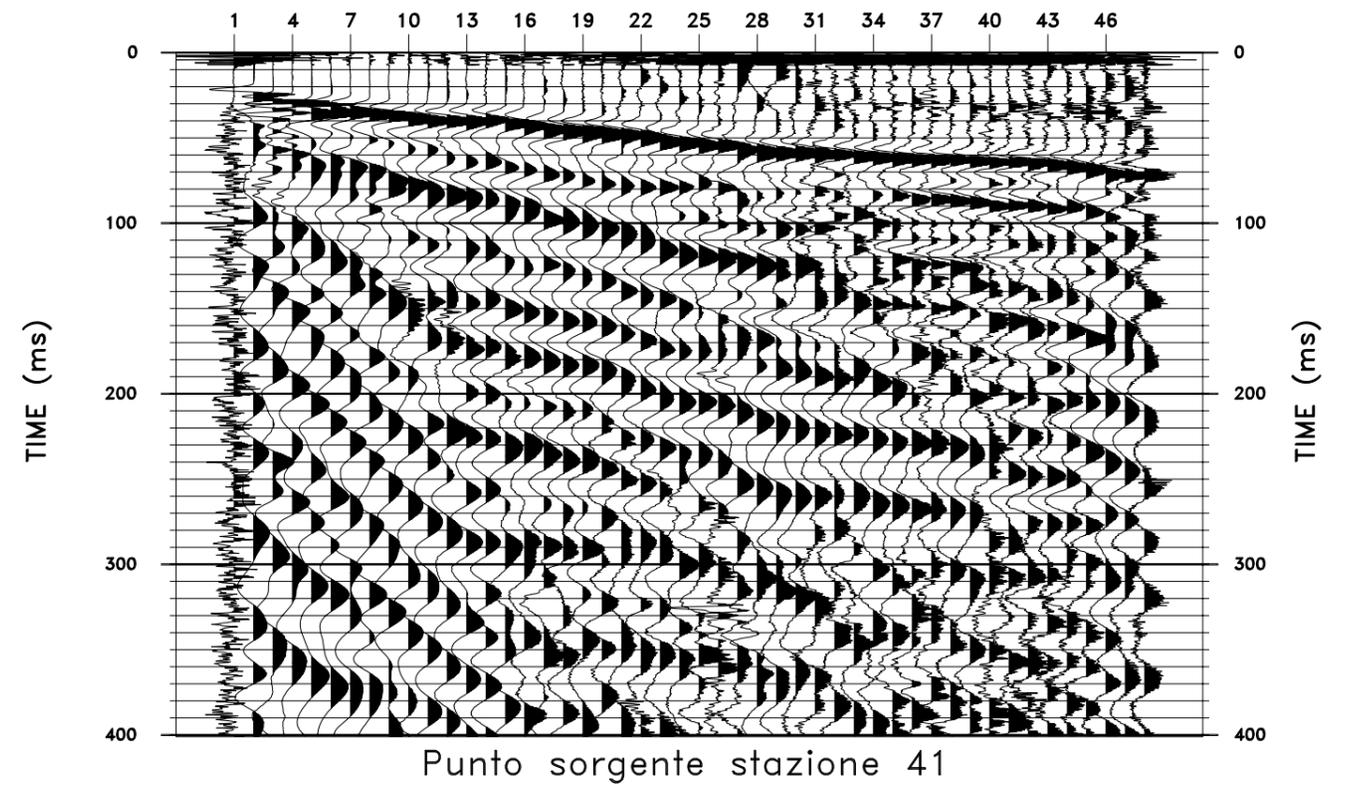
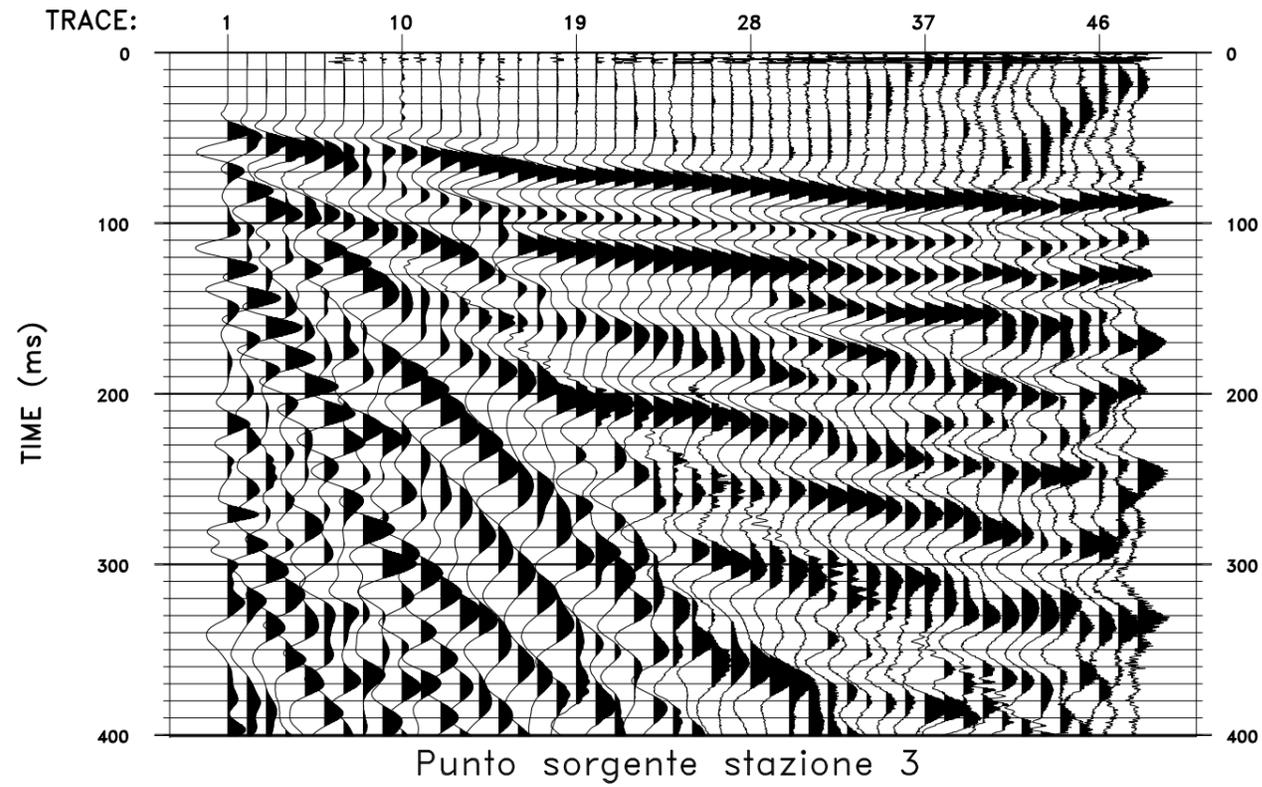
ASSOCIAZIONI LITOLOGICHE

-  Terreno vegetale frammisto a ghiaie
-  Conglomerato
-  Calcarea marnoso e/o alternanza di livelli conglomeratici e strati rocciosi tenaci



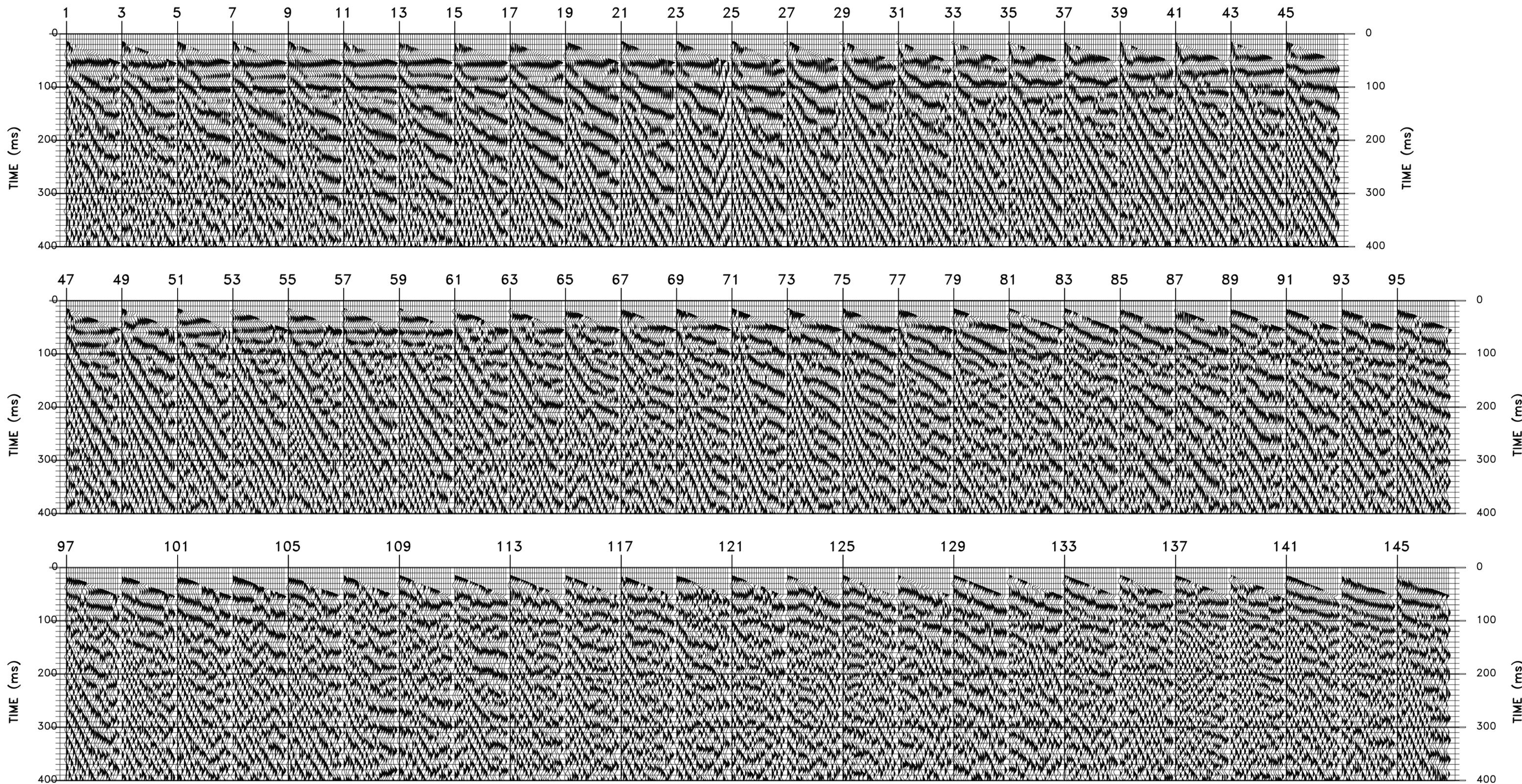
Scala orizzontale 1:1000
Scala verticale 1:500

Esemopi di sismogramma a 48 tracce

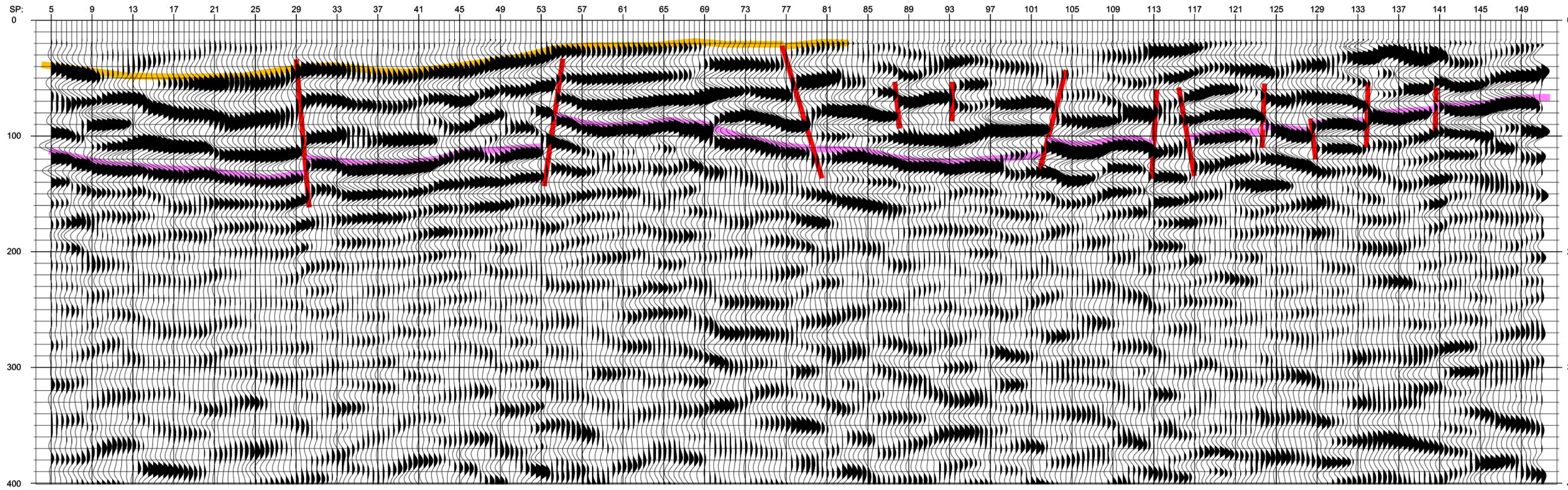


SISMOGRAMMI A 24 TRACCE UTILIZZATI
PER L'ANALISI IN COMMON MID POINT

Stazioni sorgente sismica



NUMERO STAZIONI

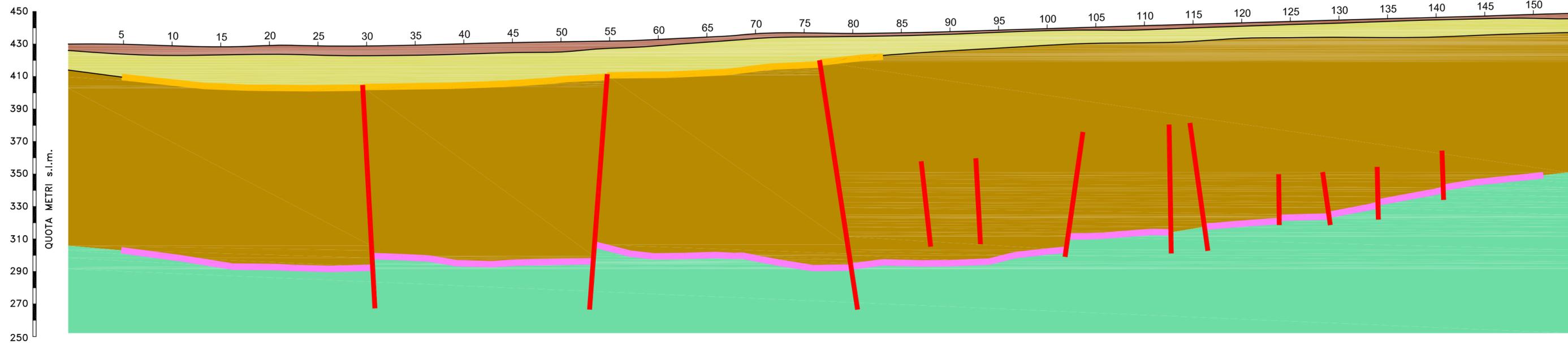


ANALISI PROSPEZIONE
SISMICA A RIFLESSIONE

SEZIONE TEMPO

TIME (ms)

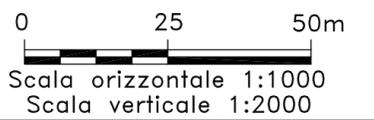
NUMERO STAZIONI



SEZIONE PROFONDITA'

dati estrapolati dall'indagine di sismica a rifrazione

-  Discontinuita' verticali
-  Strati riflettenti
-  Terreno vegetale frammisto a ghiaie
-  Conglomerato
-  Calcare marnoso e/o alternanza di livelli conglomeratici e strati rocciosi tenaci
-  Substrato calcareo



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE IN ONDE LONGITUDINALI (ONDE P)-TRASVERSALI (ONDE SH) E SISMICA A RIFLESSIONE



Energizzazione onde longitudinale (Onde P) con generatore ad energia propulsiva di onde sismiche "Peg40"



Energizzazione onde longitudinale (Onde P) con generatore ad energia propulsiva di onde sismiche "Peg40"



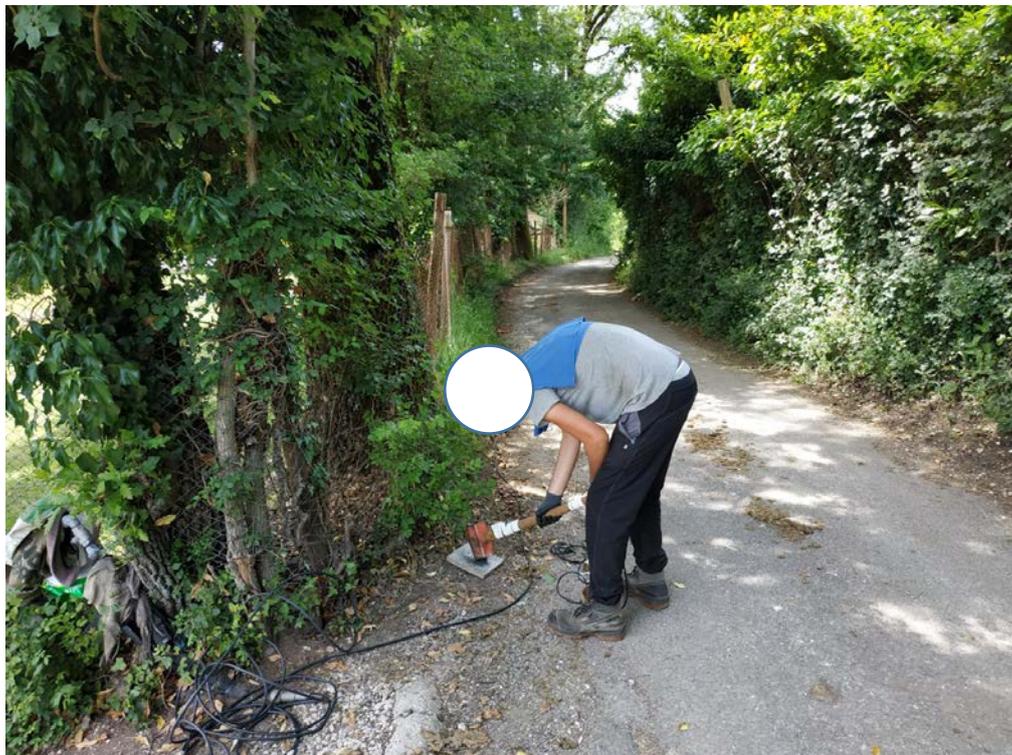
Acquisizione dati misure sismiche



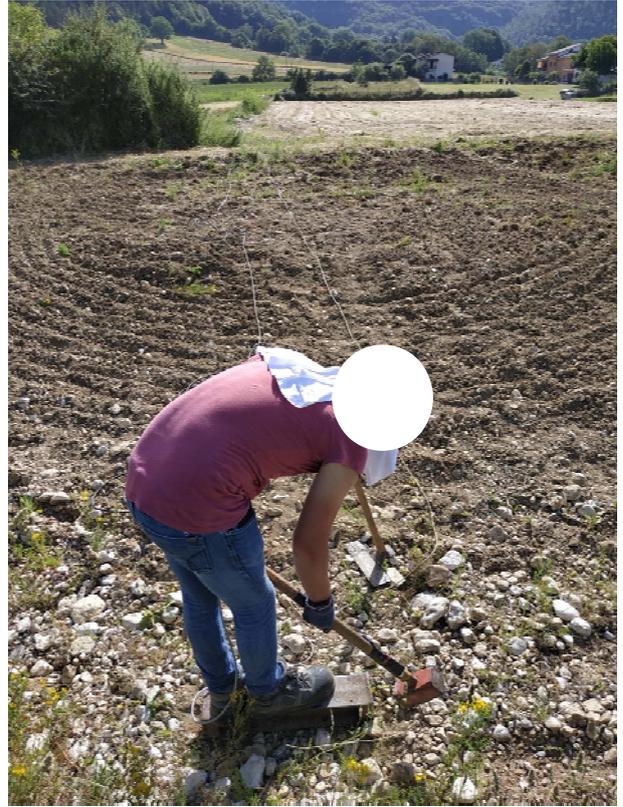
Attraversamento su S.P. n° 34



Energizzazione con mazza battente onde longitudinale (Onde P)



Energizzazione con mazza battente onde longitudinale (Onde P)



Energizzazione con mazza battente onde trasversali (Onde SH)



Acquisizione dati misure sismiche