

**REGIONE  
TOSCANA**



**DIREZIONE DELLE POLITICHE MOBILITA'  
INFRASTRUTTURE E TRASPORTO  
PUBBLICO LOCALE**

## **S.R. n° 70 "Della Consuma" Miglioramento della Sicurezza**

**Provincia di Firenze  
Comune di Pelago**



### **PROGETTO ESECUTIVO**

### **RELAZIONE GEOLOGICA ALLEGATO C INDAGINI SISMICHE**

NOME FILE:

Riferimenti amministrativi

PRATICA N.

**R.U.P.: Ing. Antonio De Crescenzo**

**SCALA:**

Data revisione elaborato:

**Gennaio 2017**

**PROGETTISTI:**

Ing. Lorenzo Ballerini  
Geom. Fabio Fallani

**PROGETTISTA STRUTTURE:**

Ing. Lorenzo Ballerini  
Ing. Alessio Gensini

**COLLABORATORI:**

Ing. Vincenzo Simeoni  
Arch. Mario Palmieri  
Geom. Francesco Senatori

**GEOLOGO**

Geol. Manuela Germani

**COORDINATORE DELLA  
SICUREZZA IN FASE DI  
PROGETTAZIONE:**

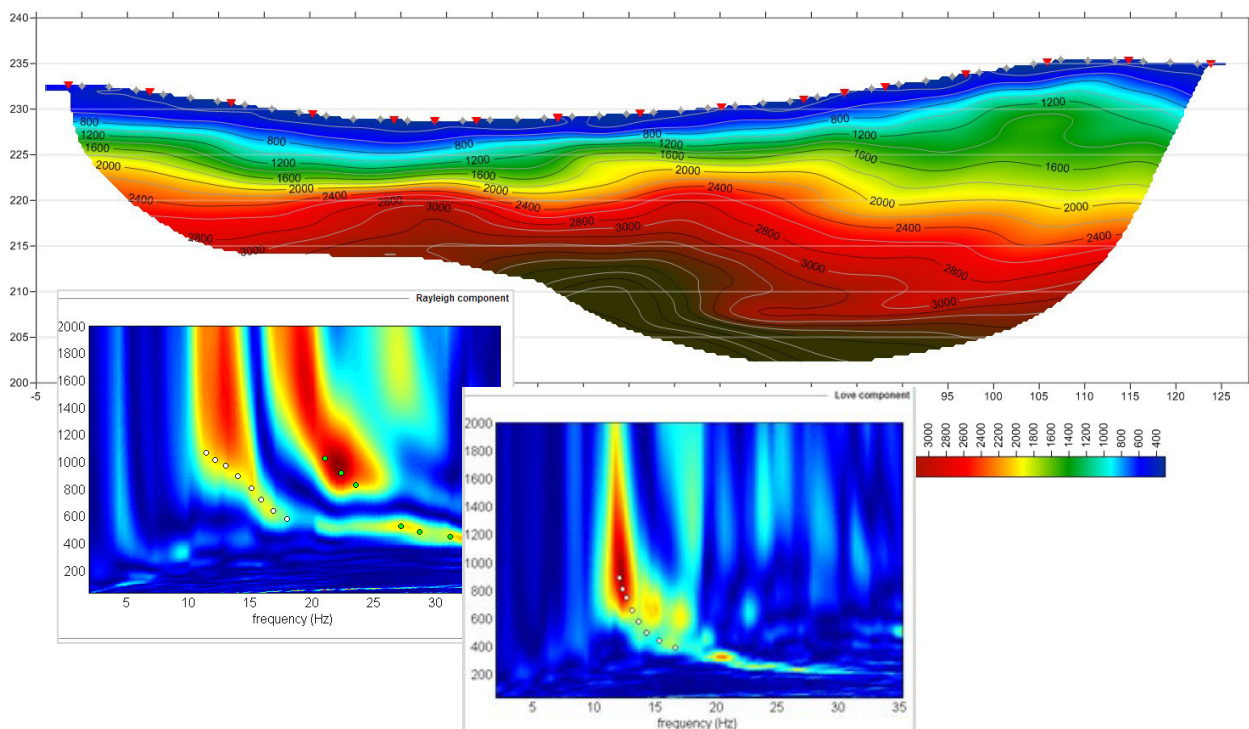
Ing. Simone Risito

**SETTORE PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE VIABILITA' REGIONALE  
FIRENZE - PRATO**



## Comune di Pelago

### Progetto definitivo per il miglioramento della sicurezza della S.R. n.70 della Consuma



### Indagini geofisiche integrate di supporto alla caratterizzazione sismica dei terreni

GIUGNO 2016

**ENKI**  
INGEGNERIA

Enki s.r.l.  
Via Giambattista Lulli 62  
50144 Firenze  
Tel. e fax 055 3247209  
P.IVA 05008670480 - REA C.C.I.A.A. Firenze n. 510082  
Reg.Impr. Firenze n. 9079/2000



**ENKI s.r.l.**  
Società di Ingegneria Ambientale e Civile  
Via Giambattista Lulli, 62 - 50144 FIRENZE  
Tel. 055.3247209 - Fax 055.3289276  
Mail: info@enki.it  
REA CCIAA FI n. 510082 - Reg. Imp. FI n. 9079/2000  
Partita IVA 05008670480

---

## SOMMARIO RELAZIONE TECNICA INTERPRETATIVA

SOMMARIO RELAZIONE TECNICA INTERPRETATIVA .....	1
INDAGINI GEOFISICHE INTEGRATE DI CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEI TERRENI .....	2
1 Introduzione .....	2
1.1 Premesse .....	2
1.2 Contesto .....	3
1.3 Scopo delle indagini .....	4
1.4 Descrizione dei contenuti della relazione .....	4
2 Caratterizzazione sismica .....	4
2.1 Tomografia sismica in onde P ed SH .....	5
2.2 Strumentazione e metodologia per sismica a rifrazione e tecnica tomografica .....	6
2.3 Prospezione sismica attiva frequenziale - tecnica MASW .....	8
2.3.1 Strumentazione e metodologia .....	10
3 Elaborazione dati e risultati .....	12
3.1 Elaborazione dei dati sismici con tecnica tomografica .....	12
3.2 Elaborazione dei dati di sismica frequenziale – tecnica MASW .....	13
I. ALLEGATO GRAFICO: STENDIMENTI SISMICI ST1 E ST2 .....	16
INQUADRAMENTO CARTOGRAFICO DI DETTAGLIO DELLE INDAGINI - TOMOGRAFIE ONDE P ED S	16
II. ALLEGATO GRAFICO: STESE SISMICHE ST3A E ST03B .....	22
INQUADRAMENTO CARTOGRAFICO DI DETTAGLIO DELLE INDAGINI - TOMOGRAFIE ONDE P .....	22
III. ALLEGATO GRAFICO: ANALISI MASW ST2A E ST3A .....	26
SISMOGRAMMI – CURVE DISPERSIONE – PROFILI Vs .....	26
REPORT FOTOGRAFICO .....	33

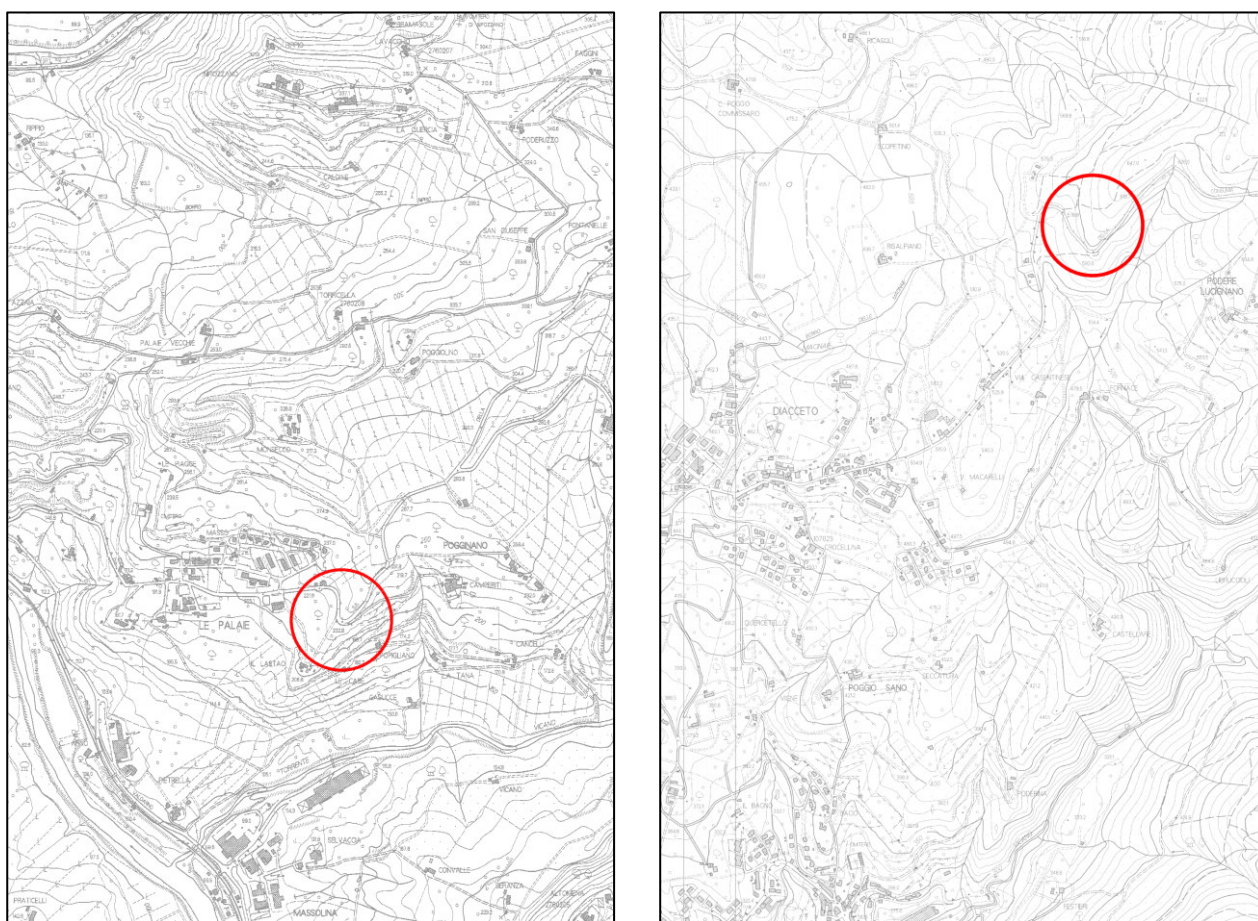


## INDAGINI GEOFISICHE INTEGRATE DI CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEI TERRENI

### 1 Introduzione

#### 1.1 Premesse

Il presente documento riferisce sulle prove geofisiche, di tipo sismico attivo, condotte a supporto della caratterizzazione litostratigrafica dei terreni relativamente al progetto per il miglioramento della sicurezza della S.R. n.70 della Consuma in loc. Camperiti e Fonte al Cerro nel comune di Pelago (FI), come indicato nella figura seguente.



**Figura 1-1: Inquadramento cartografico indagini scala 1:25000-  
Area Camperiti (sinistra) e Area Fonte al Cerro (Destra)**



## 1.2 Contesto

In base alle indicazioni ricevute e al sopralluogo effettuato, ed in ragione del particolare e specifico contesto geomorfologico, è stato deciso di realizzare la seguente campagna di indagini:

- esecuzione di 6 stese sismiche, in particolare:
  - nell'area d'indagine di **Camperiti**:
    - 2 stese sismiche a 24 geofoni con passo intergeofonico di 3 m e offset di 15 m, con sovrapposizione di 6 geofoni e restituzione di un unico profilo tomografico 2D come da schema riportato in Figura 1-2 (**stendimento sovrapposto ST1**);
    - 2 stese sismiche a 24 geofoni con passo intergeofonico di 3 m e offset di 15 m, con sovrapposizione di 6 geofoni e restituzione di un unico profilo tomografico 2D come da schema riportato in Figura 1-2 (**stendimento sovrapposto ST2**).

Gli stendimenti sono stati energizzati con botta verticale e acquisizione con geofoni verticali con restituzione di un profilo tomografico 2D delle onde di compressione  $V_p$  e con energizzazione orizzontale, acquisizione con geofoni orizzontali e restituzione di un profilo tomografico 2D delle onde di taglio  $V_s$ .

- Nell'area d'indagine **Fonte al Cerro**:
  - 2 stese sismiche a 24 geofoni con passo intergeofonico di 3 m e offset di 15 m, con energizzazione verticale acquisizione con geofoni verticali con restituzione di un profilo tomografico 2D delle onde di compressione  $V_p$  (**stendimenti ST3A e ST3B**).

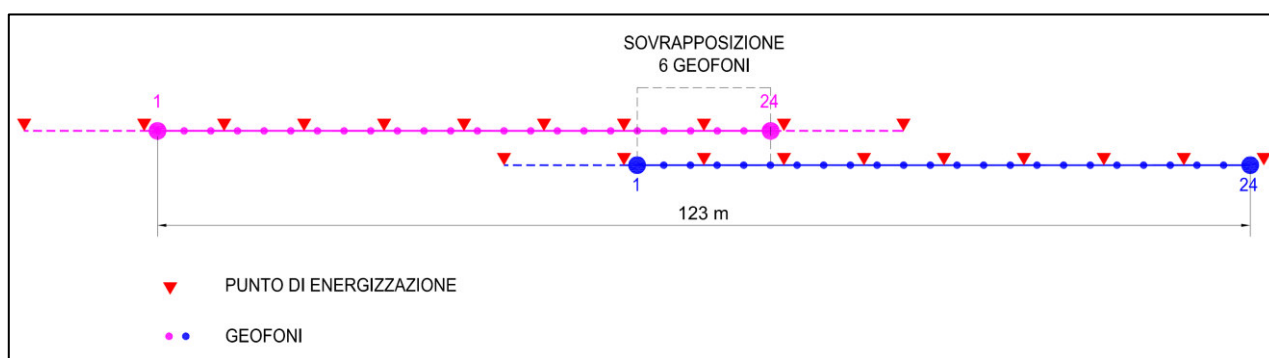


Figura 1-2: Schema stendimento sovrapposto

- 2 Prove MASW (Multistation Analysis of Surface Waves) nelle due aree d'indagine, per la determinazione di profili di velocità  $V_s$  nel sottosuolo, che hanno permesso di ottenere la classificazione del sottosuolo ai sensi della vigente normativa NCT 2008 “*Norme Tecniche per le Costruzioni DM 14/01/2008*”.

Si rimanda agli allegati grafici per l'inquadramento di dettaglio delle indagini.

### **1.3 Scopo delle indagini**

La caratterizzazione sismica del terreno, è stata eseguita attraverso prove geofisiche integrate e complementari fra loro, di cui:

- Sismica a rifrazione con onde P, con restituzione secondo tecniche di analisi a rifrazione classica e tomografica, della velocità  $V_p$  nel sottosuolo;
- Sismica a rifrazione con onde S, con restituzione secondo tecniche di analisi a rifrazione classica e tomografica, della velocità  $V_s$  nel sottosuolo;
- Prove MASW (Multistation Analysis of Surface Waves), per determinazione di profili di velocità  $V_s$  nel sottosuolo, che hanno permesso di ottenere la classificazione del sottosuolo ai sensi della vigente normativa NCT 2008 *“Norme Tecniche per le Costruzioni DM 14/01/2008”*;

### **1.4 Descrizione dei contenuti della relazione**

La presente relazione illustrerà la metodologia di acquisizione, le tecniche e modalità di inversione/interpretazione, e verranno evidenziati i risultati ottenuti con la campagna di prospezione geofisica sismica.

Dopo un quadro descrittivo delle tecniche di indagine, riportate nel Capitolo 2 (Caratterizzazione sismica), si riportano le modalità di interpretazione ed analisi dei dati acquisiti e i risultati, di cui al Capitolo 3 (Elaborazione dati e risultati).

Il documento è poi completato con allegati grafici in cui sono riportati in dettaglio i risultati ottenuti.

## **2 Caratterizzazione sismica**

Ai fini di una completa caratterizzazione sismica delle aree oggetto di indagine, i dati sono stati acquisiti secondo modalità che hanno permesso l'inversione ed interpretazione sequenziale e correlata, secondo diverse tecniche di cui:

1. Tomografia sismica con restituzione di profilo tomografico 2D delle onde di compressione  $V_p$ ;
2. Tomografia sismica con restituzione di profilo tomografico 2D delle onde di taglio  $V_s$ ;
3. Tecnica MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) che sono una derivazione delle tecniche SASW (Spectral Analysis of Surface Waves) che si basano sull'elaborazione delle proprietà spettrali delle onde di superficie per la costruzione di un modello monodimensionale verticale di velocità di propagazione delle onde di taglio  $V_s$ .

## 2.1 Tomografia sismica in onde P ed SH

La tomografia sismica, per raggi diretti, è una tecnica d'indagine che permette l'individuazione di anomalie nella velocità di propagazione delle onde sismiche con un potere risolutivo nettamente superiore ad altri metodi, offrendo la possibilità della ricostruzione, con elevato grado di qualità, di anomalie stratigrafiche, anche particolarmente complesse non risolvibili con differenti tecniche d'indagine.

Per le procedure di realizzazione di immagini tomografiche è necessario utilizzare un maggior numero di sorgenti di energizzazione e di punti di ricezione delle onde sismiche, che permettano una distribuzione dei raggi sismici omogenea e con una densità che viene predefinita in funzione del "target" da raggiungere.

Le tecniche operative possono essere molto diverse, si può infatti operare:

- a livello del piano di campagna disponendo i ricevitori (geofoni e idrofoni) ed i trasmettitori (punti di scoppio) su linee parallele;
- utilizzando due fori, residui di sondaggi geognostici, (tomografia cross-hole), dove previo opportuno condizionamento si alloggiano i ricevitori ed i trasmettitori;
- utilizzando un solo foro (sondaggio sismico tomografico), in cui sono alloggiati i ricevitori, eseguendo una serie di tiri a distanze crescenti dall'imboccatura del foro stesso.

Per il trattamento dei dati per la ricostruzione tomografica dell'immagine si utilizza una suddivisione dell'area di studio in celle elementari, calcolando per ciascuna di queste un valore di velocità congruente con il tempo di tragitto medio relativo ai percorsi dei raggi sismici che le attraversano; la presentazione delle elaborazioni eseguite dà come risultato una mappa della distribuzione delle velocità sismiche in una sezione piana contenente le sorgenti ed i geofoni.

Le classiche prospezioni sismiche si basano sul concetto che le onde acustiche si propagano nei diversi mezzi con velocità differenti.

Generando tali onde in un punto (detto di scoppio) e osservando i loro tempi di arrivo in altri punti predeterminati (detti di registrazione), è possibile ricostruire la distribuzione di velocità e con questa definire dal punto di vista elastico le aree oggetto di studio e individuare anomalie o corpi anomali.

L'applicazione della tecnica tomografica alle misure sismiche permette poi di ricostruire l'andamento di tale caratteristica fisica all'interno di una porzione di spazio non accessibile direttamente e di ottenere come risultati, immagini che visualizzano le non omogeneità incontrate nel mezzo.

Il risultato finale sarà la rappresentazione delle velocità (in m/s) per piani o sezioni indagate, poi ricostruite in 3D, secondo una scala cromatica prefissata, che in genere va dal blu (basse velocità) al magenta (alte velocità). Quanto più il mezzo attraversato dal suono è rigido e incompressibile, tanto maggiore sarà la sua velocità caratteristica.

Valori bassi della velocità mettono in evidenza la variazione negativa delle caratteristiche elastiche



e meccaniche, indicando la presenza di un possibile deterioramento della struttura interna.

## 2.2 Strumentazione e metodologia per sismica a rifrazione e tecnica tomografica

La strumentazione impiegata per le indagini sismiche a rifrazione e per la tecnica tomografica è la seguente:

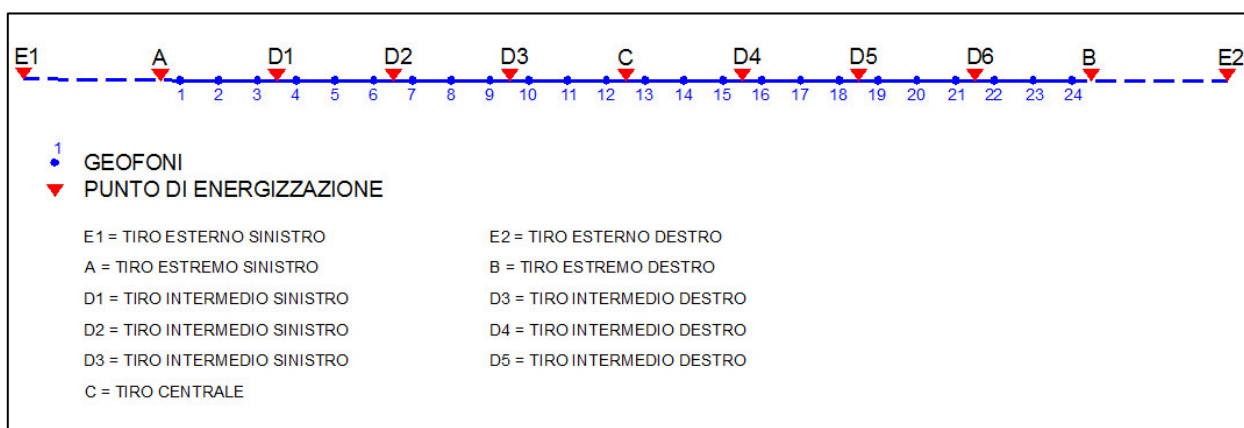
### Onde P:

- Sismografo: amplificatore sismico DMT COMPACT a 24 canali con 24 bit di precisione nella conversione A/D;
- Sorgente: mazza triggerata da 8 kg su piastra di duralluminio e/o maglio battente;
- Ricevitori: Geofoni ad asse verticale GEOSPACE GS-20DX 14 Hz;
- Tempo di campionamento: 1 ms;
- Periodo di acquisizione: 1024 campioni, pari a 1 s.

### Onde SH:

- Sismografo: amplificatore sismico DMT COMPACT a 24 canali con 24 bit di precisione nella conversione A/D;
- Sorgente: mazza triggerata da 8 kg su trave in PEAD con battuta coniugata S1 e S2;
- Ricevitori: Geofoni ad asse orizzontale SM-6/U-B 10 Hz – SENSOR NEDERLAND b.v;
- Tempo di campionamento: 1 ms;
- Periodo di acquisizione: 1024 campioni, pari a 1 s.

Sono state effettuate 3 prospezioni sismiche a rifrazione a 24 geofoni , in onde P e onde SH, come da schema seguente:



**Figura 2-1: Schema delle energizzazioni delle prospezioni sismiche**

Le lunghezze totali, le distanze intergeofoniche e le distanze dei punti di energizzazione rispetto al primo geofono per ognuna delle prospezioni sono riassunte nelle seguenti tabelle:

**Tabella 2-1: Riepilogo geometria prospezioni sismiche**

AREA D'INDAGINE	INDAGINE [n°]	DISTANZA INTERGEOFONICA [m]	LUNGHEZZA STENDIMENTO [m]
CAMPERITI	ST1A	3	69
	ST1B	3	69
	ST2A	3	69
	ST2B	3	69
FONTE AL CERRO	ST3A	3	69
	ST3B	3	69

**Tabella 2-2: Distanze punti di energizzazione dal primo geofono**

	E1	A	D1	D2	D3	C	D4	D5	D6	B	E2
PASSO 3 m	-15	-1.5	7.5	16.5	25.5	34.5	43.5	52.5	61.5	70.5	84

---

## 2.3 Prospezione sismica attiva frequenziale - tecnica MASW

Il principio ispiratore della tecnica MASW è il carattere dispersivo delle onde di Rayleigh e di Love quando queste si propagano in un mezzo stratificato.

La dispersione consiste nella variazione della velocità di fase a diverse frequenze, con l'aumento della lunghezza d'onda (abbassamento di frequenza) la profondità coinvolta dalla propagazione dell'onda è via via maggiore.

È quindi possibile, impiegando onde di un certo intervallo di frequenza, caratterizzare le proprietà acustiche dei terreni sino ad una certa profondità.

Nella maggior parte delle indagini sismiche per le quali si utilizzano le onde compressive, più di due terzi dell'energia sismica totale generata viene trasmessa nella forma di onde di Rayleigh, la componente principale delle onde superficiali.

Ipotizzando una variazione di velocità dei terreni in senso verticale, ciascuna componente di frequenza dell'onda superficiale ha una diversa velocità di propagazione (chiamata velocità di fase) che, a sua volta, corrisponde ad una diversa lunghezza d'onda per ciascuna frequenza che si propaga. Questa proprietà si chiama dispersione.

Sebbene le onde superficiali siano considerate rumore per le indagini sismiche che utilizzano le onde di corpo (riflessione e rifrazione), la loro proprietà dispersiva può essere utilizzata per studiare le proprietà elastiche dei terreni superficiali.

La costruzione di un profilo verticale di velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ), ottenuto dall'analisi delle onde piane della modalità fondamentale delle onde di Rayleigh è una delle pratiche più comuni per utilizzare le proprietà dispersive delle onde superficiali.

Questo tipo di analisi fornisce i parametri fondamentali comunemente utilizzati per valutare la rigidità superficiale, una proprietà critica per molti studi geotecnici.

L'intero processo comprende tre passi successivi:

- L'acquisizione delle onde superficiali (ground roll);
- la costruzione di una curva di dispersione (il grafico della velocità di fase rispetto alla frequenza);
- l'inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle  $V_s$ .

Per ottenere un profilo  $V_s$  bisogna produrre un treno d'onde superficiali a banda larga e registrarli minimizzando il rumore.

Una molteplicità di tecniche diverse sono state utilizzate nel tempo per ricavare la curva di dispersione, ciascuna con i suoi vantaggi e svantaggi, in quanto l'inversione della curva di dispersione viene realizzata iterativamente, utilizzando la curva di dispersione misurata come riferimento sia per la modellizzazione diretta che per la procedura ai minimi quadrati.

Dei valori preliminari per il rapporto di Poisson e per la densità sono necessari per ottenere il profilo verticale  $V_s$  dalla curva di dispersione e vengono solitamente stimati utilizzando misure prese in loco o valutando le tipologie dei materiali.

Le onde superficiali riverberate (back scattered) possono essere prevalenti in un sismogramma multicanale se in prossimità delle misure sono presenti discontinuità orizzontali quali



fondazioni e muri di contenimento. Le ampiezze relative di ciascuna tipologia di rumore generalmente cambiano con la frequenza e la distanza dalla sorgente.

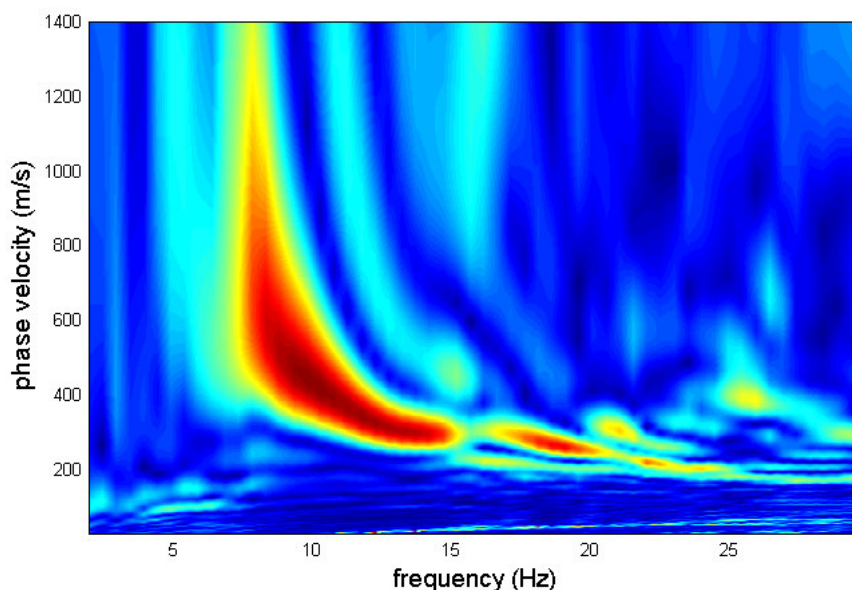
Ciascun rumore, inoltre, ha diverse velocità e proprietà di attenuazione che possono essere identificate sulla registrazione multicanale grazie all'utilizzo di modelli di coerenza e in base ai tempi di arrivo e all'ampiezza di ciascuno.

La scomposizione di un campo di onde registrate in un formato a frequenza variabile consente l'identificazione della maggior parte del rumore, analizzando la fase e la frequenza dipendentemente dalla distanza dalla sorgente.

La scomposizione può essere quindi utilizzata in associazione con la registrazione multicanale per minimizzare il rumore durante l'acquisizione.

La scelta dei parametri di elaborazione così come del miglior intervallo di frequenza per il calcolo della velocità di fase, può essere fatto con maggior accuratezza utilizzando dei sismogrammi multicanale.

Una volta scomposto il sismogramma, un'opportuna misura di coerenza applicata nel tempo e nel dominio della frequenza può essere utilizzata per calcolare la velocità di fase rispetto alla frequenza.



**Figura 2-2: Curva dispersione**

La velocità di fase e la frequenza sono le due variabili (x; y), il cui legame costituisce la curva di dispersione.

E' anche possibile determinare l'accuratezza del calcolo della curva di dispersione analizzando la pendenza lineare di ciascuna componente di frequenza delle onde superficiali in un singolo sismogramma.

In questo caso MASW permette la miglior registrazione e separazione ad ampia banda ed elevati rapporti S/N.

Un buon rapporto S/N assicura accuratezza nel calcolo della curva di dispersione, mentre l'ampiezza di banda migliora la risoluzione e la possibile profondità di indagine del profilo Vs di

inversione.

Le onde di superficie sono facilmente generate da una sorgente sismica quale, ad esempio, una mazza battente.

In particolare l'analisi MASW è realizzata con due diversi tipi di acquisizione:

- **acquisizione ZVF** ossia con energizzazione verticale e acquisizione con geofoni verticali per l'analisi MASW della componente verticale delle onde di Rayleigh;
- **acquisizione THF** ossia con energizzazione trasversale e acquisizione con geofoni orizzontali disposti con asse perpendicolare alla stesa per l'analisi MASW delle onde di Love.

### 2.3.1 Strumentazione e metodologia

La strumentazione impiegata per le indagini MASW è la seguente:

#### MASW ZVF:

- Sismografo: amplificatore sismico DMT COMPACT a 24 canali con 24 bit di precisione nella conversione A/D;
- Sorgente: mazza triggerata da 8 kg su piastra di duralluminio e/o maglio battente da 120 kg;
- Ricevitori: Geofoni ad asse verticale RTC 4.5 Hz 395 – R.T. CLARK;
- Tempo di campionamento: 1 ms;
- Periodo di acquisizione: 1024 campioni, pari a 1 s.

#### MASW THF:

- Sismografo: amplificatore sismico DMT COMPACT a 24 canali con 24 bit di precisione nella conversione A/D;
- Sorgente: mazza triggerata da 8 kg su trave in PEAD con battuta di taglio;
- Ricevitori: Geofoni ad asse orizzontale SM-6/U-B 10 Hz – SENSOR NEDERLAND b.v;
- Tempo di campionamento: 1 ms;
- Periodo di acquisizione: 1024 campioni, pari a 1 s.

E' stata effettuata 1 prospezione sismica MASW a 24 geofoni, come da schema seguente:

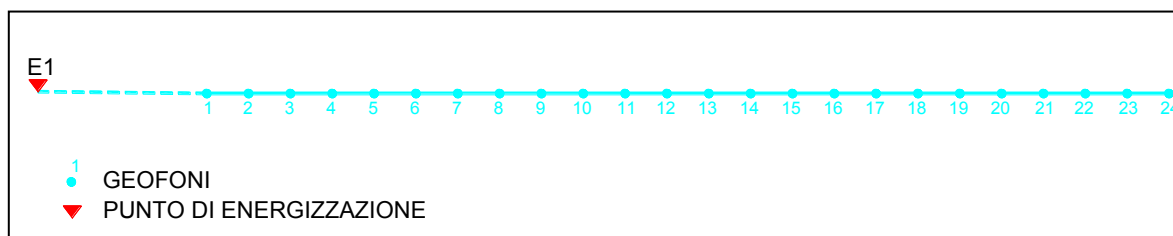


Figura 2-3: Schema acquisizioni prospezioni sismiche

Le lunghezze totali, le distanze intergeofoniche e le distanze dei punti di energizzazione rispetto al primo geofono sono riassunte nella seguente tabella:

**Tabella 2-3: Riepilogo geometria prospezioni sismiche**

<b>AREA D'INDAGINE</b>	<b>INDAGINE [n°]</b>	<b>DISTANZA INTERGEOF. [m]</b>	<b>OFFSET BATTUTE ESTERNE E1 [m]</b>	<b>LUNGHEZZA STENDIMENTO [m]</b>
<b>CAMPERITI</b>	<b>ST2A</b>	3	15	69
<b>FONTE AL CERRO</b>	<b>ST3A</b>	3	15	69



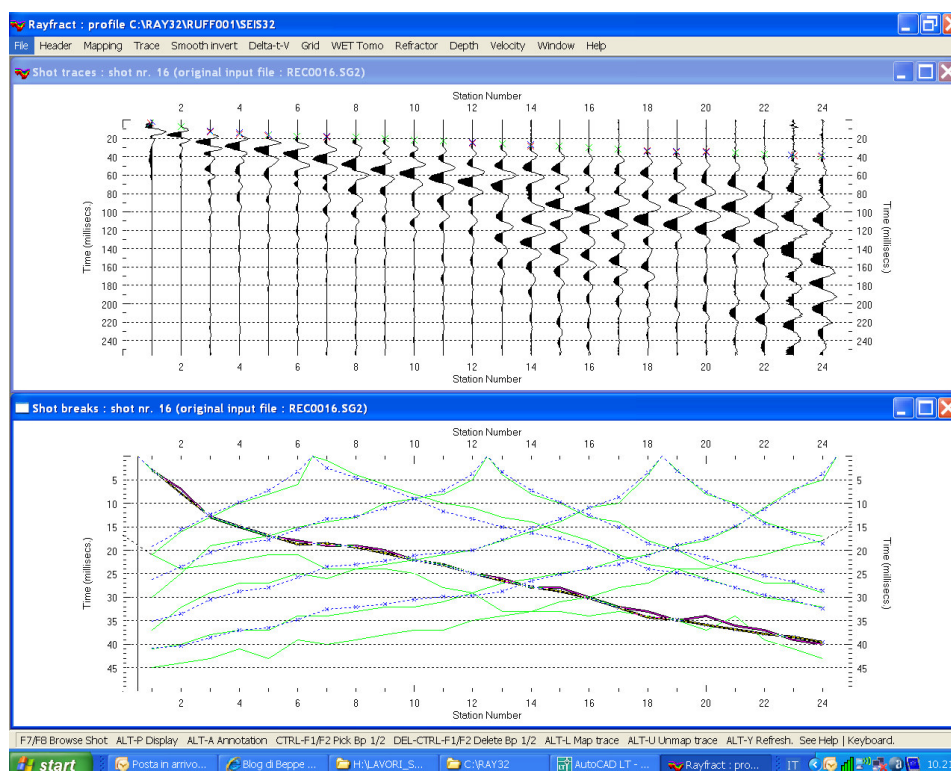
## 3 Elaborazione dati e risultati

### 3.1 Elaborazione dei dati sismici con tecnica tomografica

Per l'inversione dei dati sismici acquisiti è stato utilizzato il software Rayfract ver. 3.26 2013, che è un software di tomografia sismica che impiega le soluzioni Eikonal per il calcolo dei tempi di percorso e per la modellazione della diffrazione, la rifrazione e la trasmissione delle onde sismiche.

Dopo il controllo visivo sulla qualità dei dati, si effettua un picking dei primi arrivi, in modo da ipotizzare un preliminare modello di velocità, che può essere migliorato attraverso successive iterazioni, in quanto la fase di calcolo si conclude quando si ha la migliore sovrapposizione fra i tempi di primo arrivo calcolati e quelli misurati.

Il processing dei dati, prosegue con la fase di inversione tomografica detta WET (Wavepath Eikonal Traveltime), che permette il calcolo delle traiettorie d'onda (wavepath) attraverso le soluzioni alle differenze finite dell'equazione che esprime le modalità di propagazione di un'onda in un mezzo isotropo.



**Figura 3-1: Confronto shot break primi arrivi e dromocrone**

La tomografia WET modella i percorsi multipli della propagazione del segnale che contribuiscono ad un primo arrivo.

Il procedimento Eikonale, usato per il calcolo dei tempi di percorso, modella la diffrazione, la rifrazione e la trasmissione delle onde sismiche.

Come conseguenza di ciò la capacità di fornire l'imaging di un'anomalia di velocità aumenta rispetto alla tomografia convenzionale del percorso di un raggio sismico.

I dati tomografici vengono quindi elaborati con un software di imaging, nel caso SURFER 9,

che permette la visualizzazione secondo pseudosezioni verticali.

Relativamente ai risultati si rimanda agli allegati grafici che riportano in dettaglio le tomografie sismiche ottenute.

### **3.2 Elaborazione dei dati di sismica frequenziale – tecnica MASW**

I dati sismici sono stati acquisiti per l'analisi frequenziale con tecnica MASW secondo le tecniche tradizionali di acquisizione:

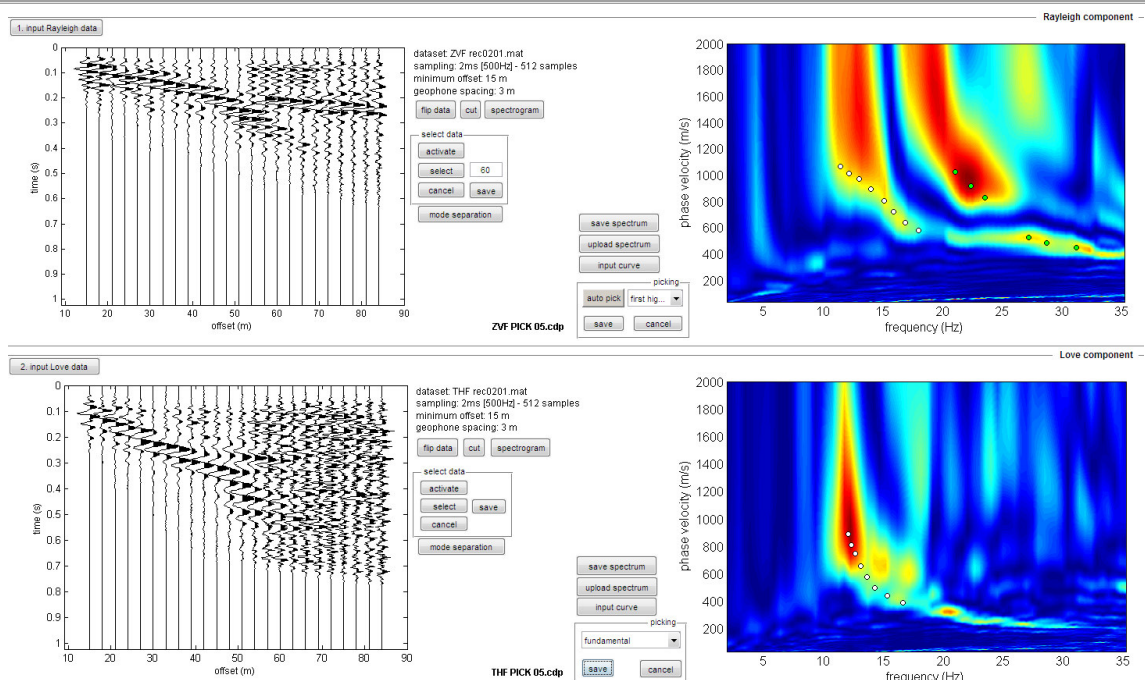
- ZVF ossia con la sorgente di energizzazione ad impatto verticale e l'acquisizione della componente verticale delle onde di Rayleigh;
- THF ossia con energizzazione trasversale e acquisizione con geofoni orizzontali disposti con asse perpendicolare alla stesa per l'analisi MASW delle onde di Love.

I sismogrammi vengono elaborati secondo la trasformata di Fourier, che restituisce lo spettro del segnale. In questo dominio, detto dominio trasformato, si tenta di identificare il segnale relativo alle onde di Rayleigh e Love da altri tipi di segnale, come onde P, propagazione in aria, e disturbi antropici.

L'osservazione dello spettro consente di notare che le onde superficiali si propagano a velocità variabile a seconda della frequenza dell'onda stessa, questo fenomeno è detto dispersione, per cui sulla base della teoria sviluppata e degli algoritmi di calcolo, e dell'analisi correlata dei diversi spettri, si ipotizzano e si modellano le preliminari *curve di dispersione*, che associano ad ogni frequenza la velocità di propagazione dell'onda.

La determinazione della curva di dispersione (*picking*) è un processo particolarmente complesso che non può essere lasciato ad algoritmi automatici di calcolo dei software ma deve essere sempre attentamente valutato dall'interprete.

Determinate le curve di dispersione si ricerca un primo modello sintetico che verrà modificato iterativamente per n volte, in base alle differenze riscontrate tra le due curve, fino ad ottenerne uno a cui è associata una curva di dispersione sperimentale che ben approssima le curve di dispersione ricavate dai sismogrammi. Questa delicata seconda fase di interpretazione è comunemente detta *fase di inversione*.



**Figura 3-2: Sismogramma e picking delle curve di dispersione (MASW congiunta ZVF+THF)**

Le due fasi iterative di interpretazione, per quanto debbano seguire le linee guida dettate dalla teoria, devono rigorosamente essere controllate accuratamente dall'interprete poiché non è possibile affidarsi completamente ad un sistema automatico di inversione che lavora unicamente alla ricerca della soluzione matematicamente migliore, spesso non coincidente con la realtà fisica del sito.

I dati sono stati elaborati mediante il software commerciale "WinMASW ver. 6.0 Academy" prodotto dalla EliaSoft.

Il software presenterà come soluzione del processo d'inversione due modelli di Vs di cui:

- il modello "migliore" (in termini di minor misfit, cioè discrepanza tra curva osservata e calcolata);
- il modello medio calcolato secondo un'operazione statistica nota come MPPD (Dal Moro et al., 2007).

Come modello di Vs viene scelto modello medio, perché consigliato da bibliografia, anche se normalmente i due modelli non differiscono di molto.



**Tabella 3-1: Riepilogo elaborazioni MASW**

AREA D'INDAGINE	INDAGINE [n°]	Vsv30 [m/s]	Vsh30 [m/s]	CATEGORIA SOTTOSUOLO (NTC 2008)
CAMPERITI	ST2A	712	735	B
FONTE AL CERRO	ST3A	801	821	A

**Tabella 3-2: Profilo Vs ottenuto da analisi MASW ST2A - Camperiti**

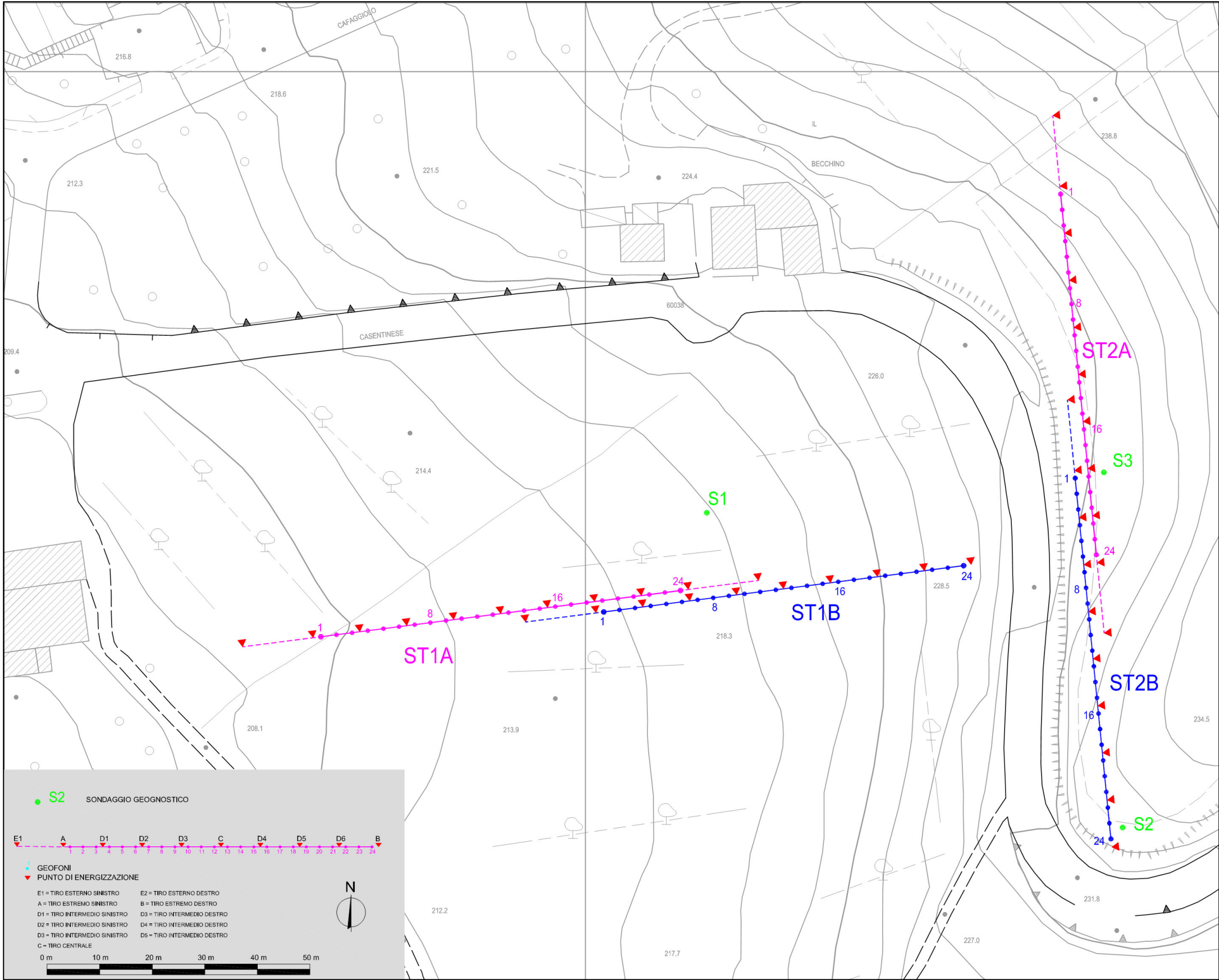
PROF. (m)	SPESSORE (m)	Vsv (m/s)	Vsh (m/s)	Vp (m/s)	$\rho$ (kg/mc)	$\nu$
2.69	2.69	197	203	488	1880	0.40
6.3	3.61	488	505	1122	2080	0.38
10.37	4.07	675	710	1514	2150	0.38
13.62	3.25	992	1018	2283	2250	0.38
-	-	1389	1422	2855	2310	0.34
	Vs30	712	735			

**Tabella 3-3: Profilo Vs ottenuto da analisi MASW ST3A – Fonte al Cerro**

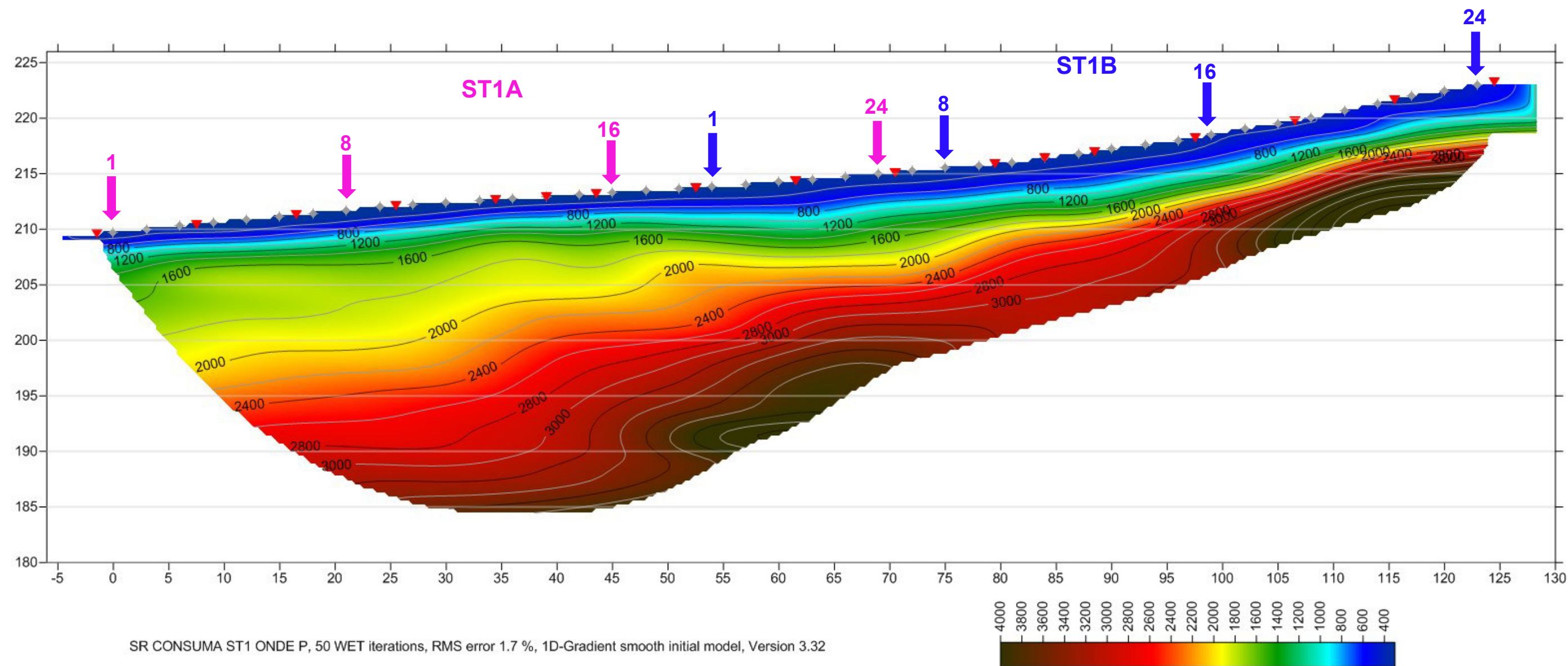
PROF. (m)	SPESSORE (m)	Vsv (m/s)	Vsh (m/s)	Vp (m/s)	$\rho$ (kg/mc)	$\nu$
1.71	1.71	133	140	286	1750	0.36
2.92	1.21	414	428	862	2020	0.35
5.87	2.95	826	842	1743	2190	0.36
13.85	7.98	995	996	2013	2220	0.34
-	-	1609	1627	2937	2320	0.29
	Vs30	801	821			

**I. ALLEGATO GRAFICO: STENDIMENTI SISMICI ST1 E ST2  
INQUADRAMENTO CARTOGRAFICO DI DETTAGLIO DELLE INDAGINI -  
TOMOGRAFIE ONDE P ED S**

INQUADRAMENTO CARTOGRAFICO DI DETTAGLIO DELLE INDAGINI ST1 E ST2 IN LOC. CAMPERITI

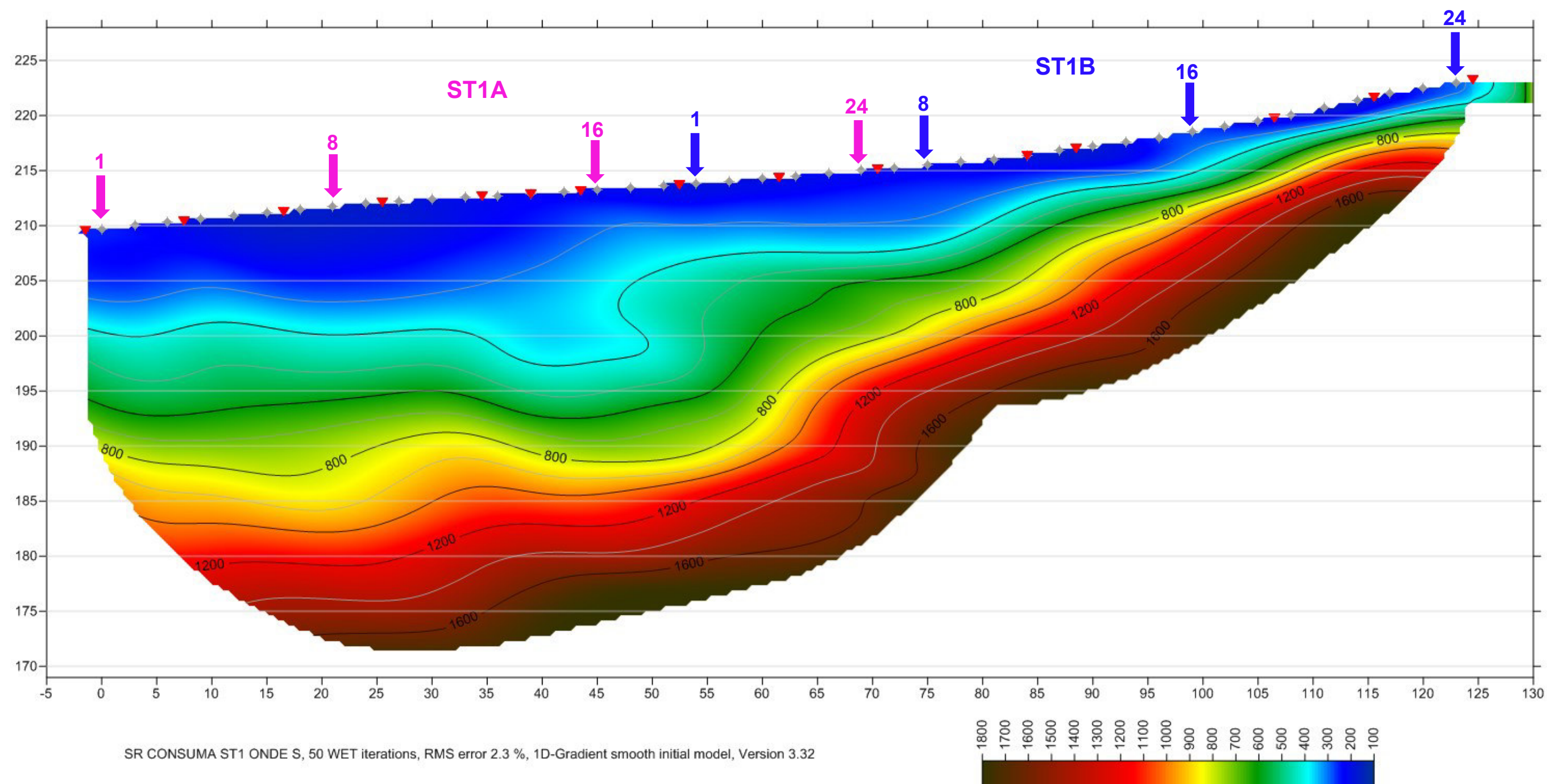


## INDAGINE ST1 TOMOGRAFIA 2D DELLE ONDE P

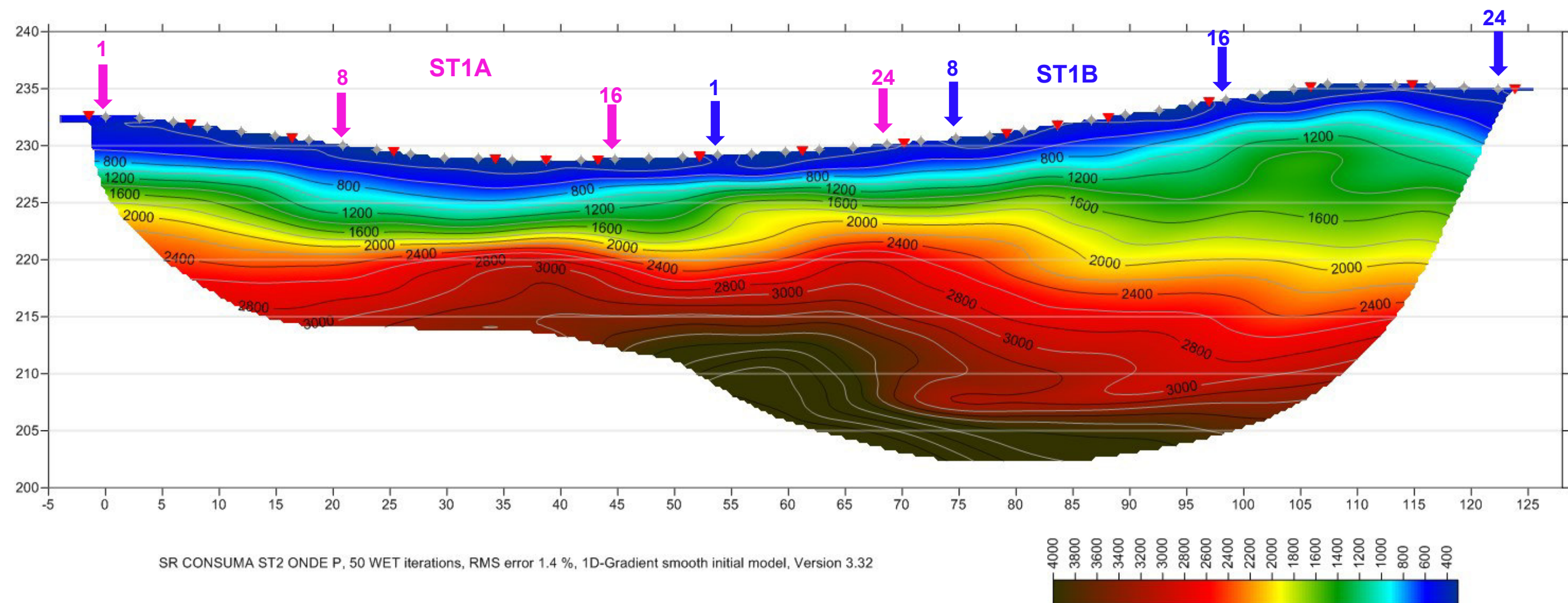




## INDAGINE ST1 TOMOGRAFIA 2D DELLE ONDE S

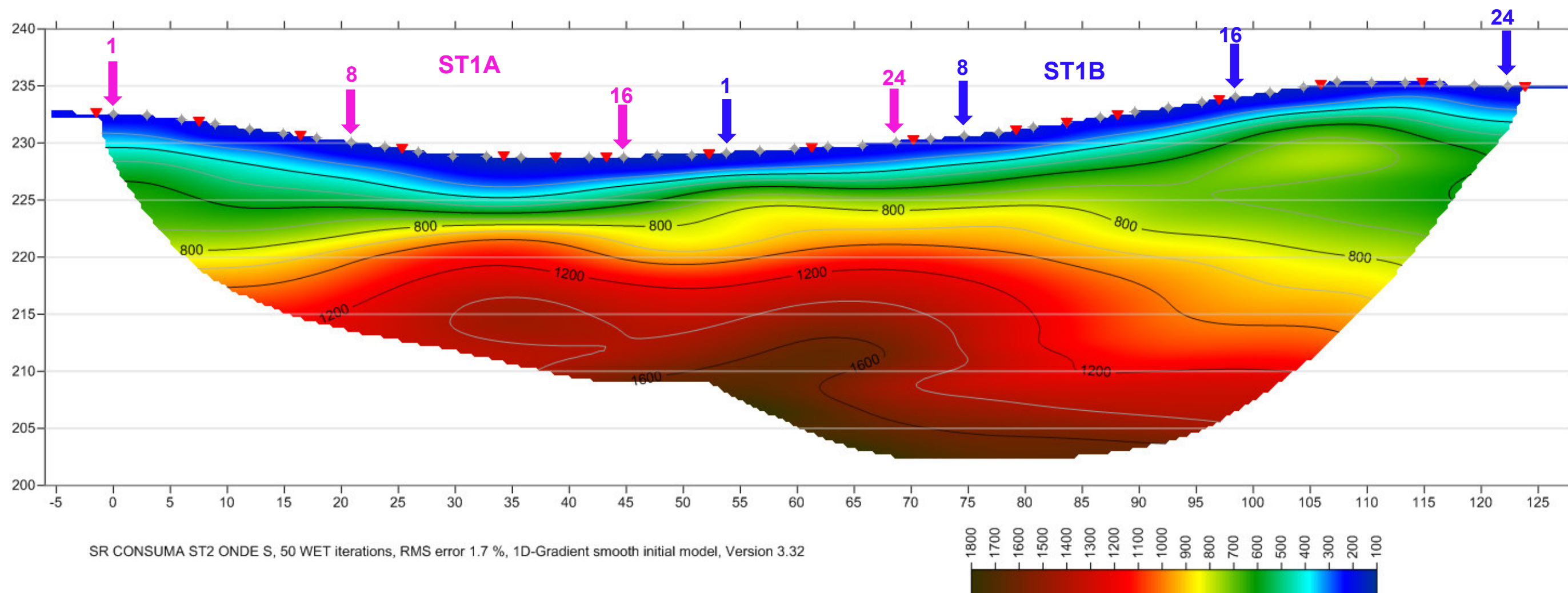


## INDAGINE ST2 TOMOGRAFIA 2D DELLE ONDE P





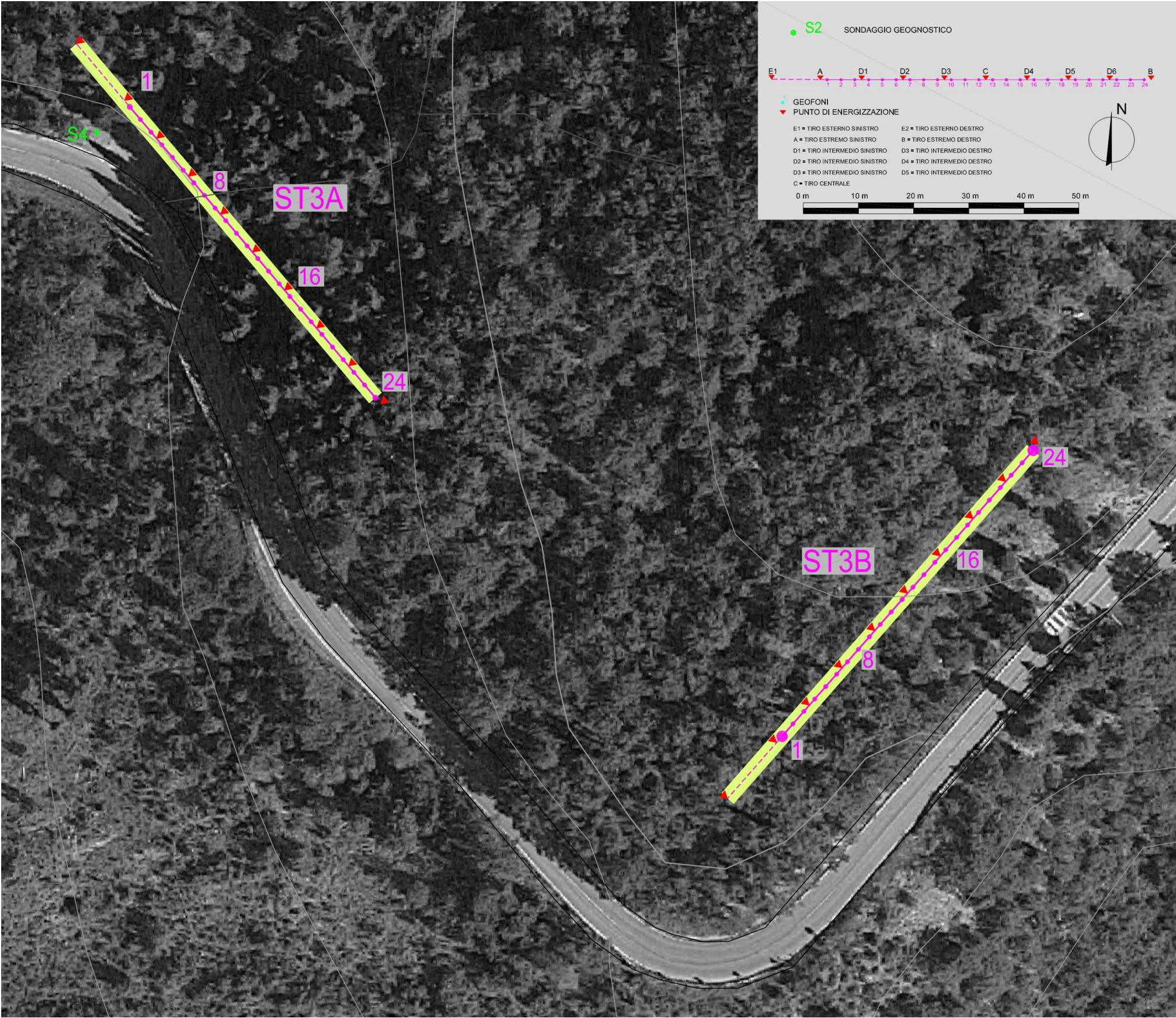
## INDAGINE ST2 TOMOGRAFIA 2D DELLE ONDE S





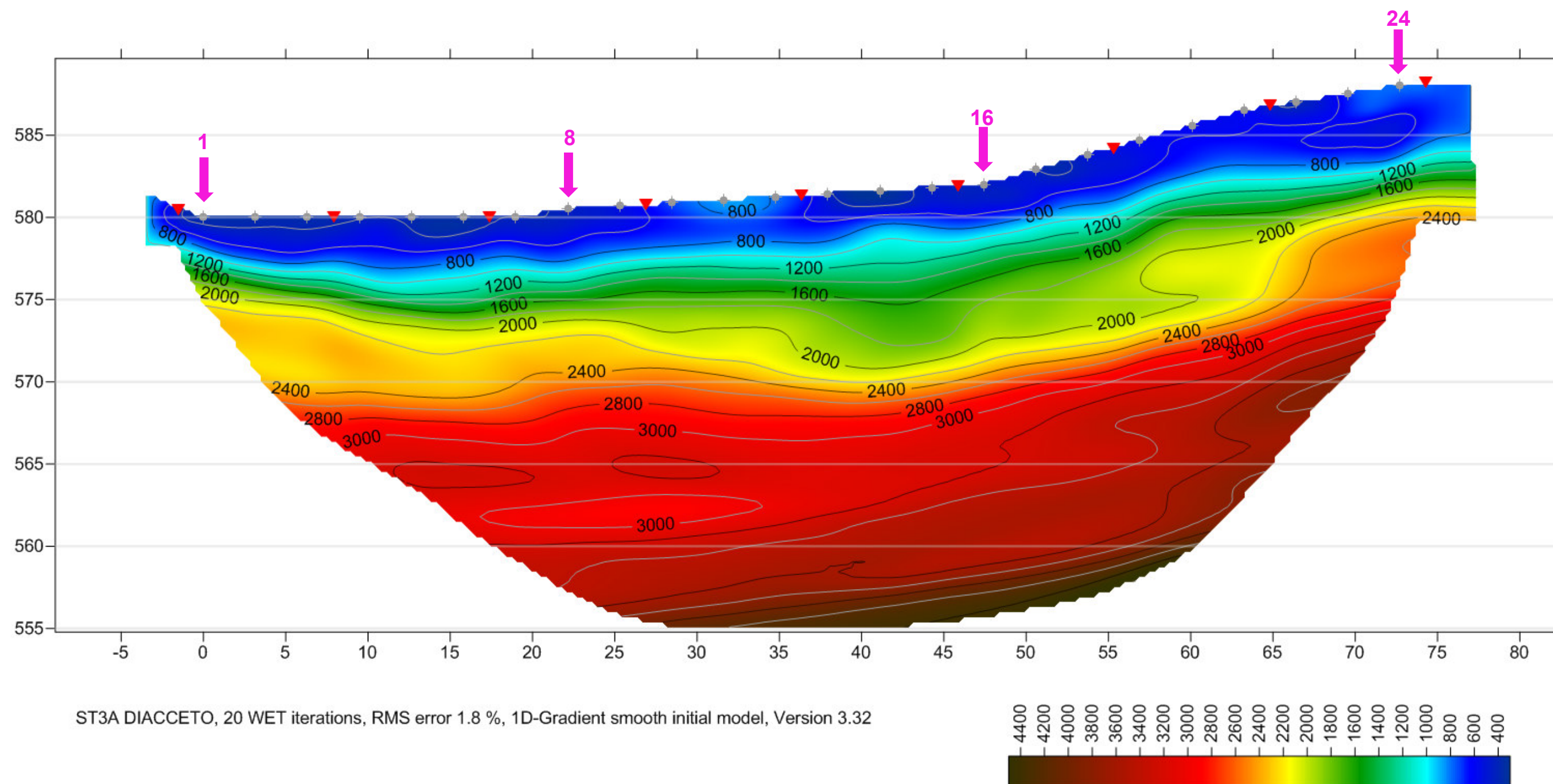
**II. ALLEGATO GRAFICO: STESE SISMICHE ST3A E ST03B  
INQUADRAMENTO CARTOGRAFICO DI DETTAGLIO DELLE INDAGINI -  
TOMOGRFIE ONDE P**

INQUADRAMENTO CARTOGRAFICO DI DETTAGLIO DELLE INDAGINI ST3A E ST3B IN LOC. FONTE AL CERRO

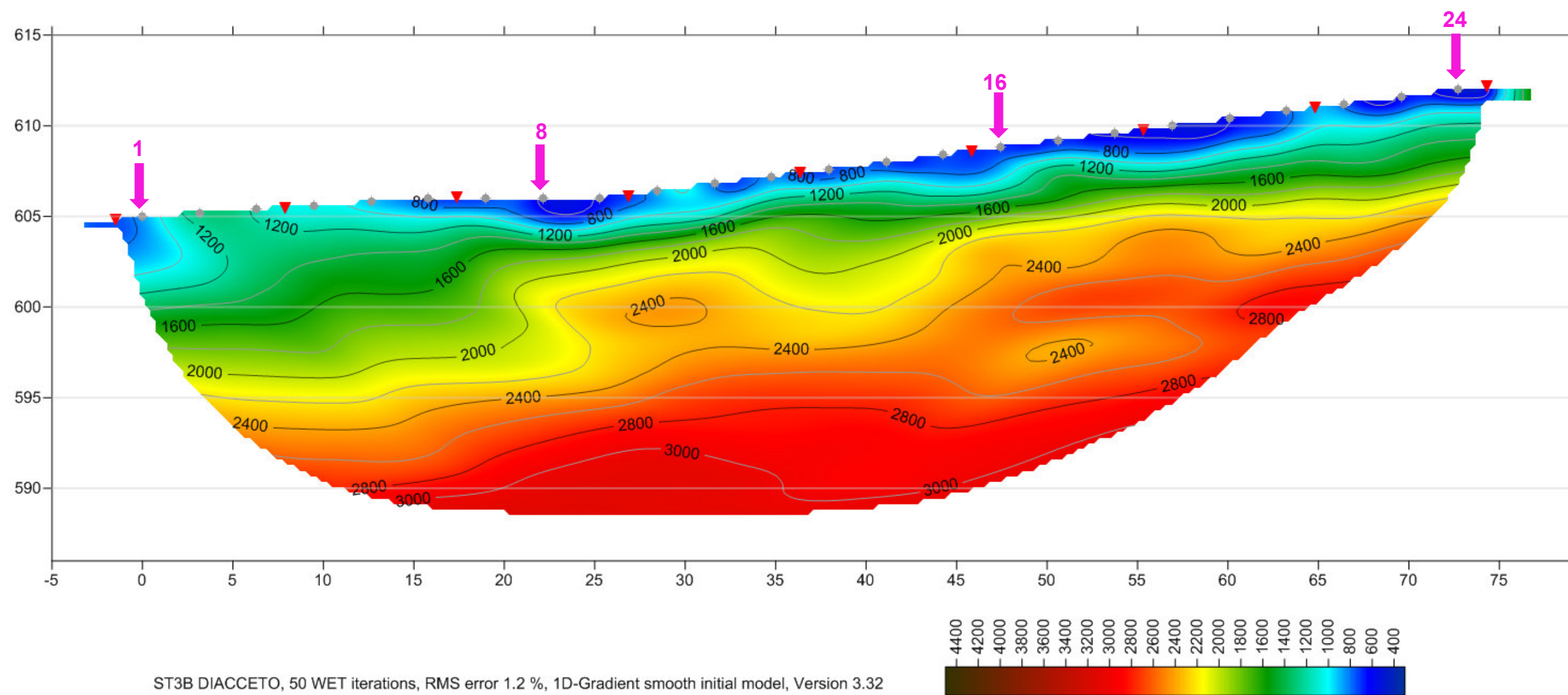




## INDAGINE ST3A TOMOGRAFIA 2D DELLE ONDE P



## INDAGINE ST3B TOMOGRAFIA 2D DELLE ONDE P



**III. ALLEGATO GRAFICO: ANALISI MASW ST2A E ST3A  
SISMOGRAMMI – CURVE DISPERSIONE – PROFILI  $V_s$**



## ANALISI MASW ST2A - CAMPERITI

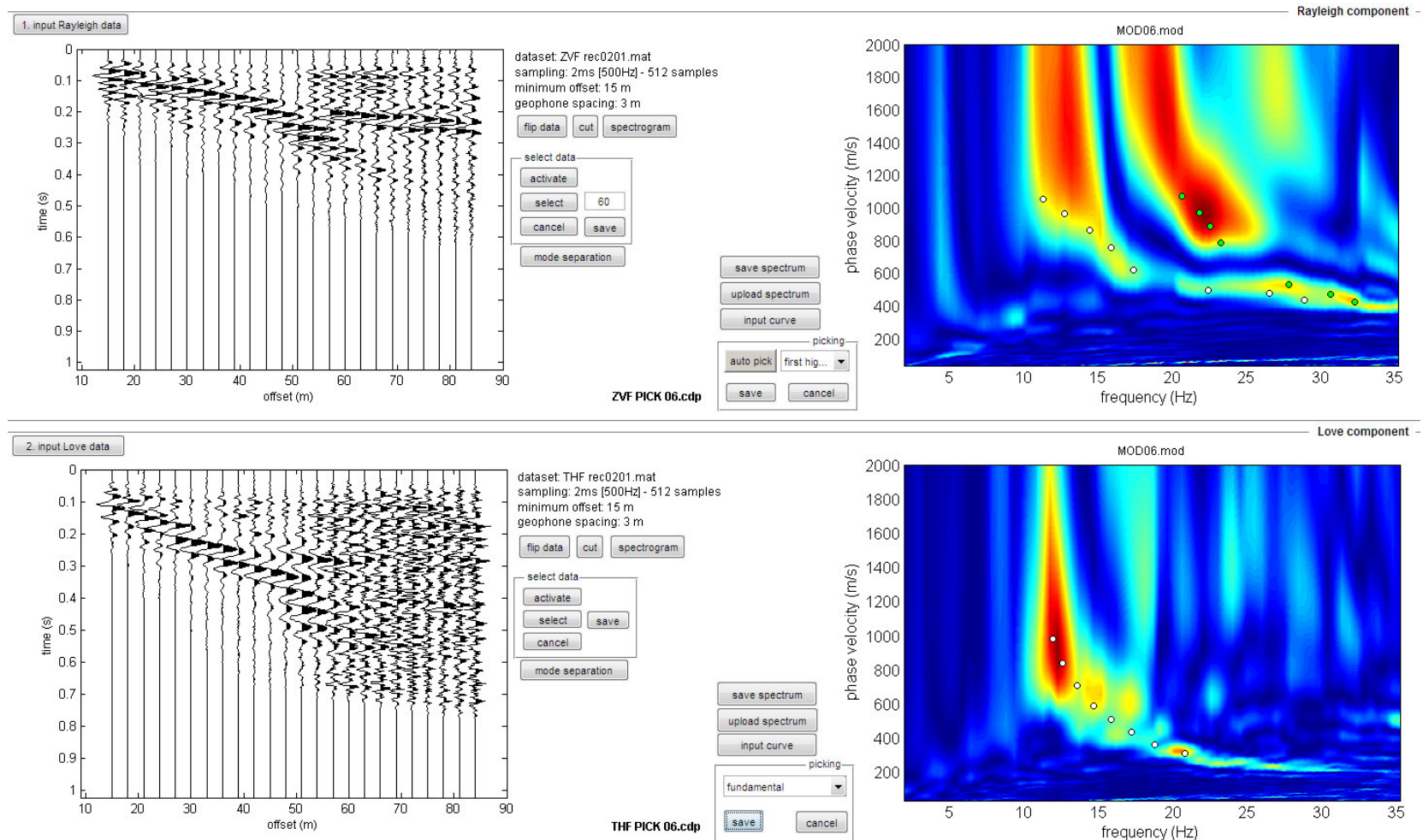
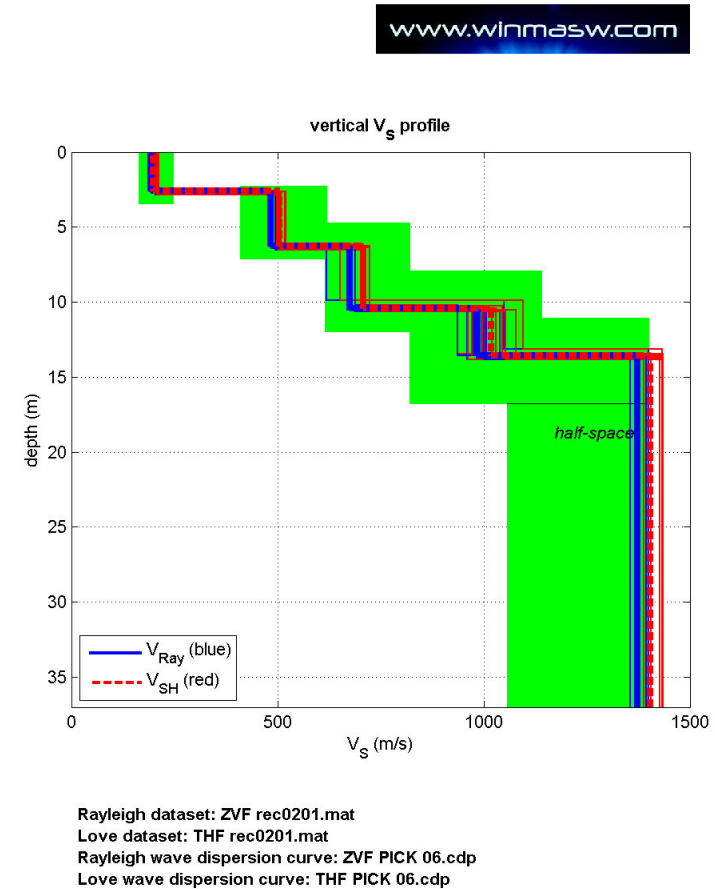
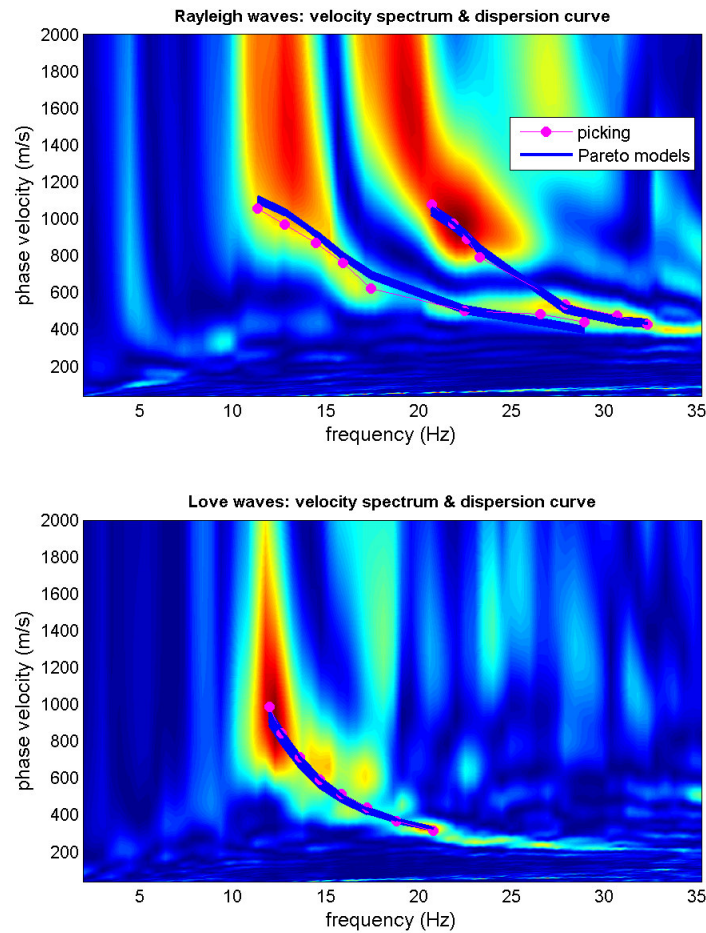


Figura 3-3: Analisi MASW ST2A congiunta ZVF + THF – Sismogrammi (sinistra) e spettri di velocità con picking



**Figura 3-4: Analisi MASW ST2A congiunta ZVF + THF – Risultati**



PROF. (m)	SPESSORE (m)	Vsv (m/s)	Vsh (m/s)	Vp (m/s)	$\rho$ (kg/mc)	$\nu$
2.69	2.69	197	203	488	1880	0.40
6.3	3.61	488	505	1122	2080	0.38
10.37	4.07	675	710	1514	2150	0.38
13.62	3.25	992	1018	2283	2250	0.38
-	-	1389	1422	2855	2310	0.34
	Vs30	712	735			

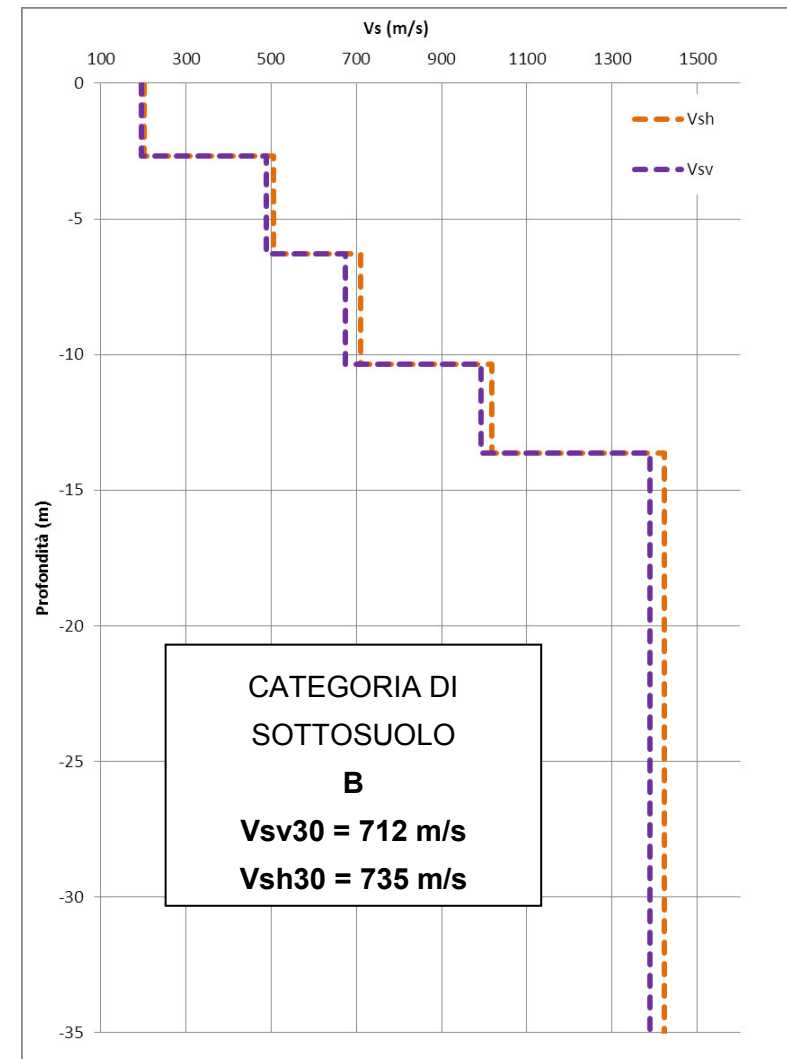


Figura 3-5: Analisi MASW ST2A congiunta ZVF + THF – Profili di velocità Vsv e Vsh (Mean model)

## ANALISI MASW ST3A – FONTE AL CERRO

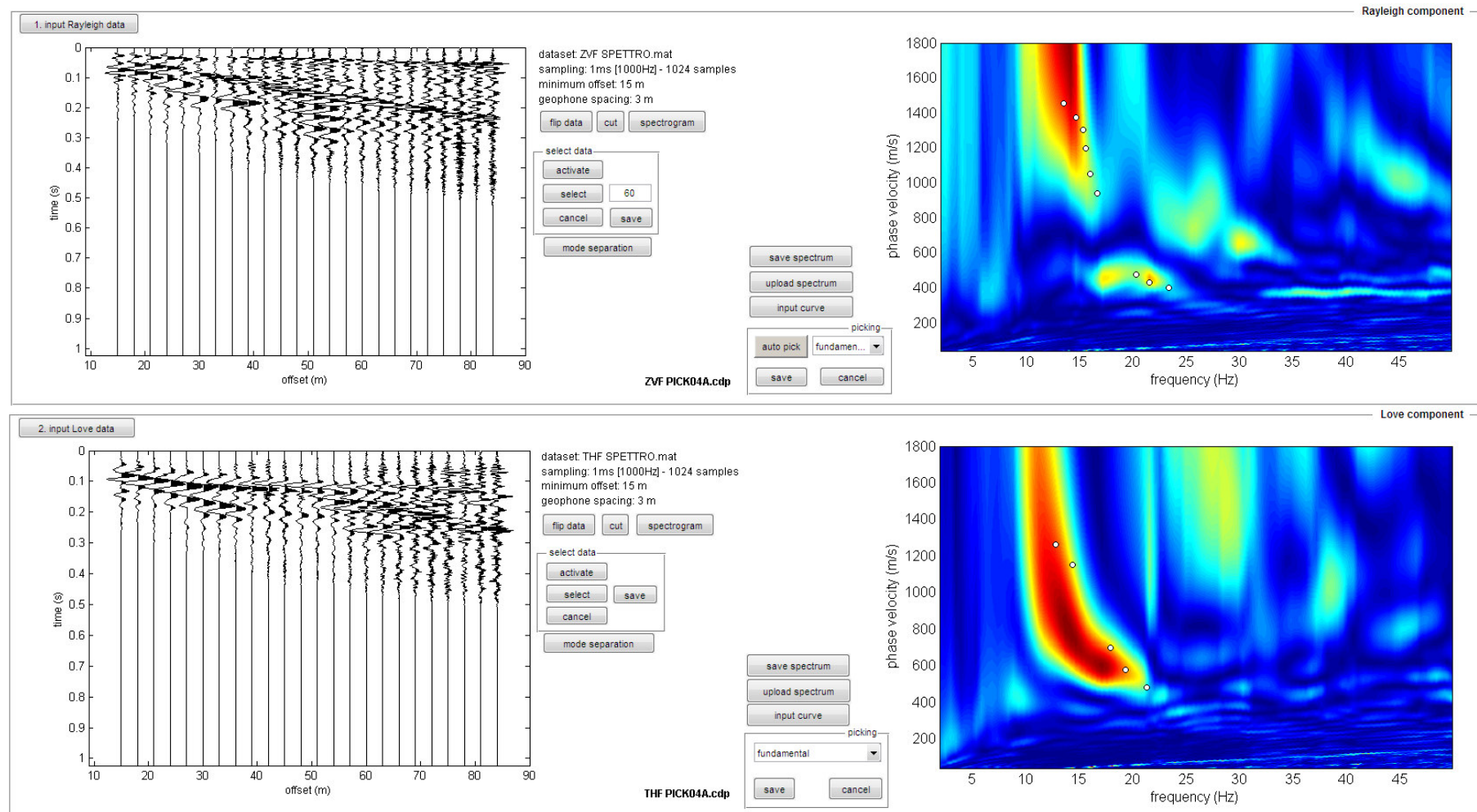
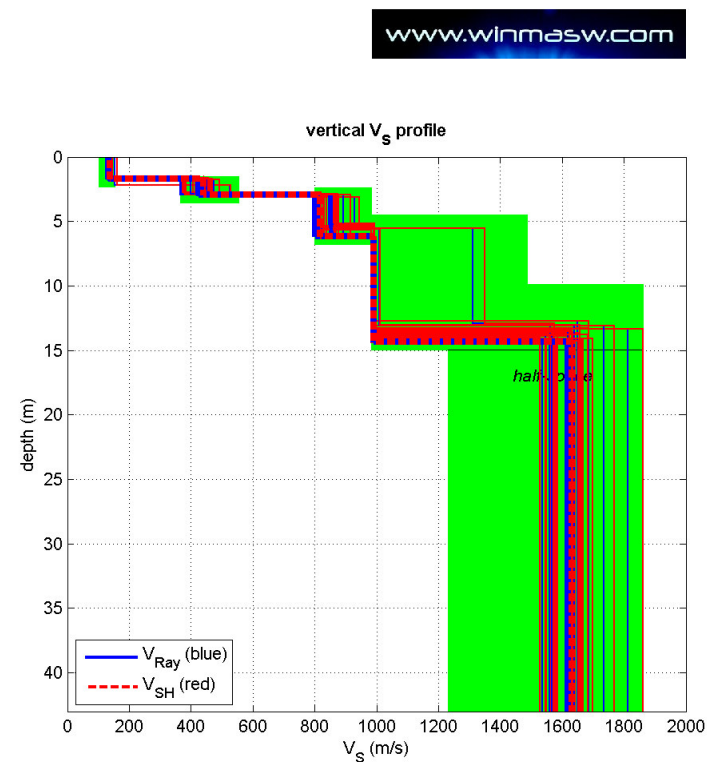
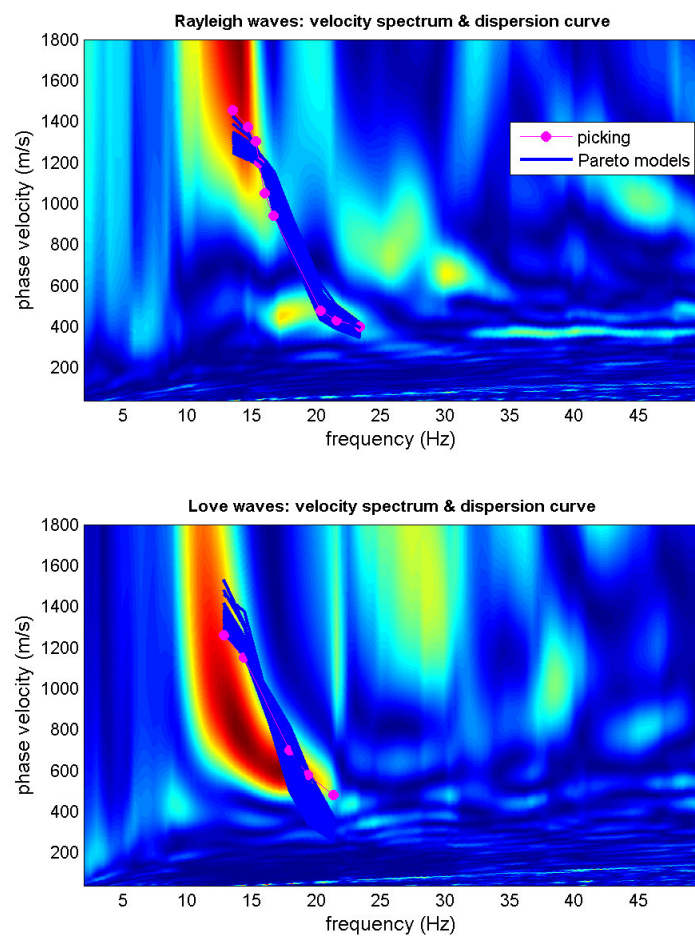


Figura 3-6: Analisi MASW ST3A congiunta ZVF + THF – Sismogrammi (sinistra) e spettri di velocità con picking



Rayleigh dataset: ZVF SPETTRO.mat  
Love dataset: THF SPETTRO.mat  
Rayleigh wave dispersion curve: ZVF PICK04A.cdp  
Love wave dispersion curve: THF PICK04A.cdp

**Figura 3-7: Analisi MASW ST3A congiunta ZVF + THF – Risultati**

PROF. (m)	SPESSORE (m)	Vsv (m/s)	Vsh (m/s)	Vp (m/s)	$\rho$ (kg/mc)	$\nu$
1.71	1.71	133	140	286	1750	0.36
2.92	1.21	414	428	862	2020	0.35
5.87	2.95	826	842	1743	2190	0.36
13.85	7.98	995	996	2013	2220	0.34
-	-	1609	1627	2937	2320	0.29
	Vs30	801	821			

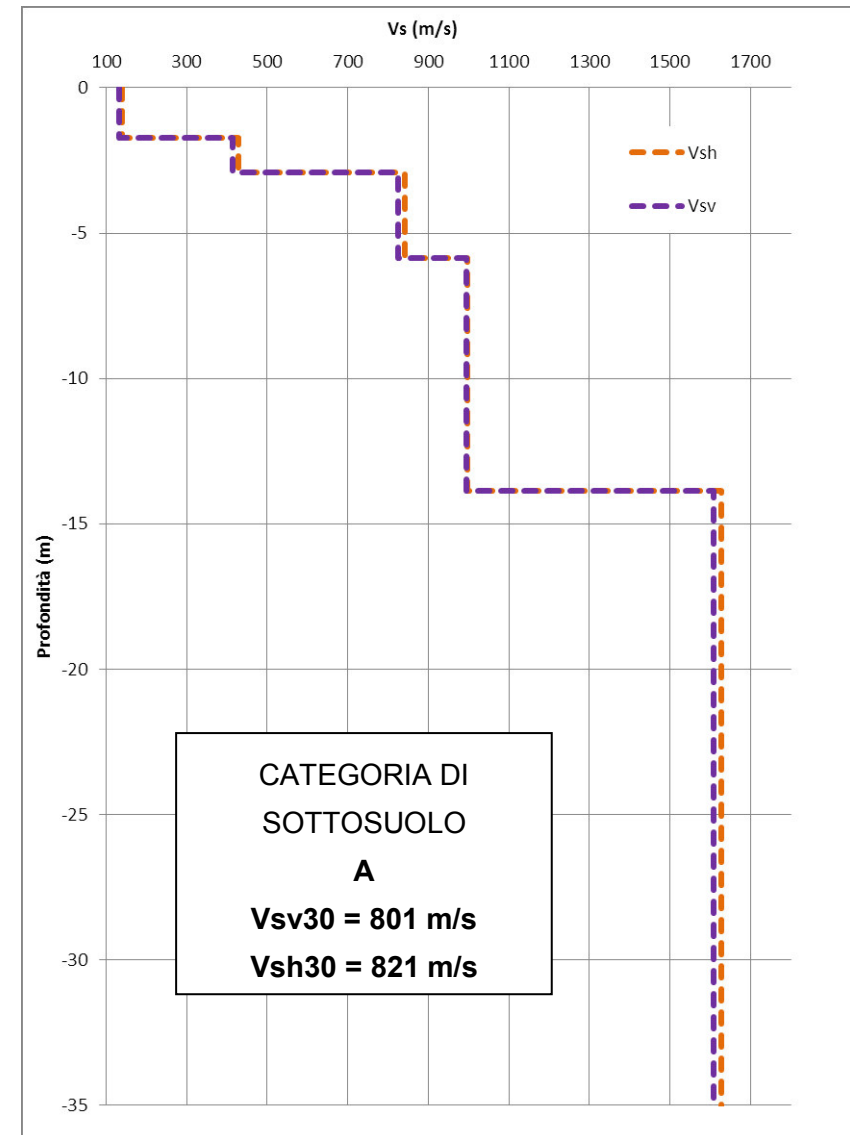


Figura 3-8: Analisi MASW ST3A congiunta ZVF + THF – Profili di velocità Vsv e Vsh (Mean model)

## **REPORT FOTOGRAFICO**





**Foto 1: Stendimento ST1A**



**Foto 2: Stendimento ST1B**





**Foto 3: stendimento ST2A**



**Foto 4: Stendimento ST2B**





**Foto 5: Stendimento ST3A**



**Foto 6: Stendimento ST3B**