

COMMITTENTE



PROGETTAZIONE:



**DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO**

**NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO–CATANIA**

**U.O. GEOLOGIA TECNICA, DELL'AMBIENTE E DEL TERRITORIO**

**PROGETTO DEFINITIVO**

**TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)**

**INDAGINI GEOFISICHE**

**INDAGINI SISMICHE A RIFRAZIONE**

SCALA:

---

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.

RS3T 30 D 69 IG GE0005 003 B

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato
A	EMISSIONE ESECUTIVA	P. Chiara	Dicembre 2019	S. Giugliano	Dicembre 2019	A. Barreca	Dicembre 2019	M. Comedini Gennaio 2020
B	EMISSIONE ESECUTIVA	P. Chiara	Gennaio 2020	S. Giugliano	Gennaio 2020	A. Barreca	Gennaio 2020	



File: RS3T30D69IGGE0005003B.pdf

n. Elab. 69\_25

## INDICE

1. INTRODUZIONE.....	3
1.1 PREMESA E SCOPI DELL'INDAGINE GEOFISICA.....	3
2. METODOLOGIE IMPIEGATE.....	4
2.1 INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE TOMOGRAFICA.....	4
2.1.2 Principi base della tecnica sismica a rifrazione e limiti del metodo.....	4
2.1.3 Configurazione delle misure ed elaborazione dati.....	6
3. RISULTATI.....	9
3.1 RISULTATI DELLE TOMOGRAFIE SISMICHE – ALLEGATO 1.....	9
3.1.1 Imbocco AA' – BB'.....	9
3.1.2 Imbocco EE' – FF'.....	9
3.1.3 Imbocco CC' – DD'.....	10
3.1.4 Sezione sismica tomografica su VI19.....	10
3.1.5 Imbocco GG' – HH'.....	14
3.1.6 Imbocco II' – JJ'.....	14
3.1.7 Imbocco KK' – LL'.....	15
3.1.8 Imbocco MM' – NN'/OO'.....	15
3.1.9 Imbocco PP' - QQ'.....	16
3.1.10 Imbocco RR' – SS'.....	16
3.1.11 Imbocco TT' – UU'.....	17
3.1.12 Imbocco VV' – WW'.....	17
3.1.13 Imbocco XX' – YY'.....	18
3.1.14 Imbocco ZZ' – AA-AA'.....	18
3.1.15 Imbocco BB-BB' – CC-CC'.....	19
4. BIBLIOGRAFIA.....	20
5. ALLEGATO GRAFICO N. 1 – INDAGINI SISMICHE A RIFRAZIONE TOMOGRAFIA.....	22

## 1. INTRODUZIONE

### 1.1 Premessa e scopi dell'indagine geofisica

La presente relazione illustra i risultati della campagna di prospezioni geofisiche, condotte secondo le modalità previste nelle specifiche tecniche Italferr, lungo la Direttoria Ferroviaria Messina – Catania – Palermo, sul Lotto 3, Tratta Lercara Dir. – Caltanissetta Xirbi, del nuovo collegamento Palermo - Catania.

Le indagini sono state eseguite utilizzando la metodologia sismica a rifrazione tomografica per onde di compressione e di taglio.

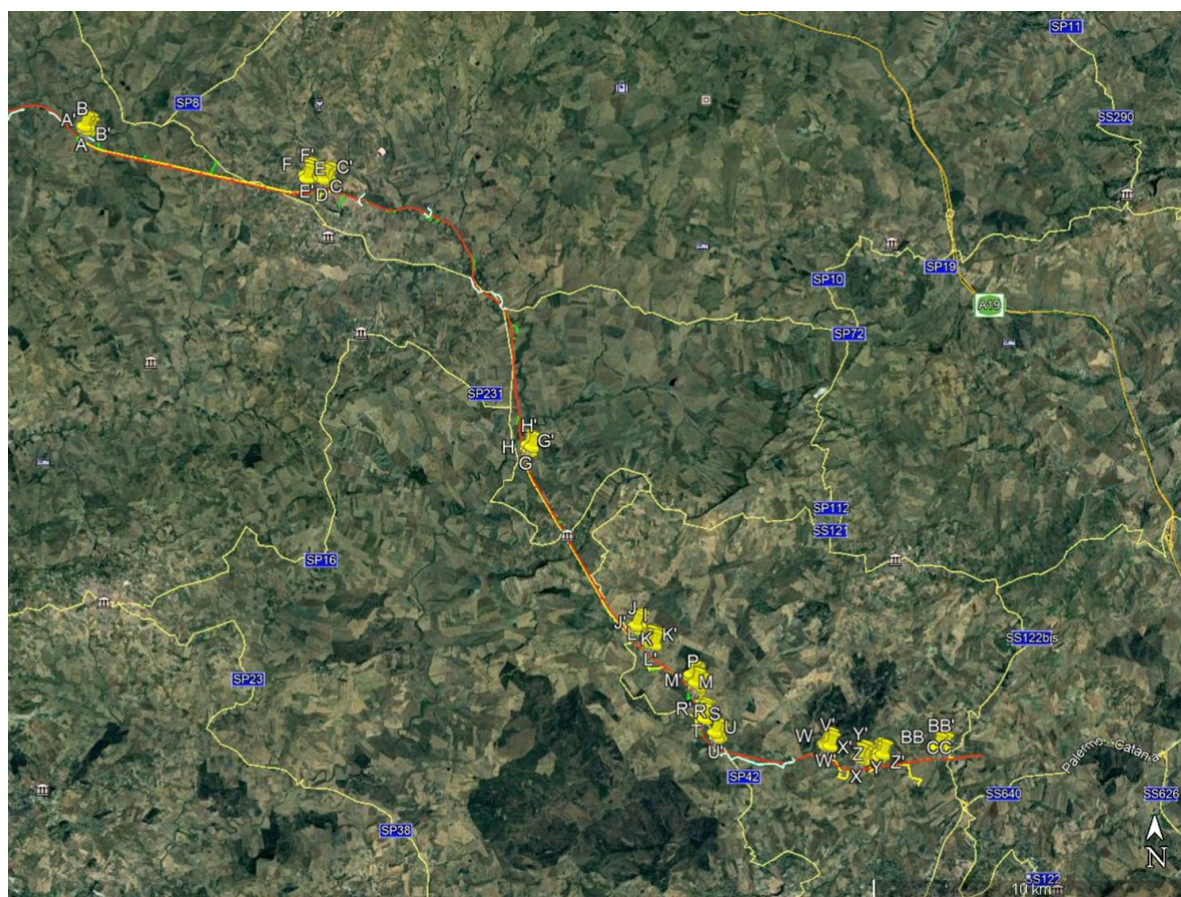


Figura 1: Posizioni delle indagini eseguite – foto satellitare

L'indagine sismica a rifrazione con interpretazione tomografica è stata impiegata al fine di definire, nei limiti delle metodologie impiegate, gli spessori e le velocità delle onde di compressione e di taglio dei terreni indagati, principalmente in corrispondenza degli imbocchi delle gallerie previste lungo il nuovo collegamento Palermo-Catania.

Il presente documento, oltre a riportare le evidenze dei risultati emersi dalle campagne di acquisizione dati condotte in sito, contiene una breve descrizione della metodologia utilizzata.

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b>					
	<b>TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</b>					
<b>INDAGINI GEOFISICHE – INDAGINI SISMICHE A RIFRAZIONE</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RS3T	30 D 69	IG	GE0005 003	B	4 di 71

## 2. METODOLOGIE IMPIEGATE

### 2.1 INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE TOMOGRAFICA

#### 2.1.1 Strumentazione

Per il presente lavoro è stato utilizzato un sismografo ECHO 48/2014. Lo strumento (v. Figura 2 riportata di seguito), prodotto dalla Ambrogeo (Piacenza, Italia), è un sistema di acquisizione con le seguenti caratteristiche tecniche principali:

- Numero di canali 48+1;
- Convertitore analogico digitale A/D a 24-bits;
- intervalli di campionamento: 32, 64, 128, 256, 480 e 960 us;
- Filtri in acquisizione passa basso: 10-15-25-35-50-70-100-200-280-400 Hz;
- Accuratezza nel trigger di 1/32 dell'intervallo di campionamento.



Figura 2: Sismografo digitale a 24 bit.

Per la rilevazione delle onde di compressione e di taglio sono stati utilizzati rispettivamente geofoni ad azione verticale ed orizzontale, entrambi con frequenza propria di oscillazione di 10 Hz.

#### 2.1.2 Principi base della tecnica sismica a rifrazione e limiti del metodo

La sismica a rifrazione consiste in una serie di tecniche basate sul principio fisico del fenomeno della rifrazione di un'onda sismica che incide su una discontinuità individuata fra due corpi aventi proprietà meccaniche diverse (orizzonte rifrattore). Sulla superficie da investigare si posizionano i trasduttori del moto del suolo (geofoni) ad una certa distanza dalla sorgente sismica che può essere una massa battente (diversamente applicata e guidata) o una carica esplosiva a seconda della lunghezza dello stendimento e della profondità di indagine richiesta.

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b>					
	<b>TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</b>					
<b>INDAGINI GEOFISICHE – INDAGINI SISMICHE A RIFRAZIONE</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RS3T	30 D 69	IG	GE0005 003	B	5 di 71

Nell'indagine sismica a rifrazione i trasduttori situati più vicino alla sorgente rilevano prima l'onda diretta che arriva con velocità legata alle caratteristiche meccaniche dello strato di terreno più superficiale, mentre quelli più lontani rilevano le onde rifratte che viaggiano a velocità più elevata. Conoscendo i tempi di primo arrivo e la distanza geofono-sorgente, tramite la ricostruzione e l'analisi delle curve tempo-distanza (dromocrone) con i metodi descritti al successivo paragrafo, si possono determinare i campi di velocità delle onde di compressione P e delle onde di taglio Sh che caratterizzano i vari strati interessati dall'indagine; da qui produrre una stratigrafia sismica da correlare alle formazioni geologiche o discontinuità presenti nella serie investigata nel sottosuolo.

In fase di elaborazione è importante considerare che per uno stesso tipo di roccia, la velocità di propagazione delle onde elastiche nel suolo diminuisce col grado di fratturazione-alterazione e aumenta con la profondità. Anche la giacitura della stratificazione gioca un ruolo fondamentale sui risultati delle indagini sismiche a rifrazione in quanto, in rocce stratificate e/o deformate duttilmente (piegate), tra le velocità rilevate lungo i piani di strato o di clivaggio e quelle rilevate perpendicolarmente agli stessi si possono manifestare sensibili differenze. La velocità delle onde di compressione, in particolare modo nelle formazioni terrigene, è fortemente influenzata dalla presenza della falda acquifera e quindi dal grado di saturazione dei terreni, diversamente da quelle trasversali che non si trasmettono nell'acqua.

Sulla base di tali considerazioni deriva che una roccia fortemente fratturata e del materiale detritico saturo, pur trattandosi di litotipi differenti, possano avere uguali velocità delle onde sismiche compressionali, per cui l'interpretazione sismostratigrafica non necessariamente corrisponderà con il reale assetto stratigrafico.

Il metodo sismico a rifrazione pur essendo un sistema di valenza generalmente riconosciuta presenta comunque delle limitazioni:

- un livello di spessore minore di 1/3 del passo intergeofonico ed in relazione alla sua profondità può non essere rilevabile;
- in una successione stratigrafica uno strato potrà essere rilevato soltanto se la velocità di trasmissione delle onde longitudinali al suo interno risulterà maggiore di quella dei livelli soprastanti;
- un livello di velocità intermedia vincolato sopra e sotto rispettivamente da uno strato a velocità minore e da uno a velocità sensibilmente maggiore può non risultare

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b>					
	<b>TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</b>					
<b>INDAGINI GEOFISICHE – INDAGINI SISMICHE A RIFRAZIONE</b>	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 69	CODIFICA IG	DOCUMENTO GE0005 003	REV. B	FOGLIO 6 di 71

rilevabile in quanto i primi arrivi possono essere mascherati dallo strato sottostante (effetto dello strato nascosto);

- all'aumentare della distanza intergeofonica si registra un aumento della profondità di investigazione ma, allo stesso tempo, può ridursi la precisione nella determinazione della profondità delle interfacce tra i diversi livelli individuati;

- all'interno di una formazione geologica caratterizzata da incrementi graduali di velocità con la profondità le forme delle dromocrone consentono più schemi interpretativi. Per tale motivazione, ai fini di ridurre quanto più possibile l'errore interpretativo, diviene necessario il disporre di sondaggi di taratura.

I metodi di elaborazione dei dati di più recente pubblicazione (la metodologia sismica tomografica ad esempio) consentono almeno in parte di risolvere tali limitazioni permettendo l'individuazione di anomalie nella velocità di propagazione delle onde sismiche con un alto potere risolutivo ed offrono la possibilità di ricostruire anomalie e discontinuità stratigrafiche anche particolarmente complesse.


### 2.1.3 Configurazione delle misure ed elaborazione dati

Per l'esecuzione dei profili sismici sono stati utilizzati n. 2 cavi sismici multiconduttori a 24 geofoni ciascuno, impiegati simultaneamente per ottenere allineamenti (basi sismiche) a 48 stazioni (geofoni) o più, attraverso spostamenti con parti di profilo in sovrapposizione.

Lungo ogni base sismica sono state utilizzate 11 postazioni di energizzazione; per ogni postazione sono state acquisite molteplici registrazioni al fine di ottimizzare il segnale in risposta. Il sistema di energizzazione impiegato è una massa battente (mazza da 12 kg) per entrambi i tipi di onde; l'energizzazione delle onde SH è stata effettuata per ognuna delle postazioni con doppia polarità (+ e -) agendo lateralmente su un blocco ancorato al terreno.

Per ogni linea i dati di campagna relativi alle onde P ed SH sono stati acquisiti nel corso della medesima giornata.

Per il processing dei dati è stato utilizzato il Software RAYFRACT (ver. 3.35) della Intelligent Resources Inc. (Canada), creato per l'elaborazione di dati tomografici sismici a rifrazione, realizzabili sia con acquisizioni per onde di compressione P che di taglio SH, per scopi geologici, geotecnico-ingegneristici, ambientali, nonché per l'esplorazione nel campo delle georisorse.

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b>					
	<b>TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</b>					
<b>INDAGINI GEOFISICHE – INDAGINI SISMICHE A RIFRAZIONE</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RS3T	30 D 69	IG	GE0005 003	B	7 di 71

Il software citato consente la realizzazione di dettagliati modelli di velocità del sottosuolo con le più evolute tecniche tomografiche, al fine di caratterizzarne gli orizzonti presenti in termini sismo-stratigrafici.

Lo schema di interpretazione utilizzato nel presente lavoro è basato sulla creazione di un modello iniziale ottenuto mediante interpretazione con una tecnica sofisticata di processo dei tempi di primo arrivo basata sui metodi dei “Volumi di Fresnel” (Watanabe 1999) al fine di elaborare un primo modello di partenza con una tecnica del Gradiente “smooth” 1D, a partire dal modello sopraccitato; il codice di calcolo per la modellazione tomografica utilizza, nell’algoritmo d’inversione, un “raytracing” con raggi curvilinei e metodi di calcolo ai minimi quadrati attraverso il metodo Delta t-v (Gebrande and Miller 1985), al fine di migliorare il riconoscimento e la localizzazione di strutture di forma anomala, stabilizzando la soluzione dell’algoritmo d’iterazione. In generale, il tempo di percorrenza di un’onda sismica lungo un percorso S attraverso un mezzo bidimensionale (2D) può essere scritto come

$$t = \int_S u[\mathbf{r}(x, y)] \quad (2)$$

dove  $u(r)$  è il campo delle lentezze (l’inverso delle velocità) e  $r$  è il vettore posizione. Discretizzando il campo di lentezze  $u(r)$  con  $m$  celle equidimensionali ognuna caratterizzata da una lentezza costante  $u_k$  ( $k=1, 2, \dots, m$ ) la dromocrona  $i$ -esima delle  $n$  disponibili può essere scritta come

$$t_i = \sum_{k=1}^m l_{ik} \cdot u_k \quad (3)$$

dove  $l_{ik}$  rappresenta la porzione dell’ $i$ -esima dromocrona nella cella  $k$ -esima.

Considerando tutte le dromocrone disponibili si ottiene il seguente sistema

$$\mathbf{t} = \mathbf{M} \cdot \mathbf{u} \quad (4)$$

dove  $\mathbf{t}$  è il vettore dei dati sperimentali (tempi di primo arrivo letti sui sismogrammi),  $\mathbf{M}$  è la matrice rettangolare contenente le porzioni dei percorsi nelle varie celle,  $\mathbf{u}$  è il vettore delle lentezze (incognite del problema). Il problema inverso da risolvere è pertanto

$$\mathbf{u} = \tilde{\mathbf{M}}^{-1} \cdot \mathbf{t} \quad (5)$$

dove  $\tilde{\mathbf{M}}^{-1}$  è la matrice inversa generalizzata. Poiché i percorsi sismici dipendono dalle lentezze, la matrice  $\mathbf{M}$  dipende anche dalle lentezze e quindi il problema inverso (5) è un problema non-lineare che deve essere risolto iterativamente partendo da una soluzione iniziale (modello di partenza). L’equazione da considerare è pertanto la seguente

$$\mathbf{J} \cdot \Delta \mathbf{u} = \Delta \mathbf{t} \quad (5)$$

dove  $\Delta \mathbf{t} = \mathbf{t} - \mathbf{t}(\mathbf{u}_0)$  è la differenza tra i tempi sperimentali e i tempi calcolati per il modello di lentezze iniziale  $\mathbf{u}_0$ ;  $\Delta \mathbf{u}$  è la perturbazione del modello iniziale; e  $\mathbf{J}$  è la matrice jacobiana contenente le derivate parziali delle dromocrone rispetto alle

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b>					
	<b>TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</b>					
<b>INDAGINI GEOFISICHE – INDAGINI SISMICHE A RIFRAZIONE</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RS3T	30 D 69	IG	GE0005 003	B	8 di 71

lentezze nelle celle  $\frac{\partial t_i}{\partial u_k}$ .

Poiché il problema è parzialmente sovradeterminato (per alcune celle si hanno molti percorsi) e parzialmente sottodeterminato (per alcune celle non è disponibile nessun percorso) esso è stato risolto con la tecnica dei minimi quadrati smorzati, cioè è stata minimizzata con la seguente funzione errore

$$\varphi = \|\mathbf{J} \cdot \Delta \mathbf{u} - \Delta \mathbf{t}\|^2 + \lambda \|\mathbf{L}_2 \mathbf{u}\|^2 \quad (6)$$

dove  $\lambda$  è il fattore di smorzamento e la matrice  $\mathbf{L}_2$  è una matrice derivata seconda (operatore laplaciano) che forza la soluzione verso la soluzione più regolare possibile (smoothest solution).

L'affinamento della soluzione è stato ottenuto attraverso un processo tomografico di inversione basato sul metodo WET (Wavepath Eikonal Traveltime inversion: Theory, 1993, Geophysics, Volume 58, Issue 9, pp. 1314-1323), spinto fino a 100 iterazioni per ottimizzarne il risultato finale e risolvere al meglio le zone con inversioni di velocità.

I risultati grafici che rappresentano la distribuzione delle velocità delle onde di compressione ( $V_p$ ) e di taglio ( $V_s$ ) nei terreni indagati, sono visualizzati nell'allegato con campiture a colori caratterizzate da una scala cromatica rappresentativa della dinamica dei valori di velocità incontrati (espressi in m/s, metri al secondo). Tale rappresentazione consente di identificare aree omogenee (medesimo comportamento cromatico) in termini sismo-stratigrafici. Queste zone di isovalori, di  $V_p$  per le onde di compressione, e di  $V_s$ , per quelle di taglio, sono correlabili ad ammassi di materiale con caratteristiche affini.



	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b>					
	<b>TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</b>					
<b>INDAGINI GEOFISICHE – INDAGINI SISMICHE A RIFRAZIONE</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RS3T	30 D 69	IG	GE0005 003	B	9 di 71

### 3. RISULTATI

#### 3.1 Risultati delle tomografie sismiche – Allegato 1

I risultati delle indagini geofisiche condotte sono riportati nell'Allegato grafico e commentati di seguito. Per ogni imbocco di galleria, i risultati sono organizzati su più tavole: generalmente la prima presenta una immagine satellitare con la posizione delle linee e delle foto inerenti le fasi di acquisizione dati, mentre le successive illustrano le sezioni tomografiche sismiche a rifrazione ottenute con i relativi confronti e interpretazioni.

Le Tavole sono organizzate secondo un ordine degli imbocchi procedendo da Nord-Ovest verso Sud-Est (da Palermo verso Catania).

##### 3.1.1 Imbocco AA' – BB'

La linea RIFR AA' è stata disposta assialmente al tracciato di progetto mentre la RIFR BB' risulta trasversale al medesimo (v. Tavola 1 dell'Allegato grafico).

Lungo le sezioni AA' e BB' sono stati individuati n.3 sismostrati.

Il sismostrato 1 è superficiale, ha uno spessore medio di circa 3-4 m e velocità delle onde P ed S comprese negli intervalli 200-600 m/s e 100-200 m/s rispettivamente.

Il secondo sismostrato (sismostrato 2) ha uno spessore variabile lungo l'intera sezione. Le velocità delle onde di compressione variano nell'intervallo 600-1.600 m/s mentre le onde S si propagano mediamente alla velocità di 200-250 m/s. All'interno di tale orizzonte, in entrambe le sezioni onde S è stata individuata una lente caratterizzata da valori di velocità maggiori rispetto alla media dell'intervallo (400-450 m/s). Le due zone individuate nelle sezioni AA' e BB', rispettivamente tra le progressive 110-160 m e 70-115 m, sono probabilmente da ritenersi in continuità laterale.

Il sismostrato 3 mostra una distribuzione di velocità piuttosto complessa con valori compresi tra 1.600 m/s e 2.500 m/s per le onde P. Le onde S sono comprese tra 200-250 m/s e 600 m/s. Entro le profondità raggiunte non viene intercettata la 800 m/s delle NTC.

##### 3.1.2 Imbocco EE' – FF'

Le linee RIFR EE' e FF' sono state rispettivamente disposte assialmente e trasversalmente al tracciato ferroviario di progetto (v. Tavola 4 dell'Allegato grafico).

Lungo le sezioni EE' e FF' sono stati individuati n.2 sismostrati.

Il sismostrato 1 è superficiale, ha uno spessore medio di circa 8-10 m e velocità delle onde P ed S inferiori ai 1500/1600 m/s e i 300 m/s rispettivamente.

Il secondo sismostrato (sismostrato 2) presenta valori delle onde compressionali superiori ai 1500/1600 m/s fino a valori dell'ordine dei 2400/2500 m/s a profondità

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b>					
	<b>TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</b>					
<b>INDAGINI GEOFISICHE – INDAGINI SISMICHE A RIFRAZIONE</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RS3T	30 D 69	IG	GE0005 003	B	10 di 71

maggiori di 30 m. In questo sismostrato le onde S hanno valori maggiori di i 300 m/s e raggiungono 850 m/s a profondità di circa 40 m dal piano campagna.

Lungo la sezione EE' delle onde P è ben visibile una anomalia, posta tra le progressive 30 m e 60 m, ad una profondità tra i 15 ed i 20 m da pc, caratterizzata da una inversione di velocità. Tale zona di anomalia appare anche accennata nella sezione delle onde S.

### 3.1.3 *Imbocco CC' – DD'*

La linea RIFR CC' è stata posizionata assialmente al tracciato di progetto mentre la RIFR DD' risulta trasversale al medesimo (v. Tavola 4 dell'Allegato grafico).

Lungo le sezioni CC' e DD' sono stati individuati n.3 sismostrati.

Il sismostrato 1 è superficiale ed ha uno spessore medio di circa 4 m. Le velocità delle onde P ed S sono comprese rispettivamente negli intervalli 200-700/800 m/s e 100-200/250 m/s.

Il secondo sismostrato (sismostrato 2) presenta valori delle onde compressionali tra 700/800 e 1.300/1.400 m/s, mentre le onde S assumono valori compresi tra i 200/250 m/s e 350/450 m/s. Lo spessore del sismostrato è di circa 5/6 m e, dal punto di vista morfologico, segue l'andamento topografico.

Nel sismostrato 3 le onde compressionali e di taglio si propagano con velocità comprese tra 1.300/1.400 – 2.500 m/s e tra 350/450 – 850 m/s rispettivamente. Lungo la linea CC', in entrambe le sezioni P ed S si denota la presenza di una zona di inversione di velocità tra le progressive 100-150 m. All'intersezione tra le linee, la parte più profonda e ristretta della medesima inversione viene individuata anche dalla sezione P della linea DD' ed appena accennata, attraverso attenuazione di gradiente, dalla corrispondente S.

### 3.1.4 *Sezione sismica tomografica su VI19.*

Tale sezione è stata realizzata a sostituzione del Down Hole sul relativo sondaggio VI19. Per tale motivazione sono stati calcolati ed estrapolati in coincidenza della posizione della verticale del sondaggio citato, i valori metro-metro delle velocità delle onde di compressione e di taglio, compresi i parametri dinamici conseguenti a tali distribuzioni di velocità e la classe sismica di suolo corrispondente, secondo l'approccio semplificato delle NTC 2018.

Lungo la sezione RIFR VI19 sono stati individuati n.3 orizzonti sismici principali.

Il primo orizzonte, il sismostrato 1, è superficiale, ha uno spessore medio di circa 5 m e velocità delle onde P ed S inferiori ai 600 m/s e i 250/275 m/s rispettivamente.

Il secondo sismostrato (sismostrato 2) presenta valori delle onde compressionali tra 600 e 1.600 m/s, mentre le onde S hanno valori compresi tra i 250/275 m/s e 425 m/s. Lo spessore di questo sismostrato varia tra gli 11 e i 15 m.



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO  
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA

TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)

INDAGINI GEOFISICHE – INDAGINI SISMICHE A  
RIFRAZIONE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 69	IG	GE0005 003	B	11 di 71

L'ultimo sismostrato (sismostrato 3) presenta valori delle onde P superiori ai 1.600 m/s. Velocità delle onde P dell'ordine dei 2.000 m/s sono rintracciate a profondità uguali o superiori ai 30 m. In questo sismostrato le onde S assumono valori maggiori di 425 m/s; a profondità di circa 35 m vengo raggiunti i 575 m/s.

Le sezioni sismiche tomografiche per onde P ed S, nel caso in oggetto, sono state utilizzate per ottenere sia la classificazione del sottosuolo ai sensi delle NTC che i parametri dinamici medi necessari per la progettazione delle opere previste nell'intorno del foro di sondaggio V119. I risultati completi della prova, la sua ubicazione e la sua interpretazione, sono reperibili di seguito e nell'Allegato 1 (v. Tavole 10, 11 e 12).

Per la determinazione dei moduli dinamici a partire dalla distribuzione di velocità delle onde di compressione P e di taglio SH, occorre assumere che il geomateriale indagato sia un mezzo omogeneo, elastico ed isotropo.

Nel nostro caso, come per la maggior dei contesti, tale assunzione risulta un'approssimazione.

In ogni caso, facendo riferimento alle supposizioni introdotte, è possibile risalire al coefficiente di Poisson (in tale contesto denominato  $\sigma$ , in altri comunemente definito con  $\nu$ ), tramite la seguente relazione  $\diamond$

$$\sigma = \frac{\left(\frac{V_P}{V_S}\right)^2 - 2}{2\left[\left(\frac{V_P}{V_S}\right)^2 - 1\right]} \quad \diamond$$

e al modulo di Young tramite la  $\diamond$

$$E = \frac{(1-2\sigma)(1+\sigma)}{(1-\sigma)} \rho V_P^2 \quad \diamond$$

I valori dinamici calcolati con tali tecniche possono risultare differenti dai valori provenienti da prove di tipo statico puntuali (normalmente anche di un ordine di grandezza), specie in tipologie di materiali quali quelli in oggetto.

Sono inoltre esprimibili come funzioni dalle costanti elastiche dinamiche E e  $\sigma$ , la compressibilità  $\beta$  e di conseguenza il *Bulk modulus* ( $k = 1/\beta$ ) (Milton B. et alii, 1988), cioè come relazione tra le costanti di dilatazione cubica, risultanti dalla combinazione degli sforzi lineari di compressione e di taglio in dipendenza delle relative costanti:

$\diamond$  Milton B. Dobrin, Carl H. Savit, 1988, Introduction to Geophysical Prospecting, fourth Edition, McGraw-Hill International Editions e R.E. Goodman, 1989, Introduction to Rock Mechanics, second Edition, John Wiley & Sons

$$k = \frac{E}{3(1-2\sigma)}$$

e il modulo di rigidità o di taglio  $\mu$  (altrimenti indicato con la lettera G) :

$$\mu = \frac{E}{2(1+\sigma)}$$

Nelle tabelle che seguono sono riportati i valori delle velocità delle onde P ed S, i valori dinamici del Coefficiente di Poisson (qui indicato col simbolo  $\sigma$ ), del Modulo di Young dinamico (E), del Modulo di Rigidità o di Taglio ( $\mu$ ), nonché del Bulk Modulus (inverso della compressibilità), calcolati così come descritto precedentemente in corrispondenza della progressiva 48 m.

#### VELOCITA' ONDE P ED S

Strato	Profondità (m dal p.c.)	Velocità Vs media (m/s)	Velocità Vp media (m/s)
1	A-1 m	125	300
2	A-2 m	163	380
3	A-3 m	200	423
4	A-4 m	210	466
5	A-5 m	200	510
6	A-6 m	200	590
7	A-7 m	250	645
8	A-8 m	258	700
9	A-9 m	267	780
10	A-10 m	275	860
11	A-11 m	300	940
12	A-12 m	313	1020
13	A-13 m	325	1100
14	A-14 m	342	1200
15	A-15 m	358	1300
16	A-16 m	375	1400
17	A-17 m	392	1500
18	A-18 m	408	1550
19	A-19 m	425	1600
20	A-20 m	442	1650
21	A-21 m	458	1700
22	A-22 m	475	1730
23	A-23 m	488	1760
24	A-24 m	500	1800
25	A-25 m	508	1850
26	A-26 m	517	1900
27	A-27 m	525	1925
28	A-28 m	533	1950
29	A-29 m	542	1975
30	A-30 m	550	2000

**PARAMETRI DINAMICI**

Strato	Profondità (m dal p.c.)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	Poisson	Young (MPa)	Share (MPa)	Bulk (MPa)	Vseq
							(da -1 m per H=30 m)
1	A -1 m	16.60	0.39	70.97	25.44	112.60	310
2	A -2 m	16.76	0.39	120.49	43.40	179.47	
3	A -3 m	16.85	0.36	179.22	66.08	207.49	
4	A -4 m	16.93	0.37	201.02	73.23	262.95	
5	A -5 m	17.02	0.41	188.16	66.76	345.12	
6	A -6 m	17.18	0.44	193.43	67.39	496.63	
7	A -7 m	17.29	0.41	299.19	105.97	564.11	
8	A -8 m	17.40	0.42	323.68	113.88	684.29	
9	A -9 m	17.56	0.43	351.17	122.46	884.43	
10	A -10 m	17.72	0.44	379.29	131.42	1110.03	
11	A -11 m	17.88	0.44	455.54	157.81	1338.94	
12	A -12 m	18.04	0.45	500.41	172.77	1610.26	
13	A -13 m	18.20	0.45	547.54	188.52	1908.29	
14	A -14 m	18.40	0.46	613.35	210.64	2317.55	
15	A -15 m	18.60	0.46	683.39	234.22	2770.38	
16	A -16 m	18.80	0.46	757.76	259.27	3267.92	
17	A -17 m	19.00	0.46	836.59	285.83	3811.30	
18	A -18 m	19.10	0.46	913.65	312.31	4083.70	
19	A -19 m	19.20	0.46	994.48	340.10	4366.77	
20	A -20 m	19.30	0.46	1079.14	369.21	4660.63	
21	A -21 m	19.40	0.46	1167.66	399.66	4965.40	
22	A -22 m	19.46	0.46	1256.64	430.58	5137.55	
23	A -23 m	19.52	0.46	1327.02	454.94	5323.11	
24	A -24 m	19.60	0.46	1401.42	480.53	5587.00	
25	A -25 m	19.70	0.46	1456.89	499.22	5946.44	
26	A -26 m	19.80	0.46	1513.63	518.34	6318.59	
27	A -27 m	19.85	0.46	1566.52	536.55	6498.16	
28	A -28 m	19.90	0.46	1620.44	555.11	6680.64	
29	A -29 m	19.95	0.46	1675.40	574.03	6866.03	
30	A -30 m	20.00	0.46	1731.40	593.31	7054.36	

Sulla base del profilo di velocità delle onde di taglio  $V_s$  nei primi 30 m di profondità, è stata determinata una velocità equivalente  $V_{seq} = V_{s30}$  rappresentativa del sito in esame. Secondo la normativa italiana in materia di progettazione antisismica "O.P.C.M. n° 3274/2003" e sue modifiche e le Norme Tecniche di Costruzione (D.M. 14/01/2008) e sue modifiche e, ancora, secondo la normativa europea Eurocodice 8, il valore calcolato di  $V_{s30}$  è pari a

$$V_{s30} = 310 \text{ m/s.}$$

Vista la stratigrafia presente, i profili di velocità delle onde di taglio e il valore di  $V_{s30}$  si può assimilare la categoria di suolo di fondazione di riferimento al suolo "C".

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b>					
	<b>TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</b>					
<b>INDAGINI GEOFISICHE – INDAGINI SISMICHE A RIFRAZIONE</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RS3T	30 D 69	IG	GE0005 003	B	14 di 71

### 3.1.5 Imbocco GG' – HH'.

La linea RIFR GG' è stata disposta assialmente al tracciato di progetto mentre la RIFR HH' risulta trasversale al medesimo (v. Tavola 13 dell'Allegato grafico).

Lungo le sezioni GG' e HH' sono stati individuati n.3 sismostrati.

Il sismostrato 1 è superficiale, ha uno spessore medio di circa 3/4 m e velocità delle onde P ed S inferiori ai 600 m/s ed ai 200 m/s rispettivamente.

Il secondo sismostrato (sismostrato 2) presenta valori delle onde compressionali tra 600 e 1.600 m/s, mentre le onde S hanno valori compresi tra i 200 m/s e 400 m/s. Lo spessore di questo sismostrato varia tra i 6 ed i 7 m.

L'ultimo sismostrato (sismostrato 3) presenta valori delle onde P superiori ai 1.600 m/s fino a valori dell'ordine dei 2.700/2.800 m/s a profondità uguali o superiori ai 40 m. In questo sismostrato le onde S si propagano con valori maggiori di i 400 m/s fino a 750 m/s a profondità di circa 35 m.

### 3.1.6 Imbocco II' – JJ'.

La linea RIFR II' è stata acquisita assialmente al tracciato di progetto mentre la RIFR JJ' trasversalmente al medesimo (v. Tavola 16 dell'Allegato grafico).

Lungo le sezioni II' e JJ' sono stati individuati n.3 sismostrati.

Il sismostrato 1 è superficiale, ha uno spessore medio di circa 3-4 m e velocità delle onde P ed S comprese negli intervalli 200-600 m/s e 100-300 m/s rispettivamente. Lungo le sezioni P ed S della RIFR II' tale sismostrato si presenta discontinuo.

Il secondo sismostrato (sismostrato 2) ha uno spessore variabile lungo l'intera sezione. Le velocità delle onde compressionali variano nell'intervallo 600-1.600 m/s mentre le onde S si propagano mediamente alla velocità di 300-500/550 m/s. Dal punto di vista delle onde compressionali il sismostrato si presenta piuttosto omogeneo in termini di gradiente; al contrario, le onde di taglio evidenziano variazioni laterali e verticali.

Il sismostrato 3 mostra una distribuzione di velocità piuttosto complessa con valori compresi tra 1.600 m/s e 2.900 m/s per le onde P. Le onde S sono comprese tra 500-550 m/s e 1.000 m/s. Tra le progressive 38-86 m lungo la sezione II' e tra le progressive 76-142 m nella sezione JJ', in un ampio intorno dell'intersezione tra le due linee e di realizzazione del foro di sondaggio 3a GN2 S08b allestito per la prova Down Hole, viene evidenziata la presenza di una zona complessa, scompaginata, probabilmente deformata. All'interno di tale area sono da attendersi brusche variazioni laterali e verticali nei gradienti di velocità.

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b>					
	<b>TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</b>					
<b>INDAGINI GEOFISICHE – INDAGINI SISMICHE A RIFRAZIONE</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RS3T	30 D 69	IG	GE0005 003	B	15 di 71

### 3.1.7 Imbocco KK' – LL'.

La linea RIFR KK' è stata disposta assialmente al tracciato di progetto mentre la RIFR LL' risulta trasversale al medesimo (v. Tavola 19 dell'Allegato grafico).

Lungo le sezioni KK' e LL' sono stati individuati n.3 sismostrati principali in funzione delle caratteristiche di velocità evidenziate e della variazione del gradiente stesso lungo i profili realizzati.

Il sismostrato 1 più superficiale, ha uno spessore variabile con un massimo di circa 12 m e velocità delle onde P ed S comprese negli intervalli 200-1400/1600 m/s e 100-250/350 m/s rispettivamente. All'interno di tale orizzonte, nella sezione LL' delle onde S, dalla progressiva 0 m alla progressiva 25 m, è stata individuata una lente caratterizzata da valori di velocità maggiori rispetto alla media dell'intervallo (400-500 m/s).

Il secondo sismostrato (sismostrato 2) mostra una distribuzione di velocità piuttosto complessa ed ha uno spessore variabile lungo l'intera sezione. Le velocità delle onde di compressione variano nell'intervallo 1400/1600-1.800/2000 m/s mentre le onde S si propagano mediamente ad una velocità compresa tra 250/350-400/500 m/s.

Il sismostrato 3 presenta valori compresi tra 1.800/2000 m/s e 3.300 m/s per le onde P. Le onde S sono comprese tra 400-500 m/s e 1200 m/s. All'interno del sismostrato 3, nella sezione onde P LL' è presente una anomalia con un minimo di velocità di circa 1500/1600 m/s probabilmente dovuta ad una circolazione d'acqua nello strato.

L'orizzonte di velocità delle onde S di 800 m/s delle NTC viene intercettato ad una profondità inferiore ai 30 m a partire dalla progressiva 180 m della sezione KK' e dalla progressiva 128 m della sezione LL'; altrimenti tale orizzonte risulta essere più profondo.

### 3.1.8 Imbocco MM' – NN'/OO'.

La linea RIFR MM' è assiale rispetto al tracciato di progetto mentre le RIFR NN' e OO' sono trasversali al medesimo (v. Tavole 22, 24 e 26 dell'Allegato grafico).

Lungo le sezioni MM', NN' e OO' sono stati individuati n.4 sismostrati.

Il sismostrato 1 è superficiale, ha uno spessore medio di circa 5-6 m e velocità delle onde P ed S comprese negli intervalli 200-1.000 m/s e 100-250/300 m/s rispettivamente.

Il secondo sismostrato (sismostrato 2) ha uno spessore variabile lungo le sezioni.

Le velocità delle onde compressionali variano nell'intervallo 1.000-1.600/1.700 m/s mentre le onde S si propagano mediamente alla velocità di 250/300-400/450 m/s. Sia le onde compressionali che di taglio, lungo le sezioni NN' ed OO', indicano un sismostrato piuttosto omogeneo in termini di gradiente; nel caso della sezione MM', entrambi i tipi di onde individuano una zona, tra le progressive 190 m e 230 m, dove viene evidenziata una variazione laterale e verticale che muta la forma dell'orizzonte.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA					
	TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)					
INDAGINI GEOFISICHE – INDAGINI SISMICHE A RIFRAZIONE	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 69	CODIFICA IG	DOCUMENTO GE0005 003	REV. B	FOGLIO 16 di 71

Il sismostrato 3 mostra una distribuzione di velocità piuttosto complessa con valori compresi tra 1.600/1.700 m/s e 2.500/2.700 m/s per le onde P. Le onde S sono comprese tra 400-450 m/s e 800 m/s. Nel dettaglio, lungo le sezioni P ed S ottenute dalla linea MM' si individua una inversione di velocità tra le progressive 65 m e 105 m attribuibile ad una zona di fratturazione con probabile circolazione di acqua.

Lungo la sezione P della linea OO', l'inversione di velocità individuata tra le progressive 65 m e 95 m è probabilmente dovuta agli effetti di acqua in circolazione nei materiali intercettati.

Il sismostrato profondo (sismostrato 4) ha velocità P ed S rispettivamente maggiori di 2.500/2.700 m/s e maggiori di 800 m/s.

### 3.1.9 Imbocco PP' - QQ'.

La linea RIFR PP' è assiale al tracciato di progetto mentre la RIFR QQ' è trasversale al medesimo (v. Tavole 28 e 30 dell'Allegato grafico).

Lungo le sezioni PP' E QQ' sono stati individuati n.3 sismostrati.

Il sismostrato 1 è superficiale, ha uno spessore medio di circa 6-8 m e velocità delle onde P ed S comprese negli intervalli 200-700/800 m/s e 100-300/350 m/s rispettivamente.

Il secondo sismostrato (sismostrato 2) ha uno spessore variabile lungo le sezioni. Le velocità delle onde compressionali variano nell'intervallo 700/800-1.200/1.300 m/s mentre le onde S si propagano mediamente alla velocità di 300/350-550/600 m/s. Lungo la sezione PP', le onde compressionali e di taglio individuano un sismostrato 2 piuttosto disomogeneo per la presenza di zone di attenuazione di gradiente oltre a delle inversioni, in particolare nella prima metà della linea, tra le progressive 0-120 m. Tra le progressive 0-50 m, lungo la sezione onde P si individua una zona caratterizzata dall'isolinesa di velocità 1.600 m/s affine probabilmente con una certa circolazione d'acqua nei terreni.

Il sismostrato 3 mostra una distribuzione di velocità con valori maggiori di 1.200/1.300 m/s per le onde P e maggiori di 550/600 m/s per le onde S.

### 3.1.10 Imbocco RR' – SS'.

La linea RIFR RR' è stata acquisita lungo la direzione assiale al tracciato di progetto mentre la RIFR SS' risulta trasversale al medesimo (v. Tavola 32 dell'Allegato grafico).

Lungo le sezioni RR' e SS' sono stati individuati n.3 sismostrati.

Il sismostrato 1 è superficiale, ha uno spessore medio di circa 6 m e velocità delle onde P ed S inferiori ai 1.000 m/s e i 250 m/s rispettivamente.

Il secondo sismostrato (sismostrato 2) presenta valori delle onde compressionali tra 1.000 m/s e 1.600 m/s mentre le onde S hanno valori compresi tra i 250 m/s e 500 m/s. Lo spessore di questo sismostrato varia tra i 5 e gli 8 m.



	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b>					
	<b>TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</b>					
<b>INDAGINI GEOFISICHE – INDAGINI SISMICHE A RIFRAZIONE</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RS3T	30 D 69	IG	GE0005 003	B	17 di 71

L'ultimo sismostrato (sismostrato 3) presenta valori delle onde P superiori ai 1.600 m/s e raggiunge i 2200/2300 m/s a profondità uguali o superiori ai 30 m. In questo sismostrato le onde S hanno valori maggiori di i 500 m/s e gli 800/850 m/s vengono raggiunti dall'onda a profondità di circa 40 m.

### 3.1.11 Imbocco TT' – UU'.

La linea RIFR TT' è stata acquisita lungo la direzione assiale al tracciato di progetto mentre la RIFR UU' risulta trasversale al medesimo (v. Tavola 35 dell'Allegato grafico).

Lungo le sezioni TT' e UU' sono stati individuati n.2 sismostrati.

Il sismostrato 1 è superficiale ed ha uno spessore medio di circa 9/10 m. Le velocità delle onde P ed S sono comprese rispettivamente negli intervalli 200-1200/1300 m/s e 100-350/400 m/s. In particolare lungo la sezione UU', tra le progressive 0-36 m e 48-70 m, sono individuate due porzioni (indicate come sismostrato 1a) nelle quali, sulla base delle velocità delle onde P ed S (200-350 m/s e 100-150 m/s rispettivamente), i terreni sono da considerarsi a bassa-bassissima consistenza.

Il secondo sismostrato (sismostrato 2) presenta valori delle onde compressionali tra 1.200/1.300 e 3.100 m/s, mentre le onde S assumono valori compresi tra i 350/400 m/s e 850 m/s. A partire dall'interfaccia tra i sismostrati 1 e 2 verso le porzioni più profonde si attraversa una prima fascia complessa, nella quale sono ricorrenti variazioni laterali e verticali con inversioni di velocità.

Nella parte più profonda delle sezioni (in particolare dalle onde P) il gradiente di velocità e le caratteristiche fisico-meccaniche dei materiali attraversati si regolarizzano.

### 3.1.12 Imbocco VV' – WW'.

La linea RIFR VV' è stata acquisita lungo la direzione assiale al tracciato di progetto mentre la RIFR WW' risulta trasversale al medesimo (v. Tavola 38 dell'Allegato grafico).

Lungo le sezioni VV' e WW' sono stati individuati n.3 sismostrati.

Il sismostrato 1 ha uno spessore medio di circa 5 m e le velocità delle onde P ed S sono comprese rispettivamente negli intervalli 200-700 m/s e 100-200 m/s. Esso può essere suddiviso a sua volta nei sismostrati 1a e 1b. Il sismostrato 1a, con velocità P ed S comprese tra 200-300 m/s e tra 100-125 m/s rispettivamente, è correlabile con i terreni superficiali, saturi in acqua e risultati particolarmente molli, a consistenza nulla, durante le fasi della campagna di acquisizione dati.

Il secondo sismostrato (sismostrato 2) presenta valori delle onde compressionali tra 700 e 1.600 m/s, mentre le onde S assumono valori compresi tra 200 m/s e 300/350 m/s. All'interno del sismostrato il gradiente di velocità rimane piuttosto costante lungo l'intera sezione.

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b>					
	<b>TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</b>					
<b>INDAGINI GEOFISICHE – INDAGINI SISMICHE A RIFRAZIONE</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RS3T	30 D 69	IG	GE0005 003	B	18 di 71

Il sismostrato 3 presenta valori delle onde compressionali tra 1.600 e 2.900 m/s, mentre le onde S si propagano con velocità comprese tra 300/350 m/s e 1.100 m/s. All'interno del sismostrato i gradienti di velocità delle onde P ed S subiscono brusche variazioni sia laterali che verticali. Sono state rintracciate varie inversioni di velocità oltre a discontinuità laterali correlabili probabilmente con le variazioni di consistenza dei materiali attraversati.

### 3.1.13 Imbocco XX' – YY'.

La linea RIFR XX' è stata acquisita lungo la direzione assiale al tracciato di progetto mentre la RIFR YY' risulta trasversale al medesimo (v. Tavola 41 dell'Allegato grafico).

Lungo le sezioni XX' e YY' sono stati individuati n.3 sismostrati.

Il sismostrato 1 è superficiale ed ha uno spessore medio di circa 3-4 m. Le velocità delle onde P ed S sono comprese rispettivamente negli intervalli 200-600 m/s e 100-200 m/s.

Il secondo sismostrato (sismostrato 2) presenta valori delle onde compressionali tra 600 e 1.100 m/s, mentre le onde S si propagano nei terreni con velocità comprese tra i 200 m/s e 300/350 m/s. All'interno del sismostrato il gradiente di velocità rimane piuttosto costante lungo l'intera sezione.

Il sismostrato 3 presenta valori delle onde compressionali tra 1.100 e 2.300 m/s, mentre le onde S assumono valori compresi tra 300/350 m/s e 700 m/s. All'interno del sismostrato i gradienti di velocità delle onde P ed S subiscono brusche variazioni sia laterali che verticali. Sono state rintracciate varie inversioni di velocità oltre a discontinuità laterali correlabili probabilmente con le variazioni di consistenza dei materiali attraversati.

Nella zona dell'intersezione tra le due linee, in particolare con la YY', a partire dalla profondità di circa 20-22 m dal piano campagna, si registra un miglioramento della risposta dei terreni alle sollecitazioni. Nelle porzioni più profonde delle sezioni, sia le onde compressionali che di taglio possiedono un gradiente positivo piuttosto regolare dal quale si desume un miglioramento graduale delle proprietà fisico-meccaniche dei terreni attraversati.

### 3.1.14 Imbocco ZZ' – AA-AA'.

La linea RIFR ZZ' è stata acquisita lungo la direzione assiale al tracciato di progetto mentre la RIFR AA-AA' risulta trasversale al medesimo (v. Tavola 44 dell'Allegato grafico).

Lungo le sezioni ZZ' e AA-AA' sono stati individuati n.3 sismostrati .

Il sismostrato 1 è superficiale ed ha uno spessore medio di circa 5 m. Le velocità delle onde P ed S sono comprese rispettivamente negli intervalli 200-700 m/s e 100-250/300 m/s.



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO  
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA

TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)

INDAGINI GEOFISICHE – INDAGINI SISMICHE A  
RIFRAZIONE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 69	IG	GE0005 003	B	19 di 71

Il secondo sismostrato (sismostrato 2) presenta valori delle onde compressionali tra 700 e 2.100/2.200 m/s, mentre le onde S assumono valori compresi tra 250/300 m/s e 750/800 m/s. A partire dall'interfaccia tra i sismostrati 1 e 2 verso le porzioni più profonde si attraversano terreni nei quali i gradienti di velocità subiscono pronunciate variazioni sia laterali che verticali. Tale complessità è legata alle variazioni di consistenza/addensamento dei materiali attraversati. In entrambe le sezioni P ed S della linea sismica ZZ', sono state individuate numerose zone con inversioni di velocità di cui 3 principali per estensione.

Lungo la sezione AA-AA', il secondo sismostrato mantiene la complessità sopra menzionata. In particolare sono da evidenziarsi:

- gradienti di velocità più lenti lungo la prima metà (tra le progressive 0-50 m) di entrambe le sezioni P ed S;
- uno strato a maggiore consistenza seguito da una estesa inversione di velocità tra le progressive 50-110 m mediamente e tra le quote 366 m s.l.m e 355 m s.l.m.

Nella parte più profonda delle sezioni ZZ' e AA-AA' il sismostrato 3 è caratterizzato da velocità compressionali nell'intervallo 2.100/2.200 – 2.900 m/s e velocità delle onde di taglio tra 750/800 m/s e 1.100 m/s.

Nella parte più profonda delle sezioni i gradienti di velocità e le caratteristiche fisico-meccaniche dei materiali attraversati si regolarizzano probabilmente ad indicare una omogeneizzazione della consistenza dei materiali all'interno del sismostrato.

### 3.1.15 Imbocco BB-BB' – CC-CC'.

La linea RIFR BB-BB' è stata acquisita lungo la direzione assiale al tracciato di progetto mentre la RIFR CC-CC' risulta trasversale al medesimo (v. Tavola 47 dell'Allegato grafico).

Lungo le sezioni BB-BB' e CC-CC' sono stati individuati n.4 sismostrati.

Il sismostrato 1 ha uno spessore medio di circa 3 m e segue l'andamento topografico. Le velocità delle onde P ed S sono comprese rispettivamente negli intervalli 200-600/700 m/s e 100-200 m/s.

Il secondo sismostrato (sismostrato 2) presenta valori delle onde compressionali tra 600/700 e 1.300/1.400 m/s, mentre le onde S hanno valori compresi tra 200 m/s e 300/350 m/s. All'interno del sismostrato il gradiente di velocità rimane piuttosto costante lungo l'intera sezione.

Il sismostrato 3 presenta uno spessore rilevante e variabile lungo le sezioni. I valori delle onde compressionali sono compresi tra 1.300/1.400 e 1.500/1.600 m/s, mentre le onde S assumono valori compresi tra 300/350 m/s e 400 m/s. All'interno del sismostrato i gradienti di velocità delle onde P ed S subiscono brusche variazioni sia laterali che verticali. Sono state rintracciate varie inversioni di velocità oltre a discontinuità laterali correlabili probabilmente con le variazioni di consistenza dei materiali attraversati e/o con variazioni del grado di saturazione in acqua.

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b>					
	<b>TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</b>					
<b>INDAGINI GEOFISICHE – INDAGINI SISMICHE A RIFRAZIONE</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RS3T	30 D 69	IG	GE0005 003	B	20 di 71

Nella parte più profonda delle sezioni si ha un generale miglioramento della risposta dei terreni alle sollecitazioni. Le onde compressionali e di taglio si propagano rispettivamente a velocità comprese tra 1.500/1.600 m/s e 2.100 m/s e tra 400 m/s e 550 m/s.

#### 4. BIBLIOGRAFIA

Aki K., 1964. A note on the use of microseisms in determining the Shallow structures of the earth's crust, *Geophysics*, 29, 665–666.

Ben-Menahem A. E SINGH S.J., 1981. *Seismic Waves and Sources*, Springer-Verlag, New York.

Burnham, G. F. and Hawke, P. J., Smart solution to a sticky problem: in-mine clay mapping using high-resolution geophysics. (In Press).

Cavinato, G. P., Di Luzio, E., Moscatelli, M., Vallone, R., Averardi, M., Valente, A., and Papale, S. [2006] The new Col di Tenda tunnel between Italy and France: Integrated geological investigations and geophysical prospections for preliminary studies on the Italian side. *Engineering Geology* 88, 90-109.

Coffeen, J.A., 1978. "Seismic exploration fundamentals". Pubb. Co.;

James W. Daniel, Convergence of the Conjugate Gradient Method with Computationally Convenient Modifications, *Numerische Mathematik* 10 (1967), 125–131.

H. Gebrande and H. Miller 1985. Refraktionsseismik (in German). In: F. Bender (Editor), *Angewandte Geowissenschaften II*. Ferdinand Enke, Stuttgart; pp.226-260. ISBN 3-432-91021-5

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b>  <b>TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</b>												
<b>INDAGINI GEOFISICHE – INDAGINI SISMICHE A RIFRAZIONE</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>RS3T</td> <td>30 D 69</td> <td>IG</td> <td>GE0005 003</td> <td>B</td> <td>21 di 71</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	RS3T	30 D 69	IG	GE0005 003	B	21 di 71
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
RS3T	30 D 69	IG	GE0005 003	B	21 di 71								

Kim, D.S., Bang, E.S., Kim, W.C., “Evaluation of Various Downhole Data Reduction Methods for Obtaining Reliable Vs Profiles,” Geo-technical Testing Journal, ASTM, Vol. 27, No. 6, November 2004, pp. 1-13.

Mcmechan G.A., Yedlin M.J., 1981, Analysis of dispersive wave by wave field transformation, Geophysics, 46, 869-874;

Milton B. Dobrin, Carl H. Savit, 1988, Introduction to Geophysical Prospecting, fourth Edition, McGraw-Hill International Editions e R.E. Goodman, 1989, Introduction to Rock Mechanics, second Edition, John Wiley & Sons.

Ganerød, G. V., Rønning, J. S., Dalsegg, E., Elvebakk, H., Holmøy, K., Nilsen, B., and Braathen, A. [2006] Comparison of geophysical methods for sub-surface mapping of faults and fracture zones in a section of the Viggja road tunnel, Norway. Bulletin of Engineering Geology and the Environment 65, 231-243.

John m. Reynolds, (1997). “An introduction to applied and environmental geophysics”, pp. 415-488, Wiley, England.

Gerard T. Schuster\* and Aksel Quintus-Bosz, Wavepath Eikonal Traveltime inversion: Theory, 1993, Geophysics, Volume 58, Issue 9, pp. 1314-1323.



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO  
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA

TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)

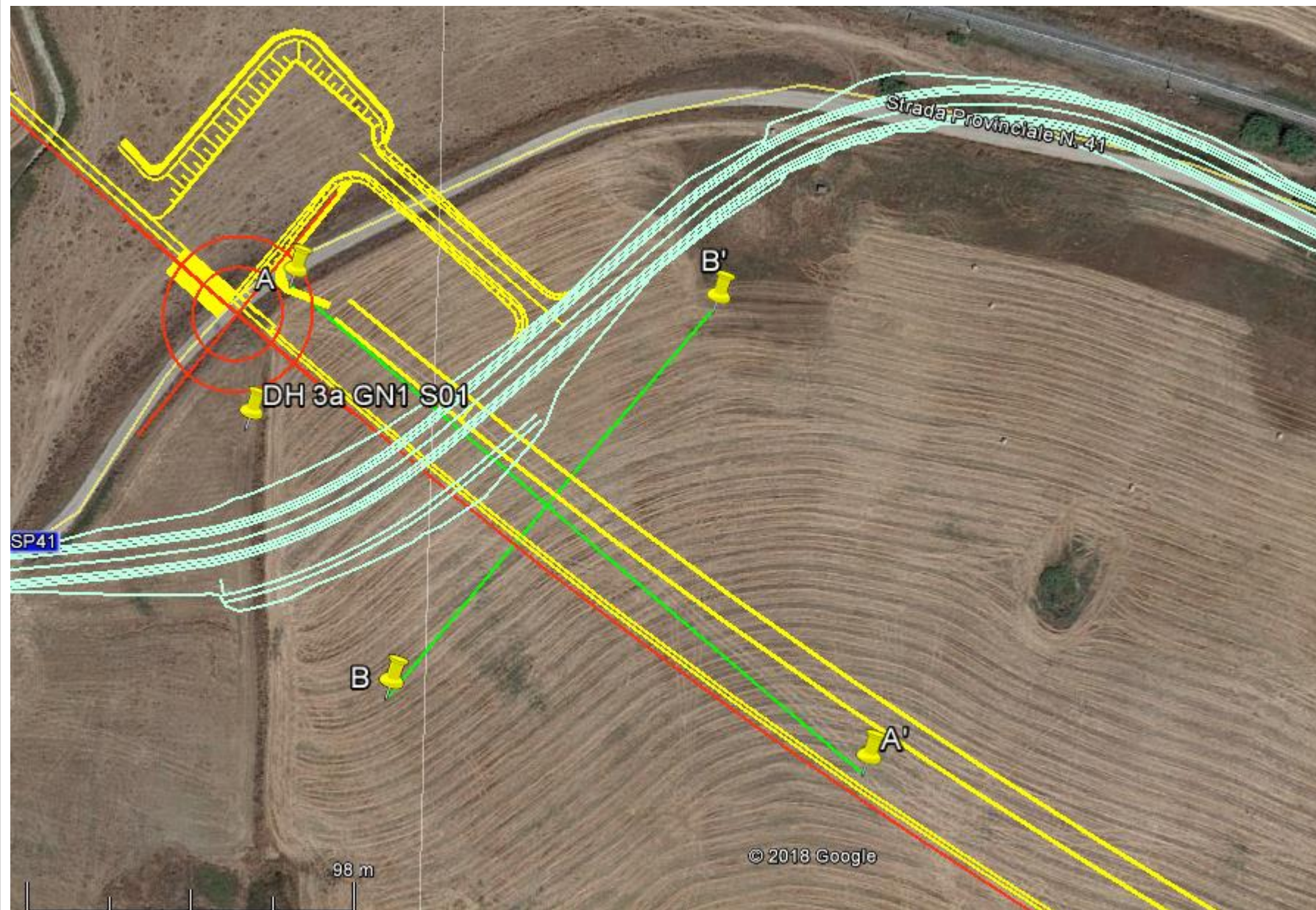
INDAGINI GEOFISICHE – INDAGINI SISMICHE A  
RIFRAZIONE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 69	IG	GE0005 003	B	22 di 71

## 5. ALLEGATO GRAFICO N. 1 – INDAGINI SISMICHE A RIFRAZIONE TOMOGRFIA

# INDAGINE SISMICA RIFRAZIONE TOMOGRAFICA LINEE AA' E BB'

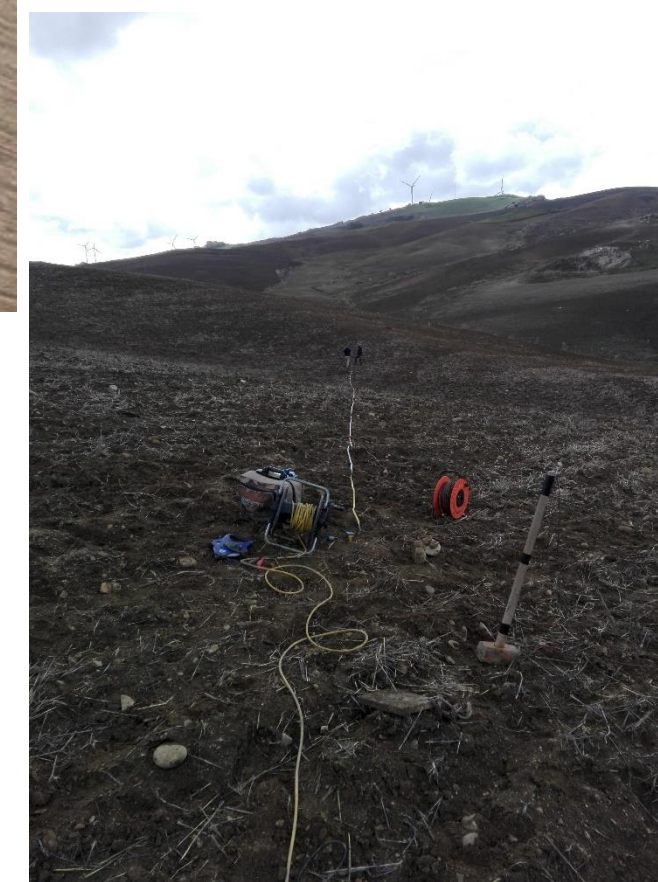
## Ubicazione Indagine



## Immagini area indagine RIFR AA'



## Immagini area indagine RIFR BB'



TAVOLA

1

### OGGETTO:

Area Indagine sismica  
RIFR. AA' E BB'

LINEA CT - PA  
Lotto 3



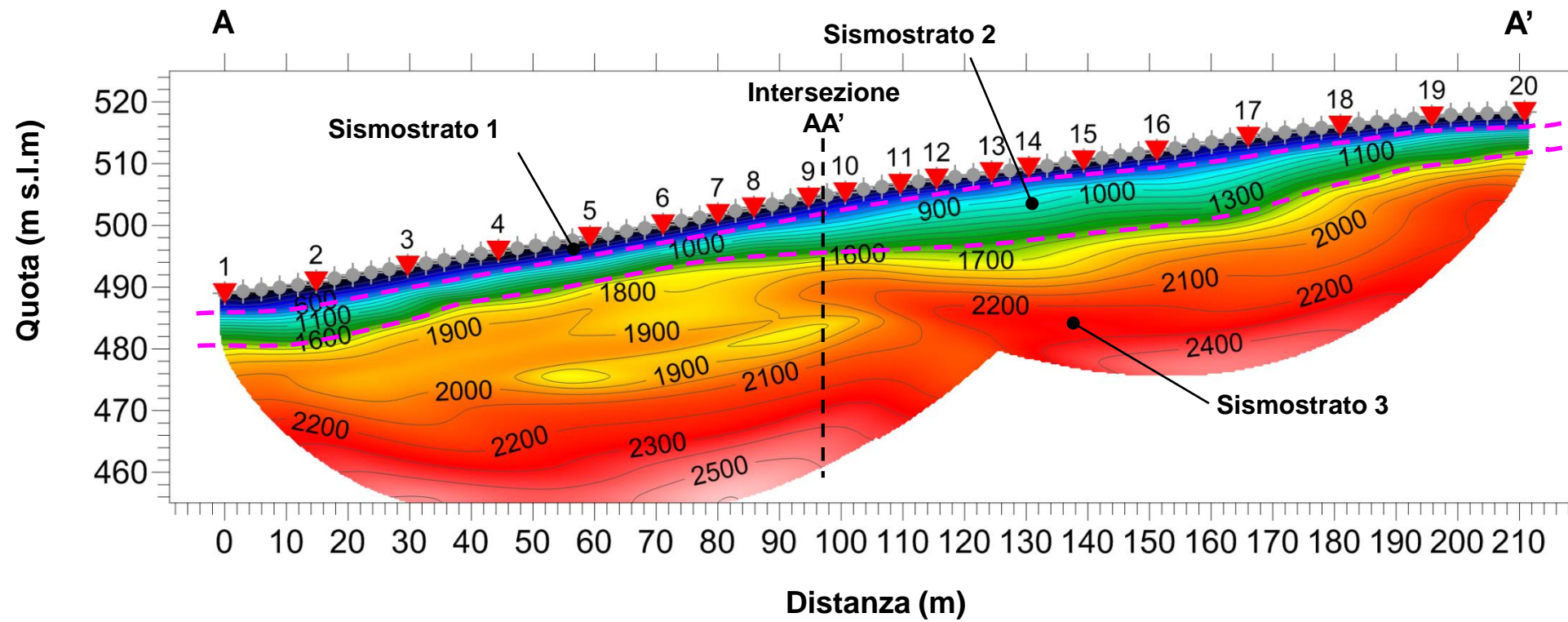
Per la  
**SOING Strutture e  
Ambiente srl**

ELAB G. Luciani  
E. Benvenuti

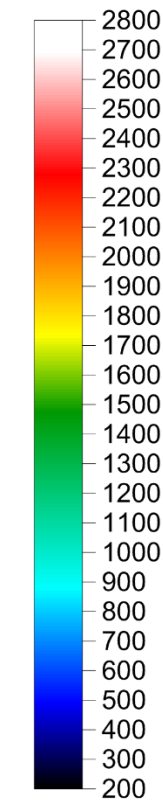
VERIFICA A. Morelli  
APPROV. P. Chiara

# INDAGINE SISMICA RIFRAZIONE TOMOGRAFICA LINEE AA' E BB'

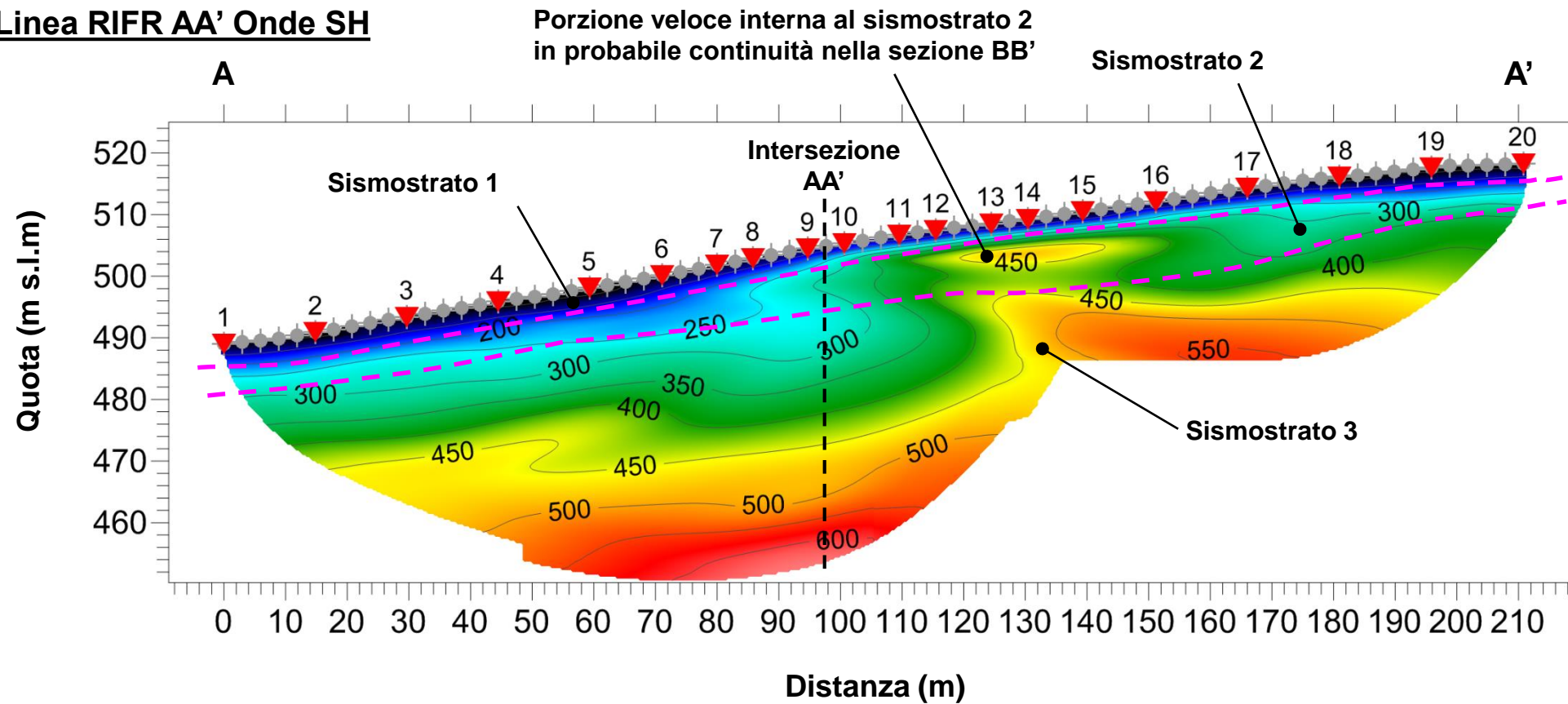
## Linea RIFR AA' Onde P



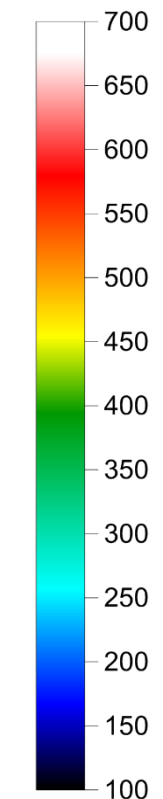
Scala velocità onde P (m/s)



## Linea RIFR AA' Onde SH



Scala velocità onde S (m/s)



TAVOLA

2

### OGGETTO:

Area Indagine sismica  
RIFR. AA' E BB'

LINEA CT - PA  
Lotto 3

Interfaccia  
tra sismostrati



Per la  
**SOING Strutture e  
Ambiente srl**

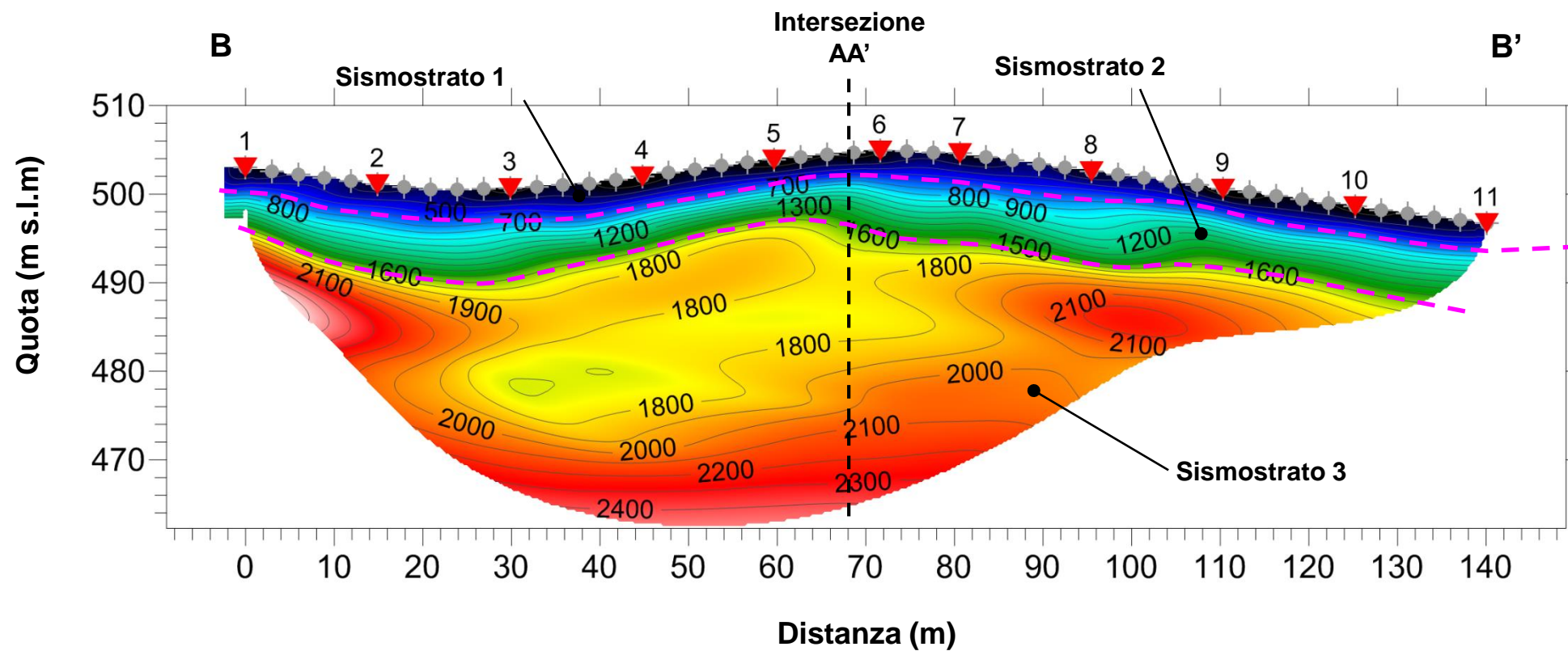
ELAB G. Luciani  
E. Benvenuti

VERIFICA A. Morelli  
APPROV. P. Chiara

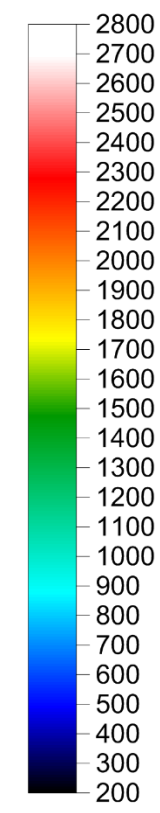


# INDAGINE SISMICA RIFRAZIONE TOMOGRAFICA LINEE AA' E BB'

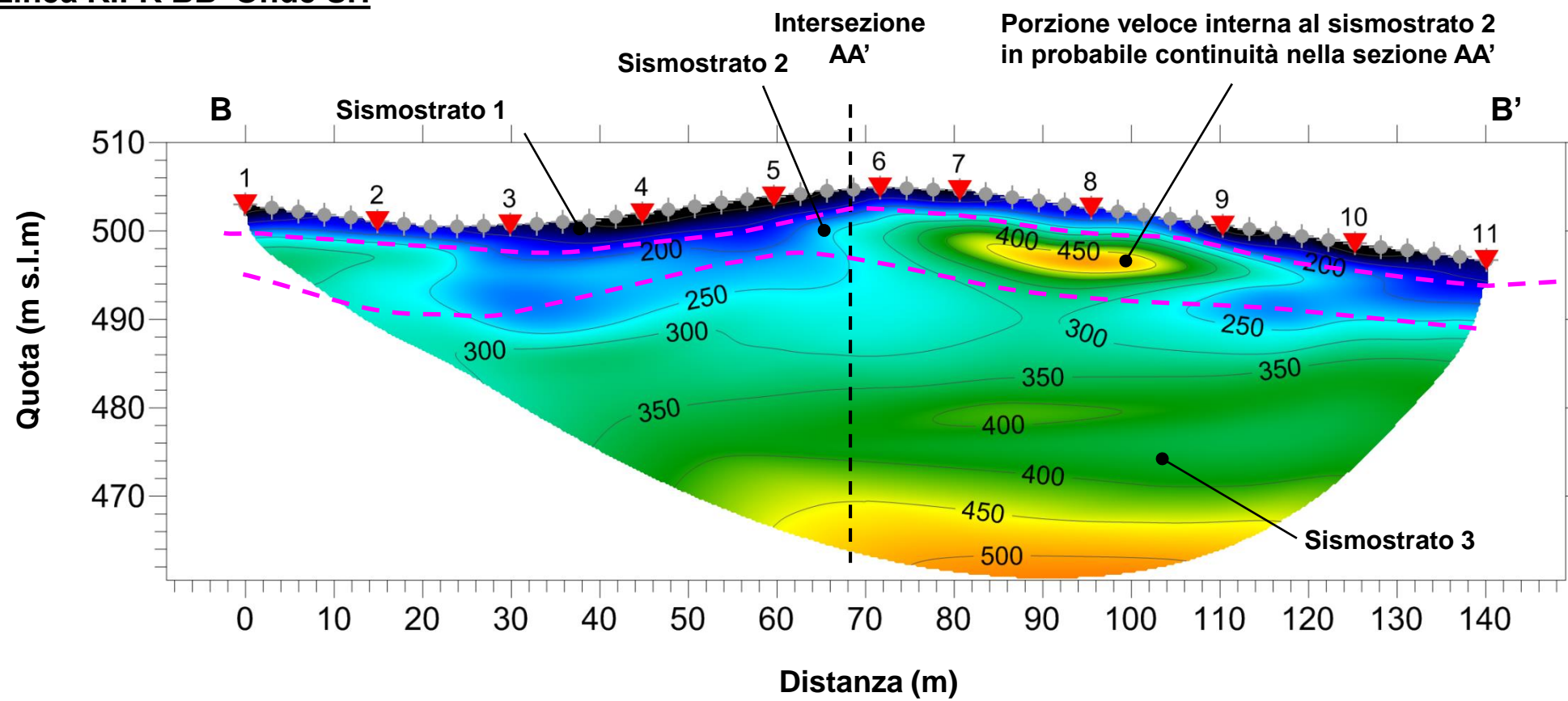
## Linea RIFR BB' Onde P



Scala velocità onde P (m/s)



## Linea RIFR BB' Onde SH



Scala velocità onde S (m/s)

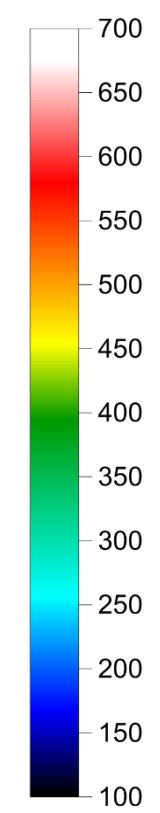


TAVOLA  
**3**

**OGGETTO:**  
Area Indagine sismica  
RIFR. AA' E BB'  
LINEA CT - PA  
Lotto 3

 **Interfaccia tra sismostrati**



**Per la  
SOING Strutture e  
Ambiente srl**

**ELAB** G. Luciani  
E. Benvenuti

**VERIFICA** A. Morelli  
**APPROV.** P. Chiara

# INDAGINE SISMICA RIFRAZIONE TOMOGRAFICA LINEE EE' E FF'

## Ubicazione Indagine



## Immagini area indagine RIFR EE'



## Immagini area indagine RIFR FF'



TAVOLA

4

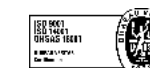
**OGGETTO:**

Area Indagine sismica  
RIFR. EE' E FF'

LINEA CT - PA  
Lotto 3



**SOING**  
STRUTTURE & AMBIENTE



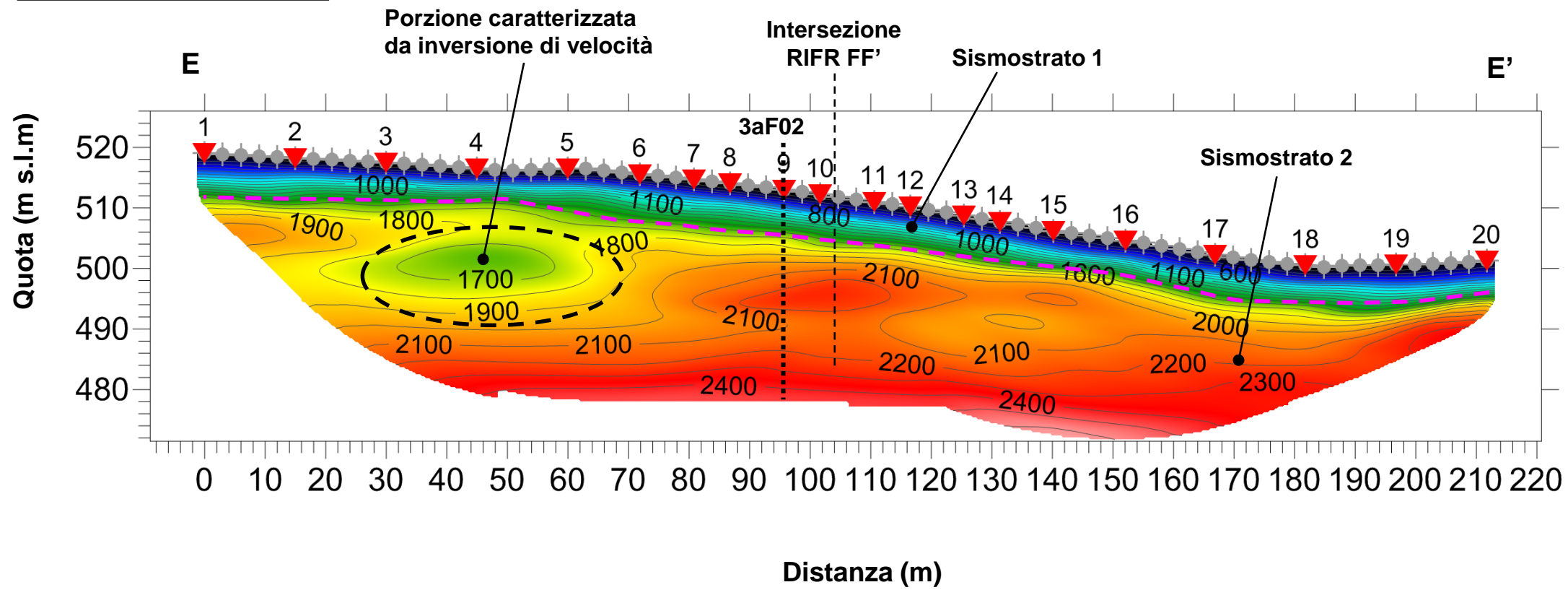
**Per la  
SOING Strutture e  
Ambiente srl**

**ELAB** G. Luciani  
E. Benvenuti

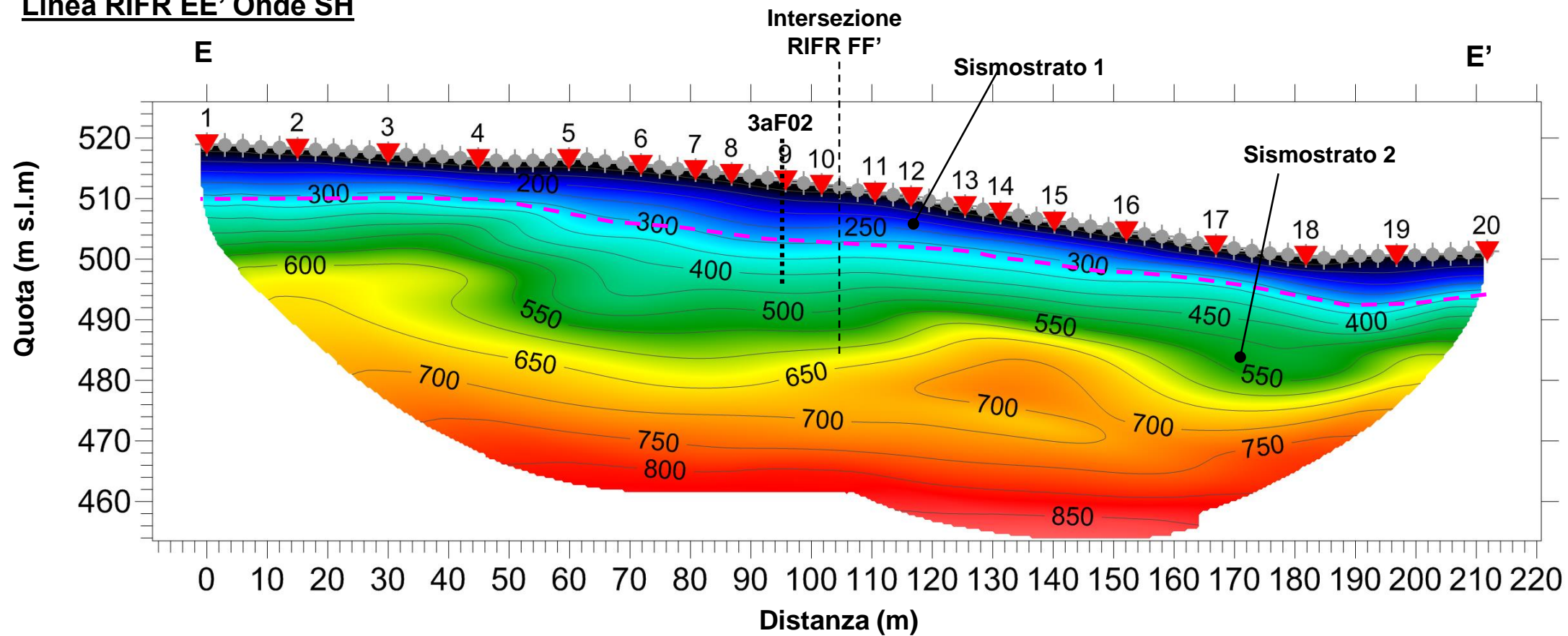
**VERIFICA** A. Morelli  
**APPROV.** P. Chiara

# INDAGINE SISMICA RIFRAZIONE TOMOGRAFICA LINEE EE' E FF'

## Linea RIFR EE' Onde P



## Linea RIFR EE' Onde SH



TAVOLA

5

### OGGETTO:

Area Indagine sismica  
RIFR. EE'

LINEA CT - PA  
Lotto 3

Interfaccia  
tra sismostrati



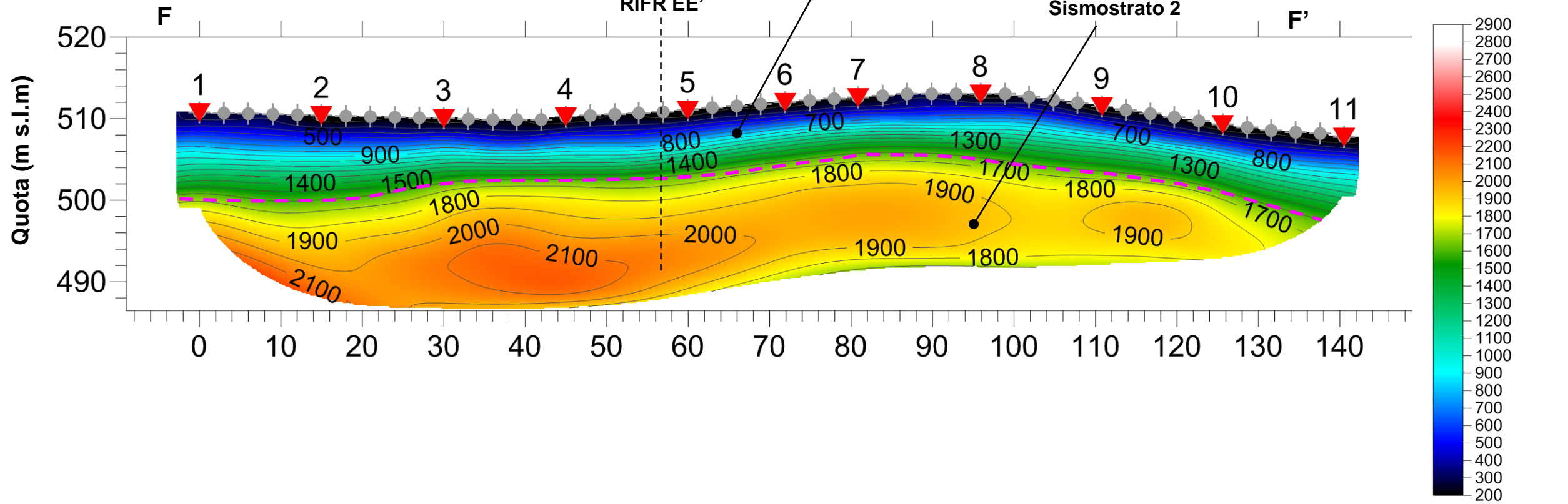
Per la  
**SOING Strutture e  
Ambiente srl**

ELAB G. Luciani  
E. Benvenuti

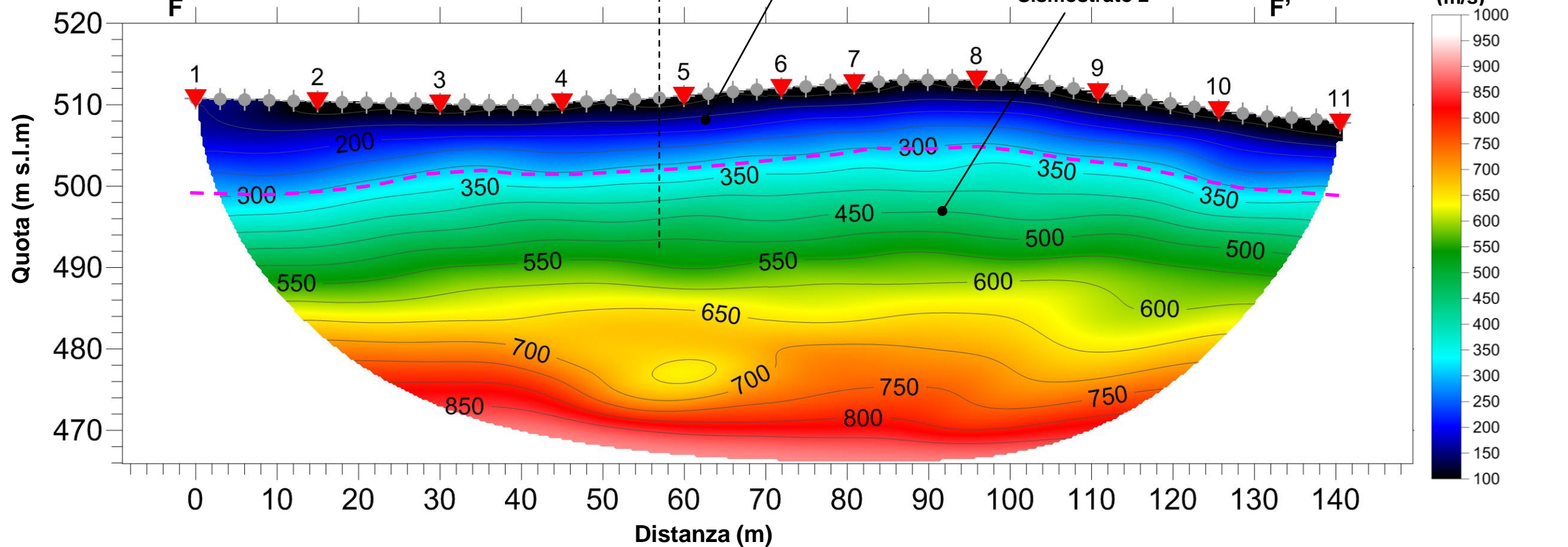
VERIFICA A. Morelli  
APPROV. P. Chiara

# INDAGINE SISMICA RIFRAZIONE TOMOGRAFICA LINEE EE' E FF'

## Linea RIFR FF' Onde P



## Linea RIFR FF' Onde SH



TAVOLA

6

### OGGETTO:

Area Indagine sismica  
RIFR. FF'

LINEA CT - PA  
Lotto 3

Interfaccia  
tra sismostrati



Per la  
**SOING Strutture e  
Ambiente srl**

ELAB G. Luciani  
E. Benvenuti

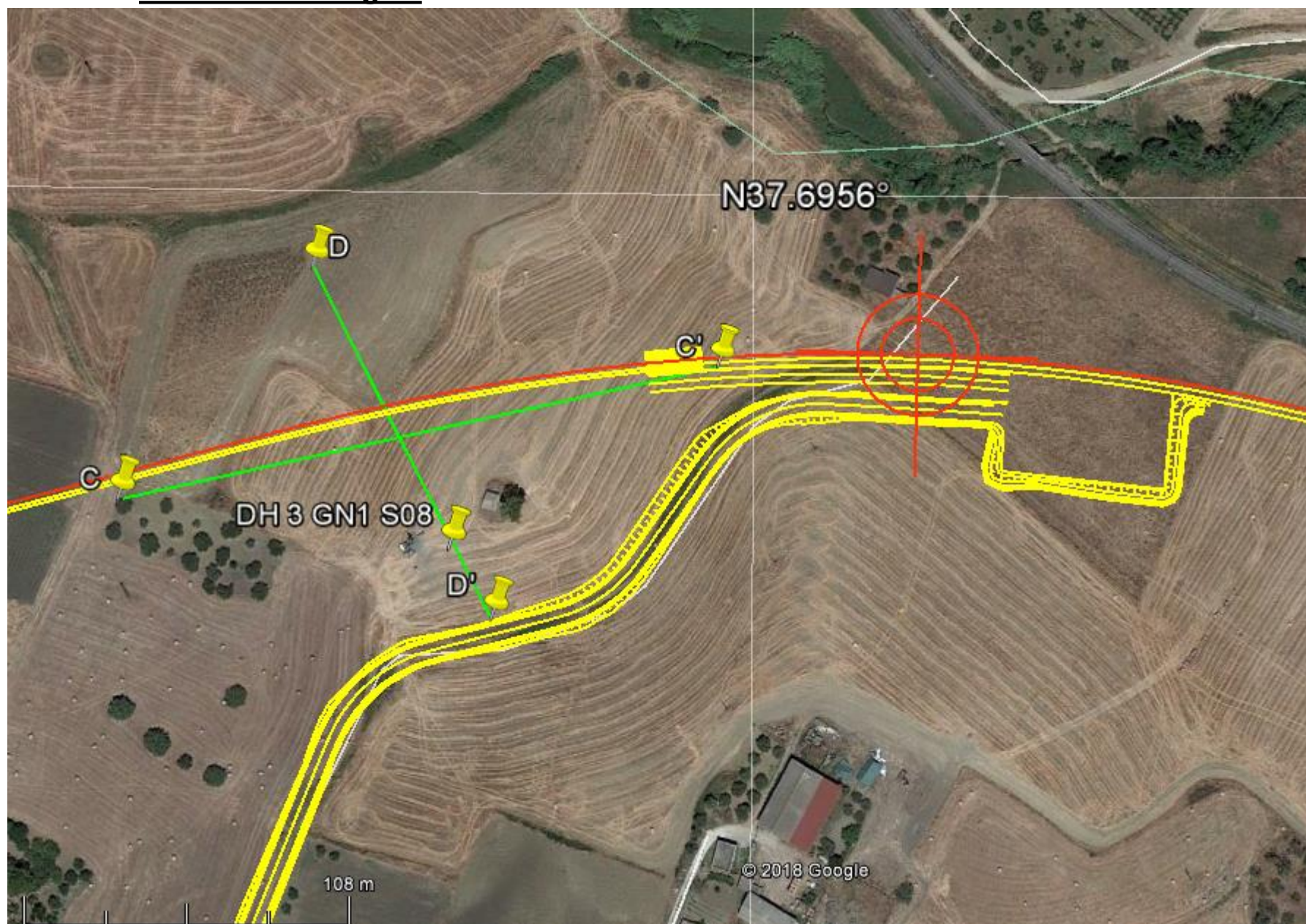
VERIFICA A. Morelli  
APPROV. P. Chiara

# INDAGINE SISMICA RIFRAZIONE TOMOGRAFICA LINEE CC' E DD'

TAVOLA

7

## Ubicazione Indagine



## Immagine area indagine RIFR CC'



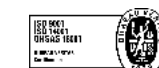
## Immagine area indagine RIFR DD'



## OGGETTO:

Area Indagine sismica  
RIFR. CC' E DD'

LINEA CT - PA  
Lotto 3



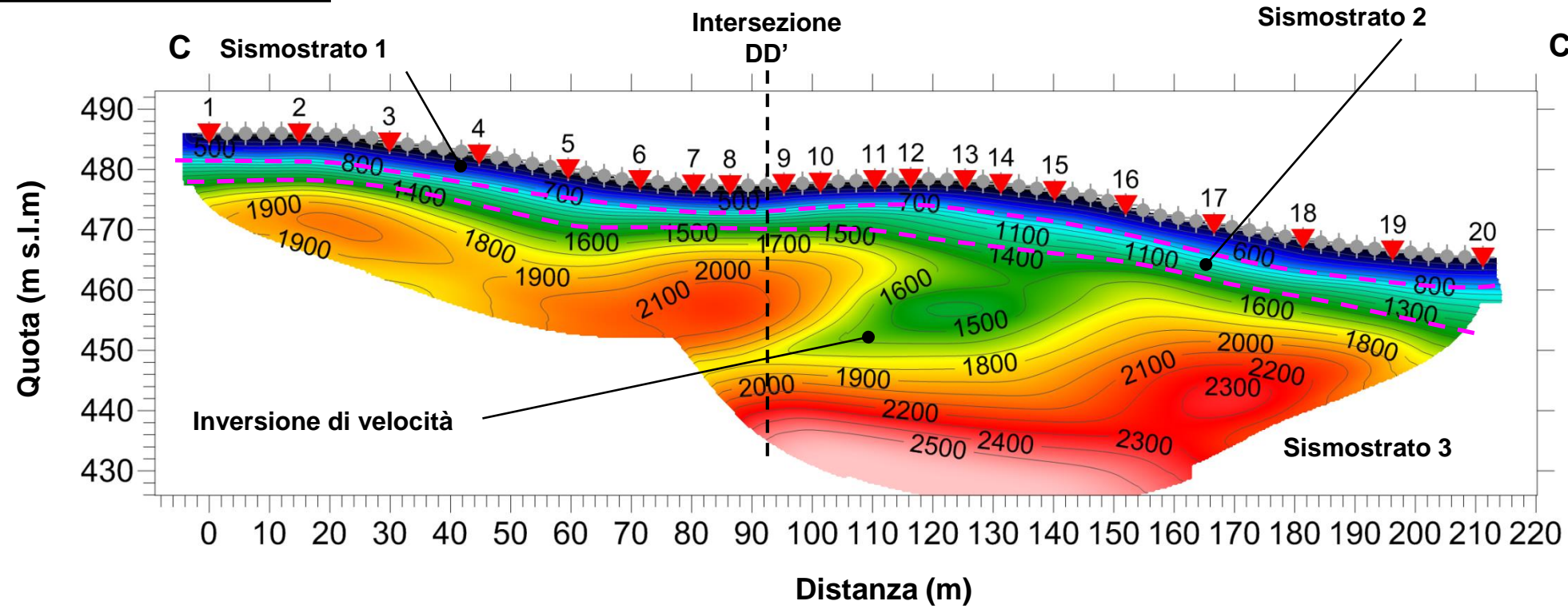
Per la  
**SOING Strutture e  
Ambiente srl**

ELAB G. Luciani  
E. Benvenuti

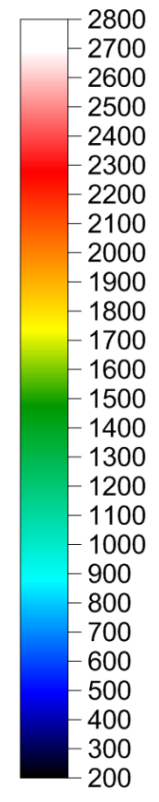
VERIFICA A. Morelli  
APPROV. P. Chiara

# INDAGINE SISMICA RIFRAZIONE TOMOGRAFICA LINEE CC' E DD'

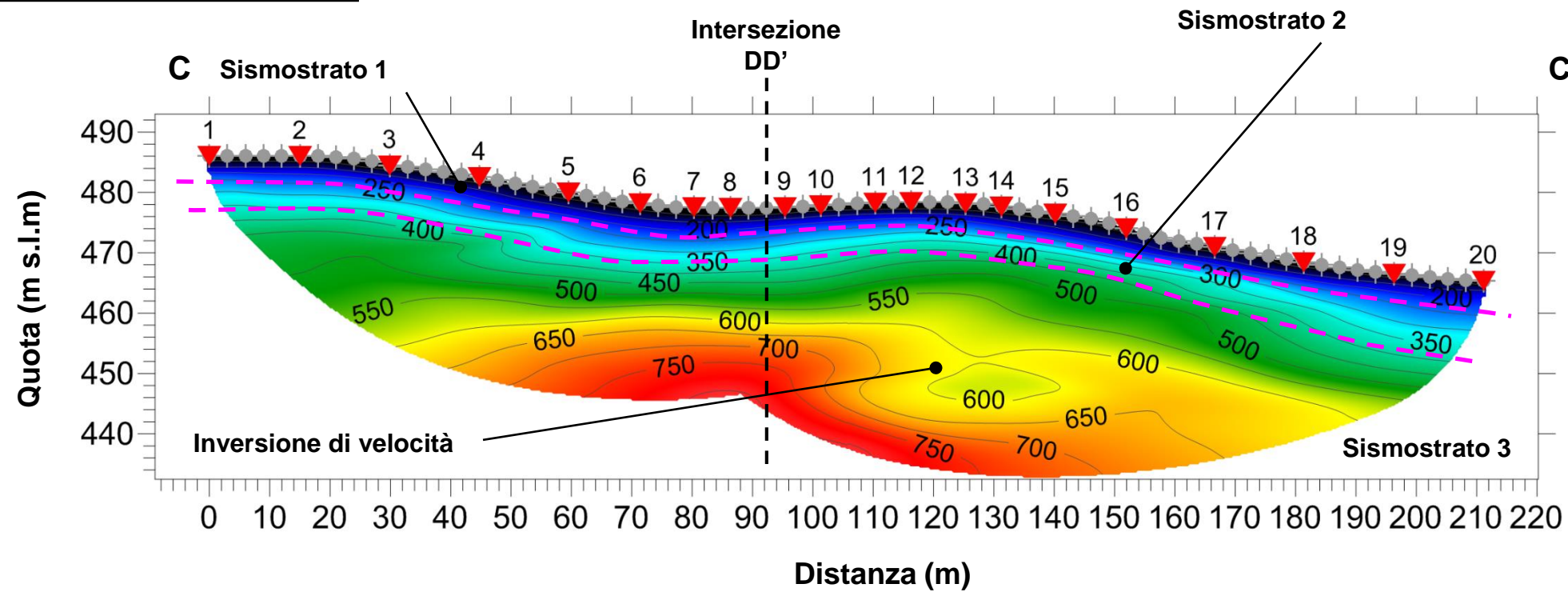
## Linea RIFR CC' Onde P



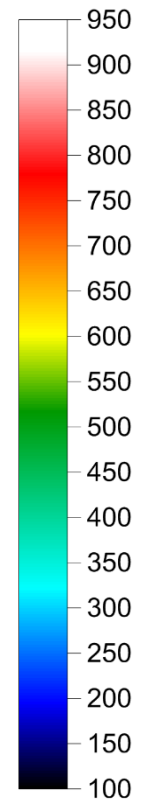
Scala velocità onde P (m/s)



## Linea RIFR CC' Onde SH



Scala velocità onde S (m/s)



TAVOLA

8

**OGGETTO:**  
Area Indagine sismica  
RIFR. CC' E DD'

LINEA CT - PA  
Lotto 3

Interfaccia  
tra sismostrati



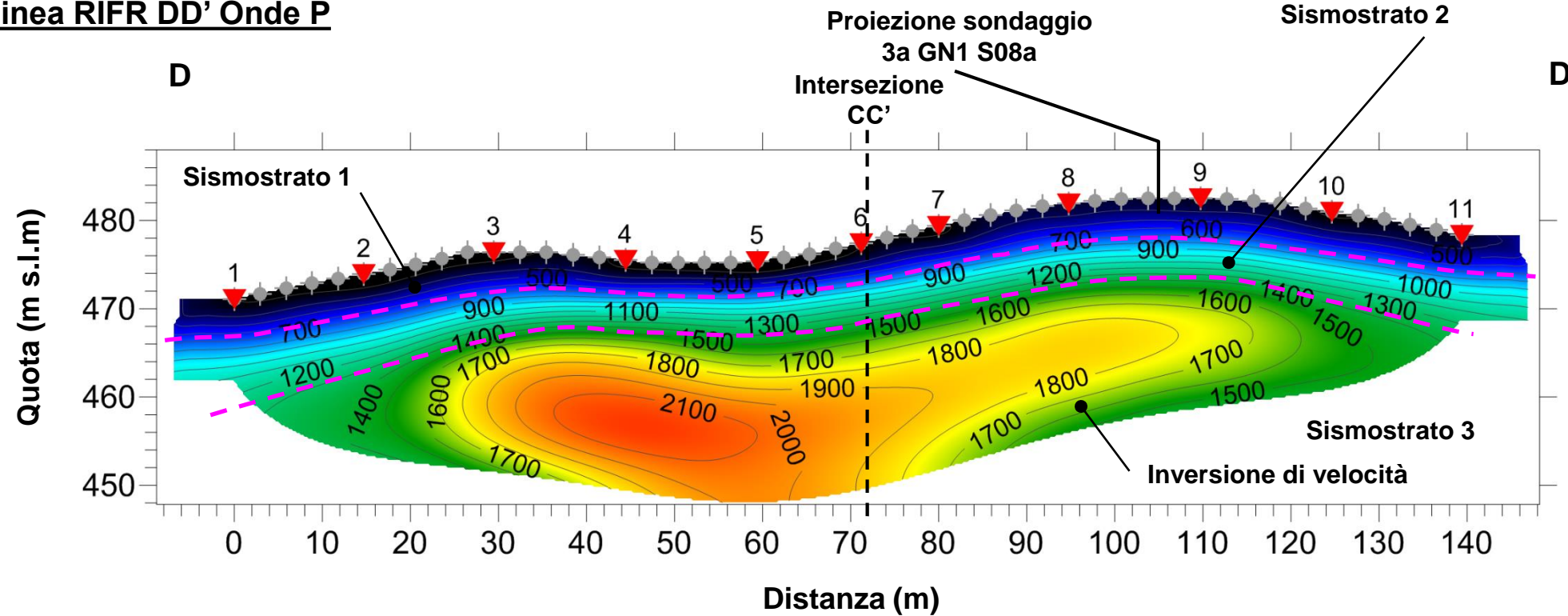
**Per la**  
**SOING Strutture e**  
**Ambiente srl**

**ELAB** G. Luciani  
E. Benvenuti

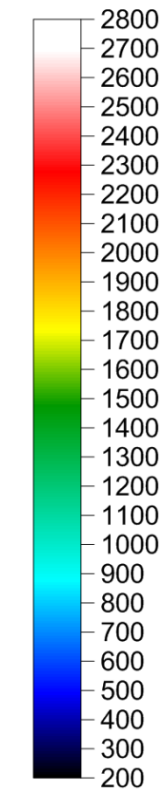
**VERIFICA** A. Morelli  
**APPROV.** P. Chiara

# INDAGINE SISMICA RIFRAZIONE TOMOGRAFICA LINEE CC' E DD'

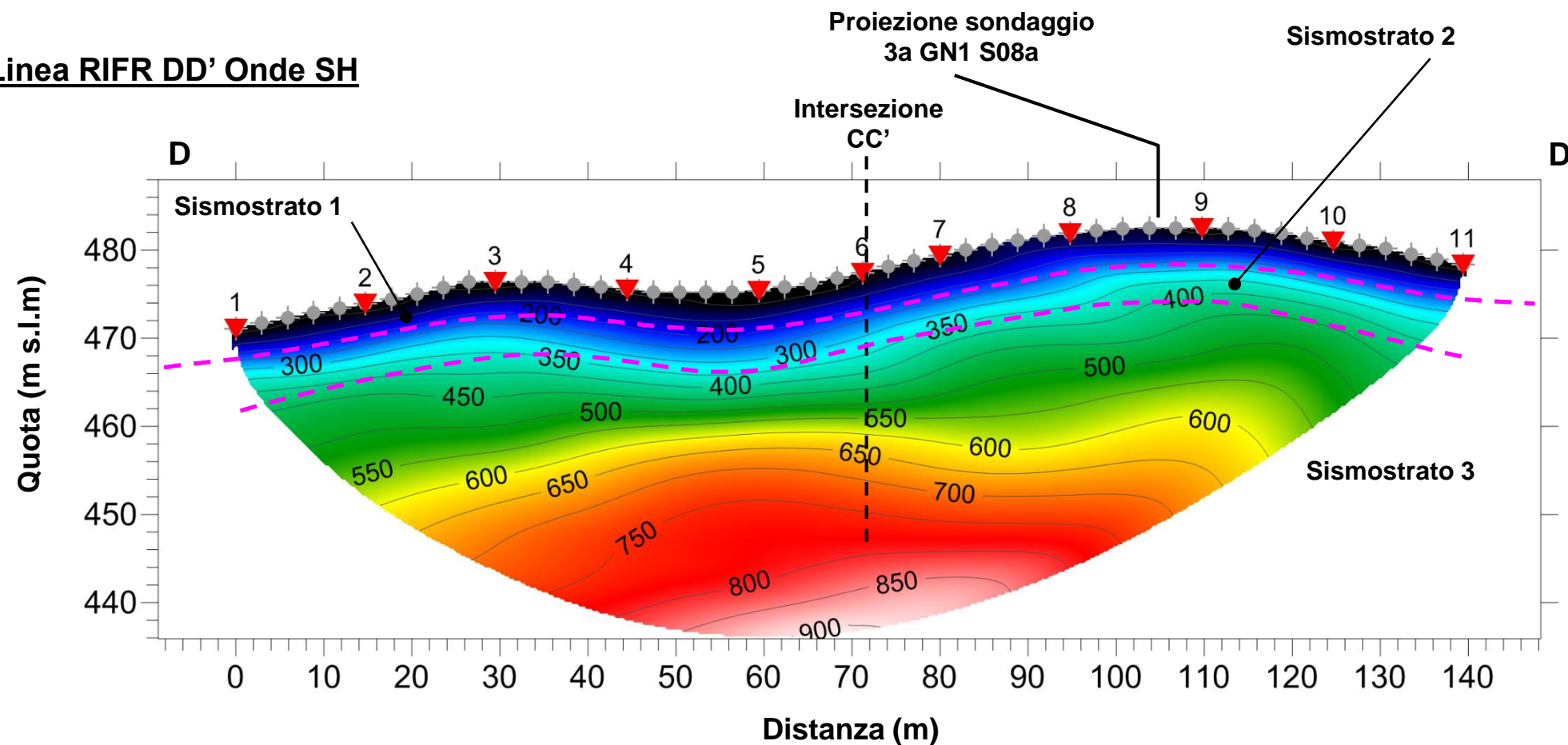
## Linea RIFR DD' Onde P



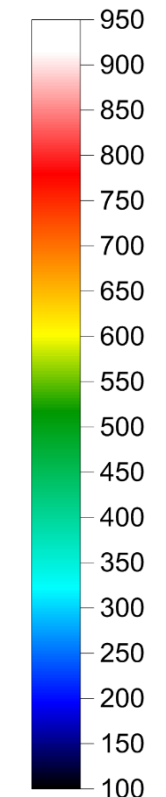
Scala velocità onde P (m/s)



## Linea RIFR DD' Onde SH



Scala velocità onde S (m/s)



TAVOLA

9

OGGETTO:

Area Indagine sismica  
RIFR. CC' E DD'

LINEA CT - PA  
Lotto 3

Interfaccia  
tra sismostrati



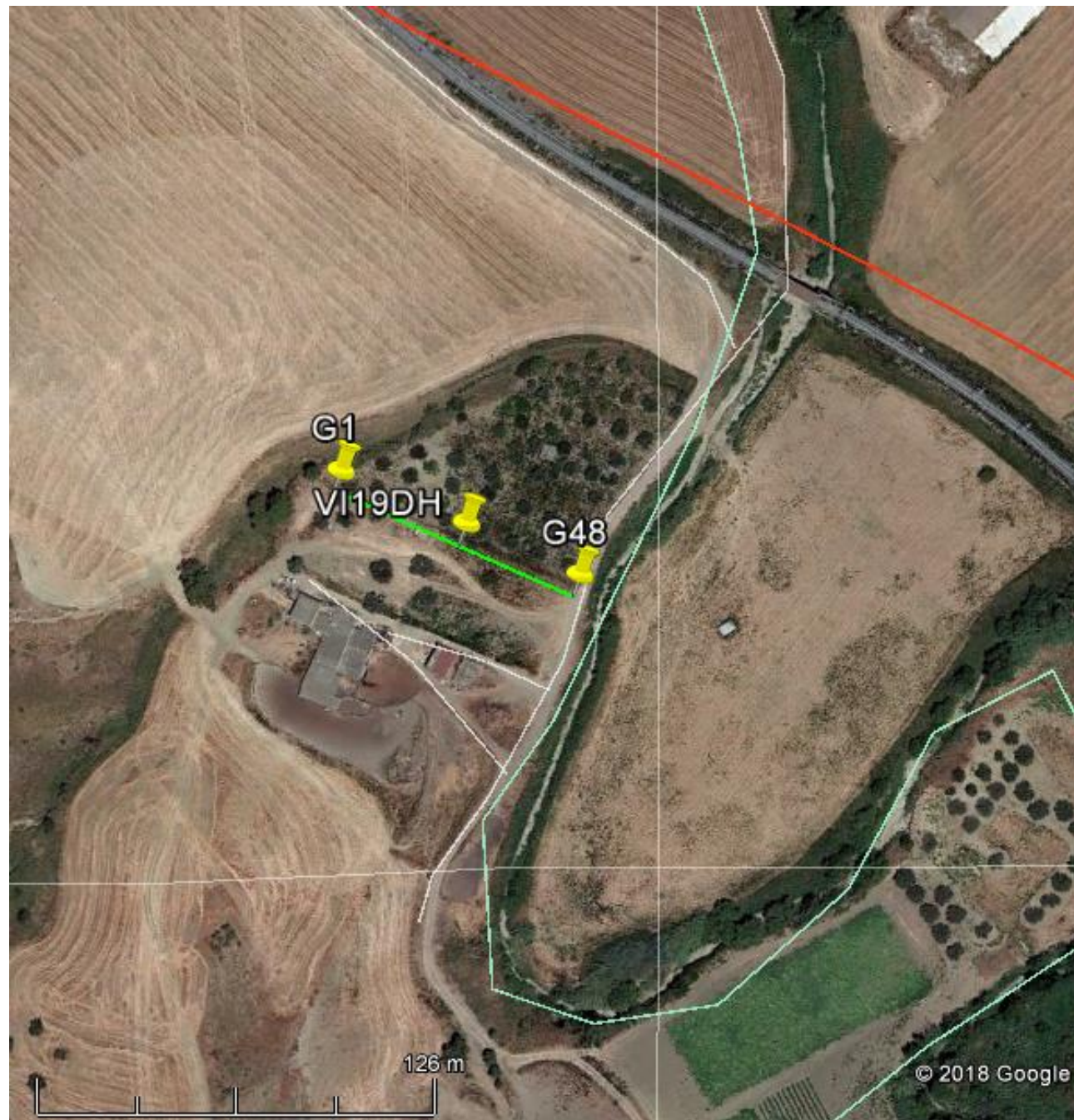
Per la  
**SOING Strutture e  
Ambiente srl**

ELAB G. Luciani  
E. Benvenuti

VERIFICA A. Morelli  
APPROV. P. Chiara

# INDAGINE SISMICA RIFRAZIONE TOMOGRAFICA LINEA SU VI19

## Ubicazione Indagine



## Immagini area indagine RIFR VI19



## Immagini area indagine RIFR VI19



TAVOLA

10

**OGGETTO:**

Area Indagine sismica  
RIFR. VI19

LINEA CT - PA  
Lotto 3



**Per la  
SOING Strutture e  
Ambiente srl**

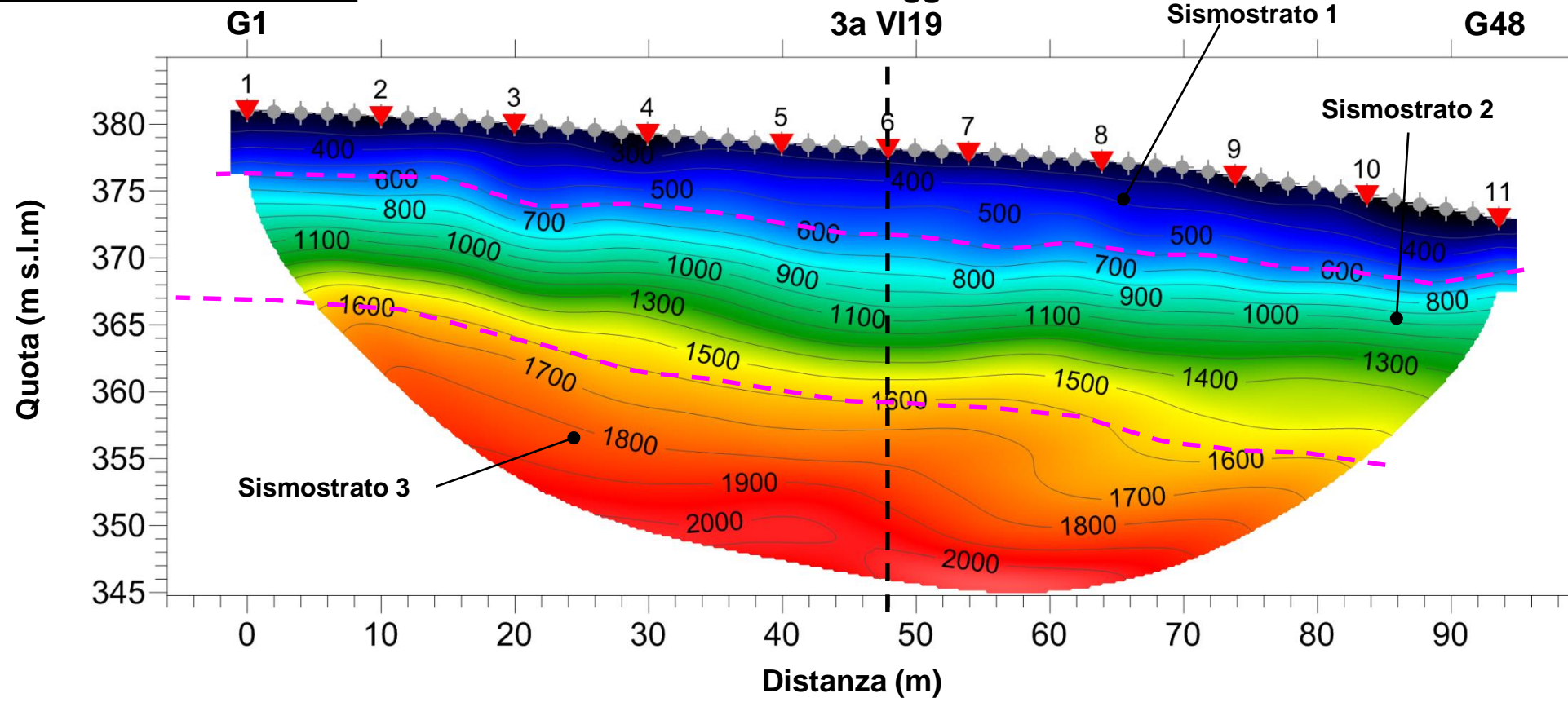
**ELAB** G. Luciani  
E. Benvenuti

**VERIFICA** A. Morelli  
**APPROV.** P. Chiara

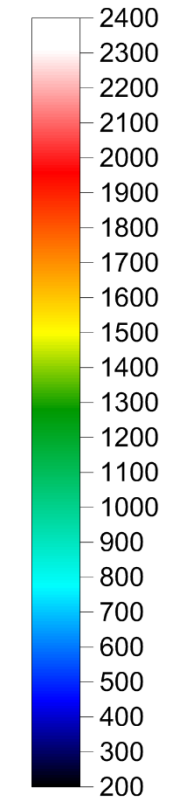


# INDAGINE SISMICA RIFRAZIONE TOMOGRAFICA LINEA SU VI19

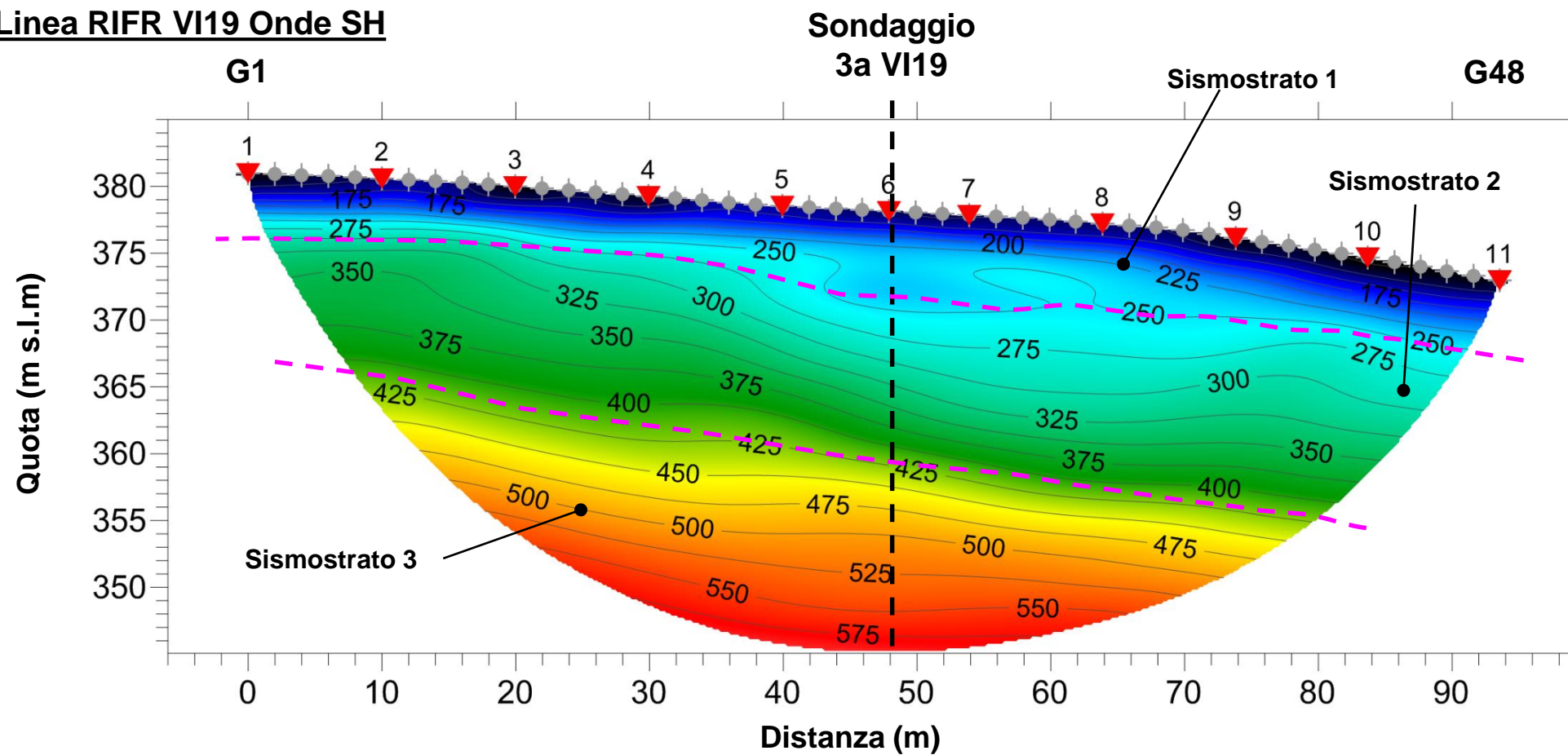
## Linea RIFR VI19 Onde P



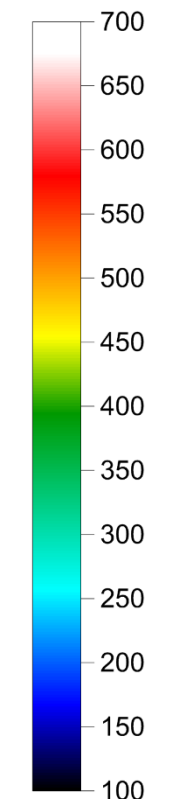
Scala velocità onde P (m/s)



## Linea RIFR VI19 Onde SH



Scala velocità onde S (m/s)



TAVOLA

11

OGGETTO:

Area Indagine sismica  
RIFR. VI19

LINEA CT - PA  
Lotto 3

Interfaccia  
tra sismostrati



**SOING**  
STRUTTURE & AMBIENTE



Per la  
**SOING Strutture e  
Ambiente srl**

ELAB G. Luciani  
E. Benvenuti

VERIFICA A. Morelli  
APPROV. P. Chiara

# INDAGINE SISMICA RIFRAZIONE TOMOGRAFICA LINEA SU VI19

TAVOLA

12

**OGGETTO:**

Area Indagine sismica  
RIFR. VI19

LINEA CT - PA  
Lotto 3

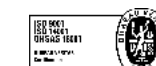
Strato	Profondità (m dal p.c.)	Velocità Vs media (m/s)	Velocità Vp media (m/s)
1	A-1 m	125	300
2	A-2 m	163	380
3	A-3 m	200	423
4	A-4 m	210	466
5	A-5 m	200	510
6	A-6 m	200	590
7	A-7 m	250	645
8	A-8 m	258	700
9	A-9 m	267	780
10	A-10 m	275	860
11	A-11 m	300	940
12	A-12 m	313	1020
13	A-13 m	325	1100
14	A-14 m	342	1200
15	A-15 m	358	1300
16	A-16 m	375	1400
17	A-17 m	392	1500
18	A-18 m	408	1550
19	A-19 m	425	1600
20	A-20 m	442	1650
21	A-21 m	458	1700
22	A-22 m	475	1730
23	A-23 m	488	1760
24	A-24 m	500	1800
25	A-25 m	508	1850
26	A-26 m	517	1900
27	A-27 m	525	1925
28	A-28 m	533	1950
29	A-29 m	542	1975
30	A-30 m	550	2000

Foro VI19 – Velocità Onde P ed Sh

Strato	Profondità (m dal p.c.)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	Poisson	Young (MPa)	Share (MPa)	Bulk (MPa)	Vseq (da -1 m per H=30 m)
1	A-1 m	16.60	0.39	70.97	25.44	112.60	310
2	A-2 m	16.76	0.39	120.49	43.40	179.47	
3	A-3 m	16.85	0.36	179.22	66.08	207.49	
4	A-4 m	16.93	0.37	201.02	73.23	262.95	
5	A-5 m	17.02	0.41	188.16	66.76	345.12	
6	A-6 m	17.18	0.44	193.43	67.39	496.63	
7	A-7 m	17.29	0.41	299.19	105.97	564.11	
8	A-8 m	17.40	0.42	323.68	113.88	684.29	
9	A-9 m	17.56	0.43	351.17	122.46	884.43	
10	A-10 m	17.72	0.44	379.29	131.42	1110.03	
11	A-11 m	17.88	0.44	455.54	157.81	1338.94	
12	A-12 m	18.04	0.45	500.41	172.77	1610.26	
13	A-13 m	18.20	0.45	547.54	188.52	1908.29	
14	A-14 m	18.40	0.46	613.35	210.64	2317.55	
15	A-15 m	18.60	0.46	683.39	234.22	2770.38	
16	A-16 m	18.80	0.46	757.76	259.27	3267.92	
17	A-17 m	19.00	0.46	836.59	285.83	3811.30	
18	A-18 m	19.10	0.46	913.65	312.31	4083.70	
19	A-19 m	19.20	0.46	994.48	340.10	4366.77	
20	A-20 m	19.30	0.46	1079.14	369.21	4660.63	
21	A-21 m	19.40	0.46	1167.66	399.66	4965.40	
22	A-22 m	19.46	0.46	1256.64	430.58	5137.55	
23	A-23 m	19.52	0.46	1327.02	454.94	5323.11	
24	A-24 m	19.60	0.46	1401.42	480.53	5587.00	
25	A-25 m	19.70	0.46	1456.89	499.22	5946.44	
26	A-26 m	19.80	0.46	1513.63	518.34	6318.59	
27	A-27 m	19.85	0.46	1566.52	536.55	6498.16	
28	A-28 m	19.90	0.46	1620.44	555.11	6680.64	
29	A-29 m	19.95	0.46	1675.40	574.03	6866.03	
30	A-30 m	20.00	0.46	1731.40	593.31	7054.36	

Foro VI19 – Parametri Dinamici

Categoria di suolo C



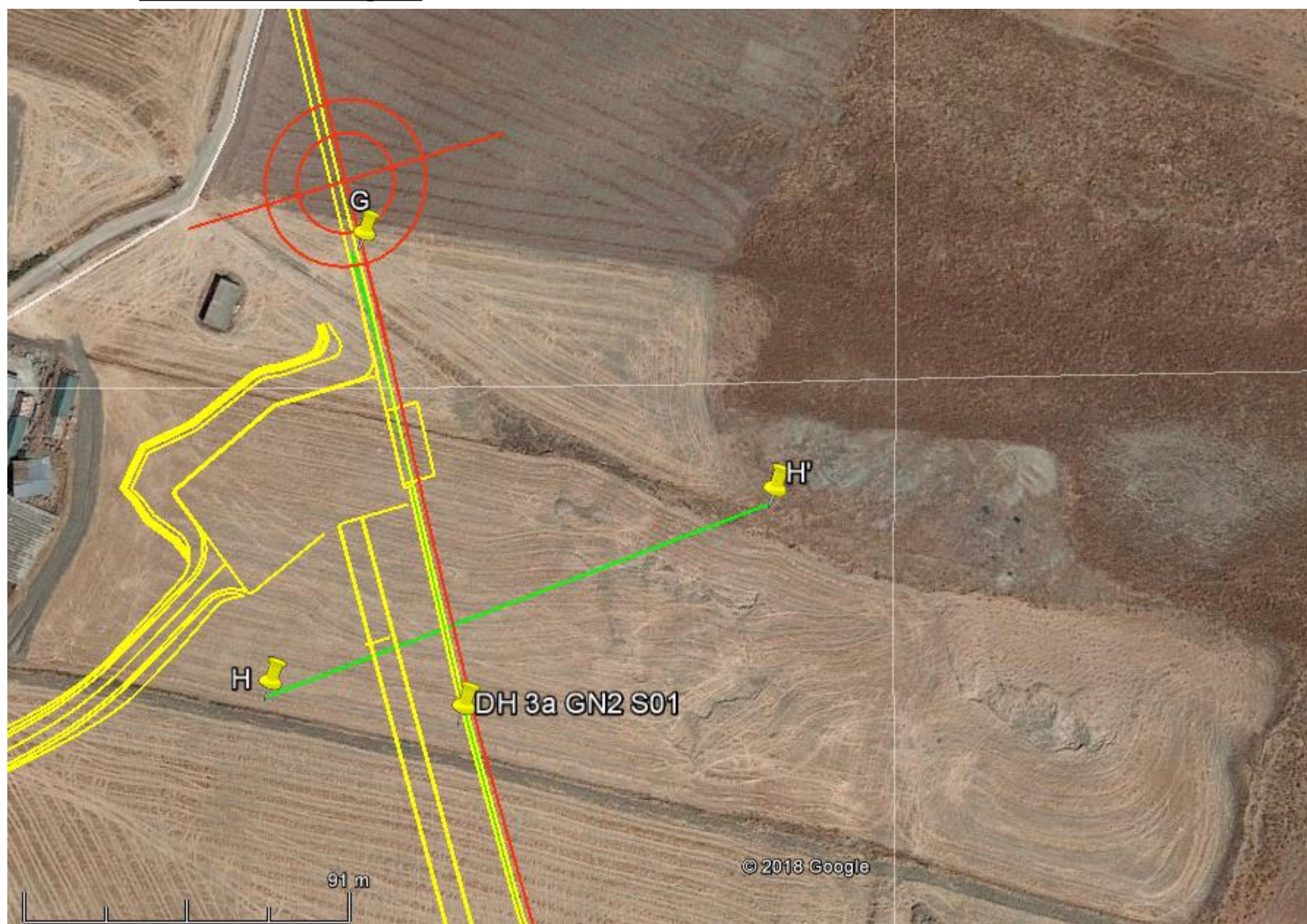
**Per la  
SOING Strutture e  
Ambiente srl**

**ELAB** G. Luciani  
E. Benvenuti

**VERIFICA** A. Morelli  
**APPROV.** P. Chiara

# INDAGINE SISMICA RIFRAZIONE TOMOGRAFICA LINEE GG' E HH'

## Ubicazione Indagine



## Immagini area indagine RIFR GG'



## Immagini area indagine RIFR HH'



TAVOLA

13

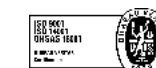
### OGGETTO:

Area Indagine sismica  
RIFR. GG' E HH'

LINEA CT - PA  
Lotto 3



**SOING**  
STRUTTURE & AMBIENTE



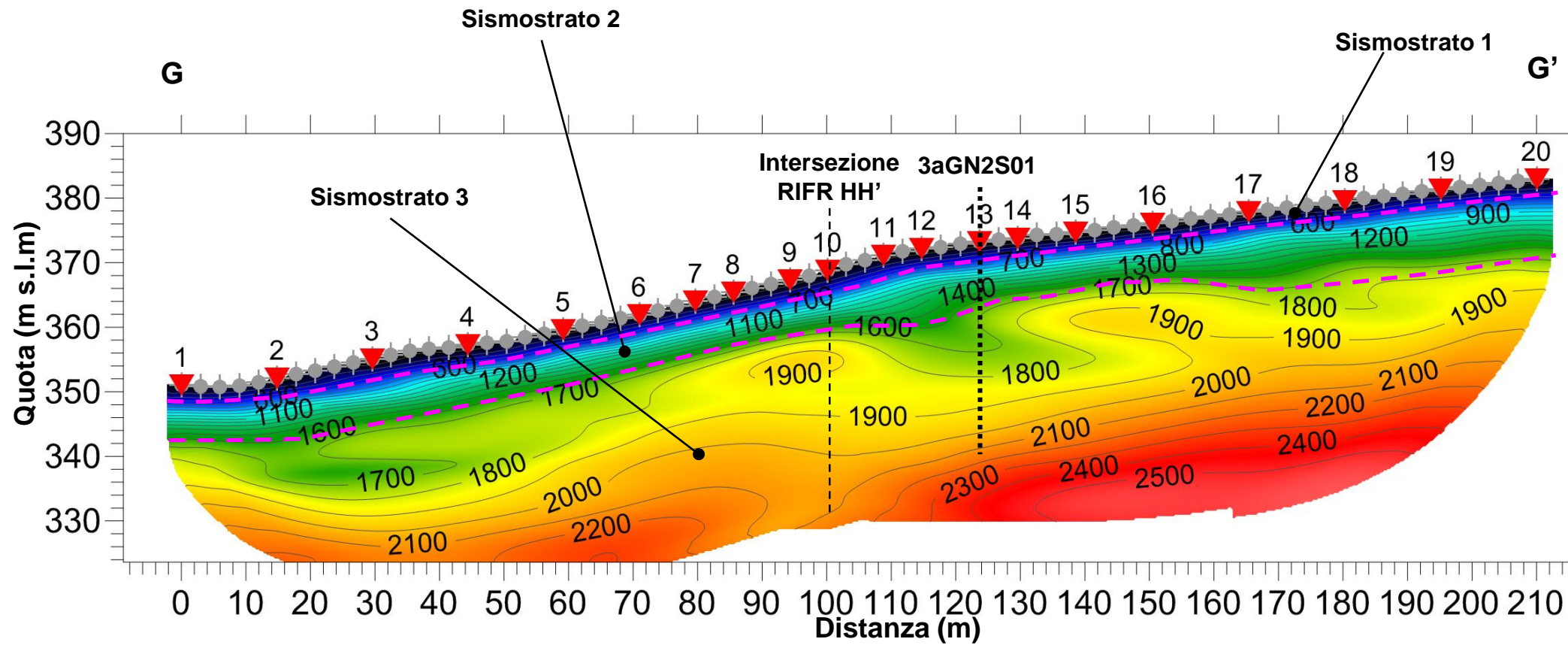
Per la  
**SOING Strutture e  
Ambiente srl**

ELAB G. Luciani  
E. Benvenuti

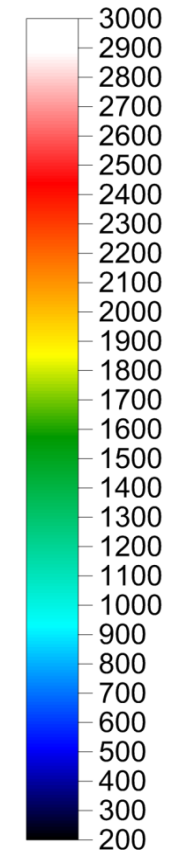
VERIFICA A. Morelli  
APPROV. P. Chiara

# INDAGINE SISMICA RIFRAZIONE TOMOGRAFICA LINEE GG' E HH'

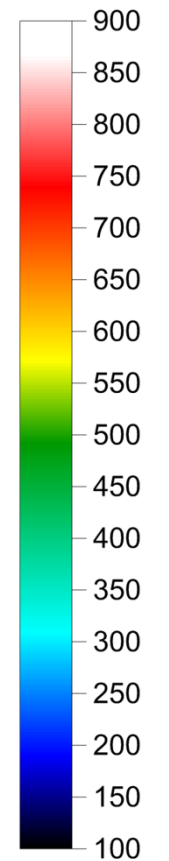
## Linea RIFR GG' Onde P



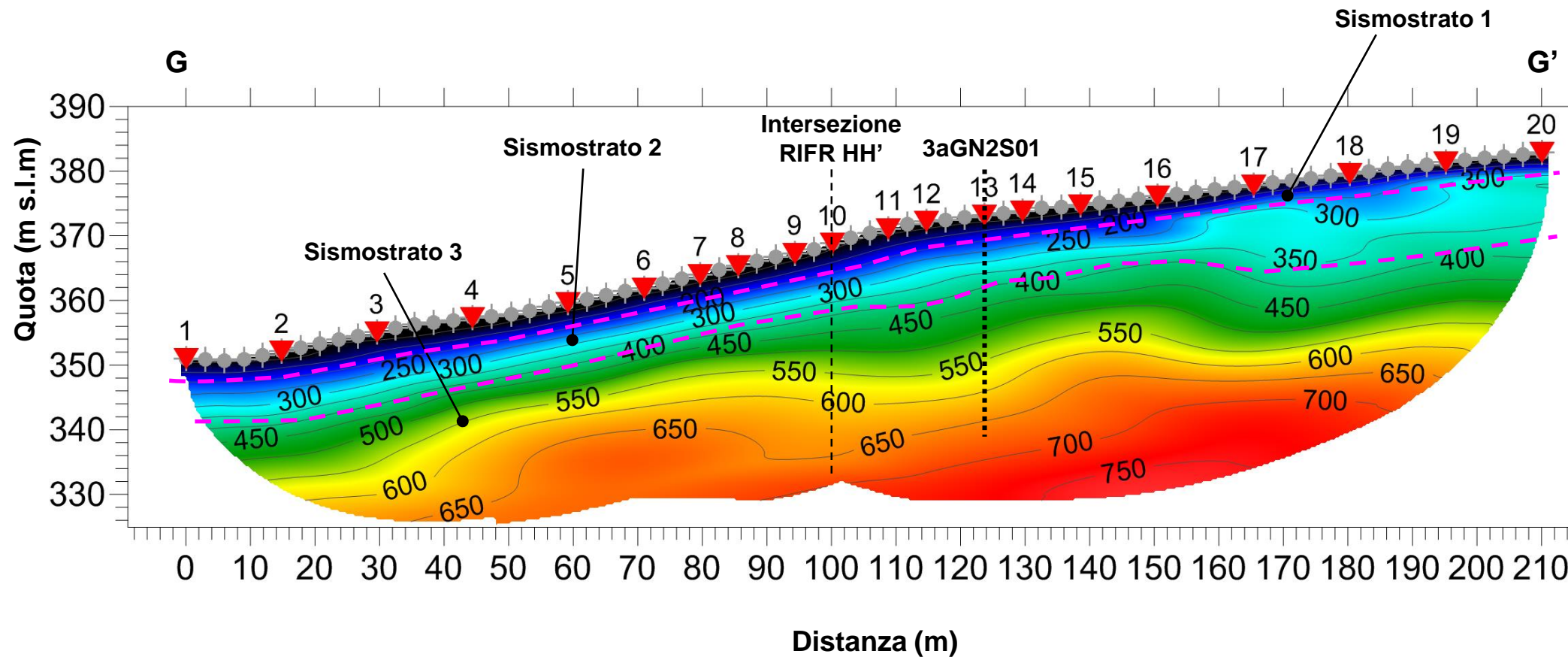
Scala velocità onde P  
(m/s)



Scala velocità onde S  
(m/s)



## Linea RIFR GG' Onde SH



TAVOLA

14

OGGETTO:

Area Indagine sismica  
RIFR. GG'

LINEA CT - PA  
Lotto 3

Interfaccia  
tra sismostrati



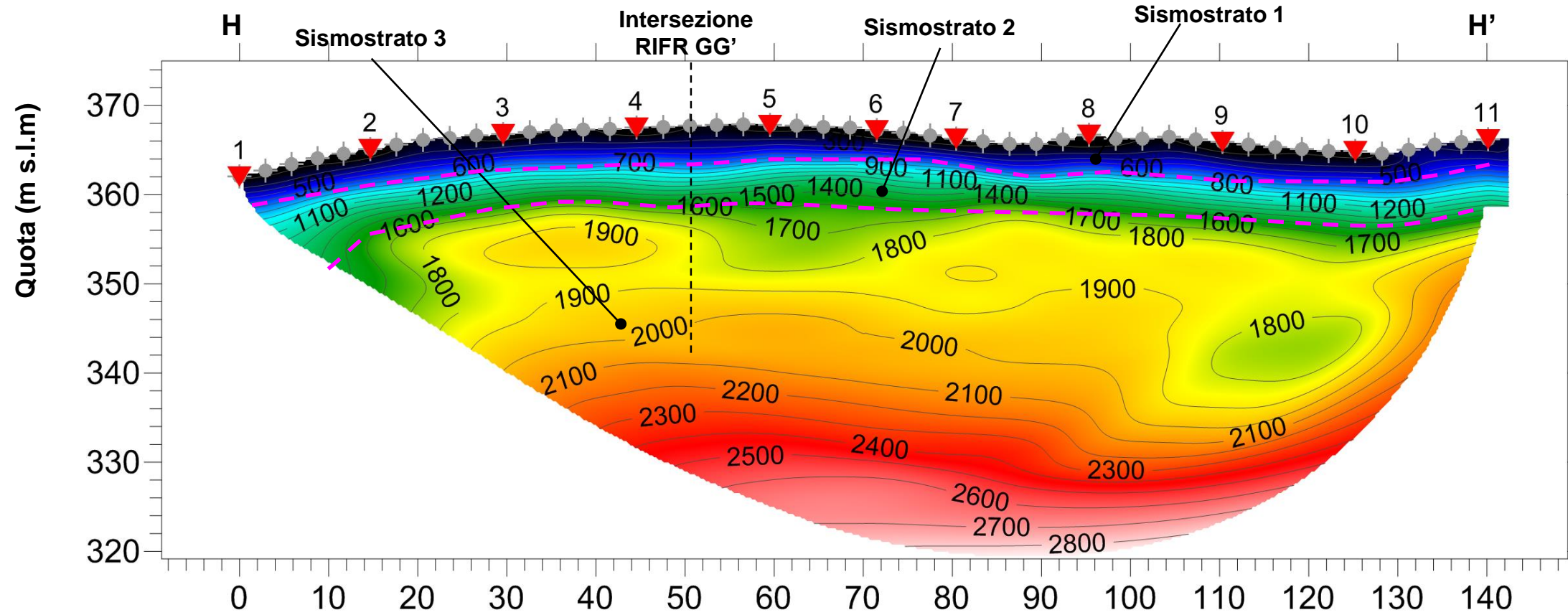
Per la  
**SOING Strutture e  
Ambiente srl**

ELAB G. Luciani  
E. Benvenuti

VERIFICA A. Morelli  
APPROV. P. Chiara

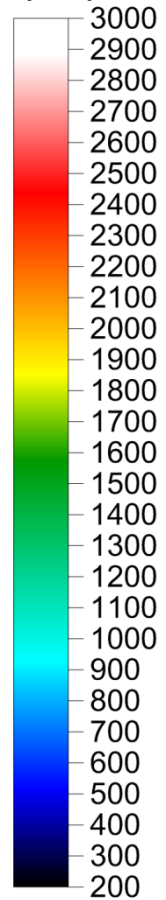
# INDAGINE SISMICA RIFRAZIONE TOMOGRAFICA LINEE GG' E HH'

## Linea RIFR HH' Onde P

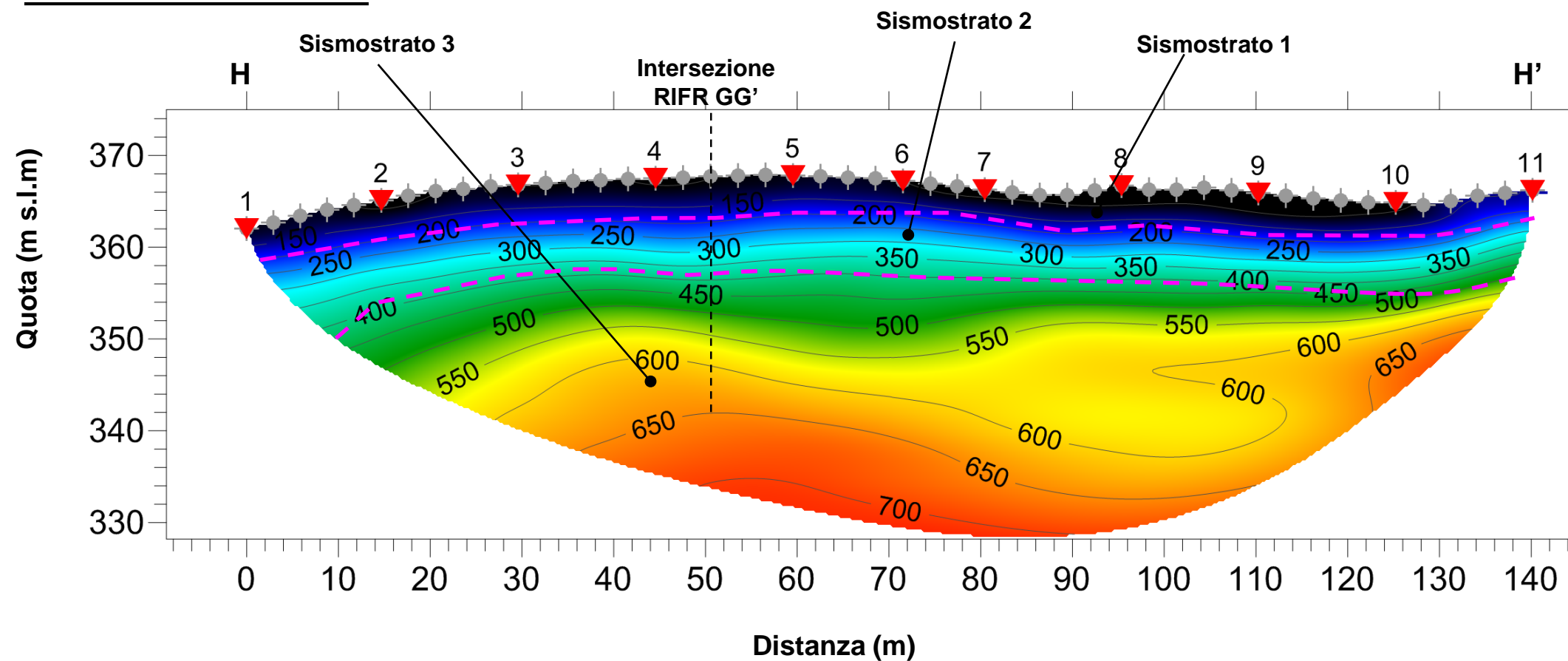


Scala velocità onde P

(m/s)

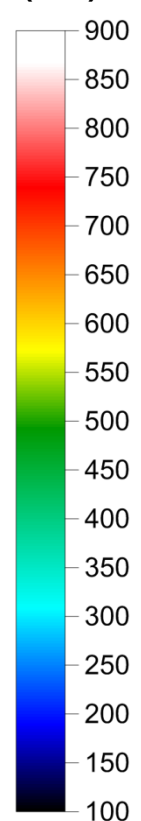


## Linea RIFR HH' Onde SH



Scala velocità onde S

(m/s)



TAVOLA

15

OGGETTO:

Area Indagine sismica  
RIFR. HH'

LINEA CT - PA

Lotto 3

 Interfaccia  
tra sismostrati



Per la  
**SOING Strutture e  
Ambiente srl**

ELAB G. Luciani  
E. Benvenuti

VERIFICA A. Morelli  
APPROV. P. Chiara

# INDAGINE SISMICA RIFRAZIONE TOMOGRAFICA LINEE II' E JJ'

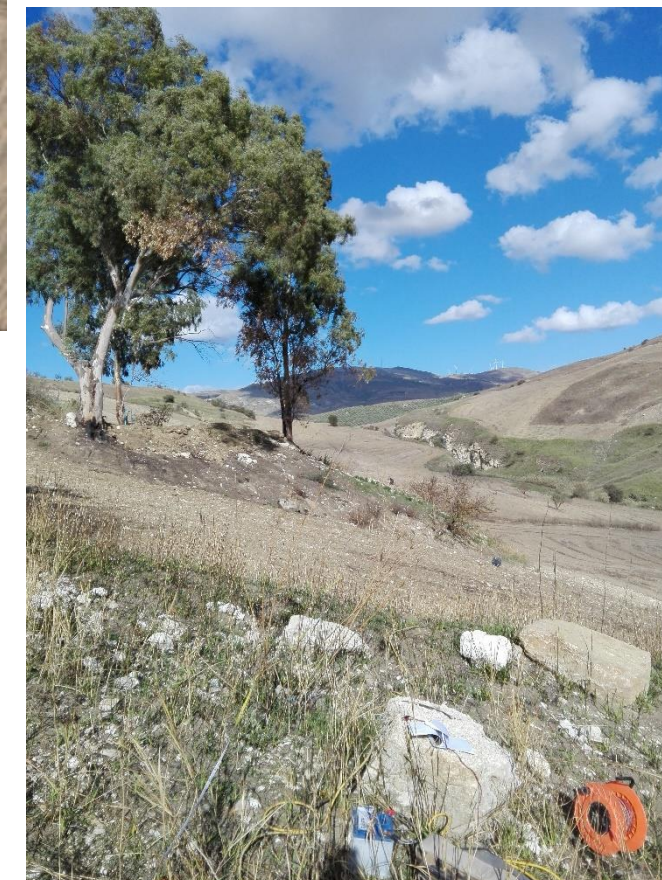
## Ubicazione Indagine



## Immagini area indagine RIFR II'



## Immagini area indagine RIFR JJ'



TAVOLA

16

**OGGETTO:**

Area Indagine sismica  
RIFR. II' E JJ'

LINEA CT - PA  
Lotto 3



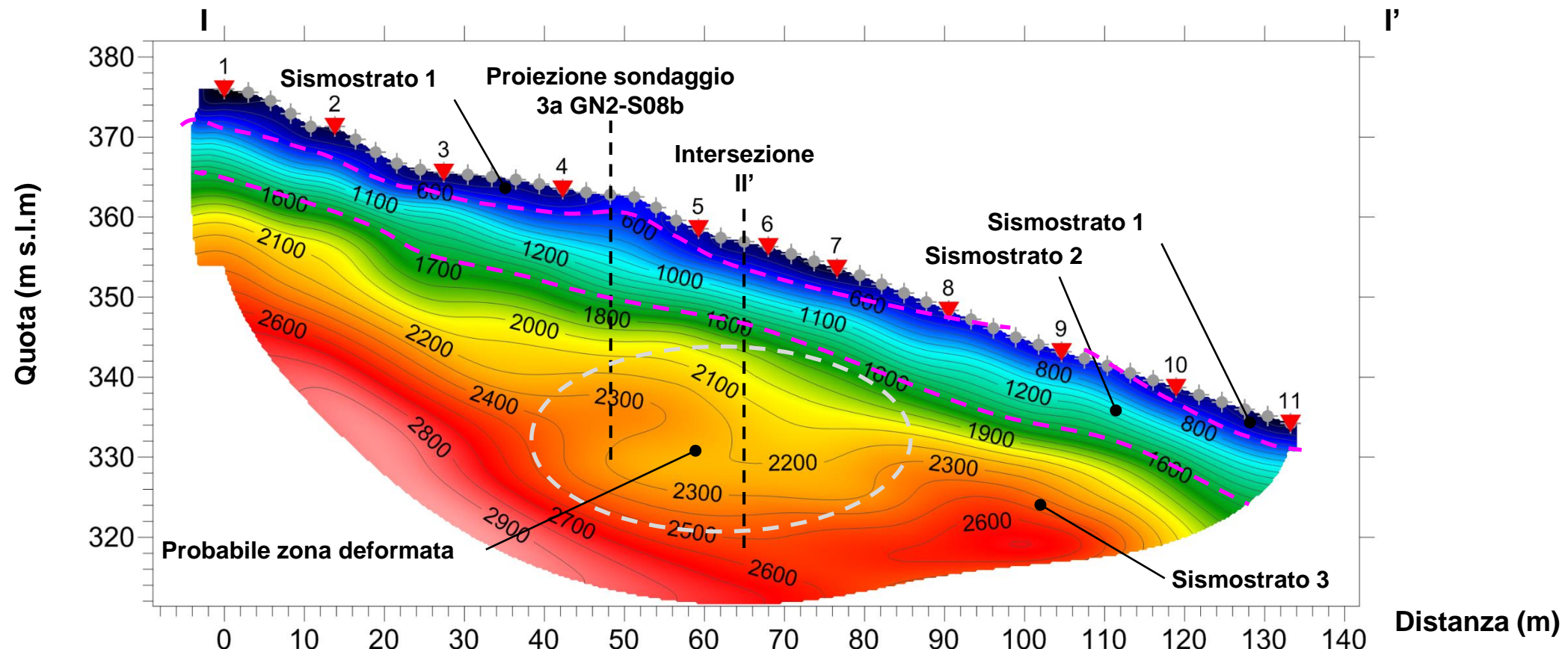
**Per la  
SOING Strutture e  
Ambiente srl**

**ELAB** G. Luciani  
E. Benvenuti

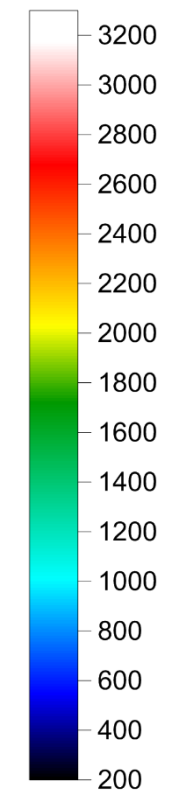
**VERIFICA** A. Morelli  
**APPROV.** P. Chiara

# INDAGINE SISMICA RIFRAZIONE TOMOGRAFICA LINEE II' E JJ'

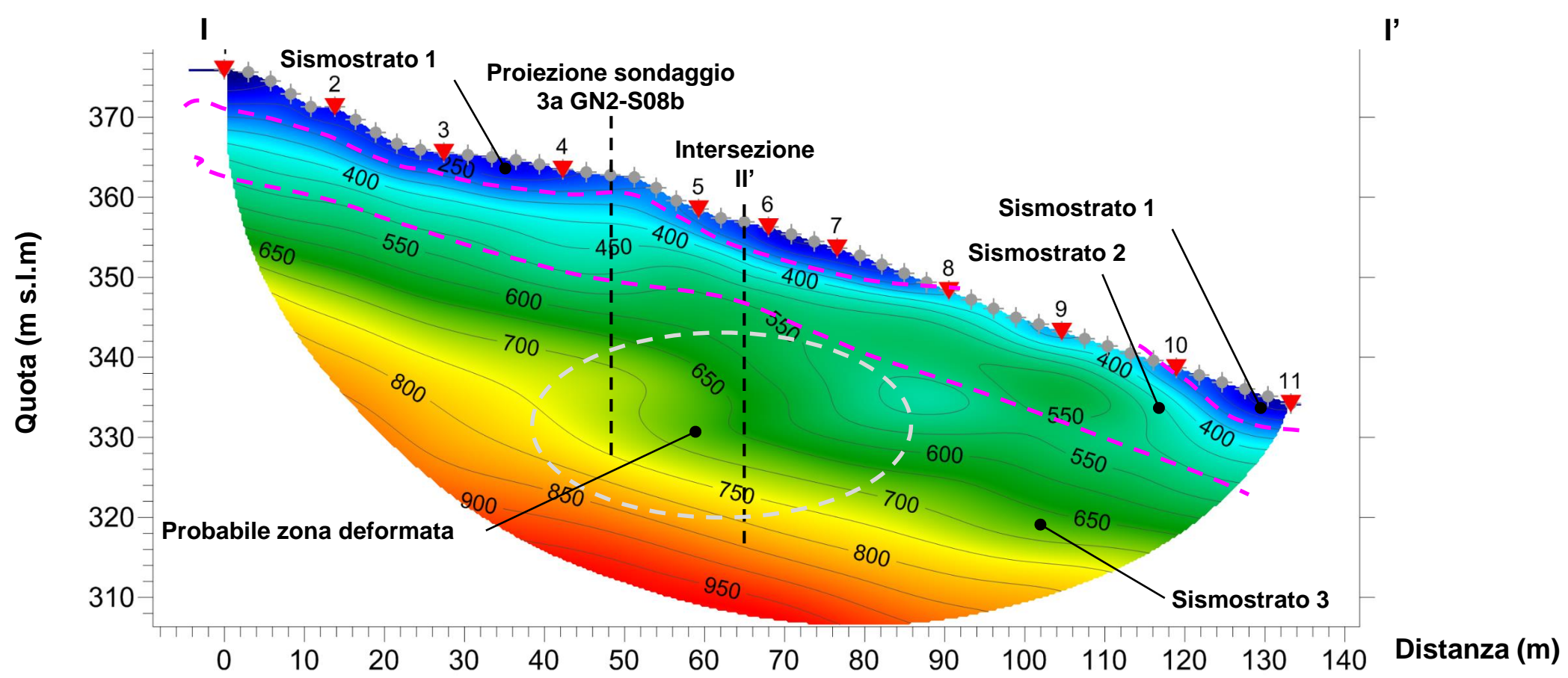
## Linea RIFR II' Onde P



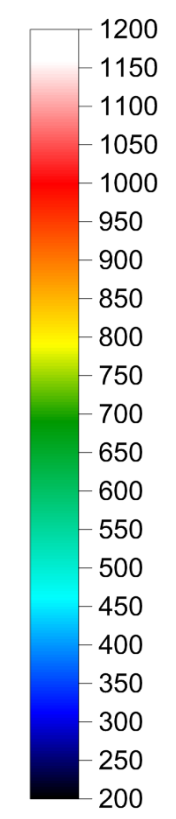
Scala velocità onde P (m/s)



## Linea RIFR II' Onde SH



Scala velocità onde S (m/s)



TAVOLA

17

**OGGETTO:**  
Area Indagine sismica  
RIFR. II' E JJ'

LINEA CT - PA  
Lotto 3

Interfaccia  
tra sismostrati



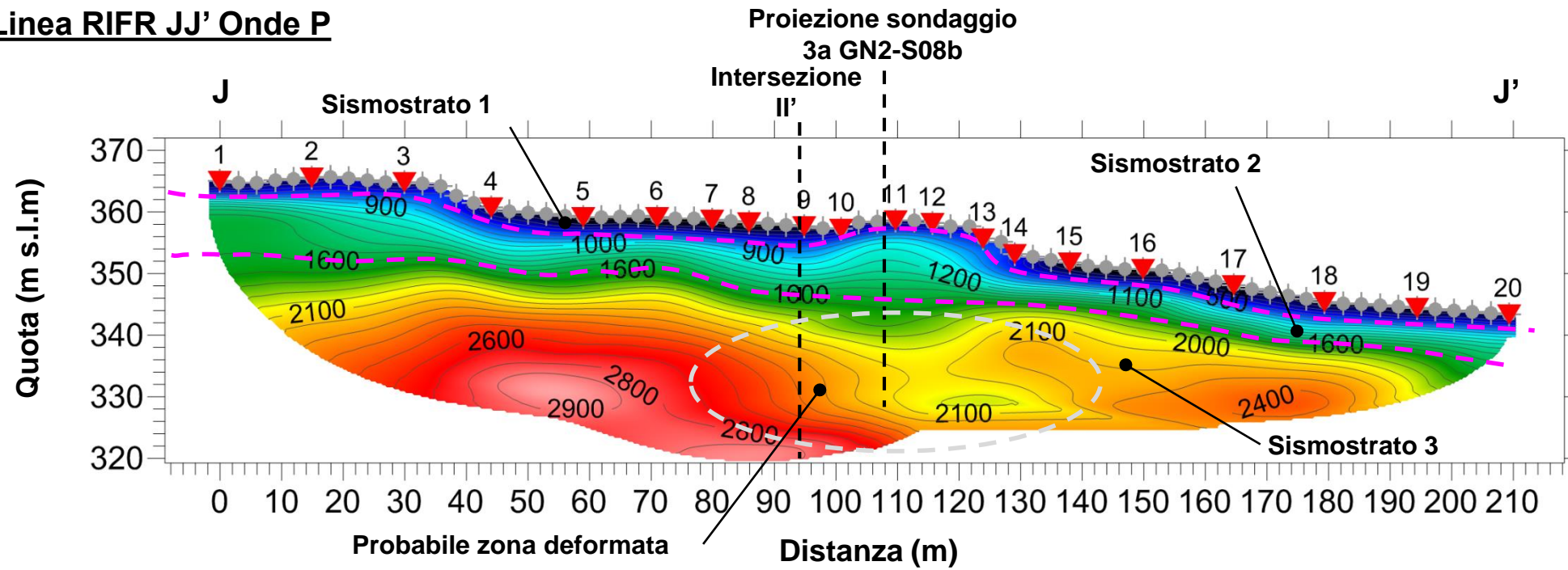
**Per la  
SOING Strutture e  
Ambiente srl**

**ELAB** G. Luciani  
E. Benvenuti

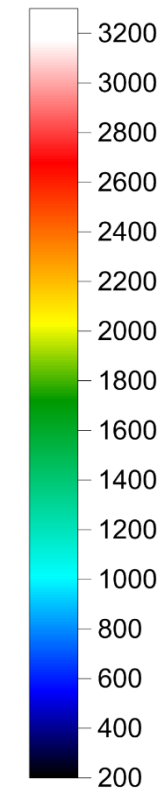
**VERIFICA** A. Morelli  
**APPROV.** P. Chiara

# INDAGINE SISMICA RIFRAZIONE TOMOGRAFICA LINEE II' E JJ'

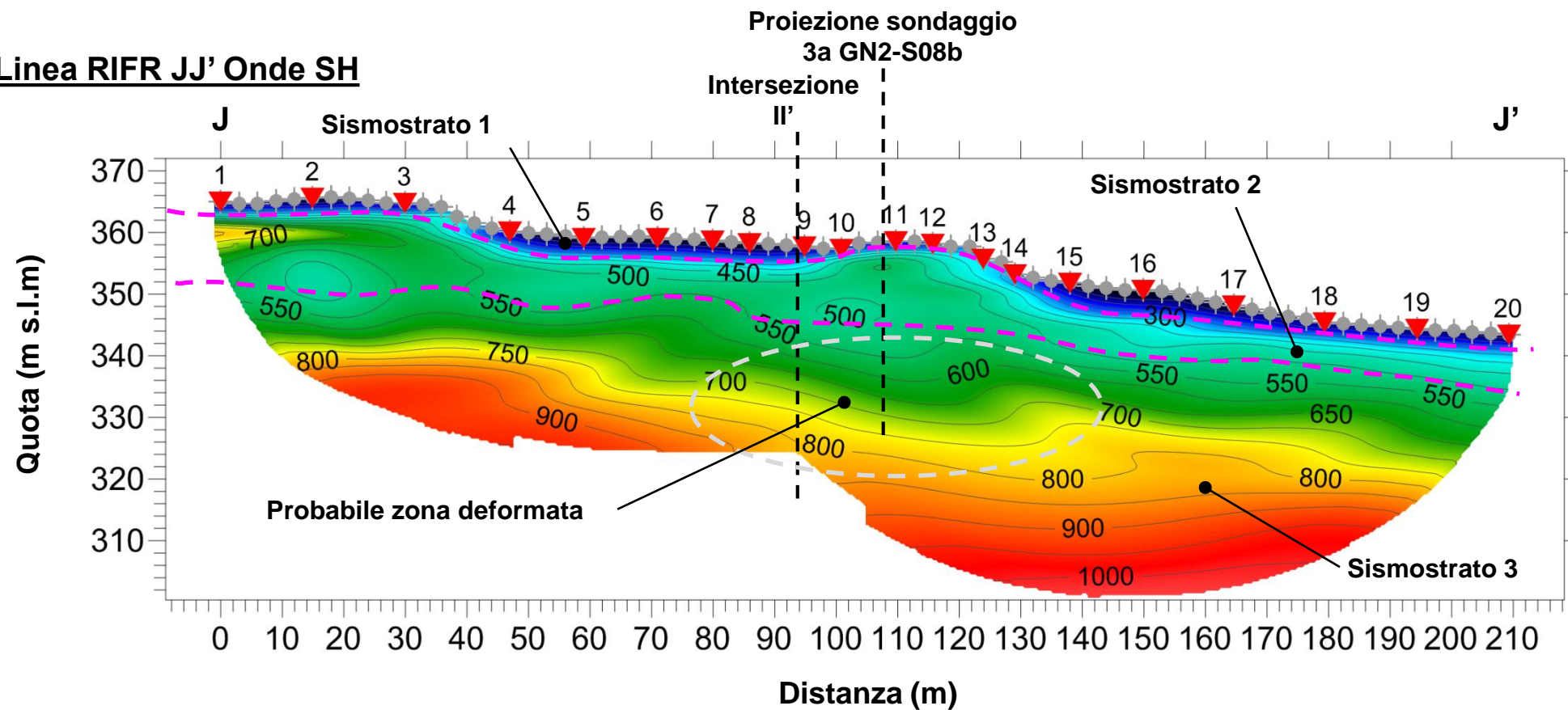
## Linea RIFR JJ' Onde P



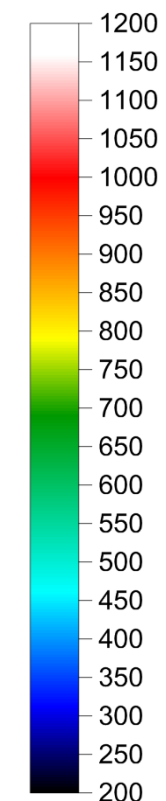
Scala velocità onde P (m/s)



## Linea RIFR JJ' Onde SH



Scala velocità onde S (m/s)



TAVOLA

18

OGGETTO:

Area Indagine sismica  
RIFR. II' E JJ'

LINEA CT - PA  
Lotto 3

Interfaccia  
tra sismostrati



Per la  
**SOING Strutture e  
Ambiente srl**

ELAB G. Luciani  
E. Benvenuti

VERIFICA A. Morelli  
APPROV. P. Chiara

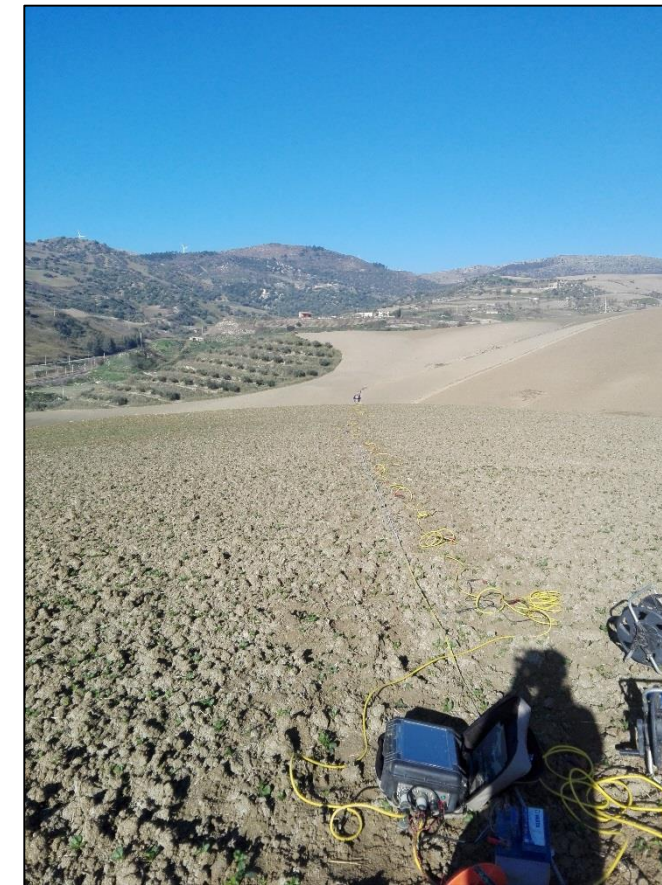


# INDAGINE SISMICA RIFRAZIONE TOMOGRAFICA LINEE KK' E LL'

## Ubicazione Indagine



## Immagini area indagine RIFR KK'



## Immagini area indagine RIFR LL'



TAVOLA

19

**OGGETTO:**

Area Indagine sismica  
RIFR. KK' E LL'

LINEA CT - PA  
Lotto 3



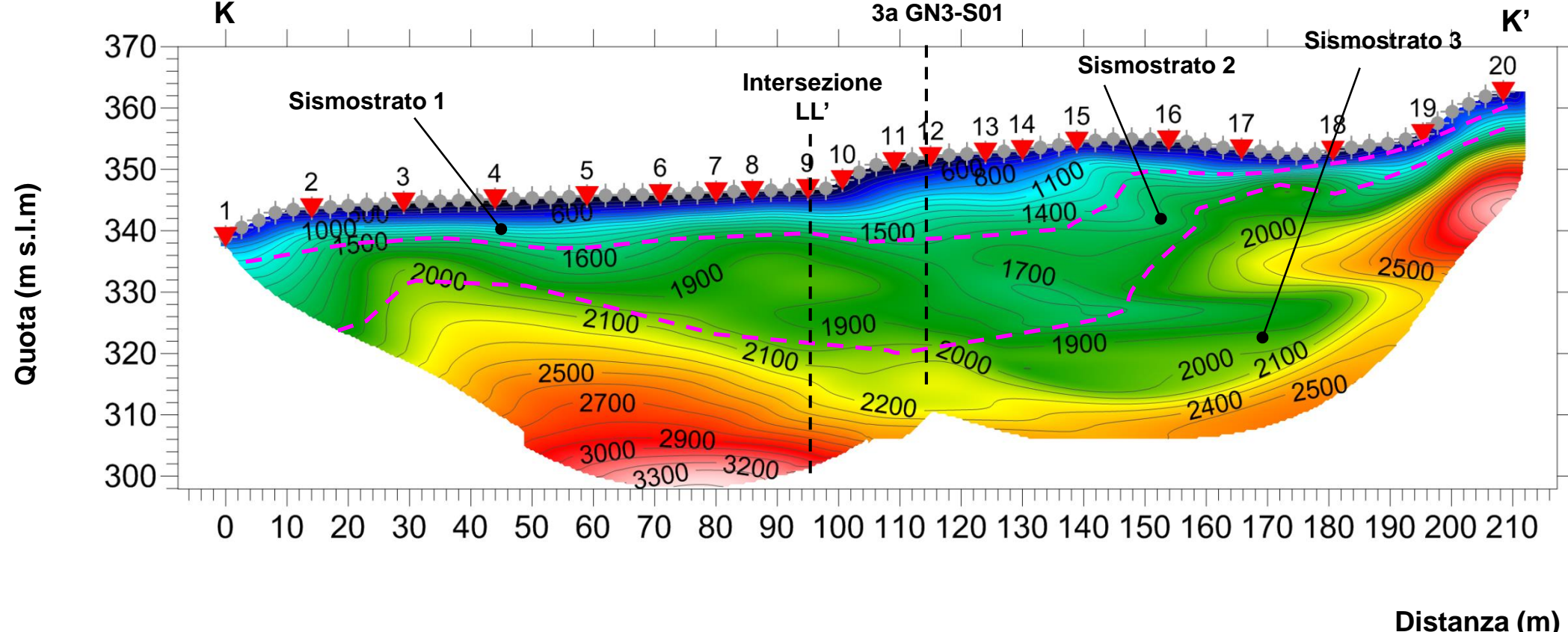
Per la  
**SOING Strutture e  
Ambiente srl**

**ELAB** G. Luciani  
E. Benvenuti

**VERIFICA** A. Morelli  
**APPROV.** P. Chiara

# INDAGINE SISMICA RIFRAZIONE TOMOGRAFICA LINEE KK' E LL'

## Linea RIFR KK' Onde P



## Linea RIFR KK' Onde SH

Porzione veloce interna al sismostrato 1'

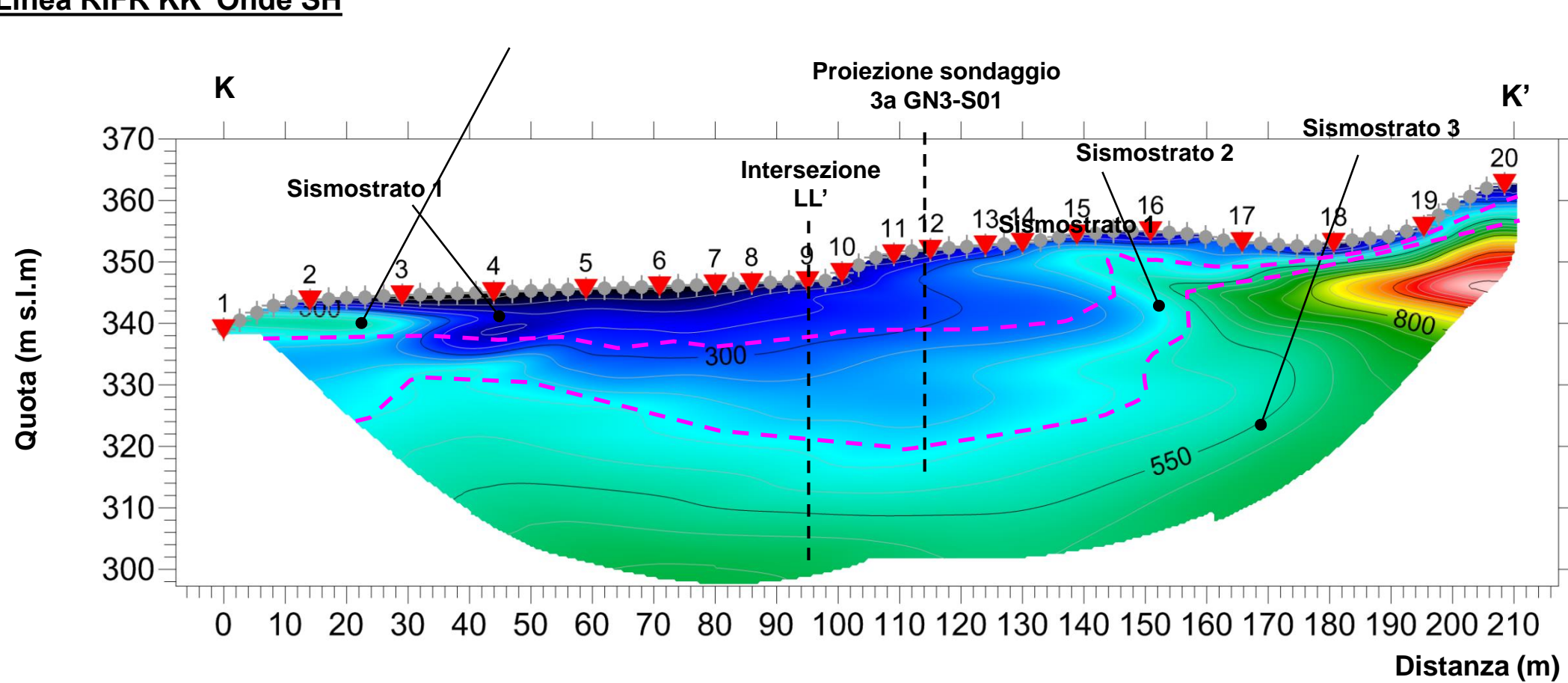


TAVOLA  
**20**

**OGGETTO:**  
Area Indagine sismica  
RIFR. KK' E LL'

---

LINEA CT - PA  
Lotto 3

**Interfaccia tra sismostrati**



**Per la**  
**SOING Strutture e**  
**Ambiente srl**

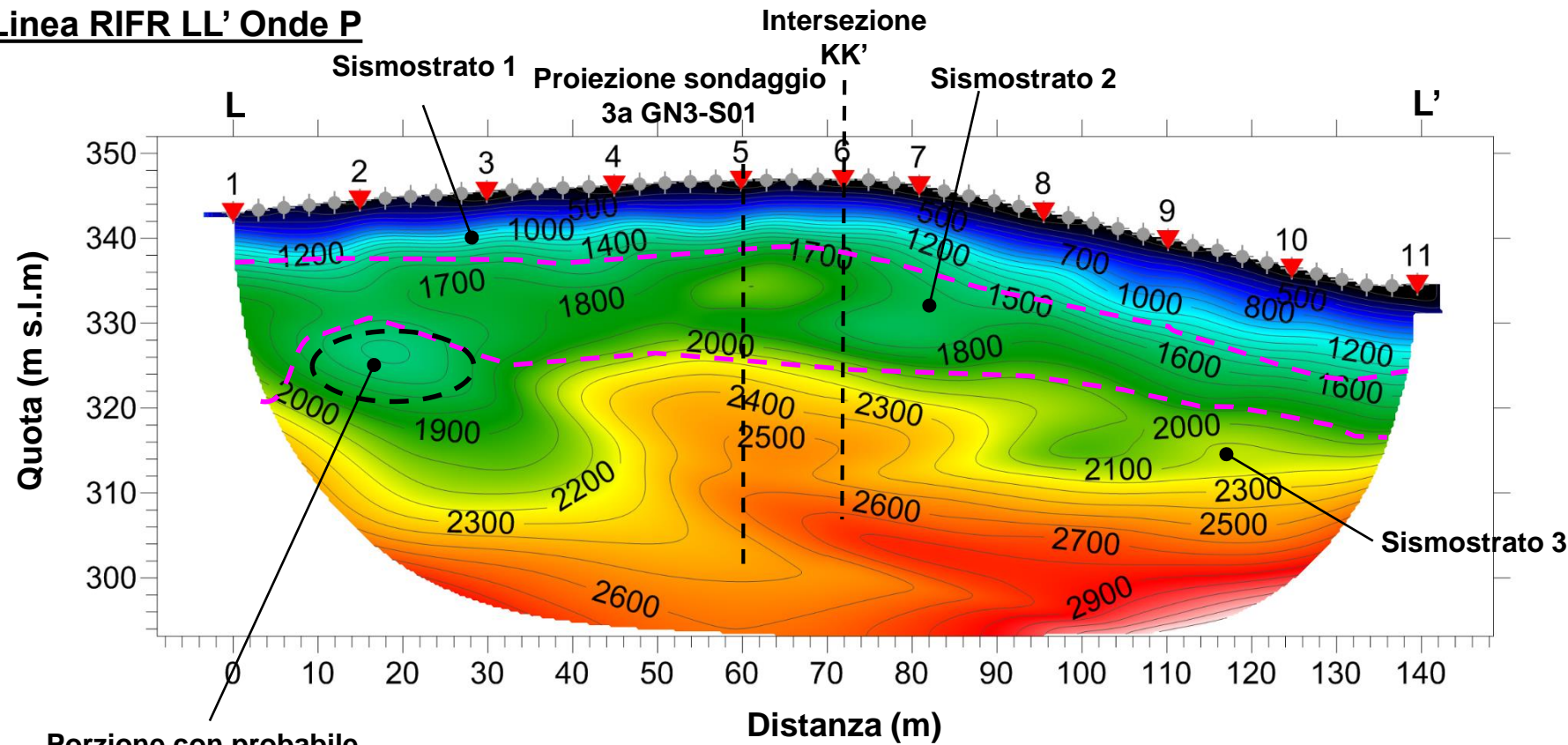
**ELAB** G. Luciani  
E. Benvenuti

**VERIFICA** A. Morelli

**APPROV.** P. Chiara

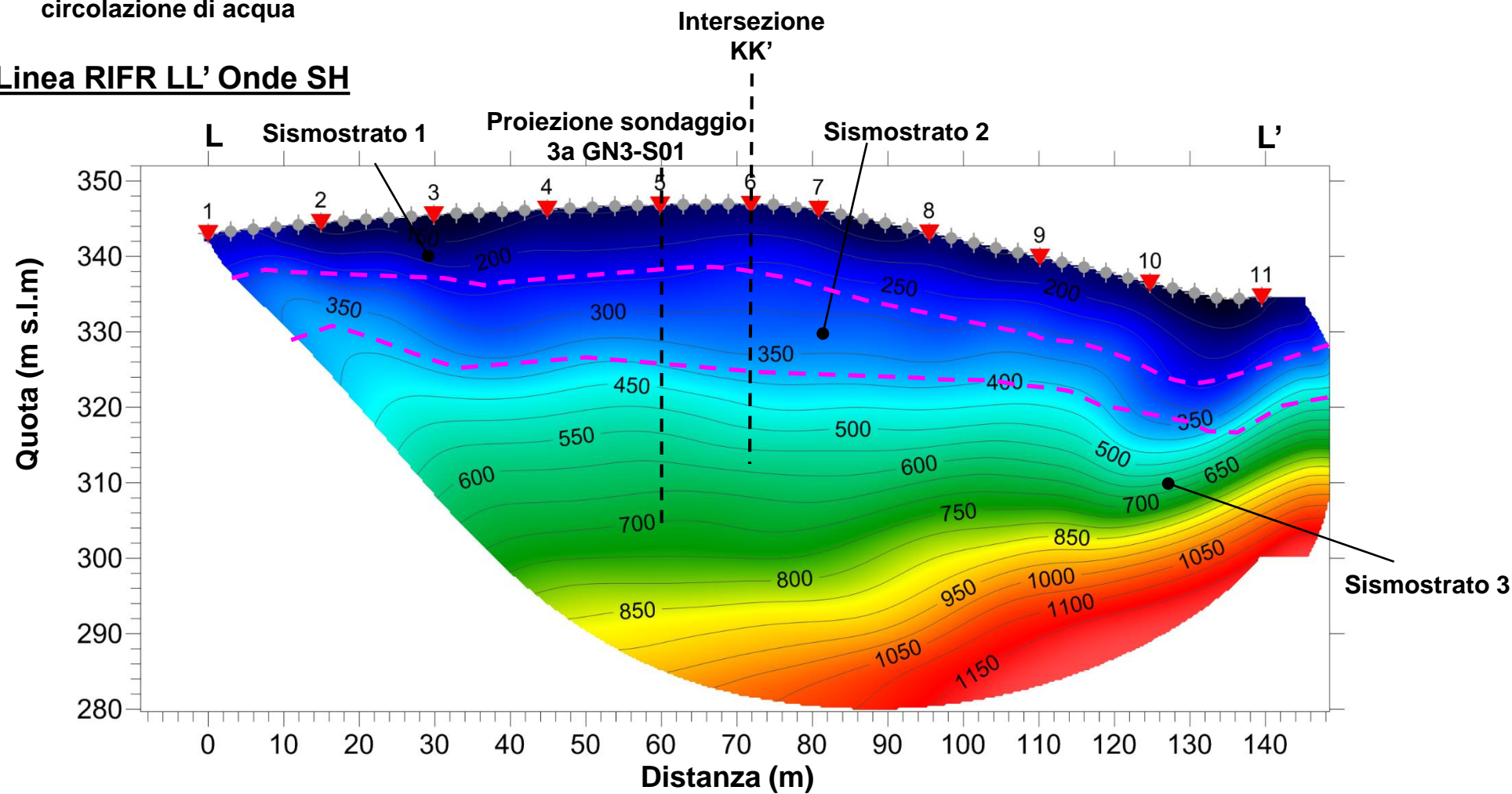
# INDAGINE SISMICA RIFRAZIONE TOMOGRAFICA LINEE KK' E LL'

## Linea RIFR LL' Onde P

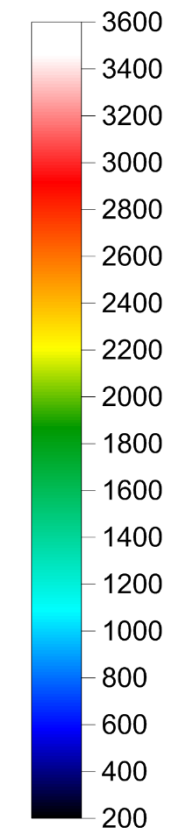


Porzione con probabile circolazione di acqua

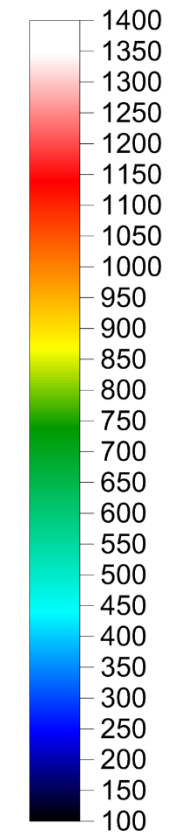
## Linea RIFR LL' Onde SH



Scala velocità onde P (m/s)



Scala velocità onde S (m/s)



TAVOLA

21

OGGETTO:

Area Indagine sismica  
RIFR. KK' E LL'

LINEA CT - PA  
Lotto 3

Interfaccia  
tra sismostrati



Per la  
**SOING Strutture e  
Ambiente srl**

ELAB G. Luciani  
E. Benvenuti

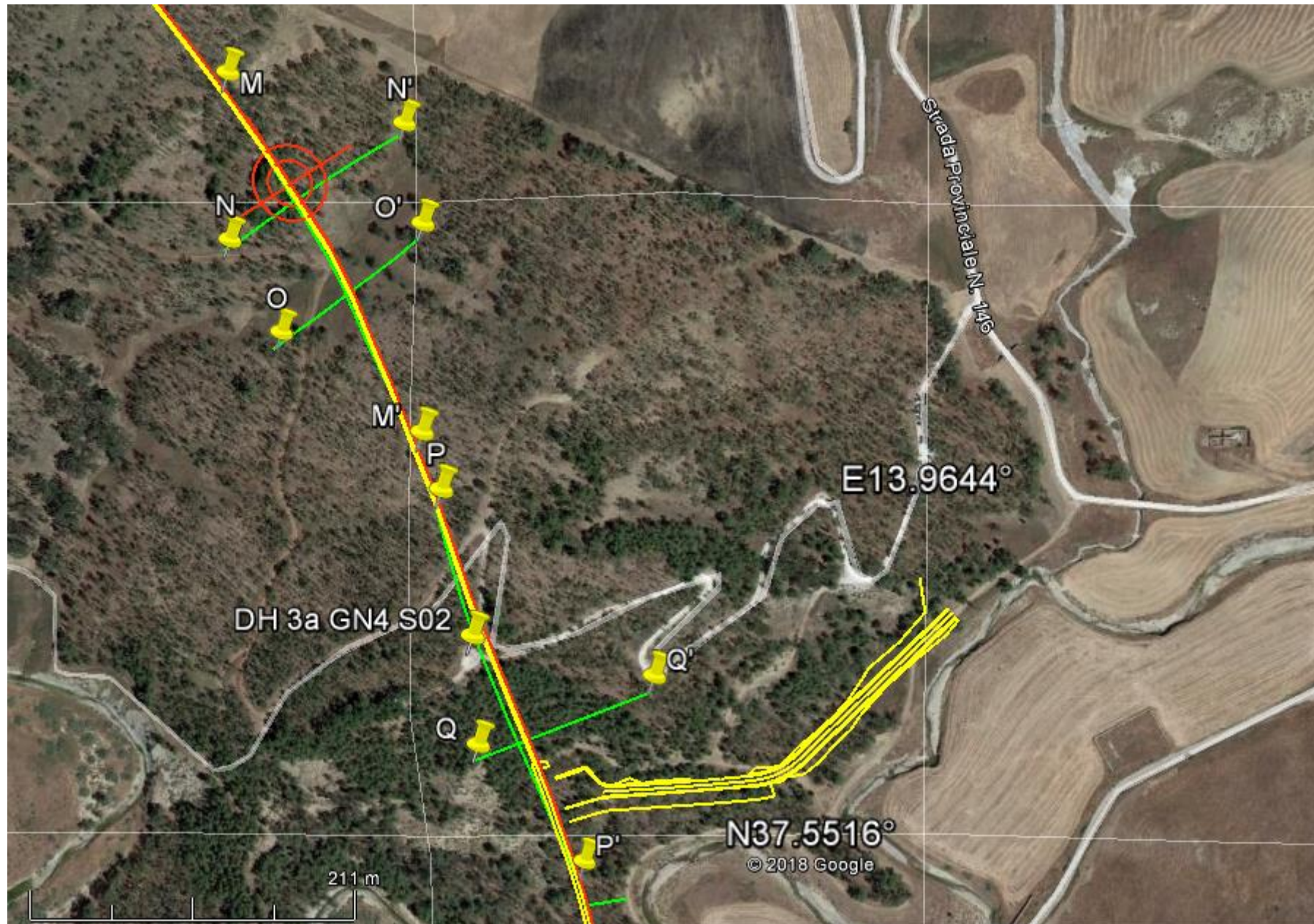
VERIFICA A. Morelli  
APPROV. P. Chiara

# INDAGINE SISMICA RIFRAZIONE TOMOGRAFICA LINEA MM'

TAVOLA

22

## Ubicazione Indagine



## Immagine area indagine RIFR MM'



**OGGETTO:**

Area Indagine sismica  
RIFR. MM'

LINEA CT - PA  
Lotto 3



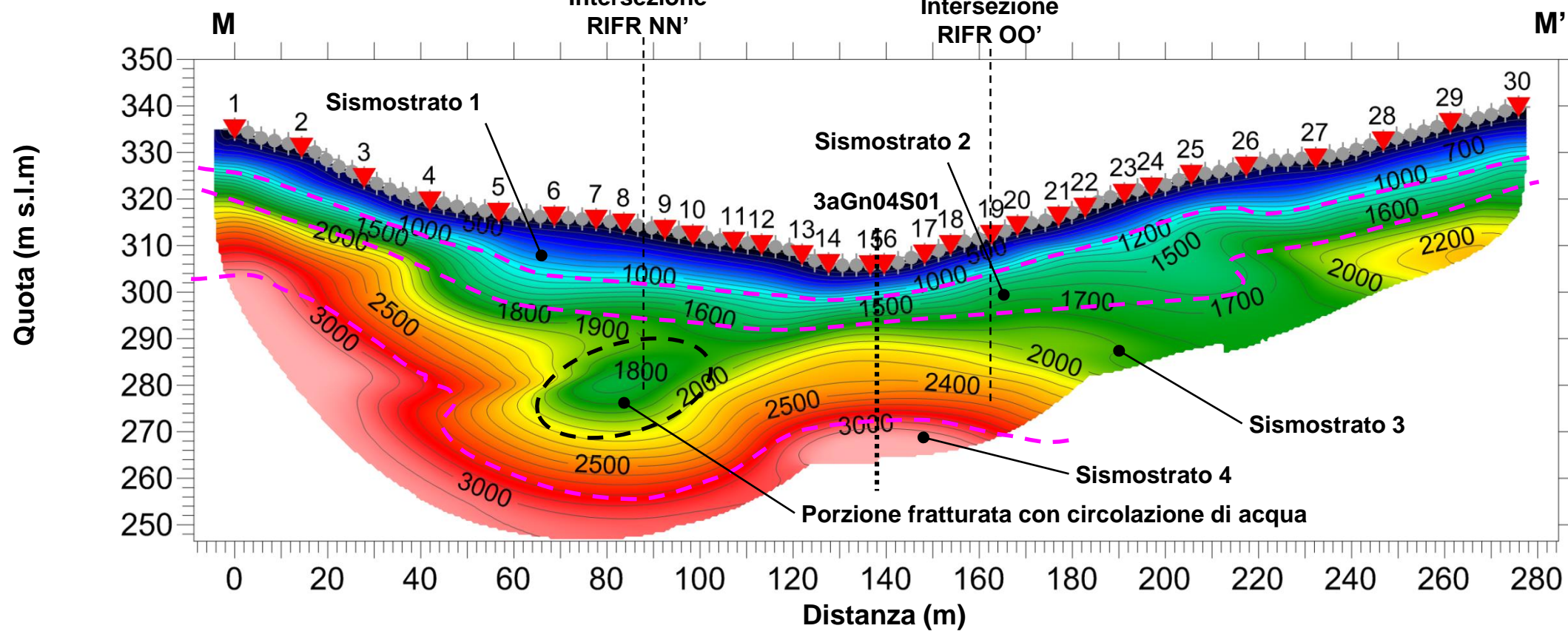
**Per la  
SOING Strutture e  
Ambiente srl**

**ELAB** G. Luciani  
E. Benvenuti

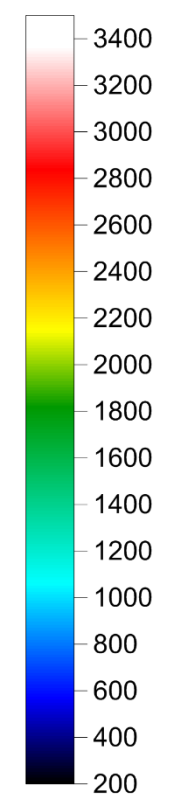
**VERIFICA** A. Morelli  
**APPROV.** P. Chiara

# INDAGINE SISMICA RIFRAZIONE TOMOGRAFICA LINEA MM'

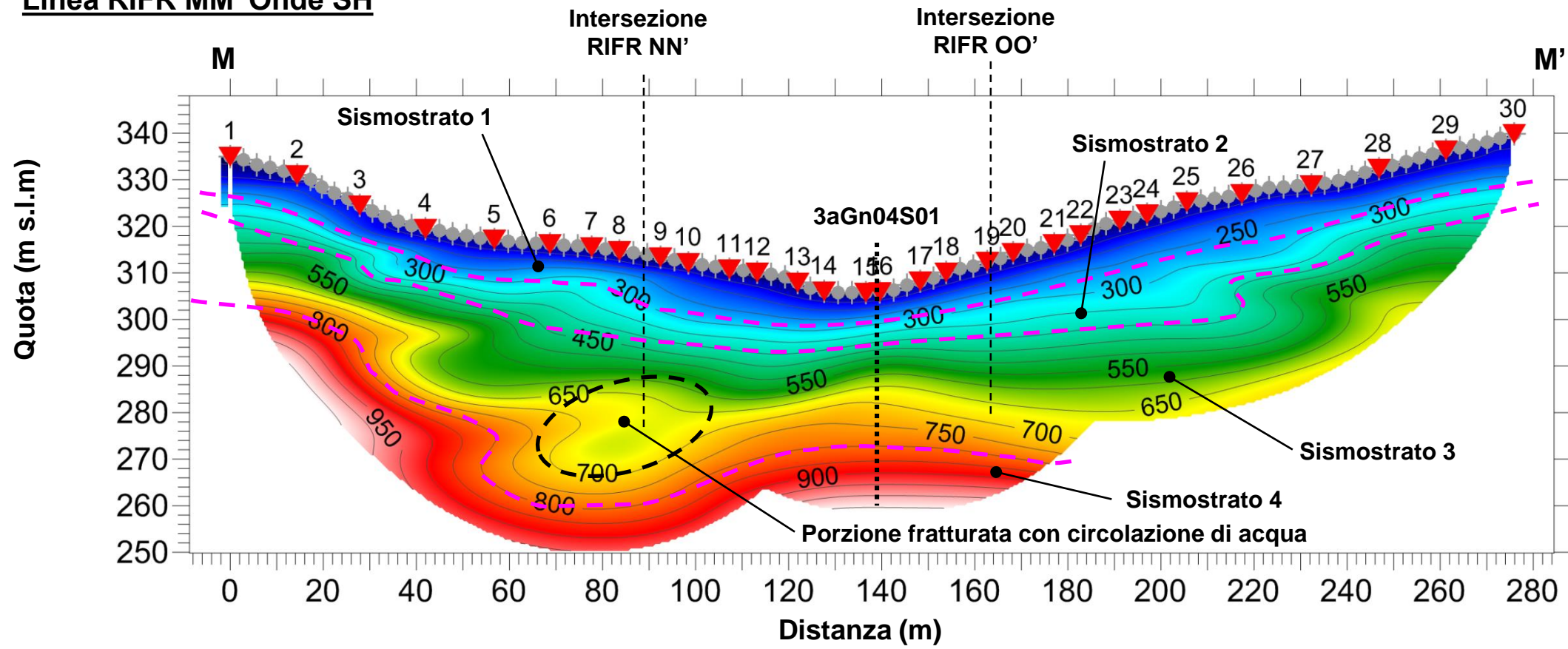
## Linea RIFR MM' Onde P



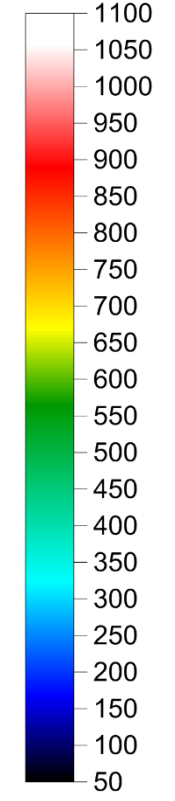
Scala velocità onde P (m/s)



## Linea RIFR MM' Onde SH



Scala velocità onde P (m/s)



TAVOLA

23

**OGGETTO:**  
 Area Indagine sismica  
 RIFR. MM'

---

LINEA CT - PA  
 Lotto 3

**Interfaccia tra sismostrati**



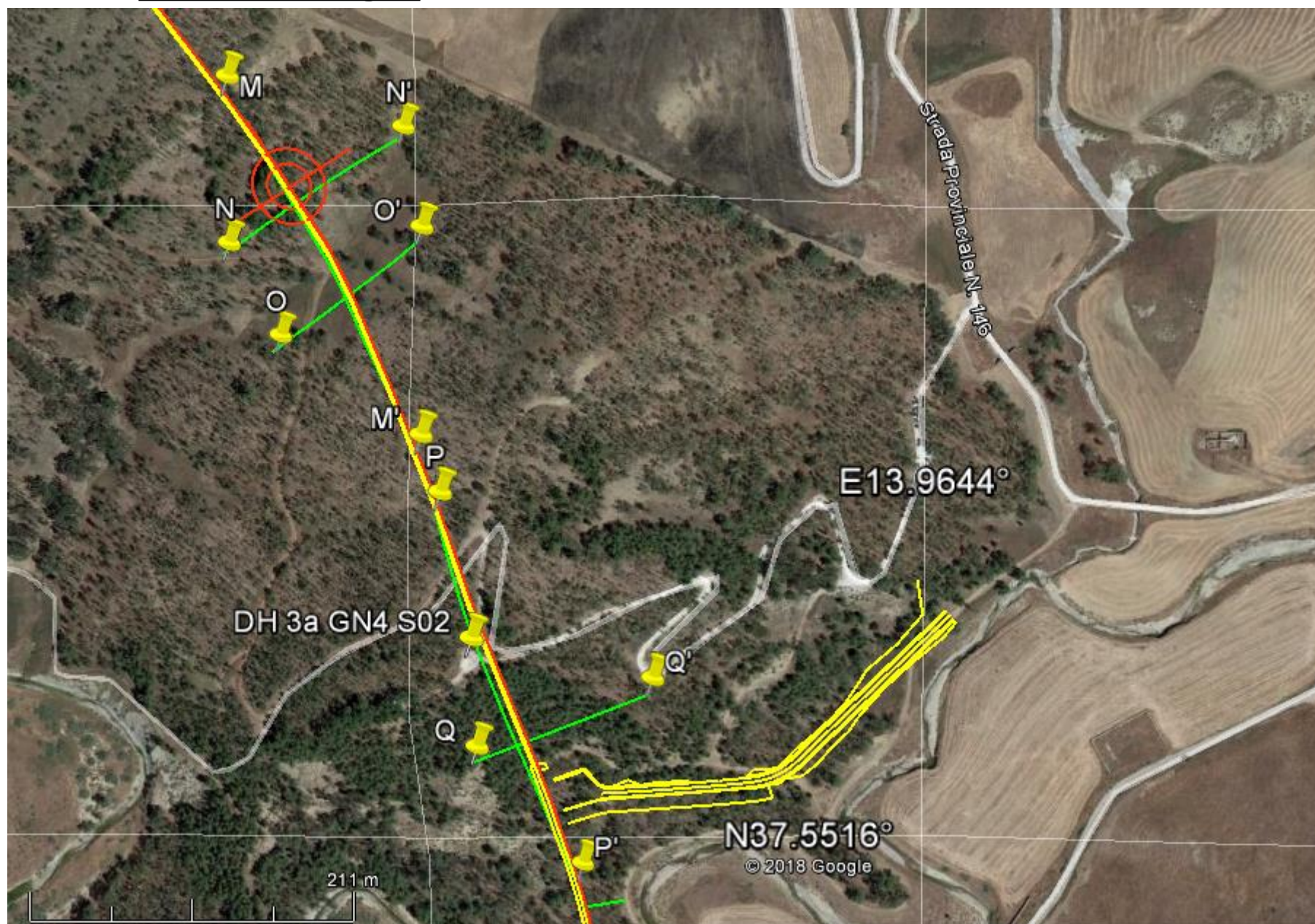
**Per la  
 SOING Strutture e  
 Ambiente srl**

**ELAB** G. Luciani  
 E. Benvenuti

**VERIFICA** A. Morelli  
**APPROV.** P. Chiara

# INDAGINE SISMICA RIFRAZIONE TOMOGRAFICA LINEA NN'

## Ubicazione Indagine



## Immagine area indagine RIFR NN'



TAVOLA

24

### OGGETTO:

Area Indagine sismica  
RIFR. NN'

LINEA CT - PA  
Lotto 3



**SOING**  
STRUTTURE & AMBIENTE



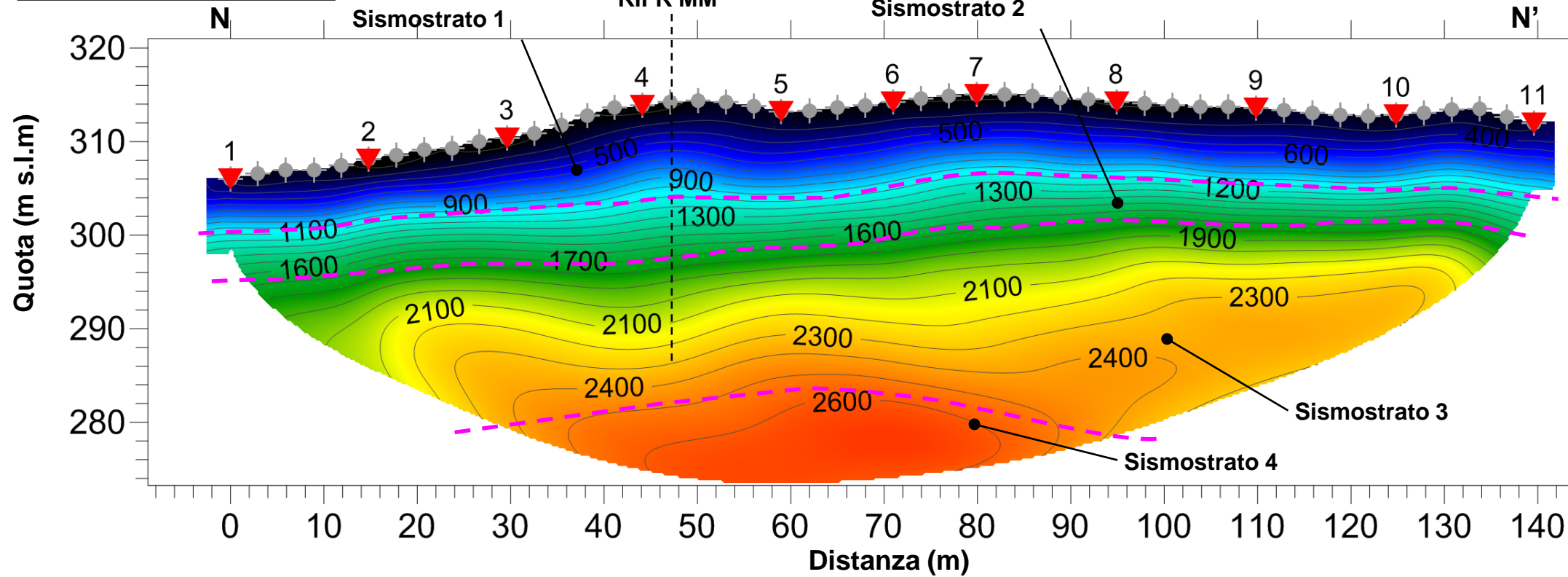
Per la  
**SOING Strutture e  
Ambiente srl**

ELAB G. Luciani  
E. Benvenuti

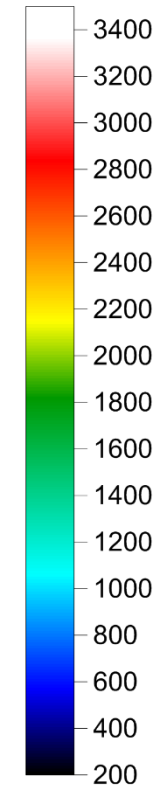
VERIFICA A. Morelli  
APPROV. P. Chiara

# INDAGINE SISMICA RIFRAZIONE TOMOGRAFICA LINEA NN'

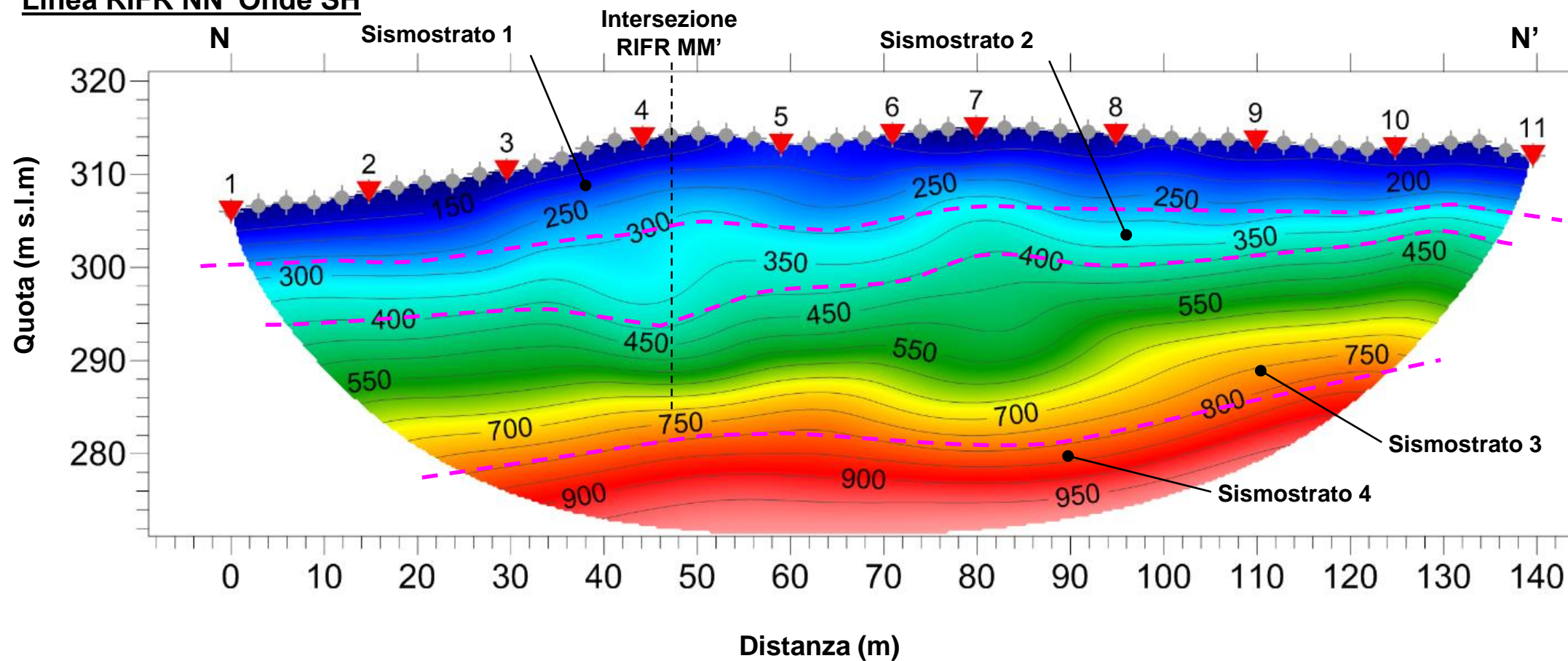
## Linea RIFR NN' Onde P



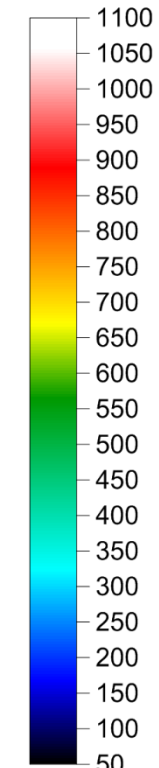
Scala velocità onde P



## Linea RIFR NN' Onde SH



Scala velocità onde P (m/s)



TAVOLA

25

**OGGETTO:**

Area Indagine sismica  
RIFR. NN'

LINEA CT - PA  
Lotto 3

 **Interfaccia  
tra sismostrati**



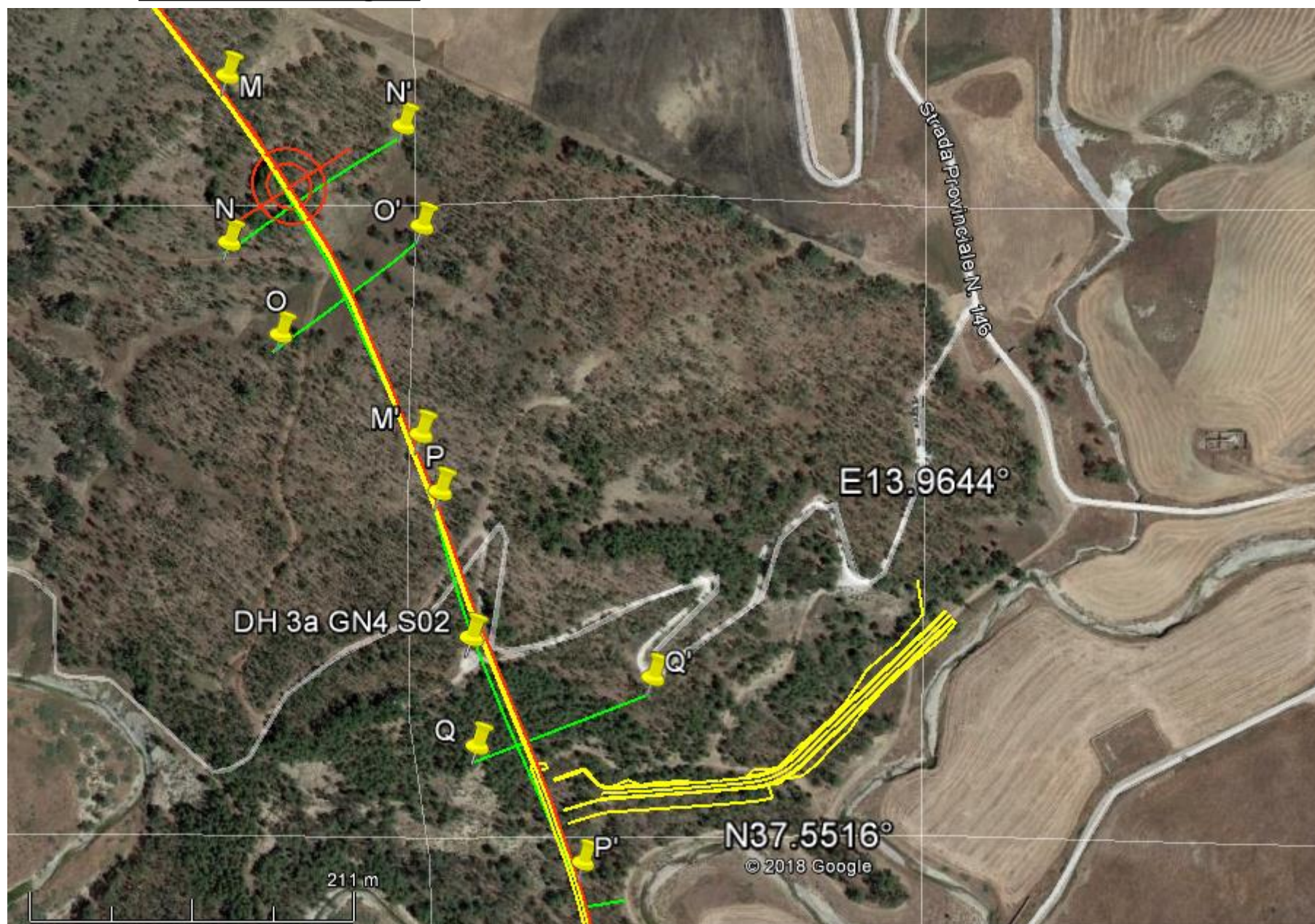
**Per la  
SOING Strutture e  
Ambiente srl**

**ELAB** G. Luciani  
E. Benvenuti

**VERIFICA** A. Morelli  
**APPROV.** P. Chiara

# INDAGINE SISMICA RIFRAZIONE TOMOGRAFICA LINEA OO'

## Ubicazione Indagine



## Immagini area indagine RIFR OO'



TAVOLA

26

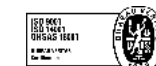
### OGGETTO:

Area Indagine sismica  
RIFR. OO'

LINEA CT - PA  
Lotto 3



**SOING**  
STRUTTURE & AMBIENTE



Per la  
**SOING Strutture e  
Ambiente srl**

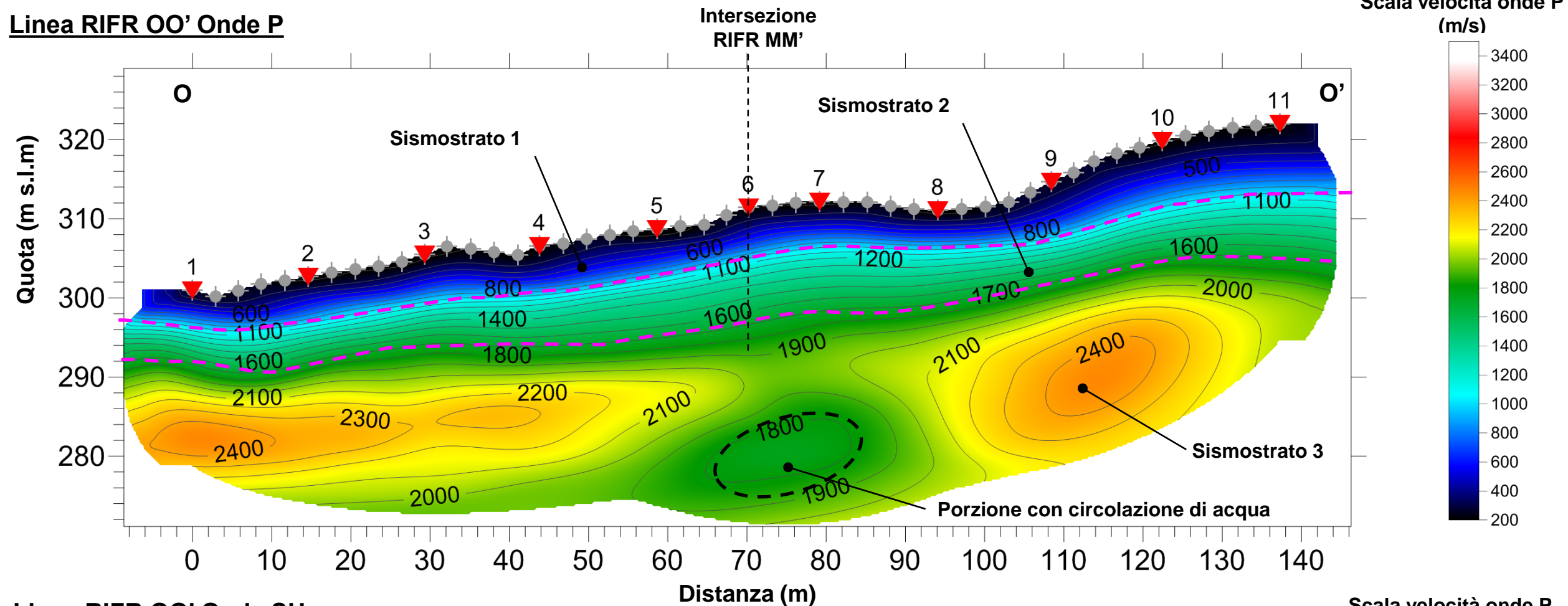
ELAB G. Luciani  
E. Benvenuti

VERIFICA A. Morelli  
APPROV. P. Chiara

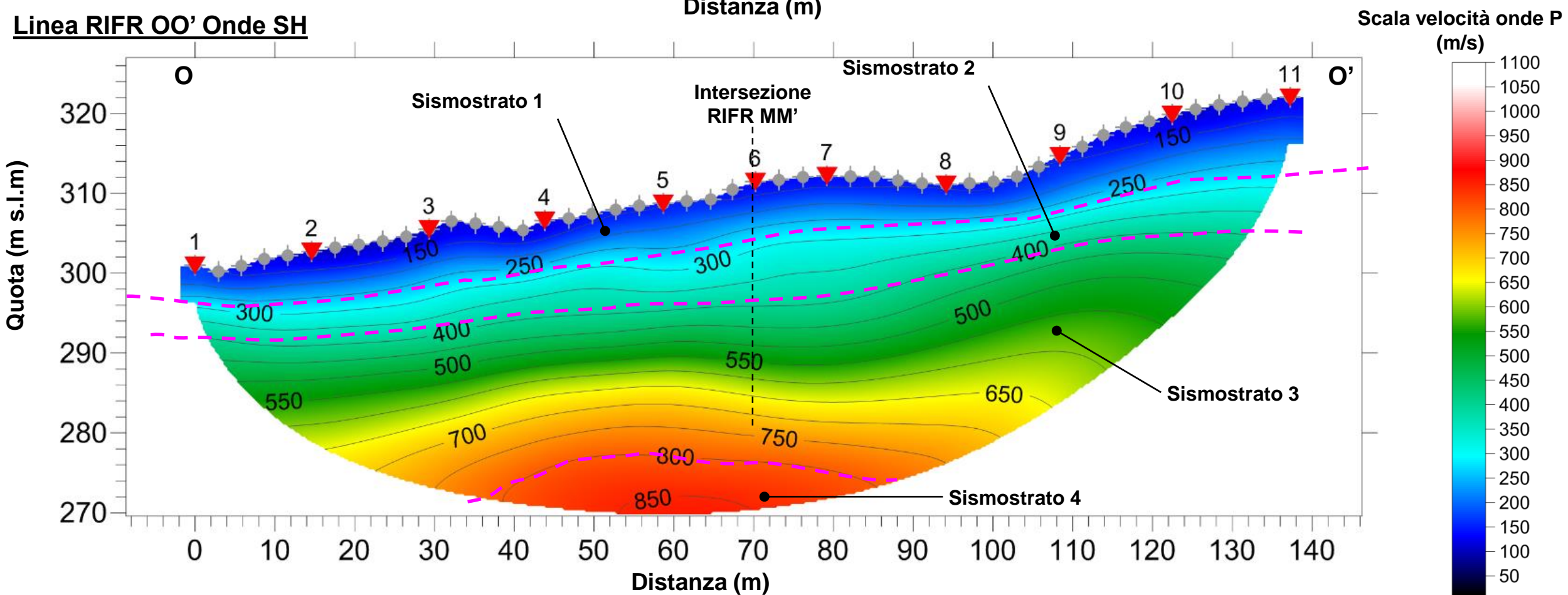


# INDAGINE SISMICA TOMOGRAFICA A RIFRAZIONE LINEA OO'

## Linea RIFR OO' Onde P



## Linea RIFR OO' Onde SH



TAVOLA

27

### OGGETTO:

Area Indagine sismica  
RIFR. OO'

LINEA CT - PA  
Lotto 3

Interfaccia  
tra sismostrati



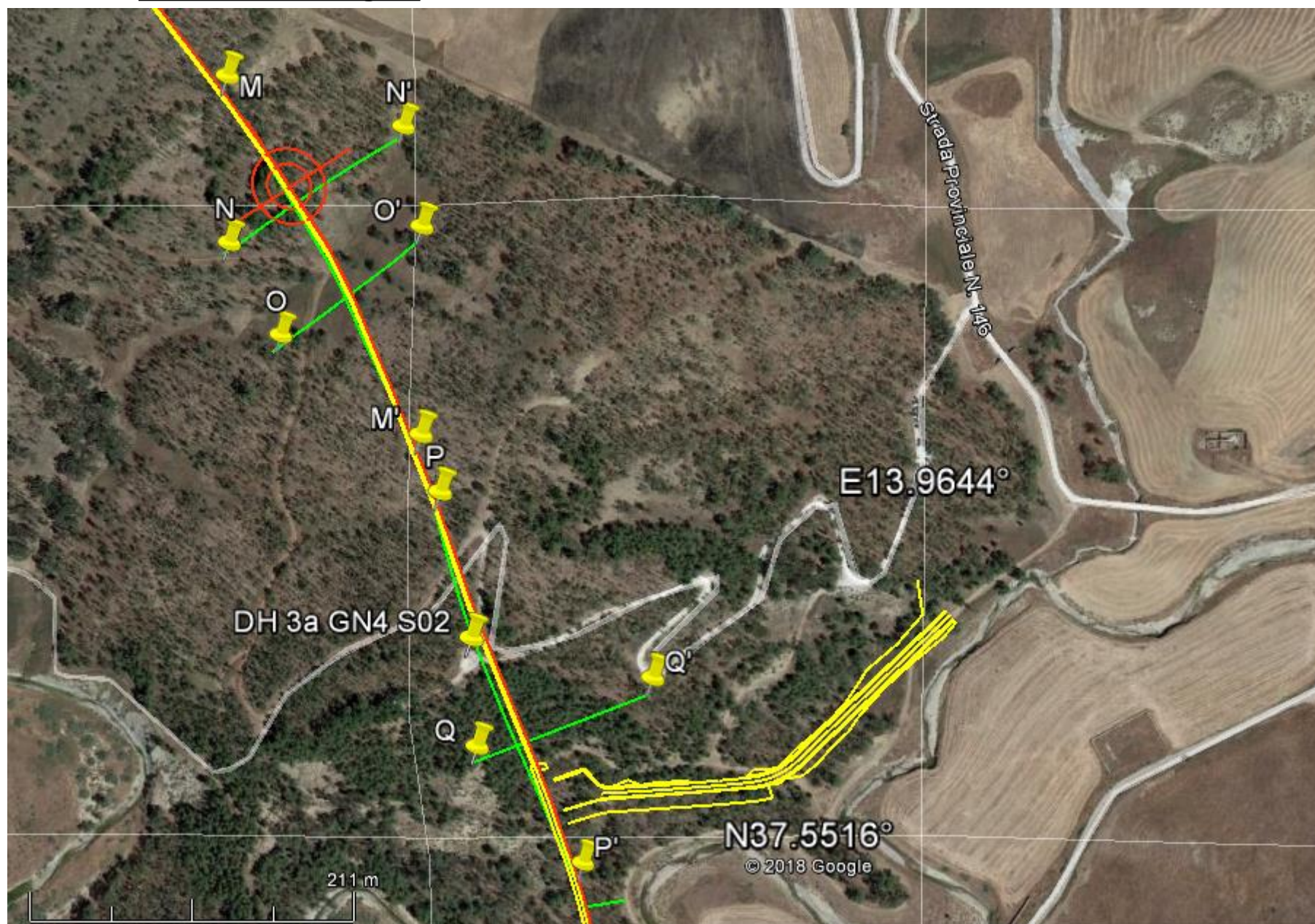
Per la  
**SOING Strutture e  
Ambiente srl**

ELAB G. Luciani  
E. Benvenuti

VERIFICA A. Morelli  
APPROV. P. Chiara

# INDAGINE SISMICA RIFRAZIONE TOMOGRAFICA LINEA PP'

## Ubicazione Indagine



## Immagini area indagine RIFR PP'



TAVOLA

28

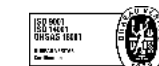
### OGGETTO:

Area Indagine sismica  
RIFR. PP'

LINEA CT - PA  
Lotto 3



**SOING**  
STRUTTURE & AMBIENTE



Per la  
**SOING Strutture e  
Ambiente srl**

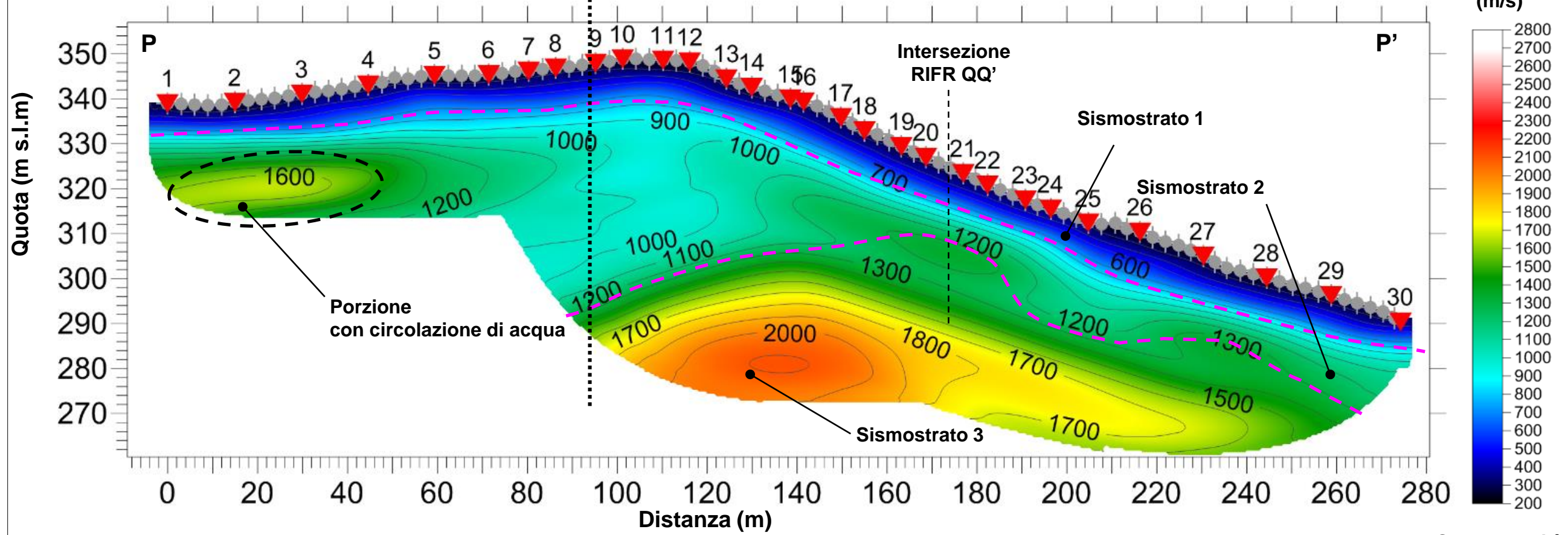
ELAB G. Luciani  
E. Benvenuti

VERIFICA A. Morelli  
APPROV. P. Chiara

# INDAGINE SISMICA TOMOGRAFICA A RIFRAZIONE LINEA PP'

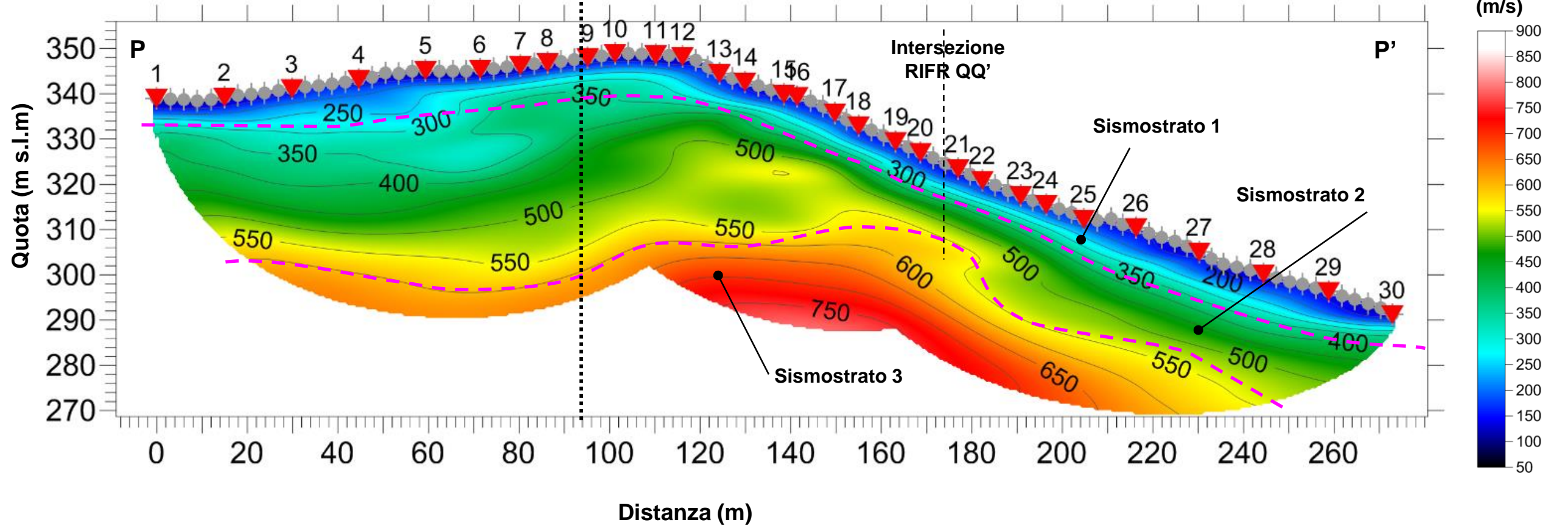
## Linea RIFR PP' Onde P

3aGn04S02



## Linea RIFR PP' Onde SH

3aGn04S02



TAVOLA

29

### OGGETTO:

Area Indagine sismica  
RIFR. PP'

LINEA CT - PA  
Lotto 3

Interfaccia  
tra sismostrati



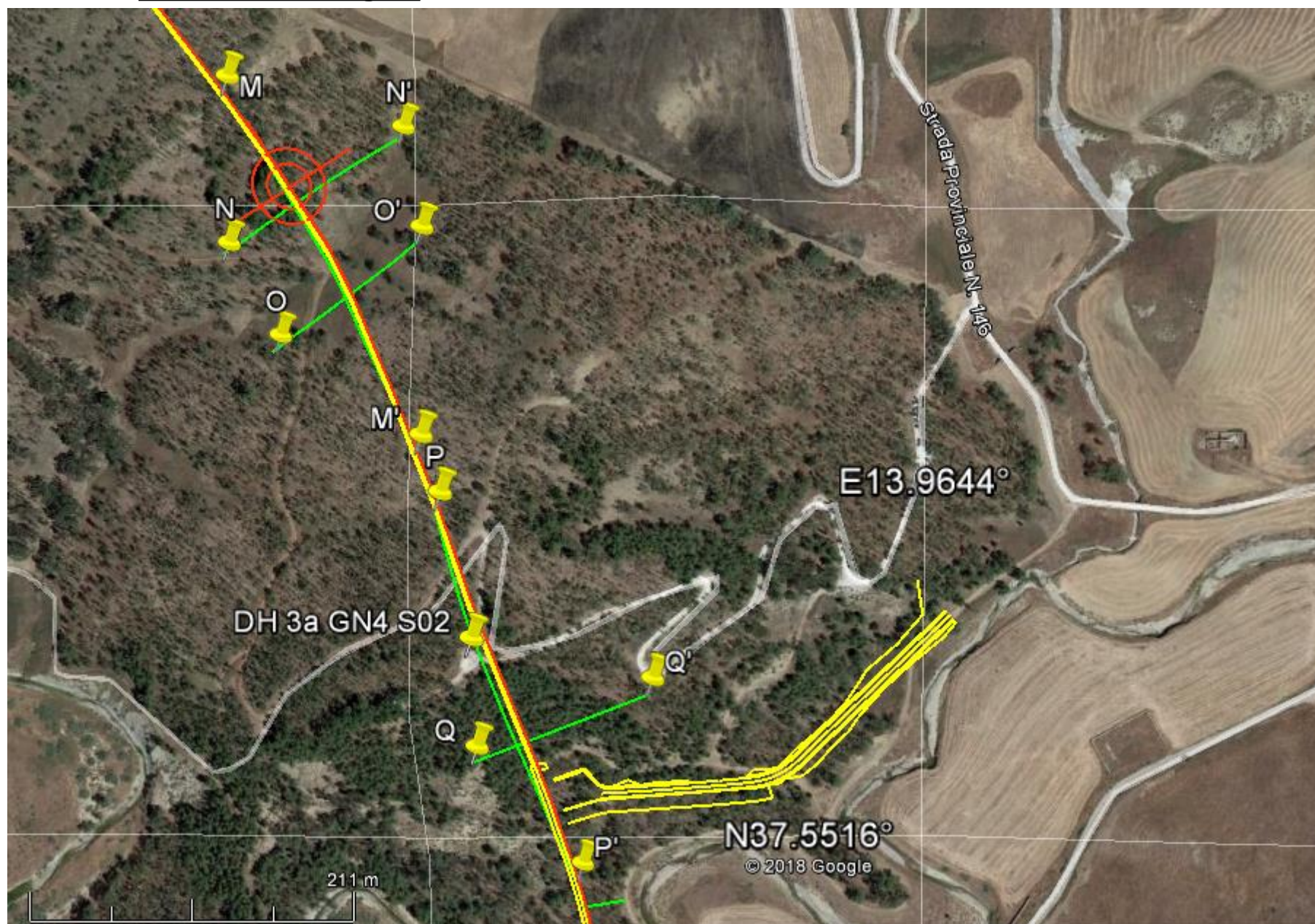
Per la  
**SOING Strutture e  
Ambiente srl**

ELAB G. Luciani  
E. Benvenuti

VERIFICA A. Morelli  
APPROV. P. Chiara

# INDAGINE SISMICA RIFRAZIONE TOMOGRAFICA LINEA QQ'

## Ubicazione Indagine



## Immagine area indagine RIF QQ'



TAVOLA

30

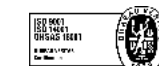
### OGGETTO:

Area Indagine sismica  
RIFR. QQ'

LINEA CT - PA  
Lotto 3



**SOING**  
STRUTTURE & AMBIENTE



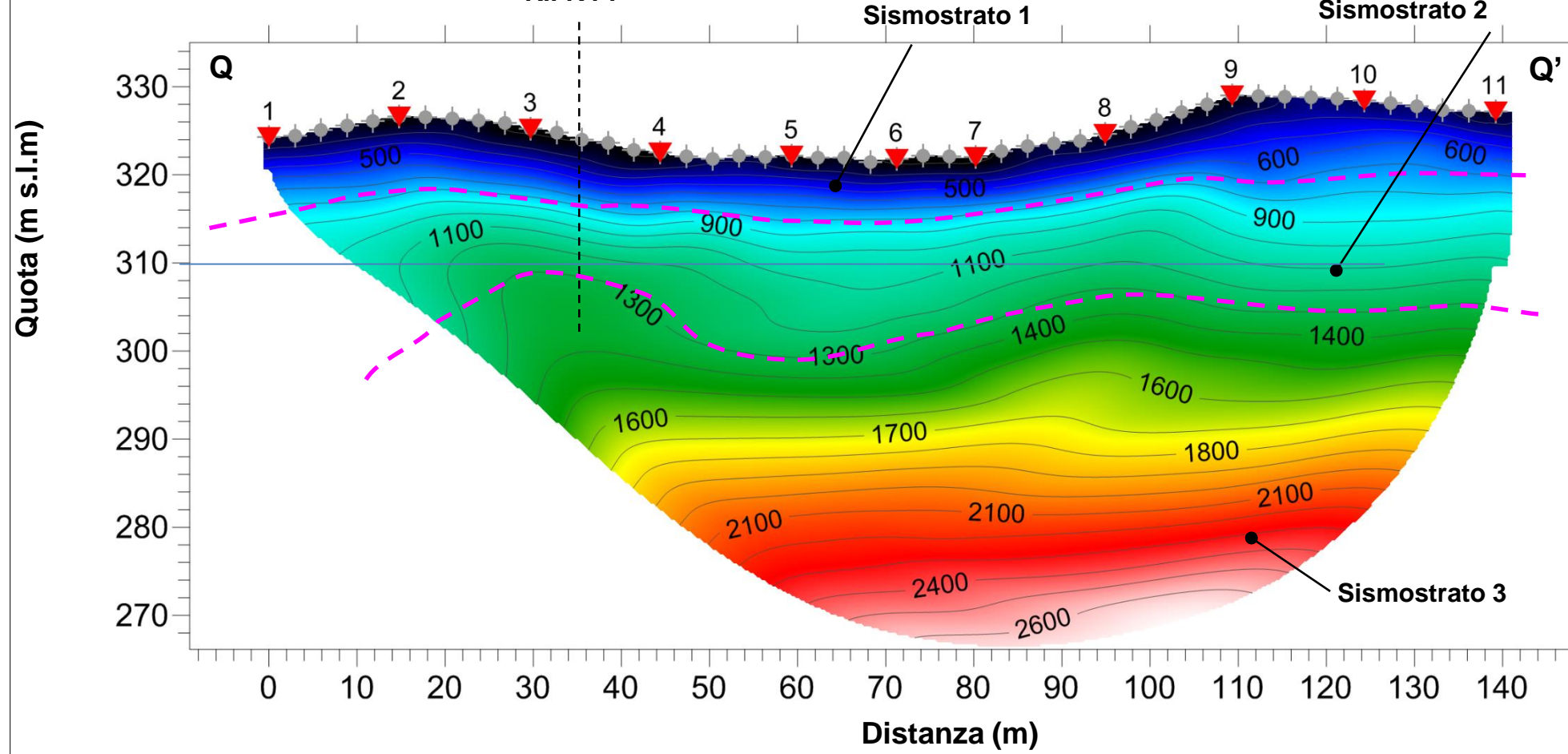
Per la  
**SOING Strutture e  
Ambiente srl**

ELAB G. Luciani  
E. Benvenuti

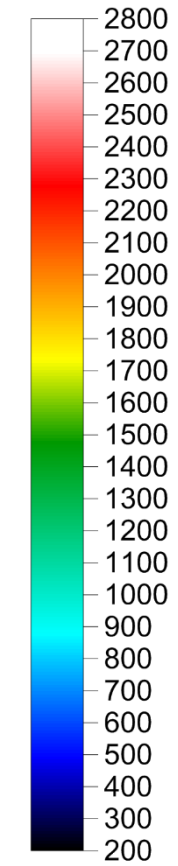
VERIFICA A. Morelli  
APPROV. P. Chiara

# INDAGINE SISMICA TOMOGRAFICA A RIFRAZIONE LINEA QQ'

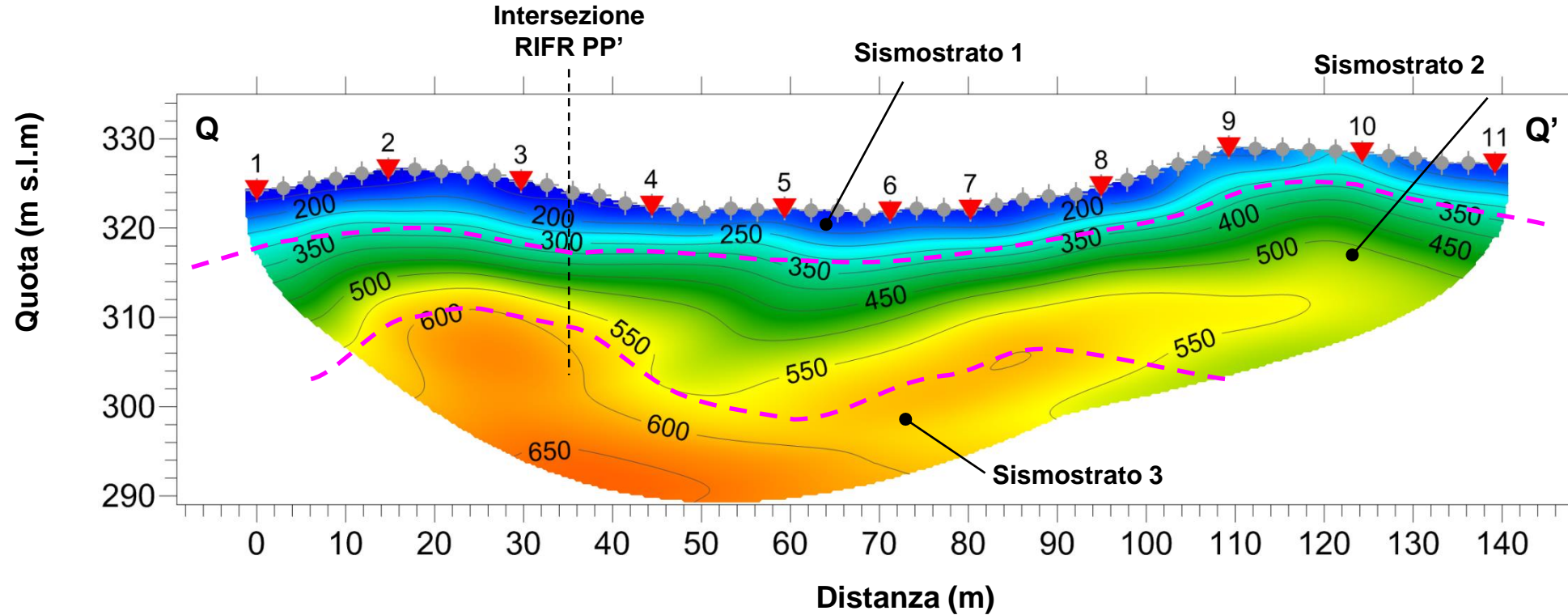
## Linea RIFR QQ' Onde P



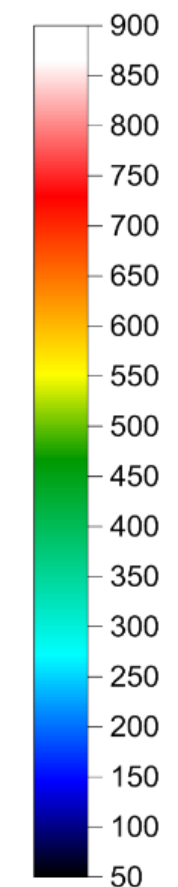
Scala velocità onde P (m/s)



## Linea RIFR QQ' Onde SH



Scala velocità onde P (m/s)



TAVOLA

31

OGGETTO:

Area Indagine sismica  
RIFR. QQ'

LINEA CT - PA  
Lotto 3

Interfaccia  
tra sismostrati



Per la  
**SOING Strutture e  
Ambiente srl**

ELAB G. Luciani  
E. Benvenuti

VERIFICA A. Morelli  
APPROV. P. Chiara

# INDAGINE SISMICA RIFRAZIONE TOMOGRAFICA LINEE RR' E SS'

## Ubicazione Indagine



## Immagini area indagine RIFR RR'



## Immagini area indagine RIFR SS'



TAVOLA

32

### OGGETTO:

Area Indagine sismica  
RIFR. RR' E SS'

LINEA CT - PA  
Lotto 3



**SOING**  
STRUTTURE & AMBIENTE



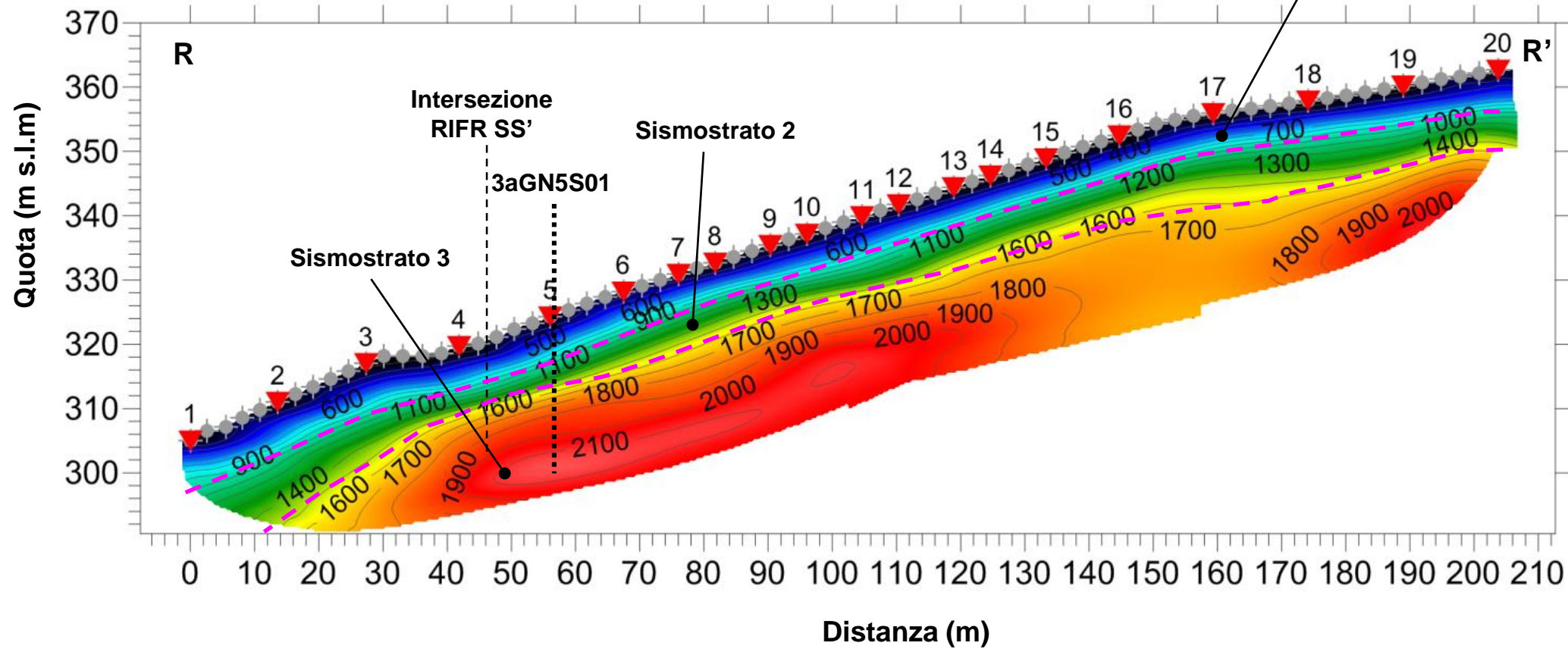
Per la  
**SOING Strutture e  
Ambiente srl**

ELAB G. Luciani  
E. Benvenuti

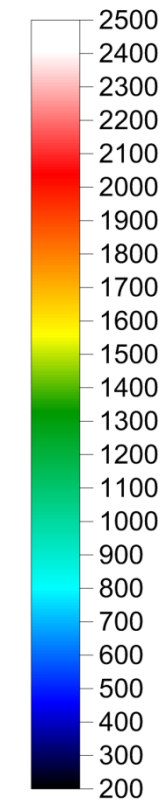
VERIFICA A. Morelli  
APPROV. P. Chiara

# INDAGINE SISMICA TOMOGRAFICA A RIFRAZIONE LINEA RR'

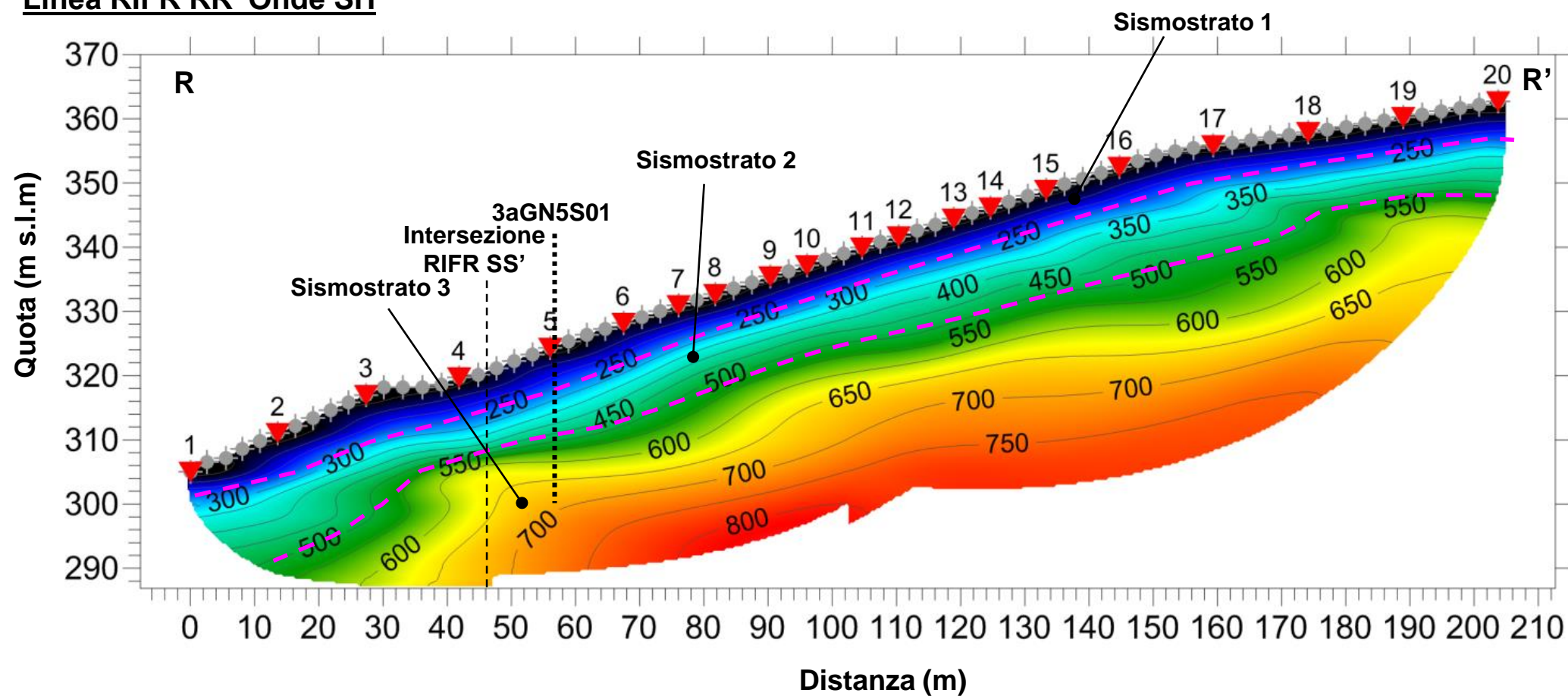
## Linea RIFR RR' Onde P



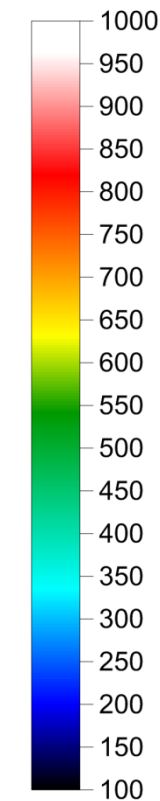
Scala velocità onde P (m/s)



## Linea RIFR RR' Onde SH



Scala velocità onde S (m/s)



TAVOLA

33

**OGGETTO:**

Area Indagine sismica  
RIFR. RR'

LINEA CT - PA  
Lotto 3

**Interfaccia tra sismostrati**



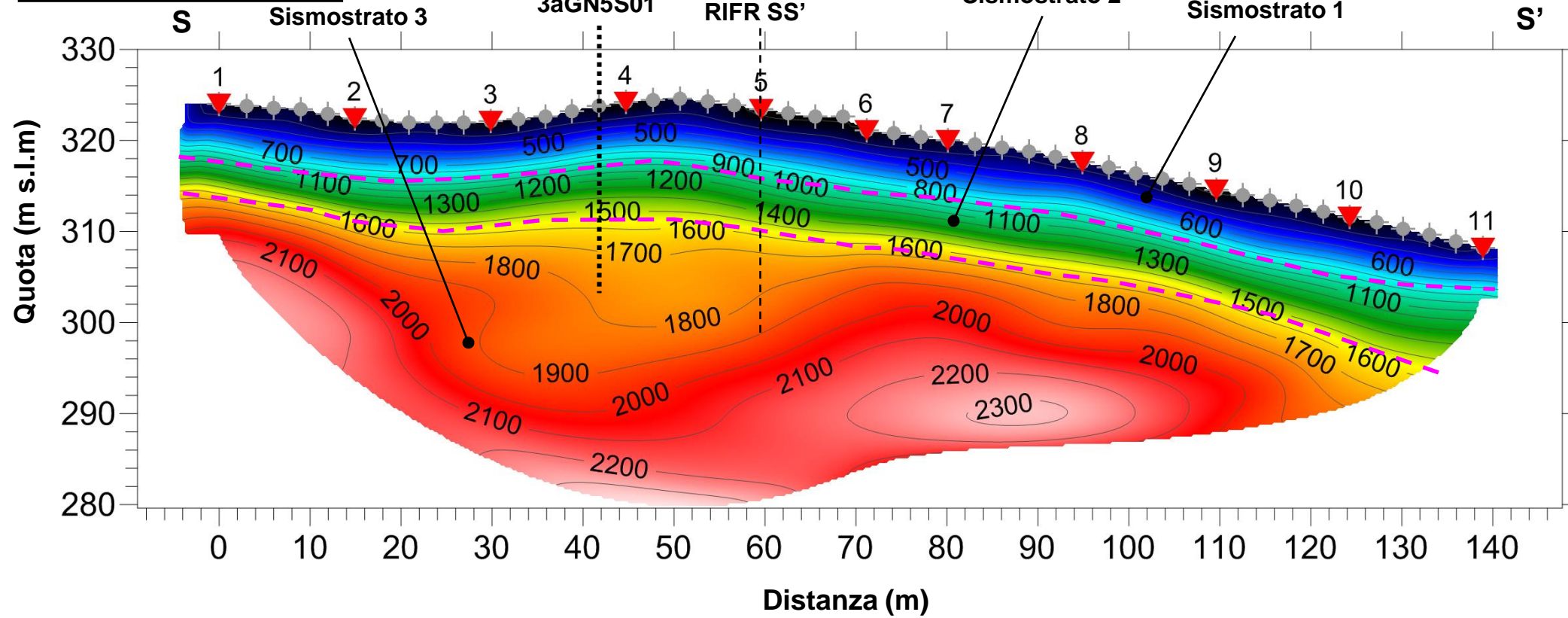
**Per la  
SOING Strutture e  
Ambiente srl**

**ELAB** G. Luciani  
E. Benvenuti

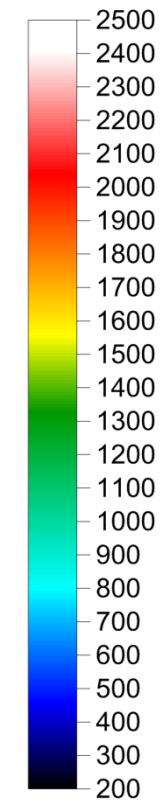
**VERIFICA** A. Morelli  
**APPROV.** P. Chiara

# INDAGINE SISMICA TOMOGRAFICA A RIFRAZIONE LINEA SS'

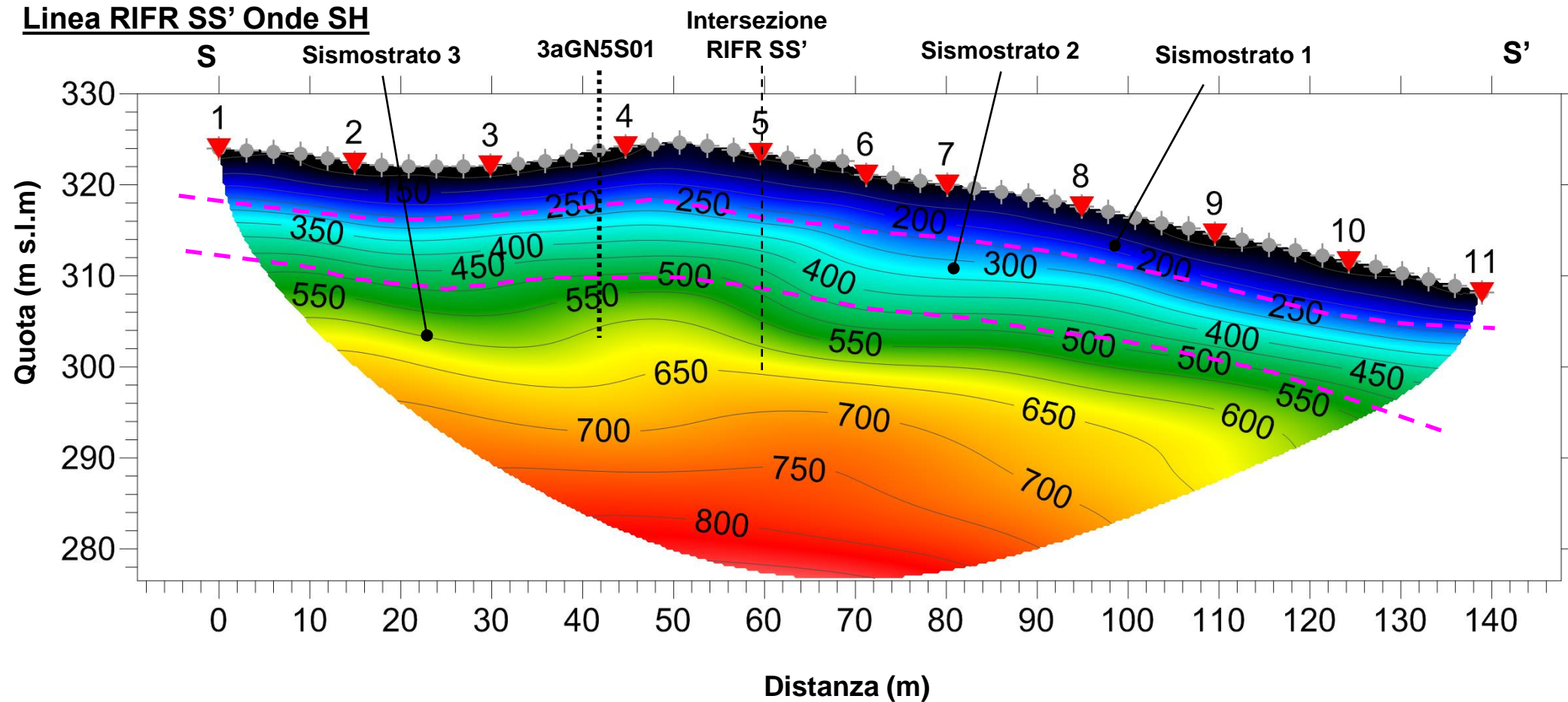
## Linea RIFR SS' Onde P



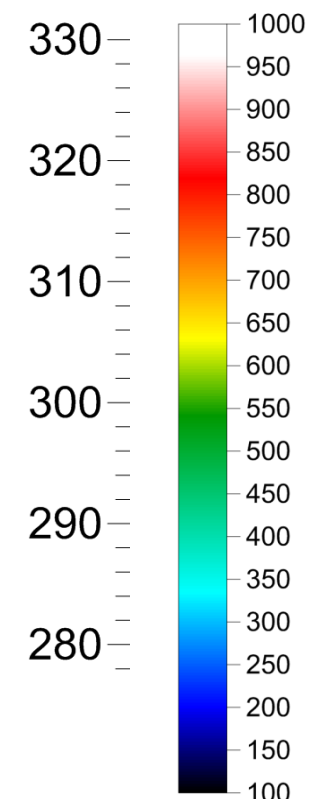
Scala velocità onde P (m/s)



## Linea RIFR SS' Onde SH



Scala velocità onde S (m/s)



TAVOLA

34

**OGGETTO:**

Area Indagine sismica  
RIFR. SS'

LINEA CT - PA  
Lotto 3

Interfaccia  
tra sismostrati



Per la  
**SOING Strutture e  
Ambiente srl**

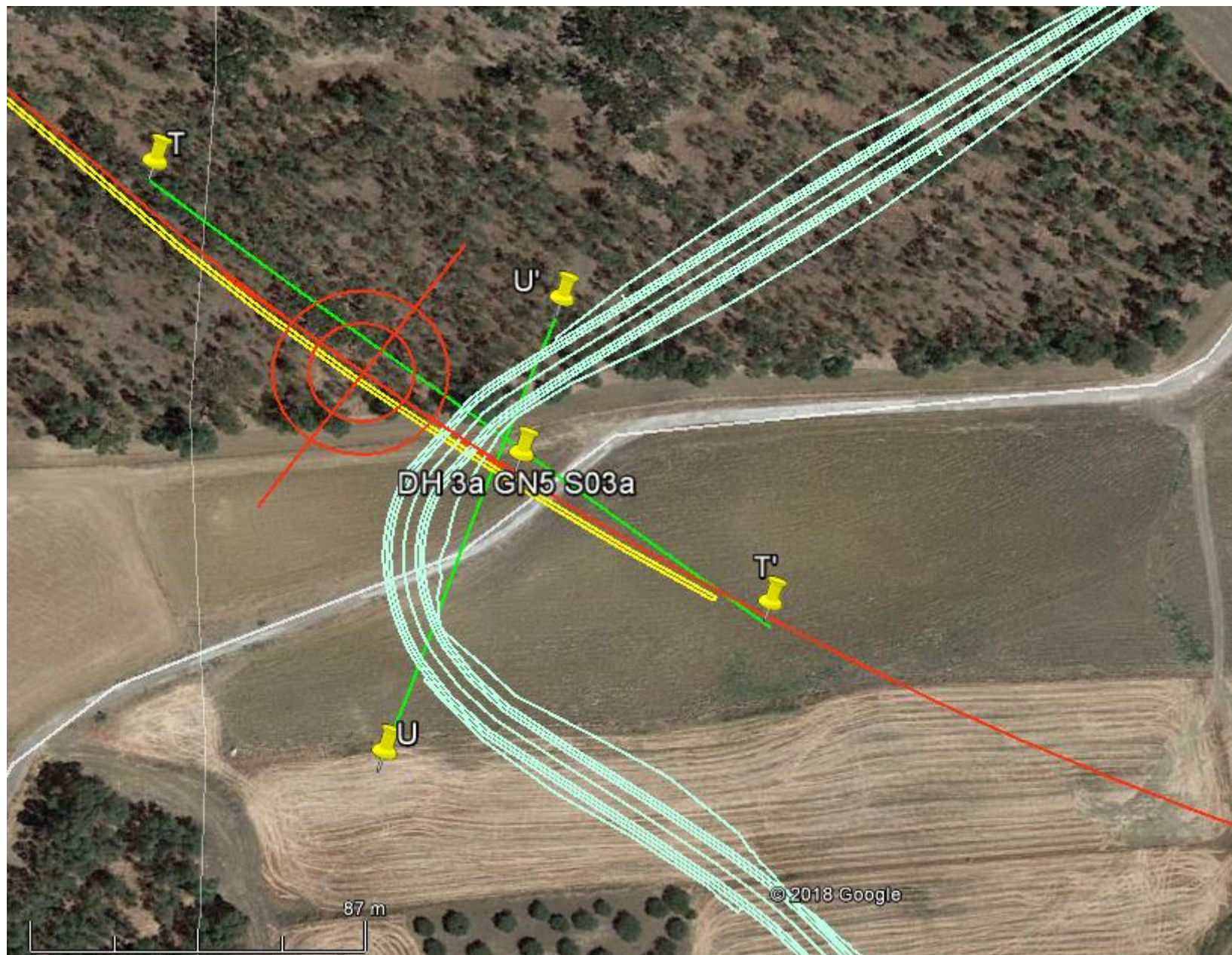
**ELAB** G. Luciani  
E. Benvenuti

**VERIFICA** A. Morelli  
**APPROV.** P. Chiara



# INDAGINE SISMICA RIFRAZIONE TOMOGRAFICA LINEE TT' E UU'

## Ubicazione Indagine



## Immagini area indagine RIFR TT'



## Immagini area indagine RIFR UU'



TAVOLA

35

### OGGETTO:

Area Indagine sismica  
RIFR. TT' E UU'

LINEA CT - PA  
Lotto 3



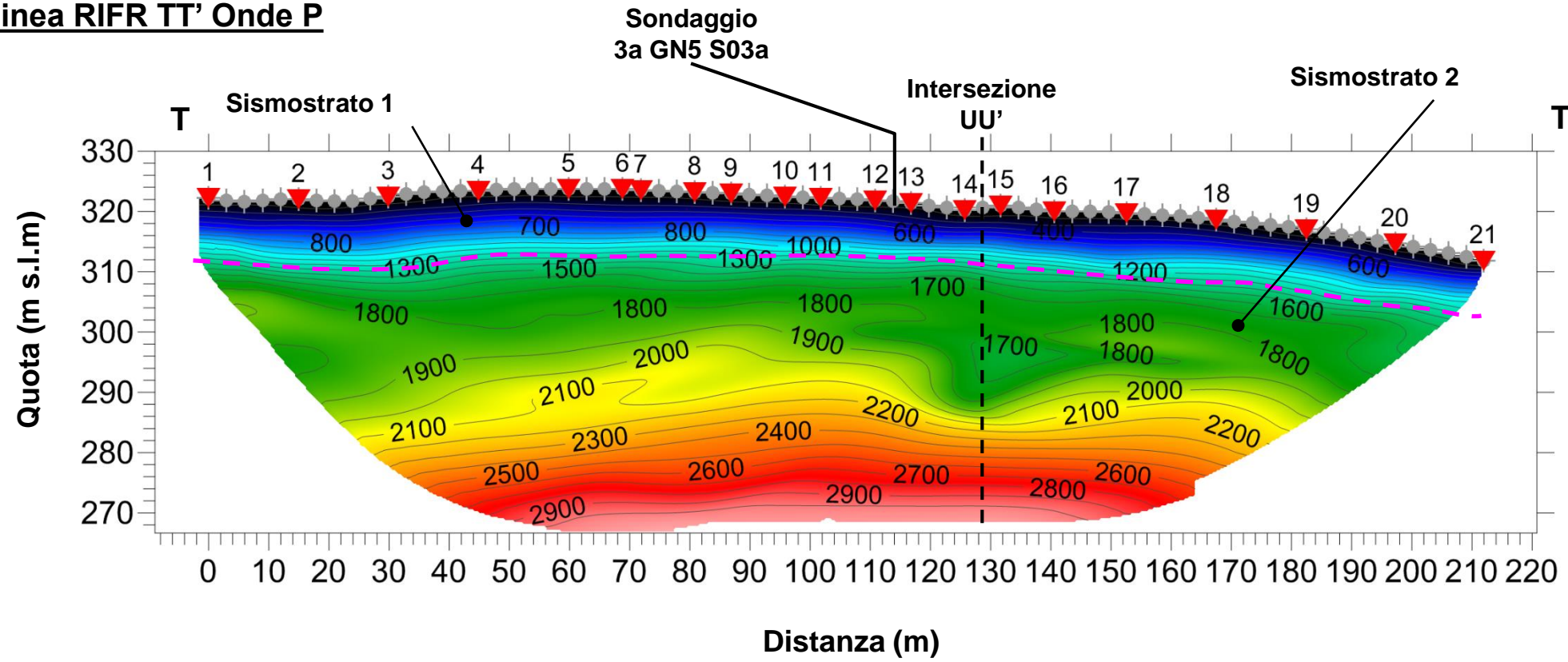
Per la  
**SOING Strutture e  
Ambiente srl**

ELAB G. Luciani  
E. Benvenuti

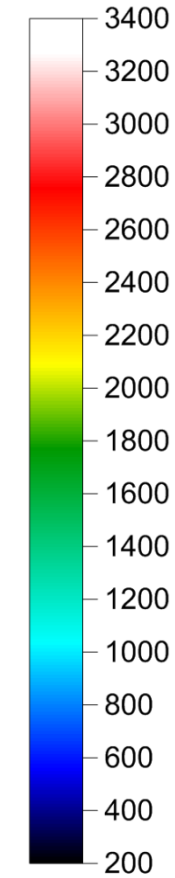
VERIFICA A. Morelli  
APPROV. P. Chiara

# INDAGINE SISMICA RIFRAZIONE TOMOGRAFICA LINEE TT' E UU'

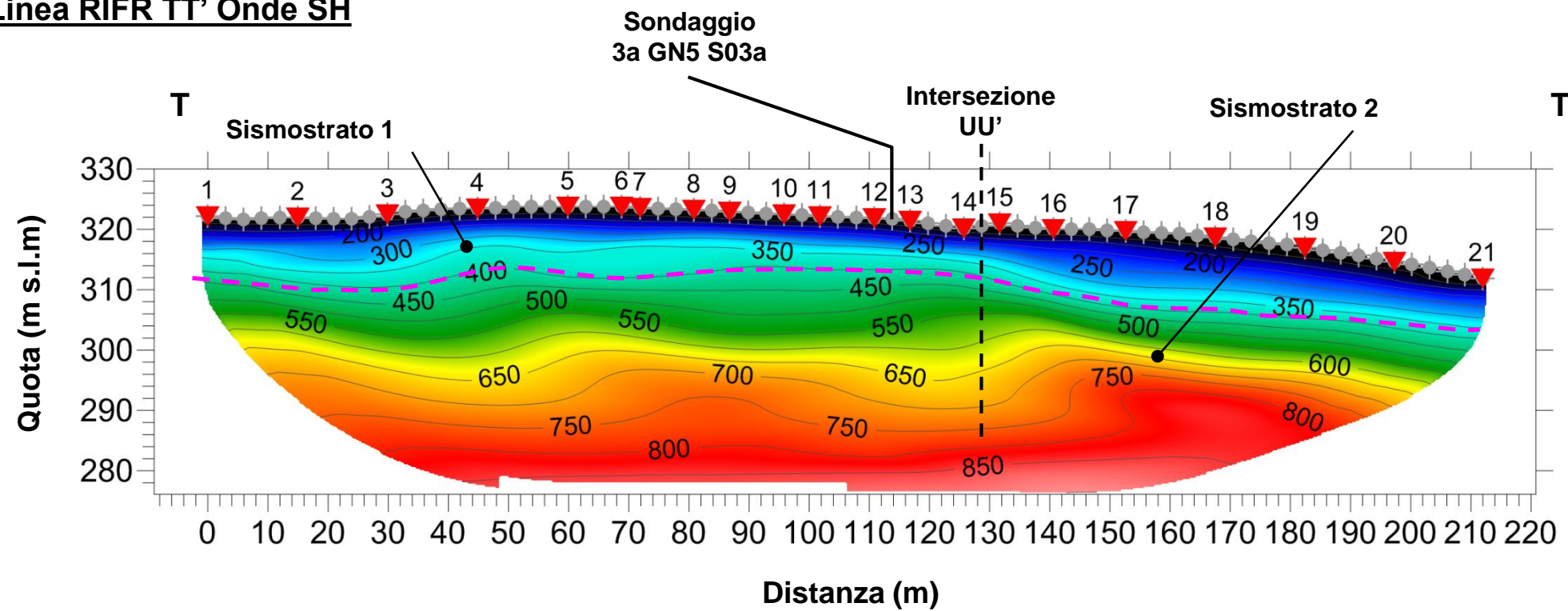
## Linea RIFR TT' Onde P



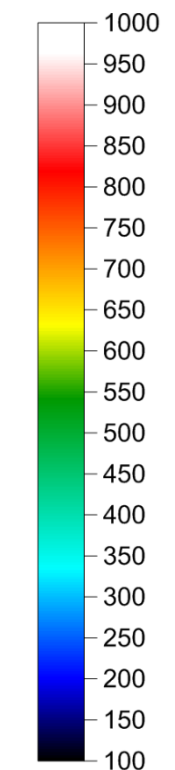
Scala velocità onde P (m/s)



## Linea RIFR TT' Onde SH



Scala velocità onde S (m/s)



TAVOLA

36

**OGGETTO:**  
 Area Indagine sismica  
 RIFR. TT' E UU'  
 LINEA CT - PA  
 Lotto 3

Interfaccia tra sismostrati



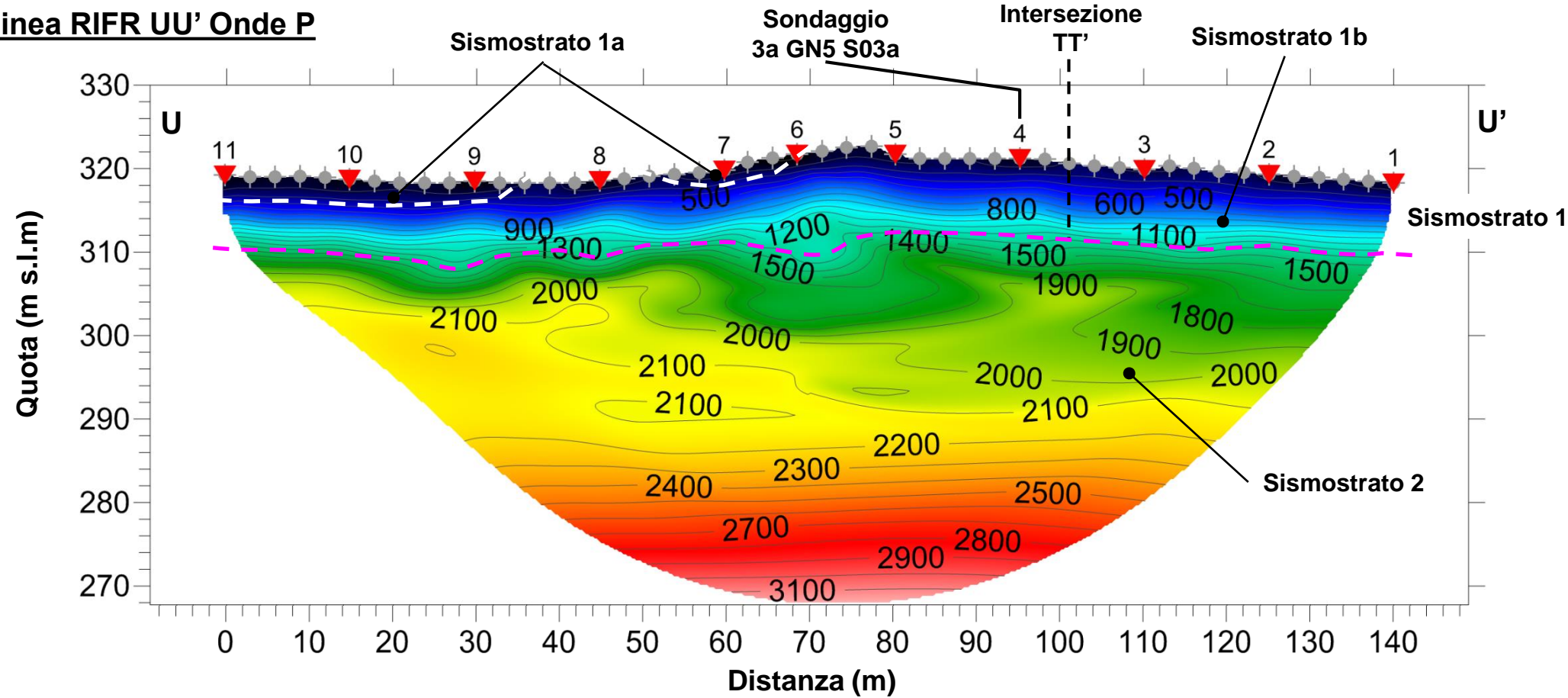
**Per la**  
**SOING Strutture e**  
**Ambiente srl**

**ELAB** G. Luciani  
 E. Benvenuti

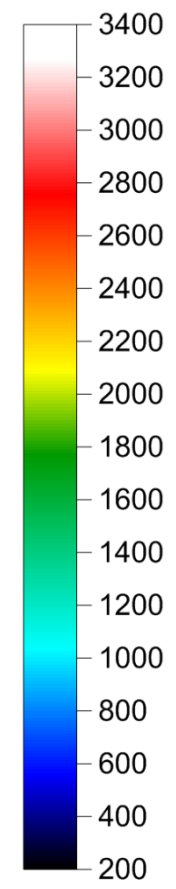
**VERIFICA** A. Morelli  
**APPROV.** P. Chiara

# INDAGINE SISMICA RIFRAZIONE TOMOGRAFICA LINEE TT' E UU'

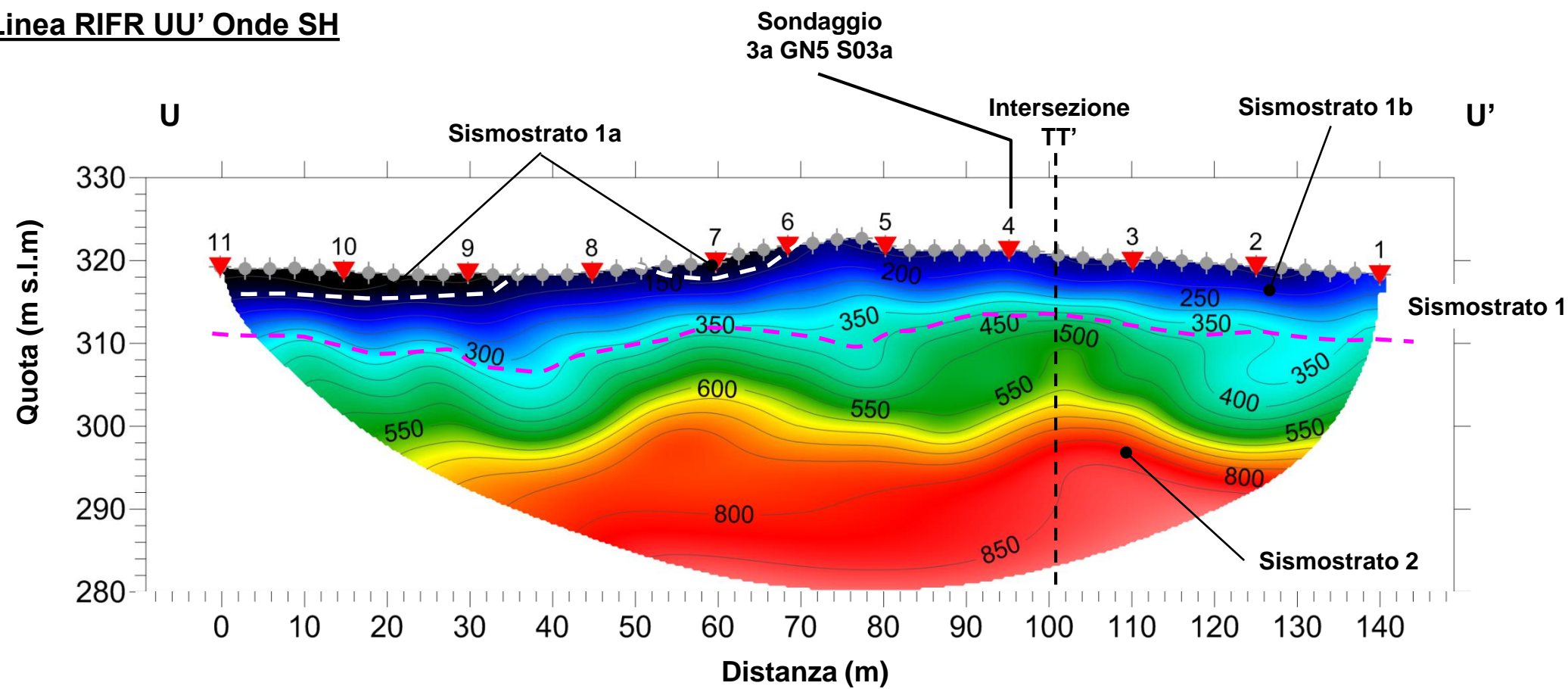
## Linea RIFR UU' Onde P



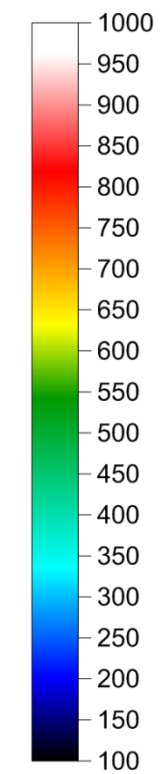
Scala velocità onde P (m/s)



## Linea RIFR UU' Onde SH



Scala velocità onde S (m/s)



TAVOLA

37

**OGGETTO:**

Area Indagine sismica  
RIFR. TT' E UU'

LINEA CT - PA  
Lotto 3

Interfaccia  
tra sismostrati



**Per la  
SOING Strutture e  
Ambiente srl**

**ELAB** G. Luciani  
E. Benvenuti

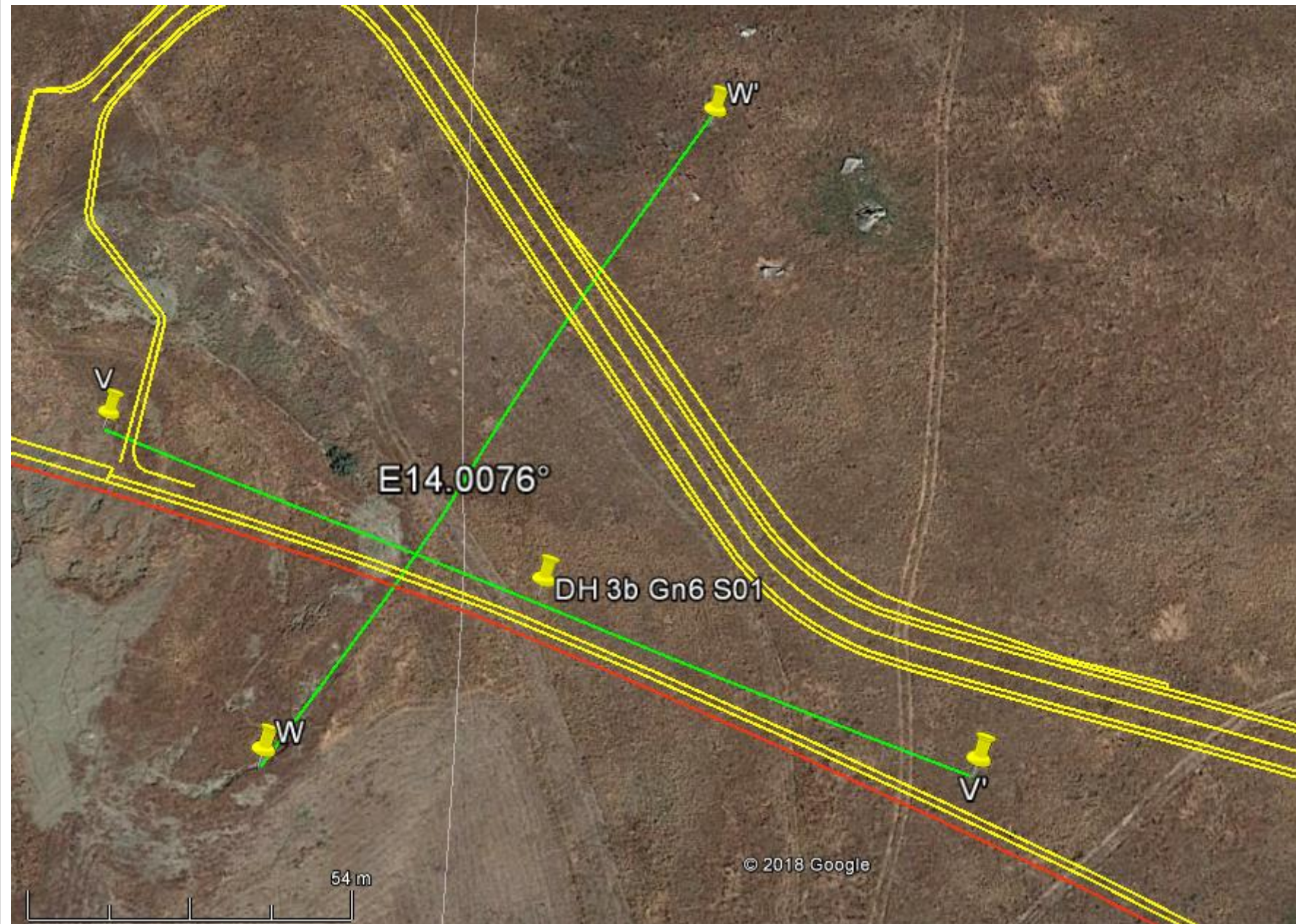
**VERIFICA** A. Morelli  
**APPROV.** P. Chiara

# INDAGINE SISMICA RIFRAZIONE TOMOGRAFICA LINEE VV' E WW'

TAVOLA

38

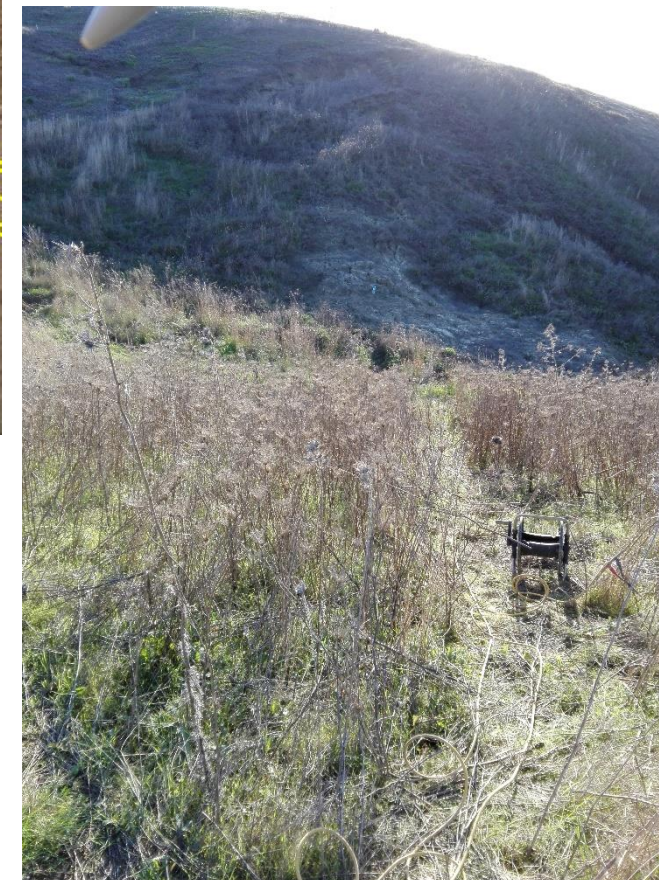
## Ubicazione Indagine



## Immagini area indagine RIFR VV'



## Immagini area indagine RIFR WW'



### OGGETTO:

Area Indagine sismica  
RIFR. VV' E WW'

LINEA CT - PA  
Lotto 3



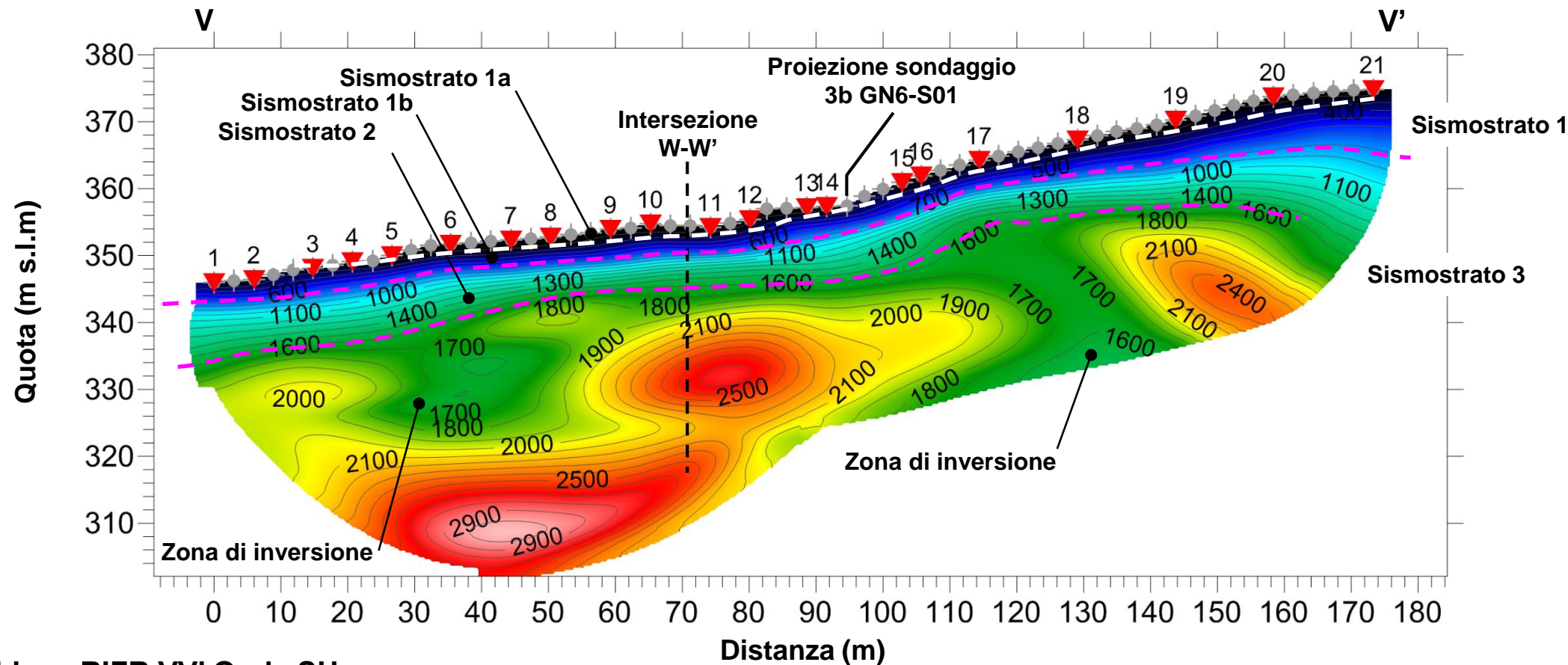
Per la  
**SOING Strutture e  
Ambiente srl**

ELAB G. Luciani  
E. Benvenuti

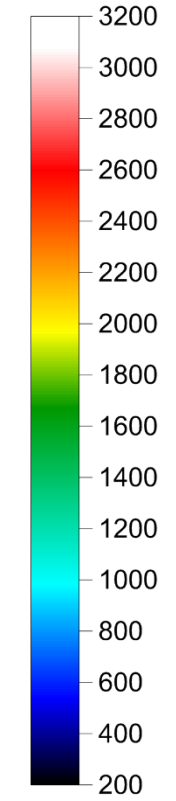
VERIFICA A. Morelli  
APPROV. P. Chiara

# INDAGINE SISMICA RIFRAZIONE TOMOGRAFICA LINEE VV' E WW'

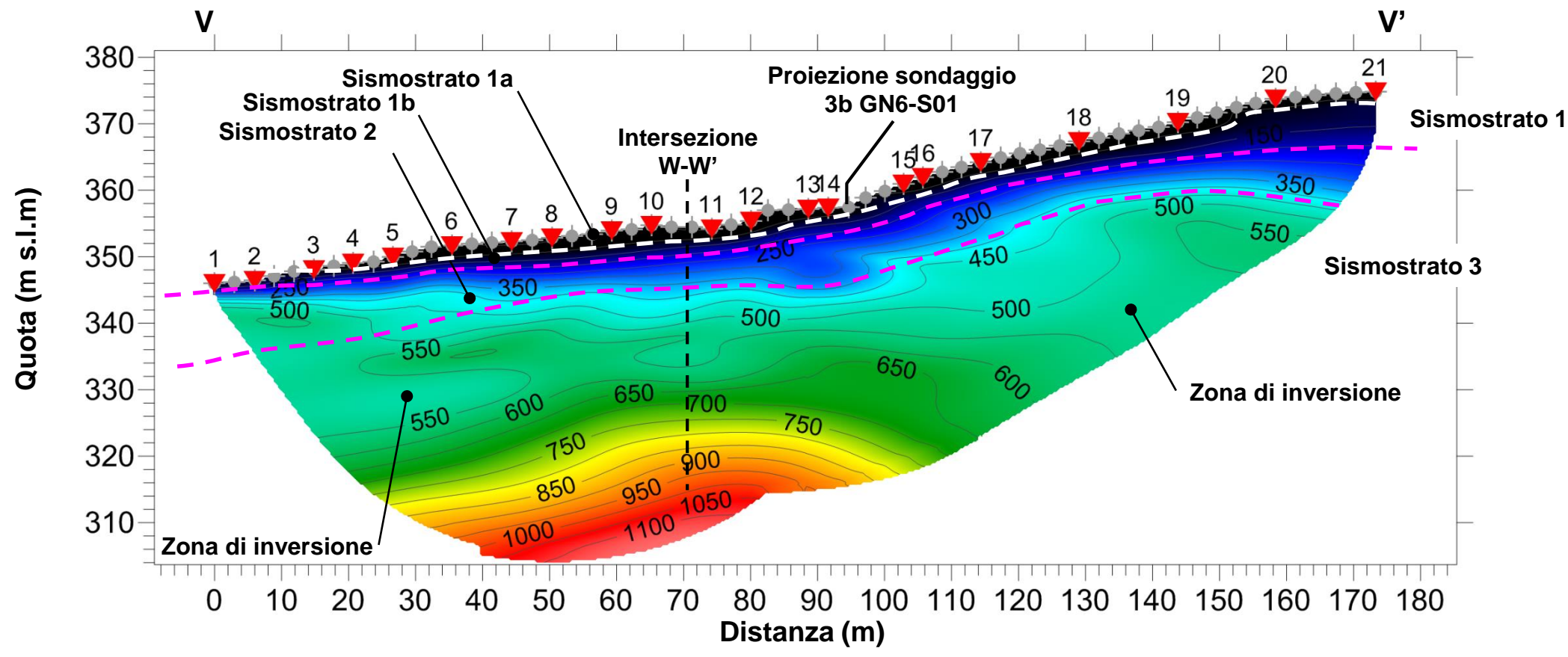
## Linea RIFR VV' Onde P



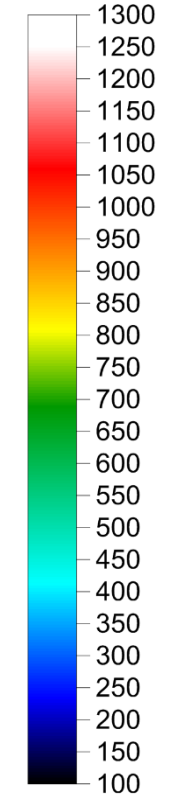
Scala velocità onde P (m/s)



## Linea RIFR VV' Onde SH



Scala velocità onde S (m/s)



**OGGETTO:**  
Area Indagine sismica  
RIFR. VV' E WW'  
  
LINEA CT - PA  
Lotto 3

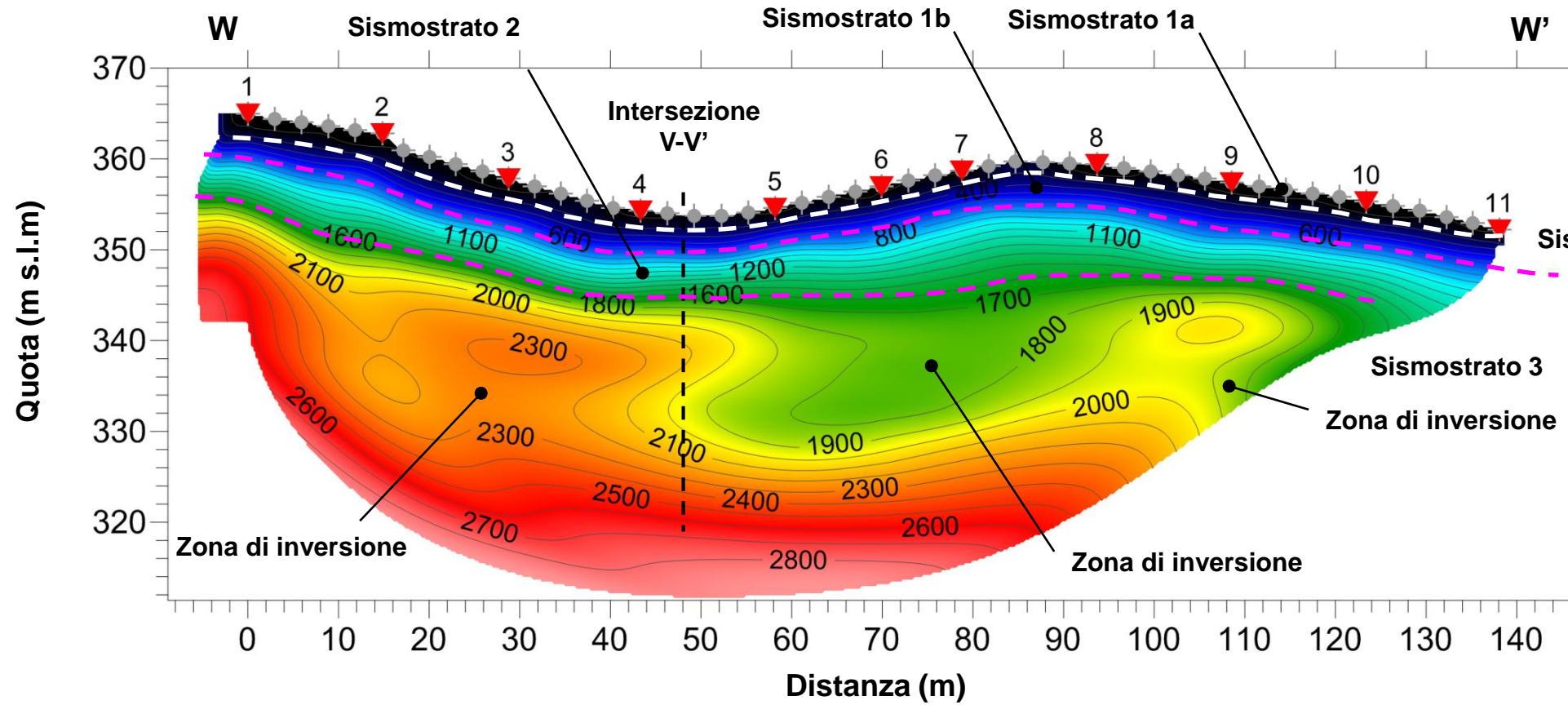
Interfaccia  
tra sismostrati



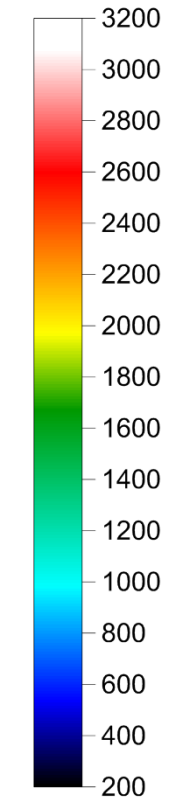
**Per la**  
**SOING Strutture e**  
**Ambiente srl**  
  
ELAB G. Luciani  
E. Benvenuti  
  
VERIFICA A. Morelli  
APPROV. P. Chiara

# INDAGINE SISMICA RIFRAZIONE TOMOGRAFICA LINEE VV' E WW'

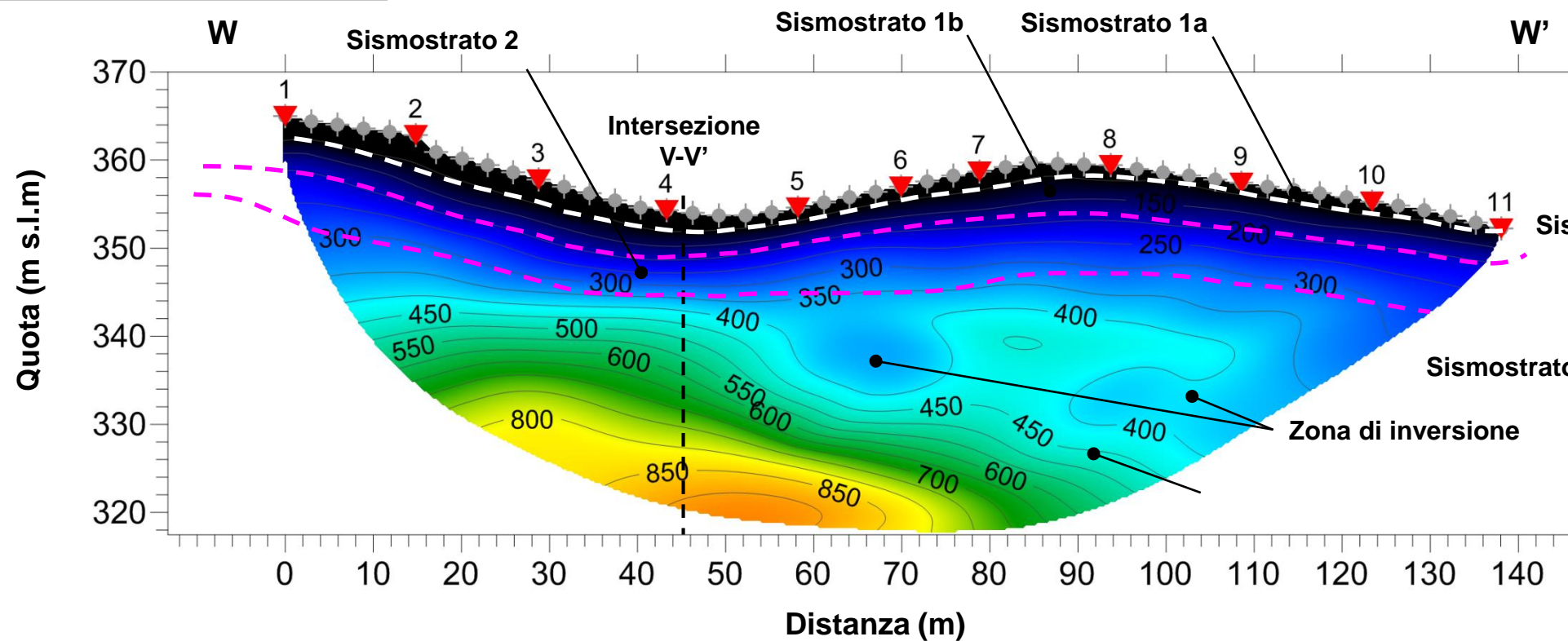
## Linea RIFR WW' Onde P



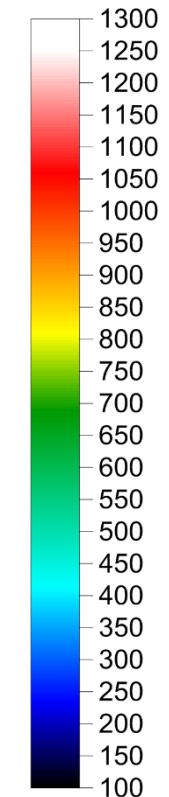
Scala velocità onde P (m/s)



## Linea RIFR WW' Onde SH



Scala velocità onde S (m/s)



TAVOLA

40

OGGETTO:

Area Indagine sismica  
RIFR. VV' E WW'

LINEA CT - PA  
Lotto 3

Interfaccia  
tra sismostrati



Per la  
**SOING Strutture e  
Ambiente srl**

ELAB G. Luciani  
E. Benvenuti

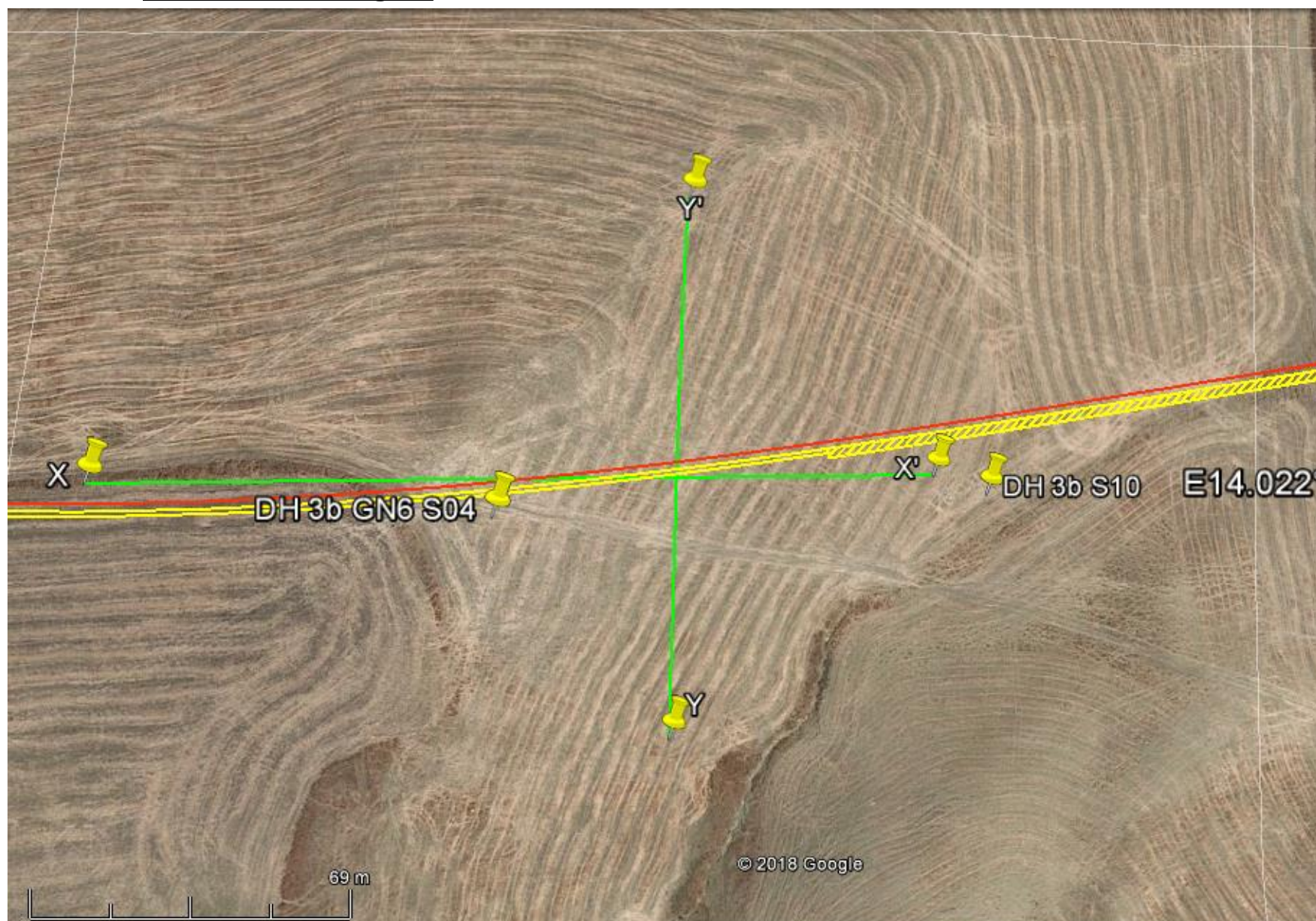
VERIFICA A. Morelli  
APPROV. P. Chiara

# INDAGINE SISMICA RIFRAZIONE TOMOGRAFICA LINEE XX' E YY'

TAVOLA

41

## Ubicazione Indagine



## Immagini area indagine RIFR XX'



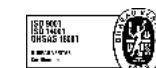
## Immagini area indagine RIFR YY'



### OGGETTO:

Area Indagine sismica  
RIFR. VV' E WW'

LINEA CT - PA  
Lotto 3



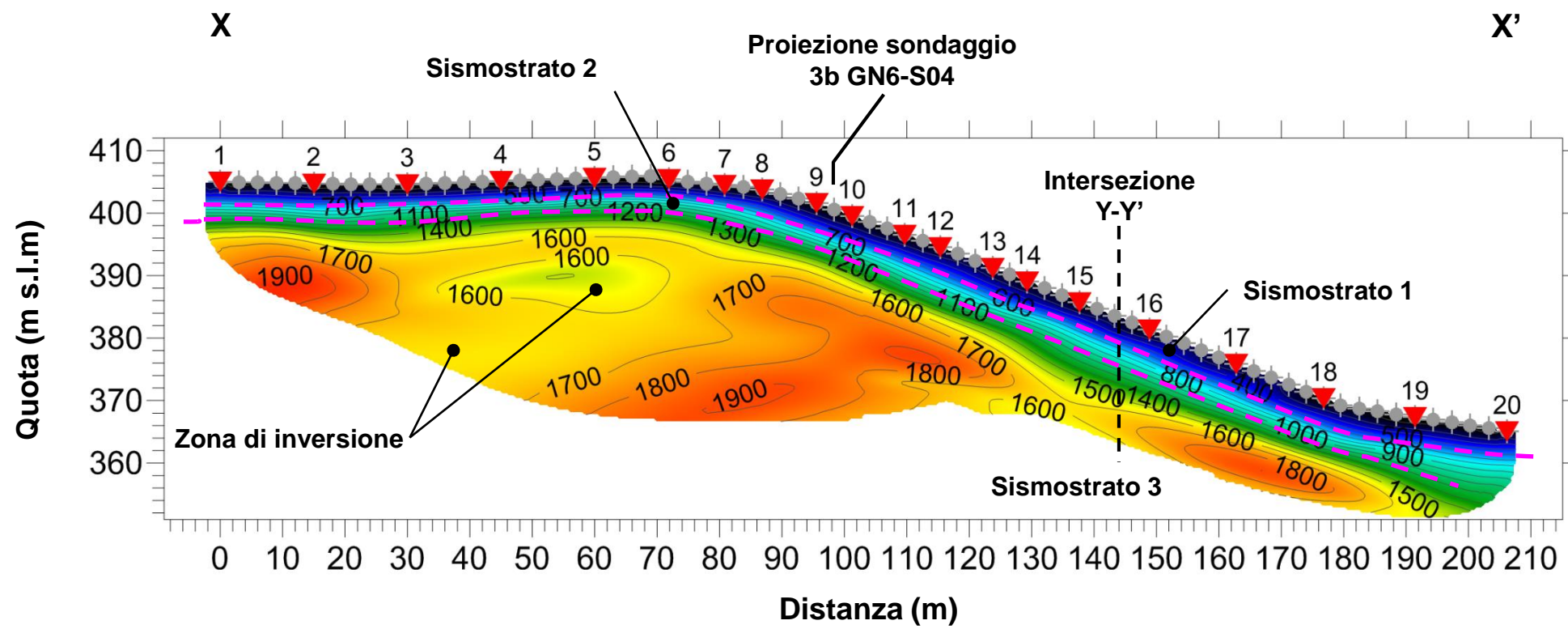
Per la  
**SOING Strutture e  
Ambiente srl**

ELAB G. Luciani  
E. Benvenuti

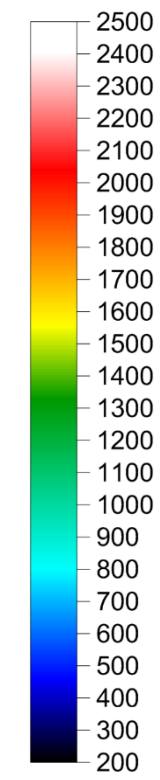
VERIFICA A. Morelli  
APPROV. P. Chiara

# INDAGINE SISMICA RIFRAZIONE TOMOGRAFICA LINEE XX' E YY'

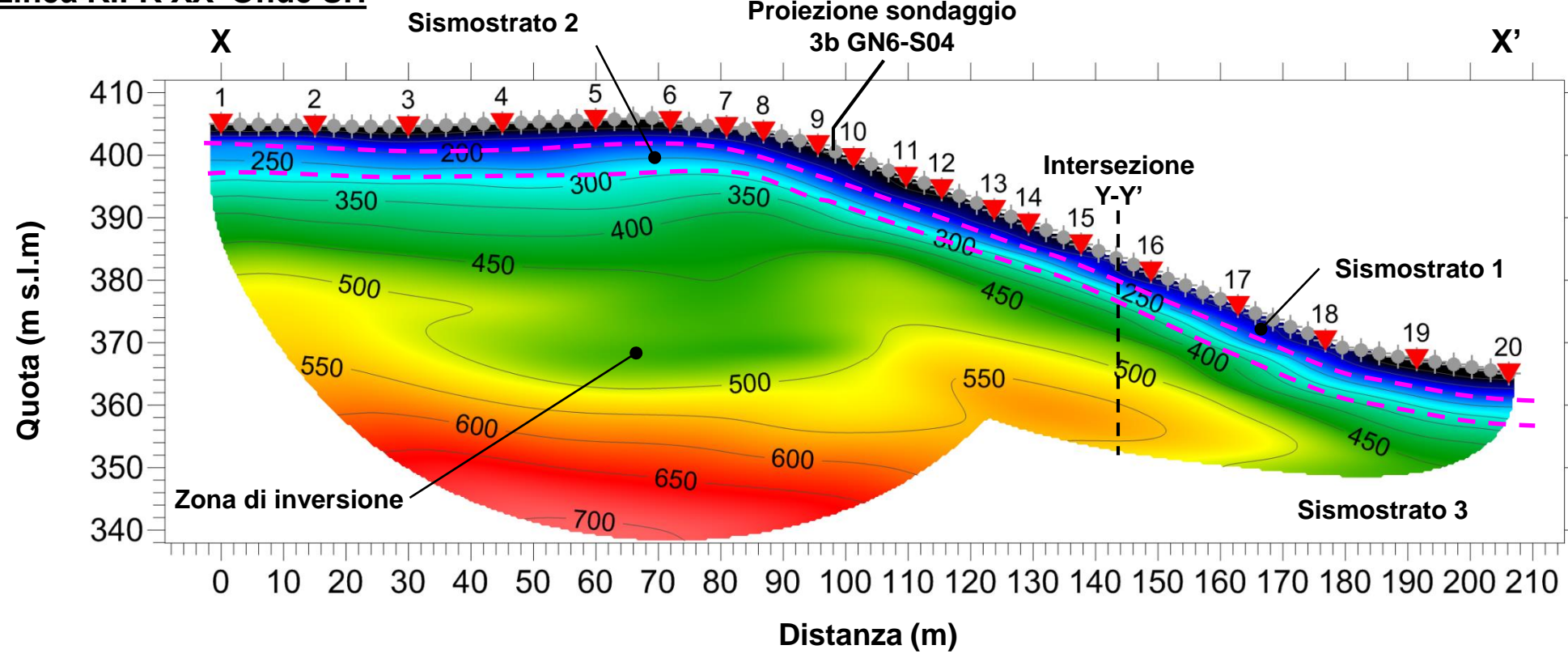
## Linea RIFR XX' Onde P



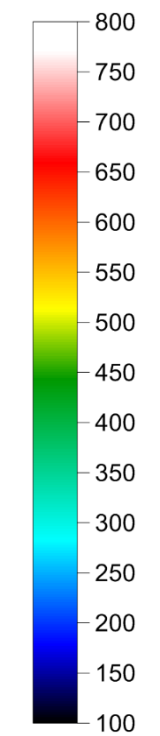
Scala velocità onde P (m/s)



## Linea RIFR XX' Onde SH



Scala velocità onde S (m/s)



**OGGETTO:**  
Area Indagine sismica  
RIFR. XX' E YY'

---

LINEA CT - PA  
Lotto 3

 **Interfaccia tra sismostrati**



**Per la  
SOING Strutture e  
Ambiente srl**

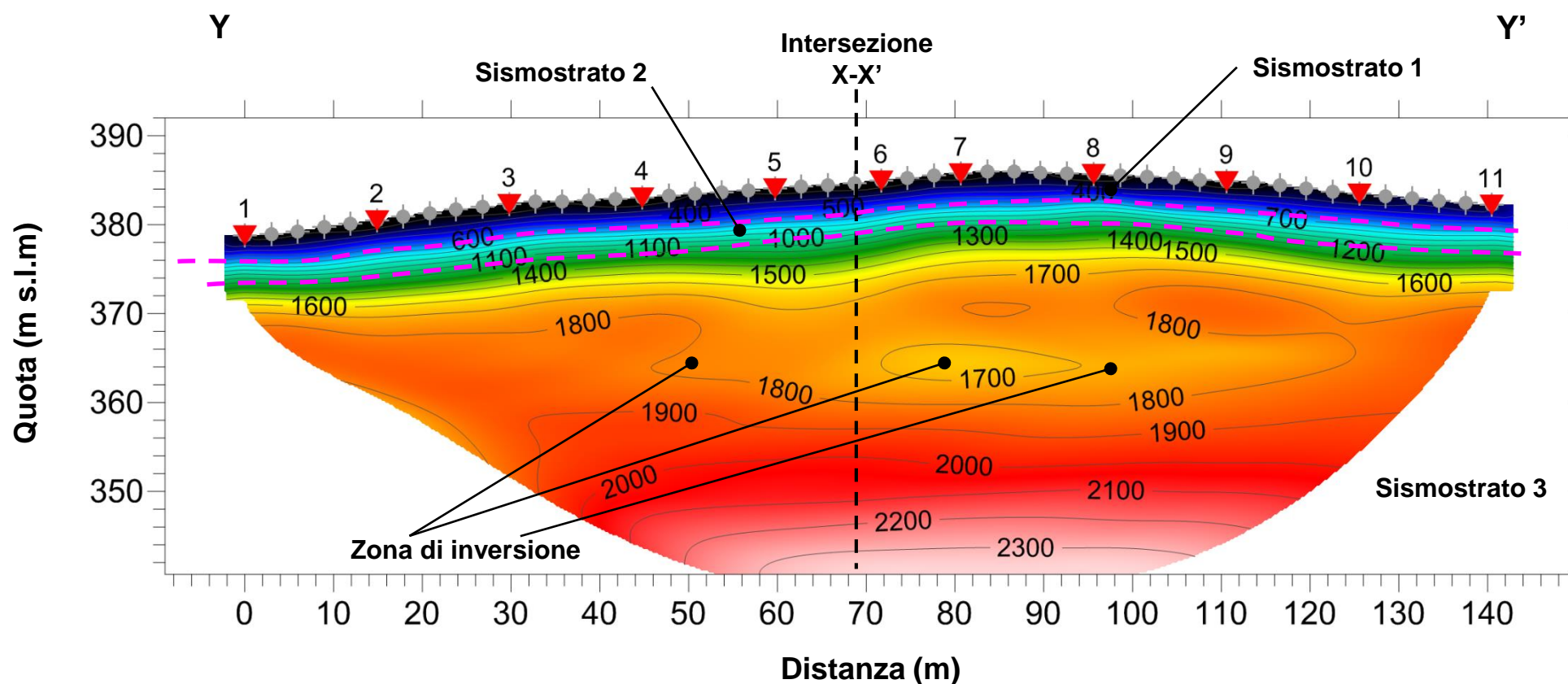
**ELAB** G. Luciani  
E. Benvenuti

**VERIFICA** A. Morelli  
**APPROV.** P. Chiara

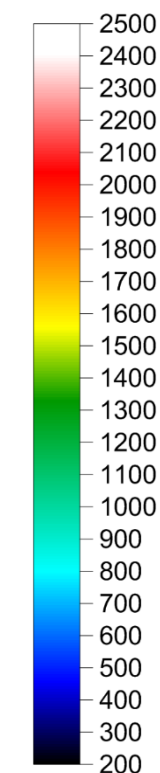


# INDAGINE SISMICA RIFRAZIONE TOMOGRAFICA LINEE XX' E YY'

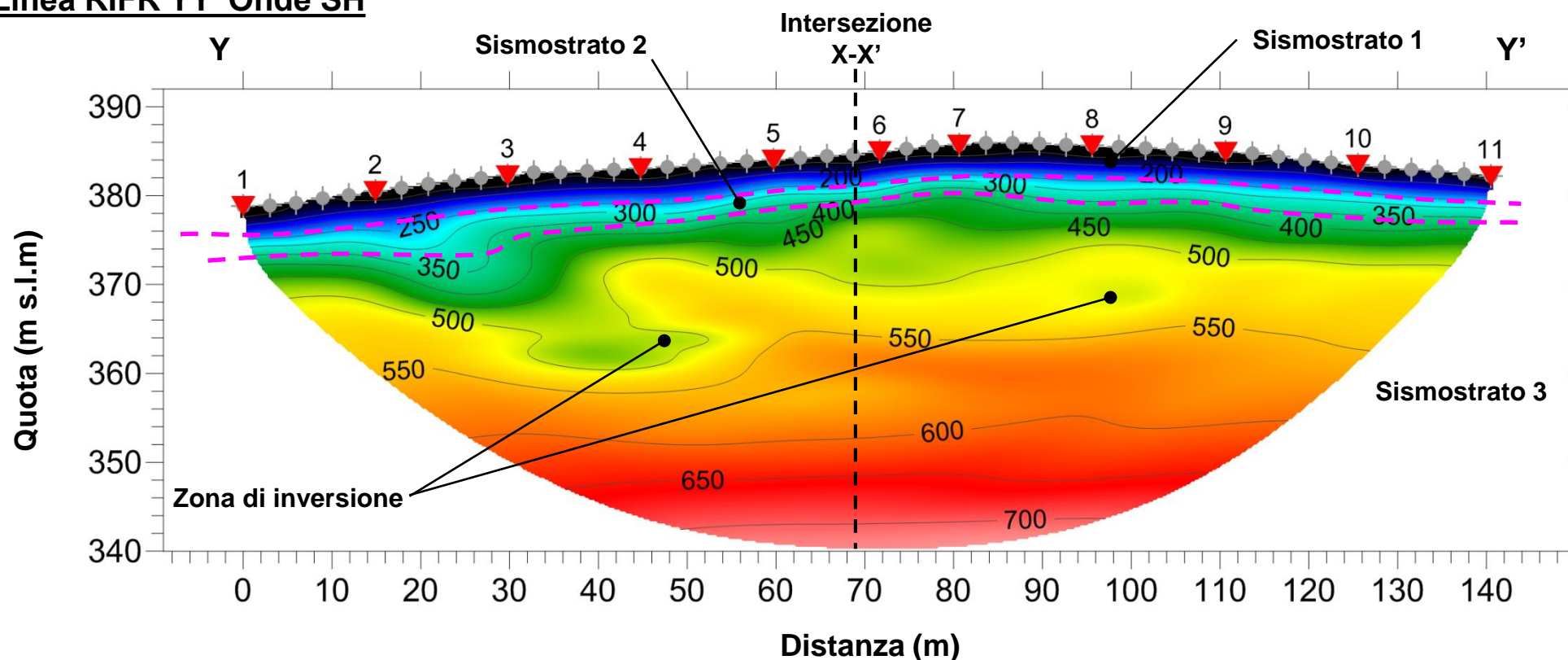
## Linea RIFR YY' Onde P



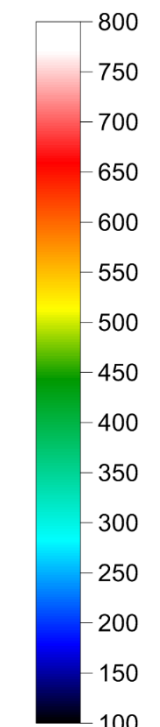
Scala velocità onde P (m/s)



## Linea RIFR YY' Onde SH



Scala velocità onde S (m/s)



TAVOLA

43

**OGGETTO:**

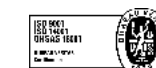
Area Indagine sismica  
RIFR. XX' E YY'

LINEA CT - PA  
Lotto 3

**Interfaccia tra sismostrati**



**SOING**  
STRUTTURE & AMBIENTE



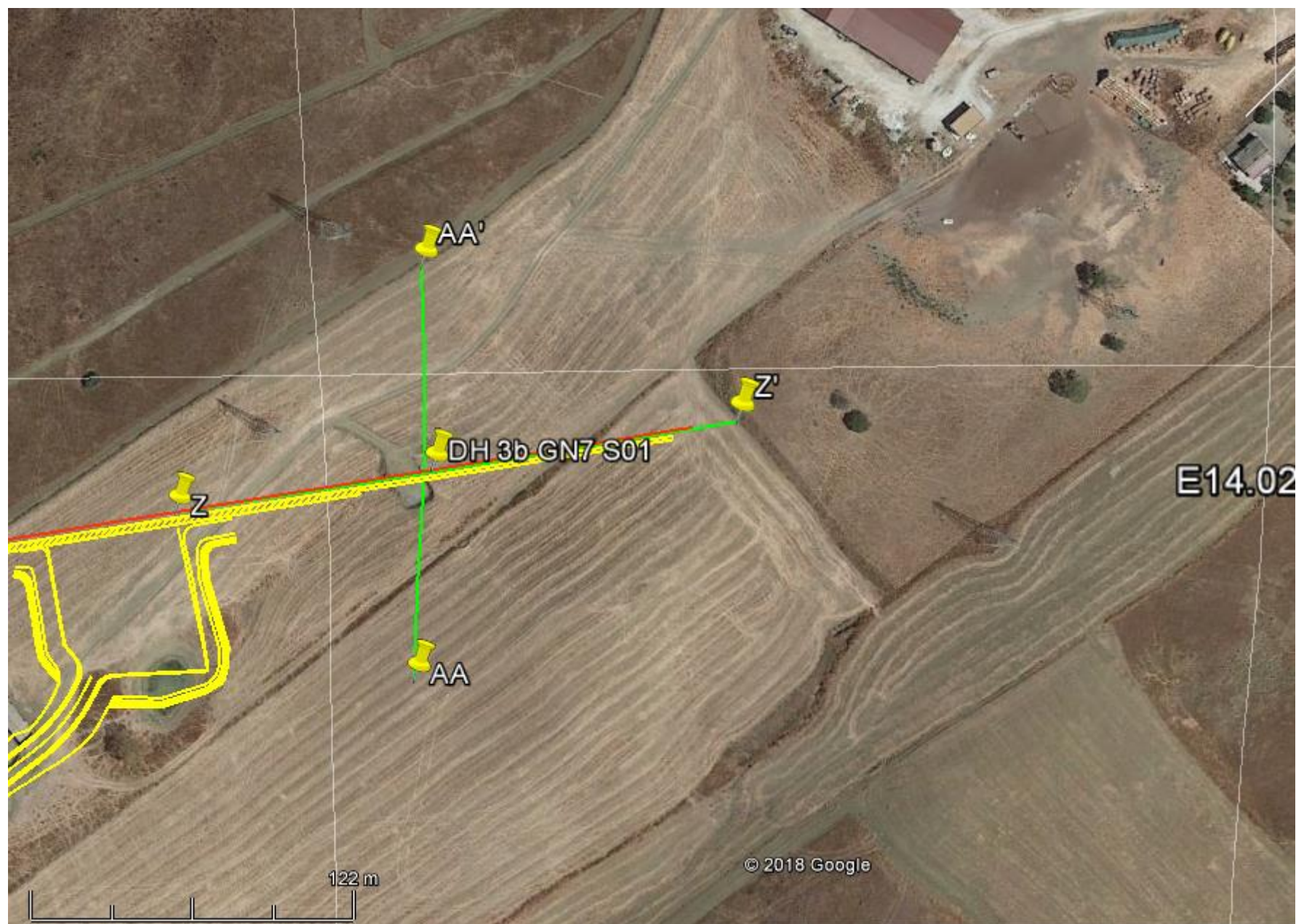
**Per la  
SOING Strutture e  
Ambiente srl**

**ELAB** G. Luciani  
E. Benvenuti

**VERIFICA** A. Morelli  
**APPROV.** P. Chiara

# INDAGINE SISMICA RIFRAZIONE TOMOGRAFICA LINEE ZZ' E AA-AA'

## Ubicazione Indagine



## Immagine area indagine RIFR ZZ'



## Immagine area indagine RIFR AA-AA'



TAVOLA

44

### OGGETTO:

Area Indagine sismica  
RIFR. ZZ' E AA-AA'

LINEA CT - PA  
Lotto 3



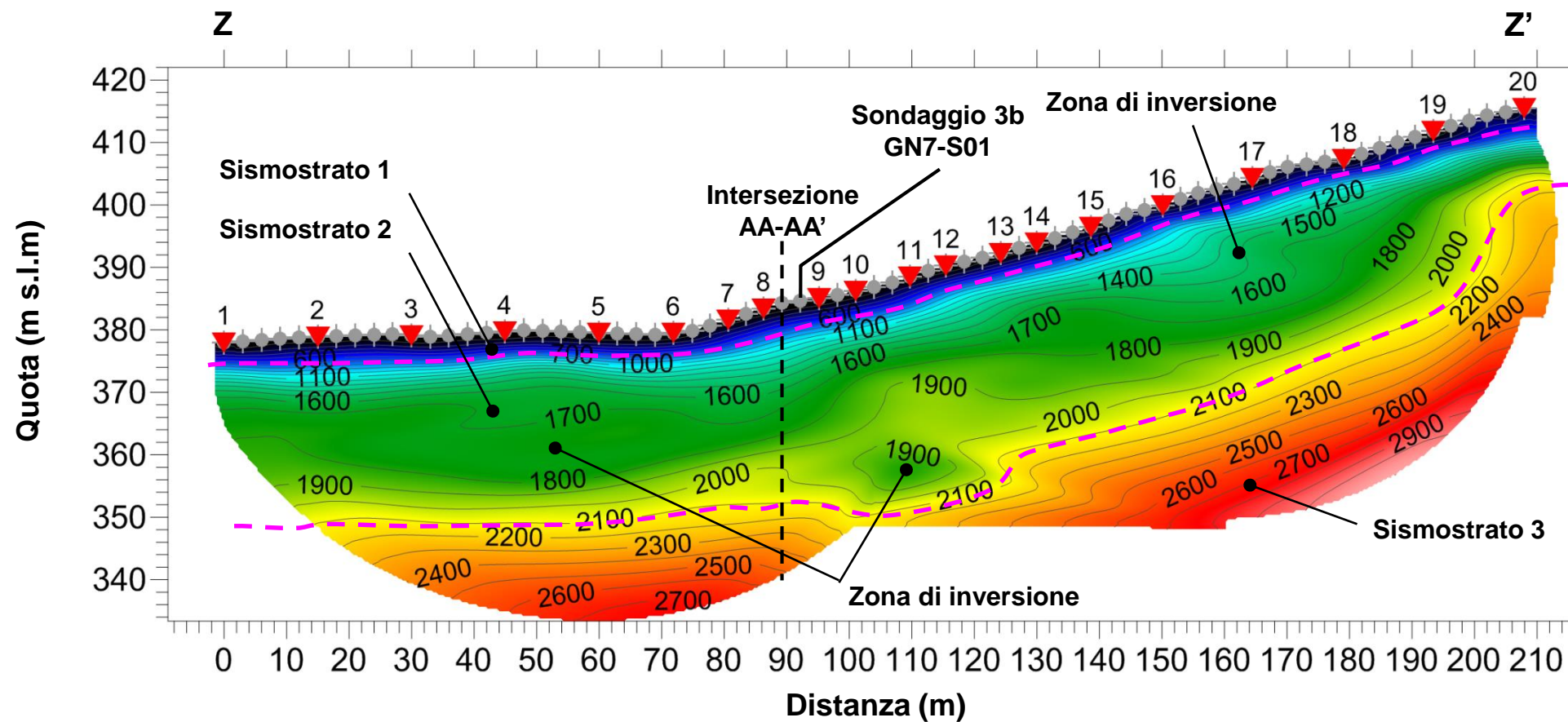
Per la  
**SOING Strutture e  
Ambiente srl**

ELAB G. Luciani  
E. Benvenuti

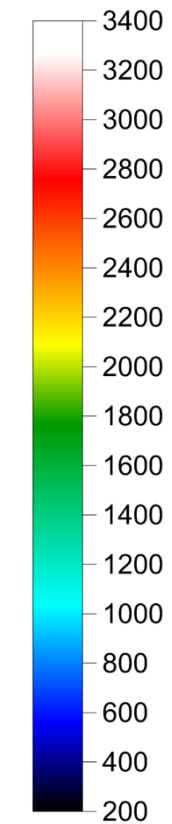
VERIFICA A. Morelli  
APPROV. P. Chiara

# INDAGINE SISMICA RIFRAZIONE TOMOGRAFICA LINEE ZZ' E AA-AA'

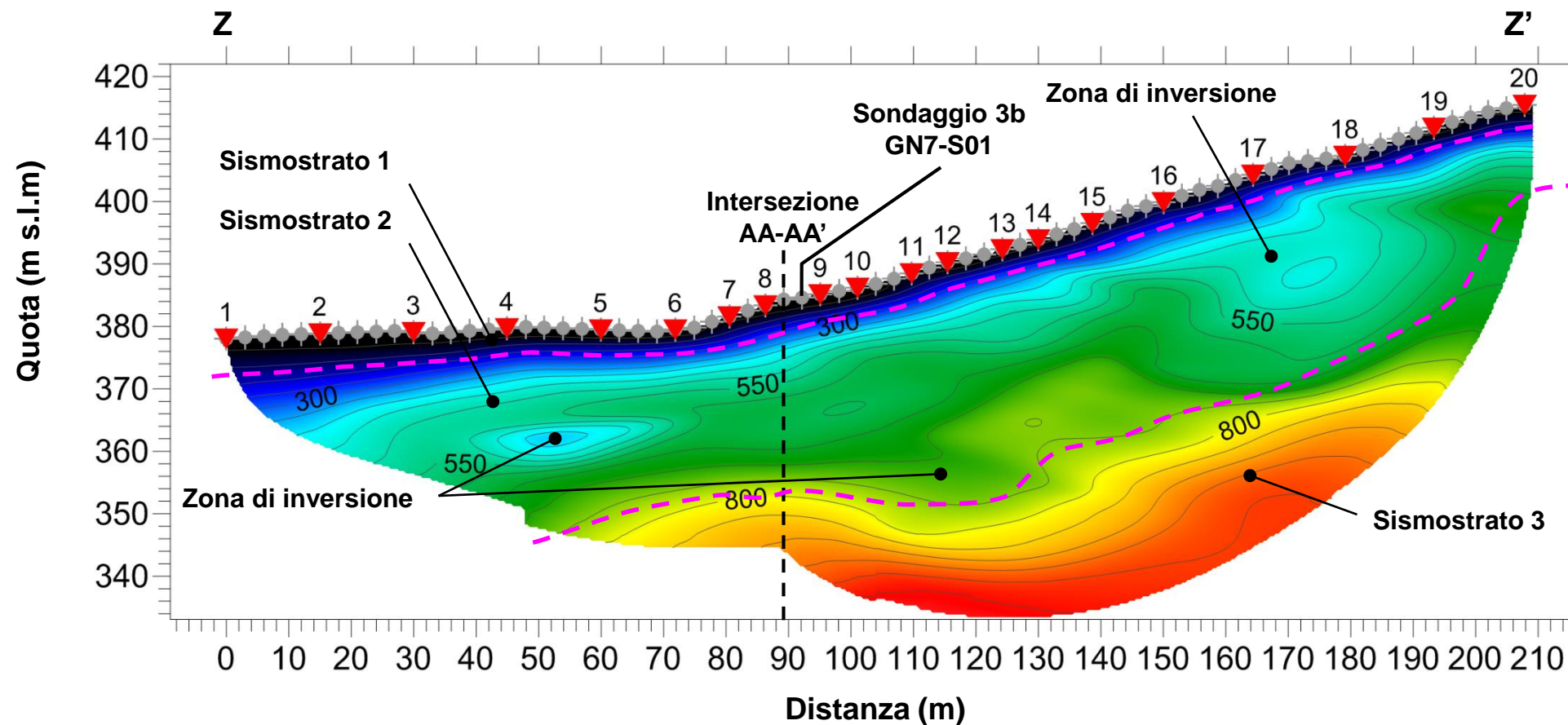
## Linea RIFR ZZ' Onde P



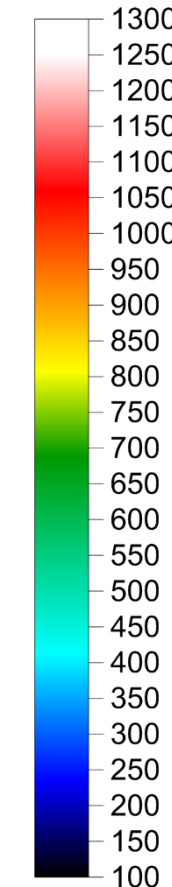
Scala velocità onde P (m/s)



## Linea RIFR ZZ' Onde SH



Scala velocità onde S (m/s)



TAVOLA

45

**OGGETTO:**

Area Indagine sismica  
RIFR. ZZ' E AA-AA'

LINEA CT - PA  
Lotto 3

**Interfaccia tra sismostrati**



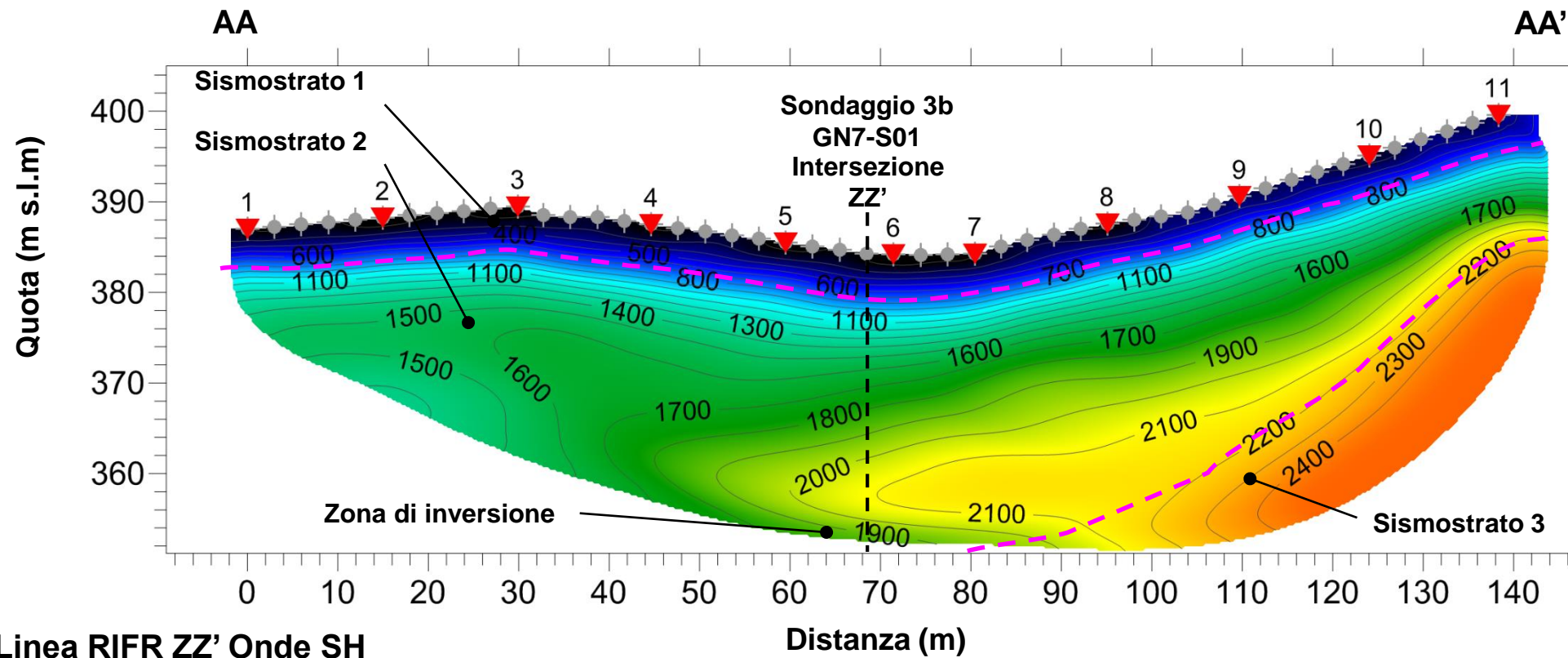
**Per la  
SOING Strutture e  
Ambiente srl**

**ELAB** G. Luciani  
E. Benvenuti

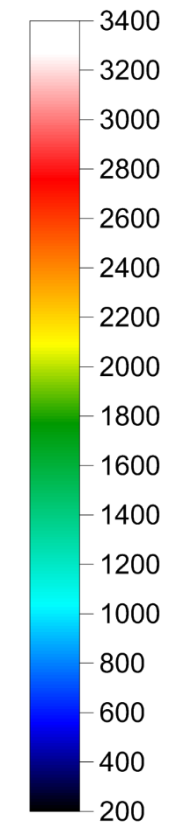
**VERIFICA** A. Morelli  
**APPROV.** P. Chiara

# INDAGINE SISMICA RIFRAZIONE TOMOGRAFICA LINEE ZZ' E AA-AA'

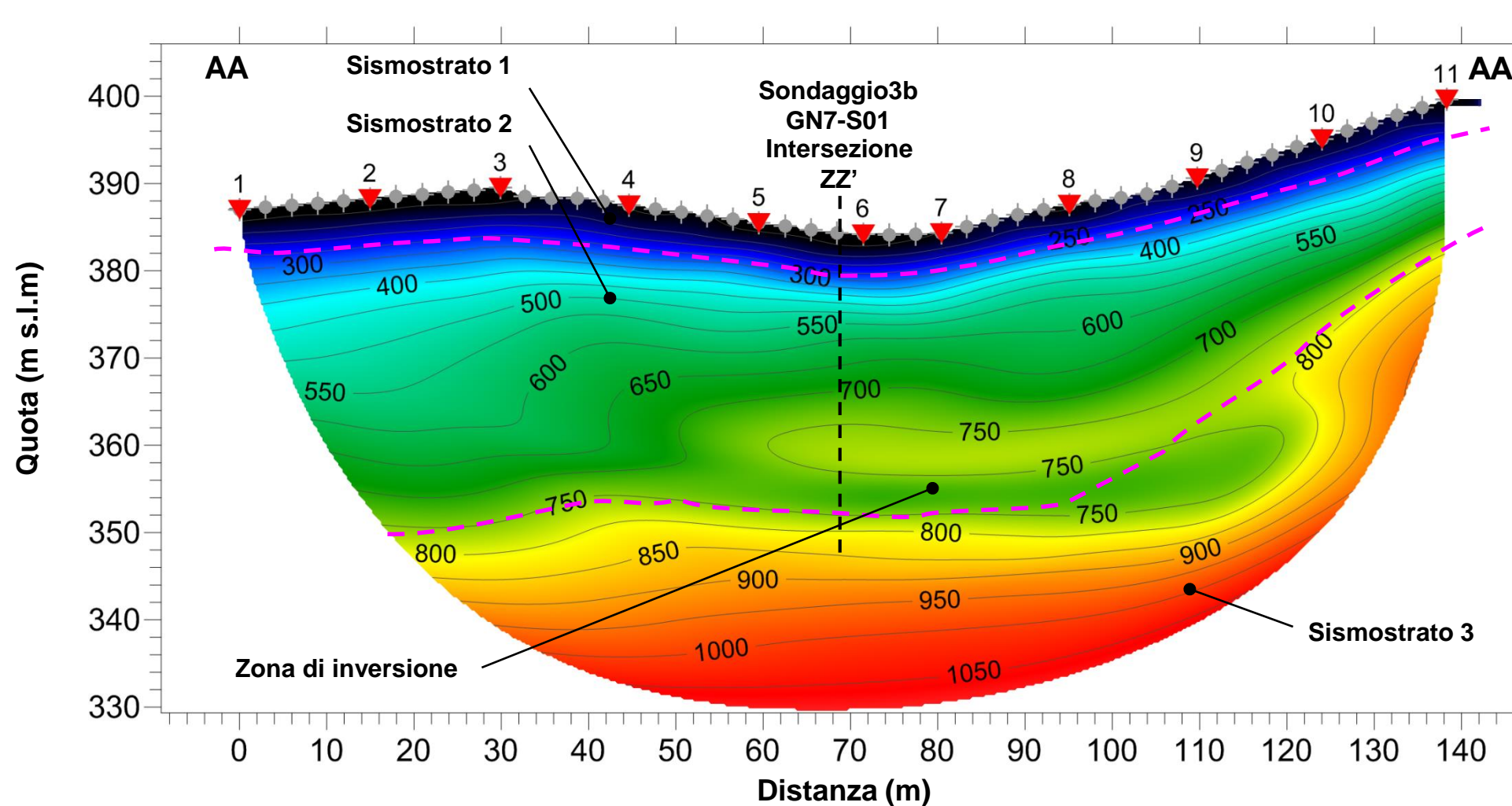
## Linea RIFR AA-AA' Onde P



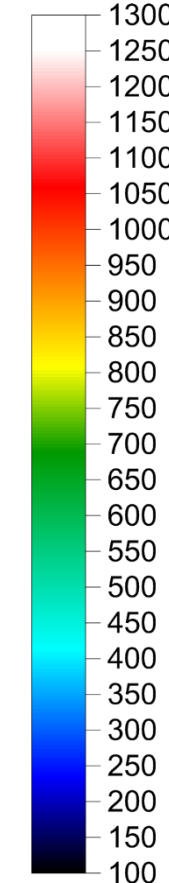
Scala velocità onde P (m/s)



## Linea RIFR ZZ' Onde SH



Scala velocità onde S (m/s)



TAVOLA

46

### OGGETTO:

Area Indagine sismica  
RIFR. ZZ' E AA-AA'

LINEA CT - PA  
Lotto 3

Interfaccia  
tra sismostrati



Per la  
**SOING Strutture e  
Ambiente srl**

ELAB G. Luciani  
E. Benvenuti

VERIFICA A. Morelli  
APPROV. P. Chiara

# INDAGINE SISMICA RIFRAZIONE TOMOGRAFICA LINEE BB-BB' E CC-CC'

TAVOLA

47

## Ubicazione Indagine



## Immagini area indagine RIFR BB-BB'



## Immagini area indagine RIFR CC-CC'



### OGGETTO:

Area Indagine sismica  
RIFR.  
BB-BB' E CC-CC'

LINEA CT - PA  
Lotto 3



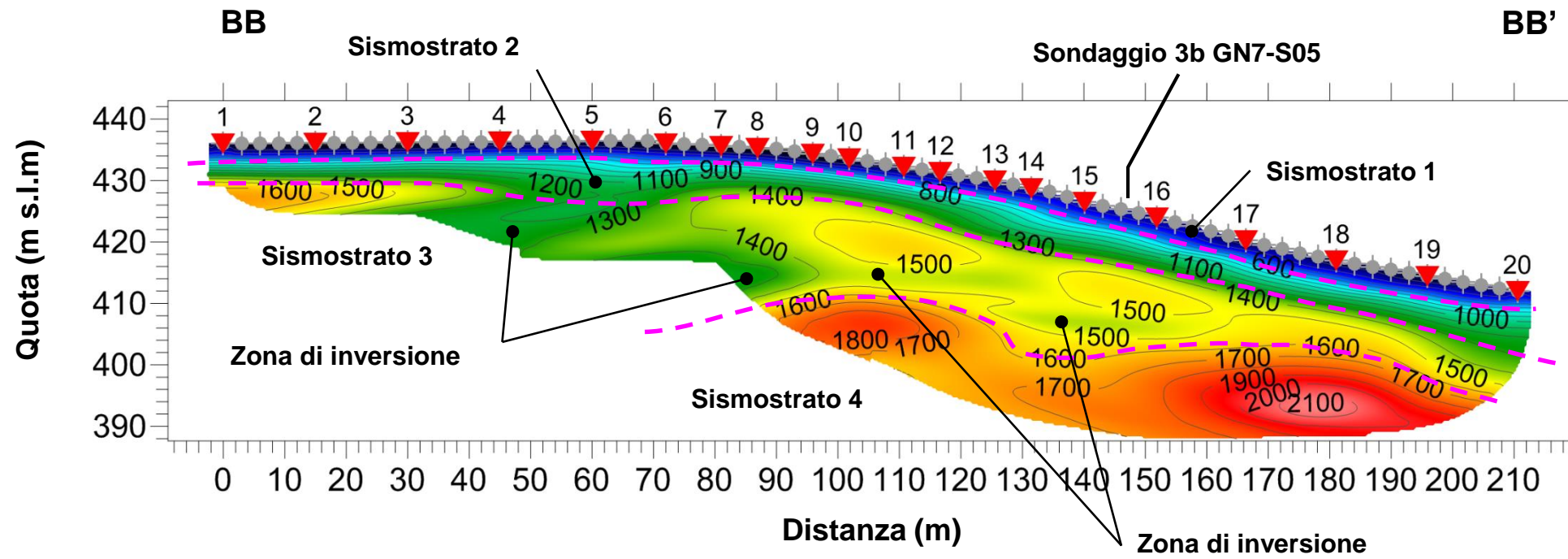
Per la  
**SOING Strutture e  
Ambiente srl**

ELAB G. Luciani  
E. Benvenuti

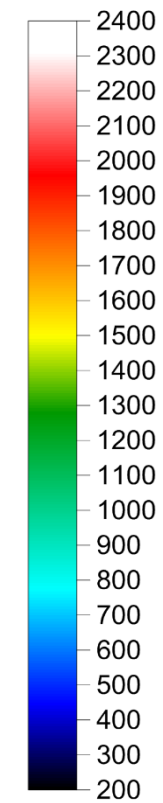
VERIFICA A. Morelli  
APPROV. P. Chiara

# INDAGINE SISMICA RIFRAZIONE TOMOGRAFICA LINEE BB-BB' E CC-CC'

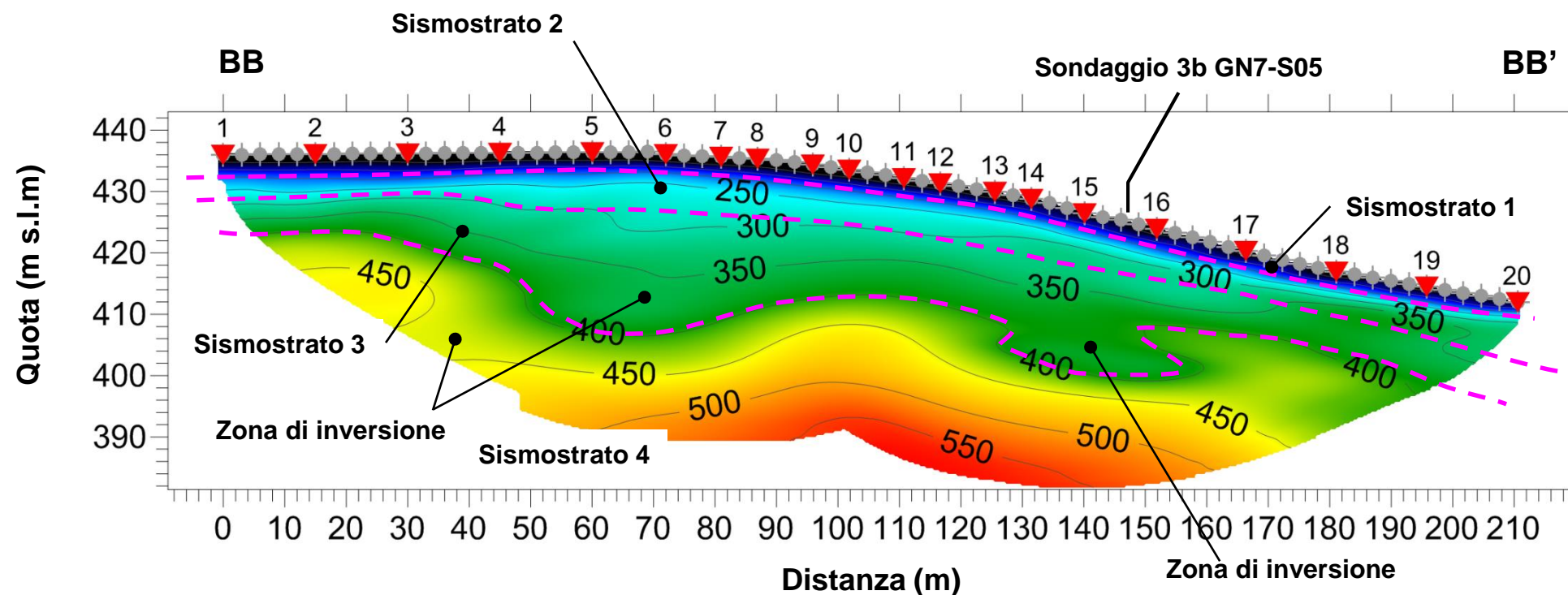
## Linea RIFR BB-BB' Onde P



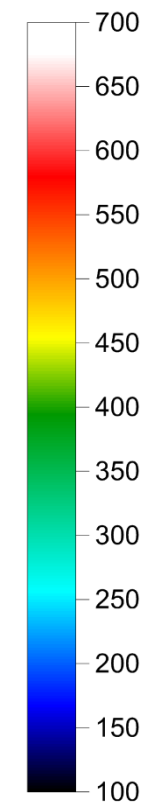
Scala velocità onde P (m/s)



## Linea RIFR BB-BB' Onde SH



Scala velocità onde S (m/s)



TAVOLA

48

**OGGETTO:**

Area Indagine sismica RIFR. BB-BB' E CC-CC'

LINEA CT - PA

Lotto 3

Interfaccia tra sismostrati



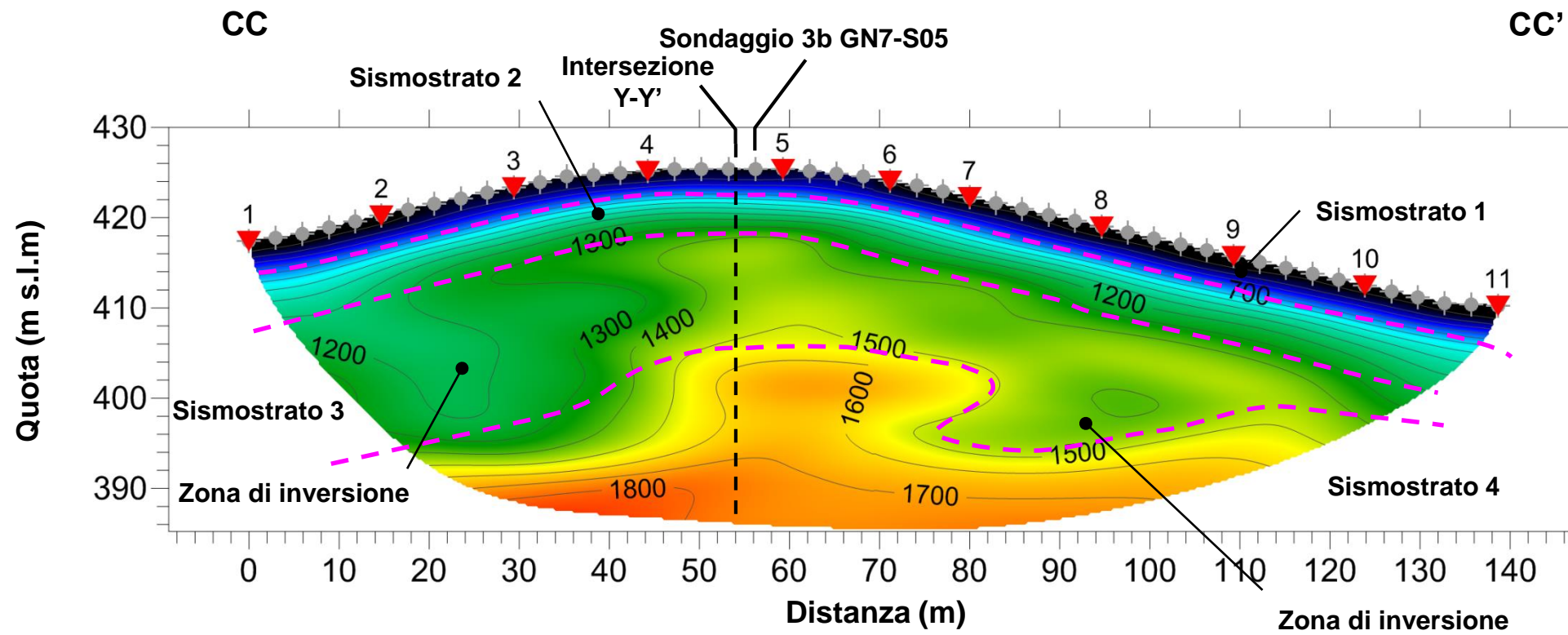
Per la  
**SOING Strutture e Ambiente srl**

ELAB G. Luciani  
E. Benvenuti

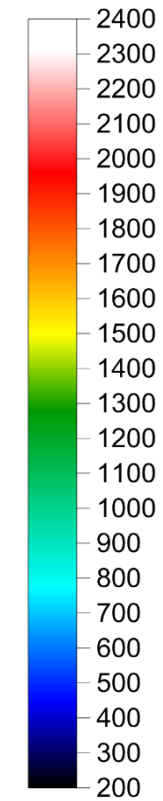
VERIFICA A. Morelli  
APPROV. P. Chiara

# INDAGINE SISMICA RIFRAZIONE TOMOGRAFICA LINEE BB-BB' E CC-CC'

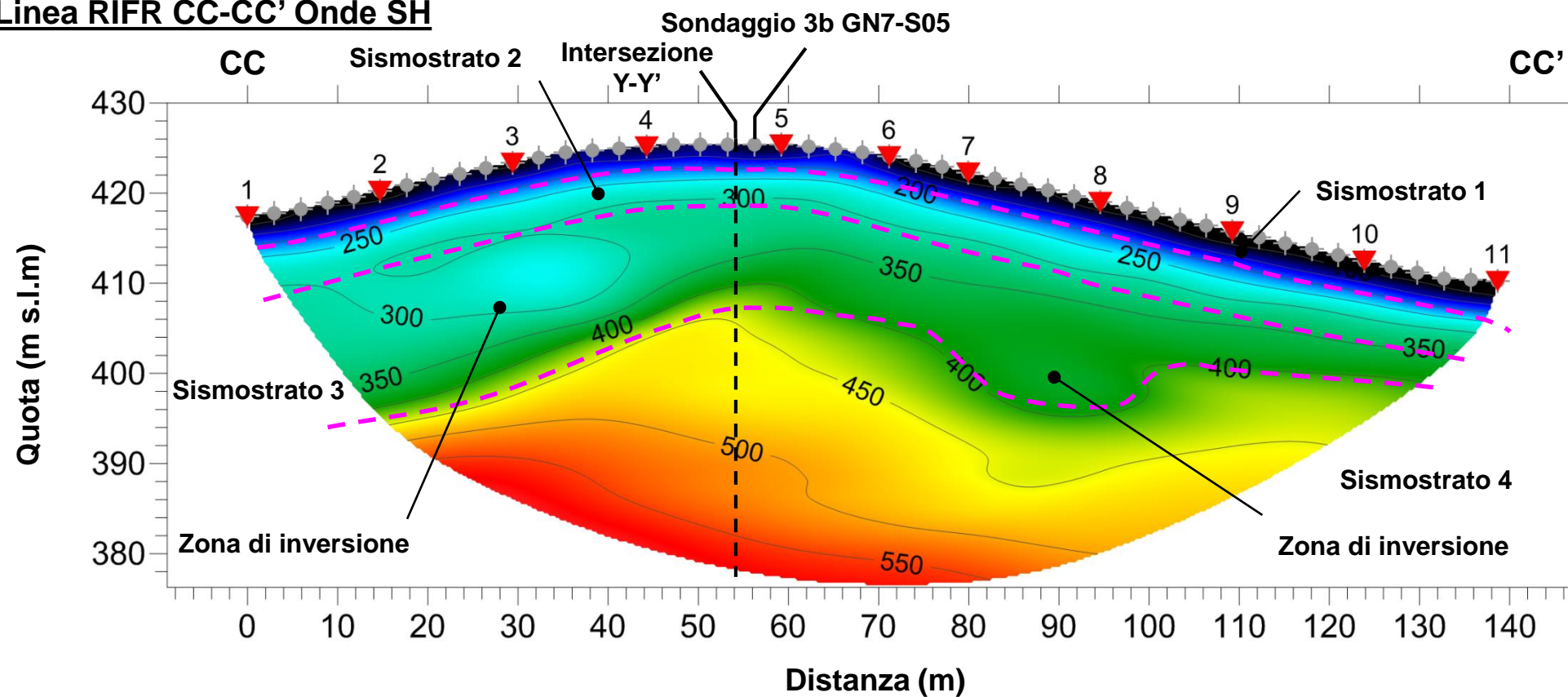
## Linea RIFR CC-CC' Onde P



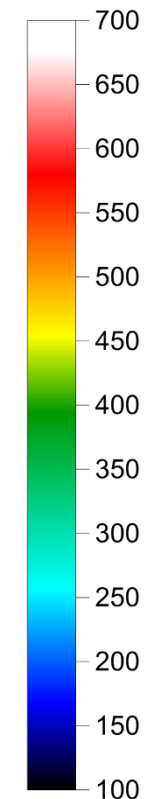
Scala velocità onde P (m/s)



## Linea RIFR CC-CC' Onde SH



Scala velocità onde S (m/s)



TAVOLA

49

OGGETTO:

Area Indagine sismica  
RIFR.  
BB-BB' E CC-CC'

LINEA CT - PA

Lotto 3

Interfaccia  
tra sismostrati



Per la  
**SOING Strutture e  
Ambiente srl**

ELAB G. Luciani  
E. Benvenuti

VERIFICA A. Morelli  
APPROV. P. Chiara