

# **METANODOTTO SANSEPOLCRO FOLIGNO DN 400 (16'') DP - 75 BAR E OPERE CONNESSE**

**PROVE SISMICHE ATTIVE TIPO TOMOGRAFIA SISMICA  
RIFRAZIONE ASSIALE DI SUPERFICIE (TSRAS) ONDE P / SH**



## **RAPPORTO TECNICO PRELIMINARE**

REV.	Data e località	Committente	Redatto	Controllato	Approvato	COMM.-JOB:
0	Agosto 2021		Dott. Geol. G. Coco			IP853 IP07

INDICE

pag.

<b>1</b>	<b>PREMESSE</b> .....	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>NORMA TECNICA DI RIFERIMENTO</b> .....	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>UBICAZIONE</b> .....	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>TOMOGRAFIA SISMICA</b> .....	<b>4</b>
4.1	Generalità .....	4
4.2	Metodologia e strumentazione utilizzata.....	4
4.3	Metodologia di calcolo - G. S. A. O. (Generalized Simulated-Annealing Optimization) .....	6
4.4	Moduli Elastici dinamici .....	7
<b>5</b>	<b>RISULTATI TOMOGRAFIA SISMICA</b> .....	<b>9</b>
5.1	G2 A– SAN BENEDETTO OUT.....	10
5.2	G2-B – SAN BENEDETTO OUT .....	12
5.3	G3- ZONA LAGHETTO .....	14
5.4	G4 A- ZONA FOSSO CROCE.....	19
5.5	G4 B - ZONA FOSSO CROCE .....	24
5.6	G5A - ZONA FOSSO BALZO DISCESA+RISALITA .....	29
5.7	G5B- ZONA FOSSO BALZO DISCESA.....	34
5.8	G7- UMBERTIDE IN .....	39
5.9	G8 – INSTABILITA’ P.A.I. ....	41
5.10	G9- UMBERTIDE OUT .....	46
5.11	G10 INSTABILITA’ P.A.I. ....	48
5.12	G11 INSTABILITA’ P.A.I. ....	53
5.13	G12 TRENCHLESS BOSCO OUT .....	58
5.14	G13 VERSANTE .....	60

## 1 PREMESSE

Le prove geofisiche oggetto del presente rapporto sono state eseguite nell'ambito di uno studio finalizzato alla definizione della proprietà sismiche (modello di velocità) dei terreni interessati dall'attraversamento del "METANODOTTO SANSEPOLCRO - FOLIGNO DN 400 (16") 75 BAR ED OPERE CONNESSE".

A tal fine è stata eseguita una campagna di prospezione sismica a rifrazione con generazione e ricezione di onde sismiche di compressione P e di taglio SH (onde di taglio con polarizzazione orizzontale). I dati ottenuti sono stati elaborati con tecnica tomografica che ha consentito di ricostruire per immagini la morfo-struttura del sottosuolo.

Nella tabella seguente sono riportate le linee sismiche eseguite e la tipologia di onde registrate:

AREA IDENTIFICATIVA	ID Tomografia Sismica	Onda P	Onda SH	LUNGHEZZA C-U- (m)
SANBENEDETTO OUT	G2 A	*		120
	G2 B	*		120
LAGHETTO	G3	*	*	360
FOSSO CROCE	G4A	*	*	340
	G4B	*	*	120
FOSSO BALZO	G5A	*	*	120
	G5B	*	*	200
UMBERTIDE IN	G7	*		420
INSTABILITA' P.A.I.	G8	*	*	320
UMBERTIDE OUT	G9	*		260
INSTABILITA' P.A.I.	G10	*	*	330
INSTABILITA' P.A.I.	G11	*	*	400
BOSCO OUT	G12	*		240
VERSANTE	G13	*		440

**Tabella 1** – Elenco e configurazione dei transetti sismici eseguiti.

## 2 NORMA TECNICA DI RIFERIMENTO

Le indagini geofisiche sono state eseguite secondo le seguenti norme tecniche:

- ✓ ASTM D5777-00 (2006) –Tomografia sismica

### 3 UBICAZIONE

L'ubicazione delle indagini sismiche è riportata su base cartografica geo-referenziata. Le ubicazioni sono disponibili in formato digitale (DWG).

### 4 TOMOGRAFIA SISMICA

#### 4.1 Generalità

La tomografia sismica assiale di superficie è una tecnica che consente la ricostruzione in immagini della struttura interna del terreno, mediante l'impiego dei travel-time delle onde sismiche che si propagano dalla superficie.

Lo scopo è di determinare un dettagliato andamento della distribuzione della velocità delle onde sismiche longitudinali nel sottosuolo.

#### 4.2 Metodologia e strumentazione utilizzata

La metodologia adottata si avvale di un dispositivo geometrico punto di scoppio-geofoni "base distante in linea".

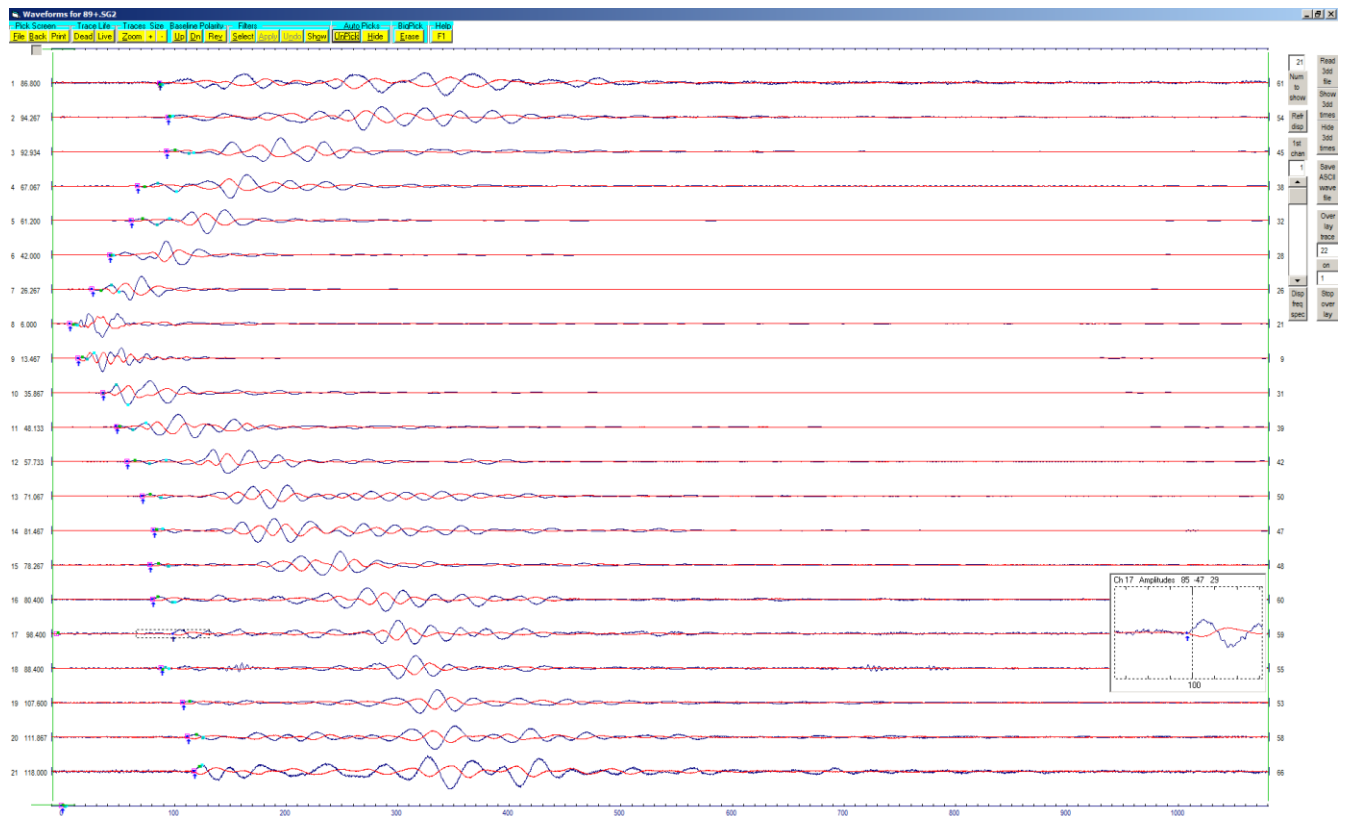
La strumentazione utilizzata è costituita da un sismografo multicanale M.A.E. A6000S, avente le seguenti caratteristiche tecniche :

- capacità di campionamento dei segnali tra 0.01 e  $3.33 \cdot 10^{-5}$  sec;
- sistema di comunicazione e di trasmissione del "tempo zero" (time break)
- filtri High Pass e Band Reject
- "Automatic Gain Control"
- convertitore A/D a 24 bit

Le onde di compressione sono state generate mediante esploditore sismico armato con cartucce industriale cal. 8. Invece, le onde di taglio di tipo SH (polarizzate in un piano orizzontale) sono state generate tramite battuta orizzontale di un martello su un asse di legno infisso nel terreno tramite delle lame di acciaio. I segnali sismici registrati in formato digitale sono stati analizzati nel dominio del tempo con apposito software (CWP/SU) per la stima del primo arrivo delle onde sismiche generate (SH).

La determinazione del primo arrivo delle onde SH è stata fatta tramite la tecnica dell'inversione di fase.





**Figura 1.** Tracce sismiche SH in inversione di fase

**CONSORZIO L.R.**  
**Laboratori Riuniti**

Codice Fiscale, P. IVA e Iscrizione al Reg delle Imprese di Catania n. 05184000874. Iscritta al R.E.A. 270647

consorzio@lr-srl.it

www.LR-SRL.it

**Uffici e Sede legale**

Via Pablo Picasso n. 2  
 95037 San Giovanni La Punta (CT)

Tel. +39 095 336490

**Laboratorio Aut. L. 1086/71**

Zona industriale, Capannone n. 5  
 94010 Catenuova (EN)

Fax +39 095 7336297

**Laboratorio Aut. Terre e Rocce**

Via C. Colombo n. 69  
 94018 Troina (EN)

#### 4.3 Metodologia di calcolo - G. S. A. O. (Generalized Simulated-Annealing Optimization)

Il G.S.A.O., metodo basato sulla tecnica Monte Carlo<sup>1</sup>, è un modello di calcolo che consente l'ottimizzazione non lineare dell'inversione dei tempi di primo arrivo delle fasi dirette e rifratte delle onde sismiche registrate durante una prospezione sismica.

Il vantaggio di tale tecnica è nell'assoluta indipendenza dal modello iniziale di velocità.

Le fasi di calcolo che vengono eseguite nel processo d'elaborazione dei dati, possono essere così sintetizzate:

□ Calcolo dei traveltimes attraverso un modello iniziale di velocità e determinazione dell'errore minimo quadrato ( $E_0 = \text{least-square error}$ ), tra il travel – time calcolato e quello osservato. Per ogni iterazione  $i$  è possibile definire il “least – square error” secondo la formula:

$$E_i = \frac{1}{N} \left[ \sum_{j=1}^N (t_j^{obs} - t_j^{cal})^2 \right] \quad (1)$$

dove  $N$  è il numero di campioni,  $j$  denota ogni osservazione, e  $t_{obs}$  e  $t_{cal}$  sono rispettivamente il tempo osservato e calcolato.

□ Perturbazione del modello di velocità mediante l'inserimento di una costante di velocità casuale, mantenendo la non linearità del sistema, e calcolo del nuovo “least – square error”  $E_1$ .

□ Determinazione della probabilità  $P$  di ammettere il nuovo modello (cioè che il modello sia accettabile):

$$P = 1; \quad E_1 \leq E_0 \quad (2)$$

$$P = P_c = \exp \left[ \frac{(E_{\min} - E_1)^q \Delta E}{T} \right]; \quad E_1 > E_0 \quad (3)$$

dove  $P_c$  è la probabilità di accettare la condizione,  $T$  è chiamata temperatura;  $\Delta E = E_0 - E_1$ ,  $q$  è una costante d'integrazione (che si determina empiricamente), e  $E_{\min}$  è il valore oggettivo della funzione dei minimi totali. Teoricamente si ha  $E_{\min} = 0$ .

L'equazione (2) significa che il nuovo modello è accettato quando la “least – square

<sup>1</sup> Metropolis, N., A. Rosenbluth, A. Teller, and E. Teller (1953). Equations of state calculation by fast computing machines, J. Chem. Phys. 21 , 1087-1092.

error” è inferiore a quella della iterazione precedente. L'equazione (3) prevede l'accettazione condizionata di modelli con una più ampio least – square error”. Ciò consente, durante l'inversione dei dati, di sfuggire dall'intorno dei minimi, andando alla ricerca del minimo globale.

□ Ripetizione delle inversioni fino al raggiungimento della convergenza richiesta tra la differenza dell'errore minimo quadrato ed il successivo modello e la probabilità di accettare nuovi modelli di velocità a minimo errore.

#### 4.4 Moduli Elastici dinamici

Il calcolo dei moduli elastici si basa sulla teoria dell'elasticità, la quale prevede che, per sforzi impulsivi e di piccola energia, i corpi subiscono deformazioni linearmente proporzionali alle forze che le originano.

In presenza di tali condizioni anche ai terreni ed alle rocce si possono attribuire le proprietà dei corpi elastici, vale a dire: omogeneità, isotropia e continuità. Pertanto, per sollecitazioni impulsive e di bassa energia, terreni e rocce rispondono nel campo della legge di Hooke:

$$\sigma = \varepsilon K$$

dove:

$\sigma$  = sforzo applicato

$\varepsilon$  = deformazione prodotta

$K$  = coefficiente di proporzionalità (è un generico coefficiente di proporzionalità che assume significato fisico diverso in relazione al tipo di forze applicate e deformazioni conseguenti).

Le deformazioni e le tensioni generate da un transiente sismico rispondono al requisito di sollecitazioni impulsive di bassa energia. Quindi i terreni e le rocce attraversate da radiazioni sismiche subiscono deformazioni di tipo elastico.

Tali deformazioni trovano un'intrinseca corrispondenza con le fasi P e S dell'input sismico. Infatti, le velocità di propagazione delle onde sismiche variano al variare delle caratteristiche geomeccaniche e fisiche dei litotipi coinvolti e, pertanto, consentono di ottenere informazioni sulle proprietà elastiche dei mezzi attraversati.

Tali parametri, riportati nella tabella seguente, esprimono le caratteristiche elastiche di un corpo quando è sottoposto ad uno sforzo e sono:

CONSORZIO L.R.  
Laboratori Riuniti

Codice Fiscale, P. IVA e Iscrizione al Reg  
delle Imprese di Catania n. 05184000874.  
Iscritta al R.E.A. 270647

consorzio@lr-srl.it

www.LR-SRL.it

Uffici e Sede legale

Via Pablo Picasso n. 2  
95037 San Giovanni La Punta (CT)

Tel. +39 095 336490

Laboratorio Aut. L. 1086/71

Zona industriale, Capannone n. 5  
94010 Catenanuova (EN)

Fax +39 095 7336297

Laboratorio Aut. Terre e Rocce

Via C. Colombo n. 69  
94018 Troina (EN)

- modulo d'elasticità o di Young ( $E$ ) che fornisce una misura del rapporto sforzo-deformazione nel caso di una semplice torsione o compressione. Il modulo di Young dipende e dalla porosità dalla pressione litostatica. I valori minimi del modulo si registrano in litotipi ad alta porosità saturi in gas, mentre i valori massimi si hanno per litotipi a bassa porosità, sotto pressione e saturi d'acqua.

- densità geofisica ( $\gamma^{din}$ ) è un parametro che indica lo stato di addensamento dei terreni ed è paragonabile al peso di volume geotecnica.

- rapporto di Poisson ( $\sigma$ ) che dà la misura della deformazione geometrica subita da un corpo elastico e varia da 0.2 a 0.3 per le rocce compatte; da 0.3 a 0.35 per le sabbie e da 0.4 a 0.5 per le argille.

- modulo di rigidità ( $G$ ) che esprime la misura del rapporto sforzo-deformazione nel caso di uno sforzo di taglio, stabilendo pertanto la resistenza del corpo alle variazioni di forma. Tale parametro è fortemente dipendente dalla porosità e dalla pressione litostatica. Assume valori più bassi in litotipi ad alta porosità, sottoposti a bassa pressione e saturi d'acqua.



## 5 RISULTATI TOMOGRAFIA SISMICA

I risultati consistono nella restituzione dell'immagine sismica del sottosuolo espressa in termini di velocità di propagazione delle onde sismiche P e SH (modello di velocità default e modello di velocità normalizzato al valore massimo riscontrato) e di densità di raggi sismici (modello della densità dei raggi sismici). Quest'ultimo indica il numero di volte che la cella viene attraversata dai raggi sismici, in altri termini, seguendo il principio di Fermat, corrisponde al percorso più breve che il raggio sismico compie nel percorso sorgente ricevitore.

In allegato si riportano i risultati delle tomografie sismiche oltre all'ubicazione delle prove eseguite. I risultati consistono nella ricostruzione dell'immagine sismica del sottosuolo mediante mappature a campiture di colore a "contour line" della distribuzione areale.

Le sezioni sismiche riportate riguardano:

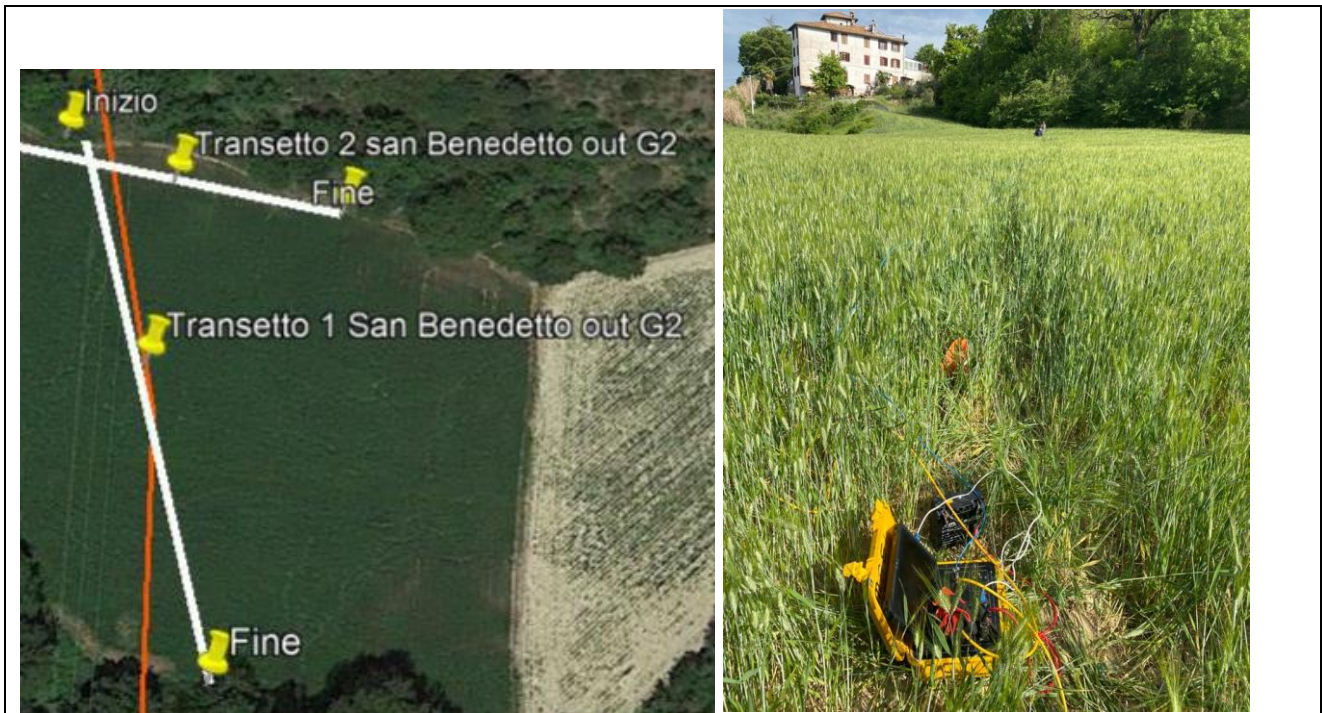
Velocità di propagazione delle onde sismiche di longitudinali ( $V_p$  – m/s - grafici modello di velocità default, modello di velocità normalizzato);

- Velocità di propagazione delle di taglio ( $V_s$  – m/s - grafici (modello di velocità default, modello di velocità normalizzato);
- Densità di raggi sismici (modello della densità dei raggi sismici)<sup>2</sup>
- Densità Geofisica
- Modulo di taglio dinamico ( $G_{din}$ .  $G_0$  -MPa- );
- Modulo di taglio di Young dinamico ( $E_{din}$  M-Pa.)

Di seguito si riportano l'ubicazione dei transetti sismici su base topografica geo-referenziata, i modelli di velocità normalizzato, i modelli densità dei raggi sismici, e le sezioni sismo-stratigrafiche.

<sup>2</sup> Indica il numero di volte che la cella viene attraversata dai raggi sismici, in altri termini, seguendo il principio di Fermat, corrisponde al percorso più breve che il raggio sismico compie nel percorso sorgente ricevitore

## 5.1 G2 A– SAN BENEDETTO OUT

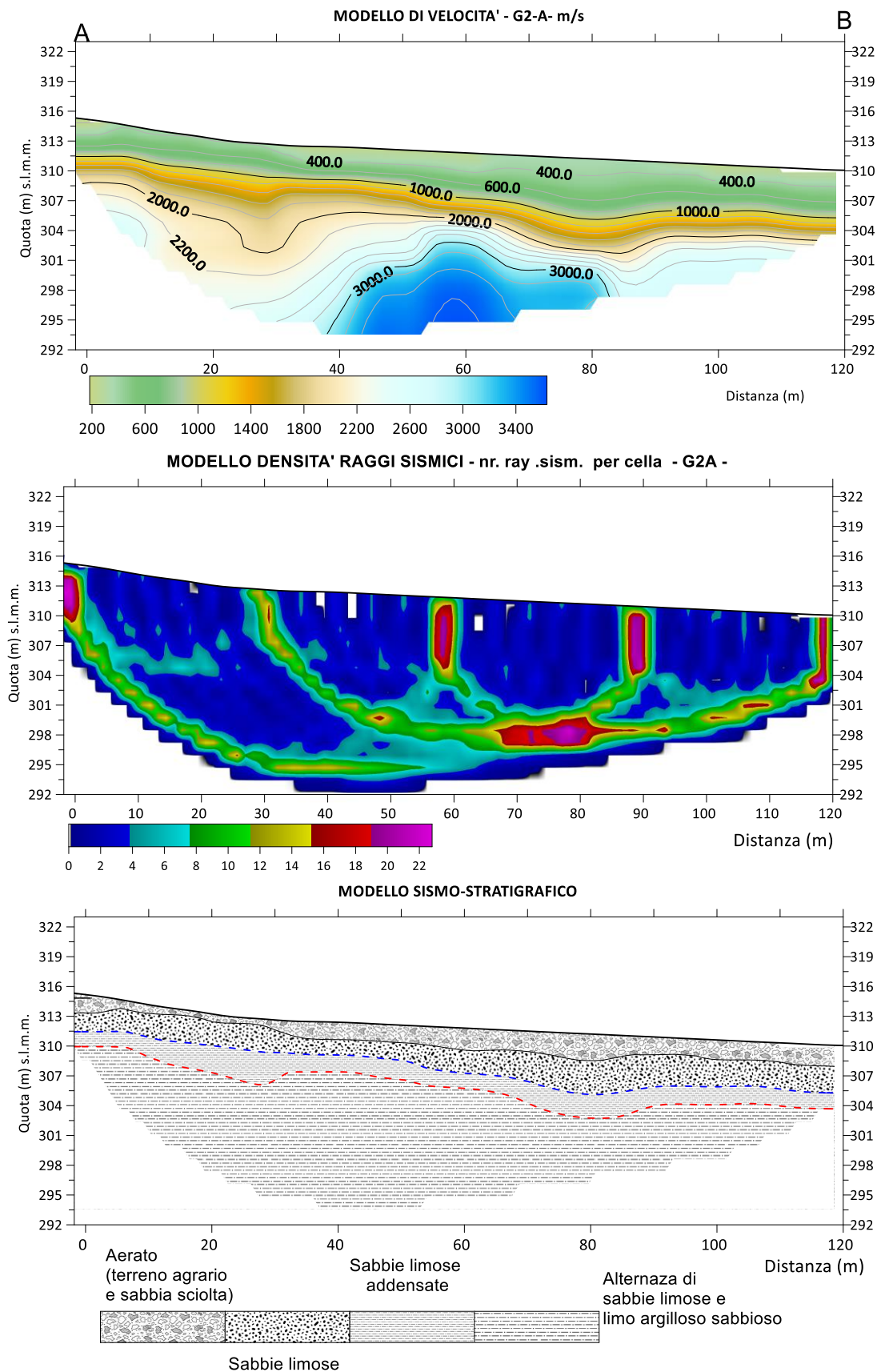


La velocità di propagazione delle onde P calcolata risulta compresa tra 252 m/sec e 3459.12 m/sec. Tali valori sono da attribuire alla variazione dello stato di addensamento della coltre di copertura superficiale ed ai sedimenti di natura prevalentemente sabbiosa- argillosa che costituiscono il sub-strato compatto dell'area di studio.

Le variazioni di velocità sono prevalentemente verticali e sono da correlare con il diverso stato di alterazione e di compattezza dei terreni attraversati dal fronte sismico

Le densità raggi sismici mostrano che la maggiore densità sismica coincide al passaggio tra la copertura superficiale (aerato), le sabbie limose (**limite evidenziato da una linea tratteggiata di colore blu - Sezione sismo-stratigrafica**) e l'alternanza sabbiosa argillosa sottostanti. Tale passaggio costituisce una vera e propria superficie di discontinuità con i terreni ad essa sottostanti (**limite evidenziato da una linea tratteggiata di colore rosso - Sezione sismo-stratigrafica**).

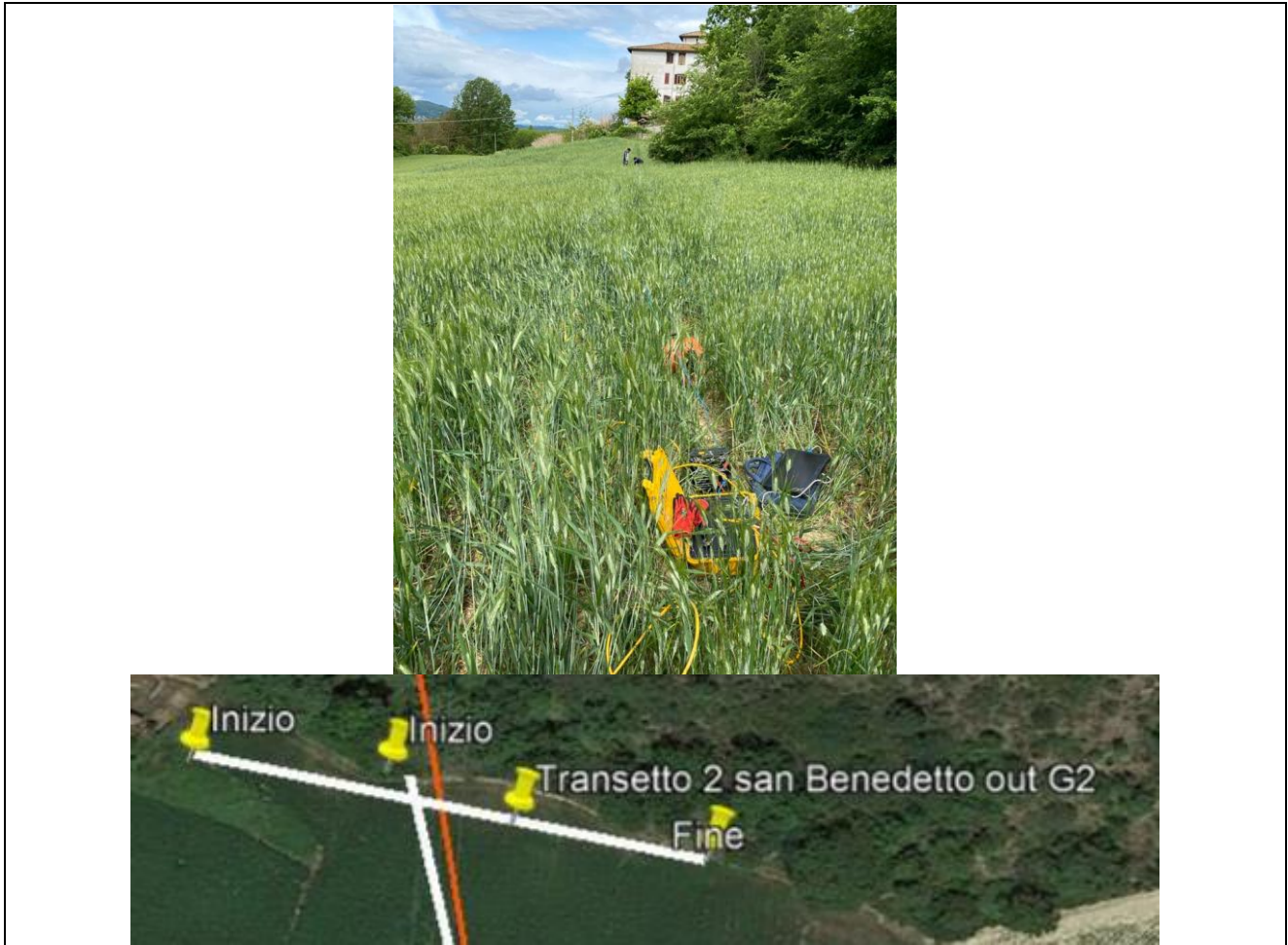
Lo spessore medio dei terreni di copertura è di circa 5 metri.



**Figura 2.** Modello di Velocità- Sezione densità raggi sismici – Modello sismo-stratigrafico



## 5.2 G2-B – SAN BENEDETTO OUT



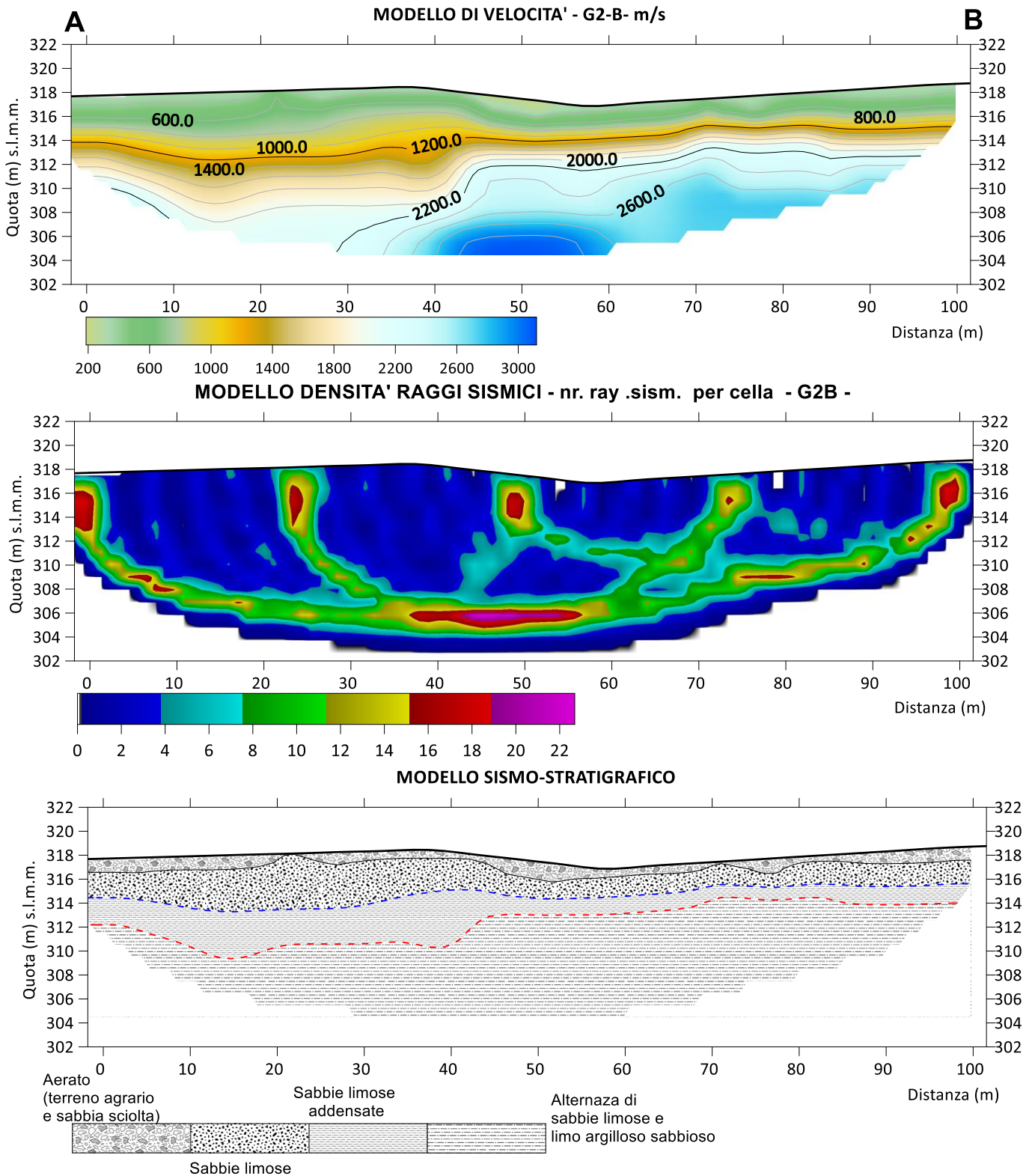
La velocità di propagazione delle onde P calcolata risulta compresa tra 252 m/sec e 3129.12 m/sec. Tali valori sono da attribuire alla variazione dello stato di addensamento della coltre di copertura superficiale ed ai sedimenti di natura prevalentemente sabbiosa- argillosa che costituiscono il sub-strato compatto dell'area di studio.

Le variazioni di velocità sono prevalentemente verticali e sono da correlare con il diverso stato di alterazione e di compattezza dei terreni attraversati dal fronte sismico

Le densità raggi sismici mostrano che la maggiore densità sismica coincide al passaggio tra la copertura superficiale (aerato), le sabbie limose (**limite evidenziato da una linea tratteggiata di colore blu - Sezione sismo-stratigrafica**) e l'alternanza sabbiosa argillosa sottostanti. Tale passaggio costituisce una vera e propria superficie di discontinuità con i terreni ad essa sottostanti (**limite evidenziato da una linea tratteggiata di colore rosso - Sezione sismo-stratigrafica**).

Lo spessore medio dei terreni di copertura è di circa 3.75 metri.





**Figura 3.** Modello di Velocità- Sezione densità raggi sismici – Modello sismo-stratigrafico

### 5.3 G3- ZONA LAGHETTO

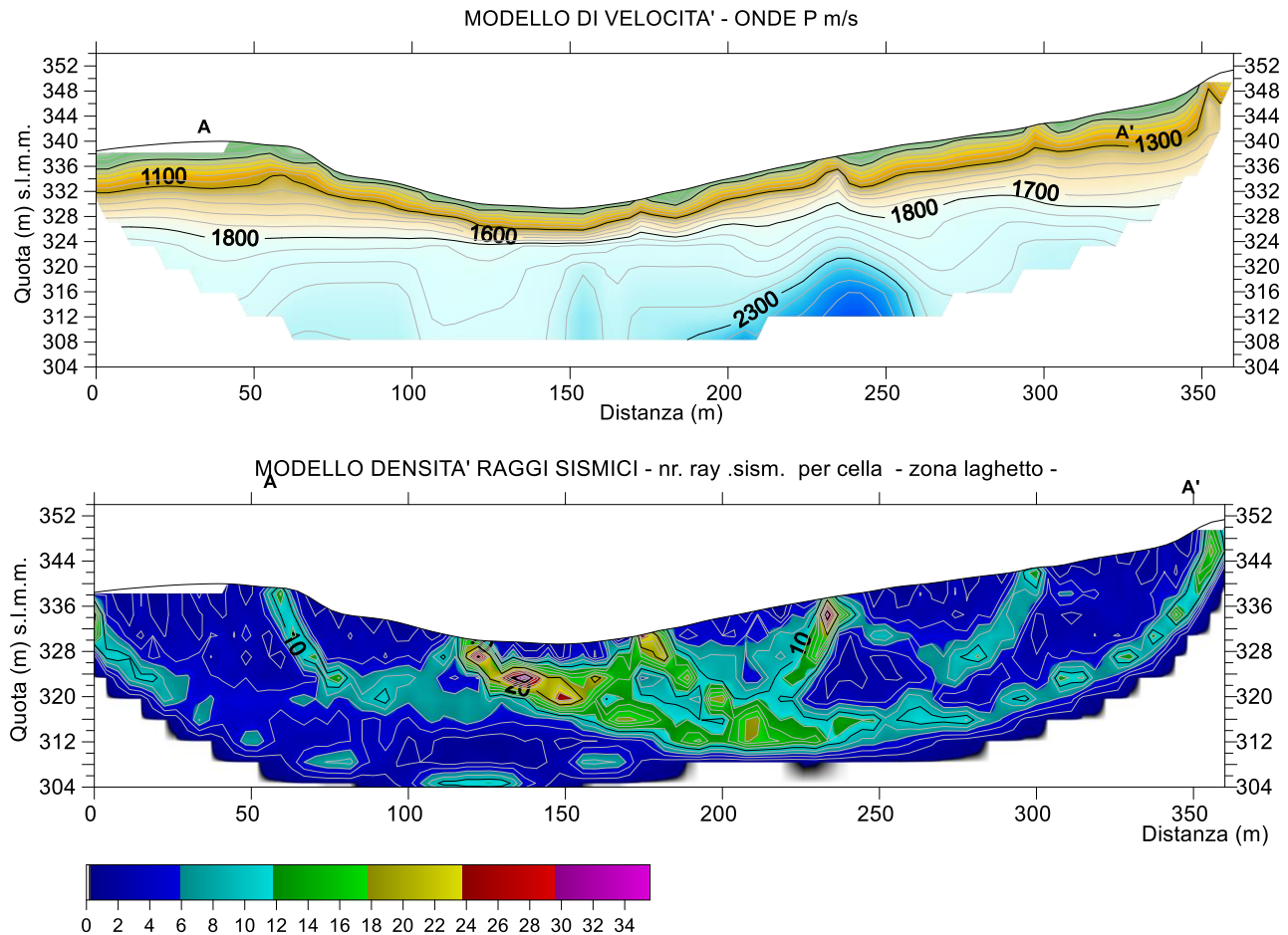


Nell'area denominata "zona laghetto" è stato eseguito un transetto sismico lungo 360 con registrazione di onde P / SH. Di seguito si riportano i modelli sismici relativi alle due tipologie di onde e le sezioni moduli elastici. Si precisa che la ricostruzione la sismostratigrafica è stata basata sulla risultante del modello SH.

I **modelli di velocità** mostrano che la velocità di propagazione delle onde sismiche P e SH sono, rispettivamente, comprese tra 331.5 m/s e 2676.5 m/s ( $V_p$ ) e tra 83.25 m/s e 1086.2 m/s ( $V_S$ ). Tali variazioni di velocità sono principalmente verticali e sono da correlare con il diverso stato di alterazione, di addensamento e di compattezza dei terreni investigati.

Il modello di densità dei raggi sismici rileva che il maggiore addensamento sismico coincide la isolina di velocità 1800 m/s. Tale limite si rileva alla quota di 326 m e mantiene, un andamento sub-orizzontale.





**Figura 4.** Modello di Velocità- Sezione densità raggi sismici

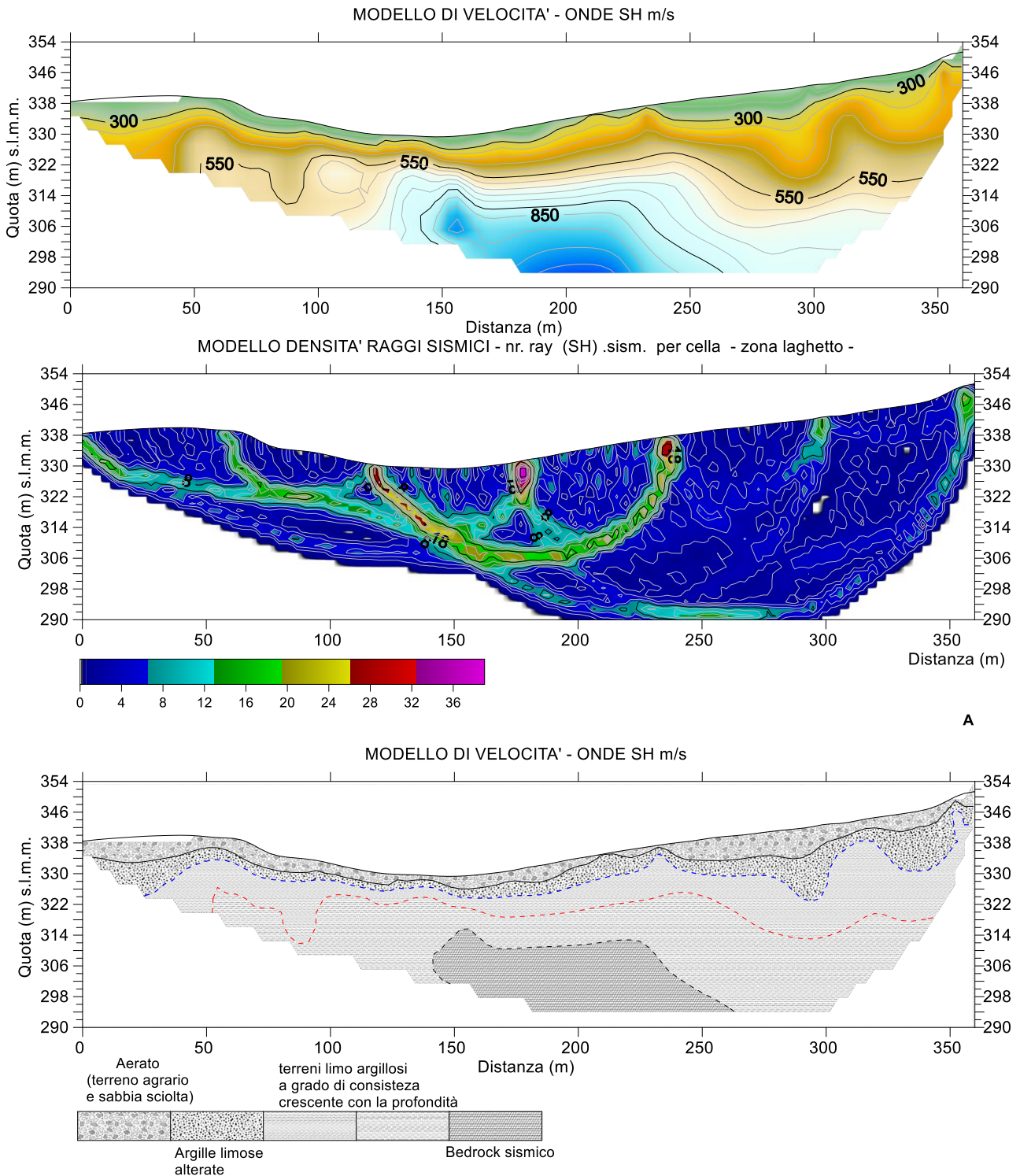
Il modello **densità raggi sismici** relativo alle onde di taglio mostrano che la maggiore densità sismica coincide con il passaggio tra la copertura superficiale, le argille alterate ed i terreni compatti sottostanti, e gli stessi terreni compatti ed il bedrock sismico ( $V_{SH} \geq 800$  m/s).

Il primo orizzonte sismico segna il passaggio a terreni più compatti meno deformabili tangenzialmente ( $G_0 > 300$  MPa) ,

Dal punto di vista sismo-stratigrafico, pertanto, l'area investigata può essere ricondotta ad un modello di sottosuolo costituito da uno strato superficiale poco consistente ed alterato in superficie (aerato<sup>3</sup>) ricoprire un substrato il cui grado compattezza e di resistenza alla deformazioni tangenziali aumentano in profondità ( $V_{SH} > 350$  m/s;  $G_0 > 300$  Mpa;  $E_0 > 1000$  Mpa). Tale passaggio è evidenziato da un tratteggio di colore blu nelle sezioni sismo-stratigrafiche riportate.

Il valore medio del  $V_{seq}$  risulta pari a 381.4 m/s.

<sup>3</sup> Mezzo fisico non completamente saturo (scarso stazionamento dell'acqua) con presenza d'aria.



**Figura 5.** Modello di Velocità- Sezione densità raggi sismici – Modello sismo-stratigrafico



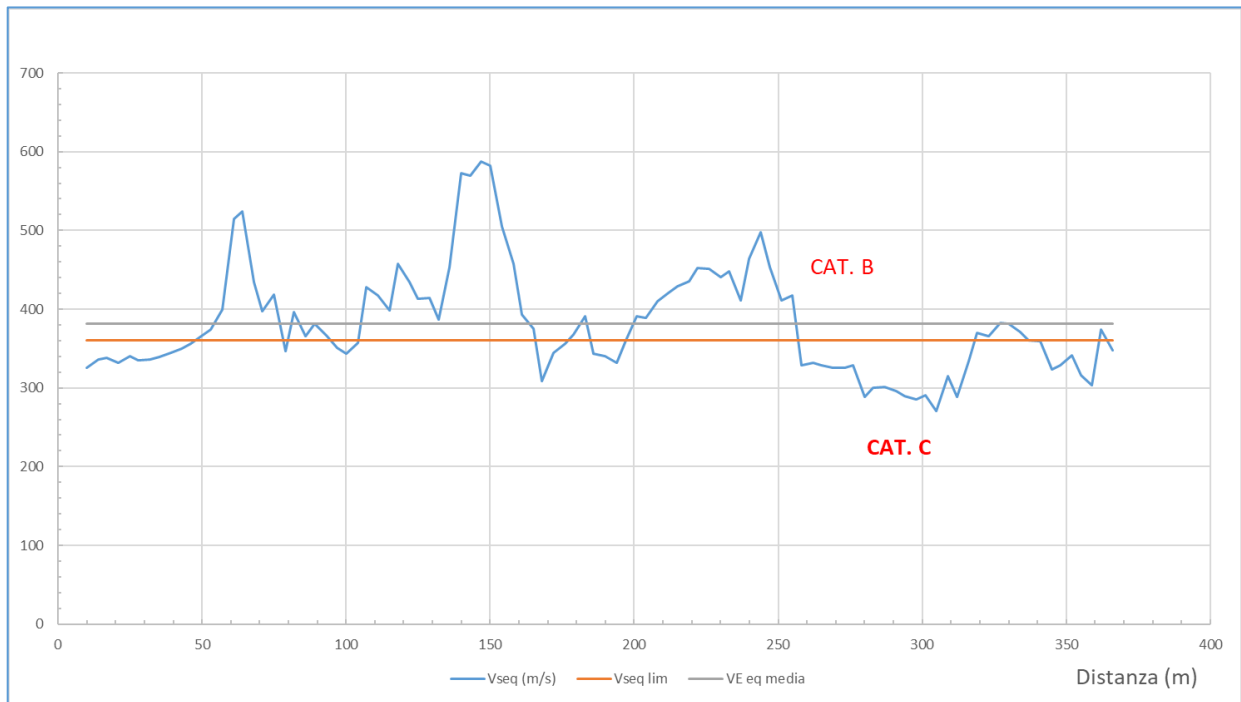


Figura 6. Velocità media equivalente / distanza

**CONSORZIO L.R.**  
**Laboratori Riuniti**

Codice Fiscale, P. IVA e Iscrizione al Reg delle Imprese di Catania n. 05184000874. Iscritta al R.E.A. 270647

consorzio@lr-srl.it

www.LR-SRL.it

**Uffici e Sede legale**

Via Pablo Picasso n. 2  
95037 San Giovanni La Punta (CT)

Tel. +39 095 336490

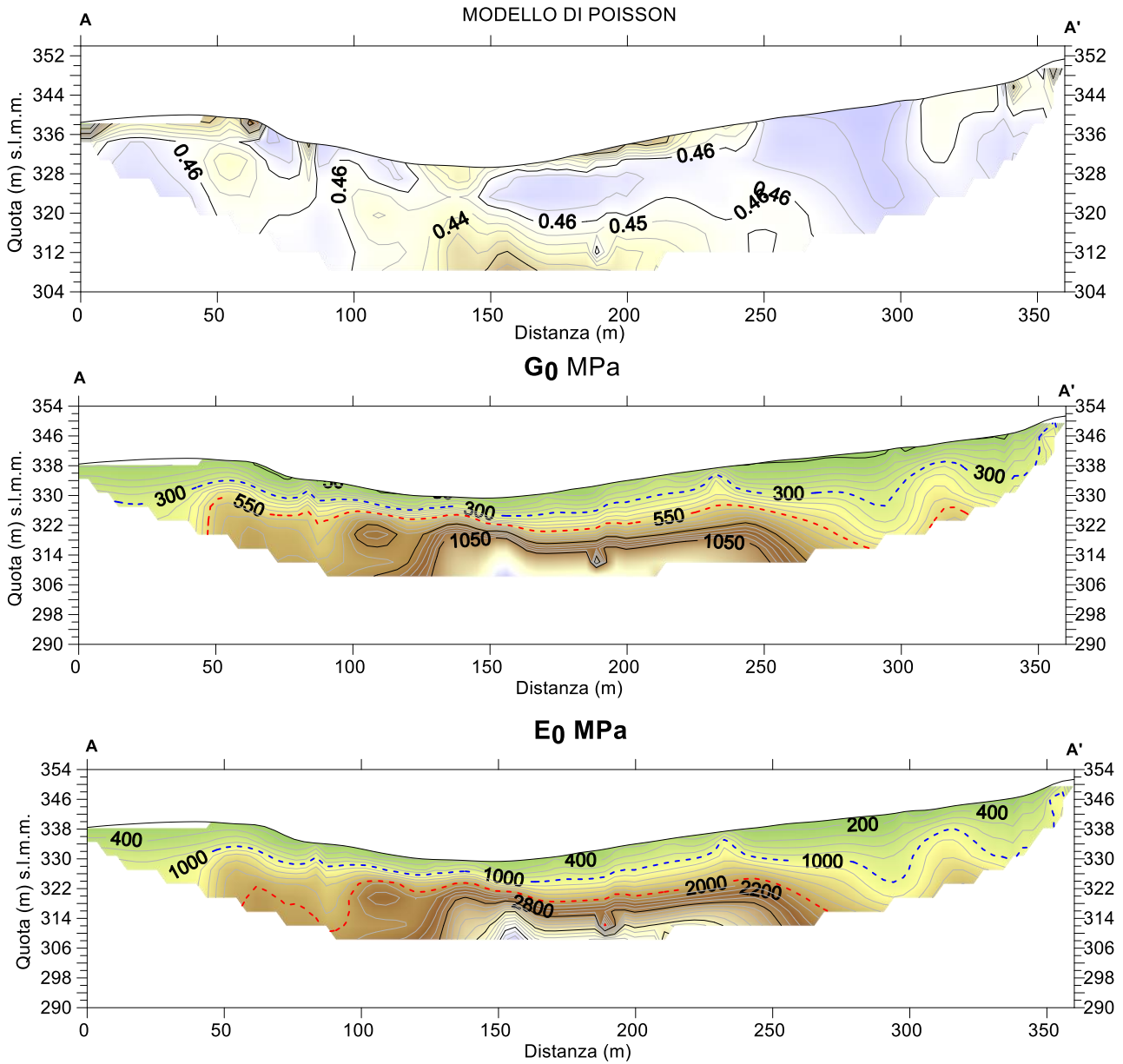
**Laboratorio Aut. L. 1086/71**

Zona industriale, Capannone n. 5  
94010 Catenuova (EN)

Fax +39 095 7336297

**Laboratorio Aut. Terre e Rocce**

Via C. Colombo n. 69  
94018 Troina (EN)



**Figura 7. Sezioni Moduli Elastici**

#### 5.4 G4 A- ZONA FOSSO CROCE

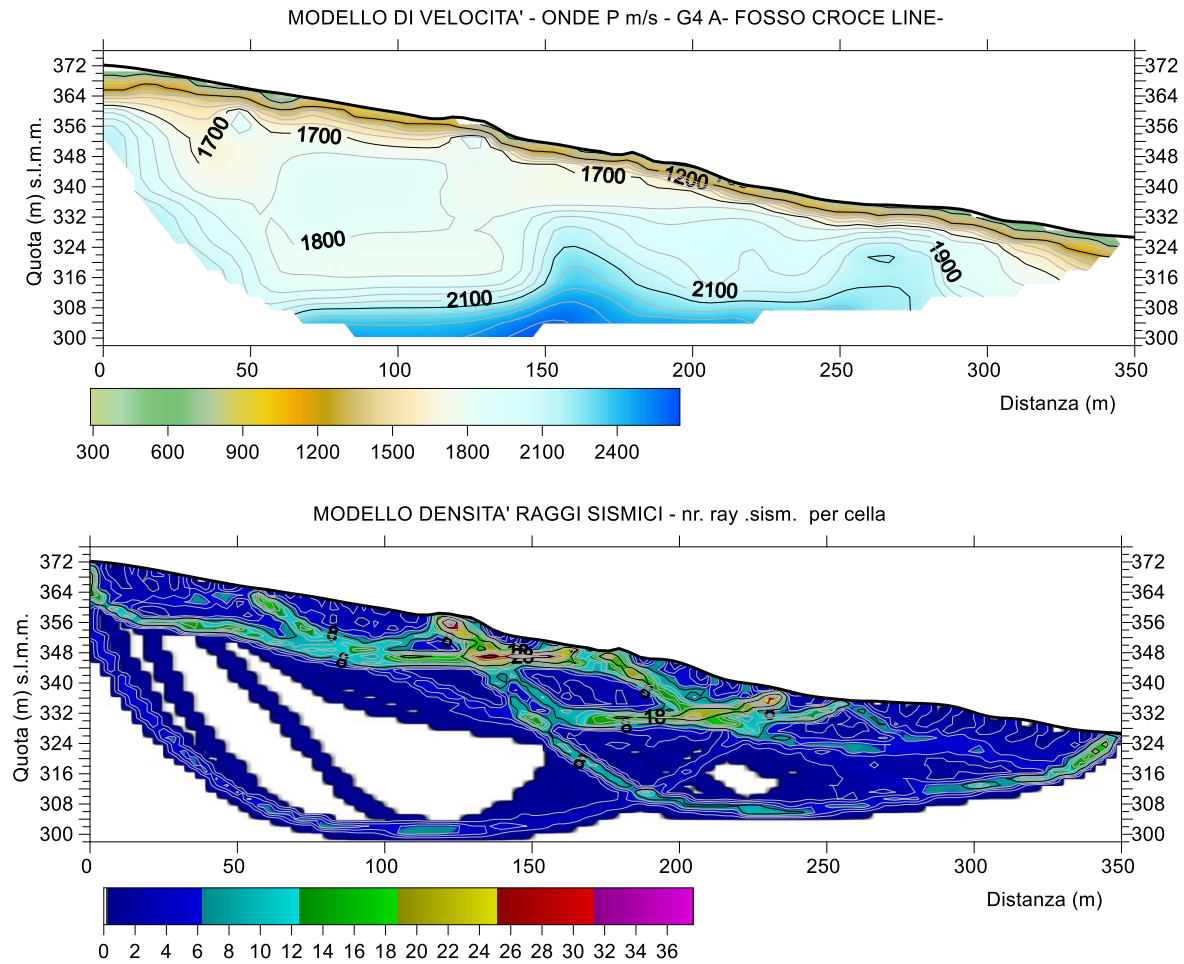


Nell'area denominata "FOSSO CROCE" è stato eseguito un transetto sismico lungo 360 con registrazione di onde P / SH. Di seguito si riportano i modelli sismici relativi alle due tipologie di onde e le sezioni moduli elastici. L'interpretazione sismo-stratigrafica è stata eseguita sulla base del modello di velocità SH.

I **modelli di velocità** mostrano che la velocità di propagazione delle onde sismiche P e SH sono, rispettivamente, comprese tra 2891.5 m/s e 2651.5 m/s ( $V_p$ ) e tra 112.25 m/s e 881.2 m/s ( $V_S$ ). Tali variazioni di velocità sono principalmente verticali e sono da correlare con il diverso stato di alterazione, di addensamento e di compattezza dei terreni investigati.

Il modello di densità dei raggi sismici mostra due orizzonti sismici: il primo è intercettato si intercetta a partire da 2356 m (s.l.m.m.) e segna il passaggio a terreni compatti aventi velocità > 1800 m/s. Il secondo orizzonte segna il passaggio a sismotriti con  $V_p > 2100$  m/s..





**Figura 8.** Modello di Velocità - Sezione densità raggi sismici

Il modello **densità raggi sismici** relativo alle onde di taglio mostra che la maggiore densità sismica coincide con il passaggio tra la copertura superficiale, le argille alterate ed i terreni compatti sottostanti, e gli stessi terreni compatti ed il bedrock sismico ( $V_{SH} \geq 600$  m/s).

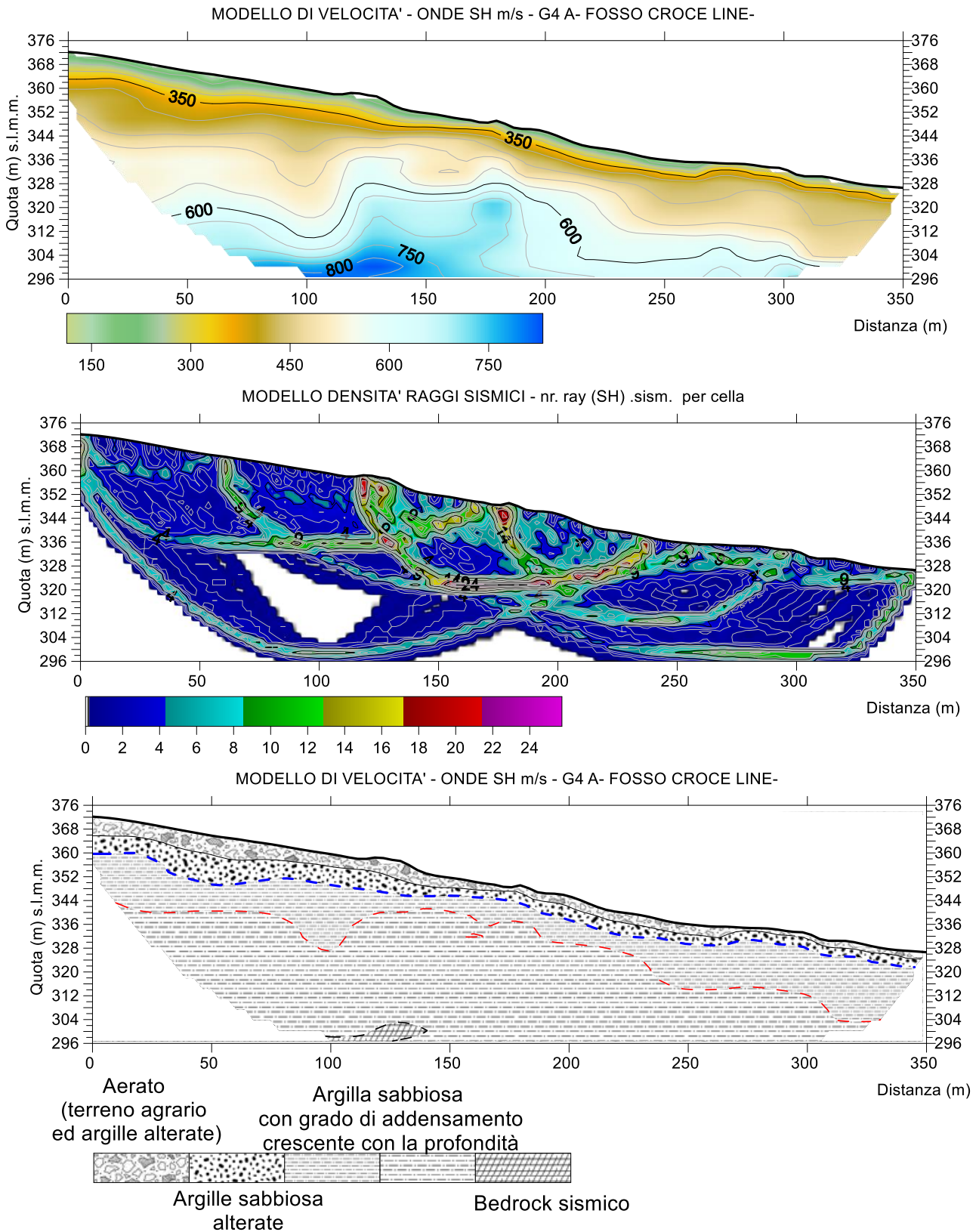
Il primo orizzonte sismico segna il passaggio a terreni più compatti meno deformabili tangenzialmente ( $G_0 > 300$  MPa).

Dal punto di vista sismo-stratigrafico, pertanto, l'area investigata può essere ricondotta ad un modello di sottosuolo costituito da uno strato superficiale poco consistente ed alterato in superficie (aerato<sup>4</sup>) ricoprire un substrato il cui grado compattezza e di resistenza alla deformazioni tangenziali aumentano in profondità ( $V_{SH} > 350$  m/s;  $G_0 > 300$  Mpa;  $E_0 > 1000$  Mpa). Tale passaggio è evidenziato da un tratteggio di colore blu nella sezione sismo-stratigrafica. Il Passaggio a terreni rigidi ( $V_{SH} > 550$  m/s;  $G_0 > 500$  Mpa;  $E_0 > 1000$  Mpa) è indicato con un limite tratteggiato di colore rosso nella sezione sismo-stratigrafica).

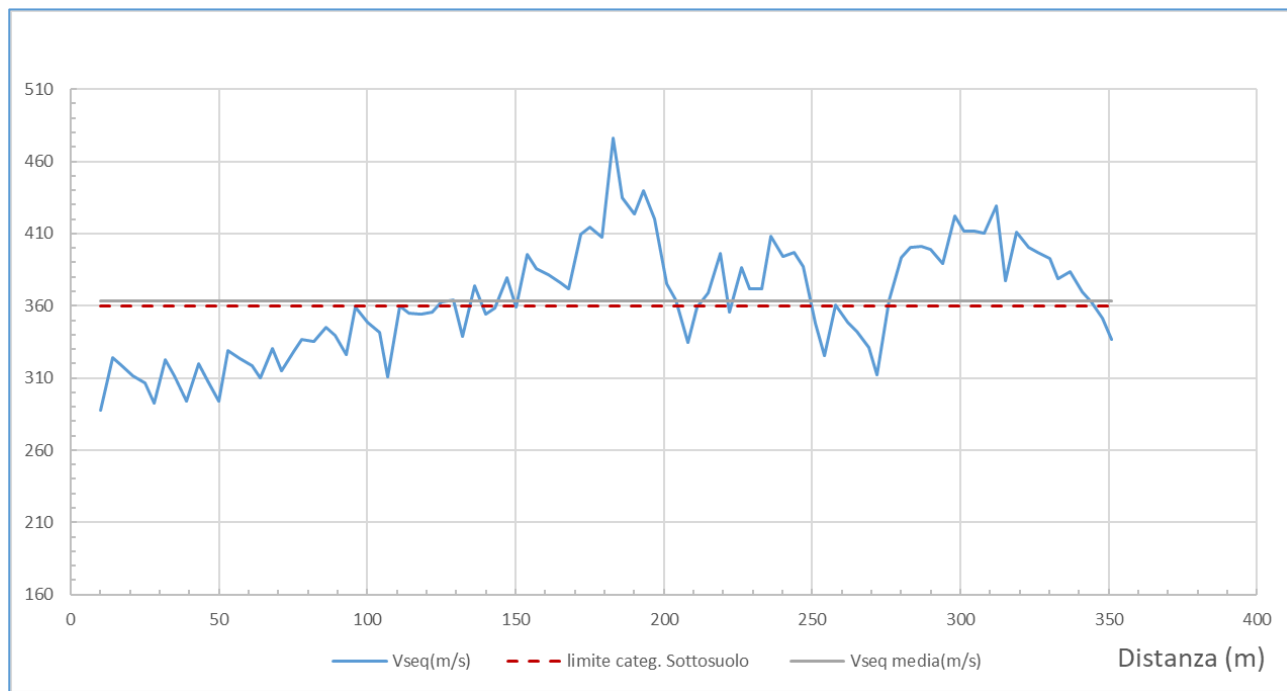
Il valore medio del  $V_{seq}$  risulta pari a 363.4 m/s..

<sup>4</sup> Mezzo fisico non completamente saturo (scarso stazionamento dell'acqua) con presenza d'aria.



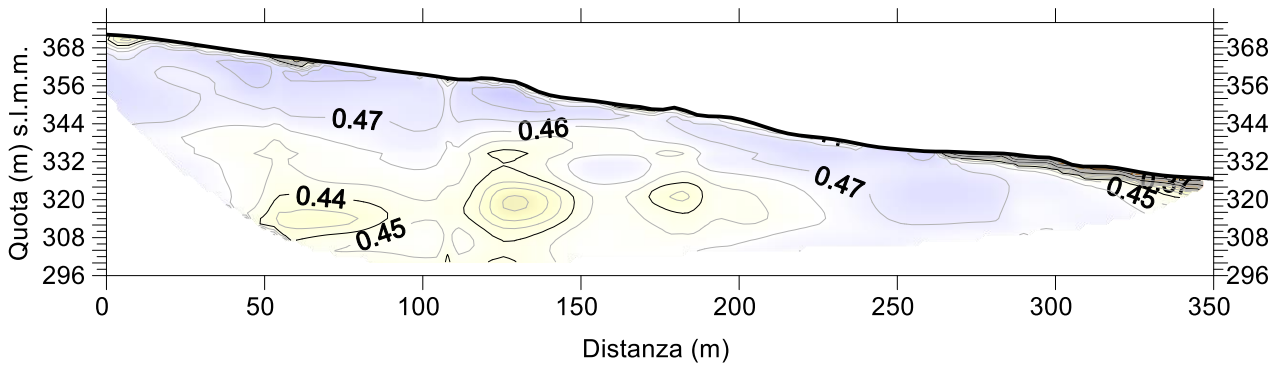


**Figura 9.** Modello di Velocità- Sezione densità raggi sismici – Modello sismo-stratigrafico

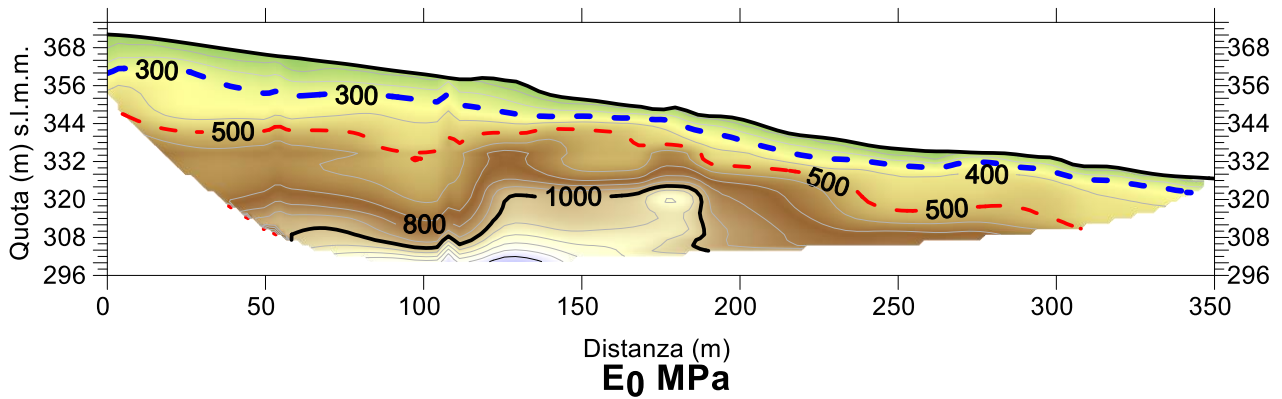


**Figura 10.** Velocità media equivalente / distanza

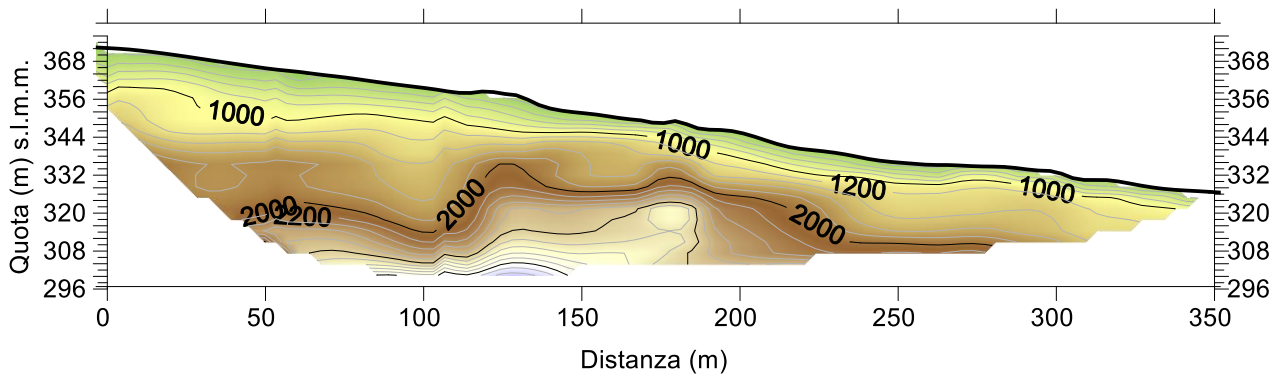
RAPPORTO DI POISSON



**G<sub>0</sub> MPa**



**E<sub>0</sub> MPa**



**Figura 11.** Sezioni Moduli Elastici



## 5.5 G4 B - ZONA FOSSO CROCE



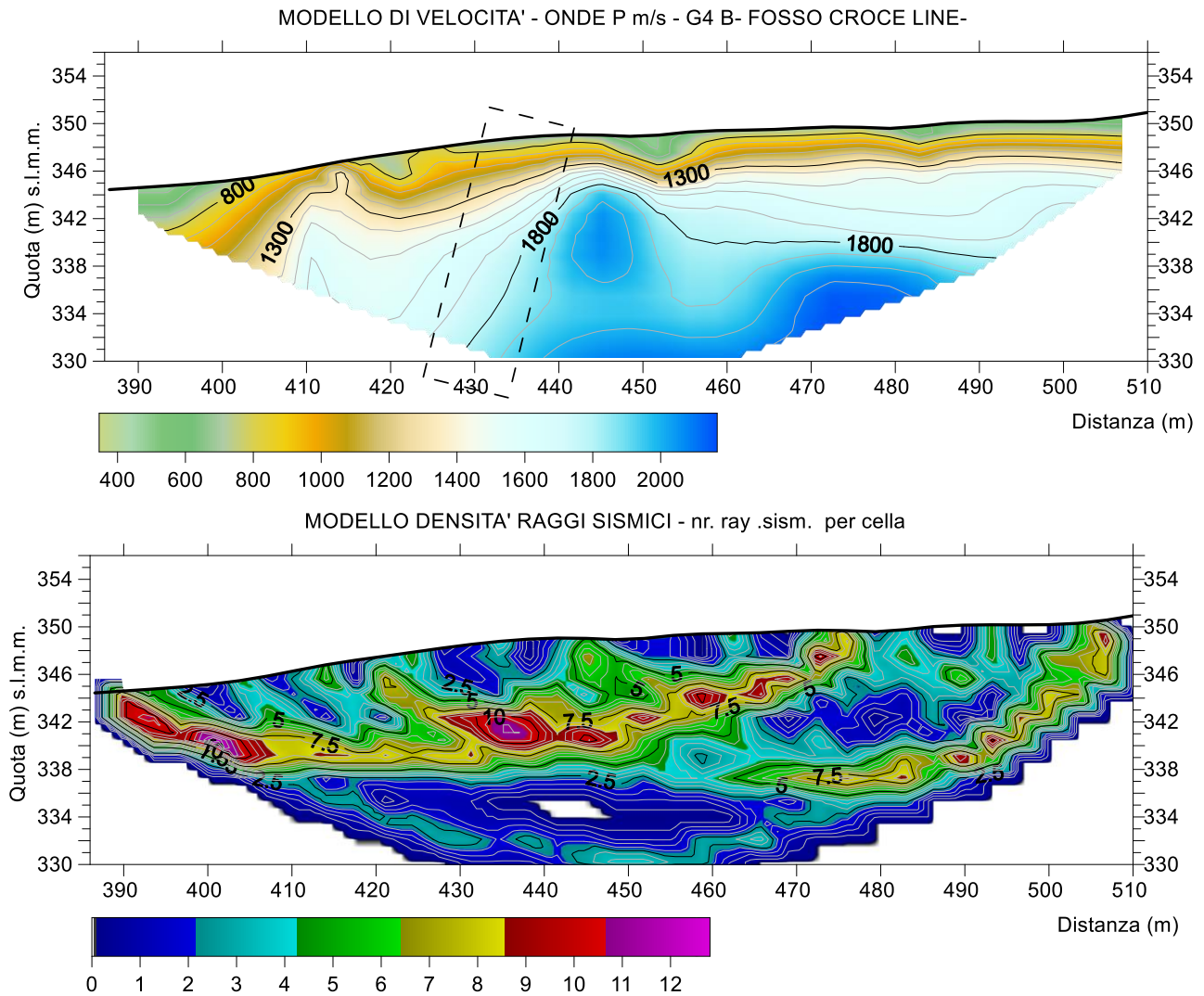
Nell'area denominata "FOSSO CROCE" è stato eseguito un transetto sismico lungo 120 con registrazione di onde P / SH. Di seguito si riportano i modelli sismici relativi alle due tipologie di onde e le sezioni moduli elastici. Il modello sismo-stratigrafico è stato definito sulla base del modello di velocità SH.

I **modelli di velocità** mostrano che la velocità di propagazione delle onde sismiche P e SH sono, rispettivamente, comprese tra 345.5 m/s e 2166.5 m/s ( $V_p$ ) e tra 142.25 m/s e 620.2 m/s ( $V_S$ ).

Le variazioni di velocità riscontrate sono sia verticali che laterali. Una marcata variazione laterale di velocità viene rilevata alla distanza di 430 metri (area indicata con un rettangolo nero nei modelli di velocità).

Il modello di densità dei raggi sismici rileva che il maggiore addensamento sismico coincide la isolina di velocità 1500 m/s.



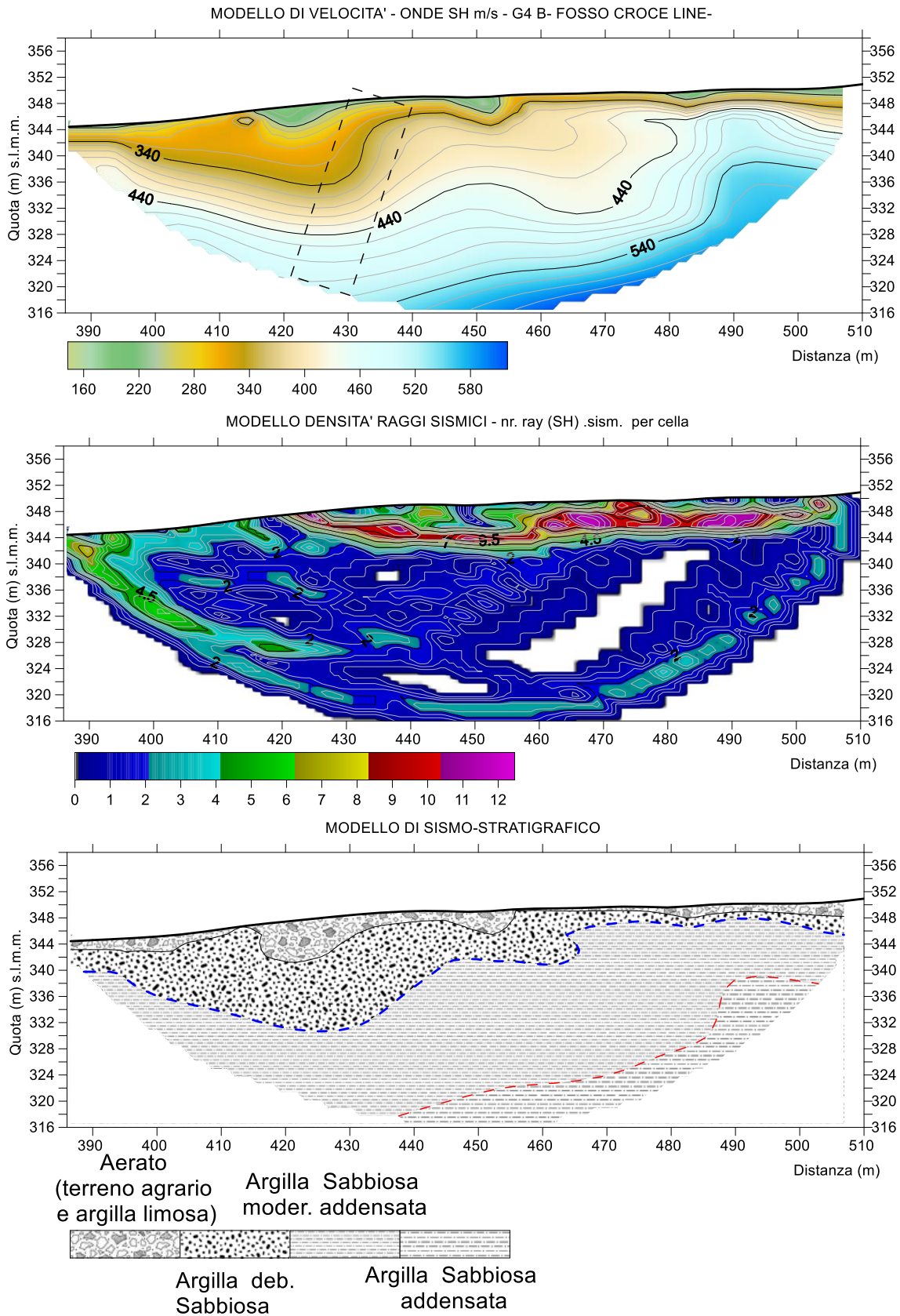


**Figura 12.** Modello di Velocità - Sezione densità raggi sismici

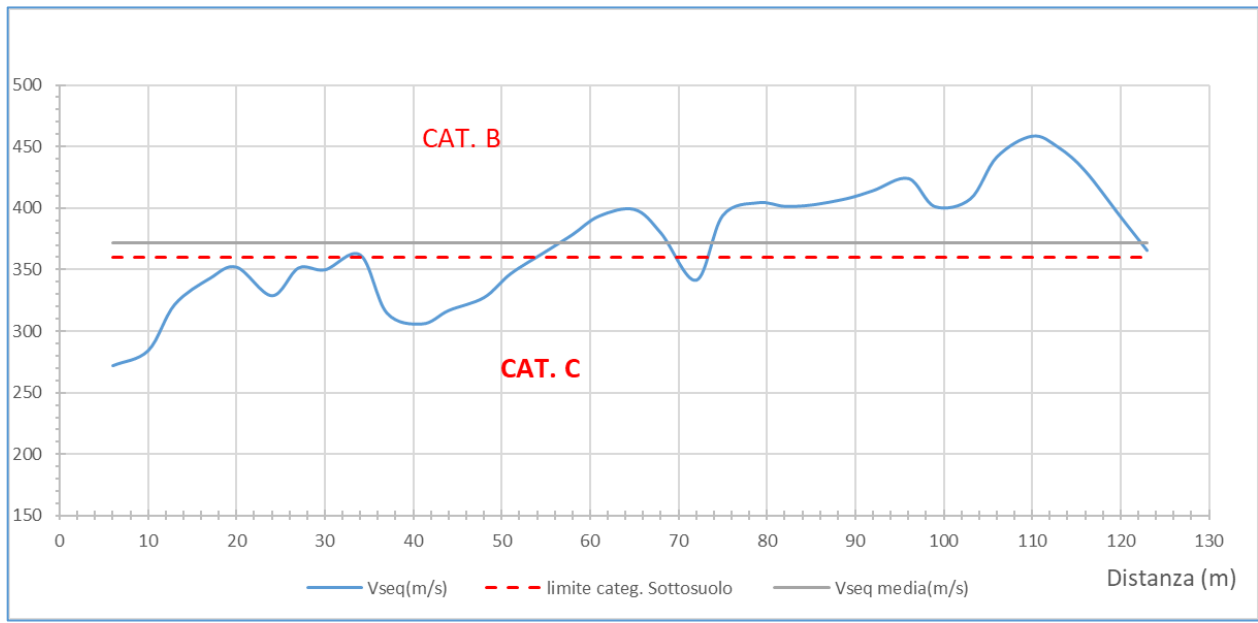
Il modello **densità raggi sismici** relativo alle onde di taglio che il maggior addensamento di raggi segue la isolina di velocità 300 m/s e segna il passaggio a terreni più compatti meno deformabili tangenzialmente ( $G_0 > 300$  MPa).

Dal punto di vista sismo-stratigrafico, pertanto, l'area investigata può essere ricondotta ad un modello di sottosuolo costituito da uno strato superficiale poco consistente ed alterato in superficie (aerato) ricoprire un substrato il cui grado compattezza e di resistenza alla deformazioni tangenziali aumentano in profondità ( $V_{SH} > 350$  m/s;  $G_0 > 300$  Mpa;  $E_0 > 1000$  Mpa). Lo spessore di tale sismostrato raggiunge la massima potenza (6 m) alla distanza di 425 m. Il limite è evidenziato da un tratteggio di colore blu nella sezione sismo-stratigrafica e nella sezione  $G_0$ .

Il valore medio del  $V_{seq}$  risulta pari a 372.2 m/s.

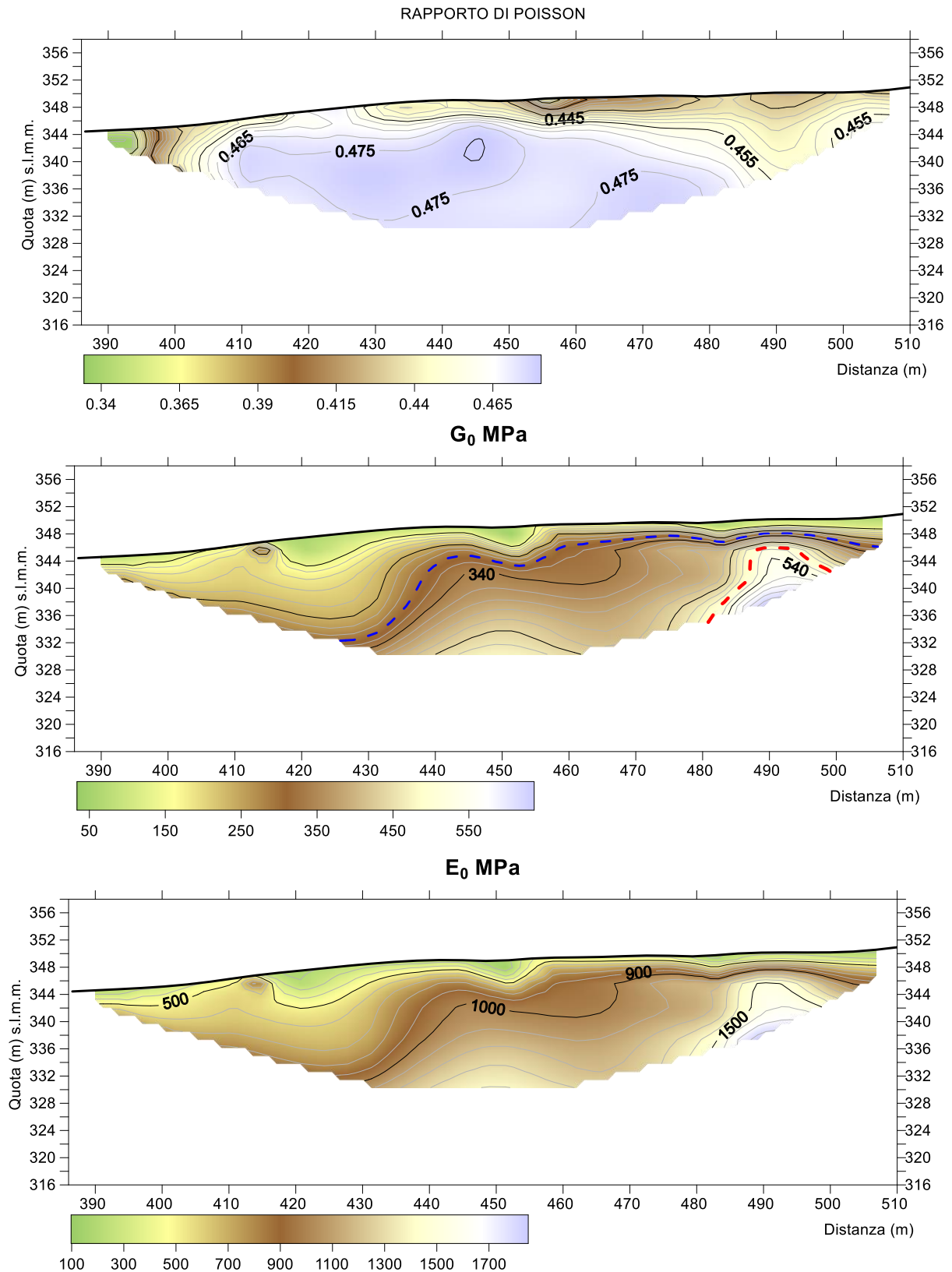


**Figura 13.** Modello di Velocità- Sezione densità raggi sismici – Modello sismo-stratigrafico



**Figura 14.** Velocità media equivalente / distanza





**Figura 15. Sezioni Moduli Elastici**

**CONSORZIO L.R.**  
**Laboratori Riuniti**

Codice Fiscale, P. IVA e Iscrizione al Reg delle Imprese di Catania n. 05184000874. Iscritta al R.E.A. 270647

consorzio@lr-srl.it

www.LR-SRL.it

**Uffici e Sede legale**

Via Pablo Picasso n. 2  
95037 San Giovanni La Punta (CT)

Tel. +39 095 336490

**Laboratorio Aut. L. 1086/71**

Zona industriale, Capannone n. 5  
94010 Catenuova (EN)

Fax +39 095 7336297

**Laboratorio Aut. Terre e Rocce**

Via C. Colombo n. 69  
94018 Troina (EN)

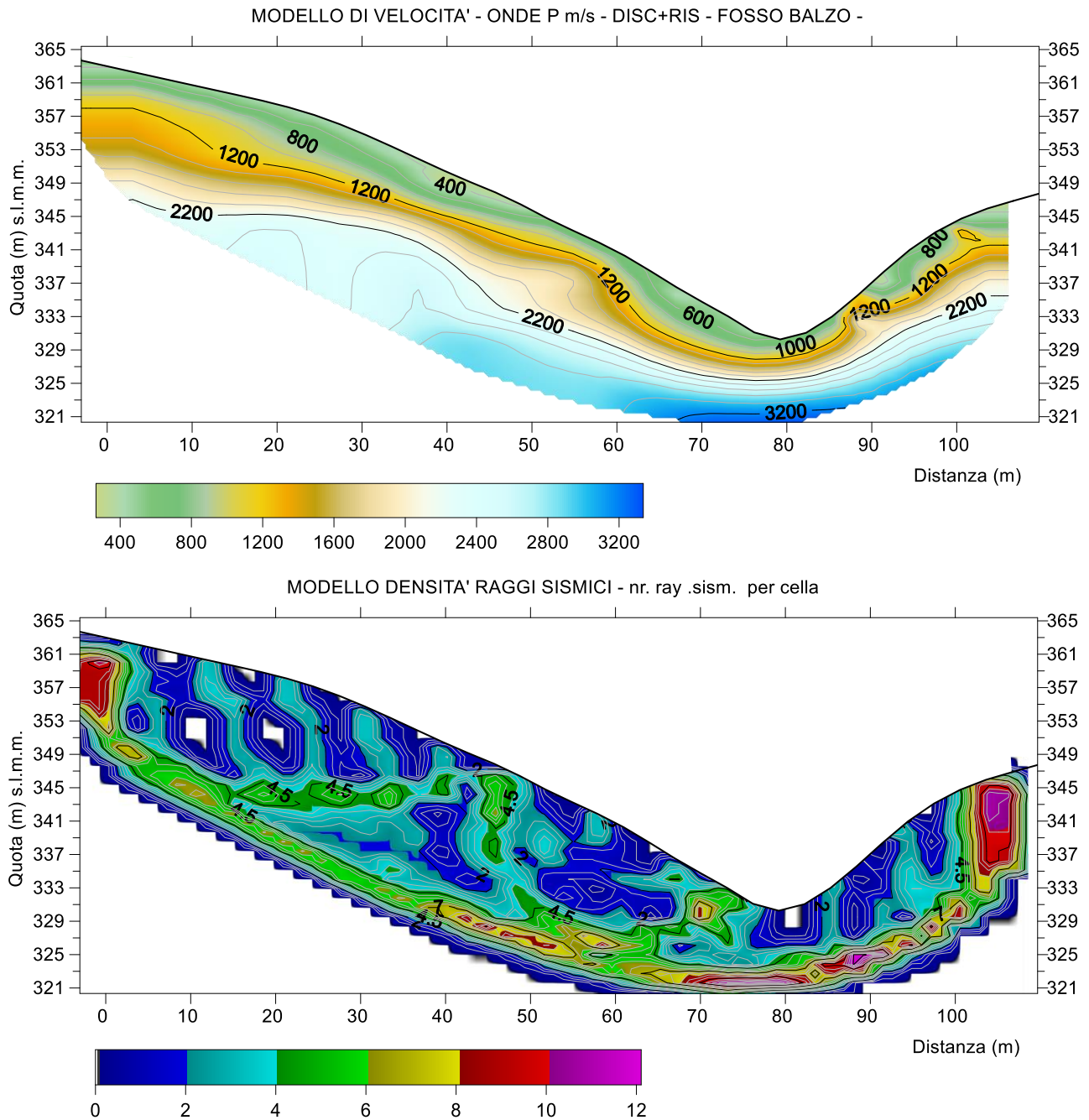
## 5.6 G5A - ZONA FOSSO BALZO DISCESA+RISALITA



Nell'area denominata “*FOSSO BALZO DISCESA+RISALITA*” è stato eseguito un transetto sismico lungo 120 con registrazione di onde P / SH. Di seguito si riportano i modelli sismici relativi alle due tipologie di onde e le sezioni moduli elastici. Il modello sismo-stratigrafico è stato definito sulla base del modello di velocità SH.

I **modelli di velocità** mostrano che la velocità di propagazione delle onde sismiche P e SH sono comprese, rispettivamente, tra 265.5 m/s e 3366.5 m/s ( $V_p$ ) e tra 112.25 m/s e 905.2 m/s ( $V_S$ ). Le variazioni di velocità riscontrate sono sia verticali che laterali. Una marcata variazione laterale di velocità viene rilevata alla distanza di circa 80 metri dall'origine.

Il modello di densità dei raggi sismici relativo al modello di velocità longitudinale, mostra che il maggiore addensamento sismico coincide la isolina di velocità 1800 m/s.



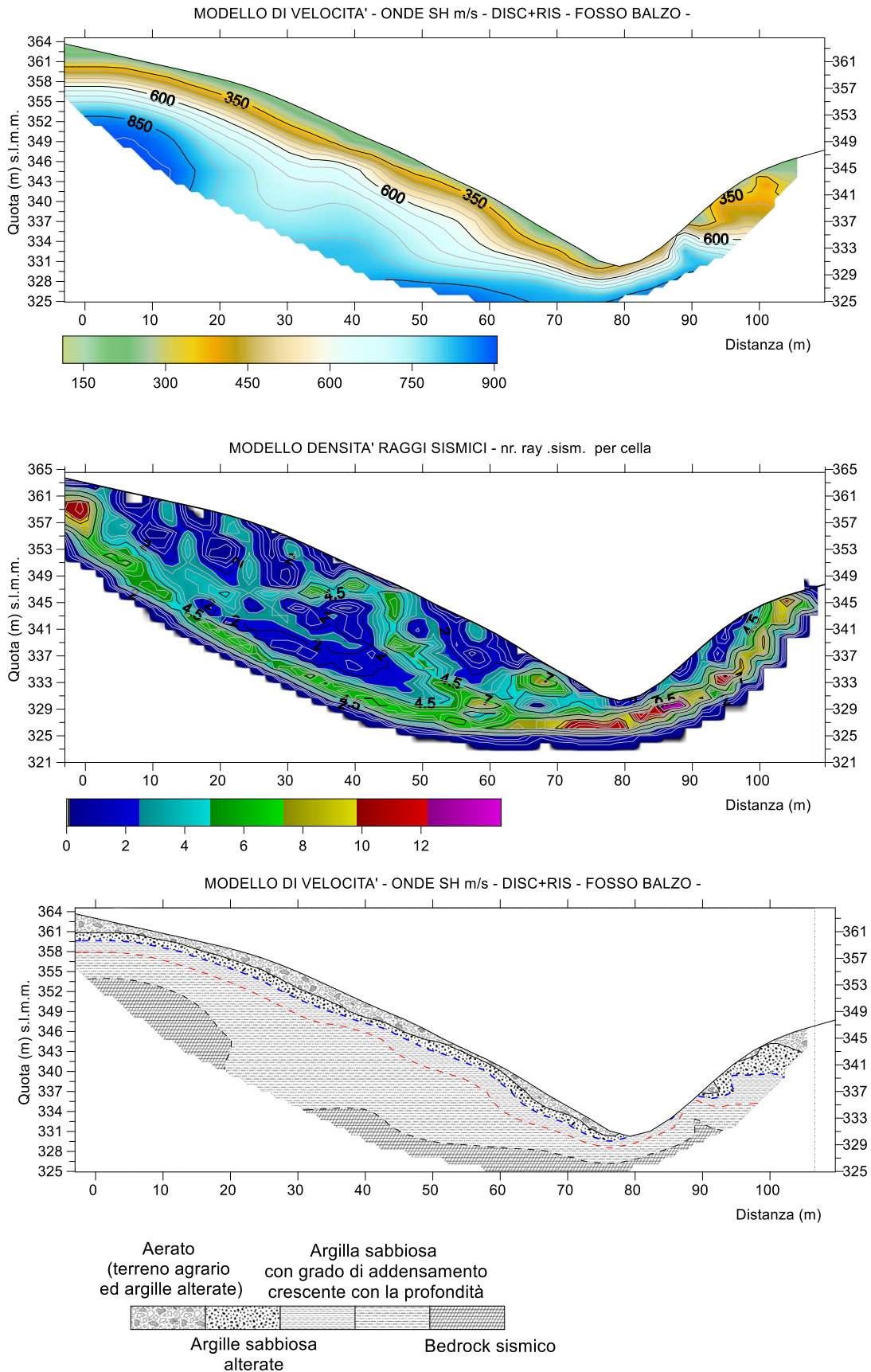
**Figura 16.** Modello di Velocità - Sezione densità raggi sismici

Il modello **densità raggi sismici** relativo alle onde di taglio che il maggior addensamento di raggi segue la isolina di velocità 600 m/s e segna il passaggio a terreni rigidi ( $G_0 > 500$  MPa).

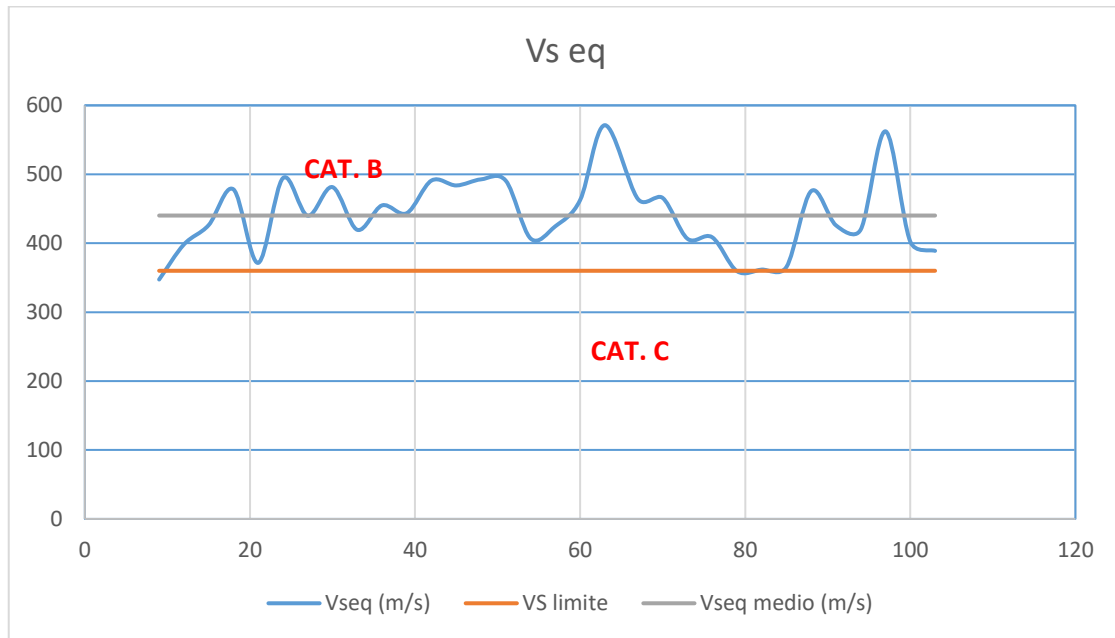
Dal punto di vista sismo-stratigrafico, pertanto, l'area investigata può essere ricondotta ad un modello di sottosuolo costituito da uno strato superficiale poco consistente ed alterato in superficie (aerato) ricoprire un substrato relativamente rigido ( $V_{SH} > 500$  m/s;  $G_0 > 500$  MPa;  $E_0 > 1000$  MPa).

Il valore medio del  $V_{seq}$  risulta pari a 440.2 m/s.

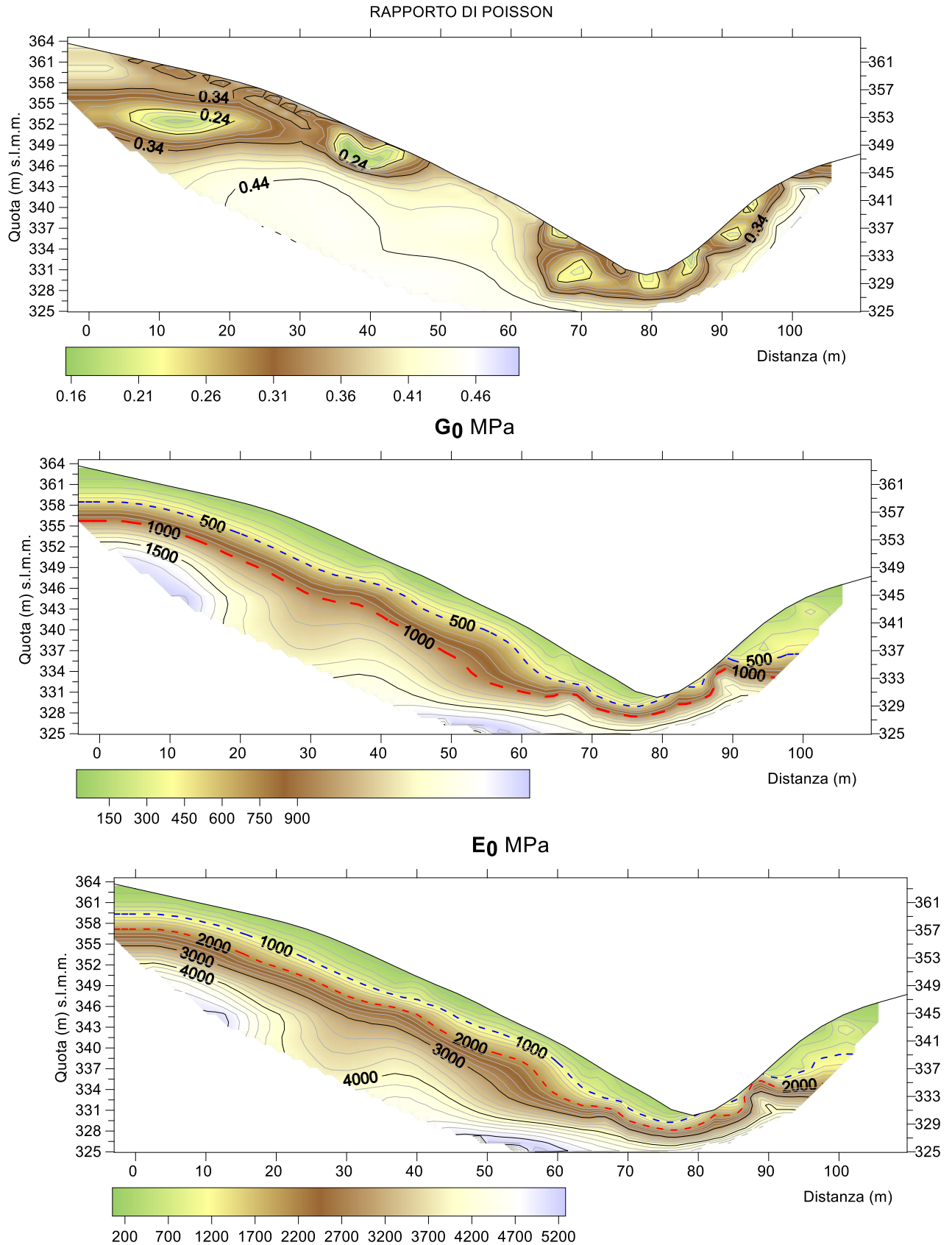




**Figura 17.** Modello di Velocità- Sezione densità raggi sismici – Modello sismo-stratigrafico



**Figura 18.** Velocità media equivalente / distanza



**Figura 19. Sezioni Moduli Elastici**

**CONSORZIO L.R.**  
Laboratori Riuniti

Codice Fiscale, P. IVA e Iscrizione al Reg delle Imprese di Catania n. 05184000874. Iscritta al R.E.A. 270647

consorzio@lr-srl.it

www.LR-SRL.it

**Uffici e Sede legale**

Via Pablo Picasso n. 2  
95037 San Giovanni La Punta (CT)

Tel. +39 095 336490

**Laboratorio Aut. L. 1086/71**

Zona industriale, Capannone n. 5  
94010 Catenanuova (EN)

Fax +39 095 7336297

**Laboratorio Aut. Terre e Rocce**

Via C. Colombo n. 69  
94018 Troina (EN)



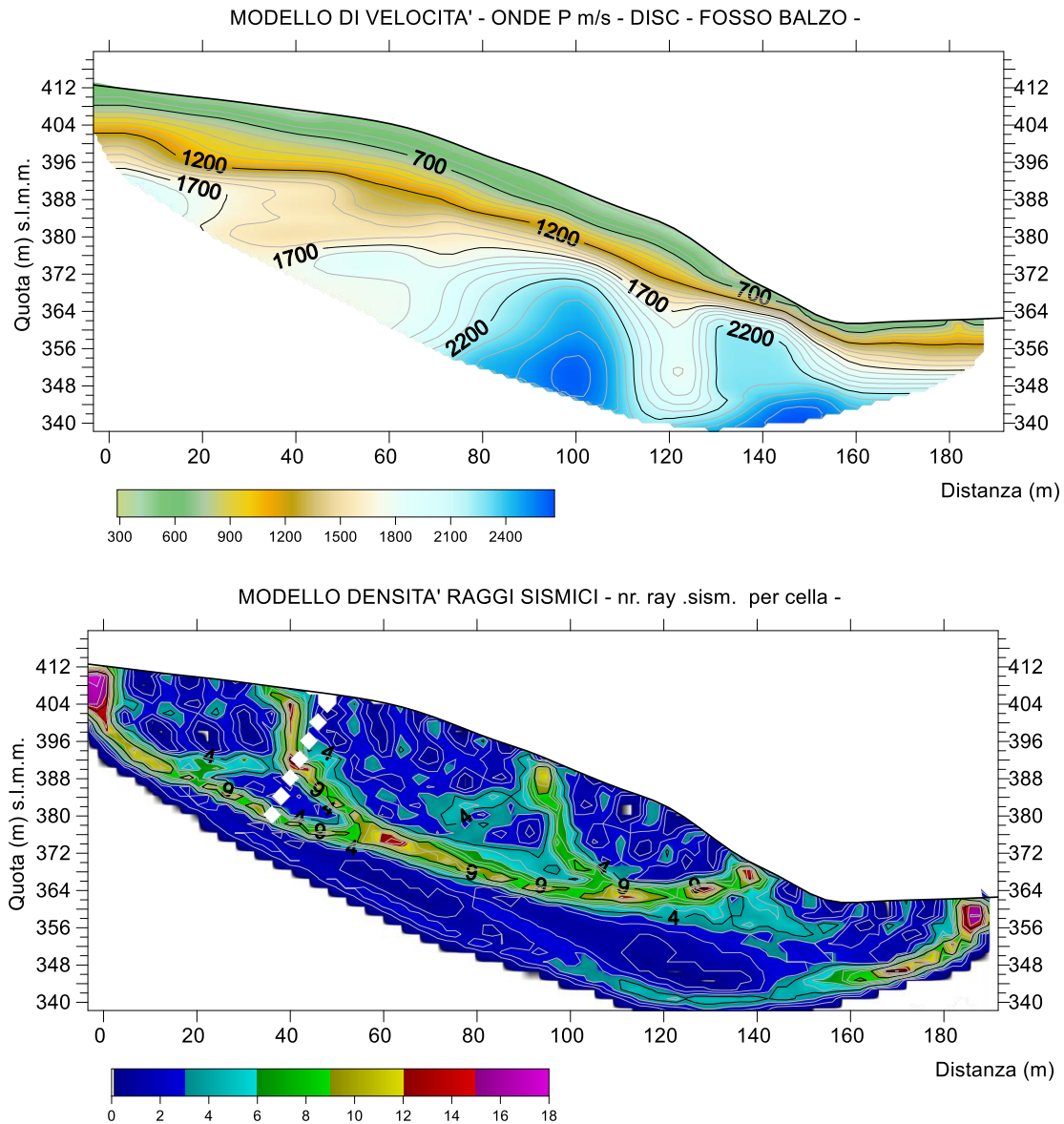
## 5.7 G5B- ZONA FOSSO BALZO DISCESA



Nell'area denominata "FOSSO BALZO DISCESA" è stato eseguito un transetto sismico lungo 200 con registrazione di onde P / SH. Di seguito si riportano i modelli sismici relativi alle due tipologie di onde e le sezioni moduli elastici. Il modello sismo-stratigrafico è stato definito sulla base del modello di velocità SH.

I **modelli di velocità** mostrano che la velocità di propagazione delle onde sismiche P e SH sono, rispettivamente, comprese tra 285.5 m/s e 2665.5 m/s ( $V_p$ ) e tra 72.25 m/s e 725.2 m/s ( $V_S$ ).

Le variazioni di velocità riscontrate sono principalmente verticali. Il modello di densità dei raggi sismici rileva che il maggiore addensamento sismico coincide la isolina di velocità 1700 m/s.

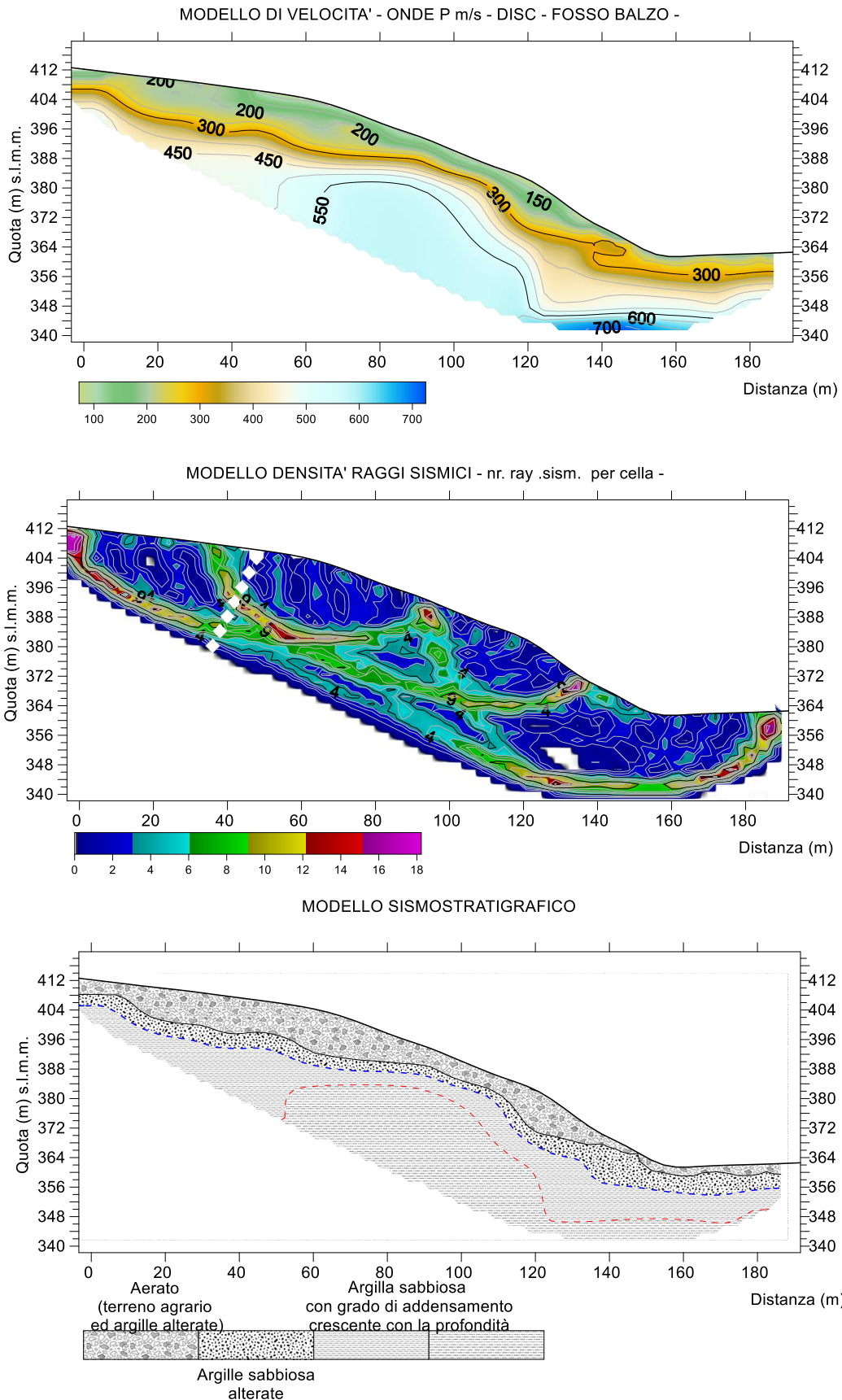


**Figura 20.** Modello di Velocità - Sezione densità raggi sismici

Il modello **densità raggi sismici** relativo alle onde di taglio è caratterizzato dalla presenza di due limiti a maggior addensamento sismico. Il primo coincide segue la isolina di velocità 300 m/s e segna il passaggio a terreni più compatti meno deformabili tangenzialmente ( $G_0 > 300$  MPa). Il secondo segna il limite a terreni relativamente rigidi ( $V_{SH} > 500$  m/s;  $G_0 > 500$  MPa;  $E_0 > 1600$  MPa). Dal punto di vista sismo-stratigrafico, pertanto, l'area investigata può essere ricondotta ad un modello di sottosuolo costituito da uno strato superficiale poco consistente ed alterato in superficie (aerato) ricoprire un substrato il cui grado compattezza e di resistenza alla deformazione tangenziali aumentano in profondità ( $V_{SH} > 350$  m/s;  $G_0 > 300$  MPa;  $E_0 > 1000$  MPa). Il limite è evidenziato da un tratteggio di colore blu nella sezione sismo-stratigrafica e nella sezione  $G_0$ .

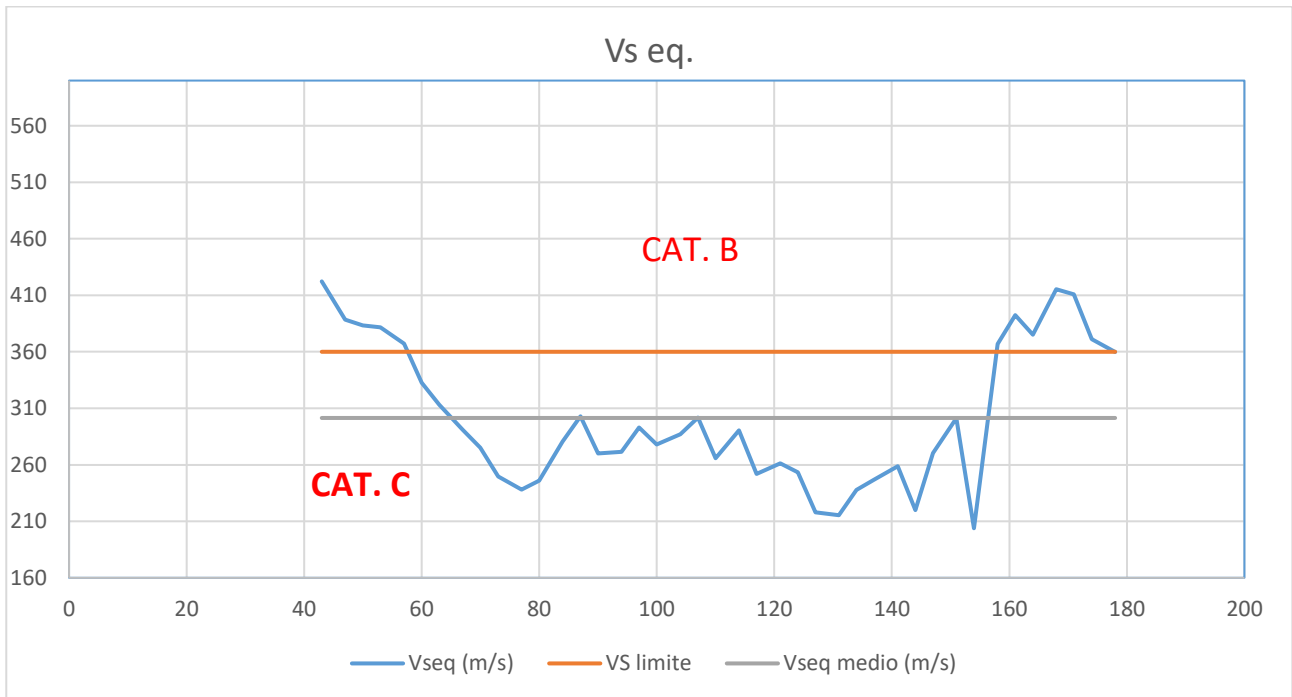
Il valore medio del  $V_{seq}$  risulta pari a 301.2 m/s.





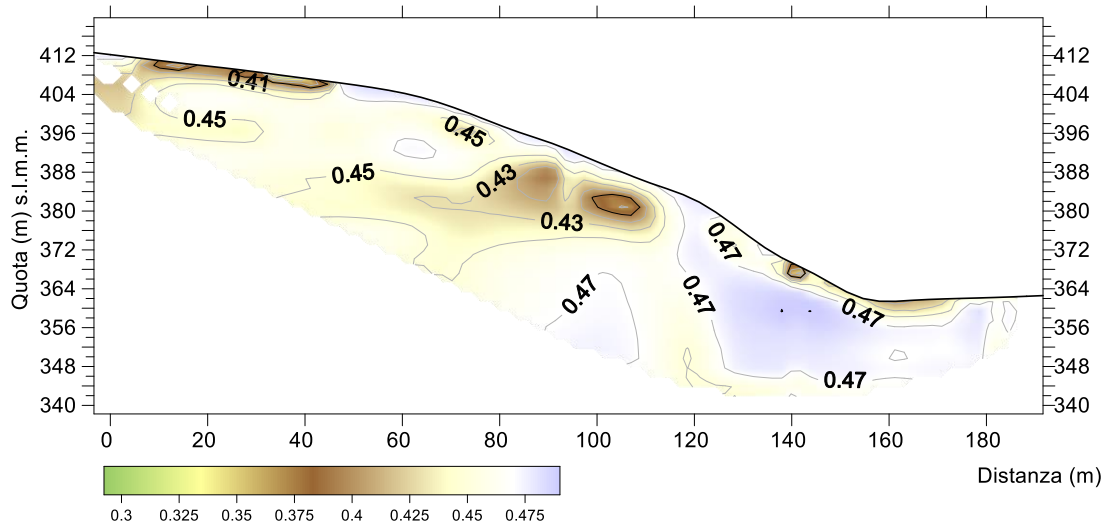
**Figura 21.** Modello di Velocità- Sezione densità raggi sismici – Modello sismo-stratigrafico



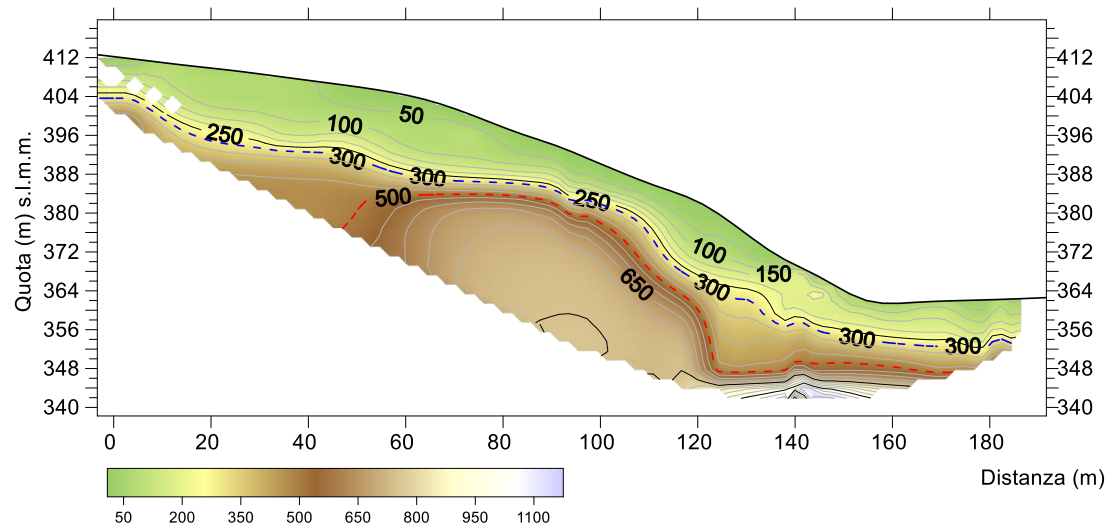


**Figura 22.** Velocità media equivalente / distanza

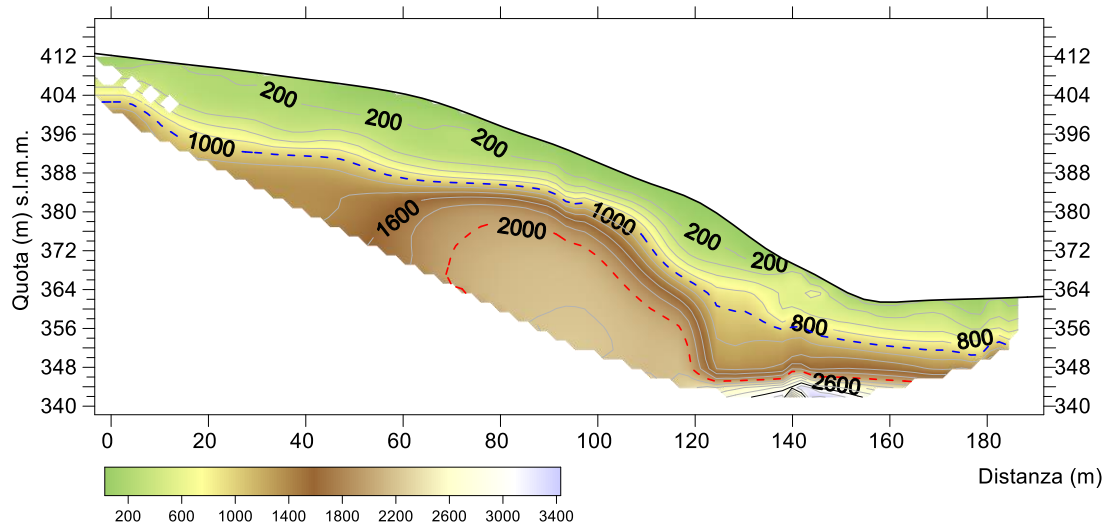
RAPPORTO DI POISSON



$G_0$  MPa



$E_0$  MPa



**Figura 23. Sezioni Moduli Elastici**

**CONSORZIO L.R.**  
Laboratori Riuniti

Codice Fiscale, P. IVA e Iscrizione al Reg delle Imprese di Catania n. 05184000874. Iscritta al R.E.A. 270647

consorzio@lr-srl.it

www.LR-SRL.it

Uffici e Sede legale

Via Pablo Picasso n. 2  
95037 San Giovanni La Punta (CT)

Tel. +39 095 336490

Laboratorio Aut. L. 1086/71

Zona industriale, Capannone n. 5  
94010 Catenuova (EN)

Fax +39 095 7336297

Laboratorio Aut. Terre e Rocce

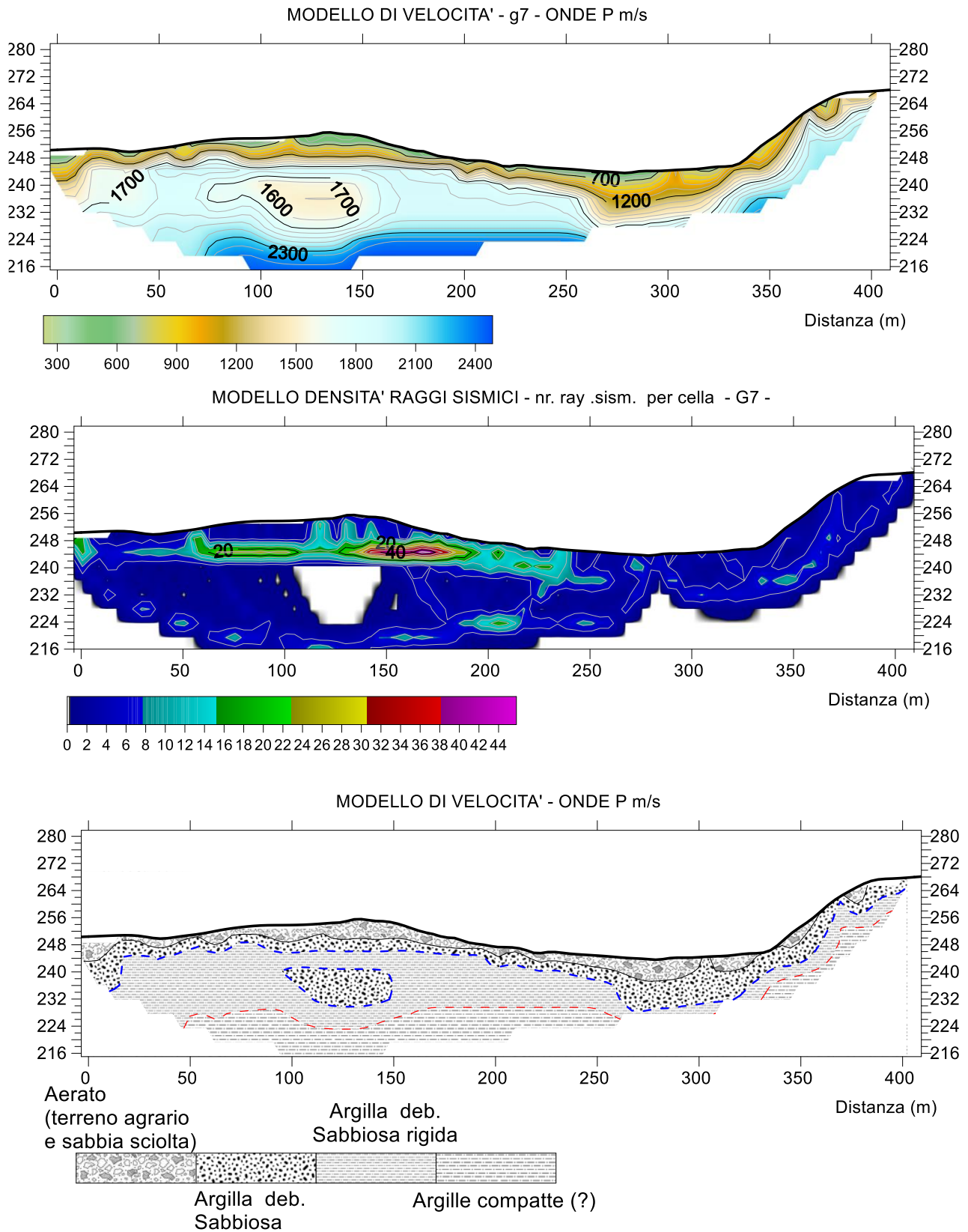
Via C. Colombo n. 69  
94018 Troina (EN)

## 5.8 G7- UMBERTIDE IN



La velocità di propagazione delle onde P calcolata risulta compresa tra 234.7 m/sec e 2456.2 m/sec. Tali valori sono da attribuire alla variazione dello stato di addensamento della coltre di copertura superficiale ed ai sedimenti di natura prevalentemente argilloso sabbiosa che costituiscono il sub-strato. Le variazioni di velocità sono prevalentemente verticali e sono da correlare con il diverso stato di alterazione e di compattezza dei terreni attraversati dal fronte sismico. Una variazione laterale di velocità si rileva a circa 320 di distanza dall'origine, che potrebbe indicare una dislocazione del substrato rigido sottostante (**limite evidenziato da una linea tratteggiata di colore rosso - Sezione sismo-stratigrafica**). Le densità raggi sismici mostrano che la maggiore densità sismica coincide al passaggio tra la copertura superficiale (aerato), le argille sabbiose alterate (**limite evidenziato da una linea tratteggiata di colore blu - Sezione sismo-stratigrafica**) e le argille sabbiose argille deb. sabbiosa rigide sottostanti, passanti in profondità ad argille compatte.





**Figura 24.** Modello di Velocità- Sezione densità raggi sismici

## 5.9 G8 – INSTABILITA' P.A.I.



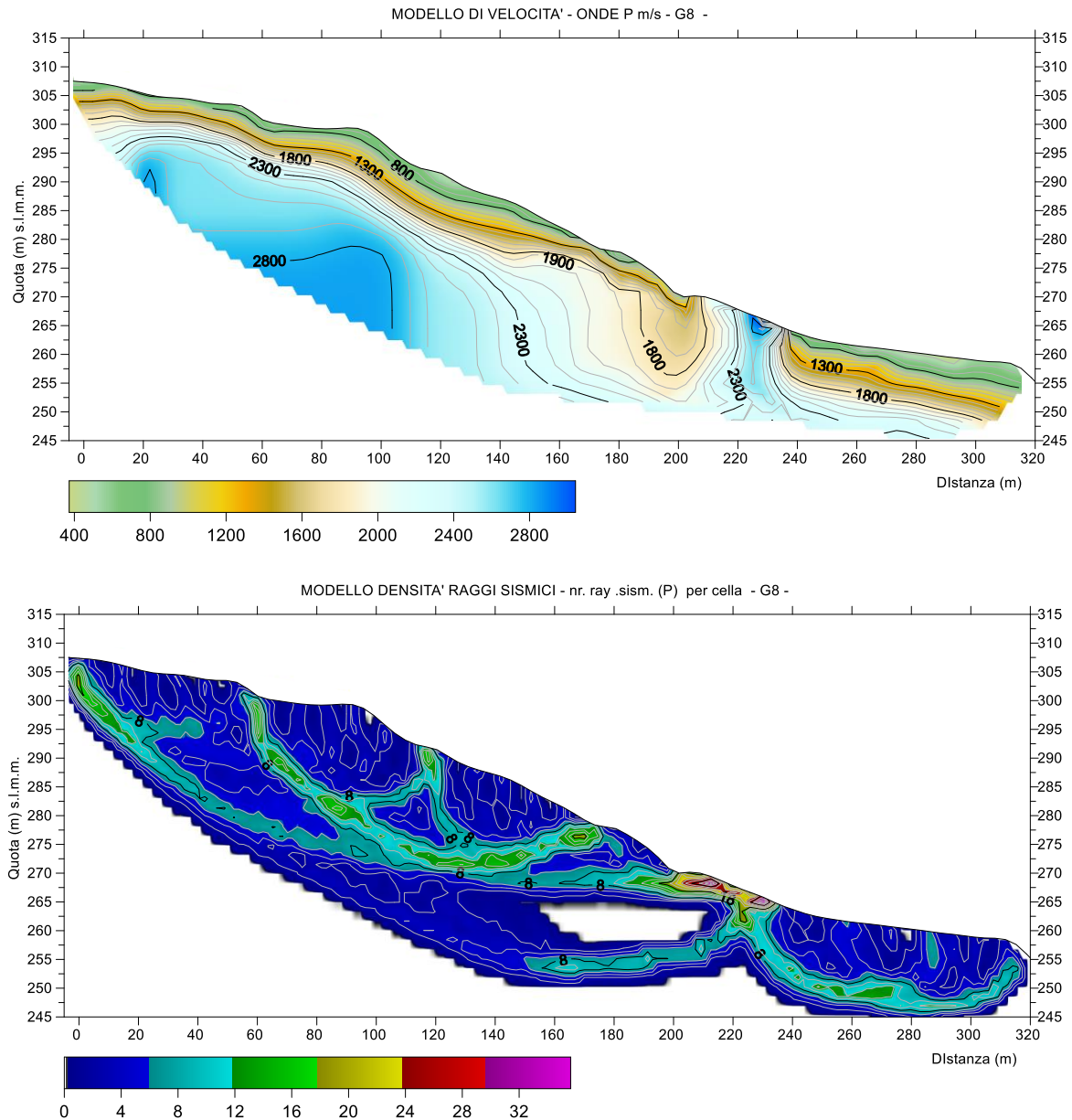
Il transetto sismico G8 è stato eseguito lungo un'area sottoposta a vincolo P.A.I. Nello specifico è stato eseguito un transetto sismico lungo 320 con registrazione di onde P / SH. La velocità di propagazione delle onde sismiche P e SH sono, rispettivamente, comprese tra 372.7 m/s e 3080.7 m/s ( $V_p$ ) e tra 98.25 m/s e 988.2 m/s ( $V_S$ ).

Il modello di densità dei raggi sismici relativo al percorso delle onde P mostra un addensamento sismico coincide la isolina di velocità 2150 m/s.

Il modello **densità raggi sismici** relativo alle onde di taglio mostra che la maggiore densità sismica coincide con il passaggio tra la copertura superficiale costituita da terreni plastici superficiali ed i terreni compatti sottostanti "bedrock sismico" ( $V_{SH} \geq 800$  m/s).

Il primo orizzonte sismico (limite tratteggio blu nella sezione sismo-stratigrafica) segna il passaggio a terreni più compatti meno deformabili tangenzialmente ( $G_0 > 450$  MPa).



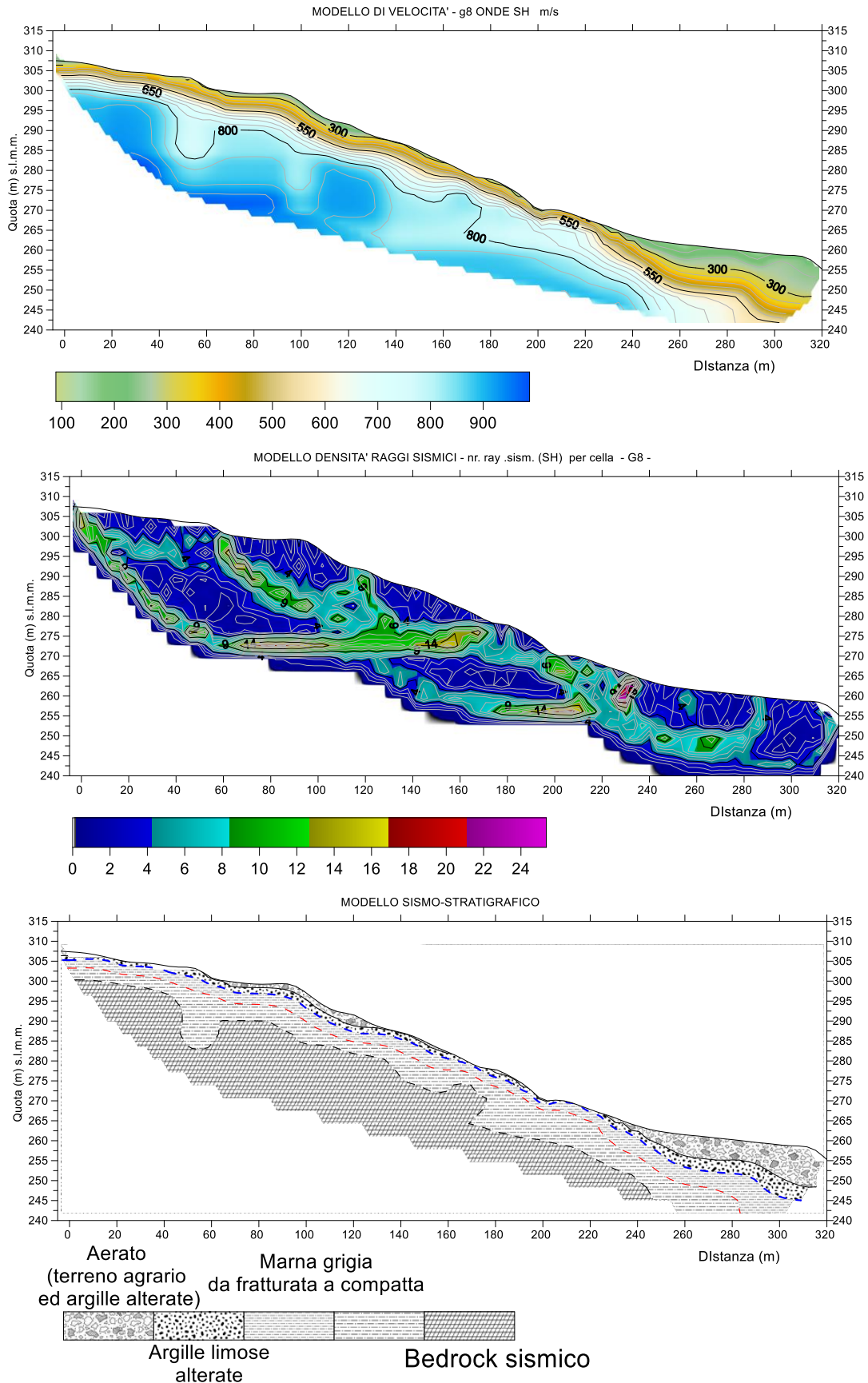


**Figura 25.** Modello di Velocità- Sezione densità raggi sismici

Dal punto di vista sismo-stratigrafico, pertanto, l'area investigata può essere ricondotta ad un modello di sottosuolo costituito da uno strato superficiale poco consistente ed alterato in superficie (aerato<sup>5</sup>) ricoprire un substrato il cui grado compattezza e di resistenza alla deformazioni tangenziali aumentano in profondità ( $V_{SH} > 350$  m/s;  $G_0 > 450$  Mpa;  $E_0 > 1000$  Mpa). Tale passaggio è evidenziato da un tratteggio di colore blu nelle sezioni sismo-stratigrafiche riportate. In rosso viene indicato limite che marca il passaggio a terreni rigidi. Il bedrock sismico è intercettato a partire da quota 300 m e si segue fino alla distanza di 245 m dall'origine.

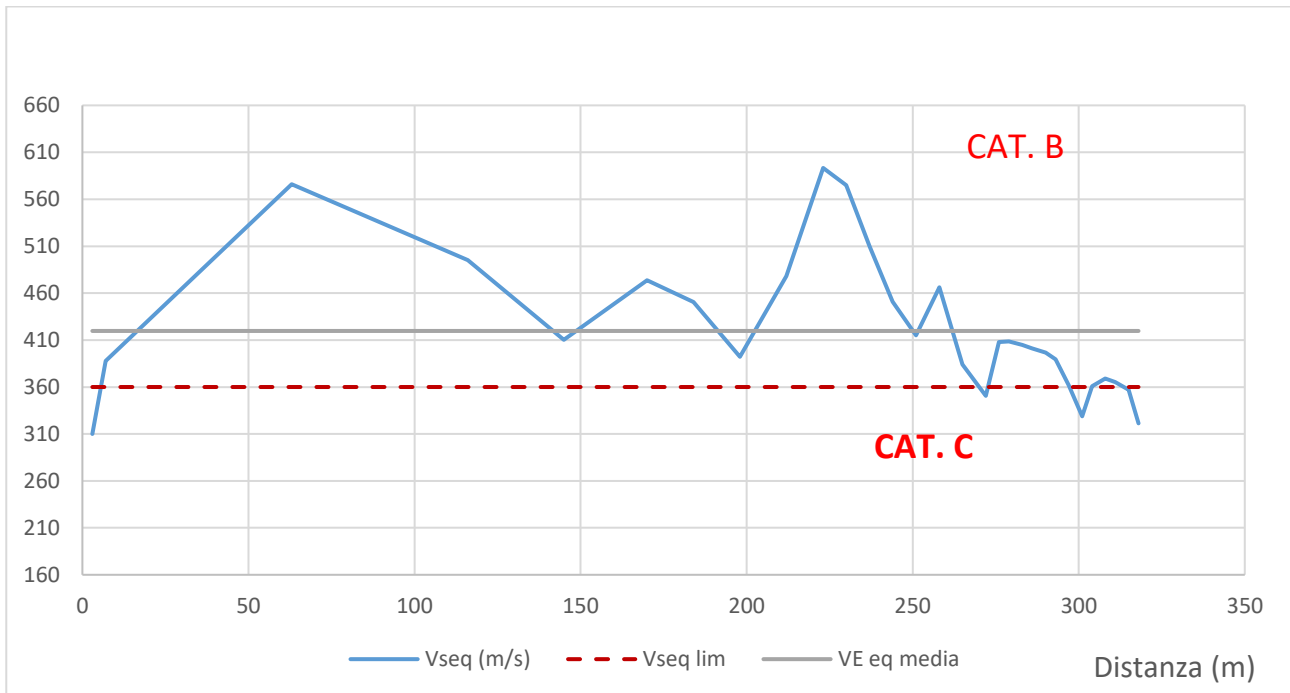
Il valore medio del  $V_{seq}$  risulta pari a 419.7 m/s.

<sup>5</sup> Mezzo fisico non completamente saturo (scarso stazionamento dell'acqua) con presenza d'aria.



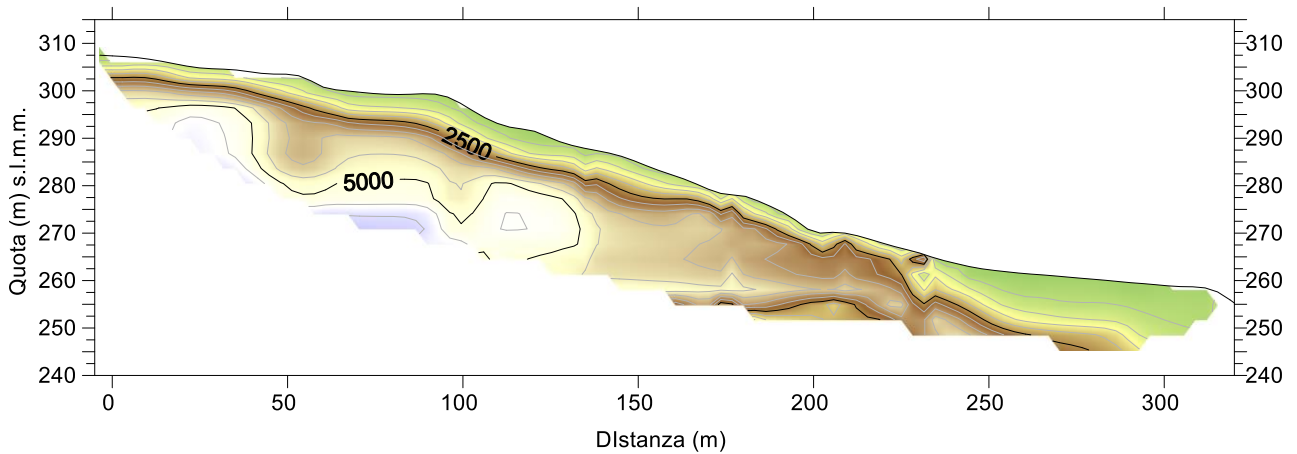
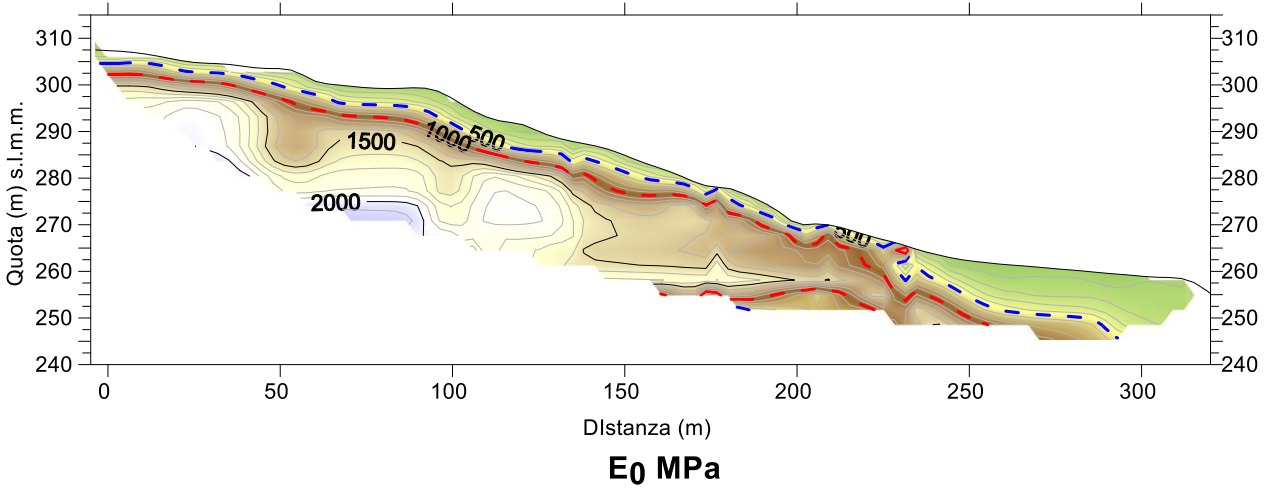
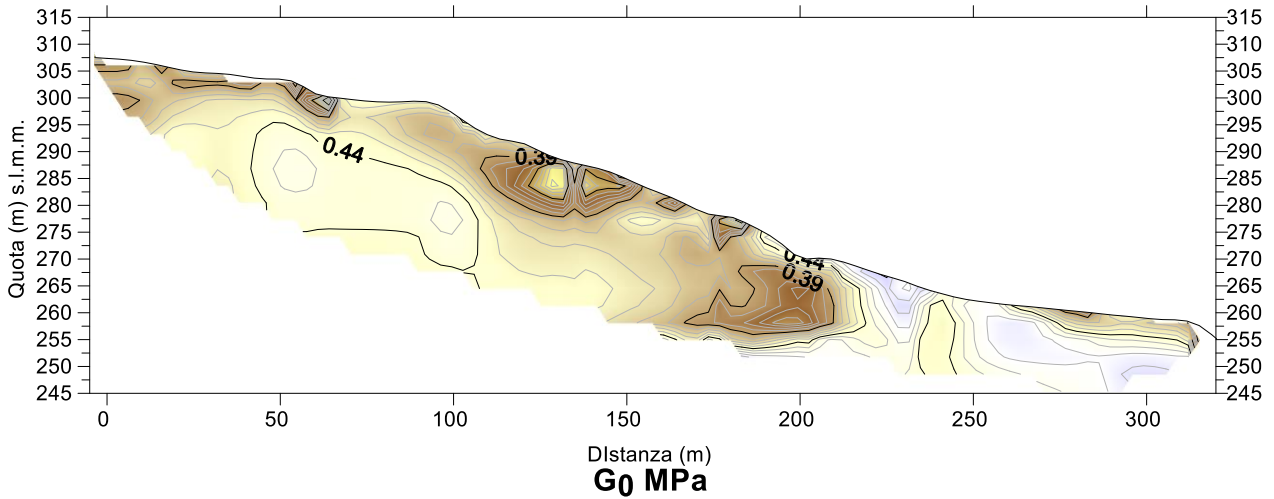
**Figura 26.** Modello di Velocità- Sezione densità raggi sismici – Modello sismo-stratigrafico





**Figura 27.** Velocità media equivalente / distanza

RAPPORTO DI POISSON



**Figura 28.** Sezioni Moduli Elastici

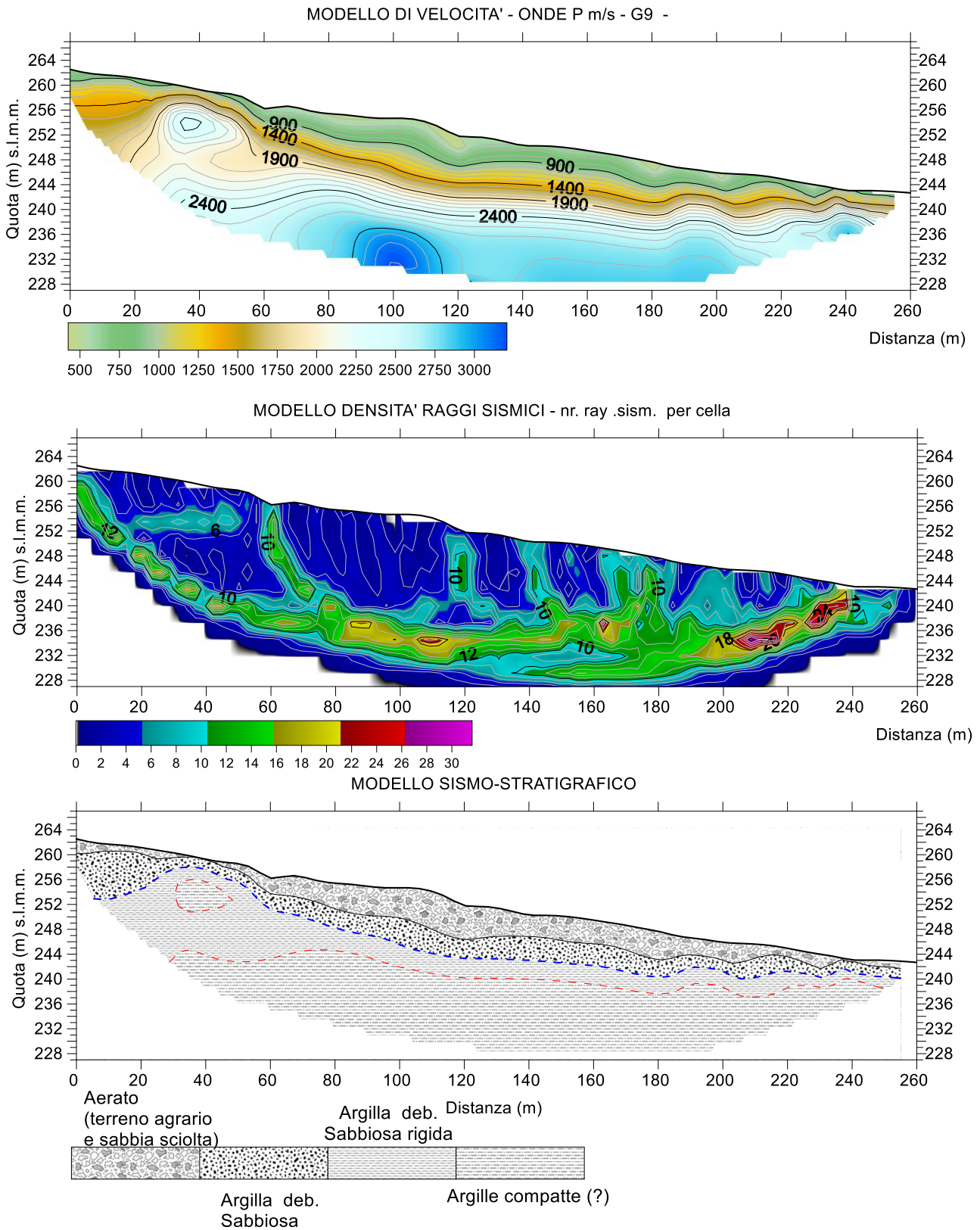
## 5.10 G9- UMBERTIDE OUT



La velocità di propagazione delle onde P calcolata risulta compresa tra 234.7 m/sec e 2456.2 m/sec. Tali valori sono da attribuire alla variazione dello stato di addensamento della coltre di copertura superficiale ed ai sedimenti di natura prevalentemente argilloso sabbiosa che costituiscono il sub-strato. Le variazioni di velocità sono prevalentemente verticali e sono da correlare con il diverso stato di alterazione e di compattezza dei terreni attraversati dal fronte sismico.

La sezione densità raggi sismici mostra che la maggiore densità coincide al passaggio tra la copertura superficiale (aerato), le argille sabbiose alterate (**limite evidenziato da una linea tratteggiata di colore blu - Sezione sismo-stratigrafica**) e le argille sabbiose rigide sottostanti. Un ulteriore limite si rileva alla quota di circa 240 m e potrebbe segnare un aumento dello stato di compattezza delle argille.





**Figura 29.** Modello di Velocità- Sezione densità raggi sismici – Modello sismo-stratigrafico



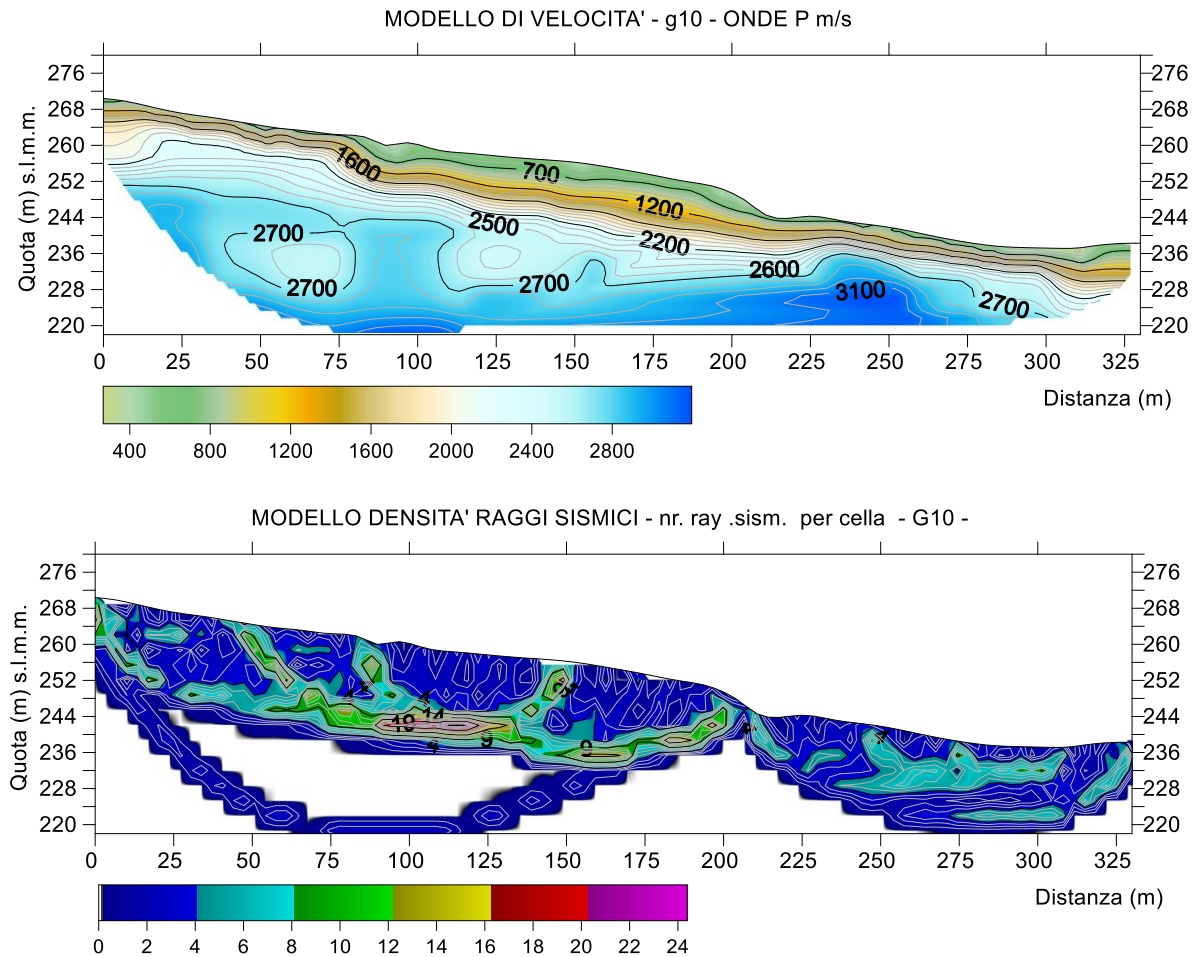
## 5.11 G10 INSTABILITA' P.A.I.



Il transetto sismico G10 è stato eseguito lungo un'area sottoposta a vincolo P.A.I. Nello specifico è stato eseguito un transetto sismico lungo 330 con registrazione di onde P / SH.

I **modelli di velocità** mostrano che la velocità di propagazione delle onde sismiche P e SH sono, rispettivamente, comprese tra 267.7 m/s e 3195.7 m/s ( $V_p$ ) e tra 118.25 m/s e 997.2 m/s ( $V_S$ ). Tali variazioni di velocità sono principalmente verticali e sono da correlare con il diverso stato di alterazione, di addensamento e di compattezza dei terreni investigati.

Il modello di densità dei raggi sismici rileva che il maggiore addensamento sismico coincide la isolina di velocità 2200 m/s. Tale limitesi rileva a partire da quota di 252 m e segue l'andamento a topografico sub-orizzontale.



**Figura 30.** Modello di Velocità- Sezione densità raggi sismici

Il modello **densità raggi sismici** relativo alle onde di taglio mostra che la maggiore densità sismica coincide con il passaggio tra la copertura superficiale, le argille alterate ed i terreni compatti sottostanti, e gli stessi terreni compatti ed il “bedrock sismico ( $V_{SH} \geq 800$  m/s).

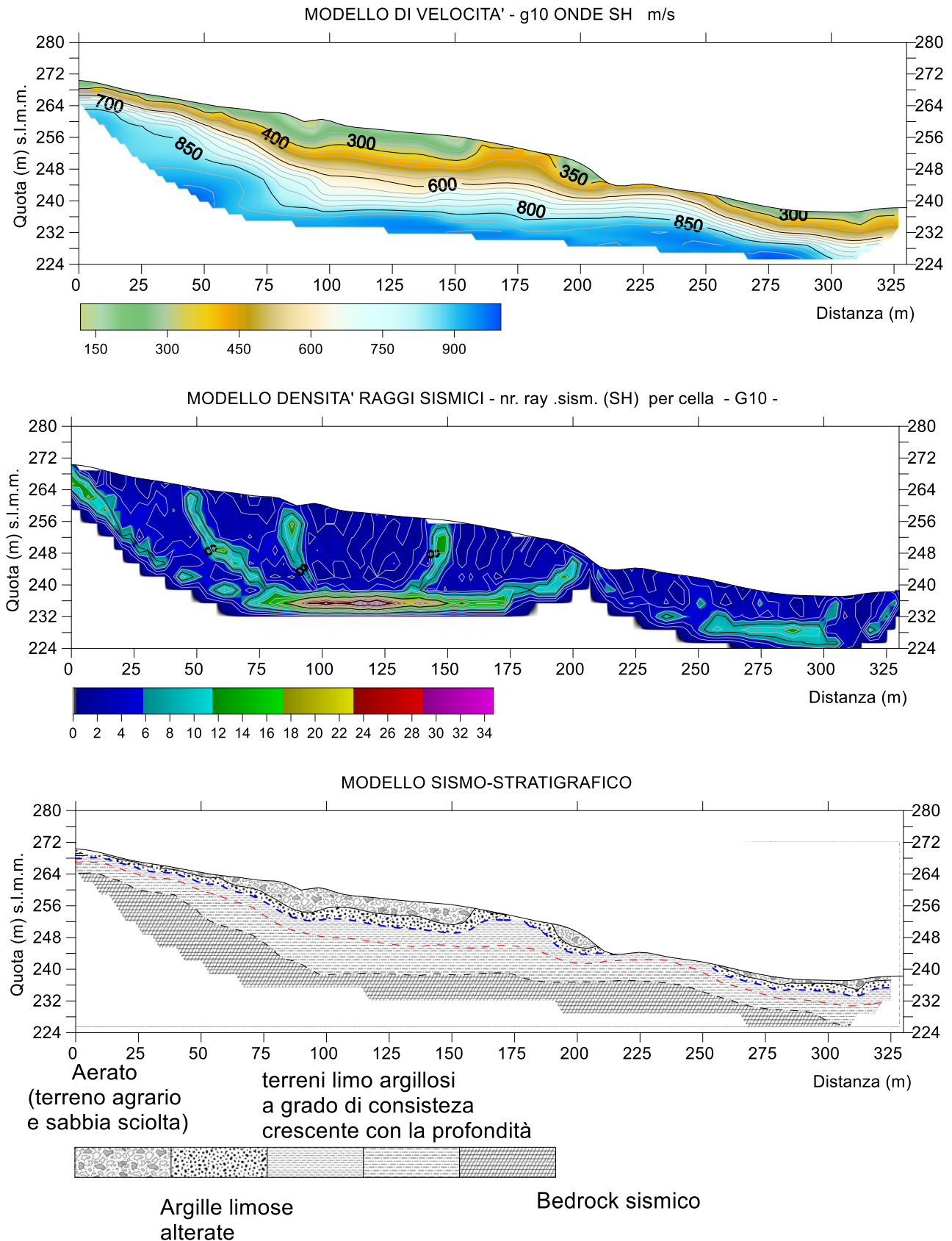
Il primo orizzonte sismico (limite tratteggio blu nella sezione sismo-stratigrafica) segna il passaggio a terreni più compatti meno deformabili tangenzialmente ( $G_0 > 350$  MPa) ,

Dal punto di vista sismo-stratigrafico, pertanto, l'area investigata può essere ricondotta ad un modello di sottosuolo costituito da uno strato superficiale poco consistente ed alterato in superficie (aerato<sup>6</sup>) ricoprire un substrato il cui grado compattezza e di resistenza alla deformazioni tangenziali aumentano in profondità ( $V_{SH} > 350$  m/s;  $G_0 > 450$  Mpa;  $E_0 > 1000$  Mpa). Tale passaggio è evidenziato da un tratteggio di colore blu nelle sezioni sismo-stratigrafiche riportate. In rosso viene indicato limite che marca il passaggio a terreni rigidi. Il bedrock sismico è intercettato a partire da 264 m (limite tratteggio nero nella sezione sismostratigrafica).

Il valore medio del  $V_{seq}$  risulta pari a 416.25 m/s.

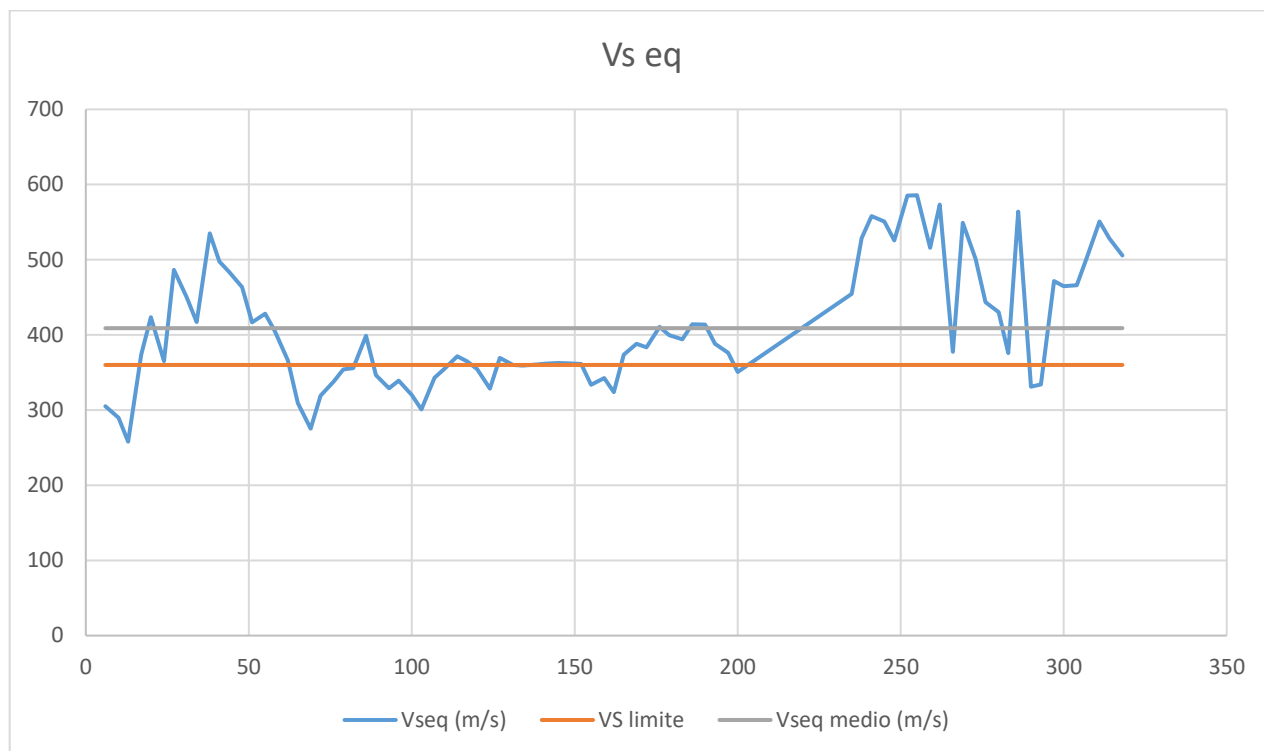
<sup>6</sup> Mezzo fisico non completamente saturo (scarso stazionamento dell'acqua) con presenza d'aria.



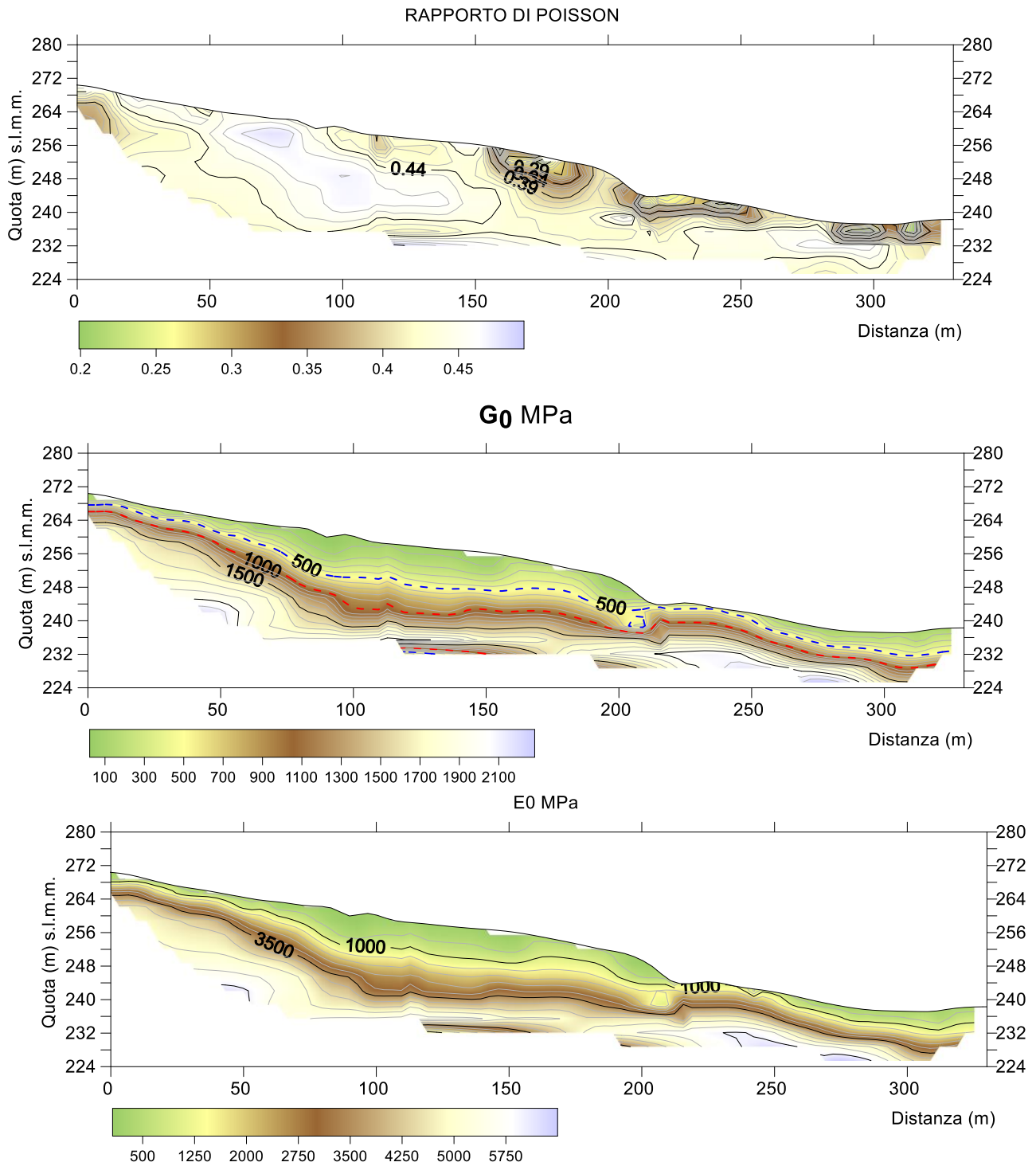


**Figura 31.** Modello di Velocità- Sezione densità raggi sismici – Modello sismo-stratigrafico





**Figura 32.** Velocità media equivalente / distanza



**Figura 33.** Sezioni Moduli Elastici

## 5.12 G11 INSTABILITA' P.A.I.

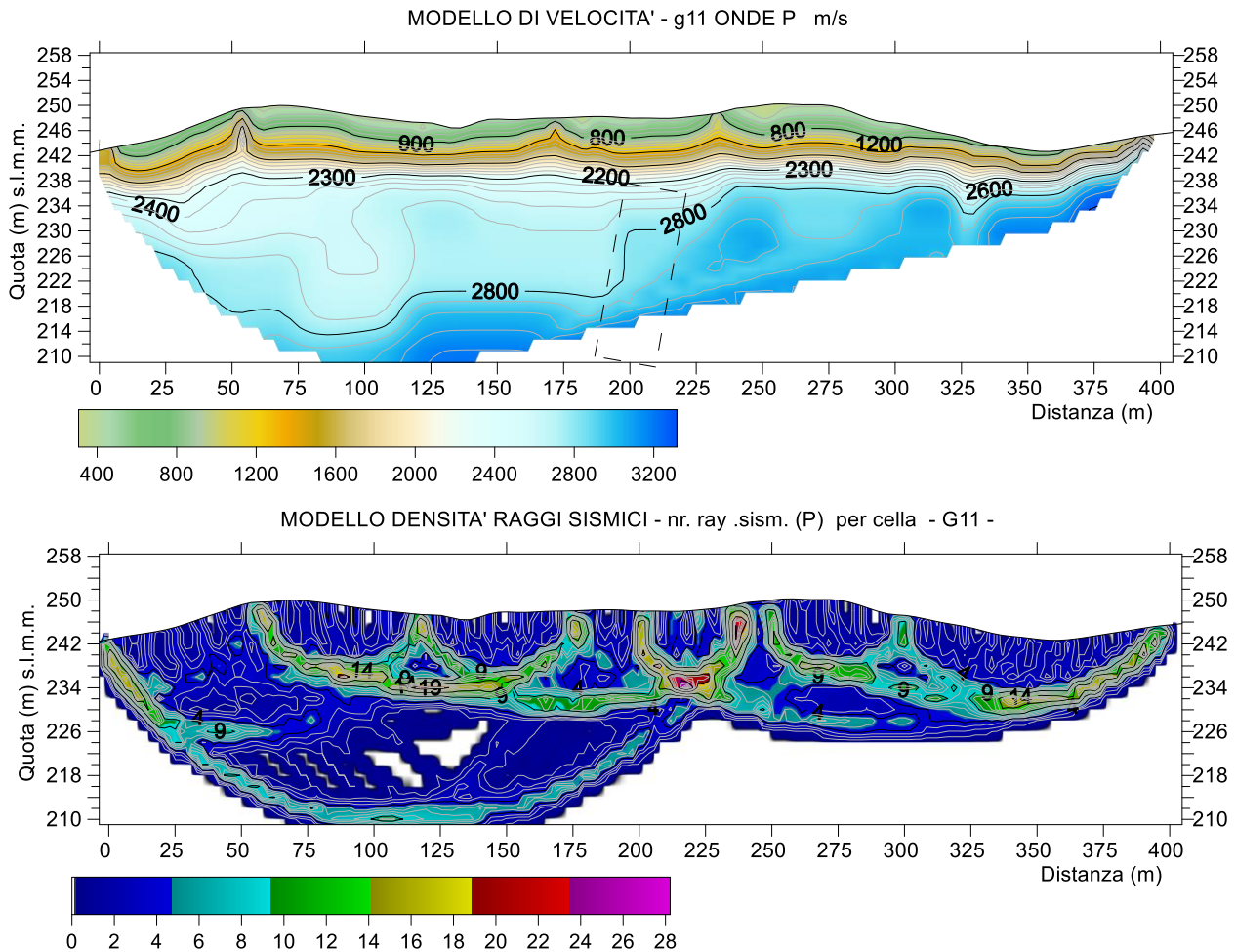


Il transetto sismico G11 è stato eseguito lungo un'area sottoposta a vincolo P.A.I. Nello specifico è stato eseguito un transetto sismico lungo 400 con registrazione di onde P / SH.

La velocità di propagazione delle onde sismiche P e SH sono, rispettivamente, comprese tra 337.7 m/s e 3305.7 m/s ( $V_p$ ) e tra 106.48 m/s e 1125.72 m/s ( $V_S$ ). Tali variazioni di velocità sono principalmente verticali in superficie, mentre si registra una variazione laterale di velocità in profondità. In particolare si rileva a circa 200 metri di distanza dall'origine (arera delimita con riquadro nero nelle sezioni di velocità).

Il modello di densità dei raggi sismici rileva che il maggiore addensamento sismico coincide con la isolina di velocità 2200 m/s. Tale limite si rileva a partire da quota di 234 m e segue un andamento sub-orizzontale.





**Figura 34.** Modello di Velocità- Sezione densità raggi sismici

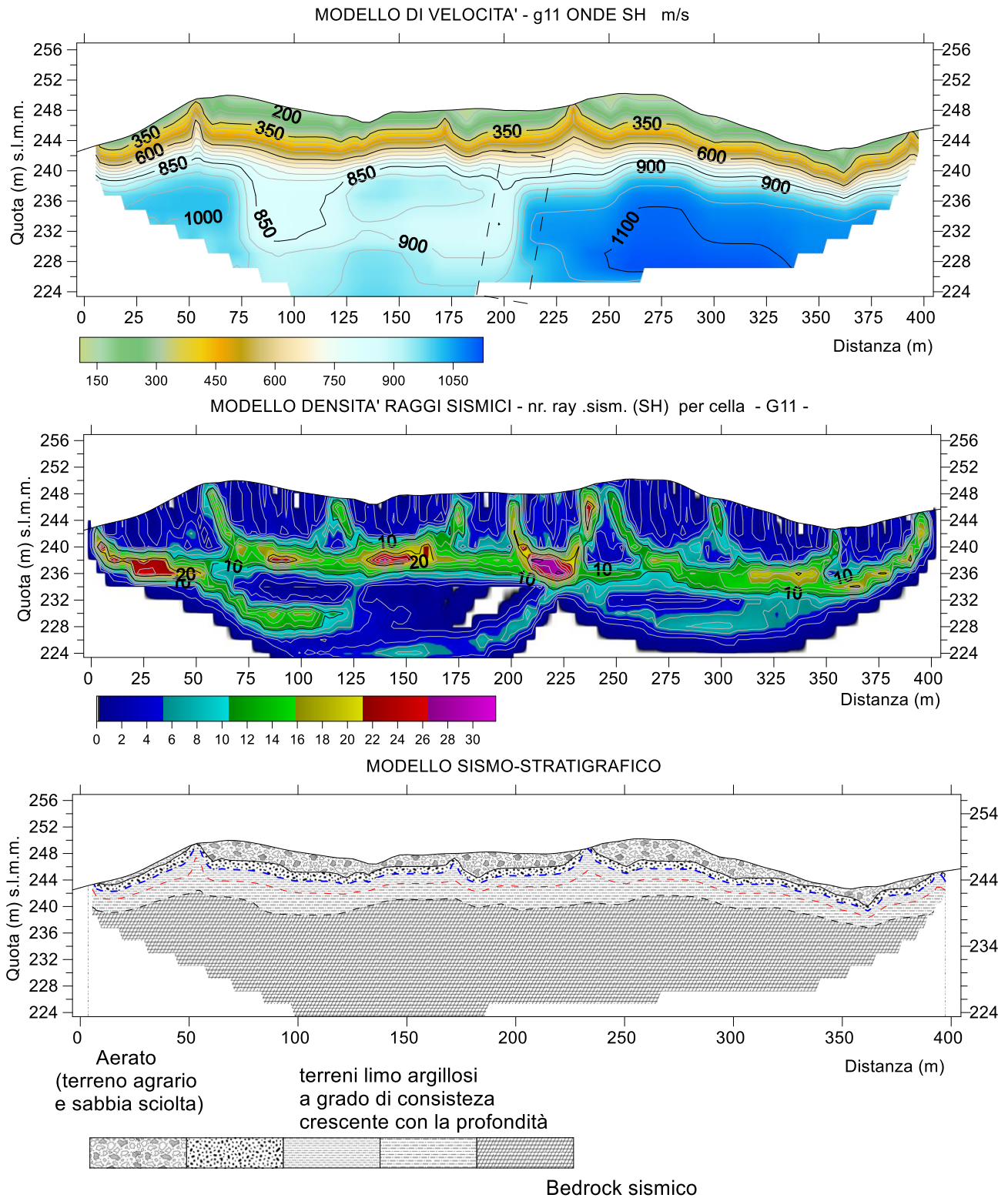
Il modello **densità raggi sismici** relativo alle onde di taglio mostra che la maggiore densità sismica coincide con il passaggio tra la copertura superficiale, le argille alterate ed i terreni compatti sottostanti, e gli stessi terreni compatti ed il “bedrock sismico ( $V_{SH} \geq 800$  m/s).

Il primo orizzonte sismico (limite tratteggio blu nella sezione sismo-stratigrafica) segna il passaggio a terreni più compatti meno deformabili tangenzialmente ( $G_0 > 350$  MPa) ,

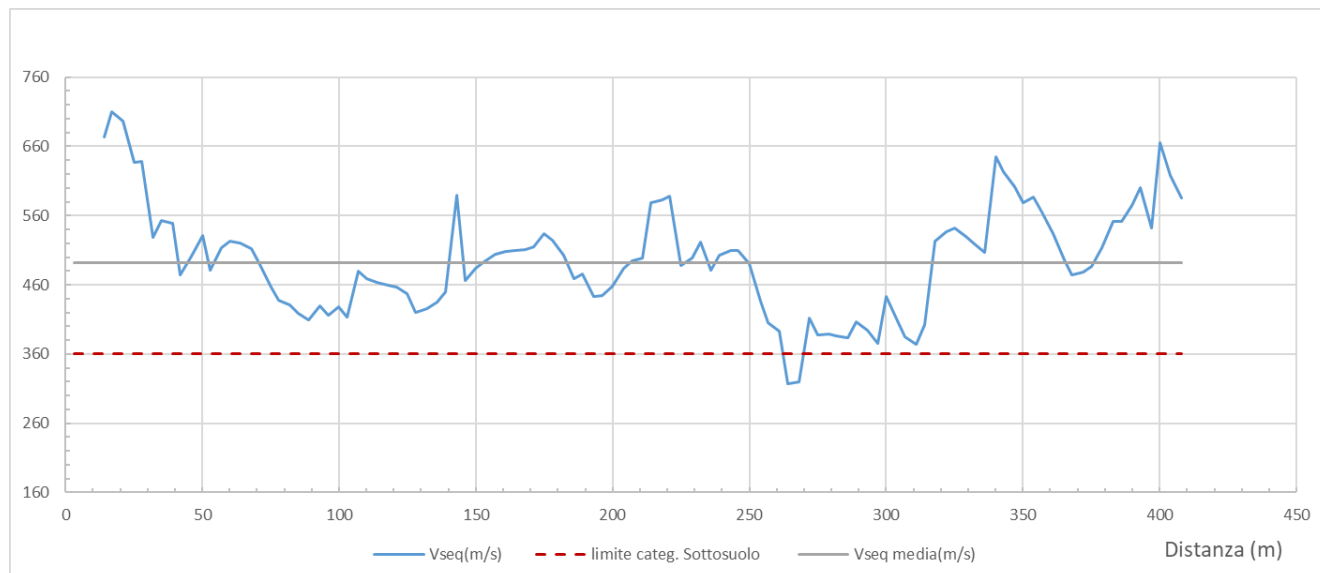
Dal punto di vista sismo-stratigrafico, pertanto, l’area investigata può essere ricondotta ad un modello di sottosuolo costituito da uno strato superficiale poco consistente ed alterato in superficie (aerato<sup>7</sup>) ricoprire un substrato il cui grado compattezza e di resistenza alla deformazioni tangenziali aumentano in profondità ( $V_{SH} > 350$  m/s;  $G_0 > 450$  Mpa;  $E_0 > 1000$  Mpa). Tale passaggio è evidenziato da un tratteggio di colore blu nelle sezioni sismo-stratigrafiche riportate. In rosso viene indicato limite che marca il passaggio a terreni rigidi. Il bedrock sismico è intercettato a 240 m s.l.m.m.m.

Il valore medio del  $V_{seq}$  risulta pari a 491.7 m/s.

<sup>7</sup> Mezzo fisico non completamente saturo (scarso stazionamento dell’acqua) con presenza d’aria.

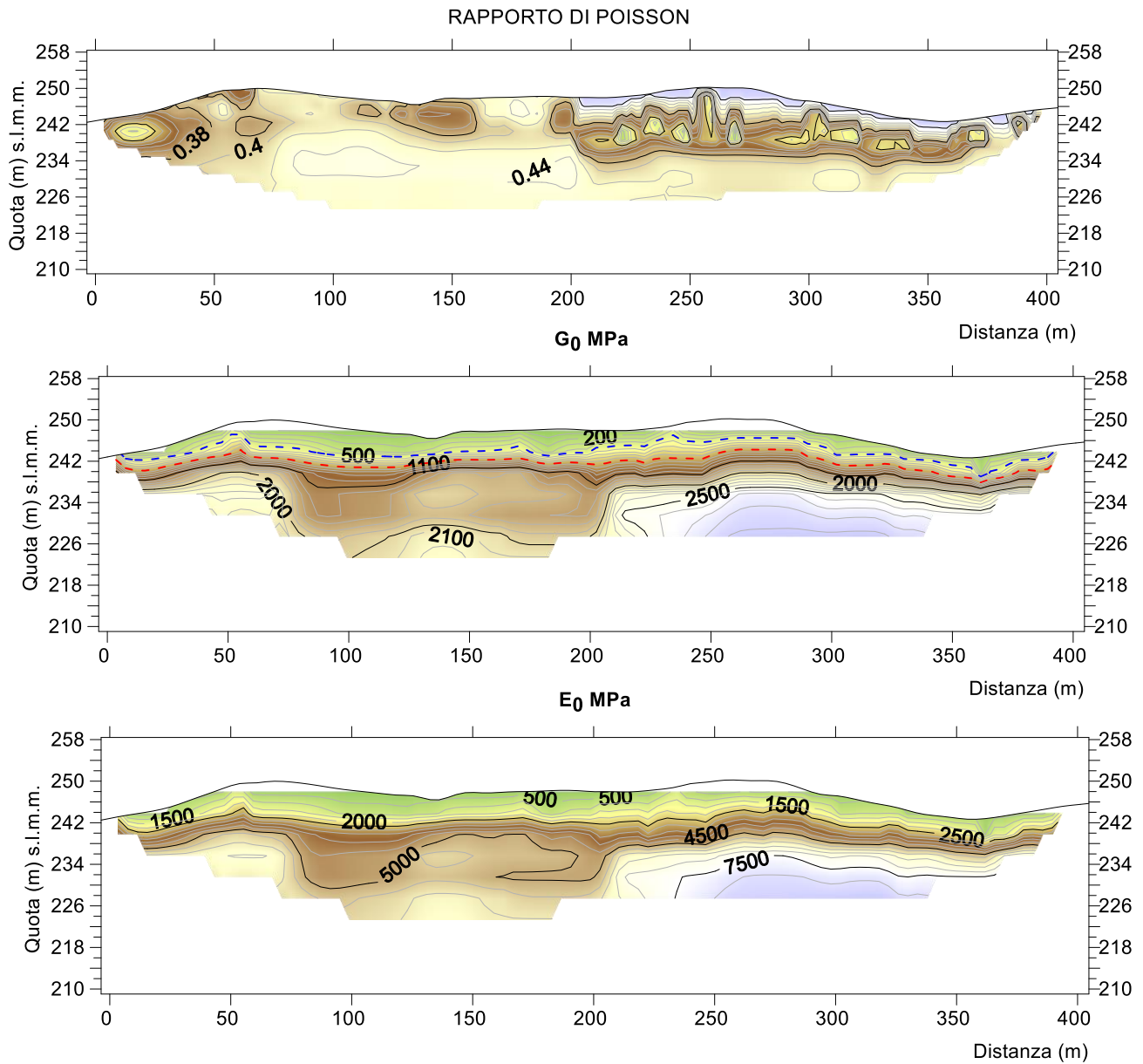


**Figura 35.** Modello di Velocità- Sezione densità raggi sismici – Modello sismo-stratigrafico



**Figura 36.** Velocità media equivalente/distanza





**Figura 37.** Sezioni Moduli Elastici

### 5.13 G12 TRENCHLESS BOSCO OUT



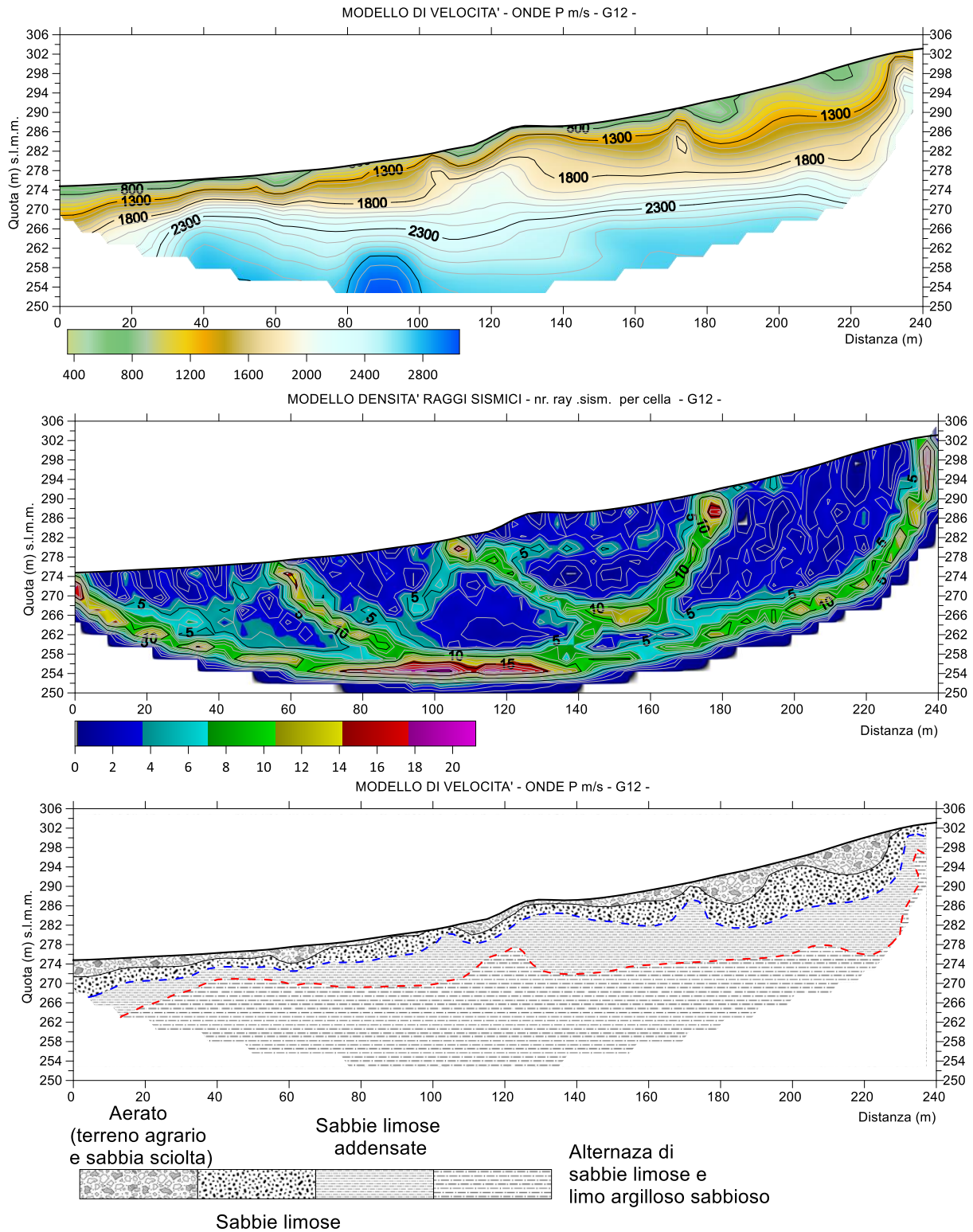
La velocità di propagazione delle onde P calcolata risulta compresa tra 354.7 m/sec e 3052.2 m/sec. Tali valori sono da attribuire alla variazione dello stato di addensamento della coltre di copertura superficiale ed ai sedimenti di natura prevalentemente sabbiosa- argillosa che costituiscono il sub-strato compatto dell'area di studio.

Le variazioni di velocità sono prevalentemente verticali e sono da correlare con il diverso stato di alterazione e di compattezza dei terreni attraversati dal fronte sismico. Una variazione di velocità laterale è intercetta a circa 230 metri di distanza dall'origine

Le densità raggi sismici mostrano che la maggiore densità sismica coincide al passaggio tra la copertura superficiale (aerato), le sabbie limose (**limite evidenziato da una linea tratteggiata di colore blu - Sezione sismo-stratigrafica**) e l'alternanza sabbiosa argillosa sottostanti. Tale passaggio costituisce una vera e propria superficie di discontinuità con i terreni ad essa sottostanti (**limite evidenziato da una linea tratteggiata di colore rosso - Sezione sismo-stratigrafica**).

Lo spessore medio dei terreni di copertura è di circa 3.75 metri.





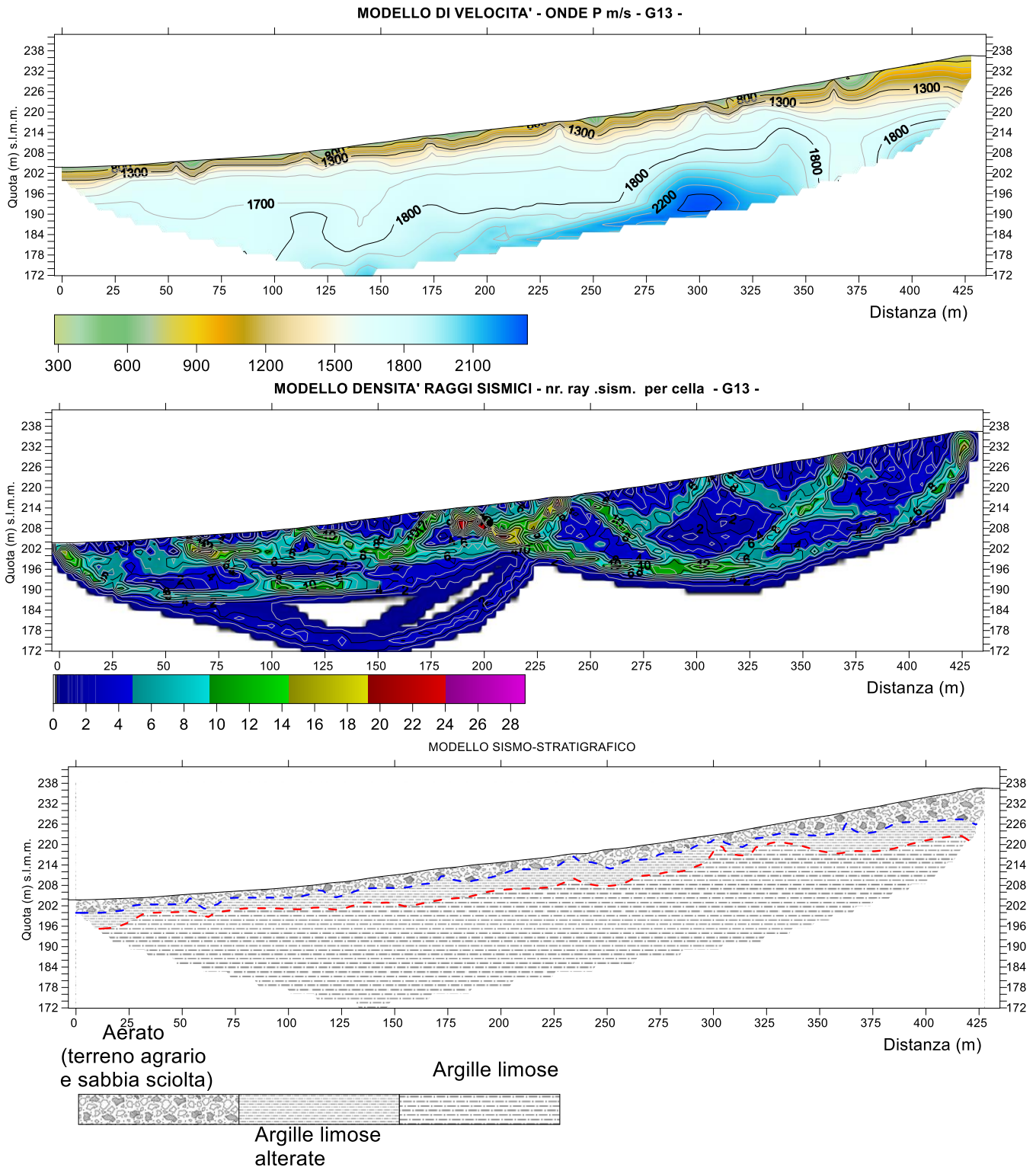
**Figura 38.** Modello di Velocità- Sezione densità raggi sismici – Modello sismo-stratigrafico



## 5.14 G13 VERSANTE



La velocità di propagazione delle onde P calcolata risulta compresa tra 284.7 m/sec e 2352.2 m/sec. Tali valori sono da attribuire alla variazione dello stato di addensamento della coltre di copertura superficiale ed ai sedimenti di natura prevalentemente limo- argillosa che costituiscono il sub-strato. Le variazioni di velocità sono prevalentemente verticali e sono da correlare con il diverso stato di alterazione e di compattezza dei terreni attraversati dal fronte sismico. Le densità raggi sismici mostrano che la maggiore densità sismica coincide al passaggio tra la copertura superficiale (aerato), le argille limose alterate (**limite evidenziato da una linea tratteggiata di colore rossa - Sezione sismo-stratigrafica**) e le argille limose compatte sottostanti.



**Figura 39.** Modello di Velocità- Sezione densità raggi sismici – Modello sismo-stratigrafico