

REGIONE PUGLIA  
CITTA' METROPOLITANA DI BARI  
COMUNE DI RUVO DI PUGLIA

IMPIANTO EOLICO COMPOSTO DA 8 WTG DA 7.2 MW,  
SISTEMA DI ACCUMULO ELETTROCHIMICO DELL'ENERGIA  
ELETTRICA E OPERE DI CONNESSIONE ALLA RETE

**R13**

**RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA -  
INDAGINI GEOFISICHE**

Proponente

**RDP**

RDP srl  
CORSO MONFORTE 2  
20122 Milano (MI)  
P.IVA 13058670962  
rdp.srl.pec@legalmail.it  
Legale Rappresentante: Ing. Danilo Lerda

Progetto



**STIM ENGINEERING S.r.l.**  
VIA GARRUBA, 3 - 70121 BARI  
Tel. 080.5210232 - Fax 080.5234353  
www.stimeng.it - segreteria@stimeng.it

ing. Massimo CANDEO  
Ordine Ing. Bari n° 3755  
Via Canello Rotto, 3  
70125 Bari  
m.candeo@pec.it  
stimdue@stimeng.it  
tel. +39 328 9569922

ing. Gabriele CONVERSANO  
Ordine ing. Bari n° 8884  
via Garruba, 3  
70122 Bari  
g.conversano@stimeng.it  
gabrieleconversano@pec.it  
tel. +39 328 6739206

Collaborazione:  
ing. Antonio Campanale  
ing. Flavia Blasi

**Progetto  
elettrico**

ing. Gianluca Pantile  
Ordine Ing. Brindisi n° 803  
Via del Lavoro, 15/D  
72100 Brindisi (BR)  
Tel. cell. 3471939994  
PEC: pantile.gianluca@ingpec.eu

Dott. Raffaele Sassone  
Ordine dei Geologi della Puglia n. 664

gennaio 24	0	PRIMA EMISSIONE	Dott. Raffaele Sassone	Dott. Raffaele Sassone
Data	Rev.	DESCRIZIONE	Elaborato e controllato da:	Approvato da:

REVISIONI

Progetto di costruzione di un parco eolico con potenza complessiva di 57,6 MW ubicato nel comune di Ruvo di Puglia (BA)	
<b>RELAZIONE GEOTECNICA</b>	
Data emissione: <b>Marzo 2024</b>	

## SOMMARIO

<b>1. PREMESSA</b> .....	<b>1</b>
<b>2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO</b> .....	<b>5</b>
<b>3. CAMPAGNA GEOGNOSTICA</b> .....	<b>6</b>
3.1. Indagine sismica a rifrazione .....	7
3.1.1. Stendimento sismico AA': interpretazione dei dati .....	8
3.1.2. Stendimento sismico BB': interpretazione dei dati .....	8
3.1.3. Stendimento sismico CC': interpretazione dei dati .....	9
3.1.4. Stendimento sismico DD': interpretazione dei dati .....	10
3.1.5. Stendimento sismico EE': interpretazione dei dati .....	11
3.1.6. Stendimento sismico FF': interpretazione dei dati .....	12
3.1.7. Stendimento sismico GG': interpretazione dei dati .....	13
3.1.8. Stendimento sismico HH': interpretazione dei dati .....	14
3.1.9. Stendimento sismico II': interpretazione dei dati .....	15
3.2. Metodo M.A.S.W. ....	16
3.2.1. Stendimento sismico AA': interpretazione dei dati .....	17
3.2.2. Stendimento sismico BB': interpretazione dei dati .....	17
3.2.3. Stendimento sismico CC': interpretazione dei dati .....	18
3.2.4. Stendimento sismico DD': interpretazione dei dati .....	18
3.2.5. Stendimento sismico EE': interpretazione dei dati .....	19
3.2.6. Stendimento sismico FF': interpretazione dei dati .....	20
3.2.7. Stendimento sismico GG': interpretazione dei dati .....	20
3.2.8. Stendimento sismico HH': interpretazione dei dati .....	21
3.2.9. Stendimento sismico II': interpretazione dei dati .....	21
3.3. Caratterizzazione elasto-meccanica dei terreni di fondazione .....	22
<b>4. MODELLO GEOLOGICO DEL SOTTOSUOLO</b> .....	<b>25</b>
<b>5. CATEGORIE DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE</b> .....	<b>26</b>
5.1. Categoria di sottosuolo .....	26
5.2. Categoria topografica .....	27
<b>6. MODELLAZIONE GEOTECNICA</b> .....	<b>28</b>
<b>7. MODELLAZIONE SISMICA DEL SITO</b> .....	<b>31</b>
<b>8. STABILITA' NEI CONFRONTI DELLA LIQUEFAZIONE</b> .....	<b>32</b>
<b>9. CONCLUSIONI</b> .....	<b>33</b>
<b>ALLEGATO 1: REPORT INDAGINI GEOFISICHE</b>	

Progetto di costruzione di un parco eolico con potenza complessiva di 57,6 MW ubicato nel comune di Ruvo di Puglia (BA)	
<b>RELAZIONE GEOTECNICA</b>	
Data emissione: <b>Marzo 2024</b>	

## INDICE DELLE FIGURE

---

Figura 1.1 – Ubicazione impianto eolico su stralcio corografico IGM .....	2
Figura 1.2 - - Ubicazione SSE, Storage e SE Terna su stralcio corografico IGM .....	2
Figura 1.3 – ubicazione impianto eolico su stralcio Carta Tecnica Regionale Puglia.....	3
Figura 1.4 – ubicazione impianto eolico su stralcio Carta Tecnica Regionale Puglia.....	3
Figura 1.5 – ubicazione SSE, Storage e SE Terna su stralcio Carta Tecnica Regionale Puglia .....	4
Figura 3.1- Corografia delle prospezioni geofisiche .....	7
Figura 3.2- Interpretazione sezione tomografica AA' .....	8
Figura 3.3 - Interpretazione sezione tomografica BB' .....	9
Figura 3.4 - Interpretazione sezione tomografica CC' .....	10
Figura 3.5 - Interpretazione sezione tomografica DD' .....	11
Figura 3.6 - Interpretazione sezione tomografica EE' .....	12
Figura 3.7 - Interpretazione sezione tomografica FF' .....	13
Figura 3.8 - Interpretazione sezione tomografica GG'.....	14
Figura 3.9 - Interpretazione sezione tomografica HH' .....	15
Figura 3.10 - Interpretazione sezione tomografica II' .....	16

Progetto di costruzione di un parco eolico con potenza complessiva di 57,6 MW ubicato nel comune di Ruvo di Puglia (BA)	
<b>RELAZIONE GEOTECNICA</b>	
Data emissione: <b>Marzo 2024</b>	

## INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1.1 - Inquadramento catastale dei punti macchina di progetto e coordinate.....	1
Tabella 3.1– Ubicazione stendimenti sismici.....	6
Tabella 3.2 - Valori di riferimento .....	17
Tabella 3.3 - Risultati finali .....	17
Tabella 3.4 - Valori di riferimento .....	17
Tabella 3.5 - Risultati finali .....	18
Tabella 3.6 - Valori di riferimento .....	18
Tabella 3.7 - Risultati finali .....	18
Tabella 3.8 - Valori di riferimento .....	18
Tabella 3.9 - Risultati finali .....	19
Tabella 3.10 - Valori di riferimento .....	19
Tabella 3.11 - Risultati finali .....	19
Tabella 3.12 - Valori di riferimento .....	20
Tabella 3.13 - Risultati finali .....	20
Tabella 3.14 - Valori di riferimento .....	20
Tabella 3.15 - Risultati finali .....	21
Tabella 3.16 - Valori di riferimento .....	21
Tabella 3.17 - Risultati finali .....	21
Tabella 3.18 - Valori di riferimento .....	21
Tabella 3.19 - Risultati finali .....	22
Tabella 3.20 - Sezione AA' .....	22
Tabella 3.21- Sezione BB' .....	22
Tabella 3.22 - Sezione CC' .....	23
Tabella 3.23 - Sezione DD' .....	23
Tabella 3.24 - Sezione EE' .....	23
Tabella 3.25 - Sezione FF' .....	23
Tabella 3.26 - Sezione GG' .....	24
Tabella 3.27- Sezione HH' .....	24
Tabella 3.28 - Sezione II' .....	24
Tabella 4.1– Modello geologico del sottosuolo.....	25
Tabella 5.1 - Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.....	26
Tabella 5.2 – Categorie di sottosuolo ricavate per l'area in studio .....	27
Tabella 5.3 - Categorie topografiche .....	27
Tabella 6.1 – Modello geotecnico di riferimento .....	29
Tabella 6.2 - Parametri geotecnici del calcare, stratificato, estremamente fratturato e carsificato misto a terra rossa (da -1,00 m a -3,00 m dal p.c.) .....	30

Progetto di costruzione di un parco eolico con potenza complessiva di 57,6 MW ubicato nel comune di Ruvo di Puglia (BA)	
<b>RELAZIONE GEOTECNICA</b>	
Data emissione: <b>Marzo 2024</b>	

Tabella 6.3 - Parametri geotecnici del calcare, stratificato, con elevato grado di fratturazione e carsismo (da -3,00 m a -6,00 m dal p.c.) .....	30
Tabella 6.4 - Parametri geotecnici del calcare, stratificato, poco fratturazione e carsismo (da -6,00 m a -10,00 m dal p.c.) .....	30
Tabella 7.1 - Modellazione sismica del sottosuolo .....	31

Progetto di costruzione di un parco eolico con potenza complessiva di 57,6 MW ubicato nel comune di Ruvo di Puglia (BA)

**RELAZIONE GEOTECNICA**

Data emissione:  
**Marzo 2024**

---

**INDICE DELLE VOCI**

<b>PAI</b>	Piano Stralcio Assetto Idrogeologico
<b>IGM</b>	Istituto Geografico Militare
<b>CTR</b>	Carta Tecnica Regionale
<b>P.P.T.R.</b>	Piano Paesaggistico Regionale
<b>P.T.A.</b>	Piano di Tutela delle Acque
<b>MASW</b>	Multi-channel Analysis of Surface Waves

## 1. PREMESSA

Il presente elaborato costituisce parte integrante del progetto di costruzione di un parco eolico, proposto dalla società RDP srl, con sede in C.so Monforte 2, Milano, con potenza complessiva di 57,6 MW ubicato nel comune di Ruvo di Puglia (BA).

L'impianto proposto, destinato alla produzione industriale di energia elettrica da fonte rinnovabile eolica, sarà realizzato mediante:

- l'installazione di n. 8 aerogeneratori tripala (WTG) ad asse orizzontale, ciascuno di potenza nominale pari a 7,2 MW, per una potenza elettrica complessiva pari a 57,6 MW, installati su torre tubolare, per una altezza totale di 200 m, delle opere elettriche accessorie. Ciascun aerogeneratore sarà dotato di una turbina tripala, in configurazione "up-wind";
- l'installazione di un sistema di accumulo elettrochimico dell'energia elettrica prodotta con una potenza di 50 MW;
- installazione di una stazione elettrica utente di trasformazione 30/150 kV;
- l'installazione, in conformità alle disposizioni tecniche contenute nel preventivo di connessione emesso da TERNA SpA, codice pratica 202303409, gestore della RTN e delle normative di settore, di cavidotti interrati MT 30 kV di interconnessione tra gli aerogeneratori (cavidotto interno di parco) e di vettoriamento esterno per la connessione elettrica alla RTN.

Il sito d'installazione delle WTG ricade nel territorio amministrativo di Ruvo di Puglia (BA) ed è localizzato a oltre 5 km a sud del centro abitato.

Nella Tabella 1.1 si riporta l'inquadramento catastale dei punti macchina di progetto, la tavoletta corografica di riferimento e le relative coordinate (sistema di riferimento utilizzato: WGS84 UTM 33N):

**Tabella 1.1 - Inquadramento catastale dei punti macchina di progetto e coordinate**

WTG	COMUNE	Fg.	Part.	Cord. X	Cord. Y	Riferimento cartografico
WTG 1	Ruvo di Puglia	55	180	620573	4548214	176 II SE "S. Magno"
WTG 2	Ruvo di Puglia	55	144	619864	4547948	176 II SE "S. Magno"
WTG 3	Ruvo di Puglia	73	58	619940	4546988	176 II SE "S. Magno"
WTG 4	Ruvo di Puglia	79	6	620769	4546255	176 II SE "S. Magno"
WTG 5	Ruvo di Puglia	85	128	622784	4545939	176 II SE "S. Magno"
WTG 6	Ruvo di Puglia	92	347	623054	4544544	177 III SO "Mariotto"
WTG 7	Ruvo di Puglia	86	189	624161	4545265	177 III SO "Mariotto"
WTG 8	Ruvo di Puglia	87	87	624604	4545787	177 III SO "Mariotto"

RELAZIONE GEOTECNICA

Data emissione:  
Marzo 2024

Pagina  
2 di 31

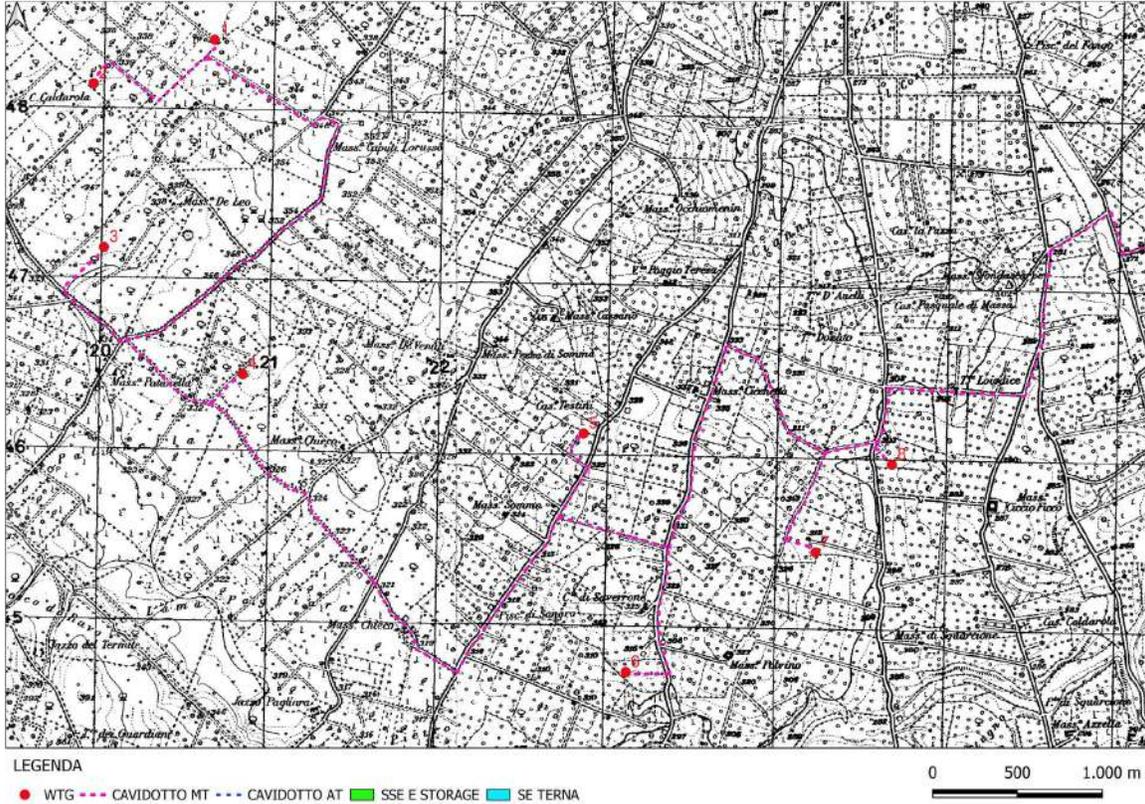


Figura 1.1 – Ubicazione impianto eolico su stralcio corografico IGM

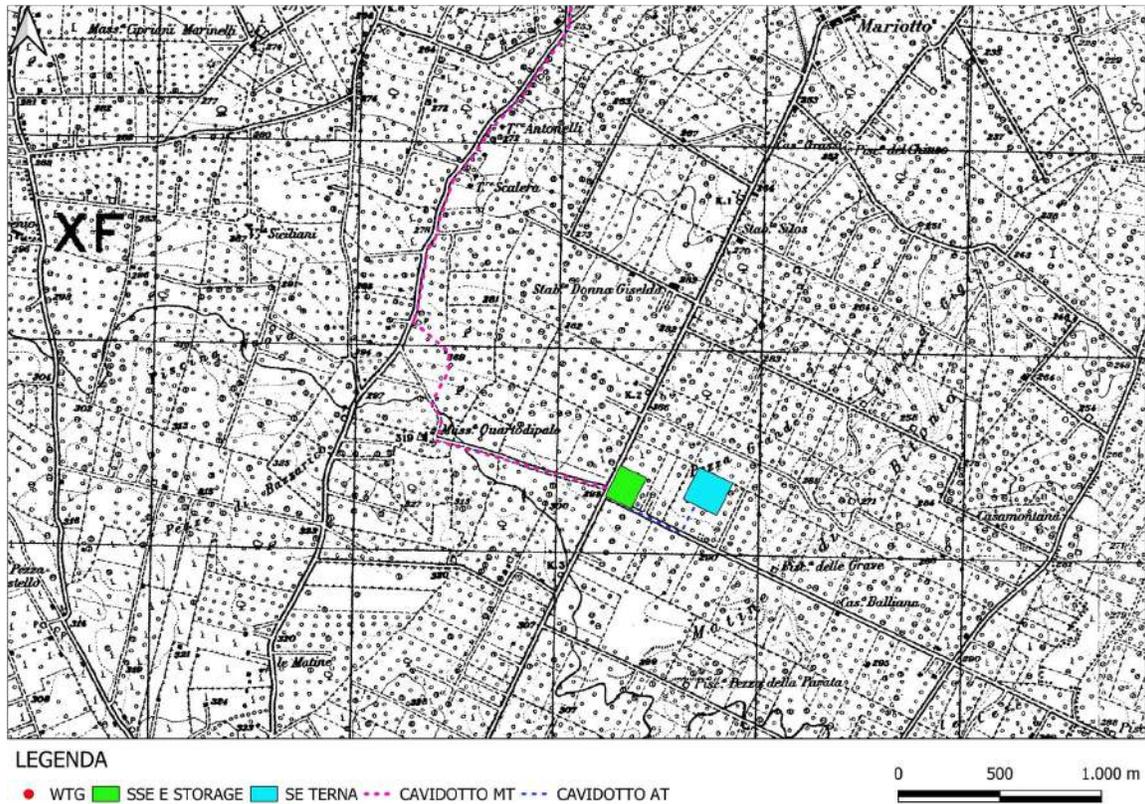
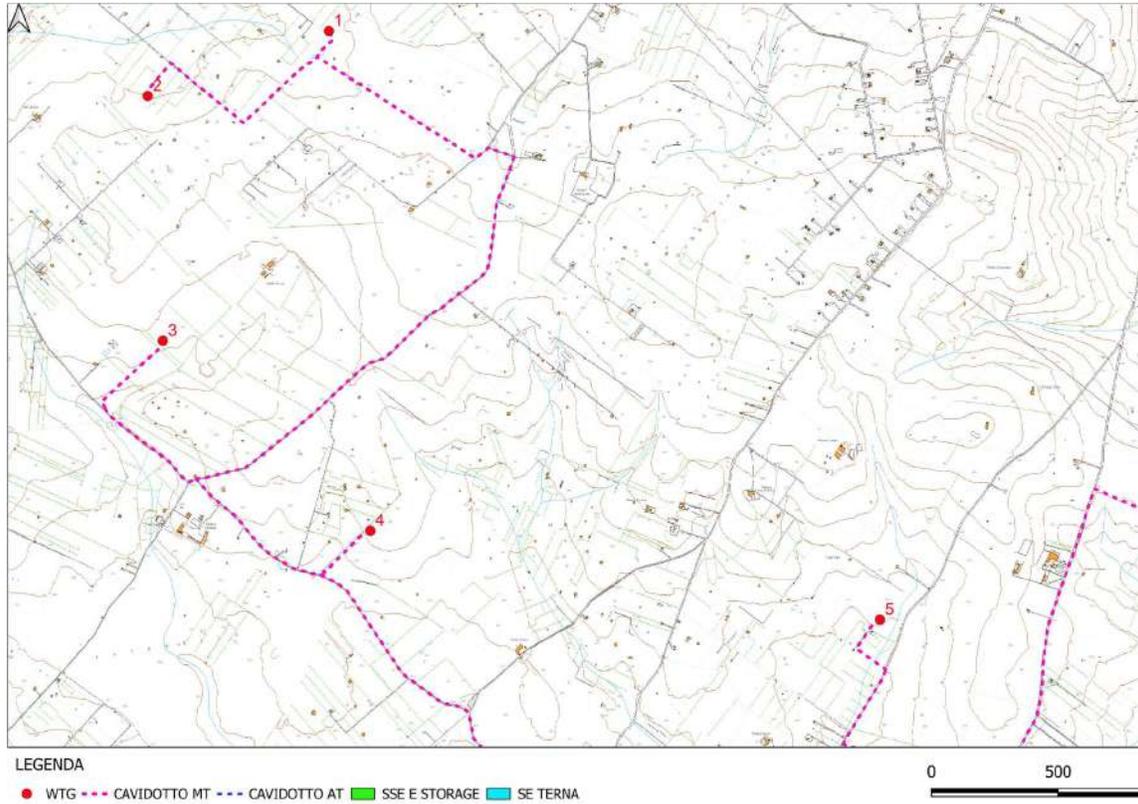


Figura 1.2 -- Ubicazione SSE, Storage e SE Terna su stralcio corografico IGM

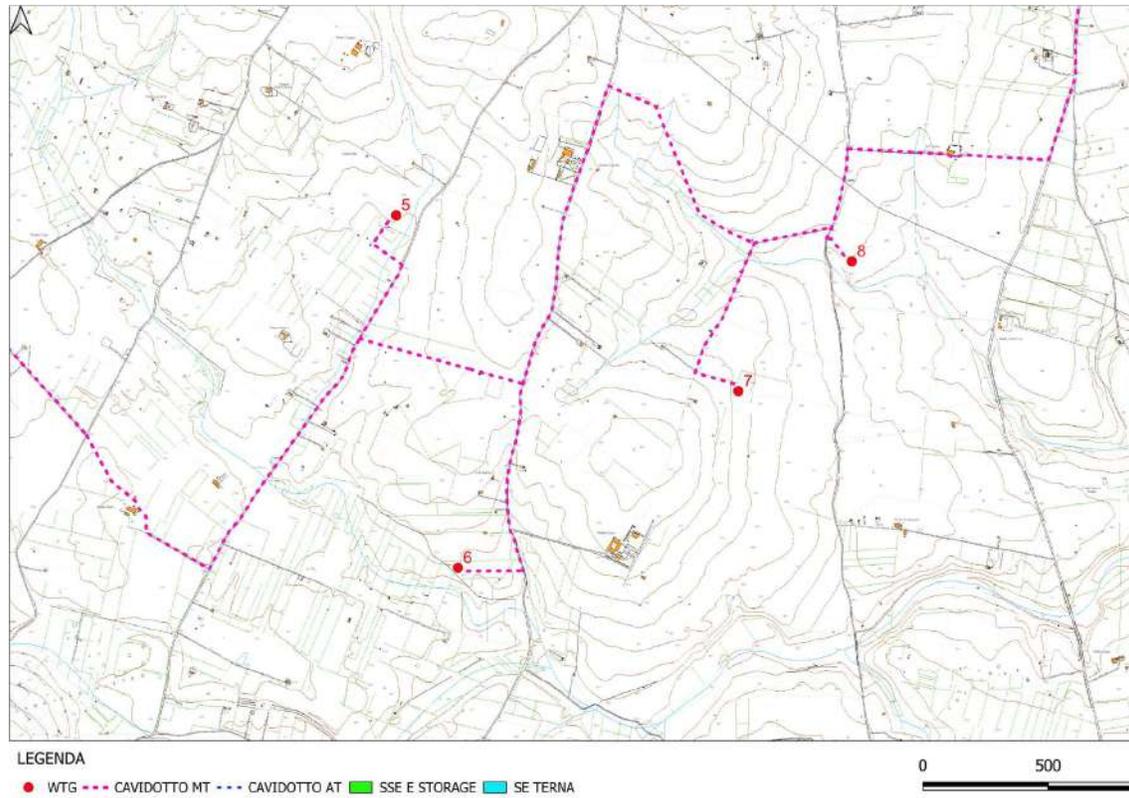
**RELAZIONE GEOTECNICA**

Data emissione:  
**Marzo 2024**

Pagina  
**3 di 31**



**Figura 1.3 – ubicazione impianto eolico su stralcio Carta Tecnica Regionale Puglia**

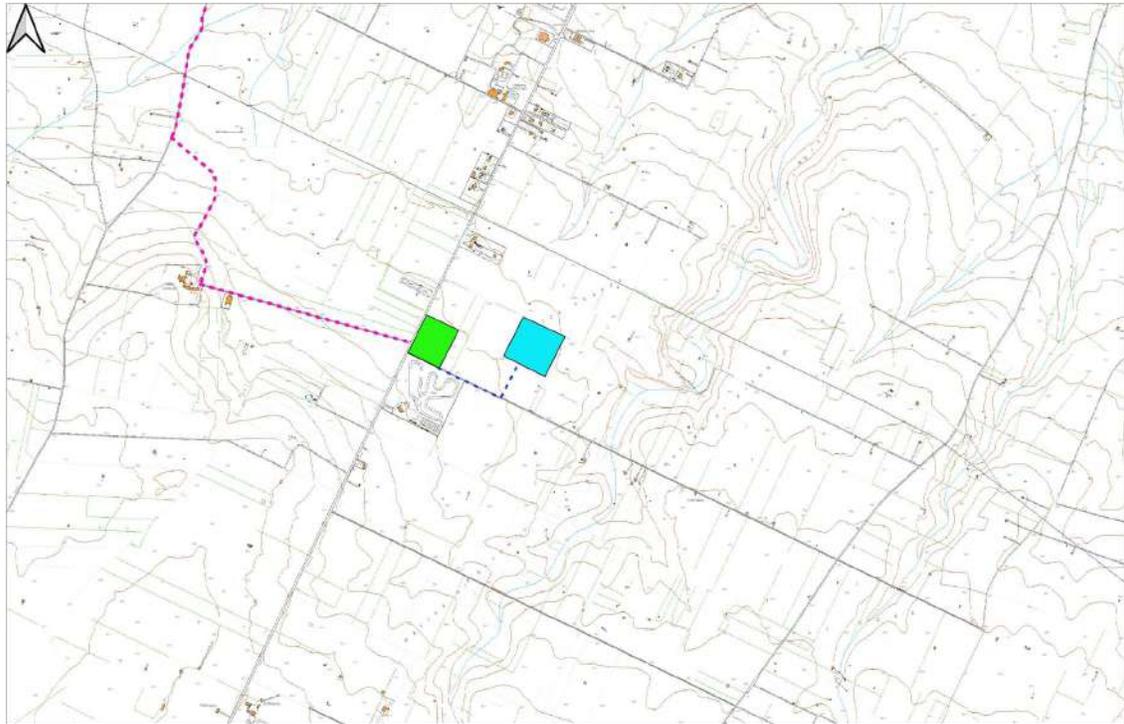


**Figura 1.4 – ubicazione impianto eolico su stralcio Carta Tecnica Regionale Puglia**

**RELAZIONE GEOTECNICA**

Data emissione:  
**Marzo 2024**

Pagina  
**4 di 31**



**LEGENDA**

● WTG ■ SSE E STORAGE ■ SE TERNA - - - CAVIDOTTO MT - - - CAVIDOTTO AT

0 500 1.000 m

**Figura 1.5 – ubicazione SSE, Storage e SE Terna su stralcio Carta Tecnica Regionale Puglia**

Progetto di costruzione di un parco eolico con potenza complessiva di 57,6 MW ubicato nel comune di Ruvo di Puglia (BA)	
<b>RELAZIONE GEOTECNICA</b>	
Data emissione: <b>Marzo 2024</b>	Pagina <b>5 di 31</b>

## 2. **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

- D.M.LL.PP. del 11/03/1988: Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.
- D.M. 9 Gennaio 1996: Norme Tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.
- D.M. 16 Gennaio 1996: Norme Tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi.
- D.M. 16 Gennaio 1996: Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche.
- Circolare Ministero LL.PP. 15 Ottobre 1996 N. 252 AA.GG./S.T.C. Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche di cui al D.M. 9 Gennaio 1996.
- Circolare Ministero LL.PP. 10 Aprile 1997 N. 65/AA.GG.: Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche di cui al D.M. 16 Gennaio 1996.
- Ordinanza P.C.M. n. 3274 del 20.3.2003: Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica.
- Norme tecniche per le costruzioni D.M. 14 gennaio 2008.
- Eurocodice 7 Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali.
- Eurocodice 8 Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici.
- Aggiornamento delle Norme tecniche per le Costruzioni 2018: Norme tecniche per le costruzioni D.M. 17 gennaio 2018.
- CIRCOLARE 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP. Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018. (GU n.35 del 11.02.2019 Suppl. Ordinario n. 5) Vigente dal: 11 2 2019.

### 3. CAMPAGNA GEOGNOSTICA

Nell'ambito dello studio geotecnico per il progetto di realizzazione di un impianto eolico in agro di Ruvo di Puglia (BA), sono state eseguite (cfr. allegato 1):

- n. 9 rilievi sismici a rifrazione in onda P (sigle: AA'-BB'-CC'-DD'-EE'-FF'-GG'-HH'-II');
- n. 9 prospezioni sismiche con metodo M.A.S.W. (Multi-channelAnalysis of SurfaceWaves) sulle stesse tracce dei rilievi sismici a rifrazione, al fine di ottenere il profilo verticale delle onde S (Vs) nella posizione baricentrica.

In Figura 3.1 vengono indicate le posizioni delle prospezioni geofisiche.

In questo elaborato sono riportati solo i risultati dell'indagine sismica a rifrazione. Mediante l'indagine sismica a rifrazione è stato possibile determinare le caratteristiche dinamiche dei litotipi investigati e i relativi moduli elastici, nonché definire in maniera più precisa le caratteristiche sismostratigrafiche sub-superficiali.

In Tabella 3.1 è riportato nell'elenco delle attività svolte e in Figura 3.1 vengono indicate le posizioni delle prospezioni geofisiche.

**Tabella 3.1– Ubicazione stendimenti sismici**

Sismica	Impianto
AA'	WTG1
BB'	WTG2
CC'	WTG3
DD'	WTG4
EE'	WTG5
FF'	WTG6
GG'	WTG7
HH'	WTG8
II'	SOTTOSTAZIONE

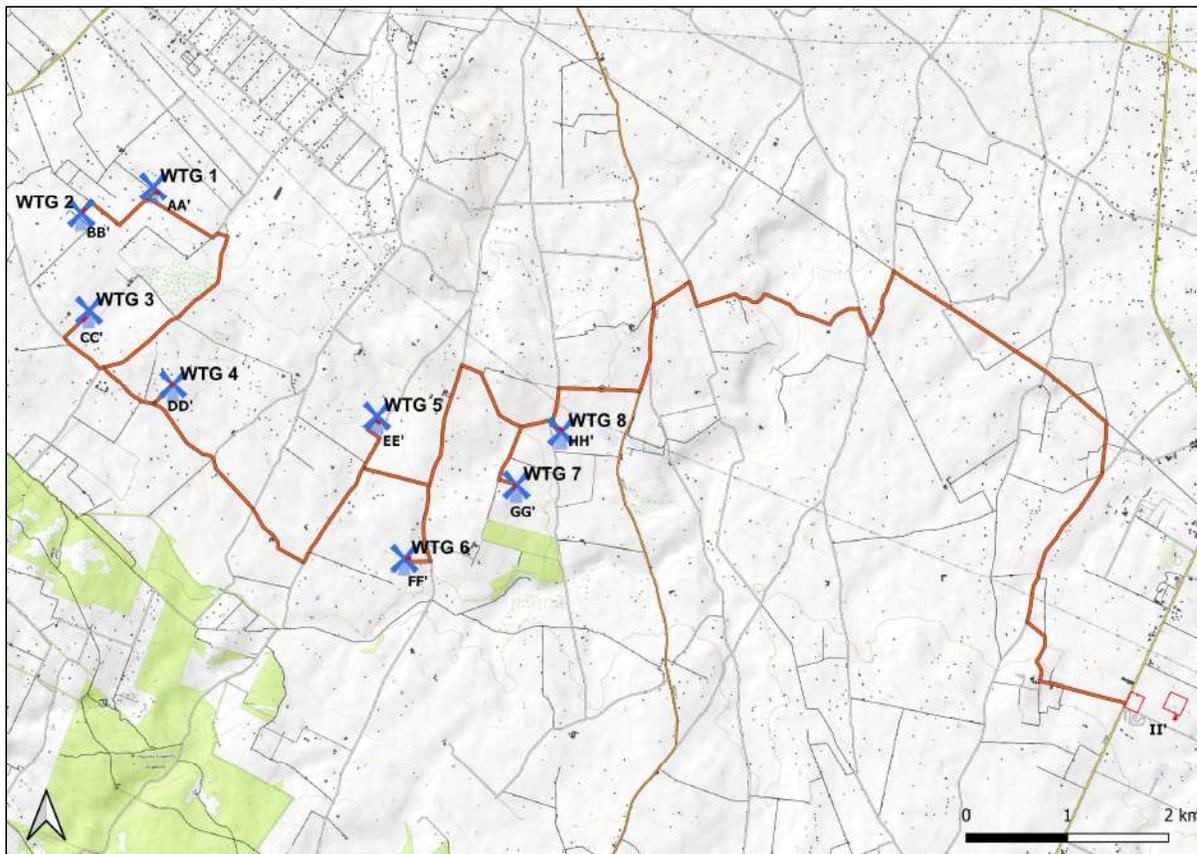


Figura 3.1- Corografia delle prospezioni geofisiche

La prospezione sismica di tipo MASW ha consentito la caratterizzazione sismica del terreno di fondazione attraverso il calcolo della  $V_{S_{eq}}$ , come richiede la normativa vigente.

Inoltre, mediante l'indagine sismica a rifrazione è stato possibile determinare le caratteristiche dinamiche dei litotipi investigati e i relativi moduli elastici, nonché definire in maniera più precisa le caratteristiche sismostratigrafiche sub-superficiali.

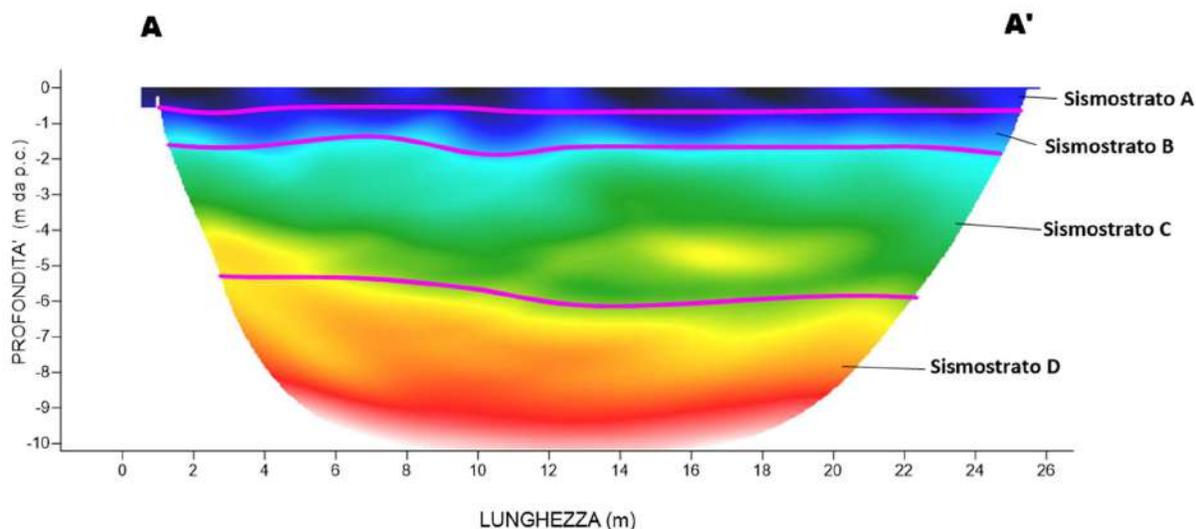
Nei paragrafi successivi si sintetizzano i risultati ottenuti in campo. Per maggiori informazioni si rimanda al report allegato alla presente relazione.

### 3.1. Indagine sismica a rifrazione

La prospezione sismica è un'indagine indiretta, che si occupa dell'esplorazione del sottosuolo attraverso lo studio della propagazione di onde elastiche generate in superficie. Tali perturbazioni sono generalmente provocate da vibrazioni impresse al terreno con mezzi meccanici o da esplosioni. Le discontinuità ricercate mediante la prospezione sono di natura fisico-elastica e pertanto la ricostruzione della geometria e natura del sottosuolo possono essere legate sia a reali variazioni litologiche sia a variazioni rinvenibili nell'ambito di uno stesso litotipo.

### 3.1.1. Stendimento sismico AA': interpretazione dei dati

Il profilo di sismica a rifrazione AA' ha una lunghezza di 24 metri lineari con interspazio geofonico di 1,00 m, direttrice orientata SE/NW.



**Figura 3.2- Interpretazione sezione tomografica AA'**

Dal risultato dell'analisi sismica eseguita è possibile rilevare la presenza di 4 sismostrati con differenti valori di velocità delle onde sismiche longitudinali P.

Il primo sismostrato (Sismostrato A) è caratterizzato da velocità di propagazione delle onde P comprese tra 250 e 500 m/s e si spinge fino ad una profondità di circa 0,50 m dal p.c.

Il secondo sismostrato invece (sismostrato B), mostra valori di velocità delle onde P che partono da 500 m/s e arrivano a circa 1250 m/s alla profondità di circa 1,50 m dal p.c.

Il terzo sismostrato (sismostrato C), mostra valori di velocità delle onde P che partono da 1250 m/s e arrivano a circa 2500 m/s alla profondità di 6,00 m dal p.c.

Il quarto sismostrato infine (sismostrato D), mostra valori di velocità delle onde P che partono da 2500 m/s e arrivano a circa 4500 m/s alla profondità di circa 12,00 m dal p.c., aumentando in modo costante con l'aumento della profondità.

Assimilando i valori delle velocità di propagazione delle onde P alle litologie presenti nell'area come da indagini pregresse, in prima analisi si può affermare che il sismostrato superficiale è riferibile a terreno vegetale (Sismostrato A), il secondo sismostrato (Sismostrato B), a calcare estremamente fratturato e carsificato misto a terra rossa, il terzo sismostrato a calcari con elevato grado di fratturazione e carsismo e il quarto sismostrato, infine, (Sismostrato D), può essere riferibile sempre a litologie calcaree le cui caratteristiche tecniche migliorano con l'aumento della profondità.

### 3.1.2. Stendimento sismico BB': interpretazione dei dati

Il profilo di sismica a rifrazione BB' ha una lunghezza di 24 metri lineari con interspazio geofonico di 1,00 m, direttrice orientata SW/NE.

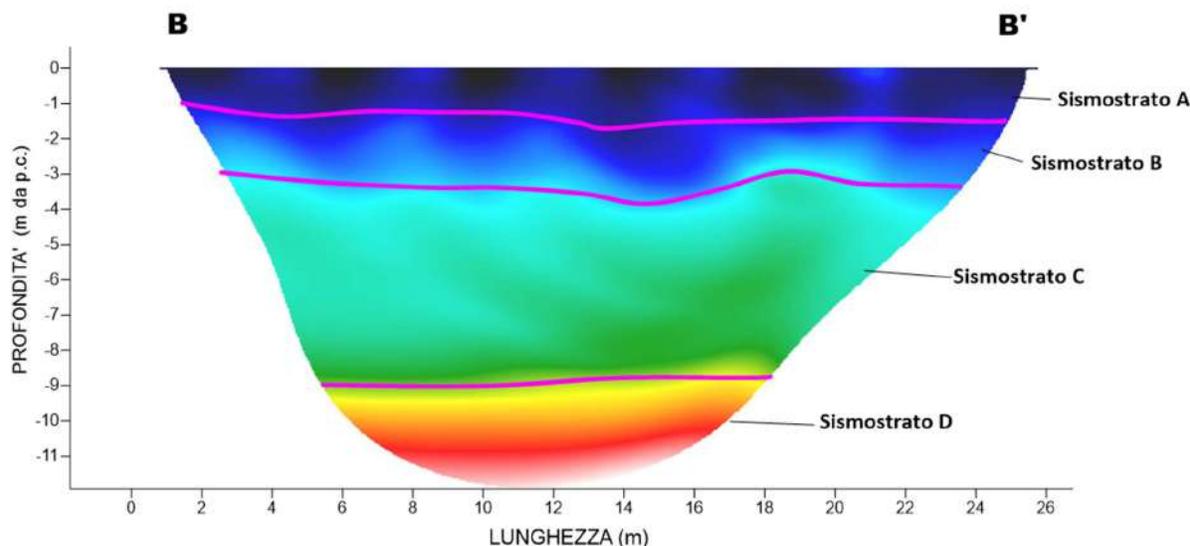


Figura 3.3 - Interpretazione sezione tomografica BB'

Dal risultato dell'analisi sismica eseguita è possibile rilevare la presenza di 4 sismostrati con differenti valori di velocità delle onde sismiche longitudinali P.

Il primo sismostrato (Sismostrato A) è caratterizzato da velocità di propagazione delle onde P comprese tra 250 e 500 m/s e si spinge fino ad una profondità di circa 1,00 m dal p.c..

Il secondo sismostrato invece (sismostrato B), mostra valori di velocità delle onde P che partono da 500 m/s e arrivano a circa 1250 m/s alla profondità di circa 3,00 m dal p.c.

Il terzo sismostrato (sismostrato C), mostra valori di velocità delle onde P che partono da 1250 m/s e arrivano a circa 2500 m/s alla profondità di 9,00 m dal p.c.

Il quarto sismostrato infine (sismostrato D), mostra valori di velocità delle onde P che partono da 2500 m/s e arrivano a circa 4500 m/s alla profondità di circa 12,00 m dal p.c., aumentando in modo costante con l'aumento della profondità.

Assimilando i valori delle velocità di propagazione delle onde P alle litologie presenti nell'area come da indagini pregresse, in prima analisi si può affermare che il sismostrato superficiale è riferibile a terreno vegetale (Sismostrato A), il secondo sismostrato (Sismostrato B), a calcare estremamente fratturato e carsificato misto a terra rossa, il terzo sismostrato a calcari con elevato grado di fratturazione e carsismo e il quarto sismostrato, infine, (Sismostrato D), può essere riferibile sempre a litologie calcaree le cui caratteristiche tecniche migliorano con l'aumento della profondità.

### 3.1.3. Stendimento sismico CC': interpretazione dei dati

Il profilo di sismica a rifrazione CC' ha una lunghezza di 24 metri lineari con interspazio geofonico di 1,00 m, direttrice orientata SW/NE.

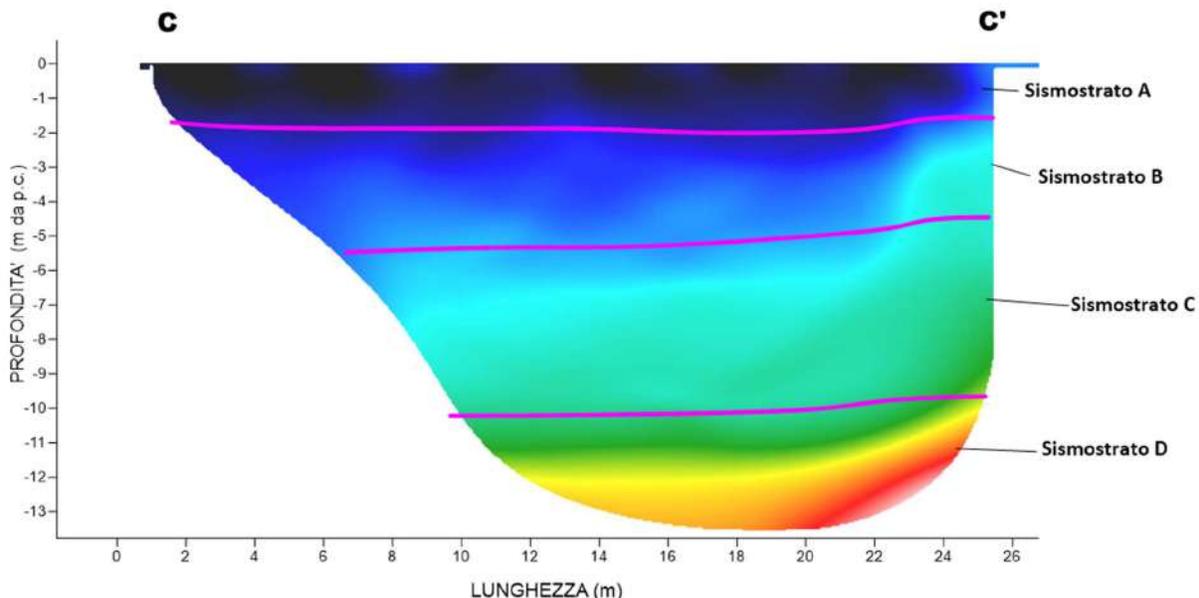


Figura 3.4 - Interpretazione sezione tomografica CC'

Dal risultato dell'analisi sismica eseguita è possibile rilevare la presenza di 4 sismostrati con differenti valori di velocità delle onde sismiche longitudinali P.

Il primo sismostrato (Sismostrato A) è caratterizzato da velocità di propagazione delle onde P comprese tra 250 e 500 m/s e si spinge fino ad una profondità di circa 1,50 m dal p.c..

Il secondo sismostrato invece (sismostrato B), mostra valori di velocità delle onde P che partono da 500 m/s e arrivano a circa 1250 m/s alla profondità di circa 5,00 m dal p.c.

Il terzo sismostrato (sismostrato C), mostra valori di velocità delle onde P che partono da 1250 m/s e arrivano a circa 2500 m/s alla profondità di 10,00 m dal p.c.

Il quarto sismostrato infine (sismostrato D), mostra valori di velocità delle onde P che partono da 2500 m/s e arrivano a circa 4500 m/s alla profondità di circa 14,00 m dal p.c., aumentando in modo costante con l'aumento della profondità.

Assimilando i valori delle velocità di propagazione delle onde P alle litologie presenti nell'area come da indagini pregresse, in prima analisi si può affermare che il sismostrato superficiale è riferibile a terreno vegetale misto a roccia calcarea (Sismostrato A), il secondo sismostrato (Sismostrato B), a calcare estremamente fratturato e carsificato misto a terra rossa, il terzo sismostrato a calcari con elevato grado di fratturazione e carsismo e il quarto sismostrato, infine, (Sismostrato D), può essere riferibile sempre a litologie calcaree le cui caratteristiche tecniche migliorano con l'aumento della profondità.

#### 3.1.4. Stendimento sismico DD': interpretazione dei dati

Il profilo di sismica a rifrazione DD' ha una lunghezza di 24 metri lineari con interspazio geofonico di 1,00 m, direttrice orientata NE/SW.

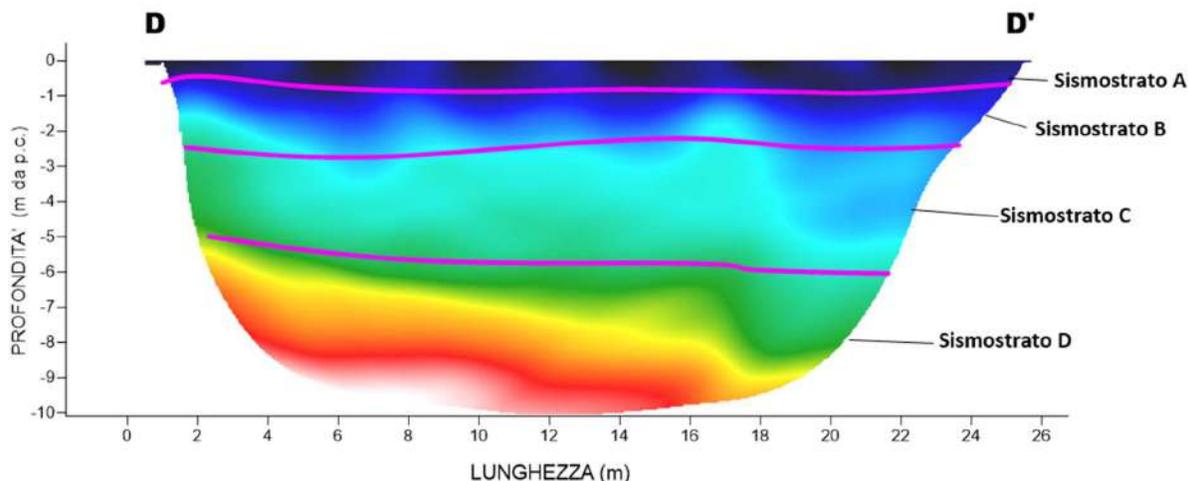


Figura 3.5 - Interpretazione sezione tomografica DD'

Dal risultato dell'analisi sismica eseguita è possibile rilevare la presenza di 4 sismostrati con differenti valori di velocità delle onde sismiche longitudinali P.

Il primo sismostrato (Sismostrato A) è caratterizzato da velocità di propagazione delle onde P comprese tra 250 e 500 m/s e si spinge fino ad una profondità di circa 0,50/1,00 m dal p.c.

Il secondo sismostrato invece (sismostrato B), mostra valori di velocità delle onde P che partono da 500 m/s e arrivano a circa 1250 m/s alla profondità di circa 2,50 m dal p.c.

Il terzo sismostrato (sismostrato C), mostra valori di velocità delle onde P che partono da 1250 m/s e arrivano a circa 2500 m/s alla profondità di 5,00 m dal p.c.

Il quarto sismostrato infine (sismostrato D), mostra valori di velocità delle onde P che partono da 2500 m/s e arrivano a circa 4500 m/s alla profondità di circa 10,00 m dal p.c., aumentando in modo costante con l'aumento della profondità.

Assimilando i valori delle velocità di propagazione delle onde P alle litologie presenti nell'area come da indagini pregresse, in prima analisi si può affermare che il sismostrato superficiale è riferibile a terreno vegetale (Sismostrato A), il secondo sismostrato (Sismostrato B), a calcare estremamente fratturato e carsificato misto a terra rossa, il terzo sismostrato a calcari con elevato grado di fratturazione e carsismo e il quarto sismostrato, infine, (Sismostrato D), può essere riferibile sempre a litologie calcaree le cui caratteristiche tecniche migliorano con l'aumento della profondità.

### 3.1.5. Stendimento sismico EE': interpretazione dei dati

Il profilo di sismica a rifrazione EE' ha una lunghezza di 24 metri lineari con interspazio geofonico di 1,00 m, direttrice orientata SE/NW.

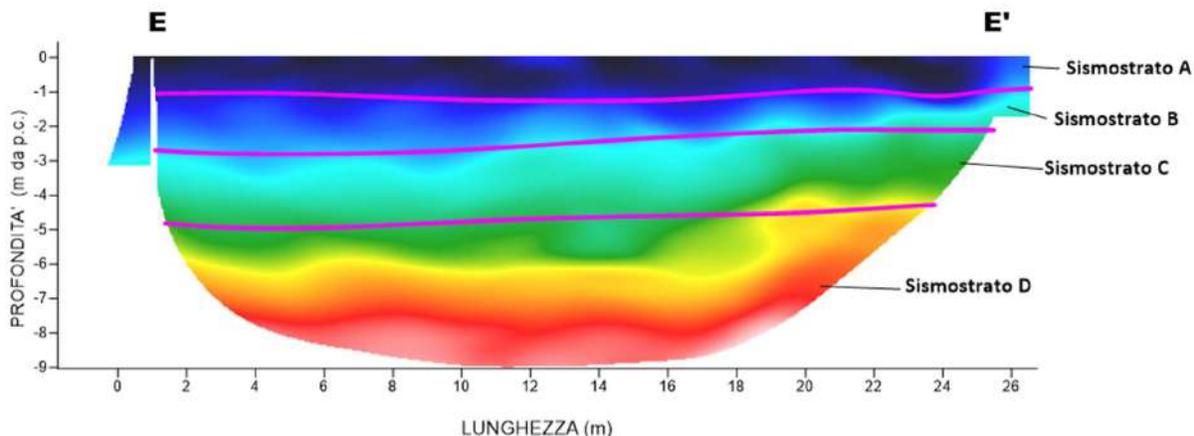


Figura 3.6 - Interpretazione sezione tomografica EE'

Dal risultato dell'analisi sismica eseguita è possibile rilevare la presenza di 4 sismostrati con differenti valori di velocità delle onde sismiche longitudinali P.

Il primo sismostrato (Sismostrato A) è caratterizzato da velocità di propagazione delle onde P comprese tra 250 e 500 m/s e si spinge fino ad una profondità di circa 1,00 m dal p.c.

Il secondo sismostrato invece (sismostrato B), mostra valori di velocità delle onde P che partono da 500 m/s e arrivano a circa 1250 m/s alla profondità di circa 2,50/3,00 m dal p.c.

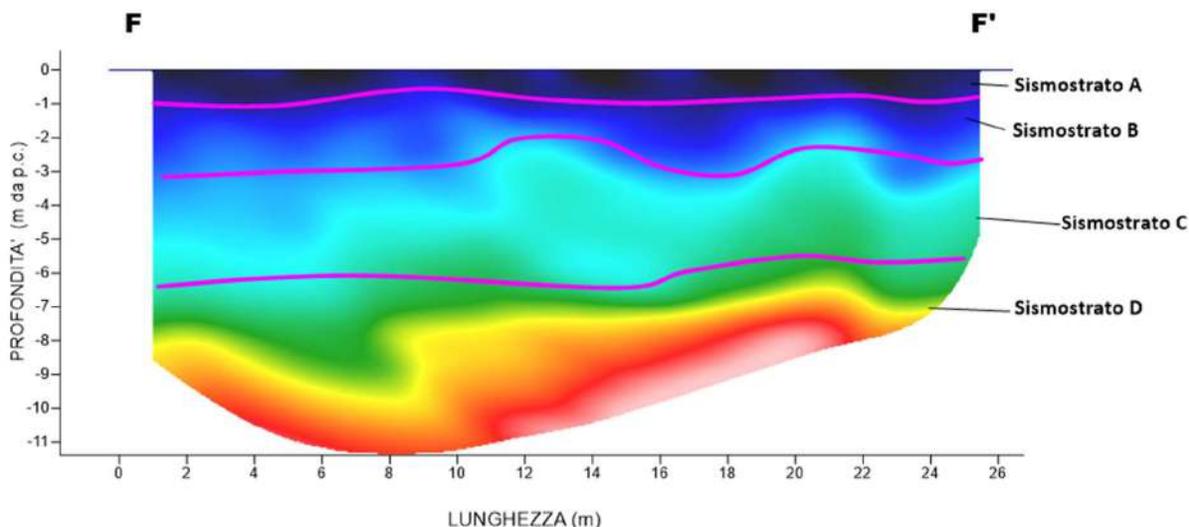
Il terzo sismostrato (sismostrato C), mostra valori di velocità delle onde P che partono da 1250 m/s e arrivano a circa 2500 m/s alla profondità di 5,00 m dal p.c.

Il quarto sismostrato infine (sismostrato D), mostra valori di velocità delle onde P che partono da 2500 m/s e arrivano a circa 4500 m/s alla profondità di circa 9,00 m dal p.c., aumentando in modo costante con l'aumento della profondità.

Assimilando i valori delle velocità di propagazione delle onde P alle litologie presenti nell'area come da indagini pregresse, in prima analisi si può affermare che il sismostrato superficiale è riferibile a terreno vegetale (Sismostrato A), il secondo sismostrato (Sismostrato B), a calcare estremamente fratturato e carsificato misto a terra rossa, il terzo sismostrato a calcari con elevato grado di fratturazione e carsismo e il quarto sismostrato, infine, (Sismostrato D), può essere riferibile sempre a litologie calcaree le cui caratteristiche tecniche migliorano con l'aumento della profondità.

### 3.1.6. Stendimento sismico FF': interpretazione dei dati

Il profilo di sismica a rifrazione FF' ha una lunghezza di 24 metri lineari con interspazio geofonico di 1,00 m, direttrice orientata E/W.



**Figura 3.7 - Interpretazione sezione tomografica FF'**

Dal risultato dell'analisi sismica eseguita è possibile rilevare la presenza di 4 sismostrati con differenti valori di velocità delle onde sismiche longitudinali P.

Il primo sismostrato (Sismostrato A) è caratterizzato da velocità di propagazione delle onde P comprese tra 250 e 500 m/s e si spinge fino ad una profondità di circa 1,00 m dal p.c.

Il secondo sismostrato invece (sismostrato B), mostra valori di velocità delle onde P che partono da 500 m/s e arrivano a circa 1250 m/s alla profondità di circa 2,50/3,00 m dal p.c.

Il terzo sismostrato (sismostrato C), mostra valori di velocità delle onde P che partono da 1250 m/s e arrivano a circa 2500 m/s alla profondità di 6,00 m dal p.c.

Il quarto sismostrato infine (sismostrato D), mostra valori di velocità delle onde P che partono da 2500 m/s e arrivano a circa 4500 m/s alla profondità di circa 11,00 m dal p.c., aumentando in modo costante con l'aumento della profondità.

Assimilando i valori delle velocità di propagazione delle onde P alle litologie presenti nell'area come da indagini pregresse, in prima analisi si può affermare che il sismostrato superficiale è riferibile a terreno vegetale (Sismostrato A), il secondo sismostrato (Sismostrato B), a calcare estremamente fratturato e carsificato misto a terra rossa, il terzo sismostrato a calcari con elevato grado di fratturazione e carsismo e il quarto sismostrato, infine, (Sismostrato D), può essere riferibile sempre a litologie calcaree le cui caratteristiche tecniche migliorano con l'aumento della profondità.

### **3.1.7. Stendimento sismico GG': interpretazione dei dati**

Il profilo di sismica a rifrazione GG' ha una lunghezza di 24 metri lineari con interspazio geofonico di 1,00 m, direttrice orientata S-SW/N-NE.

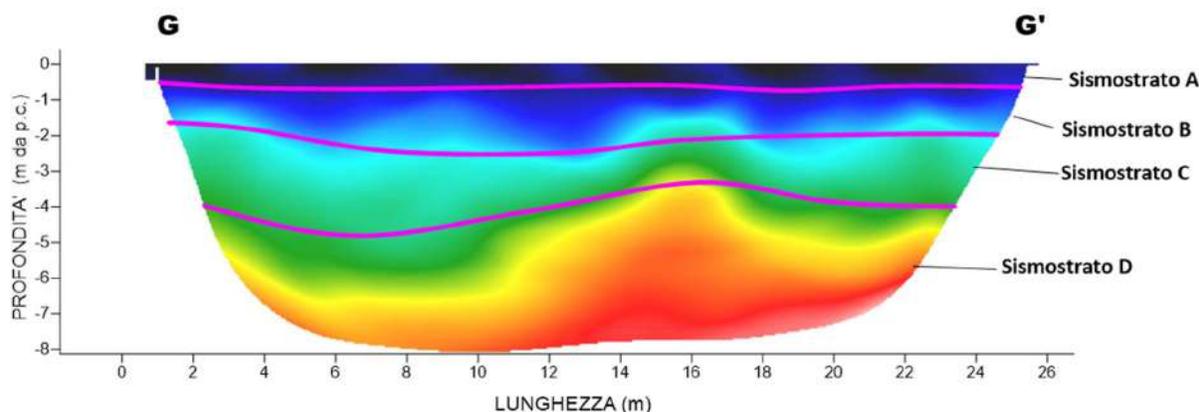


Figura 3.8 - Interpretazione sezione tomografica GG'

Dal risultato dell'analisi sismica eseguita è possibile rilevare la presenza di 4 sismostrati con differenti valori di velocità delle onde sismiche longitudinali P.

Il primo sismostrato (Sismostrato A) è caratterizzato da velocità di propagazione delle onde P comprese tra 250 e 500 m/s e si spinge fino ad una profondità di circa 0,50 m dal p.c.

Il secondo sismostrato invece (sismostrato B), mostra valori di velocità delle onde P che partono da 500 m/s e arrivano a circa 1250 m/s alla profondità di circa 2,00 m dal p.c.

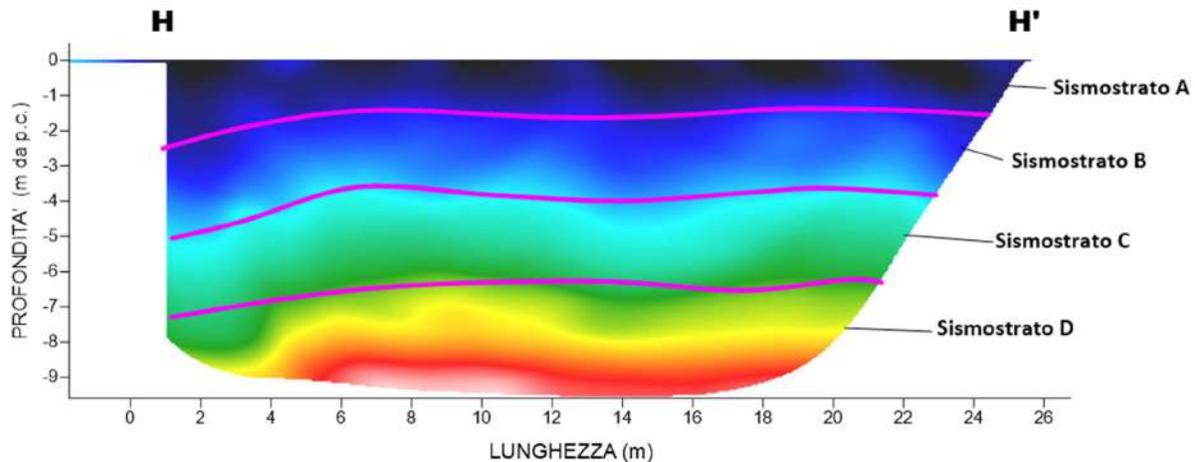
Il terzo sismostrato (sismostrato C), mostra valori di velocità delle onde P che partono da 1250 m/s e arrivano a circa 2500 m/s alla profondità di 4,00 m dal p.c.

Il quarto sismostrato infine (sismostrato D), mostra valori di velocità delle onde P che partono da 2500 m/s e arrivano a circa 4500 m/s alla profondità di circa 8,00 m dal p.c., aumentando in modo costante con l'aumento della profondità.

Assimilando i valori delle velocità di propagazione delle onde P alle litologie presenti nell'area come da indagini pregresse, in prima analisi si può affermare che il sismostrato superficiale è riferibile a terreno vegetale (Sismostrato A), il secondo sismostrato (Sismostrato B), a calcare estremamente fratturato e carsificato misto a terra rossa, il terzo sismostrato a calcari con elevato grado di fratturazione e carsismo e il quarto sismostrato, infine, (Sismostrato D), può essere riferibile sempre a litologie calcaree le cui caratteristiche tecniche migliorano con l'aumento della profondità.

### 3.1.8. Stendimento sismico HH': interpretazione dei dati

Il profilo di sismica a rifrazione HH' ha una lunghezza di 24 metri lineari con interspazio geofonico di 1,00 m, direttrice orientata SE/NW.



**Figura 3.9 - Interpretazione sezione tomografica HH'**

Dal risultato dell'analisi sismica eseguita è possibile rilevare la presenza di 4 sismostrati con differenti valori di velocità delle onde sismiche longitudinali P.

Il primo sismostrato (Sismostrato A) è caratterizzato da velocità di propagazione delle onde P comprese tra 250 e 500 m/s e si spinge fino ad una profondità di circa 1,50 m dal p.c.

Il secondo sismostrato invece (sismostrato B), mostra valori di velocità delle onde P che partono da 500 m/s e arrivano a circa 1250 m/s alla profondità di circa 4,00 m dal p.c.

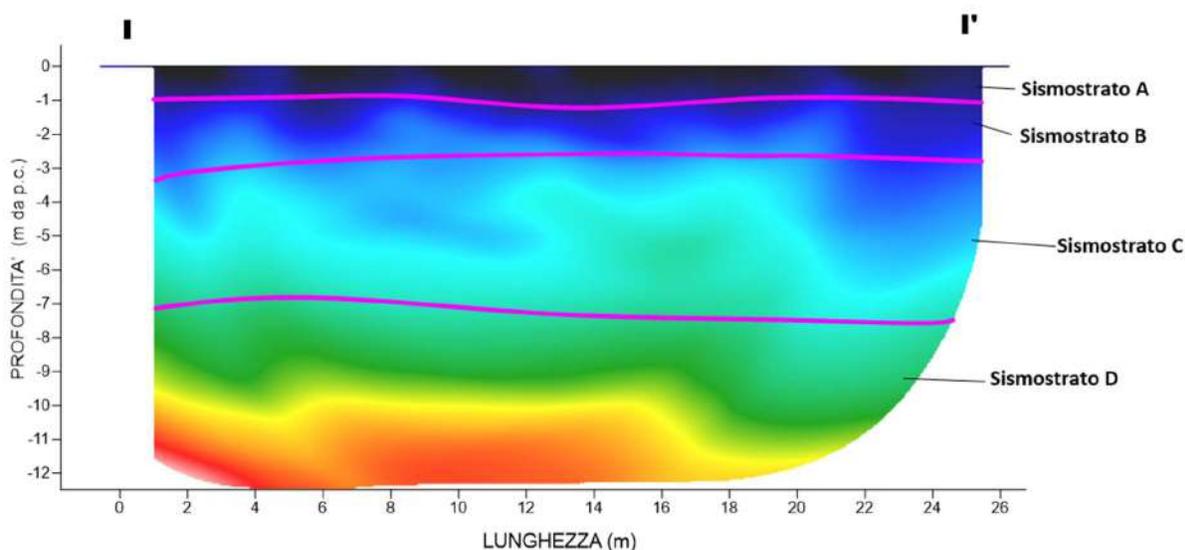
Il terzo sismostrato (sismostrato C), mostra valori di velocità delle onde P che partono da 1250 m/s e arrivano a circa 2500 m/s alla profondità di 7,00 m dal p.c.

Il quarto sismostrato infine (sismostrato D), mostra valori di velocità delle onde P che partono da 2500 m/s e arrivano a circa 4500 m/s alla profondità di circa 10,00 m dal p.c., aumentando in modo costante con l'aumento della profondità.

Assimilando i valori delle velocità di propagazione delle onde P alle litologie presenti nell'area come da indagini pregresse, in prima analisi si può affermare che il sismostrato superficiale è riferibile a terreno vegetale (Sismostrato A), il secondo sismostrato (Sismostrato B), a calcare estremamente fratturato e carsificato misto a terra rossa, il terzo sismostrato a calcari con elevato grado di fratturazione e carsismo e il quarto sismostrato, infine, (Sismostrato D), può essere riferibile sempre a litologie calcaree le cui caratteristiche tecniche migliorano con l'aumento della profondità.

### **3.1.9. Stendimento sismico II': interpretazione dei dati**

Il profilo di sismica a rifrazione II' ha una lunghezza di 24 metri lineari con interspazio geofonico di 1,00 m, direttrice orientata N-NE/S-SW.



**Figura 3.10 - Interpretazione sezione tomografica II'**

Dal risultato dell'analisi sismica eseguita è possibile rilevare la presenza di 4 sismostrati con differenti valori di velocità delle onde sismiche longitudinali P.

Il primo sismostrato (Sismostrato A) è caratterizzato da velocità di propagazione delle onde P comprese tra 250 e 500 m/s e si spinge fino ad una profondità di circa 1,00 m dal p.c.

Il secondo sismostrato invece (sismostrato B), mostra valori di velocità delle onde P che partono da 500 m/s e arrivano a circa 1250 m/s alla profondità di circa 3,00 m dal p.c.

Il terzo sismostrato (sismostrato C), mostra valori di velocità delle onde P che partono da 1250 m/s e arrivano a circa 2500 m/s alla profondità di 7,00 m dal p.c.

Il quarto sismostrato infine (sismostrato D), mostra valori di velocità delle onde P che partono da 2500 m/s e arrivano a circa 4500 m/s alla profondità di circa 12,00 m dal p.c., aumentando in modo costante con l'aumento della profondità.

Assimilando i valori delle velocità di propagazione delle onde P alle litologie presenti nell'area come da indagini pregresse, in prima analisi si può affermare che il sismostrato superficiale è riferibile a terreno vegetale (Sismostrato A), il secondo sismostrato (Sismostrato B), a calcare estremamente fratturato e carsificato misto a terra rossa, il terzo sismostrato a calcari con elevato grado di fratturazione e carsismo e il quarto sismostrato, infine, (Sismostrato D), può essere riferibile sempre a litologie calcaree le cui caratteristiche tecniche migliorano con l'aumento della profondità.

### **3.2. Metodo M.A.S.W.**

Il metodo M.A.S.W. (Multichannel Analysis of SurfaceWaves) è una tecnica di indagine non invasiva, utile a definire l'azione sismica di progetto, che individua il profilo delle velocità delle onde di taglio verticali Vs nei primi trenta metri di profondità a partire dal piano campagna, sulla base della misura delle onde superficiali in corrispondenza di diversi sensori (geofoni) posti sulla superficie del suolo.

L'analisi dello spettro "velocità di fase-frequenza" ha consentito di ricostruire un modello sismico monodimensionale del sottosuolo, il quale risulta costituito dall'andamento della velocità delle onde di taglio Vs in funzione della profondità. Si precisa infine che il modello del sottosuolo e di conseguenza anche l'inversione di velocità rilevata, sono stati ottenuti in corrispondenza del punto medio del profilo di acquisizione.

**RELAZIONE GEOTECNICA**

**3.2.1. Stendimento sismico AA': interpretazione dei dati**

**Tabella 3.2 - Valori di riferimento**

N <sub>r</sub> .	H (m)	h <sub>i</sub> (m)	V <sub>s</sub> (m/s)
1	1,00	1,00	801
2	4,00	3,00	956
3	7,00	3,00	986
4	11,00	4,00	1079
5	15,00	4,00	1185
6	20,00	5,00	1310
7	25,00	5,00	1401
8	35,00	10,00	1569

Dove:

N<sub>r</sub> = numero progressivo per ciascun sismostrato

H = profondità

h<sub>i</sub> = spessori

V<sub>s</sub> = velocità onde di taglio

**Tabella 3.3 - Risultati finali**

NI.	Z <sub>pf</sub> (m)	V <sub>s,eq</sub> (m/s)	Categoria
1	4,00	1195 m/s	A

Dove:

NI = livello

Z<sub>pf</sub> = profondità del livello di fondazione

**3.2.2. Stendimento sismico BB': interpretazione dei dati**

**Tabella 3.4 - Valori di riferimento**

N <sub>r</sub> .	H (m)	h <sub>i</sub> (m)	V <sub>s</sub> (m/s)
1	1,00	1,00	552
2	4,00	3,00	802
3	7,00	3,00	805
4	11,00	4,00	820
5	15,00	4,00	969
6	20,00	5,00	1100.
7	25,00	5,00	1111
8	35,00	10,00	1254

Dove:

N<sub>r</sub> = numero progressivo per ciascun sismostrato

H = profondità

h<sub>i</sub> = spessori

V<sub>s</sub> = velocità onde di taglio

**RELAZIONE GEOTECNICA**

Data emissione:  
**Marzo 2024**

Pagina  
**18 di 31**

**Tabella 3.5 - Risultati finali**

NI.	Z <sub>pf</sub> (m)	V <sub>S,eq</sub> (m/s)	Categoria
1	4,00	956 m/s	A

Dove:

NI = livello

Z<sub>pf</sub> = profondità del livello di fondazione

**3.2.3. Stendimento sismico CC': interpretazione dei dati**

**Tabella 3.6 - Valori di riferimento**

N <sub>r</sub> .	H (m)	h <sub>i</sub> (m)	V <sub>S</sub> (m/s)
1	1,00	1,00	598
2	4,00	3,00	625
3	7,00	3,00	816
4	11,00	4,00	984
5	15,00	4,00	11 25
6	20,00	5,00	1233
7	25,00	5,00	1360.
8	35,00	10,00	1524

Dove:

N<sub>r</sub> = numero progressivo per ciascun sismostrato

H = profondità

h<sub>i</sub> = spessori

V<sub>S</sub> = velocità onde di taglio

**Tabella 3.7 - Risultati finali**

NI.	Z <sub>pf</sub> (m)	V <sub>S,eq</sub> (m/s)	Categoria
1	4,00	1042 m/s	A

Dove:

NI = livello

Z<sub>pf</sub> = profondità del livello di fondazione

**3.2.4. Stendimento sismico DD': interpretazione dei dati**

**Tabella 3.8 - Valori di riferimento**

N <sub>r</sub> .	H (m)	h <sub>i</sub> (m)	V <sub>S</sub> (m/s)
1	1,00	1,00	883.
2	4,00	3,00	902
3	7,00	3,00	957
4	11,00	4,00	972
5	15,00	4,00	11 11

**RELAZIONE GEOTECNICA**

Data emissione:  
**Marzo 2024**

Pagina  
**19 di 31**

N <sub>r</sub> .	H (m)	h <sub>i</sub> (m)	V <sub>S</sub> (m/s)
6	20,00	5,00	1145
7	25,00	5,00	1255
8	35,00	10,00	1296

Dove:

N<sub>r</sub> = numero progressivo per ciascun sismostrato

H = profondità

h<sub>i</sub> = spessori

V<sub>S</sub> = velocità onde di taglio

**Tabella 3.9 - Risultati finali**

NI.	Z <sub>pf</sub> (m)	V <sub>S,eq</sub> (m/s)	Categoria
1	4,00	1090 m/s	A

Dove:

NI = livello

Z<sub>pf</sub> = profondità del livello di fondazione

### 3.2.5. Stendimento sismico EE': interpretazione dei dati

**Tabella 3.10 - Valori di riferimento**

N <sub>r</sub> .	H (m)	h <sub>i</sub> (m)	V <sub>S</sub> (m/s)
1	1,00	1,00	845
2	4,00	3,00	921
3	7,00	3,00	1034
4	11,00	4,00	1261
5	15,00	4,00	1337
6	20,00	5,00	1423
7	25,00	5,00	1535
8	35,00	10,00	1633

Dove:

N<sub>r</sub> = numero progressivo per ciascun sismostrato

H = profondità

h<sub>i</sub> = spessori

V<sub>S</sub> = velocità onde di taglio

**Tabella 3.11 - Risultati finali**

NI.	Z <sub>pf</sub> (m)	V <sub>S,eq</sub> (m/s)	Categoria
1	4,00	1285 m/s	A

Dove:

NI = livello

Z<sub>pf</sub> = profondità del livello di fondazione

### 3.2.6. Stendimento sismico FF': interpretazione dei dati

**Tabella 3.12 - Valori di riferimento**

N <sub>r</sub> .	H (m)	h <sub>i</sub> (m)	V <sub>s</sub> (m/s)
1	1,00	1,00	821
2	4,00	3,00	983
3	7,00	3,00	1031
4	11,00	4,00	1209
5	15,00	4,00	1300
6	20,00	5,00	1332
7	25,00	5,00	1375
8	35,00	10,00	1399

Dove:

N<sub>r</sub> = numero progressivo per ciascun sismostrato

H = profondità

h<sub>i</sub> = spessori

V<sub>s</sub> = velocità onde di taglio

**Tabella 3.13 - Risultati finali**

NI.	Z <sub>pf</sub> (m)	V <sub>s,eq</sub> (m/s)	Categoria
1	4,00	1223 m/s	A

Dove:

NI = livello

Z<sub>pf</sub> = profondità del livello di fondazione

### 3.2.7. Stendimento sismico GG': interpretazione dei dati

**Tabella 3.14 - Valori di riferimento**

N <sub>r</sub> .	H (m)	h <sub>i</sub> (m)	V <sub>s</sub> (m/s)
1	1,00	1,00	811
2	4,00	3,00	939
3	7,00	3,00	999
4	11,00	4,00	1045
5	15,00	4,00	1072
6	20,00	5,00	1113
7	25,00	5,00	1185
8	35,00	10,00	1299

Dove:

N<sub>r</sub> = numero progressivo per ciascun sismostrato

H = profondità

h<sub>i</sub> = spessori

V<sub>s</sub> = velocità onde di taglio

**RELAZIONE GEOTECNICA**

Data emissione:  
**Marzo 2024**

Pagina  
**21 di 31**

**Tabella 3.15 - Risultati finali**

NI.	$Z_{pf}$ (m)	$V_{S,eq}$ (m/s)	Categoria
1	4,00	1088 m/s	A

Dove:

NI = livello

$Z_{pf}$  = profondità del livello di fondazione

**3.2.8. Stendimento sismico HH': interpretazione dei dati**

**Tabella 3.16 - Valori di riferimento**

$N_r$ .	H (m)	$h_i$ (m)	$V_S$ (m/s)
1	1,00	1,00	612
2	4,00	3,00	785
3	7,00	3,00	924
4	11,00	4,00	1090
5	15,00	4,00	1153
6	20,00	5,00	1269
7	25,00	5,00	1348
8	35,00	10,00	1407

Dove:

$N_r$  = numero progressivo per ciascun sismostrato

H = profondità

$h_i$  = spessori

$V_S$  = velocità onde di taglio

**Tabella 3.17 - Risultati finali**

NI.	$Z_{pf}$ (m)	$V_{S,eq}$ (m/s)	Categoria
1	4,00	1109 m/s	A

Dove:

NI = livello

$Z_{pf}$  = profondità del livello di fondazione

**3.2.9. Stendimento sismico II': interpretazione dei dati**

**Tabella 3.18 - Valori di riferimento**

$N_r$ .	H (m)	$h_i$ (m)	$V_S$ (m/s)
1	1,00	1,00	811
2	4,00	3,00	895.
3	7,00	3,00	941
4	11,00	4,00	1008
5	15,00	4,00	1056

**RELAZIONE GEOTECNICA**

Data emissione:  
**Marzo 2024**

Pagina  
**22 di 31**

Nr.	H (m)	h <sub>i</sub> (m)	V <sub>s</sub> (m/s)
6	20,00	5,00	1126.
7	25,00	5,00	1165
8	35,00	10,00	1211

Dove:

N<sub>r</sub> = numero progressivo per ciascun sismostrato

H = profondità

h<sub>i</sub> = spessori

V<sub>s</sub> = velocità onde di taglio

**Tabella 3.19 - Risultati finali**

NI.	Z <sub>pf</sub> (m)	V <sub>s,eq</sub> (m/s)	Categoria
1	4,00	1056 m/s	A

Dove:

NI = livello

Z<sub>pf</sub> = profondità del livello di fondazione

### 3.3. Caratterizzazione elasto-meccanica dei terreni di fondazione

Di seguito saranno riportate le tabelle riassuntive delle principali caratteristiche elasto-meccaniche dei sismostrati individuati, riferite alle zone dove sono state eseguite le indagini sismiche. I valori delle V<sub>s</sub> sono stati ricavati in modo indiretto dalla prova MASW.

**Tabella 3.20 - Sezione AA'**

Prof. (m da p.c.)	Unità	g (gr/cm <sup>3</sup> )	G <sub>0</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	K (Kg/cm <sup>2</sup> )	E (kg/cm <sup>2</sup> )	M (kg/cm <sup>2</sup> )	μ
0.50	B - TETTO	1.66	1626.0	2034.8	3851.9	4202.7	0.18
1.50	B - LETTO	1.98	12837.0	14146.2	29567.4	31262.2	0.15
1.50	C - TETTO	1.98	12837.0	14146.2	29567.4	31262.2	0.15
6.00	C - LETTO	2.21	26046.2	78529.1	70359.7	113257.4	0.35
6.00	D - TETTO	2.21	26046.2	78529.1	70359.7	113257.4	0.35
10.00	D - LETTO	2.52	62826.5	433031.0	179784.9	516799.7	0.43

**Tabella 3.21- Sezione BB'**

Prof. (m da p.c.)	Unità	g (gr/cm <sup>3</sup> )	G <sub>0</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	K (Kg/cm <sup>2</sup> )	E (kg/cm <sup>2</sup> )	M (kg/cm <sup>2</sup> )	μ
1.00	B - TETTO	1.66	1101.7	2733.8	2913.7	4202.7	0.32
3.00	B - LETTO	1.98	6096.5	23133.6	16812.5	31262.2	0.38
3.00	C - TETTO	1.98	6096.5	23133.6	16812.5	31262.2	0.38
9.00	C - LETTO	2.21	27069.9	77164.2	72707.6	113257.4	0.34
9.00	D - TETTO	2.21	27069.9	77164.2	72707.6	113257.4	0.34
12.00	D - LETTO	2.52	40132.1	463290.2	117017.6	516799.7	0.46

**RELAZIONE GEOTECNICA**

Data emissione:  
**Marzo 2024**

Pagina  
**23 di 31**

**Tabella 3.22 - Sezione CC'**

Prof. (m da p.c.)	Unità	g (gr/cm <sup>3</sup> )	G <sub>0</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	K (Kg/cm <sup>2</sup> )	E (kg/cm <sup>2</sup> )	M (kg/cm <sup>2</sup> )	μ
1.50	B - TETTO	1.66	1145.2	2675.8	3006.6	4202.7	0.31
5.00	B - LETTO	1.98	7154.9	21722.4	19341.1	31262.2	0.35
5.00	C - TETTO	1.98	7154.9	21722.4	19341.1	31262.2	0.35
10.00	C - LETTO	2.21	28314.3	75504.9	75504.9	113257.4	0.33
10.00	D - TETTO	2.21	28314.3	75504.9	75504.9	113257.4	0.33
14.00	D - LETTO	2.52	59274.4	437767.2	170143.9	516799.7	0.44

**Tabella 3.23 - Sezione DD'**

Prof. (m da p.c.)	Unità	g (gr/cm <sup>3</sup> )	G <sub>0</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	K (Kg/cm <sup>2</sup> )	E (kg/cm <sup>2</sup> )	M (kg/cm <sup>2</sup> )	μ
0.5/1.0	B - TETTO	1.66	1289.9	2482.9	3298.5	4202.7	0.28
2.50	B - LETTO	1.98	15599.9	10462.4	31262.0	31262.2	0.00
2.50	C - TETTO	1.98	15599.9	10462.4	31262.0	31262.2	0.00
5.00	C - LETTO	2.21	29330.0	74150.7	77740.1	113257.4	0.33
5.00	D - TETTO	2.21	29330.0	74150.7	77740.1	113257.4	0.33
10.00	D - LETTO	2.52	42865.4	459645.8	124719.3	516799.7	0.45

**Tabella 3.24 - Sezione EE'**

Prof. (m da p.c.)	Unità	g (gr/cm <sup>3</sup> )	G <sub>0</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	K (Kg/cm <sup>2</sup> )	E (kg/cm <sup>2</sup> )	M (kg/cm <sup>2</sup> )	μ
1.00	B - TETTO	1.66	1180.5	2628.7	3080.5	4202.7	0.30
2.5/3.0	B - LETTO	1.98	14286.1	12214.1	30836.0	31262.2	0.08
2.5/3.0	C - TETTO	1.98	14286.1	12214.1	30836.0	31262.2	0.08
5.00	C - LETTO	2.21	39991.2	59935.8	98145.0	113257.4	0.23
5.00	D - TETTO	2.21	39991.2	59935.8	98145.0	113257.4	0.23
9.00	D - LETTO	2.52	68056.5	426057.7	193848.0	516799.7	0.42

**Tabella 3.25 - Sezione FF'**

Prof. (m da p.c.)	Unità	g (gr/cm <sup>3</sup> )	G <sub>0</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	K (Kg/cm <sup>2</sup> )	E (kg/cm <sup>2</sup> )	M (kg/cm <sup>2</sup> )	μ
1.00	B - TETTO	1.66	1136.4	2687.5	2988.1	4202.7	0.31
2.5/3.0	B - LETTO	1.98	13486.1	13280.8	30226.9	31262.2	0.12
2.5/3.0	C - TETTO	1.98	13486.1	13280.8	30226.9	31262.2	0.12
6.00	C - LETTO	2.21	32700.5	69656.8	84827.3	113257.4	0.30
6.00	D - TETTO	2.21	32700.5	69656.8	84827.3	113257.4	0.30
9.00	D - LETTO	2.52	49949.7	450200.1	144504.8	516799.7	0.45

**RELAZIONE GEOTECNICA**

Data emissione:  
**Marzo 2024**

Pagina  
**24 di 31**

**Tabella 3.26 - Sezione GG'**

Prof. (m da p.c.)	Unità	g (gr/cm <sup>3</sup> )	G <sub>0</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	K (Kg/cm <sup>2</sup> )	E (kg/cm <sup>2</sup> )	M (kg/cm <sup>2</sup> )	μ
0.50	B - TETTO	1.66	1093.1	2745.2	2895.1	4202.7	0.32
2.00	B - LETTO	1.98	13159.6	13716.1	29912.5	31262.2	0.14
2.00	C - TETTO	1.98	13159.6	13716.1	29912.5	31262.2	0.14
4.00	C - LETTO	2.21	24430.6	80683.3	66572.5	113257.4	0.36
4.00	D - TETTO	2.21	24430.6	80683.3	66572.5	113257.4	0.36
8.00	D - LETTO	2.52	43064.1	459380.9	125277.7	516799.7	0.45

**Tabella 3.27 - Sezione HH'**

Prof. (m da p.c.)	Unità	g (gr/cm <sup>3</sup> )	G <sub>0</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	K (Kg/cm <sup>2</sup> )	E (kg/cm <sup>2</sup> )	M (kg/cm <sup>2</sup> )	μ
1.50	B - TETTO	1.66	1093.1	2745.2	2895.1	4202.7	0.32
4.00	B - LETTO	1.98	12329.3	14823.1	28959.0	31262.2	0.17
4.00	C - TETTO	1.98	12329.3	14823.1	28959.0	31262.2	0.17
7.00	C - LETTO	2.21	29741.3	73602.3	78632.6	113257.4	0.32
7.00	D - TETTO	2.21	29741.3	73602.3	78632.6	113257.4	0.32
10.00	D - LETTO	2.52	50522.6	449436.3	146093.4	516799.7	0.45

**Tabella 3.28 - Sezione II'**

Prof. (m da p.c.)	Unità	g (gr/cm <sup>3</sup> )	G <sub>0</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	K (Kg/cm <sup>2</sup> )	E (kg/cm <sup>2</sup> )	M (kg/cm <sup>2</sup> )	μ
1.00	B - TETTO	1.66	1093.1	2745.2	2895.1	4202.7	0.32
3.00	B - LETTO	1.98	13159.6	13716.1	29912.5	31262.2	0.14
3.00	C - TETTO	1.98	13159.6	13716.1	29912.5	31262.2	0.14
7.00	C - LETTO	2.21	24947.6	79993.9	67795.2	113257.4	0.36
7.00	D - TETTO	2.21	24947.6	79993.9	67795.2	113257.4	0.36
12.00	D - LETTO	2.52	37427.0	466897.0	109359.0	516799.7	0.46

#### **4. MODELLO GEOLOGICO DEL SOTTOSUOLO**

Lo studio geologico deve pervenire alla definizione, preciso riferimento al progetto, di un modello geologico tridimensionale, comprendente il volume significativo, basato sulla conoscenza dei caratteri litostratigrafici, strutturali, geomorfologici, idrogeologici e sismici del sito d'interesse, acquisiti attraverso specifici rilevamenti di superficie e sulla scorta di indagini dirette e indirette. Dovranno essere definite le eventuali condizioni di instabilità, in atto e/o potenziali, e la loro tendenza evolutiva.

Saranno definite:

- le Unità Litologiche di riferimento;
- l'assetto stratigrafico locale;
- l'assetto idrogeologico locale e schema di circolazione idrica sotterranea e superficiale;
- il grado di affidabilità del modello geologico di riferimento.

In relazione alla tipologia di progetto previsto, in rapporto a quanto acquisito dalla campagna geologica, dei sopralluoghi eseguiti e delle conoscenze del territorio è possibile considerare un modello geologico di riferimento per l'impianto eolico in progetto così costituito (Tabella 4.1):

**Tabella 4.1– Modello geologico del sottosuolo**

Profondità	Descrizione
da 0,00 m a -1,00 m dal p.c.	terreno vegetale
da -1,00 m a -3,00 m dal p.c.	calcere, stratificato, estremamente fratturato e carsificato misto a terra rossa
da -3,00 m a -6,00 m dal p.c.	calcere, stratificato, con elevato grado di fratturazione e carsismo
da -6,00 m a -10,00 m dal p.c.	calcere, stratificato, poco fratturazione e carsismo

## 5. CATEGORIE DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE

### 5.1. Categoria di sottosuolo

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, in assenza di specifiche analisi, per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento (Tabella 5.1) di seguito riportata.

**Tabella 5.1 - Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato**

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Ai fini della identificazione della categoria di sottosuolo, la classificazione si effettua in base ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio,  $V_{Seq}$  (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

con:

$h_i$ : spessore dell' $i$ -esimo strato;

$V_{S,i}$ : velocità delle onde di taglio nell' $i$ -esimo strato;

$N$ : numero di strati;

$H$ : profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_S$  non inferiore a 800 m/s.

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

Per depositi con profondità  $H$  del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{Seq}$  è definita dal parametro  $V_{S,30}$ , ottenuto ponendo  $H=30$  m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite in Tabella 5.1.

In Tabella 5.2 sono riportate le categorie di sottosuolo ricavate dalle indagini MASW condotte nell'area in esame:

**RELAZIONE GEOTECNICA**

**Tabella 5.2 – Categorie di sottosuolo ricavate per l'area in studio**

Sismica	Impianto	$V_{seq}$	Categoria di sottosuolo
AA'	WTG1	1195 m/s	A
BB'	WTG2	956 m/s	A
CC'	WTG3	1042 m/s	A
DD'	WTG4	1090 m/s	A
EE'	WTG5	1285 m/s	A
FF'	WTG6	1223 m/s	A
GG'	WTG7	1088 m/s	A
HH'	WTG8	1109 m/s	A
II'	SOTTOSTAZIONE	1056 m/s	A

Sulla base della  $V_{seq}$  calcolata, è possibile assegnare il sottosuolo di fondazione alla Categoria A – *Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.*

## 5.2. Categoria topografica

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la classificazione riportata nella Tabella 5.3 (come da paragrafo 3.2.2 “Condizioni topografiche” del D.M. 17 gennaio 2018 Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»).

**Tabella 5.3 - Categorie topografiche**

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T <sub>1</sub>	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T <sub>2</sub>	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T <sub>3</sub>	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T <sub>4</sub>	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Tali categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30,00 metri.

Nel caso in esame la categoria topografica è la T<sub>1</sub> (morfologia pianeggiante).

## **6. MODELLAZIONE GEOTECNICA**

La verifica a carico limite delle fondazioni superficiali o profonde richiede la definizione del modello geotecnico di sottosuolo partendo dal modello geologico.

Le indagini geologiche e le indagini geotecniche sono concettualmente diverse tra loro sia perché interessano aree e volumi diversi sia perché hanno finalità diverse. Le indagini geologiche interessano aree e volumi di sottosuolo più ampi e sono finalizzate alla definizione del modello geologico.

Le indagini geotecniche interessano generalmente aree e volumi più ridotti (i volumi significativi) e sono finalizzate alla definizione dei modelli geotecnici di sottosuolo specifici per la singola opera.

I risultati delle indagini geologiche e i contenuti della relazione geologica consentono al progettista strutturale di creare il modello geologico del sottosuolo, ovvero un modello in cui vengono individuati i diversi strati di terreno e le loro caratteristiche fisiche e meccaniche.

Ai fini della verifica per carico limite della fondazione sarà necessario definire il modello geotecnico del sottosuolo, ovvero un semispazio costituito da una successione di strati omogenei orizzontali le cui caratteristiche meccaniche siano rappresentative degli strati di sottosuolo ricadenti nel volume significativo del terreno di fondazione.

In sostanza il progettista strutturale per definire il modello geotecnico dovrà definire una successione di strati omogenei caratterizzati da:

- angolo di resistenza al taglio  $\varphi'$  (anche definito come angolo d'attrito);
- coesione  $c'$ ;
- coesione non drenata  $c_u$  (nel caso di terreni a grana fine, in presenza di falda e in condizioni non drenate);
- peso dell'unità di volume ( $\gamma$ );
- peso dell'unità di volume del terreno saturo ( $\gamma_{sat}$ ).

Il modello geologico deve essere sviluppato in modo da permettere al progettista strutturale di definire il piano delle indagini geotecniche e deve definire i seguenti caratteri dell'area in esame:

- litologici;
- stratigrafici;
- strutturali;
- idrogeologici;
- geomorfologici.

La caratterizzazione e modellazione geologica del sito deve essere esposta nella relazione geologica. Tale documento costituisce parte integrante del progetto.

Per modello geotecnico di sottosuolo si intende uno schema rappresentativo del volume significativo di terreno al di sotto della fondazione, suddiviso in unità omogenee sotto il profilo fisico-meccanico. Nel modello geotecnico di sottosuolo devono essere definiti:

- la successione stratigrafica;
- il regime delle pressioni interstiziali;
- i valori caratteristici dei parametri geotecnici, intesi come una stima cautelativa dei singoli parametri, per ogni stato limite considerato.

La Normativa Tecnica definisce il volume significativo nel modo seguente:

Per volume significativo di terreno si intende la parte di sottosuolo influenzata, direttamente o indirettamente, dalla costruzione del manufatto e che influenza il manufatto stesso (par. 6.2.2 – NTC2018).

Progetto di costruzione di un parco eolico con potenza complessiva di 57,6 MW ubicato nel comune di Ruvo di Puglia (BA)	
<b>RELAZIONE GEOTECNICA</b>	
Data emissione: <b>Marzo 2024</b>	Pagina <b>29 di 31</b>

In sostanza il volume significativo è quella porzione di terreno che si estende fino ad una profondità tale per cui gli incrementi di tensione, dovuti all'applicazione dei carichi in superficie, diventano trascurabili ovvero dell'ordine del 10% del carico applicato.

In via semplificata la profondità del volume significativo può essere definita in funzione della dimensione dell'opera di fondazione.

Le indagini geotecniche devono riguardare il volume significativo di terreno. La Circolare 2019 elenca nella tabella C6.2. I mezzi di indagine e le prove geotecniche in sito di uso più frequente.

Come prescritto dalle NTC2018, la definizione delle indagini geotecniche e del modello geotecnico spetta al progettista strutturale: Della definizione del piano delle indagini geotecniche, della caratterizzazione e della modellazione geotecnica è responsabile il progettista (par. 6.2.2 – NTC2018).

Tale concetto viene ribadito anche nella Circolare 2019:

E' compito e responsabilità del progettista definire il piano delle indagini geotecniche e, sulla base dei risultati ottenuti, individuare i modelli geotecnici di sottosuolo più appropriati alla tipologia di opera e/o intervento, tenendo conto delle tecnologie e delle modalità costruttive previste [...]

Definito il quadro geologico di riferimento, le indagini geotecniche, logicamente consequenziali, sono programmate dal progettista sulla base della conoscenza dell'opera e dei suoi possibili stati limite (par. C6 – Circolare 2019).

In questa fase progettuale (progetto definitivo) si cercherà di ricostruire un modello geotecnico del sottosuolo con l'ausilio dei soli dati ottenuti dalla campagna geologica.

Una dettagliata e completa campagna di indagini geotecniche saranno eseguite in una fase successiva in accordo con quanto prescritto dal progettista delle strutture.

Con i dati attualmente acquisiti: indagine geofisica, dati ricavati dai sopralluoghi e cartografia geologica ufficiale, è possibile ricostruire un modello geologico costituito da tre litologie sovrapposte:

- Terreno vegetale
- depositi sabbiosi giallastri con presenza di ghiaia e ciottoli poligenici
- depositi sabbiosi giallastri con presenza di ghiaia e ciottoli poligenici, con livelli ben cementati

Per l'analisi dell'interazione tra le nuove opere in progetto e il terreno, per il dimensionamento e la verifica delle stesse, si è definito un modello geotecnico di riferimento costituito da tre unità:

**Tabella 6.1 – Modello geotecnico di riferimento**

Unità	Descrizione	Profondità
A	calcere, stratificato, estremamente fratturato e carsificato misto a terra rossa	da -1,00 m a -3,00 m dal p.c.
B	calcere, stratificato, con elevato grado di fratturazione e carsismo	da -3,00 m a -6,00 m dal p.c.
C	calcere, stratificato, poco fratturazione e carsismo	da -6,00 m a -10,00 m dal p.c.

L'interpretazione delle indagini ha portato alla compilazione delle Tabella 6.2, Tabella 6.3 e Tabella 6.4 nelle quali si riportano i parametri elasto-dinamici del sottosuolo.

I parametri elaborati sono i seguenti:

**RELAZIONE GEOTECNICA**

Data emissione:  
**Marzo 2024**

Pagina  
**30 di 31**

**Tabella 6.2 - Parametri geotecnici del calcare, stratificato, estremamente fratturato e carsificato misto a terra rossa (da -1,00 m a -3,00 m dal p.c.)**

Simbolo	Valore	Descrizione
$\gamma$	1,66 gr/cm <sup>3</sup>	peso di volume naturale (o peso unità di volume)
$\mu$	0,36	coefficiente di Poisson
c	0,45 Kg/cm <sup>2</sup>	coesione non drenata
$\Phi$	22,33°	angolo di attrito interno
E	2895,10 Kg/cm <sup>2</sup>	modulo Elastico o di Young
G <sub>0</sub>	1093,10 Kg/cm <sup>2</sup>	modulo di taglio
K	2034,80 Kg/cm <sup>2</sup>	Modulo di volume
M	4202,70 Kg/cm <sup>2</sup>	Modulo di contrasto
Kw	2,62 Kg/cm <sup>3</sup>	Coefficiente di Winkler (o di sottofondo)

**Tabella 6.3 - Parametri geotecnici del calcare, stratificato, con elevato grado di fratturazione e carsismo (da -3,00 m a -6,00 m dal p.c.)**

Simbolo	Valore	Descrizione
$\gamma$	1,98 gr/cm <sup>3</sup>	peso di volume naturale (o peso unità di volume)
$\mu$	0,38	coefficiente di Poisson
c	1,02 Kg/cm <sup>2</sup>	coesione non drenata
$\Phi$	31,37°	angolo di attrito interno
E	16812,50 Kg/cm <sup>2</sup>	modulo Elastico o di Young
G <sub>0</sub>	6096,50 Kg/cm <sup>2</sup>	modulo di taglio
K	10462,40 Kg/cm <sup>2</sup>	Modulo di volume
M	31262,20 Kg/cm <sup>2</sup>	Modulo di contrasto
Kw	18,08 Kg/cm <sup>3</sup>	Coefficiente di Winkler (o di sottofondo)

**Tabella 6.4 - Parametri geotecnici del calcare, stratificato, poco fratturazione e carsismo (da -6,00 m a -10,00 m dal p.c.)**

Simbolo	Valore	Descrizione
$\gamma$	2,21 gr/cm <sup>3</sup>	peso di volume naturale (o peso unità di volume)
$\mu$	0,36	coefficiente di Poisson
c	1,95 Kg/cm <sup>2</sup>	coesione non drenata
$\Phi$	38,44°	angolo di attrito interno
E	70359,70 Kg/cm <sup>2</sup>	modulo Elastico o di Young
G <sub>0</sub>	26046,20 Kg/cm <sup>2</sup>	modulo di taglio
K	59935,80 Kg/cm <sup>2</sup>	Modulo di volume
M	113257,40 Kg/cm <sup>2</sup>	Modulo di contrasto
Kw	89,14 Kg/cm <sup>3</sup>	Coefficiente di Winkler (o di sottofondo)

**RELAZIONE GEOTECNICA**

## 7. MODELLAZIONE SISMICA DEL SITO

Per la progettazione di un impianto eolico, sono stati assunti i parametri sismici relativi all' agrod di Ruvo di Puglia (BA). Pertanto per le opere in progetto si è assunto:

Classe dell'edificio: Affollamento normale. Assenza di funz. pubbliche e social. ...;

una vita nominale  $VN = 50$  anni;

una classe d'uso I (coefficiente d'uso  $CU = 1$ );

categoria topografica T1;

categoria di sottosuolo di tipo B (cfr. relazione geotecnica).

Ne derivano i seguenti valori dei parametri sismici per i diversi stati limite:

**Tabella 7.1 - Modellazione sismica del sottosuolo**

Stato Limite	$T_r$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$	$T_c^*$ [s]
Operatività (SLO)	30	0.035	2.516	0.259
Danno (SLD)	50	0.044	2.514	0.303
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.145	2.469	0.367
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.208	2.455	0.372

	SLO	SLD	SLV	SLC
$S_S$ Amplificazione stratigrafica	1,00	1,00	1,00	1,00
$C_C$ Coeff. funz categoria	1,00	1,00	1,00	1,00
$S_T$ Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.007	0.009	0.039	0.063
kv	0.003	0.004	0.020	0.031
$A_{max}$ [m/s <sup>2</sup> ]	0.338	0.428	1.422	2.044
Beta	0.200	0.200	0.270	0.30

Progetto di costruzione di un parco eolico con potenza complessiva di 57,6 MW ubicato nel comune di Ruvo di Puglia (BA)	
<b>RELAZIONE GEOTECNICA</b>	
Data emissione: <b>Marzo 2024</b>	Pagina <b>32 di 31</b>

## 8. STABILITA' NEI CONFRONTI DELLA LIQUEFAZIONE

Per liquefazione si intende quei fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate.

Se il terreno risulta suscettibile di liquefazione e gli effetti conseguenti appaiono tali da influire sulle condizioni di stabilità di pendii o manufatti, occorre procedere ad interventi di consolidamento del terreno e/o trasferire il carico a strati di terreno non suscettibili di liquefazione.

Nel DECRETO 17 gennaio 2018 "Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»" al capitolo 7.11.3.4.2 "Esclusione della verifica a liquefazione" è riportato:

"... La verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N1)60 > 30$  oppure  $qc1N > 180$  dove  $(N1)60$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e  $qc1N$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3,5$  e nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3,5$ ..."

A seguito di quanto ottenuto sia dalla campagna geognostica che dalle osservazioni dirette in sito, è emerso che i terreni affioranti nell'area in studio sono di tipo litoide privi di falda superficiale. Pertanto, il quadro geologico e idrogeologico d'insieme esclude qualsiasi rischio di liquefazione per i terreni di fondazione.

## 9. CONCLUSIONI

Sulla base della  $V_{seq}$  calcolata, è possibile assegnare il sottosuolo di fondazione alla Categoria A – *Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.*

L'area interessata può essere ritenuta stabile e geomorfologicamente idonea alle opere in progetto, e vista la conformazione morfologica, praticamente sub orizzontale, come da paragrafo 3.2.2 "Condizioni topografiche" del D.M. 17 gennaio 2018 Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni» (superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media uguale o inferiore a 15°), si attribuisce la Categoria Topografica T1.

A seguito di quanto ottenuto sia dalla campagna geognostica che dalle osservazioni dirette in sito, è emerso che i terreni affioranti nell'area in studio sono di tipo litoide privi di falda superficiale. Pertanto, il quadro geologico e idrogeologico d'insieme esclude qualsiasi rischio di liquefazione per i terreni di fondazione.

Per l'analisi dell'interazione tra le nuove opere in progetto e il terreno e per il dimensionamento e la verifica delle stesse, si è definito un modello geotecnico di riferimento:

Unità	Descrizione	Profondità
A	calcere, stratificato, estremamente fratturato e carsificato misto a terra rossa	da -1,00 m a -3,00 m dal p.c.
B	calcere, stratificato, con elevato grado di fratturazione e carsismo	da -3,00 m a -6,00 m dal p.c.
C	calcere, stratificato, poco fratturazione e carsismo	da -6,00 m a -10,00 m dal p.c.

Gioia del Colle, gennaio 2024

il Geologo

Dott. Raffaele SASSONE



**ALLEGATO 1**  
**REPORT INDAGINI GEOFISICHE**



**GEOMONITEK SRL**

INDAGINI GEOFISICHE E IDROGEOLOGICHE  
MONITORAGGIO STRUTTURALE E GEOMECCANICO

**COMUNE DI RUVO DI PUGLIA**

**AREA METROPOLITANA DI BARI**

**Elaborato**

**REPORT INDAGINI GEOFISICHE**

**REDATTO**

**VERIFICATO**

**REVISIONE**

**GEOL. GIGANTE**

**GEOL. DE GIORGIO**

**A**

**COMMITTENTE:**

Geol. Raffaele Sassone

**GEOMONITEK SRL**

Via Trieste e Trento 112  
70011 Alberobello (BA)  
C.F./P.I. 07316560726

**EMISSIONE**

**CODICE ELABORATO**

**CODICE ARCHIVIAZIONE FILE**

03.01.2024

GMT\_RGF001\_030124

GMT\_RGF001\_030124.pdf

**GEOMONITEK SRL**

Sede legale: Corso Trieste e Trento, 112 - 70011 Alberobello (BA) - Italia - P.IVA 07316560726  
Tel. 0804322730 - e-mail: [info@geomonitek.com](mailto:info@geomonitek.com) - [www.geomonitek.com](http://www.geomonitek.com)

## Indice

<b>1. PREMESSA</b> .....	<b>3</b>
<b>2. CARATTERIZZAZIONE GEOFISICA DEL SOTTOSUOLO: METODOLOGIA DI ANALISI E STRUMENTAZIONE UTILIZZATA</b> .....	<b>4</b>
2.1 IL METODO DELLA SISMICA A RIFRAZIONE.....	4
2.2 METODO M.A.S.W. ....	4
2.3 STRUMENTAZIONE UTILIZZATA .....	5
<b>3. ATTIVITÀ DI CAMPO</b> .....	<b>6</b>
<b>4. ANALISI DI SISMICA A RIFRAZIONE</b> .....	<b>7</b>
4.1 STENDIMENTO SISMICO AA': INTERPRETAZIONE DEI DATI.....	7
4.2 STENDIMENTO SISMICO BB': INTERPRETAZIONE DEI DATI.....	10
4.3 STENDIMENTO SISMICO CC': INTERPRETAZIONE DEI DATI.....	13
4.4 STENDIMENTO SISMICO DD': INTERPRETAZIONE DEI DATI .....	16
4.5 STENDIMENTO SISMICO EE': INTERPRETAZIONE DEI DATI .....	19
4.6 STENDIMENTO SISMICO FF': INTERPRETAZIONE DEI DATI .....	22
4.7 STENDIMENTO SISMICO GG': INTERPRETAZIONE DEI DATI .....	25
4.8 STENDIMENTO SISMICO HH': INTERPRETAZIONE DEI DATI .....	28
4.9 STENDIMENTO SISMICO II': INTERPRETAZIONE DEI DATI.....	31
<b>5. ANALISI MASW</b> .....	<b>34</b>
5.1 STENDIMENTO SISMICO AA': INTERPRETAZIONE DEI DATI.....	34
5.2 STENDIMENTO SISMICO BB': INTERPRETAZIONE DEI DATI.....	37
5.3 STENDIMENTO SISMICO CC': INTERPRETAZIONE DEI DATI.....	40
5.4 STENDIMENTO SISMICO DD': INTERPRETAZIONE DEI DATI .....	43
5.5 STENDIMENTO SISMICO EE': INTERPRETAZIONE DEI DATI .....	46
5.6 STENDIMENTO SISMICO FF': INTERPRETAZIONE DEI DATI .....	49
5.7 STENDIMENTO SISMICO GG': INTERPRETAZIONE DEI DATI .....	52
5.8 STENDIMENTO SISMICO HH': INTERPRETAZIONE DEI DATI .....	55
5.9 STENDIMENTO SISMICO II': INTERPRETAZIONE DEI DATI.....	58
<b>6. CLASSIFICAZIONE DEL SOTTOSUOLO DI FONDAZIONE</b> .....	<b>61</b>
6.1 CATEGORIA DI SOTTOSUOLO DI FONDAZIONE: PROFILO AA'.....	63
6.2 CATEGORIA DI SOTTOSUOLO DI FONDAZIONE: PROFILO BB'.....	64
6.3 CATEGORIA DI SOTTOSUOLO DI FONDAZIONE: PROFILO CC'.....	65
6.4 CATEGORIA DI SOTTOSUOLO DI FONDAZIONE: PROFILO DD'.....	66
6.5 CATEGORIA DI SOTTOSUOLO DI FONDAZIONE: PROFILO EE'.....	67
6.6 CATEGORIA DI SOTTOSUOLO DI FONDAZIONE: PROFILO FF'.....	68
6.7 CATEGORIA DI SOTTOSUOLO DI FONDAZIONE: PROFILO GG'.....	69
6.8 CATEGORIA DI SOTTOSUOLO DI FONDAZIONE: PROFILO HH'.....	70
6.9 CATEGORIA DI SOTTOSUOLO DI FONDAZIONE: PROFILO II'.....	71
<b>7. CARATTERIZZAZIONE ELASTICO-MECCANICA DEI TERRENI DI FONDAZIONE</b> .....	<b>72</b>
STENDIMENTO SISMICO AA' .....	72
STENDIMENTO SISMICO BB'.....	72
STENDIMENTO SISMICO CC' .....	72
STENDIMENTO SISMICO DD'.....	73
STENDIMENTO SISMICO EE'.....	73
STENDIMENTO SISMICO FF' .....	73
STENDIMENTO SISMICO GG'.....	73

---

STENDIMENTO SISMICO HH' .....	74
STENDIMENTO SISMICO II' .....	74
<b>8. DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA.....</b>	<b>75</b>

## 1. PREMESSA

Il presente report riferisce sulle risultanze di indagini geognostiche di tipo indiretto condotte nel territorio comunale di Ruvo di Puglia, provincia di Bari in data 28.12.2023 e finalizzate alla caratterizzazione geofisica del sottosuolo per il progetto relativo al Parco Eolico.

L'incarico è stato affidato a questa Società dal Geologo Raffaele Sassone.

L'indagine in loco è consistita nelle seguenti acquisizioni:

- realizzazione di n.9 rilievi sismici a rifrazione in onda P (sigle: AA'-BB'-CC'-DD'-EE'-FF'-GG'-HH'-II'), ubicati come da corografia (Fig.1) e planimetrie inserite in relazione, con interpretazione tomografica dei dati di velocità delle onde P;
- esecuzione di n.9 prospezioni sismiche con metodo M.A.S.W. (Multi-channel Analysis of Surface Waves) sulle stesse tracce dei rilievi sismici a rifrazione, al fine di ottenere il profilo verticale delle onde S (Vs) nella posizione baricentrica dell'allineamento.

Le tipologie di rilievo condotte sul terreno e le ubicazioni corrispondenti sono state indicate dalla DD.LL., in maniera tale da investigare le aree di interesse compatibilmente con gli spazi fisici a disposizione.

Si sottolinea che l'indagine sismica consente di valutare le risposte fisico-elastiche dell'ammasso roccioso indagato e l'individuazione di superfici di discontinuità fisiche laterali e/o verticali in termini di passaggi di velocità nelle onde elastiche lungo i profili nel sottosuolo.

## **2. CARATTERIZZAZIONE GEOFISICA DEL SOTTOSUOLO: METODOLOGIA DI ANALISI E STRUMENTAZIONE UTILIZZATA**

Per la ricostruzione del modello geofisico del sito, come detto in premessa, è stata eseguita un'indagine di sismica superficiale caratterizzata dalla combinazione tra la tecnica di sismica a rifrazione con onde di volume longitudinali (o onde P) e il metodo di analisi spettrale delle onde di superficie (Rayleigh) con tecnica MASW che permette di determinare l'andamento della velocità delle onde sismiche di taglio (o onde S) in funzione della profondità attraverso lo studio della propagazione delle onde superficiali.

### **2.1 Il metodo della sismica a rifrazione**

La prospezione sismica è un'indagine indiretta, che si occupa dell'esplorazione del sottosuolo attraverso lo studio della propagazione di onde elastiche generate in superficie. Tali perturbazioni sono generalmente provocate da vibrazioni impresse al terreno con mezzi meccanici o da esplosioni. Le discontinuità ricercate mediante la prospezione sono di natura fisico-elastica e pertanto la ricostruzione della geometria e natura del sottosuolo possono essere legate sia a reali variazioni litologiche sia a variazioni rinvenibili nell'ambito di uno stesso litotipo. Il metodo della sismica a rifrazione si basa sul concetto di bi-rifrazione delle onde elastiche a seguito di un fronte d'onda conico. Data quindi una sorgente di onde elastiche (massa battente, martello a percussione, piccola esplosione) e dato uno stendimento di trasduttori velocimetrici (geofoni) posizionati lungo un determinato allineamento, giungeranno ai geofoni onde dirette, onde riflesse ed onde birifratte (head wave). Le onde birifratte sono quelle analizzate attraverso il metodo della sismica a rifrazione. Tali perturbazioni giungono sulla superficie di separazione tra due mezzi elastici (2 litologie differenti) con un angolo di incidenza critico (legge di Snell), si propagano parallelamente alla superficie di discontinuità (prima rifrazione con angolo di  $90^\circ$ ), e si rifrangono nuovamente verso la superficie con lo stesso angolo di incidenza.

Successivamente alla registrazione dei dati, la prima operazione svolta è consistita nell'individuazione dei primi arrivi sui singoli sismogrammi (picking). Dall'acquisizione dei tempi di primo arrivo, conoscendo le distanze relative alla configurazione geometrica adottata (interspazio geofonico), è stato ottenuto un diagramma tempi-distanze (dromocrona), attraverso il quale, applicando diverse metodologie, è stato possibile determinare le velocità di propagazione delle onde nel mezzo sottostante e i relativi spessori dei sismostrati attraversati dalla radiazione elastica. Per le analisi interpretative, è stato utilizzato il software Rayfract (versione 3.21) che ha permesso di ottenere l'andamento delle velocità delle onde P con la profondità.

### **2.2 Metodo M.A.S.W.**

Il metodo M.A.S.W. (Multichannel Analysis of SurfaceWaves) è una tecnica di indagine non invasiva, utile a definire l'azione sismica di progetto, che individua il profilo delle velocità delle onde di taglio verticali  $V_s$  nei primi trenta metri di profondità a partire dal piano campagna, sulla base della misura delle onde superficiali in corrispondenza di diversi sensori (geofoni) posti sulla superficie del suolo. Il contributo più importante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, le uniche onde utilizzate nell'indagine MASW, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. L'impiego di tali onde è giustificato dalle proprietà che possiedono, infatti, trasportano circa i due terzi dell'energia generata dalla sorgente (scoppio) e allontanandosi da essa (scoppio) subiscono

un'attenuazione geometrica inferiore rispetto a quella che eventualmente avrebbero le onde P ed SV, propagandosi, conseguentemente, a profondità più grandi.

Il metodo M.A.S.W. può essere suddiviso in quattro fasi fondamentali (Roma, 2002):

- calcolo della curva di dispersione sperimentale;
- calcolo della curva di dispersione apparente numerica;
- calcolo della curva di dispersione effettiva numerica;
- individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali Vs.

Il calcolo della curva di dispersione sperimentale, si ottiene dalle misure effettuate in situ. Essa si estrae dallo spettro del dominio frequenza – numero d'onda applicando una doppia trasformata di Fourier al campo del moto nel dominio spazio-tempo.

Il calcolo delle curve di dispersione numeriche, apparente ed effettiva invece, si ricava applicando un'unica trasformata di Fourier alla funzione di Green. Per il calcolo della prima è stato utilizzato il metodo Roma (2001), mentre per il calcolo della seconda (curva di dispersione effettiva numerica) è stato utilizzato il metodo Lai-Rix (1998).

L'individuazione del profilo Vs, infine, è stato desunto individuando la differenza (errore massimo) tra la curva di dispersione sperimentale e la curva di dispersione numerica corrispondente al modello di suolo assegnato. Minore appare tale imprecisione, maggiore risulta la probabilità che il profilo delle onde di taglio individuato sia quello giusto.

Per quanto riguarda, infine, la strumentazione necessaria all'esecuzione di tale indagine MASW, ci si è avvalsi delle seguenti componenti tecniche: registratore multicanale; geofoni o accelerometri da 4.5 Hz (almeno 12 canali); cavi per stendimenti sismici; sorgente energizzante composta da piastra metallica (per battuta) ed una massa battente di 5 - 10 Kg; bindella metrica per la disposizione geometricamente corretta dei geofoni con interasse compreso tra 0.5 e 5 metri.

### 2.3 Strumentazione utilizzata

La strumentazione utilizzata per la registrazione dei segnali è del tipo a 24 canali, modello DBS280 (anno 2012) della DOLANG interfacciato con un computer portatile.

L'attrezzatura è composta da:

- **un sistema di energizzazione:** la sorgente è costituita da una mazza del peso di 10 Kg battente verticalmente su piastra rettangolare in acciaio posta direttamente sul p.c. per la generazione prevalentemente di onde P e secondariamente di onde SV;
- **un sistema di trigger:** consiste in un circuito elettrico che viene chiuso nell'istante in cui il grave colpisce la base di battuta; in questo modo è possibile individuare e visualizzare l'esatto istante in cui la sorgente viene attivata e fissare l'inizio della registrazione.
- **un sistema di ricezione:** costituito da 24 geofoni verticali del tipo elettromagnetico a bobina mobile a massa sospesa, con frequenza di acquisizione 4,5 Hz.
- **un sistema di acquisizione dati:** con memoria dinamica a 16 bit composto da 12 dataloggers a 2 canali per un totale di 24 canali, 2 cavi sismici a 12 take-outs ciascuno spaziato a 5 metri, notebook PC Windows XP con software DBS280 Versione 5.1 della DOLANG

### 3. ATTIVITÀ DI CAMPO

L'indagine in loco è consistita come detto nella realizzazione di n.9 rilievi sismici a rifrazione in onda P (sigle: AA'-BB'-CC'-DD'-EE'-FF'-GG'-HH'-II') e nell'esecuzione di n.9 prospezioni sismiche con metodo M.A.S.W. (Multi-channel Analysis of SurfaceWaves) sulle stesse tracce delle sezioni tomografiche, al fine di ottenere il profilo verticale delle onde S (Vs) nella posizione baricentrica dell'allineamento.

Gli stendimenti sismici hanno tutti lunghezza di 24 metri e sono ubicati come riportato nella seguente figura (Fig.1).

Gli stendimenti sismici sono stati posizionati in relazione all'ubicazione delle pale eoliche ed alla sottostazione di servizio.

Le informazioni di correlazione sono riportate nella seguente tabella.

Sigla Stendimento sismico	AA'	BB'	CC'	DD'	EE'	FF'	GG'	HH	II'
Sigla impianto	WTG 1	WTG 2	WTG 3	WTG 4	WTG 5	WTG 6	WTG 7	WTG 8	SOTTOSTAZIONE
Lunghezza [m]	24	24	24	24	24	24	24	24	24

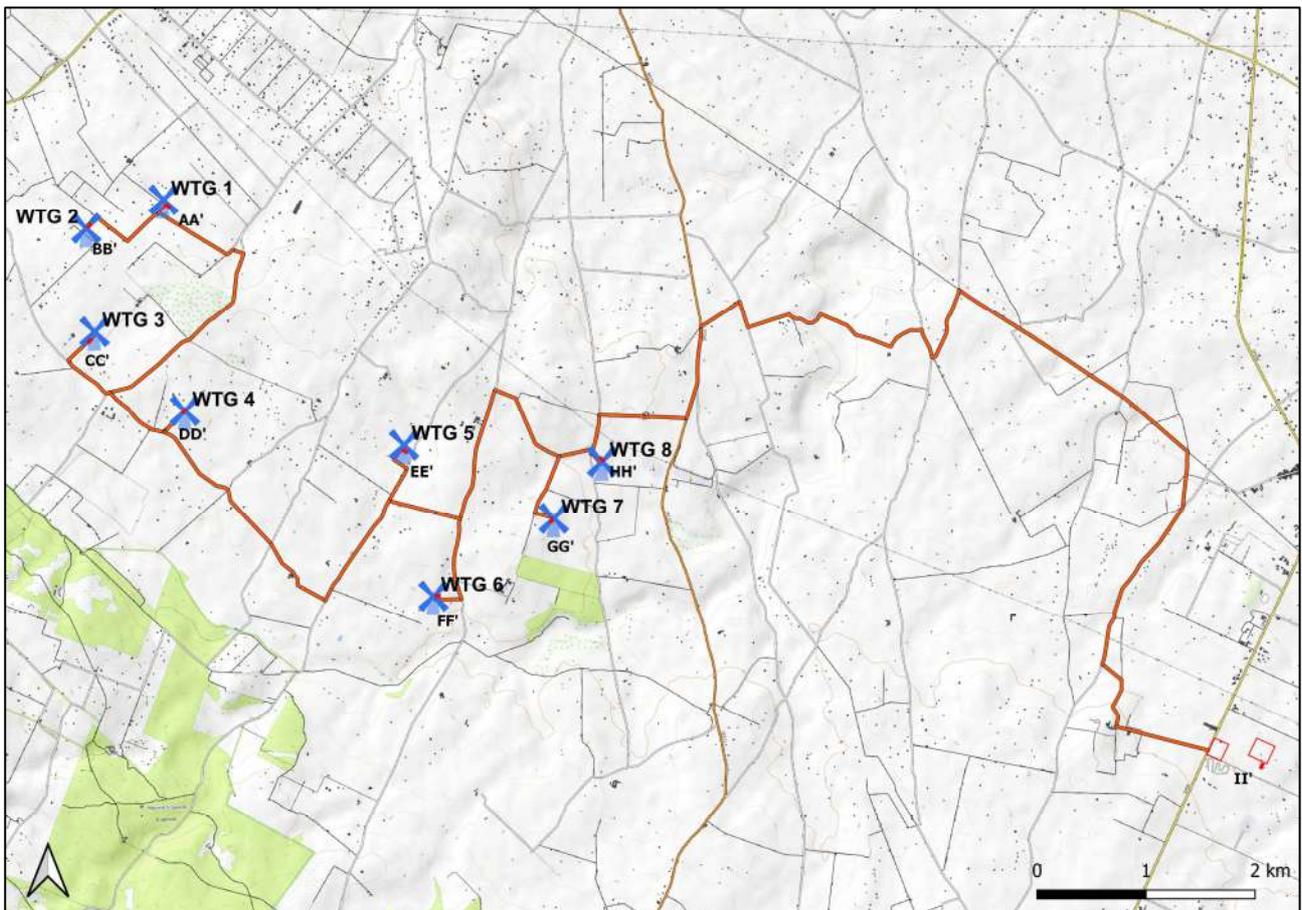


Fig. 1 – Corografia delle prospezioni geofisiche

## 4. ANALISI DI SISMICA A RIFRAZIONE

### 4.1 Stendimento sismico AA': interpretazione dei dati

Il profilo di sismica a rifrazione AA' ha una lunghezza di 24 metri lineari con interspazio geofonico di 1.0 m, direttrice orientata SE/NW e i due punti estremi hanno le seguenti coordinate (WGS84):

A – 620624.2 – 4548167.1 | A' – 620605.1 – 4548181.9

Lo stendimento AA' è stato ubicato come riportato nella seguente figura (Fig.2).

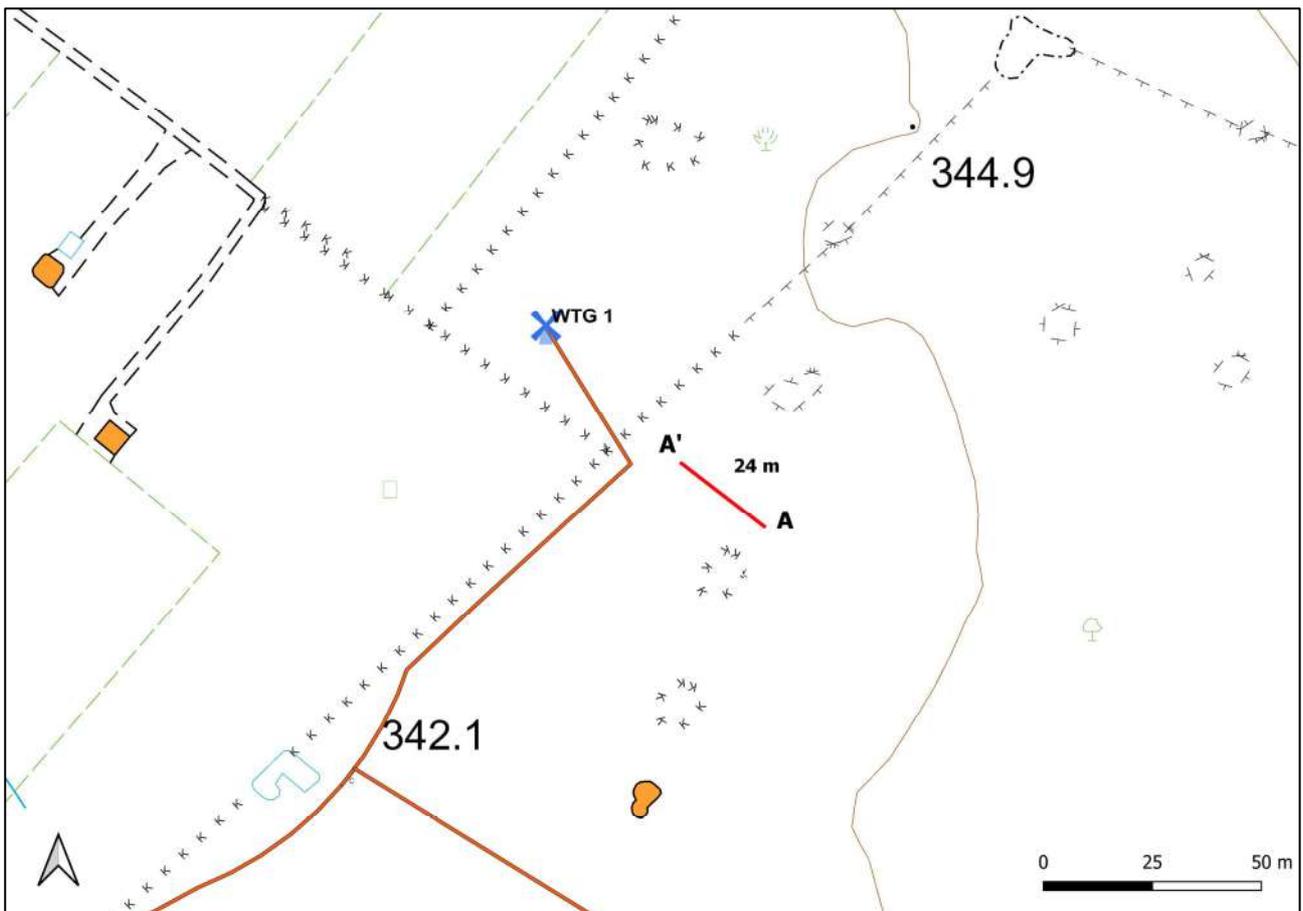


Fig. 2 – Ubicazione dello stendimento sismico AA' su CTR

La configurazione adottata è a 7 shots così distribuiti: 2 end – shots, posti a 0.5 metro dai geofoni esterni (S1 e S7); 4 intermedi, posti rispettivamente tra il 4° e 5° (S2), tra 8° e 9° (S3), tra 16° e 17° (S5), tra 20° e 21° (S6); 1 centrale tra il 12° e il 13° geofono (S4) (Fig.3).



Fig.3 - Configurazione geometrica dello stendimento sismico a rifrazione AA'

L'analisi interpretativa ha permesso di ricostruire l'andamento delle velocità delle onde P con la profondità, così come mostrato nella Figura 4 (sezione sismostratigrafica ed interpretazione).

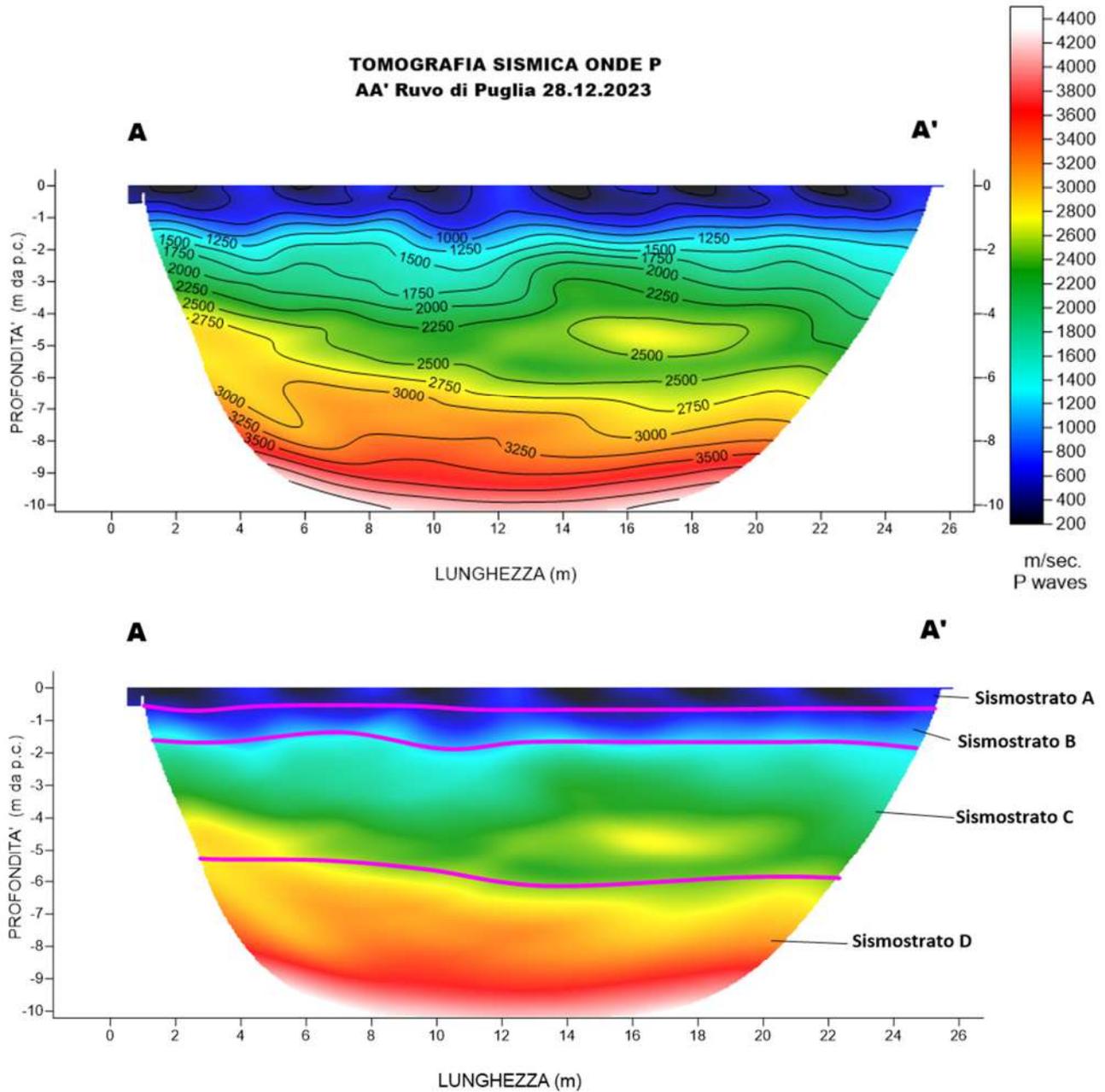


Fig. 4 – Sezione tomografica del profilo AA' (a). Interpretazione sezione tomografica (b)

Dal risultato dell'analisi sismica eseguita è possibile rilevare la presenza di 4 **sismostrati** con differenti valori di velocità delle onde sismiche longitudinali P.

Il primo sismostrato (Sismostrato A) è caratterizzato da velocità di propagazione delle onde P comprese tra 250 e 500 m/s e si spinge fino ad una profondità di circa 0.5 m dal p.c..

Il secondo sismostrato invece (sismostrato B), mostra valori di velocità delle onde P che partono da 500 m/s e arrivano a circa 1250 m/s alla profondità di circa 1.5 m dal p.c.

Il terzo sismostrato (sismostrato C), mostra valori di velocità delle onde P che partono da 1250 m/s e arrivano a circa 2500 m/s alla profondità di 6 m dal p.c.

Il quarto sismostrato infine (sismostrato D), mostra valori di velocità delle onde P che partono da 2500 m/s e arrivano a circa 4500 m/s alla profondità di circa 12 m dal p.c., aumentando in modo costante con l'aumento della profondità.

Assimilando i valori delle velocità di propagazione delle onde P alle litologie presenti nell'area come da indagini pregresse, in prima analisi si può affermare che il sismostrato superficiale è riferibile a terreno vegetale (Sismostrato A), il secondo sismostrato (Sismostrato B), a calcare estremamente fratturato e carsificato misto a terra rossa, il terzo sismostrato a calcari con elevato grado di fratturazione e carsismo e il quarto sismostrato, infine, (Sismostrato D), può essere riferibile sempre a litologie calcaree le cui caratteristiche tecniche migliorano con l'aumento della profondità.

#### 4.2 Stendimento sismico BB': interpretazione dei dati

Il profilo di sismica a rifrazione BB' ha una lunghezza di 24 metri lineari con interspazio geofonico di 1.0 m, direttrice orientata SW/NE e i due punti estremi hanno le seguenti coordinate (WGS84):

B – 619886.1 – 4547979.1 | B' – 619901.3 – 4547997.9

Lo stendimento BB' è stato ubicato come riportato nella seguente figura (Fig.5).

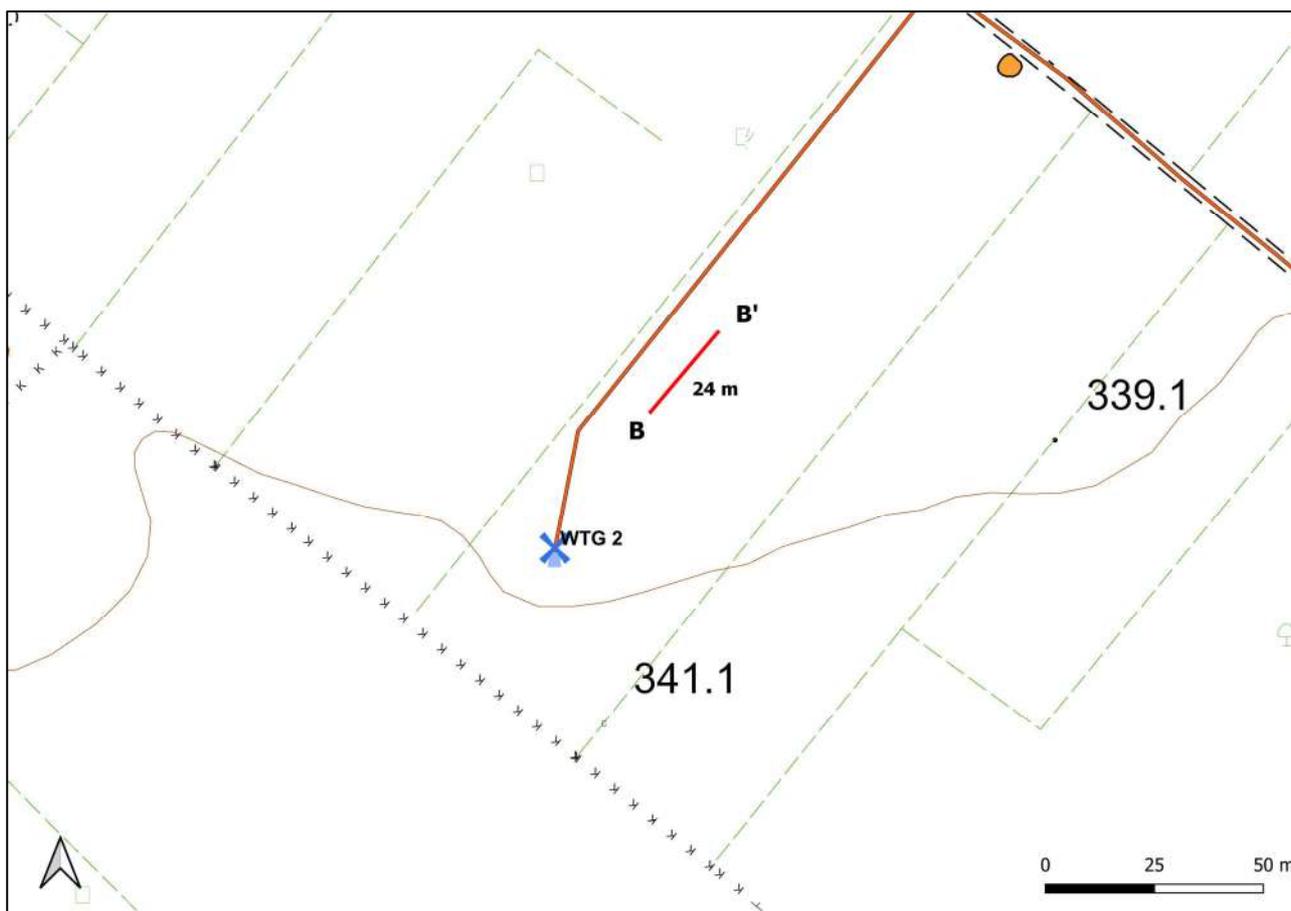


Fig. 5 – Ubicazione dello stendimento sismico BB' su CTR

La configurazione adottata è a 7 shots così distribuiti: 2 end – shots, posti a 0.5 metro dai geofoni esterni (S1 e S7); 4 intermedi, posti rispettivamente tra il 4° e 5° (S2), tra 8° e 9° (S3), tra 16° e 17° (S5), tra 20° e 21° (S6); 1 centrale tra il 12° e il 13° geofono (S4) (Fig.6).



Fig.6 - Configurazione geometrica dello stendimento sismico a rifrazione BB'

L'analisi interpretativa ha permesso di ricostruire l'andamento delle velocità delle onde P con la profondità, così come mostrato nella Figura 7 (sezione sismostratigrafica ed interpretazione).

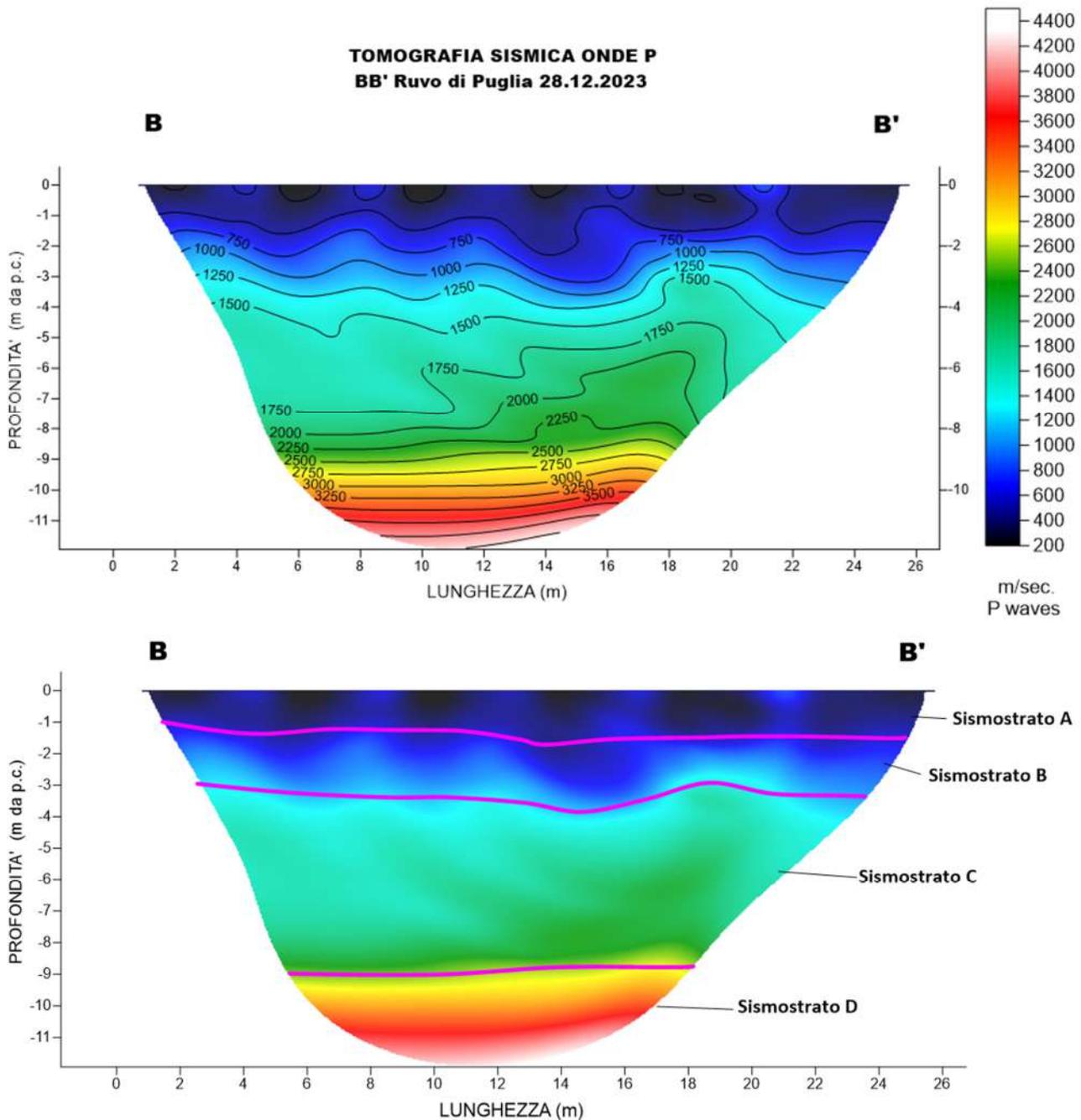


Fig. 7 – Sezione tomografica del profilo BB' (a). Interpretazione sezione tomografica (b)

Dal risultato dell'analisi sismica eseguita è possibile rilevare la presenza di 4 **sismostrati** con differenti valori di velocità delle onde sismiche longitudinali P.

Il primo sismostrato (Sismostrato A) è caratterizzato da velocità di propagazione delle onde P comprese tra 250 e 500 m/s e si spinge fino ad una profondità di circa 1.0 m dal p.c..

Il secondo sismostrato invece (sismostrato B), mostra valori di velocità delle onde P che partono da 500 m/s e arrivano a circa 1250 m/s alla profondità di circa 3.0 m dal p.c.

Il terzo sismostrato (sismostrato C), mostra valori di velocità delle onde P che partono da 1250 m/s e arrivano a circa 2500 m/s alla profondità di 9 m dal p.c.

Il quarto sismostrato infine (sismostrato D), mostra valori di velocità delle onde P che partono da 2500 m/s e arrivano a circa 4500 m/s alla profondità di circa 12 m dal p.c., aumentando in modo costante con l'aumento della profondità.

Assimilando i valori delle velocità di propagazione delle onde P alle litologie presenti nell'area come da indagini pregresse, in prima analisi si può affermare che il sismostrato superficiale è riferibile a terreno vegetale (Sismostrato A), il secondo sismostrato (Sismostrato B), a calcare estremamente fratturato e carsificato misto a terra rossa, il terzo sismostrato a calcari con elevato grado di fratturazione e carsismo e il quarto sismostrato, infine, (Sismostrato D), può essere riferibile sempre a litologie calcaree le cui caratteristiche tecniche migliorano con l'aumento della profondità.

### 4.3 Stendimento sismico CC': interpretazione dei dati

Il profilo di sismica a rifrazione CC' ha una lunghezza di 24 metri lineari con interspazio geofonico di 1.0 m, direttrice orientata SW/NE e i due punti estremi hanno le seguenti coordinate (WGS84):

C – 619888.1 – 4546910.2 | C' – 619905.5 – 4546927.2

Lo stendimento CC' è stato ubicato come riportato nella seguente figura (Fig.8).

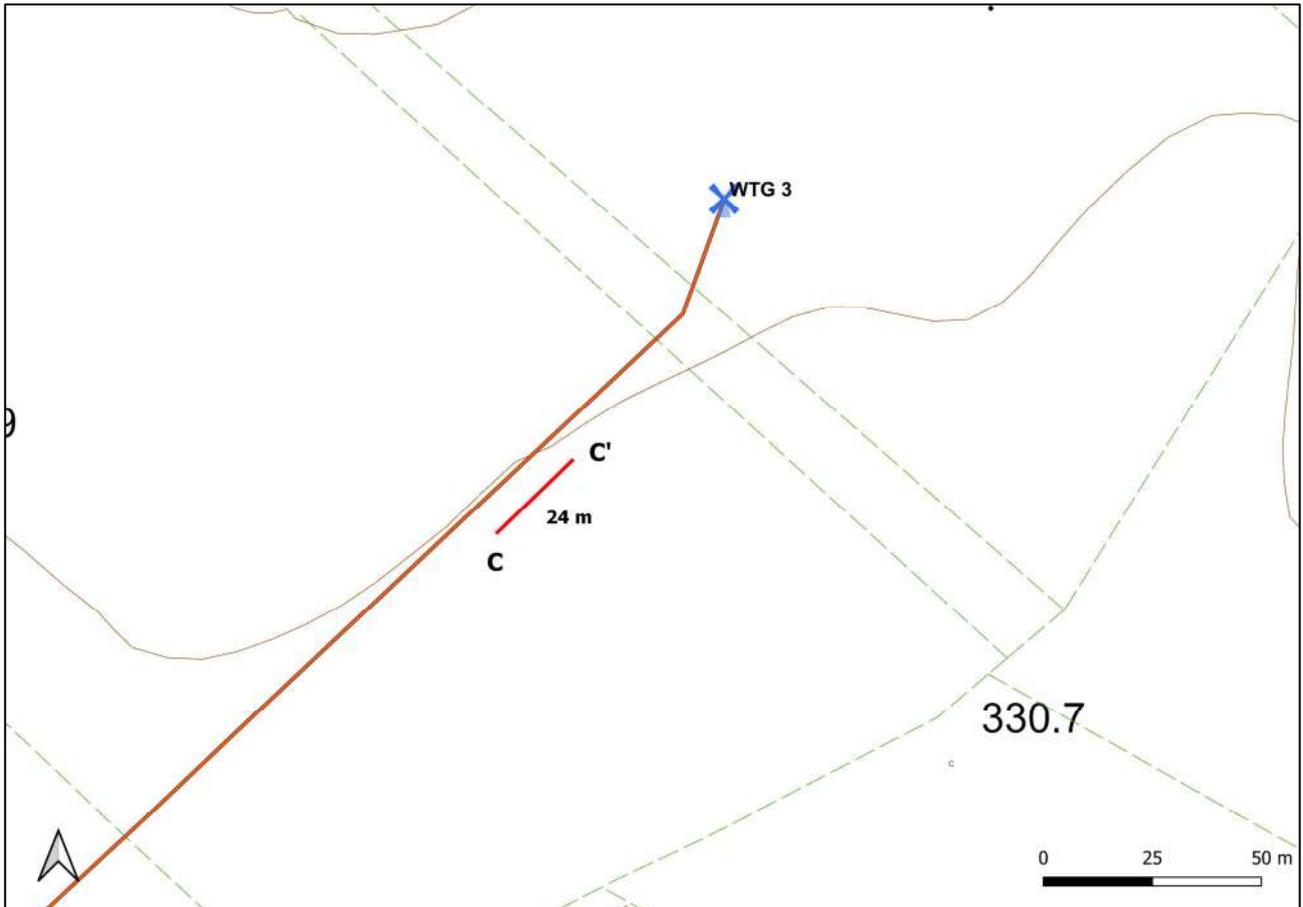


Fig. 8 – Ubicazione dello stendimento sismico CC' su CTR

La configurazione adottata è a 7 shots così distribuiti: 2 end – shots, posti a 0.5 metro dai geofoni esterni (S1 e S7); 4 intermedi, posti rispettivamente tra il 4° e 5° (S2), tra 8° e 9° (S3), tra 16° e 17° (S5), tra 20° e 21° (S6); 1 centrale tra il 12° e il 13° geofono (S4) (Fig.9).



Fig.9 - Configurazione geometrica dello stendimento sismico a rifrazione CC

L'analisi interpretativa ha permesso di ricostruire l'andamento delle velocità delle onde P con la profondità, così come mostrato nella Figura 10 (sezione sismostratigrafica ed interpretazione).

**TOMOGRAFIA SISMICA ONDE P**  
**CC' Ruvo di Puglia 28.12.2023**

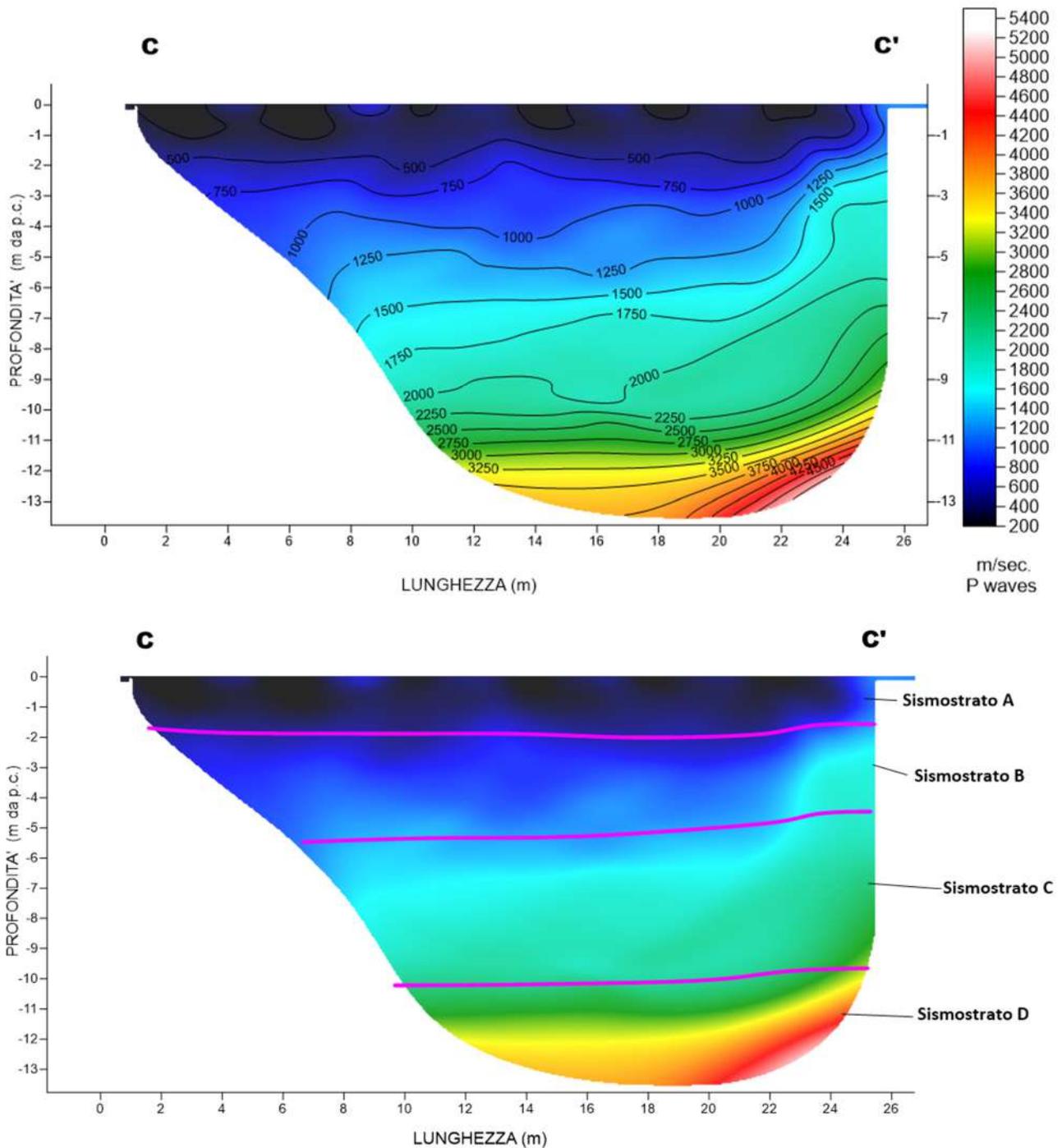


Fig. 10 – Sezione tomografica del profilo CC' (a). Interpretazione sezione tomografica (b)

Dal risultato dell'analisi sismica eseguita è possibile rilevare la presenza di 4 **sismostrati** con differenti valori di velocità delle onde sismiche longitudinali P.

Il primo sismostrato (Sismostrato A) è caratterizzato da velocità di propagazione delle onde P comprese tra 250 e 500 m/s e si spinge fino ad una profondità di circa 1.5 m dal p.c..

Il secondo sismostrato invece (sismostrato B), mostra valori di velocità delle onde P che partono da 500 m/s e arrivano a circa 1250 m/s alla profondità di circa 5.0 m dal p.c.

Il terzo sismostrato (sismostrato C), mostra valori di velocità delle onde P che partono da 1250 m/s e arrivano a circa 2500 m/s alla profondità di 10 m dal p.c.

Il quarto sismostrato infine (sismostrato D), mostra valori di velocità delle onde P che partono da 2500 m/s e arrivano a circa 4500 m/s alla profondità di circa 14 m dal p.c., aumentando in modo costante con l'aumento della profondità.

Assimilando i valori delle velocità di propagazione delle onde P alle litologie presenti nell'area come da indagini pregresse, in prima analisi si può affermare che il sismostrato superficiale è riferibile a terreno vegetale misto a roccia calcarea (Sismostrato A), il secondo sismostrato (Sismostrato B), a calcare estremamente fratturato e carsificato misto a terra rossa, il terzo sismostrato a calcari con elevato grado di fratturazione e carsismo e il quarto sismostrato, infine, (Sismostrato D), può essere riferibile sempre a litologie calcaree le cui caratteristiche tecniche migliorano con l'aumento della profondità.

#### 4.4 Stendimento sismico DD': interpretazione dei dati

Il profilo di sismica a rifrazione DD' ha una lunghezza di 24 metri lineari con interspazio geofonico di 1.0 m, direttrice orientata NE/SW e i due punti estremi hanno le seguenti coordinate (WGS84):

D – 620771.4 – 4546278.1 | D' – 620753.7 – 4546261.3

Lo stendimento DD' è stato ubicato come riportato nella seguente figura (Fig.12).

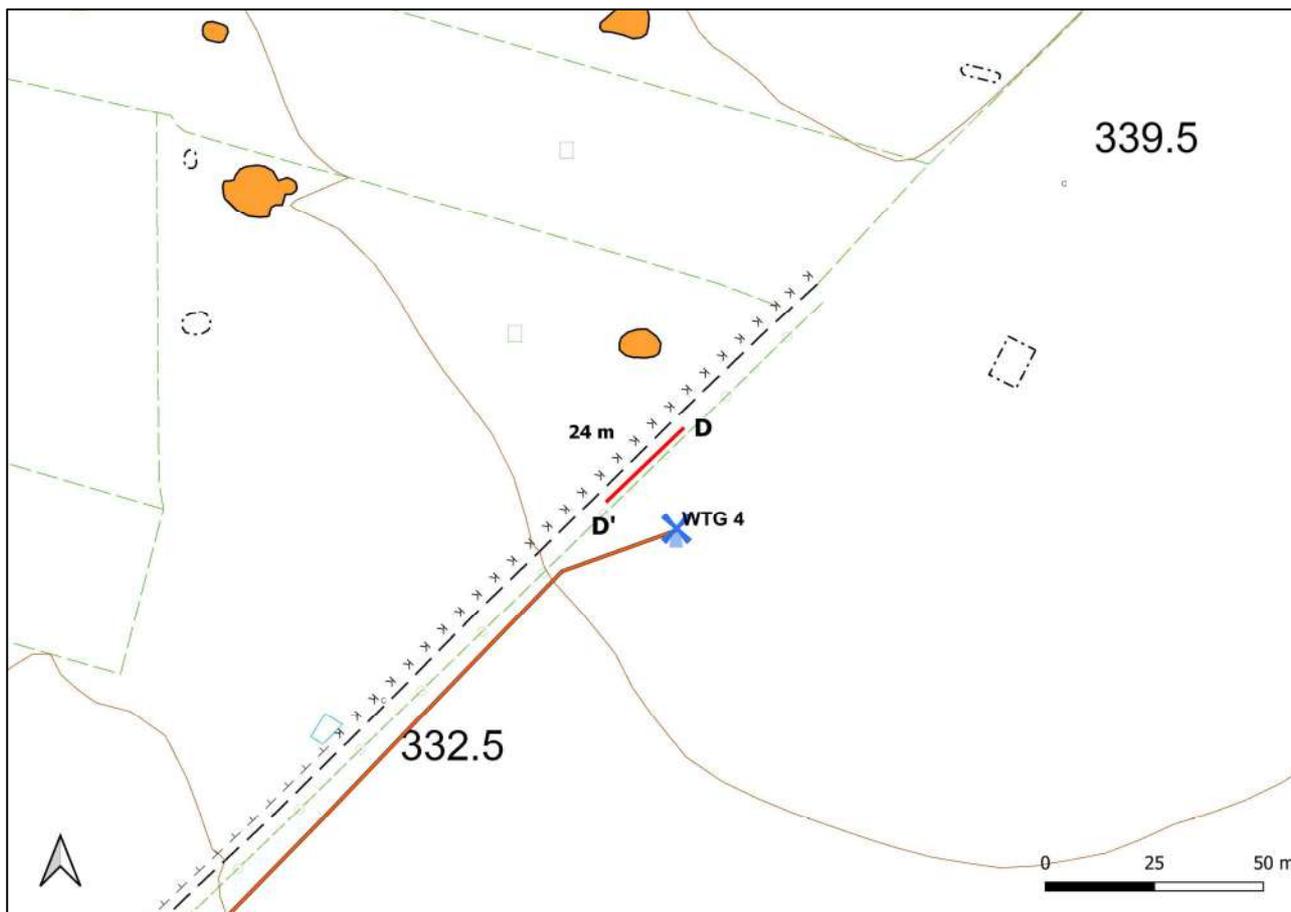


Fig. 12 – Ubicazione dello stendimento sismico DD' su CTR

La configurazione adottata è a 7 shots così distribuiti: 2 end – shots, posti a 0.5 metro dai geofoni esterni (S1 e S7); 4 intermedi, posti rispettivamente tra il 4° e 5° (S2), tra 8° e 9° (S3), tra 16° e 17° (S5), tra 20° e 21° (S6); 1 centrale tra il 12° e il 13° geofono (S4) (Fig.13).

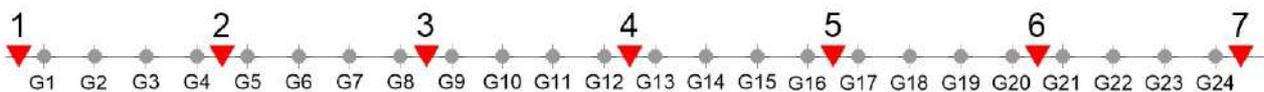


Fig.13 - Configurazione geometrica dello stendimento sismico a rifrazione DD'

L'analisi interpretativa ha permesso di ricostruire l'andamento delle velocità delle onde P con la profondità, così come mostrato nella Figura 14 (sezione sismostratigrafica ed interpretazione).

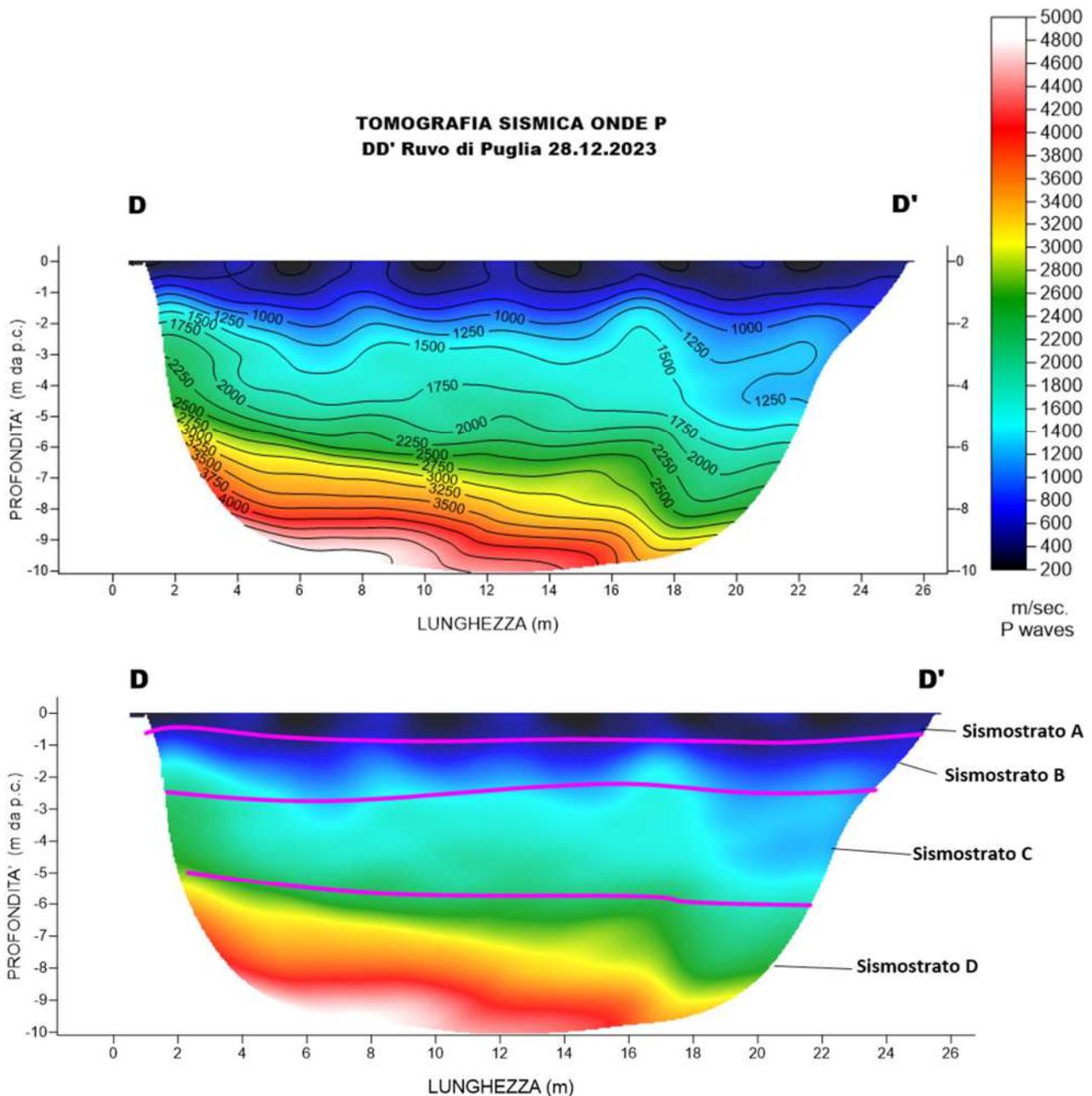


Fig. 14 – Sezione tomografica del profilo DD' (a). Interpretazione sezione tomografica (b)

Dal risultato dell'analisi sismica eseguita è possibile rilevare la presenza di 4 **sismostrati** con differenti valori di velocità delle onde sismiche longitudinali P.

Il primo sismostrato (Sismostrato A) è caratterizzato da velocità di propagazione delle onde P comprese tra 250 e 500 m/s e si spinge fino ad una profondità di circa 0.5/1.0 m dal p.c..

Il secondo sismostrato invece (sismostrato B), mostra valori di velocità delle onde P che partono da 500 m/s e arrivano a circa 1250 m/s alla profondità di circa 2.5 m dal p.c.

Il terzo sismostrato (sismostrato C), mostra valori di velocità delle onde P che partono da 1250 m/s e arrivano a circa 2500 m/s alla profondità di 5 m dal p.c.

Il quarto sismostrato infine (sismostrato D), mostra valori di velocità delle onde P che partono da 2500 m/s e arrivano a circa 4500 m/s alla profondità di circa 10 m dal p.c., aumentando in modo costante con l'aumento della profondità. Assimilando i valori delle velocità di propagazione delle onde P alle litologie presenti nell'area come da indagini pregresse, in prima analisi si può affermare che il sismostrato superficiale è riferibile a terreno vegetale (Sismostrato A), il secondo sismostrato (Sismostrato B), a calcare estremamente fratturato e carsificato misto a terra rossa, il terzo sismostrato a calcari con elevato grado di fratturazione e carsismo e il quarto sismostrato, infine, (Sismostrato D), può essere riferibile sempre a litologie calcaree le cui caratteristiche tecniche migliorano con l'aumento della profondità.

#### 4.5 Stendimento sismico EE': interpretazione dei dati

Il profilo di sismica a rifrazione EE' ha una lunghezza di 24 metri lineari con interspazio geofonico di 1.0 m, direttrice orientata SE/NW e i due punti estremi hanno le seguenti coordinate (WGS84):

E – 622802.9 – 4545893.2 | E' - 622782.1 – 4545905.6

Lo stendimento EE' è stato ubicato come riportato nella seguente figura (Fig.15).

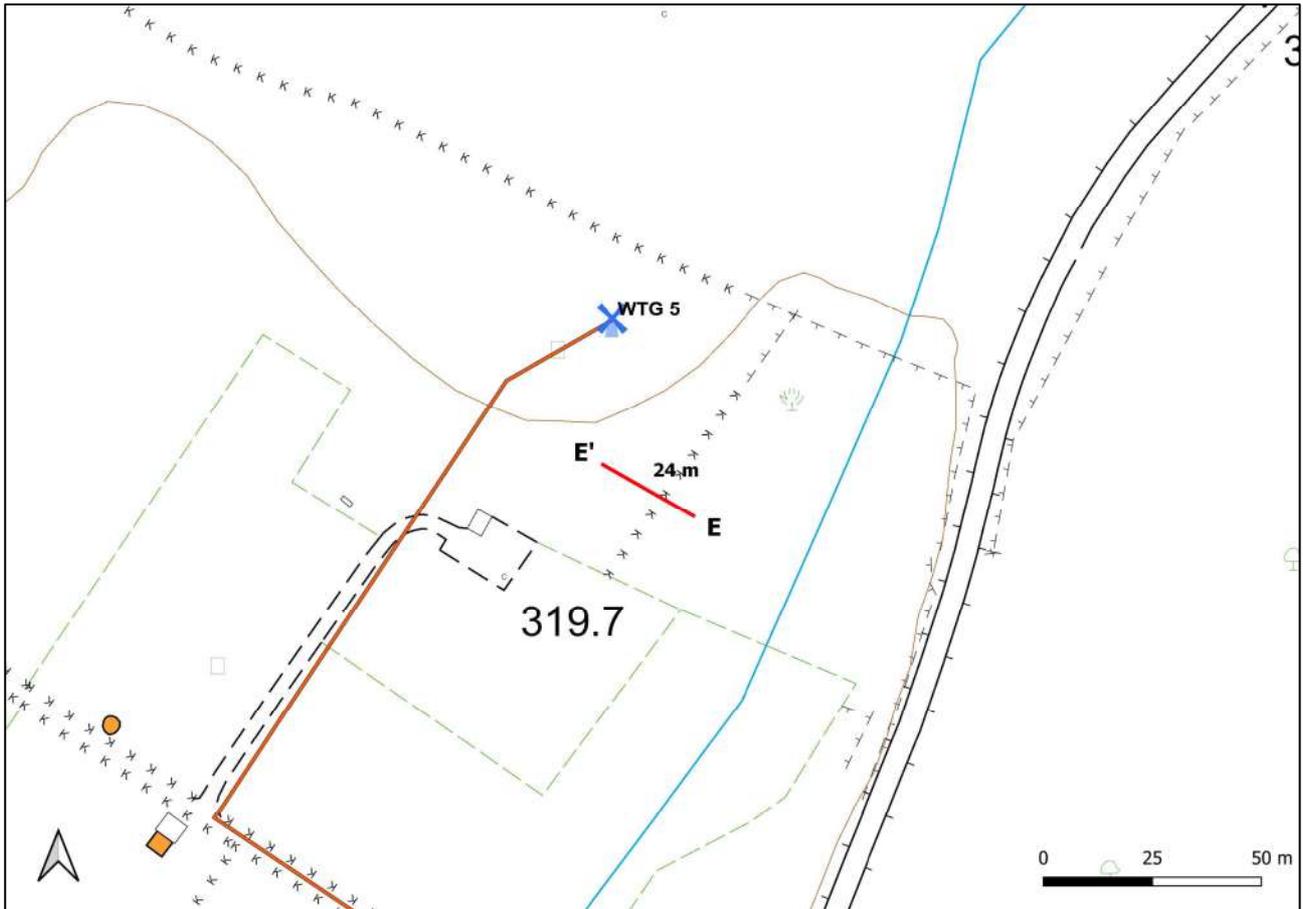


Fig. 15 – Ubicazione dello stendimento sismico EE' su CTR

La configurazione adottata è a 7 shots così distribuiti: 2 end – shots, posti a 0.5 metro dai geofoni esterni (S1 e S7); 4 intermedi, posti rispettivamente tra il 4° e 5° (S2), tra 8° e 9° (S3), tra 16° e 17° (S5), tra 20° e 21° (S6); 1 centrale tra il 12° e il 13° geofono (S4) (Fig.16).

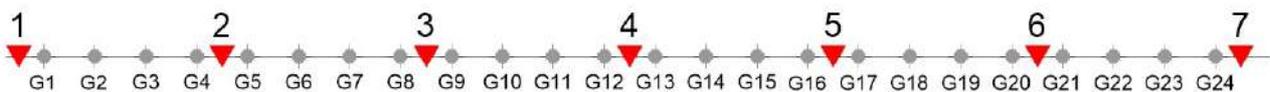


Fig.16 - Configurazione geometrica dello stendimento sismico a rifrazione EE'

L'analisi interpretativa ha permesso di ricostruire l'andamento delle velocità delle onde P con la profondità, così come mostrato nella Figura 17 (sezione sismostratigrafica ed interpretazione).

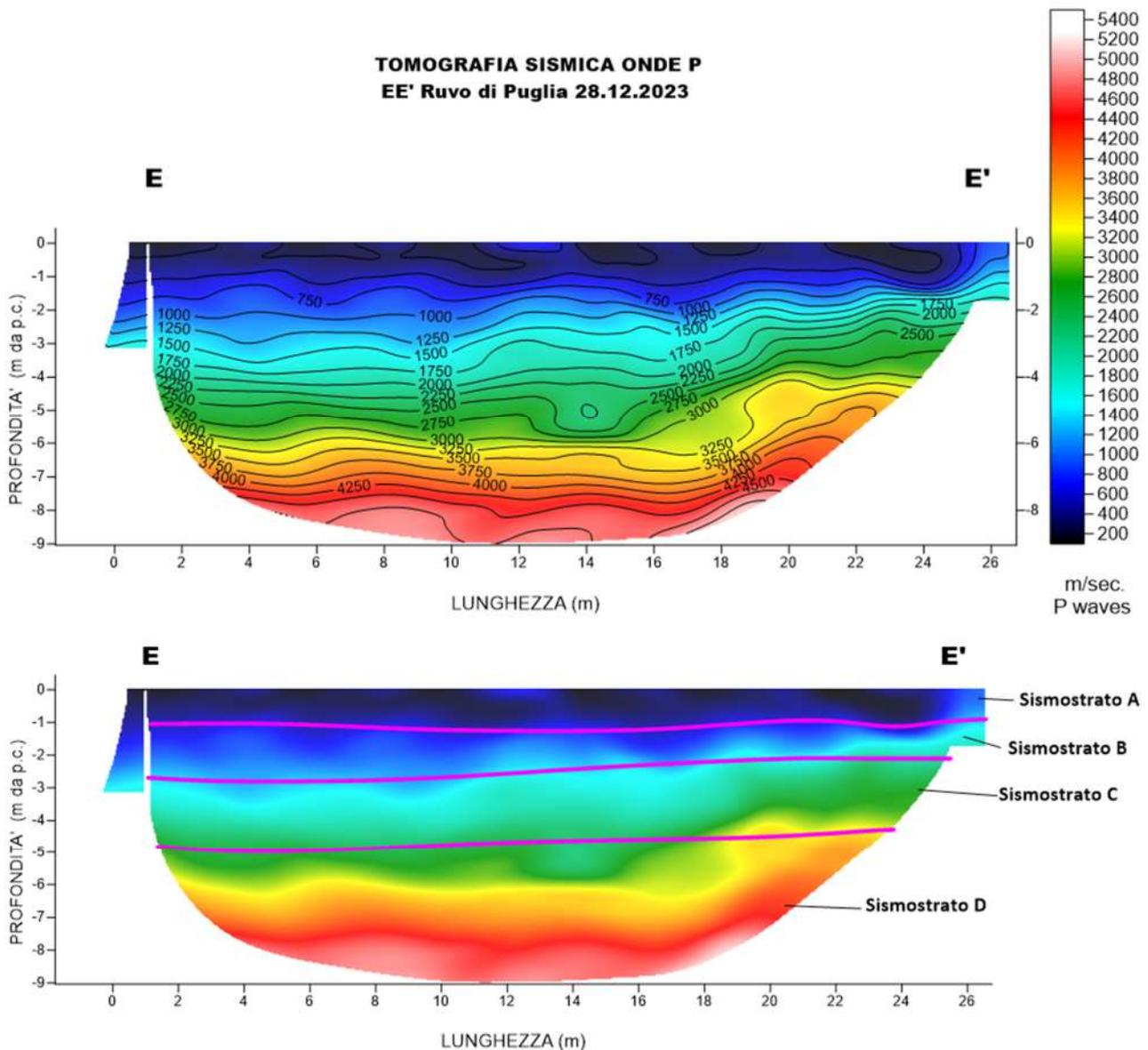


Fig. 17 – Sezione tomografica del profilo EE' (a). Interpretazione sezione tomografica (b)

Dal risultato dell'analisi sismica eseguita è possibile rilevare la presenza di 4 **sismostrati** con differenti valori di velocità delle onde sismiche longitudinali P.

Il primo sismostrato (Sismostrato A) è caratterizzato da velocità di propagazione delle onde P comprese tra 250 e 500 m/s e si spinge fino ad una profondità di circa 1.0 m dal p.c..

Il secondo sismostrato invece (sismostrato B), mostra valori di velocità delle onde P che partono da 500 m/s e arrivano a circa 1250 m/s alla profondità di circa 2.5/3.0 m dal p.c.

Il terzo sismostrato (sismostrato C), mostra valori di velocità delle onde P che partono da 1250 m/s e arrivano a circa 2500 m/s alla profondità di 5 m dal p.c.

Il quarto sismostrato infine (sismostrato D), mostra valori di velocità delle onde P che partono da 2500 m/s e arrivano a circa 4500 m/s alla profondità di circa 9 m dal p.c., aumentando in modo costante con l'aumento della profondità.

Assimilando i valori delle velocità di propagazione delle onde P alle litologie presenti nell'area come da indagini pregresse, in prima analisi si può affermare che il sismostrato superficiale è riferibile a terreno vegetale (Sismostrato A), il secondo sismostrato (Sismostrato B), a calcare estremamente fratturato e carsificato misto a terra rossa, il terzo sismostrato a calcari con elevato grado di fratturazione e carsismo e il quarto sismostrato, infine, (Sismostrato D), può essere riferibile sempre a litologie calcaree le cui caratteristiche tecniche migliorano con l'aumento della profondità.

#### 4.6 Stendimento sismico FF': interpretazione dei dati

Il profilo di sismica a rifrazione FF' ha una lunghezza di 24 metri lineari con interspazio geofonico di 1.0 m, direttrice orientata E/W e i due punti estremi hanno le seguenti coordinate (WGS84):

F – 623106.1 – 4544568.1 | F' – 623081.8 – 4544567.4

Lo stendimento FF' è stato ubicato come riportato nella seguente figura (Fig.18).

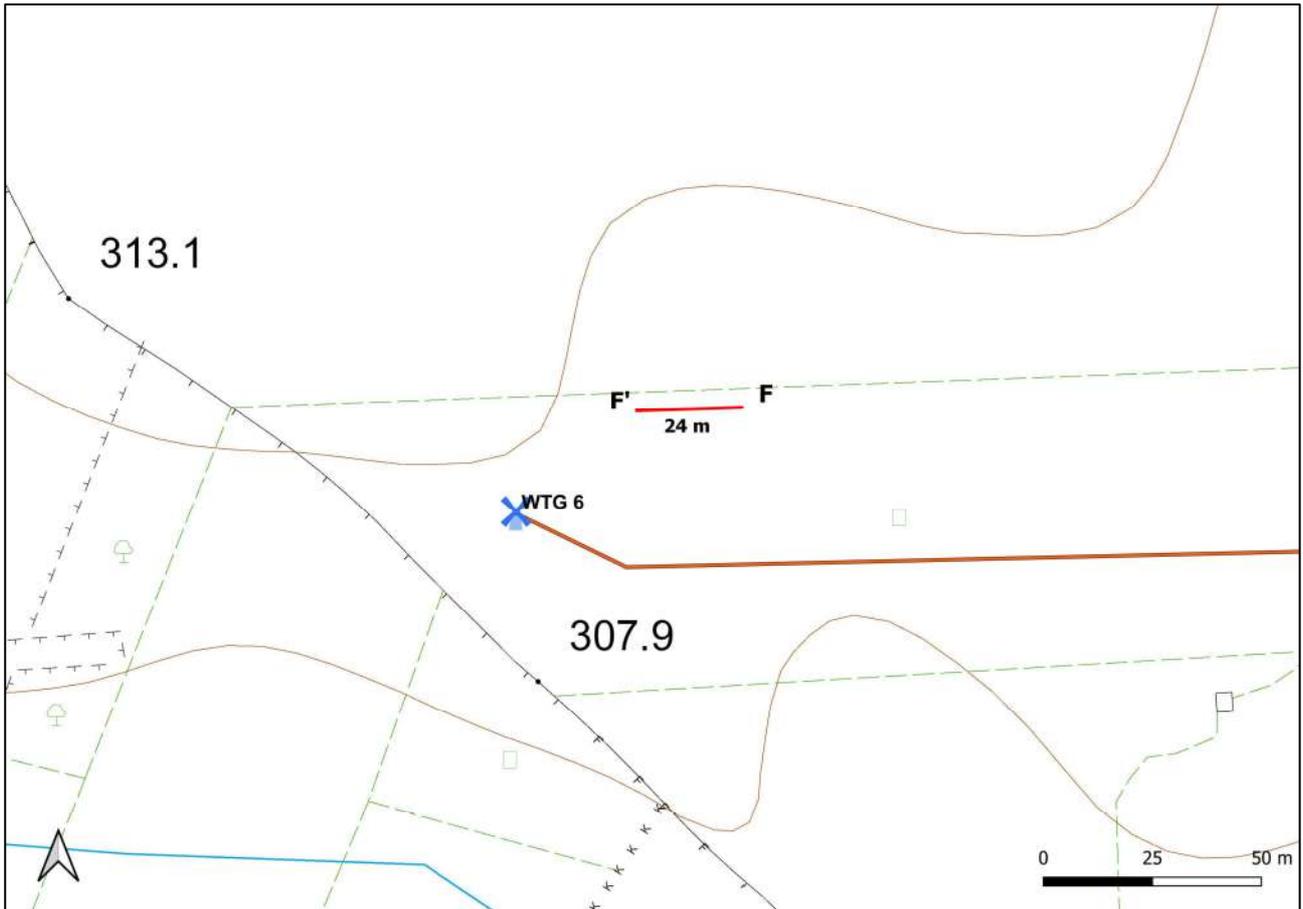


Fig. 18 – Ubicazione dello stendimento sismico FF' su CTR

La configurazione adottata è a 7 shots così distribuiti: 2 end – shots, posti a 0.5 metro dai geofoni esterni (S1 e S7); 4 intermedi, posti rispettivamente tra il 4° e 5° (S2), tra 8° e 9° (S3), tra 16° e 17° (S5), tra 20° e 21° (S6); 1 centrale tra il 12° e il 13° geofono (S4) (Fig.19).

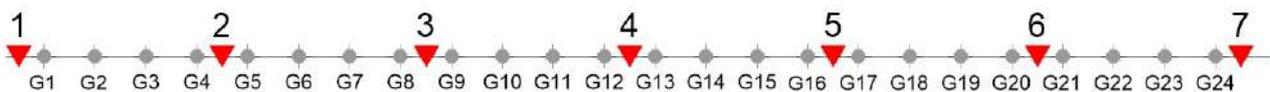


Fig.19 - Configurazione geometrica dello stendimento sismico a rifrazione FF'

L'analisi interpretativa ha permesso di ricostruire l'andamento delle velocità delle onde P con la profondità, così come mostrato nella Figura 20 (sezione sismostratigrafica ed interpretazione).

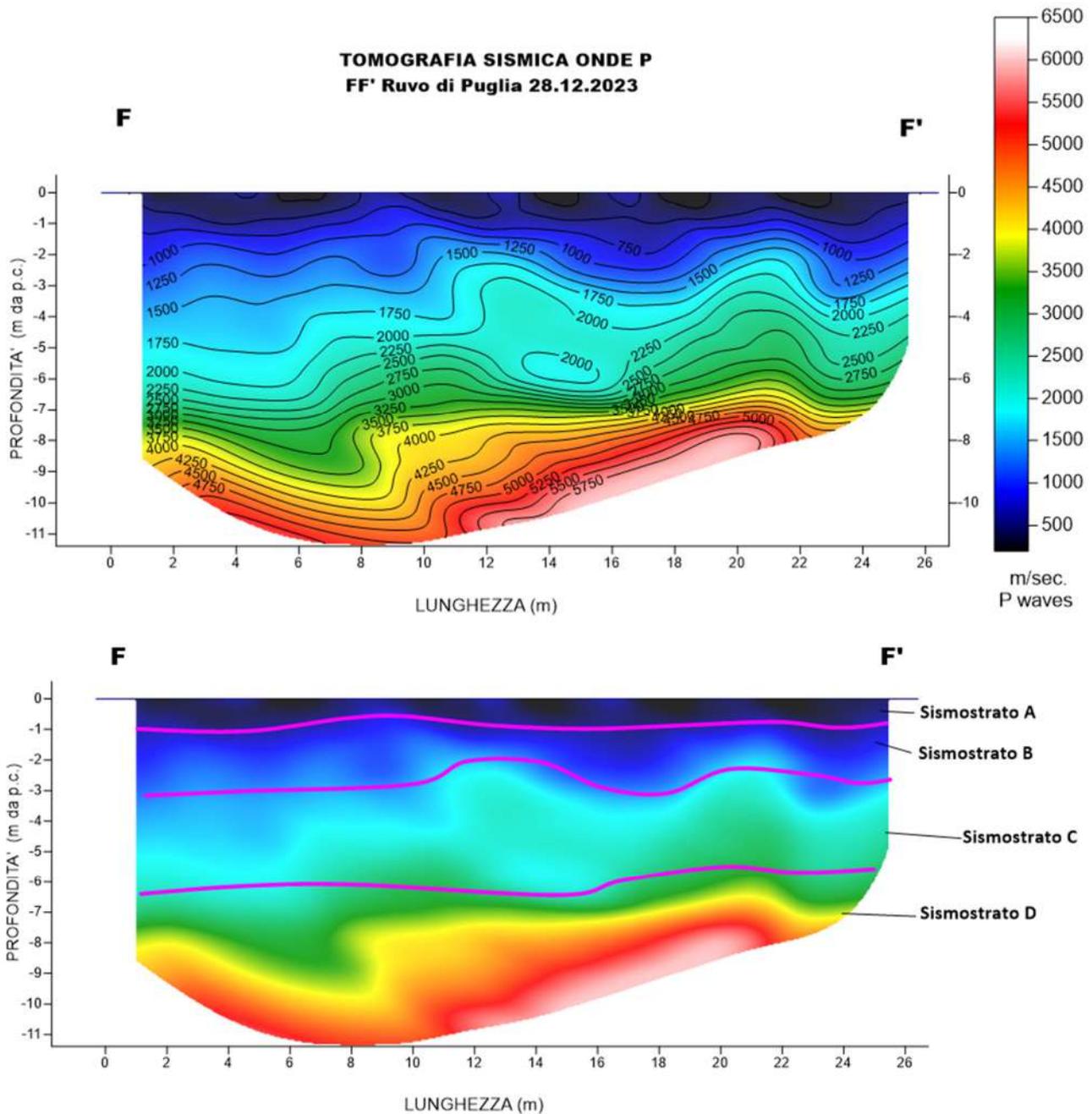


Fig. 20 – Sezione tomografica del profilo FF' (a). Interpretazione sezione tomografica (b)

Dal risultato dell'analisi sismica eseguita è possibile rilevare la presenza di 4 **sismostrati** con differenti valori di velocità delle onde sismiche longitudinali P.

Il primo sismostrato (Sismostrato A) è caratterizzato da velocità di propagazione delle onde P comprese tra 250 e 500 m/s e si spinge fino ad una profondità di circa 1.0 m dal p.c..

Il secondo sismostrato invece (sismostrato B), mostra valori di velocità delle onde P che partono da 500 m/s e arrivano a circa 1250 m/s alla profondità di circa 2.5/3 m dal p.c.

Il terzo sismostrato (sismostrato C), mostra valori di velocità delle onde P che partono da 1250 m/s e arrivano a circa 2500 m/s alla profondità di 6 m dal p.c.

Il quarto sismostrato infine (sismostrato D), mostra valori di velocità delle onde P che partono da 2500 m/s e arrivano a circa 4500 m/s alla profondità di circa 11 m dal p.c., aumentando in modo costante con l'aumento della profondità. Assimilando i valori delle velocità di propagazione delle onde P alle litologie presenti nell'area come da indagini pregresse, in prima analisi si può affermare che il sismostrato superficiale è riferibile a terreno vegetale (Sismostrato A), il secondo sismostrato (Sismostrato B), a calcare estremamente fratturato e carsificato misto a terra rossa, il terzo sismostrato a calcari con elevato grado di fratturazione e carsismo e il quarto sismostrato, infine, (Sismostrato D), può essere riferibile sempre a litologie calcaree le cui caratteristiche tecniche migliorano con l'aumento della profondità.

#### 4.7 Stendimento sismico GG': interpretazione dei dati

Il profilo di sismica a rifrazione GG' ha una lunghezza di 24 metri lineari con interspazio geofonico di 1.0 m, direttrice orientata S.SW/N.NE e i due punti estremi hanno le seguenti coordinate (WGS84):

G – 624136.6 – 4545251.1 | G' – 624142.7 – 4545274.4

Lo stendimento GG' è stato ubicato come riportato nella seguente figura (Fig.18).

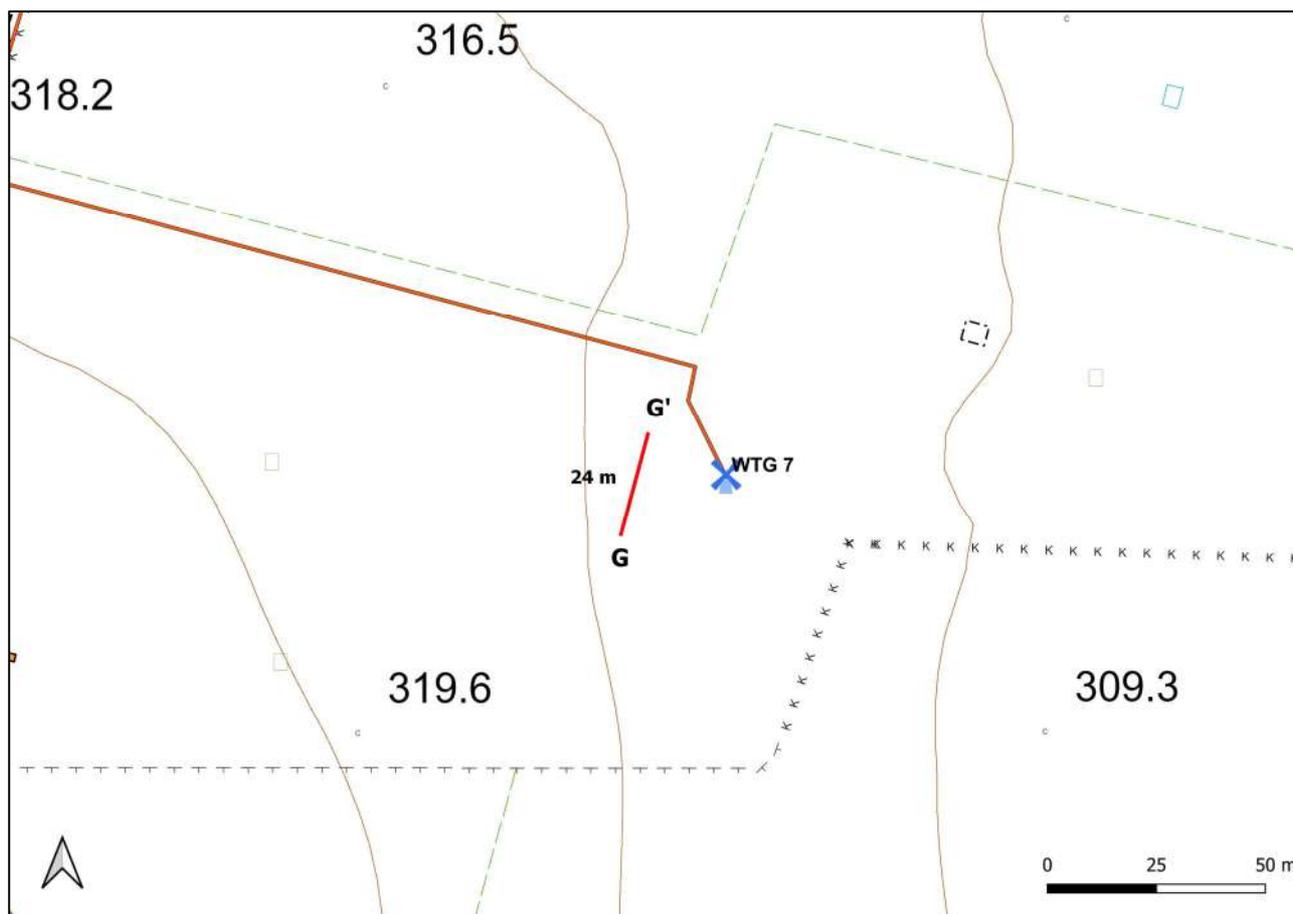


Fig. 21 – Ubicazione dello stendimento sismico GG' su CTR

La configurazione adottata è a 7 shots così distribuiti: 2 end – shots, posti a 0.5 metro dai geofoni esterni (S1 e S7); 4 intermedi, posti rispettivamente tra il 4° e 5° (S2), tra 8° e 9° (S3), tra 16° e 17° (S5), tra 20° e 21° (S6); 1 centrale tra il 12° e il 13° geofono (S4) (Fig.19).



Fig.22 - Configurazione geometrica dello stendimento sismico a rifrazione GG'

L'analisi interpretativa ha permesso di ricostruire l'andamento delle velocità delle onde P con la profondità, così come mostrato nella Figura 23 (sezione sismostratigrafica ed interpretazione).

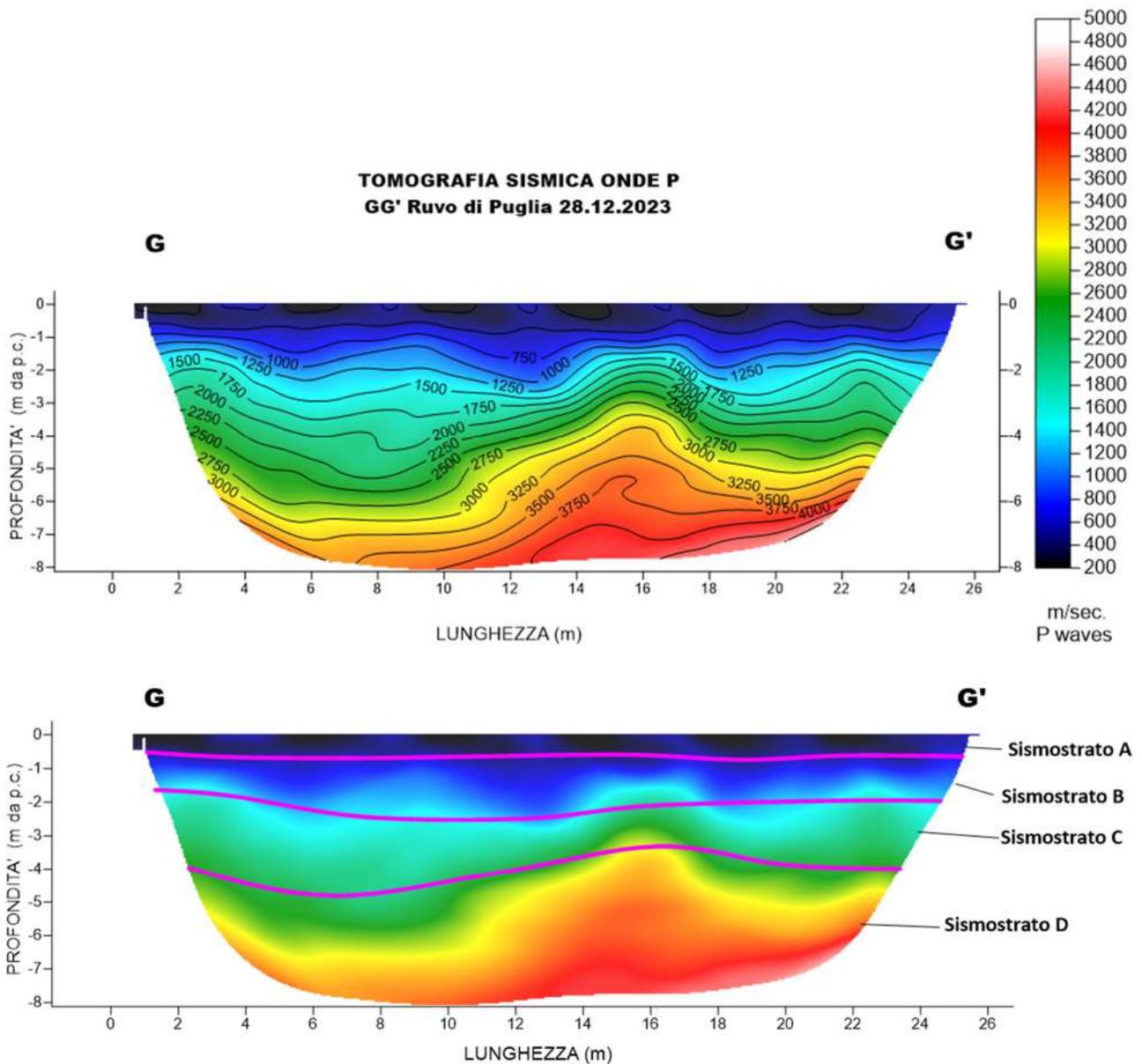


Fig. 23 – Sezione tomografica del profilo GG' (a). Interpretazione sezione tomografica (b)

Dal risultato dell'analisi sismica eseguita è possibile rilevare la presenza di 4 **sismostrati** con differenti valori di velocità delle onde sismiche longitudinali P.

Il primo sismostrato (Sismostrato A) è caratterizzato da velocità di propagazione delle onde P comprese tra 250 e 500 m/s e si spinge fino ad una profondità di circa 0.5 m dal p.c..

Il secondo sismostrato invece (sismostrato B), mostra valori di velocità delle onde P che partono da 500 m/s e arrivano a circa 1250 m/s alla profondità di circa 2.0 m dal p.c.

Il terzo sismostrato (sismostrato C), mostra valori di velocità delle onde P che partono da 1250 m/s e arrivano a circa 2500 m/s alla profondità di 4 m dal p.c.

Il quarto sismostrato infine (sismostrato D), mostra valori di velocità delle onde P che partono da 2500 m/s e arrivano a circa 4500 m/s alla profondità di circa 8 m dal p.c., aumentando in modo costante con l'aumento della profondità.

Assimilando i valori delle velocità di propagazione delle onde P alle litologie presenti nell'area come da indagini pregresse, in prima analisi si può affermare che il sismostrato superficiale è riferibile a terreno vegetale (Sismostrato A), il secondo sismostrato (Sismostrato B), a calcare estremamente fratturato e carsificato misto a terra rossa, il terzo sismostrato a calcari con elevato grado di fratturazione e carsismo e il quarto sismostrato, infine, (Sismostrato D), può essere riferibile sempre a litologie calcaree le cui caratteristiche tecniche migliorano con l'aumento della profondità.

#### 4.8 Stendimento sismico HH': interpretazione dei dati

Il profilo di sismica a rifrazione HH' ha una lunghezza di 24 metri lineari con interspazio geofonico di 1.0 m, direttrice orientata SE/NW e i due punti estremi hanno le seguenti coordinate (WGS84):

H – 624613.1 – 4545817.8 | H' – 624595.1 – 4545834.4

Lo stendimento HH' è stato ubicato come riportato nella seguente figura (Fig.24).

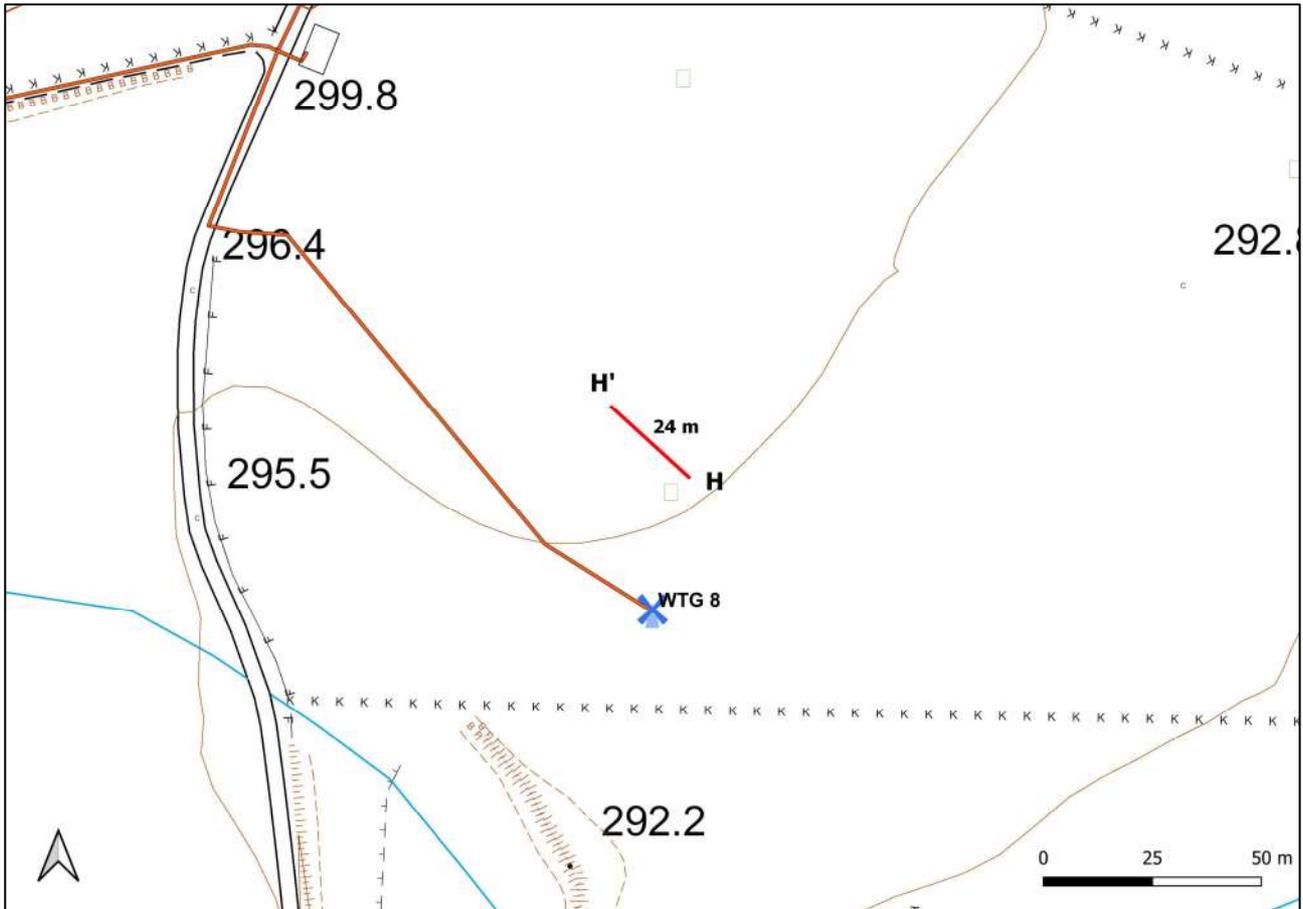


Fig. 24 – Ubicazione dello stendimento sismico HH' su CTR

La configurazione adottata è a 7 shots così distribuiti: 2 end – shots, posti a 0.5 metro dai geofoni esterni (S1 e S7); 4 intermedi, posti rispettivamente tra il 4° e 5° (S2), tra 8° e 9° (S3), tra 16° e 17° (S5), tra 20° e 21° (S6); 1 centrale tra il 12° e il 13° geofono (S4) (Fig.25).

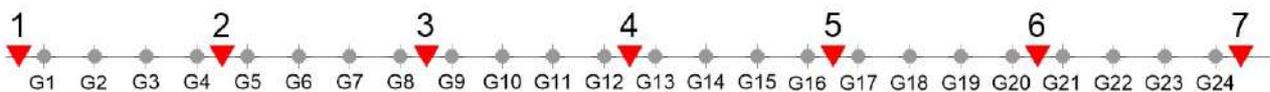


Fig.25 - Configurazione geometrica dello stendimento sismico a rifrazione HH'

L'analisi interpretativa ha permesso di ricostruire l'andamento delle velocità delle onde P con la profondità, così come mostrato nella Figura 26 (sezione sismostratigrafica ed interpretazione).

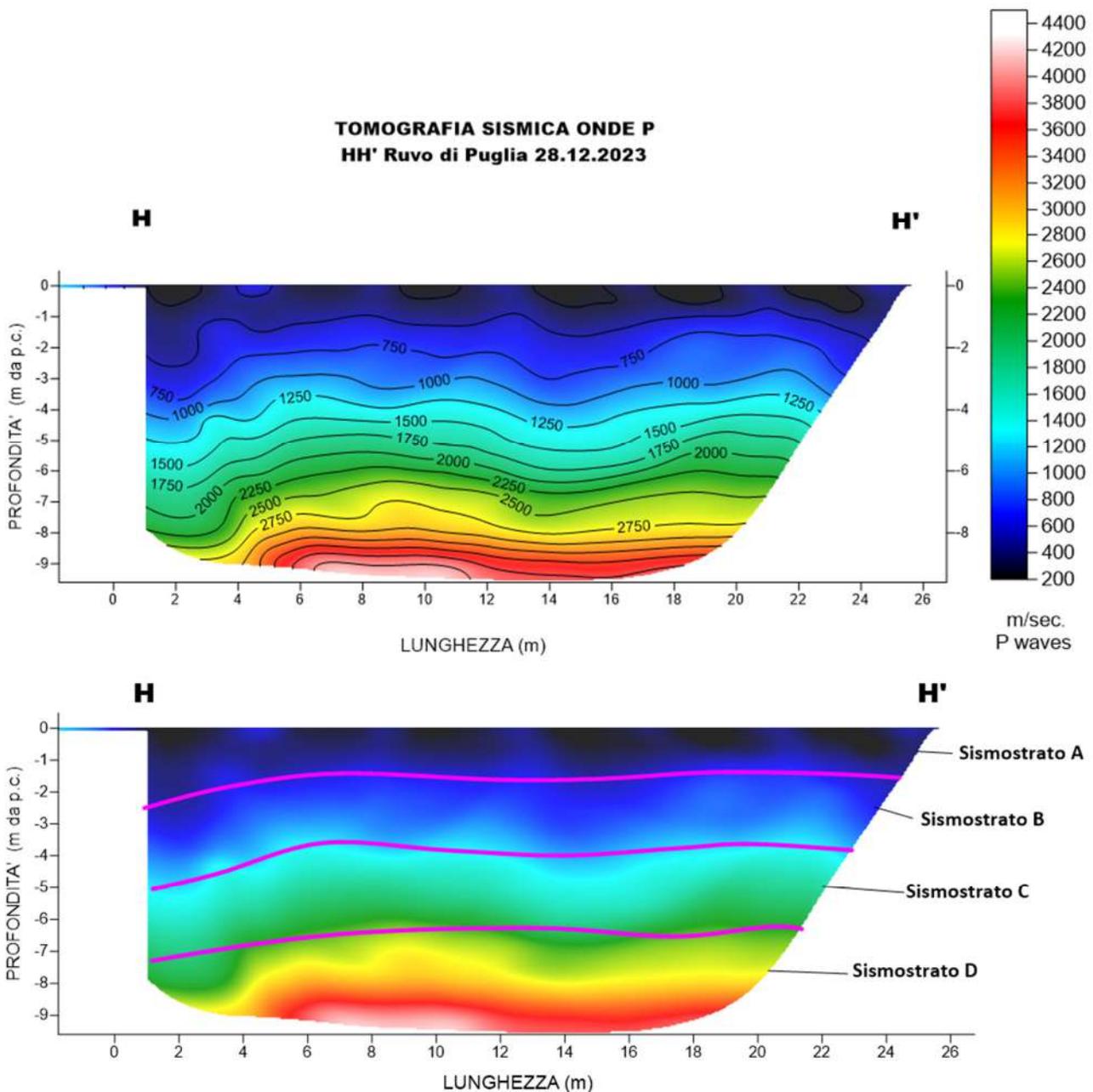


Fig. 26 – Sezione tomografica del profilo HH' (a). Interpretazione sezione tomografica (b)

Dal risultato dell'analisi sismica eseguita è possibile rilevare la presenza di 4 **sismostrati** con differenti valori di velocità delle onde sismiche longitudinali P.

Il primo sismostrato (Sismostrato A) è caratterizzato da velocità di propagazione delle onde P comprese tra 250 e 500 m/s e si spinge fino ad una profondità di circa 1.5 m dal p.c..

Il secondo sismostrato invece (sismostrato B), mostra valori di velocità delle onde P che partono da 500 m/s e arrivano a circa 1250 m/s alla profondità di circa 4.0 m dal p.c.

Il terzo sismostrato (sismostrato C), mostra valori di velocità delle onde P che partono da 1250 m/s e arrivano a circa 2500 m/s alla profondità di 7 m dal p.c.

Il quarto sismostrato infine (sismostrato D), mostra valori di velocità delle onde P che partono da 2500 m/s e arrivano a circa 4500 m/s alla profondità di circa 10 m dal p.c., aumentando in modo costante con l'aumento della profondità. Assimilando i valori delle velocità di propagazione delle onde P alle litologie presenti nell'area come da indagini pregresse, in prima analisi si può affermare che il sismostrato superficiale è riferibile a terreno vegetale (Sismostrato A), il secondo sismostrato (Sismostrato B), a calcare estremamente fratturato e carsificato misto a terra rossa, il terzo sismostrato a calcari con elevato grado di fratturazione e carsismo e il quarto sismostrato, infine, (Sismostrato D), può essere riferibile sempre a litologie calcaree le cui caratteristiche tecniche migliorano con l'aumento della profondità.

#### 4.9 Stendimento sismico II': interpretazione dei dati

Il profilo di sismica a rifrazione II' ha una lunghezza di 24 metri lineari con interspazio geofonico di 1.0 m, direttrice orientata N.NE/S.SW e i due punti estremi hanno le seguenti coordinate (WGS84):

I – 630672.6 – 4542995.3 | I' – 630664.1 - 4542973.1

Lo stendimento II' è stato ubicato come riportato nella seguente figura (Fig.24).

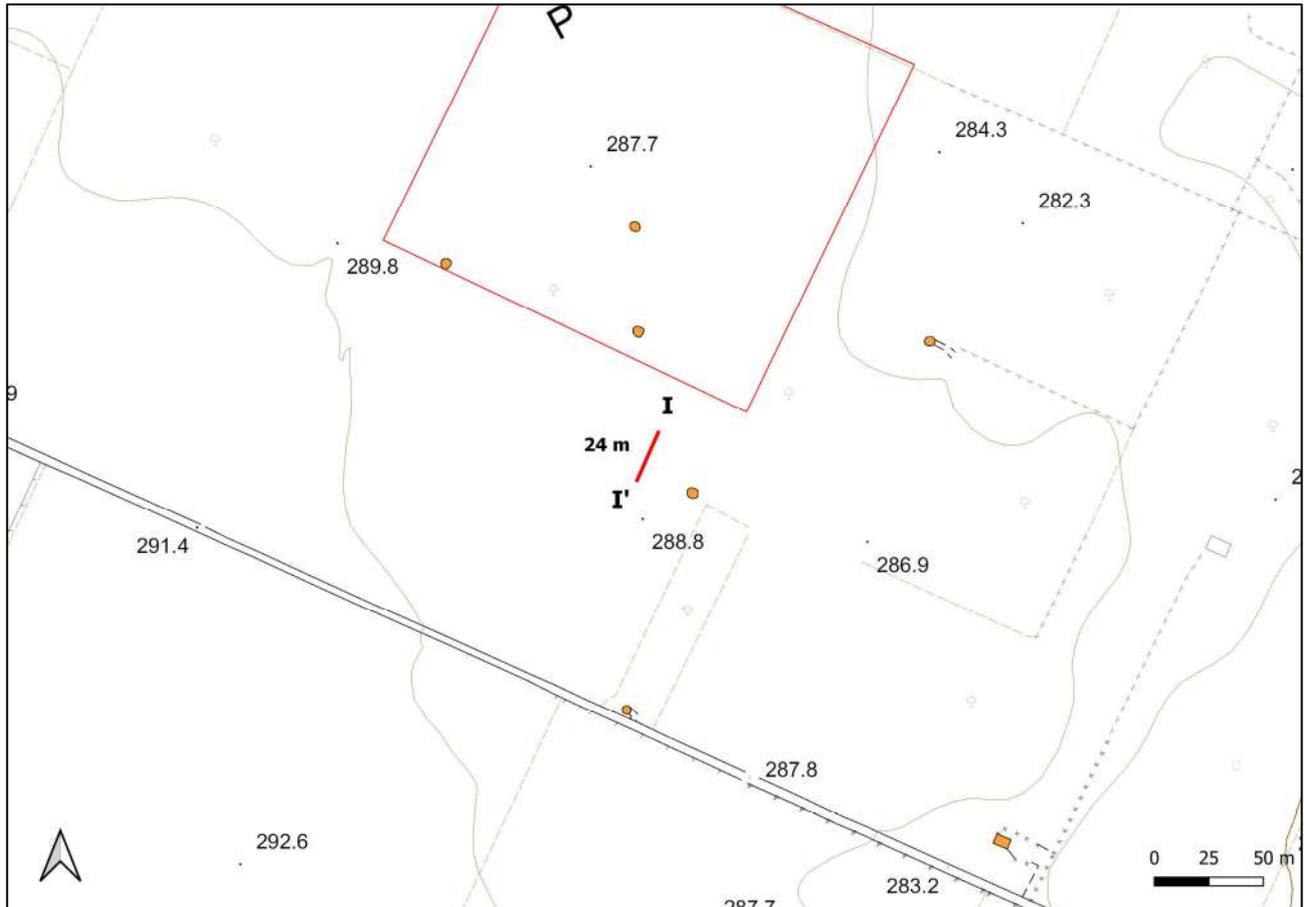


Fig. 27 – Ubicazione dello stendimento sismico II' su CTR

La configurazione adottata è a 7 shots così distribuiti: 2 end – shots, posti a 0.5 metro dai geofoni esterni (S1 e S7); 4 intermedi, posti rispettivamente tra il 4° e 5° (S2), tra 8° e 9° (S3), tra 16° e 17° (S5), tra 20° e 21° (S6); 1 centrale tra il 12° e il 13° geofono (S4) (Fig.28).



Fig.28 - Configurazione geometrica dello stendimento sismico a rifrazione II'

L'analisi interpretativa ha permesso di ricostruire l'andamento delle velocità delle onde P con la profondità, così come mostrato nella Figura 26 (sezione sismostratigrafica ed interpretazione).

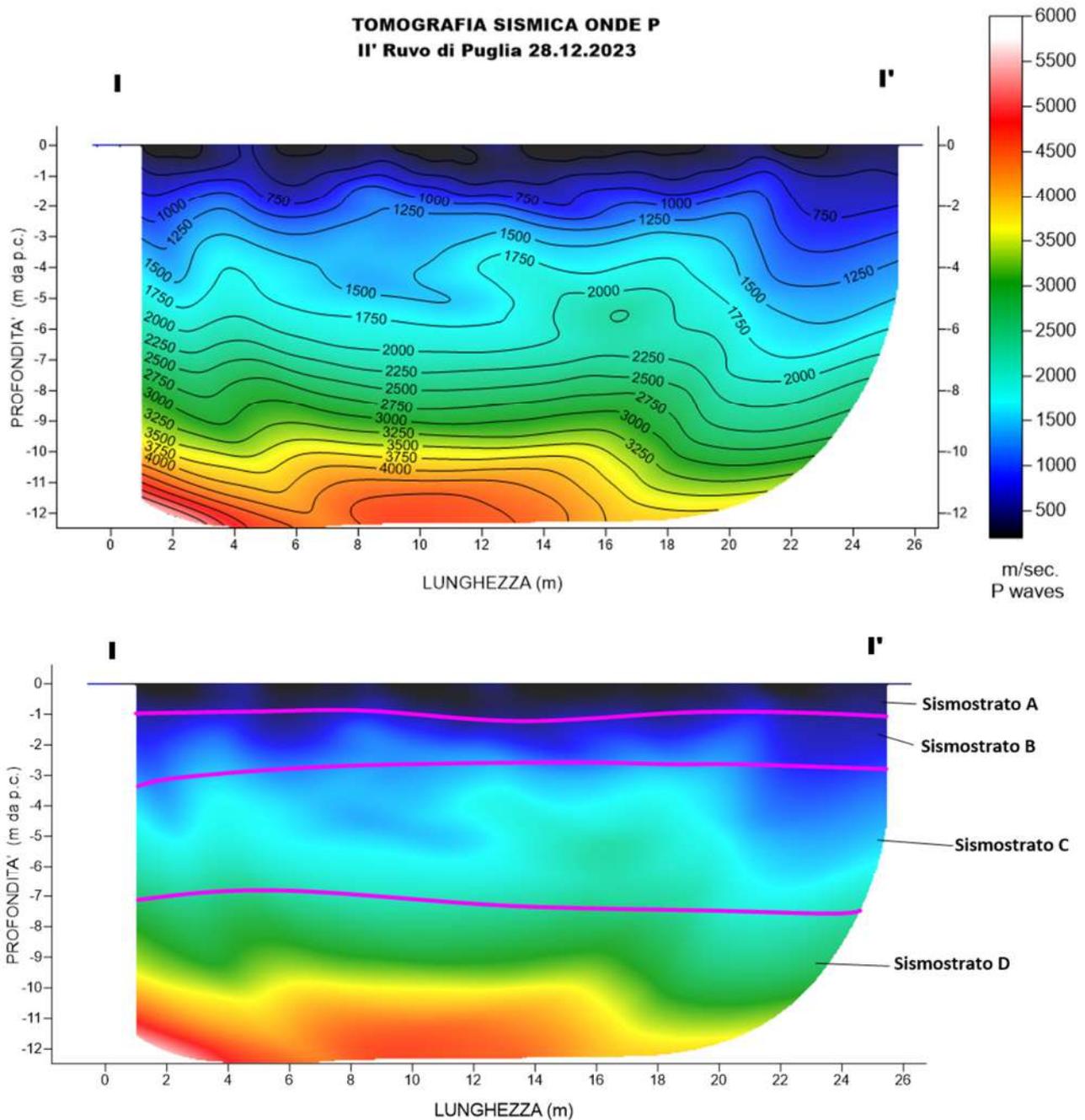


Fig. 29 – Sezione tomografica del profilo II' (a). Interpretazione sezione tomografica (b)

Dal risultato dell'analisi sismica eseguita è possibile rilevare la presenza di 4 **sismostrati** con differenti valori di velocità delle onde sismiche longitudinali P.

Il primo sismostrato (Sismostrato A) è caratterizzato da velocità di propagazione delle onde P comprese tra 250 e 500 m/s e si spinge fino ad una profondità di circa 1.0 m dal p.c..

Il secondo sismostrato invece (sismostrato B), mostra valori di velocità delle onde P che partono da 500 m/s e arrivano a circa 1250 m/s alla profondità di circa 3.0 m dal p.c.

Il terzo sismostrato (sismostrato C), mostra valori di velocità delle onde P che partono da 1250 m/s e arrivano a circa 2500 m/s alla profondità di 7 m dal p.c.

Il quarto sismostrato infine (sismostrato D), mostra valori di velocità delle onde P che partono da 2500 m/s e arrivano a circa 4500 m/s alla profondità di circa 12 m dal p.c., aumentando in modo costante con l'aumento della profondità.

Assimilando i valori delle velocità di propagazione delle onde P alle litologie presenti nell'area come da indagini pregresse, in prima analisi si può affermare che il sismostrato superficiale è riferibile a terreno vegetale (Sismostrato A), il secondo sismostrato (Sismostrato B), a calcare estremamente fratturato e carsificato misto a terra rossa, il terzo sismostrato a calcari con elevato grado di fratturazione e carsismo e il quarto sismostrato, infine, (Sismostrato D), può essere riferibile sempre a litologie calcaree le cui caratteristiche tecniche migliorano con l'aumento della profondità.

## 5. ANALISI MASW

L'indagine geofisica è stata completata con l'esecuzione di n.9 indagini MASW per la determinazione della categoria di suolo di fondazione e la stima del fattore di amplificazione sismica dell'area, sulla stessa traccia dei profili precedenti.

### 5.1 Stendimento sismico AA': interpretazione dei dati

Per il profilo in questione sono stati eseguiti alcuni scoppi effettuati a 1.0 m di distanza dal primo e dall'ultimo geofono. Il treno di onde generato da ciascun colpo di massa battente è stato campionato con intervallo temporale di 2.44 secondi (Fig.30).

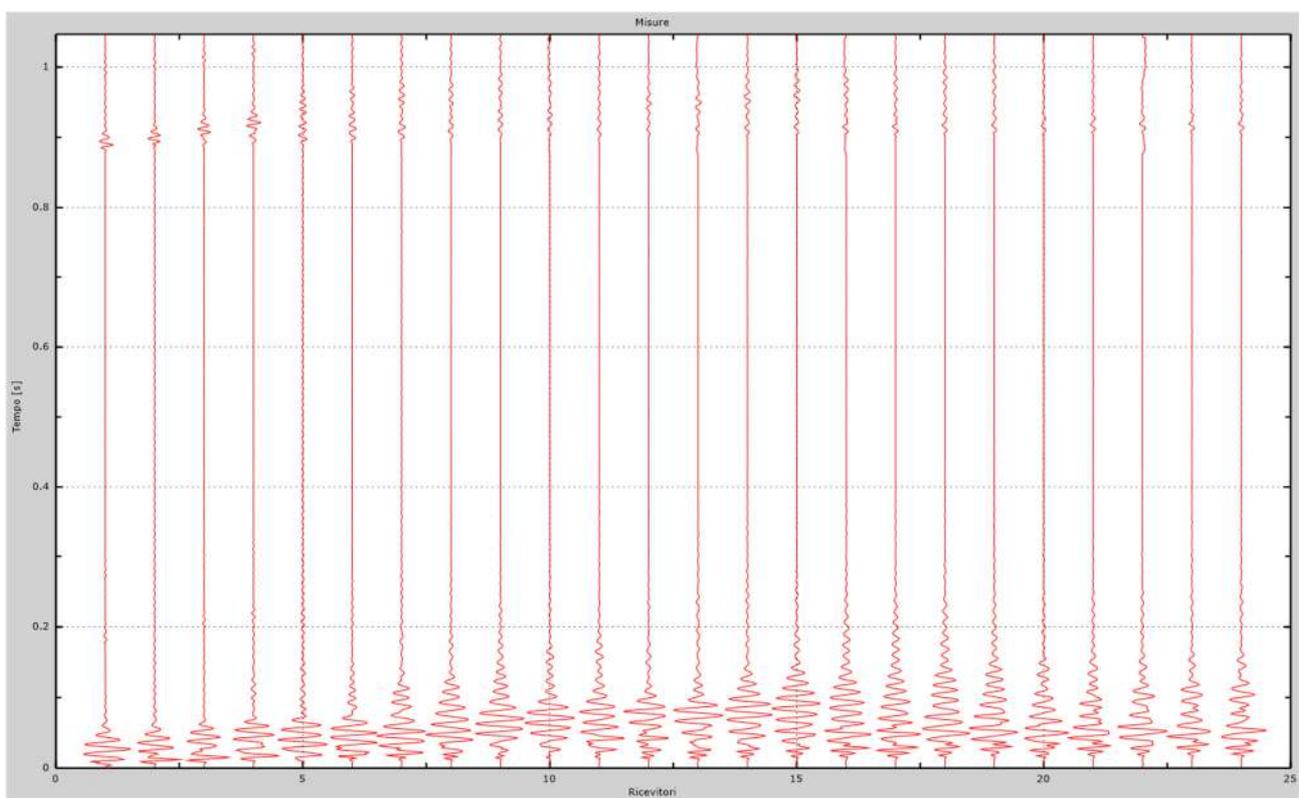


Fig. 30 – Sismogrammi dello scoppio considerato per l'analisi MASW del profilo AA'

L'individuazione del profilo  $V_s$  in funzione della profondità è stato desunto individuando la differenza (errore massimo) tra la curva di dispersione sperimentale (Fig.31) e la curva di dispersione numerica corrispondente al modello di suolo assegnato (Fig.32). Minore appare tale imprecisione, maggiore risulta la probabilità che il profilo delle onde di taglio individuato sia quello giusto.

L'analisi dello spettro "velocità di fase -frequenza" ha consentito di ricostruire un modello sismico monodimensionale del sottosuolo, il quale risulta costituito dall'andamento della velocità delle onde di taglio  $V_s$  in funzione della profondità (Fig.33). Si precisa infine che, come esposto sinteticamente nel paragrafo inerente la metodologia M.A.S.W., il modello del sottosuolo e di conseguenza anche l'inversione di velocità rilevata, sono stati ottenuti in corrispondenza del punto medio del profilo di acquisizione.

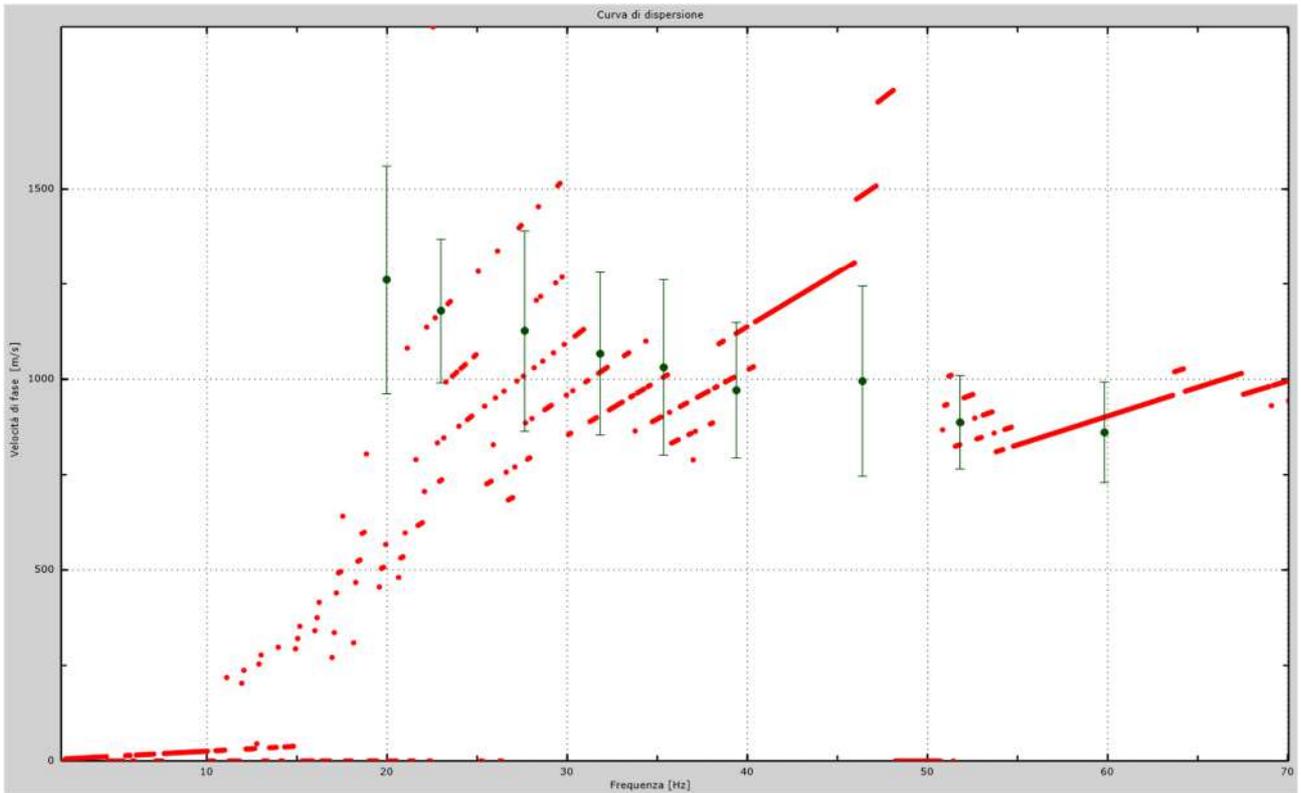


Fig.31 - Curva di dispersione sperimentale.

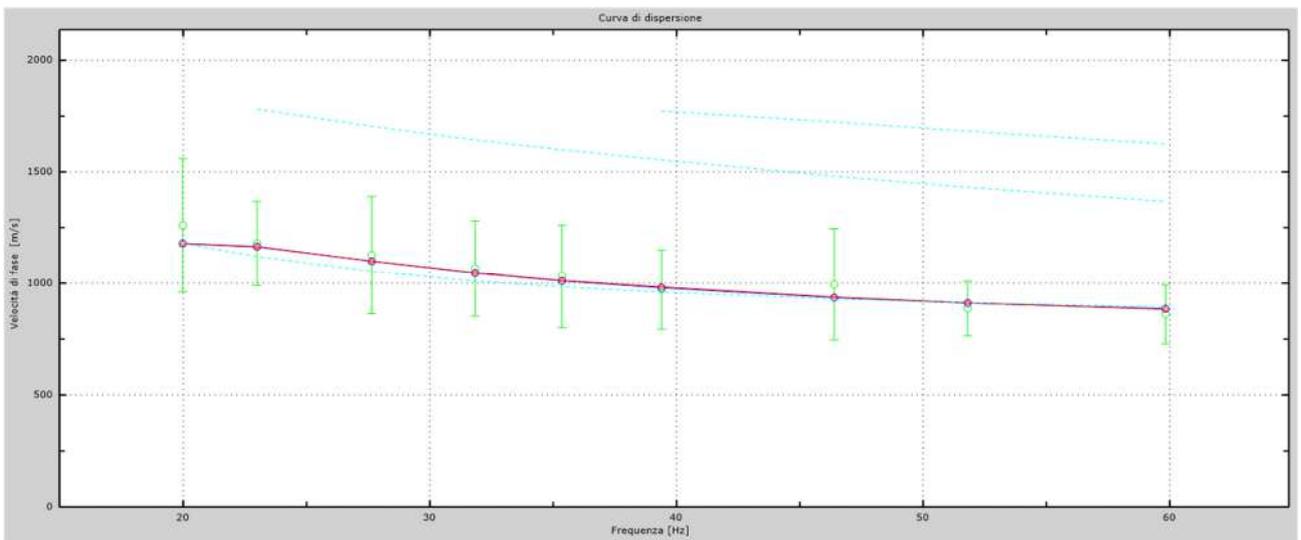


Fig.32 - Velocità numeriche – punti sperimentali (verde), modi di Rayleigh (ciano), curva apparente (blu), curva numerica (rosso).

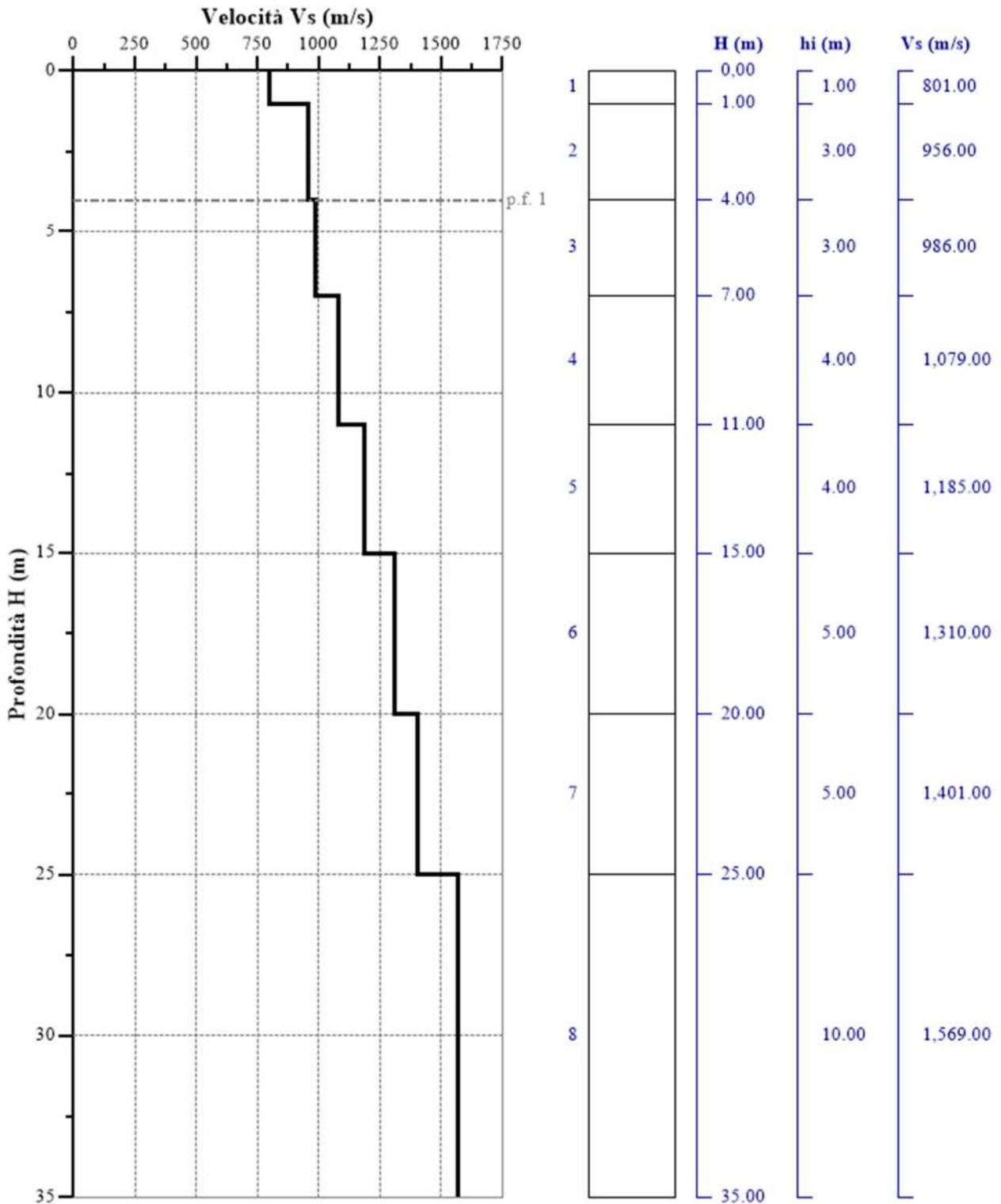


Fig. 33 - Profilo Vs – calcolato a partire dall'attuale p.c.

## 5.2 Stendimento sismico BB': interpretazione dei dati

Per il profilo in questione sono stati eseguiti alcuni scoppi effettuati a 1.0 m di distanza dal primo e dall'ultimo geofono. Il treno di onde generato da ciascun colpo di massa battente è stato campionato con intervallo temporale di 2.44 secondi (Fig.34).

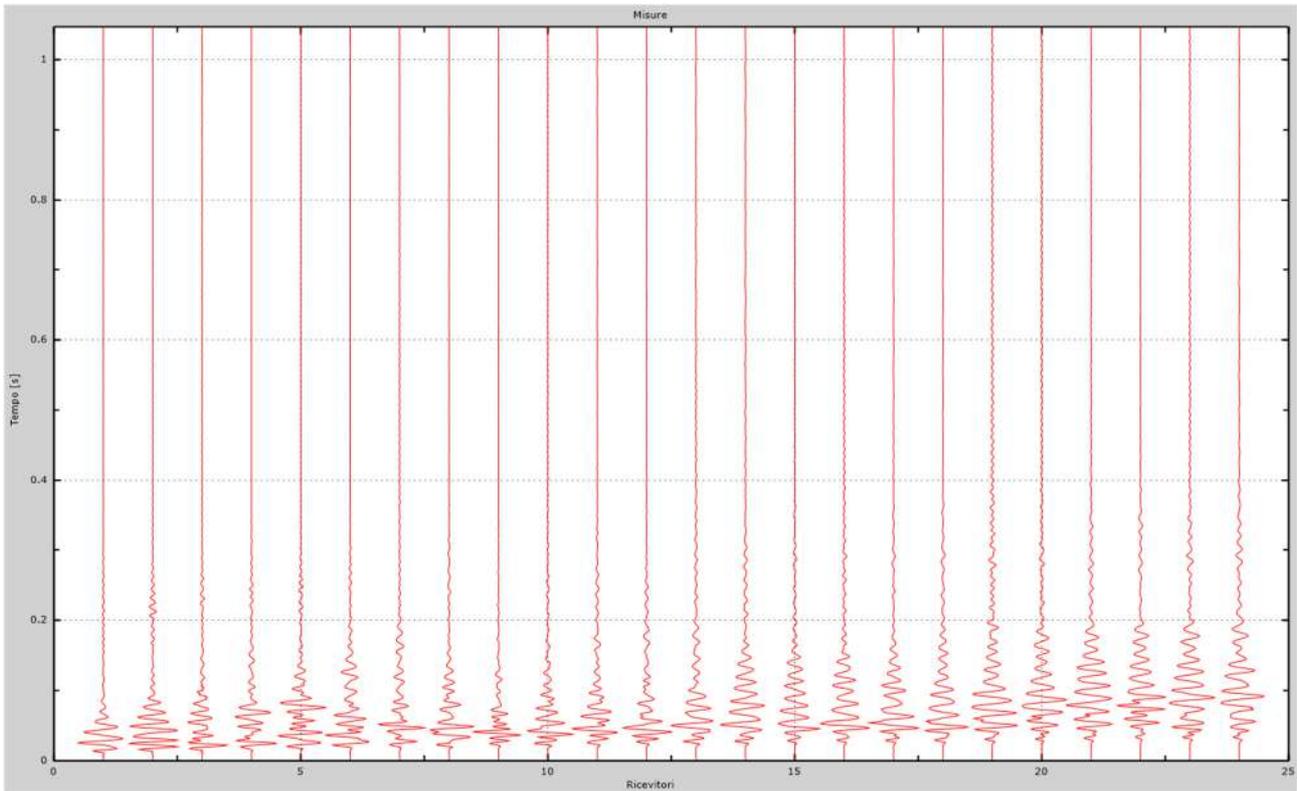


Fig. 34 – Sismogrammi dello scoppio considerato per l'analisi MASW del profilo BB'

L'individuazione del profilo Vs in funzione della profondità è stato desunto individuando la differenza (errore massimo) tra la curva di dispersione sperimentale (Fig.35) e la curva di dispersione numerica corrispondente al modello di suolo assegnato (Fig.36). Minore appare tale imprecisione, maggiore risulta la probabilità che il profilo delle onde di taglio individuato sia quello giusto.

L'analisi dello spettro "velocità di fase -frequenza" ha consentito di ricostruire un modello sismico monodimensionale del sottosuolo, il quale risulta costituito dall'andamento della velocità delle onde di taglio Vs in funzione della profondità (Fig.37). Si precisa infine che, come esposto sinteticamente nel paragrafo inerente la metodologia M.A.S.W., il modello del sottosuolo e di conseguenza anche l'inversione di velocità rilevata, sono stati ottenuti in corrispondenza del punto medio del profilo di acquisizione.

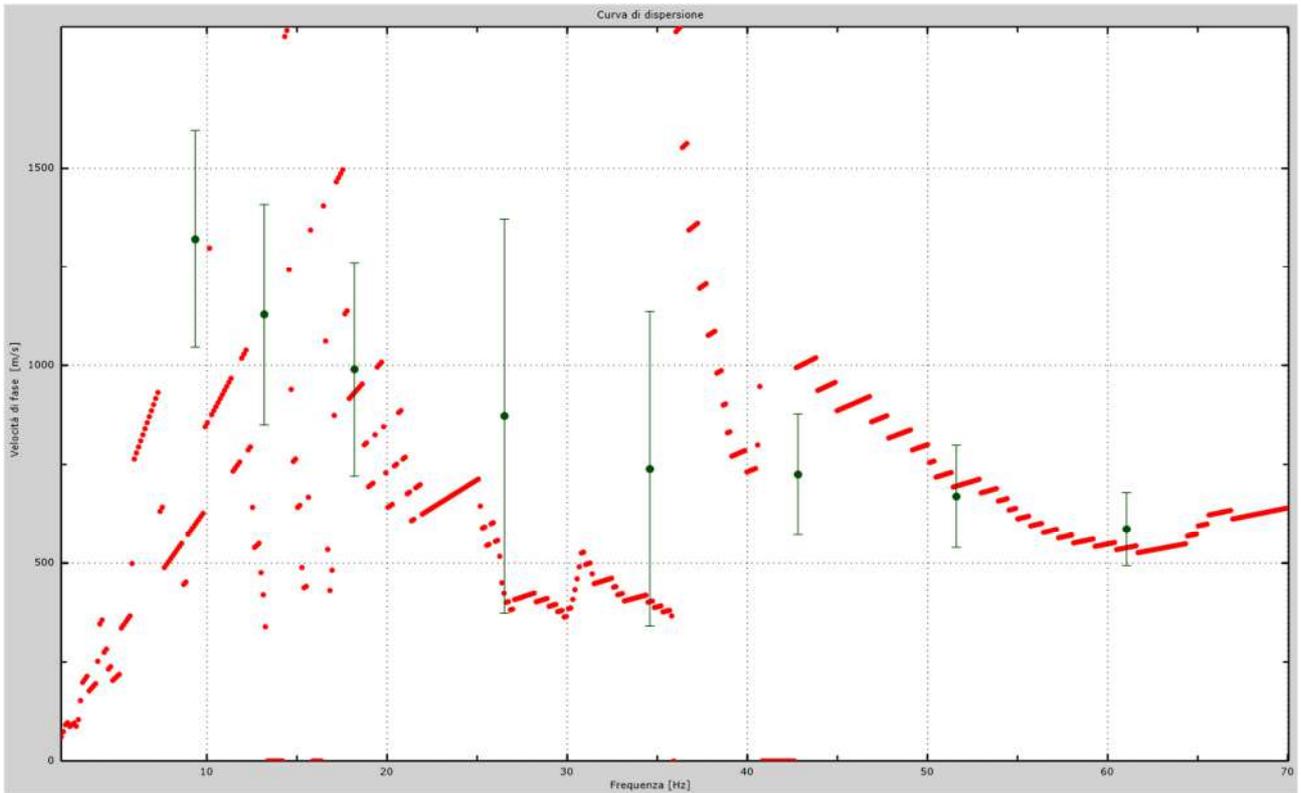


Fig.35 - Curva di dispersione sperimentale.

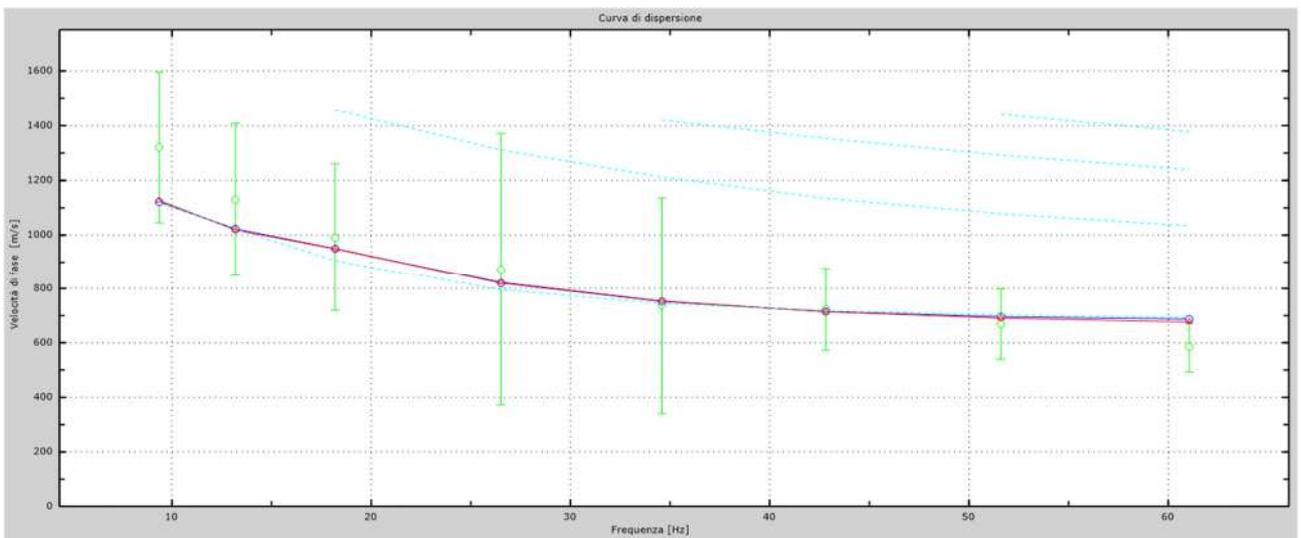


Fig.36 - Velocità numeriche – punti sperimentali (verde), modi di Rayleigh (ciano), curva apparente (blu), curva numerica (rosso).

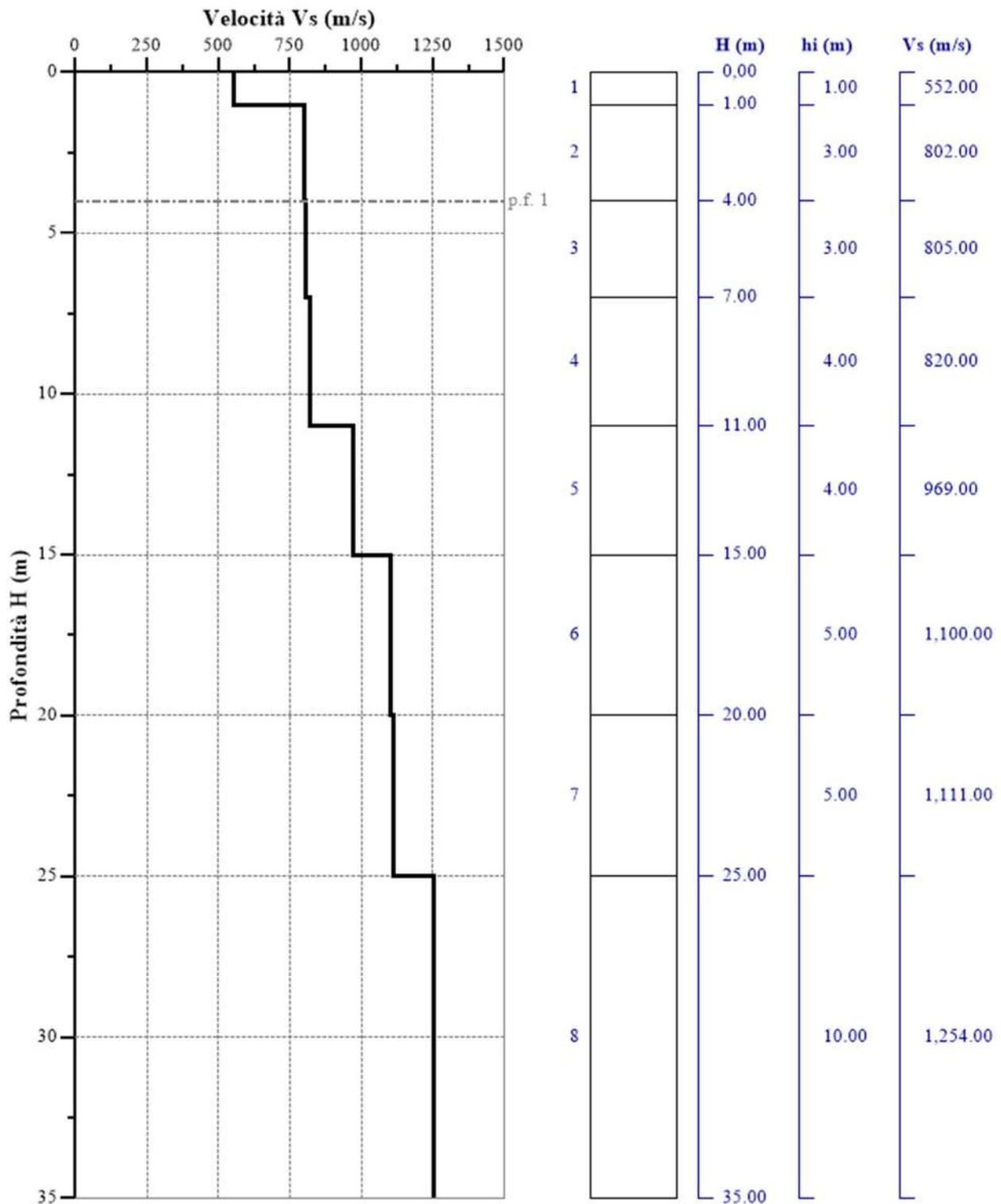


Fig. 37 - Profilo Vs – calcolato a partire dall'attuale p.c.

### 5.3 Stendimento sismico CC': interpretazione dei dati

Per il profilo in questione sono stati eseguiti alcuni scoppi effettuati a 1.0 m di distanza dal primo e dall'ultimo geofono. Il treno di onde generato da ciascun colpo di massa battente è stato campionato con intervallo temporale di 2.44 secondi (Fig.38).

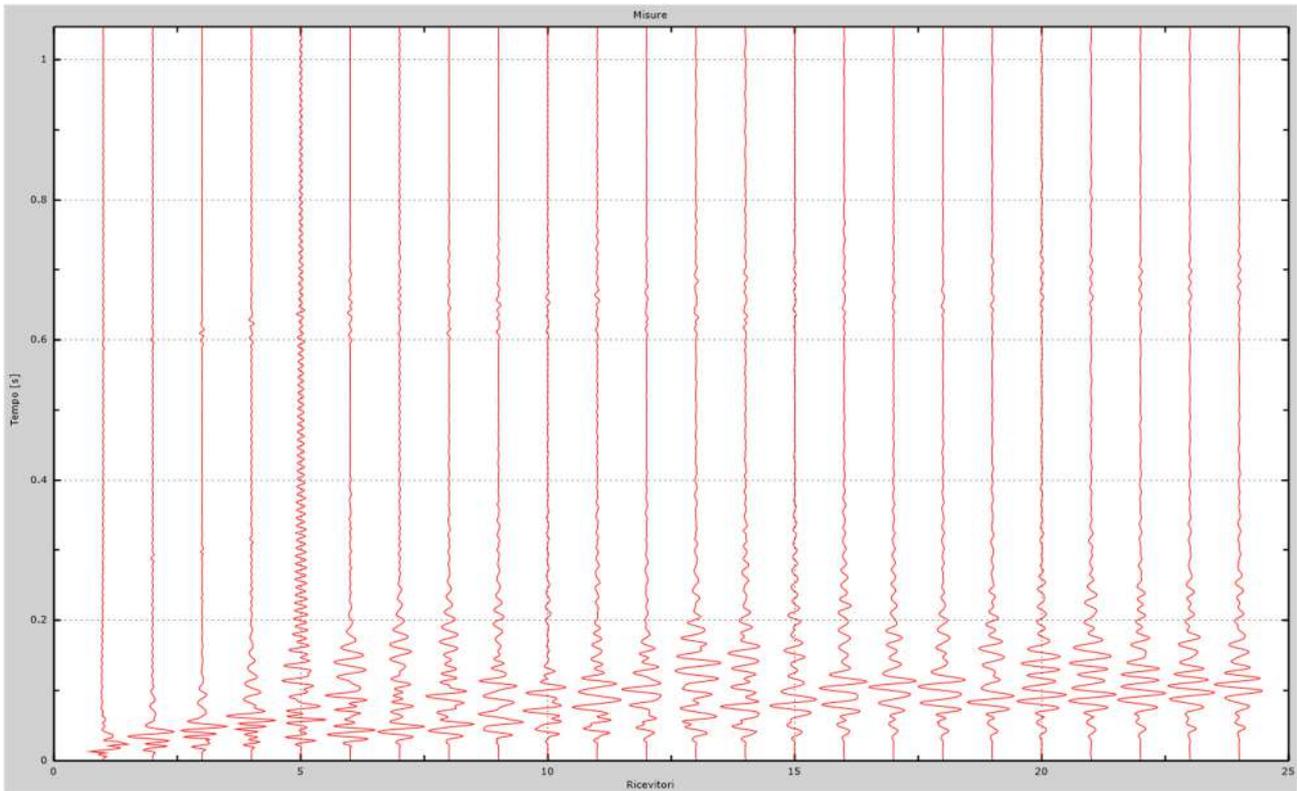


Fig. 38 – Sismogrammi dello scoppio considerato per l'analisi MASW del profilo CC'

L'individuazione del profilo Vs in funzione della profondità è stato desunto individuando la differenza (errore massimo) tra la curva di dispersione sperimentale (Fig.39) e la curva di dispersione numerica corrispondente al modello di suolo assegnato (Fig.40). Minore appare tale imprecisione, maggiore risulta la probabilità che il profilo delle onde di taglio individuato sia quello giusto.

L'analisi dello spettro "velocità di fase -frequenza" ha consentito di ricostruire un modello sismico monodimensionale del sottosuolo, il quale risulta costituito dall'andamento della velocità delle onde di taglio Vs in funzione della profondità (Fig.41). Si precisa infine che, come esposto sinteticamente nel paragrafo inerente la metodologia M.A.S.W., il modello del sottosuolo e di conseguenza anche l'inversione di velocità rilevata, sono stati ottenuti in corrispondenza del punto medio del profilo di acquisizione.

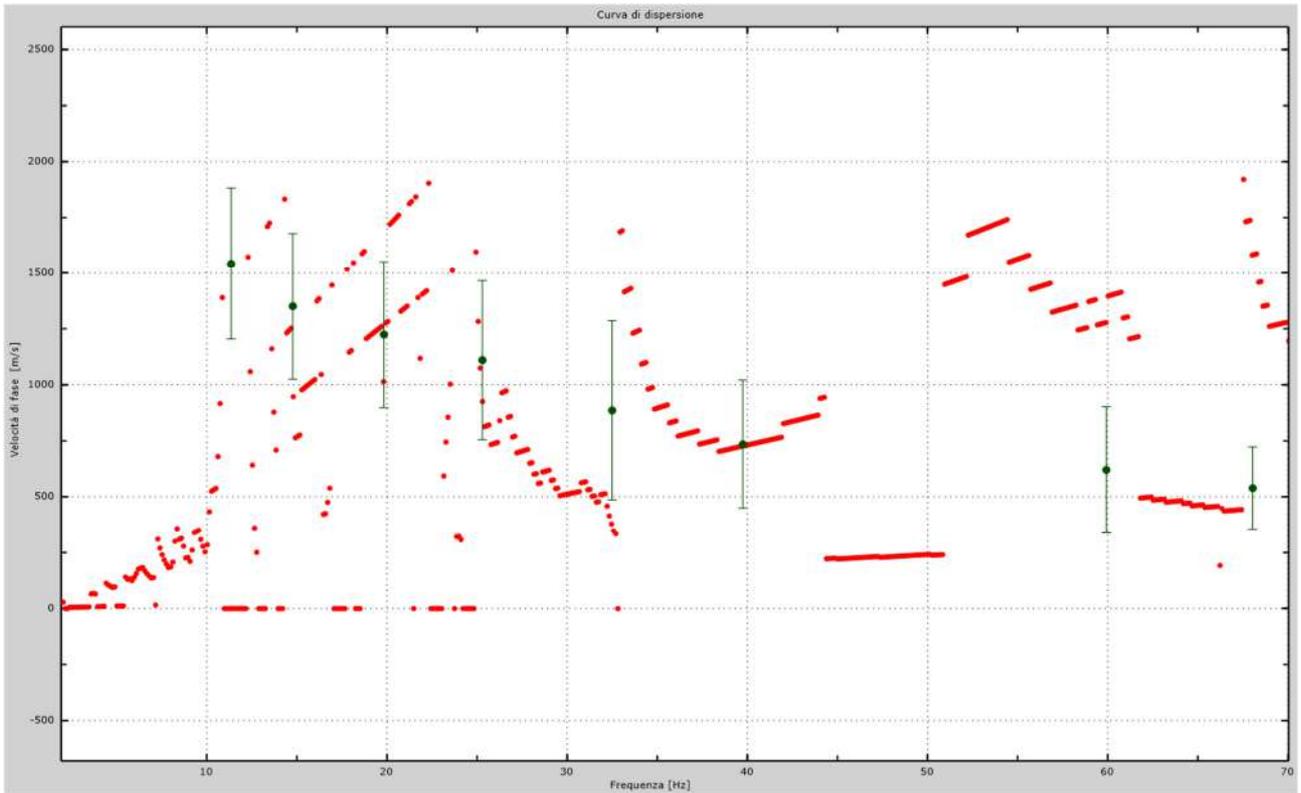


Fig.39 - Curva di dispersione sperimentale.

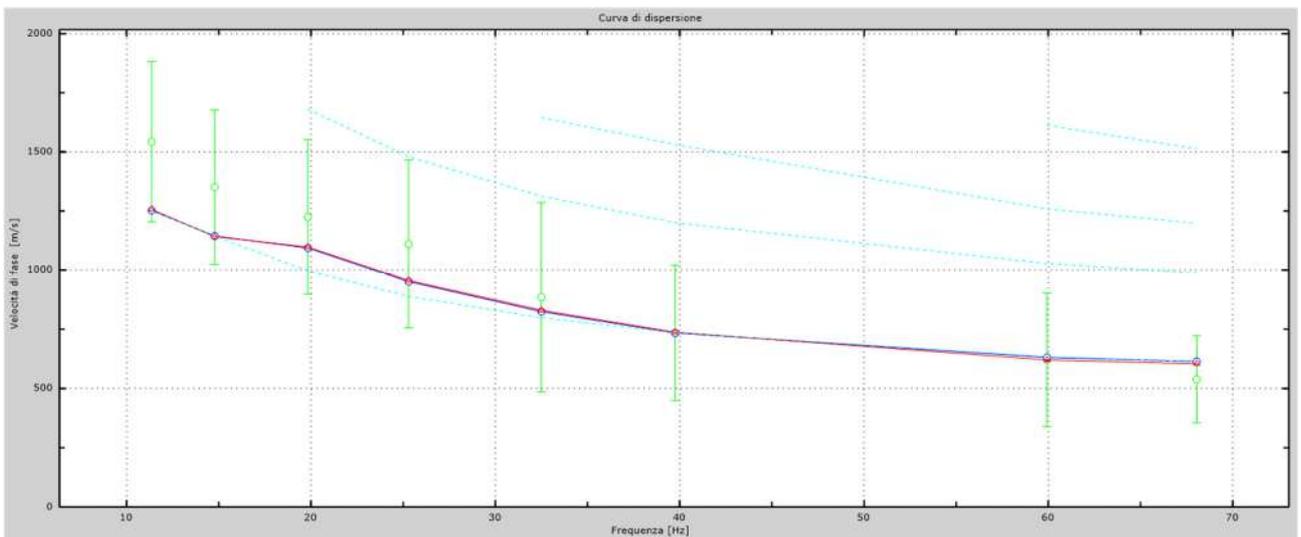


Fig.40 - Velocità numeriche – punti sperimentali (verde), modi di Rayleigh (ciano), curva apparente (blu), curva numerica (rosso).

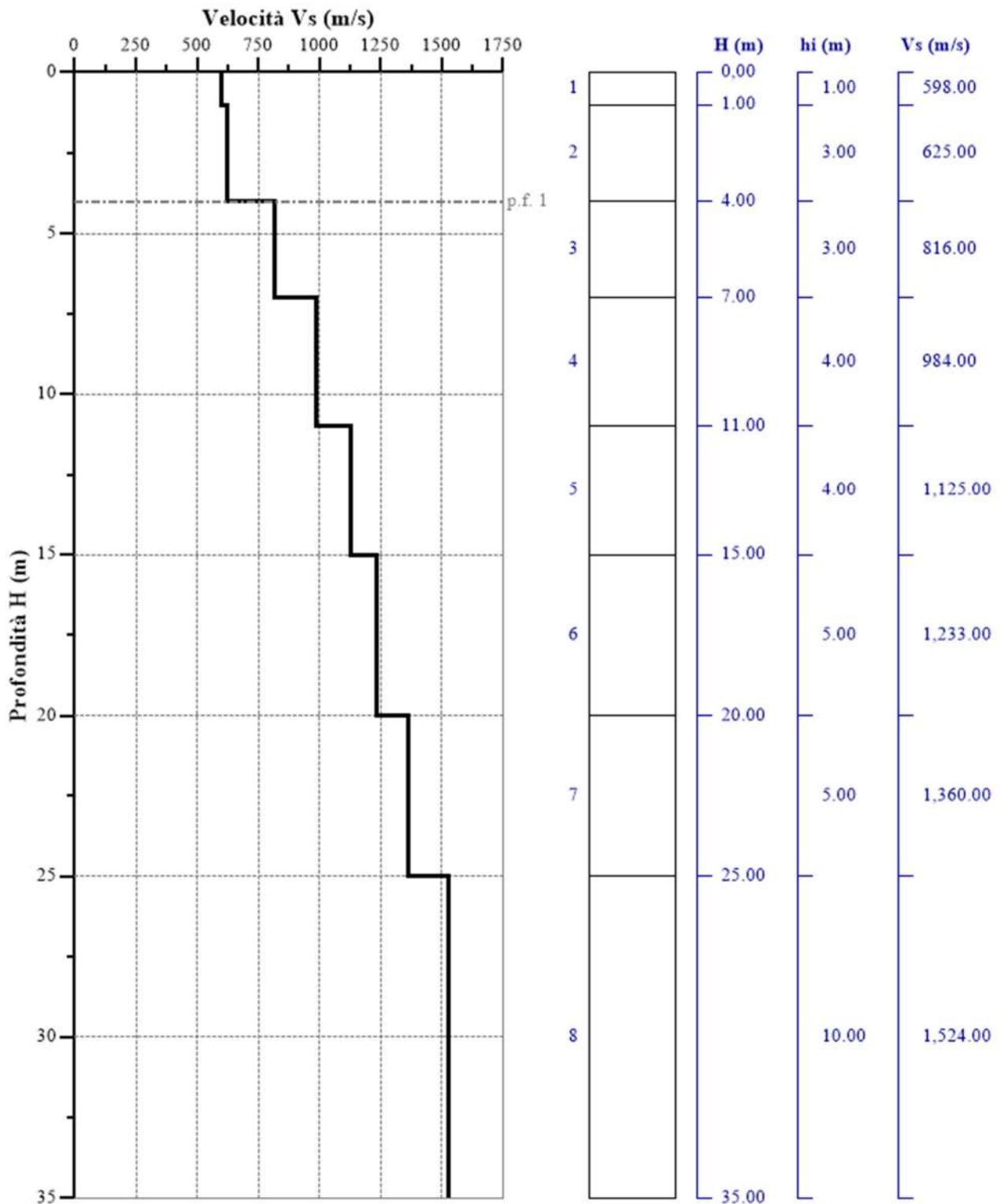


Fig. 41 - Profilo Vs – calcolato a partire dall'attuale p.c.

## 5.4 Stendimento sismico DD': interpretazione dei dati

Per il profilo in questione sono stati eseguiti alcuni scoppi effettuati a 1.0 m di distanza dal primo e dall'ultimo geofono. Il treno di onde generato da ciascun colpo di massa battente è stato campionato con intervallo temporale di 2.44 secondi (Fig.42).

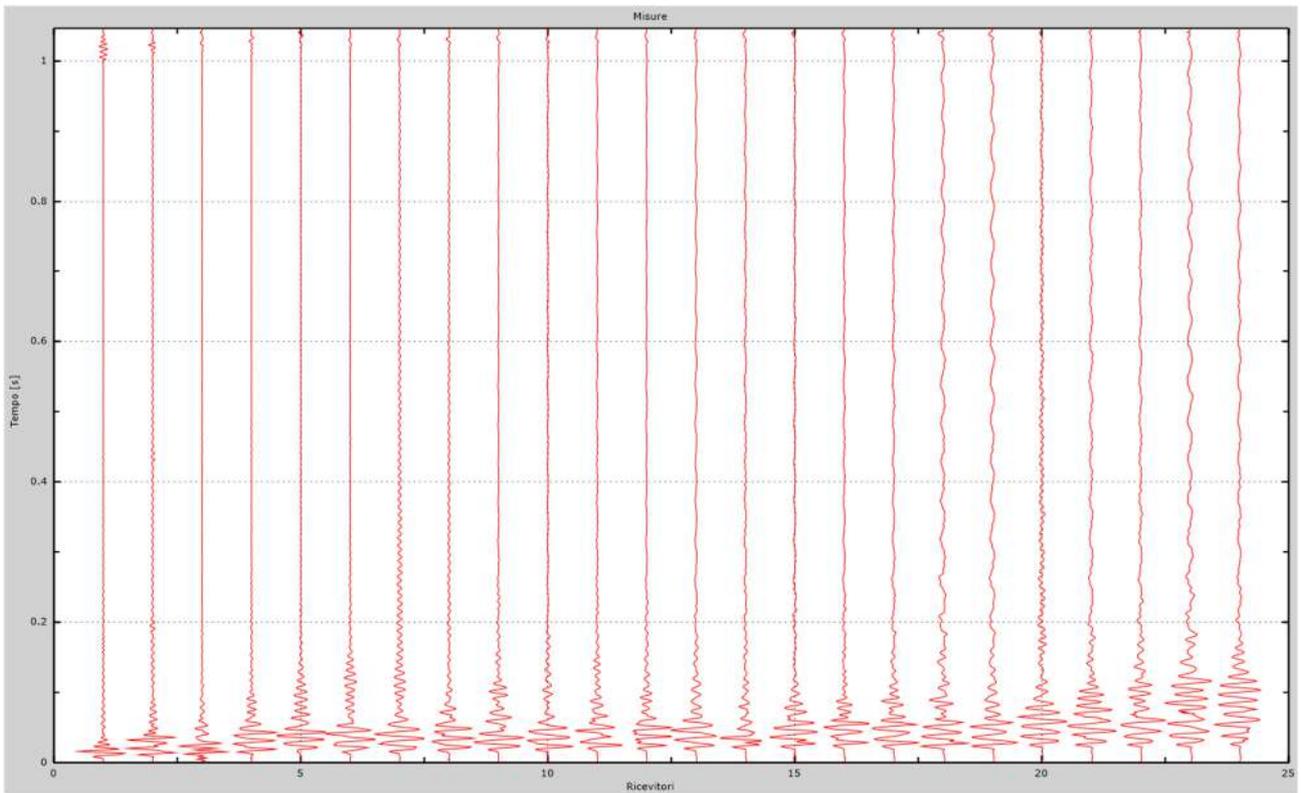


Fig. 42 – Sismogrammi dello scoppio considerato per l'analisi MASW del profilo DD'

L'individuazione del profilo Vs in funzione della profondità è stato desunto individuando la differenza (errore massimo) tra la curva di dispersione sperimentale (Fig.43) e la curva di dispersione numerica corrispondente al modello di suolo assegnato (Fig.44). Minore appare tale imprecisione, maggiore risulta la probabilità che il profilo delle onde di taglio individuato sia quello giusto.

L'analisi dello spettro "velocità di fase -frequenza" ha consentito di ricostruire un modello sismico monodimensionale del sottosuolo, il quale risulta costituito dall'andamento della velocità delle onde di taglio Vs in funzione della profondità (Fig.45). Si precisa infine che, come esposto sinteticamente nel paragrafo inerente la metodologia M.A.S.W., il modello del sottosuolo e di conseguenza anche l'inversione di velocità rilevata, sono stati ottenuti in corrispondenza del punto medio del profilo di acquisizione.

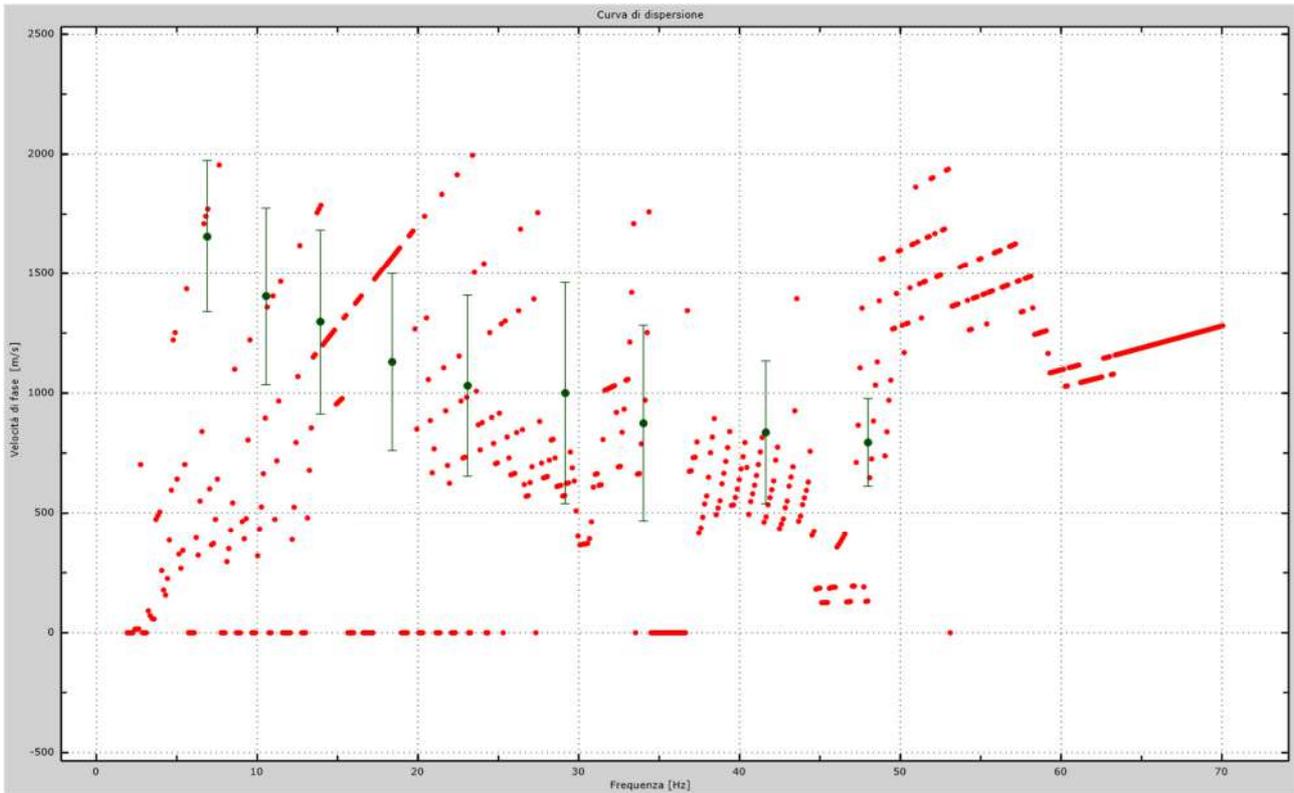


Fig.43 - Curva di dispersione sperimentale.

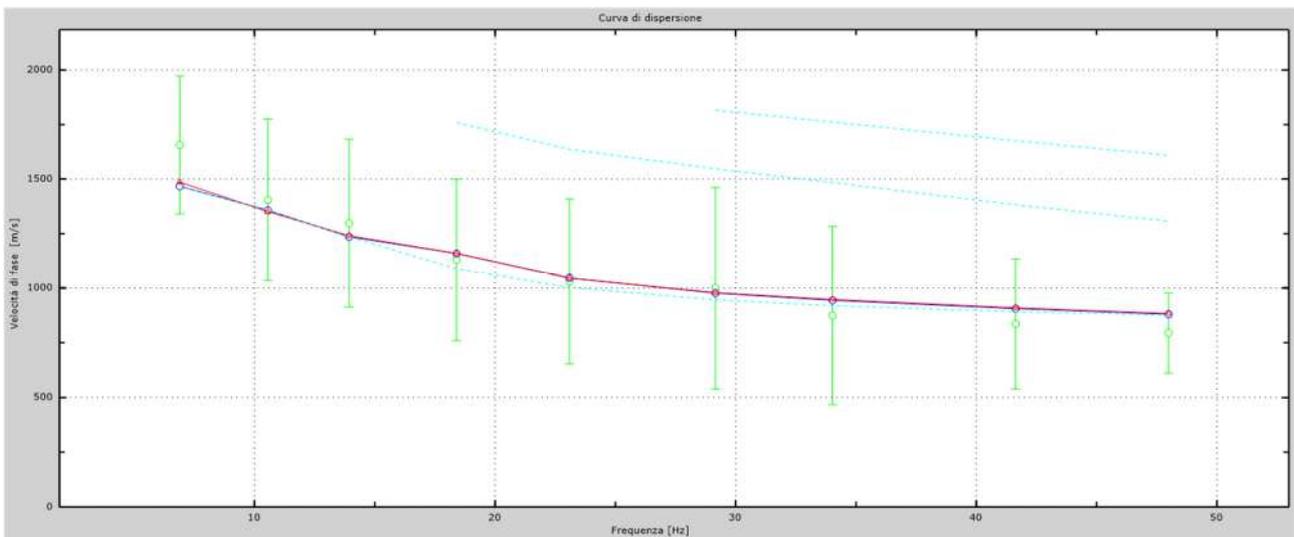


Fig.44 - Velocità numeriche – punti sperimentali (verde), modi di Rayleigh (ciano), curva apparente (blu), curva numerica (rosso).

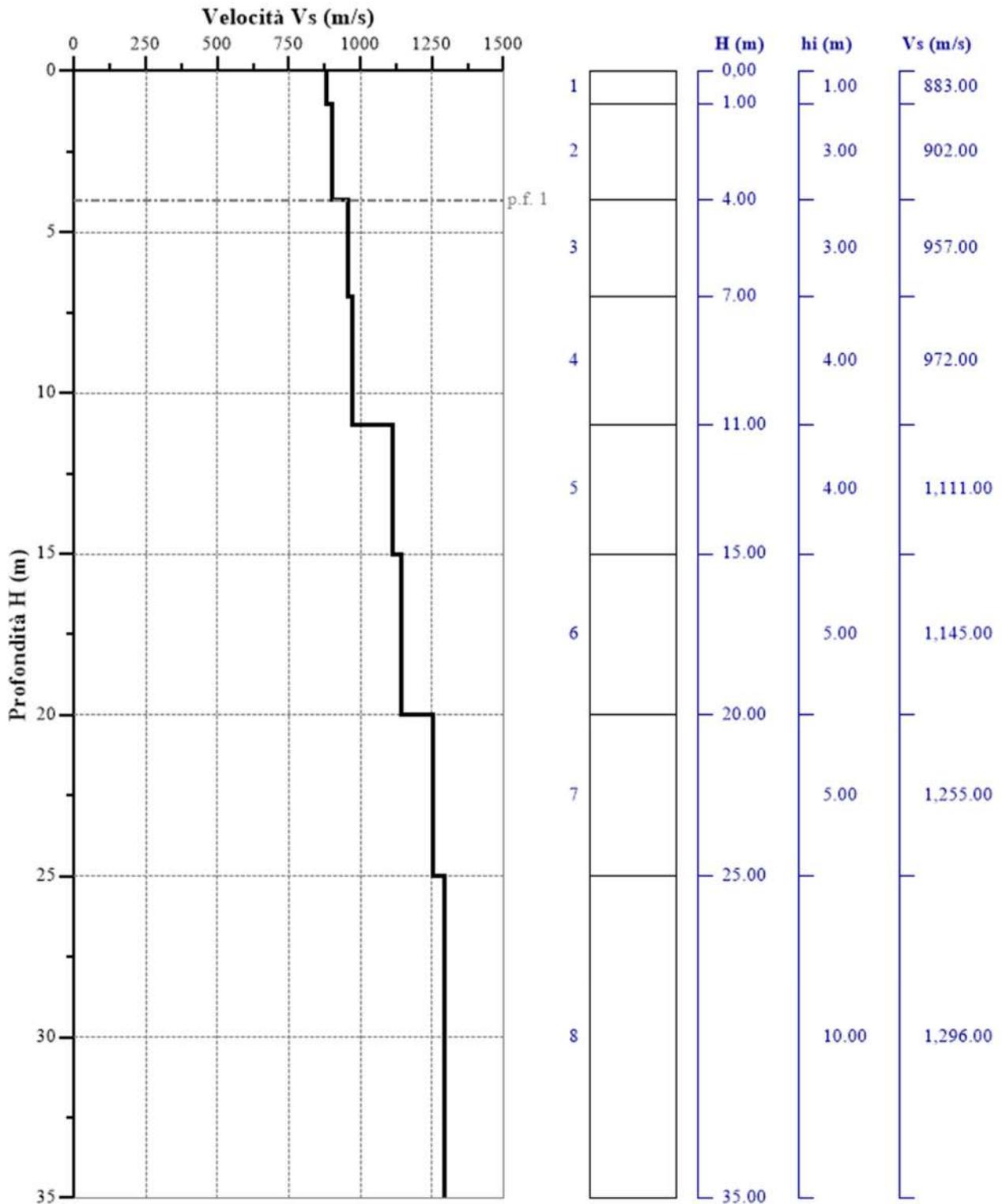


Fig. 45 - Profilo Vs – calcolato a partire dall'attuale p.c.

## 5.5 Stendimento sismico EE': interpretazione dei dati

Per il profilo in questione sono stati eseguiti alcuni scoppi effettuati a 1.0 m di distanza dal primo e dall'ultimo geofono. Il treno di onde generato da ciascun colpo di massa battente è stato campionato con intervallo temporale di 2.44 secondi (Fig.46).

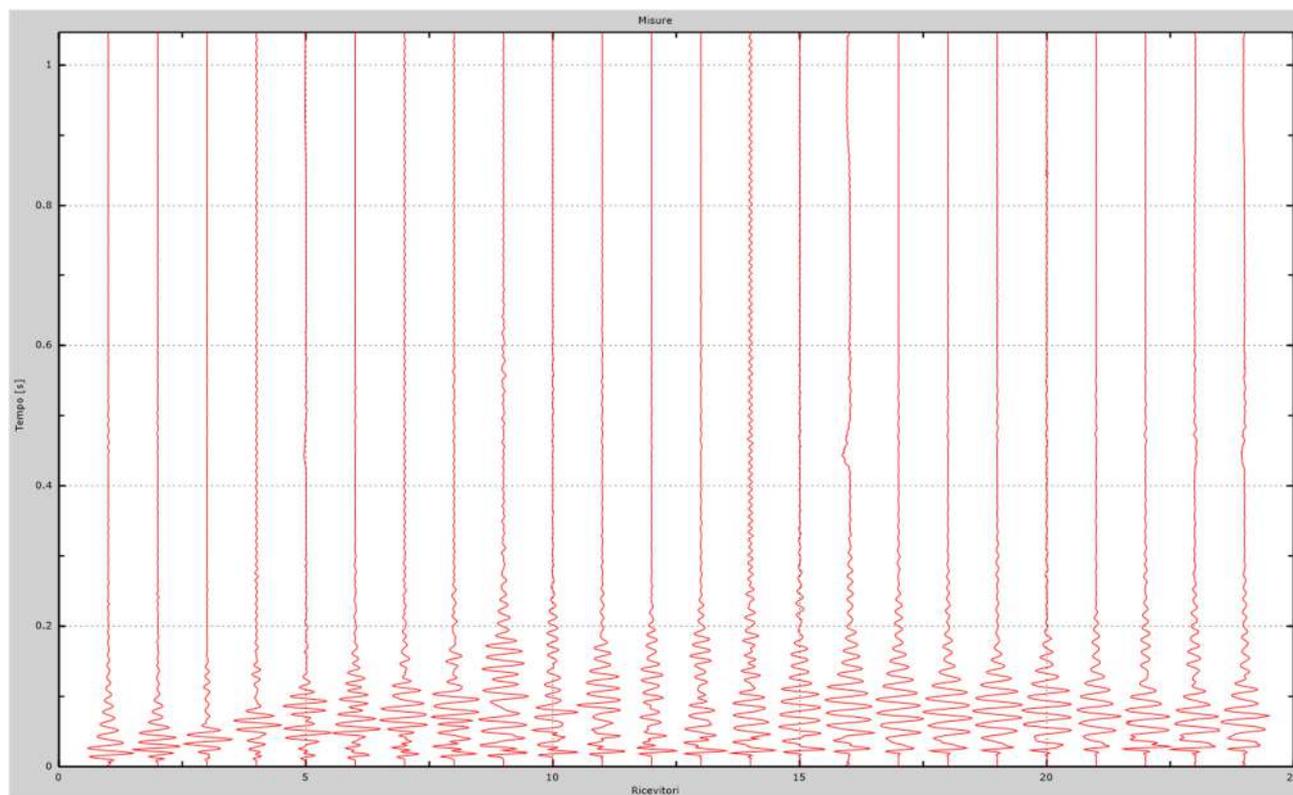


Fig. 46 – Sismogrammi dello scoppio considerato per l'analisi MASW del profilo EE'

L'individuazione del profilo Vs in funzione della profondità è stato desunto individuando la differenza (errore massimo) tra la curva di dispersione sperimentale (Fig.47) e la curva di dispersione numerica corrispondente al modello di suolo assegnato (Fig.48). Minore appare tale imprecisione, maggiore risulta la probabilità che il profilo delle onde di taglio individuato sia quello giusto.

L'analisi dello spettro "velocità di fase -frequenza" ha consentito di ricostruire un modello sismico monodimensionale del sottosuolo, il quale risulta costituito dall'andamento della velocità delle onde di taglio Vs in funzione della profondità (Fig.49). Si precisa infine che, come esposto sinteticamente nel paragrafo inerente la metodologia M.A.S.W., il modello del sottosuolo e di conseguenza anche l'inversione di velocità rilevata, sono stati ottenuti in corrispondenza del punto medio del profilo di acquisizione.

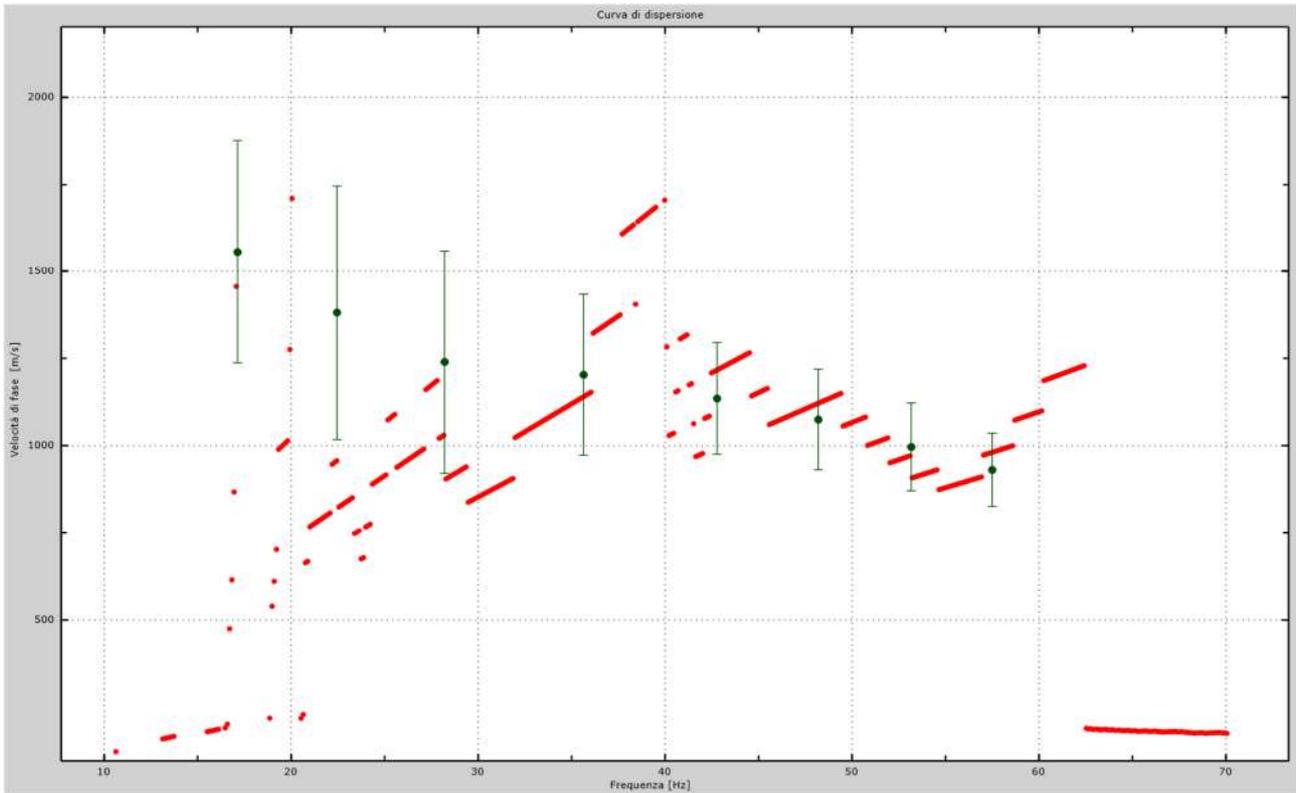


Fig.47 - Curva di dispersione sperimentale.

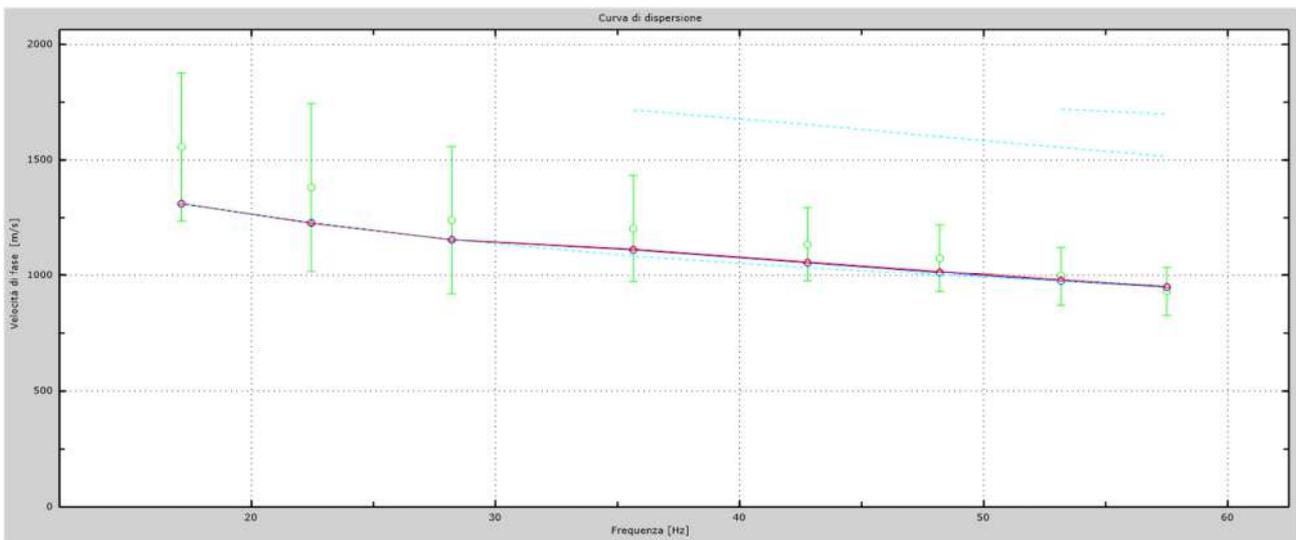


Fig.48 - Velocità numeriche – punti sperimentali (verde), modi di Rayleigh (ciano), curva apparente (blu), curva numerica (rosso).

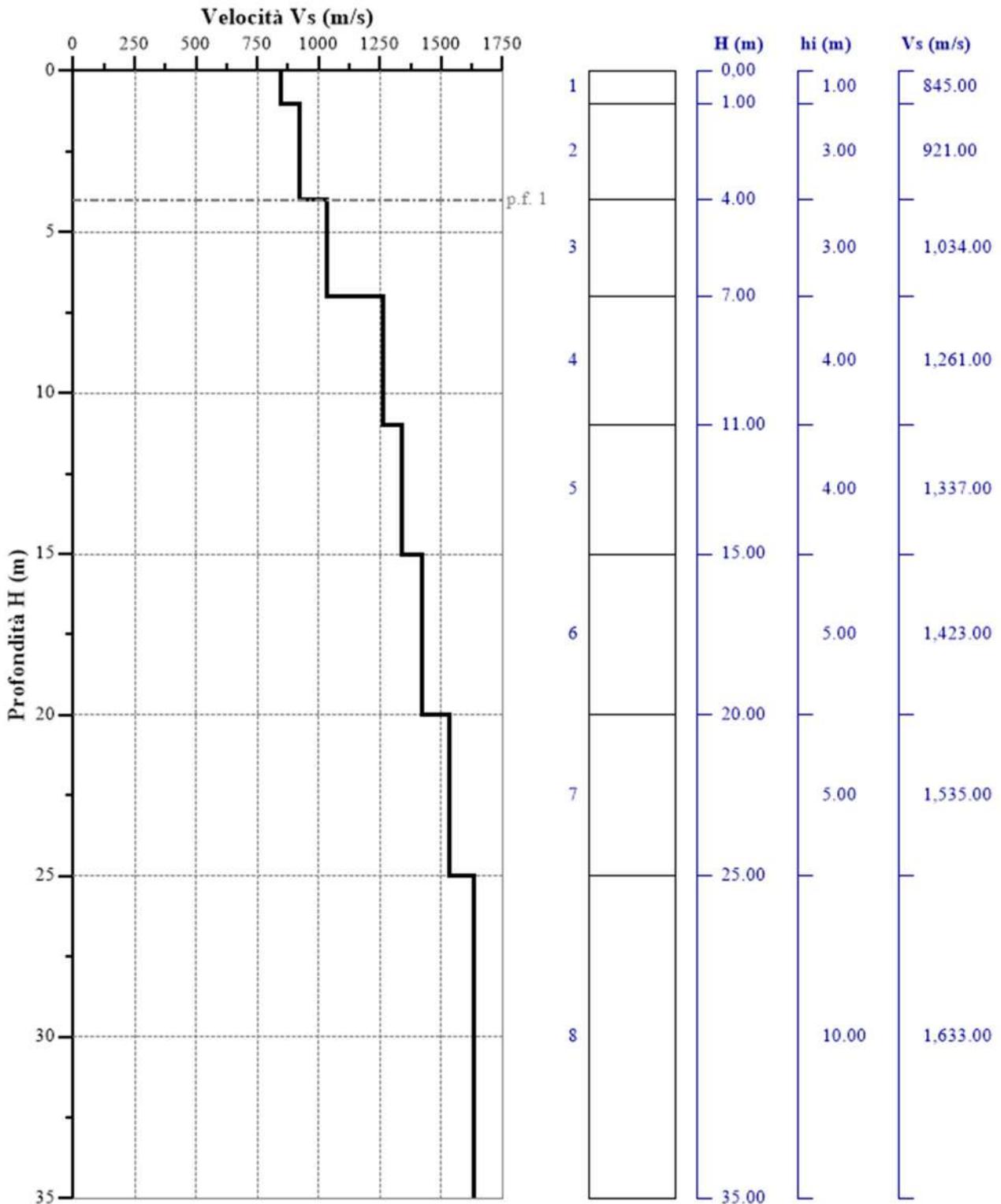


Fig. 49 - Profilo Vs – calcolato a partire dall'attuale p.c.

## 5.6 Stendimento sismico FF': interpretazione dei dati

Per il profilo in questione sono stati eseguiti alcuni scoppi effettuati a 1.0 m di distanza dal primo e dall'ultimo geofono. Il treno di onde generato da ciascun colpo di massa battente è stato campionato con intervallo temporale di 2.44 secondi (Fig.50).

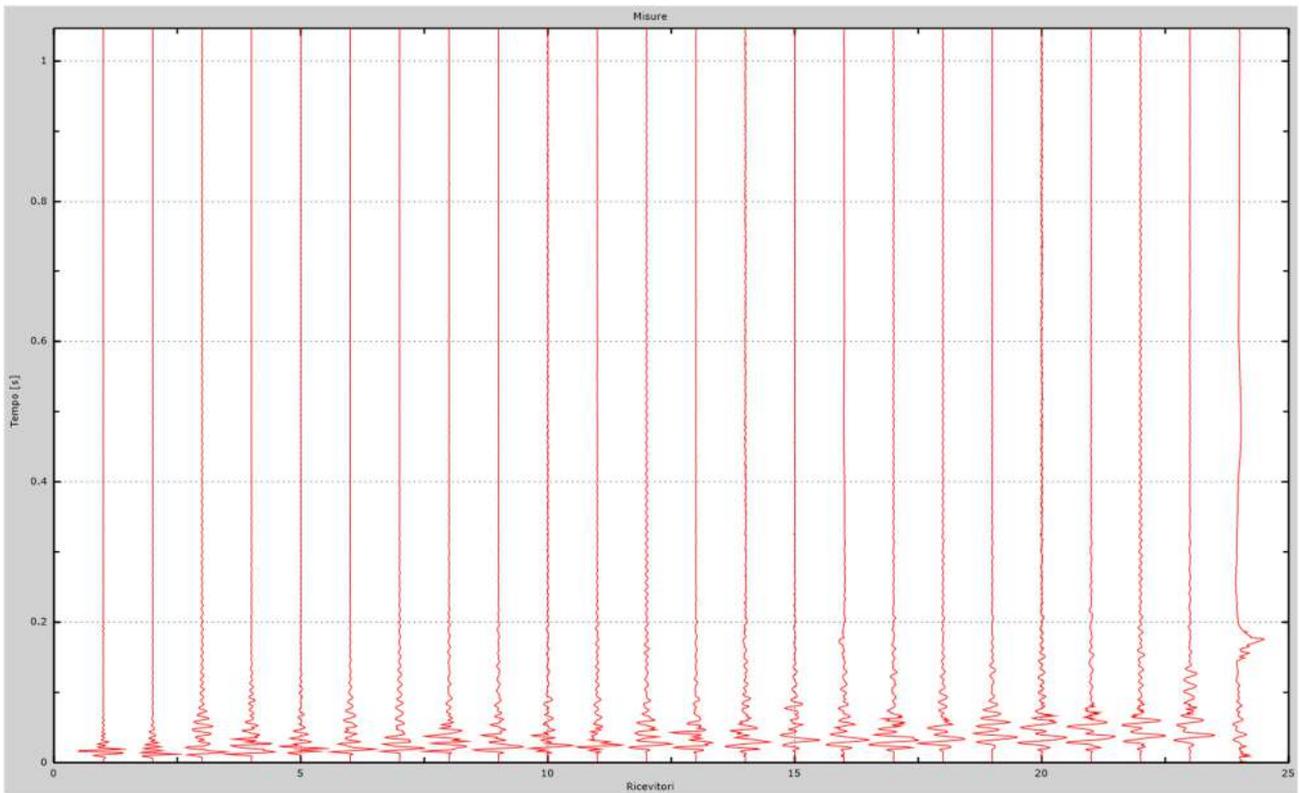


Fig. 50 – Sismogrammi dello scoppio considerato per l'analisi MASW del profilo FF'

L'individuazione del profilo Vs in funzione della profondità è stato desunto individuando la differenza (errore massimo) tra la curva di dispersione sperimentale (Fig.51) e la curva di dispersione numerica corrispondente al modello di suolo assegnato (Fig.52). Minore appare tale imprecisione, maggiore risulta la probabilità che il profilo delle onde di taglio individuato sia quello giusto.

L'analisi dello spettro "velocità di fase -frequenza" ha consentito di ricostruire un modello sismico monodimensionale del sottosuolo, il quale risulta costituito dall'andamento della velocità delle onde di taglio Vs in funzione della profondità (Fig.53). Si precisa infine che, come esposto sinteticamente nel paragrafo inerente la metodologia M.A.S.W., il modello del sottosuolo e di conseguenza anche l'inversione di velocità rilevata, sono stati ottenuti in corrispondenza del punto medio del profilo di acquisizione.

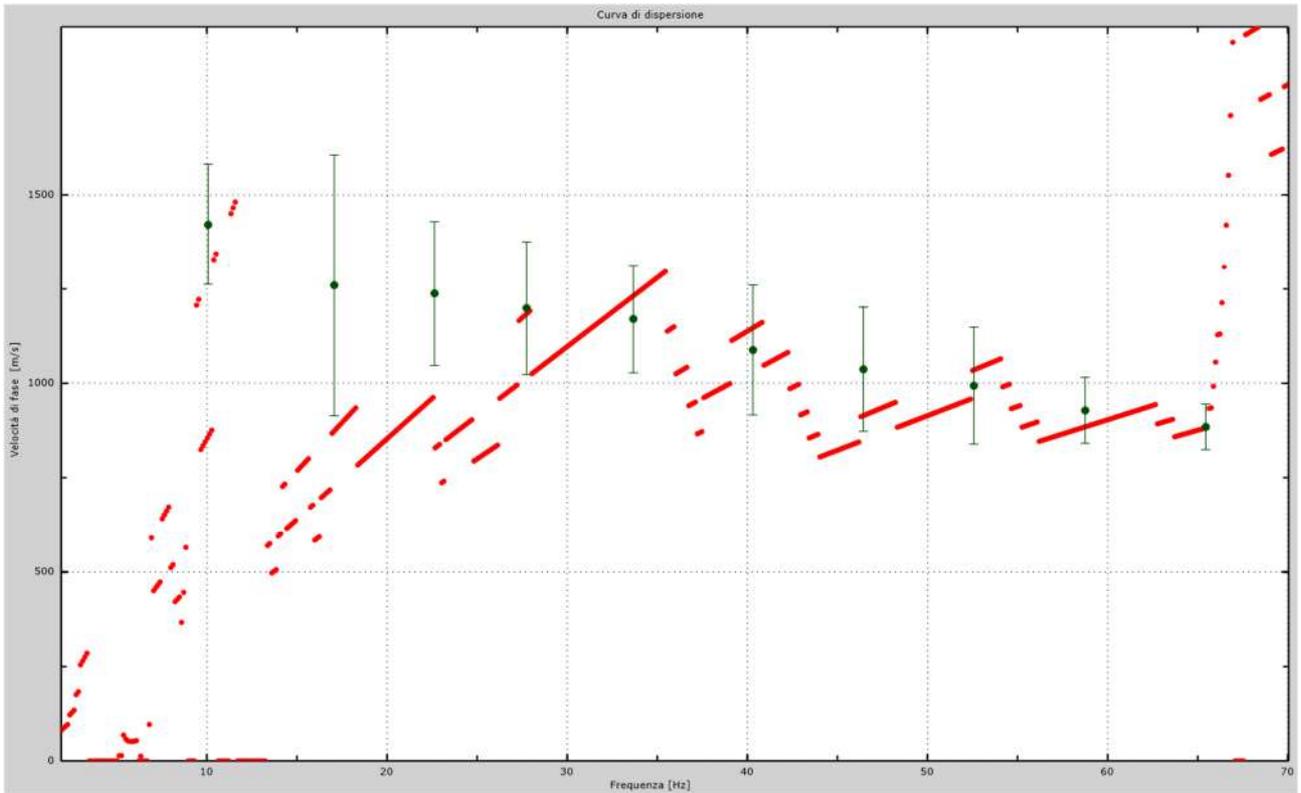


Fig.51 - Curva di dispersione sperimentale.

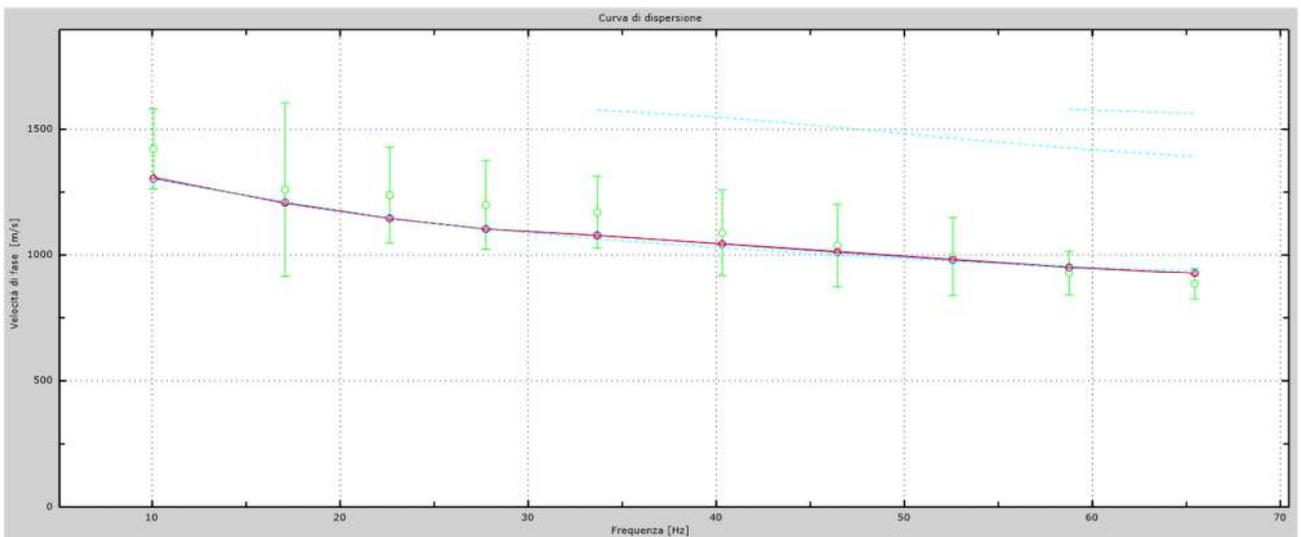


Fig.52 - Velocità numeriche – punti sperimentali (verde), modi di Rayleigh (ciano), curva apparente (blu), curva numerica (rosso).

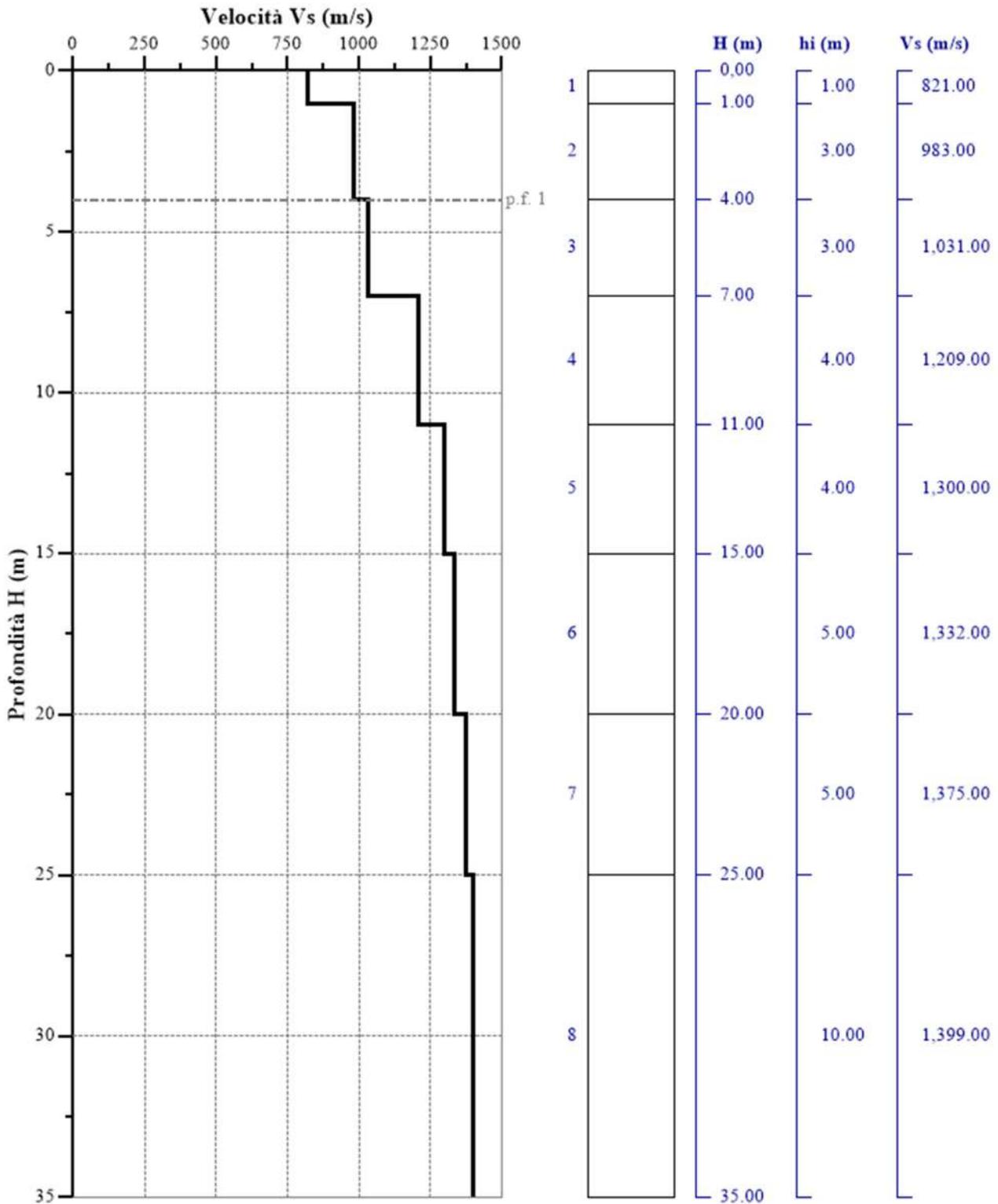


Fig. 53 - Profilo VS – calcolato a partire dall'attuale p.c.

## 5.7 Stendimento sismico GG': interpretazione dei dati

Per il profilo in questione sono stati eseguiti alcuni scoppi effettuati a 1.0 m di distanza dal primo e dall'ultimo geofono. Il treno di onde generato da ciascun colpo di massa battente è stato campionato con intervallo temporale di 2.44 secondi (Fig.54).

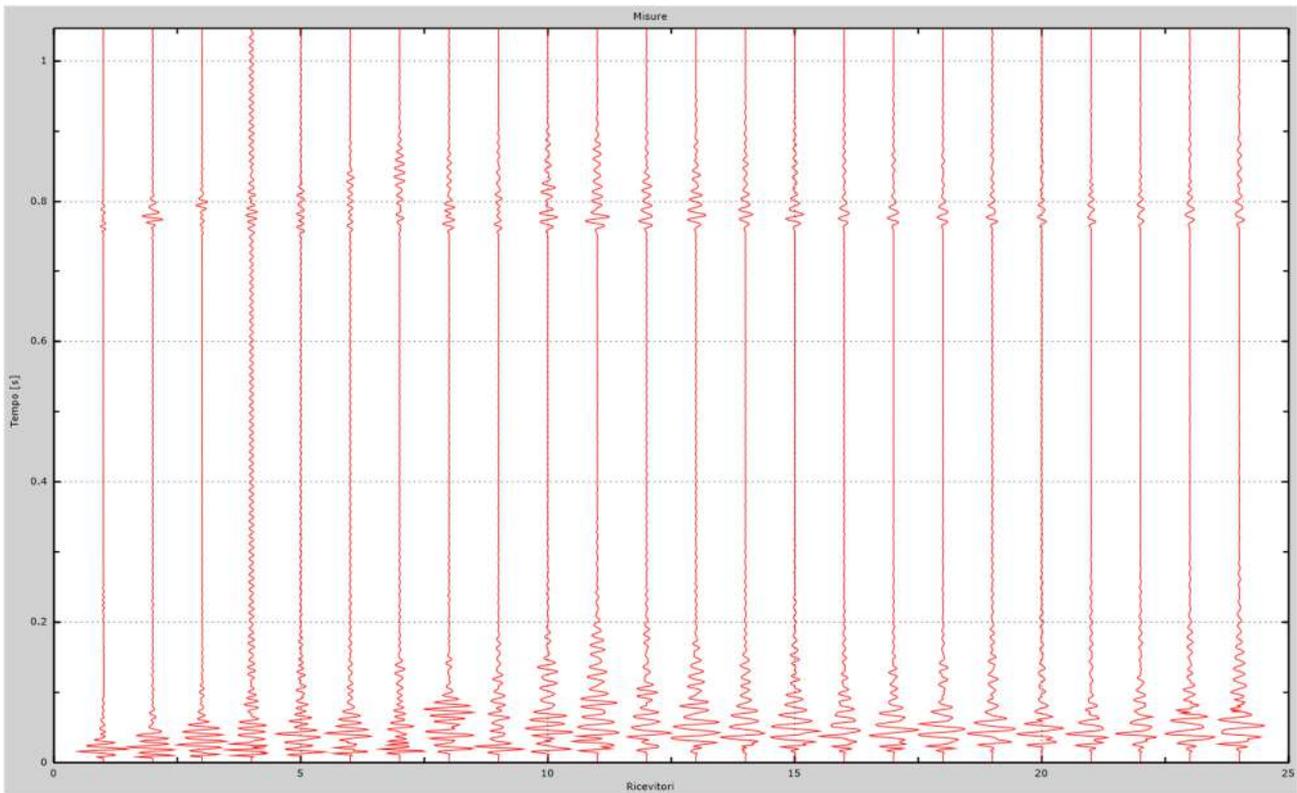


Fig. 54 – Sismogrammi dello scoppio considerato per l'analisi MASW del profilo GG'

L'individuazione del profilo Vs in funzione della profondità è stato desunto individuando la differenza (errore massimo) tra la curva di dispersione sperimentale (Fig.55) e la curva di dispersione numerica corrispondente al modello di suolo assegnato (Fig.56). Minore appare tale imprecisione, maggiore risulta la probabilità che il profilo delle onde di taglio individuato sia quello giusto.

L'analisi dello spettro "velocità di fase -frequenza" ha consentito di ricostruire un modello sismico monodimensionale del sottosuolo, il quale risulta costituito dall'andamento della velocità delle onde di taglio Vs in funzione della profondità (Fig.57). Si precisa infine che, come esposto sinteticamente nel paragrafo inerente la metodologia M.A.S.W., il modello del sottosuolo e di conseguenza anche l'inversione di velocità rilevata, sono stati ottenuti in corrispondenza del punto medio del profilo di acquisizione.

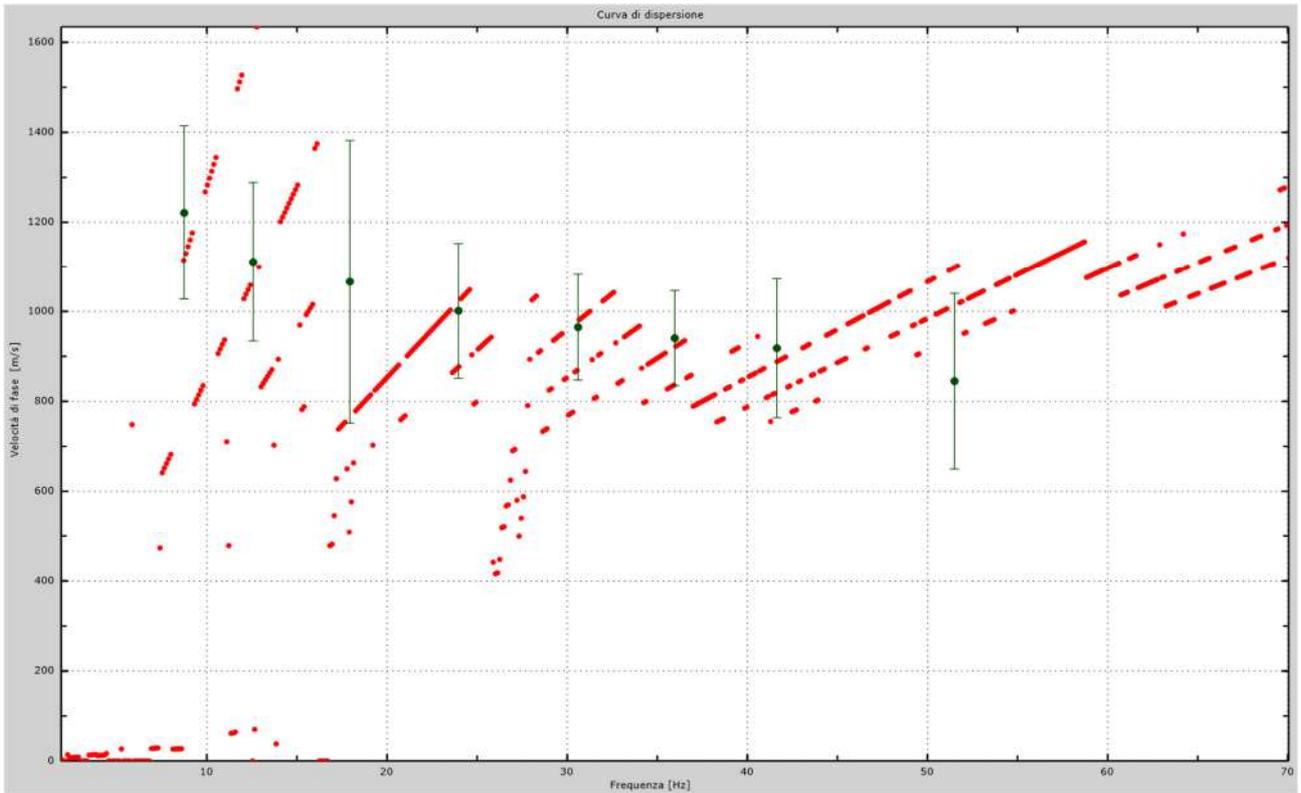


Fig.55 - Curva di dispersione sperimentale.

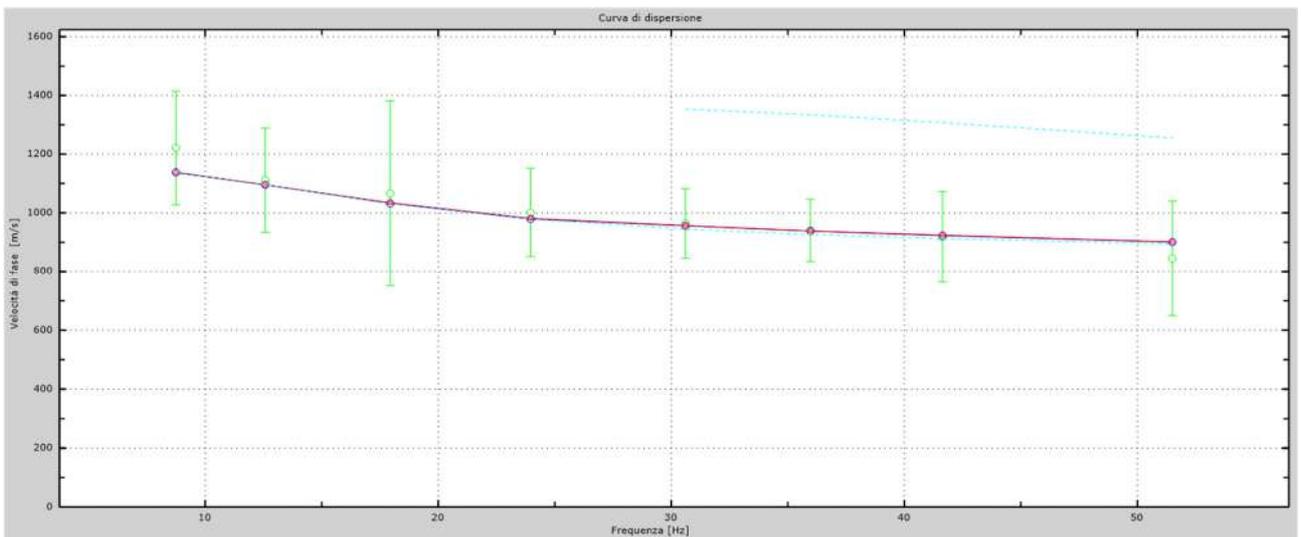


Fig.56 - Velocità numeriche – punti sperimentali (verde), modi di Rayleigh (ciano), curva apparente (blu), curva numerica (rosso).

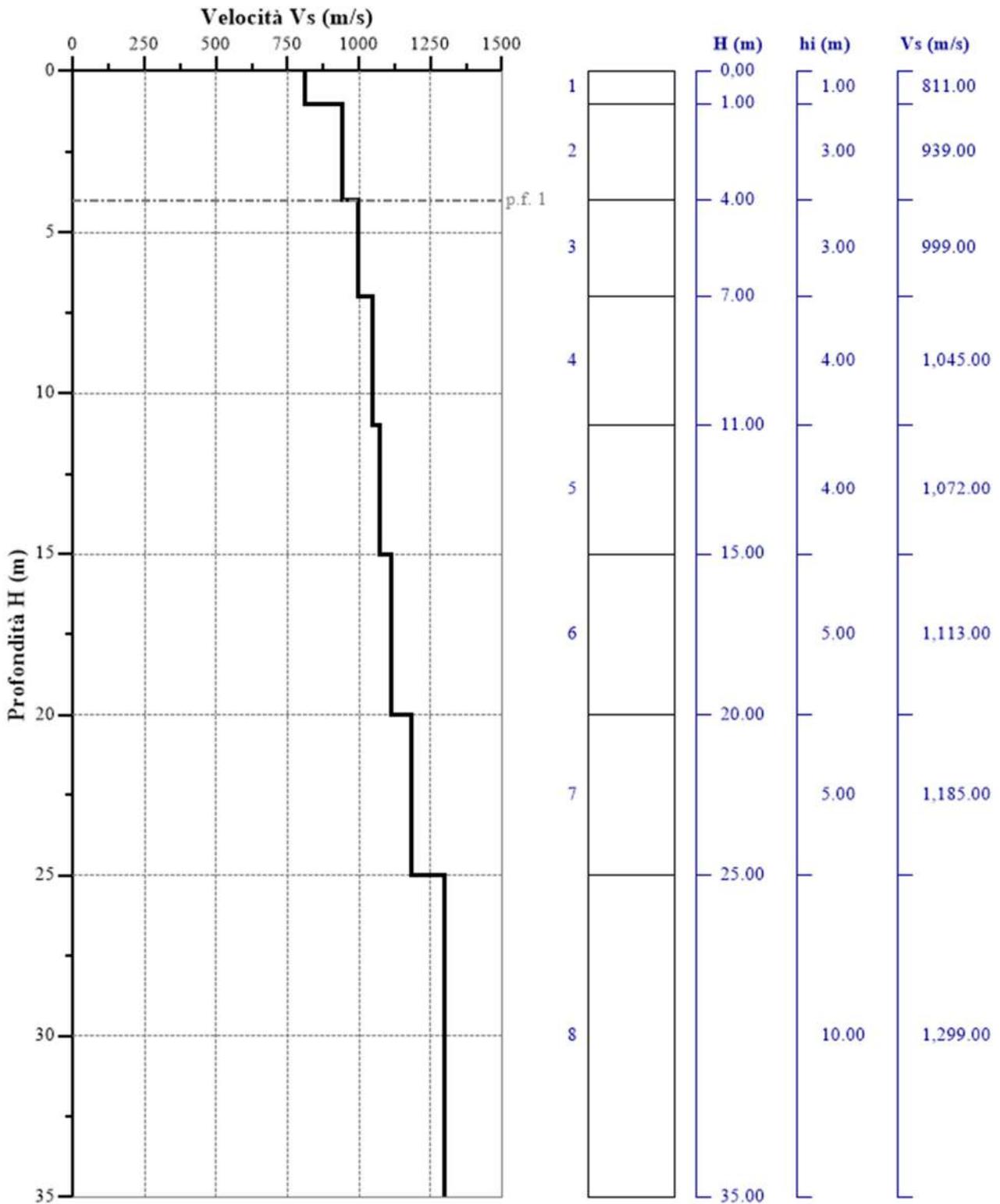


Fig. 57 - Profilo VS – calcolato a partire dall'attuale p.c.

## 5.8 Stendimento sismico HH': interpretazione dei dati

Per il profilo in questione sono stati eseguiti alcuni scoppi effettuati a 1.0 m di distanza dal primo e dall'ultimo geofono. Il treno di onde generato da ciascun colpo di massa battente è stato campionato con intervallo temporale di 2.44 secondi (Fig.58).

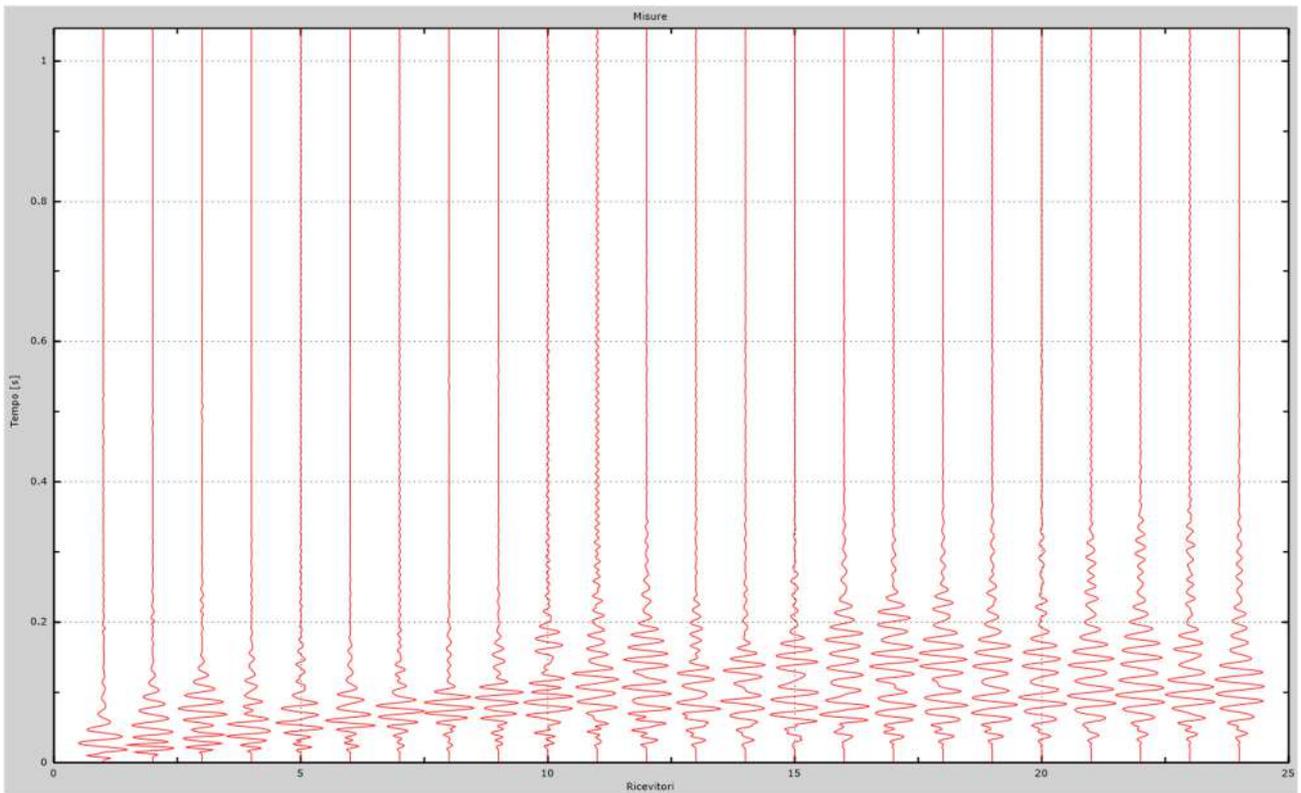


Fig. 58 – Sismogrammi dello scoppio considerato per l'analisi MASW del profilo HH'

L'individuazione del profilo Vs in funzione della profondità è stato desunto individuando la differenza (errore massimo) tra la curva di dispersione sperimentale (Fig.59) e la curva di dispersione numerica corrispondente al modello di suolo assegnato (Fig.60). Minore appare tale imprecisione, maggiore risulta la probabilità che il profilo delle onde di taglio individuato sia quello giusto.

L'analisi dello spettro "velocità di fase -frequenza" ha consentito di ricostruire un modello sismico monodimensionale del sottosuolo, il quale risulta costituito dall'andamento della velocità delle onde di taglio Vs in funzione della profondità (Fig.61). Si precisa infine che, come esposto sinteticamente nel paragrafo inerente la metodologia M.A.S.W., il modello del sottosuolo e di conseguenza anche l'inversione di velocità rilevata, sono stati ottenuti in corrispondenza del punto medio del profilo di acquisizione.

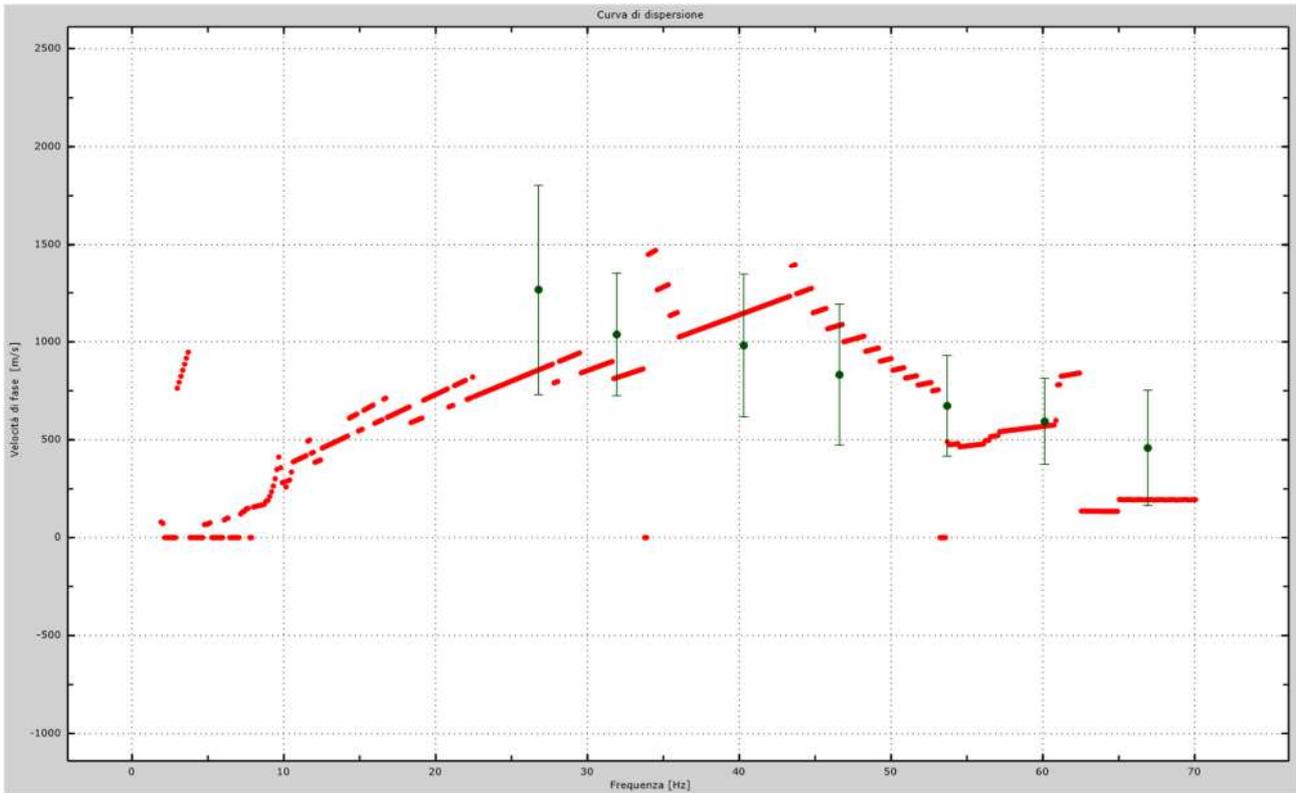


Fig.59 - Curva di dispersione sperimentale.

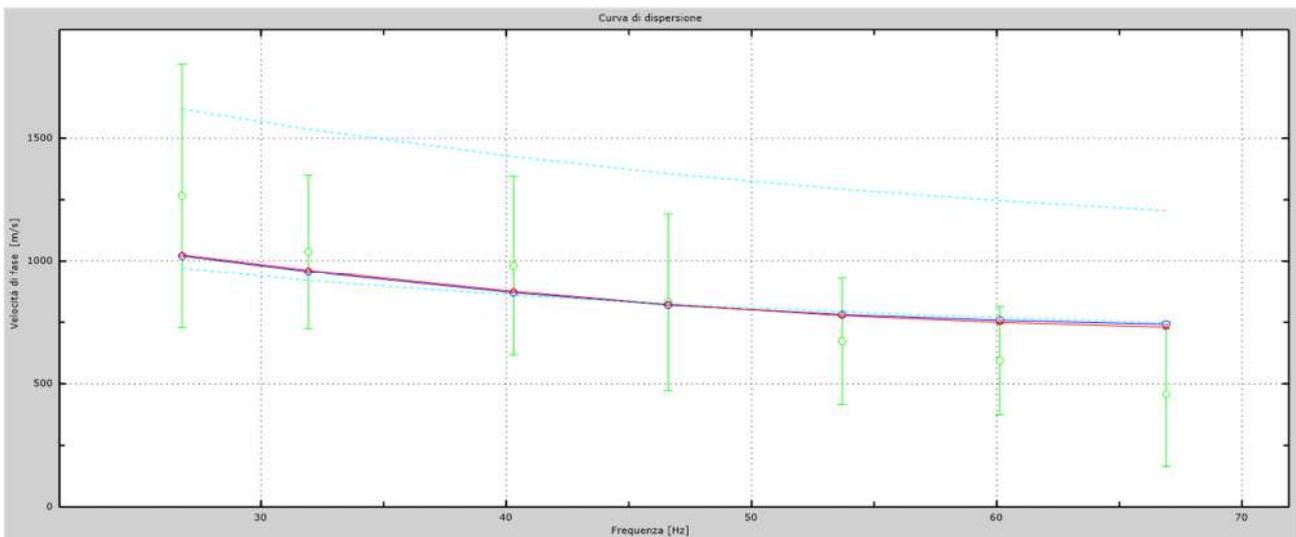


Fig.60 - Velocità numeriche – punti sperimentali (verde), modi di Rayleigh (ciano), curva apparente (blu), curva numerica (rosso).

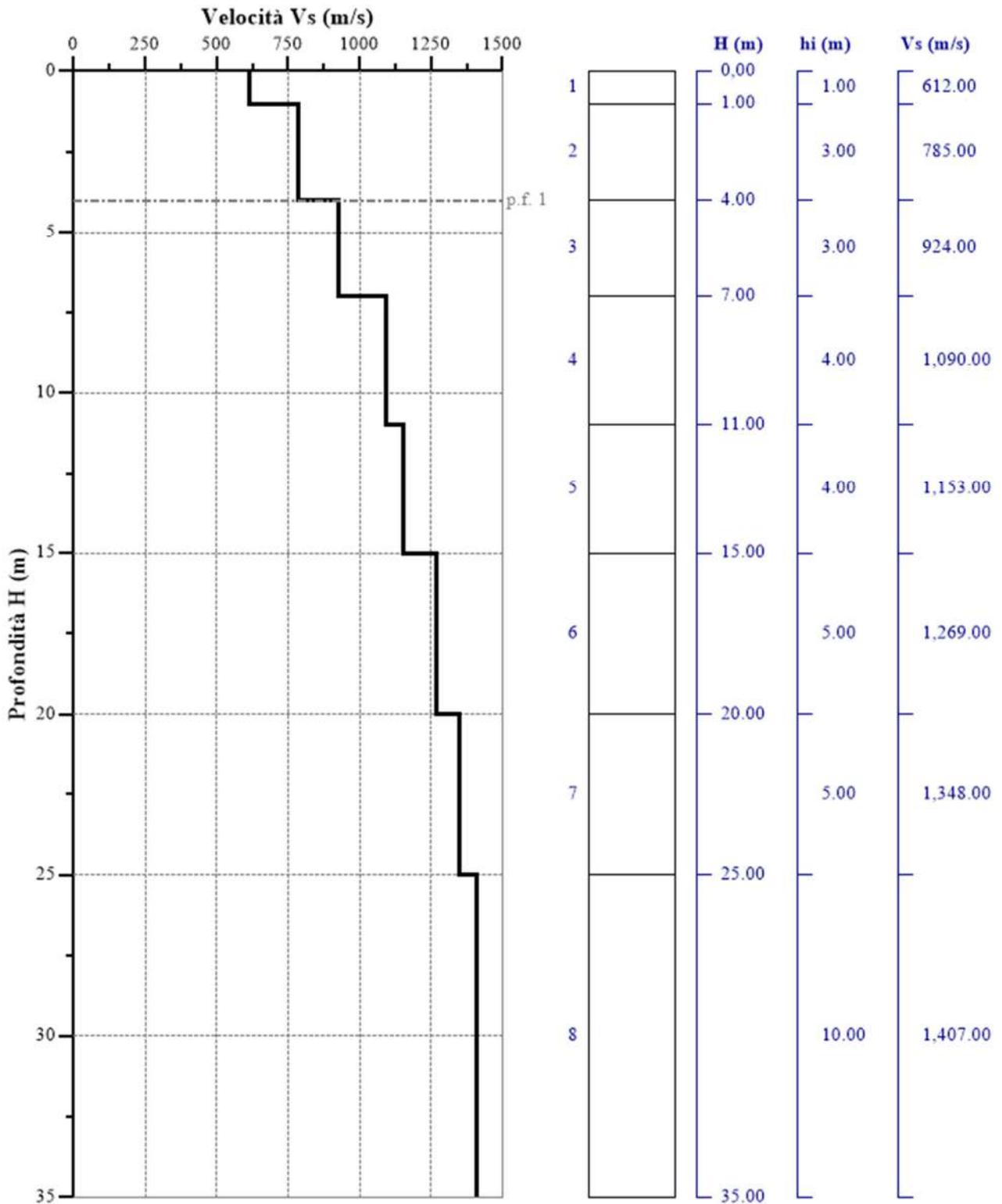


Fig.61 - Profilo Vs – calcolato a partire dall'attuale p.c.

## 5.9 Stendimento sismico II': interpretazione dei dati

Per il profilo in questione sono stati eseguiti alcuni scoppi effettuati a 1.0 m di distanza dal primo e dall'ultimo geofono. Il treno di onde generato da ciascun colpo di massa battente è stato campionato con intervallo temporale di 2.44 secondi (Fig.62).

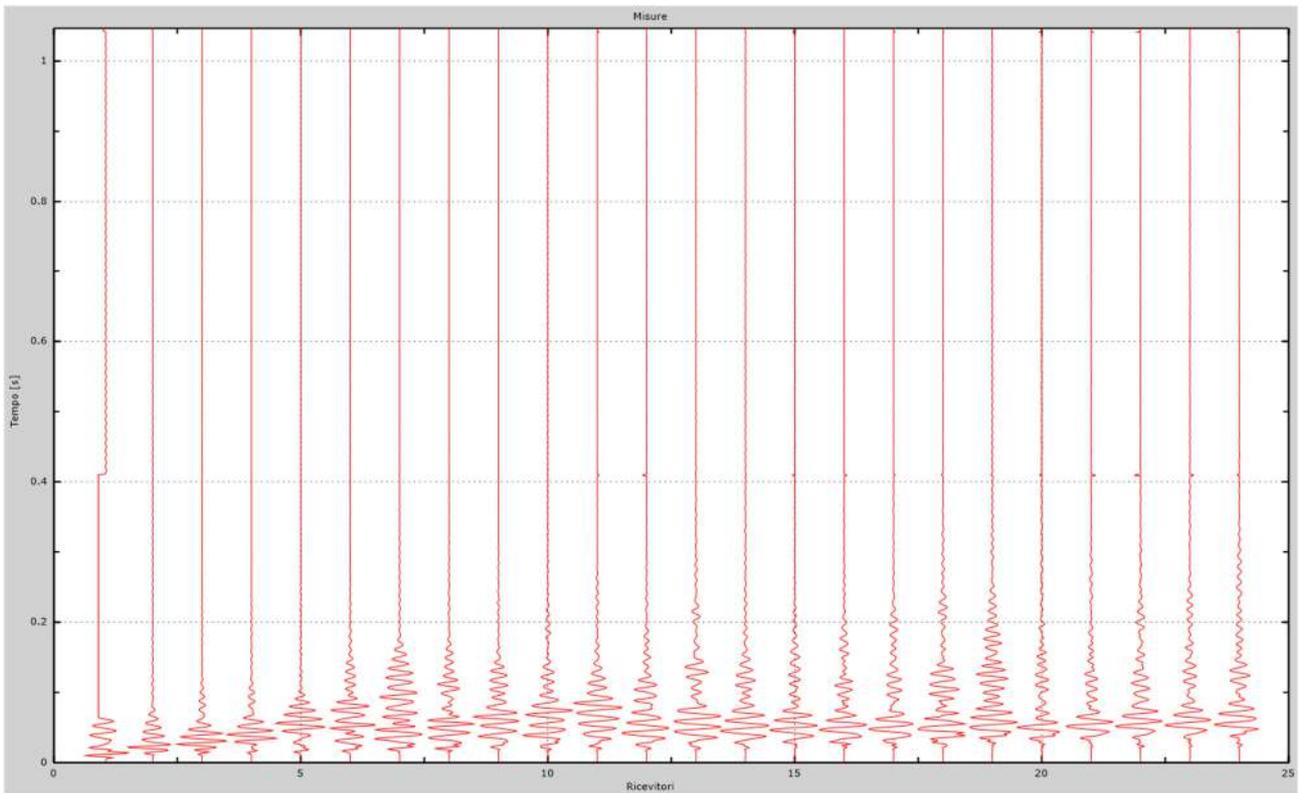


Fig. 62 – Sismogrammi dello scoppio considerato per l'analisi MASW del profilo II'

L'individuazione del profilo  $V_s$  in funzione della profondità è stato desunto individuando la differenza (errore massimo) tra la curva di dispersione sperimentale (Fig.63) e la curva di dispersione numerica corrispondente al modello di suolo assegnato (Fig.64). Minore appare tale imprecisione, maggiore risulta la probabilità che il profilo delle onde di taglio individuato sia quello giusto.

L'analisi dello spettro "velocità di fase -frequenza" ha consentito di ricostruire un modello sismico monodimensionale del sottosuolo, il quale risulta costituito dall'andamento della velocità delle onde di taglio  $V_s$  in funzione della profondità (Fig.65). Si precisa infine che, come esposto sinteticamente nel paragrafo inerente la metodologia M.A.S.W., il modello del sottosuolo e di conseguenza anche l'inversione di velocità rilevata, sono stati ottenuti in corrispondenza del punto medio del profilo di acquisizione.

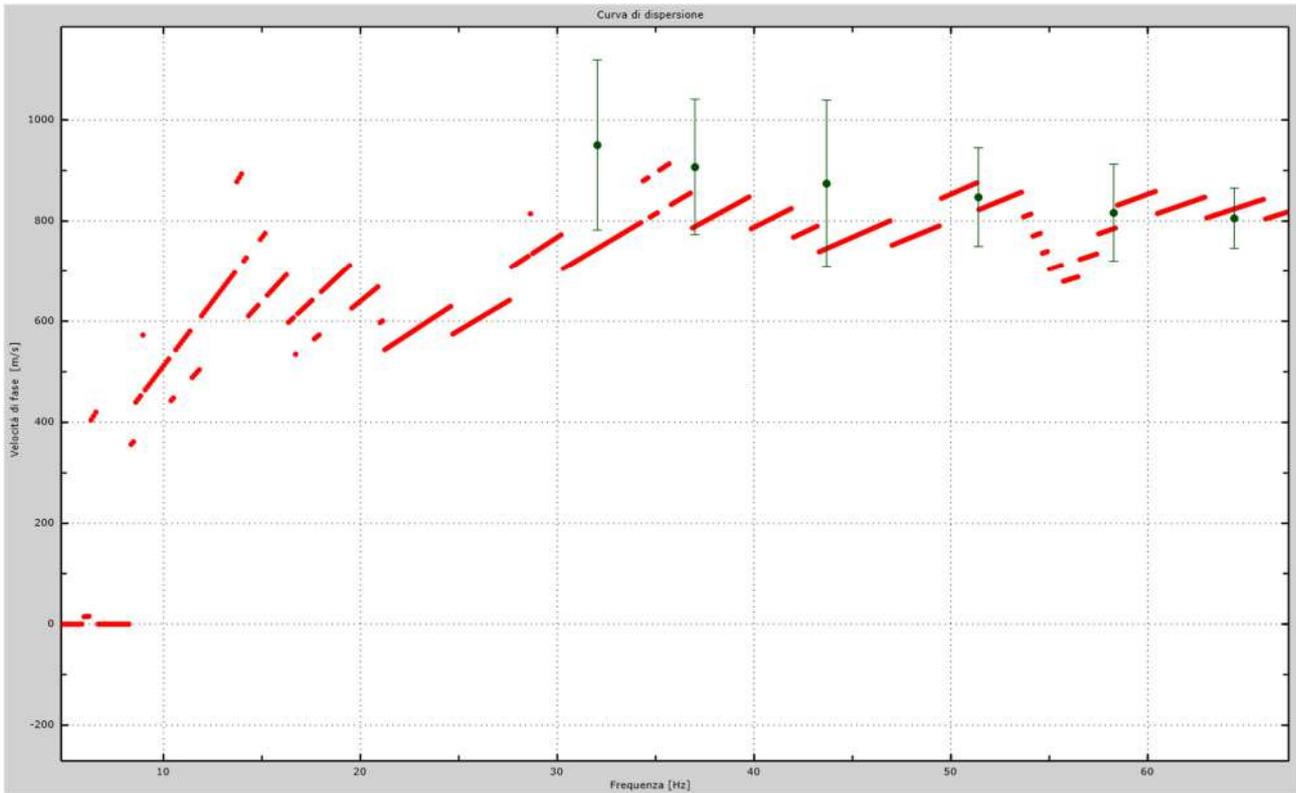


Fig.63 - Curva di dispersione sperimentale.

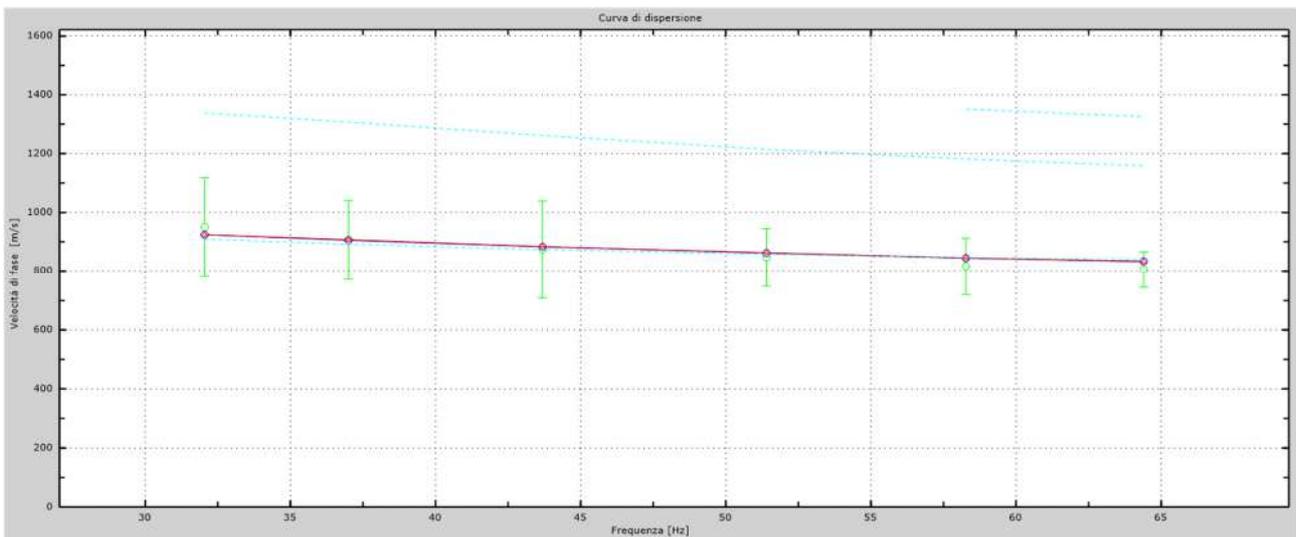


Fig.64 - Velocità numeriche – punti sperimentali (verde), modi di Rayleigh (ciano), curva apparente(blu), curva numerica (rosso).

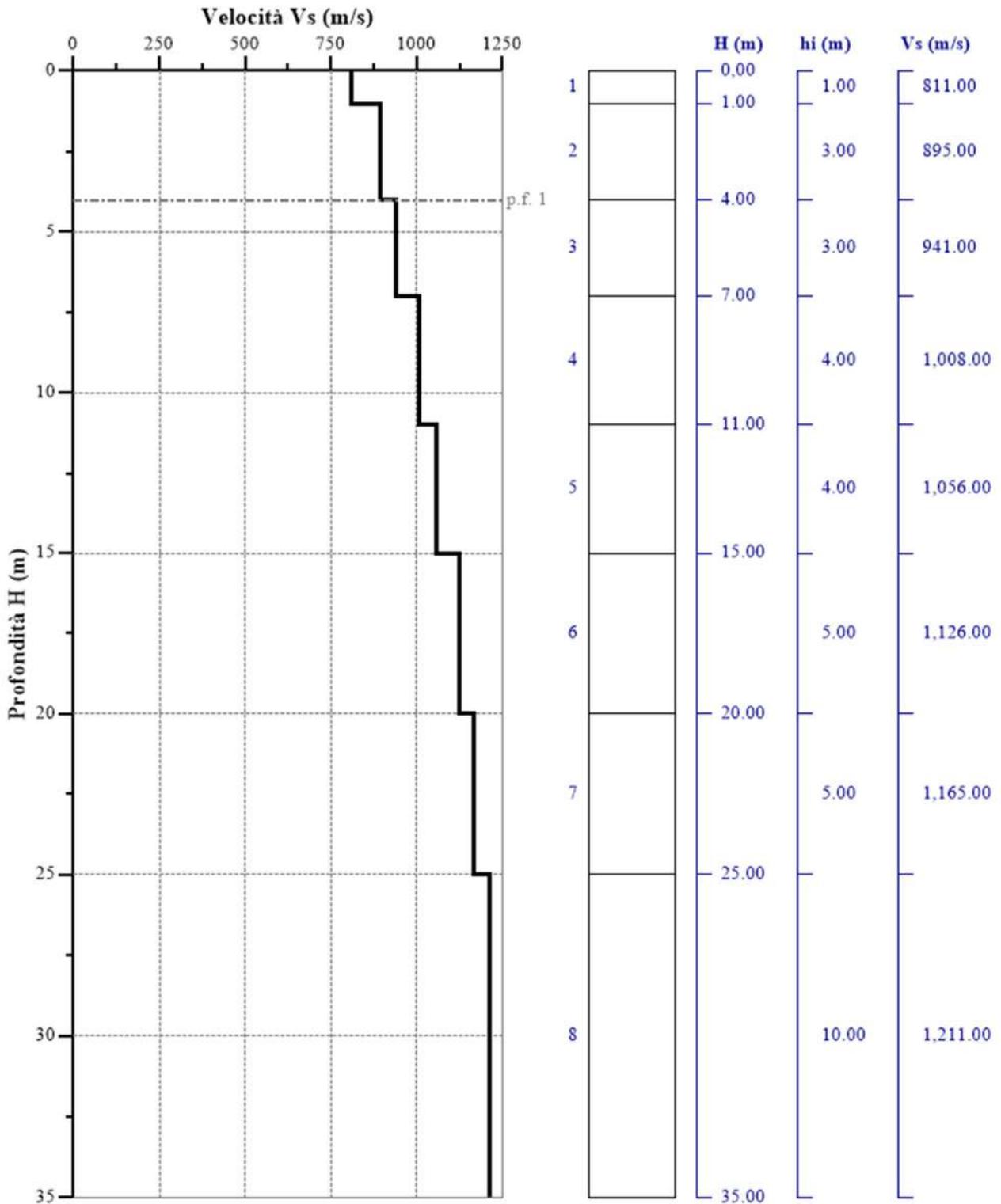


Fig.65 - Profilo  $V_s$  – calcolato a partire dall'attuale p.c.

## 6. CLASSIFICAZIONE DEL SOTTOSUOLO DI FONDAZIONE

Lo studio sugli effetti di sito è un aspetto fondamentale nella valutazione e mitigazione del rischio sismico. Tale studio si effettua in termini di risposta sismica locale, partendo dal concetto di amplificazione del moto sismico che si origina dal basamento roccioso (definito *bedrock* sismico) e che si propaga all'interno di un deposito sino a raggiungere la superficie. Valutare questi effetti non è sempre del tutto facile anche perché, in molti casi, l'amplificazione è dovuta ai cosiddetti fenomeni di risonanza nei terreni stratificati posti al di sopra del *bedrock*, di riflessione e rifrazione delle onde sismiche nelle interfacce di discontinuità e tra mezzi a diversa densità, dove le onde vengono per così dire "intrappolate" e successivamente trasmesse allo strato più superficiale generando così onde di tipo Love e di Rayleigh. A questi, poi, si aggiunge l'effetto di focalizzazione del raggio sismico nelle zone morfologicamente più acclive. Sul territorio italiano la valutazione degli effetti della risposta sismica locale viene fatta sulla base delle vigenti norme tecniche per le costruzioni pubblicate in *GU n.42 del 20/02/2018 - Suppl. Ordinario n. 8*. In particolare per situazioni riconducibili alle categorie definite in Tab. 3.2.II di cui al § 3.2.2 si può fare riferimento ad un approccio semplificato basato sui valori di velocità di propagazione delle onde di taglio,  $V_s$ , che costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo di cui al § 6.2.2. In tal caso si calcola la velocità equivalente con la seguente espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

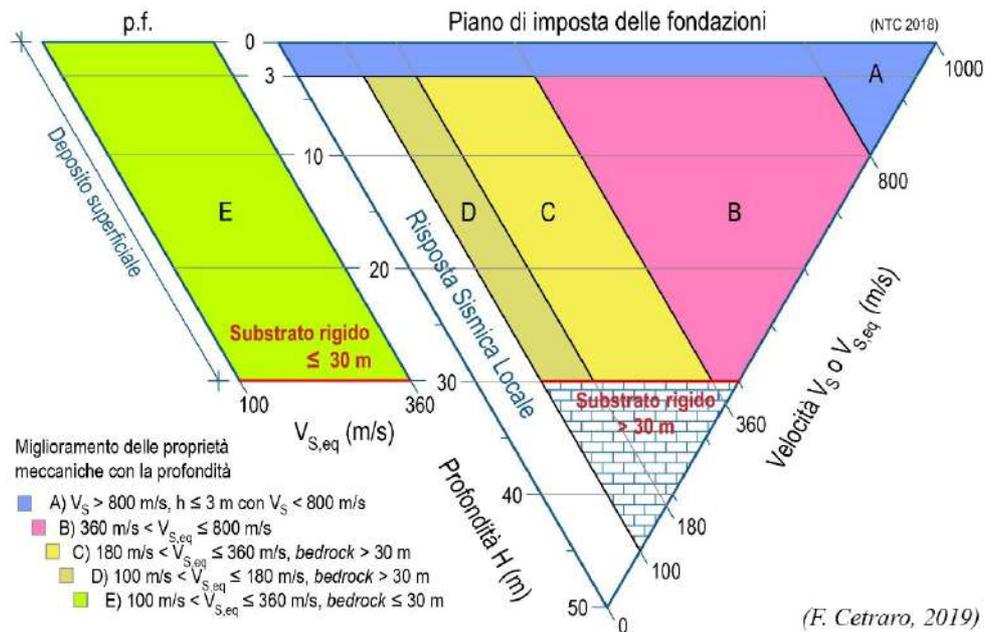
con  $h_i$  lo spessore in metri dell' $i$ esimo strato di terreno;

$V_{S,i}$  la velocità dell'onda di taglio media corrispondente;

$N$  il numero di strati;

$H$  la profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_s$  non inferiore a 800 m/s. Per depositi con profondità  $H$  del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{S,eq}$  è definita dal parametro  $V_{S,30}$  dove  $H = 30$  m considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Mentre per tutti quei casi non rientranti è richiesta una specifica analisi della risposta sismica locale, così come previsto al § 7.11.3



**Diagramma per le categorie di sottosuolo secondo i riferimenti del § 3.2.2 delle NTC 2018.**

Categorie di sottosuolo per l'approccio semplificato (Tab. 3.2.II delle NTC 2018).

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
<b>A</b>	<b>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</b> caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
<b>B</b>	<b>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti</b> , caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
<b>C</b>	<b>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti</b> con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
<b>D</b>	<b>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fine scarsamente consistenti</b> , con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
<b>E</b>	<b>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</b> , con profondità del substrato non superiore a 30 m.

## 6.1 Categoria di sottosuolo di fondazione: Profilo AA'

Al fine di poter procedere con le operazioni di calcolo è necessario inserire gli spessori con le relative velocità  $V_s$  di ogni sismostrato secondo le indicazioni riportate in normativa.

**Tabella 1-** Valori utilizzati di riferimento.

Nr.	H (m)	hi (m)	$V_s$ (m/s)
1	1.00	1.00	801.00
2	4.00	3.00	956.00
3	7.00	3.00	986.00
4	11.00	4.00	1,079.00
5	15.00	4.00	1,185.00
6	20.00	5.00	1,310.00
7	25.00	5.00	1,401.00
8	35.00	10.00	1,569.00

*Nr = numero progressivo per ciascun sismostrato,  
H = profondità, hi = spessori,  $V_s$  = velocità onde di taglio.*

**Tabella 2-** Risultati finali.

$N_i$	$Z_{pf}$ (m)	$V_{s,eq}$ (m/s)	Categoria
1	4.00	1195 m/s	A

*$N_i$  = livello,  $Z_{pf}$  = profondità del livello di fondazione.*

### Categoria del suolo: A

Sulla base della  $V_{s,eq}$  calcolata, è possibile assegnare il sottosuolo di fondazione alla Categoria A – *Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.*

## 6.2 Categoria di sottosuolo di fondazione: Profilo BB'

Al fine di poter procedere con le operazioni di calcolo è necessario inserire gli spessori con le relative velocità  $V_s$  di ogni sismostrato secondo le indicazioni riportate in normativa.

**Tabella 3-** Valori utilizzati di riferimento.

Nr.	H (m)	hi (m)	$V_s$ (m/s)
1	1.00	1.00	552.00
2	4.00	3.00	802.00
3	7.00	3.00	805.00
4	11.00	4.00	820.00
5	15.00	4.00	969.00
6	20.00	5.00	1,100.00
7	25.00	5.00	1,111.00
8	35.00	10.00	1,254.00

*Nr = numero progressivo per ciascun sismostrato,  
H = profondità, hi = spessori,  $V_s$  = velocità onde di taglio.*

**Tabella 4-** Risultati finali.

$N_i$	$Z_{pf}$ (m)	$V_{s,eq}$ (m/s)	Categoria
1	4.00	956 m/s	A

*$N_i$  = livello,  $Z_{pf}$  = profondità del livello di fondazione.*

### Categoria del suolo: A

Sulla base della  $V_{s,eq}$  calcolata, è possibile assegnare il sottosuolo di fondazione alla Categoria A – *Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.*

### 6.3 Categoria di sottosuolo di fondazione: Profilo CC'

Al fine di poter procedere con le operazioni di calcolo è necessario inserire gli spessori con le relative velocità  $V_s$  di ogni sismostrato secondo le indicazioni riportate in normativa.

**Tabella 5-** Valori utilizzati di riferimento.

Nr.	H (m)	hi (m)	$V_s$ (m/s)
1	1.00	1.00	598.00
2	4.00	3.00	625.00
3	7.00	3.00	816.00
4	11.00	4.00	984.00
5	15.00	4.00	1,125.00
6	20.00	5.00	1,233.00
7	25.00	5.00	1,360.00
8	35.00	10.00	1,524.00

*Nr = numero progressivo per ciascun sismostrato,  
H = profondità, hi = spessori,  $V_s$  = velocità onde di taglio.*

**Tabella 6-** Risultati finali.

$N_i$	$Z_{pf}$ (m)	$V_{s,eq}$ (m/s)	Categoria
1	4.00	1042 m/s	A

*$N_i$  = livello,  $Z_{pf}$  = profondità del livello di fondazione.*

#### Categoria del suolo: A

Sulla base della  $V_{s,eq}$  calcolata, è possibile assegnare il sottosuolo di fondazione alla Categoria A – *Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.*

#### 6.4 Categoria di sottosuolo di fondazione: Profilo DD'

Al fine di poter procedere con le operazioni di calcolo è necessario inserire gli spessori con le relative velocità  $V_s$  di ogni sismostrato secondo le indicazioni riportate in normativa.

**Tabella 7-** Valori utilizzati di riferimento.

Nr.	H (m)	hi (m)	$V_s$ (m/s)
1	1.00	1.00	883.00
2	4.00	3.00	902.00
3	7.00	3.00	957.00
4	11.00	4.00	972.00
5	15.00	4.00	1,111.00
6	20.00	5.00	1,145.00
7	25.00	5.00	1,255.00
8	35.00	10.00	1,296.00

*Nr = numero progressivo per ciascun sismostrato,  
H = profondità, hi = spessori,  $V_s$  = velocità onde di taglio.*

**Tabella 8-** Risultati finali.

$N_i$	$Z_{pf}$ (m)	$V_{s,eq}$ (m/s)	Categoria
1	4.00	1090 m/s	A

*$N_i$  = livello,  $Z_{pf}$  = profondità del livello di fondazione.*

#### Categoria del suolo: A

Sulla base della  $V_{s,eq}$  calcolata, è possibile assegnare il sottosuolo di fondazione alla Categoria A – *Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.*

## 6.5 Categoria di sottosuolo di fondazione: Profilo EE'

Al fine di poter procedere con le operazioni di calcolo è necessario inserire gli spessori con le relative velocità  $V_s$  di ogni sismostrato secondo le indicazioni riportate in normativa.

**Tabella 9-** Valori utilizzati di riferimento.

Nr.	H (m)	hi (m)	$V_s$ (m/s)
1	1.00	1.00	845.00
2	4.00	3.00	921.00
3	7.00	3.00	1,034.00
4	11.00	4.00	1,261.00
5	15.00	4.00	1,337.00
6	20.00	5.00	1,423.00
7	25.00	5.00	1,535.00
8	35.00	10.00	1,633.00

*Nr = numero progressivo per ciascun sismostrato,  
H = profondità, hi = spessori,  $V_s$  = velocità onde di taglio.*

**Tabella 10-** Risultati finali.

$N_i$	$Z_{pf}$ (m)	$V_{s,eq}$ (m/s)	Categoria
1	4.00	1285 m/s	A

*$N_i$  = livello,  $Z_{pf}$  = profondità del livello di fondazione.*

### Categoria del suolo: A

Sulla base della  $V_{s,eq}$  calcolata, è possibile assegnare il sottosuolo di fondazione alla Categoria A – *Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.*

## 6.6 Categoria di sottosuolo di fondazione: Profilo FF'

Al fine di poter procedere con le operazioni di calcolo è necessario inserire gli spessori con le relative velocità  $V_s$  di ogni sismostrato secondo le indicazioni riportate in normativa.

**Tabella 11-** Valori utilizzati di riferimento.

Nr.	H (m)	hi (m)	$V_s$ (m/s)
1	1.00	1.00	821.00
2	4.00	3.00	983.00
3	7.00	3.00	1,031.00
4	11.00	4.00	1,209.00
5	15.00	4.00	1,300.00
6	20.00	5.00	1,332.00
7	25.00	5.00	1,375.00
8	35.00	10.00	1,399.00

*Nr = numero progressivo per ciascun sismostrato,  
H = profondità, hi = spessori,  $V_s$  = velocità onde di taglio.*

**Tabella 12-** Risultati finali.

$N_i$	$Z_{pf}$ (m)	$V_{s,eq}$ (m/s)	Categoria
1	4.00	1223 m/s	A

*$N_i$  = livello,  $Z_{pf}$  = profondità del livello di fondazione.*

### Categoria del suolo: A

Sulla base della  $V_{s,eq}$  calcolata, è possibile assegnare il sottosuolo di fondazione alla Categoria A – *Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.*

## 6.7 Categoria di sottosuolo di fondazione: Profilo GG'

Al fine di poter procedere con le operazioni di calcolo è necessario inserire gli spessori con le relative velocità  $V_s$  di ogni sismostrato secondo le indicazioni riportate in normativa.

**Tabella 13-** Valori utilizzati di riferimento.

Nr.	H (m)	hi (m)	$V_s$ (m/s)
1	1.00	1.00	811.00
2	4.00	3.00	939.00
3	7.00	3.00	999.00
4	11.00	4.00	1,045.00
5	15.00	4.00	1,072.00
6	20.00	5.00	1,113.00
7	25.00	5.00	1,185.00
8	35.00	10.00	1,299.00

*Nr = numero progressivo per ciascun sismostrato,  
H = profondità, hi = spessori,  $V_s$  = velocità onde di taglio.*

**Tabella 14-** Risultati finali.

$N_l$	$Z_{pf}$ (m)	$V_{s,eq}$ (m/s)	Categoria
1	4.00	1088 m/s	A

*$N_l$  = livello,  $Z_{pf}$  = profondità del livello di fondazione.*

### Categoria del suolo: A

Sulla base della  $V_{s,eq}$  calcolata, è possibile assegnare il sottosuolo di fondazione alla Categoria A – *Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.*

## 6.8 Categoria di sottosuolo di fondazione: Profilo HH'

Al fine di poter procedere con le operazioni di calcolo è necessario inserire gli spessori con le relative velocità  $V_s$  di ogni sismostrato secondo le indicazioni riportate in normativa.

**Tabella 15-** Valori utilizzati di riferimento.

Nr.	H (m)	hi (m)	$V_s$ (m/s)
1	1.00	1.00	612.00
2	4.00	3.00	785.00
3	7.00	3.00	924.00
4	11.00	4.00	1,090.00
5	15.00	4.00	1,153.00
6	20.00	5.00	1,269.00
7	25.00	5.00	1,348.00
8	35.00	10.00	1,407.00

*Nr = numero progressivo per ciascun sismostrato,  
H = profondità, hi = spessori,  $V_s$  = velocità onde di taglio.*

**Tabella 16-** Risultati finali.

$N_i$	$Z_{pf}$ (m)	$V_{s,eq}$ (m/s)	Categoria
1	4.00	1109 m/s	A

*$N_i$  = livello,  $Z_{pf}$  = profondità del livello di fondazione.*

### Categoria del suolo: A

Sulla base della  $V_{s,eq}$  calcolata, è possibile assegnare il sottosuolo di fondazione alla Categoria A – *Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.*

## 6.9 Categoria di sottosuolo di fondazione: Profilo II'

Al fine di poter procedere con le operazioni di calcolo è necessario inserire gli spessori con le relative velocità  $V_s$  di ogni sismostrato secondo le indicazioni riportate in normativa.

**Tabella 17-** Valori utilizzati di riferimento.

Nr.	H (m)	hi (m)	$V_s$ (m/s)
1	1.00	1.00	811.00
2	4.00	3.00	895.00
3	7.00	3.00	941.00
4	11.00	4.00	1,008.00
5	15.00	4.00	1,056.00
6	20.00	5.00	1,126.00
7	25.00	5.00	1,165.00
8	35.00	10.00	1,211.00

*Nr = numero progressivo per ciascun sismostrato,  
H = profondità, hi = spessori,  $V_s$  = velocità onde di taglio.*

**Tabella 18-** Risultati finali.

$N_i$	$Z_{pf}$ (m)	$V_{s,eq}$ (m/s)	Categoria
1	4.00	1056 m/s	A

*$N_i$  = livello,  $Z_{pf}$  = profondità del livello di fondazione.*

### Categoria del suolo: A

Sulla base della  $V_{s,eq}$  calcolata, è possibile assegnare il sottosuolo di fondazione alla Categoria A – *Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.*

## 7. CARATTERIZZAZIONE ELASTICO-MECCANICA DEI TERRENI DI FONDAZIONE

Nel dettaglio quindi si riporta una tabella riassuntiva delle principali caratteristiche elasto-meccaniche dei sismostrati individuati per gli stendimenti sismici realizzati. I valori delle Vs sono stati ricavati in modo indiretto dalla prova MASW.

I parametri elaborati sono i seguenti:  $g$  = densità sismica calcolata mediante la seguente formula:  $0.51 V_p^{0.19}$ ;  $G_0$  = Modulo di taglio;  $K$  = Modulo di volume;  $E$  = Modulo di Young;  $M$  = Modulo di contrasto;  $IS$  = Impedenza sismica;  $\mu$  = modulo di Poisson.

### Stendimento sismico AA'

Prof. (m da p.c.)	Unità	V <sub>Pi</sub> (m/sec)	V <sub>Si</sub> (m/sec)	$g$ (gr/cm <sup>3</sup> )	$G_0$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$K$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$E$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$M$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\mu$	V <sub>p</sub> /V <sub>s</sub>	IS (t*m <sup>-2</sup> *sec <sup>-1</sup> )
0.50	B - TETTO	500.00	311.00	1.66	1626.0	2034.8	3851.9	4202.7	0.18	1.61	516.58
1.50	B - LETTO	1250.00	801.00	1.98	12837.0	14146.2	29567.4	31262.2	0.15	1.56	1583.49
1.50	C - TETTO	1250.00	801.00	1.98	12837.0	14146.2	29567.4	31262.2	0.15	1.56	1583.49
6.00	C - LETTO	2250.00	1079.00	2.21	26046.2	78529.1	70359.7	113257.4	0.35	2.09	2385.10
6.00	D - TETTO	2250.00	1079.00	2.21	26046.2	78529.1	70359.7	113257.4	0.35	2.09	2385.10
10.00	D - LETTO	4500.00	1569.00	2.52	62826.5	433031.0	179784.9	516799.7	0.43	2.87	3956.43

### Stendimento sismico BB'

Prof. (m da p.c.)	Unità	V <sub>Pi</sub> (m/sec)	V <sub>Si</sub> (m/sec)	$g$ (gr/cm <sup>3</sup> )	$G_0$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$K$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$E$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$M$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\mu$	V <sub>p</sub> /V <sub>s</sub>	IS (t*m <sup>-2</sup> *sec <sup>-1</sup> )
1.00	B - TETTO	500.00	256.00	1.66	1101.7	2733.8	2913.7	4202.7	0.32	1.95	425.22
3.00	B - LETTO	1250.00	552.00	1.98	6096.5	23133.6	16812.5	31262.2	0.38	2.26	1091.24
3.00	C - TETTO	1250.00	552.00	1.98	6096.5	23133.6	16812.5	31262.2	0.38	2.26	1091.24
9.00	C - LETTO	2250.00	1100.00	2.21	27069.9	77164.2	72707.6	113257.4	0.34	2.05	2431.52
9.00	D - TETTO	2250.00	1100.00	2.21	27069.9	77164.2	72707.6	113257.4	0.34	2.05	2431.52
12.00	D - LETTO	4500.00	1254.00	2.52	40132.1	463290.2	117017.6	516799.7	0.46	3.59	3162.12

### Stendimento sismico CC'

Prof. (m da p.c.)	Unità	V <sub>Pi</sub> (m/sec)	V <sub>Si</sub> (m/sec)	$g$ (gr/cm <sup>3</sup> )	$G_0$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$K$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$E$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$M$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\mu$	V <sub>p</sub> /V <sub>s</sub>	IS (t*m <sup>-2</sup> *sec <sup>-1</sup> )
1.50	B - TETTO	500.00	261.00	1.66	1145.2	2675.8	3006.6	4202.7	0.31	1.92	433.53
5.00	B - LETTO	1250.00	598.00	1.98	7154.9	21722.4	19341.1	31262.2	0.35	2.09	1182.18
5.00	C - TETTO	1250.00	598.00	1.98	7154.9	21722.4	19341.1	31262.2	0.35	2.09	1182.18
10.00	C - LETTO	2250.00	1125.00	2.21	28314.3	75504.9	75504.9	113257.4	0.33	2.00	2486.78
10.00	D - TETTO	2250.00	1125.00	2.21	28314.3	75504.9	75504.9	113257.4	0.33	2.00	2486.78
14.00	D - LETTO	4500.00	1524.00	2.52	59274.4	437767.2	170143.9	516799.7	0.44	2.95	3842.96

### Stendimento sismico DD'

Prof. (m da p.c.)	Unità	V <sub>Pi</sub> (m/sec)	V <sub>Si</sub> (m/sec)	g (gr/cm <sup>3</sup> )	G <sub>0</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	K (Kg/cm <sup>2</sup> )	E (kg/cm <sup>2</sup> )	M (kg/cm <sup>2</sup> )	μ	V <sub>p</sub> /V <sub>s</sub>	IS (t*m <sup>-2</sup> *sec <sup>-1</sup> )
0.5/1.0	B - TETTO	500.00	277.00	1.66	1289.9	2482.9	3298.5	4202.7	0.28	1.81	460.10
2.50	B - LETTO	1250.00	883.00	1.98	15599.9	10462.4	31262.0	31262.2	0.00	1.42	1745.60
2.50	C - TETTO	1250.00	883.00	1.98	15599.9	10462.4	31262.0	31262.2	0.00	1.42	1745.60
5.00	C - LETTO	2250.00	1145.00	2.21	29330.0	74150.7	77740.1	113257.4	0.33	1.97	2530.99
5.00	D - TETTO	2250.00	1145.00	2.21	29330.0	74150.7	77740.1	113257.4	0.33	1.97	2530.99
10.00	D - LETTO	4500.00	1296.00	2.52	42865.4	459645.8	124719.3	516799.7	0.45	3.47	3268.03

### Stendimento sismico EE'

Prof. (m da p.c.)	Unità	V <sub>Pi</sub> (m/sec)	V <sub>Si</sub> (m/sec)	g (gr/cm <sup>3</sup> )	G <sub>0</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	K (Kg/cm <sup>2</sup> )	E (kg/cm <sup>2</sup> )	M (kg/cm <sup>2</sup> )	μ	V <sub>p</sub> /V <sub>s</sub>	IS (t*m <sup>-2</sup> *sec <sup>-1</sup> )
1.00	B - TETTO	500.00	265.00	1.66	1180.5	2628.7	3080.5	4202.7	0.30	1.89	440.17
2.5/3.0	B - LETTO	1250.00	845.00	1.98	14286.1	12214.1	30836.0	31262.2	0.08	1.48	1670.47
2.5/3.0	C - TETTO	1250.00	845.00	1.98	14286.1	12214.1	30836.0	31262.2	0.08	1.48	1670.47
5.00	C - LETTO	2250.00	1337.00	2.21	39991.2	59935.8	98145.0	113257.4	0.23	1.68	2955.40
5.00	D - TETTO	2250.00	1337.00	2.21	39991.2	59935.8	98145.0	113257.4	0.23	1.68	2955.40
9.00	D - LETTO	4500.00	1633.00	2.52	68056.5	426057.7	193848.0	516799.7	0.42	2.76	4117.81

### Stendimento sismico FF'

Prof. (m da p.c.)	Unità	V <sub>Pi</sub> (m/sec)	V <sub>Si</sub> (m/sec)	g (gr/cm <sup>3</sup> )	G <sub>0</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	K (Kg/cm <sup>2</sup> )	E (kg/cm <sup>2</sup> )	M (kg/cm <sup>2</sup> )	μ	V <sub>p</sub> /V <sub>s</sub>	IS (t*m <sup>-2</sup> *sec <sup>-1</sup> )
1.00	B - TETTO	500.00	260.00	1.66	1136.4	2687.5	2988.1	4202.7	0.31	1.92	431.86
2.5/3.0	B - LETTO	1250.00	821.00	1.98	13486.1	13280.8	30226.9	31262.2	0.12	1.52	1623.03
2.5/3.0	C - TETTO	1250.00	821.00	1.98	13486.1	13280.8	30226.9	31262.2	0.12	1.52	1623.03
6.00	C - LETTO	2250.00	1209.00	2.21	32700.5	69656.8	84827.3	113257.4	0.30	1.86	2672.46
6.00	D - TETTO	2250.00	1209.00	2.21	32700.5	69656.8	84827.3	113257.4	0.30	1.86	2672.46
9.00	D - LETTO	4500.00	1399.00	2.52	49949.7	450200.1	144504.8	516799.7	0.45	3.22	3527.75

### Stendimento sismico GG'

Prof. (m da p.c.)	Unità	V <sub>Pi</sub> (m/sec)	V <sub>Si</sub> (m/sec)	g (gr/cm <sup>3</sup> )	G <sub>0</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	K (Kg/cm <sup>2</sup> )	E (kg/cm <sup>2</sup> )	M (kg/cm <sup>2</sup> )	μ	V <sub>p</sub> /V <sub>s</sub>	IS (t*m <sup>-2</sup> *sec <sup>-1</sup> )
0.50	B - TETTO	500.00	255.00	1.66	1093.1	2745.2	2895.1	4202.7	0.32	1.96	423.56
2.00	B - LETTO	1250.00	811.00	1.98	13159.6	13716.1	29912.5	31262.2	0.14	1.54	1603.26
2.00	C - TETTO	1250.00	811.00	1.98	13159.6	13716.1	29912.5	31262.2	0.14	1.54	1603.26
4.00	C - LETTO	2250.00	1045.00	2.21	24430.6	80683.3	66572.5	113257.4	0.36	2.15	2309.94
4.00	D - TETTO	2250.00	1045.00	2.21	24430.6	80683.3	66572.5	113257.4	0.36	2.15	2309.94
8.00	D - LETTO	4500.00	1299.00	2.52	43064.1	459380.9	125277.7	516799.7	0.45	3.46	3275.59

### Stendimento sismico HH'

Prof. (m da p.c.)	Unità	V <sub>Pi</sub> (m/sec)	V <sub>Si</sub> (m/sec)	g (gr/cm <sup>3</sup> )	G <sub>0</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	K (Kg/cm <sup>2</sup> )	E (kg/cm <sup>2</sup> )	M (kg/cm <sup>2</sup> )	μ	V <sub>p</sub> /V <sub>s</sub>	IS (t*m <sup>-2</sup> *sec <sup>-1</sup> )
1.50	B - TETTO	500.00	255.00	1.66	1093.1	2745.2	2895.1	4202.7	0.32	1.96	423.56
4.00	B - LETTO	1250.00	785.00	1.98	12329.3	14823.1	28959.0	31262.2	0.17	1.59	1551.86
4.00	C - TETTO	1250.00	785.00	1.98	12329.3	14823.1	28959.0	31262.2	0.17	1.59	1551.86
7.00	C - LETTO	2250.00	1153.00	2.21	29741.3	73602.3	78632.6	113257.4	0.32	1.95	2548.67
7.00	D - TETTO	2250.00	1153.00	2.21	29741.3	73602.3	78632.6	113257.4	0.32	1.95	2548.67
10.00	D - LETTO	4500.00	1407.00	2.52	50522.6	449436.3	146093.4	516799.7	0.45	3.20	3547.93

### Stendimento sismico II'

Prof. (m da p.c.)	Unità	V <sub>Pi</sub> (m/sec)	V <sub>Si</sub> (m/sec)	g (gr/cm <sup>3</sup> )	G <sub>0</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	K (Kg/cm <sup>2</sup> )	E (kg/cm <sup>2</sup> )	M (kg/cm <sup>2</sup> )	μ	V <sub>p</sub> /V <sub>s</sub>	IS (t*m <sup>-2</sup> *sec <sup>-1</sup> )
1.00	B - TETTO	500.00	255.00	1.66	1093.1	2745.2	2895.1	4202.7	0.32	1.96	423.56
3.00	B - LETTO	1250.00	811.00	1.98	13159.6	13716.1	29912.5	31262.2	0.14	1.54	1603.26
3.00	C - TETTO	1250.00	811.00	1.98	13159.6	13716.1	29912.5	31262.2	0.14	1.54	1603.26
7.00	C - LETTO	2250.00	1056.00	2.21	24947.6	79993.9	67795.2	113257.4	0.36	2.13	2334.26
7.00	D - TETTO	2250.00	1056.00	2.21	24947.6	79993.9	67795.2	113257.4	0.36	2.13	2334.26
12.00	D - LETTO	4500.00	1211.00	2.52	37427.0	466897.0	109359.0	516799.7	0.46	3.72	3053.69

## 8. DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

STENDIMENTO AA'



STENDIMENTO BB'



STENDIMENTO CC'



STENDIMENTO DD'



STENDIMENTO EE'



STENDIMENTO FF'



STENDIMENTO GG'



STENDIMENTO HH'



STENDIMENTO II'



**Alberobello, 03.01.2024**