

ENGIE BELCASTRO S.r.l.

REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO EOLICO DELLA POTENZA DI 37,2 MWp RICADENTE NEL TERRITORIO DI BELCASTRO (CZ) E DELLE RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE



Via Degli Arredatori, 8
70026 Modugno (BA) - Italy
www.bfpgroup.net - info@bfpgroup.net
tel. (+39) 0805046361

Azienda con Sistema di Gestione Certificato
UNI EN ISO 9001:2015
UNI EN ISO 14001:2015
UNI ISO 45001:2018

Tecnico
dott. Raffaele SASSONE

Collaborazioni

Responsabile Commessa
ing. Danilo POMPONIO

ELABORATO		TITOLO	COMMESSA	TIPOLOGIA	
V15		RELAZIONE GEOTECNICA	23007	D	
			CODICE ELABORATO		
			DC23007D-V15		
REVISIONE		Tutte le informazioni tecniche contenute nel presente documento sono di proprietà esclusiva della Studio Tecnico BFP S.r.l e non possono essere riprodotte, divulgate o comunque utilizzate senza la sua preventiva autorizzazione scritta. All technical information contained in this document is the exclusive property of Studio Tecnico BFP S.r.l. and may neither be used nor disclosed without its prior written consent. (art. 2575 c.c.)	SOSTITUISCE	SOSTITUITO DA	
01			-	-	
			NOME FILE	PAGINE	
			DC23007D-V15 rev01.doc	113 + copertina	
REV	DATA	MODIFICA	Elaborato	Controllato	Approvato
00	31/07/23	Emissione	Sassone	Sassone	Sassone
01	15/09/23	Aggiornamento opere di connessione	Sassone	Sassone	Sassone
02					
03					
04					
05					
06					

Progetto di realizzazione di un impianto eolico e delle relative opere connesse in agro di Belcastro (CZ)		
RELAZIONE GEOTECNICA		
Codice documento:	Data emissione: Agosto 2023	Pagina I di IV

SOMMARIO

1. PREMESSA	1
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	8
3. LOCALIZZAZIONE PROGETTO	9
4. CAMPAGNA GEOGNOSTICA	10
5. RISULTATI INDAGINI GEOFISICHE	11
5.1. Acquisizioni sismiche a rifrazione e MASW	11
5.2. Indagine sismica a rifrazione	11
5.2.1. Modello sismico AA'	11
5.2.2. Modello sismico BB'	12
5.2.3. Modello sismico CC'	13
5.2.4. Modello sismico DD'	14
5.2.5. Modello sismico EE'	15
5.2.6. Modello sismico FF'	16
5.2.7. Modello sismico QQ'	17
5.3. Indagine sismica M.A.S.W.	18
5.3.1. Misura AA'	19
5.3.2. Misura BB'	19
5.3.3. Misura CC'	19
5.3.4. Misura DD'	19
5.3.5. Misura EE'	20
5.3.6. Misura FF'	20
5.3.7. Misura QQ'	20
6. MODELLO GEOLOGICO DEL SOTTOSUOLO	22
7. CLASSIFICAZIONE DEL SOTTOSUOLO DI FONDAZIONE.....	23
7.1. Categoria di sottosuolo	23
7.2. Categoria topografica	23
7.3. Pericolosità sismica del sito	23
7.4. Stabilità nei confronti della liquefazione	26
8. CARATTERISTICHE ELASTO-MECCANICHE DEI TERRENI DI FONDAZIONE.....	30
9. MODELLAZIONE GEOTECNICA.....	32
10. CONCLUSIONI	35

ALLEGATO 1: REPORT INDAGINI GEOFISICHE

Progetto di realizzazione di un impianto eolico e delle relative opere connesse in agro di Belcastro (CZ)		
RELAZIONE GEOTECNICA		
Codice documento:	Data emissione: Agosto 2023	Pagina II di IV

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1.1 – ubicazione impianto eolico su stralcio IGM scala 1:25000	1
Figura 1.2 – ubicazione impianto eolico su stralcio IGM scala 1:25000	2
Figura 1.3 - ubicazione impianto eolico su stralcio IGM scala 1:25000	3
Figura 1.4 - ubicazione impianto eolico su stralcio IGM scala 1:25000	4
Figura 1.5 - ubicazione impianto eolico su stralcio IGM scala 1:25000	5
Figura 1.6 – ubicazione SE Cutro, Cabina Utente, Cavidotto AT interno, Cavidotto AT esterno su stralcio ortofoto scala 1:20000	6
Figura 1.7 - ubicazione Cavidotto interno e aerogeneratori su stralcio ortofoto scala 1:20000	6
Figura 1.8 - ubicazione Cavidotto interno e aerogeneratori su stralcio ortofoto scala 1:20000	7
Figura 4.1- Corografia delle prospezioni geofisiche	10
Figura 5.1 - Ubicazione dello stendimento sismico AA' su ortofoto e Interpretazione sezione tomografica	12
Figura 5.2 - Ubicazione dello stendimento sismico BB' su ortofoto e Interpretazione sezione tomografica	13
Figura 5.3 - Ubicazione dello stendimento sismico CC' su ortofoto e Interpretazione sezione tomografica	14
Figura 5.4 – Ubicazione dello stendimento sismico DD' su ortofoto e Interpretazione sezione tomografica	15
Figura 5.5 - Ubicazione dello stendimento sismico EE' su ortofoto e Interpretazione sezione tomografica	16
Figura 5.6 - Ubicazione dello stendimento sismico FF' su ortofoto e Interpretazione sezione tomografica	17
Figura 5.7 - Ubicazione dello stendimento sismico QQ' su ortofoto e Interpretazione sezione tomografica	18
Figura 6.1 – modello geologico	22

Progetto di realizzazione di un impianto eolico e delle relative opere connesse in agro di Belcastro (CZ)		
RELAZIONE GEOTECNICA		
Codice documento:	Data emissione: Agosto 2023	Pagina III di IV

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1.1 - Inquadramento dei punti macchina di progetto e coordinate	1
Tabella 5.1 – ubicazione stendimenti sismici	11
Tabella 5.2 - profilo delle velocità delle onde S (Vs) misura AA'	19
Tabella 5.3 - profilo delle velocità delle onde S (Vs) misura BB'	19
Tabella 5.4 - profilo delle velocità delle onde S (Vs) misura CC'	19
Tabella 5.5 - profilo delle velocità delle onde S (Vs) misura DD'	20
Tabella 5.6 - profilo delle velocità delle onde S (Vs) misura EE'	20
Tabella 5.7 - profilo delle velocità delle onde S (Vs) misura FF'	20
Tabella 5.8 - profilo delle velocità delle onde S (Vs) misura QQ'	21
Tabella 6.1- Modello geologico di riferimento per il parco eolico	22
Tabella 7.1 - valori delle velocità medie delle onde sismiche di taglio e della V_{Seq} risultante	23
Tabella 7.2 - parametri sismici WTG1	24
Tabella 7.3 - parametri sismici WTG2	24
Tabella 7.4 - parametri sismici WTG3	24
Tabella 7.5 - parametri sismici WTG4	25
Tabella 7.6 - parametri sismici WTG5	25
Tabella 7.7 - parametri sismici WTG6	25
Tabella 7.8 - parametri sismici WTG7	26
Tabella 7.9 - Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R	26
Tabella 7.10 - Valori in anni del periodo di ritorno T_R al variare del periodo di riferimento V_R	27
Tabella 9.1 – modellazione geotecnica dell'area in studio	34

Progetto di realizzazione di un impianto eolico e delle relative opere connesse in agro di Belcastro (CZ)		
RELAZIONE GEOTECNICA		
Codice documento:	Data emissione: Agosto 2023	Pagina IV di IV

INDICE DELLE VOCI

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

1. PREMESSA

Su incarico dello Studio BFP s.r.l., in qualità di progettista dell'impianto eolico da realizzare in agro del comune di Belcastro (CZ), alla luce di specifiche indagini geognostiche condotte dallo scrivente, la presente relazione contiene gli esiti di tale campagna e il modello geotecnico necessario per il dimensionamento delle nuove opere in progetto (Figura 1.1, Figura 1.2, Figura 1.3, Figura 1.4, Figura 1.5, Figura 1.6, Figura 1.7, Figura 1.8).

Di seguito si riporta la tabella riepilogativa in cui vengono indicate le coordinate geografiche (UTM 33N WGS84), la quota sul livello del mare e il riferimento IGM delle opere in progetto (

Tabella 1.1).

Tabella 1.1 - Inquadramento dei punti macchina di progetto e coordinate

WTG	Riferimento IGM	Quota media s.l.m.	Cord. X	Cord. Y
WTG 1	Foglio 242- Tav. I NE "Botricello"	175	663862.41	4313652.06
WTG 2	Foglio 242- Tav. I NE "Botricello"	60	663214.05	4314706.84
WTG 3	Foglio 242- Tav. I NE "Botricello"	95	662460.69	4313376.59
WTG 4	Foglio 242- Tav. I NE "Botricello"	115	661577.61	4314630.72
WTG 5	Foglio 242- Tav. I NE "Botricello"	60	662364.25	4316017.51
WTG 6	Foglio 242- Tav. I NE "Botricello"	195	660768.44	4316212.33
WTG 7	Foglio 242- Tav. I NE "Botricello"	150	660272.08	4318098.91
Cabina utente	Foglio 238 - Tav. III NO "Scandale"	186	671841.70	4328869.66

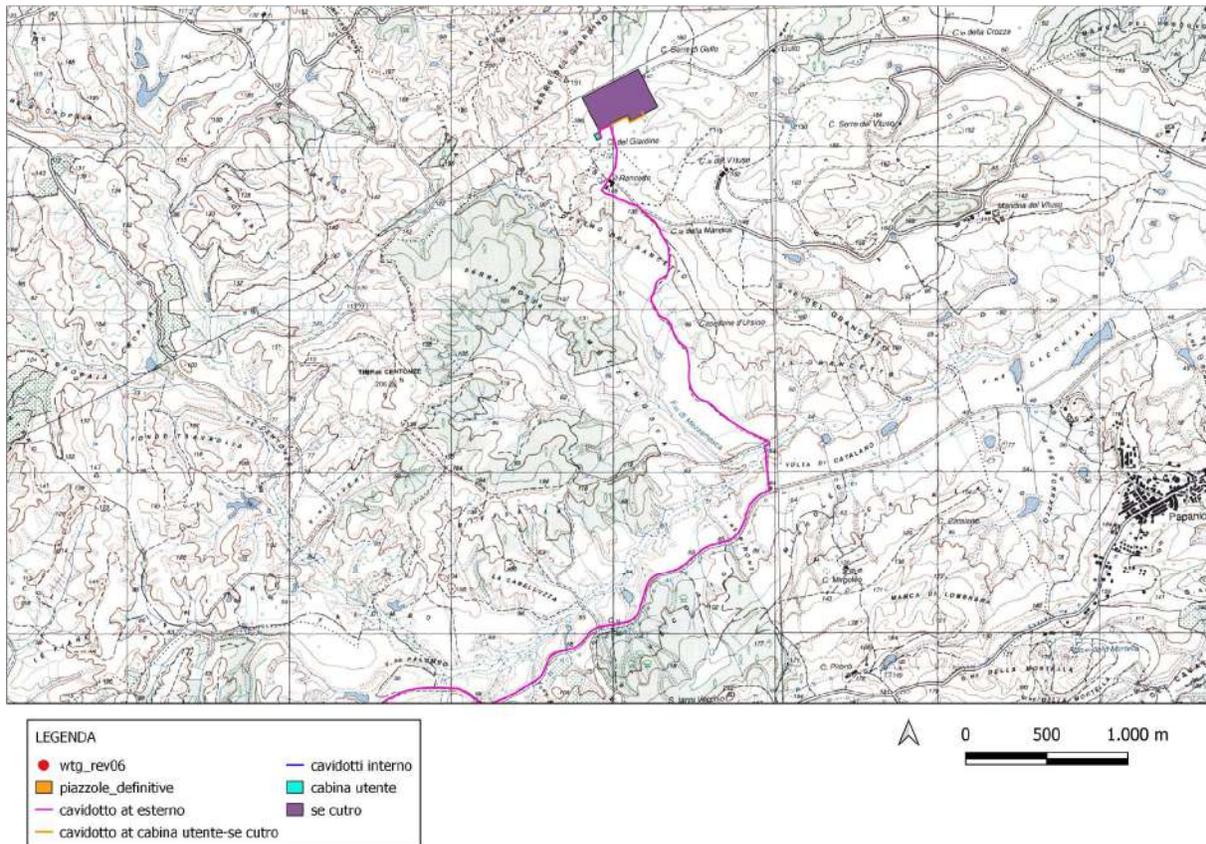


Figura 1.1 – ubicazione impianto eolico su stralcio IGM scala 1:25000

RELAZIONE GEOTECNICA

Codice documento:

Data emissione:
Agosto 2023

Pagina
2 di 33



LEGENDA	
● wtg_rev06	— cavidotti interno
■ piazzole_definitive	■ cabina utente
— cavidotto at esterno	■ se cutro
— cavidotto at cabina utente-se cutro	



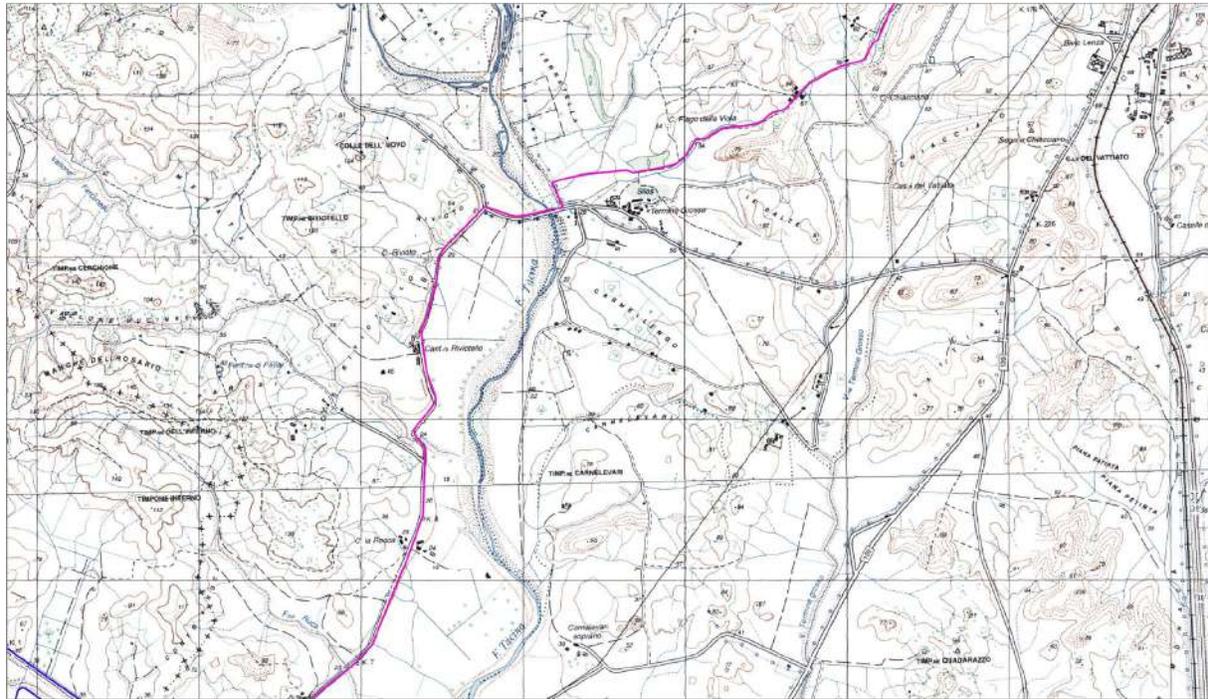
Figura 1.2 – ubicazione impianto eolico su stralcio IGM scala 1:25000

RELAZIONE GEOTECNICA

Codice documento:

Data emissione:
Agosto 2023

Pagina
3 di 33



LEGENDA	
● wtg_rev06	— cavidotti interno
■ piazzole_definitive	■ cabina utente
— cavidotto at esterno	■ se cutro
— cavidotto at cabina utente-se cutro	



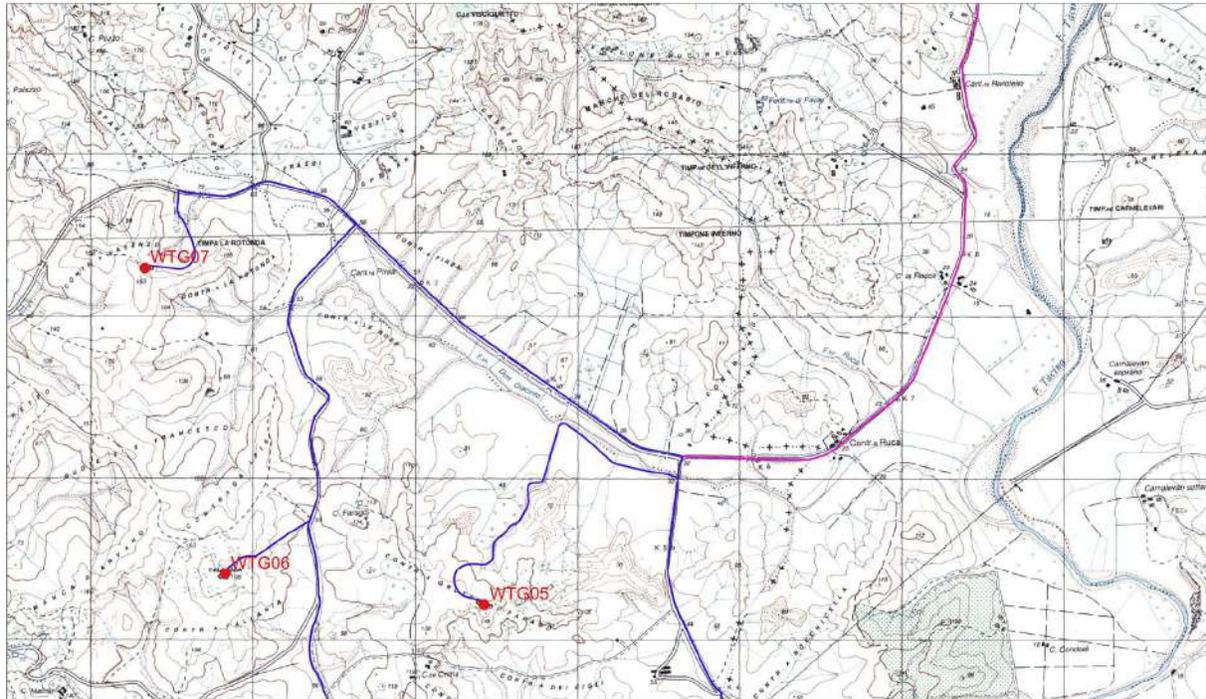
Figura 1.3 - ubicazione impianto eolico su stralcio IGM scala 1:25000

RELAZIONE GEOTECNICA

Codice documento:

Data emissione:
Agosto 2023

Pagina
4 di 33



LEGENDA	
● wtg_rev06	— cavidotti interno
■ piazzole_definitive	■ cabina utente
— cavidotto at esterno	■ se cutro
— cavidotto at cabina utente-se cutro	



Figura 1.4 - ubicazione impianto eolico su stralcio IGM scala 1:25000

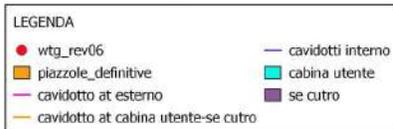
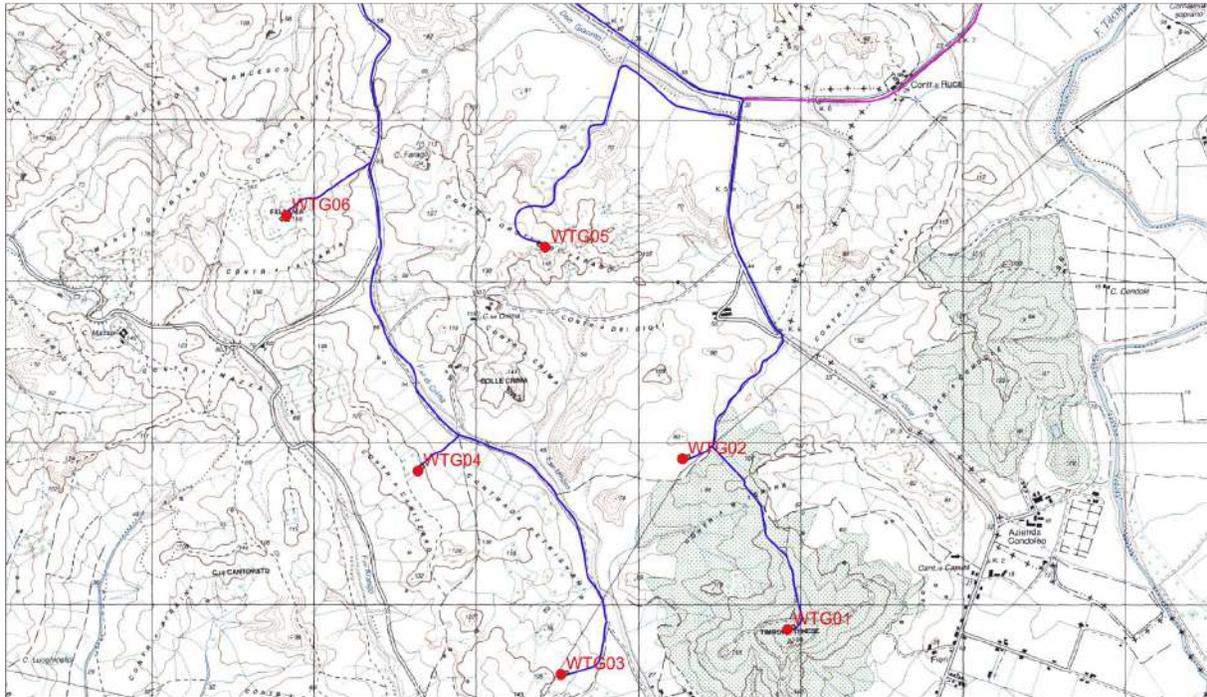


Figura 1.5 - ubicazione impianto eolico su stralcio IGM scala 1:25000

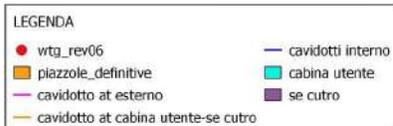
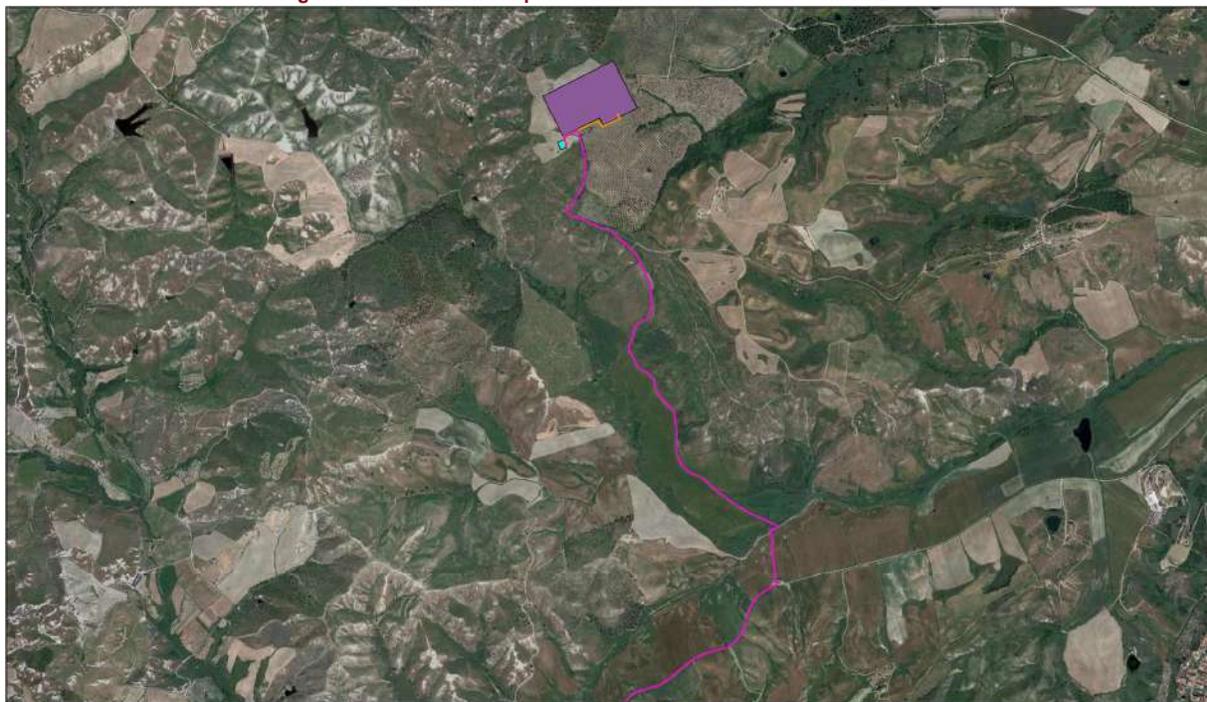


Figura 1.6 – ubicazione SE Cutro, Cabina Utente, Cavidotto AT interno, Cavidotto AT esterno su stralcio ortofoto scala 1:20000

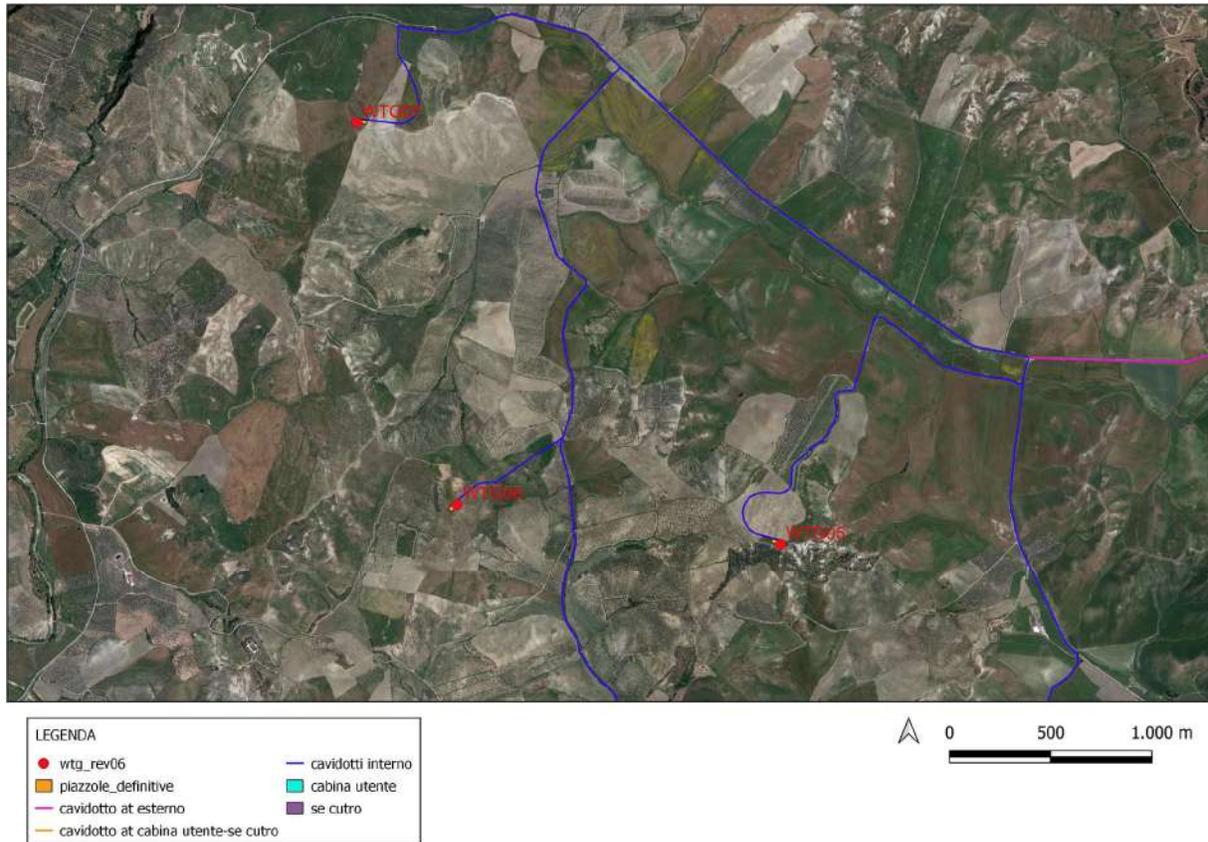
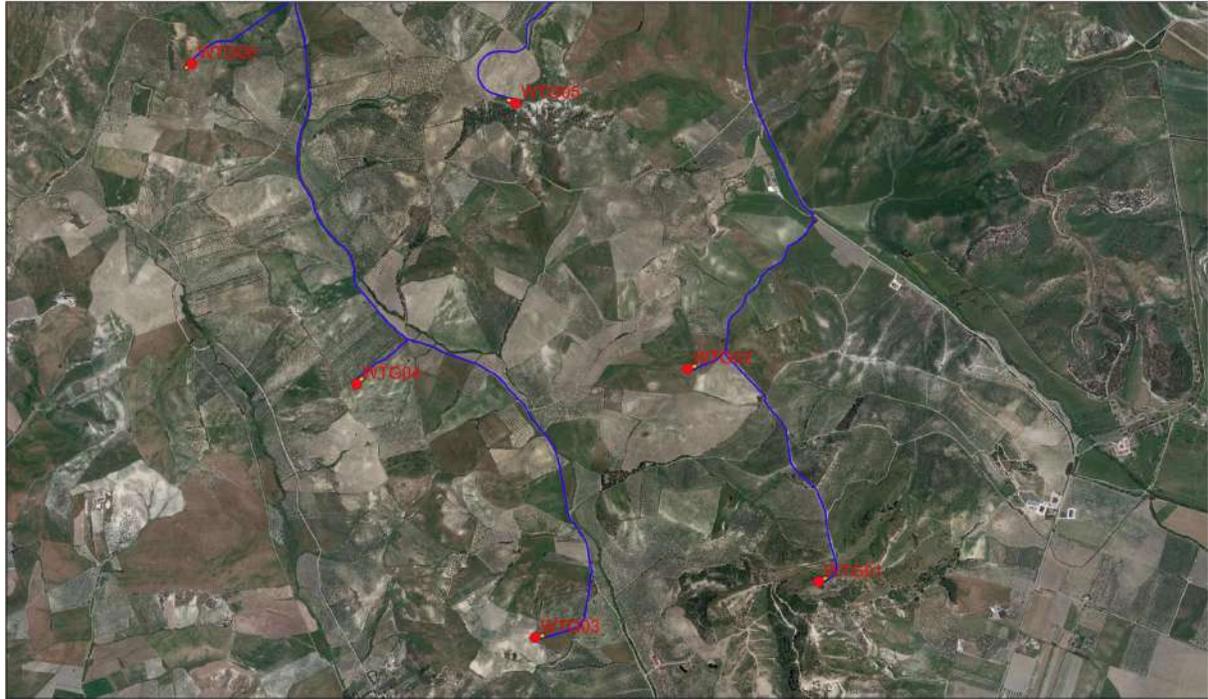


Figura 1.7 - ubicazione Cavidotto interno e aerogeneratori su stralcio ortofoto scala 1:20000



LEGENDA	
<ul style="list-style-type: none"> ● wtg_rev06 piazzole definitive cavidotto at esterno cavidotto at cabina utente-se cutro 	<ul style="list-style-type: none"> cavidotti interno cabina utente se cutro



Figura 1.8 - ubicazione Cavidotto interno e aerogeneratori su stralcio ortofoto scala 1:20000

Progetto di realizzazione di un impianto eolico e delle relative opere connesse in agro di Belcastro (CZ)		
RELAZIONE GEOTECNICA		
Codice documento:	Data emissione: Agosto 2023	Pagina 8 di 33

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.

Progetto di realizzazione di un impianto eolico e delle relative opere connesse in agro di Belcastro (CZ)		
RELAZIONE GEOTECNICA		
Codice documento:	Data emissione: Agosto 2023	Pagina 9 di 33

3. LOCALIZZAZIONE PROGETTO

Il parco eolico in progetto si inserisce su di una fascia avente una larghezza di circa 3 km e una lunghezza di circa 5 km, interamente compresa nel territorio della Regione Calabria, nel comune di Belcastro (CZ). La sottostazione ricade nei confini comunali di Scandale (KR).

L'intero parco sarà ubicato in un'area essenzialmente sub pianeggiante, corrispondente ad un'antica piana alluvionale terrazzata., degradante verso la linea di costa, con una variazione di quote intorno ai 195 ai 60 m s.l.m.

4. CAMPAGNA GEOGNOSTICA

Nell'ambito dello studio geologico per la progettazione in fase definitiva di un impianto eolico in agro di Belcastro (CZ) sono state eseguite n. 7 indagini sismiche con la tecnica sia della rifrazione che della MASW (Figura 4.1 e allegato 1).

Per la ricostruzione del modello geofisico del sito sono state eseguite indagini 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.

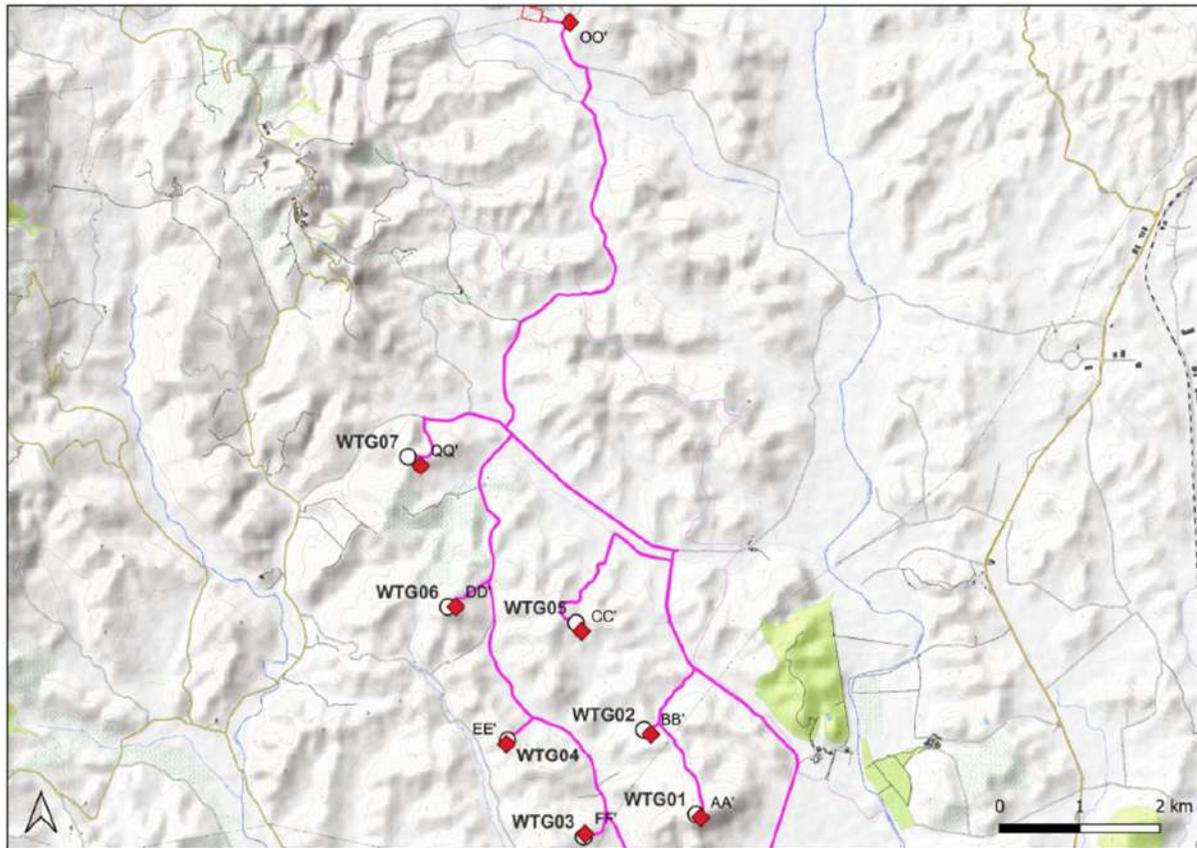


Figura 4.1- Corografia delle prospezioni geofisiche

5. RISULTATI INDAGINI GEOFISICHE

5.1. Acquisizioni sismiche a rifrazione e MASW

Le indagini in loco sono consistite nelle seguenti acquisizioni:

- realizzazione di n. 7 rilievi sismici a rifrazione in onda P (sigle: AA', BB', CC', DD', EE', FF', QQ' e OO', allegato 1) con interpretazione tomografica dei dati di velocità delle onde P;
- esecuzione di n. 7 prospezioni sismiche con metodo M.A.S.W. (Multi-channelAnalysis of Surface Waves) sulla stessa traccia dei rilievi sismici a rifrazione (sigle: AA', BB', CC', DD', EE', FF', QQ' e OO', allegato 1), al fine di ottenere i profili verticali delle onde S (Vs) nella posizione baricentrica degli allineamenti.

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 5.1:

Tabella 5.1 – ubicazione stendimenti sismici

WTG	Sigla Stendimento sismico	Lunghezza stendimento (m)
WTG 1	AA'	24
WTG 2	BB'	24
WTG 3	FF'	24
WTG 4	EE'	24
WTG 5	CC'	24
WTG 6	DD'	24
WTG 7	QQ'	24

5.2. Indagine sismica a rifrazione

Con le n.7 sismiche a rifrazione è stato possibile individuare i rifrattori presenti nei terreni esaminati, individuando i tempi dei primi arrivi delle onde P prodotte da una massa battente di 10 kg su di una piastra in lega d'alluminio. L'elaborazione tomografica dei segnali rifratti ha permesso di investigare il terreno fino a circa 12-13 m dal p.c.

5.2.1. Modello sismico AA'

Dal risultato dell'analisi sismica eseguita è possibile rilevare la presenza di 2 sismostrati con differenti valori di velocità delle onde sismiche longitudinali P (Figura 5.1).

Nel primo sismostrato, che dal piano campagna si spinge fino ad una profondità variabile e compresa tra 4-5 metri, sono stati riscontrati valori di velocità di propagazione delle onde longitudinali P comprese tra 250 m/s e 750 m/s. Il secondo sismostrato invece, è caratterizzato da un incremento delle velocità delle onde P con la profondità, che raggiungono valori di circa 1500 m/s alle profondità indagate, ossia circa 10 metri di profondità dal piano campagna.

Assimilando le velocità sismiche riscontrate, alla geologia dell'area, è possibile assimilare i sedimenti del sismostrato A ad una coltre di argille marnose alterate e poco coese, mentre i sedimenti del sismostrato B, sono riferibili ad argille ma il cui grado di compattazione aumenta con la profondità.

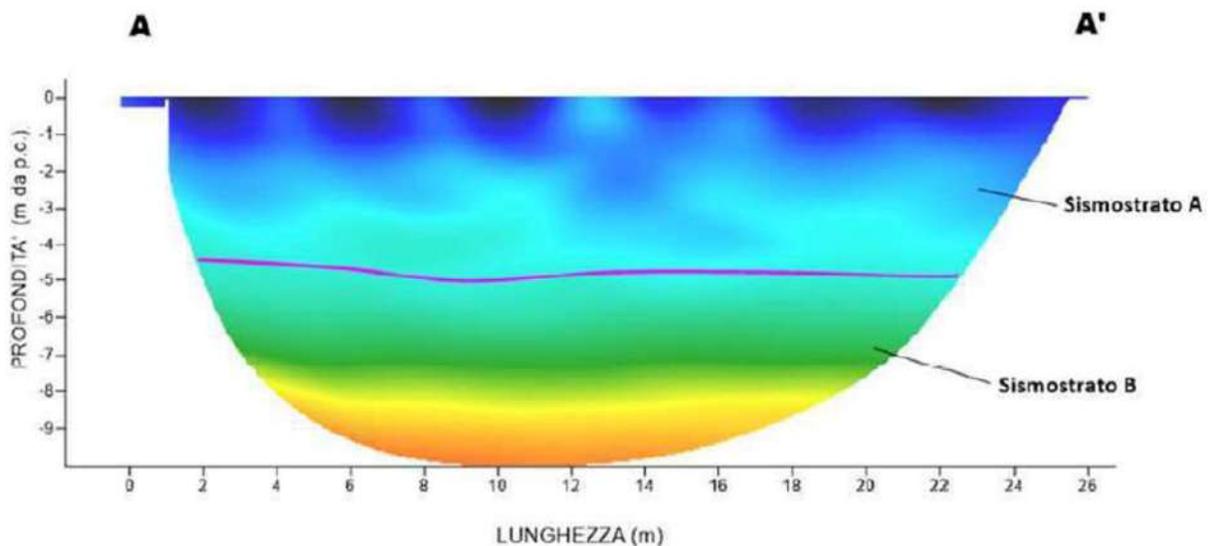


Figura 5.1 - Ubicazione dello stendimento sismico AA' su ortofoto e Interpretazione sezione tomografica

5.2.2. Modello sismico BB'

Dal risultato dell'analisi sismica eseguita è possibile rilevare la presenza di 2 sismostrati con differenti valori di velocità delle onde sismiche longitudinali P (Figura 5.2).

Nel primo sismostrato, che dal piano campagna si spinge fino ad una profondità di circa 4 metri, sono stati riscontrati valori di velocità di propagazione delle onde longitudinali P comprese tra 250 m/s e 750 m/s. Il secondo sismostrato invece, è caratterizzato da un incremento delle velocità delle onde P con la profondità, che raggiungono valori di circa 3000 m/s alle profondità indagate, ossia circa 12 metri di profondità dal piano campagna.

Progetto di realizzazione di un impianto eolico e delle relative opere connesse in agro di Belcastro (CZ)		
RELAZIONE GEOTECNICA		
Codice documento:	Data emissione: Agosto 2023	Pagina 13 di 33

Assimilando le velocità sismiche riscontrate, alla geologia dell'area, è possibile assimilare i sedimenti del sismostrato A ad una coltre di argille marnose alterate e poco coese, mentre i sedimenti del sismostrato B, sono riferibili ad argille ma il cui grado di compattazione aumenta con la profondità.

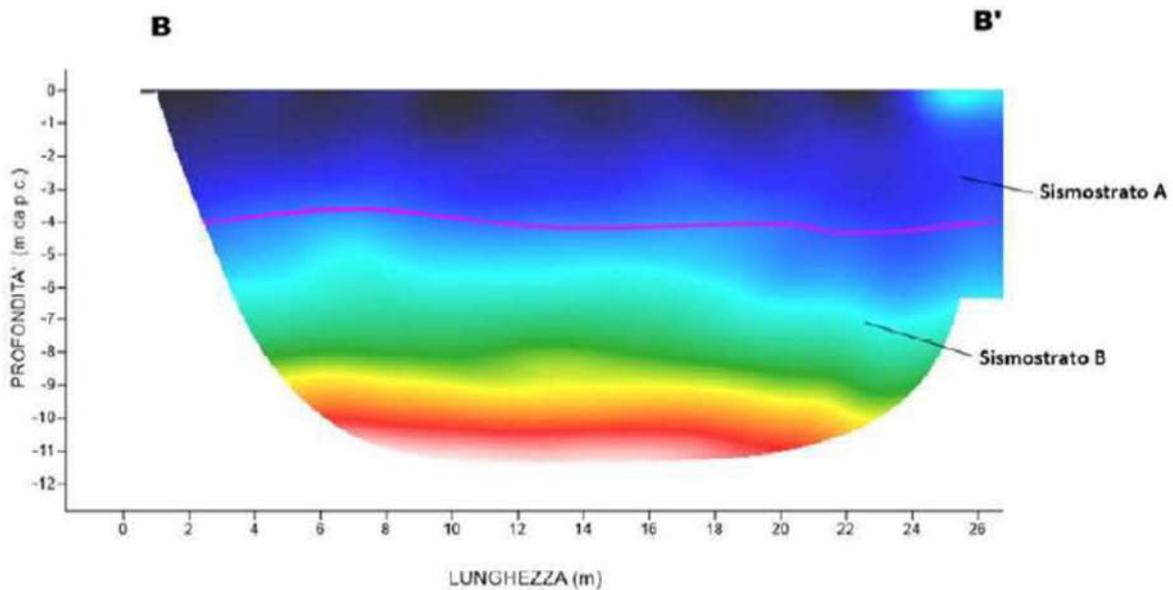


Figura 5.2 - Ubicazione dello stendimento sismico BB' su ortofoto e Interpretazione sezione tomografica

5.2.3. Modello sismico CC'

Dal risultato dell'analisi sismica eseguita è possibile rilevare la presenza di 3 sismostrati con differenti valori di velocità delle onde sismiche longitudinali P (Figura 5.3).

Progetto di realizzazione di un impianto eolico e delle relative opere connesse in agro di Belcastro (CZ)		
RELAZIONE GEOTECNICA		
Codice documento:	Data emissione: Agosto 2023	Pagina 14 di 33

Nel primo sismostrato, che dal piano campagna si spinge fino ad una profondità di circa 2 metri, sono stati riscontrati valori di velocità di propagazione delle onde longitudinali P comprese tra 250 m/s e 500 m/s. Il sismostrato B invece, è caratterizzato da velocità delle onde P comprese tra 500 e 1250 m/s, che crescono in modo continuo fino a raggiungere

una profondità di circa 7 metri dal piano campagna. Il sismostrato C infine, è caratterizzato da valori di velocità delle onde P che aumentano gradualmente con la profondità fino a raggiungere la profondità investigata di circa 13 m dal p.c.

Assimilando le velocità sismiche riscontrate, alla geologia dell'area, è possibile assimilare i sedimenti del sismostrato A ad una coltre di argille marnose alterate e poco coese, mentre i sedimenti del sismostrato B e C, sono riferibili ad argille ma il cui grado di compattazione aumenta con la profondità.

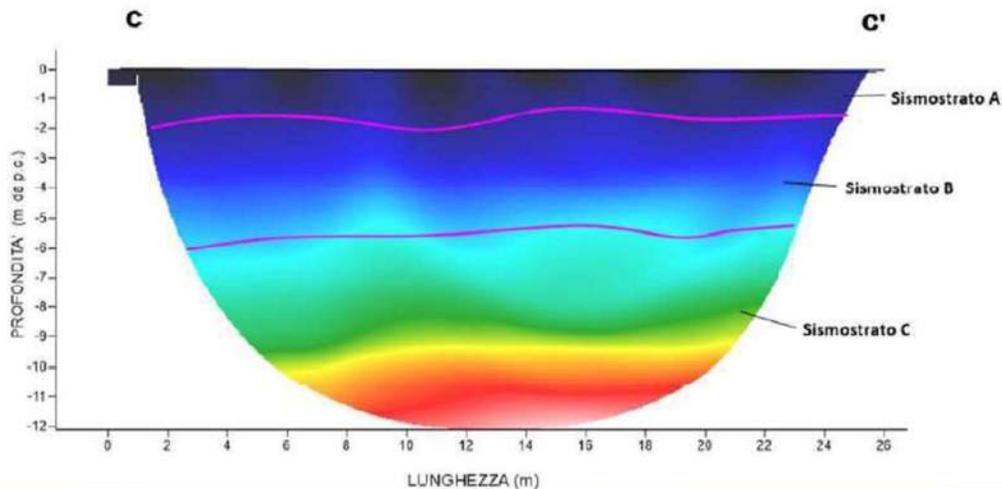
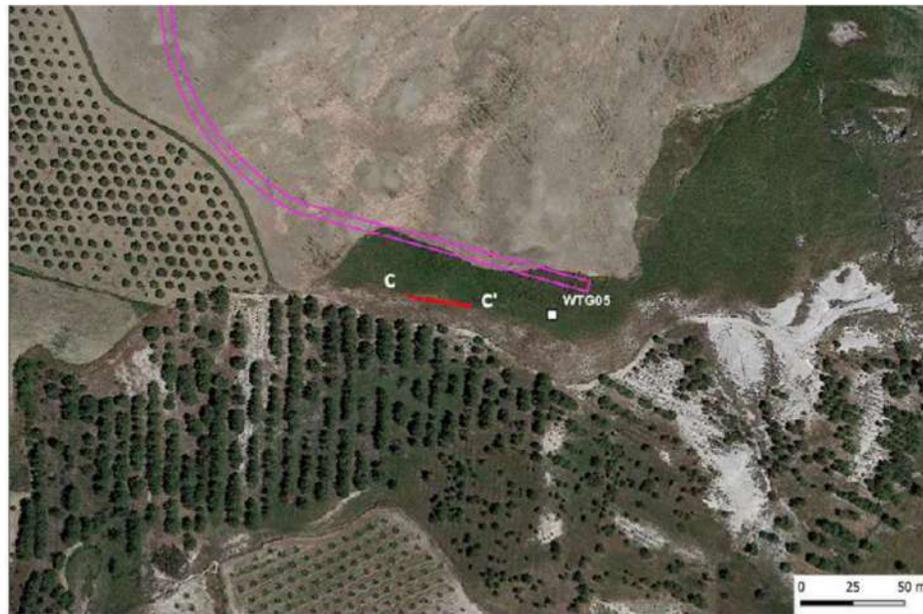


Figura 5.3 - Ubicazione dello stendimento sismico CC' su ortofoto e Interpretazione sezione tomografica

5.2.4. Modello sismico DD'

Dal risultato dell'analisi sismica eseguita è possibile rilevare la presenza di 3 sismostrati con differenti valori di velocità delle onde sismiche longitudinali P (Figura 5.4).

Progetto di realizzazione di un impianto eolico e delle relative opere connesse in agro di Belcastro (CZ)		
RELAZIONE GEOTECNICA		
Codice documento:	Data emissione: Agosto 2023	Pagina 15 di 33

Nel primo sismostrato, che dal piano campagna si spinge fino ad una profondità di circa 1 metro, sono stati riscontrati valori di velocità di propagazione delle onde longitudinali P comprese tra 250 m/s e 500 m/s. Il sismostrato B invece, è caratterizzato da velocità delle onde P comprese tra 500 e 1250 m/s, che crescono in modo continuo fino a raggiungere una profondità di circa 4 metri dal piano campagna. Il sismostrato C infine, è caratterizzato da valori di velocità delle onde P che aumentano gradualmente con la profondità fino a raggiungere la profondità investigata di circa 8 m dal p.c.

Assimilando le velocità sismiche riscontrate, alla geologia dell'area, è possibile assimilare i sedimenti del sismostrato A ad una coltre di argille marnose alterate e poco coese, mentre i sedimenti del sismostrato B e C, sono riferibili ad argille ma il cui grado di compattazione aumenta con la profondità.

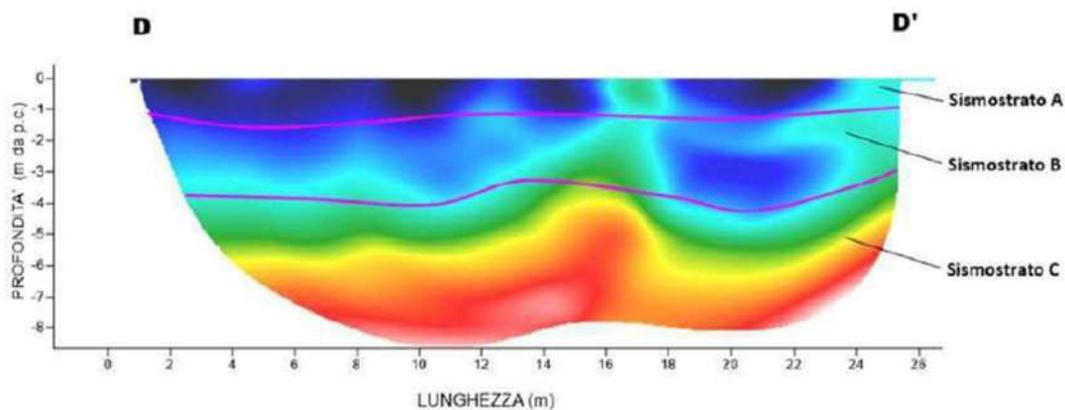
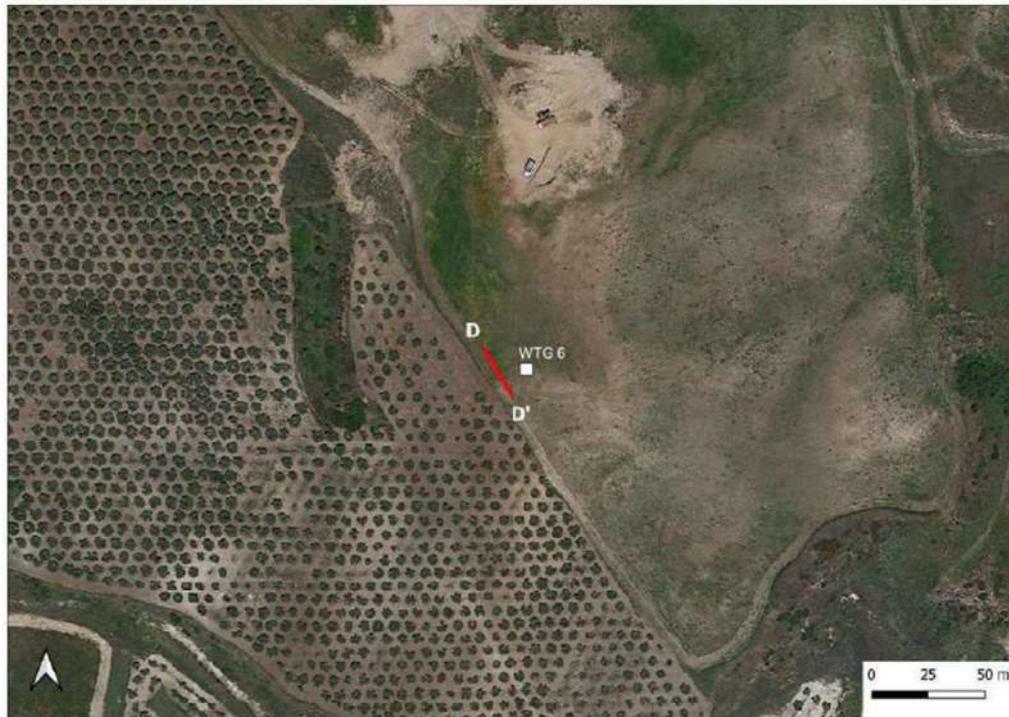


Figura 5.4 – Ubicazione dello stendimento sismico DD' su ortofoto e Interpretazione sezione tomografica

5.2.5. Modello sismico EE'

Dal risultato dell'analisi sismica eseguita è possibile rilevare la presenza di 3 sismostrati con differenti valori di velocità delle onde sismiche longitudinali P (Figura 5.5).

Progetto di realizzazione di un impianto eolico e delle relative opere connesse in agro di Belcastro (CZ)		
RELAZIONE GEOTECNICA		
Codice documento:	Data emissione: Agosto 2023	Pagina 16 di 33

Nel primo sismostrato, che dal piano campagna si spinge fino ad una profondità di circa 2 metri, sono stati riscontrati valori di velocità di propagazione delle onde longitudinali P comprese tra 250 m/s e 500 m/s. Il sismostrato B invece, è caratterizzato da velocità delle onde P comprese tra 500 e 2500 m/s, che crescono in modo continuo fino a raggiungere una profondità di circa 9 metri dal piano campagna. Il sismostrato C infine, è caratterizzato da valori di velocità delle onde P che aumentano gradualmente con la profondità fino a raggiungere la profondità investigata di circa 13 m dal p.c.

Assimilando le velocità sismiche riscontrate, alla geologia dell'area, è possibile assimilare i sedimenti del sismostrato A ad una coltre di argille marnose alterate e poco coese, mentre i sedimenti del sismostrato B e C, sono riferibili ad argille ma il cui grado di compattazione aumenta con la profondità.

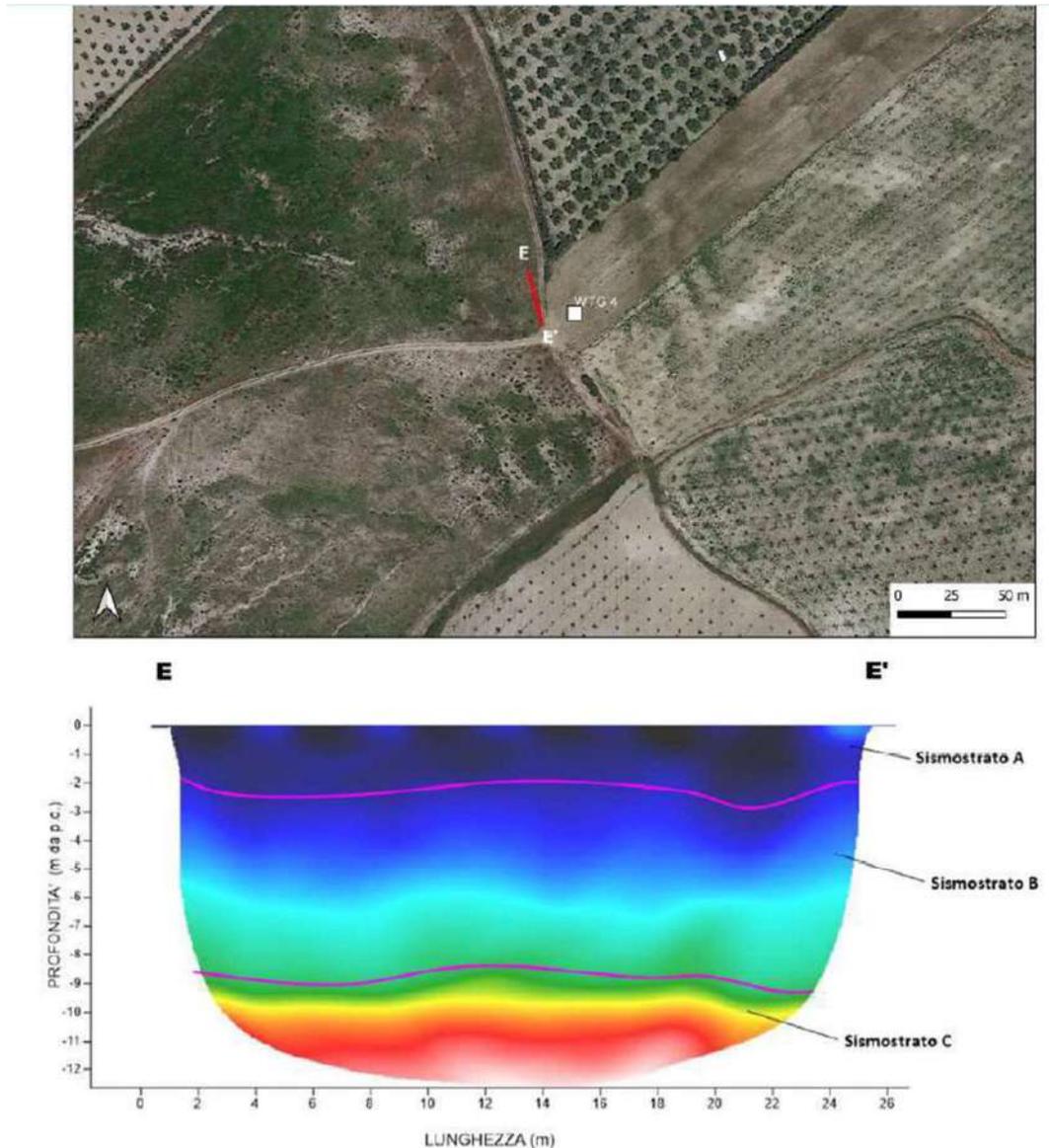


Figura 5.5 - Ubicazione dello stendimento sismico EE' su ortofoto e Interpretazione sezione tomografica

5.2.6. Modello sismico FF'

Dal risultato dell'analisi sismica eseguita è possibile rilevare la presenza di 3 sismostrati con differenti valori di velocità delle onde sismiche longitudinali P (Figura 5.6).

Progetto di realizzazione di un impianto eolico e delle relative opere connesse in agro di Belcastro (CZ)		
RELAZIONE GEOTECNICA		
Codice documento:	Data emissione: Agosto 2023	Pagina 17 di 33

Nel primo sismostrato, che dal piano campagna si spinge fino ad una profondità di circa 2-3 metri, sono stati riscontrati valori di velocità di propagazione delle onde longitudinali P comprese tra 250 m/s e 500 m/s. Il sismostrato B invece, è caratterizzato da velocità delle onde P comprese tra 500 e 2000 m/s, che crescono in modo continuo fino a raggiungere una profondità di circa 9 metri dal piano campagna. Il sismostrato C infine, è caratterizzato da valori di velocità delle onde P che aumentano gradualmente con la profondità fino a raggiungere la profondità investigata di circa 14 m dal p.c.

Assimilando le velocità sismiche riscontrate, alla geologia dell'area, è possibile assimilare i sedimenti del sismostrato A ad una coltre di argille marnose alterate e poco coese, mentre i sedimenti del sismostrato B e C, sono riferibili ad argille ma il cui grado di compattazione aumenta con la profondità.

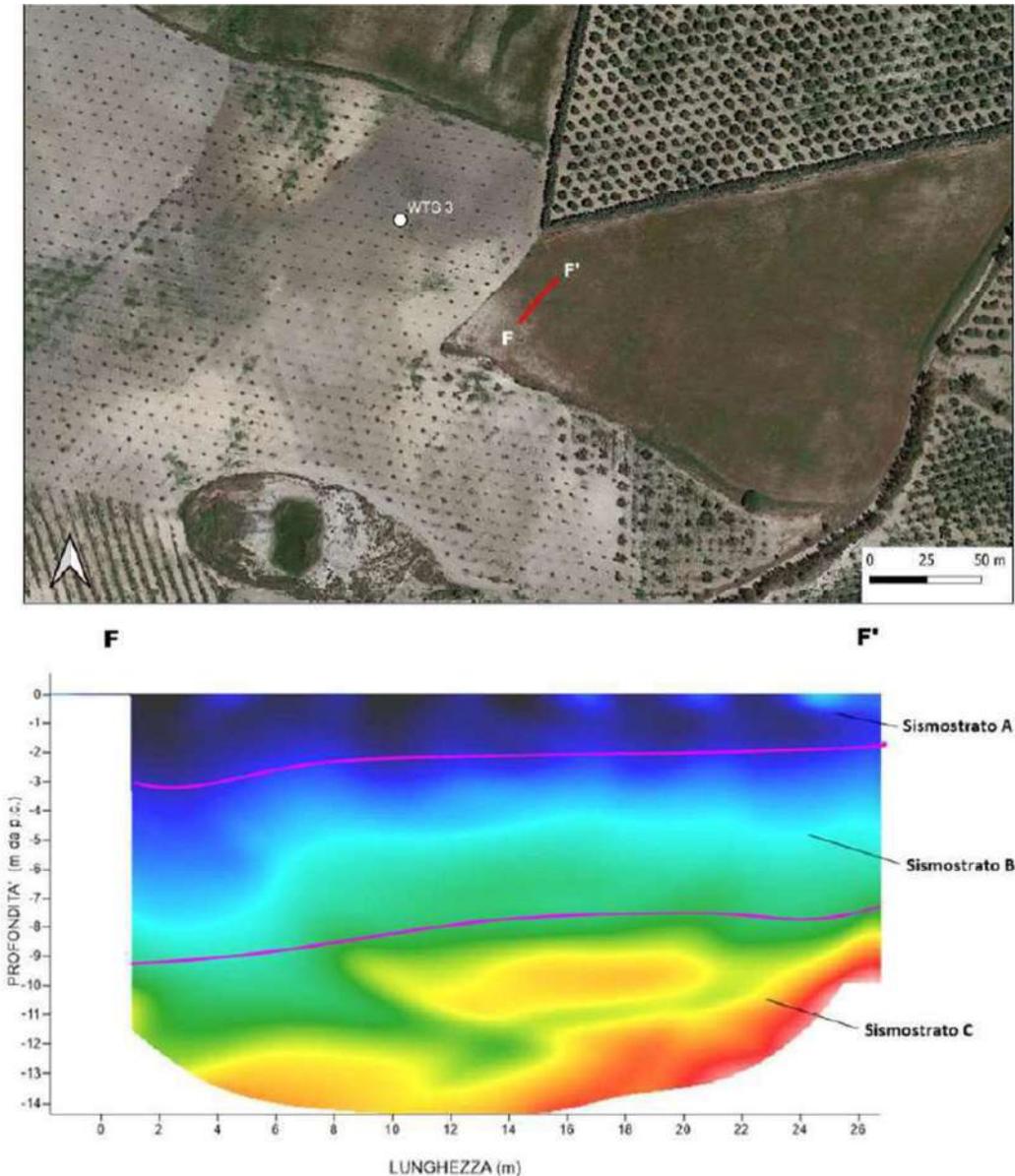


Figura 5.6 - Ubicazione dello stendimento sismico FF' su ortofoto e Interpretazione sezione tomografica

5.2.7. Modello sismico QQ'

Dal risultato dell'analisi sismica eseguita è possibile rilevare la presenza di 3 sismostrati con differenti valori di velocità delle onde sismiche longitudinali P (Figura 5.7).

Progetto di realizzazione di un impianto eolico e delle relative opere connesse in agro di Belcastro (CZ)		
RELAZIONE GEOTECNICA		
Codice documento:	Data emissione: Agosto 2023	Pagina 18 di 33

Nel primo sismostrato, che dal piano campagna si spinge fino ad una profondità di circa 2 metri, sono stati riscontrati valori di velocità di propagazione delle onde longitudinali P comprese tra 250 m/s e 500 m/s. Il sismostrato B invece, è caratterizzato da velocità delle onde P comprese tra 500 e 1250 m/s, che crescono in modo continuo fino a raggiungere una profondità di circa 4 metri dal piano campagna. Il sismostrato C infine, è caratterizzato da valori di velocità delle onde P che aumentano gradualmente con la profondità fino a raggiungere la profondità investigata di circa 6 m dal piano campagna.

Assimilando le velocità sismiche riscontrate, alla geologia dell'area, è possibile assimilare i sedimenti del sismostrato A ad una coltre di argille marnose alterate e poco coese, mentre i sedimenti del sismostrato B e C, sono riferibili ad argille ma il cui grado di compattazione aumenta con la profondità.

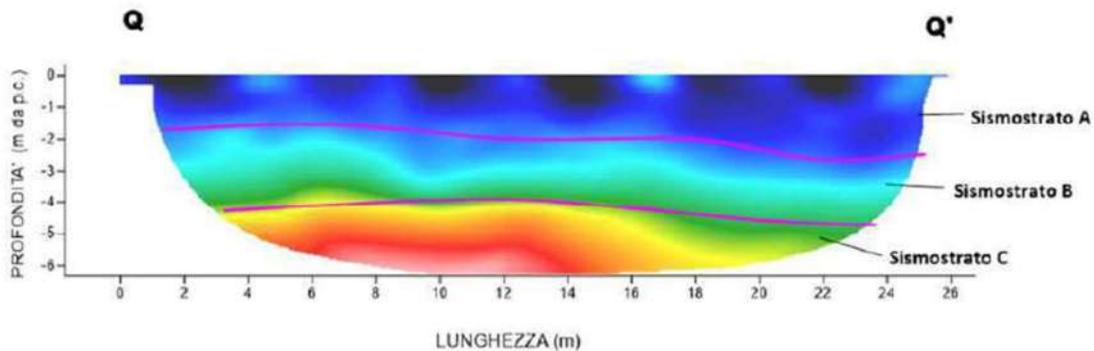


Figura 5.7 - Ubicazione dello stendimento sismico QQ' su ortofoto e Interpretazione sezione tomografica

5.3. Indagine sismica M.A.S.W.

Attraverso l'indagine MASW è stato possibile ricostruire la colonna di velocità di taglio (onde S) e determinare il parametro $V_{s_{eq}}$ secondo la normativa vigente (cfr. relazione geotecnica).

5.3.1. Misura AA'

L'indagine MASW eseguita lungo il profilo AA' ha permesso di ricostruire il seguente profilo delle velocità delle onde S (V_s) con la profondità che si mostra in progressivo aumento nel sottosuolo:

Tabella 5.2 - profilo delle velocità delle onde S (V_s) misura AA'

n.	Spessore (m)	Velocità (m/s)
1	2.00	265
2	3.00	452
3	3.00	623
4	4.00	724
5	4.00	826
6	5.00	956
7	5.00	1024
8	6.00	1081

$$V_{s_{eq}} = 489,30 \text{ m/s}$$

5.3.2. Misura BB'

L'indagine MASW eseguita lungo il profilo BB' ha permesso di ricostruire il seguente profilo delle velocità delle onde S (V_s) con la profondità che si mostra in progressivo aumento nel sottosuolo:

Tabella 5.3 - profilo delle velocità delle onde S (V_s) misura BB'

n.	Spessore (m)	Velocità (m/s)
1	2.00	149
2	3.00	191
3	3.00	213
4	4.00	242
5	4.00	280
6	5.00	358
7	5.00	495
8	6.00	555

$$V_{s_{eq}} = 284,89 \text{ m/s}$$

5.3.3. Misura CC'

L'indagine MASW eseguita lungo il profilo CC' ha permesso di ricostruire il seguente profilo delle velocità delle onde S (V_s) con la profondità che si mostra in progressivo aumento nel sottosuolo:

Tabella 5.4 - profilo delle velocità delle onde S (V_s) misura CC'

n.	Spessore (m)	Velocità (m/s)
1	2.00	187
2	3.00	264
3	7.00	342
4	8.00	473
5	5.00	630
6	6.00	874

$$V_{s_{eq}} = 371,05 \text{ m/s}$$

5.3.4. Misura DD'

L'indagine MASW eseguita lungo il profilo DD' ha permesso di ricostruire il seguente profilo delle velocità delle onde S (V_s) con la profondità che si mostra in progressivo aumento nel sottosuolo:

Tabella 5.5 - profilo delle velocità delle onde S (Vs) misura DD'

n.	Spessore (m)	Velocità (m/s)
1	2.00	173
2	3.00	285
3	3.00	320
4	4.00	416
5	4.00	539
6	5.00	612
7	5.00	788
8	6.00	925

$$V_{s_{eq}} = 412,61 \text{ m/s}$$

5.3.5. Misura EE'

L'indagine MASW eseguita lungo il profilo EE' ha permesso di ricostruire il seguente profilo delle velocità delle onde S (Vs) con la profondità che si mostra in progressivo aumento nel sottosuolo:

Tabella 5.6 - profilo delle velocità delle onde S (Vs) misura EE'

n.	Spessore (m)	Velocità (m/s)
1	2.00	200
2	3.00	263
3	3.00	333
4	4.00	412
5	4.00	412
6	5.00	471
7	5.00	471
8	6.00	609

$$V_{s_{eq}} = 386,43 \text{ m/s}$$

5.3.6. Misura FF'

L'indagine MASW eseguita lungo il profilo FF' ha permesso di ricostruire il seguente profilo delle velocità delle onde S (Vs) con la profondità che si mostra in progressivo aumento nel sottosuolo:

Tabella 5.7 - profilo delle velocità delle onde S (Vs) misura FF'

n.	Spessore (m)	Velocità (m/s)
1	2.00	186
2	3.00	219
3	3.00	249
4	4.00	249
5	4.00	348
6	5.00	451
7	5.00	574
8	6.00	623

$$V_{s_{eq}} = 332,31 \text{ m/s}$$

5.3.7. Misura QQ'

L'indagine MASW eseguita lungo il profilo QQ' ha permesso di ricostruire il seguente profilo delle velocità delle onde S (Vs) con la profondità che si mostra in progressivo aumento nel sottosuolo:

Tabella 5.8 - profilo delle velocità delle onde S (Vs) misura QQ'

n.	Spessore (m)	Velocità (m/s)
1	2.00	157
2	3.00	256
3	7.00	390
4	4.00	559
5	5.00	665
6	5.00	704
7	6.00	856

$V_{seq} = 405,09 \text{ m/s}$

6. MODELLO GEOLOGICO DEL SOTTOSUOLO

Sulla base delle informazioni e dei risultati ottenuti dalle indagini effettuate, e in accordo con quanto nella Relazione Geologica, è possibile definire il seguente modello geologico dell'area d'interesse:

Tabella 6.1- Modello geologico di riferimento per il parco eolico

Profondità (dal p.c.)	Litologia
da 0,00 m a -1,00/-2,50 m	argille marnose alterate e poco coese
da -1,00/-2,50 m a -5,00/-8,00 m	argille debolmente alterate, addensate e compatte
da -5,00/-8,00 m a -13,00 m	argille poco alterate, molto compatte e ben addensate

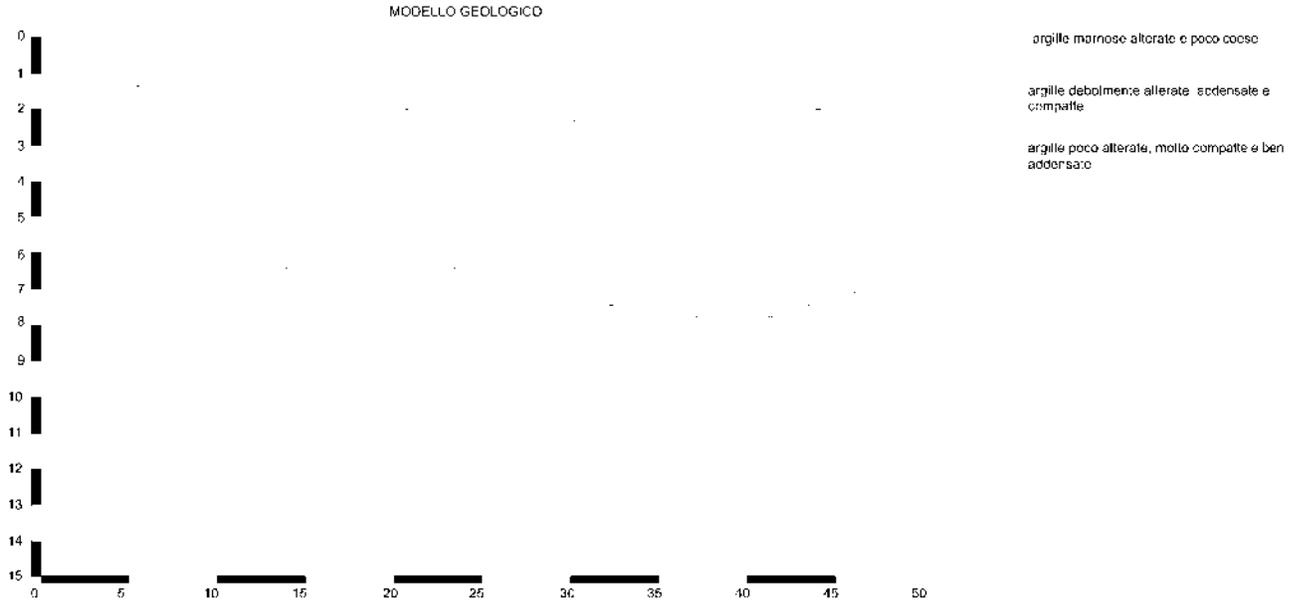


Figura 6.1 – modello geologico

7. CLASSIFICAZIONE DEL SOTTOSUOLO DI FONDAZIONE

In questo paragrafo viene riassunta l'analisi della sismicità dell'area oggetto di intervento, condotta secondo le direttive delle Norme Tecniche per le Costruzioni del 17-01-2018.

7.1. Categoria di sottosuolo

In accordo alla Normativa italiana di riferimento, la classificazione del sottosuolo viene eseguita in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori, ottenuti mediante specifiche prove, della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio V_{seq} .

Le indagini M.A.S.W. hanno consentito la stima dei valori delle velocità medie delle onde sismiche di taglio e, da queste, il calcolo della V_{seq} risultante.

Tabella 7.1 - valori delle velocità medie delle onde sismiche di taglio e della V_{seq} risultante

Sigla impianto	Stendimento sismico	V_{seq}	Categoria di sottosuolo
WTG 1	AA'	489,30 m/s	B
WTG 2	BB'	284,89 m/s	C
WTG 3	CC'	371,05 m/s	B
WTG 4	DD'	412,61 m/s	B
WTG 5	EE'	386,43 m/s	B
WTG 6	FF'	332,31 m/s	C
WTG 7	QQ'	405,09 m/s	B

Sulla base della V_{seq} calcolata, è possibile assegnare il sottosuolo di fondazione alle categorie:

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 - Depositati 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.

7.2. Categoria topografica

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.

7.3. Pericolosità sismica del sito

Per il progetto del nuovo impianto eolico in oggetto, sono stati assunti i parametri sismici relativi al comune di Belcastro (CZ). Pertanto per le opere in progetto si è assunto:

- Classe dell'edificio: Presenza occasionale di persone, edifici agricoli...;
- una vita nominale $V_N = 50$ anni;
- una classe d'uso I (coefficiente d'uso $C_U = 0,7$);
- categoria topografica T_1 ;
- categoria di sottosuolo di tipo B e C.

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

RELAZIONE GEOTECNICA

Codice documento:

Data emissione:
Agosto 2023

Pagina
24 di 33

Tabella 7.2 - parametri sismici WTG1

Stato Limite	Tr	a _g	F _o	T _c [*]
Operatività (SLO)	30	0.051	2.334	0.279
Danno (SLD)	35	0.056	2.334	0.287
Salvaguardia vita (SLV)	332	0.168	2.363	0.359
Prevenzione collasso (SLC)	682	0.226	2.404	0.375

	SLO	SLD	SLV	SLC
S _S Amplificazione stratigrafica	1,20	1,20	1,20	1,18
C _C Coeff. funz categoria	1,42	1,41	1,35	1,34
S _T Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00

	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.012	0.013	0.048	0.075
kv	0.006	0.007	0.024	0.037
A _{max} [m/s ²]	0.605	0.656	1.978	2.615
Beta	0.200	0.200	0.240	0.280

Tabella 7.3 - parametri sismici WTG2

Stato Limite	Tr	a _g	F _o	T _c [*]
Operatività (SLO)	30	0.052	2.335	0.279
Danno (SLD)	35	0.056	2.334	0.287
Salvaguardia vita (SLV)	332	0.169	2.363	0.359
Prevenzione collasso (SLC)	682	0.227	2.405	0.375

	SLO	SLD	SLV	SLC
S _S Amplificazione stratigrafica	1,50	1,50	1,46	1,37
C _C Coeff. funz categoria	1,60	1,59	1,47	1,45
S _T Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00

	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.015	0.017	0.059	0.087
kv	0.008	0.008	0.030	0.043
A _{max} [m/s ²]	0.758	0.823	2.414	3.044
Beta	0.200	0.200	0.240	0.280

Tabella 7.4 - parametri sismici WTG3

Stato Limite	Tr	a _g	F _o	T _c [*]
Operatività (SLO)	30	0.052	2.335	0.279
Danno (SLD)	35	0.056	2.334	0.287
Salvaguardia vita (SLV)	332	0.169	2.364	0.359
Prevenzione collasso (SLC)	682	0.227	2.405	0.375

	SLO	SLD	SLV	SLC
S _S Amplificazione stratigrafica	1,50	1,50	1,46	1,37
C _C Coeff. funz categoria	1,60	1,59	1,47	1,45
S _T Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00

RELAZIONE GEOTECNICA

Codice documento:

Data emissione:
Agosto 2023

Pagina
25 di 33

	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.015	0.017	0.059	0.087
kv	0.008	0.008	0.030	0.043
A _{max} [m/s ²]	0.758	0.823	2.413	3.044
Beta	0.200	0.200	0.240	0.280

Tabella 7.5 - parametri sismici WTG4

Stato Limite	Tr	a _g	F _o	T _c *
Operatività (SLO)	30	0.052	2.337	0.279
Danno (SLD)	35	0.056	2.336	0.287
Salvaguardia vita (SLV)	332	0.169	2.364	0.359
Prevenzione collasso (SLC)	682	0.228	2.405	0.376

	SLO	SLD	SLV	SLC
S _S Amplificazione stratigrafica	1,20	1,20	1,20	1,18
C _C Coeff. funz categoria	1,42	1,41	1,35	1,34
S _T Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00

	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.012	0.014	0.049	0.075
kv	0.006	0.007	0.024	0.038
A _{max} [m/s ²]	0.662	0.662	1.994	2.635
Beta	0.200	0.200	0.240	0.280

Tabella 7.6 - parametri sismici WTG5

Stato Limite	Tr	a _g	F _o	T _c *
Operatività (SLO)	30	0.052	2.336	0.279
Danno (SLD)	35	0.056	2.335	0.287
Salvaguardia vita (SLV)	332	0.169	2.363	0.359
Prevenzione collasso (SLC)	682	0.227	2.406	0.375

	SLO	SLD	SLV	SLC
S _S Amplificazione stratigrafica	1,20	1,20	1,20	1,18
C _C Coeff. funz categoria	1,42	1,41	1,35	1,34
S _T Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00

	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.012	0.013	0.049	0.075
kv	0.006	0.007	0.024	0.038
A _{max} [m/s ²]	0.609	0.661	1.991	2.629
Beta	0.200	0.200	0.240	0.280

Tabella 7.7 - parametri sismici WTG6

Stato Limite	Tr	a _g	F _o	T _c *
Operatività (SLO)	30	0.052	2.339	0.279
Danno (SLD)	35	0.057	2.337	0.287
Salvaguardia vita (SLV)	332	0.171	2.365	0.359
Prevenzione collasso (SLC)	682	0.229	2.406	0.376

	SLO	SLD	SLV	SLC
S_S Amplificazione stratigrafica	1,20	1,20	1,20	1,18
C_C Coeff. funz categoria	1,42	1,41	1,35	1,34
S_T Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00

	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.013	0.014	0.049	0.076
kv	0.006	0.007	0.025	0.038
A_{max} [m/s ²]	0.615	0.667	2.007	2.650
Beta	0.200	0.200	0.240	0.280

Tabella 7.8 - parametri sismici WTG7

Stato Limite	Tr	a_g	F_o	T_c^*
Operatività (SLO)	30	0.053	2.344	0.278
Danno (SLD)	35	0.058	2.340	0.286
Salvaguardia vita (SLV)	332	0.173	2.366	0.359
Prevenzione collasso (SLC)	682	0.231	2.409	0.377

	SLO	SLD	SLV	SLC
S_S Amplificazione stratigrafica	1,20	1,20	1,20	1,18
C_C Coeff. funz categoria	1,42	1,41	1,35	1,34
S_T Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00

	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.013	0.014	0.050	0.076
kv	0.006	0.007	0.025	0.038
A_{max} [m/s ²]	0.624	0.667	2.031	2.675
Beta	0.200	0.200	0.240	0.280

7.4. Stabilità nei confronti della liquefazione

I parametri caratterizzanti l'azione sismica da assumere per l'applicazione dei metodi "semplificati" all'analisi di liquefazione sono l'accelerazione massima e la magnitudo attese al sito in un dato periodo di riferimento V_R , con una data probabilità di superamento P_{VR} .

Il periodo di riferimento V_R e la probabilità di superamento P_{VR} sono legati al tipo di struttura e alla condizione di stato limite da verificare.

Di seguito si elencano i dati attinenti alla struttura forniti dal progettista:

- una vita nominale $V_N = 50$ anni;
- una classe d'uso I (coefficiente d'uso $CU = 0,7$);
- categoria topografica T_1 ;
- V_R (Periodo di riferimento per l'azione sismica $V_R = V_N * C_U$): 35 anni (NTC-18 §2.4.3);
- Stato Limite considerato: SLD.

Tabella 7.9 - Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R

Stato limite	P_{VR} : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R	
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

Progetto di realizzazione di un impianto eolico e delle relative opere connesse in agro di Belcastro (CZ)		
RELAZIONE GEOTECNICA		
Codice documento:	Data emissione: Agosto 2023	Pagina 27 di 33

PVR, (probabilità di superamento dell'evento sismico, f_{VR}): 63% (Tabella 3.2.I delle NTC-18);

Fissati quindi V_R e P_{VR} è possibile calcolare il periodo di ritorno dell'azione sismica, T_R espresso in anni, mediante la relazione (NTC-18 §3.2.1):

$$T_R = - V_R / \ln(1 - PVR)$$

Tabella 7.10 - Valori in anni del periodo di ritorno T_R al variare del periodo di riferimento V_R

Stato limite	Valori in anni del periodo di ritorno T_R al variare del periodo di riferimento V_R	
Stati limite di esercizio	SLO	$T_R = 0,60 \times V_R$
	SLD	$T_R = V_R$
Stati limite ultimi	SLV	$T_R = 9,50 \times V_R$
	SLC	$T_R = 19,50 \times V_R$

Nel caso in oggetto, $T_R = 35$ anni.

In relazione alle verifiche di stabilità del sito (NTC18) lo stato limite di riferimento è SLD, pertanto ai fini della suscettibilità alla liquefazione sono condotte solo verifiche nei confronti di quest'ultimo stato limite e di conseguenza si ricavano i valori dei parametri necessari per la definizione dell'azione sismica contenuti nelle NTC18:

- l'accelerazione orizzontale massima su terreno rigido orizzontale a_g , espressa in g;
- il valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale, F_0 , adimensionale;
- il valore del periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro di accelerazione orizzontale, T_c^* , espresso in secondi.

Aerogeneratore WTG1:

Stato Limite	T_r [anni]	a_g [g]	F_0	T_c^* [s]
Danno (SLD)	35	0.056	2.334	0.287

$$A_{max} [m/s^2] = 0,656$$

Dall'analisi della carta della vulnerabilità geologica di Sintesi (Tav. 2.4b del PTCP dell'area di Catanzaro) l'aerogeneratore WTG 1 non ricade in un'area perimetrata come suscettibile a fenomeni di liquefazione.

L'accelerazione massima al suolo a_{gmax} ($A_{max}/9.81$ m/s²- amplificazione sismica in superficie) è pari a 0.0668. Pertanto, in accordo con le condizioni specificate dalla norma vigente [NTC18 – 7.11.3.4.2], essendo $a_{gmax} < 0.1$, la verifica a liquefazione dei terreni di fondazione per l'aerogeneratore WTG1 può essere omessa.

Aerogeneratore WTG2:

Stato Limite	T_r [anni]	a_g [g]	F_0	T_c^* [s]
Danno (SLD)	35	0.056	2.334	0.287

$$A_{max} [m/s^2] = 0.823$$

Dall'analisi della carta della vulnerabilità geologica di Sintesi (Tav. 2.4b del PTCP dell'area di Catanzaro) l'aerogeneratore WTG 2 non ricade in un'area perimetrata come suscettibile a fenomeni di liquefazione.

L'accelerazione massima al suolo a_{gmax} ($A_{max}/9.81$ m/s²- amplificazione sismica in superficie) è pari a 0.083. Pertanto, in accordo con le condizioni specificate dalla norma vigente [NTC18 – 7.11.3.4.2], essendo $a_{gmax} < 0.1$, la verifica a liquefazione dei terreni di fondazione per l'aerogeneratore WTG2 può essere omessa.

Aerogeneratore WTG3:

Stato Limite	T_r [anni]	a_g [g]	F_0	T_c^* [s]
Danno (SLD)	35	0.056	2.335	0.287

$$A_{max} [m/s^2] = 0,823$$

Dall'analisi della carta della vulnerabilità geologica di Sintesi (Tav. 2.4b del PTCP dell'area di Catanzaro) l'aerogeneratore WTG 3 non ricade in un'area perimetrata come suscettibile a fenomeni di liquefazione.

L'accelerazione massima al suolo a_{gmax} ($A_{max}/9.81$ m/s²- amplificazione sismica in superficie) è pari a 0.0838. Pertanto, in accordo con le condizioni specificate dalla norma vigente [NTC18 – 7.11.3.4.2], essendo $a_{gmax} < 0.1$, la verifica a liquefazione dei terreni di fondazione per l'aerogeneratore WTG3 può essere omessa.

Aerogeneratore WTG4:

Stato Limite	Tr [anni]	a_g [g]	Fo	Tc* [s]
Danno (SLD)	35	0.056	2.336	0.287

A_{max} [m/s²]= 0.662

Dall'analisi della carta della vulnerabilità geologica di Sintesi (Tav. 2.4b del PTCP dell'area di Catanzaro) l'aerogeneratore WTG 4 non ricade in un'area perimetrata come suscettibile a fenomeni di liquefazione.

L'accelerazione massima al suolo a_{gmax} ($A_{max}/9.81$ m/s²- amplificazione sismica in superficie) è pari a 0.0674. Pertanto, in accordo con le condizioni specificate dalla norma vigente [NTC18 – 7.11.3.4.2], essendo $a_{gmax} < 0.1$, la verifica a liquefazione dei terreni di fondazione per l'aerogeneratore WTG4 può essere omessa.

Aerogeneratore WTG5:

Stato Limite	Tr [anni]	a_g [g]	Fo	Tc* [s]
Danno (SLD)	35	0.057	2.336	0.287

A_{max} [m/s²]= 0,666

Dall'analisi della carta della vulnerabilità geologica di Sintesi (Tav. 2.4b del PTCP dell'area di Catanzaro) l'aerogeneratore WTG5 ricade in un'area perimetrata come suscettibile a fenomeni di liquefazione.

L'accelerazione massima al suolo a_{gmax} ($A_{max}/9.81$ m/s²- amplificazione sismica in superficie) è pari a 0.0678. Pertanto, in accordo con le condizioni specificate dalla norma vigente [NTC18 – 7.11.3.4.2], essendo $a_{gmax} < 0.1$, la verifica a liquefazione dei terreni di fondazione per l'aerogeneratore WTG5 può essere omessa.

Aerogeneratore WTG6:

Stato Limite	Tr [anni]	a_g [g]	Fo	Tc* [s]
Danno (SLD)	35	0.057	2.337	0.287

A_{max} [m/s²]= 0,667

Dall'analisi della carta della vulnerabilità geologica di Sintesi (Tav. 2.4b del PTCP dell'area di Catanzaro) l'aerogeneratore WTG 6 non ricade in un'area perimetrata come suscettibile a fenomeni di liquefazione (Figg. 4.2).

L'accelerazione massima al suolo a_{gmax} ($A_{max}/9.81$ m/s²- amplificazione sismica in superficie) è pari a 0.0679. Pertanto, in accordo con le condizioni specificate dalla norma vigente [NTC18 – 7.11.3.4.2], essendo $a_{gmax} < 0.1$, la verifica a liquefazione dei terreni di fondazione per l'aerogeneratore WTG6 può essere omessa.

Aerogeneratore WTG7:

Stato Limite	Tr [anni]	a_g [g]	Fo	Tc* [s]
Danno (SLD)	35	0.058	2.340	0.286

A_{max} [m/s²]= 0,677

Dall'analisi della carta della vulnerabilità geologica di Sintesi (Tav. 2.4b del PTCP dell'area di Catanzaro) l'aerogeneratore WTG 7 non ricade in un'area perimetrata come suscettibile a fenomeni di liquefazione (Figg. 4.1).

Progetto di realizzazione di un impianto eolico e delle relative opere connesse in agro di Belcastro (CZ)		
RELAZIONE GEOTECNICA		
Codice documento:	Data emissione: Agosto 2023	Pagina 29 di 33

L'accelerazione massima al suolo a_{gmax} ($A_{max}/9.81$ m/s²- amplificazione sismica in superficie) è pari a 0.069. Pertanto, in accordo con le condizioni specificate dalla norma vigente [NTC18 – 7.11.3.4.2], essendo $a_{gmax} < 0.1$, la verifica a liquefazione dei terreni di fondazione per l'aerogeneratore WTG6 può essere omessa.

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 $qc_{1N} > 180$ 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 qc_{1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;*
- 4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Fig. 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ e in Fig. 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$..."*

8. CARATTERISTICHE ELASTO-MECCANICHE DEI TERRENI DI FONDAZIONE

I parametri elaborati sono i seguenti:

g = densità sismica;

G_0 = Modulo di taglio;

K = Modulo di volume;

E = Modulo di Young;

M = Modulo di contrasto;

μ = modulo di Poisson.

Aerogeneratore WTG1:

Prof. (m da p.c.)	Unità	g (gr/cmc)	G_0 (Kg/cm ²)	K (Kg/cm ²)	E (kg/cm ²)	M (kg/cm ²)	μ
4.00	A	1.79	3709.6	5267.3	9012.9	10213.4	0.21
10.00	B	2.05	10857.3	32128.0	29274.2	46604.4	0.35

Aerogeneratore WTG2:

Prof. (m da p.c.)	Unità	g (gr/cmc)	G_0 (Kg/cm ²)	K (Kg/cm ²)	E (kg/cm ²)	M (kg/cm ²)	μ
4.00	A	1.79	1894.3	7687.7	5251.6	10213.4	0.39
12.00	B	2.26	6195.4	134390.7	18305.0	142651.2	0.48

Aerogeneratore WTG3:

Prof. (m da p.c.)	Unità	g (gr/cmc)	G_0 (Kg/cm ²)	K (Kg/cm ²)	E (kg/cm ²)	M (kg/cm ²)	μ
2.00	A	1.66	1101.7	2733.8	2913.7	4202.7	0.32
6.00	B	1.98	7941.1	20674.1	21119.3	31262.2	0.33
12.00	C	2.26	17434.9	119404.7	49877.0	142651.2	0.43

Aerogeneratore WTG4:

Prof. (m da p.c.)	Unità	g (gr/cmc)	G_0 (Kg/cm ²)	K (Kg/cm ²)	E (kg/cm ²)	M (kg/cm ²)	μ
1.00	A	1.66	1365.5	2382.1	3439.3	4202.7	0.26
4.00	B	1.98	7493.8	21270.5	20118.7	31262.2	0.34
8.00	C	2.33	20217.3	185701.9	58528.0	212658.3	0.45

Aerogeneratore WTG5:

Prof. (m da p.c.)	Unità	g (gr/cmc)	G_0 (Kg/cm ²)	K (Kg/cm ²)	E (kg/cm ²)	M (kg/cm ²)	μ
2.00	A	1.66	1162.8	2652.3	3043.6	4202.7	0.31
8.00	B	2.26	8465.1	131364.5	24861.2	142651.2	0.47
12.00	C	2.52	87723.7	399834.8	245236.0	516799.7	0.40

Aerogeneratore WTG6:

Prof. (m da p.c.)	Unità	g (gr/cmc)	G_0 (Kg/cm ²)	K (Kg/cm ²)	E (kg/cm ²)	M (kg/cm ²)	μ
2.00/3.00	A	1.66	1042.3	2813.0	2783.1	4202.7	0.34
9.00	B	2.16	8491.0	76185.6	24560.6	87507.0	0.45
14.00	C	2.33	71950.0	116725.0	179059.0	212658.3	0.24

Progetto di realizzazione di un impianto eolico e delle relative opere connesse in agro di Belcastro (CZ)		
RELAZIONE GEOTECNICA		
Codice documento:	Data emissione: Agosto 2023	Pagina 31 di 33

Aerogeneratore WTG7:

Prof. (m da p.c.)	Unità	g (gr/cmq)	G ₀ (Kg/cmq)	K (Kg/cmq)	E (kg/cmq)	M (kg/cmq)	μ
2.00	A	1.66	1101.7	2733.8	2913.7	4202.7	0.32
3.00/4.00	B	1.98	8848.0	19464.9	23051.2	31262.2	0.30
8.00	C	2.21	16392.6	91400.5	46403.8	113257.4	0.42

Progetto di realizzazione di un impianto eolico e delle relative opere connesse in agro di Belcastro (CZ)		
RELAZIONE GEOTECNICA		
Codice documento:	Data emissione: Agosto 2023	Pagina 32 di 33

9. 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 ϕ' (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 (γ);
- peso dell'unità di volume del terreno saturo (γ_{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 realizzazione di un impianto eolico e delle relative opere connesse in agro di Belcastro (CZ)		
RELAZIONE GEOTECNICA		
Codice documento:	Data emissione: Agosto 2023	Pagina 33 di 33

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 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 quattro litologie sovrapposte:

- argille marnose alterate e poco coese;
- argille debolmente alterate, addensate e compatte;
- argille poco alterate, molto compatte e ben addensate.

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 A: argille marnose alterate e poco coese;
- Unità B: argille debolmente alterate, addensate e compatte;
- Unità C: argille poco alterate, molto compatte e ben addensate.

Le schede di alcuni pozzi censiti nell'Archivio nazionale delle indagini nel sottosuolo (Legge 464/1984) individuano la presenza di falde idriche a pochi metri al di sotto del piano campagna. Nelle misure condotte in questi pozzi indicano un livello piezometrico in condizioni statiche che varia tra -13,00 e -14,00 m dal p.c. per pozzi realizzati a circa 14 m s.l.m. (cfr. Relazione Geologica).

L'interpretazione dei dati dell'indagine ha portato alla compilazione della tabella seguente nella quale si riportano i parametri elasto-dinamici del sottosuolo, mentre, i parametri geologico-tecnici fondamentali ricavati dalla bibliografia o estrapolati da relazioni empiriche sono riportati nella successiva tabella.

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;

Progetto di realizzazione di un impianto eolico e delle relative opere connesse in agro di Belcastro (CZ)		
RELAZIONE GEOTECNICA		
Codice documento:	Data emissione: Agosto 2023	Pagina 34 di 33

E = Modulo di Young;

M = Modulo di contrasto;

μ = modulo di Poisson;

c = coesione;

ϕ = angolo di attrito.

Tabella 9.1 – modellazione geotecnica dell'area in studio

Unità	Descrizione	g (gr/cm ³)	G ₀ (Kg/cm ²)	K (Kg/cm ²)	E (kg/cm ²)	M (kg/cm ²)	μ
A	argille marnose alterate e poco coese	1.66	1042.3	2382.1	2783.1	4202.7	0.48
B	argille debolmente alterate, addensate e compatte	1.98	5430.9	21270.5	15151.0	31262.2	0.42
C	argille poco alterate, molto compatte e ben addensate	2.33	20217.3	116725.0	58528.0	212658.3	0.32

10. CONCLUSIONI

Su tutta l'area destinata all'impianto eolico prossima all'abitato di Mesoraca e Marcedusa affiorano delle unità argillose limose più o meno addensate quaternarie:

Profondità (dal p.c.)	Litologia
da 0,00 m a -1,00/-2,50 m	argille marnose alterate e poco coese
da -1,00/-2,50 m a -5,00/-8,00 m	argille debolmente alterate, addensate e compatte
da -5,00/-8,00 m a -13,00 m	argille poco alterate, molto compatte e ben addensate

Sulla base della Vseq calcolata, è possibile assegnare il sottosuolo di fondazione alle categorie:

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 - Depositati 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.

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.

Dall'analisi della carta della vulnerabilità geologica di Sintesi (Tav. 2.4b del PTCP dell'area di Crotona) solo l'aerogeneratore WTG 5 ricade in un'area perimetrata come suscettibile a fenomeni di liquefazione.

L'accelerazione massima al suolo agmax (Amax/9.81 m/s²- amplificazione sismica in superficie) è per tutti gli aerogeneratori e per la sottostazione <0.1.

Pertanto, in accordo con le condizioni specificate dalla norma vigente [NTC18 – 7.11.3.4.2], essendo agmax < 0.1, la verifica a liquefazione dei terreni di fondazione per tutte le strutture può essere omessa.

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	g (gr/cmc)	G ₀ (Kg/cmq)	K (Kg/cmq)	E (kg/cmq)	M (kg/cmq)	μ
A	argille marnose alterate e poco coese	1.66	1042.3	2382.1	2783.1	4202.7	0.48
B	argille debolmente alterate, addensate e compatte	1.98	5430.9	21270.5	15151.0	31262.2	0.42
C	argille poco alterate, molto compatte e ben addensate	2.33	20217.3	116725.0	58528.0	212658.3	0.32

Gioia del Colle, Agosto 2023

il Geologo

Dott. Raffaele SASSONE



ALLEGATO 1
REPORT INDAGINI GEOFISICHE



GEOMONITEK SRL

INDAGINI GEOFISICHE E IDROGEOLOGICHE
MONITORAGGIO STRUTTURALE E GEOMECCANICO

COMUNE DI BELCASTRO – PROVINCIA DI CATANZARO

COMUNE DI MESORACA – PROVINCIA DI CROTONE

Elaborato

REPORT INDAGINI GEOFISICHE

REDATTO

VERIFICATO

REVISIONE

GEOL. DE GIORGIO

GEOL. GIGANTE

A

COMMITTENTE:

GEOL. SASSONE RAFFAELE

GEOMONITEK SRL

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

EMISSIONE

CODICE ELABORATO

CODICE ARCHIVIAZIONE FILE

15.03.2023

GMT_RGF002_150323

GMT_RGF002_150323.pdf

GEOMONITEK SRL

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

Indice

1. PREMESSA	2
2. CARATTERIZZAZIONE GEOFISICA DEL SOTTOSUOLO: METODOLOGIA DI ANALISI E STRUMENTAZIONE UTILIZZATA	3
2.1 IL METODO DELLA SISMICA A RIFRAZIONE	3
2.2 METODO M.A.S.W.	3
2.3 STRUMENTAZIONE UTILIZZATA	4
3. ATTIVITÀ DI CAMPO	5
4. ANALISI DI SISMICA A RIFRAZIONE	6
4.1 STENDIMENTO SISMICO AA': INTERPRETAZIONE DEI DATI	6
4.2 STENDIMENTO SISMICO BB': INTERPRETAZIONE DEI DATI	9
4.3 STENDIMENTO SISMICO CC': INTERPRETAZIONE DEI DATI	12
4.4 STENDIMENTO SISMICO DD': INTERPRETAZIONE DEI DATI	15
4.5 STENDIMENTO SISMICO EE': INTERPRETAZIONE DEI DATI	18
4.6 STENDIMENTO SISMICO FF': INTERPRETAZIONE DEI DATI	21
4.7 STENDIMENTO SISMICO QQ': INTERPRETAZIONE DEI DATI	24
4.8 STENDIMENTO SISMICO OO': INTERPRETAZIONE DEI DATI	26
5. ANALISI MASW	29
5.1 STENDIMENTO SISMICO AA': INTERPRETAZIONE DEI DATI	29
5.2 STENDIMENTO SISMICO BB': INTERPRETAZIONE DEI DATI	32
5.3 STENDIMENTO SISMICO CC': INTERPRETAZIONE DEI DATI	35
5.4 STENDIMENTO SISMICO DD': INTERPRETAZIONE DEI DATI	38
5.5 STENDIMENTO SISMICO EE': INTERPRETAZIONE DEI DATI	41
5.6 STENDIMENTO SISMICO FF': INTERPRETAZIONE DEI DATI	44
5.7 STENDIMENTO SISMICO QQ': INTERPRETAZIONE DEI DATI	47
5.8 STENDIMENTO SISMICO OO': INTERPRETAZIONE DEI DATI	50
6. CLASSIFICAZIONE DEL SOTTOSUOLO DI FONDAZIONE.....	53
6.1 CATEGORIA DI SOTTOSUOLO DI FONDAZIONE: PROFILO AA'	54
6.2 CATEGORIA DI SOTTOSUOLO DI FONDAZIONE: PROFILO BB'	55
6.3 CATEGORIA DI SOTTOSUOLO DI FONDAZIONE: PROFILO CC'	56
6.4 CATEGORIA DI SOTTOSUOLO DI FONDAZIONE: PROFILO DD'	57
6.5 CATEGORIA DI SOTTOSUOLO DI FONDAZIONE: PROFILO EE'	58
6.6 CATEGORIA DI SOTTOSUOLO DI FONDAZIONE: PROFILO FF'	59
6.7 CATEGORIA DI SOTTOSUOLO DI FONDAZIONE: PROFILO QQ'	60
6.8 CATEGORIA DI SOTTOSUOLO DI FONDAZIONE: PROFILO OO'	61
7. CARATTERIZZAZIONE ELASTICO-MECCANICA DEI TERRENI DI FONDAZIONE	62
STENDIMENTO SISMICO AA'	62
STENDIMENTO SISMICO BB'	62
STENDIMENTO SISMICO CC'	62
STENDIMENTO SISMICO DD'	63
STENDIMENTO SISMICO EE'	63
STENDIMENTO SISMICO FF'	63
STENDIMENTO SISMICO QQ'	63
STENDIMENTO SISMICO OO'	64
8. DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA	65

1. PREMESSA

Il presente report riferisce sulle risultanze di indagini geognostiche di tipo indiretto condotte nel territorio comunale di Belcastro e Mesoraca, rispettivamente in Provincia di Catanzaro e Crotona in data 01-02-03 marzo 2023 e finalizzate alla caratterizzazione geofisica del sottosuolo per il progetto relativo al Parco Eolico Belcastro.

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

L'indagine in loco è consistita nelle seguenti acquisizioni:

- realizzazione di n.8 rilievi sismici a rifrazione in onda P (sigle: AA'-BB'-CC'-DD'-EE'-FF'-QQ'-OO'), ubicati come da corografia (Fig.1) e planimetrie inserite in relazione, con interpretazione tomografica dei dati di velocità delle onde P;
- esecuzione di n.8 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°), 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.8 rilievi sismici a rifrazione in onda P (sigle: AA'-BB'-CC'-DD'-EE'-FF'-QQ'-OO') e nell'esecuzione di n.8 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'	QQ'	OO'
Sigla impianto	WTG 1	WTG 2	WTG 5	WTG 6	WTG 4	WTG 3	WTG 7	SOTTOSTAZIONE
Lunghezza [m]	24	24	24	24	24	24	24	24

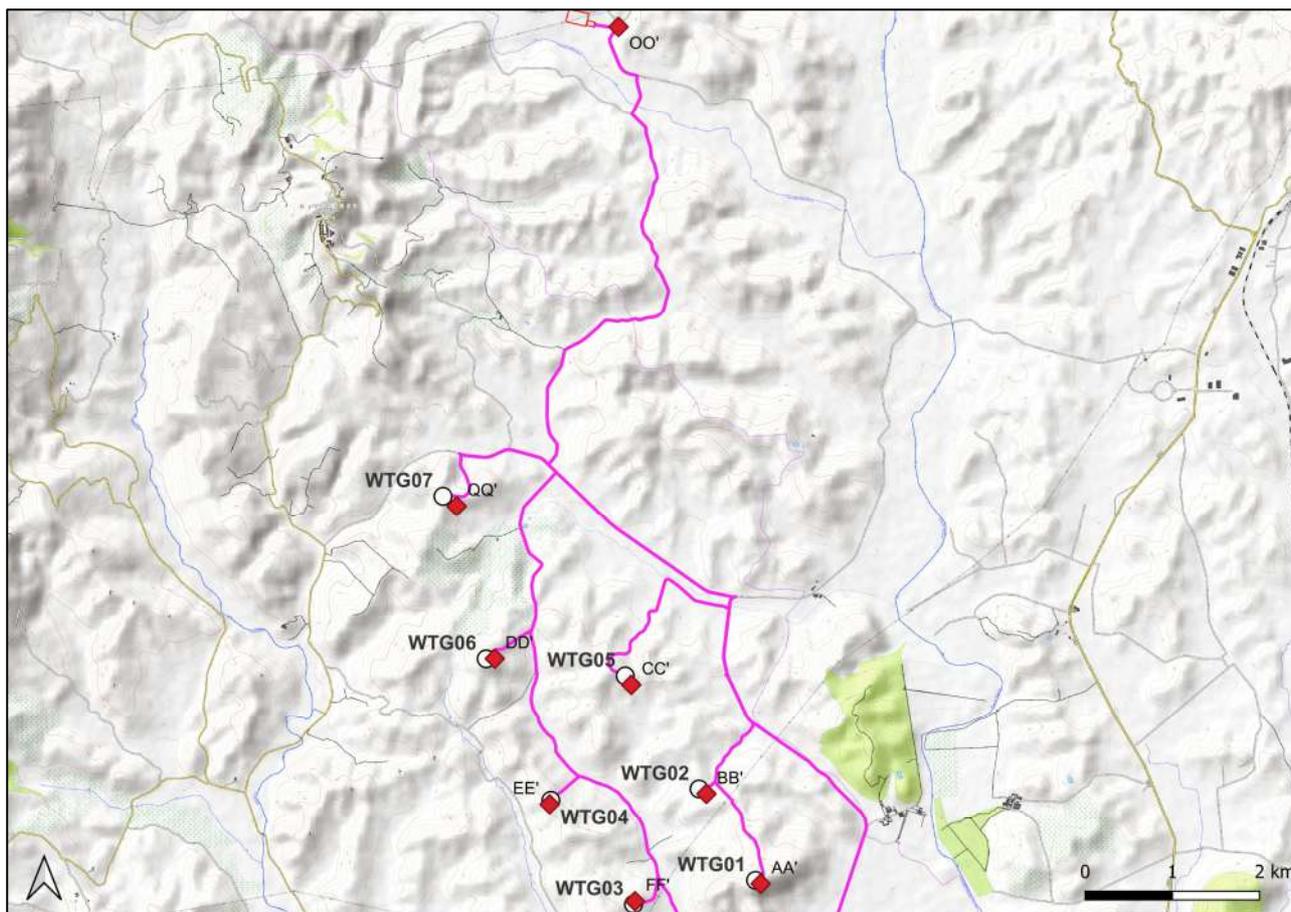


Fig. 1 – Corografia delle prospezioni geofisiche

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 NE/SW e i due punti estremi hanno le seguenti coordinate (WGS84):

A – 663869.0 – 4313670.6 | A' – 663840.1 – 4313660.7

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



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

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).

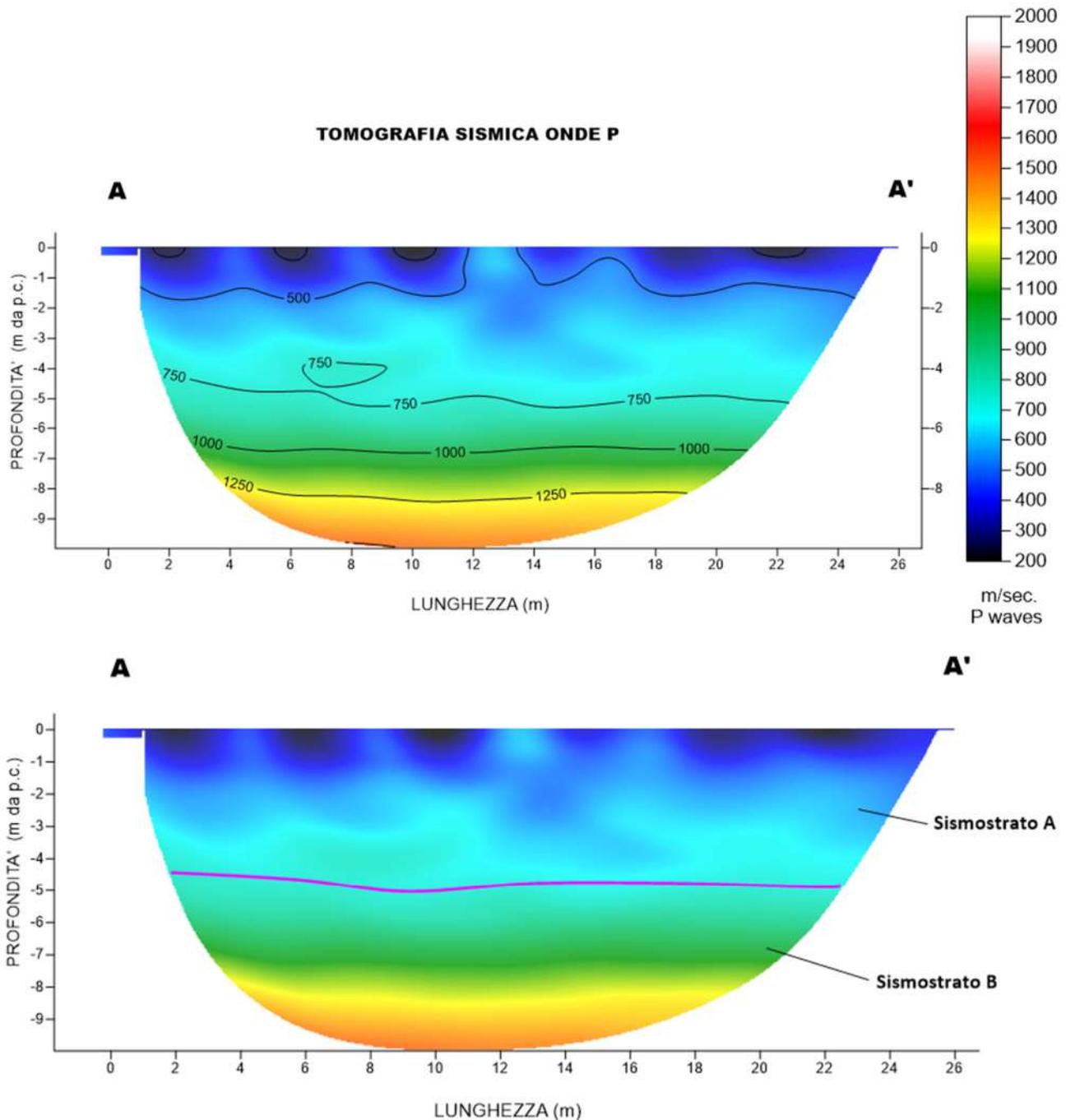


Fig. 4 – Sezione tomografica del profilo AA' (a). Interpretazione sezione tomografica (b)

Dal risultato dell'analisi sismica eseguita è possibile rilevare la presenza di **2 sismostrati** con differenti valori di velocità delle onde sismiche longitudinali P.

Nel primo sismostrato, che dal piano campagna si spinge fino ad una profondità variabile e compresa tra 4-5 metri, sono stati riscontrati valori di velocità di propagazione delle onde longitudinali P comprese tra 250 m/s e 750 m/s. Il secondo sismostrato invece, è caratterizzato da un incremento delle velocità delle onde P con la profondità, che raggiungono valori di circa 1500 m/s alle profondità indagate, ossia circa 10 metri di profondità dal piano campagna.

Assimilando le velocità sismiche riscontrate, alla geologia dell'area, è possibile assimilare i sedimenti del sismostrato A ad una coltre di argille marnose alterate e poco coese, mentre i sedimenti del sismostrato B, sono riferibili ad argille ma il cui grado di compattazione aumenta con la 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 NE/SW e i due punti estremi hanno le seguenti coordinate (WGS84):

B – 663239.1 – 4314705.8 B'– 663223.4 – 4314686.6

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

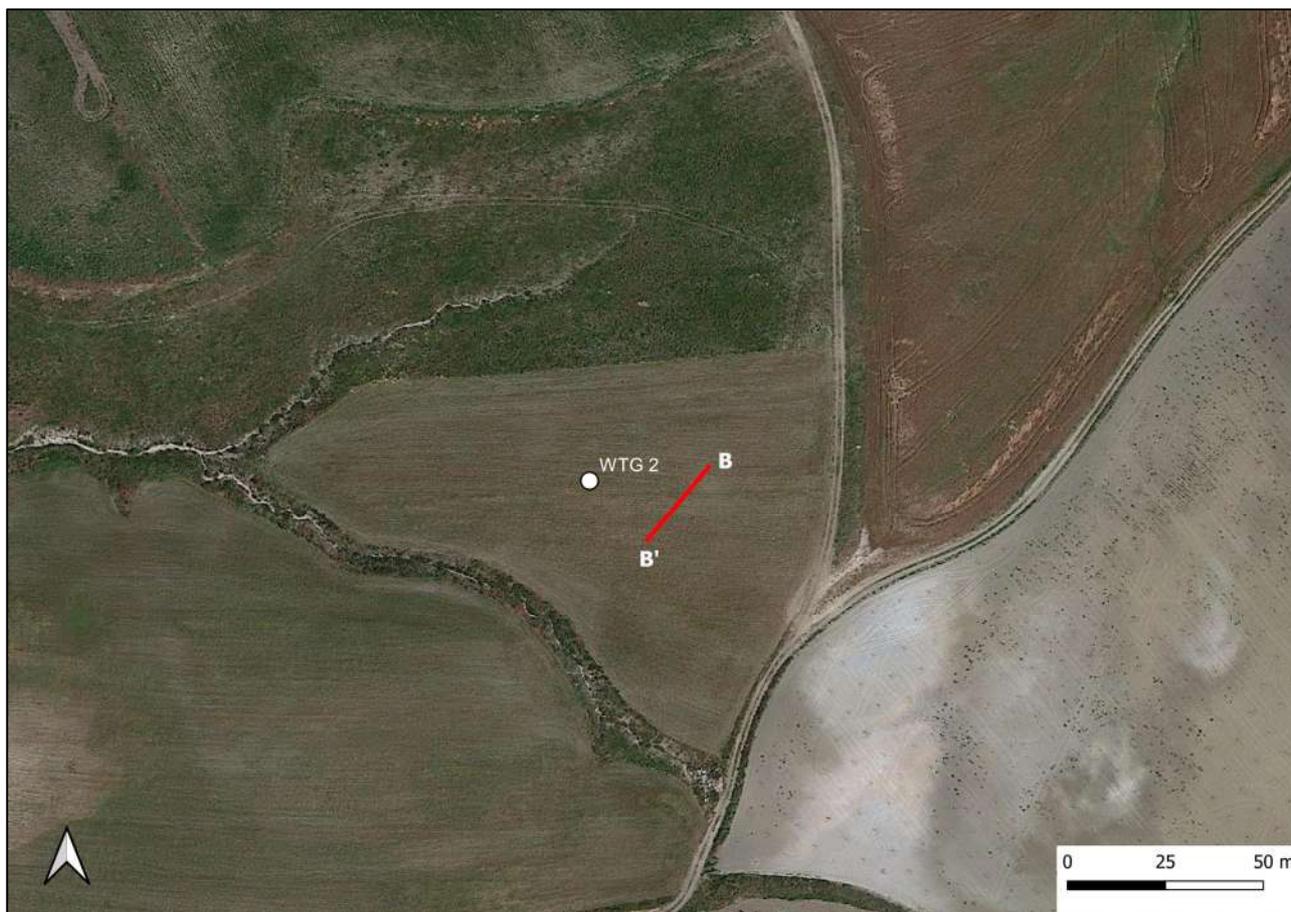


Fig. 5 – Ubicazione dello stendimento sismico BB' su Ortofoto

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).

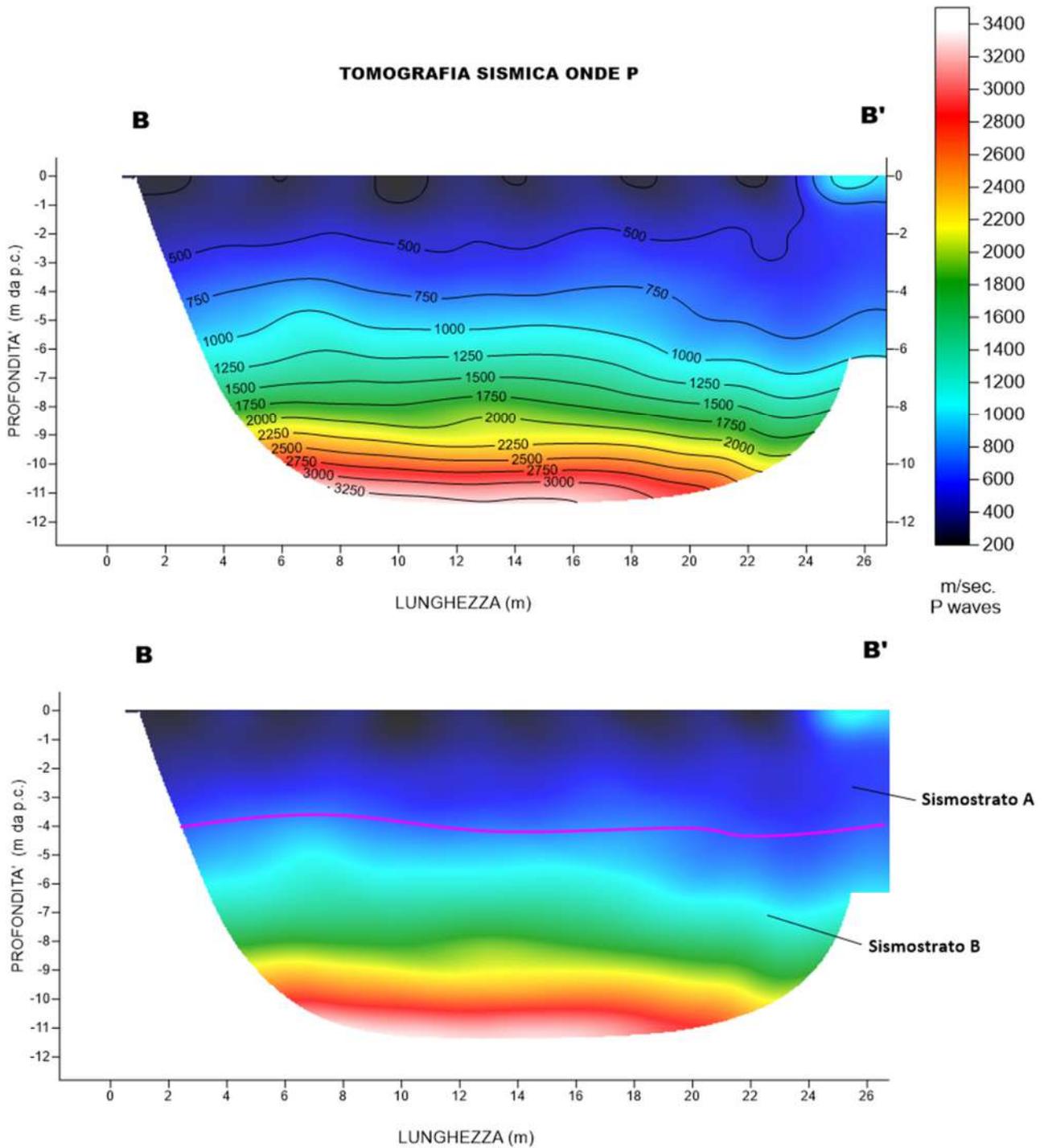


Fig. 7 – Sezione tomografica del profilo BB' (a). Interpretazione sezione tomografica (b)

Dal risultato dell'analisi sismica eseguita è possibile rilevare la presenza di **2 sismostrati** con differenti valori di velocità delle onde sismiche longitudinali P.

Nel primo sismostrato, che dal piano campagna si spinge fino ad una profondità di circa 4 metri, sono stati riscontrati valori di velocità di propagazione delle onde longitudinali P comprese tra 250 m/s e 750 m/s. Il secondo sismostrato

invece, è caratterizzato da un incremento delle velocità delle onde P con la profondità, che raggiungono valori di circa 3000 m/s alle profondità indagate, ossia circa 12 metri di profondità dal piano campagna.

Assimilando le velocità sismiche riscontrate, alla geologia dell'area, è possibile assimilare i sedimenti del sismostrato A ad una coltre di argille marnose alterate e poco coese, mentre i sedimenti del sismostrato B, sono riferibili ad argille ma il cui grado di compattazione aumenta con la 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 E/W e i due punti estremi hanno le seguenti coordinate (WGS84):

C – 662295.9 – 4316026.7 C' – 662328.0 – 4316022.7

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



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

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).

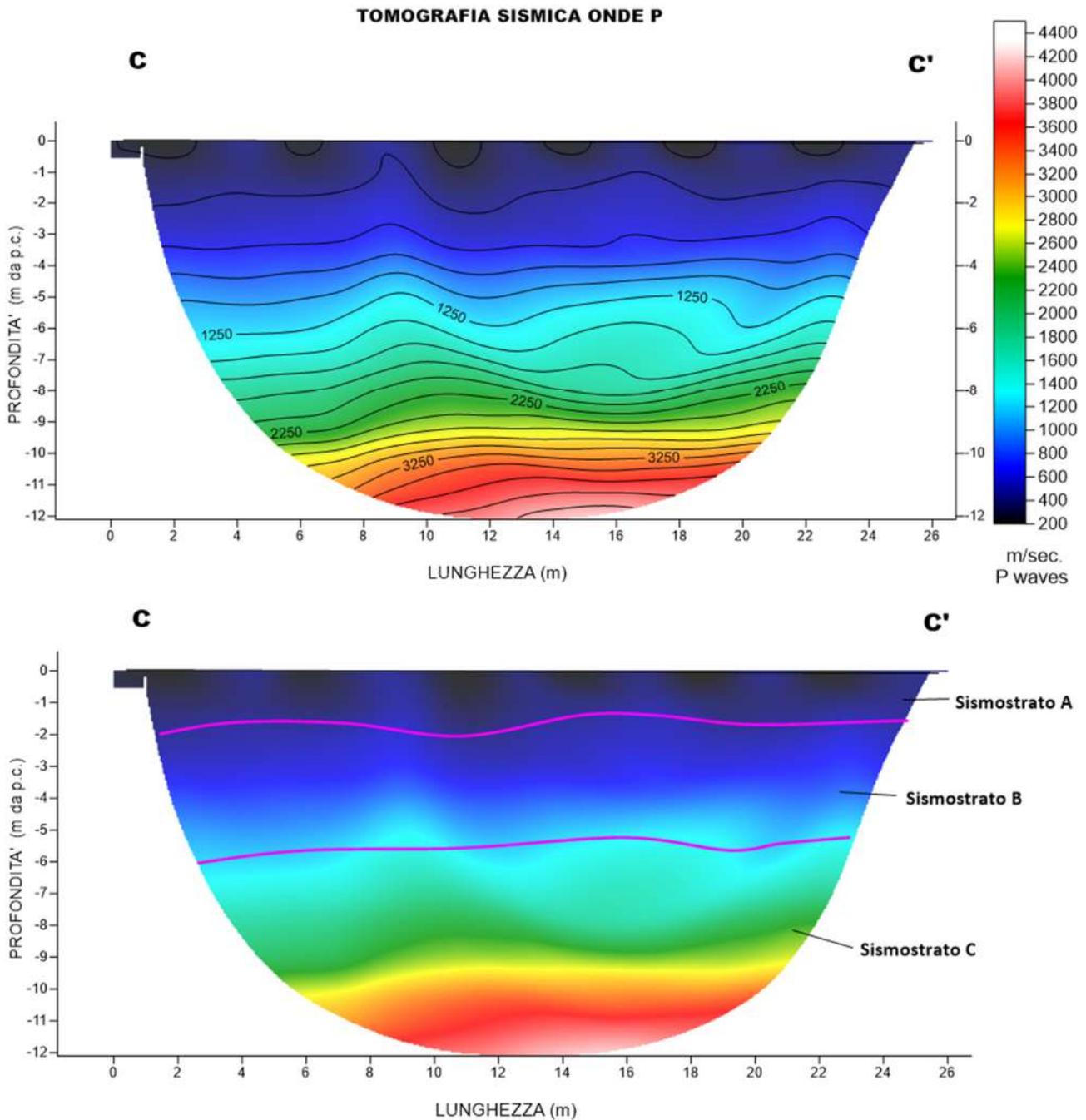


Fig. 10 – Sezione tomografica del profilo CC' (a). Interpretazione sezione tomografica (b)

Dal risultato dell'analisi sismica eseguita è possibile rilevare la presenza di **3 sismostrati** con differenti valori di velocità delle onde sismiche longitudinali P.

Nel primo sismostrato, che dal piano campagna si spinge fino ad una profondità di circa 2 metri, sono stati riscontrati valori di velocità di propagazione delle onde longitudinali P comprese tra 250 m/s e 500 m/s. Il sismostrato B invece, è caratterizzato da velocità delle onde P comprese tra 500 e 1250 m/s, che crescono in modo continuo fino a raggiungere

una profondità di circa 6 metri dal piano campagna. Il sismostrato C infine, è caratterizzato da valori di velocità delle onde P che aumentano gradualmente con la profondità fino a raggiungere la profondità investigata di circa 12 m dal p.c.

Assimilando le velocità sismiche riscontrate, alla geologia dell'area, è possibile assimilare i sedimenti del sismostrato A ad una coltre di argille marnose alterate e poco coese, mentre i sedimenti del sismostrato B e C, sono riferibili ad argille ma il cui grado di compattazione aumenta con la 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 NW/SE e i due punti estremi hanno le seguenti coordinate (WGS84):

D – 660737.2 – 4316215.9 D' – 660748.9 – 4316195.3

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



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

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).

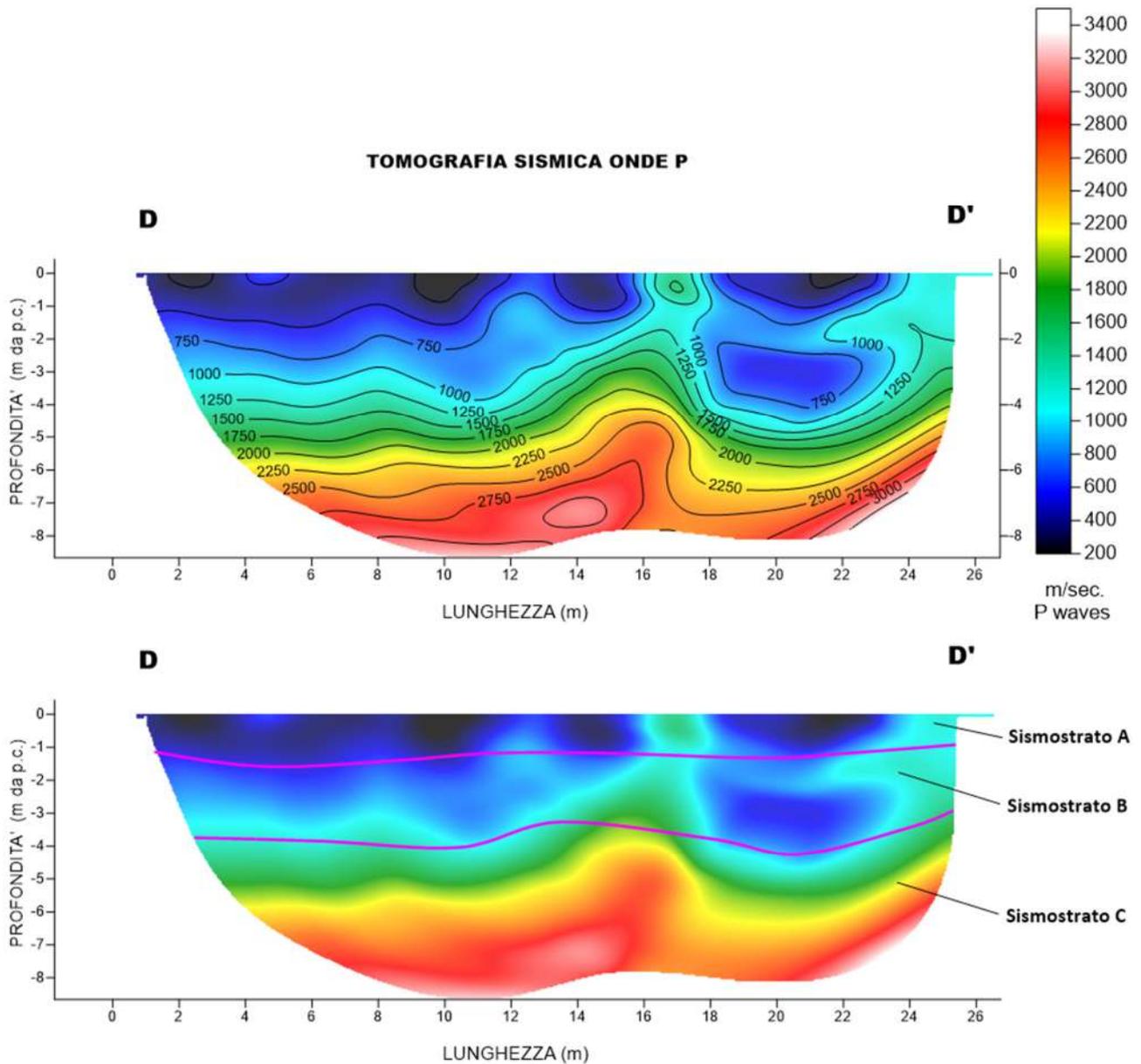


Fig. 14 – Sezione tomografica del profilo DD' (a). Interpretazione sezione tomografica (b)

Dal risultato dell'analisi sismica eseguita è possibile rilevare la presenza di **3 sismostrati** con differenti valori di velocità delle onde sismiche longitudinali P.

Nel primo sismostrato, che dal piano campagna si spinge fino ad una profondità di circa 1 metro, sono stati riscontrati valori di velocità di propagazione delle onde longitudinali P comprese tra 250 m/s e 500 m/s. Il sismostrato B invece, è caratterizzato da velocità delle onde P comprese tra 500 e 1250 m/s, che crescono in modo continuo fino a raggiungere una profondità di circa 4 metri dal piano campagna. Il sismostrato C infine, è caratterizzato da valori di velocità delle onde P che aumentano gradualmente con la profondità fino a raggiungere la profondità investigata di circa 8 m dal p.c.

Assimilando le velocità sismiche riscontrate, alla geologia dell'area, è possibile assimilare i sedimenti del sismostrato A ad una coltre di argille marnose alterate e poco coese, mentre i sedimenti del sismostrato B e C, sono riferibili ad argille ma il cui grado di compattazione aumenta con la 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 N.NW/S.SE e i due punti estremi hanno le seguenti coordinate (WGS84):

E – 661491.6 – 4314593.4 E'– 661497.6 – 4314569.1

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

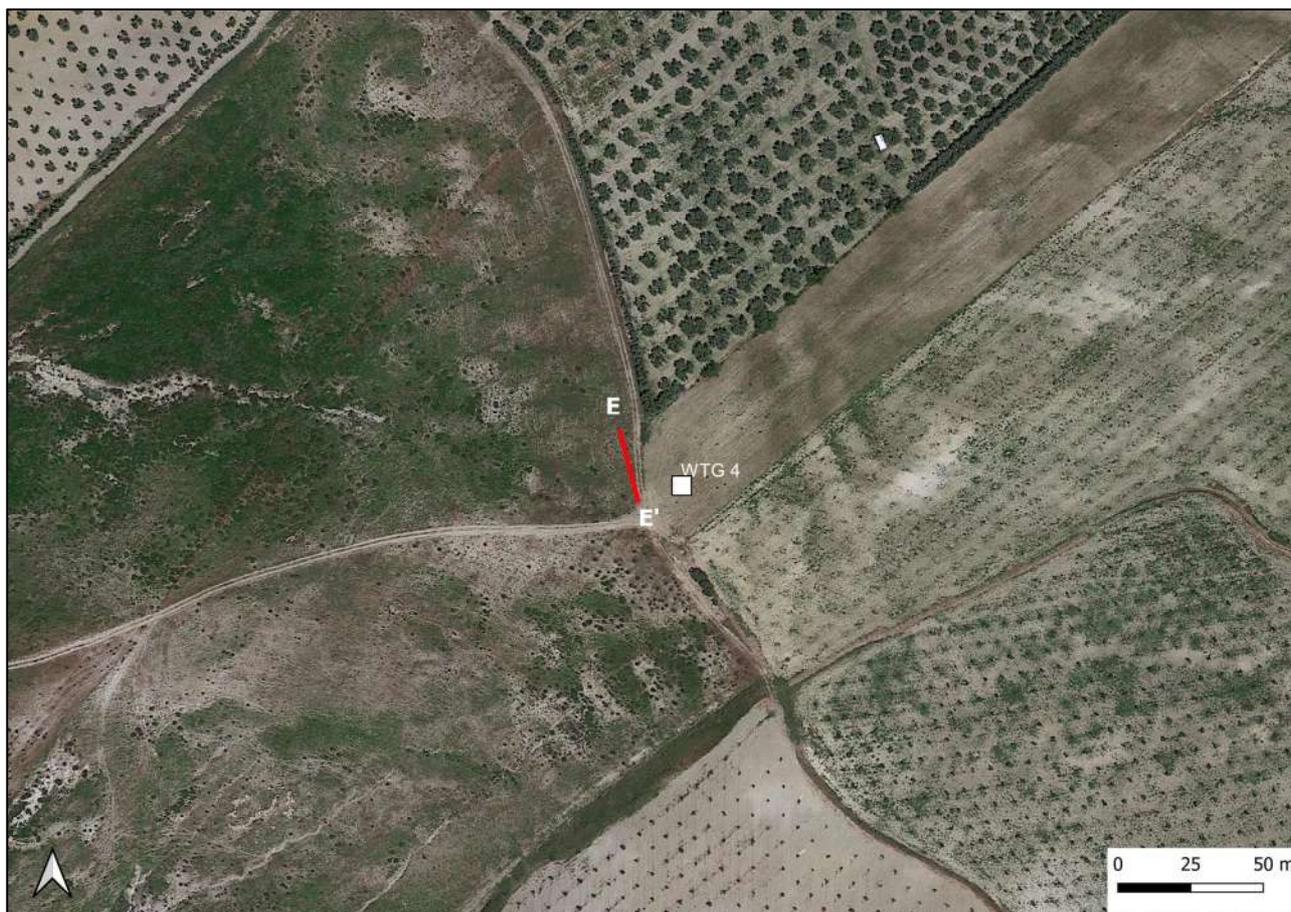


Fig. 15 – Ubicazione dello stendimento sismico EE' su Ortofoto

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).

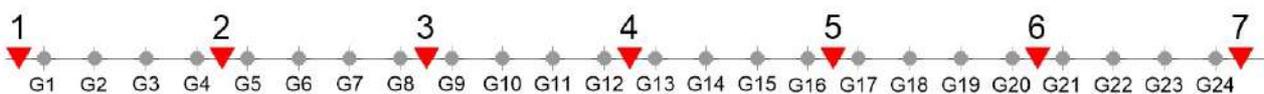


Fig.16 - Configurazione geometrica dello stendimento sismico a rifrazione EE'

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).

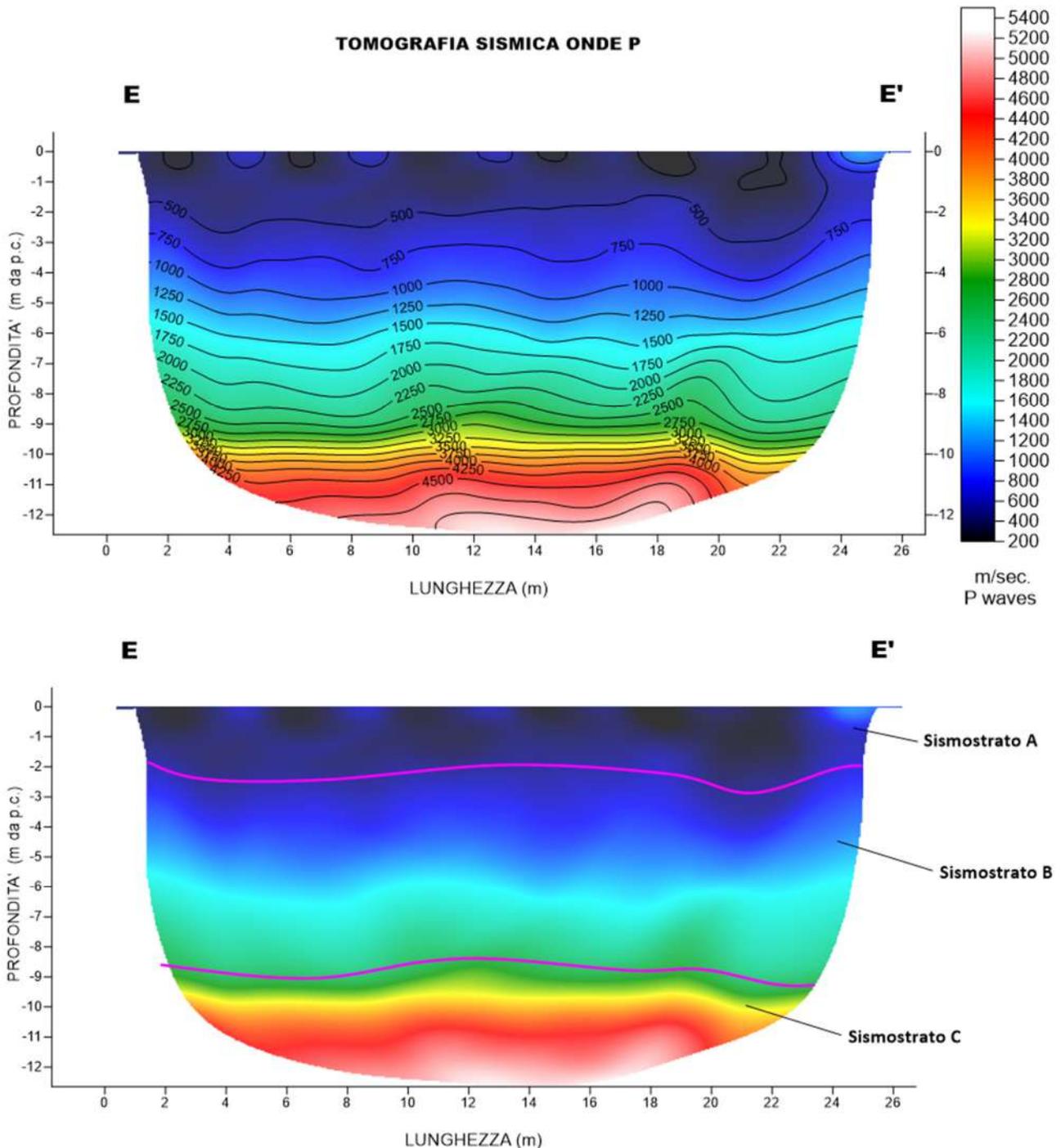


Fig. 17 – Sezione tomografica del profilo EE' (a). Interpretazione sezione tomografica (b)

Dal risultato dell'analisi sismica eseguita è possibile rilevare la presenza di **3 sismostrati** con differenti valori di velocità delle onde sismiche longitudinali P.

Nel primo sismostrato, che dal piano campagna si spinge fino ad una profondità di circa 2 metri, sono stati riscontrati valori di velocità di propagazione delle onde longitudinali P comprese tra 250 m/s e 500 m/s. Il sismostrato B invece, è caratterizzato da velocità delle onde P comprese tra 500 e 2500 m/s, che crescono in modo continuo fino a raggiungere

una profondità di circa 9 metri dal piano campagna. Il sismostrato C infine, è caratterizzato da valori di velocità delle onde P che aumentano gradualmente con la profondità fino a raggiungere la profondità investigata di circa 13 m dal p.c.

Assimilando le velocità sismiche riscontrate, alla geologia dell'area, è possibile assimilare i sedimenti del sismostrato A ad una coltre di argille marnose alterate e poco coese, mentre i sedimenti del sismostrato B e C, sono riferibili ad argille ma il cui grado di compattazione aumenta con la 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 SW/NE e i due punti estremi hanno le seguenti coordinate (WGS84):

F – 662463.2 – 4313382.8 F' – 662479.1 – 4313402.5

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

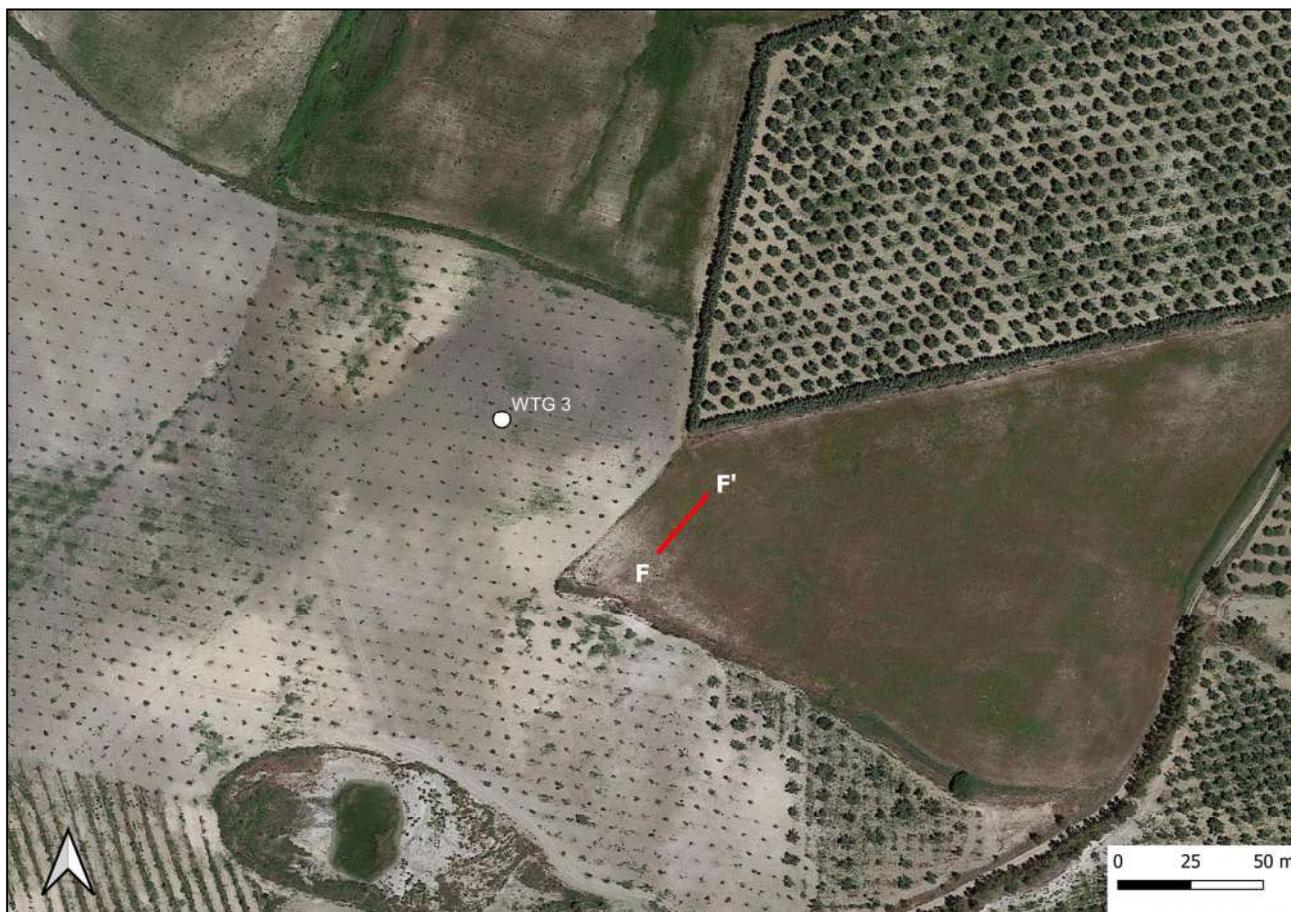


Fig. 18 – Ubicazione dello stendimento sismico FF' su Ortofoto

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).

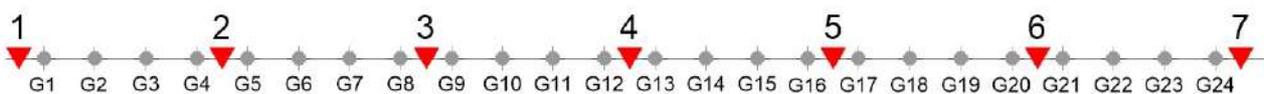


Fig.19 - Configurazione geometrica dello stendimento sismico a rifrazione FF'

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).

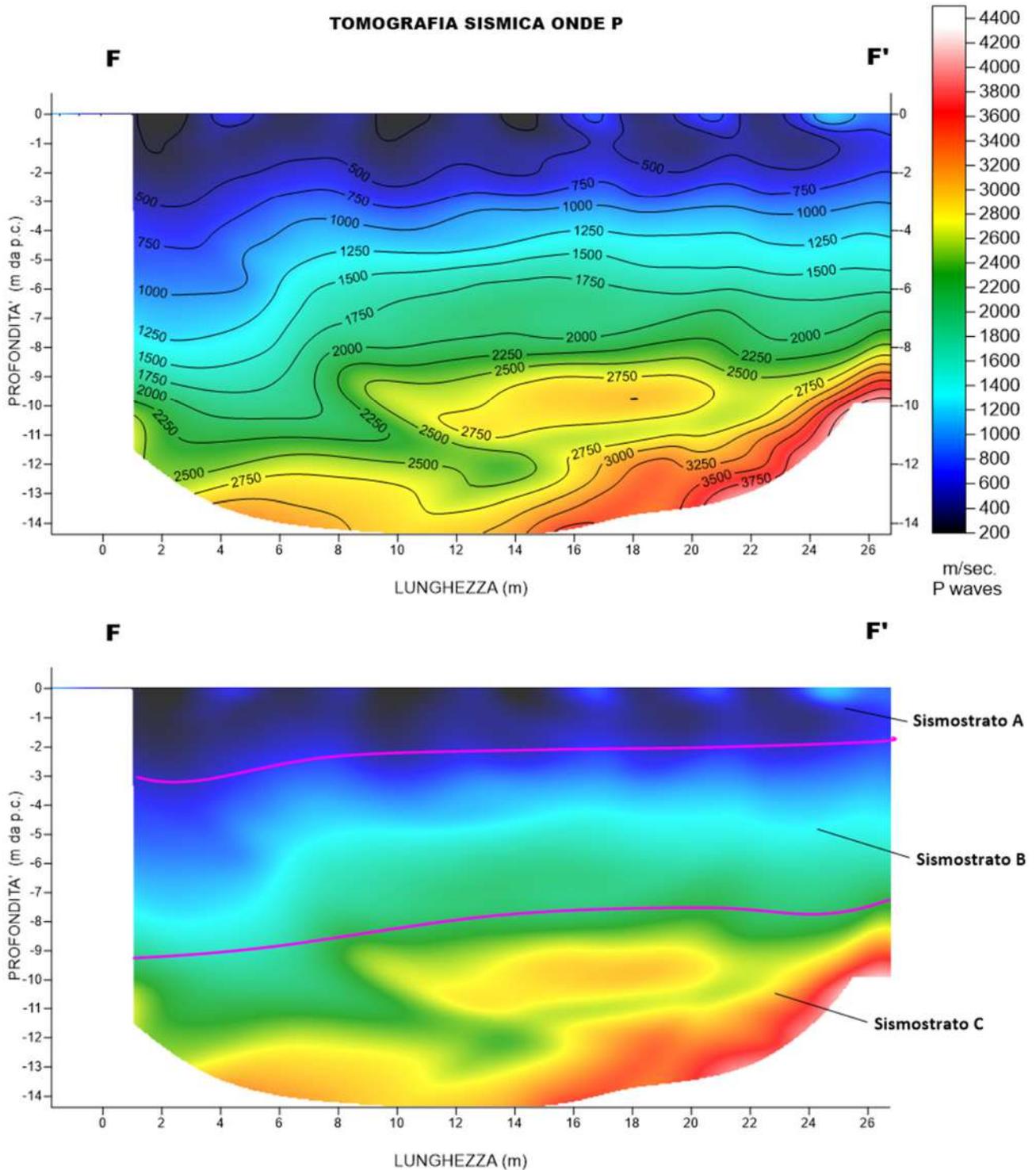


Fig. 20 – Sezione tomografica del profilo FF' (a). Interpretazione sezione tomografica (b)

Dal risultato dell'analisi sismica eseguita è possibile rilevare la presenza di **3 sismostrati** con differenti valori di velocità delle onde sismiche longitudinali P.

Nel primo sismostrato, che dal piano campagna si spinge fino ad una profondità di circa 2-3 metri, sono stati riscontrati valori di velocità di propagazione delle onde longitudinali P comprese tra 250 m/s e 500 m/s. Il sismostrato B invece, è

caratterizzato da velocità delle onde P comprese tra 500 e 2000 m/s, che crescono in modo continuo fino a raggiungere una profondità di circa 9 metri dal piano campagna. Il sismostrato C infine, è caratterizzato da valori di velocità delle onde P che aumentano gradualmente con la profondità fino a raggiungere la profondità investigata di circa 14 m dal p.c.

Assimilando le velocità sismiche riscontrate, alla geologia dell'area, è possibile assimilare i sedimenti del sismostrato A ad una coltre di argille marnose alterate e poco coese, mentre i sedimenti del sismostrato B e C, sono riferibili ad argille ma il cui grado di compattazione aumenta con la profondità.

4.7 Stendimento sismico QQ': interpretazione dei dati

Il profilo di sismica a rifrazione QQ' 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):

Q – 660277.5 – 4318068.7 Q' – 660300.2 – 4318076

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



Fig. 21 – Ubicazione dello stendimento sismico QQ' su Ortofoto

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).

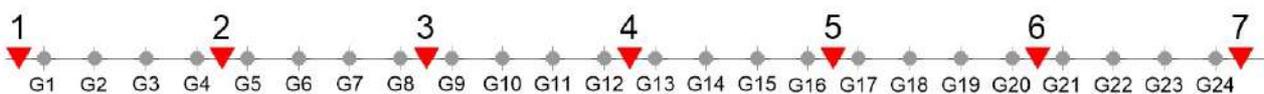


Fig.22 - Configurazione geometrica dello stendimento sismico a rifrazione FF'

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).

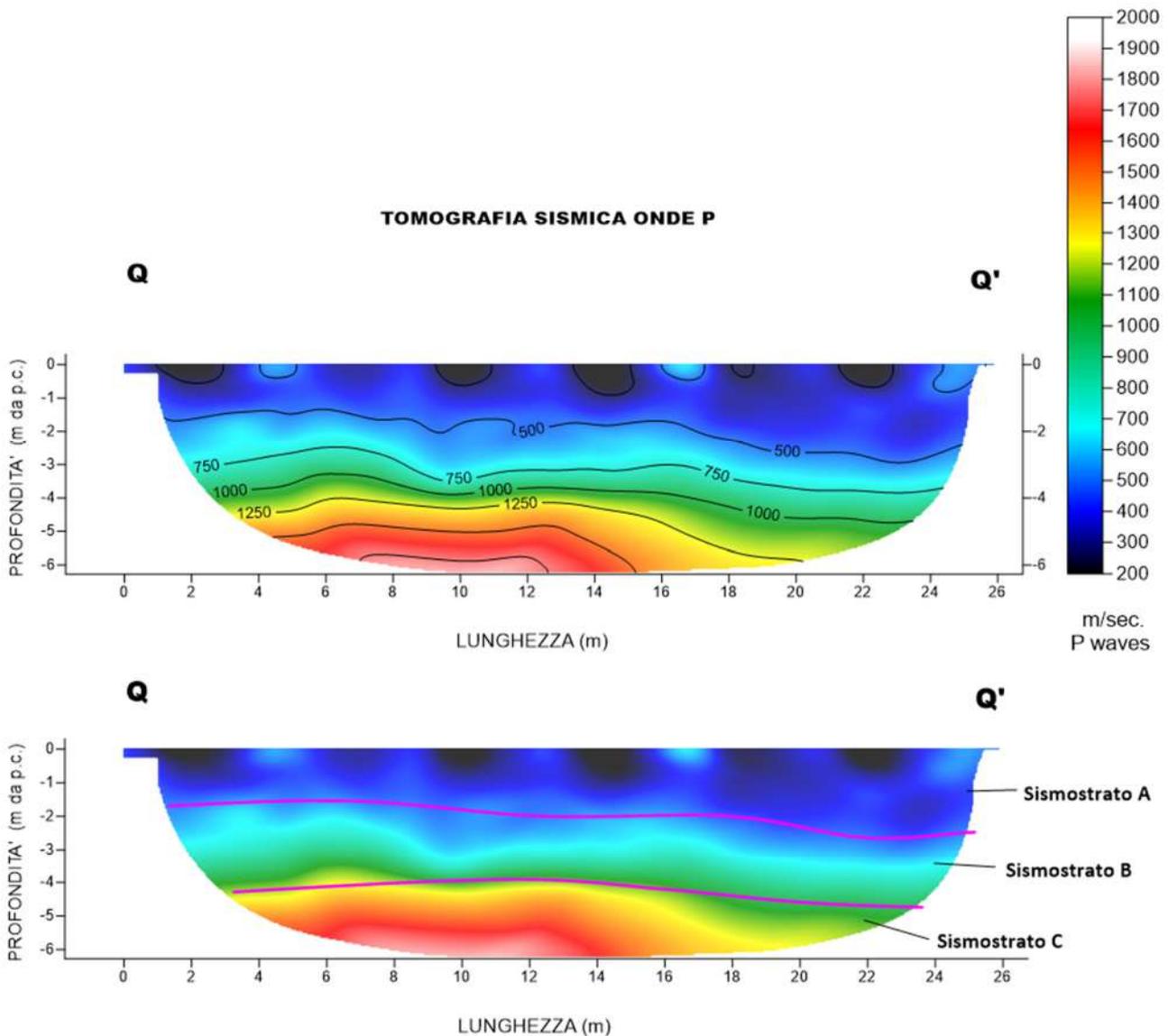


Fig. 23 – Sezione tomografica del profilo QQ' (a). Interpretazione sezione tomografica (b)

Dal risultato dell'analisi sismica eseguita è possibile rilevare la presenza di **3 sismostrati** con differenti valori di velocità delle onde sismiche longitudinali P.

Nel primo sismostrato, che dal piano campagna si spinge fino ad una profondità di circa 2 metri, sono stati riscontrati valori di velocità di propagazione delle onde longitudinali P comprese tra 250 m/s e 500 m/s. Il sismostrato B invece, è caratterizzato da velocità delle onde P comprese tra 500 e 1250 m/s, che crescono in modo continuo fino a raggiungere una profondità di circa 4 metri dal piano campagna. Il sismostrato C infine, è caratterizzato da valori di velocità delle onde P che aumentano gradualmente con la profondità fino a raggiungere la profondità investigata di circa 6 m dal p.c.

Assimilando le velocità sismiche riscontrate, alla geologia dell'area, è possibile assimilare i sedimenti del sismostrato A ad una coltre di argille marnose alterate e poco coese, mentre i sedimenti del sismostrato B e C, sono riferibili ad argille ma il cui grado di compattazione aumenta con la profondità.

4.8 Stendimento sismico OO': interpretazione dei dati

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

G – 662252.8 – 4323560.8 G' – 662259.8 – 4323535.3

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

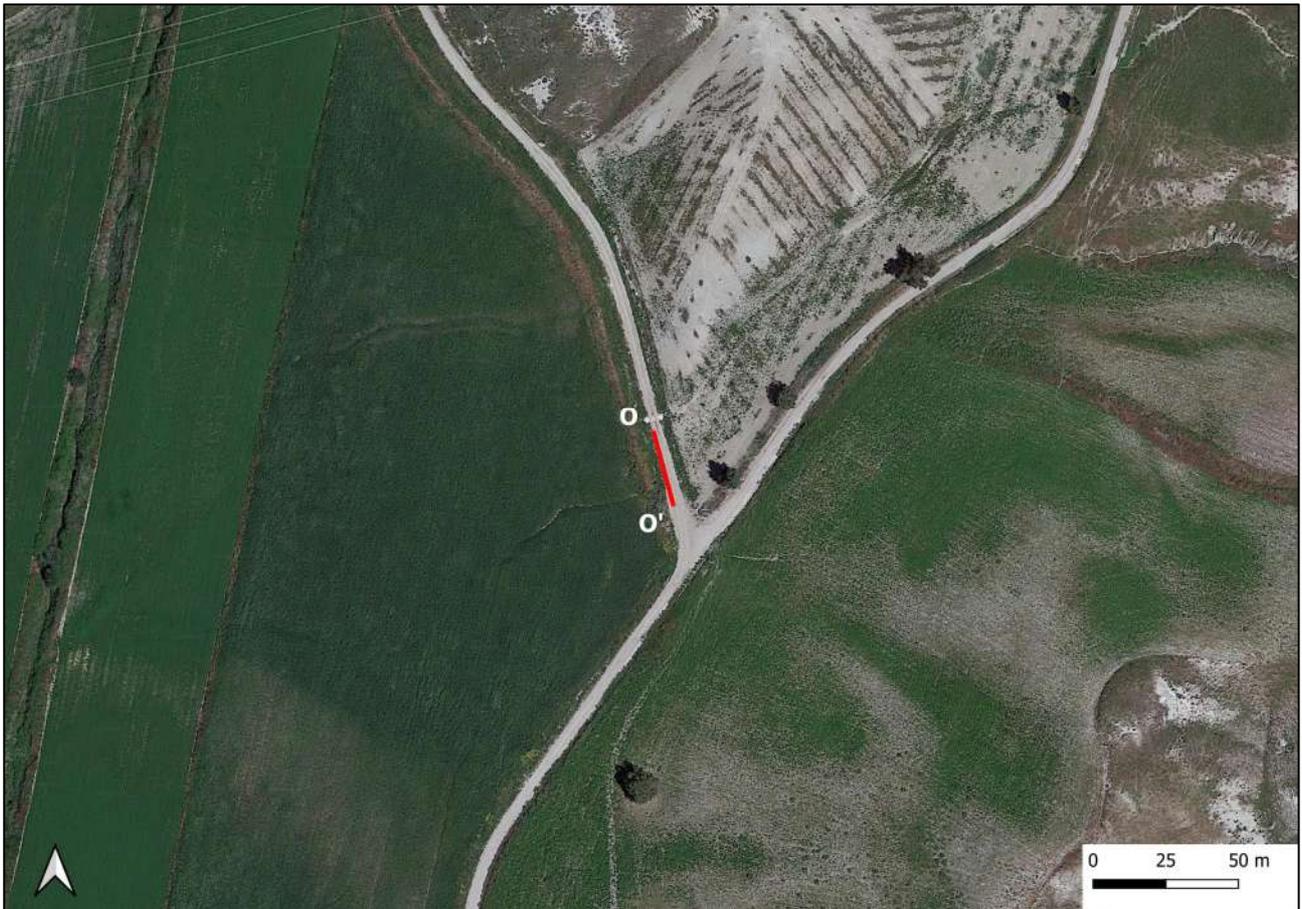


Fig. 24 – Ubicazione dello stendimento sismico OO' su Ortofoto

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).

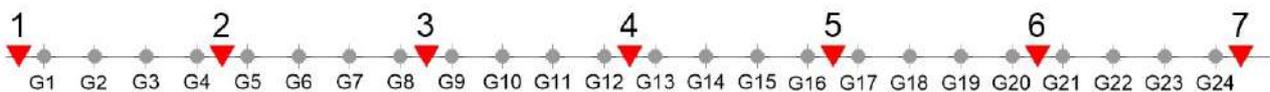


Fig.25 - Configurazione geometrica dello stendimento sismico a rifrazione OO'

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).

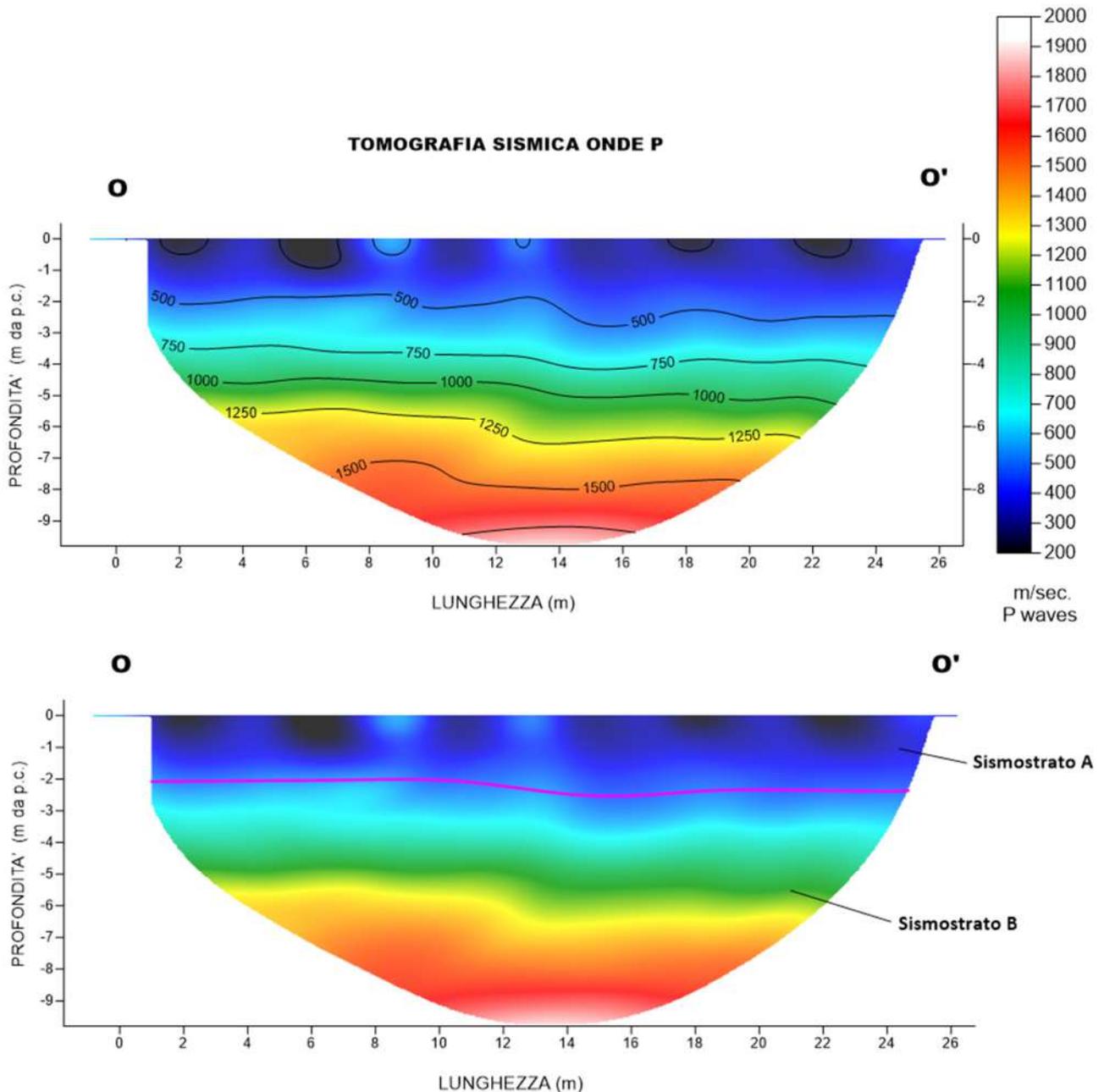


Fig. 26 – Sezione tomografica del profilo OO' (a). Interpretazione sezione tomografica (b)

Dal risultato dell'analisi sismica eseguita è possibile rilevare la presenza di **2 sismostrati** con differenti valori di velocità delle onde sismiche longitudinali P.

Nel primo sismostrato, che dal piano campagna si spinge fino ad una profondità di 2 metri, sono stati riscontrati valori di velocità di propagazione delle onde longitudinali P comprese tra 250 m/s e 500 m/s. Il secondo sismostrato invece, è caratterizzato da un incremento delle velocità delle onde P con la profondità, che raggiungono valori di circa 1750 m/s alle profondità indagate, ossia circa 10 metri di profondità dal piano campagna.

Assimilando le velocità sismiche riscontrate, alla geologia dell'area, è possibile assimilare i sedimenti del sismostrato A ad una coltre di argille marnose alterate e poco coese, mentre i sedimenti del sismostrato B, sono riferibili ad argille ma il cui grado di compattazione aumenta con la profondità.

5. ANALISI MASW

L'indagine geofisica è stata completata con l'esecuzione di n.8 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.27).

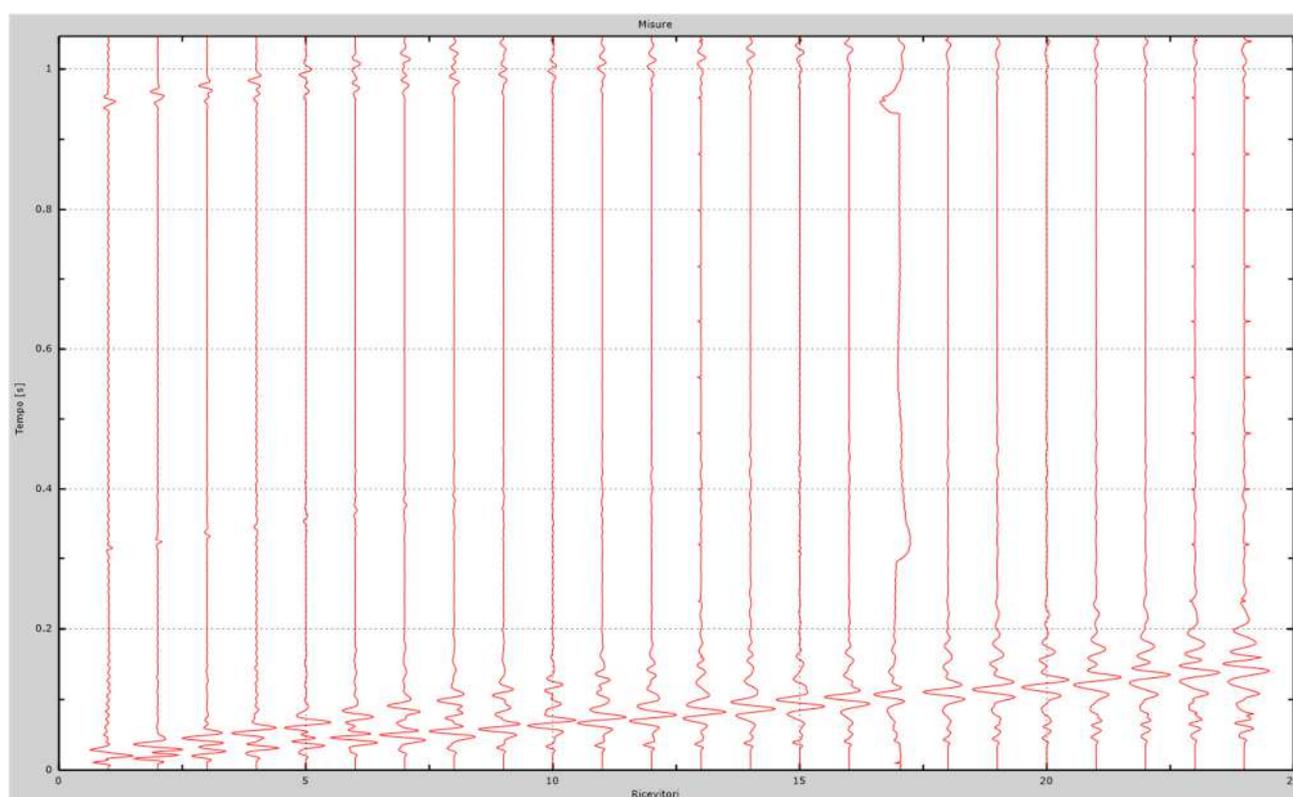


Fig. 27 – Sismogrammi dello scoppio considerato per l'analisi MASW del profilo AA'

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.28) e la curva di dispersione numerica corrispondente al modello di suolo assegnato (Fig.29). 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.30). 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.

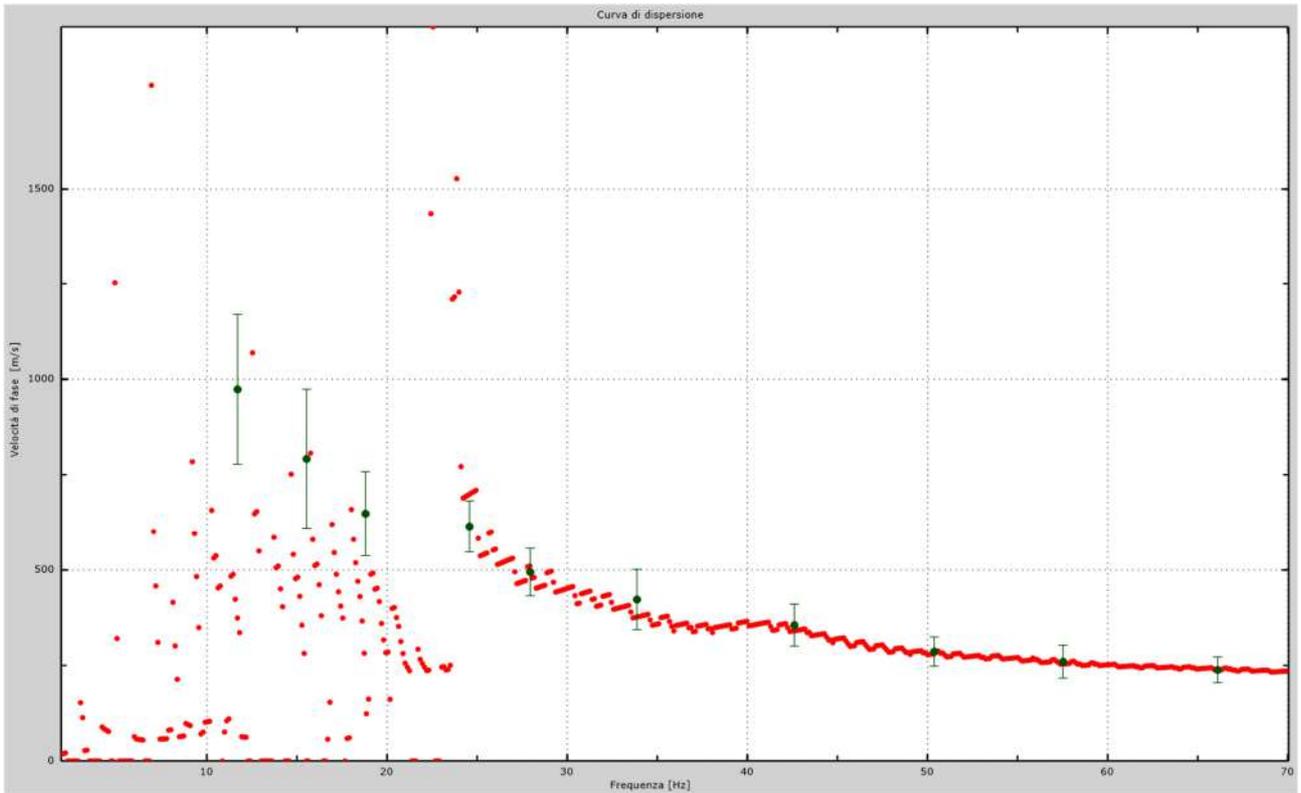


Fig.28 - Curva di dispersione sperimentale.

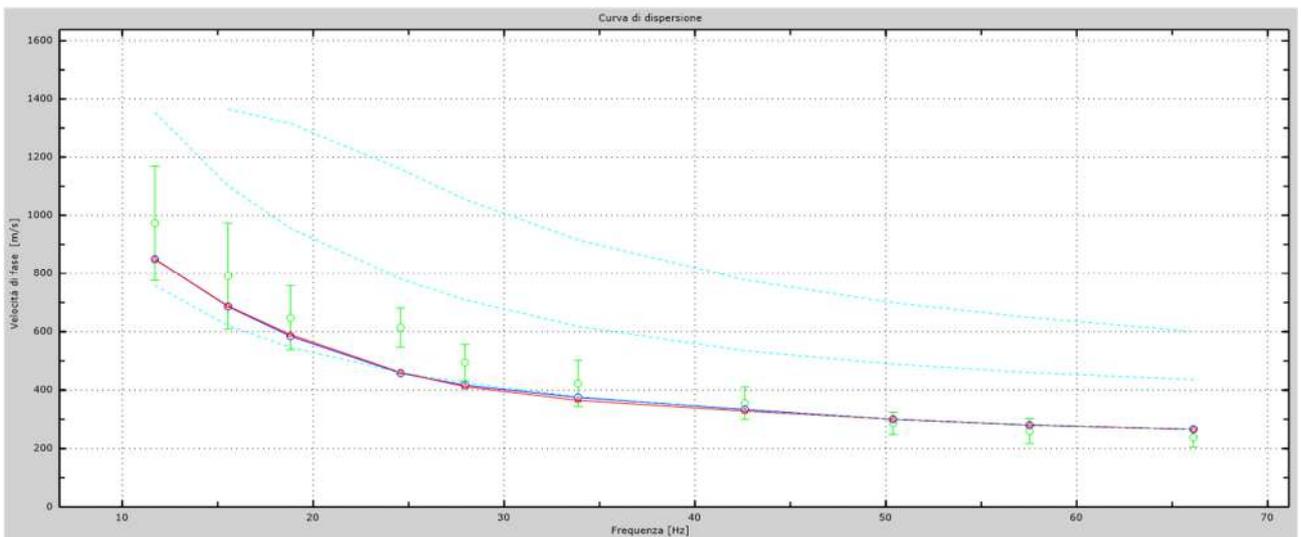


Fig.29 - Velocità numeriche – punti sperimentali (verde), modi di Rayleigh (ciano), curva apparente (blu), curva numerica (rosso).

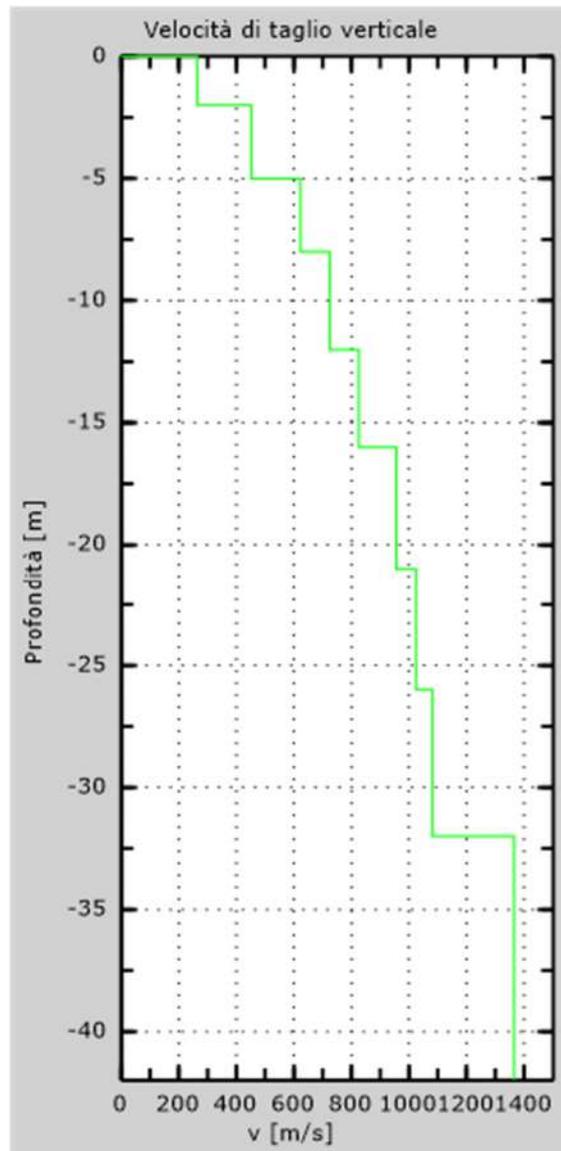


Fig. 30 - Profilo Vs – calcolato a partire dall'attuale p.c.

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.31).

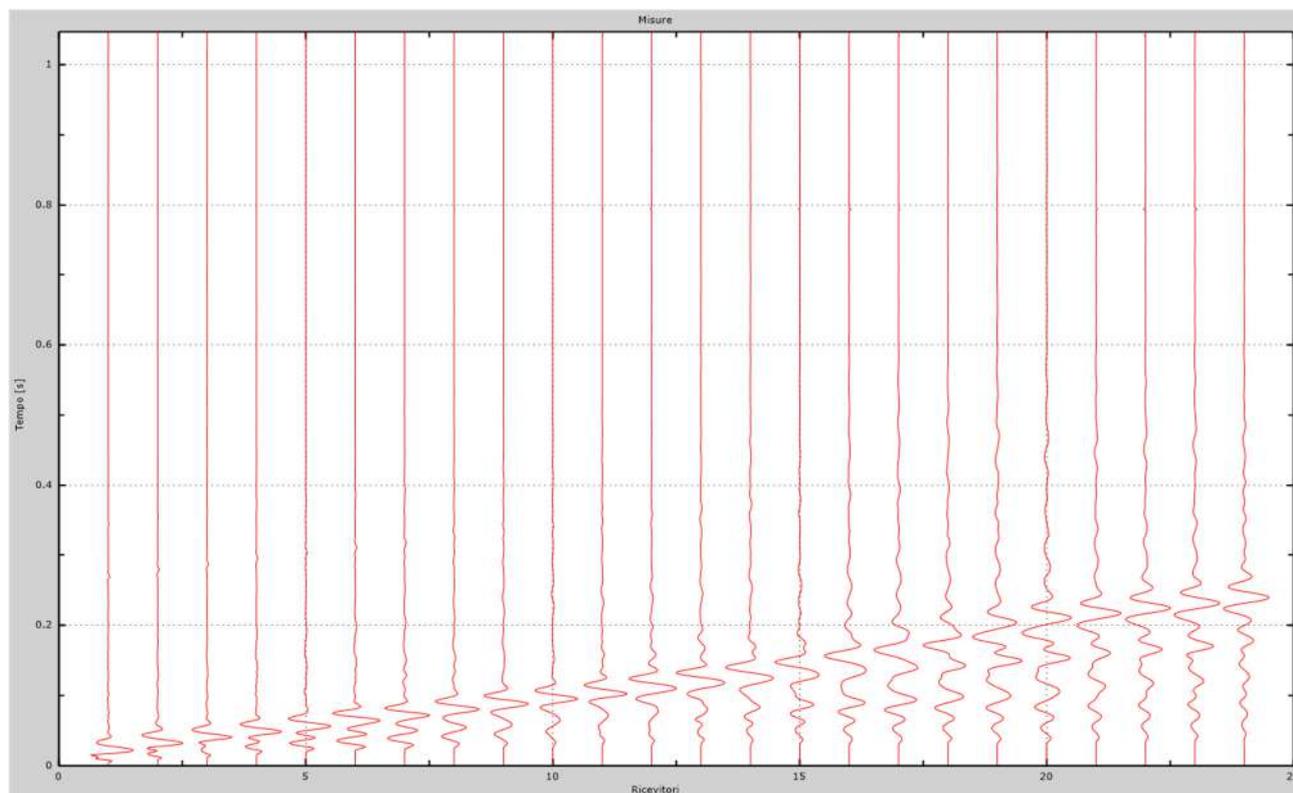


Fig. 31 – Sismogrammi dello scoppio considerato per l'analisi MASW del profilo BB'

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.32) e la curva di dispersione numerica corrispondente al modello di suolo assegnato (Fig.33). 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.34). 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.

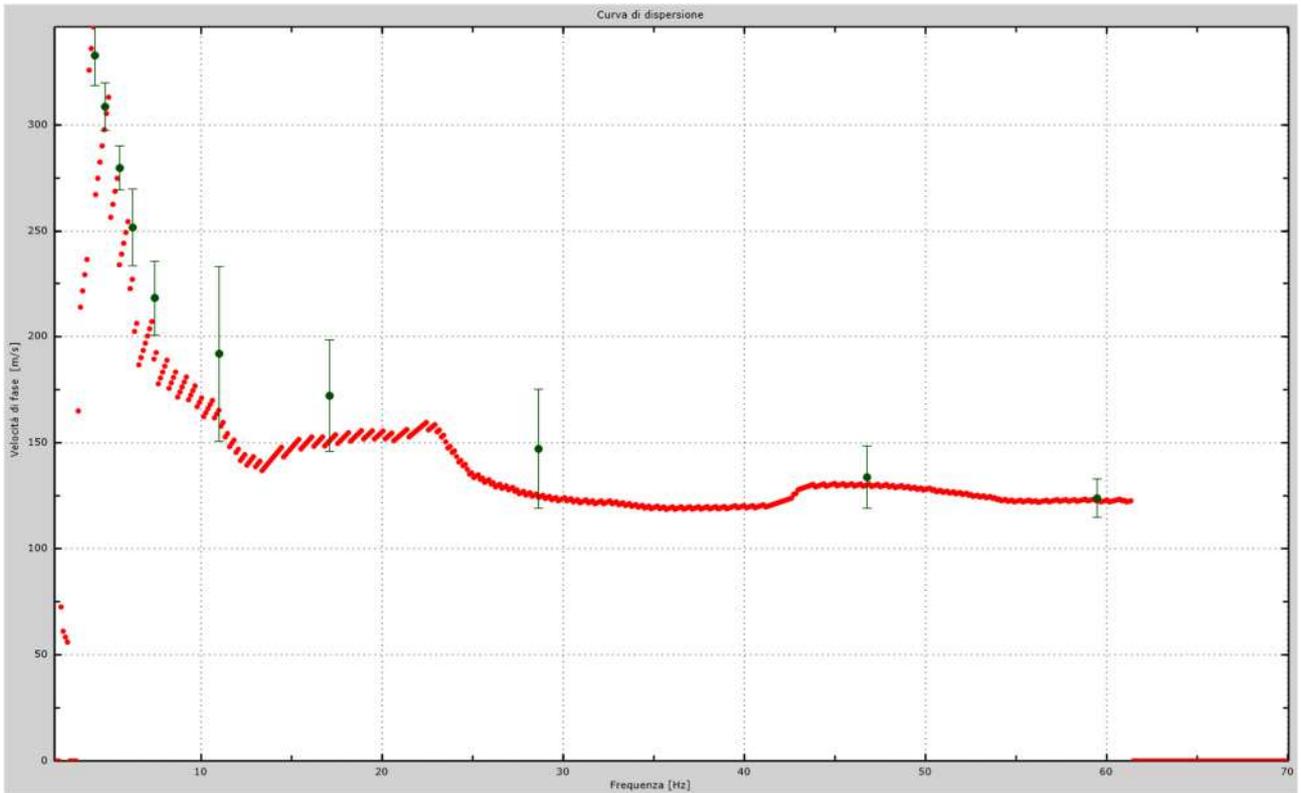


Fig.32 - Curva di dispersione sperimentale.

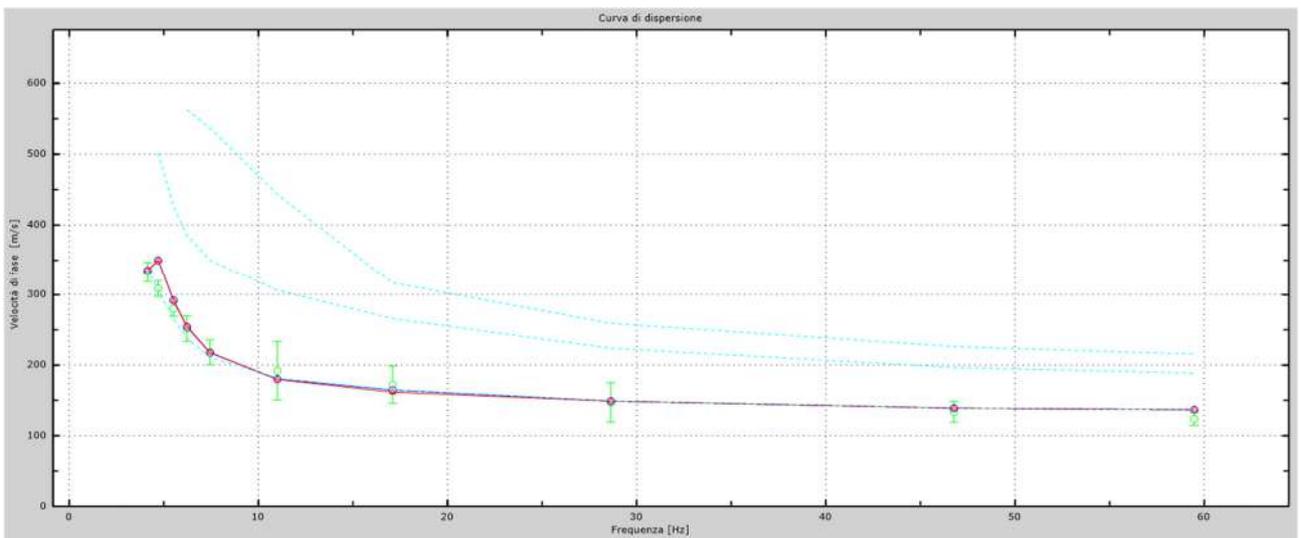


Fig.33 - Velocità numeriche – punti sperimentali (verde), modi di Rayleigh (ciano), curva apparente (blu), curva numerica (rosso).

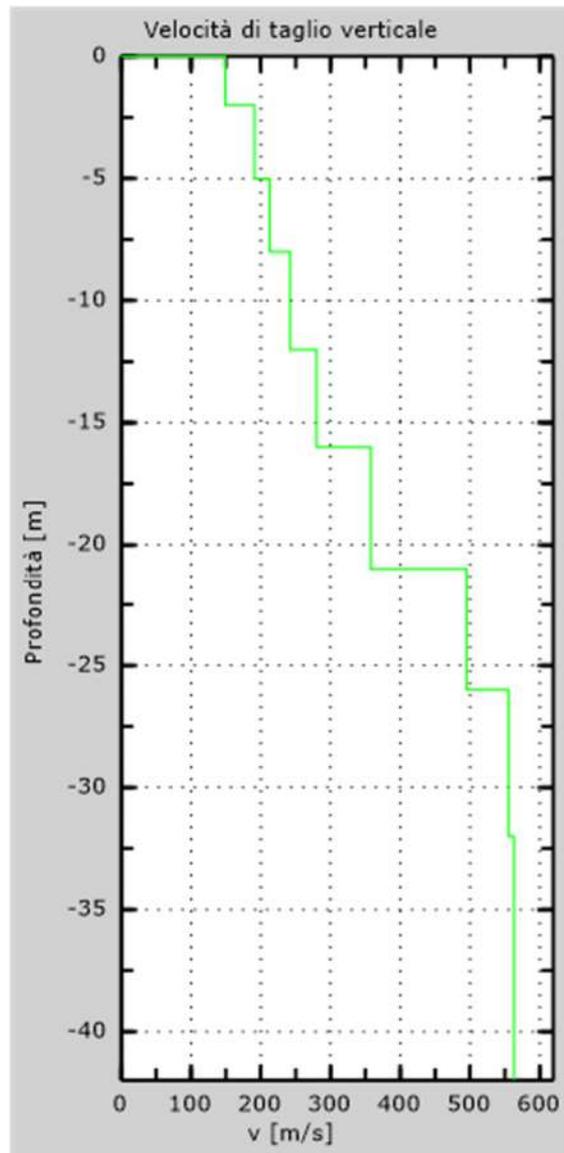


Fig. 34 - Profilo Vs – calcolato a partire dall'attuale p.c.

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.35).

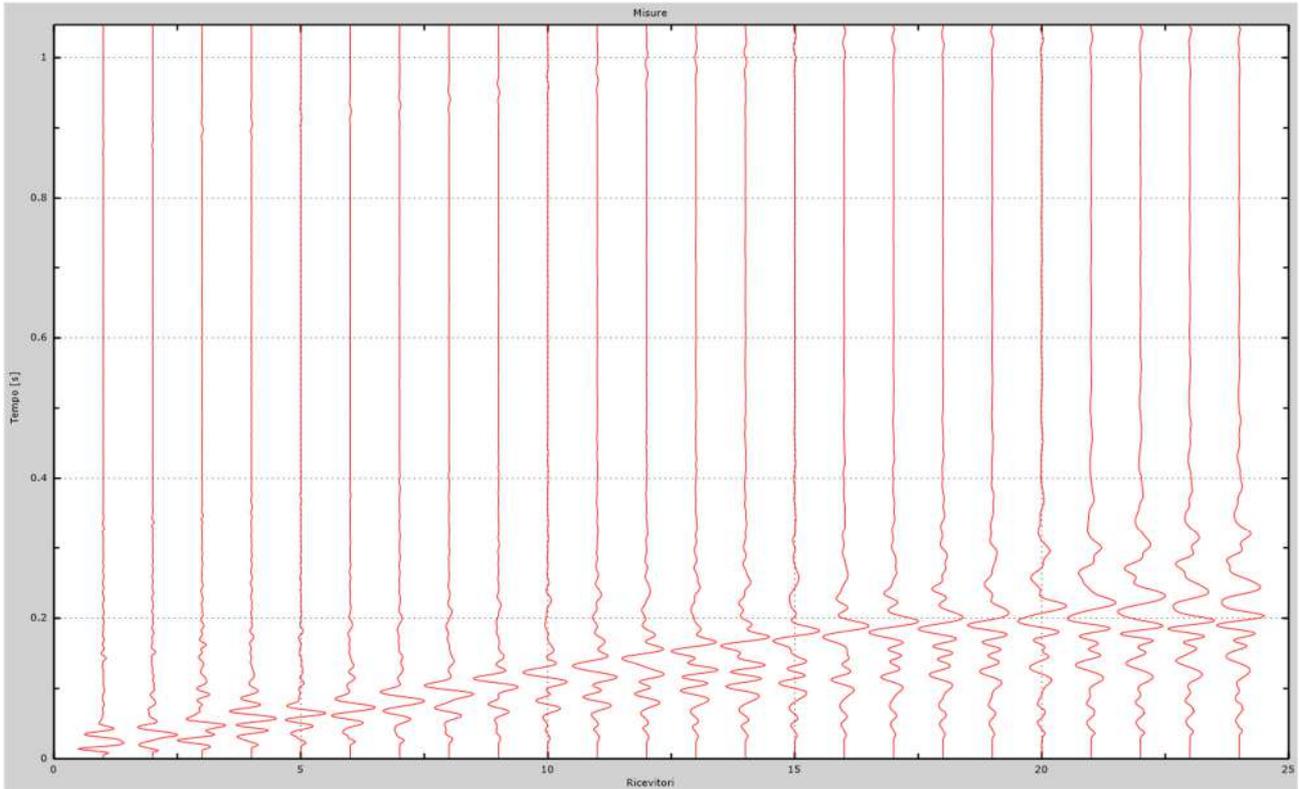


Fig. 35 – Sismogrammi dello scoppio considerato per l'analisi MASW del profilo CC'

L'individuazione del profilo Vs in funzione della profondità è stato desunto individuando la differenza (errore massimo) tra la curva di dispersione sperimentale (Fig.36) e la curva di dispersione numerica corrispondente al modello di suolo assegnato (Fig.37). 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.38). 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.

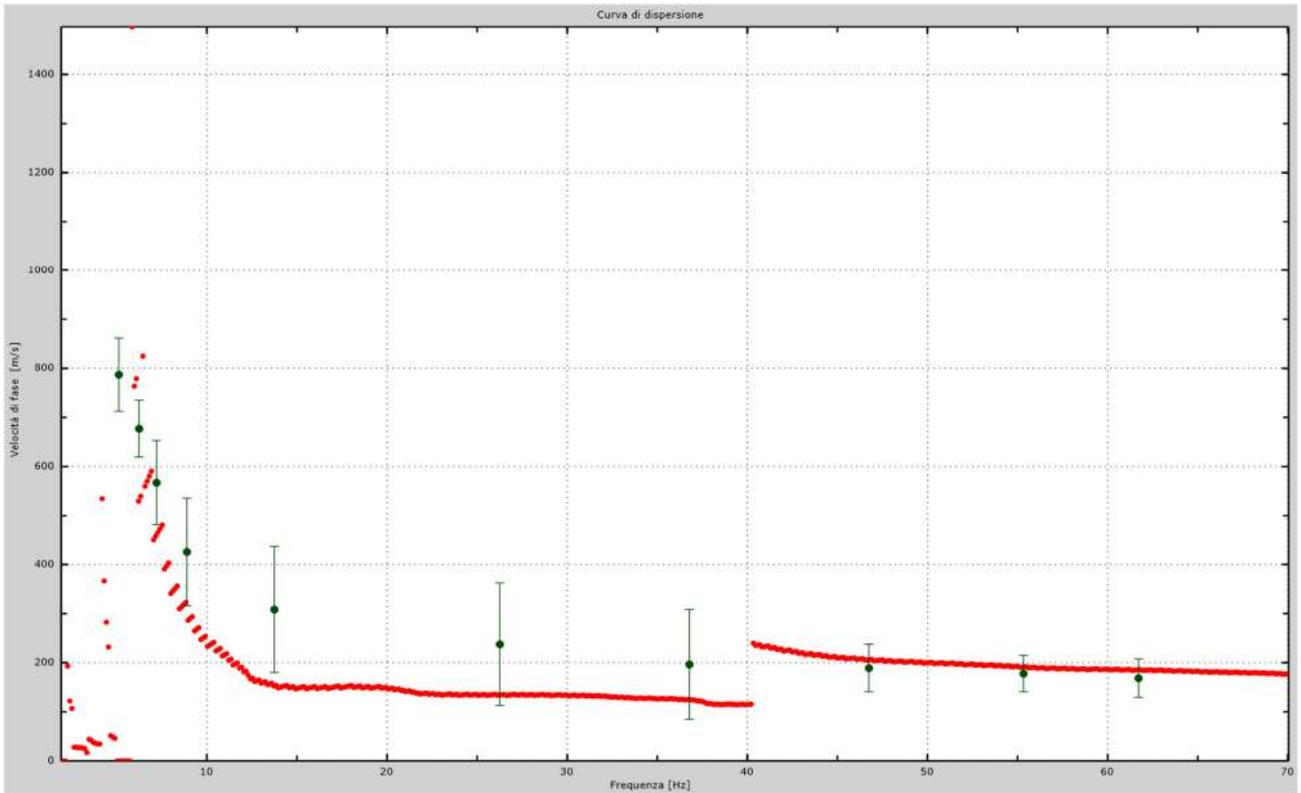


Fig.36 - Curva di dispersione sperimentale.

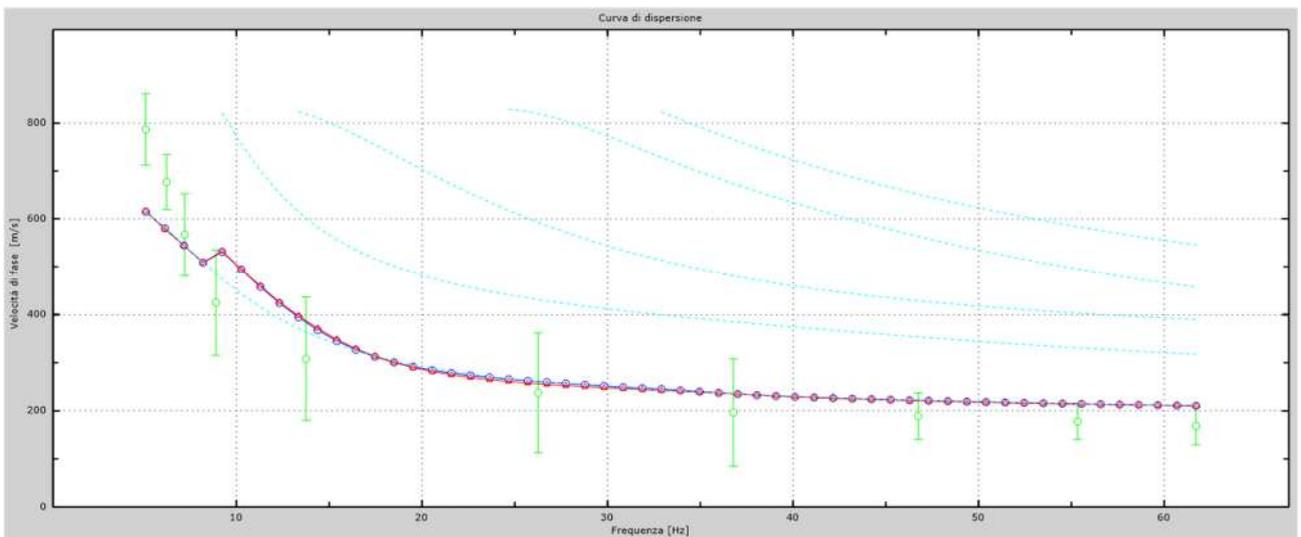


Fig.37 - Velocità numeriche – punti sperimentali (verde), modi di Rayleigh (ciano), curva apparente (blu), curva numerica (rosso).

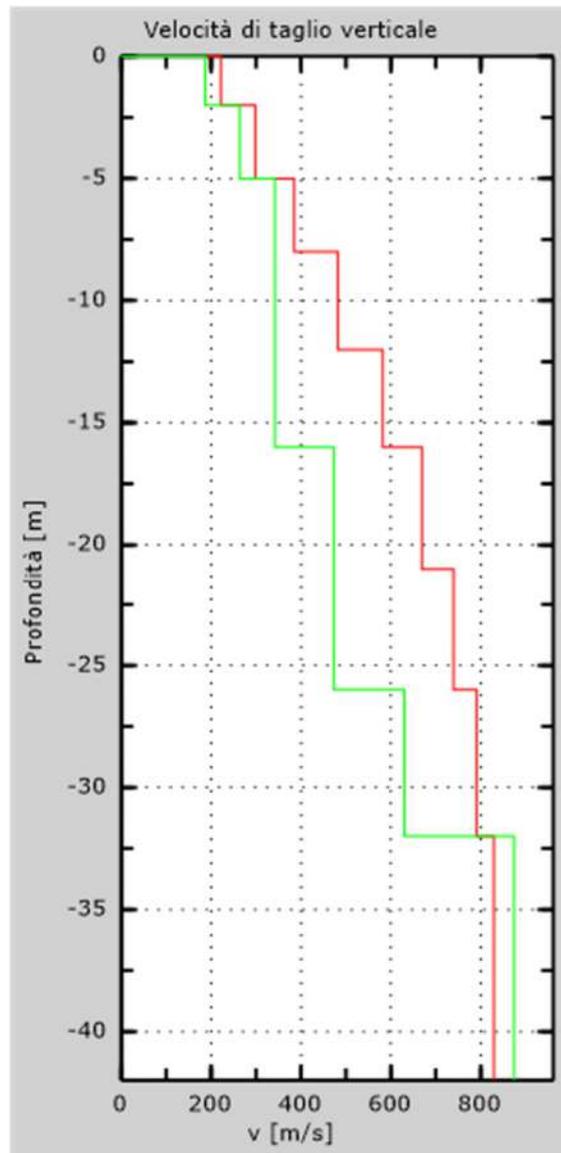


Fig. 38 - Profilo Vs – calcolato a partire dall'attuale p.c.

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.39).

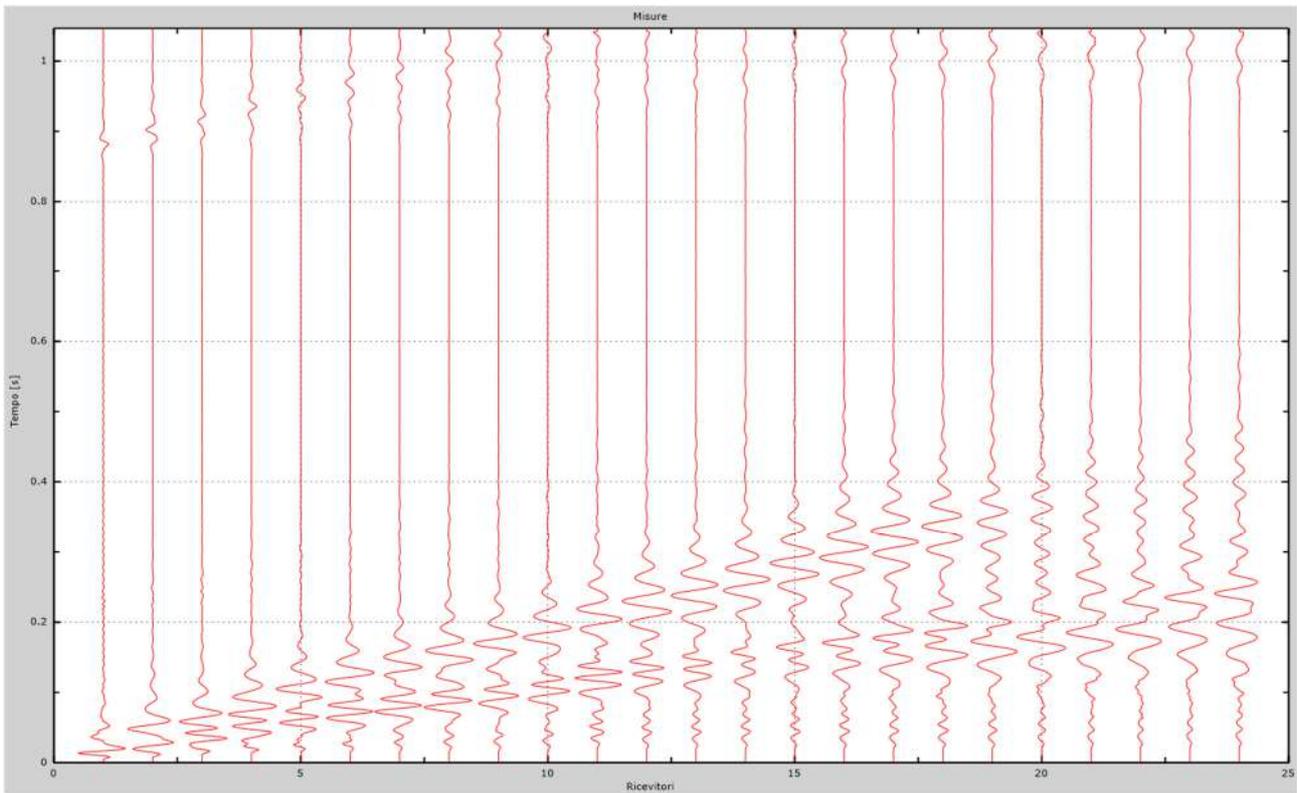


Fig. 39 – Sismogrammi dello scoppio considerato per l'analisi MASW del profilo DD'

L'individuazione del profilo Vs in funzione della profondità è stato desunto individuando la differenza (errore massimo) tra la curva di dispersione sperimentale (Fig.40) e la curva di dispersione numerica corrispondente al modello di suolo assegnato (Fig.41). 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.42). 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.

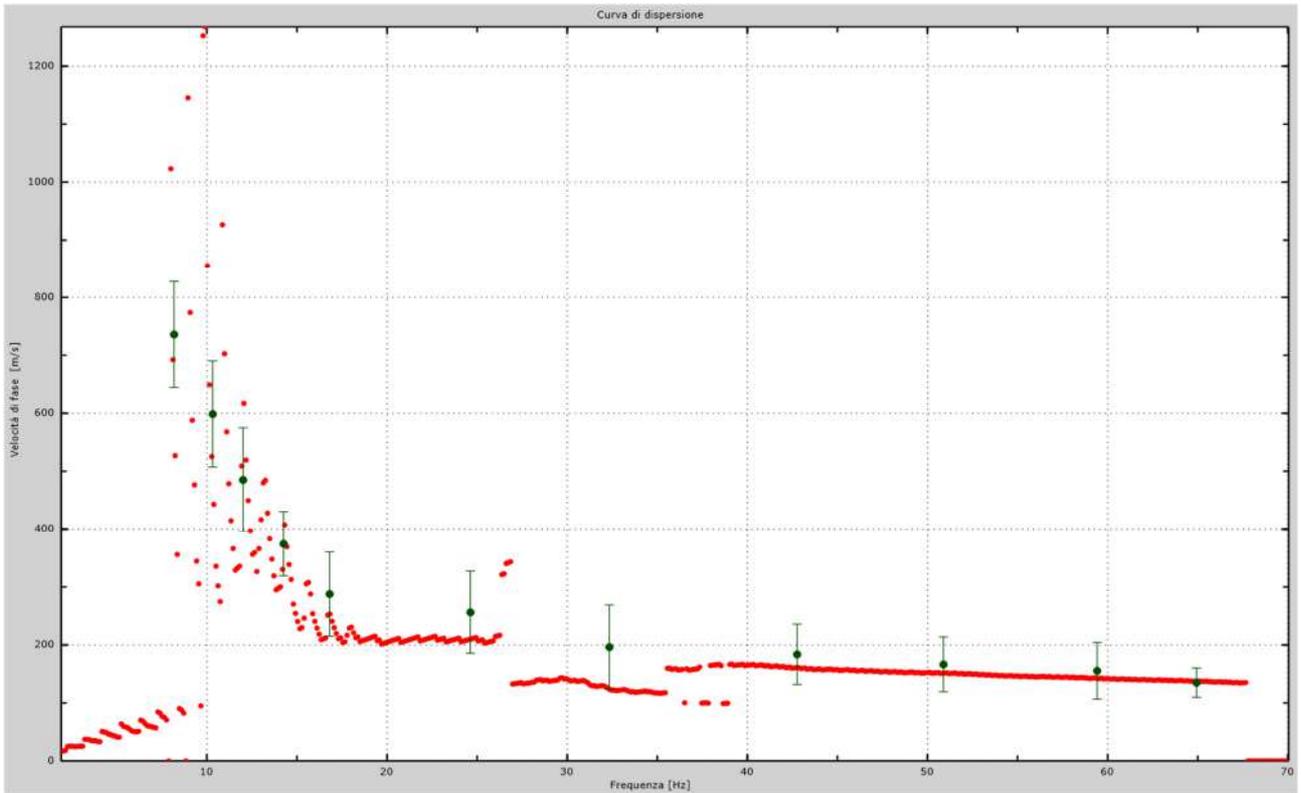


Fig.40 - Curva di dispersione sperimentale.

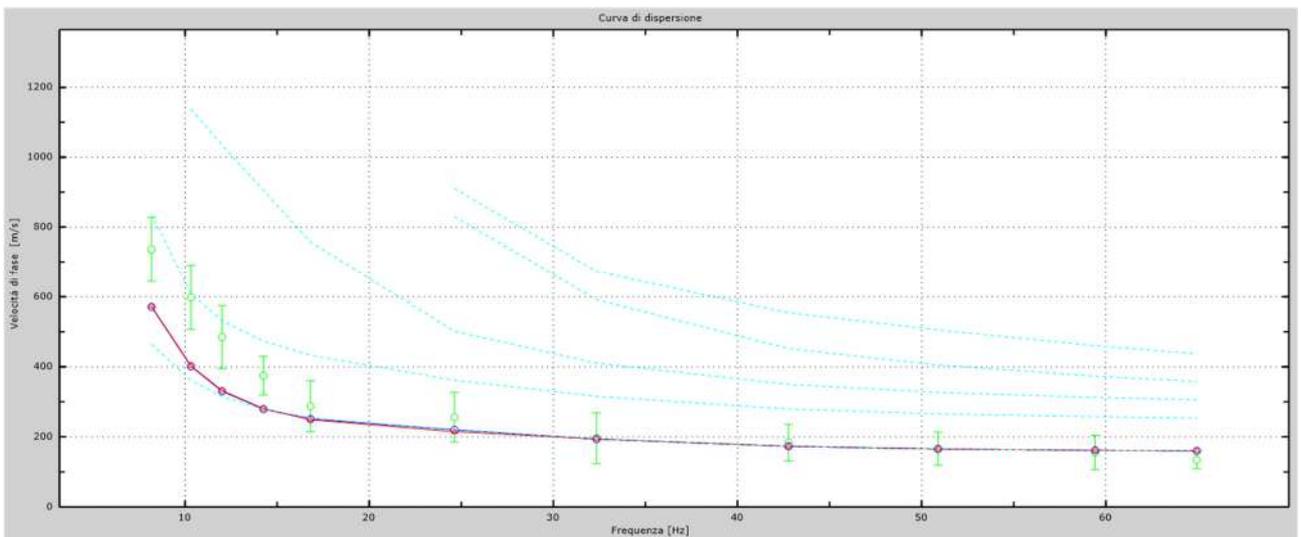


Fig.41 - Velocità numeriche – punti sperimentali (verde), modi di Rayleigh (ciano), curva apparente (blu), curva numerica (rosso).

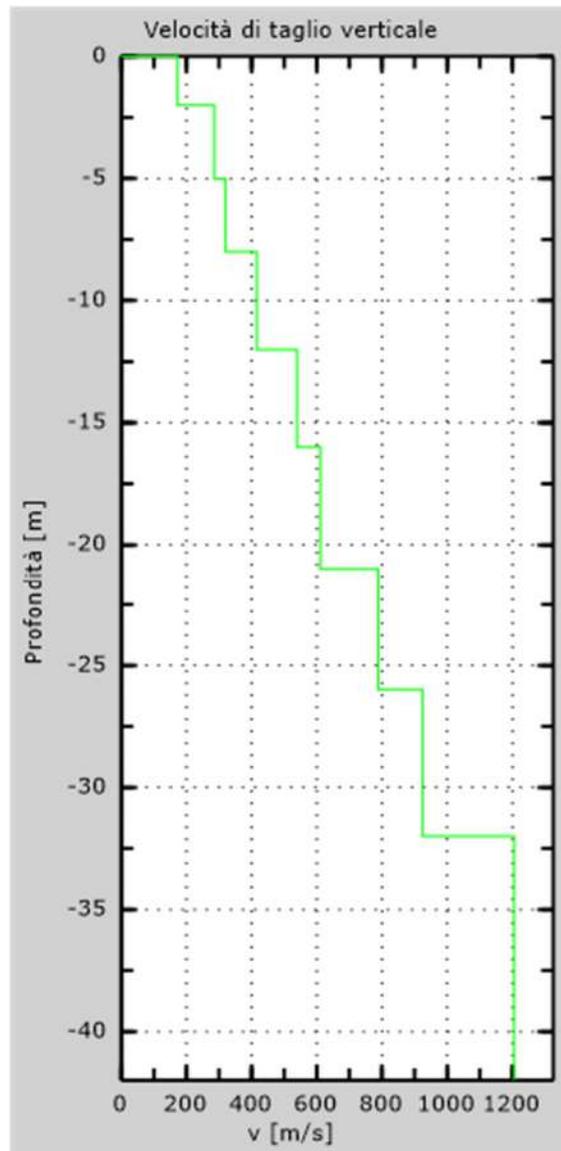


Fig. 42 - Profilo Vs – calcolato a partire dall'attuale p.c.

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.43).

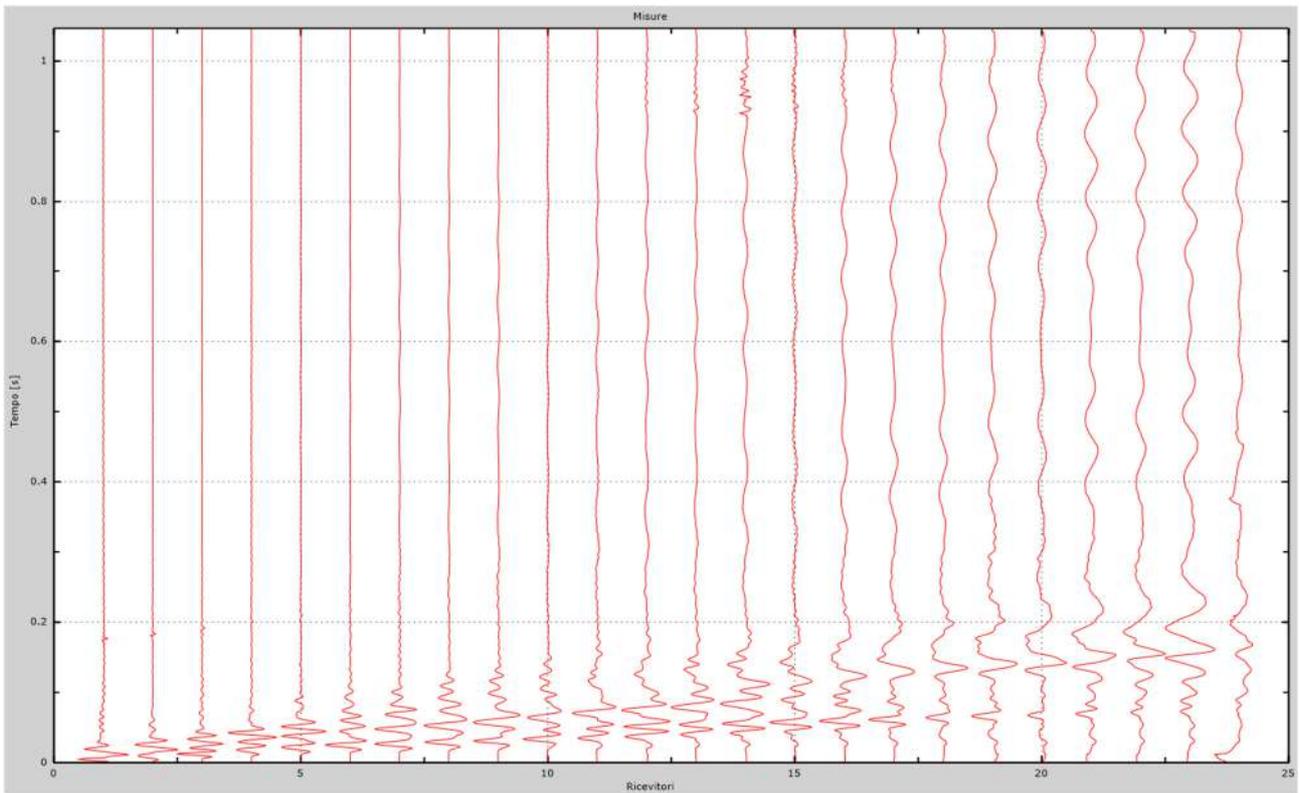


Fig. 43 – Sismogrammi dello scoppio considerato per l'analisi MASW del profilo EE'

L'individuazione del profilo Vs in funzione della profondità è stato desunto individuando la differenza (errore massimo) tra la curva di dispersione sperimentale (Fig.44) e la curva di dispersione numerica corrispondente al modello di suolo assegnato (Fig.45). 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.46). 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.

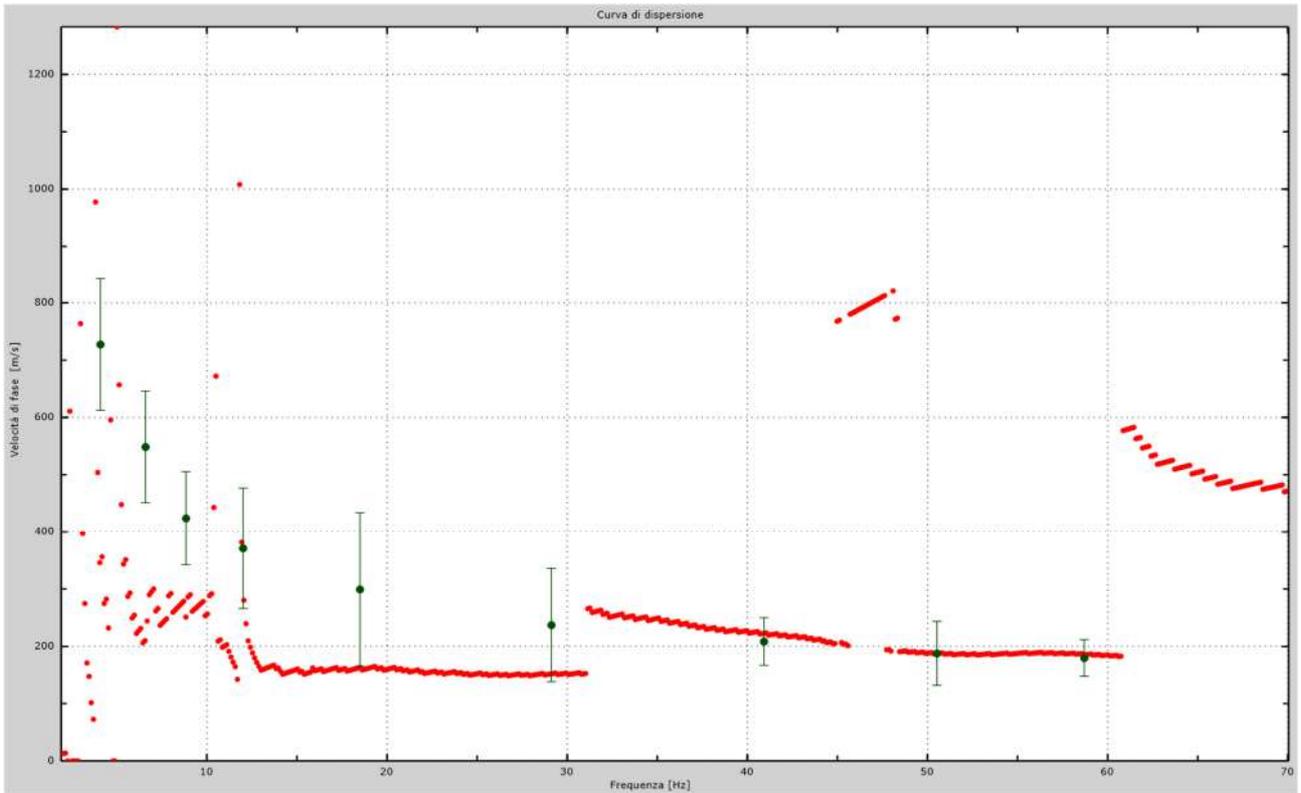


Fig.44 - Curva di dispersione sperimentale.

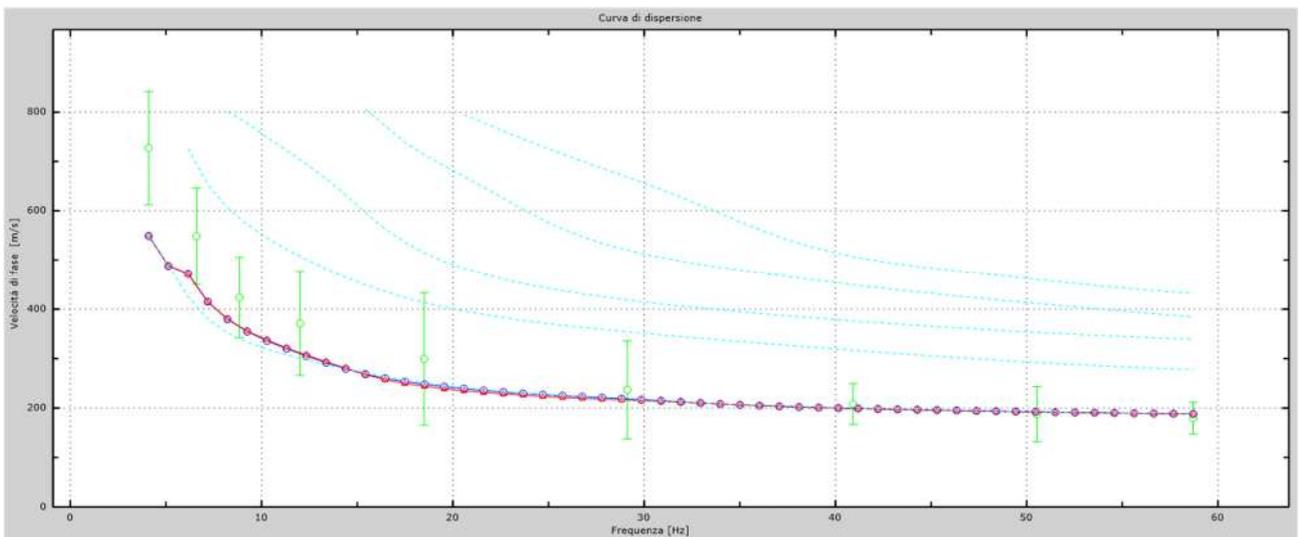


Fig.45 - Velocità numeriche – punti sperimentali (verde), modi di Rayleigh (ciano), curva apparente (blu), curva numerica (rosso).

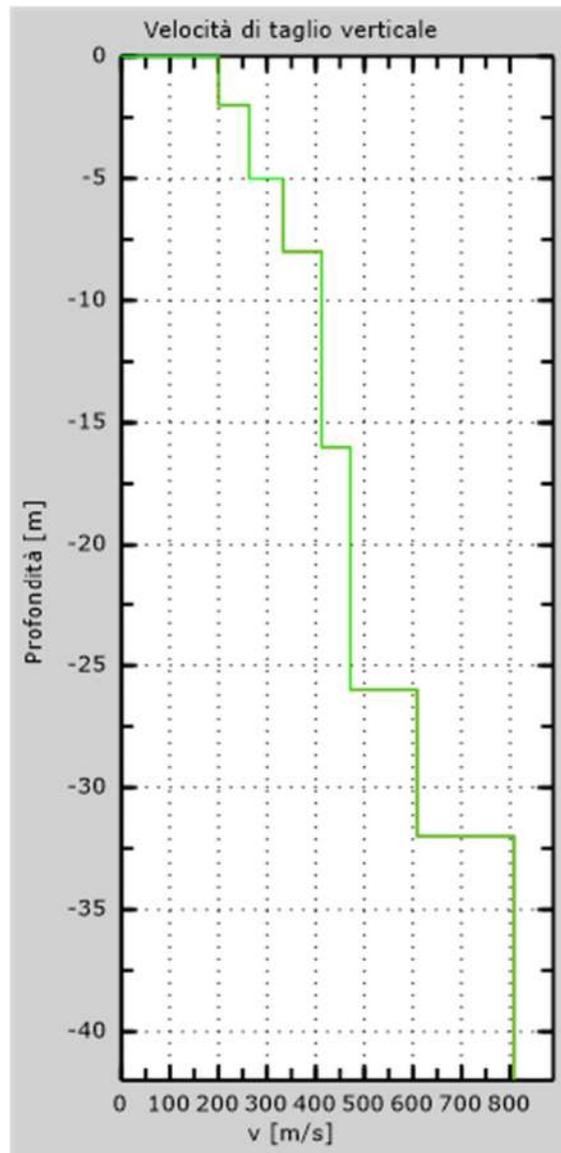


Fig. 46 - Profilo Vs – calcolato a partire dall'attuale p.c.

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.47).

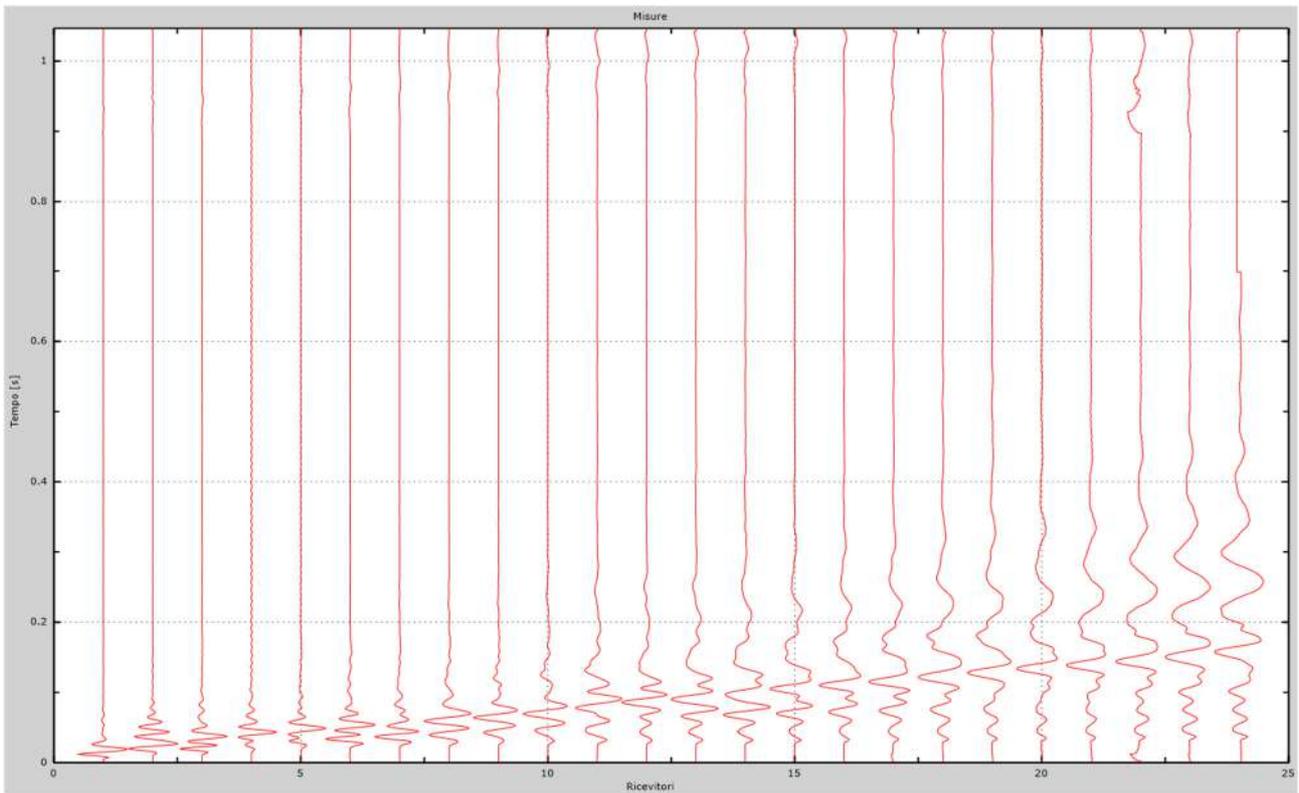


Fig. 47 – Sismogrammi dello scoppio considerato per l'analisi MASW del profilo FF'

L'individuazione del profilo Vs in funzione della profondità è stato desunto individuando la differenza (errore massimo) tra la curva di dispersione sperimentale (Fig.48) e la curva di dispersione numerica corrispondente al modello di suolo assegnato (Fig.49). 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.50). 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.

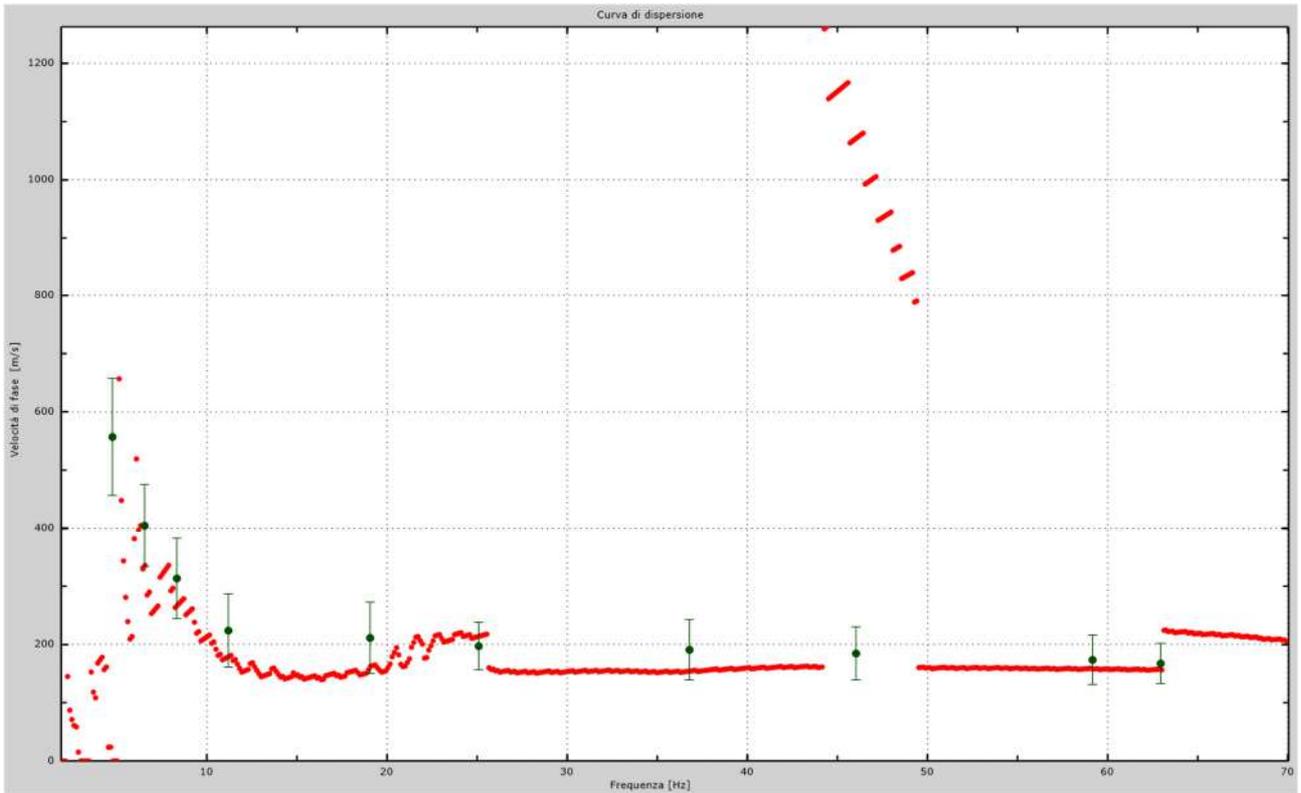


Fig.48 - Curva di dispersione sperimentale.

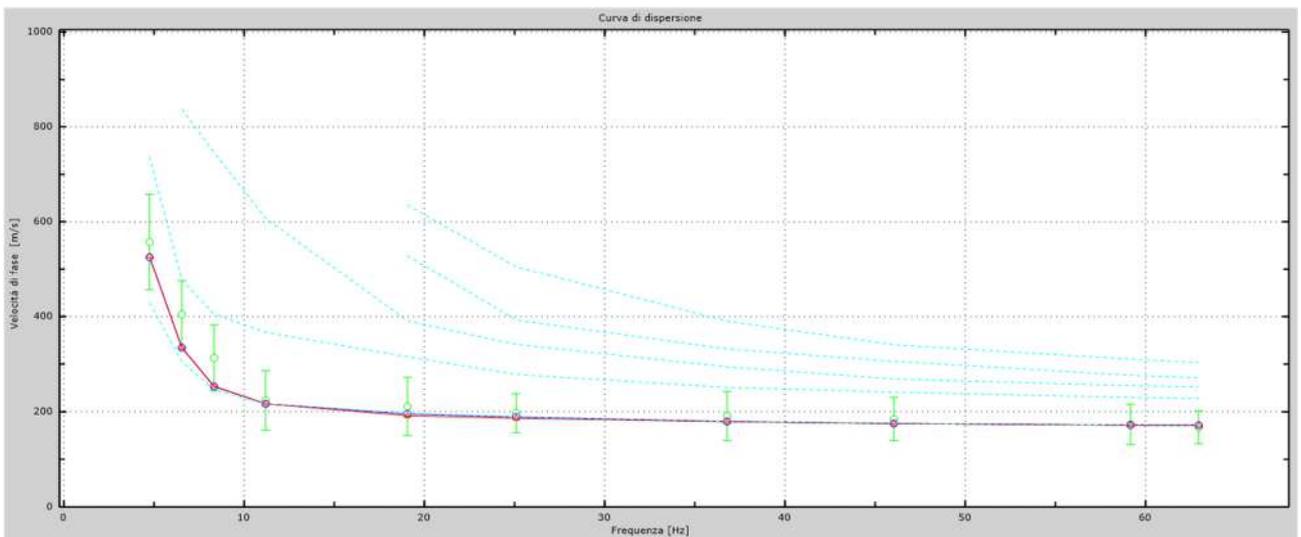


Fig.49 - Velocità numeriche – punti sperimentali (verde), modi di Rayleigh (ciano), curva apparente (blu), curva numerica (rosso).

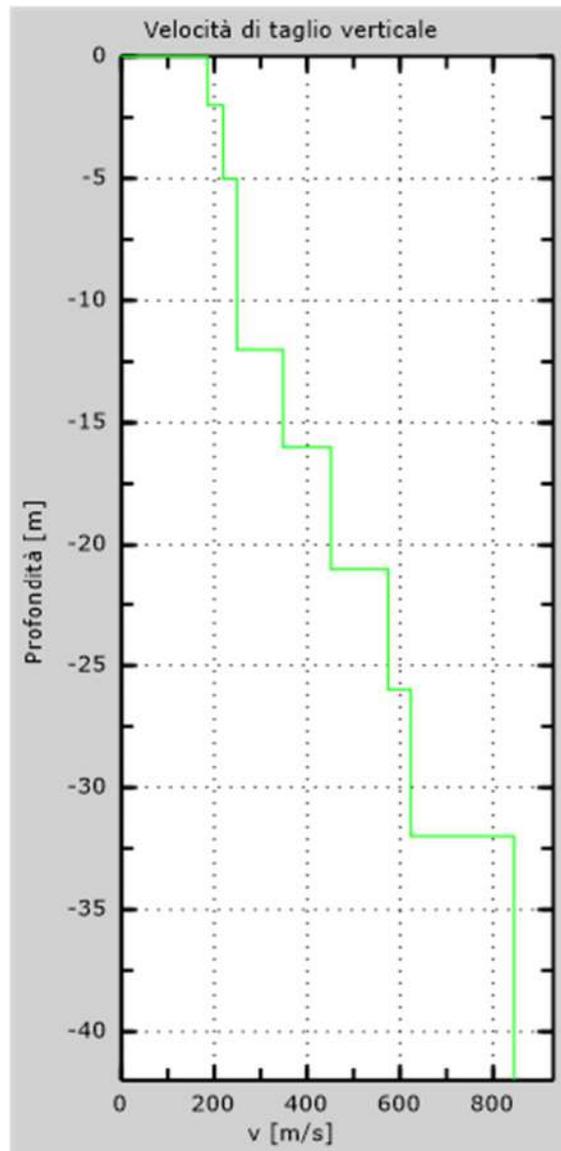


Fig. 50 - Profilo VS – calcolato a partire dall'attuale p.c.

5.7 Stendimento sismico QQ': 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.51).

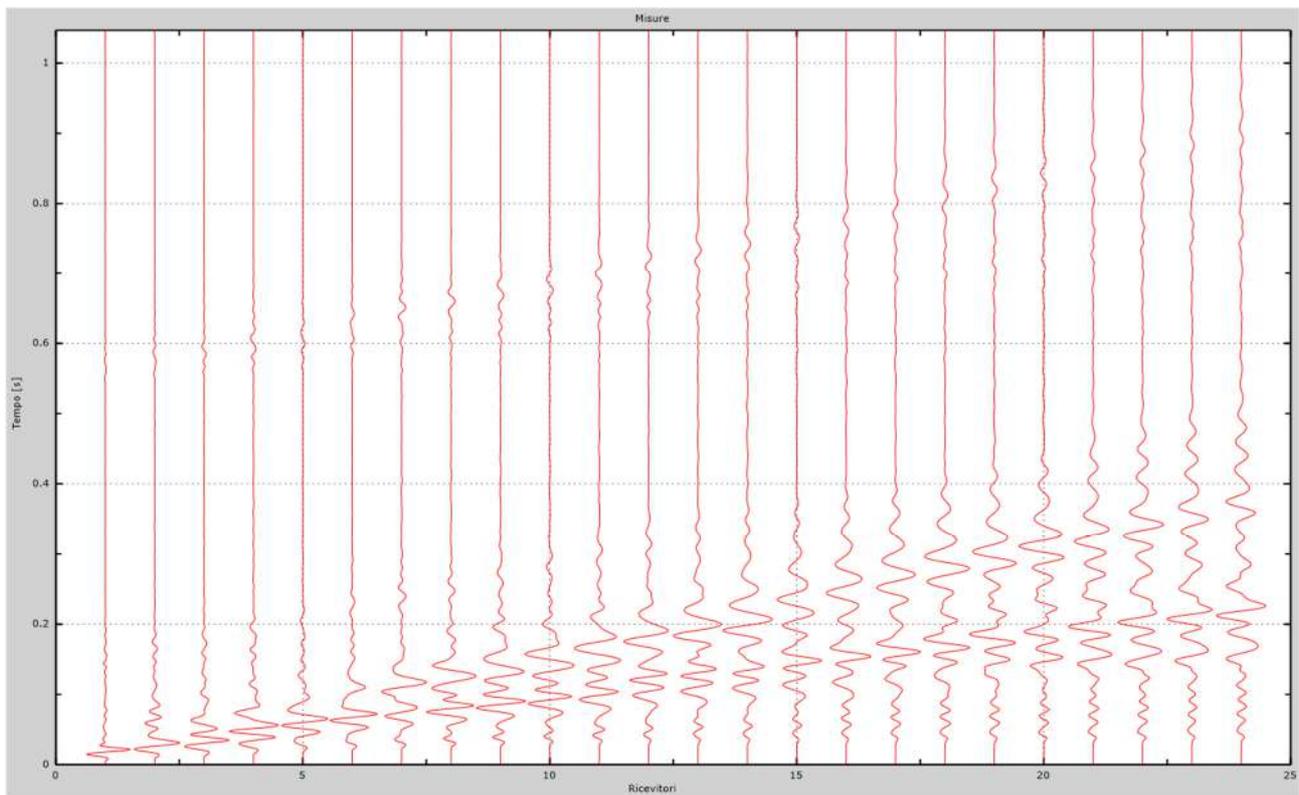


Fig. 51 – Sismogrammi dello scoppio considerato per l'analisi MASW del profilo QQ'

L'individuazione del profilo Vs in funzione della profondità è stato desunto individuando la differenza (errore massimo) tra la curva di dispersione sperimentale (Fig.52) e la curva di dispersione numerica corrispondente al modello di suolo assegnato (Fig.53). 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.54). 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.

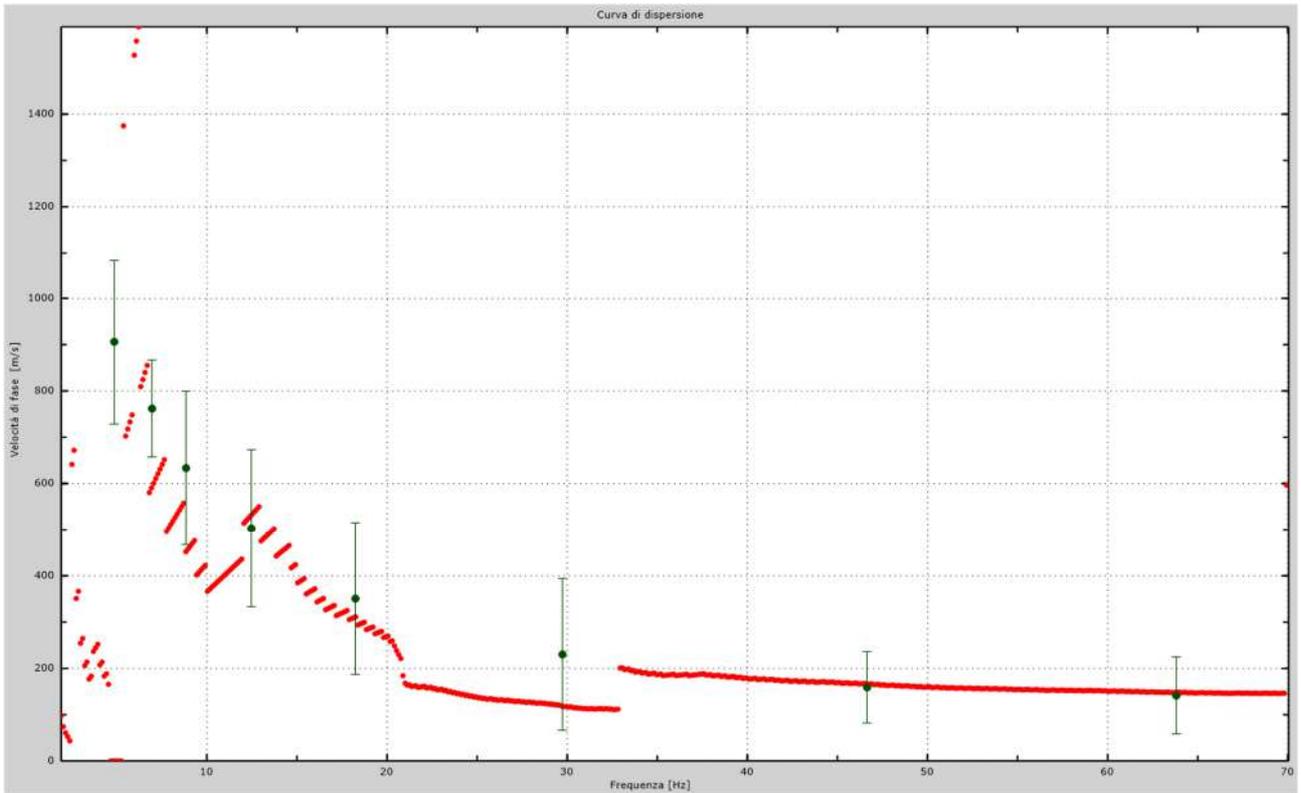


Fig.52 - Curva di dispersione sperimentale.

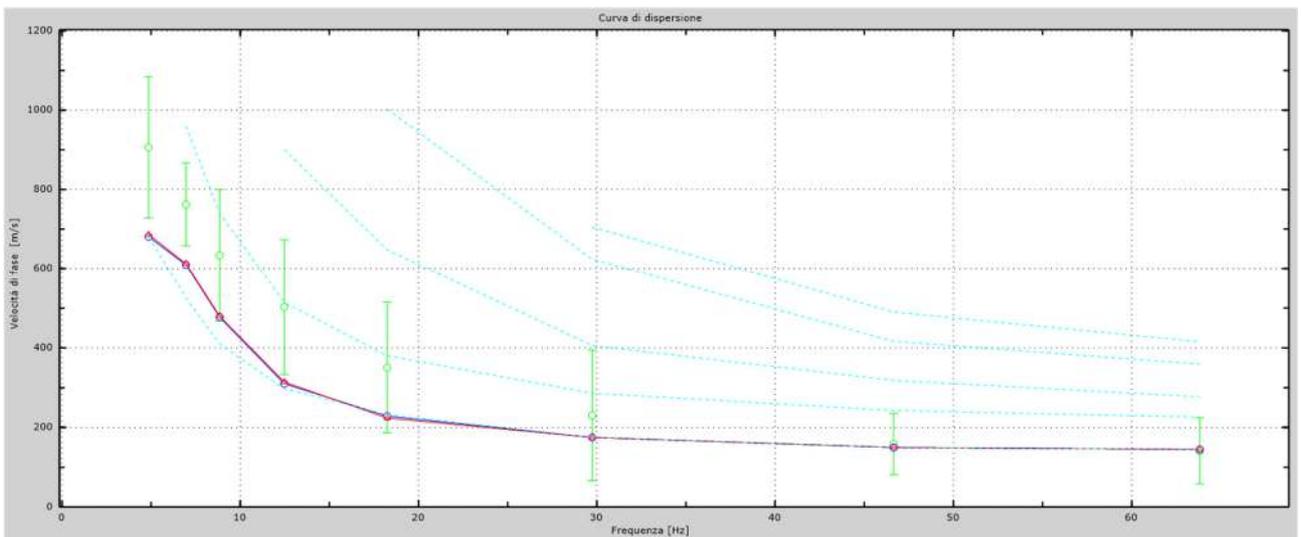


Fig.53 - Velocità numeriche – punti sperimentali (verde), modi di Rayleigh (ciano), curva apparente (blu), curva numerica (rosso).

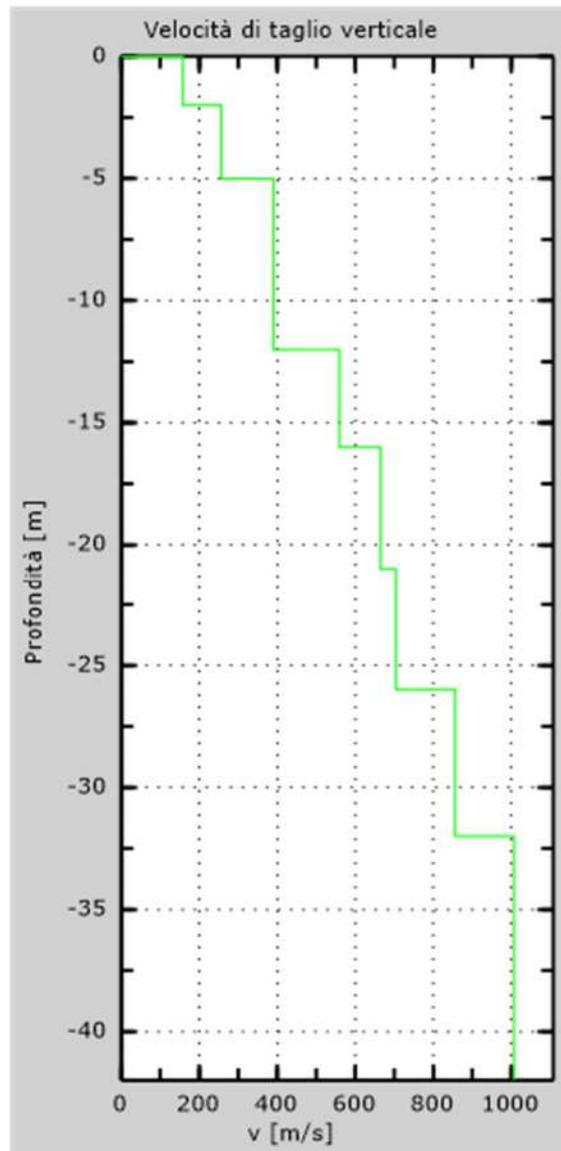


Fig. 54 - Profilo VS – calcolato a partire dall'attuale p.c.

5.8 Stendimento sismico 00': 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.55).

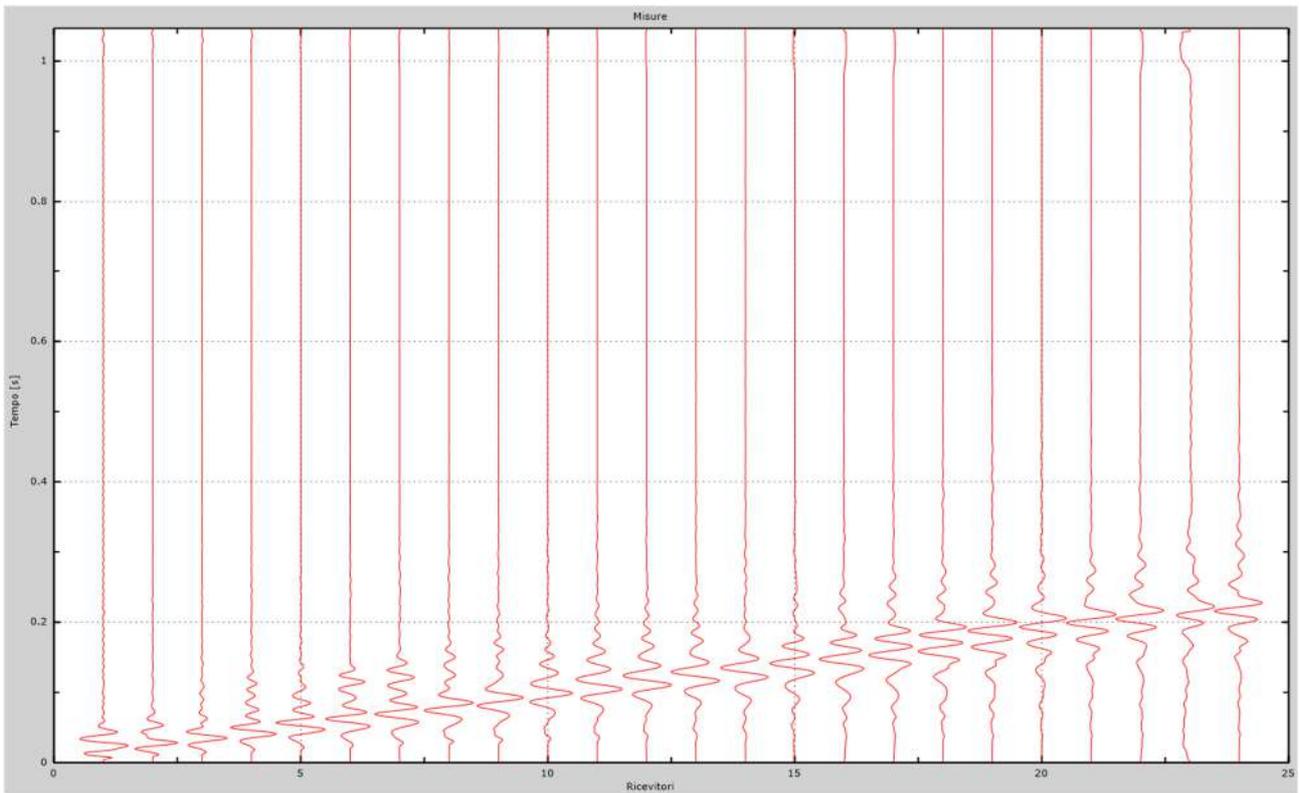


Fig. 55 – Sismogrammi dello scoppio considerato per l'analisi MASW del profilo OO'

L'individuazione del profilo Vs in funzione della profondità è stato desunto individuando la differenza (errore massimo) tra la curva di dispersione sperimentale (Fig.56) e la curva di dispersione numerica corrispondente al modello di suolo assegnato (Fig.57). 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.58). 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.

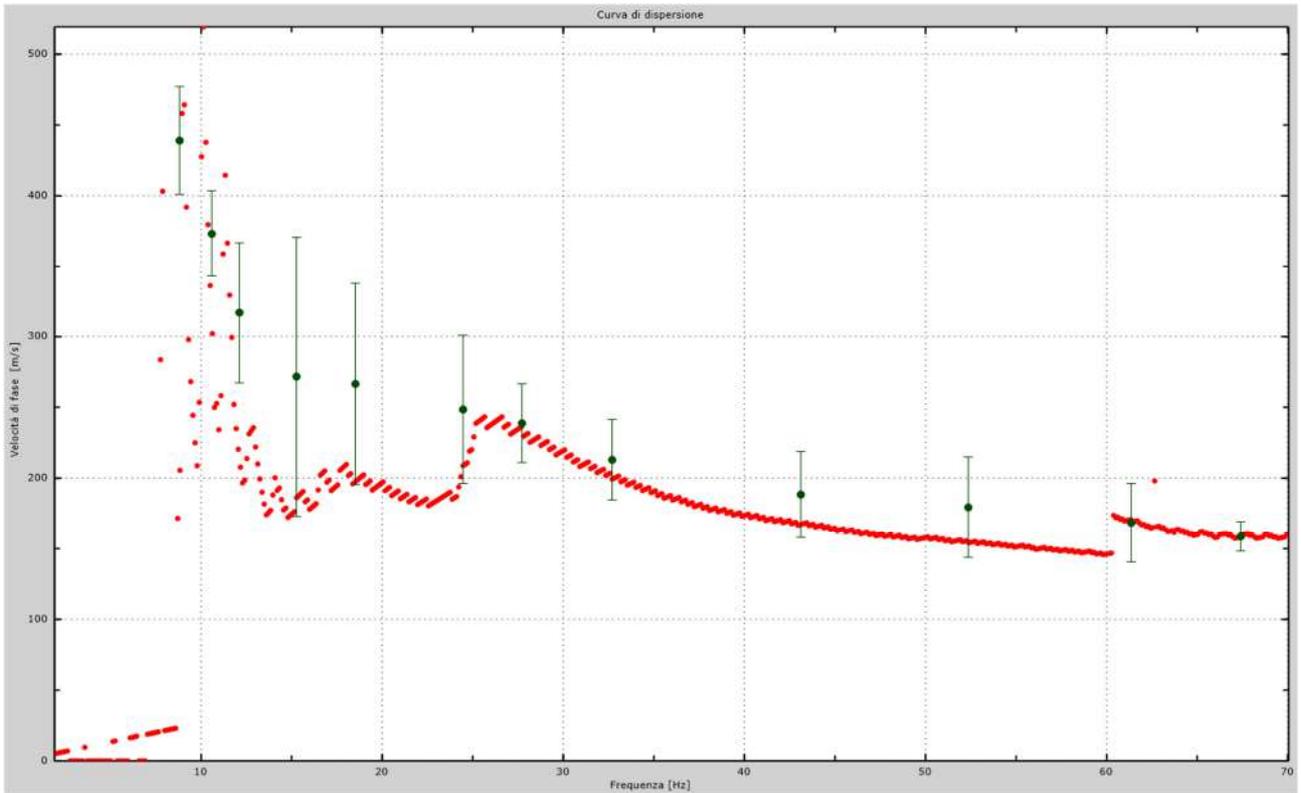


Fig.56 - Curva di dispersione sperimentale.

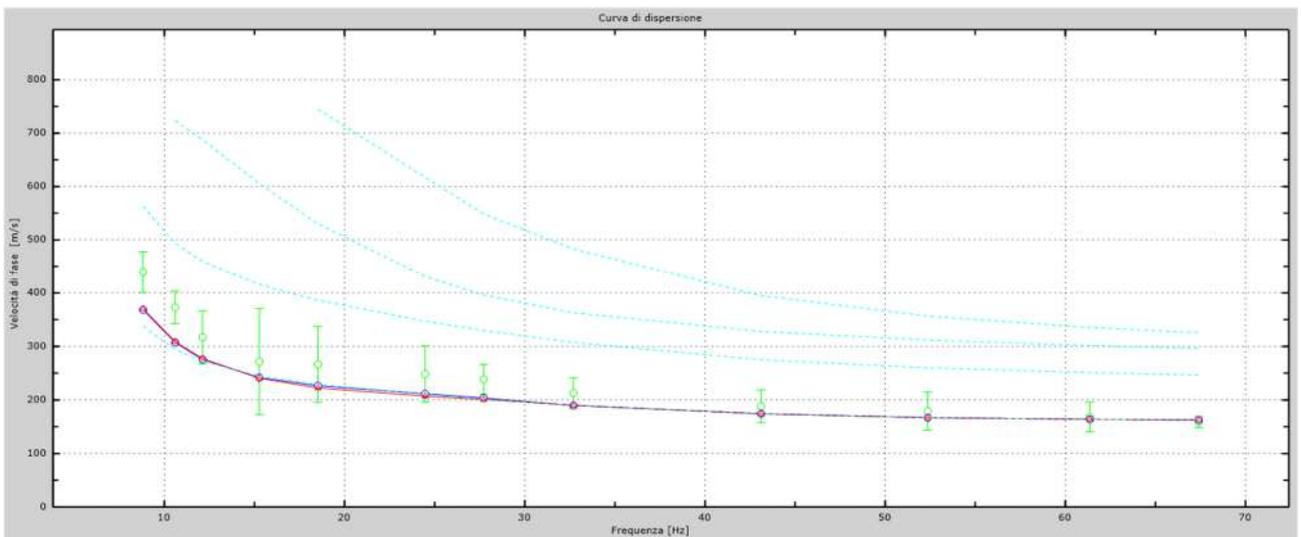


Fig.57 - Velocità numeriche – punti sperimentali (verde), modi di Rayleigh (ciano), curva apparente (blu), curva numerica (rosso).

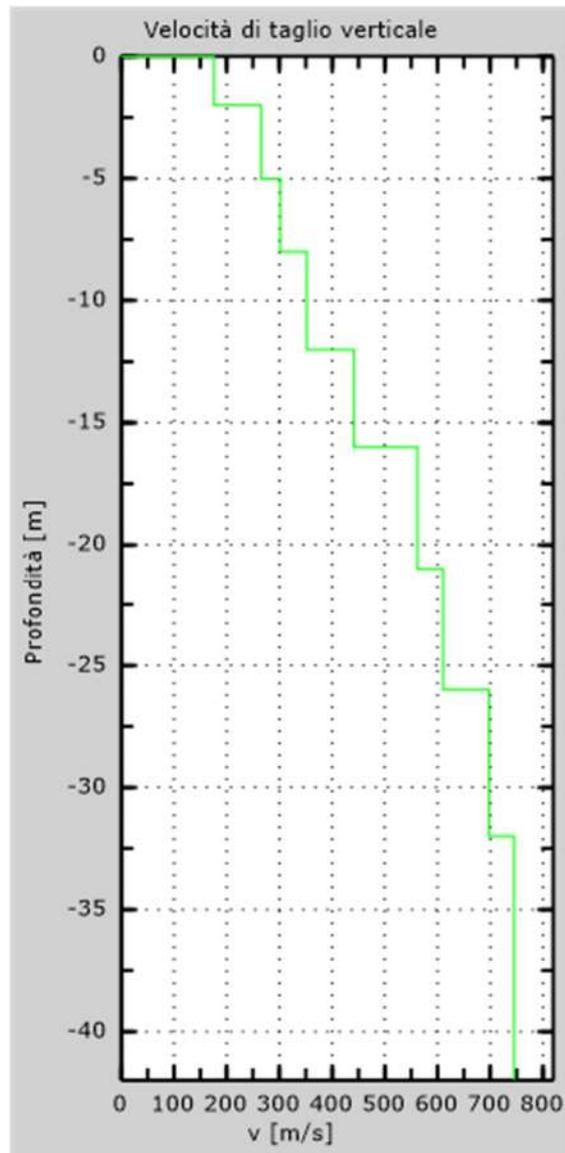


Fig. 58 - Profilo Vs – calcolato a partire dall'attuale p.c.

6. CLASSIFICAZIONE DEL SOTTOSUOLO DI FONDAZIONE

Sulla base delle risultanze dell'indagine MASW condotte nell'area oggetto di studio, il sottosuolo di fondazione è stato classificato ai sensi delle normative che attualmente regolano il settore (Ordinanza della Presidenza del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003, e dalle modifiche allo stesso portate dal Consiglio dei ministri con ordinanza n.3431 del 03.05.2005, DM 17/01/2018).

L'indagine M.A.S.W. ha consentito la stima dei valori delle velocità medie delle onde sismiche di taglio e, da queste, il calcolo della $V_{s,eq}$ risultante, applicando la seguente formula:

$$V_{s,eq} = \frac{30}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

in cui $V_{s,i}$ e h_i indicano la velocità delle onde di taglio (in m/s) e lo spessore (in m) del sismostrato i-esimo per un totale di N sismostrati presenti.

6.1 Categoria di sottosuolo di fondazione: Profilo AA'

Per l'acquisizione AA', sono stati ottenuti i seguenti risultati:

Dati		
Numero di strati	<input type="text" value="8"/>	
Profondità piano di posa	<input type="text" value="0"/>	m

Nr.	Spessore [m]	Velocità [m/s]
1	2.00	265
2	3.00	452
3	3.00	623
4	4.00	724
5	4.00	826
6	5.00	956
7	5.00	1024
8	6.00	1081

- +

Profondità complessiva	<input type="text" value="32"/>	m
V _{s,eq}	<input type="text" value="489.30"/>	m/s
Categoria del suolo	<input type="text" value="B"/>	

V_{s,eq} **489.30 m/s**
Categoria del suolo **B**

Sulla base della $V_{s,eq}$ calcolata, è possibile assegnare il sottosuolo di fondazione alla Categoria 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.*

6.2 Categoria di sottosuolo di fondazione: Profilo BB'

Per l'acquisizione BB', sono stati ottenuti i seguenti risultati:

Dati

Numero di strati

Profondità piano di posa m

Nr.	Spessore [m]	Velocità [m/s]
1	2.00	149
2	3.00	191
3	3.00	213
4	4.00	242
5	4.00	280
6	5.00	358
7	5.00	495
8	6.00	555

- +

Calcola

Profondità complessiva m

Vs, eq m/s

Categoria del suolo

Vs, eq 284.89 m/s
Categoria del suolo C

Sulla base della $V_{s,eq}$ calcolata, è possibile assegnare il sottosuolo di fondazione alla Categoria 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.*

6.3 Categoria di sottosuolo di fondazione: Profilo CC'

Per l'acquisizione CC', sono stati ottenuti i seguenti risultati:

Dati

Numero di strati

Profondità piano di posa m

Nr.	Spessore [m]	Velocità [m/s]
1	2.00	187
2	3.00	264
3	7.00	342
4	8.00	473
5	5.00	630
6	6.00	874

- +

Calcola

Profondità complessiva m

Vs, eq m/s

Categoria del suolo

Vs, eq **371.05 m/s**
Categoria del suolo **B**

Sulla base della $V_{s,eq}$ calcolata, è possibile assegnare il sottosuolo di fondazione alla Categoria 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.*

6.4 Categoria di sottosuolo di fondazione: Profilo DD'

Per l'acquisizione DD', sono stati ottenuti i seguenti risultati:

Dati

Numero di strati

Profondità piano di posa m

Nr.	Spessore [m]	Velocità [m/s]
1	2.00	173
2	3.00	285
3	3.00	320
4	4.00	416
5	4.00	539
6	5.00	612
7	5.00	788
8	6.00	925

- +

Calcola

Profondità complessiva m

Vs, eq m/s

Categoria del suolo

Vs, eq **412.61 m/s**
Categoria del suolo **B**

Sulla base della $V_{s,eq}$ calcolata, è possibile assegnare il sottosuolo di fondazione alla Categoria 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.*

6.5 Categoria di sottosuolo di fondazione: Profilo EE'

Per l'acquisizione EE', sono stati ottenuti i seguenti risultati:

Dati

Numero di strati

Profondità piano di posa m

Nr.	Spessore [m]	Velocità [m/s]
1	2.00	200
2	3.00	263
3	3.00	333
4	4.00	412
5	4.00	412
6	5.00	471
7	5.00	471
8	6.00	609

- +

Calcola

Profondità complessiva m

Vs, eq m/s

Categoria del suolo

Vs, eq **386.43 m/s**
Categoria del suolo **B**

Sulla base della $V_{s,eq}$ calcolata, è possibile assegnare il sottosuolo di fondazione alla Categoria 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.*

6.6 Categoria di sottosuolo di fondazione: Profilo FF'

Per l'acquisizione FF', sono stati ottenuti i seguenti risultati:

Dati

Numero di strati

8

Profondità piano di posa

0

m

Nr.	Spessore [m]	Velocità [m/s]
1	2.00	186
2	3.00	219
3	3.00	249
4	4.00	249
5	4.00	348
6	5.00	451
7	5.00	574
8	6.00	623

- +

Calcola

Profondità complessiva

32

m

$V_{s,eq}$

332.31

m/s

Categoria del suolo

C

$V_{s,eq}$

332.31 m/s

Categoria del suolo

C

Sulla base della $V_{s,eq}$ calcolata, è possibile assegnare il sottosuolo di fondazione alla Categoria 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.*

6.7 Categoria di sottosuolo di fondazione: Profilo QQ'

Per l'acquisizione QQ', sono stati ottenuti i seguenti risultati:

Dati

Numero di strati

Profondità piano di posa m

Nr.	Spessore [m]	Velocità [m/s]
1	2.00	157
2	3.00	256
3	7.00	390
4	4.00	559
5	5.00	665
6	5.00	704
7	6.00	856

- +

Calcola

Profondità complessiva m

Vs, eq m/s

Categoria del suolo

Vs, eq **405.09 m/s**
Categoria del suolo **B**

Sulla base della $V_{s,eq}$ calcolata, è possibile assegnare il sottosuolo di fondazione alla Categoria 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.*

6.8 Categoria di sottosuolo di fondazione: Profilo OO'

Per l'acquisizione OO', sono stati ottenuti i seguenti risultati:

Dati

Numero di strati

Profondità piano di posa m

Nr.	Spessore [m]	Velocità [m/s]
1	2.00	176
2	3.00	265
3	3.00	302
4	4.00	352
5	4.00	441
6	5.00	562
7	5.00	611
8	6.00	698

- +

Calcola

Profondità complessiva m

Vs, eq m/s

Categoria del suolo

Vs, eq **395.45 m/s**
Categoria del suolo **B**

Sulla base della $V_{s,eq}$ calcolata, è possibile assegnare il sottosuolo di fondazione alla Categoria 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.*

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; μ = modulo di Poisson.

Stendimento sismico AA'

Prof. (m da p.c.)	Unità	V _{Pi} (m/sec)	V _{Si} (m/sec)	g (gr/cm ³)	G_0 (Kg/cm ²)	K (Kg/cm ²)	E (kg/cm ²)	M (kg/cm ²)	μ	V _p /V _s	IS (t*m ⁻² *sec ⁻¹)
0.50	A - TETTO	250.00	165.00	1.46	401.2	386.1	894.0	921.0	0.11	1.52	240.25
4.00	A - LETTO	750.00	452.00	1.79	3709.6	5267.3	9012.9	10213.4	0.21	1.66	810.91
4.00	B - TETTO	750.00	452.00	1.79	3709.6	5267.3	9012.9	10213.4	0.21	1.66	810.91
10.00	B - LETTO	1500.00	724.00	2.05	10857.3	32128.0	29274.2	46604.4	0.35	2.07	1481.72

Stendimento sismico BB'

Prof. (m da p.c.)	Unità	V _{Pi} (m/sec)	V _{Si} (m/sec)	g (gr/cm ³)	G_0 (Kg/cm ²)	K (Kg/cm ²)	E (kg/cm ²)	M (kg/cm ²)	μ	V _p /V _s	IS (t*m ⁻² *sec ⁻¹)
0.50	A - TETTO	250.00	155.00	1.46	354.0	449.0	841.1	921.0	0.19	1.61	225.69
4.00	A - LETTO	750.00	323.00	1.79	1894.3	7687.7	5251.6	10213.4	0.39	2.32	579.47
4.00	B - TETTO	750.00	323.00	1.79	1894.3	7687.7	5251.6	10213.4	0.39	2.32	579.47
12.00	B - LETTO	2500.00	521.00	2.26	6195.4	134390.7	18305.0	142651.2	0.48	4.80	1174.94

Stendimento sismico CC'

Prof. (m da p.c.)	Unità	V _{Pi} (m/sec)	V _{Si} (m/sec)	g (gr/cm ³)	G_0 (Kg/cm ²)	K (Kg/cm ²)	E (kg/cm ²)	M (kg/cm ²)	μ	V _p /V _s	IS (t*m ⁻² *sec ⁻¹)
0.50	A - TETTO	250.00	187.00	1.46	515.3	233.9	891.4	921.0	-0.14	1.34	272.28
2.00	A - LETTO	500.00	256.00	1.66	1101.7	2733.8	2913.7	4202.7	0.32	1.95	425.22
1.00	B - TETTO	500.00	256.00	1.66	1101.7	2733.8	2913.7	4202.7	0.32	1.95	425.22
6.00	B - LETTO	1250.00	630.00	1.98	7941.1	20674.1	21119.3	31262.2	0.33	1.98	1245.44
6.00	C - TETTO	1250.00	630.00	1.98	7941.1	20674.1	21119.3	31262.2	0.33	1.98	1245.44
12.00	C - LETTO	2500.00	874.00	2.26	17434.9	119404.7	49877.0	142651.2	0.43	2.86	1971.02

Stendimento sismico DD'

Prof. (m da p.c.)	Unità	V _{Pi} (m/sec)	V _{Si} (m/sec)	g (gr/cm ³)	G ₀ (Kg/cm ²)	K (Kg/cm ²)	E (kg/cm ²)	M (kg/cm ²)	μ	V _p /V _s	IS (t*m ⁻² *sec ⁻¹)
0.50	A - TETTO	250.00	173.00	1.46	441.0	333.0	917.9	921.0	0.04	1.45	251.90
1.00	A - LETTO	500.00	285.00	1.66	1365.5	2382.1	3439.3	4202.7	0.26	1.75	473.39
1.00	B - TETTO	500.00	285.00	1.66	1365.5	2382.1	3439.3	4202.7	0.26	1.75	473.39
4.00	B - LETTO	1250.00	612.00	1.98	7493.8	21270.5	20118.7	31262.2	0.34	2.04	1209.86
4.00	C - TETTO	1250.00	612.00	1.98	7493.8	21270.5	20118.7	31262.2	0.34	2.04	1209.86
8.00	C - LETTO	3000.00	925.00	2.33	20217.3	185701.9	58528.0	212658.3	0.45	3.24	2159.56

Stendimento sismico EE'

Prof. (m da p.c.)	Unità	V _{Pi} (m/sec)	V _{Si} (m/sec)	g (gr/cm ³)	G ₀ (Kg/cm ²)	K (Kg/cm ²)	E (kg/cm ²)	M (kg/cm ²)	μ	V _p /V _s	IS (t*m ⁻² *sec ⁻¹)
0.50	A - TETTO	250.00	156.00	1.46	358.6	442.9	847.2	921.0	0.18	1.60	227.15
2.00	A - LETTO	500.00	263.00	1.66	1162.8	2652.3	3043.6	4202.7	0.31	1.90	436.85
2.00	B - TETTO	500.00	263.00	1.66	1162.8	2652.3	3043.6	4202.7	0.31	1.90	436.85
8.00	B - LETTO	2500.00	609.00	2.26	8465.1	131364.5	24861.2	142651.2	0.47	4.11	1373.40
8.00	C - TETTO	2500.00	609.00	2.26	8465.1	131364.5	24861.2	142651.2	0.47	4.11	1373.40
12.00	C - LETTO	4500.00	1854.00	2.52	87723.7	399834.8	245236.0	516799.7	0.40	2.43	4675.09

Stendimento sismico FF'

Prof. (m da p.c.)	Unità	V _{Pi} (m/sec)	V _{Si} (m/sec)	g (gr/cm ³)	G ₀ (Kg/cm ²)	K (Kg/cm ²)	E (kg/cm ²)	M (kg/cm ²)	μ	V _p /V _s	IS (t*m ⁻² *sec ⁻¹)
0.50	A - TETTO	250.00	156.00	1.46	358.6	442.9	847.2	921.0	0.18	1.60	227.15
2.00/3.00	A - LETTO	500.00	249.00	1.66	1042.3	2813.0	2783.1	4202.7	0.34	2.01	413.59
2.00/3.00	B - TETTO	500.00	249.00	1.66	1042.3	2813.0	2783.1	4202.7	0.34	2.01	413.59
9.00	B - LETTO	2000.00	623.00	2.16	8491.0	76185.6	24560.6	87507.0	0.45	3.21	1346.65
9.00	C - TETTO	2000.00	623.00	2.16	8491.0	76185.6	24560.6	87507.0	0.45	3.21	1346.65
14.00	C - LETTO	3000.00	1745.00	2.33	71950.0	116725.0	179059.0	212658.3	0.24	1.72	4073.98

Stendimento sismico QQ'

Prof. (m da p.c.)	Unità	V _{Pi} (m/sec)	V _{Si} (m/sec)	g (gr/cm ³)	G ₀ (Kg/cm ²)	K (Kg/cm ²)	E (kg/cm ²)	M (kg/cm ²)	μ	V _p /V _s	IS (t*m ⁻² *sec ⁻¹)
0.50	A - TETTO	250.00	157.00	1.46	363.2	436.7	853.2	921.0	0.17	1.59	228.60
2.00	A - LETTO	500.00	256.00	1.66	1101.7	2733.8	2913.7	4202.7	0.32	1.95	425.22
2.00	B - TETTO	500.00	256.00	1.66	1101.7	2733.8	2913.7	4202.7	0.32	1.95	425.22
4.00	B - LETTO	1250.00	665.00	1.98	8848.0	19464.9	23051.2	31262.2	0.30	1.88	1314.63
4.00	C - TETTO	1250.00	665.00	1.98	8848.0	19464.9	23051.2	31262.2	0.30	1.88	1314.63
6.00	C - LETTO	2250.00	856.00	2.21	16392.6	91400.5	46403.8	113257.4	0.42	2.63	1892.16

Stendimento sismico 00'

Prof. (m da p.c.)	Unità	V _{Pi} (m/sec)	V _{Si} (m/sec)	g (gr/cm ³)	G ₀ (Kg/cm ²)	K (Kg/cm ²)	E (kg/cm ²)	M (kg/cm ²)	μ	V _p /V _s	IS (t*m ⁻² *sec ⁻¹)
0.50	A - TETTO	250.00	156.00	1.46	358.6	442.9	847.2	921.0	0.18	1.60	227.15
2.00	A - LETTO	500.00	265.00	1.66	1180.5	2628.7	3080.5	4202.7	0.30	1.89	440.17
2.00	B - TETTO	500.00	265.00	1.66	1180.5	2628.7	3080.5	4202.7	0.30	1.89	440.17
9.00	B - LETTO	1500.00	698.00	2.05	10091.5	33149.1	27485.4	46604.4	0.36	2.15	1428.51

8. DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

STENDIMENTO AA'



STENDIMENTO BB'



STENDIMENTO CC'



STENDIMENTO DD'



STENDIMENTO EE'



STENDIMENTO FF'



STENDIMENTO QQ'



STENDIMENTO OO'



Alberobello, 15.03.2023