

REGIONE  
BASILICATA



Provincia MATERA



COMUNE DI ALIANO (MT)



**PROGETTO DEFINITIVO RELATIVO ALLA REALIZZAZIONE DI UN  
IMPIANTO EOLICO COSTITUITO DA 6 AEROGENERATORI E  
DALLE RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ALLA R.T.N.**

ALLEGATI ALLA RELAZIONE GEOLOGICA

ELABORATO

**A.2.1**

PROPONENTE:



**SKI 04 s.r.l.**

via Caradosso n.9  
Milano 20123  
P.Iva 11479190966

PROGETTO E SIA:



**ATECH srl**

Via Caduti di Nassirya, 55  
70124- Bari (BA)  
pec: atechsrl@legalmail.it  
Ing. Alessandro Antezza



**Il DIRETTORE TECNICO**  
Ing. Orazio Tricarico



CONSULENZA:

**Il geologo  
Giuseppe Amorosi**



**SOLARITES s.r.l.**

piazza V. Emanuele II n.14  
Ceva (CN) 12073

0	GIUGNO 2022	B.C.C	A.A. - O.T.	A.A. - O.T.	Progetto Definitivo
EM./REV.	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO	DESCRIZIONE

**COMUNE DI ALIANO**  
**Provincia di Matera**

**Progetto per la costruzione ed esercizio  
di un impianto alimentato da fonte eolica  
Potenza nominale 33 Mw  
Loc. "Le Serre"**



A handwritten signature in blue ink, appearing to be "Giuseppe Amorosi", written over the stamp.

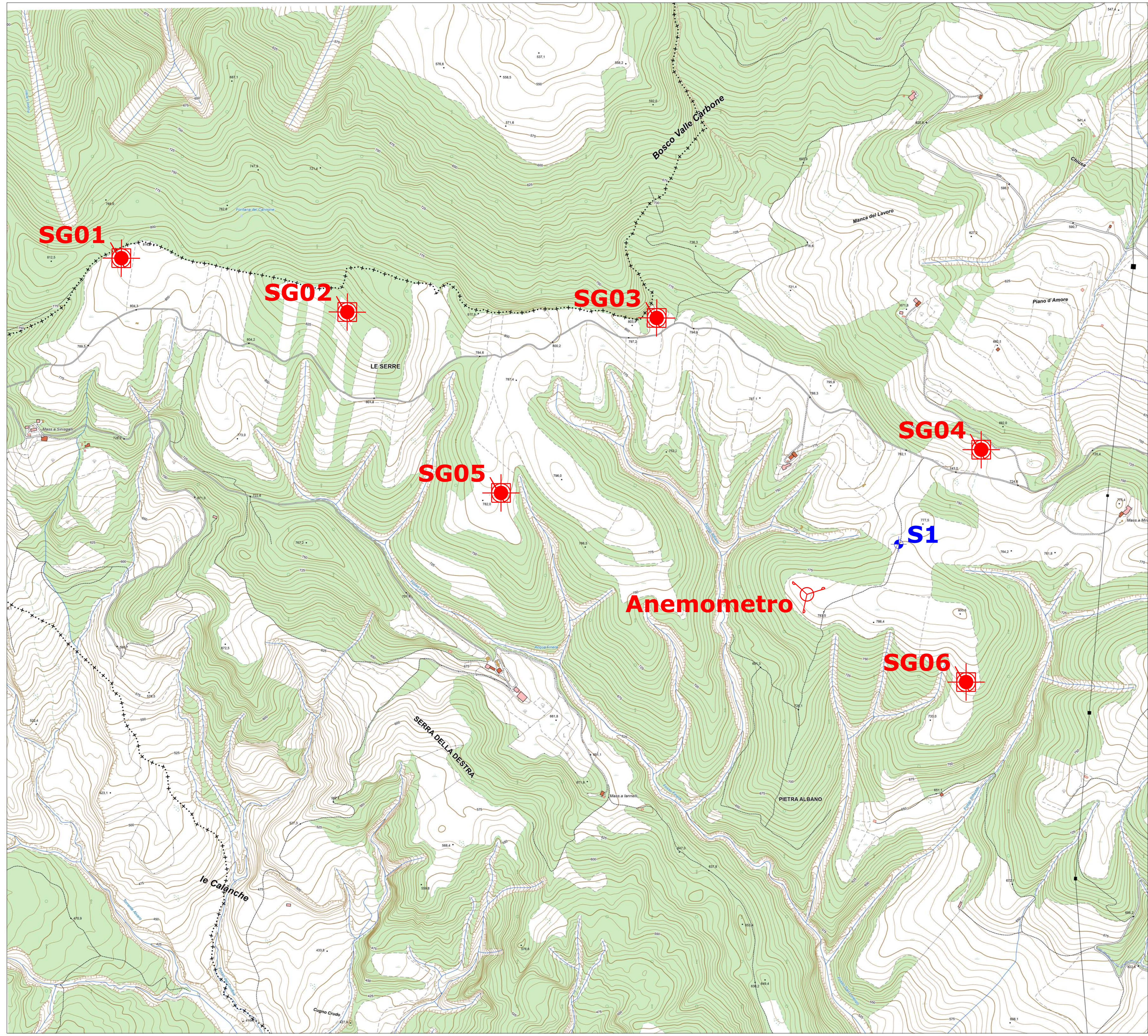
**Relazione Geologica**  
**ALLEGATO A - CARTOGRAFIA TEMATICA**



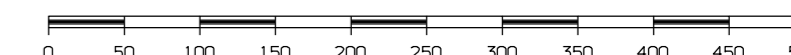
Dott. Geol. Giuseppe AMOROSI

Data:




Dicembre 2021



Scala 1:5.000



LEGENDA CARTA INDAGINI GEOLOGICHE

-  SONDAGGIO GEONOSTICO
-  UBICAZIONE AEROGENERATORE
-  INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE + INDAGINE MASW

REGIONE BASILICATA



COMUNE DI ALIANO



IMPIANTO EOLICO

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE ED ESERCIZIO DI UN PARCO EOLICO  
PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA,  
DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI

LOCALITA' LE SERRE

POTENZA NOMINALE 39.6 MW

**Allegato 2**

PROGETTAZIONE

PROPONENTE



Piazza Vittorio Emanuele II n° 14  
12073 CEVA - CN  
P.IVA 03894180045

**SKI 04 S.r.l.**  
Via Caradosso 9  
20123 - Milano  
P.IVA 11479190966

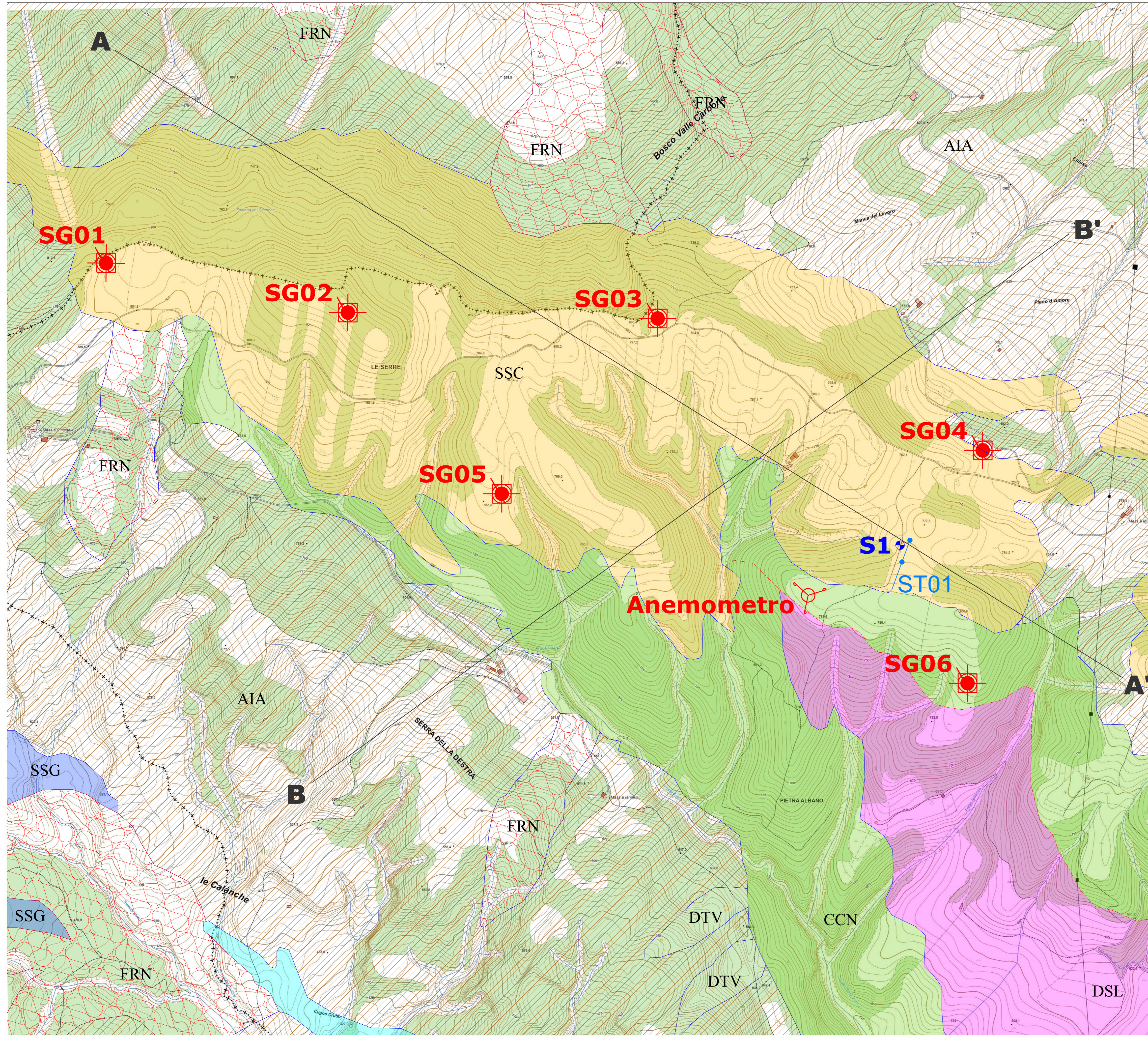
Il Geologo  
Giuseppe Amorosi

TAVOLA G1 - COROGRAFIA  
(Scala 1:5.000)

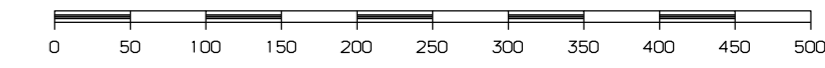
DATA: 2021

Relazione Geologica

Rev n°



Scala 1:5.000



**LEGENDA CARTA GEOLOGICA**

	DTV - DETRITO DI VERSANTE
	FRN - CORPO DI FRANA
	ALL - DEPOSITI ALLUVIONALI ATTUALI E RECENTI
	SSC - SABBIE E CONGLOMERATI DI SERRA CORNETA
	DSL - DEPOSITI LAGUSTRI DI SAN LORENZO
	CCN - CONGLOMERATI DI CASTRONUOVO
	AIA - SABBIE DI ALIANO
	SSG - ARGILLE GRIGIO-AZZURRE E SABBIE DI SAN GIORGIO
	CONTATTO STRATIGRAFICO
	SOVRASCORRIMENTO
	TRACCIA DI SEZIONE
	UBICAZIONE AEROGENERATORE
	SONDAGGIO STRATIGRAFICO
	INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE + INDAGINE MASW

**REGIONE BASILICATA**



**COMUNE DI ALIANO**



**IMPIANTO EOLICO**

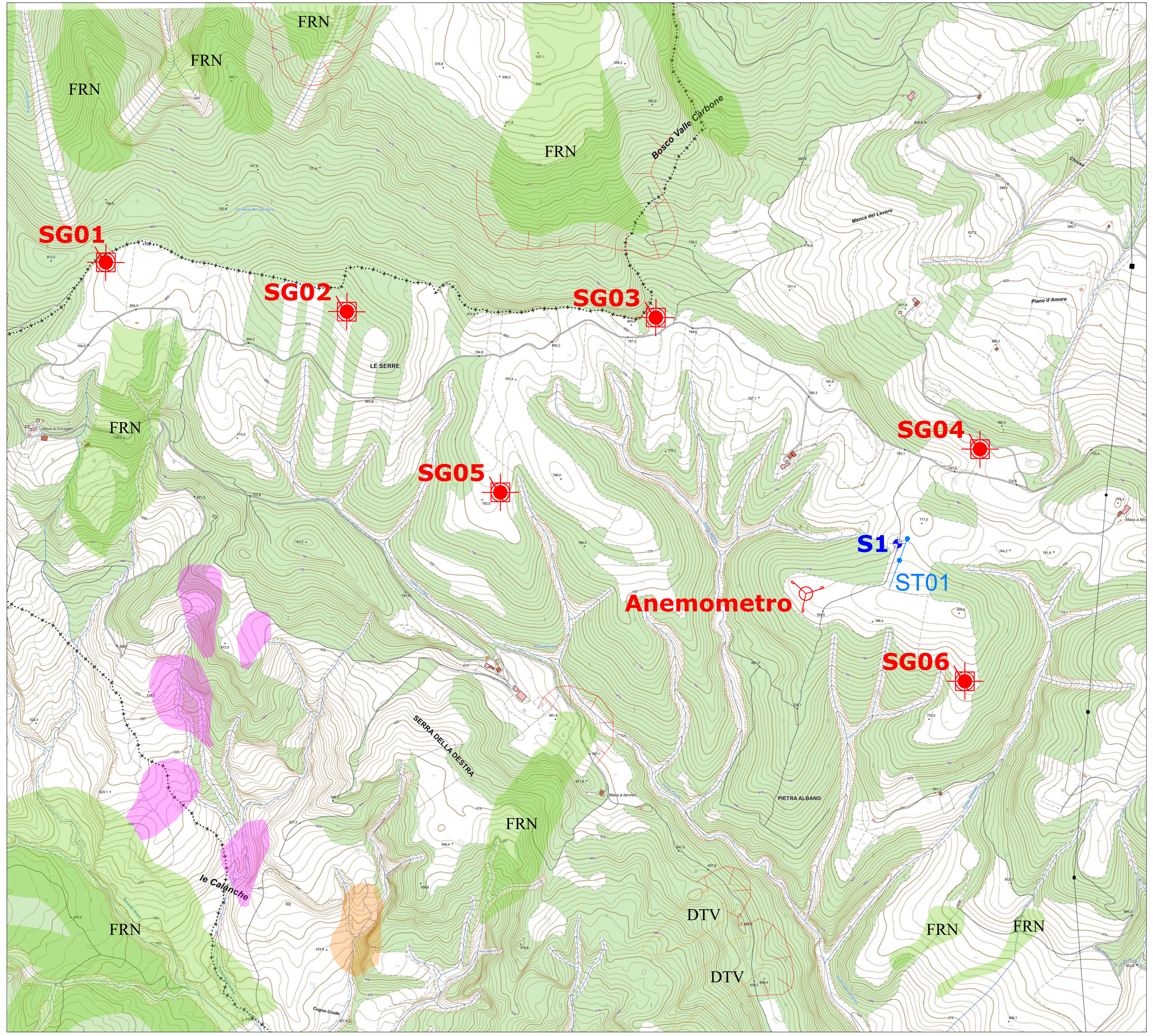
PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE ED ESERCIZIO DI UN PARCO EOLICO  
PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA,  
DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI

**LOCALITA' LE SERRE**

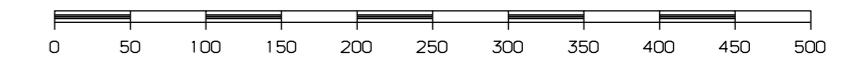
POTENZA NOMINALE 39.6 MW

**Allegato 2**

PROGETTAZIONE	PROPONENTE
	<b>SKI 04 S.r.l.</b> Via Caradosso 9 20123 - Milano P.IVA 11479190966
Il Geologo Giuseppe Amorosi	
TAVOLA G2 - CARTA GEOLOGICA (Scala 1:5.000)	
DATA: <b>2021</b>	Relazione Geologica Rev n°



Scala 1:5.000



LEGENDA CARTA GEOMORFOLOGICA

- ORLO DI SCARPATA DI FRANA
- DTV - DETRITO DI VERSANTE
- COLATA
- CREEP
- SCIVOLAMENTO ROTAZIONALE
- UBICAZIONE AEROGENERATORE
- SONDAGGIO STRATIGRAFICO
- INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE + INDAGINE MASW

REGIONE BASILICATA



COMUNE DI ALIANO



IMPIANTO EOLICO

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE ED ESERCIZIO DI UN PARCO EOLICO  
PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA,  
DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI

LOCALITA' LE SERRE

POTENZA NOMINALE 39.6 MW

Allegato 2

PROGETTAZIONE

PROPONENTE



Piazza Vittorio Emanuele II n° 14  
12073 CEVA - CN  
P.IVA 03894180045

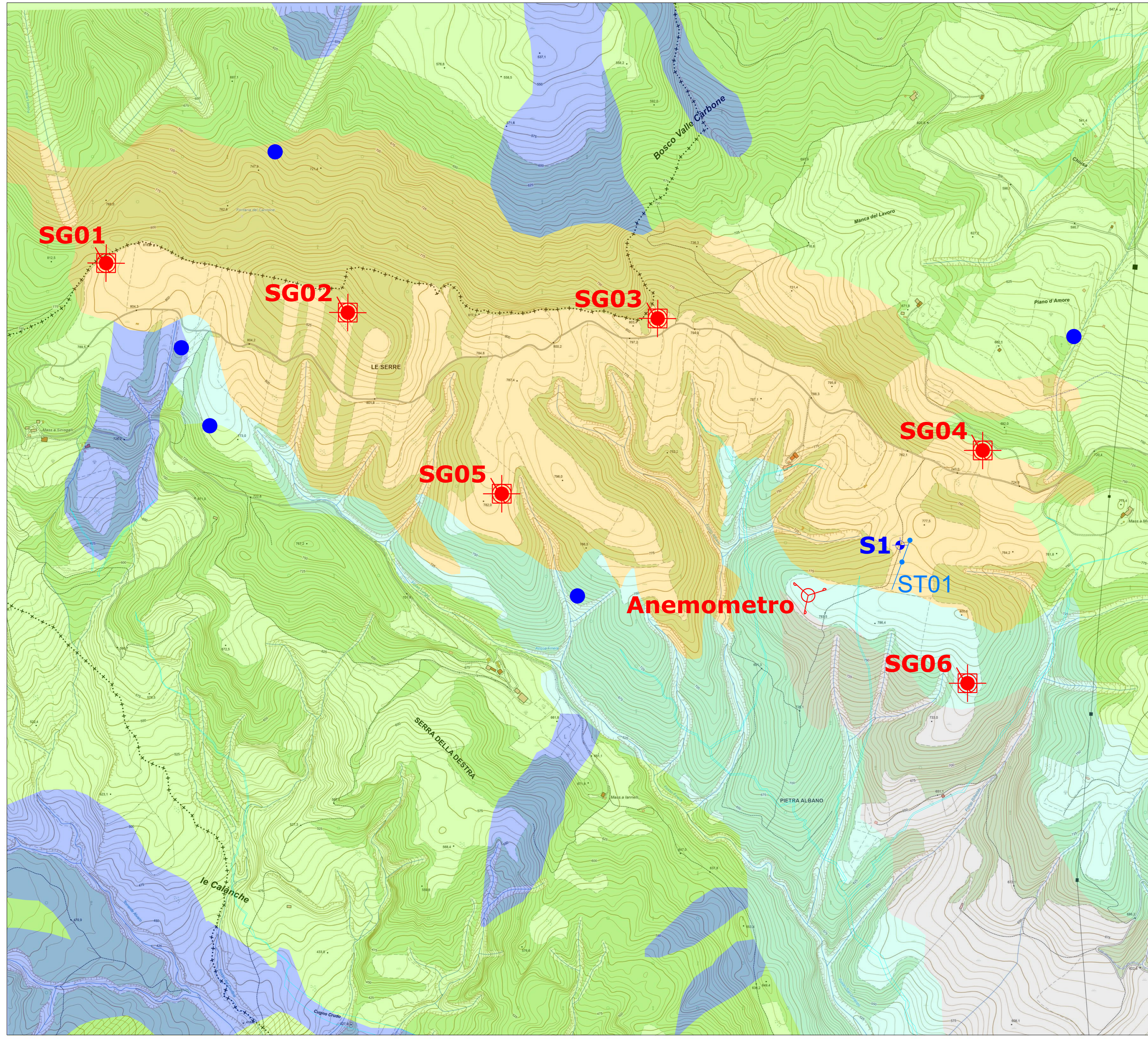
**SKI 04 S.r.l.**  
Via Caradosso 9  
20123 - Milano  
P.IVA 11479190966

Il Geologo  
Giuseppe Amorosi

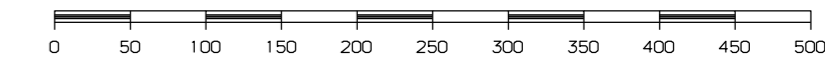
TAVOLA G3 - CARTA GEOMORFOLOGICA  
(Scala 1:5.000)

DATA: 2021










Relazione Geologica Rev n°



Scala 1:5.000



LEGENDA CARTA IDROGEOLOGICA

-  RETICOLO IDROGRAFICO
-  SORGENTI
-  TERRENI A PERMEABILITA' ELEVATA
-  TERRENI A PERMEABILITA' MEDIO - ALTA
-  TERRENI A PERMEABILITA' MEDIO - BASSA
-  TERRENI IMPERMEABILI
-  UBICAZIONE AEROGENERATORE
-  SONDAGGIO STRATIGRAFICO
-  INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE + INDAGINE MASW

REGIONE BASILICATA



COMUNE DI ALIANO



IMPIANTO EOLICO

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE ED ESERCIZIO DI UN PARCO EOLICO  
PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA,  
DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI

LOCALITA' LE SERRE

POTENZA NOMINALE 39.6 MW

Allegato 2

PROGETTAZIONE

PROPONENTE



Piazza Vittorio Emanuele II n° 14  
12073 CEVA - CN  
P.IVA 03894180045

**SKI 04 S.r.l.**  
Via Caradosso 9  
20123 - Milano  
P.IVA 11479190966

Il Geologo  
Giuseppe Amorosi

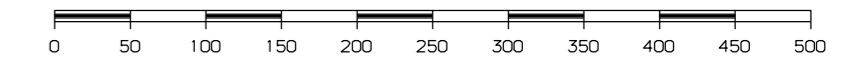
TAVOLA G4 - CARTA IDROGEOLOGICA  
(Scala 1:5.000)

DATA: 2021

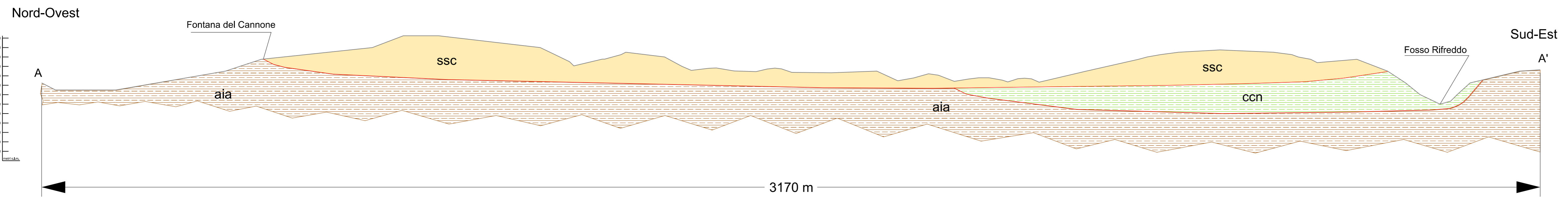
Relazione Geologica Rev n°



Scala 1:5.000



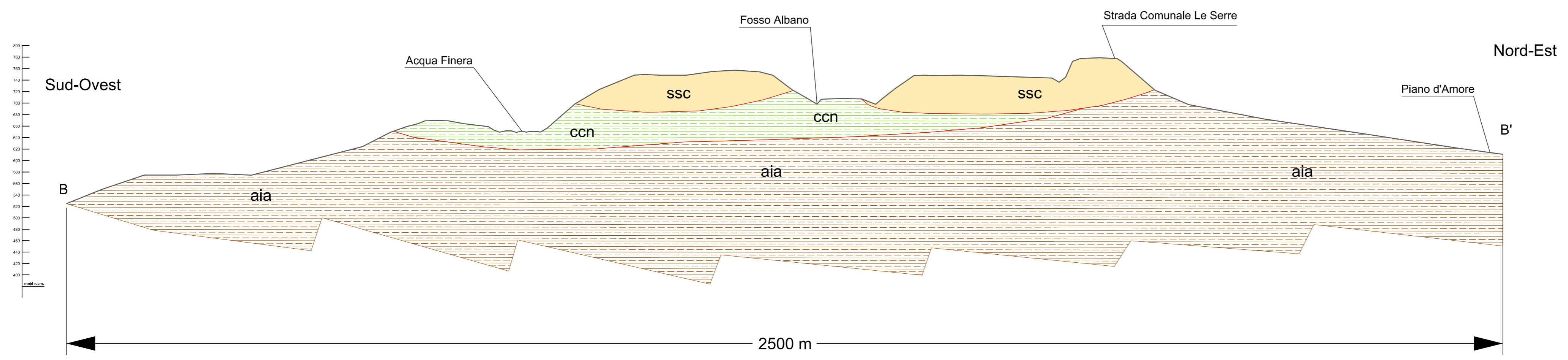
PROFILO GEOLOGICO A-A'



**LEGENDA SEZIONI GEOLOGICHE**

- SSC - SABBIE E CONGLOMERATI DI SERRA CORNETA
- CCN - CONGLOMERATI DI CASTRONUOVO
- AIA - SABBIE DI ALIANO
- CONTATTO STRATIGRAFICO
- PROFILO MORFOLOGICO
- TURBINA EOLICA

PROFILO GEOLOGICO B-B'



<b>REGIONE BASILICATA</b>	
<b>COMUNE DI ALIANO</b>	
<b>IMPIANTO EOLICO</b>	
PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE ED ESERCIZIO DI UN PARCO EOLICO PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA, DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI	
<b>LOCALITA' LE SERRE</b>	
POTENZA NOMINALE 39.6 MW	
<b>Allegato 2</b>	
PROGETTAZIONE	PROPONENTE
 Piazza Vittorio Emanuele II n° 14 12073 CEVA - CN P.IVA 03894180045	<b>SKI 04 S.r.l.</b> Via Caradosso 9 20123 - Milano P.IVA 11479190966
Il Geologo Giuseppe Amorosi	
TAVOLA G5 - PROFILI GEOLOGICI (Scala 1:5.000)	
<b>DATA:</b> 2021	Relazione Geologica    Rev n°

**COMUNE DI ALIANO**  
**Provincia di Matera**

**Progetto per la costruzione ed esercizio  
di un impianto alimentato da fonte eolica  
Potenza nominale 33 Mw  
Loc. "Le Serre"**



A handwritten signature in blue ink, written over the professional stamp.

**Relazione Geologica**  
**ALLEGATO 1A- INDAGINI GEOGNOSTICHE**



Dott. Geol. Giuseppe AMOROSI

Data:

Dicembre 2021



# SONDAGGIO SI

PERFORAZIONE A CAROTTAGGIO CONTINUO

Geol. G. AMOROSI  
Studio di Geologia Applicata  
S.O.: Via Lanzillotti n° 396 - 75013 Ferrandina (MT)

INDAGINE PRELIMINARE PARCO  
EOLICO IN LOCALITA' "SERRE" NEL  
COMUNE DI ALIANO (MT)

COMMITTENTE: SKI 04 SRL

COORDINATE PIANE UTM WGS 84 33T

N = 4.463.104,71 E = 601.795,85

CAROTIERE CORONA	PROFONDITÀ M	POTENZA M	LITOLOGIA	DESCRIZIONE LITOLOGICA	PROFONDITÀ FALDA	CAMPIONI INDISTURBATI RIMANEGGIATI	S.P.T.	CAROTTAGGIO RQD PRELIEVO 20 30 40 50 60 70 80 90 100	POCKET PENETROMETER TORE VANE	PROVE IN FORO	STRUMENTAZIONE IN FORO	CASSETTE		
SEMPLICE WIDIA	1	1,30		Terreno vegetale di natura limo-sabbiosa di colore marroncino di mediocre consistenza e plasticità										
	2													
	3	2,80		Terreno di natura limo-argillosa di colore dal marrone al marrone scuro di ottima consistenza e plasticità								1		
	4													
	5													
	6													
	7	12,30		Terreno di natura limo-sabbiosa di colore beige di buona consistenza e plasticità. La sabbia si presenta con granulometria da fine a finissima	A		A				A	A	2	
	8				S		S					S		S
	9				S		S					S	S	
	10				E		E					E	E	
	11				N		N					N	N	
	12				T					I	I	3		
	13				E									
	14					-13,00								
	15					-13,50								
	16													
	17	3,60		Terreno di natura limo-argilloso di colore beige-rossastro di ottima consistenza e ottima plasticità. Si osservano inclusi litici poligenici ed eterometrici con dimensioni massime dell'ordine centimetrico									4	
	18													
	19													
	20													

# SONDAGGIO S1

PERFORAZIONE A CAROTAGGIO CONTINUO

Geol. G. AMOROSI  
Studio di Geologia Applicata  
S.O.: Via Lanzillotti n° 396 - 75013 Ferrandina (MT)

INDAGINE PRELIMINARE PARCO  
EOLICO IN LOCALITA' "SERRE" NEL  
COMUNE DI ALIANO (MT)

COMMITTENTE: SKI 04 SRL

CAROTIERE CORONA	PROFONDITÀ M	POTENZA M	LITOLOGIA	DESCRIZIONE LITOLOGICA	PROFONDITÀ FALDA	CAMPIONI INDISTURBATI RIMANEGGIATI	S.P.T.	CAROTAGGIO RQD PRELIEVO 20 30 40 50 60 70 80 90 100	POCKET PENETROMETER TORE VANE	PROVE IN FORO	STRUMENTAZIONE IN FORO	CASSETTE					
SEMPLICE WIDIA	21	2,90	[Pattern: Orange-brown clayey silt]	Terreno di natura limo-argilloso di colore beige-rossastro di ottima consistenza e ottima plasticità. Si osservano inclusi litici poligenici ed eterometrici con dimensioni massime dell'ordine centimetrico	A	A	A	[Scale: 0-100% RQD]	[Scale: 0-100% Penetration]	A	A	5					
	22				S	S	S										
	23	7,10	[Pattern: Yellowish sandy silt]	Alternanza di terreno di natura limo-sabbiosa e sabbioso-limoso di colore beige di buona consistenza e media plasticità. La sabbia si presenta con granulometria da fine a finissima	S	S	S						S	S	S	S	6
	24				S	S	S										
	25				E	E	E										
	26				N	N	N										
	27				T	T	T										
	28				E	I	I										
	29																
	30																

N.B.: IL FORO È STATO RIVESTITO CON TUBAZIONE PROVVISORIA DEL DIAMETRO DI 127 MM  
PER UNA PROFONDITÀ DI -1,50 MT DA PC

FONDO FORO



Postazione Sondaggio S1

# SONDAGGIO SI

PERFORAZIONE A CAROTAGGIO CONTINUO

Geol. G. AMOROSI  
Studio di Geologia Applicata  
S.O.: Via Lanzillotti n° 396 - 75013 Ferrandina (MT)

INDAGINE PRELIMINARE PARCO  
EOLICO IN LOCALITA' "SERRE" NEL  
COMUNE DI ALIANO (MT)

COMMITTENTE: SKI 04 SRL



Cassetta Catalogatrice n° 1 - da mt 0,00 a mt -5,00



Cassetta Catalogatrice n° 2 - da mt -5,00 a mt -10,00



Cassetta Catalogatrice n° 3 - da mt -10,00 a mt -15,00



Cassetta Catalogatrice n° 4 - da mt -15,00 a mt -20,00



Cassetta Catalogatrice n° 5 - da mt -20,00 a mt -25,00



Cassetta Catalogatrice n° 6 - da mt -25,00 a mt -30,00

COMMITTENTE: DR. GEOL. GIUSEPPE AMOROSI		
RIFERIMENTO: Indagine preliminare Parco Eolico in loc. Serre nel Comune di Aliano (MT)		
SONDAGGIO: 1	CAMPIONE: 1	PROFONDITA': m 13.00 - 13.50

### CARATTERISTICHE FISICHE

Umidità naturale	19,5	%
Peso di volume	19,6	kN/m <sup>3</sup>
Peso di volume secco	16,4	kN/m <sup>3</sup>
Peso di volume saturo	20,1	kN/m <sup>3</sup>
Peso specifico	26,5	kN/m <sup>3</sup>
Indice dei vuoti	0,618	
Porosità	38,2	%
Grado di saturazione	85,5	%
Limite di liquidità	31,2	%
Limite di plasticità	23,5	%
Indice di plasticità	7,7	%
Indice di consistenza	1,52	
Passante al set. n° 40	SI	
Limite di ritiro		%
CNR-UNI 10006/00	A4	I.G. = 8

### ANALISI GRANULOMETRICA

Ghiaia	0,2	%
Sabbia	27,2	%
Limo	53,8	%
Argilla	18,8	%
D 10	0,002591	mm
D 50	0,026127	mm
D 60	0,042874	mm
D 90	0,189100	mm
Passante set. 10	99,0	%
Passante set. 42	94,8	%
Passante set. 200	72,6	%

### COMPRESSIONE

$\sigma$	kPa
$C_u$	kPa
$\sigma_{Rim}$	kPa
$C_{u Rim}$	kPa

### TAGLIO DIRETTO

Prova consolidata-lenta		
$C'$	16,4	kPa
$\phi'$	23,6	°
$C'_{Res}$		kPa
$\phi'_{Res}$		°

### PERMEABILITA'

Coefficiente k	cm/sec
----------------	--------

### COMPRESSIONE TRIASSIALE

C.D.	$C_d$	kPa	$\phi_d$	°
C.U.	$C'_{cu}$	kPa	$\phi'_{cu}$	°
	$C_{cu}$	kPa	$\phi_{cu}$	°
U.U.	$C_u$	kPa	$\phi_u$	°

### PROVA EDOMETRICA

$\sigma$ kPa	E kPa	$C_v$ cm <sup>2</sup> /sec	k cm/sec

### FOTOGRAFIA



### OSSERVAZIONI

Limo argilloso - sabbioso di colore marrone

Tipo di campione: Cilindrico      Qualità del campione: Q 5

Posizione delle prove CF GR TD	cm	Rp kPa	VT kPa	cm	DESCRIZIONE DEL CAMPIONE
	0				
	10				
	20				
	30				
	40				
	50			50	Limo argilloso - sabbioso di color marrone

COMMITTENTE: DR. GEOL. GIUSPPE AMOROSI		
RIFERIMENTO: Indagine preliminare Parco Eolico in loc. Serre nel Comune di Aliano (MT)		
SONDAGGIO: 1	CAMPIONE: 1	PROFONDITA': m 13.00 - 13.50

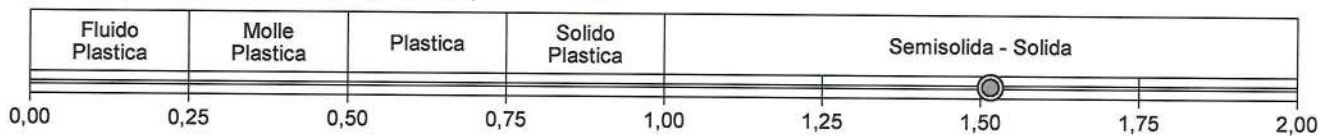
## CLASSIFICA BASATA SULLA GRANULOMETRIA

Classifica A.G.I.	Limo con sabbia argilloso
-------------------	---------------------------

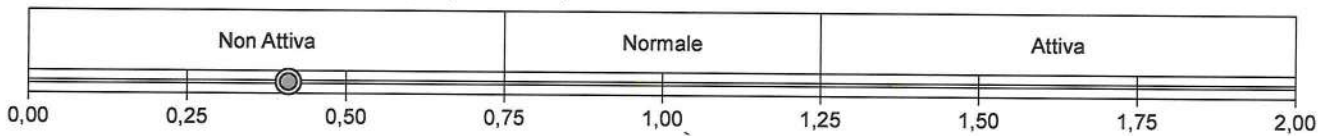
## CLASSIFICHE BASATE SUI LIMITI DI CONSISTENZA

Abaco di plasticità di Casagrande	MI o OI - Limi inorganici o argille e limi organici a media compressibilità
-----------------------------------	---

I.C. = Indice di consistenza =  $(LL - W_n) / IP = 1,52$

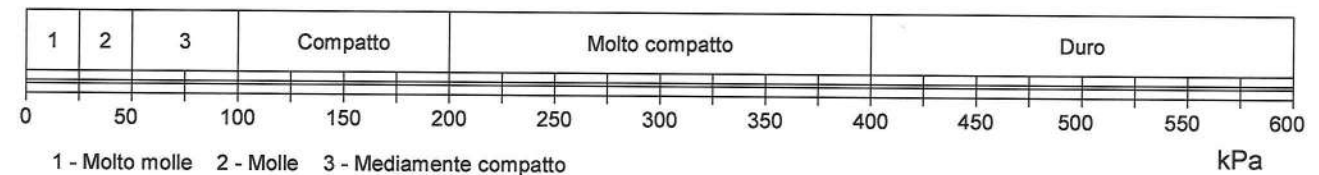


A = Attività (Skempton) =  $IP / CF$  (clay fraction) = 0,41



## CLASSIFICA BASATA SULLA COESIONE NON DRENATA

Coesione non drenata = 0 kPa

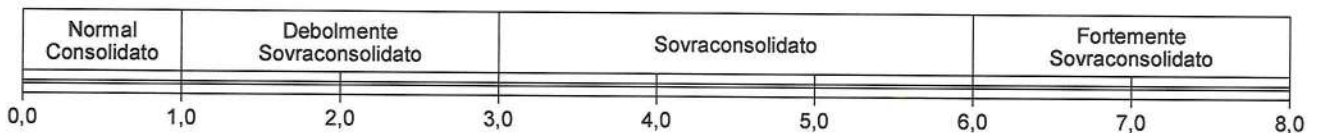


## CLASSIFICA BASATA SULLA PRECONSOLIDAZIONE

Pressione del campione in sito = 0,0kPa

Pressione di preconsolidazione [da Prova Edometrica] = 0,0kPa

O.C.R. (Over Consolidation Ratio) = 0,00



Limo argilloso - sabbioso di colore marrone

<b>CERTIFICATO DI PROVA N°: 07053</b> Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 27/12/21	Inizio analisi: 13/12/21
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 381T-21 del 09.12.21	Apertura campione: 09.12.21	Fine analisi: 14/12/21

COMMITTENTE:		
RIFERIMENTO: Indagine preliminare Parco Eolico in loc. Serre nel Comune di Aliano (MT)		
SONDAGGIO: 1	CAMPIONE: 1	PROFONDITA': m 13.00 - 13.50

## CONTENUTO D'ACQUA ALLO STATO NATURALE

Modalità di prova: Norma ASTM D 2216

**Wn = contenuto d'acqua allo stato naturale = 19,5 %**

Struttura del materiale:

Omogeneo  
 Stratificato  
 Caotico

Temperatura di essiccazione: 110 °C

Limo argilloso - sabbioso di colore marrone



<b>CERTIFICATO DI PROVA N°: 07054</b>	Pagina 1/1	<b>DATA DI EMISSIONE:</b> 27/12/21	<b>Inizio analisi:</b> 13/12/21
<b>VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 381T-21 del 09.12.21</b>		<b>Apertura campione:</b> 09.12.21	<b>Fine analisi:</b> 13/12/21

<b>COMMITTENTE:</b>		
<b>RIFERIMENTO:</b> Indagine preliminare Parco Eolico in loc. Serre nel Comune di Aliano (MT)		
<b>SONDAGGIO:</b> 1	<b>CAMPIONE:</b> 1	<b>PROFONDITA':</b> m 13.00 - 13.50

## PESO DI VOLUME ALLO STATO NATURALE

Modalità di prova: Norma BS 1377 T 15/E

Determinazione eseguita mediante fustella tarata

**Peso di volume allo stato naturale = 19,6 kN/m<sup>3</sup>**

Limo argilloso - sabbioso di colore marrone



<b>CERTIFICATO DI PROVA N°: 07055</b>	Pagina 1/1	<b>DATA DI EMISSIONE:</b> 27/12/21	<b>Inizio analisi:</b> 21/12/21
<b>VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 381T-21 del 09.12.21</b>		<b>Apertura campione:</b> 09.12.21	<b>Fine analisi:</b> 22/12/21

<b>COMMITTENTE:</b>			
<b>RIFERIMENTO:</b> Indagine preliminare Parco Eolico in loc. Serre nel Comune di Aliano (MT)			
<b>SONDAGGIO:</b> 1	<b>CAMPIONE:</b> 1	<b>PROFONDITA':</b> m 13.00 - 13.50	

## PESO SPECIFICO DEI GRANULI

Modalità di prova: Norma ASTM D 854

$\gamma_s$  = **Peso specifico dei granuli (media delle due misure) (kN/m<sup>3</sup>) = 26,5 kN/m<sup>3</sup>**

$\gamma_{sc}$  = **Peso specifico dei granuli corretto a 20° (kN/m<sup>3</sup>) = 26,5 kN/m<sup>3</sup>**

Metodo:  A  B

Capacità del picnometro: 100 ml

Temperatura di prova: 20,0 °C

Limo argilloso - sabbioso di colore marrone





<b>CERTIFICATO DI PROVA N°: 07056</b>	Pagina 1/1	<b>DATA DI EMISSIONE:</b> 27/12/21	Inizio analisi: 22/12/21
<b>VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 381T-21 del 09.12.21</b>		<b>Apertura campione:</b> 09.12.21	Fine analisi: 23/12/21

<b>COMMITTENTE:</b>			
<b>RIFERIMENTO:</b> Indagine preliminare Parco Eolico in loc. Serre nel Comune di Aliano (MT)			
<b>SONDAGGIO:</b> 1	<b>CAMPIONE:</b> 1	<b>PROFONDITA':</b> m 13.00 - 13.50	

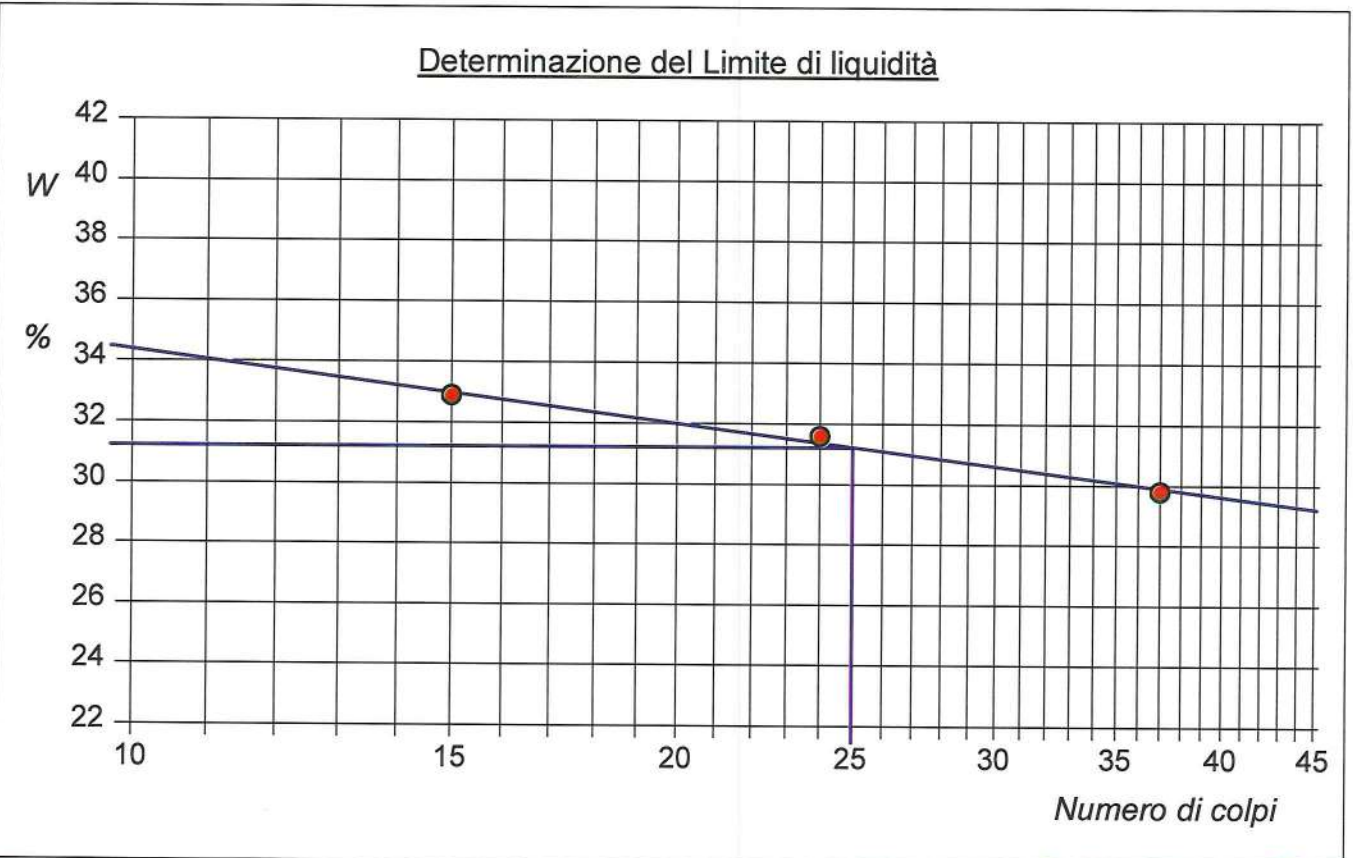
**LIMITI DI CONSISTENZA LIQUIDO E PLASTICO**

Modalità di prova: Norma ASTM D 4318

Limite di liquidità	31,2 %
Limite di plasticità	23,5 %
Indice di plasticità	7,7 %

La prova è stata eseguita sulla frazione granulometrica passante al setaccio n° 40 (0.42 mm)

LIMITE DI LIQUIDITA'					LIMITE DI PLASTICITA'		
Numero di colpi	15	24	37		Umidità (%)	23,9	23,0
Umidità (%)	32,9	31,6	29,8		Umidità media	23,5	



Limo argilloso - sabbioso di colore marrone



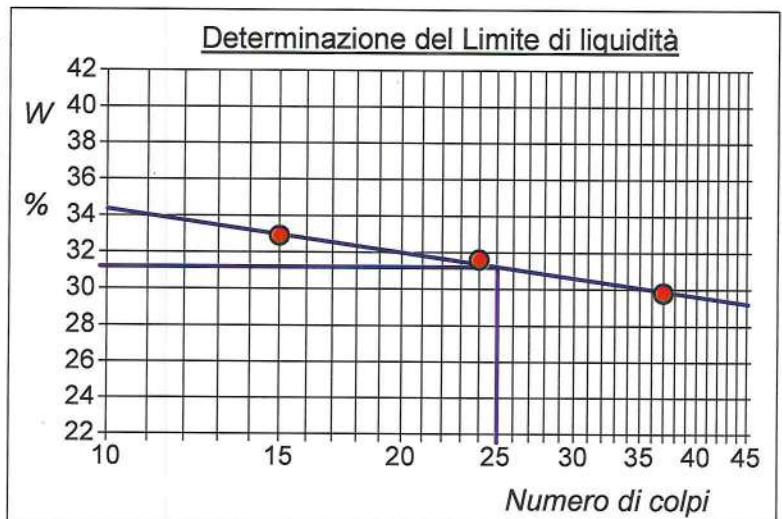
<b>CERTIFICATO DI PROVA N°: 07056</b>	Allegato 1	DATA DI EMISSIONE: 27/12/21	Inizio analisi: 22/12/21
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 381T-21 del 09.12.21		Apertura campione: 09.12.21	Fine analisi: 23/12/21

<b>COMMITTENTE:</b>			
RIFERIMENTO: Indagine preliminare Parco Eolico in loc. Serre nel Comune di Aliano (MT)			
SONDAGGIO: 1	CAMPIONE: 1	PROFONDITA': m 13.00 - 13.50	

## ABACO DI CASAGRANDE

Modalità di prova: Norma ASTM D 4318

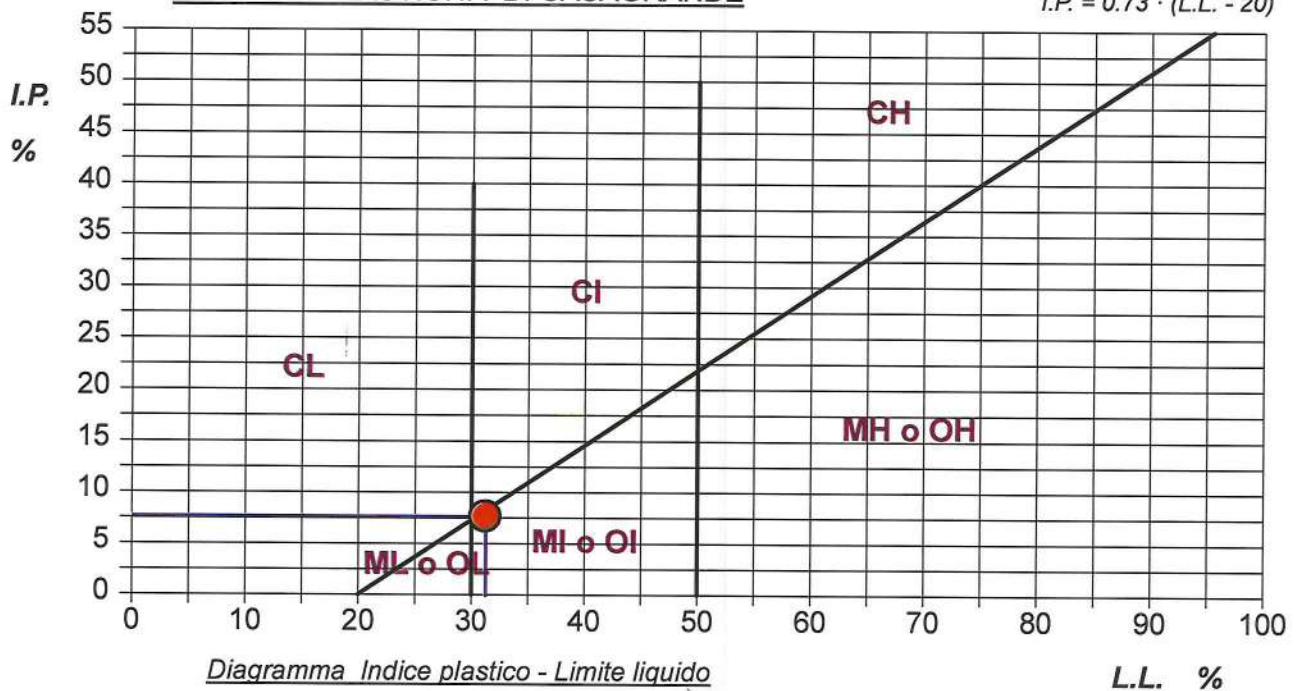
Limite di liquidità	31,2	%
Limite di plasticità	23,5	%
Indice di plasticità	7,7	%
Indice di consistenza	1,52	
Passante al set. n° 40	SI	



C - Argille inorganiche	L - Bassa compressibilità
<u>M - Limi inorganici</u>	<u>I - Media compressibilità</u>
<u>O - Argille e limi organici</u>	H - Alta compressibilità

## ABACO DI PLASTICITA' DI CASAGRANDE

$$I.P. = 0.73 \cdot (L.L. - 20)$$



Limo argilloso - sabbioso di colore marrone



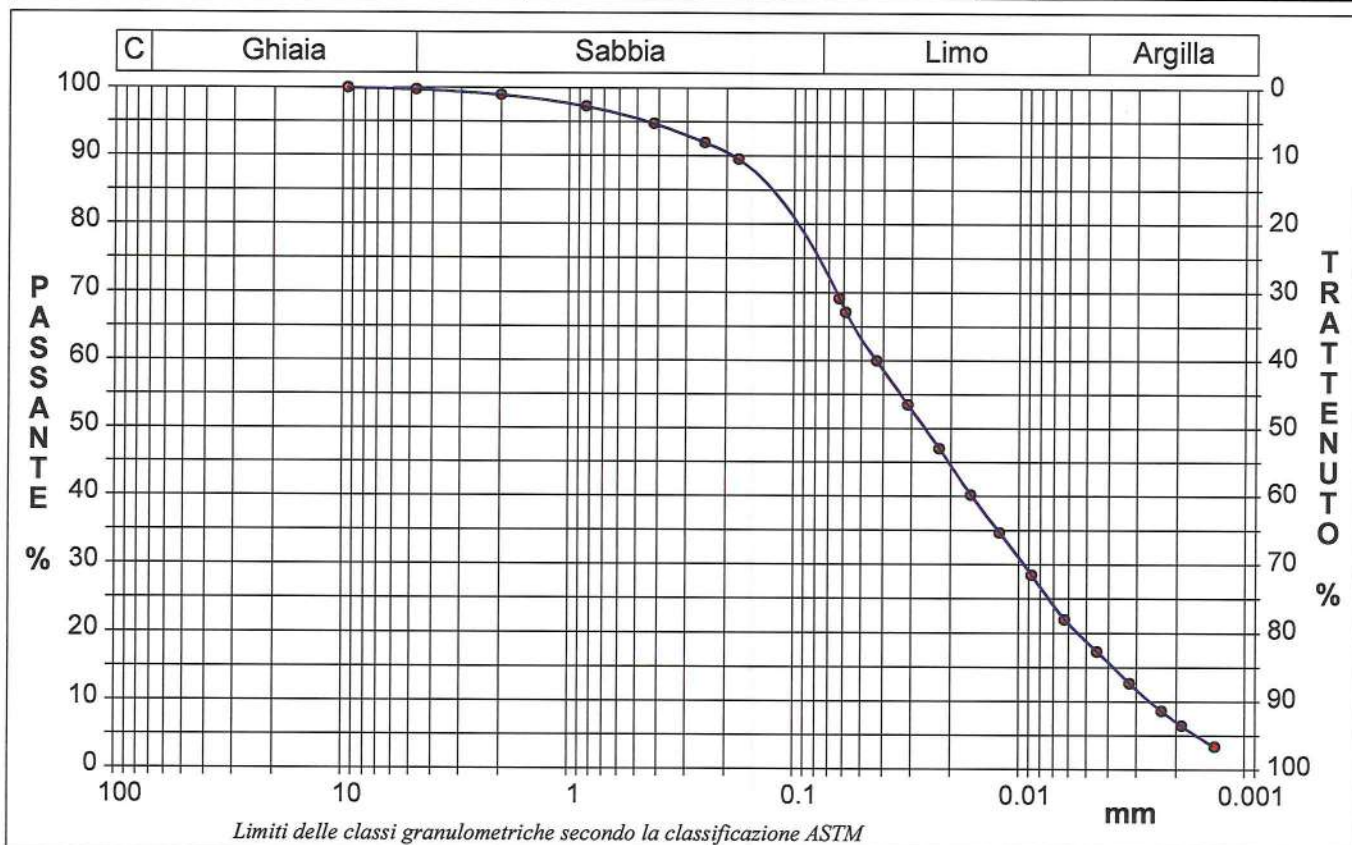
<b>CERTIFICATO DI PROVA N°: 07057</b>	Pagina 1/1	<b>DATA DI EMISSIONE:</b> 27/12/21	Inizio analisi: 22/12/21
<b>VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 381T-21 del 09.12.21</b>		<b>Apertura campione:</b> 09.12.21	Fine analisi: 23/12/21

<b>COMMITTENTE:</b>			
RIFERIMENTO: Indagine preliminare Parco Eolico in loc. Serre nel Comune di Aliano (MT)			
SONDAGGIO: 1	CAMPIONE: 1	PROFONDITA': m 13.00 - 13.50	

## ANALISI GRANULOMETRICA

Modalità di prova: Norma ASTM D 422

Ghiaia	0,2 %	Passante setaccio 10 (2 mm)	99,0 %	D10	0,00259 mm	
Sabbia	27,2 %	Passante setaccio 40 (0.42 mm)	94,8 %	D30	0,00950 mm	
Limo	53,8 %	Passante setaccio 200 (0.075 mm)	72,6 %	D50	0,02613 mm	
Argilla	18,8 %			D60	0,04287 mm	
Coefficiente di uniformità		16,55	Coefficiente di curvatura	0,81	D90	0,18910 mm



Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %
9,5200	100,00	0,2500	91,98	0,0311	53,51	0,0062	21,96	0,0014	3,40
4,7500	99,76	0,1770	89,53	0,0225	47,02	0,0045	17,32		
2,0000	98,98	0,0630	69,14	0,0163	40,21	0,0032	12,68		
0,8410	97,29	0,0589	67,12	0,0121	34,64	0,0023	8,66		
0,4200	94,76	0,0429	60,01	0,0088	28,46	0,0019	6,50		

Limo argilloso - sabbioso di colore marrone



<b>CERTIFICATO DI PROVA N°: 07057</b>	Allegato 1	DATA DI EMISSIONE: 27/12/21	Inizio analisi: 22/12/21
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 381T-21 del 09.12.21		Apertura campione: 09.12.21	Fine analisi: 23/12/21

<b>COMMITTENTE:</b>			
RIFERIMENTO: Indagine preliminare Parco Eolico in loc. Serre nel Comune di Aliano (MT)			
SONDAGGIO: 1	CAMPIONE: 1	PROFONDITA': m	13.00 - 13.50

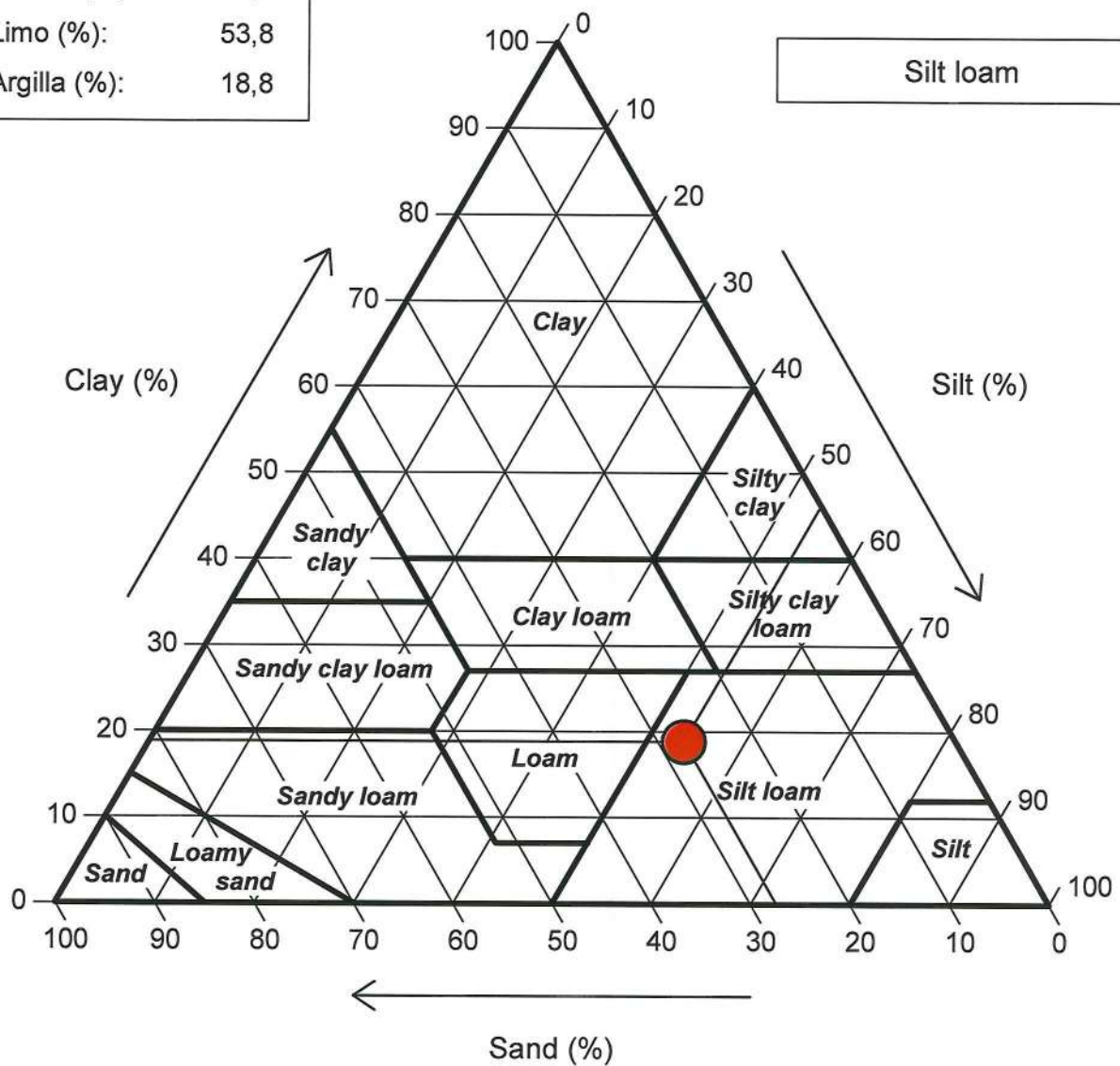
## ANALISI GRANULOMETRICA - GRAFICO TRIANGOLARE

Modalità di prova: Norma ASTM D 422

Sabbia (%):	27,4
Limo (%):	53,8
Argilla (%):	18,8

### Diagramma U.S.D.A.

Silt loam



Limo argilloso - sabbioso di colore marrone



<b>CERTIFICATO DI PROVA N°: 07057</b>	Allegato 1	<b>DATA DI EMISSIONE:</b> 27/12/21	<b>Inizio analisi:</b> 22/12/21
<b>VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 381T-21 del 09.12.21</b>		<b>Apertura campione:</b> 09.12.21	<b>Fine analisi:</b> 23/12/21

<b>COMMITTENTE:</b>			
<b>RIFERIMENTO:</b> Indagine preliminare Parco Eolico in loc. Serre nel Comune di Aliano (MT)			
<b>SONDAGGIO:</b> 1	<b>CAMPIONE:</b> 1	<b>PROFONDITA':</b> m	13.00 - 13.50

## CLASSIFICAZIONE DEL TERRENO

Classificazione secondo: CNR-UNI 10006/00

### ANALISI GRANULOMETRICA

Passante setaccio 10 (2 mm)	99,0	%
Passante setaccio 40 (0.42 mm)	94,8	%
Passante setaccio 200 (0.075 mm)	72,6	%

### LIMITI DI CONSISTENZA

Limite di liquidità	31,2	%
Limite di plasticità	23,5	%
Indice di plasticità	7,7	%

**CLASSIFICAZIONE DEL TERRENO: A4**

**INDICE DI GRUPPO: 8**

Tipi usuali dei materiali principali:  
Limi poco compressibili

Limo argilloso - sabbioso di colore marrone



<b>CERTIFICATO DI PROVA N°: 07058</b>	Pagina 1/4	<b>DATA DI EMISSIONE:</b> 27/12/21	<b>Inizio analisi:</b> 20/12/21
<b>VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 381T-21 del 09.12.21</b>		<b>Apertura campione:</b> 09.12.21	<b>Fine analisi:</b> 23/12/21

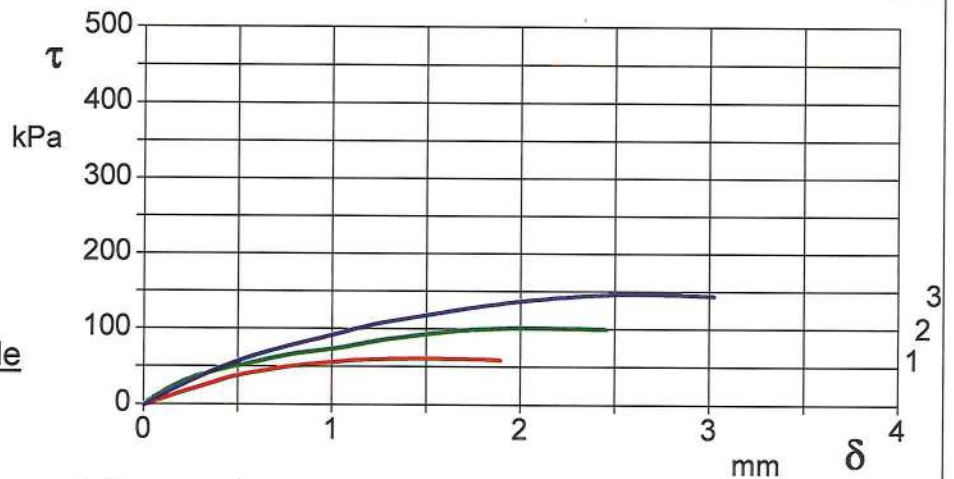
<b>COMMITTENTE:</b>			
<b>RIFERIMENTO:</b> Indagine preliminare Parco Eolico in loc. Serre nel Comune di Aliano (MT)			
<b>SONDAGGIO:</b> 1	<b>CAMPIONE:</b> 1	<b>PROFONDITA':</b> m 13.00 - 13.50	

## PROVA DI TAGLIO DIRETTO

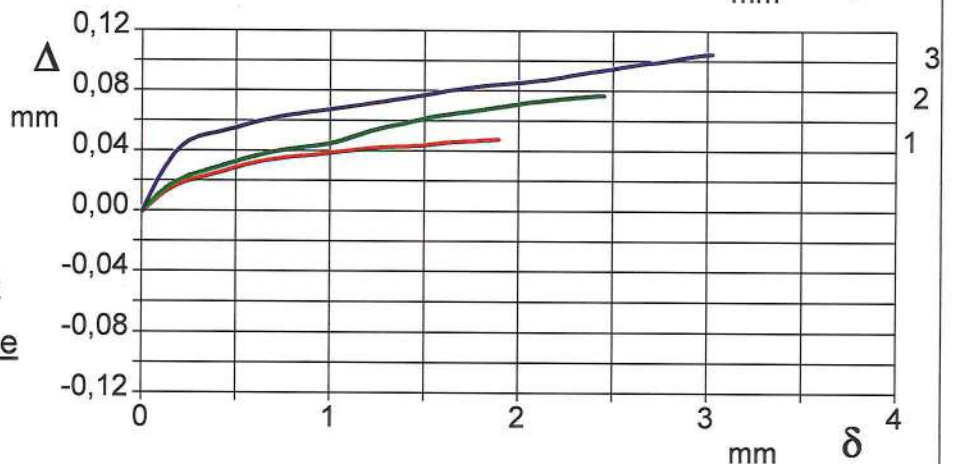
Modalità di prova: Norma ASTM D 3080

Provino n°:	1	2	3
Condizione del provino:	Indisturbato	Indisturbato	Indisturbato
Tempo di consolidazione (ore):	24	24	24
Pressione verticale (kPa):	100,0	200,0	300,0
Umidità iniziale e umidità finale (%):	19,5    20,8	19,6    20,5	19,5    20,4
Peso di volume (kN/m³):	19,6	19,6	19,6
<b>Tipo di prova:</b> Consolidata - lenta		<b>Velocità di deformazione:</b> 0,002 mm / min	

**DIAGRAMMA**  
Tensione  
Deformazione orizzontale



**DIAGRAMMA**  
Deformazione verticale  
Deformazione orizzontale



Limo argilloso - sabbioso di colore marrone



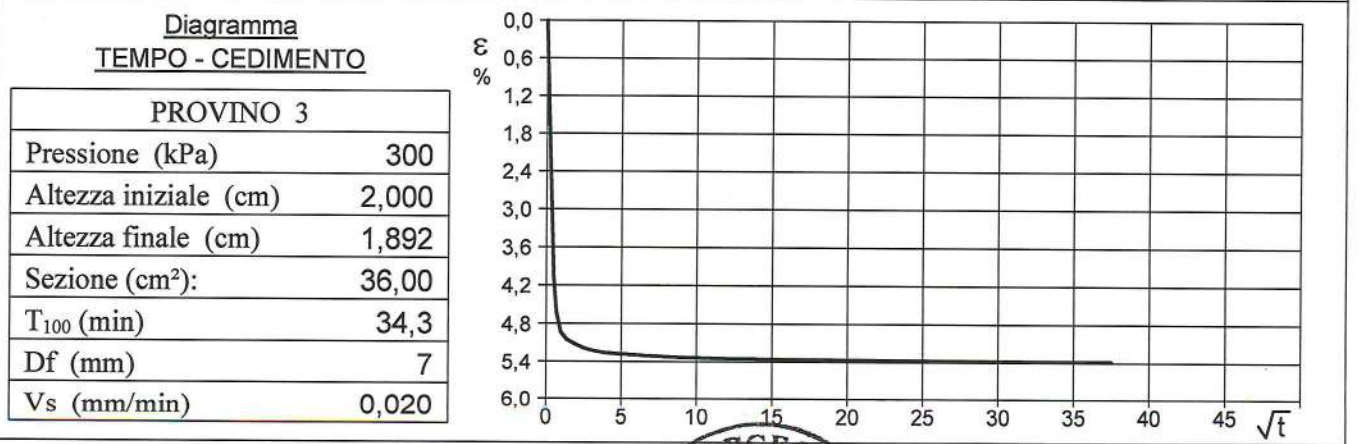
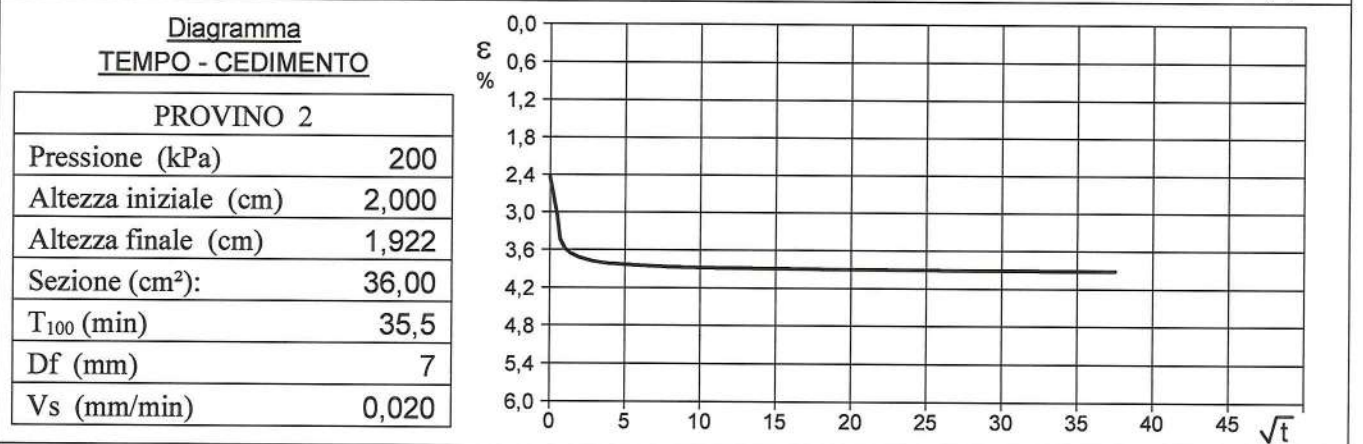
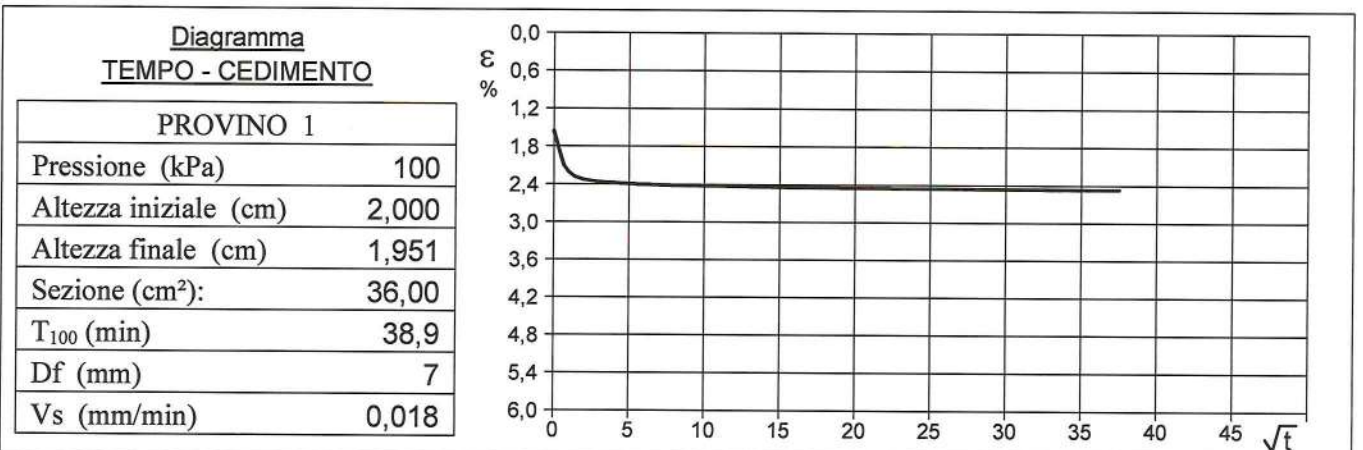


<b>CERTIFICATO DI PROVA N°: 07058</b>	Pagina 3/4	DATA DI EMISSIONE: 27/12/21	Inizio analisi: 20/12/21
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 381T-21 del 09.12.21		Apertura campione: 09.12.21	Fine analisi: 23/12/21

COMMITTENTE:			
RIFERIMENTO: Indagine preliminare Parco Eolico in loc. Serre nel Comune di Aliano (MT)			
SONDAGGIO: 1	CAMPIONE: 1	PROFONDITA': m 13.00 - 13.50	

## PROVA DI TAGLIO DIRETTO - FASE DI CONSOLIDAZIONE

Modalità di prova: Norma ASTM D 3080



$V_s = \text{Velocità stimata di prova}$    
 $D_f = \text{Deformazione}$    
 $t_f = 10 \times T_{100}$    
 $V_s = D_f / t_f$





<b>CERTIFICATO DI PROVA N°: 07058</b>	Pagina 4/4	DATA DI EMISSIONE: 27/12/21	Inizio analisi: 20/12/21
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 381T-21 del 09.12.21		Apertura campione: 09.12.21	Fine analisi: 23/12/21
<b>COMMITTENTE:</b>			
<b>RIFERIMENTO:</b> Indagine preliminare Parco Eolico in loc. Serre nel Comune di Aliano (MT)			
<b>SONDAGGIO:</b> 1	<b>CAMPIONE:</b> 1	<b>PROFONDITA':</b> m 13.00 - 13.50	

## PROVA DI TAGLIO DIRETTO - FASE DI CONSOLIDAZIONE

Modalità di prova: Norma ASTM D 3080

Provino 1			Provino 2			Provino 3		
Tempo minuti	Cedim. mm/100	Cedim. %	Tempo minuti	Cedim. mm/100	Cedim. %	Tempo minuti	Cedim. mm/100	Cedim. %
0,00	31,10	1,56	0,00	48,60	2,43	0,00	0,00	0,00
0,25	39,50	1,98	0,25	61,30	3,07	0,25	81,10	4,06
0,50	42,30	2,12	0,50	68,80	3,44	0,50	92,50	4,63
1,00	44,20	2,21	1,00	71,50	3,58	1,00	98,80	4,94
2,00	45,70	2,29	2,00	73,20	3,66	2,00	101,20	5,06
4,00	46,60	2,33	4,00	74,50	3,73	4,00	102,70	5,14
8,00	47,20	2,36	8,00	75,60	3,78	8,00	104,30	5,22
15,00	47,60	2,38	15,00	76,30	3,82	15,00	105,20	5,26
30,00	48,00	2,40	30,00	76,80	3,84	30,00	105,80	5,29
60,00	48,30	2,42	60,00	77,30	3,87	60,00	106,40	5,32
120,00	48,50	2,43	120,00	77,60	3,88	120,00	106,90	5,35
240,00	48,80	2,44	240,00	77,80	3,89	240,00	107,20	5,36
480,00	49,00	2,45	480,00	78,00	3,90	480,00	107,40	5,37
960,00	49,20	2,46	960,00	78,20	3,91	960,00	107,60	5,38
1440,00	49,30	2,47	1440,00	78,30	3,92	1440,00	107,70	5,39





## 1. Premessa

La presente campagna di indagini geofisiche è mirata a caratterizzare sismicamente secondo la nuova normativa ITC 20/8 i luoghi in cui sarà realizzato un parco eolico in località Le Serre nel comune di Aliano.

In particolare sono state eseguite le seguenti indagini:

- N.1 prospezione sismica a rifrazione in onda P
- N.1 prospezione sismica attiva tipo MASW.

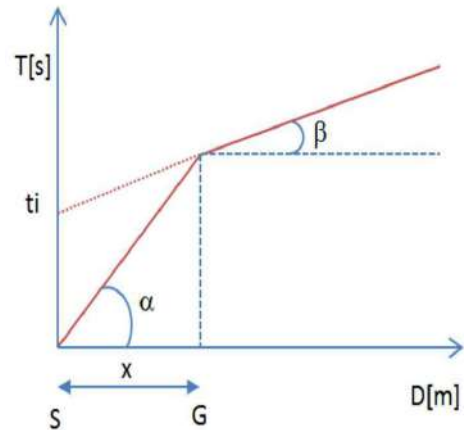
Lo stendimento sismico in onda P è servito a caratterizzare sismicamente la stratigrafia del sottosuolo mentre la prospezione MASW è servita per la classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio,  $V_S$  (approccio semplificato).

## 2. Indagini Geognostiche Indirette: Prospezioni Sismiche a Rifrazione (Onde P)

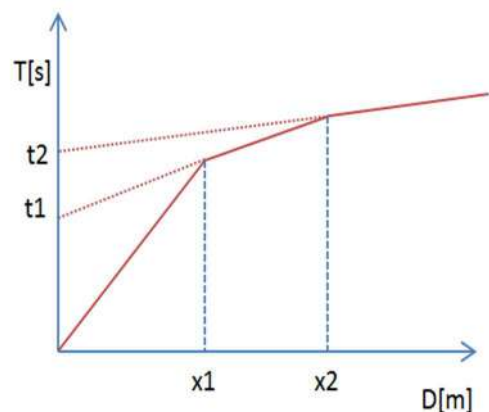
Le indagini di sismica a rifrazione (P e/o S), consentono di interpretare la stratigrafia del sottosuolo attraverso il principio fisico del fenomeno della rifrazione totale di un'onda sismica che incide su una discontinuità, individuata fra due corpi aventi proprietà meccaniche diverse (orizzonte rifrattorio). Altro scopo è quello di tarare e vincolare l'altro metodo di indagine (MASW) per tutto lo spessore investigato dall'indagine sismica, contribuendo a diminuire l'incertezza sulla determinazione delle velocità delle onde sismiche  $V_S$ . La condizione fondamentale per eseguire studi di sismica a rifrazione tradizionale è quella per cui la successione di strati da investigare sia caratterizzata da velocità sismiche crescenti all'aumentare della profondità. In questo modo si possono valutare fino a 4 o 5 orizzonti rifrattori differenti. Le prove si basano sulla misura dei tempi di percorso delle onde elastiche per le quali, ipotizzando le superfici di discontinuità estese rispetto alla lunghezza d'onda  $\lambda$ , comunque, con deboli curvature, i fronti d'onda sono rappresentati mediante i relativi raggi sismici. L'analisi si avvale, poi, del principio di Fermat e della legge di Snell. Il principio di Fermat stabilisce che il raggio sismico percorre la distanza tra sorgente e rilevatore seguendo il percorso per cui il tempo di tragitto è minimo. Per tale principio, dato un piano che separa due mezzi con caratteristiche elastiche diverse, il raggio sismico è quello che si estende lungo un piano perpendicolare alla discontinuità contenente sia la sorgente che il ricevitore. La legge di Snell è una formula che descrive le modalità di rifrazione di un raggio sismico nella transizione tra due mezzi caratterizzati da diversa velocità di propagazione delle onde  $\lambda$ , equivalentemente, da diversi indici di rifrazione. L'angolo formato tra la superficie di discontinuità e il raggio sismico è chiamato angolo di incidenza  $\vartheta_i$  mentre quello formato tra il raggio rifratto e la superficie normale è detto angolo di rifrazione  $\vartheta_r$ . La formula matematica è:  $v_2 \sin \vartheta_i = v_1 \sin \vartheta_r$ . Dove  $v_1$  e  $v_2$  sono le velocità dei due mezzi separati dalla superficie di discontinuità. Per  $v_1 > v_2$  si ha che  $\vartheta_i > \vartheta_r$  e la sismica a rifrazione non è attuabile poiché il raggio rifratto andrebbe ad inclinarsi verso il basso. Per  $v_1 < v_2$

si ha che  $\vartheta_i < \vartheta_r$  ed esiste un angolo limite d'incidenza per cui  $\vartheta_r = 90^\circ$  ed il raggio rifratto viaggia parallelamente alla superficie di discontinuità. L'angolo limite è definito come:  $\vartheta_i \arcsin (v_1 / v_2)$ .

Il modo più semplice per analizzare i dati di rifrazione è quello di costruire un diagramma tempi-distanze in cui l'origine del sistema di riferimento è posto in corrispondenza della sorgente di generazione delle onde elastiche. In ascissa sono rappresentate le posizioni dei geofoni ed in ordinata i tempi dei primi arrivi. Ai geofoni più vicini alla sorgente giungono per primi gli impulsi che hanno seguito il percorso diretto in un tempo  $T$  dato dalla relazione:  $T = x_i / V_1$ , dove  $x_i$  è la distanza tra il punto di energizzazione e il punto di rilevazione. L'equazione precedente rappresenta una retta che passa per l'origine degli assi tempi-distanze e il suo coefficiente angolare consente di calcolare la velocità  $V_1$  del primo mezzo come:  $V_1 = 1 / \tan \alpha$ . I tempi di arrivo dei raggi rifratti, nel diagramma tempi-distanze, si dispongono secondo una retta che avrà pendenza minore di quella delle onde dirette.



La curva tempi-distanze tende ad avere un andamento regolare secondo una spezzata i cui vertici sono i chiamati *punti di ginocchio* e rappresentano, fisicamente, la condizione in cui si verifica l'arrivo contemporaneo delle onde dirette e rifratte. Per ciascuno di segmenti individuati si determina, dunque, il tempo di ritardo  $t_i$  che rappresenta la differenza tra il tempo che il raggio sismico impiega a percorrere un tratto alla velocità propria dello strato in cui si trasmette ed il tempo che impiegherebbe a viaggiare lungo la componente orizzontale di quel tratto alla massima velocità raggiunta in tutto il percorso di rifrazione. Graficamente il tempo di ritardo è dato dall'intersezione della retta che comprende un segmento della curva tempi-distanze con l'asse dei tempi.



Infine, dalla conoscenza dei tempi  $t_i$  è possibile ricavare gli spessori dei rifrattori mediante la relazione:

$$h_{(i-1)} = \frac{V_{(i-1)} V_i}{2 \sqrt{V_i^2 - V_{(i-1)}^2}} \left( t_i - \frac{2h_1 \sqrt{V_i^2 - V_1^2}}{V_1 V_i} - \dots - \frac{2h_{(i-2)} \sqrt{V_i^2 - V_{(i-2)}^2}}{V_1 V_{(i-2)}} \right)$$

## 2.1 Acquisizione ed Interpretazione dei Dati

Le indagini sono state condotte utilizzando la seguente strumentazione:

- Sismografo con 24 canali, della ditta "PASI Srl" modello GEA24 con acquisizione computerizzata dei dati mediante laptop;

- Sorgente di energizzazione costituita da un maglio del peso di 10 Kg battente verticalmente su piastra rettangolare in alluminio posta direttamente sul piano campagna per la generazione prevalentemente di onde P e secondariamente di onde  $S_V$ ;
- n 12 geofoni verticali del tipo elettromagnetico a bobina mobile a massa sospesa, con frequenza di acquisizione pari a 4,5 Hz.

La distanza intergeofonica è stata posta pari a 3 mt, con punti di battuta A e B posti a 5 mt rispettivamente dal 1° e dal 12° geofono, in posizione esterna allo stendimento, la battuta C posta al centro dello stendimento (fra il 6° e il 7° geofono), mentre le altre due battute intermedie D ed E poste rispettivamente tra 3° e 4° geofono e tra il 9° e il 10° geofono come riportato in **Figura 1**:



**Figura 1**-Configurazione geometrica dello stendimento sismico a rifrazione

In fase di acquisizione dei sismogrammi è stato applicato un filtro passa alto, con frequenza di taglio pari a 10 Hz, per una migliore ricezione dei segnali. L'elaborazione dei dati è stata eseguita secondo la procedura descritta schematicamente di seguito:

- Inserimento delle geometrie mediante il software EasyRefract (distanze fra geofoni e posizioni dei punti di battuta);
- Applicazione di un filtro "low-pass" per la lettura ottimale dei primi arrivi eliminando le frequenze di disturbo;
- *Picking* dei primi arrivi;
- Definizione delle dromocrone;
- Calcolo dromocrone traslate;
- Definizione del modello sismostratigrafico.

Bisogna precisare che, l'elaborazione dei dati di sismica a rifrazione rappresentano l'andamento dei sismostrati lungo la sezione corrispondente al profilo in superficie, ed il modello sismostratigrafico che ne deriva rappresenta l'interpretazione degli stessi sismostrati in funzione della geologia del sito, ottenuto correlando le velocità medie di ciascun sismostrato con i dati geologici noti e le loro velocità sismiche caratteristiche. Ai fini della corretta interpretazione dei risultati dell'indagine sismica è importante puntualizzare che:

- a) I sismostrati non sono necessariamente associabili a litotipi ben definiti, ma sono rappresentativi di livelli con simili caratteristiche elastiche, in cui le onde sismiche si propagano con la stessa velocità;



- b) La risoluzione del metodo è funzione della profondità d'indagine e la risoluzione diminuisce con la profondità: considerato uno strato di spessore  $h$  ubicato a profondità  $z$  dal piano campagna, in generale non è possibile individuare sismostrati in cui  $h < 0,25 * z$ ;
- c) Nelle indagini superficiali, le onde di taglio, meno veloci, arrivano in un tempo successivo, per cui il segnale registrato sarà la risultante delle onde S con le onde P e quindi la lettura dei tempi di arrivo delle onde S può risultare meno precisa della lettura dei tempi di arrivo delle onde P;
- d) I terreni esaminati possono ricoprire un ampio campo delle velocità sismiche, in relazione alla presenza di materiale di riporto, di terreno vegetale e di acqua di falda nonché ai vari gradi di stratificazione, carsificazione e di fratturazione dell'ammasso roccioso.

Di seguito sono stati riportati, in **Tabella 1**, i valori di velocità delle onde sismiche di compressione P tipici di alcuni litotipi ricorrenti.

Litotipo	V <sub>P</sub> (m/sec)	Litotipo	V <sub>P</sub> (m/sec)
Areato superficiale	300-800	Calcere cristallino	5700-6400
Argille	1100-2900	Piroclastiti coerenti (tufo)	750-2450
Sabbia asciutta	200-1000	Piroclastiti incoerenti (pozzolana)	350-1000
Sabbie umida	600-1800	Arenaria	1400-4500
Terreni alluvionali sciolti	400-2100	Granito, Monzonite, Granodiorite, Gabbro, Diabase, Basalto	4000-6000
Acqua	1400-1500	Anidride	3500-5500
Calcere fratturato	700-4200	Gesso	1800-4000
Calcere compatto	2800-6400	Gneiss e scisti	3500-7500

**Tabella 1**-Valori di velocità tipiche delle onde di compressione P (da "Le indagini geofisiche per lo studio del sottosuolo" di Carrara-Rapolla-Roberti, "Il manuale del geologo" di Cassadio-Elmi)

## 2.2. Stendimento ST01

Lo stendimento è stato realizzato su strada in terra battuta, con variazione altimetrica tra il primo e l'ultimo geofono di circa 3,30 mt, una estensione totale della linea sismica pari a 33 mt.

Dai valori di velocità di propagazione delle onde P, è stato possibile ricavare la sismostruttura del sottosuolo investigato, identificando tre sismostrati, ciascuno caratterizzato da un determinato valore medio di velocità delle onde di compressione. Assimilando tali valori di velocità di propagazione delle onde P alle litologie presenti nell'area, in prima analisi, è stato ricostruito il seguente assetto litostratigrafico, evidenziando come i relativi spessori subiscono delle leggere variazioni lungo la sezione sismica realizzata.



- 1) **Sismostrato A:** camminamento stradale e relativo sottofondo di natura sabbioso-limosa, mediamente consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 745 m/sec per una profondità media di -1,10 mt da pc;
- 2) **Sismostrato B:** deposito di natura sabbioso-limosa, ben consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 1515 m/sec per una profondità media di -4,80 mt da pc;
- 3) **Sismostrato C:** deposito di natura limo-argillosa, molto consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 1993 m/sec sino a fine indagine (-12,00≈ mt da pc).

### 3 Indagini Geognostiche Indirette: Prospezioni Sismiche MASW

Il metodo MASW (*Multichannel Analysis of Surface Waves*) è una tecnica di indagine non invasiva che permette di individuare il profilo di velocità delle onde di taglio  $V_s$ , sulla base della misura delle onde superficiali eseguita in corrispondenza di diversi sensori (geofoni nel caso specifico) posti sulla superficie del terreno. Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono di tipo dispersive (fenomeno della dispersione geometrica), cioè onde con diverse frequenze si propagano con diverse velocità di fase (o di gruppo) apparente (Achenbach, J.D., 1999, Aki, K. and Richards, P.G., 1980) ovvero la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione. La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile alla specificità che le onde ad alta frequenza hanno di propagarsi negli strati più superficiali, fornendo informazioni sulla parte più alta del terreno, mentre le onde a bassa frequenza, propagandosi negli strati più profondi, restituiscono indicazioni sulla parte più bassa del terreno. Il metodo MASW è di tipo attivo in quanto le onde superficiali sono generate in un punto sulla superficie del terreno (energizzazione con mazza battente parallelamente all'array) e misurate da un array lineare di geofoni. Il metodo attivo generalmente consente di ottenere una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente nel range di frequenze compreso tra 5÷10 Hz e 70÷100 Hz, quindi fornisce informazioni sulla parte più superficiale del terreno, generalmente compreso nei primi 30÷50 mt, in funzione della rigidità del terreno e della caratteristica della sorgente.

### 3.1 Acquisizione ed Interpretazione dei Dati

Per il caso in esame, è stato utilizzato un sismografo a 24 canali, della ditta "PASI Srl" modello GEA24 con acquisizione computerizzata dei dati e una sorgente ad impatto verticale per la generazione di onde Rayleigh rilevate da 12 geofoni aventi frequenza pari a 4,5 Hz con una spaziatura di 3 mt, per entrambi gli stendimenti denominati MASW01 e MASW02, per una lunghezza totale degli stessi pari a 33 ml e considerando le stesse linee sismiche utilizzate per

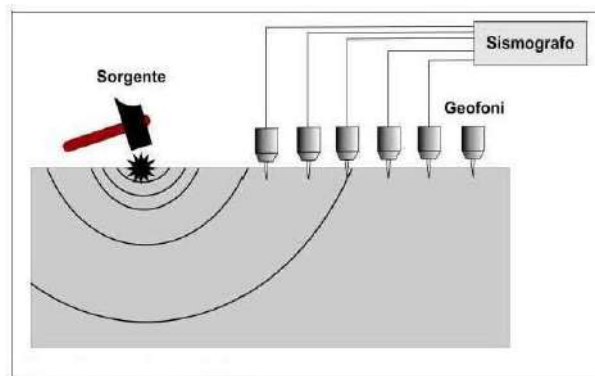


Figura 2-Schema realizzativo indagine MASW (Onde di Rayleigh)

l'acquisizione di sismica a rifrazione. Sono stati effettuate n 4 battute per l'acquisizione dei sismogrammi utilizzando degli offset minimi rispettivamente a -5 mt e -10 mt dal 1° geofono e +5 mt e +10 mt dal 12° geofono. L'intervallo di campionamento è stato pari a 1 ms (millisecondo) con un tempo di registrazione di 2 secondi. Lo schema organizzativo della prova è riportato in **Figura 2**, mentre per l'ubicazione dei profili sismici si faccia riferimento in allegato alla **Tavola G2** - "Carta Geologica".

La procedura adottata per ricostruire la distribuzione delle onde di taglio nel terreno ( $V_s$ ) può essere così descritta:

- 1) Acquisizione dei sismogrammi contenenti le onde di superficie (onde di Rayleigh con componente verticale) per un intervallo di tempo sufficiente e un'adeguata frequenza di campionamento;
- 2) Processing dei sismogrammi acquisiti individuando le onde di superficie utili alla costruzione dello spettro di velocità ed individuazione delle curve di dispersione;
- 3) Inversione dei dati usando un modello di terreno che permetta di ricavare un profilo monodimensionale della velocità delle onde S ed ulteriori parametri in funzione della profondità compatibile con il contesto geologico in esame. Tale inversione avviene attraverso l'utilizzo di algoritmi genetici che rappresentano un tipo di procedura di ottimizzazione appartenente alla classe degli algoritmi euristici (o anche *global search methods* o *soft computing*).

Per il trattamento e l'analisi dei dati acquisiti in situ si è utilizzato il software "WinMASW 3C" release 7.1 della EliaSoft Srl.

### 3.2 Stendimento MASW01

Considerando le n 4 acquisizioni realizzate per la prova, si è scelto di trattare il dataset che presentava un rapporto segnale/rumore superiore, di conseguenza, per la determinazione del profilo verticale della velocità media delle onde S si è selezionato il set di dati relativamente allo *shot* effettuato a +10 mt dal 12° geofono (**Figura 3**) per il quale è stato desunto il relativo spettro di velocità (**Figura 4**).

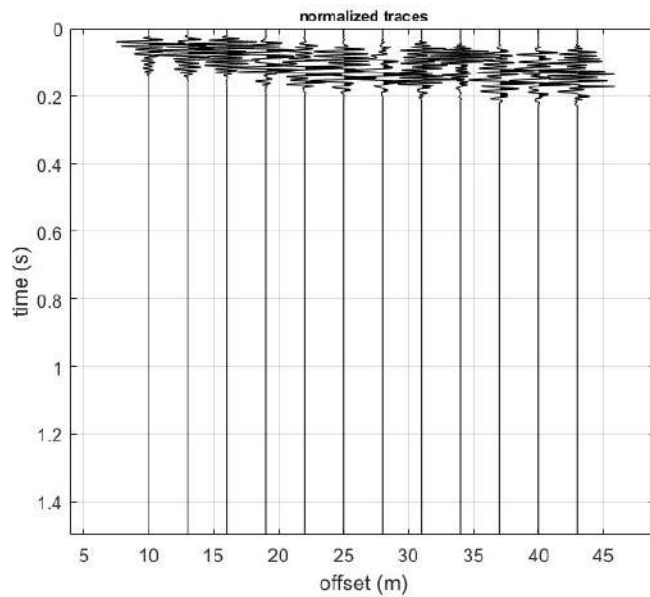


Figura 3-Tracce acquisite in situ ed utilizzate per la costruzione dello spettro di velocità

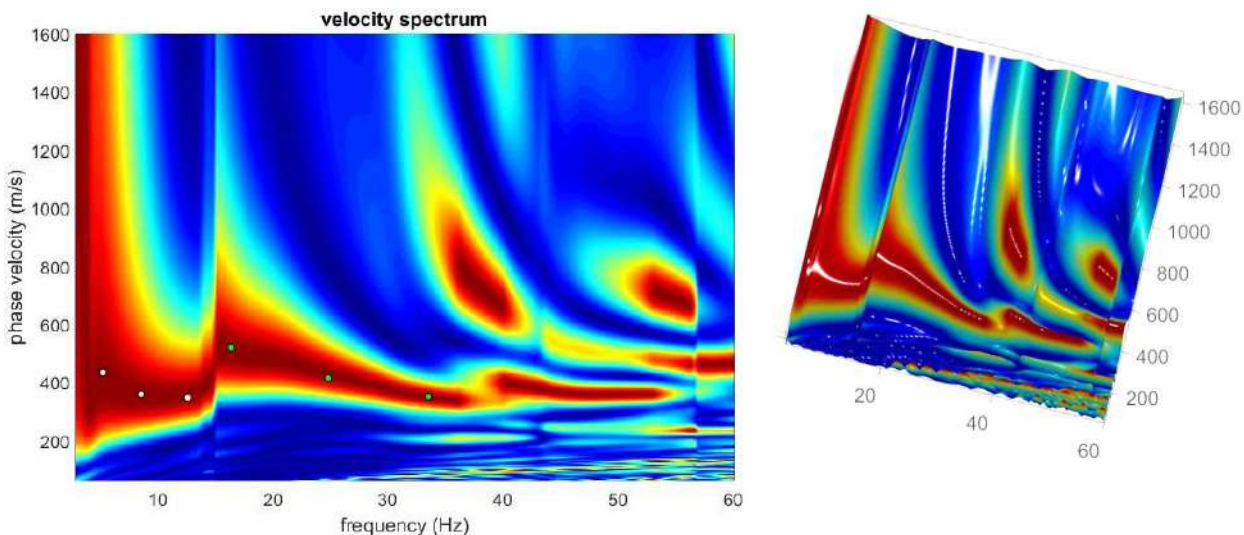


Figura 4-Spettro di velocità (visualizzazione 2D e 3D). In evidenza l'andamento del modo fondamentale (pallini bianchi) e del primo modo superiore (pallini verdi)

L'analisi dello spettro "frequenza-velocità di fase" 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 (**Figura 5**). Si precisa infine che il modello del sottosuolo, e di conseguenza anche l'inversione di velocità derivata, è stato ottenuto in corrispondenza del punto medio del profilo di acquisizione (circa 16,50 mt da inizio stendimento sismico). Di seguito si riporta lo spettro di velocità sul quale è stata riportata la curva di dispersione "piccata" (picking pallini fucsia), la curva di dispersione del "modello migliore" (pallini blu) e del "modello medio" (croci verdi), **Figura 7**, rispetto a tutti i modelli testati durante il processo di inversione, **Figura 6**. Viene riportato, inoltre, il grafico inerente al "misfit evolution" (disaccordo) e cioè la quantificazione di quanto si discosti un modello testato rispetto al dato osservato, **Figura 8**.



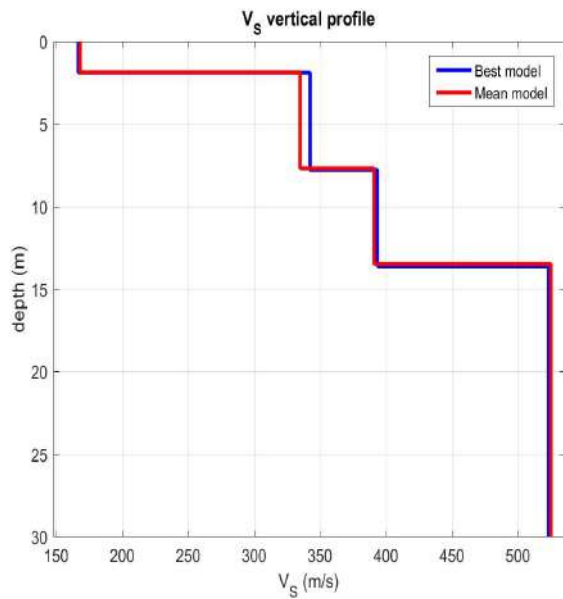


Figura 5-Profilo  $V_{s, equ} = 401$  m/sec calcolato a partire dal piano campagna

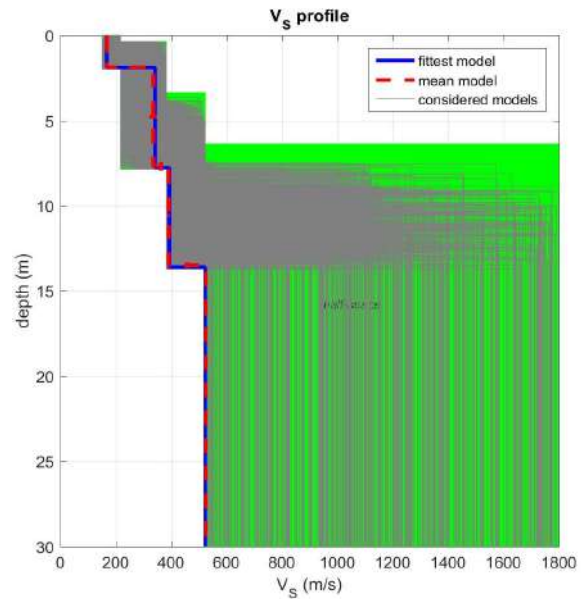


Figura 6-Modelli testati durante il processo di inversione

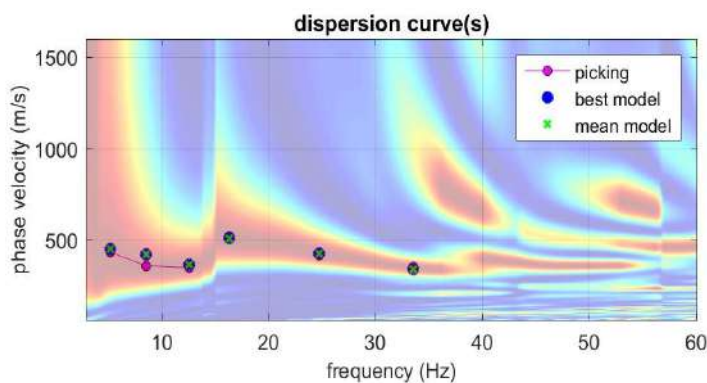


Figura 7-Curva di dispersione osservata (picking pallini fucsia) e curve di dispersione relative "best model" (pallini blu) e "mean model" (croci verdi)

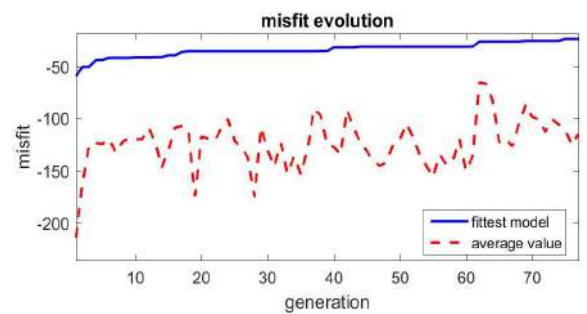


Figura 8-Evoluzione del misfit (disaccordo) al progredire dei modelli testati durante il processo di inversione

### 3.3 Classificazione del Sottosuolo di Fondazione

Sulla base delle risultanze delle indagini 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, recepita dalla Regione Basilicata con DGR n° 2000/2003, e dalle modifiche allo stesso portate dal Consiglio dei ministri con Ordinanza n° 3431 del 03/05/2005, DM 17/01/2018). Si rammenta che le "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni" individuano n 5 categorie di sottosuolo (**Tabella 2**) e precisamente:



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

**Tabella 2**-Categorie di sottosuolo identificate dalle "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni" (NTC/18)

Le indagini MASW hanno consentito la stima dei valori delle velocità delle onde sismiche di taglio e, da queste, il calcolo della  $V_s$  equivalente risultante, applicando la seguente formula:

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

Con:

- $h_i$  spessore (in mt) dell'i-esimo strato;
- $V_{s,i}$  velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;
- N numero di strato;
- H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_s$  non inferiori a 800 m/s.

Per lo stendimento MASW01 il valore di  $V_s$  equivalente calcolato pari a **401** m/sec, colloca i litotipi presenti nella **Categoria di sottosuolo 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*;



La caratterizzazione elasto dinamica degli strati identificati con lo stendimento sismico ST01 sono di seguito evidenziate in Tabella 3:

- **Stendimento ST01**

<b>Sismostrato</b> Profondità media (mt da pc)	$\bar{V}_p$ (m/sec)	$\bar{V}_s$ (m/sec)	$\gamma$ (gr/cm <sup>3</sup> )	$\mu$	$E_y$ (MPa)	$G_0$ (MPa)	$M_0$ (MPa)	$\lambda$ (MPa)
<b>A</b> (0,00÷1,10)	745	167	1,79	0,46	147	50	927	894
<b>B</b> (1,10÷4,80)	1515	342	2,05	0,47	706	240	4386	4226
<b>C</b> (4,80÷12,00≈)	1993	393	2,16	0,48	987	334	8135	7912

<b>Sismostrato</b> Profondità media (mt da pc)	<b>R</b> (tonn/m <sup>2</sup> s)
<b>A</b> (0,00÷1,10)	298
<b>B</b> (1,10÷4,80)	701
<b>C</b> (4,80÷12,00≈)	1549

**Tabella 3**-Riepilogo delle caratteristiche elasto-meccaniche degli strati identificati dalle indagini geofisiche in situ per lo stendimento sismico ST01

**COMUNE DI ALIANO**  
**Provincia di Matera**

**PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE ED ESERCIZIO  
DI UN PARCO EOLICO PER LA PRODUZIONE  
DI ENERGIA ELETTRICA, DELLE OPERE CONNESSE  
E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI  
(STRADA DI ACCESSO AL PARCO EOLICO)  
Loc. "Le Serre"**



A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Giuseppe Amorosi".

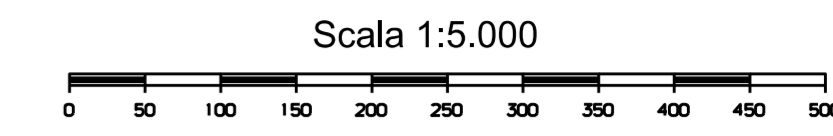
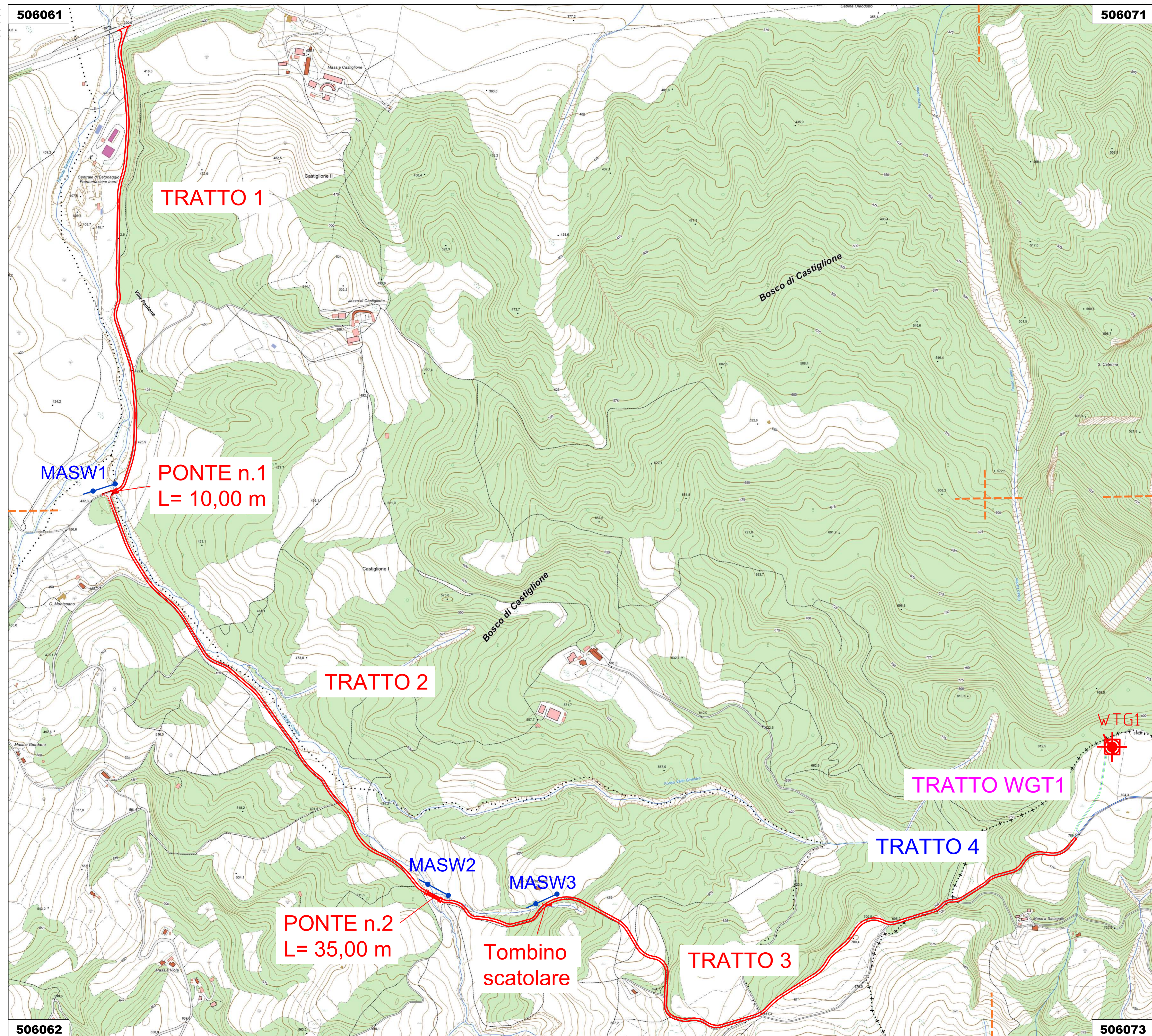
**Relazione Geologica**  
**ALLEGATO B - CARTOGRAFIA TEMATICA**



Dott. Geol. Giuseppe AMOROSI

Data:

Giugno 2022



LEGENDA OPERE IN PROGETTO	
	UBICAZIONE AEROGENERATORE
	STRADA DI ACCESSO AL PARCO EOLICO
LEGENDA INDAGINI SISMICHE	
	INDAGINE SISMICA MASW

REGIONE BASILICATA



COMUNE DI ALIANO



IMPIANTO EOLICO

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE ED ESERCIZIO DI UN PARCO EOLICO PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA, DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI (STRADA DI ACCESSO AL PARCO EOLICO)

LOCALITA' LE SERRE

POTENZA NOMINALE 39.6 MW

Allegato 2

PROGETTAZIONE

PROPONENTE



Piazza Vittorio Emanuele II n° 14  
12073 CEVA - CN  
P.IVA 03894180045

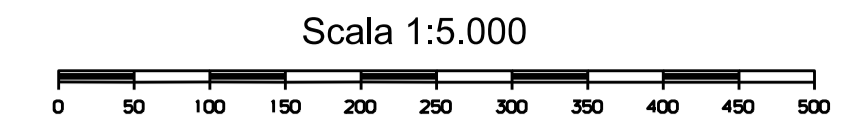
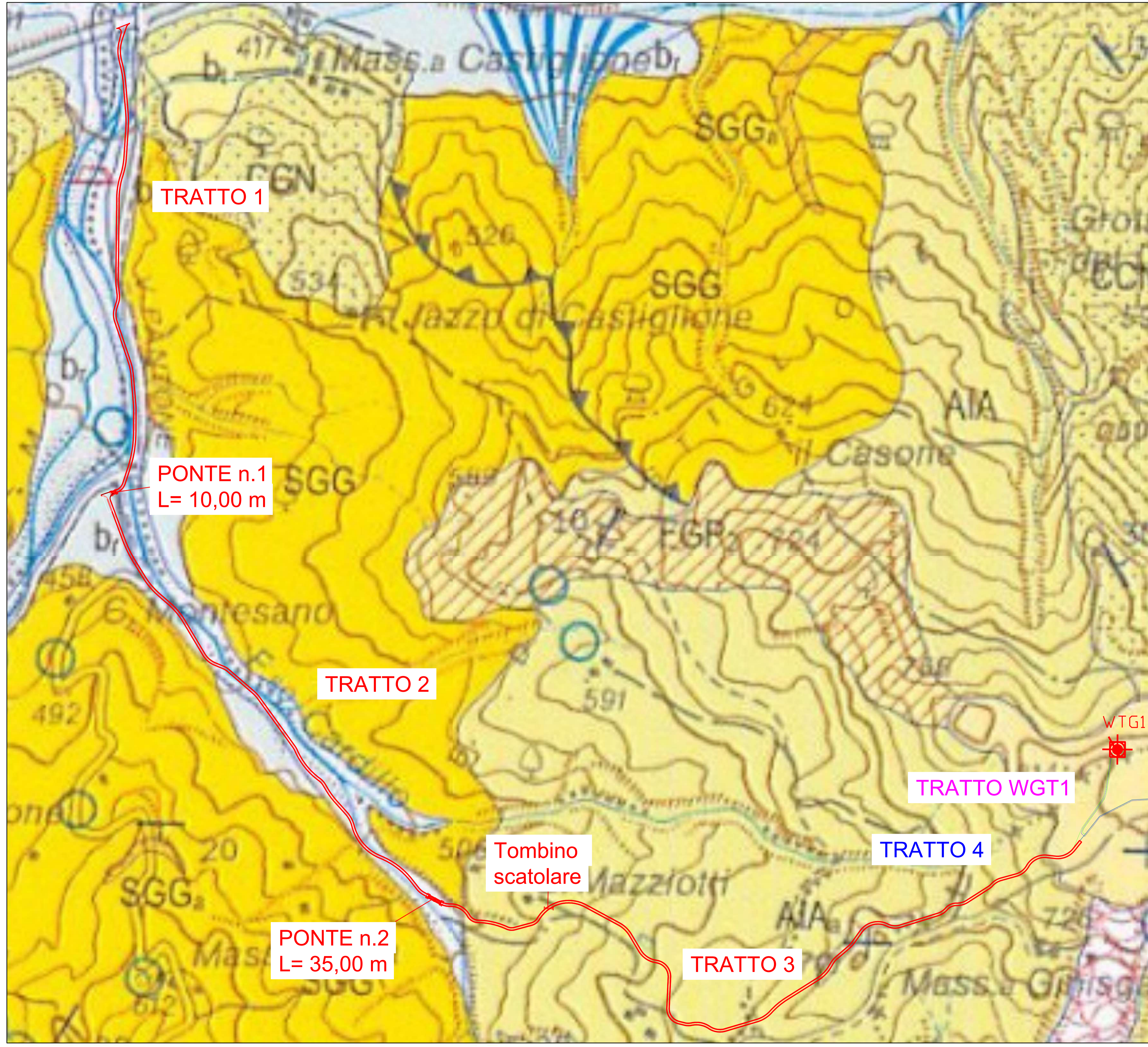
SKI 04 S.r.l.  
Via Caradosso 9  
20123 - Milano  
P.IVA 11479190966

Il Geologo  
Giuseppe Amorosi  
TAVOLA G1B COROGRAFIA  
CON UBICAZIONE INDAGINI  
(Scala 1:5.000)

DATA: GIUGNO 2022

Relazione Geologica

Rev n°



**LEGENDA OPERE IN PROGETTO**

- UBICAZIONE AEROGENERATORE
- STRADA DI ACCESSO AL PARCO EOLICO

**STRALCIO LEGENDA CARTA GEOLOGICA FG.506 SANT'ARCANGELO  
CARTA GEOLOGICA D'ITALIA IN SCALA 1:50.000**

<p><b>DEPOSITI DEI BACINI DEL F. AZE E F. SINI S.P.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>3 Depositi alluvionali attuali (A) e recenti (R)</li> <li>4 Depositi di sabbie</li> <li>5 Depositi alluvionali antichi</li> </ul>	<p><b>DEPOSITI DEI BACINI INTRAPPENNINICI</b></p> <p><b>GRUPPO DI SANT'ARCANGELO</b></p> <p><b>CONGLOMERATI DI CASTIGNOVO</b></p> <p><b>SABBIE DI ALIANO</b></p> <p><b>ANGOLE MARINSE GRIGIO-AZZURRE e SABBIE DI SAN GIORDIO LUCANO</b></p>	<p><b>DEPOSITI PLOCENSI DELLA CATENA APPENNINICA</b></p> <p><b>GRUPPO DI CALLANORO</b></p> <p><b>SABBIE GRIGIE E BIANCHE</b></p> <p><b>ANGOLE MARINSE AZZURRE</b></p> <p><b>ANGOLE D'ASTONICHE BIANCHE</b></p> <p><b>CONGLOMERATI, SABBIE E CALCIARETI</b></p>
--	---	--

**REGIONE BASILICATA**

**COMUNE DI ALIANO**

**IMPIANTO EOLICO**

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE ED ESERCIZIO DI UN PARCO EOLICO PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA, DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI (STRADA DI ACCESSO AL PARCO EOLICO)

POTENZA NOMINALE 39.6 MW

**Allegato 2**

**SOLARITES RENEWABLE ENERGY**

Piazza Vittorio Emanuele II n° 14  
12073 CEVA - CN  
P.IVA 03894180045

**SKI 04 S.r.l.**  
Via Caradosso 9  
20123 - Milano  
P.IVA 11479190966

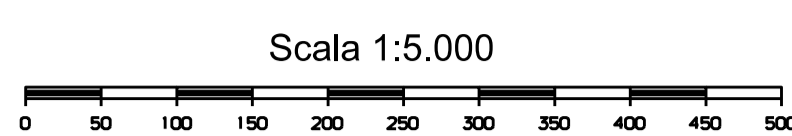
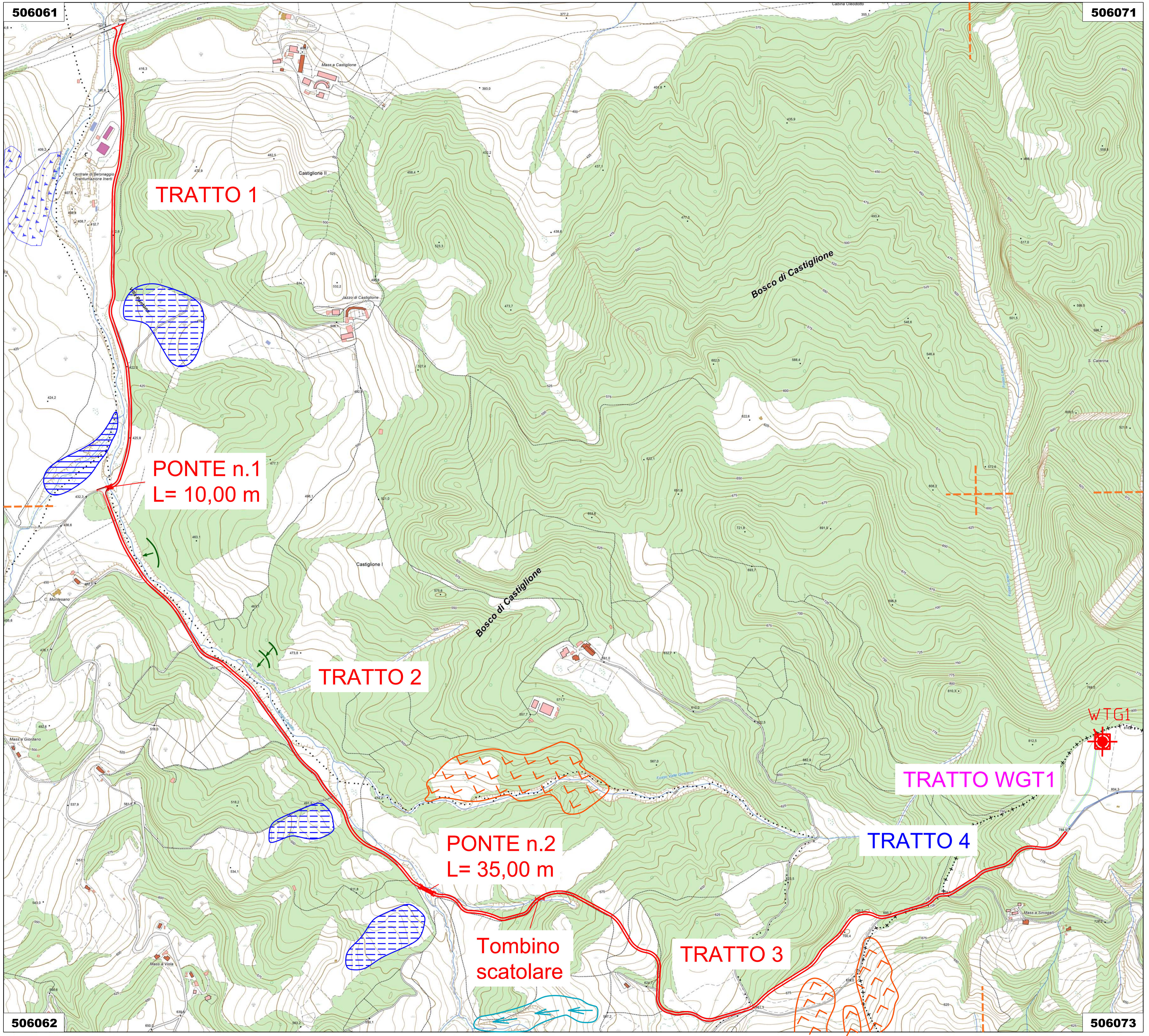
Il Geologo  
Giuseppe Amorosi

TAVOLA G2B - CARTA GEOLOGICA (Scala 1:5.000)

DATA: Giugno 2022

Relazione Geologica

Rev n°



**LEGENDA OPERE IN PROGETTO**

- UBICAZIONE AEROGENERATORE
- STRADA DI ACCESSO AL PARCO EOLICO

**LEGENDA GEOMORFOLOGICA**

- NICCHIA DI DISTACCO INATTIVA
- AREE SOGGETTE A RUSCELLAMENTO ED EROSIONE SUPERFICIALE
- AREE SOGGETTE AD ALLUVIONAMENTO
- AREE SOGGETTE A RUSCELLAMENTO DIFFUSO
- AREE SOGGETTE AD EROSIONE ACCELERATA
- AREE SOGGETTE AD EROSIONE CALANCHIVA

**REGIONE BASILICATA**

**COMUNE DI ALIANO**

**IMPIANTO EOLICO**

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE ED ESERCIZIO DI UN PARCO EOLICO PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA, DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI (STRADA DI ACCESSO AL PARCO EOLICO)

**LOCALITA' LE SERRE**

POTENZA NOMINALE 39.6 MW

**Allegato 2**

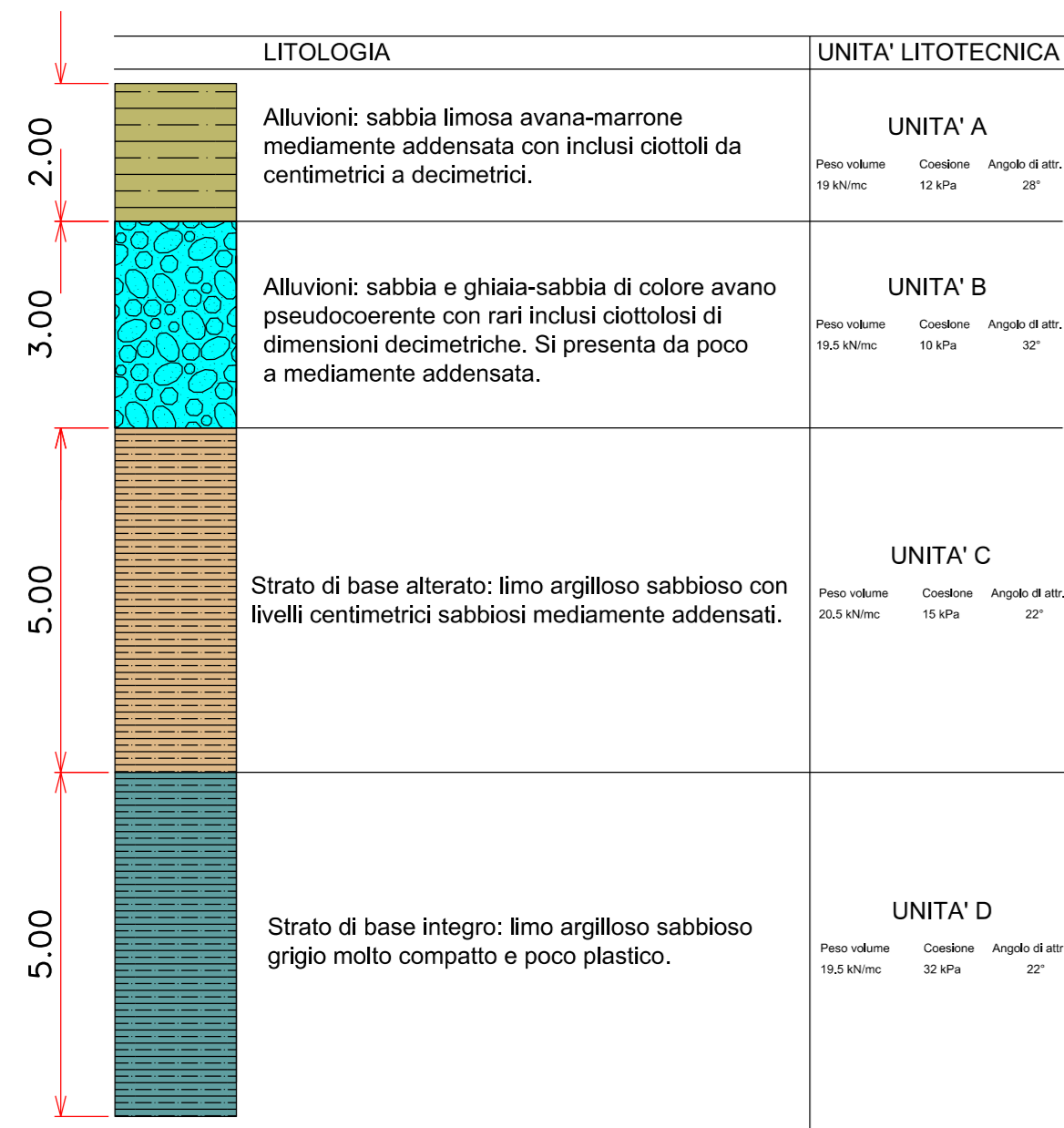
PROGETTAZIONE: **SOLARITES RENEWABLE ENERGY** | PROPONENTE: **SKI 04 S.r.l.**

Il Geologo: Giuseppe Amorosi

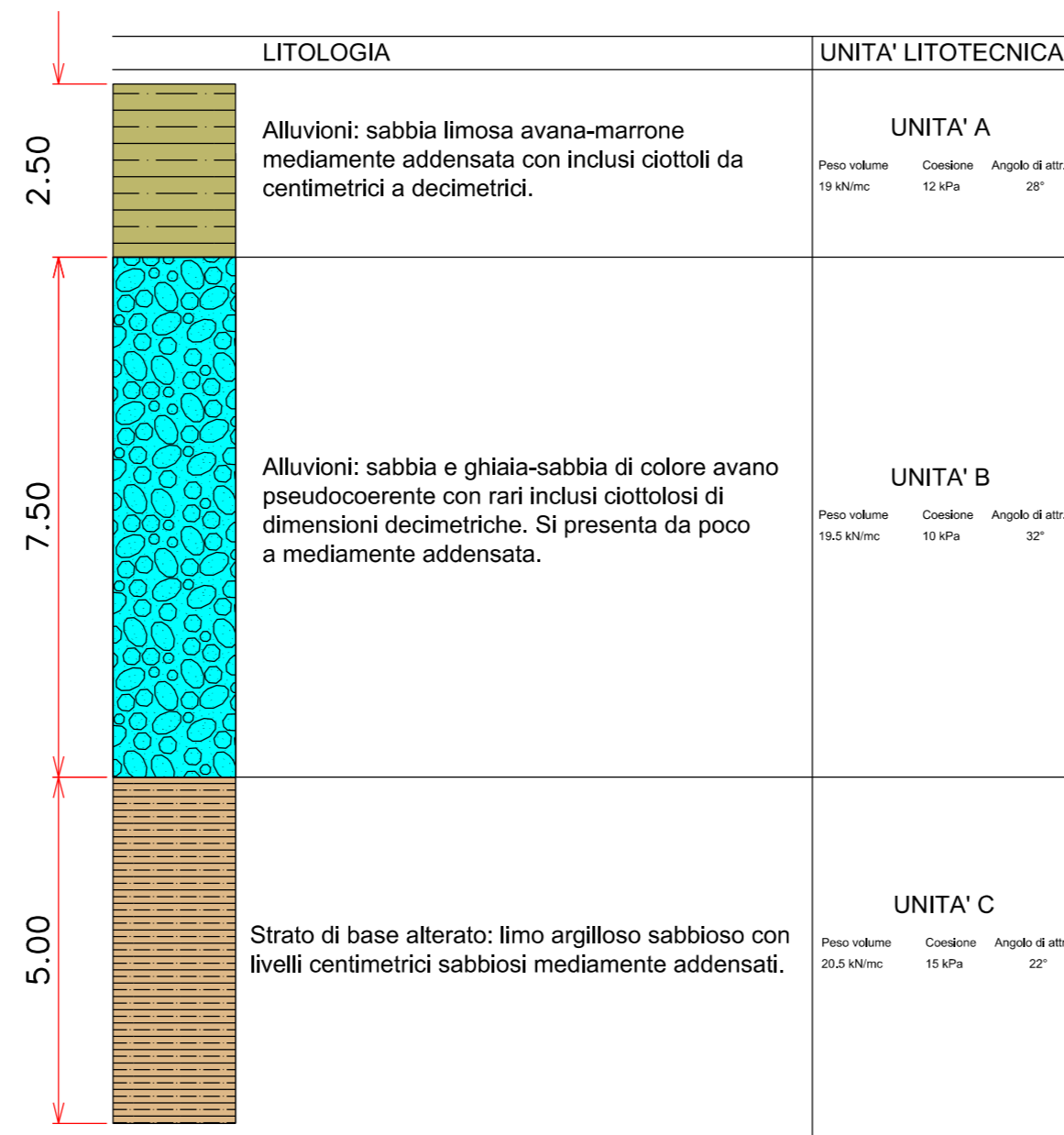
TAVOLA G3B CARTA GEOMORFOLOGICA (Scala 1:5.000)

DATA: Giugno 2022 | Relazione Geologica | Rev n°

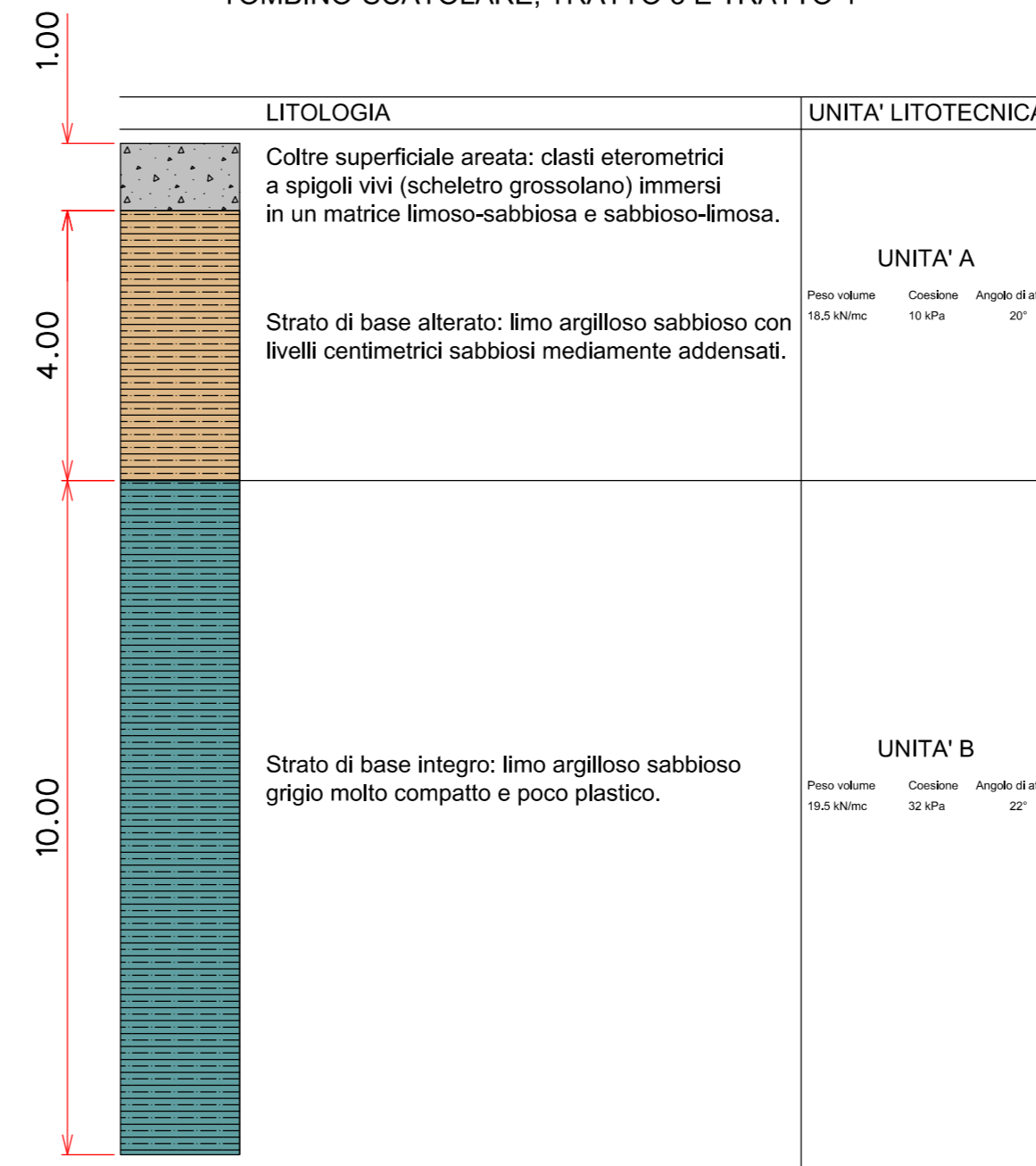
MODELLO GEOLOGICO E GEOTECNICO - SCALA 1:100  
PONTE 1 E TRATTO 1



MODELLO GEOLOGICO E GEOTECNICO - SCALA 1:100  
PONTE 2 E TRATTO 2



MODELLO GEOLOGICO E GEOTECNICO - SCALA 1:100  
TOMBINO-SCATOLARE, TRATTO 3 E TRATTO 4



REGIONE BASILICATA



COMUNE DI ALIANO



IMPIANTO EOLICO

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE ED ESERCIZIO DI UN PARCO EOLICO PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA, DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI (STRADA DI ACCESSO AL PARCO EOLICO)

LOCALITA' LE SERRE

POTENZA NOMINALE 39.6 MW

**Allegato 2**

PROGETTAZIONE

PROPONENTE



Piazza Vittorio Emanuele II n° 14  
12073 CEVA - CN  
P.IVA 03894180045

**SKI 04 S.r.l.**  
Via Caradosso 9  
20123 - Milano  
P.IVA 11479190966

Il Geologo  
Giuseppe Amorosi

TAVOLA G4B MODELLO  
GEOLOGICO DEL SITO  
(Scala 1:100)

DATA: GIUGNO 2022

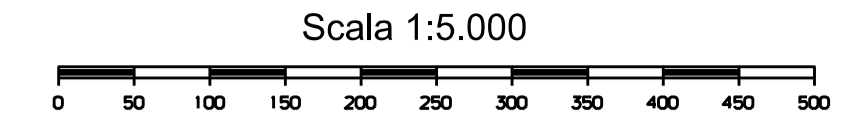
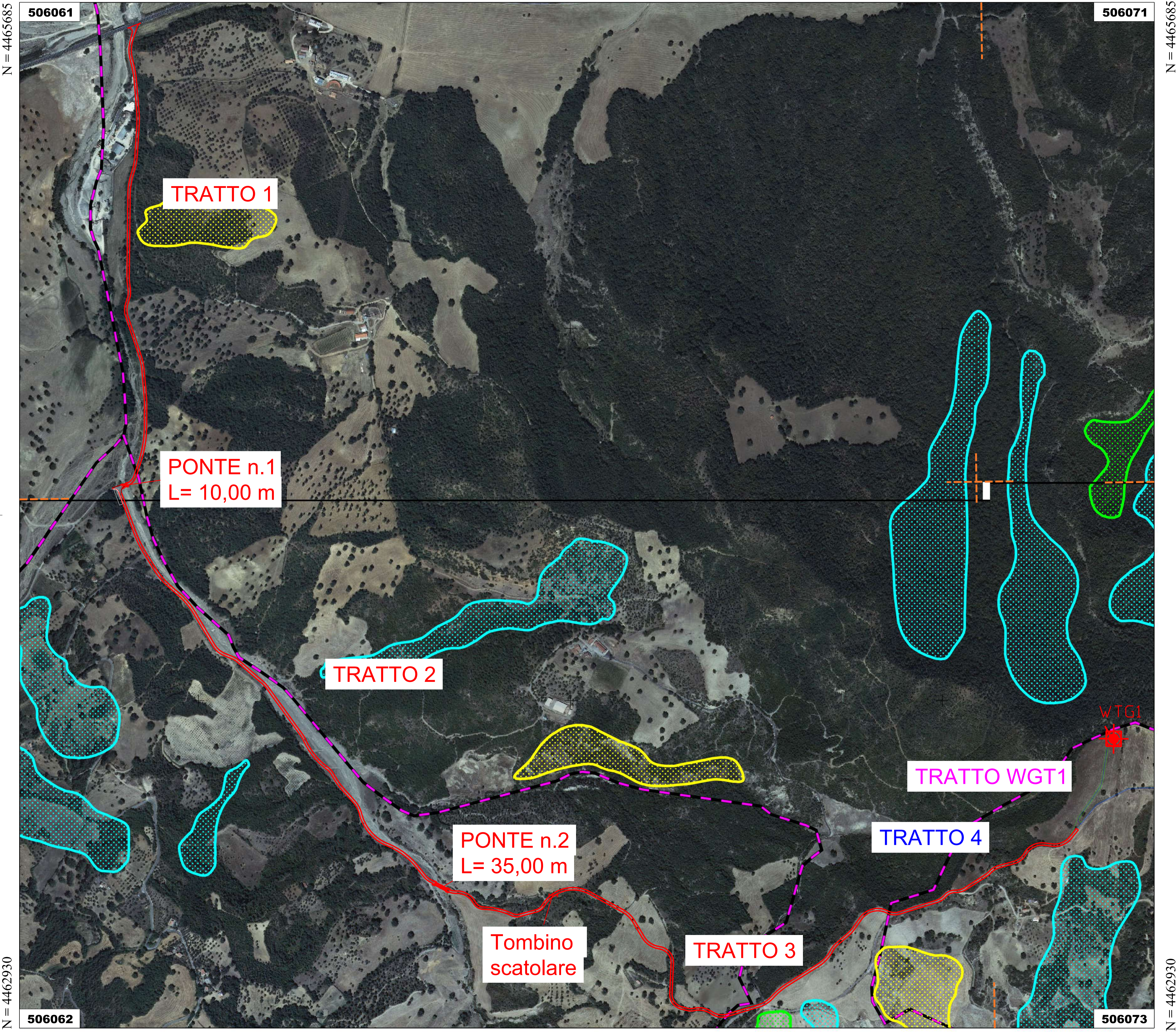
Relazione Geologica

Rev n°



E = 596450

E = 599500



LEGENDA OPERE IN PROGETTO

- UBICAZIONE AEROGENERATORE
- STRADA DI ACCESSO AL PARCO EOLICO

Legenda

- limiti amministrativi
- limiti AdB

Tipologie di rischio:

- R4 - molto elevato
- R3 - elevato
- R2 - medio
- R1 - moderato
- ASV - aree assoggettate a verifica idrogeologica
- P - aree pericolose

REGIONE BASILICATA



COMUNE DI ALIANO



IMPIANTO EOLICO

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE ED ESERCIZIO DI UN PARCO EOLICO PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA, DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI (STRADA DI ACCESSO AL PARCO EOLICO)

LOCALITA' LE SERRE

POTENZA NOMINALE 39.6 MW

Allegato 2

PROGETTAZIONE	PROPONENTE
 Piazza Vittorio Emanuele II n° 14 12073 CEVA - CN P.IVA 03894180045	<b>SKI 04 S.r.l.</b> Via Caradosso 9 20123 - Milano P.IVA 11479190966
Il Geologo Giuseppe Amorosi TAVOLA G5B PAI - CARTA DEL RISCHIO (Scala 1:5.000)	Relazione Geologica
DATA: GIUGNO 2022	Rev n°

E = 596450

E = 599500

COMUNE DI ALIANO  
Provincia di Matera

**PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE ED ESERCIZIO  
DI UN PARCO EOLICO PER LA PRODUZIONE  
DI ENERGIA ELETTRICA, DELLE OPERE CONNESSE  
E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI  
(STRADA DI ACCESSO AL PARCO EOLICO)  
Loc. "Le Serre"**



Relazione Geologica  
ALLEGATO B - INDAGINI GEOGNOSTICHE



Dott. Geol. Giuseppe AMOROSI

Data:

Giugno 2022



## 1 Premessa

La presente campagna di indagini geofisiche è mirata a caratterizzare sismicamente secondo la nuova normativa NTC 2018 i luoghi in cui sarà realizzato un parco eolico il località Le Serre nel commune di Aliano. In particolare sono state eseguite le seguenti indagini:

- N.1 prospezione sismica a rifrazione in onda P
- N.1 prospezione sismica attiva tipo MASW.

Lo stendimento sismico in onda P è servito a caratterizzare sismicamente la stratigrafia del sottosuolo mentre la prospezione MASW è servita per la classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio,  $V_S$  (approccio semplificato).

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio,  $V_{S,eq}$  (in m/s), definita dall'espressione:

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

con:

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

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

$N$  numero di strati;

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



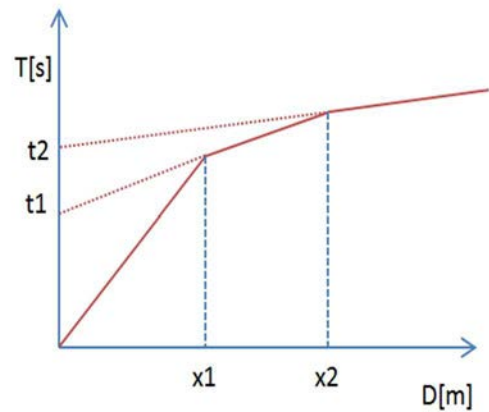
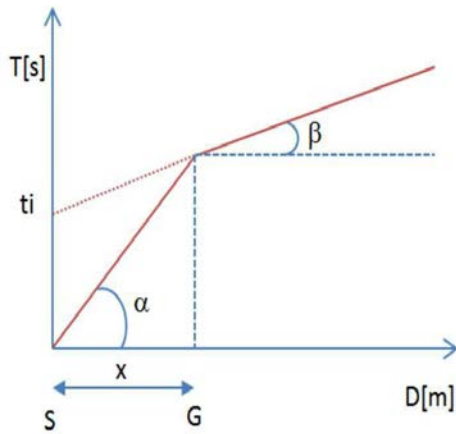
## 2 Indagini Geognostiche Indirette: Prospezioni Sismiche a Rifrazione (Onde P)

Le indagini di sismica a rifrazione (P e/o S), consentono di interpretare la stratigrafia del sottosuolo attraverso il principio fisico del fenomeno della rifrazione totale di un'onda sismica che incide su una discontinuità, individuata fra due corpi aventi proprietà meccaniche diverse (orizzonte rifrattorio). Altro scopo è quello di tarare e vincolare l'altro metodo di indagine (MASW) per tutto lo spessore investigato dall'indagine sismica, contribuendo a diminuire l'incertezza sulla determinazione delle velocità delle onde sismiche  $V_s$ . La condizione fondamentale per eseguire studi di sismica a rifrazione tradizionale è quella per cui la successione di strati da investigare sia caratterizzata da velocità sismiche crescenti all'aumentare della profondità. In questo modo si possono valutare fino a 4 o 5 orizzonti rifrattori differenti. Le prove si basano sulla misura dei tempi di percorso delle onde elastiche per le quali, ipotizzando le superfici di discontinuità estese rispetto alla lunghezza d'onda o, comunque, con deboli curvature, i fronti d'onda sono rappresentati mediante i relativi raggi sismici. L'analisi si avvale, poi, del principio di Fermat e della legge di Snell. Il principio di Fermat stabilisce che il raggio sismico percorre la distanza tra sorgente e rilevatore seguendo il percorso per cui il tempo di tragitto è minimo. Per tale principio, dato un piano che separa due mezzi con caratteristiche elastiche diverse, il raggio sismico è quello che si estende lungo un piano perpendicolare alla discontinuità contenente sia la sorgente che il ricevitore. La legge di Snell è una formula che descrive le modalità di rifrazione di un raggio sismico nella transizione tra due mezzi caratterizzati da diversa velocità di propagazione delle onde o, equivalentemente, da diversi indici di rifrazione. L'angolo formato tra la superficie di discontinuità e il raggio sismico è chiamato angolo di incidenza  $\vartheta_i$  mentre quello formato tra il raggio rifratto e la superficie normale è detto angolo di rifrazione  $\vartheta_r$ . La formula matematica è:  $v_2 \sin\vartheta_i = v_1 \sin\vartheta_r$ . Dove  $v_1$  e  $v_2$  sono le velocità dei due mezzi separati dalla superficie di discontinuità. Per  $v_1 > v_2$  si ha che  $\vartheta_i > \vartheta_r$  e la sismica a rifrazione non è attuabile poiché il raggio rifratto andrebbe ad inclinarsi verso il basso. Per  $v_1 < v_2$

si ha che  $\vartheta_i < \vartheta_r$  ed esiste un angolo limite d'incidenza per cui  $\vartheta_r = 90^\circ$  ed il raggio rifratto viaggia parallelamente alla superficie di discontinuità. L'angolo limite è definito come:  $\vartheta_i \arcsin(v_1/v_2)$ .

Il modo più semplice per analizzare i dati di rifrazione è quello di costruire un diagramma tempi- distanze in cui l'origine del sistema di riferimento è posto in corrispondenza della sorgente di generazione delle onde elastiche. In ascissa sono rappresentate le posizioni dei geofoni ed in ordinata i tempi dei primi arrivi. Ai geofoni più vicini alla sorgente giungono per primi gli

impulsi che hanno seguito il percorso diretto in un tempo  $T$  dato dalla relazione:  $T = x_i/V_1$ , dove  $x_i$  è la distanza tra il punto di energizzazione e il punto di rilevazione. L'equazione precedente rappresenta una retta che passa per l'origine degli assi tempi- distanze e il suo coefficiente angolare consente di calcolare la velocità  $V_1$  del primo mezzo come:  $V_1 = 1/\tan\alpha$ . I tempi di arrivo dei raggi rifratti, nel diagramma tempi-distanze, si dispongono secondo una retta che avrà pendenza minore di quella delle onde dirette.



La curva tempi-distanze tende ad avere un andamento regolare secondo una spezzata i cui vertici sono i chiamati punti di ginocchio e rappresentano, fisicamente, la condizione in cui si verifica l'arrivo contemporaneo delle onde dirette e rifratte. Per ciascuno di segmenti individuati si determina, dunque, il tempo di ritardo  $t_i$  che rappresenta la differenza tra il tempo che il raggio sismico impiega a percorrere un tratto alla velocità propria dello strato in cui si trasmette ed il tempo che impiegherebbe a viaggiare lungo la componente orizzontale di quel tratto alla massima velocità raggiunta in tutto il percorso di rifrazione.

Graficamente il tempo di ritardo è dato dall'intersezione della retta che comprende un segmento della curva tempi-distanze con l'asse dei tempi.

Infine, dalla conoscenza dei tempi  $t_i$  è possibile ricavare gli spessori dei rifrattori mediante la relazione:

$$h_{(i-1)} = \frac{V_{(i-1)}V_i}{2\sqrt{V_i^2 - V_{(i-1)}^2}} \left( t_i - \frac{2h_1\sqrt{V_i^2 - V_1^2}}{V_1V_i} - \dots - \frac{2h_{(i-2)}\sqrt{V_i^2 - V_{(i-2)}^2}}{V_1V_{(i-2)}} \right)$$

## 2.1- Acquisizione ed Interpretazione dei Dati

Le indagini sono state condotte utilizzando la seguente strumentazione:

- Sismografo con 24 canali, della ditta "PASI Srl" modello GEA24 con acquisizione computerizzata dei dati mediante laptop;
- Sorgente di energizzazione costituita da un maglio del peso di 10 Kg battente verticalmente su piastra rettangolare in alluminio posta direttamente sul piano campagna per la generazione prevalentemente di onde P e secondariamente di onde Sv;
- n 12 geofoni verticali del tipo elettromagnetico a bobina mobile a massa sospesa, con frequenza di acquisizione pari a 4,5 Hz.

La distanza intergeofonica è stata posta pari a 3 mt, con punti di battuta A e B posti a 5 mt

rispettivamente dal 1° e dal 12° geofono, in posizione esterna allo stendimento, la battuta C posta al centro dello stendimento (fra il 6° e il 7° geofono), mentre le altre due battute intermedie D ed E poste rispettivamente tra 3° e 4° geofono e tra il 9° e il 10° geofono come riportato in Figura 1:

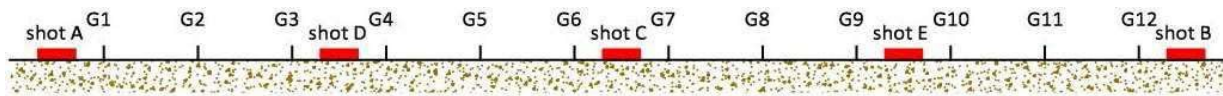


Figura 1-Configurazione geometrica dello stendimento sismico a rifrazione

In fase di acquisizione dei sismogrammi è stato applicato un filtro passa alto, con frequenza di taglio pari a 10 Hz, per una migliore ricezione dei segnali. L'elaborazione dei dati è stata eseguita secondo la procedura descritta schematicamente di seguito:

- Inserimento delle geometrie mediante il software EasyRefract (distanze fra geofoni e posizioni dei punti di battuta);
- Applicazione di un filtro “low-pass” per la lettura ottimale dei primi arrivi eliminando le frequenze di disturbo;
- Picking dei primi arrivi;
- Definizione delle dromocrone;
- Calcolo dromocrone traslate;
- Definizione del modello sismostratigrafico.

Bisogna precisare che, l'elaborazione dei dati di sismica a rifrazione rappresentano l'andamento dei sismostrati lungo la sezione corrispondente al profilo in superficie, ed il modello sismostratigrafico che ne deriva rappresenta l'interpretazione degli stessi sismostrati in funzione della geologia del sito, ottenuto correlando le velocità medie di ciascun sismostrato con i dati geologici noti e le loro velocità sismiche

caratteristiche. Ai fini della corretta interpretazione dei risultati dell'indagine sismica è importante puntualizzare che:

- a) I sismostrati non sono necessariamente associabili a litotipi ben definiti, ma sono rappresentativi di livelli con simili caratteristiche elastiche, in cui le onde sismiche si propagano con la stessa velocità;
- b) La risoluzione del metodo è funzione della profondità d'indagine e la risoluzione diminuisce con la profondità: considerato uno strato di spessore  $h$  ubicato a profondità  $z$  dal piano campagna, in generale non è possibile individuare sismostrati in cui  $h < 0,25 * z$ ;
- c) Nelle indagini superficiali, le onde di taglio, meno veloci, arrivano in un tempo successivo, per cui il segnale registrato sarà la risultante delle onde S con le onde P e quindi la lettura dei tempi di arrivo delle onde S può risultare meno precisa della lettura dei tempi di arrivo delle onde P;
- d) I terreni esaminati possono ricoprire un ampio campo delle velocità sismiche, in relazione alla



presenza di materiale di riporto, di terreno vegetale e di acqua di falda nonché ai vari gradi di stratificazione, carsificazione e di fratturazione dell'ammasso roccioso.

Di seguito sono stati riportati, in Tabella 3, i valori di velocità delle onde sismiche di compressione P tipici di alcuni litotipi ricorrenti.

Litotipo	V <sub>P</sub> (m/sec)	Litotipo	V <sub>P</sub> (m/sec)
Areato superficiale	300-800	Calcere cristallino	5700-6400
Argille	1100-2900	Piroclastiti coerenti (tufo)	750-2450
Sabbia asciutta	200-1000	Piroclastiti incoerenti (pozzolana)	350-1000
Sabbie umida	600-1800	Arenaria	1400-4500
Terreni alluvionali sciolti	400-2100	Granito, Monzonite, Granodiorite, Gabbro, Diabase, Basalto	4000-6000
Acqua	1400-1500	Anidride	3500-5500
Calcere fratturato	700-4200	Gesso	1800-4000
Calcere compatto	2800-6400	Gneiss e scisti	3500-7500

Tabella 3-Valori di velocità tipiche delle onde di compressione P (da "Le indagini geofisiche per lo studio del sottosuolo" di Carrara-Rapolla-Roberti, "Il manuale del geologo" di Cassadio-Elmi)

### 2.1.1- Stendimento ST01

Lo stendimento è stato realizzato su camminamento in conglomerato cementizio, con variazione altimetrica tra il primo e l'ultimo geofono di circa 3,30 mt, una estensione totale della linea sismica pari a 33 mt,.

Dai valori di velocità di propagazione delle onde P, è stato possibile ricavare la sismostruttura del sottosuolo investigato, identificando tre sismostrati, ciascuno caratterizzato da un determinato valore medio di velocità delle onde di compressione. Assimilando tali valori di velocità di propagazione delle

onde P alle litologie presenti nell'area, in prima analisi, è stato ricostruito il seguente assetto litostratigrafico, evidenziando come i relativi spessori subiscono delle leggere variazioni lungo la sezione sismica realizzata.

- 1) Sismostrato A: camminamento stradale e relativo sottofondo di natura sabbioso-limoso, mediamente consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 745 m/sec per una profondità media di -1,10 mt da pc;
- 2) Sismostrato B: deposito di natura sabbioso-limoso, ben consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 1515 m/sec per una profondità media di -4,80 mt da pc;
- 3) Sismostrato C: deposito di natura limo-argillosa, molto consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 1993 m/sec sino a fine indagine (-12,00≈ mt da pc).



### 3 - Indagini Geonostiche Indirette: Prospezione Sismica MASW

Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine non invasiva che permette di individuare il profilo di velocità delle onde di taglio VS, sulla base della misura delle onde superficiali eseguita in corrispondenza di diversi sensori (geofoni nel caso specifico) posti sulla superficie del terreno. Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono di tipo dispersive (fenomeno della dispersione geometrica), cioè onde con diverse frequenze si propagano con diverse velocità di fase (o di gruppo) apparente (Achenbach, J.D., 1999, Aki, K. and Richards, P.G., 1980) ovvero la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione. La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile alla specificità che le onde ad alta frequenza hanno di propagarsi negli strati più superficiali, fornendo informazioni sulla parte più alta del terreno, mentre le onde a bassa frequenza, propagandosi negli strati più profondi, restituiscono indicazioni sulla parte più bassa del terreno. Il metodo MASW è di tipo attivo in quanto le onde superficiali sono generate in un punto sulla superficie del terreno (energizzazione con mazza battente parallelamente all'array) e misurate da un array lineare di geofoni. Il metodo attivo generalmente consente di ottenere una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente nel range di frequenze compreso tra 5÷10 Hz e 70÷100 Hz, quindi fornisce informazioni sulla parte più superficiale del terreno, generalmente compreso nei primi 30÷50 mt, in funzione della rigidità del terreno e della caratteristica della sorgente.

#### 3.1 Acquisizione ed Interpretazione dei Dati

Per il caso in esame, è stato utilizzato un sismografo a 24 canali, della ditta "PASI Srl" modello GEA24 con acquisizione computerizzata dei dati e una sorgente ad impatto verticale per la generazione di onde Rayleigh rilevate da 12 geofoni aventi frequenza pari a 4,5 Hz con una spaziatura di 3 mt, per entrambi gli stendimenti denominati MASW01 e MASW02, per una lunghezza totale degli stessi pari a 33 mt considerando le stesse linee sismiche utilizzate per l'acquisizione di sismica a rifrazione. Sono state effettuate n 4 battute per l'acquisizione dei sismogrammi utilizzando degli offset minimi rispettivamente a -5 mt e -10 mt dal 1° geofono e +5 mt e +10 mt dal 12° geofono.

L'intervallo di campionamento è stato pari a 1 ms (millisecondo) con un tempo di registrazione di 2 secondi.

Lo schema organizzativo della prova è riportato in Figura 1



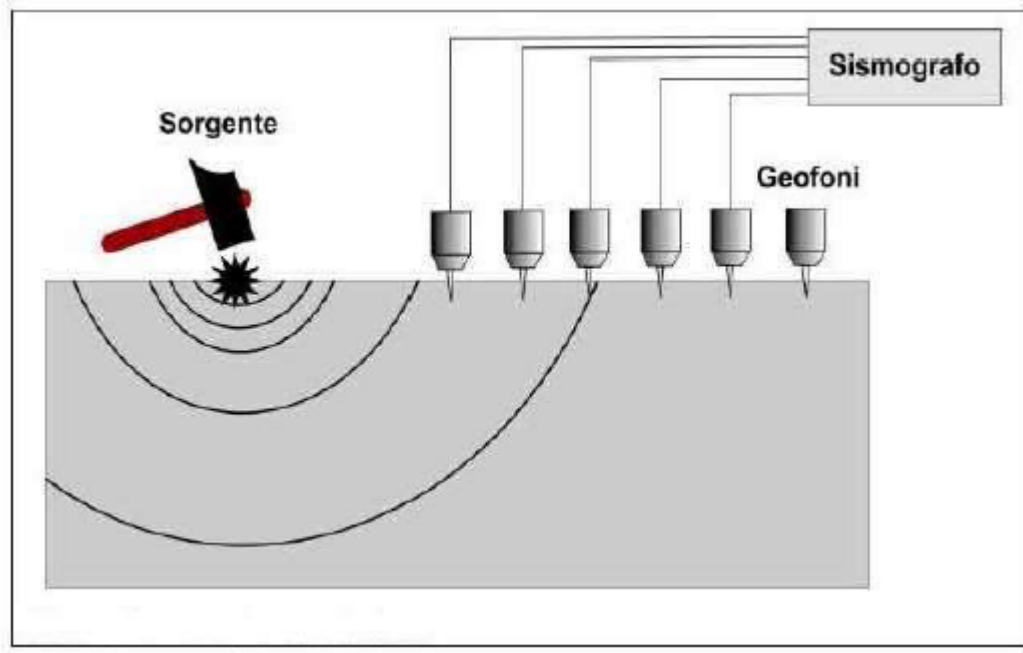


Figura 1-Schema realizzativo indagine MASW (Onde di Rayleigh)

La procedura adottata per ricostruire la distribuzione delle onde di taglio nel terreno ( $V_s$ ) può essere così descritta:

- 1) Acquisizione dei sismogrammi contenenti le onde di superficie (onde di Rayleigh con componente verticale) per un intervallo di tempo sufficiente e un'adeguata frequenza di campionamento;
- 2) Processing dei sismogrammi acquisiti individuando le onde di superficie utili alla costruzione dello spettro di velocità ed individuazione delle curve di dispersione;
- 3) Inversione dei dati usando un modello di terreno che permetta di ricavare un profilo monodimensionale della velocità delle onde S ed ulteriori parametri in funzione della profondità compatibile con il contesto geologico in esame. Tale inversione avviene attraverso l'utilizzo di algoritmi genetici che rappresentano un tipo di procedura di ottimizzazione appartenente alla classe degli algoritmi euristici (o anche global search methods o soft computing).

Per il trattamento e l'analisi dei dati acquisiti in situ si è utilizzato il software "WinMASW 3C" release 7.1 della EliaSoft Srl.

### 3.1.2- Stendimento MASW01

Considerando le n 4 acquisizioni realizzate per la prova, si è scelto di trattare il dataset che presentava un rapporto segnale/rumore superiore, di conseguenza, per la determinazione del profilo verticale della velocità media delle onde S si è selezionato il set di dati relativamente allo shot effettuato a +10 mt dal 12° geofono (Figura 2) per il quale è stato desunto il relativo spettro di velocità (Figura 3).

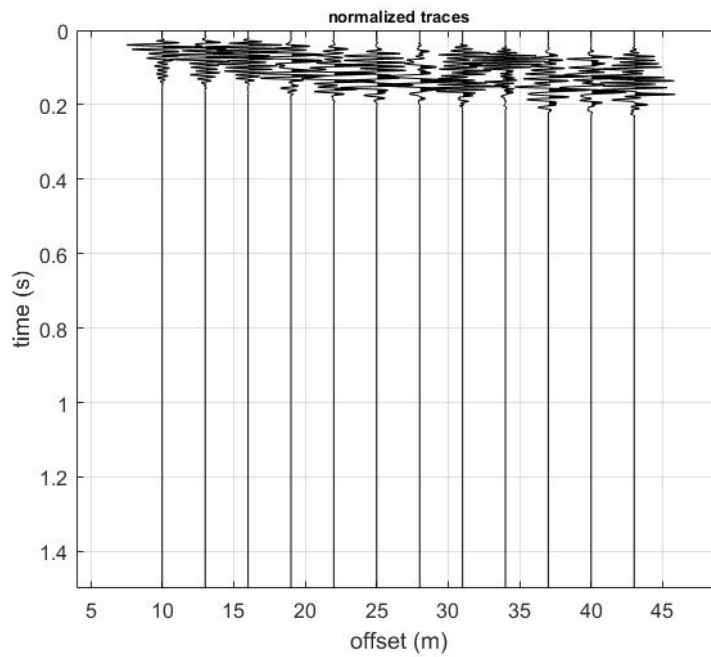


Figura 2-Tracce acquisite in situ ed utilizzate per la costruzione dello spettro di velocità

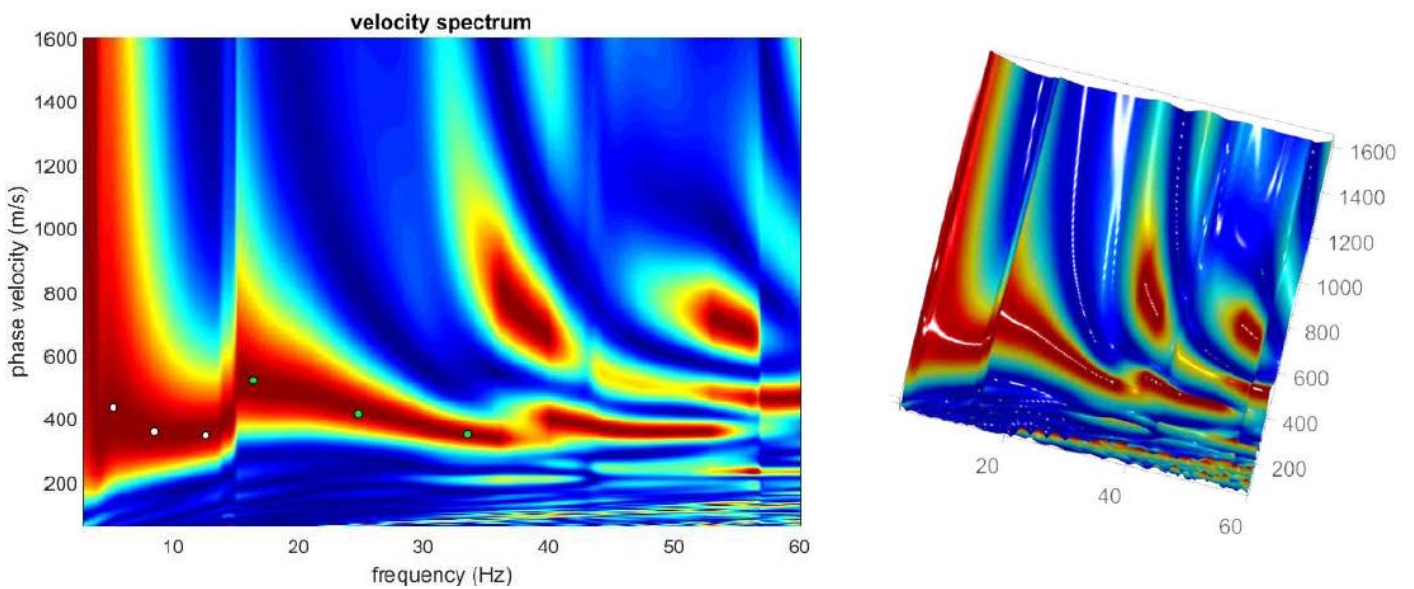
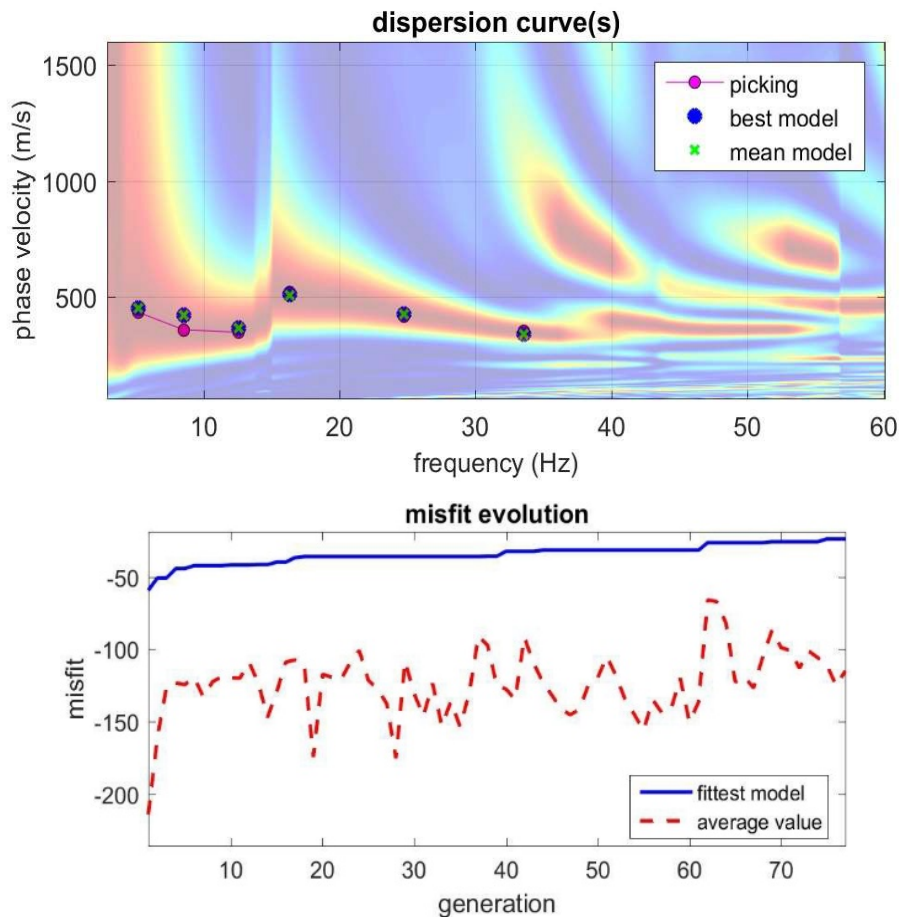


Figura 3-Spettro di velocità (visualizzazione 2D e 3D). In evidenza l'andamento del modo fondamentale (pallini bianchi) e del primo modo superiore (pallini verdi)



L'analisi dello spettro "frequenza-velocità di fase" 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 (Figura 4a). Si precisa infine che il modello del sottosuolo, e di conseguenza anche l'inversione di velocità derivata, è stato ottenuto in corrispondenza del punto medio del profilo di acquisizione (circa 16,50 mt da inizio stendimento sismico). Di seguito si riporta lo spettro di velocità sul quale è stata riportata la curva di dispersione "piccata" (picking pallini fucsia), la curva di dispersione del "modello migliore" (pallini blu) e del "modello medio" (croci verdi), Figura 4b, rispetto a tutti i modelli testati durante il processo di inversione, Figura 5a. Viene riportato, inoltre, il grafico inerente al "misfit evolution" (disaccordo) e cioè la quantificazione di quanto si discosti un modello testato rispetto al dato osservato, Figura 5b.



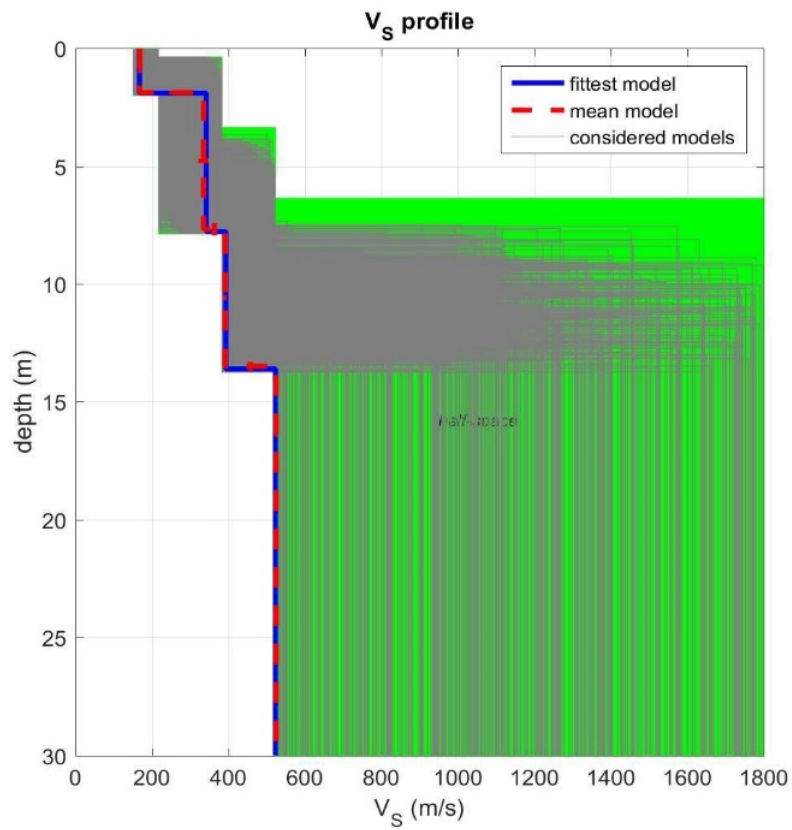
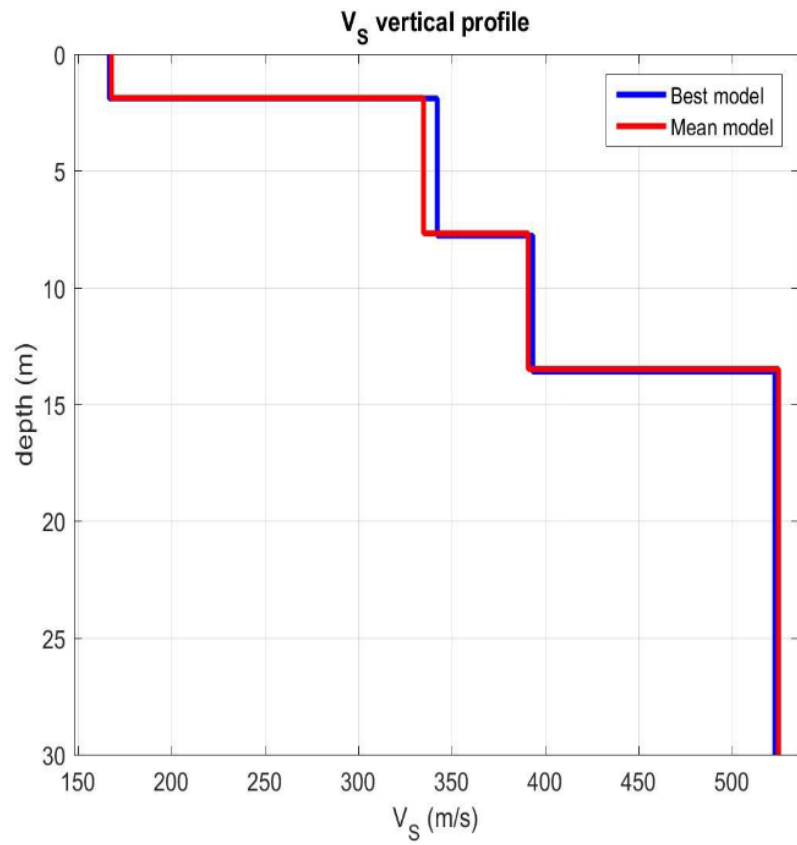


Figura 7-Curva di dispersione osservata (picking pallini fucsia) e curve di dispersione relative "best model" (pallini blu) e "mean model" (croci verdi)

La campagna di indagini geofisiche è stata integrata con l'esecuzione di n.3 MASW in corrispondenza del tracciato di progetto per la strada di accesso al parco. In particolare i tre stendimenti sismici sono stati ubicati in corrispondenza di opere d'arte principali lungo l'arteria di progetto (Ponte 1, Ponte 2 e tombino – scatolare).

### Masw n. 1

L'indagine Masw in oggetto è stata eseguita utilizzando 24 geofoni da 4,5 Hz con distanza intergeofonica di 2,00 m per una lunghezza pari a 48 m.

Tale indagine ha fornito i seguenti risultati:

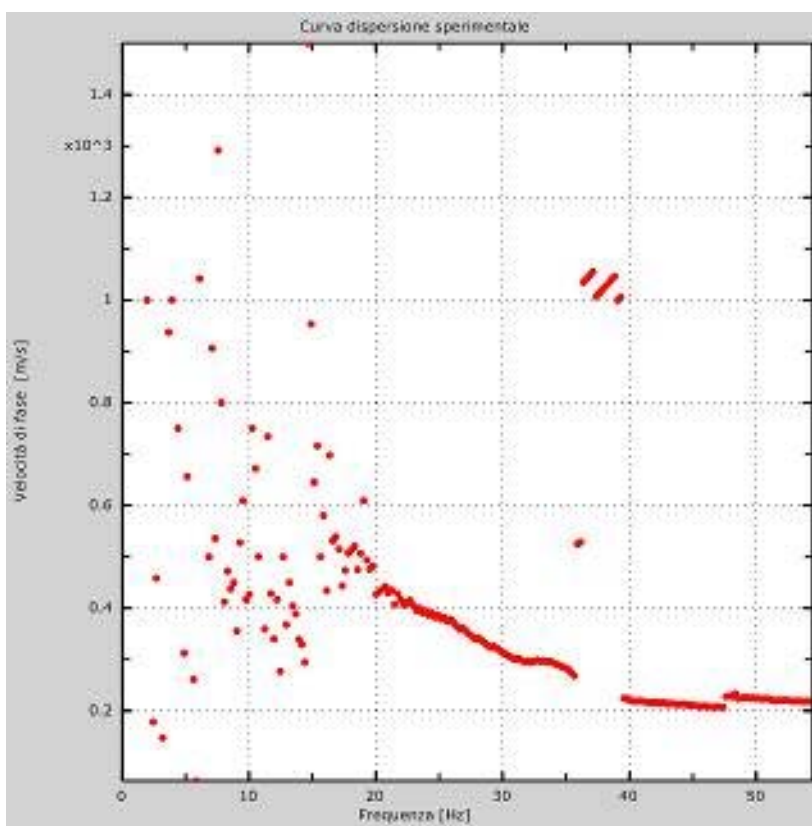


FIG. 1 Curva di dispersione sperimentale



Freq. [Hz]	V. fase [m/s]
11.9406	683.661
18.1266	517.251
20.876	440.076
22.4609	410.714
25.8789	378.571
9.2969	326.087
32.7148	299.107
42.9688	213.592
46.3867	208.333
49.8047	225.664
53.2227	219.758

Tab. 1 - Valori della curva di dispersione

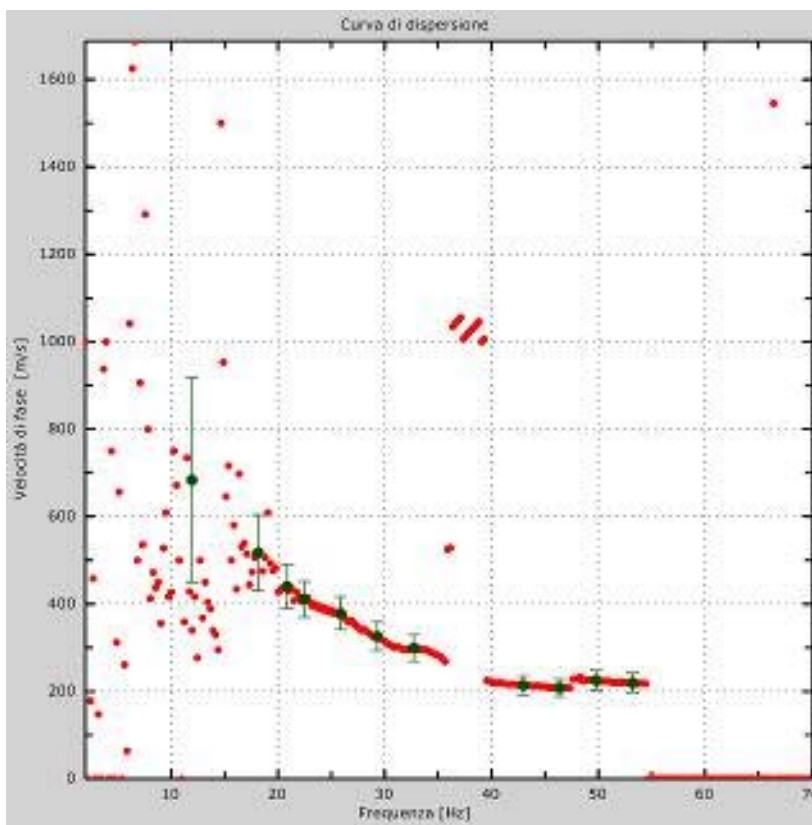


Fig. 2 - Curva di dispersione

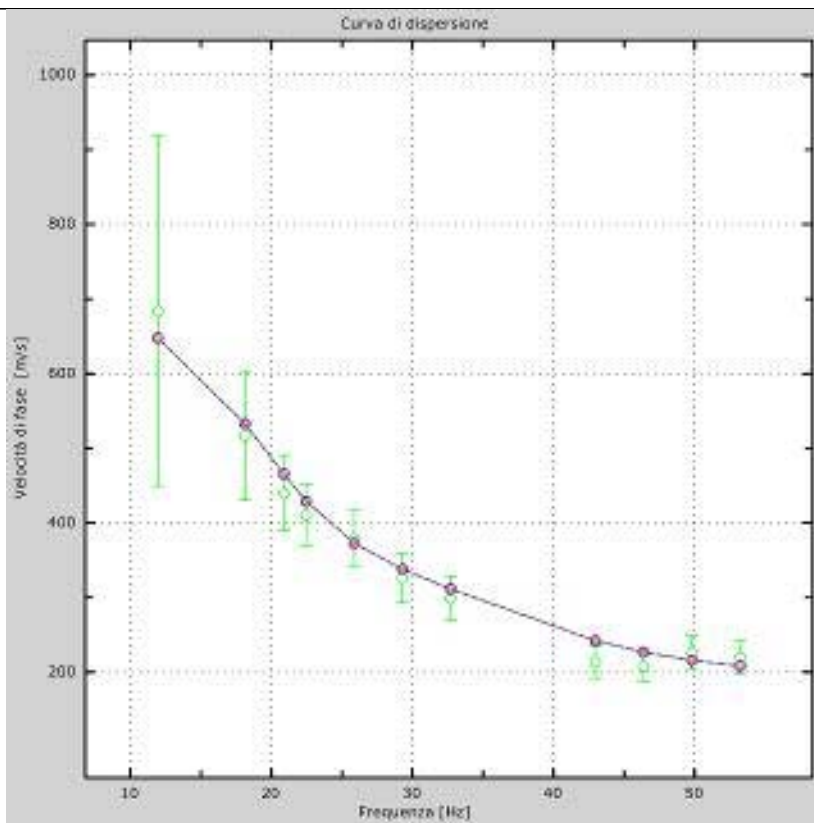


Fig. 3 - Relazione tra la velocità di fase sperimentale e quella numerica

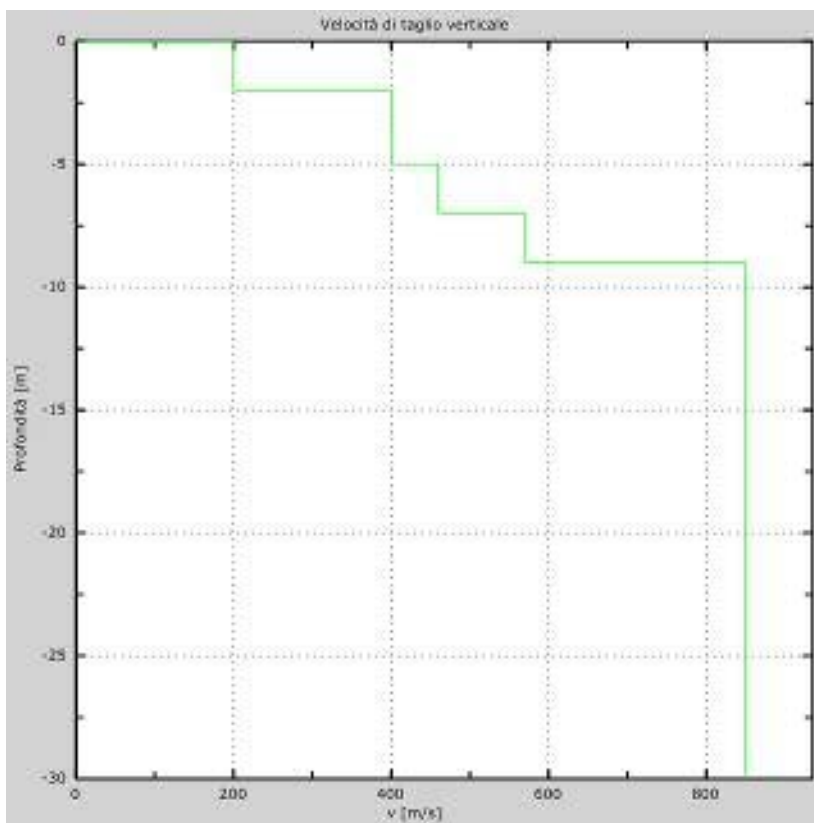


Fig. 4 - Profilo delle velocità delle onde S

L'analisi dei dati ha consentito di stimare un valore di Vs30 pari a circa 599 m/s. La velocità determinata definisce il suolo di sedime, classificandolo nella tipologia B.

**Masw n. 2**

L'indagine Masw in oggetto è stata eseguita utilizzando 24 geofoni da 4,5 Hz con distanza intergeofonica di 2,00 m per una lunghezza pari a 48 m.

Tale indagine ha fornito i seguenti risultati:

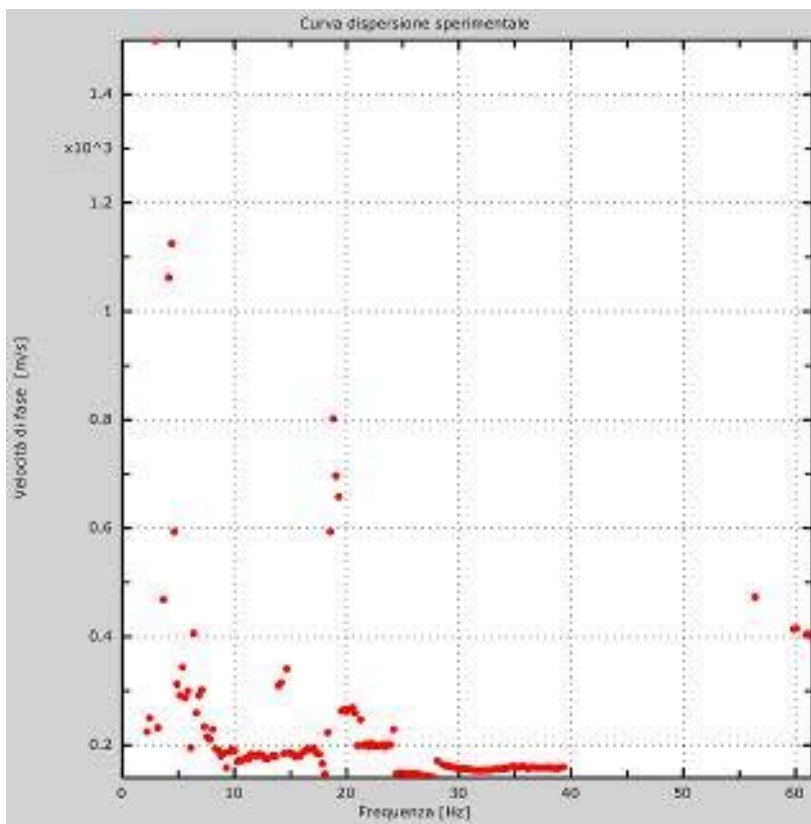


Fig. 5 - Curva di dispersione sperimentale

Freq. [Hz]	V. fase [m/s]
5.37109	343.75
8.78906	180
12.207	183.824
15.625	181.818
22.4609	198.276
25.8789	147.222
29.2969	159.574
32.7148	153.67
36.1328	156.78

Tab. 2 - Valori della curva di dispersione



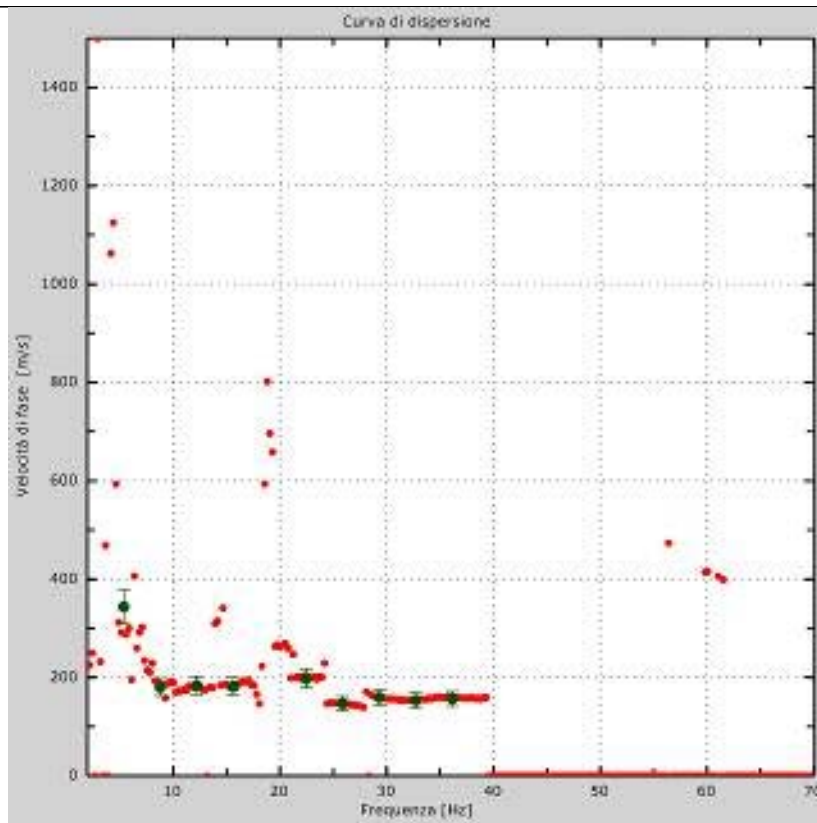


Fig. 6 - Curva di dispersion

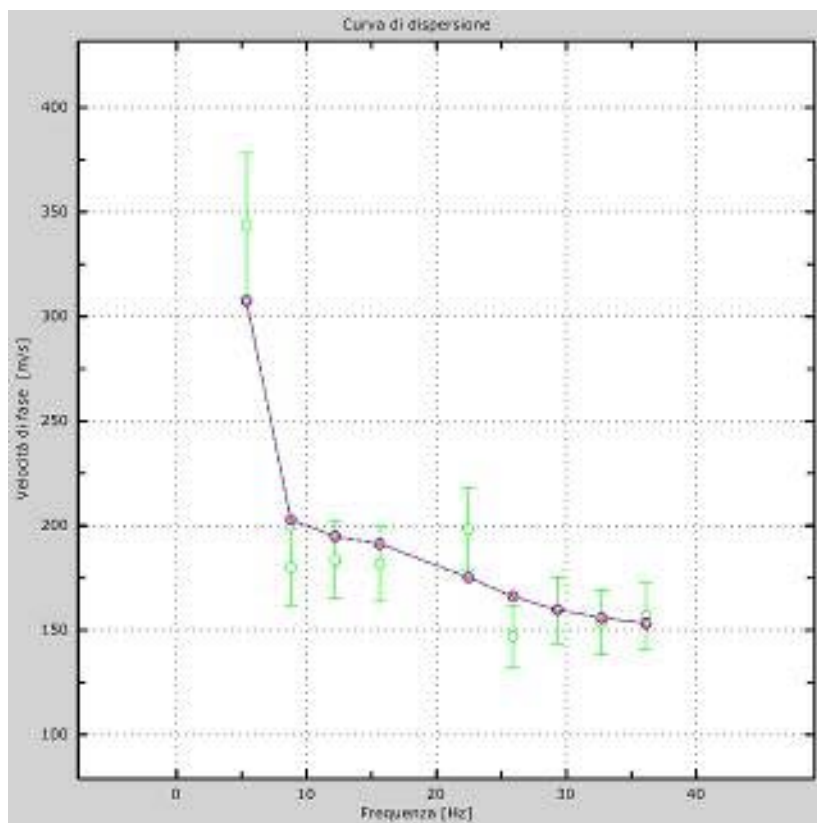


Fig. 7 - Relazione tra la velocità di fase sperimentale e quella numerica

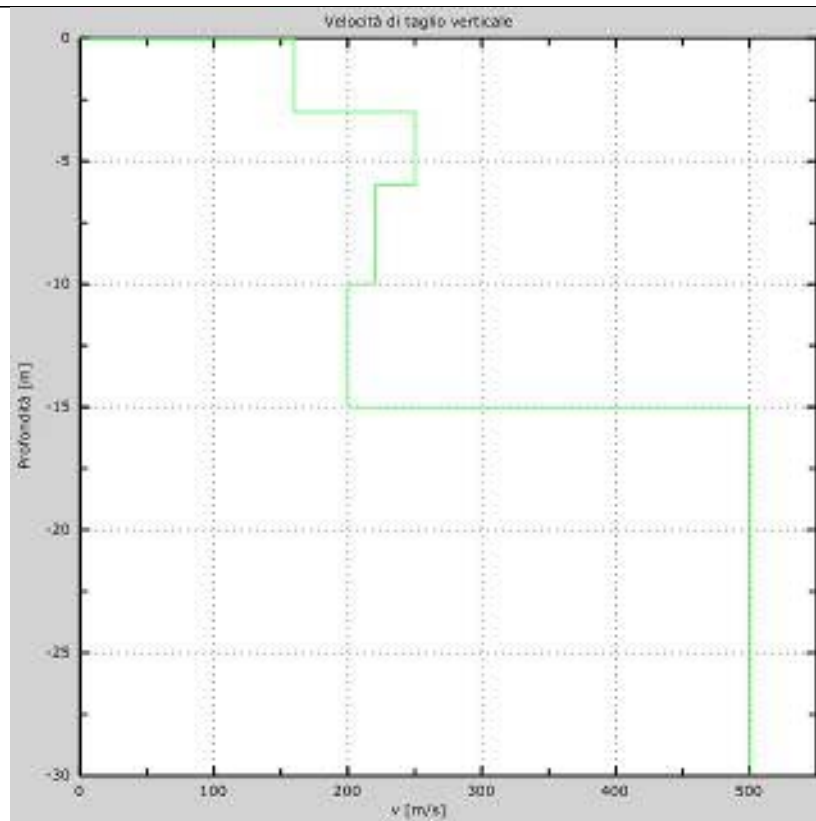


Fig. 8 - Profilo delle velocità delle onde S

L'analisi dei dati ha consentito di stimare un valore di  $V_{s30}$  pari a circa 288 m/s. La velocità determinata definisce il suolo di sedime, classificandolo nella tipologia C.

### Masw n. 3

L'indagine Masw in oggetto è stata eseguita utilizzando 24 geofoni da 4,5 Hz con distanza intergeofonica di 2,00 m per una lunghezza pari a 48 m.

Tale indagine ha fornito i seguenti risultati:

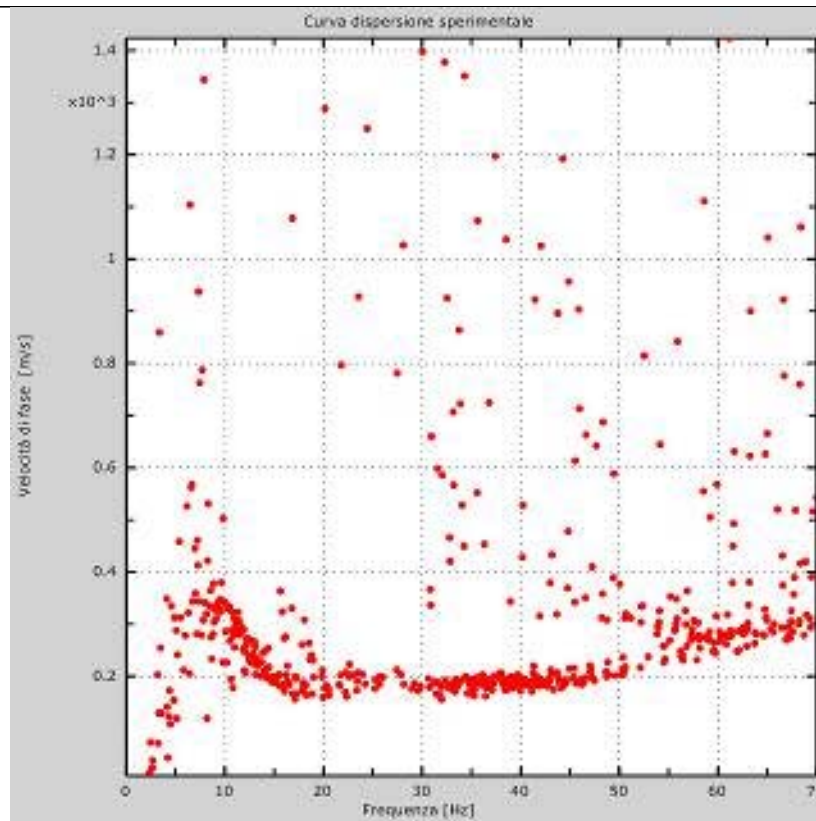


Fig. 9 - Curva di dispersione sperimentale

Freq. [Hz]	V. fase [m/s]
6.83036	545.219
8.98862	373.021
12.1704	264.164
13.4032	236.356
16.4444	192.623
21.4476	187.157
25.4698	187.157
31.5522	189.89
36.8497	195.357
40.1852	195.357
42.8223	192.021
46.228	186.087
56.4453	233.125

Tab. 3 - Valori della curva di dispersione

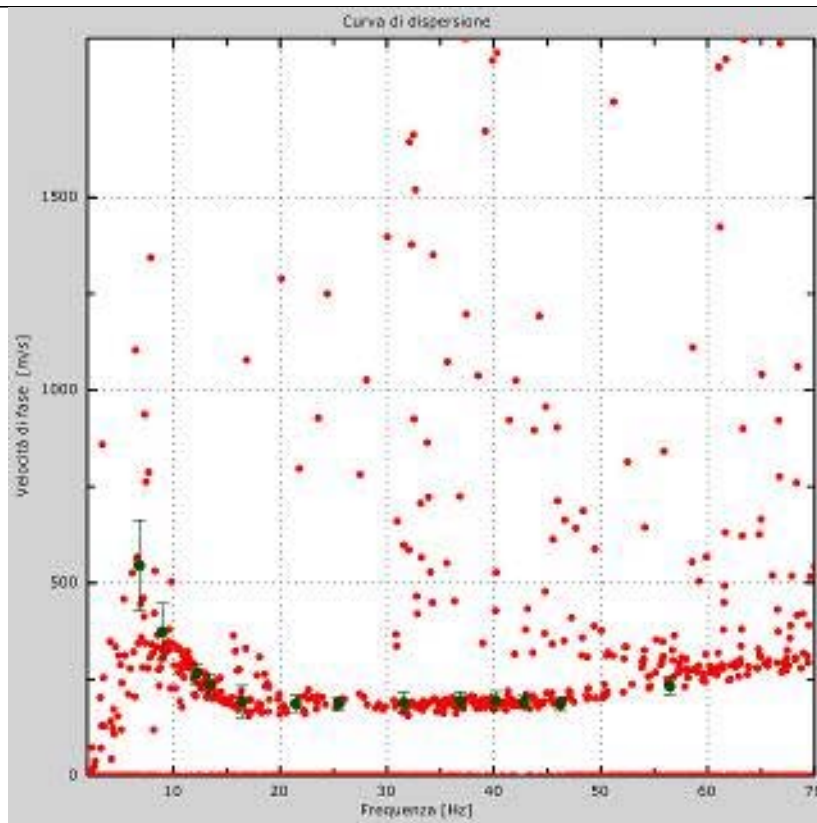


Fig. 10 - Curva di dispersione

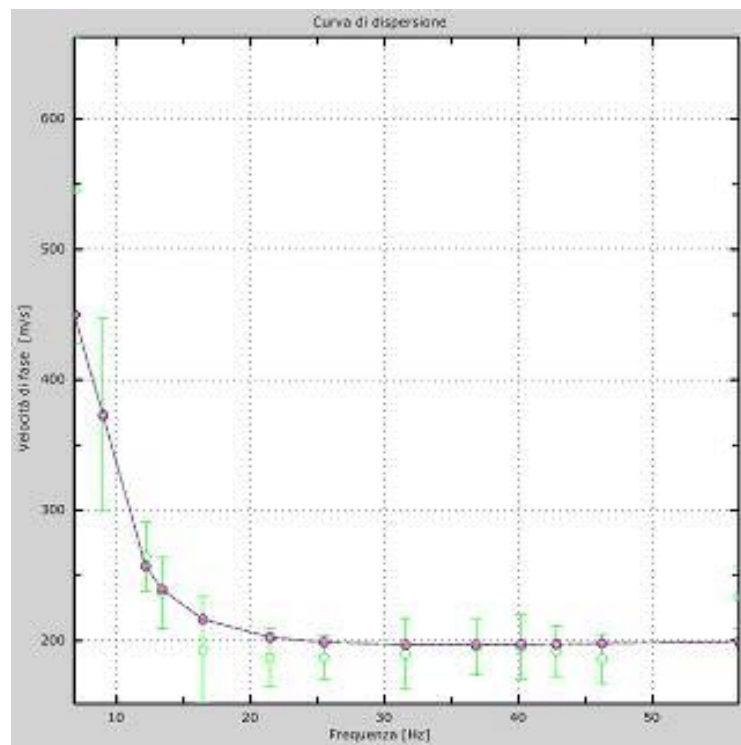


Fig. 11 - Relazione tra la velocità di fase sperimentale e quella numerica

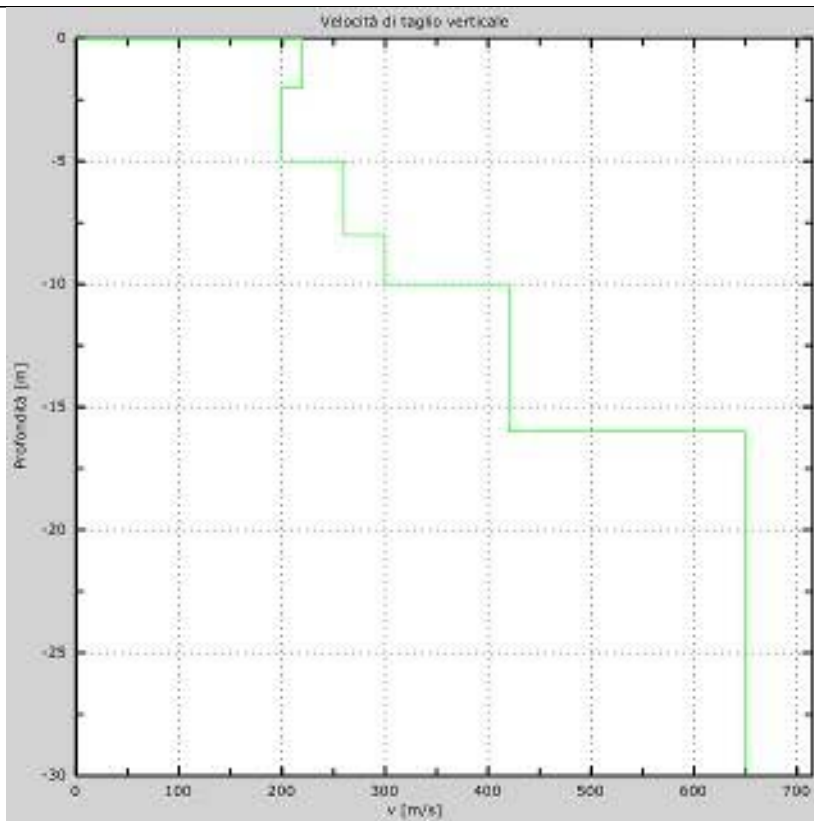


Fig. 12 - Profilo delle velocità delle onde S

L'analisi dei dati ha consentito di stimare un valore di Vs30 pari a circa 384 m/s. La velocità determinata definisce il suolo di sedime, classificandolo nella tipologia B

Nella tabella seguente si riassume quanto riscontrato durante la campagna di indagine:

NOME	COORDINATE WGS 84	Vs30 (m/s)	ATEGORIA DI SUOLO
MASW1	Lat: 40.324543° Long: 16.138325°	599	B
MASW2	Lat: 40.314456° Long: 16.148816°	288	C
MASW3	Lat: 40.314565° Long: 16.152570°	384	B