

# PARCO EOLICO "MONTE ARGENTU"

COMUNE DI NURRI

PROVINCIA DEL SUD SARDEGNA (SU)



## STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE

**Elaborato:**

ELABORAZIONI SIA

**RELAZIONE INDAGINI GEOGNOSTICHE**

Codice elaborato:

**NU\_SIA\_AII.02**

Data: Gennaio 2023

**Il committente:** Sardeolica s.r.l.

**Coordinamento:** FAD SYSTEM SRL - Società di ingegneria

Dott. Ing. Ivano Distinto

Dott. Ing. Carlo Foddis

**Elaborazione SIA:**

Dott. Ing. Bruno Manca

**Elaborato a cura di:**

Dott. Antonello Angius

rev.	data	descrizione revisione	rev.	data	descrizione revisione
00	18/10/2021	Emissione per consegna			
01	30/01/2023	Revisione con riduzione numero aerogeneratori			

## Sommario

Premessa	1
1.0 Inquadramento geografico e topografico del sito	2
2.0 Caratteristiche della campagna geognostica	4
3.0 Sondaggi geognostici	4
<b><i>Tab.1 Sondaggi e profondità raggiunte.</i></b>	<b>5</b>
3.1 Prove SPT (Standard Penetration Test)	5
<b><i>Tab.2 Prove SPT e relativi valori.</i></b>	<b>8</b>
4.0 Prove di laboratorio geotecnico	8
<b><i>Tab.3 Elenco campioni e tipo di prova geotecnica eseguita.</i></b>	<b>8</b>
5.0 Point load test	9
<b><i>Tab.4 Prove Point Load.</i></b>	<b>11</b>
6.0 Indagine geofisica	12
<b><i>Tab.5 Caratteristiche principali degli stendimenti sismici.</i></b>	<b>13</b>
7.0 Rilievo piano altimetrico dei punti di indagine	13

## ALLEGATI

- ALLEGATO 1 – Planimetria ubicazione indagini
- ALLEGATO 2 – Report fotografico
- ALLEGATO 3 – Certificati prove di laboratorio geotecnico
- ALLEGATO 4 – Indagine geofisica
- ALLEGATO 5 – Relazione rilievo topografico

---

## **PREMESSA**

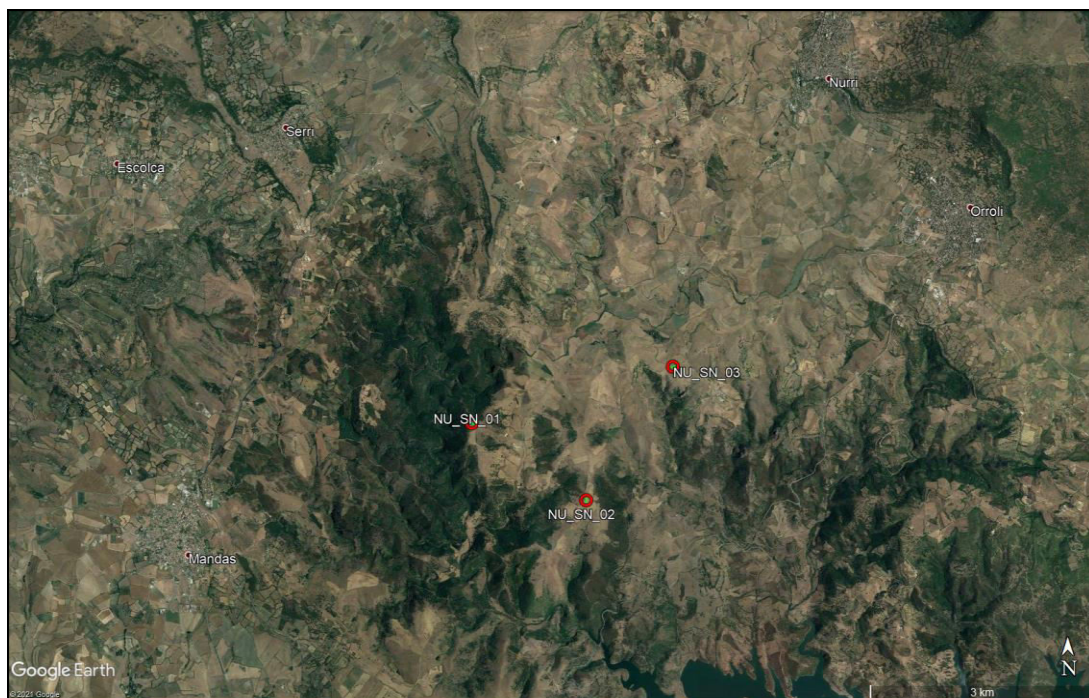
---

Nel mese di Maggio 2021 la Società Sardeolica S.r.l. nell’ambito del progetto “Realizzazione di un parco eolico in agro di Nurri (SU)” ha affidato all’impresa specializzata *DR. ANTONELLO ANGIUS* una campagna di indagini geognostiche e geotecniche articolata in esecuzione di sondaggi geognostici, prospezioni geofisiche con metodologie sismica MASW e a rifrazione e prove di laboratorio. Le indagini sono state svolte con l’obiettivo di definire la stratigrafia ed i rapporti tra le formazioni geologiche interessate dagli interventi, le caratteristiche fisico-meccaniche dell’ammasso roccioso e dei terreni, ed individuare l’eventuale presenza di circolazione d’acqua sotterranea alle profondità di interesse in relazione ai volumi significativi delle opere.

Le prove in sito e le indagini sismiche sono state eseguite nei giorni compresi tra il 29/04/2021 ed il 10/05/2021.

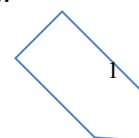
L’area di indagine ricade nel Comune di Nurri.

L’immagine sottostante riporta una panoramica dei luoghi d’intervento.



**FIGURA 1 – Panoramica dei luoghi d’intervento**

La relazione illustra le modalità esecutive dei lavori e ne riassume le risultanze geognostiche.



Le operazioni d’indagine rispondono alla normativa tecnica ufficialmente riconosciuta, e in particolare fanno riferimento alle Raccomandazioni A.G.I. (*Associazione Geotecnica Italiana*), ANISIG (*Associazione Nazionale Italiana Imprese Indagini Geognostiche*) e ISRM (*International Society for Rocks Mechanics*).

Tutti i lavori sono stati eseguiti dal personale specializzato dell’Impresa ed assistiti in cantiere da Geologi esperti in geognostica e indagini in sito.

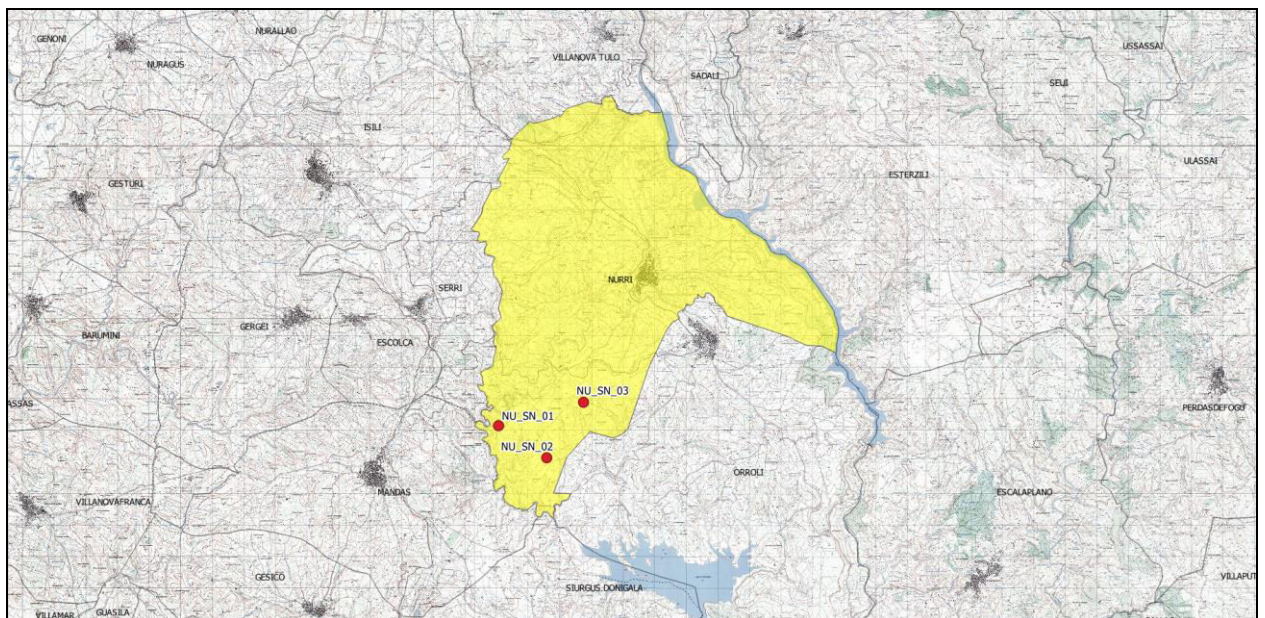
---

## **1.0 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E TOPOGRAFICO DEL SITO**

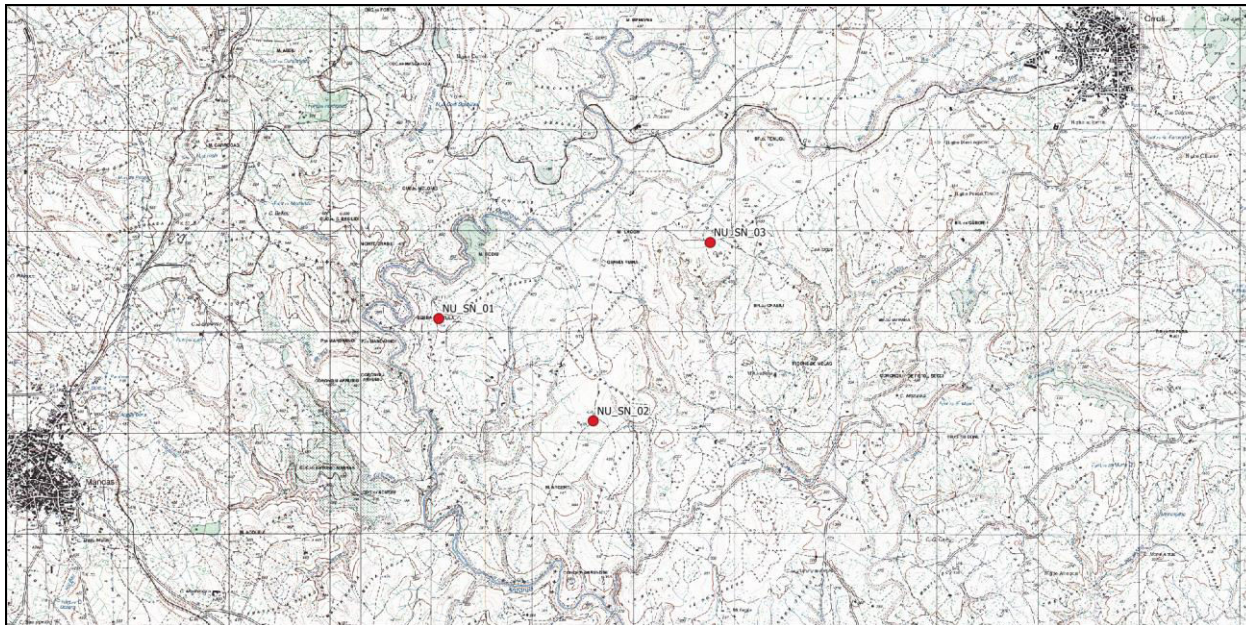
---

L’area oggetto d’indagine ricade nel Comune di Nurri (**FIGURA 2**), i riferimenti cartografici sono rappresentati da:

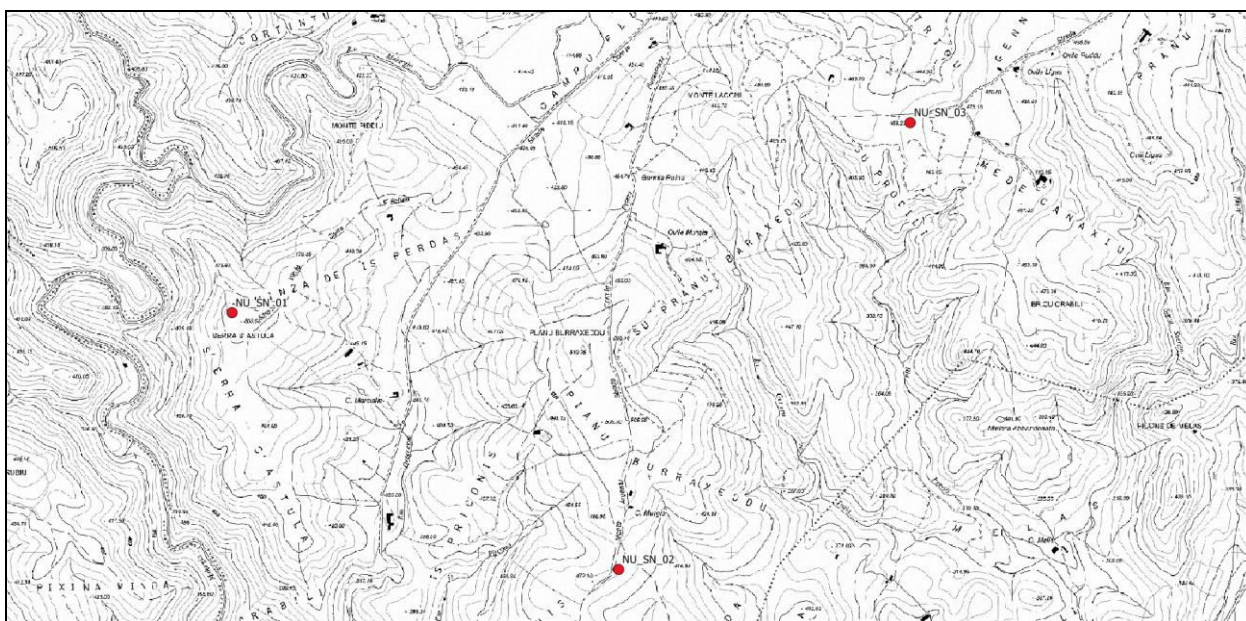
- ➔ Foglio n.540 sez. II “Orroli” dell’IGM (scala 1: 25.000) (**FIGURA 3**);
- ➔ Sez. 540-110 “Nurri” della Nuova Carta Tecnica Regionale (scala 1:10.000) (**Figura 4**).



**FIGURA 2 – Inquadramento geografico del sito**



**FIGURA 3 – Stralcio Cartografia I.G.M. – Foglio 540 Sez. II “Orroli”**



**FIGURA 4 – Stralcio Carta C.T.R. – Sez. 540-110 “Nurri”**

---

## **2.0 CARATTERISTICHE DELLA CAMPAGNA GEOGNOSTICA**

---

L'indagine è stata articolata come segue:

- esecuzione di n. 3 sondaggi a rotazione a carotaggio continuo ( $\varnothing$  101 mm), spinti a profondità comprese tra 10.00 e 13.00 m dal p.c.;
- esecuzione di n. 8 prove SPT;
- esecuzione di prove di laboratorio geotecnico su n. 5 campioni ed esecuzione di prove Point Load su n. 4 campioni;
- esecuzione di n. 3 stendimenti sismici con metodo sismico MASW e a rifrazione;
- esecuzione del rilievo topografico dei punti di indagine sismica.

---

## **3.0 SONDAGGI GEOGNOSTICI**

---

Sono stati eseguiti 3 sondaggi a rotazione con carotaggio continuo, di diametro 101 mm, spinti a profondità comprese tra 10.00 e 13.00 metri dal p.c.

Per la realizzazione del carotaggio continuo sono state utilizzate le seguenti attrezzature:

- Sonda idraulica cingolata EGT mod. VD710;
- Carotiere semplice con corone *widia*  $\varnothing$  101 mm;
- Carotiere doppio T2 con corona diamantata;
- Casette catalogatrici monostampo in PVC;

La tabella alla pagina seguente riporta l'identificativo del sondaggio e la profondità raggiunta (Tab.1).

<b>Area</b>	<b>ID Sondaggio</b>	<b>Profondità (m da p.c.)</b>
01_turbina N02	NU_SN_01	11.50
02_turbina N05	NU_SN_02	13.00
03_turbina N09	NU_SN_03	10.00

**Tab.1 Sondaggi e profondità raggiunte.**

Le carote estratte durante le perforazioni sono state riposte in cassette monostampo in PVC, dotate di coperchio, per lunghezze di 5 ml cadauna, opportunamente siglate e fotografate.

L'ubicazione dei sondaggi geognostici eseguiti è riportata nell'**Allegato 1 - Planimetria ubicazione indagini.**

L'**Allegato 2 – Report fotografico** riporta le foto delle cassette catalogatrici.

Le stratigrafie dei sondaggi sono realizzate a cura del geologo incaricato.

### **3.1 PROVE SPT (STANDARD PENETRATION TEST)**

Durante il corso dei sondaggi sono state eseguite complessivamente n. 8 prove SPT.

Questa prova consiste nell'infissione a percussione di una speciale punta conica o di un particolare campionatore a pareti grosse (Campionatore Raymond – split spoon), i quali consentono di valutare la resistenza meccanica del terreno alla penetrazione, in base al numero di colpi infissi da un apposito maglio per un dato avanzamento.

La normativa di riferimento per l'esecuzione di prove S.P.T. è la seguente:

- A.G.I. - Associazione Geotecnica Italiana (1977). Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche;
- ASTM D1586-67 (74); D1586-84. Standard Method for Penetration Test and Split-Barrel Sampling of Soil";
- ISSMFE Techn. Committee (1988). Standard Penetration Test (SPT): International Reference Test procedure.

Le dimensioni del campionatore, il peso delle aste e del maglio, l'altezza di caduta dello stesso, vengono indicati nella normativa sopra citata.

Tali dati sono riassunti in:

- *Tube campionatore apribile longitudinalmente*:  $\varnothing$  est= 50.8 mm;  $\varnothing$  int= 35 mm; L minima (escluso tagliente principale) > 457 mm; L utile = 630 mm; L scarpa tagliente terminale (con rastremazione negli ultimi 19 mm) = 76 mm; il campionatore è munito di valvola a sfera alla sommità e aperture di scarico e sfiato;
- *Punta Conica*: apertura della punta conica 60° e diametro esterno 50.8 mm;
- *Massa battente*: di peso 63,4 kg che cada da 75 cm di altezza con dispositivo di sgancio automatico;
- *Aste collegate al campionatore*: aventi peso per metro lineare 6.5 kg ( $\pm 0.5$  kg/ml). Le aste saranno diritte, ben avvitate in corrispondenza dei giunti e con flessione totale della batteria pronta per la prova  $< 1^\circ/\text{m}$ .

La caduta del maglio deve essere libera; pertanto deve essere adottato un dispositivo di sganciamento automatico che svincoli il maglio dal cavo, o altro dispositivo di sollevamento, all'altezza voluta.

Fra la testa di battuta in sommità delle aste ed il piano campagna deve essere installato almeno un centratore di guida ed irrigidimento delle aste stesse.

La differenza fra il diametro esterno delle aste e diametro interno della tubazione metallica provvisoria di rivestimento non deve superare di norma i 6 cm.

Qualora ciò avvenga devono essere predisposte, lungo la batteria delle aste ad intervalli di 3 m, opportune alette di irrigidimento, di dimensioni adeguate al diametro interno effettivo della tubazione di rivestimento provvisoria.

### *Metodologia di prova*

La prova consiste nell'infiggere nel terreno alla base del sondaggio il campionatore, per 3 tratti consecutivi, ciascuno di 15 cm, rilevando il numero di colpi (N) necessario per la



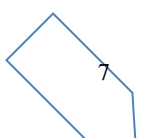
penetrazione di ciascun tratto di 15 cm. Il valore di  $N_{spt}$  è dato dalla somma dei colpi ottenuti per il 2° e 3° tratto.

La prova viene sospesa quando il numero dei colpi  $N$ , per un tratto di 15 cm, supera 50. In tal caso si annota la penetrazione (in cm) ottenuta con 50 colpi: tale valore rappresenta il “Rifiuto”.

Le fasi da seguire sono le seguenti:

- prima di eseguire la prova è necessario controllare con scandaglio la quota del fondo del foro, confrontandola con quella raggiunta con la manovra di perforazione o di pulizia precedentemente eseguita. Può risultare dal controllo che la quota misurata sia più alta per effetto di reflussi del fondo del foro o per decantazione di detriti in sospensione del fluido. Se tale differenza supera 7 cm la prova non può essere eseguita; si deve pertanto procedere ad un’ulteriore manovra di pulizia;
- calare a fondo del foro la batteria di prova. La quota di inizio della prova S.P.T. deve corrispondere a quella misurata mediante il controllo di cui sopra che, come detto, può coincidere con quella di perforazione o pulizia ma può anche essere (fino a 7 cm) superiore. L’eventuale affondamento del campionatore, per peso proprio e delle aste, deve essere annotato ma è già parte integrante dei 45 cm complessivi di infissione;
- procedere all’infissione contando ed annotando il numero dei colpi del maglio, fino ad un massimo di 50 colpi per ogni tratto di 15 cm. Il ritmo di percussione deve essere compreso tra i 10 ed i 30 colpi al minuto;
- ad estrazione avvenuta il campione prelevato viene misurato, descritto, trascurando l’eventuale parte alta costituita da detriti, sigillato in adatto contenitore ed inviato al laboratorio;
- in presenza di materiali molto compatti o ghiaie grossolane si adotterà la particolare punta conica.

La tabella alla pagina seguente riporta i dati delle prove eseguite e le relative profondità.



<b>ID Sondaggio</b>	<b>Profondità della prova (m)</b>	<b>Valori SPT (N1-N2-N3)</b>
NU_SN_01	2.00	50 = 8 cm
	7.40	50 = 11 cm
	9.00	50 = 5 cm
NU_SN_02	2.00	28-50 = 5 cm
	6.50	50 = 6 cm
	8.00	25-50 = 11 cm
	12.00	50 = 8 cm
NU_SN_03	6.00	50 = 7 cm

**Tab.2 Prove SPT e relativi valori.**

---

## **4.0 PROVE DI LABORATORIO GEOTECNICO**

---

Durante il corso dei sondaggi sono stati prelevati n. 5 campioni da sottoporre a prove geotecniche presso il laboratorio Geosystem di Quartucciu (CA).

La tabella alla seguente (**Tab.3**) riporta l’elenco dei campioni prelevati e le relative prove.

<b>ID Sondaggio</b>	<b>ID Campione</b>	<b>Profondità (m)</b>	<b>Prova</b>
NU_SN_02	SN_02_C1	7.40-7.60	Massa volumica
	SN_02_C2	11.45-11.60	Massa volumica
NU_SN_03	SN_03_C2	4.00-4.20	Massa volumica
	SN_03_C4	7.25-7.35	Massa volumica
	SN_03_C6	9.55-9.65	Massa volumica

**Tab.3 Elenco campioni e tipo di prova geotecnica eseguita.**

L'Allegato 4 – *Certificati prove di laboratorio geotecnico* riporta i certificati delle prove eseguite.

---

## 5.0 POINT LOAD TEST

---

Durante l'esecuzione dei sondaggi sono stati prelevati vari spezzoni di roccia lapidea.

I blocchi utilizzati rispondono al requisito geometrico

$$0,3W < D < W \quad \text{e} \quad L/D = 0,30 \pm 1$$

essendo:

**D** = distanza dei punzoni a contatto

**W** = larghezza del campione perpendicolarmente alla direzione di carico

**L** = distanza tra i punti di contatto e la più vicina estremità libera

È stata utilizzata la seguente apparecchiatura: Pressa Point Load digitale CONTROLS mod. 45-D0550/D matr.06053686, applicando le Norme di riferimento: ASTM D5731, Raccomandazioni ISRM (si riporta il certificato di taratura).



**FOTO 1** – Esecuzione delle prove Point load

CONTROLS		VERIFICA MACCHINA DI COMPRESIONE COMPRESSION TESTING MACHINE				CERT.Nr. 1398/19
Cliente Impresa Dott. Antonello Angius		Indirizzo Site address				
Costruttore Model	CONTROLS	Modello Model	D0550/D	Matricola Serial no	06053886	Carico max Max Load
Carico misurato con Load measured by		Scala-Range	Risol.-Resol.	Carico min.ver.-Lower limit	Mat.-Serial no.	
Indicat. Manometrico - Manometric indicator		0-50 kN	0,001	5 kN	06053886	
Depaly dig. - Digital dis.		0-50 kN	0,001	5 kN	06053886	
Altri - Others						
Verificata con-Verified with		Scala-Range	Certificato n°-Certificate no.	Valid-Validity	Mat.-Serial no.	
Sensore di forza - Force transducer		0-50000 N	147817F	07/2019	414036	
Centralina digitale-Digital electronic tester			147817F	07/2019	19096	
Manometri-Manometers						
Anelli di prova-Proving rings						
Verificata secondo		Carico ver. da		5 kN	a	50 kN
Conforme to		L.O.P1 rev.2		Load verified from		
Forza		Uscite centralina (division)		Temperatura		
kN		Output digital electronic tester (division)		Temperature		
0		0,0		°C		
5		5,033		°C		
10		10,033		°C		
20		20,081		°C		
30		30,010		°C		
40		40,092		°C		
50		50,114		°C		
F <sub>1</sub>		U <sub>1</sub>		Max		
0		0		0		
ELABORAZIONE DATI - DATA ELABORATION						
Coefficienti dell'equazione del dinamometro - Index of strain gauge equation						
C = 0,00000E+00		D = 1,00027E+00		E = -1,95047E-10		F = -1,12897E-13
Forza		Forze Misurate		Media		Err. Ripetibilità
Load		Load measured		Accuracy err.		Resolution
kN		kN		%		Resolution
0		0,0		0,00		0,00
5		5,031		-0,49		0,02
10		10,033		-0,15		0,01
20		20,086		-0,34		0,00
30		30,018		-0,13		0,00
40		40,103		-0,21		0,00
50		50,128		0,00		0,00
F <sub>1</sub>		F <sub>1</sub>		A		R
LIMITI DI CLASSE - FORCE SCALE TOLERANCES						
Err. accurat.		Err. ripetibilità		Ritorno a 0		Risoluzione
Accuracy err.		Repeatab. err.		Zero error		Resolution
%		%		% F.S.		%
1		1		0,2		0,5
2		2		0,4		1
Campo di misura - Range		Da - From		a - to		Classe assegnata
0,49		0,88		0,02		1
Campo di misura - Range		Da - From		a - to		Classe assegnata
Delta - Data		Firme collaudatore - Operator		Verificata da - Verified by		
08-giu-19						

**FIGURA 5 – Certificato taratura pressa Point load**

La resistenza al punzonamento (Point Load Strength Index) è data dalla seguente espressione:

$$IS = (P \times 1000) / DE^2$$

**IS (MPa)** = Point Load Strength Index

**P (kN)** = Resistenza massima a rottura

**DE (mm)** = Equivalent Core Diameter

$$DE^2 = 4 * (A/\pi)$$

dove **A = W\*D** rappresenta la minima superficie del fascio di piani passante attraverso i punti di contatto delle punte

Il valore IS deve essere corretto per rapportarlo a provini con Ø 50 mm, come segue:

$$IS (50) = F \times IS \quad F = (DE/50)0,45$$

Per ottenere una stima della resistenza a compressione monoassiale  $S_u$  si dovrà moltiplicare il valore  $IS_{50}$  per un coefficiente di correlazione  $K$ , variabile in funzione del litotipo testato. Il coefficiente viene determinato per correlazione con prove di compressione monoassiale e /o tramite la tabella sottostante, mediante la seguente formula:

$$S_u = IS_{50} \times K$$

La tabella seguente riporta i valori di  $K$  per i vari litotipi.

<b>LITOTIPO</b>	<b>K</b>
Rocce effusive	22
Rocce intrusive	18
Rocce sedimentarie a grana grossa	18
Rocce sedimentarie a grana fine	8
Rocce metamorfiche a basso metamorfismo	18-24
Rocce metamorfiche a medio metamorfismo	16-19
Rocce metamorfiche ad alto metamorfismo	14

*Valori del coeff. di correlazione K (Bruschi, 2004)*

Esaminate le litologie dei campioni in esame, per ogni campione sono stati utilizzati coefficienti di correlazione  $K$  adeguati al litotipo più rappresentativo, come indicato nella tabella sottostante (**Tab.4**), che riporta i risultati delle prove eseguite.

ID sondaggio	Profondità	Tipo di rottura	P	Is	Is(50)	K	Su	Litologia	Valutazione della resistenza
	<i>m</i>		<i>kN</i>	<i>MPa</i>	<i>MPa</i>		<i>MPa</i>		
S1	6,30-6,40	Giunto latente	9.70	1.34	1.71	16	27.28	Filone di quarzo	<b>R2</b>
S3	2,80-3,00	Diametrico	7.90	1.09	1.39	10	13.89	Marna	<b>R2</b>
S3	7,10-7,25	Scistosità	6.60	0.91	1.16	16	18.56	Scisto	<b>R2</b>
S3	9,30-9,40	Scistosità	6.30	0.87	1.11	16	17.72	Scisto	<b>R2</b>

**Tab.4 Prove Point Load.**

In accordo a *Brown E.T., Rock characterization, testing and monitoring-ISRМ suggest methods*, per ogni campione è stata definita la classe di resistenza, con riferimento alla tabella seguente.

CLASSE [*]	DESCRIZIONE	RESISTENZA A COMPRESSIONE MONOASSIALE (MPa)	INDICE DI RESISTENZA (POINT LOAD) (MPa)	VALUTAZIONE DELLA RESISTENZA IN SITO	ESEMPI
R6	Resistenza estremamente elevata	>250	>10	Un campione può essere solamente scheggiato con un martello geologico	Basalto intatto, selce, diabase, gneiss, granito, quarzite
R5	Resistenza molto elevata	100-250	4-10	Un campione richiede molti colpi di un martello geologico per essere fratturato	Anfibolite, arenaria, basalto, gabbro, gneiss, granodiorite, calcare, marna, riolite, tufi
R4	Resistenza elevata	50-100	2-4	Un campione richiede più di un colpo di un martello geologico per essere fratturato	Calcare, marna, fallite, arenaria, scisto, argillite
R3	Resistenza media	25-50	1-2	Non può essere raschiato o spellato con un coltellino, un campione può essere fratturato con un solo colpo di un martello geologico	Argillite, carbone, calcestruzzo, scisto, siltite
R2	Resistenza bassa	5-25	[**]	Con difficoltà può essere spellato con un coltellino, una intaccatura superficiale può essere procurata con un colpo inferto mediante la punta di un martello geologico	Calcare bianco, salgemma
R1	Resistenza molto bassa	1-5	[**]	Si frantuma per effetto di alcuni colpi con la punta di un martello geologico, può essere spellato mediante un coltellino	Rocce estremamente alterate
R0	Resistenza estremamente bassa	0.25-1	[**]	Intagliato con l'unghia di un pollice	Miloniti, cataclasi

[\*] In accordo a Brown E.T. (1981), *Rock characterization, testing and monitoring - ISRM suggested methods*, pp. 171-183, Oxford Pergamon.  
 \*\*[\*\*] La prova meccanica point load su rocce con resistenza a compressione monoassiale inferiore a 25 Mpa fornisce risultati poco attendibili

#### *Classi di resistenza*

Il campione intatto ha dunque resistenza molto bassa (Brown E.T., *Rock characterization, testing and monitoring-ISRМ suggest methods*).

---

## 6.0 INDAGINE GEOFISICA

---

È stato richiesto di impiegare la tecnica d'indagine sismica MASW e a rifrazione con la realizzazione di n. 3 stendimenti, le cui caratteristiche principali sono riassunte nella tabella alla pagina seguente (**Tab.5**).

<b>Area</b>	<b>Sigla Stendimento</b>	<b>Intervallo Geofoni [m]</b>	<b>Lunghezza [m]</b>
01_turbina N02	R1/M1	3.00	69.00
02_turbina N05	R2/M2	3.00	69.00
03_turbina N09	R3/M3	3.00	69.00

**Tab.5 Caratteristiche principali degli stendimenti sismici.**

L'indagine sismica attiva con tecnica MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine non invasiva, che attraverso la definizione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali Vs, è in grado di ricostruire una sismostratigrafia atta a permettere la definizione della categoria di suolo ai sensi del Decreto 17/01/2018.

Il metodo sismico a rifrazione è un metodo non invasivo che si basa sulla misura dei tempi di primo arrivo delle onde sismiche (P o S), generate in superficie da una sorgente sismica e captate da ricevitori disposti lungo uno stendimento a diverse distanze dalla sorgente. I tempi di primo arrivo, correlati alle distanze sorgente-ricevitore, permettono la ricostruzione del modello stratigrafico del terreno.

Le risultanze dell'indagine sono descritte nell'**Allegato 5 – Indagine geofisica**.

---


## **7.0 RILIEVO PLANO ALTIMETRICO DEI PUNTI DI INDAGINE**

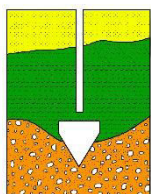
---

Al termine della campagna di indagine è stato eseguito il rilievo plano-altimetrico di tutti i punti di indagine compreso l'inizio e la fine di ogni stendimento sismico. Le risultanze del rilievo, comprese le metodologie adottate sono riportate nell'apposito **Allegato 6 – Relazione rilievo topografico**.

Cagliari, 27.05.2021

L'Impresa

  
**Ditta Dr. Antonello Angius**  
Via Italia, 143 - 09134 Cagliari  
C.F. NGSNNL61H07B354Y  
P. Iva 01985230927



## **DR. ANTONELLO ANGIUS**

Web site: [www.angiusgeo.com](http://www.angiusgeo.com)

**INDAGINI GEOGNOSTICHE, PROVE GEOTECNICHE, MONITORAGGIO AMBIENTALE,  
PROSPEZIONI MINERARIE, CONSOLIDAMENTI, POZZI PER ACQUA, PROSPEZIONI  
GEOFISICHE**

Tel/Fax: +39 070 40 32 74

Pec: [angiusgeo@pec.it](mailto:angiusgeo@pec.it)

e-mail: [angiusgeo@tiscali.it](mailto:angiusgeo@tiscali.it)

### **Progetto:**

Realizzazione di un parco eolico in agro di Nurri (SU)

### **Committente:**

Sardealica S.r.l.

**Planimetria ubicazione indagini**

**ALLEGATO 1**



## TAVOLA 1

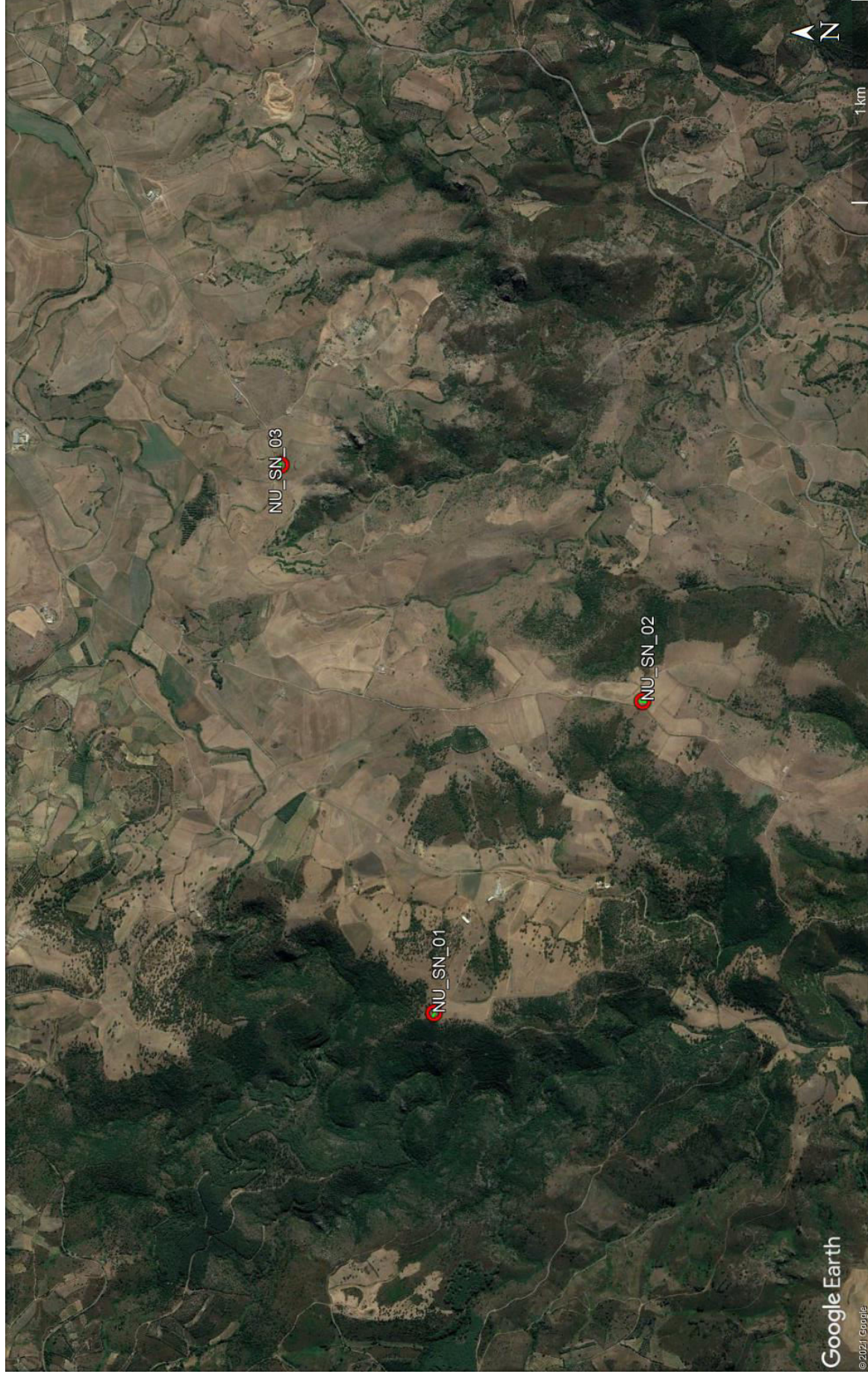
### PLANIMETRIA GENERALE UBICAZIONE INDAGINI

Comune di Nurri

**Progetto:** "Realizzazione di un parco eolico in agro di Nurri (SU)"

## LEGENDA

- Sondaggi geognostici
- Stendimenti sismici MASW e a rifrazione



## TAVOLA 2

PLANIMETRIA UBICAZIONE INDAGINI

Comune di Nurri

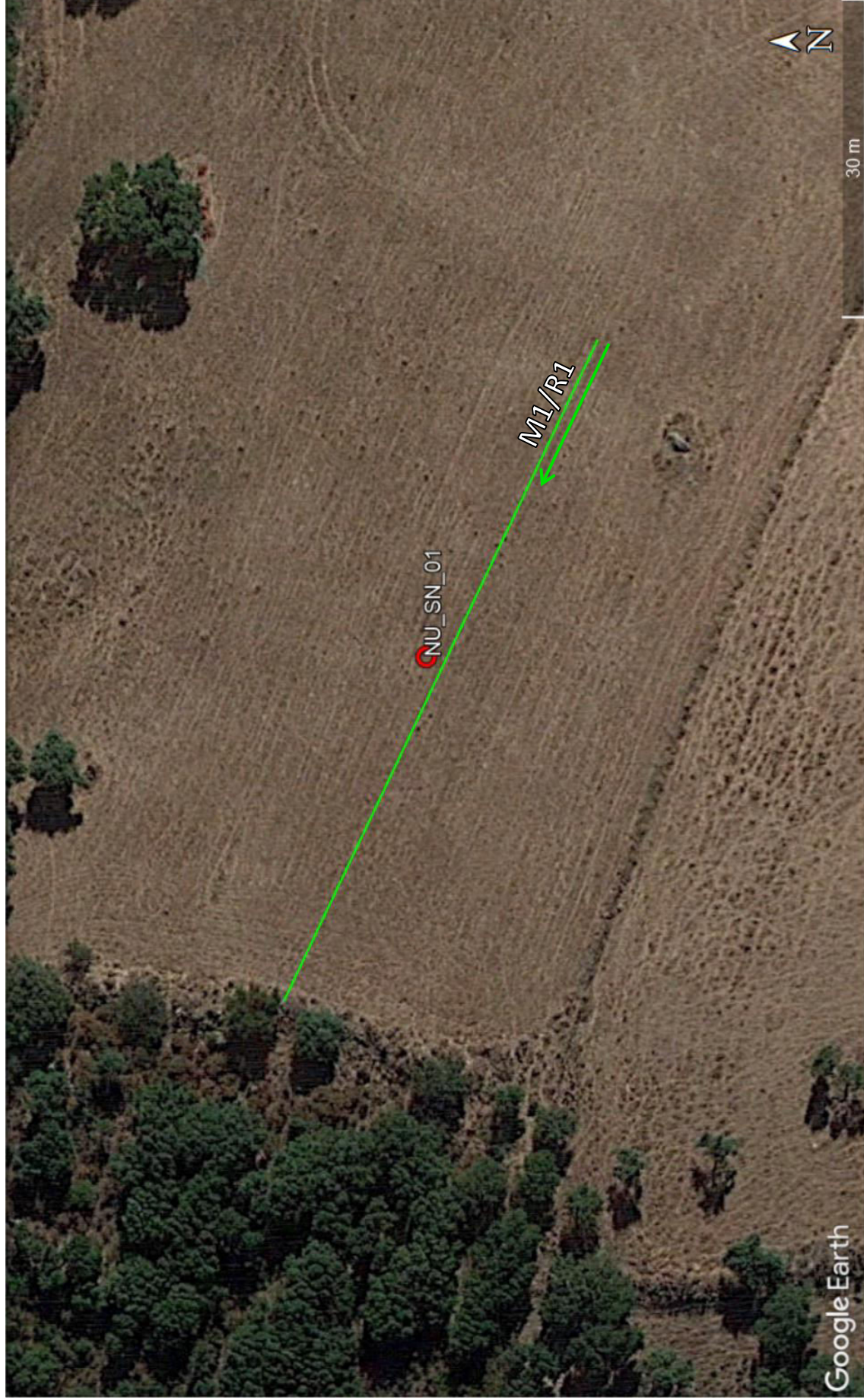
**Progetto:** "Realizzazione di un parco eolico in agro di Nurri (SU)"

## LEGENDA

○ Sondaggio geognostico

— Stendimento sismico MASW e a rifrazione **M1/R1**

↗ Direzione dello stendimento (Lunghezza G1-G24 = 69,00 m)



### TAVOLA 3

#### PLANIMETRIA UBICAZIONE INDAGINI

Comune di Nurri

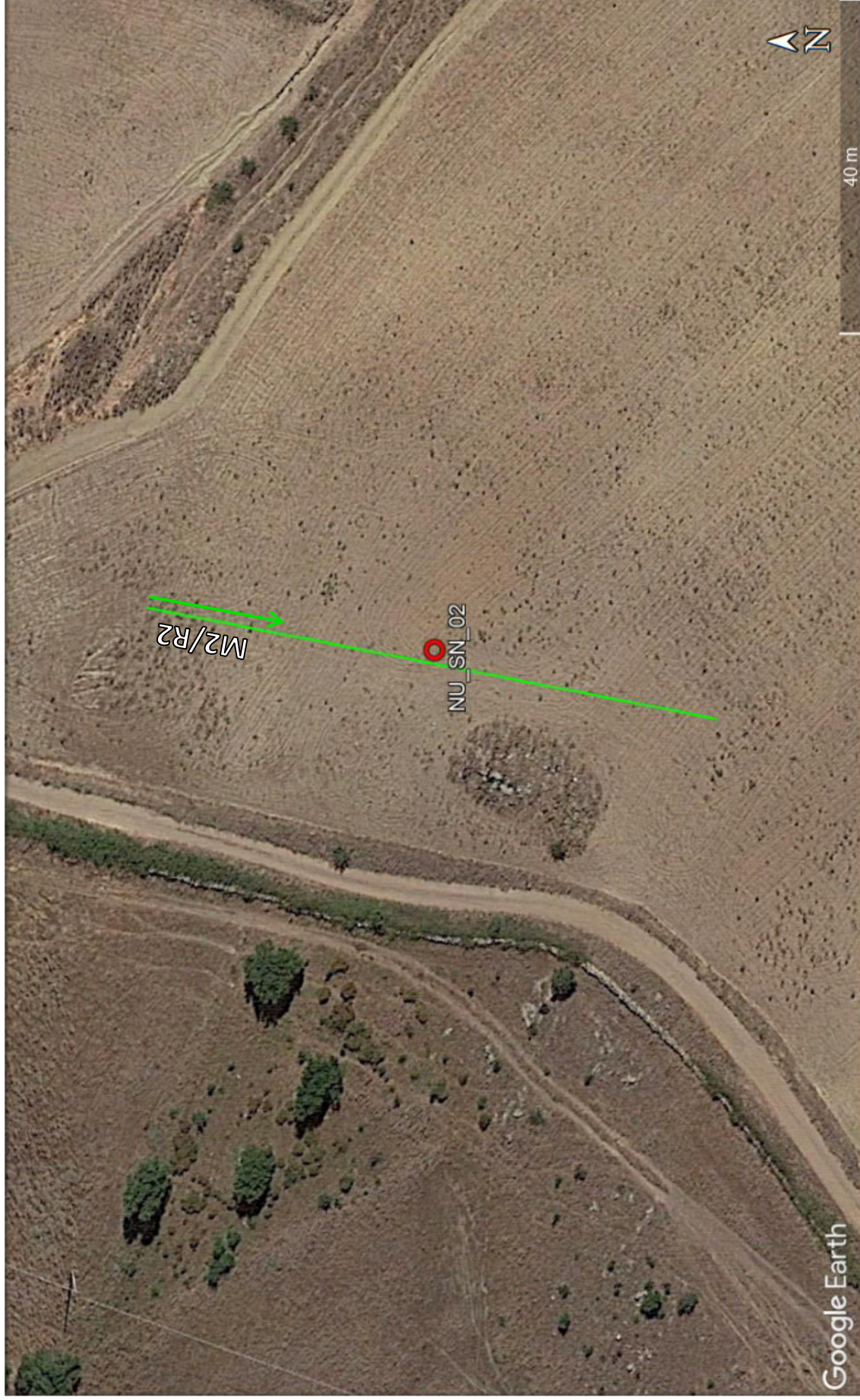
**Progetto:** "Realizzazione di un parco eolico in agro di Nurri (SU)"

#### LEGENDA

○ Sondaggio geognostico

— Stendimento sismico MASW e a rifrazione **M2/R2**

↗ Direzione dello stendimento (Lunghezza G1-G24 = 69,00 m)



### TAVOLA 3

PLANIMETRIA UBICAZIONE INDAGINI

Comune di Nurri

**Progetto:** "Realizzazione di un parco eolico in agro di Nurri (SU)"

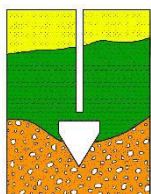
### LEGENDA

○ Sondaggio geognostico

— Stendimento sismico MASW e a rifrazione **M3/R3**

→ Direzione dello stendimento (Lunghezza G1-G24 = 69,00 m)





## **DR. ANTONELLO ANGIUS**

Web site: [www.angiusgeo.com](http://www.angiusgeo.com)

**INDAGINI GEOGNOSTICHE, PROVE GEOTECNICHE, MONITORAGGIO AMBIENTALE,  
PROSPEZIONI MINERARIE, CONSOLIDAMENTI, POZZI PER ACQUA, PROSPEZIONI  
GEOFISICHE**

Tel/Fax: +39 070 40 32 74

Pec: [angiusgeo@pec.it](mailto:angiusgeo@pec.it)

e-mail: [angiusgeo@tiscali.it](mailto:angiusgeo@tiscali.it)

### **Progetto:**

Realizzazione di un parco eolico in agro di Nurri (SU)

### **Committente:**

Sardealica S.r.l.

**Report fotografico**

**ALLEGATO 2**



*NU\_SN\_01, 0.00 – 5.00 m*



*Sondaggio NU\_SN\_01, 5.00 – 11.50 m*



*NU\_SN\_02, 0.00 – 5.00 m*



*NU\_SN\_02, 5.00 – 13.00 m*

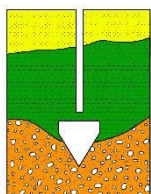


*NU\_SN\_03, 0.00 – 5.00 m*



*NU\_SN\_03, 5.00 – 10.00 m*





**DR. ANTONELLO ANGIUS**

Web site: [www.angiusgeo.com](http://www.angiusgeo.com)

INDAGINI GEOGNOSTICHE, PROVE GEOTECNICHE, MONITORAGGIO AMBIENTALE,  
PROSPEZIONI MINERARIE, CONSOLIDAMENTI, POZZI PER ACQUA, PROSPEZIONI  
GEOFISICHE

Tel/Fax: +39 070 40 32 74

Pec: [angiusgeo@pec.it](mailto:angiusgeo@pec.it)

e-mail: [angiusgeo@tiscali.it](mailto:angiusgeo@tiscali.it)

**Progetto:**

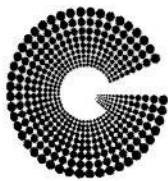
Realizzazione di un parco eolico in agro di Nurri (SU)

**Committente:**

Sardealica S.r.l.

**Certificati prove di laboratorio  
geotecnico**

**ALLEGATO 3**



# GEOSYSTEM

Del Dott. Geol. G.B. Demontis

ZONA INDUSTRIALE LOC. "PILL'E MATTA"  
09044 QUARTUCCIU (CA)

TEL/FAX 070852509-070852424 - www.geosystem.ca.it  
email: geosystemca@yahoo.it - pec: geosystem@pec.it

LABORATORIO AUTORIZZATO ALL'ESECUZIONE DI:  
PROVE SU MATERIALI DA COSTRUZIONE SETTORE A  
DI CUI ALL'ART. 59 DEL D.P.R. N.380/2001  
CIRCOLARE N.7817/STC DEL 08/09/2010  
AUT. MINISTERO N.0000527 DEL 30/09/2019  
PROVE SUI TERRENI SETTORE A  
DI CUI ALL'ART. 59 DEL D.P.R. N.380/2001  
CIRCOLARE N.7818/STC DEL 08/09/2010  
AUT. MINISTERO N.0000519 DEL 25/09/2019  
CONTROLLI NON DISTRUTTIVI SU CALCESTRUZZO  
CERTIFICAZIONE UNI EN ISO 9712  
REGOLAMENTO IT-IND-REG-02\_NDT.CIV  
LABORATORIO CERTIFICATO ISO 9001  
CERT. N.IT 11/0996 ISO 9001/UNI EN ISO 9001

V.D.A. N° 5689 DEL 06/05/2021  
COMMITTENTE Ditta Dott. Antonello Angius  
CANTIERE Nurri - Sardeolica

CAMPIONE SN 02 - SN 03 PROTOCOLLO \\  
UBICAZIONE \\  
DATA PROVA 17/05/2021 DATA PRELIEVO 03/05/2021

CERTIFICATO N. 042312 DEL 20 MAG. 2021

## DETERMINAZIONE DELLA MASSA VOLUMICA APPARENTE

(UNI CEN ISO/TS 17892-2 Metodo b)

Determinazione eseguita mediante pesata in acqua a temperatura ambiente dopo aver provveduto ad impermeabilizzare il provino con paraffina.

VDA N.	CAMPIONE	Massa Vol. naturale Mg/m <sup>3</sup>	Cont. D'acqua * %
5689-1	SN 02 C1 (7,40-7,60)m	2,08	\
5689-2	SN 02 C2 (11,45-11,60)m	2,23	\
5689-3	SN 03 C2 (4,00-4,20)m	2,74	\
5689-4	SN 03 C4 (7,25-7,35)m	2,43	\
5689-5	SN 03 C6 (9,55-9,65)m	2,56	\
\	\	\	\
\	\	\	\
\	\	\	\
\	\	\	\
\	\	\	\

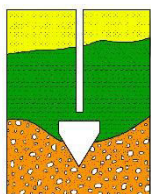
\* (UNI CEN ISO TS 17892-1)

NOTE: Campione consegnato a cura del Committente

IL TECNICO

IL DIRETTORE

Dott. Geol. Guido Demontis



**DR. ANTONELLO ANGIUS**

Web site: [www.angiusgeo.com](http://www.angiusgeo.com)

**INDAGINI GEOGNOSTICHE, PROVE GEOTECNICHE, MONITORAGGIO AMBIENTALE,  
PROSPEZIONI MINERARIE, CONSOLIDAMENTI, POZZI PER ACQUA, PROSPEZIONI  
GEOFISICHE**

Tel/Fax: +39 070 40 32 74

Pec: [angiusgeo@pec.it](mailto:angiusgeo@pec.it)

e-mail: [angiusgeo@tiscali.it](mailto:angiusgeo@tiscali.it)

**Progetto:**

Realizzazione di un parco eolico in agro di Nurri (SU)

**Committente:**

Sardealica S.r.l.

**Indagine geofisica**

**ALLEGATO 4**

---

## Sommario

---

1	PREMESSA.....	2
2	PROGRAMMA DELLE INDAGINI E METODOLOGIA DI LAVORO .....	3
3	GENERALITA' SUL METODO SISMICO A RIFRAZIONE .....	3
3.1	Caratteristiche delle stese sismiche .....	5
3.2	Caratteristiche della strumentazione impiegata .....	5
3.3	Elaborazione dei dati .....	5
3.4	Valutazione della escavabilità delle rocce .....	6
4	INDAGINI SISMICHE: MASW .....	8
4.1	Metodologia .....	8
4.2	Specifiche delle indagini svolte.....	9
4.3	Caratteristiche della strumentazione impiegata .....	10
4.4	Elaborazione dei dati .....	10
4.5	CATEGORIE DI SOTTOSUOLO - D.M. 19.01.2018 (NTC 2018) .....	11
4.6	DETERMINAZIONE DEI PARAMETRI DI DEFORMAZIONE E DI RESISTENZA AL TAGLIO DALLE INDAGINI SISMICHE .....	12
5	INTERPRETAZIONE DEI DATI: RIFRAZIONE.....	14
6	INTERPRETAZIONE DEI DATI: MASW .....	18
6.1	MASW M1.....	18
6.2	MASW M2.....	20
6.3	MASW M3.....	22
7	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE .....	24

---

## 1 **PREMESSA**

---

La presente Relazione descrive le attività di indagine geofisiche realizzate nell'ambito del progetto del "Realizzazione di un parco eolico in agro di Nurri (SU)".

L'indagine geofisica eseguita costituisce parte integrante delle indagini geognostiche dirette e indirette legate alla caratterizzazione dei terreni di fondazione. In particolare si pone come obiettivo la ricostruzione dell'assetto sismo-stratigrafico dei terreni sede di posa delle opere di fondazione nonché la classificazione del suolo di fondazione per le categorie semplificate indicate nel Decreto 17 gennaio 2018 - NTC 2018 aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni".

Le prospezioni geofisiche sono state realizzate impiegando la metodologia sismica con le tecniche Rifrazione in onde P e MASW.

Le indagini di campagna sono state realizzate nei giorni 07 e 10 del mese di Maggio 2020 e hanno visto la realizzazione di:

- N° 3 stendimenti di sismica a rifrazione in onde P
- N° 3 stendimenti di MASW

Elenco allegati:

- Tavola 1. Planimetria generale ubicazione indagini
- Tavole 2-3-4. Planimetria di dettaglio ubicazione indagini geofisiche
- Allegato A. Sismica a rifrazione: picking dei sismogrammi - dromocrone osservate e calcolate - grafico raggi sismici
- Allegato B. MASW: Sismogramma acquisiti- spettri velocità di fase/frequenza - Curve di dispersione sperimentali e calcolate con profilo Vs
- Allegato C. Documentazione fotografica MASW e Sismica a rifrazione in onde P

---

## **2**    **PROGRAMMA DELLE INDAGINI E METODOLOGIA DI LAVORO**

---

Le prospezioni geofisiche sono state articolate secondo il seguente programma:

1. Acquisizione dei dati in campo delle rifrazioni in onde P, distinte dalle sigle R1-R2-R3 e delle MASW M1-M2-M3
2. Rilievo topografico tramite GPS differenziale e/o livella di tutti i geofoni e punti di energizzazione
3. Elaborazione dei dati tramite analisi delle prospezioni acquisite in campagna e restituzione grafica delle sezioni sismiche con l'impiego di software specialistici.

Di seguito si riportano le caratteristiche geometriche delle basi sismiche.

**Tabella 1.** Quadro riassuntivo delle indagini svolte

<b>Base sismica</b>	<b>Orientamento</b>	<b>Interdistanza geofonica (m)</b>	<b>Lunghezza(m)</b>
<b>R1</b>	SE-NW	3	69.00
<b>R2</b>	NE-SW	3	69.00
<b>R3</b>	SW-NE	3	69.00
<b>M1</b>	SE-NW	3	69.00
<b>M2</b>	NE-SW	3	69.00
<b>M3</b>	SW-NE	3	69.00

---

## **3**    **GENERALITA' SUL METODO SISMICO A RIFRAZIONE**

---

Il metodo sismico a rifrazione studia la velocità di propagazione delle onde sismiche nel sottosuolo quando il terreno è sottoposto a sollecitazioni artificiali. La determinazione delle velocità si ottiene misurando i tempi di primo arrivo delle onde sismiche generate in diversi punti sulla superficie topografica.

Operativamente i profili sismici si eseguono disponendo sul terreno una serie di sensori (geofoni), posti ad un intervallo costante, collegati ad un sismografo mediante un cavo multipolare.

Dopo l'allestimento del dispositivo di ricezione si provvede a generare artificialmente vibrazioni impulsive in corrispondenza di punti prestabiliti lungo i profili: Nello stesso istante di

partenza della vibrazione viene trasmesso al sismografo il comando di avvio della registrazione (trigger). Da questo istante inizia l'acquisizione digitale, con campionamento ad intervallo costante e predeterminato, dei segnali ricevuti dai sensori.

L'interpretazione dei segnali e la ricostruzione del profilo di velocità delle onde P consiste di almeno due fasi ben distinte, e cioè l'interpretazione dei sismogrammi e l'interpretazione dei diagrammi tempi-distanze (dromocrone).

Nella prima fase i tempi di primo arrivo dei segnali sismici vengono letti direttamente sui sismogrammi di campagna visualizzati a monitor. I tempi letti in corrispondenza di ciascun canale (geofono), vengono memorizzati in appositi files che costituiscono i dati in input del software utilizzato. Per ciascun tiro, quindi, si ricostruisce un diagramma dei tempi di arrivo in funzione della distanza dal punto di tiro stesso.

L'interpretazione delle dromocrone consiste, quindi, nel suddividere la funzione tempi-distanze in segmenti a pendenza differente, indicativi della presenza di variazioni di velocità nel sottosuolo. Questa operazione viene eseguita ad un terminale videografico dove è possibile eseguire modifiche ed aggiustamenti continui dell'interpretazione.

Il numero di segmenti per ciascuna funzione equivale al numero di strati che costituiranno il modello interpretativo finale; modello che consiste in una stratigrafia del terreno basata sulle variazioni di velocità delle onde compressionali.

Nella maggior parte dei casi, comunque, si riscontrano variazioni stratigrafiche che non corrispondono a variazioni di tipo litologico in senso stretto, ma alla naturale variazione di compattezza dello stesso materiale che, per alterazione superficiale o per semplice decompressione, si presenta più allentato in prossimità della superficie rispetto alle zone più profonde.

In questi casi per la modellizzazione del sottosuolo, risulta più adatta un'altra tecnica di elaborazione: la tecnica di elaborazione tomografica.

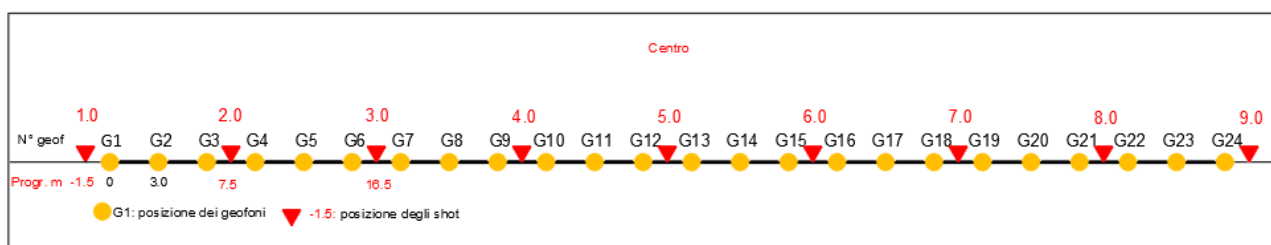
Con questa tecnica il sottosuolo viene suddiviso in elementi finiti di forma quadrata e di dimensioni estremamente piccole (dell'ordine di grandezza di decimetri) un software specifico, (nel nostro caso si è utilizzato il software RAYFRACT vers 4.01), che stima le velocità sismiche compatibili con ogni singolo elemento affinché i tempi di percorso dei vari fronti d'onda, generati nei punti di tiro disposti lungo il profilo, risultino il più possibile simili ai tempi misurati e letti sui sismogrammi.

Il risultato che si ottiene è una griglia di valori di velocità dalla superficie fino alle massime profondità di indagine che caratterizzano i vari elementi in cui è stato suddiviso il sottosuolo. Questa griglia di valori può essere, quindi utilizzata per rappresentare l'andamento nel sottosuolo delle varie litologie presenti mediante variazioni cromatiche associate alle variazioni di velocità o mediante linee di isovelocità.

### 3.1 Caratteristiche delle stese sismiche

Per tutte le basi sismiche sono state eseguite 9 energizzazioni intervallate ogni 3 geofoni secondo lo schema di acquisizione definito dalla specifiche tecniche.

**Sismica a rifrazione: schema geometrico delle acquisizioni**



Schema con 24 geofoni e interdistanza di 3,0 m.

### 3.2 Caratteristiche della strumentazione impiegata

Per l'esecuzione delle indagini è stato impiegato un sismografo GEA24, prodotto dalla PASI Geophysics, con frequenza di campionamento 5.000 Hz (Rifrazione) e 1500 Hz (MASW) per ognuno dei canali registrati, ciascuno attrezzato con geofoni verticali e orizzontali della PASI Geophysical con frequenza propria di 4,5 Hz per un numero di canali pari a n° 24.

Per l'energizzazione è stata impiegata una mazza battente da 10 kg impattante verticalmente su piastra di battuta in duralluminio, diametro 18 cm, spessore 4 cm, peso 2 kg.

La quota relativa di ciascun geofono-shot è stata rilevata tramite una livella digitale e GPS differenziale marca Stonex in modo da poter ricostruire la morfologia del terreno e utilizzarla in fase di elaborazione dei dati acquisiti.

### 3.3 Elaborazione dei dati

I dati delle prospezioni sono costituiti dalla geometria d'acquisizione (posizioni e quote relative dei punti scoppio e dei geofoni) e dai tempi di primo arrivo delle onde elastiche di



compressione (onde P), determinati manualmente sulle registrazioni riprodotte a schermo (picking dei primi arrivi).

La qualità dei dati è risultata nel complesso buona e il picking è stato realizzato facilmente per tutte le basi sismiche. Nell'**Allegato A** si riportano alcune schermate delle operazioni eseguite.

L'inversione dei dati è stata eseguita secondo i criteri della tomografia sismica, mediante apposito software specialistico basato su tecniche di ottimizzazione non lineare.

In particolare, l'elaborazione dei dati di sismica a rifrazione è stata eseguita secondo il metodo tomografico impiegando il software Rayfract 4.01, che parte da un modello iniziale generato con la tecnica Deltat-V. Successivamente viene effettuata l'inversione iterativa del modello con la tecnica WET (Wavepath Eikonal Traveltime tomography processing) che analizza la propagazione dei vari fronti d'onda generati nei punti di tiro fino ad ogni geofono.

Il modello stratigrafico ottenuto come insieme di elementi caratterizzati da una specifica velocità viene quindi rappresentato mediante il contour a linee di isovelocità. La colorazione dei vari elementi secondo una scala cromatica riferita a specifici intervalli di velocità facilita l'immediata visione dei risultati

### 3.4 Valutazione della escavabilità delle rocce

Per escavabilità o *rippabilità* s'intende la facilità con cui un terreno o una roccia possono essere scavati meccanicamente e dipende, secondo la letteratura tecnica, da diversi fattori della roccia quali la resistenza a compressione monoassiale, il grado di fratturazione, la spaziatura delle discontinuità, la velocità di propagazione delle onde sismiche, le caratteristiche delle discontinuità (apertura, continuità, grado di alterazione... etc) nonché dalle caratteristiche proprie dei mezzi di scavo.

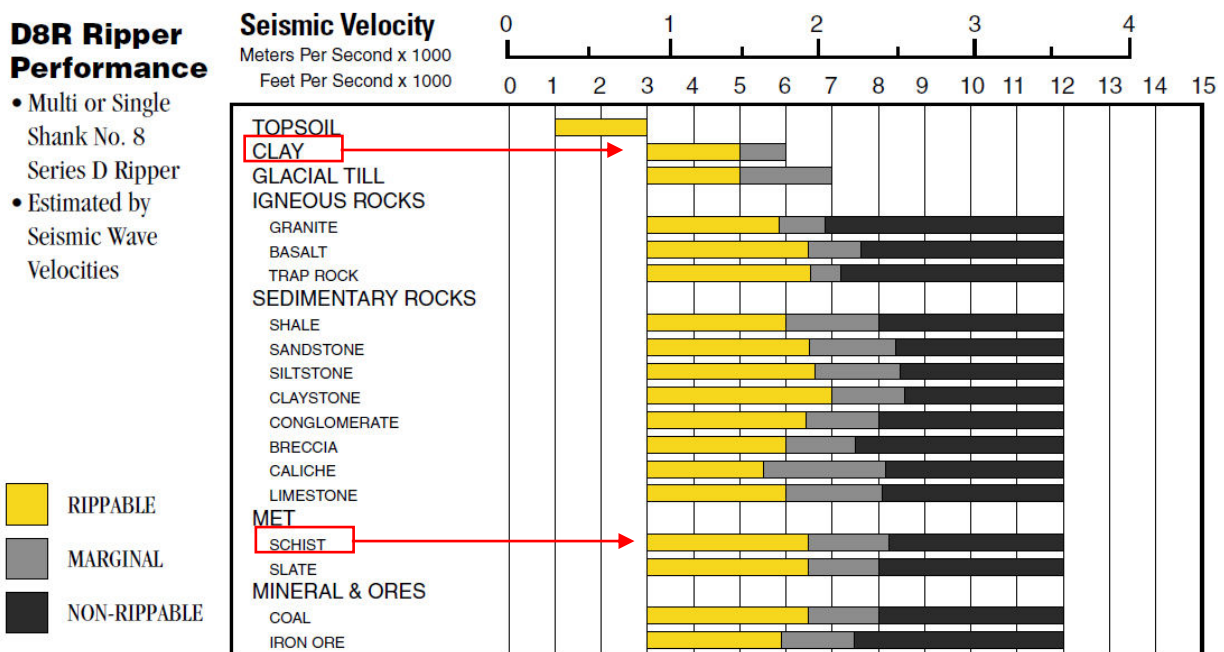
Il *ripping* è di solito eseguito da un mezzo meccanico (dozer) opportunamente attrezzato e le cui dimensioni sono determinate dalla durezza e compattezza dei materiali da abbattere. La roccia che risultasse troppo difficile per essere strappata a causa della mancanza di superfici interne di debolezza, viene generalmente frammentata con altri metodi (tra cui l'uso del martello demolitore e l'uso dell'esplosivo) e per questo definita "roccia da mina".

In genere, la rippabilità può essere desunta direttamente dal valore della velocità delle onde sismiche superficiali misurate in sito attraverso la prospezione sismica a rifrazione (onde P,

longitudinali). Tale metodo risulta forse il più speditivo ed esaustivo poiché indirettamente tiene conto anche dei altri fattori e caratteristiche della roccia sopracitati.

In letteratura sono disponibili numerosi studi volti a correlare la velocità delle onde sismiche con le caratteristiche di scavabilità e rippabilità degli ammassi rocciosi. Il più conosciuto è quello sintetizzato nella tabella riportata nel "*Handbook of Ripping*"<sup>1</sup> della Caterpillar che però generalmente risulta eccessivamente "ottimista", nel senso che, ad esempio, ammassi rocciosi con velocità sino a 2200 m/s sono definiti *rippabili*, quando in realtà richiedono l'uso di martello demolitore.

Di seguito si riporta la correlazione edita dalla **Caterpillar** valida per la macchina operatrice D8 Ripper e relativa a varie tipologie di roccia. L'esame del grafico mostra che nel caso in esame per velocità oltre i 2500 m/s il mezzo meccanico D8 non è più sufficiente e sarà necessario, un mezzo meccanico più grande (D9 o D10) o l'utilizzo di altri metodi di abbattimento quali la demolizione meccanica. Si precisa che i diversi punti indagati sono caratterizzati prevalentemente dalla presenza di argille compatte nei primi metri, le quali sono il prodotto dell'alterazione delle rocce metamorfiche sottostanti (metarenarie, scisti).



<sup>1</sup>twelfth edition - February 2000 - Caterpillar inc - Peoria , Illinois

### 4.1 Metodologia

La geofisica osserva il comportamento delle onde che si propagano all'interno dei materiali. Un segnale sismico, infatti, si modifica in funzione delle caratteristiche del mezzo che attraversa. Le onde possono essere generate in modo artificiale attraverso l'uso di masse battenti, di scoppi, etc.

#### **Moto del segnale sismico**

Il segnale sismico può essere scomposto in più fasi ognuna delle quali identifica il movimento delle particelle investite dalle onde sismiche. Le fasi possono essere:

- **P-Longitudinale:** onda profonda di compressione;
- **S-Trasversale:** onda profonda di taglio;
- **L-Love:** onda di superficie, composta da onde P e S;
- **R-Rayleigh:** onda di superficie composta da un movimento ellittico e retrogrado.

#### **Onde di Rayleigh – “R”**

In passato gli studi sulla diffusione delle onde sismiche si sono concentrati sulla propagazione delle onde profonde (P,S) considerando le onde di superficie come un disturbo del segnale sismico da analizzare. Recenti studi hanno consentito di creare dei modelli matematici avanzati per l'analisi delle onde di superficie in mezzi a differente rigidità.

#### **Analisi del segnale con tecnica MASW**

Secondo l'ipotesi fondamentale della fisica lineare (Teorema di Fourier) i segnali possono essere rappresentati come la somma di segnali indipendenti, dette armoniche del segnale. Tali armoniche, per analisi monodimensionali, sono funzioni trigonometriche seno e coseno, e si comportano in modo indipendente non interagendo tra di loro. Concentrando l'attenzione su ciascuna componente armonica il risultato finale in analisi lineare risulterà equivalente alla somma dei comportamenti parziali corrispondenti alle singole armoniche. L'analisi di Fourier (analisi spettrale FFT) è lo strumento fondamentale per la caratterizzazione spettrale del segnale. L'analisi delle onde di Rayleigh, mediante tecnica MASW, viene eseguita con la trattazione spettrale del segnale nel dominio trasformato dove è possibile, in modo abbastanza agevole, identificare il segnale relativo alle onde di Rayleigh rispetto ad altri tipi di segnali, osservando, inoltre, che le

onde di Rayleigh si propagano con velocità che è funzione della frequenza. Il legame velocità frequenza è detto spettro di dispersione. La curva di dispersione individuata nel dominio f-k è detta curva di dispersione sperimentale, e rappresenta in tale dominio le massime ampiezze dello spettro.

### **Modellizzazione**

E' possibile simulare, a partire da un modello geotecnico sintetico caratterizzato da spessore, densità, coefficiente di Poisson, velocità delle onde S e velocità delle Onde P, la curva di dispersione teorica la quale lega velocità e lunghezza d'onda secondo la relazione:

$$v = \lambda \times \nu$$

Modificando i parametri del modello geotecnico sintetico, si può ottenere una sovrapposizione della curva di dispersione teorica con quella sperimentale: questa fase è detta di inversione e consente di determinare il profilo delle velocità in mezzi a differente rigidità.

### **Modi di vibrazione**

Sia nella curva di inversione teorica che in quella sperimentale è possibile individuare le diverse configurazioni di vibrazione del terreno. I modi per le onde di Rayleigh possono essere: deformazioni a contatto con l'aria, deformazioni quasi nulle a metà della lunghezza d'onda e deformazioni nulle a profondità elevate.

### **Profondità di indagine**

Le onde di Rayleigh decadono a profondità circa uguali alla lunghezza d'onda. Piccole lunghezze d'onda (alte frequenze) consentono di indagare zone superficiali mentre grandi lunghezze d'onda (basse frequenze) consentono indagini a maggiore profondità.

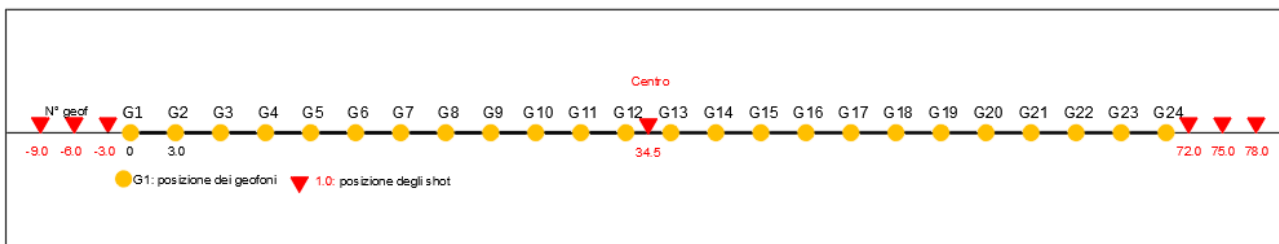
## **4.2 Specifiche delle indagini svolte**

L'indagine si sviluppa mediante la materializzazione sul terreno di una linea retta mediante la posa di una fettuccia metrica. A seguire vengono posizionati i geofoni intervallati ad una distanza pari a 2,0 m in funzione anche della disponibilità di spazio. Esternamente alla stesa geofonica, da ora base sismica, a distanza di interesse che può essere pari ad un multiplo della distanza intergeofonica ma anche variabile (in funzione delle disponibilità di cantiere), sia in andata (ovvero in prossimità del geofono 1) che al ritorno (ovvero all'ultimo geofono posizionato sulla base sismica), vengono svolte delle energizzazioni mediante massa battente pari a Kg 10,0.

Nel caso in esame, sono state svolte le energizzazioni in “andata” e in “ritorno” con distanza dal geofono 1 e dal geofono 24 crescente e pari a multipli della distanza intergeofonica (v. schema), oltre che una battuta al centro della base sismica.

Il numero di geofoni utile all’esecuzione ottimale di un’indagine M.A.S.W. è risultato, per il cantiere svolto, di 24 geofoni dei quali sono state utilizzate tutte le tracce. Il tempo dell’acquisizione è stato definito tra 1.00 e 2.00 secondi.

### MASW: schema geometrico delle acquisizioni a 24 geofoni e interdistanza di 3,0 m



### 4.3 Caratteristiche della strumentazione impiegata

Per l’esecuzione del cantiere d’interesse, è stata impiegata una strumentazione di acquisizione modello GEA24, prodotto dalla PASI Geophysics, con frequenza di campionamento 1500 Hz per ognuno dei canali registrati, ciascuno attrezzato con geofoni verticali e orizzontali della PASI Geophysic con frequenza propria di 4,5 Hz. Il numero di canali è risultato pari a n° 24 canali.

Per l’energizzazione ci siamo avvalsi di una mazza battente da 10 kg impattante verticalmente su piastra di battuta in duralluminio, diametro 18 cm, spessore 4 cm, peso 2 kg.

### 4.4 Elaborazione dei dati

Il metodo interpretativo della M.A.S.W. si compone dei seguenti passaggi di analisi dei segnali acquisiti:

- individuazione della variazione del segnale acquisito nel tempo
- analisi di Fourier con definizione dei contenuti spettrali acquisiti nei segnali
- stacking dello spostamento di fase con definizione delle velocità di rotazione retrograda compatibile con il campo di frequenza definita.

A posteriori dell'analisi matematica del segnale acquisito, definito un modello stratigrafico compatibile con la geologia locale, si provvede all'inversione della curva di dispersione ottenendo la sismo-stratigrafia.

L'elaborazione dei dati che ha prodotto il profilo di velocità è stata realizzata grazie all'impiego del software ZondST2D.

#### 4.5 CATEGORIE DI SOTTOSUOLO - D.M. 19.01.2018 (NTC 2018)

Le "Norme Tecniche per le Costruzioni" – Decreto del 19/01/2018 definiscono le regole per progettare l'opera sia in zona sismica che in zona non sismica.

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.

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

Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite in Tab. 3.2.II. Per queste cinque categorie di sottosuolo, le azioni sismiche sono definibili come descritto al § 3.2.3 delle NTC 2018. Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche.

**Tabella 3.2.II.** Categorie di sottosuolo (Fonte NTC 2018)

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

#### 4.6 DETERMINAZIONE DEI PARAMETRI DI DEFORMAZIONE E DI RESISTENZA AL TAGLIO DALLE INDAGINI SISMICHE

Di seguito si indicano le correlazioni bibliografiche che possono essere utilizzate per il calcolo dei parametri di deformazione dinamici calcolati tramite correlazione bibliografica dei parametri di input  $V_p$ ,  $V_s$  e densità per ciascun sismostrato definito dalle indagini geofisiche.

$$\text{Coefficiente di Poisson } \nu = \frac{V_p^2 - 2 V_s^2}{2 (V_p^2 - V_s^2)}$$

$$\text{Modulo di Young dinamico } E_d = \gamma V_s^2 [(3V_p^2 - 4 V_s^2)/(V_p^2 - V_s^2)]$$

$$\text{Modulo di taglio (rigidità) } G_0 = \gamma V_s^2$$

$$\text{Modulo di comprimibilità o di Bulk } K = \gamma (V_p^2 - 4/3 V_s^2)$$

##### **Determinazione del modulo di Young statico $E_s$**

Per la determinazione del modulo di Young statico  $E_s$  dal modulo dinamico  $E_d$  si può applicare la nota relazione proposta da Rzhovsky e Novik (1971) valida per i moduli misurati in MPa o Kg/cmq:

$$E_{\text{stat}} = \frac{E_{\text{din}} - 0.97}{8.3}$$

Per gli ammassi rocciosi la bibliografia specialistica suggerisce di applicare un coefficiente pari a 0,8-1,0 per la roccia integra e un coefficiente via via più basso per quelle fratturate in relazione al grado di fratturazione.

$$E_{\text{stat}} = E_{\text{din}} \times (0.3/1.0)$$

Si sottolinea tuttavia come i valori ottenuti con la suddetta formulazione sia un modulo di elasticità e quindi non può essere utilizzato per determinare ad esempio cedimenti di fondazione quando il carico delle fondazioni da luogo a elevate deformazioni (superiori al limite di elasticità) poiché in quei casi la componente plastica è predominante su quella elastica.

### Correlazioni con $N_{spt}$ e parametri geotecnici

Nella letteratura specializzata sono ormai reperibili moltissime correlazioni tra il numero di colpi ( $N_{spt}$ ) del Penetrometro Standard e la velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ). Le principali correlazioni sono di tipo esponenziale, con  $N_{spt} = (V_s / \alpha)^\beta$  con i coefficienti  $\alpha$  e  $\beta$  variabili in funzione del tipo di terreno. Si ricorda che il numero di colpi di cui si parla è quello necessario per far avanzare di 30 cm nel terreno la punta del campionatore Raymond standard.

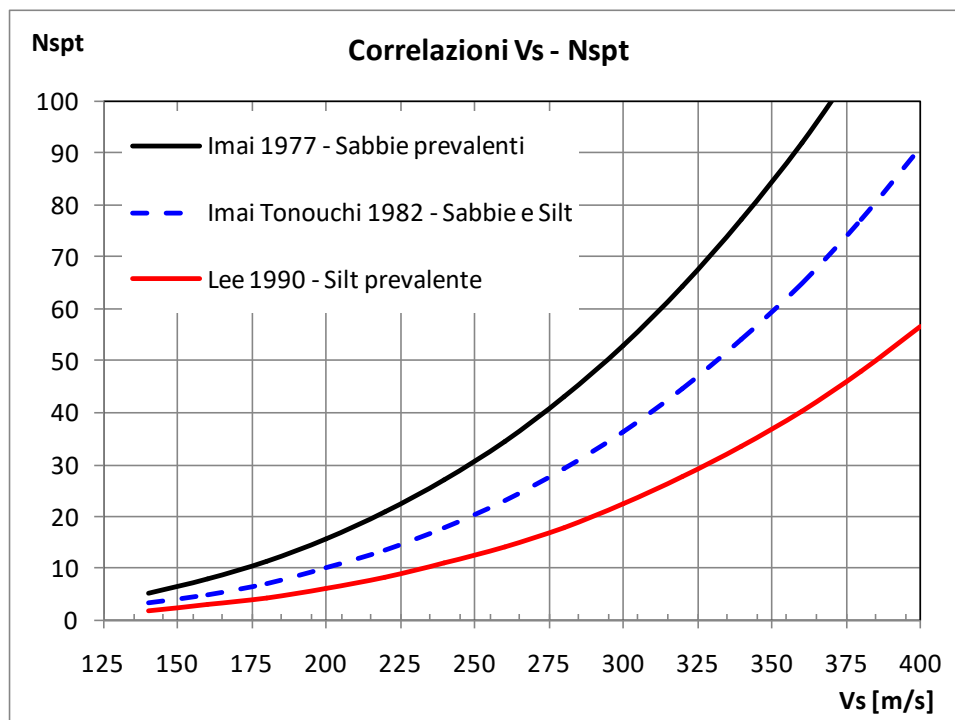
A tale scopo si illustrano le correlazioni proposte da Imai 1977, Imai e Tonuchi (1982) e Lee (1990) valide per tre differenti tipologie di terreni che caratterizzano in genere tutti i terreni:

$$N_{SPT} = \left(\frac{V_s}{80,6}\right)^{3,021} \text{ valida per i terreni prevalentemente sabbiosi - Imai (1977)}$$

$$N_{SPT} = \left(\frac{V_s}{97,0}\right)^{3,184} \text{ valida per i terreni misti sabbioso-siltosi - Imai e Tonuchi (1982)}$$

$$N_{SPT} = \left(\frac{V_s}{114,43}\right)^{3,226} \text{ valida per terreni prevalentemente fini/siltosi - Lee (1990)}$$

Dove:  $N_{spt}$  = numero di colpi del Penetrometro Standard e  $V_s$  = Velocità delle onde di taglio



Noto il valore di  $N_{spt}$  si calcolano i seguenti parametri geotecnici dei terreni:

Parametri geotecnici	Metodologie – Relazioni
Resistenza al taglio $\phi$	<p><u>Terreni sabbiosi</u></p> <p>Entro i 6 m di profondità- Peck-Hanson&amp;Thornburn, <math>\phi = 0,28 N_{spt} + 27,2</math></p> <p>Oltre i 6 m di profondità- Japanese National Railway, <math>\phi = 0,30 N_{spt} + 27</math></p> <p><u>Terreni: sabbie fini o limose</u></p>



		$\varphi = \sqrt{15Nspt} + 15$
Modulo di deformazione E (o di Young)	di	<p><b>Schmertmann</b> (valido per sabbie e terreni prevalentemente sabbiosi)  <math>E(\text{Kg/cm}^2) = 2B \text{ Nspt}</math> dove  <math>B=4</math> (sabbia fine), <math>B=6</math> (sabbia media), <math>B=10</math> (sabbia grossolana)</p> <p><b>D'Appolonia et Alii.</b> (valido per sabbia+ghiaia e sabbie sovraconsolidate)  <math>E(\text{Kg/cm}^2) = 7,71 \text{ Nspt} + 191</math> (ghiaia + sabbia)</p> <p><b>Tornaghi</b>(valido per sabbia + ghiaia)  <math>E(\text{MPa}) = B \text{ SNspt}</math> (<math>B=7 \text{ MPa}</math>)</p>

---

## 5 INTERPRETAZIONE DEI DATI: RIFRAZIONE

---

Sulla base delle velocità misurate, nelle sezioni tomografiche sono stati definiti i seguenti sismostrati:

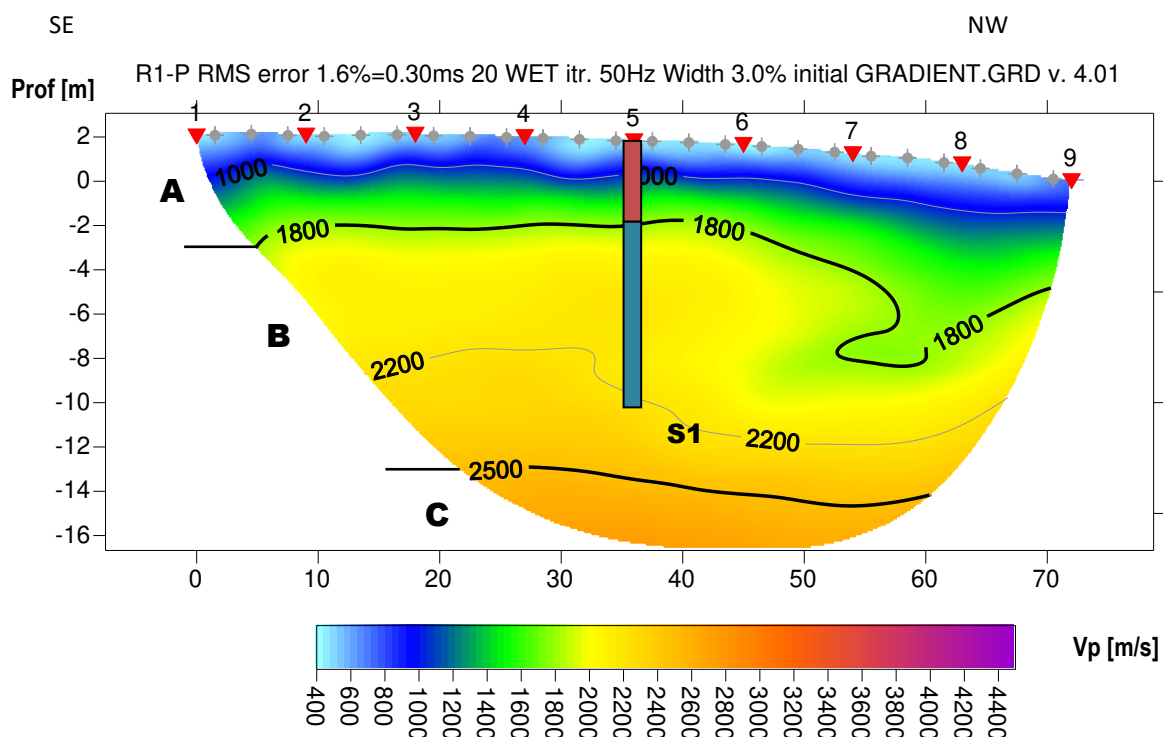
- A - Sismostrato A: Unità delle terre di alterazione (argille) e rocce allentate totalmente fratturate e alterate, facilmente scavabili (rippabili) con valori di  $V_p$  tra 400 e 1800 m/s.
- B - Sismostrato B: Unità delle rocce da molto fratturate a fratturate, scavabili con difficoltà (rippabili) con valori di  $V_p$  tra 1800 e 2500 m/s.
- C - Sismostrato C: Unità delle rocce da fratturate a poco fratturate non rippabili con valori di  $V_p > 2500$  m/s.

La delimitazione dei sismostrati ha lo scopo principale di distinguere le terre dalle rocce scavabili e queste da quelle non rippabili. I valori di velocità sono indicativi, e possono presentare delle oscillazioni locali a causa delle variazioni delle caratteristiche dei litotipi. Nei paragrafi precedenti sono state indicate le differenti classificazioni del grado di rippabilità delle rocce. Nel contesto in esame per definire le rocce "rippabili" si ritiene ragionevole impiegare quale valore indicativo di velocità  $V_p < 2500$  m/s.

Nelle descrizioni che seguono le profondità sono riferite al piano di campagna e per direzione dello stendimento si intende l'orientamento geografico formato dalla linea che unisce il geofono iniziale con quello finale, che nella planimetrie delle **Tavole 2-3-4** è stato indicato con una freccia.

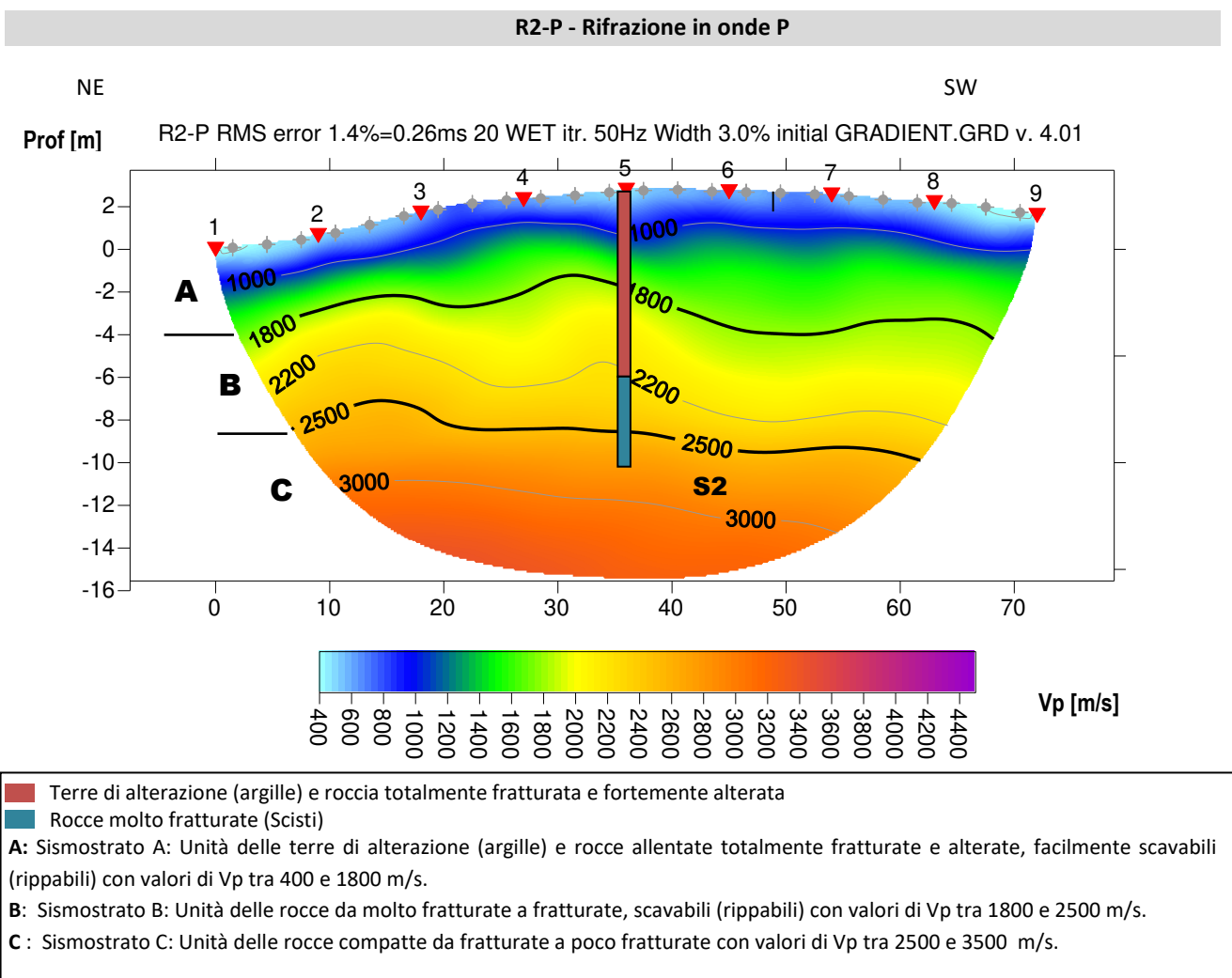
Dall'esame della sezione tomografica **R1** si riconoscono 3 unità sismostratigrafiche principali caratterizzate da velocità crescente delle onde P all'aumentare della profondità, con un range di velocità delle onde P che varia dai 400 m/s ai 2600 m/s. L'aumentare delle velocità delle onde è riconducibile al miglioramento delle caratteristiche fisico-meccaniche dei litotipi presenti nel sottosuolo con l'incremento della profondità. Le 3 unità sismostratigrafiche presentano un andamento circa piano parallelo rispetto al piano di campagna per quasi tutta la sezione, così come gli spessori dei sismostrati. Si può osservare infatti che nella parte destra della sezione si ha una variazione dell'andamento dovuta al maggior spessore del sismostrato A. Il limite del sismostrato A, caratterizzato da terre argillose, formatisi dall'alterazione dei materiali sottostanti, e da rocce totalmente fratturate e fortemente alterate, si osserva a profondità comprese tra 4,0 e 9,0 m dal piano campagna. Il limite tra materiali rippabili (Sismostrato A+B) e non rippabili (Sismostrato C) si individua a profondità comprese tra 15,0 e 16,0 m dal piano campagna. Si osserva inoltre una buona correlazione con il sondaggio S1 eseguito a circa 9,0 m di distanza dallo stendimento in proiezione con la progressiva 39,0 m .

**R1-P - Rifrazione in onde P**



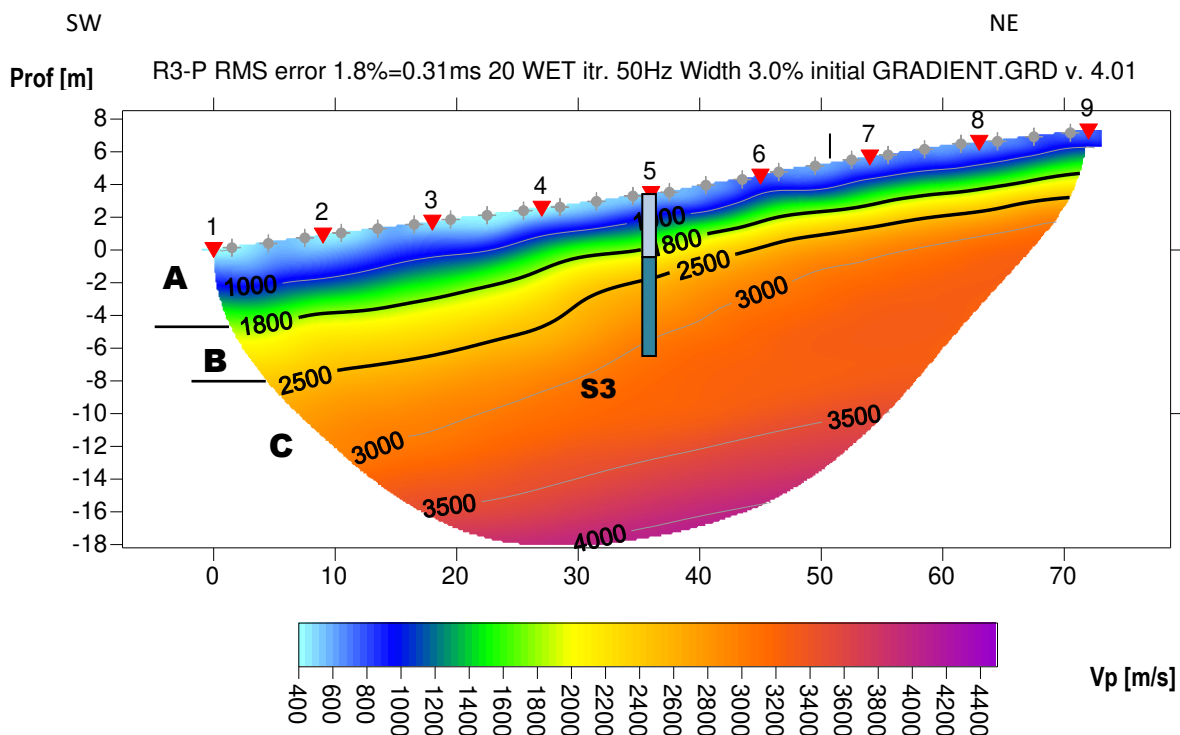
- Terre di alterazione(argille) e roccia totalmente fratturata e fortemente alterata
- Rocce molto fratturate (Scisti)
- A:** Sismostrato A: Unità delle terre di alterazione(argille) e rocce allentate totalmente fratturate e alterate, facilmente scavabili (rippabili) con valori di Vp tra 400 e 1800 m/s.
- B:** Sismostrato B: Unità delle rocce da molto fratturate a fratturate, scavabili (rippabili) con valori di Vp tra 1800 e 2500 m/s.
- C :** Sismostrato C: Unità delle rocce da fratturate a poco fratturate con valori di Vp > 2500 m/s.

Dall'esame della sezione tomografica **R2** si riconoscono 3 unità sismostratigrafiche principali caratterizzate da velocità crescente delle onde P all'aumentare della profondità, con un range di velocità delle onde P che varia dai 400 m/s ai 3500 m/s. L'aumentare delle velocità delle onde è riconducibile al miglioramento delle caratteristiche fisico-meccaniche dei litotipi presenti nel sottosuolo con l'incremento della profondità. Le 3 unità sismostratigrafiche presentano un andamento circa piano parallelo rispetto al piano di campagna e spessori leggermente variabili lungo tutta la sezione. Il limite del sismostrato A, caratterizzato da terre argillose, formati dall'alterazione dei materiali sottostanti, e da rocce totalmente fratturate e fortemente alterate, si osserva a profondità comprese tra 4,0 e 6,5 m dal piano campagna. Il limite tra materiali rippabili (Sismostrato A+B) e non rippabili (Sismostrato C) si individua a profondità comprese tra 8,0 e 12,0 m dal p.c. Si osserva inoltre una discreta correlazione con il sondaggio S2 eseguito lungo la base sismica alla progressiva 42,0 m. Si ricorda che per il grado di rippabilità delle rocce viene utilizzata la correlazione edita dalla **Caterpillar** valida per la macchina operatrice D8 Ripper.



Dall'esame della sezione tomografica **R3** si riconoscono 3 unità sismostratigrafiche principali caratterizzate da velocità crescente delle onde P all'aumentare della profondità, con un range di velocità delle onde P che varia dai 400 m/s ai 4000 m/s, quindi molto più veloce rispetto a R1 e R2. L'aumentare delle velocità delle onde è riconducibile al miglioramento delle caratteristiche fisico-meccaniche dei litotipi presenti nel sottosuolo con l'incremento della profondità. Le 3 unità sismostratigrafiche presentano un andamento piano parallelo rispetto al piano di campagna e spessori leggermente variabili lungo tutta la sezione ed inferiori (A e B) rispetto alle R1 e R2. Il limite del sismostrato A, caratterizzato da terre di copertura e rocce totalmente fratturate e alterate, si osserva a profondità comprese tra 2,5 e 5,0 m dal piano campagna. Il limite tra materiali rippabili (Sismostrato A+B) e non rippabili (Sismostrato C) si individua a profondità comprese tra 4,0 e 8,0 m dal piano campagna. Si osserva inoltre una buona correlazione con il sondaggio S3 eseguito a circa 8,5 m di distanza dallo stendimento in proiezione alla progressiva 30,0 m .

#### R3-P - Rifrazione in onde P



- Terre di copertura e Calcari molto fratturati e alterati
  - Rocce molto fratturate (Scisti)
- A:** Sismostrato A: Unità delle terre di copertura e rocce allentate totalmente fratturate e alterate, facilmente scavabili (rippabili) con valori di Vp tra 400 e 1800 m/s.
- B:** Sismostrato B: Unità delle rocce da molto fratturate a fratturate, scavabili (rippabili) con valori di Vp tra 1800 e 2500 m/s.
- C:** Sismostrato C: Unità delle rocce compatte da fratturate a poco fratturate con valori di Vp tra 2500 e 4000 m/s

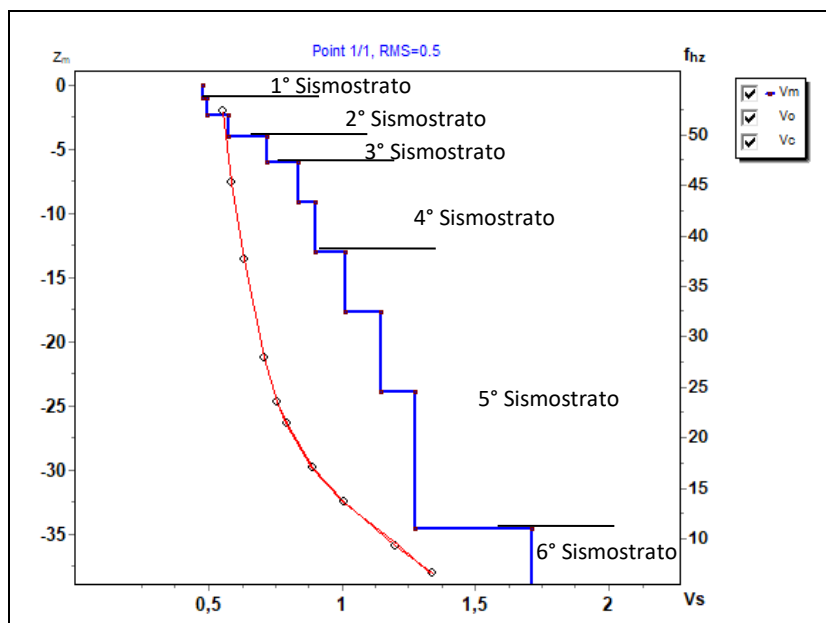
## 6 INTERPRETAZIONE DEI DATI: MASW

### 6.1 MASW M1

L'indagine sismica con tecnica MASW ha permesso di ottenere il profilo medio di velocità delle onde di taglio verticali  $V_s$  dello stendimento M1, dal quale si possono distinguere i sismostrati di seguito indicati. Si ricorda che si tratta di un profilo medio della velocità di taglio  $V_s$ .

- 1° sismostrato (da 0,0 m a 1,0 m) con  $V_s$  di **480 m/s**, Terre molto addensate e roccia totalmente fratturata
- 2° sismostrato (da 1,0 m a 4,0 m) con  $V_s$  tra **500 e 570 m/s**, Roccia totalmente fratturata
- 3° sismostrato (da 4,0 m a 6,0 m) con  $V_s$  di **720 m/s**, Roccia intensamente fratturata
- 4° sismostrato (da 6,0 m a 12,9 m) con  $V_s$  tra **840 e 900 m/s**, Substrato roccioso intensamente fratturato
- 5° sismostrato (da 12,9 m a 34,5 m) con  $V_s$  tra **1010 e 1270 m/s**, Substrato roccioso fratturato
- 6° sismostrato (>34,5 m) con  $V_s$  di **1710 m/s**, Substrato roccioso sano

MASW M1 - PROFILO  $V_s$



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.

Esaminato il profilo delle Vs si pone come profondità del substrato **6,0 m** ( $V_s > 800$  m/s).

La velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio calcolata per il substrato posto a **6,0 m** di profondità dal p.c. è pari a:  $V_s \text{ eq} = 6,0/0,0105 = 570$  m/s che dà luogo ad una categoria B, ossia:

**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.

### Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche

Nella **Tabella 7** si illustrano i parametri di deformazione dinamici medi calcolati tramite correlazione bibliografica dei parametri di input Vs, e Vp e densità (da bibliografia/correlazione) per ciascun sismostrato definito dalle indagini eseguite.

**Tabella 7.** Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche

Sismostrato	Prof/zona	CT*	Densità $\gamma$	Vp	Vs	Coefficient e di Poisson $\nu$	Modulo di Young dinamico Ed	Modulo di Young statico Ed	Modulo di taglio $G_0$	Modulo di comprimibilità o di Bulk - K
			[Kg/m <sup>3</sup> ]	[m/s]	[m/s]		[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
1	0,0-1,0	10%	1.800	960	480	0,33	1.108	111	412	1.108
2	1,0-4,0	10%	1.900	1.070	535	0,33	1.451	145	539	1.451
3	4,0-6,0	15%	2.000	1.440	720	0,33	2.766	415	1.040	2.766
4	6,0-12,9	20%	2.100	1.740	870	0,33	4.237	847	1.589	4.237
5	12,9-34,5	30%	2.300	2.280	1.140	0,33	7.973	2.392	2.991	7.973
6	>34,5	40%	2.300	3.420	1.710	0,33	17.937	7.175	6.727	17.937

### Indicazioni per la determinazione di N<sub>spt</sub> e parametri geotecnici

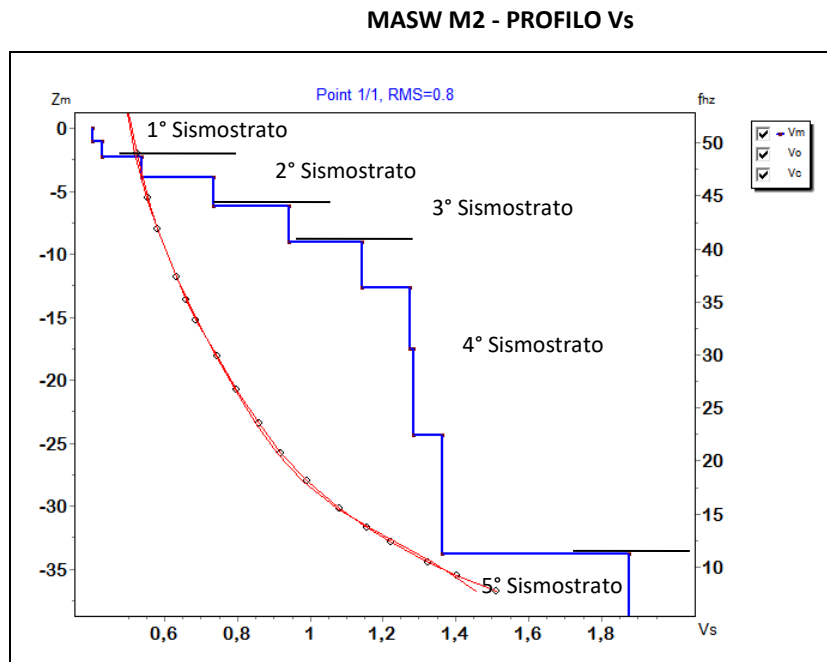
Sulla base delle correlazioni fornite nei precedenti paragrafi è possibile stimare una correlazione tra Vs e N<sub>spt</sub>, i parametri di resistenza al taglio e di deformazione. Nel caso in esame trattandosi di materiali a granulometria prevalentemente fine/siltosa si consiglia di impiegare la correlazione di Lee (1990) di seguito indicata.

$$N_{SPT} = \left( \frac{V_s}{114,43} \right)^{3,226} \text{ valida per terreni prevalentemente fini/siltosi - Lee (1990)}$$

## 6.2 MASW M2

L'indagine sismica con tecnica MASW ha permesso di ottenere il profilo medio di velocità delle onde di taglio verticali Vs dello stendimento M2, dal quale si possono distinguere i sismostrati di seguito indicati. Si ricorda che si tratta di un profilo medio della velocità di taglio Vs.

- 1° sismostrato (da 0,0 m a 2,3m) con Vs tra **400 e 430 m/s**, Terre molto addensate
- 2° sismostrato (da 2,3 m a 6,2 m) con Vs tra **540 e 730 m/s**, Roccia intensamente fratturata
- 3° sismostrato (da 6,2 m a 9,1 m) con Vs di **940 m/s**, Substrato roccioso alterato e argillificato
- 4° sismostrato (da 9,1 m a 33,8 m) con Vs tra **1140 e 1360 m/s**, Substrato roccioso fratturato
- 5° sismostrato (>33,8 m) con Vs di **1880 m/s**, Substrato roccioso sano



La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, Vs,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 Vs non inferiore a 800 m/s.

Esaminato il profilo delle Vs si pone come profondità del substrato **6,2 m** ( $V_s > 800$  m/s).

La velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio calcolata per il substrato posto a **6,2 m** di profondità dal p.c. è pari a:  $V_s \text{ eq} = 6,2/0,0116 = 535$  m/s che dà luogo ad una categoria B, ossia:

**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.

### Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche

Nella **tabella 8** si illustrano i parametri di deformazione dinamici medi calcolati tramite correlazione bibliografica dei parametri di input  $V_s$ , e  $V_p$  e densità (da bibliografia/correlazione) per ciascun sismostrato definito dalle indagini eseguite.

**Tabella 8.** Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche

Sismostrato	Prof/zona	CT*	Densità $\gamma$	$V_p$	$V_s$	Coefficient e di Poisson $\nu$	Modulo di Young dinamico $E_d$	Modulo di Young statico $E_d$	Modulo di taglio $G_0$	Modulo di comprimibilità o di Bulk - K
			[Kg/m <sup>3</sup> ]	[m/s]	[m/s]		[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
1	0,0-2,3	10%	1.800	830	415	0,33	824	82	314	824
2	2,3-6,2	10%	1.900	1.270	635	0,33	2.040	204	765	2.040
3	6,2-9,1	15%	2.000	1.880	940	0,33	4.717	708	1.765	4.717
4	9,1-33,8	20%	2.100	2.500	1.250	0,33	8.748	1.750	3.285	8.748
5	>33,8	40%	2.300	3.760	1.880	0,33	21.683	8.673	8.130	21.683

### Indicazioni per la determinazione di $N_{spt}$ e parametri geotecnici

Sulla base delle correlazioni fornite nei precedenti paragrafi è possibile stimare una correlazione tra  $V_s$  e  $N_{spt}$ , i parametri di resistenza al taglio e di deformazione. Nel caso in esame trattandosi di materiali a granulometria prevalentemente fine/siltosa si consiglia di impiegare la correlazione di Lee (1990) di seguito indicata.

$$N_{SPT} = \left( \frac{V_s}{114,43} \right)^{3,226} \text{ valida per terreni prevalentemente fini/siltosi - Lee (1990)}$$

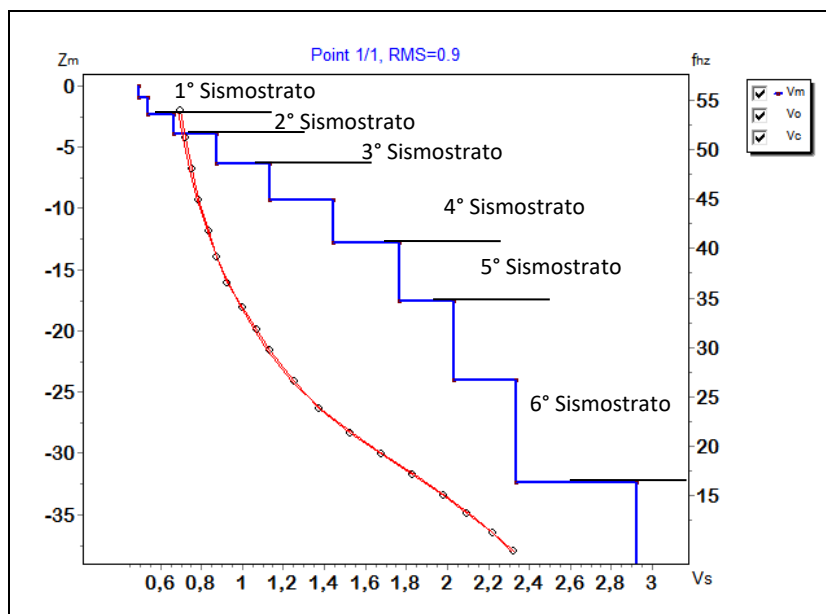


### 6.3 MASW M3

L'indagine sismica con tecnica MASW ha permesso di ottenere il profilo medio di velocità delle onde di taglio verticali Vs dello stendimento M3, dal quale si possono distinguere i sismostrati di seguito indicati. Si ricorda che si tratta di un profilo medio della velocità di taglio Vs.

- 1° sismostrato (da 0,0 m a 2,3 m) con Vs tra **500 e 540 m/s**, Terre e roccia totalmente fratturata
- 2° sismostrato (da 2,3 m a 4,0 m) con Vs di **670 m/s**, Roccia intensamente fratturata
- 3° sismostrato (da 4,0 m a 6,4 m) con Vs di **880 m/s**, Substrato roccioso intensamente fratturato
- 4° sismostrato (da 6,4 m a 12,8 m) con Vs tra **1140 e 1450 m/s**, Substrato roccioso fratturato
- 5° sismostrato (da 12,8 m a 17,6 m) con Vs di **1770 m/s**, Substrato roccioso sano
- 6° sismostrato (da 17,6 m a 32,4 m) con Vs tra **2030 e 2340 m/s**, Substrato roccioso sano

MASW M3 - PROFILO Vs



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

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

con:

*hi* spessore dell'*i*-esimo strato;

*Vs,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 Vs non inferiore a 800 m/s.

Esaminato il profilo delle Vs si pone come profondità del substrato **4,0 m** ( $V_s > 800$  m/s).

La velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio calcolata per il substrato posto a **4,0 m** di profondità dal p.c. è pari a:  $V_s \text{ eq} = 4,0/0,0069 = 580$  m/s che dà luogo ad una categoria B, ossia:

**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.

### Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche

Nella **tabella 8** si illustrano i parametri di deformazione dinamici medi calcolati tramite correlazione bibliografica dei parametri di input  $V_s$ , e  $V_p$  e densità (da bibliografia/correlazione) per ciascun sismostrato definito dalle indagini eseguite.

**Tabella 8.** Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche

Sismostrato	Prof/zona	CT*	Densità $\gamma$	$V_p$	$V_s$	Coefficiente di Poisson $\nu$	Modulo di Young dinamico $E_d$	Modulo di Young statico $E_d$	Modulo di taglio $G_0$	Modulo di comprimibilità o di Bulk - K
			[Kg/m <sup>3</sup> ]	[m/s]	[m/s]		[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
1	0,0-2,3	10%	1.800	1.040	520	0,33	1.294	129	490	1.294
2	2,3-4,0	10%	1.900	1.340	670	0,33	2.275	228	853	2.275
3	4,0-6,4	20%	2.000	1.760	880	0,33	4.129	826	1.549	4.129
4	6,4-12,8	30%	2.100	2.590	1.295	0,33	9.395	2.818	3.521	9.395
5	12,8-17,6	40%	2.200	3.540	1.770	0,33	18.378	7.351	6.894	18.378
6	17,6-32,4	50%	2.300	4.370	2.185	0,33	29.283	14.642	10.984	29.283

### Indicazioni per la determinazione di $N_{spt}$ e parametri geotecnici

Sulla base delle correlazioni fornite nei precedenti paragrafi è possibile stimare una correlazione tra  $V_s$  e  $N_{spt}$ , i parametri di resistenza al taglio e di deformazione. Nel caso in esame trattandosi di materiali a granulometria prevalentemente fine/siltosa si consiglia di impiegare la correlazione di Lee (1990) di seguito indicata.

$$N_{SPT} = \left( \frac{V_s}{114,43} \right)^{3,226} \text{ valida per terreni prevalentemente fini/siltosi - Lee (1990)}$$

---

## 7 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

---

La prospezione geofisica attraverso l'impiego delle tecniche della sismica a rifrazione in onde P e MASW ha permesso di ricostruire con un buon grado di precisione l'assetto lito-stratigrafico dell'area in esame e dedurre le caratteristiche sismiche, le quali presentano un buon grado di correlazione con i sondaggi geognostici eseguiti lungo i vari stendimenti. Lungo la verticale indagata si evince la presenza di sismostrati con velocità  $V_p$  crescente con la profondità con andamento e spessori indicati nei precedenti paragrafi.

In termini di rippabilità, la profondità dal piano campagna tra il limite dei materiali rippabili (Sismostrato A+B) e non rippabili (Sismostrato C) viene riportata nella seguente tabella:

Stendimento	Profondità dal piano campagna (m)
R1	Tra 15,0 e 16,0
R2	Tra 8,0 e 12,0
R3	Tra 4,0 e 8,0

Come si osserva dalle sezioni tomografiche il limite tra materiali rippabili e non rippabili è a profondità nettamente maggiori lungo i primi due stendimenti, i quali sono caratterizzati dalla maggior presenza di materiali di alterazione (argille) e rocce intensamente fratturate rispetto al terzo stendimento, dove infatti il limite di rippabilità delle rocce si osserva a profondità decisamente inferiori. Si ricorda che per il grado di rippabilità delle rocce viene utilizzata la correlazione edita dalla **Caterpillar** valida per la macchina operatrice D8 Ripper.

Attraverso le indagini con la tecnica MASW si rileva un substrato roccioso ( $V_s > 800$  m/s) rispettivamente alla profondità di 6,0 m in M1, 6,2 m in M2 e 4,0 m in M3 che dà luogo per tutte le basi sismiche ad una categoria **B**, ossia: 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.

Dall'esame dei profili delle  $V_s$  si osserva inoltre che all'aumentare della profondità si ha un aumento progressivo delle velocità dovuto al miglioramento delle caratteristiche fisico meccaniche dei materiali.

La velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio calcolata per le due MASW è riportata nel seguente schema riassuntivo:

Sigla Stendimento	Profondità substrato [m]	V <sub>Seq</sub> [m/s]	Categoria sottosuolo (NTC2018)
M1	6,0	570	B
M2	6,2	535	B
M3	4,0	580	B

Cagliari, 26.05.2021

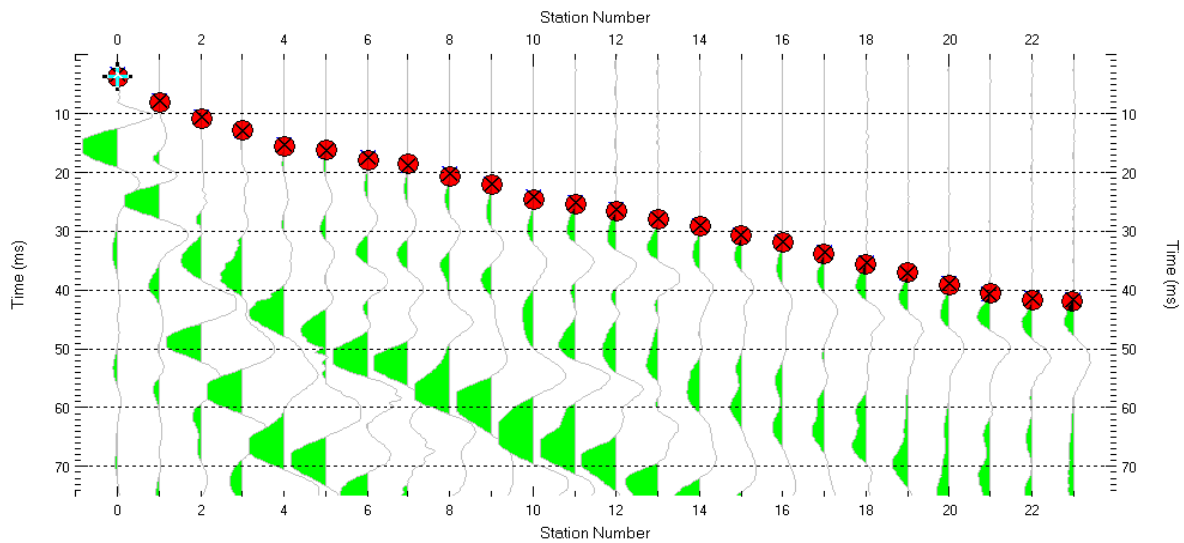
L'Impresa



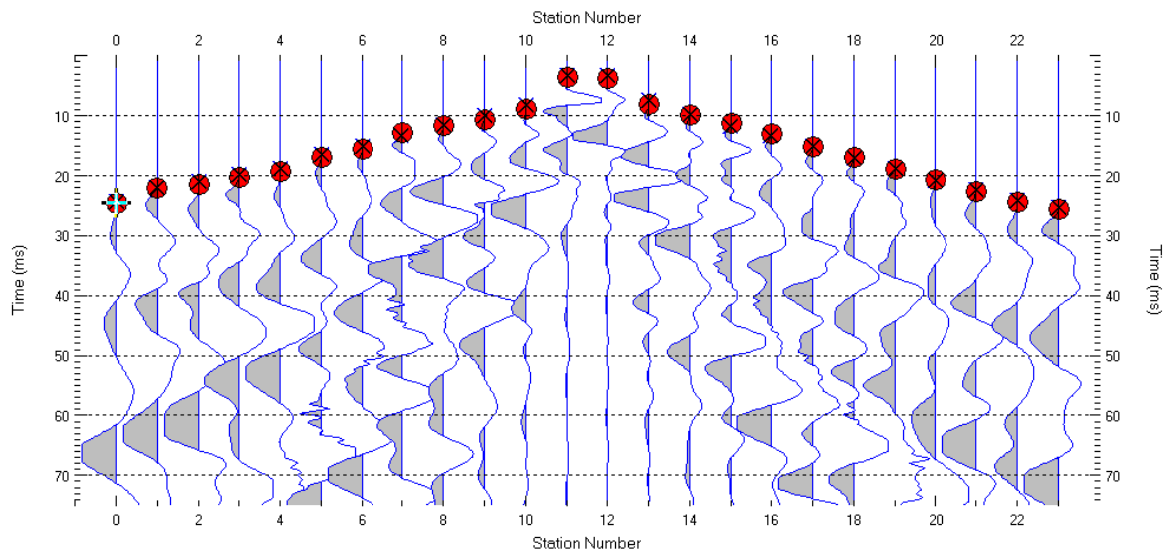
# ALLEGATO A

## Sismica a rifrazione in onde P : picking dei sismogrammi - dromocrone osservate e calcolate - grafico raggi sismici

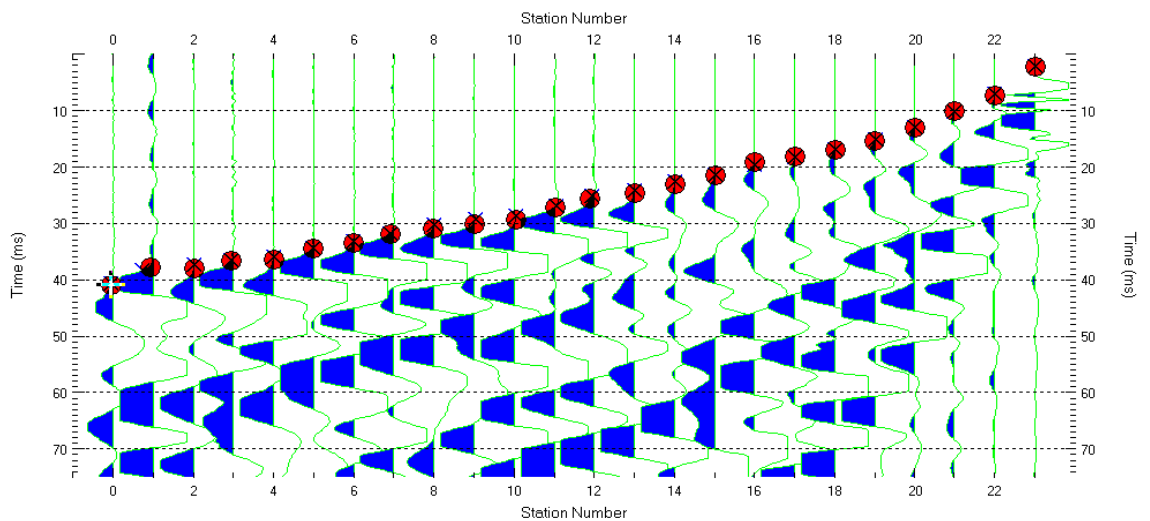
Sismica a rifrazione R1 in onde P : Picking del sismogramma con energizzazione a -1,5 m



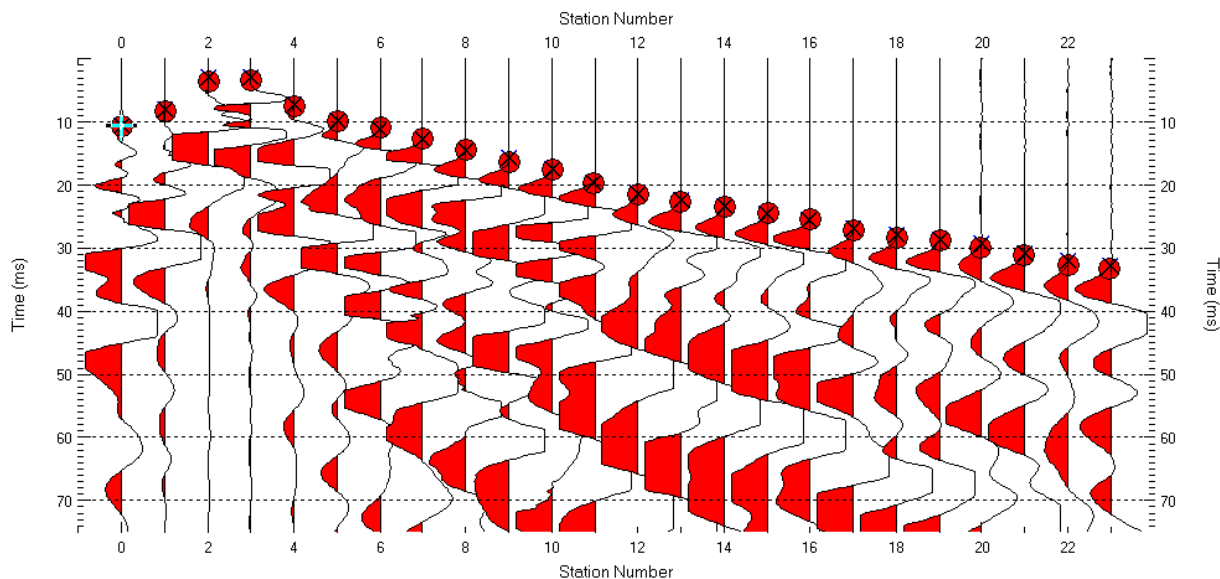
Sismica a rifrazione R1 in onde P : Picking del sismogramma con energizzazione a 34,5 m



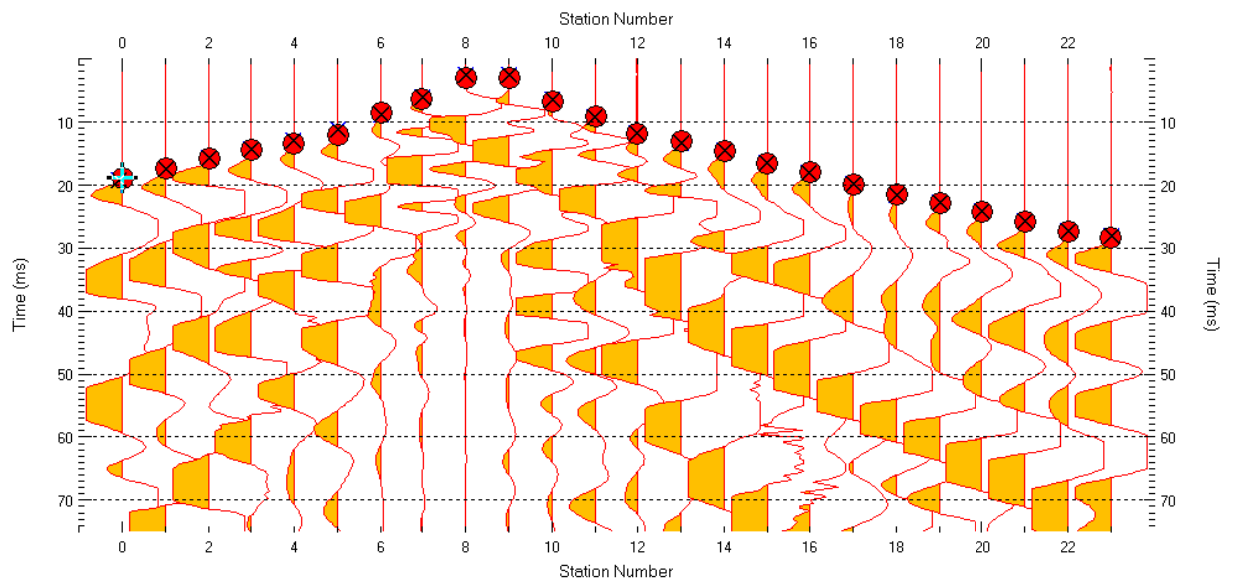
Sismica a rifrazione R1 in onde P : Picking del sismogramma con energizzazione a 70,5 m



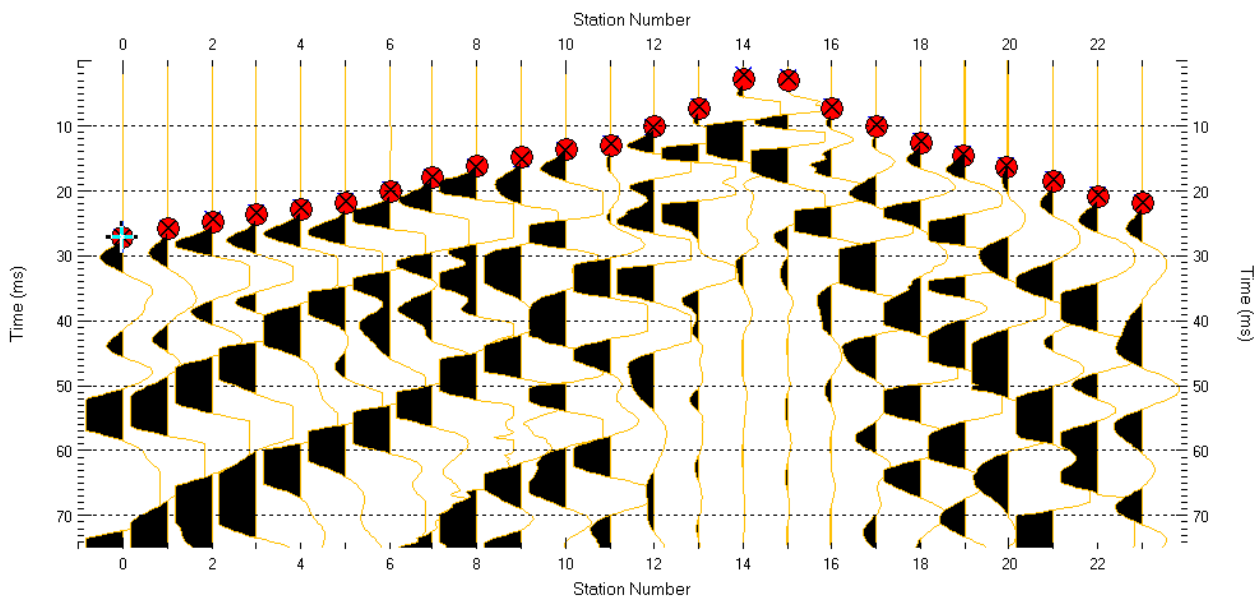
Sismica a rifrazione R2 in onde P : Picking del sismogramma con energizzazione a 7,5 m



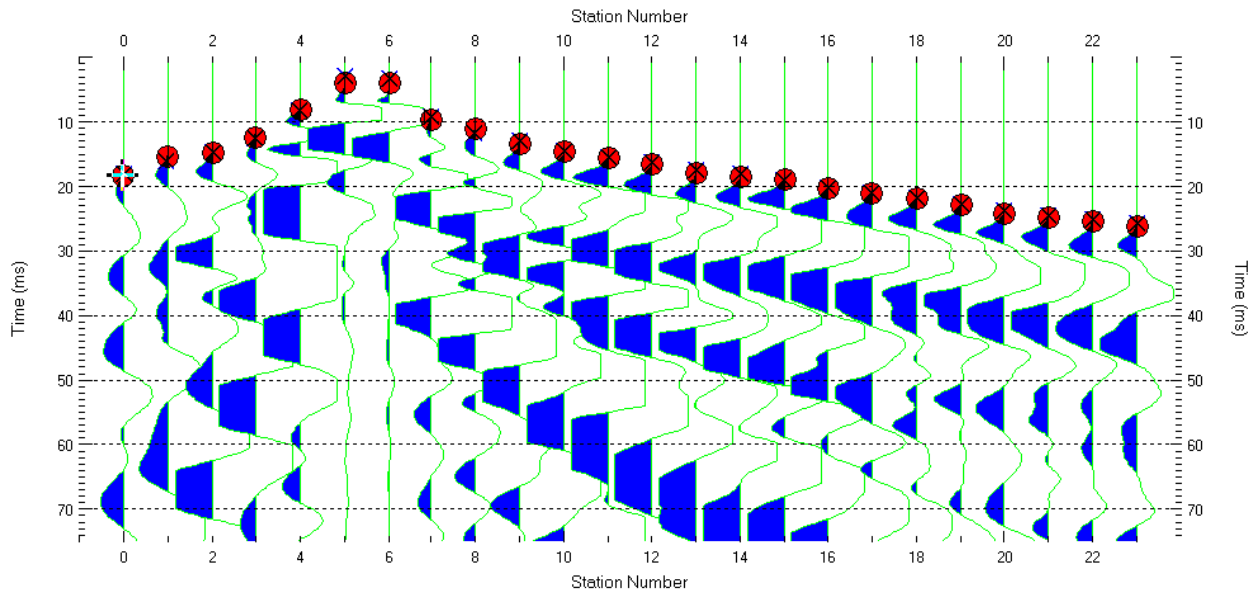
Sismica a rifrazione R2 in onde P : Picking del sismogramma con energizzazione a 25,5 m



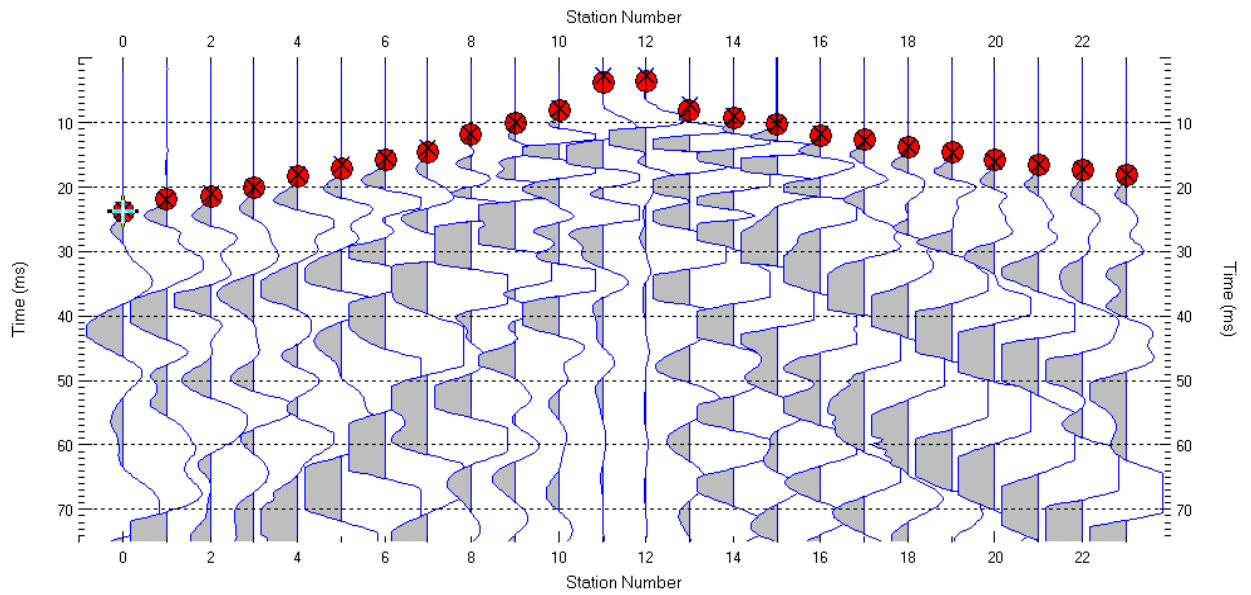
Sismica a rifrazione R2 in onde P : Picking del sismogramma con energizzazione a 43,5 m



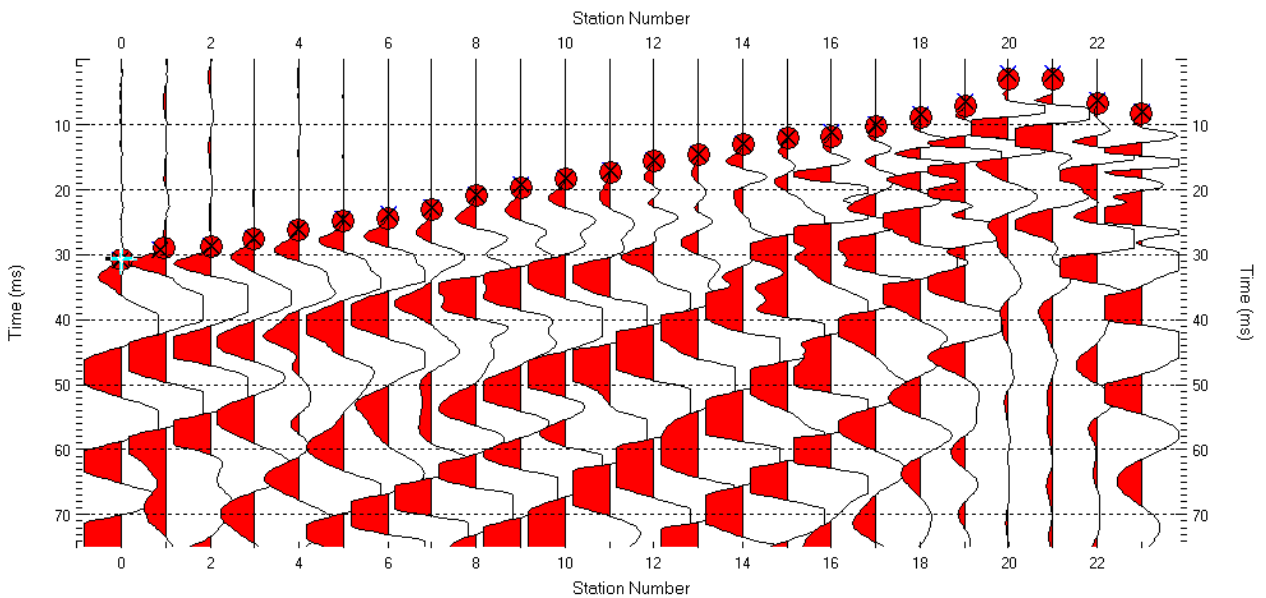
Sismica a rifrazione R3 in onde P : Picking del sismogramma con energizzazione a 16,5 m



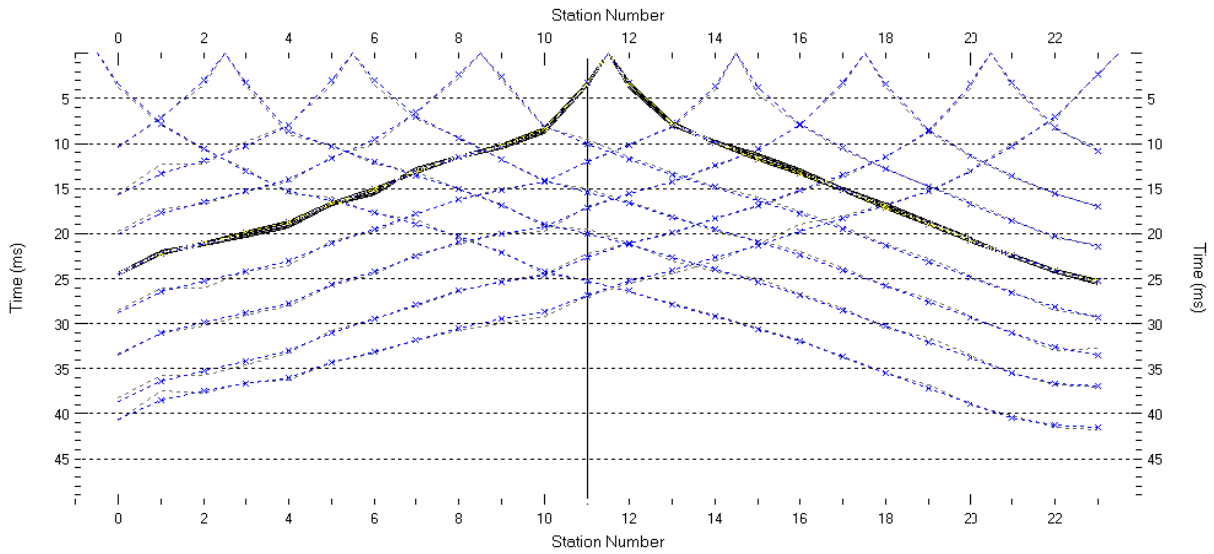
Sismica a rifrazione R3 in onde P : Picking del sismogramma con energizzazione a 34,5 m



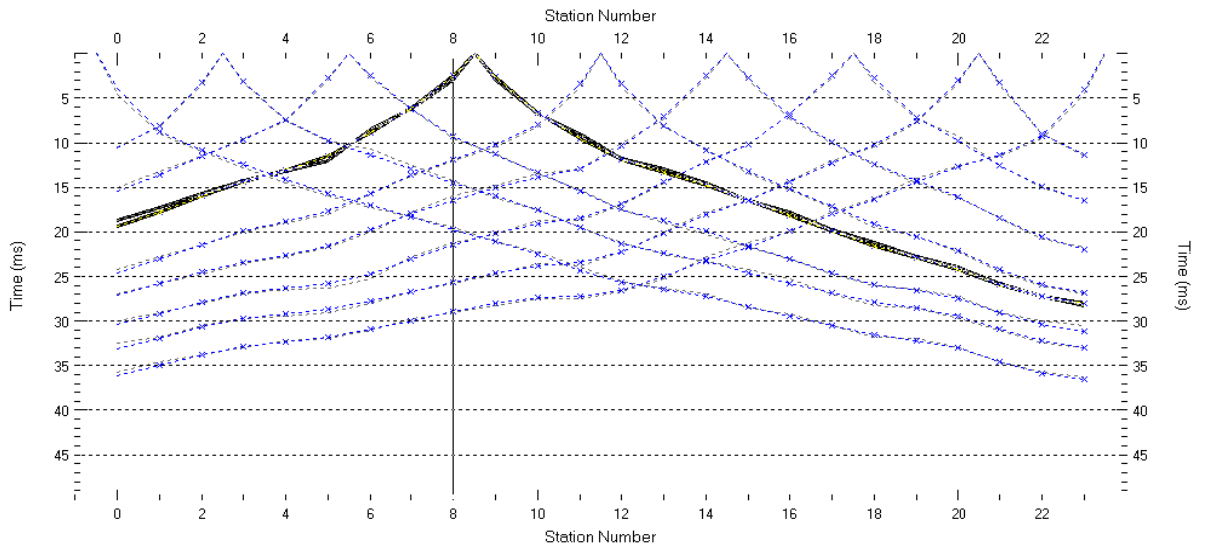
Sismica a rifrazione R3 in onde P : Picking del sismogramma con energizzazione a 61,5 m



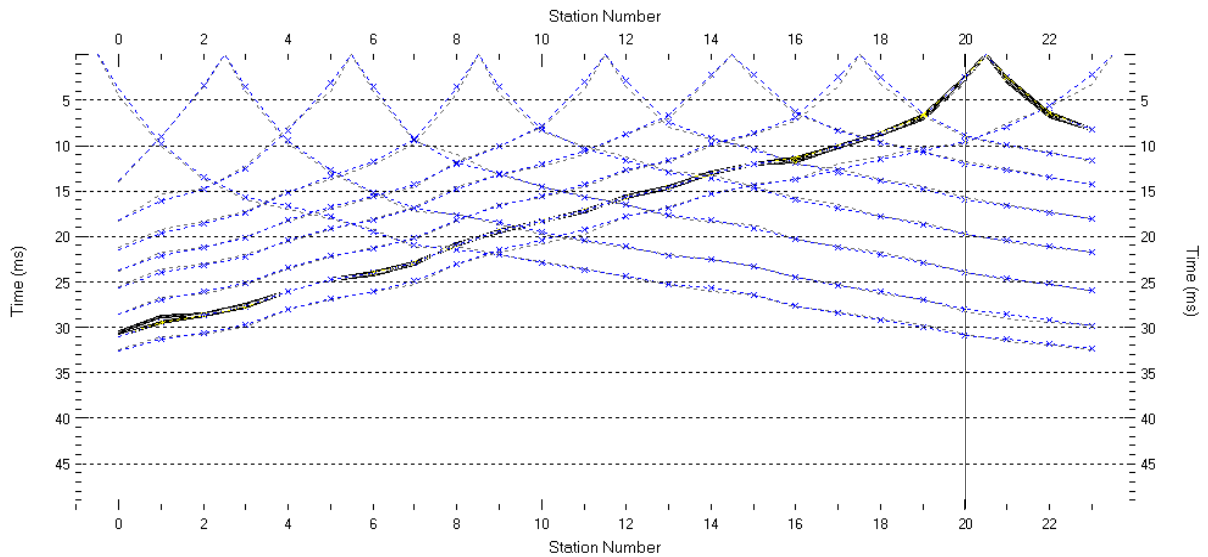
### Sismica a rifrazione R1 in onde P :dromocrone osservate e calcolate



### Sismica a rifrazione R2 in onde P :dromocrone osservate e calcolate



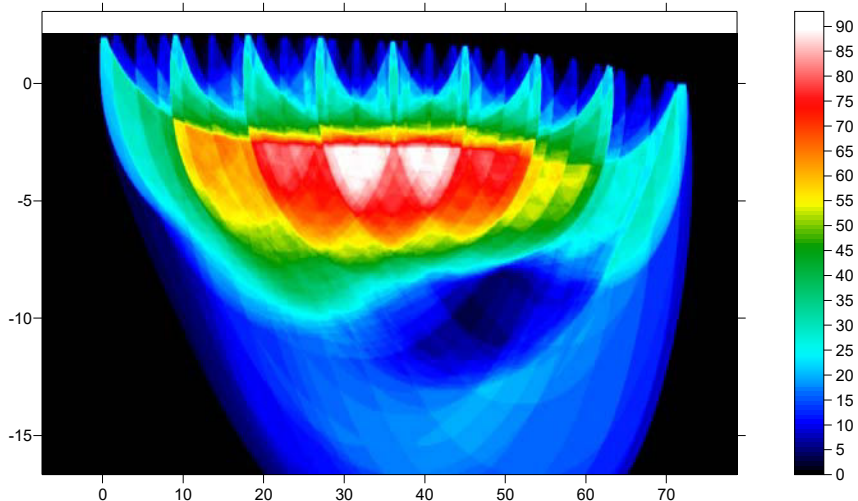
### Sismica a rifrazione R3 in onde P :dromocrone osservate e calcolate





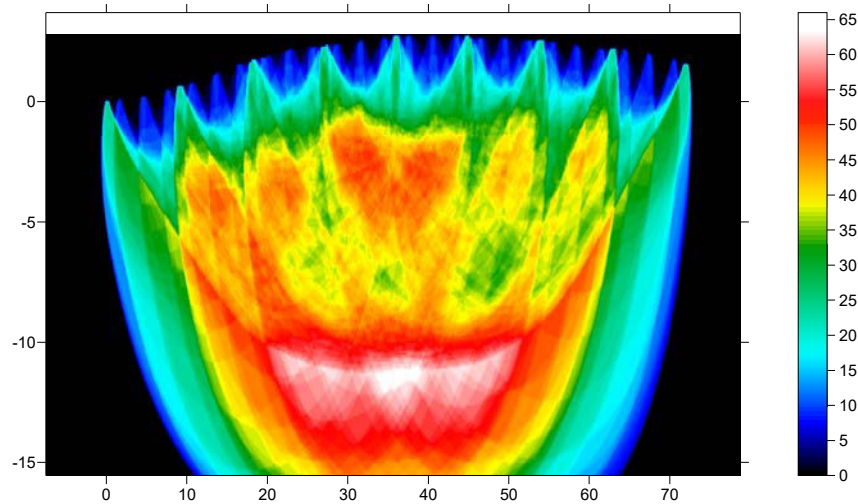
### Sismica a rifrazione R1 in onde P : grafico raggi sismici

R1-P RMS error 1.6%=0.30ms 20 WET itr. 50Hz Width 3.0% initial GRADIENT.GRD v. 4.01



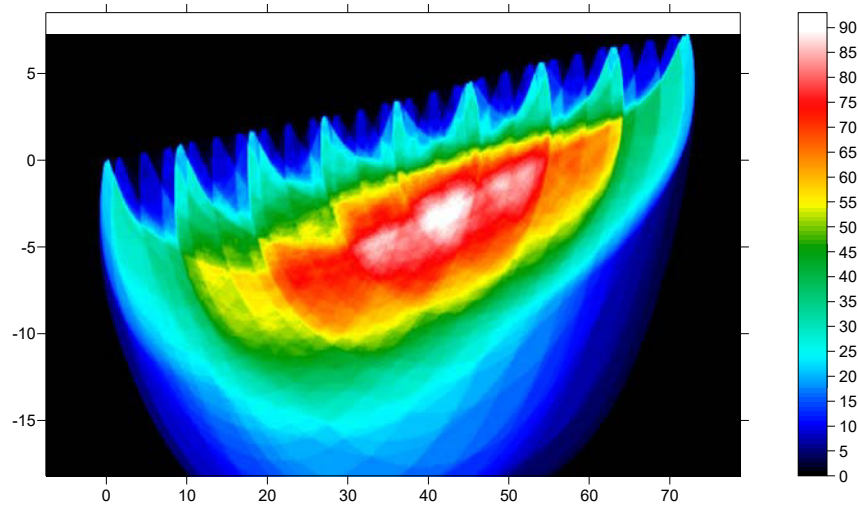
### Sismica a rifrazione R2 in onde P : grafico raggi sismici

R2-P RMS error 1.4%=0.26ms 20 WET itr. 50Hz Width 3.0% initial GRADIENT.GRD v. 4.01



### Sismica a rifrazione R3 in onde P : grafico raggi sismici

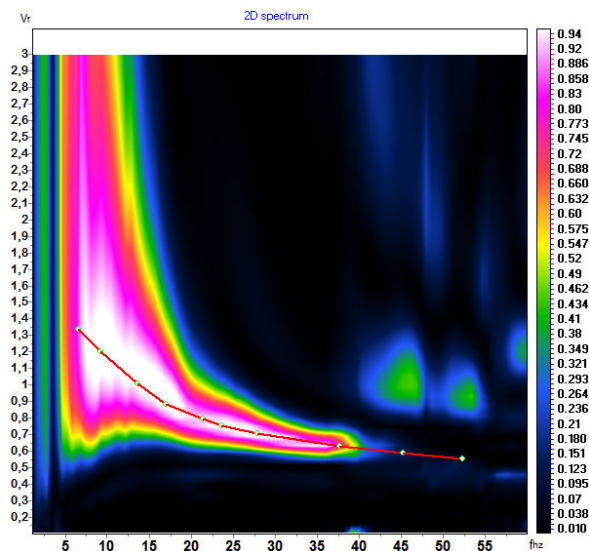
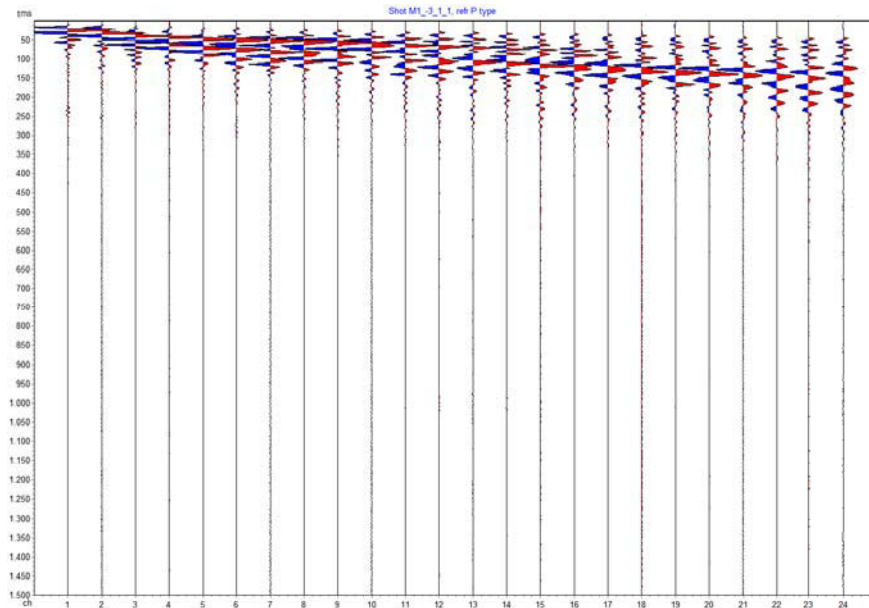
R3-P RMS error 1.8%=0.31ms 20 WET itr. 50Hz Width 3.0% initial GRADIENT.GRD v. 4.01



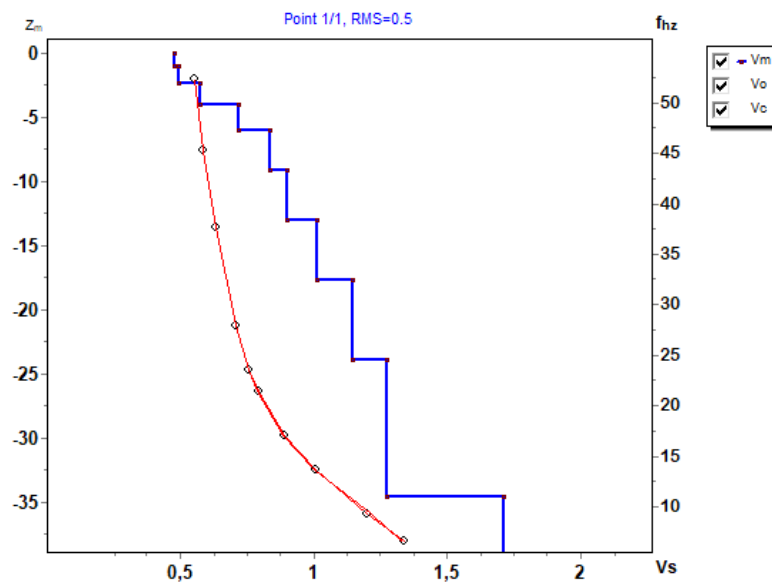
# ALLEGATO B

## MASW 1

Sismogramma acquisito- Spettro velocità di fase/frequenza  
Curva di dispersione sperimentale e calcolata con profilo Vs  
Masw 1: Energizzazione a -3,0m

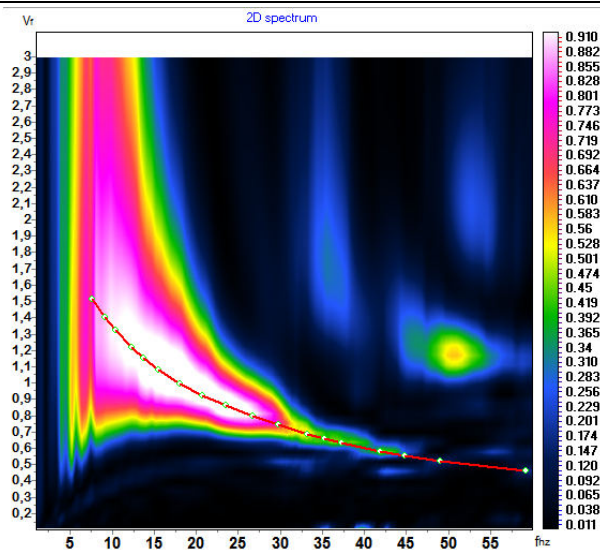
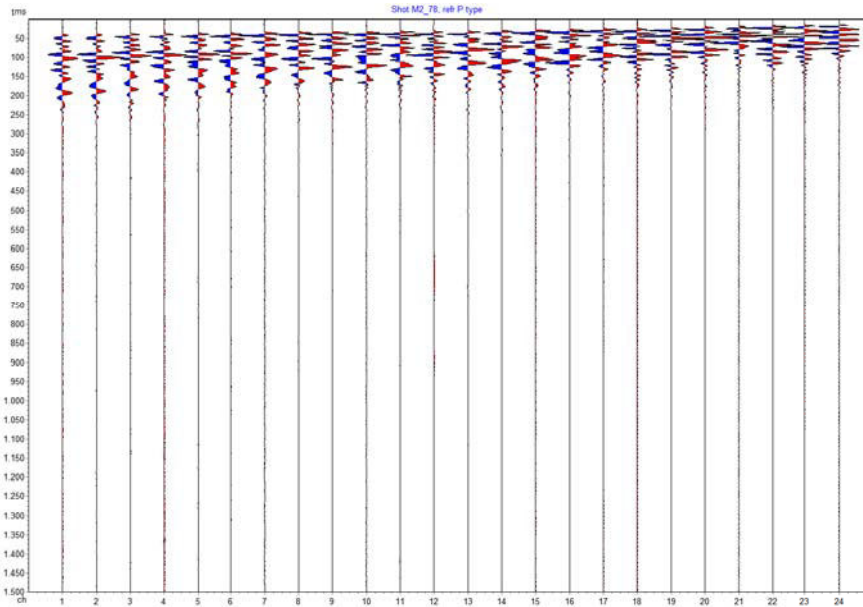


**Profilo Vs – Bedrock a profondità 6,0 m da p.c - Vseq=570 m/s (Cat B)**

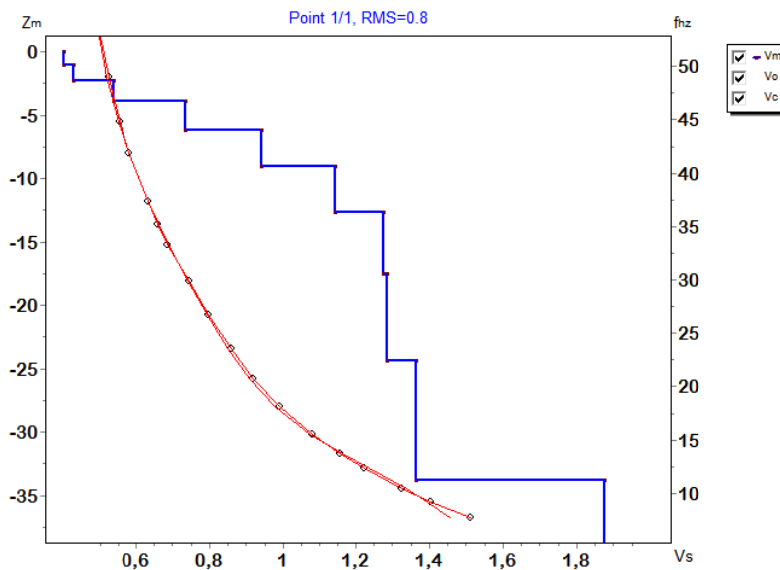


## MASW 2

Sismogramma acquisito- Spettro velocità di fase/frequenza  
Curva di dispersione sperimentale e calcolata con profilo Vs  
Masw 2: Energizzazione a 78,0m

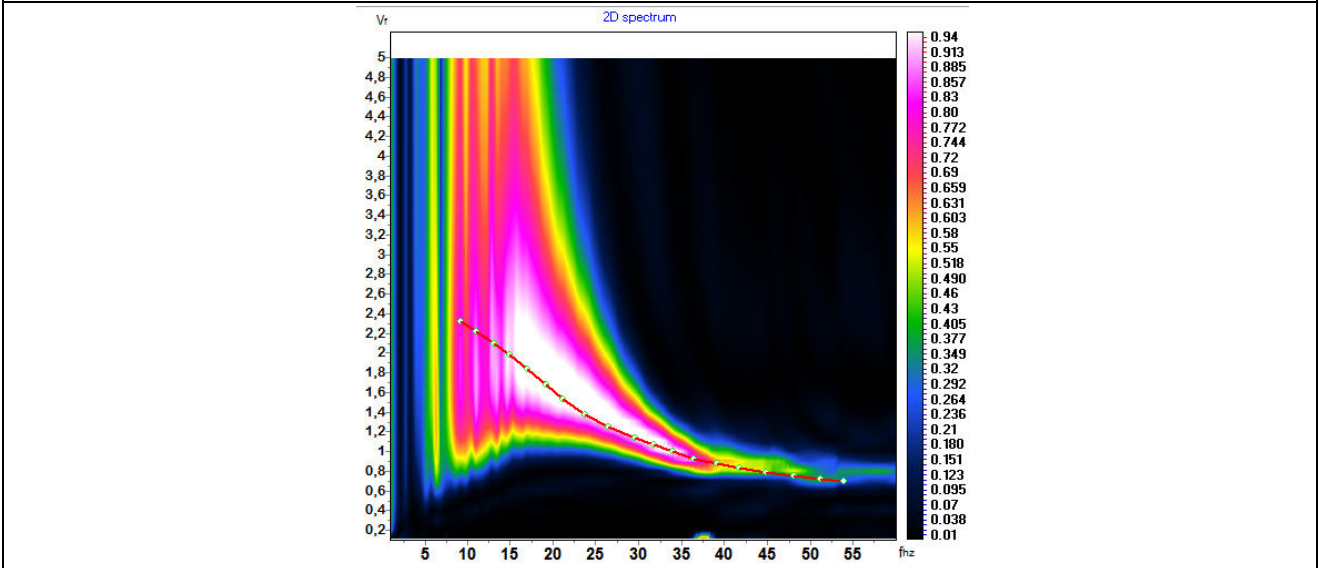
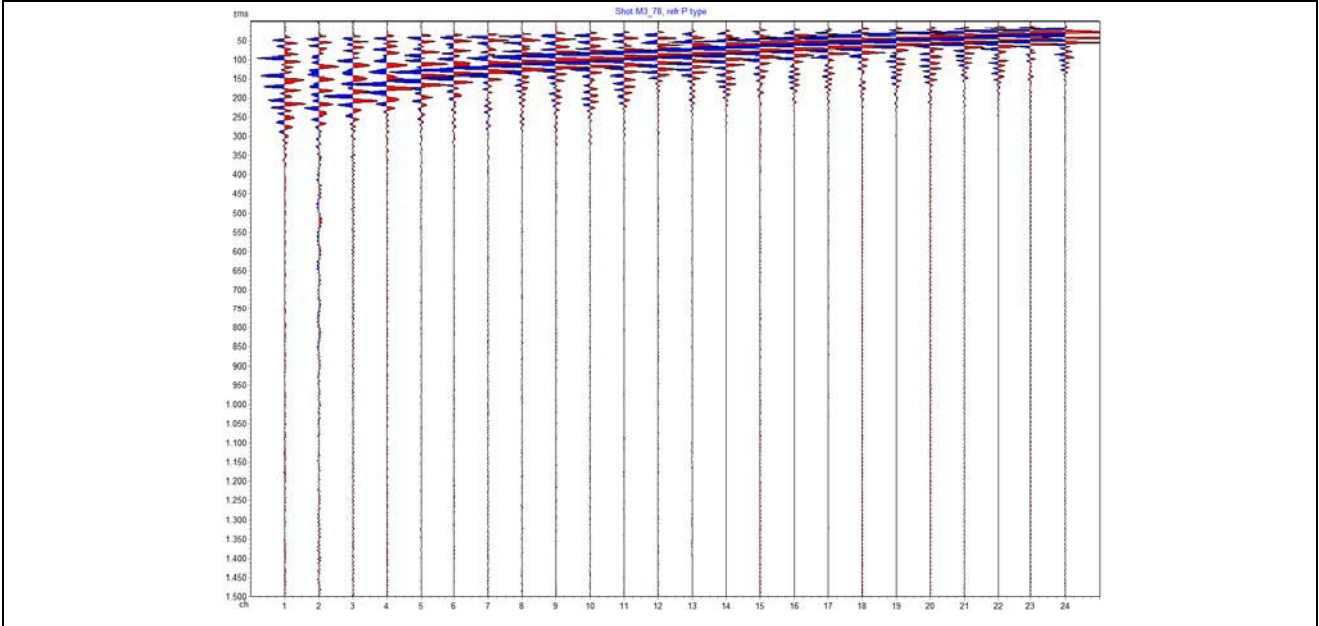


**Profilo Vs – Bedrock a profondità 6,2 m da p.c - Vseq=535 m/s (Cat B)**

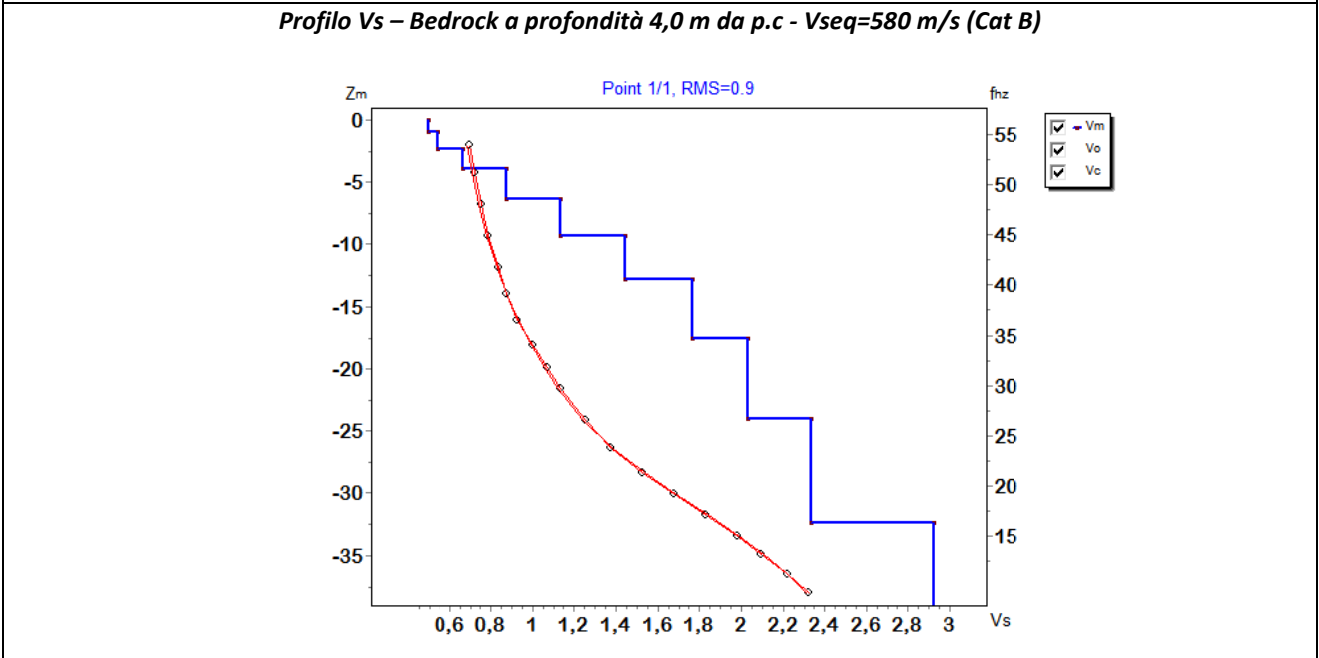


### MASW 3

Sismogramma acquisito- Spettro velocità di fase/frequenza  
Curva di dispersione sperimentale e calcolata con profilo Vs  
Masw 3: Energizzazione a 78,0m



**Profilo Vs – Bedrock a profondità 4,0 m da p.c - Vseq=580 m/s (Cat B)**



**ALLEGATO C – Rifrazione/MASW 1**  
Documentazione fotografica



Foto 1: R1/M1 da G1



Foto 2: unità di acquisizione del dato

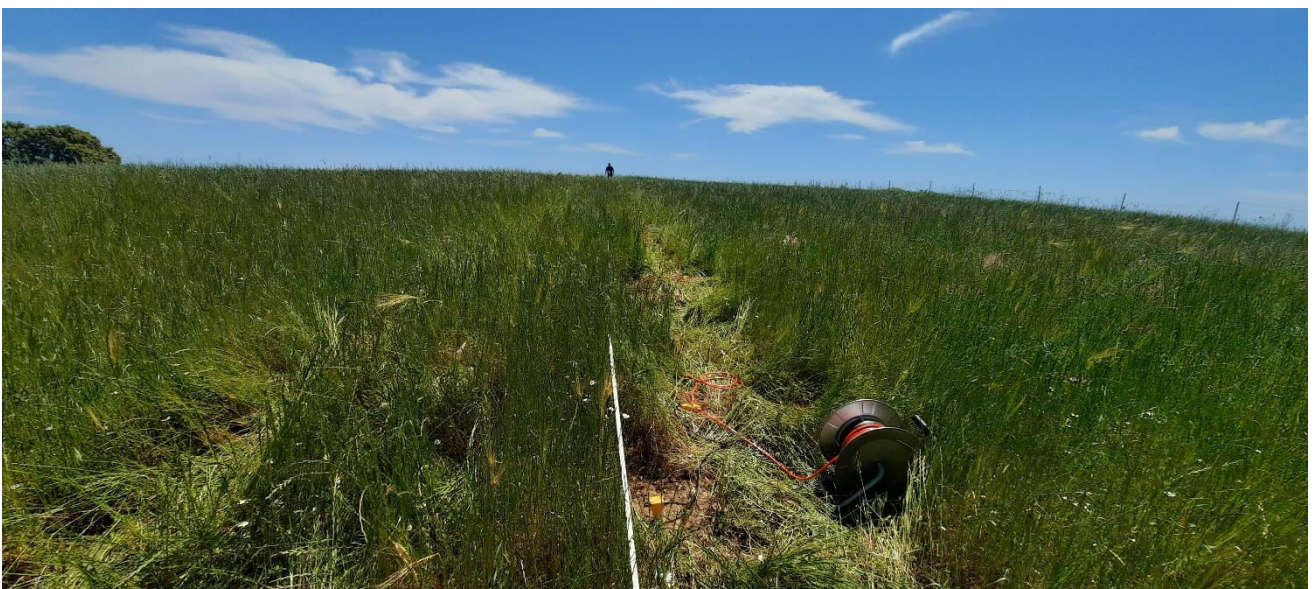


Foto 3: R1/M1 da G24

**ALLEGATO C – Rifrazione/MASW 2**  
Documentazione fotografica



Foto 1: R2/M2 da G1



Foto 2: unità di acquisizione del dato



Foto 3: R2/M2 da G24

**ALLEGATO C – Rifrazione/MASW 3**  
Documentazione fotografica



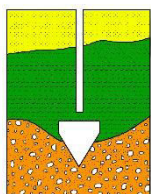
Foto 1: R3/M3 da G1



Foto 2: unità di acquisizione del dato



Foto 3: R3/M3 da G24



## **DR. ANTONELLO ANGIUS**

Web site: [www.angiusgeo.com](http://www.angiusgeo.com)

**INDAGINI GEOGNOSTICHE, PROVE GEOTECNICHE, MONITORAGGIO AMBIENTALE,  
PROSPEZIONI MINERARIE, CONSOLIDAMENTI, POZZI PER ACQUA, PROSPEZIONI  
GEOFISICHE**

Tel/Fax: +39 070 40 32 74

Pec: [angiusgeo@pec.it](mailto:angiusgeo@pec.it)

e-mail: [angiusgeo@tiscali.it](mailto:angiusgeo@tiscali.it)

### **Progetto:**

Realizzazione di un parco eolico in agro di Nurri (SU)

### **Committente:**

Sardealica S.r.l.

**Relazione rilievo topografico**

**ALLEGATO 5**



## 1. PREMESSA

La ditta Dott. Antonello Angius è stata incaricata dalla società Anas S.p.a. all’esecuzione del rilievo topografico di punti di indagine sismica nel cantiere in agro di Nurri. Il rilievo topografico è stato eseguito successivamente all’esecuzione delle indagini sismiche, in data 07/05/2021 e 10/05/2021.

## 2. STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

La strumentazione utilizzata è composta da:

1. N.1 ricevitore esterno GNSS Survey HX - GS 488A della Stonex;
2. N.1 controller - palmare S7 – G della Stonex per la memorizzazione dei dati, con sistema operativo Windows Mobile 6.5 Professional.



Il palmare è equipaggiato con un ricevitore GNSS che permette di rilevare dati con precisione decimetrica - centimetrica a 120 canali (L1/L2, GPS, GLONASS, GALILEO, COMPASS, SBAS) grazie al ricevitore integrato a doppia frequenza e doppia costellazione (GPS e GLONASS) e all'antenna esterna opzionale. È provvisto inoltre di connettività: Wireless - Bluetooth - Gsm/Gprs Modem - Slot Micro SDHC Card - Mini USB 2.0.

I dati vengono elaborati in tempo reale attraverso il software GeoGis della Stonex, integrato nello strumento.

### 3. DESCRIZIONE DEL METODO

Il rilievo GPS è stato eseguito utilizzando una rete di stazioni permanenti GNSS (GPS, GLONASS, GALILEO) denominata NetGEO, di copertura uniforme su tutta la Sardegna, per la fornitura di correzioni per il posizionamento in tempo reale di correzioni Network-RTK (NRTK) e di dati per la post-elaborazione. Tale struttura tecnologica consente l'utilizzazione di un solo ricevitore per operatore. Grazie al collegamento GPRS/UMTS del proprio ricevitore è possibile essere subito operativi senza il bisogno di posizionare una stazione GNSS base. La precisione del rilievo eseguito è di 0.5-2 cm in planimetria e di 1-3 cm in altimetria.

### 4. DESCRIZIONE ATTIVITÀ E CONCLUSIONI

E' stato eseguito il rilievo topografico, con tecnologia GPS, dei seguenti elementi :

- 3 stendimenti MASW e sismica a rifrazione.

Per l'elaborazione dei dati di campagna è stato utilizzato il software GeoGis nel sistema di riferimento Roma 40/Monte Mario. Successivamente le coordinate sono state unite al file DWG. Si è proceduto inoltre alla conversione delle coordinate nel sistema WGS 84.

Si riportano di nella tabella alla pagina seguente data, ora di rilievo e il numero dei satelliti utilizzati.

*“Realizzazione di un parco eolico in agro di Nurri (SU)”  
Rilievo topografico*

<b>N.</b>	<b>PUNTO RILEVATO</b>	<b>DATA</b>	<b>ORA</b>	<b>N. SAT. GPS</b>	<b>N. SAT.GLO</b>
1	R1/M1 sh1	10/05/2021	13:46	8	8
2	R1/M1 G1	10/05/2021	13:47	8	8
3	R1/M1 G2	10/05/2021	13:48	8	8
4	R1/M1 G3	10/05/2021	13:49	8	8
5	R1/M1 sh2	10/05/2021	13:50	8	8
6	R1/M1 G4	10/05/2021	13:51	8	8
7	R1/M1 G5	10/05/2021	13:52	8	8
8	R1/M1 G6	10/05/2021	13:53	8	8
9	R1/M1 sh3	10/05/2021	13:54	8	8
10	R1/M1 G7	10/05/2021	13:55	8	8
11	R1/M1 G8	10/05/2021	13:56	8	8
12	R1/M1 G9	10/05/2021	13:57	8	8
13	R1/M1 sh4	10/05/2021	13:58	8	8
14	R1/M1 G10	10/05/2021	13:59	8	8
15	R1/M1 G11	10/05/2021	14:00	8	8
16	R1/M1 G12	10/05/2021	14:01	8	8
17	R1/M1 sh5	10/05/2021	14:02	8	8
18	R1/M1 G13	10/05/2021	14:03	8	8
19	R1/M1 G14	10/05/2021	14:04	8	8
20	R1/M1 G15	10/05/2021	14:05	8	8
21	R1/M1 sh6	10/05/2021	14:06	8	8
22	R1/M1 G16	10/05/2021	14:07	8	8
23	R1/M1 G17	10/05/2021	14:08	8	8
24	R1/M1 G18	10/05/2021	14:09	8	8
25	R1/M1 sh7	10/05/2021	14:15	8	8
26	R1/M1 G19	10/05/2021	14:16	8	8
27	R1/M1 G20	10/05/2021	14:17	8	8
28	R1/M1 G21	10/05/2021	14:18	8	8
29	R1/M1 sh8	10/05/2021	14:19	8	8
30	R1/M1 G22	10/05/2021	14:20	8	8
31	R1/M1 G23	10/05/2021	14:21	8	8
32	R1/M1 G24	10/05/2021	14:22	8	8
33	R1/M1 sh9	10/05/2021	14:23	8	8
34	R2/M2 sh1	07/05/2021	17:06	8	8
35	R2/M2 G1	07/05/2021	17:07	8	8
36	R2/M2 G2	07/05/2021	17:09	8	8
37	R2/M2 G3	07/05/2021	17:10	8	8
38	R2/M2 sh2	07/05/2021	17:11	8	8
39	R2/M2 G4	07/05/2021	17:12	8	8
40	R2/M2 G5	07/05/2021	17:14	8	8
41	R2/M2 G6	07/05/2021	17:15	8	8

*“Realizzazione di un parco eolico in agro di Nurri (SU)”*  
*Rilievo topografico*

42	R2/M2 sh3	07/05/2021	17:16	8	8
43	R2/M2 G7	07/05/2021	17:17	8	8
44	R2/M2 G8	07/05/2021	17:18	8	8
45	R2/M2 G9	07/05/2021	17:19	8	8
46	R2/M2 sh4	07/05/2021	17:21	8	8
47	R2/M2 G10	07/05/2021	17:22	8	8
48	R2/M2 G11	07/05/2021	17:23	8	8
49	R2/M2 G12	07/05/2021	17:25	8	8
50	R2/M2 sh5	07/05/2021	17:26	8	8
51	R2/M2 G13	07/05/2021	17:27	8	8
52	R2/M2 G14	07/05/2021	17:28	8	8
53	R2/M2 G15	07/05/2021	17:29	8	8
54	R2/M2 sh6	07/05/2021	17:30	8	8
55	R2/M2 G16	07/05/2021	17:33	8	8
56	R2/M2 G17	07/05/2021	17:34	8	8
57	R2/M2 G18	07/05/2021	17:36	8	8
58	R2/M2 sh7	07/05/2021	17:37	8	8
59	R2/M2 G19	07/05/2021	17:38	8	8
60	R2/M2 G20	07/05/2021	17:39	8	8
61	R2/M2 G21	07/05/2021	17:40	8	8
62	R2/M2 sh8	07/05/2021	17:41	8	8
63	R2/M2 G22	07/05/2021	17:42	8	8
64	R2/M2 G23	07/05/2021	17:43	8	8
65	R2/M2 G24	07/05/2021	17:45	8	8
66	R2/M2 sh9	07/05/2021	17:47	8	8
67	R3/M3 sh1	10/05/2021	18:32	8	8
68	R3/M3 G1	10/05/2021	18:33	8	8
69	R3/M3 G2	10/05/2021	18:34	8	8
70	R3/M3 G3	10/05/2021	18:35	8	8
71	R3/M3 sh2	10/05/2021	18:36	8	8
72	R3/M3 G4	10/05/2021	18:37	8	8
73	R3/M3 G5	10/05/2021	18:19	8	8
74	R3/M3 G6	10/05/2021	18:21	8	8
75	R3/M3 sh3	10/05/2021	18:22	8	8
76	R3/M3 G7	10/05/2021	18:23	8	8
77	R3/M3 G8	10/05/2021	18:24	8	8
78	R3/M3 G9	10/05/2021	18:25	8	8
79	R3/M3 sh4	10/05/2021	18:26	8	8
80	R3/M3 G10	10/05/2021	18:27	8	8
81	R3/M3 G11	10/05/2021	18:28	8	8
82	R3/M3 G12	10/05/2021	18:29	8	8
83	R3/M3 sh5	10/05/2021	18:30	8	8

*“Realizzazione di un parco eolico in agro di Nurri (SU)”  
Rilievo topografico*

84	R3/M3 G13	10/05/2021	18:31	8	8
85	R3/M3 G14	10/05/2021	18:33	8	8
86	R3/M3 G15	10/05/2021	18:35	8	8
87	R3/M3 sh6	10/05/2021	18:36	8	8
88	R3/M3 G16	10/05/2021	18:37	8	8
89	R3/M3 G17	10/05/2021	18:38	8	8
90	R3/M3 G18	10/05/2021	18:39	8	8
91	R3/M3 sh7	10/05/2021	18:40	8	8
92	R3/M3 G19	10/05/2021	18:42	8	8
93	R3/M3 G20	10/05/2021	18:44	8	8
94	R3/M3 G21	10/05/2021	18:45	8	8
95	R3/M3 sh8	10/05/2021	18:46	8	8
96	R3/M3 G22	10/05/2021	18:47	8	8
97	R3/M3 G23	10/05/2021	18:48	8	8
98	R3/M3 G24	10/05/2021	18:49	8	8
99	R3/M3 sh9	10/05/2021	18:50	8	8



**Foto 1. Rilievo topografico dei punti di indagine per la stesa R3**

Si riportano alla pagina seguente le coordinate tabellari nel sistema di riferimento ROMA 40/MONTE MARIO dei punti acquisiti.

*“Realizzazione di un parco eolico in agro di Nurri (SU)”  
Rilievo topografico*

<b>N.</b>	<b>PUNTO RILEVATO</b>	<b>COORD. EST (Y)</b>	<b>COORD. NORD (X)</b>	<b>QUOTA SDVT</b>
1	R1/M1 sh1	1515074,149	4390913,512	502,475
2	R1/M1 G1	1515072,721	4390913,947	502,537
3	R1/M1 G2	1515070,084	4390915,349	502,583
4	R1/M1 G3	1515067,341	4390916,591	502,517
5	R1/M1 sh2	1515066,071	4390917,392	502,513
6	R1/M1 G4	1515064,664	4390917,890	502,481
7	R1/M1 G5	1515061,950	4390919,275	502,537
8	R1/M1 G6	1515059,296	4390920,571	502,550
9	R1/M1 sh3	1515057,535	4390921,381	502,549
10	R1/M1 G7	1515056,594	4390921,854	502,498
11	R1/M1 G8	1515053,897	4390923,166	502,478
12	R1/M1 G9	1515051,231	4390924,498	502,430
13	R1/M1 sh4	1515049,830	4390925,169	502,441
14	R1/M1 G10	1515048,550	4390925,866	502,390
15	R1/M1 G11	1515045,819	4390927,155	502,340
16	R1/M1 G12	1515043,137	4390928,473	502,281
17	R1/M1 sh5	1515041,781	4390929,142	502,249
18	R1/M1 G13	1515040,448	4390929,805	502,256
19	R1/M1 G14	1515037,803	4390931,154	502,202
20	R1/M1 G15	1515035,080	4390932,477	502,114
21	R1/M1 sh6	1515033,685	4390933,109	502,090
22	R1/M1 G16	1515032,402	4390933,768	502,020
23	R1/M1 G17	1515029,704	4390935,076	501,900
24	R1/M1 G18	1515027,034	4390936,459	501,759
25	R1/M1 sh7	1515025,576	4390937,084	501,676
26	R1/M1 G19	1515024,373	4390937,763	501,584
27	R1/M1 G20	1515021,704	4390939,029	501,500
28	R1/M1 G21	1515019,023	4390940,263	501,293
29	R1/M1 sh8	1515017,575	4390940,943	501,208
30	R1/M1 G22	1515016,358	4390941,654	501,035
31	R1/M1 G23	1515013,672	4390943,014	500,795
32	R1/M1 G24	1515010,919	4390944,349	500,547
33	R1/M1 sh9	1515009,529	4390944,975	500,452
34	R2/M2 sh1	1516575,749	4389963,151	468,084
35	R2/M2 G1	1516575,283	4389961,614	468,164
36	R2/M2 G2	1516574,459	4389958,705	468,316
37	R2/M2 G3	1516573,673	4389955,946	468,531
38	R2/M2 sh2	1516573,164	4389954,297	468,733
39	R2/M2 G4	1516572,818	4389953,010	468,849
40	R2/M2 G5	1516571,933	4389950,121	469,232

**“Realizzazione di un parco eolico in agro di Nurri (SU)”**  
**Rilievo topografico**

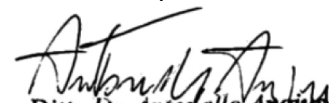
41	R2/M2 G6	1516570,983	4389947,188	469,643
42	R2/M2 sh3	1516570,672	4389945,913	469,787
43	R2/M2 G7	1516570,242	4389944,550	469,942
44	R2/M2 G8	1516569,336	4389941,514	470,235
45	R2/M2 G9	1516568,474	4389938,572	470,385
46	R2/M2 sh4	1516568,073	4389937,138	470,411
47	R2/M2 G10	1516567,702	4389935,853	470,472
48	R2/M2 G11	1516566,825	4389932,924	470,609
49	R2/M2 G12	1516565,978	4389930,088	470,751
50	R2/M2 sh5	1516565,253	4389928,625	470,856
51	R2/M2 G13	1516565,090	4389927,102	470,845
52	R2/M2 G14	1516564,318	4389924,182	470,877
53	R2/M2 G15	1516563,575	4389921,423	470,792
54	R2/M2 sh6	1516563,087	4389919,843	470,782
55	R2/M2 G16	1516562,668	4389918,516	470,766
56	R2/M2 G17	1516561,871	4389915,631	470,722
57	R2/M2 G18	1516560,955	4389912,750	470,662
58	R2/M2 sh7	1516560,508	4389911,371	470,637
59	R2/M2 G19	1516560,137	4389909,858	470,578
60	R2/M2 G20	1516559,217	4389907,067	470,419
61	R2/M2 G21	1516558,366	4389904,217	470,271
62	R2/M2 sh8	1516557,900	4389902,640	470,277
63	R2/M2 G22	1516557,401	4389901,310	470,240
64	R2/M2 G23	1516556,522	4389898,344	470,062
65	R2/M2 G24	1516555,548	4389895,665	469,811
66	R2/M2 sh9	1516554,851	4389894,110	469,676
67	R3/M3 sh1	1517680,145	4391692,217	460,021
68	R3/M3 G1	1517681,521	4391692,700	460,158
69	R3/M3 G2	1517684,481	4391693,122	460,417
70	R3/M3 G3	1517687,318	4391693,958	460,761
71	R3/M3 sh2	1517688,813	4391694,447	460,897
72	R3/M3 G4	1517690,207	4391694,635	461,062
73	R3/M3 G5	1517693,111	4391695,462	461,321
74	R3/M3 G6	1517696,025	4391696,260	461,576
75	R3/M3 sh3	1517697,447	4391696,728	461,691
76	R3/M3 G7	1517698,821	4391697,101	461,880
77	R3/M3 G8	1517701,717	4391697,866	462,145
78	R3/M3 G9	1517704,592	4391698,695	462,424
79	R3/M3 sh4	1517706,022	4391699,105	462,542
80	R3/M3 G10	1517707,513	4391699,270	462,641
81	R3/M3 G11	1517710,345	4391700,125	462,989
82	R3/M3 G12	1517713,199	4391700,957	463,325

*“Realizzazione di un parco eolico in agro di Nurri (SU)”  
Rilievo topografico*

83	R3/M3 sh5	1517714,701	4391701,284	463,437
84	R3/M3 G13	1517716,159	4391701,698	463,553
85	R3/M3 G14	1517718,949	4391702,448	463,978
86	R3/M3 G15	1517721,879	4391703,181	464,327
87	R3/M3 sh6	1517723,273	4391703,679	464,502
88	R3/M3 G16	1517724,712	4391704,017	464,795
89	R3/M3 G17	1517727,633	4391704,834	465,159
90	R3/M3 G18	1517730,498	4391705,645	465,536
91	R3/M3 sh7	1517731,949	4391706,092	465,668
92	R3/M3 G19	1517733,366	4391706,479	465,834
93	R3/M3 G20	1517736,221	4391707,195	466,175
94	R3/M3 G21	1517739,130	4391708,007	466,513
95	R3/M3 sh8	1517740,664	4391708,303	466,568
96	R3/M3 G22	1517742,035	4391708,720	466,663
97	R3/M3 G23	1517744,910	4391709,510	466,945
98	R3/M3 G24	1517747,792	4391710,231	467,181
99	R3/M3 sh9	1517749,139	4391710,776	467,260

Cagliari, 26.05.2021

L'Impresa

  
**Ditta Dr. Antonello Angius**  
**Via Italia, 143 - 09134 Cagliari**  
**C.F. NGSNNL61H07B354Y**  
**P. Iva 01985230927**