

DSIT6

ottobre 2023

BON_RS_0201

Impianto agrivoltaico per la produzione di energia elettrica da fonte solare fotovoltaica denominato "Bonorva", con potenza di picco di 72,66 MWp e potenza in immissione 60,2 MW da realizzare nel comune di Bonorva (SS), e relative opere di connessione alla RTN

RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA

DS ITALIA 6 SRL

INDICE

1	INTRODUZIONE	5
1.1	PREMESSA.....	5
1.2	Normativa di Riferimento	5
1.3	Riferimenti bibliografici	6
1.4	Inquadramento geografico e topografico. Uso del suolo.....	6
1.5	Caratteristiche costruttive dell'opera in progetto.....	8
1.6	Metodologia delle indagini	9
2	STUDIO GEOLOGICO.....	14
2.1	Contesto geologico	14
2.1.1	ZONA N°1	16
2.1.2	ZONA N°2	16
2.1.3	ZONA N°3	16
2.1.4	ZONA N°4	17
2.1.5	ZONA N°5	17
2.2	Assetto litostratigrafico locale	19
2.2.1	ZONA N°1	19
2.2.2	ZONA N°2	25
2.2.3	ZONA N°3	28
2.2.4	ZONA N°4	31
2.2.5	ZONA N°5	32
2.3	Contesto geomorfologico e idrografico	36
2.3.1	ZONA 1	36
2.3.2	ZONA 2	37
2.3.3	ZONA 3	37
2.3.4	ZONA 4	38
2.3.5	ZONA 5	38
2.4	Contesto idrogeologico.....	39
2.5	Analisi vincolistica dell'area di intervento	40
2.5.1	ZONA 1 – ZONA 2	40
2.5.2	ZONA 3 – ZONA 4 – ZONA 5	42
3	STUDIO GEOTECNICO.....	44
3.1	Caratteristiche geotecniche dei terreni	44
3.1.1	ZONA N°1	44
3.1.2	ZONA N°2	47
3.1.3	ZONA N°3	49
3.1.4	ZONA N°4	51
3.1.5	ZONA N°5	52
4	STUDIO SISMICO	54
4.1	Caratterizzazione sismica dei suoli	54
5	CONCLUSIONI.....	55
6	ALLEGATI	56

Indice delle Figure

<i>Figura 1 Inquadramento sui Fogli n° 480100 - 480110 - 480140 - 480150. In evidenza la Zona 1 e la Zona 2.....</i>	<i>7</i>
<i>Figura 2 Inquadramento sui Fogli n° 480140 - 480150. In evidenza la Zona 3, la Zona 4 e la Zona 5</i>	<i>8</i>
<i>Figura 3 Inquadramento planimetrico da foto satellitare. Google Earth Pro®</i>	<i>11</i>
<i>Figura 4 Ubicazione indagini e prove geognostiche su Zona 1 e Zona 2. Inquadramento planimetrico da foto satellitare.</i>	<i>12</i>
<i>Figura 5 Ubicazione indagini e prove geognostiche su Zona 3, Zona 4 e Zona 5. Inquadramento planimetrico da foto satellitare. Google Earth Pro®</i>	<i>12</i>
<i>Figura 6 Schema geologico semplificato della Sardegna. In evidenza l'estensione areale delle vulcaniti oligo-mioceniche e di quelle plio-pleistoceniche. Il rettangolo individua l'area in studio</i>	<i>15</i>
<i>Figura 7 Zona 1 e Zona 2- Inquadramento geologico su RAS - Sardegna Geoportale - CARTA GEOLOGICA – ELEMENTI AREALI https://www.sardegnameoportale.it/webgis2/sardegnameoportale/?map=mappetematiche.....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 8 Zona 3 e Zona 4- Inquadramento geologico su RAS - Sardegna Geoportale - CARTA GEOLOGICA – ELEMENTI AREALI https://www.sardegnameoportale.it/webgis2/sardegnameoportale/?map=mappetematiche.....</i>	<i>17</i>
<i>Figura 9 Zona 5 - Inquadramento geologico su RAS - Sardegna Geoportale - CARTA GEOLOGICA – ELEMENTI AREALI https://www.sardegnameoportale.it/webgis2/sardegnameoportale/?map=mappetematiche</i>	<i>18</i>
<i>Figura 10 Zona 1 - Ubicazione delle prove e indagini eseguiti su foto satellitare (Google Earth Pro®)</i>	<i>19</i>
<i>Figura 11, 12 Saggi di scavo 220718_Pz1 e 220718_Pz2. LOG stratigrafici.....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 13 Saggio di scavo 220718_Pz3. LOG stratigrafico.....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 14 Zona 2 - Ubicazione delle prove e indagini eseguiti su foto satellitare (Google Earth Pro®)</i>	<i>25</i>
<i>Figura 15 Saggio di scavo 220718_Pz4. LOG stratigrafico.....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 16 Zona 3 - Ubicazione delle prove e indagini eseguiti su foto satellitare (Google Earth Pro®)</i>	<i>28</i>
<i>Figura 17 Saggio di scavo 220718_Pz5. LOG stratigrafico.....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 18 Zona 4 - Ubicazione delle prove e indagini eseguiti su foto satellitare (Google Earth Pro®)</i>	<i>31</i>
<i>Figura 19 Zona 5 - Ubicazione delle prove e indagini eseguiti su foto satellitare (Google Earth Pro®)</i>	<i>32</i>
<i>Figura 20 Saggio di scavo 220718_Pz6. LOG stratigrafico.....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 21 Inquadramento aree di perimetrazione rischi PAI (2020). Pericolo idraulico. Rev. Dic_22.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 22 Inquadramento aree di perimetrazione rischi PAI (2020). Pericolo geomorfologico. Rev. Dic_22.....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 23 Inquadramento aree di perimetrazione rischi PAI (2020). Pericolo idraulico. Rev. Dic_22 https://www.sardegnameoportale.it/webgis2/sardegnameoportale/?map=aree_tutelate.....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 24 Figura 33 Inquadramento aree di perimetrazione rischi PAI (2020). Pericolo Geomorfologico. Rev. Dic_22 https://www.sardegnameoportale.it/webgis2/sardegnameoportale/?map=aree_tutelate.....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 25 Ubicazione delle prove e indagini eseguiti su foto satellitare (Google Earth Pro®)</i>	<i>44</i>
<i>Figura 26 Zona 2 - Ubicazione delle prove e indagini eseguiti su foto satellitare (Google Earth Pro®)</i>	<i>47</i>

Figura 27 Zona 3 - Ubicazione delle prove e indagini eseguiti su foto satellitare (Google Earth Pro®) 49

Figura 28 Zona 4 - Ubicazione delle prove e indagini eseguiti su foto satellitare (Google Earth Pro®) 51

Figura 29 Zona 5 - Ubicazione delle prove e indagini eseguiti su foto satellitare (Google Earth Pro®) 52

1 INTRODUZIONE

1.1 PREMESSA

In riferimento al progetto per la realizzazione di un IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN DI POTENZA NOMINALE (DC) 72,66 MWp E POTENZA IN IMMISSIONE (AC) 60,2 MW, nell'agro del Comune di Bonorva nelle località *Su Rispisu, Sa Tanca Noa, Monte Frusciu, Monte Ladu e Monte Cujaru* è stato commissionato allo scrivente geologo dott. Alessandro Stancari¹, dalla DS ITALIA 6 S.R.L, lo studio necessario alla stesura della presente RELAZIONE GEOLOGICA le cui finalità, riferite all'area in oggetto, sono:

- Descrivere, in generale, le caratteristiche geologiche stratigrafiche, geomorfologiche e idrogeologiche dell'area vasta che include le aree in studio;
- Conseguire la parametrizzazione geotecnica per i terreni interessati dai carichi di esercizio delle soprastrutture in progetto;
- Conseguire la caratterizzazione sismica del sito in conformità alla normativa vigente.

Le osservazioni e i dimensionamenti si basano su:

- Una analisi geologica dell'area di interesse basata sul dato bibliografico edito disponibile e sulle risultanze del rilevamento di campagna appositamente effettuato.
- N° 6 (sei) saggi di scavo geognostici
- N° 10 (dieci) prove penetrometriche dinamiche superpesanti DPSH
- N° 2 (due) analisi sismiche mediante metodo MASW e rifrazione
- Dati provenienti da indagini eseguite dallo scrivente in aree adiacenti e geotecnicamente assimilabili.

La stesura della presente relazione è stata eseguita tra il 11 luglio 2022 e il 15 settembre 2023, in ottemperanza a quanto stabilito dalla normativa vigente con particolare riferimento a:

1.2 Normativa di Riferimento

- **D.M. 14.01.2008 - Testo Unitario - Norme Tecniche per le Costruzioni**
- **Circolare del 2 febbraio 2009**, n. 617, C.S.LL.PP. - Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008
- **D.M. 17.01.2018** - Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"
- **Circolare del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti 21 gennaio 2019**, n. 7, del Consiglio superiore dei Lavori Pubblici recante "Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018"
- **Allegato al voto n. 36 del 27.07.2007, C.S.LL.PP** - Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale.
- **Eurocodice 8 (1998)** - Indicazioni progettuali per la resistenza fisica delle strutture - Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici (stesura finale 2003)

¹ Albo dei geologi della Regione Sardegna n° 541

- **Eurocodice 7.1 (1997)** - Progettazione geotecnica - Parte I: Regole Generali – UNI
- **Eurocodice 7.2 (2002)** - Progettazione geotecnica - Parte II: Progettazione assistita da prove di laboratorio (2002). UNI
- **Eurocodice 7.3 (2002)** - Progettazione geotecnica - Parte II: Progettazione assistita con prove in sito (2002). UNI
- **DPR 7 gennaio 1956 n° 164 art. 12** che tra tutte le operazioni di scavo e sbancamento specifica le norme riguardanti lo splateamento e lo sbancamento
- **D.M. Ambiente del 10 agosto 2012 n. 161: I piani di utilizzo delle terre e rocce da scavo**

1.3 Riferimenti bibliografici

- **Bowles Joseph**, 1991 - "Fondazioni -progetto ed analisi" - McGraw - Hill;
- **Day W. Robert**, 2002 - "Geotechnical Earthquake Engineering Handbook" - McGraw - Hill;
- **Nori Luca**, 2009 - "Caratterizzazione geotecnica e parametri di progetto secondo l'EC7 e 8 e il DM 14/01/2008 - Nuove norme tecniche per le costruzioni";
- **Terzaghi**, 1943 –
- **Aru A., Baldacci P., Vacca A. (1991)**: NOTA ILLUSTRATIVA ALLA CARTA DEI SUOLI DELLA SARDEGNA 1:250.000. pp 583.
- **Comitato per il Coordinamento della Cartografia Geologica e Geotematica della Sardegna** - CARTA GEOLOGICA DELLA SARDEGNA - (scala 1: 200.000);
- **Carmigniani L., Oggiano G., Barca S., Conti P., Salvatori I., Eltrudis A., Funedda A. E. Pasci S. (2001)**. NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA GEOLOGICA DELLA SARDEGNA IN SCALA 1:200.000. - MEMORIE DESCRITTIVE DELLA CARTA GEOLOGICA ITALIANA, vol. 60: 283.
- **ISPRA – Servizio Geologico d'Italia** - CARTA GEOLOGICA D'ITALIA - FOGLIO 459 SASSARI (SCALA 1: 50.000);
- **RAS - Sardegna Geoportale** - CARTA GEOLOGICA – ELEMENTI AREALI
<https://www.sardegnameoportale.it/webgis2/sardegnameoportale/?map=mappetematiche>

Le indagini geotecniche sono state eseguite secondo le prescrizioni A.G.I. "Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche – giugno 1975".

1.4 Inquadramento geografico e topografico. Uso del suolo.

Le aree destinate ad accogliere gli interventi in progetto sono ubicate nell'agro del Comune di Bonorva (SS), raggiungibili dalla SP43 e dalla SP 21. Per meglio descrivere le caratteristiche geologico strutturali delle aree interessate sono state distinte cinque zone.:

- **Zona 1:** in prossimità dell'incrocio tra la SP43 e la SP21 (Loc. Su Rispisu – Loc. Sa Tanca Noa); l'area è caratterizzata da un assetto planoaltimetrico circa pianeggiante, con quote medie prossime a 344 m slmm. L'uso del suolo è caratterizzato in parte dal prato-pascolo non irriguo al servizio dell'allevamento estensivo di ovini e in parte per la coltivazione di cerealicole
- **Zona 2:** comprende un'ampia fascia di raccordo pedemontano del M.te Frusciu (in senso orario da NNE verso WSW) con quote medie prossime a 350 m slmm. L'area risulta debolmente inclinata con pendenze comunque inferiori a 15°. L'uso del suolo è caratterizzato in parte dal prato-pascolo non irriguo al servizio dell'allevamento estensivo di ovini e in parte per la coltivazione di cerealicole

- Zona 3: comprende una stretta fascia di raccordo pedemontano del M.te Ladu (verso WSW), con quote medie prossime a 350 m slmm. L'area risulta debolmente inclinata con pendenze comunque inferiori a 15°. L'uso del suolo è caratterizzato in parte dal prato-pascolo non irriguo al servizio dell'allevamento estensivo di ovini e in parte per la coltivazione di cerealicole.
- Zona 4: comprende buona parte del pianoro di vetta del M.te Ladu (*Loc. Planu de Monte Ladu*) Costituendo la vetta di un altopiano, l'area risulta pressoché pianeggiante, con quote medie prossime a 412 m slmm. L'uso del suolo è caratterizzato esclusivamente dal prato-pascolo non irriguo al servizio dell'allevamento estensivo di ovini.
- Zona 5: comprende una fascia di raccordo pedemontano del M.te Cujaru (in senso orario da SW verso S) L'area risulta debolmente inclinata con pendenze comunque inferiori a 15° e con quote medie prossime a 355 m slmm. L'uso del suolo è caratterizzato quasi esclusivamente dal prato-pascolo non irriguo al servizio dell'allevamento estensivo di ovini.

I riferimenti topografici e cartografici consistono in:

- Foglio n° 480 sez.II "Foresta Burgos" e 480 sez III "Bonorva" dell'I.G.M.I. (scala 1:25.000)
- Foglio n° 480100 – 480110 – 480140 – 480150 della Carta Tecnica Regionale Numerica (scala 1:10.000)

Figura 1 Inquadramento sui Fogli n° 480100 - 480110 - 480140 - 480150. In evidenza la Zona 1 e la Zona 2

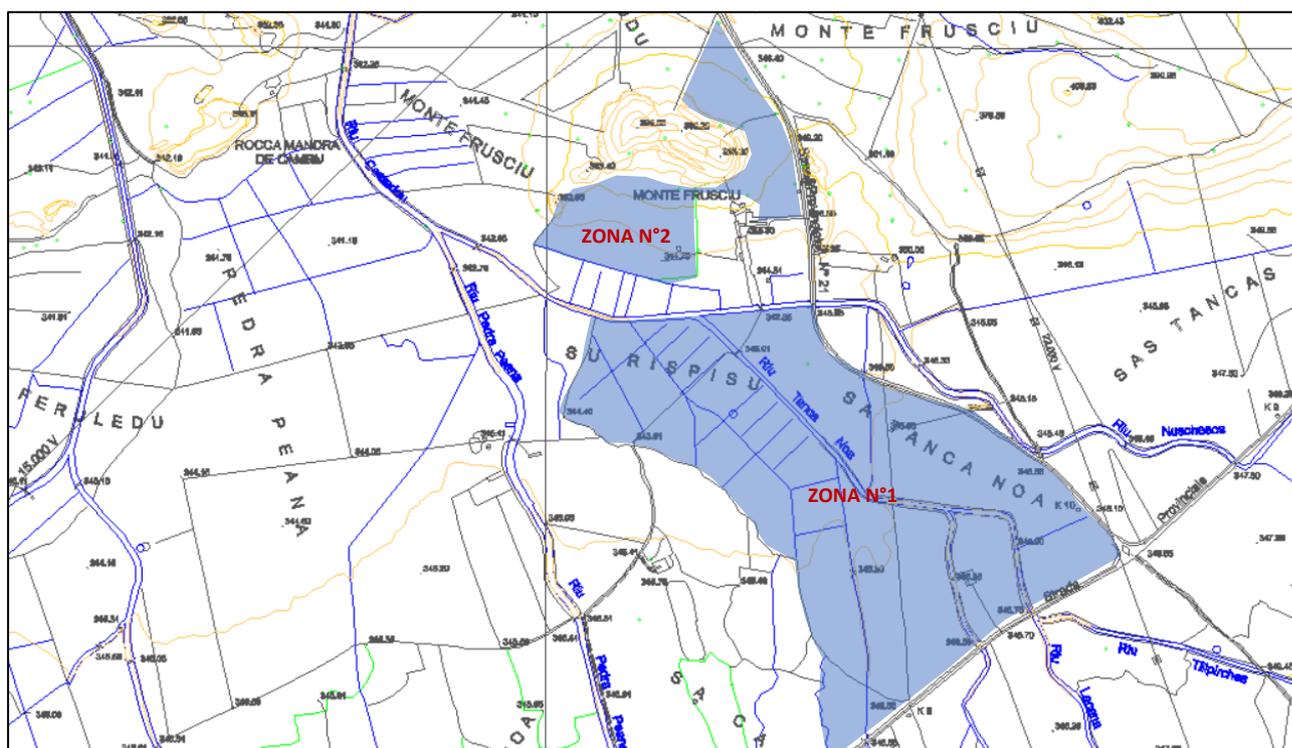
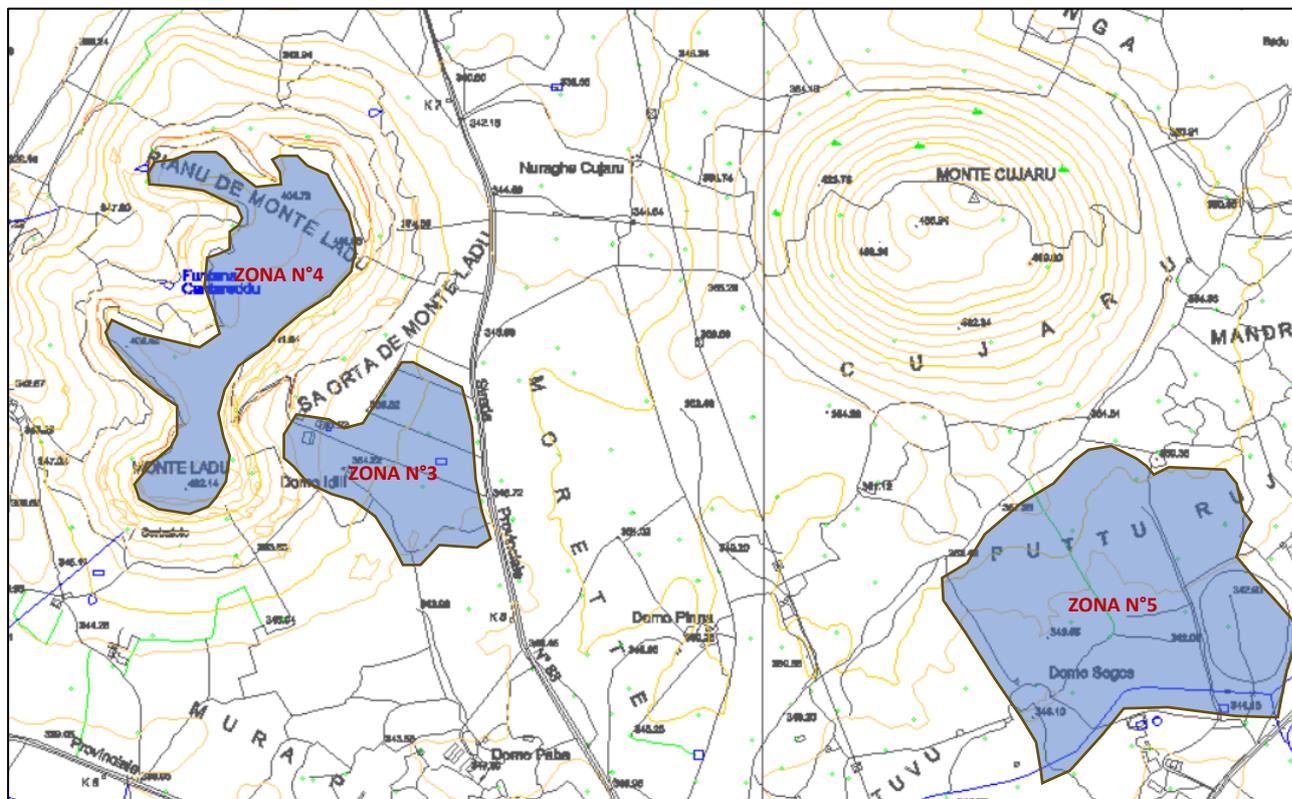


Figura 2 Inquadramento sui Fogli n° 480140 - 480150. In evidenza la Zona 3, la Zona 4 e la Zona 5



1.5 Caratteristiche costruttive dell'opera in progetto

Come accennato in premessa l'intervento consiste nella posa in opera di un impianto fotovoltaico di potenza nominale pari a 72,66 MW su una superficie di circa 70 ha con pannelli che presentano un'elevazione massima di 3,35 m rispetto al livello del suolo, questi saranno fissati direttamente al terreno tramite pali metallici di tipologia variabile in base alle caratteristiche del terreno. Sono previsti altresì alcuni manufatti a servizio dell'impianto dotati di fondazioni di tipo superficiale da dettagliare nelle successive fasi progettuali.

Per i dati caratteristici dell'impianto si rimanda alle relazioni tecniche progettuali.

1.6 Metodologia delle indagini

Nel mese di luglio 2022 è stata realizzata l'indagine geognostica nell'area oggetto del presente studio. Dopo una serie di rilevamenti atti a descrivere il quadro geologico superficiale si è provveduto a meglio definire l'assetto stratigrafico del sottosuolo con l'esecuzione di n° 6 (sei) saggi di scavo geognostici, mediante l'utilizzo di un escavatore oleodinamico cingolato tipo *girasagoma* da 80 q.li. L'approfondimento dei saggi di scavo è stato sempre spinto fino al limite operativo del mezzo utilizzato, determinato dal raggiungimento dello sbraccio massimo dell'utensile di scavo o dal rifiuto all'avanzamento per via dell'elevato addensamento dei litotipi attraversati. Le informazioni stratigrafiche ricavate dall'esecuzione dei saggi di scavo sono state integrate con quelle meccaniche conseguite con l'esecuzione di n° 10 (dieci) prove penetrometriche dinamiche continue, per le quali è stato utilizzato un penetrometro dinamico super pesante (maglio da 63,5 kg – DPSH secondo la classificazione dell'ISSMFE (1988)), modello PAGANI TG 63-200 avente i seguenti standard tecnici:

Foto 1 Escavatore su saggio di scavo 2207189_Pz4.



PESO DEL MAGLIO	63,5 kg
VOLATA DEL MAGLIO	70 cm
ANGOLO DI APERTURA DELLA PUNTA CONICA	90°
AREA DI BASE DELLA PUNTA CONICA	20 cm²
DIAMETRO PUNTA CONICA	50,5 cm
PASSO DI LETTURA	20 cm

La prova consiste nell'infiggere nel terreno una punta conica in acciaio con apertura e diametro di base standard, tramite la percussione offerta dal maglio che, con la volata standard, percuote direttamente su una serie di aste di prolunga che reggono la punta conica stessa; nel proseguo della prova, l'infissione della punta alle varie profondità è garantita dall'aggiunta progressiva delle aste di prolunga (lunghezza = 1,00 m cadauna), fino al rifiuto all'infissione stabilito quando, per 50 colpi del maglio, questa risulta inferiore a 20 cm. Rilevando il numero di colpi del maglio per ogni 20 cm di infissione della punta si determina il parametro N_{20} , e si calcola il valore della Resistenza Dinamica alla Punta (RDP) secondo la formula:

$$RDP = \frac{M^2 \cdot H}{A \cdot e \cdot (M + P)} = \frac{M^2 \cdot H \cdot N}{A \cdot \delta \cdot (M + P)}$$

Dove:

M: Peso massa battente

H: Altezza di caduta massa battente

A: Area di base della punta

$$e: \text{infissione per colpo} = \frac{\delta}{N}$$

N: numero di colpi relativi al passo di lettura

P: peso totale aste e sistema di battuta

δ : passo di lettura

Questi parametri permettono di individuare strati con un determinato N_{20} medio e RDP medio, i quali, previa relazione al parametro N_{spt} , consentono di estrapolare, sulla base di relazioni empiriche, i principali parametri geotecnici dei vari strati stessi costituenti il volume significativo progettuale.

Il parametro N_{20} non è sufficiente per la quantificazione delle caratteristiche meccaniche delle litologie attraversate, che invece viene conseguita integrando il valore assoluto del parametro con le caratteristiche tessiturali e granulometriche dei terreni in analisi.

L'indagine ha quindi permesso di definire l'andamento stratigrafico del volume geotecnico significativo interessato dai carichi strutturali, valutando, per lo stesso, le caratteristiche meccaniche delle litologie rilevate mediante la quantificazione dei principali parametri geotecnici, fondamentali per le determinazioni geomeccaniche quali capacità portante, cedimenti assoluti e cedimenti differenziali.

Di seguito le coordinate geografiche dei punti di indagine:

ID	TIPOLOGIA	DATA	LATITUDINE	LONGITUDINE	DA m	A m	ALTITUDINE
220718_Pz1	Saggio	18/07/22	40°26'12.60"N	8°50'27.89"E	0,00	2,80	346 m slm
220718_Pz2	Saggio	18/07/22	40°26'20.76"N	8°50'41.74"E	0,00	2,80	346 m slm
220718_Pz3	Saggio	18/07/22	40°26'33.30"N	8°50'3.42"E	0,00	2,60	343 m slm
220718_Pz4	Saggio	18/07/22	40°26'45.53"N	8°50'7.25"E	0,00	1,30	351 m slm
220718_Pz5	Saggio	18/07/22	40°28'10.89"N	8°49'29.12"E	0,00	1,50	347 m slm
220718_Pz6	Saggio	18/07/22	40°27'59.44"N	8°50'34.92"E	0,00	2,00	342 m slm
220711_DPSH01	DPSH	11/07/22	40°26'11.55"N	8°50'29.09"E	0,00	8,00	346 m slm
220711_DPSH02	DPSH	11/07/22	40°26'20.23"N	8°50'41.12"E	0,00	8,00	346 m slm
220711_DPSH03	DPSH	11/07/22	40°26'32.38"N	8°50'1.87"E	0,00	8,00	343 m slm
220711_DPSH04	DPSH	11/07/22	40°26'46.33"N	8°50'7.48"E	0,00	8,00	354 m slm
220713_DPSH05	DPSH	13/07/22	40°28'27.32"N	8°49'18.84"E	0,00	0,40	406 m slm
220713_DPSH06	DPSH	13/07/22	40°28'12.61"N	8°49'12.21"E	0,00	0,60	419 m slm
220713_DPSH07	DPSH	13/07/22	40°28'10.46"N	8°49'29.23"E	0,00	2,20	347 m slm
220713_DPSH08	DPSH	13/07/22	40°27'59.60"N	8°50'34.78"E	0,00	1,60	342 m slm
220713_DPSH09	DPSH	13/07/22	40°28'3.33"N	8°50'16.97"E	0,00	0,40	345 m slm
220713_DPSH10	DPSH	13/07/22	40°28'13.38"N	8°50'25.72"E	0,00	0,40	353 m slm

Per le caratteristiche tecniche dell'indagine geofisica e per i relativi risultati conseguiti si rimanda al Report Sismico allegato alla presente relazione.

Figura 3 Inquadramento planimetrico da foto satellitare. Google Earth Pro®

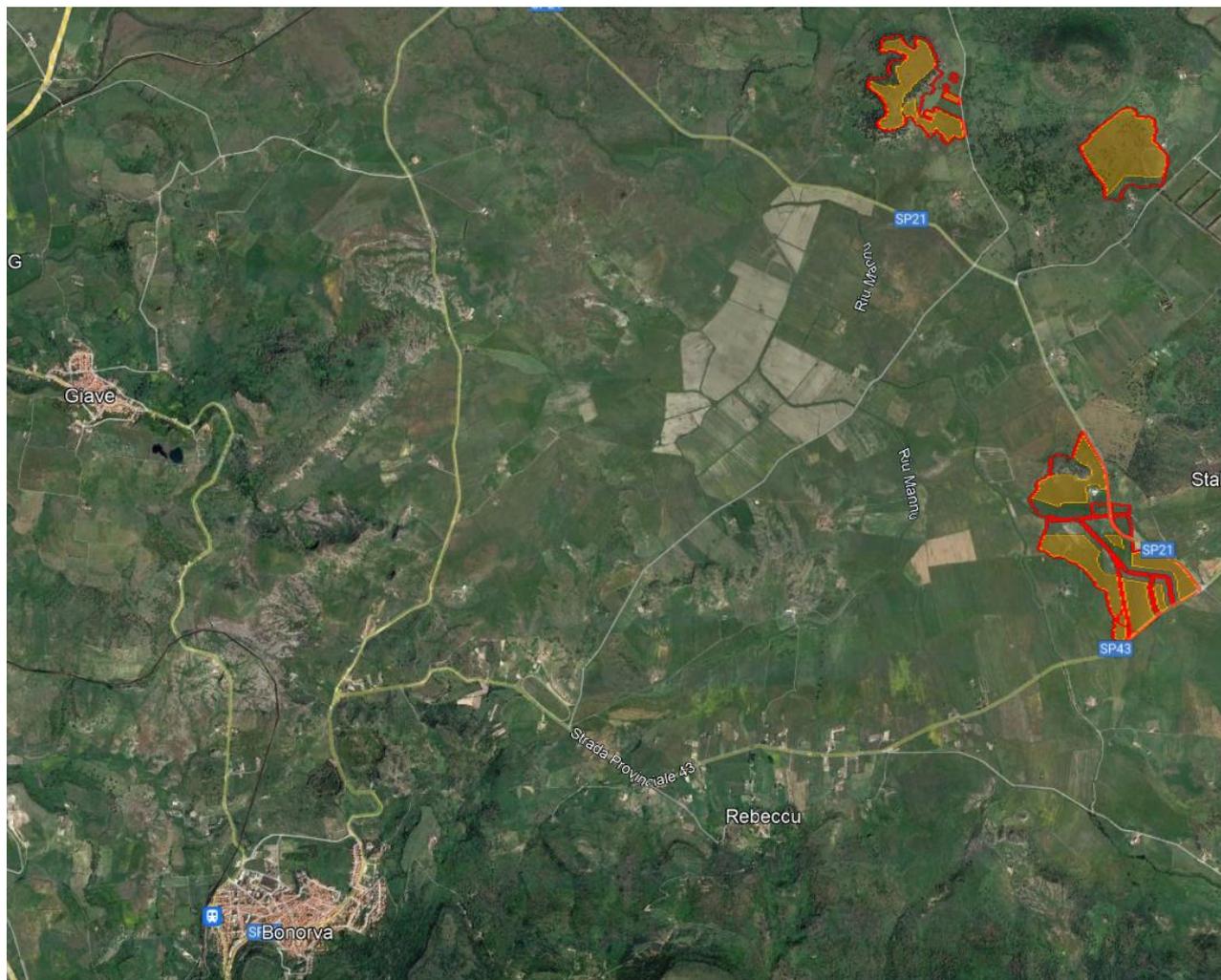


Figura 4 Ubicazione indagini e prove geognostiche su Zona 1 e Zona 2. Inquadramento planimetrico da foto satellitare.

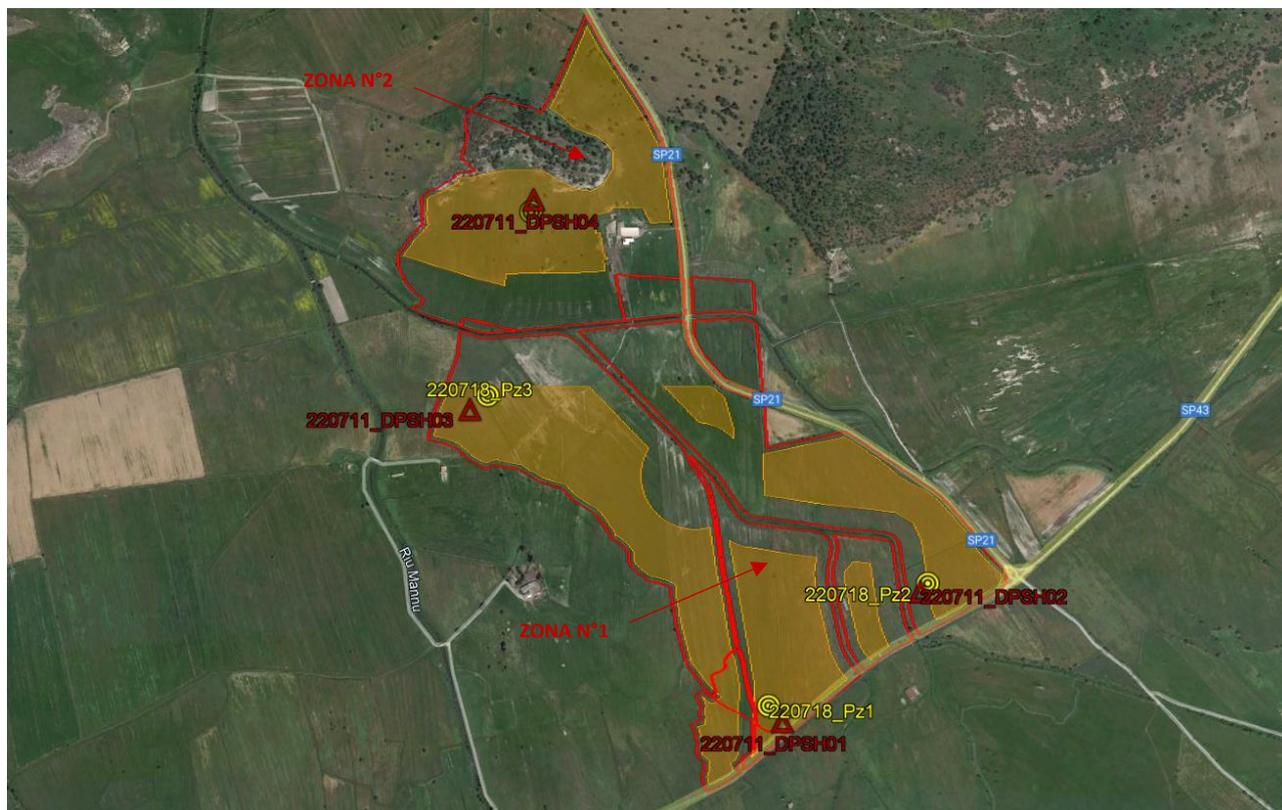


Figura 5 Ubicazione indagini e prove geognostiche su Zona 3, Zona 4 e Zona 5. Inquadramento planimetrico da foto satellitare. Google Earth Pro®



2 STUDIO GEOLOGICO

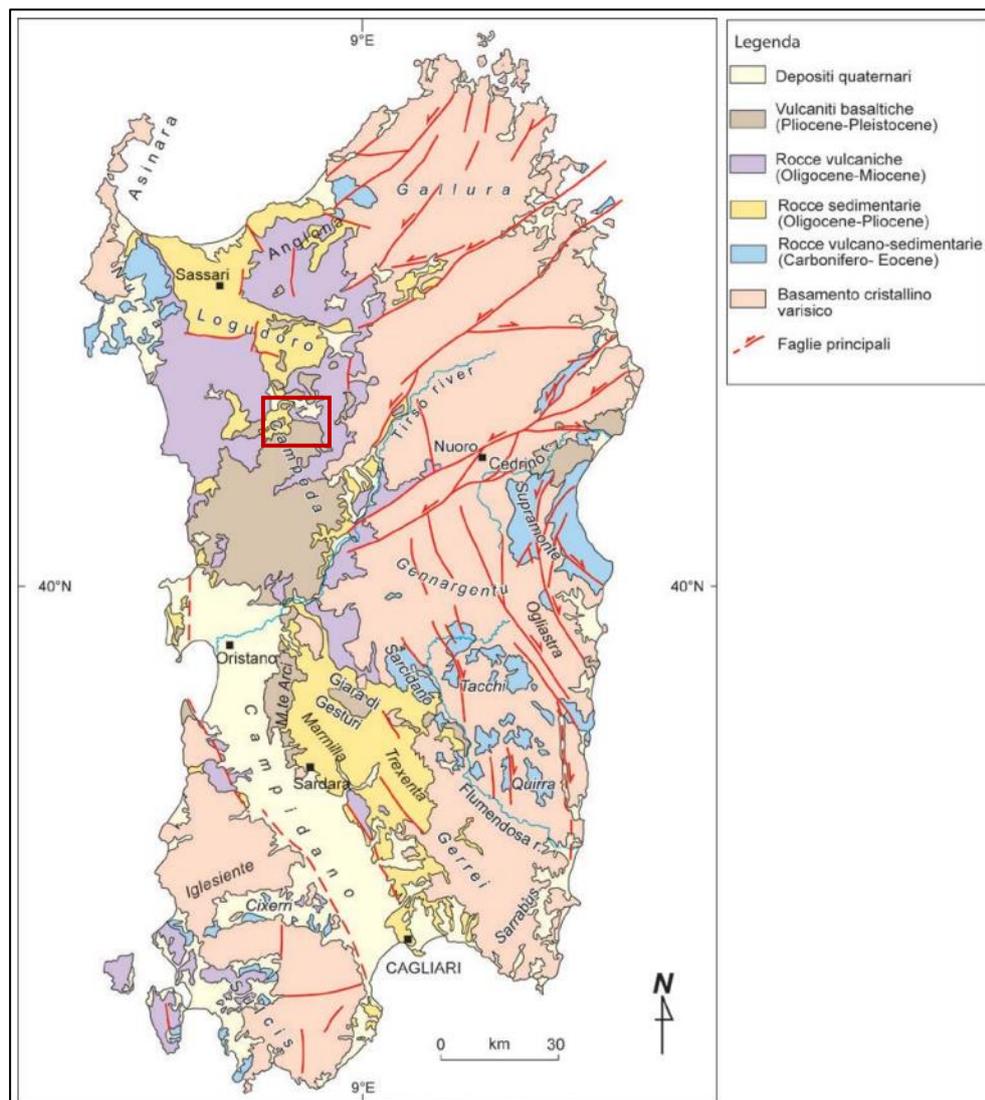
Per meglio inquadrare le problematiche che verranno espresse in dettaglio nei prossimi paragrafi, verrà descritto il contesto geologico in cui si opererà al fine di ottenere il massimo supporto informativo tale da permettere la realizzazione degli interventi previsti in condizioni di massima sicurezza.

2.1 Contesto geologico

L'attuale configurazione geologica e morfologica delle varie zone qui in studio, deve la sua origine a dinamiche tettoniche che hanno interessato la parte meridionale della microplacca sardo-corsa in due fasi distinte, una riferibile ad un passato geologico "antico" e una ad uno "recente":

- La più antica va riferita ad una complessa geodinamica collisionale e di rifting, di età oligo miocenica, che innesca e determina il movimento *roto traslazionale* del Blocco Sardo-Corso. La dinamica tettonica è riassumibile con una prima fratturazione della crosta terrestre con faglie transtensive che favorirono l'emissione di lave e una successiva tettonica di sprofondamento (*rifting*) che generò una fossa (Fossa Sarda auct.) che si estendeva dal Golfo dell'Asinara al Golfo di Cagliari, e, conseguentemente, determinò una ingressione marina con la deposizione di potenti formazioni sedimentarie organizzate in tre sequenze trasgressive regressive. I prodotti vulcanici riconducibili a questa attività si trovano dispersi prevalentemente lungo una fascia che taglia tutta la Sardegna in senso meridiano lungo il settore centro-occidentale, lungo i bacini transtensivi e transpressivi della Sardegna centro-settentrionale e nel Sulcis (Lecca et al, 1997; Carmignani et al, 2001, Oggiano et al., 2009). Questo arco vulcanico orientato tendenzialmente Nord-Sud è stato suddiviso da diversi autori in distretti, i principali sono: l'Anglona, il Logudoro- Bosano a Nord, il Marghine-Barigadu e Ottana al centro, e infine quelli dell'Arcuentu, della Marmilla, di Sarroch e del Sulcis a Sud (Lustrino et al., 2004 e bibliografia). Il distretto dell'Anglona e quello del Logudoro-Bosano (24-16 Ma), che include l'ara in studio, si caratterizzano per la presenza di duomi e lave andesitiche e basaltiche ad affinità sia calcoalcalina che tholeiitica, depositi ignimbricitici dacitici e riolitici, sia sciolti che saldati, e depositi epiclastici. Si tratta di basalti ad affinità tholeiitica caratteristici di ambiente di subduzione. I depositi di origine sedimentaria sono quelli propri delle sequenze trasgressive regressive (conglomerati – arenarie – marne – calcari)

Figura 6 Schema geologico semplificato della Sardegna. In evidenza l'estensione areale delle vulcaniti oligo-mioceniche e di quelle plio-pleistoceniche. Il rettangolo individua l'area in studio



- La più recente va geocronologicamente riferita alle epoche Pliocene superiore - Pleistocene, durante le quali la Sardegna è stata interessata da un intenso vulcanismo caratterizzato da un ampio spettro compositivo, all'interno del quale dominano per abbondanza magmi basaltici ad affinità alcalina e tholeitica (Lustrino et al., 2002). Questa attività vulcanica viene comunemente considerata il risultato del regime distensivo sviluppatosi in conseguenza dell'apertura del Tirreno. Gli edifici e le espressioni morfologiche, molto varie, connesse con questa attività si trovano disperse in gran parte della Sardegna. I prodotti del vulcanismo Plio-Pleistocenico sardo spaziano da composizioni mafiche a silicee e da sub alcaline (circa il 20 % dei magmi emessi) ad alcaline (circa l'80 %), queste ultime caratterizzate per la grande maggioranza da magmi a composizione mafica (Peccerillo, 2005). Contemporaneamente e successivamente alle manifestazioni vulcaniche si attuano anche processi sedimentari in cui si susseguirono ambienti fluviali, lacustri che portarono all'alternarsi di depositi ghiaiosi, sabbiosi e argillosi di origine alluvionale con terrazzamenti (**b_n**), gravitativo di versante (**a**), eluvio-colluviale (**b₂**) e alluvionali (**b_a**=con ghiaia prevalente; **b_b**=con sabbia prevalente; **b_c**=con limo e argilla prevalenti).

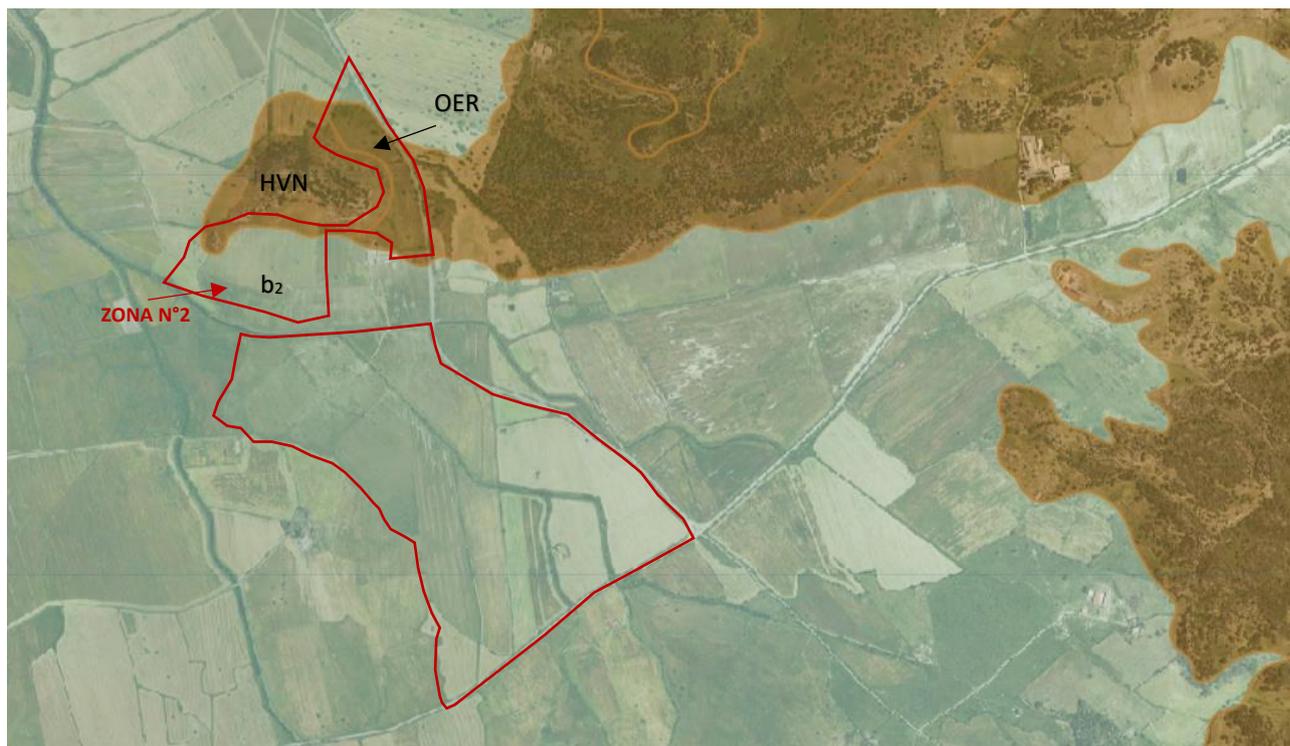
2.1.1 ZONA N°1

L'area è caratterizzata dalla presenza esclusiva di sedimenti di origine alluvionale e colluviale, di età olocenica – attuale, (**b₂**), con tessiture molto variabili verticalmente (limi, sabbie e talvolta ghiaie) ma sempre molto fini in superficie (limi e argille).

2.1.2 ZONA N°2

L'area è inclusa all'interno di un'ampia fascia di raccordo pedemontano del M.te Frusciu. La genesi di quest'ultimo va riferita alla fase tettonica antica: trattasi infatti di un deposito vulcanico da flusso piroclastico in facies ignimbratica, saldato, con strutture da vitroclastiche ad eutaxitiche appartenente all'Unità Vulcanica di Macomer (Miocene inf.: Burdigaliano) (**OER**) e in piccola parte da depositi sempre vulcanici da flusso piroclastico pomiceo-cinertico in facies ignimbratica, debolmente saldato, spesso argillificato, ricco in pomici, appartenente all'Unità Vulcanica di Chilivani (Miocene inf.: Burdigaliano) (**HVN**). La fascia pedemontana di interesse è invece costituita, come da modello genetico, da depositi di origine eluvio colluviale (**b₂**) con tessitura molto variabile (limi sabbie e ghiaie) sia superficialmente che in profondità, di età Olocenica – attuale.

Figura 7 Zona 1 e Zona 2- Inquadramento geologico su RAS - Sardegna Geoportale - CARTA GEOLOGICA – ELEMENTI AREALI
<https://www.sardegnageoportale.it/webgis2/sardegnamappe/?map=mappetematiche>



2.1.3 ZONA N°3

L'area è inclusa all'interno di un'ampia fascia di raccordo pedemontano del M.te Ladu e dell'Altopiano *Planu de Monte Ladu*. Per la descrizione di quest'ultimo si rimanda al prossimo paragrafo (cfr par. 2.1.4).

La fascia pedemontana di interesse è invece costituita, come da modello genetico, da depositi di origine eluvio colluviale (**b₂**) con tessitura molto variabile (limi sabbie e ghiaie) sia superficialmente che in profondità, di età

Olocenica – attuale. L'improvvisa interruzione delle prove eseguite (cfr par. 2.2) lascia supporre la presenza del basamento cristallino (cenozoico vulcanico o sedimentario) a profondità inferiori a 5,0 m.

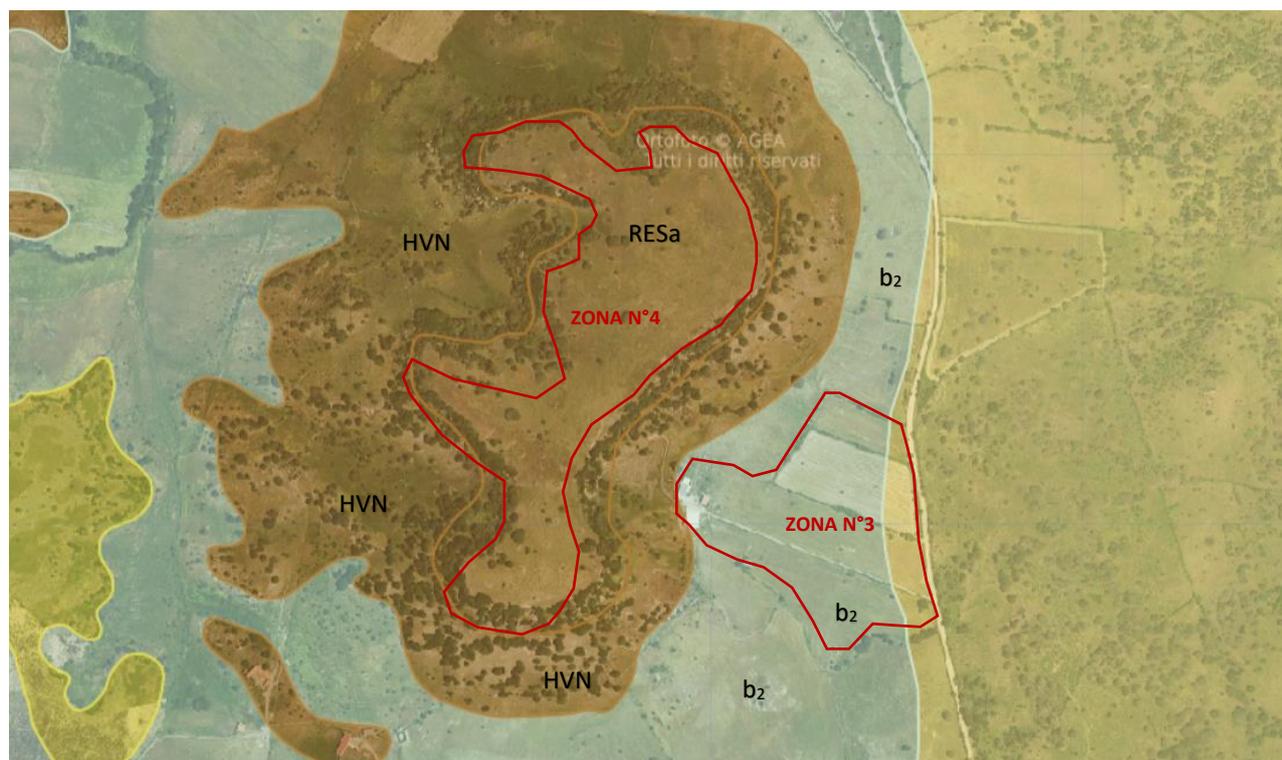
2.1.4 ZONA N°4

L'area comprende buona parte del pianoro di vetta del M.te Ladu e dell'altopiano *Planu de Monte Ladu*. La genesi di questa struttura morfologica è da riferire ad entrambi le fasi tettoniche (antica e recente) descritte precedentemente. Alla prima delle due fasi si deve la genesi dei litotipi che lo costituiscono: i depositi vulcanici da flusso piroclastico pomiceo-cineritico in facies ignimbratica, debolmente saldati, spesso argillificati, ricchi in pomici dell'Unità Vulcanica di Chilivani (**HVR**) alla base (che determinano i versanti inclinati della struttura) e i depositi marini della Formazione di Mores (**RESa**) (Secondo ciclo sedimentario della trasgressione oligo-miocenica) costituiti da calcareniti, calcari bioclastici fossiliferi posti *a cappello*, con pareti circa verticali e spessori pari a 4 – 5 m, in testa alla struttura.

Alla seconda delle due fasi tettoniche va riferita la forma troncoconica del rilievo, dovuta alle dinamiche di sprofondamento tettonico plioceniche pleistoceniche, le quali hanno agito simultaneamente ai processi disgregativi meteorici.

La superficie della zona in studio vede quindi la presenza subsuperficiale, al di sotto di una esigua coltre detritica (spessore massimo 0,60 m), del basamento lapideo, costituito dai depositi sedimentari cenozoici.

Figura 8 **Zona 3 e Zona 4**- Inquadramento geologico su RAS - Sardegna Geoportale - CARTA GEOLOGICA – ELEMENTI AREALI
<https://www.sardegnageoportale.it/webgis2/sardegnamappe/?map=mappetematiche>



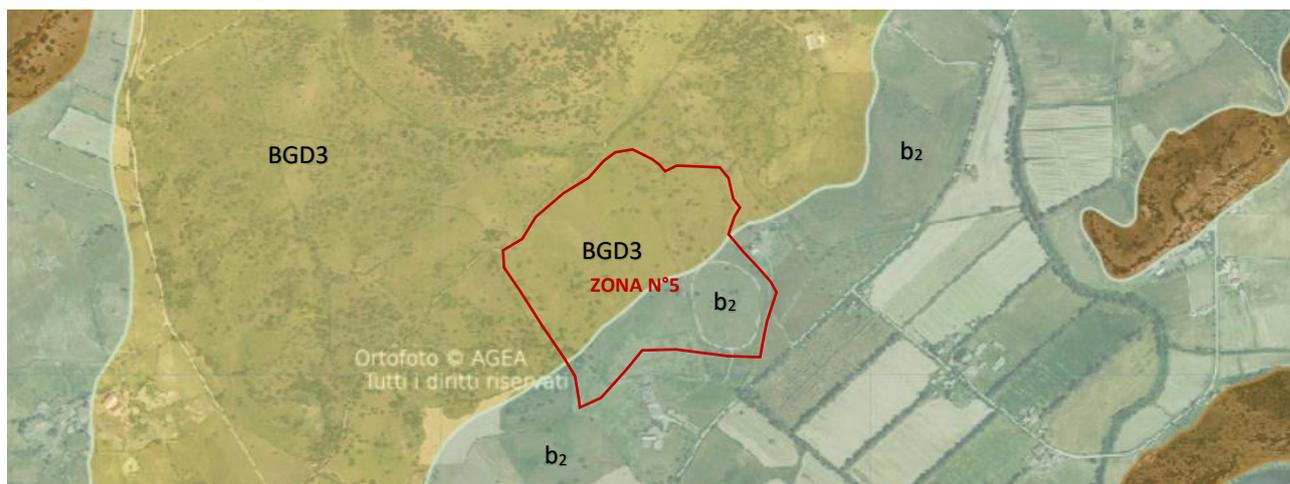
2.1.5 ZONA N°5

L'area è inclusa all'interno della fascia di raccordo pedemontano dell'edificio vulcanico del Monte Cujaru: rilievo di forma conica regolare che emerge rispetto a un piccolo plateau di lava basaltica. Il rilievo, vista l'importanza geologica e ambientale merita una breve descrizione, malgrado non sia incluso nella zona di interesse. Il cono preserva la depressione craterica, sebbene parzialmente colmata da sedimenti legati al disfacimento dell'edificio.

Il cono è circondato da colate basaltiche probabilmente riferibili allo stesso evento eruttivo e allo stesso centro di emissione che ha edificato il cono. La litologia dei depositi che costituiscono l'edificio è quella propria dei depositi di caduta di scorie sciolte, di colore dal nero al rosso e di dimensione delle bombe e dei lapilli. Sulla base delle caratteristiche dei depositi, e per analogia di forma e dimensione con altri edifici presenti nella zona e in altre aree vulcaniche, si ritiene che il Monte Cujaru rientri pienamente all'interno della tipologia *cono di scorie*. L'edificio si è verosimilmente edificato nel corso di una singola eruzione in stile hawaiano o stromboliano. I prodotti vulcanici emessi sono rappresentati da basalti debolmente alcalini a tessitura porfirica per la presenza di fenocristalli di plagioclasio, clinopirosseno e olivina (Beccaluva et al., 1981), appartenenti alla Subunità di Monte Ruju – Basalti del Logudoro (**BGD3**).

La fascia pedemontana di interesse è invece costituita, come da modello genetico, da depositi di origine eluvio colluviale (**b₂**) con tessitura molto variabile (limi sabbie e ghiaie) sia superficialmente che in profondità, di età Olocenica – attuale. Lo spessore delle coltri eluvio colluviali varia da pochi metri, al limite di zona verso valle, a pochi decimetri verso monte, dove, peraltro, si rileva la presenza di grossi blocchi isolati con diametro talvolta pluridecimetrico.

Figura 9 **Zona 5** - Inquadramento geologico su RAS - Sardegna Geoportale - CARTA GEOLOGICA – ELEMENTI AREALI
<https://www.sardegnageoportale.it/webgis2/sardegnamappe/?map=mappetematiche>



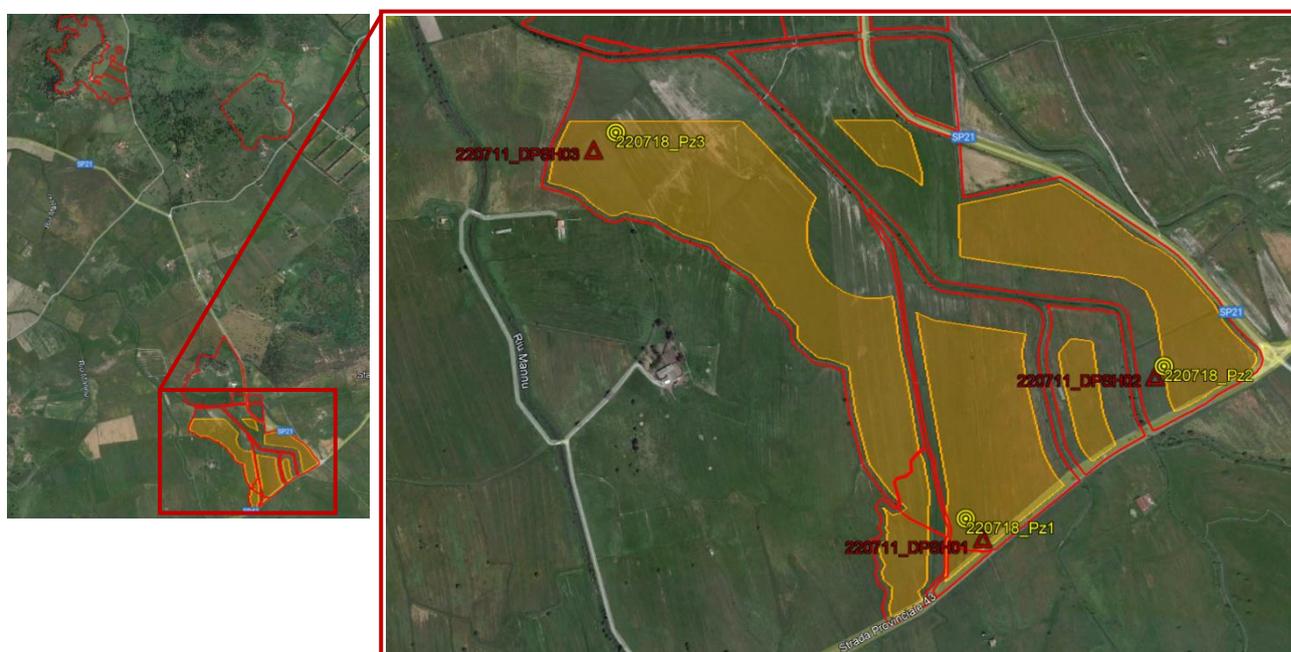
2.2 Assetto litostratigrafico locale

Dall'analisi dei terreni attraversati sia dai saggi di scavo che dalle prove penetrometriche eseguite (cfr par.1.6), si riportano gli andamenti stratigrafici e le caratteristiche tessiture degli stessi; anche questa analisi è stata affrontata suddividendo l'area totale in cinque zone (cfr par 1.4) caratterizzate da un certo grado di omogeneità.

I saggi hanno raggiunto solo nella Zona 1 la profondità consentita dallo sbraccio massimo dell'utensile di scavo che si attesta a circa 3,00 m da p.c., negli altri casi si è rilevato un rifiuto all'avanzamento per elevata durezza dei litotipi attraversati. Le prove DPSH sono state eseguite nei pressi dei saggi di scavo e sono state protratte fino alla profondità massima di 8,00 m da p.c. o fino al rifiuto all'avanzamento.

2.2.1 ZONA N°1

Figura 10 Zona 1 - Ubicazione delle prove e indagini eseguiti su foto satellitare (Google Earth Pro®)



La caratterizzazione dell'area è stata resa possibile dalla realizzazione di tre saggi di scavo: 220718_Pz1 (da 0,00 m a 2,80 m), 220718_Pz2 (da 0,00 m a 2,80 m) e 220718_Pz3 (da 0,00 m a 2,60 m), oltre che con l'esecuzione di tre prove penetrometriche dinamiche: 220711_DPSH01 (da 0,00 m a 8,00 m), 220711_DPSH02 (da 0,00 m a 8,00 m) e 220711_DPSH03 (da 0,00 m a 8,00 m). Nell'area si rilevano tre strati così distinti dall'alto verso il basso:

- **LIMI ARGILLOSI SUPERFICIALI:** lo strato include l'esigua copertura da pedogenesi e terreni costituiti da limi argillosi molto plastici; il grado di addensamento dello strato è molto variabile nella distribuzione areale del lotto, probabilmente a seguito di diverse attività agricole subite; si presenta, invece, molto uniforme per tutta la zona, il comportamento meccanico di tipo puramente coesivo con caratteristiche plastiche molto spiccate, unitamente ad una elevatissima capacità di campo quasi interamente di carattere igroscopico. Queste caratteristiche rendono le lavorazioni su questi terreni estremamente difficoltose se non impossibili nelle stagioni piovose; condizioni di impossibilità che perdurerebbero ben oltre la stagione piovosa stessa, vista la bassa permeabilità dei terreni che quindi possono asciugarsi solo con lenti processi evapotraspirativi. (**b₂**)

- **SABBIE GHIAIOSE E GHIAIE SABBIOSE CON LIMI:** trattasi di alternanze molto variabili verticalmente da un punto all'altro della Zona qui in studio. Anche le resistenze meccaniche variano sensibilmente seppure si individua un comportamento geotecnico generale di tipo attritivo. (**b₂**)
- **LIMI ARGILLOSI PROFONDI:** il comportamento meccanico dei terreni inclusi in questo strato è da considerarsi quasi esclusivamente coesivo con caratteristiche plastiche molto spiccate. (**b₂**)

Nel saggio di scavo 220718_Pz1 è stata inoltre rilevata la presenza della falda imbriferica locale con livello piezometrico impostato a 2,50 m da p.c. così come nelle prove penetrometriche 220711_DPSH01 (2,52 m da p.c.) 220711_DPSH02 (2,79 m da p.c.).

SAGGIO DI SCAVO 220718_PZ1

- Da **0,00 m** a **1,10 m**: Limo argilloso bruno, molto plastico, umido ed omogeneo se si esclude l'esiguo spessore superficiale (0,20m) debolmente pedogenizzato;
- Da **1,10 m** a **2,80 m (e oltre?)**: Ghiaia sabbiosa limosa grigio scuro con screziature marroncine molto umida se non satura (falda l.s.: 2,50 m da p.c.a. data 18/07/22 ore 09:30). Ciottoli da litotipi vulcanici molto arrotondati ed appiattiti.

SAGGIO DI SCAVO 220718_PZ2

- Da **0,00 m** a **0,70 m**: Limo argilloso bruno, molto plastico, poco umido ed omogeneo se si esclude l'esiguo spessore superficiale (0,20m) debolmente pedogenizzato;
- Da **0,70 m** a **1,40 m** Sabbia ghiaiosa limosa grigio scuro con screziature marroncine molto umida. Ciottoli da litotipi vulcanici molto arrotondati ed appiattiti;
- Da **1,40 m** a **2,10 m (e oltre?)**: Limo argilloso grigio scuro con screziature giallognole, umido e poco plastico. (falda l.s.: 2,10 m da p.c.a. data 18/07/22 ore 10:30)

SAGGIO DI SCAVO 220718_PZ3

- Da **0,00 m** a **0,80 m**: Limo argilloso bruno, plastico ed umido; omogeneo se si esclude l'esiguo spessore superficiale (0,20m) debolmente pedogenizzato;
- Da **0,80 m** a **1,60 m** Sabbia ghiaiosa microgranulare in matrice limosa marrone ed umida;
- Da **1,60 m** a **2,60 m (e oltre?)**: Sabbia ghiaiosa microgranulare in matrice limosa grigio verde scuro, umida se non satura e con frazione ghiaiosa grossolana in aumento alla base dello scavo;

PROVA PENETROMETRICA 220711_DPSH01

- Da **0,00 m** a **1,00 m**: I valori di resistenza meccanica alla punta si presentano omogenei e sono da riferire ai limi argillosi superficiali. N_{20} medio = 5
- Da **1,00 m** a **3,20 m**: I valori di resistenza meccanica alla punta si presentano molto disomogenei e sono da riferire alle ghiaie sabbiose. N_{20} medio = 10
- Da **3,20 m** a **4,40 m**: I valori di resistenza meccanica alla punta si presentano omogenei e sono da riferire a limi argillosi. N_{20} medio = 4
- Da **4,40 m** a **5,80 m**: I valori di resistenza meccanica alla punta si presentano molto disomogenei con almeno un picco di resistenza dinamica alla punta (5,6 m) e sono da riferire a ghiaie sabbiose talvolta molto addensate. N_{20} medio = 17
- Da **5,80 m** a **8,00 m (e oltre?)**: I valori di resistenza meccanica alla punta si presentano poco omogenei in quanto in progressivo aumento con la profondità e sono da riferire a litologie sicuramente plastiche (limi argillosi). N_{20} medio = 8

PROVA PENETROMETRICA 220711_DPSH02

- Da **0,00 m** a **2,40 m**: I valori di resistenza meccanica alla punta si presentano molto disomogenei e sono da riferire alle ghiaie sabbiose. N_{20} medio = 12
- Da **2,40 m** a **5,60 m**: I valori di resistenza meccanica alla punta si presentano omogenei e sono da riferire a limi argillosi. N_{20} medio = 5
- Da **5,60 m** a **8,00 m (e oltre?)**: I valori di resistenza meccanica alla punta si presentano molto disomogenei con almeno un picco di resistenza dinamica alla punta (6,0 m) e sono da riferire a ghiaie sabbiose talvolta addensate. N_{20} medio = 11

PROVA PENETROMETRICA 220711_DPSH03

- Da **0,00 m** a **0,80 m**: I valori di resistenza meccanica alla punta si presentano omogenei e sono da riferire ai limi argillosi superficiali. N_{20} medio = 5
- Da **0,80 m** a **2,00 m**: I valori di resistenza meccanica alla punta si presentano molto disomogenei e sono da riferire alle ghiaie sabbiose. N_{20} medio = 8
- Da **2,00 m** a **8,00 m (e oltre?)**: I valori di resistenza meccanica alla punta si presentano omogenei e sono da riferire a limi argillosi. N_{20} medio = 5

Foto 2, 3, 4, 5, 6, 7 Saggi di scavo 220718_Pz1 (in evidenza la falda), 220718_Pz2 (in evidenza la falda) e 220718_Pz3. Su tutti in evidenza i limiti di strato. Prove penetrometriche 220711_DPSH01 - 220711_DPSH02 - 220711_DPSH03

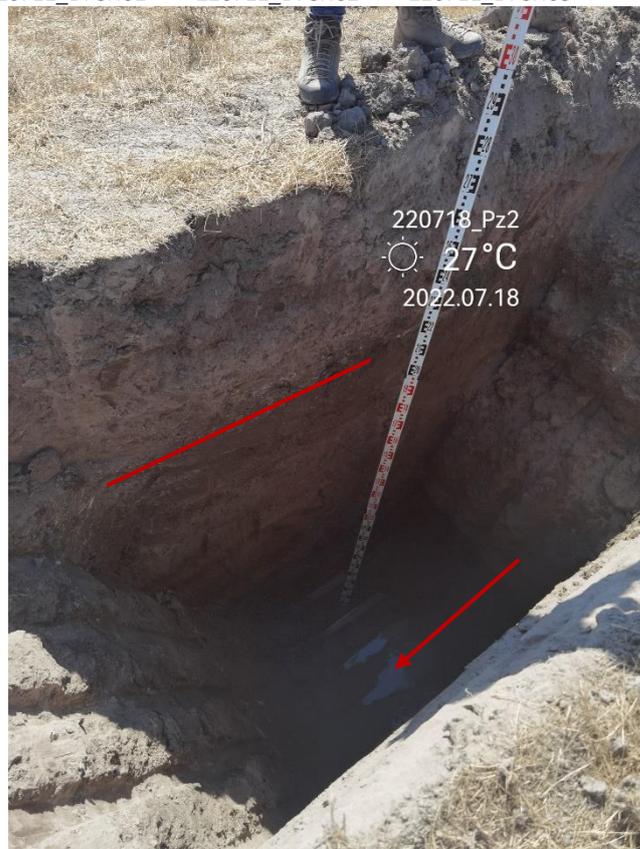


Figura 11, 12 Saggi di scavo 220718_Pz1 e 220718_Pz2. LOG stratigrafici

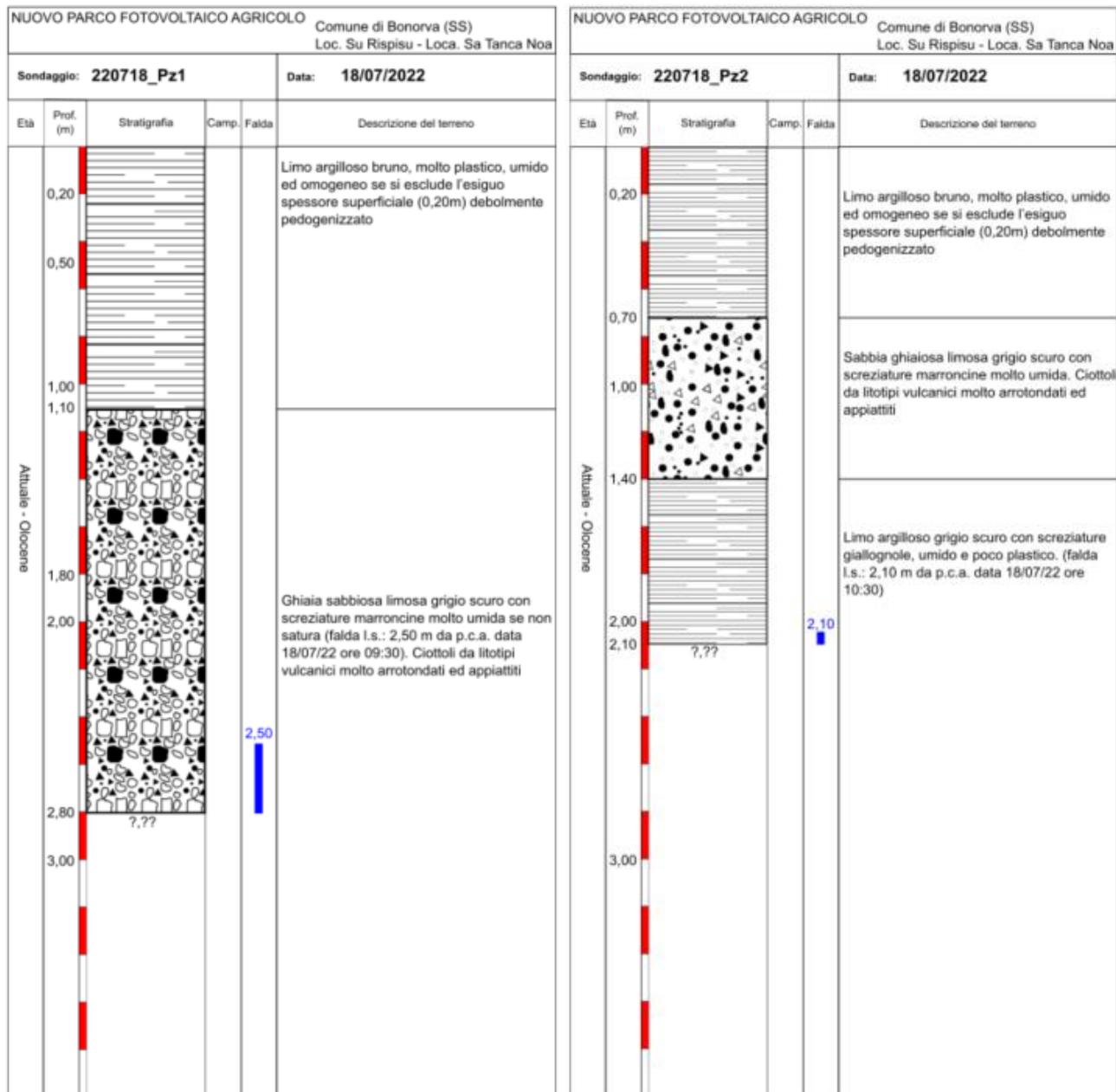
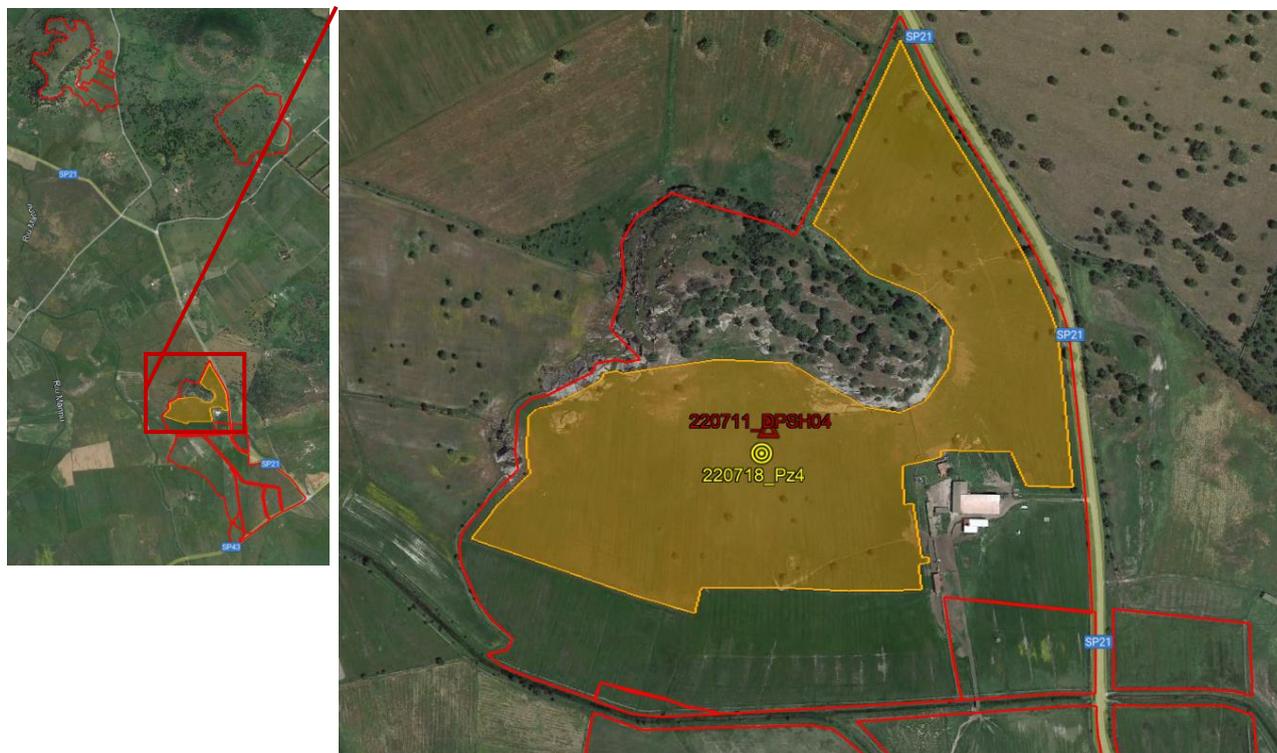


Figura 13 Saggio di scavo 220718_Pz3. LOG stratigrafico

NUOVO PARCO FOTOVOLTAICO AGRICOLO					
			Comune di Bonorva (SS) Loc. Su Rispisu - Loca. Sa Tanca Noa		
Sondaggio: 220718_Pz3			Data: 18/07/2022		
Età	Prof. (m)	Stratigrafia	Camp.	Falda	Descrizione del terreno
	0,20				Limo argilloso bruno, molto plastico, umido ed omogeneo se si esclude l'esiguo spessore superficiale (0,20m) debolmente pedogenizzato
	0,80				Sabbia ghiaiosa microgranulare in matrice limosa marrone ed umida
	1,00				
	1,60				Sabbia ghiaiosa microgranulare in matrice limosa grigio verde scuro, umida se non satura e con frazione ghiaiosa grossoliana in aumento alla base dello scavo
	2,00				
	2,60				?,??
	3,00				

2.2.2 ZONA N°2

Figura 14 Zona 2 - Ubicazione delle prove e indagini eseguiti su foto satellitare (Google Earth Pro®)



La caratterizzazione dell'area è stata resa possibile dalla realizzazione di un saggio di scavo: 220718_Pz4 (da 0,00 m a 1,30 m), oltre che con l'esecuzione di una prova penetrometrica dinamica: 220711_DPSH04 (da 0,00 m a 8,00 m). Nell'area si rilevano tre strati così distinti dall'alto verso il basso:

- GHIAIE SUPERFICIALI DI LITOTIPI VULCANICI: lo strato include l'esigua copertura da pedogenesi e terreni costituiti da ghiaie di origine detritica originata dallo smantellamento dei prossimi litotipi vulcanici, molto addensate e asciutte in scarsa matrice sabbiosa limosa. Lo strato ha determinato il rifiuto all'approfondimento del saggio di scavo 220718_Pz4. (**b₂**)
- LIMI SABBIOSI ARGILLOSI PROFONDI: il comportamento meccanico dei terreni inclusi in questo strato è da considerarsi quasi esclusivamente coesivo con caratteristiche plastiche molto spiccate. (**b₂**)
- SABBIE GHIAIOSE PROFONDE: il comportamento meccanico dei terreni inclusi in questo strato è da considerarsi di tipo attritivo. (**b₂**)

SAGGIO DI SCAVO 220718_PZ4

- Da **0,00 m a 0,70 m**: Limo argilloso bruno, molto plastico, umido ed omogeneo se si esclude l'esigua spessore superficiale (0,20m) debolmente pedogenizzato;
- Da **0,70 m a 1,30 m (e oltre?)**: Ghiaia grossolana, marrone, da litotipi di origine vulcanica, subangolare, molto addensata se non cementata (breccia), asciutta

PROVA PENETROMETRICA 220711_DPSH04

- Da **0,00 m a 1,20 m**: I valori di resistenza meccanica alla punta si presentano disomogenei e sono da riferire alle brecce superficiali. N_{20} medio = 27
- Da **1,20 m a 7,40 m**: I valori di resistenza meccanica alla punta si presentano circa omogenei e sono da riferire ai limi sabbiosi argillosi profondi. N_{20} medio = 6

- **Da 7,40 m a 8,00 m (e oltre?):** I valori di resistenza meccanica alla punta si presentano circa omogenei e sono da riferire alle ghiaie sabbiose profonde. N_{20} medio = 13

Foto 8, 9 Saggio di scavo 220718_Pz4. In evidenza i limiti di strato. Prova penetrometrica 220711_DPSH04



Figura 15 Saggio di scavo 220718_Pz4. LOG stratigrafico

NUOVO PARCO FOTOVOLTAICO AGRICOLO					Comune di Bonorva (SS) Loc. M.te Frisciu
Sondaggio: 220718_Pz4			Data: 18/07/2022		
Età	Prof. (m)	Stratigrafia	Camp.	Falda	Descrizione del terreno
Attuale - Olocene	0,20				Limo argilloso bruno, molto plastico, umido ed omogeneo se si esclude l'esiguo spessore superficiale (0,20m) debolmente pedogenizzato
	0,70				Ghiaia grossolana, marrone, da litotipi di origine vulcanica, subangolare, molto addensata se non cementata (breccia), asciutta
	1,00				
	1,30				
	2,00				
	2,60				
	3,00				

2.2.3 ZONA N°3

Figura 16 **Zona 3** - Ubicazione delle prove e indagini eseguiti su foto satellitare (Google Earth Pro®)



La caratterizzazione dell'area è stata resa possibile con la realizzazione di un saggio di scavo, 220718_Pz5 (da 0,00 m a 1,50 m) e con l'esecuzione di una prova penetrometrica dinamica, 220713_DPSH03 (da 0,00 m a 2,20 m). Il volume geotecnico significativo è caratterizzato da terreni con facies granulometricamente fini, compatte in superficie (probabilmente per le attività di tipo agricolo subite), e più molli in profondità (**b₂**); la presenza occasionale e imprevedibile di grossi blocchi detritici, e/o esigui livelli di brecce ben addensate, hanno limitato lo sviluppo verticale delle indagini eseguite.

SAGGIO DI SCAVO 220718_PZ5

- Da **0,00 m a 0,80 m**: Limo argilloso grigio scuro, molto plastico, umido ed omogeneo se si esclude l'esiguo spessore superficiale (0,20m) debolmente pedogenizzato;
- Da **0,80 m a 1,50 m (e oltre?)**: Limo argilloso bruno, omogeneo, molto compatto, molto plastico e umido.

PROVA PENETROMETRICA 220713_DPSH03

- Da **0,00 m a 2,00 m** I valori di resistenza dinamica alla punta si presentano circa omogenei, si escludono quelli relativi ai primi 0,40 m che probabilmente vanno riferiti ad una compattazione del terreno per via delle azioni meccaniche da attività agricola. N_{20} medio = 5
- Da **2,00 m e oltre?** I valori di resistenza alla punta aumentano in maniera molto netta verso il rifiuto all'avanzamento (1,60 m) da riferire al basamento lapideo locale

Foto 10 Saggi di scavo 220718_Pz5. In evidenza i limiti di strato

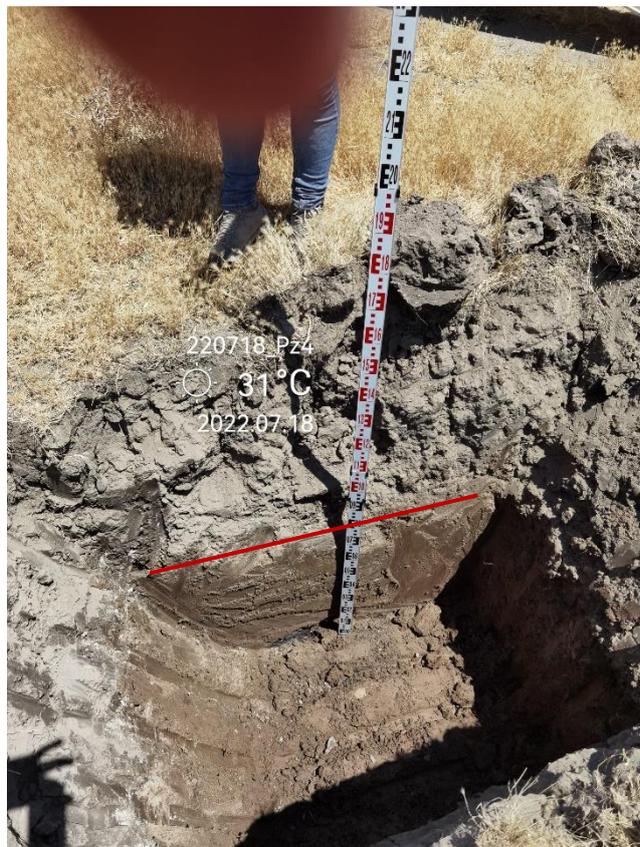


Figura 17 Saggio di scavo 220718_Pz5. LOG stratigrafico

NUOVO PARCO FOTOVOLTAICO AGRICOLO					Comune di Bonorva (SS) Loc. Sa Orta de Monte Ladu
Sondaggio: 220718_Pz5				Data: 18/07/2022	
Età	Prof. (m)	Stratigrafia	Camp.	Falda	Descrizione del terreno
Attuale - Olocene	0,20				Limo argilloso grigio scuro, molto plastico, umido ed omogeneo se si esclude l'esiguo spessore superficiale (0,20m) debolmente pedogenizzato
	0,80 1,00				Limo argilloso bruno, omogeneo, molto compatto, molto plastico e umido.
	1,50	?,??			
	2,00				
	2,60				
	3,00				

2.2.4 ZONA N°4

Figura 18 **Zona 4** - Ubicazione delle prove e indagini eseguiti su foto satellitare (Google Earth Pro®)



La caratterizzazione dell'area è stata resa possibile con l'esecuzione di due prove penetrometriche dinamiche, 220713_DPSH01 (da 0,00 m a 0,40 m) e 220713_DPSH02 (da 0,00 m a 0,60 m). L'area coincide con un alto morfologico locale (M.te Ladu – Planu de M.te Ladu) con il basamento lapideo pressoché affiorante (Calcareniti e Calcari bioclastici della Formazione di Mores - **RESa**), che ha determinato il rifiuto pressoché immediato delle prove DPSH eseguite.

PROVA PENETROMETRICA 220713_DPSH01

- Da **0,00 m a 0,40 m** I valori di resistenza dinamica alla punta si presentano poco omogenei, e in progressivo aumento con la profondità; i valori sono da riferire alla copertura detritica superficiale.
N₂₀ medio = 24
- Da **0,40 m e oltre?** I valori di resistenza alla punta aumentano in maniera molto netta verso il rifiuto all'avanzamento (0,40 m) da riferire al basamento lapideo locale

PROVA PENETROMETRICA 220713_DPSH02

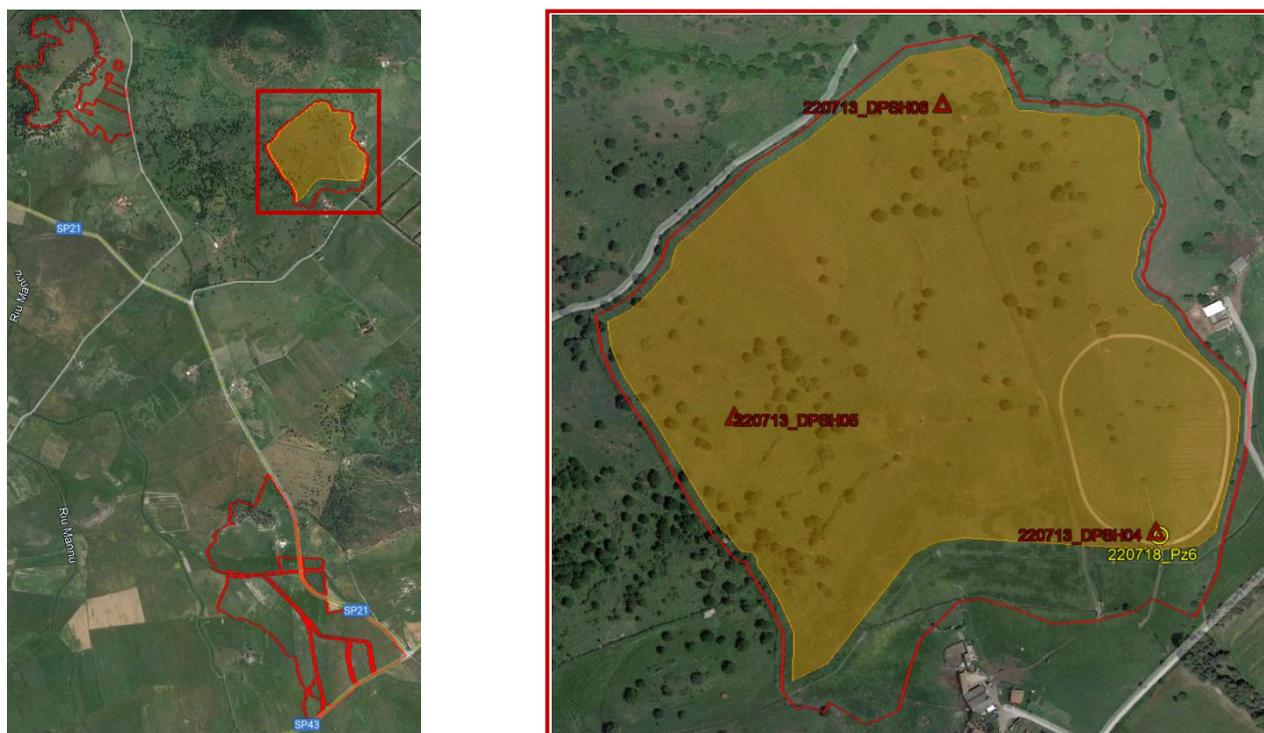
- Da **0,00 m a 0,60 m** I valori di resistenza dinamica alla punta si presentano poco omogenei, e in progressivo aumento con la profondità; i valori sono da riferire alla copertura detritica superficiale.
N₂₀ medio = 22
- Da **0,60 m e oltre?** I valori di resistenza alla punta aumentano in maniera molto netta verso il rifiuto all'avanzamento (0,60 m) da riferire al basamento lapideo locale

Foto 11, 12 Prove penetrometriche 220713_DPSH01 e 220713_DPSH02



2.2.5 ZONA N°5

Figura 19 Zona 5 - Ubicazione delle prove e indagini eseguiti su foto satellitare (Google Earth Pro®)



La caratterizzazione dell'area è stata resa possibile con l'esecuzione di tre prove penetrometriche dinamiche, 220713_DPSH04 (da 0,00 m a 1,60 m) - 220713_DPSH05 (da 0,00 m a 0,40 m) e 220713_DPSH06 (da 0,00 m a 0,40 m) e di un saggio di scavo 220718_Pz6 (da 0,00 m a 2,00 m). L'area costituisce il raccordo tra la vetta del prossimo M.te Cujaru e la piana circostante. Mentre nella parte meridionale del lotto, quella caratterizzata dalla prova 220713_DPSH04 e dal saggio di scavo 220718_Pz6, si rileva la presenza di una coltre colluviale (**b₂**) in facies terrosa con spessore plurimetrico, nelle restanti porzioni è ben visibile il basamento lapideo pressoché affiorante (Basalti della Subunità di Monte Rujù) o, al più, ricoperto da una coltre detritica che varia da ghiaie grossolane a massi isolati con diametro pluridecimetrico.

SAGGIO DI SCAVO 220718_PZ6

- Da **0,00 m a 0,40 m**: Limo argilloso bruno, molto plastico, umido ed omogeneo se si esclude l'esiguo spessore superficiale (0,20m) debolmente pedogenizzato;
- Da **0,40 m a 1,30 m**: Limo sabbioso grigio scuro se non nero, molto addensato e poco plastico, umido e poco omogeneo per la presenza sia di fratturazione prismatica (poligoni di terra) che di elementi centimetrici nodulari con tessitura sabbiosa di mineralizzazioni nerastre. Nelle fratture si rileva la presenza di apparati radicali.
- Da **1,30 m a 2,00 m (e oltre?)**: Limi sabbiosi argillosi marroni poco compatti e poco plastici umidi.

PROVA PENETROMETRICA 220713_DPSH04

- Da **0,00 m a 1,40 m** I valori di resistenza dinamica alla punta si presentano molto omogenei, e sono da riferire alla copertura eluviale superficiale. N_{20} medio = 24
- Da **1,40 m e oltre?** I valori di resistenza alla punta aumentano in maniera molto netta verso il rifiuto all'avanzamento (1,60 m) da riferire al basamento lapideo locale

PROVA PENETROMETRICA 220713_DPSH05

- Da **0,00 m a 0,40 m** I valori di resistenza dinamica alla punta si presentano poco omogenei, e in progressivo aumento con la profondità; i valori sono da riferire alla copertura detritica superficiale. N_{20} medio = 25
- Da **0,40 m e oltre?** I valori di resistenza alla punta aumentano in maniera molto netta verso il rifiuto all'avanzamento (0,40 m) da riferire al basamento lapideo locale

PROVA PENETROMETRICA 220713_DPSH06

- Da **0,00 m a 0,40 m** I valori di resistenza dinamica alla punta si presentano poco omogenei, e in progressivo aumento con la profondità; i valori sono da riferire alla copertura detritica superficiale. N_{20} medio = 28
- Da **0,40 m e oltre?** I valori di resistenza alla punta aumentano in maniera molto netta verso il rifiuto all'avanzamento (0,40 m) da riferire al basamento lapideo locale

Foto 13, 14, 15, 16, Saggio di scavo 220718_Pz6; in evidenza i limiti di strato. Prove penetrometriche 220713_DPSH04 - 220713_DPSH05 - 220713_DPSH06

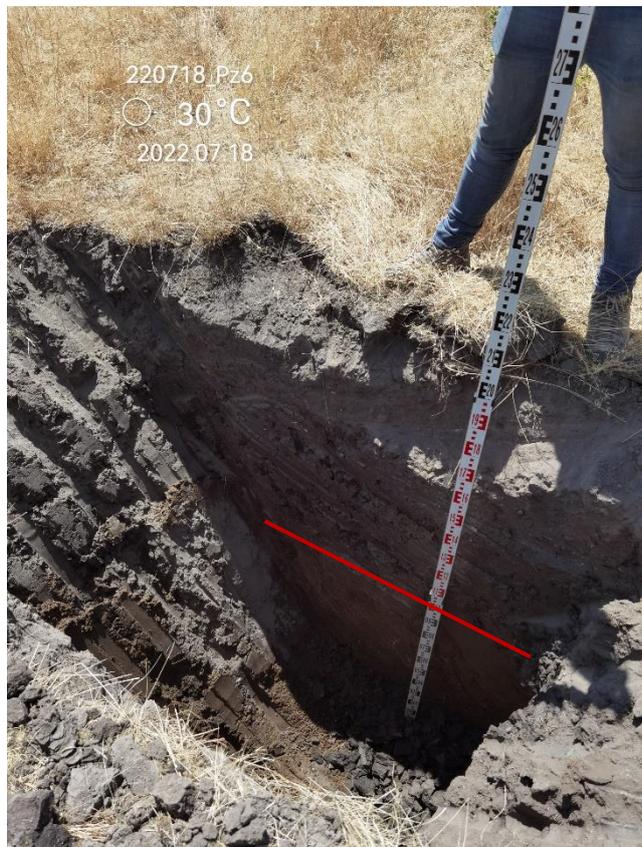


Figura 20 Saggio di scavo 220718_Pz6. LOG stratigrafico

NUOVO PARCO FOTOVOLTAICO AGRICOLO					Comune di Bonorva (SS) Loc. Puttu Ruju - M.te Cujaru
Sondaggio: 220718_Pz6			Data: 18/07/2022		
Età	Prof. (m)	Stratigrafia	Camp.	Falda	Descrizione del terreno
	0,20				Limo argilloso bruno, molto plastico, umido ed omogeneo se si esclude l'esiguo spessore superficiale (0,20m) debolmente pedogenizzato
	0,40				Limo sabbioso grigio scuro se non nero, molto addensato e poco plastico, umido e poco omogeneo per la presenza sia di fratturazione prismatica (poligoni di terra) che di elementi centimetrici nodulari con tessitura sabbiosa di mineralizzazioni nerastre. Nelle fratture si rileva la presenza di apparati radicali
Attuale - Olocene	1,00				
	1,30				
	2,00	???			Limi sabbiosi argillosi marroni poco compatti e poco plastici umidi
	2,60				
	3,00				

2.3 Contesto geomorfologico e idrografico

La morfologia e l'evoluzione delle forme del territorio, in riferimento all'area vasta in studio, sono ovviamente influenzate dal complesso assetto geologico-strutturale descritto nel par. 2.1. Al fine di semplificare la descrizione si riferisce l'analisi alla zonizzazione dell'intera area precedentemente descritta.

2.3.1 ZONA 1

L'area (*Loc. Su Rispisu – Loc. Sa Tanca Noa*) è caratterizzata dalla presenza dei terreni di origine eluvio/colluviale (limi e subordinatamente argille, ma anche sabbie e ghiaie) e da un assetto planoaltimetrico pressoché pianeggiante. Il reticolo idrografico, di tipo dendritico con densità media, è caratterizzato da aste di 3° e 4° ordine (Riu Pedra Peana, Riu Tanca Noa, Riu Nuschesos) con regime tipicamente torrentizio. Si rileva, inoltre, la presenza di un reticolo idrografico secondario, costituito da canali di origine antropica, realizzati al fine di velocizzare il drenaggio dell'area, caratterizzata dalla presenza di suoli con tessiture fortemente igroscopiche. Non si evidenziano fenomenologie erosivo/deposizionali riferibili ai processi idrici superficiali.

L'assetto geologico strutturale locale conferisce all'area condizioni di assoluta stabilità.

Foto 17 vista verso WSW da SP21. Piana eluvio colluviale Loc. Su Rispisu – Loc. Sa Tanca Noa. Fonte <https://www.google.it/maps>



2.3.2 ZONA 2

L'area coincide con la fascia di raccordo pedemontano del M.te Frusciu (398,55 m) (vulcaniti da flusso piroclastico e ignimbriti) alla circostante piana eluvio – colluviale (limi e subordinatamente argille, ma anche sabbie e ghiaie); l'assetto planoaltimetrico risulta moderatamente inclinato ma con pendenze inferiori ai 15°. Non si evidenzia la presenza di un reticolo idrografico ben definito: l'acqua di corrivazione scorre laminarmente sul terreno, per essere poi raccolta dalla vicina (ma esterna alla zona in studio) asta fluviale del Riu Casteddu. Non si evidenziano fenomenologie erosivo/deposizionali riferibili ai processi idrici superficiali.

L'assetto geologico strutturale locale conferisce all'area condizioni di assoluta stabilità.

Foto 18 vista verso W da SP21. M.te Fiusciu con la circostante fascia di raccordo pedemontano. Fonte <https://www.google.it/maps>



2.3.3 ZONA 3

L'area coincide con la fascia di raccordo pedemontano del M.te Ladu (422,14 m) e del Pianu de Monte Ladu (404,72 – 406,46) (vulcaniti alla base e calcari e calcareniti in vetta) alla circostante piana detritico-alluvionale (*Morette*) (limi e subordinatamente argille, ma anche sabbie e ghiaie) compresa tra il M.te Ladu stesso e il prossimo M.te Cujaru; l'assetto planoaltimetrico risulta moderatamente inclinato ma con pendenze inferiori ai 15°. Non si evidenzia la presenza di un reticolo idrografico ben definito: l'acqua di corrivazione scorre laminarmente sul terreno, o raccolta da una rete di drenaggio di origine antropica (scoline e canali). Non si evidenziano fenomenologie erosivo/deposizionali riferibili ai processi idrici superficiali.

L'assetto geologico strutturale locale conferisce all'area condizioni di assoluta stabilità.

Foto 19 vista verso NW da SP83. M.te Ladu con la circostante fascia di raccordo pedemontano. Fonte <https://www.google.it/maps>



2.3.4 ZONA 4

L'area coincide con il pianoro dell'altipiano del Pianu de Monte Ladu (404,72 – 406,46), costituito da un potente banco (2 – 3 m) di origine sedimentaria con pareti laterali circa verticali, sostenuto da un più antico basamento di origine vulcanica con pendenza relativamente più moderata; l'area risulta piuttosto vasta (11,50 ha) ed è caratterizzata da un assetto planoaltimetrico circa pianeggiante. Non si evidenzia la presenza di un reticolo idrografico ben definito: l'acqua di corrivazione scorre laminarmente sul terreno, per scivolare sulle pareti dell'altipiano ed essere raccolta dalle reti di drenaggio incluse nelle valli circostanti. Non si evidenziano fenomenologie erosivo/deposizionali riferibili ai processi idrici superficiali.

L'assetto geologico strutturale locale conferisce all'area condizioni di assoluta stabilità per quanto riguarda le porzioni centrali della superficie in studio, ma non per le fasce perimetrali, in cui i continui processi erosivi innescano fenomenologie di distacco e crollo del bancone carbonatico miocenico.

2.3.5 ZONA 5

L'area coincide con la fascia di raccordo pedemontano (*Puttu Ruju*: limi e subordinatamente argille, ma anche sabbie, ghiaie e talvolta grossi blocchi con diametro metrico) del M.te Cujaru (486,34 m) (cfr par. 2.1.5) alla circostante piana detritico-alluvionale; l'assetto planoaltimetrico risulta moderatamente inclinato ma con pendenze inferiori ai 15°. Non si evidenzia la presenza di un reticolo idrografico ben definito: l'acqua di corrivazione scorre laminarmente sul terreno verso SSE, o intercettata da una eterogenea rete di drenaggio di origine antropica (scoline e canali), per essere poi raccolta da un'asta fluviale con regime torrentizio che confluisce, verso E, alla sinistra idraulica del Riu Badu Pedrosu. Non si evidenziano fenomenologie erosivo/deposizionali riferibili ai processi idrici superficiali.

L'assetto geologico strutturale locale conferisce all'area condizioni di assoluta stabilità.

Foto 20 vista verso NW da strada comunale interpoderale. M.te Cujaru con la circostante fascia di raccordo pedemontano.
Fonte <https://www.google.it/maps>



2.4 Contesto idrogeologico

Le indagini effettuate non hanno individuato, per le profondità raggiunte, la presenza di falde imbrifere, fatta eccezione per la Zona 1 (saggi 220718_PZ1 e 220718_PZ2 e prove penetrometriche 220711_DPSH01 e 220711_DPSH02), dove la misura piezometrica eseguita con una sonda freaticometrica all'interno dei fori di prova (per quanto riguarda le DPSH: immediatamente dopo avere sfilato le aste di prolunga), hanno evidenziato la presenza di una falda imbrifera con quota piezometrica posta a circa -2,50 m da p.c. Si ritiene, inoltre, più che probabile la presenza di circolazioni idriche profonde ($\approx 10,0 \div 30,0$ m) per permeabilità di tipo sia matriciale che fissurale nello sviluppo verticale delle unità terrose e lapidee .

Si riporta nuovamente la tabella delle letture piezometriche effettuate:

ID	DATA	ORA	PROFONDITÀ FORO (m da p.c.)	SOGGIACENZA (m da p.c.)
220718_Pz1	18/07/2022	09:40	2,80	2,50
220718_Pz2	18/07/2022	10:30	2,80	2,80
220718_Pz3	18/07/2022	11:20	2,60	assente
220718_Pz4	18/07/2022	12:00	1,30	assente
220718_Pz5	18/07/2022	13:40	1,50	assente
220718_Pz6	18/07/2022	14:30	2,00	assente
220711_DPSH01	11/07/2022	11:00	8,00	2,52
220711_DPSH02	11/07/2022	12:20	8,00	2,79
220711_DPSH03	11/07/2022	13:20	8,00	assente
220711_DPSH04	11/07/2022	17:00	8,00	assente
220713_DPSH01	13/07/2022	10:30	0,40	assente
220713_DPSH02	13/07/2022	11:10	0,60	assente
220713_DPSH03	13/07/2022	12:00	2,20	assente
220713_DPSH04	13/07/2022	13:15	1,60	assente
220713_DPSH05	13/07/2022	13:50	0,40	assente
220713_DPSH06	19/09/2022	14:15	0,40	assente

2.5 Analisi vincolistica dell'area di intervento

2.5.1 ZONA 1 – ZONA 2

A seguito di accertamenti e verifiche sul P.A.I. (Piano di assetto idrogeologico. Individuazione e perimetrazione delle aree a Rischio idraulico e geomorfologico e delle Relative misure di salvaguardia. Legge 267 del 3-08-1998 e successivi aggiornamenti (dic_2022)) e sul P.F.A.R. (Piano Forestale Ambientale Regionale) si afferma che l'area vasta delimitata dal limite di proprietà, ed in particolare tutti i lotti di intervento che prevedono la realizzazione di soprastrutture, risultano inclusi in una fascia con pericolosità geomorfologica H_g0 secondo PAI 2018 Rev. dic_2022 PERICOLO FRANA, così come evidenziato nelle fig. 21 e 22. La realizzazione dell'intero intervento dovrà, quindi, essere esclusivamente coerente agli strumenti urbanistici in vigore nell'area in studio ed ai piani di settore vigenti il cui compito volgerà a disciplinare l'uso del territorio e delle risorse naturali, e, in particolare, la realizzazione dei nuovi impianti in progetto.

Figura 21 Inquadramento aree di perimetrazione rischi PAI (2020). Pericolo idraulico. Rev. Dic_22

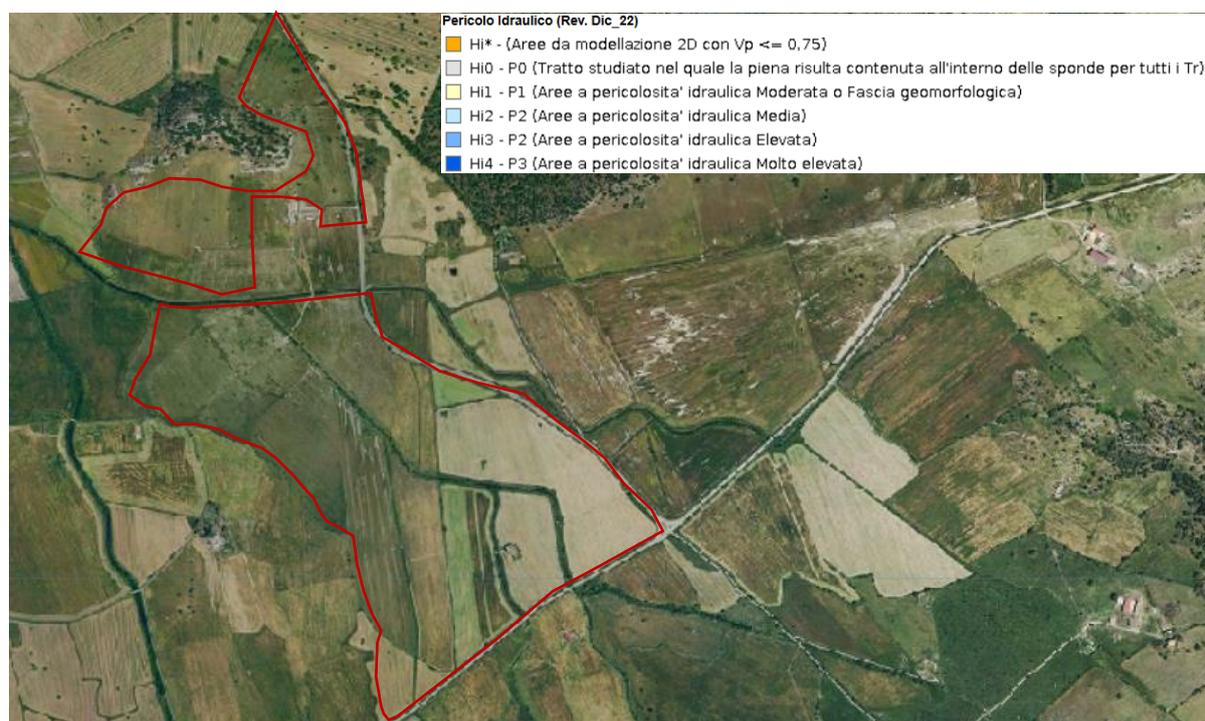
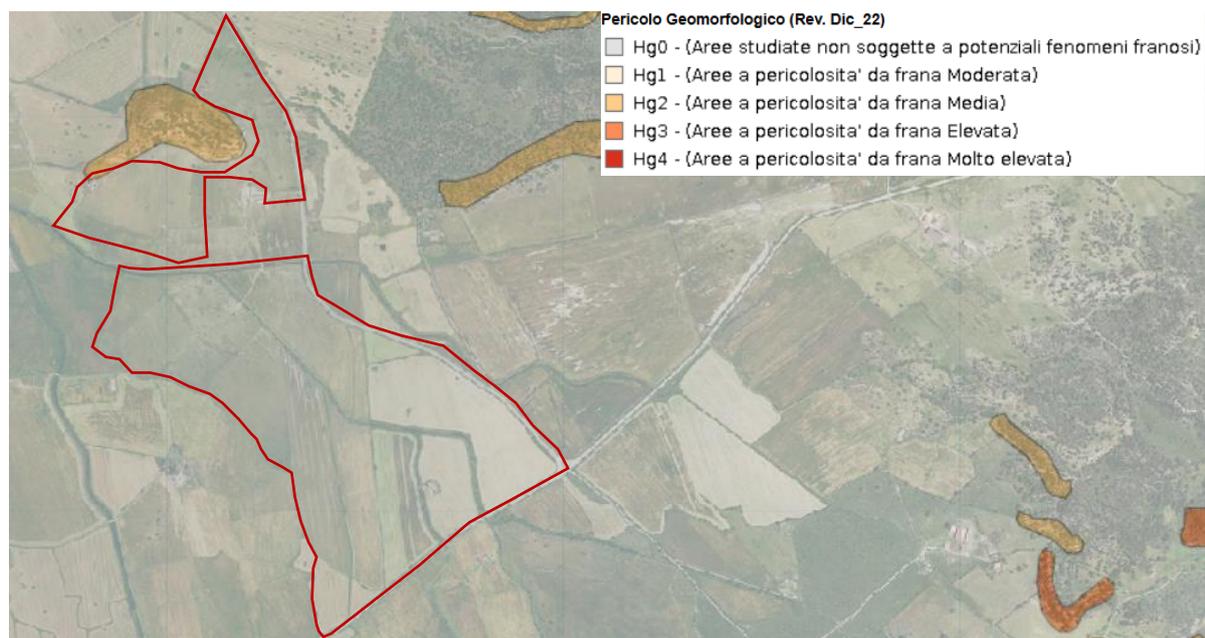


Figura 22 Inquadramento aree di perimetrazione rischi PAI (2020). Pericolo geomorfologico. Rev. Dic_22



2.5.2 ZONA 3 – ZONA 4 – ZONA 5

A seguito di accertamenti e verifiche sul P.A.I. (Piano di assetto idrogeologico. Individuazione e perimetrazione delle aree a Rischio idraulico e geomorfologico e delle Relative misure di salvaguardia. Legge 267 del 3-08-1998 e successivi aggiornamenti (dic_2022)) e sul P.F.A.R. (Piano Forestale Ambientale Regionale) si afferma che l'area vasta delimitata dal limite di proprietà, ed in particolare tutti i lotti di intervento che prevedono la realizzazione di soprastrutture, risultano inclusi in una fascia con pericolosità geomorfologica H_{g0} secondo PAI 2018 Rev. dic_2022 PERICOLO FRANA, così come evidenziato nelle figure sottostanti. La realizzazione dell'intero intervento dovrà, quindi, essere esclusivamente coerente agli strumenti urbanistici in vigore nell'area in studio ed ai piani di settore vigenti il cui compito volgerà a disciplinare l'uso del territorio e delle risorse naturali, e, in particolare, la realizzazione dei nuovi impianti in progetto.

Figura 23 Inquadramento aree di perimetrazione rischi PAI (2020). Pericolo idraulico. Rev. Dic_22
https://www.sardegnameoportale.it/webgis2/sardegnameoportale/?map=aree_tutelate

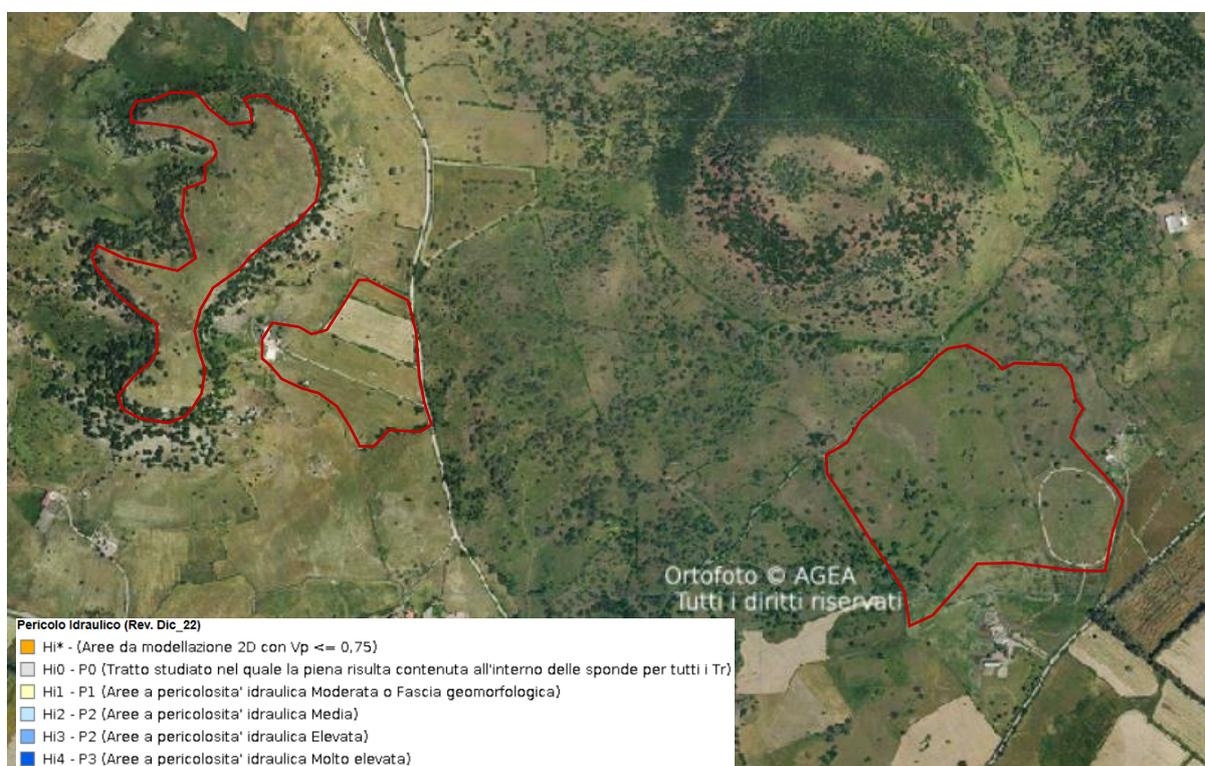
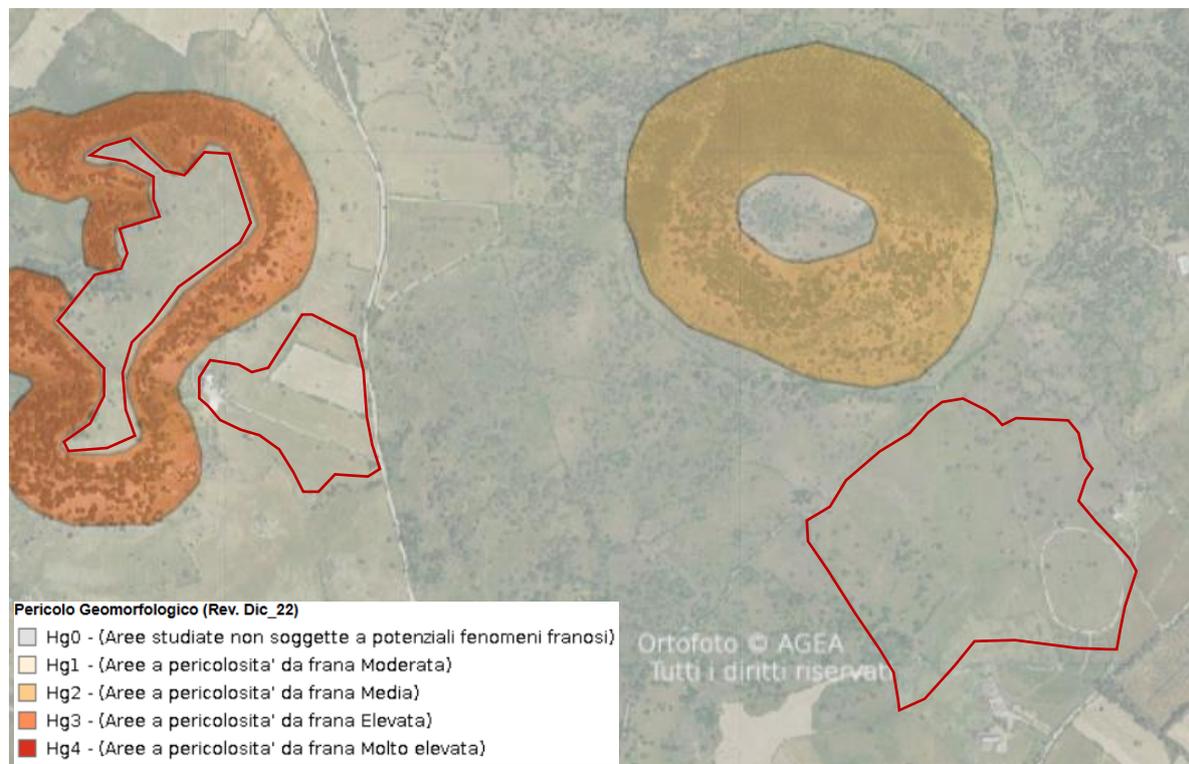


Figura 24 Figura 33 Inquadramento aree di perimetrazione rischi PAI (2020). Pericolo Geomorfologico. Rev. Dic_22
https://www.sardegnageoportale.it/webgis2/sardegnamappe/?map=aree_tutelate



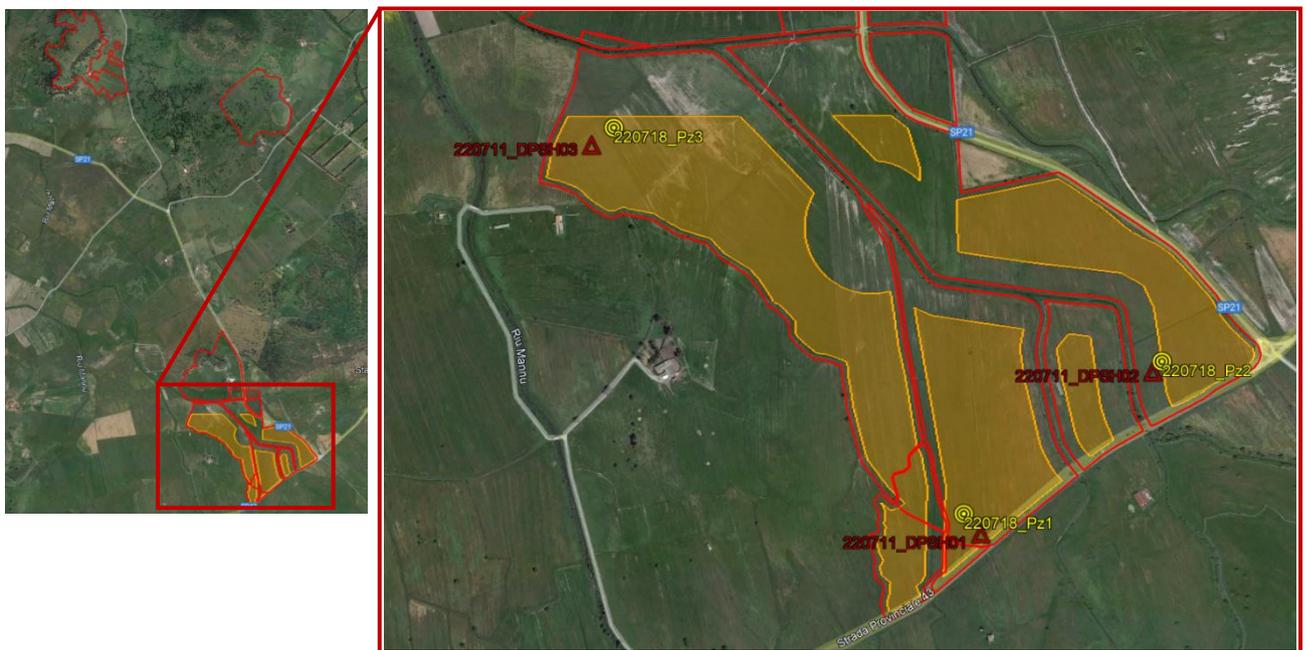
3 STUDIO GEOTECNICO

La schematizzazione geotecnica dell'area vasta in studio segue pedissequamente quella di sintesi stratigrafica, con l'identificazione di cinque zone omogenee caratterizzate dalla presenza di terreni di origine eluviale – colluviale o detritica, sovrapposti ad un basamento lapideo, quest'ultimo solitamente di origine vulcanica effusiva, ma anche sedimentaria. Talvolta il substrato lapideo risulta pressoché affiorante.

3.1 Caratteristiche geotecniche dei terreni

3.1.1 ZONA N°1

Figura 25 Ubicazione delle prove e indagini eseguiti su foto satellitare (Google Earth Pro®)



La caratterizzazione dell'area è stata resa possibile dalla realizzazione di tre saggi di scavo: 220718_Pz1 (da 0,00 m a 2,80 m), 220718_Pz2 (da 0,00 m a 2,80 m) e 220718_Pz3 (da 0,00 m a 2,60 m), oltre che con l'esecuzione di tre prove penetrometriche dinamiche: 220711_DPSH01 (da 0,00 m a 8,00 m), 220711_DPSH02 (da 0,00 m a 8,00 m) e 220711_DPSH03 (da 0,00 m a 8,00 m). Nell'area si rilevano tre strati così distinti dall'alto verso il basso:

- lo strato include l'esigua copertura da pedogenesi e terreni costituiti da limi argillosi molto plastici; il grado di addensamento dello strato è molto variabile nella distribuzione areale del lotto, probabilmente a seguito di diverse attività agricole subite; si presenta, invece, molto uniforme per tutta la zona, il comportamento meccanico di tipo puramente coesivo con caratteristiche plastiche molto spiccate, unitamente ad una elevatissima capacità di campo quasi interamente di carattere igroscopico. Queste caratteristiche rendono le lavorazioni su questi terreni estremamente difficoltose se non impossibili nelle stagioni piovose; condizioni di impossibilità che perdurerebbero ben oltre la stagione piovosa stessa, vista la bassa permeabilità dei terreni che quindi possono asciugarsi solo con lenti processi evapotraspirativi.
- SABBIE GHIAIOSE E GHIAIE SABBIOSE CON LIMI: trattasi di alternanze molto variabili verticalmente da un punto all'altro della Zona qui in studio. Anche le resistenze meccaniche variano sensibilmente seppure si individua un comportamento geotecnico generale di tipo attritivo

- **LIMI ARGILLOSI PROFONDI:** il comportamento meccanico dei terreni inclusi in questo strato è da considerarsi quasi esclusivamente coesivo con caratteristiche plastiche molto spiccate.
 Nel saggio di scavo 220718_Pz1 è stata inoltre rilevata la presenza della falda imbriferica locale con livello piezometrico impostato a 2,50 m da p.c. così come nelle prove penetrometriche 220711_DPSH01 (1,20 m da p.c.) 220711_DPSH02 (1,50 m da p.c.)

LIMI ARGILLOSI SUPERFICIALI

Da **0,00 m a 1,00 m**: il comportamento meccanico dello strato è quello proprio delle terre fini (coesivo);

PROFONDITÀ BASE DELLO STRATO	(z)	1,00	m	
SPESSORE DELLO STRATO		1,00	m	
N ₂₀		5		PS_20220711_169 PS_20220711_170 PS_20220711_171
RESISTENZA DINAMICA ALLA PUNTA		5,2	MPa	PS_20220711_169 PS_20220711_170 PS_20220711_171
N _{SPT}		6		f.c.=1,1
ANGOLO D'ATTRITO	(φ)	0	°	
COESIONE NON DRENATA	(C _u)	37	kPa	TerzaghiPeck
DENSITÀ RELATIVA	D _r	-	%	
PESO DI VOLUME NATURALE	(γ _{nat})	17,6	kN/m ³	Meyerhof
MODULO ELASTICO	(E)	5,3	MPa	Schultze
MODULO EDOMETRICO	(E _d)	4,9	MPa	Vesic

GHIAIE SABBIOSE LIMOSE INTERMEDIE

Da **1,00 m a 2,00**: il comportamento meccanico dello strato è quello proprio delle terre granulari (attritivo);

PROFONDITÀ BASE DELLO STRATO	(z)	2,00	m	
SPESSORE DELLO STRATO		1,00	m	
N ₂₀		10		PS_20220711_169 PS_20220711_170 PS_20220711_171
RESISTENZA DINAMICA ALLA PUNTA		10,4	MPa	PS_20220711_169 PS_20220711_170 PS_20220711_171
N _{SPT}		11		f.c.=1,1
ANGOLO D'ATTRITO	(φ)	34	°	Meyerhof
COESIONE NON DRENATA	(C _u)	0	kPa	TerzaghiPeck
DENSITÀ RELATIVA	D _r	61	%	Bazara
PESO DI VOLUME NATURALE	(γ _{nat})	17,3	kN/m ³	Meyerhof

MODULO ELASTICO	(E)	21,1	MPa	Schultze
MODULO EDOMETRICO	(E _d)	18,9	MPa	Begemann

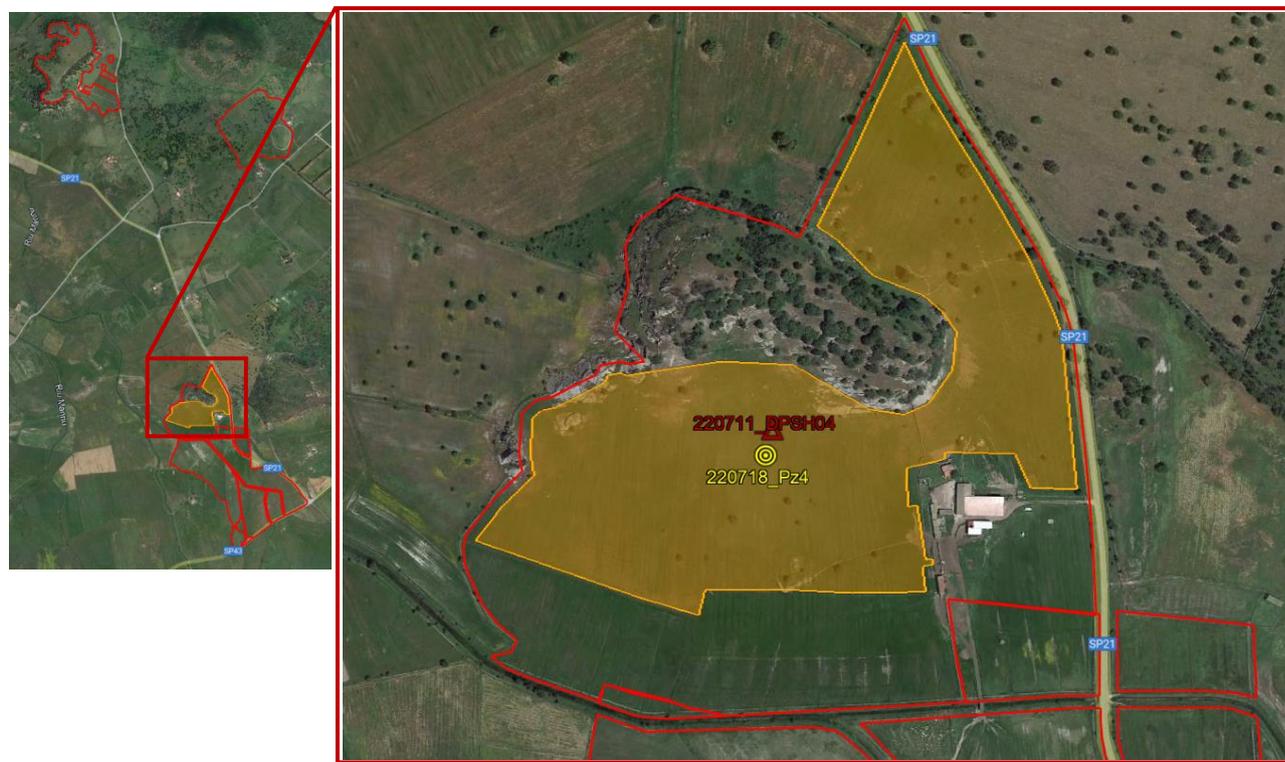
LIMI ARGILLOSI PROFONDI

Da **2,00 m** a **8,00 m**: il comportamento meccanico dello strato è quello proprio delle terre fini (coesivo); lo strato è ben individuabile nelle prove 220711_DPSH02 e 220711_DPSH03 mentre nella prova 220711_DPSH01 si rilevano, con intervalli irregolari, aumenti della R_{DP} (3,00 m – 3,20 m e 4,40 m – 5,80 m), ad evidenziare che il complesso eluviale mostra notevoli variazioni tessiturali sia verticalmente che orizzontalmente nella Zona in studio

PROFONDITÀ BASE DELLO STRATO	(z)	≥8,00	m	
SPESSORE DELLO STRATO		≥6,00	m	
N₂₀		6		PS_20220711_169 PS_20220711_170 PS_20220711_171
RESISTENZA DINAMICA ALLA PUNTA		5,2	MPa	PS_20220711_169 PS_20220711_170 PS_20220711_171
N_{SPT}		7		f.c.=1,1
ANGOLO D'ATTRITO	(φ)	0	°	
COESIONE NON DRENATA	(C _u)	43	kPa	TerzaghiPeck
DENSITÀ RELATIVA	D _r	-	%	
PESO DI VOLUME NATURALE	(γ _{nat})	18,6	kN/m ³	Bowles
MODULO ELASTICO	(E)	10,7	MPa	Schultze
MODULO EDOMETRICO	(E _d)	10,3	MPa	Vesic

3.1.2 ZONA N°2

Figura 26 Zona 2 - Ubicazione delle prove e indagini eseguiti su foto satellitare (Google Earth Pro®)



La caratterizzazione dell'area è stata resa possibile dalla realizzazione di un saggio di scavo: 220718_Pz4 (da 0,00 m a 1,30 m), oltre che con l'esecuzione di una prova penetrometrica dinamica: 220711_DPSH04 (da 0,00 m a 8,00 m). Nell'area si rilevano tre strati così distinti dall'alto verso il basso:

- **BRECCIE SUPERFICIALI DI LITOTIPI VULCANICI:** lo strato include l'esigua copertura da pedogenesi e terreni costituiti da breccie di origine detritica originata dallo smantellamento dei prossimi litotipi vulcanici, molto addensate e asciutte in scarsa matrice sabbiosa limosa. Lo strato ha determinato il rifiuto all'approfondimento del saggio di scavo 220718_Pz4
- **LIMI SABBIOSI ARGILLOSI PROFONDI:** il comportamento meccanico dei terreni inclusi in questo strato è da considerarsi quasi esclusivamente coesivo con caratteristiche plastiche molto spiccate
- **SABBIE GHIAIOSE PROFONDE:** il comportamento meccanico dei terreni inclusi in questo strato è da considerarsi di tipo attritivo

BRECCIE SUPERFICIALI

Da **0,00 m a 1,20 e oltre:** il comportamento meccanico dello strato è quello proprio delle terre granulari (attritivo);

PROFONDITÀ BASE DELLO STRATO	(z)	1,20	m	
SPESSORE DELLO STRATO		1,20	m	
N₂₀		27		PS_20220711_172
RESISTENZA DINAMICA ALLA PUNTA		36,3	MPa	PS_20220711_172
N_{SPT}		30		f.c.=1,1

ANGOLO D'ATTRITO	(ϕ)	43	°	Schmertmann
COESIONE NON DRENATA	(C_u)	0	kPa	
DENSITÀ RELATIVA	D_r	100	%	Meyerhof
PESO DI VOLUME NATURALE	(γ_{nat})	21,6	kN/m ³	Meyerhof
MODULO ELASTICO	(E)	53,0	MPa	Schultze
MODULO EDOMETRICO	(E_d)	43,9	MPa	Begemann

LIMI ARGILLOSI PROFONDI

Da **1,20 m a 7,40 m**: il comportamento meccanico dello strato è quello proprio delle terre fini (coesivo)

PROFONDITÀ BASE DELLO STRATO	(z)	≥8,00	m	
SPESSORE DELLO STRATO		≥6,00	m	
N_{20}		5		PS_20220711_172
RESISTENZA DINAMICA ALLA PUNTA		5,2	MPa	PS_20220711_172
N_{SPT}		6		f.c.=1,1
ANGOLO D'ATTRITO	(ϕ)	0	°	
COESIONE NON DRENATA	(C_u)	37	kPa	TerzaghiPeck
DENSITÀ RELATIVA	D_r	-	%	
PESO DI VOLUME NATURALE	(γ_{nat})	17,6	kN/m ³	Meyerhof
MODULO ELASTICO	(E)	5,3	MPa	Schultze
MODULO EDOMETRICO	(E_d)	11,5	MPa	Vesic

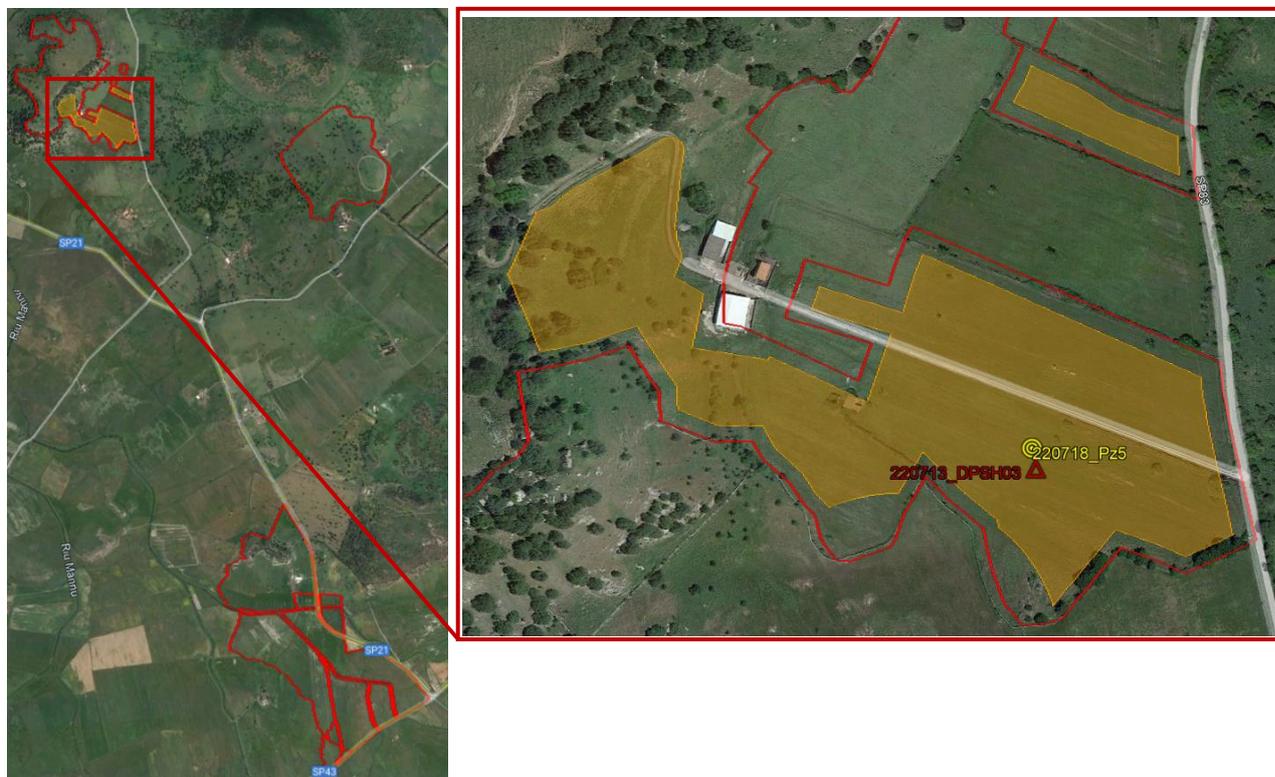
GHIAIE SABBIOSE LIMOSE PROFONDE

Da **7,40 m a 8,00 e oltre**: il comportamento meccanico dello strato è quello proprio delle terre granulari (attritivo);

PROFONDITÀ BASE DELLO STRATO	(z)	-	m	
SPESSORE DELLO STRATO		-	m	
N_{20}		13		PS_20220711_172
RESISTENZA DINAMICA ALLA PUNTA		13,5	MPa	PS_20220711_172
N_{SPT}		14		f.c.=1,1
ANGOLO D'ATTRITO	(ϕ)	39	°	Schmertmann
COESIONE NON DRENATA	(C_u)	0	kPa	
DENSITÀ RELATIVA	D_r	75	%	Meyerhof
PESO DI VOLUME NATURALE	(γ_{nat})	18,1	kN/m ³	Meyerhof
MODULO ELASTICO	(E)	13,6	MPa	Schultze
MODULO EDOMETRICO	(E_d)	21,6	MPa	Begemann

3.1.3 ZONA N°3

Figura 27 Zona 3 - Ubicazione delle prove e indagini eseguiti su foto satellitare (Google Earth Pro®)



La caratterizzazione dell'area è stata resa possibile con la realizzazione di un saggio di scavo, 220718_Pz5 (da 0,00 m a 1,50 m) e con l'esecuzione di una prova penetrometrica dinamica, 220713_DPSH03 (da 0,00 m a 2,20 m). Il volume geotecnico significativo è caratterizzato da terreni con facies granulometricamente fini, compatte in superficie (probabilmente per le attività di tipo agricolo subite), e più molli in profondità; la presenza occasionale e imprevedibile di grossi blocchi detritici, e/o esigui livelli di brecce ben addensate, hanno limitato lo sviluppo verticale delle indagini eseguite. Il modello geotecnico proposto viene qui approssimato con la presenza di uno strato omogeneo con profondità pari a quella raggiunta dalla prova DPSH eseguita e caratterizzato da un comportamento meccanico di tipo coesivo; alla base dello strato si suppone la presenza del basamento lapideo locale, costituito da vulcaniti di origine effusiva (piroclastiti)

LIMI ARGILLOSI SUPERFICIALI

Da **0,00 m a 2,00 m**: il comportamento meccanico dello strato è quello proprio delle terre fini (coesivo)

PROFONDITÀ BASE DELLO STRATO	(z)	≥8,00	m	
SPESSORE DELLO STRATO		≥6,00	m	
N ₂₀		5		PS_20220713_175
RESISTENZA DINAMICA ALLA PUNTA		5,2	MPa	PS_20220713_175
N _{SPT}		6		f.c.=1,1
ANGOLO D'ATTRITO	(φ)	0	°	
COESIONE NON DRENATA	(C _u)	37	kPa	TerzaghiPeck
DENSITÀ RELATIVA	D _r	-	%	
PESO DI VOLUME NATURALE	(γ _{nat})	17,6	kN/m ³	Meyerhof

MODULO ELASTICO	(E)	5,3	MPa	Schultze
MODULO EDOMETRICO	(E _d)	11,5	MPa	Vesic

VULCANITI LAPIDEE

Da **2,20 m e oltre**: vulcaniti lapidee molto consistenti. Il comportamento meccanico è quello proprio di un ammasso roccioso, che ha comportato il rifiuto all'avanzamento della prova penetrometrica DPSH eseguita.

La caratterizzazione dell'ammasso roccioso è stata effettuata sulla base delle conoscenze dello scrivente circa le caratteristiche strutturali locali dello stesso e adottando il metodo di Beniawsky (1989), noto anche come RMR System.

PROFONDITÀ BASE DELLO STRATO	(z)	-	m	
SPESSORE DELLO STRATO		-	m	
N₂₀		>50		PS_20220713_175
RESISTENZA DINAMICA ALLA PUNTA		-	Mpa	PS_20220713_175
N_{SPT}		>50		f.c.=1,1
ANGOLO D'ATTRITO	(φ)	25÷35	°	RMR System - Beniawsky (1989)
COESIONE NON DRENATA	(C _u)	200÷300	kPa	RMR System - Beniawsky (1989)
DENSITÀ RELATIVA	D _r	-	%	
PESO DI VOLUME NATURALE	(γ _{nat})	20÷22	kN/m ³	RMR System - Beniawsky (1989)
MODULO ELASTICO	(E)	52	MPa	RMR System - Beniawsky (1989)

3.1.4 ZONA N°4

Figura 28 **Zona 4** - Ubicazione delle prove e indagini eseguiti su foto satellitare (Google Earth Pro®)



La caratterizzazione dell'area è stata resa possibile con l'esecuzione di due prove penetrometriche dinamiche, 220713_DPSH01 (da 0,00 m a 0,40 m) e 220713_DPSH02 (da 0,00 m a 0,60 m). L'area coincide con un alto morfologico locale (M.te Ladu – Planu de M.te Ladu) con il basamento lapideo pressoché affiorante (Calcareniti e Calcari bioclastici della Formazione di Mores), che ha determinato il rifiuto pressoché immediato delle prove DPSH eseguite.

CALCARENITI LAPIDEE

Da **0,00 m e oltre**: calcareniti lapidee molto consistenti. Il comportamento meccanico è quello proprio di un ammasso roccioso, che ha comportato il rifiuto all'avanzamento delle prove penetrometriche DPSH eseguite.

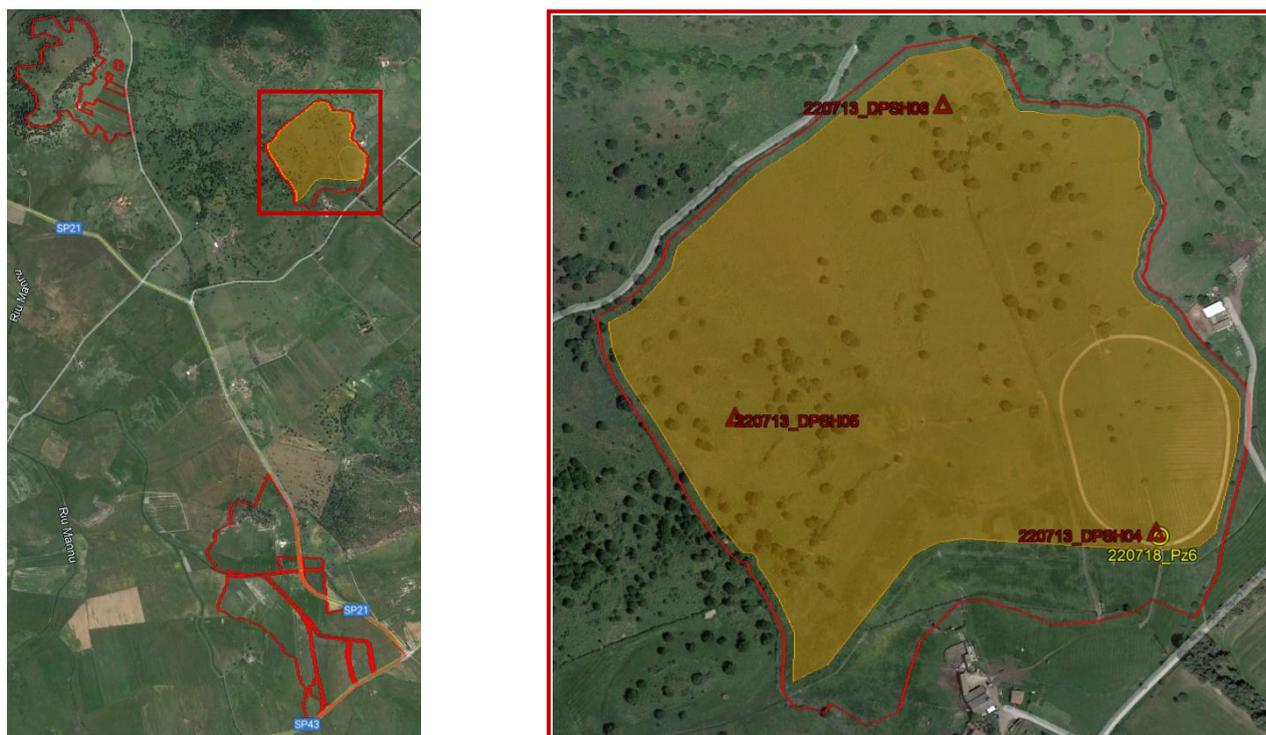
La caratterizzazione dell'ammasso roccioso è stata effettuata sulla base delle conoscenze dello scrivente circa le caratteristiche strutturali locali dello stesso e adottando il metodo di Beniawsky (1989), noto anche come RMR System.

PROFONDITÀ BASE DELLO STRATO	(z)	-	m	
SPESSORE DELLO STRATO		-	m	
N₂₀		>50		PS_20220713_173 PS_20220713_174
RESISTENZA DINAMICA ALLA PUNTA		-	Mpa	PS_20220713_173 PS_20220713_174
N_{SPT}		>50		f.c.=1,1
ANGOLO D'ATTRITO	(φ)	25÷35	°	RMR System - Beniawsky (1989)

COESIONE NON DRENATA	(C _u)	200÷300	kPa	RMR System - Ben- niawsky (1989)
DENSITÀ RELATIVA	D _r	-	%	
PESO DI VOLUME NATURALE	(γ _{nat})	20÷22	kN/m ³	RMR System - Ben- niawsky (1989)
MODULO ELASTICO	(E)	52	MPa	RMR System - Ben- niawsky (1989)

3.1.5 ZONA N°5

Figura 29 Zona 5 - Ubicazione delle prove e indagini eseguiti su foto satellitare (Google Earth Pro®)



La caratterizzazione dell'area è stata resa possibile con l'esecuzione di tre prove penetrometriche dinamiche, 220713_DPSH04 (da 0,00 m a 1,60 m) - 220713_DPSH05 (da 0,00 m a 0,40 m) e 220713_DPSH06 (da 0,00 m a 0,40 m) e di un saggio di scavo 220718_Pz6 (da 0,00 m a 2,00 m). L'area costituisce il raccordo tra la vetta del prossimo M.te Cujaru e la piana circostante. Mentre nella parte meridionale del lotto, quella caratterizzata dalla prova 220713_DPSH04 e dal saggio di scavo 220718_Pz6, si rileva la presenza di una coltre colluviale in facies terrosa con spessore plurimetrico, nelle restanti porzioni è ben visibile il basamento lapideo pressoché affiorante (Basalti della Subunità di Monte Ruju) o, al più, ricoperto da una coltre detritica che varia da ghiaie grossolane a massi isolati con diametro pluridecimetrico.

LIMI SABBIOSI ARGILLOSI MOLLI

Da **0,00 m a 1,60 m**: il comportamento meccanico dello strato è quello proprio delle terre grossolane (attritivo);

PROFONDITÀ BASE DELLO STRATO	(z)	1,60	m	
SPESSORE DELLO STRATO		1,60	m	
N ₂₀		3		PS_20220713_176 PS_20220713_177 PS_20220713_178

RESISTENZA DINAMICA ALLA PUNTA		3,1	MPa	PS_20220713_176 PS_20220713_177 PS_20220713_178
N _{SPT}		3		f.c.=1,1
ANGOLO D'ATTRITO	(φ)	0	°	
COESIONE NON DRENATA	(C _u)	20	kPa	Sanglerat
DENSITÀ RELATIVA	D _r	-	%	
PESO DI VOLUME NATURALE	(γ _{nat})	16,0	kN/m ³	Meyerhof
MODULO ELASTICO	(E)	1,4	MPa	Schultze
MODULO EDMETRICO	(E _d)	1,4	MPa	Stroud-Butler

VULCANITI LAPIDEE

Da **0,40 m min 2,00 m max e oltre**: vulcaniti lapidee molto consistenti. Il comportamento meccanico è quello proprio di un ammasso roccioso, che ha comportato il rifiuto all'avanzamento delle prove penetrometriche DPSH eseguite.

La caratterizzazione dell'ammasso roccioso è stata effettuata sulla base delle conoscenze dello scrivente circa le caratteristiche strutturali locali dello stesso e adottando il metodo di Beniawsky (1989), noto anche come RMR System.

PROFONDITÀ BASE DELLO STRATO	(z)	-	m	
SPESSORE DELLO STRATO		-	m	
N ₂₀		>50		PS_20220901_198
RESISTENZA DINAMICA ALLA PUNTA		-	Mpa	PS_20220901_198
N _{SPT}		>50		f.c.=1,1
ANGOLO D'ATTRITO	(φ)	25÷35	°	RMR System - Beniawsky (1989)
COESIONE NON DRENATA	(C _u)	200÷300	kPa	RMR System - Beniawsky (1989)
DENSITÀ RELATIVA	D _r	-	%	
PESO DI VOLUME NATURALE	(γ _{nat})	20÷22	kN/m ³	RMR System - Beniawsky (1989)
MODULO ELASTICO	(E)	52	MPa	RMR System - Beniawsky (1989)

4 STUDIO SISMICO

La pericolosità sismica è descritta dalla probabilità che, in un fissato lasso di tempo (*periodo di riferimento* VR espresso in anni), in detto sito si verifichi un evento sismico di entità almeno pari ad un valore prefissato; la probabilità è denominata “Probabilità di eccedenza o di superamento del periodo di riferimento” PVR.

La pericolosità sismica è definita in termini di:

- accelerazione orizzontale massima attesa **ag** in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido, con superficie topografica orizzontale;
- ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente **Se (T)**, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PVR nel periodo di riferimento VR.

Per determinare la risposta sismica locale è possibile seguire un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo e l'individuazione, mediante apposite tabelle fornite dalla normativa, del coefficiente di amplificazione stratigrafica SS, del coefficiente di amplificazione topografica ST nonché del coefficiente CC che modifica il periodo TC e di conseguenza gli altri periodi notevoli dello spettro (NTC 2018, §3.2.2-3).

4.1 Caratterizzazione sismica dei suoli

Per la caratterizzazione sismica dei suoli ci si è avvalsi di una prospezione geofisica con metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves): è una tecnica di indagine non invasiva, che individua il profilo di velocità delle onde di taglio verticali Vs, basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori (geofoni) posti sulla superficie del suolo lungo uno stendimento lineare.

Per la descrizione dettagliata delle tecniche metodologiche e di analisi si manda alla Report Sismico (firmato dal Dott. Geol. Mario COLLU) allegato alla presente relazione.

Considerando il piano di posa delle opere in progetto previsto posto a -0.00 m da p.c. le indagini effettuate hanno determinato

$$V_{seq}=V_{S30} = 522.89 \div 480,68 \text{ m/sec}$$

Il dato ascrive i suoli del volume significativo progettuale alla categoria B: Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

5 CONCLUSIONI

In riferimento al progetto per la realizzazione di un IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE (DC) 72,66 MWp POTENZA IN IMMISSIONE (AC) 60,2 MW, nell'agro del Comune di Bonorva nelle località *Su Rispisu, Sa Tanca Noa, Monte Frusciu, Monte Ladu e Monte Cujaru* è stato commissionato allo scrivente geologo dott. Alessandro Stancari², dalla DS ITALIA 6 S.R.L, lo studio necessario alla stesura della presente RELAZIONE GEOLOGICA le cui finalità, riferite all'area in oggetto, sono:

- Descrivere, in generale, le caratteristiche geologiche stratigrafiche, geomorfologiche e idrogeologiche dell'area vasta che include le aree in studio
- Conseguire la parametrizzazione geotecnica per i terreni interessati dai carichi di esercizio delle soprastrutture in progetto;
- Conseguire la caratterizzazione sismica del sito in conformità alla normativa vigente

Le osservazioni e i dimensionamenti si basano su:

- Una analisi geologica dell'area di interesse basata sul dato bibliografico edito disponibile e sulle risultanze del rilevamento di campagna appositamente effettuato.
- N° 6 (sei) saggi di scavo geognostici
- N° 10 (dieci) prove penetrometriche dinamiche superpesanti DPSH
- N° 2 (due) analisi sismiche mediante metodo MASW e rifrazione
- Dati provenienti da indagini eseguite dallo scrivente in aree adiacenti e geotecnicamente assimilabili.

Il substrato locale è costituito da terreni originati da due distinte dinamiche di tipo tettonico, datate Oligocene – Miocene Inferiore la prima e Pliocene – Plestocene la seconda. Entrambi gli eventi sono riassumibili con movimenti di tipo distensivo con formazioni di depressioni e messa in posto inizialmente di litotipi vulcanici e successivamente, ma anche contemporaneamente, litotipi di origine sedimentaria di ambiente sia marino (calcarei) che continentale (eluvi, colluvi e depositi detritici).

Il reticolo idrografico è caratterizzato da bacini di I e II ordine, con regime a forte carattere stagionale, con deflusso generale verso NW.

L'area vasta in studio, risulta inclusa in varie fasce classificate H_g0 secondo il PAI 2018 Rev. Dic-22 - PERICOLO FRANA: la realizzazione dell'intero intervento dovrà, quindi, essere esclusivamente coerente agli strumenti urbanistici in vigore nell'area in studio ed ai piani di settore vigenti il cui compito volgerà a disciplinare l'uso del territorio e delle risorse naturali, e, in particolare, la realizzazione dei nuovi impianti in progetto.

Le indagini effettuate non hanno individuato, per le profondità raggiunte, la presenza di falde imbrifere ad eccezione di una delle varie aree analizzate (Zona 1), dove, misure freatiche eseguite sia negli scavi dei saggi che nei foro della prova DPSH, hanno individuato una falda imbrifera con livello piezometrico a circa -2,50 da p.c. attuale; si ritiene più che probabile la presenza di circolazioni idriche profonde (≈ 10,0 ÷ 50,0 m) per permeabilità di tipo fessurale nell'ambito degli spessori dei litotipi lapidei di basamento.

La caratterizzazione geotecnica svolta ha evidenziato la presenza di terreni con comportamento meccanico sia attritivo che coesivo, entrambi contraddistinti da valori dei parametri geotecnici da medi a molto elevati. Solo per una delle varie aree analizzate (zona 1) non è stato individuato il basamento lapideo, mentre per le restanti questo è stato rilevato a differenti profondità nell'ambito dello sviluppo verticale di analisi (8 m max); in certi

² Albo dei geologi della Regione Sardegna n° 541

casi il basamento lapideo risulta anche sub affiorante. Si segnala un'ampia area (zona 1) dove si evidenziano, in superficie, terreni caratterizzati da una elevata plasticità unita ad una elevatissima capacità di campo quasi interamente di carattere igroscopico: queste caratteristiche rendono le lavorazioni su questi terreni estremamente difficoltose, se non impossibili, nelle stagioni piovose.

Per le caratteristiche tecniche dell'indagine geofisica e per i relativi risultati conseguiti si rimanda al Report Sismico allegato alla presente relazione.

Sanluri, settembre 2023

Dott. Geol. Alessandro Stancari



6 ALLEGATI

In allegato alla presente relazione:

Certificati prova penetrometrica DPSH:

- PS_20220711_169
- PS_20220711_170
- PS_20220711_171
- PS_20220711_172
- PS_20220713_173
- PS_20220713_174
- PS_20220713_175
- PS_20220713_176
- PS_20220713_177
- PS_20220713_178

Report Sismico: INDAGINE GEOFISICA

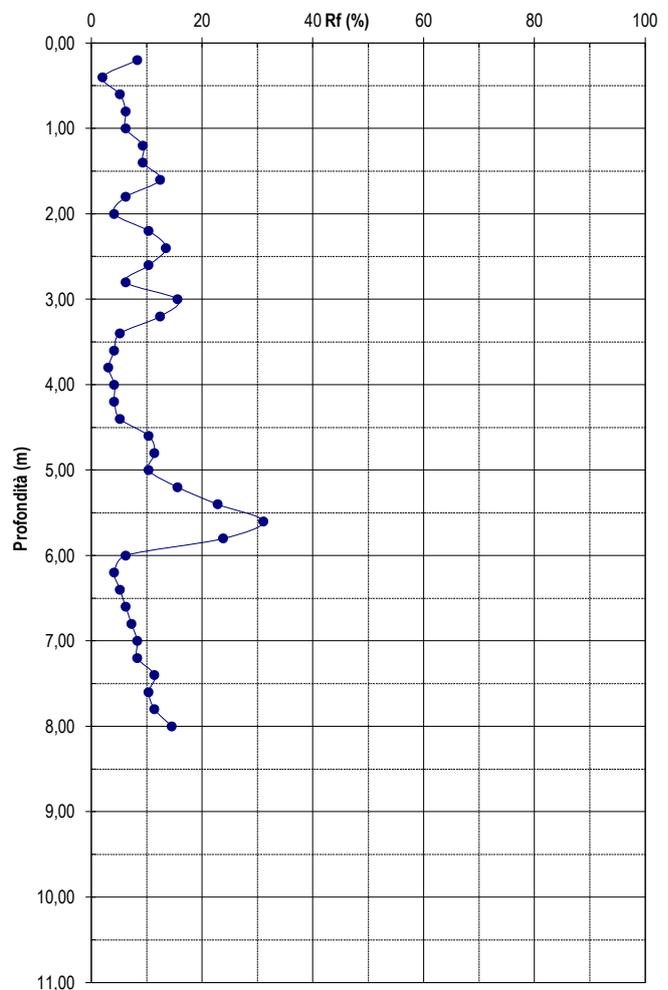
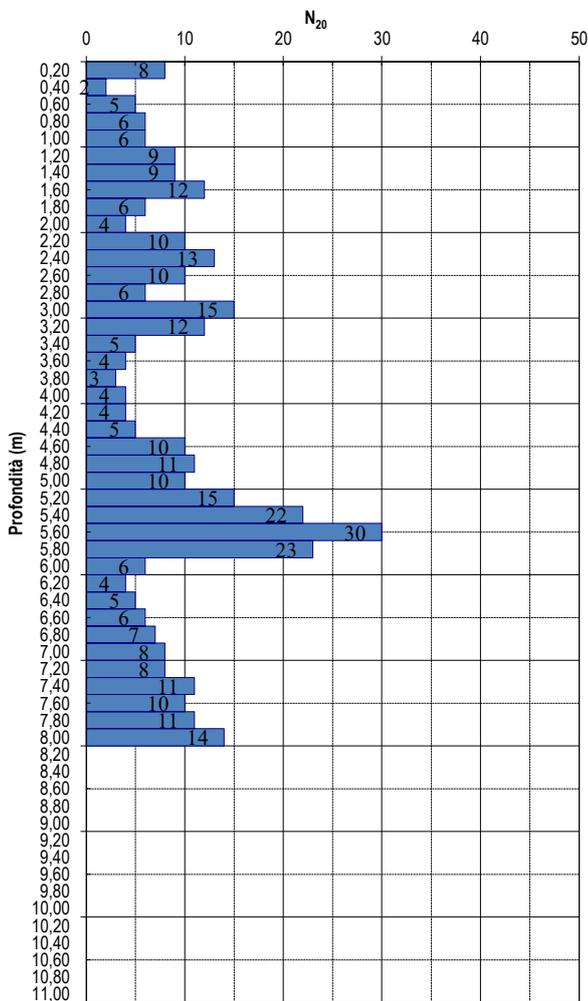


SEDE LEGALE E UFFICI Via Lorenzo il Magnifico n. 7
09134 Cagliari (Italy)
LABORATORIO Via Cagliari n. 33
Zona Industriale di Sanluri
TELEFONO / FAX +39 070 501363
E MAIL info@geotechna.eu
PEC geotechna.cagliari@pec.it

CERTIFICATO N.: PS_20220711_169
COMMITTENTE: Studio Maxxi Eng.
LOCALITA': Bonorva (NU)
CANTIERE: Parco fotovoltaico
NOME PROVA 220506_DPSH01
PREFORO 0 (m)
LIVELLO FALDA -2,52 (m)
TECNICO OPER. Dott. Alessandro STANCARI

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA CONTINUA [ISSMFE 1988-89]

DATA INIZIO PROVA: 11/0722
PENETROMETRO Pagani mod: Tg 63-200
DISPOSITIVO BATTITURA DPSH-B
CARATTERISTICHE DELLA PUNTA: Apertura: 90° - Superficie base: 20 cm²



IL TECNICO DI LABORATORIO
Dott. Geol. Alessandro Stancari

IL DIRETTORE TECNICO:
Dott.ssa Geol. Maria Francesca Lobina

Profondità (m)	N ₂₀	Rpd (kg/cm ²)	Rpd (MPa)
0,2	8	84,59	8,3
0,4	2	21,15	2,1
0,6	5	52,87	5,2
0,8	6	63,44	6,2
1	6	63,44	6,2
1,2	9	95,17	9,3
1,4	9	95,17	9,3
1,6	12	126,89	12,4
1,8	6	63,44	6,2
2	4	42,30	4,1
2,2	10	105,74	10,4
2,4	13	137,46	13,5
2,6	10	105,74	10,4
2,8	6	63,44	6,2
3	15	158,61	15,6
3,2	12	126,89	12,4
3,4	5	52,87	5,2
3,6	4	42,30	4,1
3,8	3	31,72	3,1
4	4	42,30	4,1
4,2	4	42,30	4,1
4,4	5	52,87	5,2
4,6	10	105,74	10,4
4,8	11	116,31	11,4
5	10	105,74	10,4
5,2	15	158,61	15,6
5,4	22	232,63	22,8
5,6	30	317,22	31,1
5,8	23	243,20	23,9
6	6	63,44	6,2
6,2	4	42,30	4,1
6,4	5	52,87	5,2
6,6	6	63,44	6,2
6,8	7	74,02	7,3
7	8	84,59	8,3
7,2	8	84,59	8,3
7,4	11	116,31	11,4
7,6	10	105,74	10,4
7,8	11	116,31	11,4
8	14	148,04	14,5

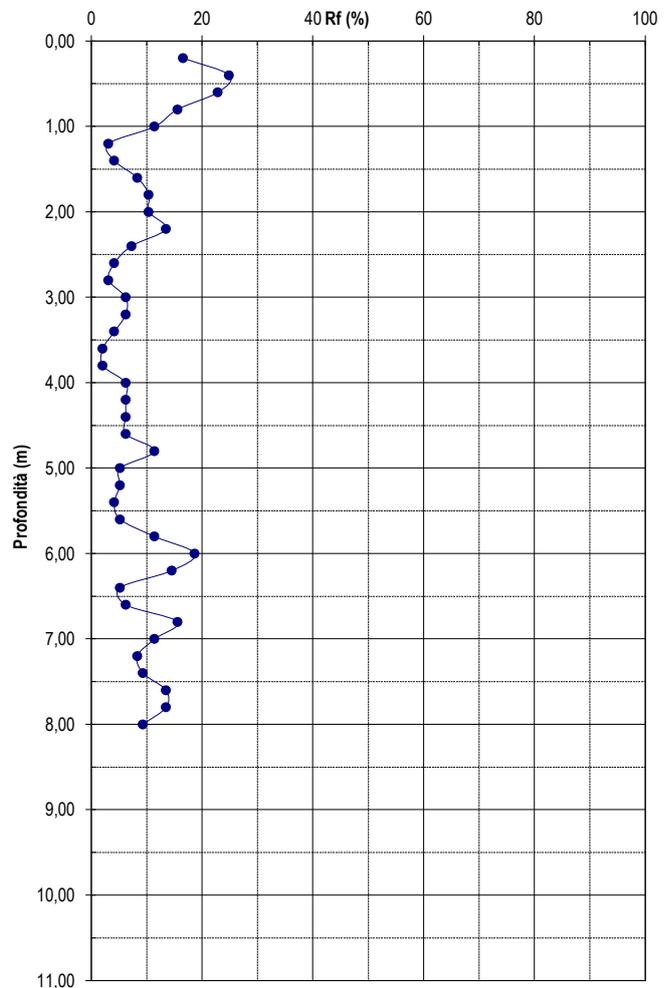
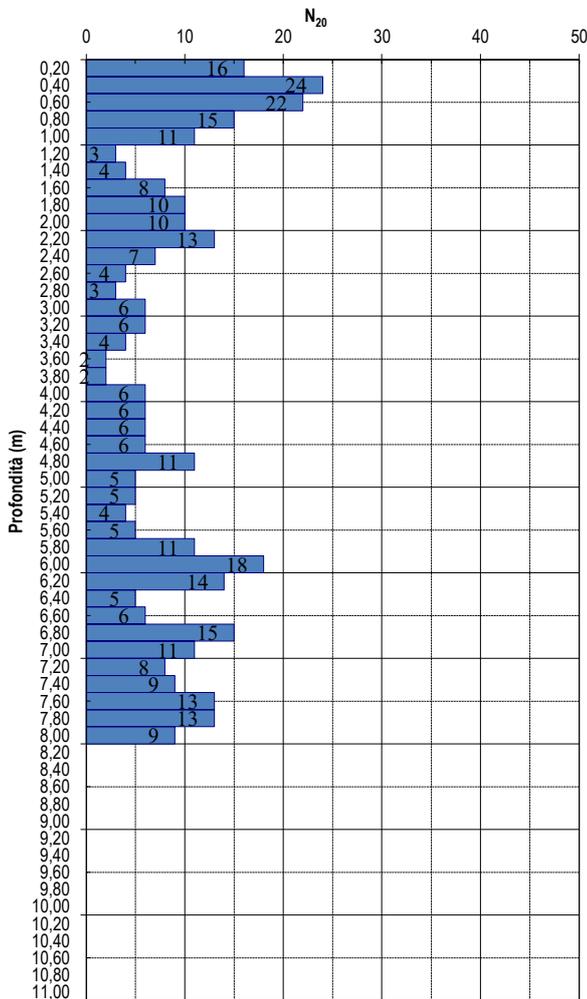


SEDE LEGALE E UFFICI Via Lorenzo il Magnifico n. 7
09134 Cagliari (Italy)
LABORATORIO Via Cagliari n. 33
Zona Industriale di Sanluri
TELEFONO / FAX +39 070 501363
E MAIL info@geotechna.eu
PEC geotechna.cagliari@pec.it

CERTIFICATO N.: PS_20220711_170
COMMITTENTE: Studio Maxxi Eng.
LOCALITA': Bonorva (NU)
CANTIERE: Parco fotovoltaico
NOME PROVA 220711_DPSH02
PREFORO 0 (m)
LIVELLO FALDA -2,79 (m)
TECNICO OPER. Dott. Alessandro STANCARI

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA CONTINUA [ISSMFE 1988-89]

DATA INIZIO PROVA: 11/0722
PENETROMETRO Pagani mod: Tg 63-200
DISPOSITIVO BATTITURA DPSH-B
CARATTERISTICHE DELLA PUNTA: Apertura: 90° - Superficie base: 20 cm²



IL TECNICO DI LABORATORIO
Dott. Geol. Alessandro Stancari

IL DIRETTORE TECNICO:
Dott.ssa Geol. Maria Francesca Lobina

Profondità (m)	N ₂₀	Rpd (kg/cm ²)	Rpd (MPa)
0,2	16	169,19	16,6
0,4	24	253,78	24,9
0,6	22	232,63	22,8
0,8	15	158,61	15,6
1	11	116,31	11,4
1,2	3	31,72	3,1
1,4	4	42,30	4,1
1,6	8	84,59	8,3
1,8	10	105,74	10,4
2	10	105,74	10,4
2,2	13	137,46	13,5
2,4	7	74,02	7,3
2,6	4	42,30	4,1
2,8	3	31,72	3,1
3	6	63,44	6,2
3,2	6	63,44	6,2
3,4	4	42,30	4,1
3,6	2	21,15	2,1
3,8	2	21,15	2,1
4	6	63,44	6,2
4,2	6	63,44	6,2
4,4	6	63,44	6,2
4,6	6	63,44	6,2
4,8	11	116,31	11,4
5	5	52,87	5,2
5,2	5	52,87	5,2
5,4	4	42,30	4,1
5,6	5	52,87	5,2
5,8	11	116,31	11,4
6	18	190,33	18,7
6,2	14	148,04	14,5
6,4	5	52,87	5,2
6,6	6	63,44	6,2
6,8	15	158,61	15,6
7	11	116,31	11,4
7,2	8	84,59	8,3
7,4	9	95,17	9,3
7,6	13	137,46	13,5
7,8	13	137,46	13,5
8	9	95,17	9,3

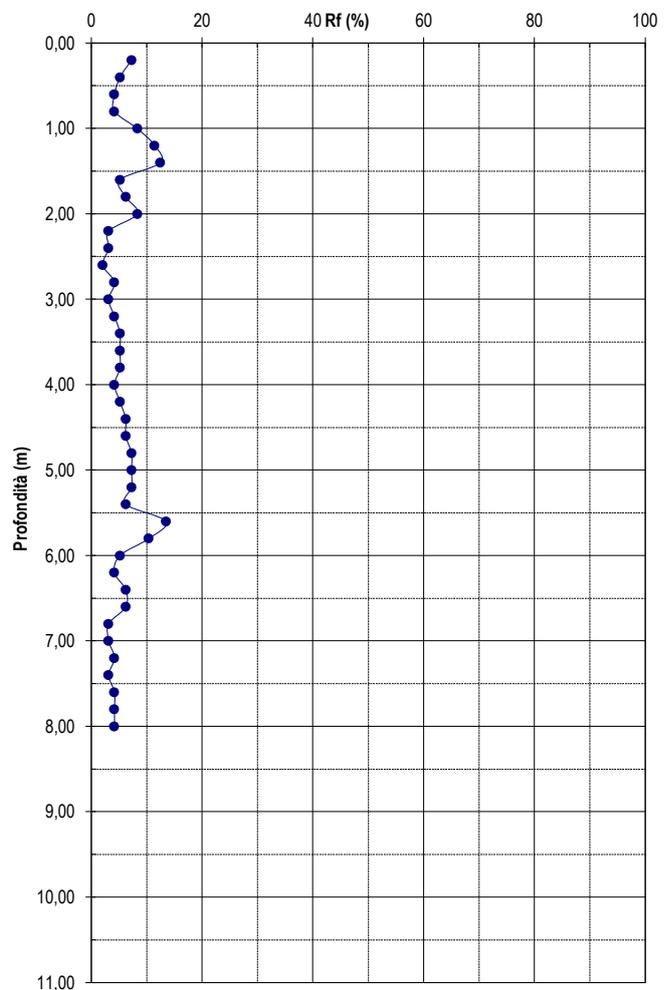
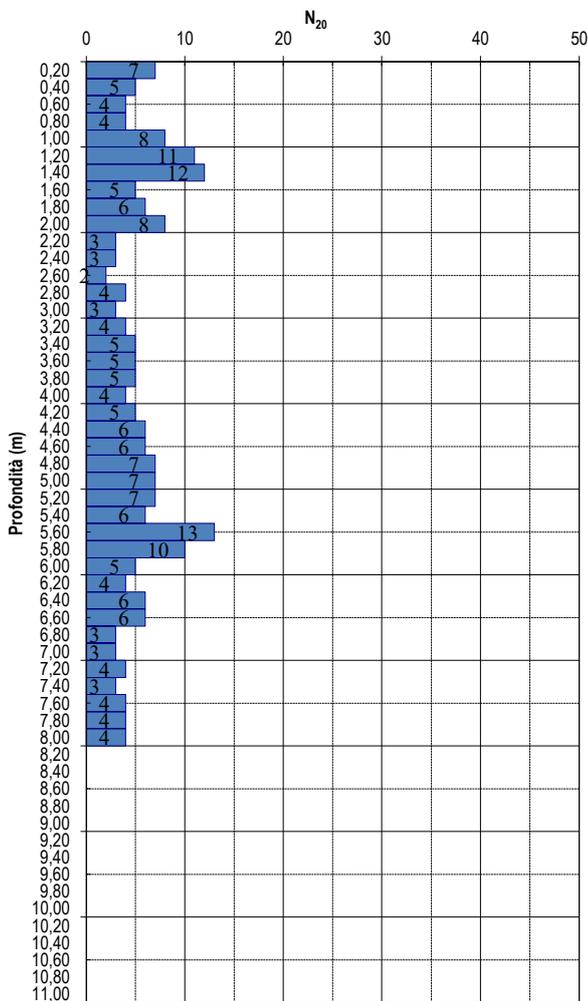


SEDE LEGALE E UFFICI Via Lorenzo il Magnifico n. 7
09134 Cagliari (Italy)
LABORATORIO Via Cagliari n. 33
Zona Industriale di Sanluri
+39 070 501363
TELEFONO / FAX info@geotechna.eu
E MAIL geotechna.cagliari@pec.it
PEC

CERTIFICATO N.: PS_20220711_171
COMMITTENTE: Studio Maxxi Eng.
LOCALITA': Bonorva (NU)
CANTIERE: Parco fotovoltaico
NOME PROVA 220711_DPSH03
PREFORO 0 (m)
LIVELLO FALDA N.D. (m)
TECNICO OPER. Dott. Alessandro STANCARI

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA CONTINUA [ISSMFE 1988-89]

DATA INIZIO PROVA: 11/0722
PENETROMETRO Pagani mod: Tg 63-200
DISPOSITIVO BATTITURA DPSH-B
CARATTERISTICHE DELLA PUNTA: Apertura: 90° - Superficie base: 20 cm²



IL TECNICO DI LABORATORIO
Dott. Geol. Alessandro Stancari

IL DIRETTORE TECNICO:
Dott.ssa Geol. Maria Francesca Lobina

Profondità (m)	N ₂₀	Rpd (kg/cm ²)	Rpd (MPa)
0,2	7	74,02	7,3
0,4	5	52,87	5,2
0,6	4	42,30	4,1
0,8	4	42,30	4,1
1	8	84,59	8,3
1,2	11	116,31	11,4
1,4	12	126,89	12,4
1,6	5	52,87	5,2
1,8	6	63,44	6,2
2	8	84,59	8,3
2,2	3	31,72	3,1
2,4	3	31,72	3,1
2,6	2	21,15	2,1
2,8	4	42,30	4,1
3	3	31,72	3,1
3,2	4	42,30	4,1
3,4	5	52,87	5,2
3,6	5	52,87	5,2
3,8	5	52,87	5,2
4	4	42,30	4,1
4,2	5	52,87	5,2
4,4	6	63,44	6,2
4,6	6	63,44	6,2
4,8	7	74,02	7,3
5	7	74,02	7,3
5,2	7	74,02	7,3
5,4	6	63,44	6,2
5,6	13	137,46	13,5
5,8	10	105,74	10,4
6	5	52,87	5,2
6,2	4	42,30	4,1
6,4	6	63,44	6,2
6,6	6	63,44	6,2
6,8	3	31,72	3,1
7	3	31,72	3,1
7,2	4	42,30	4,1
7,4	3	31,72	3,1
7,6	4	42,30	4,1
7,8	4	42,30	4,1
8	4	42,30	4,1

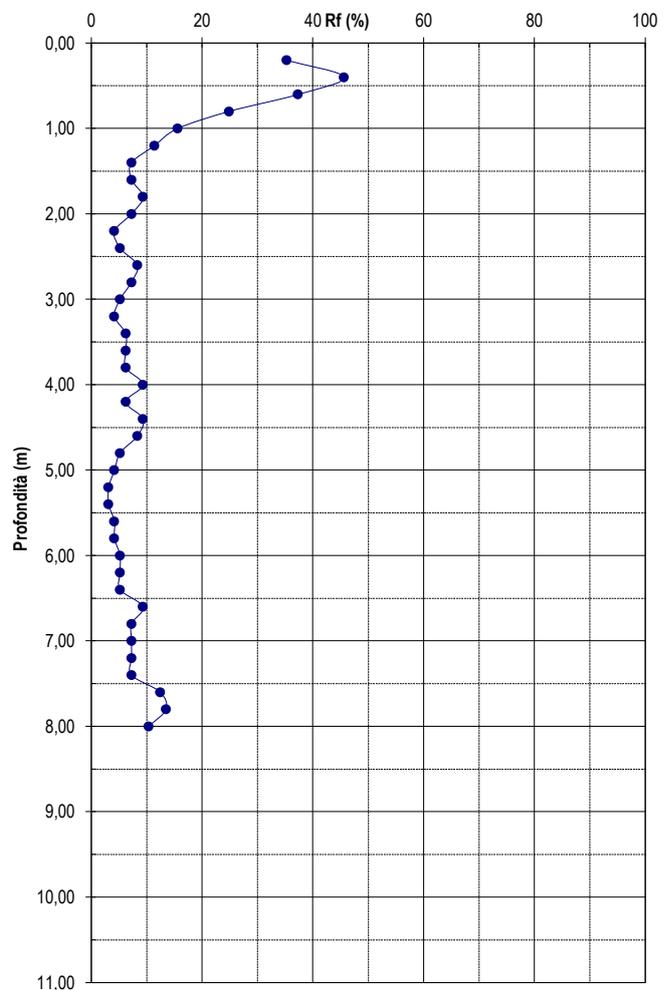
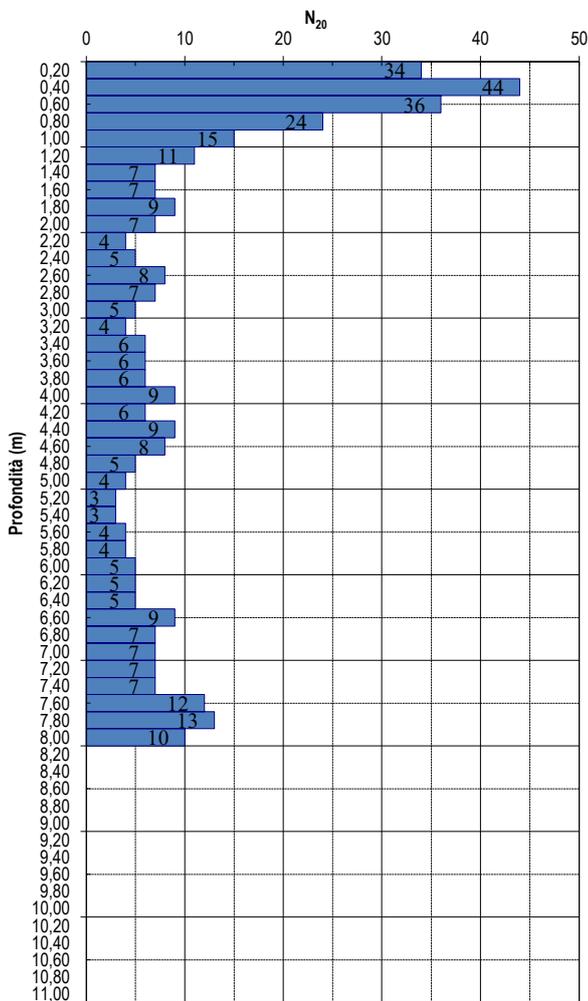


SEDE LEGALE E UFFICI Via Lorenzo il Magnifico n. 7
09134 Cagliari (Italy)
LABORATORIO Via Cagliari n. 33
Zona Industriale di Sanluri
TELEFONO / FAX +39 070 501363
E MAIL info@geotechna.eu
PEC geotechna.cagliari@pec.it

CERTIFICATO N.: PS_20220711_172
COMMITTENTE: Studio Maxxi Eng.
LOCALITA': Bonorva (NU)
CANTIERE: Parco fotovoltaico
NOME PROVA 220711_DPSH04
PREFORO 0 (m)
LIVELLO FALDA N.D. (m)
TECNICO OPER. Dott. Alessandro STANCARI

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA CONTINUA [ISSMFE 1988-89]

DATA INIZIO PROVA: 11/0722
PENETROMETRO Pagani mod: Tg 63-200
DISPOSITIVO BATTITURA DPSH-B
CARATTERISTICHE DELLA PUNTA: Apertura: 90° - Superficie base: 20 cm²



IL TECNICO DI LABORATORIO
Dott. Geol. Alessandro Stancari

IL DIRETTORE TECNICO:
Dott.ssa Geol. Maria Francesca Lobina

Profondità (m)	N ₂₀	Rpd (kg/cm ²)	Rpd (MPa)
0,2	34	359,52	35,3
0,4	44	465,26	45,6
0,6	36	380,67	37,3
0,8	24	253,78	24,9
1	15	158,61	15,6
1,2	11	116,31	11,4
1,4	7	74,02	7,3
1,6	7	74,02	7,3
1,8	9	95,17	9,3
2	7	74,02	7,3
2,2	4	42,30	4,1
2,4	5	52,87	5,2
2,6	8	84,59	8,3
2,8	7	74,02	7,3
3	5	52,87	5,2
3,2	4	42,30	4,1
3,4	6	63,44	6,2
3,6	6	63,44	6,2
3,8	6	63,44	6,2
4	9	95,17	9,3
4,2	6	63,44	6,2
4,4	9	95,17	9,3
4,6	8	84,59	8,3
4,8	5	52,87	5,2
5	4	42,30	4,1
5,2	3	31,72	3,1
5,4	3	31,72	3,1
5,6	4	42,30	4,1
5,8	4	42,30	4,1
6	5	52,87	5,2
6,2	5	52,87	5,2
6,4	5	52,87	5,2
6,6	9	95,17	9,3
6,8	7	74,02	7,3
7	7	74,02	7,3
7,2	7	74,02	7,3
7,4	7	74,02	7,3
7,6	12	126,89	12,4
7,8	13	137,46	13,5
8	10	105,74	10,4

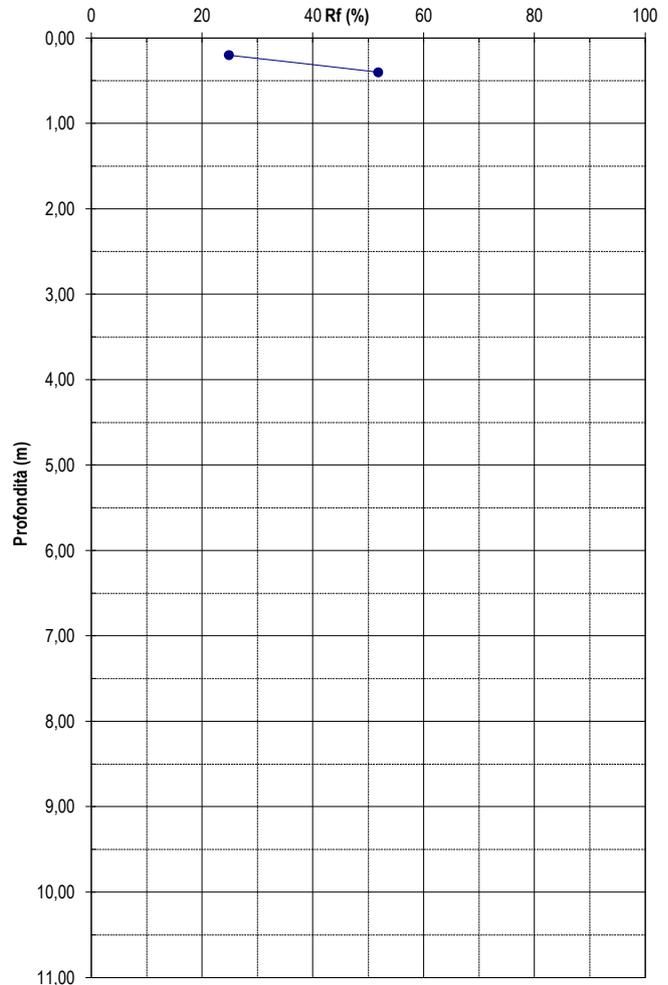
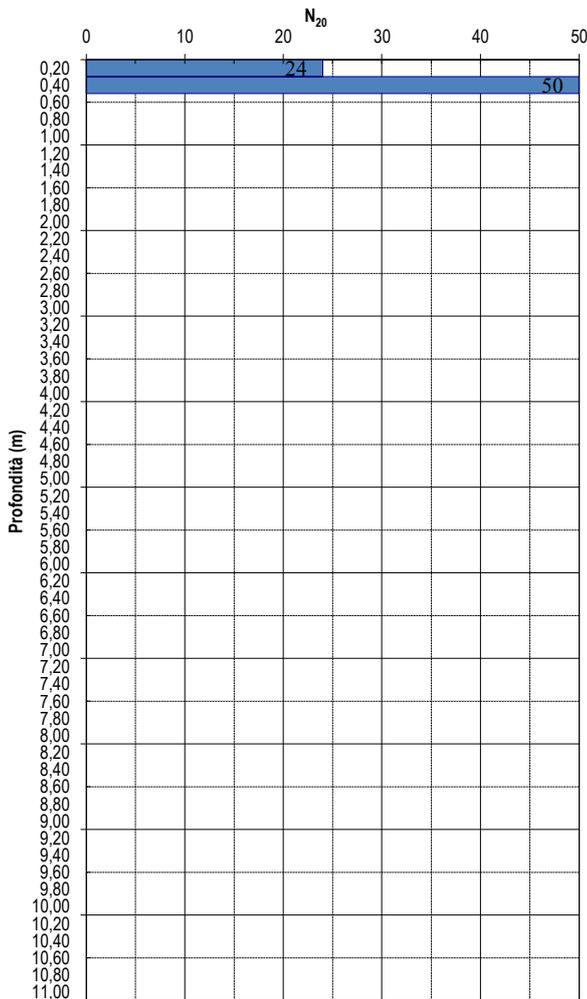


SEDE LEGALE E UFFICI Via Lorenzo il Magnifico n. 7
09134 Cagliari (Italy)
LABORATORIO Via Cagliari n. 33
Zona Industriale di Sanluri
TELEFONO / FAX +39 070 501363
E MAIL info@geotechna.eu
PEC geotechna.cagliari@pec.it

CERTIFICATO N.: PS_20220713_173
COMMITTENTE: Studio Maxxi Eng.
LOCALITA': Bonorva (NU)
CANTIERE: Parco fotovoltaico
NOME PROVA 220713_DPSH01
PREFORO 0 (m)
LIVELLO FALDA N.D. (m)
TECNICO OPER. Dott. Alessandro STANCARI

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA CONTINUA [ISSMFE 1988-89]

DATA INIZIO PROVA: 11/0722
PENETROMETRO Pagani mod: Tg 63-200
DISPOSITIVO BATTITURA DPSH-B
CARATTERISTICHE DELLA PUNTA: Apertura: 90° - Superficie base: 20 cm²



IL TECNICO DI LABORATORIO
Dott. Geol. Alessandro Stancari

IL DIRETTORE TECNICO:
Dott.ssa Geol. Maria Francesca Lobina

CERTIFICATO N.:

PS_20220713_173

Profondità (m)	N ₂₀	Rpd (kg/cm ²)	Rpd (MPa)
0,2	24	253,78	24,9
0,4	50	528,70	51,8

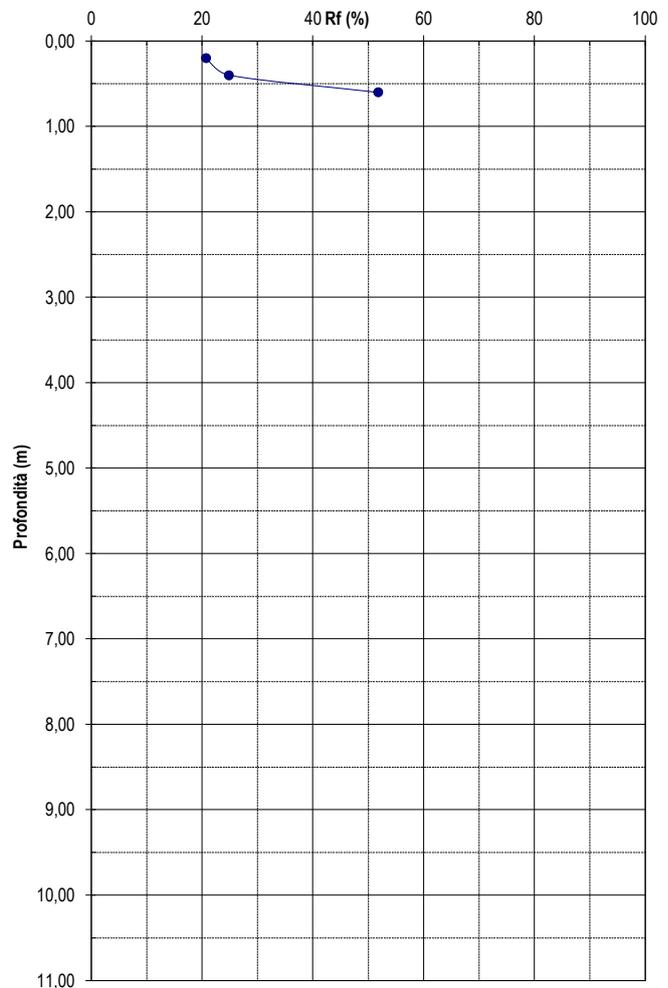
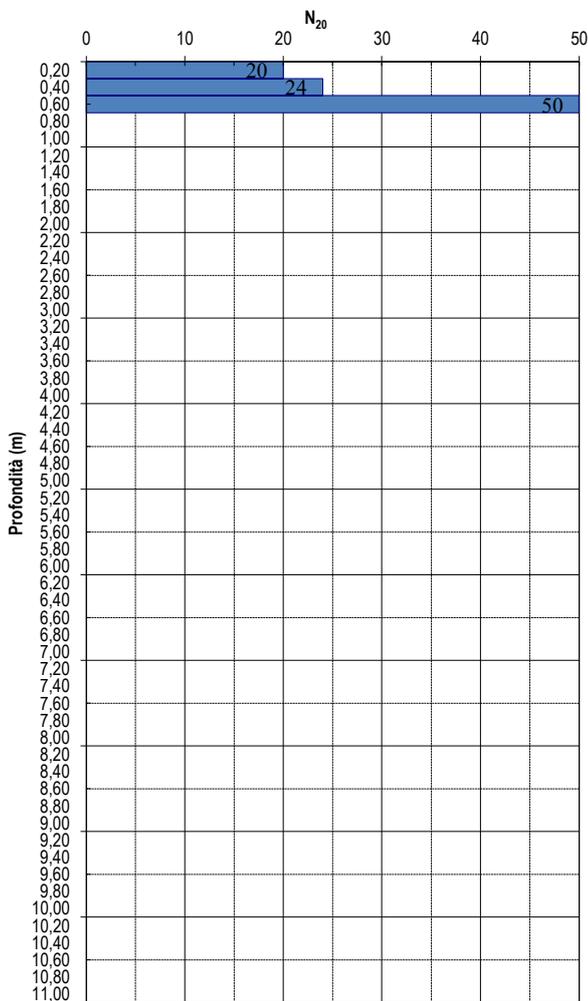


SEDE LEGALE E UFFICI Via Lorenzo il Magnifico n. 7
09134 Cagliari (Italy)
LABORATORIO Via Cagliari n. 33
Zona Industriale di Sanluri
TELEFONO / FAX +39 070 501363
E MAIL info@geotechna.eu
PEC geotechna.cagliari@pec.it

CERTIFICATO N.: PS_20220713_174
COMMITTENTE: Studio Maxxi Eng.
LOCALITA': Bonorva (NU)
CANTIERE: Parco fotovoltaico
NOME PROVA 220713_DPSH02
PREFORO 0 (m)
LIVELLO FALDA N.D. (m)
TECNICO OPER. Dott. Alessandro STANCARI

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA CONTINUA [ISSMFE 1988-89]

DATA INIZIO PROVA: 11/0722
PENETROMETRO Pagani mod: Tg 63-200
DISPOSITIVO BATTITURA DPSH-B
CARATTERISTICHE DELLA PUNTA: Apertura: 90° - Superficie base: 20 cm²



IL TECNICO DI LABORATORIO
Dott. Geol. Alessandro Stancari

IL DIRETTORE TECNICO:
Dott.ssa Geol. Maria Francesca Lobina

CERTIFICATO N.:

PS_20220713_174

Profondità (m)	N ₂₀	Rpd (kg/cm ²)	Rpd (MPa)
0,2	20	211,48	20,7
0,4	24	253,78	24,9

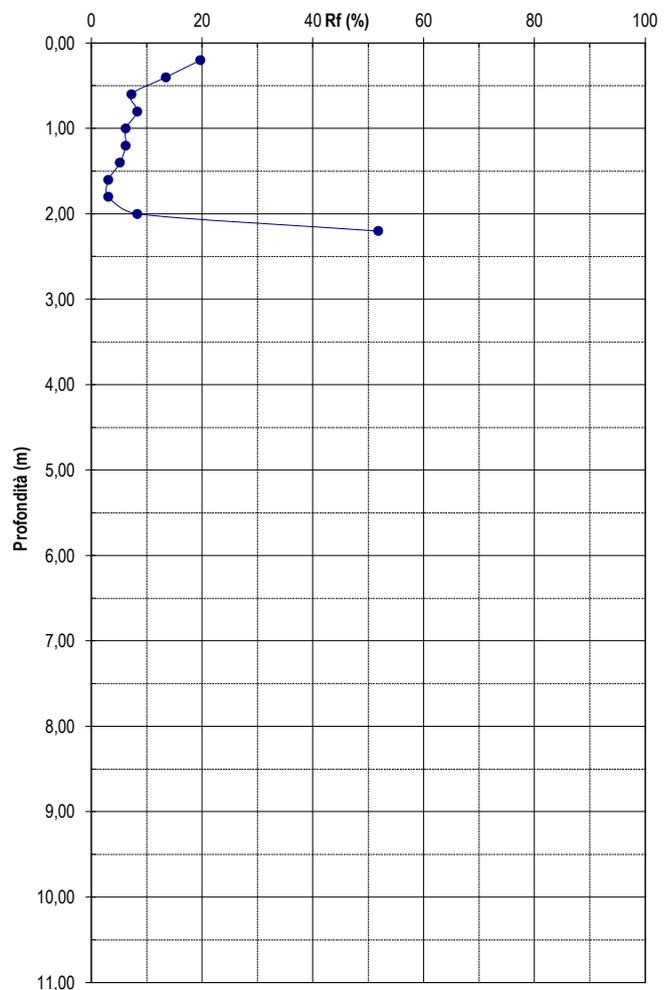
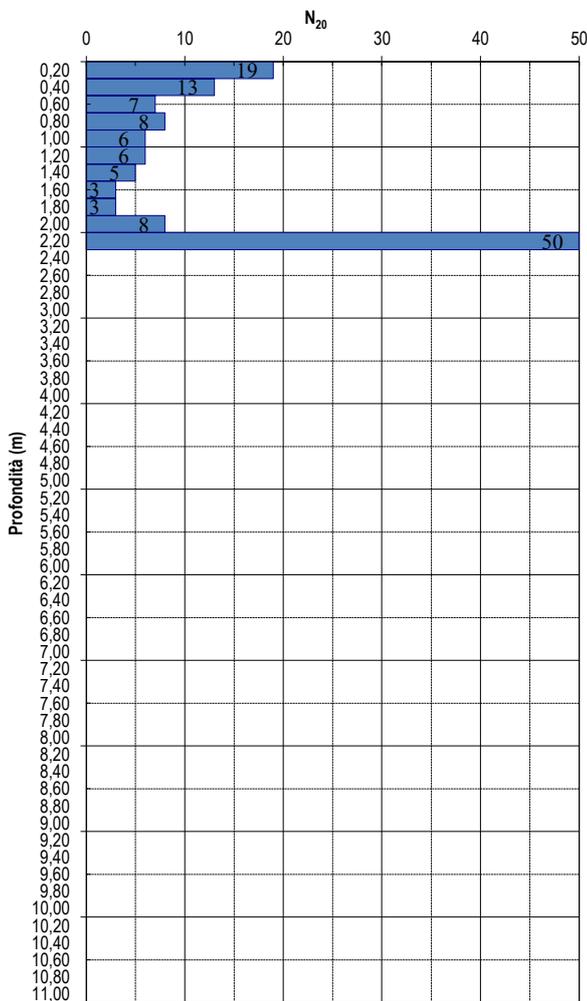


SEDE LEGALE E UFFICI Via Lorenzo il Magnifico n. 7
09134 Cagliari (Italy)
LABORATORIO Via Cagliari n. 33
Zona Industriale di Sanluri
TELEFONO / FAX +39 070 501363
E MAIL info@geotechna.eu
PEC geotechna.cagliari@pec.it

CERTIFICATO N.: PS_20220713_175
COMMITTENTE: Studio Maxxi Eng.
LOCALITA': Bonorva (NU)
CANTIERE: Parco fotovoltaico
NOME PROVA 220713_DPSH03
PREFORO 0 (m)
LIVELLO FALDA N.D. (m)
TECNICO OPER. Dott. Alessandro STANCARI

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA CONTINUA [ISSMFE 1988-89]

DATA INIZIO PROVA: 11/0722
PENETROMETRO Pagani mod: Tg 63-200
DISPOSITIVO BATTITURA DPSH-B
CARATTERISTICHE DELLA PUNTA: Apertura: 90° - Superficie base: 20 cm²



IL TECNICO DI LABORATORIO
Dott. Geol. Alessandro Stancari

IL DIRETTORE TECNICO:
Dott.ssa Geol. Maria Francesca Lobina

Profondità (m)	N ₂₀	Rpd (kg/cm ²)	Rpd (MPa)
0,2	19	200,91	19,7
0,4	13	137,46	13,5
0,6	7	74,02	7,3
0,8	8	84,59	8,3
1	6	63,44	6,2
1,2	6	63,44	6,2
1,4	5	52,87	5,2
1,6	3	31,72	3,1
1,8	3	31,72	3,1
2	8	84,59	8,3
2,2	50	528,70	51,8

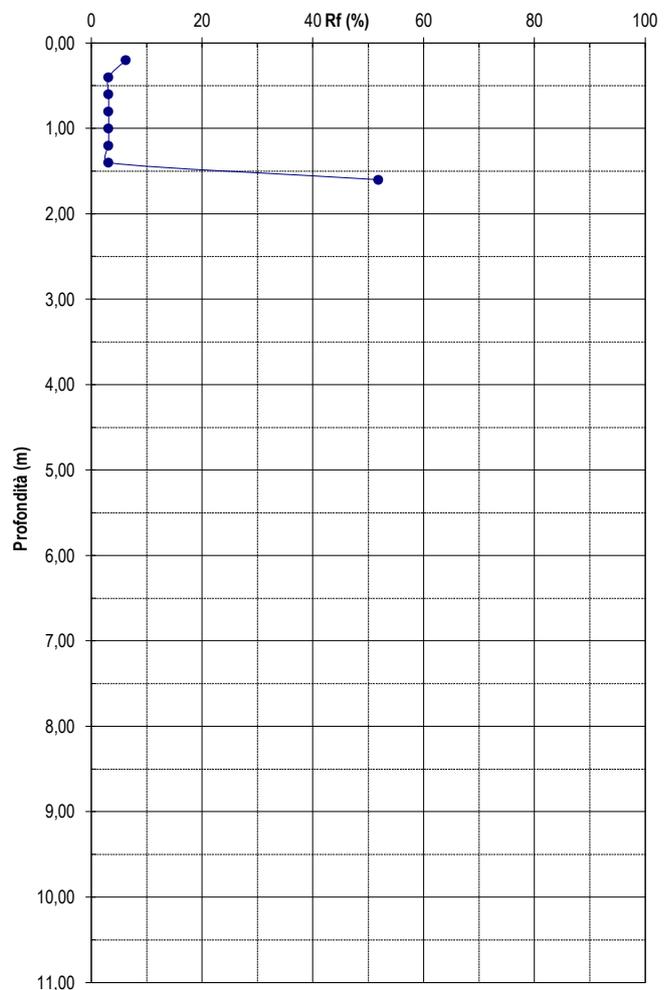
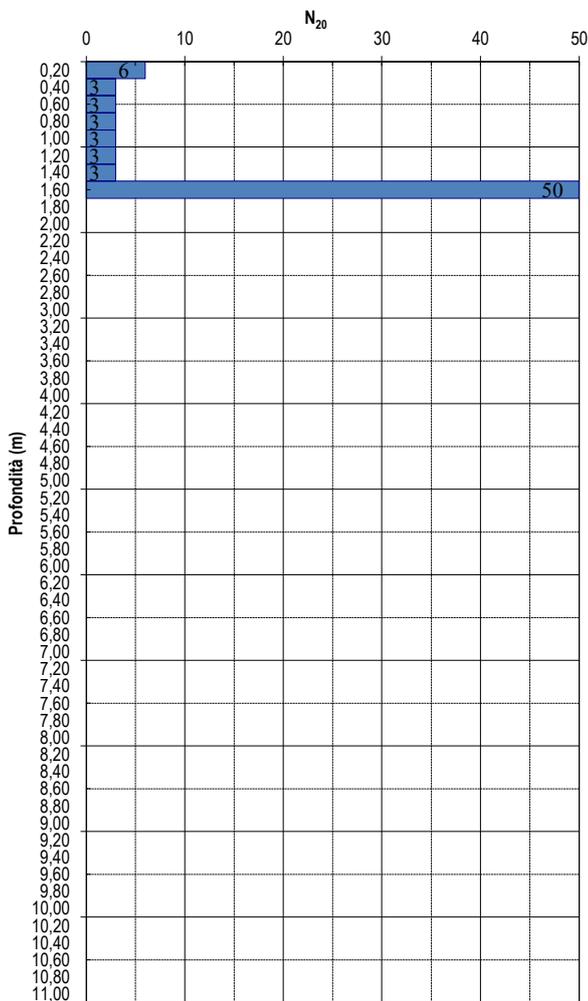


SEDE LEGALE E UFFICI Via Lorenzo il Magnifico n. 7
09134 Cagliari (Italy)
LABORATORIO Via Cagliari n. 33
Zona Industriale di Sanluri
TELEFONO / FAX +39 070 501363
E MAIL info@geotechna.eu
PEC geotechna.cagliari@pec.it

CERTIFICATO N.: PS_20220713_176
COMMITTENTE: Studio Maxxi Eng.
LOCALITA': Bonorva (NU)
CANTIERE: Parco fotovoltaico
NOME PROVA 220713_DPSH04
PREFORO 0 (m)
LIVELLO FALDA N.D. (m)
TECNICO OPER. Dott. Alessandro STANCARI

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA CONTINUA [ISSMFE 1988-89]

DATA INIZIO PROVA: 13/07/2022
PENETROMETRO Pagani mod: Tg 63-200
DISPOSITIVO BATTITURA DPSH-B
CARATTERISTICHE DELLA PUNTA: Apertura: 90° - Superficie base: 20 cm²



IL TECNICO DI LABORATORIO
Dott. Geol. Alessandro Stancari

IL DIRETTORE TECNICO:
Dott.ssa Geol. Maria Francesca Lobina

Profondità (m)	N ₂₀	Rpd (kg/cm ²)	Rpd (MPa)
0,2	6	63,44	6,2
0,4	3	31,72	3,1
0,6	3	31,72	3,1
0,8	3	31,72	3,1
1	3	31,72	3,1
1,2	3	31,72	3,1
1,4	3	31,72	3,1
1,6	50	528,70	51,8

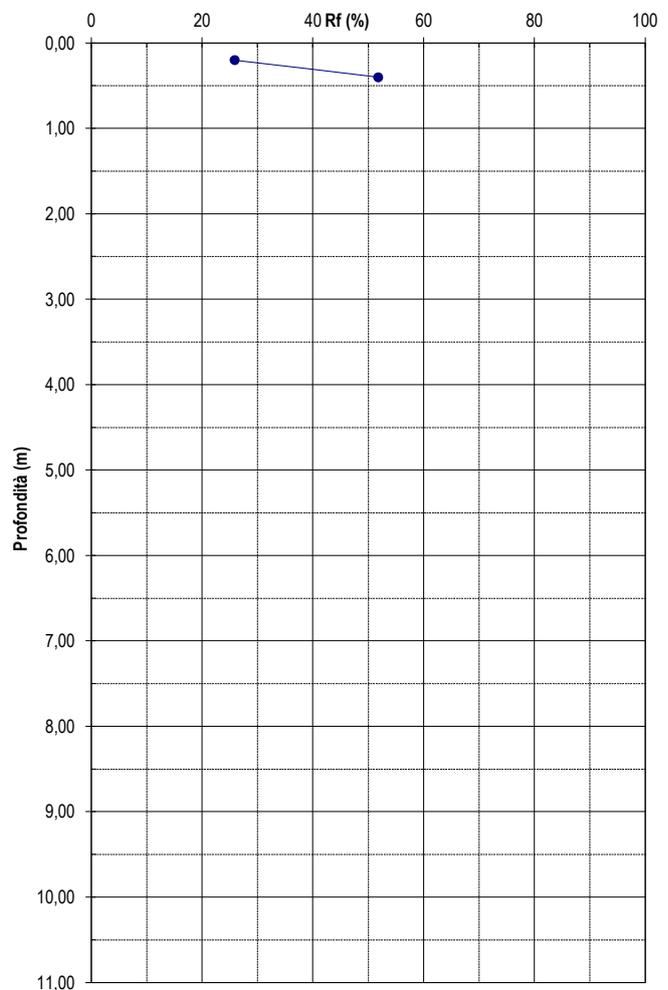
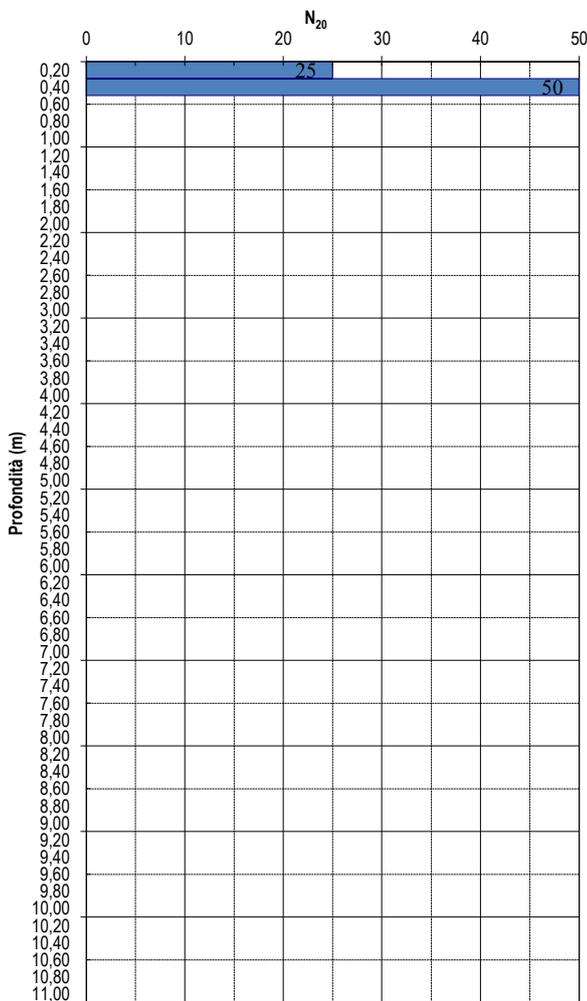


SEDE LEGALE E UFFICI Via Lorenzo il Magnifico n. 7
09134 Cagliari (Italy)
LABORATORIO Via Cagliari n. 33
Zona Industriale di Sanluri
TELEFONO / FAX +39 070 501363
E MAIL info@geotechna.eu
PEC geotechna.cagliari@pec.it

CERTIFICATO N.: PS_20220713_177
COMMITTENTE: Studio Maxxi Eng.
LOCALITA': Bonorva (NU)
CANTIERE: Parco fotovoltaico
NOME PROVA 220713_DPSH05
PREFORO 0 (m)
LIVELLO FALDA N.D. (m)
TECNICO OPER. Dott. Alessandro STANCARI

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA CONTINUA [ISSMFE 1988-89]

DATA INIZIO PROVA: 13/07/2022
PENETROMETRO Pagani mod: Tg 63-200
DISPOSITIVO BATTITURA DPSH-B
CARATTERISTICHE DELLA PUNTA: Apertura: 90° - Superficie base: 20 cm²



IL TECNICO DI LABORATORIO
Dott. Geol. Alessandro Stancari

IL DIRETTORE TECNICO:
Dott.ssa Geol. Maria Francesca Lobina

CERTIFICATO N.:

PS_20220713_177

Profondità (m)	N ₂₀	Rpd (kg/cm ²)	Rpd (MPa)
0,2	25	264,35	25,9
0,4	50	528,70	51,8

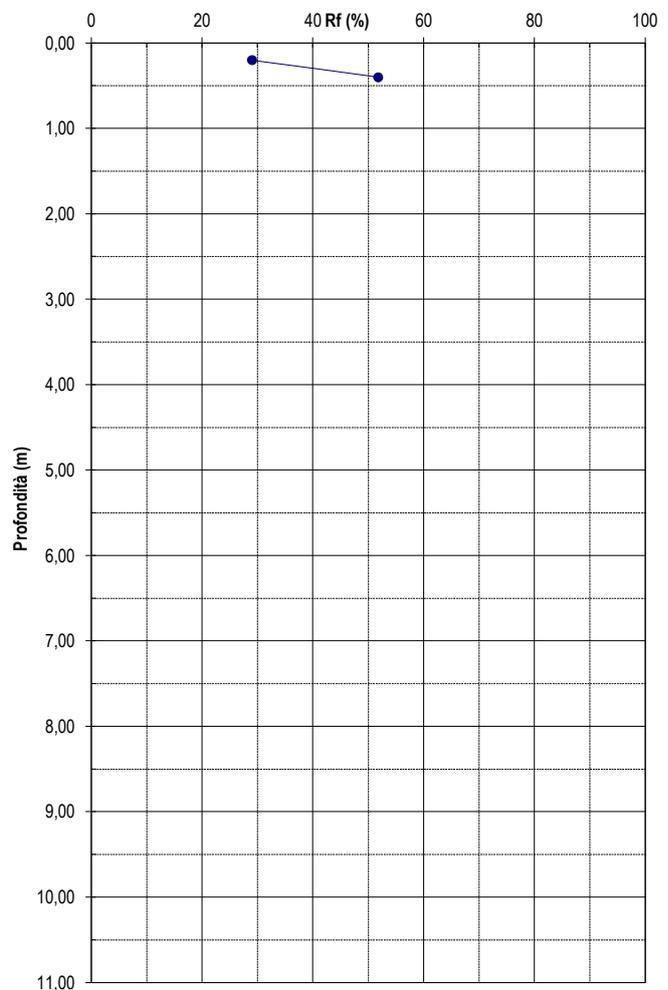
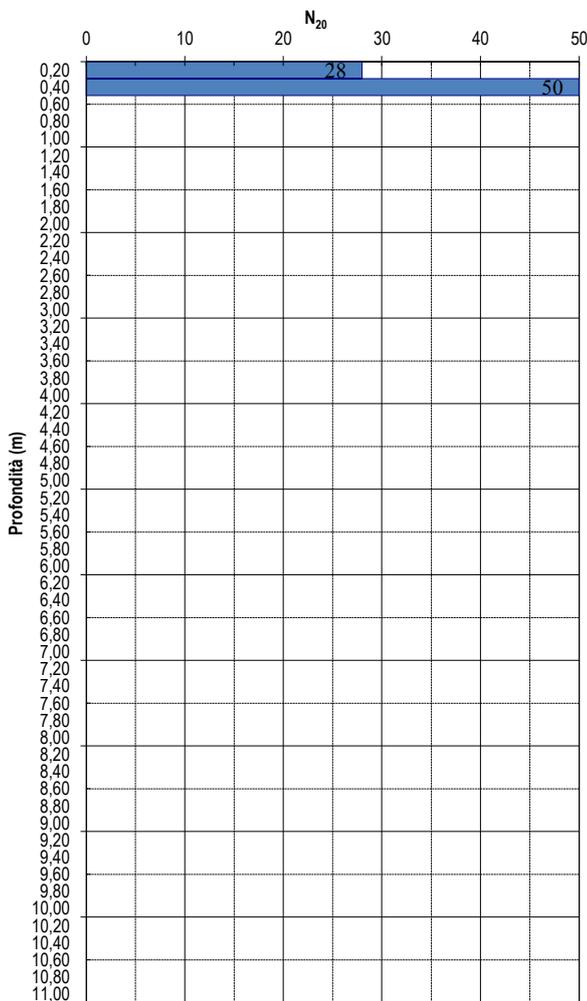


SEDE LEGALE E UFFICI Via Lorenzo il Magnifico n. 7
09134 Cagliari (Italy)
LABORATORIO Via Cagliari n. 33
Zona Industriale di Sanluri
TELEFONO / FAX +39 070 501363
E MAIL info@geotechna.eu
PEC geotechna.cagliari@pec.it

CERTIFICATO N.: PS_20220713_178
COMMITTENTE: Studio Maxxi Eng.
LOCALITA': Bonorva (NU)
CANTIERE: Parco fotovoltaico
NOME PROVA 220713_DPSH06
PREFORO 0 (m)
LIVELLO FALDA N.D. (m)
TECNICO OPER. Dott. Alessandro STANCARI

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA CONTINUA [ISSMFE 1988-89]

DATA INIZIO PROVA: 13/07/2022
PENETROMETRO Pagani mod: Tg 63-200
DISPOSITIVO BATTITURA DPSH-B
CARATTERISTICHE DELLA PUNTA: Apertura: 90° - Superficie base: 20 cm²



IL TECNICO DI LABORATORIO
Dott. Geol. Alessandro Stancari

IL DIRETTORE TECNICO:
Dott.ssa Geol. Maria Francesca Lobina

Profondità (m)	N ₂₀	Rpd (kg/cm ²)	Rpd (MPa)
0,2	28	296,07	29,0
0,4	50	528,70	51,8



Dott. Geol. Mario Collu
C.FISC: CLLMRA72A18H856W
P.IVA: 02592760926

Via: Via Cavour 7
09035 Gonnosfanadiga - SU
Tel: 3496413891
Email: collu.geo@gmail.com

INDAGINE GEOFISICA

Data: AGOSTO 2022

Il committente

Il Tecnico
GEOL. MARIO COLLU

INDICE

1.0	Premessa.....	2
2.0	Dati generali e localizzazione	2
3.0	Indagini sismiche.....	4
3.1	MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves)	4
3.1.1	Tecnica e parametri utilizzati	4
3.1.2	Strumentazione utilizzata	5
3.1.3	Elaborazione dei dati	5
3.1.4	Categorie di sottosuolo	6
3.2	RIFRAZIONE	7
3.2.1	Elaborazione	7
4.0	MASW 1	8
4.1	Localizzazione e foto.....	8
4.2	Risultati dell'indagine MASW M1.....	9
4.2.1	Tracce	9
4.2.2	Analisi spettrale e curva di dispersione	9
4.2.3	Inversione, profilo di velocità e sismostratigrafia	10
4.2.4	Risultati: categoria di sottosuolo e altri parametri geotecnici	12
4.2.5	Altri parametri geotecnici	12
4.3	Risultati dell'indagine sismica rifrazione R1	13
5.0	MASW 2	14
5.1	Localizzazione e foto.....	14
5.2	Risultati dell'indagine MASW 2.....	15
5.2.1	Tracce	15
5.2.2	Analisi spettrale e curva di dispersione	15
5.2.3	Inversione, profilo di velocità e sismostratigrafia	16
5.2.4	Risultati: categoria di sottosuolo e altri parametri geotecnici	18
5.2.5	Altri parametri geotecnici	18
5.3	Risultati dell'indagine sismica rifrazione R2	19

1.0 PREMESSA

Su incarico della DS ITALIA 6 S.R.L., lo scrivente, Dott. Geol. Mario Collu, iscritto all'Ordine dei Geologi della Regione Sardegna al numero 455, redige la presente relazione sulle indagini geosismiche eseguite in località Su Rispisu, Sa Tanca Noa, Monte Frusciu, Monte Ladu e Monte Cujaru nel Comune di Bonorva (SS).

L'intervento consiste nella posa in opera di un impianto fotovoltaico di potenza nominale pari a 72,66 MWp su una superficie di circa 71 ha con pannelli che presentano un'elevazione massima di 3,35 m rispetto al livello del suolo, questi saranno fissati direttamente al terreno tramite pali metallici di tipologia variabile in base alle caratteristiche del terreno.

2.0 DATI GENERALI E LOCALIZZAZIONE

L'indagine geosismica è stata eseguita nell'ambito del progetto per la realizzazione dell'impianto agrivoltaico di potenza nominale (DC) 72,66 sito nel Comune di Bonorva.

L'ubicazione generale è riportata in Figura 1.

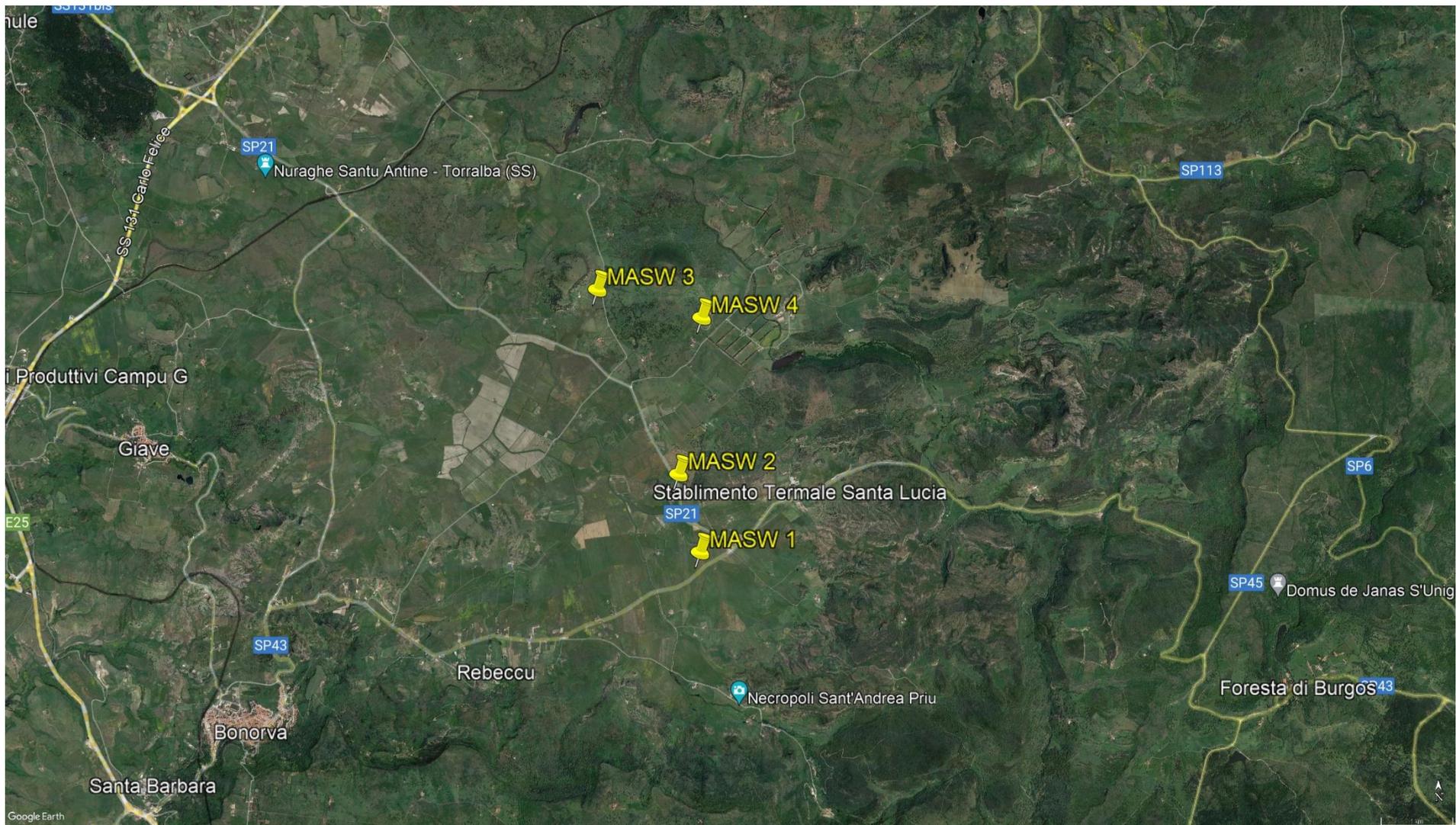


Figura 1. Inquadramento geografico dei 5 interventi (fonte Google Earth)

3.0 INDAGINI SISMICHE

La sismica 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.

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.

3.1 MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves)

In passato gli studi sulla diffusione delle onde sismiche si sono concentrati sulla propagazione delle onde profonde (onde P, onde 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 sfruttando le Onde di Rayleigh – "R".

3.1.1 Tecnica e parametri utilizzati

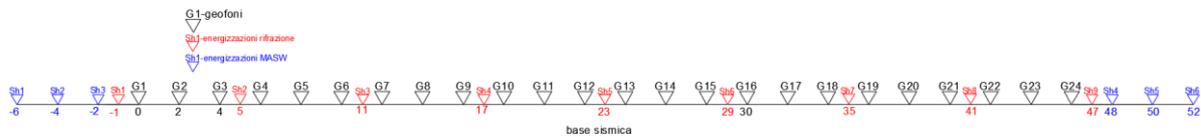
Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine non invasiva, che individua il profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s , basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori (geofoni) posti sulla superficie del suolo.

Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo (Achenbach, J.D., 1999, Aki, K. and Richards, P.G., 1980) o detto in maniera equivalente la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione. La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli strati più profondi del suolo." (da Caratterizzazione sismica dei suoli con il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves – V. Roma 2006).

L'indagine svolta ha visto l'applicazione di tecnica M.A.S.W. di tipo attivo, ossia misura del comportamento dei terreni a seguito di un'energizzazione.

L'indagine si sviluppa mediante la materializzazione sul terreno di una linea retta con la posa di una fettuccia metrica. A seguire vengono posizionati i geofoni intervallati ad una distanza pari a 1,5 m. Esternamente alla stessa 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 2m e 4m e 6m.



Il metodo risulta efficace se la base sismica è ubicata su piano a pendenza costante e per una stratificazione piano parallela al piano topografico.

La maggior profondità di caratterizzazione raggiunta è legata alla minor frequenza registrata. Come già indicato nella figura, una frequenza alta caratterizza gli strati superficiali. La registrazione delle frequenze minori è destinata ai geofoni più lontani dalla sorgente.

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 stata definita in 2 secondi.

3.1.2 Strumentazione utilizzata

Per l'esecuzione del cantiere d'interesse, ci siamo avvalsi di una strumentazione di acquisizione DoReMi, prodotto da SARA Electronic Instruments, 24bit con frequenza di campionamento 1000 Hz per ognuno dei 24 canali registrati, ciascuno attrezzato con geofoni verticali SARA electronics con frequenza propria di 4.5 Hz

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

3.1.3 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.

3.1.4 Categorie di sottosuolo

Le “Norme Tecniche per le Costruzioni” aggiornate con D.M. del 17 gennaio 2018, definiscono le regole per progettare l’opera sia in zona sismica che in zona non sismica.

Per la valutazione delle azioni sismiche di progetto deve essere valutata l’influenza delle condizioni litologiche e morfologiche locali sulle caratteristiche del moto nel suolo superficiale.

Per tale motivo si esegue una classificazione dei terreni compresi fra il piano di campagna ed il “bedrock” attraverso la stima delle velocità medie delle onde di taglio (V_s).

Per quanto riguarda l’approccio semplificato, la classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{s,eq}$ (in m/s), definita dall’espressione:

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

Con:

h_i = spessore dello stato i -esimo;

$V_{s,i}$ = 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/sec.

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato viene riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali 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 viene riferita al piano di imposta della fondazione.

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

Il sito può essere classificato con il valore delle V_s equivalenti secondo il seguente schema; ovvero:

Categoria	Descrizione	Profondità m	V_s m/s
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m	Qualsiasi	>800
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine 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	>30	$\geq 360 \leq 800$
C	Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.	>30	$\geq 180 < 360$
D	Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fine scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.	>30	<180

Categoria	Descrizione	Profondità m	Vs m/s
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.	Fino a 30	C - D

3.2 RIFRAZIONE

In ambito di indagini indirette l'esplorazione geofisica di sismica a rifrazione risulta tra le metodologie più affermate e meglio sperimentate. Il metodo si basa sugli effetti di rifrazione del segnale sismico in corrispondenza dell'interfaccia tra un mezzo soprastante a velocità sismica minore rispetto ad uno strato sottostante al primo con velocità sismica inferiore.

La tecnica di prospezione sismica a rifrazione consiste nella misura dei tempi di primo arrivo delle onde sismiche generate in un punto in superficie (punto di energizzazione/sparo), in corrispondenza di una molteplicità di ricevitori (geofoni) disposti allineati sulla superficie topografica.

Lo studio della propagazione delle onde sismiche consente di valutare le proprietà fisico - meccaniche dei terreni e il grado di addensamento e/o la compattezza dei materiali da queste attraversati.

Le profondità raggiunte sono al massimo la metà della distanza compresa tra lo shot esterno e l'ultimo geofono della stesa sismica sviluppata. È comunque generalmente considerato che la profondità esplorata non superi 1/3 dello sviluppo geometrico sopradescritto.

La capacità risolutiva in termini di spessore degli strati sismici viene ad essere valutato in circa il 25% della distanza geofonica.

Nel caso in esame sono state eseguite 9 energizzazioni (due esterne e sette interne) al fine di meglio descrivere la geometria degli orizzonti rifrattori lungo l'intera base sismica, così come riportato precedentemente.

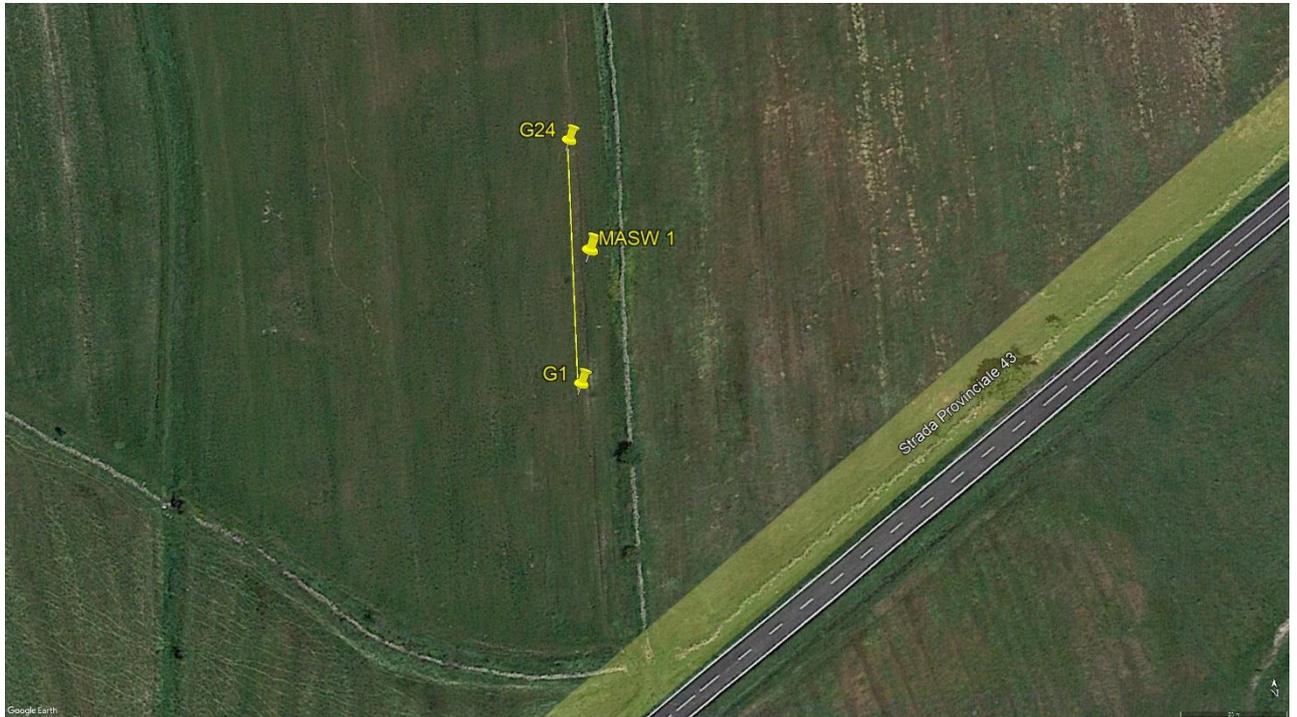
3.2.1 Elaborazione

La prima fase dell'elaborazione delle tracce sismiche consiste nell'individuare i primi arrivi. L'elaborazione dei dati di sismica a rifrazione è stata eseguita secondo il metodo tomografico. Questo metodo permette il superamento dei limiti imposti a livello geometrico dagli strati con inversione di velocità sismica. Di fatto lo sviluppo numerico vede la ricerca dei percorsi dei raggi sismici nello spessore sottostante la stesa sismica, individuando quei tratti a velocità uguale (o comunque contenuta in intervalli preordinati); una successiva campitura del grigliato di celle costruito al di sotto della base sismica permette una rappresentazione grafica che rende meglio leggibile le valutazioni che, per la gran mole di calcoli richiesti in fase di sviluppo del modello numerico, può essere affrontato solo mediante elaboratore elettronico.

4.0 MASW 1

4.1 Localizzazione e foto

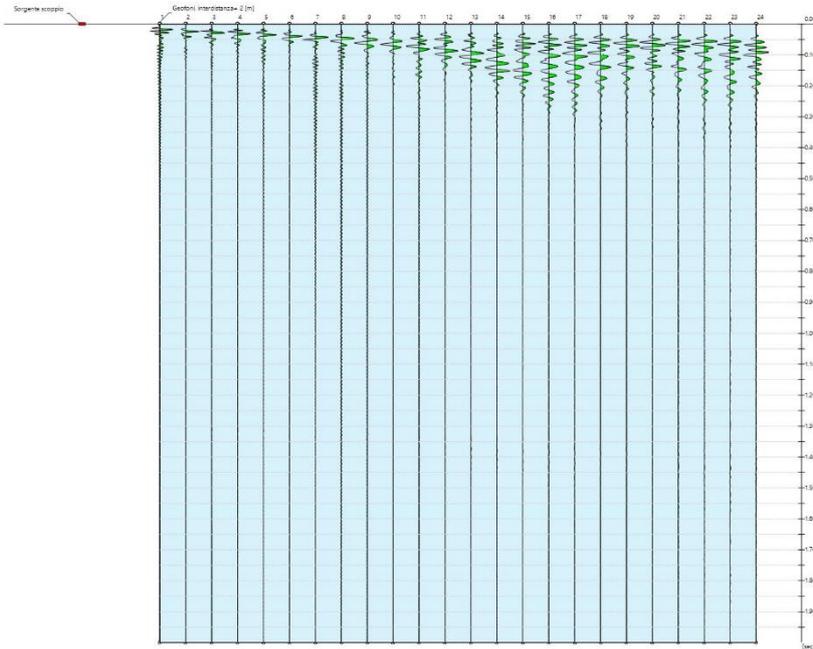
Data	18/07/2022
Latitudine	40.437072°
Longitudine	8.841381°



4.2 Risultati dell'indagine MASW M1

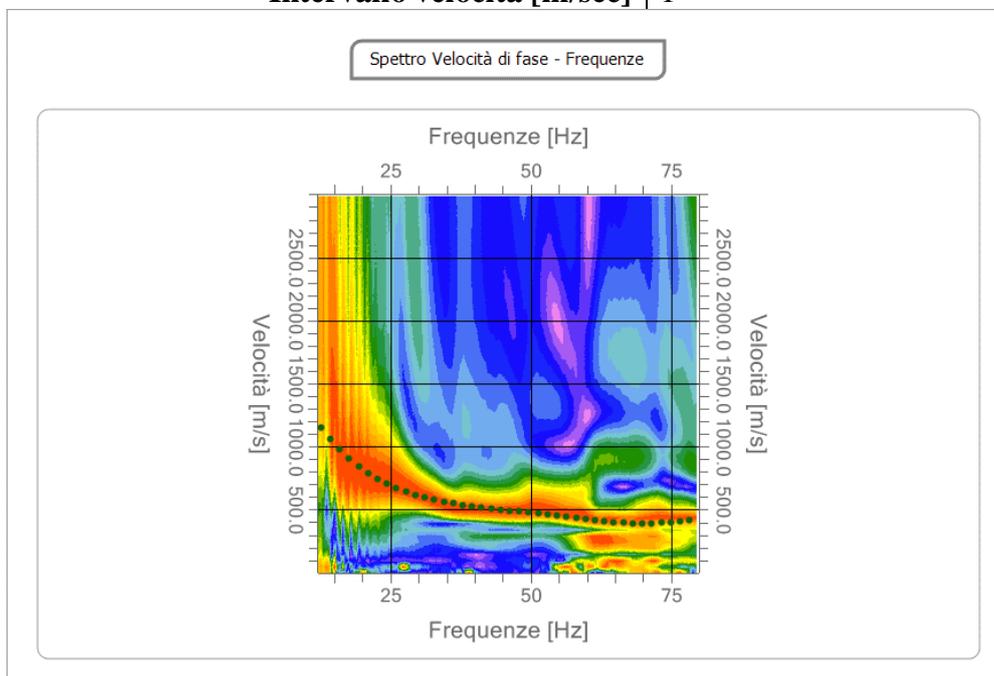
4.2.1 Tracce

N. tracce	24
Durata acquisizione [msec]	2000.0
Interdistanza geofoni [m]	2.0
Periodo di campionamento [msec]	1.00



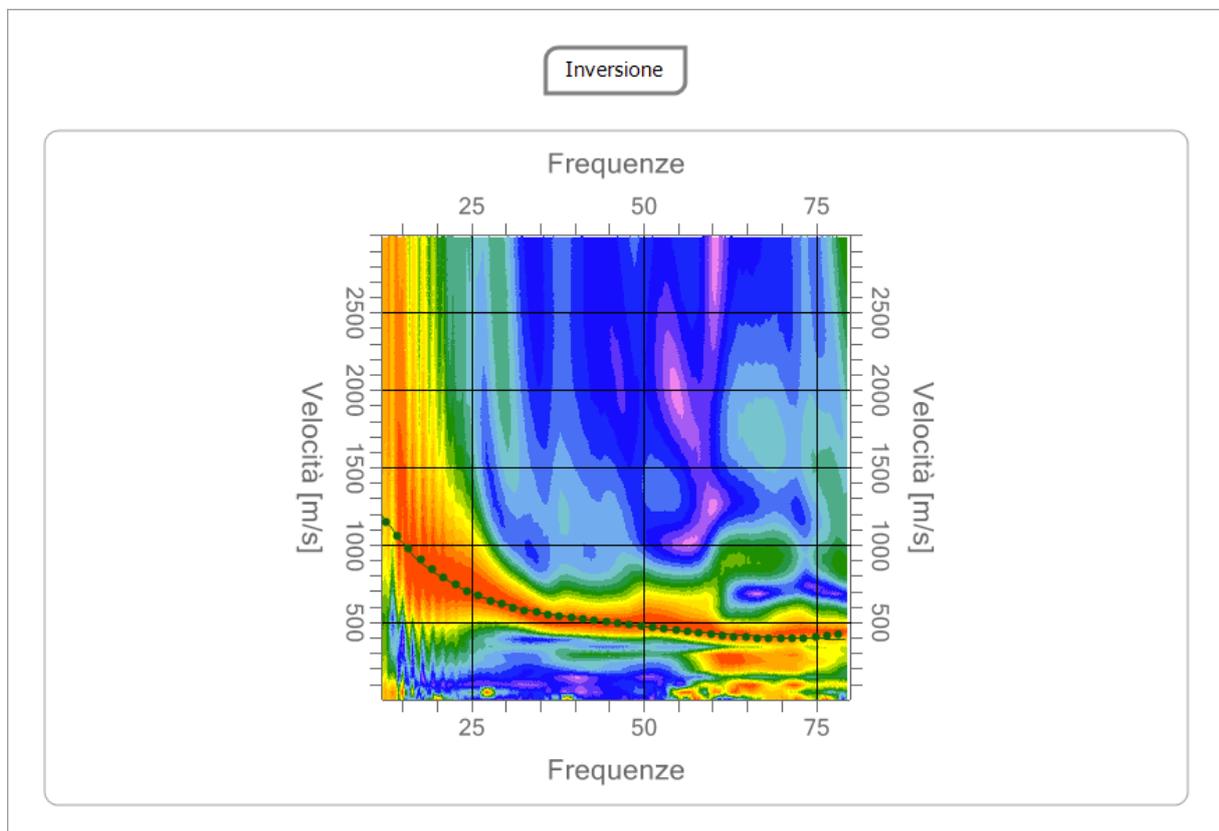
4.2.2 Analisi spettrale e curva di dispersione

Frequenza minima di elaborazione [Hz]	12
Frequenza massima di elaborazione [Hz]	80
Velocità minima di elaborazione [m/sec]	1
Velocità massima di elaborazione [m/sec]	3000
Intervallo velocità [m/sec]	1



4.2.3 Inversione, profilo di velocità e sismostratigrafia

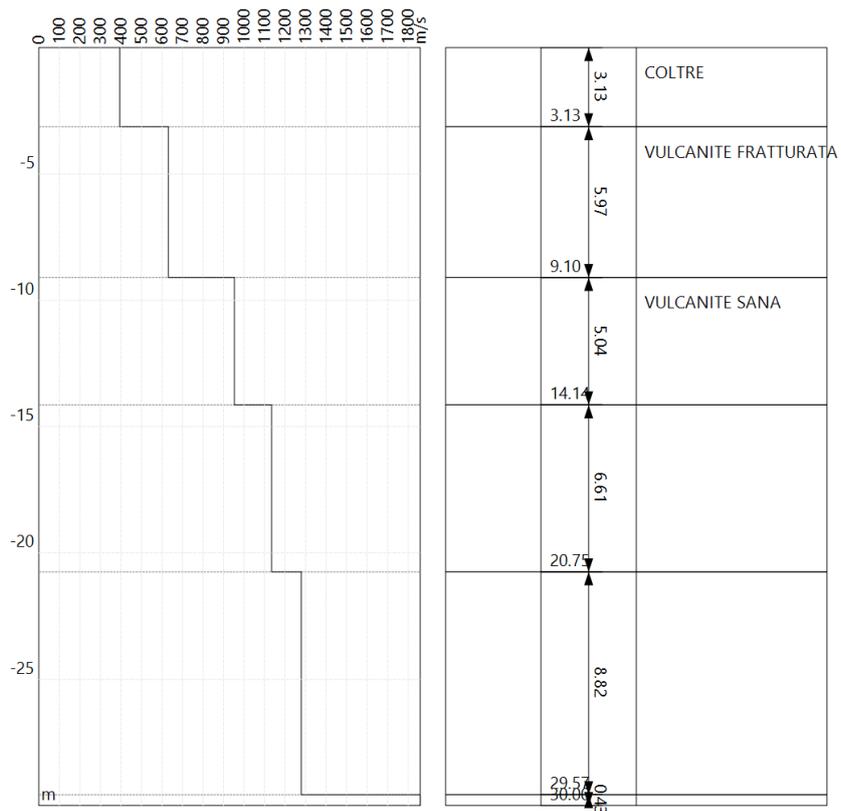
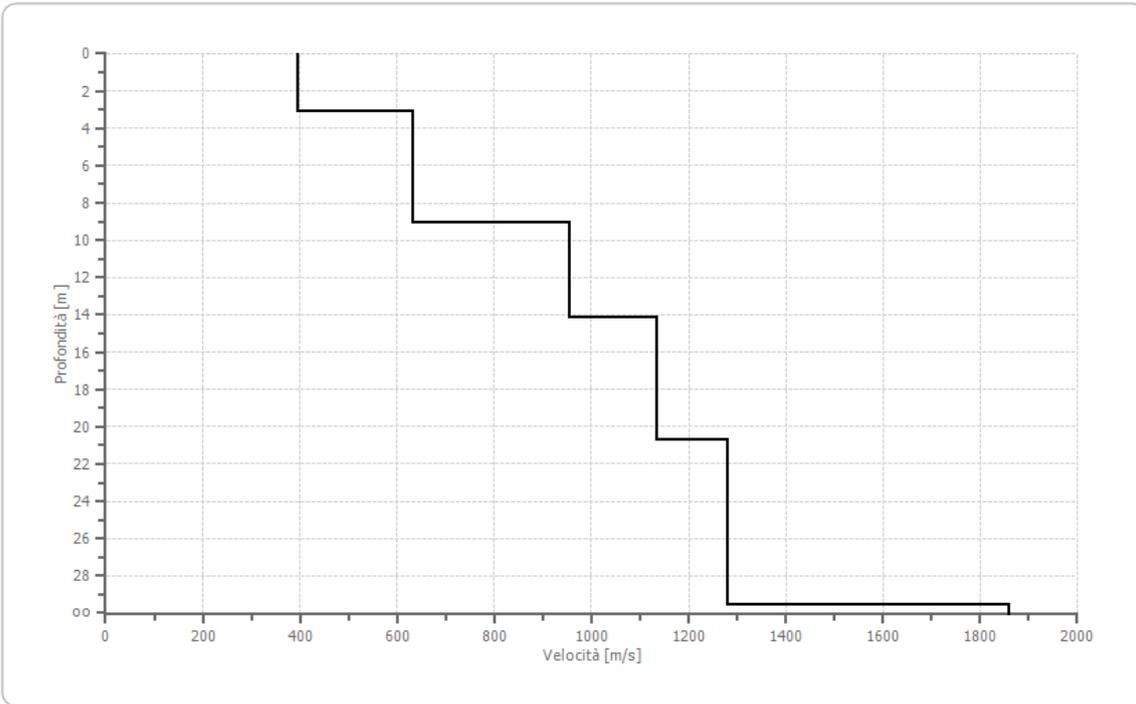
n	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coeff. Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	COLTRE ELUVIALE	3.13	3.13	1800.0	0.35	No	819.9	393.9
2	VULCANITE FRATTURATA	9.10	5.97	1900.0	0.25	No	1093.6	631.4
3	VULCANITE SANA	14.14	5.04	1900.0	0.25	No	1650.9	953.1
4		20.75	6.61	1900.0	0.25	No	1965.4	1134.7
5		29.57	8.82	1900.0	0.25	No	2215.9	1279.4
6		oo	oo	1900.0	0.25	No	3218.7	1858.3



Percentuale di errore

0.019 %

Profilo di velocità



4.2.4 Risultati: categoria di sottosuolo e altri parametri geotecnici

Profondità piano di posa [m]	0.00
Vs,eq [m/sec] (H=9.10 m)	522.89
Categoria del suolo	B

Suolo di tipo 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.

4.2.5 Altri parametri geotecnici

n	Prof.tà [m]	Spess. [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/mc]	Coeff. Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]
1	3.13	3.13	393.86	819.89	1800.00	0.35	279.23	1209.98	837.68	753.91
2	9.10	5.97	631.39	1093.60	1900.00	0.25	757.44	2272.31	1262.39	1893.59
3	14.14	5.04	953.12	1650.86	1900.00	0.25	1726.04	5178.12	2876.73	4315.10
4	20.75	6.61	1134.70	1965.35	1900.00	0.25	2446.32	7338.95	4077.19	6115.79
5	29.57	8.82	1279.37	2215.94	1900.00	0.25	3109.91	9329.74	5183.19	7774.78
6	oo	oo	1858.34	3218.74	1900.00	0.25	6561.50	19684.49	10935.83	16403.74

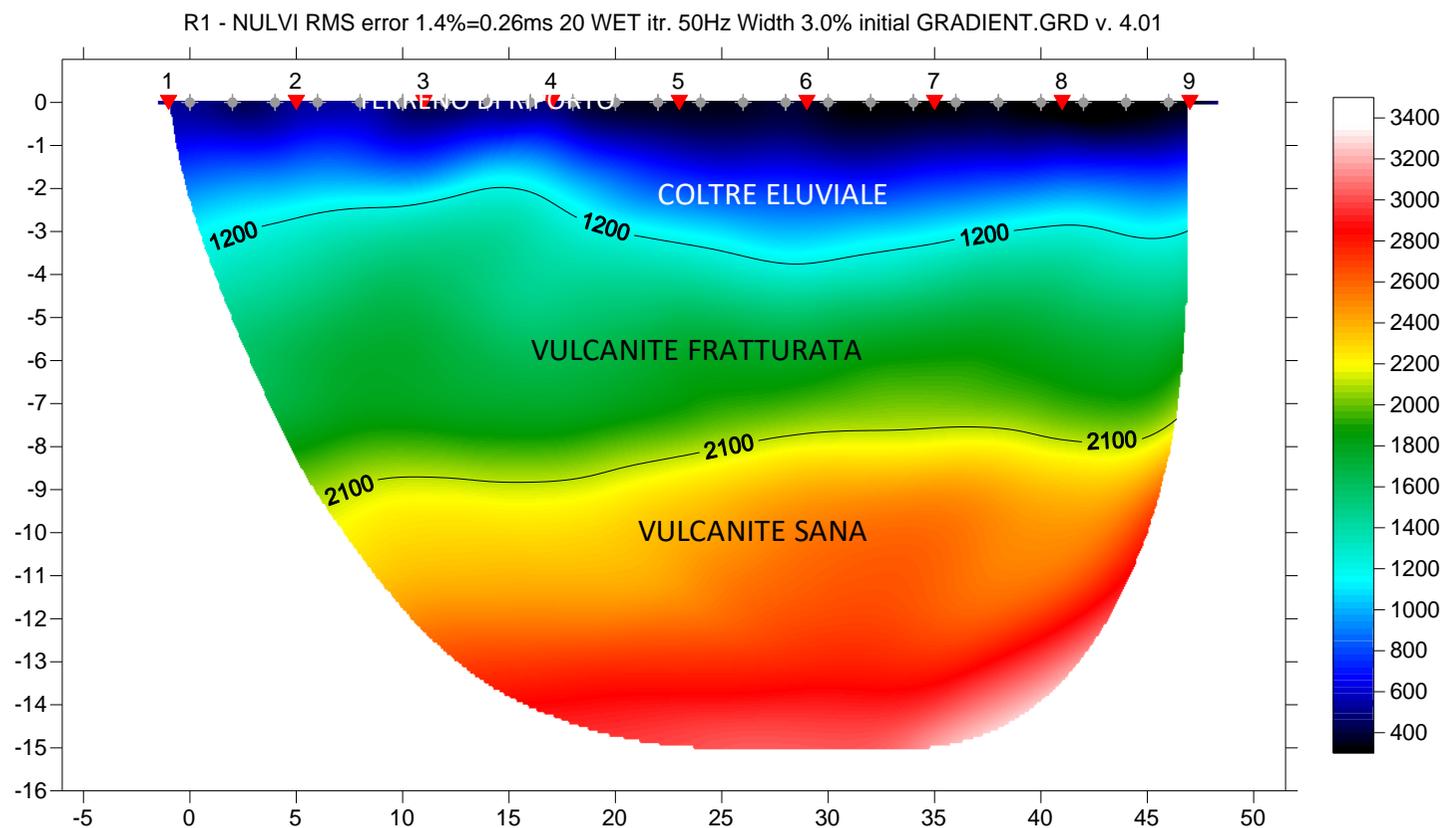
G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;

4.3 Risultati dell'indagine sismica rifrazione R1



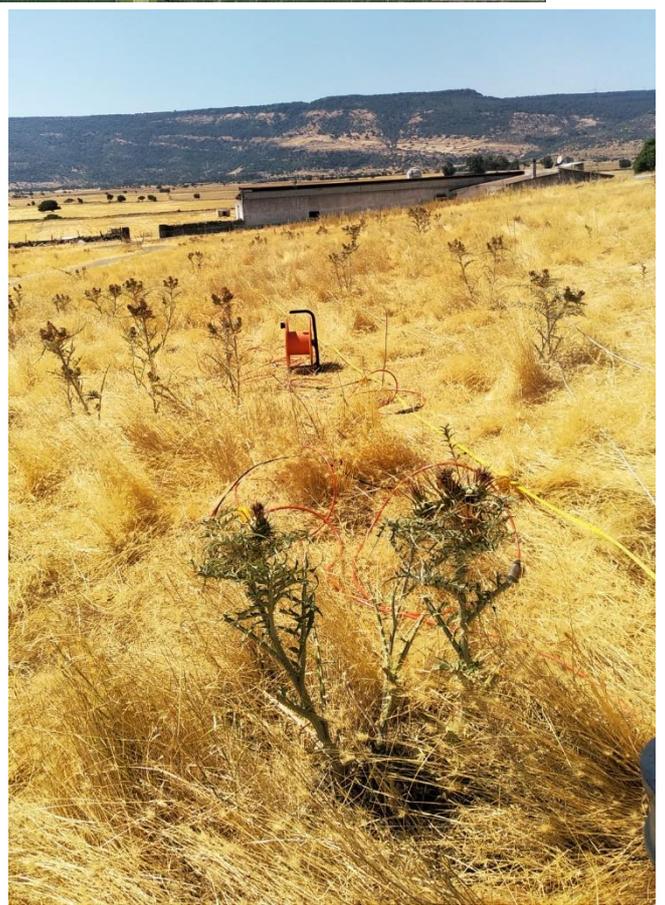
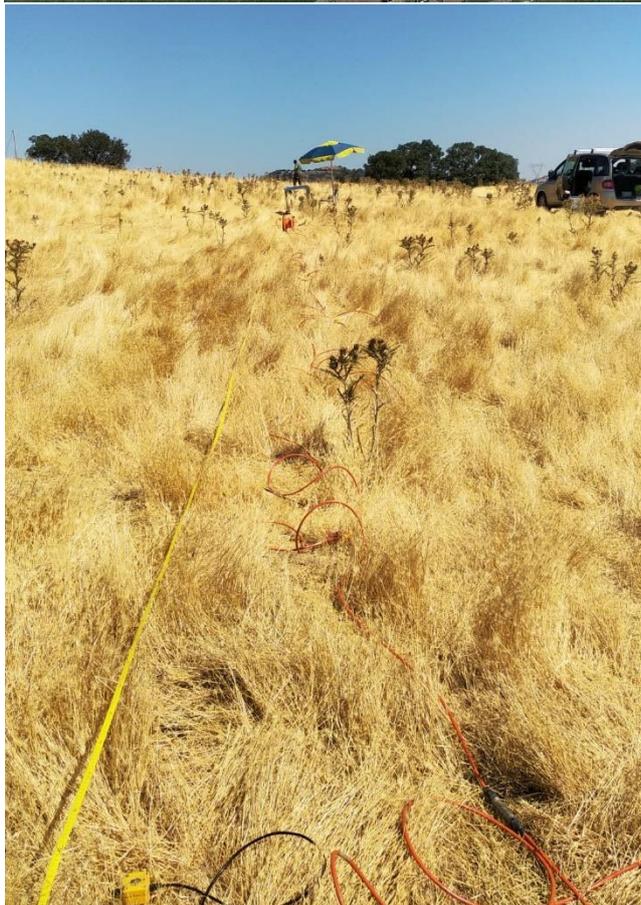
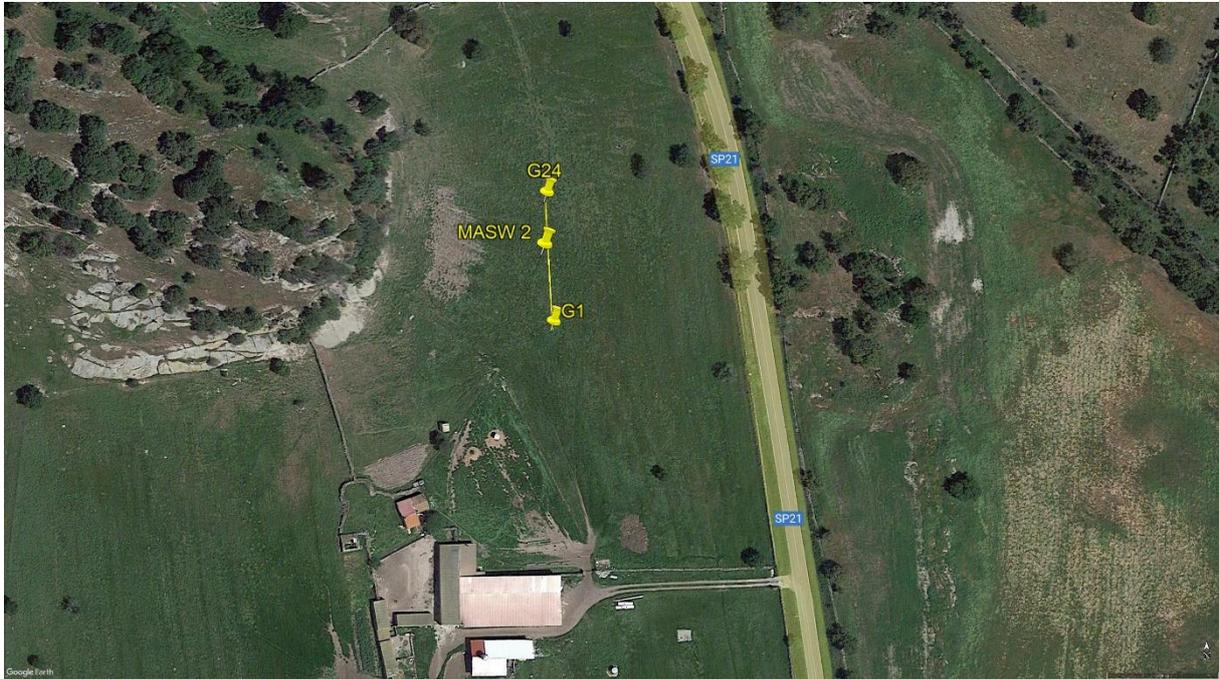
Dal punto di vista stratigrafico la sezione in tomografia sismica può essere così suddivisa:

n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Vp [m/sec]
1	COLTRE ELUVIALE	3	3	400 - 1200
2	VULCANITE FRATTURATA	9	6	1200 - 2100
3	VULCANITE SANA	>9		>2100

5.0 MASW 2

5.1 Localizzazione e foto

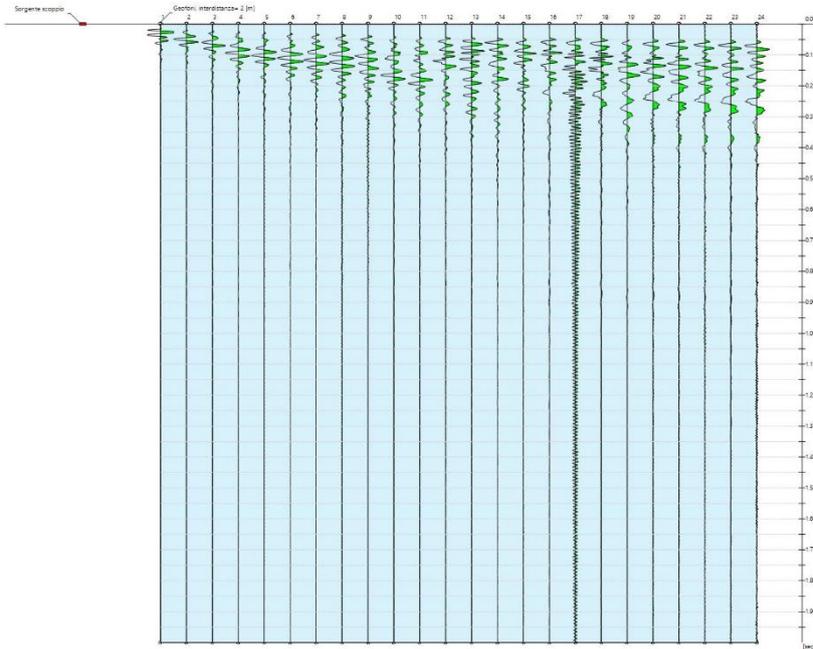
Data	18/07/2022
Latitudine	40.446738°
Longitudine	8.837847°



5.2 Risultati dell'indagine MASW 2

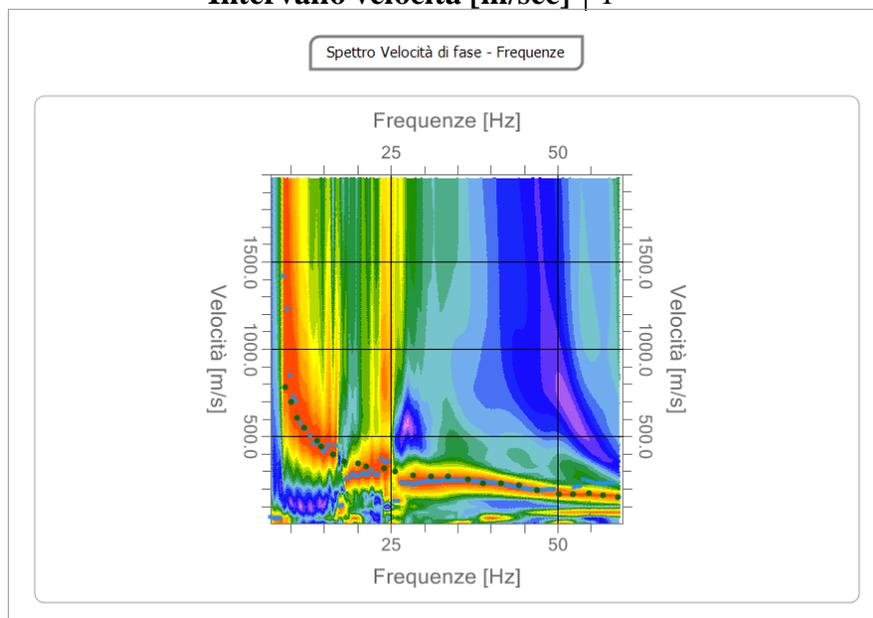
5.2.1 Tracce

N. tracce	24
Durata acquisizione [msec]	2000.0
Interdistanza geofoni [m]	2.0
Periodo di campionamento [msec]	1.00



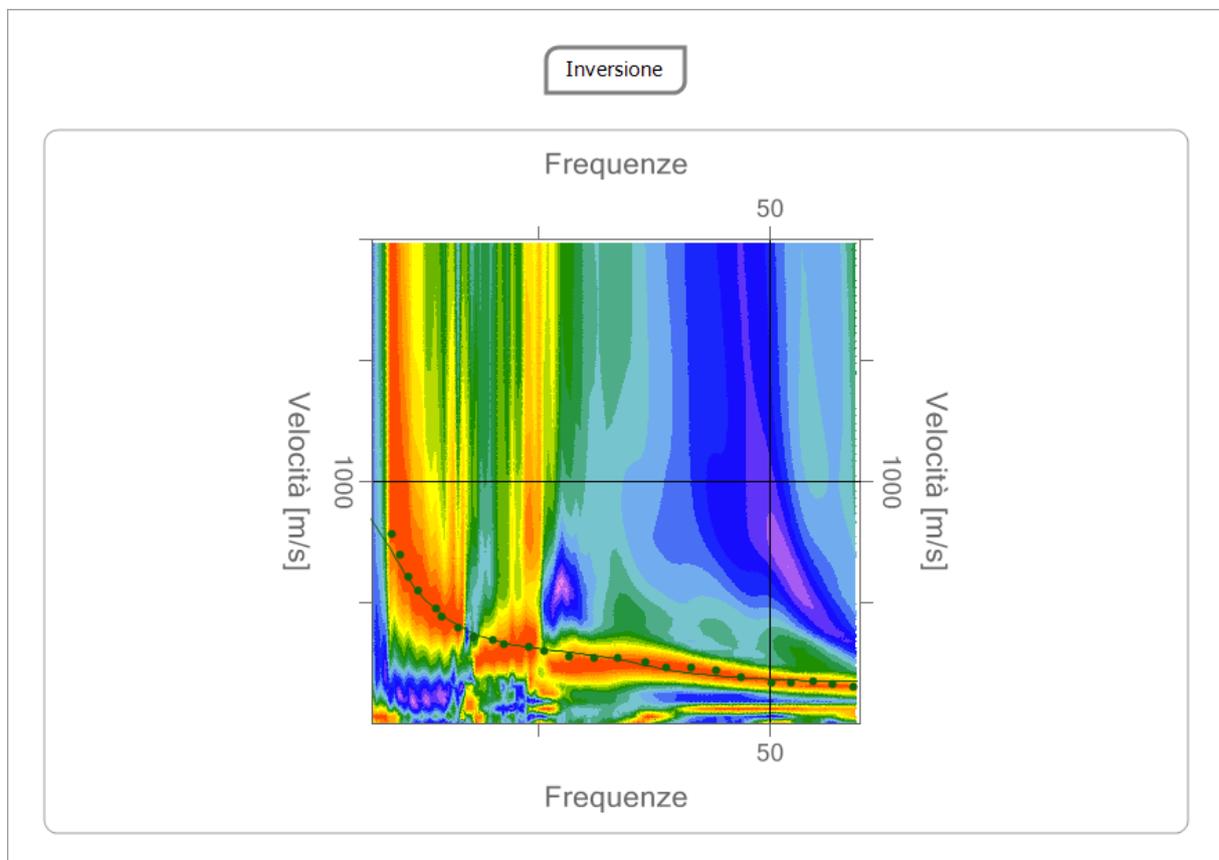
5.2.2 Analisi spettrale e curva di dispersione

Frequenza minima di elaborazione [Hz]	7
Frequenza massima di elaborazione [Hz]	60
Velocità minima di elaborazione [m/sec]	1
Velocità massima di elaborazione [m/sec]	2000
Intervallo velocità [m/sec]	1



5.2.3 Inversione, profilo di velocità e sismostratigrafia

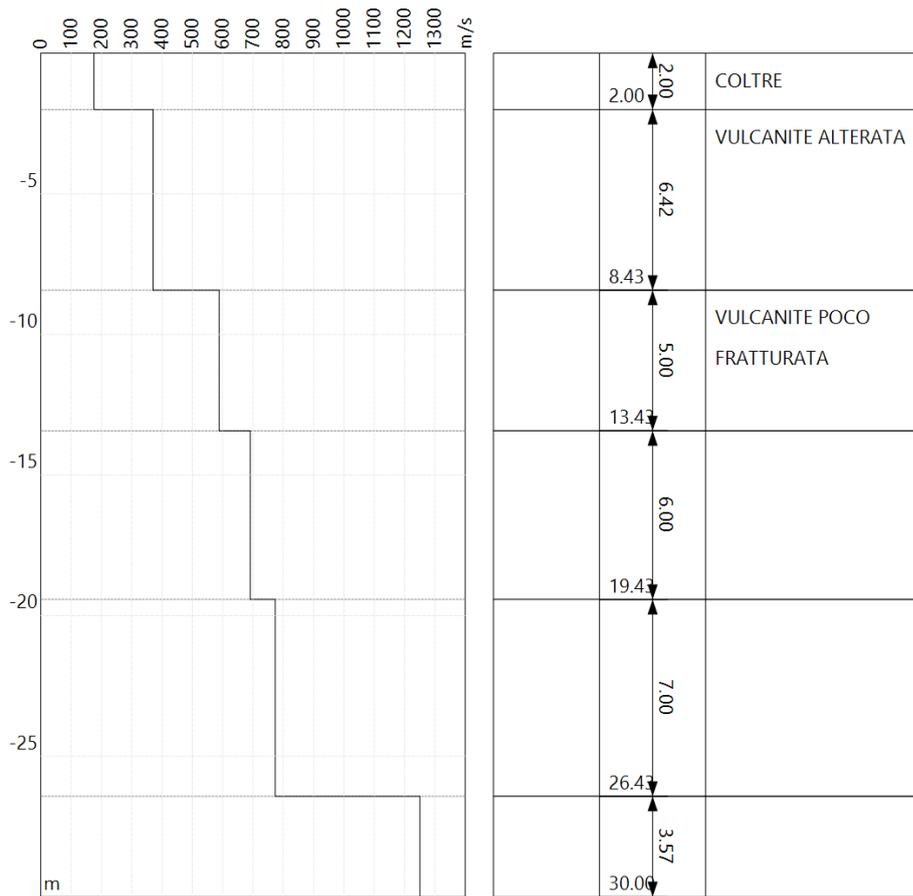
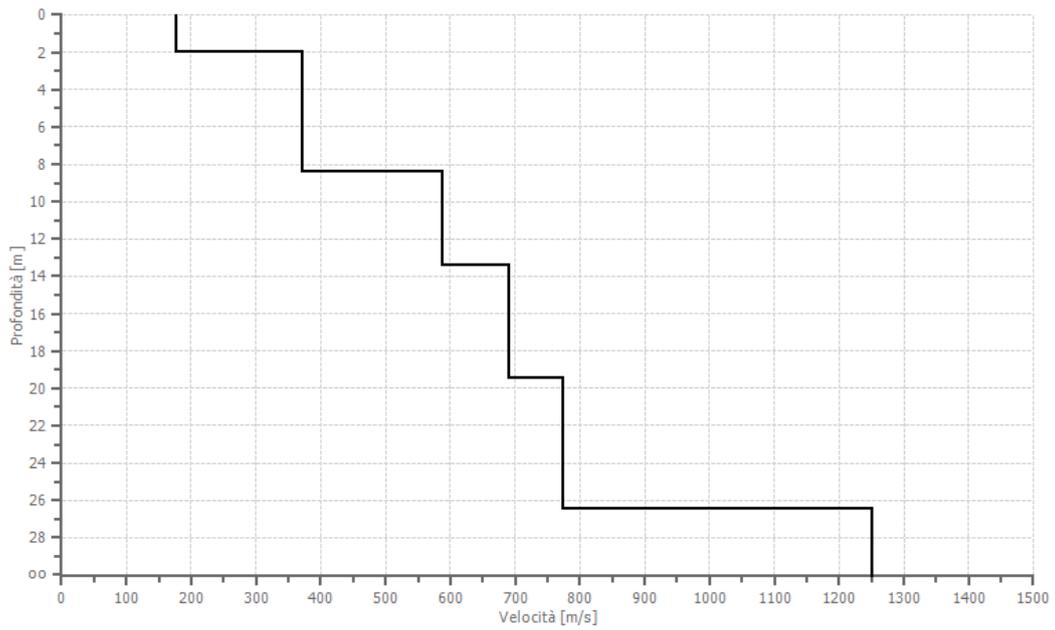
n .	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coeff. Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	COLTRE	2.00	2.00	1800.0	0.35	No	365.6	175.6
2	VULCANITE ALTERATA	8.43	6.42	1900.0	0.30	No	692.7	370.3
3	VULCANITE POCO FRATTURATA	13.43	5.00	1900.0	0.30	No	1100.8	588.4
4		19.43	6.00	1900.0	0.25	No	1197.0	691.1
5		26.43	7.00	1900.0	0.25	No	1340.0	773.7
6		oo	oo	1900.0	0.25	No	2166.4	1250.8



Percentuale di errore

0.308 %

Profilo di velocità



5.2.4 Risultati: categoria di sottosuolo e altri parametri geotecnici

Profondità piano di posa [m]	0.00
Vs,eq [m/sec] (H=23.43 m)	480.68
Categoria del suolo	B

Suolo di tipo 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.

5.2.5 Altri parametri geotecnici

n	Prof.tà [m]	Spess. [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/mc]	Coeff. Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]
1	2.00	2.00	175.64	365.62	1800.00	0.35	55.53	240.62	166.59	149.93
2	8.43	6.42	370.25	692.68	1900.00	0.30	260.47	911.63	564.34	677.21
3	13.43	5.00	588.38	1100.75	1900.00	0.30	657.75	2302.14	1425.13	1710.16
4	19.43	6.00	691.07	1196.97	1900.00	0.25	907.40	2722.20	1512.33	2268.50
5	26.43	7.00	773.68	1340.04	1900.00	0.25	1137.29	3411.87	1895.48	2843.22
6	oo	oo	1250.78	2166.41	1900.00	0.25	2972.43	8917.30	4954.06	7431.09

G0: Modulo di deformazione al taglio;

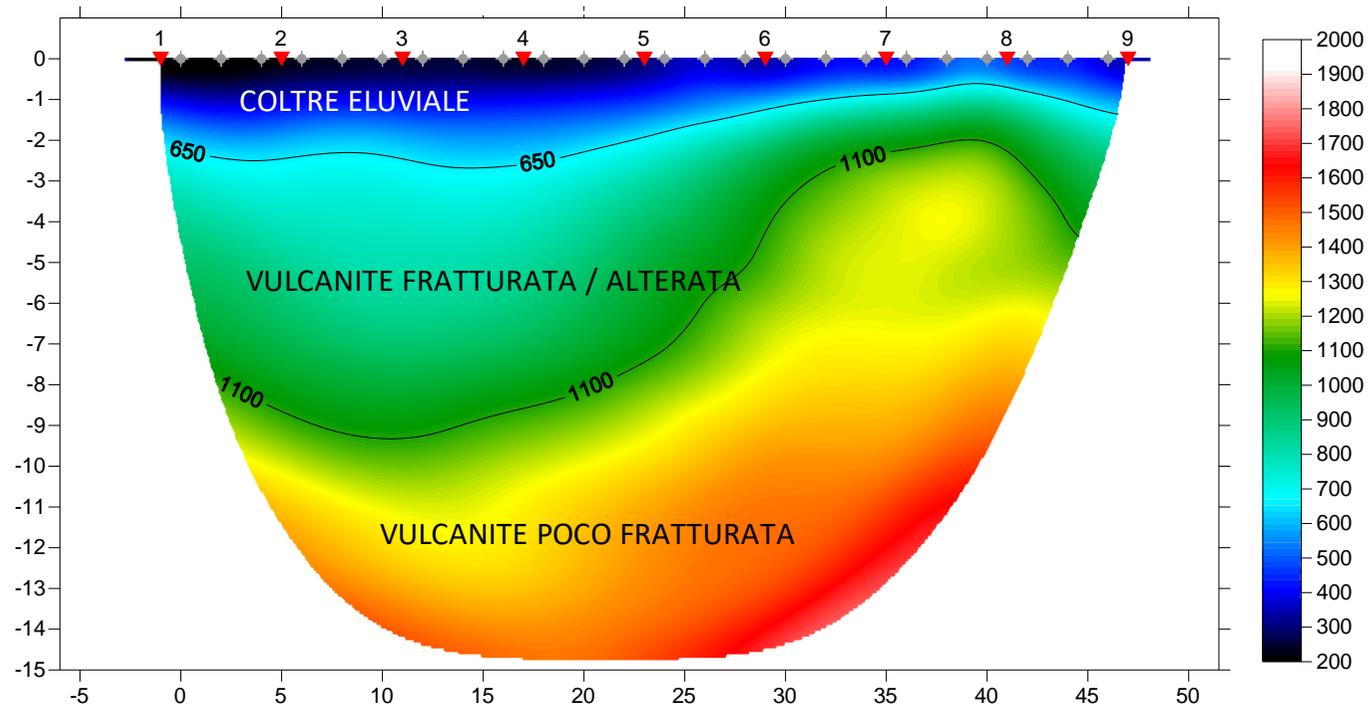
Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;

5.3 Risultati dell'indagine sismica rifrazione R2

R2 - NULVI RMS error 3.2%=0.85ms 20 WET itr. 50Hz Width 7.0% initial GRADIENT.GRD v. 4.01



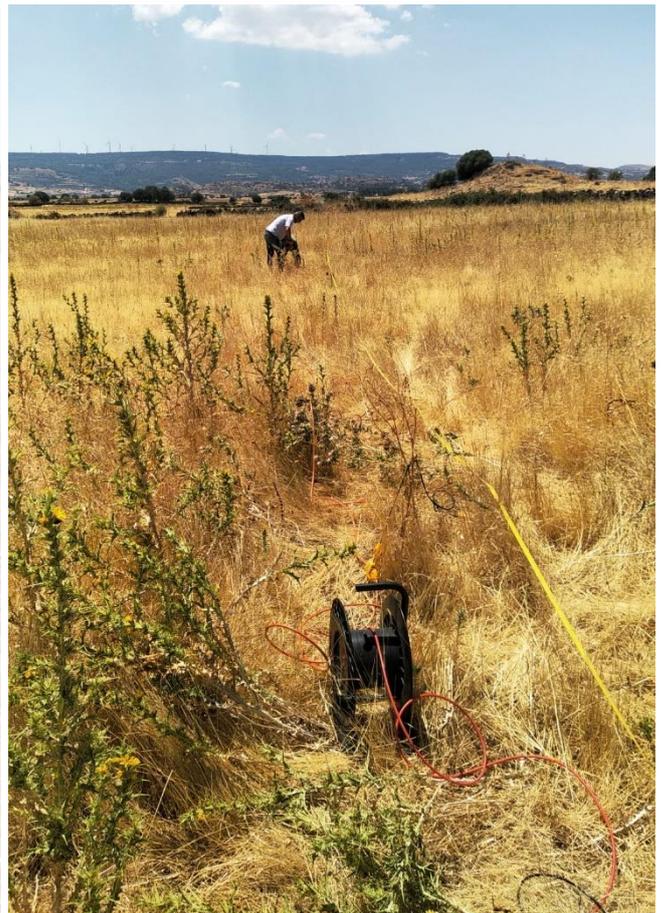
Dal punto di vista stratigrafico la sezione in tomografia sismica può essere così suddivisa:

n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Vp [m/sec]
1	COLTRE ELUVIALE	2	2	200 – 650
2	VULCANITE FRATTURATA / ALTERATA	8	6	650 – 1100
3	VULCANITE POCO FRATTURATA	>8		>1100

6.0 MASW 3

6.1 Localizzazione e foto

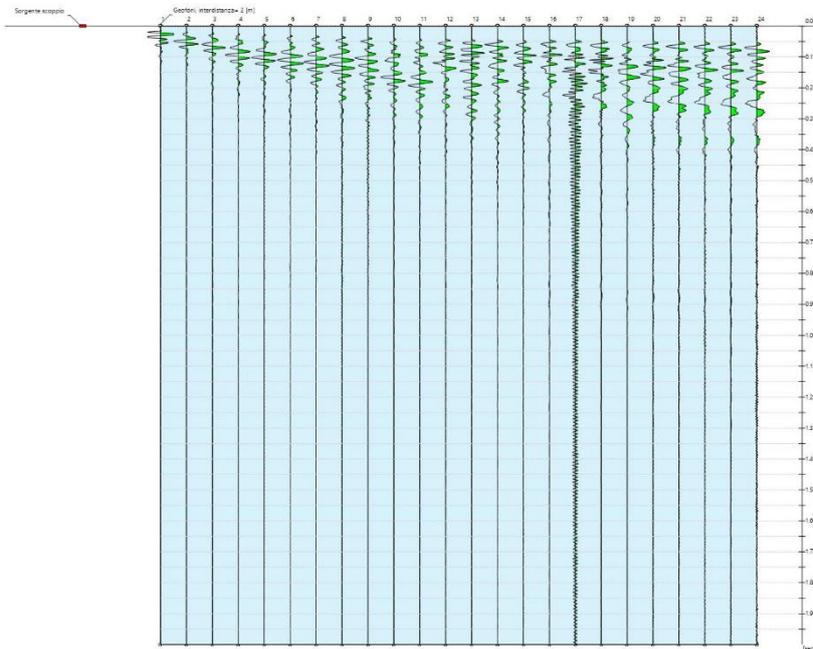
Data	18/07/2022
Latitudine	40.437072°
Longitudine	8.841381°



6.2 Risultati dell'indagine MASW 3

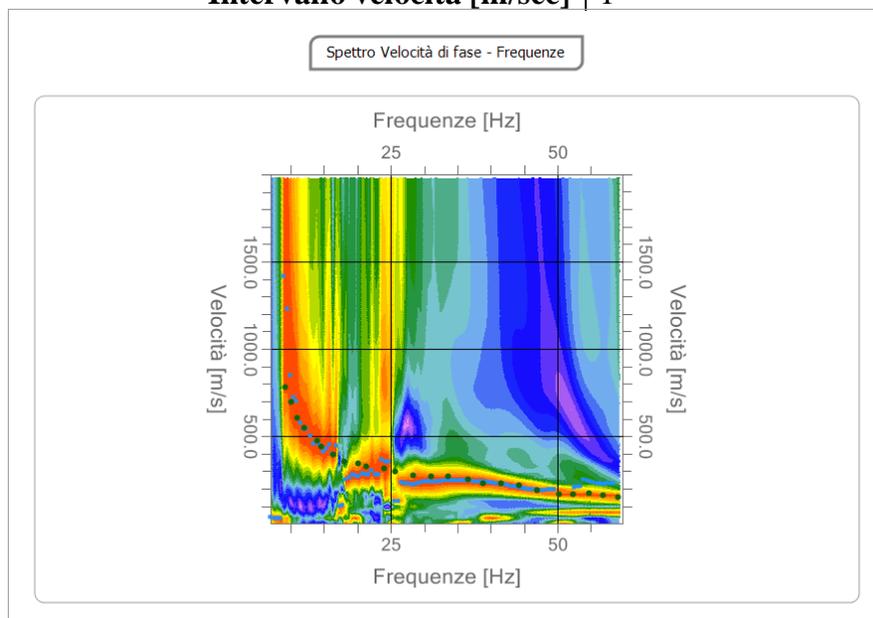
6.2.1 Tracce

N. tracce	24
Durata acquisizione [msec]	2000.0
Interdistanza geofoni [m]	2.0
Periodo di campionamento [msec]	1.00



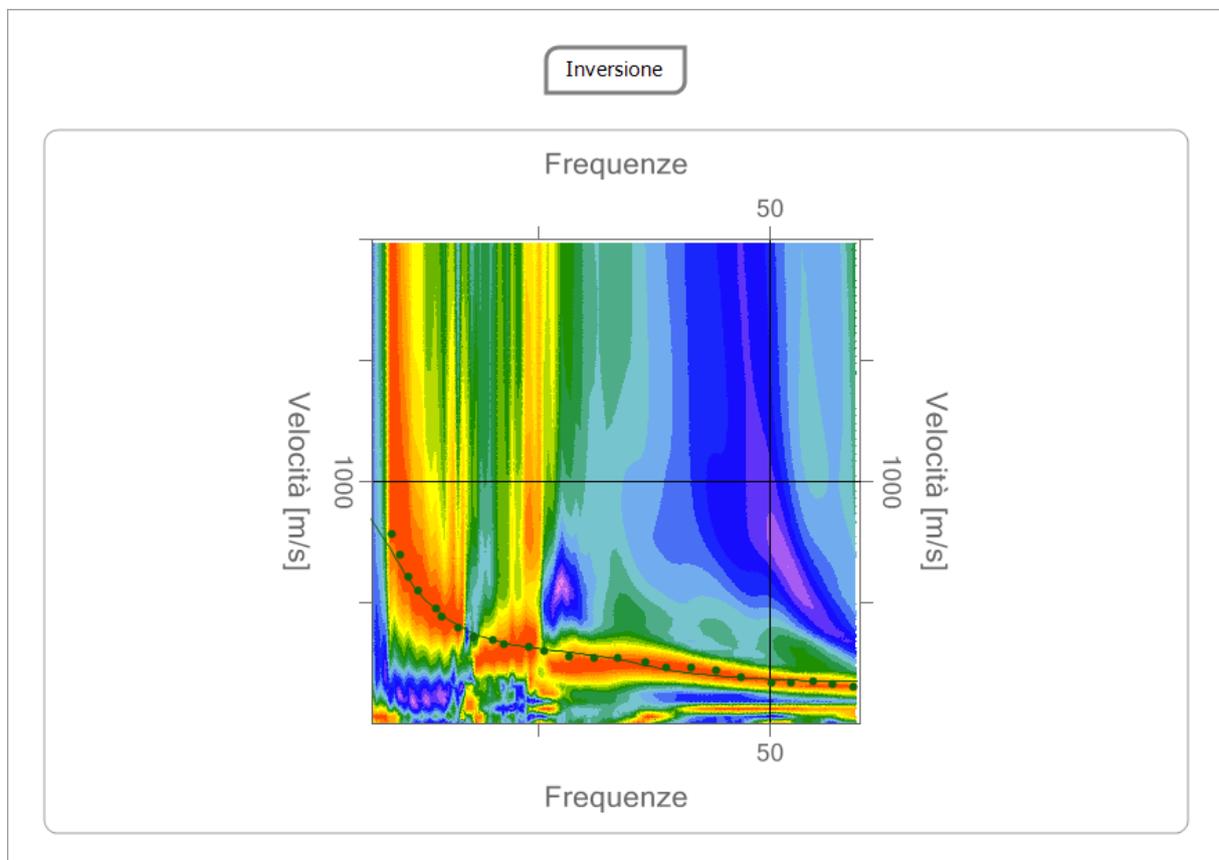
6.2.2 Analisi spettrale e curva di dispersione

Frequenza minima di elaborazione [Hz]	7
Frequenza massima di elaborazione [Hz]	60
Velocità minima di elaborazione [m/sec]	1
Velocità massima di elaborazione [m/sec]	2000
Intervallo velocità [m/sec]	1



6.2.3 Inversione, profilo di velocità e sismostratigrafia

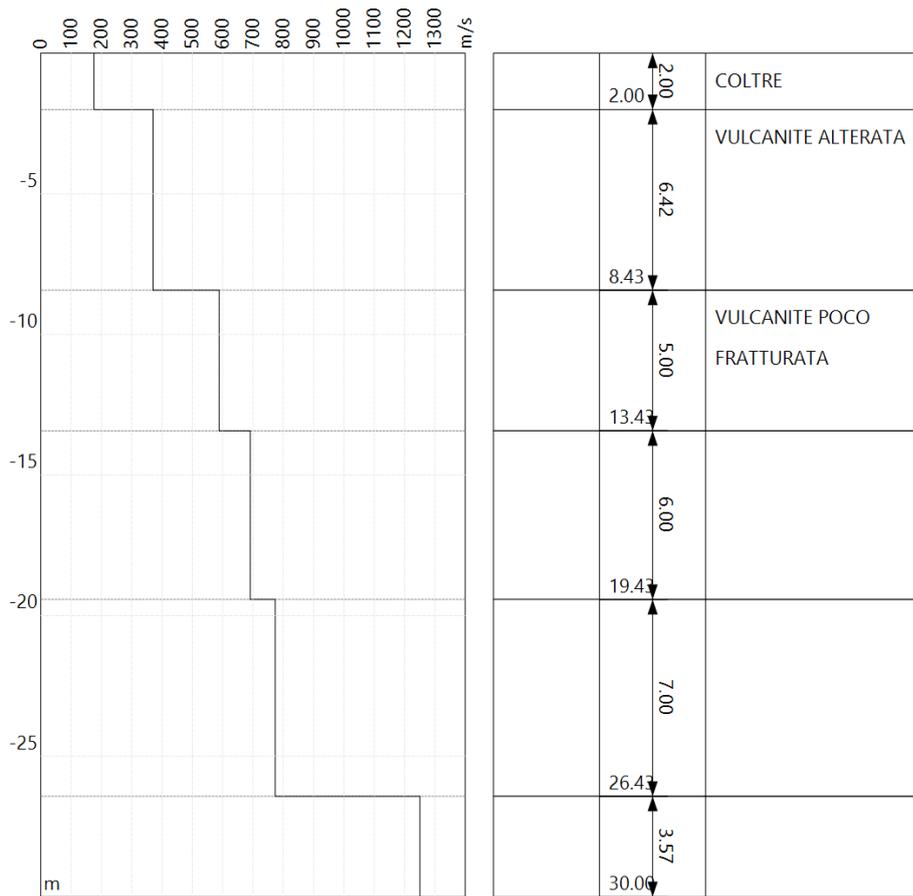
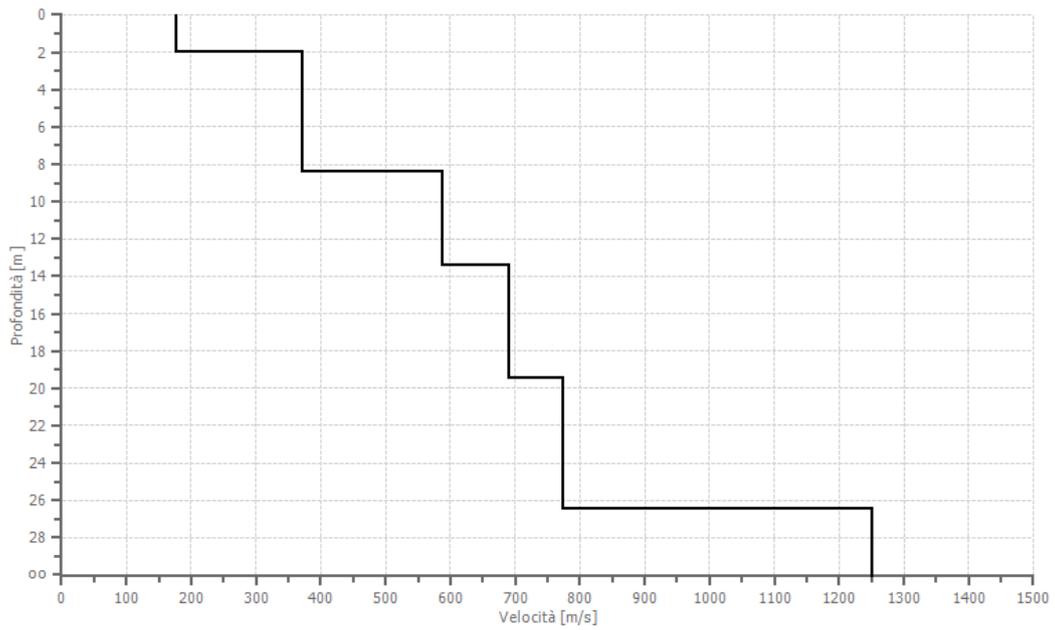
n	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coeff. Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	COLTRE	2.00	2.00	1800.0	0.35	No	365.6	175.6
2	VULCANITE ALTERATA	8.43	6.42	1900.0	0.30	No	692.7	370.3
3	VULCANITE POCO FRATTURATA	13.43	5.00	1900.0	0.30	No	1100.8	588.4
4		19.43	6.00	1900.0	0.25	No	1197.0	691.1
5		26.43	7.00	1900.0	0.25	No	1340.0	773.7
6		oo	oo	1900.0	0.25	No	2166.4	1250.8



Percentuale di errore

0.308 %

Profilo di velocità



6.2.4 Risultati: categoria di sottosuolo e altri parametri geotecnici

Profondità piano di posa [m]	0.00
Vs,eq [m/sec] (H=23.43 m)	480.68
Categoria del suolo	B

Suolo di tipo B: Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

6.2.5 Altri parametri geotecnici

n	Prof.tà [m]	Spess. [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/mc]	Coeff. Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]
1	2.00	2.00	175.64	365.62	1800.00	0.35	55.53	240.62	166.59	149.93
2	8.43	6.42	370.25	692.68	1900.00	0.30	260.47	911.63	564.34	677.21
3	13.43	5.00	588.38	1100.75	1900.00	0.30	657.75	2302.14	1425.13	1710.16
4	19.43	6.00	691.07	1196.97	1900.00	0.25	907.40	2722.20	1512.33	2268.50
5	26.43	7.00	773.68	1340.04	1900.00	0.25	1137.29	3411.87	1895.48	2843.22
6	oo	oo	1250.78	2166.41	1900.00	0.25	2972.43	8917.30	4954.06	7431.09

G0: Modulo di deformazione al taglio;

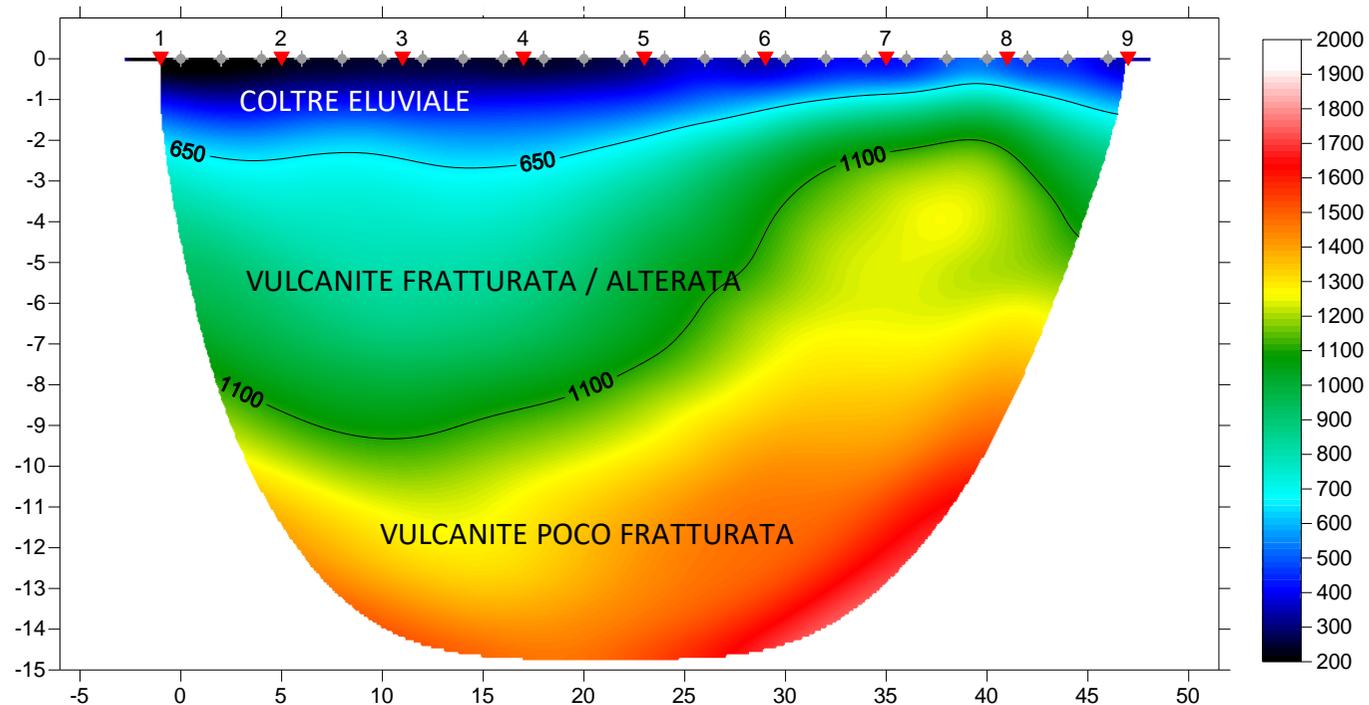
Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;

6.3 Risultati dell'indagine sismica rifrazione R2

R2 - NULVI RMS error 3.2%=0.85ms 20 WET itr. 50Hz Width 7.0% initial GRADIENT.GRD v. 4.01



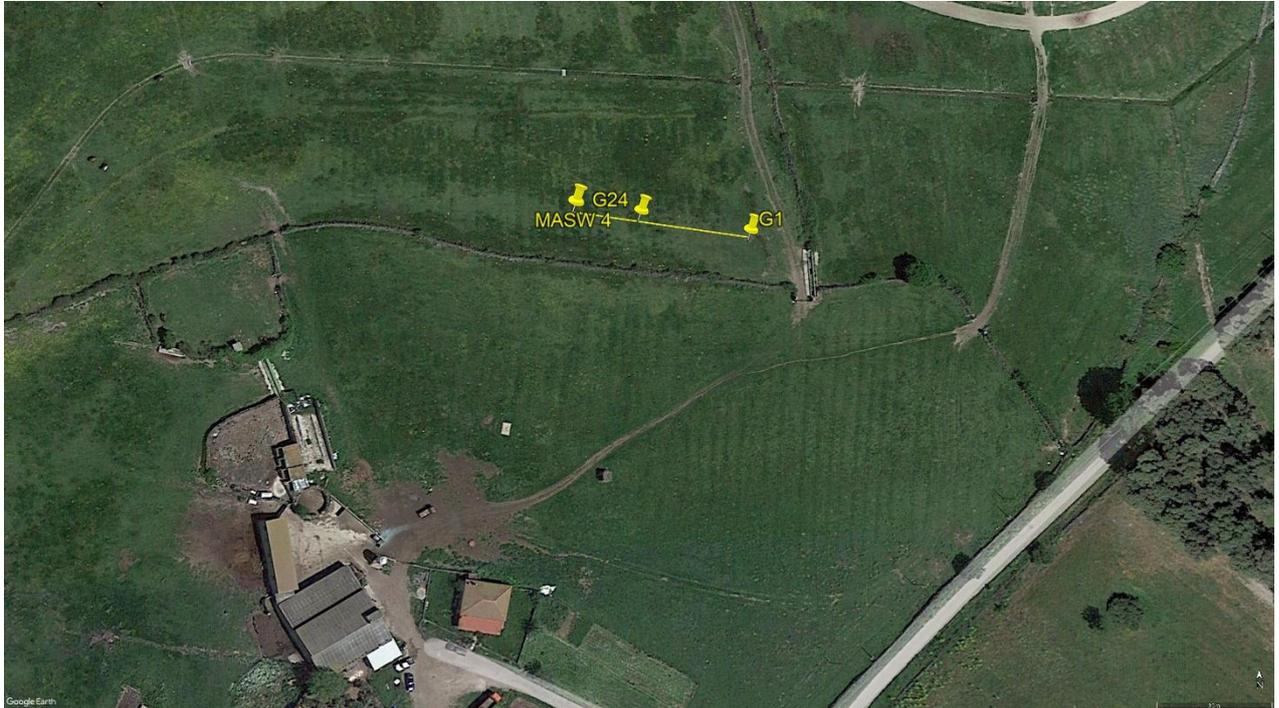
Dal punto di vista stratigrafico la sezione in tomografia sismica può essere così suddivisa:

n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Vp [m/sec]
1	COLTRE ELUVIALE	2	2	200 – 650
2	VULCANITE FRATTURATA / ALTERATA	8	6	650 – 1100
3	VULCANITE POCO FRATTURATA	>8		>1100

7.0 MASW 4

7.1 Localizzazione e foto

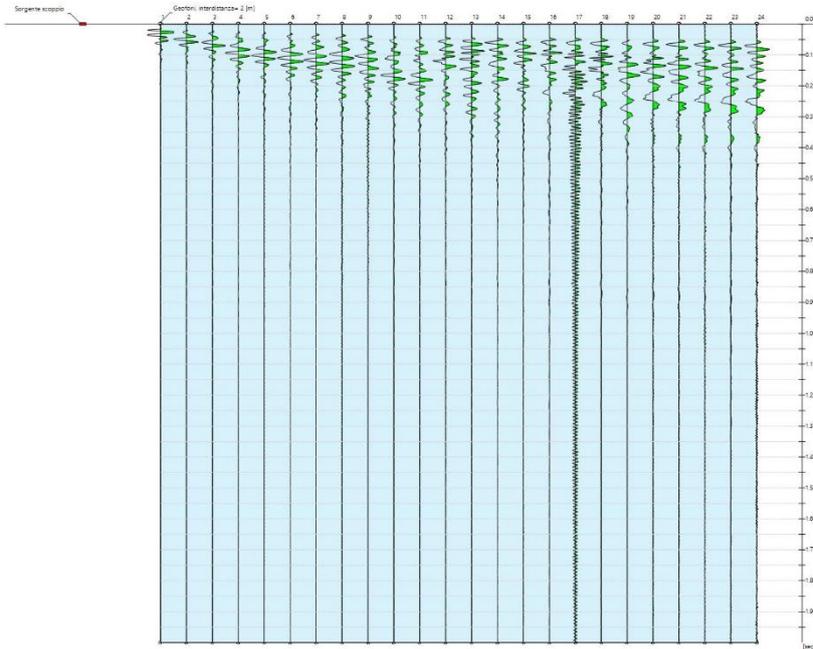
Data	18/07/2022
Latitudine	40.437072°
Longitudine	8.841381°



7.2 Risultati dell'indagine MASW 4

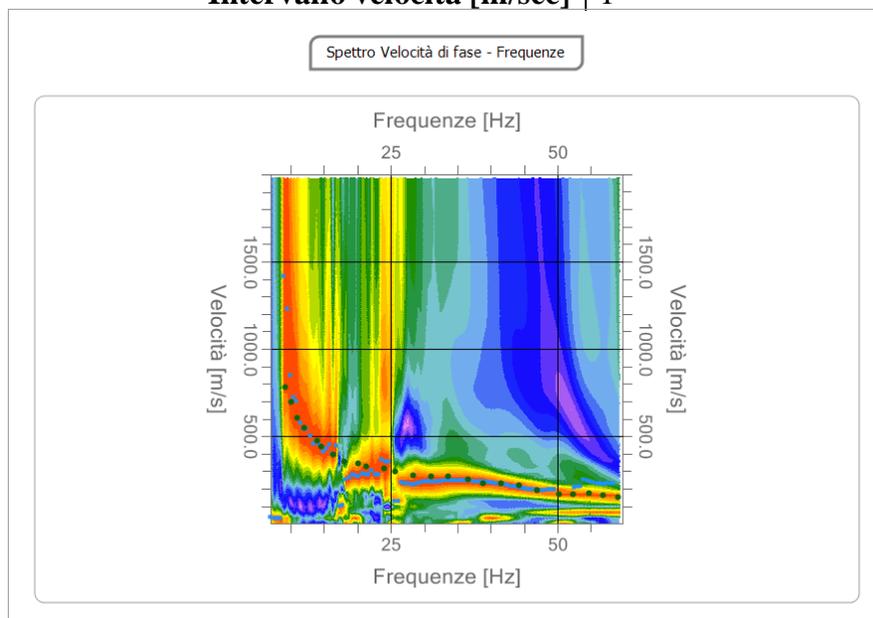
7.2.1 Tracce

N. tracce	24
Durata acquisizione [msec]	2000.0
Interdistanza geofoni [m]	2.0
Periodo di campionamento [msec]	1.00



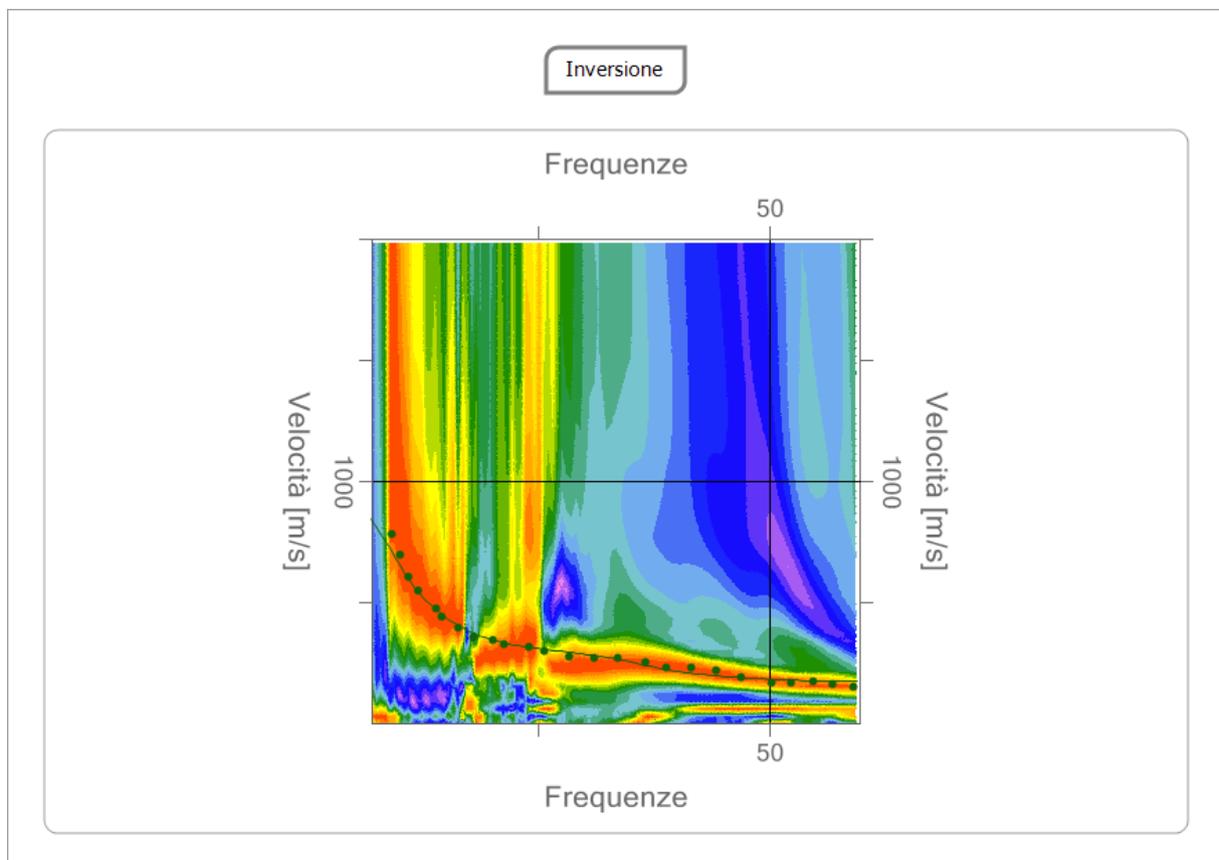
7.2.2 Analisi spettrale e curva di dispersione

Frequenza minima di elaborazione [Hz]	7
Frequenza massima di elaborazione [Hz]	60
Velocità minima di elaborazione [m/sec]	1
Velocità massima di elaborazione [m/sec]	2000
Intervallo velocità [m/sec]	1



7.2.3 Inversione, profilo di velocità e sismostratigrafia

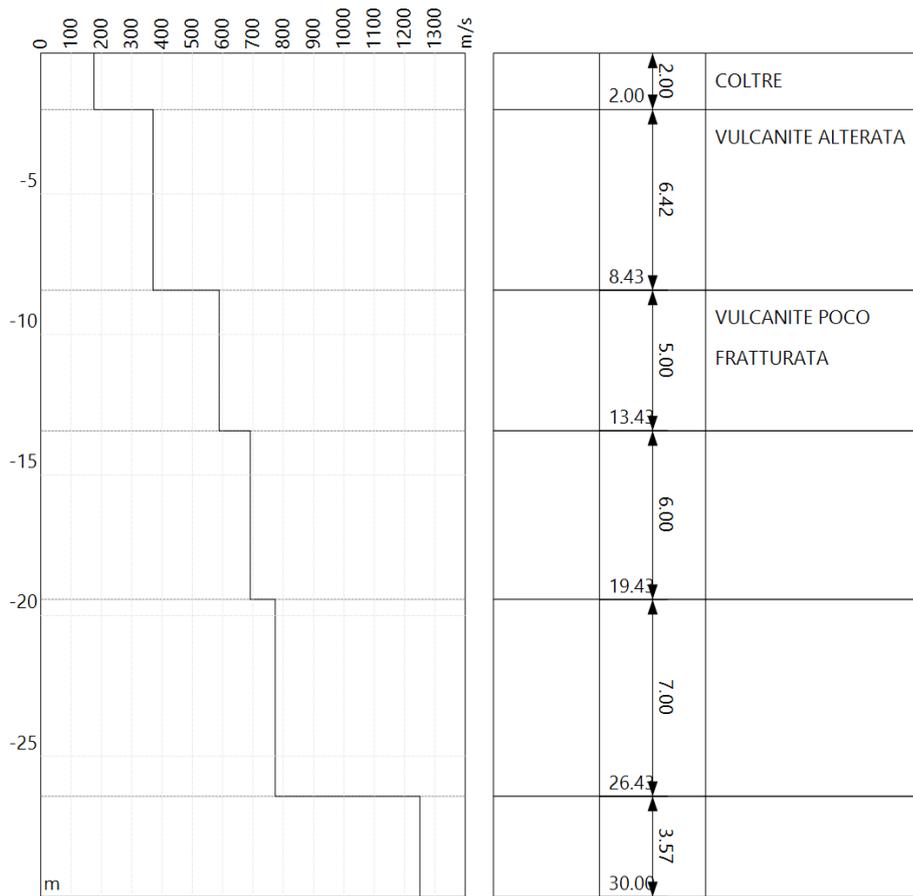
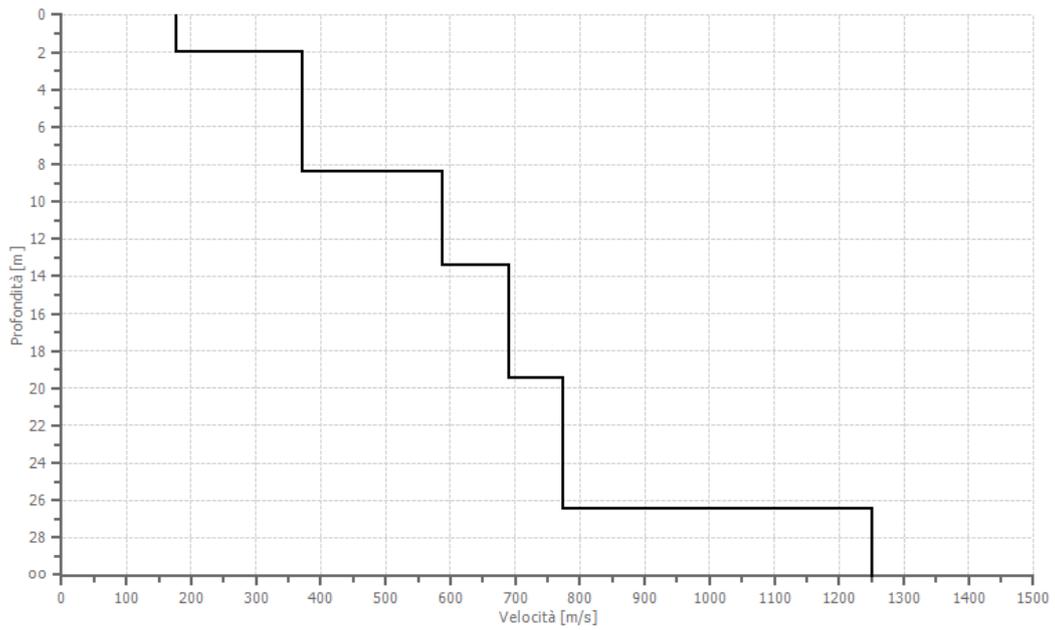
n	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coeff. Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	COLTRE	2.00	2.00	1800.0	0.35	No	365.6	175.6
2	VULCANITE ALTERATA	8.43	6.42	1900.0	0.30	No	692.7	370.3
3	VULCANITE POCO FRATTURATA	13.43	5.00	1900.0	0.30	No	1100.8	588.4
4		19.43	6.00	1900.0	0.25	No	1197.0	691.1
5		26.43	7.00	1900.0	0.25	No	1340.0	773.7
6		oo	oo	1900.0	0.25	No	2166.4	1250.8



Percentuale di errore

0.308 %

Profilo di velocità



7.2.4 Risultati: categoria di sottosuolo e altri parametri geotecnici

Profondità piano di posa [m]	0.00
Vs,eq [m/sec] (H=23.43 m)	480.68
Categoria del suolo	B

Suolo di tipo B: Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

7.2.5 Altri parametri geotecnici

n	Prof.tà [m]	Spess. [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/mc]	Coeff. Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]
1	2.00	2.00	175.64	365.62	1800.00	0.35	55.53	240.62	166.59	149.93
2	8.43	6.42	370.25	692.68	1900.00	0.30	260.47	911.63	564.34	677.21
3	13.43	5.00	588.38	1100.75	1900.00	0.30	657.75	2302.14	1425.13	1710.16
4	19.43	6.00	691.07	1196.97	1900.00	0.25	907.40	2722.20	1512.33	2268.50
5	26.43	7.00	773.68	1340.04	1900.00	0.25	1137.29	3411.87	1895.48	2843.22
6	oo	oo	1250.78	2166.41	1900.00	0.25	2972.43	8917.30	4954.06	7431.09

G0: Modulo di deformazione al taglio;

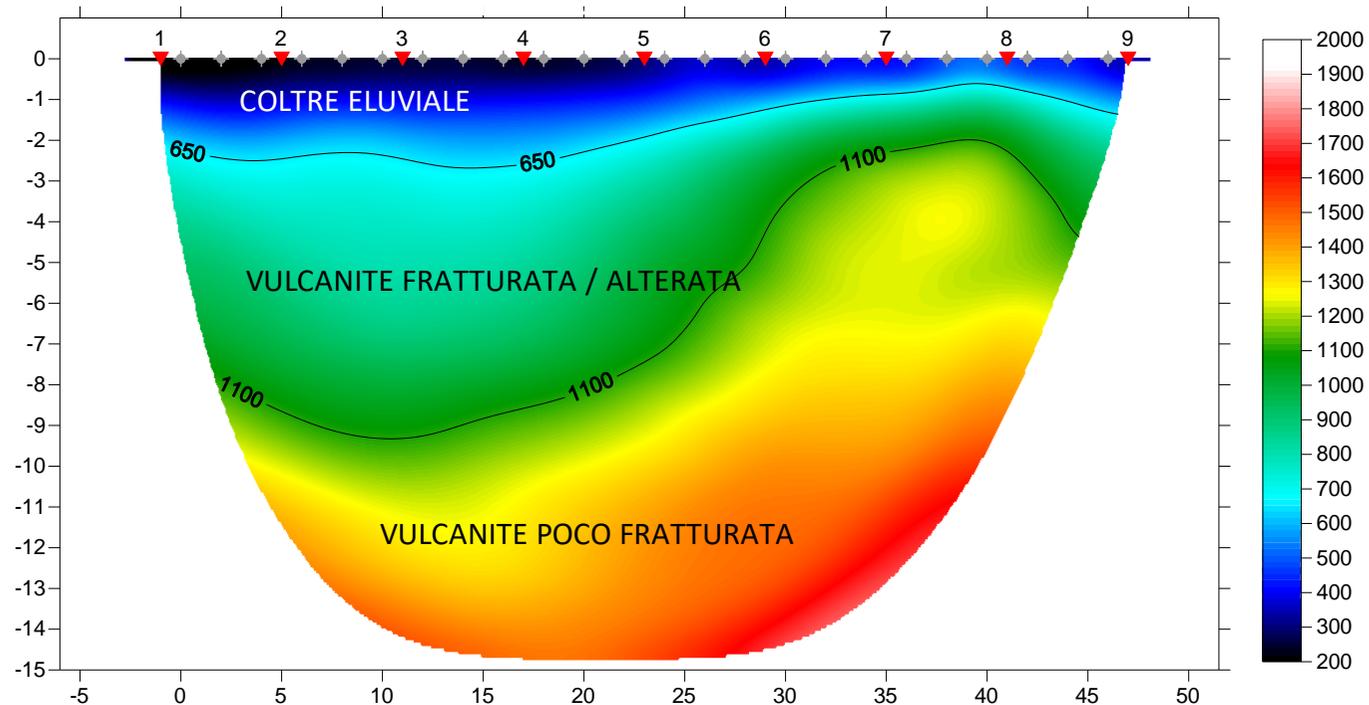
Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;

7.3 Risultati dell'indagine sismica rifrazione R2

R2 - NULVI RMS error 3.2%=0.85ms 20 WET itr. 50Hz Width 7.0% initial GRADIENT.GRD v. 4.01



Dal punto di vista stratigrafico la sezione in tomografia sismica può essere così suddivisa:

n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Vp [m/sec]
1	COLTRE ELUVIALE	2	2	200 – 650
2	VULCANITE FRATTURATA / ALTERATA	8	6	650 – 1100
3	VULCANITE POCO FRATTURATA	>8		>1100

