

Bentu Energy Srl

# Parco Eolico BENTU sito nel Comune di Thiesi

Relazione di Compatibilità Idrogeologica

Luglio 2022

Regione autonoma della Sardegna



Comune di Thiesi



Committente:

**BENTU Energy Srl**

**BENTU Energy Srl**  
Via Sardegna, 40  
00187 Roma  
P.IVA/C.F. 15802451003

Titolo del Progetto:

**Parco Eolico BENTU sito nel Comune di Thiesi**

Documento:

**Relazione di Compatibilità  
Idrogeologica**

N° Documento:

**IT-VesBen-CLP-CIV-TR-22**



**Studio Tecnico di Geologia  
Applicata all'Ingegneria e  
all'Ambiente**

Centro Direzionale "Pittarello"  
Loc. Scala Sa Perda, 87  
09028 Sestu (CA)  
T +39 070 734 6008  
Mob +39 345 788 2814  
e-mail: [info@gaiac consulting.eu](mailto:info@gaiac consulting.eu)

Progettista:



*Cosima Atzori*

Rev	Data Revisione	Descrizione	Redatto	Controllato	Approvato
00	05.07.2022	Prima emissione	Cosima Atzori		

BENTU Energy Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesBen-CLP-CIV-TR-22	Rev 0	Pagina 3 di 72
------------------	---------------------	------------------------------------	-------	-------------------

## Sommario

<b>1. Premessa</b>	<b>6</b>
<b>2. Normativa di riferimento</b>	<b>6</b>
<b>3. Studio e indagini di riferimento</b>	<b>6</b>
<b>4. Inquadramento geografico generale</b>	<b>7</b>
<b>5. Caratteristiche di progetto dell'opera</b>	<b>12</b>
<b>6. Inquadramento geologico</b>	<b>14</b>
6.1. Descrizione del contesto geologico dell'area vasta oggetto di intervento	14
6.2. Successione litostratigrafica dell'area di intervento	14
6.2.1. Distretto vulcanico di Capo Marargiu Miocene Inferiore)	15
6.2.2. Distretto Vulcanico di Osilo-Castelsardo (Miocene Inferiore)	16
6.3. Successione sedimentaria Oligo-Miocenica del Logudoro-Sassarese	16
6.4. Depositi Quaternari dell'area continentale	17
<b>7. Analisi delle condizioni geostrukturali generali</b>	<b>19</b>
7.1. Campagna di raccolta dei dati geostrukturali su affioramento	19
7.1.1. Rilievo geostrukturale Scanline 1	23
7.1.2. Rilievo geostrukturale Scanline2	24
<b>8. Analisi qualitativa di stabilità dell'ammasso roccioso</b>	<b>26</b>
<b>9. Inquadramento geomorfologico</b>	<b>28</b>
9.1. Lineamenti geomorfologici dell'area di studio	31
9.2. Definizione dell'area geomorfologicamente significativa	36
<b>10. Inquadramento idrogeologico</b>	<b>37</b>
10.1. Scheme della circolazione idrica superficiale	37
10.2. Caratteristiche delle acque sotterranee	40
10.3. Analisi della vulnerabilità degli acquiferi	43
<b>11. Inquadramento pedologico</b>	<b>47</b>
<b>12. Uso del Suolo</b>	<b>48</b>
<b>13. Analisi dei vincoli gravanti sui terreni</b>	<b>49</b>
13.1. Piano Stralcio D'Assetto Idrogeologico della Sardegna	49

BENTU Energy Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesBen-CLP-CIV-TR-22	Rev 0	Pagina 4 di 72
------------------	---------------------	------------------------------------	-------	-------------------

13.2.	Art.30 Ter NTA PAI.....	52
13.3.	Inventario dei Fenomeni franosi .....	54
13.4.	Piano Stralcio delle Fascie Fluviali .....	54
13.5.	Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA) .....	55
<b>14.</b>	<b>Modellazione geologica.....</b>	<b>57</b>
14.1.	Caratterizzazione geostrutturale degli ammassi rocciosi.....	57
14.2.	Viabilità di impianto e sottostazione.....	64
<b>15.</b>	<b>Modello geologico di sito .....</b>	<b>65</b>
<b>16.</b>	<b>Compatibilità idraulica e e geologica-geotecnica .....</b>	<b>67</b>
<b>17.</b>	<b>Conclusioni .....</b>	<b>71</b>

#### Indice delle figure

Figura 1	Localizzazione del progetto .....	7
Figura 2	Inquadramento topografico su C.T.R. RAS scala 1:10000, sezione W.....	9
Figura 3	Inquadramento topografico su C.T.R. RAS scala 1:10000, sezione E .....	10
Figura 4	Inquadramento topografico su Carta IGM scala 1:25000 .....	11
Figura 5	Paesaggio caratteristico dell'area di studio.....	12
Figura 6	Schema tettonico-strutturale della Sardegna.....	14
Figura 7	Particolare della litologia appartenente all'unità di Uri .....	15
Figura 8	Stralcio carta geologica (Fonte RAS).....	18
Figura 9	Affioramento dell'Unità di Monte Frusciu con discontinuità in giacitura subverticale con orientazione 140° Nord e 75° di inclinazione, coord. 40.52325, 8.59521.....	20
Figura 10	Affioramento con discontinuità in giacitura 250Nord e inclinazione 60 gradi in prossimità della AG08, coord. 40.53518, 8.66079 .....	20
Figura 11	Affioramento con discontinuità in giacitura 140Nord e inclinazione 82 gradi in località Baddighedda, coord. 40.5266, 8.59245.....	21
Figura 12	Affioramento con discontinuità in giacitura 250Nord e inclinazione 81 gradi tra la AG07 e la AG08, coord. 40.53273, 8.65894.....	22
Figura 13	rilievo geostrutturale Scanline1.....	23
Figura 14	Proiezione stereografica delle discontinuità rilevate sull'affioramento Scanline1.....	24
Figura 15	rilievo geostrutturale Scanline2.....	25
Figura 16	Proiezione stereografica delle discontinuità rilevate sull'affioramento Scanline2.....	25
Figura 17	Tipologie di scivolamento di blocchi rocciosi lungo piani di fratturazione.....	26
Figura 18	A sinistra parete esposta a Sud situata tra la AG02 e la AG03, a destra lo schema del ribaltamento di blocchi per scalzamento alla base .....	27
Figura 19	Ammasso roccioso situato nei pressi della AG04.....	28
Figura 20	Parete carbonatica esposta a Nord nella parte meridionale del parco.....	29
Figura 21	Vista in sezione della struttura stratificata con andamento concentrico nell'altopiano a sud del parco, presunto centro d'emissione a sinistra nella foto.....	31

BENTU Energy Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesBen-CLP-CIV-TR-22	Rev 0	Pagina 5 di 72
------------------	---------------------	------------------------------------	-------	-------------------

Figura 22 Piazzola AG01.....	31
Figura 23 Piazzola AG02.....	32
Figura 24 Piazzola AG03.....	32
Figura 25 Piazzola AG04.....	33
Figura 26 Piazzola AG06.....	33
Figura 27 Piazzola AG07.....	34
Figura 28 Piazzola AG08.....	34
Figura 29 Rilievo isolato a N del parco ospitante le Domus de Janas. ....	35
Figura 30 Erosione selettiva dovuta all'azione aggressiva dell'acqua nella roccia costituita da livelli di flusso piroclastico di differente competenza.....	35
Figura 31 Esempio di tafonature ad ovest della AG04 affetta da tafonature. ....	36
Figura 32 Reticolo idrico superficiale (Fonte RAS).....	39
Figura 33 Schema esemplificativo, non in scala, dei processi di infiltrazione e deflusso sotterraneo.....	42
Figura 34 Grande ristagno tra la AG02 e la AG03, coord. 40.52523, 8.59298 .....	43
Figura 35 Ristagno pressi AG03, coord.40.52748, 8.59728.....	44
Figura 36 Ristagno situato nei pressi della AG06, coord.40.52404, 8.65069 .....	44
Figura 37 Ristagno in corrispondenza della piazzola della AG07 .....	45
Figura 38 Ristagno a valle della sorgente nei pressi della AG08 .....	45
Figura 39 Carta delle Permeabilità dei Substrati e dei Suoli – area impianto (Fonte RAS) .....	46
Figura 40 Reticolo idrografico numerato secondo l'ordine di Stralher .....	47
Figura 41 Carta dei Suoli (Fonte RAS) .....	48
Figura 42 Stralcio della Carta dell'Uso del Suolo della Sardegna (2008, Fonte RAS). ....	49
Figura 43 Inquadramento PAI Pericolosità da frana (Fonte RAS).....	50
Figura 44 Inquadramento PAI Pericolosità idraulica (Fonte RAS). ....	51
Figura 45 Reticolo idrografico numerato secondo l'ordine di Stralher .....	53
Figura 46 Archivio IFFI (Fonte ISPRA) in rosso l'area di intervento .....	54
Figura 47 Stralcio perimetrazione Piano Stralcio fasce Fluviali PSFF 2015.....	55
Figura 48 Stralcio perimetrazione PGRA 2021 .....	56
Figura 49 - Resistenza a compressione monoassiale per diversi tipi di roccia .....	58
Figura 50 Abaco per la determinazione di GSI sulla base delle caratteristiche geologiche e strutturali dell'ammasso.....	58
Figura 51 Valori della costante mi per diversi tipi di roccia.....	59
Figura 52 Correlazione fra valori di mi, s, indice RMR, ed il tipo di roccia. ....	60
Figura 53 Valori di Coesione e angolo di attrito interno ottenuti utilizzando il software RocData per il livello S1 .....	62
Figura 54 Valori di Coesione e angolo di attrito interno ottenuti utilizzando il software RocData per il livello S2 .....	62
Figura 55 Valori di Coesione e angolo di attrito interno ottenuti utilizzando il software RocData per il livello S3 .....	63
Figura 56 Valori di Coesione e angolo di attrito interno ottenuti utilizzando il software RocData per il livello S4 .....	63
Figura 57 Valori di Coesione e angolo di attrito interno ottenuti utilizzando il software RocData per il livello S5 .....	64
Figura 58 - Tipici posa cavidotto.....	69

BENTU Energy Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesBen-CLP-CIV-TR-22	Rev 0	Pagina 6 di 72
------------------	---------------------	------------------------------------	-------	-------------------

## 1. Premessa

La presente relazione è parte integrante del procedimento di Valutazione d'Impatto Ambientale ai sensi del Decreto Legislativo numero 152 del 2006, e di Autorizzazione Unica Regionale ai sensi dell'articolo 12 del Decreto Legislativo numero 387 del 2003 e del D. G. R. 3/15 del 23 Gennaio 2018.

Nell'ambito della redazione del Progetto Definitivo che prevede la realizzazione di un impianto eolico per la produzione di energia elettrica, denominato "BENTU" e dislocato nel territorio comunale di **Thiesi** nella Provincia di Sassari (SS), è stata redatta la presente **Relazione di Compatibilità Idrogeologica**, in supporto al progetto, con l'obiettivo di valutare la compatibilità idraulica e geologico-geotecnica dell'intervento e, in relazione a quanto prescritto dalla normativa vigente in materia di rischio idrogeologico e delle Norme Tecniche di Attuazione del Piano d'Assetto Idrogeologico della Regione Sardegna (PAI) agg. 2022.

## 2. Normativa di riferimento

La presente è redatta in osservanza a quanto stabilito dalla vigente normativa in materia, con particolare riferimento a:

1. D.M LL.PP. 11.03.1988 "Norme Tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii attuali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione in applicazione della Legge 02.02.1974 n°64.
2. Circ. Min. LL.PP. n° 30483 del 24.09.1988 – Istruzioni per l'applicazione del D.M. LL.PP.11.03.1988.
3. Raccomandazioni, programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche, 1975 – Associazione Geotecnica Italiana.
4. D.M. Infrastrutture 17.01.2018 - Norme Tecniche per le Costruzioni. (6.2.1 – Caratterizzazione e modellazione geologica del sito, 6.4.2 Fondazioni superficiali)
5. Circ. Min. Infrastrutture e Trasporti 21.01.2019 n°7 – Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al Decreto Ministeriale 17.01.2018.
6. D.L. 3 aprile 2006, n. 152 e successive modificazioni - "Norme in materia ambientale".
7. Norme di attuazione del PAI aggiornate al 2022 con la Deliberazione n. 12 del 21/12/2021, pubblicata sul BURAS n. 72 del 30/12/2021 e successivamente approvate con la Deliberazione di giunta regionale n. 2/8 del 20/1/2022 e con Decreto del Presidente della Regione n. 14 del 7/2/2022 dal Comitato Istituzionale.

## 3. Studio e indagini di riferimento

Le informazioni topografiche e geologiche dell'area oggetto della presente sono state ricavate dalle pubblicazioni ufficiali e cartografia tematica esistente. Si elencano di seguito:

1. Carta Topografica I.G.M. scala in 1:25000
2. Carta Tecnica Regionale in scala 1:10000
3. Carta Geologica dell'Italia in scala 1:100000
4. Carta Geologica dell'Italia in scala 1:50.000 (CARG).
5. Cartografia Geologica di base della R.A.S. in scala 1:25.000
6. RAS - Carta dell'Uso del Suolo della Regione Sardegna, 2008
7. I.S.P.R.A. - Archivio nazionale delle indagini nel sottosuolo (legge 464/84)
8. RAS – Studio dell'Idrologia Superficiale della Sardegna, annali idrologici 1922-2009
9. RAS – Autorità di Bacino - Piano Stralcio d'Assetto Idrogeologico
10. RAS – Autorità di Bacino - Piano di Tutela delle Acque
11. RAS – Autorità di Bacino - Piano Stralcio delle Fasce Fluviali

## 12. Foto aeree, Regione Sardegna

I dati a disposizione sono stati integrati con le informazioni derivanti dai sopralluoghi effettuati dalla scrivente in sito e dagli esiti della campagna di indagini geognostiche eseguite rispettivamente in data 12/05/2022 e 08-14/06/2022 nella zona di interesse.

### 4. Inquadramento geografico generale

L'aggettivo *tiesu* significa disteso: non a caso, il suo abitato si adagia su un pianoro alle pendici dell'altopiano *su Montiju*. Thiesi è un centro di tremila abitanti del *Meilogu*, a 40 chilometri da Sassari, fondato, secondo alcune fonti, da ebrei deportati dai romani.

L'impianto urbano si è sviluppato in due aree: attorno alla seicentesca chiesa di sant'Antonio e attorno alla parrocchiale di santa Vittoria, bell'edificio gotico-aragonese costruito fra 1400 e 1590, con decorazione interna e portale rinascimentali. In origine la forma del paese era a triangolo con ai vertici altre tre chiese: san Sebastiano, san Giovanni, immersa nella rigogliosa vallata *Badde Serena* (e raggiungibile da una scala in pietra) e il santuario della Madonna di *Seunis*, in periferia, costruita nel Settecento (poi rimaneggiata) su uno spuntone roccioso che domina la valle del rio *Molinu*.

A dieci chilometri dal paese, si trova la necropoli di *Mandra Antine*: quattro *domus de Janas* ricavate in un costone trachitico. Spicca la tomba III detta 'dipinta' per i raffinati e variopinti affreschi all'interno: è una delle eredità più sorprendenti del Neolitico sardo (III millennio a.C.).

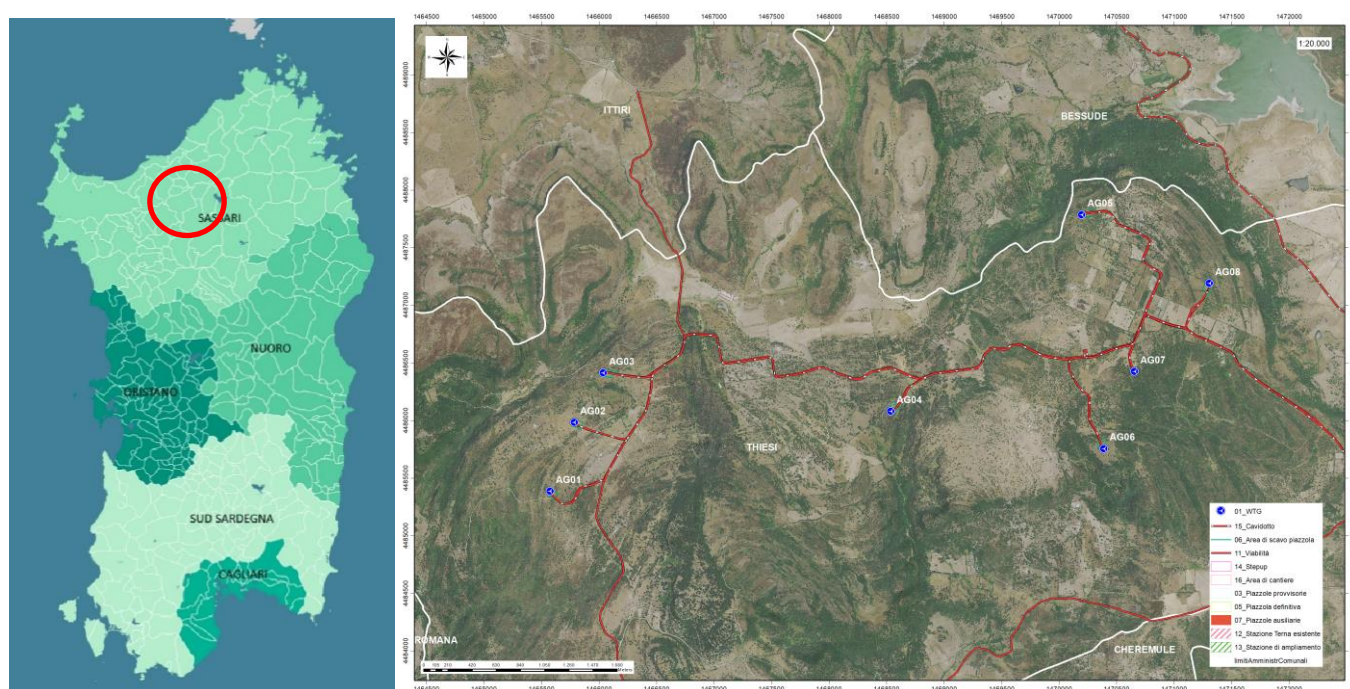


Figura 1 Localizzazione del progetto

Fuori dal paese anche il protonuraghe *Fronte 'e Mola*. È uno dei circa 350 nuraghi del *Meilogu*, territorio che ti conquisterà anche con particolarità naturalistiche, come i cono vulcanici spenti che si ergono isolati: il colle *santu Bainzu* di Thiesi è uno dei cinque crateri vulcanici del *Meilogu*, affascinante monumento naturale protetto, che crea un paesaggio insolito e unico. Altro emergenza naturalistica è la grotta di monte *Majore*, che si apre con un ampio ingresso nel versante orientale del monte.

BENTU Energy Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesBen-CLP-CIV-TR-22	Rev 0	Pagina 8 di 72
------------------	---------------------	------------------------------------	-------	-------------------

L'inquadramento cartografico di riferimento è il seguente:

1. Cartografia ufficiale dell'Istituto Geografico Militare I.G.M scala 1:25 000. Serie 25 -Fogli: **479 sez. I** "Ittiri"
2. Carta Tecnica Regionale scala 1:10 000 - Fogli: **479080** "Monte Cheia" e **479040** "Diga 'e su Bidighinzu".



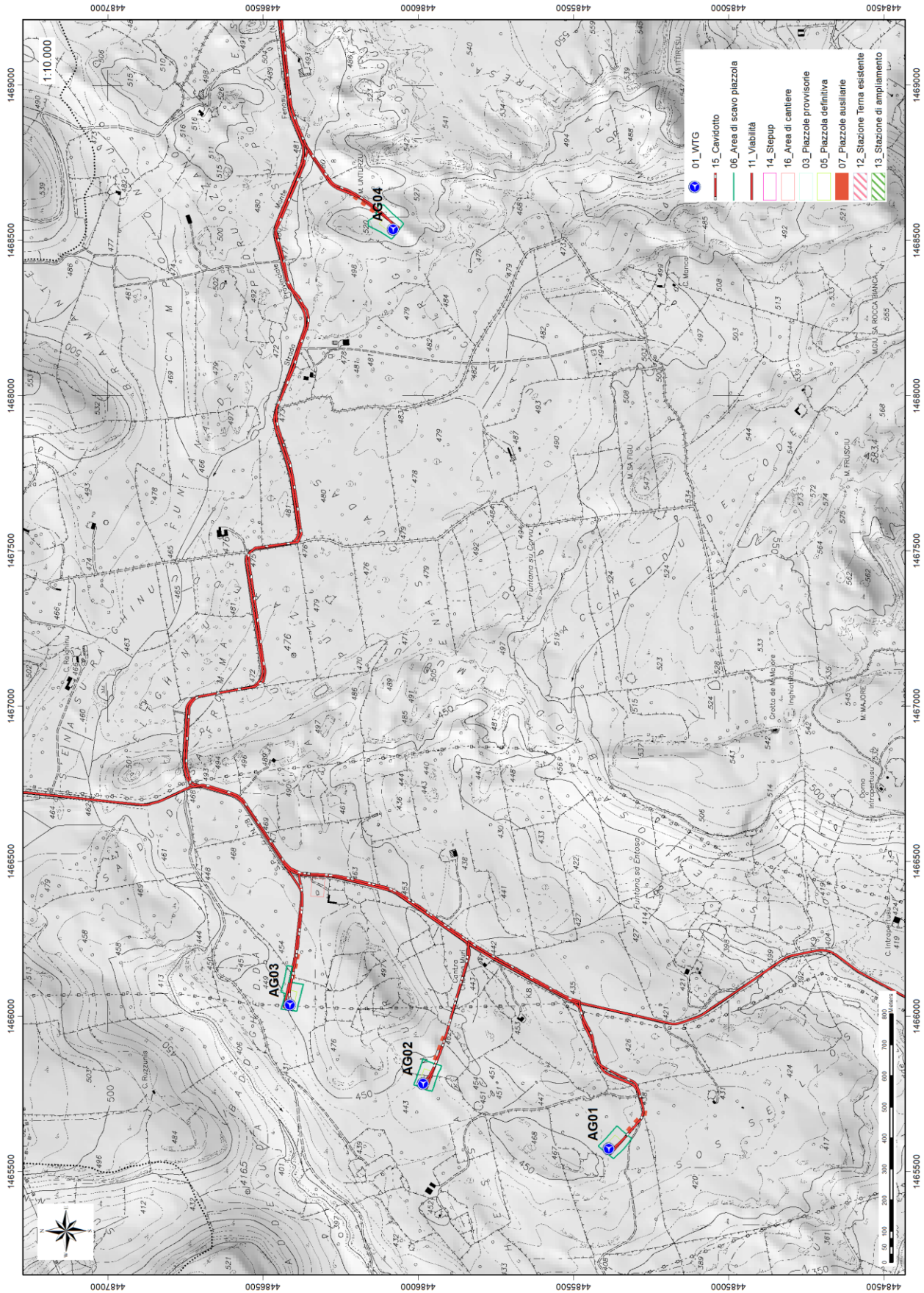


Figura 2 Inquadramento topografico su C.T.R. RAS scala 1:10000, sezione W

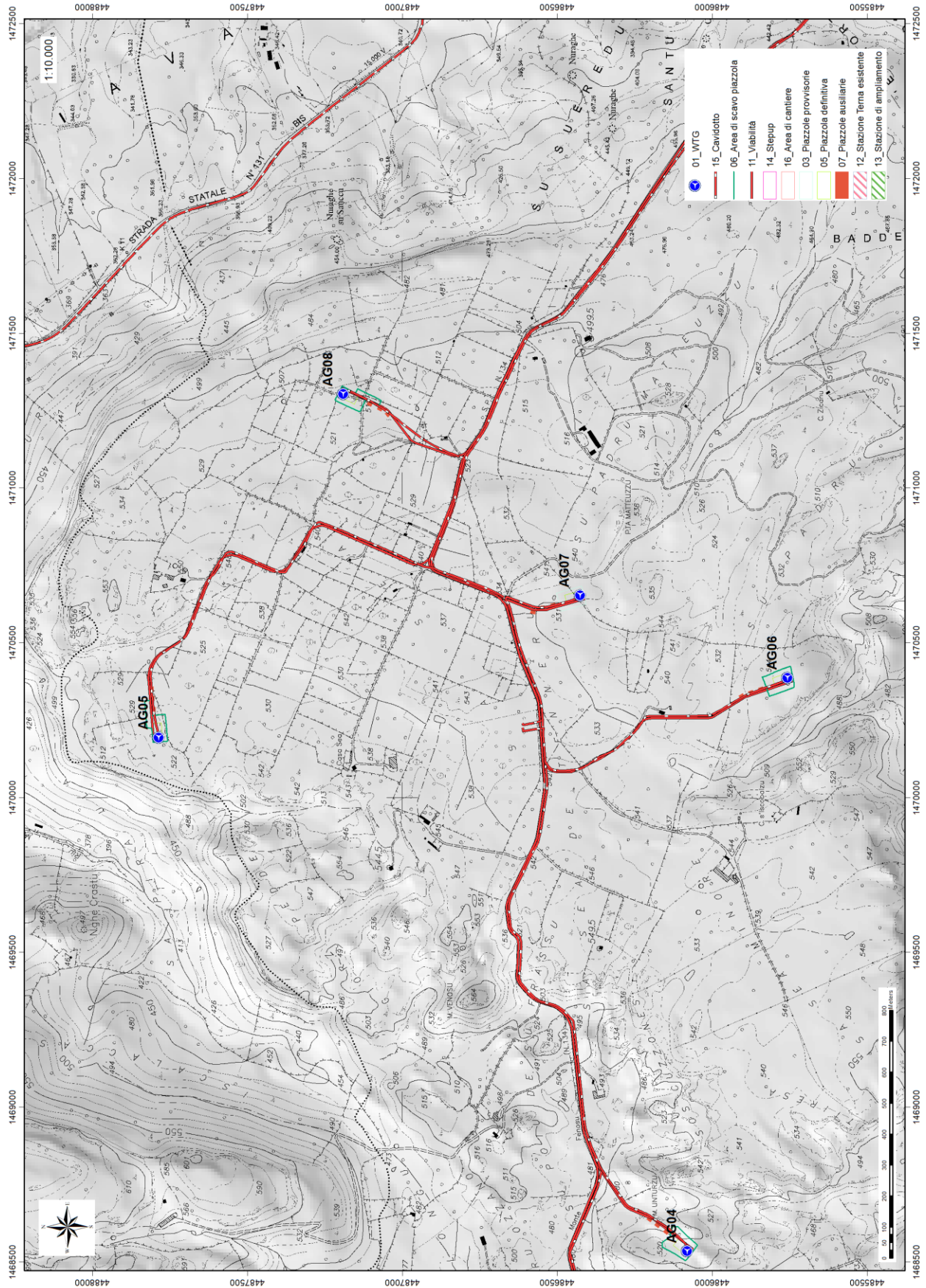


Figura 3 Inquadramento topografico su C.T.R. RAS scala 1:10000, sezione E

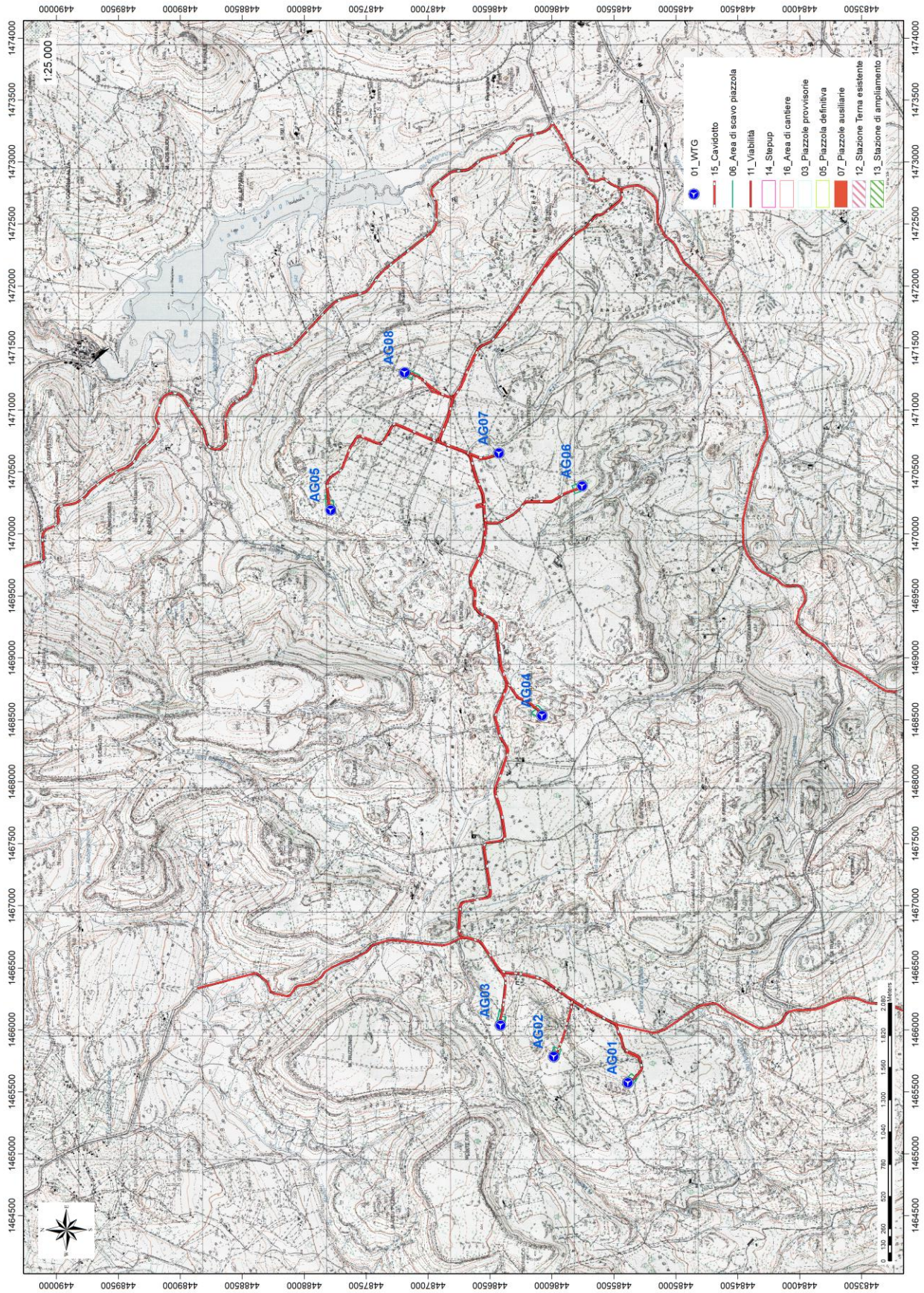


Figura 4 Inquadramento topografico su Carta IGM scala 1:25000

BENTU Energy Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesBen-CLP-CIV-TR-22	Rev 0	Pagina 12 di 72
------------------	---------------------	------------------------------------	-------	--------------------



Figura 5 Paesaggio caratteristico dell'area di studio

## 5. Caratteristiche di progetto dell'opera

Il Parco Eolico è costituito da 8 aerogeneratori ad asse orizzontale montati su torri tubolari ad elementi in acciaio; il modello adottato è il V162 da 6,0 MW prodotto dalla fabbrica VESTAS, ormai collaudato con risultati altamente prestazionali. Questi sono posizionati ad una distanza mediamente tra di loro pari a 6 volte il diametro del rotore, nel senso del vento dominante proveniente dal quadrante nordovest, e 3,5 volte il diametro del rotore, in senso perpendicolare alla direzione del vento dominante.

La potenza nominale del parco eolico installata è pari a 48 MW. Con un vento medio annuale di 6.22 m/s e un funzionamento annuale previsto pari a circa 2.795 ore equivalenti la produzione di energia elettrica lorda stimata è di circa 138.906 MWh/anno.

Le caratteristiche tecniche degli aero-generatori e del parco sono le seguenti:

1. generatori asincroni trifase con potenza nominale pari a 6,0 MW, tensione 3 X 0.96 Kv, freq. 50 Hz
2. rotor a tre pale con diametro pari a 162 m;
3. torri in acciaio a sviluppo tronco conico di altezza pari a 125 m;
4. cabine elettriche secondarie di trasformazione inserite in ogni aerogeneratore;
5. rete elettrica interrata MT a 30 KV dai singoli aerogeneratori alla sottostazione di trasformazione MT/AT;
6. sottostazione di trasformazione MT/AT (Media Tensione 30 kV - Alta Tensione 150 kV), comprendente sezionamento, ricezione e smistamento;
7. rete telematica interrata per il monitoraggio e controllo dell'impianto;
8. connessione alla Rete di Trasmissione Nazionale (RTN) in alta tensione 150 KV.

Le fondazioni delle torri saranno costituite da piastre in cemento armato atte a ripartire sia le azioni statiche dovute al peso proprio dell'apparato eolico che le azioni dinamiche dovute al vento trasmesse alla base delle torri dagli "apparati eolici". Da un predimensionamento di massima risulta che per terreni sufficientemente portanti ( $\sigma > 1$

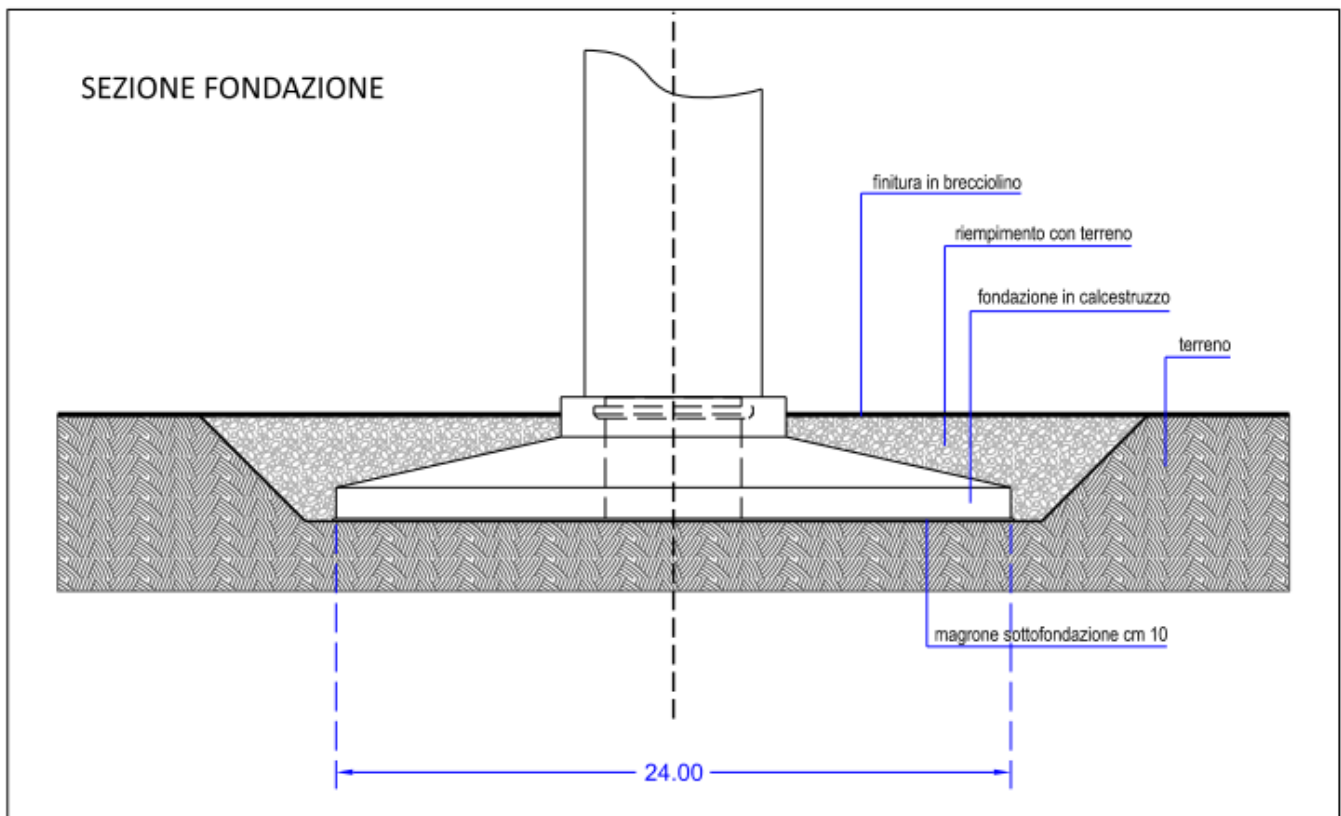
N/mm<sup>2</sup>), dovranno realizzarsi fondazioni a platea di forma circolare aventi un raggio di 12 m e un'altezza complessiva di 4.00 m

In caso di terreni dalle caratteristiche meccaniche scarse, si realizzeranno delle platee su pali di grande diametro (cm 100) disposti su tutta l'area di base atti a garantire adeguata stabilità al sistema fondazione-terreno.

Le fondazioni saranno interrate e ricoperte da uno strato di terreno dello spessore di circa m 1.

L'utilizzo di una tipologia o di un'altra scaturirà dalle indagini geotecniche derivanti dai sondaggi previsti in fase esecutiva in corrispondenza di ogni aerogeneratore.

Il volume di scavo della fondazione per ogni aerogeneratore è di circa 2260 mc.



Schema di fondazione

## 6. Inquadramento geologico

L'obiettivo dell'analisi dell'assetto geologico è quella di caratterizzare geologicamente e geotecnicamente l'area ove verrà installato il parco eolico e quella geomorfologicamente significativa, con particolare riferimento alle condizioni del substrato roccioso di fondazione, agli scavi ed ai riporti necessari per la realizzazione del sistema di fondazione e delle sue potenziali interazioni con le condizioni al contorno (dinamica geomorfologica, circolazione idrica superficiale e sotterranea, rapporti fra le componenti litologiche interessate) attraverso:

1. Definizione dell'assetto geologico-strutturale e idrogeologico di area vasta e dell'area geomorfologicamente significativa;
2. Definizione dell'assetto stratigrafico dell'area di sedime delle opere;
3. Definizione del modello geologico di sito;

### 6.1. Descrizione del contesto geologico dell'area vasta oggetto di intervento

A partire dal Paleozoico si sono susseguiti una serie di eventi geologici sviluppatasi nell'arco di circa mezzo miliardo di anni, che hanno reso la Sardegna una delle regioni geografiche più antiche del Mediterraneo centrale e, morfologicamente e cronologicamente eterogenea.

L'isola riflette pertanto una storia geologica molto articolata, che testimonia, in maniera più o meno completa, alcuni dei grandi eventi geodinamici degli ultimi 400 milioni di anni.

L'orogenesi Caledoniana, la più antica, le cui tracce si rinvencono principalmente nel nord della Gran Bretagna e nella Scandinavia occidentale, fu causata dalla progressiva chiusura dell'oceano Giapeto, a seguito della collisione dei continenti Laurentia, Baltica e Avalonia, dando così origine al super continente Laurussia.

La successiva fase dell'orogenesi Ercinica (o Varisica) ha avuto corso a partire dal Carbonifero, circa 350 Ma fa e si è protratta fino al Permiano determinando un'estesa catena montuosa ubicata tra il Nord America e l'Europa.

Quest'orogenesi ha prodotto in Sardegna tre zone metamorfiche principali. Procedendo dal nucleo orogenetico verso l'avanfossa si trovano le zone dette: Assiale (Sardegna NE) – a Falde interne (Sardegna centrale) - a Falde esterne (Sardegna SW).

Successivamente, tra il Carbonifero Sup. e il Permiano Inf., il basamento paleozoico è soggetto a magmatismo, intrusioni di differente composizione, che danno luogo a un batolite granitico composito, la cui ossatura fondamentale affiora in continuità nella Sardegna Settentrionale e nella Corsica Occidentale.

Nel resto dell'Isola affiorano plutoni isolati, anch'essi compositi, di minori dimensioni, quali quelli dell'Iglesiente e del Sarrabus.

L'area di studio ricade nella zona costituita dalla copertura sedimentaria e vulcanica post-ercinica; principalmente è costituita dalle coperture sedimentarie mioceniche, dalle rocce della successione vulcano-sedimentaria Miocenica, e dai depositi quaternari. In particolare, l'area vasta è compresa all'interno *Distretto vulcanico di Capo Marargiu*, del *Distretto vulcanico di Osilo Castelsardo* e della *Successione sedimentaria oligo-miocenica del Logudoro-Sassarese*.

### 6.2. Successione litostratigrafica dell'area di intervento

La successione vulcanica oligo-miocenica affiorante nell'area di interesse è costituita da ammassi lavici, duomi e piroclastiti messi in posto in condizioni subaeree e da subordinate epiclastiti.

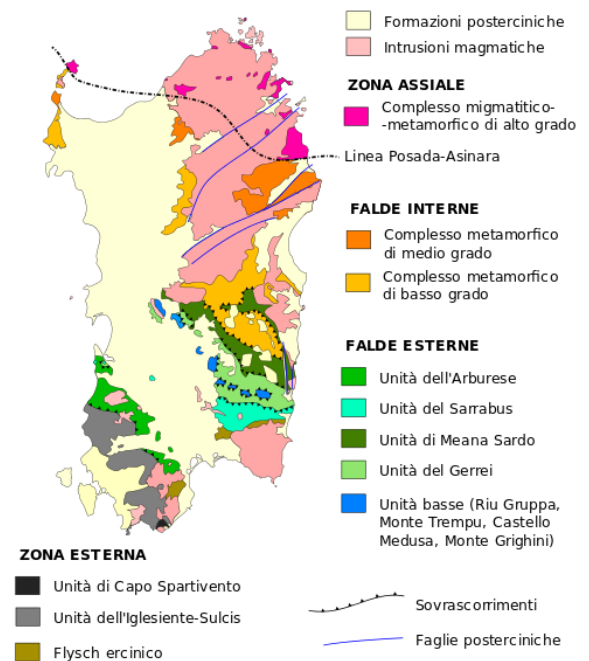


Figura 6 Schema tettonico-strutturale della Sardegna

BENTU Energy Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesBen-CLP-CIV-TR-22	Rev 0	Pagina 15 di 72
------------------	---------------------	------------------------------------	-------	--------------------

### 6.2.1. Distretto vulcanico di Capo Marargiu Miocene Inferiore)

**(MTD) Unità di Pala Mantedda:** è costituita da un'alternanza di colate e duomi a chimismo da andesitico a dacitico, per uno spessore di circa un centinaio di metri. Le lave, talora scoriacee, hanno tessitura porfirica per fenocristalli di plagioclasio e clinopirosseno, immersi in una pasta di fondo vetrosa. Le colate, spesso separate tra loro da livelli conglomeratici, presentano porzioni autoclastiche nelle parti basali, e laminazioni di flusso in quelle centrali. Aquitaniano.

**(LGS) Unità di Monte Longos:** è rappresentata da depositi di flusso piroclastico in facies ignimbratica, pomiceo-cineritici, saldati, di colore nerastro o violaceo alla base. I depositi si presentano ben saldati, con aspetto vetroso e ricchi in cristalli di plagioclasio, pirosseno e biotite, e rare fiamme di colore nero. I depositi hanno chimismo riolitico, e spessore minimo di 5 m. Al contatto con le sottostanti piroclastiti (UUI) sono presenti alcuni livelli centimetrici di ceneri di caduta, con pomici e litici. Burdigaliano.

**(UUI) Unità di Uri:** è costituita da depositi di flusso piroclastico in facies ignimbratica, variamente saldati, di colore grigiastro e subordinatamente rossastro per alterazione, ricchi in frammenti litici e cristalli liberi. Il deposito piroclastico è costituito da pomici biancastre e litici eterometrici (4-5 cm) di natura andesitica o ignimbratica, in matrice cineritica grossolana nella quale sono immersi anche cristalli di plagioclasio, pirosseno e biotite. Il diverso grado di saldatura varia dalla base (nullo) verso il tetto della successione (elevato), influenza la tessitura della roccia, che si presenta debolmente isoorientata nei termini poco saldati, mentre è marcatamente eutassitica nei termini saldati. La composizione delle piroclastiti è riolitica, e lo spessore varia da pochi metri fino a 30 m. Le datazioni radiometriche ( $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ , Gattacecca et al., 2007) indicano un'età di  $18,95 \pm 0,07$  (Burdigaliano).



Figura 7 Particolare della litologia appartenente all'unità di Uri

**(UNV) Unità di Nuraghe Vittore:** è costituita da colate di andesiti basaltiche e basalti, con caratteristiche prevalenti di autobrecce, e daciti porfiriche. Le lave coerenti hanno colore grigio scuro e tessitura porfirica per fenocristalli di plagioclasio, pirosseno e olivina in pasta di fondo microcristallina. Presentano frequente fratturazione tipo *platy jointing* secondo la direzione di flusso. Le lave a blocchi sono costituite da blocchi irregolari e eterometrici di lava, debolmente vescicolati, a tessitura clasto-sostenuta, con arrossamento dovuto ad alterazione idrotermale. I

BENTU Energy Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesBen-CLP-CIV-TR-22	Rev 0	Pagina 16 di 72
------------------	---------------------	------------------------------------	-------	--------------------

rapporti con le piroclastiti a contatto a letto (SSU) e a tetto (UUI) sono caratterizzati da disconformità. Burdigaliano inferiore.

**(MLO) Unità di Villanova Monteleone:** sono costituiti da depositi di flusso piroclastico in facies ignimbratica, a chimismo riodacitico, da saldati a mediamente saldati, con strutture vitroclastiche e/o eutaxitiche, e cristalli liberi di plagioclasio, sanidino, clinopirosseno, anfibolo, biotite e rare olivine. Burdigaliano.

**(OMN) Unità di Romana:** rappresentata da depositi di flusso piroclastico in facies ignimbratica a chimismo riodacitico, pomiceo-cineritici, mediamente saldati, ricchi in pomici e cristalli liberi di Pl, San, Bt, e subordinato Px.

**(SSU) Unità di Su Suerzu:** rappresentati da depositi di flusso piroclastico in facies ignimbratica, saldati, e con tessitura paratassitica, di colore rossastro, con fiammae grigiastre di dimensioni comprese tra 2 cm e 20 cm, e litici centimetrici costituiti da altre ignimbriti o da andesiti. Nell'area a NNW di **Thiesi** è presente un prodotto di aspetto ossidiano, probabilmente originato dalla silicizzazione di una piroclastite, di colore grigio da chiaro a scuro, con spessore limitato (7-8 m), preceduto da cineriti bianche contenenti frustoli carboniosi e litici e lapilli accrezionali. I depositi di Su Suerzu sono delimitati dalle Lave di Pala Mantredda (MTD) a letto, e dai corpi di Nuraghe Vittore (UNV) a tetto, con rapporti di disconformità. La composizione chimica delle ignimbriti è riodacitica, mentre lo spessore varia tra 15-20 m fino a 70 m. Burdigaliano.

#### 6.2.2. Distretto Vulcanico di Osilo-Castelsardo (Miocene Inferiore)

**(ILV) Unità di Monte sa Silva:** sono costituiti da piroclastiti di flusso pomiceo-cineritiche, di colore bianco-grigiastro, non saldate, ricche di fenoclasti (plagioclasio, quarzo, biotite), con litici di vulcaniti di dimensioni da 3 a 10 cm, e pomici di dimensioni variabili tra il centimetro e 5 cm. Le piroclastiti sono prevalentemente massive, con rari livelli grossolanamente stratificati per effetto della concentrazione dei litici. Il chimismo dei depositi è riolitico, e lo spessore varia da 10 fino a 100 m. L'età radiometrica determinata col metodo  $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$  (progetto CARG) è di  $18,61 \pm 0,23$  Ma. Burdigaliano.

#### 6.3. Successione sedimentaria Oligo-Miocenica del Logudoro-Sassarese

La successione sedimentaria miocenica affiorante nell'area di interesse è caratterizzata dalla presenza di due sequenze deposizionali limitate da discordanze riconoscibili a scala bacinale. Il substrato di questi depositi è costituito da vulcaniti ed epiclastiti di età compresa tra i 23 e i 18 Ma.

La prima sequenza deposizionale è costituita da depositi continentali fluviali e di piana alluvionale, deltizi e marini di piattaforma, mentre la seconda sequenza è costituita da depositi fluvio-marini e carbonatici di piattaforma.

**(RESa) Litofacies nella Formazione di Mores:** nota come "calcarei inferiori", è costituita da una successione di calcareniti, calcari bioclastici fossiliferi, e calcari a componente terrigena variabile, con faune a gasteropodi "Turritelle", ostreidi ed echinidi (Scutella, Amphiope), riferibili al Miocene inferiore (Burdigaliano). Il passaggio alla soprastante formazione di Borutta (RTU) presenta spesso caratteri eteropici, infatti può essere sormontata direttamente dalla Formazione di Monte Santo (NST). Burdigaliano superiore.

**(RTU) Formazione di Borutta:** si tratta di una successione di marne, marne arenacee bioturbate, calcari marnosi e siltiti, localmente in alternanze ritmiche, di colore da grigio-bruno a biancastro-giallastro. Tali depositi, il cui spessore varia tra 100 e 200 m, presentano contatto superiore eteropico con le arenarie della formazione di Florinas, oppure direttamente con i calcari della Formazione di Monte Santo (NST). Il contenuto fossilifero abbondante, costituito da echinidi, bivalvi, gasteropodi, pteropodi, foraminiferi planctonici e ostracodi, permette di riferire i depositi di questa formazione al Burdigaliano superiore - Langhiano.



BENTU Energy Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesBen-CLP-CIV-TR-22	Rev 0	Pagina 17 di 72
------------------	---------------------	------------------------------------	-------	--------------------

**(TLR) Unità di Chelchedu-Tiloromo.** Andesiti e andesiti basaltiche in cupole di ristagno, ipocristalline, porfiriche per fenocristalli di Pl, Ol, Cpx; intercalate e/o iniettate entro i depositi piroclastici dell'unità UUI.

**Formazione del Rio Minore.** Depositi epiclastici con intercalazioni di selci, siltiti e marne con resti di piante, conglomerati, e calcari silicizzati di ambiente lacustre ("Formazione lacustre" Auct.). Burdigaliano

**(FSI) Unità di Monte Frusciu.** Daciti ipocristalline, porfiriche per fenocristalli di Pl, Sa, Bt, Am, Mag; in cupole di ristagno e locali versamenti laterali. (K/Ar 17,5 ± 0,5 Ma: Lecca et alii, 1997), (40Ar/39Ar bt: 18,48 ± 0,18 Ma: Progemisa S.p.A.

**(NST) Formazione di Monte Santo:** è costituita da una successione di calcari bioclastici di piattaforma interna, con rare intercalazioni silicoclastiche ed episodi biohermali, e calcareniti. Poggiano eteropicamente sopra la Formazione di Florinas, quella di Borutta (RTU) o sulle vulcaniti. Gli affioramenti che poggiano sulla Formazione di Florinas sono costituiti da *grainstone* con stratificazione incrociata o cliniformi, ricche in alghe calcaree (*Rodophyllum*, *Lithophyllum*) e coralli (*Tarbellastrea*, *Porites*), con accumuli di *algal ball*, gasteropodi, lamellibranchi, echinidi, macroforaminiferi. Quando poggia sulle marne della Formazione di Borutta (RTU), il passaggio avviene in giacitura caotica ed erosiva, con slumping e megabrecce. Lo spessore è variabile, con un massimo di 50 m. L'associazione fossilifera permette di riferire tali depositi al Serravalliano - Tortoniano.

#### 6.4. Depositi Quaternari dell'area continentale

I depositi quaternari cartografati nell'area di studio sono generalmente poco rilevanti; sono rappresentati principalmente da depositi alluvionali, depositi di versante e sedimenti legati a gravità.

**(PVM2a) Litofacies nel Subsistema di Portovesme:** si tratta di depositi di ghiaie e alluvioni terrazzate, da medie a grossolane, con subordinate sabbie. Pleistocene superiore.

**(a) Depositi di versante:** sono costituiti da detriti con clasti angolosi, talora parzialmente cementati accumulati essenzialmente per gravità alla base dei versanti rocciosi più ripidi. Olocene.

**(a1a) Sedimenti legati a gravità:** sono costituiti di frana, e rappresentano corpi di frana antichi accumulati essenzialmente per gravità alla base dei versanti rocciosi più ripidi. Olocene.

**Tutte le turbine ricadono nell'Unità di Monte Frusciu, appartenente al distretto vulcanico di Capo Marargiu**

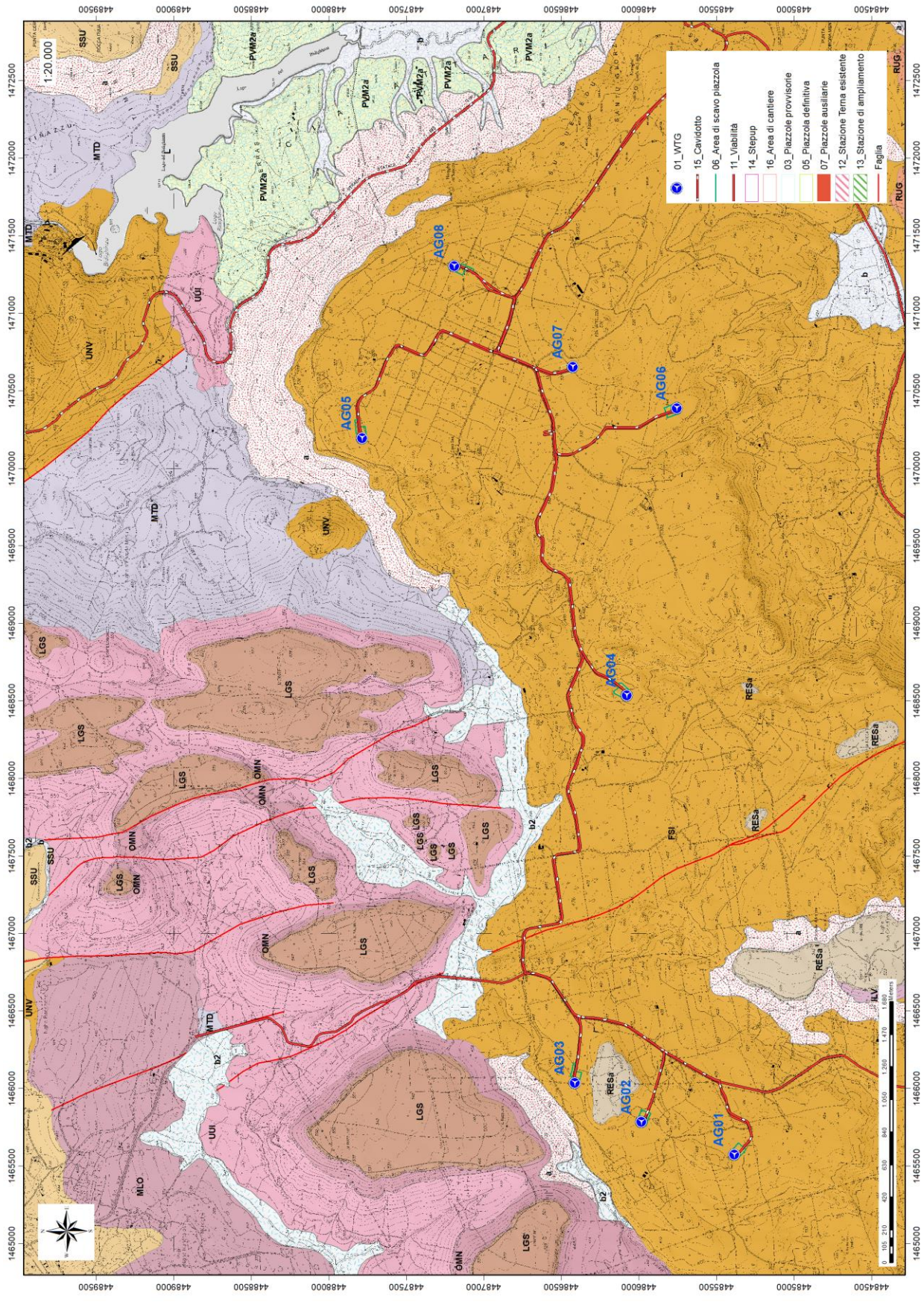


Figura 8 Stralcio carta geologica (Fonte RAS)

BENTU Energy Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesBen-CLP-CIV-TR-22	Rev 0	Pagina 19 di 72
------------------	---------------------	------------------------------------	-------	--------------------

## 7. Analisi delle condizioni geostrutturali generali

L'area di studio è caratterizzata dall'affioramento delle rocce sedimentarie e vulcaniche del Miocene e dai depositi quaternari.

I depositi sedimentari miocenici sono costituiti da diverse facies composizionali che vanno dai termini carbonatici alle arenarie, mentre le coperture vulcaniche sono costituite prevalentemente da espandimenti lavici e ignimbriti.

I depositi quaternari sono principalmente costituiti da depositi alluvionali e depositi di versante.

L'area vasta è caratterizzata da diverse faglie a direzione NW-SE (settore centro-orientale dell'area vasta) e alcune a direzione NE-SW (nel settore occidentale dell'area vasta).

Di queste strutture tettoniche presenti, le faglie determinano il controllo tettonico delle principali valli incise. La giacitura dei piani è abbastanza costante, sebbene possa esser influenzata dalle faglie. Una faglia principale a direzione NW-SE separa il settore ovest (con le turbine AG01, AG02 e AG03), dal settore est, nel quale ricadono le turbine AG04, AG05, AG06, AG07 e AG08. Nei diversi siti di installazione la dinamica geostrutturale ha creato piani di fratturazione a diversa scala. I movimenti tettonici hanno fratturato i materiali affioranti.

Tutte le stazioni eoliche sono posizionate nella copertura vulcanica miocenica del Distretto vulcanico di Capo Marargiu (Unità di Monte Frusciu – FSI)

### 7.1. Campagna di raccolta dei dati geostrutturali su affioramento

Nel corso dei rilievi effettuati è stata realizzata un'indagine mirata alla caratterizzazione geostrutturale delle litologie su cui poggeranno le fondazioni delle turbine, indirizzata al rilievo di tutti i parametri tecnici, verificando in prima battuta le caratteristiche strutturali, come direzione, immersione e inclinazione delle discontinuità presenti, e analizzando le caratteristiche dei vari sistemi di discontinuità. L'analisi della struttura dell'ammasso roccioso e delle discontinuità è infatti indispensabile in quanto essa regola i processi di rottura e deformazione della roccia: lungo tali piani di debolezza, infatti, le resistenze alla trazione risultano sostanzialmente assai ridotte e talora nulle. Dai rilievi geologici è emerso che nel territorio in esame sul quale verranno installate le turbine, sia per quanto riguarda caratteristiche litologiche in senso stretto e sia per quanto riguarda le caratteristiche strutturali è possibile considerare, in base al comportamento geomeccanico, **un'unica litologia principale**, quella dove ovviamente ricadono tutte le turbine, appartenente all'**Unità di Monte Frusciu**, costituita da Daciti ipocristalline.

Durante l'attività di rilevamento di campo, per avere un'idea generale e il più rappresentativa possibile delle discontinuità a grande sono state prese in particolare le giaciture delle fratture principali (di tipo *platy joints*) nelle diverse aree nel parco.



**Figura 9** Affioramento dell'Unità di Monte Frusciu con discontinuità in giacitura subverticale con orientazione 140° Nord e 75° di inclinazione, coord. 40.52325, 8.59521.



**Figura 10** Affioramento con discontinuità in giacitura 250Nord e inclinazione 60 gradi in prossimità della AG08, coord. 40.53518, 8.66079



**Figura 11** Affioramento con discontinuità in giacitura 140Nord e inclinazione 82 gradi in località Baddighedda, coord. 40.5266, 8.59245



Figura 12 Affioramento con discontinuità in giacitura 250Nord e inclinazione 81 gradi tra la AG07 e la AG08, coord. 40.53273, 8.65894

Per determinazione dei parametri geomeccanici delle litologie interessate, ovvero quelle costituite da daciti più o meno fratturate, sono stati presi in considerazione n° 2 affioramenti rocciosi (**Scanline 1** e **Scanline 2**), entrambi situati nell'area centrale del parco, in corrispondenza di tagli stradali, per via della scarsità di affioramenti sufficientemente estesi e privi di vegetazione. Tali affioramenti sono stati utilizzati come punti di stazione, nei quali sono state rilevate le caratteristiche delle discontinuità. Gli ammassi rocciosi analizzati presentano unicamente discontinuità secondarie, ovvero date da fratturazione. E' stata riconosciuta e distinta una famiglia di fratturazione principale, dovuta al fenomeno chiamato "*Platy jointing*", dove le discontinuità in seguito al raffreddamento sono influenzate dall'orientazione del flusso lavico durante la messa in posto, questa risulta estremamente frequente e regolare, e varia la sua giacitura in tutta l'area del parco; sono state rilevati piani di discontinuità con orientazioni differenti, ma non è stato possibile, per la loro scarsa frequenza, dividerli in famiglie.

BENTU Energy Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesBen-CLP-CIV-TR-22	Rev 0	Pagina 23 di 72
------------------	---------------------	------------------------------------	-------	--------------------

Gli affioramenti presi in considerazione permettono di classificare solo in maniera preliminare le unità litologiche più rappresentative del sito di indagine. Per avere un quadro esaustivo delle condizioni strutturali degli ammassi rocciosi sarebbe opportuno perciò, in fase esecutiva, effettuare delle indagini puntuali.

Alla prima fase del rilievo dei dati in situ, è seguita la fase di elaborazione dei dati riguardanti le giaciture delle discontinuità. La distribuzione nello spazio di tali discontinuità è stata rappresentata mediante la proiezione equiangolare di SCHMIDT-LAMBERT, proiezione stereografica equatoriale che visualizza nell'emisfero inferiore della sfera ideale di riferimento le discontinuità, rappresentate come archi di ellissi (dette ciclografiche) per i piani, e come punti per le linee o per i poli dei piani (ossia le intersezioni della linea ortogonale al piano con la sfera di proiezione). L'elaborazione grafica dei dati giaciture delle discontinuità è stata eseguita con il software "Dips7.0".

#### 7.1.1. Rilievo geostrutturale Scanline 1

Il rilievo Scanline 1 è stato fatto lungo una linea di 8,70m orientata N90, coordinate 40.52968, 8.63976. L'ammasso roccioso ha l'aspetto stratificato e struttura massiccia. Le superfici riconoscibili sono imputabili unicamente alla fratturazione, la principale delle quali è dovuta al fenomeno di *platy jointing*. Dall'analisi dell'ammasso in situ, la roccia si presenta massiva ma debolmente affetta da alterazione fisica. La spaziatura media tra le fratture che pervadono l'ammasso roccioso è di 0,25m. Unicamente una famiglia di giunti risulta essere ben riconoscibile, queste presentano quasi sempre un'apertura che va dal millimetro ai 6mm, è stato possibile rilevare i valori delle giaciture nelle superfici affioranti grazie all'erosione. Le superfici sono in genere da poco a mediamente scabre, in base ai risultati ottenuti dalle osservazioni su campo risulta che i valori di JRC compresi tra 5 e 12.



Figura 13 rilievo geostrutturale Scanline1.

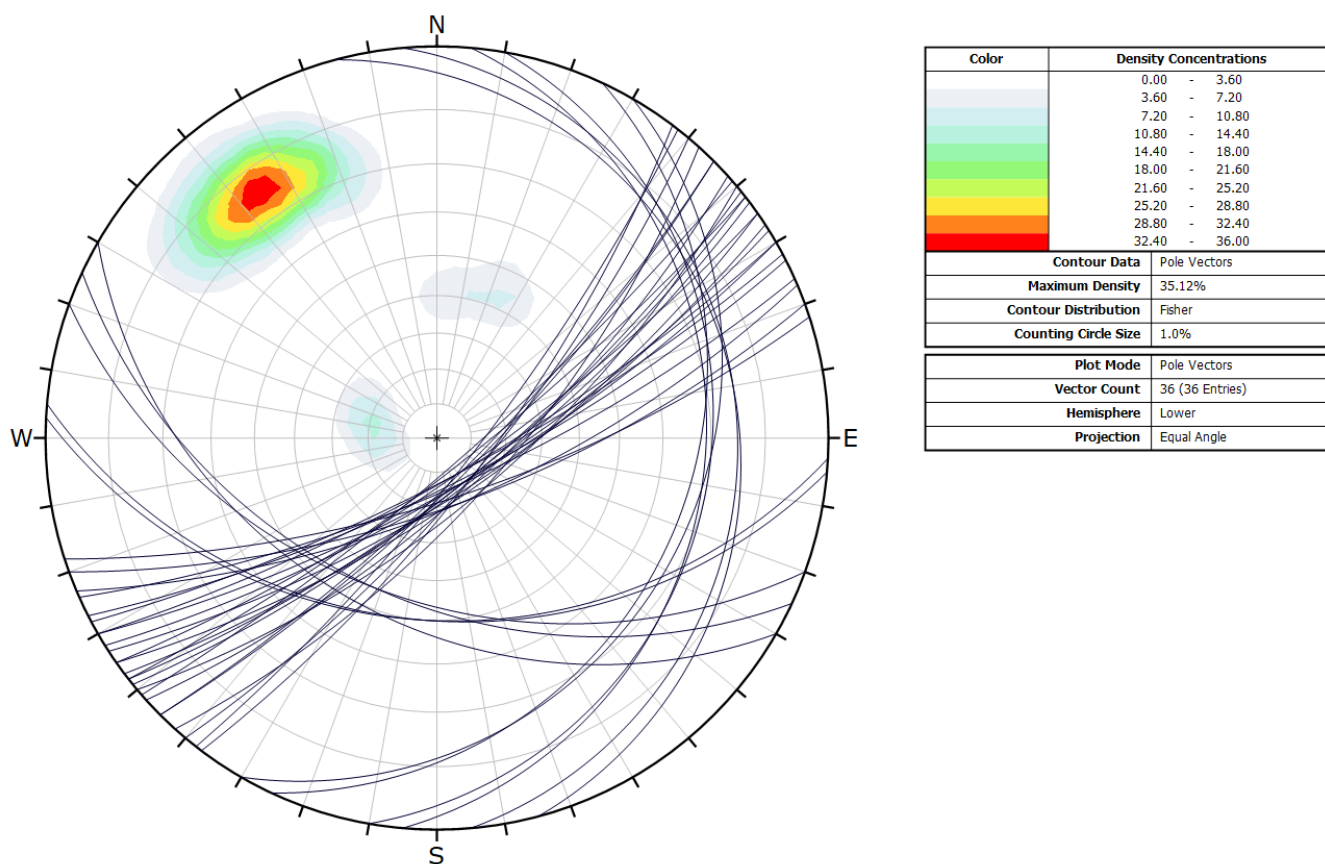


Figura 14 Proiezione stereografica delle discontinuità rilevate sull'affioramento Scanline1.

Dall'elaborazione dei dati sulle discontinuità è possibile notare come la densità dei poli delle discontinuità sia alta a NW con valori di inclinazione superiore a  $70^\circ$ . Per il caso specifico sarebbe quindi opportuno prestare attenzione al verificarsi di scivolamenti durante gli scavi in eventuali scarpate orientate a SE con inclinazioni superiori ai  $70^\circ$ .

#### 7.1.2. Rilievo geostrutturale Scanline2

Il rilievo Scanline 2 è stato fatto lungo una linea di 10m orientata N55 in un taglio stradale a nord della AG04. L'ammasso roccioso ha l'aspetto stratificato e struttura massiccia. Le superfici riconoscibili sono imputabili principalmente alla stratificazione delle colate durante la messa in posto. Dall'analisi dell'ammasso in situ, la roccia si presenta massiva ma debolmente affetta da alterazione fisica. Un campione di roccia si frattura con pochi colpi di martello. La spaziatura media tra le fratture che pervadono l'ammasso roccioso è di 0,25m. Sono state rilevate più famiglie di fratture ma la principale è data dai Platy Joints. Le superfici sono in genere da poco a mediamente scabre, in base ai risultati ottenuti dalle osservazioni su campo risulta che i valori di JRC compresi tra 5 e 10.





Figura 15 rilievo geostrutturale Scanline2.

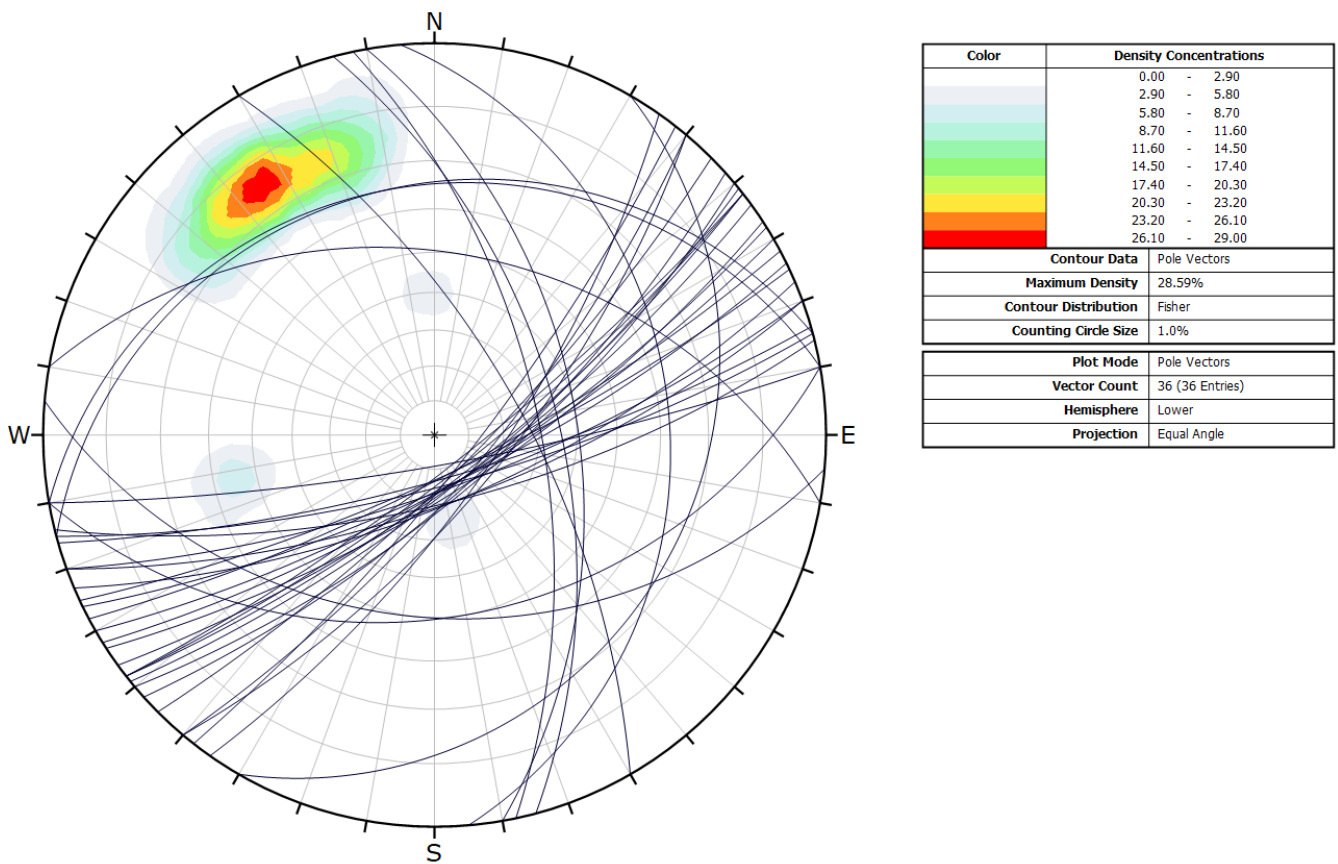


Figura 16 Proiezione stereografica delle discontinuità rilevate sull'affioramento Scanline2.

BENTU Energy Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesBen-CLP-CIV-TR-22	Rev 0	Pagina 26 di 72
------------------	---------------------	------------------------------------	-------	--------------------

Dall'elaborazione dei dati sulle discontinuità è possibile notare come la densità dei poli delle discontinuità sia alta a N-NW con valori di inclinazione di circa 70°. Per il caso specifico sarebbe quindi opportuno prestare attenzione al verificarsi di scivolamenti durante gli scavi in eventuali scarpate orientate a S-SE con inclinazioni superiori ai 70°.

## 8. Analisi qualitativa di stabilità dell'ammasso roccioso

L'intensa fratturazione descritta nei precedenti capitoli produce sulla roccia una geometria estremamente variabile in termini di direzione e immersione, nelle tre direzioni principali dello spazio. Ciò che varia in relazione alla composizione granulometrica dei singoli strati originari è la spaziatura tra i giunti e il grado di fissilità. Pertanto è estremamente difficile se non impossibile definire l'assetto a piccola scala per quanto appena descritto.

Si può definire un range di spaziatura alla mesoscala, tale da individuare una potenziale compagine di blocchi in grado di staccarsi dall'ammasso se le condizioni geostrutturali lo permettono (piani a franapoggio o intersezione di piani con direttrice a franapoggio).

Tali dimensioni possono essere individuate tra il decimo di metro cubo a qualche metro cubo. La variabilità direzionale delle famiglie di giunti che individuano i blocchi è piuttosto marcata e diversificata in funzione, come detto della competenza degli strati soggetti agli sforzi.

Ne deriva di fatto, una difficile previsione delle potenziali propensioni a fenomeni di crollo e/o scivolamento, ma si tratta di caratteri locali la cui eteropia laterale risulta sempre molto marcata.

In generale si può affermare che versanti come questi sono oggetto di due fenomeni di scivolamento distinti in relazione al dominio di famiglie di giunti.

Alla piccola scala laddove il materiale originario è costituito da granulometrie medie e fini, sono più frequenti fenomeni di sfaldamento e distacco di lamine da centimetriche a decimetriche. Queste ultime divengono più simili a piccoli blocchi la dove la granulometria aumenta.

A scala media infatti, le spaziature nella stessa famiglia sono maggiori, anche oltre metro ed interessano blocchi più grandi ma che rispondono alle medesime dinamiche di quelli pocanzi analizzati.

Di fatto quindi, non potendo generalizzare alla piccola scala è sempre d'obbligo un rilievo puntuale sugli affioramenti ove possibile. Il materiale distaccato si raccoglie ai piedi del pendio, in accumuli più o meno estesi in funzione della pendenza.

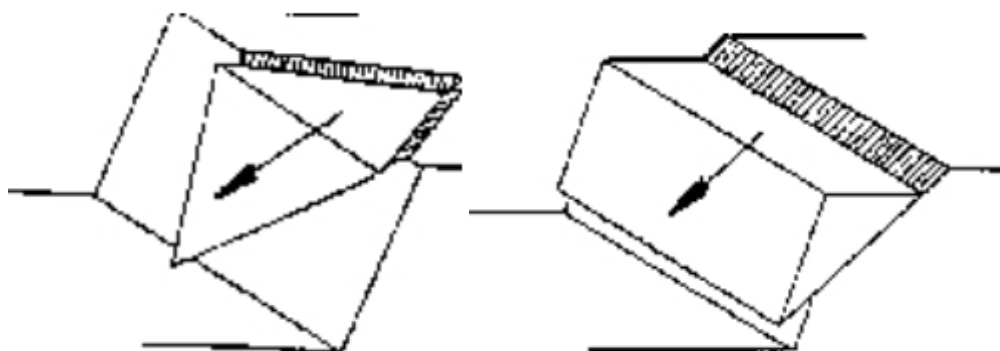


Figura 17 Tipologie di scivolamento di blocchi rocciosi lungo piani di fratturazione

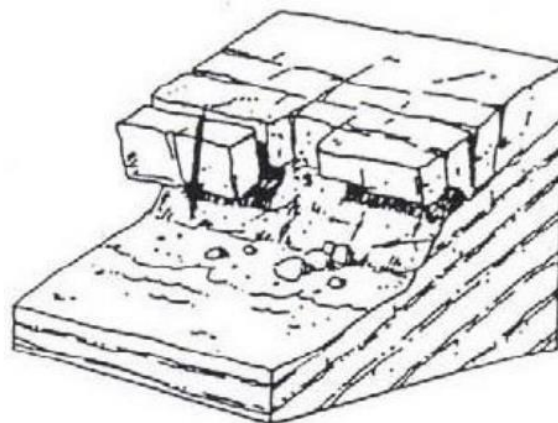


Figura 18 A sinistra parete esposta a Sud situata tra la AG02 e la AG03, a destra lo schema del ribaltamento di blocchi per scalzamento alla base

Nella foto soprastante viene illustrata una parete affiorante appartenente alla Formazione di Mores caratterizzata da stratificazione a giacitura orizzontale, questa è soggetta ad erosione differenziale in strati meno competenti, ciò comporta uno scalzamento alla base con conseguente distacco di blocchi nei livelli soprastanti più competenti ma fratturati; ai piedi sono presenti blocchi distaccatisi tendenzialmente per crollo/ribaltamento.

Gli ammassi rocciosi costituiti in litologie dacitiche, ovvero quelle su cui poggeranno tutte le turbine, presentano le medesime caratteristiche per quanto riguarda instabilità, ovvero tendono a formare scarpate che arretrano per crollo ribaltamento e per scivolamento planare o di cunei. La differenza con le formazioni carbonatiche sopra citate sta nella natura dei giunti, ovvero, mentre nelle prime sono dovuti anche a stratificazione, in queste ultime sono di tipo *platy joints*, presentano in ogni caso una forte regolarità anche alla scala dell'ammasso, è pertanto prevedibile, almeno in parte, come vari la stabilità dell'ammasso al variare dell'orientazione e della pendenza del versante.



Figura 19 Ammasso roccioso situato nei pressi della AG04.

In Figura 19 è evidente come l'intersezione subortogonale di diverse famiglie di fratture tenda ad isolare blocchi plurimetrici, questi, una volta deconfinati dall'erosione tendono a crollare per ribaltamento.

## 9. Inquadramento geomorfologico

Il territorio indagato è caratterizzato principalmente dalla presenza di altipiani, con rilievi tabulari e dislivelli massimi dell'ordine di 350 m circa tra monte e valle, e morfologie a *cuestas* dovute alla presenza di versanti con pendenze talvolta differenti, che individuano valli a orientamento SW-NE e N-S. I rilievi presentano altezze massime di 550-570 m s.l.m., mentre le valli si trovano da quote minime di 200m fino a 350 m circa.

I fenomeni di sollevamento tettonico hanno ridefinito la morfologia del paesaggio operando un ringiovanimento del rilievo, innescando una nuova azione geomorfogenetica ad opera degli agenti atmosferici (acqua, vento in primis) che hanno rimodellato l'altipiano così come lo conosciamo, ovvero solcato da profonde incisioni vallive che riprendono le linee di fratturazione tettoniche, che isolano il settore montano distinguendolo nettamente dalle aree pianeggianti circostanti.

I prodotti di erosione vengono trasportati dall'acqua e dal vento e si depositano in relazione alla loro dimensione e all'energia di trasporto delle acque lungo le pendici dei versanti e nelle valli andando a costituire le coperture sedimentarie.

Le morfologie osservabili in quest'area sono strettamente connesse alle caratteristiche di messa in posto e dalle caratteristiche fisico-chimiche delle litologie presenti e dalla tipologia ed intensità degli agenti modellanti predominanti.

Il settore oggetto di studio è contraddistinto essenzialmente da due unità geomorfologiche:

1. i rilievi di natura vulcanica, dati dalle colate di flusso piroclastico nel caso della Monte Longos Fm., e dalle daciti nel caso della Monte Frusciu Fm.
2. le coperture sedimentarie, date dalla Formazione di Mores.

I primi rappresentano la manifestazione di un vulcanismo appartenente al ciclo calco-alcalino oligo-miocenico, che produsse flussi piroclastici e in subordine lavici. Il paesaggio è dominato da rilievi tabulari costituiti dalla sovrapposizione di bancate estese e generalmente inclinate; sono costituite prevalentemente da piroclastiti a chimismo acido e intermedio, di aspetto massivo e con fessurazioni di raffreddamento colonnari irregolari e prismatiche, talvolta anche tabulari.



Figura 20 Parete carbonatica esposta a Nord nella parte meridionale del parco

BENTU Energy Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesBen-CLP-CIV-TR-22	Rev 0	Pagina 30 di 72
------------------	---------------------	------------------------------------	-------	--------------------

Alla fratturazione da raffreddamento si sovrappongono frequenti fratturazioni legate alla successiva attività tettonica o a cedimenti puramente gravitativi. L'alternanza tra le bancate con facies meno coerenti, essenzialmente tufacee, e quelle decisamente litoidi e resistenti, ossia ignimbristiche o laviche, determina il profilo a "gradinata" che caratterizza i versanti dei rilievi. Questa morfologia, nota in letteratura col termine di *cuestas*, è particolarmente evidente nei rilievi a Nord delle AG01, AG02 e la AG03. Meno diffuse che nei territori circostanti, le lave, di composizione prevalentemente andesitica, si rinvencono a Nord della AG05, nella quale è rappresentato da una sequenza di colate sub-orizzontali e di aspetto massivo, con ritrazioni per consolidamento indicate da fessurazioni prismatiche e macrostrutture colonnari.

Le coperture sedimentarie, testimoniano quelle fasi di deposito in ambiente dapprima continentale e fluvio-lacustre, successivamente marino, verificatesi dalle ultime fasi del ciclo vulcanico e proseguite durante la trasgressione marina che interessò la Sardegna occidentale nel Miocene inferiore e medio, in un contesto in cui i maggiori rilievi vulcanici, per via della loro quota, emergevano da un mare poco profondo. Questa condizione ha rappresentato l'ambiente di deposito da cui traggono origine le strutture che poggiano sulle formazioni vulcaniche delle quali, per quanto si è detto, quelle più elevate risultano prive di copertura. Di ambiente fluvio-lacustre, instaurato nel paesaggio vulcanico, risultano i depositi conglomeratici a elementi vulcanici in parte elaborati e caotici, alternati con depositi a granulometria fine, verdastri, con sottile stratificazione piano-parallela, diffusamente alterati e argillificati. Tali formazioni, derivate dall'erosione e rimaneggiamento delle vulcaniti nonché dalla sedimentazione in ambiente acquatico di materiali piroclastici sottili, si rinvencono lungo i versanti della valle del Riu Minore, lungo il corso del Riu Mannu e presso Ponte Camedda, alla base della successione marina. Questa è costituita da calcari organogeni, biocalcareni, calcari marnosi e arenarie calcaree, poggianti su conglomerati di trasgressione a cemento calcareo e clasti vulcanici. Benché lungo le incisioni fluviali e a margine dei rilievi vulcanici le strutture sedimentarie siano state smantellate dall'erosione, queste coperture giacciono talvolta sottoforma di tavolati e pianori come nel caso dell'area centro-meridionale del parco qualche centinaio di metri a Est della AG01. Le stesse azioni erosive che hanno determinato la frammentazione delle strutture sedimentarie, si sono esplicate su tutto il territorio dando luogo a quei prodotti dell'alterazione e del degrado diffusi nell'area in esame, che costituiscono spesse coltri di detrito di falda, orizzonti pedogenizzati e depositi alluvionali lungo i corsi d'acqua.

Nel complesso entrambe le unità geomorfologiche conferiscono all'area un paesaggio ad altopiani, le Formazioni di Mores (calcari) e di Monte Longos (depositi di flusso piroclastico) tendono a giacere suborizzontali arrivando nei casi limite a formare delle *Cuestas*. Diversamente, la litologia che interessa direttamente la fondazione dell Turbine, ovvero la Formazione di Monte Frusciu (Daciti), risulta essere interessata da una fratturazione la cui giacitura è influenzata dal flusso lavico durante le messa in posto, questo fenomeno prende il nome di "*platy jointing*".

Osservando le foto aeree è possibile notare come queste discontinuità a piccola scala prendano un andamento concentrico a giustificare l'espansione da uno o più centri d'emissione.

Laddove la giacitura dei *platy joints* presenta pendenze elevate, tende talvolta a dare luogo a versanti ad Hogback.



**Figura 21 Vista in sezione della struttura stratificata con andamento concentrico nell'altopiano a sud del parco, presunto centro d'emissione a sinistra nella foto.**

#### 9.1. Lineamenti geomorfologici dell'area di studio

I tratti geomorfologici del settore di studio sono dati da estese aree a rilievi tabulari appartenenti al ciclo vulcano-sedimentario miocenico, incise dai corsi d'acqua principali e dai loro affluenti. I corsi d'acqua incidono le rocce formando valli con versanti poco acclivi. Le rocce affioranti nell'area di studio appaiono incise da un reticolo idrografico impostato sui principali lineamenti strutturali, in connessione con l'evoluzione tettonica dell'intero settore e in particolar modo con l'evoluzione plio-quadernaria.

Le superfici morfologiche principali sono rappresentate da modesti rilievi tabulari e dai resti di un altipiano profondamente dissecato dai processi erosivi lineari.

Nel settore occidentale, nei pressi delle AG01, AG02 e AG03 il paesaggio si compone di campi e dolci rilievi le cui quote vanno dai 490m ai 500m circa, nel settore centrale la AG04 è situata da un gruppo di rilievi dalle quote pari a 520m, 527m e 542mslm.



**Figura 22 Piazzola AG01**



**Figura 23 Piazzola AG02**



**Figura 24 Piazzola AG03**





Figura 25 Piazzola AG04

Le turbine AG05, AG06, AG07 e AG08 poggerranno su un unico altopiano con delle quote che si aggirano intorno a i 500m-540mslm.

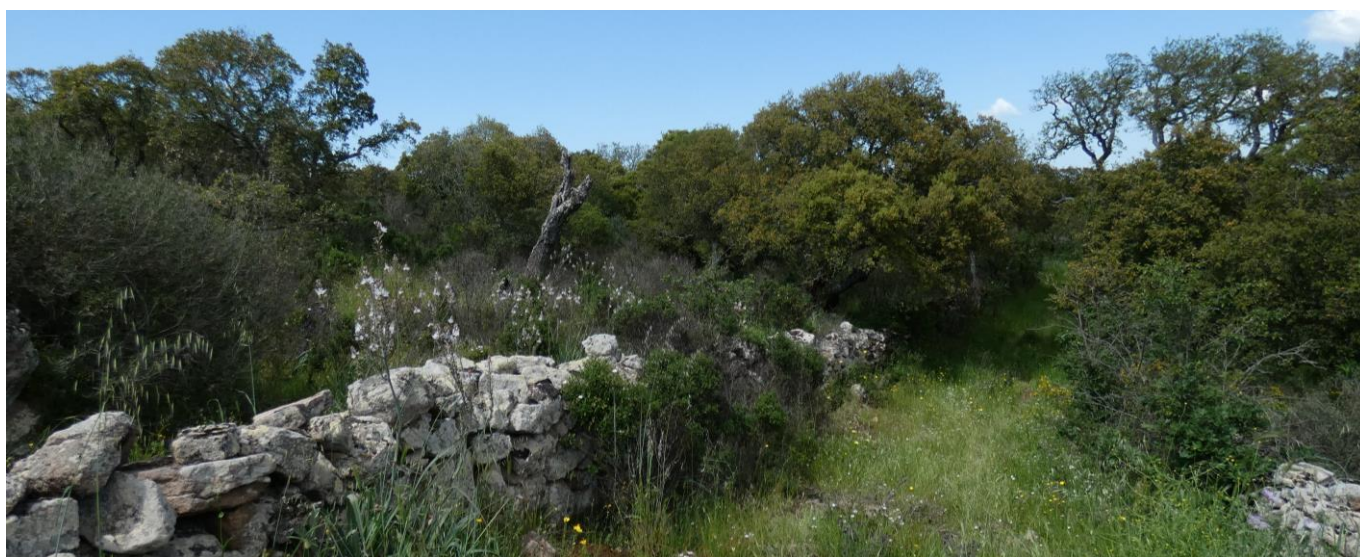


Figura 26 Piazzola AG06

Il reticolato idrografico dell'area di studio mostra valli quasi sempre poco incassate, con prevalente andamento NW-SE e N-S.



**Figura 27 Piazzola AG07**



**Figura 28 Piazzola AG08**

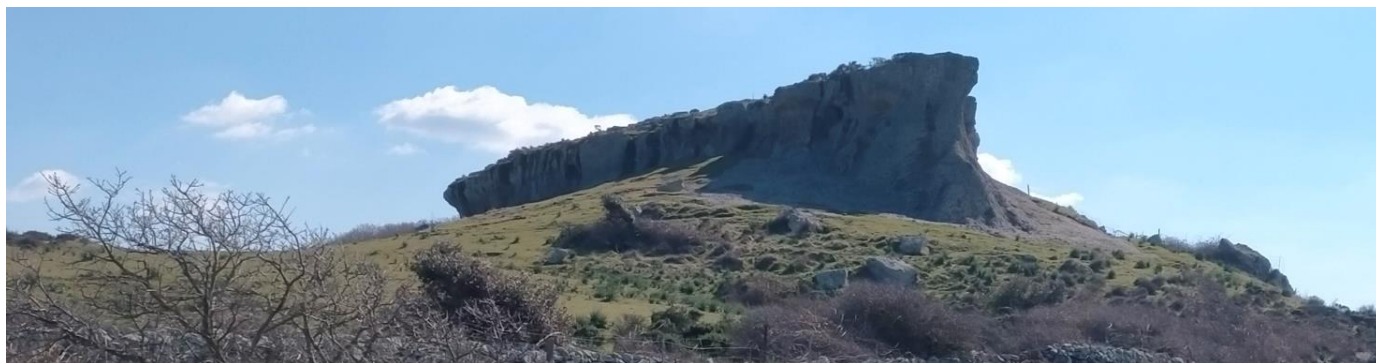


Figura 29 Rilievo isolato a N del parco ospitante le Domus de Janas.

Nei pressi delle scarpate appartenenti alla formazione del Monte Tului e del Monte Longos sono state rilevate microforme ricorrenti quali tafoni, “nidi d’ape”, vacuoli e cavità di varie dimensione, dovute principalmente all’idrolisi. I processi di degradazione meteorica per il quale i silicati e i minerali ferromagnesiaci, aggrediti dalle acque di precipitazione leggermente acidule per la presenza dell’anidride carbonica dell’atmosfera, si decompongono, possono comportare, per erosione selettiva, l’approfondimento e l’allargamento delle discontinuità, costituite da lesioni e fratture di origine meccanica della roccia, prodotte dagli agenti fisici della degradazione (dilatazioni termiche differenziali, azione di cuneo delle radici) e dalle forze tettoniche.



Figura 30 Erosione selettiva dovuta all'azione aggressiva dell'acqua nella roccia costituita da livelli di flusso piroclastico di differente competenza

Il processo dell’idrolisi dei silicati è massimo in condizioni di clima caldo-umido. La deflazione eolica può nel tempo rimuovere le parti rocciose distaccate, determinando nel blocco ancora inalterato la formazione di cavità tipiche, note come tafoni.



Figura 31 Esempio di tafonature ad ovest della AG04 affetta da tafonature.

Tra le morfologie osservabili nell'area a Nord del parco ve ne sono alcune strettamente connesse alle caratteristiche fisico-chimiche delle litologie presenti e dalla tipologia ed intensità degli agenti modellanti predominanti, in questo caso il carsismo.

Tale processo si sviluppa principalmente a seguito della dissoluzione chimica delle rocce carbonatiche. Il processo carsico rientra nel grande insieme delle azioni di disaggregazione compiute dagli agenti esogeni a spese delle rocce affioranti sulla crosta terrestre. La corrosione avviene come nel caso dell'idrolisi sopra citata per opera delle acque meteoriche che, oltre a contenere una certa quantità di anidride carbonica atmosferica disciolta al loro interno, scorrendo sulla superficie del suolo ed attraversando lo strato superficiale del suolo si arricchiscono ulteriormente di CO<sub>2</sub>. Queste acque reagiscono con la roccia calcarea intaccandola lentamente, sia in superficie sia infiltrandosi nel reticolo, fino a dar luogo nell'arco del tempo a veri e propri condotti di dimensioni variabili, che costituiscono i classici acquiferi tipici delle rocce carbonatiche. Infatti le acque ricche di anidride carbonica sono particolarmente aggressive nei confronti del carbonato di calcio.

## 9.2. Definizione dell'area geomorfologicamente significativa

La predisposizione naturale di un territorio a fenomeni di instabilità legata alle dinamiche geomorfologiche deriva in generale dall'interazione di diversi fattori come natura geologica dei terreni, loro assetto sia deposizionale che geostrutturale, circolazione delle acque superficiali e sotterranee con la morfologia, cioè la geometria del territorio.

BENTU Energy Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesBen-CLP-CIV-TR-22	Rev 0	Pagina 37 di 72
------------------	---------------------	------------------------------------	-------	--------------------

L'area oggetto di intervento, in base delle caratteristiche suddette **non presenta allo stato attuale evidenze di dissesto di natura geologico-geomorfologica in atto**, mentre, potenziali fenomeni di dissesto potrebbero presentarsi con la naturale evoluzione del pendio.

L'area geomorfologicamente significativa per le azioni di progetto è quell'area in cui si esplicano tutti i processi geomorfici, il cui effetto può generare interazioni con le dinamiche ambientali. Pertanto la stessa, nello specifico, si individua nei versanti e nei sub-bacini idrografici presenti che interferiscono con l'opera.

## 10. Inquadramento idrogeologico

Secondo la classificazione dei bacini sardi riportata nel Piano di Assetto Idrogeologico, il comune di **Thiesi** è incluso nel sub-bacino n° 3 Coghinas-Mannu-Temo.

Il Sub\_Bacino si estende per 5402 Km<sup>2</sup>, pari al 23% del territorio regionale; in esso sono presenti nove opere di regolazione in esercizio e cinque opere di derivazione. Dal punto di vista idrografico, i corsi d'acqua principali sono i seguenti:

1. Rio Mannu di Porto Torres, sul quale confluiscono, nella parte più montana, il Rio Bidighinzu con il Rio Funtana Ide (detto anche Rio Binza 'e Sea).
2. Il Rio Minore che si congiunge al Mannu in sponda sinistra. - Rio Carrabusu affluente dalla sinistra idrografica.
3. Rio Mascari, affluente del Mannu di Porto Torres in sponda destra, si innesta nel tratto mediano del rio presso la fermata San Giorgio delle Ferrovie Complementari.
4. Fiume Temo, regolato dall'invaso di Monteleone Roccadoria, riceve i contributi del Rio Santa Lughia, Rio Badu 'e Ludu, Rio Mulino, Rio Melas, affluenti di sinistra che si sviluppano nella parte montana del bacino. Negli ultimi chilometri il Temo, unico caso in Sardegna, è navigabile con piccole imbarcazioni; il suo sbocco al mare, sulla spiaggia di Bosa Marina, avviene tramite un ampio estuario.

### 10.1. Scheme della circolazione idrica superficiale

Il reticolo idrografico sulle litologie affioranti è impostato su un sistema di valli e compluvi, ed è caratterizzato da una ramificazione ben sviluppata in tutta l'area vasta che include le zone di interesse per il progetto. Sono presenti diversi corsi d'acqua lungo tutta l'area di interesse, e i relativi affluenti.

L'area di studio ricade tra il Sub-bacino del Rio Mannu, il cui principale corso d'acqua che interessa il territorio di è l'omonimo Rio Mannu che scorre da Est verso Ovest, e il Sub-bacino del Fiume Temo, che scorre a ovest dell'area di interesse, con flusso da Nord verso Sud.

Le acque dei torrenti più prossimi all'area di interesse sono rappresentate dal Rio Melas a Ovest, dal Rio Santa Lughia a S, dal Rio Bidighinzu a ENE e dai suoi affluenti (Rio Matte de sa Ua e il Rio su Trainu de Letti) a nord dell'area di interesse. In particolare gli affluenti del Rio Bidighinzu che scorre da sud verso nord, scorrono a nord dei rilievi su cui verranno installate le turbine AG05 e AG08.

Trattandosi, per il progetto, di alti topografici, i fiumi presenti scorrono allontanandosi da queste aree. Ne consegue che, l'area in studio si collocano in concomitanza con gli spartiacque dei bacini idrografici dei fiumi che interessano la zona.

Il **Rio Bidighinzu** scorre nella parte settentrionale dell'area, in particolare costeggia il lato E del costone su cui verranno installate le torri eoliche AG05, e AG08. Il **Rio Santa Lughia**, scorre a sud-ovest dei rilievi su cui verranno installate le turbine AG01, AG02 e AG03, mentre il Rio Melas costeggia ad ovest i rilievi dove verranno installate le turbine AG01, AG02 e AG03.

BENTU Energy Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesBen-CLP-CIV-TR-22	Rev 0	Pagina 38 di 72
------------------	---------------------	------------------------------------	-------	--------------------

Lo sviluppo del reticolo idrografico è strettamente connesso alle caratteristiche chimico-fisiche delle rocce costituenti il substrato, e al controllo tettonico che si manifesta molto evidente su alcune linee di deflusso, spesso orientate NW-SE e NE-SW come le principali faglie.

Gli impluvi costituiscono essenzialmente le aste tributarie di primo e secondo ordine dei torrenti che scorrono più a valle: essi presentano carattere essenzialmente torrentizio con deflussi stagionali legati strettamente alle precipitazioni. Lungo i versanti a maggiore pendenza i corsi d'acqua assumono un elevato potere erosivo, mentre solamente a valle, in corrispondenza di aste di ordine intermedio sono evidenti fenomeni di deposizione di coltri alluvionali di spessore molto modesto.

Il progetto prevede l'installazione delle torri eoliche sugli alti topografici, e i corsi d'acqua presenti scorrono allontanandosi da queste aree. Ne consegue che, le aree in studio si collocano in concomitanza con gli spartiacque dei bacini idrografici dei fiumi che interessano la zona.

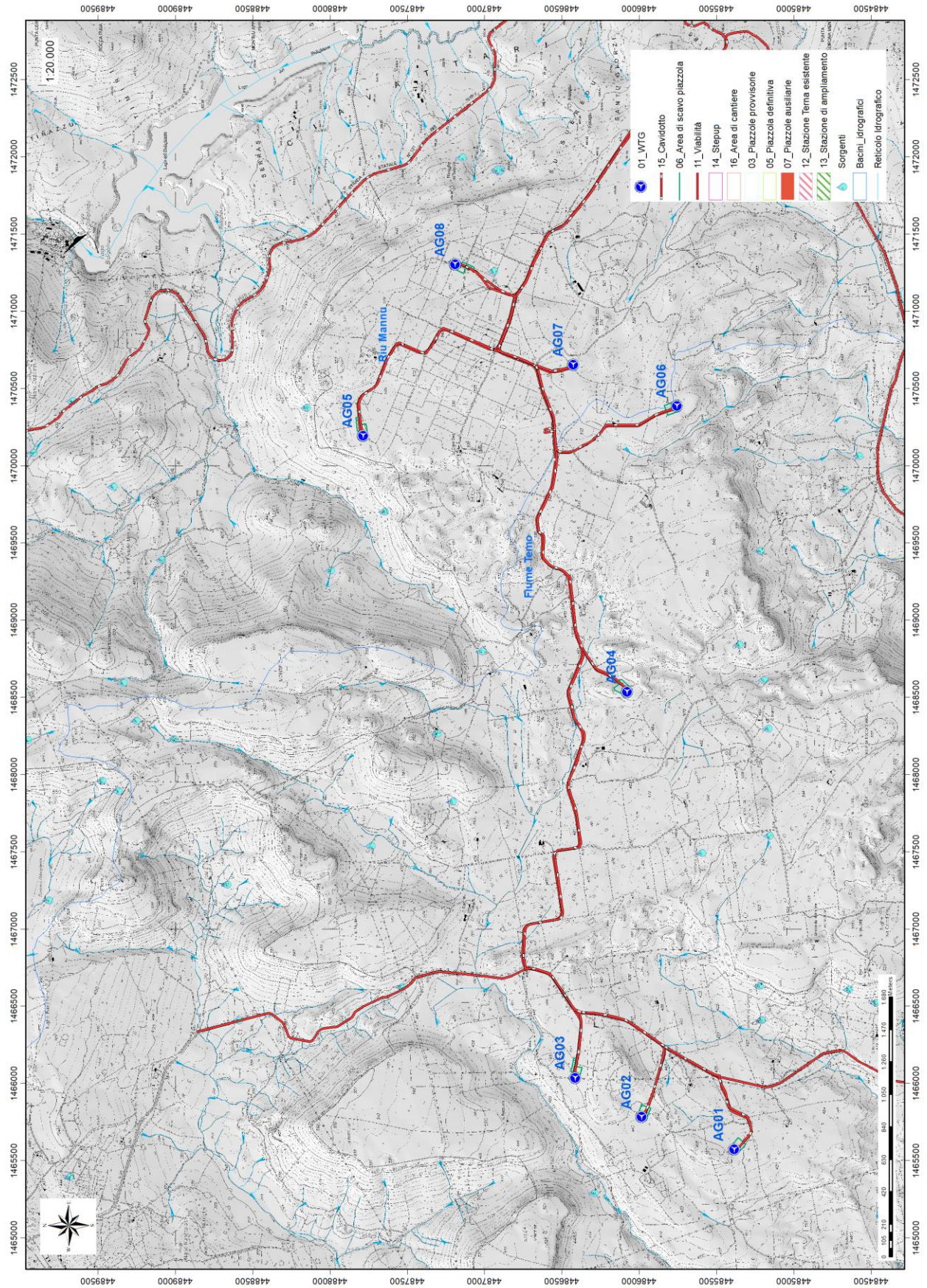


Figura 32 Reticolo idrico superficiale (Fonte RAS)

### 10.2. Caratteristiche delle acque sotterranee

Uno studio idrogeologico ha lo scopo di identificare lo schema di circolazione idrica sotterranea relativo ad una determinata area per poter ricavare informazioni circa i rapporti tra litotipi presenti, la presenza di acqua e le possibili conseguenze derivanti dalla realizzazione di un'opera.

Le rocce si presentano raramente compatte. La proprietà di contenere spazi vuoti tra gli elementi solidi che le compongono, detta porosità, esprime l'attitudine che ha la roccia ad immagazzinare ed a liberare acqua sotterranea.

Le litologie che circondano l'area di studio sono caratterizzate da permeabilità medio-bassa per fratturazione (Daciti). Da un censimento nell'Archivio Nazionale delle Indagini nel Sottosuolo ex Lg 464/1984 non sono presenti perforazioni per uso di acque sotterranee nell'area di interesse. Nelle immagini seguenti le schede di un pozzo (Cod.176535) nei pressi delle turbine AG01 e AG02 (immagine a sinistra) e di un pozzo (Cod.170169) situato nei pressi dell'area di installazione della turbina AG08 (immagine a destra).



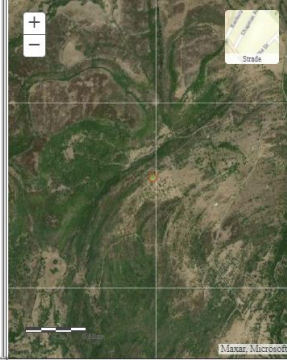
 		Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale			
Archivio nazionale delle indagini nel sottosuolo (Legge 464/1984)					
<b>Dati generali</b>		<b>Ubicazione indicativa dell'area d'indagine</b>			
Codice: 176535 Regione: SARDEGNA Provincia: SASSARI Comune: THIESI Tipologia: PERFORAZIONE Opera: POZZO PER ACQUA Profondità (m): 110,00 Quota pc slm (m): 454,00 Anno realizzazione: 1996 Numero diametri: 0 Presenza acqua: SI Portata massima (l/s): 0,040 Portata esercizio (l/s): 0,020 Numero falde: 1 Numero filtri: 0 Numero piezometrie: 1 Stratigrafia: SI Certificazione(*): SI Numero strati: 3 Longitudine WGS84 (dd): 8,590981 Latitudine WGS84 (dd): 40,523731 Longitudine WGS84 (dms): 8° 35' 27,53" E Latitudine WGS84 (dms): 40° 31' 25,43" N (*)Indica la presenza di un professionista nella compilazione della stratigrafia					
FALDE ACQUIFERE					
<b>Progr</b>	<b>Da profondità (m)</b>	<b>A profondità (m)</b>	<b>Lunghezza (m)</b>		
1	80,00	105,00	25,00		
MISURE PIEZOMETRICHE					
<b>Data rilevamento</b>	<b>Livello statico (m)</b>	<b>Livello dinamico (m)</b>	<b>Abbassamento (m)</b>	<b>Portata (l/s)</b>	
mag 1996	64,00	ND	ND	ND	
STRATIGRAFIA					
<b>Progr</b>	<b>Da profondità (m)</b>	<b>A profondità (m)</b>	<b>Spessore (m)</b>	<b>Età geologica</b>	<b>Descrizione litologica</b>
1	0,00	0,60	0,60	ATTUALE	TERRENO AGRARIO
2	0,60	95,00	94,40	PRE-ELVEZIANO	TRACHIDADICI
3	95,00	110,00	15,00	PRE-ELVEZIANO	VITROTRACHIANDESITI (IGNIMBRITI)

Figura 33 Monografie dei pozzi censiti nell'Archivio Nazionale delle Indagini nel Sottosuolo



ISPRA Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale				
Archivio nazionale delle indagini nel sottosuolo (Legge 464/1984)				
Dati generali	Ubicazione indicativa dell'area d'indagine			
Codice: 170169 Regione: SARDEGNA Provincia: SASSARI Comune: BESSUDE Tipologia: PERFORAZIONE Opera: POZZO PER ACQUA Profondità (m): 150,00 Quota pc slm (m): 366,00 Anno realizzazione: 2001 Numero diametri: 1 Presenza acqua: SI Portata massima (l/s): 3,000 Portata esercizio (l/s): 0,003 Numero falde: 1 Numero filtri: 0 Numero piezometrie: 1 Stratigrafia: NO Certificazione(*): NO Numero strati: 0 Longitudine WGS84 (dd): 8,659869 Latitudine WGS84 (dd): 40,540939 Longitudine WGS84 (dms): 8° 39' 35,53" E Latitudine WGS84 (dms): 40° 32' 27,38" N (*)Indica la presenza di un professionista nella compilazione della stratigrafia				
DIAMETRI PERFORAZIONE				
Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)	Diametro (mm)
1	0,00	150,00	150,00	204
FALDE ACQUIFERE				
Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)	
1	145,00	150,00	5,00	
MISURE PIEZOMETRICHE				
Data rilevamento	Livello statico (m)	Livello dinamico (m)	Abbassamento (m)	Portata (l/s)
giu' 2001	35,00	145,00	110,00	3,000

Complessivamente, le pendenze dei versanti insieme alla bassa permeabilità di alcune litologie non sono favorevoli alla ritenzione delle acque meteoriche (vulcaniti terziarie), mentre in alcune litologie (calcari bioclastici) la permeabilità è alta per carsismo, oltre che per fratturazione. La circolazione idrica profonda è strettamente legata al grado di fratturazione dell'ammasso roccioso e alla sua permeabilità.

La permeabilità secondaria, o per fessurazione, viene acquisita dalla roccia a seguito della sua formazione.

Tale proprietà può esser limitata dalla presenza di riempimento delle fratture costituito da materiali derivanti dall'alterazione della roccia madre ad alta componente argillosa. Ne consegue che seppur presente una buona rete di fratture anche con importanti spaziature, la presenza di tali riempimenti limita fortemente il passaggio delle acque.

La parte superficiale dell'ammasso roccioso è generalmente più fratturata e pertanto con permeabilità più elevata rispetto alla parte più profonda meno interessata dalla fratturazione, al contatto tra le due si possono sviluppare delle risorgive che hanno carattere prettamente stagionale legato all'andamento pluviometrico generale.

Di seguito viene illustrato in uno schema il processo di infiltrazione accumulo e circolazione legato al regime delle piogge e caratterizzante le litologie vulcaniche nella porzione sommitale e di interesse alle opere del parco eolico. Gli afflussi che arrivano sul terreno sotto forma per lo più di piogge, più raramente e poco tempo di neve, in parte scorrono lungo la superficie in genere a lamina d'acqua per poi organizzarsi in deboli rivoli che si concentrano lungo gli impluvi fino a raggiungere il bordo dell'altopiano oltre il quale si riversano lungo valli strette a V ancora in evoluzione geomorfologica.

La frazione di acqua che non scorre in superficie in parte evapora e in parte si infila nel terreno e nella roccia sottostante scorrendo lungo le fratturazioni in maniera più o meno efficace in funzione del grado di apertura delle stesse, e in funzione della permeabilità della roccia.

Maggiore è la presenza di fratture, maggiore è la possibilità che l'acqua prosegua il suo percorso in profondità. Le falde acquifere e le conseguenti sorgenti che si hanno lungo i versanti e nei tagli erosivi sono per l'appunto legate principalmente alla presenza dei sistemi di frattura a diversa scala e dal materiale derivante dall'alterazione superficiale degli ammassi rocciosi.

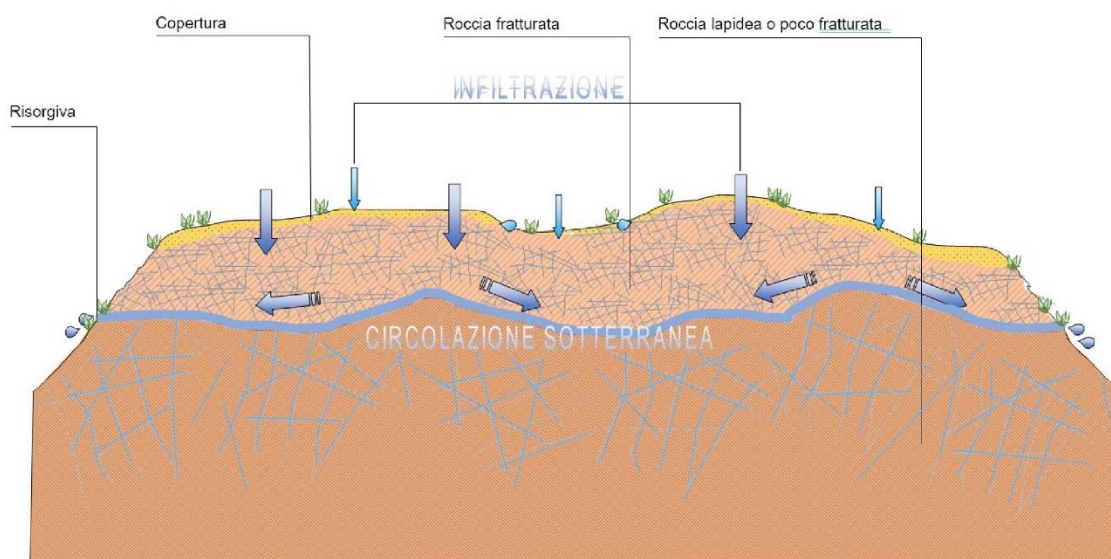


Figura 34 Schema esemplificativo, non in scala, dei processi di infiltrazione e deflusso sotterraneo

Nell'area di studio si possono distinguere:

1. litologie con permeabilità medio-alta, come le calcareniti della litofacies della Formazione di Mores (RESa), per via della fratturazione o del carsismo;
2. litologie con permeabilità medio-bassa per fratturazione, come le rocce delle vulcaniti terziarie: Unità di Monte Frusciu (FSI) Unità di Monte Longos (LGS), di Uri (UUI), di Villanova Monte Leone (MLO), di Romana (OMN), di Pala Mantedda (MTD) e di Nuraghe Vittore (UNV).

Da un punto di vista idrogeologico le formazioni dell'area di studio possono essere divise in tre gruppi principali:

1. Rocce del Distretto vulcanico di Capo Marargiu, e di Osilo. È costituito da rocce poco permeabili per fratturazione (piroclastiti, lave andesitiche, ecc...)  $K=1 \times 10^{-5} - 1 \times 10^{-6}$  m/sec
2. Coperture della successione sedimentaria oligo-miocenica del Logudoro-Sassarese. Tali coperture sono costituite da litotipi a permeabilità medio-alta dovuta alla fratturazione e al carsismo delle rocce carbonatiche intercalate nelle successioni;  $K= 1 \times 10^{-6}$  m/sec
3. Depositi quaternari. I depositi quaternari occupano aree molto limitate e raggiungono spessori poco significativi, la permeabilità è di tipo medio-alta per porosità. Le alluvioni terrazzate recenti hanno permeabilità medio-alta e sono di solito sede di una falda freatica di subalveo. I depositi di versante invece essendo in gran parte costituiti da una struttura clasto-sostenuta e scarsa matrice (falde di detrito), presentano una permeabilità molto elevata, in ogni caso i loro spessori esigui non garantiscono una potenza sufficiente per generare acquiferi significativi;  $K=1 \times 10^{-5} - 1 \times 10^{-6} \leq 1 \times 10^{-4}$  m/sec

Dalla carta della permeabilità dei suoli, resa disponibile dal Geoportale della Regione Autonoma della Sardegna, si evince che l'area di studio presenta nella zona di installazione delle turbine, una **permeabilità medio-bassa per fratturazione**, eccetto che per le aree in cui affiorano i depositi quaternari legati a gravità (al piede dei rilievi) che presentano permeabilità medio-alta per porosità. Nell'area del cavidotto invece la permeabilità risulta medio-bassa per fratturazione, e medio-alta per porosità.

### 10.3. Analisi della vulnerabilità degli acquiferi

Ai fini della tutela della risorsa idrica si è operata una valutazione qualitativa della vulnerabilità degli acquiferi presenti in relazione alle opere da realizzare e in relazione alle varie attività di cantiere.

Non sono presenti sorgenti alle quote di realizzazione delle opere che prevedono gli scavi più profondi (fondazioni degli aerogeneratori, piazzole e aree di deposito temporaneo) e la profondità dell'acquifero così come deriva dalle informazioni geologiche è tale che quest'ultimo non venga influenzato dalle opere in possesso e con il normale deflusso delle acque sotterranee. Altresì le opere in progetto non determinano per loro natura produzione di agenti inquinanti che possono riversarsi nella circolazione idrica sotterranea se non per accidentale guasto meccanico che andrà trattato con le opportune misure di salvaguardia dettate dal T.U. sull'Ambiente.

Occorre però segnalare in diversi punti del parco la presenza di ristagni d'acqua talvolta del volume di decine di metri cubi, detti ristagni sono con tutta probabilità dovuti alla scarsa permeabilità del terreno per presenza d'argilla dovuta all'alterazione delle rocce vulcaniche.

La loro presenza è stata segnalata spesso in prossimità delle turbine e talvolta (nel caso della AG07) in corrispondenza delle piazzole stesse.



Figura 35 Grande ristagno tra la AG02 e la AG03, coord. 40.52523, 8.59298



**Figura 36 Ristagno pressi AG03, coord.40.52748, 8.59728**



**Figura 37 Ristagno situato nei pressi della AG06, coord.40.52404, 8.65069**



**Figura 38 Ristagno in corrispondenza della piazzola della AG07**



**Figura 39 Ristagno a valle della sorgente nei pressi della AG08**

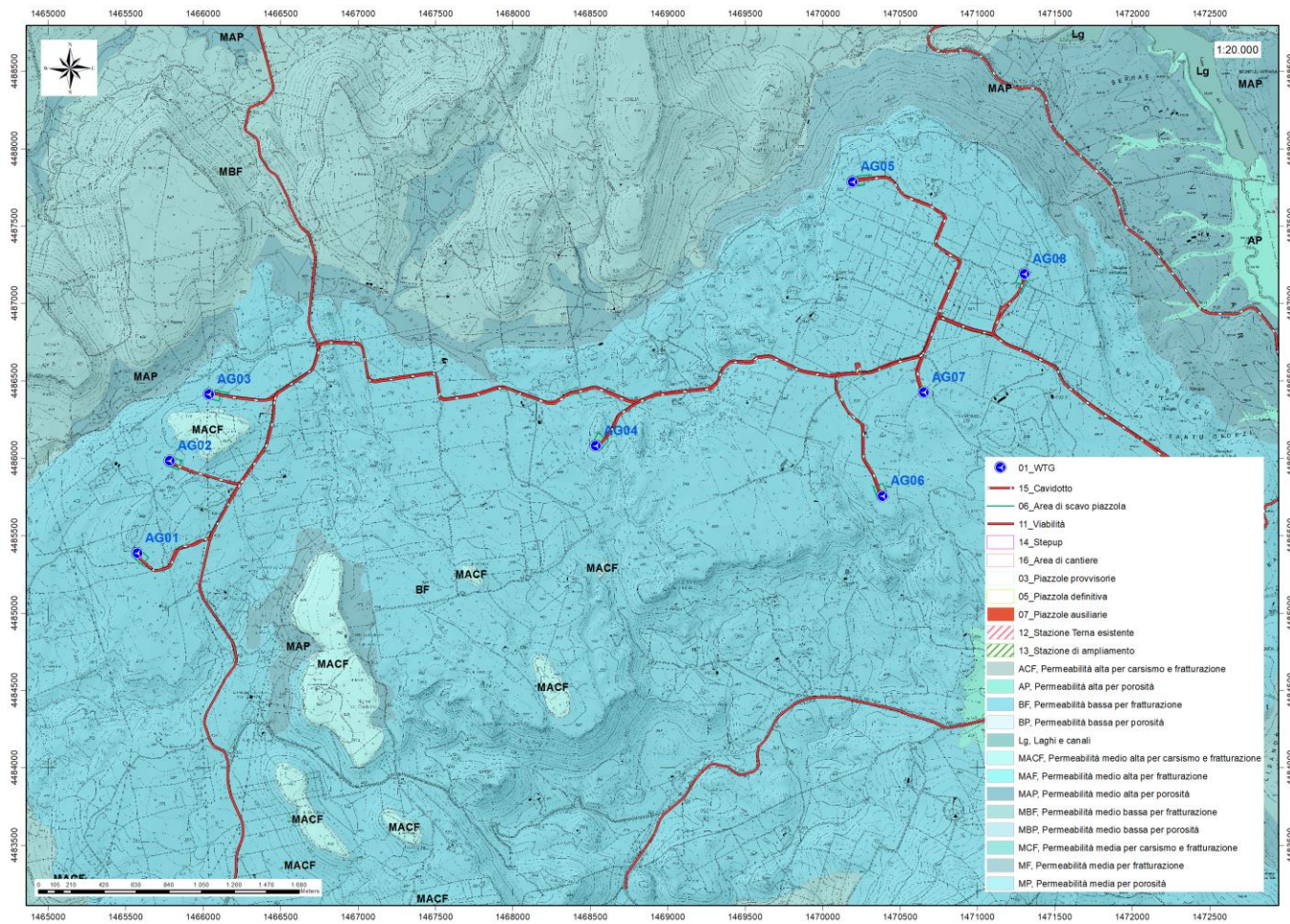


Figura 40 Carta delle Permeabilità dei Substrati e dei Suoli – area impianto (Fonte RAS)

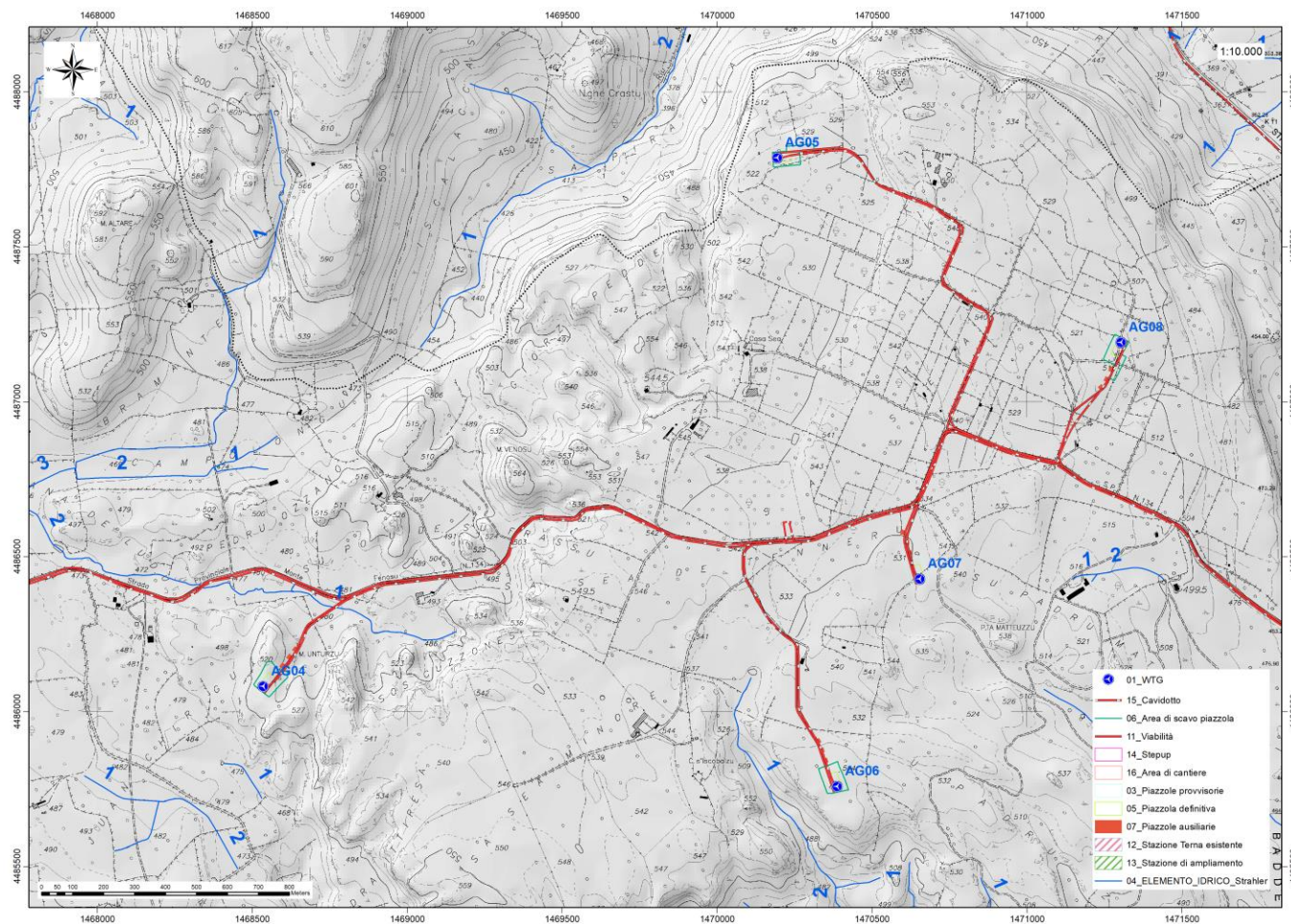


Figura 41 Reticolo idrografico numerato secondo l'ordine di Strahler

## 11. Inquadramento pedologico

Le tipologie di suolo sono legate per genesi alle caratteristiche delle formazioni geo-litologiche presenti e all'assetto idraulico di superficie nonché ai diversi aspetti morfologici, climatici e vegetazionali.

Poiché la litologia del substrato o della roccia madre ha una importanza fondamentale quale fattore nella pedogenesi dei suoli, le unità principali sono state delimitate in funzione delle formazioni geologiche prevalenti, e successivamente all'interno di esse sono state individuate unità, distinte dalla morfologia del rilievo, dall'acclività e dall'uso del suolo prevalente.

L'area di progetto ricade nei paesaggi sulle unità della Carta dei Suoli della Sardegna:

1. "Rocce effusive acide (andesiti, rioliti, riodaciti, ecc.) e intermedie (fonoliti) del Cenozoico e loro depositi di versante e colluviali" associate ai suoli dell'unità D3;

L'area di progetto dove verranno installate le turbine ricade nell'unità citata (D3), la stazione di accumulo nell'unità D3, mentre i cavidotti nelle unità D3, D5 e I1.

Tutte le turbine verranno installate in aree dove sono presenti suoli dell'unità D3 della Carta dei Suoli della Sardegna - Roccia affiorante e suoli a profilo A-C, A-R e subordinatamente A-Bw-C, poco profondi, da sabbioso franchi a franco argillosi, da permeabili a mediamente permeabili, neutri, saturi.

La porzione di viabilità e i cavidotti che collegano le turbine alla stazione di accumulo ricadono, oltre che nell'unità D3 sopra descritta, anche nelle:

2. Unità D5: Profili A-Bw-C, mediamente profondi, franco sabbioso argillosi, permeabili, da subacidi ad acidi, parzialmente desaturati.
3. Unità L1: Profili A-C e subordinatamente A-Bw-C, profondi, da sabbioso franchi a franco argillosi, da permeabili a poco permeabili, neutri, saturi.

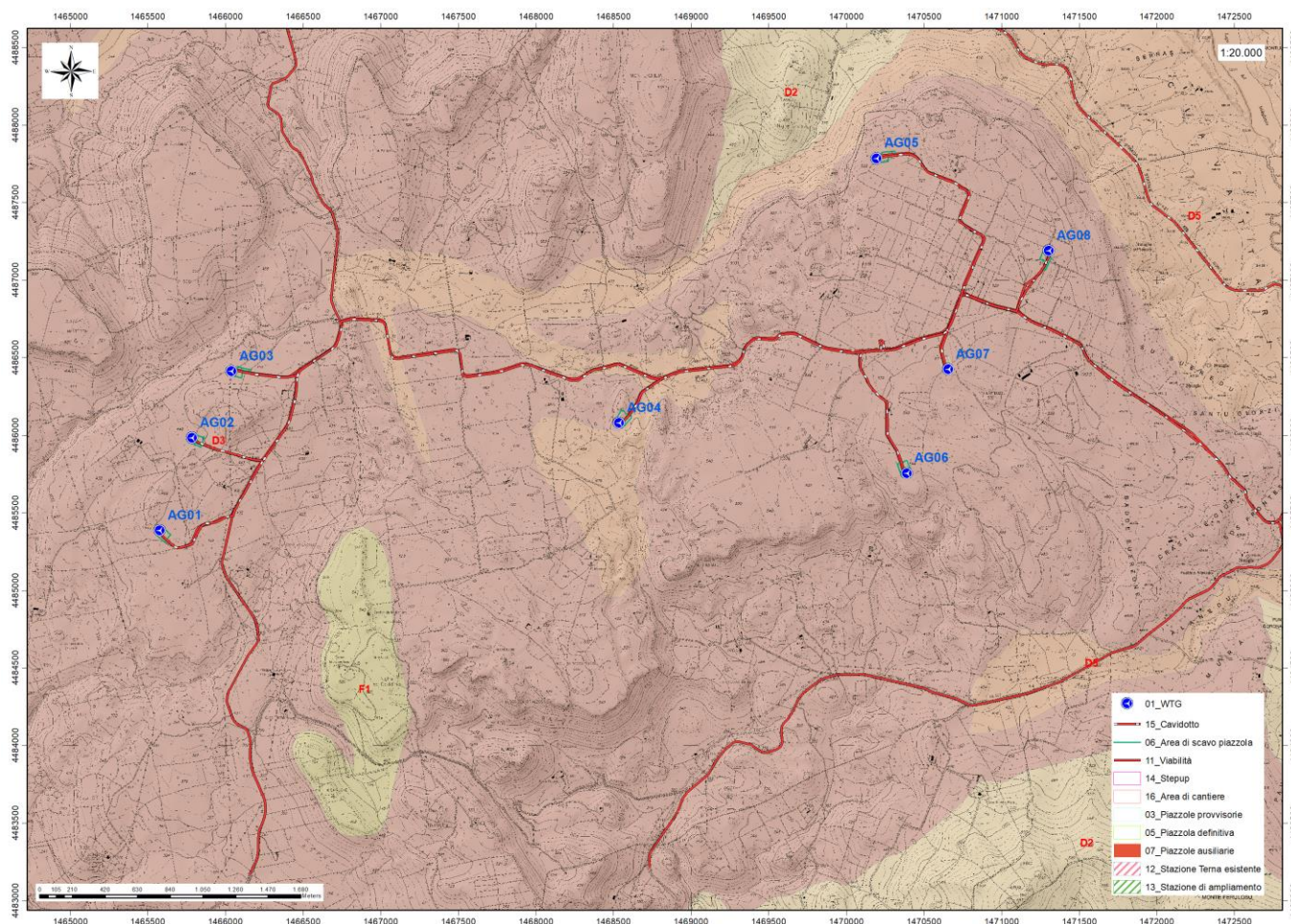


Figura 42 Carta dei Suoli (Fonte RAS)

## 12. Uso del Suolo

Dalla Carta dell'Uso del Suolo, resa disponibile dalla Regione Sardegna, si evince che l'ambito di progetto del Parco eolico "Thiesi" si inserisce in un contesto in cui il suolo ricade in vari livelli.

Intorno al lotto di interesse, nello specifico dell'area di installazione delle turbine, le destinazioni d'uso ricadono in ambiti quali Gariga (3232), Bosco di latifoglie (3111), Sugherete (31122), Aree a ricolonizzazione naturale (3241), Aree a pascolo naturale (321), Colture temporanee associate ad altre colture permanenti (2413).

In particolare, dall'analisi della cartografia esistente, si evince che ricadono:

1. nel livello **321**, classificato come "Aree a pascolo naturale", il punto di installazione della turbina AG02;



2. nel livello **3111**, classificato come **“Bosco di latifoglie”** il punto di installazione della turbina AG07 (vicino ad Area a Sugherete – 31122);
3. nel livello **2413**, classificato come **“Colture temporanee associate ad altre colture permanenti”** il punto di installazione della turbina AG01 (vicino ad Area a Gariga – 3232), AG06 e AG03 (vicino ad Aree a ricolonizzazione naturale – 3241);
4. nel livello **3232**, classificato come **“Gariga”**, i punti di installazione delle turbine AG04 e AG08;
5. nel livello **31122**, classificato come **“Sugherete”**, il punto di installazione della turbina AG05.

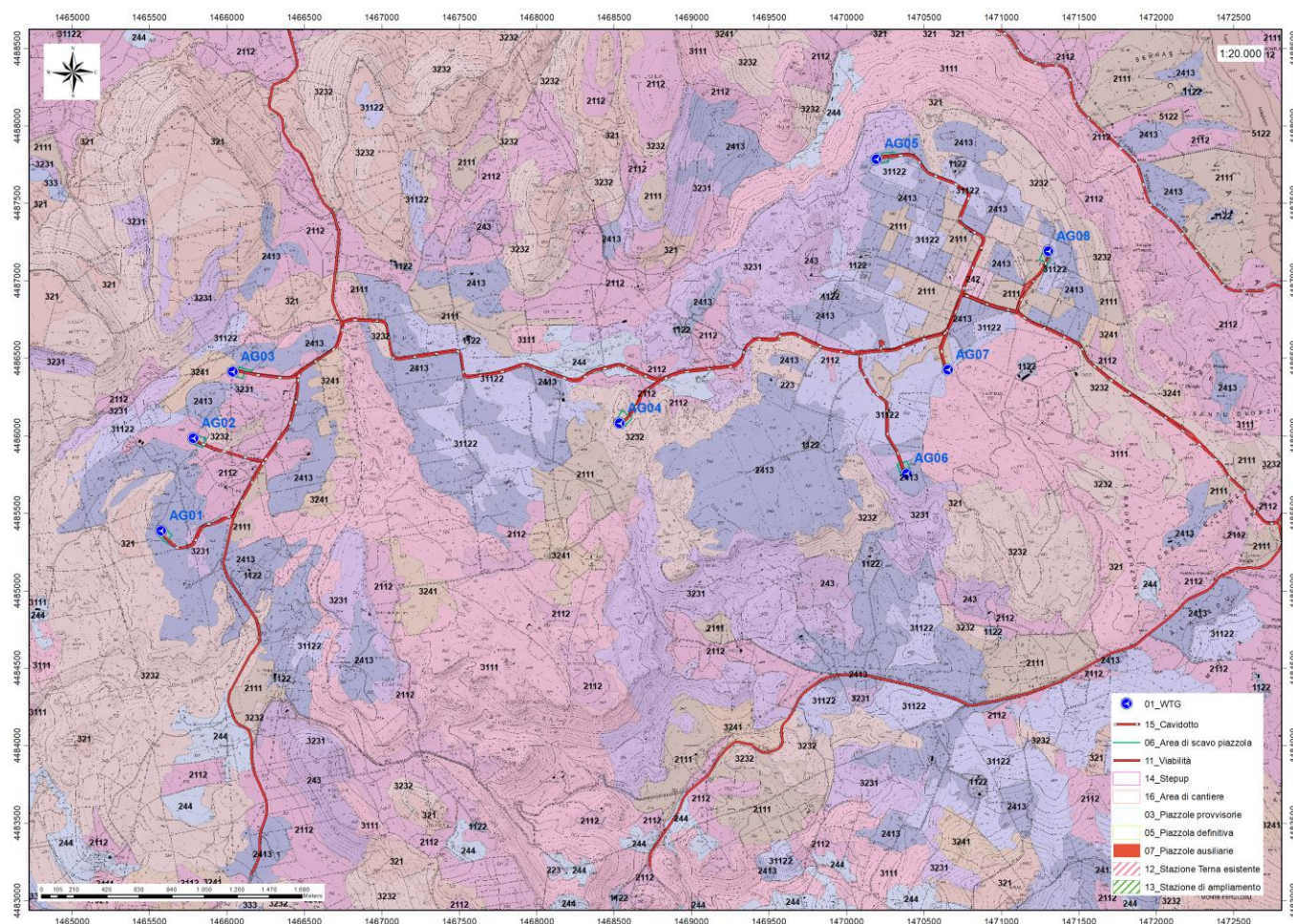


Figura 43 Stralcio della Carta dell'Uso del Suolo della Sardegna (2008, Fonte RAS).

## 13. Analisi dei vincoli gravanti sui terreni

### 13.1. Piano Stralcio D'Assetto Idrogeologico della Sardegna

Per quanto riguarda gli aspetti legati alla pericolosità idrogeologica, si sintetizzano gli esiti del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI), che è stato redatto dalla Regione Sardegna ai sensi del comma 6 ter dell'art. 17 della Legge 18 maggio 1989 n. 183 e ss.mm.ii., adottato con Delibera della Giunta Regionale n. 2246 del 21 luglio 2003, approvato con Delibera n. 54/33 del 30 dicembre 2004 e reso esecutivo dal Decreto dell'Assessore dei Lavori Pubblici n. 3 del 21 febbraio 2005.

Il PAI ha valore di piano territoriale di settore e, in quanto dispone con finalità di salvaguardia di persone, beni, ed attività dai pericoli e dai rischi idrogeologici, prevale sui piani e programmi di settore di livello regionale (Art. 4 comma 4 delle Norme Tecniche di Attuazione del PAI). Inoltre (art. 6 comma 2 lettera c delle NTA), “le previsioni del PAI [...] prevalgono: [...] su quelle degli altri strumenti regionali di settore con effetti sugli usi del territorio e delle risorse naturali, tra cui i [...] piani per le infrastrutture, il piano regionale di utilizzo delle aree del demanio marittimo per finalità turistico-ricreative”.

Il comune di **Thiesi** non ha ancora prodotto lo studio di dettaglio ex art.8 comma 2 delle Norme tecniche di Attuazione del PAI per l'intero territorio comunale, pertanto sono ancora in vigore le perimetrazioni precedentemente approvate.

**L'area di progetto è parzialmente interessata nelle perimetrazioni di pericolosità geomorfologica del PAI.**

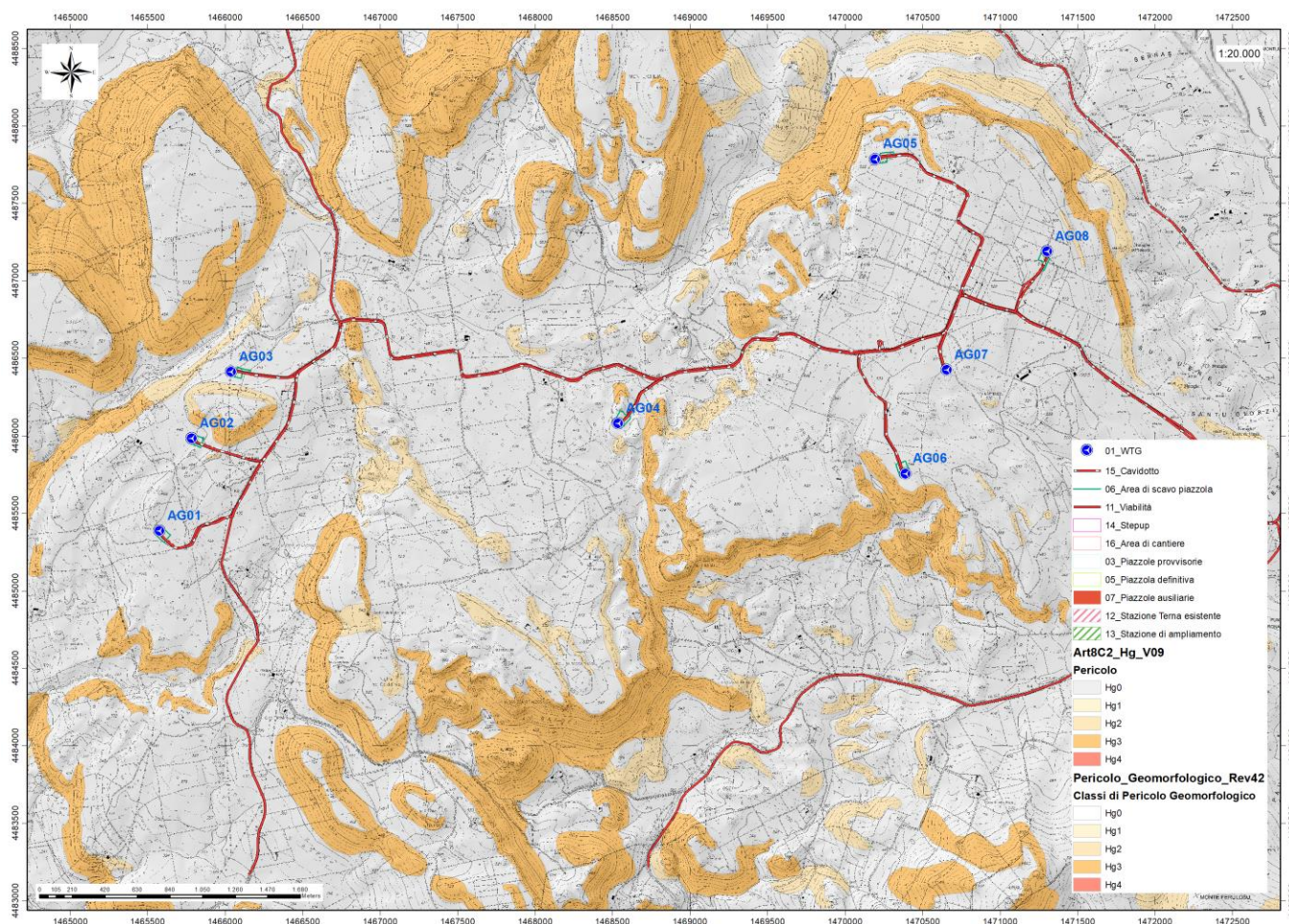


Figura 44 Inquadramento PAI Pericolosità da frana (Fonte RAS).

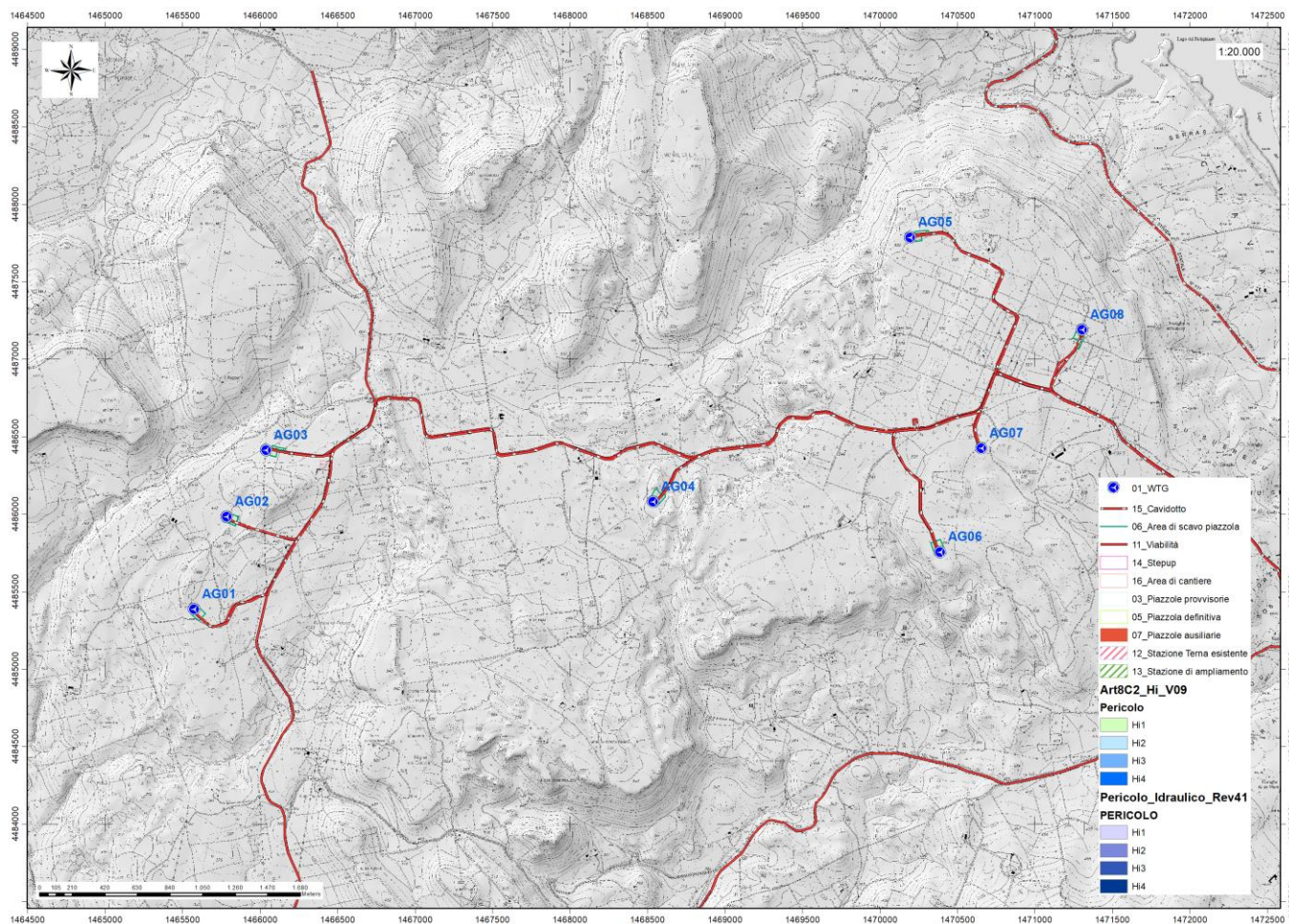


Figura 45 Inquadramento PAI Pericolosità idraulica (Fonte RAS).

Nello specifico del progetto, le turbine sono state posizionate in aree con pendenze minori o uguali al 15%. Generalmente tutto il complesso rappresentato da turbina, piazzola temporanea e permanente occupano aree subpianeggianti sufficientemente ampie da garantire la non influenza dell'opera con la dinamica del versante attiguo. Dai sopralluoghi effettuati in sito non si ha inoltre evidenza per quest'area di fenomeni franosi in atto o potenziali. La dinamica geomorfologica di versante è naturalmente presente ma senza manifestazioni importanti.

Nella carta tematica del P.A.I. relativa alla pericolosità geomorfologica resa disponibile dalla RAS, risulta che nel territorio comunale di **Thiesi** sono presenti diversi settori con diverso grado di pericolosità geomorfologica (Hg0, Hg1, Hg3 e Hg4), e di Rischio geomorfologico (Rg0, Rg1, Rg2 e Rg3) per fenomeni legati ad eventi franosi. Queste aree sono localizzate tutto attorno al centro abitato, sia lungo il caviddotto che vicino alle postazioni dove verranno realizzate le turbine.

Per quanto riguarda le turbine, pur essendo vicine ad aree con Hg1, Hg2 e Rg1 e Rg2, nessuna di esse ricade direttamente in queste aree: la turbina AG02, AG04, AG05, e AG06 si trovano adiacenti, rispettivamente, alle zone: Hg 1, Hg3, Rg1 e Rg2; Hg3 e Rg1; Hg3 e Rg1; Hg3 e Rg1 e Rg2.

Il settore a sud e a nord delle turbine AG01, AG02 e AG03 presenta una porzione della strada di accesso direttamente interessata da pericolo geomorfologico Hg2 e rischio geomorfologico Rg1 e Rg2, due tratti nella stessa area scorrono poi adiacenti nel limite a valle di aree a pericolosità Hg3.

**Le turbine e il cavidotto non sono compresi nelle perimetrazioni di pericolosità geomorfologica del PAI, mentre piccoli tratti della connessione passano in corrispondenza di aree Hg2 e in prossimità di aree Hg3.**

Per quanto concerne la pericolosità idraulica, nella carta tematica del P.A.I. relativa a questa tematica resa disponibile dalla RAS, **risulta che nel territorio comunale di Thiesi non sono presenti aree perimetrate.**

### 13.2. Art.30 Ter NTA PAI

Il territorio comunale di Thiesi non è stato ancora oggetto di uno Studio di dettaglio della pericolosità idraulica così come previsto dall'art.8 comma c delle NTA PAI, nelle more della realizzazione dello stesso pertanto, sono state istituite le fasce di prima salvaguardia secondo il comma 1 dell'art.30ter di seguito riportato.

*1. Per i singoli tratti dei corsi d'acqua appartenenti al reticolo idrografico dell'intero territorio regionale di cui all'articolo 30 quater, per i quali non siano state ancora determinate le aree di pericolosità idraulica, con esclusione dei tratti le cui aree di esondazione sono state determinate con il solo criterio geomorfologico di cui all'articolo 30 bis, quale misura di prima salvaguardia finalizzata alla tutela della pubblica incolumità, è istituita una fascia su entrambi i lati a partire dall'asse, di profondità L variabile in funzione dell'ordine gerarchico del singolo tratto.*

La fascia di rispetto dei corsi d'acqua in base al numero di Stralher equivale a:

Stralher 1	10m
Stralher 2	25m
Stralher 3	50m
Stralher 4	75m
Stralher 5	100m
Stralher 6	150m
Stralher 7	250m
Stralher 8	400m

Nel caso specifico il Riu Melas (ordine Strahler 3) scorre nella turbina più vicina (AG03) a circa 280m di distanza, dei corsi minori, ovvero di ordine Strahler 1 e 2 scorrono tra la AG01 e la AG02 e a SW della AG06, a non meno di 150m di distanza da ciascuna turbina, non sono pertanto presenti corsi d'acqua nelle cui rispettive fasce di rispetto siano presenti le Turbine in progetto e/o le relative piazzole.

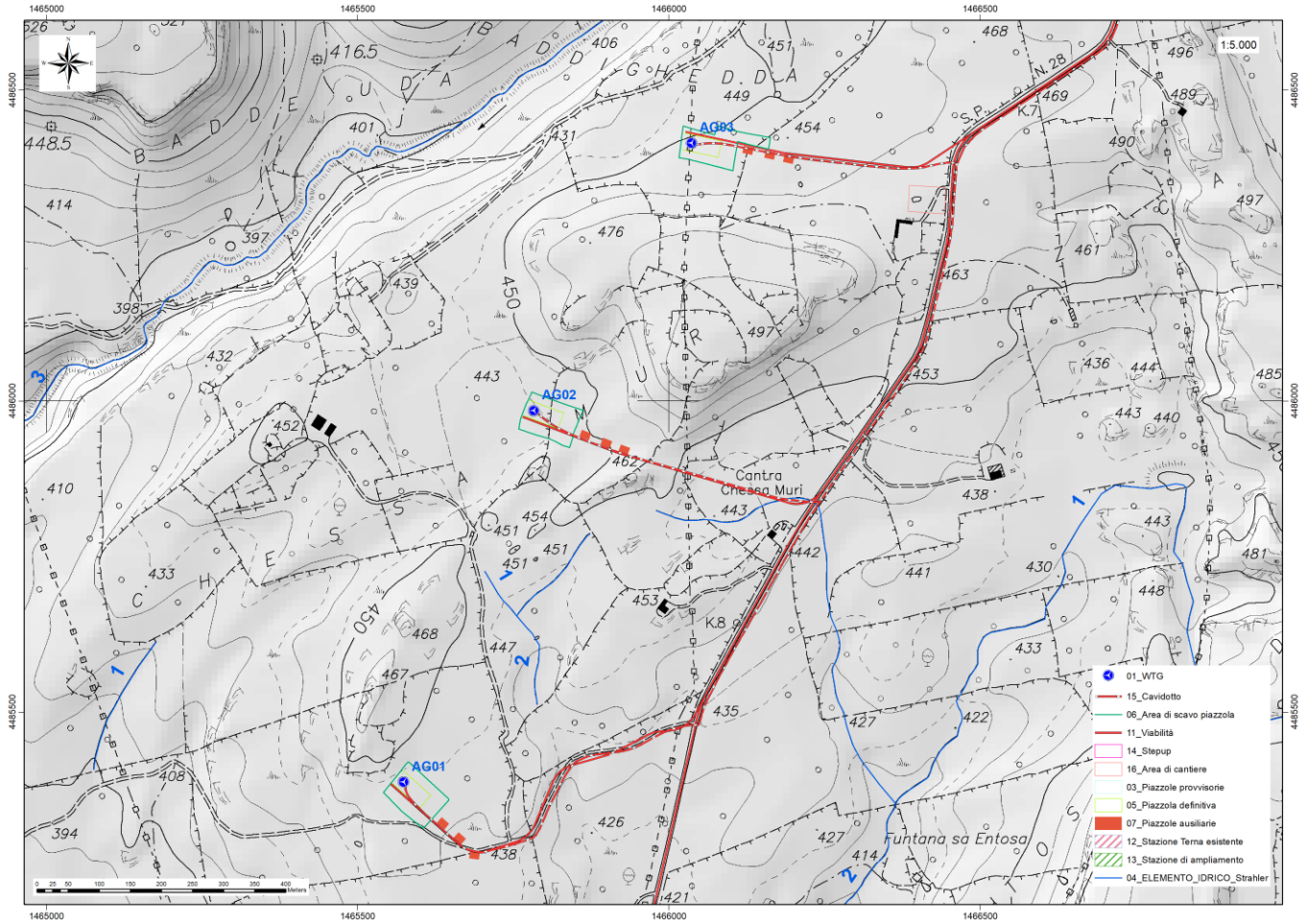


Figura 46 Reticolo idrografico numerato secondo l'ordine di Strahler

### 13.3. Inventario dei Fenomeni franosi

Per quanto riguarda il censimento dei siti franosi nell'ambito del Progetto IFFI, nell'inventario sono menzionate aree che ricadono nell'ambito territoriale del comune di **Thiesi**. In particolare, a N e NW di **Thiesi** sono state segnalate almeno 3 frane per crollo/ribaltamento diffuso che interessano le rocce carbonatiche (RESa). Si tratta di aree prossime all'abitato di **Thiesi**.

Tuttavia, le aree su cui verranno posizionate le turbine non ricadono nella perimetrazione I.F.F.I.

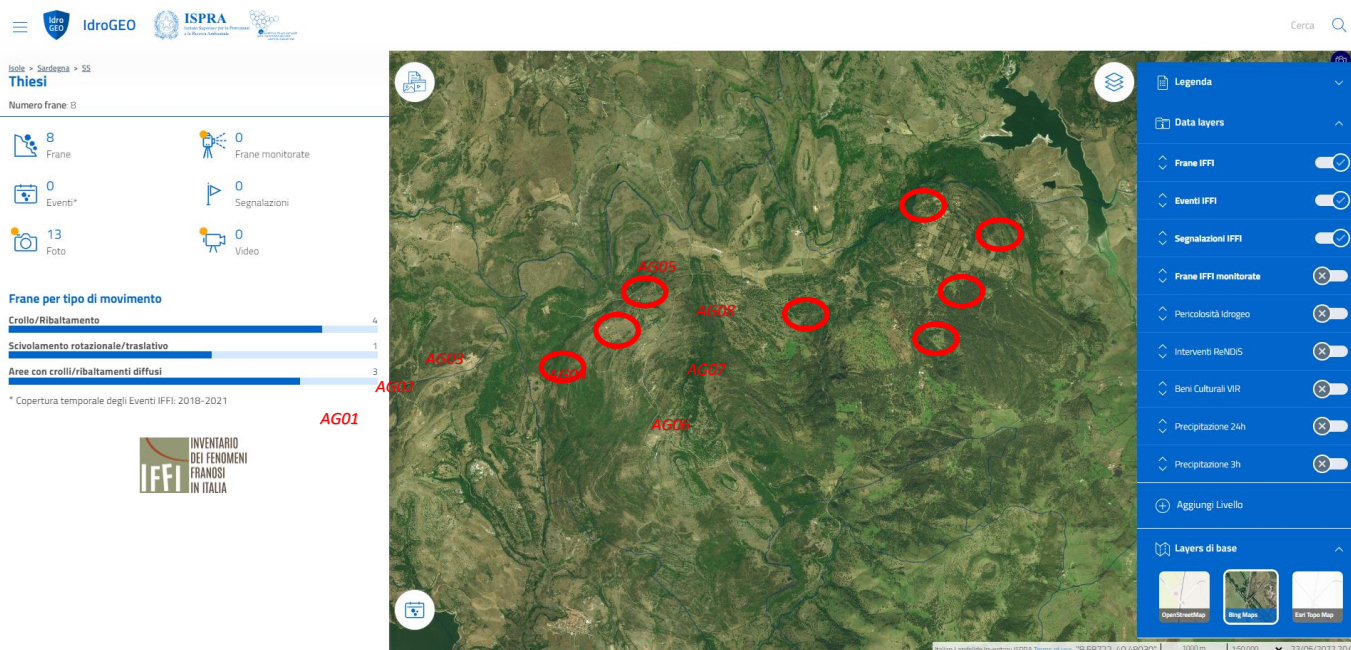


Figura 47 Archivio IFFI (Fonte ISPRA) in rosso l'area di intervento

### 13.4. Piano Stralcio delle Fasce Fluviali

Il Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (PSFF) definisce, per i principali corsi d'acqua della Sardegna, le aree inondabili e le misure di tutela per le fasce fluviali. A seguito dello svolgimento delle conferenze programmatiche, tenute nel mese di gennaio 2013, il Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino della Regione Sardegna, con Delibera n.1 del 20.06.2013, ha adottato in via definitiva il Progetto di Piano Stralcio delle Fasce Fluviali.

Il Piano Stralcio delle Fasce Fluviali costituisce un approfondimento ed una integrazione necessaria al Piano di Assetto Idrogeologico (P.A.I.) in quanto è lo strumento per la delimitazione delle regioni fluviali funzionale a consentire, attraverso la programmazione di azioni (opere, vincoli, direttive), il conseguimento di un assetto fisico del corso d'acqua compatibile con la sicurezza idraulica, l'uso della risorsa idrica, l'uso del suolo (ai fini insediativi, agricoli ed industriali) e la salvaguardia delle componenti naturali ed ambientali.

Con Delibera n. 2 del 17.12.2015, il Comitato Istituzionale dell'Autorità di bacino della Regione Sardegna, ha approvato in via definitiva, per l'intero territorio regionale, ai sensi dell'art. 9 delle L.R. 19/2006 come da ultimo modificato con L.R. 28/2015.

Per quanto riguarda le delimitazioni presenti nella cartografia del Piano Stralcio Fasce Fluviali, si evince che nel territorio comunale di **Thiesi** non sono presenti aree di fascia fluviale.

**L'area di progetto non è compresa nelle perimetrazioni del PSFF.**

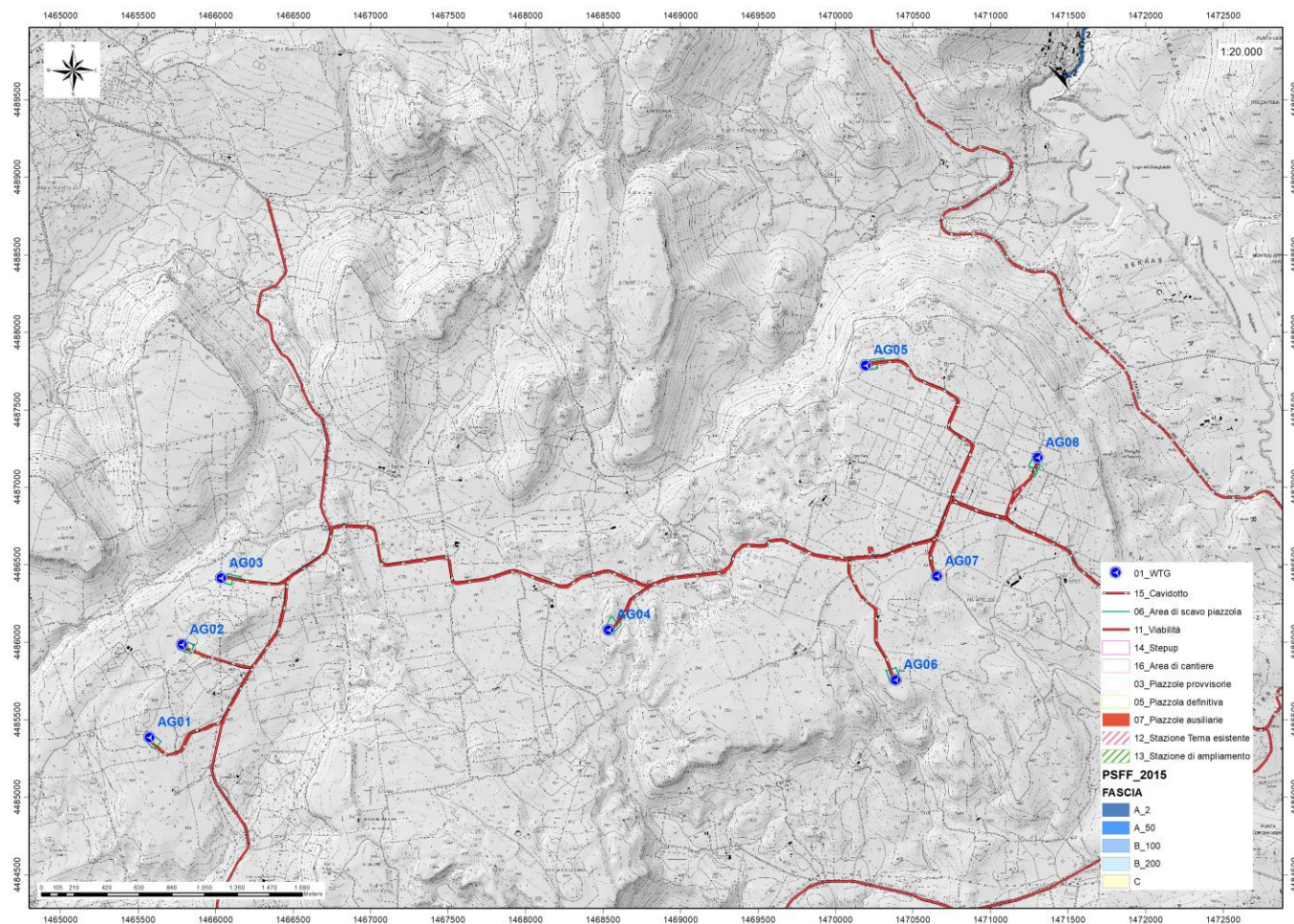


Figura 48 Stralcio perimetrazione Piano Stralcio fasce Fluviali PSFF 2015

### 13.5. Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA)

L'articolo 7 del D.Lgs. 23 febbraio 2010 n. 49 "Attuazione della Direttiva Comunitaria 2007/60/CE, relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni", che recepisce in Italia la Direttiva comunitaria 2007/60/CE, prevede che in ogni distretto idrografico, di cui all'art. 64 del D.Lgs.152/2006, sia predisposto il **Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni** (di seguito indicato come PGRA).

L'obiettivo generale del PGRA è la riduzione delle conseguenze negative derivanti dalle alluvioni sulla salute umana, il territorio, i beni, l'ambiente, il patrimonio culturale e le attività economiche e sociali. Esso coinvolge pertanto tutti gli aspetti della gestione del rischio di alluvioni, con particolare riferimento alle misure non strutturali finalizzate alla prevenzione, protezione e preparazione rispetto al verificarsi degli eventi alluvionali; tali misure vengono predisposte in considerazione delle specifiche caratteristiche del bacino idrografico o del sottobacino interessato. Il PGRA individua strumenti operativi e di *governance* (quali linee guida, buone pratiche, accordi istituzionali, modalità di coinvolgimento attivo della popolazione) finalizzati alla gestione del fenomeno alluvionale in senso ampio, al fine di ridurre quanto più possibile le conseguenze negative.

**Il territorio in studio non risulta essere interessato da perimetrazioni per rischio alluvioni.**

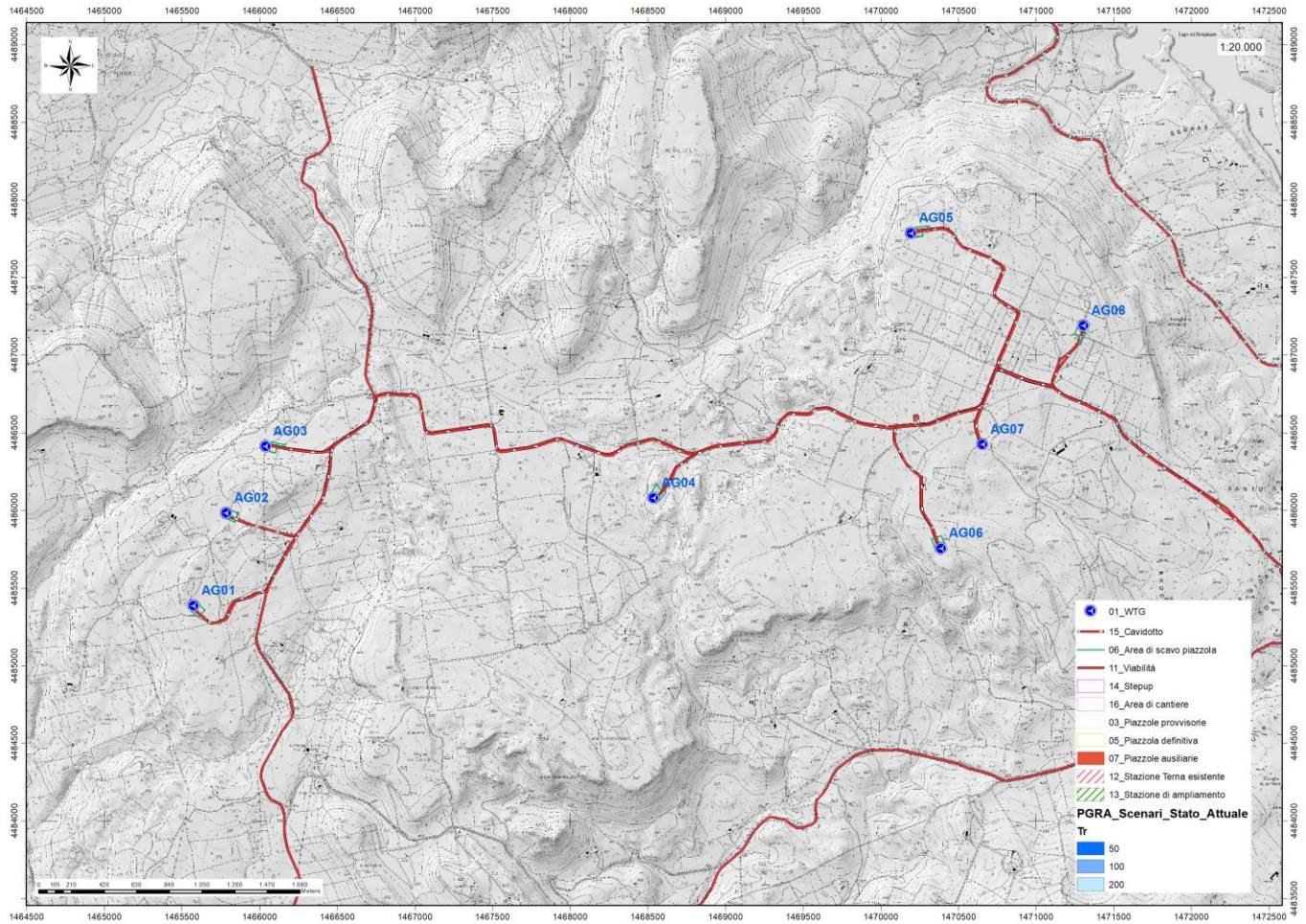


Figura 49 Stralcio perimetrazione PGRA 2021



BENTU Energy Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesBen-CLP-CIV-TR-22	Rev 0	Pagina 57 di 72
------------------	---------------------	------------------------------------	-------	--------------------

## 14. Modellazione geologica

### 14.1. Caratterizzazione geostrutturale degli ammassi rocciosi

Per la definizione dei parametri geotecnici del substrato roccioso al quale la fondazione delle turbine si appoggia, è stato adoperato il criterio di caratterizzazione dell'ammasso roccioso di Hoek-Brown generalizzato (1995), supportato dai dati geostrutturali rilevati in sito in pareti esposte, laddove disponibili, dai dati derivanti dai sondaggi geognostici.

Sulla base di tale classificazione, il cui criterio di rottura è definito dalla relazione seguente:

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci} (mb (\sigma'_3 / \sigma_{ci}) + s)^a$$

dove:

$\sigma'_1$  e  $\sigma'_3$  = sforzi efficaci principali rispettivamente massimo e minimo a rottura;

$mb$  = costante d'ammasso

$s$  ed  $a$  = costanti d'ammasso

$\sigma_{ci}$  = resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta

è stato possibile risalire ai parametri di coesione e angolo di attrito interno secondo Mohr- Coulomb.

Tale metodologia si basa su caratteristiche proprie dell'ammasso, valutabili tramite osservazioni in sito o con l'ausilio di tabelle sviluppate sulla base di una vasta raccolta di dati pubblicati in letteratura, attraverso cui è possibile stimare con una certa precisione i parametri di coesione e angolo di attrito interno necessari alle verifiche di stabilità, valutando i seguenti parametri:

1. Resistenza a compressione monoassiale (Intact Uniaxial Compressive Strength – IUCS) stimata su base empirica (Fig.60) e su valori di Point Load.
2. Stima dell'indice GSI (Geological Strength Index) in base alle caratteristiche geologiche dell'ammasso: tale indice, introdotto da Hoek, Kaiser e Bawden (1995), può esser definito sulla base delle caratteristiche dell'ammasso (Fig. 61) o sulla base di un controllo diretto con l'indice RMR della classificazione di Bieniawski.
3. Determinazione della costante  $m_i$  (Funzione del tipo di roccia): i valori delle costanti caratteristiche della roccia ( $\sigma_{ci}$  e  $m_i$ ) vengono generalmente definiti sulla base di apposite prove di laboratorio, ma in assenza delle suddette, è possibile fare riferimento alla tabella di Fig.62, che riassume i valori della costante  $m_i$  per diversi tipi di roccia.

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

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

Figura 50 - Resistenza a compressione monoassiale per diversi tipi di roccia

DESCRIZIONE DELL'AMMASSO ROCCIOSO PER LA VALUTAZIONE DELLE CARATTERISTICHE DI RESISTENZA	CONDIZIONI SUPERFICIALI					INDICE GEOLOGICO DI RESISTENZA GSI (Geological Strength Index)
Sulla base dell'apparenza della roccia, scegliere la categoria che si pensa sia la migliore descrizione delle condizioni "medie" dell'ammasso indisturbato presente in sito. Da notare che la superficie visibile della roccia ottenuta da una rotazione esplosiva può dare una impressione fuorviante sulla qualità della roccia sottostante. Come peraltro correggere opportunamente la valutazione delle caratteristiche dell'ammasso roccioso per tenere in conto il disturbo arrecato dallo scavo con esplosivo. A questo riguardo può essere utile l'esame di carteggi ottenuti da perforazioni a carteggio continuo con corona diamantata o l'osservazione della superficie creata da uno scavo realizzato con tecnica di abbinamento controllato. È inoltre importante ricordare che il criterio di rottura di Hoek-Brown dovrebbe essere applicato dove la dimensione del "volume sustenuto" di ammasso roccioso risulta piccola in confronto alle dimensioni dello scavo in considerazione.	MOLTO BUONE - Superfici molto scabre, sane, non alterate. BUONE - Superfici scabre, leggermente alterate, ossidate. DISCRETE - Superfici liscie, moderatamente alterate. SCAERITE - Superfici di facile lisciviazione (altamente alterate) - superfici molto alterate con materiale di riempimento compatto o costituito da frammenti angolari. MOLTO SCAERITE - Superficie di facile lisciviazione (altamente alterate) - superfici molto alterate con materiale di riempimento costituito da argille tenere.					Dalle sigle, determinate con la tabella riportata precedentemente, che descrivono la struttura e le condizioni superficiali dell'ammasso roccioso, selezionare l'appropriata casella della presente tabella. Stimare il valore medio di GSI delle linee di ugual valore di GSI che attraversano la casella di riferimento. A quest'ultimo riguardo non è importante essere troppo precisi. Indicare per GSI un valore compreso fra 30 e 42 è molto più realistico che indicare GSI=35.
<b>STRUTTURA</b>	<b>CONDIZIONI SUPERFICIALI</b>					<b>STRUTTURA</b>
A BLOCCHI - Ammasso roccioso indisturbato costituito da blocchi cubici, formati da tre famiglie di discontinuità tra loro ortogonali, con un elevato grado di mutuo incastro.	B/V/G	B/G	B/F	B/P	B/V/P	A BLOCCHI - Ammasso roccioso indisturbato costituito da blocchi cubici, formati da tre famiglie di discontinuità tra loro ortogonali, con un elevato grado di mutuo incastro.
CON MOLTI BLOCCHI - Ammasso roccioso parzialmente disturbato con blocchi angolari, mutuamente incastriati, con più sfaccettature formate da quattro o più famiglie di discontinuità.	VB/V/G	VB/G	VB/F	VB/P	VB/V/P	CON MOLTI BLOCCHI - Ammasso roccioso parzialmente disturbato con blocchi angolari, mutuamente incastriati, con più sfaccettature formate da quattro o più famiglie di discontinuità.
A BLOCCHI/DISTURBATA - Ammasso roccioso con blocchi angolari formati dall'intersezione di molte famiglie di discontinuità.	BD/V/G	BD/G	BD/F	BD/P	BD/V/P	A BLOCCHI/DISTURBATA - Ammasso roccioso con blocchi angolari formati dall'intersezione di molte famiglie di discontinuità.
DISINTEGRATA - Ammasso roccioso molto fratturato e con basso grado di mutuo incastro formato da un insieme di blocchi rocciosi angolari e arrotondati.	D/V/G	D/G	D/F	D/P	D/V/P	DISINTEGRATA - Ammasso roccioso molto fratturato e con basso grado di mutuo incastro formato da un insieme di blocchi rocciosi angolari e arrotondati.
DIMINUIZIONE DEL GRADO DI MUTUO INCASTRO DELL'AMMASSO ROCCIOSO	DIMINUIZIONE DELLA QUALITÀ SUPERFICIALE DELL'AMMASSO ROCCIOSO					DIMINUIZIONE DEL GRADO DI MUTUO INCASTRO DELL'AMMASSO ROCCIOSO

Figura 51 Abaco per la determinazione di GSI sulla base delle caratteristiche geologiche e strutturali dell'ammasso

Sulla base di queste caratteristiche si ottengono i seguenti valori di  $mb$ ,  $s$ ,  $a$  :

$$mb = mi [(GSI-100)/28]$$

$$s = e [(GSI-100)/(9-3D)]$$

$$a = 0,5 \text{ (per GSI >25)}$$

tramite i quali si stimano coesione e angolo di attrito interno secondo il criterio di rottura di Mohr-Coulomb:

$$\sigma'1 = (2c' \cos \phi' / 1 - \sin \phi') + (1 + \sin \phi' / 1 - \sin \phi') \sigma'3$$

I valori coesione e di angolo di attrito interno ottenuti attraverso l'applicazione di tale classificazione sono in generale rispondenti alla tipologia litologica interessata.

È utile sottolineare che esistono delle correlazioni dirette fra i valori di GSI e il valore RMR del sistema di classificazione di Bieniawski

TIPO DI ROCCIA	CLASSE	GRUPPO	TESSITURA			
			GROSSOLANA	MEDIA	FINE	MOLTO FINE
SEDIMENTARIE	Clastiche		Conglomerato (22)	Arenaria 19	Siltite 9	Argillite 4
	Non clastiche	Organogene		Grovacche (18)		
		Carbonatiche	Breccia(20)	Calcare Sparitico (10)	Calcare Micritico 8	
		Chimiche		Gesso 16	Anidride 13	
METAMORFICHE	Non foliate		Marmo 9	Hornfels (19)	Quarzite 24	
	Leggermente foliate		Migmatite (30)	Anfibolite 25-31	Miloniti (6)	
	Foliate*		Gneiss 33	Scisti 4-8	Filliti (10)	Scisti argillosi 9
IGNEE	Chiare		Granito 33		Riolite (16)	Ossidiana (19)
	Scure		Granodiorite (30)		Dacite (17)	
			Diorite (28)		Andesite 19	
			Gabbro 27	Dolerite (19)	Basalto (17)	
		Norite 22				
	Effusive piroclastiche		Agglomerato (20)	Breccia (18)	Tufo (15)	

Questi valori sono validi per campioni di roccia intatta portati a rottura applicando il carico normale alla stratificazione o scistosità. Il valore di  $m_i$  sarà sensibilmente inferiore se la rottura avviene lungo un piano di debolezza

Figura 52 Valori della costante  $m_i$  per diversi tipi di roccia

<p>           Criterio di rottura empirico  <math display="block">\sigma_1 = \sigma_3 + \sqrt{m\sigma_{u(r)}\sigma_3 + s\sigma_{u(r)}^2}</math> <math>\sigma_1</math> = tensione efficace principale massima  <math>\sigma_3</math> = tensione efficace principale minima  <math>\sigma_{u(r)}</math> = resistenza a compressione monoassiale            m ed s: costanti empiriche         </p>	COSTANTI DEL MATERIALE: m, s	ROCCE CARBONATICHE CON CLIVAGGIO CRISTALLINO BEN SVILUPPATO <i>Dolomite, calcare e marmo.</i>	ROCCE ARGILLOSE LITIFICATE <i>Argille, silti, scisti argillosi con clivaggio ben marcato.</i>	ROCCE ARENACEE CON ELEVATA CRISTALLIZZAZIONE E LIMITATO SVILUPPO DI CLIVAGGIO PER CRISTALLIZZAZIONE <i>Arenarie e quarzite</i>	ROCCE CRISTALLINE IGNEE E GRANA FINE <i>Andesite, dolerite, diabase e riolite</i>	ROCCE IGNEE A GRANA GROSSOLANA E ROCCE CRISTALLINE METAMORFICHE <i>Amfibolite, gabbro, gneiss, novite, quarzo-clorite</i>
<b>CAMPIONI DI ROCCIA INTATTA</b> <i>Campioni di laboratorio senza discontinuità (matrice rocciosa)</i> Indice CSIR: RMR = 100 Indice NGI: Q = 500	m s	7.00 1.00	10.00 1.00	15.00 1.00	17.00 1.00	25.00 1.00
<b>AMMASSO ROCCIOSO DI OTTIMA QUALITÀ</b> <i>Ammasso roccioso indisturbato con giunti non alterati di spaziatura compresa fra 1 e 3 m</i> Indice CSIR: RMR = 65 Indice NGI: Q = 100	m s	2.40 0.082	3.43 0.062	5.14 0.082	5.82 0.082	8.56 0.062
<b>AMMASSO ROCCIOSO DI BUONA QUALITÀ</b> <i>Roccia sana o leggermente alterata, leggermente disturbato con giunti di spaziatura compresa fra 1 e 3 m.</i> Indice CSIR: RMR = 65 Indice NGI: Q = 10	m s	0.575 0.00293	0.821 0.00293	1.231 0.00293	1.395 0.00293	2.052 0.00293
<b>AMMASSO ROCCIOSO DI DISCRETA QUALITÀ</b> <i>Numerose famiglie di giunti moderatamente alterati, con spaziature comprese fra 0.3 e 1 m.</i> Indice CSIR: RMR = 44 Indice NGI: Q = 1	m s	0.128 0.00009	0.183 0.00009	0.275 0.00009	0.311 0.00009	0.458 0.00009
<b>AMMASSO ROCCIOSO DI QUALITÀ SCADENTE</b> <i>Numerosi giunti alterati con spaziatura compresa fra 30 e 500 mm, alcuni con riempimento. Detrito di roccia pulita compattata.</i> Indice CSIR: RMR = 23 Indice NGI: Q = 0.1	m s	0.029 0.000003	0.041 0.000003	0.061 0.000003	0.069 0.000003	0.102 0.000003
<b>AMMASSO ROCCIOSO DI QUALITÀ MOLTO SCADENTE</b> <i>Numerosi giunti molto alterati con spaziatura inferiore a 50 mm e con riempimento. Detrito di roccia con materiale fine.</i> Indice CSIR: RMR = 3 Indice NGI: Q = 0.01	m s	0.007 0.0000001	0.010 0.0000001	0.015 0.0000001	0.017 0.0000001	0.025 0.0000001

CSIR (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization) Organizzazione Scientifica ed Industriale di Ricerca (Bieniawski 1974)  
 NGI Norway Geotechnical Institute (Barton 1974)

Figura 53 Correlazione fra valori di m, s, indice RMR, ed il tipo di roccia.

BENTU Energy Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesBen-CLP-CIV-TR-22	Rev 0	Pagina 61 di 72
------------------	---------------------	------------------------------------	-------	--------------------

L'analisi delle caratteristiche geomeccaniche in sito degli ammassi rocciosi interessati dal progetto e l'applicazione del metodo di Hoek-Brown per la definizione dei parametri geotecnici del substrato roccioso ha portato alla classificazione di nr. **1 tipologia** tra le litologie che caratterizzano le formazioni presenti, appartenente alla **Unità del Monte Frusci**.

Per il calcolo degli indici e della relativa trasformazione in parametri di coesione e angolo di attrito interno secondo Mohr- Coulomb è stato utilizzato il software RocData vers.3.0 della Rocscience Inc.

Di seguito si riportano gli schemi di analisi degli ammassi rocciosi e i relativi diagrammi di Mohr –Coulomb, in base alle osservazioni su campo e unitamente ai dati ottenuti dalle prospezioni geofisiche, si è ipotizzata una variazione del grado di fratturazione del substrato al variare della profondità divisa in **5 strati**, che vanno dalle “terre debolmente addensate” al “substrato roccioso sano”.

Nello specifico: nel livello S1, che come da descrizione sulla relazione geofisica viene indicato come “terre debolmente addensate”, è stato considerato un valore estremamente basso di sgci (valore indicativo della resistenza a compressione uniassiale) poiché non si tratta di un materiale litoide.

Nei livelli S2 e S3 l'sgci è stato riportato come da osservazioni e classifica speditiva di campo in base al fatto che “il campione di roccia si rompe con pochi colpi di martello” (rif. Fig.49).

Nei livelli S4 e S5 il valore sgci cresce poiché si passa gradualmente dalla roccia fratturata al substrato roccioso sano e inalterato. Il secondo valore che varia al variare della profondità è il GSI, tale valore dà indicazioni sullo stato di fratturazione della roccia, in questo caso unicamente nel livello S1 non si è tenuto conto di questo valore poiché trattasi di terre sciolte, mentre dal livello S2 al livello S5 si passa da “disintegrated” a “intact or massive”(rif Fig.50). *Si tratta di valori stimati in base a indagini indirette e a osservazioni su campo, pertanto da confermare puntualmente in fase di progettazione esecutiva.*

#### **Unità del Monte Frusci**

Standard ISRM = R4 Un campione richiede pochi colpi di martello per essere fratturato

Instabilità= scivolamenti planari e a cuneo

Ammasso roccioso= da mediamente fratturato a molto fratturato

Struttura= stratificata

Alterazione= mediamente alterata

Spaziatura totale delle discontinuità (s)=0,1 m

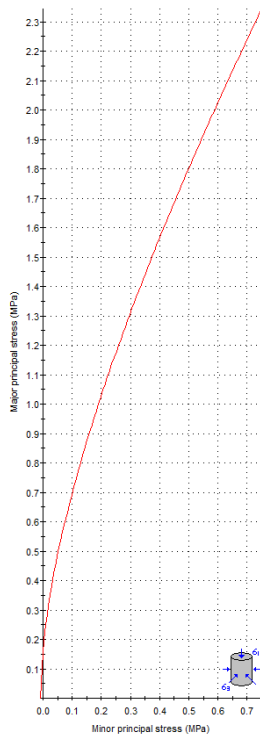
Lunghezza media del giunto = >3 m

Pareti – mediamente alterate

Riempimento – sciolto

Rocce – asciutta

Analysis of Rock/Soil Strength using RocData



**Hoek-Brown Classification**  
 intact uniaxial compressive strength = 3 MPa  
 GSI = 49     $m_i = 7$     Disturbance factor = 0

**Hoek-Brown Criterion**  
 $m_b = 1.133$      $s = 0.0035$      $a = 0.506$

**Mohr-Coulomb Fit**  
 cohesion = 0.132 MPa    friction angle = 27.25 deg

**Rock Mass Parameters**  
 tensile strength = -0.009 MPa  
 uniaxial compressive strength = 0.170 MPa  
 global strength = 0.433 MPa  
 modulus of deformation = 1635.16 MPa

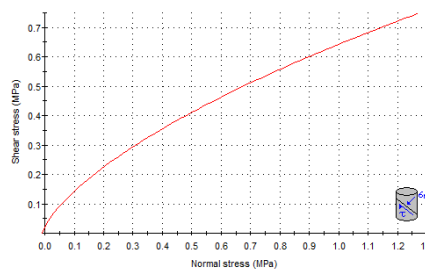
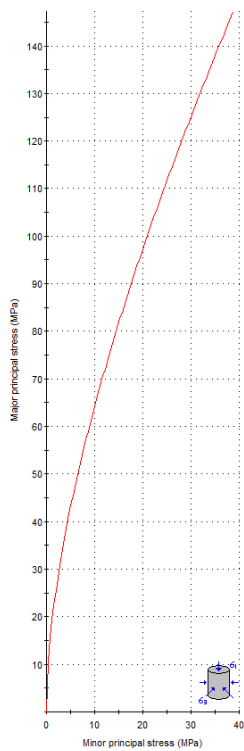


Figura 54 Valori di Coesione e angolo di attrito interno ottenuti utilizzando il software RocData per il livello S1

Analysis of Rock/Soil Strength using RocData



**Hoek-Brown Classification**  
 intact uniaxial compressive strength = 50 MPa  
 GSI = 40     $m_i = 50$     Disturbance factor = 0

**Hoek-Brown Criterion**  
 $m_b = 5.066$      $s = 0.0013$      $a = 0.511$

**Mohr-Coulomb Fit**  
 cohesion = 7.738 MPa    friction angle = 32.06 deg

**Rock Mass Parameters**  
 tensile strength = -0.011 MPa  
 uniaxial compressive strength = 1.654 MPa  
 global strength = 15.707 MPa  
 modulus of deformation = 3976.35 MPa

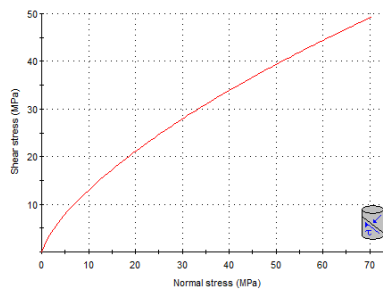


Figura 55 Valori di Coesione e angolo di attrito interno ottenuti utilizzando il software RocData per il livello S2

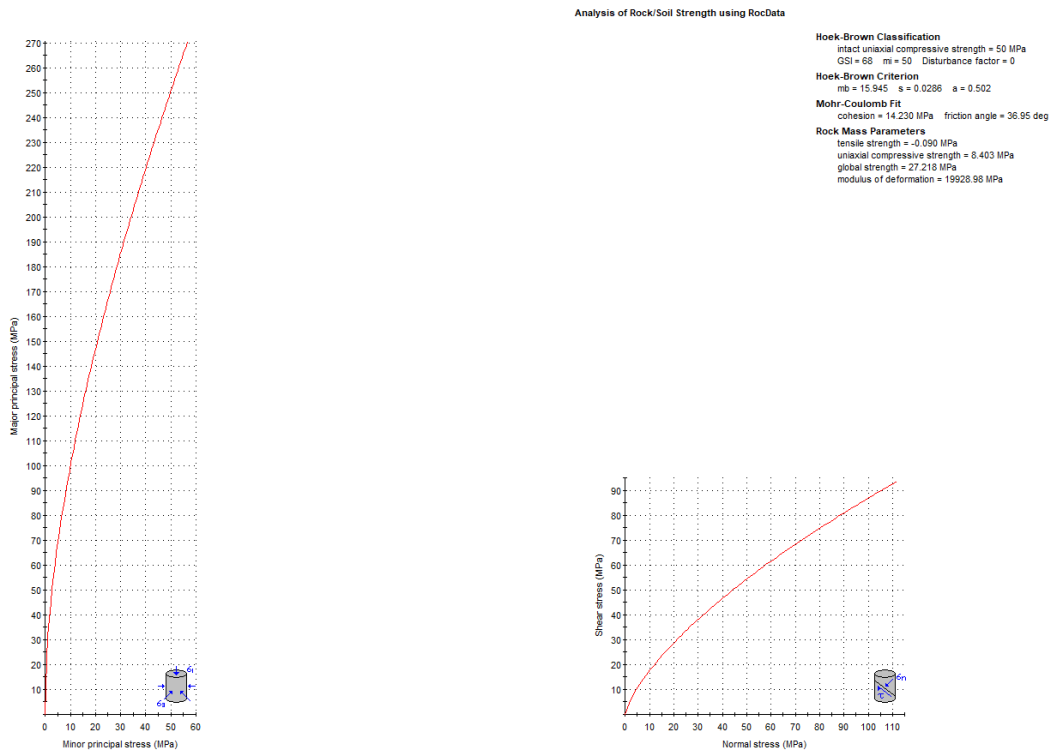


Figura 56 Valori di Coesione e angolo di attrito interno ottenuti utilizzando il software RocData per il livello S3

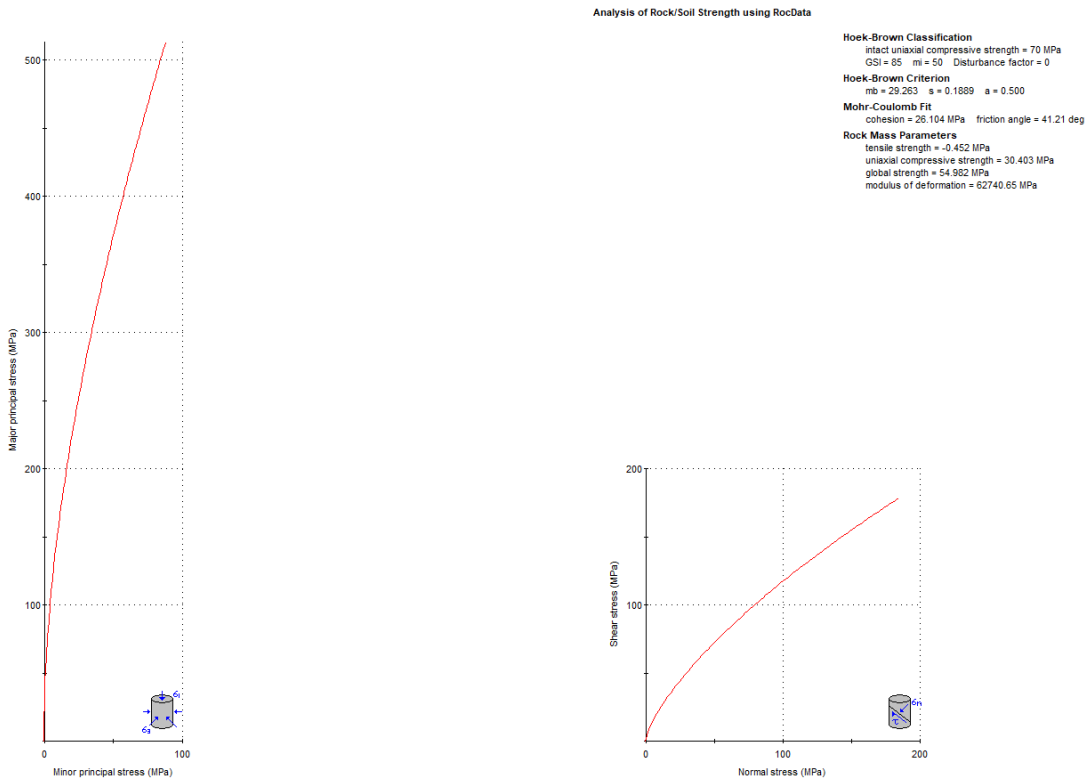


Figura 57 Valori di Coesione e angolo di attrito interno ottenuti utilizzando il software RocData per il livello S4

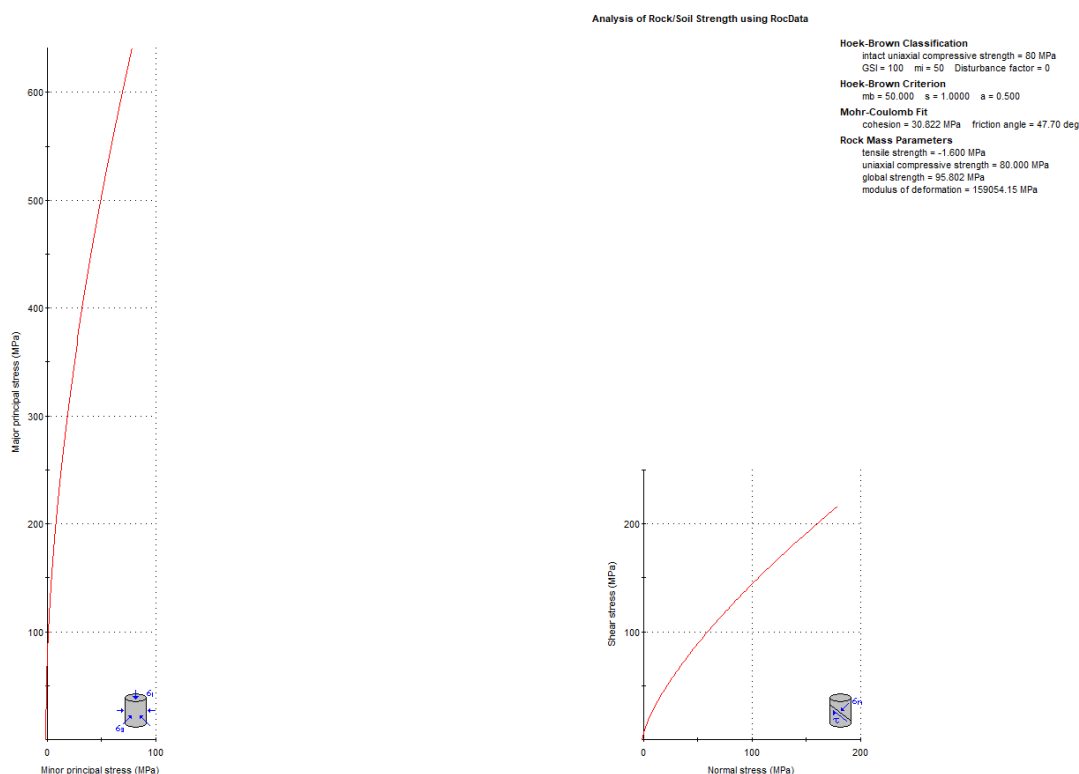


Figura 58 Valori di Coesione e angolo di attrito interno ottenuti utilizzando il software RocData per il livello S5

#### 14.2. Viabilità di impianto e sottostazione

La viabilità di impianto è stata scelta utilizzando dei tracciati preesistenti che verranno adeguatamente ridefiniti nelle sezioni nella misura utile e funzionale al servizio destinato con particolare riferimento alla fase di realizzazione del parco ove avverrà la maggior se non totale movimentazione di carichi e mezzi. La stessa viabilità sarà mantenuta in fase di esercizio.

La viabilità dovrà sopportare un peso per asse pari a 20,5 tonnellate/metro quadro, una pressione massima di circa 2 kg/cm. La carreggiata dovrà essere pari a 5 metri. La pendenza longitudinale massima della viabilità per strade con fondo sterrato o ghiaioso deve essere in condizioni ordinarie del 10% circa, la pendenza potrà essere del 12 % (16% pendenza massima in alcuni tratti) sia in rettilineo che in curva. La pendenza longitudinale minima sarà superiore o al più uguale al 0.5% per permette una rapida evacuazione delle acque superficiali dal manto stradale, che sarà in ogni caso permeabile. Si esclude l'uso di bitume.

Sostanzialmente tutta la viabilità si snoda lungo substrato roccioso con presenza in taluni casi di una copertura superficiale di terreno vegetale e /o roccia degradata con spessori variabili **da 0,00m a 4,00m**.

Per quanto riguarda a scavabilità del substrato roccioso esso nelle varie facies presenti e nella parte superficiale risulta quasi sempre da fratturato a molto fatturato per cui facilmente scavabile con ripper e martellone.

La possibile presenza di alcune saccature a forte componente argillosa suggerisce di prevedere opere di smaltimento delle acque superficiale adeguatamente dimensionate.

Il tracciato del cavidotto si snoda lungo aree pianeggianti e tracciati stradali esistenti. Il cavidotto in progetto andrà a interessare le coperture sedimentarie e vulcaniche del Miocene costituito dalle **Unità di Su Suerzu, di Uri, di Nuraghe Vittore** e dai **depositi quaternari**.



BENTU Energy Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesBen-CLP-CIV-TR-22	Rev 0	Pagina 65 di 72
------------------	---------------------	------------------------------------	-------	--------------------

## 15. Modello geologico di sito

Sulla base di quanto emerso dai rilievi e dalle indagini in sito, nell'approccio progettuale, stante il contesto geologico si evidenziano le seguenti criticità a cui sarà necessario prestare la opportuna attenzione nella progettazione esecutiva dell'opera e nelle varie fasi di realizzazione.

L'analisi di tali fattori è funzionale alla progettazione e ha lo scopo di valutare la risposta del terreno ai nuovi carichi ed individuare azioni correttive o accorgimenti tali da limitarne gli effetti. Nello specifico:

1. Azioni sulle pareti e stabilità dei fronti. Lo scavo stesso, in quanto genera depressione, può innescare locali smottamenti in corrispondenza degli orizzonti meno competenti a causa di fenomeni di detensionamento determinati dall'asportazione del materiale durante l'escavazione, sia in relazione ai livelli meno competenti sia alle direzioni del sistema di fratturazione che può generare componenti a franapoggio. La profonda deformazione che le metamorfite hanno subito genera variazioni di giacitura anche nell'ordine del metro pertanto si ritiene importante in fase di realizzazione degli scavi di fondazione eseguire un dettagliato rilievo geostrutturale finalizzato all'esclusione di ogni possibile rischio di crollo e/o slittamento di porzioni di parete.
2. Circolazione idrica sotterranea secondaria o indotta e/o stagnazione di acque di pioggia – pur se non è stata rilevata in fase di indagine, vanno considerati gli effetti dell'eventuale presenza d'acqua alla quota di imposta delle fondazioni in relazione ad una possibile circolazione idrica indotta dai fenomeni di detensionamento dovuti agli scavi, con particolare riferimento alla stagionalità degli apporti idrici e del relativo flusso negli ambiti più superficiali. In tal caso, in fase esecutiva, sarà opportuno provvedere a mantenere lo scavo asciutto mediante l'installazione di pompe adeguatamente dimensionate per la portata da emungere.

L'analisi ha permesso di fatto di definire il modello geologico del sito ed in particolare, in relazione alle diverse condizioni geologiche e geostrutturali rilevate, è stato individuato **nr.1 modello geologico rappresentativo** descritto di seguito:

### Modello Geologico 01

Per la caratterizzazione sono stati utilizzati i dati degli stendimenti geofisici SMT01, SMT02 e SMT03 e i dati dei rilievi geomeccanici "Scanline-1" e "Scanline-2".

A partire dal piano campagna dopo un primo spessore di circa 1,6m in terre debolmente addensate si incontra un livello superficiale di roccia fratturata dallo spessore di circa 2,5m, il sottostante substrato roccioso fratturato prosegue fino ad una profondità di circa 2,5 m arrivando a profondità che possono variare dai 6m ai 9m da piano campagna. Da circa 6m-9m da piano campagna fino a circa 17m il substrato roccioso passa da fratturato a sano.

Dall'analisi dell'ammasso in situ, la roccia si presenta stratificata, e, pur mediamente resistente, è debolmente affetta da alterazione fisica. La spaziatura massima tra le fratture che pervadono l'ammasso roccioso è di 0,3 m, la minima è 0,1m. Sono state rilevate diverse famiglie di giunti, ma la principale è sicuramente quelle influenzata dalle direzioni di flusso durante la messa in posto.

L'impiego congiunto della tecnica della tomografia elettrica lungo il medesimo allineamento della sismica a rifrazione ha permesso di identificare lungo i vari stendimenti i diversi elettrostrati riportati e descritti nei precedenti paragrafi, caratterizzati in ogni caso da range abbastanza ridotti e valori di resistività generalmente medio bassi. Nelle varie sezioni si sono messe in evidenza delle anomalie caratterizzate da valori di resistività inferiori rispetto al resto della sezione, che nel contesto in esame possono essere interpretate come dei settori caratterizzati dalla presenza di materiale maggiormente alterato (argillificazione)/fratturato rispetto alla roccia adiacente e/o alla presenza d'acqua. Per quanto sopra considerato il contesto geologico in esame in fase di progettazione definitiva/esecutiva si consiglia di eseguire delle indagini geognostiche e geofisiche di maggiore

BENTU Energy Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesBen-CLP-CIV-TR-22	Rev 0	Pagina 66 di 72
------------------	---------------------	------------------------------------	-------	--------------------

dettaglio (in es. sondaggi a carotaggio e geofisica eseguita con stendimenti ubicati a raggiera rispetto al centro della torre eolica).

00.00m - 1.60m Terre debolmente addensate  
01.60m - 4.10m Roccia fratturata  
04.10m – 7.50m Substrato roccioso fratturato  
7.50m – 17.00 Substrato roccioso da fratturato a sano  
17.00m – in poi Substrato roccioso sano

Thiesi - MODELLO GEOLOGICO 01						
Dati Parametri Resistenza						
Tipo di Terreno		S1- Terre debolmente addensate	S2 – Roccia fratturata	S3 – Substrato roccioso fratturato	S4- Substrato roccioso da fratturato a sano	S5 – Substrato roccioso sano
Descrizione						
Peso di volume	[kg/mc]	1650	1850	2000	2200	2300
Peso di volume saturo	[kg/mc]	1750	1950	2100	2300	2400
Angolo di attrito interno	[°]	27,25	32,06	36,95	41,21	47,70
Coesione	[Mpa]	0,132	7,738	14,230	26,104	30,822
Dati Parametri Deformabilità						
Modulo elastico	[Mpa]	750	2450	5400	12000	22000
Coefficiente di Poisson	[ ]	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
Modulo di taglio (G)	[Mpa]	200	700	2000	4500	9500
Velocità onde di taglio Vs	[m/sec]	500	700	900	1400	1900

BENTU Energy Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesBen-CLP-CIV-TR-22	Rev 0	Pagina 67 di 72
------------------	---------------------	------------------------------------	-------	--------------------

## 16. Compatibilità idraulica e geologica-geotecnica

### Ammissibilità degli interventi alle prescrizioni del PAI

La condizione di ammissibilità delle opere in progetto è contemplata nelle norme di attuazione del PAI ai seguenti articoli per i quali sono richiamati gli elementi essenziali:

#### Articolo 23 - Prescrizioni generali per gli interventi ammessi nelle aree di pericolosità idrogeologica

Comma 7. Nel caso di interventi per i quali non è richiesto lo studio di compatibilità idraulica o geologica e geotecnica i proponenti garantiscono comunque che i progetti verifichino le variazioni della risposta idrologica, gli effetti sulla stabilità e l'equilibrio dei versanti e sulla permeabilità delle aree interessate alla realizzazione degli interventi, prevedendo eventuali misure compensative.

#### PERICOLOSITA' IDRAULICA

Gli aerogeneratori e la viabilità di impianto non sono soggetti a pericolosità idraulica per la loro posizione morfologica. Per quanto neanche il tracciato del cavidotto, che si snoda lungo aree pianeggianti interessate da un reticolo idrografico ben definito, sia interessato da perimetrazione idraulica, facendo riferimento ai criteri di ammissibilità previsti per tali aree l'intervento è ammesso anche in aree a pericolosità molto elevata Hi4, secondo il combinato disposto:

#### Art. 27 - Disciplina delle aree di pericolosità idraulica molto elevata (Hi4)

**Comma 3.** In materia di infrastrutture a rete o puntuali pubbliche o di interesse pubblico nelle aree di pericolosità idraulica molto elevata sono consentiti esclusivamente:

*lettera g. le nuove infrastrutture a rete o puntuali previste dagli strumenti di pianificazione territoriale e dichiarate essenziali e non altrimenti localizzabili; nel caso di condotte e di cavidotti, non è richiesto lo studio di compatibilità idraulica di cui all'articolo 24 delle presenti norme qualora sia rispettata la condizione che tra piano di campagna e estradosso ci sia almeno un metro di ricoprimento, che eventuali opere connesse emergano dal piano di campagna per una altezza massima di 50 cm, che per le situazioni di parallelismo non ricadano in alveo e area golenale e che il soggetto attuatore provveda a sottoscrivere un atto con il quale si impegna a rimuovere a proprie spese tali elementi qualora sia necessario per la realizzazione di opere di mitigazione del rischio idraulico.*

*Gli interventi in progetto trovano ammissibilità secondo quanto prescritto dal PAI negli articoli seguenti.*

*Facendo quindi riferimento ai criteri di ammissibilità previsti in aree a pericolosità geologico-geotecnica bassa Hg1 e alta Hg4, l'intervento è ammesso secondo il combinato disposto:*

#### Art. 31 Disciplina delle aree di pericolosità molto elevata da frana (Hg4)

1. Fermo restando quanto stabilito negli articoli 23 e 25, in materia di interventi strutturali e non strutturali per il controllo dei dissesti - individuati dal PAI, dal programma triennale di attuazione o dalle competenti autorità regionali in osservanza di quanto stabilito dal PAI - nelle aree di pericolosità molto elevata da frana sono consentiti esclusivamente:

**3.** In materia di infrastrutture a rete o puntuali pubbliche o di interesse pubblico nelle aree di pericolosità molto elevata da frana sono consentiti esclusivamente:

**b. gli interventi di manutenzione straordinaria;**

**c gli interventi di adeguamento per l'integrazione di innovazioni tecnologiche;**

**e. allacciamenti a reti principali e nuovi sottoservizi a rete interrati lungo tracciati stradali esistenti, ed opere connesse compresi i nuovi attraversamenti;**

**i. gli ampliamenti, le ristrutturazioni e le nuove realizzazioni di infrastrutture riferibili a servizi pubblici essenziali non altrimenti localizzabili o non delocalizzabili, a condizione che non esistano alternative tecnicamente ed**

BENTU Energy Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesBen-CLP-CIV-TR-22	Rev 0	Pagina 68 di 72
------------------	---------------------	------------------------------------	-------	--------------------

economicamente sostenibili, che tali interventi siano coerenti con i piani di protezione civile, e che ove necessario siano realizzate preventivamente o contestualmente opere di mitigazione dei rischi specifici.

#### **Art. 34 Disciplina delle aree di pericolosità moderata da frana (Hg1)**

1. Fermo restando quanto stabilito negli articoli 23 e 25, nelle aree di pericolosità moderata da frana compete agli strumenti urbanistici, ai regolamenti edilizi ed ai piani di settore vigenti disciplinare l'uso del territorio e delle risorse naturali, ed in particolare le opere sul patrimonio edilizio esistente, i mutamenti di destinazione, le nuove costruzioni, la realizzazione di nuovi impianti, opere ed infrastrutture a rete e puntuali pubbliche o di interesse pubblico, i nuovi insediamenti produttivi commerciali e di servizi, le ristrutturazioni urbanistiche e tutti gli altri interventi di trasformazione urbanistica ed edilizia, salvo in ogni caso l'impiego di tipologie e tecniche costruttive capaci di ridurre la pericolosità ed i rischi.

#### **Analisi sulle variazioni della risposta idrologica, gli effetti sulla stabilità e l'equilibrio dei versanti e sulla permeabilità (Art.3 c.7 NTA PAI)**

Risposta idrologica e permeabilità. L'intervento prevede una minima occupazione di suolo dovuta all'impronta dei sostegni delle turbine e degli elementi fondanti delle stesse che non determina una sostanziale variazione al regime di deflusso idrico superficiale o sulla permeabilità relativamente alle condizioni ante intervento.

Le piazzole di cantiere previste per la realizzazione dei singoli aerogeneratori avranno un impatto temporaneo e strettamente legato al tempo di realizzazione dell'impianto successivamente verranno rinaturalizzate ripristinando lo stato dei luoghi.

Gli interventi successivi e quelli sulla viabilità esistente incidono in maniera poco significativa sull'assetto idraulico andando ad adattare tracciati già presenti che verranno interessati da sole opere di adeguamento funzionale alle esigenze operative di realizzazione e di esercizio. Le nuove tratte di viabilità di impianto previste si snodano lungo la cresta dei rilievi. Gli interventi siffatti non interrompono o ostacolano il normale deflusso superficiale in quanto non sono previste in elevazione e non vi è sottrazione incidente di suolo, nel caso specifico già quasi del tutto assente per le caratteristiche geologiche e morfologiche del sito.

Analogamente la rete di connessione, trovandosi interrata ad una profondità non inferiore ad 1 m da p.c., non determina variazioni sostanziali all'attuale regime di deflusso delle acque superficiali.

Si riportano di seguito a titolo esemplificativo alcune sezioni tipo del cavidotto interrato.

Al fine di garantire il corretto smaltimento delle acque superficiali afferenti a quest'area, in fase di progettazione esecutiva, verrà predisposto un piano di regimazione delle acque superficiali il cui bilancio idraulico, riferito al recettore finale, rispetterà il criterio dell'invarianza idraulica richiamato all'art.47 delle NTA PAI.

Ne consegue che, in relazione ai criteri di valutazione del PAI, l'intervento è compatibile e non determina aumento del livello di pericolosità idraulica ex ante.

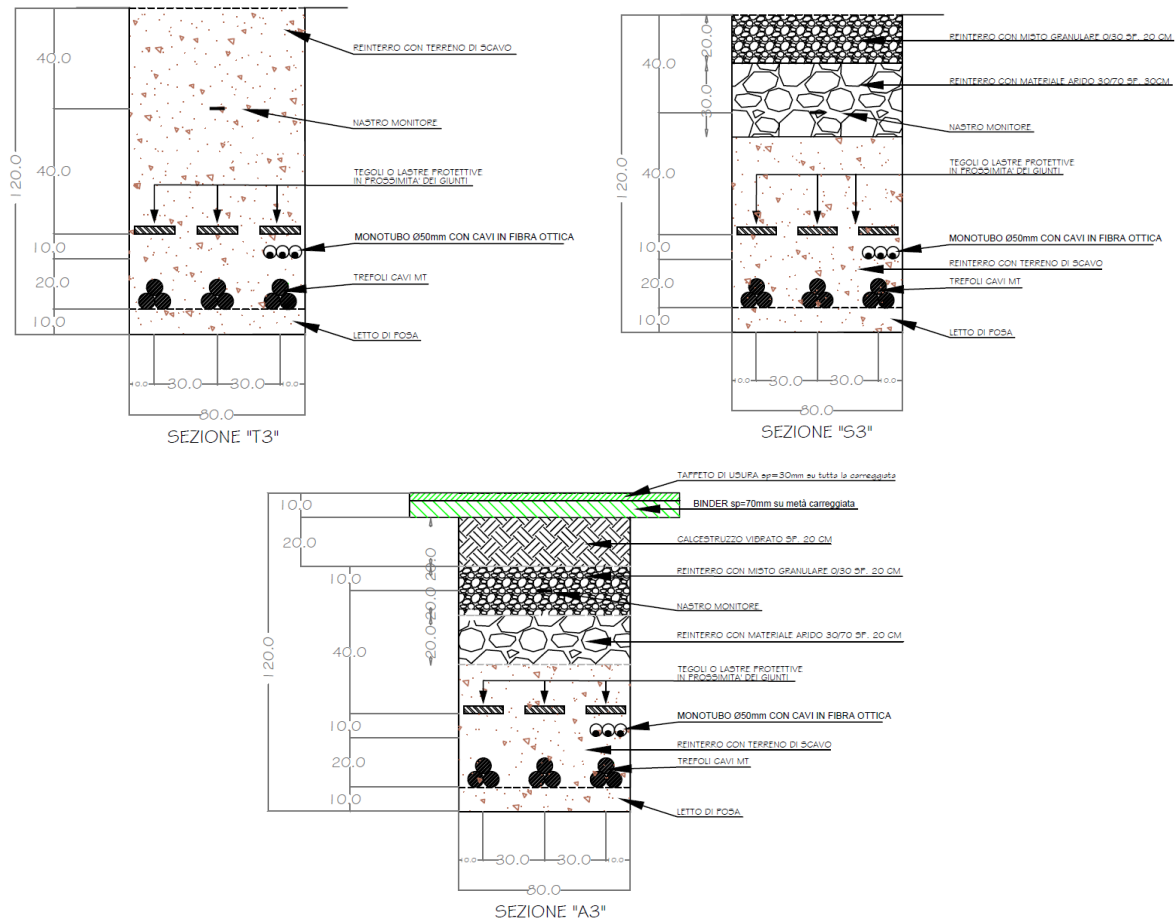


Figura 59 - Tipici posa cavidotto

**Effetti sulla stabilità e l'equilibrio dei versanti.** Le turbine verranno installate in aree sub pianeggianti con inclinazioni medie inferiori al 15%, la maggior parte della viabilità e dei cavidotti si sviluppa su strade già esistenti, i brevi tratti di viabilità di nuova costruzione si snoderanno su aree Hg0 e localmente Hg1, nelle quali non sono stati rilevati in fase di progettazione evidenze di dissesto da frana né quiescenti né attivi.

La realizzazione del cavidotto prevede l'esecuzione di uno scavo temporaneo poco profondo che verrà ricoperto subito dopo il posizionamento degli strati di allettamento, la stesura del cavo e i relativi rinfianchi. Verrà eseguito per porzioni, pertanto non esiste la possibilità della permanenza di scavi aperti per lungo tempo, garantendo di fatto, il mantenimento delle condizioni di stabilità ex ante ed ex post.

Gli scavi per la realizzazione delle fondazioni delle turbine verranno eseguiti verificando di volta in volta la stabilità delle pareti di scavo in relazione agli esiti della campagna di indagine puntuale realizzata per il progetto esecutivo ed in base alla quale verranno previste opere provvisorie quali rinforzi al piede dello scavo, puntellature o palancolate o gradonature per garantire la sicurezza degli operatori ed evitare l'innescarsi di eventuali smottamenti. La stabilità dei versanti in fase di apertura dello scavo è stata studiata attraverso simulazioni in funzione dei modelli geologico-geotecnici individuati in relazione alla verifica delle opere fondanti.

I movimenti terra previsti sono sostanzialmente tutti riferibili allo scavo e successivo riutilizzo di materiale finalizzato al rinterro lungo la viabilità e al riempimento successivo alla realizzazione delle fondazioni delle turbine, pertanto non si evidenziano condizioni di scavo esposto per lungo tempo e conseguenti fattori potenziali tali da

BENTU Energy Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesBen-CLP-CIV-TR-22	Rev 0	Pagina 70 di 72
------------------	---------------------	------------------------------------	-------	--------------------

ingenerare fenomeni di instabilità. Il materiale di rinterro/riempimento verrà steso e rullato/compattato secondo i criteri di buona regola d'arte al fine di conferire la giusta stabilità per i carichi previsti per la durata dell'impianto.

**Ne consegue che, in relazione ai criteri di valutazione del PAI, l'intervento è compatibile e non determina aumento del livello di pericolosità da frana ex ante.**

BENTU Energy Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesBen-CLP-CIV-TR-22	Rev 0	Pagina 71 di 72
------------------	---------------------	------------------------------------	-------	--------------------

## 17. Conclusioni

Il presente studio ha permesso di verificare la compatibilità e l'ammissibilità delle opere in progetto con le prescrizioni del PAI.

Dall'analisi delle caratteristiche delle opere, della sua ubicazione e delle interazioni con lo strumento normativo del PAI, le stesse è ammissibile secondo quanto disposto dall'art 23 comma 7 delle NTA PAI:

### **Art. 27 - Disciplina delle aree di pericolosità idraulica molto elevata (Hi4)**

**Comma 3.** In materia di infrastrutture a rete o puntuali pubbliche o di interesse pubblico nelle aree di pericolosità idraulica molto elevata sono consentiti esclusivamente:

*lettera g. le nuove infrastrutture a rete o puntuali previste dagli strumenti di pianificazione territoriale e dichiarate essenziali e non altrimenti localizzabili; nel caso di condotte e di cavidotti, non è richiesto lo studio di compatibilità idraulica di cui all'articolo 24 delle presenti norme qualora sia rispettata la condizione che tra piano di campagna e estradosso ci sia almeno un metro di ricoprimento, che eventuali opere connesse emergano dal piano di campagna per una altezza massima di 50 cm, che per le situazioni di parallelismo non ricadano in alveo e area golenale e che il soggetto attuatore provveda a sottoscrivere un atto con il quale si impegna a rimuovere a proprie spese tali elementi qualora sia necessario per la realizzazione di opere di mitigazione del rischio idraulico.*

*Gli interventi in progetto trovano ammissibilità secondo quanto prescritto dal PAI negli articoli seguenti.*

*Facendo quindi riferimento ai criteri di ammissibilità previsti in aree a pericolosità geologico-geotecnica bassa Hg1 e alta Hg4, l'intervento è ammesso secondo il combinato disposto:*

### **Art. 31 Disciplina delle aree di pericolosità molto elevata da frana (Hg4)**

1. Fermo restando quanto stabilito negli articoli 23 e 25, in materia di interventi strutturali e non strutturali per il controllo dei dissesti - individuati dal PAI, dal programma triennale di attuazione o dalle competenti autorità regionali in osservanza di quanto stabilito dal PAI - nelle aree di pericolosità molto elevata da frana sono consentiti esclusivamente:

**3.** In materia di infrastrutture a rete o puntuali pubbliche o di interesse pubblico nelle aree di pericolosità molto elevata da frana sono consentiti esclusivamente:

**b. gli interventi di manutenzione straordinaria;**

**c gli interventi di adeguamento per l'integrazione di innovazioni tecnologiche;**

**e. allacciamenti a reti principali e nuovi sottoservizi a rete interrati lungo tracciati stradali esistenti, ed opere connesse compresi i nuovi attraversamenti;**

**i. gli ampliamenti, le ristrutturazioni e le nuove realizzazioni di infrastrutture riferibili a servizi pubblici essenziali non altrimenti localizzabili o non delocalizzabili, a condizione che non esistano alternative tecnicamente ed economicamente sostenibili, che tali interventi siano coerenti con i piani di protezione civile, e che ove necessario siano realizzate preventivamente o contestualmente opere di mitigazione dei rischi specifici.**

### **Art. 34 Disciplina delle aree di pericolosità moderata da frana (Hg1)**

1. Fermo restando quanto stabilito negli articoli 23 e 25, nelle aree di pericolosità moderata da frana compete agli strumenti urbanistici, ai regolamenti edilizi ed ai piani di settore vigenti disciplinare l'uso del territorio e delle risorse naturali, ed in particolare le opere sul patrimonio edilizio esistente, i mutamenti di destinazione, le nuove costruzioni, la realizzazione di nuovi impianti, opere ed infrastrutture a rete e puntuali pubbliche o di interesse pubblico, i nuovi insediamenti produttivi commerciali e di servizi, le ristrutturazioni urbanistiche e tutti gli altri interventi di trasformazione urbanistica ed edilizia, salvo in ogni caso l'impiego di tipologie e tecniche costruttive capaci di ridurre la pericolosità ed i rischi.

BENTU Energy Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesBen-CLP-CIV-TR-22	Rev 0	Pagina 72 di 72
------------------	---------------------	------------------------------------	-------	--------------------

Inoltre, secondo quanto previsto dall'Art. 23 "Pericolosità e di rischio esistenti nelle aree di pericolosità idrogeologica – nuovi interventi sul territorio" al comma 9 vengono rispettate le seguenti indicazioni:

- a. migliorare in modo significativo o comunque **non peggiorare le condizioni di funzionalità del regime idraulico del reticolo principale e secondario**, non aumentando il rischio di inondazione a valle;
  - b. migliorare in modo significativo o comunque **non peggiorare le condizioni di equilibrio statico dei versanti e di stabilità dei suoli** attraverso trasformazioni del territorio non compatibili;
  - c. non compromettere la riduzione o l'eliminazione delle cause di pericolosità o di danno potenziale nè la sistemazione idrogeologica a regime;
  - d. **non aumentare il pericolo idraulico con nuovi ostacoli** al normale deflusso delle acque o con riduzioni significative delle capacità di invaso delle aree interessate;
  - e. **limitare l'impermeabilizzazione dei suoli** e creare idonee reti di regimazione e drenaggio;
  - f. favorire quando possibile la formazione di nuove aree esondabili e di nuove aree permeabili;
  - l. **non incrementare le condizioni di rischio specifico idraulico o da frana** degli elementi vulnerabili interessati ad eccezione dell'eventuale incremento sostenibile connesso all'intervento espressamente assentito;
  - m. assumere adeguate misure di compensazione nei casi in cui sia inevitabile l'incremento sostenibile delle condizioni di rischio o di pericolo associate agli interventi consentiti;
  - n. garantire condizioni di sicurezza durante l'apertura del cantiere, assicurando che i lavori si svolgano senza creare, neppure temporaneamente, un significativo aumento del livello di rischio o del grado di esposizione al rischio esistente;
  - o. garantire coerenza con i piani di protezione civile.
- Inoltre, gli interventi previsti non producono incremento del carico insediativo.

Pertanto, alla luce delle considerazioni sopra riportate, **si attesta la compatibilità idrogeologica** tra l'opera e il territorio circostante in relazione alle prescrizioni del PAI.