






AREGU Wind Srl

# **Parco Eolico AREGU sito nei Comuni di Giave, Cossoine e Cheremule (SS)**

**Relazione di Compatibilità Idrogeologica**

Dicembre 2022

<p>Regione autonoma della Sardegna</p> 	<p>Comune di Giave</p> 	<p>Comune di Cossoine</p> 	<p>Comune di Cheremule</p> 		
<p>Committente:</p> <p><b>AREGU Wind Srl</b></p>		<p><b>AREGU Wind Srl</b> Via Sardegna, 40 00187 Roma P.IVA/C.F. 16181141009</p>			
<p>Titolo del Progetto:</p> <p><b>Parco Eolico AREGU sito nei Comuni di Giave, Cossoine e Cheremule (SS)</b></p>					
<p>Documento:</p> <p><b>Relazione di compatibilità idrogeologica</b></p>		<p>N° Documento:</p> <p><b>IT-VesAre-CLP-CIV-TR-22</b></p>			
 <p><b>Studio Tecnico di Geologia Applicata all'Ingegneria e all'Ambiente</b></p> <p>Centro Direzionale "Pittarello" Loc. Scala Sa Perda, 87 09028 Sestu (CA) T +39 070 734 6008 Mob +39 345 788 2814 e-mail: <a href="mailto:info@gaiac consulting.eu">info@gaiac consulting.eu</a></p>		<p>Progettista:</p> <p><b>Dott.ssa Geol. Cosima Atzori</b></p>			
Rev	Data Revisione	Descrizione	Redatto	Controllato	Approvato
00	15.12.2022	Prima emissione	Cosima Atzori		

AREGU Wind Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesAre-CLP-CIV-TR-22	Rev 0	Pagina 3 di 73
----------------	---------------------	------------------------------------	-------	-------------------

## 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	15
6.2.1. Distretto vulcanico di Capo Marargiu (Miocene Inferiore)	15
6.3. Depositi Quaternari dell'area continentale	16
<b>7. Analisi delle condizioni geostrutturali generali</b>	<b>18</b>
7.1. Campagna di raccolta dei dati geostrutturali su affioramento	19
7.1.1. Rilievo geostrutturale Scanline 1 - Formazione di Mores	20
7.1.2. Rilievo geostrutturale Scanline2 - Unità di Uri	22
<b>8. Analisi qualitativa di stabilità dell'ammasso roccioso</b>	<b>23</b>
<b>9. Inquadramento geomorfologico</b>	<b>25</b>
9.1. Lineamenti geomorfologici dell'area di studio	26
9.2. Definizione dell'area geomorfologicamente significativa	27
<b>10. Inquadramento idrogeologico</b>	<b>28</b>
10.1. Schema della circolazione idrica superficiale	28
10.2. Caratteristiche delle acque sotterranee	30
10.3. Analisi della vulnerabilità degli acquiferi	35
<b>11. Inquadramento climatico</b>	<b>38</b>
11.1. Precipitazioni	39
11.2. Temperature	40
11.3. Stima dell'evapotraspirazione	40
<b>12. Inquadramento pedologico</b>	<b>44</b>
<b>13. Uso del Suolo</b>	<b>45</b>

AREGU Wind Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesAre-CLP-CIV-TR-22	Rev 0	Pagina 4 di 73
----------------	---------------------	------------------------------------	-------	-------------------

<b>14. Analisi dei vincoli gravanti sui terreni.....</b>	<b>46</b>
14.1. Piano Stralcio D’Assetto Idrogeologico della Sardegna.....	46
14.2. Art.30 Ter NTA PAI.....	48
14.3. Inventario dei Fenomeni franosi.....	49
14.4. Piano Stralcio delle Fasce Fluviali.....	50
14.5. Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA).....	51
<b>15. Modellazione geologica.....</b>	<b>53</b>
15.1. Caratterizzazione geostrutturale degli ammassi rocciosi.....	53
15.2. Viabilità di impianto e sottostazione.....	60
<b>16. Modello geologico di sito.....</b>	<b>62</b>
16.1. Modello Geologico 01 – AG08/AG10/AG11.....	62
16.2. Modello Geologico 02 – AG03/AG04/AG05/AG09.....	63
16.3. Modello Geologico 03 – AG01.....	64
16.4. Modello Geologico 04 – AG02, AG06, AG07.....	65
<b>17. Compatibilità idraulica e e geologica-geotecnica.....</b>	<b>68</b>
<b>18. Conclusioni.....</b>	<b>72</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).....	17
Figura 9 Schema geologico-strutturale dell’area di interesse (da Foglio CARG 459).....	18
Figura 10 Schema dei rapporti stratigrafici dei cicli sedimentari miocenici nella Sardegna Settentrionale (non in scala) da Funedda et Alii, 2000).....	18
Figura 11 Colonna stratigrafica schematica delle successioni vulcaniche affioranti nell’area di interesse (da Lecca et alii, 1997).....	19
Figura 12 rilievo geostrutturale Scanline1 - Formazione di Mores.....	21
Figura 13 Proiezione stereografica delle discontinuità rilevate sull’affioramento Scanline1.....	21
Figura 14 rilievo geostrutturale Scanline2 - Unità di Uri.....	22
Figura 15 Proiezione stereografica delle discontinuità rilevate sull’affioramento Scanline2.....	23
Figura 16 Tipologie di scivolamento di blocchi rocciosi lungo piani di fratturazione.....	24
Figura 17 A sinistra esempio di ersione regressiva e formazione dei parete aggettante e a destra lo schema del ribaltamento di blocchi per scalzamento alla base.....	24
Figura 18 Reticolo idrico superficiale (Fonte RAS).....	29
Figura 19 Pozzi presenti nell’area di interesse (dall’Archivio Nazionale delle Indagini del Sottosuolo).....	30
Figura 20 - Monografie dei pozzi censiti nell’Archivio Nazionale delle Indagini nel Sottosuolo.....	33

AREGU Wind Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesAre-CLP-CIV-TR-22	Rev 0	Pagina 5 di 73
----------------	---------------------	------------------------------------	-------	-------------------

Figura 21 Schema esemplificativo, non in scala, dei processi di infiltrazione e deflusso sotterraneo.....	34
Figura 22 Carta delle Permeabilità dei Substrati e dei Suoli – area impianto (Fonte RAS) .....	36
Figura 23 Reticolo idrografico numerato secondo l'ordine di Stralher .....	37
Figura 24 Temperature mensili (in °C, nell’asse delle ordinate) registrata nella stazione di Villanova Monteleone (2012-2018) e Romana (1995-2011).....	40
Figura 25 Evapotraspirazione (espressa in mm) per la zona di Thiesi.....	41
Figura 26 Ventosità media annuale per le stazioni meteorologiche relativa all’anno 2017 (mese giugno) .....	42
Figura 27 Umidità relativa per la stazione di Fertilia, per l’anno 1971-2000 .....	42
Figura 28 Diagramma ombrotermico (Walter e Lieth) per il settore di Giave .....	43
Figura 29 Climogramma relativo alla regione di Giave.....	43
Figura 30 Carta dei Suoli (Fonte RAS) .....	45
Figura 31 Stralcio della Carta dell’Uso del Suolo della Sardegna (2008, Fonte RAS). .....	46
Figura 32 Inquadramento PAI Pericolosità da frana (Fonte RAS).....	47
Figura 33 Inquadramento PAI Pericolosità idraulica (Fonte RAS). .....	48
Figura 34 Reticolo idrografico numerato secondo l'ordine di Stralher .....	49
Figura 35 Archivio IFFI (Fonte ISPRA) in rosso l’area di intervento .....	50
Figura 36 Stralcio perimetrazione Piano Stralcio fasce Fluviali PSFF 2015.....	51
Figura 37 Stralcio perimetrazione PGRA 2021 .....	52
Figura 38 - Resistenza a compressione monoassiale per diversi tipi di roccia .....	54
Figura 39 Abaco per la determinazione di GSI sulla base delle caratteristiche geologiche e strutturali dell’ammasso.....	54
Figura 40 Valori della costante mi per diversi tipi di roccia.....	55
Figura 41 Correlazione fra valori di mi, s, indice RMR, ed il tipo di roccia. ....	56
Figura 42 Valori di Coesione e angolo di attrito interno ottenuti utilizzando il software RocData la formazione di Mores .....	58
Figura 43 Valori di Coesione e angolo di attrito interno ottenuti utilizzando il software RocData la formazione di Chelchedu-Tiloromo .....	59
Figura 44 Valori di Coesione e angolo di attrito interno ottenuti utilizzando il software RocData la formazione di Uri .....	60
Figura 45 - Tipici posa cavidotto.....	70

AREGU Wind Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesAre-CLP-CIV-TR-22	Rev 0	Pagina 6 di 73
----------------	---------------------	------------------------------------	-------	-------------------

## 1. Premessa

Nell'ambito della redazione del Progetto Definitivo del Parco Eolico denominato "AREGU" dislocato nel territorio comunale dei comuni di **Giave, Cossoine e Cheremule** - Provincia di Sassari (SS), al fine di avere un quadro completo del contesto geologico e geotecnico 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 relazione 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 relazione 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 17, 21 e 24 novembre nella zona di interesse.

#### 4. Inquadramento geografico generale

Giave è un comune italiano di 493 abitanti della provincia di Sassari, nell'antica regione del Meilogu, in Sardegna. Dista 44 km da Sassari e 59 km da Alghero. Il comune fa parte della Comunità montana del Logudoro e della Regione Agraria numero 6 - Colline del Meilogu.

Il territorio di Giave è contraddistinto da rilievi pronunciati, come la famosa "Pedra Mendalza", che si staglia isolata sulla pianura, suggestivamente denominata valle dei Nuraghi a nord-est e Campu Giavesu a sud-ovest. La Pedra Mendalza rappresenta un esempio spettacolare di un antico condotto vulcanico riemerso grazie all'azione dell'erosione, nel gergo dei geologi è chiamato neck, originatosi dalla precedente presenza di un vulcano ostruito e poi spentosi, una struttura osservabile anche in località Santa Giusta fra Semestene e Bonorva.

Nell'ambito della riscoperta della cultura pastorale esistono una serie di itinerari agevoli, segnati dalle pinnette, le tradizionali abitazioni a cono, coperte, costruite a secco da piccole lastre di pietra e usate dai pastori. Accanto a queste testimonianze, si segnalano delle domus de janas ("case delle fate") riconducibili al Neolitico Recente, tra le quali quella di Riu Mulinu ed i monumenti dell'età nuragica del bronzo, come il noto nuraghe Oes.

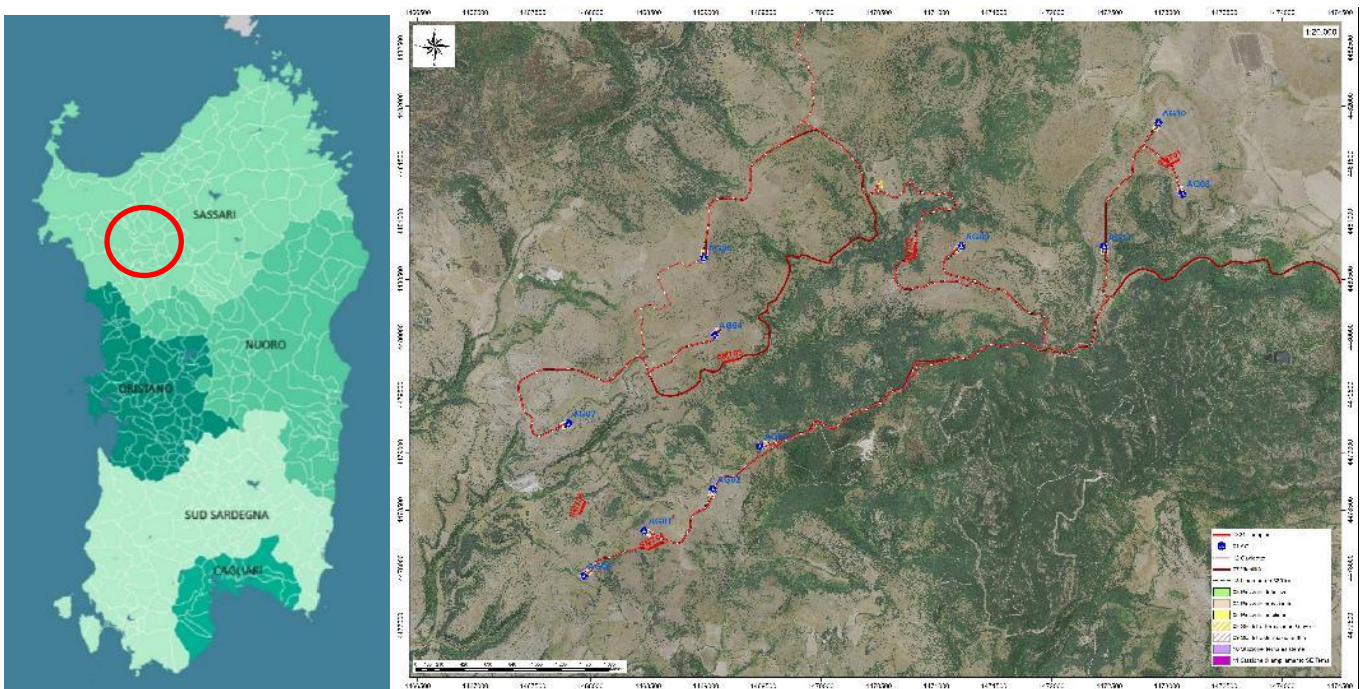


Figura 1 Localizzazione del progetto

Grazie alla fertilità dei suoli la zona di Giave fu intensamente abitata sin dalla preistoria, trovandosi nei pressi della Valle dei Nuraghi, una delle regioni d'Europa più ricche di testimonianze della civiltà megalitica. Tuttavia le prime fonti storiche riguardo al sito attuale del villaggio risalgono al periodo punico: il nome Giave è infatti una storpiatura del toponimo "Hafa", un fragile insediamento (più a valle del sito attuale) nella tarda età cartaginese, quando gli invasori meridionali riuscirono a valicare la costera e raggiungere Turris Lybissonis (l'odierna Porto Torres) sulla costa settentrionale.

AREGU Wind Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesAre-CLP-CIV-TR-22	Rev 0	Pagina 8 di 73
----------------	---------------------	------------------------------------	-------	-------------------

Ma furono i Romani il primo popolo forestiero a colonizzare realmente la zona, creandovi la biforcazione della strada che congiungeva Caralis (Cagliari) a Turrus da una parte e ad Olbia dall'altra, e insediandovi varie legioni in difesa degli attacchi dalle tribù nuragiche non romanizzate, che si erano rifugiate nelle impervie montagne a sud-est.

Durante il medioevo appartenne al giudicato di Torres e fece parte della curatoria di Capuabbas. In quell'epoca la popolazione viveva un relativo benessere economico. Alla caduta del giudicato (1259), il territorio divenne parte dei possedimenti dei Doria. Dopo vari scontri tra i Doria e gli aragonesi (tra cui la battaglia di Aidu de Turdu), Giave passò al giudicato di Arborea, che riuscirono a conquistare tra gli altri i territori dell'ex curatoria, e successivamente al regno di Sardegna. Il sistema di oppressione del feudalesimo tra il XIV ed il XVIII secolo raggiunse i massimi livelli di oscurantismo e disumanità, con imposizioni di corvée e decime alla popolazione. Nel 1436 il re d'Aragona Alfonso V il magnanimo cedette la signoria su Giave, insieme a Cossoine, a Serafino di Montagnana per 1300 ducati d'oro. Il paese venne poi incorporato nella baronia di Capuabbas, di cui gli ultimi feudatari furono i Da Silva - Alagon, ai quali fu riscattato nel 1839 con la soppressione del sistema feudale. La situazione di oppressione non migliorò nel passaggio sotto la dominazione dei Savoia. Nel 1795 il paese prese viva parte ai moti antifeudali. Solo nel periodo Post-Unitario finalmente Giave ritrova un periodo di relativo progresso civile ed economico, grazie allo sviluppo delle reti ferroviaria e alla costruzione di una stazione a valle, che diede nuovo impulso alle tradizionali attività agro pastorali. Tuttavia dal dopoguerra anche Giave è andato incontro al depauperamento demografico che ha interessato tutte le aree interne dell'isola.

Cossoine (Cossoine in sardo) è un comune italiano di 760 abitanti della provincia di Sassari. Esso è compreso nella regione storico-geografica del Meilogu, a sua volta sub-regione del Logudoro. Dista 48 km da Sassari e 60 km da Alghero. Nel suo territorio le prime testimonianze della presenza umana risalgono alle civiltà neolitiche per la presenza di diverse domus de janas e tombe dei giganti, nonché di numerosi nuraghi, risalenti all'età del bronzo. Non mancano testimonianze del passaggio successivo di altri popoli, tra cui i Romani con Lucentia o Castrum Lucentinum (oggi Lughentinas) e i Bizantini con l'insediamento di Kourin.

Nell'XI secolo viene citata per la prima volta la chiesa bizantina di Santa Maria Iscalas nelle cui vicinanze sorgeva il villaggio detto Santa Maria di Curin. Non appare chiaro che il nome di questa località, di apparente origine greca, sia relazionata con quello di Corsein, con cui viene indicato per la prima volta il villaggio dove sorge ora l'odierno comune, poi evoluto in Cossein e quindi nell'odierno Cossoine, in seguito alle distorsioni dovute alle stratificazioni linguistiche in sequenza dei dominatori catalani, castigliani e italiani. Secondo una interpretazione etimologica questo nome deriverebbe da cossu, forse ad indicare "corso", ossia abitante della Corsica[3]. Questa interpretazione sarebbe surrogata anche dall'alta frequenza nel Paese del cognome Unali, che deriva da Gunale, una curatoria del Giudicato di Gallura storicamente abitata da tribù corse.

Cheremule (Chelèmure in sardo) è un comune italiano di 411 abitanti della provincia di Sassari, nella regione storica del Meilogu. Il territorio fu abitato già in epoca neolitica per la presenza di diversi siti archeologici, e in epoca nuragica per la presenza di alcuni nuraghi.

In epoca medievale appartenne al Giudicato di Torres e fece parte della curatoria di Caputabbas. Alla caduta del giudicato (1259) passò ai Doria, e intorno alla metà del XIV secolo divenne un feudo sotto gli aragonesi. Nel 1636 fu incorporato nel marchesato di Montemaggiore, concesso ai Canaveda. Da questi passò successivamente ai Manca, ai quali fu riscattato nel 1839 con la soppressione del sistema feudale.

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: **479120** "Romana" e **480090** "Campo Gievesu".



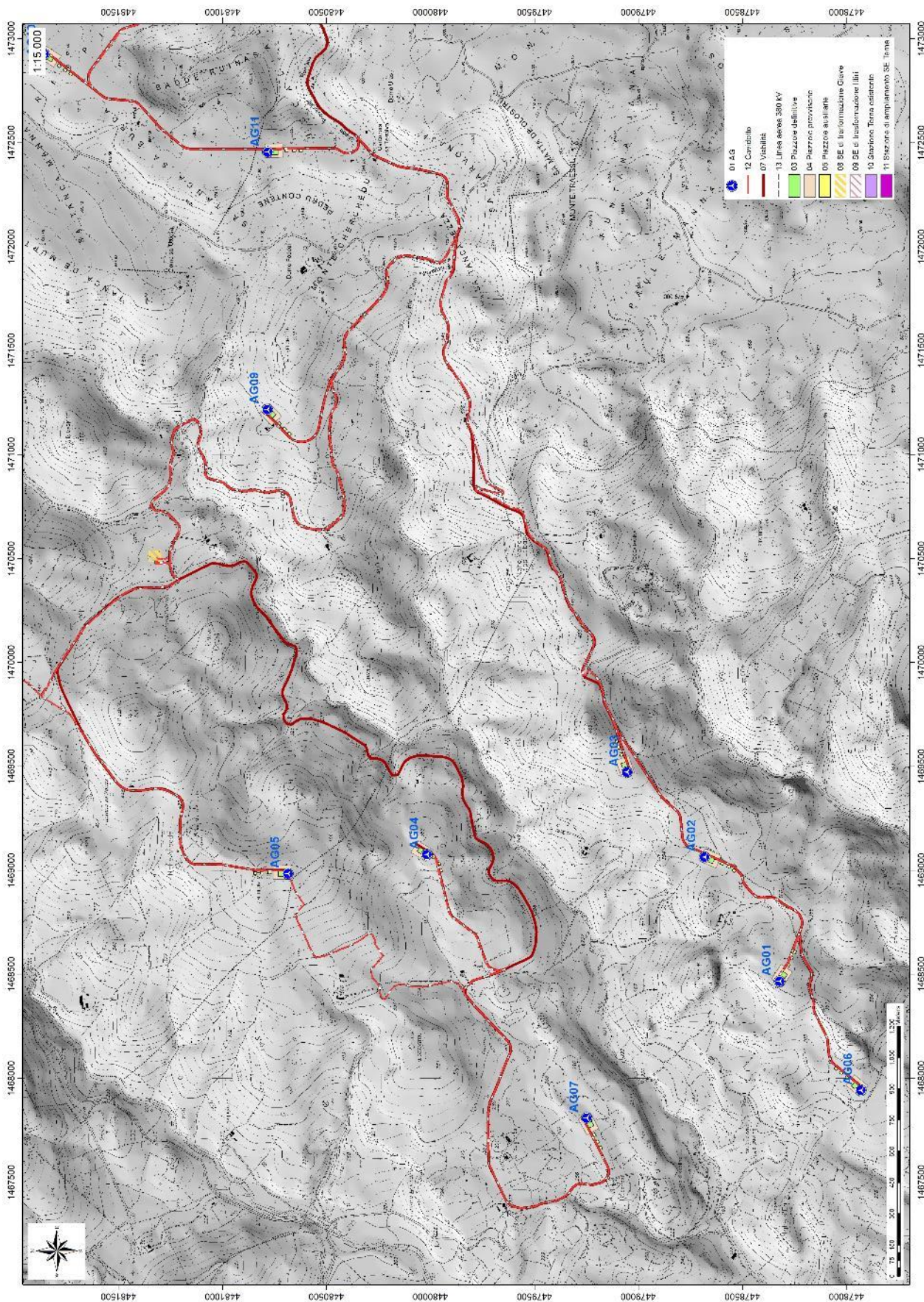


Figura 2 Inquadramento topografico su C.T.R. RAS scala 1:10000, sezione W

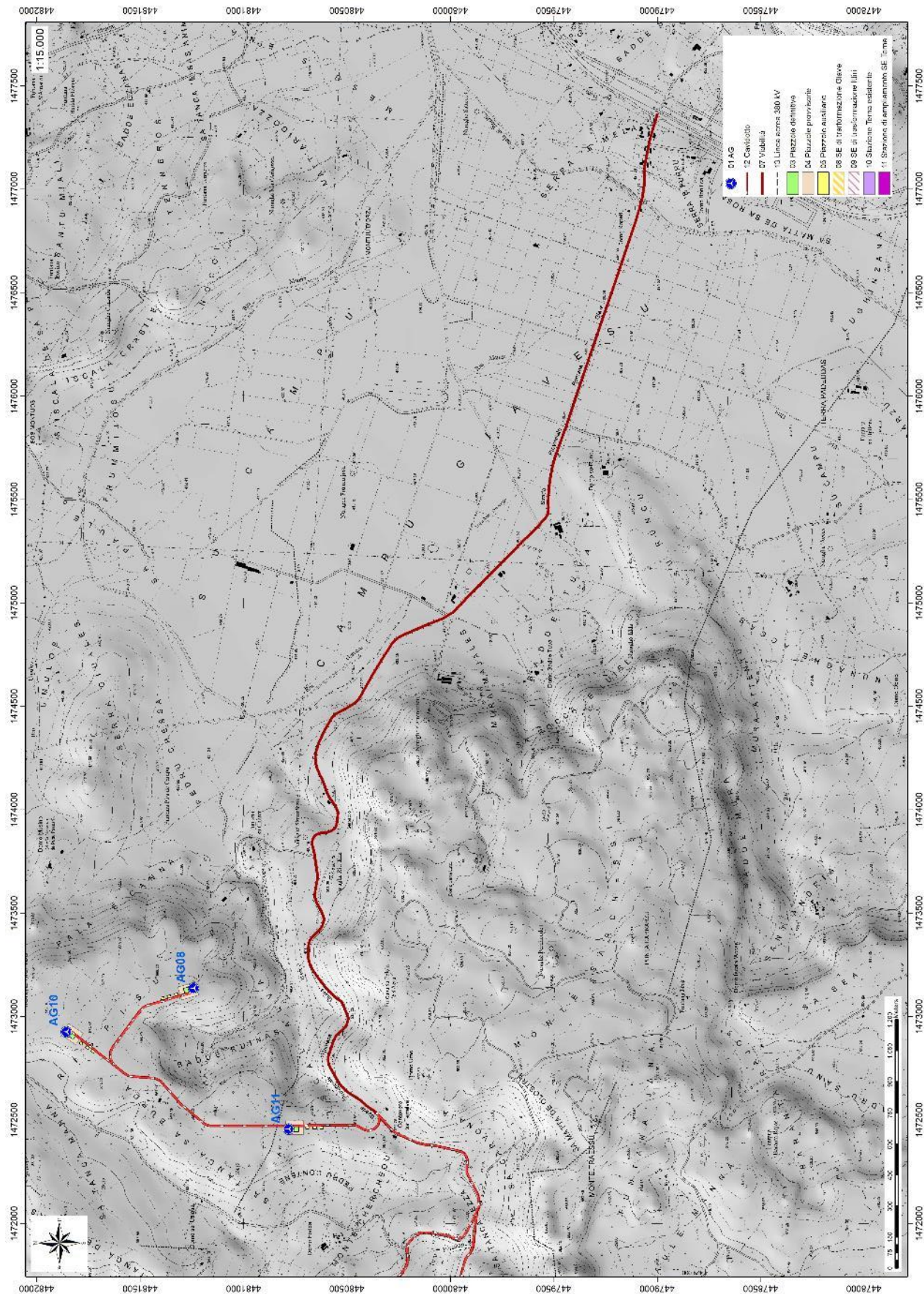


Figura 3 Inquadramento topografico su C.T.R. RAS scala 1:10000, sezione E

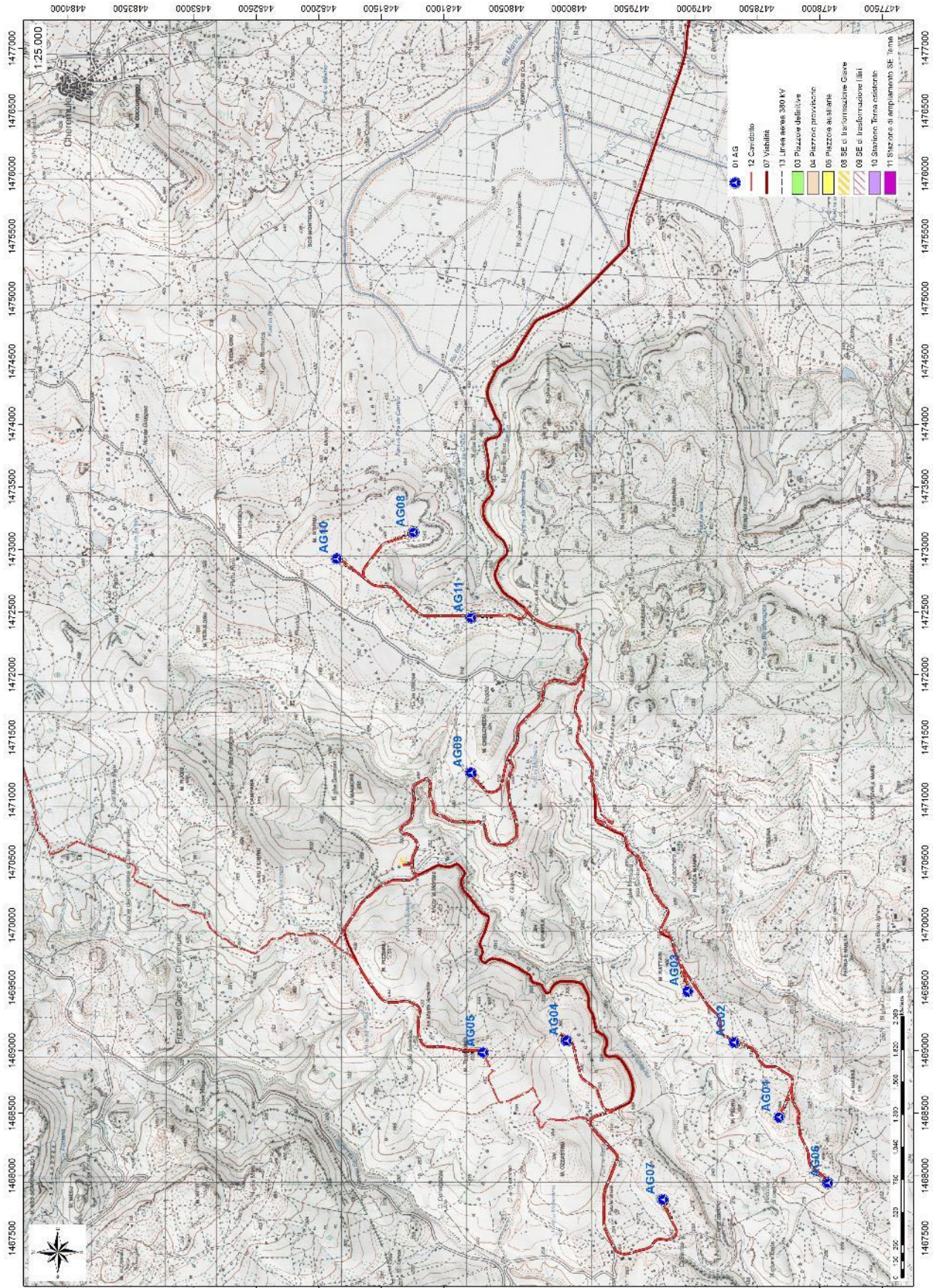


Figura 4 Inquadramento topografico su Carta IGM scala 1:25000

AREGU Wind Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesAre-CLP-CIV-TR-22	Rev 0	Pagina 12 di 73
----------------	---------------------	------------------------------------	-------	--------------------



Figura 5 Paesaggio caratteristico dell'area di studio

## 5. Caratteristiche di progetto dell'opera

Il Parco Eolico è costituito quindi da 11 aerogeneratori ad asse orizzontale montati su torri tubolari ad elementi in acciaio; dopo attente valutazioni ed alla luce dei dati del vento rilevati in loco ed in siti attigui, il modello più adatto a questo tipo di ventosità è risultato il V162 da 6,0 MW prodotto dalla fabbrica VESTAS con sede in Danimarca, 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 66 MW. Con un vento medio annuale di 6.36 m/s e un funzionamento annuale previsto pari a circa 2.861 ore equivalenti la produzione di energia elettrica lorda stimata è di circa 197.285 MWh/anno.

Per poter disporre di dati del vento attendibili e originali, sono stati installati due anemometri di altezza pari a 99m, MM1 in data 14.01.2022 in località "M. Rattari" e MM2 in data 18.02.2022 in località "Rispu", adatti al rilevamento delle caratteristiche della ventosità del sito.

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

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

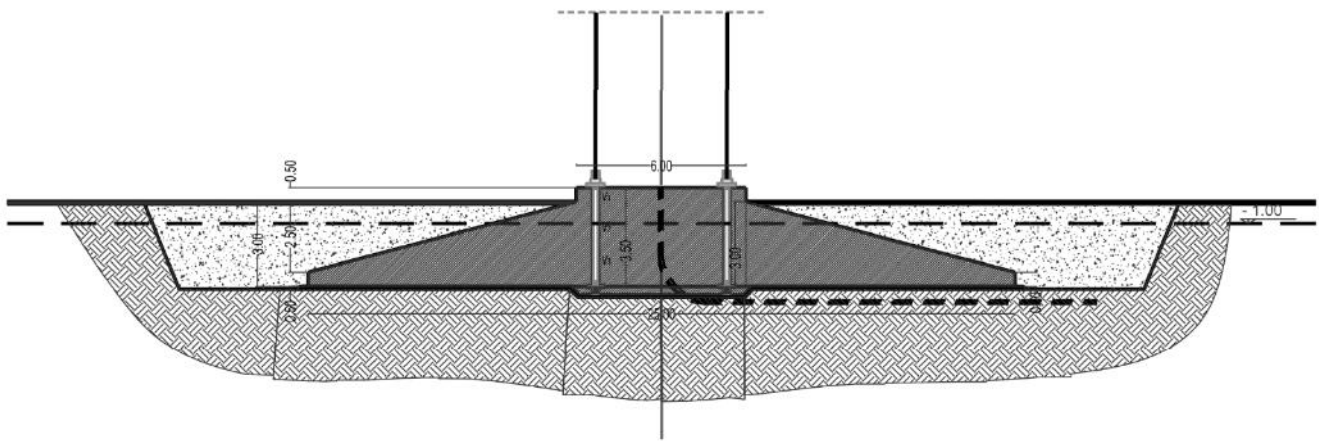
Le fondazioni delle torri saranno costituite da piastre in cemento armato atte a ripartire sia le azioni statiche dovute al peso proprio dell'apparato eolico che le azioni dinamiche dovute al vento trasmesse alla base delle torri dagli "apparati eolici". Da un predimensionamento di massima risulta che per terreni sufficientemente portanti ( $\sigma > 1 \text{ N/mm}^2$ ), dovranno realizzarsi fondazioni a platea di forma circolare aventi un raggio di 12,5 m e un'altezza complessiva di 3,50 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. Il vulcanismo oligo-miocenico sardo rappresenta uno degli eventi geologici terziari più importanti del Mediterraneo occidentale.

L'importanza di questo ciclo vulcanico è testimoniata dalla grande estensione degli affioramenti) e dai cospicui spessori delle successioni vulcaniche che raggiungono parecchie centinaia di metri.

Si tratta di un'associazione di prodotti con affinità calcicalina e subordinatamente tholeiitica e calcicalina alta in potassio (BECCALUVA et alii, 1987), rappresentata da serie vulcaniche da basaltico- andesitiche a dacitiche (principalmente

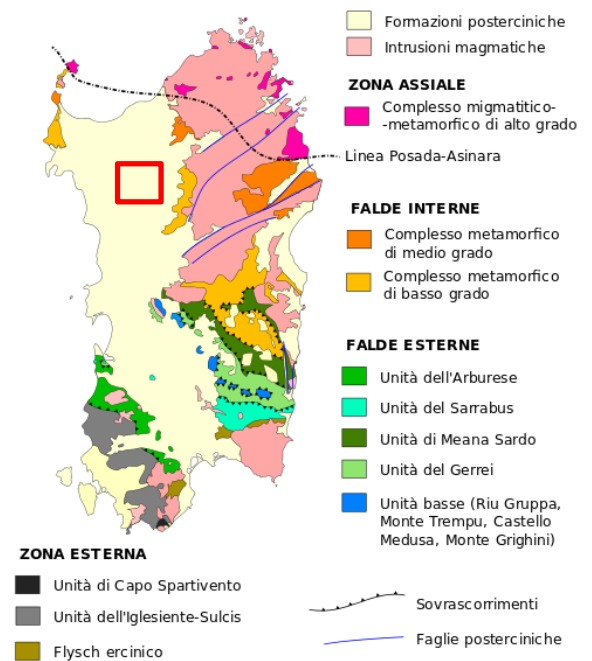


Figura 6 Schema tettonico-strutturale della Sardegna

AREGU Wind Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesAre-CLP-CIV-TR-22	Rev 0	Pagina 15 di 73
----------------	---------------------	------------------------------------	-------	--------------------

in colate laviche e cupole di ristagno) e da serie da dacitiche a riolitiche (principalmente in espandimenti ignimbratici). 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.

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

**(MTD) Unità di Pala Mantedda.** Lave da andesitiche a dacitiche talora scoriacee ipocristalline, porfiriche per fenocristalli di Pl, Cpx; in domi e colate separate da livelli conglomeratici. ?AQUITANIANO – BURDIGALIANO

**(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 Mantedda (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.

**(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 isorientata 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

AREGU Wind Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesAre-CLP-CIV-TR-22	Rev 0	Pagina 16 di 73
----------------	---------------------	------------------------------------	-------	--------------------

**(RESa) Litofacies nella Formazione di Mores:** nota come “calcari 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 esser sormontata direttamente dalla Formazione di Monte Santo (NST). Burdigaliano superiore.

**(UNV) Unità di Nuraghe Vittore.** Andesiti e daciti porfiriche per fenocristalli di Pl, Px e Ol; in colate. BURDIGALIANO 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.

**(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.

**(TSU) Unità di Monte Traessu.** Rioliti in colate e depositi piroclastici tipo block and ash flows prevalentemente monogenici e caotici. (K/Ar:  $16,8 \pm 0,2$  Ma: Lecca et alii, 1997). BURDIGALIANO

**(RUG) Unità di Monte Rugiu.** Daciti e riodaciti porfiriche per fenocristalli di Pl, San, Am e Bt; in cupole di ristagno. (K/Ar:  $17,5 \pm 0,5$  Ma: Lecca et alii, 1997). BURDIGALIANO

**(NIA) UNITÀ DI PUNTA NIASSA.** Riodaciti in cupole di ristagno, filoni, guglie e laccoliti. (K/Ar:  $14,3 \pm 0,2$  Ma -  $13,3 \pm 0,2$  Ma: Lecca et alii, 1997). LANGHIANO

### 6.3. 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.

**(b2) Coltri eluvio-colluviali.** Detriti immersi in matrice fine sabbiosi o limosi, talora con intercalazioni di suoli più o meno evoluti, arricchiti in frazione organica. L'apresenza di frazione organica indica che si tratta di sedimenti derivati dall'erosione del suolo durante l'Olocene, mescolati, a sedimenti provenienti, per degradazione fisica, direttamente dal substrato. OLOCENE

**In particolare le turbine AG02, AG06 e AG07 ricadono nella litologia RESa; la turbina AG01 ricade nella litologia NIA; le turbine AG03, AG04, AG05 e AG09 ricadono nella litologia TLR e le Turbine AG08, AG10 e AG11 ricadono nella litologia TSU.**



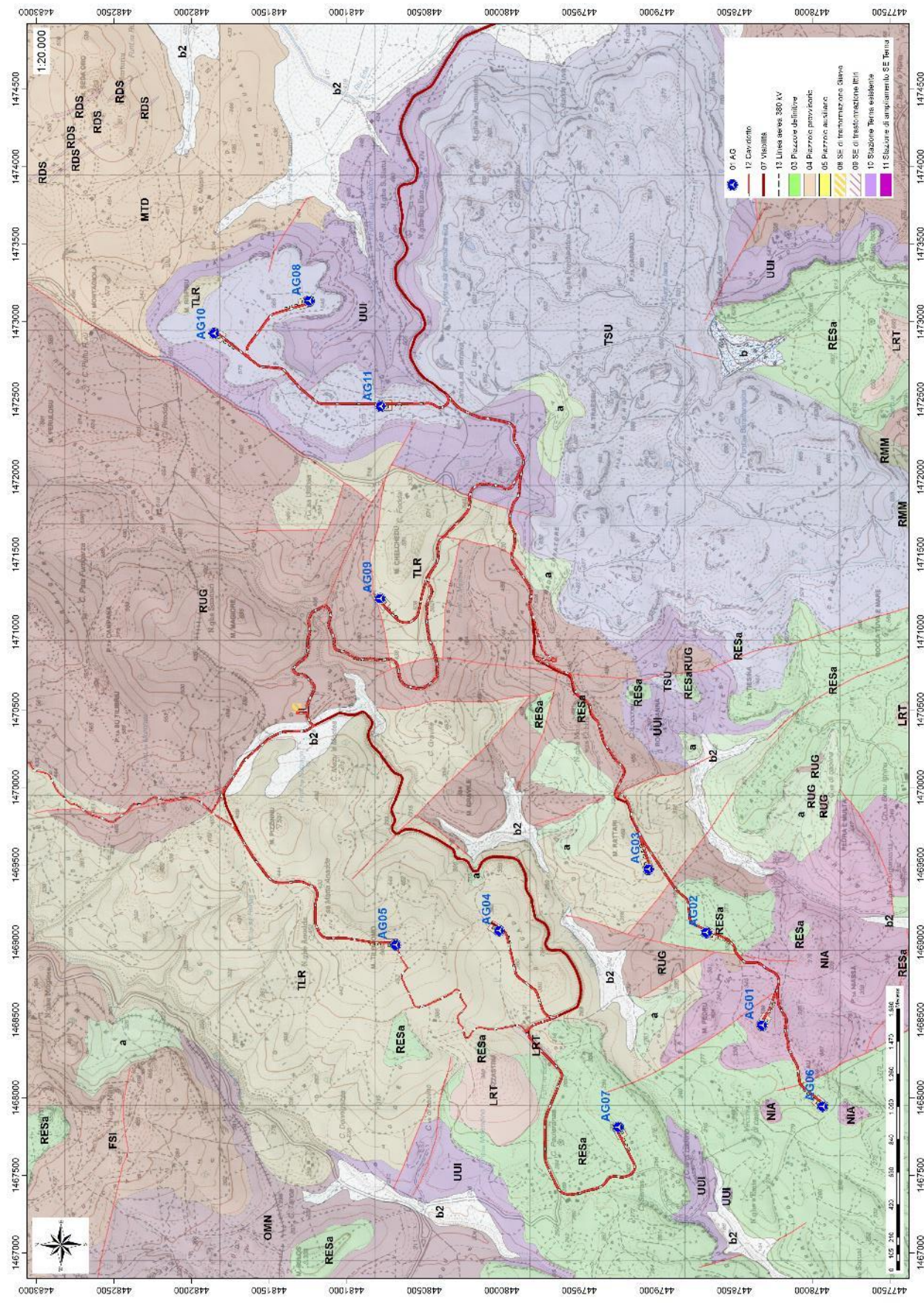


Figura 8 Stralcio carta geologica (Fonte RAS)

## 7. Analisi delle condizioni geostrutturali generali

L'area di studio è localizzata in una porzione del Complesso vulcanico Oligo-Miocenico situata a SW del Bacino del Logudoro, un semi-graben orientato NNW-SSE che si estende dall'altopiano di Campeda a S fino alla zona di Ittiri e Ploaghe a N; più a settentrione si sviluppa il bacino di Porto Torres, di cui è noto il proseguimento a mare. La strutturazione del bacino del Logudoro avviene tramite una serie di faglie dirette che ne identificano il margine occidentale, mentre quello orientale è caratterizzato dalla trasgressione miocenica occidentale, mentre quello orientale è caratterizzato dalla trasgressione miocenica su un substrato costituito prevalentemente dalle vulcaniti aquitaniano-burdigaliene e da sedimenti mesozoici.

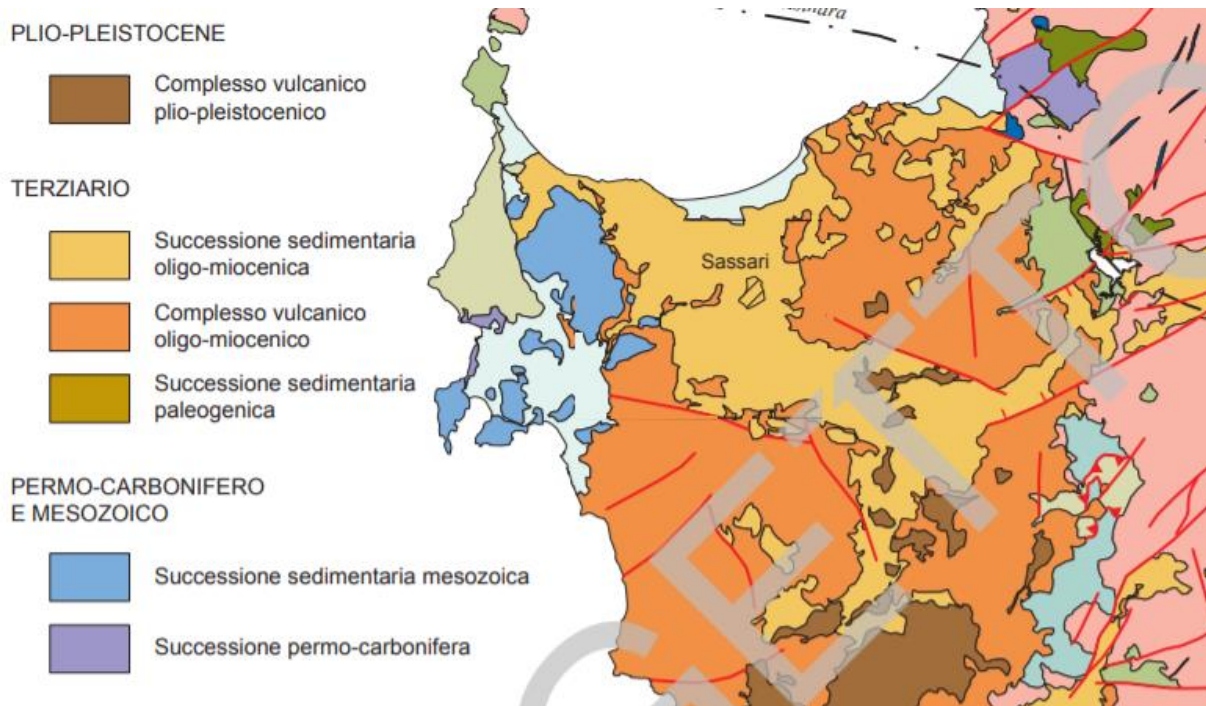


Figura 9 Schema geologico-strutturale dell'area di interesse (da Foglio CARG 459)

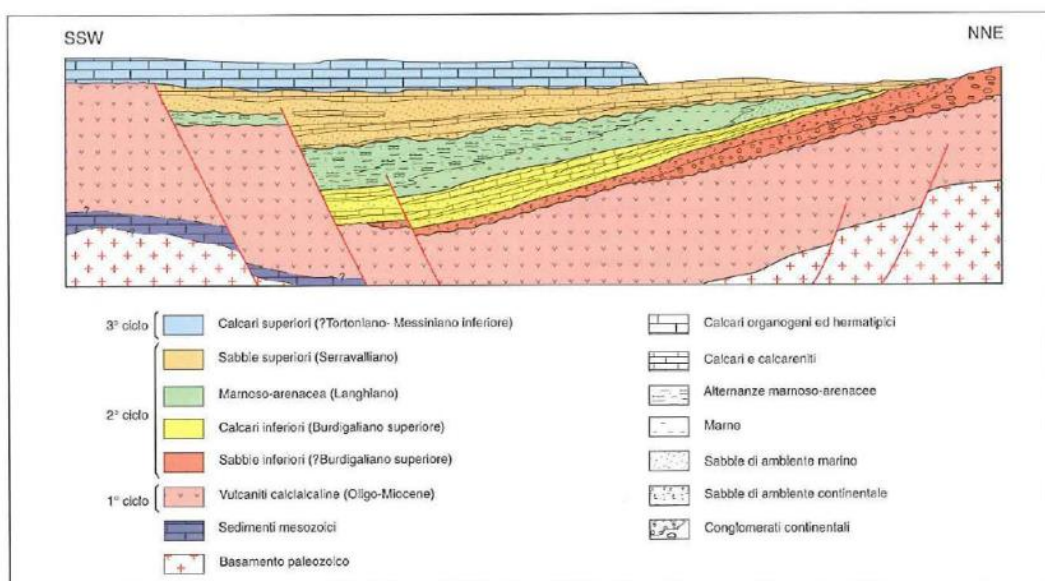


Figura 10 Schema dei rapporti stratigrafici dei cicli sedimentari miocenici nella Sardegna Settentrionale (non in scala) da Funedda et Alii, 2000)

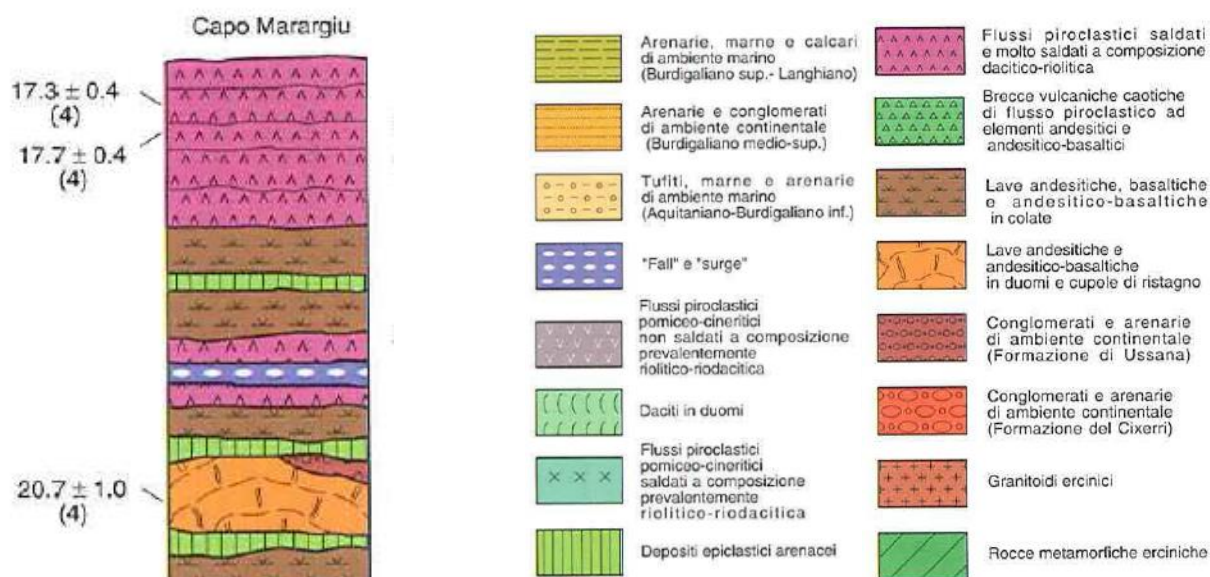


Figura 11 Colonna stratigrafica schematica delle successioni vulcaniche affioranti nell'area di interesse (da Lecca et alii, 1997)

I sedimenti miocenici, procedendo da E verso W, mostrano un'evoluzione da ambienti prossimali a distali. La sequenza più antica ha un'età che va dal Burdigaliano superiore al Langhiano. Essa poggia con rapporti di onlap sulle sottostanti vulcaniti oligo-aquitane ed è interrotta superiormente da una superficie erosiva. E' caratterizzata da una successione sedimentaria costituita alla base da sedimenti clastici grossolani tipici di ambiente fluvio-deltizio che passano a calcari litorali e sabbie, seguiti da siltiti e marne arenacee tipiche di ambiente marino più profondo.

Su quest'ultima giace la seconda sequenza deposizionale che arriva fino al Tortoniano (?)Messiniano, costituita da sabbie fluvio-marine alla base, cui seguono calcari di piattaforma interna ricchi di alghe ed episodi hermal (Mazzei et Oggiano, 1990).

Movimenti tettonici responsabili di sollevamenti differenziali di settori di piattaforma sono evidenziati sia da strutture deposizionali sintettoniche che dall'erosione di parte della prima sequenza.

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 centrale dell'area di studio) 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.

Un sistema di faglie dirette distensive e inverse compressive caratterizzano la zona centrale dell'area vasta ove verranno installate le turbine AG6, AG01, AG02 E AG09. Una faglia principale a direzione NW-SE separa il settore ovest (con le turbine AG01, AG02, AG03, AG04, AG05, AG06 e AG07), dal settore est, nel quale ricadono le turbine AG08, AG09, AG10 E AG11. 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.

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

Nel corso dei rilievi effettuati è stata realizzata un'indagine mirata alla caratterizzazione geostutturale 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,

AREGU Wind Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesAre-CLP-CIV-TR-22	Rev 0	Pagina 20 di 73
----------------	---------------------	------------------------------------	-------	--------------------

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.

Per determinazione dei parametri geomeccanici delle litologie interessate, , sono stati presi in considerazione n° 3 affioramenti rocciosi situati nell'area interna 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. 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 giaciturali delle discontinuità è stata eseguita con il software "Dips7.0".

#### 7.1.1. Rilievo geostrutturale Scanline 1 - Formazione di Mores

L'ammasso roccioso ha l'aspetto massivo e struttura massiccia. Le superfici riconoscibili sono imputabili unicamente alla fratturazione. Dall'analisi dell'ammasso in situ, la roccia si presenta massiva ma debolmente affetta da alterazione fisica. Dai valori ottenuti con il martello di Schmidt la roccia si presenta "mediamente resistente" (45Mpa). La spaziatura media tra le fratture che pervadono l'ammasso roccioso è di 1,3m. Risulta estremamente complesso distinguere le diverse famiglie di giunti, queste presentano quasi sempre un'apertura inferiore al millimetro, è stato possibile rilevare i valori delle giaciture nelle superfici affioranti grazie all'erosione. Le superfici sono in genere molto scabre, con valori di JRC superiori a 15.

Dall'elaborazione dei dati sulle discontinuità è possibile notare come la densità dei poli delle discontinuità sia alta a W-SW, a E-NE e a S-SE con valori di inclinazione superiore a 85° per i primi due e con valore superiore a 75° per il terzo. Per il caso specifico sarebbe quindi opportuno prestare attenzione al verificarsi di scivolamenti durante gli scavi in eventuali scarpate orientate a W-SW a E-NE e a N-NW con inclinazioni superiori ai 75°.



Figura 12 rilievo geostrutturale Scanline1 - Formazione di Mores.

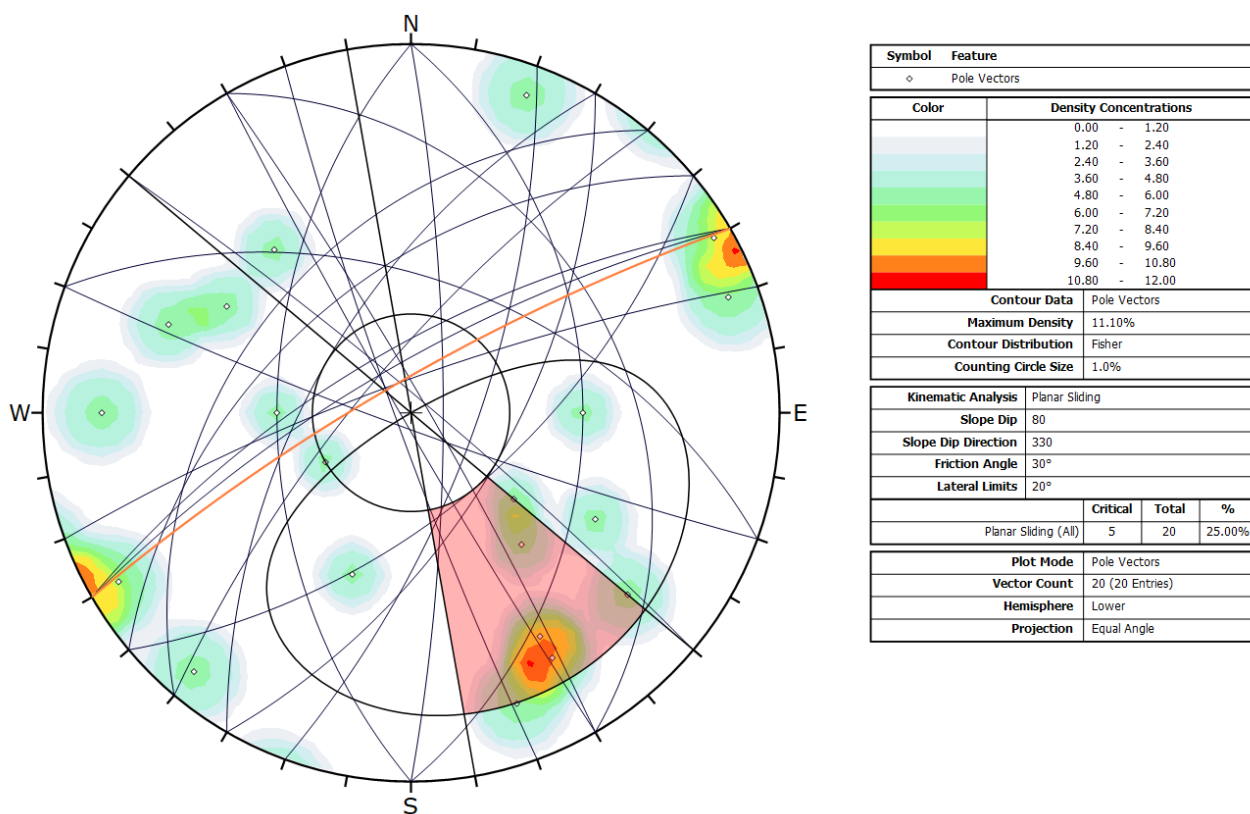


Figura 13 Proiezione stereografica delle discontinuità rilevate sull'affioramento Scanline1.

### 7.1.2. Rilievo geostrutturale Scanline2 - Unità di Uri

L'ammasso roccioso ha l'aspetto massivo e struttura massiccia. Le superfici riconoscibili sono imputabili unicamente alla fratturazione. Dall'analisi dell'ammasso in situ, la roccia si presenta massiva ma debolmente affetta da alterazione fisica. Dai valori ottenuti con il martello di Schmidt la roccia si presenta "molto resistente" (superiore ai 100Mpa). La spaziatura media tra le fratture che pervadono l'ammasso roccioso è di 0,35m. Risulta estremamente complesso distinguere le diverse famiglie di giunti, queste presentano un'apertura che raramente supera i 0,5cm. I valori di scabrezza delle superfici delle discontinuità vanno da 5 a 10.



Figura 14 rilievo geostrutturale Scanline2 - Unità di Uri

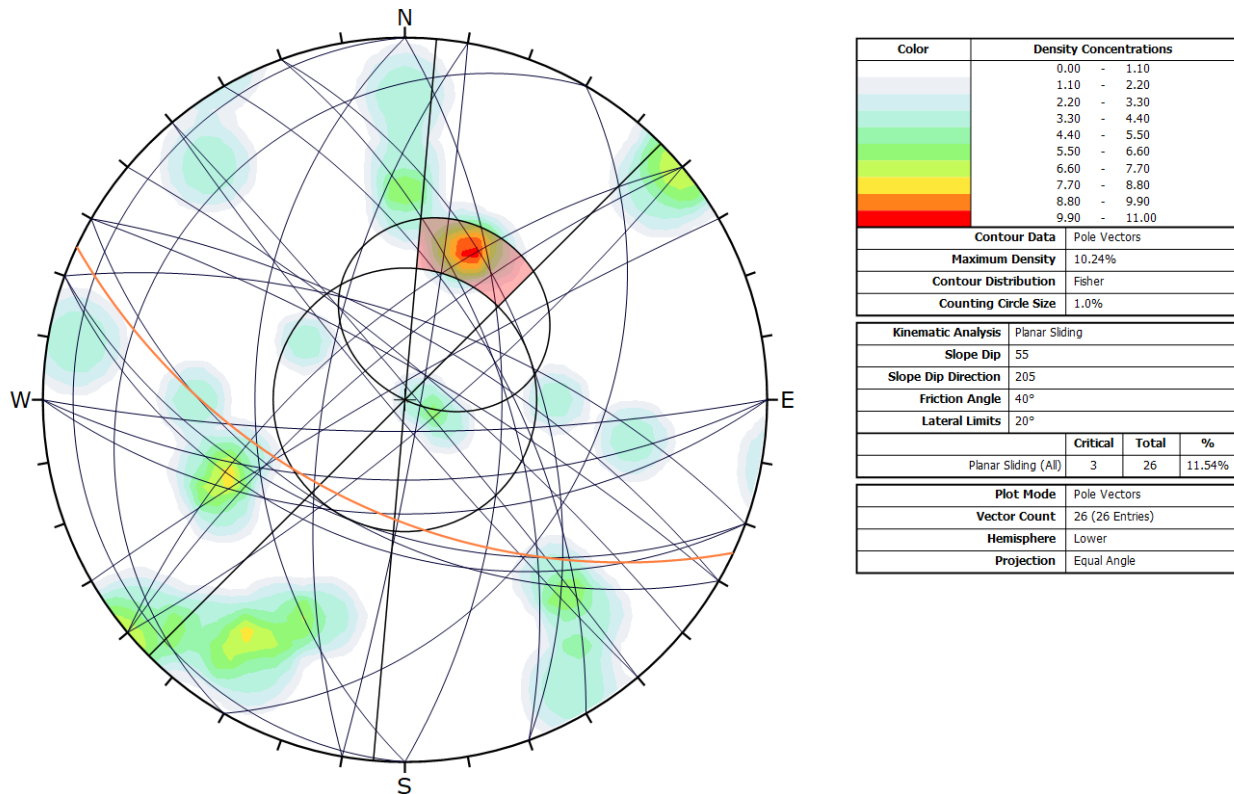


Figura 15 Proiezione stereografica delle discontinuità rilevate sull'affioramento Scanline2.

Dall'elaborazione dei dati sulle discontinuità è possibile notare come la densità dei poli delle discontinuità sia alta a N-NE con valori di inclinazione di circa 50°. Per il caso specifico sarebbe quindi opportuno prestare attenzione al verificarsi di scivolamenti durante gli scavi in eventuali scarpate orientate a S-SW con inclinazioni superiori ai 50°.

## 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.

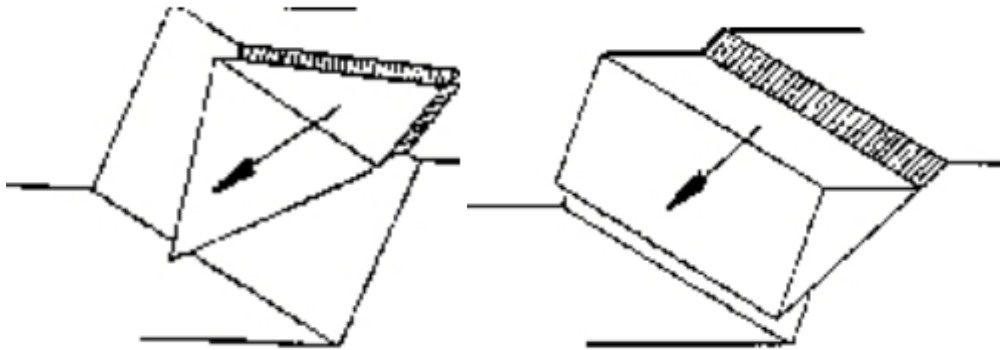


Figura 16 Tipologie di scivolamento di blocchi rocciosi lungo piani di fratturazione

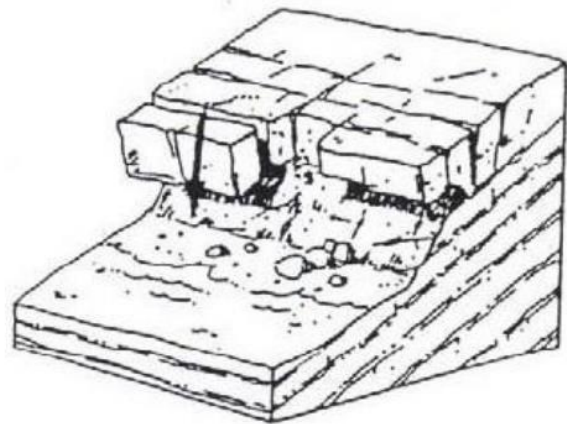


Figura 17 A sinistra esempio di erosione regressiva e formazione di parete aggettante e a destra lo schema del ribaltamento di blocchi per scalzamento alla base

In fig.17 viene illustrata una parete affiorante appartenente alla Formazione di Mores (RESa) 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.



AREGU Wind Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesAre-CLP-CIV-TR-22	Rev 0	Pagina 25 di 73
----------------	---------------------	------------------------------------	-------	--------------------

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.

## 9. Inquadramento geomorfologico

Il territorio indagato è costituito sostanzialmente da una zona collinare, con rilievi subarrotondati e dislivelli dell'ordine di 400 m circa tra monte e valle.

L'area di studio è caratterizzata da una serie di altopiani leggermente inclinati a Est e a Sud la cui elevazione dal livello del mare varia dai 350m ai 650m, talvolta è possibile notare morfologie a Cuestas negli altopiani isolati dall'erosione in litologie appartenenti alle colate riolitiche dell'unità di Monte Traessu. Il lato occidentale dell'altopiano di Rispisu è delimitato da un versante di faglia orientato NE-SW, parallelo al lineamento tettonico segnalato dalla RAS in Loc. Sa Tanca Manna.

A sud del Rispisu piccoli corsi d'acqua incassati portano all'arretramento dell'altopiano per erosione quasi isolandolo dal resto dei rilievi a sud appartenenti alla medesima Formazione geologica.

Da NE verso SW scorre il Riu Badu e Ludu con andamento meandriforme, la quota del fondovalle passa da circa 450m slm a circa 200m. Da Est verso Ovest il Riu Tuvu confluisce con il Riu Bau e Ludu ai piedi del M.Rattari e del M.Gravile. Le piccole vallecole che incidono i versanti convogliando le acque ai corsi principali hanno generalmente andamento dendritico.

Le numerose incisioni che solcano i versanti si presentano incassate, spesso colmate, nei tratti meno acclivi, da scariche detritiche riconducibili all'azione dei processi gravitativi. A scala locale si osservano alcune valli più o meno profonde dal profilo simmetrico marcatamente a V, con frequenti meandri incassati, segno di un recente ringiovanimento con tendenza all'approfondimento degli alvei. I depositi alluvionali presentano spessori molto modesti e relegati nel fondo valle spesso costituiti da blocchi di grosse dimensioni che indicano trasporti di massa considerevoli. I corsi d'acqua presentano un regime esclusivamente torrentizio e sono caratterizzati da scarsa permeabilità del substrato, ridotta sezione idraulica ed elevata pendenza media delle aste.

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'altopiano 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 riolitico, riodacitico delle formazioni di Monte Traessu, di Chelghedu-Tiloromo e dacitiche della formazione di Monte Rugu.
2. le coperture sedimentarie, date dalla Formazione di Mores.

AREGU Wind Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesAre-CLP-CIV-TR-22	Rev 0	Pagina 26 di 73
----------------	---------------------	------------------------------------	-------	--------------------

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.

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 degli aerogeneratori AG06, AG02 e la AG03. Meno diffuse che nei territori circostanti, le lave, di composizione prevalentemente andesitica, si rinvengono 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 rinvengono lungo i versanti della valle del Riu Ena, lungo il corso del Riu Mannu.

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 Sud-Est della AG02 (Piano Giuale). Le stesse azioni erosive che hanno determinato la frammentazione delle strutture sedimentarie, si sono esplicitate 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.

### 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 disseccato dai processi erosivi lineari.

AREGU Wind Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesAre-CLP-CIV-TR-22	Rev 0	Pagina 27 di 73
----------------	---------------------	------------------------------------	-------	--------------------

## 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. 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.

AREGU Wind Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesAre-CLP-CIV-TR-22	Rev 0	Pagina 28 di 73
----------------	---------------------	------------------------------------	-------	--------------------

## 10. Inquadramento idrogeologico

Secondo la classificazione dei bacini sardi riportata nel Piano di Assetto Idrogeologico, i comuni di Giave, Cossoine e Cheremule sono inclusi 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. Schema 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 sud-occidentale del parco eolico è attraversata da due corsi principali che scorrono da NE verso SW, il **Riu Badedda** e il **Riu Badu'e Ludu**, nell'area orientale scorre il **Riu Ena** verso Est.

Il territorio è ricco di sorgenti, nei pressi della AG07 Funtana Ezza e Funtana Molendino, nei pressi delle AG04 e AG05 Funtana Sulzaga e Funtana Sa Ranas, nei pressi della AG09 Funtana Messere, nei pressi delle AG08, AG10 e AG11 Funtana Su Chelcu, Funtana Pira de Campu e Funtana Pefscia sa Era.

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.

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.

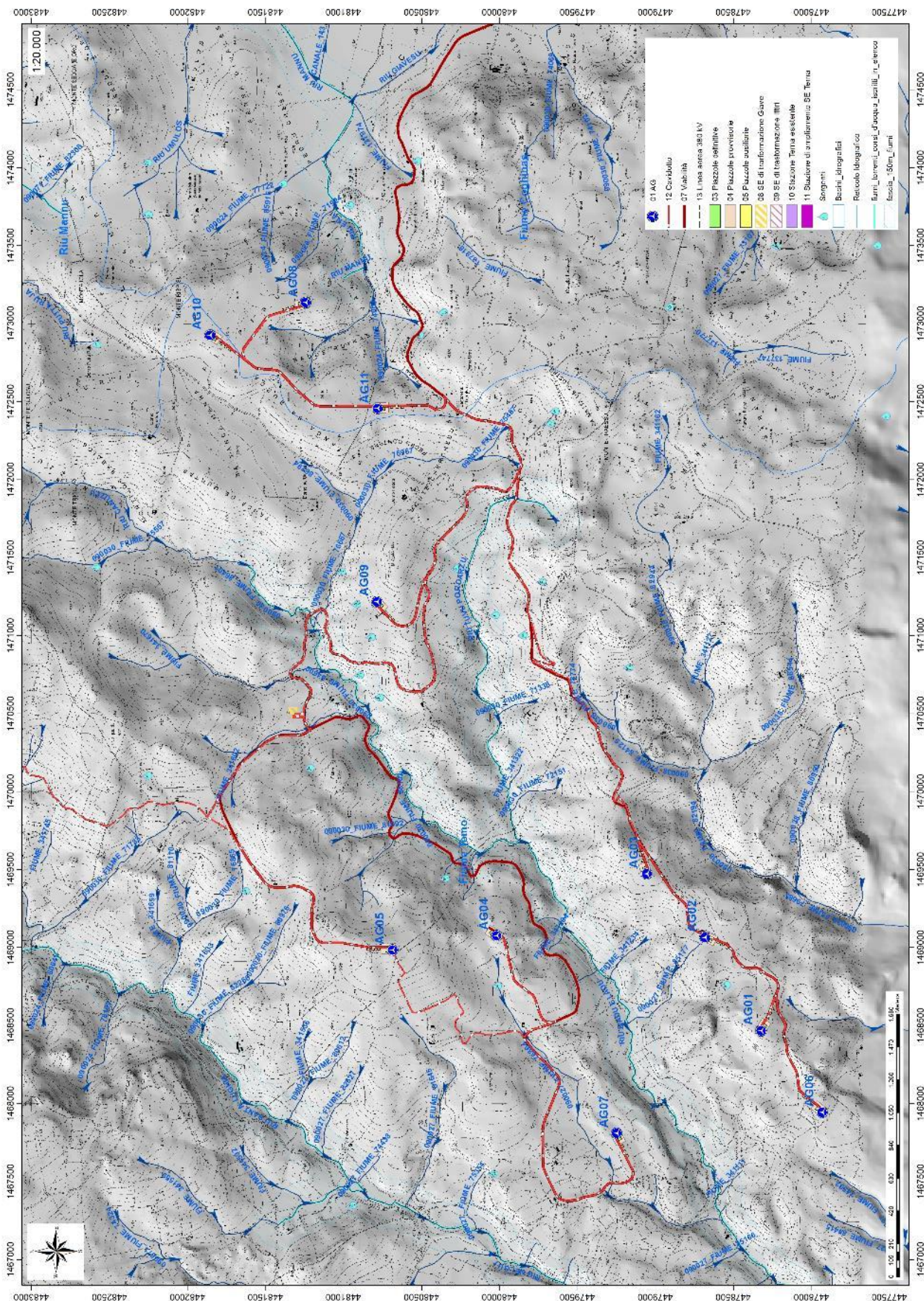


Figura 18 Reticolo idrico superficiale (Fonte RAS)

## 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 da bassa medio-bassa per fratturazione per le litologie vulcaniche mentre medio-alta per le soprastanti litologie carbonatiche (RES a).

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.170595) nei pressi della turbina AG04 (a sinistra dell'immagine) e di due pozzi (Cod.170547 e Cod.176552) situati a nord dell'area di installazione della turbina AG10 (a destra dell'immagine).

Nei pozzo con cod.170595 la falda si rinviene a quota -6m da piano campagna (livello statico), negli altri due pozzi censiti la falda si ritrova a profondità superiori ai 40m.

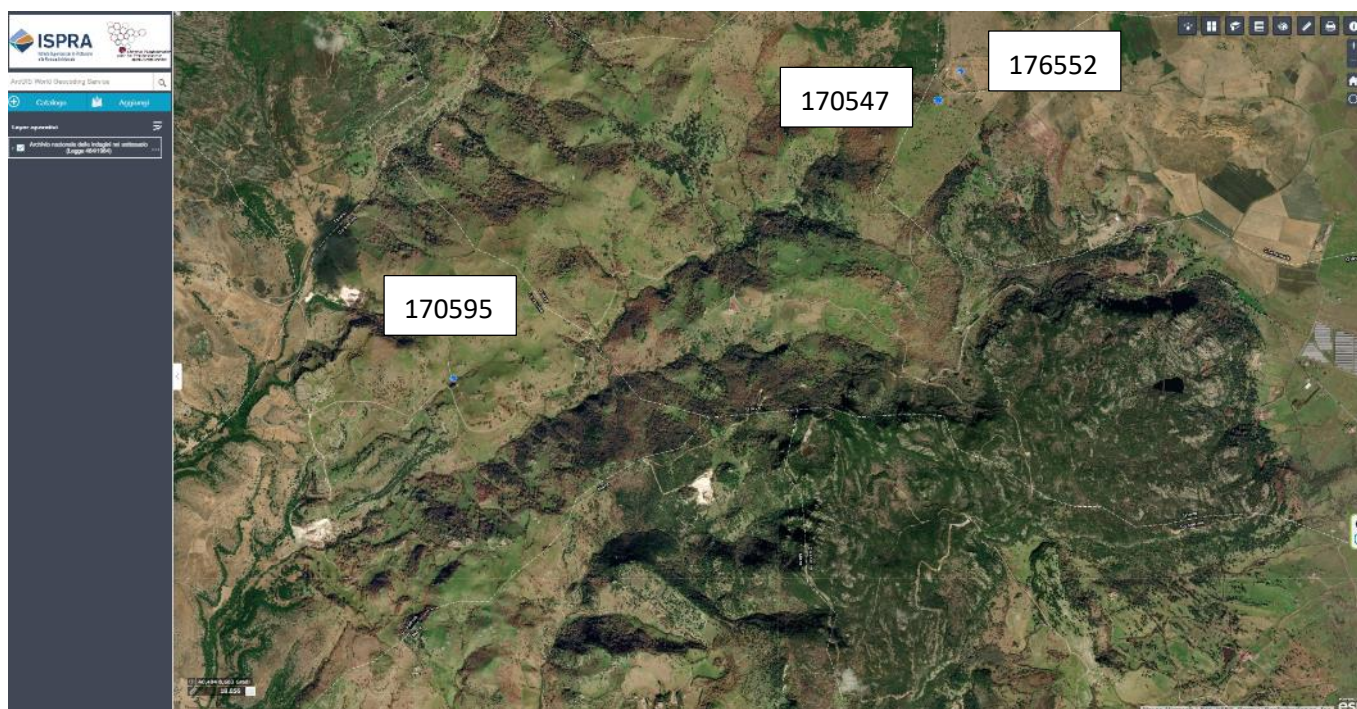








Figura 19 Pozzi presenti nell'area di interesse (dall'Archivio Nazionale delle Indagini del Sottosuolo)

 	<b>Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale</b>																		
<b>Archivio nazionale delle indagini nel sottosuolo (Legge 464/1984)</b>																			
<b>Dati generali</b>	<b>Ubicazione indicativa dell'area d'indagine</b>																		
<p> <b>Codice:</b> 170595  <b>Regione:</b> SARDEGNA  <b>Provincia:</b> SASSARI  <b>Comune:</b> COSSOINE  <b>Tipologia:</b> PERFORAZIONE  <b>Opera:</b> POZZO PER ACQUA  <b>Profondità (m):</b> 60,00  <b>Quota pc slm (m):</b> 312,00  <b>Anno realizzazione:</b> 1994  <b>Numero diametri:</b> 1  <b>Presenza acqua:</b> SI  <b>Portata massima (l/s):</b> 2,500  <b>Portata esercizio (l/s):</b> 0,500  <b>Numero falde:</b> 1  <b>Numero filtri:</b> 0  <b>Numero piezometrie:</b> 1  <b>Stratigrafia:</b> SI  <b>Certificazione(*):</b> NO  <b>Numero strati:</b> 2  <b>Longitudine WGS84 (dd):</b> 8,627925  <b>Latitudine WGS84 (dd):</b> 40,469011  <b>Longitudine WGS84 (dms):</b> 8° 37' 40.54" E  <b>Latitudine WGS84 (dms):</b> 40° 28' 08.45" N         </p> <p>(*)Indica la presenza di un professionista nella compilazione della stratigrafia</p>																			
<b>DIAMETRI PERFORAZIONE</b>																			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 10%;">Progr</th> <th style="width: 20%;">Da profondità (m)</th> <th style="width: 20%;">A profondità (m)</th> <th style="width: 20%;">Lunghezza (m)</th> <th style="width: 30%;">Diametro (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>0,00</td> <td>60,00</td> <td>60,00</td> <td>220</td> </tr> </tbody> </table>		Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)	Diametro (mm)	1	0,00	60,00	60,00	220								
Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)	Diametro (mm)															
1	0,00	60,00	60,00	220															
<b>FALDE ACQUIFERE</b>																			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 10%;">Progr</th> <th style="width: 20%;">Da profondità (m)</th> <th style="width: 20%;">A profondità (m)</th> <th style="width: 50%;">Lunghezza (m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>0,00</td> <td>9,00</td> <td>9,00</td> </tr> </tbody> </table>		Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)	1	0,00	9,00	9,00										
Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)																
1	0,00	9,00	9,00																
<b>MISURE PIEZOMETRICHE</b>																			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 20%;">Data rilevamento</th> <th style="width: 20%;">Livello statico (m)</th> <th style="width: 20%;">Livello dinamico (m)</th> <th style="width: 20%;">Abbassamento (m)</th> <th style="width: 20%;">Portata (l/s)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ott/1994</td> <td>6,00</td> <td>9,00</td> <td>3,00</td> <td>2,000</td> </tr> </tbody> </table>		Data rilevamento	Livello statico (m)	Livello dinamico (m)	Abbassamento (m)	Portata (l/s)	ott/1994	6,00	9,00	3,00	2,000								
Data rilevamento	Livello statico (m)	Livello dinamico (m)	Abbassamento (m)	Portata (l/s)															
ott/1994	6,00	9,00	3,00	2,000															
<b>STRATIGRAFIA</b>																			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 10%;">Progr</th> <th style="width: 15%;">Da profondità (m)</th> <th style="width: 15%;">A profondità (m)</th> <th style="width: 10%;">Spessore (m)</th> <th style="width: 15%;">Età geologica</th> <th style="width: 45%;">Descrizione litologica</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>0,00</td> <td>2,00</td> <td>2,00</td> <td></td> <td>TERRENO MOLTO COMPATTO</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>2,00</td> <td>60,00</td> <td>58,00</td> <td></td> <td>ROCCIA DI NATURA BASALTICA</td> </tr> </tbody> </table>		Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Spessore (m)	Età geologica	Descrizione litologica	1	0,00	2,00	2,00		TERRENO MOLTO COMPATTO	2	2,00	60,00	58,00		ROCCIA DI NATURA BASALTICA
Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Spessore (m)	Età geologica	Descrizione litologica														
1	0,00	2,00	2,00		TERRENO MOLTO COMPATTO														
2	2,00	60,00	58,00		ROCCIA DI NATURA BASALTICA														

 		<b>Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale</b>			
<b>Archivio nazionale delle indagini nel sottosuolo (Legge 464/1984)</b>					
<b>Dati generali</b>		<b>Ubicazione indicativa dell'area d'indagine</b>			
<p> <b>Codice:</b> 170547  <b>Regione:</b> SARDEGNA  <b>Provincia:</b> SASSARI  <b>Comune:</b> CHEREMULE  <b>Tipologia:</b> PERFORAZIONE  <b>Opera:</b> POZZO PER ACQUA  <b>Profondità (m):</b> 50,00  <b>Quota pc slm (m):</b> 600,00  <b>Anno realizzazione:</b> ND  <b>Numero diametri:</b> 0  <b>Presenza acqua:</b> SI  <b>Portata massima (l/s):</b> ND  <b>Portata esercizio (l/s):</b> ND  <b>Numero falde:</b> 1  <b>Numero filtri:</b> 0  <b>Numero piezometrie:</b> 1  <b>Stratigrafia:</b> SI  <b>Certificazione(*):</b> NO  <b>Numero strati:</b> 1  <b>Longitudine WGS84 (dd):</b> 8,671536  <b>Latitudine WGS84 (dd):</b> 40,488169  <b>Longitudine WGS84 (dms):</b> 8° 40' 17.54" E  <b>Latitudine WGS84 (dms):</b> 40° 29' 17.42" N         </p> <p>(*)Indica la presenza di un professionista nella compilazione della stratigrafia</p>					
<b>FALDE ACQUIFERE</b>					
<b>Progr</b>	<b>Da profondità (m)</b>	<b>A profondità (m)</b>	<b>Lunghezza (m)</b>		
1	40,00	40,00	0,00		
<b>MISURE PIEZOMETRICHE</b>					
<b>Data rilevamento</b>	<b>Livello statico (m)</b>	<b>Livello dinamico (m)</b>	<b>Abbassamento (m)</b>	<b>Portata (l/s)</b>	
giu/1988	10,00	40,00	30,00	0,500	
<b>STRATIGRAFIA</b>					
<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	50,00	50,00		TRACHITE LAMELLARE E SABBIA



Dati generali		Ubicazione indicativa dell'area d'indagine			
<p>Codice: 176552            Regione: SARDEGNA            Provincia: SASSARI            Comune: THIESI            Tipologia: PERFORAZIONE            Opera: POZZO PER ACQUA            Profondità (m): 114,00            Quota pc slm (m): 600,00            Anno realizzazione: 2003            Numero diametri: 1            Presenza acqua: SI            Portata massima (l/s): 0,550            Portata esercizio (l/s): 0,450            Numero falde: 1            Numero filtri: 1            Numero piezometrie: 1            Stratigrafia: SI            Certificazione(*): SI            Numero strati: 1            Longitudine WGS84 (dd): 8,673758            Latitudine WGS84 (dd): 40,490111            Longitudine WGS84 (dms): 8° 40' 25.53" E            Latitudine WGS84 (dms): 40° 29' 24.41" N</p> <p>(*):Indica la presenza di un professionista nella compilazione della stratigrafia</p>					
DIAMETRI PERFORAZIONE					
Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)	Diametro (mm)	
1	9,00	114,00	105,00	219	
FALDE ACQUIFERE					
Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)		
1	85,00	88,00	3,00		
POSIZIONE FILTRI					
Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)	Diametro (mm)	
1	84,50	88,50	4,00	160	
MISURE PIEZOMETRICHE					
Data rilevamento	Livello statico (m)	Livello dinamico (m)	Abbassamento (m)	Portata (l/s)	
mar/2003	68,00	74,00	6,00	0,400	
STRATIGRAFIA					
Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Spessore (m)	Età geologica	Descrizione litologica
1	0,00	114,00	114,00	OLIGOCENE SUP-MIOCENE IN	TRACHIANDESITI ROSSASTRE FRATTURATE

ISPRA - Copyright 2018

Figura 20 - Monografie dei pozzi censiti nell'Archivio Nazionale delle Indagini nel Sottosuolo

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 infiltra 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.

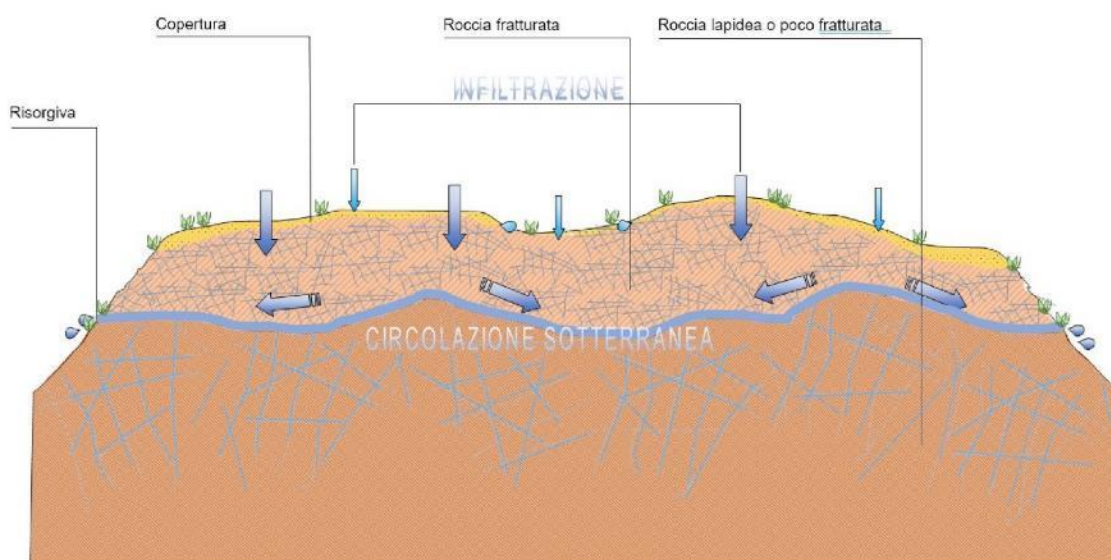


Figura 21 Schema esemplificativo, non in scala, dei processi di infiltrazione e deflusso sotterraneo

Nell'area di studio si possono distinguere:

AREGU Wind Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesAre-CLP-CIV-TR-22	Rev 0	Pagina 35 di 73
----------------	---------------------	------------------------------------	-------	--------------------

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 di Uri (UUI), di Pala Mantedda (MTD) e di Nuraghe Vittore (UNV), Unità di Chelchedu-Tiloromo (TLR), Unità di Monte Traessu (TSU), Unità di Monte Rugiu (RUG) E Unità di Punta Niassa (NIA).

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 carbonatici (RESa) per cui la permeabilità è **Permeabilità medio alta per carsismo e fratturazione** e quaternari legati a gravità (al piede dei rilievi) che presentano **permeabilità medio-alta per porosità**.

Nell'area attraversata dal cavidotto e alla sottostazione 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.

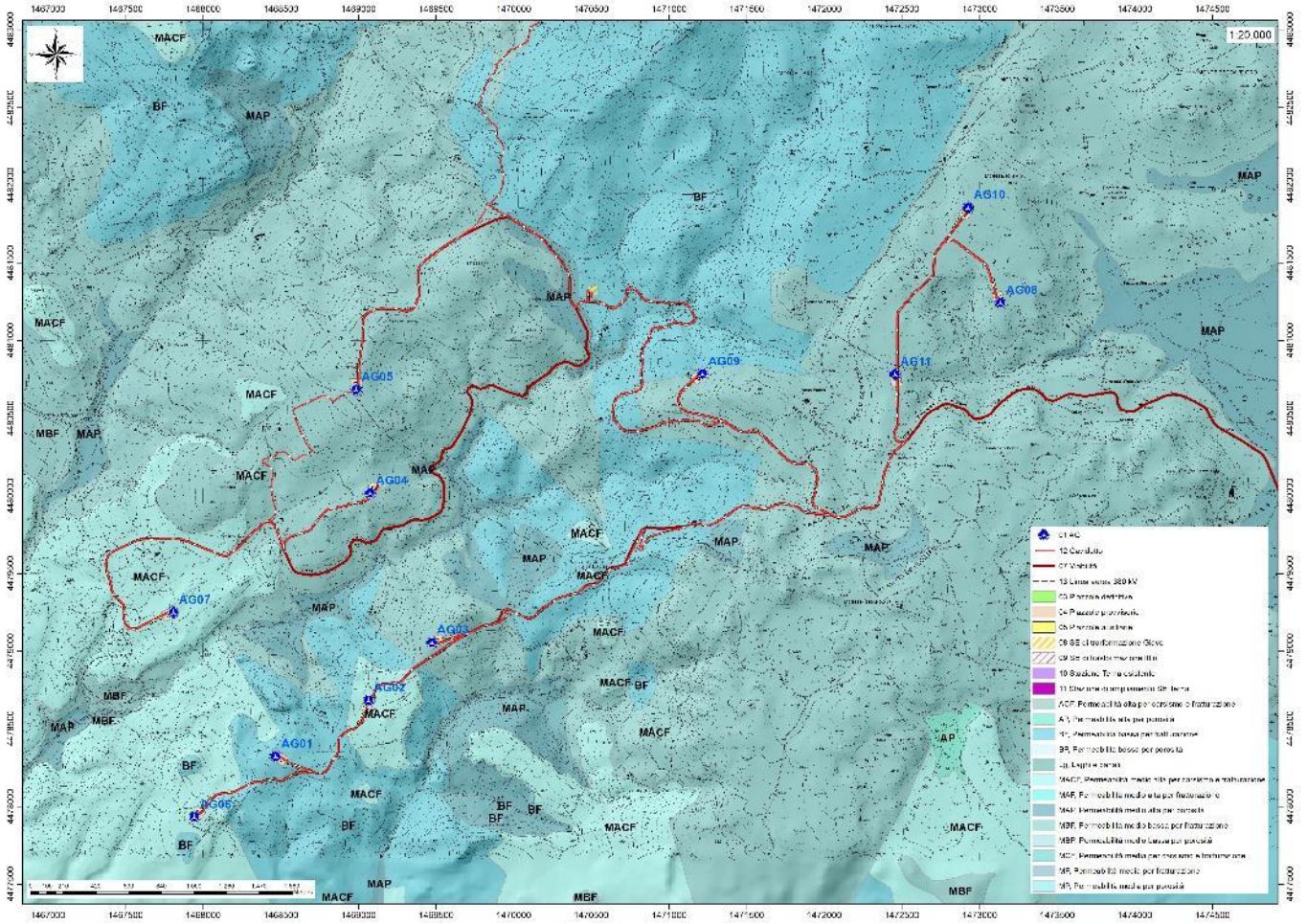


Figura 22 Carta delle Permeabilità dei Substrati e dei Suoli – area impianto (Fonte RAS)

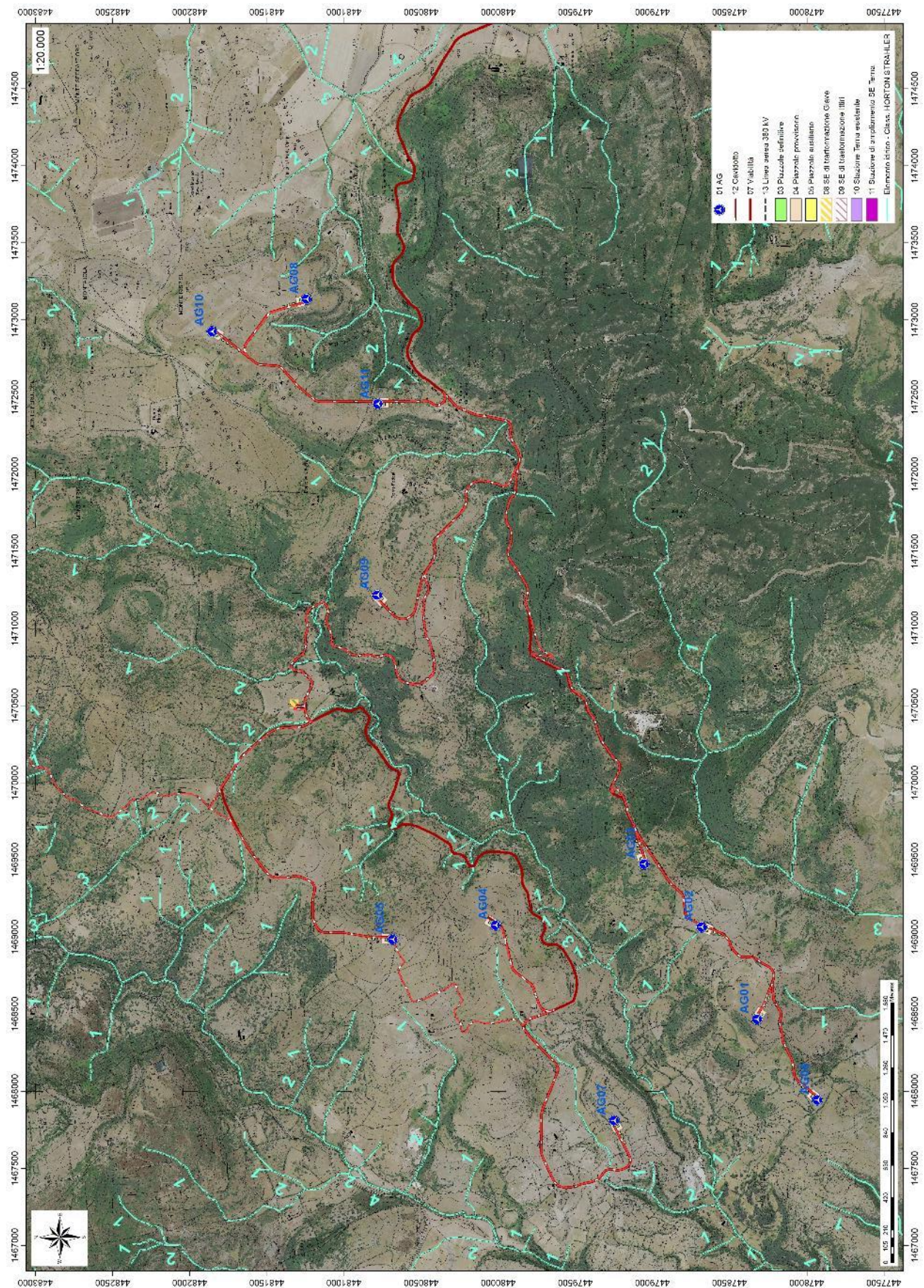


Figura 23 Reticolo idrografico numerato secondo l'ordine di Stralher

## 11. Inquadramento climatico

La definizione del clima è basata sull'analisi dei parametri meteorologici più comunemente studiati, quali la temperatura e le precipitazioni, il cui andamento è legato alle variazioni stagionali della circolazione atmosferica, considerando inoltre la ventosità, la nuvolosità e l'umidità relativa.

Il clima della Sardegna viene generalmente classificato come "Mediterraneo Interno", caratterizzato da inverni miti e relativamente piovosi ed estati secche e calde, con valori minimi invernali di alcuni gradi al di sotto dello zero e massimi estivi anche superiori ai +40 C.

Lungo le zone costiere, grazie alla presenza del mare, si hanno inverni miti con temperature che scendono raramente sotto lo zero. Anche nelle zone interne pianeggianti e collinari il clima è tipicamente mediterraneo, anche se a causa della maggior lontananza dal mare si registrano temperature invernali più basse ed estive più alte rispetto alle aree costiere.

Nelle zone più interne, come gli altopiani e le vallate spesso incastonate tra i rilievi, il clima acquista caratteri continentali con forti escursioni termiche, risultando particolarmente basse le minime invernali in caso di inversione termica, con temperature che possono scendere anche al di sotto dei -10/-12 C. Sui massicci montuosi nei mesi invernali nevica frequentemente e le temperature scendono sotto lo zero, mentre nella stagione estiva il clima si mantiene fresco, soprattutto durante le ore notturne, e raramente fa caldo per molti giorni consecutivi.

La Sardegna inoltre è una regione molto ventosa; i venti dominanti sono quelli provenienti dal settore occidentale (Maestrale e Ponente) e, in minor misura quelli provenienti da quello meridionale (Scirocco).

Le precipitazioni sono distribuite in maniera variabile ed irregolare, con medie comprese tra i 400 e i 600 mm annui lungo le coste e valori pluviometrici che raggiungono e superano i 1000 mm annui (con locali picchi superiori ai 1300-1400 mm) in prossimità dei rilievi montuosi.

Periodo	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Totale annuale
2018	49	126,4	169	46,4	250	64,8	0,6	42	48,2	155,6	179,8	68,4	1150,8
2017	89,4	71,2	29,8	24,6	1,8	17,8	2,6	0	73,4	3,8	69,6	213	597
2016	79,8	279	94,6	37,6	52,8	13,2	38,4	0	53	18,2	92	44	802,6
2015	92,8	239	99,4	27,4	21,6	49,8	2,4	23,6	41,4	140,8	78,6	5,6	822,4
2014	219,2	159,4	120,8	56,8	45,4	33,8	20,8	5,8	11,4	8,8	177,4	113	972,6
2013	264,8	142,6	168,8	91,6	91,8	4,4	3,4	9,6	60,2	105,4	166	63	1171,6
2012	49,4	68,4	20,4	101	168	0,4	0,6	0,4	33,6	217,4	204,2	67	930,8
2011	92,4	84,2	62	56,8	5,4	59,6	9,8	0	46,2	24,8	183,8	138,4	763,4
2010	150,2	88,2	111,2	71,4	95,2	82,8	0	10,8	3,2	114,2	364	182,2	1273,4
2009	167	74	62,4	127,8	8	48	0	0	85	67	113,4	169	921,6
2008	85	28,2	87,2	30,6	130,6	39	0	2	67,8	93,8	239,4	214,2	1017,8

Tabella 1 Andamento pluviometrico dell'area vasta (espresso in mm) ricavato dalla stazione pluviometrica di Villanova Monteleone.

A causa del dominio sulla regione dei venti provenienti dai quadranti occidentali, mediamente la maggior frequenza di giorni di pioggia si riscontra nelle zone occidentali dell'isola, mentre in quelle orientali, trovandosi sottovento a questo tipo di circolazione a causa dell'orografia, si ha una minore frequenza di giornate piovose.

Tuttavia, le zone orientali sono spesso soggette a fortissime piogge, per cui gli accumuli medi annuali sono simili tra i due versanti.

L'andamento climatico del territorio di **Giave** e le risorse idriche disponibili sono stati valutati sulla base dei dati forniti dalle stazioni meteorologiche dell'ARPAS presenti nel territorio comunale di Villanova Monte Leone e Romana, localizzate rispettivamente nel raggio di 23 e 15 km dal settore in esame.

L'andamento pluviometrico dell'area oggetto di studio (Tab.1) è stato ricavato dai dati pluviometrici relativi all'intervallo 2008-2018 estratti dagli Annali Idrologici dell'ARPAS reperibili dal Geoportale della R.A.S. delle stazioni di Villanova Monte Leone (anni 2008 – 2018), così come i dati termometrici, relativi però alle stazioni di Villanova Monte Leone (2012-2018) e Romana (2011-1995).

Per quanto riguarda i dati sull'evapotraspirazione, sono stati utilizzati i valori pubblicati dal Dipartimento Specialistico Regionale Idroclimatico (I.M.C.) dell'ARPAS.

Alla stazione di Alghero - Fertilia sono riferiti i dati sulla nuvolosità, e umidità relativa, estrapolati dalla Rete Mareografica dell'ISPRA, mentre i dati relativi alla ventosità sono stati estrapolati dai report climatologici mensili e annuali dell'ARPAS.

### 11.1. Precipitazioni

Nella Tab.2 sono esposti i dati relativi alle precipitazioni nell'intervallo 2008-2018 registrati nella stazione di Villanova Monte Leone. Viene riportato il valore medio mensile e il totale annuale di precipitazioni (espresso in mm) nei periodi considerati. Per il periodo 2008-2018 si osserva che i valori di precipitazioni presentano valori inferiori nei mesi autunnali e invernali, e superiori per il periodo compreso tra maggio e agosto.

Nell'area studiata, la piovosità media annuale è pari a circa 947,64 mm per il periodo compreso tra il 2008 e il 2018.

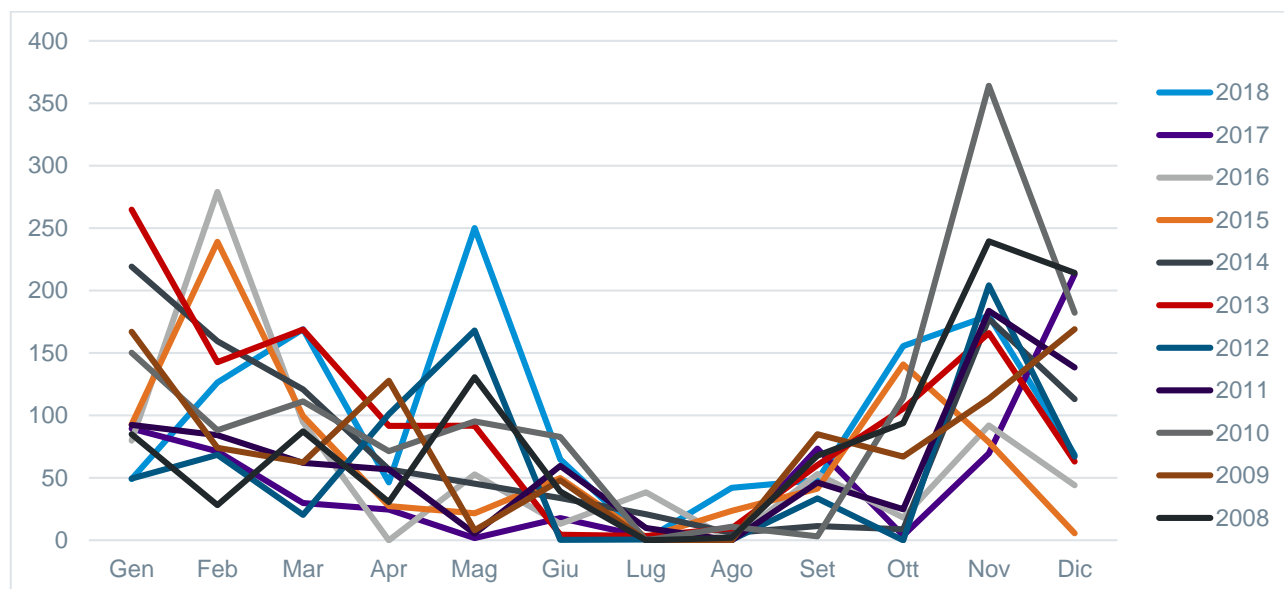


Tabella 2 Andamento della pluviometria mensile e annuale (nell'asse delle ordinate, in mm) per la stazione di Villanova Monte Leone nel periodo 2008-2018.

L'andamento pluviometrico dell'area di Giave nell'arco dell'anno è caratterizzato dal minimo assoluto di piovosità nel periodo estivo e da un massimo in autunno e inverno, per cui i mesi più secchi sono quelli estivi mentre quelli più piovosi sono quelli invernali.

### 11.2. Temperature

I valori termometrici della stazione meteo di Giave, ricavati dal Dipartimento Specialistico Regionale Idroclimatico (I.M.C.) dell'ARPAS, sono illustrati nel grafico di Tab.3 e sono relativi alla stazione di Villanova Monteleone per gli anni dal 2012 al 2018, a quella di Romana per l'intervallo 1995-2011. La temperatura media annua, calcolata con i valori medi mensili per il periodo 1995-2018, è di circa 13,9 °C. Il mese più freddo è Febbraio con una media di circa 6,5°C, mentre le temperature più elevate si riscontrano a Luglio e Agosto con circa 22,5 °C.

Periodo	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
2018	8,8	5,4	8,5	14,1	14,6	19,2	23,3	22,7	20,1	15,9	11,4	8,7
2017	5,2	9	10,3	11,8	16,8	22	23,7	25,7	17,6	15,8	9,7	0,5
2016	8,1	8,5	8,6	13,1	14,3	19,2	22,9	22,1	19,6	16	11,6	9,2
2015	7	5,7	8,9	12,1	16,9	20,7	24,7	23,1	19,3	15	11,5	9,1
2014	8	8,4	9	12,2	14,4	20,4	20,9	22,1	20,7	17,8	13,8	8,1
2013	6,6	4,7	8,9	12,3	13,1	17,9	23,2	23	19	18,1	9,8	8,2
2012	6,7	3,7	10,6	11,7	14,8	21,7	22,8	25,4	19,4	15,9	12,4	7,7
1995-2011	6,4	6,7	7,4	9,3	12,2	15,2	17,6	17,8	14,7	12,3	9,6	7,4

Tabella 3 Temperature mensili (in °C) registrate nelle stazioni di Villanova Monteleone (2012-2018) e Romana (1995-2011).

Nel grafico di Fig.24 è illustrato l'andamento delle temperature medie mensili relative alla stazione di Villanova Monteleone (2012-2018) e Romana (1995-2011).

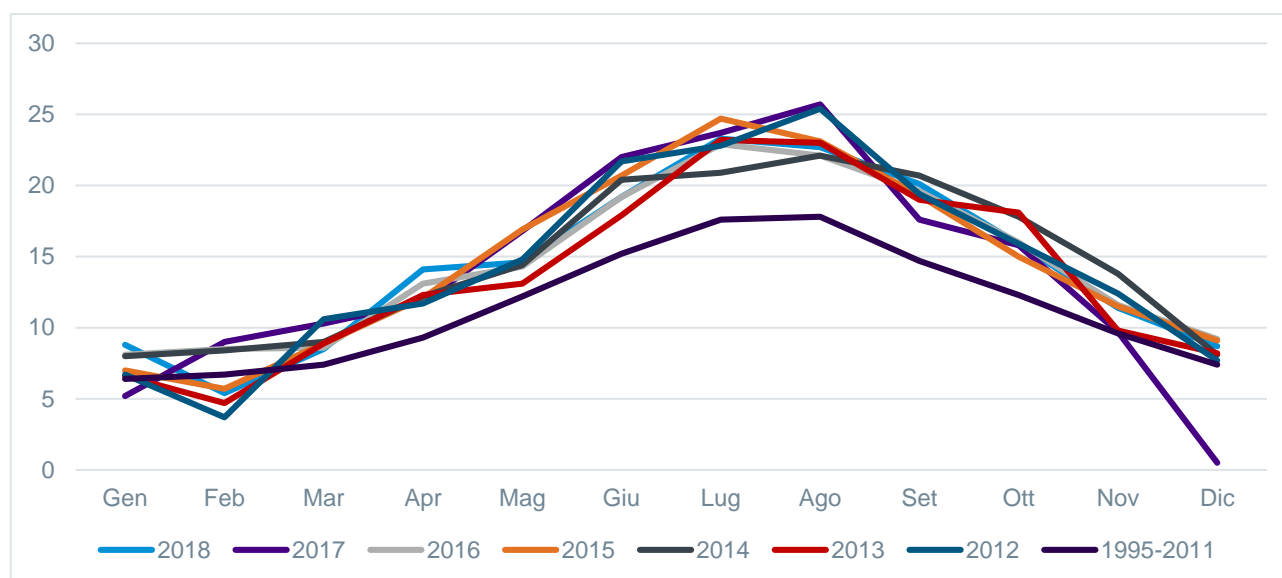


Figura 24 Temperature mensili (in °C, nell'asse delle ordinate) registrata nella stazione di Villanova Monteleone (2012-2018) e Romana (1995-2011).

### 11.3. Stima dell'evapotraspirazione

L' evapotraspirazione è uno dei parametri più significativi nell'ambito di un bilancio idrologico e rappresenta la perdita di una parte delle acque di precipitazione, per evaporazione dal suolo e per traspirazione della vegetazione.



Viene calcolata tenendo conto della temperatura e delle precipitazioni, e viene influenzata dalla nuvolosità, dall'umidità relativa e dalla ventosità. Nel grafico di Figura 245 è illustrata l'evapotraspirazione per la zona di Giave ricavata dai dati reperibili sul WebGIS dell'ARPAS.

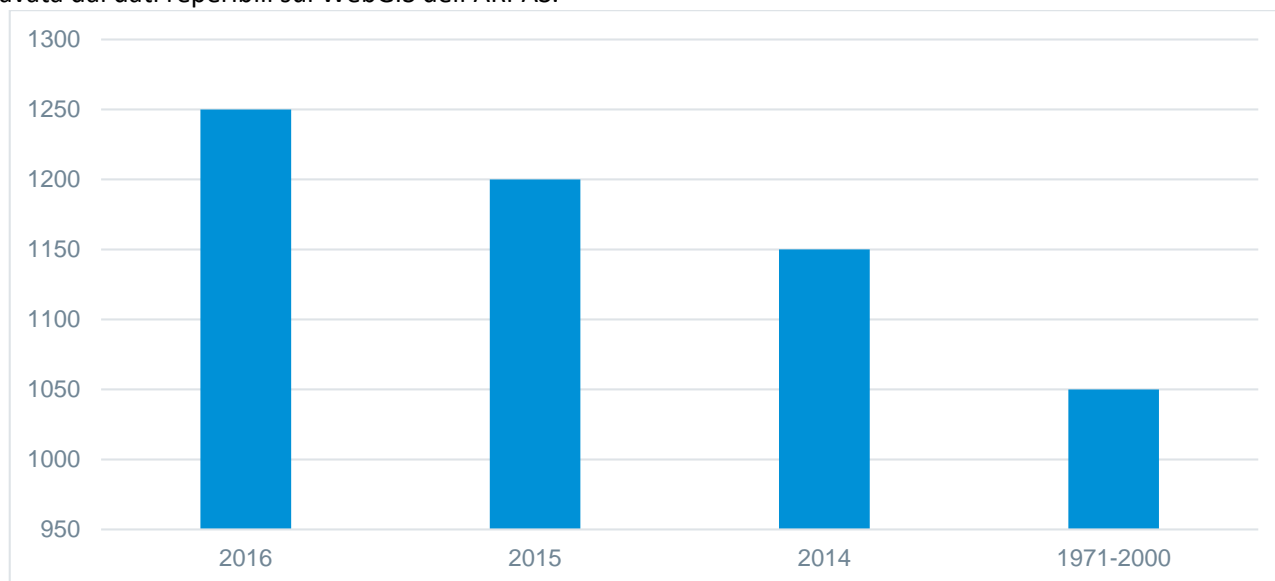
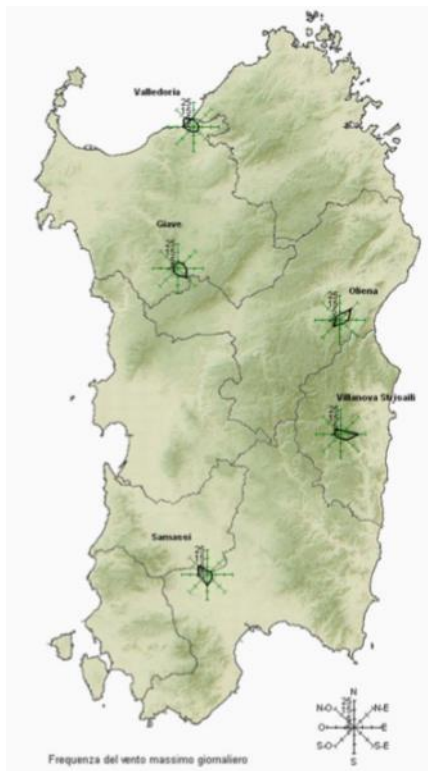


Figura 25 Evapotraspirazione (espressa in mm) per la zona di Thiesi.

La nuvolosità influenza il clima in quanto da essa dipende l'irraggiamento solare. In Tabella 4, sono rappresentati i valori mensili di condizioni di sereno (nuvolosità < 2/8), nuvoloso (2/8 < nuvolosità < 6/8) e coperto (nuvolosità > 6/8), espressi in okta (stima di quanti ottavi di cielo sono oscurati dalle nuvole) e riferiti al periodo 1961 – 1990 per la stazione di Fertilia.

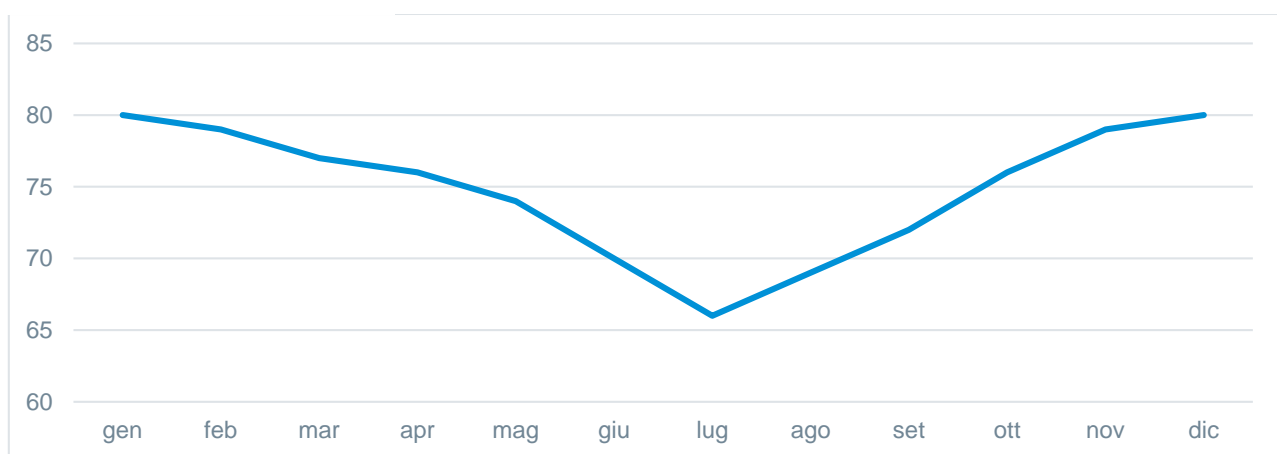
Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
4,7	4,7	4,6	4,5	3,8	3	1,7	2	2,9	3,6	4,4	4,6
coperto	coperto	copert	copert	copert	sereno	sereno	sereno	sereno	coperto	coperto	coperto

Tabella 4 Media mensile dei giorni di sereno, nuvoloso e coperto per il periodo 1961-1990, relativa alla stazione di Fertilia.



Dall'esame dei valori della tabella si evince che il massimo di giorni sereni si ha tra Giugno e Agosto mentre durante gli altri mesi è sempre presente una certa copertura. Il valore minimo di giornate nuvolose si ha nel mese di Luglio e il massimo si osserva nei mesi di Gennaio e Febbraio. Le giornate in condizioni di coperto raggiungono il massimo a Gennaio e minimo a Luglio. Il clima è influenzato anche dall'andamento del vento al suolo (ventosità), che viene definito analizzandone l'intensità, la direzione e la frequenza. Dall'analisi dei dati disponibili dalla Rete Mareografica dell'ISPRA, risulta che i venti provenienti dai quadranti settentrionali sono generalmente in netta dominanza, in particolare quello più frequente è il maestrale e il grecale. Dall'analisi dei dati disponibili dalla Rete Mareografica dell'ISPRA, risulta che i venti provenienti dai quadranti settentrionali e occidentali (maestrale e grecale) sono in netta dominanza, in particolare quello più frequente proviene da W. Per il periodo considerato (1971-2000) nella stazione di Fertilia le percentuali di calma per le 4 stagioni sono state il 36% per l'inverno, il 44% per la primavera, il 59% per l'estate e il 48% per l'autunno.

**Figura 26 Ventosità media annuale per le stazioni meteorologiche relativa all'anno 2017 (mese giugno)**



**Figura 27 Umidità relativa per la stazione di Fertilia, per l'anno 1971-2000**

L'ultima variabile significativa che condiziona l'evapotraspirazione è l'umidità relativa, ossia il rapporto tra la quantità di vapore d'acqua contenuta in una massa d'aria rispetto e quella massima potenziale in relazione alla sua temperatura. Dalla tabella soprastante che riporta i valori dell'umidità relativa media mensile ed annuale della

stazione di Fertilia per il periodo 1971-2000, si nota che tale valore raggiunge valori più elevati nei mesi invernali (Novembre-Febbraio) e valori minimi nel mese di Luglio.

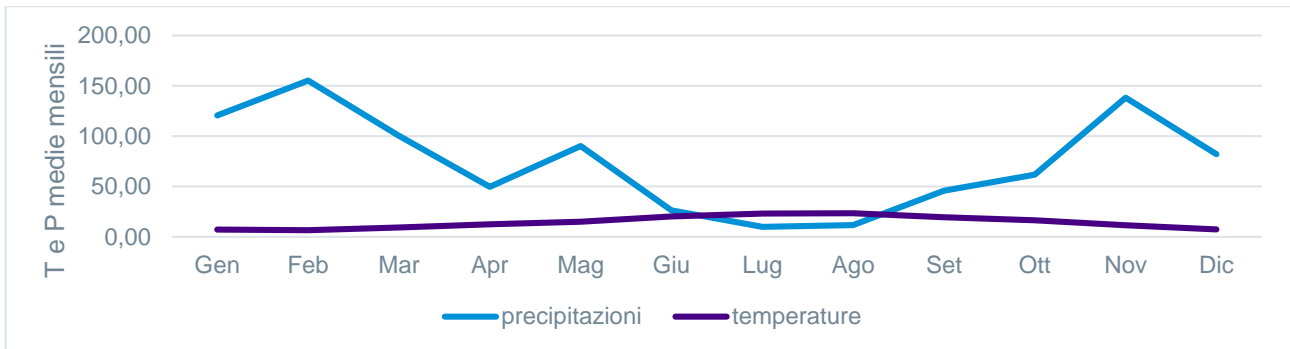


Figura 28 Diagramma ombrotermico (Walter e Lieth) per il settore di Giave

Il diagramma ombrotermico elaborato per il settore di Giave, a partire dai dati sulla temperatura media e precipitazioni medie, permette di comparare contemporaneamente i regimi medi mensili termici e pluviometrici nell'arco del periodo considerato. L'andamento delle curve consente di visualizzare che nei mesi estivi, dove la temperatura media mensile raggiunge valori superiori ai 22 °C, si hanno i valori di piovosità inferiori, mentre nei mesi invernali, dove le temperature medie mensili si attestano ai 7°C, si raggiungono le piovosità più elevate.

Il clima è caratterizzato da un periodo caldo con scarsa piovosità e uno più freddo e piovoso. Nel grafico di Fig.46 si nota che la curva delle precipitazioni giace al di sotto di quella delle temperature nei mesi estivi, che rappresentano il periodo secco in quanto prevale l'evapotraspirazione rispetto agli apporti idrici.

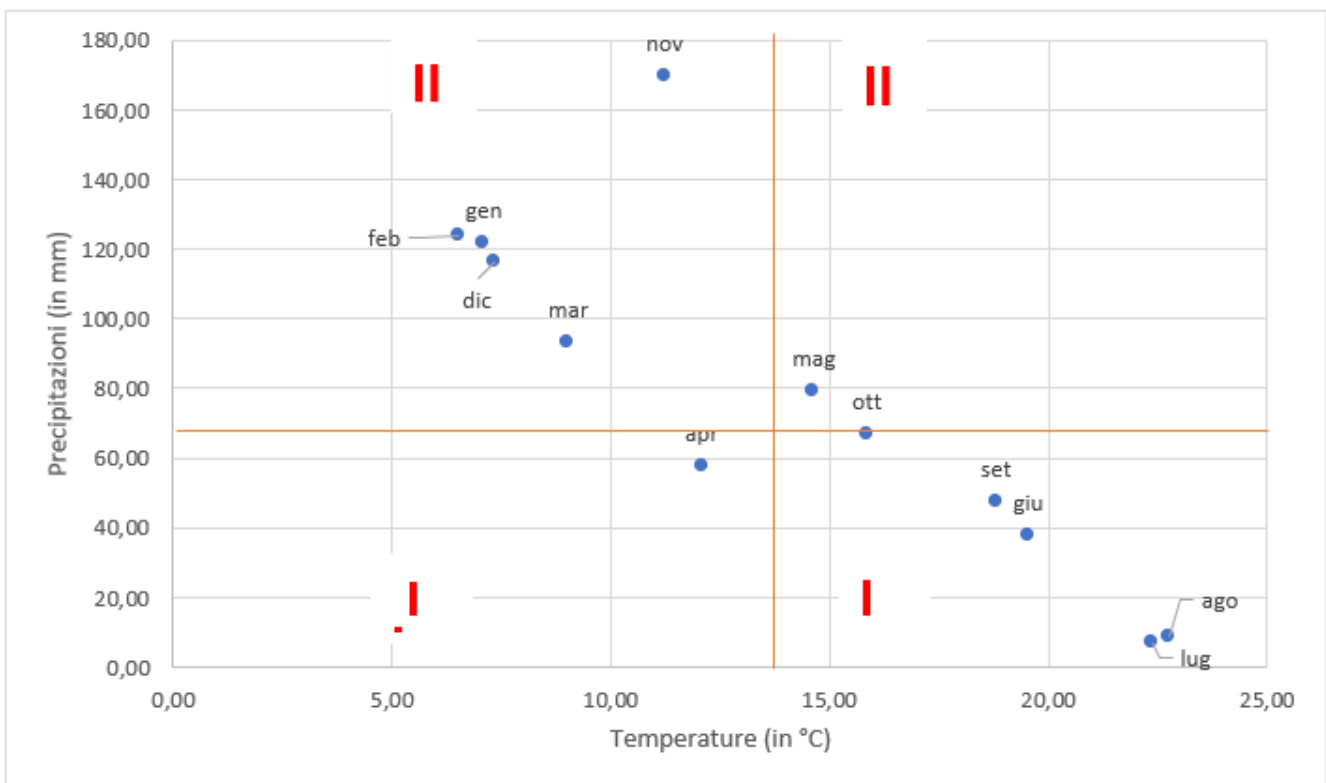


Figura 29 Climogramma relativo alla regione di Giave

AREGU Wind Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesAre-CLP-CIV-TR-22	Rev 0	Pagina 44 di 73
----------------	---------------------	------------------------------------	-------	--------------------

L'analisi delle medie mensili di temperatura e piovosità relative al periodo 2012-2018 permette di classificare il clima dell'area di Thiesi come "mediterraneo con estate calda", nel quale la temperatura media annua (16 °C), per quattro mesi (Giugno-Settembre) supera i 21 °C, e le precipitazioni sono superiori ai 650 mm annui.

Dal climogramma (Fig.29) realizzato a partire dai valori medi di precipitazioni e temperature relativi al periodo 2012-2018 per l'area di Thiesi, nel quale i quadranti definiscono le diverse tipologie di climi, ossia freddo arido (I), freddo umido (II), caldo umido (III) e caldo arido (IV), è evidente che il settore in studio è caratterizzato da due periodi, uno lungo di caldo arido ed uno limitato freddo umido.

La classificazione fatta sul clima della regione, è confermata anche dall'indice di aridità medio di Demartonne stimato per l'area in oggetto che ricade nel settore da "secco – sub-umido" a "subumido" per il periodo considerato, con precipitazioni prevalenti nei mesi autunnali ed invernali e valori minimi nei mesi estivi, in concomitanza con i massimi termici annui.

L'analisi dei parametri meteorologici permette di confermare l'andamento climatico rilevato in quasi tutta la Sardegna, nettamente bistagionale con le stagioni caldo arida e fresca umida che si alternano nel corso dell'anno, intervallate da due brevi stagioni a carattere intermedio.

## 12. 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.

Tutte le turbine verranno installate in aree dove sono presenti suoli delle unità D3, F1 e L1 della Carta dei Suoli della Sardegna

1. Unità D3: Rocce effusive acide (andesiti, rioliti, riolaciti, ecc.) e intermedie (fonoliti) del Cenozoico e loro depositi di versante e colluviali. 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.
2. Unità L1: Rocce effusive acide (andesiti, rioliti, riolaciti, ecc.) e intermedie (fonoliti) del Cenozoico e loro depositi di versante e colluviali. Profili A-C e subordinatamente A-Bw-C, profondi, da sabbioso franchi a franco argillosi, da permeabili a poco permeabili, neutri, saturi.
3. Unità F1: Calcari organogeni, calcareniti, arenarie e conglomerati del Miocene e relativi depositi colluviali. Roccia affiorante, suoli a profilo A-C e A-Bt-C, da poco a mediamente profondi, franco sabbioso argillosi, 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, attraverseranno suoli delle classe D2 e D5

4. Unità D2: Rocce effusive acide (andesiti, rioliti, riolaciti, ecc.) e intermedie (fonoliti) del Cenozoico e loro depositi di versante e colluviali. Profili A-Bw-C, A-C e A-Bk-C, da profondi a mediamente profondi, da argilloso sabbiosi ad argillosi, da mediamente a poco permeabili, neutri, saturi.
5. Unità D5: Rocce effusive acide (andesiti, rioliti, riolaciti, ecc.) e intermedie (fonoliti) del Cenozoico e loro depositi di versante e colluviali. Profili A-Bw-C, mediamente profondi, franco sabbioso argillosi, permeabili, da subacidi ad acidi, parzialmente desaturati.

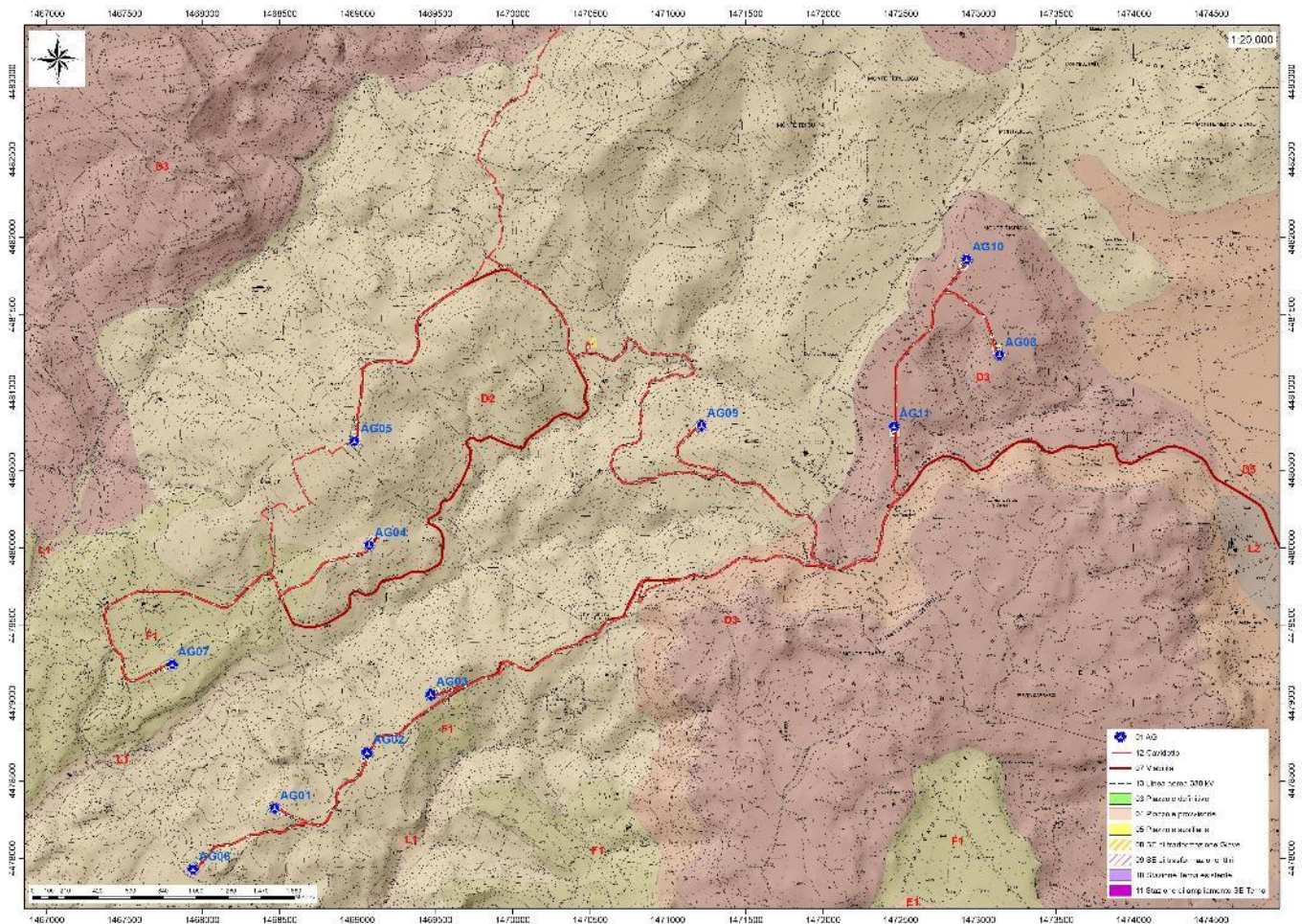


Figura 30 Carta dei Suoli (Fonte RAS)

### 13. Uso del Suolo

Dalla Carta dell'Uso del Suolo, resa disponibile dalla Regione Sardegna, si evince che l'ambito di progetto del Parco eolico "Aregu" 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 **2112**, classificato come "**Prati Artificiali**", il punto di installazione delle turbine AG01, AG03, AG04, AG05, AG06, AG07, AG09;
2. nel livello **321**, classificato come "**Aree a pascolo naturale**" il punto di installazione della turbina AG02, AG11;
3. nel livello **2111**, classificato come "**Seminativi in aree non irrigue**" il punto di installazione delle turbine AG08, AG10;

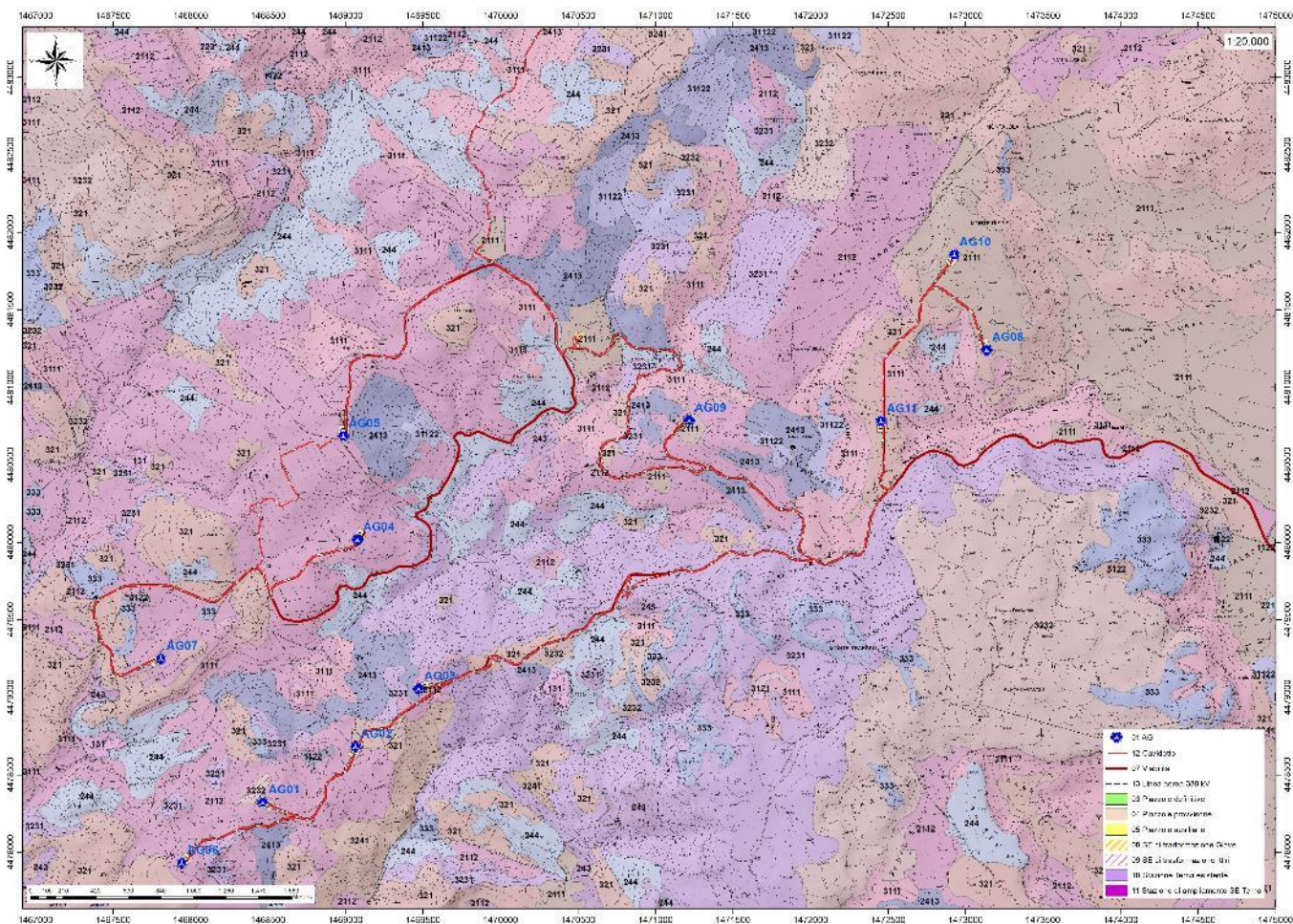


Figura 31 Stralcio della Carta dell'Uso del Suolo della Sardegna (2008, Fonte RAS).

## 14. Analisi dei vincoli gravanti sui terreni

### 14.1. 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".

I comuni di **Giave/Cossoine/Cheremule** non hanno 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.

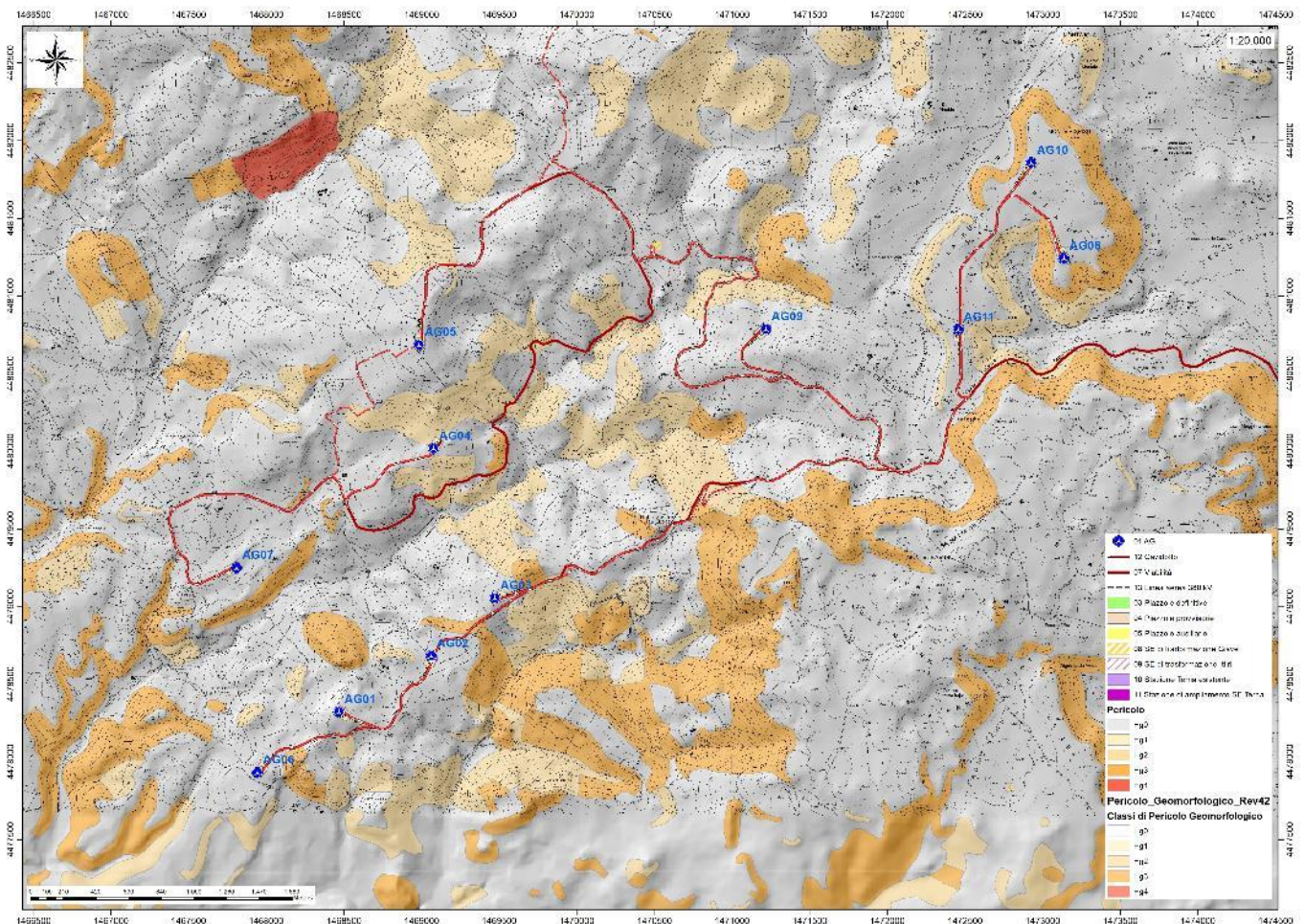


Figura 32 Inquadramento PAI Pericolosità da frana (Fonte RAS).

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 interessato dal progetto 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. Questa aree non interessano le posizioni delle turbine ma limitatamente alle pericolosità Hg1 e Hg2 alcuni porzioni di viabilità esistente.

**Le turbine e il cavidotto non sono compresi nelle perimetrazioni di pericolosità geomorfologica del PAI, mentre piccoli tratti della connessione e della viabilità di servizio attraversano aree Hg1, Hg2 e 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 indagato non sono presenti aree perimetrate.**

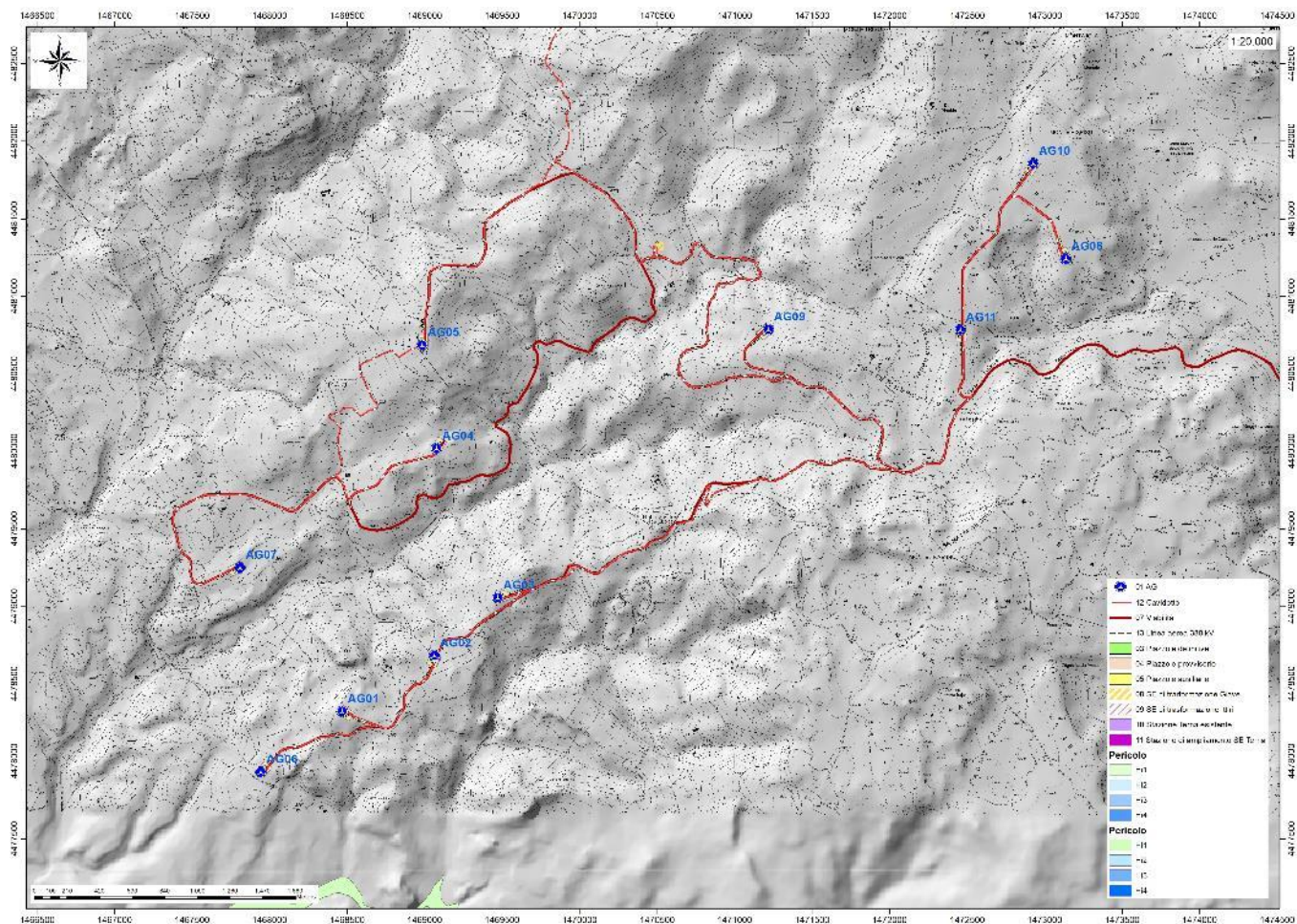


Figura 33 Inquadramento PAI Pericolosità idraulica (Fonte RAS).

#### 14.2. Art.30 Ter NTA PAI

Nei territori comunali di Giave, Cossoine e Cheremule non è stato ancora oggetto di uno Studio di dettaglio della pericolosità idraulica così come previsto dall'art.8 comma c delle NTA PAI sul territorio comunale ma solo limitatamente ai centri urbani, 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

Dall'analisi del layout sovrapposto al reticolo idrografico si evince quanto segue:

1. Nessuna turbina o sua pertinenza (piazzola temporanea o definitiva) interferisce con il reticolo idrografico;
2. In alcuni tratti la viabilità esistente interseca tratti di impluvio di ordine 1
3. La sottostazione non interferisce con il reticolo idrografico
4. Il cavidotto interseca in più punti aste fluviali di ordine 1 e 2 ma esso correrà interrato ad una profondità maggiore di 1m da piano campagna.

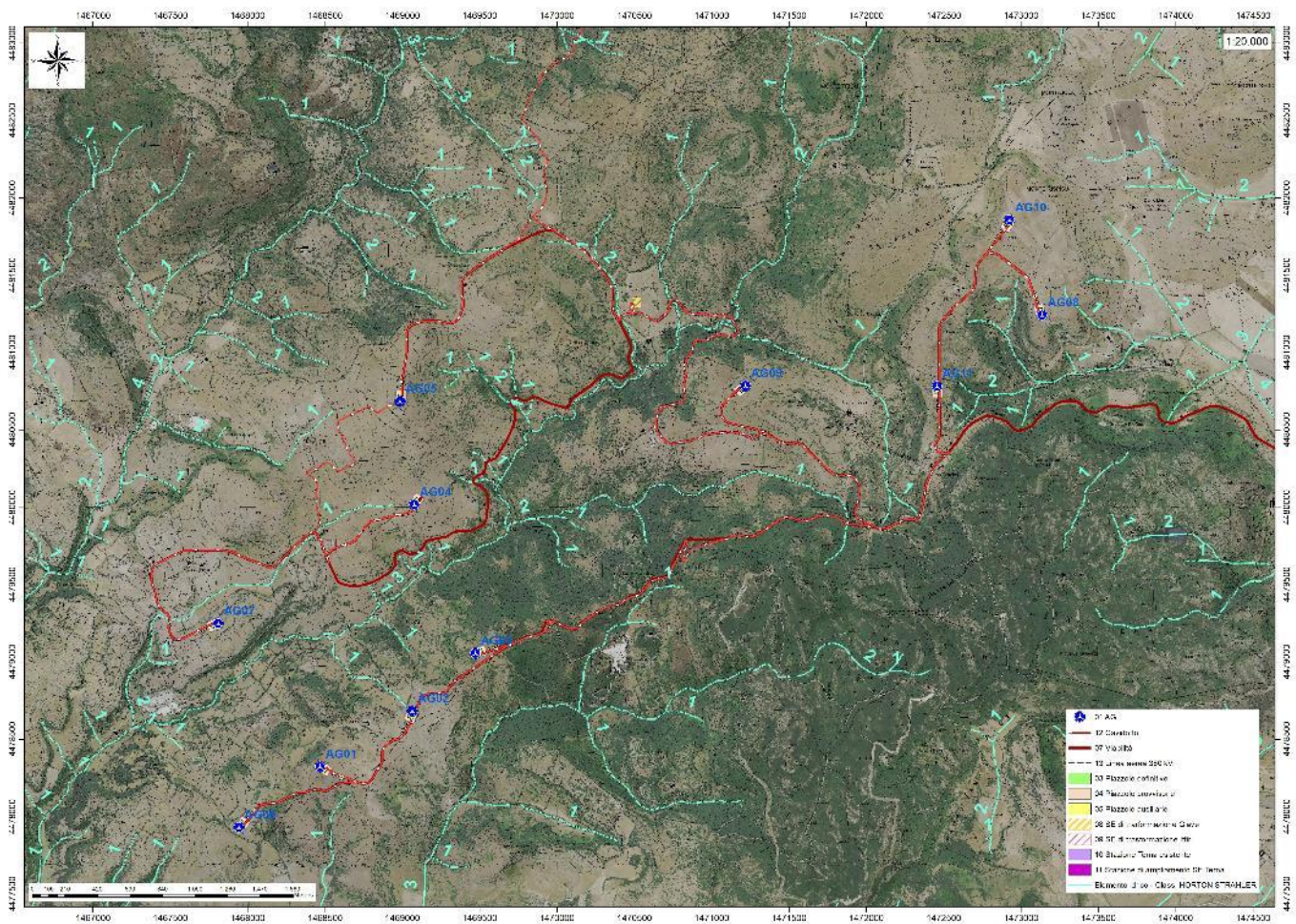


Figura 34 Reticolo idrografico numerato secondo l'ordine di Stralher

### 14.3. 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 **Giave/Cossoine/Chermule**. In particolare, a Sud-Est dell'area di impianto sono state segnalate diverse frane per crollo/ribaltamento diffuso che interessano le rocce carbonatiche (RESa).

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

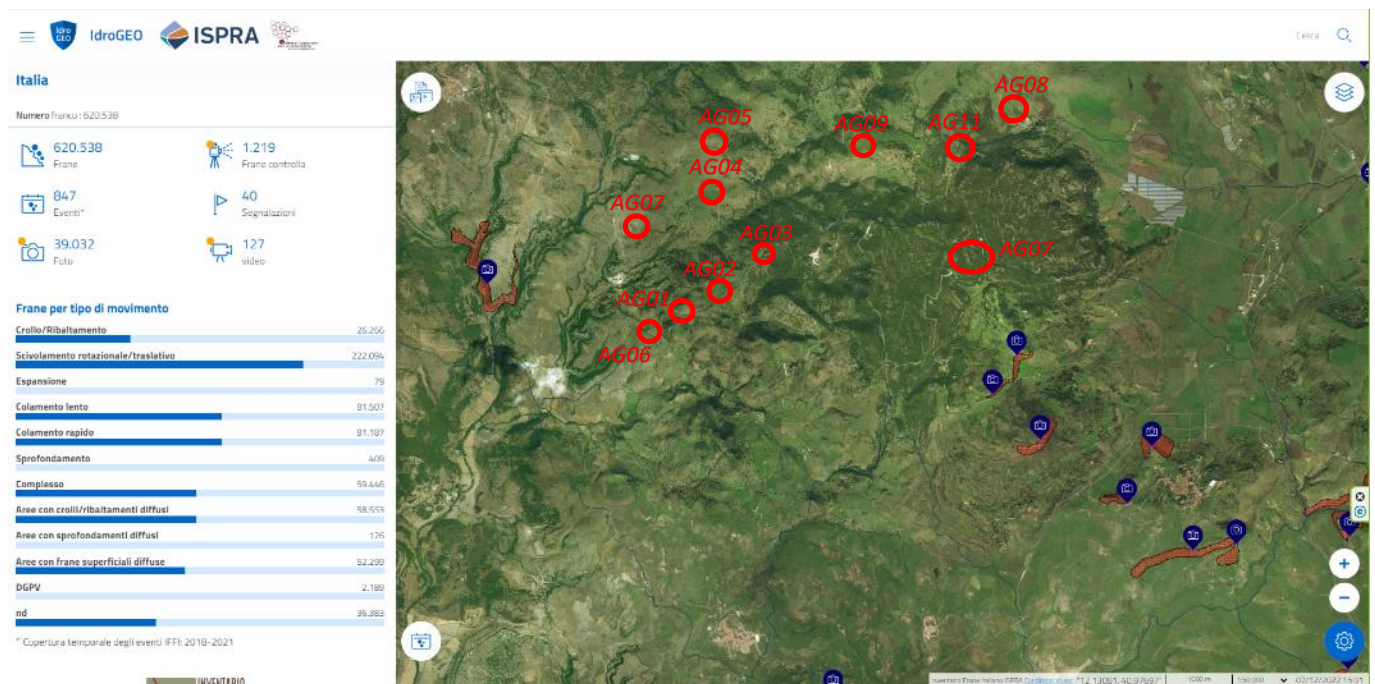


Figura 35 Archivio IFFI (Fonte ISPRA) in rosso l'area di intervento

#### 14.4. 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 **Giave/Cossoine/Cheremule** non sono presenti aree di fascia fluviale.

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

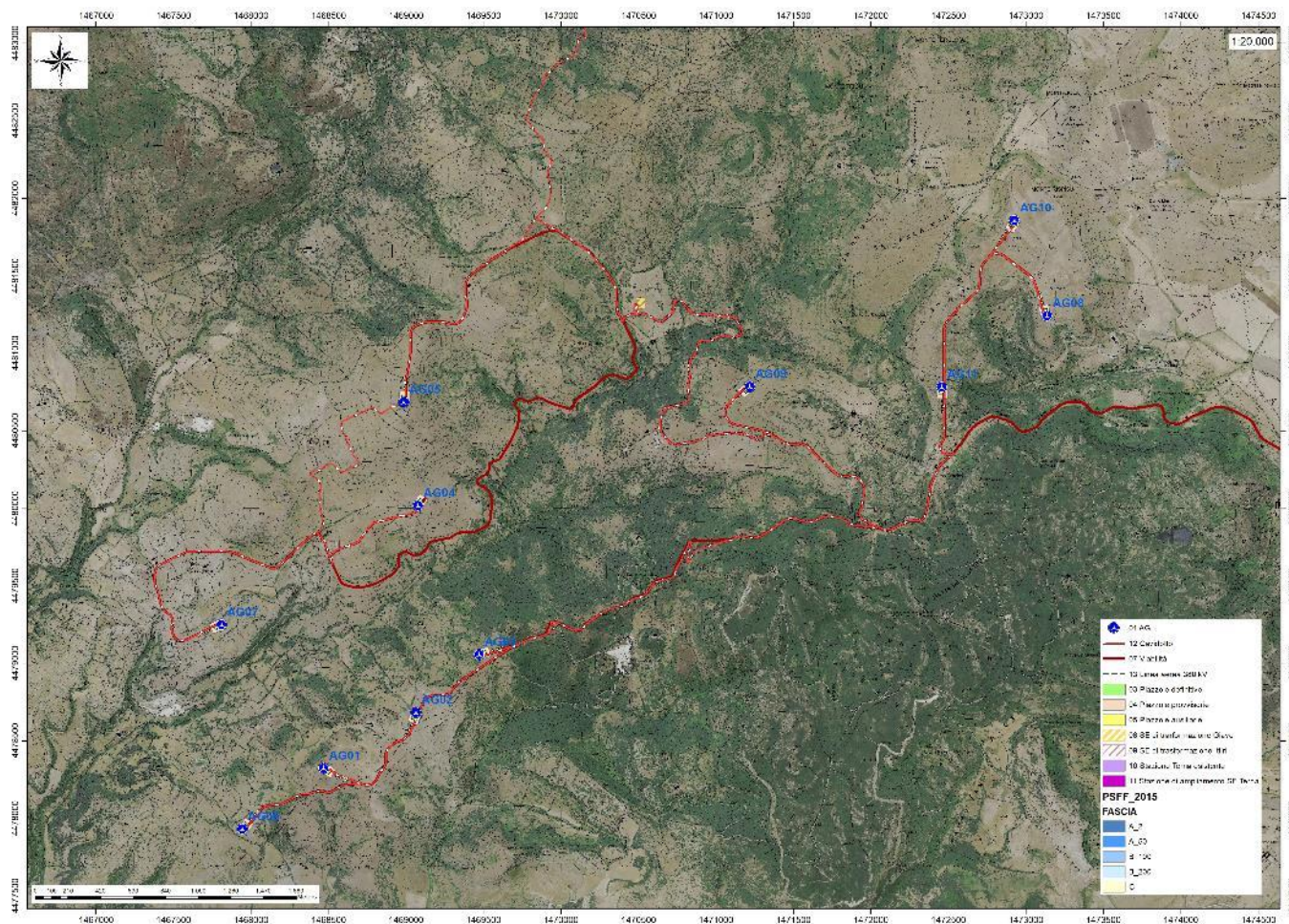


Figura 36 Stralcio perimetrazione Piano Stralcio fasce Fluviali PSFF 2015

#### 14.5. 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.**

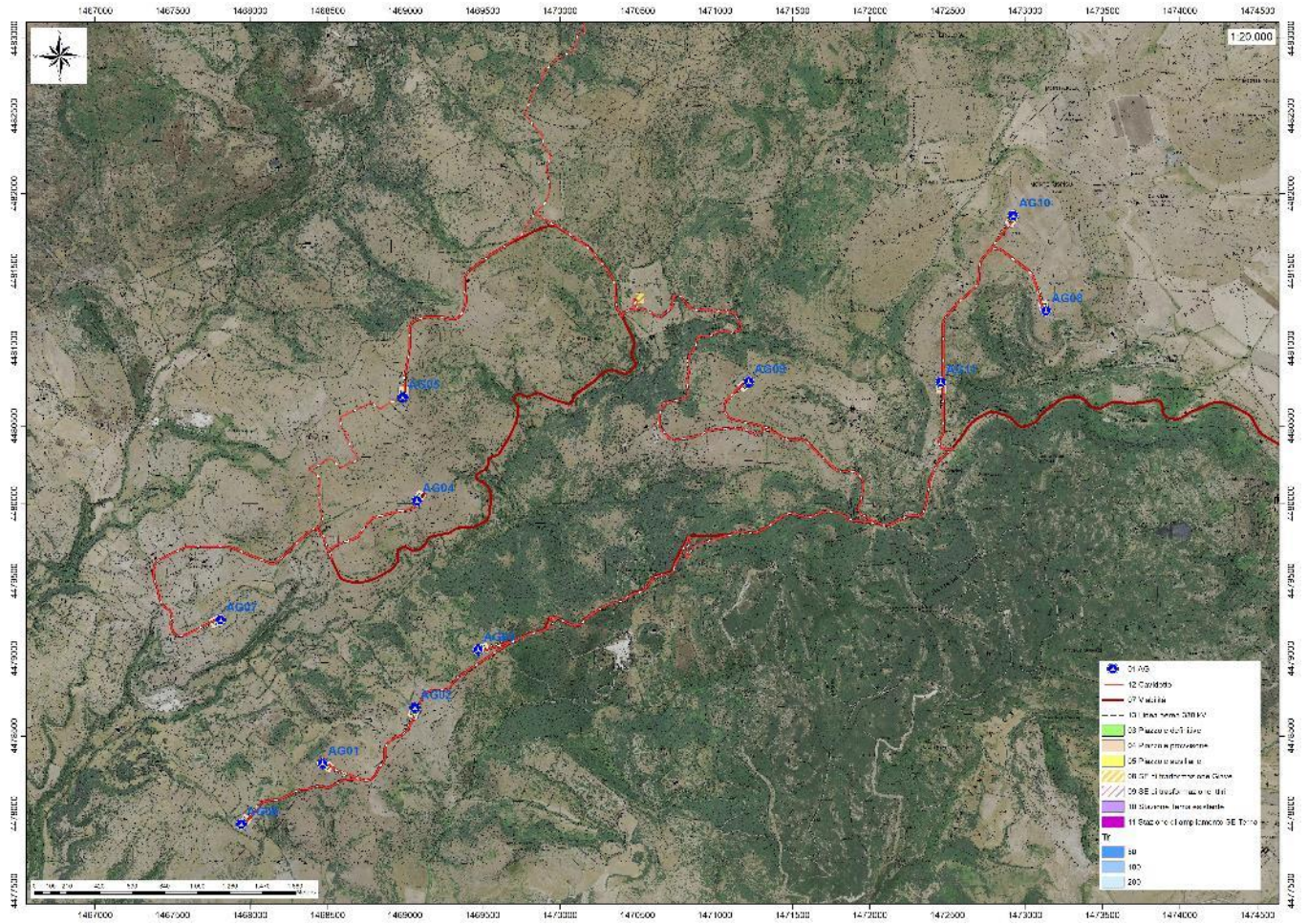


Figura 37 Stralcio perimetrazione PGRA 2021

AREGU Wind Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesAre-CLP-CIV-TR-22	Rev 0	Pagina 53 di 73
----------------	---------------------	------------------------------------	-------	--------------------

## 15. Modellazione geologica

### 15.1. 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, un 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 38 - Resistenza a compressione monoassiale per diversi tipi di roccia

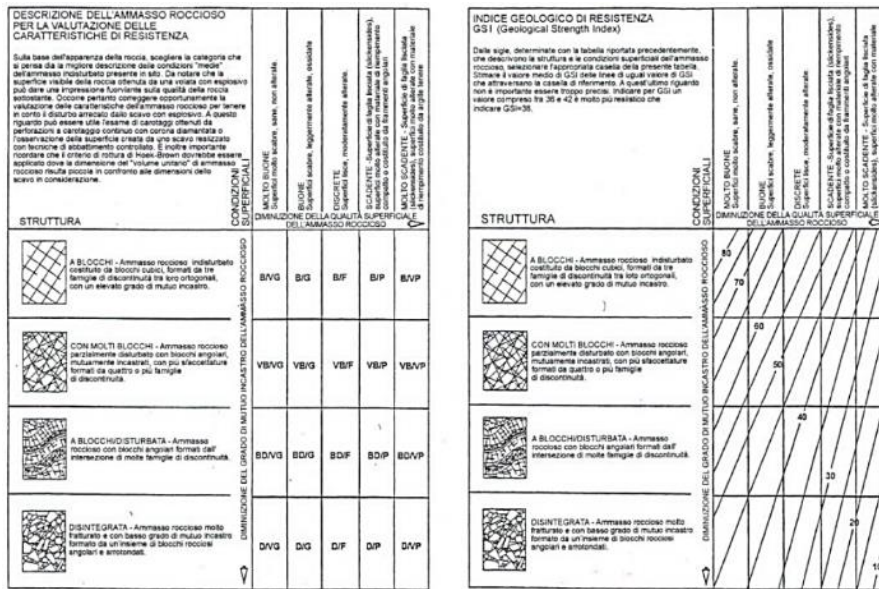


Figura 39 Abaco per la determinazione di GSI sulla base delle caratteristiche geologiche e strutturali dell'ammasso

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

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

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

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

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 Grovacche (18)	Siltite 9	Argillite 4
	Non clastiche	Organogene		Calcare bianco (7) Carbone (8-21)		
		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, sarà sensibilmente inferiore se la rottura avviene lungo un piano di debolezza

Figura 40 Valori della costante mi per diversi tipi di roccia

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

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

Figura 41 Correlazione fra valori di m, s, indice RMR, ed il tipo di roccia.



AREGU Wind Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesAre-CLP-CIV-TR-22	Rev 0	Pagina 57 di 73
----------------	---------------------	------------------------------------	-------	--------------------

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.

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 per unità omogenee in relazione anche ai dati geofisici, 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) poichè 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.*

## Formazione di Mores

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

Instabilità= scivolamenti planari e a cuneo

Ammasso roccioso= da poco a fratturato

Struttura= massiccia

Alterazione= poco alterata

Pareti – mediamente alterate

Riempimento – sciolto

Roccia – da asciutta a umida

### Analysis of Rock/Soil Strength using RocData

#### Hoek-Brown Classification

intact uniaxial compressive strength = 140 MPa  
GSI = 85  $m_i = 9$  Disturbance factor = 0.7

#### Hoek-Brown Criterion

$m_b = 3.947$   $s = 0.1137$   $a = 0.500$

#### Mohr-Coulomb Fit

cohesion = 12.799 MPa friction angle = 36.93 deg

#### Rock Mass Parameters

tensile strength = -4.034 MPa  
uniaxial compressive strength = 47.176 MPa  
global strength = 51.270 MPa  
modulus of deformation = 48743.12 MPa

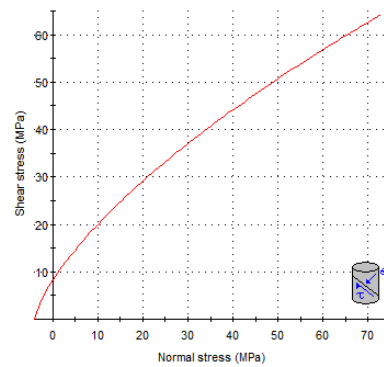
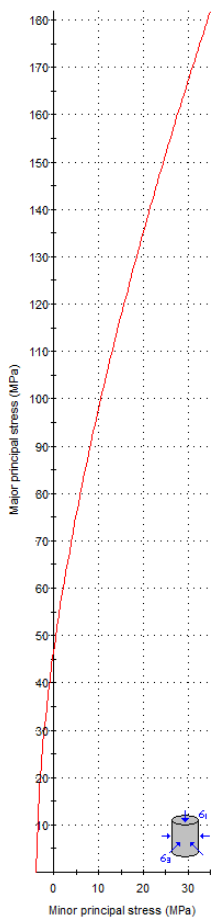


Figura 42 Valori di Coesione e angolo di attrito interno ottenuti utilizzando il software RocData la formazione di Mores

**Unità di Chelchedu-Tiloromo**

Standard ISRM = R4 Molto resistente (&gt;100Mpa)

Instabilità= scivolamenti planari e a cuneo

Ammasso roccioso= poco fratturato e mediamente alterato

Struttura= massiccia

Alterazione= poco alterato

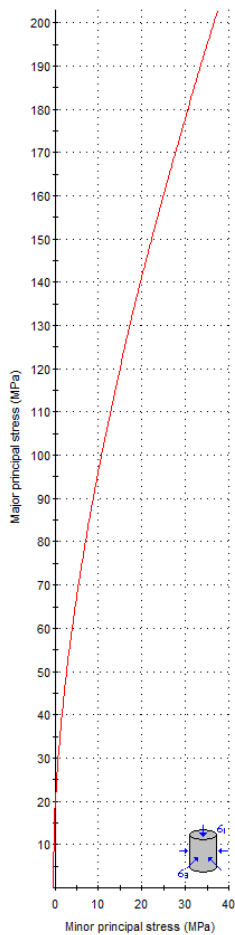
Spaziatura totale delle discontinuità (s)= 0,35 m

Lunghezza media del giunto = 2 m

Pareti – mediamente alterate

Riempimento – sciolto/assente

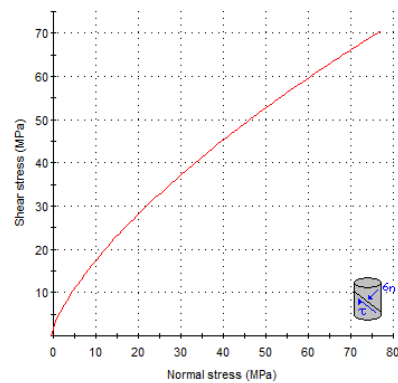
Roccia – da asciutta a umida

**Analysis of Rock/Soil Strength using RocData****Hoek-Brown Classification**intact uniaxial compressive strength = 150 MPa  
GSI = 70 mi = 25 Disturbance factor = 0.7**Hoek-Brown Criterion**

mb = 4.809 s = 0.0129 a = 0.501

**Mohr-Coulomb Fit**

cohesion = 10.691 MPa friction angle = 39.50 deg

**Rock Mass Parameters**tensile strength = -0.403 MPa  
uniaxial compressive strength = 16.960 MPa  
global strength = 45.334 MPa  
modulus of deformation = 20554.80 MPa**Figura 43 Valori di Coesione e angolo di attrito interno ottenuti utilizzando il software RocData la formazione di Chelchedu-Tiloromo**

**Unità di Uri**

Standard ISRM = Mediamente resistente (45Mpa)

Instabilità= scivolamenti planari e a cuneo

Ammasso roccioso= poco fratturato e mediamente alterato

Struttura= massiccia

Alterazione= da mediamente alterato a molto alterato

Spaziatura totale delle discontinuità (s)= 1,3 m

Lunghezza media del giunto = &gt;3 m

Pareti – mediamente alterate

Riempimento – sciolto

Roccia – da asciutta a umida

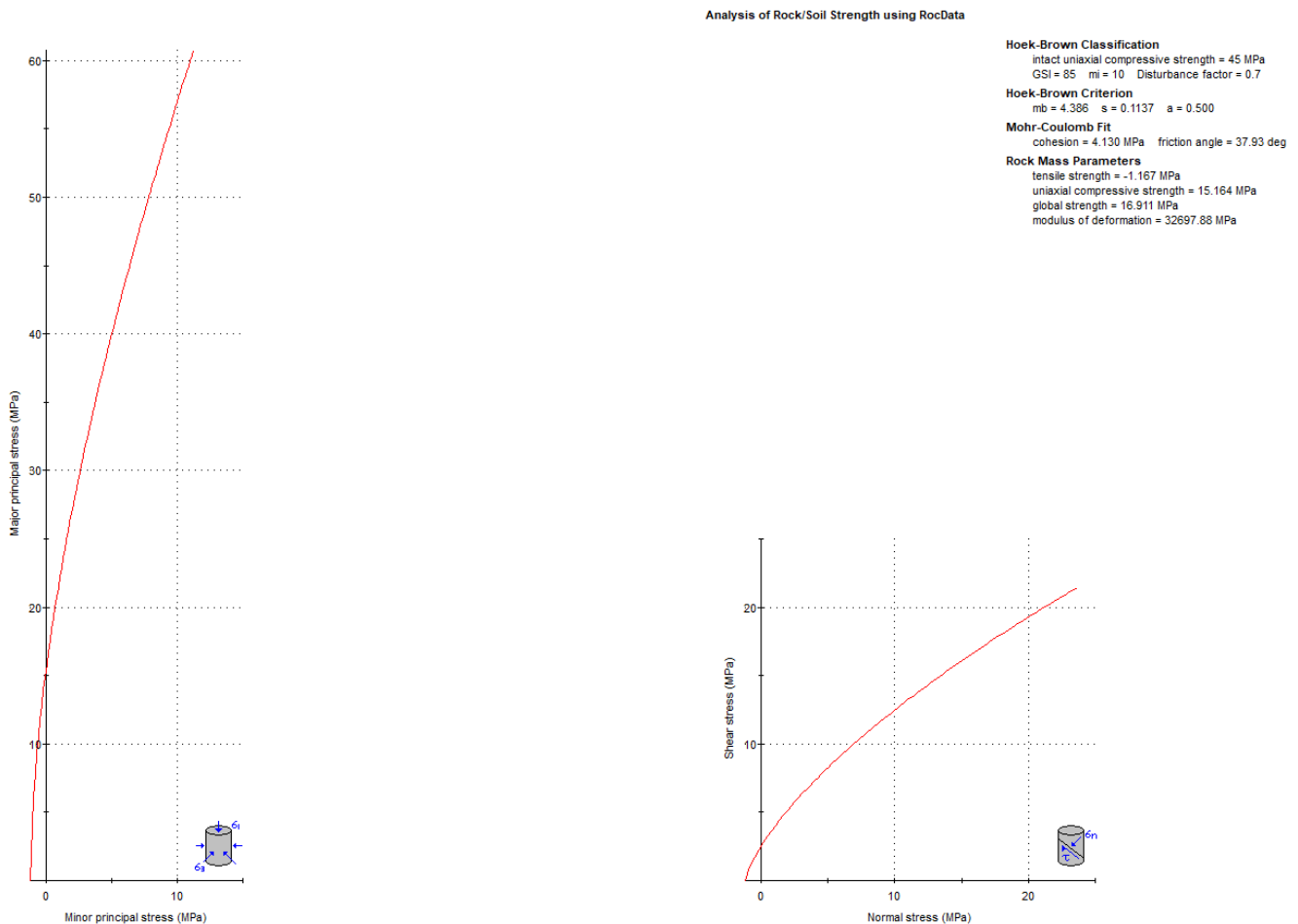


Figura 44 Valori di Coesione e angolo di attrito interno ottenuti utilizzando il software RocData la formazione di Uri

### 15.2. 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.

AREGU Wind Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesAre-CLP-CIV-TR-22	Rev 0	Pagina 61 di 73
----------------	---------------------	------------------------------------	-------	--------------------

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**.

AREGU Wind Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesAre-CLP-CIV-TR-22	Rev 0	Pagina 62 di 73
----------------	---------------------	------------------------------------	-------	--------------------

## 16. 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.4 modelli geologici rappresentativi** descritti di seguito:

### 16.1. Modello Geologico 01 – AG08/AG10/AG11

Per la caratterizzazione sono stati utilizzati i dati dello stendimento geofisico **SMT01** e le osservazioni in sito. Il modello interessa le formazioni **TSU** e **UUI**.

A partire dal piano campagna dopo un primo spessore di circa 0,50 in terre addensate si incontra un livello superficiale di roccia intensamente fratturata dallo spessore di circa 8,0m, il sottostante substrato roccioso fratturato prosegue fino ad una profondità di circa 17,40 m, quota verosimilmente di contatto stratigrafico fra le due formazioni riolitica (TSU) e piroclastica (UUI). Il substrato prosegue fratturato fino ad una profondità di circa 33m da p.c. oltre la quale le velocità Vs risultano oltre i 1600m/sec indicando roccia poco da fratturata a sana.

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 non si evidenziano 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. Altresì non si rilevano anomalie riconducibili a cavità/vuoti o valori critici (v. anomalie di elevatissima resistività e/o bassissima velocità).. In termini di grado di rippabilità si evidenzia che a partire da profondità comprese tra 8,0 e 12,0 m dal p.c i terreni risultano già difficilmente rippabili, mentre a profondità comprese tra 13,0 e 16,0 m dal p.c si riscontra la presenza di materiale non rippabile.

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

TSU	0,00m – 2,00m	Roccia tenera e/o fratturata
	2,00m – 8,50m	Roccia tenera e/o intensamente fratturata
	8,50m – 17,40m	Substrato roccioso intensamente fratturato
UUI	17,40m – 33,10m	Substrato roccioso fratturato
	33,1m – in poi	Substrato roccioso sano

GIAVE/COSSOINE/CHERMULE - MODELLO GEOLOGICO 01 - AG08/AG10/AG11						
Dati Parametri Resistenza						
Tipo di Terreno		S1- Roccia tenera e/o fratturata	S2 – Roccia tenera e/o intensamente fratturata	S3 – Substrato roccioso intensamente fratturato	S4- Substrato roccioso fratturato	S5 – Substrato roccioso sano
Descrizione						
Peso di volume	[kg/mc]	1700	1800	2000	2200	2300
Peso di volume saturo	[kg/mc]	1800	1900	2100	2300	2400
Angolo di attrito interno	[°]	22,67	26,01	35,04	40,52	43,71
Coesione	[Mpa]	1,218	2,011	2,815	3,257	3,620
Dati Parametri Deformabilità						
Modulo elastico	[Mpa]	1000	2190	3590	5000	15583
Coefficiente di Poisson	[ ]	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
Modulo di taglio (G)	[Mpa]	588	824	1344	1873	5845
Velocità onde di taglio Vs	[m/sec]	590	675	820	945	1630

#### 16.2. Modello Geologico 02 – AG03/AG04/AG05/AG09

Per la caratterizzazione sono stati utilizzati i dati dello stendimento geofisico **SMT02** e **SMT03** e le osservazioni in sito. Il modello interessa le formazioni andesitiche **TLR**.

A partire dal piano campagna si incontra un livello dello spessore di circa 6 m costituito da terre poco addensate con velocità Vs molto basse. Questa condizione seppur migliore si sviluppa fino a quota 12m da piano campagna. rocce tenere intensamente fratturate proseguono fino ad una profondità di circa 17,40 m, e successivamente fino a 36m profondità oltre la quale le velocità Vs risultano oltre i 1200m/sec indicando roccia poco da fratturata a sana.

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 molto bassi. Nelle varie sezioni non si evidenziano 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. Altresì non si rilevano anomalie riconducibili a cavità/vuoti o valori critici (v. anomalie di elevatissima resistività e/o bassissima velocità

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

<b>TLR</b>	0,00m – 6,20m	Terre poco addensate
	6,20m – 12,30m	Terre mediamente addensate
	12,30m – 17,40m	Roccia tenera intensamente fratturato
	17,40m – 36m	Substrato roccioso intensamente fratturato
	36,0m – in poi	Substrato roccioso sano

GIAVE/COSSOINE/CHERMULE - MODELLO GEOLOGICO 02 - AG03/AG04/AG05/AG09						
Dati Parametri Resistenza						
Tipo di Terreno		S1- Terre poco addensate	S2 – Terre mediamente addensate	S3 – Roccia tenera intensamente fratturato	S4- Substrato roccioso intensamente fratturato	S5 – Substrato roccioso sano
Descrizione						
Peso di volume	[kg/mc]	1600	1700	1900	1950	2100
Peso di volume saturo	[kg/mc]	1700	1800	2000	2150	2150
Angolo di attrito interno	[°]	24,55	32,06	35,50	39,42	42,30
Coesione	[Mpa]	0,075	7,738	10,520	22,284	25,755
Dati Parametri Deformabilità						
Modulo elastico	[Mpa]	363	683	1706	2888	8198
Coefficiente di Poisson	[]	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
Modulo di taglio (G)	[Mpa]	137	255	637	1084	3079
Velocità onde di taglio Vs	[m/sec]	290	390	580	740	1210

### 16.3. Modello Geologico 03 – AG01

Per la caratterizzazione sono stati utilizzati i dati dello stendimento geofisico **SMT04** e le osservazioni in sito. Il modello interessa le formazioni andesitiche **NIA** e **RESa**.

A partire dal piano campagna dopo un primo spessore di circa 0,50 in terre molto addensate si incontra un livello superficiale di roccia fratturata dallo spessore di circa 3,0m, il sottostante substrato roccioso risulta poco o nulla fratturato prosegue fino ad una profondità di circa 22,90 m, quota verosimilmente di contatto stratigrafico fra le



due formazioni rioclitica (NIS) e carbonatica (RESa). 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 resistività medio bassa; nello specifico si rileva un primo elettrostrato (ES1) di spessore variabile e compreso tra 2,0 e 6,0 m riconducibile sia alla coltre di terreni superficiali che al capellaccio delle substrato roccioso, segue un secondo elettrostrato con locali variazioni di resistività presumibilmente legate alla presenza di zone fratturate/alterate con presenza d'acqua. Non si rilevano anomalie riconducibili a cavità/vuoti o valori critici (v. anomalie di elevatissima resistività e/o bassissima velocità). In termini di grado di rippabilità si evidenzia che già a partire da profondità comprese tra 2,0 e 3,5 m dal p.c i terreni risultano già difficilmente rippabili, mentre a profondità comprese tra 3,0 e 5,0 m dal p.c si riscontra la presenza di materiale non rippabile. 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 dettaglio (in es. sondaggi a carotaggio e geofisica eseguita con stendimenti ubicati a raggiera rispetto al centro della torre eolica).

<b>NIA</b>	0,00m – 0,40m	Terre molto addensate e/o roccia tenera intensamente fratturata
	0,40m – 3,40m	Substrato roccioso fratturato
<b>RESa</b>	3,40m – 22,9m	Substrato roccioso sano
	22,9m – in poi	Substrato roccioso sano

#### GIAVE/COSSOINE/CHERMULE - MODELLO GEOLOGICO 03 - AG01

Dati Parametri Resistenza					
Tipo di Terreno		S1- Terre molto addensate e/o roccia tenera intensamente fratturata	S2 Substrato roccioso fratturato	S3 - Substrato roccioso sano	S4- Substrato roccioso sano
Descrizione					
Peso di volume	[kg/mc]	1800	1900	2100	2200
Peso di volume saturo	[kg/mc]	1900	2000	2100	2200
Angolo di attrito interno	[°]	29,25	36,95	41,21	49,78
Coesione	[Mpa]	0,400	14,230	26,104	32,285
Dati Parametri Deformabilità					
Modulo elastico	[Mpa]	1726	10434	20000	36668
Coefficiente di Poisson	[]	0,33	0,33	0,33	0,33
Modulo di taglio (G)	[Mpa]	647	3913	7502	13749
Velocità onde di taglio Vs	[m/sec]	600	1435	1885	2500

#### 16.4. Modello Geologico 04 – AG02, AG06, AG07

Per la caratterizzazione sono stati utilizzati i dati dello stendimento geofisico **SMT05** e le osservazioni in sito. Il modello interessa le formazioni carbonatiche **RESa**.

A partire dal piano campagna circa i primi 15m sono caratterizzati da velocità molto basse che definiscono un terreno da poco a mediamente addensato o rocce tenere molto fratturate ed alterate. A partire dalla profondità di 17m si presenta roccia tenere intensamente fratturata con fratturazione sempre meno evidente con l'aumentare della profondità. L'andamento è caratteristico di rocce carbonatiche interessate da alterazione e/o diversa composizione maggiormente friabile. In termini di grado di rippabilità si evidenzia che i terreni osservati sono facilmente rippabili fino alla massima profondità di indagine. Esclusivamente a 24,0 m di profondità dal piano campagna si inizia a riscontrare la presenza di materiale difficilmente rippabile.

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 resistività molto bassa e nello specifico è possibile distinguere un primo elettrostrato (ES1) di spessore crescente da sinistra verso destra della sezione e compreso tra 2 e 15 m riconducibile alla coltre di terreni superficiali e rocce fratturate/alterate con valori tra 2 e 10  $\Omega \cdot m$  interessati da intensa argillificazione e/o presenza d'acqua, segue un secondo elettrostrato (Es2) caratterizzato da valori leggermente maggiori (sino a 50  $\Omega \cdot m$ ) riconducibile alla presenza di rocce tenere/fratturate.

Il confronto con il grafico della sismica a rifrazione mette in luce che non si rilevano anomalie riconducibili a cavità/vuoti o valori critici (v. anomalie di elevatissima resistività e/o bassissima velocità). 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 dettaglio (in es. sondaggi a carotaggio e geofisica eseguita con stendimenti ubicati a raggiera rispetto al centro della torre eolica).

<b>RESa</b>	0,00m – 2,30m	Terre poco addensate
	2,30m – 12,70m	Terre mediamente addensate
	12,70m – 17,2m	Terre molto addensate e/o roccia tenera intensamente fratturata
	17,2m – 37,3m	Roccia tenera intensamente fratturata
	37,9m – in poi	Substrato roccioso debolmente fratturato

GIAVE/COSSOINE/CHERMULE - MODELLO GEOLOGICO 04 - AG02, AG06, AG07						
Dati Parametri Resistenza						
Tipo di Terreno		S1- Terre poco addensate	S2 – Terre mediamente addensate	S3 – Roccia tenera intensamente fratturato	S4- Roccia tenera intensamente fratturata	S5 – Substrato roccioso debolmente fratturato
Descrizione						
Peso di volume	[kg/mc]	1600	1700	1800	1950	2100
Peso di volume saturo	[kg/mc]	1700	1800	1900	2100	2200
Angolo di attrito interno	[°]	24,55	32,06	35,50	39,42	42,30
Coesione	[Mpa]	0,075	7,738	10,520	22,284	25,755
Dati Parametri Deformabilità						
Modulo elastico	[Mpa]	284	461	932	2217	7532
Coefficiente di Poisson	[]	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33

AREGU Wind Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesAre-CLP-CIV-TR-22			Rev 0	Pagina 67 di 73
----------------	---------------------	------------------------------------	--	--	-------	--------------------

<b>Modulo di taglio (G)</b>	[Mpa]	108	177	353	834	2824
<b>Velocità onde di taglio Vs</b>	[m/sec]	260	320	440	645	1160

AREGU Wind Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesAre-CLP-CIV-TR-22	Rev 0	Pagina 68 di 73
----------------	---------------------	------------------------------------	-------	--------------------

## 17. Compatibilità idraulica e 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;**

AREGU Wind Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesAre-CLP-CIV-TR-22	Rev 0	Pagina 69 di 73
----------------	---------------------	------------------------------------	-------	--------------------

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.

#### **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.

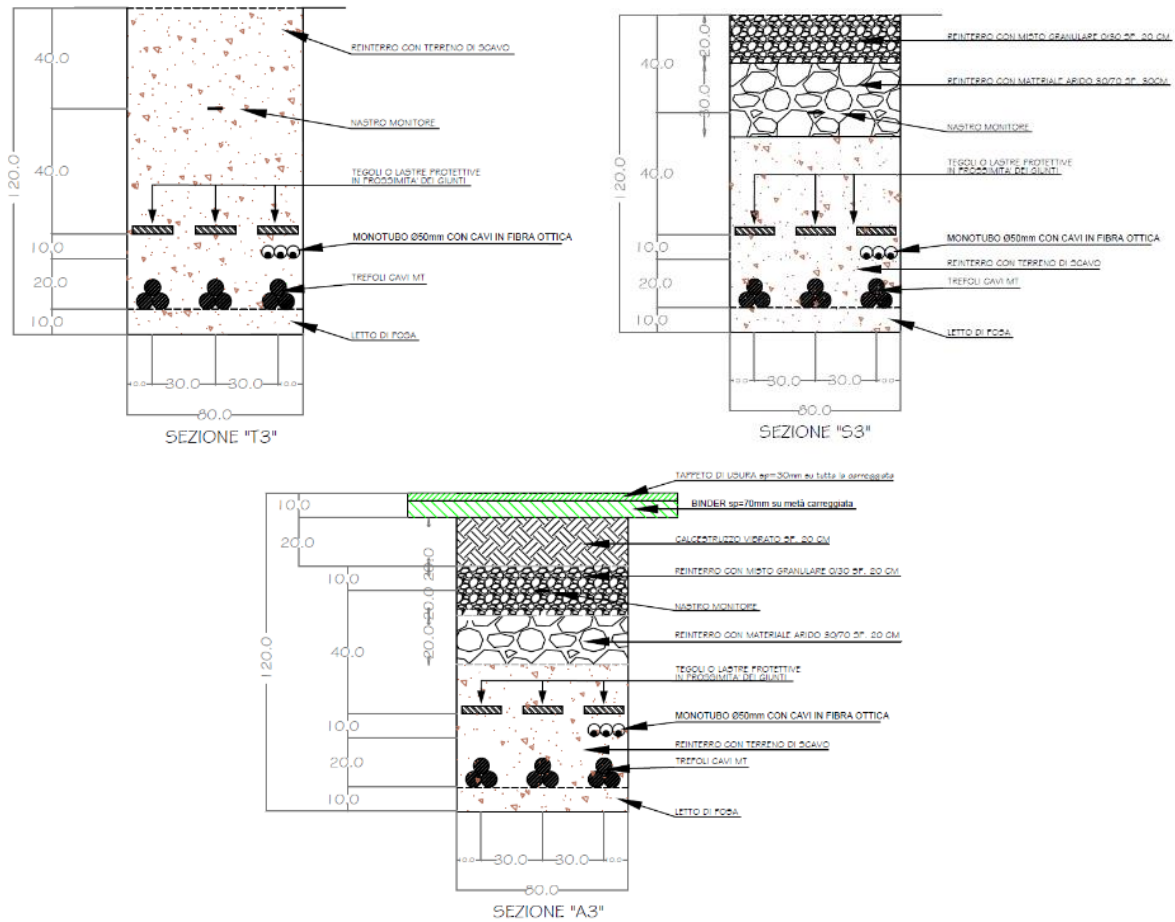


Figura 45 - Tipici posa cavidotto

**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 Hg2, 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

AREGU Wind Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesAre-CLP-CIV-TR-22	Rev 0	Pagina 71 di 73
----------------	---------------------	------------------------------------	-------	--------------------

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.**

AREGU Wind Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesAre-CLP-CIV-TR-22	Rev 0	Pagina 72 di 73
----------------	---------------------	------------------------------------	-------	--------------------

## 18. 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.



AREGU Wind Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesAre-CLP-CIV-TR-22	Rev 0	Pagina 73 di 73
----------------	---------------------	------------------------------------	-------	--------------------

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.