






MISTRAL Wind Srl

[Giugno 2022]

Parco Eolico MISTRAL sito nel Comune di Ittiri e nel Comune di Bessude

Relazione di compatibilità idrogeologica



<p>Regione autonoma della Sardegna</p> 		<p>Comune di Ittiri</p> 		<p>Comune di Bessude</p> 	
<p>Committente:</p> <p>[MISTRAL Wind Srl]</p>			<p>MISTRAL Wind Srl Via Sardegna, 40 00187 Roma P.IVA/C.F. 16181131000</p>		
<p>Titolo del Progetto:</p> <p>Parco Eolico MISTRAL sito nel Comune di Ittiri e nel Comune di Bessude</p>					
<p>Documento:</p> <p>Relazione di compatibilità idrogeologica</p>			<p>N° Documento:</p> <p>IT-VesMis-CLP-ES-GEO-TR-023</p>		
 <p>GAIA consulting Naturali Innovazioni</p> <p>Studio Tecnico di Geologia Applicata all'Ingegneria e all'Ambiente</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: info@gaiac consulting.eu</p>		<p>Progettista:</p> 			
Rev	Data Revisione	Descrizione	Redatto	Controllato	Approvato
00	28.06.2022	Prima emissione	Cosima Atzori		

MISTRAL Wind Energy Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesMis-CLP-ES-GEO-TR-023	Rev 0	Pagina 3 di 70
-------------------------	---------------------	--	-------	-------------------

Sommario

1. Premessa	7
2. Normativa di riferimento	7
3. Studio e indagini di riferimento	7
4. Inquadramento geografico generale	8
5. Caratteristiche di progetto dell'opera	14
6. Inquadramento geologico	15
6.1. Descrizione del contesto geologico dell'area vasta oggetto di intervento	15
6.2. Successione litostratigrafica dell'area di intervento	15
6.3. Successione sedimentaria Oligo-Miocenica del Logudoro-Sassarese	18
6.4. Depositi Quaternari dell'area continentale	19
7. Analisi delle condizioni geostrutturali generali	21
7.1. Campagna di raccolta dei dati geostrutturali su affioramento	21
7.1.1. Rilievo geostrutturale Scanline 1 - Formazione di Monte Santo	23
7.1.2. Rilievo geostrutturale Scanline2 - Unità di Su Suerzu e Unità di Uri	25
8. Analisi qualitativa di stabilità dell'ammasso roccioso	26
9. Inquadramento geomorfologico	29
9.1. Lineamenti geomorfologici dell'area di studio	31
9.2. Definizione dell'area geomorfologicamente significativa	34
10. Inquadramento idrogeologico	34
10.1. Schema della circolazione idrica superficiale	34
10.2. Caratteristiche delle acque sotterranee	37
10.3. Analisi della vulnerabilità degli acquiferi	38
11. Inquadramento pedologico	41
12. Uso del Suolo	43
13. Analisi dei vincoli gravanti sui terreni	44
13.1. Piano Stralcio D'Assetto Idrogeologico della Sardegna	44
13.2. Art.30 Ter NTA PAI	46
13.3. Inventario dei Fenomeni franosi	49
13.4. Piano Stralcio delle Fasce Fluviali	49

MISTRAL Wind Energy Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesMis-CLP-ES-GEO-TR-023	Rev 0	Pagina 4 di 70
-------------------------	---------------------	--	-------	-------------------

13.5. Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA)	50
14. Modellazione geologica	52
14.1. Caratterizzazione geostrutturale degli ammassi rocciosi	52
15. Modello geologico di sito.....	60
15.1. Viabilità di impianto e sottostazione	65
16. Compatibilità idraulica e geologica-geotecnica	66
16.1. Ammissibilità degli interventi alle prescrizioni del PAI.....	66
17. Conclusioni: criticità geologiche e suggerimenti operativi	69

Indice delle figure

Figura 1 Localizzazione del progetto	8
Figura 2 Inquadramento topografico su C.T.R. RAS scala 1:10000, sezione NW	9
Figura 3 Inquadramento topografico su C.T.R. RAS scala 1:10000, sezione SW	10
Figura 4 Inquadramento topografico su C.T.R. RAS scala 1:10000, sezione Est.....	11
Figura 5 Inquadramento topografico su Carta IGM scala 1:25000.....	12
Figura 6 Paesaggio caratteristico dell'area di studio.....	13
Figura 7 Schema tettonico-strutturale della Sardegna.....	15
Figura 8 Particolare della litologia appartenente all'unità di Uri	16
Figura 9 Affioramento dell'Unità di Nuraghe Vittore	17
Figura 10 Affioramento dell'Unità di Su Suerzu	17
Figura 11 Particolare della litologia appartenente all'Unità di Monte Santo.....	19
Figura 12 Stralcio carta geologica (Fonte RAS e rilievo in sito)	20
Figura 13 Sezione geologica dell'area del parco.....	21
Figura 14 Particolare della stratificazione	22
Figura 15 Ammasso roccioso in calcare compatto e poco fratturato.	22
Figura 16 rilievo geostrutturale Scanline1 - Formazione di Monte Santo.....	24
Figura 17 Proiezione stereografica delle discontinuità rilevate sull'affioramento Scanline1	24
Figura 18 rilievo geostrutturale Scanline2 - Unità di Su Suerzu e Unità di Uri	25
Figura 19 Proiezione stereografica delle discontinuità rilevate sull'affioramento Scanline2	26
Figura 20 Tipologie di scivolamento di blocchi rocciosi lungo piani di fratturazione.....	27
Figura 21 A sinistra parete esposta a Nord situata tra la AG01 e la AG02 e a destra affioramento per erosione della coltre superficiale di livelli argilloso sabbiosi poco cementati	28
Figura 22 Livelli fratturati e alterati appartenenti alla Formazione di Monte Santo	28
Figura 23 Piccola valle a U nei pressi della AG05.	29
Figura 24 Rilievi vulcanici tavulari situati a W della AG05.....	29
Figura 25 Paesaggio a Cuestas nei rilievi carbonatici su cui poggeranno le AG01 e AG02	30
Figura 26 Paesaggio a Cuestas, nel rilievo in basso a sinistra alla foto poggerà la AG05.....	31
Figura 27 Rilievo isolato a SW della AG05 ospitante le Domus de Janas.	31

MISTRAL Wind Energy Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesMis-CLP-ES-GEO-TR-023	Rev 0	Pagina 5 di 70
-------------------------	---------------------	--	-------	-------------------

Figura 28 Erosione selettiva dovuta all'azione aggressiva dell'acqua nella roccia costituita da livelli di flusso piroclastico di differente competenza.....	32
Figura 29 Parete a Occidente della AG05 affetta da tafonature.....	32
Figura 30 Parete appartenente alla Formazione del Monte Longos affetta da erosione vacuolare	33
Figura 31 Piccola cavità carsica situata tra la AG01 e la AG02	33
Figura 32 Reticolo idrico superficiale (Fonte RAS).....	36
Figura 33 Schema esemplificativo, non in scala, dei processi di infiltrazione e deflusso sotterraneo.....	38
Figura 34 In blu il corso d'acqua e in azzurro la posizione della sorgente più prossima alla AG03.....	39
Figura 35 Immagine Google Earth con rilievo dell'area in cui ricadrà la AG04	39
Figura 36 Profilo del rilievo in cui ricadrà la AG04 con indicata la posizione della stessa, la posizione della sorgente più vicina, e l'andamento della stratificazione.....	40
Figura 37 Carta delle Permeabilità dei Substrati e dei Suoli – area impianto (Fonte RAS)	41
Figura 38 Carta dei Suoli (Fonte RAS)	42
Figura 39 Stralcio della Carta dell'Uso del Suolo della Sardegna (2008, Fonte RAS).	43
Figura 40 Inquadramento PAI Pericolosità da frana (Fonte RAS).....	44
Figura 41 Inquadramento PAI Pericolosità idraulica (Fonte RAS).	45
Figura 42 Reticolo idrografico numerato secondo l'ordine di Stralher con in giallo una fascia di riferimento di 150m.....	47
Figura 43 Reticolo idrografico numerato secondo l'ordine di Stralher con in giallo una fascia di riferimento di 150m.....	47
Figura 44 Reticolo idrografico numerato secondo l'ordine di Stralher con in giallo una fascia di riferimento di 150m.....	48
Figura 45 - Alcuni tipici di sezioni cavidotto	48
Figura 46 Archivio IFFI (Fonte ISPRA) in rosso l'area di intervento	49
Figura 47 Stralcio perimetrazione Piano Stralcio fasce Fluviali PSFF.....	50
Figura 48 Stralcio perimetrazione PGRA Rev.2020	51
Figura 49 - Resistenza a compressione monoassiale per diversi tipi di roccia	53
Figura 50 Abaco per la determinazione di GSI sulla base delle caratteristiche geologiche e strutturali dell'ammasso.....	53
Figura 51 Valori della costante mi per diversi tipi di roccia.....	54
Figura 52 Correlazione fra valori di mi, s, indice RMR, ed il tipo di roccia.	55
Figura 53 – Aree interessate da perimetrazione in Hg2.....	68

MISTRAL Wind Energy Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesMis-CLP-ES-GEO-TR-023	Rev 0	Pagina 6 di 70
-------------------------	---------------------	--	-------	-------------------

MISTRAL Wind Energy Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesMis-CLP-ES-GEO-TR-023	Rev 0	Pagina 7 di 70
-------------------------	---------------------	--	-------	-------------------

1. Premessa

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

Nell’ambito della redazione del Progetto Definitivo del Parco Eolico denominato “**MISTRAL**” dislocato nel territorio comunale di **Ittiri** e di **Bessude** - 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**, secondo quanto previsto dalle NTA 2020 del Piano d’Assetto Idrogeologico della Regione Sardegna (PAI) 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.

2. Normativa di riferimento

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

- 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 pe 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.
- Circ. Min. LL.PP. n° 30483 del 24.09.1988 – Istruzioni per l’applicazione del D.M. LL.PP.11.03.1988.
- Raccomandazioni, programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche, 1975 – Associazione Geotecnica Italiana.
- 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)
- 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.
- D.L. 3 aprile 2006, n. 152 e successive modificazioni - “Norme in materia ambientale”.
- Norme di Attuazione del PAI Sardegna agg.2022

3. Studio e indagini di riferimento

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

- Carta Topografica I.G.M. scala in 1:25000
- Carta Tecnica Regionale in scala 1:10000
- Carta Geologica dell’Italia in scala 1:100000
- Carta Geologica dell’Italia in scala 1:50.000 (CARG).
- Cartografia Geologica di base della R.A.S. in scala 1:25.000
- RAS - Carta dell’Uso del Suolo della Regione Sardegna, 2008
- I.S.P.R.A. - Archivio nazionale delle indagini nel sottosuolo (legge 464/84)
- RAS – Studio dell’Idrologia Superficiale della Sardegna, annali idrologici 1922-2009
- RAS – Autorità di Bacino - Piano Stralcio d’Assetto Idrogeologico
- RAS – Autorità di Bacino - Piano di Tutela delle Acque
- RAS – Autorità di Bacino - Piano Stralcio delle Fasce Fluviali
- 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 09/03/2022 e 04-16-23/05/2022 nella zona di interesse.

4. Inquadramento geografico generale

L'area del parco ricade nei territori comunali di Ittiri e Bessude, Comuni della provincia di Sassari, situati nella zona nord-occidentale della Sardegna.

Ittiri sorge su un altopiano alto 450 metri, immerso tra rilievi (il più alto monte *Torru*, 620 metri), laghi (*Bidighinzu*, Cuga e Temo) e vallate coltivate a uliveti e vigneti. Ittiri è una cittadina di quasi novemila abitanti del *Coros*, sub-regione del Logudoro, che vanta una storia millenaria. Tolomeo (II secolo d.C.), descrivendo l'Isola, indica le tribù nuragiche dei *Coracenes* (da cui *Coros*) come suoi abitanti. Poi seguirono libici, galati, etruschi, fenici, cartaginesi, infine i romani.

Bessude è un paesino del *Meilogu*, sub-regione del Logudoro, a circa trenta chilometri da Sassari, che si distende in una valle ai piedi del monte Pelao, popolato da circa 400 abitanti, è circondato da paesaggi suggestivi e incontaminati, ricchi di corsi d'acqua, alberi da frutta e campi di fiori. Nei dintorni del paese godrai di un panorama incantevole: da un lato rilievi, la foresta di Littu, gli uliveti di *su Monte* e i pioppi di *Pojos*, dall'altro le querce di *sa Silva* e la valle di *Pumàri e Badde*.

L'inquadramento cartografico di riferimento è il seguente:

- Cartografia ufficiale dell'Istituto Geografico Militare I.G.M scala 1:25 000. Serie 25 -Fogli: **479 sez. I "Ittiri"**.
- Carta Tecnica Regionale scala 1:10 000 - Fogli: **479030 "Ittiri"** e **479040 "Diga 'e su Bidighinzu"**.

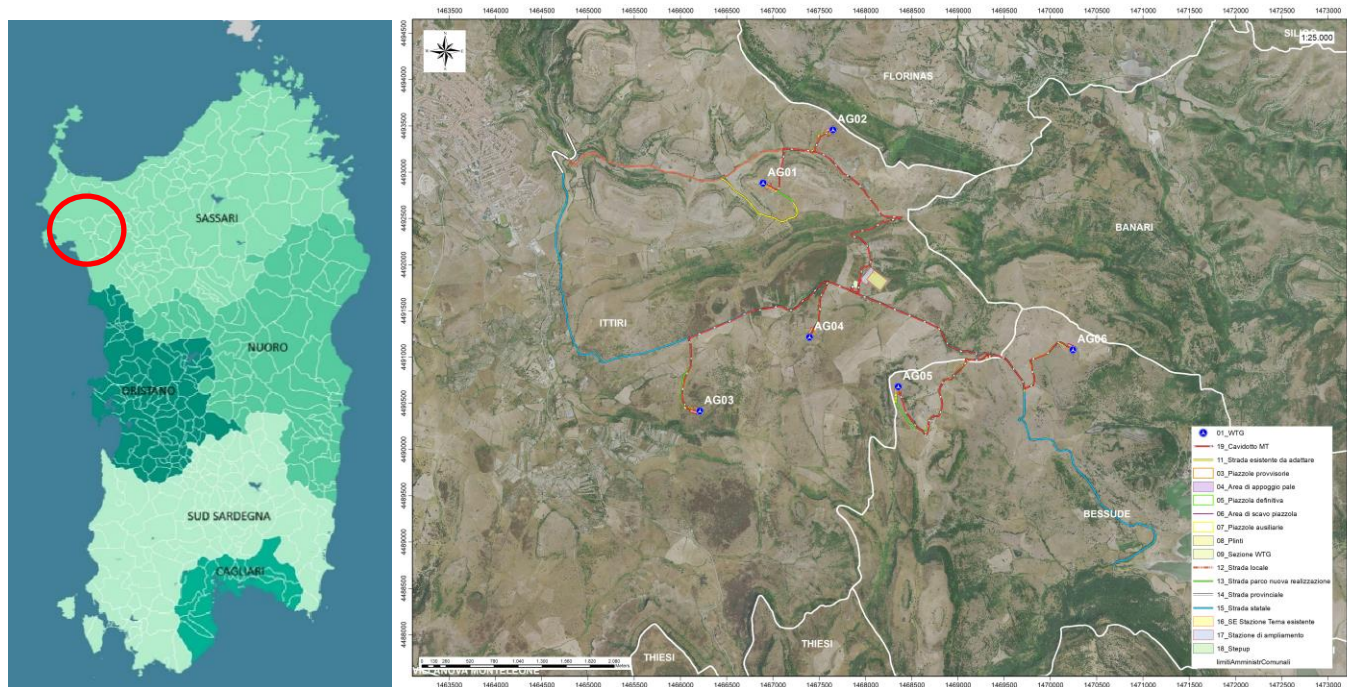


Figura 1 Localizzazione del progetto

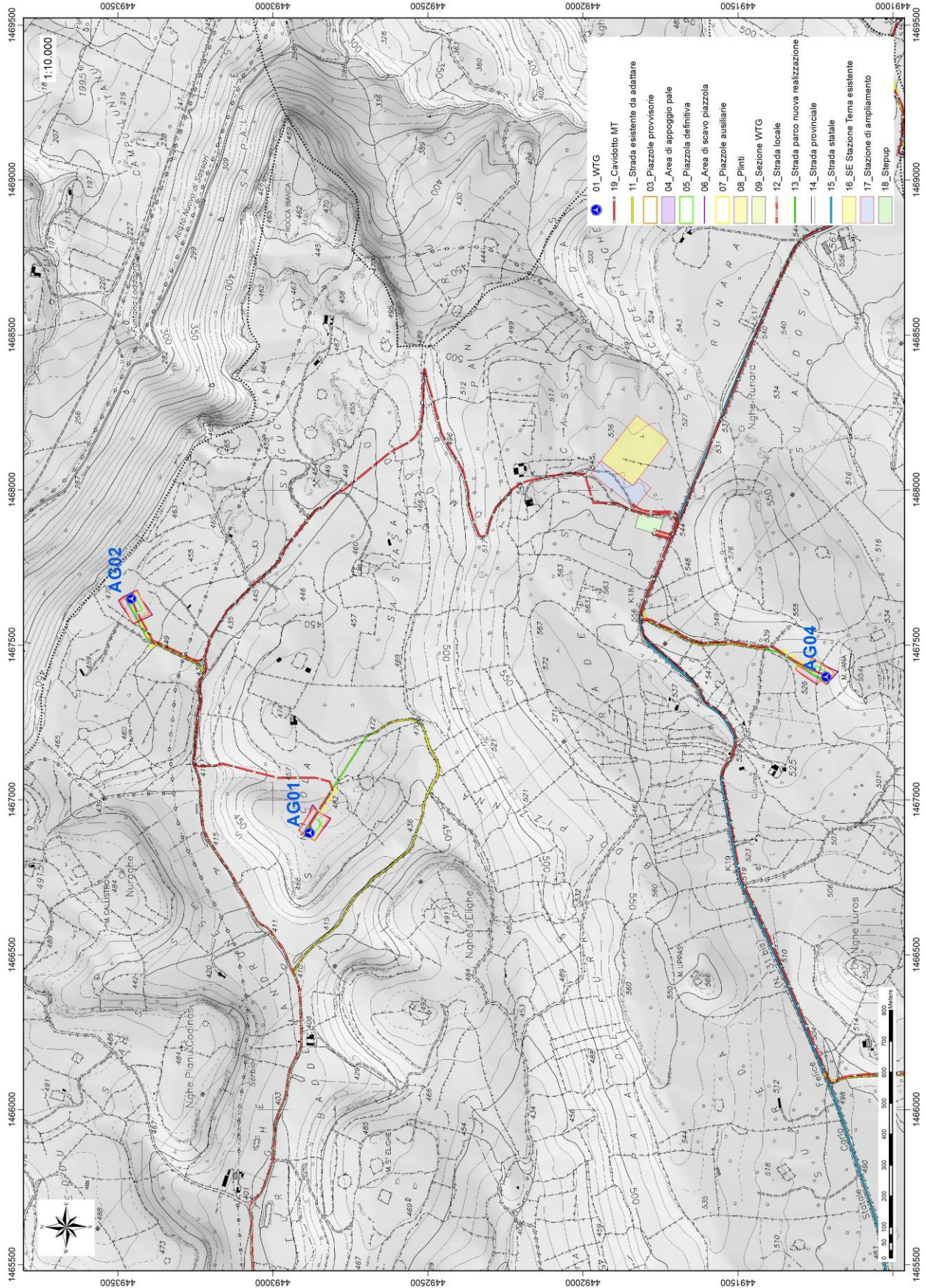


Figura 2 Inquadramento topografico su C.T.R. RAS scala 1:10000, sezione NW

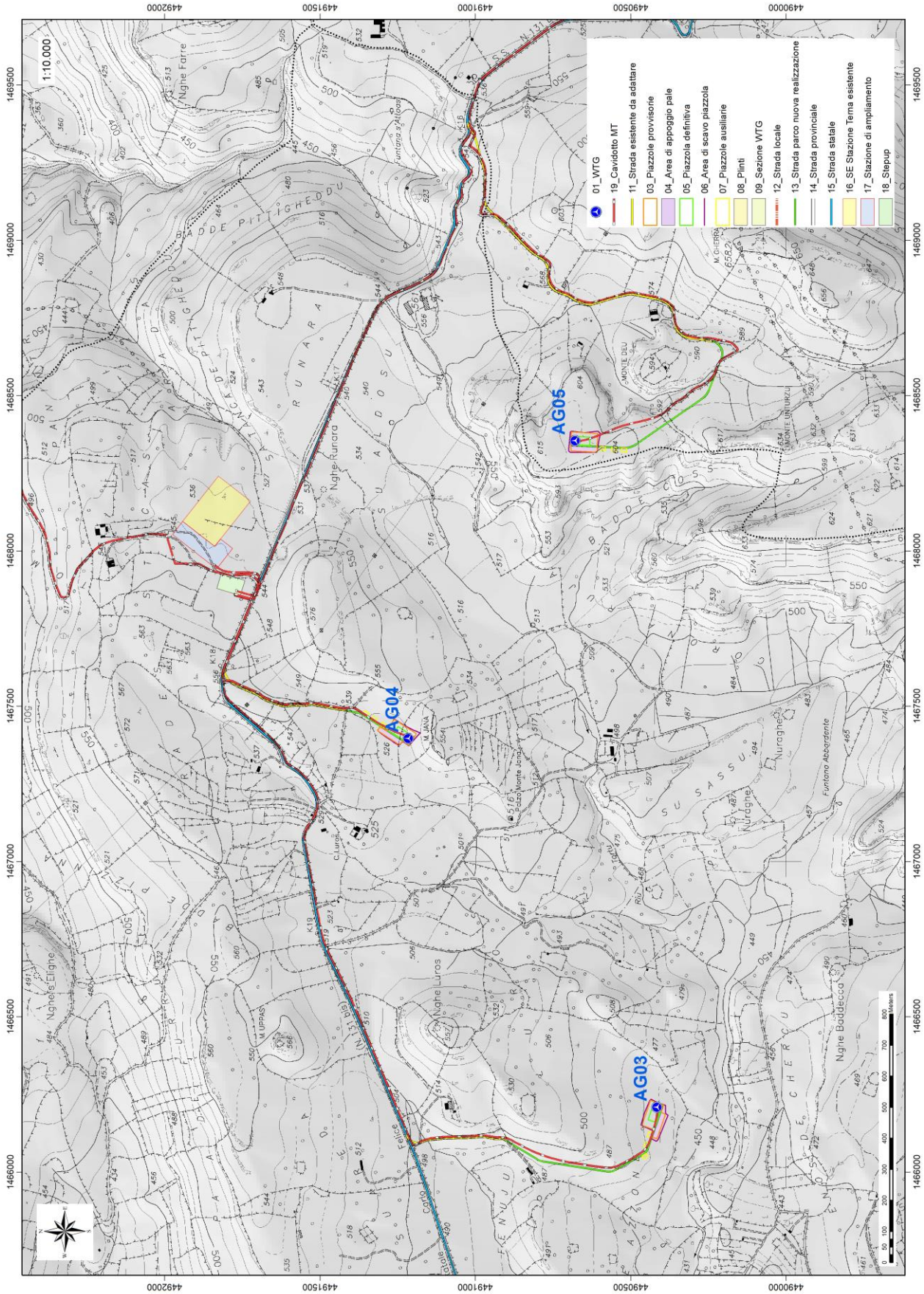


Figura 3 Inquadramento topografico su C.T.R. RAS scala 1:10000, sezione SW

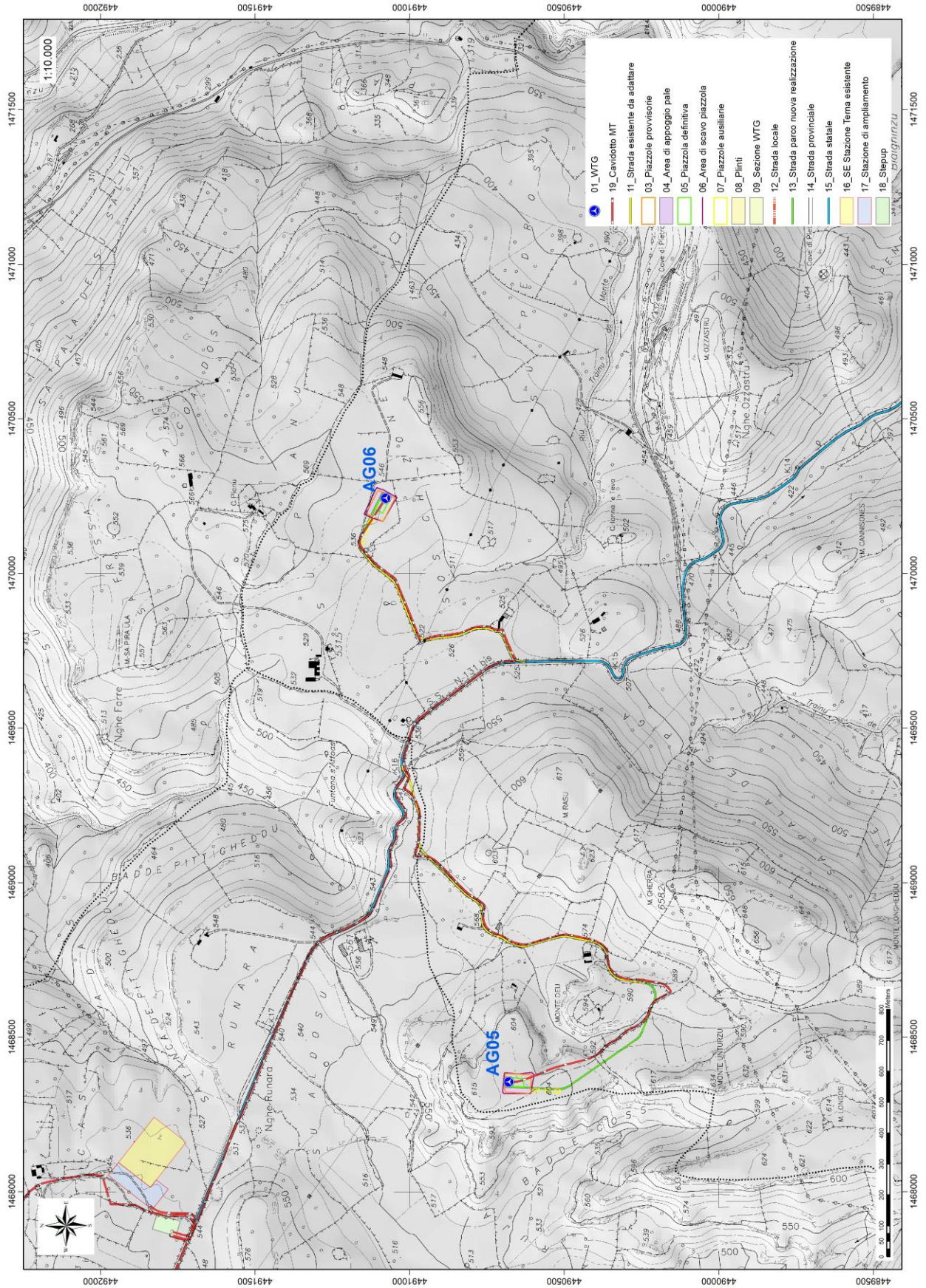


Figura 4 Inquadramento topografico su C.T.R. RAS scala 1:10000, sezione Est

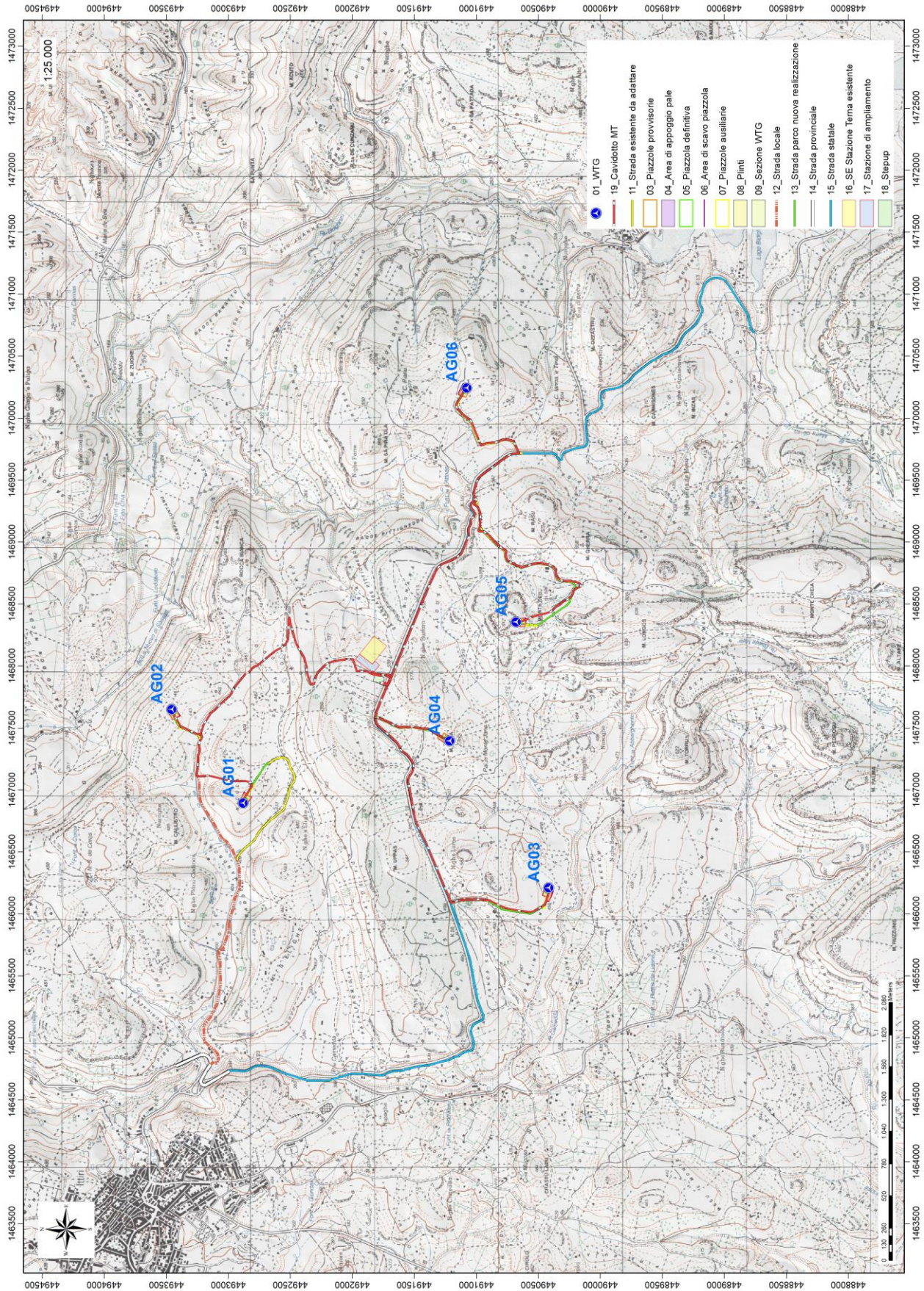


Figura 5 Inquadramento topografico su Carta IGM scala 1:25000



Figura 6 Paesaggio caratteristico dell'area di studio

5. Caratteristiche di progetto dell'opera

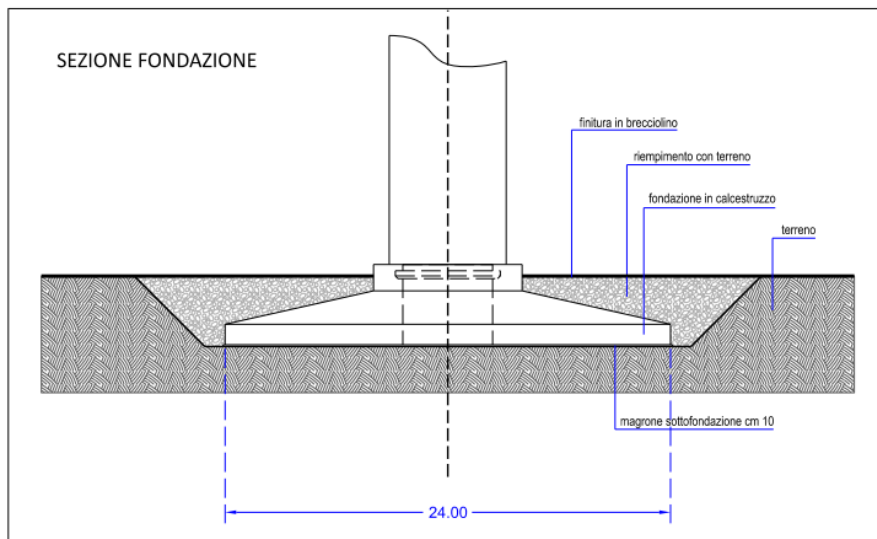
Il Parco Eolico è costituito da 6 aerogeneratori ad asse orizzontale montati su torri tubolari ad elementi in acciaio; il modello adottato è il V162 da 6,0 MW prodotto dalla fabbrica VESTAS, ormai collaudato con risultati altamente prestazionali. Questi sono posizionati ad una distanza mediamente tra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

La potenza nominale del parco eolico installata è pari a 36 MW. Con un vento medio annuale di 6.31 m/s e un funzionamento annuale previsto pari a circa 2.000 ore equivalenti la produzione di energia elettrica lorda stimata è di circa 106.5 MWh/anno.

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

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

Le fondazioni delle torri saranno costituite da piastre in cemento armato atte a ripartire sia le azioni statiche dovute al peso proprio dell'apparato eolico che le azioni dinamiche dovute al vento trasmesse alla base delle torri dagli "apparati eolici". Da un predimensionamento di massima risulta che per terreni sufficientemente portanti ($\sigma > 1 \text{ N/mm}^2$), dovranno realizzarsi fondazioni a platea di forma circolare aventi un raggio di 12 m e un'altezza complessiva di 4.00 m (vedasi elaborati di progetto).



Schema di fondazione

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.

6. Inquadramento geologico

L'obiettivo dell'analisi dell'assetto geologico è quella di caratterizzare geologicamente 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:

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

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

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

6.2. Successione litostratigrafica dell'area di intervento

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

6.1.1. Distretto vulcanico di Capo Marargiu (Miocene Inferiore)

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

(LGS) Unità di Monte Longos: è rappresentata da depositi di flusso piroclastico in facies ignimbratica, pomiceo-cineritici, saldati, di colore nerastro o violaceo alla base. I depositi si presentano ben saldati, con aspetto vetroso e ricchi in cristalli di plagioclasio, pirosseno e biotite, e rare fiamme di colore nero. I depositi hanno chimismo riolitico,

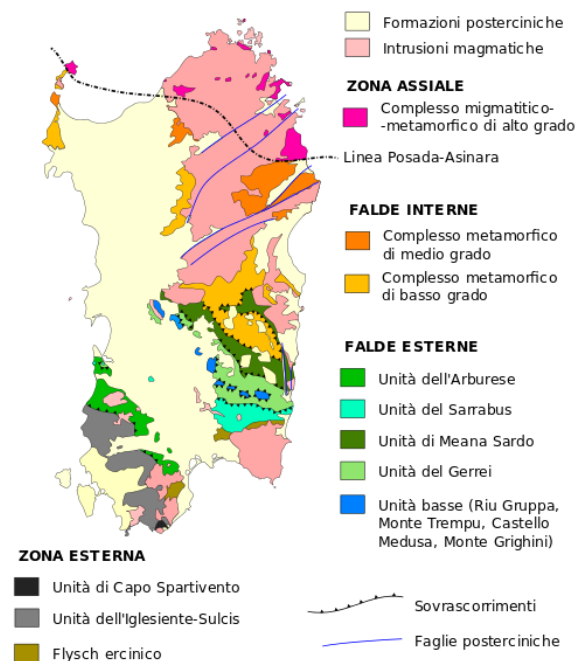


Figura 7 Schema tettonico-strutturale della Sardegna

MISTRAL Wind Energy Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesMis-CLP-ES-GEO-TR-023	Rev 0	Pagina 16 di 70
-------------------------	---------------------	--	-------	--------------------

e spessore minimo di 5 m. Al contatto con le sottostanti piroclastiti (UUI) sono presenti alcuni livelli centimetrici di ceneri di caduta, con pomici e litici. Burdigaliano.

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



Figura 8 Particolare della litologia appartenente all'unità di Uri

(UNV) Unità di Nuraghe Vittore: è costituita da colate di andesiti basaltiche e basalti, con caratteristiche prevalenti di autobrecce, e daciti porfiriche. Le lave coerenti hanno colore grigio scuro e tessitura porfirica per fenocristalli di plagioclasio, pirosseno e olivina in pasta di fondo microcristallina. Presentano frequente fratturazione tipo *platy jointing* secondo la direzione di flusso.



Figura 9 Affioramento dell'Unità di Nuraghe Vittore

Le lave a blocchi sono costituite da blocchi irregolari e eterometrici di lava, debolmente vescicolati, a tessitura clasto-sostenuta, con arrossamento dovuto ad alterazione idrotermale. I rapporti con le piroclastiti a contatto a letto (SSU) e a tetto (UUU) sono caratterizzati da disconformità. Burdigaliano inferiore.

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

(SSU) Unità di Su Suerzu: rappresentati da depositi di flusso piroclastico in facies ignimbrítica, 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 est di Ittiri 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.



Figura 10 Affioramento dell'Unità di Su Suerzu

MISTRAL Wind Energy Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesMis-CLP-ES-GEO-TR-023	Rev 0	Pagina 18 di 70
-------------------------	---------------------	--	-------	--------------------

6.1.2. Distretto Vulcanico di Osilo-Castelsardo (Miocene Inferiore)

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

6.3. Successione sedimentaria Oligo-Miocenica del Logudoro-Sassarese

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

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

(RESa) Litofacies nella Formazione di Mores: nota come "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.

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

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



Figura 11 Particolare della litologia appartenente all'Unità di Monte Santo.

6.4. Depositi Quaternari dell'area continentale

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

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

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

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

In particolare le turbine AG01 e AG02 ricadono nella Formazione NST; le turbine AG03 e AG04 ricadono nell'Unità SSU, la turbina AG05 ricade nell'Unità UUI e la turbina AG06 ricade nell'Unità UNV.

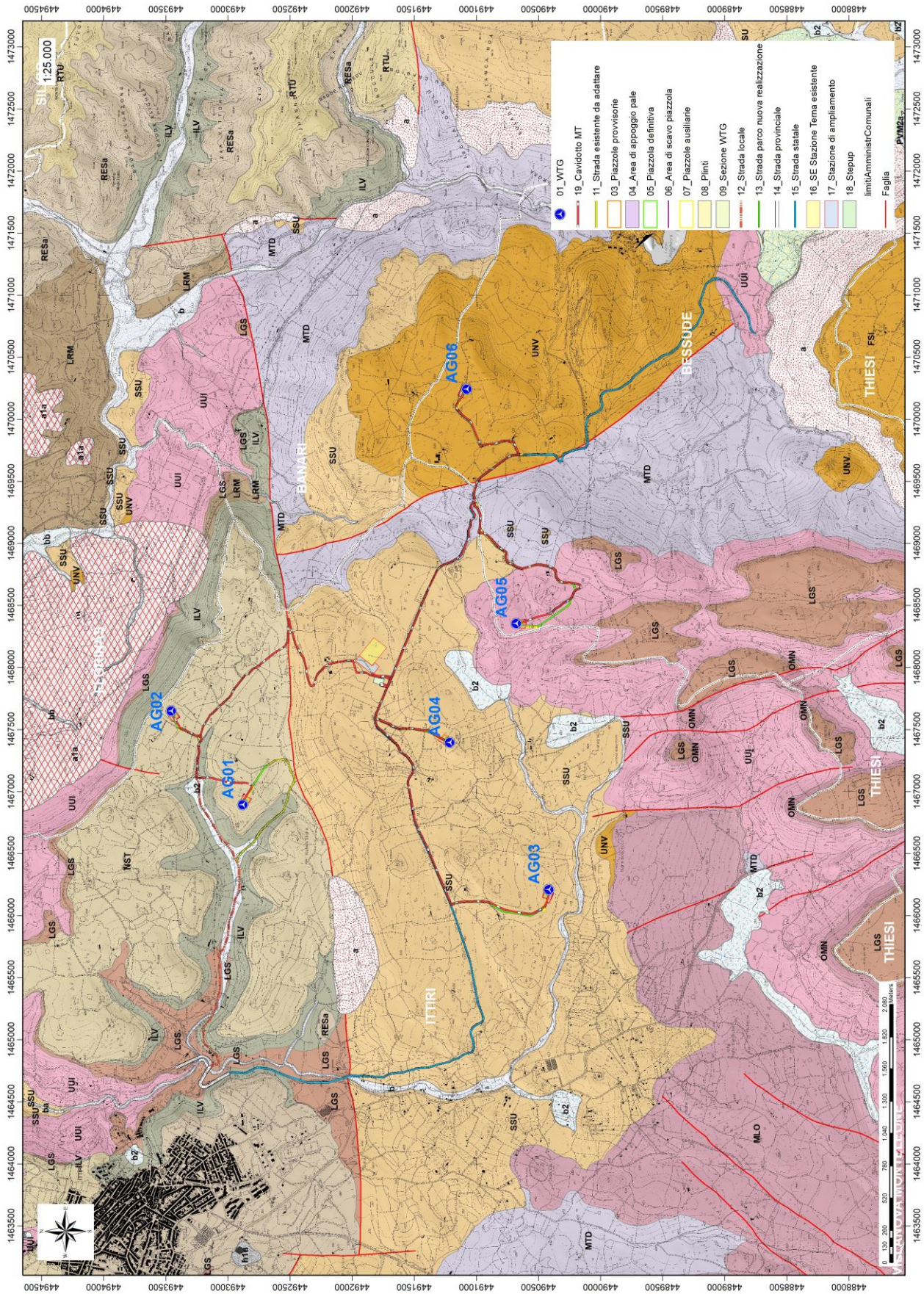


Figura 12 Stralcio carta geologica (Fonte RAS e rilievo in sito)

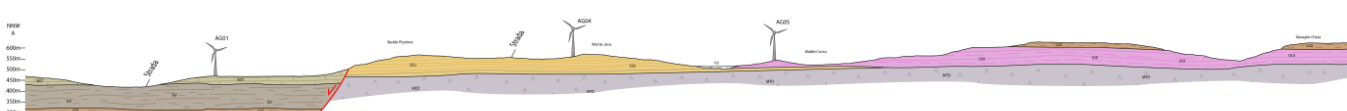


Figura 13 Sezione geologica dell'area del parco

7. Analisi delle condizioni geostrukturali generali

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

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

L'area vasta è caratterizzata di un'importante faglia con direzione principale E-W, e di altre faglie a direzione NW-SE.

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. La faglia principale a direzione E-W separa il settore nord (con le turbine AG01 e AG02), dal settore sud, nel quale la faglia a direzione NW-SE separa un settore occidentale (nel quale ricadono le turbine AG03, AG04 e AG05) da quello orientale (nel quale si trova la turbina AG06). Nei diversi siti di installazione, la dinamica geostrukturale ha creato piani di fratturazione a diversa scala.

Quasi tutte le stazioni eoliche sono posizionate nella copertura sedimentaria (AG01 e AG02) e vulcanica (AG03, AG04, AG05, AG06) miocenica.

Le stazioni AG01 e AG02 sono posizionate sulle rocce sedimentarie della formazione di Monte Santo, mentre le stazioni AG03 e AG04 ricadono nell'Unità di Su Suerzu.

La stazione AG05 ricade nell'Unità di Uri, e la turbina AG06 nell'Unità di Monte Vittore del Distretto vulcanico di Capo Marargiu.

7.1. Campagna di raccolta dei dati geostrukturali su affioramento

Nel corso dei rilievi geologici effettuati in sito, è stata realizzata un'indagine mirata alla caratterizzazione geostrukturale delle litologie su cui poggeranno le fondazioni delle turbine, indirizzata al rilievo di tutti i parametri tecnici, verificando in prima battuta le caratteristiche strutturali, come direzione, immersione e inclinazione delle discontinuità presenti, e analizzando le caratteristiche dei vari sistemi di discontinuità. L'analisi della struttura dell'ammasso roccioso e delle discontinuità è infatti indispensabile in quanto essa regola i processi di rottura e deformazione della roccia: lungo tali piani di debolezza, infatti, le resistenze alla trazione risultano sostanzialmente assai ridotte e talora nulle.

Dai rilievi geologici è emerso che nel territorio in esame sul quale verranno installate le turbine è possibile suddividere, in base al comportamento geomeccanico, **3 litotipi principali**, il primo è di tipo carbonatico, appartenente alla Formazione di Monte Santo, il secondo è costituito da depositi di flusso piroclastico appartenenti alle Unità di Su Suerzu e all'Unità di Uri, mentre il terzo è costituito da Andesiti e Daciti, appartenente all'Unità di Nuraghe Vittore.

La litologia carbonatica caratterizzante la Formazione di Monte Santo è costituita da calcare compatto, generalmente massivo o poco fratturato, alternato talvolta a livelli più argillosi molto fratturati che non raggiungono il metro di spessore, la direzione di immersione generale è 80N con inclinazione variabile.



Figura 14 Particolare della stratificazione .



Figura 15 Ammasso roccioso in calcare compatto e poco fratturato.

MISTRAL Wind Energy Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesMis-CLP-ES-GEO-TR-023	Rev 0	Pagina 23 di 70
-------------------------	---------------------	--	-------	--------------------

Per la determinazione dei parametri geomeccanici delle litologie più fratturate, ovvero quelle costituite da depositi di flusso piroclastico e quelle andesitiche sono stati presi in considerazione n° 2 affioramenti rocciosi, quelli caratteristici della prima litologia sono situati nei pressi della Turbina 5 (**scanline1**), mentre quelli caratteristici della seconda litologia sono situati nei pressi della Turbina6 (**scanline2**). Tali affioramenti sono stati utilizzati come punti di stazione, nei quali sono state rilevate le caratteristiche delle discontinuità. Gli ammassi rocciosi analizzati presentano principalmente discontinuità secondarie, ovvero date da fratturazione, che risulta estremamente irregolare, gli affioramenti presi in considerazione permettono infatti di classificare solo in maniera preliminare le unità litologiche più rappresentative del sito di indagine.

Per avere un quadro esaustivo delle condizioni strutturali degli ammassi rocciosi sarebbe opportuno perciò, in fase esecutiva, effettuare delle indagini puntuali.

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

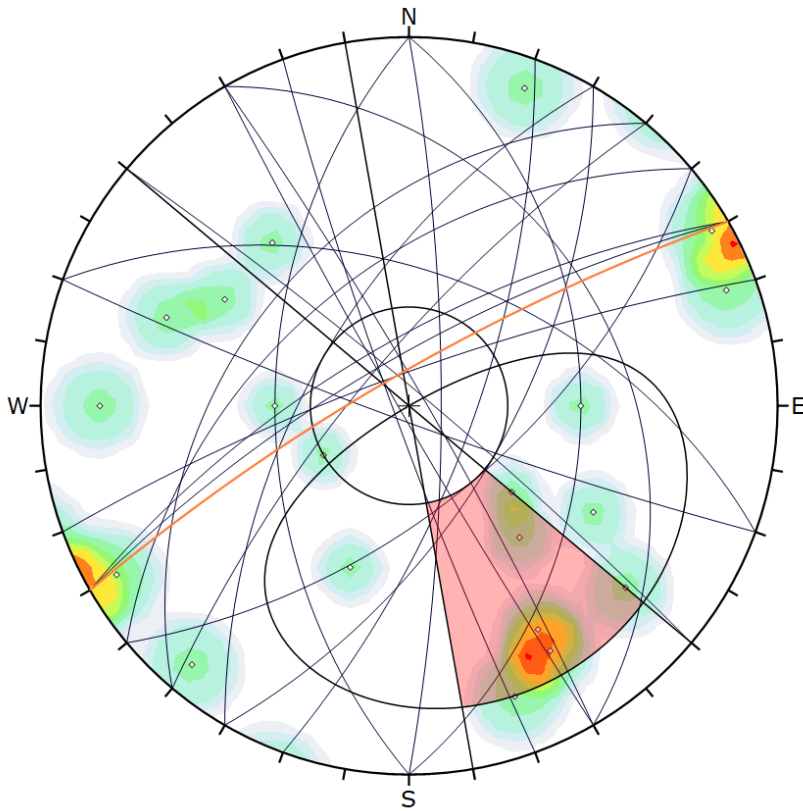
7.1.1. Rilievo geostrutturale Scanline 1 - Formazione di Monte Santo

Il rilievo Scanline 1 è stato fatto lungo una linea di 15m orientata N70, nei pressi della pala AG05. 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 16 rilievo geostrutturale Scanline1 - Formazione di Monte Santo.



Symbol	Feature
o	Pole Vectors

Color	Density Concentrations
	0,00 - 1,20
	1,20 - 2,40
	2,40 - 3,60
	3,60 - 4,80
	4,80 - 6,00
	6,00 - 7,20
	7,20 - 8,40
	8,40 - 9,60
	9,60 - 10,80
	10,80 - 12,00

Contour Data		Pole Vectors	
Maximum Density		11.10%	
Contour Distribution		Fisher	
Counting Circle Size		1.0%	

Kinematic Analysis		Planar Sliding	
Slope Dip		80	
Slope Dip Direction		330	
Friction Angle		30°	
Lateral Limits		20°	
		Critical	Total
Planar Sliding (All)		5	20
			%
			25.00%

Plot Mode		Pole Vectors	
Vector Count		20 (20 Entries)	
Hemisphere		Lower	
Projection		Equal Angle	

Figura 17 Proiezione stereografica delle discontinuità rilevate sull'affioramento Scanline1.

7.1.2. Rilievo geostrutturale Scanline2 - Unità di Su Suerzu e Unità di Uri

Il rilievo Scanline 2 è stato fatto lungo una linea di 15m orientata N70, nei pressi della pala AG05. 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 18 rilievo geostrutturale Scanline2 - Unità di Su Suerzu e Unità di Uri

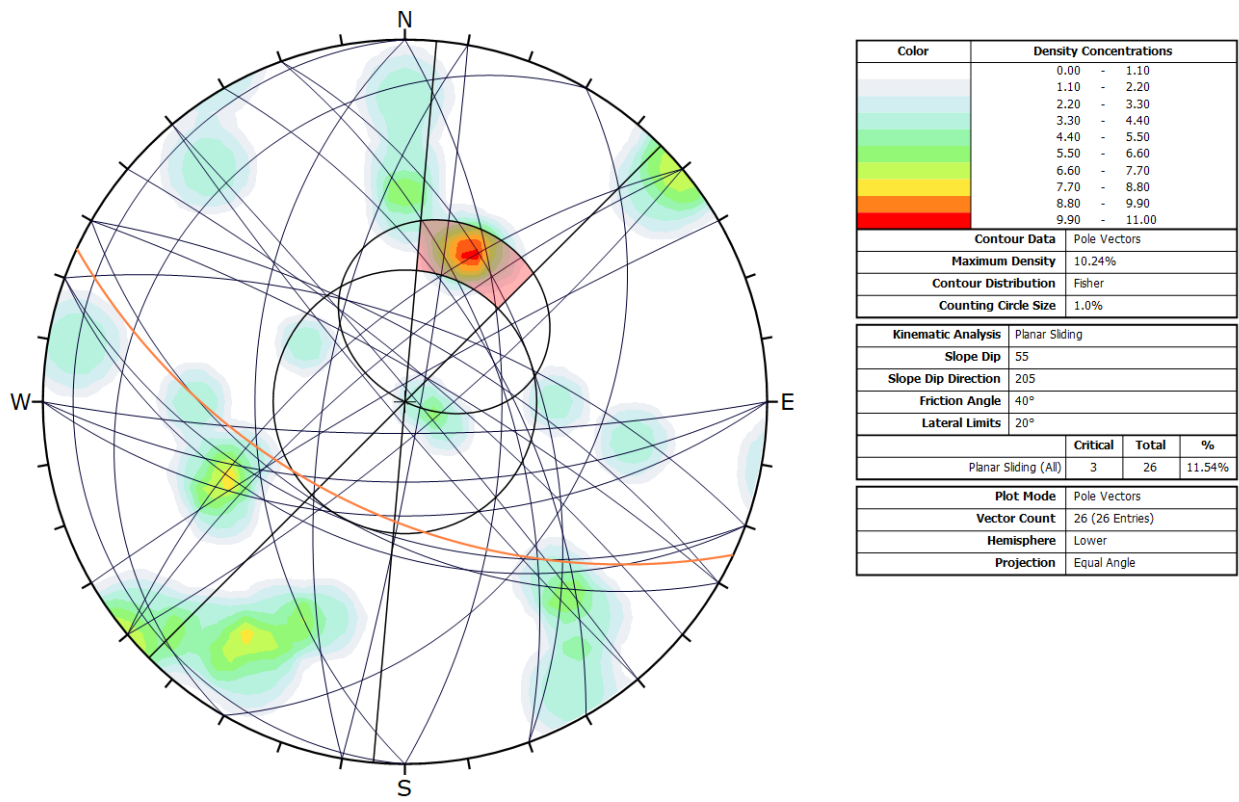


Figura 19 Proiezione stereografica delle discontinuità rilevate sull'affioramento Scanline2.

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

Le caratteristiche geotutturali descritte nei precedenti capitoli evidenziano 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 geotutturali 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 fini e a forte componente siltoso-argillosa, sono più frequenti fenomeni di sfaldamento e distacco di lamine da centimetriche a decimetriche. Queste ultime divengono più simili a piccoli blocchi se la componente sabbiosa aumenta (metasiltiti, metarenarie). Nel caso invece degli ammassi rocciosi massici come in questo caso la **Formazione di Monte Santo** la presenza di famiglie di giunti con maggiori spazature e con assetto geometrico più regolare determina la formazione di blocchi più grandi, nell'ordine del metro cubo e più.

A scala media difatti, le spazature 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.

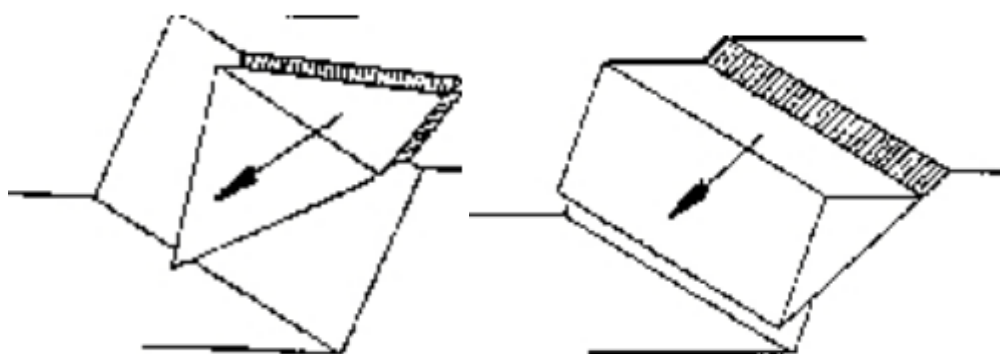


Figura 20 Tipologie di scivolamento di blocchi rocciosi lungo piani di fratturazione

Per quanto riguarda la formazione di Monte Santo, sulla quale pogeranno le Turbine AG01 e AG02, non sono state rilevate particolari condizioni di instabilità, è stato possibile valutare le condizioni dell'ammasso laddove i livelli carbonatici più cementati affiorano in pareti subverticali dell'altezza massima di 3-4m.

L'arretramento di queste pareti può avvenire, a seconda delle condizioni di fratturazione combinate alla giacitura dei piani di stratificazione, per crollo ribaltamento o per scivolamenti planari o a cuneo.



MISTRAL Wind Energy Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesMis-CLP-ES-GEO-TR-023	Rev 0	Pagina 28 di 70
-------------------------	---------------------	--	-------	--------------------

Figura 21 A sinistra parete esposta a Nord situata tra la AG01 e la AG02 e a destra affioramento per erosione della coltre superficiale di livelli argilloso sabbiosi poco cementati

Nella foto soprastante a sinistra viene illustrata una parete a reggipoggio (ovvero con giacitura della stratificazione rivolta al versante) appartenente alla Formazione di Monte Santo; ai piedi sono presenti blocchi distaccatisi tendenzialmente per crollo/ribaltamento e che ora giacciono su livelli contenenti frazione argillosa e meno competenti.

A sovrastare i livelli che costituiscono le pareti sopracitate sono stati rilevati talvolta livelli dello spessore massimo di 60/70cm altamente fratturati e alterati (foto in basso); queste fratture risultano spesso riempite da materiale sciolto. Tali livelli vengono talvolta sovrastati a loro volta da livelli carbonatici più competenti.



Figura 22 Livelli fratturati e alterati appartenenti alla Formazione di Monte Santo

Gli ammassi rocciosi costituiti in litologie da flusso piroclastico 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, e quindi con andamento delle giaciture più o meno regolare a piccola scala e, anche se in parte, prevedibili, in queste ultime sono dovuti al raffreddamento in seguito alla messa in posto, e presentano pertanto una forte irregolarità anche alla scala dell'ammasso.



Figura 23 Piccola valle a U nei pressi della AG05.

9. Inquadramento geomorfologico

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

- i rilievi di natura vulcanica;
- le coperture sedimentarie.

I primi interessano le aree in cui ricade la posizione della AG03, AG04, AG05 e AG06 e affiorano diffusamente in corrispondenza delle maggiori incisioni fluviali. Essi rappresentano la manifestazione di un vulcanismo appartenente al ciclo calco-alcalino oligo-miocenico, che produsse flussi piroclastici e in subordine lavici. Il paesaggio è dominato da rilievi tabulari costituiti dalla sovrapposizione di bancate estese e generalmente inclinate; sono costituite prevalentemente da piroclastiti a chimismo acido e intermedio, di aspetto massivo e con fessurazioni di raffreddamento colonnari irregolari e prismatiche, talvolta anche tabulari.



Figura 24 Rilievi vulcanici tabulari situati a W della AG05

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 ignimbriche 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 versanti tra le AG03, AG04 e la AG05. Meno diffuse che nei territori circostanti, le lave, di composizione

prevalentemente andesitica, si rinvengono in corrispondenza della AG06, 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 Minore, lungo il corso del Riu Mannu e presso Ponte Camedda, alla base della successione marina. Questa è costituita da calcari organogeni, biocalcareniti, calcari marnosi e arenarie calcaree, poggianti su conglomerati di trasgressione a cemento calcareo e clasti vulcanici. Benché lungo le incisioni fluviali e a margine dei rilievi vulcanici le strutture sedimentarie siano state smantellate dall'erosione, queste coperture giacciono talvolta sottoforma di tavolati e pianori come per esempio in corrispondenza delle AG01 e AG02. 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.



Figura 25 Paesaggio a Cuestas nei rilievi carbonatici su cui pogeranno le AG01 e AG02

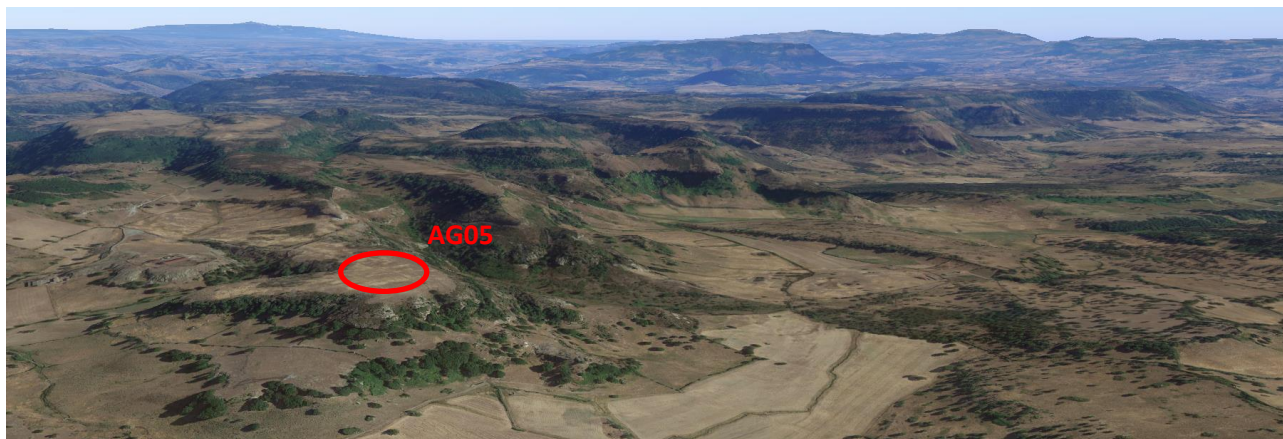


Figura 26 Paesaggio a Cuestas, nel rilievo in basso a sinistra alla foto poggerà la AG05

9.1. Lineamenti geomorfologici dell'area di studio

I tratti geomorfologici del settore di studio sono caratterizzati 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 oligo-miocenica e plio-quadernaria.

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

L'originale superficie di spianamento è conservata solo per alcuni tratti mentre nella maggior parte dell'area è riconoscibile solo da rilievi di uguale altezza. Nel settore settentrionale, i rilievi principali hanno altezze intorno ai 550-570 metri (M. Callistro 484 m, N.ghe Planu Codinas 484 m, San Nicola 474 m), mentre nel settore centro-meridionale i rilievi maggiori sono rappresentati da Monte Jana (554 m), Monte Rasu (617 m), Monte Deu (594 m), Monte Longos (614 m), Monte Unturzu (634 m), e Monte Gherra (658,2 m).

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

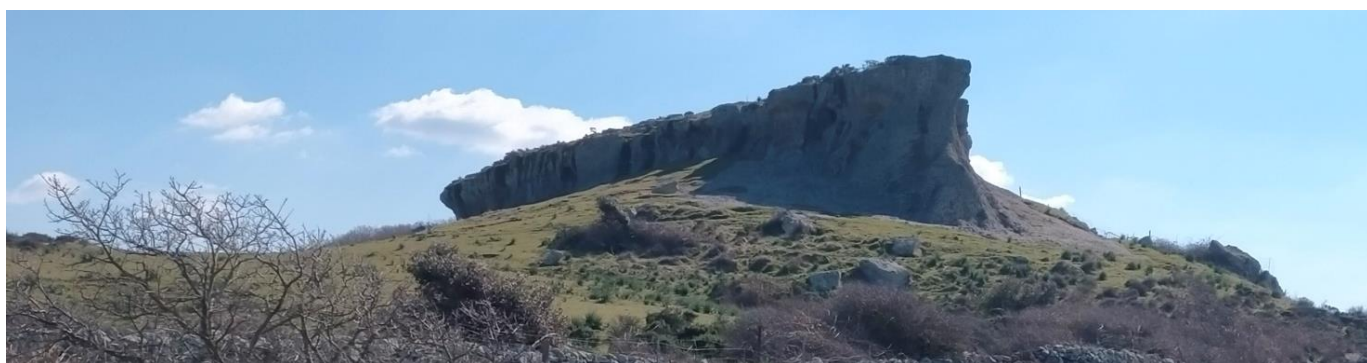


Figura 27 Rilievo isolato a SW della AG05 ospitante le Domus de Janas.

Nei pressi delle scarpate appartenenti alla formazione del Monte Tului e del Monte Longos sono state rilevate microforme ricorrenti quali tafoni, "nidi d'ape", vacuoli e cavità di varie dimensione, dovute principalmente all'idrolisi. I processi di degradazione meteorica per il quale i silicati e i minerali ferromagnesiaci, aggrediti dalle acque di precipitazione leggermente acidule per la presenza dell'anidride carbonica dell'atmosfera, si

decompongono, possono comportare, per erosione selettiva, l'approfondimento e l'allargamento delle discontinuità, costituite da lesioni e fratture di origine meccanica della roccia, prodotte dagli agenti fisici della degradazione (dilatazioni termiche differenziali, azione di cuneo delle radici) e dalle forze tettoniche.



Figura 28 Erosione selettiva dovuta all'azione aggressiva dell'acqua nella roccia costituita da livelli di flusso piroclastico di differente competenzaza

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

Tra le morfologie osservabili nell'area circostante le turbine AG01 e AG02 ve ne sono alcune strettamente connesse alle caratteristiche fisico-chimiche delle litologie presenti e dalla tipologia ed intensità degli agenti modellanti predominanti, in questo caso il carsismo.



Figura 29 Parete a Occidente della AG05 affetta da tafonature.

Tale processo si sviluppa principalmente a seguito della dissoluzione chimica delle rocce carbonatiche. Il processo carsico rientra nel grande insieme delle azioni di disaggregazione compiute dagli agenti esogeni a spese delle rocce affioranti sulla crosta terrestre.

La corrosione avviene come nel caso dell'idrolisi sopra citata per opera delle acque meteoriche che, oltre a contenere una certa quantità di anidride carbonica atmosferica disciolta al loro interno, scorrendo sulla superficie del suolo ed attraversando lo strato superficiale del suolo si arricchiscono ulteriormente di CO₂. Queste acque reagiscono con la roccia calcarea intaccandola lentamente, sia in superficie sia infiltrandosi nel reticolo, fino a dar luogo nell'arco del tempo a veri e propri condotti di dimensioni variabili, che costituiscono i classici acquiferi tipici delle rocce carbonatiche. Infatti le acque ricche di anidride carbonica sono particolarmente aggressive nei confronti del carbonato di calcio.



Figura 30 Parete appartenente alla Formazione del Monte Longos affetta da erosione vacuolare



Figura 31 Piccola cavità carsica situata tra la AG01 e la AG02

MISTRAL Wind Energy Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesMis-CLP-ES-GEO-TR-023	Rev 0	Pagina 34 di 70
-------------------------	---------------------	--	-------	--------------------

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

10. Inquadramento idrogeologico

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

Il Sub_Bacino si estende per 5402 Km², 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:

- 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).
- Il Rio Minore che si congiunge al Mannu in sponda sinistra. - Rio Carrabusu affluente dalla sinistra idrografica.
- 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.
- 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 di studio ricade unicamente del Sub-bacino del Rio Mannu, il cui principale corso d'acqua che interessa il territorio di è l'omonimo Rio Mannu che scorre da Est verso Ovest.

Le acque dei torrenti più prossimi all'area di interesse scorrono da Est verso Ovest con il Rio Camedda a Sud-ovest e il Rio Minore a Ovest, il Rio Mannu a nord, e il Rio Bidighinzu a Est.

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

Nell'area di interesse sono presenti alcuni corsi d'acqua che costeggiano o attraversano l'area di studio. Tra questi, il **Riu Mannu** e il **Riu Bidighinzu**, suo affluente, che scorrono con direzione circa NW-SE, e più a nord-ovest si riversano nel fiume Temo.

Il **Riu Mannu** scorre nella parte settentrionale dell'area, in particolare costeggia il lato N del costone su cui verranno installate le torri eoliche AG01, AG02. In esso converge il Rio Bidighinzu, che costeggia la parte orientale del rilievo su cui verranno installate le torri AG06. Anche il **Riu Minore**, che scorre a ovest dei rilievi su cui verranno installate

MISTRAL Wind Energy Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesMis-CLP-ES-GEO-TR-023	Rev 0	Pagina 35 di 70
-------------------------	---------------------	--	-------	--------------------

le turbine AG03, AG04 e AG05, è un affluente del Riu Mannu, così come il **Riu Camedda**, che si immette nel Riu Minore e scorre delimitando a sud-ovest il suddetto rilievo.

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

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

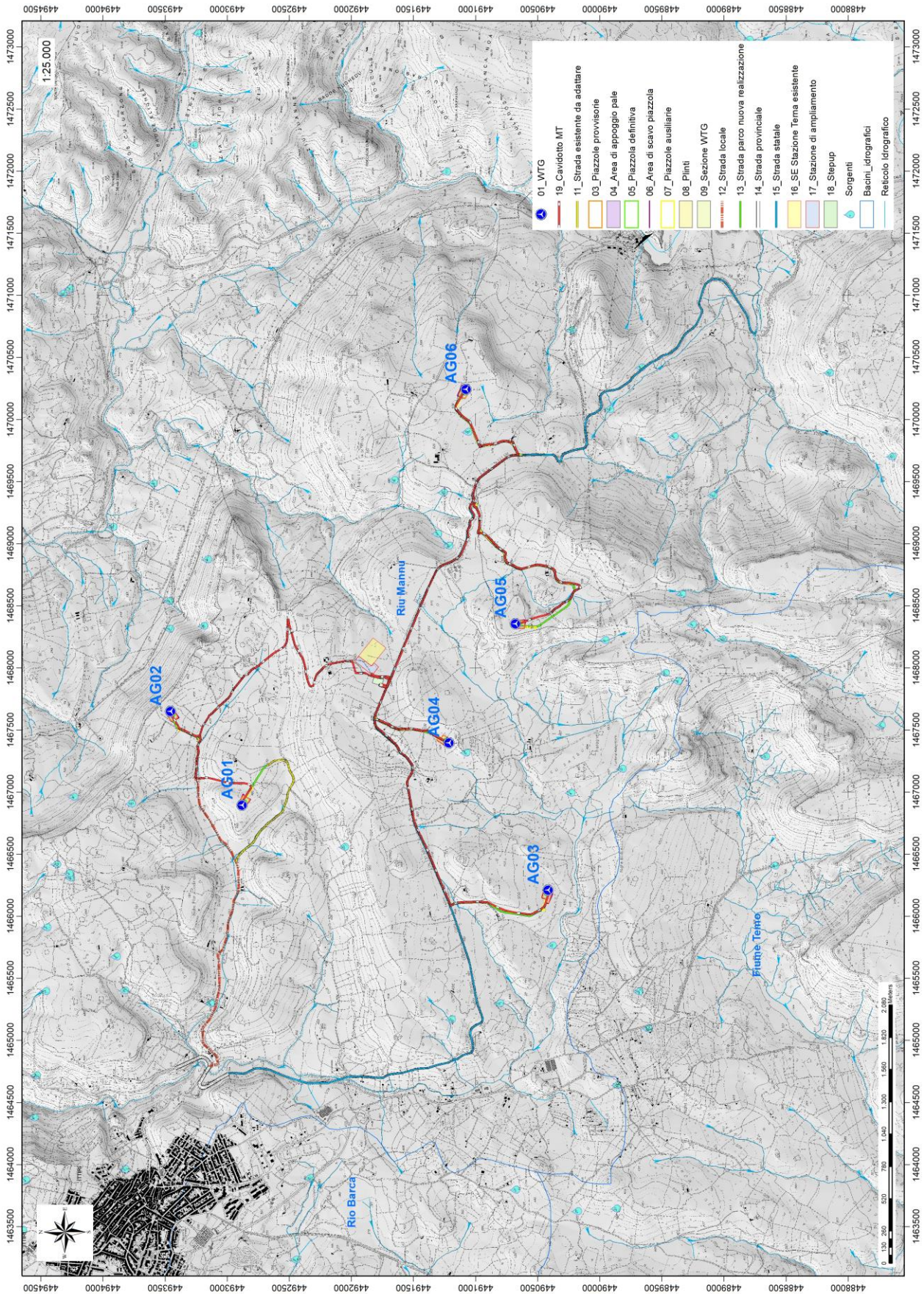


Figura 32 Reticolo idrico superficiale (Fonte RAS)

MISTRAL Wind Energy Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesMis-CLP-ES-GEO-TR-023	Rev 0	Pagina 37 di 70
-------------------------	---------------------	--	-------	--------------------

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 affioranti nell'area di studio sono caratterizzate da **permeabilità medio-bassa per fratturazione** (Piroclastiti), e da **permeabilità medio alta per carsismo e fratturazione** (calcarei bioclastici). 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.

Complessivamente, le pendenze dei versanti insieme alla bassa permeabilità di alcune litologie non sono favorevoli alla ritenzione delle acque meteoriche (piroclastiti), mentre in alcune litologie (calcarei 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 spazature, 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.

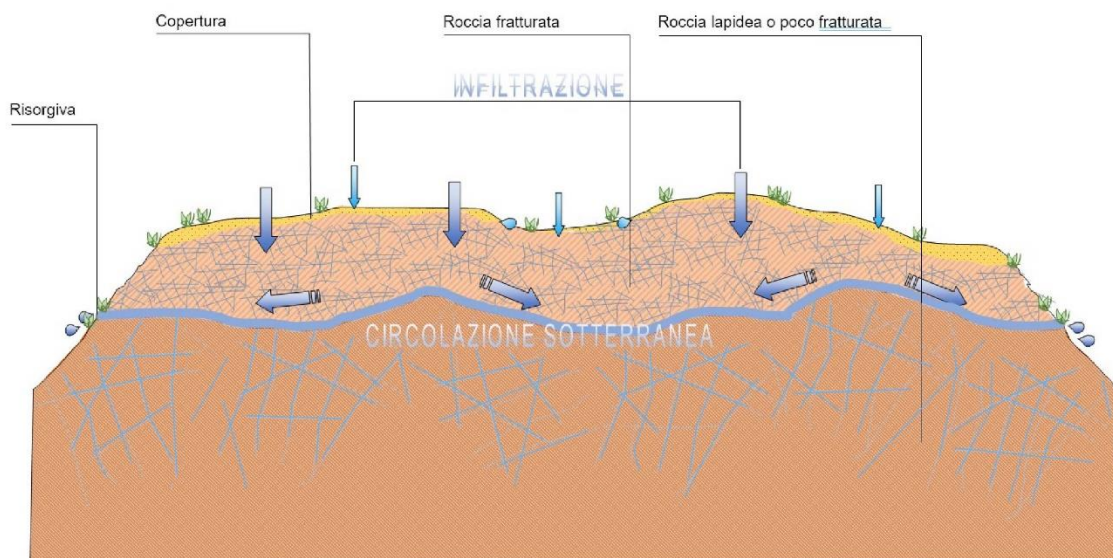


Figura 33 Schema esemplificativo, non in scala, dei processi di infiltrazione e deflusso sotterraneo

Nell'area di studio si possono distinguere:

- litologie con permeabilità medio-alta, come i calcari bioclastici della Formazione di Monte Santo (NST), e le calcareniti della litofacies della Formazione di Mores (RESa), per via della fratturazione o del carsismo;
- litologie con permeabilità medio-bassa per fratturazione, come le rocce delle Unità di Su Suerzu (SSU), di Uri (UUI) e di Nuraghe Vittore (UNV).

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

- Rocce del Distretto vulcanico di Capo Marargiu, e di Osilo. È costituito da rocce poco permeabili per fratturazione (piroclastiti, lave andesitiche, ecc...)
- 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.
- 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.

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 le litologie carbonatiche (turbine AG01 e AG02), che presentano permeabilità medio-alta per carsismo e fratturazione.

Nell'area percorsa da cavidotto invece la permeabilità si attesta essere da medio-bassa per fratturazione a 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.

In particolare, le turbine AG01, AG02, e AG05 ricadono a oltre 700m di distanza dalle sorgenti più vicine, e comune poggiano a quote superiori.

Per quanto riguarda la Turbina AG03, questa poggia a circa 468mslm, la sorgente più vicina che dista 450m, affiora a 440mslm, questa in ogni caso si riversa nel torrente nelle immediate vicinanze, non andando a interferire con la fondazione della turbina. La stratificazione dell'ammasso sulla quale poggia la AG03 immerge verso il torrente.

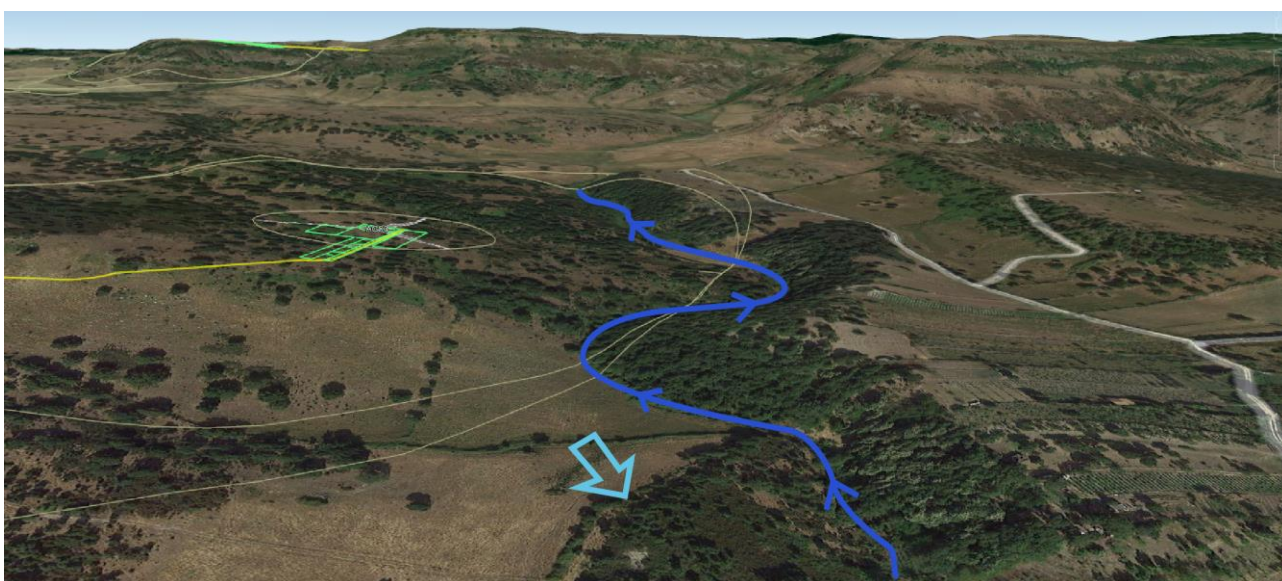


Figura 34 In blu il corso d'acqua e in azzurro la posizione della sorgente più prossima alla AG03

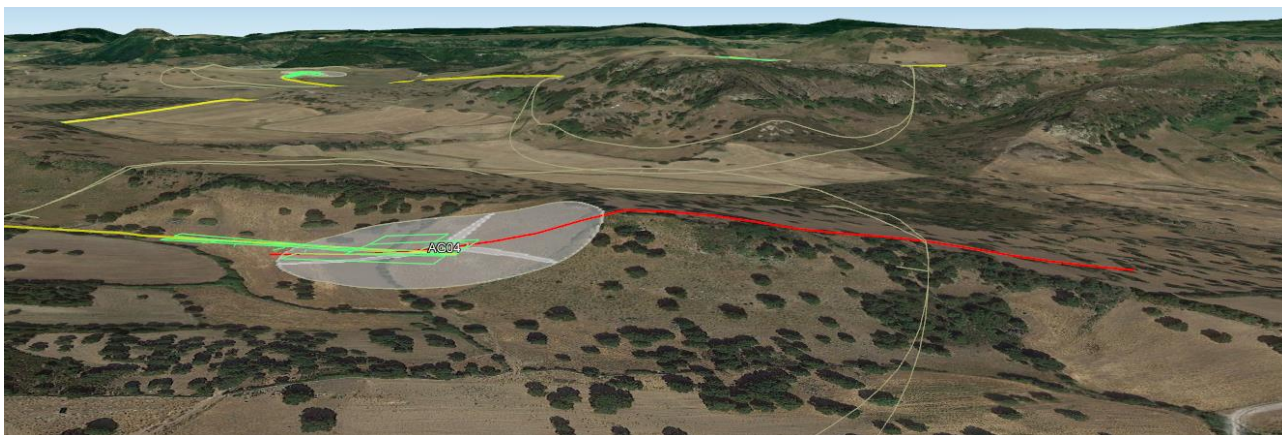


Figura 35 Immagine Google Earth con rilievo dell'area in cui ricadrà la AG04

Nel caso dell'AG04, sorgente e turbina distano circa 200m e si trovano alla medesima quota, dall'immagine sottostante è però possibile notare come queste si trovino ai versanti opposti di uno stesso rilievo e come in ogni caso la stratificazione dello stesso escluda possibili interazioni tra acque meteoriche che scorrono lungo eventuali strati impermeabili e fondazione.

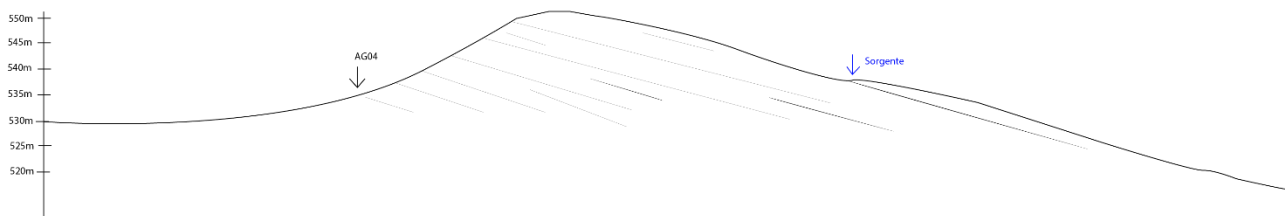


Figura 36 Profilo del rilievo in cui ricadrà la AG04 con indicata la posizione della stessa, la posizione della sorgente più vicina, e l'andamento della stratificazione

Nel caso della AG06, sorgente e Turbina distano circa 180m, anche in questo caso la fondazione si trova in una Cuesta, in prossimità della parte più elevata, a 547mslm, mentre la sorgente affiora a 536mslm; anche in questo caso la stratificazione escluda possibili interazione tra acque sotterranee e fondazione.

Si fa notare in ogni caso che i bacini idrografici che interessano le fondazioni delle turbine coprono superfici poco significative e che le sorgenti segnalate si presentano solo nei periodi piovosi dell'anno.

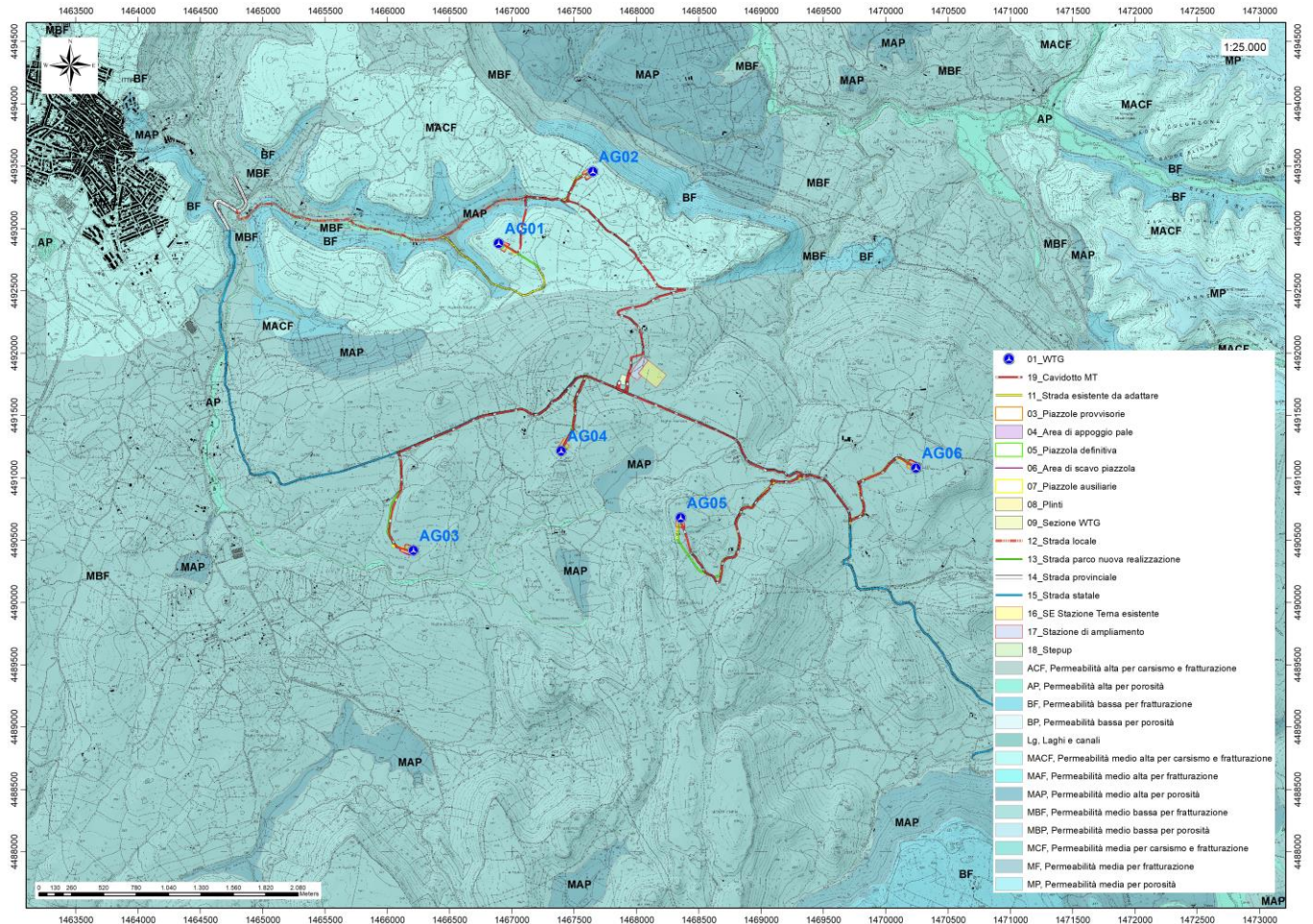


Figura 37 Carta delle Permeabilità dei Substrati e dei Suoli – area impianto (Fonte RAS)

11. Inquadramento pedologico

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

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

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

1. "Calcari organogeni, calcareniti, arenarie e conglomerati del Miocene e relativi depositi colluviali.", associati a suoli dell'unità F2;
2. "Rocce effusive acide (andesiti, rioliti, riodaciti, ecc.) e intermedie (fonoliti) del Cenozoico e loro depositi di versante e colluviali" associate ai suoli dell'unità D3;
3. "Rocce effusive acide (andesiti, rioliti, riodaciti, ecc.) e intermedie (fonoliti) del Cenozoico e loro depositi di versante e colluviali.", cui sono associati suoli dell'unità D2;
4. "Rocce effusive acide (andesiti, rioliti, riodaciti, ecc.) e intermedie (fonoliti) del Cenozoico e loro depositi di versante e colluviali." Associate all'unità D5;
5. "Alluvioni e su conglomerati, arenarie eoliche e crostoni calcarei dell'Olocene.", associate ai suoli dell'unità L1.

L'area di progetto dove verranno installate le turbine ricade nelle unità citate (F2, D2 e D3), la stazione di accumulo nell'unità D5, mentre i cavidotti nelle unità D3, D5, L1, F2.

Nell'area dove verranno installate le turbine AG01 e AG02 sono presenti suoli dell'unità F2 della Carta dei Suoli della Sardegna - Profili A-C, A-Bw-C, A-Bt-C e subordinatamente roccia affiorante, da mediamente a poco profondi, da franco sabbioso argillosi a argillosi, permeabili, neutri, saturi.

Nelle aree dove verranno installate le turbine AG03, AG04, e AG05 sono presenti suoli dell'unità D3 della Carta dei Suoli della Sardegna - Roccia affiorante e suoli a profilo A-C, A-R e subordinatamente A-Bw-C, poco profondi, da sabbioso franchi a franco argillosi, da permeabili a mediamente permeabili, neutri, saturi.

La turbina AG06 invece, verrà installata su suoli dell'unità D2 della suddetta Carta dei Suoli – 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.

La porzione di viabilità e i cavidotti che collegano le turbine alla stazione di accumulo ricadono, oltre che nelle unità D2, D3 e F2 sopra descritte, anche nelle:

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

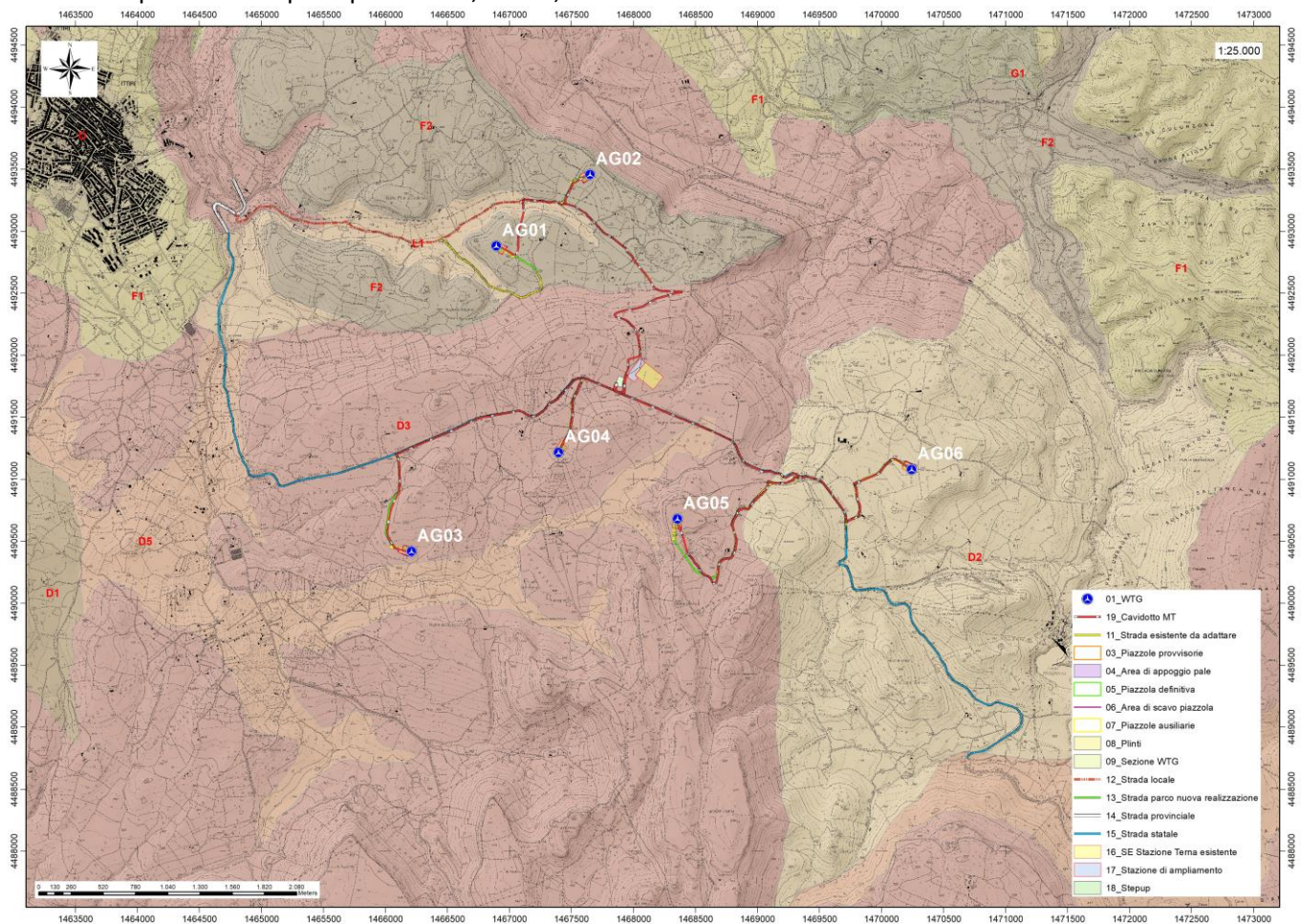


Figura 38 Carta dei Suoli (Fonte RAS)

12. Uso del Suolo

Dalla Carta dell'Uso del Suolo, resa disponibile dalla Regione Sardegna, si evince che l'ambito di progetto del Parco eolico "Ittiri" 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 Aree a pascolo naturale (321), Seminativi in aree non irrigue (2111), Prati artificiali (2112), e Colture temporanee associate ad altre colture permanenti (2413).

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

1. nel livello 321, classificato come "Aree a pascolo naturale", il punto di installazione della turbina AG01 e AG05;
2. nel livello 2111, classificato come "Seminativi in aree non irrigue" i punti di installazione delle turbine AG02 e AG04.
3. nel livello 2413, classificato come "Colture temporanee associate ad altre colture permanenti" il punto di installazione della turbina AG03.
4. nel livello 2112, classificato come "Prati artificiali", il punto di installazione della turbina AG06.

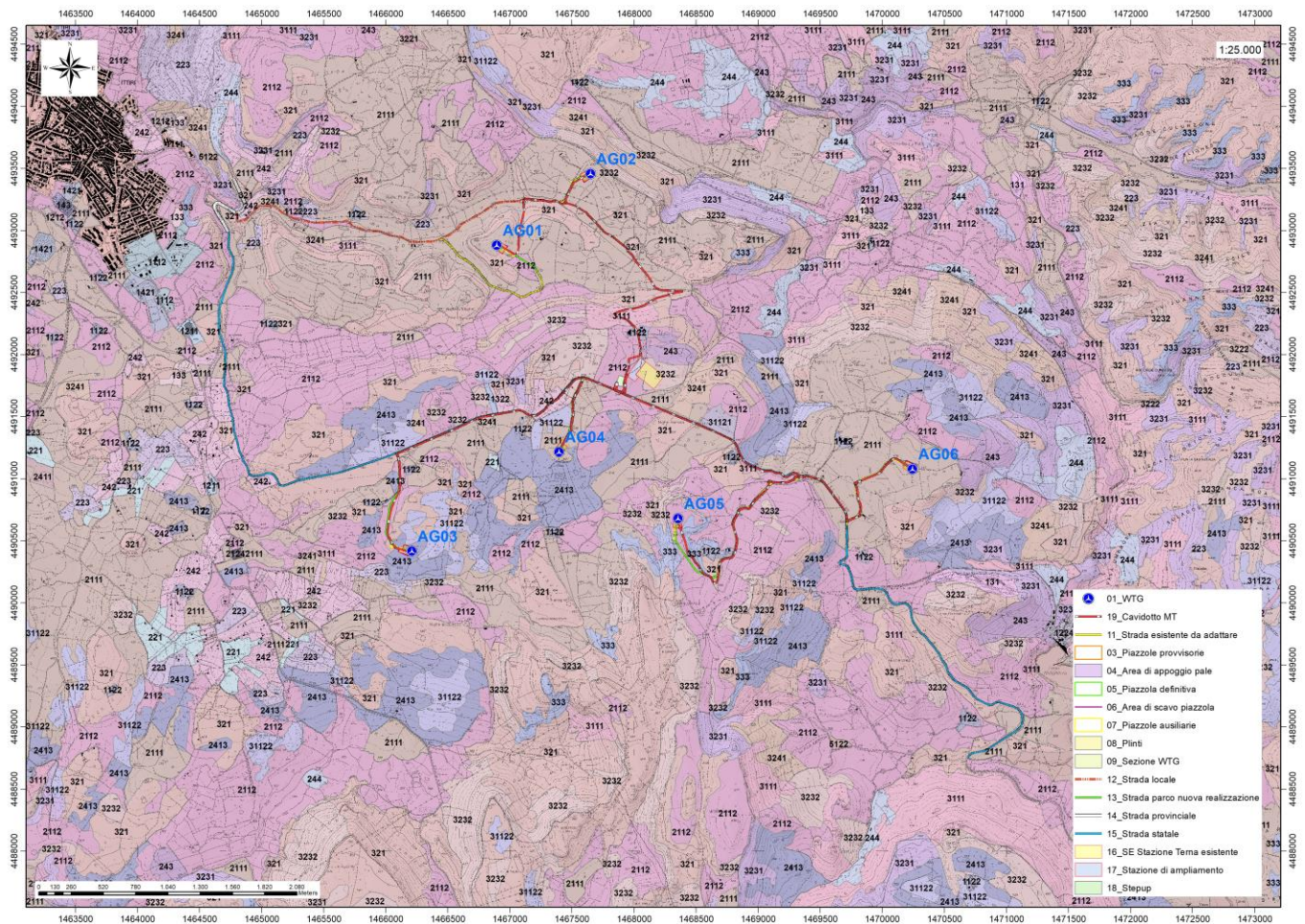


Figura 39 Stralcio della Carta dell'Uso del Suolo della Sardegna (2008, Fonte RAS).

13. Analisi dei vincoli gravanti sui terreni

13.1. Piano Stralcio D'Assetto Idrogeologico della Sardegna

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

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

Alla data attuale non risulta che Il comune di **Ittiri** abbia realizzato uno studio sull'ambito comunale ex Art. 8 comma 2 delle Norme di Attuazione del P.A.I. Si riportano di seguito gli inquadramenti delle aree di progetto relativamente alla pericolosità geomorfologica e idraulica vigente (Fonte RAS, Comune di Ittiri)

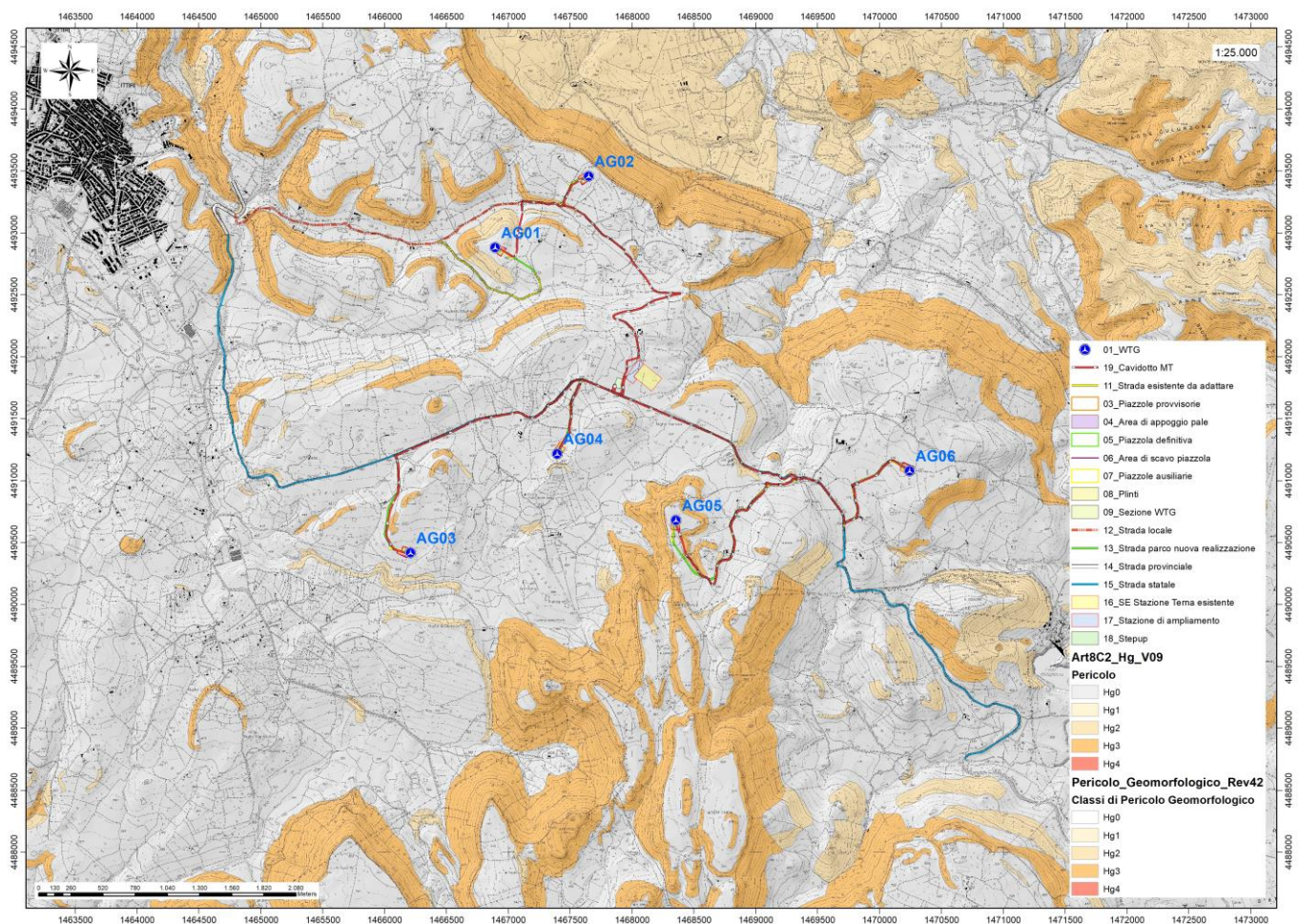


Figura 40 Inquadramento PAI Pericolosità da frana (Fonte RAS).

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 comunale di **Ittiri** sono presenti diversi settori con diverso grado di pericolosità geomorfologica (Hg0, Hg2, Hg3 e Hg4), e di Rischio geomorfologico (Rg0, Rg1, Rg2 e Rg3) per fenomeni legati ad eventi franosi. Questa aree sono localizzate a E del centro abitato, sia lungo il cavidotto che vicino alle postazioni dove verranno realizzate le turbine.

Per quanto riguarda le turbine, pur essendo vicine ad aree con Hg1, Hg2 e Rg1 e Rg2, nessuna di esse ricade direttamente in queste aree: solo le turbine AG03 e AG05 presentano una porzione di cavidotto e strada di accesso direttamente interessate da pericolo geomorfologico Hg2 e rischio geomorfologico Rg1 e Rg2, mentre la porzione di cavidotto più prossima all'abitato di Ittiri si trova molto vicina ad un'area Hg3.

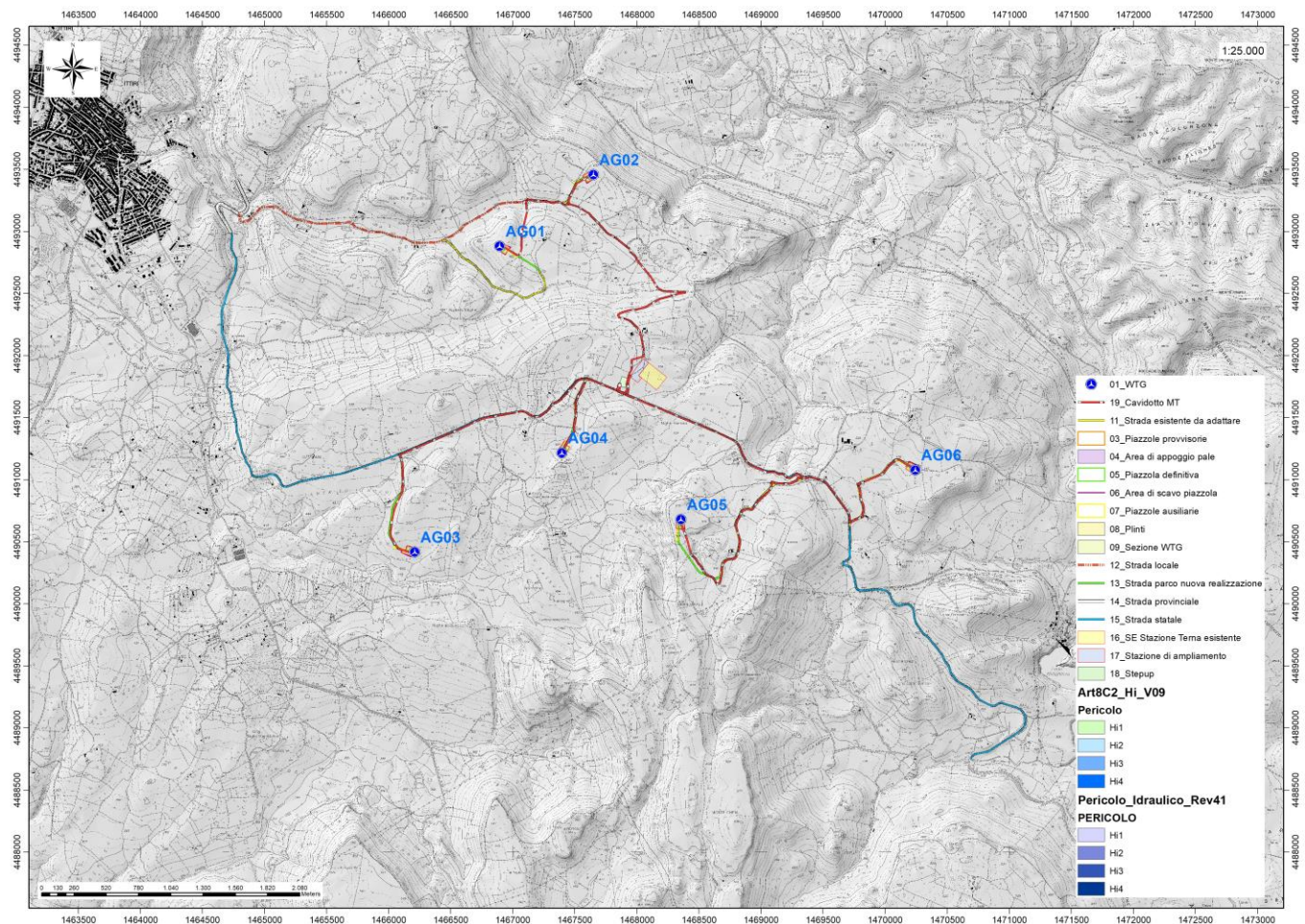


Figura 41 Inquadramento PAI Pericolosità idraulica (Fonte RAS).

Per quanto concerne la pericolosità idraulica, l'area di progetto non risulta interessata da pericolosità idraulica. Valgono naturalmente le norme di salvaguardia di cui all'art.30 ter NTA PAI

13.2. Art.30 Ter NTA PAI

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

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

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

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

Nel caso specifico non sono presenti corsi d'acqua nelle cui rispettive fasce di rispetto siano presenti le Turbine in progetto e/o le relative piazzole. Alcuni tratti di viabilità invece intersecano linee di drenaggio con ordine 1 e 2. Nella maggior parte dei casi si tratta di tratti di strada esistente che saranno pertanto oggetto di adeguamento e manutenzione straordinaria. Solo in corrispondenza del tratto di nuova realizzazione della bretella su AG05 si andrà a attraversare un impluvio con ordine Strahler 2.

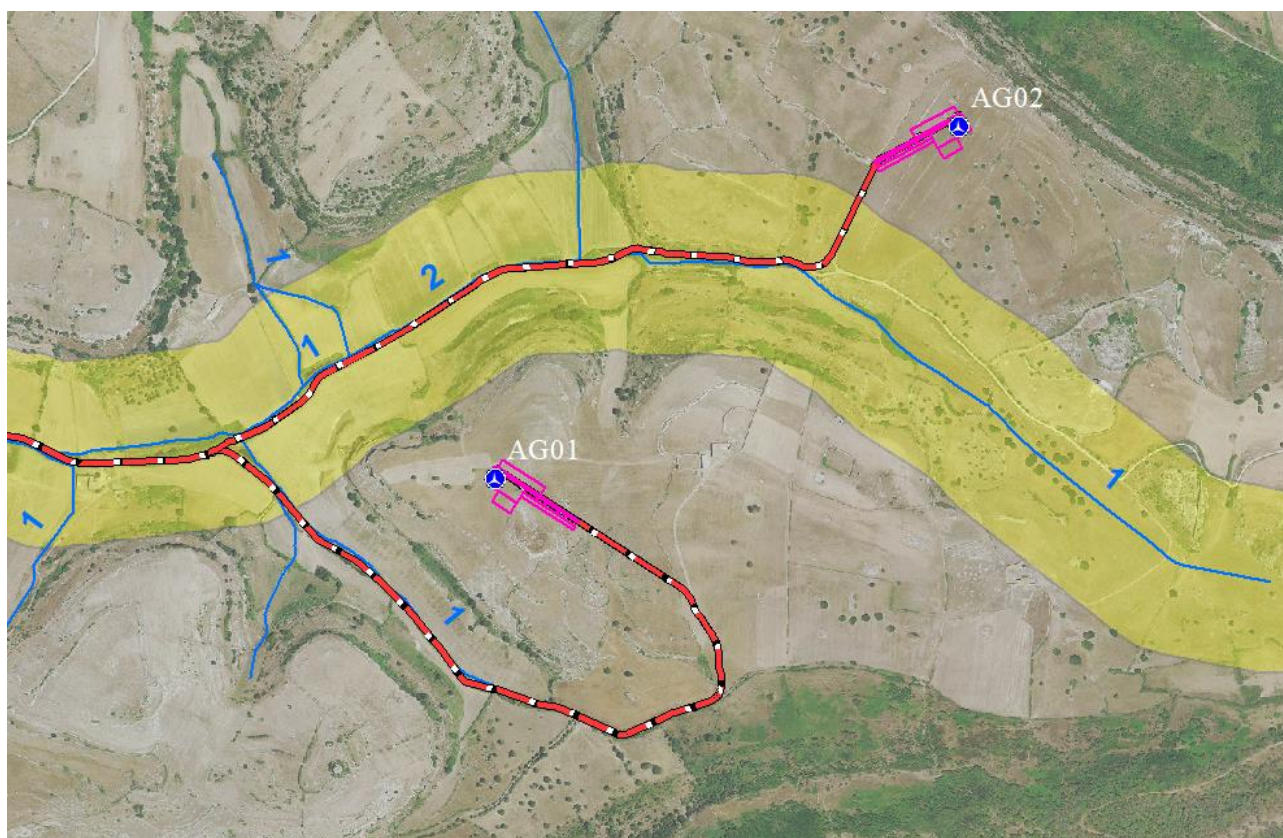


Figura 42 Reticolo idrografico numerato secondo l'ordine di Stralher con in giallo una fascia di riferimento di 150m

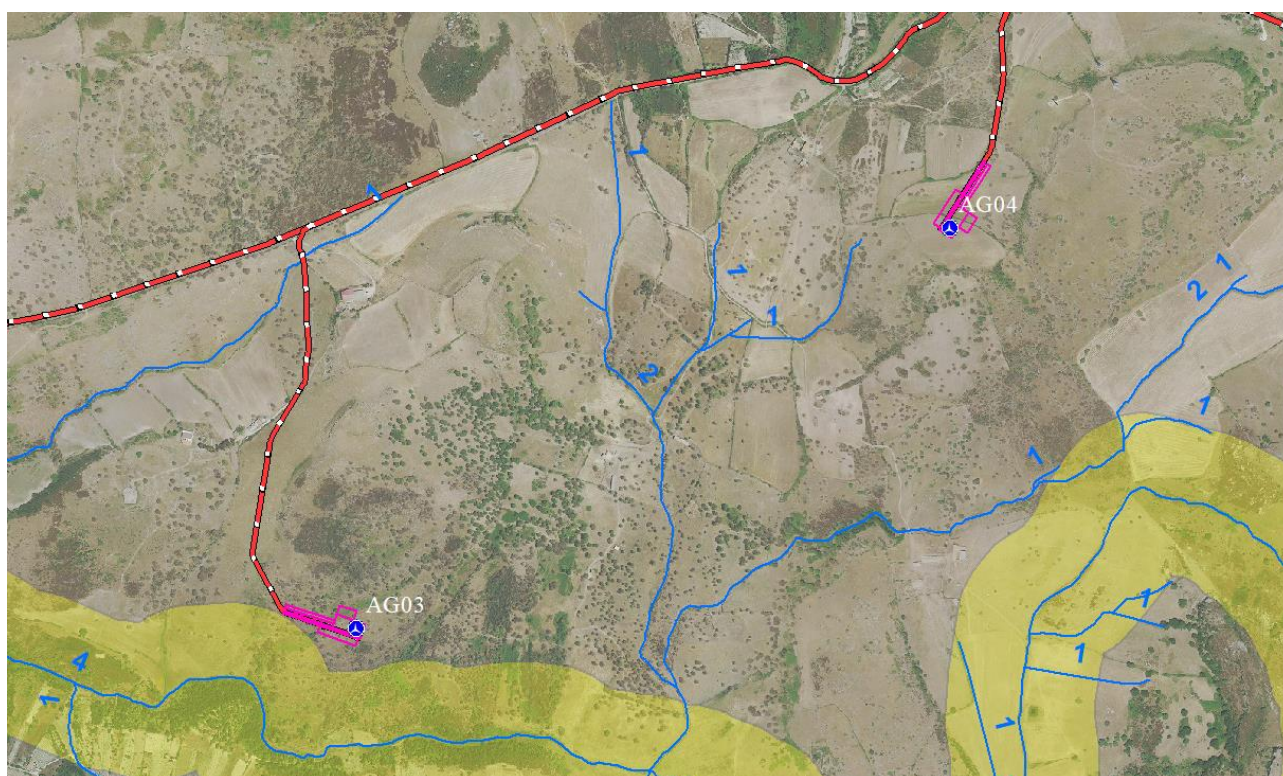


Figura 43 Reticolo idrografico numerato secondo l'ordine di Stralher con in giallo una fascia di riferimento di 150m



Figura 44 Reticolo idrografico numerato secondo l'ordine di Stralher con in giallo una fascia di riferimento di 150m

La posa del cavidotto prevede l'interramento del suo tratto, salvo per gli attraversamenti (canale e ferrovia) per i quali verrà utilizzato il sistema a sonda teleguidata T.T.O.C. con quantità in esubero pari alla sezione del tubo e quantificabile in pochi mc, ad una profondità maggiore di 1m da piano campagna per cui ai sensi dell'art.27 comma 3 lettera g non è necessario uno studio di compatibilità idraulica.

Le sezioni di scavo sono diverse a seconda del tratto interessato. Di seguito si riporta stralcio della tavola con due sezioni esemplificative a cui si rimanda ulteriori specifiche tecniche.

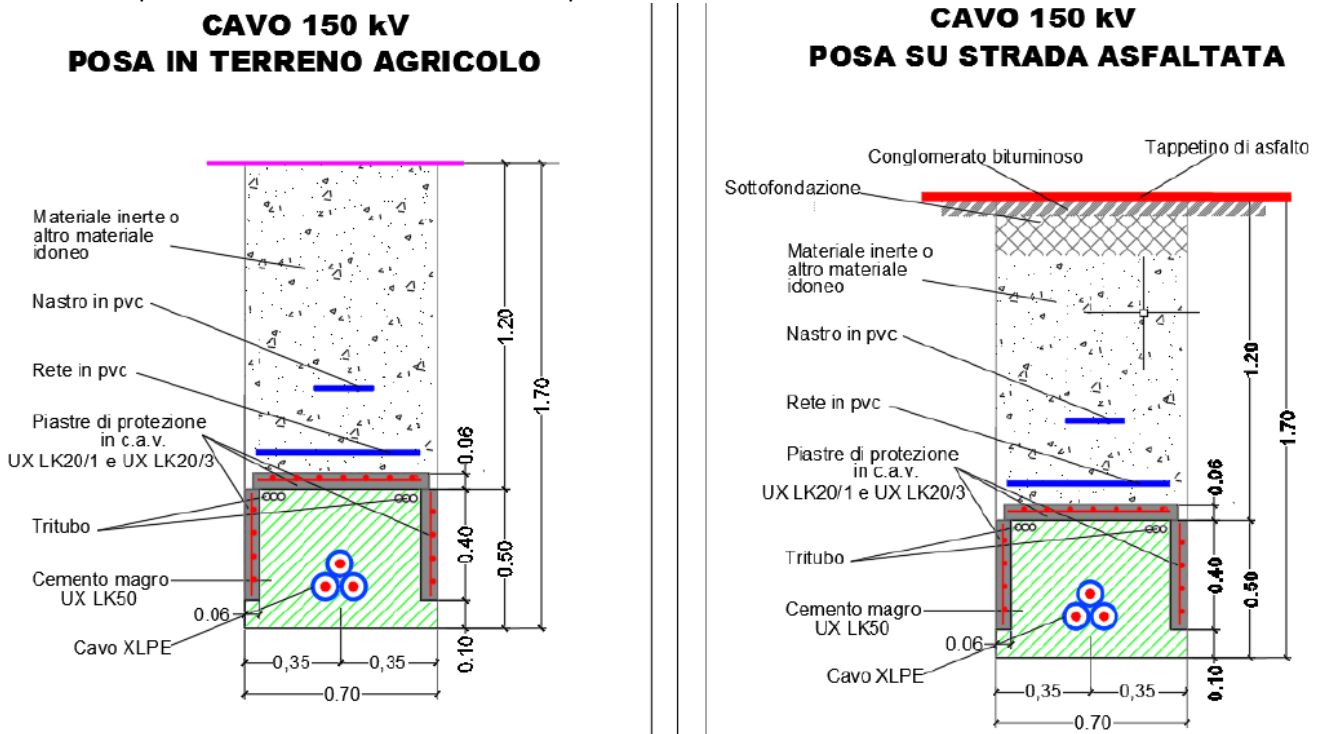


Figura 45 - Alcuni tipici di sezioni cavidotto

13.3. Inventario dei Fenomeni franosi

Per quanto riguarda il censimento dei siti franosi nell'ambito del Progetto IFFI, nell'inventario sono menzionate aree che ricadono nell'ambito territoriale del comune di Ittiri. In particolare, a E di Ittiri lungo la strada SP 41 bis, nel 2005 è stata segnalata una frana per crollo/ribaltamento diffuso che interessa le rocce effusive piroclastiche (UUI e LGS) per un'area di 19386,8 mq. Si tratta di un'area prossima al tratto stradale che attraverserà il cavidotto dall'abitato di Ittiri verso le stazioni eoliche.

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

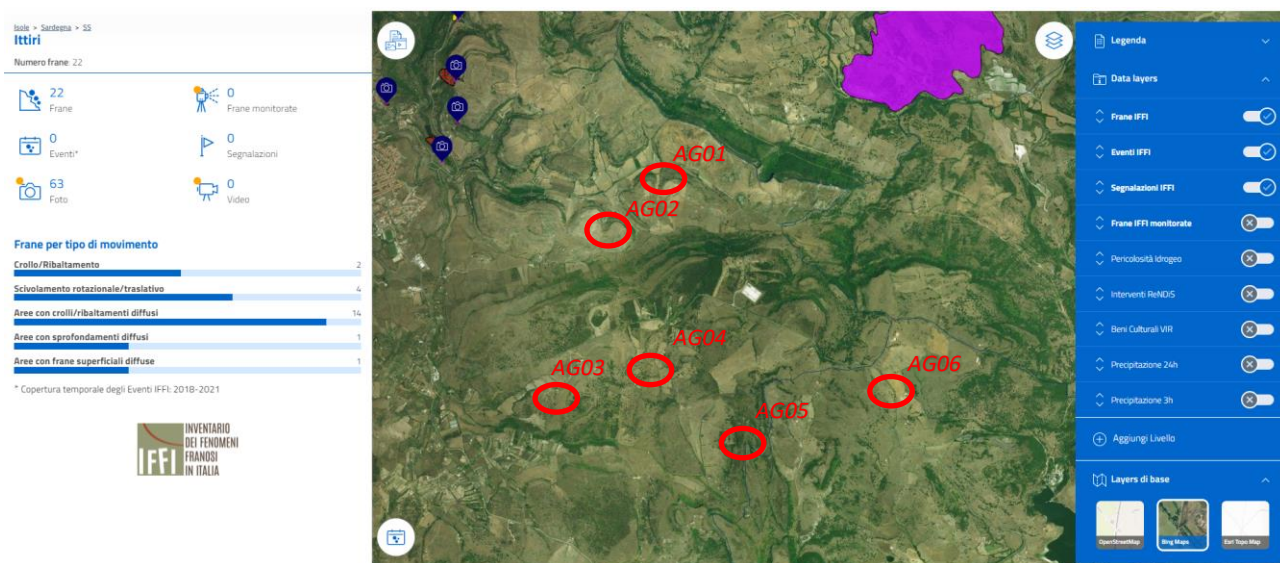


Figura 46 Archivio IFFI (Fonte ISPRA) in rosso l'area di intervento

13.4. Piano Stralcio delle Fasce Fluviali

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

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

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

Per quanto riguarda le delimitazioni presenti nella cartografia del Piano Stralcio Fasce Fluviali, si evince che nel territorio comunale di Ittiri sono presenti diverse aree di fascia A2, ($Tr < 2$ anni), fascia A50 ($Tr = 2-50$ anni), fascia B200 ($Tr = 100-200$ anni), e fascia C (Fascia Geomorfologica) individuabili nella parte nord-orientale del territorio

in corrispondenza delle sponde del fiume Riu Mannu di Porto Torres (lontane dal sito di interesse). Nessuna delle turbine, né porzioni del cavidotto, ricadono nelle fasce fluviali.

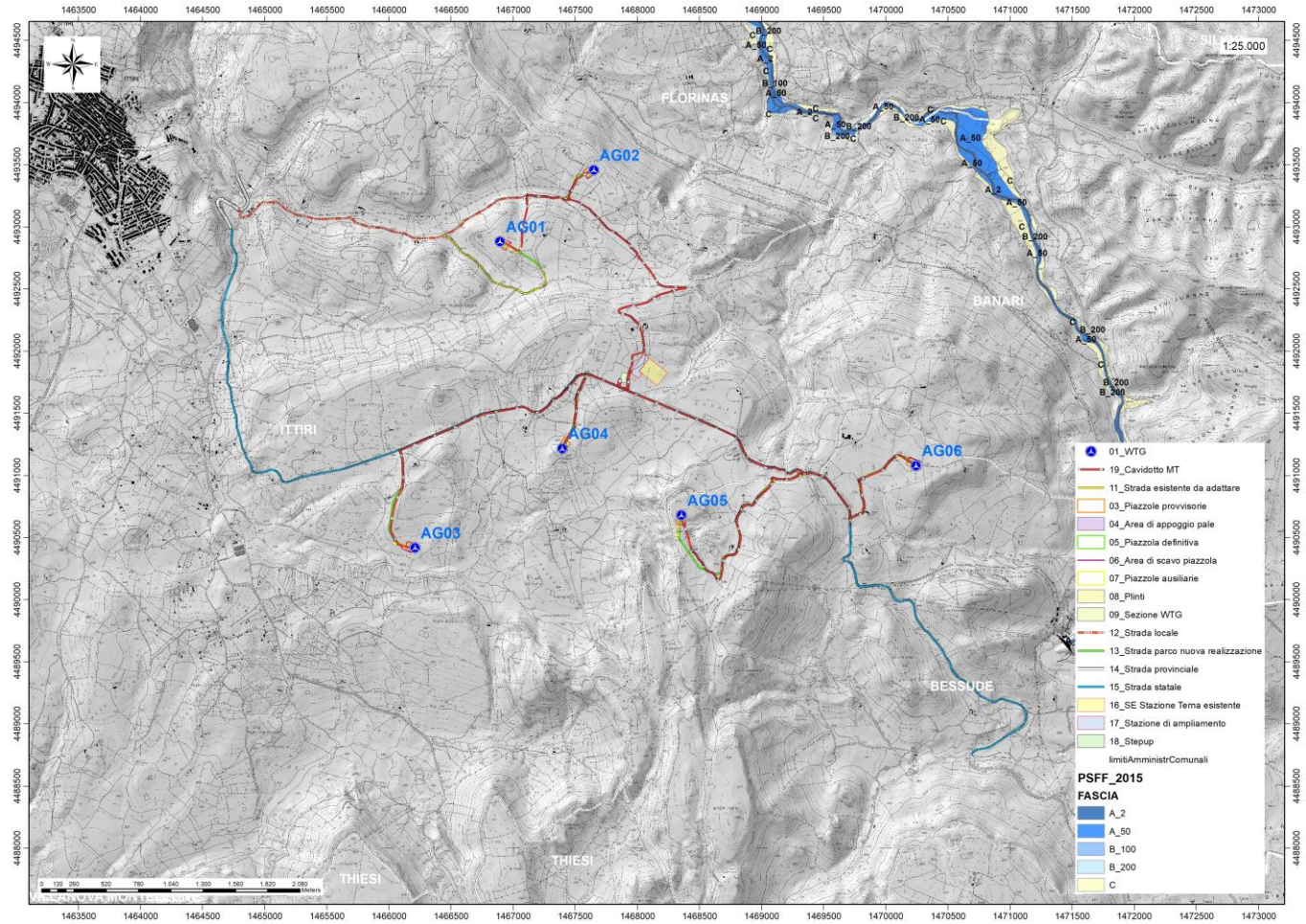


Figura 47 Stralcio perimetrazione Piano Stralcio fasce Fluviali PSFF

13.5. Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA)

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

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

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

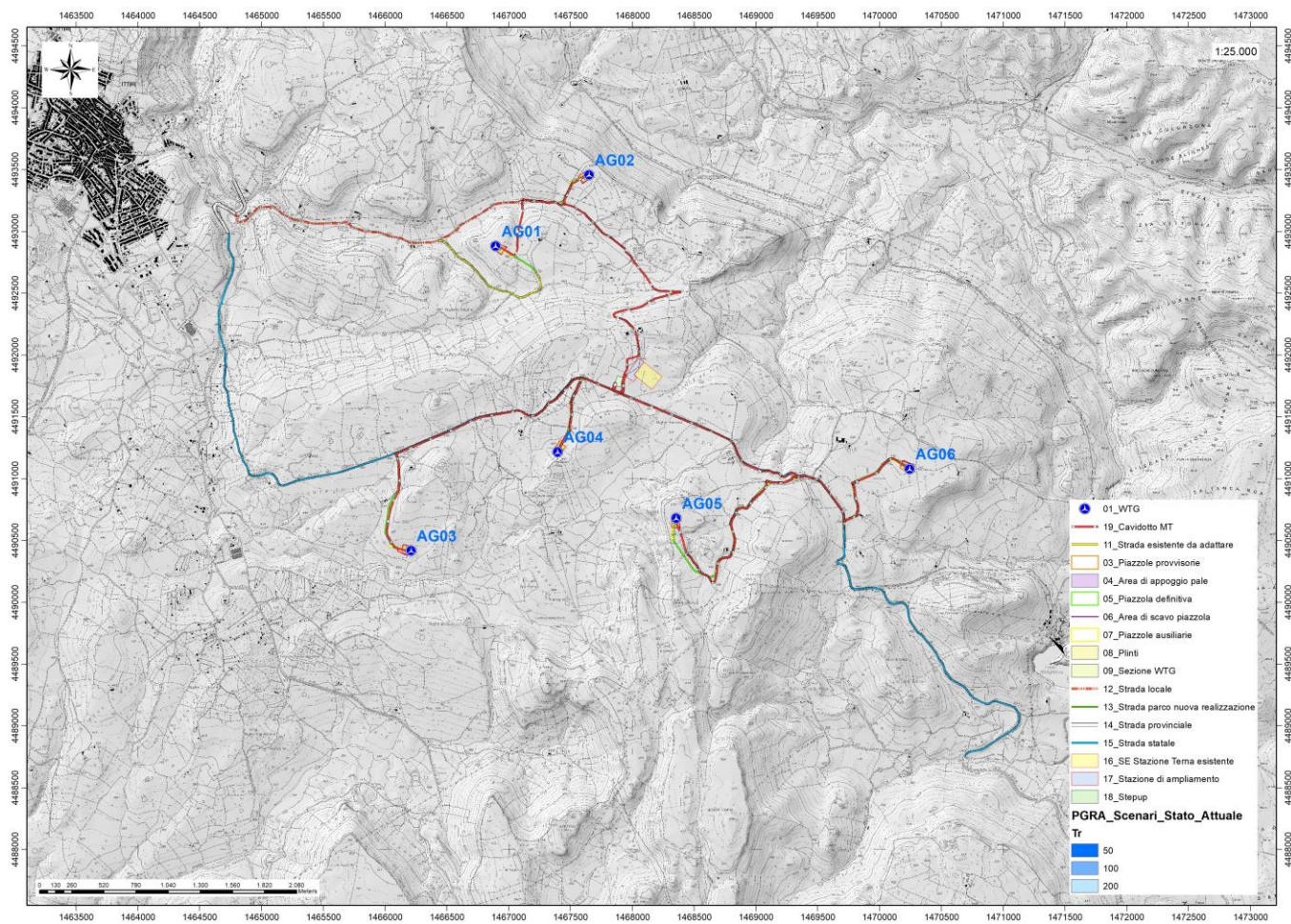


Figura 48 Stralcio perimetrazione PGRA Rev.2020

MISTRAL Wind Energy Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesMis-CLP-ES-GEO-TR-023	Rev 0	Pagina 52 di 70
-------------------------	---------------------	--	-------	--------------------

14. Modellazione geologica

14.1. Caratterizzazione geostrutturale degli ammassi rocciosi

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

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

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

dove:

σ'_1 e σ'_3 = sforzi efficaci principali rispettivamente massimo e minimo a rottura;

mb = costante d'ammasso

s ed a = costanti d'ammasso

σ_{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 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 o sulla base di un controllo diretto con l'indice RMR della classificazione di Bieniawski.
3. Determinazione della costante mi (Funzione del tipo di roccia): i valori delle costanti caratteristiche della roccia (σ_{ci} e mi) vengono generalmente definiti sulla base di apposite prove di laboratorio, ma in assenza delle suddette, è possibile fare riferimento alla tabella di Fig.58, che riassume i valori della costante mi 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 riolite, tufi
R4	Resistenza elevata	50-100	2-4	Un campione richiede più di un martello geologico per essere fratturato	Calcare, marna, fillite, arenaria, scisto, argillite
R3	Resistenza media	25-50	1-2	Non può essere raschiato o spellato con un coltellino, un campione può essere fratturato con un solo colpo mediante un martello geologico	Argillite, carbone, calcestruzzo, scisto, siltite
R2	Resistenza bassa	5-25	[**]	Con difficoltà può essere spellato con un coltellino, una intaccatura superficiale può essere procurata con un colpo inferto mediante la punta di un martello geologico	Calcare bianco, salgemma
R1	Resistenza molto bassa	1-5	[**]	Si frantuma per effetto di alcuni colpi con la punta di un martello geologico, può essere spellato mediante un coltellino	Rocce estremamente alterate o alterate
R0	Resistenza estremamente bassa	0.25-1	[**]	Intagliato con l'unghia di un pollice	Miloniti, cataclasi

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

Figura 49 - Resistenza a compressione monoassiale per diversi tipi di roccia

DESCRIZIONE DELL'AMMASSO ROCCIOSO PER LA VALUTAZIONE DELLE CARATTERISTICHE DI RESISTENZA		INDICE GEOLOGICO DI RESISTENZA GSI (Geological Strength Index)
<p>Sulla base dell'aspetto della roccia, scegliere la categoria che si pensa sia la migliore descrizione delle condizioni "reali" dell'ammasso roccioso presente in sito. Da notare che la superficie visibile della roccia ottenuta da una prova con esplosivo può dare una impressione fuorviante sulla qualità della roccia sottostante. Quando pertanto vengono opportunamente la valutazione delle caratteristiche dell'ammasso roccioso per tenere in conto il disturbo arrecato dallo scavo con esplosivo. A questo riguardo può essere utile l'esame di carotaggi ottenuti da perforazioni a circolazione continua con corone diamantate o l'osservazione della superficie creata da uno scavo realizzato con tecniche di accensione controllata. È inoltre importante ricordare che il grado di rottura di Hoek-Brown dovrebbe essere applicato con la dimensione del "volume unitario" di ammasso roccioso molto piccola in confronto alle dimensioni dello scavo in considerazione.</p>	<p>CONDIZIONI SUPERFICIALI</p> <p>MOLTO BUONE - Superfici molto scatte, sane, non alterate.</p> <p>BUONE - Superfici scatte, leggermente alterate, ossidate.</p> <p>DISCRETE - Superfici liscie, moderatamente alterate.</p> <p>SCADENTE - Superfici di facile frattura (schistose), scalfate, roccie alterate con inclusioni di impurità, compatte o costituite da frammenti angolari.</p> <p>MOLTO SCADENTE - Superfici molto alterate con fratture di riempimento costituito da argille tenere.</p>	<p>Dalle sigle determinate con la tabella riportata precedentemente che descrivono la struttura e le condizioni superficiali dell'ammasso roccioso, viene calcolata l'ipotesizzata capacità della presente tabella. Stimare il valore medio di GSI delle linee di uguale valore di GSI che attraversano la cascata di riferimento. A quest'ultimo riguardo non è importante essere troppo precise, indicare per GSI un valore compreso tra 30 e 42 è molto più realistico che indicare GSI=35.</p>
<p>STRUTTURA</p> <p>A BLOCCHI - Ammasso roccioso indisturbato costituito da blocchi cubici, formati da tre famiglie di discontinuità tra loro ortogonali, con un elevato grado di mutuo incastro.</p> <p>CON MOLTI BLOCCHI - Ammasso roccioso parzialmente disturbato con blocchi angolari, mutualmente incastriati, con più sfaccettature formate da quattro o più famiglie di discontinuità.</p> <p>A BLOCCHI/DISTURBATA - Ammasso roccioso con blocchi angolari formati dall'intersezione di molte famiglie di discontinuità.</p> <p>DISINTEGRATA - Ammasso roccioso molto fratturato e con basso grado di mutuo incastro formato da un insieme di blocchi rocciosi angolari e arrotondati.</p>	<p>CONDIZIONI SUPERFICIALI</p> <p>MOLTO BUONE - Superfici molto scatte, sane, non alterate.</p> <p>BUONE - Superfici scatte, leggermente alterate, ossidate.</p> <p>DISCRETE - Superfici liscie, moderatamente alterate.</p> <p>SCADENTE - Superfici di facile frattura (schistose), scalfate, roccie alterate con inclusioni di impurità, compatte o costituite da frammenti angolari.</p> <p>MOLTO SCADENTE - Superfici molto alterate con fratture di riempimento costituito da argille tenere.</p>	<p>STRUTTURA</p> <p>A BLOCCHI - Ammasso roccioso indisturbato costituito da blocchi cubici, formati da tre famiglie di discontinuità tra loro ortogonali, con un elevato grado di mutuo incastro.</p> <p>CON MOLTI BLOCCHI - Ammasso roccioso parzialmente disturbato con blocchi angolari, mutualmente incastriati, con più sfaccettature formate da quattro o più famiglie di discontinuità.</p> <p>A BLOCCHI/DISTURBATA - Ammasso roccioso con blocchi angolari formati da un'intersezione di molte famiglie di discontinuità.</p> <p>DISINTEGRATA - Ammasso roccioso molto fratturato e con basso grado di mutuo incastro formato da un insieme di blocchi rocciosi angolari e arrotondati.</p>
<p>DIMENSIONE DEL GRADO DI MUTUO INCASTRO DELL'AMMASSO ROCCIOSO</p>	<p>DIMENSIONE DELLA QUALITÀ SUPERFICIALE DELL'AMMASSO ROCCIOSO</p>	<p>DIMENSIONE DEL GRADO DI MUTUO INCASTRO DELL'AMMASSO ROCCIOSO</p>

Figura 50 Abaco per la determinazione di GSI sulla base delle caratteristiche geologiche e strutturali dell'ammasso

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

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

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

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

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

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

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

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

TIPO DI ROCCIA	CLASSE	GRUPPO	TESSITURA			
			GROSSOLANA	MEDIA	FINE	MOLTO FINE
SEDIMENTARIE	Clastiche		Conglomerato (22)	Arenaria 19 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 51 Valori della costante mi per diversi tipi di roccia

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.4 **tipologie** tra le litologie che caratterizzano le formazioni presenti, appartenenti alla **Formazione di Monte Santo**, alla **Unità di Su Suerzu**, alla **Unità di Uri** e alla **Unità di Nuraghe Vittore**.

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.

	COSTANTI DEL MATERIALE: m, s	ROCCIE CARBONATICHE CON CLIVAGGIO CRISTALLINO BEN SVILUPPATO <i>Dolomite, calcare e marmo.</i>	ROCCIE ARGILLOSE LITIFICATE <i>Argille, siltite, scisti argillosi con clivaggio ben marcato.</i>	ROCCIE ARENACEE CON ELEVATA CRISTALLIZZAZIONE E LIMITATO SVILUPPO DI CLIVAGGIO PER CRISTALLIZZAZIONE <i>Arenarie e quarzite</i>	ROCCIE CRISTALLINE IGNEE E GRANA FINE <i>Andesite, dolerite, diabase e riolite</i>	ROCCIE IGNEE A GRANA GROSSOLANA E ROCCIE CRISTALLINE METAMORFICHE <i>Amfibolite, gabbro, gneiss, novite, quarzo-clorite</i>
<p>Criterio di rottura empirico</p> $\sigma_1 = \sigma_3 + \sqrt{m\sigma_{u(r)}\sigma_3 + s\sigma_{u(r)}^2}$ <p> σ_1 = tensione efficace principale massima σ_3 = tensione efficace principale minima $\sigma_{u(r)}$ = resistenza a compressione monoassiale m ed s: costanti empiriche </p>						
<p>CAMPIONI DI ROCCIA INTATTA <i>Campioni di laboratorio senza discontinuità (matrice rocciosa)</i> Indice CSIR: RMR = 100 Indice NGI: Q = 500</p>	m s	7.00 1.00	10.00 1.00	15.00 1.00	17.00 1.00	25.00 1.00
<p>AMMASSO ROCCIOSO DI OTTIMA QUALITÀ <i>Ammasso roccioso indisturbato con giunti non alterati di spaziatura compresa fra 1 e 3 m</i> Indice CSIR: RMR = 65 Indice NGI: Q = 100</p>	m s	2.40 0.082	3.43 0.062	5.14 0.082	5.82 0.082	8.56 0.062
<p>AMMASSO ROCCIOSO DI BUONA QUALITÀ <i>Roccia sana o leggermente alterata, leggermente disturbato con giunti di spaziatura compresa fra 1 e 3 m.</i> Indice CSIR: RMR = 65 Indice NGI: Q = 10</p>	m s	0.575 0.00293	0.821 0.00293	1.231 0.00293	1.395 0.00293	2.052 0.00293
<p>AMMASSO ROCCIOSO DI DISCRETA QUALITÀ <i>Numerose famiglie di giunti moderatamente alterati, con spaziature comprese fra 0.3 e 1 m.</i> Indice CSIR: RMR = 44 Indice NGI: Q = 1</p>	m s	0.128 0.00009	0.183 0.00009	0.275 0.00009	0.311 0.00009	0.458 0.00009
<p>AMMASSO ROCCIOSO DI QUALITÀ SCADENTE <i>Numerosi giunti alterati con spaziatura compresa fra 30 e 500 mm, alcuni con riempimento. Detrito di roccia pulita compattata.</i> Indice CSIR: RMR = 23 Indice NGI: Q = 0.1</p>	m s	0.029 0.000003	0.041 0.000003	0.061 0.000003	0.069 0.000003	0.102 0.000003
<p>AMMASSO ROCCIOSO DI QUALITÀ MOLTO SCADENTE <i>Numerosi giunti molto alterati con spaziatura inferiore a 50 mm e con riempimento. Detrito di roccia con materiale fine.</i> Indice CSIR: RMR = 3 Indice NGI: Q = 0.01</p>	m s	0.007 0.0000001	0.010 0.0000001	0.015 0.0000001	0.017 0.0000001	0.025 0.0000001

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

Figura 52 Correlazione fra valori di m, s, indice RMR, ed il tipo di roccia.

Di seguito si riportano gli schemi di analisi degli ammassi rocciosi e i relativi diagrammi di Mohr -Coulomb:

Formazione di Monte Santo

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

Instabilità= scivolamenti planari e a cuneo

Ammasso roccioso= poco 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

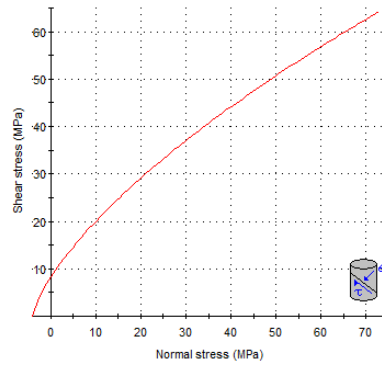
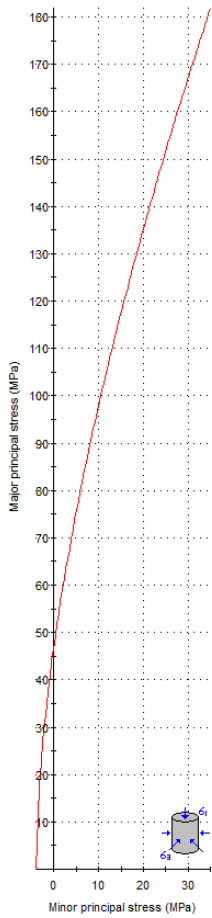
$m_b = 3.947$ $s = 0.1137$ $a = 0.500$

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



Unità di Su Suerzu

Standard ISRM = R3 Mediamente resistente

Instabilità= scivolamenti planari e a cuneo

Ammasso roccioso= irregolare

Struttura= massiccia

Alterazione= mediamente alterata

Spaziatura totale delle discontinuità (s)=1,5m

Lunghezza media del giunto = >3m

Apertura del giunto = 1 - 50mm

Giunto – rugoso ondulato classe IV

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 = 40 MPa
GSI = 78 mi = 13 Disturbance factor = 0.7

Hoek-Brown Criterion

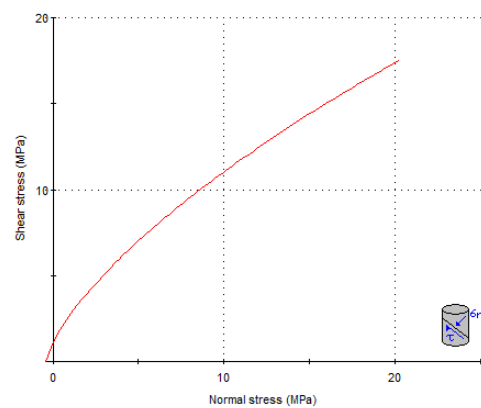
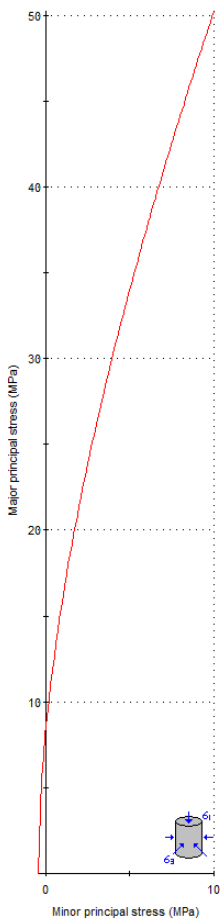
mb = 3.881 s = 0.0412 a = 0.501

Mohr-Coulomb Fit

cohesion = 2.971 MPa friction angle = 37.37 deg

Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.425 MPa
uniaxial compressive strength = 8.105 MPa
global strength = 12.018 MPa
modulus of deformation = 20603.61 MPa



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

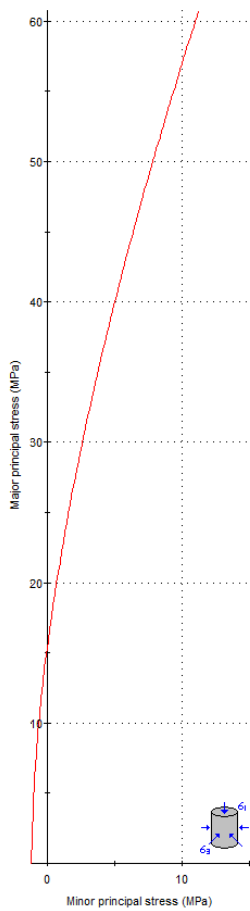
Spaziatura totale delle discontinuità (s)= 1,3 m

Lunghezza media del giunto = >3 m

Pareti – mediamente alterate

Riempimento – sciolto

Roccia – da asciutta a umida



Analysis of Rock/Soil Strength using RocData

Hoek-Brown Classification

intact uniaxial compressive strength = 45 MPa
GSI = 85 $m_i = 10$ Disturbance factor = 0.7

Hoek-Brown Criterion

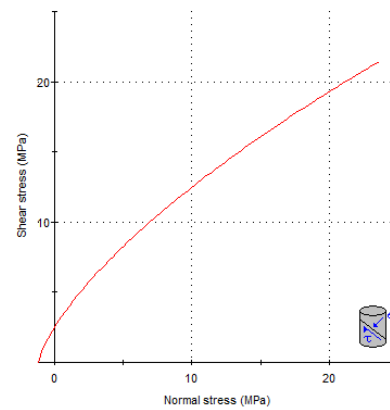
$m_b = 4.386$ $s = 0.1137$ $a = 0.500$

Mohr-Coulomb Fit

cohesion = 4.130 MPa friction angle = 37.93 deg

Rock Mass Parameters

tensile strength = -1.167 MPa
uniaxial compressive strength = 15.164 MPa
global strength = 16.911 MPa
modulus of deformation = 32697.88 MPa



Unità di Monte Vittore

Standard ISRM = R4 Molto resistente (>100Mpa)

Instabilità= scivolamenti planari e a cuneo

Ammasso roccioso= poco fratturato e mediamente alterato

Struttura= massiccia

Alterazione= poco alterato

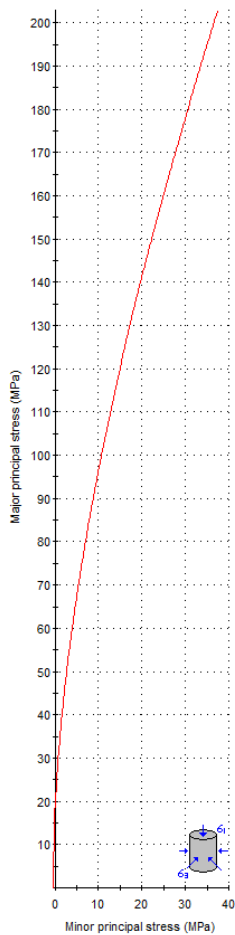
Spaziatura totale delle discontinuità (s)= 0,35 m

Lunghezza media del giunto = 2 m

Pareti – mediamente alterate

Riempimento – sciolto/assente

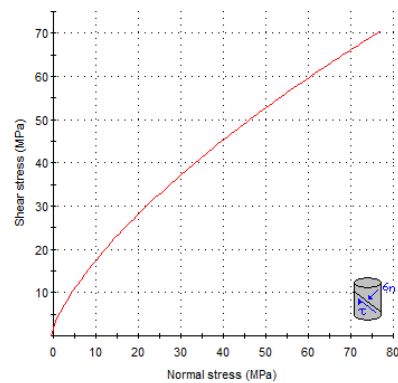
Roccia – da asciutta a umida

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 Parameterstensile strength = -0.403 MPa
uniaxial compressive strength = 16.960 MPa
global strength = 45.334 MPa
modulus of deformation = 20554.80 MPa

MISTRAL Wind Energy Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesMis-CLP-ES-GEO-TR-023	Rev 0	Pagina 60 di 70
-------------------------	---------------------	--	-------	--------------------

15. Modello geologico di sito

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

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

1. Azioni sulle pareti e stabilità dei fronti. Lo scavo stesso, in quanto genera depressione, può innescare locali smottamenti in corrispondenza degli orizzonti meno competenti a causa di fenomeni di detensionamento determinati dall'asportazione del materiale durante l'escavazione, sia in relazione ai livelli meno competenti sia alle direzioni del sistema di fratturazione che può generare componenti a franapoggio. L'irregolarità delle discontinuità sia primarie (depositi piroclastici/sedimentazione) che secondarie (fratturazione) rende suscettibili all'instabilità eventuali fronti di scavo con variazioni 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, sono stati individuati **4 modelli geologici rappresentativi** descritti di seguito:

Modello Geologico 01 – AG01 e AG02

Per la caratterizzazione sono stati utilizzati i dati dello stendimento geofisico **SMT01** e i dati relativi alle giaciture delle discontinuità primarie e secondarie (stratificazione e fratturazione) durante il rilievo geologico di campo .

A partire dal piano campagna dopo un primo spessore di suolo di circa **0,15m** si incontra un livello superficiale di **roccia fratturata** dallo spessore di circa **2,3m**, il livello sottostante dallo spessore pari a circa **1,7m** può essere definito come **substrato roccioso fratturato** che passa a **substrato roccioso debolmente fratturato** per i successivi **2,2m** fino ad una quota da p.c di **6,2m**, quota al di sotto della quale si incontra il **substrato roccioso sano**.

Dall'analisi dell'ammasso in situ, la roccia si presenta massiva o presenta stratificazione alla scala del metro, laddove si alternano livelli più compatti e cementati a livelli leggermente più fratturati e alterati. Oltre alla giacitura della stratificazione, risulta complesso distinguere le diverse famiglie di giunti, è evidente però quando queste, talvolta subortogonali tra loro, intersecandosi tendano a dividere l'ammasso in blocchi dalle dimensioni talvolta metriche.

L'impiego congiunto della tecnica della tomografia elettrica lungo il medesimo allineamento della sismica a rifrazione ha permesso di identificare nello stendimento **SMT01** delle anomalie caratterizzate da valori di resistività inferiori rispetto al resto delle sezioni, che nel contesto in esame potrebbero essere interpretati come settori leggermente più fratturati e interessati da circolazione idrica e/o presenza di cavità di origine carsica con presenza d'acqua. Il confronto con i grafici della sismica a rifrazione in alcuni casi farebbe propendere più per la prima ipotesi, mentre in altri per la seconda.

00.00m - 2.30m	Suolo/ Calcare fratturato
02.30m - 4.00m	Substrato fratturato
04.00m - 06.20m	Substrato debolmente fratturato.
06.20m - in poi	Substrato sano

Ittiri - MODELLO GEOLOGICO 01 (AG01, AG02)					
Dati Parametri Resistenza					
Tipo di Terreno		Suolo/ Calcare fratturato	Substrato fratturato	Substrato debolmente fratturato	Substrato sano
Descrizione					
Peso di volume	[kg/mc]	2000	2000	2100	2200
Peso di volume saturo	[kg/mc]	2100	2100	2200	2300
Angolo di attrito interno	[°]	32,04	37,17	44,05	50,23
Coesione	[Mpa]	1,909	3,342	12,452	19,734
Dati Parametri Deformabilità					
Modulo elastico	[Mpa]	3040	3942	6531	12935
Coefficiente di Poisson	[]	0,33	0,33	0,33	0,33
Modulo di taglio (G)	[Mpa]	1138	1481	2452	4854
Velocità onde di taglio Vs	[m/sec]	755	860	1080	1485

Modello Geologico 02 – AG03, AG04.

Per la caratterizzazione sono stati utilizzati i dati dello stendimento geofisico **SMT02** e i dati relativi alle giaciture delle discontinuità (giunti di raffreddamento) durante il rilievo geologico di campo.

A partire dal piano campagna dopo un primo spessore di suolo vegetato di circa **0,20m** si incontra un livello superficiale di **terre da poco a mediamente addensate** dallo spessore di circa **2,3m**, arrivando a **9,3m** da p.c. si passa a **terre mediamente addensate**, il sottostante livello che poggia a **18,1m** da p.c. è un sismostrato che in base alla velocità delle onde viene identificato come **roccia tenera e/o alterata-intensamente fratturata**.

Dai **18,1m** a **23,9m** viene rilevata la presenza del substrato roccioso che, inizialmente **intensamente fratturato**, passa tra i **23,9m** e i **31,8m** da **fratturato a sano**.

Dall'analisi dell'ammasso in situ, la roccia presenta discontinuità date principalmente dai giunti di raffreddamento, risulta mediamente resistente e da debolmente a mediamente affetta da alterazione fisica. La spaziatura tra le fratture che pervadono l'ammasso roccioso varia da oltre il metro a circa 0,25m. Risulta complesso distinguere le diverse famiglie di giunti, è alta la probabilità che l'intersezione tra queste causi scivolamenti planari o a cuneo.

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).

0.00m – 2.30m	Terre da poco a mediamente addensate
2.30m – 9.30m	Terre mediamente addensate
9.30m – 18.10m	Roccia tenera e/o alterata-intensamente fratturata
18.10m – 31.80	Substrato roccioso da intensamente fratturato a sano

Ittiri - MODELLO GEOLOGICO 02 (AG03, AG04)					
Dati Parametri Resistenza					
Tipo di Terreno		Terre da poco a mediamente addensate	Terre mediamente addensate	Roccia tenera e/o alterata-intensamente fratturata	Substrato roccioso da intensamente fratturato a sano
Descrizione					
Peso di volume	[kg/mc]	1700	1800	2100	2200
Peso di volume saturo	[kg/mc]	1800	1900	2200	2300
Angolo di attrito interno	[°]	25,67	27,15	31,74	41,08
Coesione	[Mpa]	0,840	1,842	2,281	3,369
Dati Parametri Deformabilità					
Modulo elastico	[Mpa]	834	2089	4639	20535
Coefficiente di Poisson	[]	0,33	0,33	0,33	0,33
Modulo di taglio (G)	[Mpa]	314	785	1736	3834
Velocità onde di taglio Vs	[m/sec]	430	660	910	1320

Modello Geologico 03 – AG05

Per la caratterizzazione sono stati utilizzati i dati dello stendimento geofisico **SMT03** e i dati dei rilievi geomeccanici "Scanline-1".

A partire dal piano campagna dopo un primo spessore di suolo vegetato di circa **0,20m** si incontra un livello superficiale di **terre molto addensate** dallo spessore di circa **2,3m**, arrivando a **4,1m** da p.c. si passa a **roccia intensamente fratturata**, mentre il sottostante livello che poggia a **6,1m** da p.c. viene identificato come **substrato roccioso fratturato** con una velocità delle onde pari a **910 m/sec**

Dai **6,1m** a **8,9m** il substrato roccioso passa da **fratturato a sano**.

Dall'analisi dell'ammasso in situ, la roccia presenta discontinuità date principalmente dai giunti di raffreddamento, risulta mediamente resistente e da debolmente a mediamente affetta da alterazione fisica. La spaziatura tra le fratture che pervadono l'ammasso roccioso varia da oltre il metro a circa 0,25m. Risulta complesso distinguere le diverse famiglie di giunti, è alta la probabilità che l'intersezione tra queste causi scivolamenti planari o a cuneo.

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).

- 0.00m – 2.30m Terre molto addensate
- 2.30m – 4.10m Roccia intensamente fratturata.
- 4.10m – 06.10m Substrato roccioso fratturato.
- 06.10m – 08.90m Substrato roccioso da fratturato a sano.

Ittiri - MODELLO GEOLOGICO 03 (AG05)					
Dati Parametri Resistenza					
Tipo di Terreno		Terre molto addensate	Roccia intensamente fratturata	Substrato roccioso fratturato	Substrato roccioso da fratturato a sano
Descrizione					
Peso di volume	[kg/mc]	1700	2000	2100	2200
Peso di volume saturo	[kg/mc]	1800	2100	2200	2300
Angolo di attrito interno	[°]	22,67	26,01	35,04	43,71
Coesione	[Mpa]	1,218	2,011	2,815	3,620
Dati Parametri Deformabilità					
Modulo elastico	[Mpa]	834	2324	4639	10219
Coefficiente di Poisson	[]	0,33	0,33	0,33	0,33
Modulo di taglio (G)	[Mpa]	314	873	1736	3834
Velocità onde di taglio Vs	[m/sec]	430	660	910	1320

Modello Geologico 04 – AG06

Per la caratterizzazione sono stati utilizzati i dati dello stendimento geofisico **SM04** e i dati dei rilievi geomeccanici "Scanline-2".

A partire dal piano campagna dopo un primo spessore di suolo vegetato di circa 0,20m si incontra un livello superficiale di **substrato roccioso debolmente fratturato** dallo spessore di circa **2,3m** al di sotto del quale il basamento roccioso è sano con velocità delle onde oltre i **1525 m/sec**. Dall'analisi dell'ammasso in situ, la roccia presenta discontinuità nei due metri superficiali, risulta resistente e debolmente affetta da alterazione fisica. La spaziatura tra le fratture che pervadono l'ammasso roccioso varia da oltre il metro a circa 0,35m. Risulta complesso distinguere le diverse famiglie di giunti, è alta la probabilità che l'intersezione tra queste causi scivolamenti planari o a cuneo.

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°. 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).

0.00m – 2.30m Substrato roccioso debolmente fratturato

2.30m – in poi Substrato roccioso sano

Ittiri - MODELLO GEOLOGICO 04 (AG06)			
Dati Parametri Resistenza			
Tipo di Terreno		Substrato roccioso debolmente fratturato	Substrato roccioso sano
Descrizione			
Peso di volume	[kg/mc]	2100	2100
Peso di volume saturo	[kg/mc]	2200	2200
Angolo di attrito interno	[°]	39.50	48.30
Coesione	[Mpa]	14,254	23,555
Dati Parametri Deformabilità			
Modulo elastico	[Mpa]	11454	13023
Coefficiente di Poisson	[]	0,33	0,33
Modulo di taglio (G)	[Mpa]	4298	4884
Velocità onde di taglio Vs	[m/sec]	1430	1525

MISTRAL Wind Energy Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesMis-CLP-ES-GEO-TR-023	Rev 0	Pagina 65 di 70
-------------------------	---------------------	--	-------	--------------------

15.1. Viabilità di impianto e sottostazione

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

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

Sostanzialmente tutta la viabilità si snoda lungo substrato roccioso con presenza in taluni casi di una copertura superficiale di terreno vegetale e /o roccia degradata con spessori variabili da 0,00m a 6,00m.

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 dalla **Formazione di Monte Santo** e dalle **Unità di Su Suerzu, di Uri, di Nuraghe Vittore** e dai **depositi quaternari**.

Non sono previste fondazioni profonde pertanto non si rilevano particolari criticità salvo il controllo del deflusso delle acque superficiali essendo posizionata alle pendici di un versante.

MISTRAL Wind Energy Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesMis-CLP-ES-GEO-TR-023	Rev 0	Pagina 66 di 70
-------------------------	---------------------	--	-------	--------------------

16. Compatibilità idraulica e geologica-geotecnica

16.1. 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.*

PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA

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**, 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:

- a. le opere di bonifica e sistemazione dei movimenti franosi, di manutenzione e consolidamento dei versanti, di tutela dei suoli;*
- b. le opere anche temporanee e gli interventi idraulico-forestali e idraulico-agrari per la riduzione o l'eliminazione dei pericoli e dei rischi da frana nelle aree di innesco e sviluppo dei fenomeni di dissesto;*

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:

MISTRAL Wind Energy Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesMis-CLP-ES-GEO-TR-023	Rev 0	Pagina 67 di 70
-------------------------	---------------------	--	-------	--------------------

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

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.

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.

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 Hg1 e solo localmente Hg2, nelle quali non sono stati rilevati in fase di progettazione evidenze di dissesto da frana né quiescenti né attivi.

La bretella di collegamento alla AG05 e un tratto della direttrice dalle quali si dipartono i collegamenti alla AG01 e AG02 lambiscono delle aree a pericolosità da frana Hg2.

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.

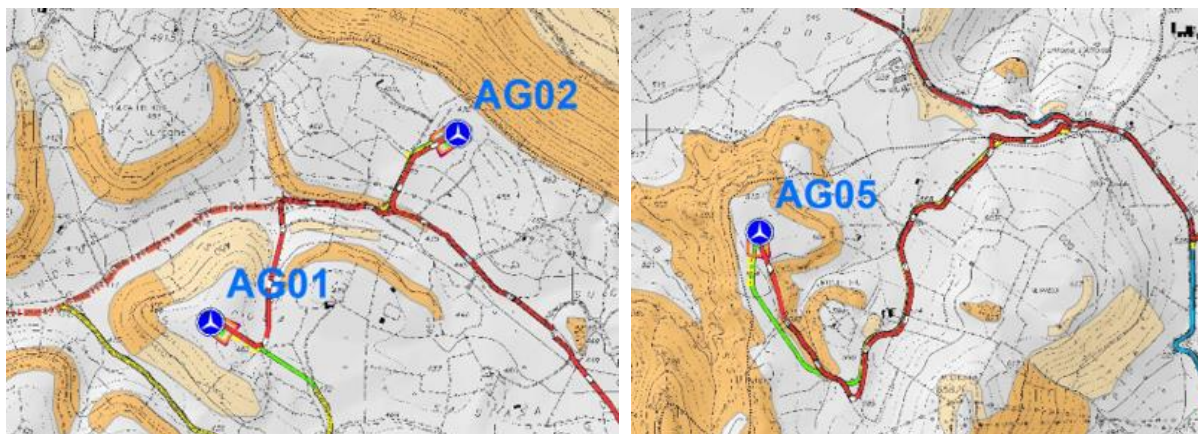


Figura 53 – Aree interessate da perimetrazione in Hg2

Gli scavi per la realizzazione delle fondazioni delle **turbine verranno eseguiti verificando di volta in volta la stabilità delle parti 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 dello scavo 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 fattori potenziali tali da 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.

MISTRAL Wind Energy Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesMis-CLP-ES-GEO-TR-023	Rev 0	Pagina 69 di 70
-------------------------	---------------------	--	-------	--------------------

17. Conclusioni: criticità geologiche e suggerimenti operativi

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:

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.

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.*

PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA

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**, 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:

a. le opere di bonifica e sistemazione dei movimenti franosi, di manutenzione e consolidamento dei versanti, di tutela dei suoli;

b. le opere anche temporanee e gli interventi idraulico-forestali e idraulico-agrari per la riduzione o l'eliminazione dei pericoli e dei rischi da frana nelle aree di innesco e sviluppo dei fenomeni di dissesto;

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;

MISTRAL Wind Energy Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesMis-CLP-ES-GEO-TR-023	Rev 0	Pagina 70 di 70
-------------------------	---------------------	--	-------	--------------------

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.

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.