







MISTRAL Wind Energy Srl

Giugno 2022

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

Relazione Geologica



Regione autonoma della Sardegna 		Comune di Ittiri 		Comune di Bessude 	
Committente: MISTRAL Wind Srl			MISTRAL Wind Energy Srl Via Sardegna, 40 00187 Roma P.IVA/C.F. 15802471001		
Titolo del Progetto: <p style="text-align: center;">Parco Eolico MISTRAL sito nel Comune di Ittiri e nel Comune di Bessude</p>					
Documento: Relazione Geologica			N° Documento: IT-VesMis-CLP-ES-GEO-TR-019		
 GAIA consulting Naturali Innovazioni Studio Tecnico di Geologia Applicata all'Ingegneria e all'Ambiente Centro Direzionale "Pittarello" Loc. Scala Sa Perda, 87 09028 Sestu (CA) T +39 070 734 6008 Mob +39 345 788 2814 e-mail: info@gaiac consulting.eu		Progettista:  			
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-019	Rev 0	Pagina 3 di 101
-------------------------	---------------------	--	-------	--------------------

Sommario

1. Premessa	8
2. Normativa di riferimento	8
3. Studio e indagini di riferimento	8
4. Inquadramento geografico generale	9
5. Caratteristiche di progetto dell'opera	15
6. Inquadramento geologico	17
6.1. Descrizione del contesto geologico dell'area vasta oggetto di intervento	17
7. Analisi delle condizioni geostrutturali generali	23
7.1. Campagna di raccolta dei dati geostrutturali su affioramento	23
7.1.1. Rilievo geostrutturale Scanline 1 - Formazione di Monte Santo	25
8. Analisi qualitativa di stabilità dell'ammasso roccioso	28
9. Inquadramento geomorfologico	31
9.1. Lineamenti geomorfologici dell'area di studio	32
9.2. Definizione dell'area geomorfologicamente significativa	35
10. Inquadramento idrogeologico	35
10.1. Schema della circolazione idrica superficiale	36
10.2. Caratteristiche delle acque sotterranee	38
10.3. Analisi della vulnerabilità degli acquiferi	39
11. Inquadramento climatico	42
11.1. Precipitazioni	43
11.2. Temperature	44
11.3. Stima dell'evapotraspirazione	45
12. Inquadramento pedologico	48
13. Uso del Suolo	49
14. Analisi dei vincoli gravanti sui terreni	50
14.1 Piano Stralcio D'Assetto Idrogeologico della Sardegna	50
1. Art.30 Ter NTA PAI	52
14.2. Inventario dei Fenomeni franosi	55

MISTRAL Wind Energy Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesMis-CLP-ES-GEO-TR-019	Rev 0	Pagina 4 di 101
-------------------------	---------------------	--	-------	--------------------

14.3. Piano Stralcio delle Fascie Fluviali	55
14.4. Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA)	56
15. Indagini geognostiche	58
15.2.3. Interpretazione dei segnali acquisiti	63
1. individuazione della variazione del segnale acquisito nel tempo	63
2. analisi di Fourier con definizione dei contenuti spettrali acquisiti nei segnali.....	63
3. stacking dello spostamento di fase con definizione delle velocità di rotazione retrograda compatibile con il campo di frequenza definita.	63
15.3.5. Elaborazione dei dati e software	65
15.4. Risultati delle indagini del sito SMT01 (AG02)	66
15.4.1. Masw SMT01	66
15.4.2. Rifrazione SMT01 e Tomografia elettrica SMT01	67
15.5. Risultati delle indagini del sito SMT02.....	70
15.5.1. Masw SMT02	70
15.5.2. SMT02: Rifrazione e Tomografia elettrica – Aerogeneratore AG04.....	71
15.6. Risultati delle indagini del sito SMT03 - aerogeneratore AG06	74
15.6.1. Masw SMT03	74
15.6.2. Rifrazione SMT03.....	75
15.7. Risultati delle indagini del sito SM04.....	78
15.7.1. Masw SM04	78
15.7.2. Rifrazione SM04 e Tomografia elettrica SM04.....	79
16. Modellazione geologica.....	85
16.1. Caratterizzazione geostrutturale degli ammassi rocciosi.....	85
17. Modello geologico di sito	93
16.3 Viabilità di impianto e sottostazione	97
18. Ammissibilità e compatibilità idrogeologica degli interventi.....	98
19. Conclusioni: criticità geologiche e suggerimenti operativi.....	100

Indice delle figure

Figura 1 Localizzazione del progetto	Errore. Il segnalibro non è definito.
Figura 2 Paesaggio caratteristico dell'area di studio.....	14
Figura 3 Schema tettonico-strutturale della Sardegna.....	17
Figura 4 Particolare della litologia appartenente all'unità di Uri	18
Figura 5 Affioramento dell'Unità di Nuraghe Vittore	18

MISTRAL Wind Energy Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesMis-CLP-ES-GEO-TR-019	Rev 0	Pagina 5 di 101
-------------------------	---------------------	--	-------	--------------------

Figura 6 Affioramento dell'Unità di Su Suerzu	19
Figura 7 Particolare della litologia appartenente all'Unità di Monte Santo.....	20
Figura 8 Stralcio carta geologica (Fonte RAS e rilievo in sito)	22
Figura 9 Sezione geologica dell'area del parco.....	23
Figura 10 Particolare della stratificazione	24
Figura 11 Ammasso roccioso in calcare compatto e poco fratturato.	24
Figura 12 rilievo geostrutturale Scanline1 - Formazione di Monte Santo.....	26
Figura 13 Proiezione stereografica delle discontinuità rilevate sull'affioramento Scanline1.....	26
Figura 14 rilievo geostrutturale Scanline2 - Unità di Su Suerzu e Unità di Uri.....	27
Figura 15 Proiezione stereografica delle discontinuità rilevate sull'affioramento Scanline2.....	28
Figura 16 Tipologie di scivolamento di blocchi rocciosi lungo piani di fratturazione.....	29
Figura 17 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	29
Figura 18 Livelli fratturati e alterati appartenenti alla Formazione di Monte Santo	30
Figura 19 Piccola valle a U nei pressi della AG05.	30
Figura 20 Rilievi vulcanici tavulari situati a W della AG05.....	31
Figura 21 Paesaggio a Cuestas nei rilievi carbonatici su cui poggeranno le AG01 e AG02	32
Figura 22 Paesaggio a Cuestas, nel rilievo in basso a sinistra alla foto poggerà la AG05.....	32
Figura 23 Rilievo isolato a SW della AG05 ospitante le Domus de Janas.	33
Figura 24 Erosione selettiva dovuta all'azione aggressiva dell'acqua nella roccia costituita da livelli di flusso piroclastico di differente competenza.....	33
Figura 25 Parete a Occidente della AG05 affetta da tafonature.	34
Figura 26 Parete appartenente alla Formazione del Monte Longos affetta da erosione vacuolare	34
Figura 27 Piccola cavità carsica situata tra la AG01 e la AG02	35
Figura 28 Reticolo idrico superficiale (Fonte RAS).....	37
Figura 29 Schema esemplificativo, non in scala, dei processi di infiltrazione e deflusso sotterraneo.....	39
Figura 30 In blu il corso d'acqua e in azzurro la posizione della sorgente più prossima alla AG03.....	40
Figura 31 Immagine Google Earth con rilievo dell'area in cui ricadrà la AG04	40
Figura 32 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.....	41
Figura 33 Carta delle Permeabilità dei Substrati e dei Suoli – area impianto (Fonte RAS)	41
Figura 37 Temperature mensili (in °C, nell'asse delle ordinate) registrata nella stazione di Alghero, Ittiri (2012) e Putifigari (2015).....	44
Figura 38 Evapotraspirazione (espressa in mm) per la zona di Ittiri	45
Figura 39 Ventosità media annuale per le stazioni meteorologiche relativa all'anno 2017 (mese giugno)	46
Figura 40 Umidità relativa per la stazione di Fertilia, per l'anno 1971-2000	46
Figura 41 Diagramma ombrotermico (Walter e Lieth) per il settore di Ittiri.....	47
Figura 42 Climogramma relativo alla regione di Ittiri.....	47
Figura 43 Carta dei Suoli (Fonte RAS)	49
Figura 44 Stralcio della Carta dell'Uso del Suolo della Sardegna (2008, Fonte RAS).	50
Figura 45 Inquadramento PAI Pericolosità da frana (Fonte RAS).....	51
Figura 46 Inquadramento PAI Pericolosità idraulica (Fonte RAS).	52
Figura 34 Reticolo idrografico numerato secondo l'ordine di Stralher con in giallo una fascia di riferimento di 150m.....	53
Figura 35 Reticolo idrografico numerato secondo l'ordine di Stralher con in giallo una fascia di riferimento di 150m.....	54

MISTRAL Wind Energy Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesMis-CLP-ES-GEO-TR-019	Rev 0	Pagina 6 di 101
-------------------------	---------------------	--	-------	--------------------

Figura 36 Reticolo idrografico numerato secondo l'ordine di Stralher con in giallo una fascia di riferimento di 150m.....	54
Figura 47 Archivio IFFI (Fonte ISPRA) in rosso l'area di intervento	55
Figura 48 Stralcio perimetrazione Piano Stralcio fasce Fluviali PSFF.....	56
Figura 49 Stralcio perimetrazione PGRA Rev.2020	57
Figura 50 Ubicazione degli stendimenti	59
Figura 51 Stendimento di sismica a rifrazione in onde P con 24 geofoni, interdistanza di 3,0 m, lunghezza complessiva 69,0 m	60
Figura 52 Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche	67
Figura 53 Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche	71
Figura 54 Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche	75
Figura 55 Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche	79
Figura 56 - Resistenza a compressione monoassiale per diversi tipi di roccia	86
Figura 57 Abaco per la determinazione di GSI sulla base delle caratteristiche geologiche e strutturali dell'ammasso.....	86
Figura 58 Valori della costante mi per diversi tipi di roccia.....	87
Figura 59 Correlazione fra valori di mi, s, indice RMR, ed il tipo di roccia.	88

MISTRAL Wind Energy Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesMis-CLP-ES-GEO-TR-019	Rev 0	Pagina 7 di 101
-------------------------	---------------------	--	-------	--------------------

MISTRAL Wind Energy Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesMis-CLP-ES-GEO-TR-019	Rev 0	Pagina 8 di 101
-------------------------	---------------------	--	-------	--------------------

1. Premessa

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 Geologica**, la cui stesura ottempera quanto previsto dal D.M. del 17/01/2018 recante le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (di seguito NTC), con l'obiettivo di evidenziare, le caratteristiche geologico-morfologiche e il comportamento fisico-meccanico dei terreni interessati dalle opere in progetto attraverso:

1. Analisi dell'assetto geologico e geomorfologico e definizione del modello geologico di sito;
2. La caratterizzazione geotecnica preliminare del modello geologico di sito;
3. L'analisi dell'interazione opera-terreno nel volume significativo in funzione delle caratteristiche geotecniche dei terreni di imposta, in relazione alla generica tipologia di fondazioni previste e le potenziali interazioni con le dinamiche di circolazione sotterranea eventualmente esistenti.
4. La valutazione preliminare della portanza dei terreni e l'indicazione delle indagini da realizzarsi in fase esecutiva necessarie alla determinazione dei parametri geotecnici specifici per ogni sito.

2. Normativa di riferimento

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

5. D.M LL.PP. 11.03.1988 "Norme Tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii attuali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione in applicazione della Legge 02.02.1974 n°64.
6. Circ. Min. LL.PP. n° 30483 del 24.09.1988 – Istruzioni per l'applicazione del D.M. LL.PP.11.03.1988.
7. Raccomandazioni, programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche, 1975 – Associazione Geotecnica Italiana.
8. 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)
9. 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.
10. D.L. 3 aprile 2006, n. 152 e successive modificazioni - "Norme in materia ambientale".

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:

11. Carta Topografica I.G.M. scala in 1:25000
12. Carta Tecnica Regionale in scala 1:10000
13. Carta Geologica dell'Italia in scala 1:100000
14. Carta Geologica dell'Italia in scala 1:50.000 (CARG).
15. Cartografia Geologica di base della R.A.S. in scala 1:25.000
16. RAS - Carta dell'Uso del Suolo della Regione Sardegna, 2008
17. I.S.P.R.A. - Archivio nazionale delle indagini nel sottosuolo (legge 464/84)
18. RAS – Studio dell'Idrologia Superficiale della Sardegna, annali idrologici 1922-2009
19. RAS – Autorità di Bacino - Piano Stralcio d'Assetto Idrogeologico
20. RAS – Autorità di Bacino - Piano di Tutela delle Acque
21. RAS – Autorità di Bacino - Piano Stralcio delle Fasce Fluviali

22. 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:

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

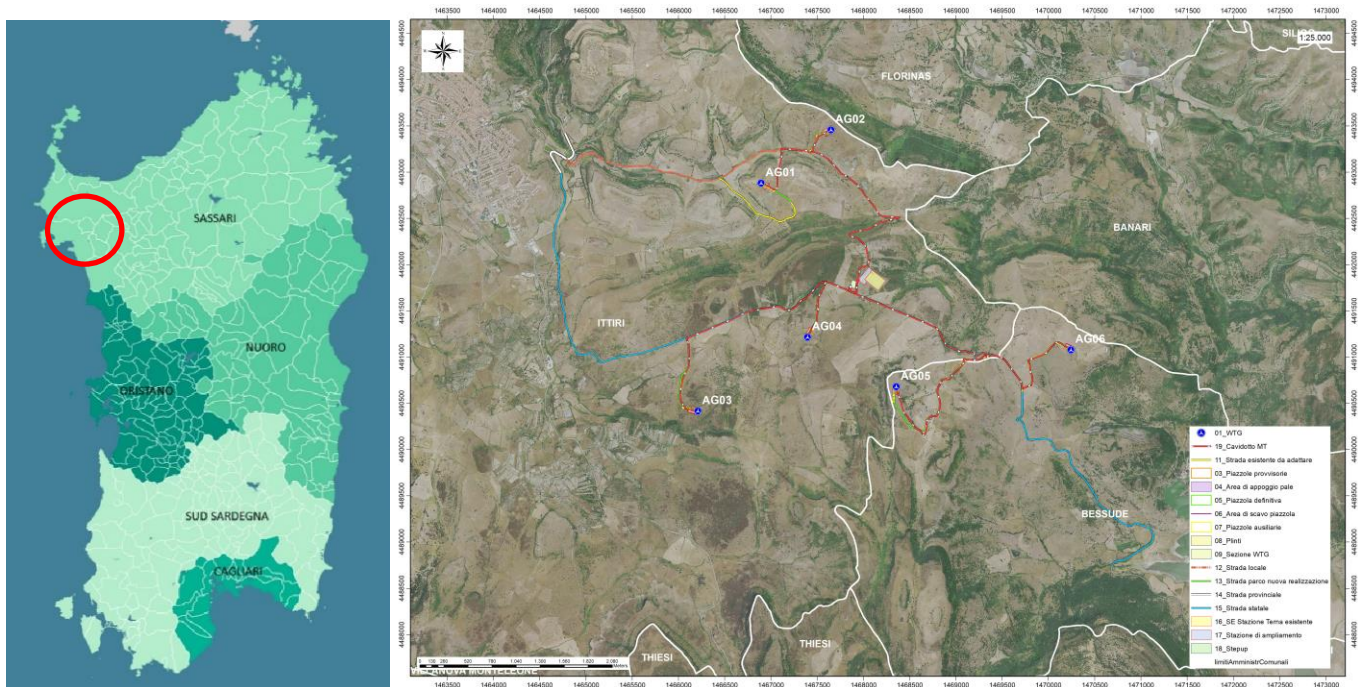


Figura 1 Localizzazione del progetto

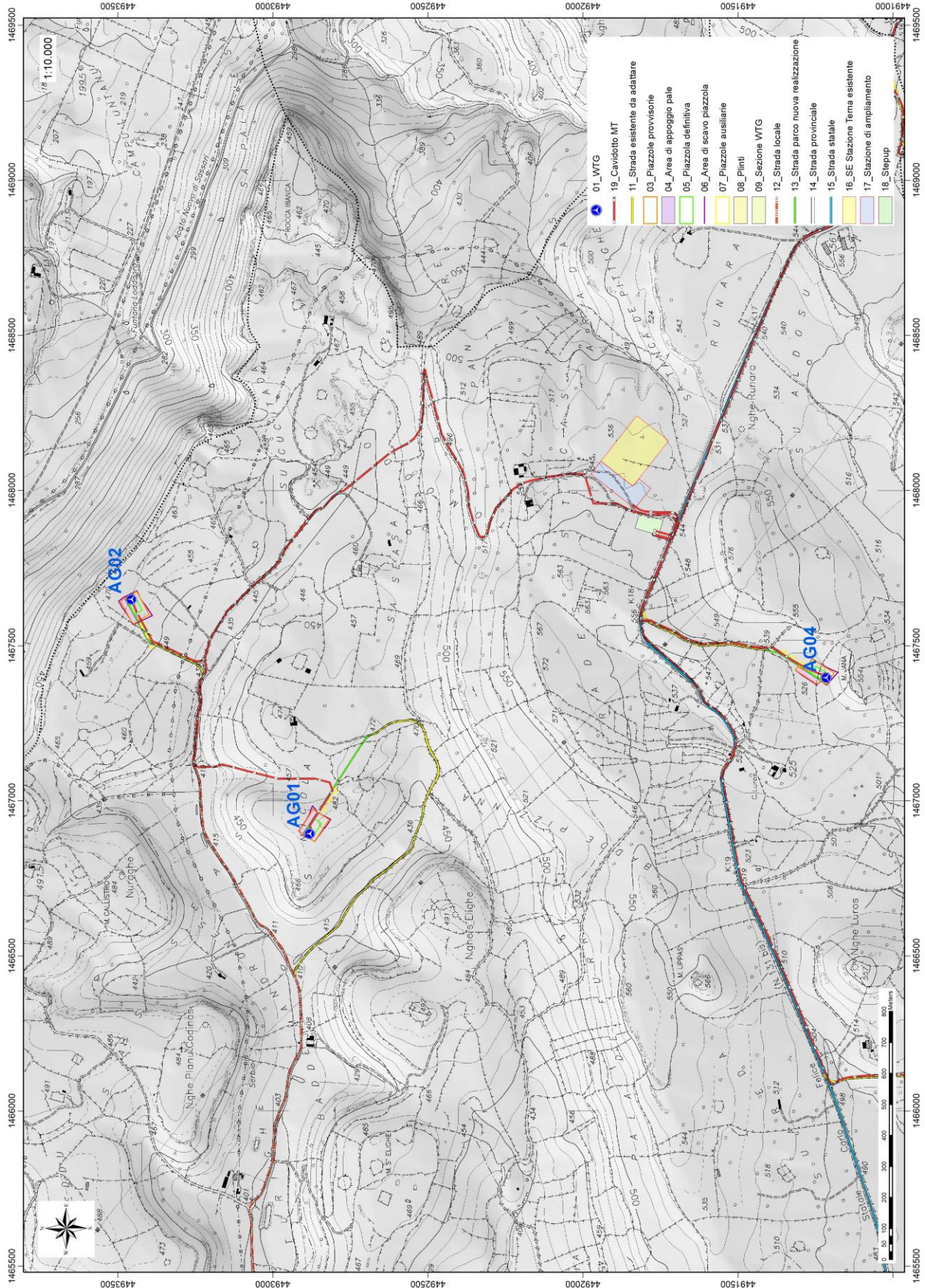


Figura 2 Inquadramento topografico su C.T.R. RAS scala 1:10000, sezione NW

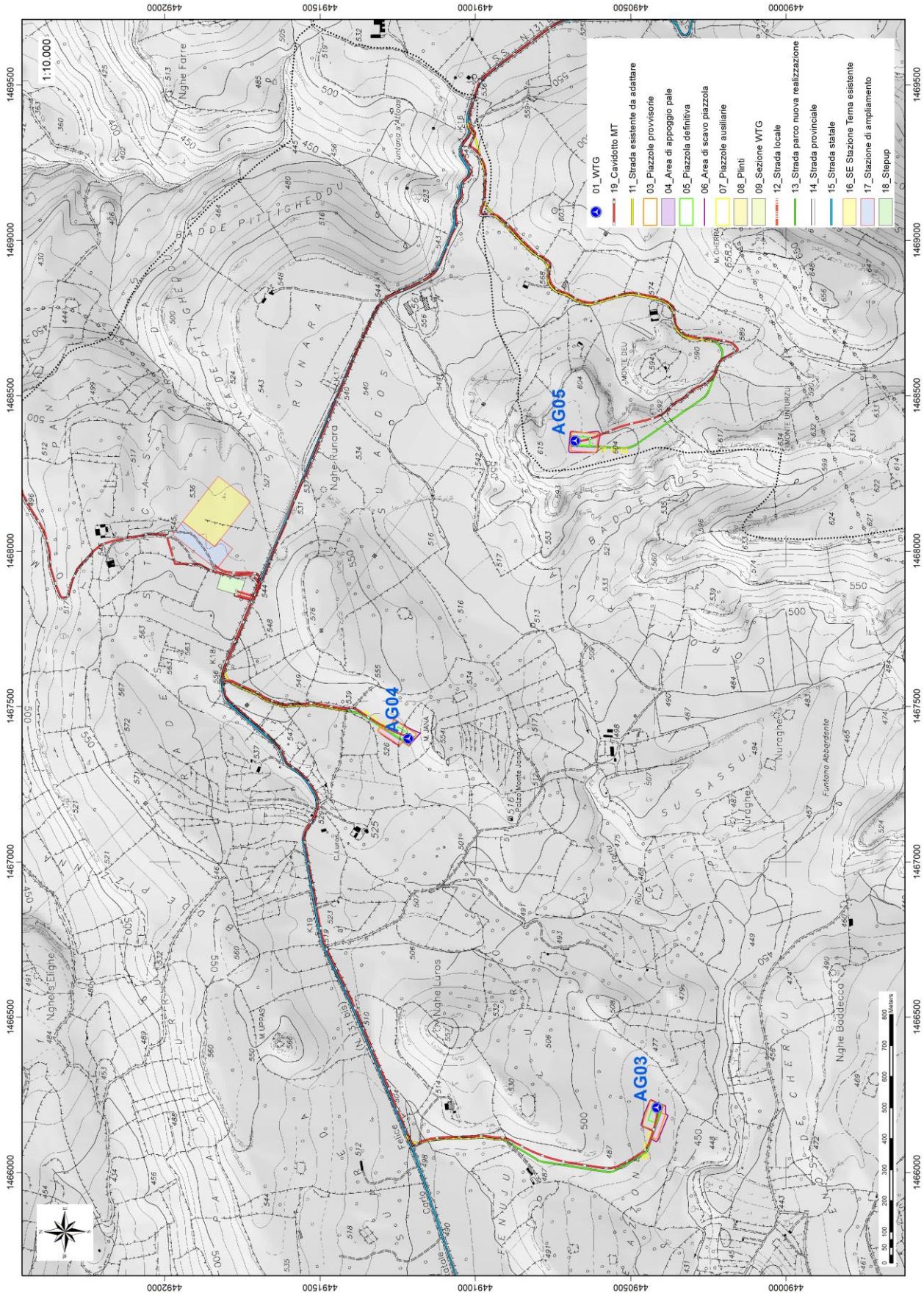


Figura 3 Inquadramento topografico su C.T.R. RAS scala 1:10000, sezione SW

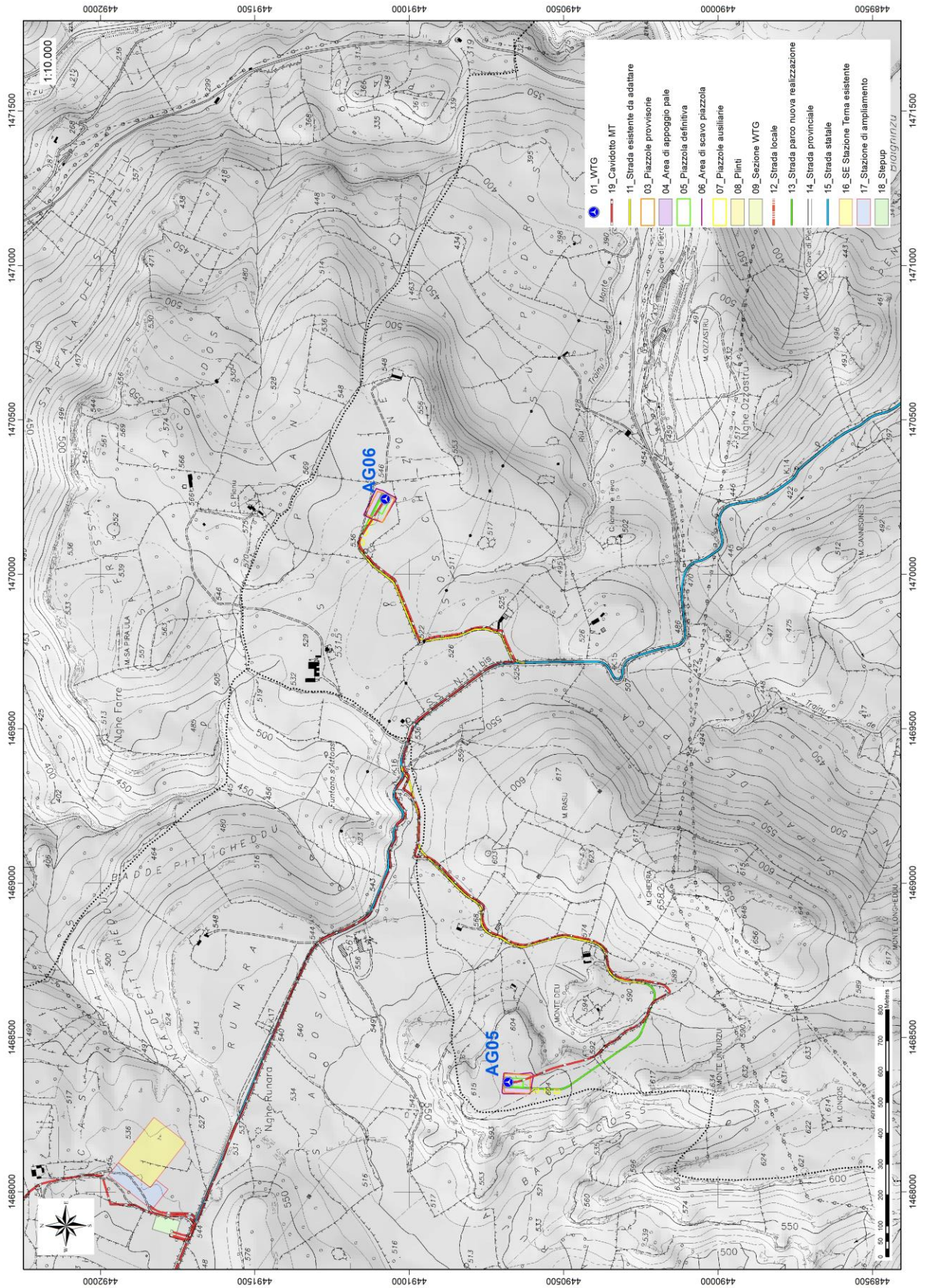


Figura 4 Inquadramento topografico su C.T.R. RAS scala 1:10000, sezione Est

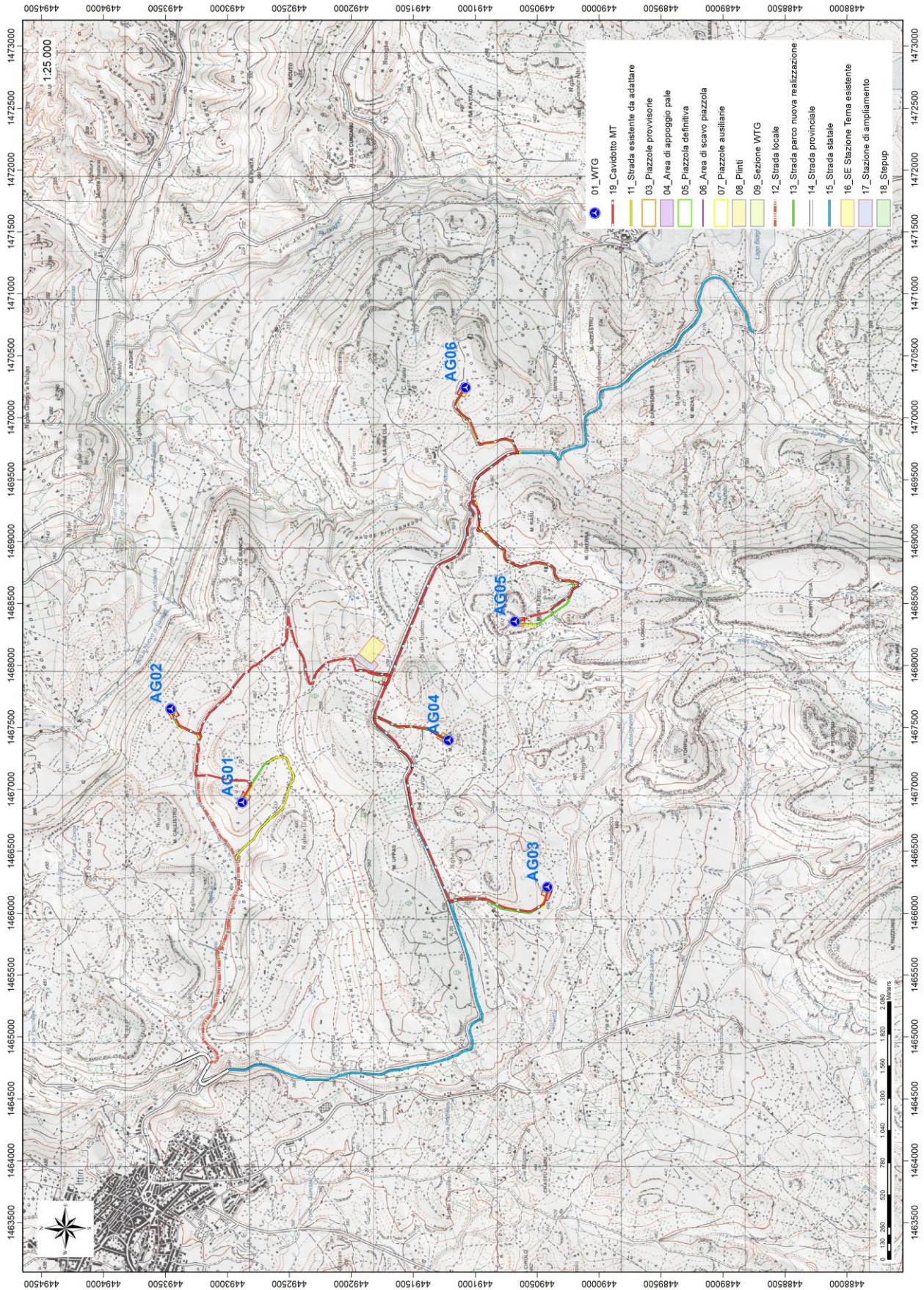


Figure 1 Inquadramento topografico su Carta IGM scala 1:25000



Figura 5 Paesaggio caratteristico dell'area di studio

5. Caratteristiche di progetto dell'opera

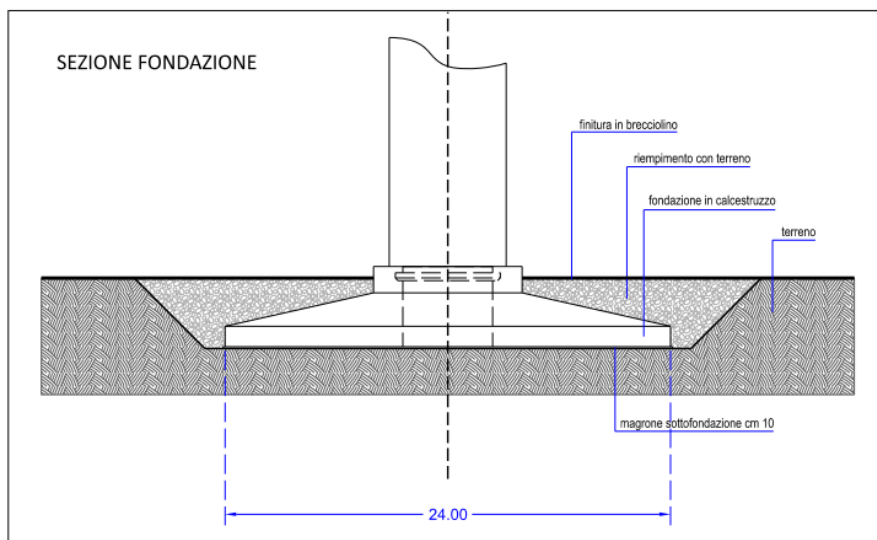
Il Parco Eolico è costituito da 6 aerogeneratori ad asse orizzontale montati su torri tubolari ad elementi in acciaio; il modello adottato è il V162 da 6,0 MW prodotto dalla fabbrica VESTAS, ormai collaudato con risultati altamente prestazionali. Questi sono posizionati ad una distanza mediamente tra 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

MISTRAL Wind Energy Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesMis-CLP-ES-GEO-TR-019	Rev 0	Pagina 16 di 101
-------------------------	---------------------	--	-------	---------------------

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 interrato 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:

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

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

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.

6.2.1. Distretto vulcanico di Capo Marargiu Miocene Inferiore)

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

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

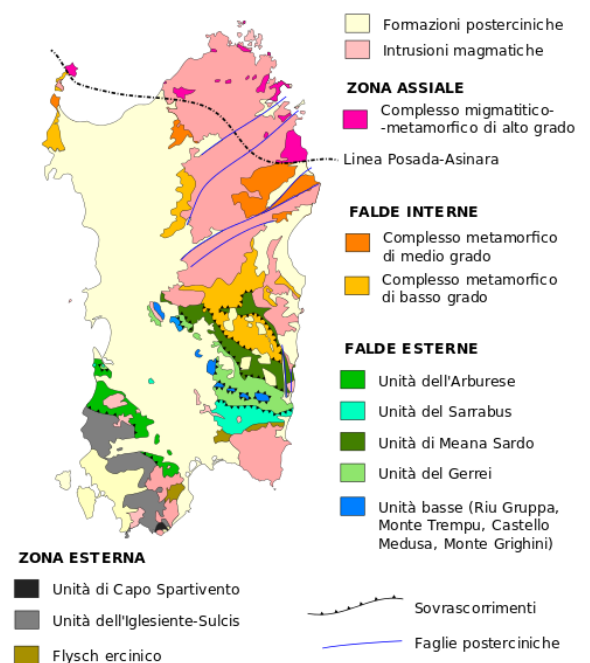


Figura 6 Schema tettonico-strutturale della Sardegna

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



Figura 7 Particolare della litologia appartenente all'unità di Uri

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

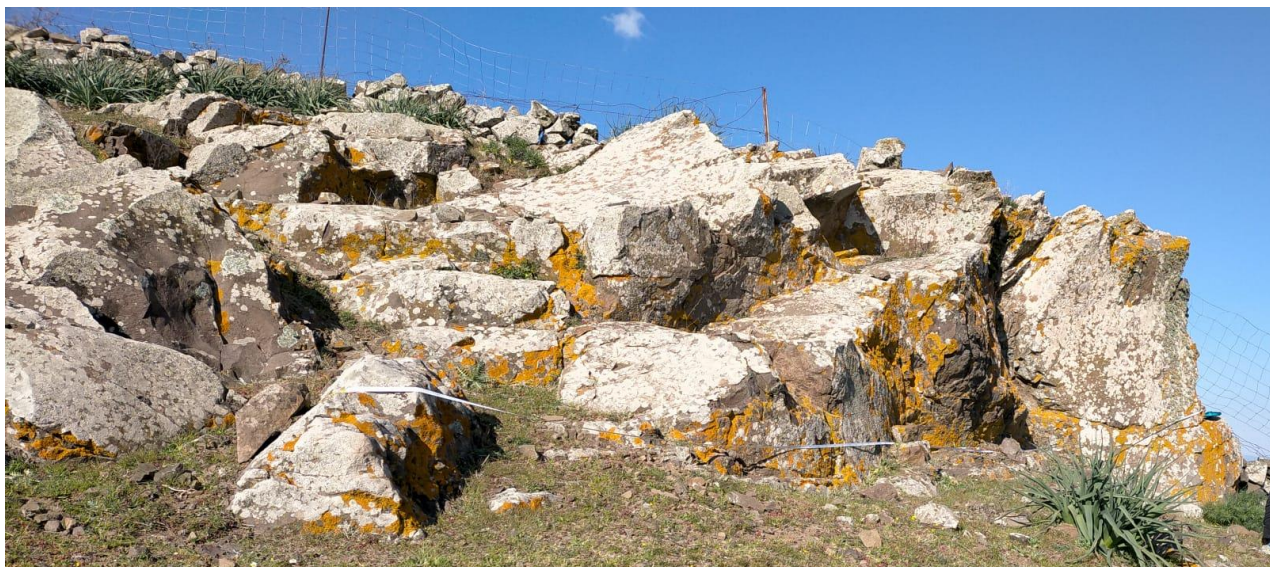


Figura 8 Affioramento dell'Unità di Nuraghe Vittore

MISTRAL Wind Energy Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesMis-CLP-ES-GEO-TR-019	Rev 0	Pagina 19 di 101
-------------------------	---------------------	--	-------	---------------------

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 (UUI) sono caratterizzati da disconformità. Burdigaliano inferiore.

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

(SSU) Unità di Su Suerzu: rappresentati da depositi di flusso piroclastico in facies ignimbratica, saldati, e con tessitura paratassitica, di colore rossastro, con fiammae grigiastre di dimensioni comprese tra 2 cm e 20 cm, e litici centimetrici costituiti da altre ignimbriti o da andesiti. Nell'area a 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 9 Affioramento dell'Unità di Su Suerzu

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

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

6.3. Successione sedimentaria Oligo-Miocenica del Logudoro-Sassarese

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

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

(RESa) Litofacies nella Formazione di Mores: nota come “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 megabreccie. Lo spessore è variabile, con un massimo di 50 m. L'associazione fossilifera permette di riferire tali depositi al Serravalliano - Tortoniano.



Figura 10 Particolare della litologia appartenente all'Unità di Monte Santo.

MISTRAL Wind Energy Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesMis-CLP-ES-GEO-TR-019	Rev 0	Pagina 21 di 101
-------------------------	---------------------	--	-------	---------------------

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.

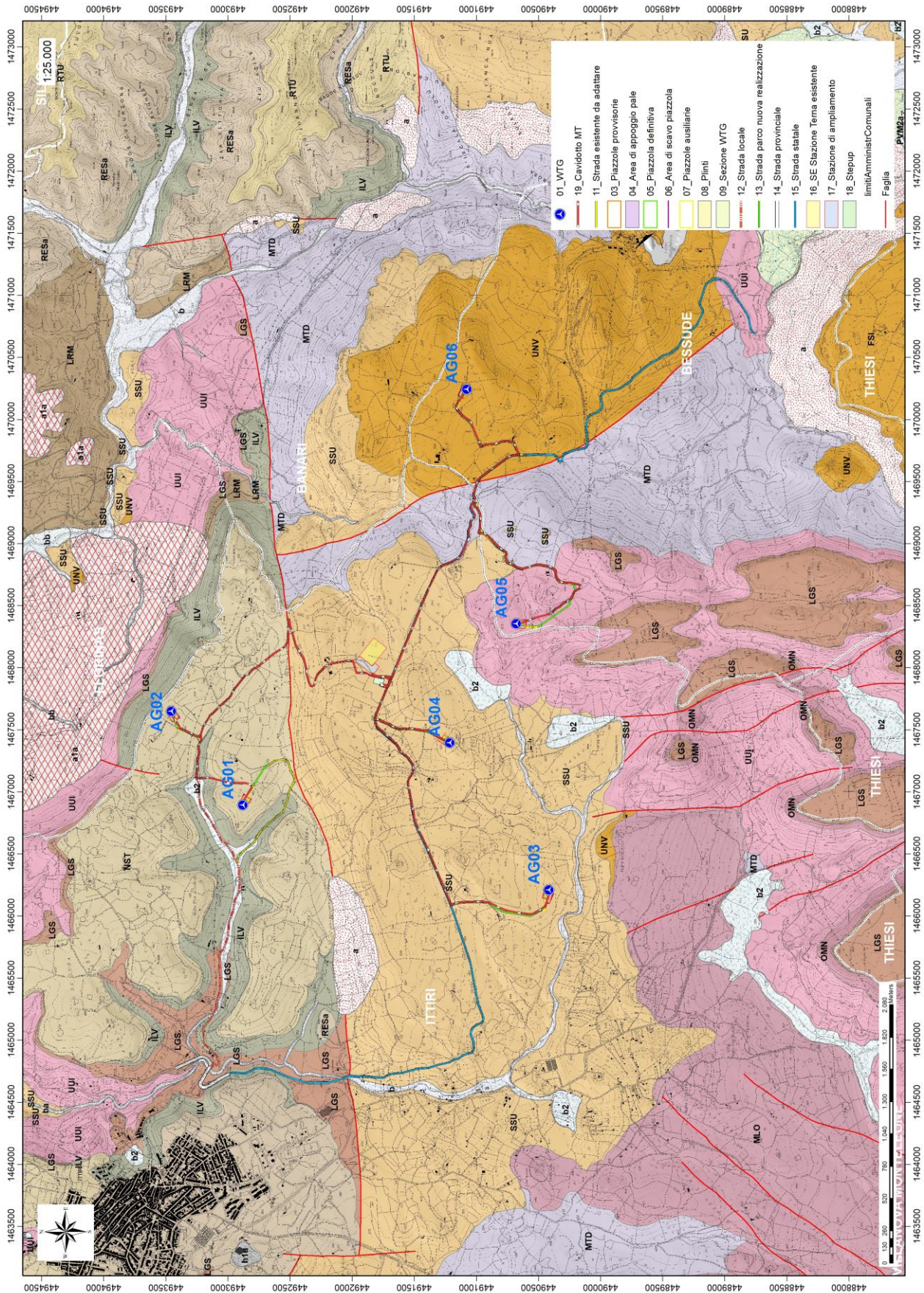


Figura 11 Stralcio carta geologica (Fonte RAS e rilievo in sito)

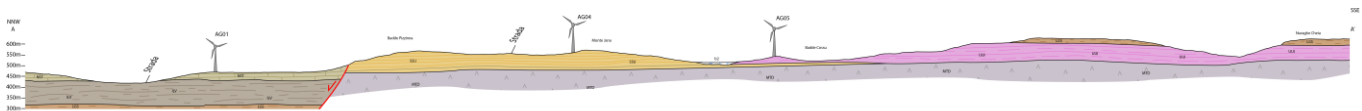


Figura 12 Sezione geologica dell'area del parco

7. Analisi delle condizioni geostruutturali 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 geostruutturale 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 geostruutturali su affioramento

Nel corso dei rilievi geologici effettuati in sito, è stata realizzata un'indagine mirata alla caratterizzazione geostruutturale 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 13 Particolare della stratificazione .



Figura 14 Ammasso roccioso in calcare compatto e poco fratturato.

MISTRAL Wind Energy Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesMis-CLP-ES-GEO-TR-019	Rev 0	Pagina 25 di 101
-------------------------	---------------------	--	-------	---------------------

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".

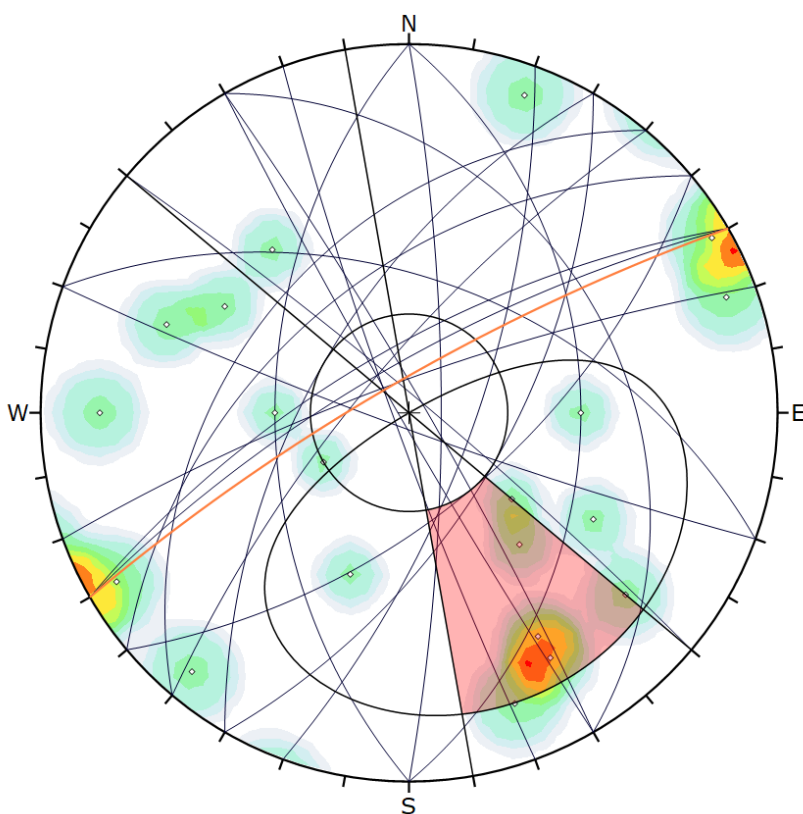
7.1.1. Rilievo geostrutturale Scanline 1 - Formazione di Monte Santo

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 15 rilievo geostrutturale Scanline1 - Formazione di Monte Santo.



Symbol	Feature
○	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 16 Proiezione stereografica delle discontinuità rilevate sull'affioramento Scanline1.

MISTRAL Wind Energy Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesMis-CLP-ES-GEO-TR-019	Rev 0	Pagina 27 di 101
-------------------------	---------------------	--	-------	---------------------

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 17 rilievo geostrutturale Scanline2 - Unità di Su Suerzu e Unità di Uri

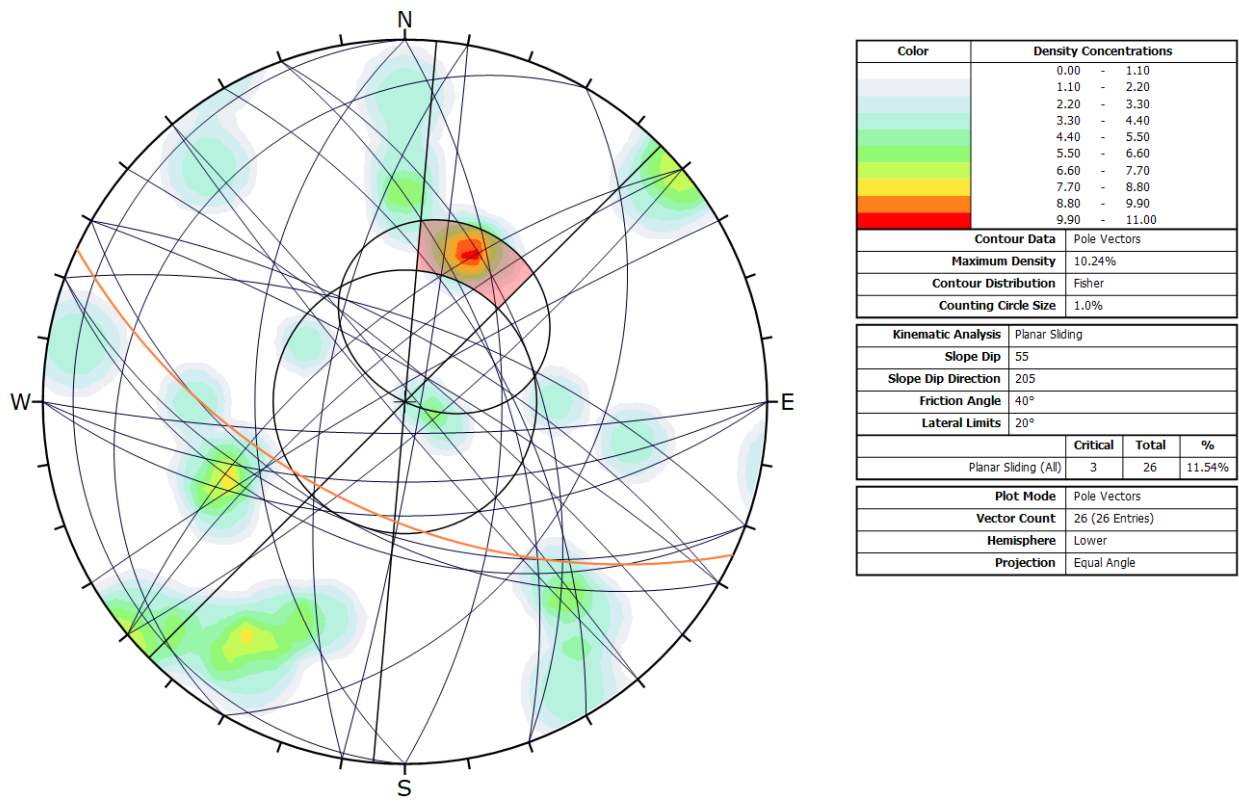


Figura 18 Proiezione stereografica delle discontinuità rilevate sull'affioramento Scanline2.

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 geostrutturali 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 geostrutturali lo permettono (piani a franapoggio o intersezione di piani con direttrice a franapoggio). Tali dimensioni possono essere individuate tra il decimo di metro cubo a qualche metro cubo. La variabilità direzionale delle famiglie di giunti che individuano i blocchi è piuttosto marcata e diversificata in funzione, come detto della competenza degli strati soggetti agli sforzi.

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

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

Alla piccola scala laddove il materiale originario è costituito da granulometrie 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 massicci come in questo caso la **Formazione di Monte Santo** la presenza di famiglie di

giunti con maggiori spaziature e con assetto geometrico più regolare determina la formazione di blocchi più grandi, nell'ordine del metro cubo e più.

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

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



Figura 19 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.



Figura 20 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 sopraccitate 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 21 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 22 Piccola valle a U nei pressi della AG05.

MISTRAL Wind Energy Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesMis-CLP-ES-GEO-TR-019	Rev 0	Pagina 31 di 101
-------------------------	---------------------	--	-------	---------------------

9. Inquadramento geomorfologico

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

1. i rilievi di natura vulcanica;
2. 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 23 Rilievi vulcanici tavulari 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, biocalcareni, calcari marnosi e arenarie calcaree, poggianti su conglomerati di trasgressione a cemento calcareo e clasti vulcanici. Benché lungo le incisioni fluviali e a margine dei rilievi vulcanici le strutture sedimentarie siano state smantellate dall'erosione, queste coperture giacciono talvolta sottoforma di

tavolati e pianori come per esempio in corrispondenza delle AG01 e AG02. Le stesse azioni erosive che hanno determinato la frammentazione delle strutture sedimentarie, si sono esplicate su tutto il territorio dando luogo a quei prodotti dell'alterazione e del degrado diffusi nell'area in esame, che costituiscono spesse coltri di detrito di falda, orizzonti pedogenizzati e depositi alluvionali lungo i corsi d'acqua.



Figura 24 Paesaggio a Cuestas nei rilievi carbonatici su cui poggeranno le AG01 e AG02



Figura 25 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 26 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 27 Erosione selettiva dovuta all'azione aggressiva dell'acqua nella roccia costituita da livelli di flusso piroclastico di differente competenza

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

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 28 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 disagregazione 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 29 Parete appartenente alla Formazione del Monte Longos affetta da erosione vacuolare



Figura 30 Piccola cavità carsica situata tra la AG01 e la AG02

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:

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

MISTRAL Wind Energy Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesMis-CLP-ES-GEO-TR-019	Rev 0	Pagina 36 di 101
-------------------------	---------------------	--	-------	---------------------

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 Riu 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 Riu Camedda a Sud-ovest e il Riu Minore a Ovest, il Riu Mannu a nord, e il Riu 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 Riu 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 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.

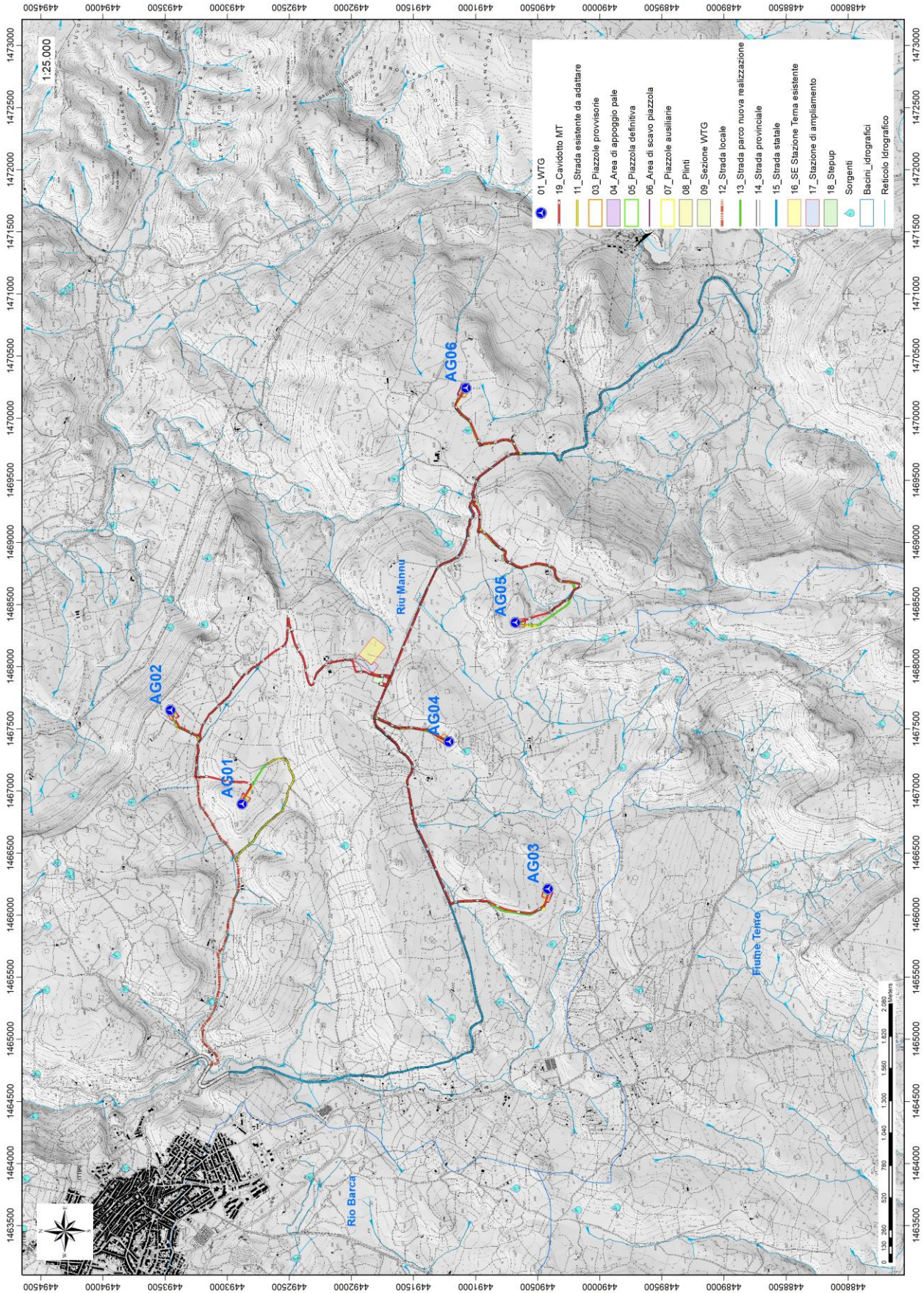


Figura 31 Reticolo idrico superficiale (Fonte RAS)

MISTRAL Wind Energy Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesMis-CLP-ES-GEO-TR-019	Rev 0	Pagina 38 di 101
-------------------------	---------------------	--	-------	---------------------

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** (calcari 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 (calcari bioclastici) la permeabilità è alta per carsismo, oltre che per fratturazione. La circolazione idrica profonda è strettamente legata al grado di fratturazione dell'ammasso roccioso e alla sua permeabilità.

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

Tale proprietà può esser limitata dalla presenza di riempimento delle fratture costituito da materiali derivanti dall'alterazione della roccia madre ad alta componente argillosa. Ne consegue che seppur presente una buona rete di fratture anche con importanti 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.

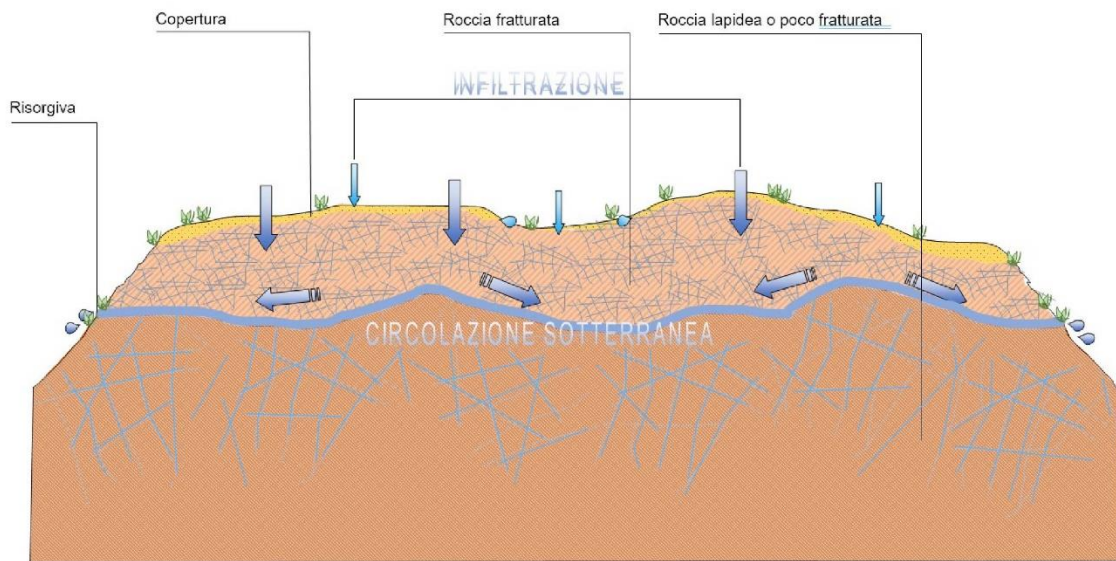


Figura 32 Schema esemplificativo, non in scala, dei processi di infiltrazione e deflusso sotterraneo

Nell'area di studio si possono distinguere:

1. litologie con permeabilità medio-alta, come 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;
2. 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:

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

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 comunque 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.

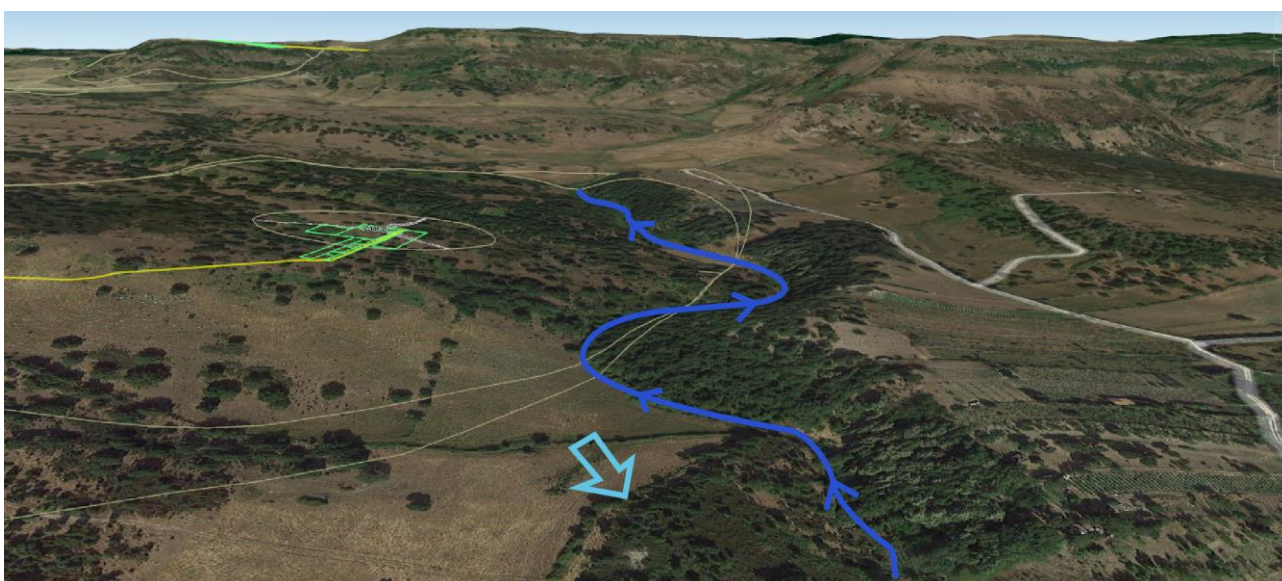


Figura 33 In blu il corso d'acqua e in azzurro la posizione della sorgente più prossima alla AG03



Figura 34 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.

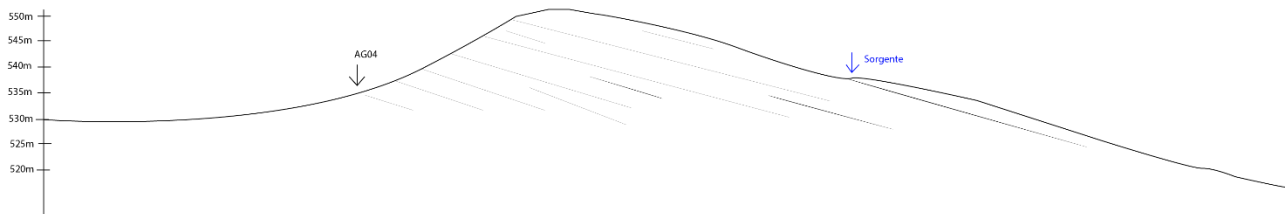


Figura 35 Profilo del rilievo in cui ricadrà la AG04 con indicata la posizione della stessa, la posizione della sorgente più vicina, e l'andamento della stratificazione

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.

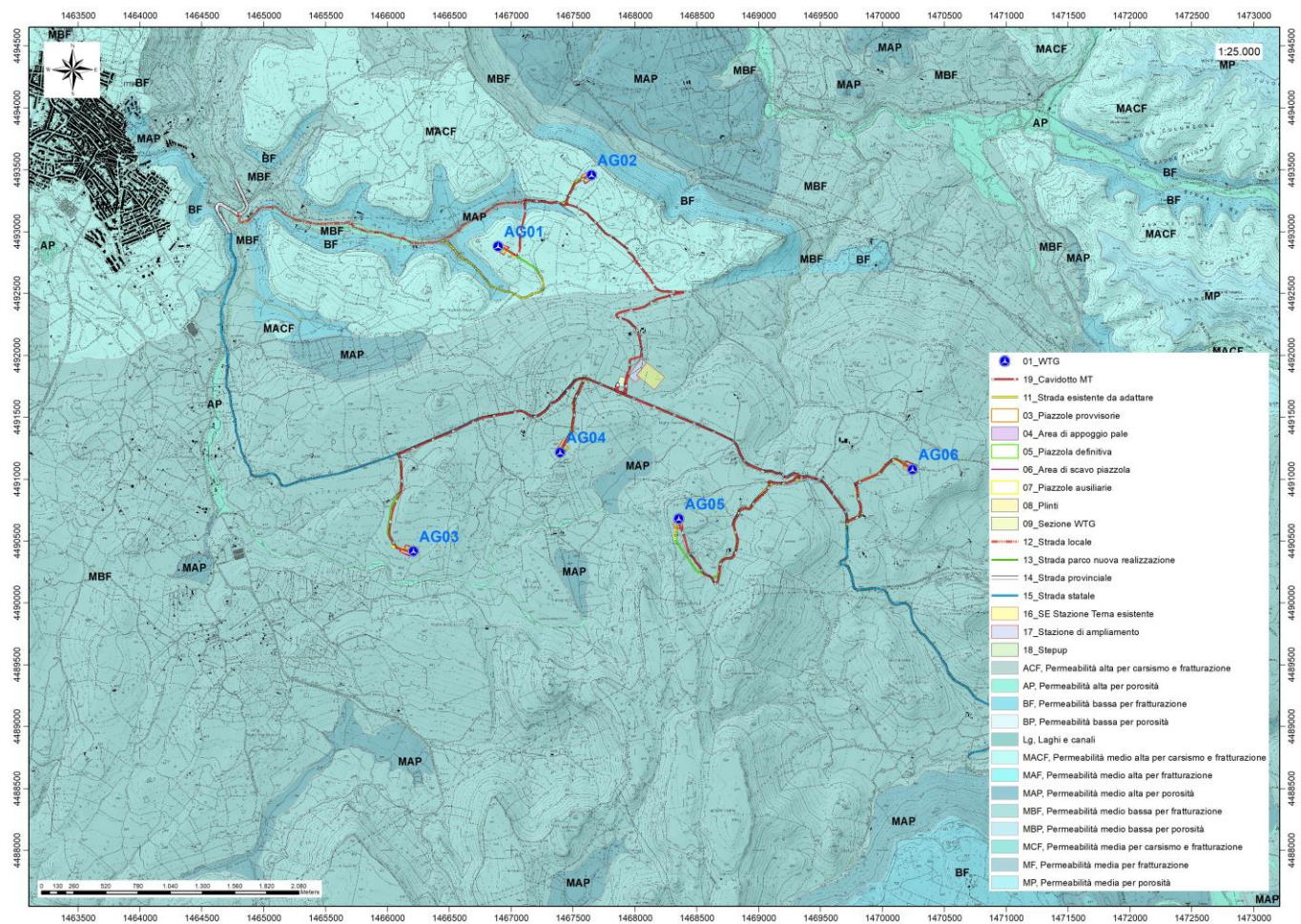


Figura 36 Carta delle Permeabilità dei Substrati e dei Suoli – area impianto (Fonte RAS)

11. Inquadramento climatico

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

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

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

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

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

Periodo	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Totale annuale
2018	25	90,6	96,2	53,2	145,2	14,4	0	34,2	16,2	76,8	138	17,8	707,6
2017	49,6	37,6	16,2	10,6	0,8	11,8	1	0	61	4,2	41	124,4	358,2
2016	59,8	111,2	48,4	17,2	14,6	7,4	56	0	60,6	9	110	38,4	532,6
2015	29,4	128,2	35,8	9	7,4	33,6	0	12,4	44,6	113,4	40,2	15,6	469,6
2014	96	81,6	67,8	34,6	28,6	18,6	5,2	2,6	5,6	5,2	93	70,4	509,2
2013	125,2	91,2	81,2	50,8	60,6	0,8	0	3,4	12	39,8	107,4	25,2	597,6
2012	32,4	46,4	12,6	61,2	106,6	1	25,2	2,4	28,2	75,8	112,4	34,8	539
2011	78,6	58,4	80	66,8	7	75,4	45	0	35,6	15,6	147,6	154,1	764,1
2010	141,6	68,6	94	45	93,6	72	0	7,4	1,2	89,6	311,2	130,8	1055
2009	170	53	52	96,6	6,2	46,6	0	0,2	95,4	49,6	100,2	153,4	823,2
2008	63,7	9,2	66,4	30,6	119,4	38	0	3,4	43,4	83,8	173,4	222,2	853,5

Tabella 1 Andamento pluviometrico dell'area vasta (espresso in mm) ricavato dalle stazioni pluviometriche di Ittiri (anni 2008-2011) e di Alghero (per gli anni 2012 - 2018) .

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

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

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

L'andamento climatico del territorio di Ittiri e le risorse idriche disponibili sono stati valutati sulla base dei dati forniti dalle stazioni meteorologiche dell'ARPAS presenti nel territorio comunale di **Ittiri, Alghero e Putifigari**, localizzate rispettivamente nel raggio di 26 - 13 km dal settore in esame.

L'andamento pluviometrico dell'area oggetto di studio (Tab.10.1) è stato ricavato dai dati pluviometrici relativi all'intervallo 2008-2018 estratti dagli Annali Idrologici dell'ARPAS reperibili dal Geoportale della R.A.S. delle stazioni di Ittiri (anni 2008 – 2011) e Alghero (anni 2012-2018), così come i dati termometrici, relativi però alle stazioni di Alghero, Ittiri (anno 2012), e Putifigari (anni 2015).

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

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

11.1. Precipitazioni

Nella Tabella 2 sono esposti i dati relativi alle precipitazioni nell'intervallo 2008-2018 registrati nella stazione di Ittiri (2008-2011) e di Alghero (2012-2018). Viene riportato il valore medio mensile e il totale annuale di precipitazioni (espresso in mm) nei periodi considerati. Per il periodo 2008-2018 si osserva che i valori di precipitazioni presentano valori inferiori nei mesi autunnali e invernali, e superiori per il periodo compreso tra maggio e agosto (Tab.11.2).

Nell'area studiata, la piovosità media annuale è pari a circa 655,42 mm per il periodo compreso tra il 2008 e il 2018.

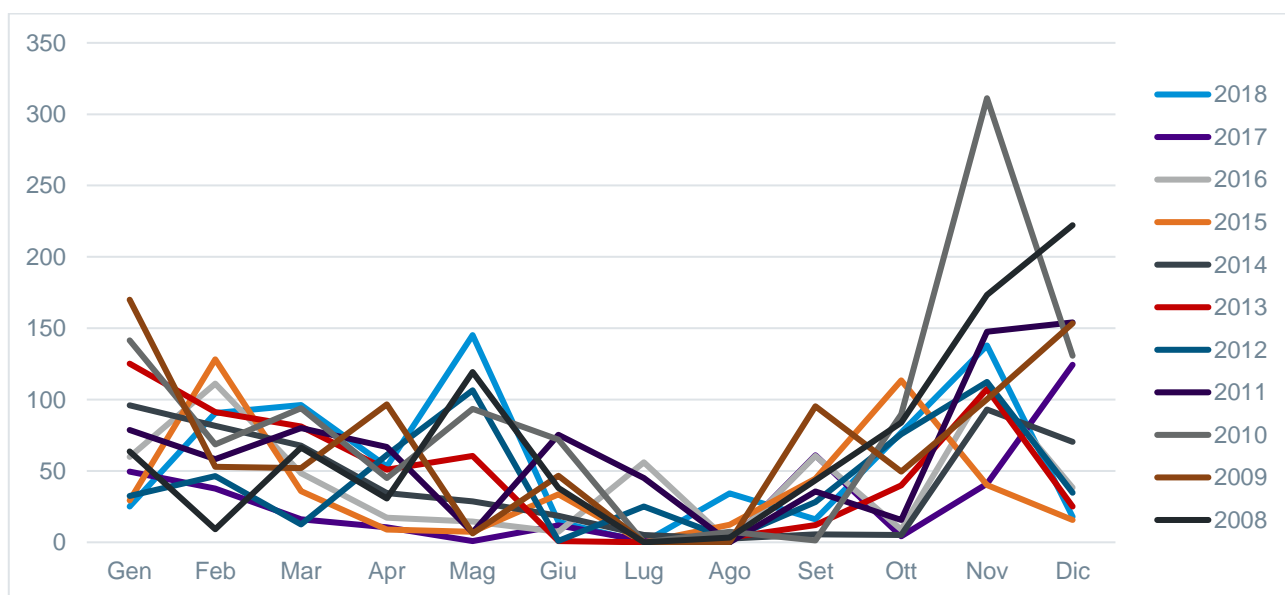


Tabella 2 Andamento della pluviometria mensile e annuale (nell'asse delle ordinate, in mm) per le stazioni di Ittiri (2008-2011) e Alghero (2012-2018) nel periodo 2008-2018.

L'andamento pluviometrico dell'area di **Ittiri** nell'arco dell'anno è caratterizzato dal minimo assoluto di piovosità nel periodo estivo e da un massimo in autunno e inverno, per cui i mesi più secchi sono quelli estivi mentre quelli più piovosi sono quelli autunnali, invernali e primaverili (Tab.2).

11.2. Temperature

I valori termometrici della stazione meteo di Ittiri, ricavati dal Dipartimento Specialistico Regionale Idroclimatico (I.M.C.) dell'ARPAS, sono illustrati nel grafico di Tab.3 e sono relativi alla stazione di Alghero per gli anni dal 2012 al 2018, a quella di Ittiri per l'anno 2012, a quella di Putifigari per l'anno 2015. La temperatura media annua, calcolata con i valori medi mensili per il periodo 1995-2018, è di circa 16,8 °C. Il mese più freddo è Febbraio con una media di circa 9,6°C, mentre le temperature più elevate si riscontrano a Luglio e Agosto con circa 24,9 °C.

Periodo	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
2018	12,6	9,3	12,6	16,3	18,1	22,2	25,6	25,7	23,2	19,9	15,1	12,1
2017	8,9	12,1	12,7	14,1	18,5	23,7	25,9	26,5	20,7	18,3	13	10,3
2016	11,5	12,5	11,6	15,5	17,5	21,7	24	23,5	22,5	18,4	15	12
2015	9,3	8,2	10,8	15,7	18,6	22,5	26,1	24,6	21	16,8	13,5	11,6
2014	11,1	11,4	11,4	14,7	16,7	21,7	23,6	23,7	22,6	20,1	16,8	11,8
2013	10,5	8,4	12,7	15	16,5	20,2	24,9	24,9	21,7	20,7	13,6	10,9
2012	8,6	5,3	12,4	13,5	17	23,5	24,8	26,8	21	17,4	13,9	9,3
2005-2011	10,2	9,9	11,6	14,7	18,3	21,4	24,5	24	21,3	17,8	14	11

Tabella 3 Temperature mensili (in °C) registrate nella stazione di Ittiri (2012), Putifigari (2015) e Alghero (restante periodo 2005-2018).

Nel grafico in Fig.37 è illustrato l'andamento delle temperature medie mensili per il periodo 2005-2011 registrate nella stazione di Ittiri per l'anno 2012, Putifigari per l'anno 2015, e Alghero per i restanti anni compresi nel periodo 2005-2018.

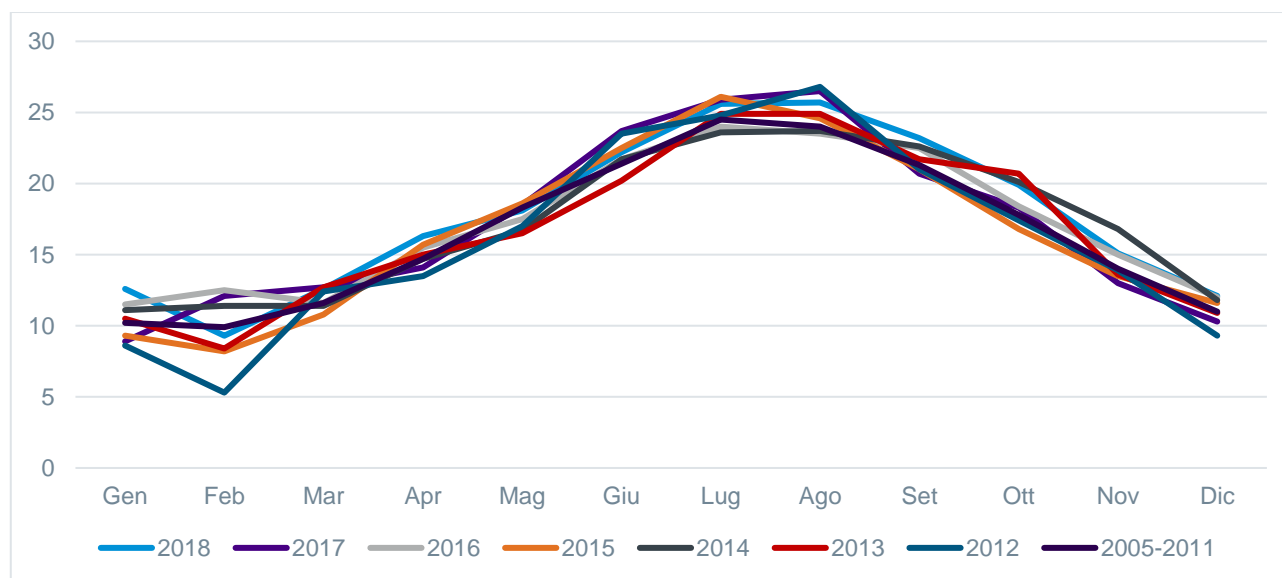


Figura 37 Temperature mensili (in °C, nell'asse delle ordinate) registrata nella stazione di Alghero, Ittiri (2012) e Putifigari (2015).

11.3. Stima dell'evapotraspirazione

L' evapotraspirazione è uno dei parametri più significativi nell'ambito di un bilancio idrologico e rappresenta la perdita di una parte delle acque di precipitazione, per evaporazione dal suolo e per traspirazione della vegetazione. Viene calcolata tenendo conto della temperatura e delle precipitazioni, e viene influenzata dalla nuvolosità, dall'umidità relativa e dalla ventosità. Nel grafico di Figura 38 è illustrata l'evapotraspirazione per la zona di **Ittiri** ricavata dai dati reperibili sul WebGIS dell'ARPAS.

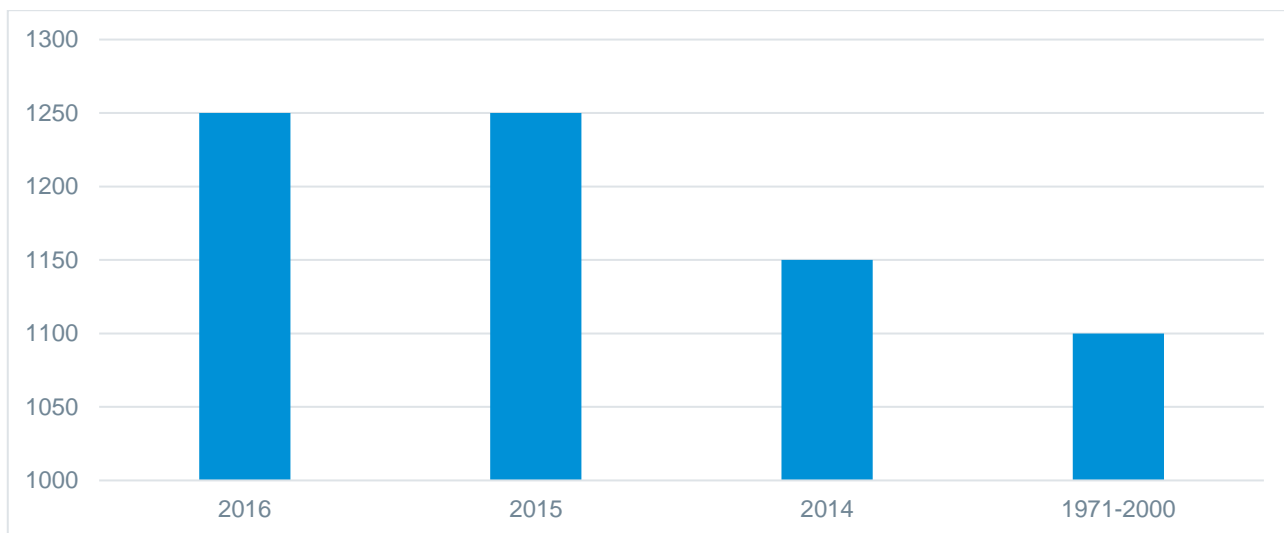


Figura 38 Evapotraspirazione (espressa in mm) per la zona di Ittiri

La nuvolosità influenza il clima in quanto da essa dipende l'irraggiamento solare. Nella Table 1, sono rappresentati i valori mensili di condizioni di sereno (nuvolosità < 2/8), nuvoloso (2/8 < nuvolosità < 6/8) e coperto (nuvolosità > 6/8), espressi in okta (stima di quanti ottavi di cielo sono oscurati dalle nuvole) e riferiti al periodo 1961 – 1990 per la stazione di Fertilia.

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

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

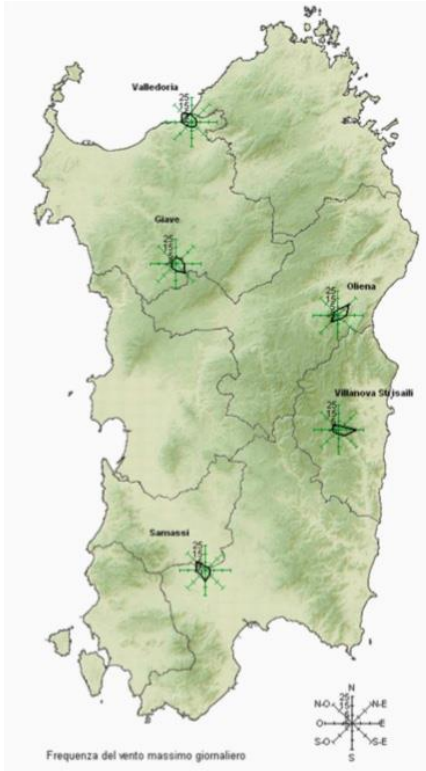


Figura 39 Ventosità media annuale per le stazioni meteorologiche relativa all'anno 2017 (mese giugno)

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

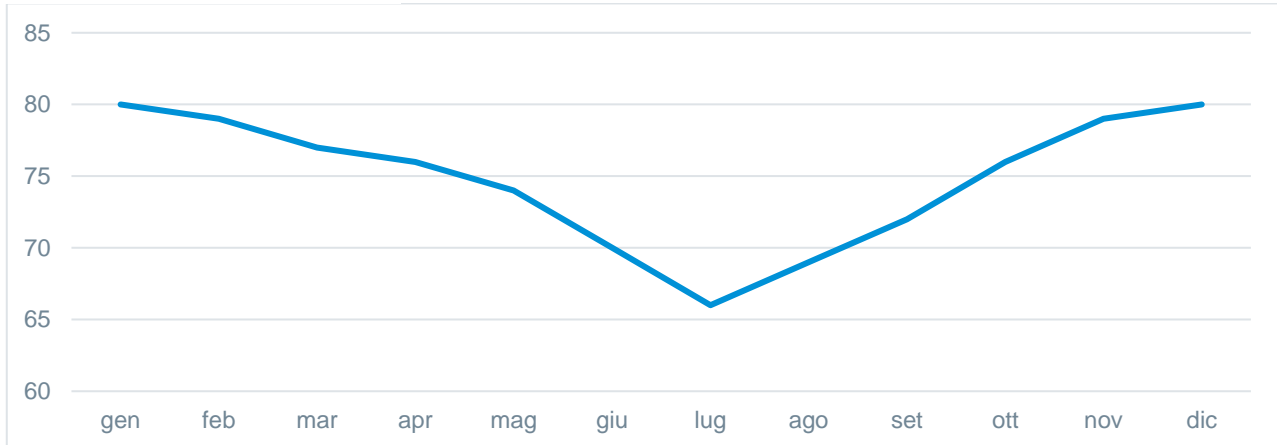


Figura 40 Umidità relativa per la stazione di Fertilia, per l'anno 1971-2000

L'ultima variabile significativa che condiziona l'evapotraspirazione è l'umidità relativa, ossia il rapporto tra la quantità di vapore d'acqua contenuta in una massa d'aria rispetto e quella massima potenziale in relazione alla sua temperatura. Dalla tabella soprastante che riporta i valori dell'umidità relativa media mensile ed annuale della stazione di Fertilia per il periodo 1971-2000, si nota che tale valore raggiunge valori più elevati nei mesi invernali (Novembre-Febbraio) e valori minimi nel mese di Luglio.

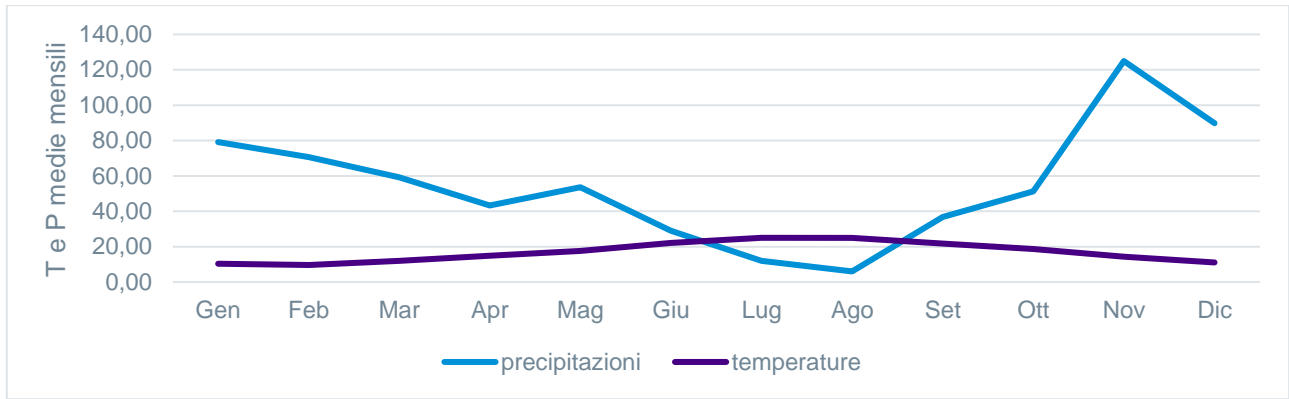


Figura 41 Diagramma ombrotermico (Walter e Lieth) per il settore di Ittiri

Il diagramma ombrotermico soprastante elaborato per il settore di Ittiri, a partire dai dati sulla temperatura media e precipitazioni medie, permette di comparare contemporaneamente i regimi medi mensili termici e pluviometrici nell'arco del periodo considerato. L'andamento delle curve consente di visualizzare che nei mesi estivi, dove la temperatura media mensile raggiunge valori superiori ai 22 °C, si hanno i valori di piovosità inferiori, mentre nei mesi invernali, dove le temperature medie mensili si attestano ai 7°C, si raggiungono le piovosità più elevate. Il clima è caratterizzato da un periodo caldo con scarsa piovosità e uno più freddo e piovoso. Nel grafico di si nota che la curva delle precipitazioni giace al di sotto di quella delle temperature nei mesi estivi, che rappresentano il periodo secco in quanto prevale l'evapotraspirazione rispetto agli apporti idrici.

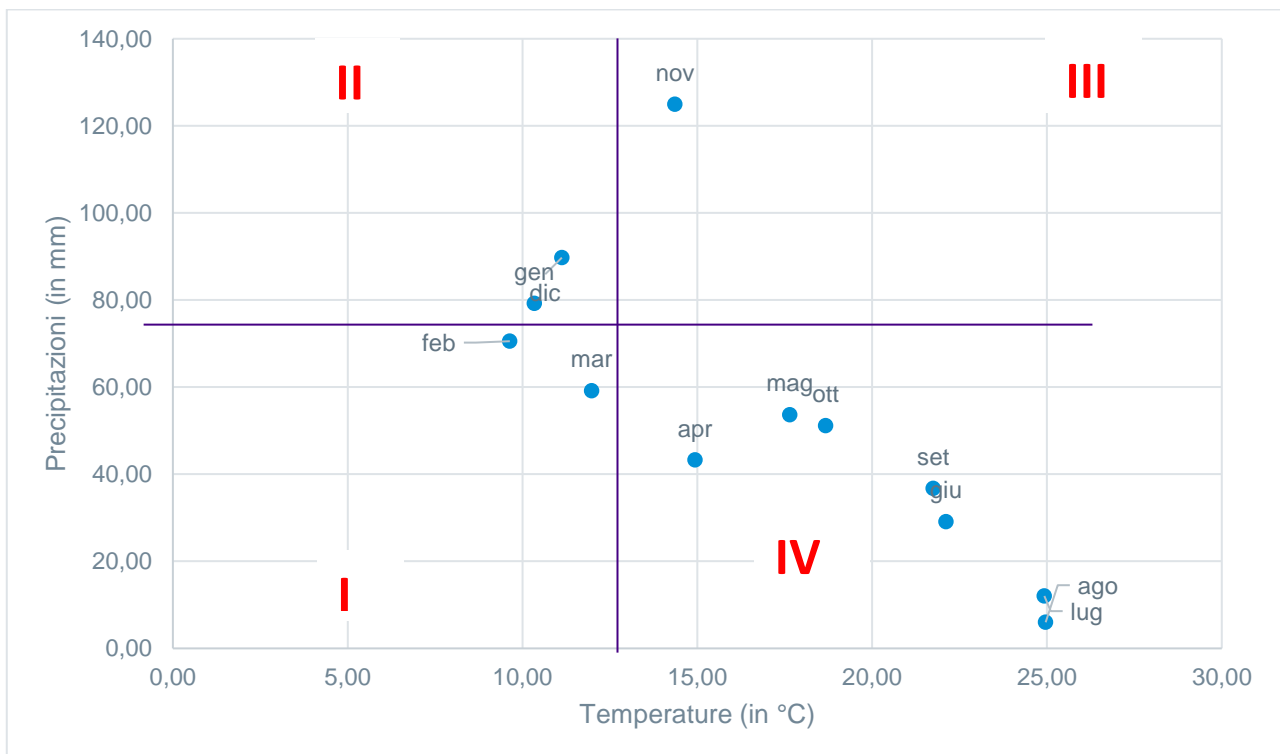


Figura 42 Climogramma relativo alla regione di Ittiri

MISTRAL Wind Energy Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesMis-CLP-ES-GEO-TR-019	Rev 0	Pagina 48 di 101
-------------------------	---------------------	--	-------	---------------------

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

Dal climogramma (Fig.47) realizzato a partire dai valori medi di precipitazioni e temperature relativi al periodo 2012-2018 per l'area di Ittiri, nel quale i quadranti definiscono le diverse tipologie di climi, ossia freddo arido (I), freddo umido (II), caldo umido (III) e caldo arido (IV), è evidente che il settore in studio è caratterizzato da due periodi, uno lungo di caldo arido ed uno limitato freddo umido.

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

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

12. Inquadramento pedologico

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

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

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, riolaciti, 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, riolaciti, 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, riolaciti, 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 - Rocca 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.

Unità L1: Profili A-C e subordinatamente A-Bw-C, profondi, da sabbioso franchi a franco argillosi, da permeabili a poco permeabili, neutri, saturi.

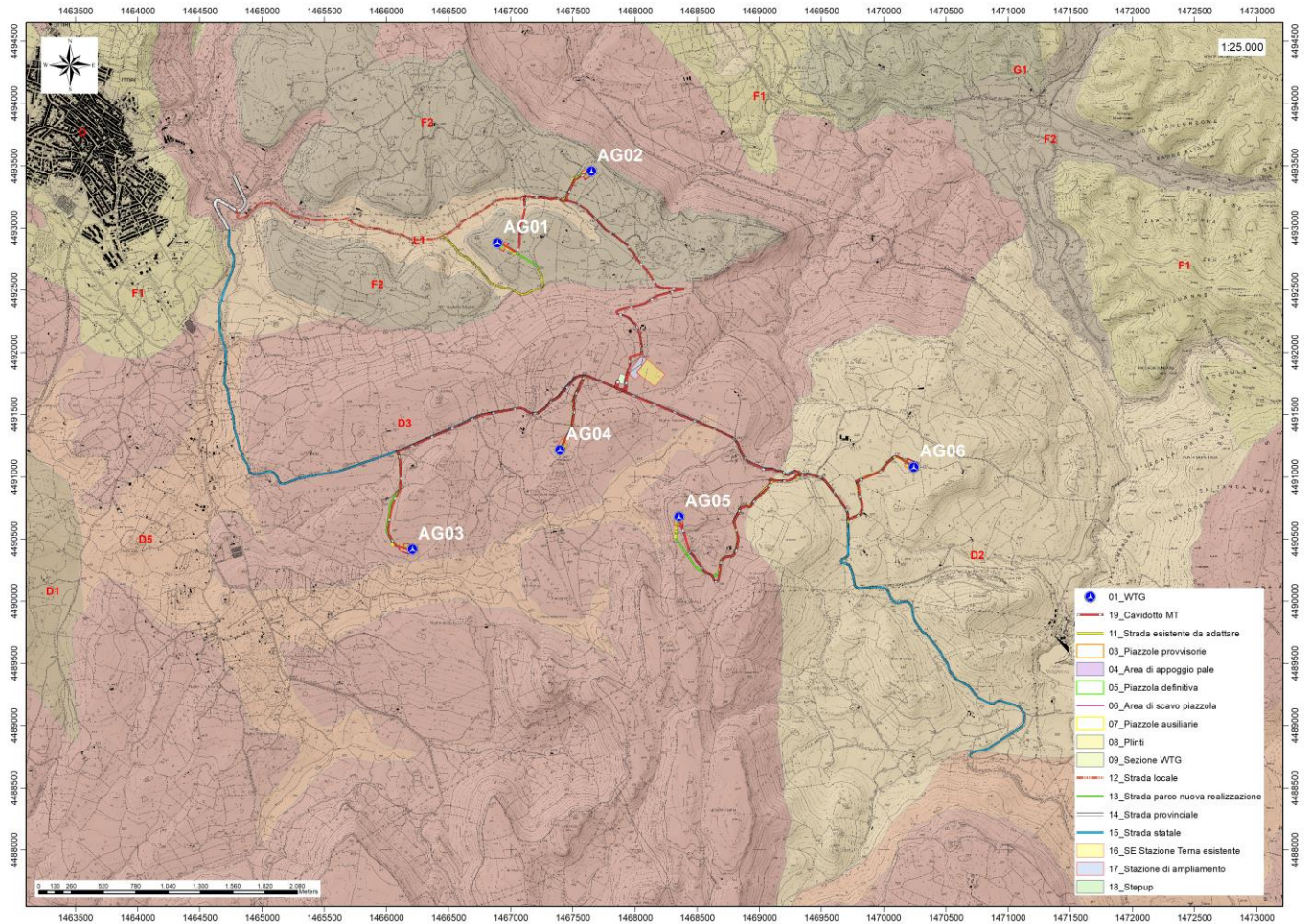


Figura 43 Carta dei Suoli (Fonte RAS)

13. Uso del Suolo

Dalla Carta dell'Uso del Suolo, resa disponibile dalla Regione Sardegna, si evince che l'ambito di progetto del Parco eolico "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.

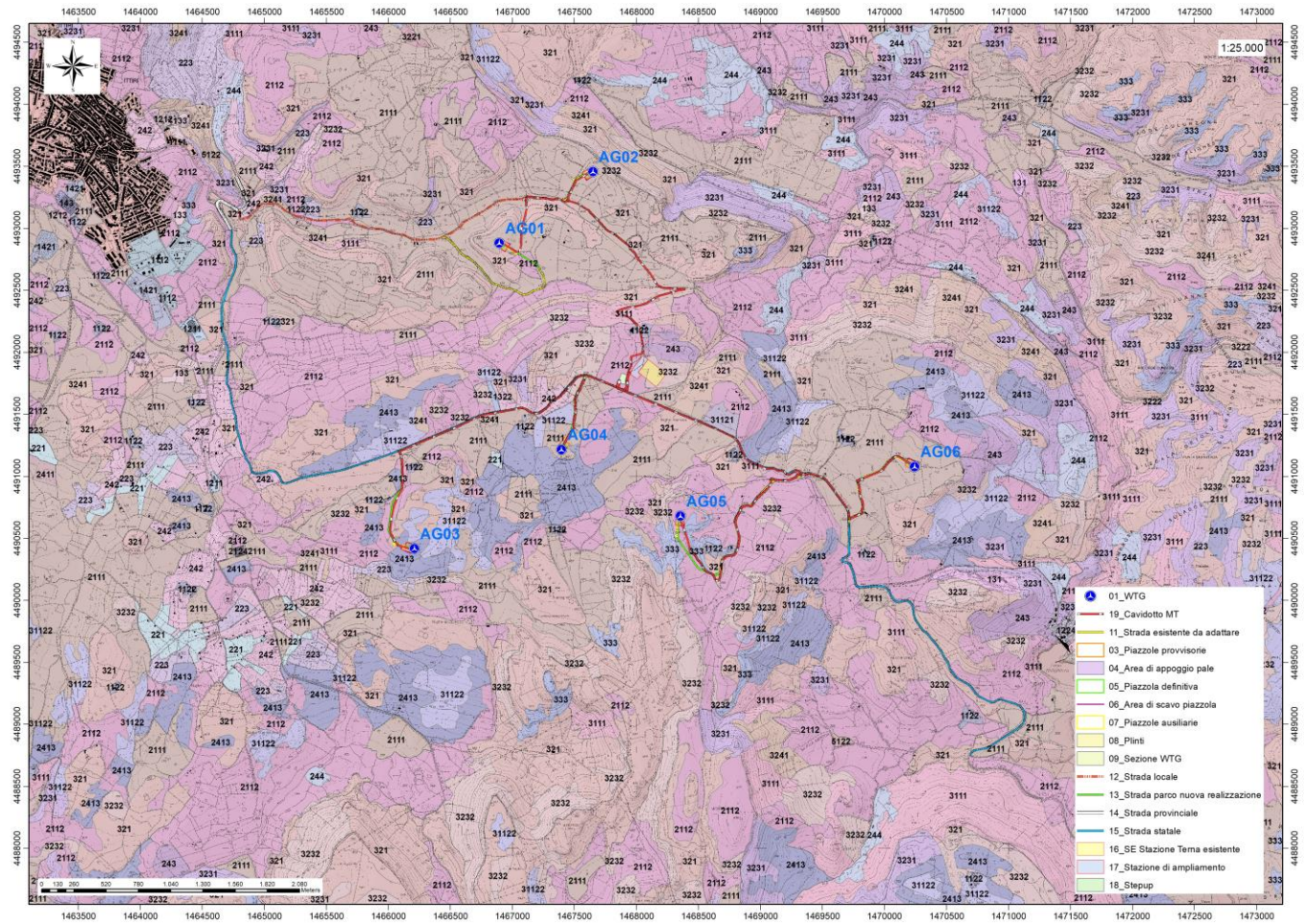


Figura 44 Stralcio della Carta dell'Uso del Suolo della Sardegna (2008, Fonte RAS).

14. Analisi dei vincoli gravanti sui terreni

14.1 Piano Stralcio D'Assetto Idrogeologico della Sardegna

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

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

delle risorse naturali, tra cui i [...] piani per le infrastrutture, il piano regionale di utilizzo delle aree del demanio marittimo per finalità turistico-ricreative”.

Alla data attuale non risulta che Il comune di **Ittiri** abbia realizzato uno studio sull’ambito comunale exArt. 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)

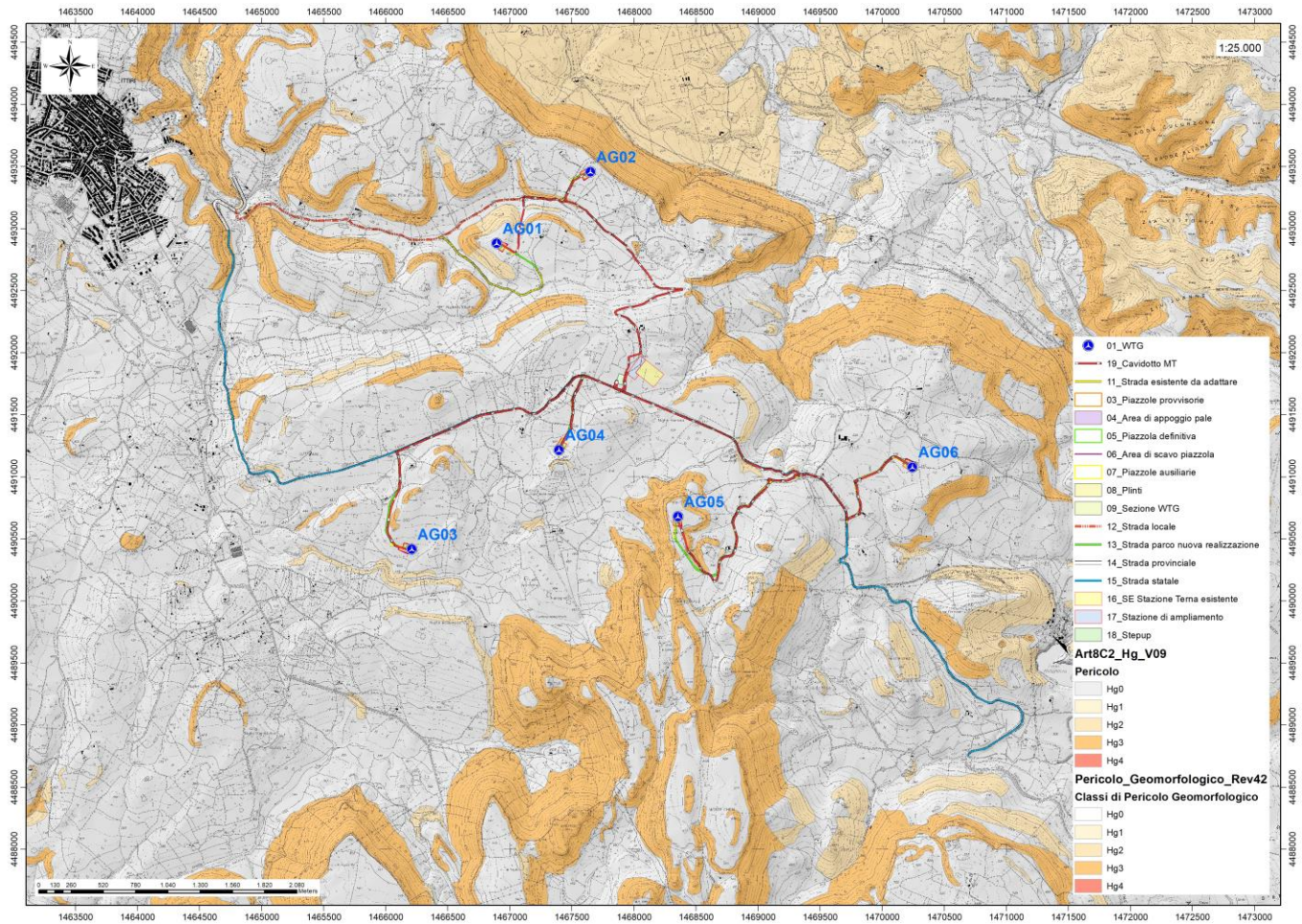


Figura 45 Inquadramento PAI Pericolosità da frana (Fonte RAS).

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 occupa 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.

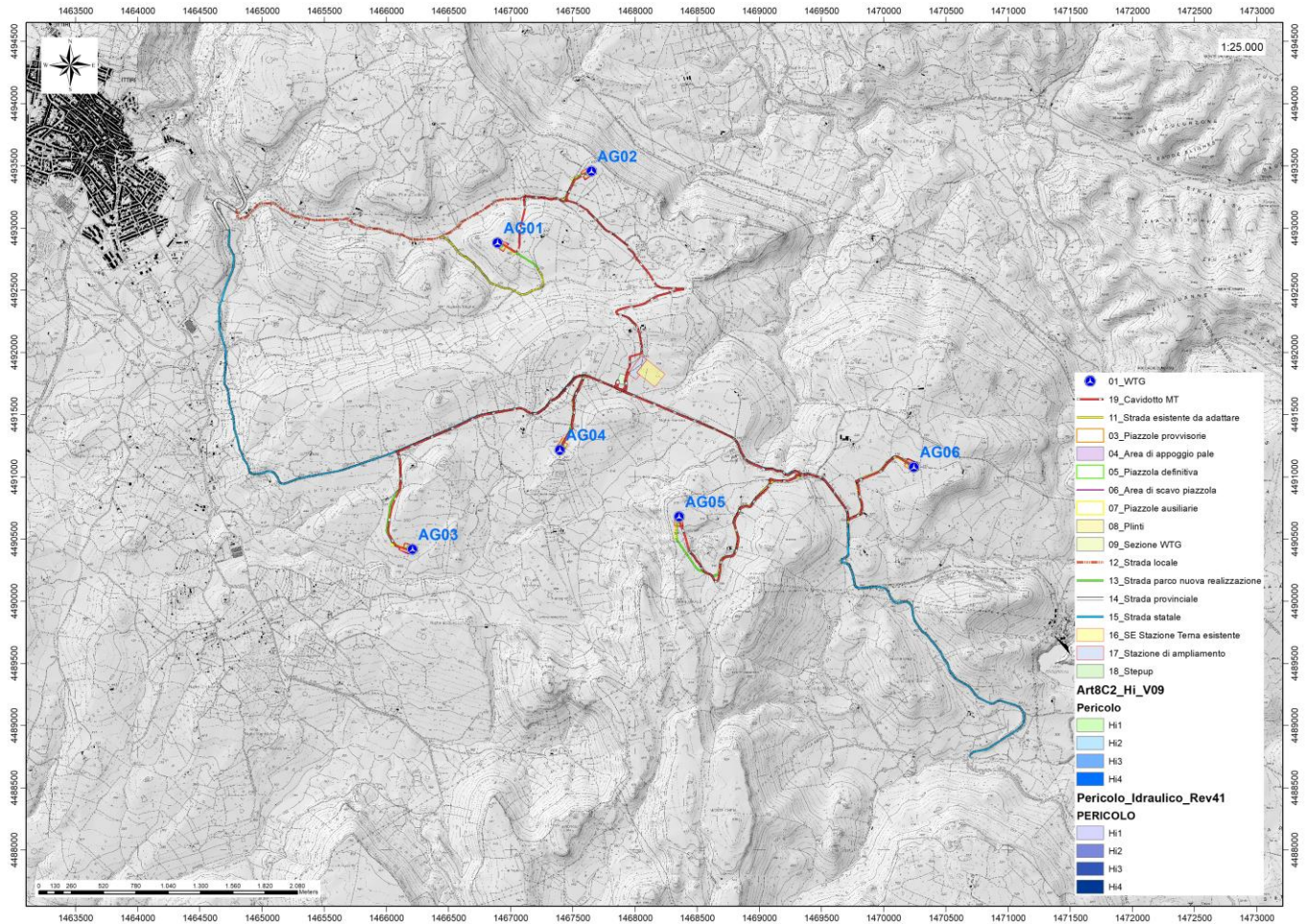


Figura 46 Inquadramento PAI Pericolosità idraulica (Fonte RAS).

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

1. 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.

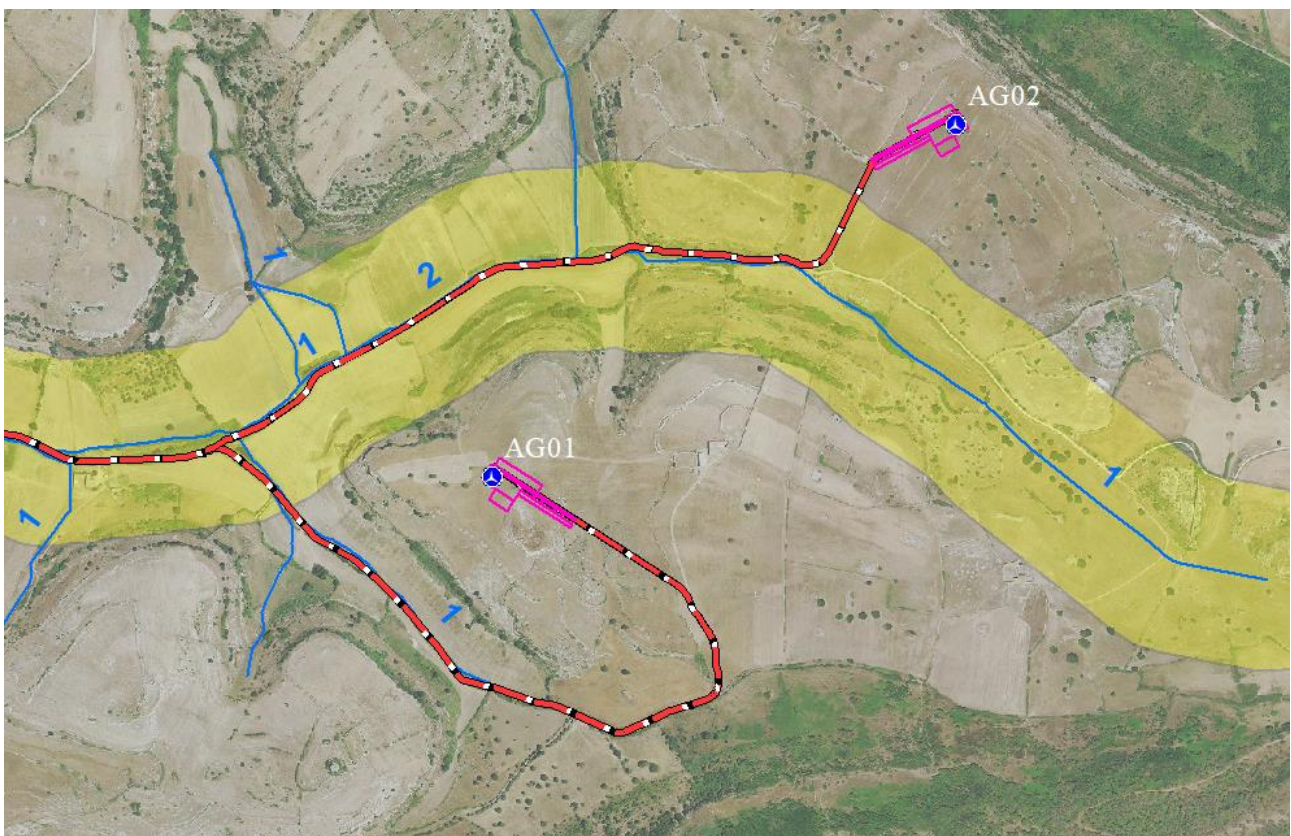


Figura 47 Reticolo idrografico numerato secondo l'ordine di Stralher con in giallo una fascia di riferimento di 150m

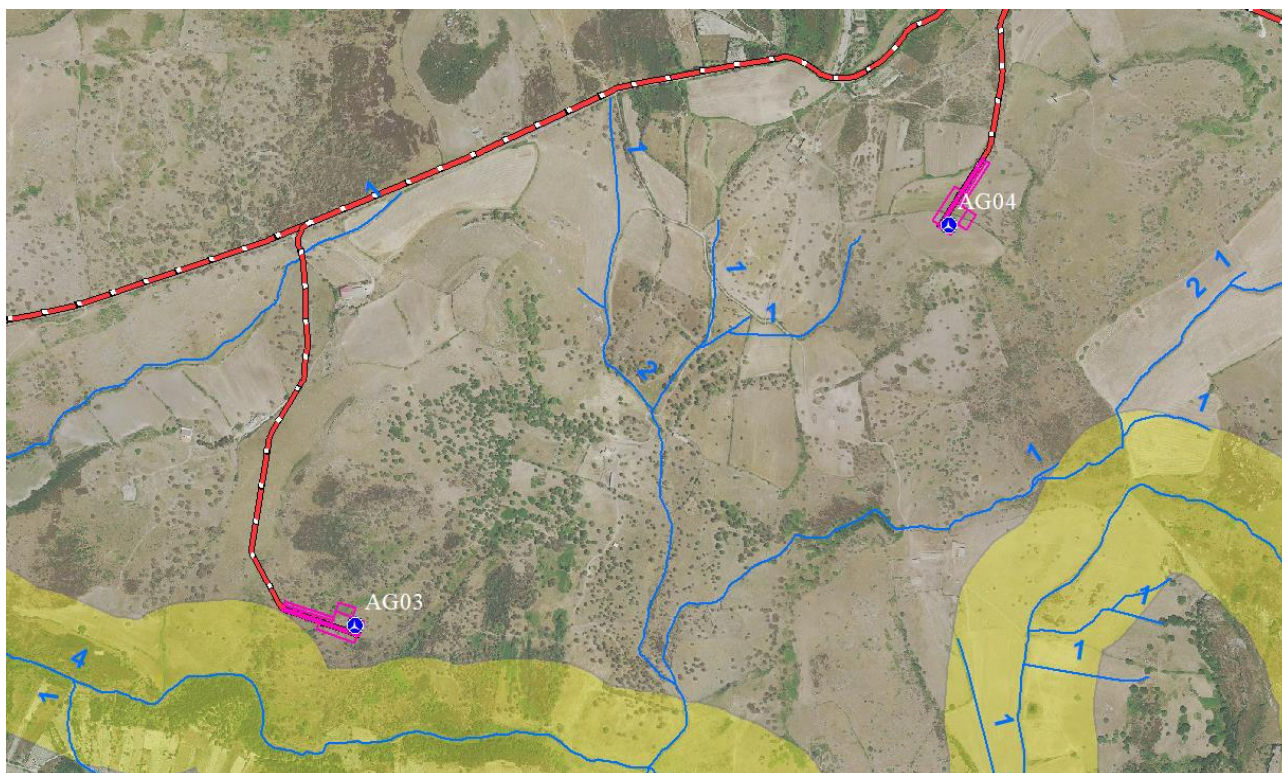


Figura 48 Reticolo idrografico numerato secondo l'ordine di Stralher con in giallo una fascia di riferimento di 150m

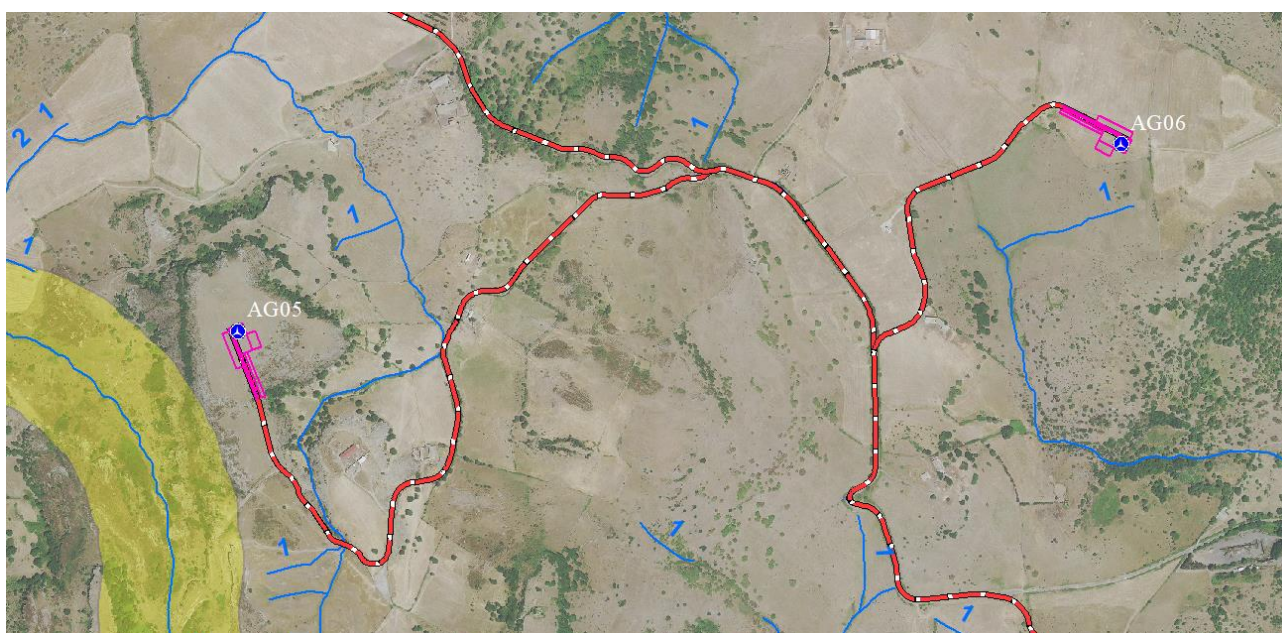


Figura 49 Reticolo idrografico numerato secondo l'ordine di Stralher con in giallo una fascia di riferimento di 150m

14.2. 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.

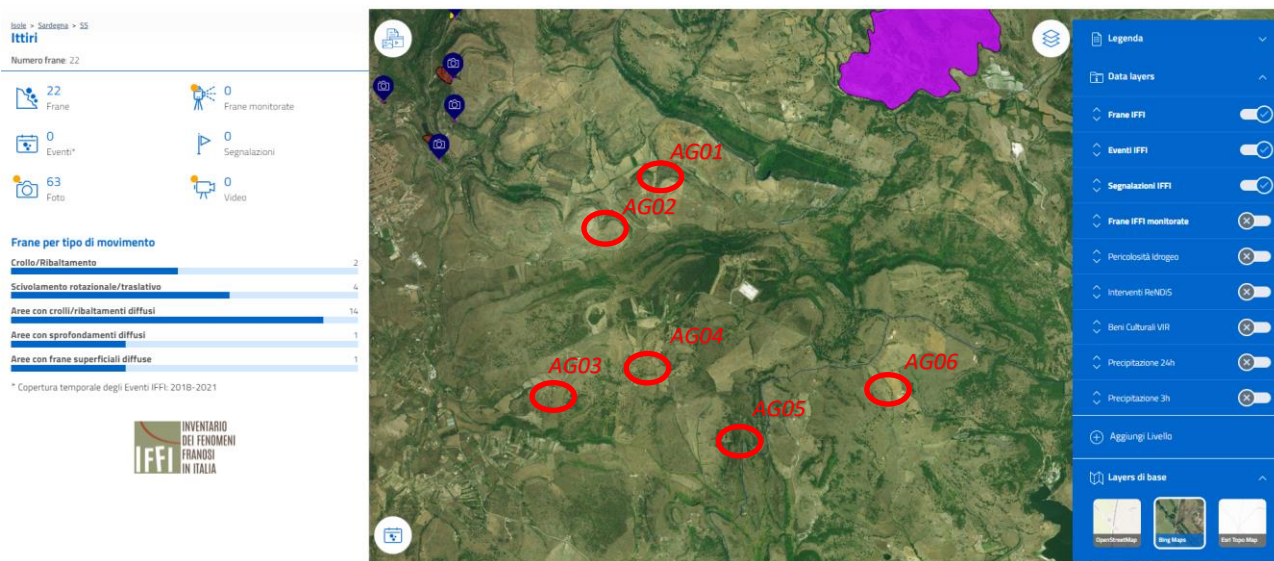


Figura 50 Archivio IFFI (Fonte ISPRA) in rosso l'area di intervento

14.3. 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 Geomorfológica) 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.

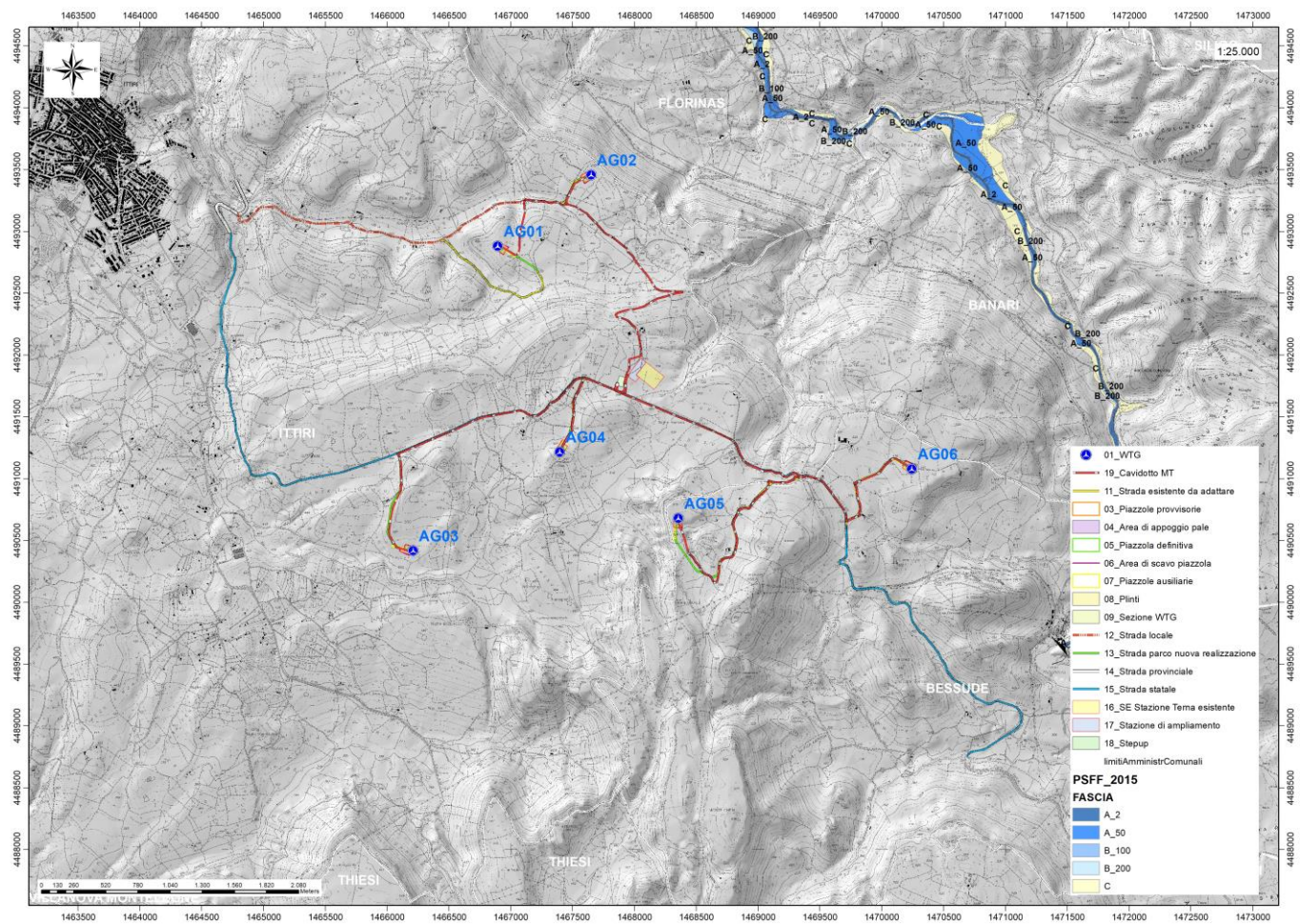


Figura 51 Stralcio perimetrazione Piano Stralcio fasce Fluviali PSFF

14.4. 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.

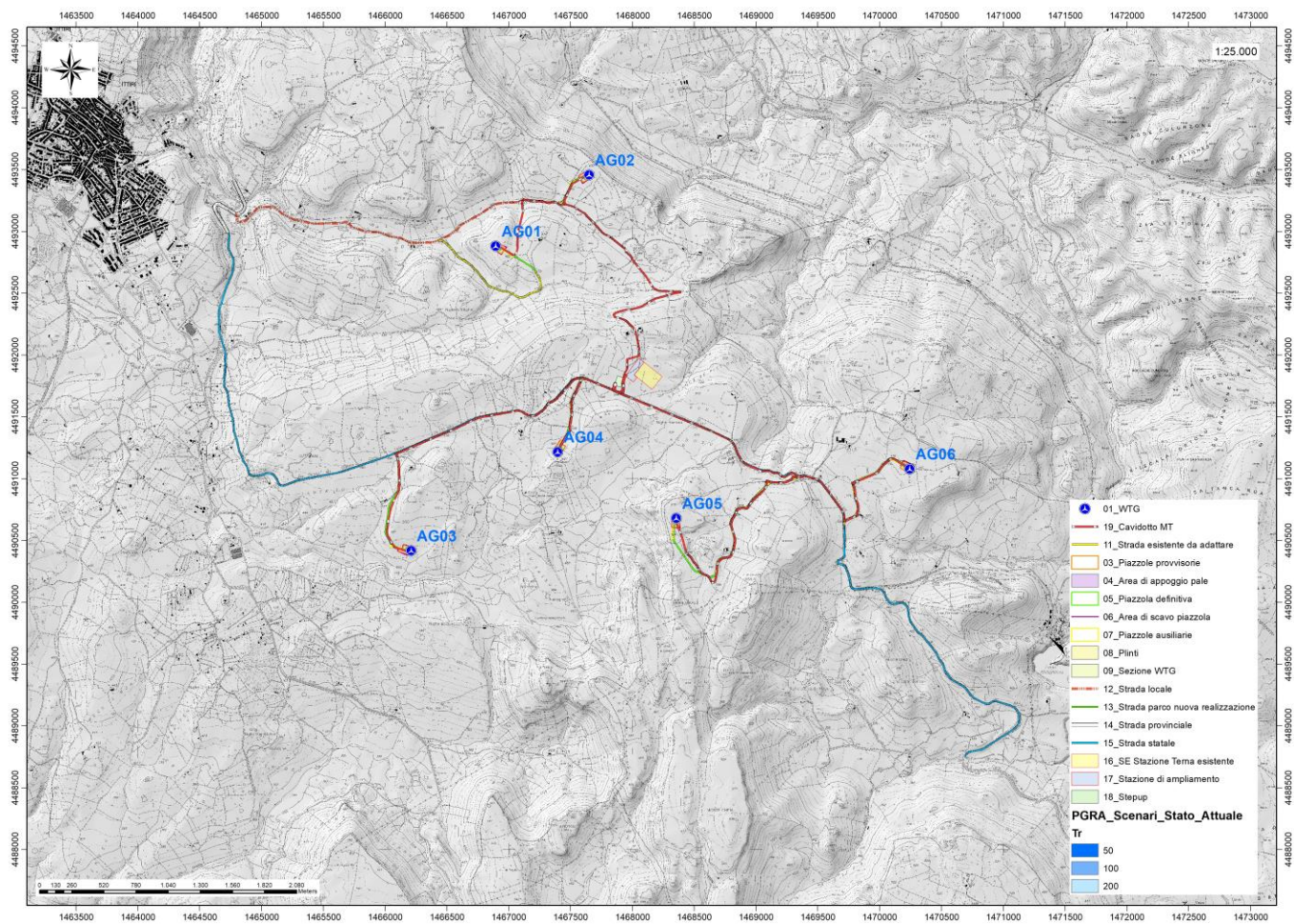


Figura 52 Stralcio perimetrazione PGRA Rev.2020

15. Indagini geognostiche

La necessità di integrare le informazioni di tipo geologico e geotecnico derivanti da studi pregressi, dalla letteratura di settore e dai rilievi geologici e geostrutturali in sito, ha reso necessario predisporre un piano di indagini geognostiche propedeutiche alla definizione del modello geologico di riferimento di sito funzionale alle opere previste in progetto così come richiamato dalle Norme Tecniche sulle Costruzioni (NTC2018 - §Cap. 6.2.1).

L'obiettivo delle indagini realizzate è stato:

1. Definire la stratigrafia ed i rapporti tra le formazioni geologiche interessate dagli interventi;
2. Definire le caratteristiche fisico-meccaniche degli ammassi rocciosi coinvolti nelle opere in progetto;
3. Individuare la presenza di circolazione d'acqua sotterranea alle profondità di interesse in relazione ai volumi significativi delle opere (fondazioni, piazzole, trincee e rilevati stradali, stabilità dei pendii)

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

Sono stati eseguiti di n°3 **stendimenti di geoelettrica** (04, 16 e 23 Maggio 2022), n°4 **stendimenti di sismica** con tecnica **MASW e rifrazione in onde P**. Tutte le basi sismiche MASW ricadono lungo il medesimo allineamento delle rifrazioni, mentre solo nei siti **SMT01, SMT02 e SMT03** si sono eseguiti i **3 stendimenti geoelettrici**, i quali hanno il medesimo centro degli allineamenti sismici ma sono leggermente più lunghi (93,0 m).

E' stato inoltre eseguito il Rilievo topografico tramite GPS differenziale STONEX S70G (geofoni, punti di shot, elettrodi /picchetti) e restituzione dei profili altimetrici da impiegare nelle sezioni di tomografia elettrica e sismica. Sono stati infine elaborati i dati ottenuti tramite analisi delle prospezioni acquisite in campagna, applicazione filtri, e restituzione grafica delle sezioni sismiche con l'impiego di software specialistici.

Stendimento	Metodo di indagine	Orientamento	Lunghezza (m)
SMT01-AG02	MASW	SW-NE	69,0
SMT01- AG02	Sismica a rifrazione in onde P	SW-NE	69,0
SMT01- AG02	Geoelettrica	SW-NE	93,0
SMT02- AG04	MASW	W-E	69,0
SMT02- AG04	Sismica a rifrazione in onde P	W-E	69,0
SMT02- AG04	Geoelettrica	W-E	93,0
SMT03- AG06	MASW	W-E	69,0
SMT03- AG06	Sismica a rifrazione in onde P	W-E	69,0
SMT03- AG06	Geoelettrica	W-E	93,0
SM04- AG05	MASW	S-N	69,0
SM04- AG05	Sismica a rifrazione in onde P	S-N	69,0

Tabella 4 Ubicazione degli stendimenti

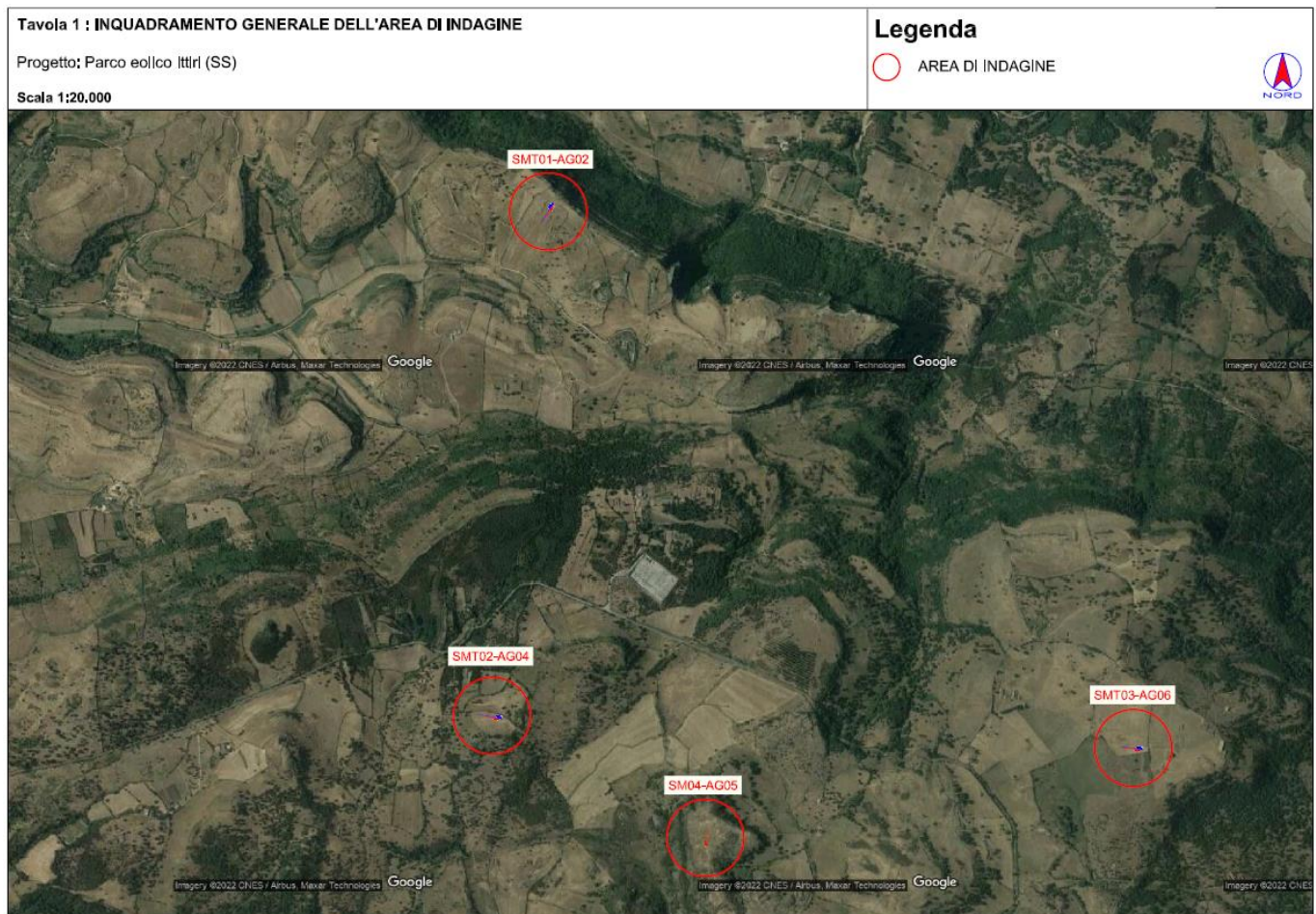


Figura 53 Ubicazione degli stendimenti

15.1. Generalità sul metodo sismico a rifrazione

Il metodo sismico a rifrazione studia la velocità di propagazione delle onde sismiche nel sottosuolo quando il terreno è sottoposto a sollecitazioni artificiali. La determinazione delle velocità si ottiene misurando i tempi di primo arrivo delle onde sismiche generate in diversi punti sulla superficie topografica. Operativamente i profili sismici si eseguono disponendo sul terreno una serie di sensori (geofoni), posti ad un intervallo costante, collegati ad un sismografo mediante un cavo multipolare.

Dopo l'allestimento del dispositivo di ricezione si provvede a generare artificialmente vibrazioni impulsive in corrispondenza di punti prestabiliti lungo i profili: Nello stesso istante di partenza della vibrazione viene trasmesso al sismografo il comando di avvio della registrazione (trigger). Da questo istante inizia l'acquisizione digitale, con campionamento ad intervallo costante e predeterminato, dei segnali ricevuti dai sensori. L'interpretazione dei segnali e la ricostruzione del profilo di velocità delle onde P consiste di almeno due fasi ben distinte, e cioè l'interpretazione dei sismogrammi e l'interpretazione dei diagrammi tempi-istanze (dromocrone).

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

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

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

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

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

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

Questa griglia di valori può essere, quindi utilizzata per rappresentare l'andamento nel sottosuolo delle varie litologie presenti mediante variazioni cromatiche associate alle variazioni di velocità o mediante linee di isovelocità.

15.1.2. Caratteristiche delle stese sismiche

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

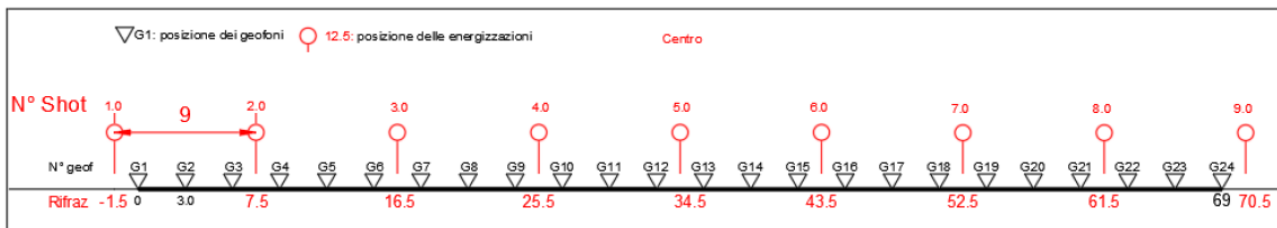


Figura 54 Stendimento di sismica a rifrazione in onde P con 24 geofoni, interdistanza di 3,0 m, lunghezza complessiva 69,0 m

15.1.3. Caratteristiche della Strumentazione impiegata

Per l'esecuzione delle indagini è stato impiegato un sismografo GEA24, prodotto dalla PASI Geophysics, con frequenza di campionamento 5.000 Hz (Rifrazione) e 1500 Hz (MASW) per ognuno dei canali registrati, ciascuno attrezzato con geofoni verticali e orizzontali della PASI Geophysical con frequenza propria di 4,5 Hz per un numero di canali pari a n° 24. Per l'energizzazione è stata impiegata una mazza battente da 10 kg impattante verticalmente su piastra di battuta in duralluminio, diametro 18 cm, spessore 4 cm, peso 2 kg. La quota relativa di ciascun geofono-shot è stata rilevata tramite una livella digitale e GPS differenziale marca Stonex in modo da poter ricostruire la morfologia del terreno e utilizzarla in fase di elaborazione dei dati acquisiti.

MISTRAL Wind Energy Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesMis-CLP-ES-GEO-TR-019	Rev 0	Pagina 61 di 101
-------------------------	---------------------	--	-------	---------------------

15.1.4. Elaborazione dei dati

I dati delle prospezioni sono costituiti dalla geometria d'acquisizione (posizioni e quote relative dei punti scoppio e dei geofoni) e dai tempi di primo arrivo delle onde elastiche di compressione (onde P), determinati manualmente sulle registrazioni riprodotte a schermo (picking dei primi arrivi). La qualità dei dati è risultata nel complesso buona e il picking è stato realizzato facilmente per tutte le basi sismiche. L'inversione dei dati è stata eseguita secondo i criteri della tomografia sismica, mediante apposito software specialistico basato su tecniche di ottimizzazione non lineare. In particolare, l'elaborazione dei dati di sismica a rifrazione è stata eseguita secondo il metodo tomografico impiegando il software Rayfract 4.01, che parte da un modello iniziale generato con la tecnica Deltat-V. Successivamente viene effettuata l'inversione iterativa del modello con la tecnica WET (Wavepath Eikonal Traveltime tomography processing) che analizza la propagazione dei vari fronti d'onda generati nei punti di tiro fino ad ogni geofono. Il modello stratigrafico ottenuto come insieme di elementi caratterizzati da una specifica velocità viene quindi rappresentato mediante il contour a linee di isovelocità. La colorazione dei vari elementi secondo una scala cromatica riferita a specifici intervalli di velocità facilita l'immediata visione dei risultati

15.2. Indagini sismiche: MASW

Metodologia

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

Moto del segnale sismico

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

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

Onde di Rayleigh – "R"

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

Analisi del segnale con tecnica MASW

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

Modellizzazione

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

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

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

Modi di vibrazione

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

Profondità di indagine

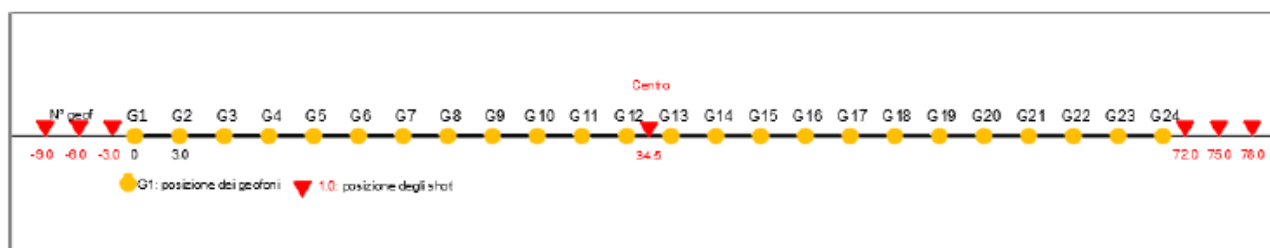
Le onde di Rayleigh decadono a profondità circa uguali alla lunghezza d'onda. Piccole lunghezze d'onda (alte frequenze) consentono di indagare zone superficiali mentre grandi lunghezze d'onda (basse frequenze) consentono indagini a maggiore profondità.

15.2.1. Specifiche delle indagini svolte

L'indagine si sviluppa mediante la materializzazione sul terreno di una linea retta mediante la posa di una fettuccia metrica. A seguire vengono posizionati i geofoni intervallati ad una distanza pari a **3,0 m** in funzione anche della disponibilità di spazio. Esternamente alla stesa geofonica, da ora base sismica, a distanza di interesse che può essere pari ad un multiplo della distanza intergeofonica ma anche variabile (in funzione delle disponibilità di cantiere), sia in andata (ovvero in prossimità del geofono 1) che al ritorno (ovvero all'ultimo geofono posizionato sulla base sismica), vengono svolte delle energizzazioni mediante massa battente pari a Kg 10,0. Nel caso in esame, sono state svolte le energizzazioni in "andata" e in "ritorno" con distanza dal geofono 1 e dal geofono 24 crescente e pari a multipli della distanza intergeofonica (v. schema), oltre che una battuta al centro della base sismica.

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

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



15.2.2. Caratteristiche della strumentazione impiegata

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

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

MISTRAL Wind Energy Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesMis-CLP-ES-GEO-TR-019	Rev 0	Pagina 63 di 101
-------------------------	---------------------	--	-------	---------------------

15.2.3. Interpretazione dei segnali acquisiti

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

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

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

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

15.2.4. Categorie di sottosuolo - D.M. 19.01.2018 (NTC 2018)

Le "Norme Tecniche per le Costruzioni" – Decreto del 19/01/2018 definiscono le regole per progettare l'opera sia in zona sismica che in zona non sismica. La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{s,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione

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

con:

h_i spessore dell' i -esimo strato;

$V_{s,i}$ velocità delle onde di taglio nell' i -esimo strato;

N numero di strati;

H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato H è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione. Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite in Tab. 3.2.II. Per queste cinque categorie di sottosuolo, le azioni sismiche sono definibili come descritto al § 3.2.3 delle NTC 2018. Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche.

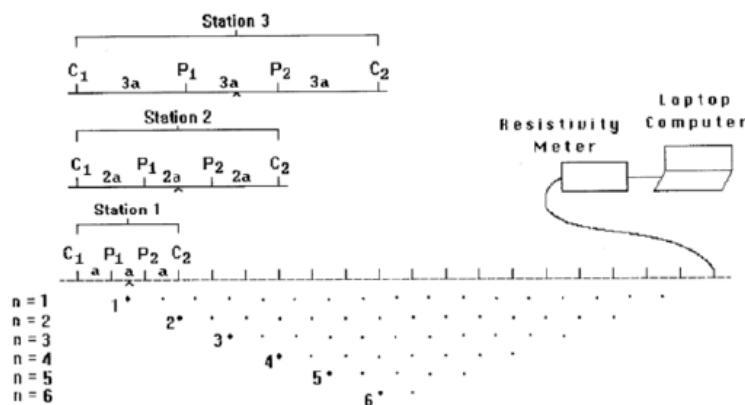
Tabella 3.2.II. Categorie di sottosuolo (Fonte NTC 2018)

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

15.3. Tomografia elettrica

15.3.1. Tecnica e parametri utilizzati

Lo scopo dei metodi geofisici è quello di ottenere informazioni sulla natura e struttura del sottosuolo attraverso una serie di misure opportunamente effettuate in superficie. Il metodo utilizzato in questa indagine ricade fra i metodi geoelettrici "attivi", cioè quelli che utilizzano correnti elettriche artificialmente immesse nel terreno, con l'intento di misurare la resistività apparente degli strati attraversati dalla corrente elettrica. La tecnica tomografica si compone di uno stendimento costituito nel caso specifico da un massimo di 32 elettrodi posti ad un'interdistanza costante l'uno dall'altro, che vengono gestiti automaticamente dallo strumento di misura e commutati alternativamente come elettrodi di corrente e di misura di differenza di potenziale (d.d.p.). La metodologia permette l'acquisizione di una considerevole quantità di dati sulla resistività "apparente", rappresentativi sia delle variazioni laterali, che verticali lungo il profilo così da generare una Tomografia Elettrica lungo una linea sul terreno.



L'utilizzo appropriato dei programmi d'inversione consente l'elaborazione delle sezioni di resistività in grado di riprodurre accuratamente le variazioni del parametro fisico. La resistività rappresenta una proprietà fisica molto importante, poiché dipende da vari fattori quali, la natura dei terreni e delle rocce, la saturazione dell'acqua, la porosità della roccia, e tutte le anomalie locali generate da strutture localizzate come cavità, corpi di discarica, tracce di dispersione d'inquinanti, etc..

MISTRAL Wind Energy Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesMis-CLP-ES-GEO-TR-019	Rev 0	Pagina 65 di 101
-------------------------	---------------------	--	-------	---------------------

La **profondità d'esplorazione** è variabile secondo il dispositivo e della risoluzione richiesta; mediamente è pari a circa 1/5 della lunghezza dello stendimento.

15.3.2. Geometria delle acquisizioni

Per ciascun stendimento sono state impiegate tre geometrie di acquisizione, come di seguito specificato:

- Quadripolo di Wenner
- Quadripolo di Wenner Schlumberger
- Quadripolo Dipolo-Dipolo

Ogni metodo utilizzato ha delle caratteristiche proprie e come tale tende meglio a rappresentare specifiche strutture presenti nel sottosuolo. In particolare:

1. Il quadripolo di Wenner (di seguito W) presenta caratteristiche per il quale risulta maggiormente idoneo nell'investigazione di strutture orizzontali (quali quelle sedimentarie o laviche).
2. Il quadripolo di Wenner-Schlumberger (di seguito WS) risulta essere un buon compromesso per l'investigazione sia di strutture orizzontali che verticali (faglie, dicchi, cavità),
3. Il quadripolo Dipolo-Dipolo (di seguito DD) è prevalentemente idoneo nell'investigazione di strutture verticale (faglie, dicchi, cavità), mentre risulta essere poco adatto in presenza di strutture orizzontali, quali quelle sedimentarie.

Il W e il WS si distinguono anche per un minore "rumore" delle acquisizioni, ossia una miglior rapporto tra segnale acquisito e disturbo della misura, nonché per una maggiore capacità di investigazione in profondità.

15.3.4. Strumentazione e attrezzatura utilizzata

La strumentazione utilizzata per lo studio è composta dai seguenti dispositivi:

- sistema di misurazione ed acquisizione formato da un georesistivimetro completo di unità di energizzazione ed un computer per la gestione automatica delle acquisizioni (apparecchiatura per tomografia elettrica Mod. Polares della PASI) che fornisce la corrente da immettere nel sottosuolo con una tensione in uscita di picco di $\pm 700V$ ed una corrente variabile fra 5 e 2.000 mA.;
- n° 2MUX per la gestione automatica delle acquisizioni in cui gli elettrodi collegati all'unità di acquisizione ed energizzazione sono in grado di funzionare alternativamente come elettrodi di corrente e di potenziale;
- N° 2 cavi per 16 elettrodi *cabla A-B-M-N* con connettore per MUX
- 32 elettrodi in acciaio inox

15.3.5. Elaborazione dei dati e software

L'elaborazione tomografica consiste, nella suddivisione dello spazio bidimensionale della sezione in celle secondo uno schema definito con riferimento alla distribuzione e alla dispersione dei dati. Per ognuna delle celle è calcolata la resistività apparente che soddisfa il complesso delle misure eseguite, su questo schema è applicato il metodo d'ottimizzazione dei minimi quadrati modificando il modello di partenza, in maniera iterativa in modo che si riduca la differenza tra i valori di resistività apparente calcolati e quelli effettivamente misurati.

Il **grafico** che ne deriva è una sezione bidimensionale in cui le zone ad uguale resistività sono raffigurate da aree caratterizzate dal medesimo colore. Le tinte blu rappresentano resistività basse, poi si passa a colori che vanno dal verde al giallo e infine al rosso che rappresenta litologie a resistività via via sempre più alte. Le misure sperimentali sono state elaborate mediante uno specifico programma di interpretazione tomografica denominato "ZONDRES2D". Il programma d'interpretazione tomografica ZONDRES2D elabora un modello bidimensionale di resistività del sottosuolo che soddisfa i valori sperimentali acquisiti con le varie interdistanze dello stendimento.

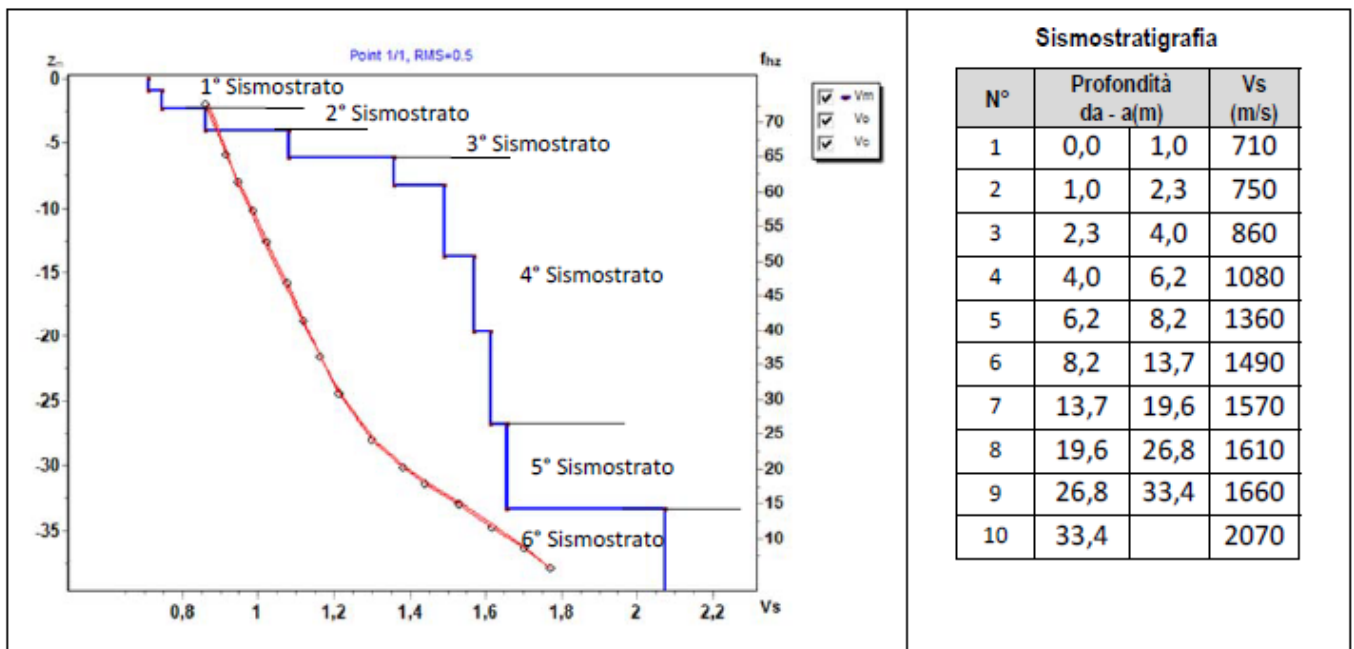
15.4. Risultati delle indagini del sito SMT01 (AG02)

15.4.1. Masw SMT01

L'indagine sismica con tecnica MASW ha permesso di ottenere il profilo medio di velocità delle onde di taglio verticali Vs dello stendimento SMT01, dal quale si possono distinguere i sismostrati di seguito indicati. Si ricorda che si tratta di un profilo medio della velocità di taglio Vs.

Profondità [m sotto il pc]	Descrizione
0 – 2,3	1° sismostrato con Vs tra 710 e 750 m/s, Roccia fratturata
2,3 – 4,0	2° sismostrato con Vs di 860 m/s, Substrato roccioso fratturato
4,0 – 6,2	3° sismostrato con Vs di 1080 m/s, Substrato roccioso debolmente fratturato
6,2 – 26,8	4° sismostrato con Vs tra 1360 e 1610 m/s, Substrato roccioso sano
26,8 – 33,4	5° sismostrato con Vs di 1660 m/s, Substrato roccioso sano
>33,4	6° sismostrato con Vs di 2070 m/s, Substrato roccioso sano

MASW SMT01 - PROFILO Vs



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

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

con:

h_i spessore dell'*i*-esimo strato;

V_{s,i} velocità delle onde di taglio nell'*i*-esimo strato;

N numero di strati;

H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da Vs non inferiore a 800 m/s.

Esaminato il profilo delle Vs si pone come profondità del substrato **2,3 m** (Vs>800 m/s), che dà luogo ad una Categoria A di sottosuolo, ossia:

Categoria A: Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.

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

Sismostrato	Prof/zona	CT*	Densità γ	Vp	Vs	Coefficiente di Poisson ν	Modulo di Young dinamico Ed	Modulo di Young statico Ed	Modulo di taglio G_0	Modulo di comprimibilità o di Bulk - K
			[Kg/m ³]	[m/s]	[m/s]		[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
1	0,0-2,3	10%	2.000	1.510	755	0,33	3.040	304	1.138	3.040
2	2,3-4,0	15%	2.000	1.720	860	0,33	3.942	591	1.481	3.942
3	4,0-6,2	15%	2.100	2.160	1.080	0,33	6.531	980	2.452	6.531
4	6,2-26,8	20%	2.200	2.970	1.485	0,33	12.935	2.587	4.854	12.935
5	26,8-33,4	30%	2.300	3.320	1.660	0,33	16.897	5.069	6.335	16.897
6	>33,4	30%	2.300	4.140	2.070	0,33	26.282	7.885	9.856	26.282

Figura 55 Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche

Sulla base delle correlazioni fornite nei precedenti paragrafi è possibile stimare una correlazione tra Vs e N_{spt}, i parametri di resistenza al taglio e di deformazione. Nel caso in esame trattandosi di materiali a granulometria grossolana si consiglia di impiegare la correlazione di Imai (1977) di seguito indicata.

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

15.4.2. Rifrazione SMT01 e Tomografia elettrica SMT01

Nella sezione di sismica a rifrazione **SMT01** è possibile distinguere i seguenti sismostrati:

Stendimento SMT01	ONDE P	
Sismostrati	Profondità da pc (m)	Velocità in m/s
A: Unità delle terre di copertura e rocce fratturate (rippabili)	Da 0,0 a 2,0/2,5	400-1700
B: Unità delle rocce debolmente fratturate (rippabili con difficoltà)	Da 2,0/2,5 a 4,5/5,0	1700-2300
C: Unità delle rocce da poco fratturate a sane (non rippabili)	Da 4,5/5,0 a 26,0/28,0	2300-4500

Dall'esame della sezione si riconoscono 3 unità sismostratigrafiche principali caratterizzate da velocità crescente delle onde P all'aumentare della profondità, con un range che varia dai 400 m/s ai 4500 m/s. Il sismostrato A presenta spessori tra 2,0 e 2,5 metri da p.c e un andamento quasi parallelo al piano campagna. Il sismostrato B (limite dei materiali rippabili) presenta anch'esso delle leggere variazioni di spessore e si rileva fino a profondità comprese tra 2,0 e 4,5 m dal p.c. Il sismostrato C (materiali non rippabili) si osserva invece fino alla profondità di circa 27,0 m di profondità dal p.c e rappresenta un substrato lapideo non rippabile caratterizzato da velocità alte. Dall'osservazione della sezione sismica si può notare un aumento abbastanza graduale delle Vp con leggere variazioni di equidistanza generate dalla maggiore o minore densità del materiale roccioso.

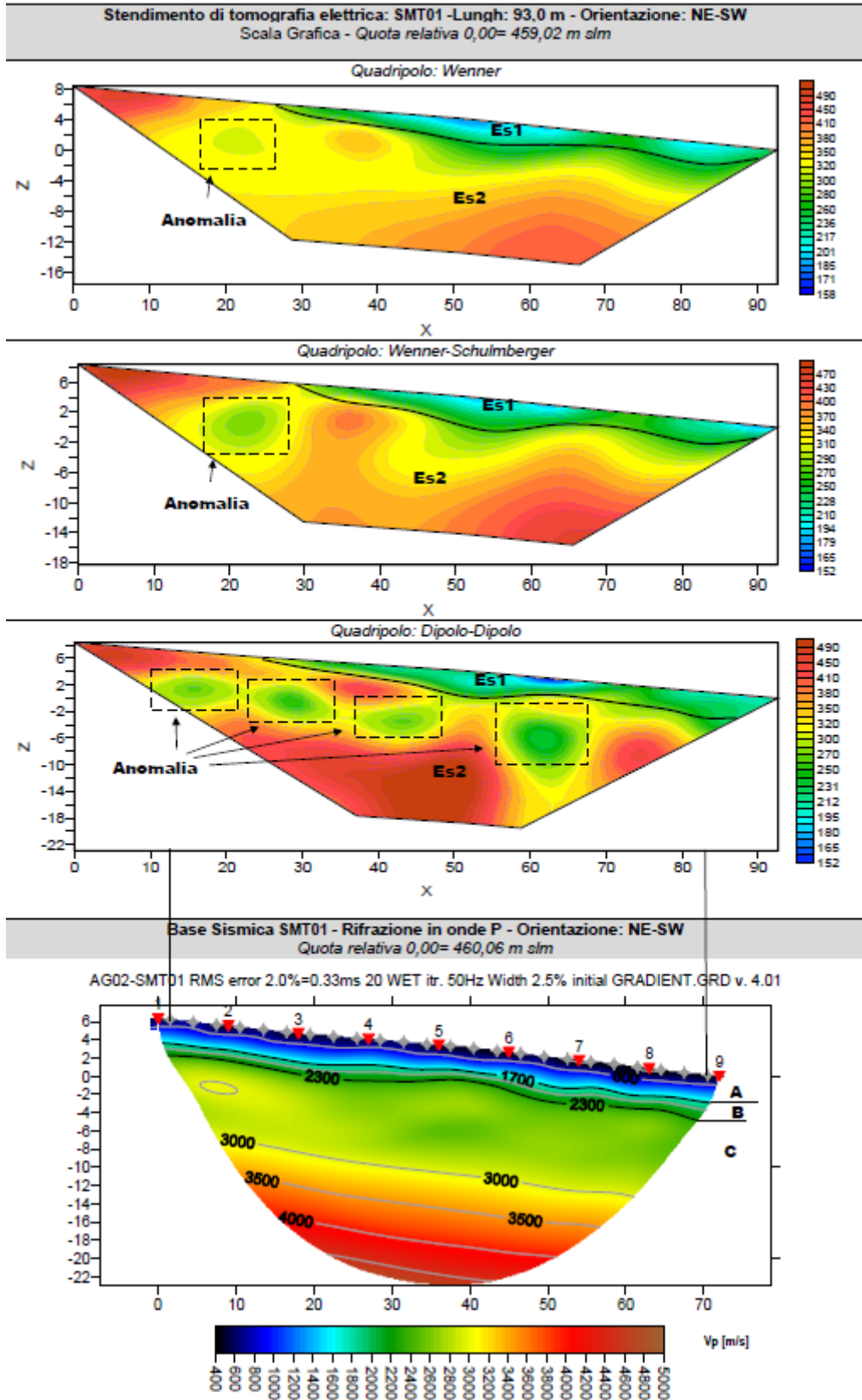
In termini di grado di rippabilità si evidenzia che a partire da profondità comprese tra 2,0 e 2,5 m dal p.c i terreni risultano già difficilmente rippabili, mentre già oltre i 2,0 m dal p.c si riscontra la presenza di materiale non rippabile.

MISTRAL Wind Energy Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesMis-CLP-ES-GEO-TR-019	Rev 0	Pagina 68 di 101
-------------------------	---------------------	--	-------	---------------------

Le sezioni di tomografia elettrica **SMT01**, realizzate con le tre differenti geometrie di acquisizione, sono caratterizzate nel complesso da leggere variazioni di resistività da cui si può distinguere la presenza di un primo elettrostrato (ES1) di spessore compreso tra 2,0 e 4,0 metri riconducibile alla coltre di terreni/rocce fratturate superficiali caratterizzati da resistività bassa, con valori tra 150 e 250 $\Omega\cdot m$, ben distinguibile con le tutte e 3 le acquisizioni; segue un secondo elettrostrato (Es2) caratterizzato da valori medi di resistività (tra 250 e 500 $\Omega\cdot m$) riconducibile alla presenza del substrato calcareo litoide più compatto.

All'interno dell'elettrostrato Es2 con le 3 geometrie ed in particolare nella sezione Dipolo-Dipolo, sono state individuate delle piccole anomalie a profondità comprese tra 6,0 e 10,0 m dal piano campagna. Si trattadi anomalie con valori di resistività leggermente inferiori rispetto alle zone circostanti che nel contesto in esame possono essere interpretate come un settore leggermente più fratturato interessato da circolazione idrica mentre possono escludersi cavità di origine carsica con presenza d'acqua.

Il confronto con il grafico della sismica a rifrazione, che in corrispondenza della suddetta anomalia presenta una ampia zona caratterizzata sempre da elevate velocità ma con leggere variazioni e inversioni, conferma tale ipotesi. Ad ogni modo, 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).



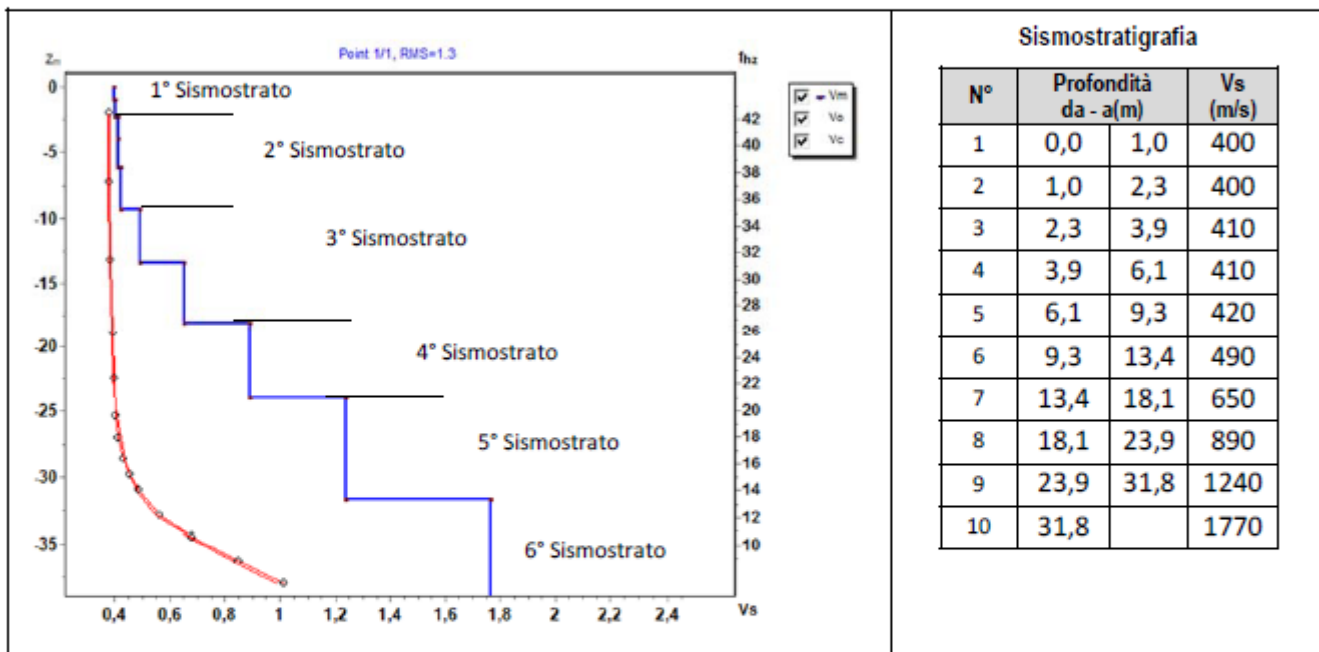
15.5. Risultati delle indagini del sito SMT02

15.5.1. Masw SMT02

L'indagine sismica con tecnica MASW ha permesso di ottenere il profilo medio di velocità delle onde di taglio verticali Vs dello stendimento SMT02, dal quale si possono distinguere i sismostrati di seguito indicati. Si ricorda che si tratta di un profilo medio della velocità di taglio Vs.

Profondità [m sotto il pc]	Descrizione
0 – 2,3	1° sismostrato con Vs di 400 m/s, Terre da poco a mediamente addensate
2,3 – 9,3	2° sismostrato con Vs tra 410 e 420 m/s, Terre mediamente addensate
9,3 – 18,1	3° sismostrato con Vs tra 490 e 650 m/s, Roccia tenera e/o alterata-intensamente frantumata
18,1 – 23,9	4° sismostrato con Vs di 890 m/s, Substrato roccioso intensamente frantumato
23,9 – 31,8	5° sismostrato con Vs di 1240 m/s, Substrato roccioso da frantumato a sano
>31,8,0	6° sismostrato con Vs di 1770 m/s, Substrato roccioso sano

MASW SMT02 - PROFILO Vs



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

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

con:
hi spessore dell'*i*-esimo strato;
Vs,i velocità delle onde di taglio nell'*i*-esimo strato;
N numero di strati;
H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da Vs non inferiore a 800 m/s.

Esaminato il profilo delle Vs si pone come profondità del substrato 18,1 m (Vs>800 m/s)

La velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio calcolata per il substrato posto a 18,1 m di profondità dal p.c. è pari a: Vs eq = 18,1/0,038147=474 m/s.

Ciò consente di classificare il terreno come *Categoria B Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti*, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

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

Sismostrato	Prof/zona	CT*	Densità γ	Vp	Vs	Coefficiente di Poisson ν	Modulo di Young dinamico Ed	Modulo di Young statico Ed	Modulo di taglio G_0	Modulo di comprimibilità o di Bulk - K
			[Kg/m ³]	[m/s]	[m/s]		[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
1	0-2,3	terre	1.700	860	430	0,33	834	100	314	834
2	2,3-9,3	terre	1.800	1.320	660	0,33	2.089	252	785	2.089
3	9,9-18,1	10%	2.100	1.820	910	0,33	4.639	464	1.736	4.639
4	18,1-23,9	15%	2.200	2.640	1.320	0,33	10.219	1.533	3.834	10.219
5	23,9-31,8	20%	2.300	3.660	1.830	0,33	20.535	4.107	7.698	20.535
6	>31,8	25%	2.400	4.320	2.160	0,33	29.862	7.465	11.199	29.862

Figura 56 Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche

Sulla base delle correlazioni fornite nei precedenti paragrafi è possibile stimare una correlazione tra Vs e N_{spt}, i parametri di resistenza al taglio e di deformazione. Nel caso in esame trattandosi di materiali a granulometria grossolana si consiglia di impiegare la correlazione di Imai (1977) di seguito indicata.

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

15.5.2. SMT02: Rifrazione e Tomografia elettrica – Aerogeneratore AG04

Nella sezione di sismica a rifrazione **SMT02** è possibile distinguere i seguenti sismostrati:

Stendimento SMT02	ONDE P	
Sismostrati	Profondità da pc (m)	Velocità in m/s
A: Unità delle terre di copertura (facilmente rippabili)	Da 0,0 a 3,0/8,0	400-1000
B: Unità delle rocce tenere e/o intensamente fratturate (rippabili)	Da 3,0/8,0 a 18,0/19,0	1000-1600

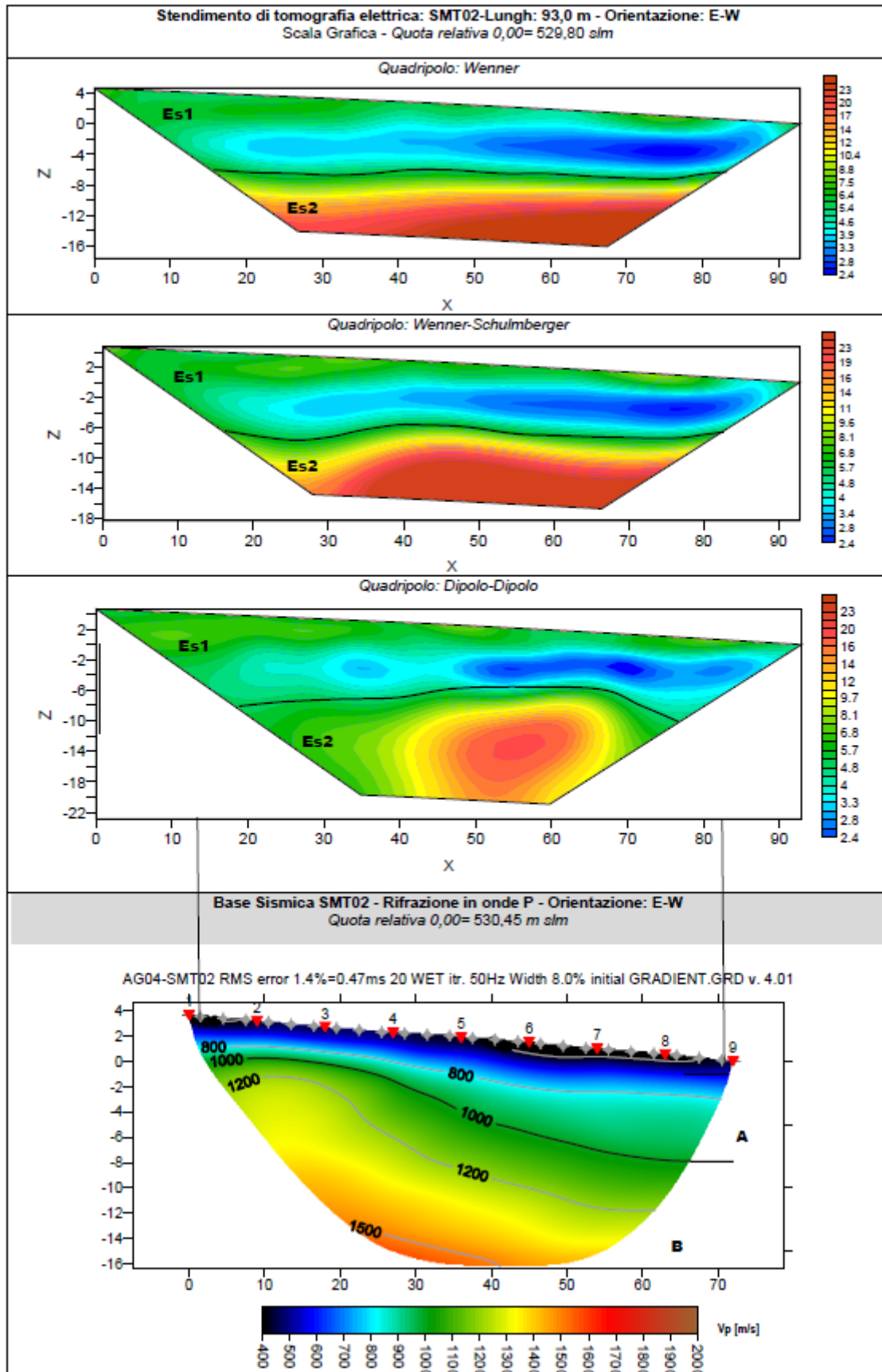
Dall'esame della sezione si riconoscono 2 unità sismostratigrafiche principali caratterizzate da velocità crescente delle onde P all'aumentare della profondità, con un range abbastanza basso che varia dai 400 m/s ai 1600 m/s. Il sismostrato A che rappresenta le terre di copertura (facilmente rippabili) presenta spessori variabili e profondità dal piano campagna comprese tra i 3,0 m nella parte a sinistra della sezione per poi aumentare fino agli 8,0 m nella parte destra. Il sismostrato B, caratterizzato da rocce tenere e/o intensamente fratturate (materiali rippabili) segue l'andamento del sismostrato superiore ed arriva sino alla massima profondità indagata, ossia tra i 18,0 e 19,0 metri dal piano campagna.

In termini di grado di rippabilità si evidenzia che fino alla massima profondità indagata, ossia tra 18,0 e 19,0 m dal p.c i terreni risultano rippabili. Le sezioni di tomografia elettrica **SMT02**, realizzate con le tre differenti geometrie di acquisizione, sono caratterizzate nel complesso da leggere variazioni di resistività da cui si può distinguere la

MISTRAL Wind Energy Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesMis-CLP-ES-GEO-TR-019	Rev 0	Pagina 72 di 101
-------------------------	---------------------	--	-------	---------------------

presenza di un primo elettrostrato (ES1) di spessore compreso tra 7,0 e 11,0 metri riconducibile alla coltre di superficiali caratterizzati da resistività molto bassa, con valori tra 2 e 9 $\Omega\cdot m$, ben distinguibile con le tutte e 3 le acquisizioni. A partire da profondità comprese tra 7,0 e 11,0 m dal piano campagna segue un secondo elettrostrato (Es2) caratterizzato da valori comunque bassi di resistività (tra 10 e 25 $\Omega\cdot m$) riconducibile alla presenza della roccia alterata/fratturata.

Il confronto con il grafico della sismica a rifrazione conferma che a partire dal piano campagna si riscontra la presenza di materiale terrigeno e rocce alterate/fratturate fino a profondità comprese tra 7,0 e 11,0 metri dal piano campagna, in particolare si osserva che nella parte destra di entrambe le sezioni, sismica ed elettrica, si ha prevalenza dei materiali terrigeni. Dalle profondità comprese tra 7,0 e 11,0 metri dal piano campagna si incontra invece uno strato di rocce alterate/fratturate caratterizzati da velocità comunque basse delle V_p e valori di resistività leggermente maggiori rispetto ai materiali sovrastanti.



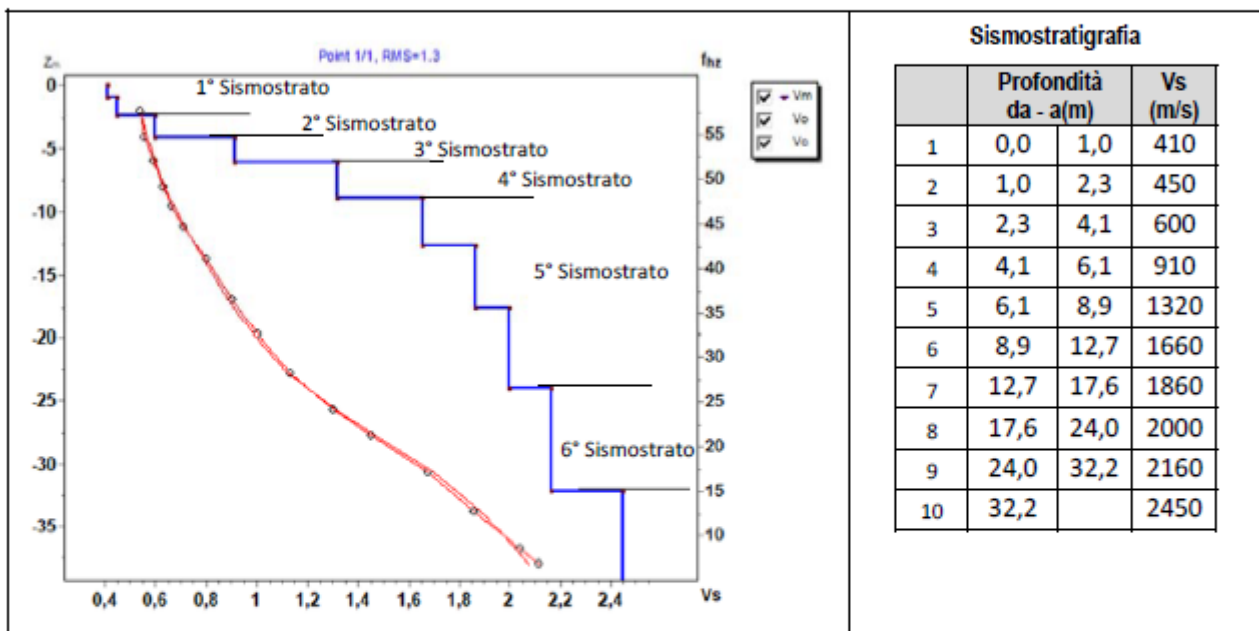
15.6. Risultati delle indagini del sito SMT03 - aerogeneratore AG06

15.6.1. Masw SMT03

L'indagine sismica con tecnica MASW ha permesso di ottenere il profilo medio di velocità delle onde di taglio verticali Vs dello stendimento SMT03, dal quale si possono distinguere i sismostrati di seguito indicati. Si ricorda che si tratta di un profilo medio della velocità di taglio Vs.

Profondità [m sotto il pc]	Descrizione
0,0 – 2,3	1° sismostrato con Vs tra 410e 450 m/s, Terre molto addensate
2,3 – 4,1	2° sismostrato con Vs di 660 m/s, Roccia intensamente fratturata
4,1 – 6,1	3° sismostrato con Vs di 910 m/s, Substrato roccioso fratturato
6,1 – 8,9	4° sismostrato con Vs di 1320 m/s, Substrato roccioso da fratturato a sano
8,9 – 24,0	5° sismostrato con Vs tra 1660 e 2000 m/s, Substrato roccioso sano
24,0 – 32,2	6° sismostrato con Vs di 2160 m/s, Substrato roccioso sano
>32,2	7° sismostrato con Vs > di 2450 m/s, Substrato roccioso sano

MASW SMT03 - PROFILO Vs



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

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

con:

h_i spessore dell' i -esimo strato;

$V_{s,i}$ velocità delle onde di taglio nell' i -esimo strato;

N numero di strati;

H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da Vs non inferiore a 800 m/s.

Esaminato il profilo delle Vs si pone come profondità del substrato 4,1 m ($V_s > 800$ m/s)

La velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio calcolata per il substrato posto a 4,1 m di profondità dal p.c. è pari a: $V_{s,eq} = 4,1/0,008304 = 494$ m/s.

Ciò consente di classificare il terreno come *Categoria B Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti*, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

Chiaramente in caso di realizzazione di fondazioni a profondità maggiore di 1,1 m da p.c. la classificazione del sottosuolo passa ad una *categoria A*.

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

Sismostrato	Prof/zona	CT*	Densità γ	Vp	Vs	Coefficiente di Poisson ν	Modulo di Young dinamico Ed	Modulo di Young statico Ed	Modulo di taglio G_0	Modulo di comprimibilità o di Bulk - K
			[Kg/m ³]	[m/s]	[m/s]		[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
1	0-2,3	terre	1.700	860	430	0,33	834	100	314	834
2	2,3-4,1	10%	2.000	1.320	660	0,33	2.324	232	873	2.324
3	4,1-6,1	15%	2.100	1.820	910	0,33	4.639	696	1.736	4.639
4	6,1-8,9	15%	2.200	2.640	1.320	0,33	10.219	1.533	3.834	10.219
5	8,9-24,0	20%	2.300	3.660	1.830	0,33	20.535	4.107	7.698	20.535
6	24,0-32,2	25%	2.400	4.320	2.160	0,33	29.862	7.465	11.199	29.862
7	>32,2	30%	2.400	4.900	2.450	0,33	38.413	11.524	14.406	38.413

Figura 57 Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche

Sulla base delle correlazioni fornite nei precedenti paragrafi è possibile stimare una correlazione tra Vs e N_{spt}, i parametri di resistenza al taglio e di deformazione. Nel caso in esame trattandosi di materiali a granulometria grossolana si consiglia

di impiegare la correlazione di Imai (1977) di seguito indicata.

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

15.6.2. Rifrazione SMT03

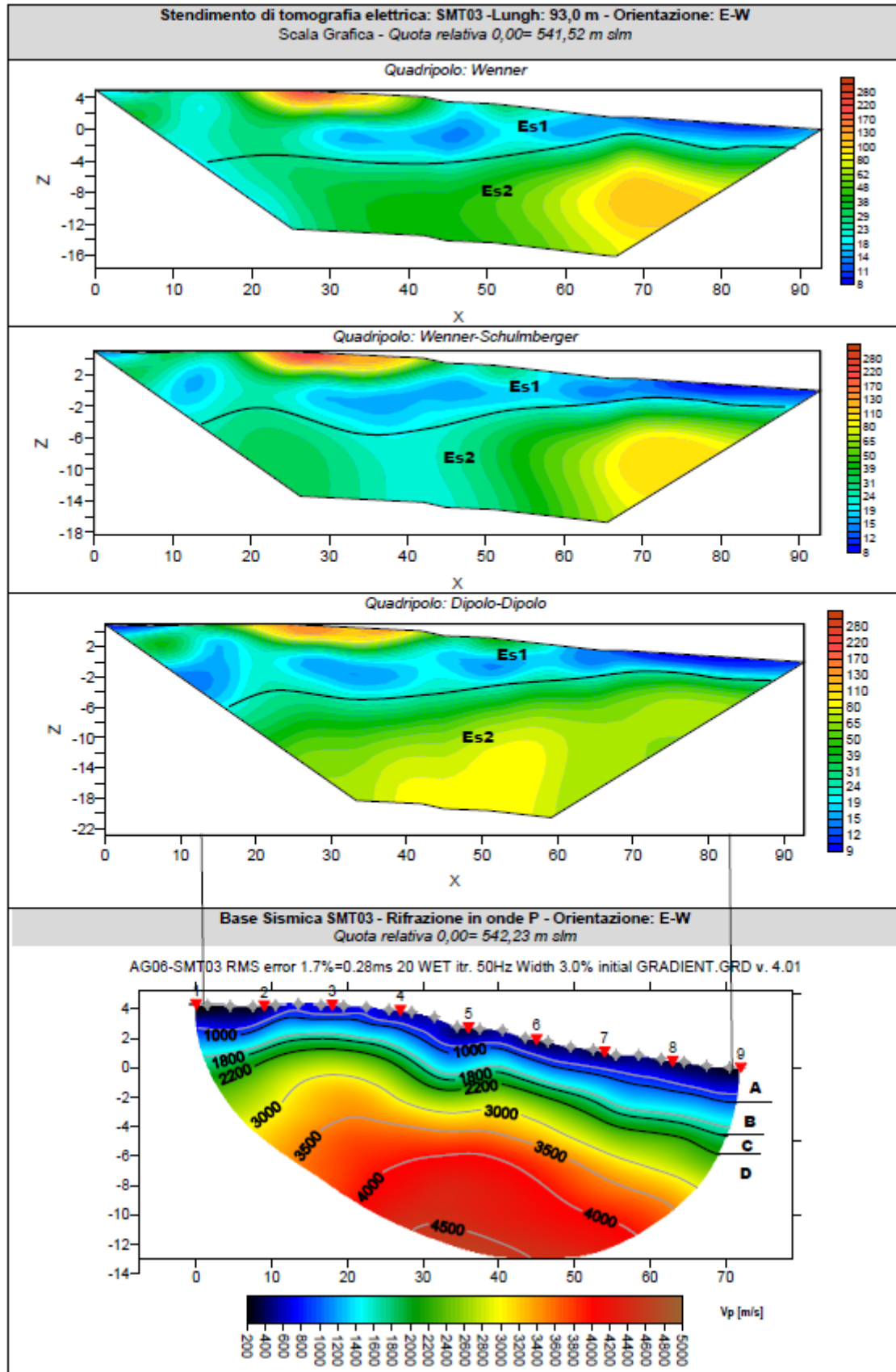
Nella sezione di sismica a rifrazione **SMT03** è possibile distinguere i seguenti sismostrati:

Stendimento SMT03	ONDE P	
Sismostrati	Profondità da pc (m)	Velocità in m/s
A: Unità delle terre di copertura (rippabili)	Da 0,0 a 2,0/2,5	200-1000
B: Unità delle rocce alterate/ fratturate (rippabili)	Da 2,0/2,5 a 2,5/5,0	1000-1800
C: Unità delle rocce debolmente fratturate (rippabili con difficoltà)	Da 2,5/5,0 a 3,5/6,0	1800-2200
D: Unità delle rocce da debolmente fratturate a sane (non rippabili)	Da 3,5/6,0 a 16,0/17,0	2200-4500

Dall'esame della sezione si riconoscono 4 unità sismostratigrafiche principali caratterizzate da velocità crescente delle onde P all'aumentare della profondità, con un range che varia dai 200 m/s ai 4500 m/s. Il sismostrato A presenta spessori molto ridotti (tra 2,0 e 2,5 metri da p.c) e un andamento parallelo al piano campagna. Il sismostrato B, caratterizzato da rocce fratturate ancora rippabili, presenta anch'esso un andamento parallelo al piano campagna e leggerissime variazioni di spessore, si rileva fino a profondità comprese tra 2,5 e 5,0 m dal p.c. Il sismostrato C (limite dei materiali rippabili) segue anch'esso lo stesso andamento dei due precedenti sismostrati e

MISTRAL Wind Energy Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesMis-CLP-ES-GEO-TR-019	Rev 0	Pagina 76 di 101
-------------------------	---------------------	--	-------	---------------------

leggere variazioni di spessore, infatti ha spessore costante di 1,0 m in tutta la sezione. Si rileva fino alla profondità di 3,5 e 6,0 m dal piano campagna. Il sismostrato D (materiali non rippabili) si osserva invece fino alla profondità di circa 16,0/17,0 m di profondità dal p.c e rappresenta un substrato lapideo non rippabile caratterizzato da velocità alte (2200-4500 m/s). Dall'osservazione della sezione sismica si osserva un aumento graduale delle Vp con alcune leggerissime variazioni di equidistanza generate dalla maggiore o minore densità del materiale roccioso. In termini di grado di rippabilità si evidenzia che a partire da profondità comprese tra 2,0 e 5,0 m dal p.c i terreni risultano già difficilmente rippabili, mentre già a profondità comprese tra 4,5 e 6,0 m dal p.c si riscontra la presenza di materiale non rippabile. Le sezioni di tomografia elettrica **SMT03**, realizzate con le tre differenti geometrie di acquisizione, sono caratterizzate nel complesso da leggere variazioni di resistività da cui si può distinguere la presenza di un primo elettrostrato (ES1) di spessore compreso tra 2,0 e 7,0 metri riconducibile alla coltre di terreni e rocce alterate/fratturate superficiali caratterizzati da resistività bassa, con valori tra 8 e 30 $\Omega \cdot m$, ben distinguibile con le tutte e 3 le acquisizioni. In tale elettrostrato, in corrispondenza del piano campagna tra le progressive 20,0 e 40,0 m, si osserva una zona con resistività maggiori dovuta alla probabile presenza di roccia affiorante con caratteristiche fisico meccaniche migliori rispetto ai terreni adiacenti. A partire da profondità comprese tra 2,0 e 7,0 m dal piano campagna segue un secondo elettrostrato (Es2) caratterizzato da valori medio bassi di resistività (tra 30 e 280 $\Omega \cdot m$) riconducibile alla presenza del substrato litoide più compatto. Il confronto con il grafico della sismica a rifrazione conferma che a partire dal piano campagna si riscontra la presenza di materiale terrigeno e rocce alterate/fratturate fino a profondità comprese tra 6,0 e 7,0 metri, per poi passare a materiali litoidi più sani e compatti caratterizzati da velocità alte delle Vp e valori di resistività maggiori.



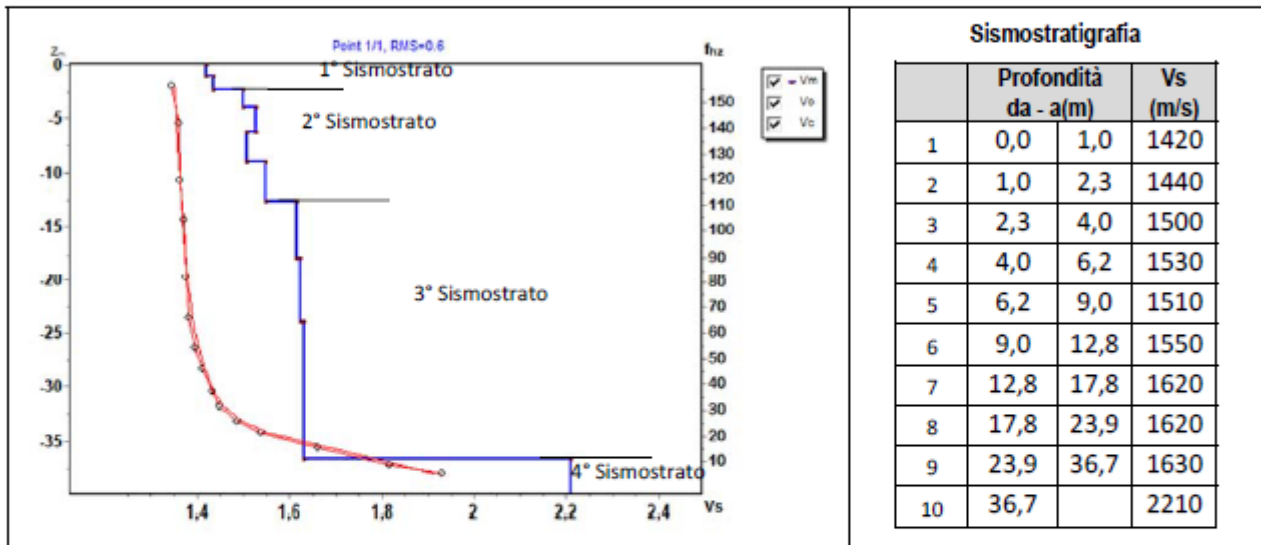
15.7. Risultati delle indagini del sito SM04

15.7.1. Masw SM04

L'indagine sismica con tecnica MASW ha permesso di ottenere il profilo medio di velocità delle onde di taglio verticali Vs dello stendimento **SM04**, dal quale si possono distinguere i sismostrati di seguito indicati. Si ricorda che si tratta di un profilo medio della velocità di taglio Vs.

Profondità [m sotto il pc]	Descrizione
0,0 – 2,3	1° sismostrato con Vs tra 1420 e 1440 m/s, Substrato roccioso debolmente fratturato
2,3 – 12,8	2° sismostrato con Vs tra 1500 e 1550 m/s, Substrato roccioso sano
12,8 – 36,7	3° sismostrato con Vs tra 1620 e 1630 m/s, Substrato roccioso sano
>36,7	4° sismostrato con Vs di 2210 m/s, Substrato roccioso sano

MASW SM04 - PROFILO Vs



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

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

con:

h_i spessore dell'*i*-esimo strato;

$V_{s,i}$ velocità delle onde di taglio nell'*i*-esimo strato;

N numero di strati;

H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da Vs non inferiore a 800 m/s.

Esaminato il profilo delle Vs si pone come profondità del substrato 1,0 m ($V_s > 800$ m/s), che dà luogo ad una Categoria A di sottosuolo, ossia:

Categoria A: Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.

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

Sismostrato	Prof/zona	CT*	Densità γ	Vp	Vs	Coefficiente di Poisson ν	Modulo di Young dinamico Ed	Modulo di Young statico Ed	Modulo di taglio G_0	Modulo di comprimibilità o di Bulk - K
			[Kg/m ³]	[m/s]	[m/s]		[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
1	0,0-2,3	20%	2.100	2.860	1.430	0,33	11.454	2.291	4.295	11.454
2	2,3-12,8	30%	2.100	3.050	1.525	0,33	13.023	3.907	4.884	13.023
3	12,8-36,7	30%	2.200	3.250	1.625	0,33	15.495	4.648	5.806	15.495
4	>36,7	30%	2.200	4.420	2.210	0,33	28.655	8.597	10.748	28.655

Figura 58 Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche

Sulla base delle correlazioni fornite nei precedenti paragrafi è possibile stimare una correlazione tra Vs e N_{spt}, i parametri di resistenza al taglio e di deformazione. Nel caso in esame trattandosi di materiali a granulometria grossolana si consiglia di impiegare la correlazione di Imai (1977) di seguito indicata.

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

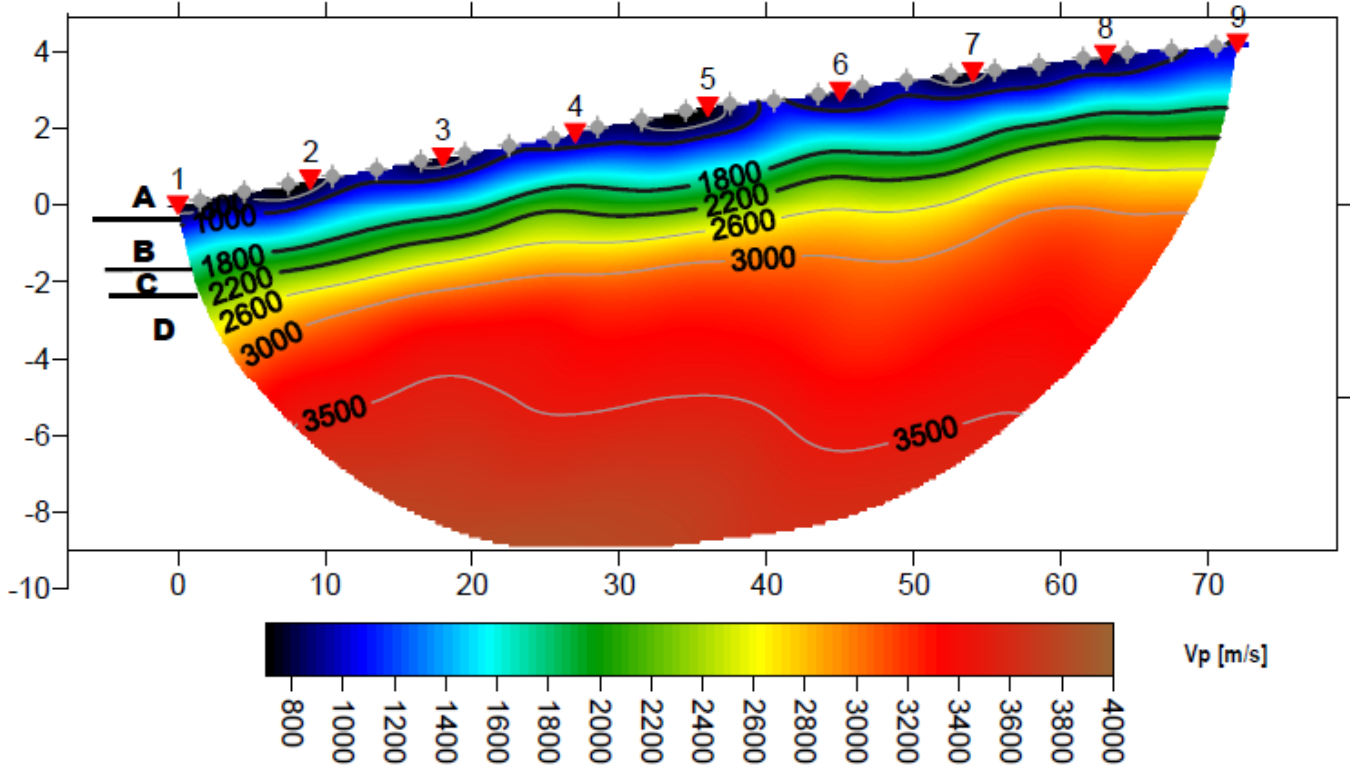
15.7.2. Rifrazione SM04 e Tomografia elettrica SM04

Nella sezione di sismica a rifrazione SM04 è possibile distinguere i seguenti sismostrati:

Stendimento SM04	ONDE P	
Sismostrati	Profondità da pc (m)	Velocità in m/s
A: Unità delle terre di copertura (rippabili)	Da 0,0 a 0,0/0,5	800-1000
B: Unità delle rocce debolmente fratturate (rippabili)	Da 0,0/0,5 a 1,5/2,0	1000-1800
C: Unità delle rocce da debolmente fratturate a sane (rippabili con difficoltà)	Da 1,5/2,0 a 2,0/3,0	1800-2200
D: Unità delle rocce sane (non rippabili)	Da 2,0/3,0 a 14,0	2200-4000

Dall'esame della sezione si riconoscono 4 unità sismostratigrafiche principali caratterizzate da velocità crescente delle onde P all'aumentare della profondità, con un range che varia dagli 800 m/s ai 4000 m/s. Il sismostrato A presenta spessori molto ridotti (massimo 0,5 metri da p.c) e un andamento quasi parallelo al piano campagna. Il sismostrato B, caratterizzato da rocce debolmente fratturate ma ancora rippabili, presenta anch'esso un andamento parallelo al piano campagna e spessori molto ridotti con leggerissime variazioni di spessore, si rileva fino a profondità comprese tra 1,5 e 2,0 m dal p.c. Il sismostrato C (limite dei materiali rippabili) segue anch'esso lo stesso andamento dei due precedenti sismostrati con spessori ridotti (0,5 -1,0 metri). Si rileva fino alle profondità di 2,0 e 3,0 m dal piano campagna. Il sismostrato D (materiali non rippabili) si osserva invece fino alla profondità di 14,0 m di profondità dal p.c e rappresenta un substrato lapideo non rippabile caratterizzato da velocità alte (2200-4500 m/s). Dall'osservazione della sezione sismica si osservano Vp alte già sul piano campagna e un aumento graduale di esse con l'aumentare della profondità. In termini di grado di rippabilità si evidenzia che a partire da profondità comprese tra 1,5 e 2,0 m dal p.c i terreni risultano già difficilmente rippabili, mentre già a profondità comprese tra 2,0 e 3,0 m dal p.c si riscontra la presenza di materiale non rippabile.

AG05-SM04 RMS error 1.7%=0.19ms 20 WET itr. 50Hz Width 2.4% initial GRADIENT.GRD v. 4.01



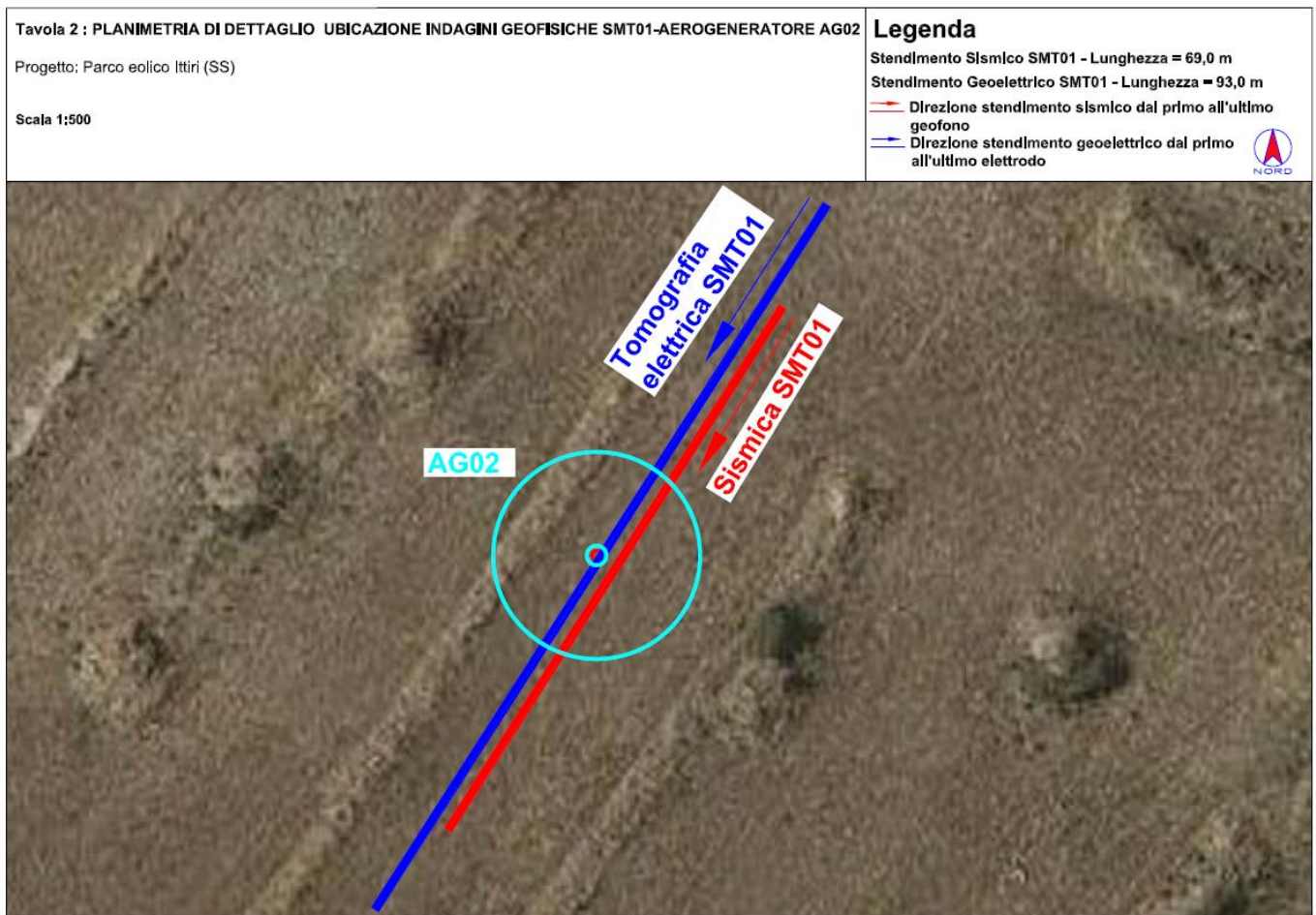
La prospezione geofisica attraverso l'impiego delle tecniche MASW, sismica a rifrazione in onde P e tomografia elettrica ha permesso di ricostruire con un buon grado di precisione l'assetto lito-stratigrafico dell'area in esame e dedurre le caratteristiche sismiche. Per quanto riguarda le MASW, lungo gli stendimenti si evince la presenza di sismostrati con velocità V_s crescente con la profondità sino ad incontrare il bed rock con andamento e spessori indicati nei precedenti paragrafi. La velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio calcolata per i differenti siti di indagine, che si ricorda sarà anche funzione del piano di posa delle fondazioni è riportata nel seguente schema riassuntivo:

Sigla Stendimento	Profondità substrato [m]	V_{seq} [m/s]	Categoria sottosuolo (NTC2018)
SMT01-AG02	2,3	>800	A
SMT02-AG04	18,1	474	B
SMT03-AG06	4,1	494	B
SM04-AG05	1,0	>800	A

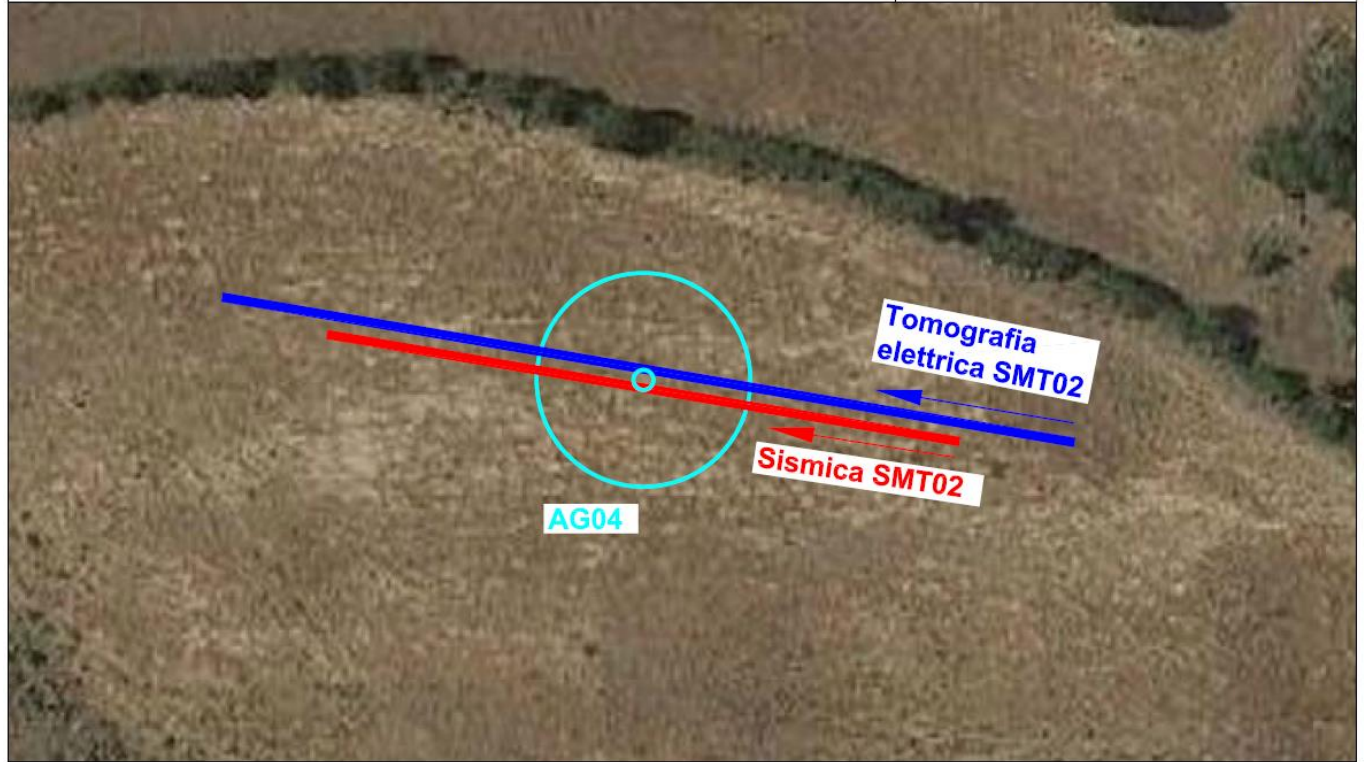
I dati derivati dalla MASW messi in correlazione con le bibliografiche indicate nei precedenti paragrafi hanno permesso di determinare i parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni e per correlazione ottenere una preliminare definizione dei parametri di resistenza al taglio. L'elaborazione dei dati di sismica a rifrazione e di tomografia elettrica ha permesso di ricostruire l'assetto sismostratigrafico dei terreni. Nei precedenti paragrafi si illustrano i differenti sismostrati individuati dai quali è possibile distinguere i terreni delle coperture dal substrato roccioso. In termini di grado di rippabilità si evidenzia che a partire da profondità comprese tra 2,0 e 4,5 m dal p.c. per SMT01, SMT03 e SM04, i terreni risultano non rippabili, mentre lungo lo stendimento SMT02 si riscontrano materiali rippabili fino alla massima profondità indagata (19,0 m dal p.c). In particolare come si osserva anche dalla


tabella dei dati MASW e dalle sezioni di sismica a rifrazione il bed rock si incontrerà a profondità maggiori lungo lo stendimento sismico SMT02.

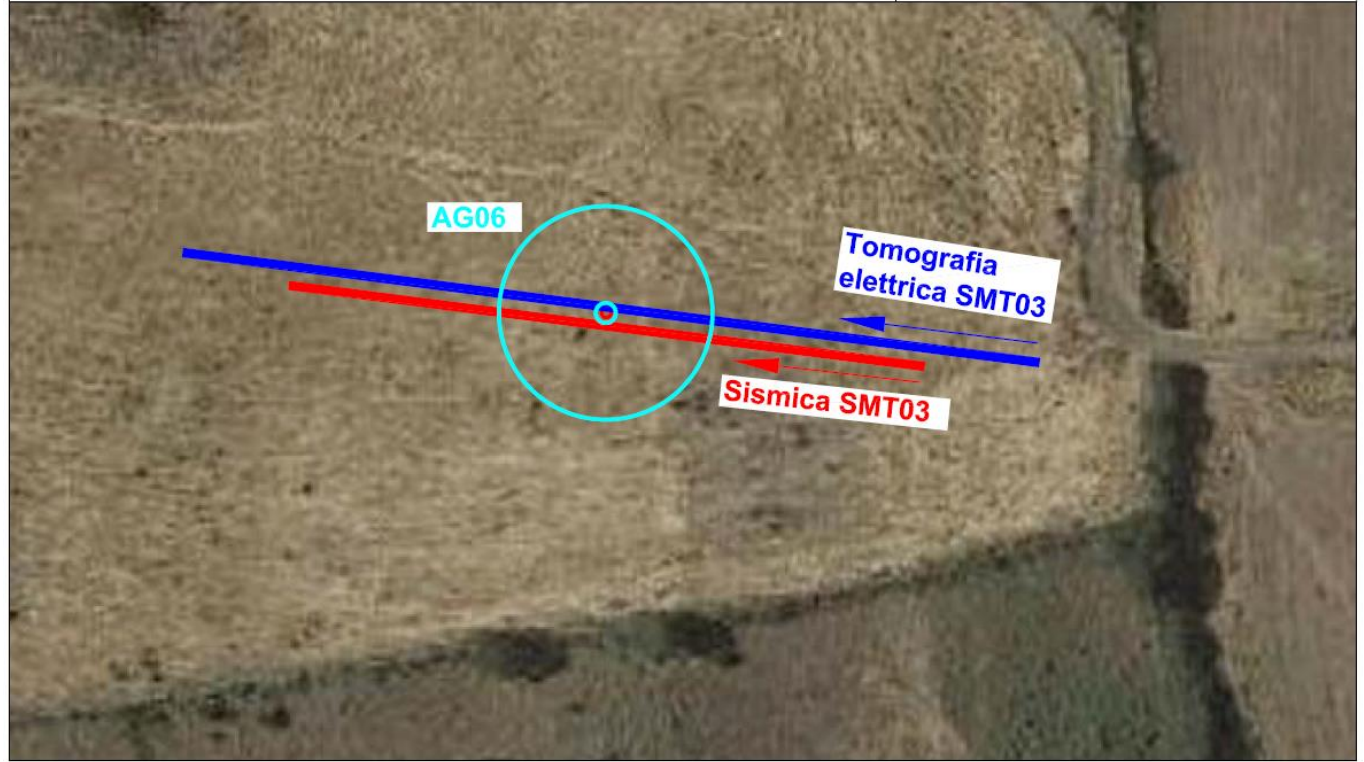
L'impiego congiunto della tecnica della tomografia elettrica lungo il medesimo allineamento della sismica a rifrazione ha permesso di identificare lungo i vari stendimenti i diversi elettrostrati riportati e descritti nei precedenti paragrafi, caratterizzati in ogni caso da range ridotti e valori di resistività generalmente medio bassi. esclusivamente in SMT01 si sono messe in evidenza delle anomalie caratterizzate da valori di resistività inferiori rispetto al resto della sezione, che nel contesto in esame possono essere interpretate come un settore leggermente più fratturato interessato da circolazione idrica mentre possono escludersi cavità di origine carsica con presenza d'acqua.



<p>Tavola 3 : PLANIMETRIA DI DETTAGLIO UBICAZIONE INDAGINI GEOFISICHE SMT02-AEROGENERATORE AG04</p> <p>Progetto: Parco eolico Ittiri (SS)</p> <p>Scala 1:500</p>	<p>Legenda</p> <p>Stendimento Sismico SMT02 - Lunghezza = 69,0 m</p> <p>Stendimento Geoelettrico SMT02 - Lunghezza = 93,0 m</p> <p>→ Direzione stendimento sismico dal primo all'ultimo geofono</p> <p>→ Direzione stendimento geoelettrico dal primo all'ultimo elettrodo</p> 
---	---



<p>Tavola 4 : PLANIMETRIA DI DETTAGLIO UBICAZIONE INDAGINI GEOFISICHE SMT03-AEROGENERATORE AG06</p> <p>Progetto: Parco eolico Ittiri (SS)</p> <p>Scala 1:500</p>	<p>Legenda</p> <p>Stendimento Sismico SMT03 - Lunghezza = 69,0 m</p> <p>Stendimento Geoelettrico SMT03 - Lunghezza = 93,0 m</p> <p>→ Direzione stendimento sismico dal primo all'ultimo geofono</p> <p>→ Direzione stendimento geoelettrico dal primo all'ultimo elettrodo</p> 
---	---





Stendimento SMT03-AG06 stazione tomografia elettrica



MISTRAL Wind Energy Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesMis-CLP-ES-GEO-TR-019	Rev 0	Pagina 85 di 101
-------------------------	---------------------	--	-------	---------------------

16. Modellazione geologica

16.1. 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:

- *Resistenza a compressione monoassiale (Intact Uniaxial Compressive Strength – IUCS)* stimata su base empirica e su valori di Point Load.
- *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.
- *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 59 - Resistenza a compressione monoassiale per diversi tipi di roccia

DESCRIZIONE DELL'AMMASSO ROCCIOSO PER LA VALUTAZIONE DELLE CARATTERISTICHE DI RESISTENZA	CONDIZIONI SUPERFICIALI	MOLTO BUONE	BUONE	COPRITE	SCALDATE
STRUTTURA					
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.		BVG	B/G	B/F	B/P
CON MOLTI BLOCCHI - Ammasso roccioso parzialmente disturbato con blocchi angolari, mutualmente incastriati, con più sfaccettature formate da quattro o più famiglie di discontinuità.		VBVG	VB/G	VB/F	VB/P
A BLOCCHI/DISTURBATA - Ammasso roccioso con blocchi angolari formati dall'intersezione di molte famiglie di discontinuità.		BDVG	BD/G	BD/F	BD/P
DISINTEGRATA - Ammasso roccioso molto fratturato e con basso grado di mutuo incastro formato da un insieme di blocchi rocciosi angolari e arrotondati.		DVG	D/G	D/F	D/P

INDICE GEOLOGICO DI RESISTENZA GSI (Geological Strength Index)	CONDIZIONI SUPERFICIALI	MOLTO BUONE	BUONE	COPRITE	SCALDATE
STRUTTURA					
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.		80	70		
CON MOLTI BLOCCHI - Ammasso roccioso parzialmente disturbato con blocchi angolari, mutualmente incastriati, con più sfaccettature formate da quattro o più famiglie di discontinuità.		60	50		
A BLOCCHI/DISTURBATA - Ammasso roccioso con blocchi angolari formati dall'intersezione di molte famiglie di discontinuità.		40	30		
DISINTEGRATA - Ammasso roccioso molto fratturato e con basso grado di mutuo incastro formato da un insieme di blocchi rocciosi angolari e arrotondati.		20	10		

Figura 60 Abaco per la determinazione di GSI sulla base delle caratteristiche geologiche e strutturali dell'ammasso

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

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

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

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

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

$$\sigma'_1 = (2c' \cos \phi' / 1 - \sin \phi') + (1 + \sin \phi' / 1 - \sin \phi') \sigma'_3$$

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

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

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

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

Figura 61 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 62 Correlazione fra valori di mi, 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

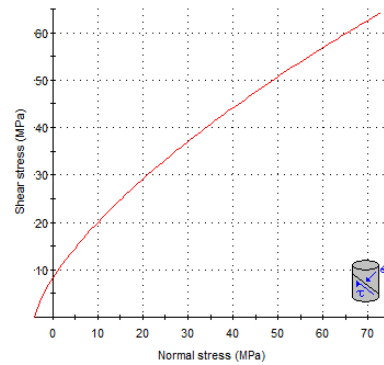
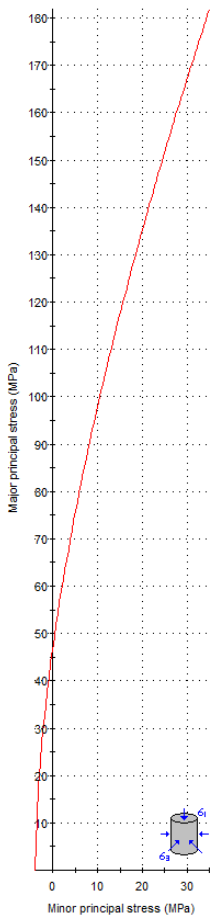
$m_b = 3.947$ $s = 0.1137$ $a = 0.500$

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

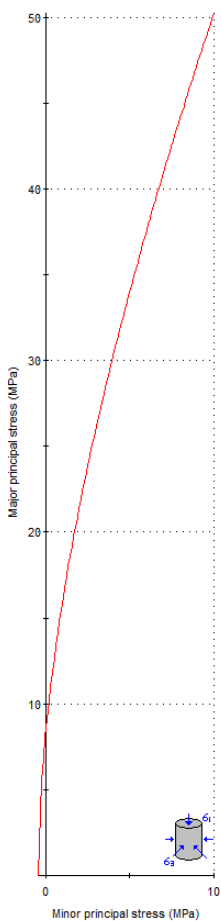
Apertura del giunto = 1 - 50mm

Giunto – rugoso ondulato classe IV

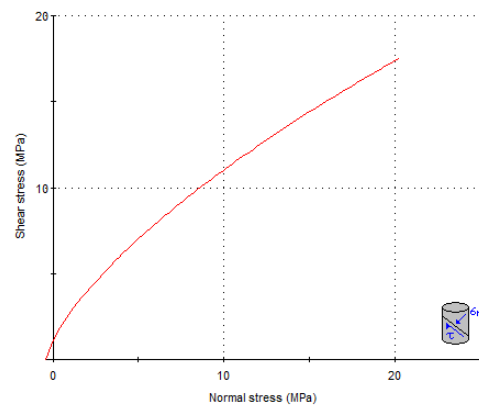
Pareti – mediamente alterate

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 $m_i = 13$ Disturbance factor = 0.7**Hoek-Brown Criterion** $m_b = 3.881$ $s = 0.0412$ $a = 0.501$ **Mohr-Coulomb Fit**

cohesion = 2.971 MPa friction angle = 37.37 deg

Rock Mass Parameterstensile 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

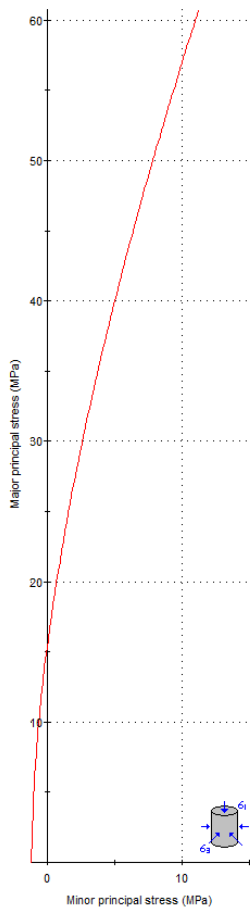
Spaziatura totale delle discontinuità (s)= 1,3 m

Lunghezza media del giunto = >3 m

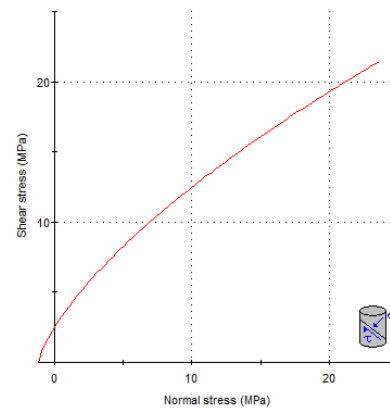
Pareti – mediamente alterate

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 Parameterstensile 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

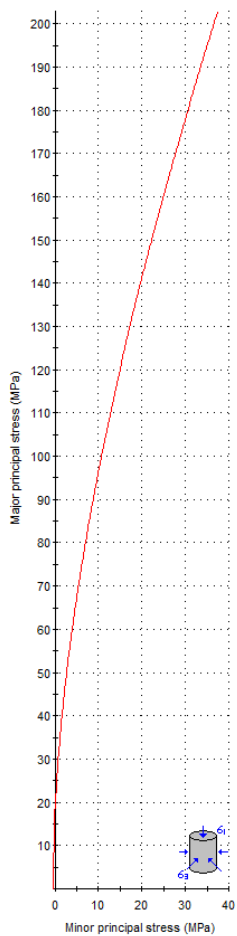
Spaziatura totale delle discontinuità (s)= 0,35 m

Lunghezza media del giunto = 2 m

Pareti – mediamente alterate

Riempimento – sciolto/assente

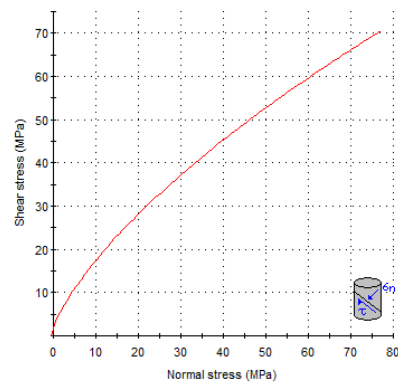
Roccia – da asciutta a umida

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-019	Rev 0	Pagina 93 di 101
-------------------------	---------------------	--	-------	---------------------

17. 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 Rocca 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

16.3 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-019	Rev 0	Pagina 98 di 101
-------------------------	---------------------	--	-------	---------------------

18. Ammissibilità e compatibilità idrogeologica degli interventi

Ammissibilità degli interventi alle prescrizioni del PAI

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

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

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

PERICOLOSITA' IDRAULICA

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

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

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

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

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

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

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

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

b. gli interventi di manutenzione straordinaria;

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

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

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

MISTRAL Wind Energy Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesMis-CLP-ES-GEO-TR-019	Rev 0	Pagina 99 di 101
-------------------------	---------------------	--	-------	---------------------

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 quali non sono stati rilevati in fase di progettazione evidenze di dissesto da frana né quiescenti né attivi.

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

Gli scavi per la realizzazione delle fondazioni delle turbine verranno eseguiti verificando di volta in volta la stabilità delle 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

MISTRAL Wind Energy Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesMis-CLP-ES-GEO-TR-019	Rev 0	Pagina 100 di 101
-------------------------	---------------------	--	-------	----------------------

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.

19. Conclusioni: criticità geologiche e suggerimenti operativi

Lo studio condotto finalizzato ad individuare le caratteristiche geologiche, geomorfologiche idrogeologiche e geostrutturali dell'area di interesse alle opere di progetto ha permesso, attraverso il rilievo diretto in sito, le indagini geognostiche e l'interpretazione sinergica tra le informazioni derivate di definire **nr. 4 modelli geologici e geotecnici ai sensi delle NTC 2018 rappresentativi delle diverse condizioni del sito, con particolare riferimento alle posizioni degli aerogeneratori e alla viabilità di accesso e di servizio al sito.**

Per quanto concerne l'installazione degli aerogeneratori, gli stessi prevedono opere fondanti costituite da plinti circolari a sezione troncoconica il cui piano di posa è previsto ad una profondità di riferimento di 4m da piano campagna.

L'analisi geologica ha restituito per queste profondità di scavo una condizione generalmente rappresentata da ammassi rocciosi da molto fratturati a fratturati in relazione alla tipologia litologica come definito nei diversi modelli geologici individuati.

In ordine al grado di fratturazione si identificano le seguenti criticità alle quali tener conto in fase di progettazione esecutiva quando i modelli geologici individuati verranno confermati da indagini specifiche e puntuali sui siti di imposta dei singoli aerogeneratori:

- 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 puntuale finalizzato all'esclusione di ogni possibile rischio di crollo e/o slittamento di porzioni di parete.

- 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 delle coltri di **calcari** e **vulcaniti**. 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.

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

MISTRAL Wind Energy Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesMis-CLP-ES-GEO-TR-019	Rev 0	Pagina 101 di 101
-------------------------	---------------------	--	-------	----------------------

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.