

AREGU Wind Srl

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

Relazione Geologica

Dicembre 2022

<p>Regione autonoma della Sardegna</p> 	<p>Comune di Giave</p> 	<p>Comune di Cossoine</p> 	<p>Comune di Cheremule</p> 		
<p>Committente:</p> <p>AREGU Wind Srl</p>		<p>AREGU Wind Srl Via Sardegna, 40 00187 Roma P.IVA/C.F. 16181141009</p>			
<p>Titolo del Progetto:</p> <p>Parco Eolico AREGU sito nei Comuni di Giave, Cossoine e Cheremule (SS)</p>					
<p>Documento:</p> <p>Relazione Geologica</p>		<p>N° Documento:</p> <p>IT-VesAre-CLP-CIV-TR-18</p>			
 <p>Studio Tecnico di Geologia Applicata all'Ingegneria e all'Ambiente</p> <p>Centro Direzionale "Pittarello" Loc. Scala Sa Perda, 87 09028 Sestu (CA) T +39 070 734 6008 Mob +39 345 788 2814 e-mail: info@gaiac consulting.eu</p>		<p>Progettista:</p> <p>Dott.ssa Geol. Cosima Atzori</p>			
Rev	Data Revisione	Descrizione	Redatto	Controllato	Approvato
00	15.12.2022	Prima emissione	Cosima Atzori		

AREGU Wind Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesAre-CLP-CIV-TR-18	Rev 0	Pagina 3 di 104
----------------	---------------------	------------------------------------	-------	--------------------

Sommario

1. Premessa	7
2. Normativa di riferimento	7
3. Studio e indagini di riferimento	7
4. Inquadramento geografico generale	8
5. Caratteristiche di progetto dell'opera	14
6. Inquadramento geologico	16
6.1. Descrizione del contesto geologico dell'area vasta oggetto di intervento	16
6.2. Successione litostratigrafica dell'area di intervento	17
6.2.1. Distretto vulcanico di Capo Marargiu (Miocene Inferiore)	17
6.3. Depositi Quaternari dell'area continentale	18
7. Analisi delle condizioni geostrutturali generali	20
7.1. Campagna di raccolta dei dati geostrutturali su affioramento	21
7.1.1. Rilievo geostrutturale Scanline 1 - Formazione di Mores	22
7.1.2. Rilievo geostrutturale Scanline2 - Unità di Uri	24
8. Analisi qualitativa di stabilità dell'ammasso roccioso	25
9. Inquadramento geomorfologico	27
9.1. Lineamenti geomorfologici dell'area di studio	28
9.2. Definizione dell'area geomorfologicamente significativa	29
10. Inquadramento idrogeologico	30
10.1. Schema della circolazione idrica superficiale	30
10.2. Caratteristiche delle acque sotterranee	32
10.3. Analisi della vulnerabilità degli acquiferi	37
11. Inquadramento climatico	40
11.1. Precipitazioni	41
11.2. Temperature	42
11.3. Stima dell'evapotraspirazione	42
12. Inquadramento pedologico	46
13. Uso del Suolo	47

AREGU Wind Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesAre-CLP-CIV-TR-18	Rev 0	Pagina 4 di 104
----------------	---------------------	------------------------------------	-------	--------------------

14. Analisi dei vincoli gravanti sui terreni.....	48
14.1. Piano Stralcio D’Assetto Idrogeologico della Sardegna.....	48
14.2. Art.30 Ter NTA PAI.....	50
14.3. Inventario dei Fenomeni franosi	51
14.4. Piano Stralcio delle Fasce Fluviali	52
14.5. Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA)	53
15. Indagini geognostiche	55
15.1. Generalità sul metodo sismico a rifrazione	56
15.1.1. Caratteristiche delle stese sismiche	57
15.1.2. Caratteristiche della Strumentazione impiegata.....	57
15.1.3. Elaborazione dei dati	58
15.1.4. Specifiche delle indagini svolte.....	59
15.1.5. Caratteristiche della strumentazione impiegata	59
15.1.6. Interpretazione dei segnali acquisiti	60
15.1.7. Categorie di sottosuolo - D.M. 19.01.2018 (NTC 2018)	60
15.2. Tomografia elettrica	61
15.2.1. Tecnica e parametri utilizzati.....	61
15.2.2. Geometria delle acquisizioni	62
15.2.3. Strumentazione e attrezzatura utilizzata	62
15.2.4. Elaborazione dei dati e software	62
15.3. Risultati delle indagini del sito SMT01.....	63
15.3.1. Masw SMT01	63
15.3.2. Rifrazione SMT01 e Tomografia elettrica SMT01.....	64
15.4. Risultati delle indagini del sito SMT02.....	67
15.4.1. Masw SMT02	67
15.4.2. Rifrazione SMT02 e Tomografia elettrica SMT02.....	68
15.5. Risultati delle indagini del sito SMT03.....	71
15.5.1. Masw SMT03	71
15.5.2. Rifrazione SMT03 e Tomografia elettrica SMT03.....	72
15.6. Risultati delle indagini del sito SMT04.....	75
15.6.1. Masw SMT04	75
15.6.2. Rifrazione SMT04 e Tomografia elettrica SMT04.....	76
15.7. Risultati delle indagini del sito SMT05.....	79
15.7.1. Masw SMT05	79
15.7.2. Rifrazione SMT05 e Tomografia elettrica SMT05.....	80
16. Modellazione geologica	90
16.1. Caratterizzazione geostrutturale degli ammassi rocciosi.....	90

AREGU Wind Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesAre-CLP-CIV-TR-18	Rev 0	Pagina 5 di 104
----------------	---------------------	------------------------------------	-------	--------------------

16.2. Viabilità di impianto e sottostazione	97
17. Modello geologico di sito	99
17.1. Modello Geologico 01 – AG08/AG10/AG11	99
17.2. Modello Geologico 02 – AG03/AG04/AG05/AG09.....	100
17.3. Modello Geologico 03 – AG01.....	101
17.4. Modello Geologico 04 – AG02, AG06, AG07	102
18. Conclusioni: criticità geologiche e suggerimenti operativi	104

Indice delle figure

Figura 1 Localizzazione del progetto	8
Figura 2 Inquadramento topografico su C.T.R. RAS scala 1:10000, sezione W	11
Figura 3 Inquadramento topografico su C.T.R. RAS scala 1:10000, sezione E.....	12
Figura 4 Inquadramento topografico su Carta IGM scala 1:25000	13
Figura 5 Paesaggio caratteristico dell'area di studio.....	14
Figura 6 Schema tettonico-strutturale della Sardegna.....	16
Figura 7 Particolare della litologia appartenente all'unità di Uri	17
Figura 8 Stralcio carta geologica (Fonte RAS).....	19
Figura 9 Schema geologico-strutturale dell'area di interesse (da Foglio CARG 459)	20
Figura 10 Schema dei rapporti stratigrafici dei cicli sedimentari miocenici nella Sardegna Settentrionale (non in scala) da Funedda et Alii, 2000)	20
Figura 11 Colonna stratigrafica schematica delle successioni vulcaniche affioranti nell'area di interesse (da Lecca et alii, 1997)	21
Figura 12 rilievo geostrutturale Scanline1 - Formazione di Mores.	23
Figura 13 Proiezione stereografica delle discontinuità rilevate sull'affioramento Scanline1.	23
Figura 14 rilievo geostrutturale Scanline2 - Unità di Uri	24
Figura 15 Proiezione stereografica delle discontinuità rilevate sull'affioramento Scanline2.	25
Figura 16 Tipologie di scivolamento di blocchi rocciosi lungo piani di fratturazione.....	26
Figura 17 A sinistra esempio di ersione regressiva e formazione dei parete aggettante e a destra lo schema del ribaltamento di blocchi per scalzamento alla base	26
Figura 18 Reticolo idrico superficiale (Fonte RAS).....	31
Figura 19 Pozzi presenti nell'area di interesse (dall'Archivio Nazionale delle Indagini del Sottosuolo)	32
Figura 20 - Monografie dei pozzi censiti nell'Archivio Nazionale delle Indagini nel Sottosuolo	35
Figura 21 Schema esemplificativo, non in scala, dei processi di infiltrazione e deflusso sotterraneo.....	36
Figura 22 Carta delle Permeabilità dei Substrati e dei Suoli – area impianto (Fonte RAS)	38
Figura 23 Reticolo idrografico numerato secondo l'ordine di Stralher	39
Figura 24 Temperature mensili (in °C, nell'asse delle ordinate) registrata nella stazione di Villanova Monteleone (2012-2018) e Romana (1995-2011).....	42
Figura 25 Evapotraspirazione (espressa in mm) per la zona di Thiesi.....	43
Figura 30 Ventosità media annuale per le stazioni meteorologiche relativa all'anno 2017 (mese giugno)	44
Figura 27 Umidità relativa per la stazione di Fertilia, per l'anno 1971-2000	44
Figura 28 Diagramma ombrotermico (Walter e Lieth) per il settore di Giave	45
Figura 29 Climogramma relativo alla regione di Giave.....	45
Figura 30 Carta dei Suoli (Fonte RAS)	47

AREGU Wind Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesAre-CLP-CIV-TR-18	Rev 0	Pagina 6 di 104
----------------	---------------------	------------------------------------	-------	--------------------

Figura 31 Stralcio della Carta dell'Uso del Suolo della Sardegna (2008, Fonte RAS)	48
Figura 32 Inquadramento PAI Pericolosità da frana (Fonte RAS).....	49
Figura 33 Inquadramento PAI Pericolosità idraulica (Fonte RAS).....	50
Figura 34 Reticolo idrografico numerato secondo l'ordine di Stralher	51
Figura 35 Archivio IFFI (Fonte ISPRA) in rosso l'area di intervento	52
Figura 36 Stralcio perimetrazione Piano Stralcio fasce Fluviali PSFF 2015.....	53
Figura 37 Stralcio perimetrazione PGRA 2021	54
Figura 38 corrispondenze fra gli stendimenti.....	56
Figura 39 Stendimento di sismica a rifrazione in onde P con 24 geofoni, interdistanza di 3,0 m, lunghezza complessiva 69,0 E 57,5m	57
Figura 40 Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche	64
Figura 41 Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche	68
Figura 42 Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche	72
Figura 43 Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche	76
Figura 44 Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche	80
Figura 45 - Ubicazione delle indagini geofisiche.....	84
Figura 46 - Resistenza a compressione monoassiale per diversi tipi di roccia	91
Figura 47 Abaco per la determinazione di GSI sulla base delle caratteristiche geologiche e strutturali dell'ammasso.....	91
Figura 48 Valori della costante m_i per diversi tipi di roccia.....	92
Figura 49 Correlazione fra valori di m_i , s , indice RMR, ed il tipo di roccia.	93
Figura 50 Valori di Coesione e angolo di attrito interno ottenuti utilizzando il software RocData la formazione di Mores	95
Figura 51 Valori di Coesione e angolo di attrito interno ottenuti utilizzando il software RocData la formazione di Chelchedu-Tiloromo	96
Figura 50 Valori di Coesione e angolo di attrito interno ottenuti utilizzando il software RocData la formazione di Uri	97

AREGU Wind Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesAre-CLP-CIV-TR-18	Rev 0	Pagina 7 di 104
----------------	---------------------	------------------------------------	-------	--------------------

1. Premessa

Nell'ambito della redazione del Progetto Definitivo del Parco Eolico denominato "AREGU" dislocato nel territorio comunale dei comuni di **Giave, Cossoine e Cheremule** - Provincia di Sassari (SS), al fine di avere un quadro completo del contesto geologico e geotecnico è stata redatta la presente **Relazione 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.

2. Normativa di riferimento

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

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

3. Studio e indagini di riferimento

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

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

9. RAS – Autorità di Bacino - Piano Stralcio d'Assetto Idrogeologico
10. RAS – Autorità di Bacino - Piano di Tutela delle Acque
11. RAS – Autorità di Bacino - Piano Stralcio delle Fasce Fluviali
12. Foto aeree, Regione Sardegna

I dati a disposizione sono stati integrati con le informazioni derivanti dai sopralluoghi effettuati dalla scrivente in sito e dagli esiti della campagna di indagini geognostiche eseguite rispettivamente in data 17, 21 e 24 novembre nella zona di interesse.

4. Inquadramento geografico generale

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

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

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

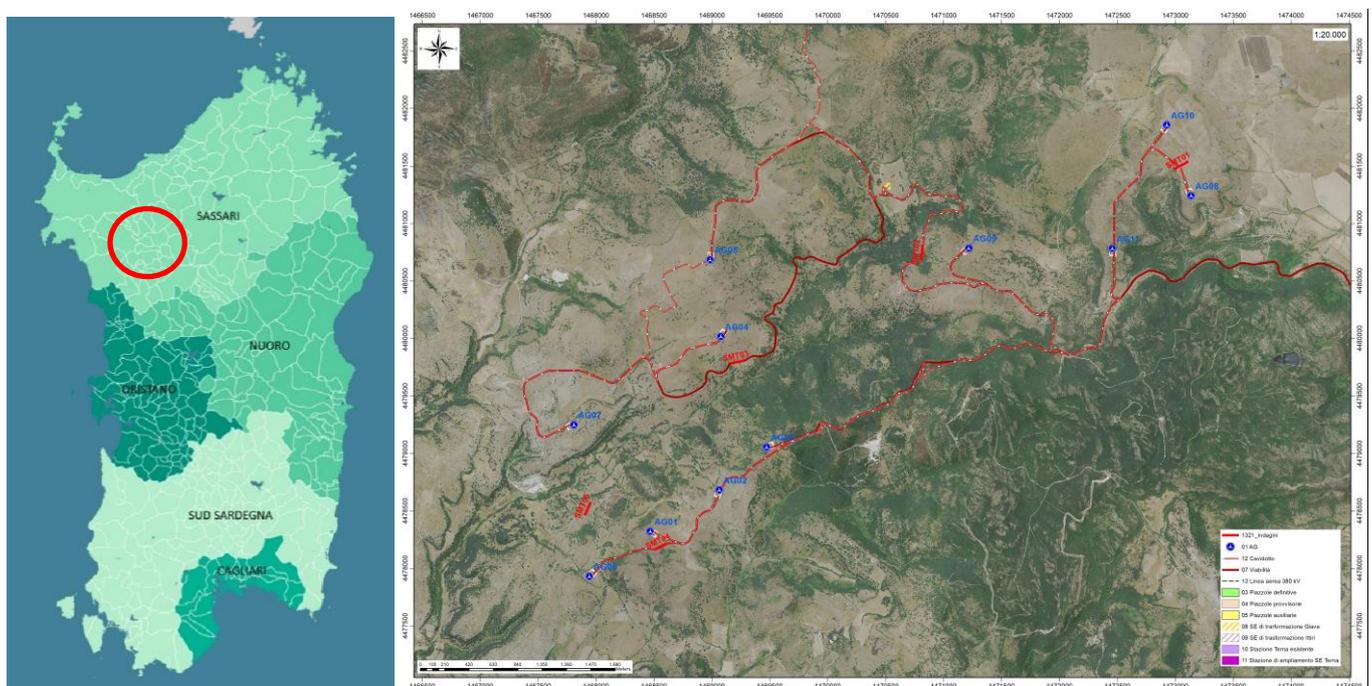


Figura 1 Localizzazione del progetto

Grazie alla fertilità dei suoli la zona di Giave fu intensamente abitata sin dalla preistoria, trovandosi nei pressi della Valle dei Nuraghi, una delle regioni d'Europa più ricche di testimonianze della civiltà megalitica. Tuttavia le prime

AREGU Wind Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesAre-CLP-CIV-TR-18	Rev 0	Pagina 9 di 104
----------------	---------------------	------------------------------------	-------	--------------------

fonti storiche riguardo al sito attuale del villaggio risalgono al periodo punico: il nome Giave è infatti una storpiatura del toponimo "Hafa", un fragile insediamento (più a valle del sito attuale) nella tarda età cartaginese, quando gli invasori meridionali riuscirono a valicare la costera e raggiungere Turrus Lybissonis (l'odierna Porto Torres) sulla costa settentrionale.

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

Durante il medioevo appartenne al giudicato di Torres e fece parte della curatoria di Capuabbas. In quell'epoca la popolazione viveva un relativo benessere economico. Alla caduta del giudicato (1259), il territorio divenne parte dei possedimenti dei Doria. Dopo vari scontri tra i Doria e gli aragonesi (tra cui la battaglia di Aidu de Turdu), Giave passò al giudicato di Arborea, che riuscirono a conquistare tra gli altri i territori dell'ex curatoria, e successivamente al regno di Sardegna. Il sistema di oppressione del feudalesimo tra il XIV ed il XVIII secolo raggiunse i massimi livelli di oscurantismo e disumanità, con imposizioni di corvée e decime alla popolazione. Nel 1436 il re d'Aragona Alfonso V il magnanimo cedette la signoria su Giave, insieme a Cossoine, a Serafino di Montagnana per 1300 ducati d'oro. Il paese venne poi incorporato nella baronia di Capuabbas, di cui gli ultimi feudatari furono i Da Silva - Alagon, ai quali fu riscattato nel 1839 con la soppressione del sistema feudale. La situazione di oppressione non migliorò nel passaggio sotto la dominazione dei Savoia. Nel 1795 il paese prese viva parte ai moti antifeudali.

Solo nel periodo Post-Unitario finalmente Giave ritrova un periodo di relativo progresso civile ed economico, grazie allo sviluppo delle reti ferroviaria e alla costruzione di una stazione a valle, che diede nuovo impulso alle tradizionali attività agro pastorali. Tuttavia dal dopoguerra anche Giave è andato incontro al depauperamento demografico che ha interessato tutte le aree interne dell'isola.

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

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

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

In epoca medievale appartenne al Giudicato di Torres e fece parte della curatoria di Caputabbas. Alla caduta del giudicato (1259) passò ai Doria, e intorno alla metà del XIV secolo divenne un feudo sotto gli aragonesi. Nel 1636

AREGU Wind Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesAre-CLP-CIV-TR-18	Rev 0	Pagina 10 di 104
----------------	---------------------	------------------------------------	-------	---------------------

fu incorporato nel marchesato di Montemaggiore, concesso ai Canaveda. Da questi passò successivamente ai Manca, ai quali fu riscattato nel 1839 con la soppressione del sistema feudale.

L'inquadramento cartografico di riferimento è il seguente:

1. Cartografia ufficiale dell'Istituto Geografico Militare I.G.M scala 1:25 000. Serie 25 -Fogli: **479 sez. I** "Ittiri"
2. Carta Tecnica Regionale scala 1:10 000 - Fogli: **479120** "Romana" e **480090** "Campo Giavesu".

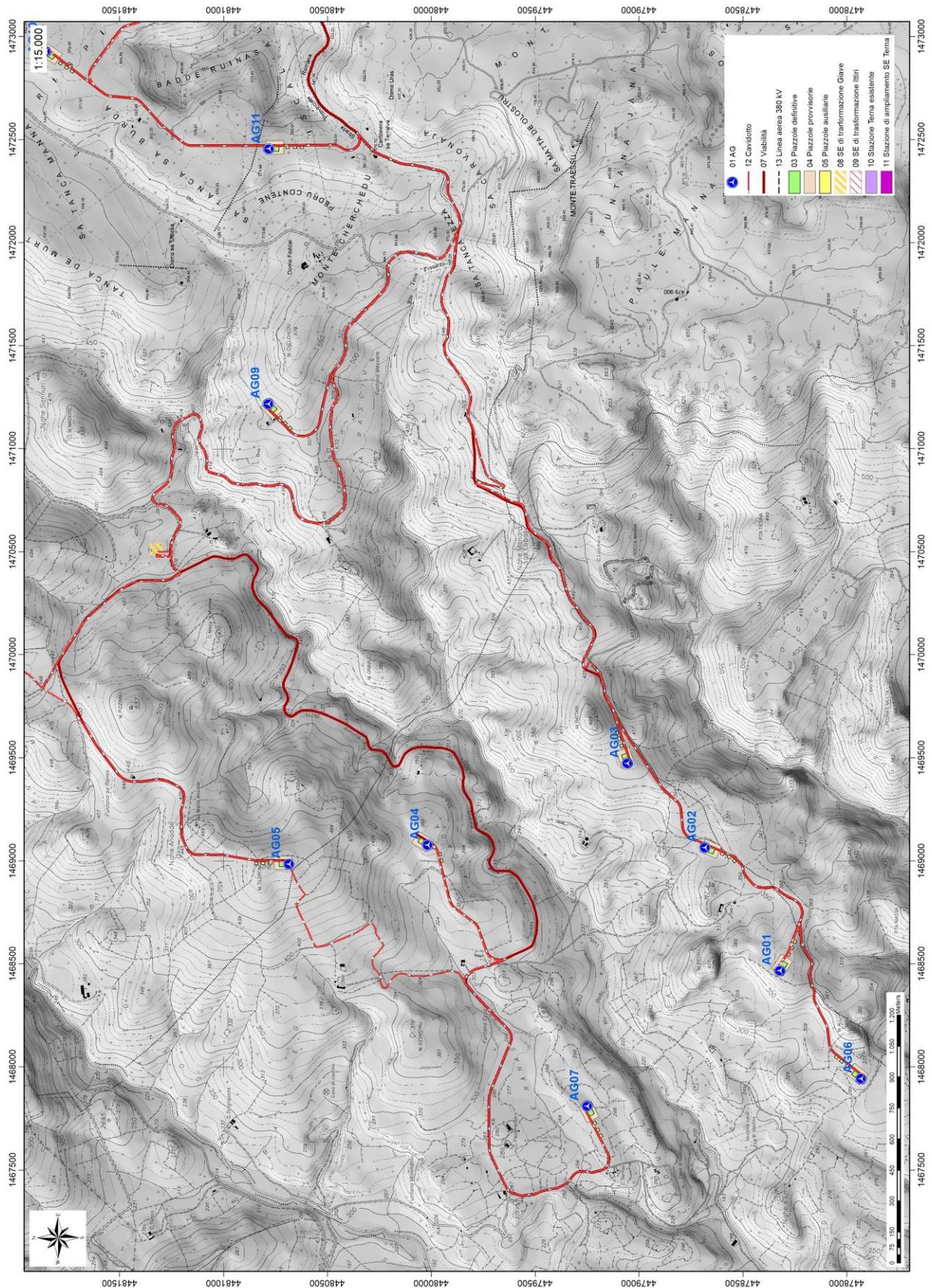


Figura 2 Inquadramento topografico su C.T.R. RAS scala 1:10000, sezione W

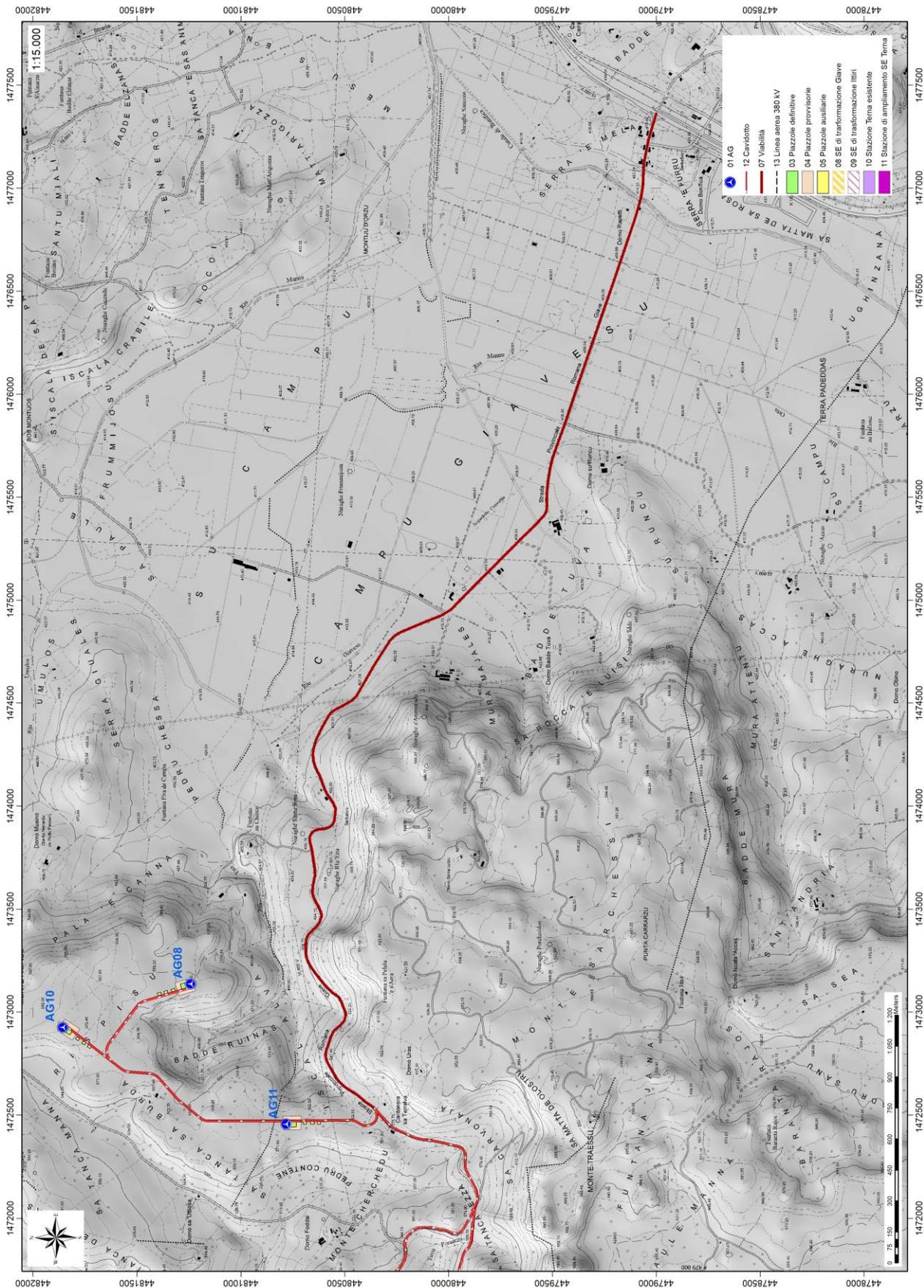


Figura 3 Inquadramento topografico su C.T.R. RAS scala 1:10000, sezione E

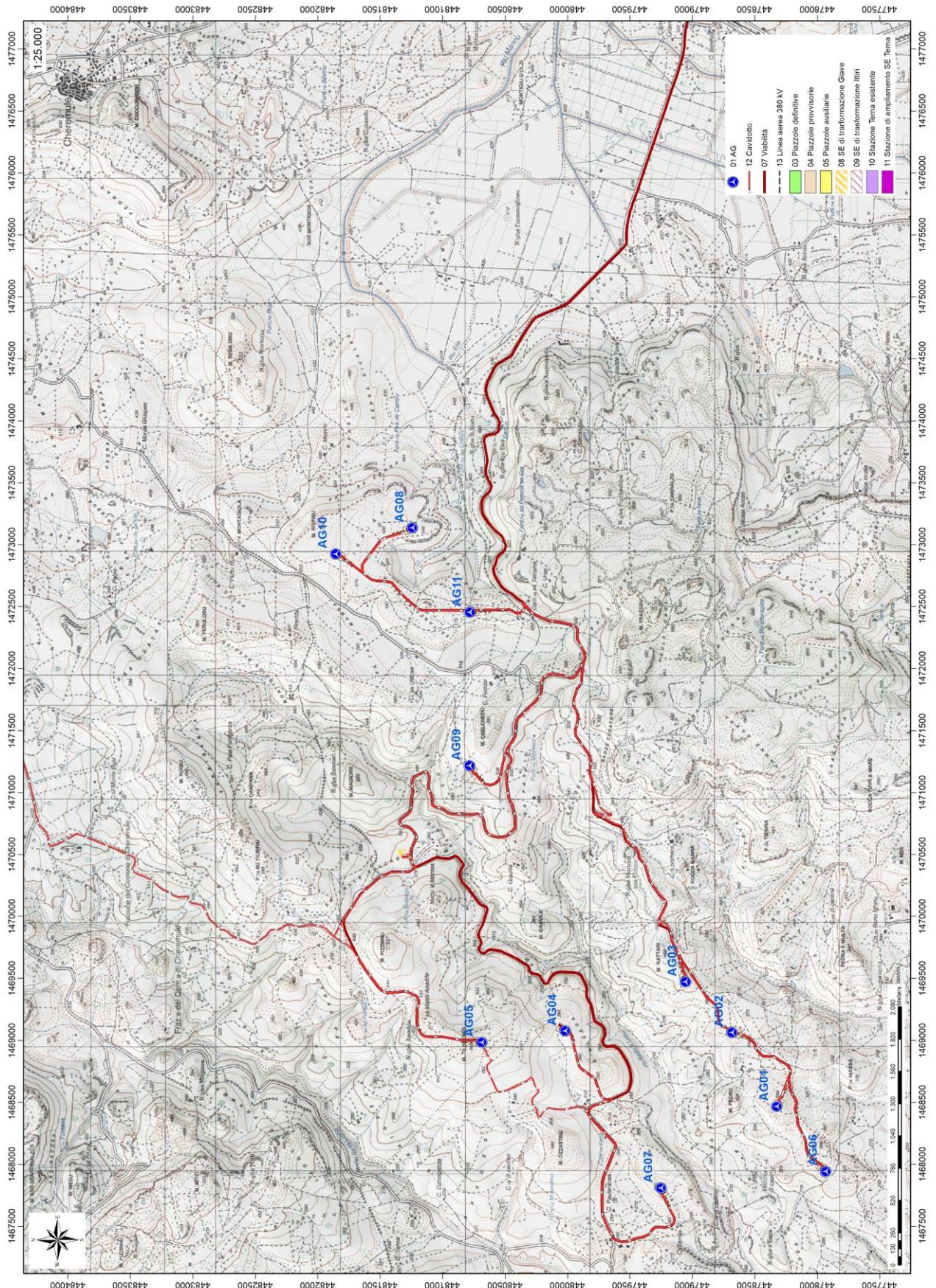


Figura 4 Inquadramento topografico su Carta IGM scala 1:25000

AREGU Wind Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesAre-CLP-CIV-TR-18	Rev 0	Pagina 14 di 104
----------------	---------------------	------------------------------------	-------	---------------------



Figura 5 Paesaggio caratteristico dell'area di studio

5. Caratteristiche di progetto dell'opera

Il Parco Eolico è costituito quindi da 11 aerogeneratori ad asse orizzontale montati su torri tubolari ad elementi in acciaio; dopo attente valutazioni ed alla luce dei dati del vento rilevati in loco ed in siti attigui, il modello più adatto a questo tipo di ventosità è risultato il V162 da 6,0 MW prodotto dalla fabbrica VESTAS con sede in Danimarca, ormai collaudato con risultati altamente prestazionali. Questi sono posizionati ad una distanza mediamente tra di loro pari a 6 volte il diametro del rotore, nel senso del vento dominante proveniente dal quadrante nordovest, e 3,5 volte il diametro del rotore, in senso perpendicolare alla direzione del vento dominante.

La potenza nominale del parco eolico installata è pari a 66 MW. Con un vento medio annuale di 6,36 m/s e un funzionamento annuale previsto pari a circa 2.861 ore equivalenti la produzione di energia elettrica lorda stimata è di circa 197.285 MWh/anno.

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

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

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

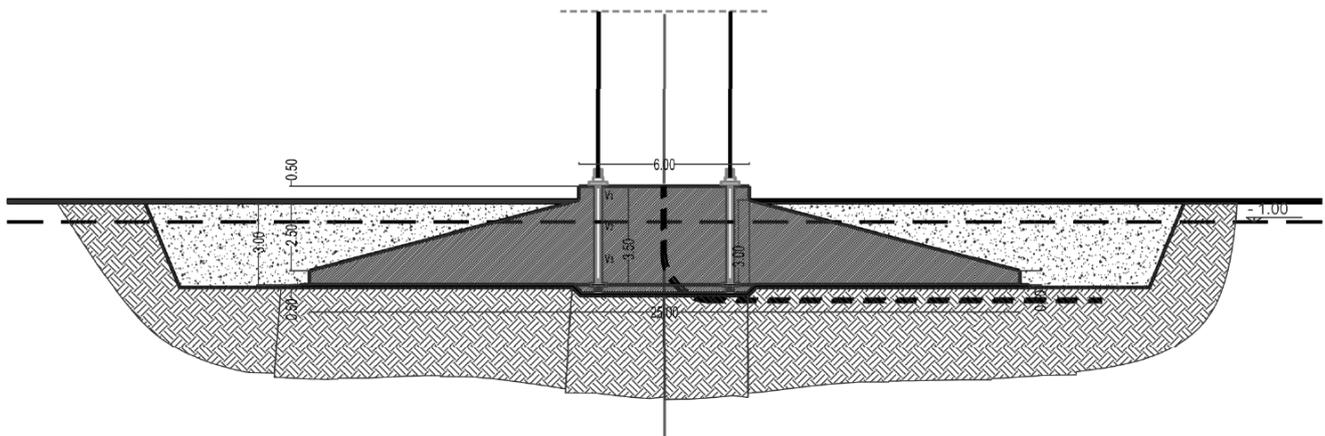
Le fondazioni delle torri saranno costituite da piastre in cemento armato atte a ripartire sia le azioni statiche dovute al peso proprio dell'apparato eolico che le azioni dinamiche dovute al vento trasmesse alla base delle torri dagli "apparati eolici". Da un predimensionamento di massima risulta che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

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

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

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

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



Schema di fondazione

6. Inquadramento geologico

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

L'area di studio ricade nella zona costituita dalla copertura sedimentaria e vulcanica post-ercinica; principalmente è costituita dalle coperture sedimentarie mioceniche, dalle rocce della successione vulcano-sedimentaria Miocenica, e dai depositi quaternari. Il vulcanismo oligo-miocenico sardo rappresenta uno degli eventi geologici terziari più importanti del Mediterraneo occidentale.

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

Si tratta di un'associazione di prodotti con affinità calcicalina e subordinatamente tholeiitica e calcicalina alta in potassio

(BECCALUVA et alii, 1987), rappresentata da serie vulcaniche da basaltico- andesitiche a dacitiche (principalmente

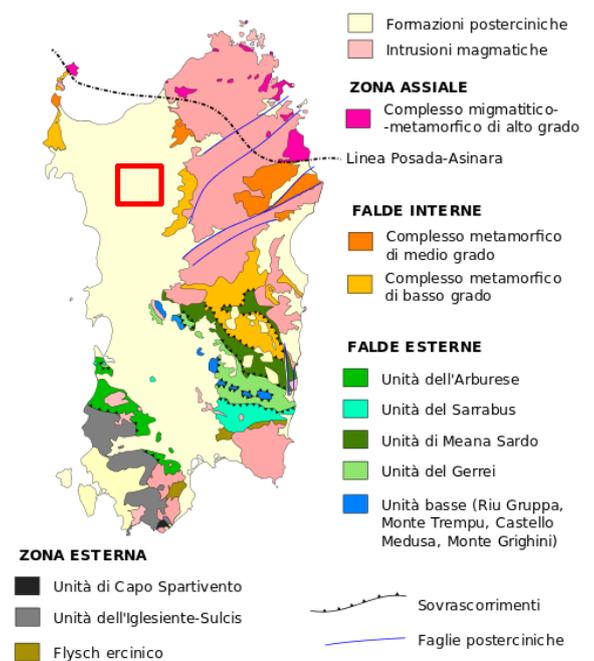


Figura 6 Schema tettonico-strutturale della Sardegna

AREGU Wind Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesAre-CLP-CIV-TR-18	Rev 0	Pagina 17 di 104
----------------	---------------------	------------------------------------	-------	---------------------

in colate laviche e cupole di ristagno) e da serie da dacitiche a riolitiche (principalmente in espandimenti ignimbrici). In particolare, l'area vasta è compresa all'interno *Distretto vulcanico di Capo Marargiu*, del *Distretto vulcanico di Osilo Castelsardo* e della *Successione sedimentaria oligo-miocenica del Logudoro-Sassarese*.

6.2. Successione litostratigrafica dell'area di intervento

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

6.2.1. Distretto vulcanico di Capo Marargiu Miocene Inferiore)

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

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

(UUI) Unità di Uri: è costituita da depositi di flusso piroclastico in facies ignimbrica, 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 ignimbrica, 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

AREGU Wind Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesAre-CLP-CIV-TR-18	Rev 0	Pagina 18 di 104
----------------	---------------------	------------------------------------	-------	---------------------

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

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

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

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

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

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

6.3. Depositi Quaternari dell'area continentale

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

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

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

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

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

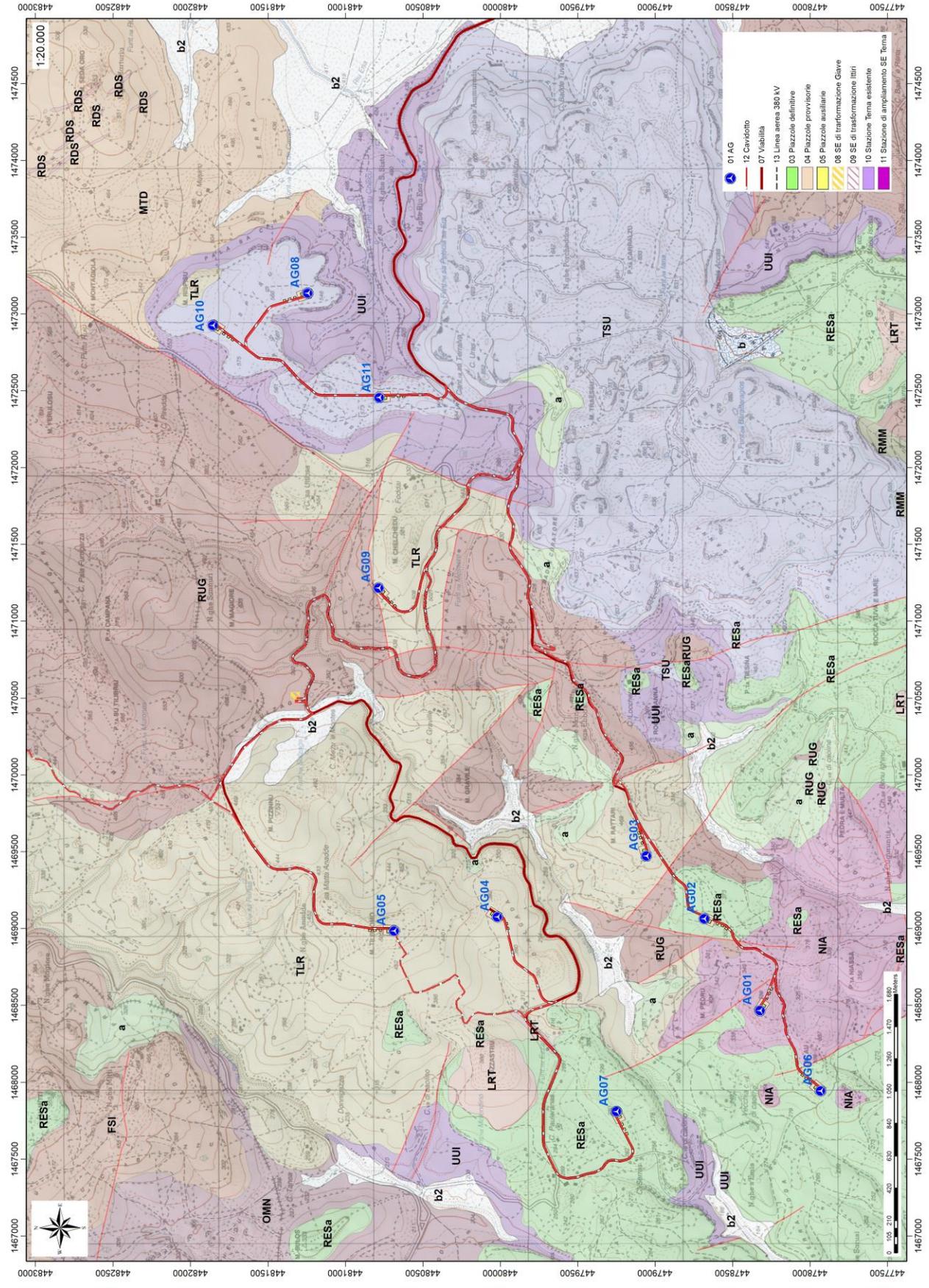


Figura 8 Stralcio carta geografica (Fonte RAS)

7. Analisi delle condizioni geostrutturali generali

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

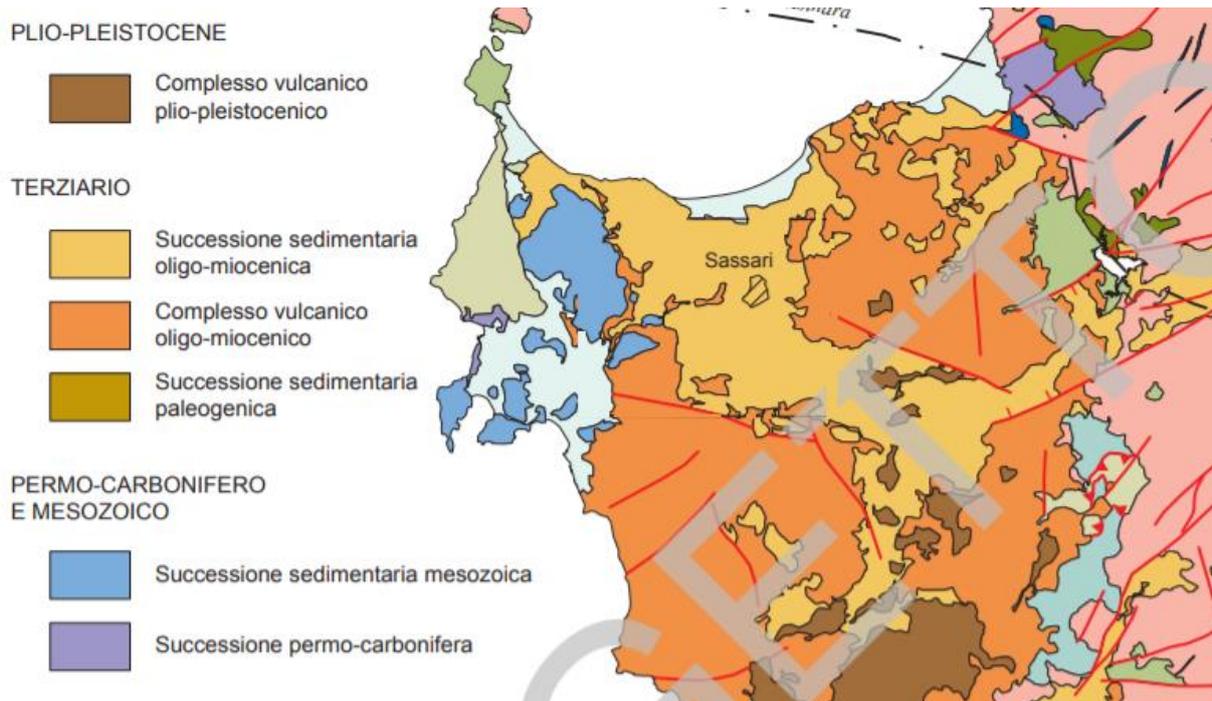


Figura 9 Schema geologico-strutturale dell'area di interesse (da Foglio CARG 459)

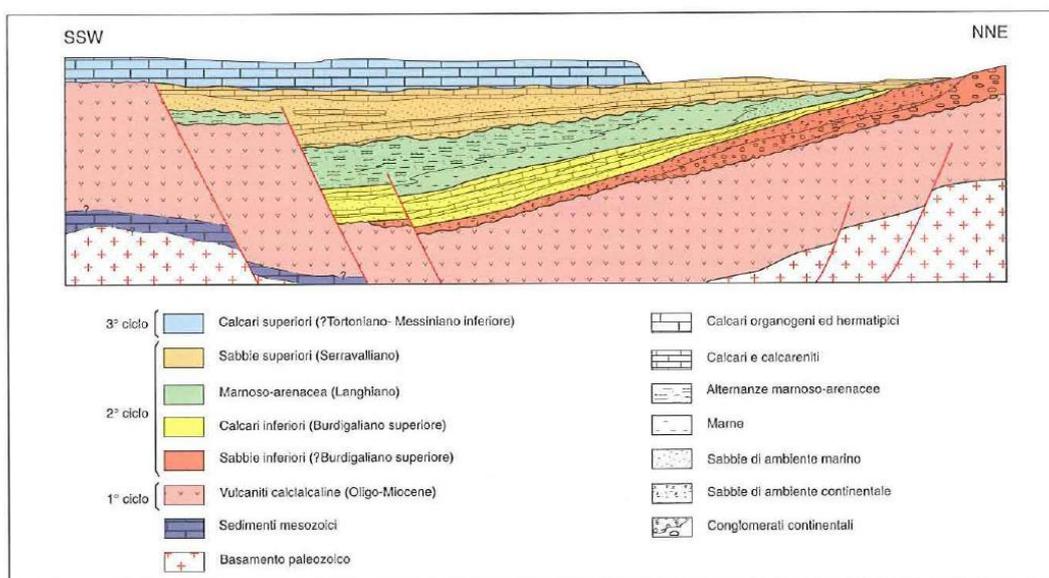


Figura 10 Schema dei rapporti stratigrafici dei cicli sedimentari miocenici nella Sardegna Settentrionale (non in scala) da Funedda et Alii, 2000)

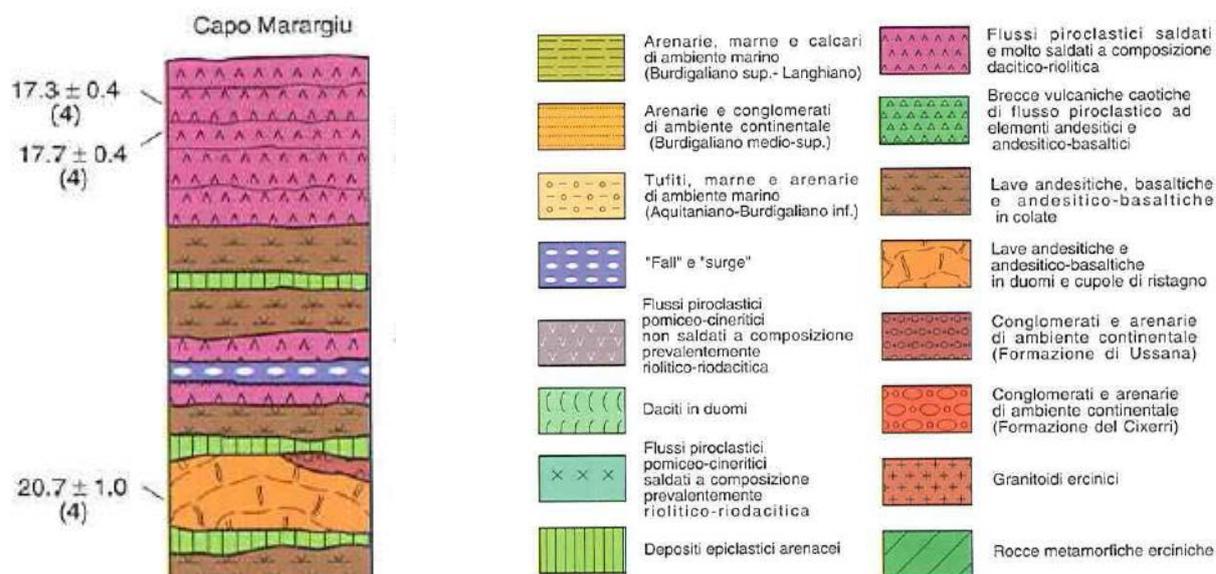


Figura 11 Colonna stratigrafica schematica delle successioni vulcaniche affioranti nell'area di interesse (da Lecca et alii, 1997)

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

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

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

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

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

Di queste strutture tettoniche presenti, le faglie determinano il controllo tettonico delle principali valli incise. La giacitura dei piani è abbastanza costante, sebbene possa esser influenzata dalle faglie.

Un sistema di faglie dirette distensive e inverse compressive caratterizzano la zona centrale dell'area vasta ove verranno installate le turbine AG6, AG01, AG03 E AG09 INDIVIDUANDO

una faglia principale a direzione NW-SE separa il settore ovest (con le turbine AG01, AG02 e AG03), dal settore est, nel quale ricadono le turbine AG04, AG05, AG06, AG07 e AG08. Nei diversi siti di installazione la dinamica geostrutturale ha creato piani di fratturazione a diversa scala. I movimenti tettonici hanno fratturato i materiali affioranti.

Tutte le stazioni eoliche sono posizionate nella copertura vulcanica miocenica del Distretto vulcanico di Capo Marargiu.

7.1. Campagna di raccolta dei dati geostretturali su affioramento

Nel corso dei rilievi effettuati è stata realizzata un'indagine mirata alla caratterizzazione geostretturale delle litologie su cui pogeranno le fondazioni delle turbine, indirizzata al rilievo di tutti i parametri tecnici, verificando in

AREGU Wind Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesAre-CLP-CIV-TR-18	Rev 0	Pagina 22 di 104
----------------	---------------------	------------------------------------	-------	---------------------

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.

Per determinazione dei parametri geomeccanici delle litologie interessate, , sono stati presi in considerazione n° 3 affioramenti rocciosi situati nell'area interna del parco, in corrispondenza di tagli stradali, per via della scarsità di affioramenti sufficientemente estesi e privi di vegetazione. Tali affioramenti sono stati utilizzati come punti di stazione, nei quali sono state rilevate le caratteristiche delle discontinuità. Gli ammassi rocciosi analizzati presentano unicamente discontinuità secondarie, ovvero date da fratturazione. E' stata riconosciuta e distinta una famiglia di fratturazione principale, dovuta al fenomeno chiamato "*Platy jointing*", dove le discontinuità in seguito al raffreddamento sono influenzate dall'orientazione del flusso lavico durante la messa in posto, questa risulta estremamente frequente e regolare, e varia la sua giacitura in tutta l'area del parco; sono state rilevati piani di discontinuità con orientazioni differenti, ma non è stato possibile, per la loro scarsa frequenza, dividerli in famiglie. Gli affioramenti presi in considerazione permettono di classificare solo in maniera preliminare le unità litologiche più rappresentative del sito di indagine. Per avere un quadro esaustivo delle condizioni strutturali degli ammassi rocciosi sarebbe opportuno perciò, in fase esecutiva, effettuare delle indagini puntuali.

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

7.1.1. Rilievo geostrutturale Scanline 1 - Formazione di Mores

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

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

7.1.2. Rilievo geostrutturale Scanline2 - Unità di Uri

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



Figura 14 rilievo geostrutturale Scanline2 - Unità di Uri

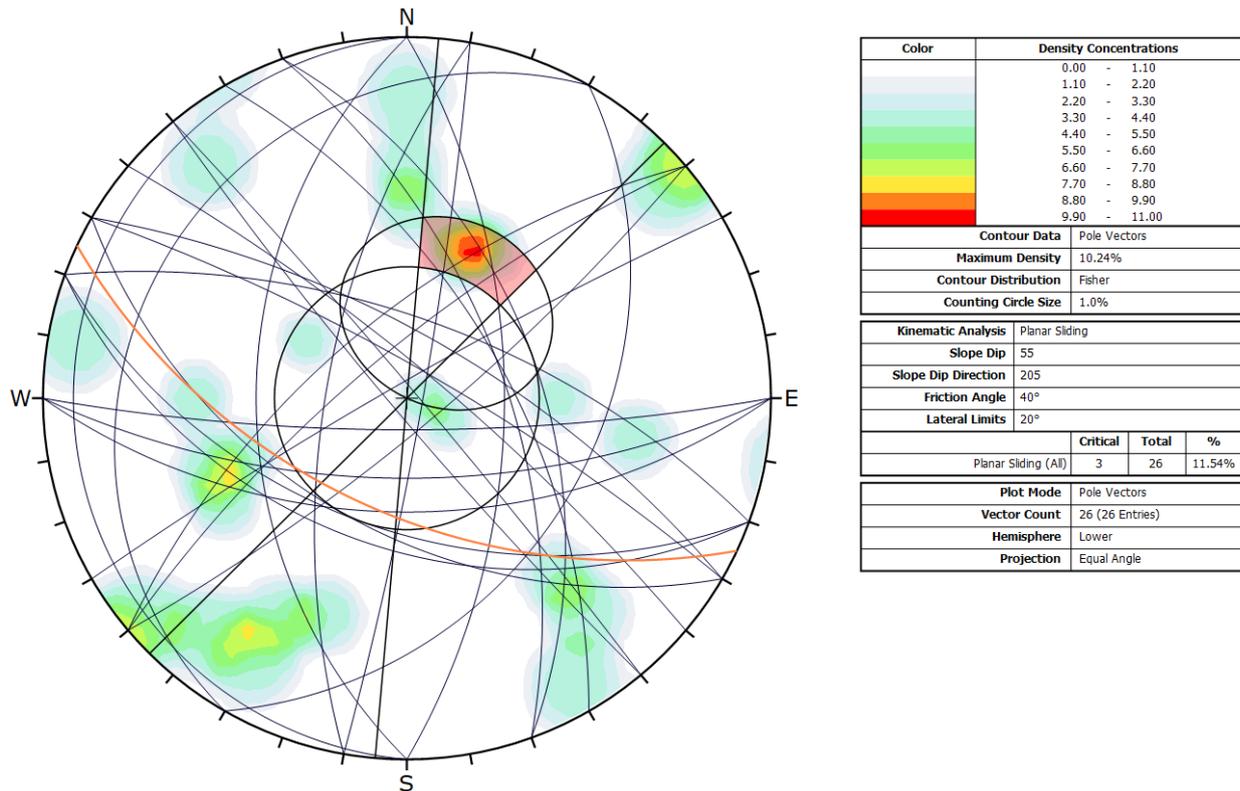


Figura 15 Proiezione stereografica delle discontinuità rilevate sull'affioramento Scanline2.

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

8. Analisi qualitativa di stabilità dell'ammasso roccioso

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

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

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

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

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

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

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

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

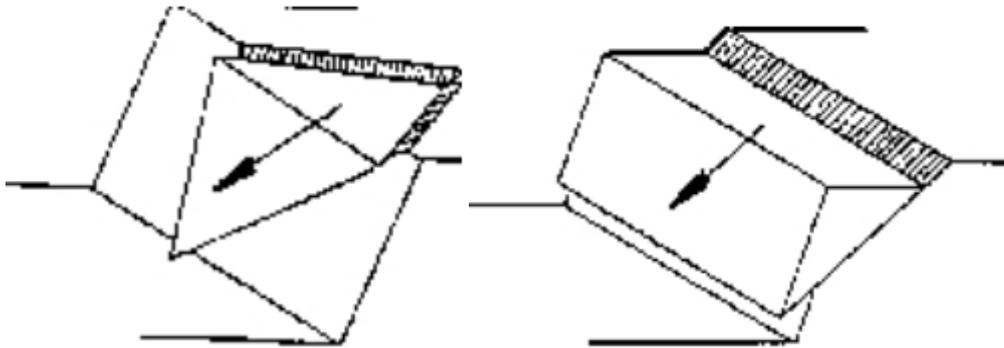


Figura 16 Tipologie di scivolamento di blocchi rocciosi lungo piani di fratturazione

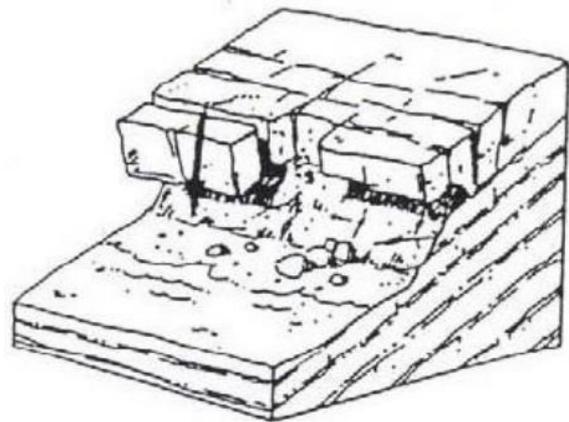


Figura 17 A sinistra esempio di erosione regressiva e formazione della parete aggettante e a destra lo schema del ribaltamento di blocchi per scalzamento alla base

In fig.17 viene illustrata una parete affiorante appartenente alla Formazione di Mores (RESa) caratterizzata da stratificazione a giacitura orizzontale, questa è soggetta ad erosione differenziale in strati meno competenti, ciò comporta uno scalzamento alla base con conseguente distacco di blocchi nei livelli soprastanti più competenti ma fratturati; ai piedi sono presenti blocchi distaccatisi tendenzialmente per crollo/ribaltamento.

AREGU Wind Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesAre-CLP-CIV-TR-18	Rev 0	Pagina 27 di 104
----------------	---------------------	------------------------------------	-------	---------------------

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

9. Inquadramento geomorfologico

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

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

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

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

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

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

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

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

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

1. i rilievi di natura vulcanica, dati dalle colate di flusso piroclastico riolitico, riodacitico delle formazioni di Monte Traessu, di Chelghedu-Tiloromo e dacitiche della formazione di Monte Rugu.
2. le coperture sedimentarie, date dalla Formazione di Mores.

AREGU Wind Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesAre-CLP-CIV-TR-18	Rev 0	Pagina 28 di 104
----------------	---------------------	------------------------------------	-------	---------------------

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

Alla fratturazione da raffreddamento si sovrappongono frequenti fratturazioni legate alla successiva attività tettonica o a cedimenti puramente gravitativi. L'alternanza tra le bancate con facies meno coerenti, essenzialmente tufacee, e quelle decisamente litoidi e resistenti, ossia ignimbritiche o laviche, determina il profilo a "gradinata" che caratterizza i versanti dei rilievi. Questa morfologia, nota in letteratura col termine di *cuestas*, è particolarmente evidente nei rilievi a Nord degli aerogeneratori AG06, AG02 e la AG03. Meno diffuse che nei territori circostanti, le lave, di composizione prevalentemente andesitica, si rinvengono a Nord della AG05, nella quale è rappresentato da una sequenza di colate sub-orizzontali e di aspetto massivo, con ritrazioni per consolidamento indicate da fessurazioni prismatiche e macrostrutture colonnari.

Le coperture sedimentarie, testimoniano quelle fasi di deposito in ambiente dapprima continentale e fluvio-lacustre, successivamente marino, verificatesi dalle ultime fasi del ciclo vulcanico e proseguite durante la trasgressione marina che interessò la Sardegna occidentale nel Miocene inferiore e medio, in un contesto in cui i maggiori rilievi vulcanici, per via della loro quota, emergevano da un mare poco profondo. Questa condizione ha rappresentato l'ambiente di deposito da cui traggono origine le strutture che poggiano sulle formazioni vulcaniche delle quali, per quanto si è detto, quelle più elevate risultano prive di copertura. Di ambiente fluvio-lacustre, instaurato nel paesaggio vulcanico, risultano i depositi conglomeratici a elementi vulcanici in parte elaborati e caotici, alternati con depositi a granulometria fine, verdastri, con sottile stratificazione piano-parallela, diffusamente alterati e argillificati.

Tali formazioni, derivate dall'erosione e rimaneggiamento delle vulcaniti nonché dalla sedimentazione in ambiente acquatico di materiali piroclastici sottili, si rinvengono lungo i versanti della valle del Riu Ena, lungo il corso del Riu Mannu.

Benché lungo le incisioni fluviali e a margine dei rilievi vulcanici le strutture sedimentarie siano state smantellate dall'erosione, queste coperture giacciono talvolta sottoforma di tavolati e pianori come nel caso dell'area centro-meridionale del parco qualche centinaio di metri a Sud-Est della AG02 (Piano Giuale). Le stesse azioni erosive che hanno determinato la frammentazione delle strutture sedimentarie, si sono esplicitate su tutto il territorio dando luogo a quei prodotti dell'alterazione e del degrado diffusi nell'area in esame, che costituiscono spesse coltri di detrito di falda, orizzonti pedogenizzati e depositi alluvionali lungo i corsi d'acqua.

9.1. Lineamenti geomorfologici dell'area di studio

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

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

AREGU Wind Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesAre-CLP-CIV-TR-18	Rev 0	Pagina 29 di 104
----------------	---------------------	------------------------------------	-------	---------------------

9.2. Definizione dell'area geomorfologicamente significativa

La predisposizione naturale di un territorio a fenomeni di instabilità legata alle dinamiche geomorfologiche deriva in generale dall'interazione di diversi fattori come natura geologica dei terreni, loro assetto sia deposizionale che geostrutturale, circolazione delle acque superficiali e sotterranee con la morfologia, cioè la geometria del territorio. L'area oggetto di intervento, in base delle caratteristiche suddette **non presenta allo stato attuale evidenze di dissesto di natura geologico-geomorfologica in atto**, mentre, potenziali fenomeni di dissesto potrebbero presentarsi con la naturale evoluzione del pendio.

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

AREGU Wind Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesAre-CLP-CIV-TR-18	Rev 0	Pagina 30 di 104
----------------	---------------------	------------------------------------	-------	---------------------

10. Inquadramento idrogeologico

Secondo la classificazione dei bacini sardi riportata nel Piano di Assetto Idrogeologico, i comuni di Giave, Cossoine e Cheremule sono inclusi nel sub-bacino n° 3 Coghinas-Mannu-Temo.

Il Sub_Bacino si estende per 5402 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.

10.1. Schema della circolazione idrica superficiale

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

L'area sud-occidentale del parco eolico è attraversata da due corsi principali che scorrono da NE verso SW, il **Riu Badedda** e il **Riu Badu'e Ludu**, nell'area orientale scorre il **Riu Ena** verso Est.

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

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

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

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

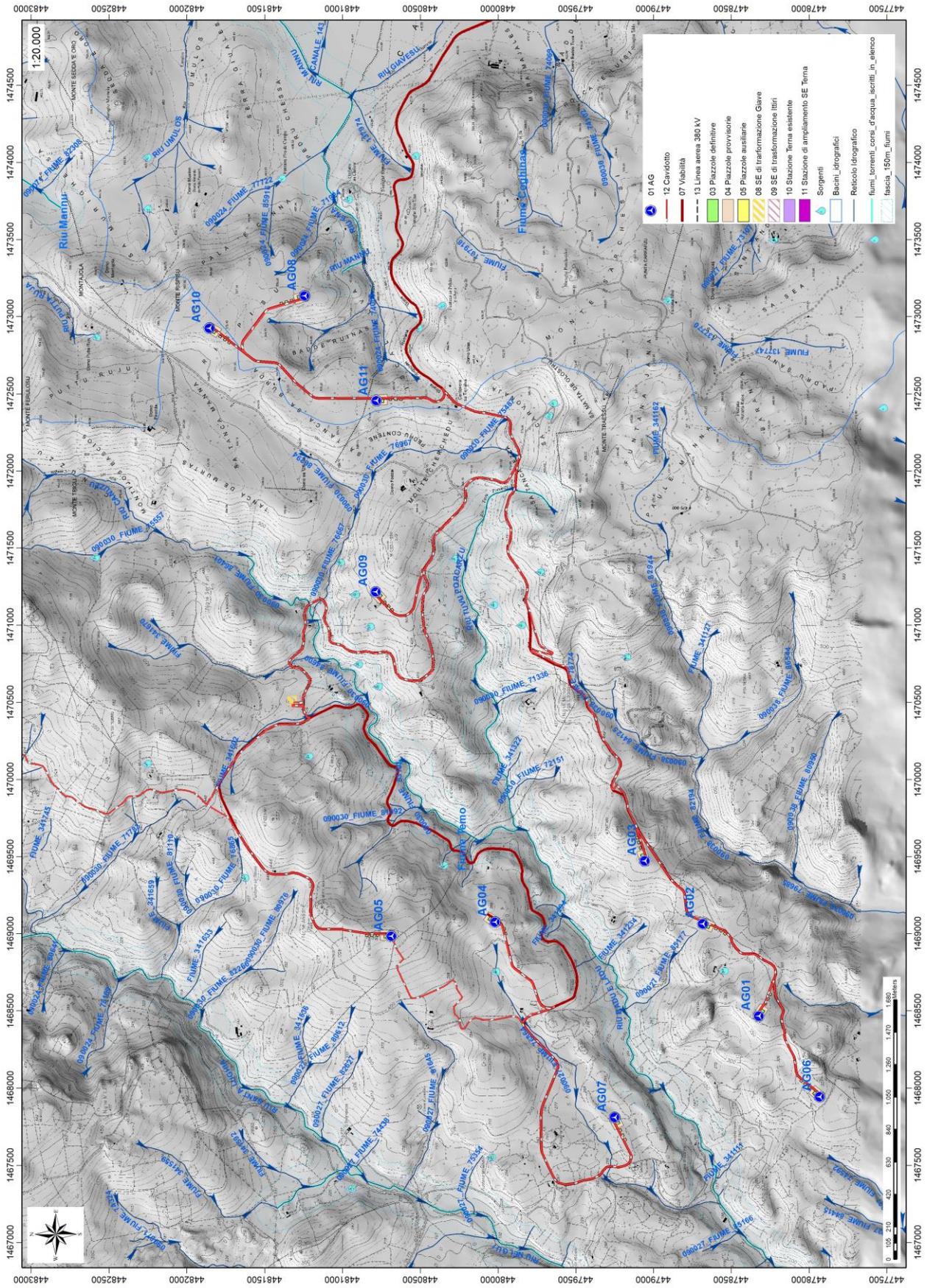


Figura 18 Reticolo idrico superficiale (Fonte RAS)

10.2. Caratteristiche delle acque sotterranee

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

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

Le litologie che circondano l'area di studio sono caratterizzate da permeabilità da bassa medio-bassa per fratturazione per le litologie vulcaniche mentre medio-alta per le soprastanti litologie carbonatiche (RES a).

Da un censimento nell'Archivio Nazionale delle Indagini nel Sottosuolo ex Lg 464/1984 non sono presenti perforazioni per uso di acque sotterranee nell'area di interesse. Nelle immagini seguenti le schede di un pozzo (Cod.170595) nei pressi della turbina AG04 (a sinistra dell'immagine) e di due pozzi (Cod.170547 e Cod.176552) situati a nord dell'area di installazione della turbina AG10 (a destra dell'immagine).

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

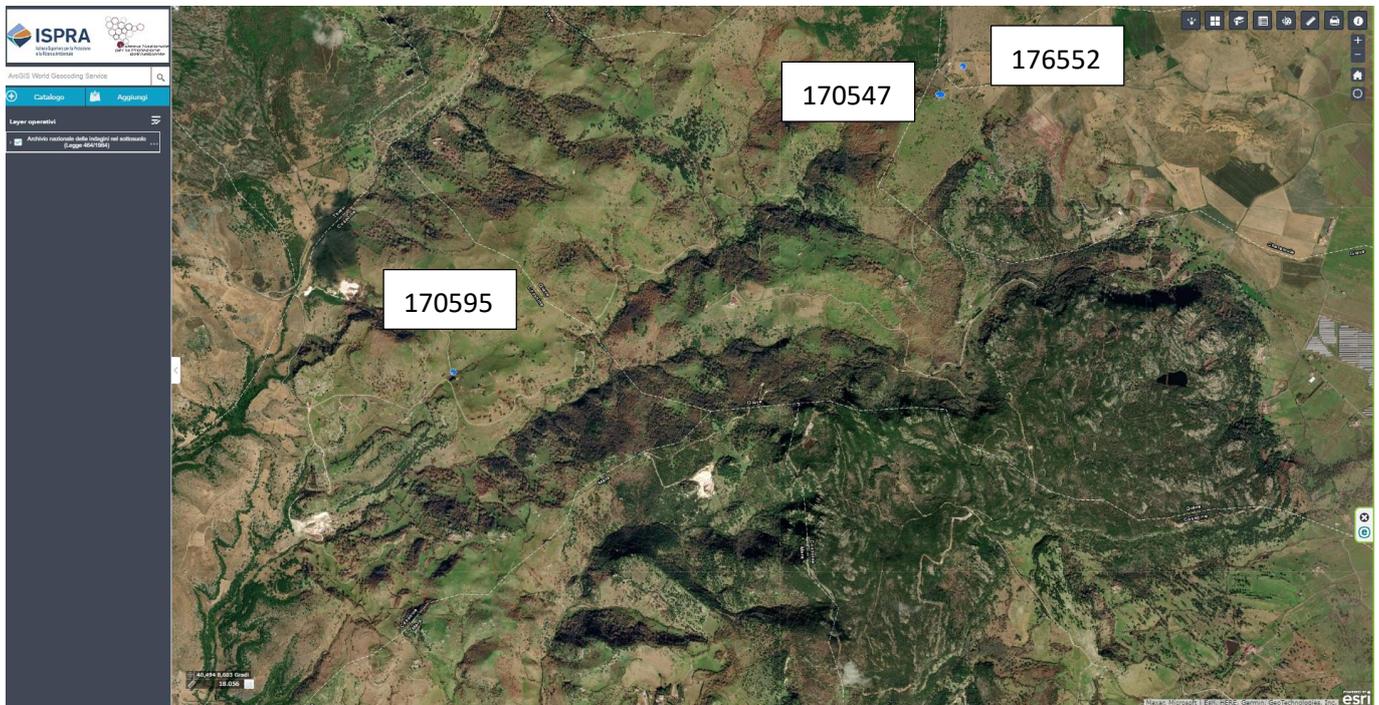
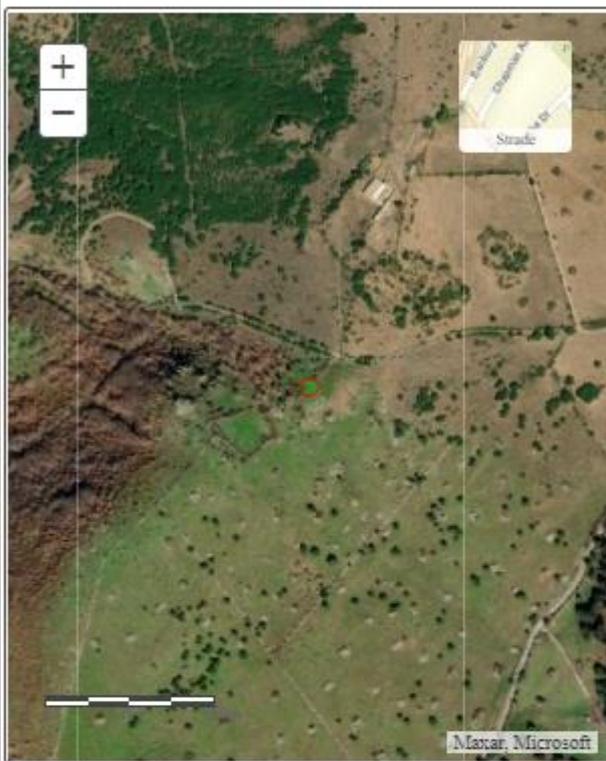


Figura 19 Pozzi presenti nell'area di interesse (dall'Archivio Nazionale delle Indagini del Sottosuolo)

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

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

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

ISPRA - Copyright 2018

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

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

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

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

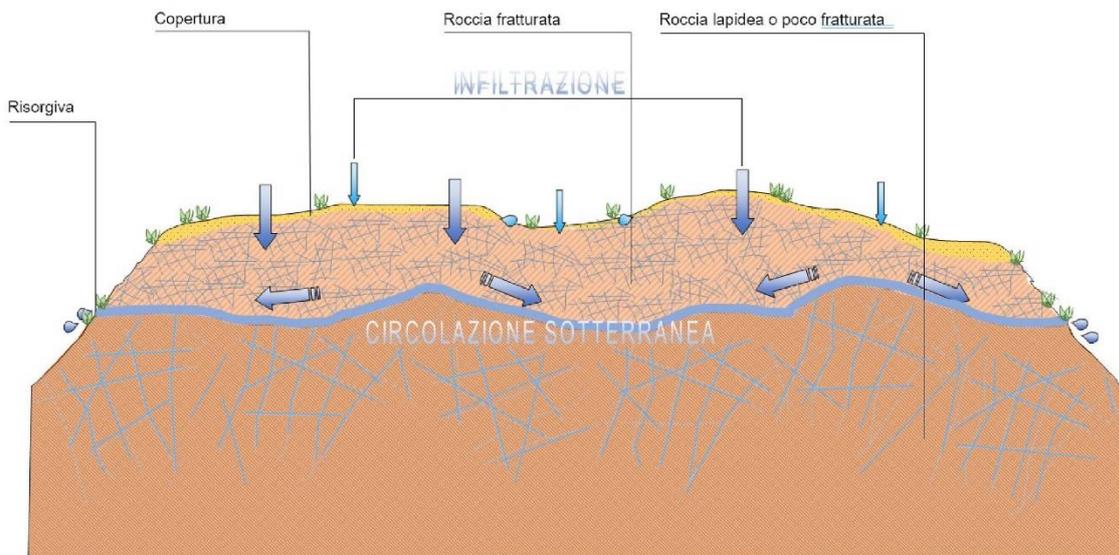


Figura 21 Schema esemplificativo, non in scala, dei processi di infiltrazione e deflusso sotterraneo

Nell'area di studio si possono distinguere:

AREGU Wind Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesAre-CLP-CIV-TR-18	Rev 0	Pagina 37 di 104
----------------	---------------------	------------------------------------	-------	---------------------

1. litologie con permeabilità medio-alta, come le calcareniti della litofacies della Formazione di Mores (RESa), per via della fratturazione o del carsismo;
2. litologie con permeabilità medio-bassa per fratturazione, come le rocce delle vulcaniti terziarie: Unità di di Uri (UUI), di Pala Mantedda (MTD) e di Nuraghe Vittore (UNV), Unità di Chelchedu-Tiloromo (TLR), Unità di Monte Traessu (TSU), Unità di Monte Rugiu (RUG) E Unità di Punta Niassa (NIA).

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

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

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

Nell'area attraversata dal cavidotto e alla sottostazione invece la permeabilità risulta medio-bassa per fratturazione, e medio-alta per porosità.

10.3. Analisi della vulnerabilità degli acquiferi

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

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

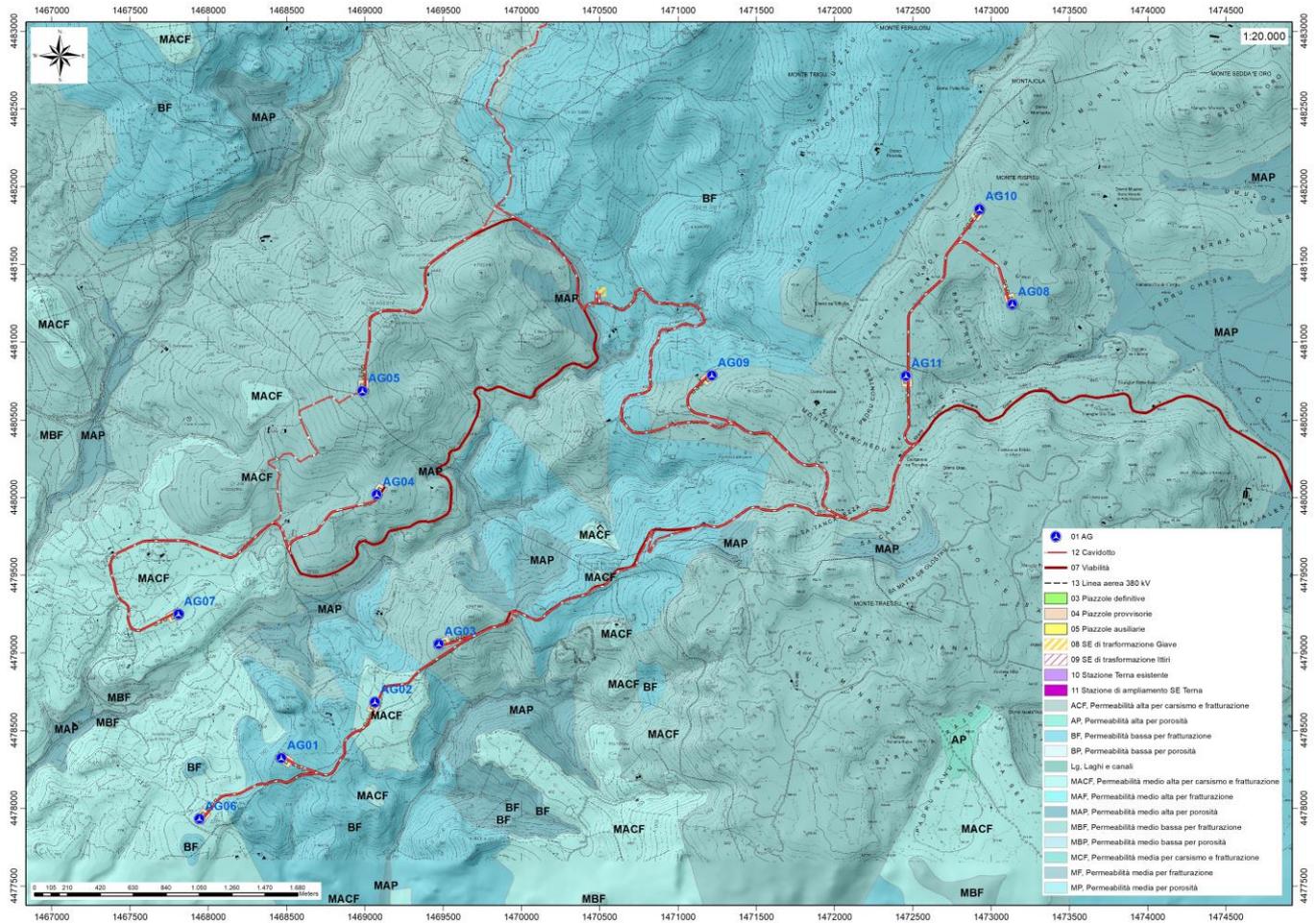


Figura 22 Carta delle Permeabilità dei Substrati e dei Suoli – area impianto (Fonte RAS)

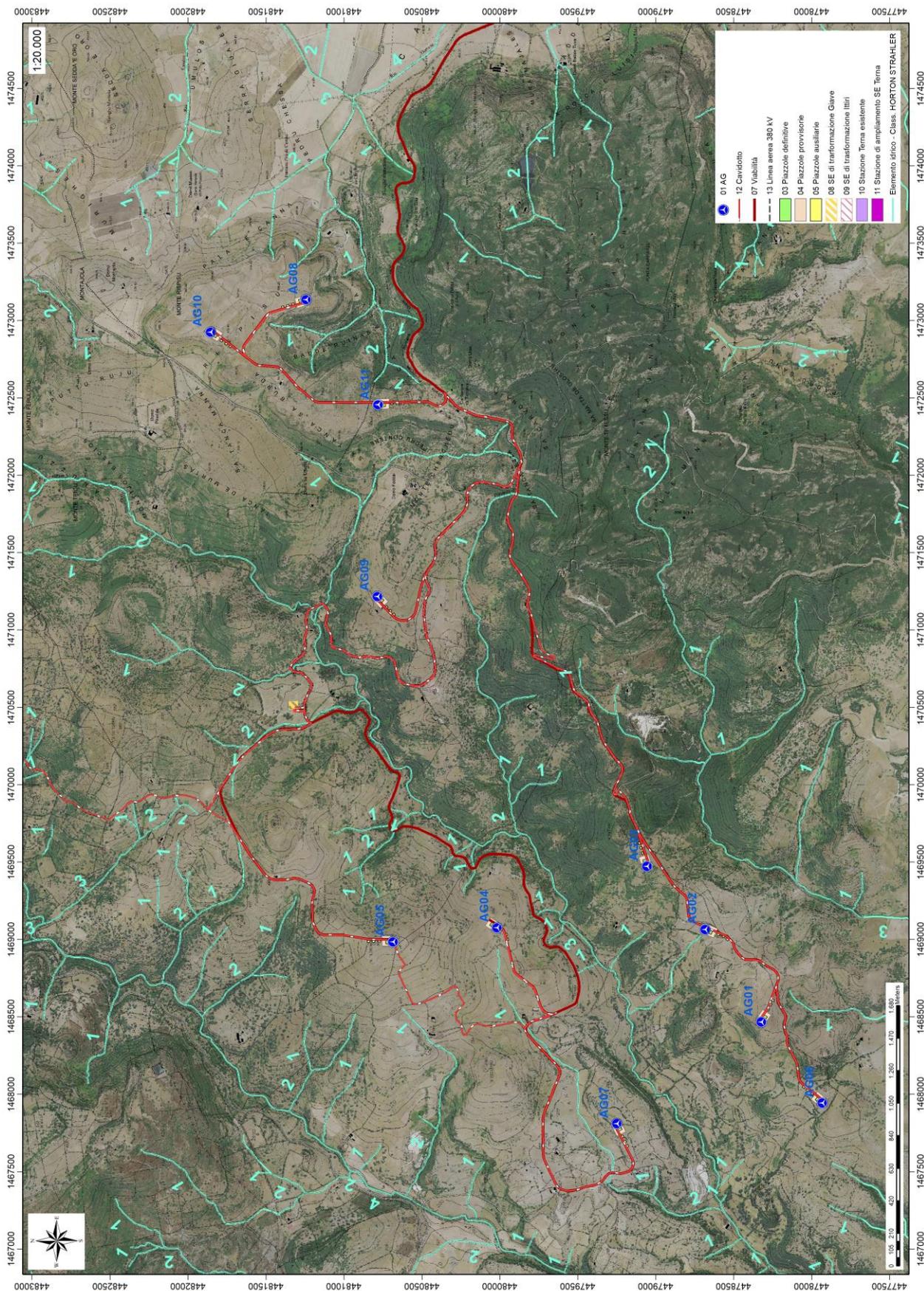


Figura 23 Reticolo idrografico numerato secondo l'ordine di Stralher

11. Inquadramento climatico

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

11.1. Precipitazioni

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

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

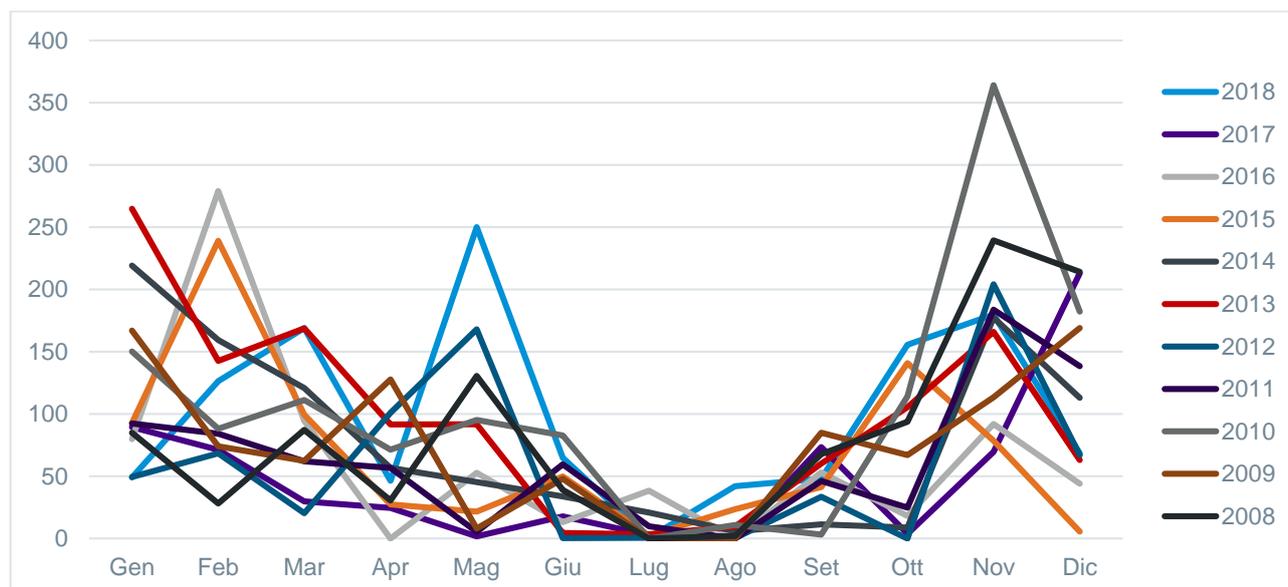


Tabella 2 Andamento della pluviometria mensile e annuale (nell'asse delle ordinate, in mm) per la stazione di Villanova Monte Leone nel periodo 2008-2018.

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

11.2. Temperature

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

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

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

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

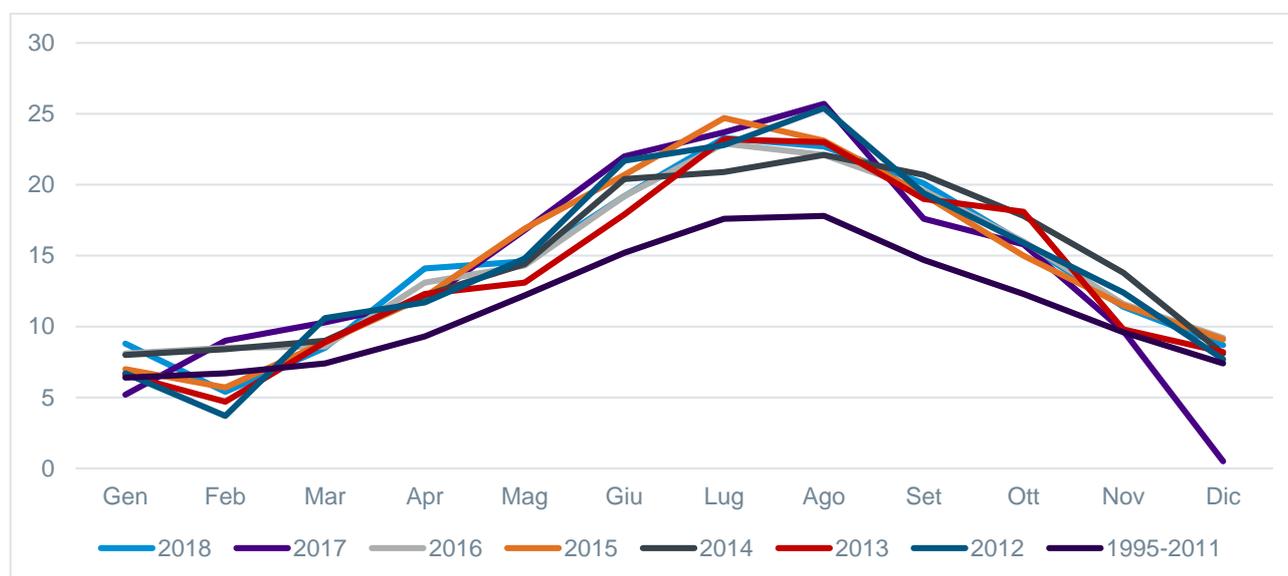


Figura 24 Temperature mensili (in °C, nell'asse delle ordinate) registrata nella stazione di Villanova Monteleone (2012-2018) e Romana (1995-2011).

11.3. Stima dell'evapotraspirazione

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

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

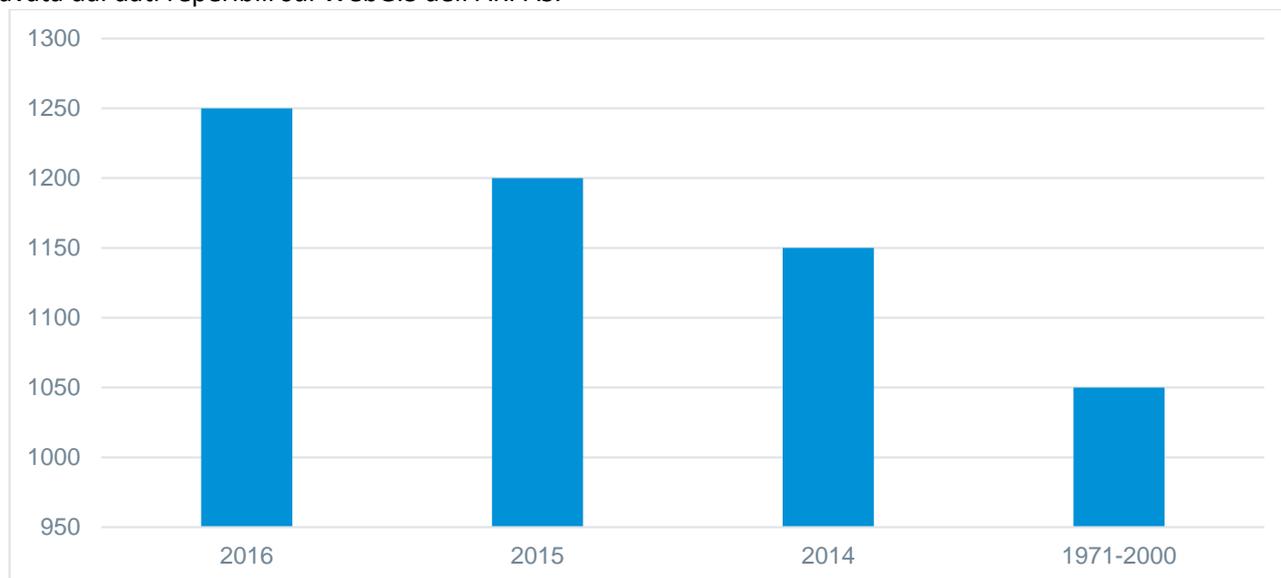
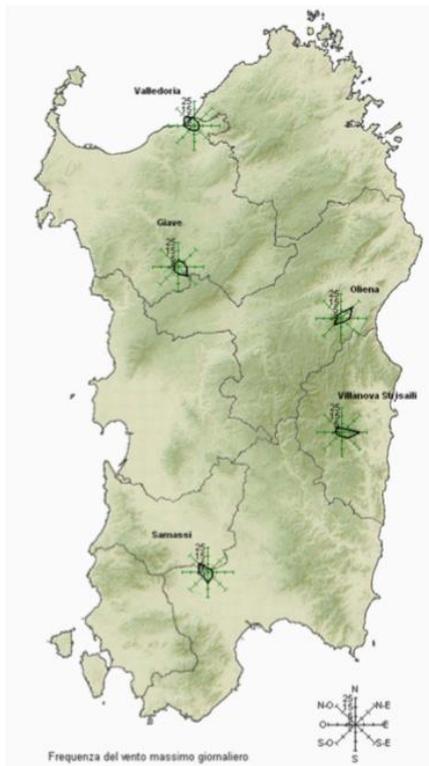


Figura 25 Evapotraspirazione (espressa in mm) per la zona di Thiesi.

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

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

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



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

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

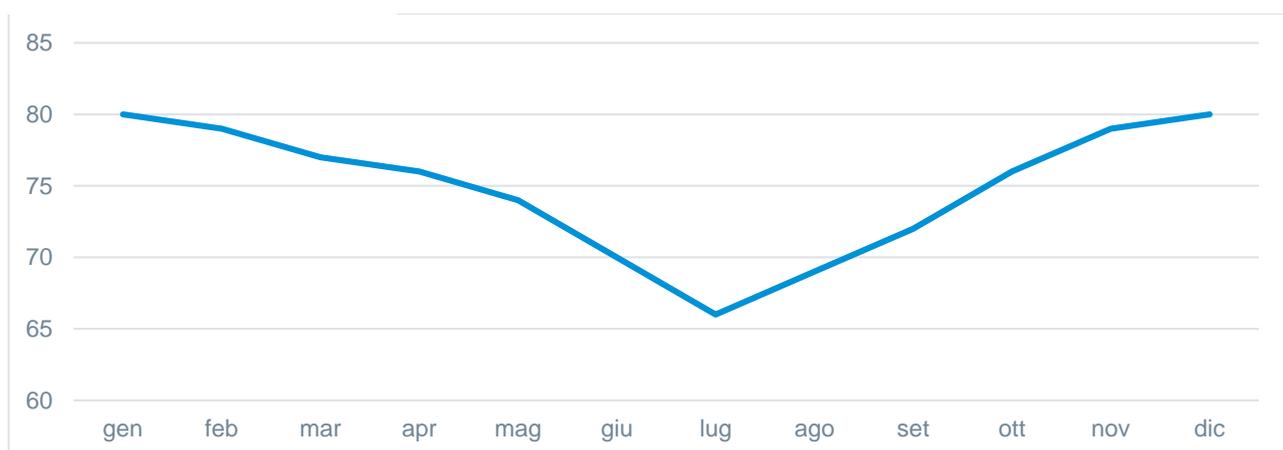


Figura 27 Umidità relativa per la stazione di Fertilia, per l'anno 1971-2000

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

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

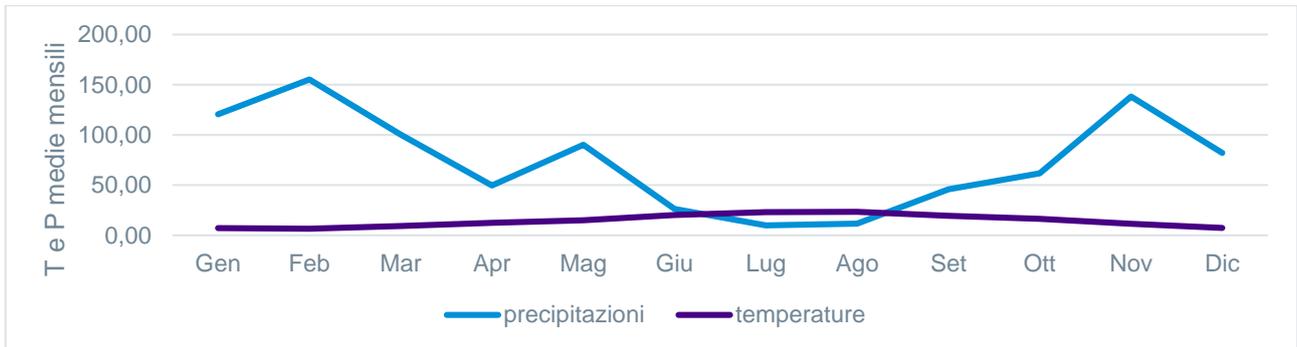


Figura 28 Diagramma ombrotermico (Walter e Lieth) per il settore di Giave

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

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

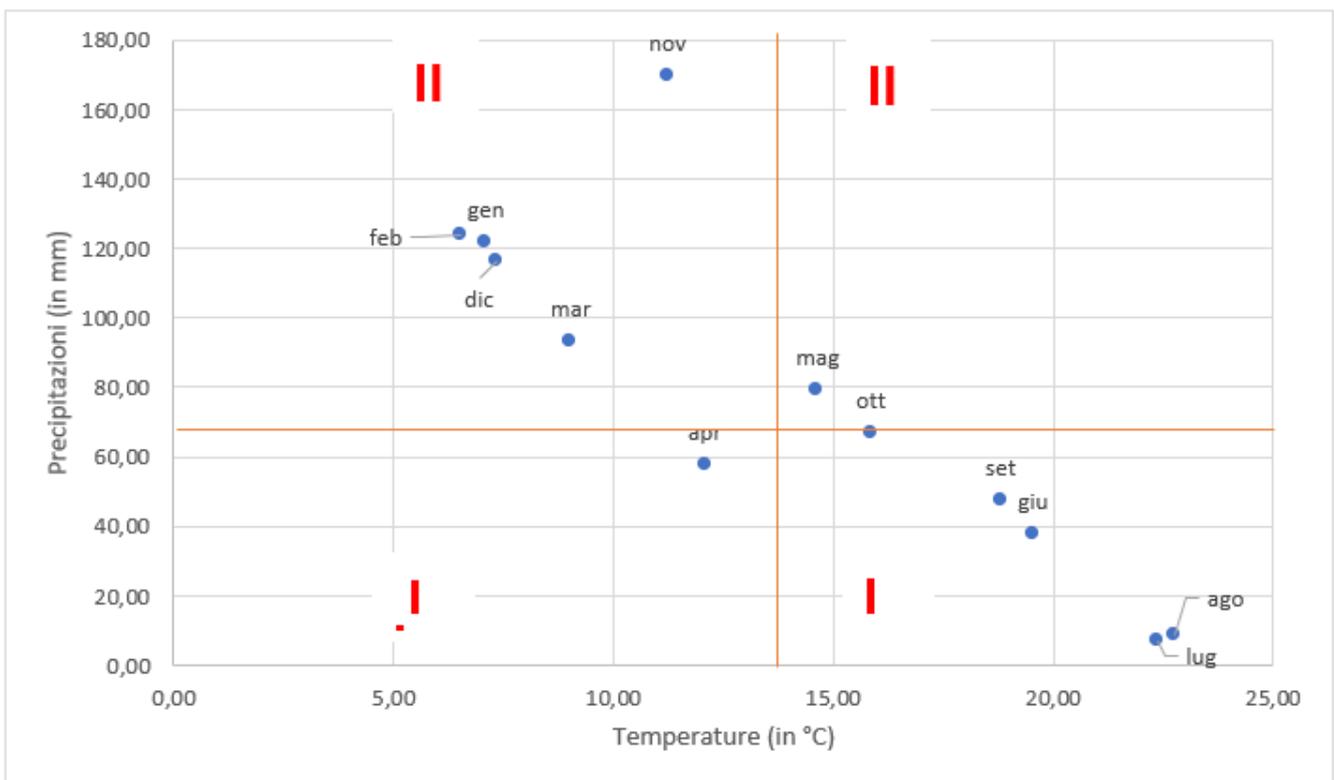


Figura 29 Climogramma relativo alla regione di Giave

AREGU Wind Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesAre-CLP-CIV-TR-18	Rev 0	Pagina 46 di 104
----------------	---------------------	------------------------------------	-------	---------------------

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

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

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

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

12. Inquadramento pedologico

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

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

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

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

La porzione di viabilità e i cavidotti che collegano le turbine alla stazione di accumulo ricadono, oltre che nell'unità D3 sopra descritta, attraverseranno suoli delle classe D2 e D5

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

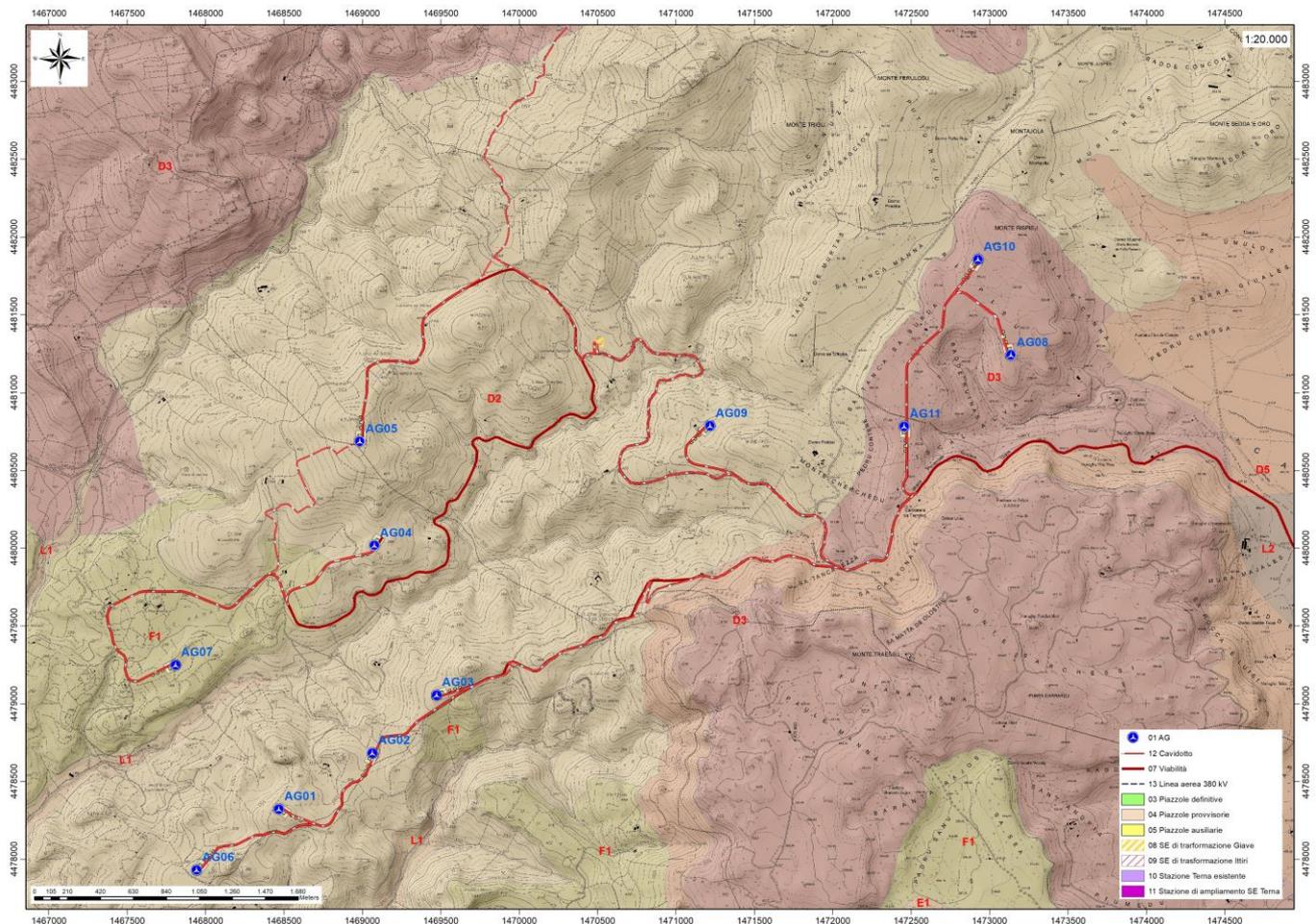


Figura 30 Carta dei Suoli (Fonte RAS)

13. Uso del Suolo

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

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

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

1. nel livello **2112**, classificato come "**Prati Artificiali**", il punto di installazione delle turbine AG01, AG03, AG04, AG05, AG06, AG07, AG09;
2. nel livello **321**, classificato come "**Aree a pascolo naturale**" il punto di installazione della turbina AG02, AG11;
3. nel livello **2111**, classificato come "**Seminativi in aree non irrigue**" il punto di installazione delle turbine AG08, AG10.

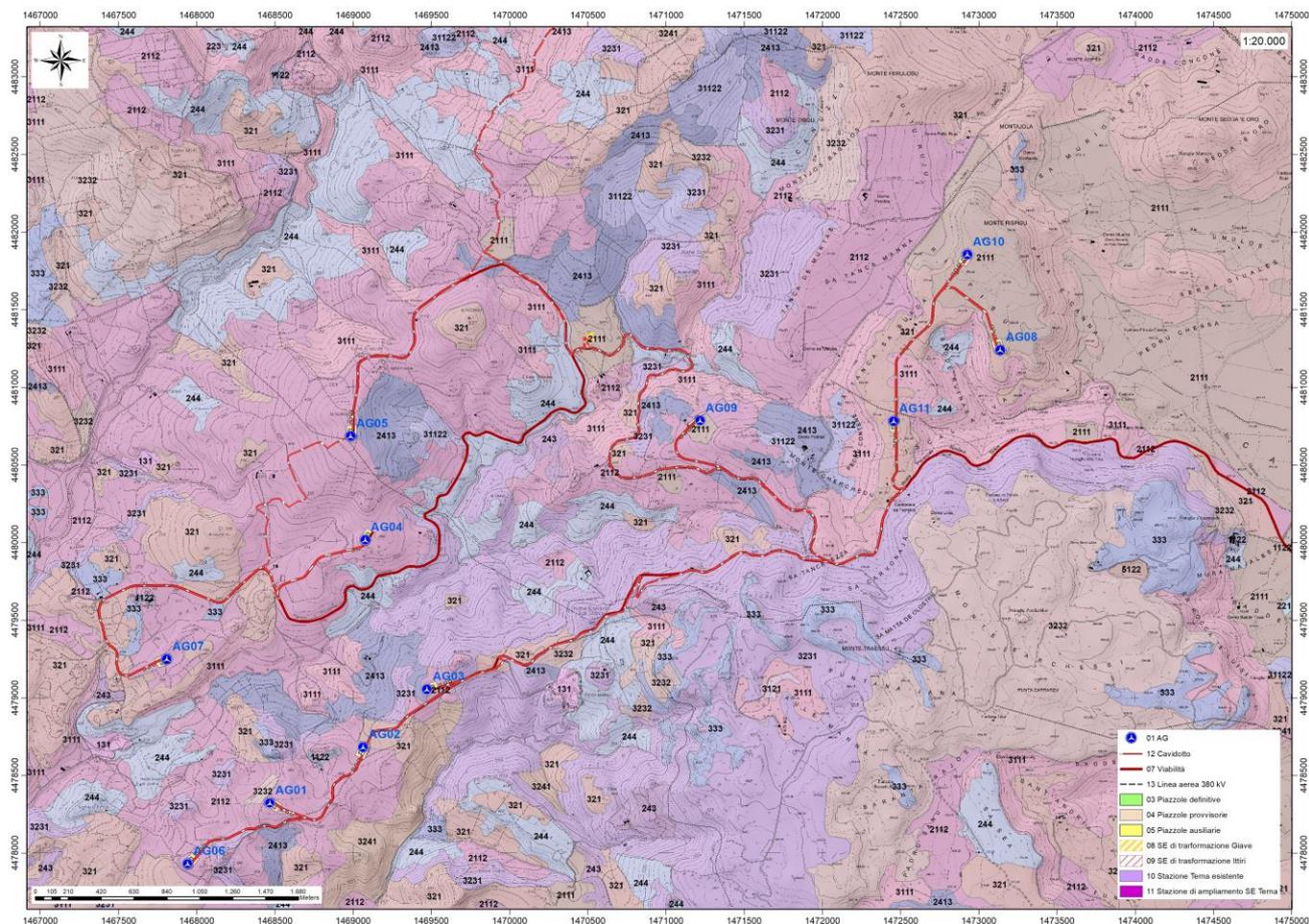


Figura 31 Stralcio della Carta dell'Uso del Suolo della Sardegna (2008, Fonte RAS).

14. Analisi dei vincoli gravanti sui terreni

14.1. Piano Stralcio D'Assetto Idrogeologico della Sardegna

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

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

I comuni di **Giave/Cossoine/Cheremule** non hanno ancora prodotto lo studio di dettaglio ex art.8 comma 2 delle Norme tecniche di Attuazione del PAI per l'intero territorio comunale, pertanto sono ancora in vigore le perimetrazioni precedentemente approvate.

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

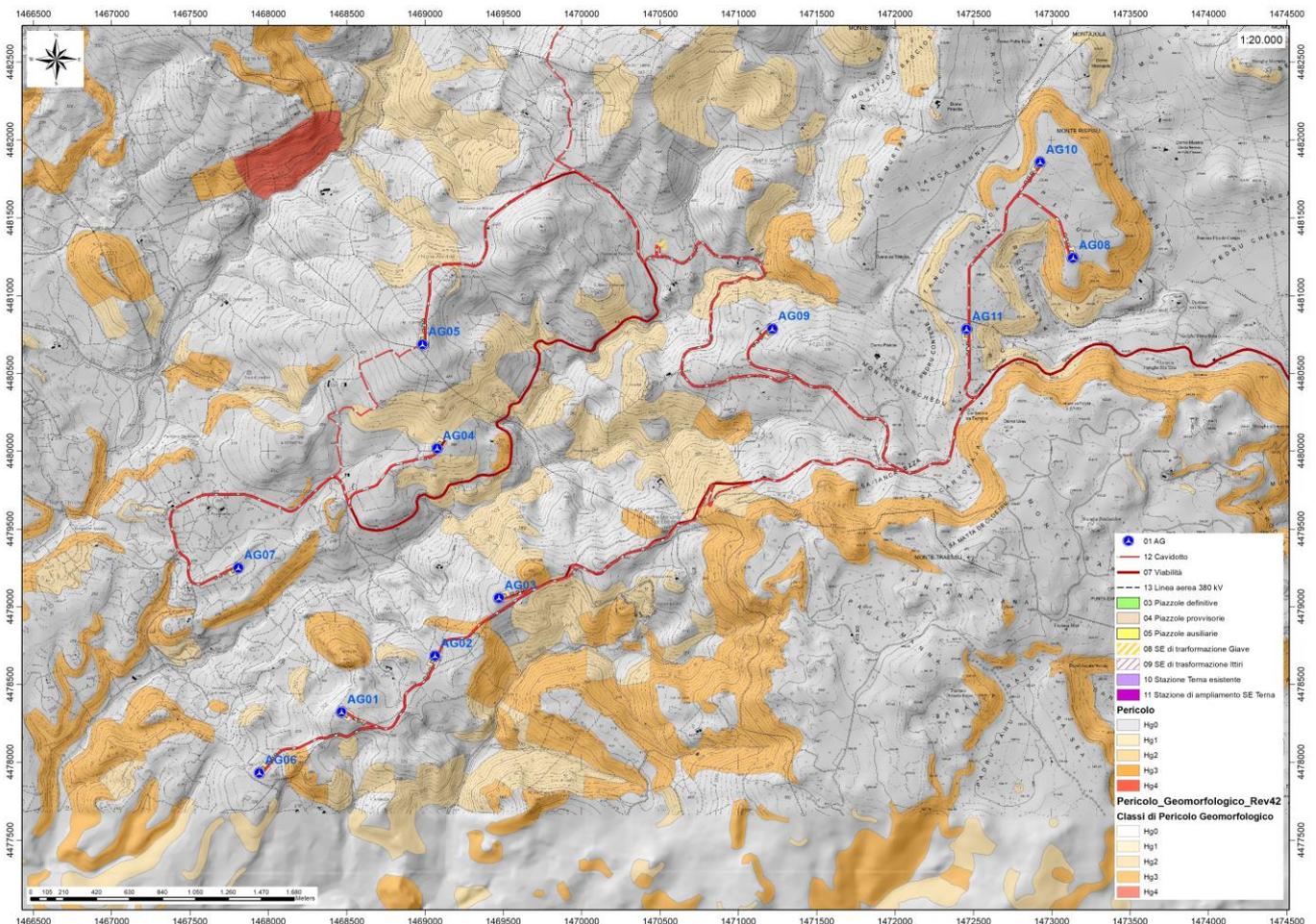


Figura 32 Inquadramento PAI Pericolosità da frana (Fonte RAS).

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

Nella carta tematica del P.A.I. relativa alla pericolosità geomorfologica resa disponibile dalla RAS, risulta che nel territorio interessato dal progetto sono presenti diversi settori con diverso grado di pericolosità geomorfologica (Hg0, Hg1, Hg3 e Hg4), e di Rischio geomorfologico (Rg0, Rg1, Rg2 e Rg3) per fenomeni legati ad eventi franosi. Questa aree non interessano le posizioni delle turbine ma limitatamente alle pericolosità Hg1 e Hg2 alcuni porzioni di viabilità esistente.

Le turbine e il cavidotto non sono compresi nelle perimetrazioni di pericolosità geomorfologica del PAI, mentre piccoli tratti della connessione e della viabilità di servizio attraversano aree Hg1, Hg2 e Hg3.

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

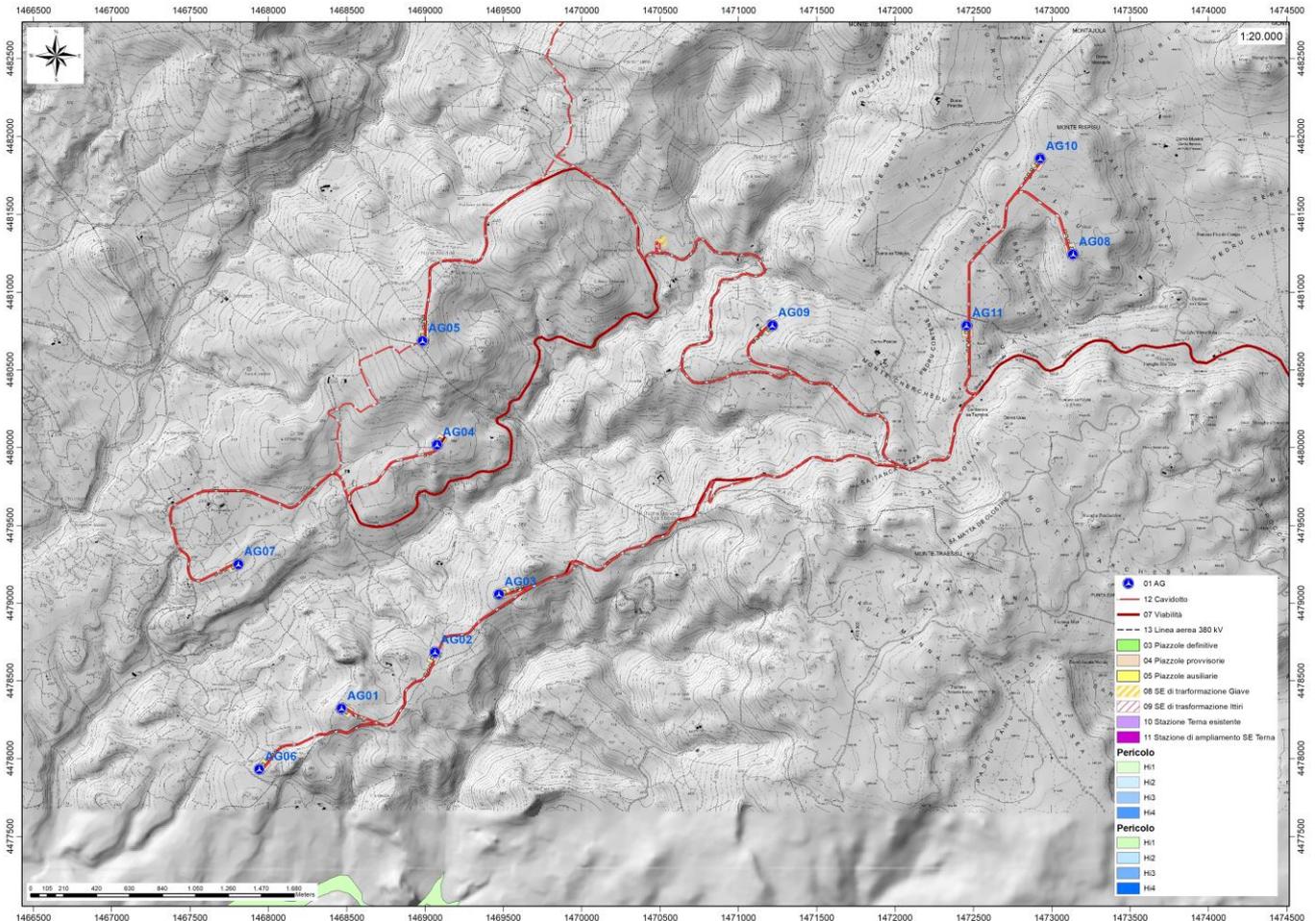


Figura 33 Inquadramento PAI Pericolosità idraulica (Fonte RAS).

14.2. Art.30 Ter NTA PAI

Nei territori comunali di Giave, Cossoine e Cheremule non è stato ancora oggetto di uno Studio di dettaglio della pericolosità idraulica così come previsto dall'art.8 comma c delle NTA PAI sul territorio comunale ma solo limitatamente ai centri urbani, nelle more della realizzazione dello stesso pertanto, sono state istituite le fasce di prima salvaguardia secondo il comma 1 dell'art.30ter di seguito riportato.

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

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

Stralher 1	10m
Stralher 2	25m
Stralher 3	50m
Stralher 4	75m
Stralher 5	100m

Stralher 6	150m
Stralher 7	250m
Stralher 8	400m

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

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

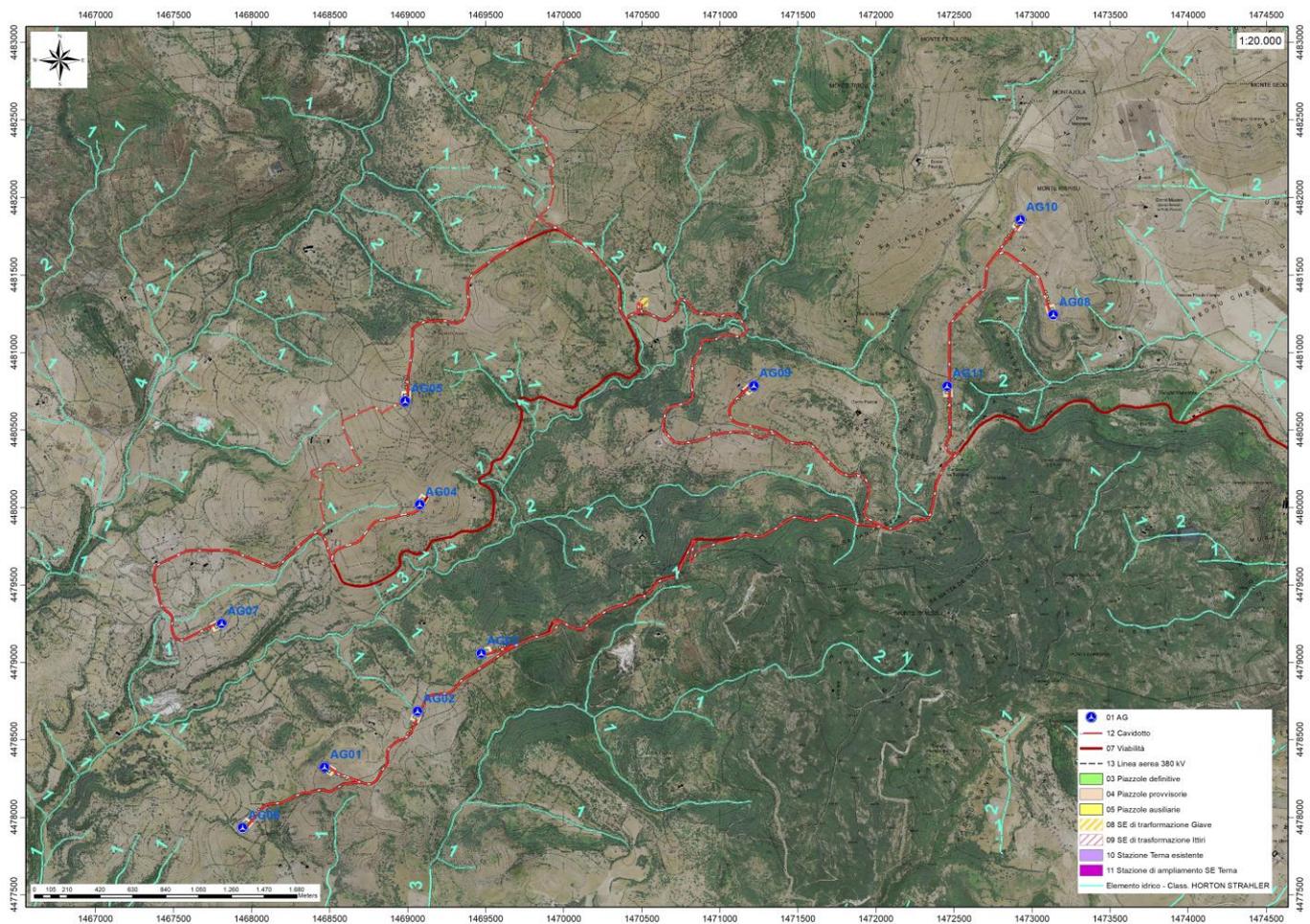


Figura 34 Reticolo idrografico numerato secondo l'ordine di Stralher

14.3. Inventario dei Fenomeni franosi

Per quanto riguarda il censimento dei siti franosi nell'ambito del Progetto IFFI, nell'inventario sono menzionate aree che ricadono nell'ambito territoriale del comune di **Giave/Cossoine/Cheremule**. In particolare, a Sud-Est dell'area di impianto sono state segnalate diverse frane per crollo/ribaltamento diffuso che interessano le rocce carbonatiche (RESa).

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

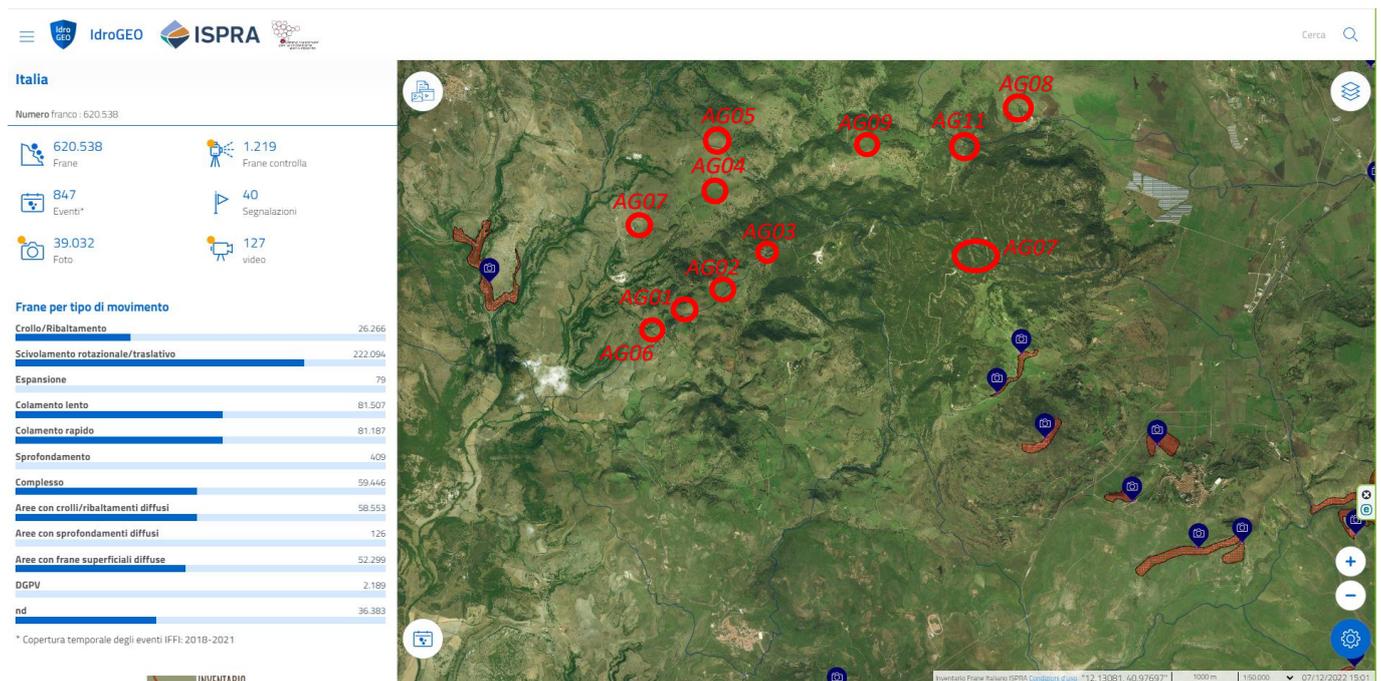


Figura 35 Archivio IFFI (Fonte ISPRa) in rosso l'area di intervento

14.4. Piano Stralcio delle Fasce Fluviali

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

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

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

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

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

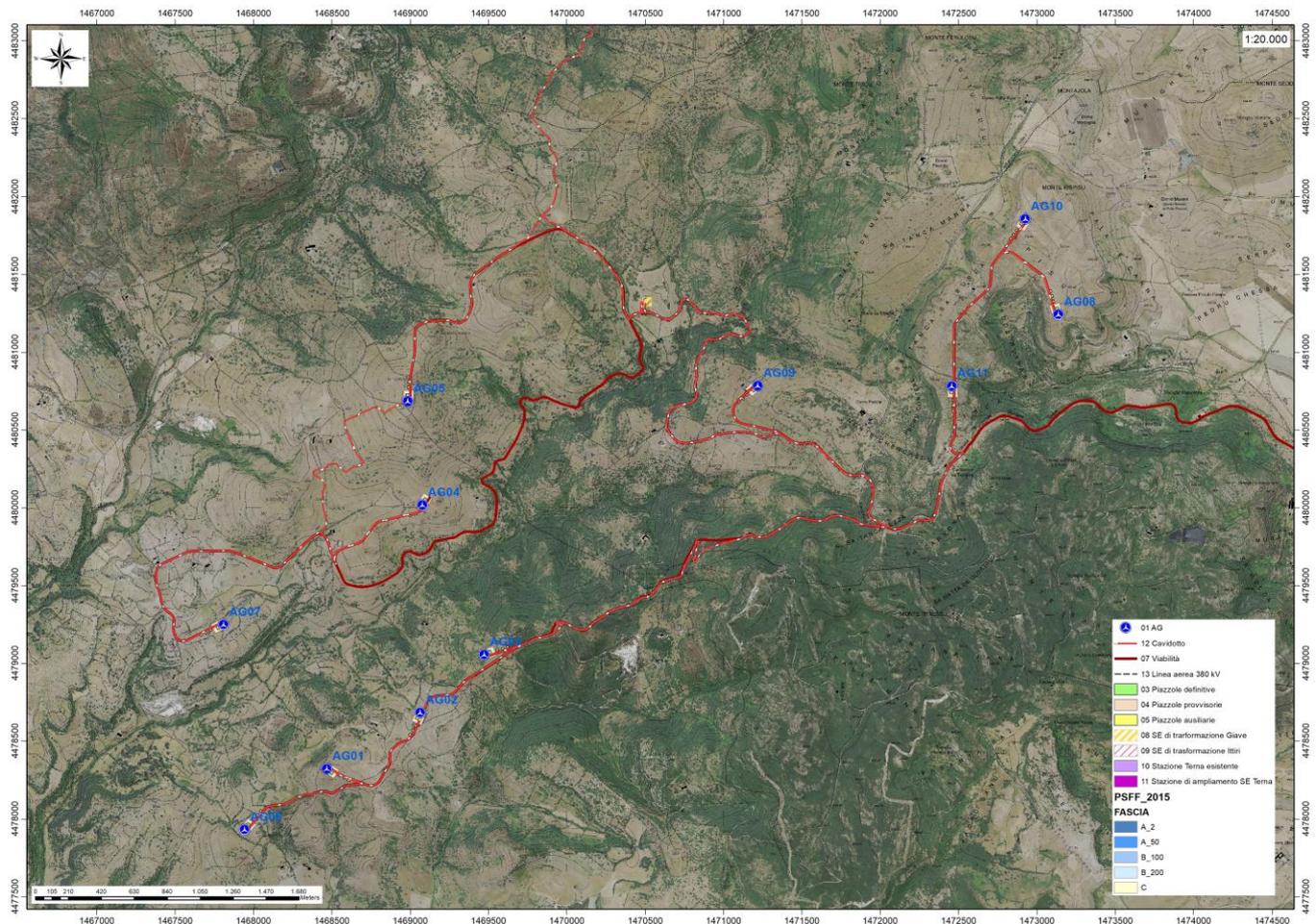


Figura 36 Stralcio perimetrazione Piano Stralcio fasce Fluviali PSFF 2015

14.5. Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA)

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

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

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

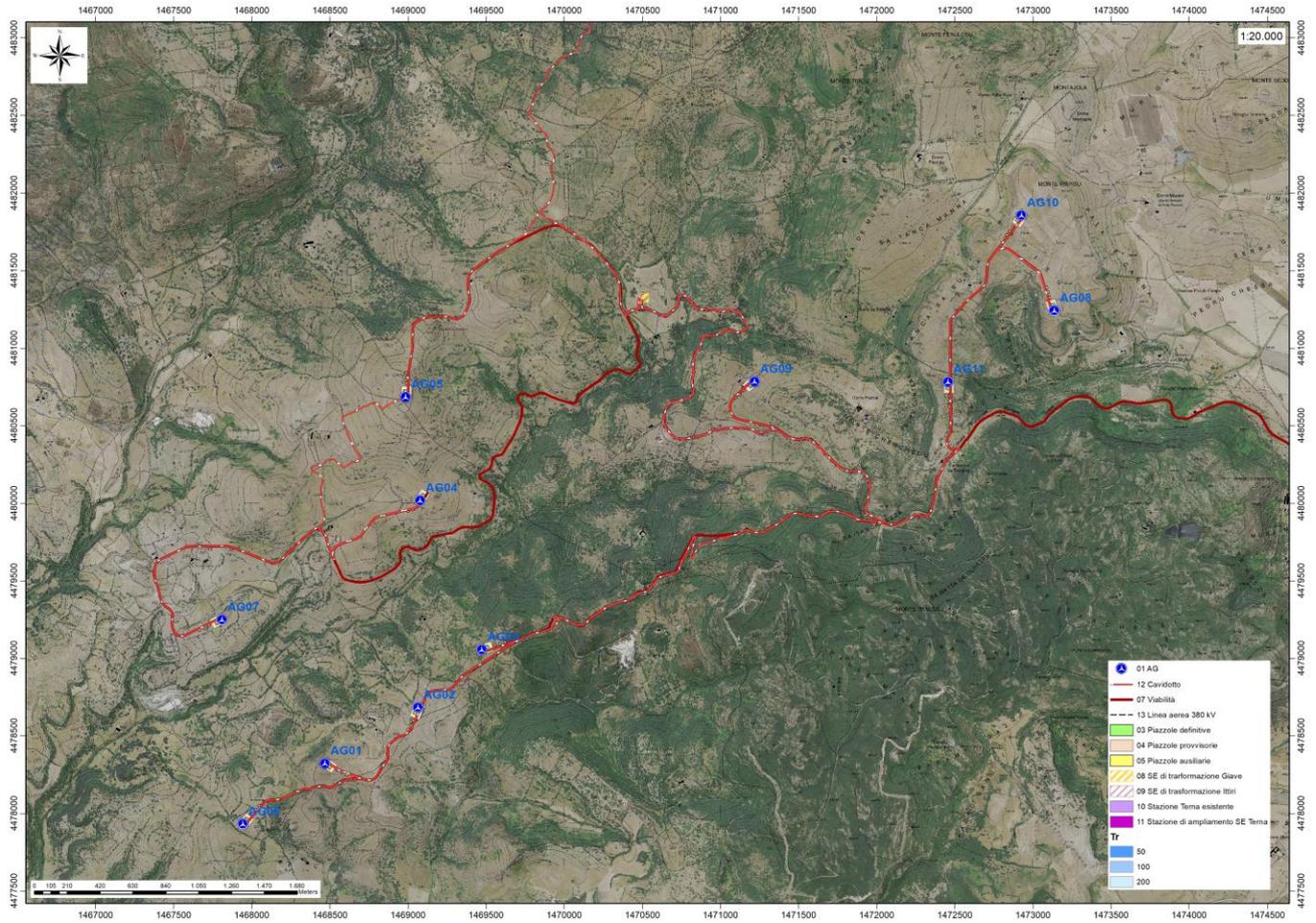


Figura 37 Stralcio perimetrazione PGRA 2021

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°5 **stendimenti di geoelettrica**, **5 stendimenti di sismica** con tecnica **MASW e rifrazione in onde P**. Tutte le basi sismiche MASW ricadono lungo il medesimo allineamento delle rifrazioni, così come i 5 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	Geofoni/Picchetti	Interdistanza	Lunghezza (m)
R/M 1 (SMT01)	Rifrazione/MASW	NE-SW	24	3,0	69,0
R/M 2 (SMT02)	Rifrazione/MASW	N-S	24	2,5	57,5
R/M 3 (SMT03)	Rifrazione/MASW	E-W	24	3,0	69,0
R/M 4 (SMT04)	Rifrazione/MASW	SW-NE	24	3,0	69,0
R/M 5 (SMT05)	Rifrazione/MASW	S-N	24	3,0	69,0
T 1 (SMT01)	Tomografia Elettrica	NE-SW	32	3,0	93,0
T 2 (SMT02)	Tomografia Elettrica	N-S	32	2,5	77,5
T 3 (SMT03)	Tomografia Elettrica	E-W	32	3,0	93,0
T4 (SMT04)	Tomografia Elettrica	SW-NE	32	3,0	93,0
T5 (SMT05)	Tomografia Elettrica	S-N	32	3,0	93,0

Tabella 5 Ubicazione degli stendimenti

Corrispondenza Tomografia Elettrica con Sismica a Rifrazione Acquisizioni con interdistanza pari a 3 m

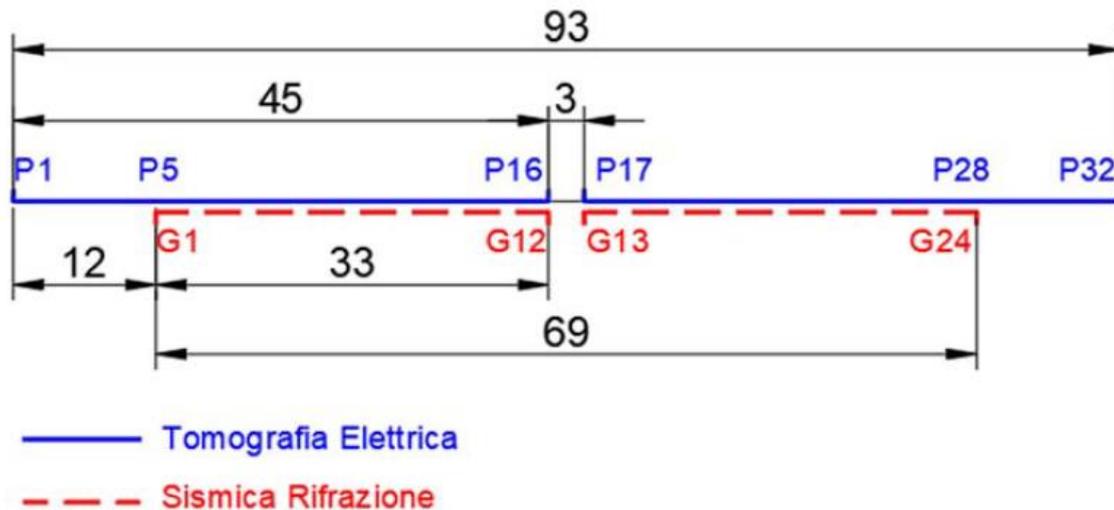


Figura 38 corrispondenze fra gli stendimenti

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.

15.1.1. 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.

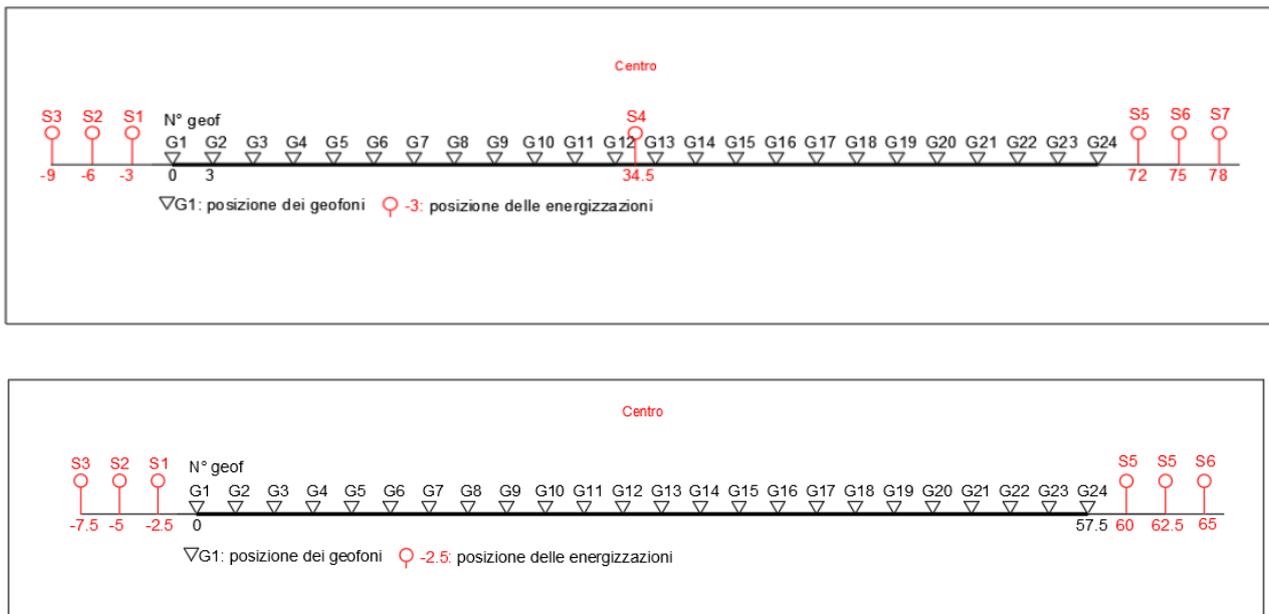


Figura 39 Stendimento di sismica a rifrazione in onde P con 24 geofoni, interdistanza di 3,0 m, lunghezza complessiva 69,0 E 57,5m

15.1.2. Caratteristiche della Strumentazione impiegata

Per l'esecuzione delle indagini è stato impiegato un sismografo DoReMi, prodotto dalla SARA electronicinstruments, 24bit con frequenza di campionamento 1000 Hz per ognuno dei canali registrati, ciascuno attrezzato con geofoni verticali SARA electronics con frequenza propria di 4.5 Hz.

Per l'energizzazione ci siamo avvalsi di mazza battente da 10 kg impattante 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.

AREGU Wind Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesAre-CLP-CIV-TR-18	Rev 0	Pagina 58 di 104
----------------	---------------------	------------------------------------	-------	---------------------

15.1.3. 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 rigidità.

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

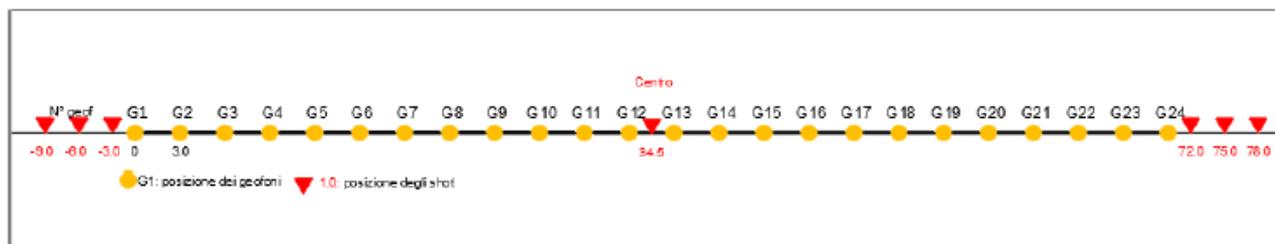
Le onde di Rayleigh decadono a profondità circa uguali alla lunghezza d'onda. Piccole lunghezze d'onda (alte frequenze) consentono di indagare zone superficiali mentre grandi lunghezze d'onda (basse frequenze) consentono indagini a maggiore profondità.

15.1.4. 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



15.1.5. 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.

AREGU Wind Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesAre-CLP-CIV-TR-18	Rev 0	Pagina 60 di 104
----------------	---------------------	------------------------------------	-------	---------------------

15.1.6. Interpretazione dei segnali acquisiti

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

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

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

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

15.1.7. 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.

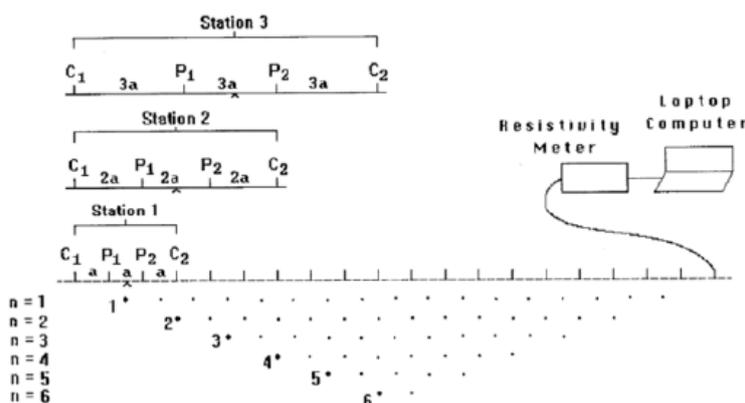
Tabella 3.2.II. Categorie di sottosuolo (Fonte NTC 2018)

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> 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.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , 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.
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> 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.
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , 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.
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</i> , con profondità del substrato non superiore a 30 m.

15.2. Tomografia elettrica

15.2.1. 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..

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

AREGU Wind Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesAre-CLP-CIV-TR-18	Rev 0	Pagina 62 di 104
----------------	---------------------	------------------------------------	-------	---------------------

15.2.2. 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.

15.2.3. 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 *cable A-B-M-N* con connettore per MUX
- 32 elettrodi in acciaio inox

15.2.4. 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 soddisfi 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.

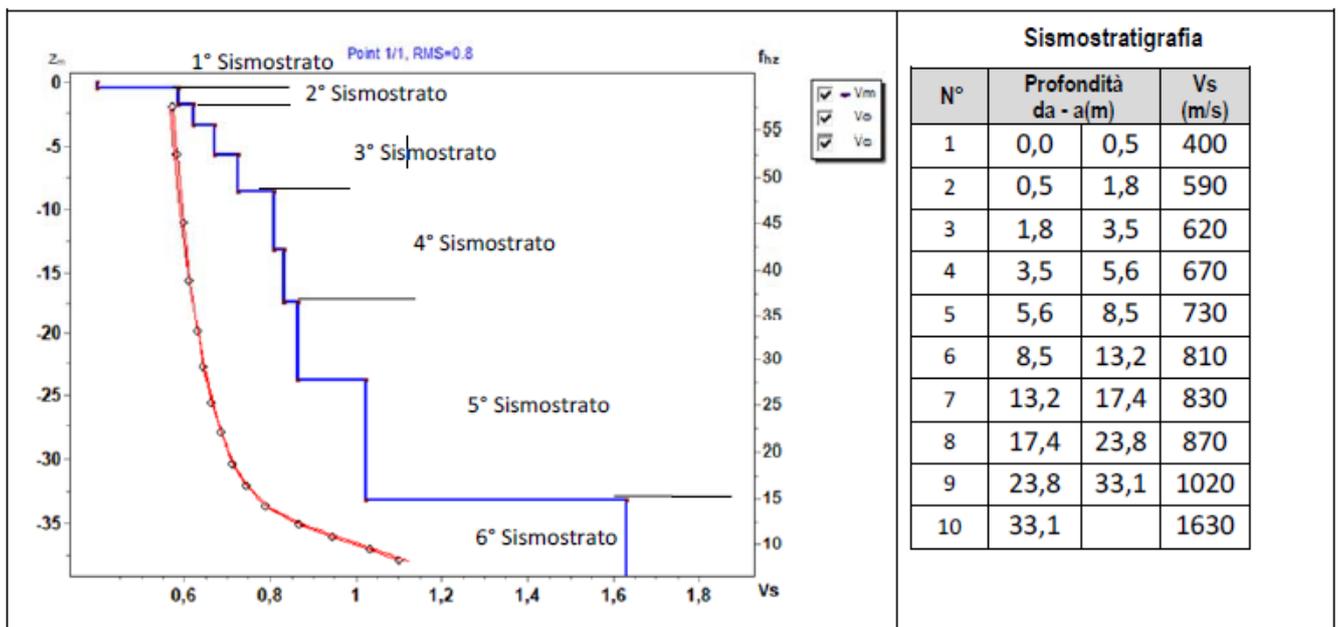
15.3. Risultati delle indagini del sito SMT01

15.3.1. 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 – 0,5	1° sismostrato con Vs di 400 m/s , Terre molto addensate
0,5 – 1,8	2° sismostrato con Vs di 590 m/s , Roccia tenera e/o intensamente fratturata
1,8 – 8,5	3° sismostrato con Vs tra 620 e 730 m/s , Roccia tenera e/o intensamente fratturata
8,5 – 17,4	4° sismostrato con Vs tra 810 e 830 m/s , Substrato roccioso intensamente fratturato
17,4 – 33,1	5° sismostrato con Vs tra 870 e 1020 m/s , Substrato roccioso fratturato
>33,1	6° sismostrato con Vs di 1630 m/s , Substrato roccioso sano

MASW M1 - 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 **8,5 m** ($V_s > 800$ m/s).

La velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio calcolata per il substrato posto a **8,5 m** di profondità dal p.c. è pari a: **$V_{s,eq} = 8,5/0,0133 = 638$ m/s** che dà luogo ad una categoria B, ossia:

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	0-0,5	terre	1.600	800	400	0,33	686	82	255	686
2	0,5-1,8	10%	1.700	1.180	590	0,33	1.579	158	588	1.579
3	1,8-8,5	15%	1.800	1.350	675	0,33	2.187	328	824	2.187
4	8,5-17,4	20%	2.000	1.640	820	0,33	3.589	718	1.344	3.589
5	17,4-33,1	25%	2.100	1.890	945	0,33	5.001	1.250	1.873	5.001
6	>33,1	30%	2.200	3.260	1.630	0,33	15.583	4.675	5.845	15.583

Figura 40 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.

$$N_{SPT} = \left(\frac{V_s}{30,6}\right)^{3,021} \text{ valida per i terreni prevalentemente sabbiosi - Imai (1977)}$$

15.3.2. Rifrazione SMT01 e Tomografia elettrica SMT01

Nella sezione di sismica a rifrazione **STM01** è possibile distinguere i seguenti sismostrati:

Stendimento R1	ONDE P	
Sismostrati	Profondità da pc (m)	Velocità in m/s
A: Unità delle terre di copertura (facilmente rippabili)	Da 0,0 a 2,0/4,0	400-1000
B: Unità delle rocce tenere e/o intensamente fratturate (rippabili)	Da 2,0/4,0 a 8,0/12,0	1000-1800
C: Unità delle rocce da poco fratturate a sane (rippabili con difficoltà)	Da 8,0/12,0 a 13,0/16,0	1800-2200
D: Unità delle rocce sane (non rippabili)	Da 13,0/16,0 a 20,0/24,0	2200-2800

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 400 m/s ai 2800 m/s. Il sismostrato A caratterizzato dalle terre di copertura (facilmente rippabile) presenta spessori compresi tra 2,0 e 4,0 metri da p.c e un andamento quasi parallelo al piano campagna. Il sismostrato B caratterizzato da rocce tenere e/o intensamente fratturate (rippabili) presenta leggere variazioni di spessore e si rileva fino a profondità comprese tra 8,0 e 12,0 m dal p.c. Il sismostrato C composto da rocce poco fratturate e sane (rippabili con difficoltà) si osserva invece fino a profondità comprese tra 13,0 e 16,0 m di profondità dal p.c. Il sismostrato D rappresenta invece un substrato

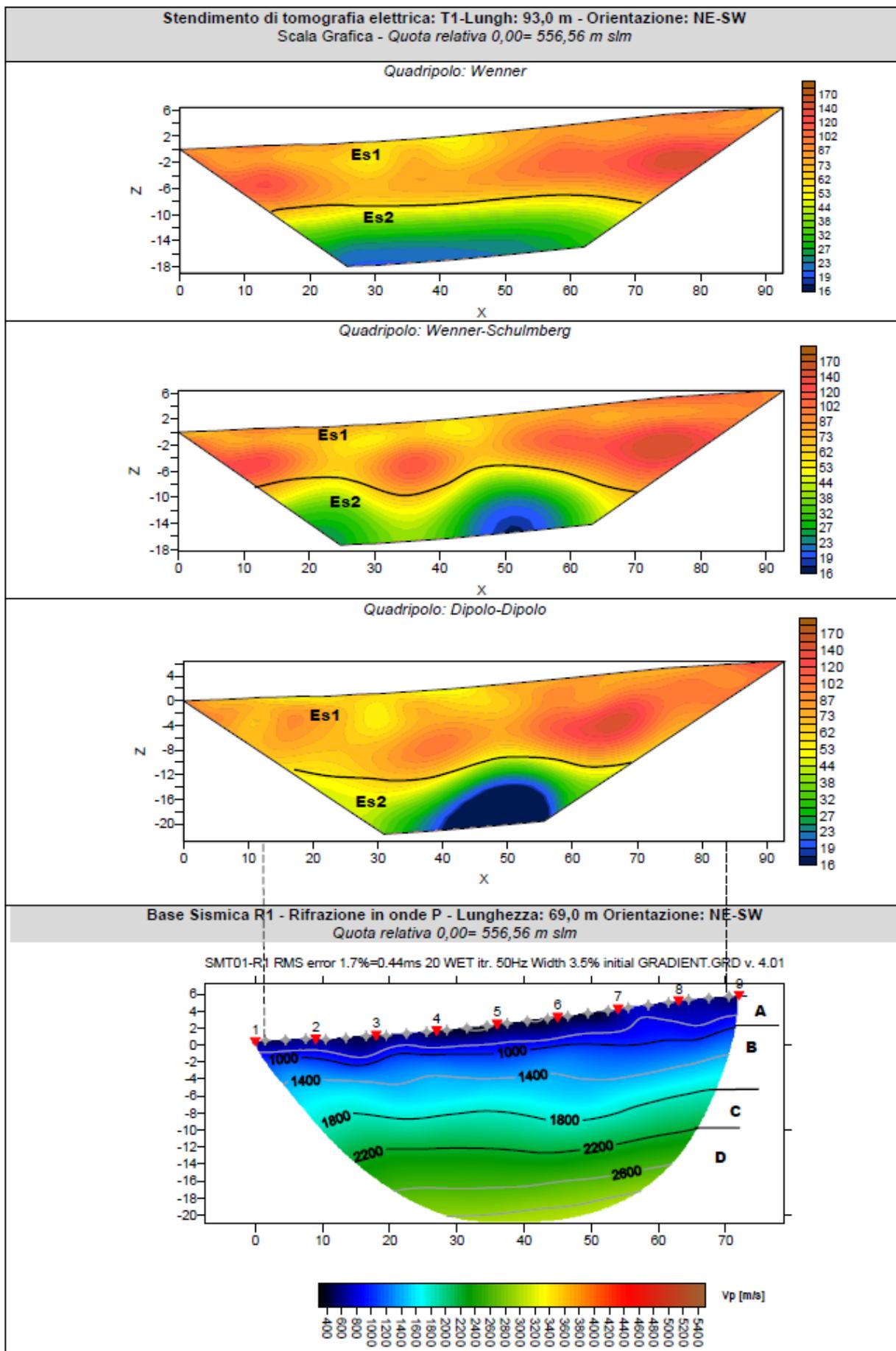
AREGU Wind Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesAre-CLP-CIV-TR-18	Rev 0	Pagina 65 di 104
----------------	---------------------	------------------------------------	-------	---------------------

lapideo non rippabile caratterizzato da velocità medio-alte e si riscontra fino alla massima profondità di indagine, ovvero 20,0/24,0 m dal p.c. 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 8,0 e 12,0 m dal p.c i terreni risultano già difficilmente rippabili, mentre a profondità comprese tra 13,0 e 16,0 m dal p.c si riscontra la presenza di materiale non rippabile.

La sezione di tomografia elettrica T1, realizzata con 3 differenti geometrie di acquisizione (Wenner, Wenner Schulmberger e Dipolo Dipolo) mette in luce la presenza di terreni caratterizzati da resistività medie; nello specifico si rileva di un primo elettrostrato (ES1) di spessore pari a circa 8,0/12,0 m riconducibile alla coltre di terreni superficiali e rocce tenere o intensamente fratturate, caratterizzati da resistività media con valori tra 50 e 180 $\Omega \cdot m$; segue un secondo elettrostrato (Es2) caratterizzato da valori bassi di resistività (tra 16 e 50 $\Omega \cdot m$) riconducibile alla presenza del substrato roccioso.

Il confronto con il grafico della sismica a rifrazione mette in luce che non si rilevano anomalie riconducibili a cavità/vuoti o valori critici (v. anomalie di elevatissima resistività e/o bassissima velocità).



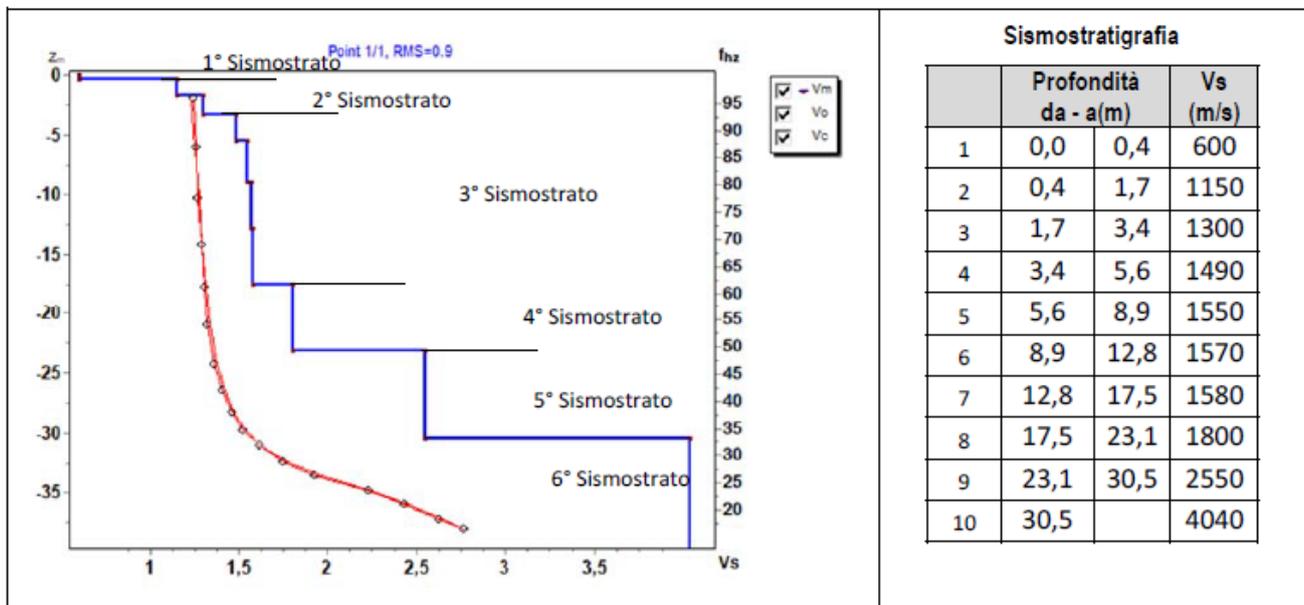
15.4. Risultati delle indagini del sito SMT02

15.4.1. 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
0,0 – 0,4	1° sismostrato con Vs di 600m/s, Terre molto addensate
0,4 – 3,4	2° sismostrato con Vs tra 1150 e 1300 m/s, Substrato roccioso da debolmente fratturato a sano
3,4 – 17,5	3° sismostrato con Vs tra 1490 e 1580 m/s Substrato roccioso sano
17,5 – 23,1	4° sismostrato con Vs di 1800 m/s, Substrato roccioso sano
23,1 – 30,5	5° sismostrato con Vs di 2550 m/s, Substrato roccioso sano
>30,5	6° sismostrato con Vs di 4040 m/s, Substrato roccioso sano

MASW M2 - 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 **0,4 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	0-0,4	terre	1.800	1.200	600	0,33	1.726	208	647	1.726
2	0,4-3,4	15%	1.900	2.450	1.225	0,33	7.600	1.140	2.854	7.600
3	3,4-17,5	20%	2.000	3.070	1.535	0,33	12.563	2.513	4.717	12.563
4	17,5-23,1	25%	2.100	3.600	1.800	0,33	18.143	4.536	6.806	18.143
5	23,1-30,5	30%	2.200	5.100	2.550	0,33	38.148	11.445	14.308	38.148

Figura 41 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 SMT02 e Tomografia elettrica SMT02

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

Stendimento R2	ONDE P	
Sismostrati	Profondità da pc (m)	Velocità in m/s
A: Unità delle terre di copertura (facilmente rippabili)	Da 0,0 a 1,0/2,0	400-1000
B: Unità delle rocce tenere e/o intensamente fratturate (rippabili)	Da 1,0/2,0 a 3,0/6,0	1000-1800
C: Unità delle rocce da poco fratturate a sane (rippabili con difficoltà)	Da 3,0/6,0 a 4,0/8,0	1800-2200
D: Unità delle rocce sane (non rippabili)	Da 4,0/8,0 a 20,0/22,0	2200-4800

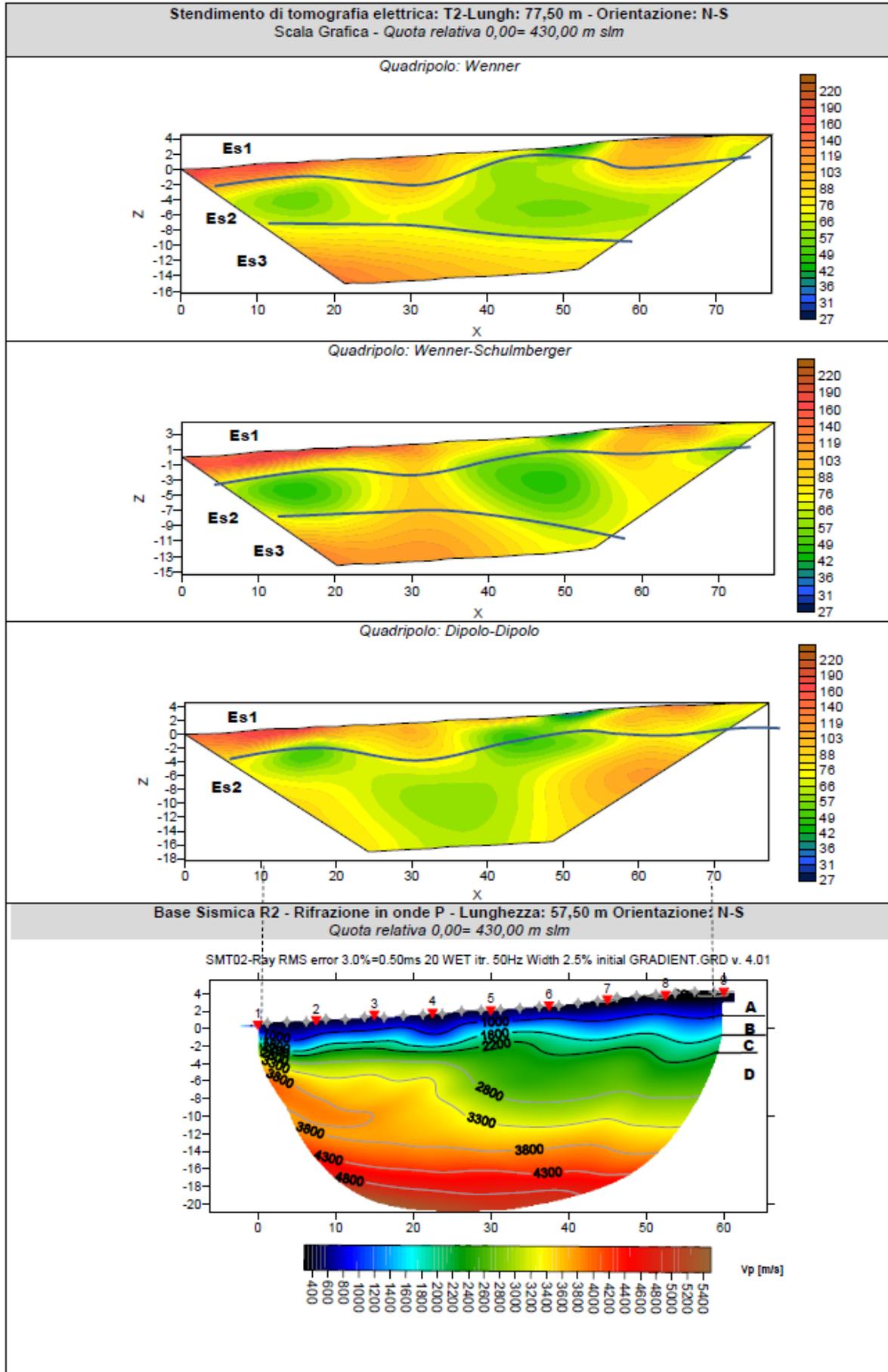
Dall'esame della sezione si riconoscono 4 unità sismostratigrafiche principali caratterizzate da velocità crescente delle onde P all'aumentare della profondità, con un range che varia dai 400 m/s ai 4800 m/s. Il sismostrato A caratterizzato dalle terre di copertura (facilmente rippabile) presenta spessori molto ridotti compresi tra 1,0 e 2,0 metri da p.c e un andamento parallelo al piano campagna. Il sismostrato B caratterizzato da rocce tenere e/o intensamente fratturate (rippabili) presenta leggerissime variazioni di spessore e si rileva fino a profondità comprese tra 3,0 e 6,0 m dal p.c. Il sismostrato C composto da rocce poco fratturate e sane (rippabili con difficoltà) si osserva invece fino a profondità comprese tra 4,0 e 8,0 m di profondità dal p.c. Il sismostrato D rappresenta invece un substrato lapideo non rippabile caratterizzato da velocità alte e si riscontra fino alla massima profondità di indagine, ovvero 20,0/22,0 m dal p.c. Dall'osservazione della sezione sismica si può notare un aumento graduale delle Vp con leggere variazioni di equidistanza generate dalla maggiore o minore densità del materiale roccioso.

AREGU Wind Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesAre-CLP-CIV-TR-18	Rev 0	Pagina 69 di 104
----------------	---------------------	------------------------------------	-------	---------------------

In termini di grado di rippabilità si evidenzia che già a partire da profondità comprese tra 3,0 e 6,0 m dal p.c i terreni risultano già difficilmente rippabili, mentre a profondità comprese tra 4,0 e 8,0 m dal p.c si riscontra la presenza di materiale non rippabile.

La sezione di tomografia elettrica T2, realizzata con 3 differenti geometrie di acquisizione (Wenner, Wenner Schulmberger e Dipolo Dipolo) mette in luce la presenza di terreni caratterizzati da resistività medie; nello specifico si rileva la presenza di un primo elettrostrato (ES1) di spessore pari a circa 3,0/4,0 m riconducibile alla coltre di terreni superficiali con valori tra 80 e 220 $\Omega \cdot m$, segue un secondo elettrostrato (Es2) sino a circa 8 m di profondità caratterizzato da valori inferiori di resistività (tra 40 e 80 $\Omega \cdot m$) riconducibile alla presenza di rocce tenere/fratturate e chiude la sequenza un terzo elettrostrato caratterizzato da valori crescenti di resistività riconducibile al substrato roccioso.

Il confronto con il grafico della sismica a rifrazione mette in luce che non si rilevano anomalie riconducibili a cavità/vuoti o valori critici (v. anomalie di elevatissima resistività e/o bassissima velocità).



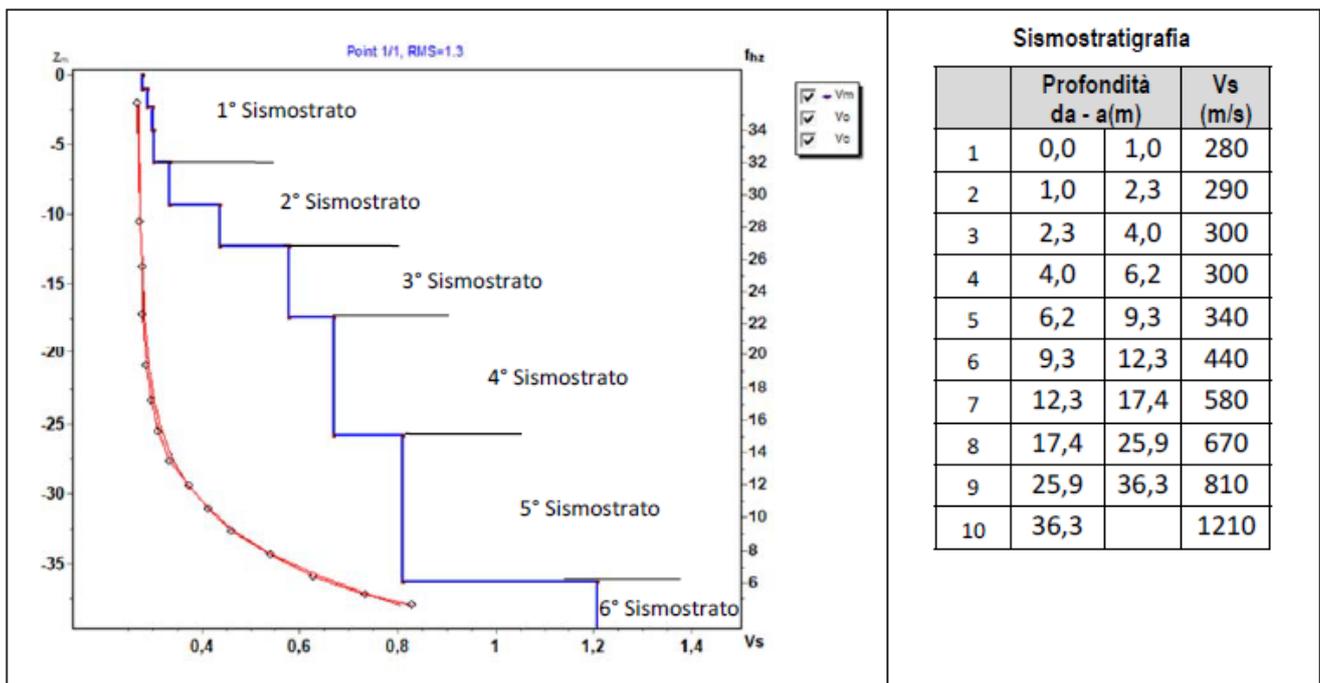
15.5. Risultati delle indagini del sito SMT03

15.5.1. 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 – 6,2	1° sismostrato con Vs tra 280 e 300 m/s , Terre poco addensate
6,2 – 12,3	2° sismostrato con Vs tra 340 e 440 m/s , Terre mediamente addensate
12,3 – 17,4	3° sismostrato con Vs di 580 m/s Roccia tenera e/o intensamente fratturata
17,4 – 25,9	4° sismostrato con Vs di 670 m/s , Roccia tenera e/o intensamente fratturata
25,9 – 36,3	5° sismostrato con Vs di 810 m/s , Substrato roccioso intensamente fratturato
>36,3	6° sismostrato con Vs di 1210 m/s , Substrato roccioso sano

MASW M3 - 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 **25,9 m** ($V_s > 800$ m/s).

La velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio calcolata per il substrato posto a **25,9 m** di profondità dal p.c. è pari a: $V_{s,eq} = 25,9 / 0,0586 = 442$ m/s che dà luogo ad una categoria B, ossia:

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	0-6,2	terre	1.600	580	290	0,33	363	44	137	363
2	6,2-12,3	terre	1.700	780	390	0,33	686	82	255	686
3	12,3-17,4	10%	1.900	1.160	580	0,33	1.706	171	637	1.706
4	17,4-25,9	15%	1.900	1.340	670	0,33	2.275	341	853	2.275
5	25,9-36,3	15%	2.000	1.620	810	0,33	3.501	525	1.314	3.501
6	>36,3	20%	2.100	2.420	1.210	0,33	8.198	1.640	3.079	8.198

Figura 42 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. Rifrazione SMT03 e Tomografia elettrica SMT03

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

Stendimento R3	ONDE P	
Sismostrati	Profondità da pc (m)	Velocità in m/s
A: Unità delle terre di copertura (facilmente rippabili)	Da 0,0 a 10,0/11,0	400-1000
B: Unità delle rocce tenere e/o intensamente fratturate (rippabili)	Da 10,0/11,0 a 19,0/20,0	1000-1800
C: Unità delle rocce da poco fratturate a sane (rippabili con difficoltà)	Da 19,0/20,0 a 20,0/24,0	1800-2200

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 2200 m/s. Il sismostrato A caratterizzato dalle terre di copertura (facilmente rippabile) presenta spessori elevati compresi tra 10,0 e 11,0 metri da p.c e un andamento parallelo al piano campagna. Il sismostrato B caratterizzato da rocce tenere e/o intensamente fratturate (rippabili) presenta anch'esso un andamento parallelo al piano campagna e leggerissime variazioni di spessore, si rileva fino a profondità comprese tra 19,0 e 20,0 m dal p.c.

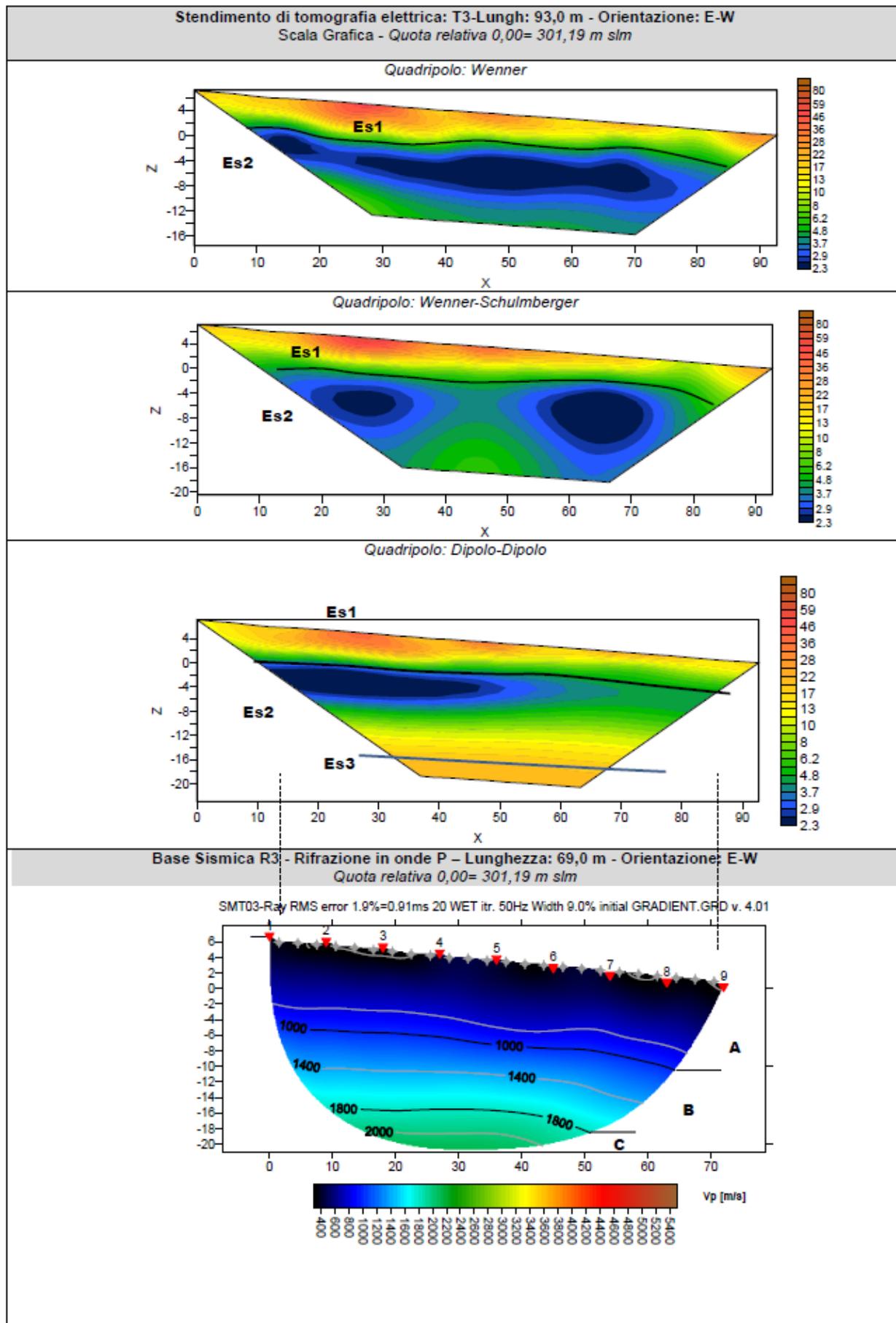
AREGU Wind Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesAre-CLP-CIV-TR-18	Rev 0	Pagina 73 di 104
----------------	---------------------	------------------------------------	-------	---------------------

Il sismostrato C composto da rocce poco fratturate e sane (rippabili con difficoltà) si riscontra fino alla massima profondità di indagine, ovvero 20,0/24,0 m di profondità dal p.c. Dall'osservazione della sezione sismica si osservano nel complesso valori di Vp abbastanza bassi, riconducibili alla presenza di elevati spessori di terre, seguiti da rocce tenere e/o intensamente fratturate.

In termini di grado di rippabilità si evidenzia che tutti i terreni sono rippabili; in particolare fino a profondità comprese tra 19,0 e 20,0 m dal p.c i terreni risultano rippabili e, solo oltre tale profondità, si risconterà la presenza di materiale difficilmente rippabile.

La sezione di tomografia elettrica T3, realizzata con 3 differenti geometrie di acquisizione (Wenner, Wenner Schulmberger e Dipolo Dipolo) mette in luce la presenza di terreni caratterizzati da resistività medio bassa; nello specifico si distingue un primo elettrostrato (ES1) di spessore pari a circa 6,0 m riconducibile alla coltre di terreni superficiali con valori tra 10 e 80 $\Omega \cdot m$, segue un secondo elettrostrato (Es2) caratterizzato da valori molto bassi di resistività (tra 2 e 10 $\Omega \cdot m$) riconducibile alla presenza di terreni e rocce alternati (argille?) e chiude la sequenza un terzo elettrostrato (ES3) ben individuabile nella configurazione Dipolo-Dipolo caratterizzato da valori crescenti di resistività riconducibile al substrato roccioso.

Il confronto con il grafico della sismica a rifrazione mette in luce che non si rilevano anomalie riconducibili a cavità/vuoti o valori critici (v. anomalie di elevatissima resistività e/o bassissima velocità).



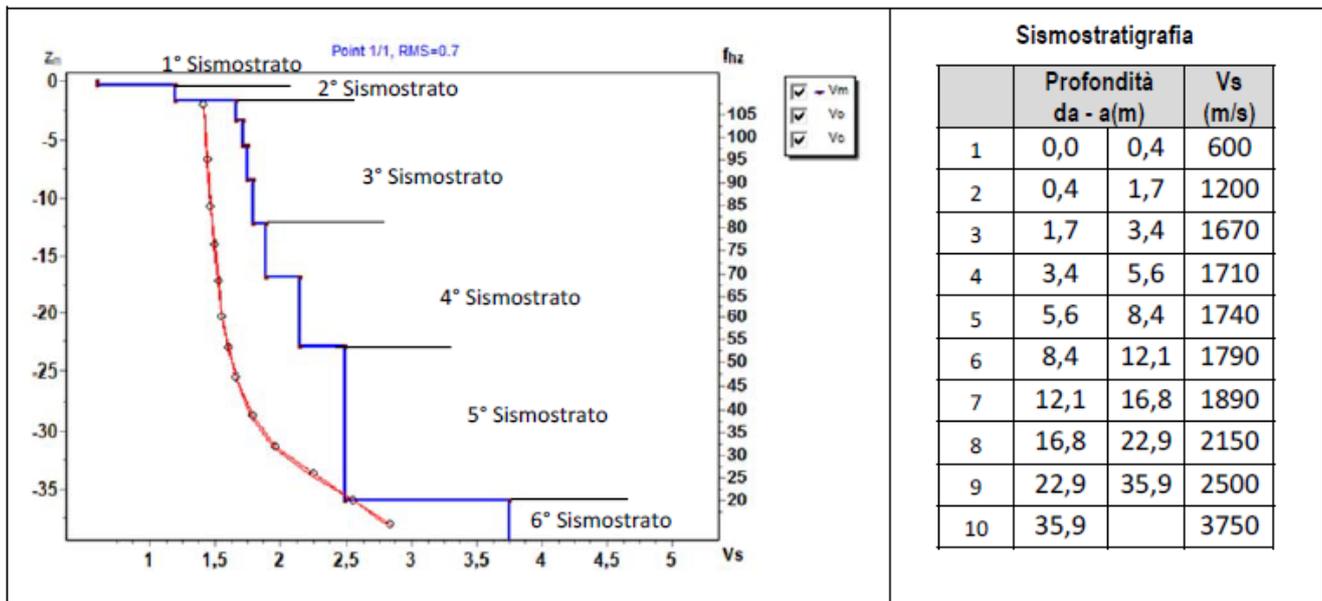
15.6. Risultati delle indagini del sito SMT04

15.6.1. Masw SMT04

L'indagine sismica con tecnica MASW ha permesso di ottenere il profilo medio di velocità delle onde di taglio verticali Vs dello stendimento SMT04, 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 – 0,4	1° sismostrato con Vs di 600 m/s , Terre molto addensate e/o roccia intensamente fratturata
0,4 – 3,4	2° sismostrato con Vs tra 1200 e 1670 m/s , Substrato roccioso fratturato
3,4 – 12,1	3° sismostrato con Vs tra 1710 e 1790 m/s Substrato roccioso sano
12,1 – 22,9	4° sismostrato con Vs tra 1890 e 2150 m/s , Substrato roccioso sano
22,9 – 35,9	5° sismostrato con Vs di 2500 m/s , Substrato roccioso sano
>35,9	6° sismostrato con Vs di 3750 m/s , Substrato roccioso sano

MASW M4 - 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 **0,4 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	0-0,4	terre	1.800	1.200	600	0,33	1.726	208	647	1.726
2	0,4-3,4	15%	1.900	2.870	1.435	0,33	10.434	1.565	3.913	10.434
3	3,4-12,1	25%	2.100	3.500	1.750	0,33	17.152	4.288	6.433	17.152
4	12,1-22,9	25%	2.100	4.040	2.020	0,33	22.850	5.712	8.571	22.850
5	22,9-35,9	30%	2.200	5.000	2.500	0,33	36.668	11.000	13.749	36.668

Figura 43 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 Nspt, 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 SMT04 e Tomografia elettrica SMT04

Nella sezione di sismica a rifrazione **SMT04** è possibile distinguere i seguenti sismostrati:

Stendimento R4 Sismostrati	ONDE P	
	Profondità da pc (m)	Velocità in m/s
A: Unità delle terre di copertura (facilmente rippabili)	Da 0,0 a 0,5/1,0	400-1000
B: Unità delle rocce tenere e/o intensamente fratturate (rippabili)	Da 0,5/1,0 a 2,0/3,5	1000-1800
C: Unità delle rocce da poco fratturate a sane (rippabili con difficoltà)	Da 2,0/3,5 a 3,0/5,0	1800-2200
D: Unità delle rocce sane (non rippabili)	Da 3,0/5,0 a 20,0/21,0	2200-4500

Dall'esame della sezione sismica si riconoscono 4 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 caratterizzato dalle terre di copertura (facilmente rippabile) presenta spessori molto ridotti compresi tra 0,5 e 1,0 metri da p.c. e un andamento parallelo al piano campagna. Il sismostrato B caratterizzato da rocce tenere e/o intensamente fratturate (rippabili) presenta anch'esso spessori ridotti e si rileva fino a profondità comprese tra 2,0 e 3,5 m dal p.c. Il sismostrato C composto da rocce poco fratturate e sane (rippabili con difficoltà) si osserva invece fino a profondità comprese tra 3,0 e 5,0 m di profondità dal p.c. con spessori sempre molto ridotti. Il sismostrato D rappresenta invece un substrato lapideo non rippabile caratterizzato da velocità alte e si riscontra fino alla massima profondità di indagine, ovvero 20,0/21,0 m dal p.c.

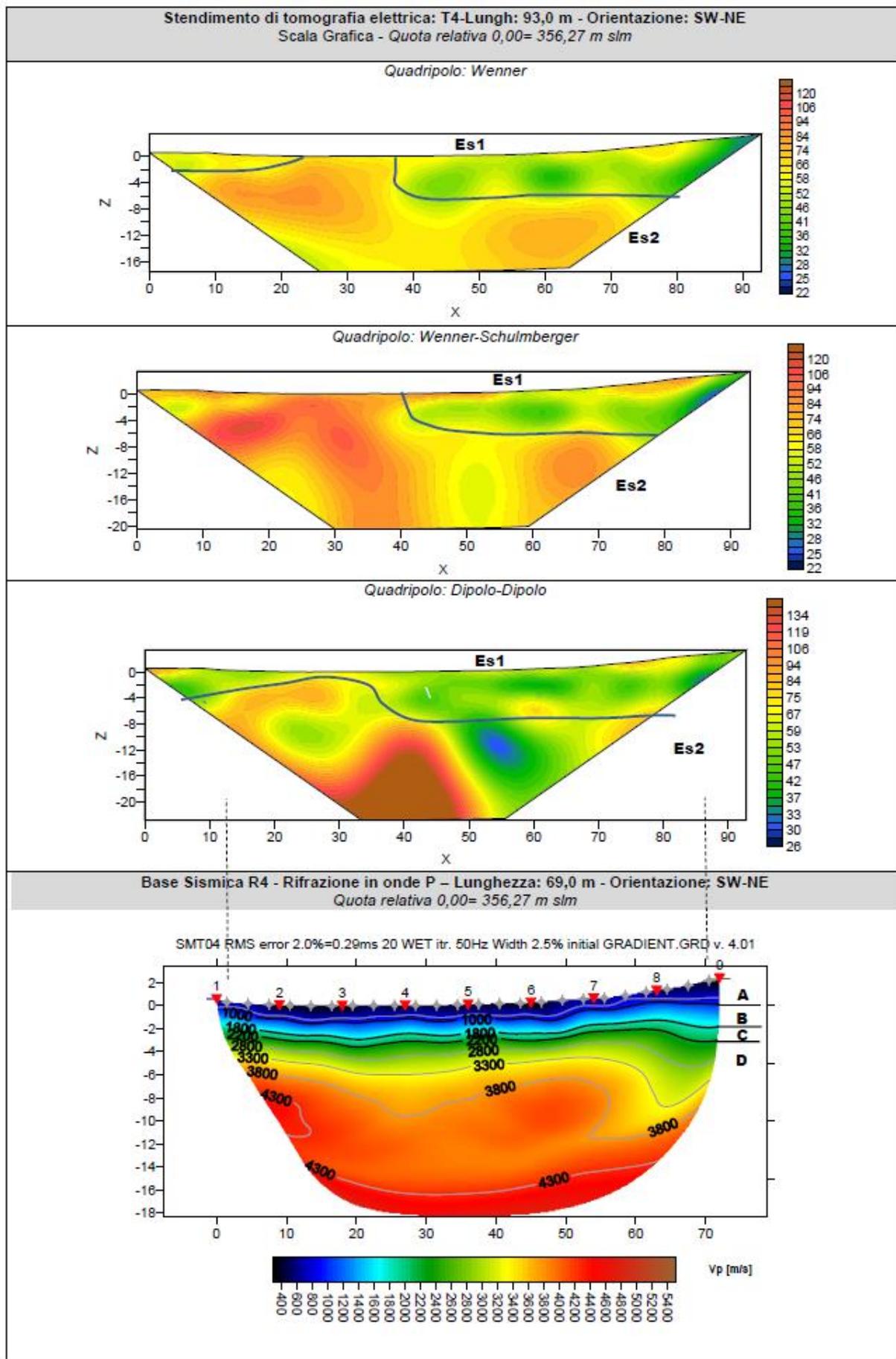
AREGU Wind Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesAre-CLP-CIV-TR-18	Rev 0	Pagina 77 di 104
----------------	---------------------	------------------------------------	-------	---------------------

Dall'osservazione della sezione sismica si può notare un aumento graduale delle Vp con valori alti già nei primi metri di profondità e con leggere variazioni di equidistanza generate dalla maggiore o minore densità del materiale roccioso.

In termini di grado di rippabilità si evidenzia che già a partire da profondità comprese tra 2,0 e 3,5 m dal p.c i terreni risultano già difficilmente rippabili, mentre a profondità comprese tra 3,0 e 5,0 m dal p.c si riscontra la presenza di materiale non rippabile.

La sezione di tomografia elettrica T4, realizzata con 3 differenti geometrie di acquisizione (Wenner, Wenner Schulmberger e Dipolo Dipolo) mette in luce la presenza di terreni caratterizzati da resistività medio bassa; nello specifico si rileva un primo elettrostrato (ES1) di spessore variabile e compreso tra 2,0 e 6,0 m riconducibile sia alla coltre di terreni superficiali che al capellaccio delle substrato roccioso con valori tra 30 e 60 $\Omega \cdot m$, segue un secondo elettrostrato (Es2) con locali variazioni di resistività presumibilmente legate alla presenza di zone fratturate/alterate con presenza d'acqua. In generale in questa tipologia di terreni la tomografia non riesce a discriminare le differenti litofacies probabilmente a causa del fatto che non sono caratterizzate da contrasti di resistività apprezzabili.

Il confronto con il grafico della sismica a rifrazione mette in luce che non si rilevano anomalie riconducibili a cavità/vuoti o valori critici (v. anomalie di elevatissima resistività e/o bassissima velocità).



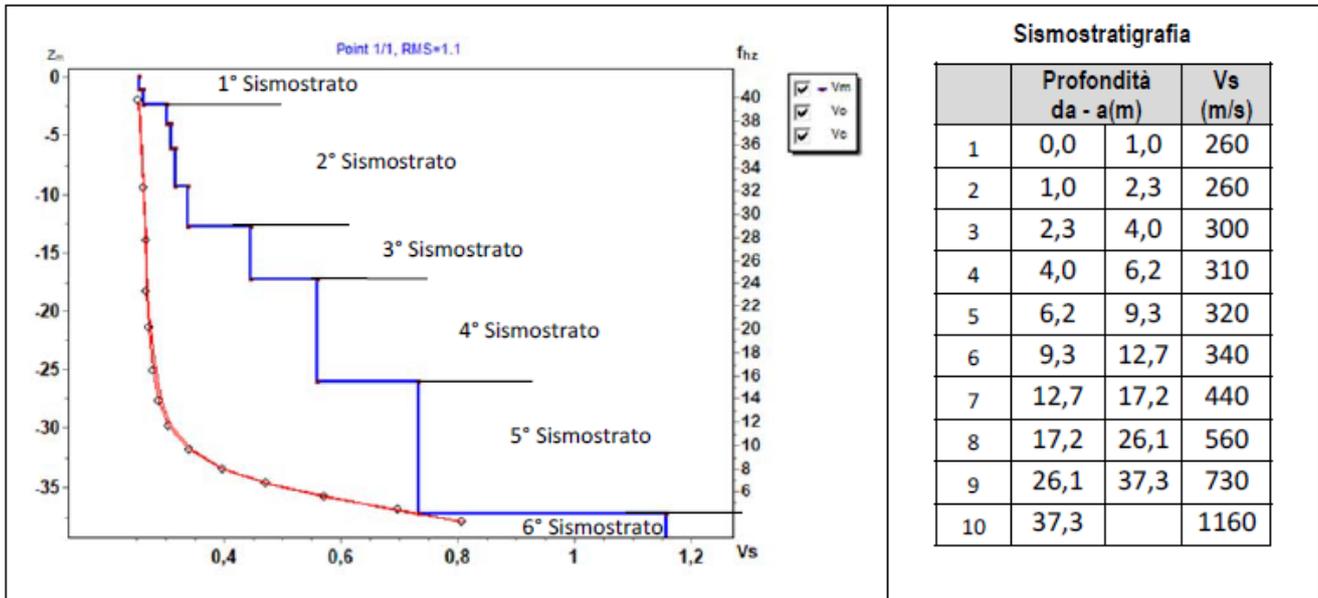
15.7. Risultati delle indagini del sito SMT05

15.7.1. Masw SMT05

L'indagine sismica con tecnica MASW ha permesso di ottenere il profilo medio di velocità delle onde di taglio verticali Vs dello stendimento SMT05, 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 di 260 m/s , Terre poco addensate
2,3 – 12,7	2° sismostrato con Vs tra 300 e 340 m/s , Terre mediamente addensate
12,7 – 17,2	3° sismostrato con Vs di 440 m/s Terre molto addensate e/o roccia tenera o intensamente fratturata
17,2 – 26,1	4° sismostrato con Vs di 560 m/s , Roccia tenera e/o intensamente fratturata
26,1 – 37,3	5° sismostrato con Vs di 730 m/s , Roccia intensamente fratturata
>37,3	6° sismostrato con Vs di 1160 m/s , Substrato roccioso debolmente fratturato

MASW M5 - 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 **37,3 m** ($V_s > 800$ m/s), per cui il valore della velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro $V_{s,30}$:

$V_{s30} = 30,0/0,072708 = 412$ m/s che dà luogo ad una categoria B, ossia:

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	1.600	520	260	0,33	284	34	108	284
2	2,3-12,7	terre	1.700	640	320	0,33	461	56	177	461
3	12,7-17,2	10%	1.800	880	440	0,33	932	93	353	932
4	17,2-26,1	15%	1.900	1.120	560	0,33	1.589	238	598	1.589
5	26,1-37,3	15%	2.000	1.460	730	0,33	2.844	427	1.069	2.844
6	>37,3	20%	2.100	2.320	1.160	0,33	7.532	1.506	2.824	7.532

Figura 44 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 SMT05 e Tomografia elettrica SMT05

Nella sezione di sismica a rifrazione **SMT05** è possibile distinguere i seguenti sismostrati:

Stendimento R5 Sismostrati	ONDE P	
	Profondità da pc (m)	Velocità in m/s
A: Unità delle terre di copertura (facilmente rippabili)	Da 0,0 a 6,0/11,0	400-1000
B: Unità delle rocce tenere e/o intensamente fratturate (rippabili)	Da 6,0/11,0 a 24,0	1000-1800

Dall'esame della sezione sismica, si riconoscono 2 unità sismostratigrafiche principali caratterizzate da velocità crescente delle onde P all'aumentare della profondità, con un range che varia dai 400 m/s ai 1800 m/s. Il sismostrato A caratterizzato dalle terre di copertura (facilmente rippabile) presenta spessori elevati compresi tra 6,0 e 11,0 metri da p.c e un andamento quasi parallelo al piano campagna con deboli variazioni di spessore. Il sismostrato B caratterizzato da rocce tenere e/o intensamente fratturate (rippabili) presenta anch'esso spessori elevati e si rileva fino alla massima profondità di indagine, ovvero 24,0 m dal p.c.

Dall'osservazione della sezione sismica si può notare un aumento graduale delle Vp con valori comunque bassi fino alla massima profondità di indagine. Si precisa che dai dati bibliografici è emerso che le rocce presenti in tale sito

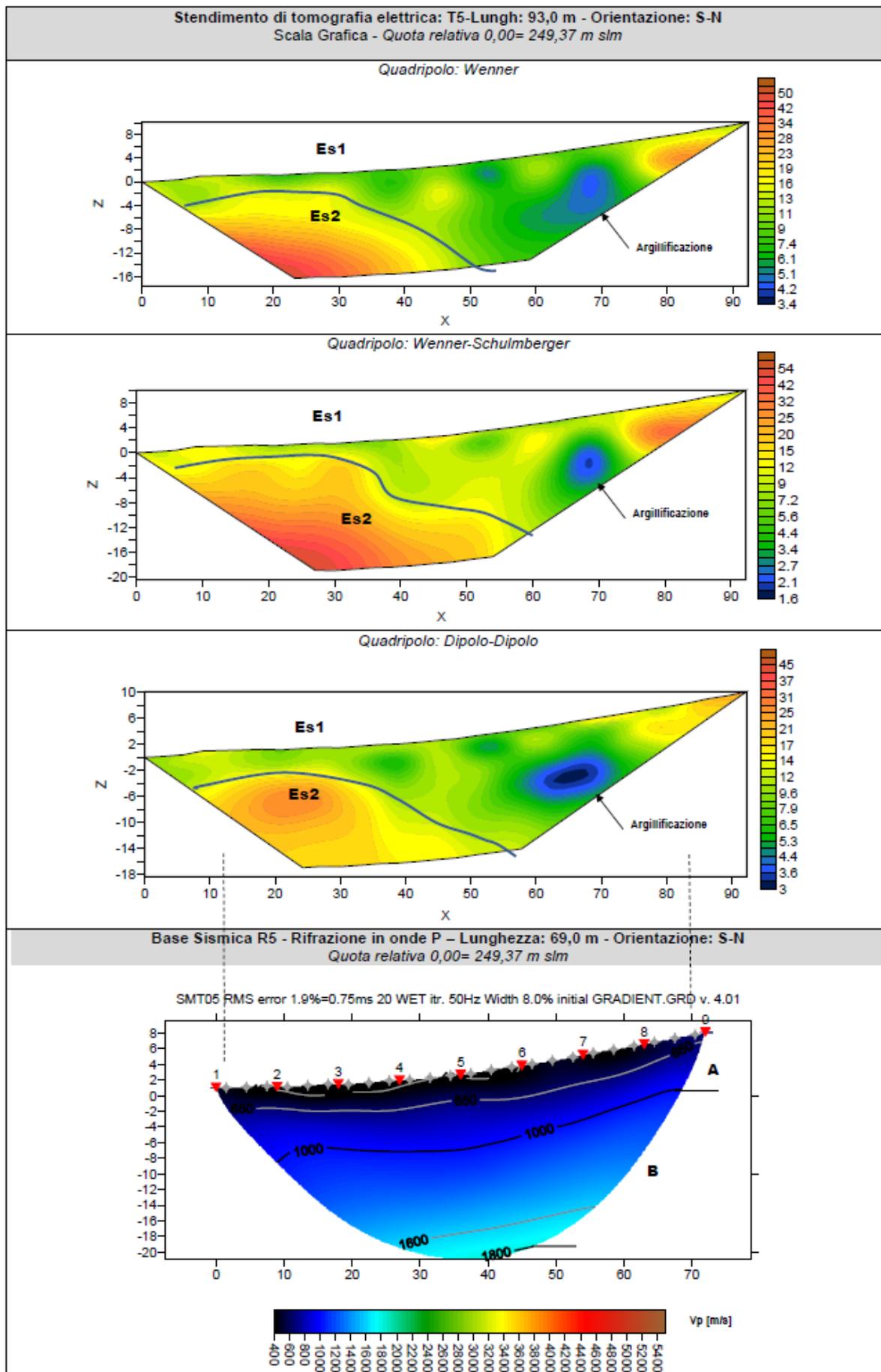
AREGU Wind Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesAre-CLP-CIV-TR-18	Rev 0	Pagina 81 di 104
----------------	---------------------	------------------------------------	-------	---------------------

appartengono alla Formazione di Mores (RES a): Calcareniti e calcari bioclastici appartenenti alla successione Oligo-Miocenica del Logudoro.

In termini di grado di rippabilità si evidenzia che i terreni osservati sono facilmente rippabili fino alla massima profondità di indagine. Esclusivamente a 24,0 m di profondità dal piano campagna si inizia a riscontrare la presenza di materiale difficilmente rippabile.

La sezione di tomografia elettrica T5, realizzata con 3 differenti geometrie di acquisizione (Wenner, Wenner Schulmberger e Dipolo Dipolo) mette in luce in generale che le litologie locali sono caratterizzate da terreni a bassa resistività e nello specifico è possibile distinguere un primo elettrostrato (ES1) di spessore crescente da sinistra verso destra della sezione e compreso tra 2 e 15 m riconducibile alla coltre di terreni superficiali e rocce fratturate/alterate con valori tra 2 e 10 $\Omega \cdot m$ interessati da intensa argillificazione e/o presenza d'acqua, segue un secondo elettrostrato (Es2) caratterizzato da valori leggermente maggiori (sino a 50 $\Omega \cdot m$) riconducibile alla presenza di rocce tenere/fratturate.

Il confronto con il grafico della sismica a rifrazione mette in luce che non si rilevano anomalie riconducibili a cavità/vuoti o valori critici (v. anomalie di elevatissima resistività e/o bassissima velocità).



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 ed elettriche. Lungo la verticale indagata si evince la presenza di sismostrati con velocità V_p e V_s in genere crescente con la profondità con andamento e spessori indicati nei precedenti paragrafi, mentre tutti i terreni e rocce incontrati sono caratterizzati da valori di resistività da medio bassa a bassa.

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)
M1	8,50	638	B
M2	0,4	>800	A
M3	25,9	442	B
M4	0,4	>800	A
M5	>30,0	412	B

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 in R2 e R4 a partire da pochi metri dal p.c. si incontrano terreni non rippabili (v. anche Masw) mentre per R3 e R5 i terreni risultano rippabili sino a circa 15-18 m e infine in R1 sino a 13,0 m.

L'impiego congiunto della tecnica della tomografia elettrica lungo il medesimo allineamento della sismica a rifrazione ha permesso di escludere la presenza di anomalie riconducibili a zone di maggiore fratturazione e/o presenza di cavità di origine carsica.

Le prospezioni geofisiche in rifrazione sono state utilizzate anche per la definizione spaziale di alcuni elementi degli ammassi rocciosi (fratture, RQD, etc) e per la definizione per l'indice di qualità di Barton Q: si tratta chiaramente di correlazioni da impiegare con le dovute approssimazioni ma comunque utili in determinate situazioni nelle quali dai sondaggi è difficile ottenere dei parametri di caratterizzazione dell'ammasso roccioso.

Tavola 1 : INQUADRAMENTO GENERALE DELLE AREE DI INDAGINE

Progetto: Parco eolico Aregu

Scala 1:25.000

Legenda

○ AREE DI INDAGINE

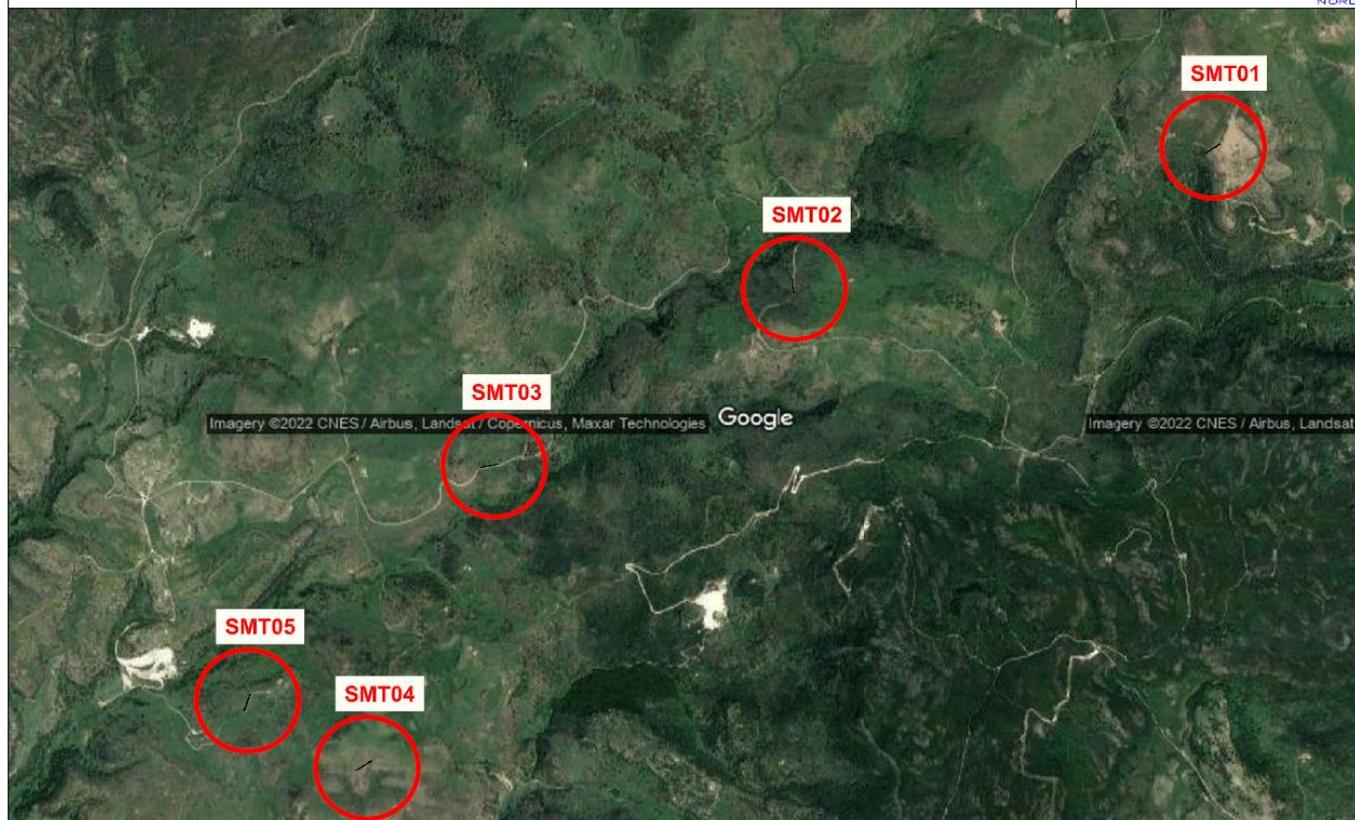


Figura 45 - Ubicazione delle indagini geofisiche

Tavola 2 : PLANIMETRIA DI DETTAGLIO UBICAZIONE INDAGINI GEOFISICHE (SMT01)

Progetto: Parco eolico Aregu

Scala 1:1000

Legenda

Stendimento R/M1 - Lunghezza = 69,0 m

Stendimento T1 - Lunghezza = 93,0 m

→ Direzione stendimento sismico dal primo all'ultimo geofono

→ Direzione stendimento geoelettrico dal primo all'ultimo elettrodo



Tavola 3 : PLANIMETRIA DI DETTAGLIO UBICAZIONE INDAGINI GEOFISICHE (SMT02)

Progetto: Parco eolico Aregu

Scala 1:1000

Legenda

Stendimento R/M2 - Lunghezza = 57,5 m

Stendimento T2 - Lunghezza = 77,5 m

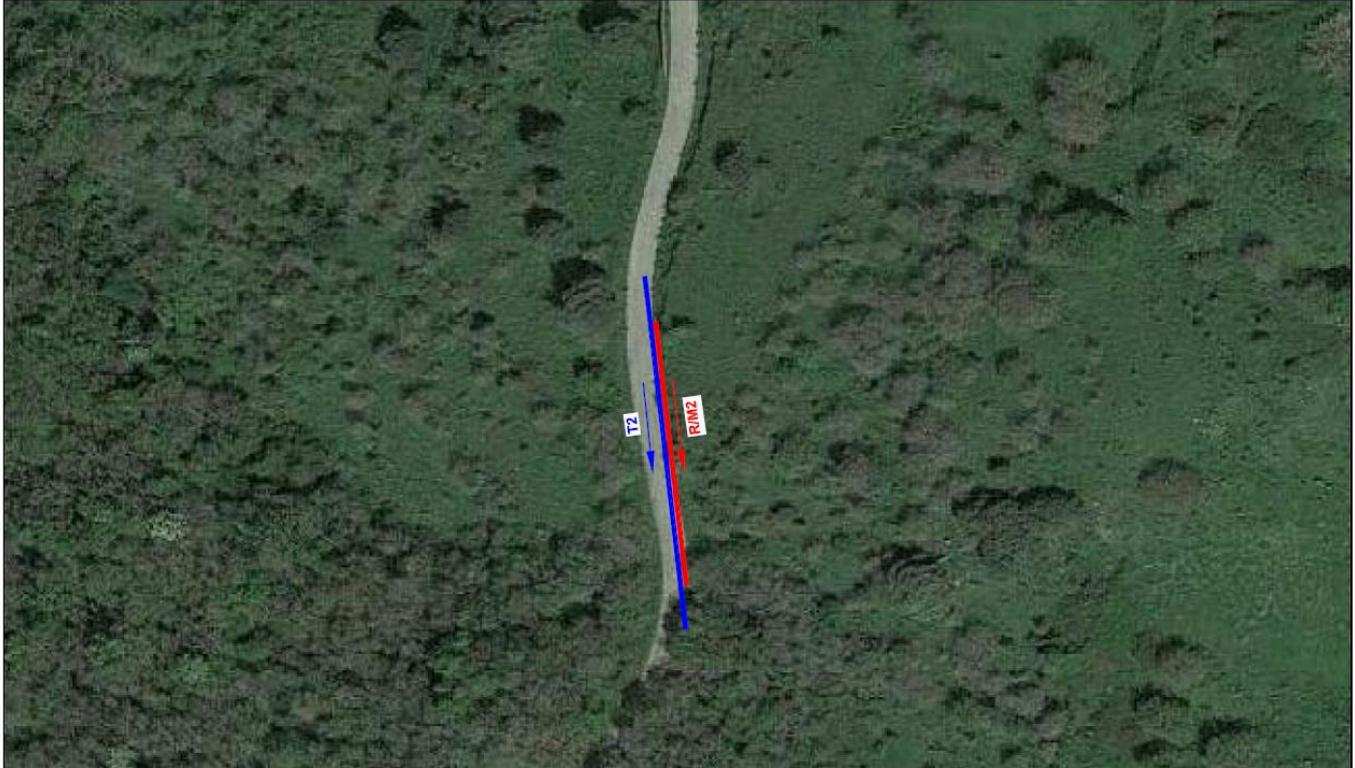
 Direzione stendimento sismico dal primo all'ultimo geofono Direzione stendimento geoelettrico dal primo all'ultimo elettrodo

Tavola 4 : PLANIMETRIA DI DETTAGLIO UBICAZIONE INDAGINI GEOFISICHE (SMT03)

Progetto: Parco eolico Aregu

Scala 1:1000

Legenda

Stendimento R/M3 - Lunghezza = 69,0 m

Stendimento T3 - Lunghezza = 93,0 m

—> Direzione stendimento sismico dal primo all'ultimo geofono

—> Direzione stendimento geoelettrico dal primo all'ultimo elettrodo

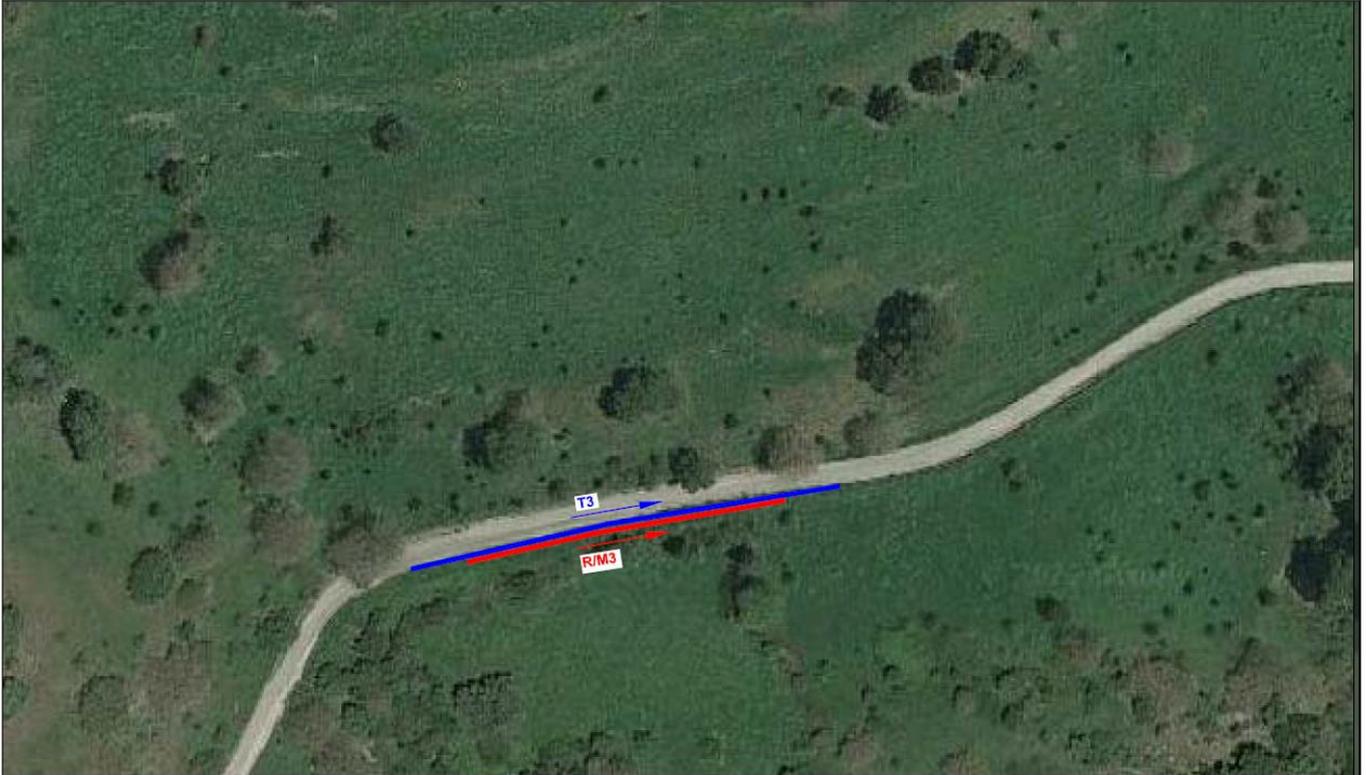


Tavola 5: PLANIMETRIA DI DETTAGLIO UBICAZIONE INDAGINI GEOFISICHE (SMT04)

Progetto: Parco eolico Aregu

Scala 1:1000

Legenda

Stendimento R/M4 - Lunghezza = 69,0 m

Stendimento T4 - Lunghezza = 93,0 m

→ Direzione stendimento sismico dal primo all'ultimo geofono

→ Direzione stendimento geoelettrico dal primo all'ultimo elettrodo



Tavola 5: PLANIMETRIA DI DETTAGLIO UBICAZIONE INDAGINI GEOFISICHE (SMT05)

Progetto: Parco eolico Aregu

Scala 1:1000

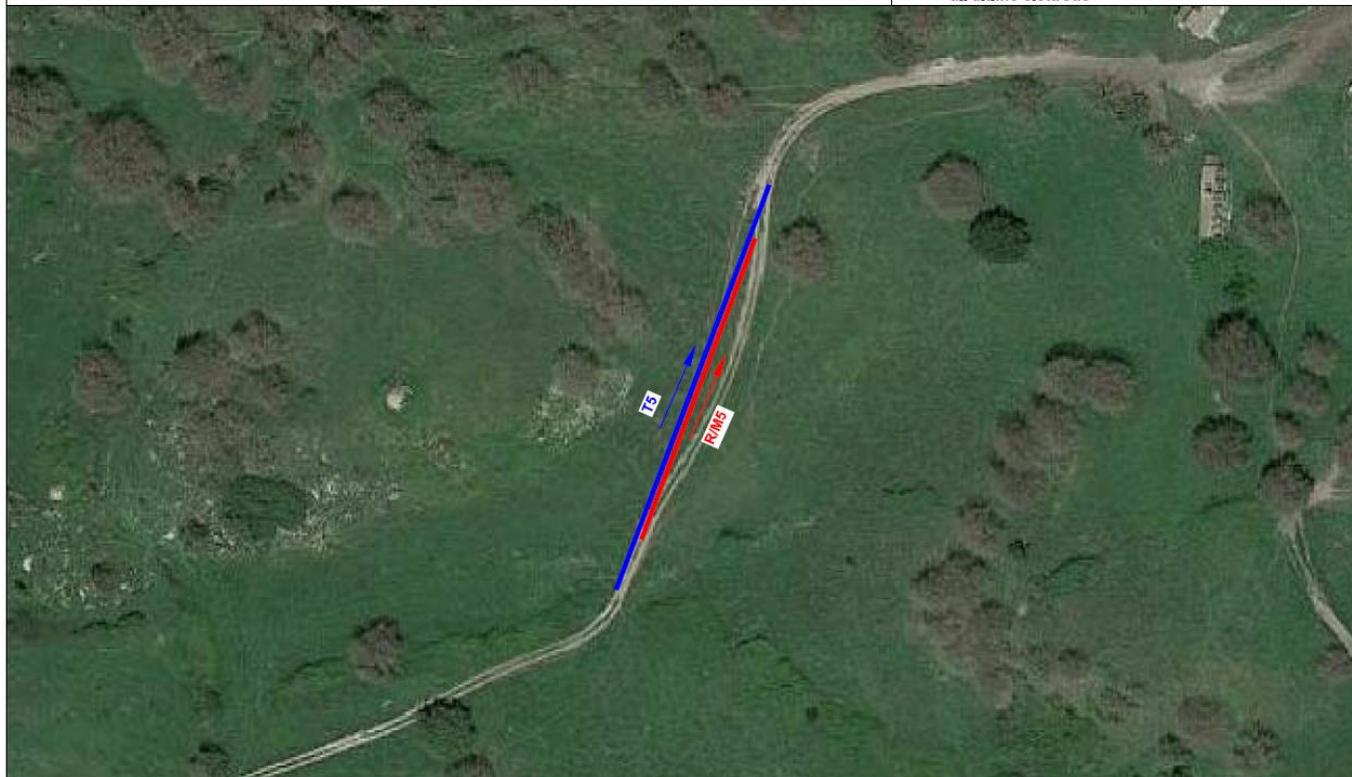
Legenda

Stendimento R/M5 - Lunghezza = 69,0 m

Stendimento T5 - Lunghezza = 93,0 m

—> Direzione stendimento sismico dal primo all'ultimo geofono

—> Direzione stendimento geoelettrico dal primo all'ultimo elettrodo



AREGU Wind Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesAre-CLP-CIV-TR-18	Rev 0	Pagina 90 di 104
----------------	---------------------	------------------------------------	-------	---------------------

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:

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

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

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

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

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

TIPO DI ROCCIA	CLASSE	GRUPPO	TESSITURA			
			GROSSOLANA	MEDIA	FINE	MOLTO FINE
SEDIMENTARIE	Clastiche		Conglomerato (22)	Arenaria 19 Grovacche (18)	Siltite 9	Argillite 4
	Non clastiche	Organogene		Calcare bianco (7) Carbone (8-21)		
		Carbonatiche	Breccia(20)	Calcare Sparitico (10)	Calcare Micritico 8	
		Chimiche		Gesso 16	Anidride 13	
METAMORFICHE	Non foliate		Marmo 9	Hornfels (19)	Quarzite 24	
	Leggermente foliate		Migmatite (30)	Anfibolite 25-31	Miloniti (6)	
	Foliate*		Gneiss 33	Scisti 4-8	Filliti (10)	Scisti argillosi 9
IGNEE	Chiare		Granito 33		Riolite (16)	Ossidiana (19)
	Scure		Granodiorite (30)		Dacite (17)	
			Diorite (28)		Andesite 19	
			Gabbro 27	Dolerite (19)	Basalto (17)	
		Norite 22				
	Effusive piroclastiche		Agglomerato (20)	Breccia (18)	Tufo (15)	

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

Figura 48 Valori della costante mi per diversi tipi di roccia

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

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

Figura 49 Correlazione fra valori di m, s, indice RMR, ed il tipo di roccia.

AREGU Wind Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesAre-CLP-CIV-TR-18	Rev 0	Pagina 94 di 104
----------------	---------------------	------------------------------------	-------	---------------------

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

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

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

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

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

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

Formazione di Mores

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

Instabilità= scivolamenti planari e a cuneo

Ammasso roccioso= da poco a fratturato

Struttura= massiccia

Alterazione= poco alterata

Pareti – mediamente alterate

Riempimento – sciolto

Roccia – da asciutta a umida

Analysis of Rock/Soil Strength using RocData

Hoek-Brown Classification

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

Hoek-Brown Criterion

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

Mohr-Coulomb Fit

cohesion = 12.799 MPa friction angle = 36.93 deg

Rock Mass Parameters

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

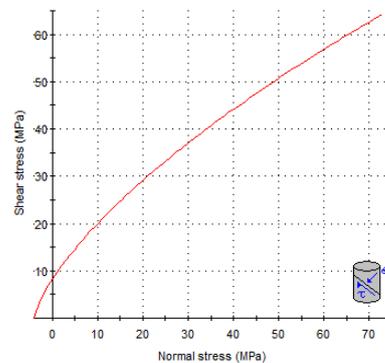
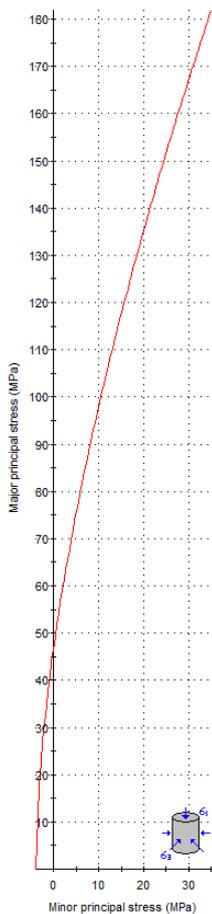


Figura 50 Valori di Coesione e angolo di attrito interno ottenuti utilizzando il software RocData la formazione di Mores

Unità di Chelchedu-Tiloromo

Standard ISRM = R4 Molto resistente (>100Mpa)

Instabilità= scivolamenti planari e a cuneo

Ammasso roccioso= poco fratturato e mediamente alterato

Struttura= massiccia

Alterazione= poco alterato

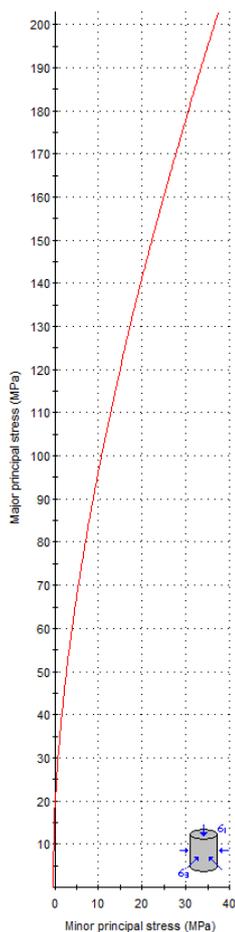
Spaziatura totale delle discontinuità (s)= 0,35 m

Lunghezza media del giunto = 2 m

Pareti – mediamente alterate

Riempimento – sciolto/assente

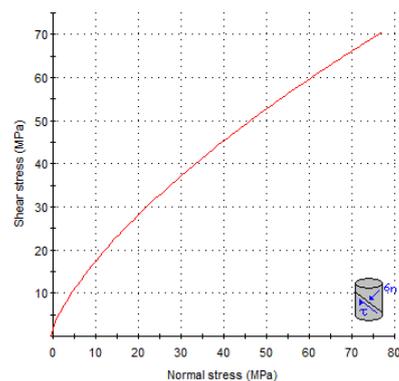
Roccia – da asciutta a umida

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**Figura 51 Valori di Coesione e angolo di attrito interno ottenuti utilizzando il software RocData la formazione di Chelchedu-Tiloromo**

Unità di Uri

Standard ISRM = Mediamente resistente (45Mpa)

Instabilità= scivolamenti planari e a cuneo

Ammasso roccioso= poco fratturato e mediamente alterato

Struttura= massiccia

Alterazione= da mediamente alterato a molto alterato

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

Lunghezza media del giunto = >3 m

Pareti – mediamente alterate

Riempimento – sciolto

Roccia – da asciutta a umida

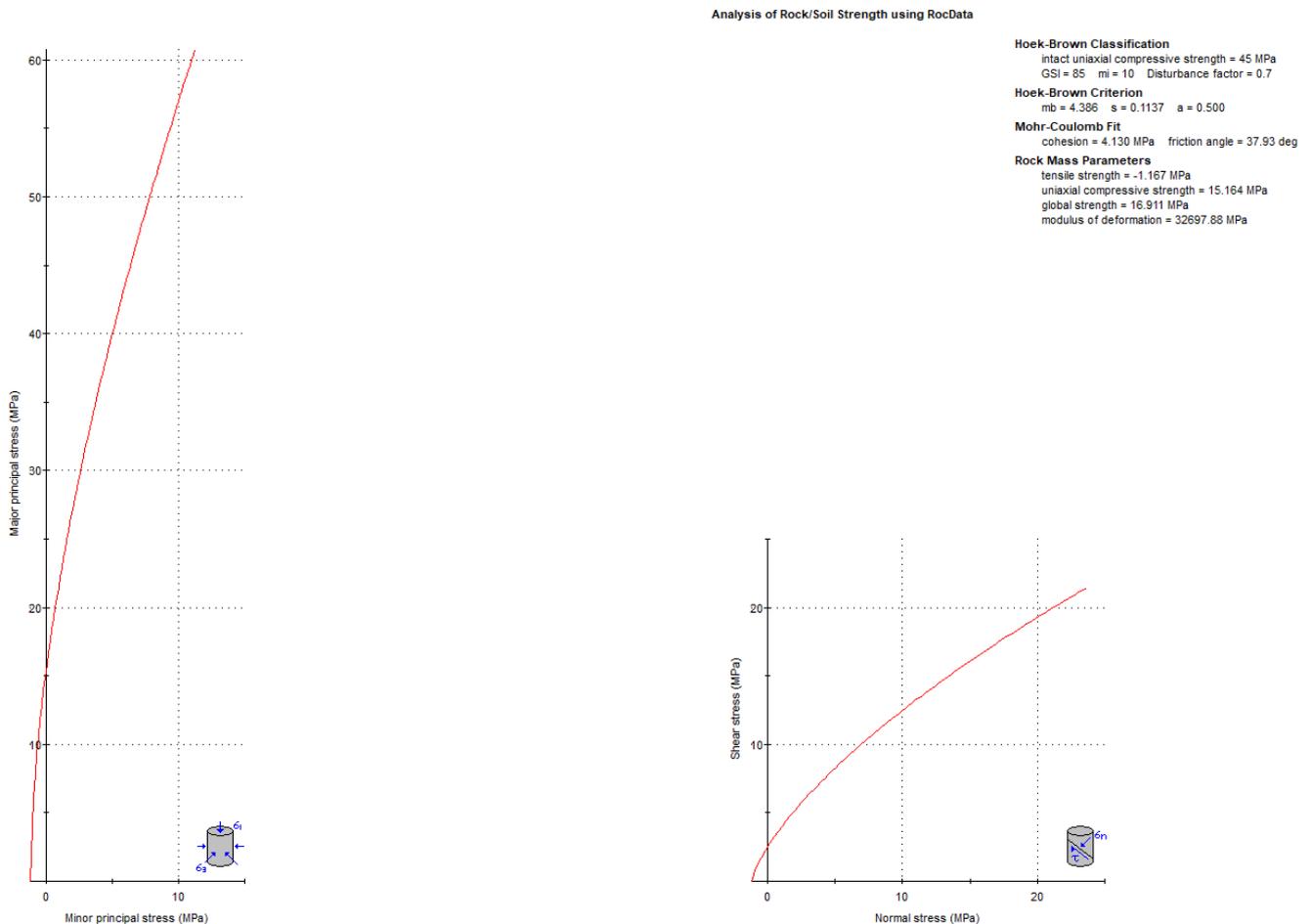


Figura 52 Valori di Coesione e angolo di attrito interno ottenuti utilizzando il software RocData la formazione di Uri

16.2. Viabilità di impianto e sottostazione

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

AREGU Wind Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesAre-CLP-CIV-TR-18	Rev 0	Pagina 98 di 104
----------------	---------------------	------------------------------------	-------	---------------------

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

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

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

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

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

AREGU Wind Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesAre-CLP-CIV-TR-18	Rev 0	Pagina 99 di 104
----------------	---------------------	------------------------------------	-------	---------------------

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. La profonda deformazione che le metamorfite hanno subito genera variazioni di giacitura anche nell'ordine del metro pertanto si ritiene importante in fase di realizzazione degli scavi di fondazione eseguire un dettagliato rilievo geostrutturale finalizzato all'esclusione di ogni possibile rischio di crollo e/o slittamento di porzioni di parete.
2. Circolazione idrica sotterranea secondaria o indotta e/o stagnazione di acque di pioggia – pur se non è stata rilevata in fase di indagine, vanno considerati gli effetti dell'eventuale presenza d'acqua alla quota di imposta delle fondazioni in relazione ad una possibile circolazione idrica indotta dai fenomeni di detensionamento dovuti agli scavi, con particolare riferimento alla stagionalità degli apporti idrici e del relativo flusso negli ambiti più superficiali. In tal caso, in fase esecutiva, sarà opportuno provvedere a mantenere lo scavo asciutto mediante l'installazione di pompe adeguatamente dimensionate per la portata da emungere.

L'analisi ha permesso di fatto di definire il modello geologico del sito ed in particolare, in relazione alle diverse condizioni geologiche e geostrutturali rilevate, è stato individuato **nr.4 modelli geologici rappresentativi** descritti di seguito:

17.1. Modello Geologico 01 – AG08/AG10/AG11

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

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

L'impiego congiunto della tecnica della tomografia elettrica lungo il medesimo allineamento della sismica a rifrazione ha permesso di identificare lungo i vari stendimenti i diversi elettrostrati riportati e descritti nei precedenti paragrafi, caratterizzati in ogni caso da range abbastanza ridotti e valori di resistività generalmente medio bassi. Nelle varie sezioni non si evidenziano anomalie caratterizzate da valori di resistività inferiori rispetto al resto della sezione, che nel contesto in esame possono essere interpretate come dei settori caratterizzati dalla presenza di materiale maggiormente alterato (argillificazione)/fratturato rispetto alla roccia adiacente e/o alla presenza d'acqua. Altresì non si rilevano anomalie riconducibili a cavità/vuoti o valori critici (v. anomalie di elevatissima resistività e/o bassissima velocità).. In termini di grado di rippabilità si evidenzia che a partire da profondità comprese tra 8,0 e 12,0 m dal p.c i terreni risultano già difficilmente rippabili, mentre a profondità comprese tra 13,0 e 16,0 m dal p.c si riscontra la presenza di materiale non rippabile.

Per quanto sopra considerato il contesto geologico in esame in fase di progettazione definitiva/esecutiva si consiglia di eseguire delle indagini geognostiche e geofisiche di maggiore dettaglio (in es. sondaggi a carotaggio e geofisica eseguita con stendimenti ubicati a raggiera rispetto al centro della torre eolica).

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

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

17.2. Modello Geologico 02 – AG03/AG04/AG05/AG09

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

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

L'impiego congiunto della tecnica della tomografia elettrica lungo il medesimo allineamento della sismica a rifrazione ha permesso di identificare lungo i vari stendimenti i diversi elettrostrati riportati e descritti nei

precedenti paragrafi, caratterizzati in ogni caso da range abbastanza ridotti e valori di resistività generalmente molto bassi. Nelle varie sezioni non si evidenziano anomalie caratterizzate da valori di resistività inferiori rispetto al resto della sezione, che nel contesto in esame possono essere interpretate come dei settori caratterizzati dalla presenza di materiale maggiormente alterato (argillificazione)/fratturato rispetto alla roccia adiacente e/o alla presenza d'acqua. Altresì non si rilevano anomalie riconducibili a cavità/vuoti o valori critici (v. anomalie di elevatissima resistività e/o bassissima velocità

Per quanto sopra considerato il contesto geologico in esame in fase di progettazione definitiva/esecutiva si consiglia di eseguire delle indagini geognostiche e geofisiche di maggiore dettaglio (in es. sondaggi a carotaggio e geofisica eseguita con stendimenti ubicati a raggiera rispetto al centro della torre eolica).

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

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

17.3. Modello Geologico 03 – AG01

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

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

due formazioni rioclitica (NIS) e carbonatica (RESa). L'impiego congiunto della tecnica della tomografia elettrica lungo il medesimo allineamento della sismica a rifrazione ha permesso di identificare lungo i vari stendimenti i diversi elettrostrati riportati e descritti nei precedenti paragrafi, caratterizzati in ogni caso da resistività medio bassa; nello specifico si rileva un primo elettrostrato (ES1) di spessore variabile e compreso tra 2,0 e 6,0 m riconducibile sia alla coltre di terreni superficiali che al capellaccio delle substrato roccioso, segue un secondo elettrostrato con locali variazioni di resistività presumibilmente legate alla presenza di zone fratturate/alterate con presenza d'acqua. Non si rilevano anomalie riconducibili a cavità/vuoti o valori critici (v. anomalie di elevatissima resistività e/o bassissima velocità). In termini di grado di rippabilità si evidenzia che già a partire da profondità comprese tra 2,0 e 3,5 m dal p.c i terreni risultano già difficilmente rippabili, mentre a profondità comprese tra 3,0 e 5,0 m dal p.c si riscontra la presenza di materiale non rippabile. Per quanto sopra considerato il contesto geologico in esame in fase di progettazione definitiva/esecutiva si consiglia di eseguire delle indagini geognostiche e geofisiche di maggiore dettaglio (in es. sondaggi a carotaggio e geofisica eseguita con stendimenti ubicati a raggiera rispetto al centro della torre eolica).

NIA	0.00m – 0,40m	Terre molto addensate e/o roccia tenera intensamente fratturata
	0,40m – 3,40m	Substrato roccioso fratturato
RESa	3,40m – 22,9m	Substrato roccioso sano
	22,9m – in poi	Substrato roccioso sano

GIAVE/COSSOINE/CHERMULE - MODELLO GEOLOGICO 03 - AG01

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

17.4. Modello Geologico 04 – AG02, AG06, AG07

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

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

L'impiego congiunto della tecnica della tomografia elettrica lungo il medesimo allineamento della sismica a rifrazione ha permesso di identificare lungo i vari stendimenti i diversi elettrostrati riportati e descritti nei precedenti paragrafi, caratterizzati in ogni caso da resistività molto bassa e nello specifico è possibile distinguere un primo elettrostrato (ES1) di spessore crescente da sinistra verso destra della sezione e compreso tra 2 e 15 m riconducibile alla coltre di terreni superficiali e rocce fratturate/alterate con valori tra 2 e 10 $\Omega \cdot m$ interessati da intensa argillificazione e/o presenza d'acqua, segue un secondo elettrostrato (Es2) caratterizzato da valori leggermente maggiori (sino a 50 $\Omega \cdot m$) riconducibile alla presenza di rocce tenere/fratturate.

Il confronto con il grafico della sismica a rifrazione mette in luce che non si rilevano anomalie riconducibili a cavità/vuoti o valori critici (v. anomalie di elevatissima resistività e/o bassissima velocità). Per quanto sopra considerato il contesto geologico in esame in fase di progettazione definitiva/esecutiva si consiglia di eseguire delle indagini geognostiche e geofisiche di maggiore dettaglio (in es. sondaggi a carotaggio e geofisica eseguita con stendimenti ubicati a raggiera rispetto al centro della torre eolica).

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

GIAVE/COSSOINE/CHERMULE - MODELLO GEOLOGICO 04 - AG02, AG06, AG07

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

AREGU Wind Srl	Geol. Cosima Atzori	N° Doc. IT-VesAre-CLP-CIV-TR-18			Rev 0	Pagina 104 di 104
----------------	---------------------	------------------------------------	--	--	-------	----------------------

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

18. 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 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 5m 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:

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.
2. La profonda deformazione che le vulcaniti hanno subito genera variazioni di giacitura anche nell'ordine del metro pertanto si ritiene importante in fase di realizzazione degli scavi di fondazione eseguire un dettagliato rilievo geostrutturale puntuale finalizzato all'esclusione di ogni possibile rischio di crollo e/o slittamento di porzioni di parete.
3. 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 **depositi di flusso piroclastico**. 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 fatturato per cui facilmente scavabile con ripper e martellone.

Il tracciato del cavidotto si snoda lungo aree pianeggianti e tracciati stradali esistenti. Il cavidotto in progetto andrà a interessare il litologie appartenenti alla **Successione sedimentaria oligo-miocenica del Logudoro-Sassarese** 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.