






AREGU Wind Srl

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

Relazione sulla Pericolosità Sismica di Base

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 sulla Pericolosità Sismica di base</p> | | <p>N° Documento:</p> <p>IT-VesAre-CLP-CIV-TR-19</p> | | | |
|  <p>GAIA consulting Naturali Innovazioni</p> <p>Studio Tecnico di Geologia Applicata all'Ingegneria e all'Ambiente</p> <p>Centro Direzionale "Pittarello" Loc. Scala Sa Perda, 87 09028 Sestu (CA) T +39 070 734 6008 Mob +39 345 788 2814 e-mail: info@gaiac consulting.eu</p> | | <p>Progettista:</p> <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-19 | Rev 0 | Pagina 3 di 30 |
|----------------|---------------------|------------------------------------|-------|-------------------|

Sommario

| | |
|---|-----------|
| 1. Premessa | 5 |
| 2. Normativa di riferimento | 5 |
| 3. Studio e indagini di riferimento | 5 |
| 4. Inquadramento geografico generale | 6 |
| 5. Inquadramento geologico | 11 |
| 5.1. Successione litostratigrafica dell'area di intervento | 11 |
| 5.1.1. Distretto vulcanico di Capo Marargiu (Miocene Inferiore) | 12 |
| 5.2. Depositi Quaternari dell'area continentale | 13 |
| 6. Inquadramento geomorfologico | 15 |
| 6.1. Lineamenti geomorfologici dell'area di studio | 16 |
| 6.2. Definizione dell'area geomorfologicamente significativa | 16 |
| 7. Inquadramento sismico | 17 |
| 7.1. Azione sismica | 17 |
| 7.2. Vita nominale, classi d'uso e periodo di riferimento | 18 |
| 7.3. Amplificazione stratigrafica e topografica | 19 |
| 8. Indagini geognostiche | 20 |
| 8.1.1. Indagini sismiche: MASW | 21 |
| 8.1.2. Specifiche delle indagini svolte | 22 |
| 8.1.3. Caratteristiche della strumentazione impiegata | 22 |
| 8.1.4. Interpretazione dei segnali acquisiti | 22 |
| 8.1.5. Categorie di sottosuolo - D.M. 19.01.2018 (NTC 2018) | 22 |
| 8.2. Risultati delle indagini del sito SMT01 | 24 |
| 8.2.1. Masw SMT01 | 24 |
| 8.3. Risultati delle indagini del sito SMT02 | 25 |
| 8.3.1. Masw SMT02 | 25 |
| 8.4. Risultati delle indagini del sito SMT03 | 26 |
| 8.4.1. Masw SMT03 | 26 |
| 8.5. Risultati delle indagini del sito SMT04 | 27 |
| 8.5.1. Masw SMT04 | 27 |
| 8.6. Risultati delle indagini del sito SMT05 | 28 |

| | | | | |
|----------------|---------------------|------------------------------------|-------|-------------------|
| AREGU Wind Srl | Geol. Cosima Atzori | N° Doc. IT-VesAre-CLP-CIV-TR-19 | Rev 0 | Pagina 4 di 30 |
|----------------|---------------------|------------------------------------|-------|-------------------|

| | |
|---|-----------|
| 8.6.1. Masw SMT05 | 28 |
| 9. Categorie di sottosuolo e parametri di pericolosità sismica | 29 |
| 10. Conclusioni..... | 30 |

Indice delle figure

| | |
|--|----|
| Figura 1 Localizzazione del progetto | 6 |
| Figura 2 Inquadramento topografico su C.T.R. RAS scala 1:10000, sezione W | 8 |
| Figura 3 Inquadramento topografico su C.T.R. RAS scala 1:10000, sezione E..... | 9 |
| Figura 4 Inquadramento topografico su Carta IGM scala 1:25000 | 10 |
| Figura 5 Paesaggio caratteristico dell'area di studio | 11 |
| Figura 6 Schema tettonico-strutturale della Sardegna..... | 11 |
| Figura 7 Particolare della litologia appartenente all'unità di Uri | 12 |
| Figura 8 Stralcio carta geologica (Fonte RAS) | 14 |
| Figura 9 Carta della pericolosità sismica del territorio nazionale. | 17 |
| Figura 10 Valori minimi della Vita nominale VN di progetto per i diversi tipi di costruzioni. | 18 |
| Figura 11 Valori di coefficiente d'uso CU | 19 |
| Figura 12 Categorie topografiche (NTC 2018 3.2 - Tab. 3.2.II) | 19 |
| Figura 12 Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica ST (NTC 2018 3.2 - Tab. 3.2.V) | 19 |

| | | | | |
|----------------|---------------------|------------------------------------|-------|-------------------|
| AREGU Wind Srl | Geol. Cosima Atzori | N° Doc. IT-VesAre-CLP-CIV-TR-19 | Rev 0 | Pagina 5 di 30 |
|----------------|---------------------|------------------------------------|-------|-------------------|

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), è stata redatta la Relazione sulla Pericolosità Sismica di Base in supporto al progetto.

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).

2. Normativa di riferimento

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

1. D.M LL.PP. 11.03.1988 "Norme Tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii attuali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione in applicazione della Legge 02.02.1974 n°64.
2. Circ. Min. LL.PP. n° 30483 del 24.09.1988 – Istruzioni per l'applicazione del D.M. LL.PP.11.03.1988.
3. Raccomandazioni, programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche, 1975 – Associazione Geotecnica Italiana.
4. D.M. Infrastrutture 17.01.2018 - Norme Tecniche per le Costruzioni. (6.2.1 – Caratterizzazione e modellazione geologica del sito, 6.4.2 Fondazioni superficiali)
5. Circ. Min. Infrastrutture e Trasporti 21.01.2019 n°7 – Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al Decreto Ministeriale 17.01.2018.
6. D.L. 3 aprile 2006, n. 152 e successive modificazioni - "Norme in materia ambientale".

3. Studio e indagini di riferimento

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

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

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

4. Inquadramento geografico generale

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

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

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

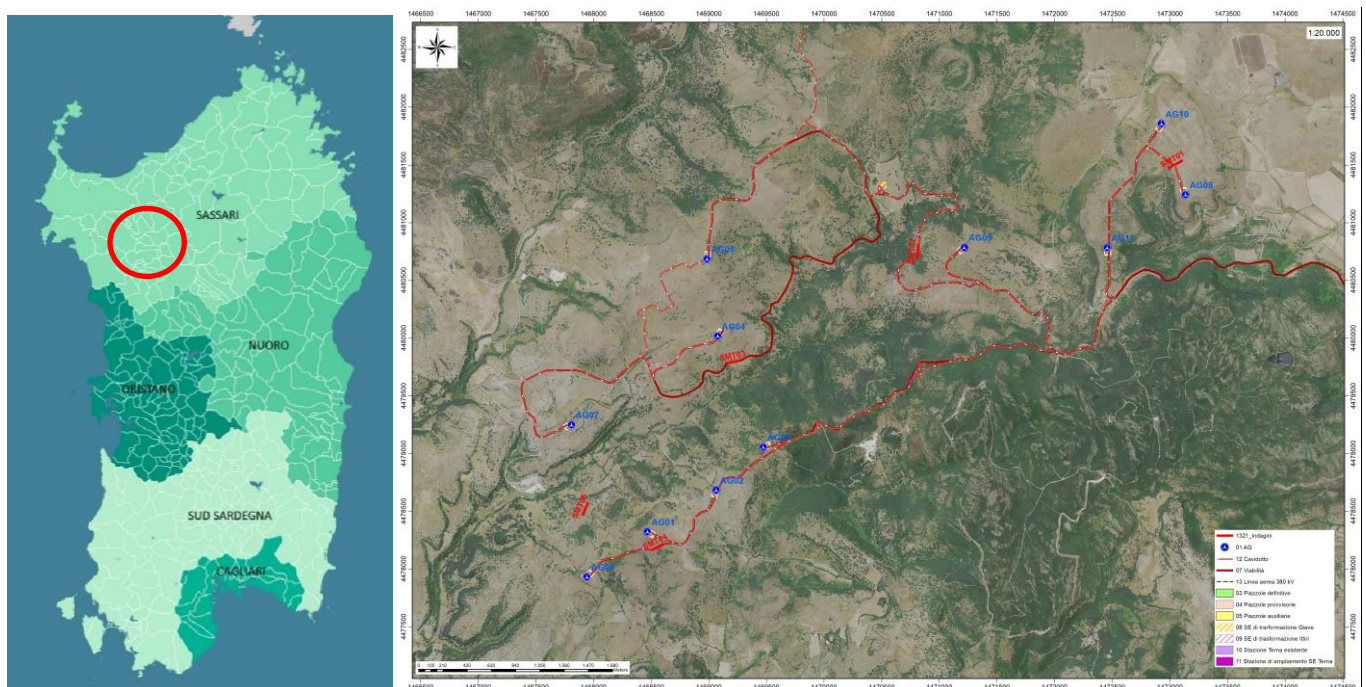


Figura 1 Localizzazione del progetto

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

Ma furono i Romani il primo popolo forestiero a colonizzare realmente la zona, creandovi la biforcazione della strada che congiungeva Caralis (Cagliari) a Turris 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.

| | | | | |
|----------------|---------------------|------------------------------------|-------|-------------------|
| AREGU Wind Srl | Geol. Cosima Atzori | N° Doc. IT-VesAre-CLP-CIV-TR-19 | Rev 0 | Pagina 7 di 30 |
|----------------|---------------------|------------------------------------|-------|-------------------|

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 rete ferroviaria e alla costruzione di una stazione a valle, che diede nuovo impulso alle tradizionali attività agro pastorali. Tuttavia dal dopoguerra anche Giave è andato incontro al depauperamento demografico che ha interessato tutte le aree interne dell'isola.

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

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

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

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

L'inquadramento cartografico di riferimento è il seguente:

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

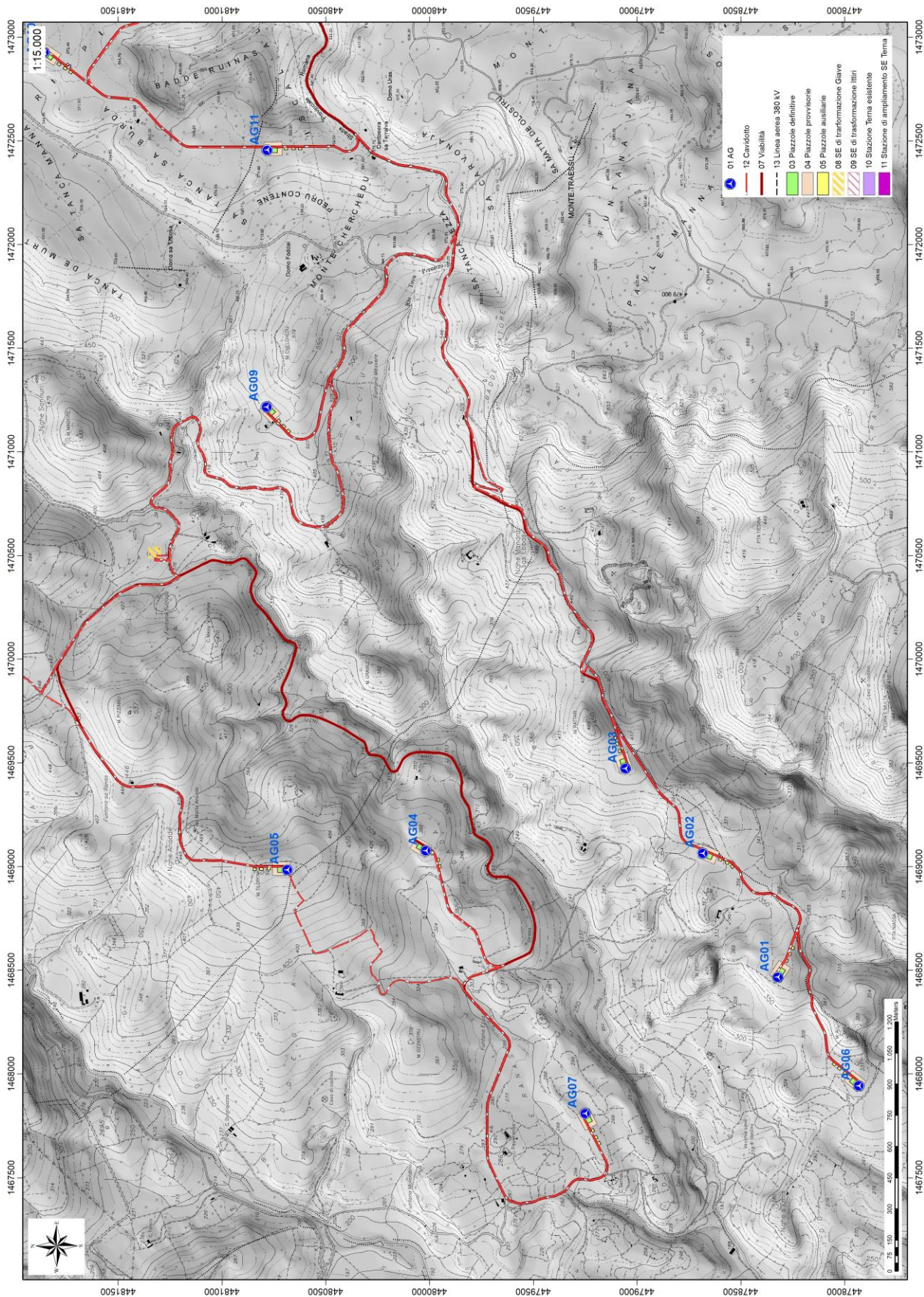


Figura 2 Inquadramento topografico su C.T.R. RAS scala 1:10000, sezione W

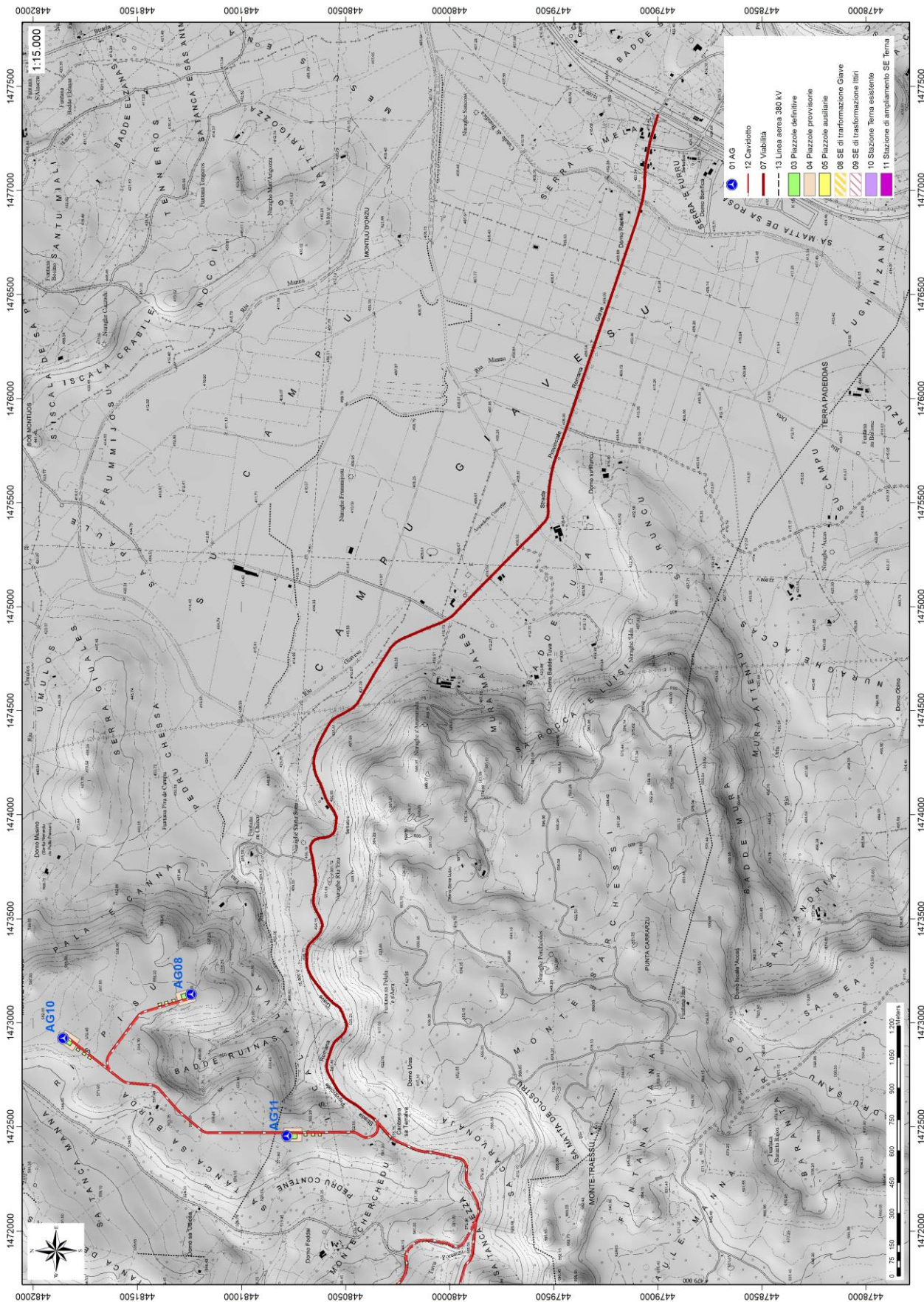


Figura 3 Inquadramento topografico su C.T.R. RAS scala 1:10000, sezione E

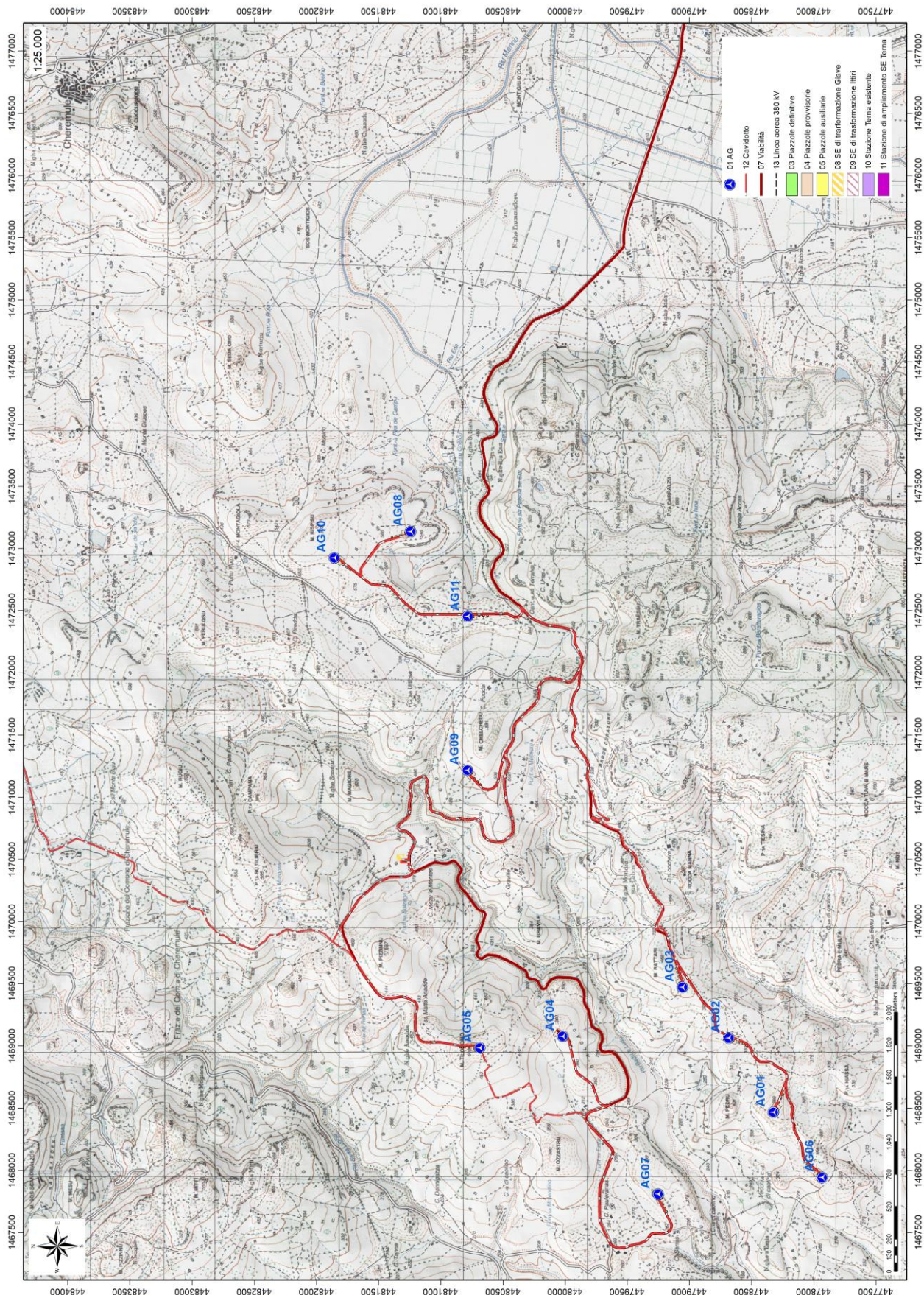


Figura 4 Inquadramento topografico su Carta IGM scala 1:25000



Figura 5 Paesaggio caratteristico dell'area di studio

5. Inquadramento geologico

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 calcalina e subordinatamente tholeiitica e calcalina alta in potassio (BECCALUVA et alii, 1987), rappresentata da serie vulcaniche da basaltico- andesitiche a dacitiche (principalmente in colate laviche e cupole di ristagno) e da serie da dacitiche a riolitiche (principalmente in espandimenti ignimbratici). In particolare, l'area vasta è compresa all'interno *Distretto vulcanico di Capo Marargiu*, del *Distretto vulcanico di Osilo Castelsardo* e della *Successione sedimentaria oligo-miocenica del Logudoro-Sassarese*.

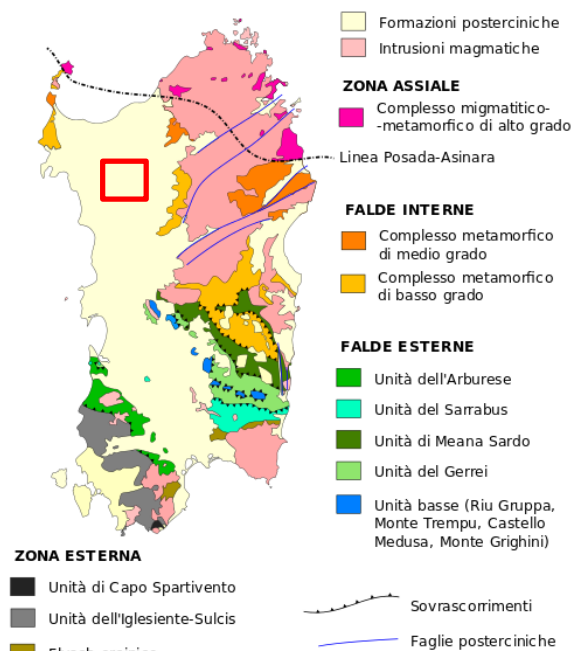


Figura 6 Schema tettonico-strutturale della Sardegna

5.1. Successione litostratigrafica dell'area di intervento

| | | | | |
|----------------|---------------------|------------------------------------|-------|--------------------|
| AREGU Wind Srl | Geol. Cosima Atzori | N° Doc. IT-VesAre-CLP-CIV-TR-19 | Rev 0 | Pagina 12 di 30 |
|----------------|---------------------|------------------------------------|-------|--------------------|

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.

5.1.1. Distretto vulcanico di Capo Marargiu Miocene Inferiore)

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

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

(UUI) Unità di Uri: è costituita da depositi di flusso piroclastico in facies ignimbratica, variamente saldati, di colore grigiastro e subordinatamente rossastro per alterazione, ricchi in frammenti litici e cristalli liberi. Il deposito piroclastico è costituito da pomici biancastre e litici eterometrici (4-5 cm) di natura andesitica o ignimbratica, in matrice cineritica grossolana nella quale sono immersi anche cristalli di plagioclasio, pirosseno e biotite. Il diverso grado di saldatura varia dalla base (nullo) verso il tetto della successione (elevato), influenza la tessitura della roccia, che si presenta debolmente 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

(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.

| | | | | |
|----------------|---------------------|------------------------------------|-------|--------------------|
| AREGU Wind Srl | Geol. Cosima Atzori | N° Doc. IT-VesAre-CLP-CIV-TR-19 | Rev 0 | Pagina 13 di 30 |
|----------------|---------------------|------------------------------------|-------|--------------------|

(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

5.2. 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. La presenza di frazione organica indica che si tratta di sedimenti derivati dall'erosione del suolo durante l'Olocene, mescolati, a sedimenti provenienti, per degradazione fisica, direttamente dal substrato. OLOCENE

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

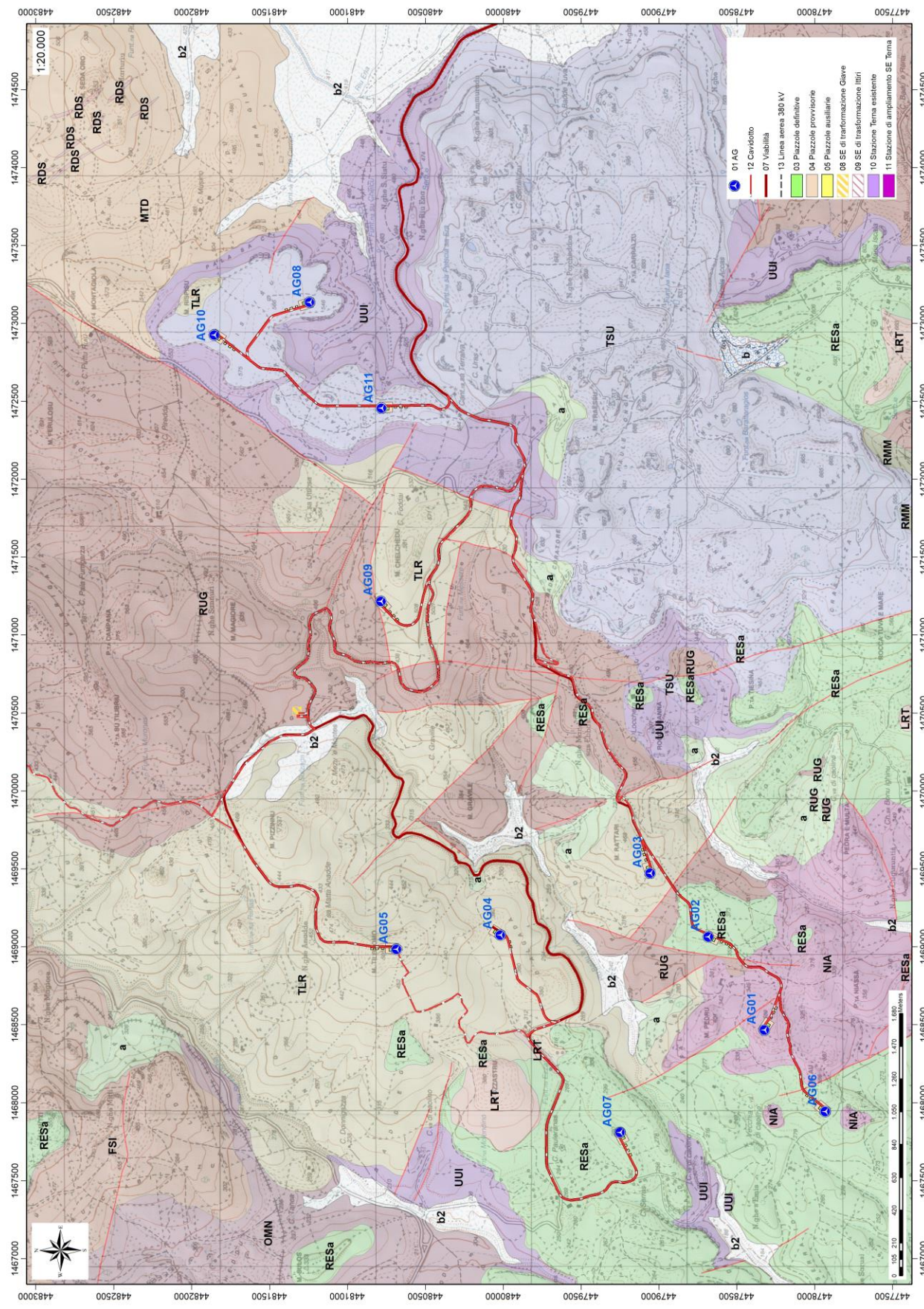


Figura 8 Stralcio carta geologica (Fonte RAS)

| | | | | |
|----------------|---------------------|------------------------------------|-------|--------------------|
| AREGU Wind Srl | Geol. Cosima Atzori | N° Doc. IT-VesAre-CLP-CIV-TR-19 | Rev 0 | Pagina 15 di 30 |
|----------------|---------------------|------------------------------------|-------|--------------------|

6. 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.

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

Alla fratturazione da raffreddamento si sovrappongono frequenti fratturazioni legate alla successiva attività tettonica o a cedimenti puramente gravitativi. L'alternanza tra le bancate con facies meno coerenti, essenzialmente tufacee, e quelle decisamente litoidi e resistenti, ossia ignimbristiche o laviche, determina il profilo a "gradinata" che

| | | | | |
|----------------|---------------------|------------------------------------|-------|--------------------|
| AREGU Wind Srl | Geol. Cosima Atzori | N° Doc. IT-VesAre-CLP-CIV-TR-19 | Rev 0 | Pagina 16 di 30 |
|----------------|---------------------|------------------------------------|-------|--------------------|

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, verdastrì, 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.

6.1. 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.

6.2. 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.

7. Inquadramento sismico

La sismicità indica la frequenza e la forza con cui si manifestano i terremoti, ed è una caratteristica fisica del territorio. Sulla base delle conoscenze relative alla frequenza e all'energia associate ai terremoti che caratterizzano un territorio, si attribuisce un valore di probabilità al verificarsi di un evento sismico di una data magnitudo in un certo intervallo di tempo, possiamo definirne la pericolosità sismica. La pericolosità sismica sarà tanto più elevata quanto più probabile sarà il verificarsi di un terremoto di elevata magnitudo, a parità di intervallo di tempo considerato.

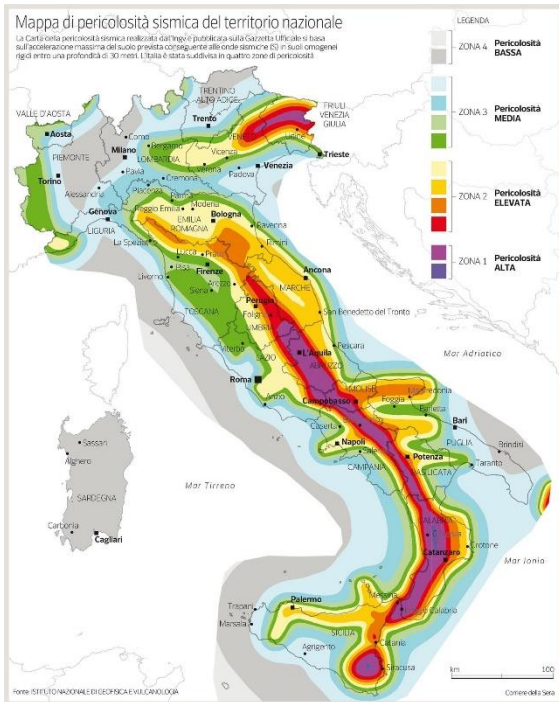


Figura 9 Carta della pericolosità sismica del territorio nazionale.

7.1. Azione sismica

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla “**pericolosità sismica di base**” del sito di costruzione e sono funzione delle caratteristiche morfologiche e stratigrafiche che determinano la risposta sismica locale.

Dalla normativa vigente NTC2018 si evince che la pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A come definita al § 3.2.2), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PVR come definite nel § 3.2.1, nel periodo di riferimento V_R , come definito nel § 2.4. inoltre, in alternativa è ammesso l'uso di accelerogrammi, purché correttamente commisurati alla pericolosità sismica locale dell'area della costruzione.

Le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento PVR nel periodo di riferimento V_R , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

a_g accelerazione orizzontale massima al sito;

F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

Le conseguenze di un terremoto dipendono anche dalle caratteristiche di resistenza delle costruzioni alle azioni di una scossa sismica. La predisposizione di una costruzione ad essere danneggiata si definisce vulnerabilità. Quanto più un edificio è vulnerabile (per tipologia, progettazione inadeguata, scadente qualità dei materiali e modalità di costruzione, scarsa manutenzione), tanto maggiori saranno le conseguenze.

Infine, la maggiore o minore presenza di beni esposti al rischio, la possibilità cioè di subire un danno economico, ai beni culturali, la perdita di vite umane, è definita esposizione.

Il rischio sismico, determinato dalla combinazione della pericolosità, dalla vulnerabilità e dall'esposizione, è la misura dei danni attesi in un dato intervallo di tempo, in base al tipo di sismicità, di resistenza delle costruzioni e di antropizzazione (natura, qualità e quantità dei beni esposti).

Per quanto concerne la sismicità, ai sensi della normativa di settore citata in precedenza, il territorio comunale di **Giave/Cossoine/Cheremule** ricade in **Zona 4 a bassa pericolosità**, vengono indicati i parametri sismici da utilizzare nelle verifiche secondo quanto previsto dalle NTC 2018.

T_c^* valore di riferimento per la determinazione del periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.¹

Per i valori di a_g , F_o e T_c^* necessari per la determinazione delle azioni sismiche, si fa riferimento agli Allegati A e B al Decreto del Ministro delle Infrastrutture 14 gennaio 2008, pubblicato nel S.O. alla Gazzetta Ufficiale del 4 febbraio 2008, n.29, ed eventuali successivi aggiornamenti.

7.2. Vita nominale, classi d'uso e periodo di riferimento

La tipologia di costruzioni previste in progetto (NTC2018 - par.2.4) ha **vita nominale ≥ 50 anni** e appartiene alla **classe d'uso II**.

| TIPI DI COSTRUZIONI | | Valori minimi di V_N (anni) |
|---------------------|---|-------------------------------|
| 1 | Costruzioni temporanee e provvisorie | 10 |
| 2 | Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari | 50 |
| 3 | Costruzioni con livelli di prestazioni elevati | 100 |

Figura 10 Valori minimi della Vita nominale V_N di progetto per i diversi tipi di costruzioni.

Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.

Classe II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

Classe III: Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.

Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento V_R che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_U :

$$V_R = V_N \times C_U$$

Il valore del coefficiente d'uso C_U è definito, al variare della classe d'uso, come mostrato in Tab. 2.4.II (Figura 22). Nel Caso specifico $C_U = 1,0$.

¹ Per i valori di a_g , F_o e T_c^* necessari per la determinazione delle azioni sismiche, si fa riferimento agli Allegati A e B al Decreto del Ministro delle Infrastrutture 14 gennaio 2008, pubblicato nel S.O. alla Gazzetta Ufficiale del 4 febbraio 2008, n.29, ed eventuali successivi aggiornamenti.

| | | | | |
|--------------------------------------|-----|-----|-----|-----|
| CLASSE D'USO | I | II | III | IV |
| COEFFICIENTE C_T | 0,7 | 1,0 | 1,5 | 2,0 |

Figura 11 Valori di coefficiente d'uso CU

Il valore del periodo di riferimento è $V_r = 50$

7.3. Amplificazione stratigrafica e topografica

Nel caso di pendii con inclinazione maggiore di 15° e altezza maggiore di 30 m, l'azione sismica di progetto deve essere opportunamente incrementata o attraverso un coefficiente di amplificazione topografica o in base ai risultati di una specifica analisi bidimensionale della risposta sismica locale, con la quale si valutano anche gli effetti di amplificazione stratigrafica

Per le aree di installazione delle turbine la **categoria topografica è la T1** a cui corrisponde un valore del fattore di amplificazione pari a 1.0.

| Categoria | Caratteristiche della superficie topografica |
|-----------|---|
| T1 | Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$ |
| T2 | Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$ |
| T3 | Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$ |
| T4 | Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$ |

Figura 12 Categorie topografiche (NTC 2018 3.2 - Tab. 3.2.II)

Tab. 3.2.V – Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica S_T

| Categoria topografica | Ubicazione dell'opera o dell'intervento | S_T |
|-----------------------|--|-------|
| T1 | - | 1,0 |
| T2 | In corrispondenza della sommità del pendio | 1,2 |
| T3 | In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a 30° | 1,2 |
| T4 | In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di 30° | 1,4 |

Figura 13 Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica S_T (NTC 2018 3.2 - Tab. 3.2.V)

Al fine di definire l'azione sismica di progetto, basata sull'identificazione della categoria del sottosuolo di riferimento, si è voluto definire il parametro fondamentale per la "classificazione sismica dei terreni", e quindi per la determinazione della categoria, **corrispondente alla velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio VS30**, valutata entro i primi 30 m di profondità dal piano campagna ma nel caso specifico relativa alla quota di imposta delle fondazioni.

Per tale scopo, in accordo agli approcci semplificati proposti dal D.M. 17/01/2018 - Tab. 3.2.II (Figura 23) la determinazione del parametro delle onde di taglio VS30 è stato stimato mediante misura delle velocità sismiche attraverso l'esecuzione di una prospezione geofisica MASW di seguito descritta in dettaglio.

8. 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 |

Tabella 1 Ubicazione degli stendimenti

Al fine di definire le caratteristiche fisico-meccaniche e sismiche dei terreni di sedime di cui al progetto è stata eseguita una prospezione sismica eseguita con la tecnica MASW.

L'indagine sismica attiva con tecnica MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine non invasiva, che attraverso la definizione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali Vs, è in grado di ricostruire una sismo-stratigrafia atta a permettere la definizione della categoria di suolo ai sensi del Decreto 17/01/2018.

Per l'esecuzione del cantiere d'interesse, è stata usata una strumentazione di acquisizione DoReMi, prodotto dalla SARA Electronic Instruments, 24 bit con frequenza di campionamento di 5000 Hz per ognuno dei canali registrati, ciascuno attrezzato con geofoni verticali SARA Electronics con frequenza propria di 4.5 Hz. Per l'energizzazione è stata usata una mazza battente da 10 kg impattante 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-19 | Rev 0 | Pagina 21 di 30 |
|----------------|---------------------|------------------------------------|-------|--------------------|

8.1.1. 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

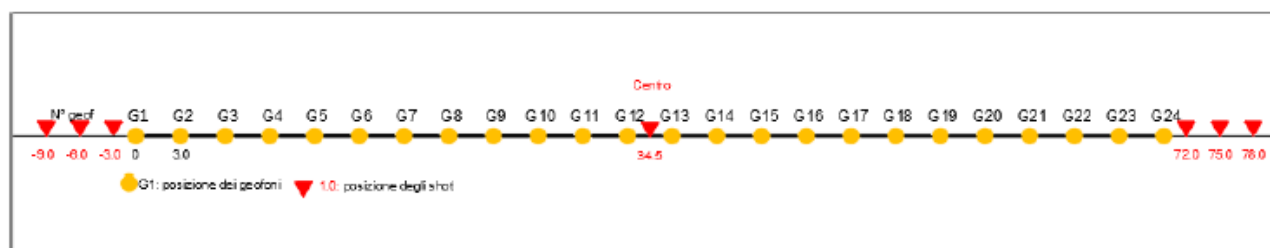
Le onde di Rayleigh decadono a profondità circa uguali alla lunghezza d'onda. Piccole lunghezze d'onda (alte frequenze) consentono di indagare zone superficiali mentre grandi lunghezze d'onda (basse frequenze) consentono indagini a maggiore profondità.

8.1.2. 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



8.1.3. 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.

8.1.4. 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.

8.1.5. 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. |

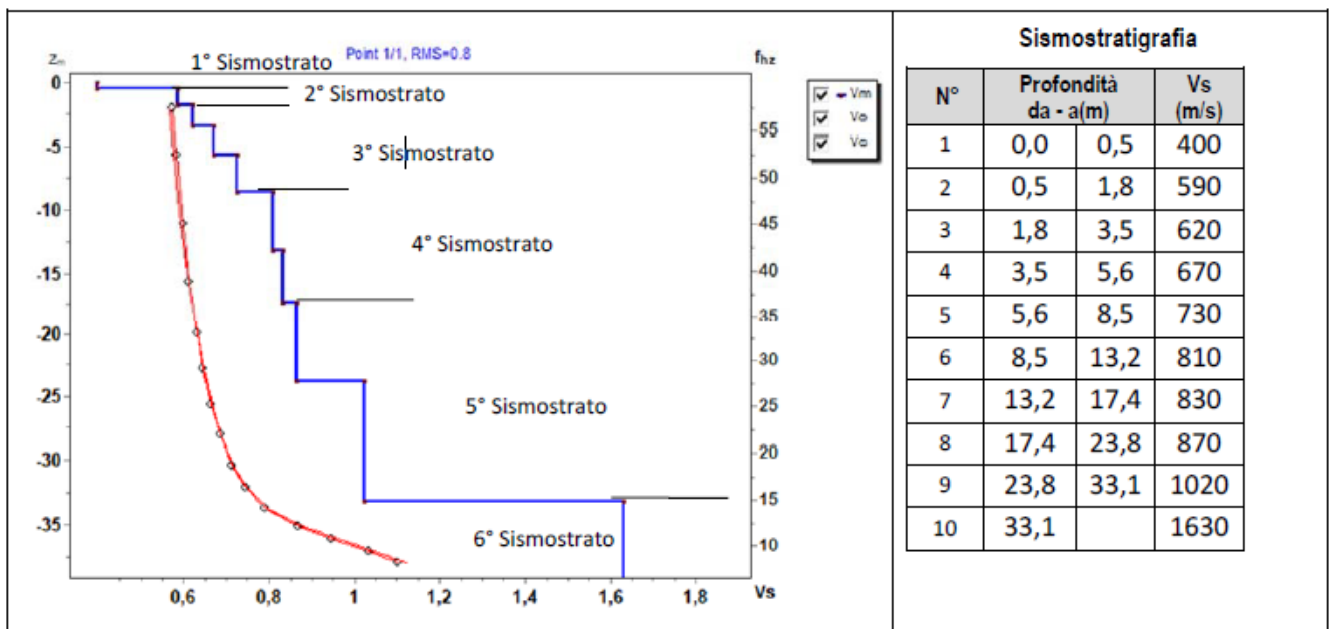
8.2. Risultati delle indagini del sito SMT01

8.2.1. 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.

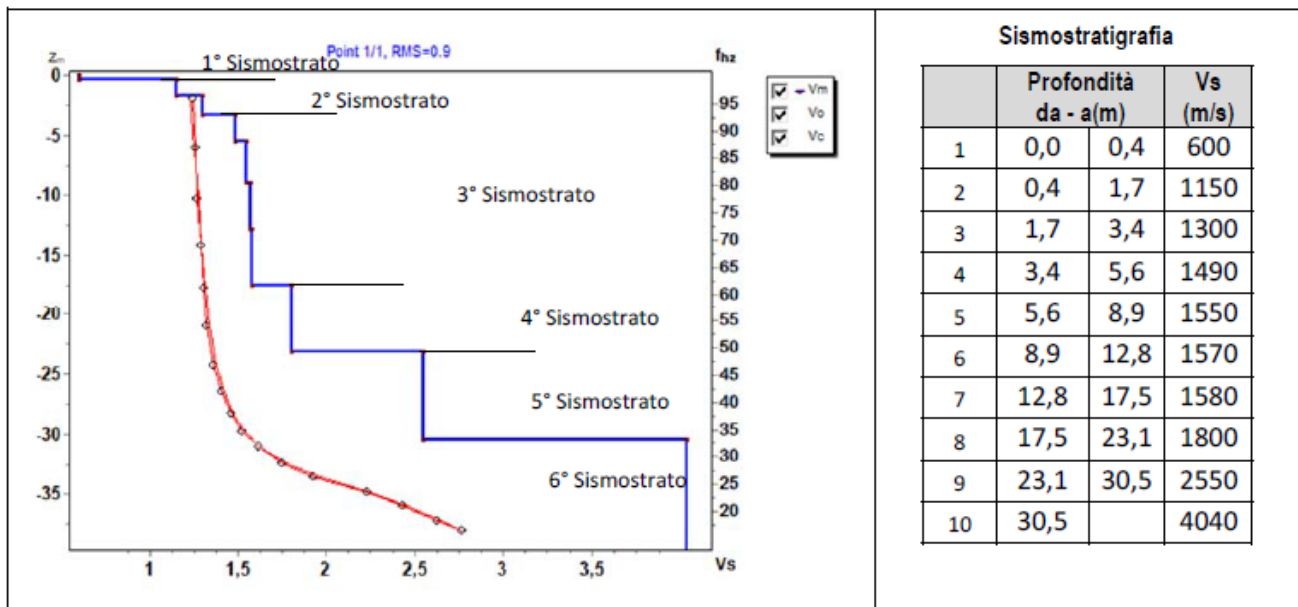
8.3. Risultati delle indagini del sito SMT02

8.3.1. 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.

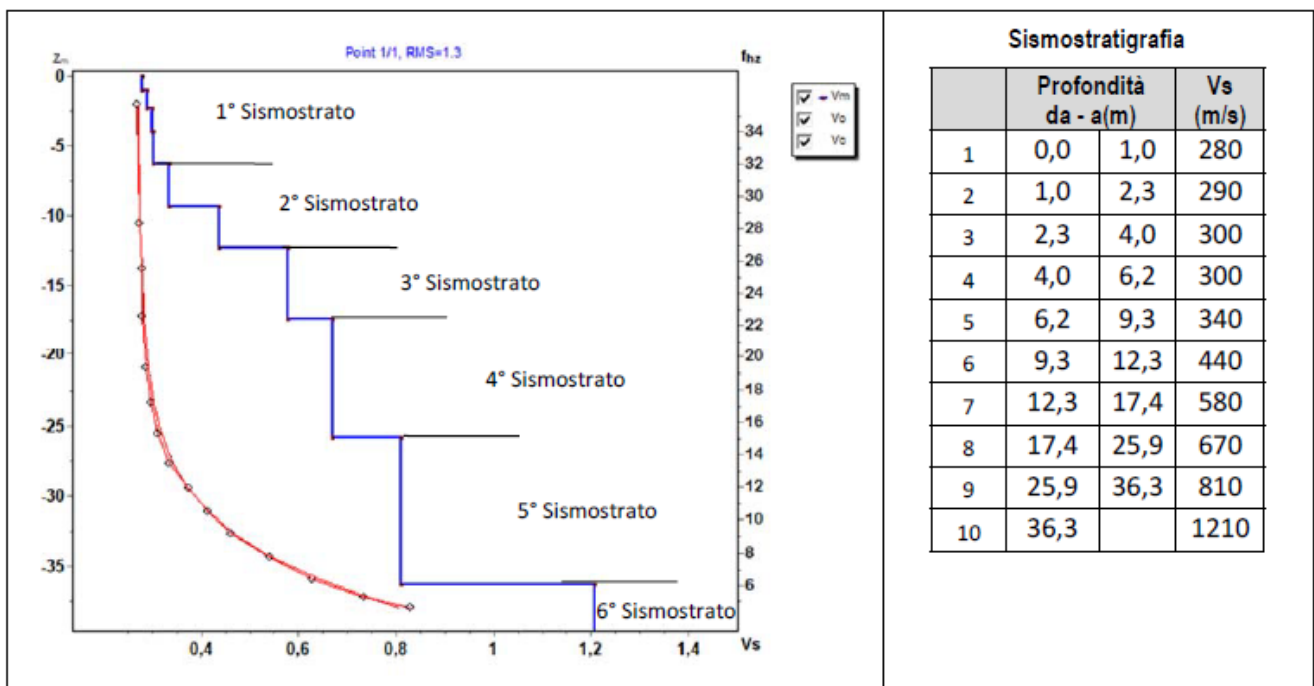
8.4. Risultati delle indagini del sito SMT03

8.4.1. 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.

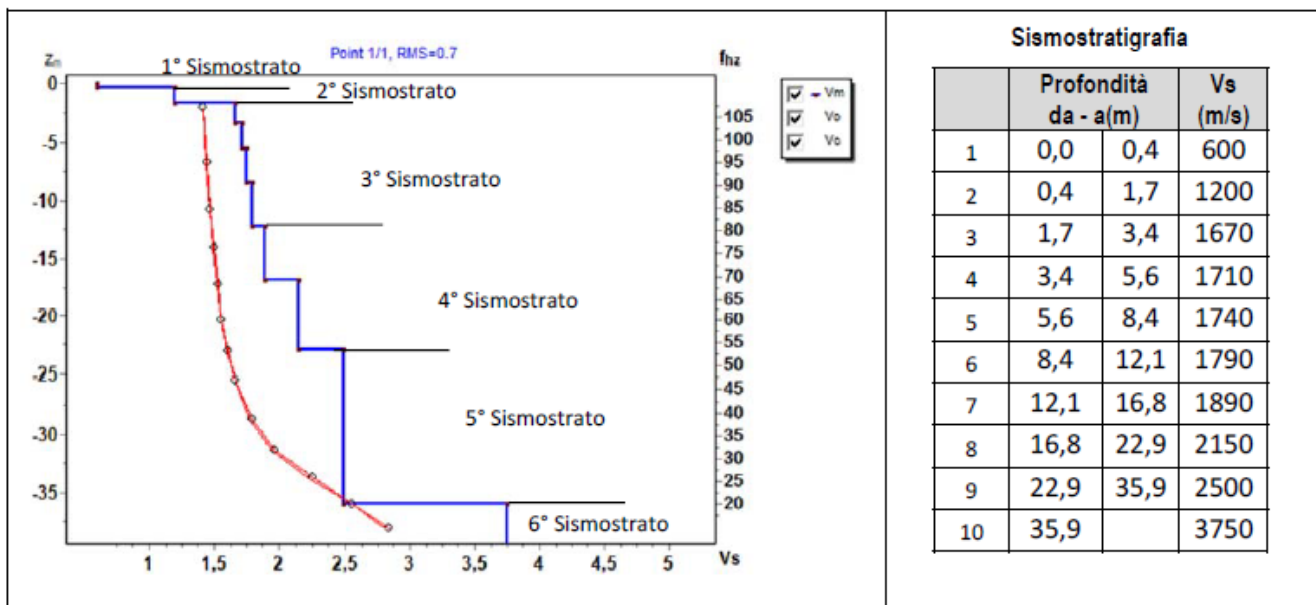
8.5. Risultati delle indagini del sito SMT04

8.5.1. 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.

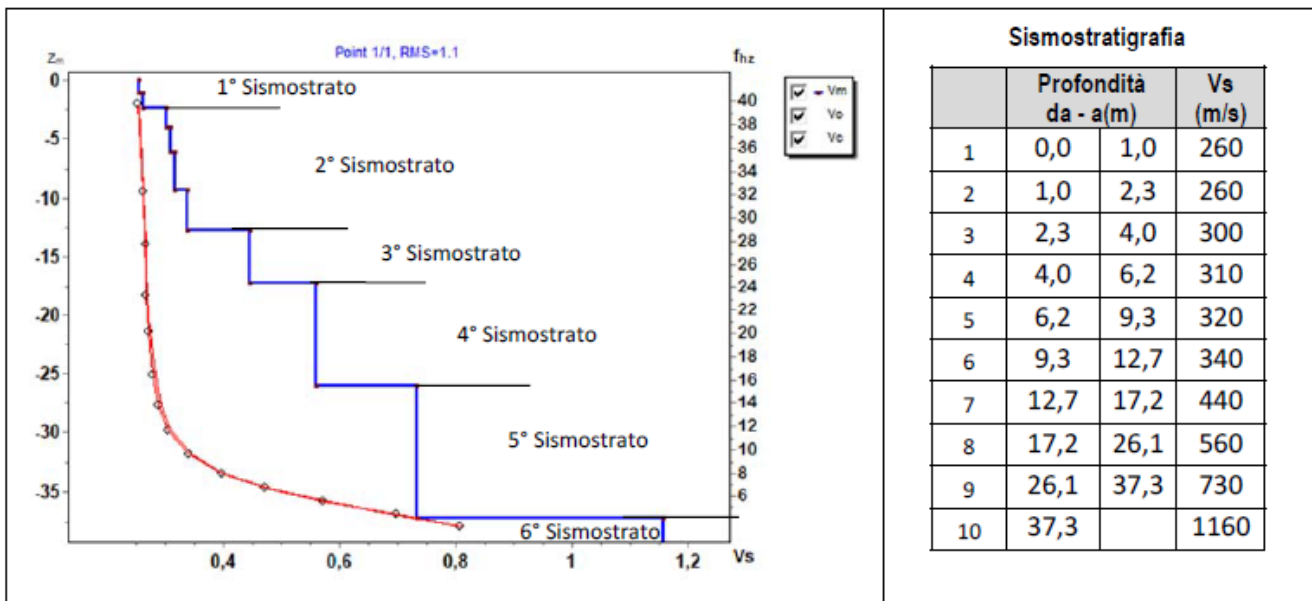
8.6. Risultati delle indagini del sito SMT05

8.6.1. 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.

9. Categorie di sottosuolo e parametri di pericolosità sismica

Attraverso le indagini con la tecnica MASW 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 |

Il substrato roccioso ($V_s > 800$ m/s) si rileva profondità variabile tra 0,4m e 25,9m che dà luogo alle categoria A e B come specificato nello schema sottostante.

Tab. 3.2.II – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.

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

In base ai dati di localizzazione, tipologia dell'opera e classe d'uso si quindi sono calcolati i parametri sismici relativi alle verifiche SLO, SLD, SLV e SLC. (SW AZTEC Sisma 10.0):

| Parametri sismici | | | | |
|-------------------|-----------------|------------------------------|--------------|----------------|
| | T_R [anni] | a_g [m/s ²] | F_0 [-] | T_C^* [s] |
| SLO | 30 | 0,183 | 2,610 | 0,273 |
| SLD | 50 | 0,231 | 2,670 | 0,296 |
| SLV | 475 | 0,490 | 2,880 | 0,340 |
| SLC | 975 | 0,591 | 2,980 | 0,372 |

dove:
 Stati limite di esercizio
 Stato Limite di Operatività (SLO)
 Stato Limite di Danno (SLD)

Stati limite ultimi
 Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV)
 Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC)

a_g accelerazione orizzontale massima al sito
 F_0 valore massimo del fattore di ampl.dello spettro in accelerazione orizzontale
 T_C^* periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in acc.orizzontale

10. Conclusioni

Il territorio comunale di **Giave/Cossoine/Cheremule** ricade in **Zona 4 a bassa pericolosità**.

Le indagini condotte hanno permesso di definire le condizioni dei terreni secondo quanto richiesto dalle NTC 2018 in relazione alla pericolosità sismica di base.

I terreni investigati appartengono alla categoria di sottosuolo A – Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi, con velocità equivalenti superiori agli 800m/s e B – Rocce tenere e/o depositi a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, con velocità equivalenti comprese tra 366m/s e 709m/s.