



## IMPIANTO EOLICO "NULVI"

## COMUNE DI NULVI

### PROPONENTE

Sardegna Nulvi 1 Srl  
Via Nazionale n. 39  
09024 - Nuraminis (SU)

### IMPIANTO EOLICO "NULVI" NEL COMUNE DI NULVI

OGGETTO:  
Relazione geologica

CODICE ELABORATO

NL\_SIA\_A013

### COORDINAMENTO



**BIA srl**  
PIVA 03983480926  
cod. destinatario KRRH6B9  
+ 39 347 596 5654  
energhiabia@gmail.com  
energhiabia@pec.it  
piazza dell'Annunziata n. 7  
09123 Cagliari (CA) | Sardegna

### GRUPPO DI LAVORO S.I.A.

Dott.ssa Geol. Cosima Atzori  
Dott. Giulio Casu  
Dott. Archeol. Fabrizio Delussu  
Dott. Ing. Ivano Distinto  
Dott.ssa Ing. Silvia Exana  
Dott. Nat. Vincenzo Ferri  
Dott. Ing. Carlo Foddis  
Dott.ssa Ing. Ilaria Giovagnorio  
Dott. Nat. Giorgio Lal  
Dott. Federico Loddo  
Dott. Ing. Giovanni Lovgu  
Dott. Ing. Bruno Manca  
Dott. Nat. Nicola Manis  
Dott. Nat. Maurizio Medda  
Dott.ssa Ing. Alessandra Scaldas  
Federica Zaccheddu

### REDATTORE

Dott.ssa Geol. Cosima Atzori

00	Novembre 2023	Emissione per procedura VIA
REV.	DATA	DESCRIZIONE REVISIONE

## Sommario

<b>1. PREMessa E FINALITÀ DELLO STUDIO .....</b>	<b>3</b>
<b>2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>3</b>
<b>3. STUDI ED INDAGINI DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>4</b>
<b>4. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO GENERALE .....</b>	<b>4</b>
<b>5. CARATTERISTICHE DI PROGETTO DELL'OPERA .....</b>	<b>9</b>
<b>6. INQUADRAMENTO GEOLOGICO .....</b>	<b>12</b>
DESCRIZIONE DEL CONTESTO GEOLOGICO DELL'AREA VASTA OGGETTO DI INTERVENTO .....	12
ANALISI DELLE CONDIZIONI GEOSTRUTTURALI DELL'AREA E CARATTERISTICHE DELLE DISCONTINUITA' .....	18
ANALISI QUALITATIVA DI STABILITÀ DELL'AMMASSO ROCCIOSO .....	19
<b>7. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO .....</b>	<b>20</b>
<b>8. INQUADRAMENTO IDROLOGICO E IDROGEOLOGICO .....</b>	<b>23</b>
SCHEMA DELLA CIRCOLAZIONE IDRICA SUPERFICIALE .....	23
SCHEMA DELLA CIRCOLAZIONE IDRICA SOTTERRANEA .....	24
ANALISI DELLA VULNERABILITÀ DEGLI ACQUIFERI .....	28
<b>9. INQUADRAMENTO CLIMATICO .....</b>	<b>30</b>
PRECIPITAZIONI .....	31
TEMPERATURE .....	32
STIMA DELL'EVAPOTRASPIRAZIONE .....	33
<b>10. INQUADRAMENTO PEDOLOGICO .....</b>	<b>39</b>
<b>11. USO DEL SUOLO .....</b>	<b>41</b>
<b>12. ANALISI DEI VINCOLI GRAVANTI SUI TERRENI .....</b>	<b>43</b>
PIANO STRALCIO D'ASSETTO IDROGEOLOGICO DELLA SARDEGNA (P.A.I.) .....	43
INVENTARIO DEI FENOMENI FRANOSI – PROGETTO I.F.F.I. ....	47
PIANO STRALCIO DELLE FASCE FLUVIALI (P.S.F.F.) .....	49
PIANO DI GESTIONE DEL RISCHIO ALLUVIONI (PGRA) .....	49
<b>13. INDAGINI GEOGNOSTICHE .....</b>	<b>52</b>
GENERALITÀ SUL METODO SISMICO A RIFRAZIONE .....	53
CARATTERISTICHE DELLE STESE SISMICHE .....	54
CARATTERISTICHE DELLA STRUMENTAZIONE IMPIEGATA .....	54
ELABORAZIONE DEI DATI .....	54
INDAGINI SISMICHE: MASW .....	55
<i>Specifiche delle indagini svolte</i> .....	56
<i>Caratteristiche della strumentazione impiegata</i> .....	57
<i>Interpretazione dei segnali acquisiti</i> .....	57
CATEGORIE DI SOTTOSUOLO - D.M. 19.01.2018 (NTC 2018) .....	58
UBICAZIONE DELLE INDAGINI ESEGUITE .....	59
RISULTATI DELLE INDAGINI DEL SITO NU_SISM_01-TURBINA AG02 .....	60
M1- NU_SISM_01-AG02: MASW .....	60
M1- NU_SISM_01-AG02: SISMICA A RIFRAZIONE .....	61
RISULTATI DELLE INDAGINI SITO NU_SISM_02-TURBINA AG05 .....	63
M2- NU_SISM_02-AG05: MASW .....	63

<i>SM2- NU_SISM_02-AG05: SISMICA A RIFRAZIONE</i> .....	64
<i>SM3- NU_SISM_03-AG09: SISMICA A RIFRAZIONE</i> .....	65
<i>SM4- NU_SISM_04-AG12: SISMICA A RIFRAZIONE</i> .....	66
<b>14. MODELLAZIONE GEOLOGICA</b> .....	<b>68</b>
CARATTERIZZAZIONE GEOSTRUTTURALE DEGLI AMMASSI ROCCIOSI .....	68
MODELLO GEOLOGICO DI SITO .....	74
MODELLO GEOLOGICO 01 .....	74
MODELLO GEOLOGICO 02 .....	75
<b>15. CONCLUSIONI: CRITICITÀ GEOLOGICHE E SUGGERIMENTI OPERATIVI</b> .....	<b>77</b>

# 1. Premessa e finalità dello studio

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

Nell’ambito della redazione del Progetto Definitivo che prevede la realizzazione di un impianto eolico per la produzione di energia elettrica, di potenza nominale pari a 74.400 kW denominato **“Nulvi”** e dislocato nel territorio comunale di **Nulvi** nella Provincia di Sassari, al fine di avere un quadro completo del contesto geologico 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:

- Analisi dell’assetto geologico e geomorfologico e definizione del modello geologico di sito;
- La caratterizzazione geotecnica preliminare del modello geologico di sito.

## 2. Normativa di riferimento

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

- D.M LL.PP. 11.03.1988 “Norme Tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii attuali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni 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.
- Circ. Min. LL.PP. n° 30483 del 24.09.1988 – Istruzioni per l’applicazione del D.M. LL.PP.11.03.1988.
- Raccomandazioni, programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche, 1975 – Associazione Geotecnica Italiana.
- D.M. Infrastrutture 17.01.2018 - Norme Tecniche per le Costruzioni. (6.2.1 – Caratterizzazione e modellazione geologica del sito, 6.4.2 Fondazioni superficiali)
- Circ. Min. Infrastrutture e Trasporti 21.01.2019 n°7 – Istruzioni per l’applicazione delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al Decreto Ministeriale 17.01.2018.
- D.L. 3 aprile 2006, n. 152 e successive modificazioni - “Norme in materia ambientale”.

### 3. Studi ed indagini di riferimento

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

- Carta Topografica I.G.M. scala in 1:25000
- Carta Tecnica Regionale in scala 1:10000 nel foglio 442 "Sedini" sezioni 442090 Tergu, 442100 Sedini, nel foglio 430 "Osilo" sezioni 442130 Monte Eri, 442140 Su Sassu e nel foglio 460 "Ploaghe" sezioni 460010 Nulvi, 460020 Martis.
- Carta Geologica dell'Italia in scala 1:100000, nel foglio n°180 "Sassari"
- Carta Geologica dell'Italia in scala 1:50.000 (CARG) nel foglio n°459 "Sassari".
- Cartografia Geologica di base della R.A.S. in scala 1:25.000
- RAS - Carta dell'Uso del Suolo della Regione Sardegna, 2008
- I.S.P.R.A. - Archivio nazionale delle indagini nel sottosuolo (legge 464/84)
- RAS – Studio dell'Idrologia Superficiale della Sardegna, annali idrologici 1922-2009
- RAS – Autorità di Bacino - Piano Stralcio d'Assetto Idrogeologico
- RAS – Autorità di Bacino - Piano di Tutela delle Acque
- RAS – Autorità di Bacino - Piano Stralcio delle Fasce Fluviali
- Foto aeree, Regione Sardegna

I dati a disposizione sono stati integrati con le informazioni derivanti dai sopralluoghi effettuati dalla scrivente in sito e dagli esiti della campagna delle indagini geofisiche eseguita in data 8-9 agosto 2023 nella zona di interesse.

### 4. Inquadramento geografico generale

Nulvi è un Comune della provincia di Sassari situato nella zona nord-occidentale della Sardegna, a 470 metri sul livello del mare, situato nella regione storica dell'Anglona. Nulvi è stata per secoli il centro principale dell'Anglona, regione storica del nord Sardegna; vi erano presenti il carcere, la pretura, il Comando della tenenza dei carabinieri, il consiglio di leva per il nord Sardegna, la scuola superiore di agraria (la prima nata in Sardegna). Con il passare degli anni Nulvi ha perso tutti i servizi sopraindicati e, con essi, il ruolo di principale centro dell'area.

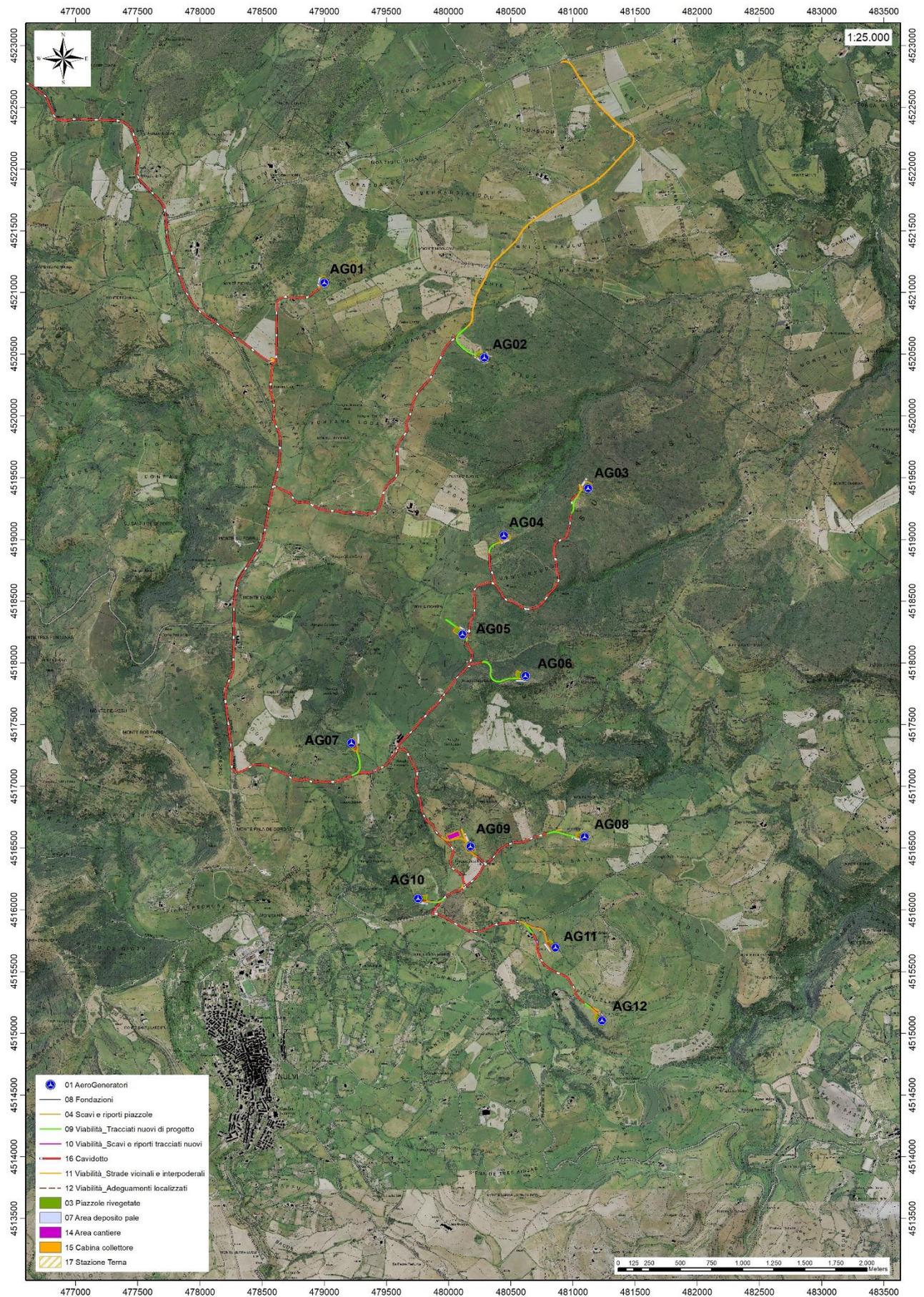
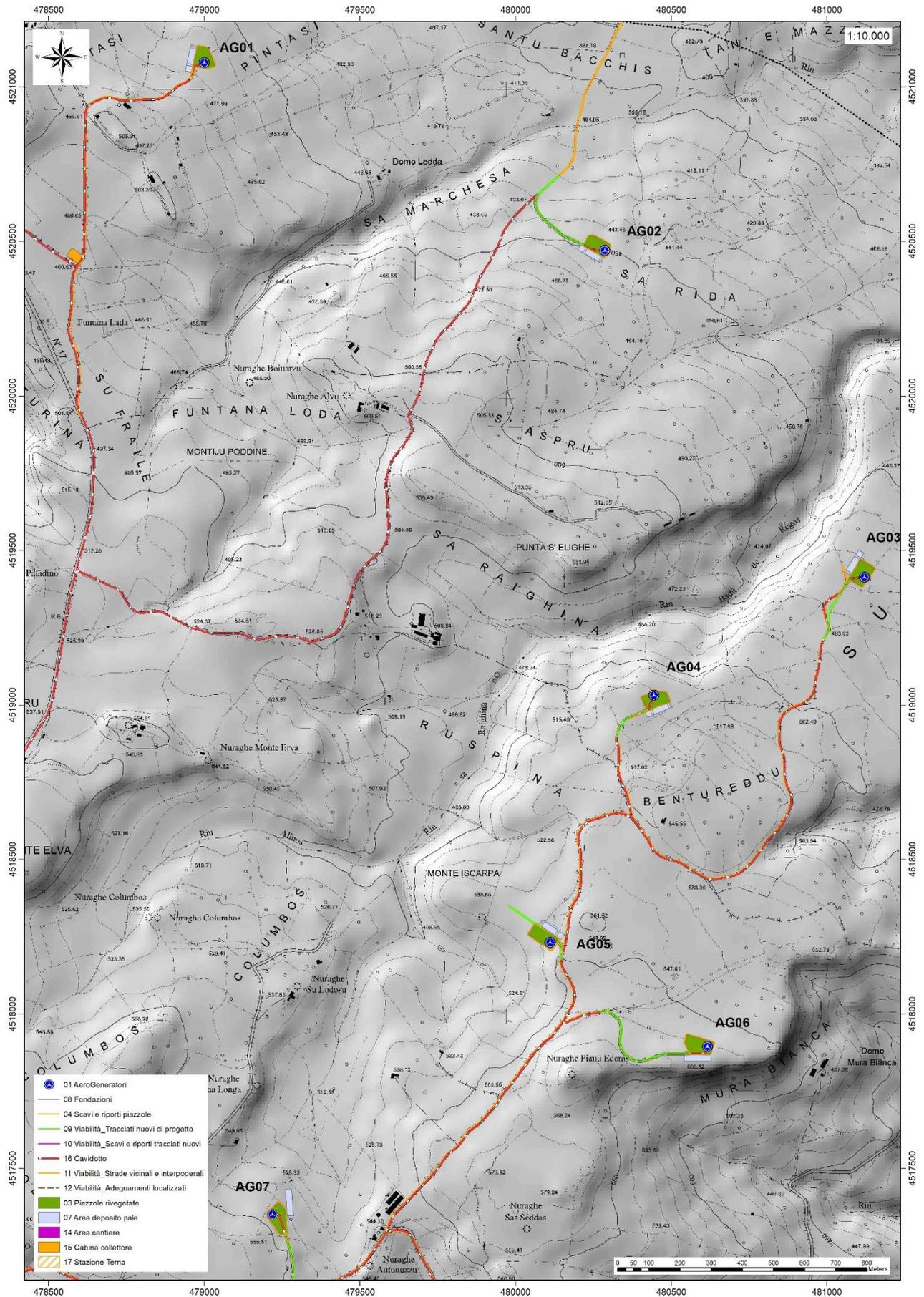


Figura 1 Localizzazione su foto aerea (Fonte RAS, 2016) dell'area interessata dal progetto



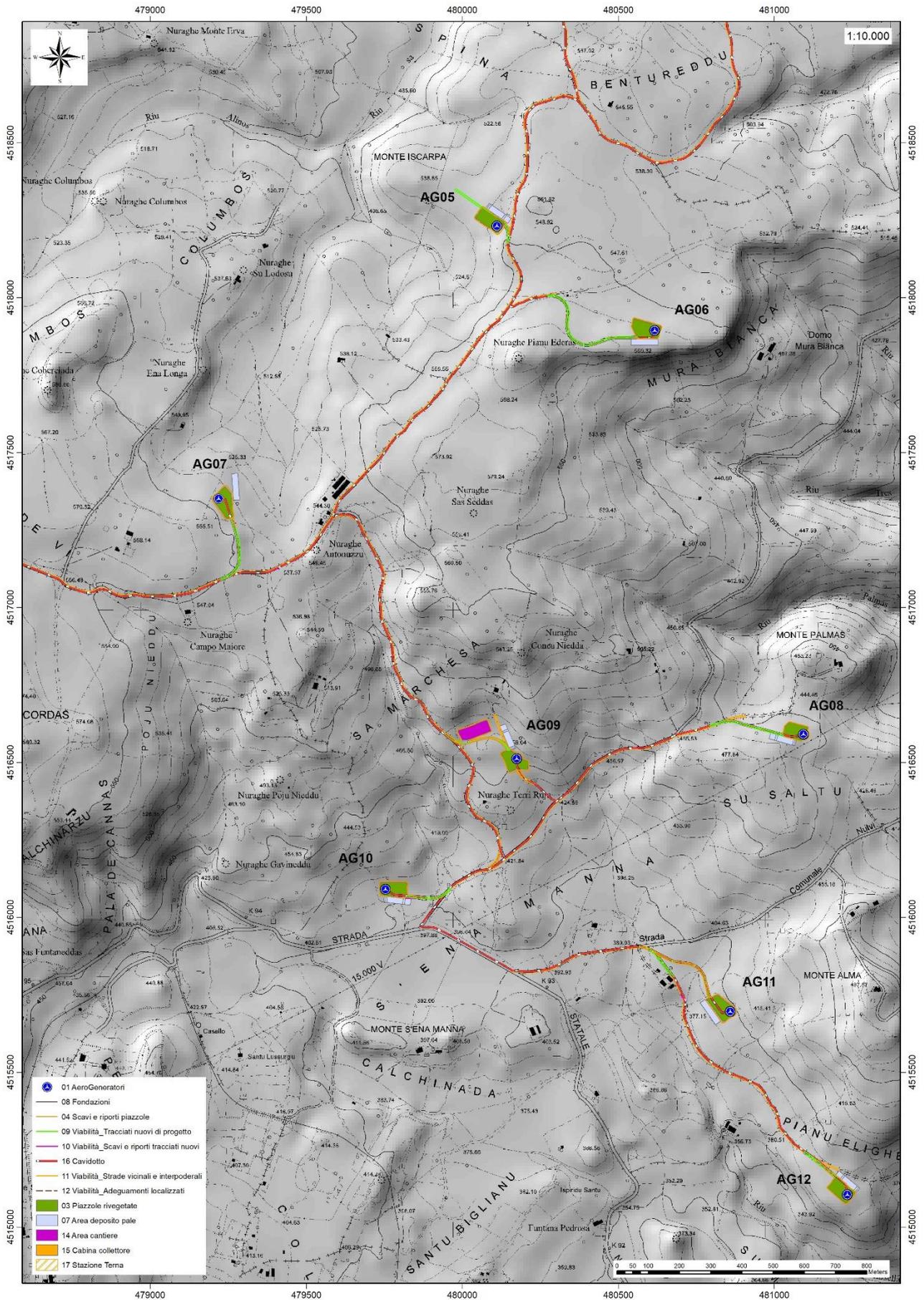


Figura 2 Inquadramento topografico su Carta Tecnica Regionale C.T.R. scala 1:10000

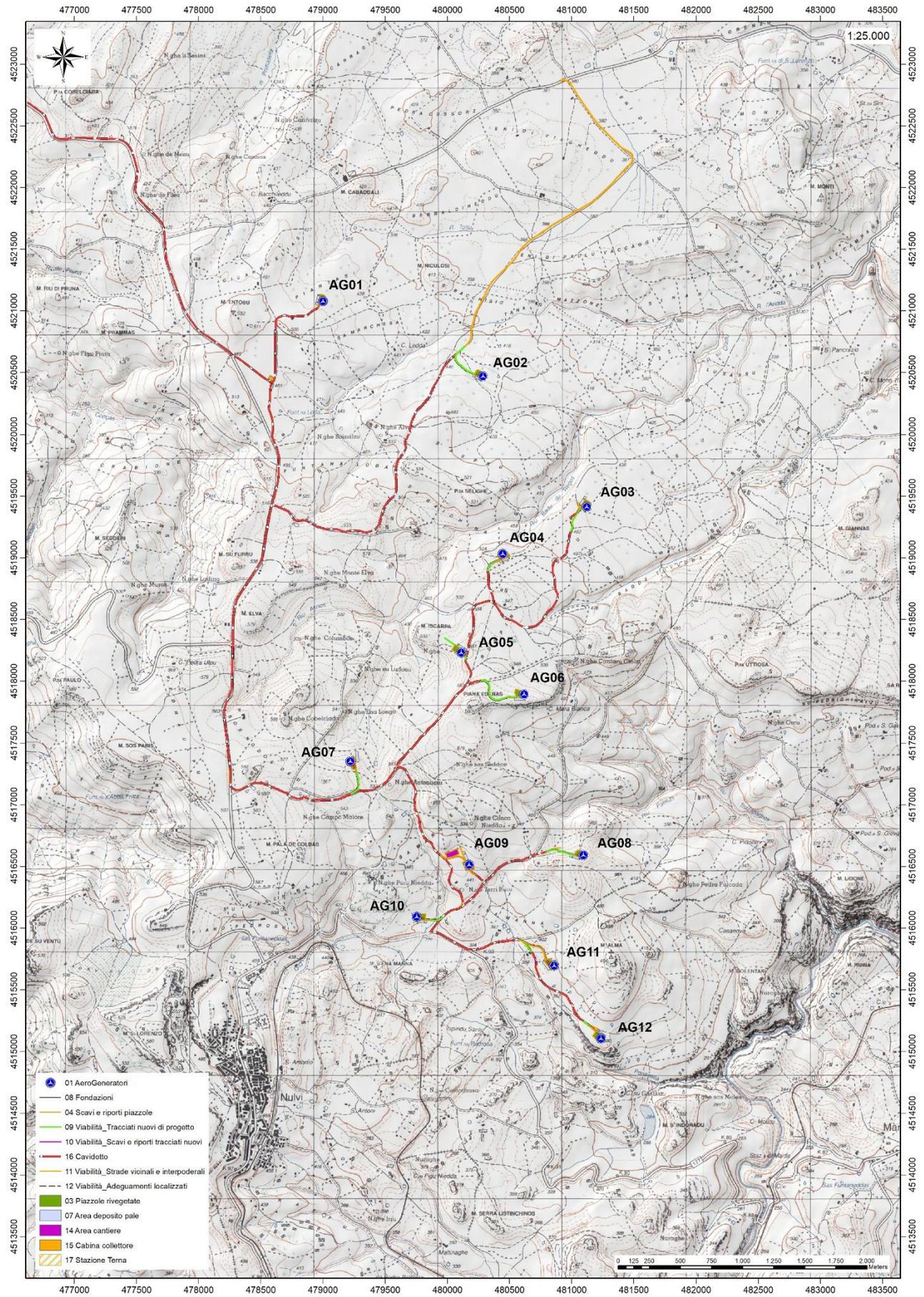


Figura 3 Inquadramento topografico su Carta IGM scala 1:25000

L'inquadramento cartografico di riferimento è il seguente:

- Cartografia ufficiale dell'Istituto Geografico Militare I.G.M scala 1:25 000. Serie 25 –Fogli: 442 "Sedini" sez. III, e 460 "Osilo" sez. IV.
- Carta Tecnica Regionale scala 1:10 000 – Sezioni: 442130, 442140, 460010,460020.

L'area produttiva dell'impianto dista circa 1,88 km dalla periferia centro abitato di Nulvi, circa 2,72 km da quella di Martis, circa 4,44 km da quella di Sedini e circa 4,11 km da quella di Tergu, l'ambiente è prevalentemente collinare, con quote di posa degli aerogeneratori comprese tra 380 a 575 metri s.l.m.

Le turbine, posizionate tra i 400m slmm e i 500m slmm, verranno posizionate su pianori (Piantasi per AG01, Tana Mazzone per AG02, Su Sassu per AG03 e AG04, Ruspina per AG05, AG06, Sos Nodos Deui per AG07e Sena Manna per AG08, AG09, AG10 mentre AG11e AG12 sono posizionate lungo il versante sudoccidentale del Monte Alma (496m).

## 5. Caratteristiche di progetto dell'opera

È prevista l'installazione di 12 aerogeneratori con potenza nominale di 6200 kW sono posti in cima a torri tronco coniche in acciaio con un'altezza massima fuori terra, misurata al mozzo, di 119 m; il generatore è azionato da elica tripala con diametro di 162 m.

Le coordinate relative ai punti di installazione degli aerogeneratori sono riportate nella tabella di seguito:

WTG	Italy GAUSS-BOAGA		Geografiche WGS84		QUOTA base torre m s.l.m.	ALTEZZA HUB torre m
	EST	NORD	EST	NORD		
AG_01	1479029,0464	4521087,3576	8°45'3,41"	40°50'25,67"	466,25	119
AG_02	1480315,7332	4520479,3516	8°45'58,42"	40°50'6,06"	448,50	119
AG_03	1481235,1736	4519411,4791	8°46'37,79"	40°49'31,50"	470,00	119
AG_04	1480473,4608	4519040,1343	8°46'5,32"	40°49'19,40"	519,00	119
AG_05	1480139,7388	4518240,4325	8°45'51,17"	40°48'53,44"	541,22	119
AG_06	1480646,0344	4517902,9167	8°46'12,82"	40°48'42,54"	560,50	119
AG_07	1479247,9582	4517359,9487	8°45'13,21"	40°48'24,81"	544,75	119
AG_08	1481122,5731	4516599,2794	8°46'33,30"	40°48'0,30"	458,00	119
AG_09	1480203,4876	4516520,6146	8°45'54,08"	40°47'57,67"	453,00	119
AG_10	1479782,8548	4516099,0329	8°45'36,18"	40°47'43,96"	403,45	119
AG_11	1480888,1393	4515704,4094	8°46'23,39"	40°47'31,26"	395,40	119
AG_12	1481263,0676	4515113,0583	8°46'39,45"	40°47'12,11"	384,55	119

L'aerogeneratore è essenzialmente costituito da:

- rotore a tre pale che capta l'energia del vento, avente il mozzo collegato ad una navicella in cui avviene il processo di trasformazione dell'energia cinetica del vento in energia elettrica;
- torre o sostegno che ha il compito di sostenere l'apparato di produzione (navicella+rotore) alla quota individuata come ideale attraverso le simulazioni di produttività.

L'aerogeneratore ipotizzato per le valutazioni progettuali è stato scelto tra quelli maggiormente efficienti e sofisticati presenti attualmente sul mercato; tuttavia, in fase di installazione si potranno avere variazioni tipologiche con macchine simili per caratteristiche dimensionali e tecnico-produttive, ferme restando le caratteristiche dimensionali massime dell'aerogeneratore.

<b>DATI TIPOLOGICI E DIMENSIONALI AEROGENERATORI</b>	
<b>NUMERO TOTALE AEROGENERATORI IN PROGETTO</b>	<b>12</b>
<b>POTENZA GENERATORE</b>	<b>6200 KW</b>
<b>ALTEZZA MASSIMA HUB</b>	<b>119 m</b>
<b>DIAMETRO ROTORE</b>	<b>162 m</b>
<b>ALTEZZA MASSIMA RAGGIUNGIBILE</b>	<b>200 m</b>
<b>AREA SPAZZATA DAL ROTORE</b>	<b>20611 mq</b>
<b>NUMERO PALE</b>	<b>3</b>
<b>LUNGHEZZA PALE</b>	<b>79,35 m</b>

Figura 4 Aerogeneratore tipo Vestas V162 da 6,2MW

Potenza nominale: 6200 kW e tensione nominale di 800 volt;

- Potenza unitaria generatore: 6250 kW;
- Frequenza: 0 – 138 Hz;
- Numero pale: 3;
- Lunghezza pale: 79,35 m;
- Raggio del rotore: 81 m;
- Area spazzata: 20611 m<sup>2</sup>;
- Tipo di sostegno: tubolare metallico;
- Altezza da terra del rotore: max 119 m;
- Fondazioni: piastra in C.A. dimensioni di circa 26 m di diametro; completamente interrata ad una profondità massima di 4,09 m;
- Piazzola di servizio: circa 3700 m<sup>2</sup> (variabile da 3465 a 3893 m<sup>2</sup>);
- Superficie impronta fondazione 530,9 m<sup>2</sup>;
- Ingombro scavo fondazione: circa 849,09 m<sup>2</sup>.

Il collegamento elettrico tra gli aerogeneratori e la Cabina Collettore avverrà mediante un elettrodotto interrato che seguirà in gran parte il tracciato delle strade esistenti e in piccola parte di quelle di nuova realizzazione necessarie per l'accesso ad alcune piazzole.

Il collegamento tra la Cabina Collettore e stazione elettrica Terna sarà realizzato attraverso la costruzione di un raccordo di lunghezza di circa 3799 m in cavo MT interrato.

Le strade di accesso al parco sono state previste secondo le specifiche di curva, inclinazione longitudinale e pendenza previste dal produttore delle componenti del generatore eolico, così da permettere ai mezzi pesanti che opereranno durante la fase di cantiere di manovrare e percorrere la viabilità..

La carreggiata stradale prevista in progetto, in accordo con quanto richiesto dai costruttori delle turbine eoliche, ha una larghezza pari a 5.0 m. Sui tratti rettilinei, quando per svariati motivi è necessario ridurre gli interventi sulla viabilità, essa può essere ridotta a 4,5 m. La pendenza longitudinale massima della viabilità per strade con fondo sterrato o ghiaioso deve essere in condizioni ordinarie del 10% circa, la pendenza può essere del 14-15% per strade con fondo sterrato ad aderenza migliorata, per pendenze superiori il fondo dovrà essere cementato o rivestito con pavimentazione ecologica (costituita da una miscela di inerti, cemento, acqua, opportuni additivi e specifici pigmenti atti a conferire al piano stradale una colorazione il più possibile naturale e coerente con il contesto). I dati dimensionali per le manovre si riducono notevolmente e i raggi di curvatura di riferimento diventano quelli del trasporto dell'elemento di torre più lungo e non più quello delle pale che viaggeranno con alza pala a velocità ridotte, si passa quindi da una lunghezza del convoglio di circa 80m a circa 40 metri con un raggio di curvatura tra i 40 e 50 m.

Le componenti con il maggiore ingombro che percorreranno il tragitto dal porto di Porto Torres ai luoghi d'intervento sono le navicelle dei generatori, i tronchi delle torri di sostegno e le pale.

La viabilità di arrivo prevista è composta da Strade Statali, Provinciali e Comunali. La viabilità esistente è per lo più in condizioni idonee, e saranno necessari adeguamenti solo nell'ultimo tratto di accesso al sito di progetto, limitando gli interventi a modifiche temporanee del tracciato per permettere il transito in sicurezza delle componenti e dei mezzi.

Per ulteriori specifiche si rimanda agli elaborati tecnici di progetto.

## 6. Inquadramento geologico

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

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

### 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 rinvengono 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.

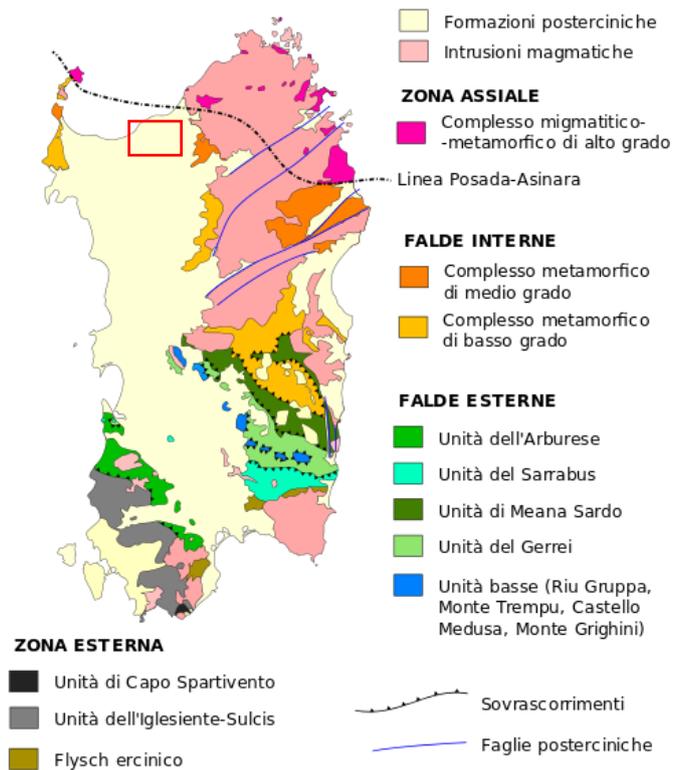


Figura 5 Schema tettonico-strutturale della Sardegna

chimismo acido è composta da rioliti, riodaciti e daciti in espandimenti ignimbrici.

Queste rocce vulcaniche effusive sono state prodotte da un'intensa attività magmatica in un arco di tempo compreso tra 29 M.a e 19 M.a, intervallate da periodi di stasi vulcanica, durante i quali l'attività erosiva delle acque torrentizie, ha portato alla sedimentazione di intercalazioni di depositi arenacei conglomeratici, a elementi clastici prevalentemente vulcanici.

I depositi recenti sono rappresentati dai prodotti di disfacimento della roccia madre e dei suoi derivati e vanno a colmare le vallecole e/o i piccoli impluvi presenti. Sono generalmente costituiti da sabbie argillose e argille sabbiose o limose di colore dal giallo ocra al bruno al rosso-violaceo, particolarmente plastiche e con probabili caratteristiche di suscettività all'acqua (rigonfianti).

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. Lo studio petrografico e geochimico dei prodotti vulcanici della Sardegna indica una genesi dei magmi per fusione parziale di rocce mantelliche lungo zone di subduzione oceanica (COULON, 1977). Questi prodotti andesitici, assieme a quelli più differenziati, si sarebbero evoluti da un magma primario per frazionamento a deboli pressioni, in camere magmatiche situate a circa 15-20 km di profondità e con possibili contaminazioni crostali. Secondo COULON (1977), i dati petrogenetici provenienti da prodotti più evoluti con chimismo riodacitico-riolitico, spesso in facies ignimbrica ("Serie ignimbrica inferiore" e "Serie ignimbrica superiore", Auct.) indicano processi anatettici con fusione parziale di rocce metamorfiche o granitoidi nella

Il territorio di Sassarese, si sviluppa sul margine occidentale di un semi-graben, colmato da vulcaniti e sedimenti di ambiente marino di età compresa tra l'Oligocene sup ed il Miocene sup.

Costituito in prevalenza da terre emerse, il territorio comprende buona parte del bacino cenozoico noto come "Fossa di Sassari", e gli alti strutturali che lo delimitano sia ad E che a W. Nell'area vasta la successione stratigrafica parte dal Mesozoico, con successioni riferite all'intero eratema.

A partire dall'Oligocene sup. fino al Miocene inf., si è sviluppata nella Sardegna un'intensa e diffusa attività vulcanica che ha dato luogo alla messa in posto di vulcaniti a chimismo basico e vulcaniti a chimismo acido. La serie delle vulcaniti a

crosta continentale. L'anatessi sarebbe stata favorita dalle precedenti e prolungate risalite di magmi basici di derivazione mantellica con conseguenti fenomeni di mixing (COULON, 1977; BECCALUVA et al., 1985; 1987). Secondo MORRA et al. (1994), invece, l'intera successione vulcanica deriverebbe da una progressiva evoluzione petrogenetica per frazionamento di magmi mantellici, fino a liquidi residuali peralcalini.

Da un punto di vista geodinamico questo ciclo vulcanico è comunemente associato ad un modello di subduzione oceanica con formazione di un bacino di retroarco che sarebbe rappresentato dal Bacino balearico<sup>1</sup>.

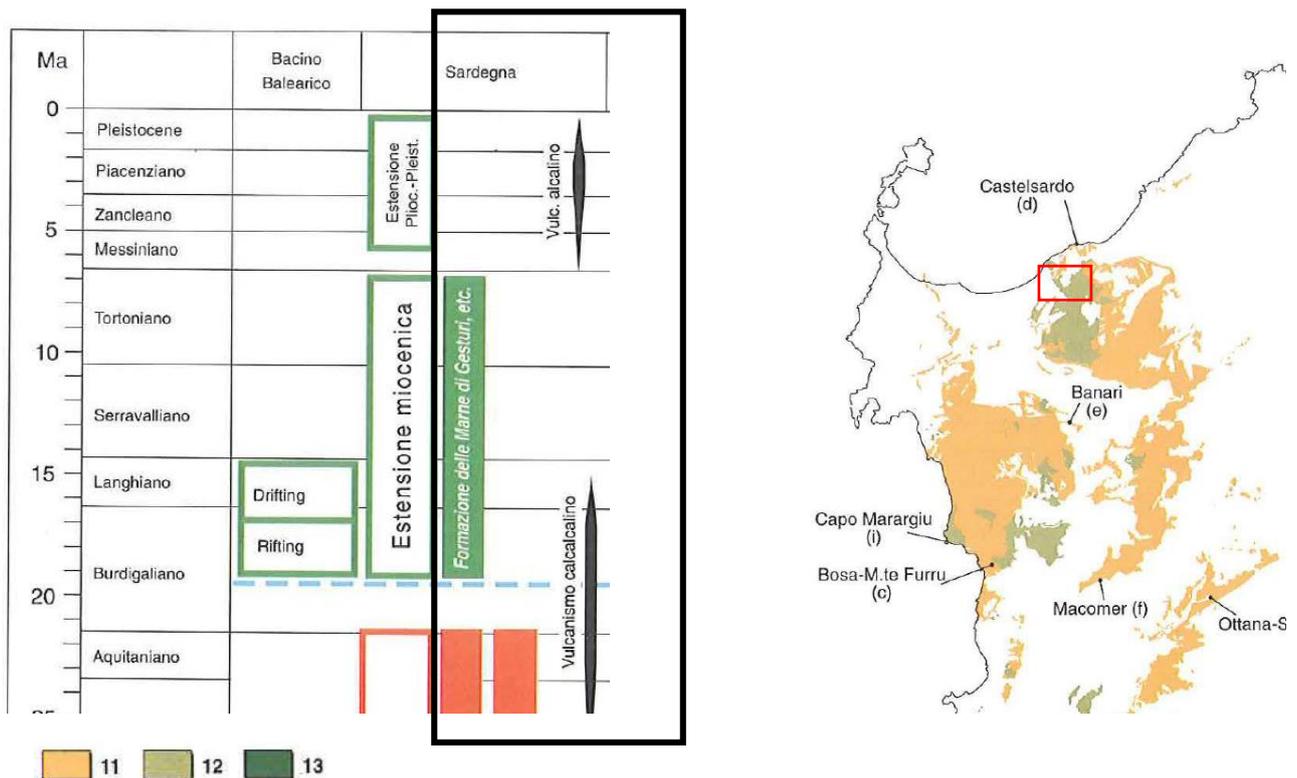


Figura 6 Schema cronologico relativo ai principali eventi stratigrafico-strutturali cenozoici in Sardegna e nelle aree limitrofe. Ubicazione degli affioramenti di Rioliti (11), Andesiti (12) e Filoni (13) del ciclo calcalkalino oligo-miocenico.

Nell'area vasta affiorano le seguenti litologie, di seguito riportate con la nomenclatura adottata dalla RAS nella stesura della cartografia geologica in scala 1:25000:

**a1 – Depositi di frana.** Accumuli caotici di blocchi derivanti da frane di crollo, ribaltamento e scivolamento, attive, talora con pedosuoli intercalati. OLOCENE.

**b2 – Coltri eluvio-colluviali.** Sabbie limo-argillose con clasti detritici medio-fini, massive, più o meno intensamente pedogenizzate. Spessore da 1m a 3m.

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

<sup>1</sup> Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia, vol. LX, 2001

passaggio alla soprastante formazione di Borutta (RTU) presenta spesso caratteri eteropici, infatti può essere sormontata direttamente dalla Formazione di Monte Santo (NST). Burdigaliano superiore. Spessore variabile fino a 40-50m.



Figura 7 AG12 vista verso Monte Alma su Formazione di Mores

**HRM – UNITÀ DI CHIARAMONTI.** Depositi di flusso piroclastico pomiceo-cineritici in facies ignimbratica a chimismo rioldacitico, debolmente saldati, talora argillificati e/o silicizzati, con cristalli liberi di Pl, Sa, Qtz.



Figura 8 Unità di Logulentu su AG08 - vista verso Su Sassu

**LGU – UNITÀ DI LOGULENTU.** Depositi di flusso piroclastico fortemente saldati, da violacei a rossastri, a chimismo riolitico, con tessitura macroeutattica con fiamme che possono raggiungere il metro di lunghezza, presenza di cristalli di plagioclasio e biotite. Spessore fino a 25m. BURDIGALIANO.

Su questa litologia poggeranno le turbine AG01, AG02, AG03, AG04, AG09, AG11 e AG12 e parte del cavidotto di connessione.

**OSL - UNITÀ DI OSILO.** Andesiti porfiriche per fenocristalli di Pl, Am, e Px; in cupole di ristagno e colate. Lave andesitiche grigio scure, spesso porfiriche per plagioclasio e pirosseno, in genere massive, talvolta con foliazione da flusso marcata da fratturazione play jointing. Intercalati alle colate, depositi piroclastici di caduta, con spessori di alcuni metri. Spessore in affioramento oltre i 500m. BURDIGALIANO.

Su questa litologia poggeranno le turbine AG05, AG06, AG07, AG08, AG09, AG10 e parte del cavidotto di connessione.



Figura 9 AG08 su Unità di Osilo - Vista verso Monte Palmas

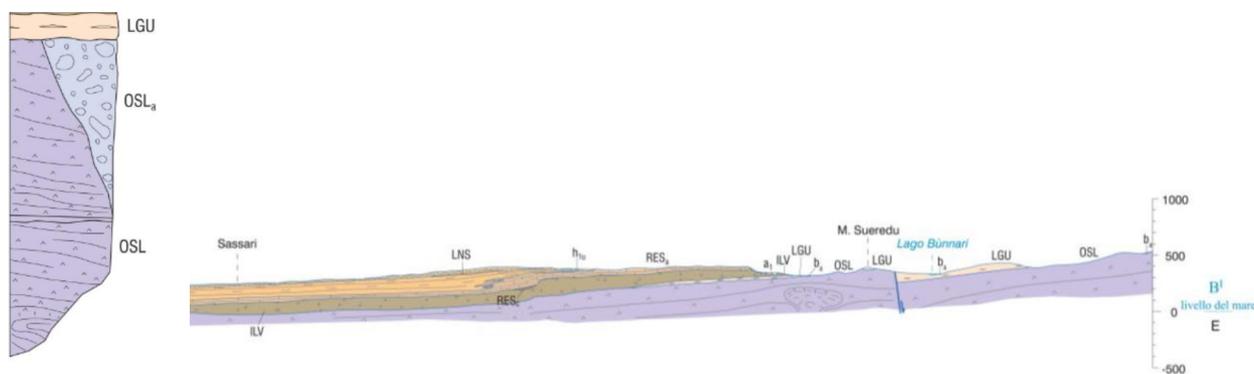


Figura 10 Sezione stratigrafica e geologica rappresentativa dell'assetto geologico dell'area di interesse - Carta Geologica d'Italia Fig. 459 "Sassari", progetto CARG.

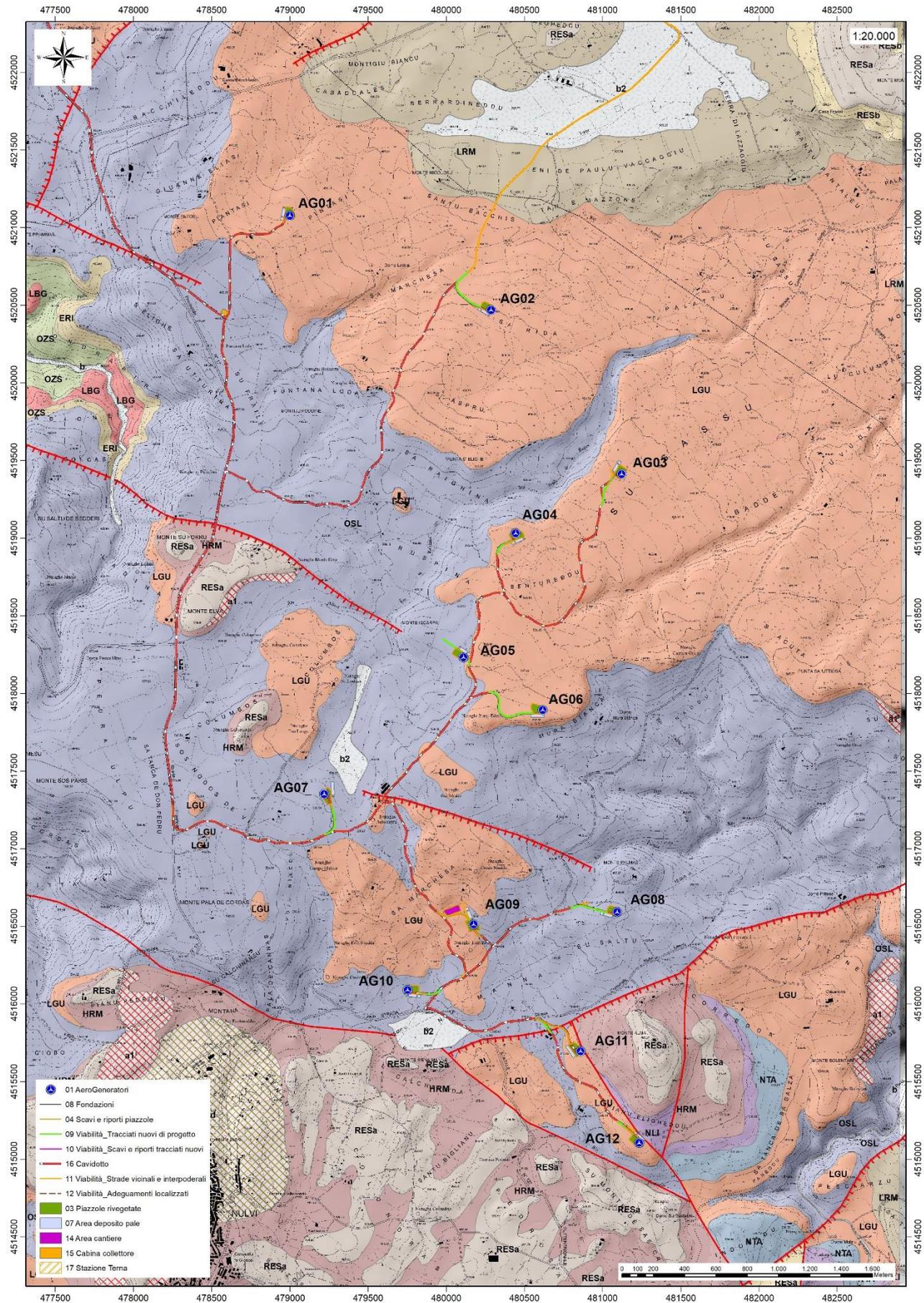


Figura 11 Carta geologica dell'area di interesse

6.2. SITUAZIONE GEOLOGICA E LITOSTRATIGRAFICA DELL'AREA INTERESSATA DALL'INTERVENTO

Le turbine in progetto poggeranno sulla Formazione di Osilo costituita da depositi di flussi lavici andesitici porfiriche, fratturate e alterate sulla parte sommitale (AG05, AG06, AG07, AG08, AG10) e sui depositi di flusso piroclastico in facies ignimbratica pomiceo cineritiche dell'Unità di Logulentu (AG01, AG02, AG03, AG04, AG09).

**Analisi delle condizioni geostrutturali dell'area e caratteristiche delle discontinuità**

La maggior parte delle importanti strutture tettoniche presenti nell'area determinano il controllo tettonico delle principali valli incise. L'area vasta è caratterizzata da faglie normali con direzione principale ENE – WSW. Le lineazioni presenti alla mesoscala seguono queste direttrici principali definendo uno o più sistemi di giunti che portano ad isolare singoli blocchi rocciosi di dimensioni variabili dal metro cubo e più fino poche decine di cm cubici. La giacitura dei piani è variabile.

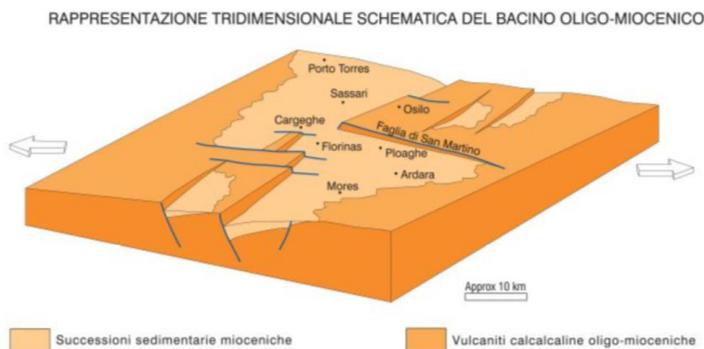


Figura 12 Rappresentazione tridimensionale schematica del Bacino oligo-miocenico.

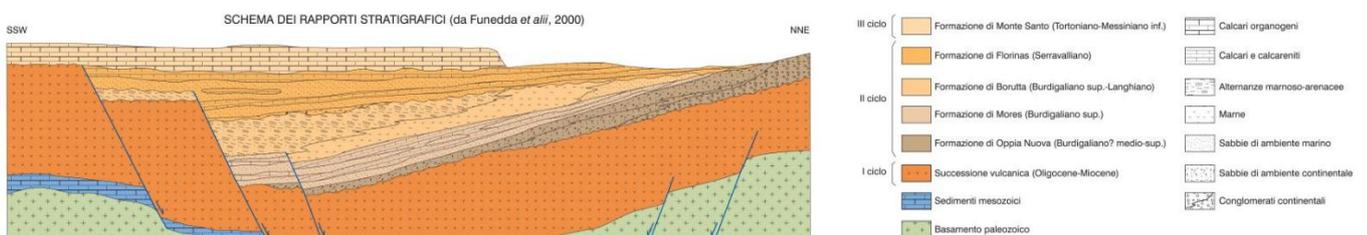


Figura 13 Schema dei rapporti stratigrafici del Bacino del Logudoro (tratto da Funedda et alii, 2000).

L'area interessata dal progetto è pertanto caratterizzata da un'intensa fratturazione a blocchi secondo famiglie di giunti di diversa direzione e con spaziatura dalle poche decine di centimetri al metro. Le fratture

hanno aperture da poche a decine di centimetri e sono pressoché tutte riempite di materiali fini derivanti dall'alterazione chimica della roccia madre e sostanzialmente costituite da frazione argillosa.

## **Analisi qualitativa di stabilità dell'ammasso roccioso**

L'intensa fratturazione 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 là dove la granulometria aumenta.

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

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

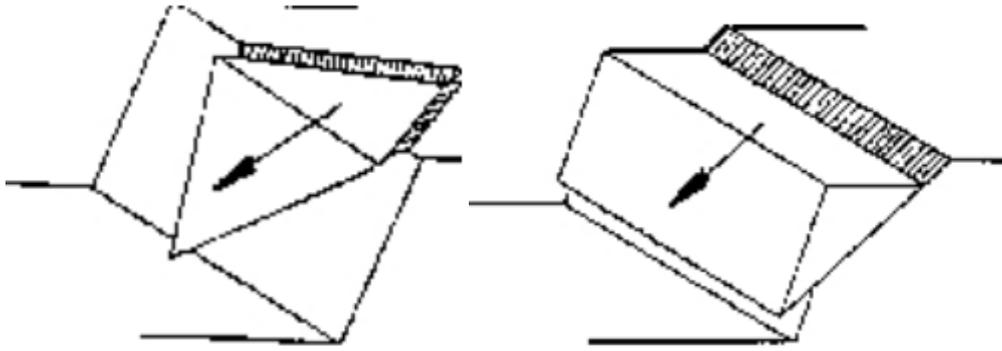


Figura 14 Tipologie di scivolamento di blocchi rocciosi lungo piani di fratturazione

Gli ammassi rocciosi costituiti in litologie andesitiche e piroclastiche, 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 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.

## 7. Inquadramento geomorfologico

Il territorio indagato è caratterizzato principalmente dalla presenza di altopiani, con rilievi tabulari e dislivelli massimi dell'ordine di 250 m circa tra monte e valle, e morfologie a cuestas dovute alla presenza di versanti con pendenze talvolta differenti, che individuano valli a orientamento SW-NE e NW-SE. I rilievi presentano altezze massime di 490-540 m s.l.m., mentre le valli si trovano da quote minime di 320m fino a 450 m circa. 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 determinato dalla deposizione delle andesiti prima e delle piroclastiti successivamente 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 nel caso della Formazione di Logulentu che domina la parte orientale dell'area del parco in progetto nelle località sa Rida, Su Sassu, Pintasi, Benturreddu e localmente dai rilievi testimone risparmiati dall'erosione come Sa Marchesa o Columbus e dalle andesiti porfiriche talora in cupole come Monte Palmas o generalmente il colate a loro volta incise dalla dinamica fluviale a formare ancora rilievi dalla sommità tabulare come Pedra Ulpu, Su Fraile o Ruspina.
2. le coperture sedimentarie mioceniche date dalla Formazione di Mores ancora presenti in rilievi testimone come Monte Elvi o monte Alma.

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 ignimbriche o laviche, determina il profilo a "gradinata" che caratterizza i versanti dei rilievi. Questa morfologia, nota in letteratura col termine di *cuestas*, è particolarmente evidente nei rilievi ove sorgeranno le AG01, AG02, AG03 e l'AG04. Meno diffuse che nei territori circostanti, le lave, di composizione prevalentemente andesitica, si rinvennero a Sud-Ovest in una sequenza di colate sub-orizzontali e di aspetto massivo, con ritrazioni per consolidamento indicate da fessurazioni prismatiche e macrostrutture colonnari.



Figura 15 particolare dei rilievi tipo "cuestas" - pressi turbina AG08

## 8. Inquadramento idrologico e idrogeologico

### Schema della circolazione idrica superficiale

Secondo la classificazione dei bacini sardi riportata nel Piano di Assetto Idrogeologico, il comune di Nulvi è incluso nel Sub – Bacino n° 3 “Coghinas – Mannu di P.Torres – Temo”, che si estende per una superficie di 5402 Km<sup>2</sup>, pari al 23% del territorio regionale.

Il Sub-Bacino Coghinas-Mannu-Temo può essere suddiviso in tre grandi sottoinsiemi: il settore Orientale e Sud-Orientale prevalentemente paleozoico, il settore centrale prevalentemente terziario, e il settore Nord-Occidentale, in cui ricade il progetto, costituito dallo zoccolo cristallino dell'horst della Gallura paleozoico e dalle formazioni carbonatiche mesozoiche che culminano con i rilievi del Doglia e del sistema di Punta Cristallo e di Capo Caccia.

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.

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. Le rocce vulcaniche, rispetto alle calcaree che nell'area di studio sono presenti solo nella parte meridionale, sono generalmente caratterizzate da fratturazione che influenza la circolazione superficiale, più importante di quella profonda. importanti sistemi di giunti e discontinuità, spesso visibili ad occhio nudo, che influenzano



Figura 16 Suddivisione dei bacini idrografici sardi

Nelle rocce carbonatiche invece, l'aliquota d'acqua di infiltrazione è maggiore dell'acqua che prende parte al ruscellamento superficiale.

I corsi d'acqua principali presenti nell'area vasta sono il **Riu Toltu** che scorre nella porzione nord-orientale dell'area di studio, insieme ai suoi affluenti Riu Primasera, Riu Badde Cherchi. Sullo spartiacque centrale al parco sul versante ovest nascono il Rio De Priuna, il Rio Figu Pinta e il Riu Sedderi. Sul versante orientale (bacino del **fiume Coghinas**) una fitta organizzazione di linee di deflusso concentrato mostrano l'evidente bassa permeabilità dei terreni perciò le acque si organizzano a scorrere superficialmente in rivoli via via sempre più organizzati. Si trovano il Riu Silanus, il Riu Badu de Regos, il Riu Sa Raighina, il Riu Naddu, il Riu Anlinos, il Riu Tres Castros e il Riu Trazapadres. A sud il Riu Pontisella e il Riu Triulintas.

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.

## Schema della circolazione idrica sotterranea

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.

Nell'area di interesse sono presenti rocce di diversa natura, anche se principalmente sono da riferire al Cenozoico. Le coperture terziarie, per via della loro composizione, non sono particolarmente favorevoli all'assorbimento delle acque, eccetto per le componenti carbonatiche della Formazione di Mores.

Al contatto tra le coperture carbonatiche, più permeabili, e quelle vulcaniche alla base, meno permeabili, 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.

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 le valli, mentre 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.

Maggiore è la presenza di fratture e la porosità del mezzo, maggiore è la possibilità che l'acqua prosegua il suo percorso in profondità.

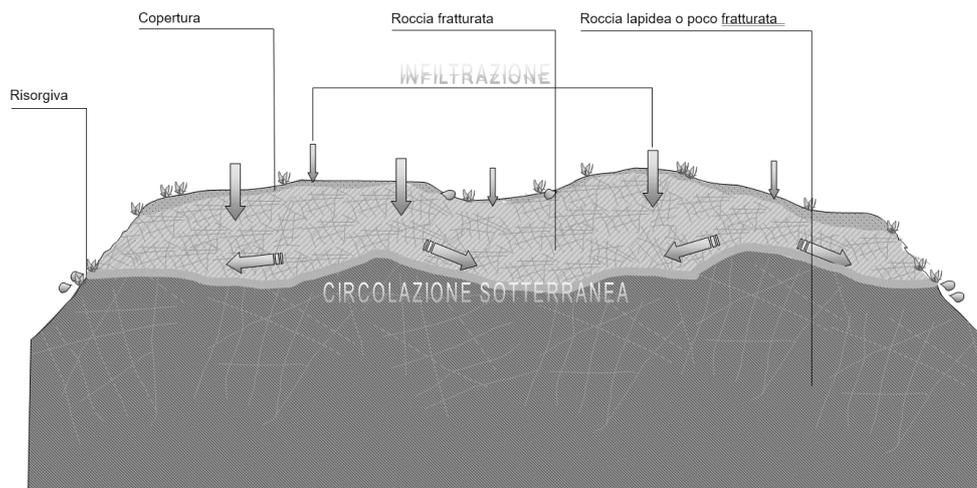


Figura 17 Schema esemplificativo, non in scala, dei processi di infiltrazione e deflusso sotterraneo

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

- Coperture vulcaniche oligo-mioceniche (Unità vulcaniche di Logulentu e di Osilo) Affiorano nella quasi totalità dell'area di interesse, e sono costituite da depositi caratterizzati da porosità medio bassa medio bassa per fratturazione (MF e MBF).
- Coperture sedimentarie oligo-mioceniche (Fm. Mores). Affiorano nella porzione meridionale dell'area di interesse, a S della faglia, e sono costituite da depositi caratterizzati da porosità medio alta per carsismo e fratturazione (MACF).

Dalla carta dei sistemi idrogeologici del foglio 459 "Sassari", si possono osservare le isopieze relative al complesso calcareo, le quali presentano direzioni di deflusso da sud-ovest verso nord-est, che si suppone continuo verso E nel Foglio 460 "Ploaghe". Lo schema idrogeologico sopra descritto suddivide in diverse unità idrogeologiche:

Al complesso piroclastico e lavico delle vulcaniti terziarie viene attribuita una conducibilità idraulica di  $k = 10^{-5}$  e  $k = 10^{-6}$ , mentre al complesso marnoso-calcareo (Fm. Mores) una conducibilità idraulica di  $k = 10^{-6}$ .

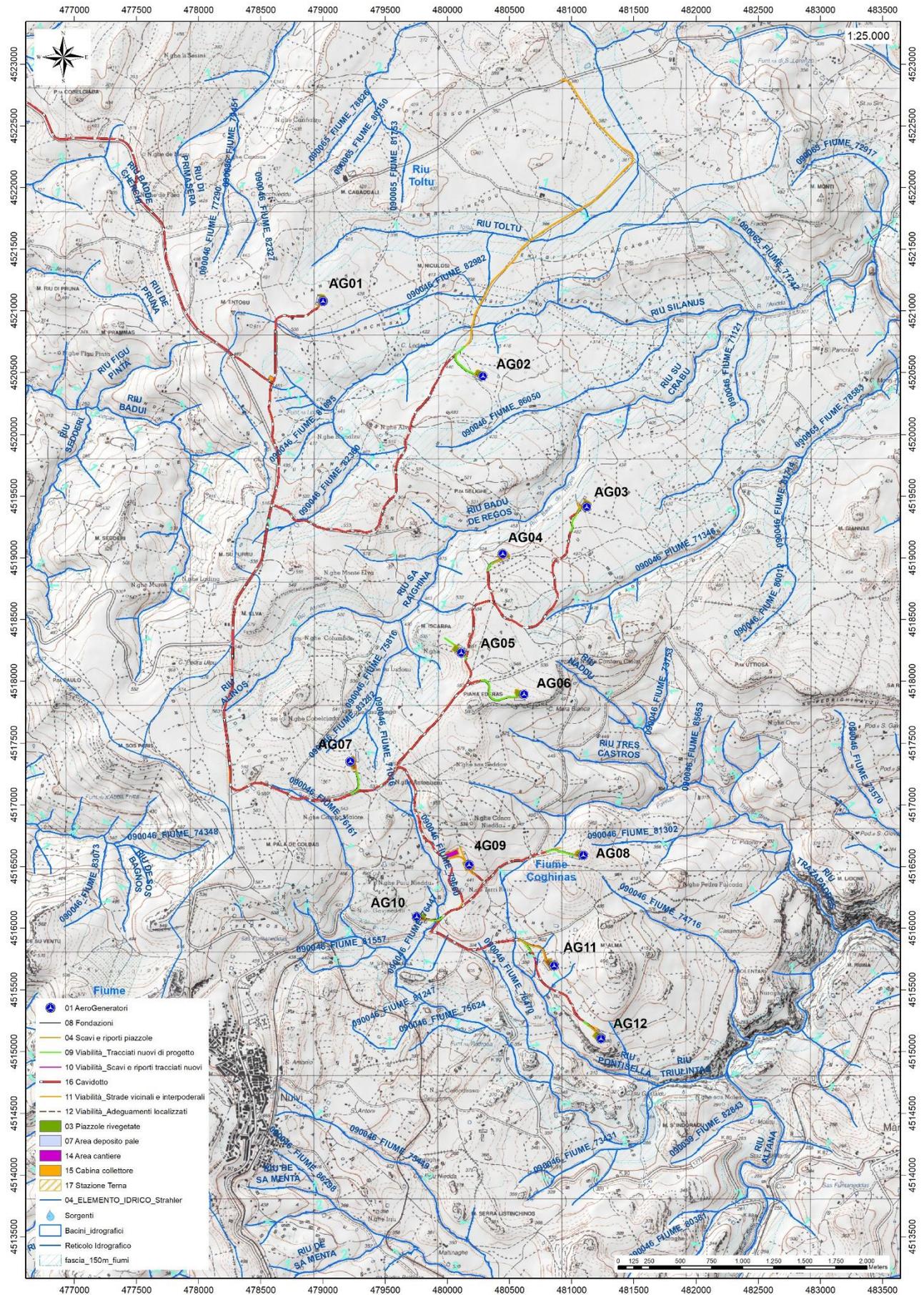


Figura 18 Carta dell'idrografia superficiale

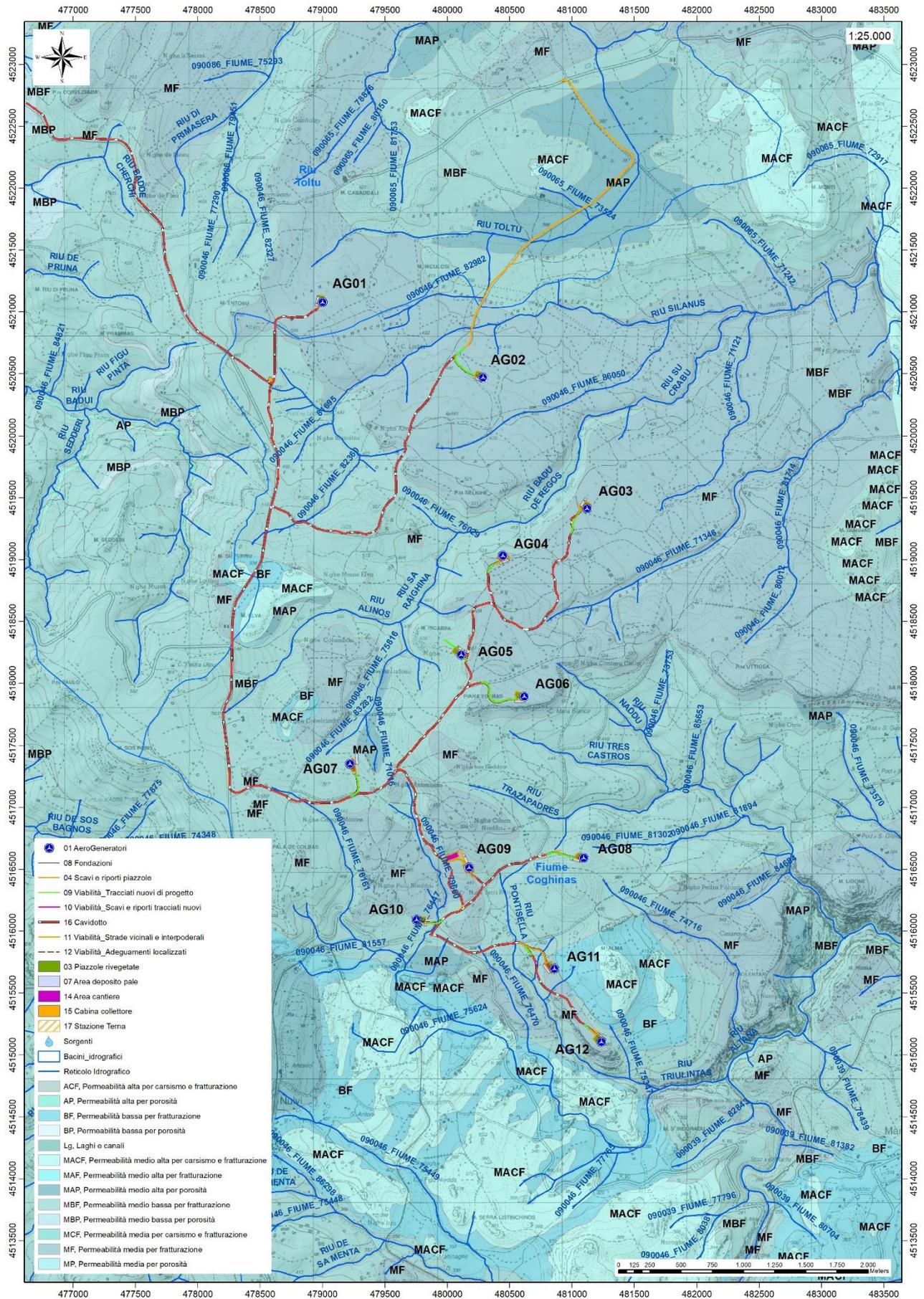


Figura 19 Carta delle permeabilità dei substrati

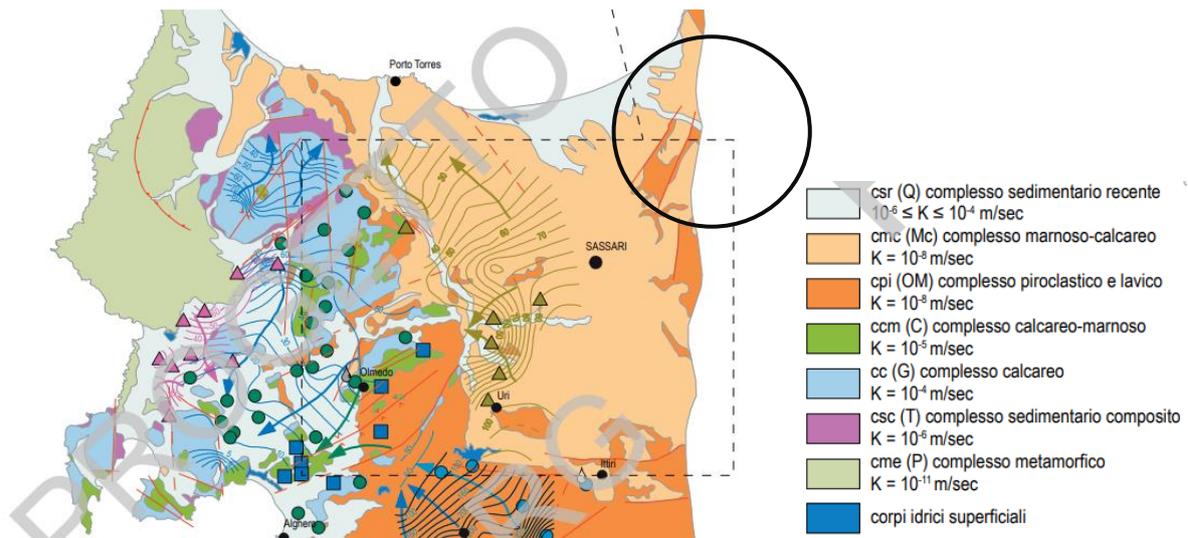


Figura 20 Sistemi idrogeologici dell'area occidentale del foglio 459 "Sassari"

## 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.

Sono presenti sorgenti nei pressi delle opere che prevedono gli scavi più profondi (fondazioni degli aerogeneratori, piazzole e aree di deposito temporaneo) per lo più stagionali e con bacini idrogeologici molto piccoli per le quali in fase esecutiva si opererà uno studio specifico volto a preservarne con monitoraggio e misura della qualità e della quantità delle acque.

Analogamente per quanto concerne il controllo della qualità delle acque in corrispondenza degli attraversamenti degli impluvi e dei piccoli rii qualora si intervenga con la trivellazione orizzontale controllata T.O.C. verranno monitorate le componenti suolo e acqua attraverso un programma di attività di seguito sintetizzati: saranno definiti dei punti di monitoraggio a monte e a valle dell'asta fluviale interessata dalla T.O.C. finalizzati alla raccolta dei dati necessari al monitoraggio ambientale, geotecnico e topografico.

In prima analisi verrà definito lo stato di fatto ovvero saranno misurati tali parametri prima dell'inizio lavori e/o, se lo si riterrà opportuno, verranno eseguite più misurazioni per definire le condizioni ante-operam. Successivamente, in corso d'opera verranno monitorati i parametri topografici, geochimici e geotecnici ritenuti significativi al controllo delle matrici suolo, sottosuolo e acqua e se necessario verranno disposte misure correttive delle fasi di perforazione al fine di minimizzare eventuali variazioni del sistema ambiente.

Al termine delle opere il monitoraggio proseguirà per un tempo e per i parametri che dovranno essere definiti in concerto con gli Enti preposti.

Nello specifico, in ogni caso singolo verranno realizzati almeno due sondaggi, a monte e a valle dell'opera attrezzati a piezometro di Casagrande per il monitoraggio del livello di falda e verosimilmente attrezzati con inclinometri per il controllo delle eventuali deformazioni connesse al passaggio della condotta. Verrà istituito un protocollo di prelievo campioni delle acque superficiali e sotterranee per il controllo dei parametri geochimici. Altresì verranno posizionate delle mire e per il monitoraggio di eventuali deformazioni della superficie topografica da porre in correlazione con i dati geotecnici.

Tale programma di monitoraggio in relazione al passaggio di un cavidotto in un'asta fluviale può consentire di valutare gli effetti dell'attività di costruzione sull'ecosistema fluviale. Può fornire informazioni sul possibile rilascio di sostanze inquinanti nell'acqua e sulla qualità complessiva dell'acqua durante e dopo la costruzione e conseguentemente prendere misure preventive o correttive al fine di minimizzare gli impatti ambientali e garantire la sostenibilità dell'asta fluviale e delle risorse idriche.

Le caratteristiche e la profondità dell'acquifero così come deriva dalle informazioni geologiche sono 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.

Occorre segnalare la possibile presenza di ristagni d'acqua dovuti verosimilmente alla scarsa permeabilità del terreno per presenza d'argilla dovuta all'alterazione delle rocce vulcaniche.

## 9. 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.

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 Nulvi e le risorse idriche disponibili sono stati valutati sulla base dei dati forniti dalle stazioni meteorologiche dell'ARPAS presenti nel territorio comunale di Ploaghe, Sassari e Osilo, localizzate rispettivamente circa 17 km e 8-10km a W del settore in esame.

L'andamento pluviometrico dell'area oggetto di studio è stato ricavato dai dati pluviometrici relativi all'intervallo 2008-2021 estratti dagli Annali Idrologici dell'ARPAS reperibili dal Geoportale della R.A.S., così come i dati termometrici, entrambi per le stazioni meteorologiche di Ploaghe, Sassari e Osilo.

Tabella 1 Andamento pluviometrico dell'area vasta (espresso in mm) ricavato dalle stazioni pluviometriche di Ploaghe (2008-2012) di Osilo (anno 2013-2021).

Periodo	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Totale annuale
2021	150,8	51,6	49,6	35	51	11,6	2	0,6	22,8	37,4	115,2	108,6	636,2
2020	23,6	2,6	53	48	36,6	27,4	0	26,6	172,6	113,4	49,2	185,8	738,8
2019	103	36,4	27,6	82,8	57,8	0,6	24	23,4	6	99	327,6	60,6	848,8
2018	31	94	102,6	21,8	210,2	41	0	85,8	51,8	80	156,2	51,4	925,8
2017	75,6	59,8	18,6	18,6	4	40,2	0,8	0	46,2	5,2	110,2	124,4	503,6
2016	54,6	158	90,6	22,4	40,4	3,8	25,4	0,2	63,2	14,2	41,6	34,6	579
2015	57	126,6	70,6	43,6	5,6	18,8	4,4	18,4	21,8	110,6	62	5,8	545,2
2014	112,8	88,8	94	49	30,2	47,4	18,6	1,8	10	1,8	104,2	108,6	667,2
2013	163,8	118,2	164,6	87,4	65,2	2,4	4,2	5,2	34,6	24	122	31,4	823
2012	32,8	53,8	11,6	79,7	84,1	0	5,2	0	62,9	112,6	100,7	59,2	602,6
2011	80,4	58,2	59,2	39,4	1,6	58,2	14,8	0	71,6	17,6	102,4	129,2	632,6
2010	124,3	48,6	72,2	40,4	58,7	57,2	0	1,6	14,8	84,2	267,4	114,6	894
2009	140,6	59,6	36	73,4	6,2	54	0	22,2	88	34,6	114,6	121,2	750,4
2008	62,6	20,6	93,8	27,8	140,2	32,4	0	1	37	79,4	135,6	168,6	799

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 Ozieri sono riferiti i dati sulla ventosità ricavati dai riepiloghi meteorologici reperibili presso il Dipartimento Meteorologico dell'ArpaS, mentre la nuvolosità è stata ricavata dagli archivi del Servizio Meteo dell'Aeronautica Militare per la stazione di Fertilia (per il periodo 1961-1990), e l'umidità relativa è stata estrapolata dal Dipartimento Meteorologico dell'ArpaS per il periodo ottobre 2020 – marzo 2021 e aprile 2021 – settembre 2021 per la Sardegna.

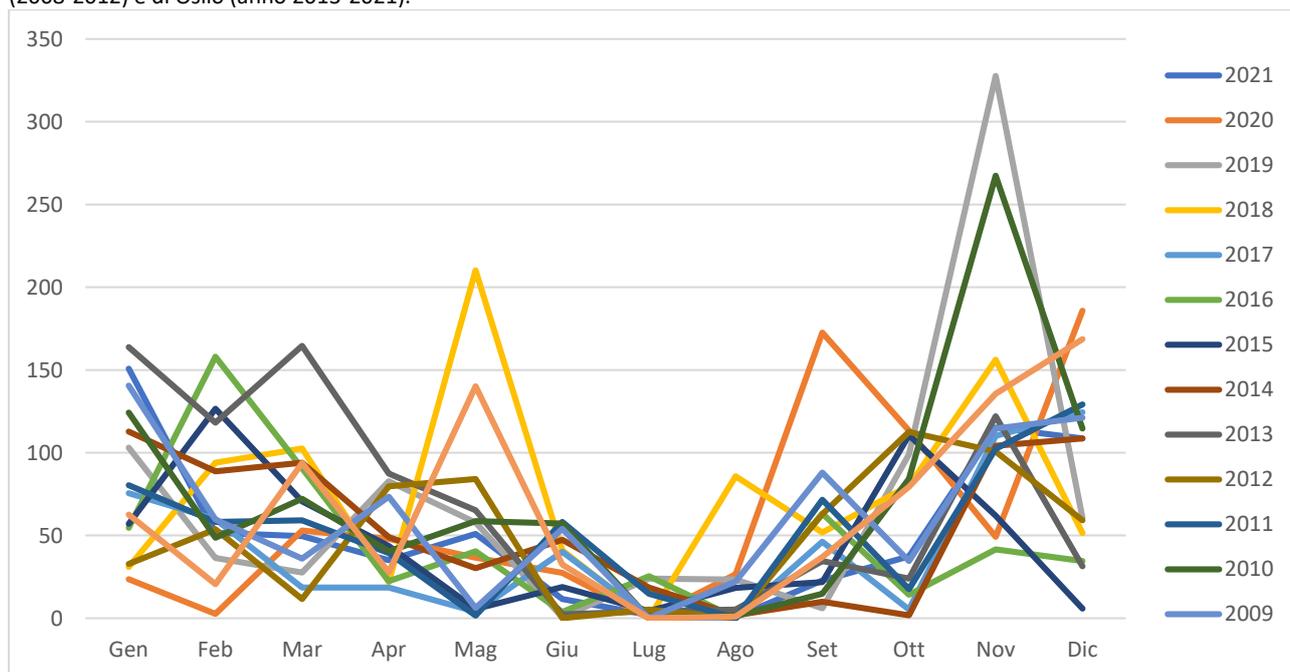
## Precipitazioni

Nella tabella raffigurante i dati relativi alle precipitazioni nell'intervallo 2008-2012 registrati nella stazione di Ploaghe e nell'intervallo 2013-2021 in quella di Osilo, sono riportati il valore medio mensile e il totale annuale di precipitazioni (espresso in mm) nei periodi considerati. Per il periodo 2008-2021 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 710 mm per il periodo compreso tra il 2008 e il 2021.

L'andamento pluviometrico dell'area di interesse 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.

Tabella 2 Andamento della pluviometria mensile e annuale (nell'asse delle ordinate, in mm) per le stazioni pluviometriche di Ploaghe (2008-2012) e di Osilo (anno 2013-2021).



## Temperature

I valori termometrici della stazione meteo di Sassari, ricavati dal Dipartimento Specialistico Regionale Idroclimatico (I.M.C.) dell'ARPAS, sono illustrati nella tabella sottostante e sono relativi alla stazione di Ploaghe per il periodo 1995-2011, alla stazione di Sassari per gli anni dal 2012 al 2019, e alla stazione di Osilo per il periodo 2020-2021. La temperatura media annua, calcolata con i valori medi mensili per il periodo 1995-2018, è di circa 15,8 °C.

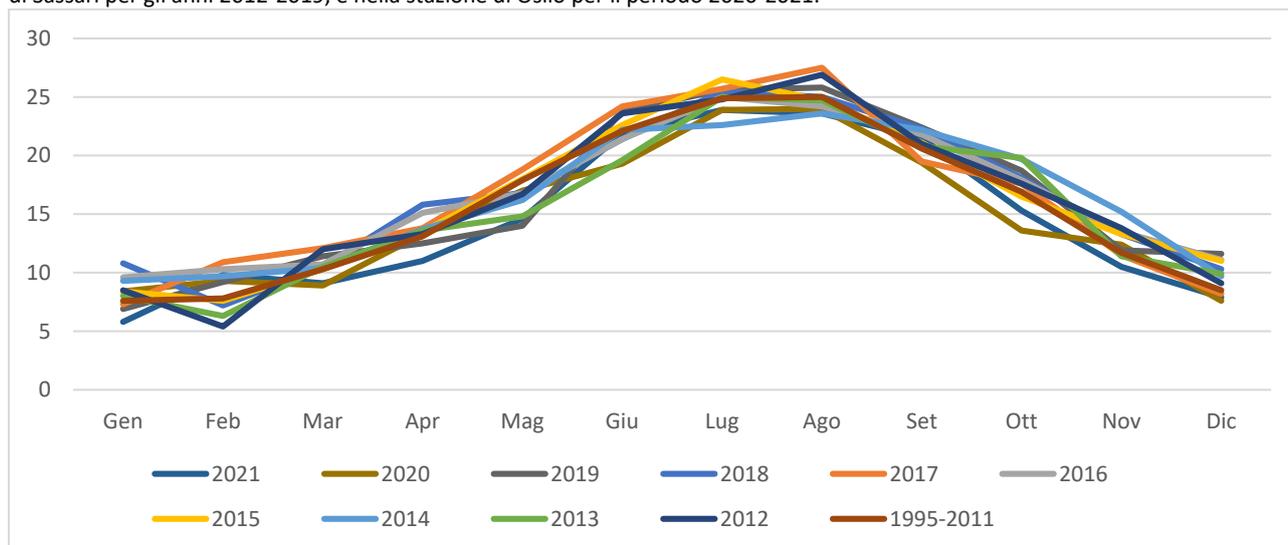
Tabella 3 Temperature mensili (in °C) registrate nella stazione di Ploaghe per il periodo 1995-2011, in quella di Sassari per gli anni 2012-2019, e nella stazione di Osilo per il periodo 2020-2021.

Periodo	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	media
<b>2021</b>	5,8	9,8	9,1	11	14,6	21,9	23,9	23,6	21,5	15,3	10,5	7,9	14,58
<b>2020</b>	8,4	9,3	8,9	13,3	17	19,3	23,9	24	19,4	13,6	12,4	7,6	14,76
<b>2019</b>	6,9	9,2	11,4	12,5	14	23,8	25,6	25,8	<u>22,4</u>	18,7	11,9	11,6	16,15
<b>2018</b>	10,8	7,2	10,5	15,8	16,8	21,4	25,5	25	22,3	18,1	13,3	10,3	16,42
<b>2017</b>	7,3	10,9	12,1	13,8	18,8	24,2	25,7	27,5	19,5	17,6	11,5	8,2	16,43
<b>2016</b>	9,6	10,3	10,7	15,1	16,8	21,4	25	24,2	21,8	17,9	13,5	11,1	16,45
<b>2015</b>	8,4	7,6	10,3	13,5	18	22,6	26,5	24,7	21,1	16,5	13,3	11	16,13
<b>2014</b>	9,3	9,7	10,4	13,7	16,2	22,2	22,6	23,6	22,2	19,7	15,2	9,7	16,21
<b>2013</b>	8	6,3	10,5	13,6	14,8	19,6	25	24,7	20,8	19,8	11,4	9,9	15,37
<b>2012</b>	8,5	5,4	12	13,3	16,7	23,6	24,8	26,9	21	17,6	13,8	9,1	16,06
<b>1995-2011</b>	7,6	7,8	10,3	13,1	17,9	22,1	24,9	25	20,6	16,9	11,7	8,5	15,53

Il mese più freddo è gennaio con una media di circa 8,2°C mentre le temperature più elevate si riscontrano a Luglio e Agosto con circa 25 °C.

Il grafico sottostante illustra l'andamento delle temperature medie mensili per il periodo 1995-2011 registrate nella stazione di Ploaghe, nella stazione di Sassari per gli anni dal 2012 al 2019, e in quella di Osilo per gli anni 2020-2021.

Tabella 4 Temperature mensili (in °C, nell'asse delle ordinate) registrata nella stazione di Ploaghe per il periodo 1995-2011, in quella di Sassari per gli anni 2012-2019, e nella stazione di Osilo per il periodo 2020-2021.



## 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.

Nelle figure seguenti sono illustrati i bilanci idro-meteorologici mensili rispettivamente per il periodo ottobre 2020 – marzo 2021 e aprile 2021 – settembre 2021 per la Sardegna, ricavati dal Dipartimento Meteorologico dell'ArpaS. Il bilancio idro-meteorologico si esprime come differenza tra il cumulato di precipitazione ed il cumulato dell'evapotraspirazione di riferimento (ET<sub>0</sub>) stimata con il metodo Hargreaves-Samani.

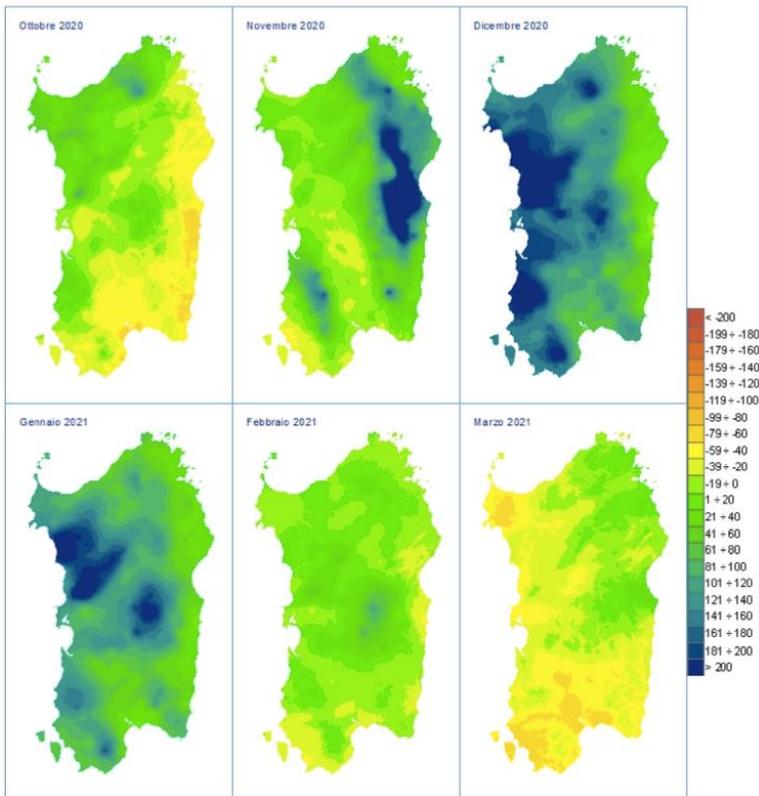


Figura 21 Bilancio idro-meteorologico (espresso in mm) per il periodo ottobre 2020-marzo 2021 con la zona oggetto di interesse delimitata in rosso.

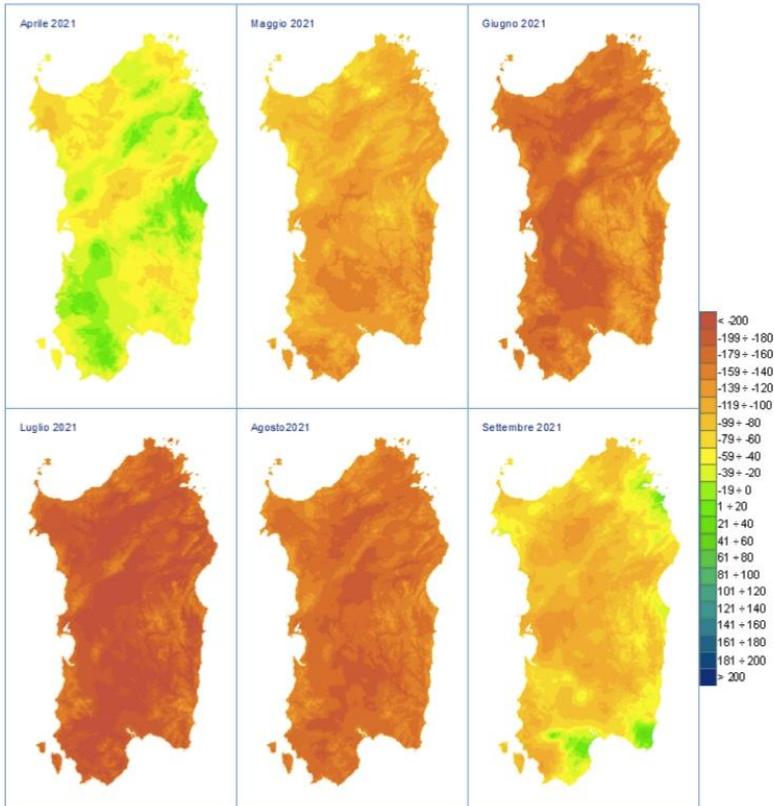


Figura 22 Bilancio idro-meteorologico (espresso in mm) per il periodo aprile 2021-settembre 2021 con la zona oggetto di interesse delimitata in rosso.

La nuvolosità influenza il clima in quanto da essa dipende l'irraggiamento solare. Nella tabella sottostante 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.

Tabella 5 Media mensile dei giorni di sereno, nuvoloso e coperto per il periodo 1961-1990, relativa alla stazione di Fertilia, espressa in okta.

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	coperto	coperto	coperto	sereno	sereno	sereno	sereno	coperto	coperto	coperto

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.

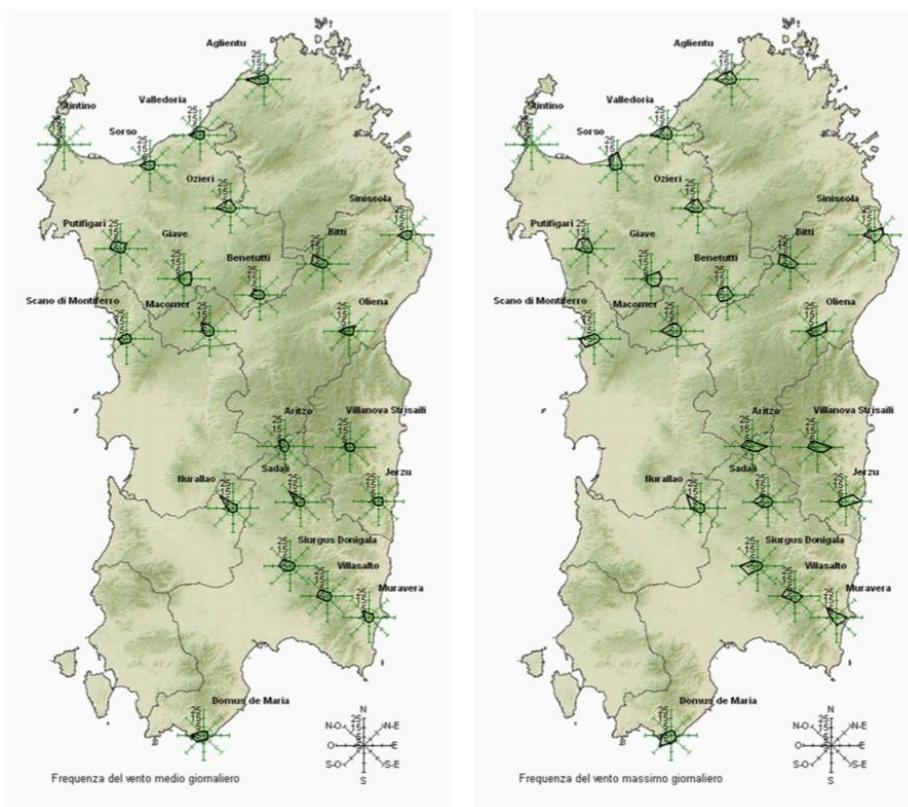


Figura 23 Ventosità media giornaliera e frequenza del vento massimo giornaliero rilevata presso la stazione meteorologica di Ozieri relativa all'anno 2017 (mese giugno).

Dai riepiloghi meteorologici reperibili presso il Dipartimento Meteorologico dell'ArpaS si possono evincere le direzioni dominanti del vento nelle diverse stazioni dell'Isola, in particolare quelle rilevate presso la stazione di Ozieri nel mese di giugno 2016 che raffigura la frequenza e la direzione del vento.

Dall'analisi dei dati disponibili dalla Rete Mareografica dell'ISPRA, si possono evincere anche i dati annuali della ventosità, in tal caso relativi alla stazione di Porto Torres.

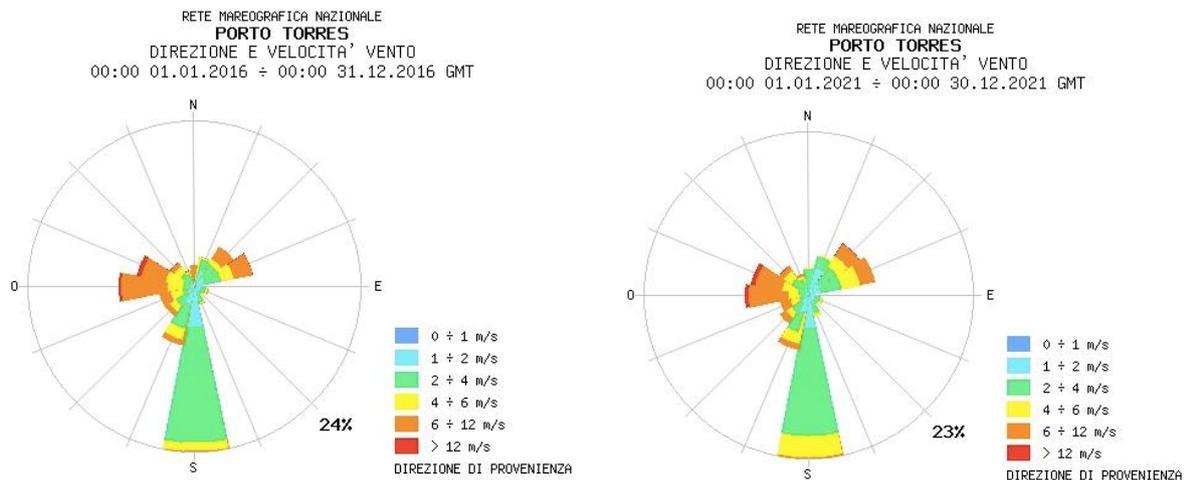


Figura 24 Ventosità annuale espressa come intensità e direzione rilevata presso la stazione meteorologica di Porto Torres relative all'anno 2016 e 2021.

Analizzando tali dati per diverse annualità (anni 2016 e 2021), risulta che i venti provenienti dai quadranti meridionali sono generalmente in netta dominanza come frequenza, in particolare quello più frequente è l'ostro. Il vento proveniente da S è il più frequente ma anche il meno intenso, mentre i venti provenienti da WNW (ponente e maestrale) pur spirando meno frequentemente, sono più intensi, così come i venti provenienti da ENE (grecale).

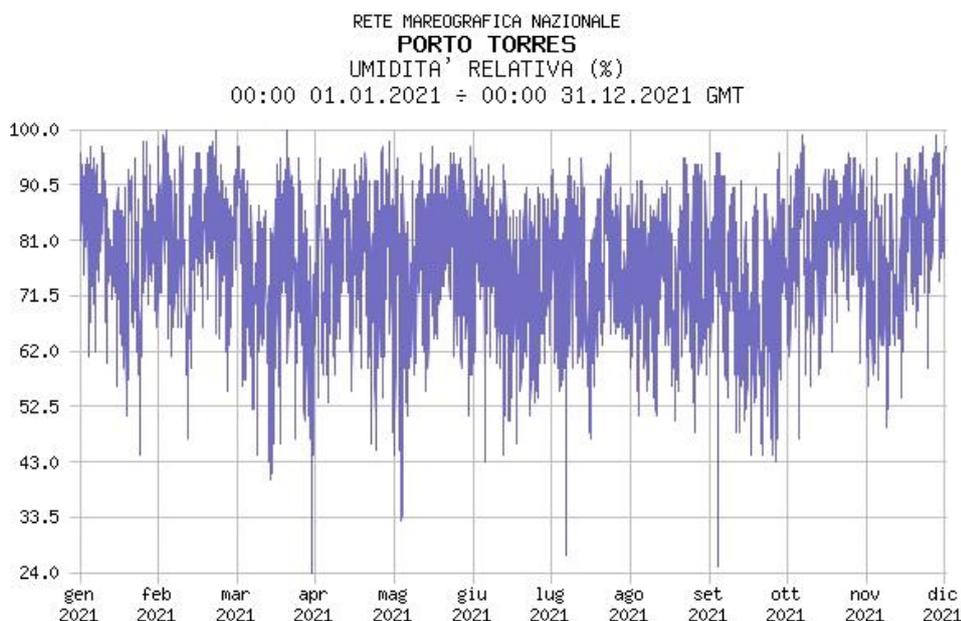


Figura 25 Umidità relativa per la stazione di Porto Torres, per l'anno 2021.

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. La tabella soprastante 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

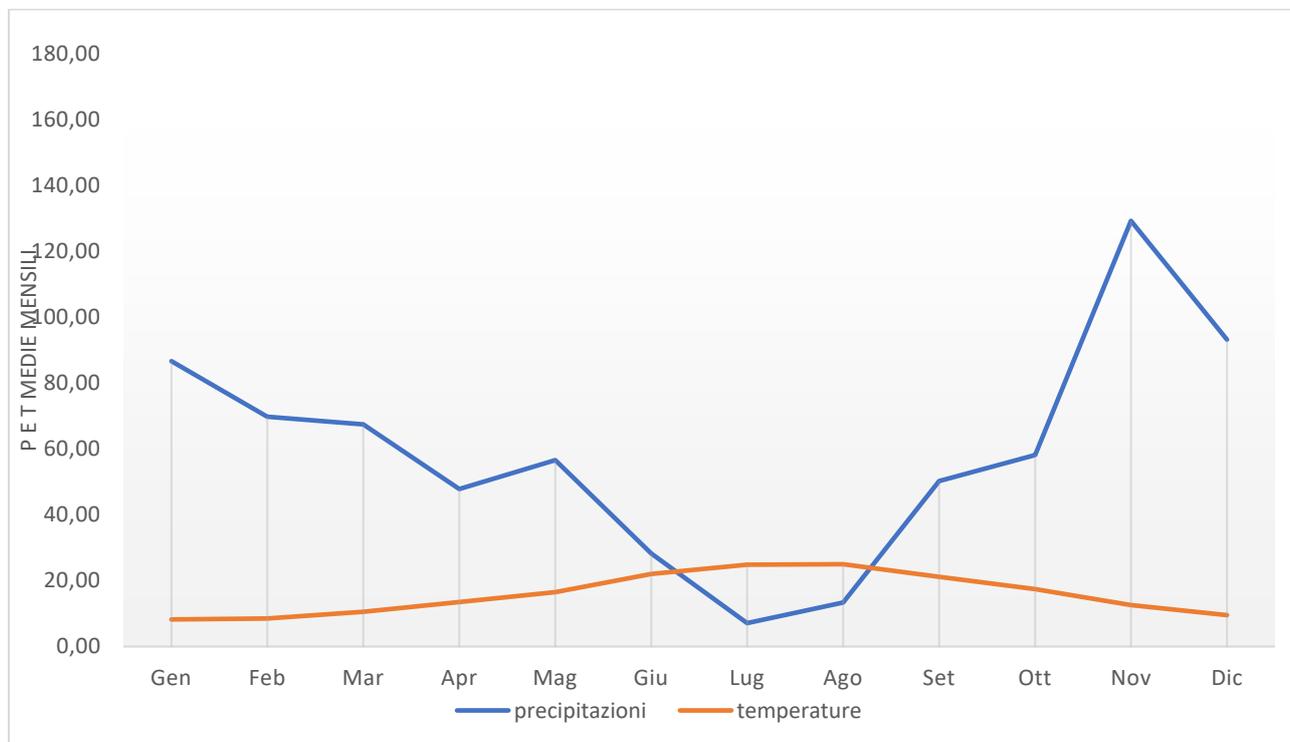


Figura 26 Diagramma ombrotermico (Walter e Lieth) per il settore in studio.

Il diagramma ombrotermico elaborato per l'area di interesse 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 24 °C, si hanno i valori di piovosità inferiori, mentre nei mesi invernali, dove le temperature medie mensili sono pari a 9°C, si raggiungono le piovosità più elevate.

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

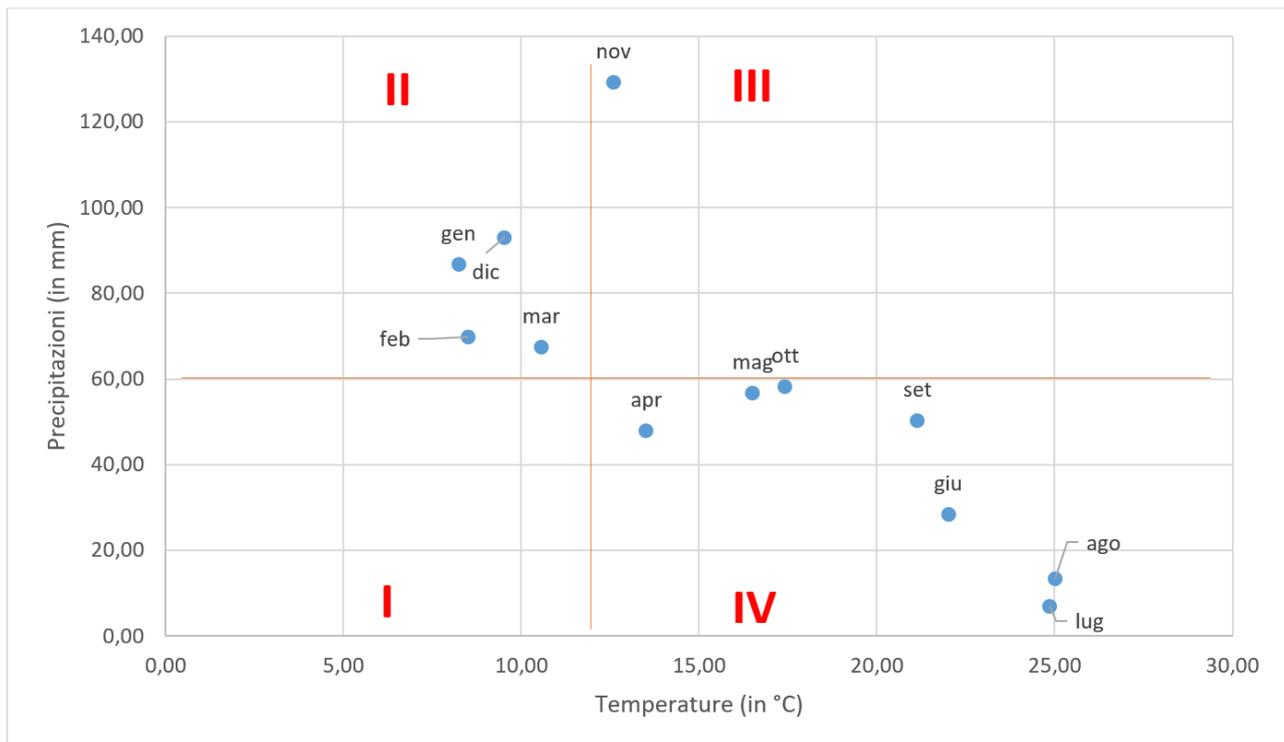


Figura 27 Climogramma relativo all'area di Nulvi

L'analisi delle medie mensili di temperatura e piovosità relative al periodo 2012-2021 permette di classificare il clima dell'area di interesse come "mediterraneo con estate calda", nel quale la temperatura media annua (16 °C), non scende mai sotto agli 8 °C, e per quattro mesi (Giugno - Settembre) supera i 22 °C, e le precipitazioni sono superiori ai 700 mm annui.

Dal climogramma realizzato a partire dai valori medi di precipitazioni e temperature relativi al periodo 2012-2021 per l'area di interesse, 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.

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.

## 10. 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.

Le turbine AG01, AG02, AG03, AG04, AG11 e AG12 ricadono nell' **Unità D3 - Rocce effusive acide** (andesiti, rioliti, riodaciti, ecc.) e intermedie (fonoliti) del Cenozoico e loro depositi di versante e colluviali con profilo: 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. TASSONOMIA: ROCK OUTCROP, LITHIC XERORTHENTS, subordinatamente XEROCHREPTS in aree prevalentemente prive di copertura arbustiva ed arborea. Rocciosità e pietrosità elevate, scarsa profondità, eccesso di scheletro, drenaggio lento. Forte pericolo di erosione.

Le turbine AG05, AG06, AG07, AG08, AG09 e AG10 ricadono nell' **Unità D1 - Rocce effusive acide** (andesiti, rioliti, riodaciti, ecc.) e intermedie (fonoliti) del Cenozoico e loro depositi di versante e colluviali con profilo Roccia affiorante e suoli a profilo A-C e subordinatamente A-Bw-C, poco profondi, da franco argillosi ad argillosi, da mediamente a poco permeabili, neutri, saturi. TASSONOMIA: ROCK OUTCROP, LITHIC XERORTHENTS, subordinatamente LITHIC XEROCHREPTS in aree prevalentemente prive di copertura arbustiva ed arborea. Rocciosità e pietrosità elevate, scarsa profondità, eccesso di scheletro, forte pericolo di erosione.

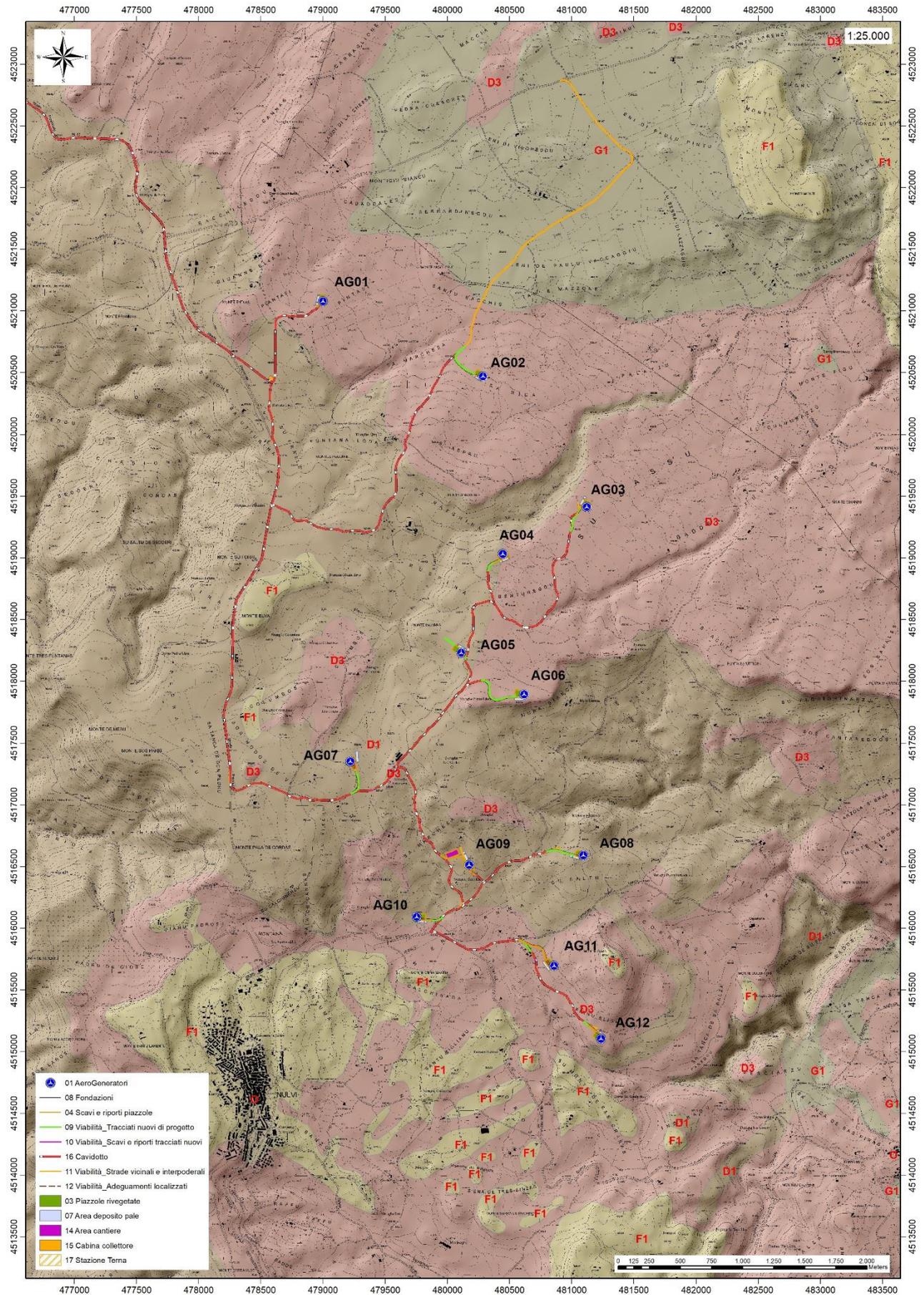


Figura 28 Stralcio della Carta dei Suoli della Sardegna (Fonte RAS).

## 11. Uso del Suolo

Dalla Carta dell'Uso del Suolo, resa disponibile dalla Regione Sardegna, si evince che l'ambito di progetto del Parco eolico "Nulvi" 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 Colture temporanee associate ad altre colture permanenti (2413), Prati artificiali (2112), Sugherete (31122), e Seminativi in aree non irrigue (2111).

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

- ricadono nel livello 2413, classificato come "Colture temporanee associate ad altre colture permanenti", i punti di installazione della turbina AG09;
- ricadono nel livello 2112, classificato come "Prati artificiali", i punti di installazione delle turbine AG02, AG06;
- nel livello 31122, classificato come "Sugherete", i punti di installazione delle turbine AG01, AG03, AG04;
- nel livello 2111, classificato come "Seminativi in aree non irrigue", i punti di installazione delle turbine AG05, AG07, AG08, AG10, AG11, AG12.

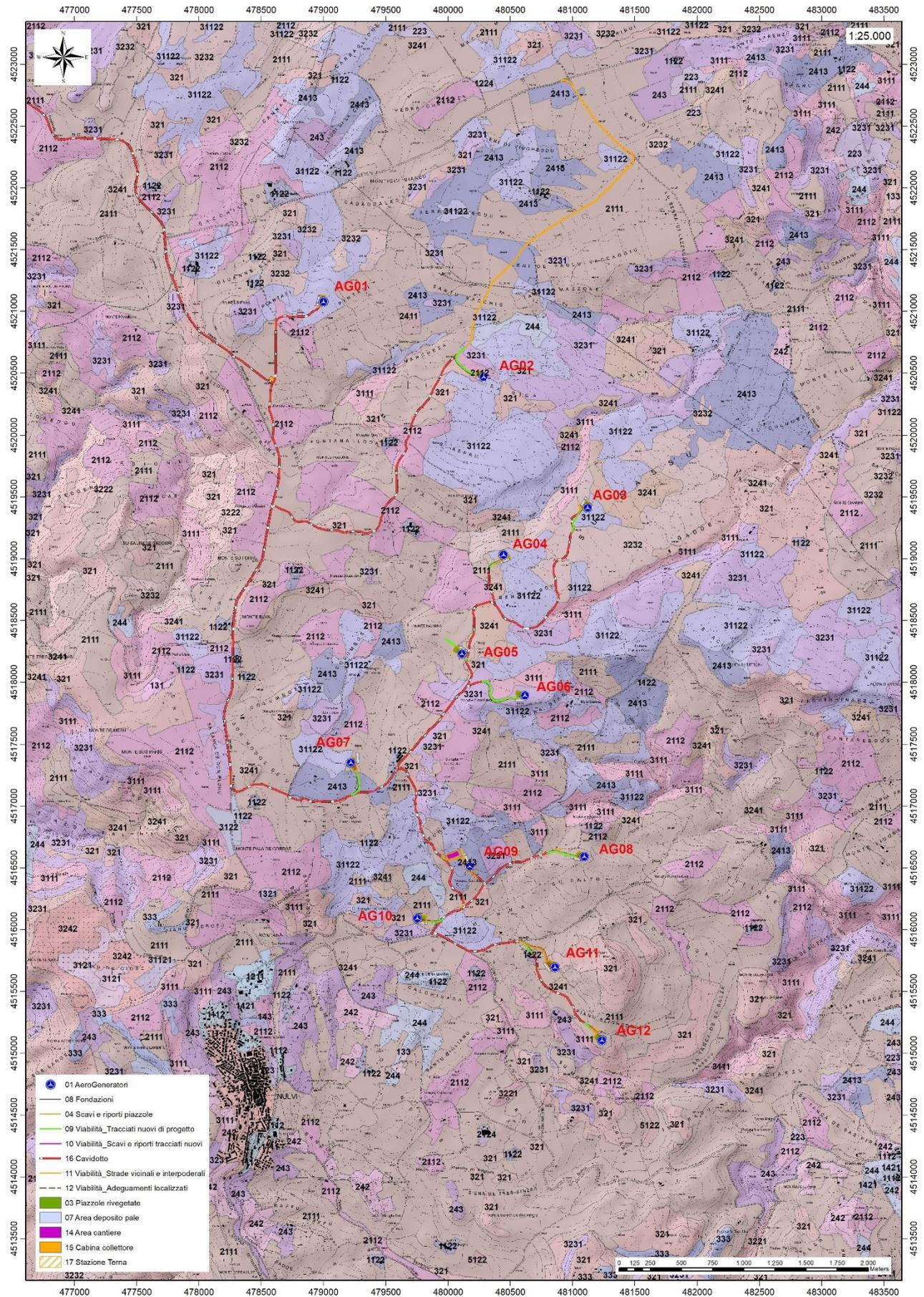


Figura 29 Stralcio della Carta dell'Uso del Suolo della Sardegna (2008, Fonte RAS).

## 12. Analisi dei vincoli gravanti sui terreni

### Piano Stralcio D'assetto Idrogeologico Della Sardegna (P.A.I.)

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".

Nello specifico del progetto, né le turbine né la viabilità sono interessate da pericolosità da frana, fatto salvo un tratto di viabilità esistente in località M.te Elva prossimo ad un'area a pericolosità Hg3. Le turbine sono posizionate su un pianoro sufficientemente ampio 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.

Per quanto concerne la pericolosità idraulica, l'area è interessata da perimetrazioni PAI solo nel tratto corrispondente alla viabilità esistente in corrispondenza del Riu Toltu che genera una pericolosità Hi4 e dove sono previste solo opere di adeguamento e manutenzione. Analizzando la cartografia IGM 25 e il reticolo idrografico ufficiale reso disponibile dalla Regione Sardegna sono stati valutate le interferenze con gli elementi di progetto ai sensi dell'articolo 30ter delle NTA PAI. Nella tavola seguente viene riportata la pericolosità idraulica vigente e il reticolo della RAS con la gerarchizzazione Horton – Strahler ed evidenziati i punti di interferenza, riassunti di seguito:

id	nome	n.strahler	id	nome	n.strahler
1	090086_FIUME_72124	(ordine 1)	11	090046_FIUME_76447	(ordine 2)
2	090046_FIUME_78415	(ordine 1)	12	090046_FIUME_74014	(ordine 1)
3	090046_FIUME_71402	(ordine 2)	13	090046_FIUME_76470	(ordine 1)
4	RIU SILANUS	(ordine 1)	14	RIU PONTISELLA	(ordine 2)
5	RIU SILANUS	(ordine 3)	15	090046_FIUME_85190	(ordine 1)

6	090046_FIUME_82982	(ordine 2)	16	090046_FIUME_71478	(ordine 1)
7	090046_FIUME_71402	(ordine 2)	17	RIU PONTISELLA	(ordine 1)
8	RIU ALINOS	(ordine 1)	18	090046_FIUME_83074	(ordine 1)
9	090046_FIUME_76161	(ordine 1)	19	090046_FIUME_80234	(ordine 1)
10	090046_FIUME_78567	(ordine 1)	20		

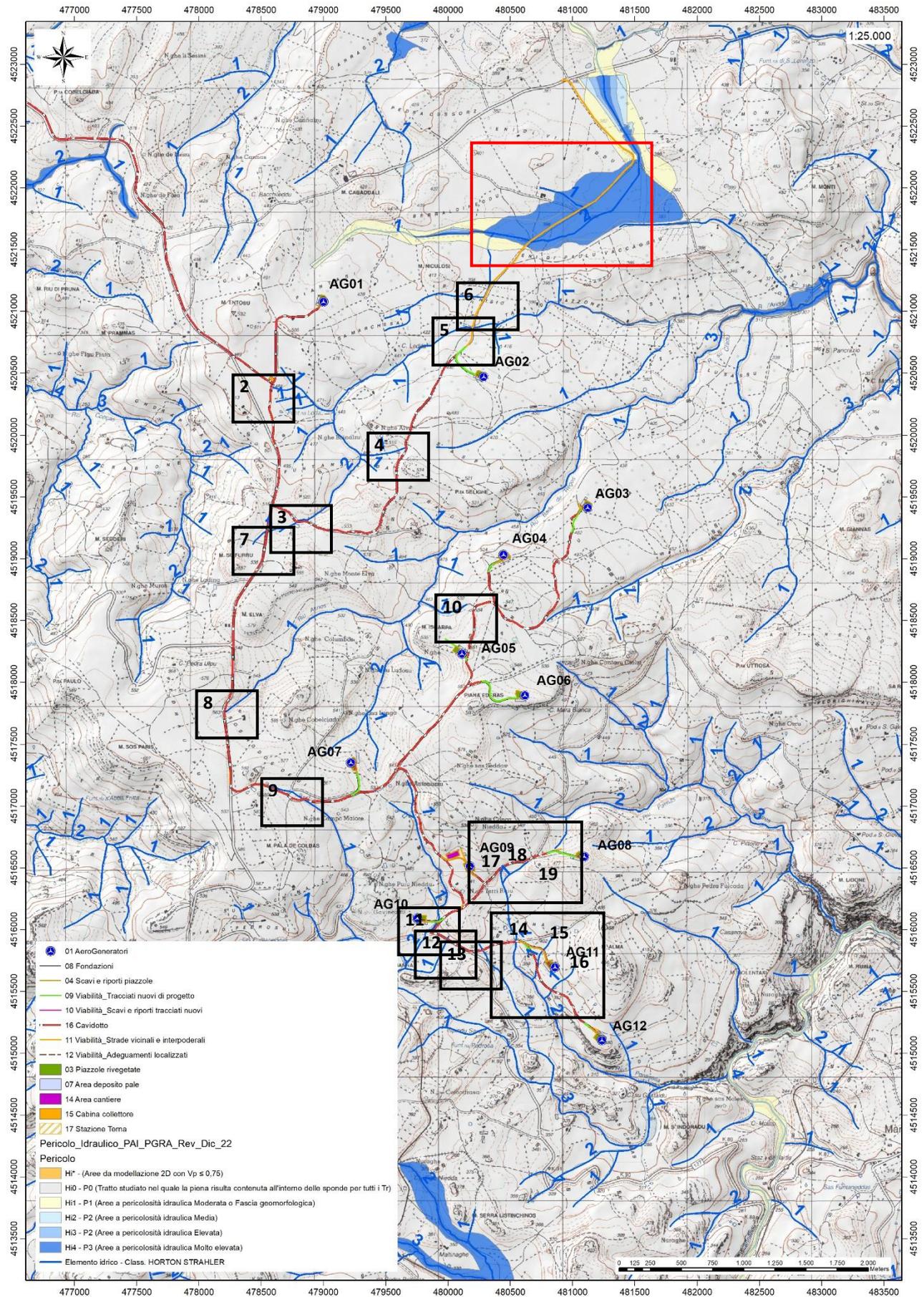


Figura 30 Pericolosità idraulica vigente e interferenze degli elementi di progetto con il reticolo idrografico

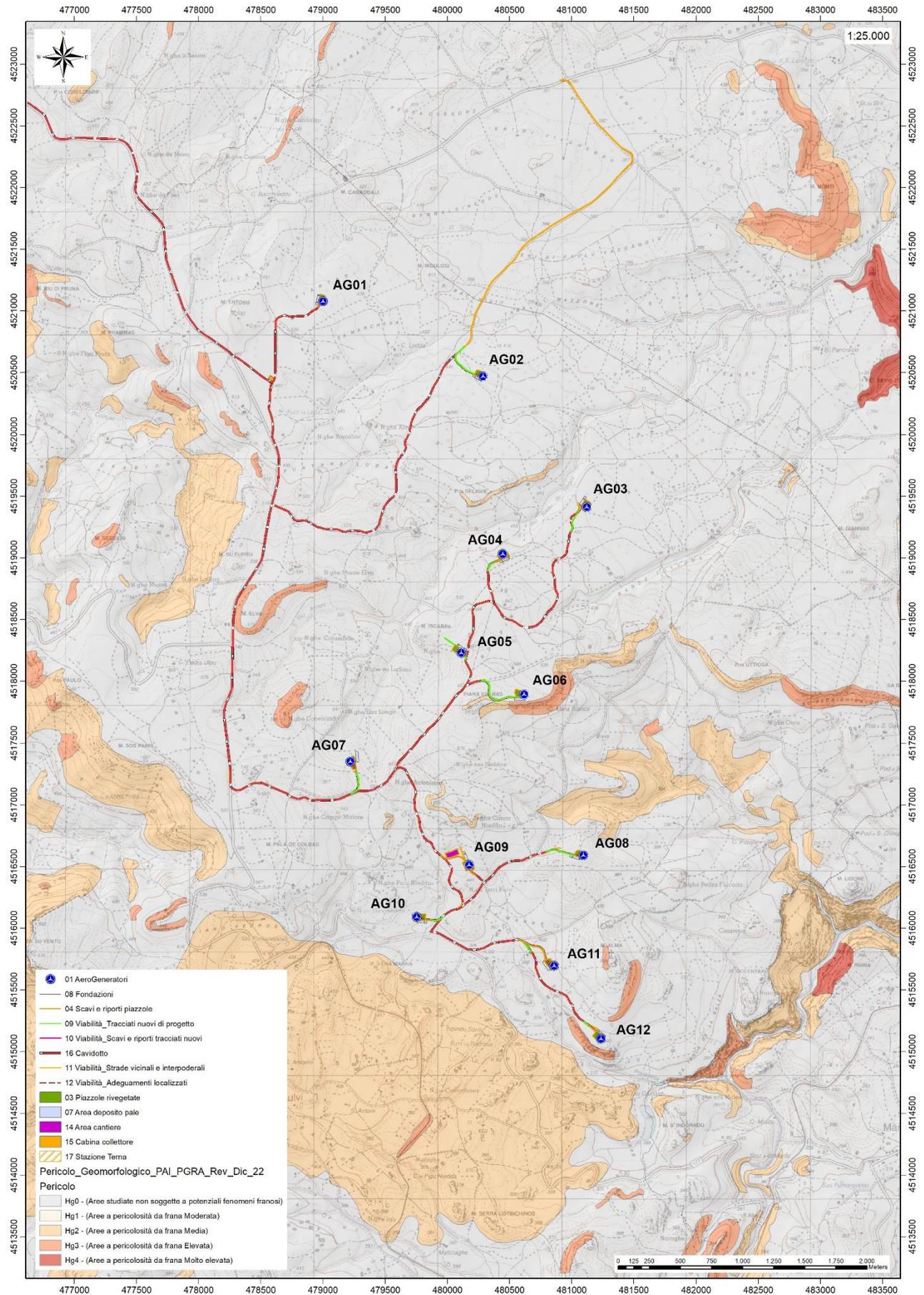


Figura 31 Pericolosità da frana vigente (fonte RAS)

## Inventario dei Fenomeni Franosi – Progetto I.F.F.I.

Per quanto riguarda il censimento dei siti franosi nell'ambito del Progetto IFFI, nell'inventario non sono menzionate aree che ricadono nell'ambito territoriale dell'area di interesse.

L'area urbana di Nulvi e la sua parte in valle è interessata da un fenomeno franoso stabilizzato (paleofrana) anche se localmente per le caratteristiche geologiche del piano di scivolamento, si hanno locali smottamenti.

Nel territorio interessato dal progetto non sono censiti fenomeni franosi.

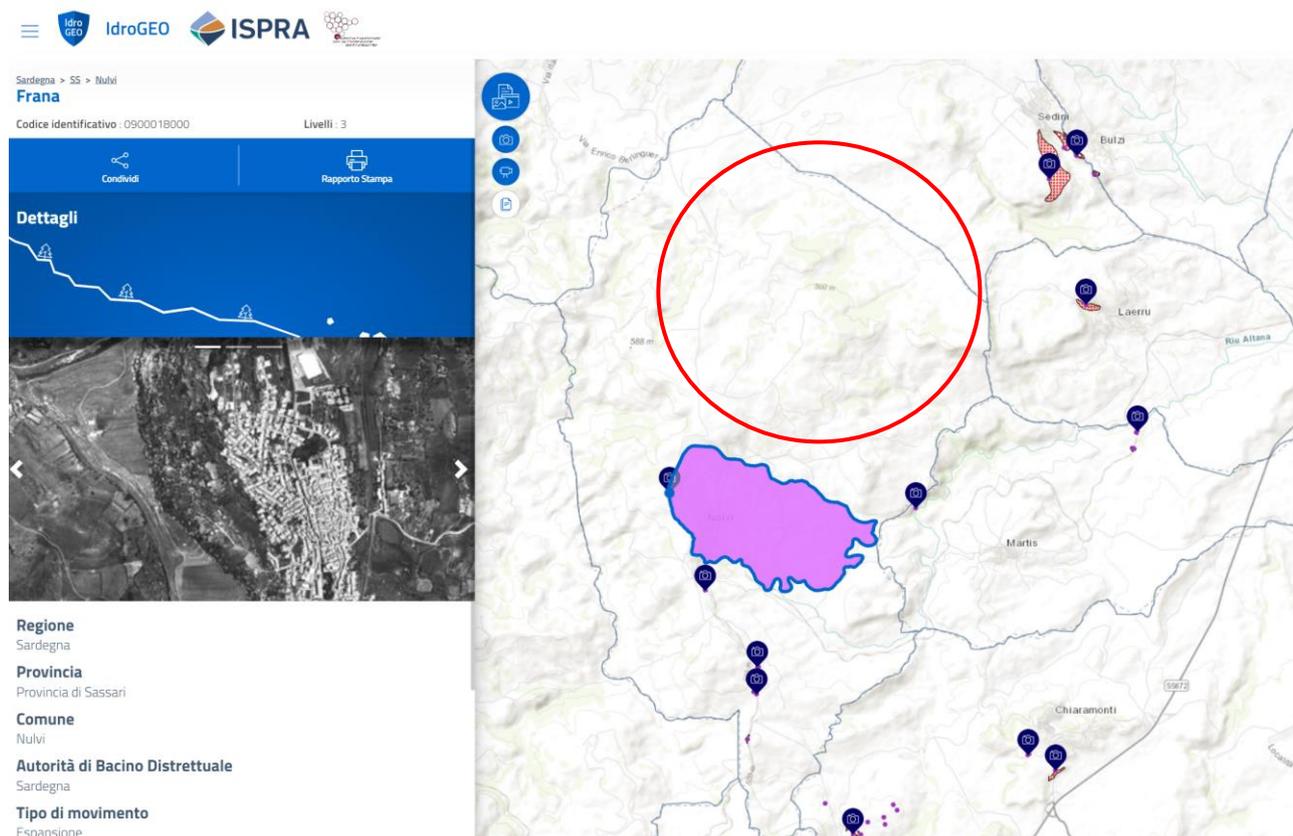


Figura 32 Archivio IFFI (Fonte ISPRA) in rosso l'area di intervento

## Generale

<b>ID Frana:</b> 0900018000	<b>Sigla:</b> NULVI1	<b>Data:</b> Sopralluogo:	<b>Compilazione:</b> 29/04/2005 02:00
<b>Ente / Istituzione:</b> Regione Sardegna			
<b>Regione:</b> Sardegna	<b>Provincia:</b> Provincia di Sassari		
<b>Comune:</b> Nulvi			
<b>Toponimo:</b> NULVI			
<b>Autorità di Distretto:</b> Sardegna			
<b>Rif. CTR:</b> Toponimo CTR: NULVI	<b>Scala CTR:</b> 10000	<b>Nr. CTR:</b> 460010	
<b>Posizione PIFF:</b> Corona	<b>Accuratezza:</b> Esatta		
<b>Descrizione:</b>	<p>Il caso di NULVI è illustrato in bibliografia da una pubblicazione che non individua il problema con certezza né lo dimensiona in modo esauriente. Il fenomeno in grande è relitto. Localmente la presenza di un sostrato alterato argillificato (a. smectiti) rende possibili dissesti durante l'esecuzione di lavori. Quindi le condizioni di riattivazione sono latenti in conseguenza di azioni antropiche. I danni di tale fenomeno non sono quantificabili; sta di fatto che esso costituisce un condizionamento costante nella progettazione. La sua elusione ha determinato sempre inconvenienti e correttivi in corso d'opera.. Fenomeno di espansione laterale più o meno stabilizzato naturalmente a cui si possono associare crolli o scivolamenti modesti, come evoluzione attuale.</p>		

## Classificazione

### PRIMO LIVELLO

**Tipo Movimento:** Espansione

### SECONDO LIVELLO

<b>Tipo Movimento:</b> 1° ordine: espansione	2° ordine: espansione
<b>Velocità</b> 1° ordine: estremamente lento (< 16 mm/anno)	2° ordine: estremamente lento (< 16 mm/anno)
<b>Materiale:</b> 1° ordine: roccia	2° ordine: terra
<b>Acqua:</b> 1° ordine: secco	2° ordine: umido
<b>Altri fenomeni associati:</b>	

## Attività

<b>Stato Attività:</b> PRIMO LIVELLO Relitto	SECONDO LIVELLO n.d.
<b>Data osservazione:</b> Certa: 29/04/2005	<b>Incerta:</b>
<b>Distribuzione:</b> retrogressivo	<b>Stile:</b> multiplo

Figura 33 monografia della paleofrana ID 0900018000, (Archivio IFFI, Fonte Ispra)

## **Piano Stralcio Delle Fasce Fluviali (P.S.F.F.)**

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 circostante l'area di interesse è presente un'area di fascia C (Fascia Geomorfologica) individuabile nella parte orientale del territorio lungo l'alveo del Riu Toltu.

## **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 risulta essere interessato da perimetrazioni per rischio alluvioni in corrispondenza delle aree di esondazione del Riu Toltu tra le località La Serra di Lazzaggiu, Eni de Paulu Vaccaggiu e Eni di Vilgheddu.

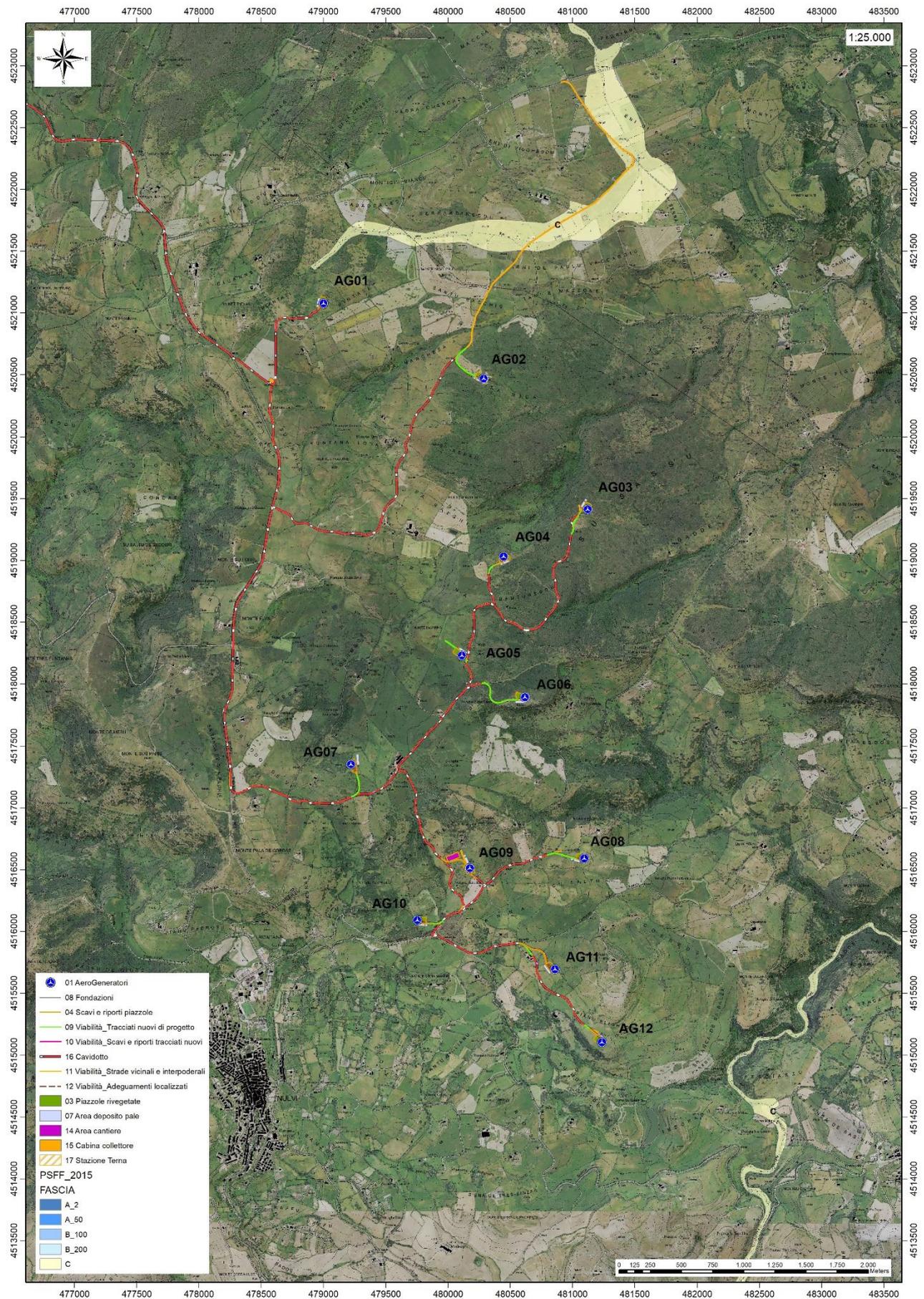


Figura 34 Carta delle perimetrazioni PSFF

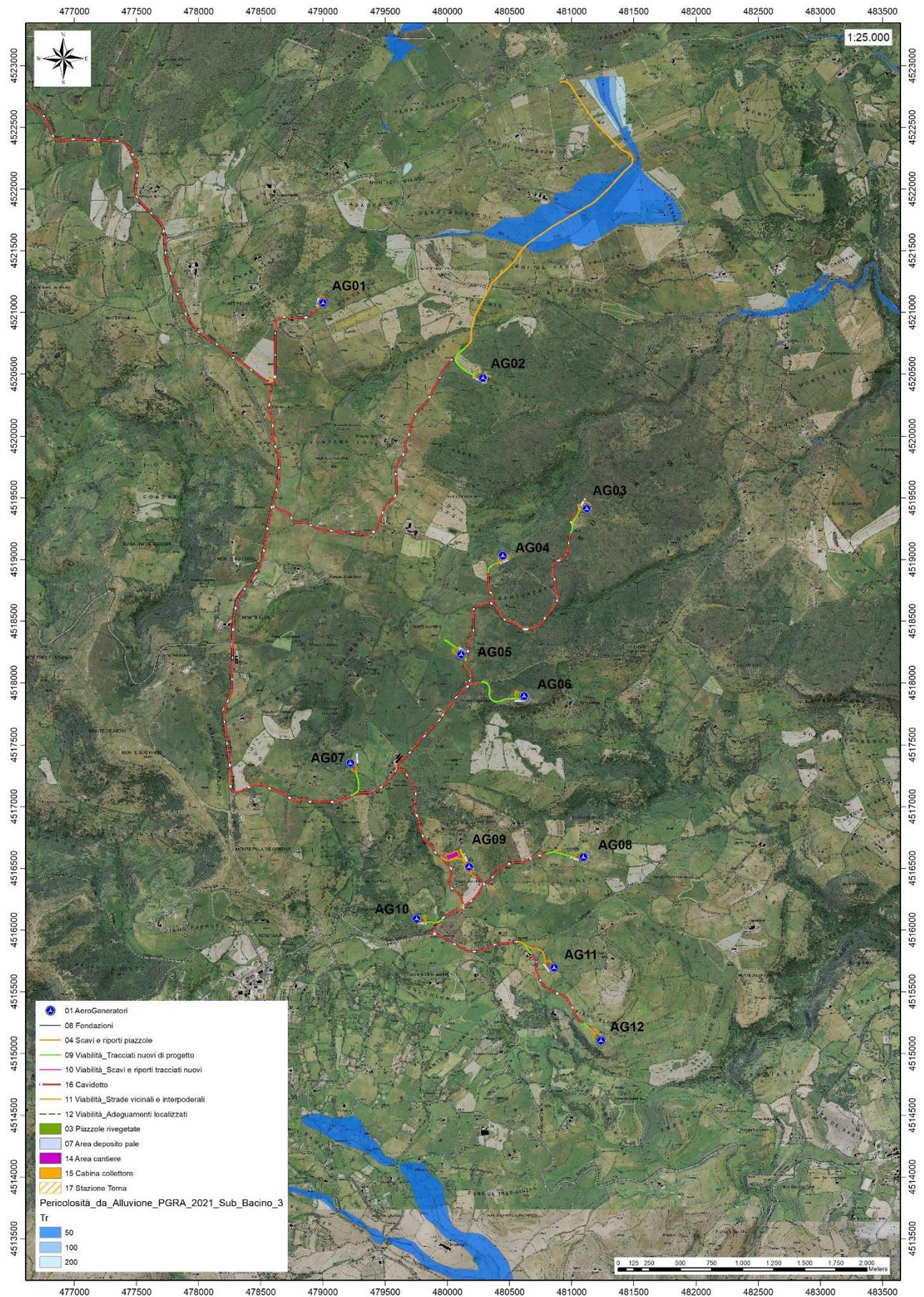


Figura 35 PGRA (Fonte RAS)

## 13. 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°4 stendimenti di sismica con tecnica MASW e rifrazione in onde P e n°2 stendimenti di sismica con tecnica MASW. Tutte le basi sismiche MASW ricadono lungo il medesimo allineamento delle rifrazioni, i quali hanno il medesimo centro degli allineamenti sismici ma sono leggermente più lunghi (69,0 m).

È stato inoltre eseguito il Rilievo topografico tramite GPS (geofoni, punti di shot, elettrodi /picchetti) e restituzione dei profili altimetrici da impiegare nelle sezioni di 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	Metodologie	Orientamento	Geofoni	Interdistanza (m)	Lunghezza (m)
R1 (SM01)	Rifrazione	NO-SE	24	3,0	69,0
R2 (SM02)	Rifrazione	N-S	24	3,0	69,0
R3 (SM03)	Rifrazione	NO-SE	24	3,0	69,0
R4 (SM04)	Rifrazione	NO-SE	24	3,0	69,0
M1 (SM01)	MASW	NO-SE	24	3,0	69,0
M2 (SM02)	MASW	N-S	24	3,0	69,0

Figura 36 Quadro riassuntivo delle indagini svolte

## 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.

## Caratteristiche delle stese sismiche

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

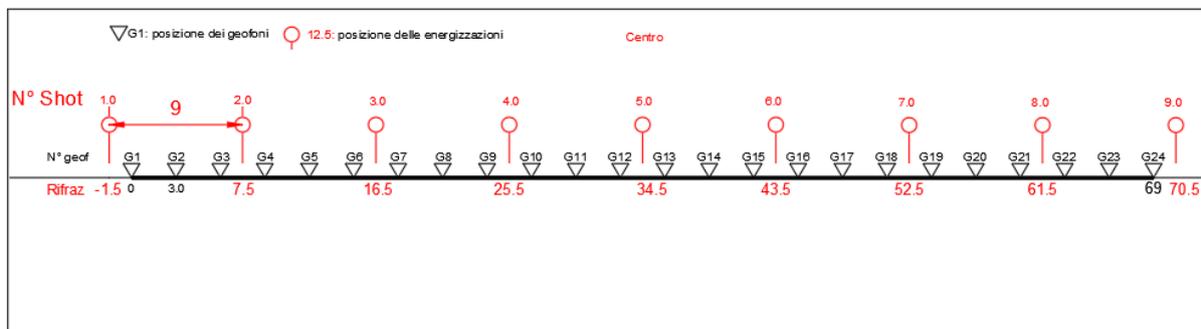


Figura 37 Geometria di acquisizione - sismica a rifrazione in onde P con 24 geofoni, interdistanza di 3,0 m, lunghezza complessiva 69,0

## Caratteristiche della Strumentazione impiegata

Per l'esecuzione delle indagini è stato impiegato un sismografo DoReMi, prodotto dalla SARA electronicinstruments, 24bit con frequenza di campionamento 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.

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.

## 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.

## **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.

## **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.

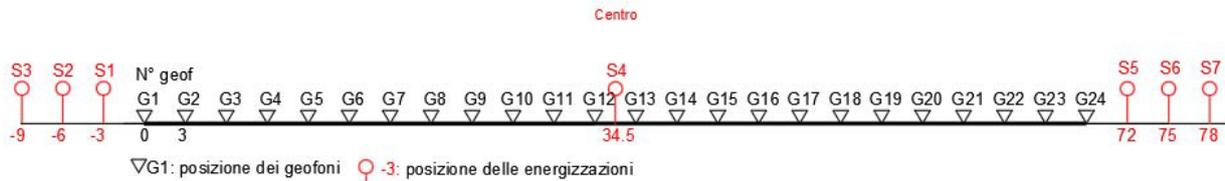


Figura 38 Geometria di acquisizione - MASW con 24 geofoni, interdistanza di 3,0 m, lunghezza complessiva 69,0

## Caratteristiche della strumentazione impiegata

Per l'esecuzione del cantiere d'interesse, è stata utilizzata una strumentazione di acquisizione 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 è stata utilizzata una mazza battente da 10 kg impattante su piastra di battuta in duralluminio, diametro 18 cm, spessore 4 cm, peso 2 kg.

## 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.

## 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.

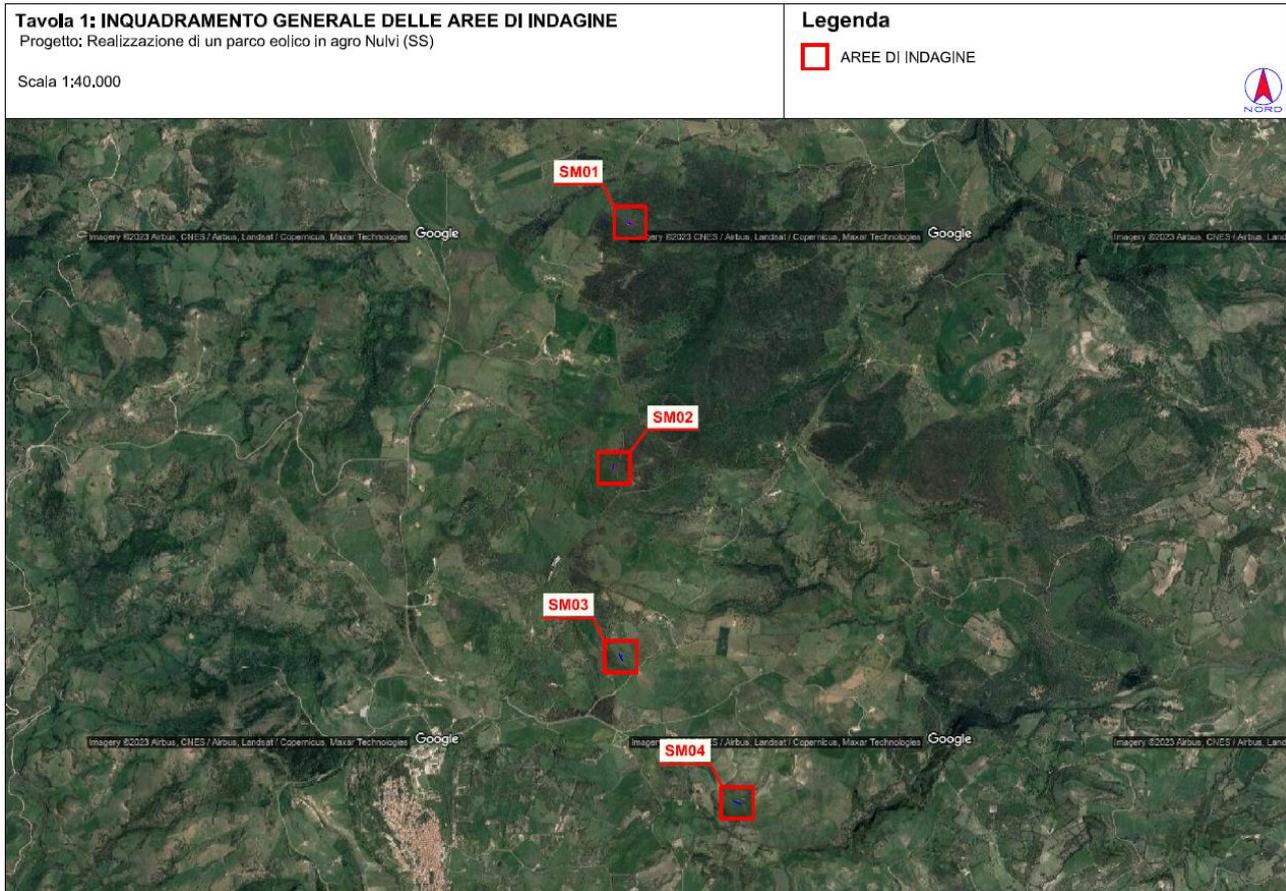
Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato  $H$  è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, 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>Depositati 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>Depositati 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.

## Ubicazione delle indagini eseguite



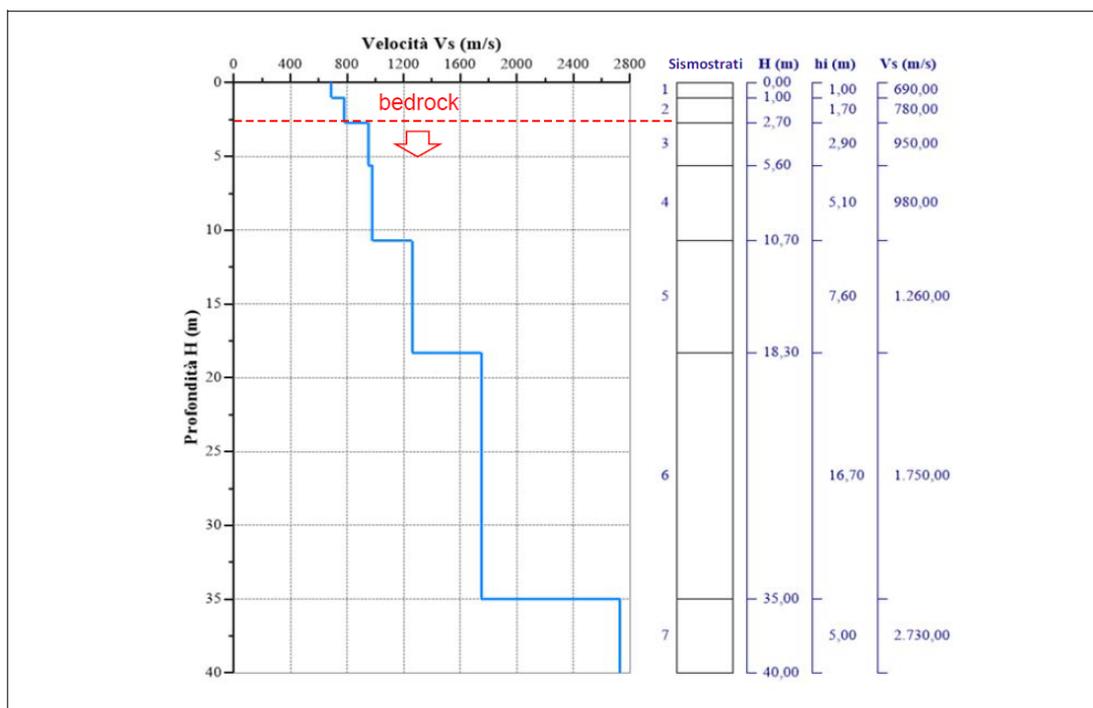
## Risultati delle indagini del sito NU\_SISM\_01-TURBINA AG02

### M1- NU\_SISM\_01-AG02: MASW

L'indagine sismica con tecnica MASW ha permesso di ottenere il profilo medio di velocità delle onde di taglio verticali Vs dello stendimento NU\_SISM\_01-AG02, 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 - 1,0	1° sismostrato con Vs di 690 m/s Terre estremamente addensate
1,0 - 2,7	2° sismostrato con Vs di 780 m/s Terre estremamente addensate
2,7 - 5,6	3° sismostrato con Vs di 950 m/s Substrato roccioso fratturato
5,6 - 10,7	4° sismostrato con Vs di 980 m/s Substrato roccioso fratturato
10,7 - 18,3	5° sismostrato con Vs di 1260 m/s Substrato roccioso da fratturato a sano
18,3 - 35,0	6° sismostrato con Vs di 1750 m/s Substrato roccioso da fratturato a sano
35,0 - 40,0	7° sismostrato con Vs di 2730 m/s Substrato roccioso sano

MASW M1-PROFILO Vs



Sismostratigrafia e calcolo Vs eq

Nr.	Profondità (m)	Spessori (m)	Vs (m/s)	Hcalc (m)	hi calc (m)	Hi/Vs (s)
1	1,00	1,00	690,00	1,00	1,00	0,00144
2	2,70	1,70	780,00	2,70	1,70	0,00217
3	5,60	2,90	950,00	5,60	2,90	
4	10,70	5,10	980,00	10,70	5,10	
5	18,30	7,60	1260,00	18,30	7,60	
6	35,00	16,70	1750,00	30,00	11,70	
7	40,00	5,00	2730,00	0,00	0,00	

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.

Esaminato il profilo delle  $V_s$  si evince come profondità del substrato **2,70 m** ( $V_s > 800$  m/s); la velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio calcolata per il substrato posto a 2,70 m di profondità dal p.c. è pari a  $V_{s,eq} > 800$  m/s che dà luogo ad una categoria A, 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  $V_s$ , e  $V_p$  e densità (da bibliografia/correlazione) per ciascun sismostrato definito dalle indagini eseguite.

Sismostrato	Prof/zona	CT*	Densità $\gamma$	$V_p$	$V_s$	Coefficiente di Poisson $\nu$	Modulo di Young dinamico $E_d$	Modulo di Young statico $E_d$	Modulo di taglio $G_0$	Modulo di comprimibilità o di Bulk - K
			[Kg/m <sup>3</sup> ]	[m/s]	[m/s]	[adim]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
1	0,0 - 1,0	terre	1.800	1.380	690	0,33	2.285	276	853	2.285
2	1,0 - 2,7	terre	2.000	1.560	780	0,33	3.246	391	1.216	3.246
3	2,7 - 5,6	10%	2.100	1.900	950	0,33	5.051	608	1.893	5.051
4	5,6 - 10,7	12%	2.200	1.960	980	0,33	5.639	677	2.108	5.639
5	10,7 - 18,3	15%	2.350	2.520	1260	0,33	9.954	1.493	3.727	9.954
6	18,3 - 35,0	22%	2.400	3.500	1750	0,33	19.604	4.313	7.345	19.604
7	35,0 - 40,0	25%	2.450	5.460	2730	0,33	48.691	12.173	18.260	48.691

\*CT: coefficiente di trasformazione (per la roccia)

Figura 39 Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche

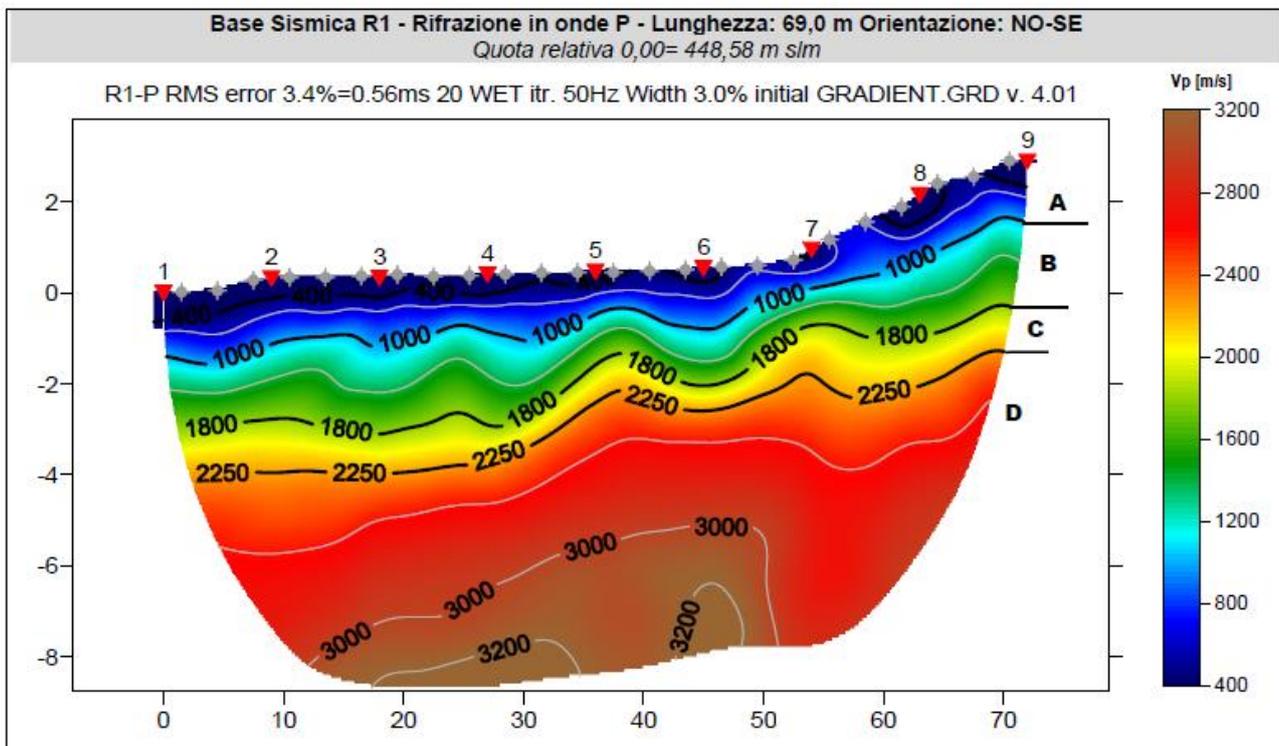
### M1- NU\_SISM\_01-AG02: SISMICA A RIFRAZIONE

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 3200 m/s. Il sismostrato A caratterizzato dalle terre di copertura (facilmente rippabile) presenta spessori compresi tra 1,6 e 1,8 metri da p.c e un andamento leggermente irregolare rispetto al piano campagna. Il sismostrato B caratterizzato da terre molto addensate e/o rocce tenere e/o intensamente fratturate (rippabili) presenta un andamento simile al sismostrato precedente e si rileva fino a profondità comprese tra 1,9 e 3,5 m dal p.c. Il sismostrato C costituito da rocce poco fratturate e sane (rippabili con difficoltà) si osserva invece fino a profondità comprese tra 2,5 e 4,1 m di profondità dal p.c. Il sismostrato D rappresenta invece un substrato lapideo non rippabile caratterizzato da velocità  $V_p$  medie e si riscontra fino alle massime profondità di

indagine comprese tra 10,0/12,0 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 1,9 e 3,5 m dal p.c i terreni risultano già difficilmente rippabili, mentre a partire dalle profondità comprese tra 2,5 e 4,1 m dal p.c si riscontra la presenza di materiale non rippabile.

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 1,6/1,8	400-1000
B: Unità delle terre molto addensate e/o rocce tenere e/o intensamente fratturate (rippabili)	Da 1,6/1,8 a 1,9/3,5	1000-1800
C: Unità delle rocce da poco fratturate a sane (rippabili con difficoltà)	Da 1,9/3,5 a 2,5/4,1	1800-2250
D: Unità delle rocce sane (non rippabili)	Da 2,5/4,1 a 10,0-12,0	2400-3200



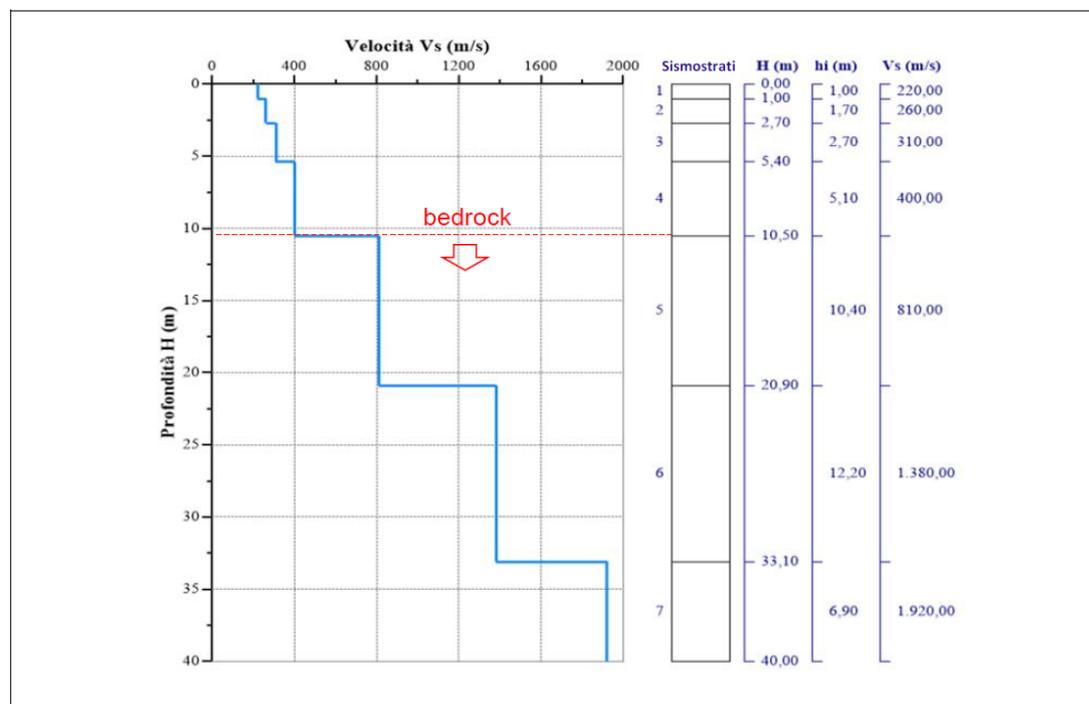
## RISULTATI DELLE INDAGINI SITO NU\_SISM\_02-TURBINA AG05

### M2- NU\_SISM\_02-AG05: MASW

L'indagine sismica con tecnica MASW ha permesso di ottenere il profilo medio di velocità delle onde di taglio verticali Vs dello stendimento NU\_SISM\_02-AG05, 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 - 1,0	1° sismostrato con Vs di 220 m/s Terre moderatamente addensate
1,0 - 2,7	2° sismostrato con Vs di 260 m/s Terre moderatamente addensate
2,7 - 5,4	3° sismostrato con Vs di 310 m/s Terre addensate
5,4 - 10,5	4° sismostrato con Vs di 400 m/s Terre da addensate a molto addensate
10,5 - 20,9	5° sismostrato con Vs di 810 m/s Substrato roccioso fratturato
20,9 - 33,1	6° sismostrato con Vs di 1380 m/s Substrato roccioso da fratturato a sano
33,1 - 40,0	7° sismostrato con Vs di 1920 m/s Substrato roccioso da fratturato a sano

MASW M2-PROFILO Vs



Sismostratigrafia e calcolo Vs eq

Nr.	Profondità (m)	Spessori (m)	Vs (m/s)	Hcalc (m)	hi calc (m)	Hi/Vs (s)
1	1,00	1,00	220,00	1,00	1,00	0,00455
2	2,70	1,70	260,00	2,70	1,70	0,00654
3	5,40	2,70	310,00	5,40	2,70	0,00871
4	10,50	5,10	400,00	10,50	5,10	0,01275
5	20,90	10,40	810,00	20,90	10,40	
6	33,10	12,20	1380,00	30,00	9,10	
7	40,00	6,90	1920,00	0,00	0,00	

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.

Esaminato il profilo delle  $V_s$  si pone come profondità del substrato **10,50 m** ( $V_s > 800$  m/s).

La velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio calcolata per il substrato posto a **10,50 m** di profondità dal p.c. è pari a:  **$V_{s,eq} = 10,5/0,03254 = 322,6$  m/s** che dà luogo ad una categoria E, ossia:

**Categoria E:** 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.

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

Sismostrato	Prof/zona	CT*	Densità $\gamma$	$V_p$	$V_s$	Coefficiente di Poisson $\nu$	Modulo di Young dinamico $E_d$	Modulo di Young statico $E_d$	Modulo di taglio $G_0$	Modulo di comprimibilità o di Bulk - K
			[Kg/m <sup>3</sup> ]	[m/s]	[m/s]	[adim]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
1	0,0 - 1,0	terre	1.800	440	220	0,33	235	28	88	235
2	1,0 - 2,7	terre	2.000	520	260	0,33	363	44	137	363
3	2,7 - 5,4	terre	2.100	620	310	0,33	539	65	206	539
4	5,4 - 10,5	terre	2.200	800	400	0,33	941	114	353	941
5	10,5 - 20,9	15%	2.350	1.620	810	0,33	4.109	616	1.540	4.109
6	20,9 - 33,1	22%	2.400	2.760	1380	0,33	12.190	2.682	4.570	12.190
7	33,1 - 40,0	25%	2.450	3.840	1920	0,33	24.086	6.021	9.032	24.086

\*CT: coefficiente di trasformazione (per la roccia)

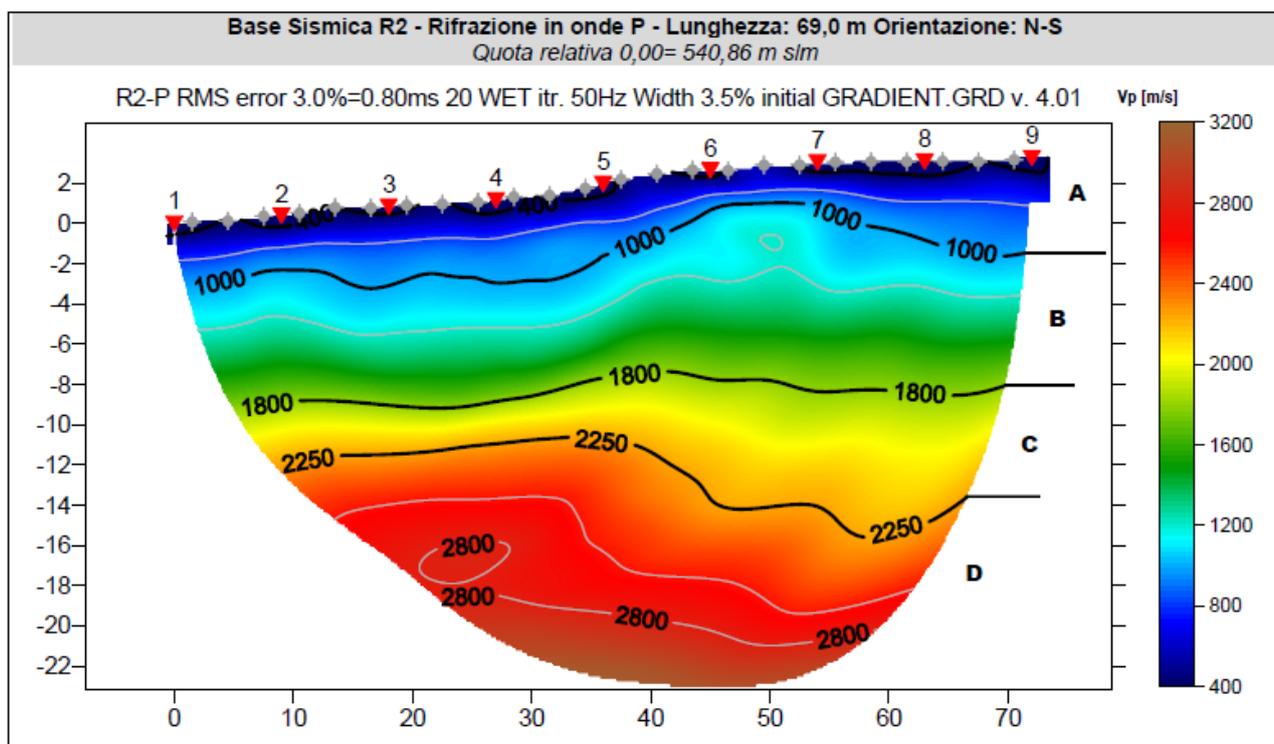
Figura 40 Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche

### SM2- NU\_SISM\_02-AG05: SISMICA A RIFRAZIONE

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 1,8 e 4,2 metri da p.c e un andamento leggermente irregolare rispetto al piano campagna. Il sismostrato B caratterizzato da terre molto addensate e/o rocce tenere e/o intensamente fratturate (rippabili) presenta leggere variazioni di spessore e si rileva fino a profondità comprese tra 9,0 e 11,5 m dal p.c. Il sismostrato C costituito da rocce poco fratturate e sane (rippabili con difficoltà) si osserva invece fino a profondità comprese tra 12,2 e 18,5 m di profondità dal p.c. Il sismostrato D rappresenta invece un substrato lapideo non rippabile caratterizzato da velocità alte e si riscontra fino alle massime profondità di indagine comprese

tra 23,0/26,0 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. In termini di grado di rippabilità si evidenzia che a partire da profondità comprese tra 9,0 e 11,5 m dal p.c i terreni risultano già difficilmente rippabili, mentre a partire dalle profondità comprese tra 12,2 e 18,5 m dal p.c si riscontra la presenza di materiale non rippabile.

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 1,8/4,2	400-1000
B: Unità delle terre molto addensate e/o rocce tenere e/o intensamente fratturate (rippabili)	Da 1,8/4,2 a 9,0/11,5	1000-1800
C: Unità delle rocce da poco fratturate a sane (rippabili con difficoltà)	Da 9,0/11,5 a 12,2/18,5	1800-2250
D: Unità delle rocce sane (non rippabili)	Da 12,2/18,5 a 23,0-26,0	2250-2800



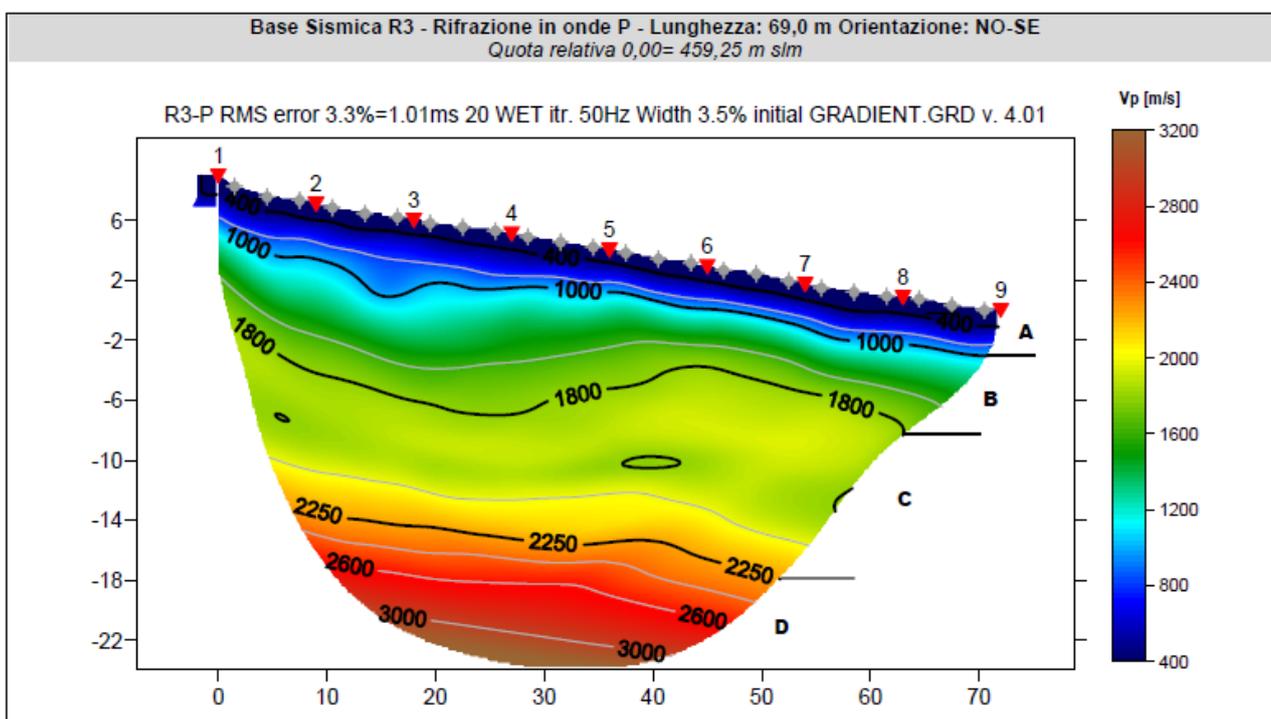
**SM3- NU\_SISM\_03-AG09: SISMICA A RIFRAZIONE**

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 3000 m/s. Il sismostrato A caratterizzato dalle terre di copertura (facilmente rippabile) presenta spessori compresi tra 3,2 e 5,0 metri da p.c e un andamento leggermente irregolare rispetto al piano campagna. Il sismostrato B caratterizzato terre molto addensate e/o rocce tenere e/o intensamente fratturate (rippabili) presenta leggere variazioni di spessore e si rileva fino a profondità comprese tra 6,2 e 12,2 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 19,0 e 20,5 m di profondità dal p.c. Il sismostrato D rappresenta invece un substrato lapideo

non rippabile caratterizzato da velocità medio-alte e si riscontra fino alle massime profondità di indagine comprese tra 23,5/32,0 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 6,2 e 12,2 m dal p.c i terreni risultano già difficilmente rippabili, mentre a partire dalle profondità comprese tra 19,0 e 20,5 m dal p.c si riscontra la presenza di materiale non rippabile.

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 3,2/5,0	400-1000
B: Unità delle terre molto addensate e/o rocce tenere e/o intensamente fratturate (rippabili)	Da 3,2/5,0 a 6,2/12,2	1000-1800
C: Unità delle rocce da poco fratturate a sane (rippabili con difficoltà)	Da 6,2/12,2 a 19,0/20,5	1800-2250
D: Unità delle rocce sane (non rippabili)	Da 19,0/20,5 a 23,5-32,0	2250-3000



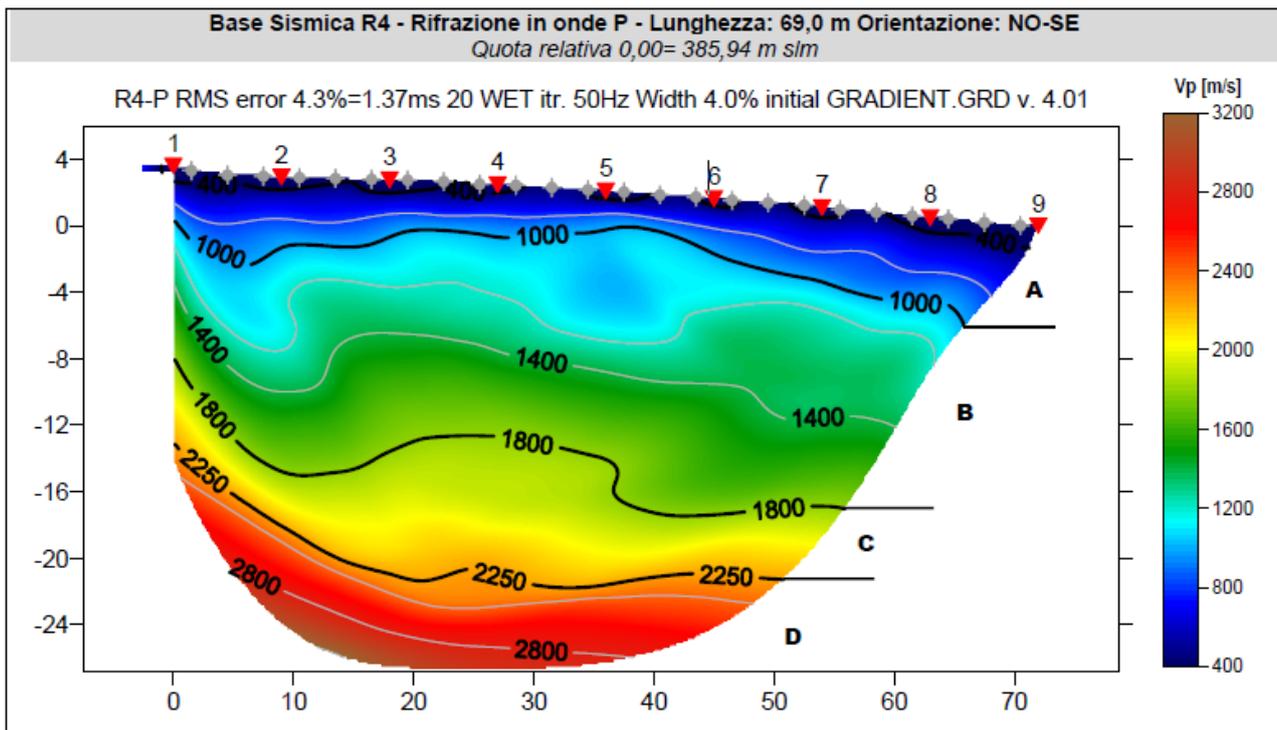
### SM4- NU\_SISM\_04-AG12: SISMICA A RIFRAZIONE

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 5,0 metri da p.c e un andamento leggermente irregolare rispetto al piano campagna. Il sismostrato B caratterizzato da terre molto addensate e/o rocce tenere e/o intensamente fratturate (rippabili) presenta un andamento simile al precedente, con spessore maggiori e leggere variazioni rispetto ai sismostrati adiacenti,

riscontrabile fino a profondità comprese tra 11,5 e 19,0 m dal p.c. Il sismostrato C costituito da rocce poco fratturate e sane (rippabili con difficoltà) si osserva invece fino a profondità comprese tra 16,5 e 23,8 m di profondità dal p.c. Il sismostrato D rappresenta invece un substrato lapideo non rippabile caratterizzato da velocità medio-alte e si riscontra fino alle massime profondità di indagine comprese tra 13,0/15,2 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 11,5 e 19,0 m dal p.c i terreni risultano già difficilmente rippabili, mentre a partire dalle profondità comprese tra 16,5 e 23,8 m dal p.c si riscontra la presenza di materiale non rippabile.

Stendimento R4		ONDE P	
Sismostrati		Profondità da pc (m)	Velocità in m/s
A: Unità delle terre di copertura (facilmente rippabili)		Da 0,0 a 2,0/5,0	400-1000
B: Unità delle terre molto addensate e/o rocce tenere e/o intensamente fratturate (rippabili)		Da 2,0/5,0 a 11,5/19,0	1000-1800
C: Unità delle rocce da poco fratturate a sane (rippabili con difficoltà)		Da 11,5/19,0 a 16,5/23,8	1800-2250
D: Unità delle rocce sane (non rippabili)		Da 16,5/23,8 a 26,0-30,0	2250-2800



## 14. Modellazione geologica

### 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, e dai dati derivanti dai sondaggi geognostici.

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

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

dove:

$\sigma'_1$  e  $\sigma'_3$  = sforzi efficaci principali rispettivamente massimo e minimo a rottura;

$mb$  = costante d'ammasso

$s$  ed  $a$  = costanti d'ammasso

$\sigma_{ci}$  = resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta

è stato possibile risalire ai parametri di coesione e angolo di attrito interno secondo Mohr- Coulomb.

Tale metodologia si basa su caratteristiche proprie dell'ammasso, valutabili tramite osservazioni in sito o con l'ausilio di tabelle sviluppate sulla base di una vasta raccolta di dati pubblicati in letteratura, attraverso cui è possibile stimare con una certa precisione i parametri di coesione e angolo di attrito interno necessari alle verifiche di stabilità, valutando i seguenti parametri:

- **Resistenza a compressione monoassiale** (Intact Uniaxial Compressive Strength – IUCS) stimata su base empirica (Fig.56) e su valori di Point Load.
- **Stima dell'indice GSI** (*Geological Strength Index*) in base alle caratteristiche geologiche dell'ammasso: tale indice, introdotto da Hoek, Kaiser e Bawden (1995), può esser definito sulla base delle caratteristiche dell'ammasso (Fig. 57) o sulla base di un controllo diretto con l'indice RMR della classificazione di Bieniawski.
- **Determinazione della costante  $mi$**  (Funzione del tipo di roccia): i valori delle costanti caratteristiche della roccia ( $\sigma_{ci}$  e  $mi$ ) vengono generalmente definiti sulla base di apposite prove di laboratorio, ma in assenza delle suddette, è possibile fare riferimento alla tabella di Fig.58, che riassume i valori della costante  $mi$  per diversi tipi di roccia.

CLASSE [*]	DESCRIZIONE	RESISTENZA A COMPRESIONE MONOASSIALE (MPa)	INDICE DI RESISTENZA (POINT LOAD) (MPa)	VALUTAZIONE DELLA RESISTENZA IN SITO	ESEMPI
R6	Resistenza estremamente elevata	> 250	> 10	Un campione può essere scheggiato solamente con un martello geologico	Basalto intatto, silice, selce, diabase, gneiss granito, quarzite
R5	Resistenza molto elevata	100-250	4-10	Un campione richiede molti colpi di un martello geologico per essere fratturato	Anfibolite, arenaria basalto, gabbro, gneiss, grandiorite calcare, marna riolite, tufi
R4	Resistenza elevata	50-100	2-4	Un campione richiede più di un martello geologico per essere fratturato	Calcarea, marna, fillite, arenaria, scisto, argillite
R3	Resistenza media	25-50	1-2	Non può essere raschiato o spellato con un coltellino, un campione può essere fratturato con un solo colpo mediante un martello geologico	Argillite, carbone, calcestruzzo, scisto, siltite
R2	Resistenza bassa	5-25	[**]	Con difficoltà può essere spellato con un coltellino, una intaccatura superficiale può essere procurata con un colpo inferto mediante la punta di un martello geologico	Calcarea bianca, saigemma
R1	Resistenza molto bassa	1-5	[**]	Si frantuma per effetto di alcuni colpi con la punta di un martello geologico, può essere spellato mediante un coltellino	Rocce estremamente alterate o alterate
R0	Resistenza estremamente bassa	0.25-1	[**]	Intagliato con l'unghia di un pollice	Miloniti, cataclasi

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

Figura 41 - Resistenza a compressione monoassiale per diversi tipi di roccia

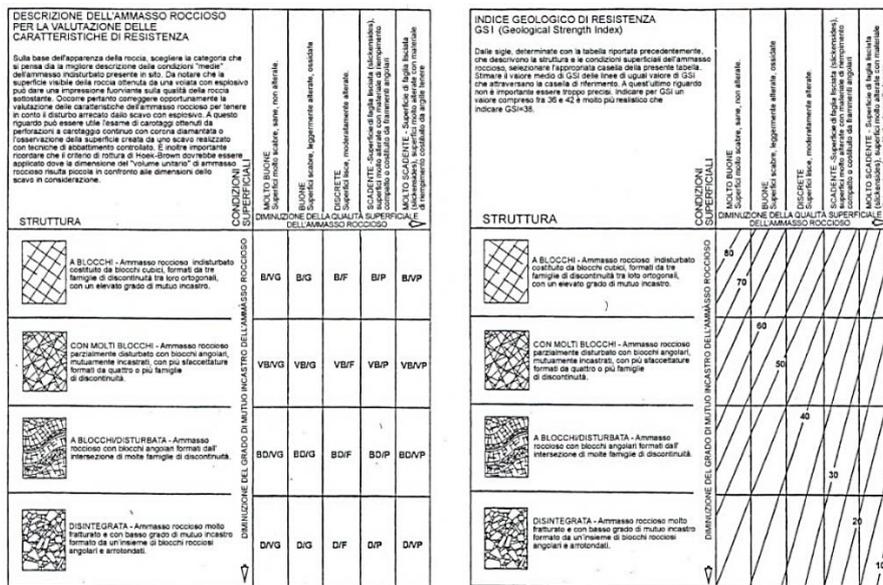


Figura 42 Abaco per la determinazione di GSI sulla base delle caratteristiche geologiche e strutturali dell'ammasso

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

$$mb = mi \left[ \frac{(GSI-100)}{28} \right]$$

$$s = e \left[ \frac{(GSI-100)}{(9-3D)} \right]$$

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

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

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

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

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

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

L'analisi delle caratteristiche geomeccaniche in sito degli ammassi rocciosi interessati dal progetto e l'applicazione del metodo di Hoek-Brown per la definizione dei parametri geotecnici del substrato roccioso ha portato alla classificazione di nr.2 **tipologie** tra le litologie che caratterizzano le formazioni presenti, due delle quali appartenenti alla **Formazione di Logulentu**, e una appartenente alla **Formazione di Osilo**.

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.

<p>Criterio di rottura empirico</p> $\sigma_1 = \sigma_3 + \sqrt{m\sigma_{u(r)}\sigma_3 + s\sigma_{u(r)}^2}$ <p><math>\sigma_1</math> = tensione efficace principale massima  <math>\sigma_3</math> = tensione efficace principale minima  <math>\sigma_{u(r)}</math> = resistenza a compressione monoassiale                      m ed s: costanti empiriche</p>	COSTANTI DEL MATERIALE: m, s	<p>ROCCIE CARBONATICHE CON CLIVAGGIO CRISTALLINO BEN SVILUPPATO</p> <p>Dolomite, calcare e marmo.</p>	<p>ROCCIE ARGILLOSE LITIFICATE</p> <p>Argillite, siltite, scisti argillosi con clivaggio ben marcato.</p>	<p>ROCCIE ARENACEE CON ELEVATA CRISTALLIZZAZIONE E LIMITATO SVILUPPO DI CLIVAGGIO PER CRISTALLIZZAZIONE</p> <p>Arenarie e quarzite</p>	<p>ROCCIE CRISTALLINE IGNEE E GRANA FINE</p> <p>Andesite, diorite, diabase e riolite</p>	<p>ROCCIE IGNEE A GRANA GROSSOLANA E ROCCIE CRISTALLINE METAMORFICHE</p> <p>Amfibolite, gabbro, gneiss, norite, quarze-diorite</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 = 85</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>0.082</p>	<p>5.14</p> <p>0.082</p>	<p>5.82</p> <p>0.082</p>	<p>8.56</p> <p>0.082</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 44 Correlazione fra valori di m, s, indice RMR, ed il tipo di roccia.

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

Formazione di Logulentu

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

Instabilità= scivolamenti planari e a cuneo

Ammasso roccioso= da mediamente fratturato a molto fratturato

Struttura= massiva, a blocchi

Alterazione= mediamente alterata

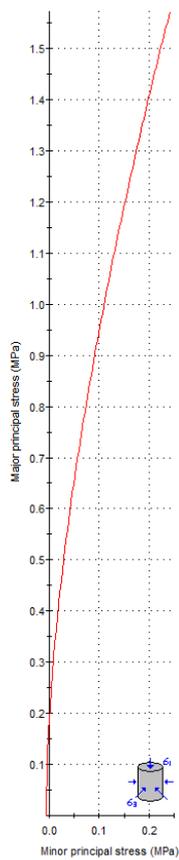
Spaziatura totale delle discontinuità (s)=0,1 m

Lunghezza media del giunto = >2 m

Pareti – mediamente alterate

Riempimento – sciolto, argilloso

Roccia – asciutta

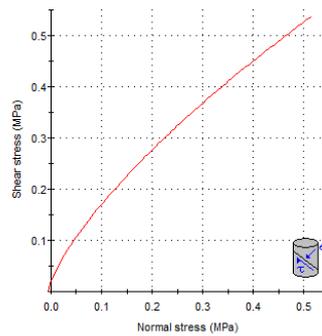


**Hoek-Brown Classification**  
 intact uniaxial compressive strength = 138 MPa  
 GSI = 25    mi = 19    Disturbance factor = 1

**Hoek-Brown Criterion**  
 mb = 0.090    s = 3.73e-6    a = 0.531

**Mohr-Coulomb Fit**  
 cohesion = 0.075 MPa    friction angle = 43.52 deg

**Rock Mass Parameters**  
 tensile strength = -0.006 MPa  
 uniaxial compressive strength = 0.180 MPa  
 global strength = 4.438 MPa  
 modulus of deformation = 1185.69 MPa



Formazione di Osilo

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

Instabilità= scivolamenti planari e a cuneo

Ammasso roccioso= da mediamente fratturato a molto fratturato

Struttura= massiva, a blocchi

Alterazione= mediamente alterata

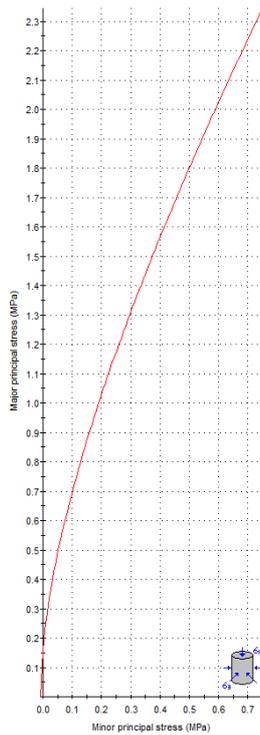
Spaziatura totale delle discontinuità (s)=0,2 m

Lunghezza media del giunto = >2,5m

Pareti – mediamente alterate

Riempimento – sciolto, argilloso o assente

Roccia – asciutta



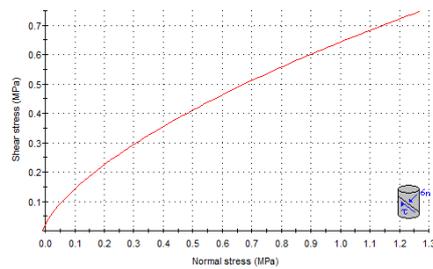
Analysis of Rock/Soil Strength using RocData

**Hoek-Brown Classification**  
 intact uniaxial compressive strength = 3 MPa  
 GSI = 49 mi = 7 Disturbance factor = 0

**Hoek-Brown Criterion**  
 mb = 1.133 s = 0.0035 a = 0.506

**Mohr-Coulomb Fit**  
 cohesion = 0.132 MPa friction angle = 27.25 deg

**Rock Mass Parameters**  
 tensile strength = -0.009 MPa  
 uniaxial compressive strength = 0.170 MPa  
 global strength = 0.433 MPa  
 modulus of deformation = 1635.16 MPa



## 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. I sistemi di fratturazione presenti generano 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.02 modelli geologici rappresentativi** dei due domini geologici principali e descritti di seguito:

### Modello Geologico 01

Sulla base dei dati ricavati dalle indagini geognostiche e dalla classificazione degli ammassi rocciosi si definiscono i parametri geotecnici rappresentativi del modello geologico che andrà confermato in sede di progettazione esecutiva con indagini più dettagliate sui singoli siti di imposta delle fondazioni. Pertanto, nell'ottica dell'individuazione di un **modello geologico rappresentativo del sito per le turbine AG02, AG03, AG04, AG09, AG11, AG12** si propone il seguente schema:

0,00 - 2,70m depositi eluvio-colluviali / roccia da addensata a fortemente addensata **(S1)**

2,70 – 10,70m substrato roccioso fratturato **(S2)**

10,70 -35,00m substrato roccioso da fratturato a sano **(S3)**

35,00m –40,00m substrato roccioso sano **(S4)**

MODELLO GEOLOGICO 01 (AG02, AG03, AG04, AG09, AG11, AG12)					
Dati Parametri Resistenza					
Tipo di Terreno		S1	S2	S3	S4
Descrizione		depositi eluvio-colluviali / roccia da addensata a fortemente addensata	substrato roccioso fratturato	substrato roccioso da fratturato a sano	substrato roccioso sano
Peso di volume**	[kg/mc]	1.800	2.000	2.350	2.450
Peso di volume saturo**	[kg/mc]	1.900	2.100	2.350	2.450
Angolo di attrito* interno	[°]	43.52	45.63	47.23	49.54
Coesione*	[Mpa]	0.075	0,524	1,072	1,254
Modulo elastico **	[Mpa]	276	608	1493	12173
Coefficiente di Poisson**	[]	0,33	0,33	0,33	0,33
Modulo di taglio (G)**	[Mpa]	853	1893	3727	18260
Velocità onde di taglio Vs**	[m/sec]	690	950	1260	2730

\*Valori ricavati da interpolazioni empiriche su ROCDATA da confermare con indagini dirette e puntuali

\*\* Valori ricavati da dati derivati dalle indagini geofisiche da confermare con indagini dirette e puntuali

## Modello Geologico 02

Sulla base dei dati ricavati dalle indagini geonostiche e dalla classificazione degli ammassi rocciosi si definiscono i parametri geotecnici rappresentativi del modello geologico che andrà confermato in sede di progettazione esecutiva con indagini più dettagliate sui singoli siti di imposta delle fondazioni. Pertanto, nell'ottica dell'individuazione di un **modello geologico rappresentativo del sito per le turbine AG05, AG06, AG07, AG08, AG10** si propone il seguente schema:

0,00 - 2,70m depositi eluvio-colluviali / terre moderatamente addensate (**S1**)

2,70 – 10,50m terre da addensate a molto addensate (**S2**)

10,50 -33,10m substrato roccioso da fratturato a sano (**S3**)

33,10m –40,00m substrato roccioso sano (**S4**)

MODELLO GEOLOGICO 02 ( AG05, AG06, AG07, AG08, AG10 )					
Dati Parametri Resistenza					
Tipo di Terreno		S1	S2	S3	S4
Descrizione		depositi eluvio-colluviali / terre moderatamente addensate	terre da addensate a molto addensate	substrato roccioso da fratturato a sano	substrato roccioso sano
Peso di volume**	[kg/mc]	1.800	2.000	2.350	2.450
Peso di volume saturo**	[kg/mc]	1.900	2.100	2.350	2.450
Angolo di attrito* interno	[°]	27,25	29,54	40,45	46,74
Coesione*	[Mpa]	0.132	0,250	1,034	1,120
Modulo elastico **	[Mpa]	28	65	616	6021
Coefficiente di Poisson**	[]	0,33	0,33	0,33	0,33
Modulo di taglio (G)**	[Mpa]	88	206	1540	9032
Velocità onde di taglio Vs**	[m/sec]	220	310	810	1920

\*Valori ricavati da interpolazioni empiriche su ROCDATA da confermare con indagini dirette e puntuali

\*\* Valori ricavati da dati derivati dalle indagini geofisiche da confermare con indagini dirette e puntuali

## 15. 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. 2 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 4-5m 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:

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

Circolazione idrica sotterranea secondaria o indotta e/o stagnazione di acque di pioggia –pur se non è stata rilevata in fase di indagine, vanno considerati gli effetti dell'eventuale presenza d'acqua alla quota di imposta delle fondazioni in relazione ad una possibile circolazione idrica indotta dai fenomeni di detensionamento dovuti agli scavi, con particolare riferimento alla stagionalità degli apporti idrici e del relativo flusso negli ambiti più superficiali delle coltri di **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 fratturato 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 le litologie appartenenti tutte le principali litologie della zona e i 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.