



## 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 sulla pericolosità sismica di base

CODICE ELABORATO

NL\_SIA\_A015

### 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.....</b>	<b>2</b>
<b>2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>2</b>
<b>3. STUDI ED INDAGINI DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>2</b>
<b>4. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO GENERALE.....</b>	<b>3</b>
<b>5. INQUADRAMENTO GEOLOGICO.....</b>	<b>8</b>
DESCRIZIONE DEL CONTESTO GEOLOGICO DELL'AREA VASTA OGGETTO DI INTERVENTO.....	8
SITUAZIONE GEOLOGICA E LITOSTRATIGRAFICA DELL'AREA INTERESSATA DALL'INTERVENTO.....	15
<b>6. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO.....</b>	<b>15</b>
<b>7. INQUADRAMENTO SISMICO .....</b>	<b>17</b>
AZIONE SISMICA.....	18
<i>Vita nominale, classi d'uso e periodo di riferimento.....</i>	18
<i>Amplificazione stratigrafica e topografica.....</i>	19
<b>8. INDAGINI GEOGNOSTICHE .....</b>	<b>21</b>
INDAGINI SISMICHE: MASW .....	22
<i>Specifiche delle indagini svolte.....</i>	23
<i>Caratteristiche della strumentazione impiegata.....</i>	24
<i>Interpretazione dei segnali acquisiti .....</i>	24
CATEGORIE DI SOTTOSUOLO - D.M. 19.01.2018 (NTC 2018).....	24
UBICAZIONE DELLE INDAGINI ESEGUITE .....	26
RISULTATI DELLE INDAGINI DEL SITO NU_SISM_01-TURBINA AG02 .....	27
<i>M1- NU_SISM_01-AG02: MASW.....</i>	27
RISULTATI DELLE INDAGINI SITO NU_SISM_02-TURBINA AG05 .....	29
<i>M2- NU_SISM_02-AG05: MASW.....</i>	29
CATEGORIE DI SOTTOSUOLO E PARAMETRI DI PERICOLOSITÀ SISMICA .....	31
<b>9. CONCLUSIONI.....</b>	<b>32</b>

# 1. Premessa

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 sulla Pericolosità Sismica di Base**, la cui stesura ottempera quanto previsto dal D.M. del 17/01/2018 recante le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (di seguito NTC).

In data 08-09/08/2023 è stata eseguita una prospezione sismica eseguita con la tecnica MASW (stendimenti denominati M1 – M2) al fine di determinare la categoria di sottosuolo.

## 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.

## 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.

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.

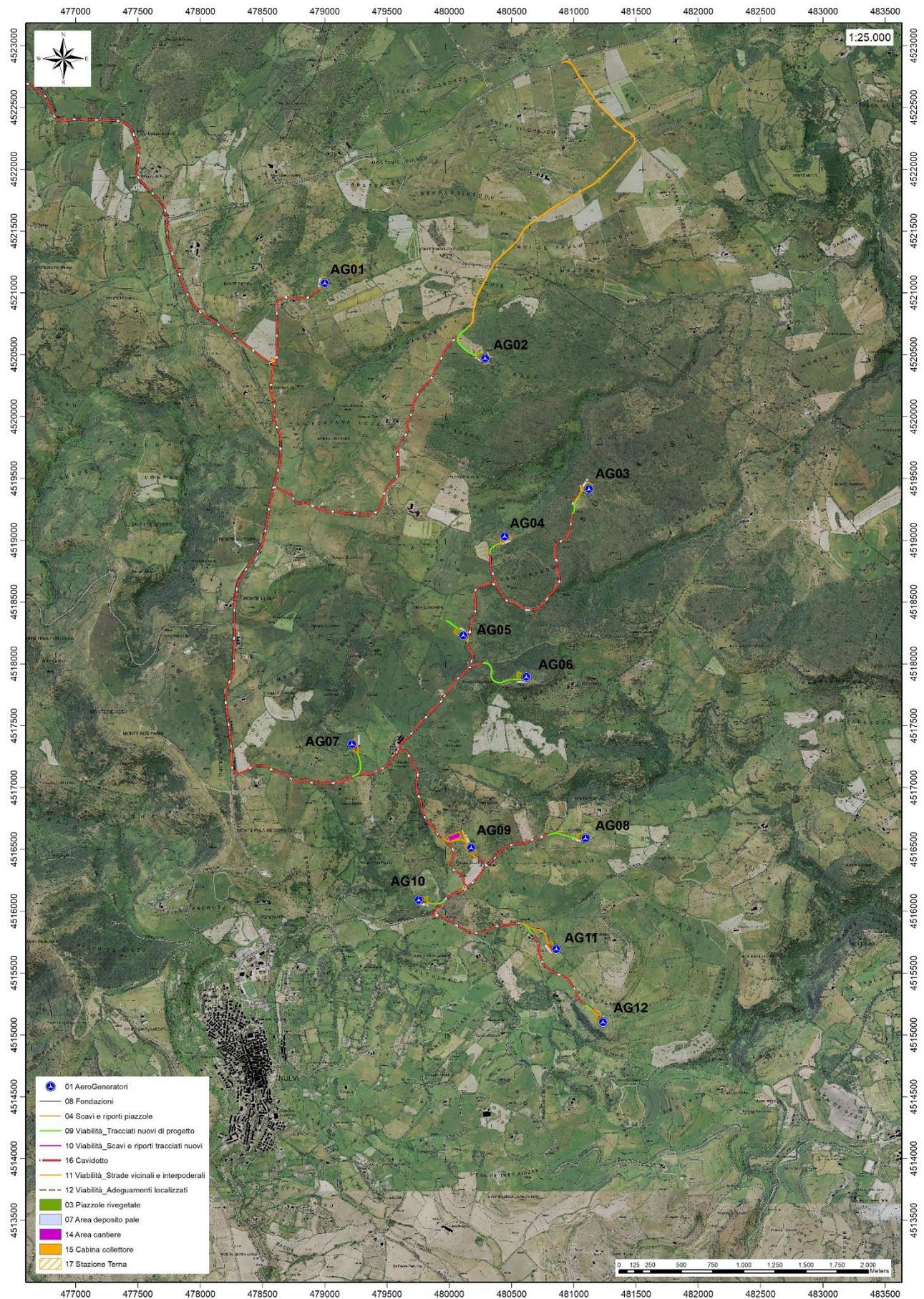
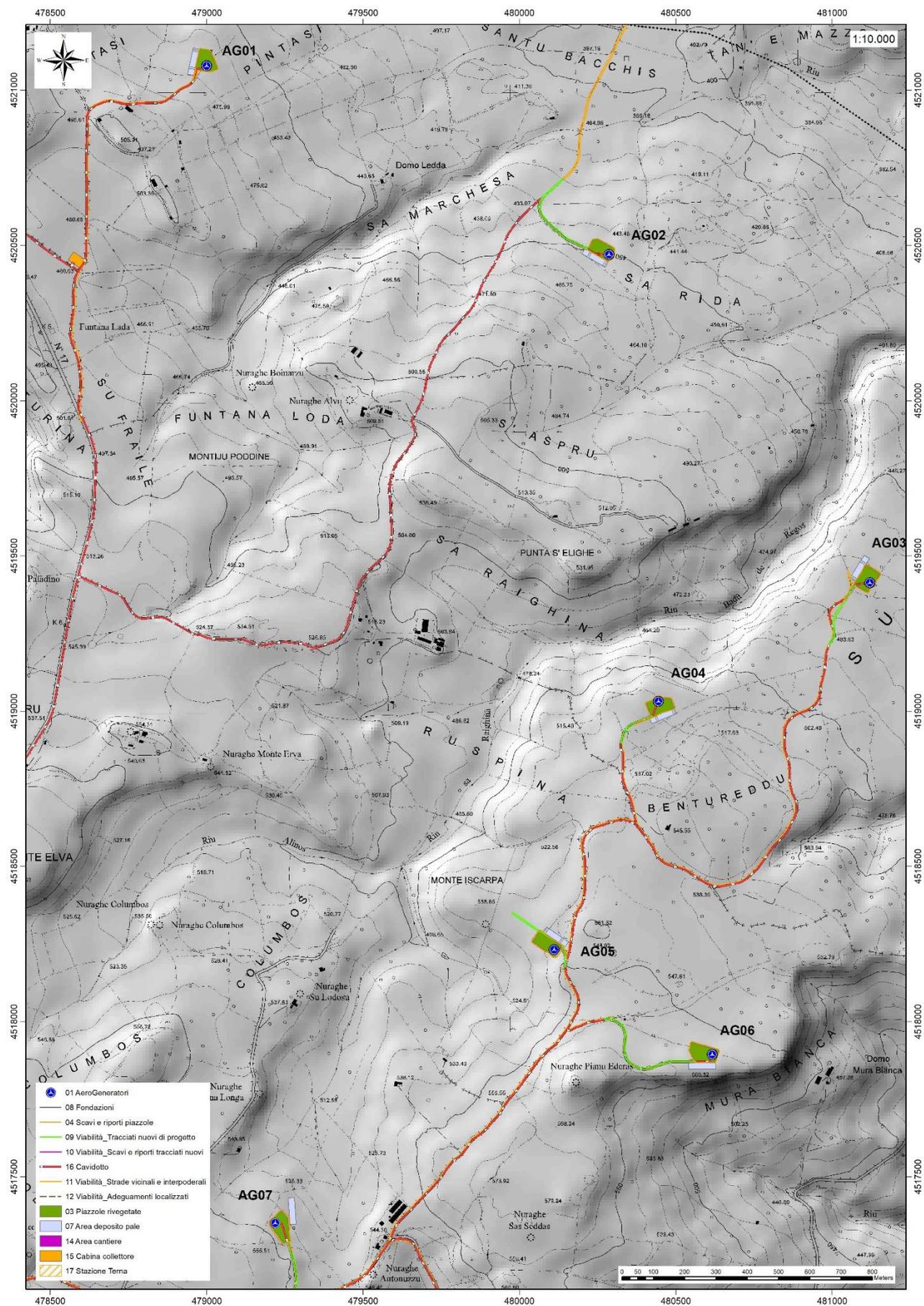


Figura 1 Localizzazione su foto aerea (Fonte RAS, 2016) dell'area interessata dal progetto



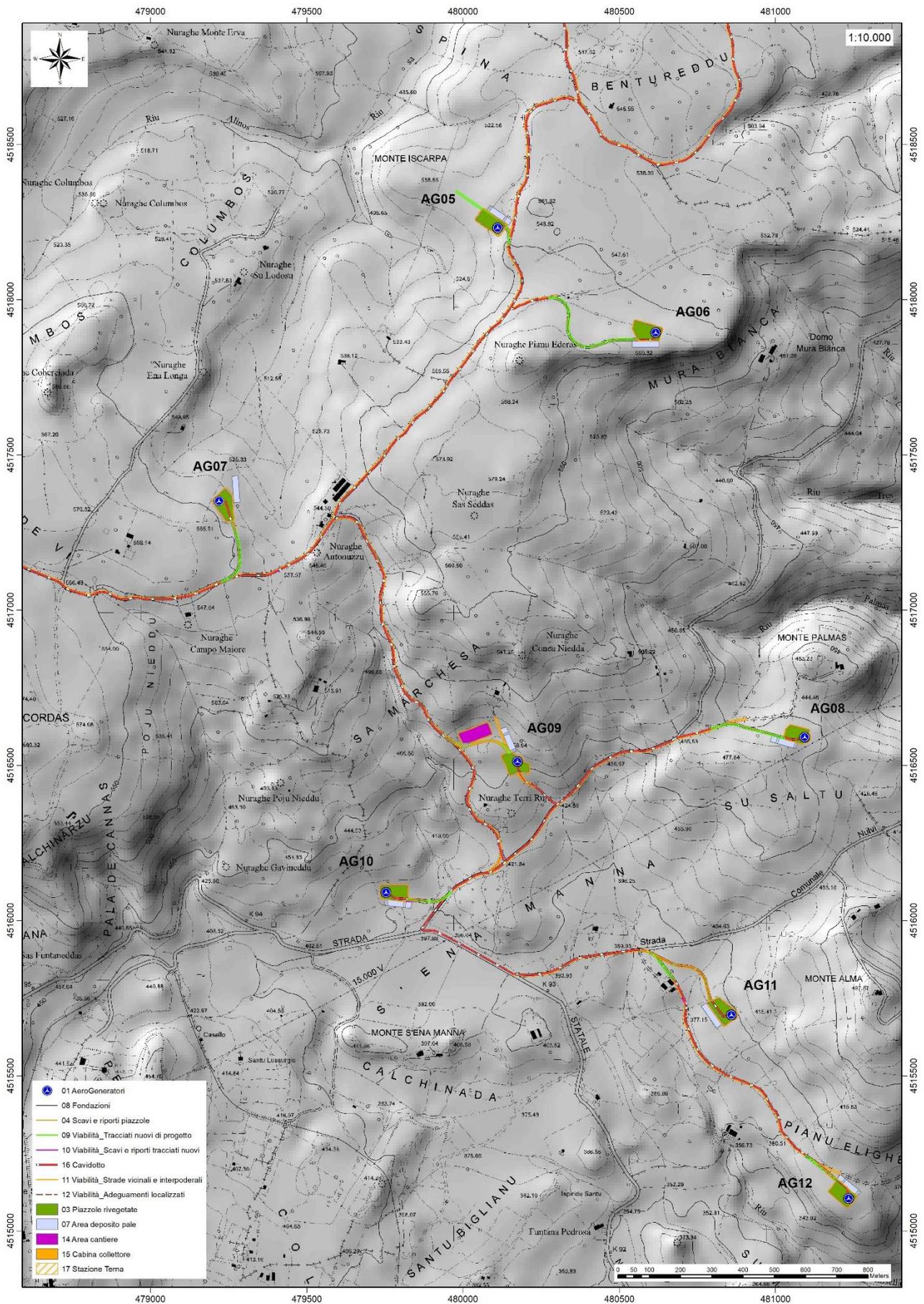


Figura 2 Inquadramento topografico su Carta Tecnica Regionale C.T.R. scala 1:10000

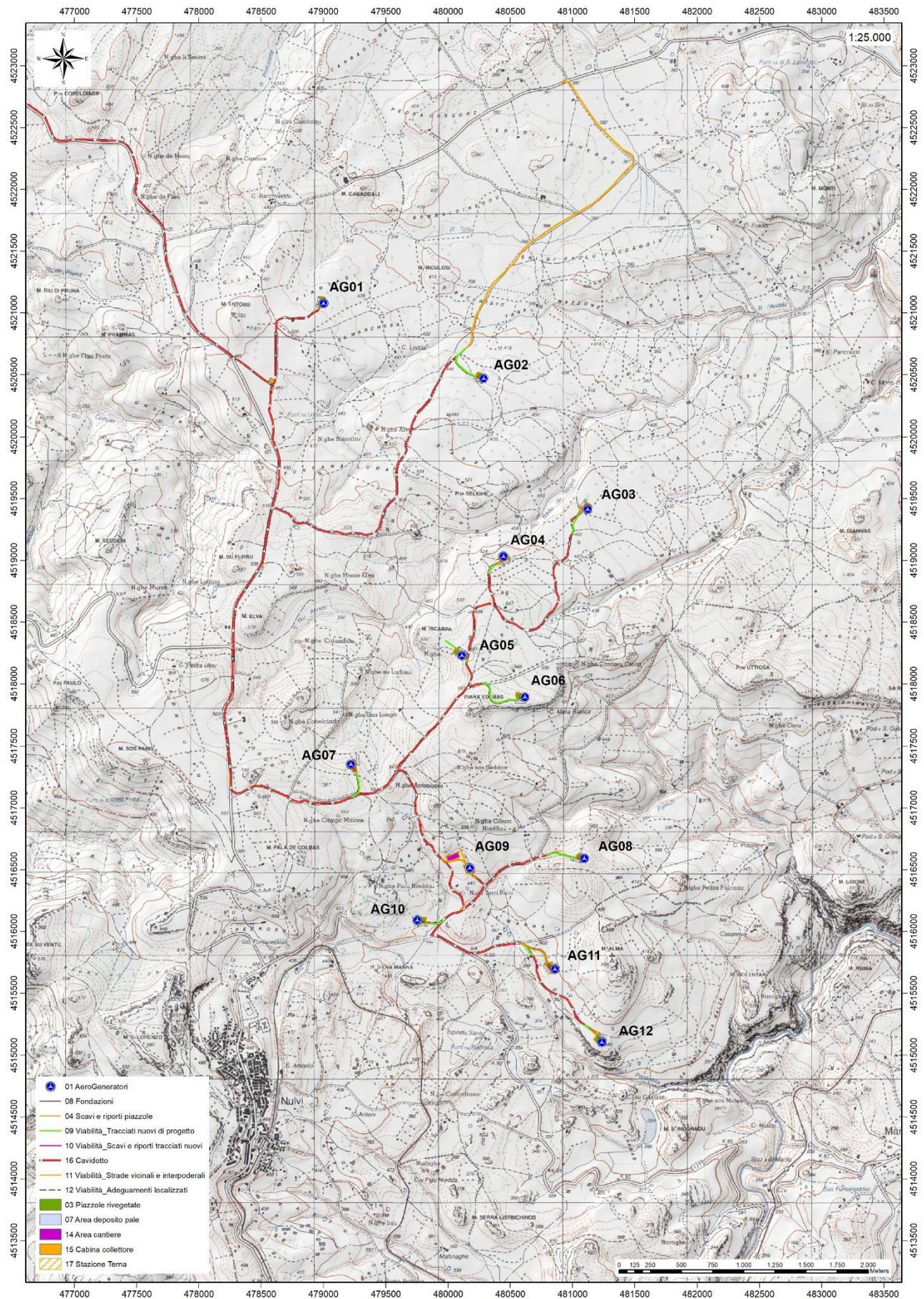


Figura 3 Inquadramento topografico su Carta IGM scala 1:25000

L'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. 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:

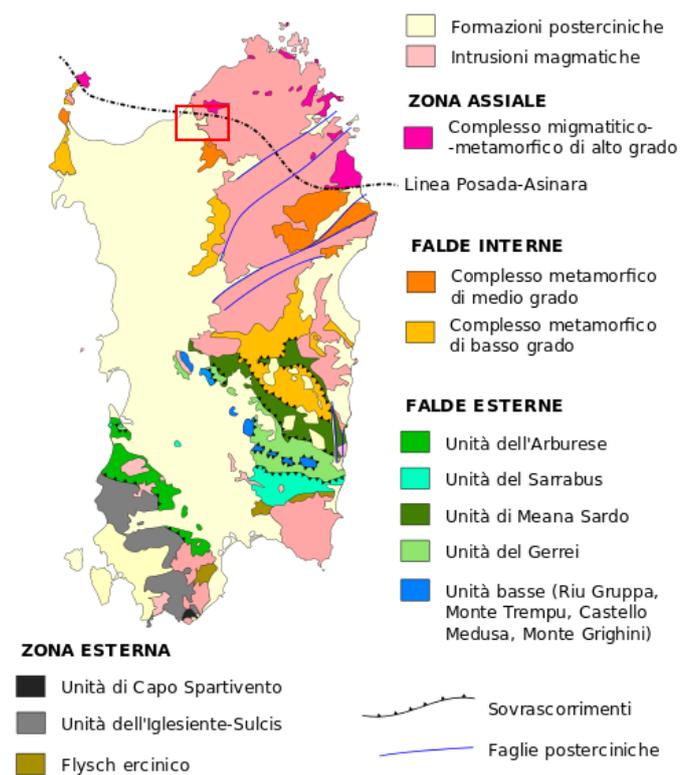
- Definizione dell'assetto geologico-strutturale e idrogeologico di area vasta e dell'area geomorfologicamente significativa;
- Definizione dell'assetto stratigrafico dell'area di sedime delle opere;
- Definizione del modello geologico di sito;

### 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.



dell'Iglesiente e del Sarrabus.

Figura 4 Schema tettonico-strutturale della Sardegna

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 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

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 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 composti, di minori dimensioni, quali quelli

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 riolacitico-riolitico, spesso in facies ignimbratica ("Serie ignimbratica inferiore" e "Serie ignimbratica superiore", Auct.) indicano processi anatettici con fusione parziale di rocce metamorfiche o granitoidi nella 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>.

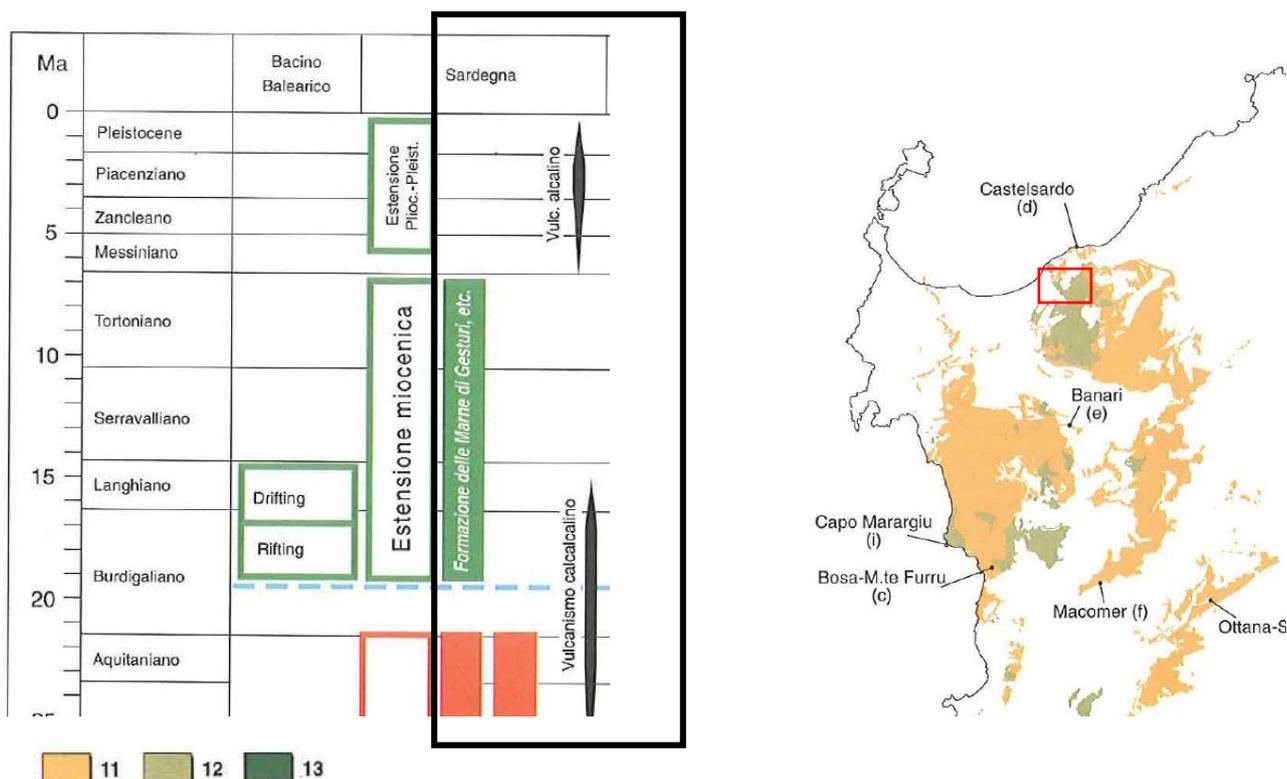


Figura 5 Schema cronologico relativo ai principali eventi stratigrafico-strutturali cenozoici in Sardegna e nelle aree limitrofe. Ubicazione degli affioramenti di Rioliti (11), Andesiti (12) e Filoni (13) del ciclo calcalkalino oligo-miocenico.

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

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 "calcari inferiori", è costituita da una successione di calcareniti, calcari bioclastici fossiliferi, e calcari a componente terrigena variabile, con faune a gasteropodi "Turritelle", ostreidi ed echinidi (Scutella, Amphiope), riferibili al Miocene inferiore (Burdigaliano). Il passaggio alla soprastante formazione di Borutta (RTU) presenta spesso caratteri eteropici, infatti può essere sormontata direttamente dalla Formazione di Monte Santo (NST). Burdigaliano superiore. Spessore variabile fino a 40-50m.



Figura 6 AG12 vista verso Monte Alma su Formazione di Mores

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



Figura 7 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 8 AG08 su Unità di Osilo - Vista verso Monte Palmas

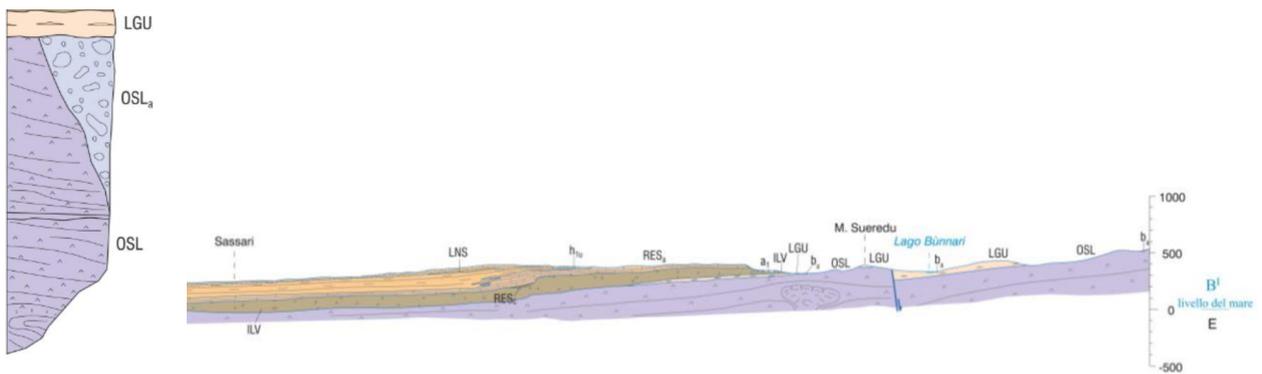


Figura 9 Sezione stratigrafica e geologica rappresentativa dell'assetto geologico dell'area di interesse - Carta Geologica d'Italia Fig. 459 "Sassari", progetto CARG.

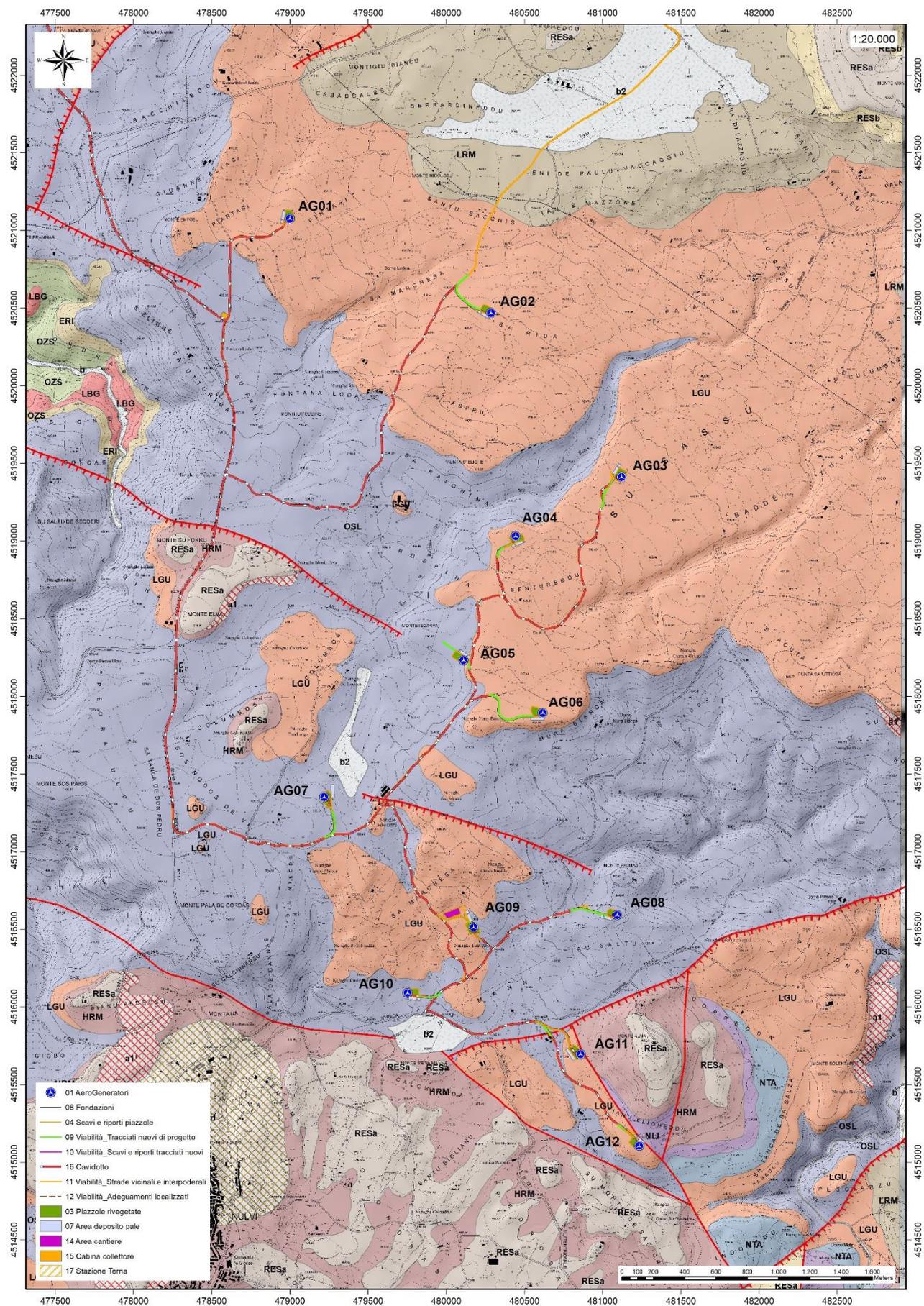


Figura 10 Carta geologica dell'area di interesse

## 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).

## 6. 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, Bentureddu 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 ignimbritiche o laviche, determina il profilo a "gradinata" che caratterizza i versanti dei rilievi. Questa morfologia, nota in letteratura col termine di *cuestas*, è particolarmente evidente nei rilievi 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 11 particolare dei rilievi tipo "cuestas" - pressi turbina AG08

## 7. INQUADRAMENTO SISMICO

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

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

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

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

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

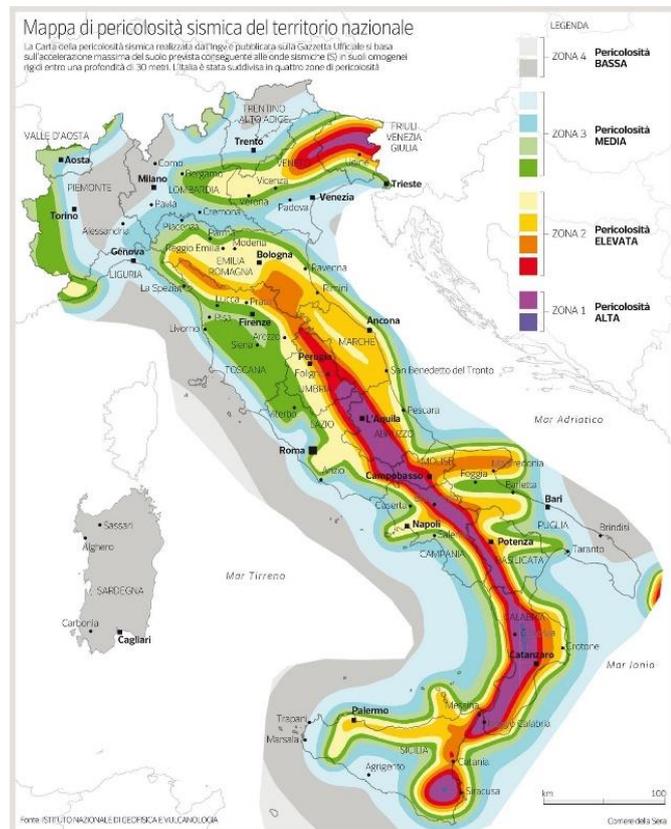


Figura 12 Carta della pericolosità sismica del territorio nazionale

## Azione sismica

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

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

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

- $a_g$  accelerazione orizzontale massima al sito;
- $F_0$  valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- $T_C^*$  valore di riferimento per la determinazione del periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.<sup>2</sup>

Per i valori di  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T_C^*$  necessari per la determinazione delle azioni sismiche, si fa riferimento agli Allegati A e B al Decreto del Ministro delle Infrastrutture 14 gennaio 2008, pubblicato nel S.O. alla Gazzetta Ufficiale del 4 febbraio 2008, n.29, ed eventuali successivi aggiornamenti.

## Vita nominale, classi d'uso e periodo di riferimento

La tipologia di costruzioni previste in progetto (NTC2018 - par.2.4) ha vita nominale  $\geq 50$  anni e appartiene alla classe d'uso IV.

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

Figura 13 Valori minimi della Vita nominale  $V_N$  di progetto per i diversi tipi di costruzioni.

<sup>2</sup> Per i valori di  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T_C^*$  necessari per la determinazione delle azioni sismiche, si fa riferimento agli Allegati A e B al Decreto del Ministro delle Infrastrutture 14 gennaio 2008, pubblicato nel S.O. alla Gazzetta Ufficiale del 4 febbraio 2008, n.29, ed eventuali successivi aggiornamenti.

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

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

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

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

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

$$V_R = V_N \times C_U$$

Il valore del coefficiente d'uso CU è definito, al variare della classe d'uso, come mostrato in Tab. 2.4.II (Figura 5.3). Nel Caso specifico  $C_u = 2$ .

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE $C_U$	0,7	1,0	1,5	2,0

Tabella 1 Valori di coefficiente d'uso CU

Il valore del periodo di riferimento è  $V_r = 100$

## Amplificazione stratigrafica e topografica

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

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

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

Tabella 2 Categorie topografiche (NTC 2018 3.2 - Tab. 3.2.II)

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

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

Tabella 3 Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica ST (NTC 2018 3.2 - Tab. 3.2.V)

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

Per tale scopo, in accordo agli approcci semplificati proposti dal D.M. 17/01/2018 - Tab. 3.2.II (Figura 5.4) la determinazione del parametro delle onde di taglio  $VS_{30}$  è stato stimato mediante misura delle velocità sismiche attraverso l'esecuzione di quattro **prospezioni geofisiche MASW** di seguito descritte in dettaglio.

## 8. Indagini geognostiche

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

L'obiettivo delle indagini realizzate è stato:

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

La metodica utilizzata è quella indiretta in sito, ovvero l'indagine geofisica, questa costituisce parte integrante delle indagini geognostiche dirette e indirette legate alla caratterizzazione dei terreni di fondazione. In particolare, si pone come obiettivo la ricostruzione dell'assetto sismo-stratigrafico dei terreni sede di posa delle opere di fondazione nonché la classificazione del suolo di fondazione per le categorie semplificate indicate nel Decreto 17 gennaio 2018 - NTC 2018 aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni". Sono stati eseguiti di n°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 14 Quadro riassuntivo delle indagini svolte

## 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 15 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.

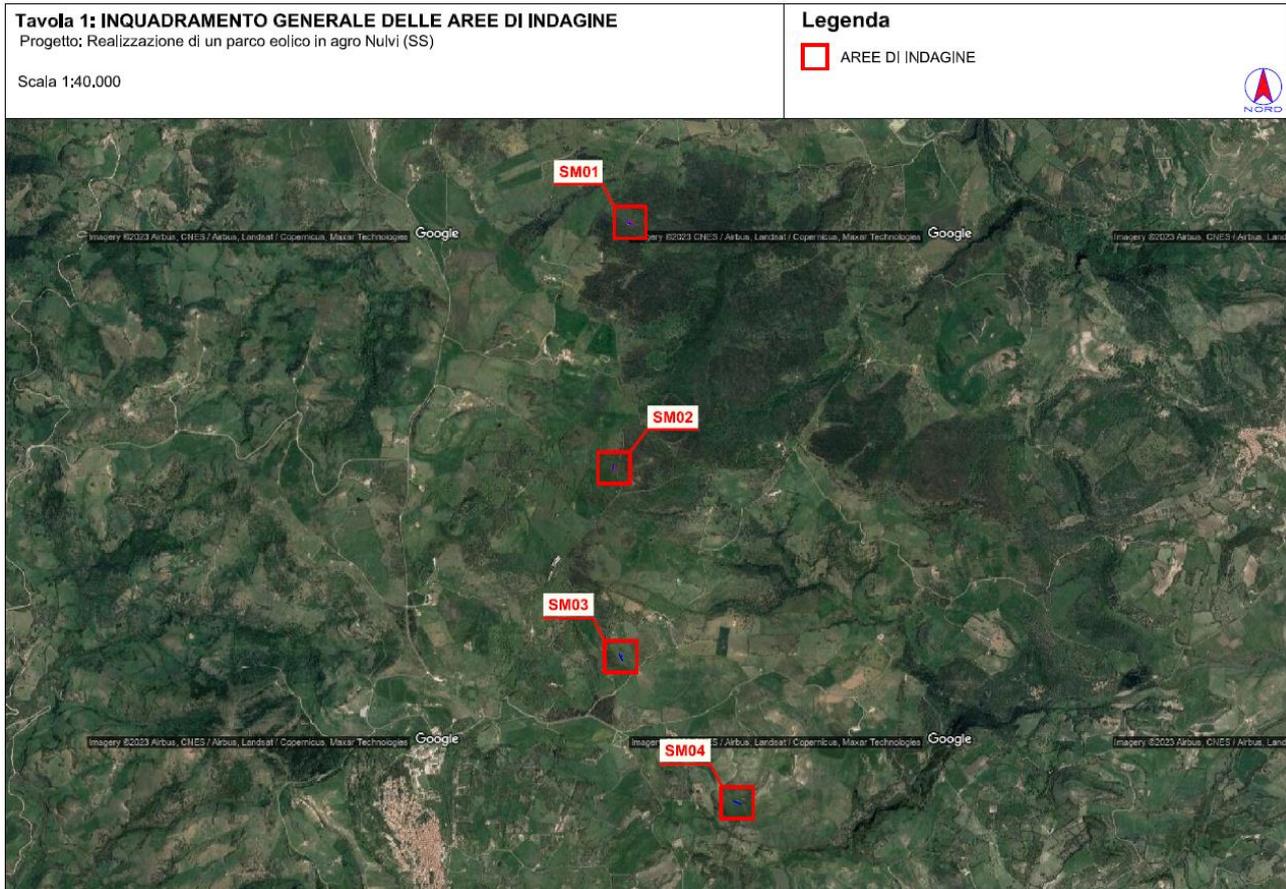
Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato  $H$  è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni,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



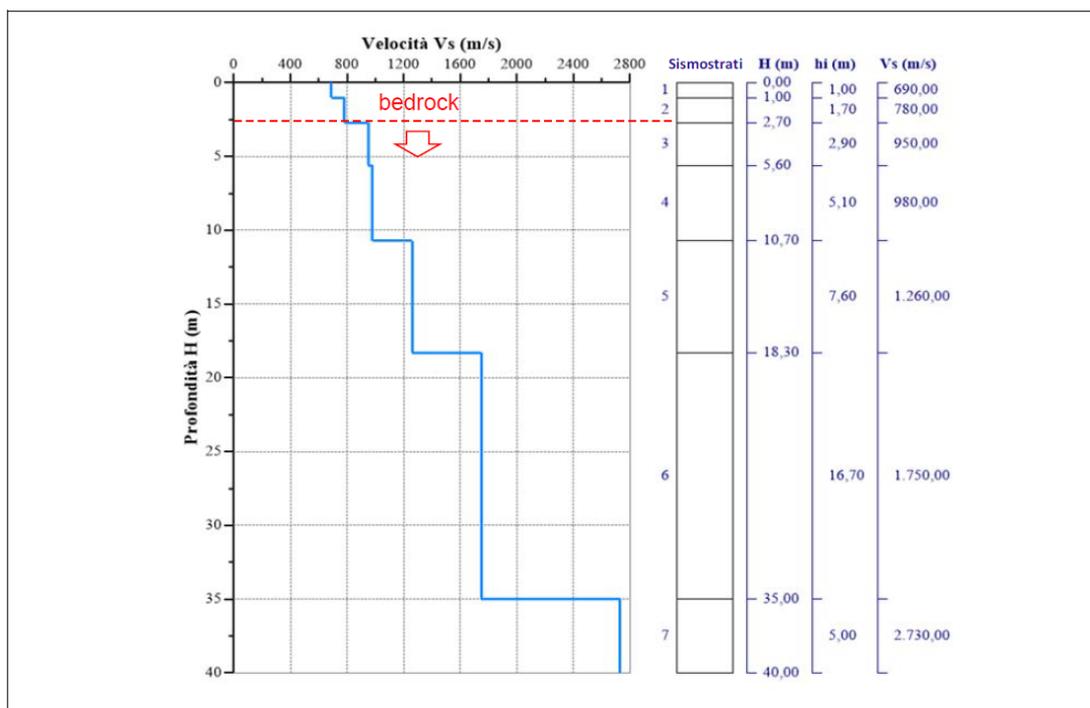
## Risultati delle indagini del sito NU\_SISM\_01-TURBINA AG02

### 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 16 Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche

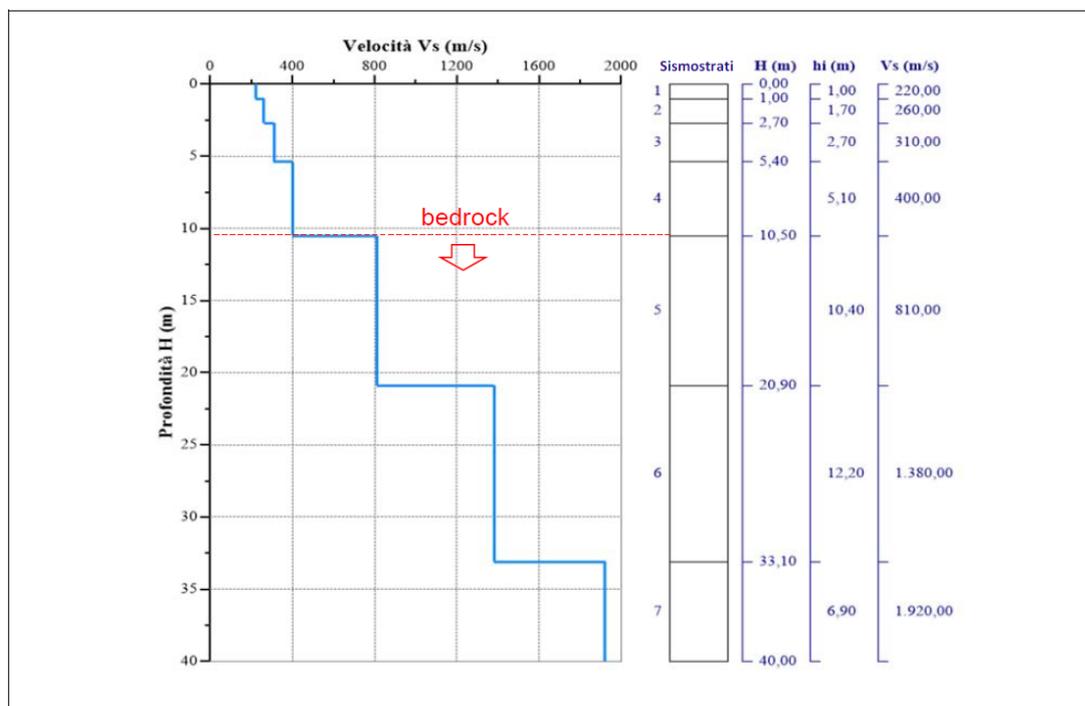
## RISULTATI DELLE INDAGINI SITO NU\_SISM\_02-TURBINA AG05

### 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 17 Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche

## Categorie di sottosuolo e parametri di pericolosità sismica

Attraverso le indagini con la tecnica MASW si evince la presenza di sismostrati con velocità  $V_s$  crescente con la profondità sino ad incontrare il bed rock con andamento e spessori indicati nei precedenti paragrafi. La velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio calcolata per i differenti siti di indagine, che si ricorda sarà anche funzione del piano di posa delle fondazioni è riportata nel seguente schema riassuntivo:

Sigla Stendimento	Profondità substrato [m]	$V_{seq}$ [m/s]	Categoria sottosuolo (NTC2018)
M1 (SM01)	2,70	>800	A
M2 (SM02)	10,5	322,6	E

Il substrato roccioso sulla formazione di Logulentu ( $V_s > 800$  m/s) si rileva profondità di 2,70m che dà luogo alla **categoria A - Ammassi rocciosi affioranti e terreni molto rigidi**, mentre per la formazione di Osilo il substrato roccioso si rileva a profondità di 10,50m che dà luogo alla **categoria E – Terreni con caratteristiche valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D**.

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

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

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

Stato Limite	Tr [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$	$T_c^+$ [s]
Operatività (SLO)	30	0.019	2.610	0.273
Danno (SLD)	35	0.020	2.628	0.280
Salvaguardia vita (SLV)	332	0.045	2.855	0.332
Prevenzione collasso (SLC)	682	0.055	2.930	0.356
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	35			

dove:

Stato Limite di Operatività (SLO)

Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV)

Stato Limite di Danno (SLD)

Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC)

$a_g$  accelerazione orizzontale massima al sito

$F_0$  valore massimo del fattore di ampl.dello spettro in accelerazione orizzontale

$T_c^+$  periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in acc.orizzontale

## 9. Conclusioni

Il territorio comunale di **Nulvi** ricade in **Zona 4 a bassa pericolosità sismica**.

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

**I terreni investigati appartengono alle seguenti categorie:**

Il substrato roccioso sulla formazione di Logulentu ( $V_s > 800$  m/s) si rileva profondità di 2,70m che dà luogo alla **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**; mentre per la formazione di Osilo il substrato roccioso si rileva a profondità di 10,50m che dà luogo alla **categoria E – Terreni con caratteristiche valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, on profondità del substrato non superiore a 30 m..**