

Impianto eolico “Monte Pranu”

Progetto definitivo

Oggetto:

VIL.039 – Relazione Geologica e Geotecnica

Proponente:



Sardeolica Srl
Sesta Strada Ovest
09068 Uta; ZI Macchiareddu
Italy

Progettista:



Stantec S.p.A.
Centro Direzionale Milano 2, Palazzo Canova
Segrate (Milano)

Rev. N.	Data	Descrizione modifiche	Redatto da	Rivisto da	Approvato da
00	21/07/2023	Prima Emissione	A.Santambrogio	D. Mansi P.Polinelli	G. Prosperi
01	28/08/2023	Integrati commenti	A. Santambrogio	D. Mansi P. Polinelli	G. Prosperi
Fase progetto: Definitivo					Formato elaborato: A4

Nome File: **VIL.039.01** - Relazione geologica e geotecnica.docx

Indice

1	PREMESSA	3
1.1	DESCRIZIONE DEL PROPONENTE.....	3
1.2	CONTENUTI DELLA RELAZIONE.....	4
1.3	BIBLIOGRAFIA E NORMATIVA DI RIFERIMENTO	5
2	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	6
3	INQUADRAMENTI TERRITORIALI	8
3.1	INQUADRAMENTO GEOLOGICO	8
3.2	INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO.....	10
3.3	INQUADRAMENTO IDROLOGICO E IDROGEOLOGICO	11
3.4	EVIDENZE DA SOPRALLUOGO IN CAMPO.....	13
	3.4.1 Contesto geologico di sito.....	13
	3.4.2 Verifica delle pericolosità idrogeologiche.....	16
4	PIANO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO – PAI.....	17
5	INQUADRAMENTO SISMICO.....	19
5.1	ZONE SISMOGENETICHE	21
5.2	STORIA SISMICA DELL'AREA	21
5.3	SISMICITA' DELL'AREA.....	22
	5.3.1 Effetti di amplificazione topografica.....	23
	5.3.2 Categoria sismica dei terreni.....	24
	5.3.3 Pericolosità sismica di base.....	24
5.4	VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE DEI TERRENI DI FONDAZIONE.....	26
6	INQUADRAMENTO GEOTECNICO	28
6.1	CONDIZIONE GEOTECNICHE DI PROGETTO.....	29
	6.1.1 Stratigrafia di riferimento.....	29
	6.1.2 Parametri geotecnici di progetto.....	30
7	CONCLUSIONI.....	31

Indice delle figure

Figura 2-1: Inquadramento territoriale dell'impianto eolico Monte Pranu	6
Figura 2-2: Inquadramento su ortofoto dell'area dell'impianto eolico Monte Pranu	7
Figura 3-1: stralcio dell'area in esame del foglio geologico 564 "Carbonia" con legenda (per concessione ed uso da parte di ISPRA - Dipartimento per il Servizio Geologico d'Italia); in giallo traccia di sezione geologica riportata in seguito.....	8
Figura 3-2: sezione geologica dell'area in esame; tratta da foglio geologico 564 "Carbonia"; in rosso successione nell'area in esame	9
Figura 3-3: inquadramento geomorfologico dell'area di impianto su ortofoto con indicazione delle curve di livello	11
Figura 3-4: Corpi idrici sotterranei degli acquiferi vulcanici terziari – in rosso l'area in esame: tratto da "Piano di gestione	12
Figura 3-5: osservazione dei primi metri da p.c. delle litologie andesitiche- basaltiche. In alto quadro generale, a) primo ingrandimento con intercalazioni debolmente stratificate, b) stato di cementazione matrice lapidea.....	14
Figura 3-6: ulteriore dettaglio delle brecce vulcaniche in affioramento	14
Figura 3-7: struttura di flusso delle lave andesitiche di Guardia Manna; foto eseguita tra postazioni VP5-6.....	15
Figura 3-8: osservazione del contesto geologico di superficie; foto eseguita nelle circostanze della postazione VP3.....	15
Figura 3-9: opere di gestione dei deflussi torrentizi	16
Figura 4-1: stralcio PAI dell'areale in esame.....	18
Figura 5-1: Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale (da Meletti & Montaldo 2007) e della pericolosità sismica attesa al suolo ag sitospecifica, contenuta nel Progetto S1 dell'INGV-DPC (http://esse1.mi.ingv.it/d2.html).	20
Figura 5-2: Sorgenti sismogenetiche (INGV-DISS); la freccia indica l'ubicazione del sito.....	21
Figura 5-3: Serie storica dei sismi che hanno interessato l'area di studio	22
Figura 6-1: individuazione dei sondaggi di interesse (in rosso) per la presente relazione.....	28

1 PREMESSA

La società Sardeolica S.r.l., d'ora in avanti il proponente, intende realizzare un impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica nella provincia del Sud Sardegna, in agro del comune di Villaperuccio.

L'impianto in questione comprende 10 aerogeneratori, tutti situati nel comune di Villaperuccio. Ogni aerogeneratore è caratterizzato da un'altezza all'hub di 119 m ed un diametro fino a 162 m, arrivando a raggiungere un'altezza massima pari a 200 m. Gli aerogeneratori hanno potenza unitaria fino a 7,2 MW, per 72 MW di potenza totale. L'impianto verrà connesso alla RTN a 150 KV mediante cavidotto a 36 kV, il punto di connessione è ubicato lungo la linea RTN esistente S. Giovanni Suergiu - Villaperuccio.

I progetti del tipo in esame rispondono a finalità di interesse pubblico (riduzione dei gas ad effetto serra, risparmio di fonti fossili scarse ed importate) ed in quanto tali sono indifferibili ed urgenti, come stabilito dalla legge 1° giugno 2002, n. 120, concernente "Ratifica ed esecuzione del Protocollo di Kyoto alla Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici, fatto a Kyoto l'11 dicembre 1997" e dal D.Lgs. 29 dicembre 2003, n.387 "Attuazione della direttiva 2001/77/CE relativa alla promozione dell'energia elettrica prodotta da fonti energetiche rinnovabili nel mercato interno dell'elettricità" e s.m.i..

L'utilizzo di fonti rinnovabili comporta infatti beneficio a livello ambientale, in termini di tonnellate equivalenti di petrolio (TEP) risparmiate e mancate emissioni di gas serra, polveri e inquinanti. Per il progetto in esame si stima una producibilità del parco eolico superiore a 145 GWh/anno (Produzione Media Annuale P50), che consente di risparmiare almeno 27.000 TEP/anno (fonte ARERA: 0,187 TEP/MWh) e di evitare almeno 57.700 ton/anno di emissioni di CO₂(fonte ISPRA, 2022: 397,6 gCO₂/kWh).

1.1 DESCRIZIONE DEL PROPONENTE

La Società che presenta il progetto è la Sardeolica S.r.l., con sede legale in VI strada Ovest, Z. I. Macchiareddu 09068 Uta (Cagliari) e sede amministrativa in Milano, c/o Saras S.p.A., Galleria Passarella 2, 20122 – Milano.

La Sardeolica S.r.l., costituita nel 2001, fa parte del Gruppo Saras ed ha come scopo la produzione di energia elettrica, lo studio e la ricerca sulle fonti di energia rinnovabili, la realizzazione e la gestione di impianti atti a sfruttare l'energia proveniente da fonti alternative.

È operativa dal 2005 con un Parco eolico composto da 57 aerogeneratori per una potenza totale installata di 128,4MW limitata a 126 MW, nei comuni di Ulassai e Perdasdefogu. La produzione a

regime è di circa 250 GWh/anno, corrispondenti al fabbisogno annuale di circa 85.000 famiglie e a 162.000 tonnellate di emissioni di CO2 evitate all'anno.

A giugno 2021 è stata completata l'acquisizione del parco eolico di Macchiarreddu, battezzato "Amalteja", attraverso la formalizzazione dell'acquisto da parte di Sardeolica delle 2 società proprietarie, Energia Verde S.r.l. ed Energia Alternativa S.r.l. Il parco "Amalteja" ha una potenza complessiva di 45 MW ed è suddiviso nei due impianti di Energia Verde 21 MW (14 turbine) in esercizio dal 2008, e di Energia Alternativa da 24 MW (16 turbine) in esercizio dal 2012.

La produzione dei due parchi eolici è pari a circa 56 GWh/anno e consente di evitare emissioni di CO2 per circa 36.000 ton/anno, provvedendo al fabbisogno elettrico annuo di circa 40.000 persone.

Sardeolica gestisce direttamente l'esercizio e la manutenzione dei Parchi eolici e assicura i massimi livelli produttivi di energia elettrica, adottando le migliori soluzioni del settore in cui opera, garantendo la salvaguardia della Salute e della Sicurezza sul Lavoro, dell'Ambiente, nonché della Qualità dei propri processi produttivi.

La società ha certificato il proprio Sistema di Gestione secondo gli standard ISO 45001 (Salute e Sicurezza sul Lavoro), ISO 14001 (Ambiente) e ISO 9001 (Qualità) e ISO 50001 (Energia). Inoltre è accreditata EMAS.

1.2 CONTENUTI DELLA RELAZIONE

Il presente elaborato costituisce la relazione geologica e geotecnica a supporto della documentazione tecnico-descrittiva per la progettazione definitiva dell'impianto eolico ed è finalizzato a fornire una indicazione del contesto geologico di base, dei principali aspetti geomorfologici e idrogeologici con particolare riguardo alle condizioni di stabilità dei versanti ed una caratterizzazione di massima dei litotipi che verranno interessati dalle opere di fondazione per l'edificazione dell'impianto.

L'indagine in oggetto al presente elaborato si è basata su dati e studi di origine bibliografica e sulla documentazione fornita dalla committenza.

Lo studio, dunque, ha affrontato e approfondito i seguenti temi:

- Inquadramento del contesto geotecnico-strutturale.
- Assetto geomorfologico, idrologico e idrogeologico insieme ad una valutazione preliminare sulle condizioni di pericolosità dell'area.
- Inquadramento e caratterizzazione sismica dei terreni.
- Ricostruzione della stratigrafia locale mediante consultazione della letteratura disponibile.

- Caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni, ottenuta tramite la consultazione di lavori eseguiti nell'area di progetto e nelle sue prossimità, al fine di verificare le caratteristiche geotecniche dei terreni.

1.3 BIBLIOGRAFIA E NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Nella redazione del presente elaborato, sono state seguite e rispettate le indicazioni delle seguenti norme nazionali e regionali:

- DM 17/1/2018 "Aggiornamento delle Norme Tecniche sulle Costruzioni".
- CIRCOLARE 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP, "Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.
- UNI EN 1997-1:2013 "Eurocodice 7 – progettazione geotecnica".

Per la raccolta delle informazioni bibliografiche si è invece fatto riferimento a:

- Layer cartografici messi a disposizione dal Geoportale Regionale della Sardegna,
- Piano di Assetto Idrogeologico della Regione Sardegna
- Note Illustrative allegate alla cartografia del progetto Carg/Ispra alla scala 1:50000, relativa all'area in studio – Foglio 564 "Carbonia"
- Piano di gestione del distretto idrografico della Regione Sardegna

2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Il sito in cui sarà ubicato il parco eolico di nuova costruzione è collocato nel comune di Villaperuccio, nella provincia del Sud Sardegna, in Sardegna.

L'impianto eolico denominato "Monte Pranu" è localizzato a circa 45 km dal capoluogo, a circa 4 km dal centro urbano del comune di Villaperuccio, ed a circa 4 km in direzione ovest e sud rispettivamente dai centri abitati dei comuni di Tratalias e Giba.

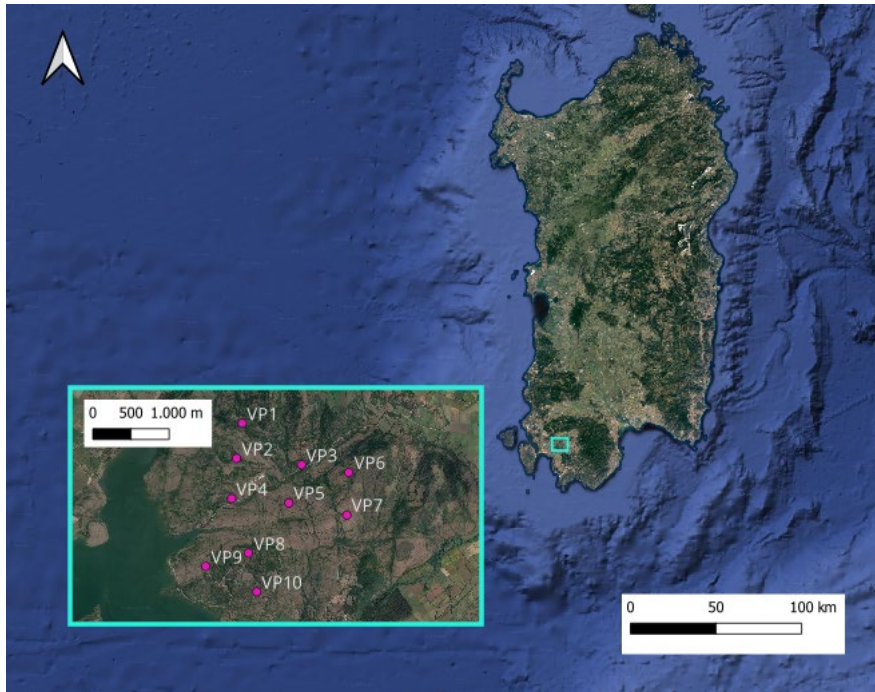


Figura 2-1: Inquadramento territoriale dell'impianto eolico Monte Pranu

L'impianto eolico denominato "Monte Pranu" è situato in una zona prevalentemente collinare non boschiva caratterizzata da un'altitudine media pari a circa 300 m s.l.m., con sporadiche formazioni di arbusti e la presenza di terreni incolti.

Il parco eolico ricade all'interno dei seguenti fogli catastali:

- Fogli 3,4,6,7 nel comune di Villaperuccio

In Figura 2-2 è riportato l'inquadramento territoriale dell'area nel suo stato di fatto e nel suo stato di progetto, con la posizione degli aerogeneratori su ortofoto.

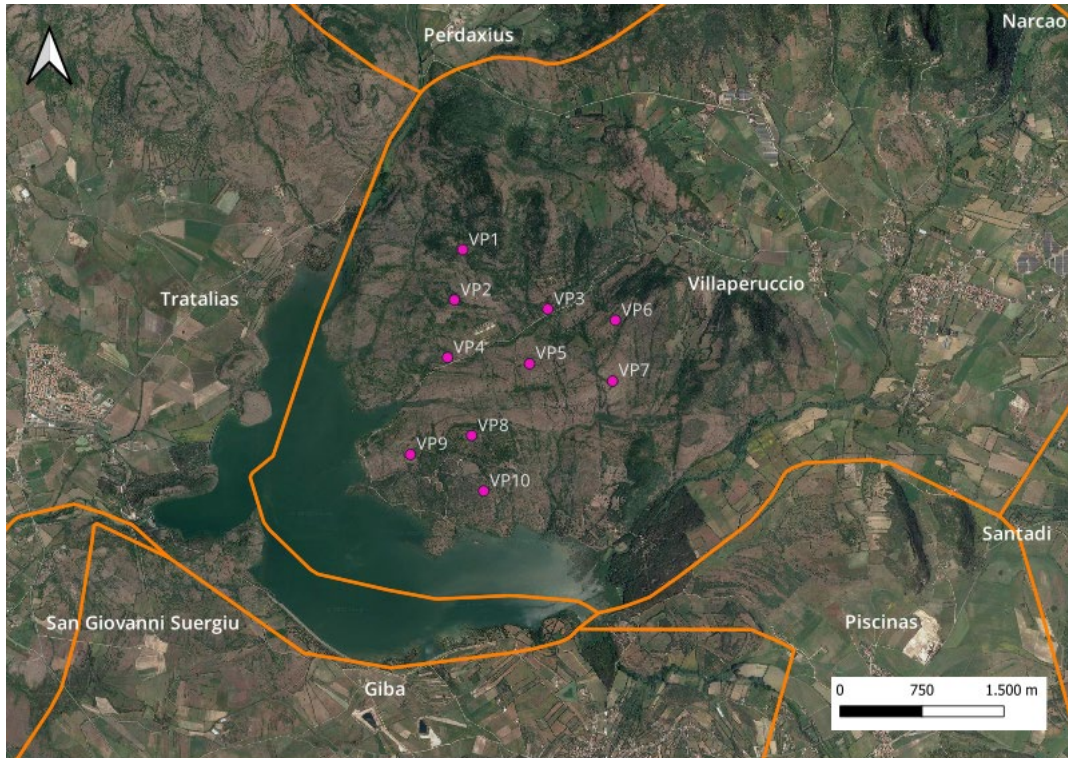


Figura 2-2: Inquadramento su ortofoto dell'area dell'impianto eolico Monte Pranu

Si riporta in formato tabellare un dettaglio sulla localizzazione delle turbine eoliche di nuova costruzione, in coordinate Gauss-Boaga (EPSG 3003):

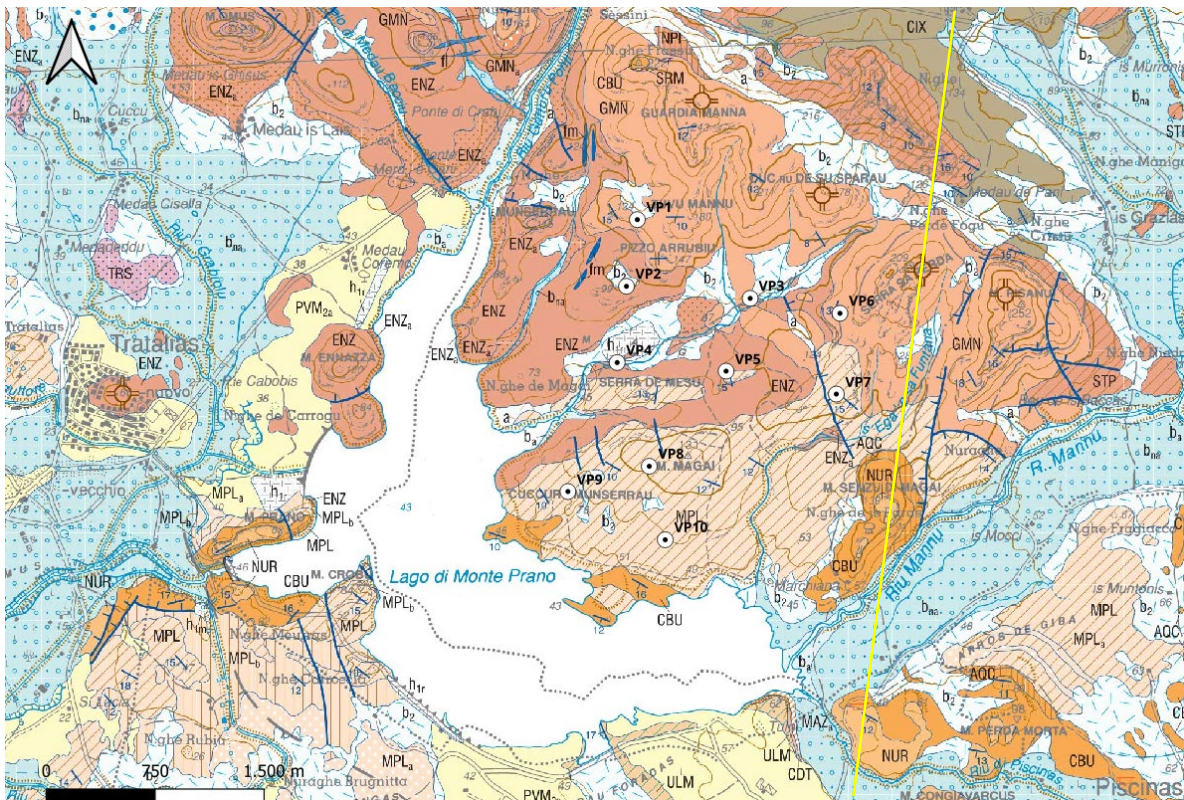
Tabella 2-1: Localizzazione geografica degli aerogeneratori di nuova costruzione





ID	Comune	Est	Nord	Quota (slm)
VP1	Villaperuccio	1467281,72	4329642,03	128
VP2	Villaperuccio	1467206,57	4329183,01	103
VP3	Villaperuccio	1468058,81	4329100,03	78
VP4	Villaperuccio	1467142,90	4328657,79	54
VP5	Villaperuccio	1467892,66	4328599,64	79
VP6	Villaperuccio	1468676,6	4328997,54	145
VP7	Villaperuccio	1468651,37	4328441,09	139
VP8	Villaperuccio	1467363,36	4327944,06	115
VP9	Villaperuccio	1466803,48	4327769,96	70
VP10	Villaperuccio	1467473,24	4327437,77	76

3 INQUADRAMENTI TERRITORIALI

3.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

La Sardegna è classicamente divisa in tre insiemi geologici che affiorano per estensioni circa equivalenti: il basamento metamorfico ercinico, il complesso intrusivo tardo-paleozoico, le successioni sedimentarie e vulcaniche tardo-paleozoiche, mesozoiche e cenozoiche. La grande variabilità litologica e di età cronologica per l'area in esame si può osservare all'interno del foglio geologico alla scala 1.50 000 n.564 "Carbonia", della carta geologica d'Italia edita da ISPRA (progetto CARG); di seguito si riporta un estratto con l'area di impianto in progetto (Figura 3-1).



- 
Depositi alluvionali terrazzati
 Ghiaie con subordinate sabbie (b_{1a}), sabbie con subordinati limi e ghiaie (b_{1b}), limi e argille con subordinate sabbie (b₂). Spessore: fino a 5-6 m.
OLOCENE
- 
SISTEMA DI PORTOVESME
 Substema di Portosucos
 Ghiaie alluvionali terrazzate con subordinate sabbie eoliche e detriti (PVM_{2a}) con spessori fino a 10 m; sabbie e arenarie eoliche con subordinati detriti e depositi alluvionali (PVM_{2b}) con spessori fino a 20 m; detriti di versante e breccie con subordinati depositi eolici e alluvionali (PVM_{2c}) con spessori fino a 3 m.
 Substema di Calamosca ("Panchina tirreniana" Auct.)
 Conglomerati e ghiaie litorali con resti di molluschi (*Strombus bubonius*, *Conus testudinarius*, *Patella ferruginea*, etc.) (PVM₁). Spessore: meno di 1 m.
PLEISTOCENE SUP.
- 
RIOLITI DI NURAXI
 Depositi piroclastici di flusso densamente saldati, da grigi a rosso-violacei, con marcata foliazione, porfirici per Pl e Sa, con tessitura da eutassitica a paratassitica, spesso reomorfici, a composizione riolitica; livello vitrofitico alla base. Spessore: 20 m. (⁴⁰Ar/³⁹Ar: 15,8±0,2 Ma).
MIOCENE MEDIO (LANGHIANO)
- 
RIOLITI DI MONTE CROBU
 Depositi piroclastici di flusso da densamente saldati con tessitura eutassitica, di colore rosso bruno, a non saldati (tufi, tufi a lapilli e tufi-breccia), porfirici per Sa e Pl, a composizione riolitica; spesso con livello vitrofitico basale, talora, a tetto, subordinati livelli piroclastici di caduta e paleosoli (S. Antico). Spessore: in genere da alcuni metri fino a qualche decina di metri; eccezionalmente fino a più di 100 m.
MIOCENE ?INF.-?MEDIO (?BURDIGALIANO SUP. - ?LANGHIANO)





- 
ANDESITI DI MONTE PALMAS
 Breccie laviche autoclastiche andesitiche con clasti subangolari vescicolati grigio chiari, porfiriche per Pl, Op_x, Cpx, Hbl e Bt in pasta di fondo ipocristallina, passanti verso l'alto (M. Maga) a lave andesitico-dacitiche con sviluppo di Qtz (MPL); intercalazione discontinua di lave andesitico-basaltiche scure in colate massive e autoclastiche, porfiriche per Pl, Op_x, Cpx, ±Ol in pasta di fondo ipocristallina (MPL_a); alla base, bancate di breccie piroclastiche a matrice pomiceo-cheritica, intercalazioni di livelli epiclastici (MPL_b). Spessore: fino a circa 60 m.
MIOCENE INF. (BURDIGALIANO)
- 
ANDESITI DI GUARDIA MANNA
 Lave andesitiche in ammassi domici con strutture di flusso sub-verticali, in colate massive con laminazioni di flusso e inclusi microcristallini e breccie laviche autoclastiche, porfiriche per Pl, Hbl, Cpx, Op_x, in pasta di fondo ipocristallina (GMN); filoni andesitici (GMN₂); intercalazioni di breccie piroclastiche matrice sostenute (GMN₃).
MIOCENE INF. (BURDIGALIANO)
- 
ANDESITI BASALTICHE DI MONTE ENNASSA
 Breccie laviche autoclastiche andesitico-basaltiche e andesitiche in colate, spesso clasto-sostenute, subordinate colate laviche massive sia spesse che sottili, lave in ammassi domici, porfiriche per Pl, Cpx, Op_x e Ol, in pasta di fondo da ipocristallina a olocristallina, alternate a colate laviche andesitiche autoclastiche e massive, porfiriche per Pl, Cpx e Op_x in pasta di fondo ipocristallina (ENZ); filoni andesitico-basaltici (ENZ₂); spesso alla base breccie epiclastiche caotiche, eterometriche e poligeniche, talora grossolanamente stratificate; intercalazioni di depositi di flusso piroclastico (ENZ₃). Spessore: fino a circa 150 m.
MIOCENE INF.
- 
Filoni a composizione intermedia e basica
 Lave andesitiche in filoni, vetrose, afanitiche di colore scuro, debolmente porfiriche per rara Ol in pasta di fondo costituita da microtili di Pl ("Leucocandilite" Autc.) (fl); lave basaltiche in filoni, massive e afanitiche, porfiriche per Pl, Cpx, Ol, in pasta di fondo a struttura intersertale (fm).
MIOCENE INF. (BURDIGALIANO)

Figura 3-1: stralcio dell'area in esame del foglio geologico 564 "Carbonia" con legenda (per concessione ed uso da parte di ISPRA - Dipartimento per il Servizio Geologico d'Italia); in giallo traccia di sezione geologica riportata in seguito

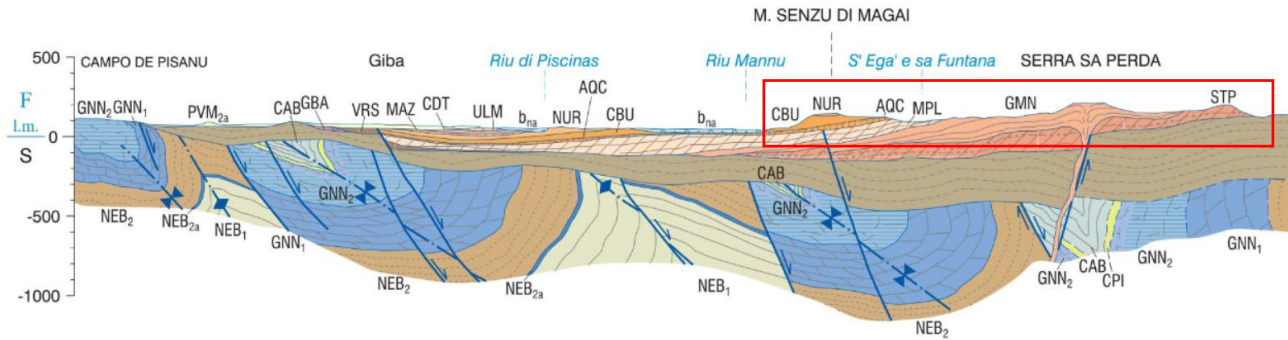


Figura 3-2: sezione geologica dell'area in esame; tratta da foglio geologico 564 "Carbonia"; in rosso successione nell'area in esame

Come si può osservare dallo stralcio cartografico riportato, l'area di impianto è collocata in un'area in cui affiorano principalmente i termini vulcanici del terziario; infatti, nell'oligocene superiore-Miocene inferiore il blocco sardo-corso subisce gli effetti attenuati della collisione tra il margine sud-europeo e la placca apula che portarono allo sviluppo della catena appenninica di cui il blocco sardo-corso rappresenta il retro-paese. Sia nella "Corsica-Ercinica" che nella Sardegna centro-settentrionale è attiva un'importante tettonica trascorrente con rigetti plurichilometrici di età Oligocenica – Aquitaniana. Alle faglie trascorrenti sono associate sia zone di transpressione con raddoppi tettonici, che strutture transtensive. A queste ultime si associano i bacini di pull-apart con potenti depositi continentali dell'Oligocene superiore – Aquitaniano coevi con una importante attività vulcanica.

Durante il Burdigaliano – Langhiano, contemporaneamente alla deriva e rotazione del Blocco Sardo-Corso e all'apertura del bacino balearico e del Tirreno Settentrionale, una fase estensionale sviluppa tra il golfo di Cagliari e quello dell'Asinara, un sistema di fosse colmate da notevoli spessori di vulcaniti calcocalcine e di sedimenti prevalentemente marini. Sia la tettonica trascorrente che quella distensiva sono accompagnate dal vulcanismo oligo-miocenico, che rappresenta uno degli eventi geologici terziari più importanti del Mediterraneo occidentale. Le successioni vulcaniche presentano notevoli spessori (anche centinaia di metri, a testimonianza dell'importanza del fenomeno), e sono rappresentate da serie vulcaniche andesitico-basaltiche e dacitiche (in colate laviche e domi lavici) e da serie dacitiche-riolitiche (principalmente piroclastiti di flusso).

Da un punto di vista geodinamico questo ciclo vulcanico è comunemente associato a subduzione oceanica, come suggerito anche dai caratteri petrografici e geochimici che indicano una genesi dei magmi per fusione parziale di rocce mantelliche (Coulon, 1977).

A partire dal Miocene superiore e fino al Pliocene-Pleistocene, buona parte dell'Isola è interessata da una nuova, importante, fase distensiva. Sono legate ad essa estese manifestazioni vulcaniche prevalentemente basiche ad affinità alcalina, transizionale e tholeitica, da riferire all'apertura del tirreno centro-meridionale.

Infine, le successioni quaternarie affioranti nell'areale in esame sono costituite prevalentemente da sedimenti di conoide e di piana alluvionale, reinciati in più ordini di terrazzi a seguito delle oscillazioni climatiche quaternarie e da coltri eluvio-colluviali, caratterizzati da detriti immersi in matrice fine, con intercalazioni di suoli più o meno evoluti (in piccoli spessori di 1-2 m).

La successione stratigrafica tipica di impianto è costituita da:

- Gruppo di Monte Sirai: sono i prodotti effusivi di epoca più recente (miocene inferiore – medio), in cui l'attività vulcanica cambia da effusiva a essenzialmente esplosiva, con produzione di piroclastiti di flusso. I termini affioranti nell'areale in esame sono le rioliti di Monte Crobu e di Nuraxi,
- Gruppo di Carbonia: caratterizzato da grande variabilità litologica rappresenta i prodotti dell'attività effusiva del Burdigaliano, in cui si osservano due serie magmatiche distinte di origine mantellica, a principale composizione olivinica e pirossenica. Le litologie affioranti nell'areale sono costituite dalle andesiti basaltiche di Monte Ennazza, dalle Andesiti di Guardia Manna e di Monte Palmas, oltre che da filoni intrusivi a prevalente composizione basica.

Le serie andesitico-basaltiche affiorano diffusamente nell'area dell'impianto e sono per lo più costituite da brecce laviche autoclastiche e in colate, spesso clasto-sostenute, con subordinate colate laviche massive sia spesse che sottili. Presentano una immersione tendenzialmente verso Sud/Sud-Ovest con blanda pendenza entro i 15°, a partire da apparati vulcanici sviluppati più a monte in corrispondenza di faglie normali.

Tali successioni presentano spessori anche di centinaia di metri e, per mezzo di dati di bibliografia riferiti a indagini condotte nelle medesime litologie, si è osservato che si tratta di rocce lapidee di colore grigio o grigio ceruleo; presentano RQD variabili tra 30 e 90% perciò in uno stato da poco a molto fratturato. Si distinguono varie famiglie di fratture con aperture anche decimetriche riempite di argilla di colore beige con immersa ghiaia di vulcanite, con giunti scabri ed alterati.

3.2 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

L'areale in cui si prevede l'installazione dell'impianto eolico è collocato in un contesto morfologico caratterizzato da blandi rilievi con quota massima intorno ai 252 m s.l.m. (M. Pisanu), con pendii docilmente degradanti verso Sud/Sud-Est. La geomorfologia del sito, dunque, si presenta fortemente influenzata dai caratteri litologici, giacitureali e strutturali delle rocce affioranti e verosimilmente dai movimenti tettonici recenti che hanno interessato questa parte dell'isola (Figura 3-3).

Tuttavia, le caratteristiche dei rilievi "andesitici" del Burdigaliano (areale in studio) si discostano sensibilmente da quelle che caratterizzano le zone in cui affiorano le litologie antiche paleozoiche.

Infatti, quest'ultime, presentano in media una altitudine minore e generano piccoli altipiani spianati leggermente pendenti verso sud, con medesima o similare quota.

L'elemento che maggiormente agisce sulla modellazione del paesaggio è in ogni caso il clima tipico di questa zona, determinando quindi un'erosione selettiva tra rocce poco resistenti e quelle decisamente più resistenti come le litologie metamorfiche e vulcaniche, che costituiscono i rilievi circostanti.

Non si osserva la formazione di suoli sviluppati o comunque con spessori considerevoli (maggiori di 1 m) e ricchi in sostanza organica a causa della sostanziale assenza di vegetazione continua e ad alto fusto che accentua l'azione alterante ed erosiva degli elementi esogeni.

Il reticolo fluviale è mediamente gerarchizzato e sovente caratterizzato da impluvi con portate basse e variabili, asciutti per la maggior parte dell'anno con aumento improvviso dei flussi solo in occasioni di fenomeni di precipitazione intensi.

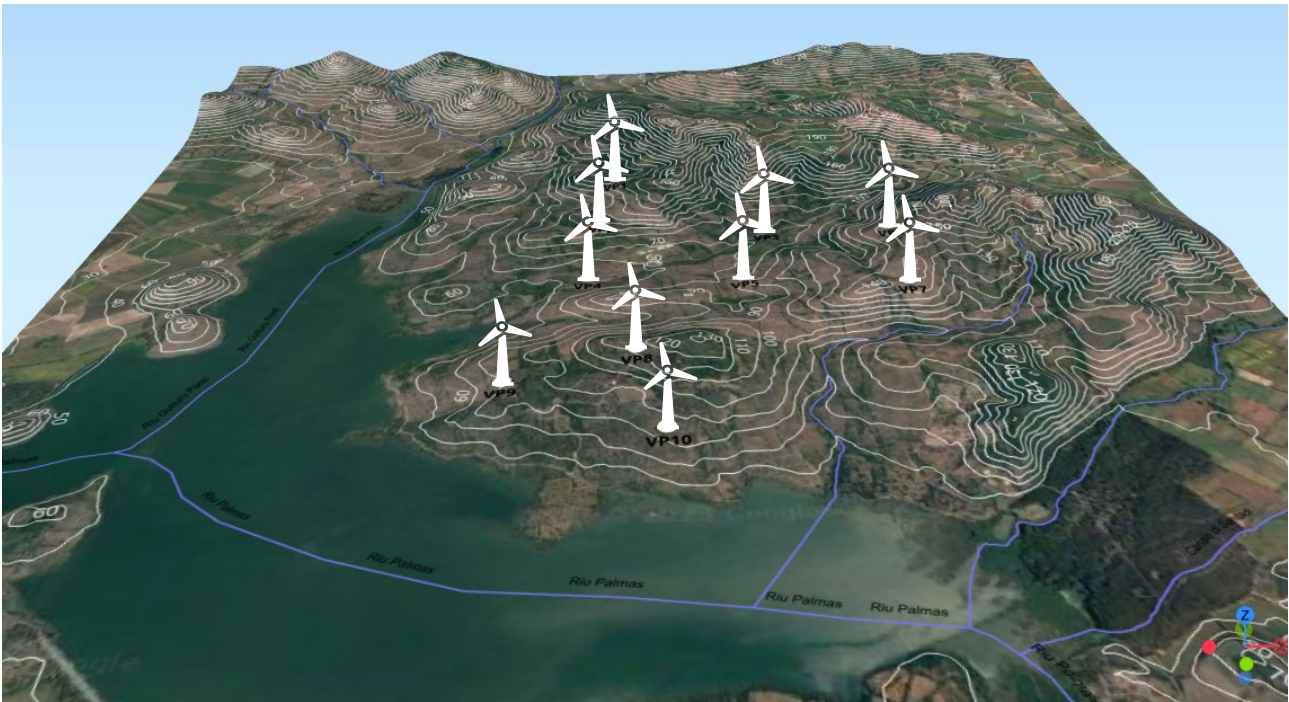


Figura 3-3: inquadramento geomorfologico dell'area di impianto su ortofoto con indicazione delle curve di livello.

3.3 INQUADRAMENTO IDROLOGICO E IDROGEOLOGICO

Gli elementi idrologici di maggiore rilievo nell'areale in esame sono il bacino idrografico del Rio Palmas e il Lago artificiale di Monte Pranu. Il bacino del Rio Palmas drena una superficie di 460,6 km² ed è il risultato della confluenza di diversi corsi d'acqua, tra cui per esempio il Rio Mannu e il Rio Gutturu Ponti; l'area di drenaggio corrisponde al Bacino di Narcao, colmato da sedimenti continentali e da prodotti vulcanici terziari. Ha una direzione di flusso dell'asta fluviale orientata circa

E-O e nel suo tratto terminale è interrotto da uno sbarramento che ha dato vita all'invaso di M. Pranu. Tale lago ha una capacità utile di invaso di 50 milioni di m³ e la sua presenza ha generato importanti variazioni sia nei deflussi superficiali, sia in quelli sotterranei.

Per quanto riguarda le caratteristiche idro-strutturali degli acquiferi si può affermare che le andesiti basaltiche mioceniche sono caratterizzate da una permeabilità media e sede di acquiferi di non grande rilevanza. Vari studi hanno determinato la permeabilità degli acquiferi in tali litologie con valori pari a 2×10^{-6} m/s e trasmissività di circa $1,8 \times 10^{-4}$ m²/s. In alcune zone però questi litotipi hanno mostrato una permeabilità molto più elevata, soprattutto nelle circostanze del lago di M. Pranu, dove in sei pozzi realizzati dall'ESAF a fine degli anni '80, si sono riscontrate portate di 20-30 L/s ciascuno.

Le andesiti poste a nord e a sud del lago di monte Pranu presentano caratteri sensibilmente diversi in cui, quelle poste a sud, sono caratterizzata da permeabilità piuttosto elevata tanto che, nonostante le caratteristiche di roccia fessurata, è possibile individuare un flusso continuo ed uniforme della falda. Inoltre, dopo la costruzione dello sbarramento sono comparse in quest'area alcune emergenze e aree paludose prima inesistenti.

A seguito di consultazione del Piano di Gestione del distretto Idrografico della Sardegna, si è osservato che gli acquiferi caratterizzanti l'area in esame sono classificati come Vulcaniti Oligo-Mioceniche del Sulcis e sono caratterizzati da una media-bassa vulnerabilità.

Codice	Identificativo	Vulnerabilità
3011	Vulcaniti Oligo-Mioceniche del Sulcis	M - B

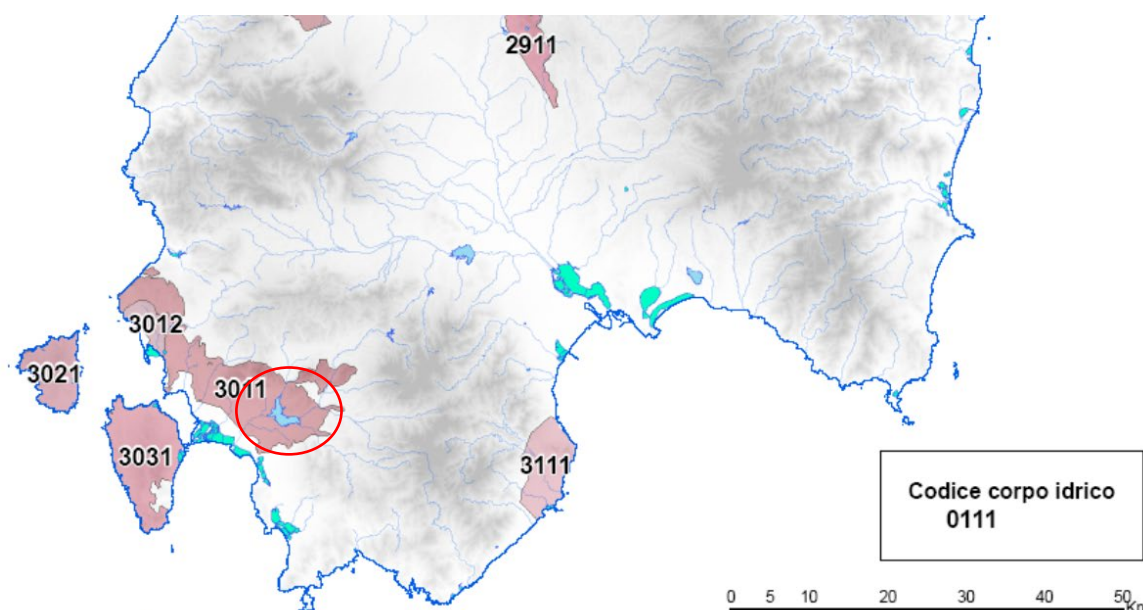


Figura 3-4: Corpi idrici sotterranei degli acquiferi vulcanici terziari – in rosso l'area in esame: tratto da "Piano di gestione

del distretto idrografico della Sardegna”.

Per quanto riguarda la soggiacenza della falda eventualmente interessante le vulcaniti nell'areale di impianto, si segnala che non si è avuto riscontro di cartografie che riportino la superficie piezometrica di sito. Tuttavia, considerando che la presenza dell'invaso di monte Pranu, il cui livello massimo di invaso è atteso a 45,50 m slm, ha provocato variazioni significative nella circolazione sotterranea e considerando un leggero gradiente degradante dai rilievi topografici a monte del lago (in cui si collocano le postazioni delle WTG) verso il lago, si può assumere che solo la postazione VP4 possa potenzialmente presentare interferenze con il tetto di falda (in relazione alle opere fondazionali previste), in quanto la quota di imposta a p.c. è circa 52 m slm. Dunque, la profondità della falda in tale turbina potrebbe collocarsi all'incirca tra i 5 e 10 m da p.c. Tale elemento verrà approfondito mediante apposite indagini che verranno svolte a seguito della presente procedura autorizzativa in quanto, essendo che le vulcaniti presentano permeabilità per fratturazione, non è certo che nel sottosuolo della VP4 si possa avere riscontro di circolazione idrica.

Infine, sempre in base alle considerazioni sopra riportate, tutte le altre postazioni dovrebbero essere caratterizzate da soggiacenza della falda maggiore di 30 m da p.c.

3.4 EVIDENZE DA SOPRALLUOGO IN CAMPO

È stato possibile effettuare delle osservazioni in campo a seguito del sopralluogo condotto in sito nel mese di luglio 2023. In particolare, durante questa attività, si è prestata attenzione a:

- Verifica del contesto geologico-strutturale di sito e analisi dello stato qualitativo delle matrici rocciose e sedimentarie caratterizzanti il sottosuolo e la topografia dell'area
- Verifica di eventuali condizioni di pericolosità/dissesto caratterizzante l'areale
- Trarre considerazioni del comportamento delle matrici osservate nei confronti delle opere in progetto (strade, opere fondazionali WTG, necessità di opere di sostegno ecc)

3.4.1 Contesto geologico di sito

Si è avuto modo di osservare, per mezzo di uno scavo di origine antropico, le condizioni delle litologie nel primo sottosuolo di sito.

Lo scavo, con direzione longitudinale rispetto alla strada, mette in luce la sequenza stratigrafica in litologia "Andesiti basaltiche di monte Ennazza" (Figura 3-5, Figura 3-6). Si osservano colate, per lo più massive con tessitura clasto sostenuta e brecce in blocchi decimetrici. Si osservano intercalazioni debolmente stratificate. Lo stato dell'affioramento indica una resistenza degli ammassi rocciosi moderata, in quanto il grado di cementazione degli ammassi è medio; la sequenza affiorante mostra facile alterazione in matrice terrigena colore rossastro. La coltre superficiale (in realtà influenzata da attività antropiche) presenta spessore minore di 0,5/1 m.



Figura 3-5: osservazione dei primi metri da p.c. delle litologie andesitiche-basaltiche. In alto quadro generale, a) primo ingrandimento con intercalazioni debolmente stratificate, b) stato di cementazione matrice lapidea



Figura 3-6: ulteriore dettaglio delle breccie vulcaniche in affioramento

Questa condizione geologica caratterizza il sottosuolo di pressochè tutti gli aerogeneratori, ad eccezione di VP6; infatti, la postazione VP6 è ubicata in litologia "Andesiti di Guardia Manna", che presenta caratteristiche di cementazione e resistenza potenzialmente maggiori, con strutture di flusso come osservabili nella seguente Figura 3-7, e con spessore di coltre superficiale di massimo 0.30 m.



Figura 3-7: struttura di flusso delle lave andesitiche di Guardia Manna; foto eseguita tra postazioni VP5-6

La geologia dell'area, quasi interamente su tutto il sito, è caratterizzata da substrato sub-affiorante con suoli poco evoluti e matrice da mediamente ad elevato addensamento (Figura 3-8).



Figura 3-8: osservazione del contesto geologico di superficie; foto eseguita nelle circostanze della postazione VP3

3.4.2 Verifica delle pericolosità idrogeologiche

L'areale di impianto presenta una sostanziale stabilità dal punto di vista dei pendii e delle condizioni geomorfologiche; la topografia per lo più presenta morfologie dolci e smussate, mentre le poche creste dei rilievi vulcanici a monte con pareti esposte, non sembrano presentare condizioni di crollo o di distacco; la stratificazione delle colate possiede debole pendenza verso sud (debolmente a franapoggio) ma non sembra incidere sulla eventuale generazione di dissesti.

Sono presenti vari canali torrentizi che scorrono nella depressione centrale dei rilievi in direzione del lago; tale reticolo non presenta portate di flusso, cosa che con ogni probabilità si verifica solo in circostanza di forti eventi meteorologici. In ogni caso, sono presenti lungo il tracciato stradale opere di incanalamento (guadi) e gestione degli eventuali deflussi (Figura 3-9).



Figura 3-9: opere di gestione dei deflussi torrentizi

4 PIANO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO – PAI

Il Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.), redatto ai sensi della legge n. 183/1989 e del decreto-legge n. 180/1998, e approvato con decreto del Presidente della Regione Sardegna n. 67 del 10/07/2006, rappresenta un importantissimo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo ai fini della pianificazione e programmazione delle azioni e delle norme d'uso finalizzate alla conservazione, alla difesa ed alla valorizzazione del suolo, alla prevenzione del rischio idrogeologico individuato sulla base delle caratteristiche fisiche ed ambientali del territorio regionale.

Le perimetrazioni individuate nell'ambito del P.A.I. delimitano le aree caratterizzate da elementi di pericolosità idrogeologica, dovute a instabilità di tipo geomorfologico o a problematiche di tipo idraulico, sulle quali si applicano le norme di salvaguardia contenute nelle Norme di Attuazione del Piano. Queste ultime si applicano anche alle aree a pericolosità idrogeologica le cui perimetrazioni derivano da studi di compatibilità geologica-geotecnica e idraulica, predisposti ai sensi dell'art.8 comma 2 delle suddette Norme di Attuazione, e rappresentate su strati informativi specifici.

Il Piano Stralcio delle Fasce Fluviali ha valore di Piano territoriale di settore ed è lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo, mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni e le norme d'uso riguardanti le 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.

Nell'area dell'impianto non sono riportate perimetrazioni di pericolo geomorfologico (dissesti) e idraulico, interessanti le ubicazioni degli aerogeneratori. Lo stesso argomento sarà approfondito maggiormente nell'analisi del quadro programmatico dello Studio di Impatto Ambientale e nelle relative tavole di inquadramento.

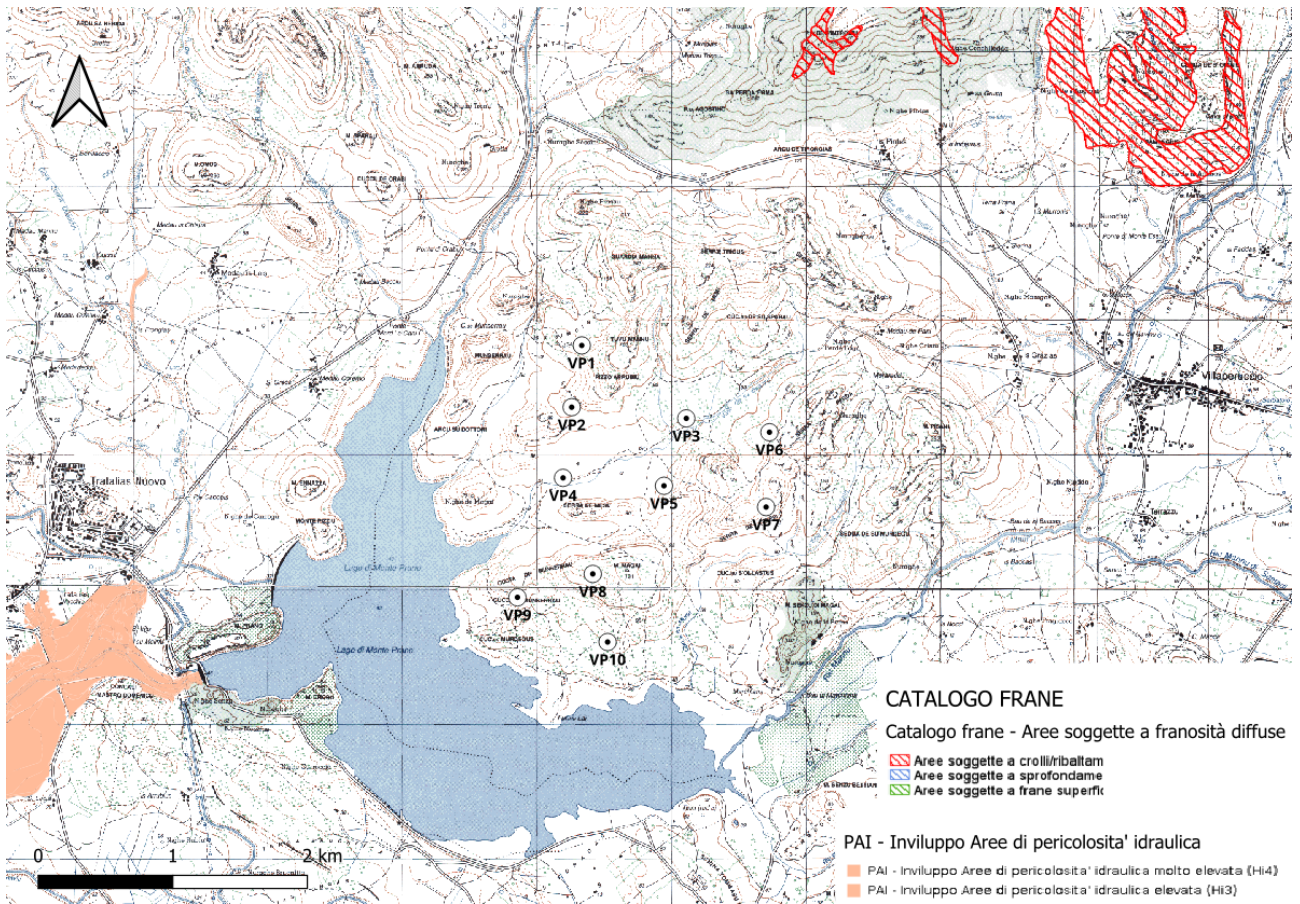


Figura 4-1: stralcio PAI dell'areale in esame

5 INQUADRAMENTO SISMICO

La classificazione sismica del territorio nazionale ha introdotto normative tecniche specifiche per le costruzioni di edifici, ponti ed altre opere in aree geografiche caratterizzate dal medesimo rischio sismico.

Originariamente, i criteri per l'aggiornamento della mappa di pericolosità sismica sono stati definiti nell'Ordinanza del PCM n. 3519/2006, che ha suddiviso l'intero territorio nazionale in quattro zone sismiche (Tabella 5-1) sulla base del valore dell'accelerazione orizzontale massima (a_g) su suolo rigido o pianeggiante, che ha una probabilità del 10% di essere superata in 50 anni.

Tabella 5-1: zone sismiche del territorio nazionale

Zona sismica	Descrizione	accelerazione con probabilità di superamento del 10% in 50 anni [a_g]	accelerazione orizzontale massima convenzionale (Norme Tecniche) [a_g]	numero comuni con territori ricadenti nella zona (*)
1	Indica la zona più pericolosa, dove possono verificarsi fortissimi terremoti.	$a_g > 0,25 \text{ g}$	0,35 g	703
2	Zona dove possono verificarsi forti terremoti.	$0,15 < a_g \leq 0,25 \text{ g}$	0,25 g	2.224
3	Zona che può essere soggetta a forti terremoti ma rari.	$0,05 < a_g \leq 0,15 \text{ g}$	0,15 g	3.002
4	È la zona meno pericolosa, dove i terremoti sono rari ed è facoltà delle Regioni prescrivere l'obbligo della progettazione antisismica.	$a_g \leq 0,05 \text{ g}$	0,05 g	1.982

Di seguito, è riportata la zona sismica per il territorio in studio, secondo la vecchia classificazione fornita dall'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003.

Zona sismica 4	Zona con livello di pericolosità sismica molto basso
a_{gMax} $a_g \leq 0.05$	Accelerazione massima presente all'interno dei territori comunali.

In seguito, per ognuno dei comuni d'Italia, è stato emanato un nuovo provvedimento che prevede l'adozione delle stime di pericolosità sismica contenute nel Progetto S1 dell'INGV-DPC (Figura 5-1) che ha prodotto, per l'intera comunità nazionale, uno strumento scientificamente valido ed avanzato, nonché utilizzabile nell'immediato in provvedimenti normativi.

In particolare, con tale provvedimento è stato possibile superare il concetto di una classificazione sismica legata al singolo territorio comunale e si è posta nuova attenzione sul concetto di una pericolosità sismica uniforme a livello nazionale. Infatti, la vecchia classificazione sismica produceva numerose situazioni in cui un comune classificato sismico era fisicamente confinante con un comune non classificato e, pertanto, si assisteva ad un brusco cambiamento nei parametri sismici in un breve arco di territorio.

Attualmente, la pericolosità sismica è stimata con una precisione maggiore e, di fatto, le variazioni tra le caratteristiche sismiche di aree adiacenti sono sempre continue e graduali.

Nello specifico, per le zone di interesse i valori di accelerazione al suolo (con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni) risultano minori a 0,05 ag (accelerazione massima del suolo).



Modello di pericolosità sismica MPS04-S1

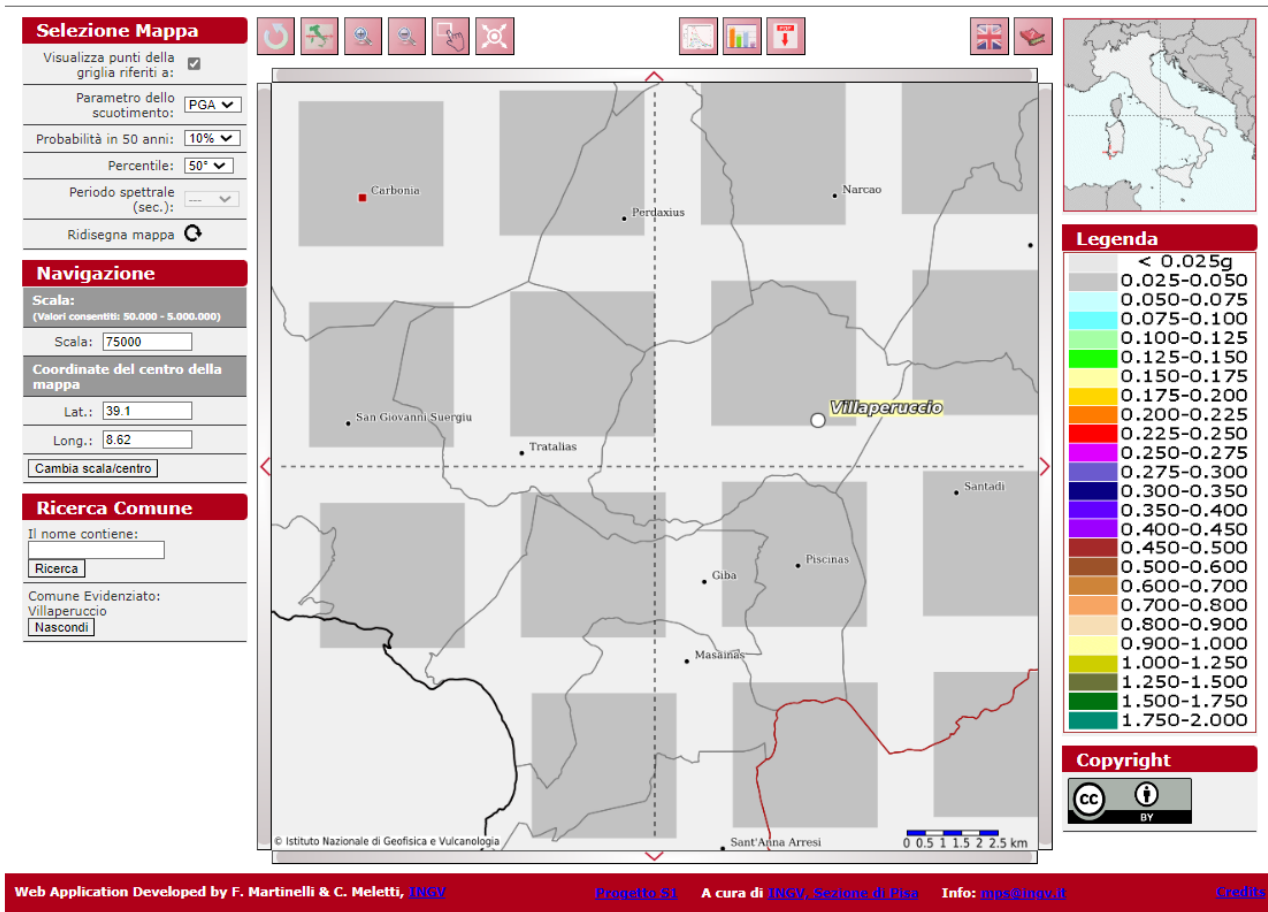


Figura 5-1: Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale (da Meletti & Montaldo 2007) e della pericolosità sismica attesa al suolo ag sitospecifica, contenuta nel Progetto S1 dell'INGV-DPC (<http://esse1.mi.ingv.it/d2.html>).

5.1 ZONE SISMOGENETICHE

Per sorgente sismogenica composta si intende una rappresentazione semplificata e tridimensionale di una faglia crostale contenente un numero imprecisato di sorgenti sismogeniche che non possono essere distinte singolarmente. Tali zone sono le principali considerate ad elevato rischio sismico in quanto, essendo caratterizzate dalla presenza di faglie attive, in esse vi è una elevata probabilità che si verifichino terremoti di elevata magnitudo.

L'ubicazione è riportata all'interno del DISS, ovvero il database georeferenziato edito dall'INGV riportante informazioni necessarie ad elaborare la pericolosità sismica di base a livello di pianificazione territoriale.

Da un punto di vista sismogenetico, l'area in esame non ricade all'interno di fasce sismogenetiche attive; la fascia più prossima al sito risulta distante circa 100 Km, come osservabile nel seguente estratto cartografico del progetto DISS riportato in Figura 5-2.

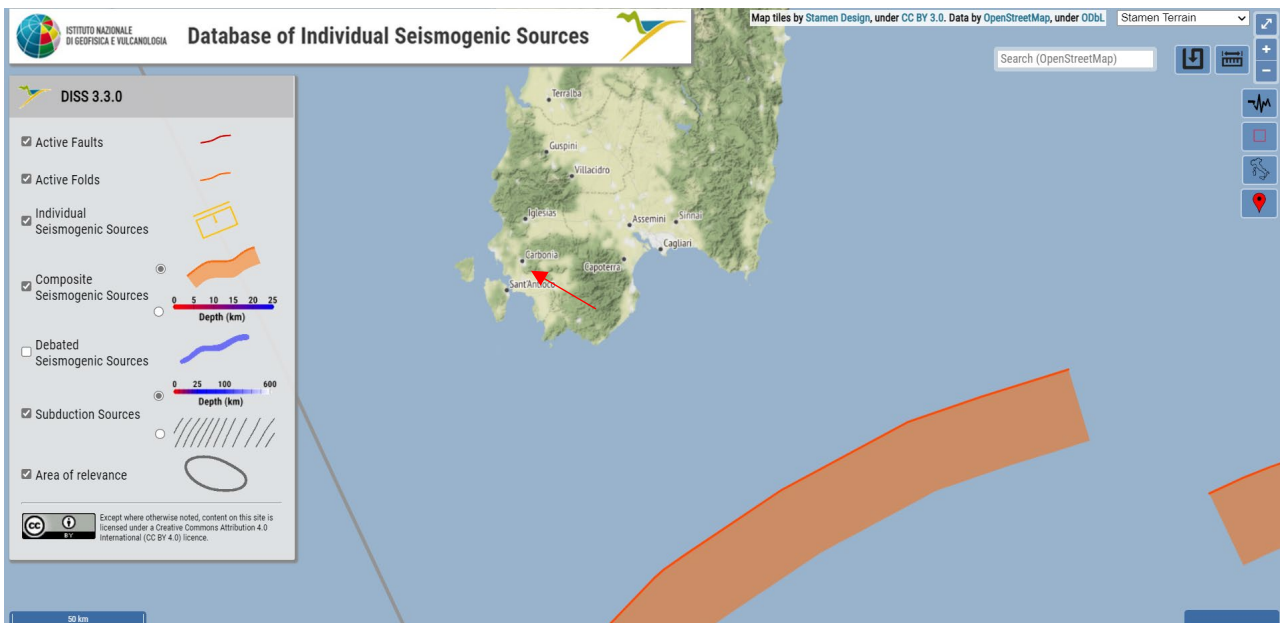


Figura 5-2: Sorgenti sismogenetiche (INGV-DISS); la freccia indica l'ubicazione del sito

5.2 STORIA SISMICA DELL'AREA

L'area in esame non risulta essere stata storicamente interessata da fenomeni sismici rilevanti; il database macrosismico, utilizzato nel 2004 per la compilazione del catalogo CPTIO4 (Gruppo di lavoro CPTI, 2004), permette di visionare la storia sismica delle località italiane presenti almeno tre volte in DBMI04 (5325 località in totale).

Le informazioni contenute nel database hanno consentito una prima individuazione dei "centri sismici" rilevanti per il sito in esame e delle relative potenzialità in termini di intensità epicentrali

storicamente documentate. Nel grafico sotto riportato si può osservare come, l'unico dato relativo a terremoti di rilevanza sia quello registrato nell'Aprile 2000 nel Tirreno centrale.

In conclusione, la distribuzione dei terremoti storici nell'area di interesse del progetto dimostra che la zona in studio è caratterizzata da un livello di sismicità basso, sia dal punto di vista della frequenza di eventi, che dei valori di magnitudo.

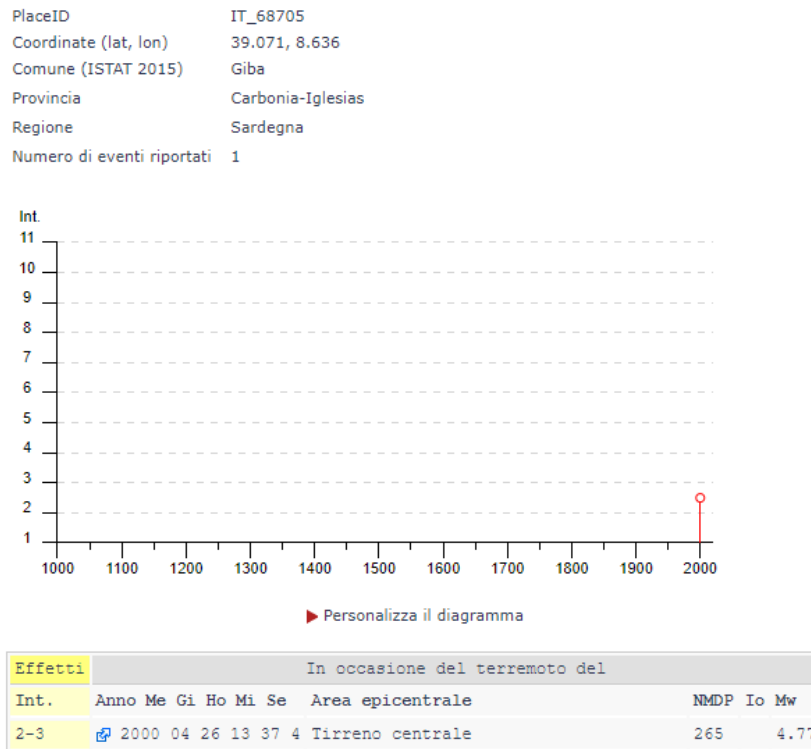


Figura 5-3: Serie storica dei sismi che hanno interessato l'area di studio

5.3 SISMICITA' DELL'AREA

Di seguito viene fornito un inquadramento generale sulla classificazione sismica dell'area in esame nel rispetto delle disposizioni delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni del Decreto Ministeriale del 17/01/2018.

Secondo la normativa vigente la tipologia del suolo di fondazione è dipendente dal valore $V_{s,eq}$ definito dalla seguente equazione:

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

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{S,eq}$ è definita dal parametro $V_{S,30}$, ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Le verifiche strutturali nei diversi stati limiti vanno condotte adottando le azioni sismiche che sono funzione della "pericolosità sismica" dell'area in esame. La "pericolosità sismica" è definita a partire dall'accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su suolo rigido, con piano campagna orizzontale.

Le azioni di progetto dovute al sisma si ricavano dalle accelerazioni a_g e dalle relative forme spettrali definite in funzione dei parametri:

- a_g = accelerazione orizzontale massima al sito
- F_0 = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale
- T_{c^*} = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Per il presente progetto, i valori di tali parametri sono riportati nella tabella esposta nell'Allegato B del decreto, in quanto i parametri relativi alla Sardegna ed altre isole minori non rientrano all'interno del reticolo di riferimento INGV sul territorio. Utilizzando il software dedicato si ricavano gli spettri di risposta elastica delle componenti orizzontali di moto, per i diversi periodi di ritorno considerati dal D.M.

5.3.1 Effetti di amplificazione topografica

Le verifiche sugli effetti di amplificazione topografica si basano puramente su criteri di tipo morfometrico/morfologico. Inoltre, per le sezioni e le misurazioni si è preso come riferimento la cartografia disponibile. Per quanto riguarda i valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica, questi sono riportati nella successiva tabella:

Tabella 5-2: Categorie amplificazione topografica NTC 2018

Categoria Topografica	Ubicazione opera	St
T1 (Sup. Pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $\leq 15^\circ$)	-	1.0
T2 (Pendii con inclinazione media $> 15^\circ$)	Sommità del pendio	1.2
T3 (Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base ed inclinazione media compresa tra 15° e 30°)	Cresta del rilievo	1.2
T4 (Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base ed inclinazione media $> 30^\circ$)	Cresta del rilievo	1.4

Nel caso specifico, in quanto gli aerogeneratori in progetto sono generalmente posti alla sommità di rilievi, il valore di riferimento è $St = 1.2$.

5.3.2 Categoria sismica dei terreni

In base al contesto geologico analizzato si può cautelativamente affermare che la categoria sismica dei terreni di fondazione è la seguente:

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

5.3.3 Pericolosità sismica di base

Vita nominale (Vn): 50 [anni]

Classe d'uso: II

Coefficiente d'uso (Cu): 1.0

Periodo di riferimento (Vr): 50 [anni]

Periodo di ritorno (Tr) SLO: 30 [anni]

Periodo di ritorno (Tr) SLD: 50 [anni]

Periodo di ritorno (Tr) SLV: 475 [anni]

Periodo di ritorno (Tr) SLC: 975 [anni]

La Sardegna risulta esterna al reticolo di riferimento normalmente usato per calcolare, per mezzo di una media ponderata, i valori dei parametri ag , $F0$, Tc da utilizzare per definire l'azione sismica nei modi previsti dalle NTC. Per questo motivo risulta necessario utilizzare i valori tabellati in Allegato B al D.M., con i parametri validi (ritenuti costanti su tutto il territorio) per le isole (con l'esclusione della Sicilia, Ischia, Procida e Capri).

Tabella 5-3: Parametri di pericolosità sismica per TR, tratti da Allegato B alle NTC 2018 in quanto la Sardegna non è coperta dal reticolo di riferimento

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.186	2.61	0.273
SLD	50	0.235	2.67	0.296
SLV	475	0.500	2.88	0.340
SLC	975	0.603	2.98	0.372

Coefficiente di smorzamento viscoso ξ : 5 %

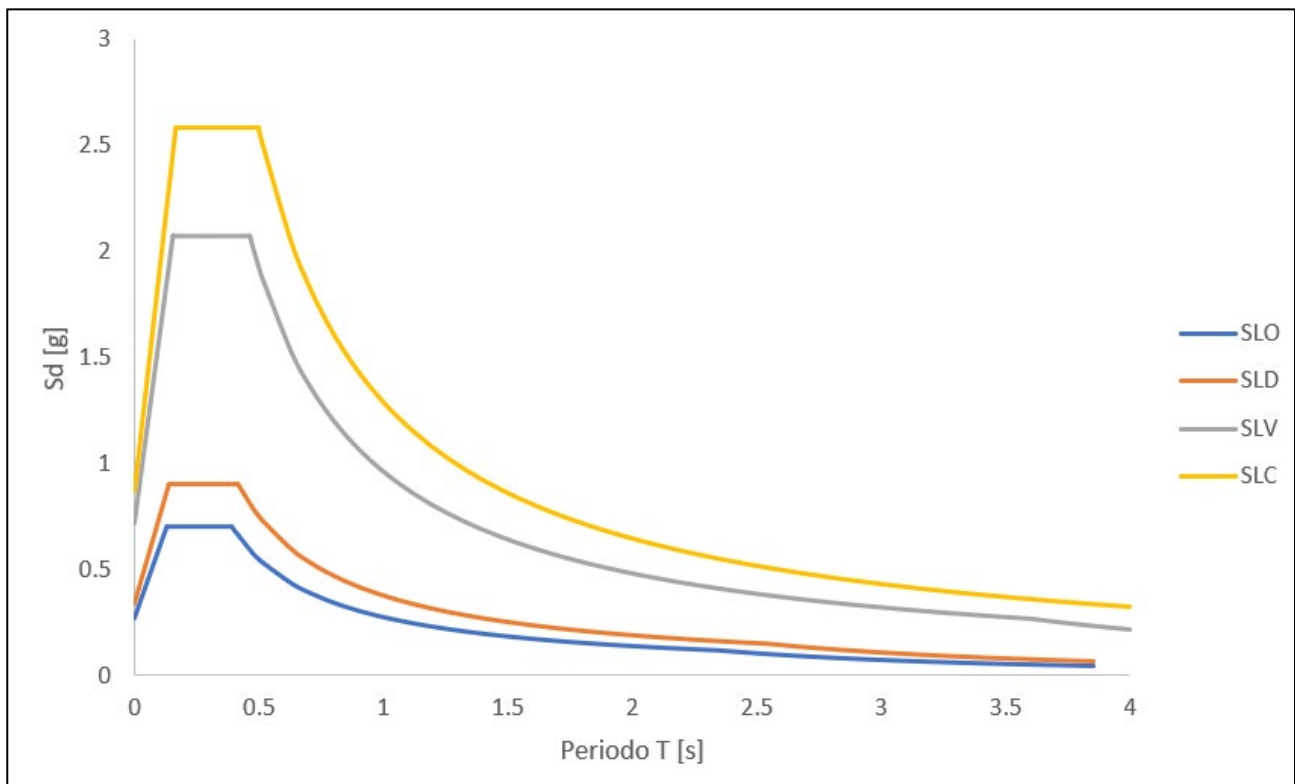
Fattore di alterazione dello spettro elastico $\eta=[10/(5+\xi)]^{(1/2)}$: 1.000

Categoria sottosuolo: B

Categoria topografica: T2

Tabella 5-4: Stabilità dei pendii e fondazioni NTC 2018

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.054	0.068	0.144	0.174
kv	0.027	0.034	0.072	0.087
amax [m/s ²]	0.268	0.338	0.720	0.868
Beta	0.200	0.200	0.200	0.200



	CU	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1.0	0.186	2.610	0.273	1.2	1.426	1.2	1.44	1	0.130	0.389	2.344	0.268	0.700
SLD	1.0	0.235	2.670	0.296	1.2	1.403	1.2	1.44	1	0.138	0.415	2.540	0.338	0.902
SLV	1.0	0.500	2.88	0.340	1.2	1.365	1.2	1.44	1	0.155	0.464	3.600	0.720	2.076
SLC	1.0	0.603	2.980	0.372	1.2	1.341	1.2	1.44	1	0.166	0.499	4.012	0.868	2.585

5.4 VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE DEI TERRENI DI FONDAZIONE

Il sito presso il quale è ubicato il manufatto deve essere stabile nei confronti della liquefazione, intendendo con tale termine quei fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate.

Se il terreno risulta suscettibile di liquefazione e gli effetti conseguenti appaiono tali da influire sulle condizioni di stabilità di pendii o manufatti, occorre procedere ad interventi di consolidamento del terreno e/o trasferire il carico a strati di terreno non suscettibili di liquefazione.

In assenza di interventi di miglioramento del terreno, l'impiego di fondazioni profonde richiede comunque la valutazione della riduzione della capacità portante e degli incrementi delle sollecitazioni indotti nei pali.

Tuttavia, la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesta almeno una delle seguenti circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata* $(N1)_{60} > 30$ oppure $qc_{1N} > 180$ dove $(N1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e qc_{1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate dalla normativa NTC 2018 nella Figura 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ ed in Figura 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$ (U_c rapporto D_{60}/D_{10} , dove D_{60} e D_{10}

sono il diametro delle particelle corrispondenti rispettivamente al 60% e al 10% del passante sulla curva granulometrica cumulativa).

Rispetto a quanto sopra riportato, come definito precedentemente, risulta che l'accelerazione sismica massima attesa a piano campagna in sito è minore di 0,05g mentre l'analisi del contesto geologico di sottosuolo ha portato a definire l'assenza di strati sabbiosi; dunque, è possibile escludere il pericolo associato al fenomeno.

6 INQUADRAMENTO GEOTECNICO

Il presente paragrafo riporta la descrizione delle caratteristiche geotecniche riguardante i litotipi affioranti nell'area in esame; la caratterizzazione riguarderà essenzialmente le litologie andesitico – basaltiche delle unità geologiche appartenenti al gruppo di Carbonia (Unità di Monte Ennazza, di Guardia Manna e di Monte Palmas).

La caratterizzazione è basata unicamente su dati di bibliografia disponibili in rete e fa riferimento alla relazione geologico – tecnica elaborata a supporto del “Progetto di fattibilità tecnico economica Diga Monte Pranu: interventi di verifica della sicurezza e ripristino del paramento di valle delle dighe in terra”.

La documentazione consultata è corredata di elaborazioni di dati sito-specifici riguardanti, tra l'altro, indagini spinte all'interno delle andesiti di Monte Palmas, per mezzo dei sondaggi eseguiti a nord ovest della diga Case Miais

La campagna geognostica presa a riferimento è stata molto estesa, prevedendo un gran numero di sondaggi, prove penetrometriche dinamiche DPSH, prove geofisiche del tipo MASW e a rifrazione passiva, test di permeabilità in foro e un considerevole numero di prove di laboratorio geotecnico eseguite su campioni raccolti in fase di sondaggio. Di questi, solo 2 sondaggi però hanno indagato le litologie andesitiche basaltiche tipiche della zona di impianto (sondaggi S01, S02 nel documento consultato).

Le ubicazioni dei punti di indagine utilizzati per la presente relazione sono di seguito riportate:

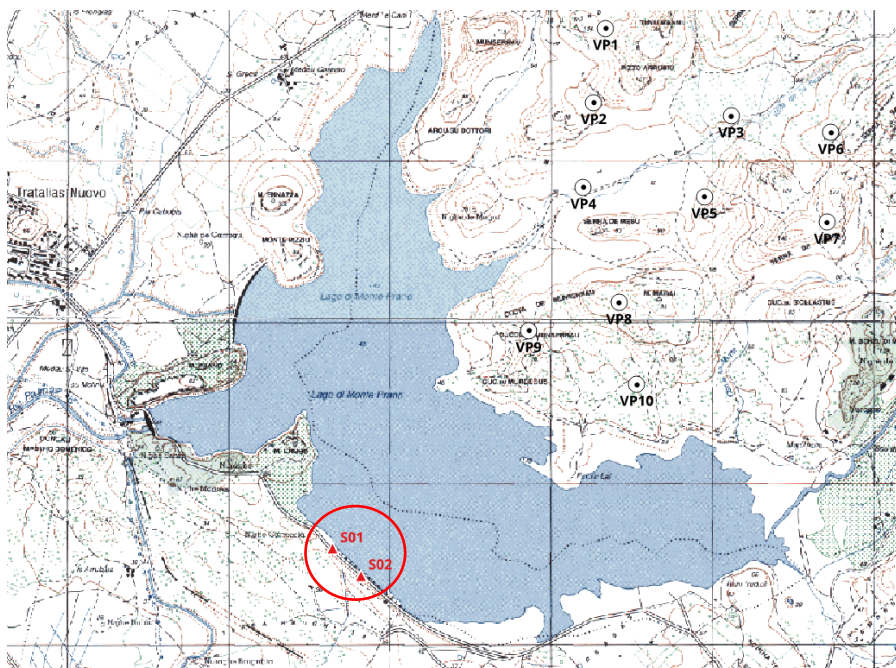


Figura 6-1: individuazione dei sondaggi di interesse (in rosso) per la presente relazione

La stratigrafia desunta dai log di sondaggio è la seguente:

S01

Da p.c. fino a 9,0 m circa: riporto costituente il corpo diga; terreni prevalentemente coesivi formati da limi ed argille-sabbiosi con rari ciottoli di colore marrone – nocciola, da moderatamente consistenti a consistenti, umidi. Talvolta sono presenti intervalli da centimetrici a metrici di ghiaie sabbiose limose.

Da 9,0 m a 15 m da p.c.: Andesiti di monte Palmas con grado di fratturazione variabile (RQD tra 30 e 90%); rocce lapidee di colore grigio o grigio ceruleo; si distinguono varie famiglie di fratture con aperture anche decimetriche riempite di argilla di colore beige con immersa ghiaia di vulcanite, con giunti scabri ed alterati

S02

Da p.c. fino a 10,0 m circa: riporto costituente il corpo diga; terreni prevalentemente coesivi formati da limi ed argille-sabbiosi con rari ciottoli di colore marrone – nocciola, da moderatamente consistenti a consistenti, umidi. Talvolta sono presenti intervalli da centimetrici a metrici di ghiaie sabbiose limose.

Da 10,0 m a 12,0 m da p.c.: Depositi eluvio colluviali costituiti da tessiture prevalentemente limose sabbiose con argilla e inclusioni di ghiaia, sono evidenti tracce di materiale organico in decomposizione. I depositi sono plastici e umidi di un colore bruno avana e verdastro, da molli e molto consistenti.

Da 12,0 m a 15,0 m da p.c.: Andesiti di monte Palmas con alto grado di fratturazione (RQD 30%); rocce lapidee di colore grigio o grigio ceruleo.

6.1 CONDIZIONE GEOTECNICHE DI PROGETTO

6.1.1 Stratigrafia di riferimento

Dall'analisi del contesto geologico definito per mezzo della cartografia e delle osservazioni effettuate per mezzo di sopralluogo, si conferma che la stratigrafia da piano campagna è costituita da litologie andesitico – basaltiche con spessori maggiori di 30 m e strato di suolo non organico non rilevante (entro 0.30 m di spessore).

Si ipotizza che i primi metri (entro i 5 – 10 m da p.c.) possano presentarsi maggiormente fratturati, a causa dei set di discontinuità sub-verticali da raffreddamento della lava ed alla seguente alterazione superficiale che caratterizza frequentemente questi litotipi; in profondità è ipotizzabile un miglioramento netto della qualità geomeccanica delle rocce.

6.1.2 Parametri geotecnici di progetto

Di seguito la definizione dei parametri geotecnici di progetto definita sulla base della documentazione consultata e basata su indagini e prove effettuate sulle medesime litologie nell'area in esame:

Tabella 6-1: parametri geotecnici di progetto

Unità	γ_{nat} (KN/m ³)	ϕ' (°)	c' (KPa)
Andesiti alterate	21* - 27	35* - 50	0*
Andesiti compatte	25* - 27	38* - 50	10*

Dove:

γ : peso di volume

ϕ' : angolo di resistenza al taglio efficace

c' : coesione efficace

*: dato caratteristico da prova in situ/laboratorio

Per quanto riguarda i valori di permeabilità dalle carte idrogeologiche è indicato che per tale unità la permeabilità è pari a circa 2×10^{-5} m/s, mentre le due prove Lefranc eseguite in fondo di sondaggio hanno individuato permeabilità notevolmente discordanti (2×10^{-4} m/s e 4×10^{-7} m/s). In ogni caso, si segnala che tale parametro nelle litologie in studio è funzione della fratturazione (e non per porosità primaria), dunque può presentare notevole variabilità nel sottosuolo sull'intera area di impianto.

Infine, la falda di progetto è individuata (a seguito di considerazioni riportate nel paragrafo 3.3) entro la profondità di 10 m per la turbina VP4; per le altre turbine di impianto si prevede che la soggiacenza della falda possa collocarsi a profondità maggiori di 30 m da p.c.

7 CONCLUSIONI

L'analisi del contesto idrogeomorfologico e geotecnico dell'area in esame ha permesso di trarre le seguenti considerazioni:

- Le litologie affioranti nell'areale sono costituite dalle andesiti basaltiche di Monte Ennazza, dalle Andesiti di Guardia Manna e di Monte Palmas, oltre che da filoni intrusivi a prevalente composizione basica. Lo spessore delle unità vulcaniche si attesta su valori anche di centinaia di metri.
- Il contesto geomorfologico dell'area è stabile, non si osservano elementi di pericolosità idrogeologica insistenti sul sito; il reticolo idrografico che solca le aree di impianto è costituito da impluvi e incisioni torrentizie caratterizzate da portate pressoché nulle, variabili sono in occasione di intensioni fenomeni di precipitazione.
- La presenza dell'invaso artificiale di monte Pranu ha portato a modifiche importanti nella circolazione idrica di sottosuolo. Si suppone che la falda abbia una soggiacenza da p.c. entro i 10 m solo nella postazione VP4 mentre nelle altre postazioni delle turbine si considera che la soggiacenza si attesti a profondità maggiori di 30 m da p.c. La permeabilità dei litotipi andesitici è per lo più per fratturazione, dunque, variabile in funzione di vicinanza a faglie e situazioni di disturbo tettonico.
- Dal punto di vista sismico rispetto alla classificazione eseguita dall'INGV per il territorio nazionale, risulta che il sito è caratterizzata da una pericolosità sismica molto bassa, con un'accelerazione al suolo attesa minore di 0,05 ag/g. La categoria sismica di sottosuolo, ottenuta per mezzo di dati da bibliografia e considerazioni sul contesto geologico dell'area, risulta essere la categoria B. La verifica di liquefazione dei terreni può essere omessa in quanto l'accelerazione sismica attesa al suolo è minore di 0,1 g.
- La stratigrafia di progetto prevede la presenza di un debole strato di suolo non organico (entro 0,30 m da p.c.) e successiva sequenza andesitico – basaltica per spessori maggiori di 30 m. La caratterizzazione geotecnica dei materiali è stata eseguita per mezzo di dati di bibliografia basati su prove e indagini eseguite nell'area in esame sulle medesime litologie di interesse per l'area di impianto.