



# REGIONE SARDEGNA

## Provincia di Cagliari

### COMUNI DI SINNAI E MARACALAGONIS



OGGETTO

PROGETTO PER LA COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN PARCO EOLICO DELLA POTENZA DI 122,4 MW E RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE NEI COMUNI DI SINNAI, MARACALAGONIS, QUARTUCCIU, SETTIMO SAN PIETRO E SELARGIUS (CA)

PROPONENTE



### ECOWIND 6 S.R.L.

Via Alessandro Manzoni 30, 20121 Milano (MI)  
C.F./P.IVA: 12809780963  
email/PEC: ecowind6srl@pecimprese.it

SVILUPPO



### VALLEVERDE ENERGIA S.R.L.

Via Foggia 174, 85025 Melfi (PZ)  
C.F./P.IVA: 02118870761  
email: info@valleverde-energia.it  
PEC: valleverde.energia@pec.it

Codice Commessa PHEEDRA: 24\_01\_EO\_SIN

INGEGNERIA



PHEEDRA S.r.l. Via Lago di Nemi, 90  
74121 - Taranto  
Tel. 099.7722302 - Fax 099.9870285  
e-mail: info@pheedra.it  
web: www.pheedra.it

Consulente esterno: **Dott. Geologo Marcello De Donatis**

Direttore Tecnico Ing. Angelo Micolucci



00	Febbraio 2024	PRIMA EMISSIONE	MDD	AM	VS
REV	DATA	ATTIVITA'	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

OGGETTO DELL'ELABORATO

## RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA E STUDIO DI COMPATIBILITA' IDROGEOLOGICA

FORMATO	SCALA	CODICE DOCUMENTO					NOME FILE	FOGLI
		SOC.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.		
A4	-	SIN	CIV	REL	031	00	SIN-CIV-REL-031_00	

## **Sommario**

1. PREMESSA.....	2
2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO.....	3
3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICO DELL'AREA VASTA .....	4
a. Geologia di dettaglio.....	9
4. INQUADRAMENTO IDROGRAFICO .....	11
5. CARATTERI IDROGEOLOGICI.....	13
6. INQUADRAMENTO PAI.....	15
7. COMPATIBILITA' VINCOLO IDROGEOLOGICO .....	27
8. ASPETTI TETTONICI E SISMICI.....	29
b. Sismicità storica dell'area.....	30
c. Classificazione sismica .....	31
9. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA .....	35
10. CONCLUSIONI.....	35

## **1. PREMESSA**

Nel mese di gennaio 2024, su incarico dell'Ing. Angelo Micolucci, progettista, la Geoprove Srl di Ruffano, nella persona del Dott. Geol. Marcello De Donatis ha redatto una relazione geologica di supporto ad un progetto di IMPIANTO EOLICO – da realizzare nei territori comunali di Sinnai e Maracalagonis (provincia di Cagliari).

Lo studio ha mirato quindi ad inquadrare l'area da un punto di vista geologico e stratigrafico, morfologico, idrogeologico e sismico.

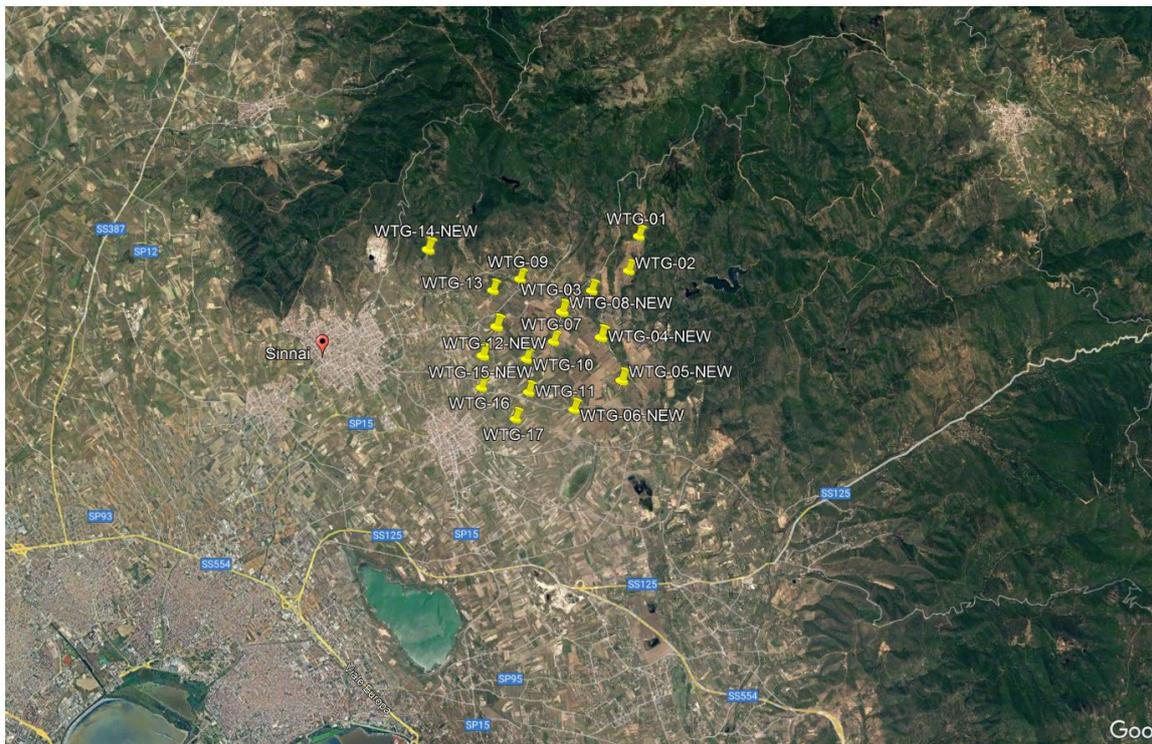
## **2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO**

L'area indagata ricade nella porzione orientale degli abitati di Sinnai e Maracalagonis (provincia di Cagliari).

L'impianto eolico è costituito da 17 aerogeneratori e sorgerà su un'area di circa 12 kmq, ad una quota topografica variabile da 110 a 230 m s.l.m., degradante verso sud e sudovest.

Il sito di indagine è individuato dalle seguenti coordinate geografiche (punto centrale):

- Latitudine: 39° 18' 02" N
- Longitudine: 9° 14' 45" E



*Area di indagine, immagine da Google Earth ®*

### **3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICO DELL'AREA VASTA**

L'area destinata all'impianto si estende, con una caratteristica forma trilobata, in corrispondenza del settore nord-orientale della regione storica del Campidano di Cagliari. In base alle dinamiche geomorfologiche che hanno interessato il territorio, il paesaggio può essere distinto in tre unità principali, riassunte di seguito:

- 1) la prima unità fisiografica è la più vasta e comprende le forme accidentate dei rilievi metamorfici che modellano il lobo più settentrionale del territorio le cui propaggini si estendono, con direzione NNE-SSW, lungo il limite amministrativo fino a lambire la periferia urbana. Tale unità comprende anche le plutoniti del

complesso intrusivo tardo paleozoico che costituiscono l'ossatura dei rilievi del settore centro-orientale, tra i quali spiccano delle vette orograficamente rilevanti. Tali litologie imprimono al paesaggio un aspetto rupestre, caratterizzato da valli strette e profonde e da una notevole varietà di forme; sono litologie che si rinvengono a nord dell'area in esame;

- 2) la seconda unità comprende l'ambito collinare, parzialmente compromesso dall'attività antropica, modellato sulle litologie terziarie marnoso-arenacee;
- 3) la terza unità comprende le superfici sub-pianeggianti modellate sui depositi quaternari dell'area continentale, costituiti da sedimenti arenacei, conglomerati, biocalcareni di spiaggia. Occupano un'ampia fascia che si estende da nord a sud e che si raccorda alle ampie conoidi alluvionali terrazzate del Campidano.

La genesi del complesso metamorfico della prima unità è riconducibile alle strutture collisionali connesse alla formazione della catena ercinica sudeuropea, ben evidenti nella tipica struttura a falde di ricoprimento accavallate da NE verso SW, che costituisce il basamento metamorfico di basso e medio grado della Sardegna.

Nell'area il complesso è rappresentato dall'Unità Tettonica del Sarrabus che più a nord si sovrappone tettonicamente, mediante l'accavallamento di Villasalto (CARMIGNANI & PERTUSATI, 1977) sull'Unità tettonica del Gerrei.

Nell'insieme il complesso intrusivo è rappresentato da granitoidi che si rinvencono in profondità ed in affioramento nella porzione occidentale dell'area interessata dal progetto.

E' il complesso Plutonico del Carbonifero sup. Permiano costituito da leucograniti equigranulari. Rappresenta il terreno fondale degli aerogeneratori n. 1 e n. 2. All'interno di questa formazione a luoghi si rinvencono filoni di porfidi granitici e ammassi di micrograniti.

Parte del complesso sedimentario ercinico ha subito metamorfismo: arenarie, conglomerati ed argille per metamorfismo risultano metarenarie, quarziti, filladi, meta conglomerati, metavulcaniti.

In affioramento si rinvencono nella porzione più settentrionale e rappresentano il terreno fondale dell'aerogeneratore n. 14.

La seconda unità fisiografica, rientra nel bacino sedimentario oligomiocenico.

I litotipi prevalenti sono connessi ai due cicli tettono-sedimentari (I e II Ciclo Miocenico) che caratterizzano l'apertura del suddetto bacino, e che comprendono un arco di tempo che va dall'Oligocene superiore al Burdigaliano medio e dal Burdigaliano superiore al Langhiano (Cherchi & Montadert, 1982; Assorgia et alii, 1977; Sowerbutts & Underhill, 1998; Carmignani et alii, 2001).

Diffusi in modo preminente, ma discontinuo i depositi marini miocenici sono rappresentati da entrambi i cicli sedimentari dell'Oligocene Sup.-Burdigaliano?, costituiti da sabbie e microconglomerati con stratificazione parallela e incrociata, che passano lateralmente e verso l'alto ad arenarie grossolane con cemento carbonatico, e le Marne di Gesturi in facies

marnoso-arenacea spesso sovrastate da lembi relitti di alluvioni pleistoceniche terrazzate.

Questa ultima Formazione rappresenta il terreno fondale degli aerogeneratori nn.10, 11, 12, 15 e 17.

E' Costituita da litologie schiettamente ghiaiose in matrice limoso argillosa, affiorano estesamente su gran parte dell'area con spessori variabili, localmente deducibili dall'emergenza del basamento paleozoico prevalentemente in forma di filoni o piccoli tor granitici. Lo scheletro consta di ciottoli e clasti paleozoici, spesso spigolosi o leggermente arrotondati, indice di breve distanza di trasporto e localmente si registra la predominanza della frazione argillosa.

Alla base delle arenarie si collocano stratigraficamente i depositi caotici, da continentali a marino-litorali, della Formazione di Ussana (USS) di età compresa tra Oligocene sup. e Aquitaniano inferiore. Si tratta di conglomerati e brecce, grossolani, eterometrici, originati prevalentemente a spese del basamento cristallino paleozoico, con livelli argilloso-arenacei rossastri talora prevalenti nella base e con rare lenti carbonatiche intercalate.

La terza unità racchiude le superfici, da tabulari a debolmente gibbose, modellate sulle alluvioni terrazzate oloceniche, che bordano i modesti rilievi miocenici nella fascia pedemontana ed in corrispondenza del nucleo urbano. Sono riconducibili a materiali granulari più o meno addensati dei terrazzi fluviali antichi a tessitura prevalentemente ghiaiosa e sabbiosa (a luoghi con argille più o meno compattate) che caratterizzano pressochè interamente le conoidi alluvionali dell'area in studio.

E' il terreno fondale degli aerogeneratori nn.3÷9, 13 e 16.



**Legenda - Legend**  
**DEPOSITI QUATERNARI**  
**QUATERNARY DEPOSITS**

 <p>1</p>	<p>Graie, sabbie, limi e argille sabbiose dei depositi alluvionali, coluviali, eolici e litorali, travertini 1. <i>Miocene.</i> Alluvial, colluvial, eolian and littoral gravels, sands, silts, sandy clays, travertine 1. <i>Holocene.</i></p>
 <p>Z<sub>c</sub></p>	<p>Arenarie eoliche con Cervidi (<i>Megaceros verrucosus</i>, <i>Dama dama</i>) e Proboscidi (<i>Elephas melleus</i>) (Arenarie wurmiere Auct.) (Nurra, Iglesiasite, etc.) Z<sub>c</sub>, Conglomerati, arenarie e biocalcareni di spiaggia (Panchina Auct.) con Molluschi (<i>Mytilus senegalenis</i>, <i>Spondylus gaederopus</i>, <i>Schistosus bibulus</i>, <i>Pecten longipeta</i>, <i>Conus testudinarius</i>) e Celenterati (<i>Cladocera coarctata</i>) Z<sub>c</sub>. <i>Pleistocene sup.</i> Conglomerati, sabbie, argille più o meno compattate, in terrazzi e conoidi alluvionali (Alluvioni antiche Auct.) Z<sub>c</sub>. <i>Pleistocene - Pleistocene.</i></p>
 <p>Z<sub>s</sub></p>	<p>Eolian sandstones with Cervidia (<i>Megaceros verrucosus</i>, <i>Dama dama</i>) and Proboscidea (<i>Elephas melleus</i>) (Arenarie wurmiere Auct.) (Nurra, Iglesiasite, etc.) Z<sub>s</sub>, Conglomerates, sandstones and biocalcarenes (Panchina Auct.) with Mollusca (<i>Mytilus senegalenis</i>, <i>Spondylus gaederopus</i>, <i>Schistosus bibulus</i>, <i>Pecten longipeta</i>, <i>Conus testudinarius</i>) and Coelenterata (<i>Cladocera coarctata</i>) Z<sub>s</sub>. <i>Upper Pleistocene.</i> Conglomerates, sand and mud deposits, sorted and unsorted, in river terraces, alluvial cones, (Alluvioni antiche Auct.) Z<sub>s</sub>. <i>Pleistocene - Pleistocene.</i></p>

//

*Relazione geologica di supporto ad un progetto di IMPIANTO EOLICO  
Località: territori comunali di Sinnai e Maracalagonis (provincia di Cagliari)*



**Successione marina e depositi continentali del Miocene superiore**  
*Upper Miocene marine succession and continental deposits*

**Successione marina e depositi continentali del Miocene inf.-medio**  
*Lower-Middle Miocene marine succession and continental deposits*

**Depositi continentali e successione marina Post Eocene medio - Miocene inf.**  
*Post Middle Eocene - Lower Miocene continental and marine deposits*

**BASAMENTO ERCINICO**  
**HERCYNIAN BASEMENT**

**COMPLESSO INTRUSIVO**  
**INTRUSIVE COMPLEX**

**COMPLESSO METAMORFICO ERCINICO IN FACIES SCISTI VERDI E ANCHIMETAMORFICO**

**48**

Metarodaniti, quartziti, fillichi, metaconglomerati ad elementi di "bas", glistoliti e olivostromi della successione siluro-devoniana e ordoeviana; e metavulcanici basici alcalini, talora a "glistolite" ("Culm") (formazione di Pala Marina Auct.) (Sarrabus; Trexenta; Mandas; Gerri; Ballo; Armutgia; Rio Mulargia; etc.) 48. **Carbonifero inf.**

Metasandstones, quartzites, phyllites, metaconglomerates with clasts of "lydites", olivostolite and olivostromes of the older (Ordovician-Silurian) sedimentary sequence; alkaline basic metavolcanic rocks, ("Culm") (Pala Marina Formation Auct.) (Sarrabus; Trexenta; Mandas; Gerri; Ballo; Armutgia; Rio Mulargia; etc.) 48. **Lower Carboniferous.**



**a. Geologia di dettaglio**

L'area indagata nei dintorni del tratto Sinnai – Maracalagonis si inquadra in un settore di piana alluvionale e si caratterizza per la presenza di depositi alluvionali del Quaternario e limitati affioramenti del basamento miocenico. Il basamento miocenico è rappresentato dalle litologie della Formazione delle Marne di Gesturi che nell'area investigata sono

rappresentate da alternanze di marne arenacee e siltitiche ben cementate e consistenti con lenti e strati centimetrici e decimetrici di arenarie compatte e lapidee o di calcari marnosi di vario spessore. Le rocce si presentano ben stratificate, la giacitura degli strati è immergente verso sud con inclinazione di circa 6° - 7°. Il colore in affioramento varia dal giallo pallido al grigio chiaro delle marne arenacee, all'ocra - arancio delle arenarie e dei calcari marnosi. La roccia sana umida si presenta spesso di colore grigio chiaro, ma esposta agli agenti atmosferici, perdendo umidità assume la tipica colorazione giallastra. Nell'area indagata le marne si presentano particolarmente addensate e caratterizzate da una certa foliazione o scagliosità determinata dal disseccamento delle litologie e da rilasci tensionali. Le litologie del Miocene, variamente differenziate, costituiscono il substrato su cui poggiano le alluvioni e le coperture detritiche colluviali del Quaternario.

I depositi quaternari che caratterizzano la piana degradante verso Sud, si contraddistinguono tra alluvioni terrazzate e alluvioni degli alvei attuali, in ambedue i casi si tratta di sedimenti grossolani, ghiaiosi e ciottolosi, con rare lenti e orizzonti sabbiosi, deposti in condizioni climatiche differenti da quelle attuali e da fiumi e rii impostati su valli di origine pleistocenica.

A nord si rinvengono invece formazioni del Carbonifero, la successione sedimentaria metamorfica ad est e le intrusioni granitoidi, il complesso Plutonico ad ovest; tali formazioni interessano limitatamente l'impianto eolico.

#### **4. INQUADRAMENTO IDROGRAFICO**

L'idrografia dell'area in esame è inserita all'interno di un'area vasta che è compresa nell'Unità Idrografica Omogenea (U.I.O.) del Flumini Mannu e del Cixerri che ha un'estensione pari a 3566 km<sup>2</sup>.

In particolare l'area di interesse appartiene al bacino del Riu Solanas che si estende per un areale di 33,73 km<sup>2</sup> con un andamento orientato NNE-SSW.

Tale U.I.O. è delimitata a Nord dall'altopiano del Sarcidano, a Est dal massiccio del Sarrabus-Gerrei, a Ovest dai massicci dell'iglesiente e del Sulcis e a Sud dal Golfo di Cagliari.

L'altimetria è variabile dai 1236 m s.l.m. del Monte Linas sino al livello del mare nelle aree costiere.

I corsi idrici si presentano tutti a carattere torrentizio con portate massime che si verificano nei mesi da Ottobre a Marzo e periodi di secca durante i mesi estivi ad eccezione dei due corsi principali da cui prende nome l'omonima U.I.O. lungo i cui percorsi sono presenti anche degli invasi artificiali..

Per quanto concerne le forme relative ai corsi idrici essi presentano pendenze elevate nelle aree sorgive prima di attraversare parte della pianura del Campidano centro-settentrionale.



Unità Idrografica Omogenea del Flumini Mannu e del Cixerri

## **5. CARATTERI IDROGEOLOGICI**

A macroscale, l'assetto dell'area si distingue per la presenza di quattro tre unità idrogeologiche stratigraficamente sovrapposte, elencate di seguito:

1. Unità idrogeologica dei depositi quaternari, costituita dai depositi alluvionali terrazzati, di versante o eluviali a permeabilità primaria estremamente variabile in funzione della granulometria e cementazione;
2. Unità Idrogeologica delle marne e marne arenacee cui è associata una scarsa permeabilità per il cemento carbonatico presente nelle arenarie che può aumentare per porosità interstiziale nelle sabbie e/o nei micro conglomerati;
3. Unità idrogeologica metamorfica paleozoica a bassa permeabilità, localmente più elevata per la presenza di un eccesso in fratturazione con conseguente accumulo idrico comunque modesto.

Laddove affiorano materiali granulari più o meno addensati a tessitura prevalentemente ghiaiosa e sabbiosa è lecito ritenere che, dove si rinvengono strati di argille più o meno compattate, stagionalmente si possa instaurare una circolazione idrica superficiale, che si esaurisce prevedibilmente nel periodo estivo.

Nell'area che si caratterizza per la presenza di depositi alluvionali poggianti sulle litologie marnose del miocene, non si evidenzia la presenza di una falda superficiale sebbene i depositi alluvionali abbiano le peculiari caratteristiche di porosità e permeabilità determinanti per poter costituire un acquifero.

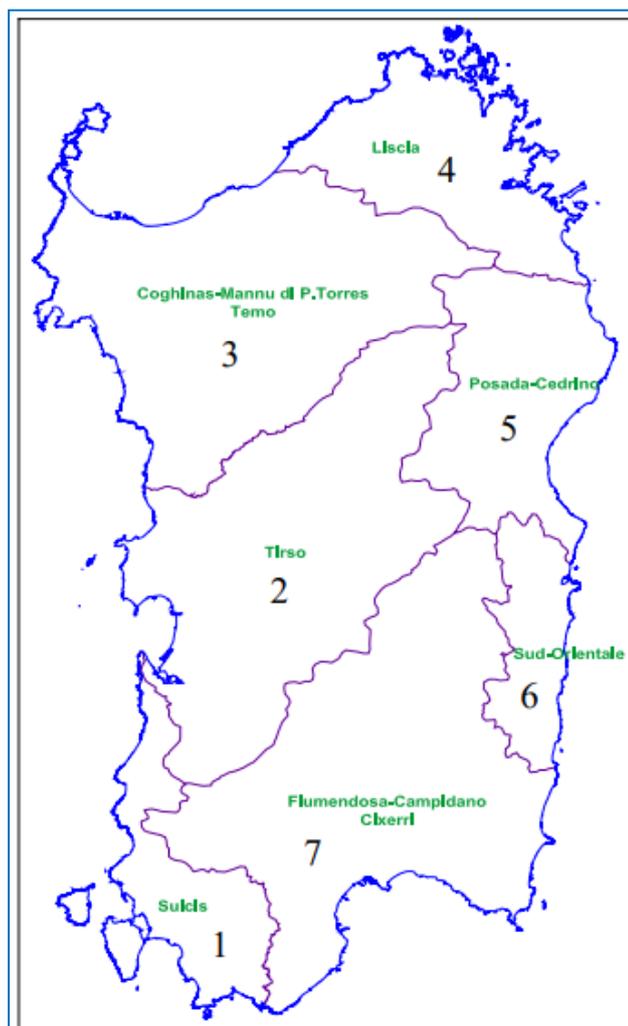
L'acquifero freatico produttivo e maggiormente sfruttato si individua nel complesso delle litologie arenacee che costituiscono la base della Successione sedimentaria marina del Miocene. Le sabbie e le arenarie stratificate e spazialmente estese, costituiscono il litotipo ideale per ospitare un acquifero, sono infatti caratterizzate da permeabilità primaria per porosità e fessurazione medio-alta.

Nell'area che si caratterizza per la presenza in affioramento di marne e marne arenacee (Marne di Gesturi), non si evidenzia la presenza di una falda superficiale, infatti le rocce mioceniche marnoso argillose sono ben conosciute per la loro sostanziale impermeabilità che non consente che in esse si stabiliscano acquiferi.

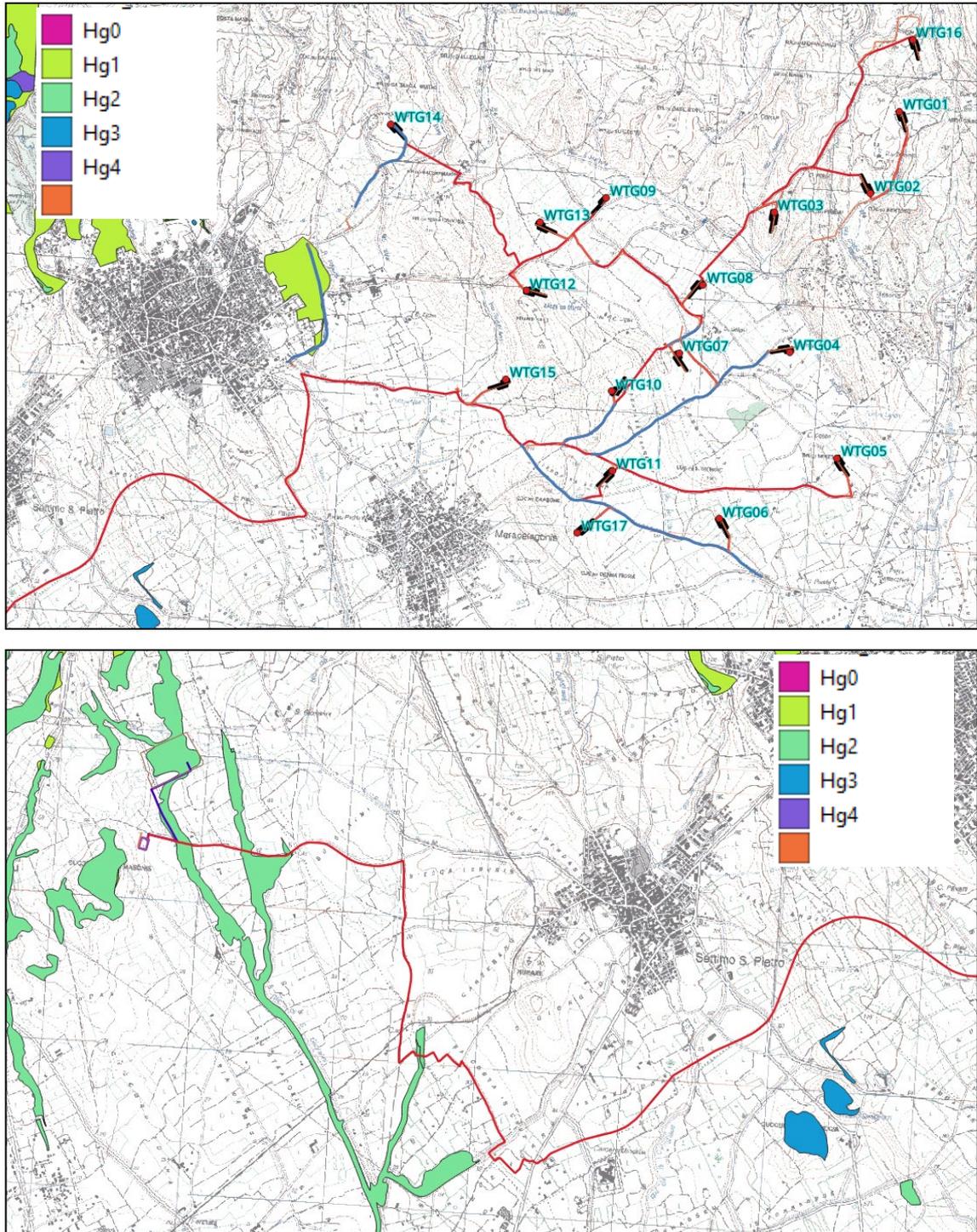
Nell'area in cui si rinvencono le formazioni carbonifere si esclude la presenza di acquiferi per la loro bassa permeabilità

## 6. INQUADRAMENTO PAI

Il PAI si applica nel bacino idrografico unico regionale della Regione Sardegna, corrispondente all'intero territorio regionale, comprese le isole minori, che ai sensi della Deliberazione della Giunta regionale n. 45/57 del 30.10.1990 è suddiviso nei seguenti sette sottobacini: sub-bacino n.1 Sulcis, sub-bacino n.2 Tirso, sub-bacino n.3 Coghinas-Mannu-Temo, sub-bacino n.4 Liscia, sub-bacino n.5 Posada-Cedrino, sub-bacino n.6 Sud-Orientale, sub-bacino n.7 Flumendosa-Campidano-Cixerri.



Si riporta di seguito il confronto cartografico tra le perimetrazioni aggiornate del PAI delle aree a pericolosità geomorfologica e il layout dell'impianto.



*Figura 1 – inquadramento sul PAI -Pericolosità geomorfologica*

Dal punto di vista geomorfologico è stato rilevato che gli aerogeneratori e le relative piazzole definitive e temporanee risultano essere eterne alle perimetrazioni del PAI aggiornate a dicembre 2022; solo per piccoli tratti il tracciato del cavidotto interrato di collegamento alla sottostazione elettrica e il cavidotto in AT di collegamento alla stazione elettrica interferiscono con aree perimetrare come Hg2 (area a pericolosità da frana media) distinte in Rg1 (aree a rischio moderato) e Rg2 (aree a rischio medio).

Con riferimento all' art.33 delle NTA del PAI, al comma 1 è riportato:

“Fermo restando quanto stabilito negli articoli 23 e 25, nelle aree di pericolosità media da frana sono consentiti tutti gli interventi, le opere e le attività ammessi nelle aree di pericolosità molto elevata ed elevata da frana, alle medesime condizioni stabilite negli articoli 31 e 32.”

L'articolo 31 al comma 3 riporta che sono consentiti esclusivamente:

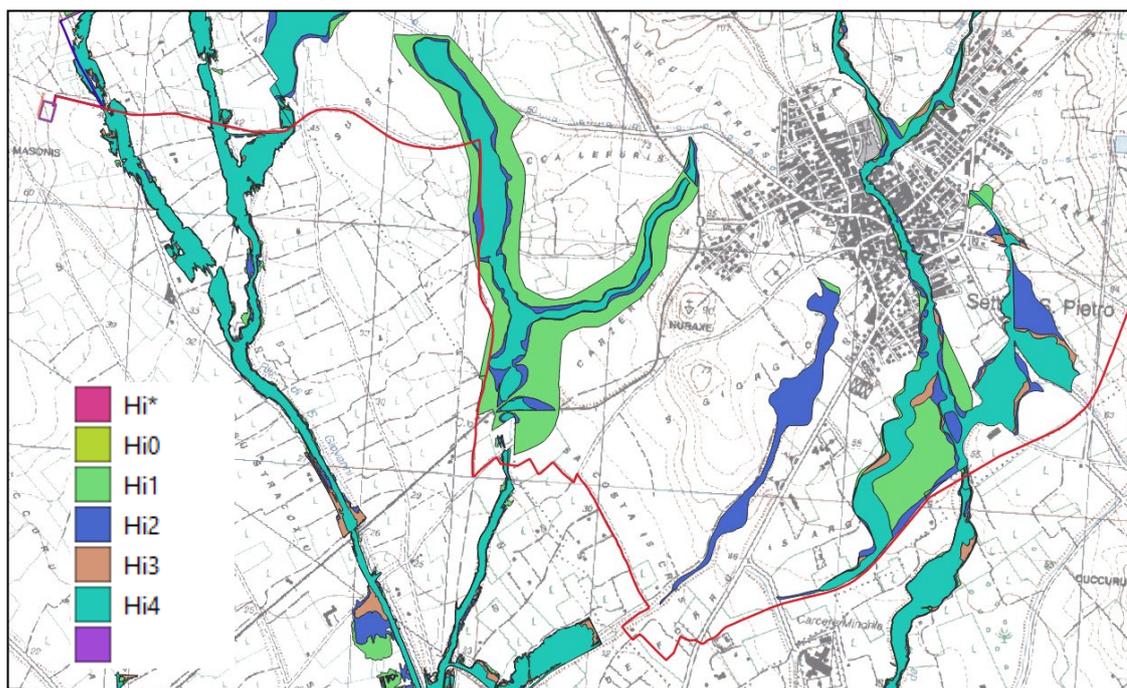
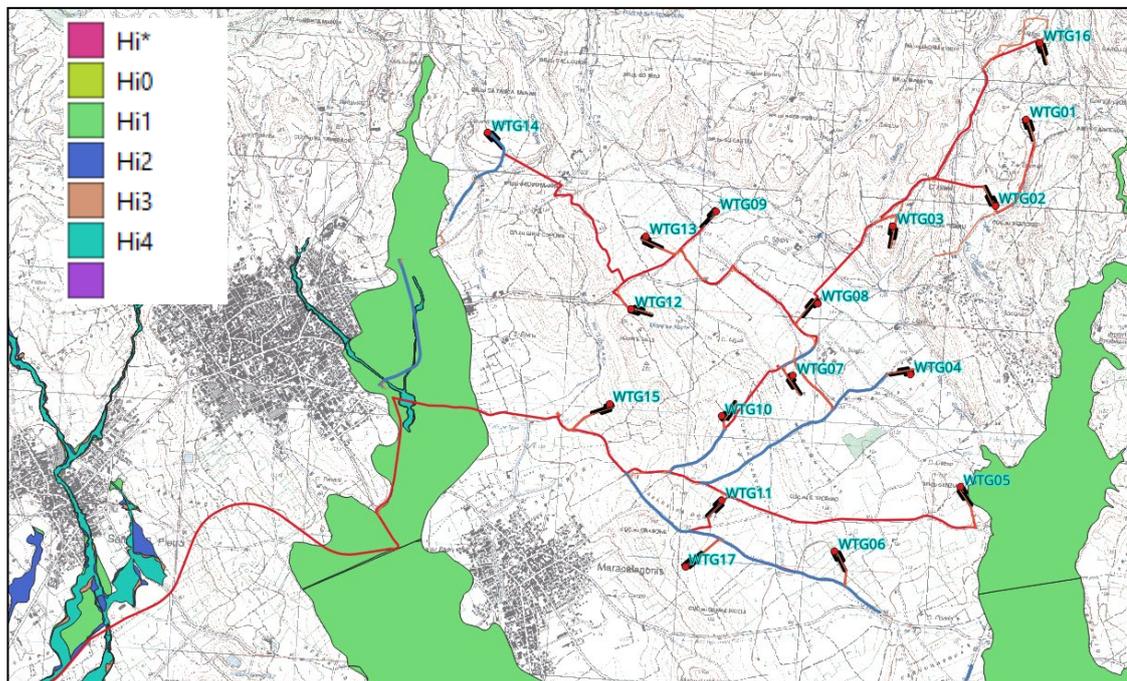
“... e.allacciamenti a reti principali e nuovi sottoservizi a rete interrati lungo tracciati stradali esistenti, ed opere connesse compresi i nuovi attraversamenti;...”

Per tale intervento come indicato al comma 6 è richiesto lo studio di compatibilità geologica e geotecnica: “ è richiesto per gli interventi di cui al comma 3, lettere e), f), g, h) ed i) limitatamente agli interventi di cui al primo periodo. Lo studio è richiesto per gli interventi di cui alla lettera c. solo nel caso in cui le innovazioni tecnologiche producano un aumento delle capacità di servizio dell'infrastruttura”.

Si specifica infine che per alcuni tratti le opere di adeguamento stradale o realizzazione slarghi, interferiscono, con un'area a pericolosità geomorfologia Hg1 (area a pericolosità da frana moderata) classificate come Rg1 (aree a rischio moderato). L'art 34 comma 1 delle NTA del PAI a tal proposito riporta:

“1. Fermo restando quanto stabilito negli articoli 23 e 25, nelle aree di pericolosità moderata da frana compete agli strumenti urbanistici, ai regolamenti edilizi ed ai piani di settore vigenti disciplinare l'uso del territorio e delle risorse naturali, ed in particolare le opere sul patrimonio edilizio esistente, i mutamenti di destinazione, le nuove costruzioni, la realizzazione di nuovi impianti, opere ed infrastrutture a rete e puntuali pubbliche o di interesse pubblico, i nuovi insediamenti produttivi commerciali e di servizi, le ristrutturazioni urbanistiche e tutti gli altri interventi di trasformazione urbanistica ed edilizia, salvo in ogni caso l'impiego di tipologie e tecniche costruttive capaci di ridurre la pericolosità ed i rischi.”

Si riporta di seguito il confronto cartografico tra le perimetrazioni aggiornate del PAI delle aree a pericolosità idraulica e il layout dell'impianto.



Dal punto di vista idraulico è stato rilevato che gli aerogeneratori e le relative piazzole definitive e temporanee risultano essere eterne alle perimetrazioni del PAI aggiornate a dicembre 2022; mentre il tracciato del cavidotto interrato di collegamento alla sottostazione

elettrica e il cavidotto interrato in AT di collegamento alla stazione elettrica interferiscono con aree perimetrare come Hi1 (area a pericolosità idraulica moderata o fascia geomorfologica), Hi2 (area a pericolosità idraulica media), Hi3 (area a pericolosità idraulica elevata) e Hi4 (area a pericolosità idraulica molto elevata)

Relativamente alle aree perimetrare come Hi4, all' art.27 delle NTA del PAI, al comma 3 lettera h sono riportati tra gli interventi consentiti:

“h5. allacciamenti a reti principali e nuovi sottoservizi a rete interrati lungo tracciati stradali esistenti, ed opere connesse compresi i nuovi attraversamenti; nel caso di condotte e di cavidotti non è richiesto lo studio di compatibilità idraulica di cui all'articolo 24 delle presenti norme a condizione che, con apposita relazione asseverata del tecnico incaricato, venga dimostrato che gli scavi siano effettuati a profondità limitata ed a sezione ristretta, comunque compatibilmente con le situazioni locali di pericolosità idraulica e, preferibilmente, mediante uso di tecniche a basso impatto ambientale; che eventuali manufatti connessi alla gestione e al funzionamento delle condotte e dei cavidotti emergano dal piano di campagna per una altezza massima di un metro e siano di ingombro planimetrico strettamente limitato alla loro funzione; che i componenti tecnologici, quali armadi stradali prefabbricati, siano saldamente ancorati al suolo o agli edifici in modo da evitare scalzamento e trascinarsi, abbiano ridotto ingombro planimetrico e altezza massima strettamente limitata alla loro funzione tecnologica e comunque siano tali da non ostacolare in maniera significativa il deflusso delle acque; che, nelle situazioni di parallelismo, le condotte e i cavidotti non ricadano in

alveo né in area golenale; che il soggetto attuatore provveda a sottoscrivere un atto con il quale si impegna a rimuovere a proprie spese tali elementi qualora sia necessario per la realizzazione di opere di mitigazione del rischio idraulico;...”

Con riferimento all’interferenza con le aree perimetrare come Hi3 (area a pericolosità idraulica elevata), l’articolo 28 riporta:

“7. In materia di infrastrutture a rete o puntuali pubbliche o di interesse pubblico è consentita la realizzazione di tutte le tipologie di sottoservizi a rete.

8.99 Gli interventi di cui al comma 3, lett. a) b) c) d) sono corredati da relazione da parte del tecnico incaricato dal soggetto proponente che assevera motivatamente per il caso specifico il rispetto delle previsioni e finalità delle presenti norme di attuazione. Lo studio di compatibilità idraulica di cui all’art. 24 è richiesto per gli interventi di cui ai commi 4, 5, 6 e 7.”

Nelle aree a pericolosità idraulica media Hi2 (art. 29) sono consentiti tutti gli interventi, le opere e le attività ammessi nelle aree di pericolosità idraulica molto elevata (Hi4) ed elevata (Hi3). Sono inoltre consentiti , tra gli altri interventi, la realizzazione, l’ampliamento e la ristrutturazione di opere ed infrastrutture pubbliche o di interesse pubblico.

Per le aree a pericolosità idraulica moderata (Hi1), l’art. 30 indica che “competete agli strumenti urbanistici, ai regolamenti edilizi ed ai piani di settore vigenti disciplinare l’uso del territorio e delle risorse naturali, ed in particolare le opere sul patrimonio edilizio esistente, i mutamenti di destinazione, le nuove costruzioni, la realizzazione di

nuovi impianti, opere ed infrastrutture a rete e puntuali pubbliche o di interesse pubblico, i nuovi insediamenti produttivi commerciali e di servizi, le ristrutturazioni urbanistiche e tutti gli altri interventi di trasformazione urbanistica ed edilizia, salvo in ogni caso l'impiego di tipologie e tecniche costruttive capaci di ridurre la pericolosità ed i rischi”.

Si specifica infine che per alcuni tratti le opere di adeguamento stradale interferiscono, con area a pericolosità idraulica Hi4 (area a pericolosità idraulica molto elevata). L' art.27 delle NTA del PAI, al comma 3 lettera ebis riportata tra gli interventi consentiti:

“ebis. gli interventi di ampliamento della piattaforma viaria di attraversamenti esistenti, a seguito di realizzazione di opere quali allargamento delle corsie e della banchina, realizzazione di marciapiedi e di corsie ciclabili anche in aggetto, con la prescrizione che non vi sia riduzione della sezione idraulica, che sia verificato il fatto che le nuove opere non determinino sul ponte possibili effetti negativi di tipo idrostatico e dinamico indotti dalla corrente e che il soggetto attuatore provveda a sottoscrivere un atto con il quale si impegna a rimuovere a proprie spese tali elementi qualora sia necessario per la realizzazione di interventi di sostituzione totale e/o adeguamenti straordinari dell'attraversamento esistente; tali interventi sono ammissibili nel rispetto delle Norme tecniche per le costruzioni (NTC) di cui all'art. 52 del D.P.R. n. 380/2001 e delle relative circolari applicative, a condizione che sia redatta una relazione asseverata avente i contenuti tecnici di cui alla “Direttiva

per lo svolgimento delle verifiche di sicurezza delle infrastrutture esistenti di attraversamento viario o ferroviario del reticolo idrografico della Sardegna né delle altre opere interferenti”.

In merito all’interferenza con le perimetrazioni individuate dal PAI come evidenziato, si specifica che:

il cavidotto sarà interrato su strade esistente e in alternativa sarà posta in opera mediante tecnologia non invasiva TOC (Trivellazione Orizzontale Controllata). Il sistema consiste nella realizzazione di un foro sotterraneo che costituirà la sede di posa di una tubazione plastica o metallica precedentemente saldata in superficie. Il foro nel sottosuolo viene realizzato mediante l’azione di una fresa rotante posta all’estremità di un treno d’aste. Le TOC sono particolarmente adatte per il superamento di ostacoli, quali fiumi, canali. Le modalità con cui verranno realizzate le opere garantiscono le condizioni di sicurezza idraulica posizionandosi ad una profondità idonea, tale da non alterare l’assetto idraulico e gli equilibri geomorfologici preesistenti tali opere, modificare il deflusso delle acque o aggravare la pericolosità dell’area;

le piazzole temporanee, gli adeguamenti stradali o la realizzazione della viabilità di servizio saranno effettuati in Macadam, costituita da una massicciata di pietrisco sabbia e acqua, costipata e spianata ripetutamente da rullo compressore, integrata da un sottofondo di pietrame di grossa pezzatura, quindi senza ulteriore incremento di superfici impermeabili, senza rilevanti movimenti di terra e senza alterare le condizioni di funzionalità idraulica prevedendo ove

necessarie opere che garantiscano il corretto deflusso delle acque. Si specifica infine che gran parte delle opere (strade da adeguare, slarghi, aree di cantiere, piazzole di cantiere) avranno carattere temporaneo finalizzato alla sola fase di cantierizzazione con il conseguente ripristino dello stato dei luoghi ante opera al termine delle attività di cantiere.

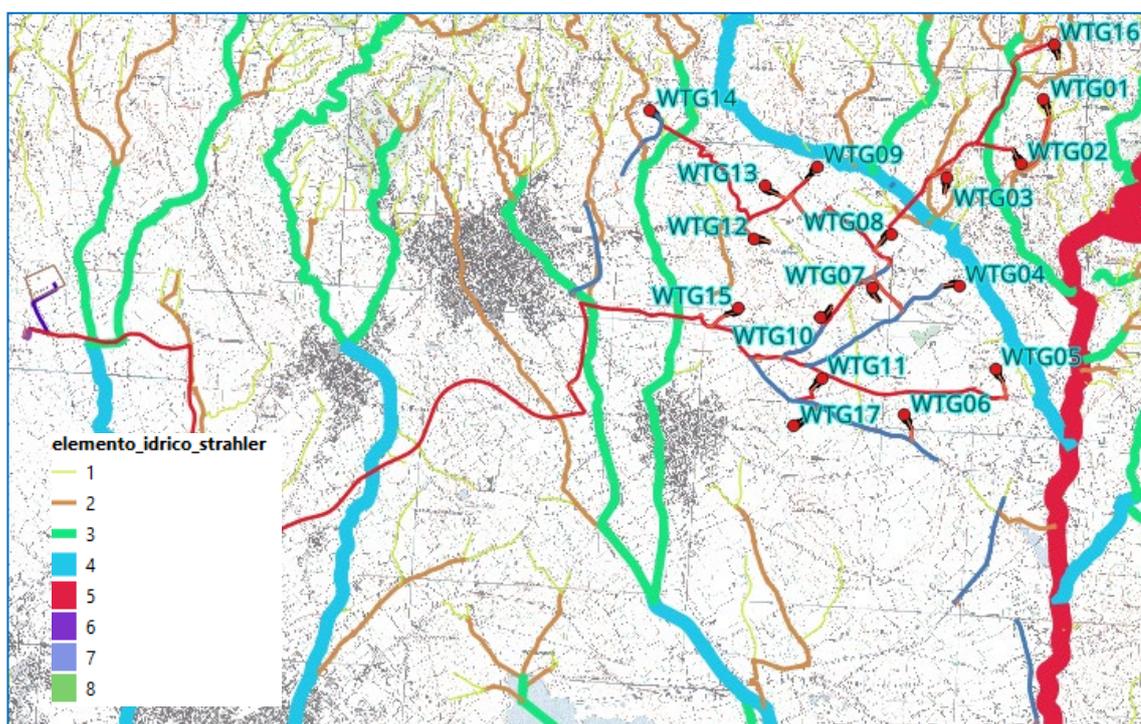
Gli interventi nelle modalità previste, pertanto, risultano compatibili con la pericolosità idraulica e geomorfologica dell'area d'intervento e non alterano l'assetto idro-geomorfologico come si evince dalla relazione geologica a cui si rimanda per maggiori dettagli (riferimento alla relazione geologica).

Secondo quanto riportato sul sito ufficiale della Regione Sardegna, "con la deliberazione del Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino n. 1 del 27 febbraio 2018 sono state modificate ed integrate le norme di attuazione del Piano di Assetto Idrogeologico (PAI) della Sardegna ed è stato introdotto l'art. 30 ter, avente per oggetto "Identificazione e disciplina delle aree di pericolosità quale misura di prima salvaguardia":

"Per i singoli tratti dei corsi d'acqua appartenenti al reticolo idrografico dell'intero territorio regionale di cui all'articolo 30 quater, per i quali non siano state ancora determinate le aree di pericolosità idraulica, con esclusione dei tratti le cui aree di esondazione sono state determinate con il solo criterio geomorfologico di cui all'articolo 30 bis, quale misura di prima salvaguardia finalizzata alla tutela della pubblica incolumità, è istituita una fascia su

entrambi i lati a partire dall'asse, di profondità L variabile in funzione dell'ordine gerarchico del singolo tratto:"

ordine gerarchico (numero di Horton-Strahler)	profondità L (metri)
1	10
2	25
3	50
4	75
5	100
6	150
7	250
8	400



Dalla sovrapposizione dell'area di interesse con il reticolo idrografico classificato secondo l'ordine gerarchico di Strahler, si evince che gli aerogeneratori e le relative piazzole non ricadono all'interno delle

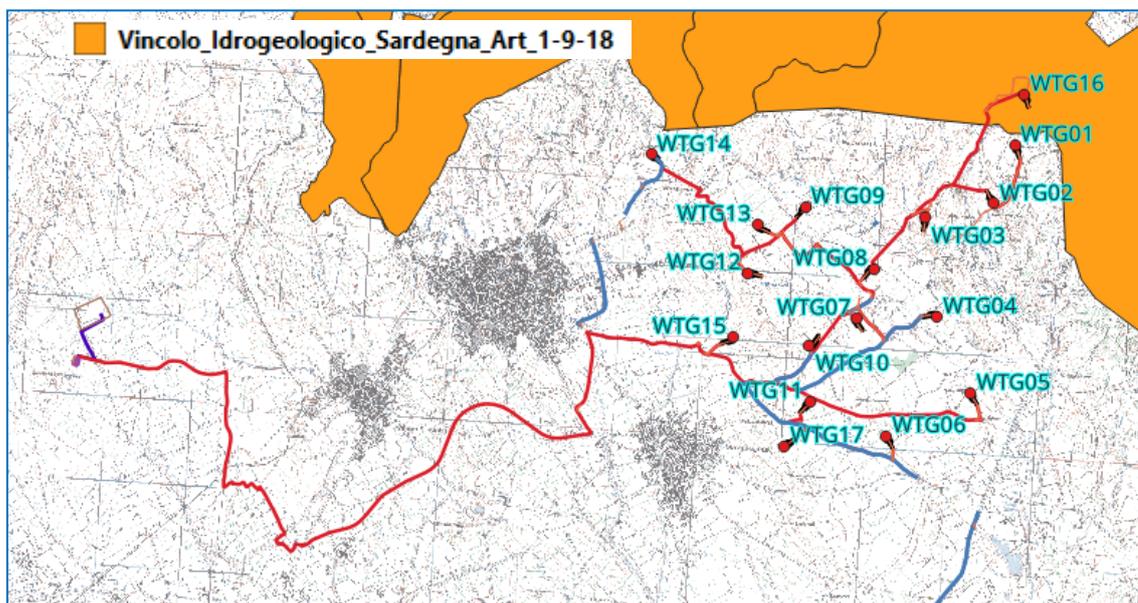
fasce su entrambi i lati dell'asse di prima salvaguardia; solo il tracciato del cavidotto e le opere di adeguamento stradale o di realizzazione di strade di servizio intercettano in alcuni tratti le fasce su dette.

A tal proposito si specifica che il cavidotto sarà realizzato principalmente su strade esistenti e prevede il superamento delle interferenze con il reticolo idrografico tramite sistema non invasivo TOC (Trivellazione Orizzontale Controllata) interventi che non comportano alterazioni morfologiche o funzionali ed un apprezzabile pericolo per l'ambiente e le persone.

Per quanto riguarda la viabilità da adeguare o da realizzare si precisa a tal fine che gli interventi su detti saranno effettuati in Macadam, costituita da una massicciata di pietrisco sabbia e acqua, costipata e spianata ripetutamente da rullo compressore, integrata da un sottofondo di pietrame di grossa pezzatura, quindi senza ulteriore incremento di superfici impermeabili, senza alterare le condizioni di funzionalità idraulica prevedendo ove necessarie opere che garantiscano il corretto deflusso delle acque. Si specifica infine che gran parte delle opere (strade da adeguare, slarghi, aree di cantiere, piazzole di cantiere) avranno carattere temporaneo.

## 7. COMPATIBILITA' VINCOLO IDROGEOLOGICO

Dal confronto con la cartografia aggiornata a giugno 2021 accessibile dal geoportale della Regione Sardegna si evince che il progetto in esame è quasi totalmente al di fuori delle aree a vincolo idrogeologico, rientra solo la torre WTG16 e relative opere di connessione.



In queste aree come riportato All'ART.9 delle NTA del PAI:

- a. è sempre negata l'esenzione totale o parziale dal vincolo;
- b. è vietato il pascolo di caprini nei boschi e nei terreni cespugliati con funzioni protettive, nelle aree di pericolosità da frana molto elevata ed elevata;
- c. le prescrizioni di massima e di polizia forestale stabiliscono entro un anno dall'entrata in vigore del PAI ulteriori limitazioni del pascolo sui terreni deteriorati allo scopo di permettere la ricostituzione della copertura erbosa;

- d. i provvedimenti in materia di trasformazione colturale dimostrano espressamente l'assenza di riflessi negativi sulla stabilità dei suoli;
- e. le utilizzazioni e le opere che possano distruggere o deteriorare la vegetazione o comportare modifiche nell'assetto idrogeologico dei terreni, sempre che siano consentite dal PAI, devono essere realizzate contestualmente ad opportune misure compensative;
- f. l'applicazione delle prescrizioni di massima e di polizia forestale è comunque subordinata alla conformità con le presenti norme.”

A tale proposito, si specifica che l'intervento in oggetto è stato concepito in maniera tale da minimizzare le operazioni di scavo e riporto che alterino l'assetto idrogeologico e il taglio di specie arboree e/o arbustive; inoltre, ove necessario, se richiesto dall'ente competente, si provvederà con la realizzazione di opportune misure compensative. Si provvederà a richiedere preventiva autorizzazione da parte dell'Ente competente.

## **8. ASPETTI TETTONICI E SISMICI**

Le principali discontinuità tettoniche osservabili al contorno dell'area, di impostazione tardo-miocenica e pliocenica come in tutto il settore meridionale del Campidano di Cagliari, sono rappresentate prevalentemente da faglie subverticali di direzione circa nord-sud che dislocano la successione miocenica e sono sigillate dalla sedimentazione detritico-alluvionale quaternaria. Trattandosi di una complessa deformazione crostale di tipo rigido, lo sprofondamento generalizzato che ha interessato l'ampio settore compreso tra il Golfo di Oristano e quello di Cagliari, ha consentito di preservare dall'intensa erosione pliocenica, proprio l'intera successione stratigrafica miocenica.

L'attività tettonica nel settore considerato, come per tutta l'Isola, viene considerata molto bassa o quiescente e generalmente non si rilevano deformazioni significative nel corso del tardo Quaternario (Pleistocene superiore e Olocene).

Anche la subsidenza, se si esclude un lentissimo abbassamento ancora in atto in tutta l'area costiera meridionale, è un fattore assolutamente irrilevante tra i processi morfodinamici dell'Isola. Gli unici fenomeni registrati nel territorio regionale riconducibili a subsidenza, sono localizzati negli hinterland di Carbonia ed Iglesias, perlopiù provocati dallo sprofondamento dei "vuoti minerari", meglio noti come "sink-holes". Non si hanno altresì riscontri di abbassamenti del suolo provocati dallo sfruttamento delle falde acquifere.

Non si esclude in ogni caso, stante la scarsa documentazione relativa a terremoti avvenuti in Sardegna in epoca storica nonché di recente, che

eventi sismici di eccezionale intensità localizzati in vari settori dell'area tirrenica, possano indurre in alcuni areali dell'Isola vibrazioni i cui effetti sulla struttura in progetto possono considerarsi ininfluenti.

#### **b. Sismicità storica dell'area**

Nonostante la nota bassa sismicità della Sardegna conseguente alla generale stabilità geologica del blocco sardo-corso (gli ultimi episodi vulcanici dell'isola vengono fatti risalire a circa 90.000 anni fa, nel Pleistocene superiore, con l'emissione di lave e scorie nel settore dell'Anglona), sono noti indizi di eventi sismici risalenti a 3-4000 anni fa sulla base di importanti danneggiamenti rilevati in alcuni edifici nuragici. Dai dati macrosismici storici provenienti da studi dell'Istituto NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA (INGV) e di altri enti utilizzati per la compilazione del catalogo parametrico CPTI04 (consultabili dal sito web "DBMI04") per l'Isola sono segnalati eventi sismici con un massimo di danno valutato del VI grado della scala MERCALLI-CANCANI-SIEBERG.

Si porta ad esempio il terremoto del 04.06.1616 che determinò danneggiamenti vari a edifici della Cagliari di allora e ad alcune torri costiere attorno a Villasimius. Altri terremoti degni di nota (oltre ai primi registrati dall'ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA negli anni 1838 e 1870 rispettivamente del VI e V grado della scala Mercalli) risalgono al 1948 (epicentro nel Canale di Sardegna, verso la Tunisia, VI grado) e al 1960 (V grado), con epicentro i dintorni di Tempio Pausania).

Degno di attenzione è sicuramente anche quello avvertito nel cagliaritano il 30.08.1977 provocato dal vulcano sottomarino Quirino

mentre, più recentemente (03.03.2001) è stato registrato un sisma di magnitudo 3,3 Richter (IV grado scala MERCALLI) nella costa di San Teodoro ed un sisma di analoga magnitudo il 9 novembre 2010, nella costa NW dell'Isola.

Altri episodi, con epicentro nel settore a mare poco a ovest della Corsica e della Sardegna, sono stati registrati in Sardegna nel 2011 con magnitudo RICHTER compresa tra 2,1 e 5,3 ed ipocentro a profondità tra 11 km e circa 40 km di profondità. Si segnalano altri terremoti tra il 2006 e il 2007 nel Medio Campidano seppure di magnitudo mai superiore a 2,7 (13.07.2006, magnitudo 2,7 a 10 km di profondità con epicentro Capoterra; 23.05.2007, magnitudo 1,4 a 10 km di profondità con epicentro Pabillonis; 02.10.2007, magnitudo 1,4 a 10 km di profondità con epicentro tra Pabillonis e Guspini).

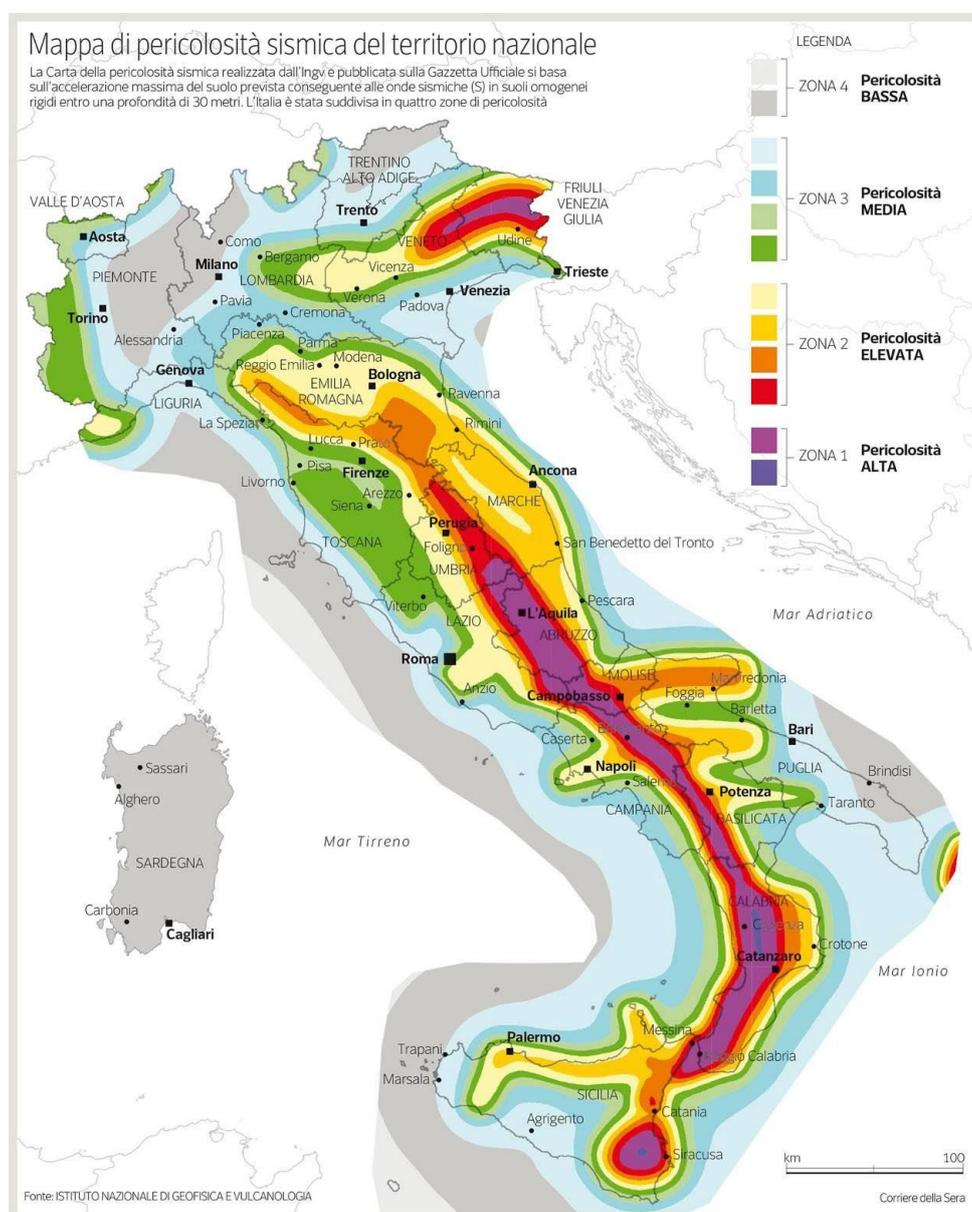
### **c. Classificazione sismica**

Il panorama legislativo in materia sismica è stato rivisitato dalle recenti normative nazionali ovvero dall'Ordinanza P.C.M. n. 3274 del 20.03.2003 «*Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica*» entrata in vigore dal 25.10.2005, in concomitanza con la pubblicazione della prima stesura delle "Norme Tecniche per le Costruzioni" e dalla successiva O.P.C.M. n. 3519/2006.

In relazione alla pericolosità sismica - espressa in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi - il territorio nazionale è stato suddiviso in quattro zone con livelli decrescenti di pericolosità in funzione di altrettanti

valori di accelerazione orizzontale massima al suolo ( $a_{g475}$ ), ossia quella riferita al 50esimo percentile, ad una vita di riferimento di 50 anni e ad una probabilità di superamento del 10% attribuiti a suoli rigidi caratterizzati da  $V_{s30} > 800$  m/s alle quali si applicano norme tecniche differenti le costruzioni.

La classificazione sismica del territorio nazionale è rappresentata di seguito.



Mapa di pericolosità sismica del territorio nazionale realizzata (INGV 2018)

L'appartenenza ad una delle quattro zone viene stabilita rispetto alla distribuzione sul territorio dei valori di  $ag_{475}$  con una tolleranza 0,025g: a ciascuna zona o sottozona è attribuito un valore di pericolosità di base, espressa in termini di accelerazione massima su suolo rigido ( $ag$ ), che deve essere considerato in sede di progettazione.

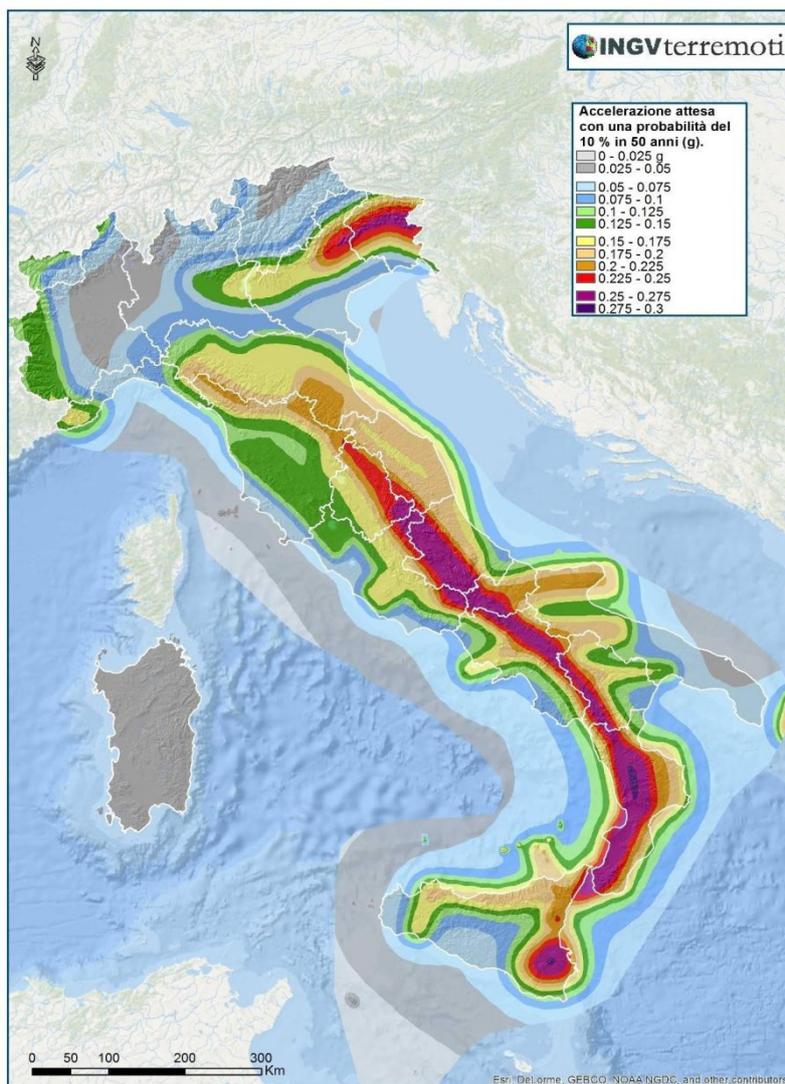
ZONA	Ag 475
1	$ag_{475} \geq 0,25g$
2	$0,25g < ag_{475} \leq 0,15g$
3	$0,15g < ag_{475} \leq 0,05g$
4	$ag_{475} < 0,05g$

Valori di accelerazione orizzontale massima al suolo.

Tutto il territorio regionale ricade in **Zona 4**, contraddistinto da «pericolosità sismica BASSA» a cui corrisponde la normativa antisismica meno severa ed al parametro **ag** è assegnato un valore di **0,025÷0,05 g** da adottare nella progettazione.

Pur tuttavia, con la ratifica delle Norme Tecniche per le Costruzioni avvenuta con l'aggiornamento del 17.01.2018, anche in questo ambito per le verifiche geotecniche è obbligatorio l'utilizzo del metodo delle tensioni limite.

Per quanto riguarda la massima intensità macrosismica  $I_{max}$  (che rappresenta una misura degli effetti che il terremoto ha prodotto sull'uomo, sugli edifici e sull'ambiente) si fa riferimento alla classificazione del Gruppo Nazionale per la Difesa dei Terremoti (G.N.D.T.).



Mappa dell'accelerazione attesa con una probabilità del 10% in 50 anni (INGV 2018).

Per i comuni della Sardegna, così come per quelli ove si segnalano intensità massime molto basse o non esiste alcun dato osservato, è stato assegnato un valore "ponderato" di intensità ( **$I_{max/pon}$** ), stimato per estrapolazione dai valori osservati nei comuni limitrofi oppure calcolando un risentimento massimo a partire dal catalogo NT.3 mediante opportune leggi di attenuazione. Dei 375 comuni della Sardegna, meno del 5% ha comunicato al G.N.D.T. i dati relativi all'intensità macrosismica MCS: in ogni caso, nella totalità delle rilevazioni, i valori sono risultati minori di 6.

## **9. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA**

I parametri geotecnici, sono stati ricavati dall'analisi dei dati presenti in letteratura tecnica. Si specifica che i valori riportati sono esemplificativi e pertanto in fase esecutiva si procederà ad effettuare indagini e studi approfonditi che permettano di determinare con maggior accuratezza i valori:

Densità relativa (%)	80
Angolo di attrito (°)	34
Modulo di Young (kg/cmq)	219
Modulo edometrico (kg/cmq)	300
Classificazione AGI	Addensato
Peso di volume (gr/cmc)	1.90
Modulo di Poisson	0.306
Coazione (kg/cmq)	0

## **10. CONCLUSIONI**

Nel mese di gennaio 2024 la Geoprove Srl di Ruffano, nella persona del Dott. Geol. Marcello De Donatis, ha redatto una relazione geologica di supporto ad un progetto di IMPIANTO EOLICO – da realizzare nei territori comunali di Sinnai e Maracalagonis (provincia di Cagliari).

Lo studio ha mirato quindi ad inquadrare l' area da un punto di vista geologico e stratigrafico, morfologico, idrogeologico e sismico.

L'impianto eolico è costituito da 17 aerogeneratori e sorgerà su un'area di circa 12 kmq, ad una quota topografica variabile da 110 a 230 m s.l.m., degradante verso sud e sudovest.

L'area destinata all'impianto si estende, con una caratteristica forma trilobata, in corrispondenza del settore nord-orientale della regione storica del Campidano di Cagliari. In base alle dinamiche geomorfologiche che hanno interessato il territorio, il paesaggio può essere distinto in tre unità principali:

- ✓ le forme accidentate dei rilievi metamorfici (plutoniti del complesso intrusivo ed il complesso metamorfico);
- ✓ la seconda unità comprende l'ambito collinare, modellato sulle litologie terziarie marnoso-arenacee;
- ✓ la terza unità comprende le superfici sub-pianeggianti modellate sui depositi quaternari dell'area continentale, costituiti da sedimenti arenacei, conglomerati.

La prima rappresenta il terreno fondale degli aerogeneratori nn. 1, 2, 14; la seconda degli aerogeneratori nn. 10, 11, 12, 15 e 17; la terza degli aerogeneratori nn. 3÷9, 13 e 16.

L'idrografia dell'area in esame è inserita all'interno di un'area vasta che è compresa nell'Unità Idrografica Omogenea (U.I.O.) del Flumini Mannu e del Cixerri. I corsi idrici si presentano tutti a carattere torrentizio.

Da un punto di vista idrogeologico nell'area che si caratterizza per la presenza di depositi alluvionali poggianti sulle litologie marnose del miocene, non si evidenzia la presenza di una falda superficiale sebbene i depositi alluvionali abbiano le peculiari caratteristiche di porosità e permeabilità determinanti per poter costituire un acquifero.

L'acquifero freatico produttivo e maggiormente sfruttato si individua nel complesso delle litologie arenacee che costituiscono la base della Successione sedimentaria marina del Miocene. Le sabbie e le arenarie

stratificate e spazialmente estese, costituiscono il litotipo ideale per ospitare un acquifero, sono infatti caratterizzate da permeabilità primaria per porosità e fessurazione medio-alta.

Nell'area che si caratterizza per la presenza in affioramento di marne e marne arenacee (Marne di Gesturi), non si evidenzia la presenza di una falda superficiale, infatti le rocce mioceniche marnoso argillose sono ben conosciute per la loro sostanziale impermeabilità che non consente che in esse si stabiliscano acquiferi.

Nell'area in cui si rinvenivano le formazioni carbonifere si esclude la presenza di acquiferi per la loro bassa permeabilità.

Da un punto di vista sismico tutto il territorio regionale ricade in **Zona 4**, contraddistinto da «pericolosità sismica BASSA» a cui corrisponde la normativa antisismica meno severa ed al parametro **ag** è assegnato un valore di **0,025÷0,05 g** da adottare nella progettazione.

Infine si specifica che dal punto di vista idro-geo-morfologico gli interventi in progetto, nelle modalità in cui saranno eseguite non andranno ad alterare l'assetto idraulico e geomorfologico delle aree di interesse.

L'intervento è pertanto compatibile.

Ruffano, gennaio 2024

IL TECNICO

Dr. Geol. Marcello DE DONATIS