

MARTE S.R.L.



Via Degli Arredatori, 8 – 70026 Modugno (BA) – Italy  
[www.bfpgroup.net](http://www.bfpgroup.net) – [info@bfpgroup.net](mailto:info@bfpgroup.net)  
 tel. (+39) 0805046361  
 Azienda con Sistema di Gestione Certificato  
 UNI EN ISO 9001:2015  
 UNI EN ISO 14001:2015  
 UNI ISO 45001:2018

GRE CODE

GRE.EEC.R.21.IT.P.16703.00.055.01

PAGE

1 di/of 41

TITLE: RELAZIONE GEOLOGICA SISMICA

AVAILABLE LANGUAGE: ITA

# IMPIANTO AGRIVOLTAICO DI NULVI

## Progetto definitivo

## Relazione geologica sismica

File: GRE.EEC.R.21.IT.P.16703.00.055.01 Relazione Geologica-Sismica.docx

REV.	DATE	DESCRIPTION	PREPARED	VERIFIED	APPROVED
01	12/09/2022	Revisione	SANTOPIETRO BFP	MIGLIONICO BFP	BISCOTTI BFP
00	20/07/2022	Emissione	SANTOPIETRO BFP	MIGLIONICO BFP	BISCOTTI BFP

### GRE VALIDATION

--	--	--
COLLABORATORS	VERIFIED BY	VALIDATED BY

PROJECT / PLANT Nulvi	GRE CODE																		
	GROUP	FUNCION	TYPE	ISSUER	COUNTRY	TEC	PLANT					SYSTEM	PROGRESSIVE	REVISION					
	GRE	EEC	R	2	1	I	T	P	1	6	7	0	3	0	0	0	5	5	0

CLASSIFICATION

UTILIZATION SCOPE

This document is property of Enel Green Power S.p.A. It is strictly forbidden to reproduce this document, in whole or in part, and to provide to others any related information without the previous written consent by Enel Green Power S.p.A.

**INDICE**

1. PREMESSA .....	5
2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO .....	6
3. ANALISI DEI VINCOLI .....	6
4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA IN ESAME.....	9
4.1 Inquadramento a scala regionale.....	9
4.2 Geologia dell'area di studio .....	11
4.3 Inquadramento geomorfologico .....	13
5. IDROGRAFIA SUPERFICIALE .....	14
6. CAMPAGNA DI INDAGINI EFFETTUATE IN SITO.....	19
6.1 Indagine sismica di tipo MASW .....	20
7. STIMA DELLE CARATTERISTICHE MECCANICHE .....	25
8. INQUADRAMENTO SISMICO .....	26
8.1 Sismicita' storica .....	26
8.2 Strutture Tettoniche attive.....	29
8.3 Pericolosità sismica di base .....	31
8.4 Caratterizzazione sismica.....	34
9. CONCLUSIONI .....	40

**Indice delle figure**

Figura 1: – Localizzazione dell’area di progetto.	5
Figura 2: –Pericolosità geomorfologica da frana e Pericolosità idraulica PAI Sardegna	7
Figura 3: –Pericolo Frana e Pericolo Alluvioni - Art. 8 delle NTA del PAI Sardegna	8
Figura 4: – PSFF 2015 dell’area di studio ( <a href="https://www.sardegnegeoportale.it/webgis2/sardegnamappe/?map=pai">https://www.sardegnegeoportale.it/webgis2/sardegnamappe/?map=pai</a> )	9
Figura 5: Schema tettonico e stratigrafico del Basamento ercinico sardo (Carmignani et al., 1997)	10
Figura 6: Due momenti diversi della rotazione del blocco Sardo-Corso. Formazione degli Appennini ancestrali e trascinarsi verso Est di una piccola porzione di catena alpina (in seguito andrà a formare gran parte della Calabria e i monti Peloritani in Sicilia). Le linee in nero indicano zone di distensione della crosta, mentre la linea in rosso indica la subduzione di litosfera africana sotto a quella europea.	11
Figura 7: – Stralcio della Carta geologica di base della Sardegna in scala 1:25.000 (in rosso strutture tettoniche) ( <a href="http://www.sardegnegeoportale.it/webgis2/sardegnamappe/?map=mappetematiche">http://www.sardegnegeoportale.it/webgis2/sardegnamappe/?map=mappetematiche</a> )	12
Figura 8: – Stralcio della Carta litologica della Sardegna in scala 1:25.000 ( <a href="http://www.sardegnegeoportale.it/webgis2/sardegnamappe/?map=mappetematiche">http://www.sardegnegeoportale.it/webgis2/sardegnamappe/?map=mappetematiche</a> )	14
Figura 9: Particolare della Idrografia estratta dal Database geotopografico della Sardegna in prossimità dell’area di studio in rosso ( <a href="http://www.sardegnegeoportale.it/areetematiche/databasegeotopografico/">http://www.sardegnegeoportale.it/areetematiche/databasegeotopografico/</a> )	14
Figura 10: Stralcio Tav. 5.9 – Unità idrografica Omogenea (UIO) - Coghinas (PTA Regione Sardegna <a href="https://www.regione.sardegna.it/j/v/25?s=26283&amp;v=2&amp;c=9&amp;t=1">https://www.regione.sardegna.it/j/v/25?s=26283&amp;v=2&amp;c=9&amp;t=1</a> )	15
Figura 11: Stralcio Tav. 2 – Idrografia superficiale (PTA Regione Sardegna <a href="https://www.regione.sardegna.it/j/v/25?s=26283&amp;v=2&amp;c=9&amp;t=1">https://www.regione.sardegna.it/j/v/25?s=26283&amp;v=2&amp;c=9&amp;t=1</a> )	16
Figura 12: Stralcio Tav. 4d – Acquiferi Vulcanici Terziari (PTA Regione Sardegna <a href="https://www.regione.sardegna.it/j/v/25?s=26283&amp;v=2&amp;c=9&amp;t=1">https://www.regione.sardegna.it/j/v/25?s=26283&amp;v=2&amp;c=9&amp;t=1</a> )	17
Figura 13: Stralcio Tav. 4c – Acquiferi Sedimentari Terziari (PTA Regione Sardegna <a href="https://www.regione.sardegna.it/j/v/25?s=26283&amp;v=2&amp;c=9&amp;t=1">https://www.regione.sardegna.it/j/v/25?s=26283&amp;v=2&amp;c=9&amp;t=1</a> )	17
Figura 14: – Posizione pozzo Ispra su carta geologica delle Sardegna ed ubicazione delle indagini sismiche effettuate	18
Figura 15: – Posizione indagini eseguite	20
Figura 16: – Storia sismica del comune di Nulvi estrapolata dal Database Macrosismico Italiano 2015 dell’INGV. Alcuni effetti non sono esprimibili tramite scala MCS per cui vengono utilizzati codici alternativi come: F = avvertito (felt) in caso in cui si ritenga di escludere che si siano verificati danni ( $3 \leq IMCS \leq 5$ ); NF = non avvertito (not felt) in presenza di segnalazione esplicita è equiparabile a IMCS = 1. figure a), b) e c)	27
Figura 17: – Intensità registrate in seguito al sisma del 2000 del Tirreno centrale dal Catalogo parametrico dei terremoti italiani 2015 (CPTI15) dell’INGV	28
Figura 18: – Lista degli eventi di $M \leq 1$ avvenuti dal 1985 ad oggi entro un raggio di 60 km dal Comune di Nulvi (SS) da INGV.	28
Figura 19: – Database Ithaca con individuazione delle strutture tettoniche attive in Italia (cerchio in rosso =area di studio <a href="http://sgi2.isprambiente.it/ithacaweb/viewer/">http://sgi2.isprambiente.it/ithacaweb/viewer/</a> )	29
Figura 20: – Database DISS 3.3.0 ubicazione delle sorgenti sismogenetiche nell’area di studio - <a href="https://doi.org/10.13127/diss3.3.0">https://doi.org/10.13127/diss3.3.0</a> (cerchio in rosso).	30
Figura 21: – Zonazione sismogenetica ZS9 con indicazione dell’area di studio (da <a href="http://www.ingv.it">www.ingv.it</a> )	31

**MARTE S.R.L.**



Via Degli Arredatori, 8 – 70026 Modugno (BA) – Italy  
[www.bfpgroup.net](http://www.bfpgroup.net) – [info@bfpgroup.net](mailto:info@bfpgroup.net)  
tel. (+39) 0805046361  
**Azienda con Sistema di Gestione Certificato**  
**UNI EN ISO 9001:2015**  
**UNI EN ISO 14001:2015**  
**UNI ISO 45001:2018**

GRE CODE

**GRE.EEC.R.21.IT.P.16703.00.055.01**

PAGE

**4 di/of 41**

*Figura 22: – Stralcio della classificazione sismica (marzo 2022)*

32

*Figura 23: – Mappa dell'accelerazione massima al suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi ( $V_{s30} > 800\text{m/s}$  Cat. A).*

33

## 1. PREMESSA

Il presente studio geologico, e quindi l'analisi geologica e geomorfologica, ha lo scopo di inquadrare l'origine e la natura dei terreni dell'area di progetto, sui quali verrà realizzato un impianto fotovoltaico proposto dalla società **MARTE srl**.

La proposta progettuale è finalizzata alla realizzazione di un impianto fotovoltaico per la produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile da realizzarsi nel territorio di Nulvi (SS), mentre l'elettrodotto esterno rientra anche nel territorio comunale dei Sedini (SS) mentre la Stazione Terna ricadono nel territorio comunale di Tergu (SS).

Per tali aree, lo studio persegue il fine di fornire un panorama delle conoscenze del territorio ed effettuare una valutazione generale per la caratterizzazione dei terreni interessati dall'opera in oggetto.

Lo scopo del documento è quello di fornire i seguenti elementi:

- inquadramento geologico e geomorfologico dell'area di progetto;
- caratterizzazione geotecnica preliminare e caratterizzazione sismica dei terreni.

Ovviamente, il carattere preliminare del seguente lavoro richiederà una campagna di indagini dirette ed indirette puntuali e di dettaglio, da programmare ed effettuare nelle successive fasi di progettazione.

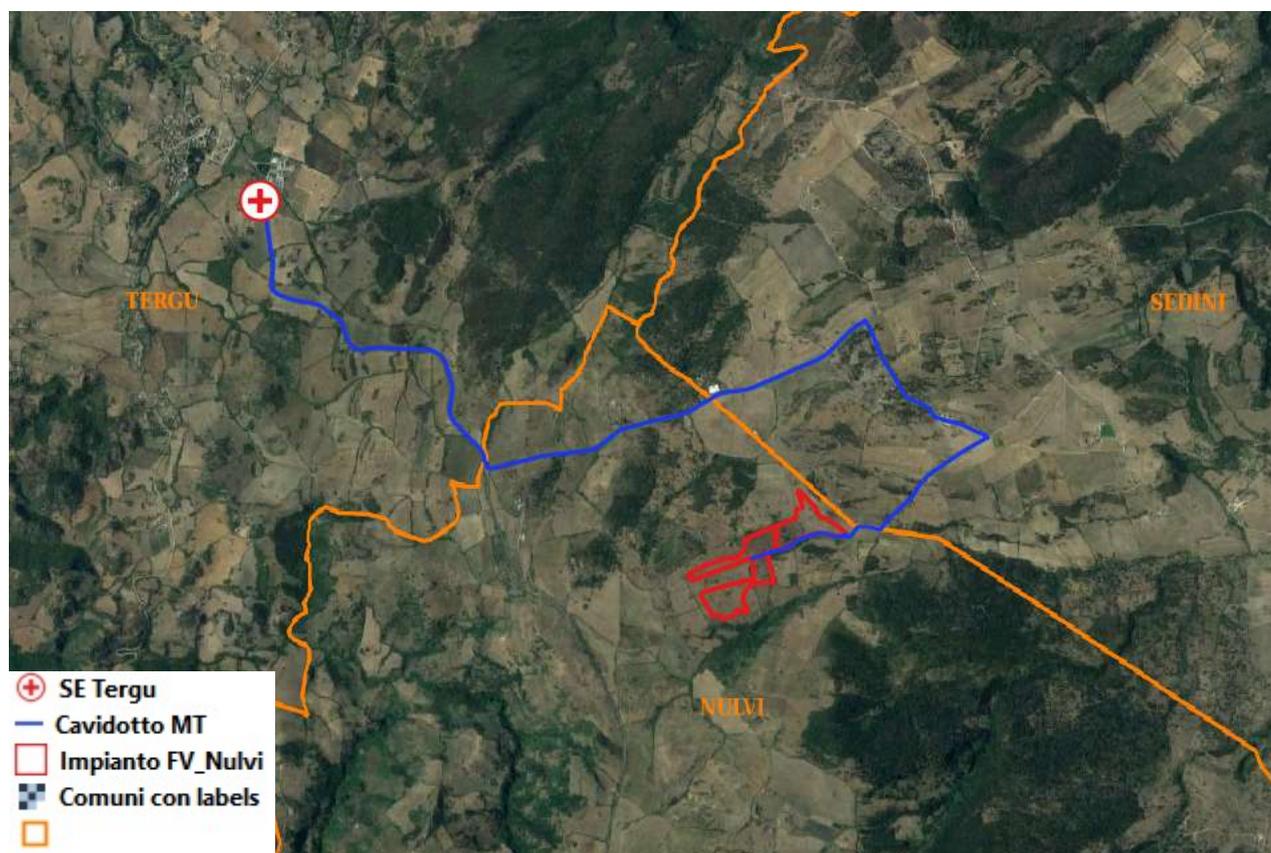


Figura 1: – Localizzazione dell'area di progetto.

Il sito di progetto è catastalmente individuato alle particelle 84, 82, 146, 9 e 4 del foglio 5 del Comune di Nulvi (SS).

Ad integrazione dello studio geologico e geomorfologico, ai fini della ricostruzione stratigrafica e della caratterizzazione sismica dei terreni, oltre ai rilievi in campagna è stata eseguita una campagna di indagini in sito così articolata:

**Indagini in sito**

- n°3 Indagine sismica tipo MASW (Multichannel Analysis Surface Waves);

Alla presente relazione si allega:

- GRE.EEC.R.25.IT.P.16703.49.001.00\_Indagini Geofisiche (Nulvi).

**2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO**

L'impianto di progetto sarà ubicato a nord della Regione Sardegna, in un'area sub pianeggiante con quote altimetriche molto contenute, comprese all'interno dell'area di progetto tra 399 e 474 m.s.l.m, a una distanza dai seguenti centri abitati:

- circa 5 km a nord da Nulvi (SS);
- circa 4 km a est da Sedini (SS);
- circa 4 km a sud da Tergu (SS).

Il sito di impianto è delimitato geograficamente a ovest dalla strada provinciale SP17, ad a nord dalla strada provinciale SP143.

**3. ANALISI DEI VINCOLI**

Sono stati analizzati gli eventuali vincoli che ricadono nell'area di intervento.

Come si evince dalla seguente immagine, l'area dell'impianto non interferisce con le perimetrazioni delle aree perimetrate dall'AdB.

L'area oggetto di studio vincolistico non è interessata da areali a pericolosità geomorfologica ed idraulica. Mentre il cavidotto esterno interseca un areale a pericolosità idraulica molto elevata **Hi4** lungo la viabilità esistente. A tal proposito, sarà opportuno consultare lo Studio di compatibilità idraulica.

Ai sensi dell'art.27 "Disciplina delle aree di pericolosità idraulica molto elevata (**Hi4**)" delle NTA 2020 del PAI:

[...] 3. In materia di infrastrutture a rete o puntuali pubbliche o di interesse pubblico nelle aree di pericolosità idraulica molto elevata sono consentiti esclusivamente:

- c. gli interventi di adeguamento per l'integrazione di innovazioni tecnologiche;
- e. gli interventi di ampliamento e ristrutturazione di infrastrutture a rete e puntuali riferite a servizi pubblici essenziali non delocalizzabili, che siano privi di alternative progettuali tecnicamente ed economicamente sostenibili e siano dichiarati essenziali;
- h. allacciamenti a reti principali e nuovi sottoservizi a rete interrati lungo tracciati stradali esistenti, ed opere connesse compresi i nuovi attraversamenti.

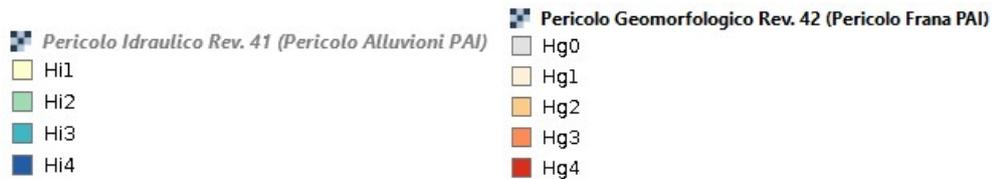
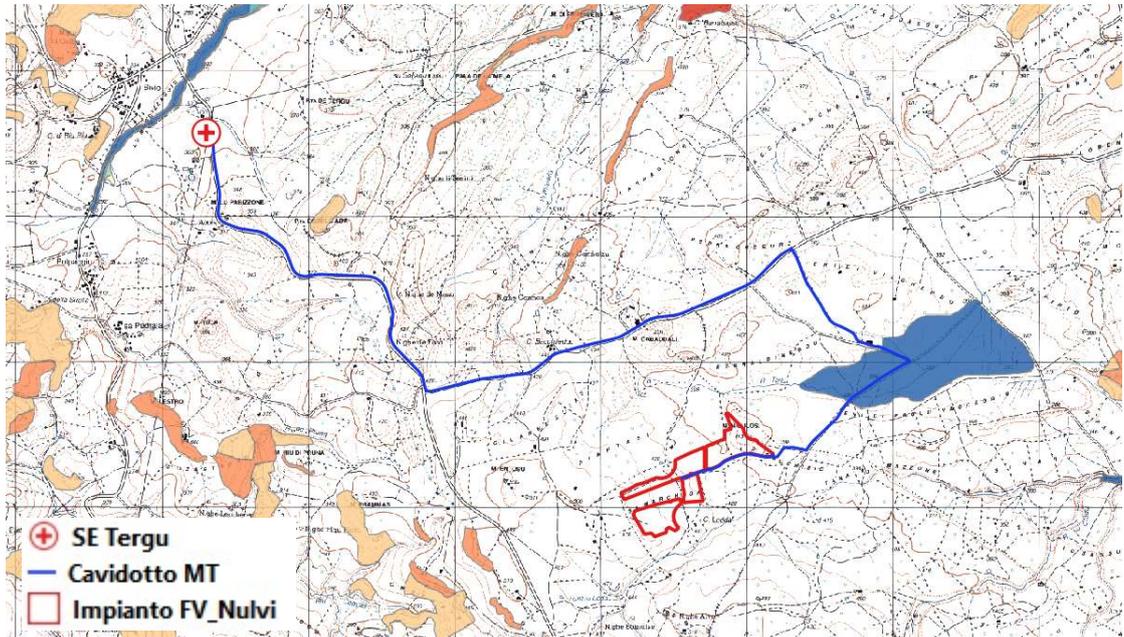
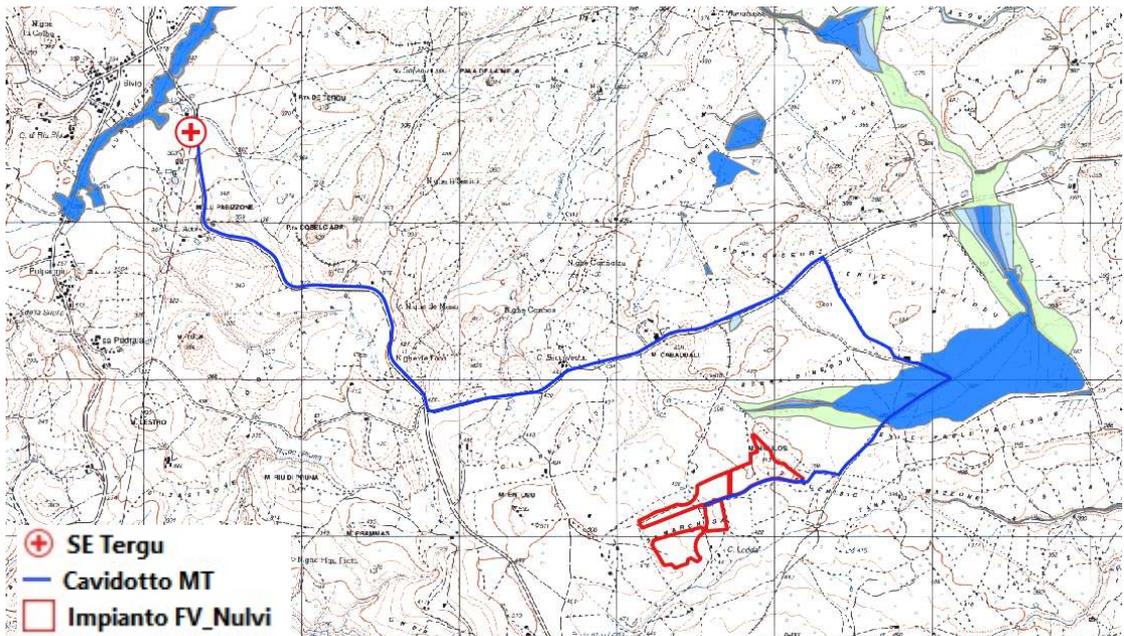


Figura 2: -Pericolosità geomorfologica da frana e Pericolosità idraulica PAI Sardegna  
 (<https://www.sardegnaeoportale.it/webgis2/sardegnamappe/?map=pai>)



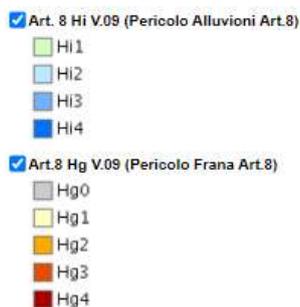


Figura 3: –Pericolo Frana e Pericolo Alluvioni - Art. 8 delle NTA del PAI Sardegna  
(<https://www.sardegnaigeoportale.it/webgis2/sardegnamappe/?map=pai>)

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. Per tutti i corsi d'acqua analizzati dal P.S.F.F. sono state individuate le seguenti fasce d'inondazione:

- Fascia A2: aree inondabili con tempo di ritorno  $T=2$  anni (pericolosità Hi4 del P.A.I.);
- Fascia A50: aree inondabili con tempo di ritorno  $T=50$  anni (pericolosità Hi4 del P.A.I.);
- Fascia B100: aree inondabili con tempo di ritorno  $T=100$  anni (pericolosità Hi3 del P.A.I.);
- Fascia B200: aree inondabili con tempo di ritorno  $T=200$  anni (pericolosità Hi2 del P.A.I.);
- Fascia C: aree inondabili con tempo di ritorno  $T=500$  anni o superiore, comprensiva anche di eventi storici eccezionali, e, nel caso siano più estese, comprendenti anche le aree storicamente inondate e quelle individuate mediante analisi geomorfologica.

Il cavidotto ricade parzialmente in Fascia geomorfologica C, come di seguito illustrato.

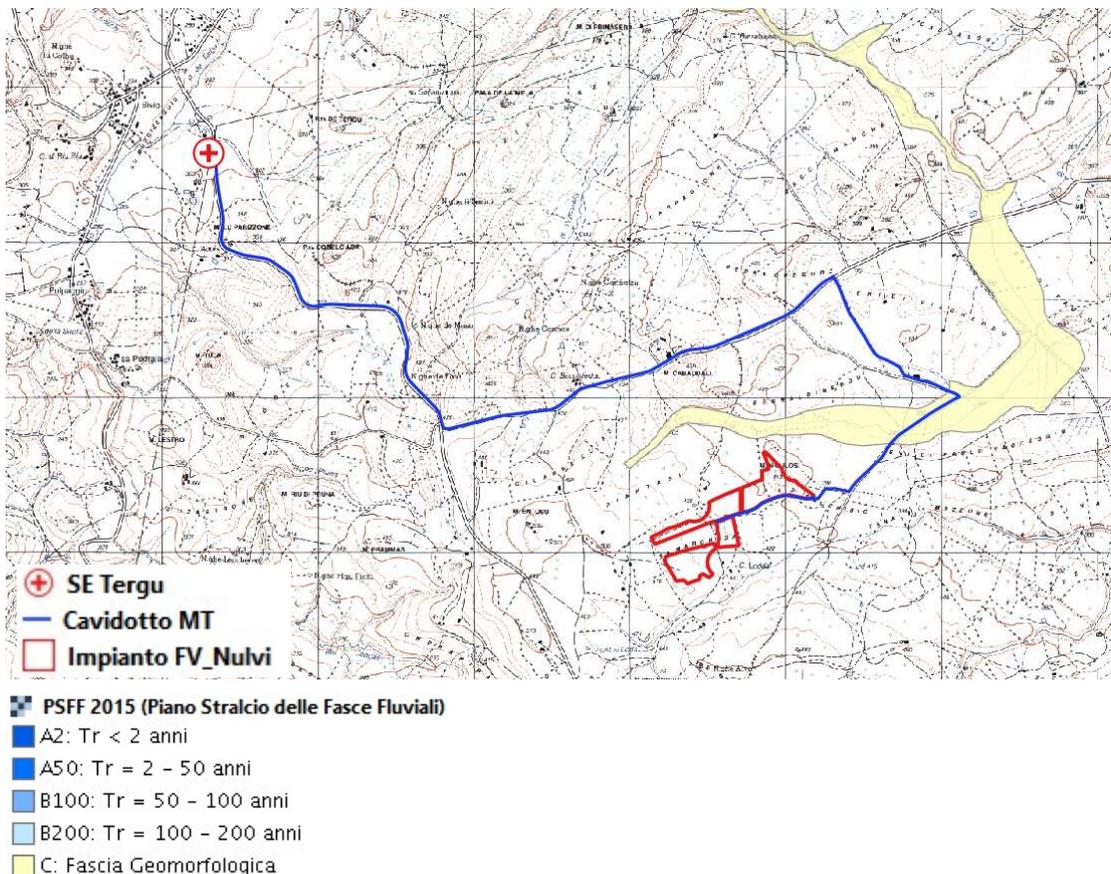


Figura 4: – PSFF 2015 dell'area di studio  
 (<https://www.sardegnaeoportale.it/webgis2/sardegnamappe/?map=pai>)

#### 4. **INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA IN ESAME**

##### 4.1 **INQUADRAMENTO A SCALA REGIONALE**

La Sardegna per la sua attuale posizione al centro del Mediterraneo occidentale riflette una storia geologica molto articolata, che testimonia, in maniera più o meno completa, alcuni dei grandi eventi geodinamici degli ultimi 400 milioni di anni. Infatti vi affiorano rocce sedimentarie, vulcaniche, intrusive, metamorfiche, quasi senza soluzione di continuità.

Il passato geologico della Sardegna è caratterizzato da più periodi evolutivi, ciascuno dei quali apporta sostanziali cambiamenti strutturali fino a raggiungere l'assetto attuale.

La storia geologica dell'intera regione è rappresentata e descritta nella Carta Geologica della Sardegna in scala 1:200.000, edita nel 1997 a cura del Servizio Geologico Nazionale e della Regione Autonoma della Sardegna.

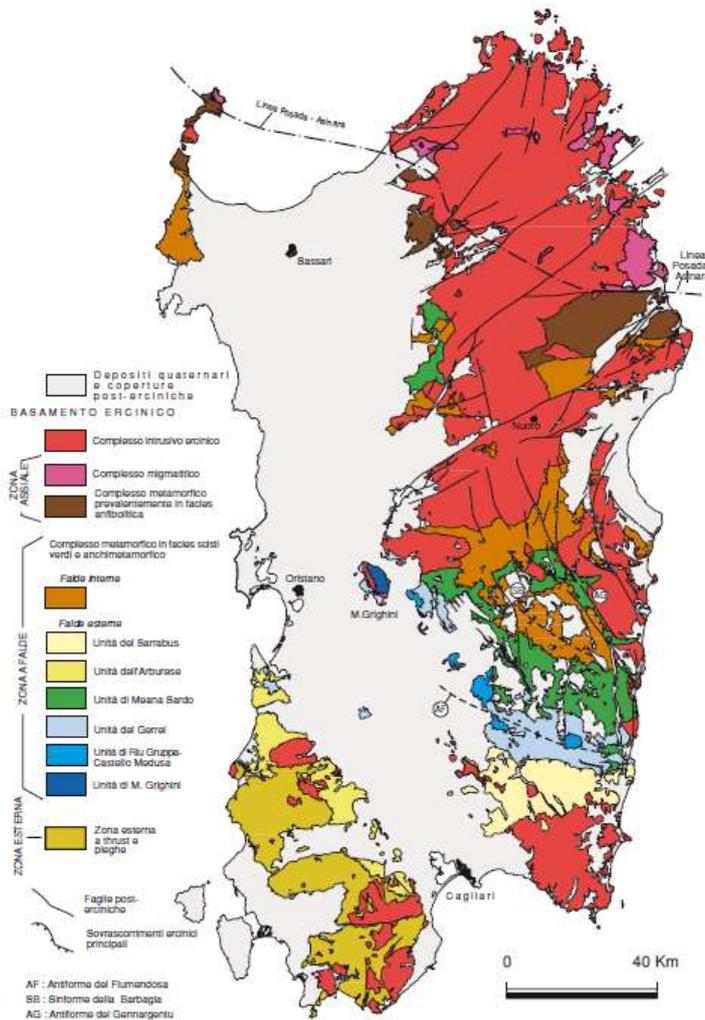


Figura 5: Schema tettonico e stratigrafico del Basamento ercinico sardo (Carmignani et al., 1997)

Le rocce affioranti più antiche, che hanno età compresa tra il Precambriano ed il Paleozoico superiore, mostrano un metamorfismo variabile da quello di alto fino a quello di basso grado e deformazioni che si sono prodotte fin dall'orogenesi caledoniana (490-390 milioni di anni fa) ma soprattutto durante quella ercinica (350 e 250 milioni di anni fa).

Nel tardo Paleozoico la collisione delle placche continentali di Laurasia e Gondwana produce l'orogenesi ercinica. Durante questo periodo, compreso tra il Carbonifero inf. ed il Permiano, le spinte orogenetiche della fase ercinica incominciano ad interessare anche la Sardegna.

Oltre a ciò, l'orogenesi ercinica causa importanti deformazioni tettoniche e produce imponenti attività magmatiche di tipo intrusivo ed effusivo, con conseguenti processi di metamorfismo termico sulle rocce di contatto.

In Sardegna gli affioramenti di rocce magmatiche sono molto estesi e costituiscono quasi un terzo della superficie dell'isola; si tratta essenzialmente di un complesso intrusivo tardoercinico, indicante un ambiente di margine convergente di arco insulare che si è formato, come detto in precedenza, nel Carbonifero-Permiano.

La formazione del rift è associata alla fase tettonica distensiva collegata alla rotazione del Blocco Sardo Corso e la sua apertura è legata a due importanti fenomeni della geologia sarda oligo-miocenica: un'intensa attività vulcanica che ha messo in posto potenti spessori di

prodotti lavici e piroclastici, e varie ingressioni marine che hanno portato alla formazione di importanti coltri sedimentarie e vulcano sedimentarie. I sedimenti correlati a questa fase tettonica comprendono due cicli sedimentari principali. Il primo ciclo ha un'età che va dal Burdigaliano superiore al Langhiano e comprende sabbie alla base, seguite da calcari litorali e da marne di ambiente marino più profondo; tale sequenza poggia con contatto trasgressivo sulle vulcaniti sottostanti ed è interrotta superiormente da una superficie di erosione. Il secondo ciclo sedimentario, che arriva fino al Tortoniano-Messiniano, inizia anch'esso con sabbie di ambiente fluvio-marino e prosegue con calcari bioclastici di piattaforma interna. Questa collisione provocò una serie di accavallamenti della crosta che portarono alla formazione di una catena montuosa che possiamo definire come Appennini ancestrali.

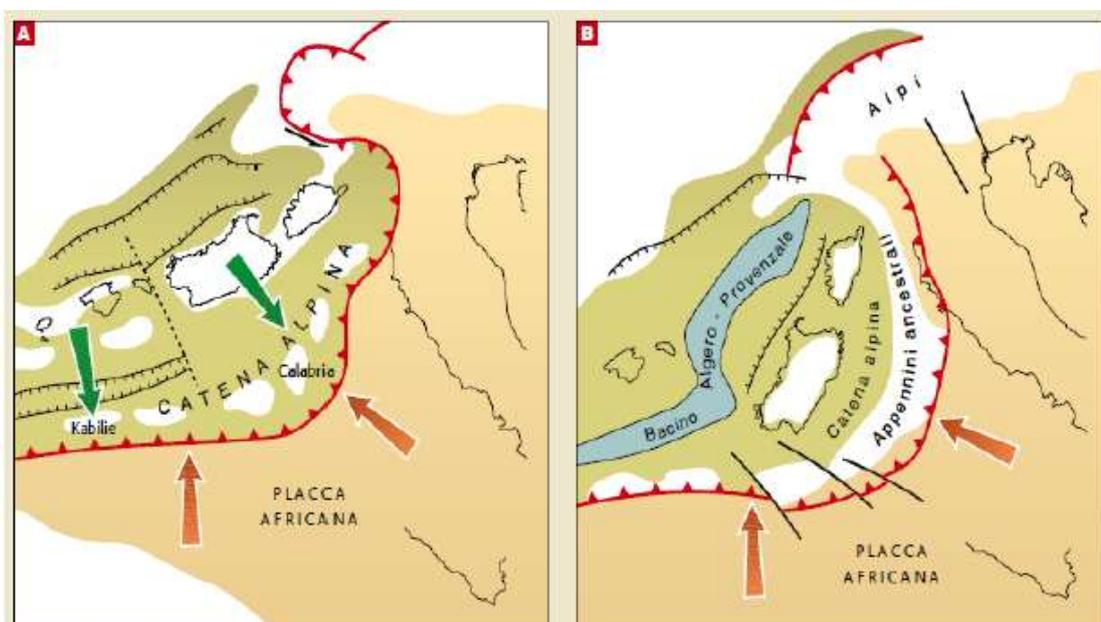


Figura 6: Due momenti diversi della rotazione del blocco Sardo-Corso. Formazione degli Appennini ancestrali e trascinamento verso Est di una piccola porzione di catena alpina (in seguito andrà a formare gran parte della Calabria e i monti Peloritani in Sicilia). Le linee in nero indicano zone di distensione della crosta, mentre la linea in rosso indica la subduzione di litosfera africana sotto a quella europea.

Le formazioni geologiche presenti nei territori studiati sono interessate da terreni sedimentari marini miocenici, e da litologie vulcaniche e vulcano-sedimentarie oligo-mioceniche, ricoperte discontinuamente dai depositi sedimentari fluvio-deltizi del Miocene.

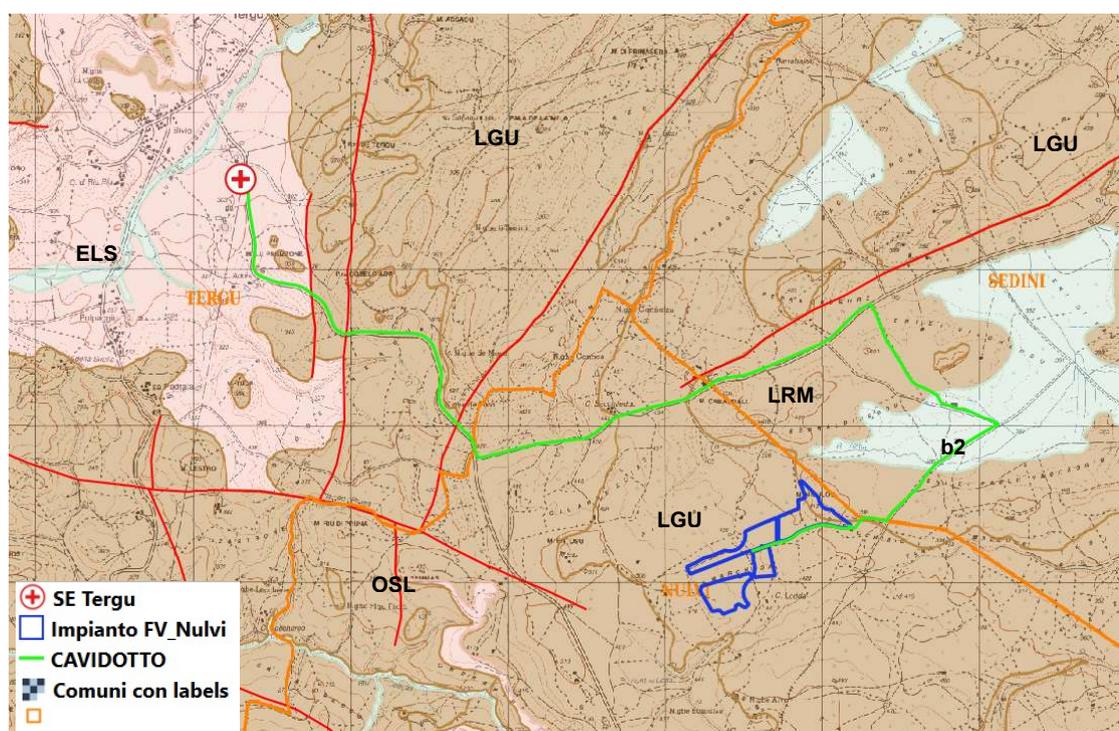
#### 4.2 GEOLOGIA DELL'AREA DI STUDIO

L'area oggetto di studio ricade nel territorio comunale di Nulvi (SS) mentre il punto di connessione alla Stazione Elettrica rientra nel territorio comunale di Tergu (SS), su un'area con morfologia sub pianeggiante nella porzione nord occidentale, dell'isola con quote variabili intorno ai 399-474 m s.l.m.

Il Progetto "Carta Geologica di base della Sardegna in scala 1:25.000" ha inteso realizzare una carta geologica omogenea ed estesa a tutta l'Isola, adeguata agli obiettivi di pianificazione del Piano Paesaggistico Regionale (PPR) e conforme alle indicazioni del Servizio Geologico d'Italia.

La geologia è stata rappresentata a scala 1:25.000, scala di compromesso tra la disomogeneità del dato di base e la necessità di disporre una cartografia unica ed omogenea per l'intera Isola.

L'area dell'impianto poggia sui depositi piroclastici dell'UNITÀ DI LOGULENTU (LGU) e per una piccola parte rientra sui depositi epiclastici della FORMAZIONE DEL RIO MINORE (LRM).



- b<sub>2</sub> (Olocene)
- LRM-LGU (Burdigaliano)
- OSL (Aquitano-Burdigaliano)
- ELS (Oligocene-Aquitano)

Figura 7: – Stralcio della Carta geologica di base della Sardegna in scala 1:25.000 (in rosso strutture tettoniche) (<http://www.sardegnaeoportale.it/webqis2/sardegnamappe/?map=mappetematiche>)

Nella Carta geologica di Base della Sardegna 1:25.000 sono definiti come:

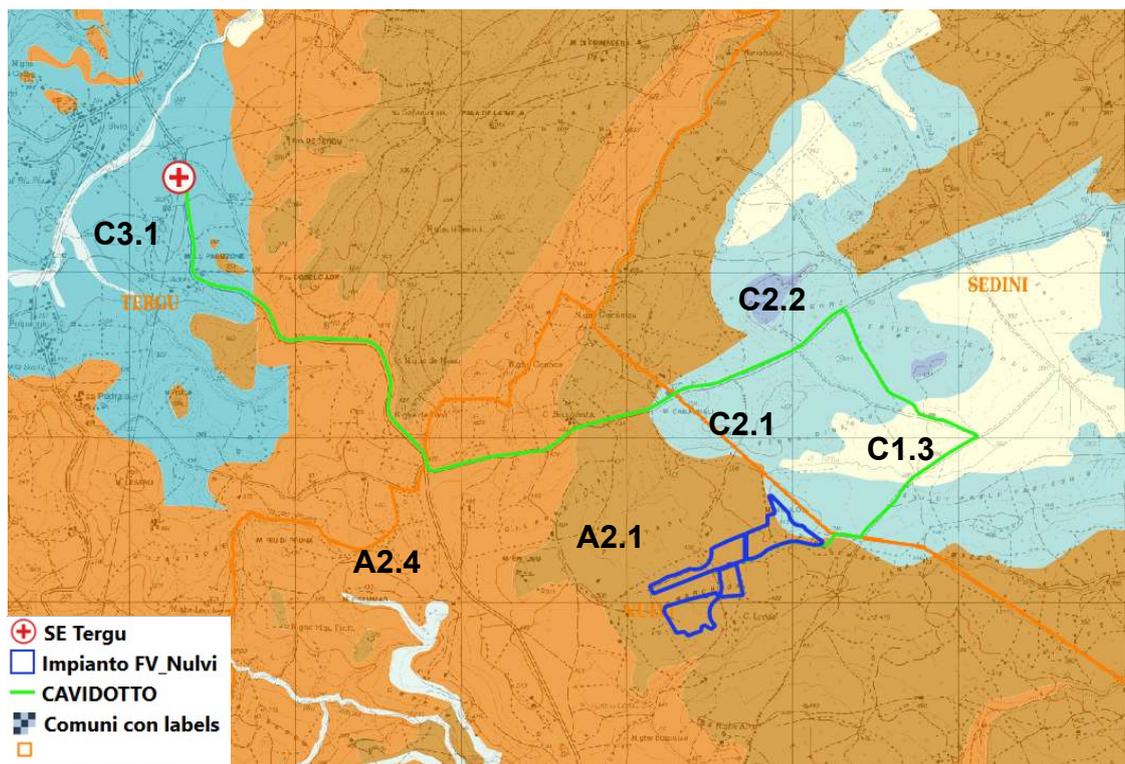
- **Coltri eluvio-colluviali (b<sub>2</sub>)** Sabbie limo-argillose con clasti detritici medio-fini, massive, più o meno intensamente pedogenizzate, spessore 1-3 m. OLOCENE.
- **FORMAZIONE DEL RIO MINORE (LRM)** Depositi epiclastici con intercalazioni di selci, siltiti e marne con resti di piante, conglomerati, e calcari silicizzati di ambiente lacustre. Spessore variabile, fino ad un massimo di circa 100 m. BURDIGALIANO.
- **UNITÀ DI LOGULENTU (LGU)** Depositi di flusso piroclastico, da violacei a rossastri in facies ignimbratica, pomiceo-cineritici, saldati, con tessitura macroeutattica. Spessore fino a 25 m. BURDIGALIANO.

- **UNITÀ DI OSILO (OSL)** Andesiti porfiriche grigio scure per fenocristalli di Pl, Am, e Px; in genere massive, in cupole di ristagno e colate. Intercalati alle colate depositi piroclastici di caduta. Spessori in affioramento fino a 500 m ed oltre. AQUITANIANO – BURDIGALIANO.

- **FORMAZIONE DI CASTELSARDO (ESL)** Arenarie e sabbie, argille siltose, tufti, conglomerati, tufi talora alterati, con intercalazioni di marne più o meno siltose, fossilifere per abbondanti malacofaune (pettinidi, echinidi, gasteropodi, pteropodi). Calcari grigi. OLIGOCENE SUP.-AQUITANIANO.

### 4.3 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

Sempre dalla carta litologica della Sardegna in scala 1:25.000 la maggior parte dell'area di studio ricade su Rioliti e Riodaciti (A2.1), su depositi carbonatici lacustri e lagunari (C2.1) (Calcari, Dolomie, Calcari silicizzati, Travertini) La Stazione Elettrica Tergu ricade su depositi vulcano-sedimentari di ambienti fluvio-lacustri e lagunari ed indistinti (C3.1).



■ A2.1 - Rioliti e Riodaciti

■ A2.4 - Andesiti e Andesiti basaltiche

■ C1.3 - Depositi terrigeni continentali legati a gravità

{detriti di versante, frane, coltri eluvio-colluviali, "debris avalanches", brecce}

■ C2.1 - Depositi carbonatici lacustri e lagunari

{Calcari, Dolomie, Calcari silicizzati, Travertini}

■ C2.2 - Depositi carbonatici marini

{Marne, Calcari, Calcari dolomitici, Calcari oolitici, Calcari bioclastici, Calcareniti}

■ C3.1 - Depositi vulcano-sedimentari di ambienti fluvio-lacustri e lagunari

{Epiclastiti, Tufiti, Tufi, Cineriti, Vulcaniti, sedimenti clastici{sabbioso-siltoso-arenacei} e indistinti

Figura 8: - *Stralcio della Carta litologica della Sardegna in scala 1:25.000*  
 (<http://www.sardegnageoportale.it/webgis2/sardegnamappe/?map=mappetematiche>)

L’analisi geomorfologica dell’area non evidenzia indizi di franosità, né elementi geomorfologici che rappresentino una predisposizione ad instabilità in atto o potenziale.

Sui terreni più erodibili le valli si ampliano e originano un paesaggio collinare con versanti più dolci e piccoli dossi isolati. Dal punto di vista geomorfologico, le creste rocciose, le dorsali e i massicci rocciosi, separati da vaste zone di spianamento ed incisioni fluviali, seguono l’andamento delle principali linee tettoniche e sono il risultato dell’azione congiunta dei processi di alterazione chimica e meccanica ad opera degli agenti atmosferici, e di dilavamento ad opera delle acque superficiali.

**5. IDROGRAFIA SUPERFICIALE**

I reticoli idrografici sono a lineamento parallelo alla linea di costa, nella parte iniziale, per poi virare quasi ad angolo retto per proseguire verso il mare in maniera ortogonale alla linea di costa seguendo l’andamento delle faglie minori e fratture.

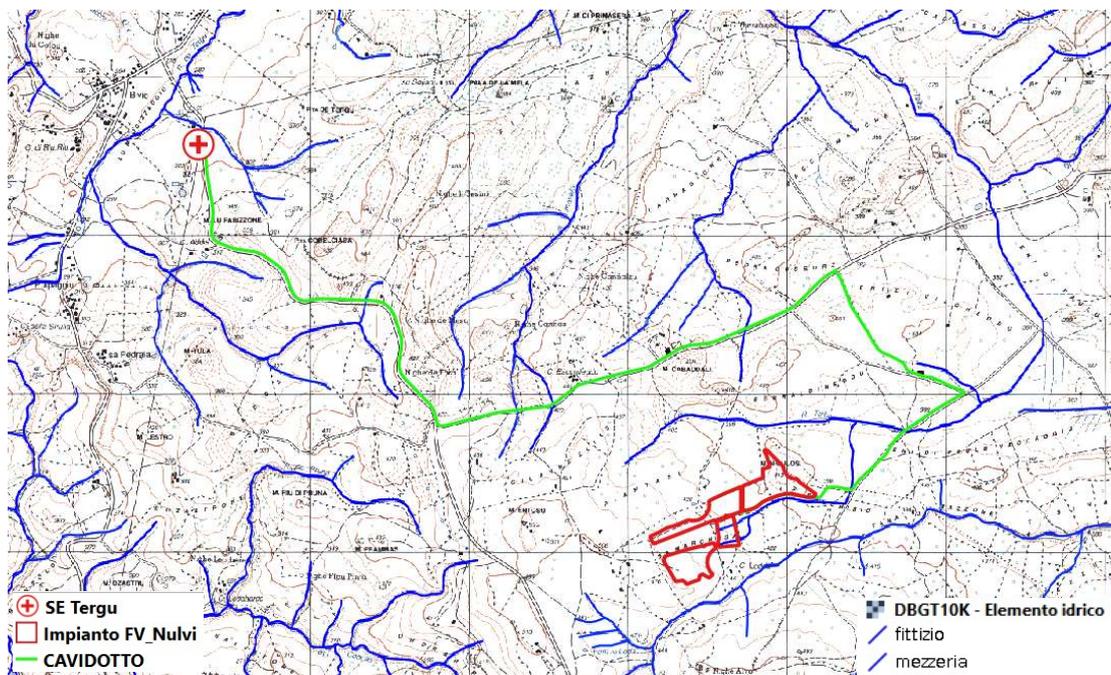
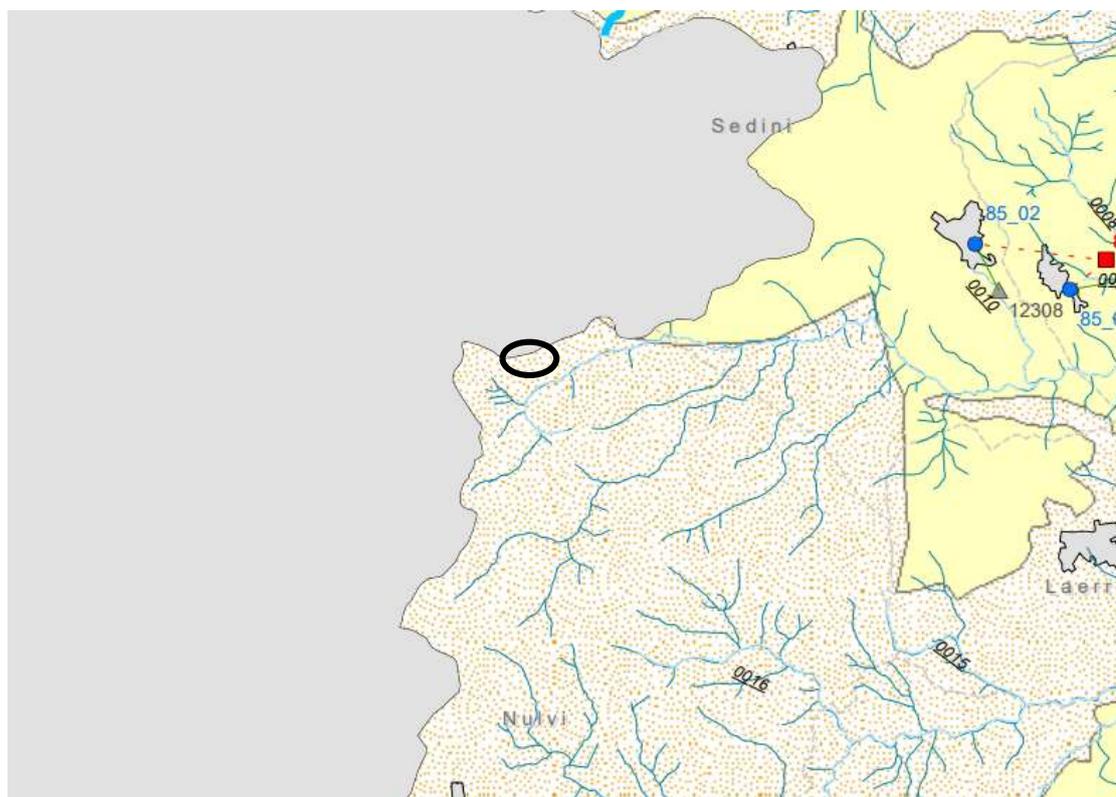


Figura 9: *Particolare della Idrografia estratta dal Database geotopografico della Sardegna in prossimità dell’area di studio in rosso* (<http://www.sardegnageoportale.it/areetematiche/databasegeotopografico/>)

I corsi d'acqua della Sardegna hanno un regime prevalentemente torrentizio, caratterizzati da periodi di secca durante il periodo estivo (caldo e poco piovoso) e periodi di piena durante la stagione invernale (mite e piovosa).

L'area di studio ricade tra le Unità Idrografica Omogenea (U.I.O.) di "Mannu di Porto Torres" e "Coghinas", rispettivamente Tav. 5.8 e 5.9 del Piano di Tutela delle Acque "PTA" Sardegna (<https://www.regione.sardegna.it/index.php?xsl=510&s=149030&v=2&c=8376&t=1&tb=8374&st=13>).



**Acquiferi**

-  Acquiferi Plio Quaternari
-  Acquiferi Vulcanici Plio Quaternari
-  Acquiferi Sedimentari Terziari
-  Acquiferi Vulcanici Terziari
-  Acquiferi Carbonatici Mesozoici Paleozoici

Figura 10: Stralcio Tav. 5.9 – Unità idrografica Omogenea (UIO) - Coghinas (PTA Regione Sardegna <https://www.regione.sardegna.it/j/v/25?s=26283&v=2&c=9&t=1>)

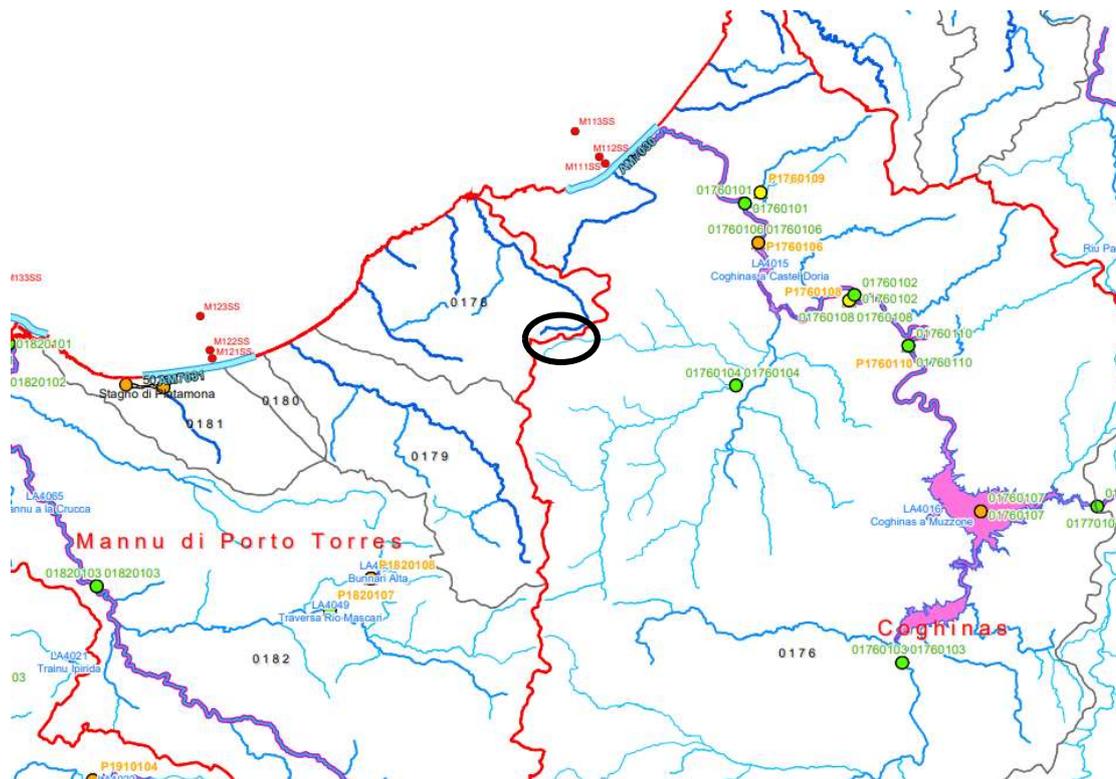


Figura 11: Stralcio Tav. 2 – Idrografia superficiale (PTA Regione Sardegna  
<https://www.regione.sardegna.it/j/v/25?s=26283&v=2&c=9&t=1>)

L'area in oggetto ricade, a Ovest, all'interno degli "Acquiferi Vulcanici Terziari", in particolare fa parte dell'"Acquifero delle Vulcaniti Oligo-Mioceniche della Sardegna Nord-Occidentale" (Tav. 4d del PTA Sardegna) e degli "Acquiferi sedimentari Terziari" cioè nell'"Acquifero Detritico-Carbonatico Oligo-Miocenico del Sassarese (Tav. 4c del PTA Sardegna)

Il reticolo idrografico è influenzato dalla differente erodibilità dei terreni affioranti, in particolare tra le formazioni piroclastiche ed i calcari.

Finalità fondamentale del Piano di Tutela delle Acque è quella di costituire uno strumento conoscitivo, programmatico, dinamico attraverso azioni di monitoraggio, programmazione, individuazione di interventi, misure, vincoli, finalizzati alla tutela integrata degli aspetti quantitativi e qualitativi della risorsa idrica.

Considerando che si tratta di opere il cui esercizio non prevede emungimenti e/o prelievi ai fini potabili, irrigui o industriali, il progetto risulta compatibile e coerente con le misure previste dalle NTA del P.T.A.



Figura 12: Stralcio Tav. 4d – Acquiferi Vulcanici Terziari (PTA Regione Sardegna <https://www.regione.sardegna.it/j/v/25?s=26283&v=2&c=9&t=1>)

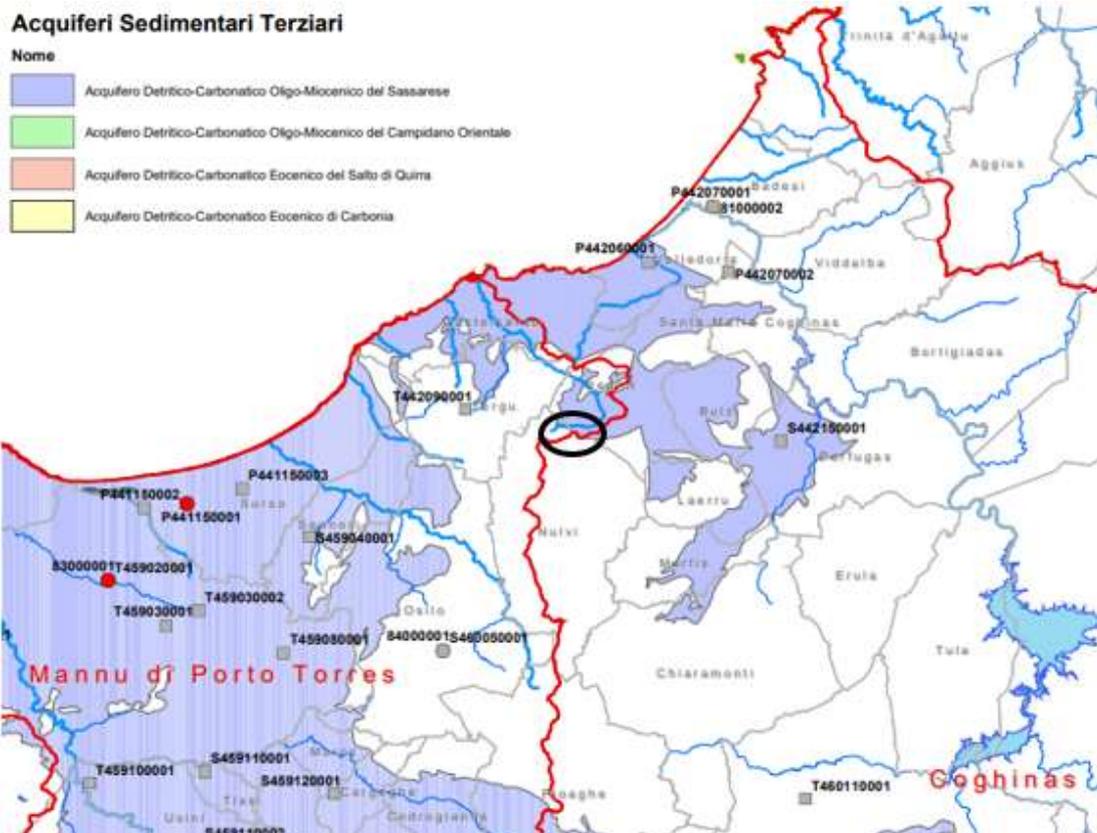


Figura 13: Stralcio Tav. 4c – Acquiferi Sedimentari Terziari (PTA Regione Sardegna <https://www.regione.sardegna.it/j/v/25?s=26283&v=2&c=9&t=1>)

**CONSULTAZIONE DATABASE DEL PORTALE NAZIONALE SGI ISPRA**

Per un maggior livello di approfondimento dell'area di studio, sia da un punto di vista geologico che idrogeologico, è stato consultato il database del Portale Nazionale SGI delle indagini di sottosuolo "Archivio nazionale delle indagini nel sottosuolo (Legge 464/1984) - ISPRA" (<http://sgi2.isprambiente.it/viewersgi2/>), ricadenti sulla stessa litologia e nelle vicinanze dell'area dell'impianto.

I terreni interessati sono caratterizzati da depositi di flusso piroclastico, in facies ignimbrítica, pomiceo-cineritici, saldati, con tessitura macroeutaxitica.

In zona è presente un pozzo, censito dall'ISPRA n° 171293.

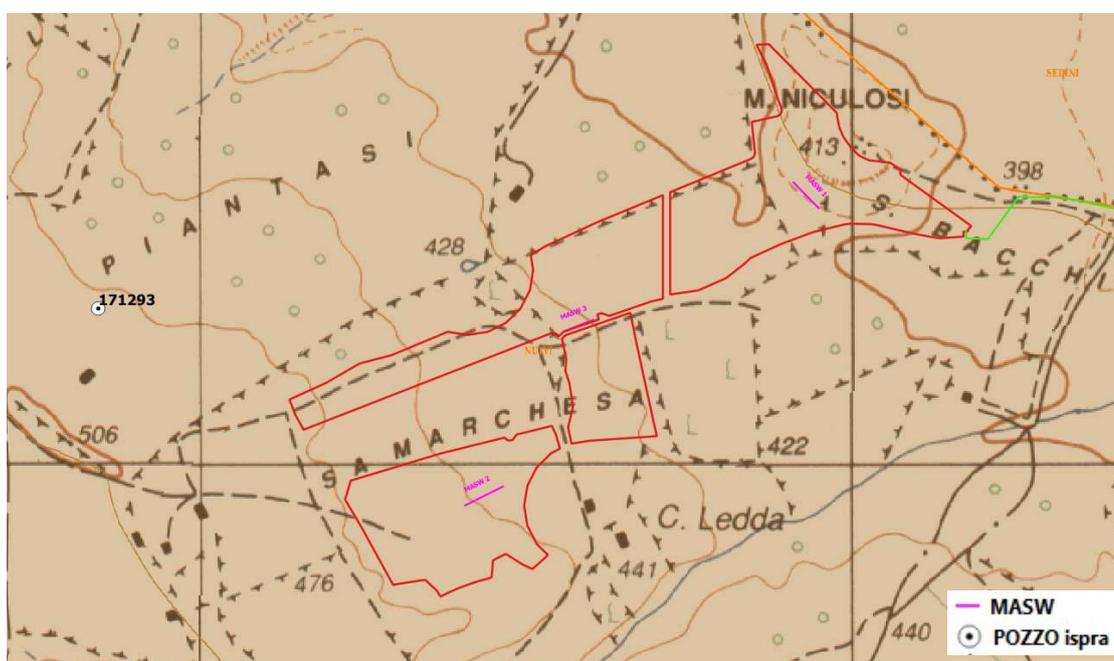


Figura 14: – Posizione pozzo Ispra su carta geologica delle Sardegna ed ubicazione delle indagini sismiche effettuate

Alcune informazioni circa la stratigrafia e la profondità del livello piezometrico della zona.

- **Pozzo n.171293:** vicino (circa 650 m) dalle prove MASW 2 e MASW 3;

## FALDE ACQUIFERE

Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)
2	112,00	114,00	2,00
1	80,00	82,00	2,00

## MISURE PIEZOMETRICHE

Data rilevamento	Livello statico (m)	Livello dinamico (m)	Abbassamento (m)	Portata (l/s)
ott/1993	53,00	80,00	27,00	0,800

## STRATIGRAFIA

Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Spessore (m)	Età geologica	Descrizione litologica
1	0,00	6,00	6,00		TERRA VEGETALE
2	6,00	131,00	125,00		BASALTI

## 6. CAMPAGNA DI INDAGINI EFFETTUATE IN SITO

**Indagini di tipo indiretto**, sono per lo più indagini geofisiche, nel dettaglio tecniche di indagine, capaci di fornire un'immagine globale e continua del sottosuolo sulla base della distribuzione dei parametri fisici misurati:

- **Indagini sismiche di tipo MASW:** MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine non invasiva, che individua il profilo di velocità delle onde di taglio Vs, basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori (accelerometri o geofoni) posti sulla superficie del suolo.

La campagna di indagini è stata così articolata:

### Campagna di indagini in sito

- n°3 Indagine sismica tipo MASW (Multichannel Analysis Surface Waves);



Figura 15: – Posizione indagini eseguite

### 6.1 INDAGINE SISMICA DI TIPO MASW

L'indagine Masw per l'analisi delle onde superficiali è definita da 24 geofoni con spaziatura pari a 2,5 m, per un totale di 57,50 m per ogni linea (MASW 1- MASW 2- MASW 3) compatibilmente con le condizioni logistiche e gli spazi disponibili del sito.

Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite in Tab. 3.2.II. del D.M. 17.01.2018.

A partire dal modello sismico restituito, è possibile calcolare il valore delle  $V_{seq}$ , che rappresenta la velocità di propagazione delle onde di taglio entro 30 m di profondità. Per velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio si intende la media pesata delle velocità delle onde S nei primi metri di profondità da una quota scelta, secondo la relazione, riportata nel D.M. 17.01.2018 ("Norme tecniche per le costruzioni"):

$$V_{s, eq} = \frac{H}{\sum_{strato=1}^N \frac{h(strato)}{V_s(strato)}}$$

Dove N è il numero di strati individuabili nei primi metri di suolo, ciascuno caratterizzato dallo spessore  $h(strato)$  e dalla velocità delle onde S  $V_s(strato)$ . Per H si intende la profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_s$  non inferiore a 800 m/s. Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{s,eq}$  è definita dal parametro

Vs30, ottenuto ponendo H=30 m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

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

## RISULTATI

A partire dal modello sismico restituito, è possibile calcolare il valore delle  $V_{seq}$ , che rappresenta la velocità di propagazione delle onde di taglio entro 30 m di profondità.

La  $V_{seq}$  espressa è stata calcolata dal piano campagna e non dal piano di posa delle fondazioni.

Il sottosuolo dell'area in esame, in base ai risultati delle indagini sismiche di tipo MASW effettuate in sito, è di categoria che varia da E a A.

Per ciò che concerne le indagini sismiche effettuate in sito esse hanno mirato ad una caratterizzazione dell'area da un punto di vista sismico, utili ai fini del calcolo della capacità portante, rimandando alle successive fasi progettuali ad una mirata e puntale campagna geognostica. L'area dell'impianto poggia sui depositi piroclastici dell'UNITÀ DI LOGULENTU (LGU) e per una piccola parte rientra sui depositi epiclastici della FORMAZIONE DEL RIO MINORE (LRM).

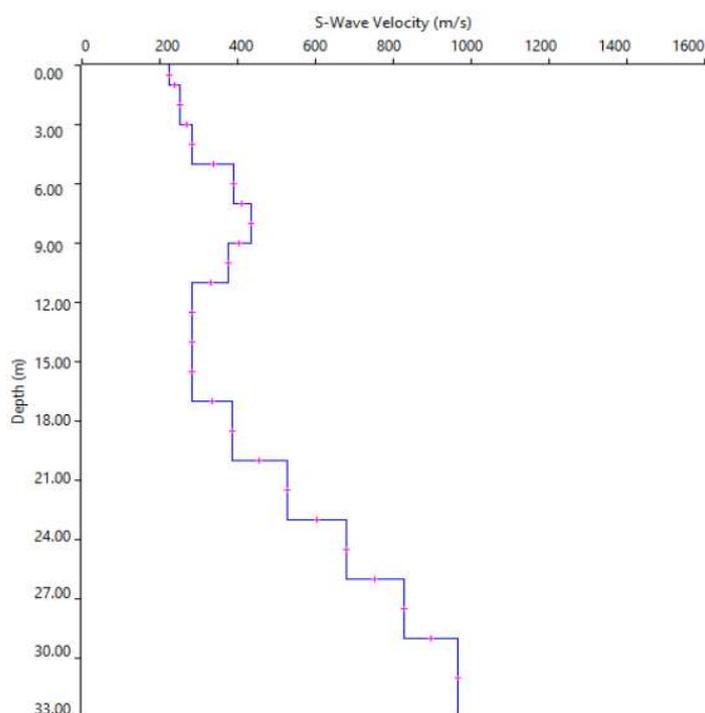
Linea	Vs eq (m/s)	Categoria di sottosuolo (D.M. 17.01.2018)	Litologia affiorante
MASW 1	353	E	Depositi epiclastici LMR
MASW 2	1345	A	Depositi piroclastici LGU
MASW 3	1339	A	Depositi piroclastici LGU

### MASW 1

Dall'indagine di tipo MASW 1 è risultato che il sottosuolo dell'area in esame è associabile alla categoria di sottosuolo E, poichè  $V_{seq}$  pari a 353 m/s. La velocità di 800 m/s viene raggiunta entro i primi 30 metri di profondità.

Depth		Thickness	Vs	Vp	Poisson	Density
from	to	(m)	(m/s)	(m/s)		(g/cm <sup>3</sup> )
0	1	1	223	446	0,333	1,8
1	3	2	251	502	0,333	1,8
3	5	2	284	568	0,333	1,8
5	7	2	389	777	0,333	1,8
7	9	2	434	867	0,333	1,8
9	11	2	376	751	0,333	1,8
11	14	3	283	566	0,333	1,8
14	17	3	283	566	0,333	1,8
17	20	3	385	769	0,333	1,8
20	23	3	527	1053	0,333	1,8
23	26	3	678	1355	0,333	1,8
26	29	3	827	1653	0,333	1,8
29	33	4	967	1933	0,333	1,8
33	37	4	1091	2180	0,333	1,8
37	-	1	1197	2392	0,333	1,8

Tabella 1 – Modello sismico monodimensionale



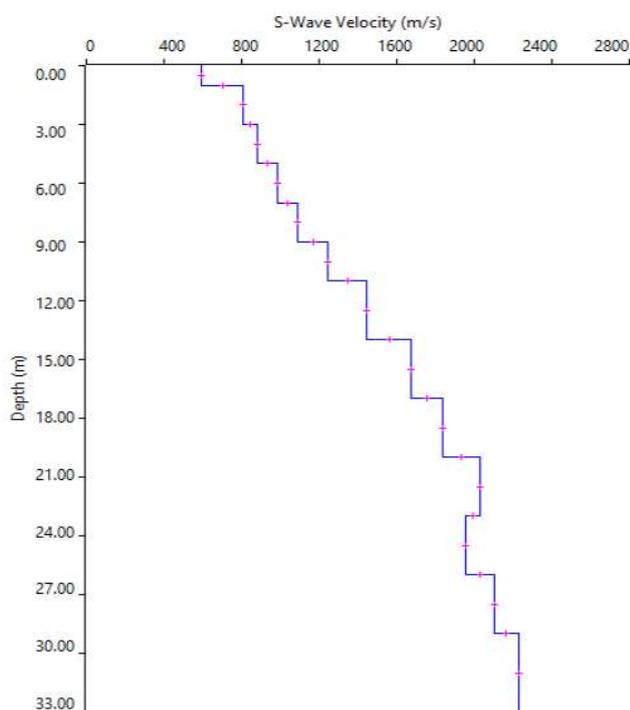
Profilo delle onde di taglio dalla superficie (MASW 1)

**MASW 2**

Dall'indagine di tipo MASW 2 è risultato che il sottosuolo dell'area in esame è associabile alla categoria di sottosuolo A, poiché  $V_{seq}$  pari a 1345 m/s. La velocità di 800 m/s viene raggiunta entro i primi 30 metri di profondità.

Depth		Thickness	Vs	Vp	Poisson	Density
from	to	(m)	(m/s)	(m/s)		(g/cm <sup>3</sup> )
0	1	1	595	1189	0,333	1,8
1	3	2	805	1609	0,333	1,8
3	5	2	879	1757	0,333	1,8
5	7	2	983	1965	0,333	1,8
7	9	2	1088	2174	0,333	1,8
9	11	2	1246	2490	0,333	1,8
11	14	3	1444	2886	0,333	1,8
14	17	3	1677	3351	0,333	1,8
17	20	3	1834	3665	0,333	1,8
20	23	3	2027	4051	0,333	1,8
23	26	3	1952	3901	0,333	1,8
26	29	3	2102	4201	0,333	1,8
29	33	4	2231	4459	0,333	1,8

Tabella 2 – Modello sismico monodimensionale



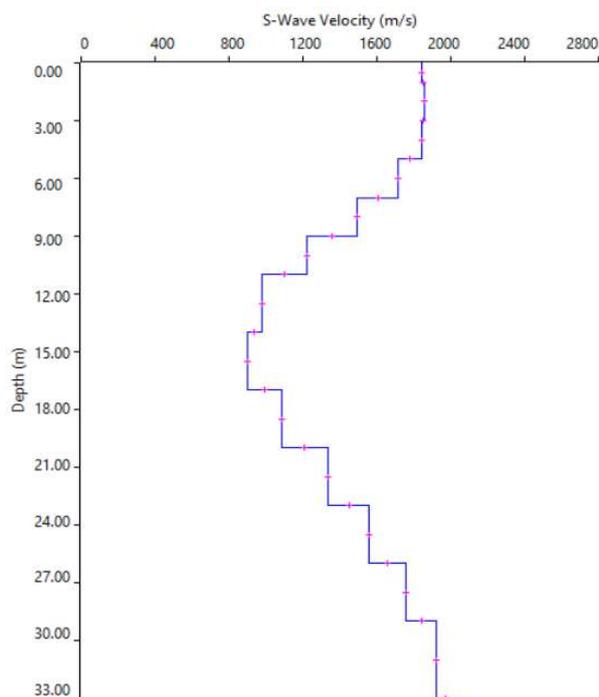
Profilo delle onde di taglio dalla superficie

**MASW 3**

Dall'indagine di tipo MASW 3 è risultato che il sottosuolo dell'area in esame è associabile alla categoria di sottosuolo A, poiché  $V_{seq}$  pari a 1339 m/s. La velocità di 800 m/s viene raggiunta entro i primi 30 metri di profondità.

Depth		Thickness	Vs	Vp	Poisson	Density
from	to	(m)	(m/s)	(m/s)		(g/cm <sup>3</sup> )
0	1	1	1845	3687	0,333	1,8
1	3	2	1858	3713	0,333	1,8
3	5	2	1840	3677	0,333	1,8
5	7	2	1717	3431	0,333	1,8
7	9	2	1493	2984	0,333	1,8
9	11	2	1224	2446	0,333	1,8
11	14	3	977	1953	0,333	1,8
14	17	3	901	1801	0,333	1,8
17	20	3	1085	2168	0,333	1,8
20	23	3	1333	2664	0,333	1,8
23	26	3	1560	3118	0,333	1,8
26	29	3	1758	3513	0,333	1,8
29	33	4	1921	3839	0,333	1,8
33	37	4	2026	4049	0,333	1,8
37	-		2068	4133	0,333	1,8

Tabella 2 – Modello sismico monodimensionale



Profilo delle onde di taglio dalla superficie

## 7. STIMA DELLE CARATTERISTICHE MECCANICHE

Per ciò che concerne le indagini sismiche effettuate in sito esse hanno mirato ad una caratterizzazione di massima dell'area, da un punto di vista sismico, rimandando alle successive fasi progettuali ad una mirata e puntuale campagna geognostica.

I parametri geotecnici riportati sono relativi a dati bibliografici di massima inerenti i depositi epiclastici sabbiosi incoerenti e i depositi di flusso piroclastico in facies ignimbratica.

### MODELLO GEOLOGICO PRELIMINARE DELL'AREA DI STUDIO

- **Depositi epiclastici sabbiosi incoerenti**, proveniente dal disfacimento dei prodotti piroclastici, con caratteristiche meccaniche da medio a scadenti (in corrispondenza della MASW 1):

$\gamma^*$ (KN/m <sup>3</sup> )	$C'$ (KN/m <sup>2</sup> )	$\varphi'$ (°)
18,14	5,88	24

- **Depositi di flusso piroclastico in facies ignimbratica** con caratteristiche meccaniche buone (in corrispondenza delle MASW 2 e 3):

$\gamma^*$ (KN/m <sup>3</sup> )	$C'$ (KN/m <sup>2</sup> )	$\varphi'$ (°)
23,71	340	39

## 8. INQUADRAMENTO SISMICO

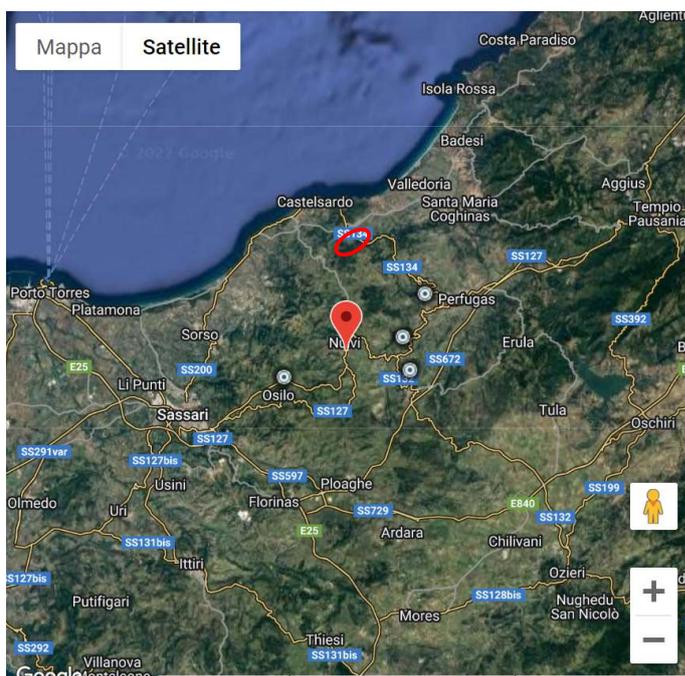
La caratterizzazione sismica di un territorio si basa da un lato sulla conoscenza degli eventi sismici già avvenuti, localizzati all'interno del territorio stesso o risentiti da aree contigue e, dall'altro, sulla conoscenza delle potenziali sorgenti geologiche esistenti e ritenute in grado di produrre terremoti significativi, anche a prescindere dal fatto che tali terremoti si siano o meno già verificati. Informazioni sugli eventi già avvenuti vengono acquisite su base storico-documentale, analizzando cioè documenti di archivio che abbiano registrato gli effetti dei terremoti avvenuti in epoca storica; tale procedura dipende fortemente dalla disponibilità e dalla qualità di tali documenti ed è quindi influenzata dall'esistenza in epoca storica di fonti (registri parrocchiali, archivi pubblici) e dalla loro conservazione e accessibilità.

Infine, per i terremoti più recenti, vengono utilizzate le registrazioni strumentali effettuate dalle reti sismiche regionali e nazionali esistenti sul territorio.

### 8.1 SISMICITA' STORICA

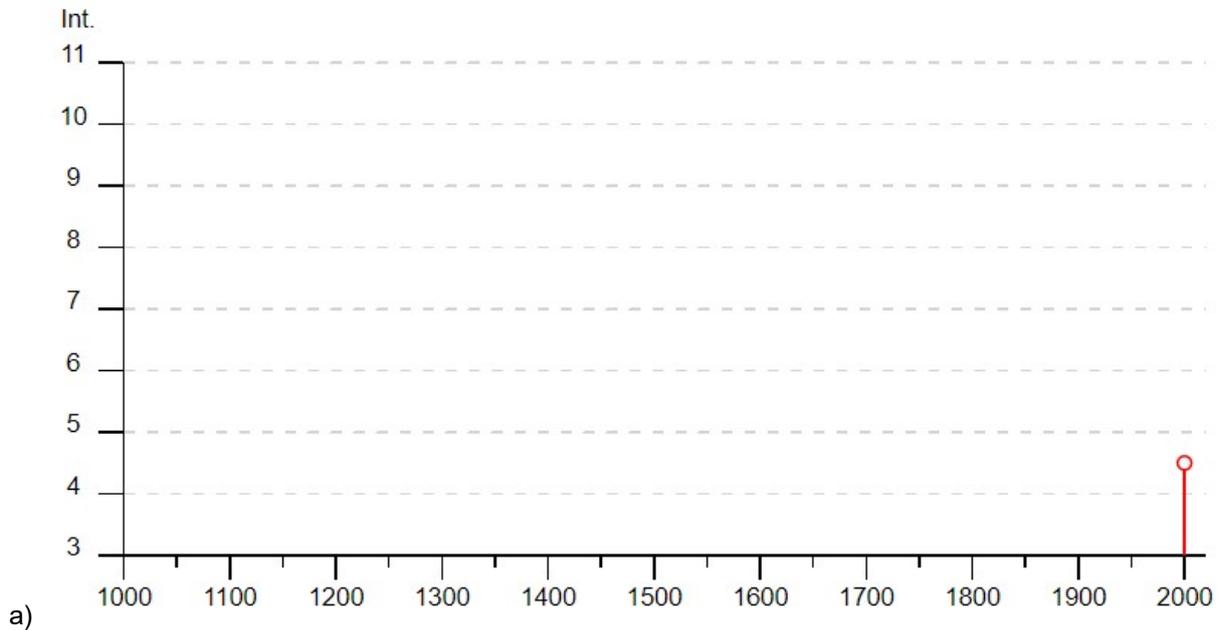
Dal Database Macrosismico Italiano 2015 dell'INGV (consultabile al seguente link: [https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/query\\_place/](https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/query_place/)) è stato possibile individuare la seguente storia sismica dell'area interessata dall'impianto fotovoltaico ricadente nel comune di Nulvi.

Questo fornisce un set omogeneo di intensità macrosismiche provenienti da diverse fonti relativo ai terremoti con intensità massima  $\geq 4$  e d'interesse per l'Italia nella finestra temporale 1000-2014. L'insieme di questi dati consente inoltre di elaborare le "storie sismiche" di migliaia di località italiane, vale a dire l'elenco degli effetti di avvertimento o di danno, espressi in termini di gradi di intensità, osservati nel corso del tempo a causa di terremoti. (aggiornata sino all'anno 2015):



### Nulvi

PlaceID	IT_68248
Coordinates (lat, lon)	40.782, 8.745
Municipality (ISTAT 2015)	Nulvi
Province	Sassari
Region	Sardegna
No. of reported earthquakes	1



Effects	Reported earthquakes									
Int.	Year	Mo	Da	Ho	Mi	Se	Epicentral area	NMDP	Io	Mw
4-5	2000	04	26	13	37	4	Tirreno centrale	265		4.77

b)

Place name	EQs	Distance (km)
Martis	1	5
Chiaramonti	1	7
Osilo	1	8
Laerru	1	9

c)

Figura 16: - Storia sismica del comune di Nulvi estrapolata dal Database Macrosismico Italiano 2015 dell'INGV. Alcuni effetti non sono esprimibili tramite scala MCS per cui vengono utilizzati codici alternativi come: F = avvertito (felt) in caso in cui si ritenga di escludere che si siano verificati danni ( $3 \leq IMCS \leq 5$ ); NF = non avvertito (not felt) in presenza di segnalazione esplicita è equiparabile a IMCS = 1. figure a), b) e c)

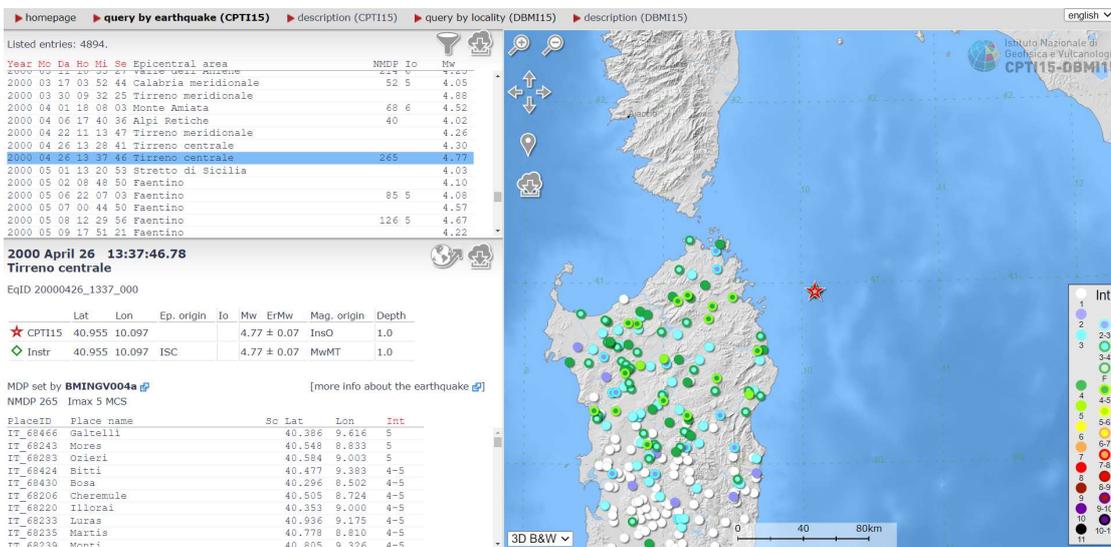


Figura 17: – Intensità registrate in seguito al sisma del 2000 del Tirreno centrale dal Catalogo parametrico dei terremoti italiani 2015 (CPTI15) dell'INGV

Dal database INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia <http://cnt.rm.ingv.it/>) è stato possibile ricercare gli ultimi eventi sismici con magnitudo superiore a 1 avvenuti dal 1985 ad oggi entro un intorno di 60 km dal Comune di Nulvi (SS).

In particolare nel suddetto periodo si sono verificati n.2 eventi con una magnitudo variabile tra M=2.2 e M=2.5 di seguito ubicati ed elencati.

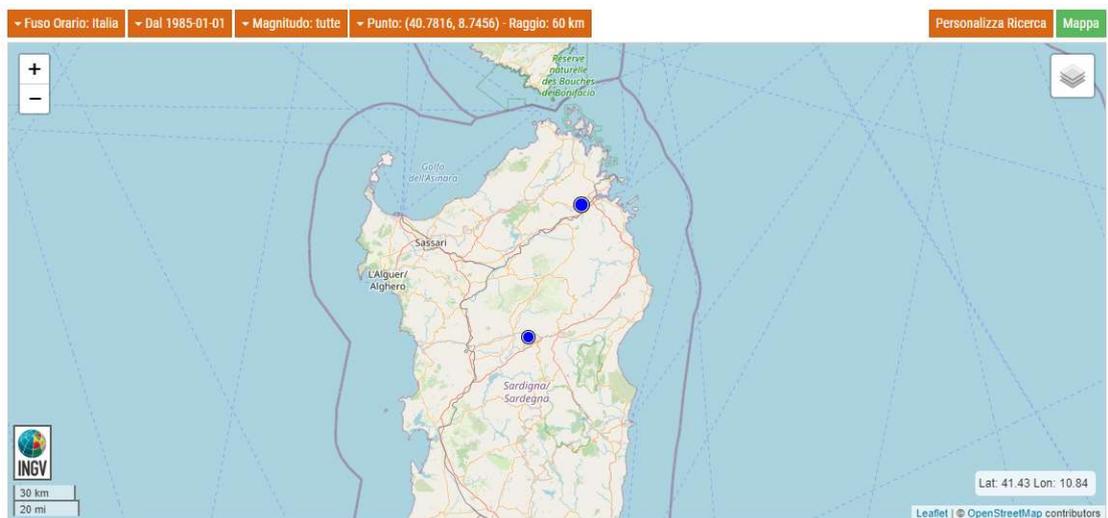


Figura 18: – Lista degli eventi di M<= 1 avvenuti dal 1985 ad oggi entro un raggio di 60 km dal Comune di Nulvi (SS) da INGV.

## 8.2 STRUTTURE TETTONICHE ATTIVE

Sul database Ithaca dell'ISPRA (Catalogo delle Faglie capaci) sono riportate le strutture tettoniche attive in Italia, interessandosi in modo particolare alle faglie capaci - primarie, secondarie e ereditate riattivate - che tagliano la superficie e in alcuni casi riporta anche faglie sepolte ritenute capaci di produrre deformazione del suolo. Le faglie contenute in questo database potrebbero quindi rappresentare concettualmente l'espressione superficiale diretta o indiretta dell'attività delle sorgenti profonde sia in risposta della dislocazione sul piano di faglia principale profondo, sia in conseguenza della deformazione cosismica superficiale di altra natura (ad es. gravitativa). Questo database raccoglie quindi prevalentemente informazioni su faglie superficiali ed è uno strumento utilizzabile per le analisi di pericolosità ambientale e sismica, per la pianificazione territoriale e per la pianificazione degli interventi durante le emergenze di protezione civile.

Dal database Ithaca (figura sottostante) è riscontrabile come l'area oggetto di studio è distante dalle faglie attive cartografate sul portale dell'ISPRA.

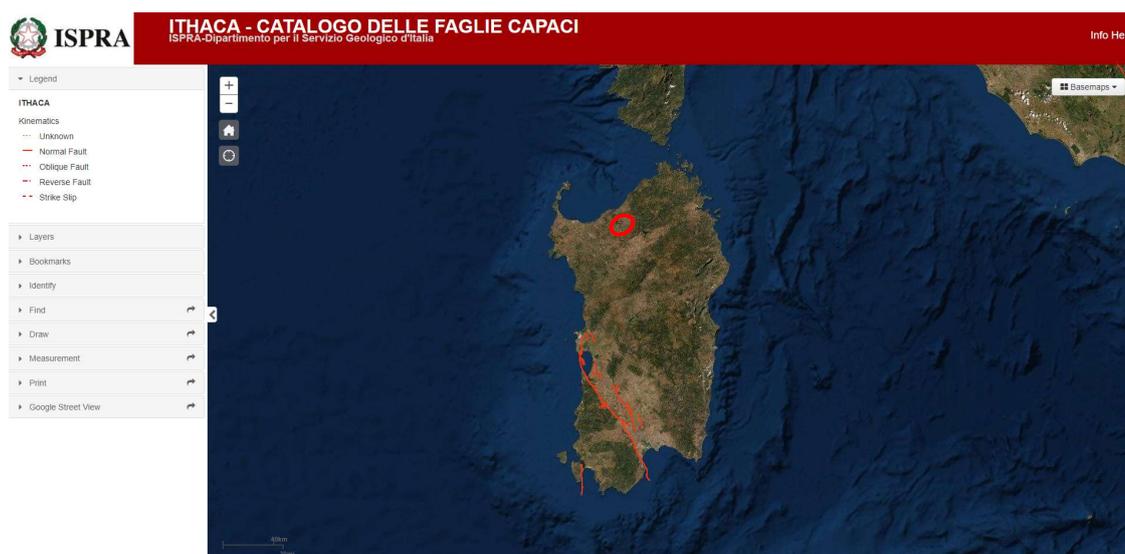


Figura 19: - Database Ithaca con individuazione delle strutture tettoniche attive in Italia (cerchio in rosso =area di studio <http://sgi2.isprambiente.it/ithacaweb/viewer/>)

Mentre il database DISS (*Database of Individual Seismogenic Sources*) contiene le strutture primarie, quelle cioè che si prendono carico della maggior parte della deformazione tettonica e, muovendosi in profondità, causano i terremoti principali e il relativo scuotimento, caratterizzandole in termini di massima magnitudo potenziale e distanza sorgente-sito. A queste strutture primarie possono essere associate diverse strutture secondarie, che possono essere sede di sismicità minore durante le sequenze sismiche, e in alcuni casi possono arrivare a tagliare direttamente la superficie; queste tuttavia non sono riportate nel DISS se non per i casi di rotture di superficie associate a terremoti storici o recenti studiati con approccio paleosismologico.

Il catalogo parametrico DISS 3.3.0 rappresenta senza dubbio la base di dati parametrici più completa ed aggiornata che definisce le più importanti sorgenti e strutture sismogeniche

presenti in Italia (DISS Working Group, 2006). Questo catalogo è stato scelto come base di riferimento per individuare i terremoti più importanti per l'area studiata.

Nell'area di studio, come ben visibile nell'immagine sottostante, non sono cartografate strutture sismogeniche, a conferma della scarsa sismicità della zona.

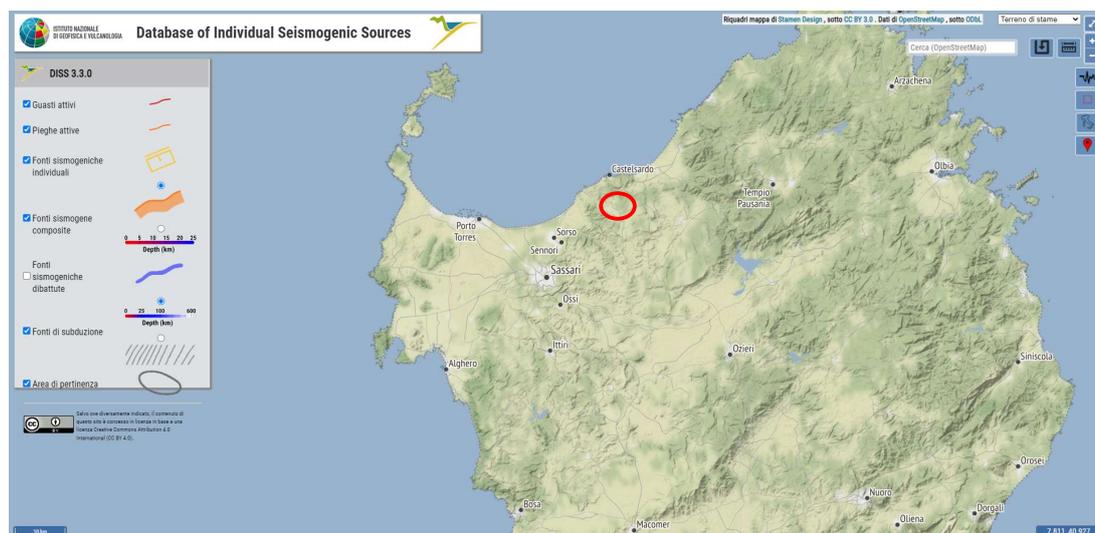


Figura 20: – Database DISS 3.3.0 ubicazione delle sorgenti sismogenetiche nell'area di studio - <https://doi.org/10.13127/diss3.3.0> (cerchio in rosso).

La nuova zonazione sismogenetica ZS9 ha lo scopo di recepire le informazioni sulle sorgenti sismogenetiche italiane messe a disposizione da DISS 3.3.0 e altre faglie attive, oltre ad inserire dati relativi ai terremoti più importanti. In particolare, l'area di studio non ricade in nessuna zona sismogenica, infatti la probabilità che capiti un terremoto è molto bassa.

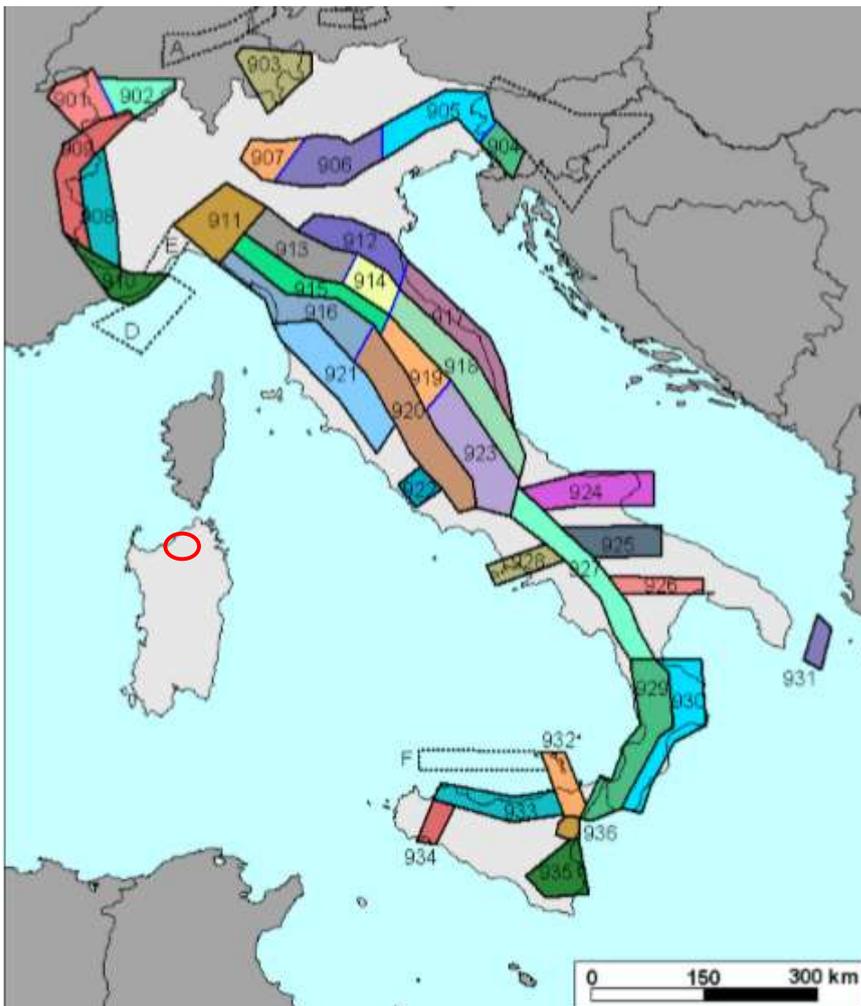


Figura 21: – Zonazione sismogenetica ZS9 con indicazione dell'area di studio (da [www.ingv.it](http://www.ingv.it))

Un'altra importante novità inserita nella ZS9 è l'introduzione dello strato sismogenetico che è stato definito convenzionalmente come l'intervallo di profondità che ha generato il 90% degli eventi che ricadono all'interno di ogni zona. I limiti superiore e inferiore dello strato sismogenetico sono individuati alle profondità che includono un numero di eventi cumulato pari rispettivamente al 5% e al 95% del totale. La profondità alla quale avviene la maggior parte degli eventi è stata identificata con la moda principale della distribuzione di frequenza degli eventi.

La classificazione sismica del territorio tiene conto non solo dell'ubicazione delle sorgenti sismiche, ma anche della propagazione dell'energia sismica con la distanza dalla sorgente e della eventuale amplificazione locale delle oscillazioni sismiche, prodotte dalle caratteristiche del terreno.

**8.3 PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE**

E' noto come l'azione sismica sulle costruzioni sia generata dal moto non uniforme del terreno di sedime per effetto della propagazione delle onde sismiche. Il moto sismico eccita la struttura provocandone la risposta dinamica, che va verificata e controllata negli aspetti di

sicurezza e di prestazioni attese.

Per ridurre gli effetti del terremoto, l'azione dello Stato si è concentrata sulla classificazione del territorio, in base all'intensità e frequenza dei terremoti del passato, e sull'applicazione di speciali norme per le costruzioni nelle zone classificate sismiche.

Già nell'Ordinanza PCM 3274 2003 "Mappa delle zone sismiche" il dipartimento della protezione civile ha redatto la mappa delle zone sismiche d'Italia. Sul sito della protezione civile è pubblicato l'aggiornamento della classificazione sismica a livello nazionale (marzo 2022).

Il comune di Nulvi (SS) ricade in zona a rischio sismico 4 "E' la zona meno pericolosa: la probabilità che capiti un terremoto è molto bassa".

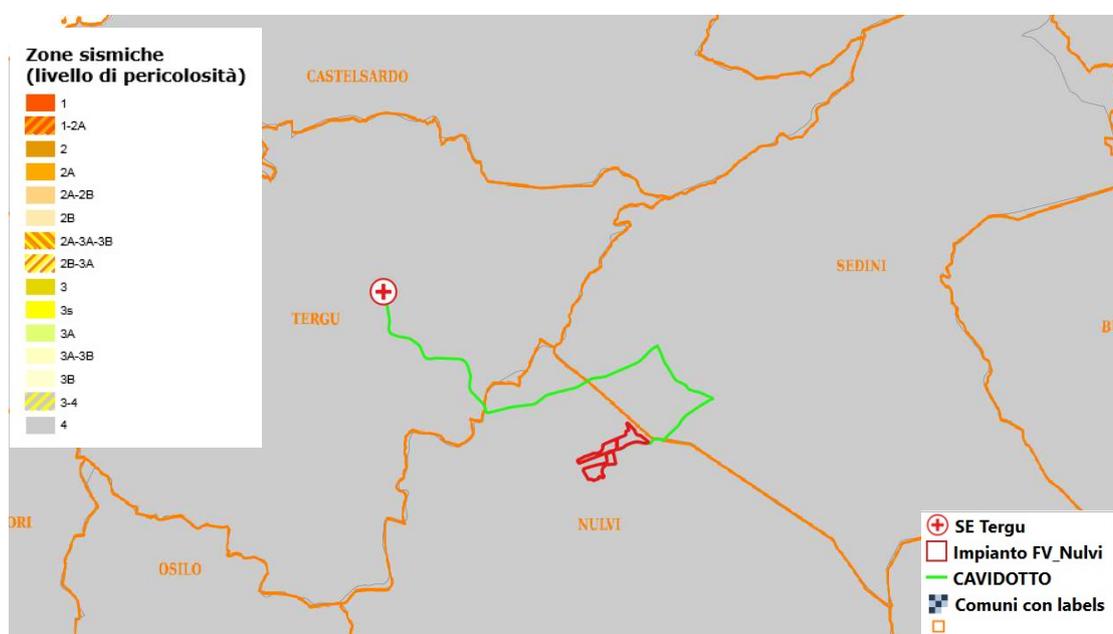


Figura 22: – Stralcio della classificazione sismica (marzo 2022)

Con pericolosità sismica si intende lo scuotimento del suolo atteso in un sito a causa di un terremoto. Essendo prevalentemente un'analisi di tipo probabilistico, si può definire un certo scuotimento solo associato alla probabilità di accadimento nel prossimo futuro.

Già con il D.M. 14/01/2008 era stato introdotto una nuova modalità di valutazione dell'intensità dell'azione sismica da tener conto nella fase di progettazione dei fabbricati, basata non più su una mappa sismica "classica" suddivisa in categorie o zone, bensì su un reticolo di riferimento (per i parametri sismici è stato utilizzato il portale online di GEOSTRU). La grande novità consiste nel non avere più delle aree perfettamente confinate; il nuovo sistema di mappatura suddivide infatti l'intero territorio nazionale in riquadri, in cui a ciascun vertice è attribuito un valore di accelerazione sismica  $a_g$  prevista sul suolo, definita come parametro dello scuotimento, che insieme ai coefficienti  $S_s$  ed  $S_t$  (stratigrafici e topografici) diventano utili come riferimento per la valutazione dell'effetto sismico da applicare all'opera di progetto, secondo le procedure indicate nello stesso Decreto Ministeriale.

Il reticolo di riferimento ed i dati di pericolosità sismica di base vengono forniti dall'INGV e pubblicati su <http://esse1.mi.ingv.it/> attraverso le coordinate geografiche del sito. Questi range di valori di  $a_g$  non tengono conto dell'amplificazione sismica locale (topografiche e stratigrafiche).



### Modello di pericolosità sismica MPS04-S1

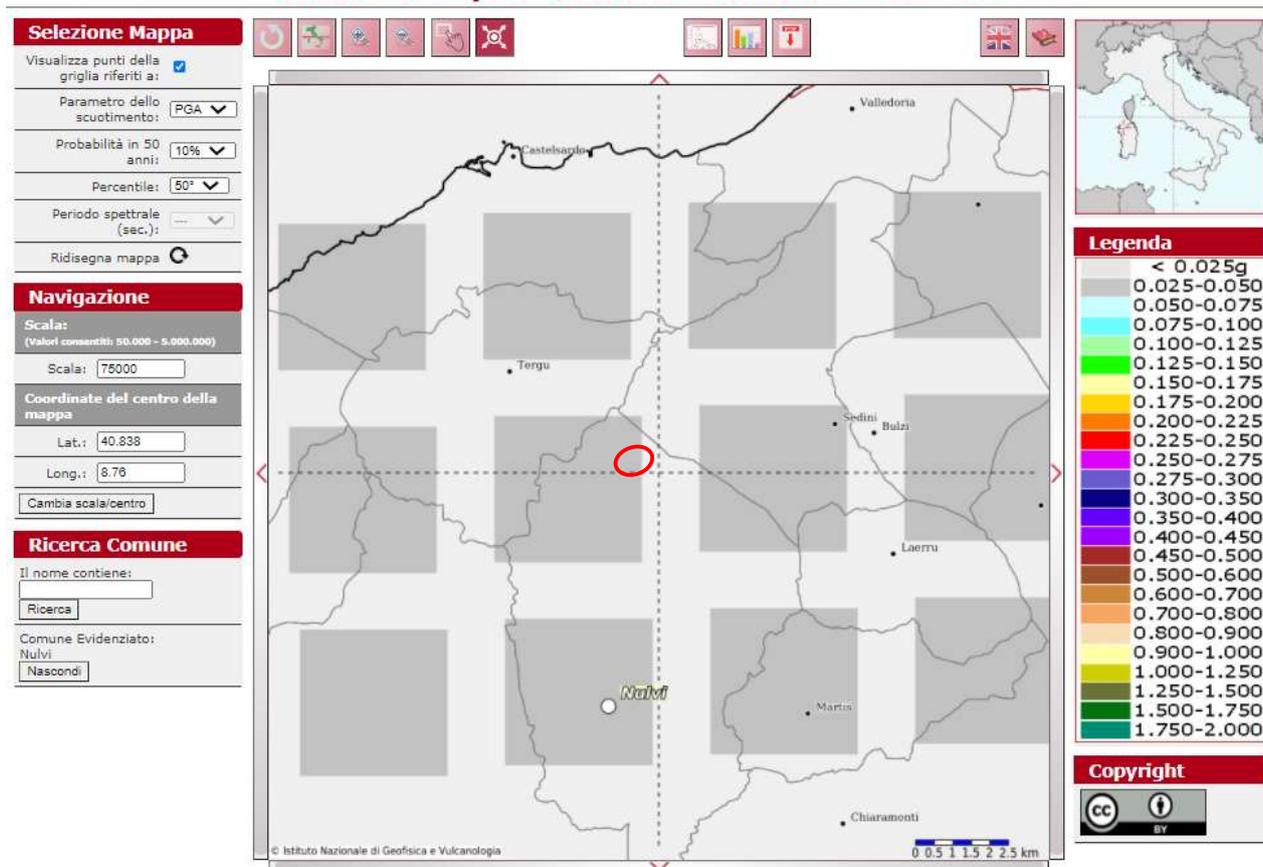


Figura 23: – Mappa dell'accelerazione massima al suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi ( $V_{s30} > 800m/s$  Cat. A).

In particolare, il nuovo studio di pericolosità, allegato all'Opcm n. 3519 del 2006, ha fornito alle Regioni uno strumento aggiornato per la classificazione del proprio territorio, introducendo degli intervalli di accelerazione ( $a_g$ ) (pericolosità di base), con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni, da attribuire alle 4 zone sismiche.

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione. Essa costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche.

Per quanto riguarda la pericolosità sismica del sito, l'area di studio ricade nel punto del reticolo di riferimento definito da longitudine 8.76 e latitudine 40.838, nella maglia elementare

l'accelerazione orizzontale con probabilità di superamento del 10% in 50 anni è compresa tra 0,025 e 0,050 (ag/g).

Per la stima dell'accelerazione massima del sito (pericolosità locale), è necessario considerare alla pericolosità di base anche i fattori di amplificazione locale del terreno (topografica e stratigrafica).

La classificazione sismica (zona sismica di appartenenza del comune) rimane utile solo per la gestione della pianificazione e per il controllo del territorio da parte degli enti preposti (Regione, Genio Civile, ecc).

#### 8.4 CARATTERIZZAZIONE SISMICA

Con **Decreto del 17 Gennaio del 2018**, pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale Martedì 20 Febbraio, sono state **aggiornate** le *Norme Tecniche per le Costruzioni*.

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi, da eseguire con le modalità indicate nel capitolo 7.11.3. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, Vs. I valori dei parametri meccanici necessari per le analisi di risposta sismica locale o delle velocità Vs per l'approccio semplificato costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo, di cui al capitolo 6.2.2.

Nello specifico il recente **D.M. del 17 gennaio 2018 (Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni pubblicate sul supplemento ordinario della G.U. n. 42 del 20 febbraio 2018)** propone l'adozione di un sistema di caratterizzazione geofisica e geotecnica del profilo stratigrafico del suolo mediante cinque tipologie di suoli: **A – B – C – D – E**, eliminando gli ulteriori due speciali S1 e S2 presenti nelle precedenti NTC del 2008.

In particolare le cinque tipologie dei suoli sono così definite (Tab. 3.2.II):

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

I valori di  $V_s$  sono ottenuti mediante specifiche prove sono valutati tramite relazioni empiriche.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio,  $V_{s,eq}$  (in m/s), definita dall'espressione:

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

Con  $h_i$  = spessore in metri dello strato  $i$ -esimo

$V_{s,i}$  = velocità dell'onda di taglio  $i$ -esima

$N$  = numero di strati

$H$  = profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzato da  $V_s$  non inferiore a 800 m/s.

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  $V_{s30}$ , ottenuto ponendo  $H=30$  m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Dai dati ricavati dalle prospezioni sismiche effettuate in sito, si sono ottenuti i valori differenti di  $V_{s,eq}$  e di conseguenza la categoria di suolo varia da A a E.

Linea	Vs eq (m/s)	Categoria di sottosuolo (D.M. 17.01.2018)
MASW 1	353	E
MASW 2	1345	A
MASW 3	1339	A

Per quanto riguarda le condizioni topografiche, per quelle complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione (Tab. 3.2.III):

**Tab. 3.2.III – Categorie topografiche**

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

Per ciò che concerne l'area in studio, è caratterizzata da una zona praticamente pianeggiante con valori di inclinazione media  $\leq$  di  $15^\circ$ . Pertanto, il coefficiente topografico da adottare è quello relativo alla categoria T1.

Alla luce della recente normativa è importante individuare la profondità alla quale è riscontrabile la presenza di rocce caratterizzate da velocità di propagazione delle onde di taglio superiori agli 800m/s in relazione al piano di posa delle fondazioni, a tal proposito è indispensabile programmare, in una fase successiva, una campagna di indagini dirette e indirette, in maniera puntuale.

La pericolosità sismica di un sito è descritta dalla probabilità che, in un fissato lasso di tempo, in detto sito si verifichi un evento sismico di entità almeno pari ad un valore prefissato. Nelle NTC, tale lasso di tempo, espresso in anni, è denominato "periodo di riferimento" VR e la probabilità è denominata "probabilità di eccedenza o di superamento nel periodo di riferimento" R V P.

Ai fini della determinazione delle azioni sismiche di progetto nei modi previsti dalle NTC, la pericolosità sismica del territorio nazionale è definita convenzionalmente facendo riferimento ad un sito rigido (di categoria A) con superficie topografica orizzontale (di categoria T1), in condizioni di campo libero, cioè in assenza di manufatti.

La caratterizzazione sismica del sottosuolo, eseguita attraverso le indagini sismiche effettuate nell'area di interesse, consente di definire lo stesso dal punto di vista sismico, l'area di studio ricade nelle categorie di suolo che variano tra A e E. Infatti la norma prevede che, per le fondazioni su pali, il calcolo delle Vs equivalenti deve considerare il volume di terreno dalla testa dei pali fino al substrato sismico. Nel caso in questione per i trenta/quaranta metri di

terreno investigato, i terreni raggiungono la velocità > di 800 m/s (substrato sismico) prima dei 30 m di profondità, quindi si deve considerare la  $V_{s,eq}$  del terreno investigato.

Ai fini delle NTC le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento, a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

**Ag** accelerazione orizzontale massima al sito;

**Fo** valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale.

**Tc\*** periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Di seguito sono forniti i valori di **ag Fo e Tc\*** nonché lo spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali ed orizzontali, necessari per la determinazione delle azioni sismiche.

Ai fini della progettazione, il valore di accelerazione massima al suolo si ricava dalla maglia di riferimento per il calcolo dei parametri sismici (es. GEOSTRU parametri sismici).

I valori di accelerazione sismica, in accordo alle NTC 2008, attesi al bedrock con superficie topografica orizzontale validi per la regione Sardegna risulta molto bassa, sia i dati storici che quelli strumentali non evidenziano criticità nella pericolosità sismica di base, pertanto, nelle NTC 2008 (cfr. Allegato B, Tabella 2).

**TABELLA 2:** Valori di  $a_g, F_o, T_c^*$  per le isole, con l'esclusione della Sicilia, Ischia, Procida e Capri.

Isole	T <sub>R</sub> =30			T <sub>R</sub> =50			T <sub>R</sub> =72			T <sub>R</sub> =101			T <sub>R</sub> =140			T <sub>R</sub> =201			T <sub>R</sub> =475			T <sub>R</sub> =975			T <sub>R</sub> =2475		
	a <sub>g</sub>	F <sub>o</sub>	T <sub>c</sub> *	a <sub>g</sub>	F <sub>o</sub>	T <sub>c</sub> *	a <sub>g</sub>	F <sub>o</sub>	T <sub>c</sub> *	a <sub>g</sub>	F <sub>o</sub>	T <sub>c</sub> *	a <sub>g</sub>	F <sub>o</sub>	T <sub>c</sub> *	a <sub>g</sub>	F <sub>o</sub>	T <sub>c</sub> *	a <sub>g</sub>	F <sub>o</sub>	T <sub>c</sub> *	a <sub>g</sub>	F <sub>o</sub>	T <sub>c</sub> *	a <sub>g</sub>	F <sub>o</sub>	T <sub>c</sub> *
Arcipelago Toscano, Isole Egadi, Pantelleria, Sardegna, Lampedusa, Linosa, Ponza, Palmarola, Zannone	0,186	2,61	0,273	0,235	2,67	0,296	0,274	2,70	0,303	0,314	2,73	0,307	0,351	2,78	0,313	0,393	2,82	0,322	0,500	2,88	0,340	0,603	2,98	0,372	0,747	3,09	0,401

I valori di accelerazione orizzontale massima (espressi in g/10), attesi al bedrock con superficie topografica orizzontale, nel territorio interessato dal progetto, per il periodo di ritorno considerato (SLV).

**SLV:  $a_g = 0,050$**

Definita la categoria di sottosuolo (**Categoria di sottosuolo A**), i coefficienti  $S_s$  e  $C_c$  possono essere calcolati in funzione dei valori di  $F_o$  e  $T_c^*$  (Tabella 3.2.V delle NTC 2008),  $g$  è l'accelerazione di gravità ed il tempo espresso in secondi.

**Tabella 1:** Definizione dei parametri sismici  $S_s$  e  $C_c$  in accordo alla Tabella 3.2.V, NTC 2008; DM 14/01/2008.

Tabella 3.2.V – Espressioni di  $S_s$  e di  $C_c$

Categoria sottosuolo	$S_s$	$C_c$
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_c^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_c^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_c^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_c^*)^{-0,40}$

La condizione topografica di un sito, già dalle NTC 2008, è definita mediante l'attribuzione di una Categoria Topografica al luogo. La classificazione del territorio in categorie avviene semplificando le caratteristiche della superficie topografica (pendenza media e morfologia) e considerando l'ubicazione del sito (base, sommità, ecc), rispetto a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali (creste o dorsali allungate), con altezze maggiori di 30 metri. Le NTC 2008 assegnano a ciascuna Categoria Topografica un Coefficiente di amplificazione topografica ( $S_T$ ) (cfr. Tab. 3.2.VI delle NTC 2008). Questo coefficiente, insieme al coefficiente di amplificazione stratigrafica ( $S_s$ ), precedentemente descritto, è necessario per il calcolo del valore di accelerazione orizzontale massima attesa al suolo (PGA).

**Tabella 2:** Definizione delle Categorie Topografiche in accordo alla Tabella 3.2.VI, NTC 2008; DM 14/01/2008.

Tabella 3.2.VI – Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica  $S_T$

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	$S_T$
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,4

Per la definizione della Categoria Topografica da adottare nel calcolo dei parametri sismici è stata considerata **la condizione topografica T1 corrispondente ad un coefficiente di amplificazione sismica ( $S_T$ ) pari a 1.0.**

Il coefficiente di amplificazione topografica  $S_T$  e il coefficiente di amplificazione stratigrafica  $S_s$  sono necessari per il calcolo del valore di accelerazione orizzontale massima attesa al suolo (PGA). La stima dell'accelerazione di picco in superficie  $a_{gS}$  (PGA) lungo il tracciato si ottiene dal prodotto tra il fattore di risposta sismica locale ( $S$ ) e l'accelerazione orizzontale massima attesa al suolo rigido  $a_g$ :

$$a_{gS} = a_g * S$$

Il coefficiente  $S$ , che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche, può essere calcolato mediante la relazione:

$$S = S_s * S_T$$

in cui  $S_s$  è il coefficiente di amplificazione stratigrafica (Tabella 3.2.V del DM 14/01/2008) ed  $S_T$  è il coefficiente di amplificazione topografica (Tabella 3.2.VI del DM 14/01/2008).

$$a_{gS} = a_g * S = 0,050 * 1,0 = 0,05 (g)$$

## 9. CONCLUSIONI

L'analisi delle tematiche geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche e sismiche, attinenti agli interventi da realizzare, ha permesso di definire un modello geologico di massima del terreno in studio.

Sulla base del rilievo geolitologico l'area di studio ricade su depositi da flusso piroclastico, in facies ignimbratica e, in piccola parte, su depositi epiclastici sabbiosi incoerenti.

Dalle risultanze ottenute sulla base degli elementi a disposizione e in base alle indagini eseguite si evince che, l'area oggetto di studio, si trova su una superficie sub-pianeggiante che non presenta criticità geologiche e geomorfologiche (perimetrazioni del PAI Sardegna consultabili dal sito <http://www.sardegnameoportale.it/webgis2/sardegnameo/?map=pai>) tali da comprometterne l'utilizzo per i fini progettuali.

L'area occupata dall'impianto FV non interferisce con le perimetrazioni delle aree del PAI Sardegna, mentre alcuni tratti del cavidotto attraversano areali a pericolosità di inondazione alta lungo la viabilità già esistente.

Tali interferenze non aumenteranno il livello di pericolosità né idraulica né geomorfologica della zona.

Il comune di Nulvi (SS) ricade in una zona a rischio sismico 4. E' la zona meno pericolosa: la probabilità che capiti un terremoto è molto bassa.

Dai dati ricavati dalle prospezioni sismiche effettuate in sito, in base alle disposizioni della vigente normativa sulle costruzioni, **i terreni che interessano il sito in esame appartengono alle categorie di suolo A e E** della nuova classificazione sismica (NTC 2018).

Per la tipologia di opera in esame, il valore di ag rappresentativo per la Sardegna, è pari a 0,05g, con probabilità di superamento del 10% (SLV), ed il valore del coefficiente di amplificazione sismica  $S_s = 1,0$  da cui si ottiene **un'accelerazione massima attesa al sito pari a  $A_{gmax} = 0.05 g$ .**

I parametri geotecnici utilizzati in questa relazione, provengono da dati bibliografici con sono valori di massima, con l'intento di dare un supporto all'elaborazione della caratterizzazione geotecnica.

Si precisa che i dati sopra elencati sono, in via del tutto preliminare, a tal proposito sarà necessario in una fase successiva programmare una campagna di indagini dirette ed indirette per determinare, in maniera puntuale, un modello geotecnico rappresentativo delle condizioni stratigrafiche e della caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni.

Dalle risultanze ottenute sulla base degli elementi a disposizione si evince che l'area di progetto non presenta criticità geologiche, geomorfologiche e idrogeologiche tali da comprometterne l'utilizzo per i fini progettuali.

**MARTE S.R.L.**



Via Degli Arredatori, 8 – 70026 Modugno (BA) – Italy  
[www.bfpgroup.net](http://www.bfpgroup.net) – [info@bfpgroup.net](mailto:info@bfpgroup.net)  
tel. (+39) 0805046361  
**Azienda con Sistema di Gestione Certificato**  
**UNI EN ISO 9001:2015**  
**UNI EN ISO 14001:2015**  
**UNI ISO 45001:2018**

*GRE CODE*

**GRE.EEC.R.21.IT.P.16703.00.055.01**

*PAGE*

**41 di/of 41**

Per tutto quanto in dettaglio si fa espresso rimando ai paragrafi precedenti.

IL GEOLOGO

Dott. Lucia Santopietro