

MARTE S.R.L.



Via Degli Arredatori, 8 – 70026 Modugno (BA) – Italy
www.bfpgroup.net – 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.16703.00.056.01

PAGE
 1 di/of 36

TITLE: RELAZIONE GEOTECNICA

AVAILABLE LANGUAGE: ITA

IMPIANTO AGRIVOLTAICO DI NULVI

Progetto definitivo

Relazione geotecnica

File: **GRE.EEC.R.21.IT.P.16703.00.056.01 Relazione Geotecnica.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	6	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	4
2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	5
3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA IN ESAME.....	8
3.1 Geologia dell'area di studio	8
3.2 Inquadramento geomorfologico	10
4. CAMPAGNA DI INDAGINI EFFETTUATE IN SITO	12
4.1 Indagine sismica di tipo MASW	12
5. STIMA DELLE CARATTERISTICHE MECCANICHE	17
6. INQUADRAMENTO SISMICO	19
6.1 Sismicit� storica	19
6.2 Strutture Tettoniche attive.....	22
6.3 Pericolosit� sismica di base	24
6.4 Caratterizzazione sismica.....	27
7. TRATTAZIONE TEORICA DEI CALCOLI GEOTECNICI	32
7.1 ANALISI STRUTTURALI	32
7.2 ANALISI STRUTTURALI	33
7.3 AZIONI SULLA STRUTTURA	33
7.4 VERIFICHE STRUTTURALI.....	33
7.5 VERIFICA LUNGHEZZA D'INFISSIONE	33
7.6 VERIFICA PORTANZA FONDAZIONE CABINE	34
8. CONCLUSIONI	36

Indice delle figure

Figura 1: – Localizzazione dell’area di progetto.	4
Figura 2: –Pericolosità geomorfologica da frana e Pericolosità idraulica PAI Sardegna	6
Figura 3: –Pericolo Frana e Pericolo Alluvioni - Art. 8 delle NTA del PAI Sardegna	7
Figura 4: – PSFF 2015 dell’area di studio (https://www.sardegnameoportale.it/webgis2/sardegnameoportale/?map=pai)	8
Figura 5: – <i>Stralcio della Carta geologica di base della Sardegna in scala 1:25.000 (in rosso strutture tettoniche)</i> (http://www.sardegnameoportale.it/webgis2/sardegnameoportale/?map=mappetematiche)	9
Figura 6: – <i>Stralcio della Carta litologica della Sardegna in scala 1:25.000</i> (http://www.sardegnameoportale.it/webgis2/sardegnameoportale/?map=mappetematiche)	11
Figura 7: – Posizione indagini eseguite	12
Figura 8: – 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)	20
Figura 9: – <i>Intensità registrate in seguito al sisma del 2000 del Tirreno centrale dal Catalogo parametrico dei terremoti italiani 2015 (CPTI15) dell'INGV</i>	21
Figura 10: – <i>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.</i>	21
Figura 11: – <i>Database Ithaca con individuazione delle strutture tettoniche attive in Italia (cerchio in rosso =area di studio http://sgi2.isprambiente.it/ithacaweb/viewer/)</i>	22
Figura 12: – <i>Database DISS 3.3.0 ubicazione delle sorgenti sismogenetiche nell'area di studio - https://doi.org/10.13127/diss3.3.0 (cerchio in rosso).</i>	23
Figura 13: – <i>Zonazione sismogenetica ZS9 con indicazione dell’area di studio (da www.ingv.it)</i>	24
Figura 14: – <i>Stralcio della classificazione sismica (aprile 2022)</i>	25
Figura 15: – <i>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).</i>	26
Figura 16: – Modello strutturale.	33

1. PREMESSA

Il presente rapporto è stato redatto a supporto del progetto per la realizzazione di un impianto fotovoltaico proposto dalla società **MARTE srl**.

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, da programmare ed effettuare nelle successive fasi di progettazione.

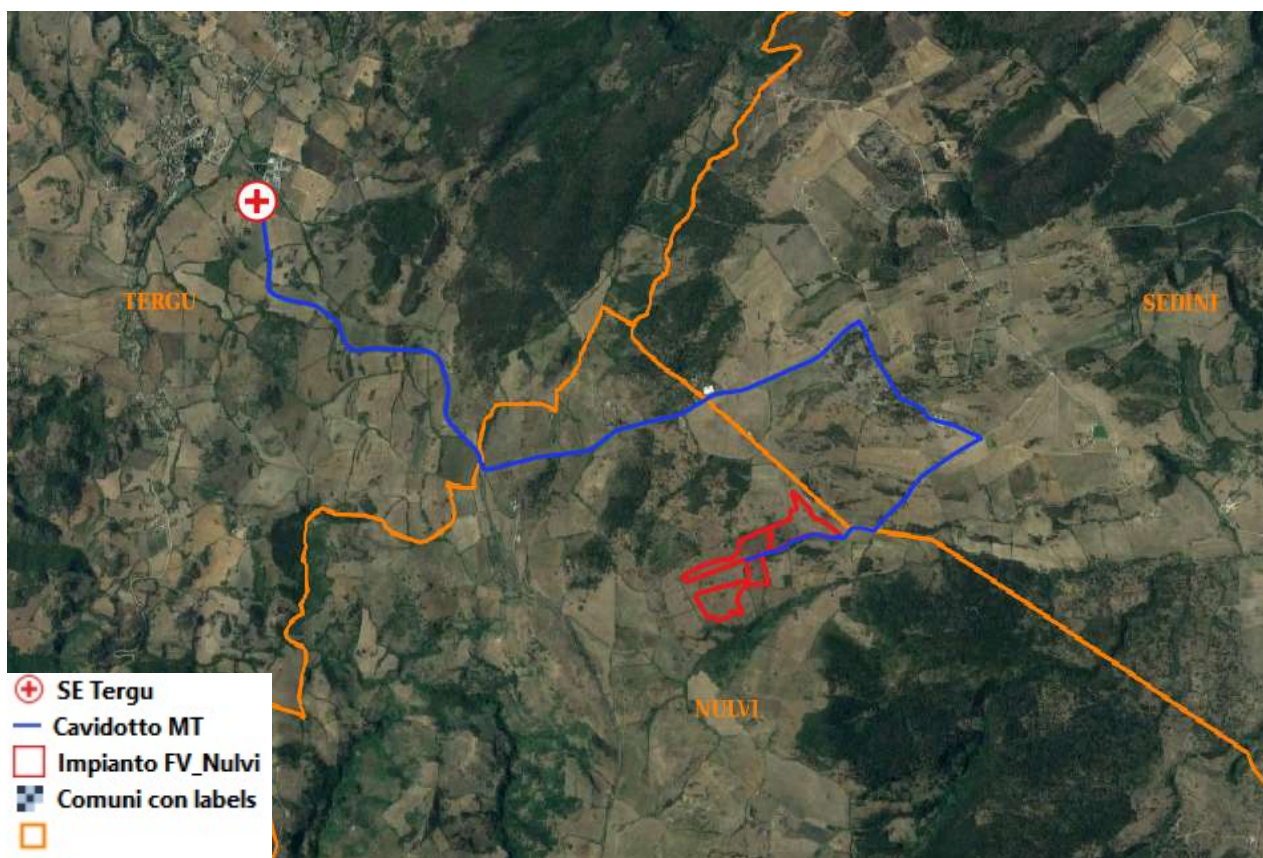


Figura 1: – Localizzazione dell'area di progetto.

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.

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.*

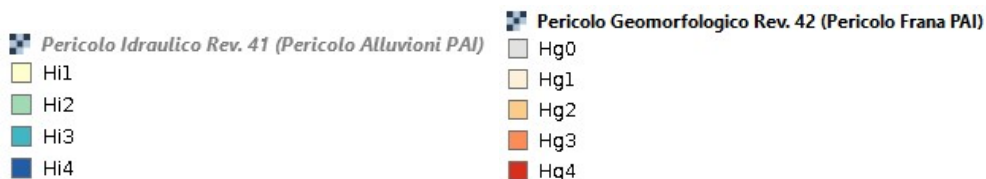
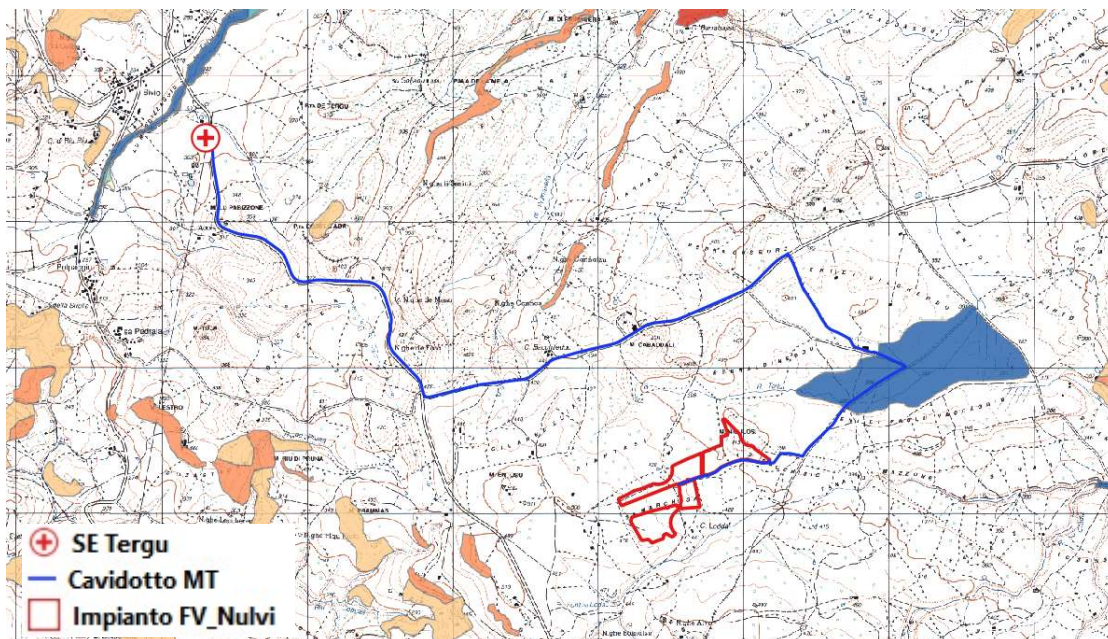
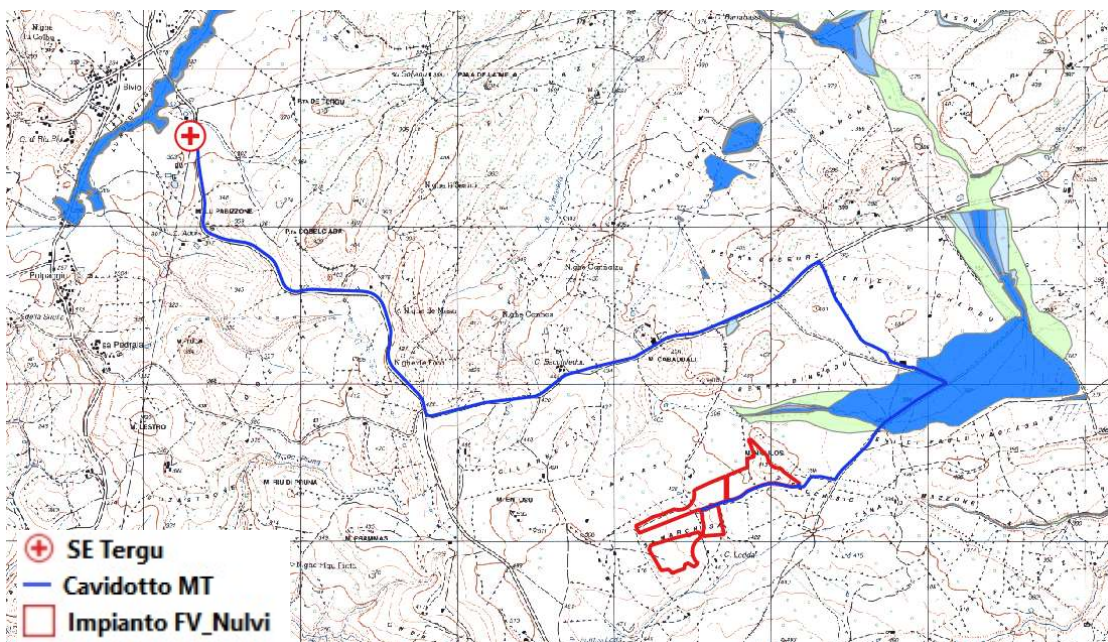


Figura 2: -Pericolosità geomorfologica da frana e Pericolosità idraulica PAI Sardegna
 (<https://www.sardegnameoportale.it/webgis2/sardegnamepmappe/?map=pai>)



Art. 8 Hi V.09 (Pericolo Alluvioni Art.8) HI1 HI2 HI3 HI4 Art.8 Hg V.09 (Pericolo Frana Art.8) Hg0 Hg1 Hg2 Hg3 Hg4

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.

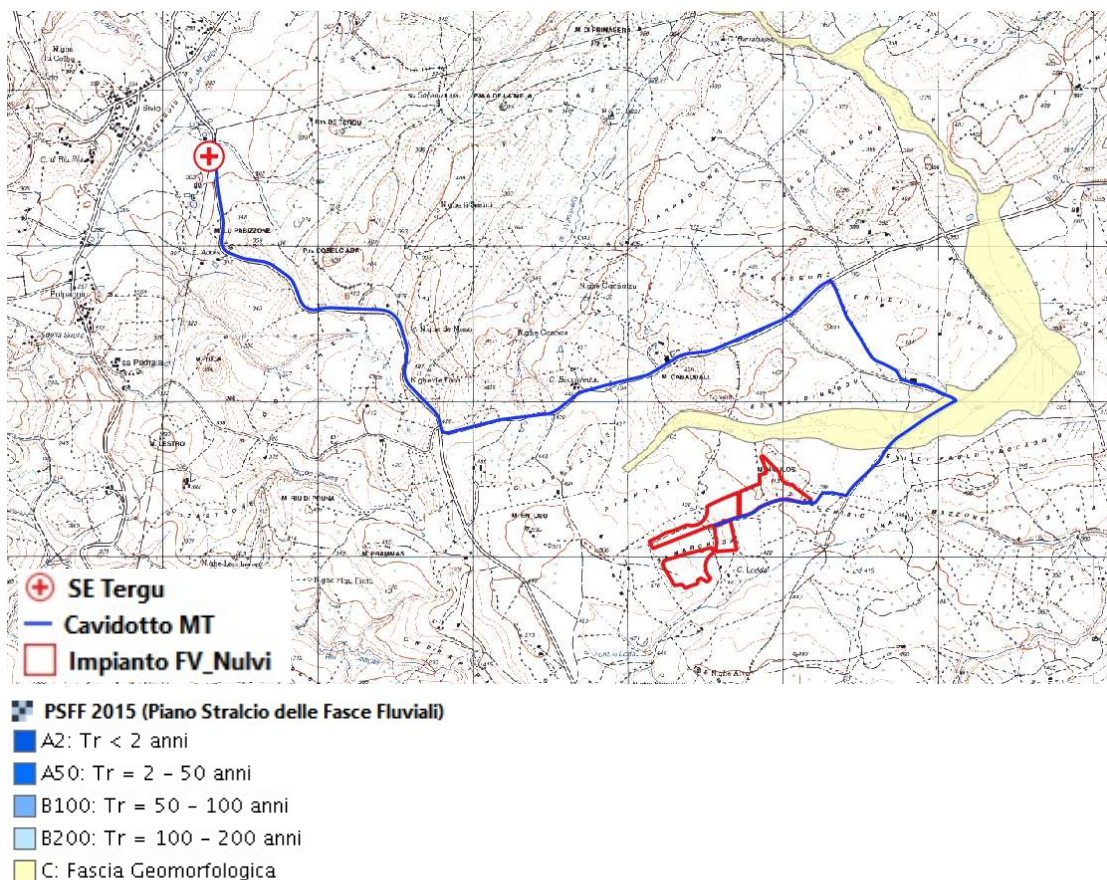


Figura 4: – PSFF 2015 dell'area di studio
 (<https://www.sardegnaeoportale.it/webgis2/sardegnamappe/?map=pai>)

3. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La progettazione degli elementi strutturali soggetti ad azioni sismiche è stata condotta in conformità al quadro legislativo attualmente vigente

- Decreto ministeriale 17-01-2018 – Norme Tecniche per le Costruzioni;
- Decreto ministeriale 14-01-2008 – Testo unitario – Norme Tecniche per le Costruzioni Allegati A e B;
- Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici – Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale. Allegato al voto n° 36 del 27/07/2007;
- O.P.C.M. n° 3274 (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";
- O.P.C.M. n° 3519 (2006) – "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle stesse zone";
- Eurocodici in versione normata UNI.

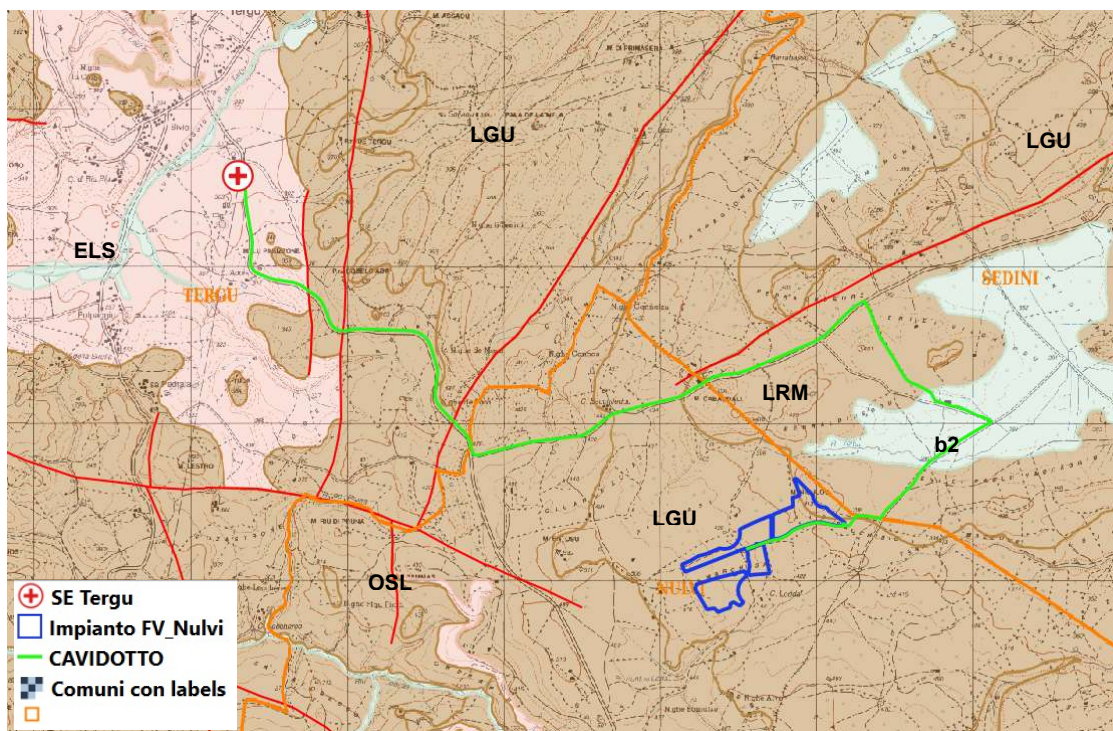
3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA IN ESAME

3.1 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).



- b₂ (Olocene)
- LRM-LGU (Burdigaliano)
- OSL (Aquitano-Burdigaliano)
- ELS (Oligocene-Aquitano)

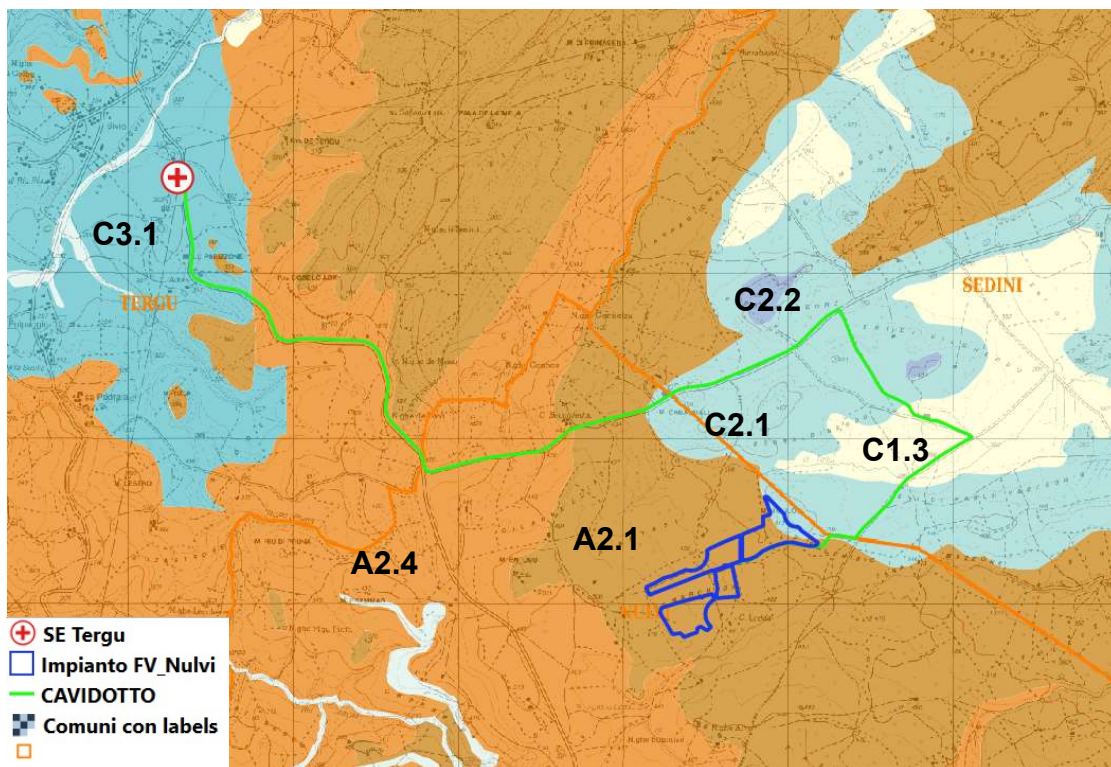
Figura 5: – Stralcio della Carta geologica di base della Sardegna in scala 1:25.000 (in rosso strutture tettoniche) (<http://www.sardegnaegeoportale.it/webgis2/sardegna-mappe/?map=mappetematiche>)

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

- **Coltri eluvio-colluviali (b₂)** 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 macroeutaxitica. 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.

3.2 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 6: - Stralcio della Carta litologica della Sardegna in scala 1:25.000
<http://www.sardegnameoportale.it/webgis2/sardegnameoportale/?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.

4. 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 7: – Posizione indagini eseguite

4.1 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 V_{s30} , 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
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.</i>
C	<i>Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</i>
D	<i>Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.</i>
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.</i>

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).

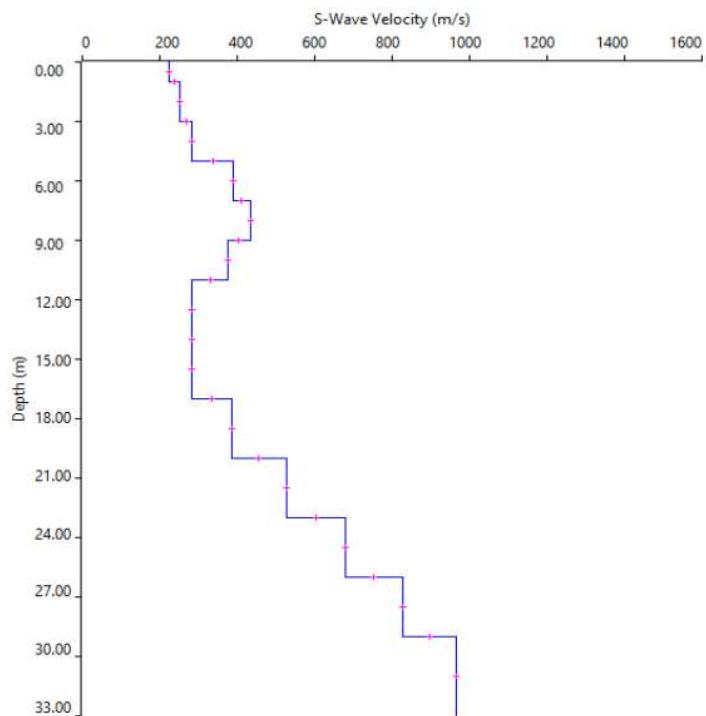
Linea	Vs eq (m/s)	Categoria di sottosuolo (D.M. 17.01.2018)	Litologia affiorante
MASW 1	353	E	Depositi epiclastici LMR
MASW 2	1345	A	Depositi piroclastici LGU
MASW 3	1339	A	Depositi piroclastici LGU

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 ³)
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



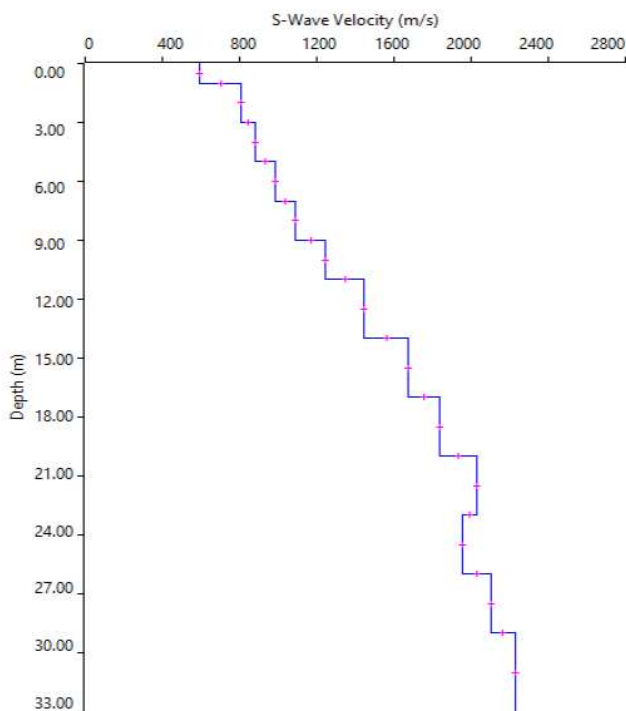
Profilo delle onde di taglio dalla superficie (MASW 1)

MASW 2

Dall'indagine di tipo MASW 2 è risultato che il sottosuolo dell'area in esame è associabile alla categoria di sottosuolo A, poichè 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 ³)
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



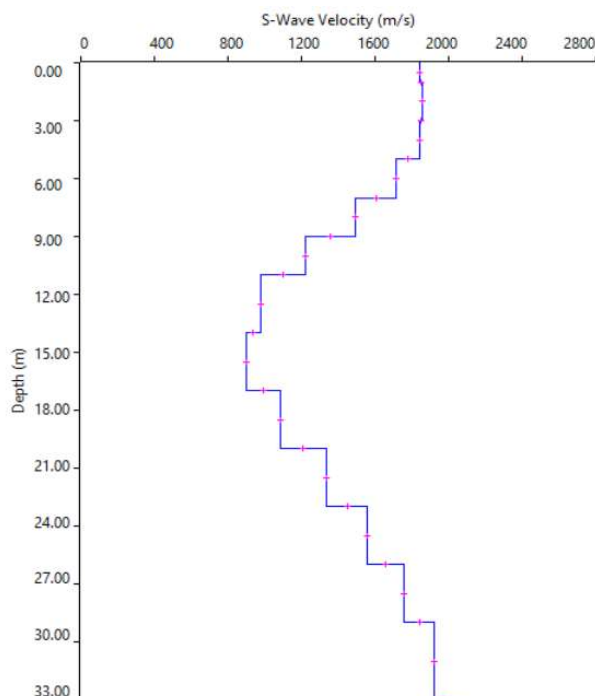
Profilo delle onde di taglio dalla superficie

MASW 3

Dall'indagine di tipo MASW 3 è risultato che il sottosuolo dell'area in esame è associabile alla categoria di sottosuolo A, poichè 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 ³)
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

5. 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 puntale 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):

γ^* (KN/m ³)	C' (KN/m ²)	φ' (°)
18,14	5,88	24

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

γ^* (KN/m ³)	C' (KN/m ²)	φ' (°)
23,71	340	39

6. 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.

6.1 SISMICITA' STORICA

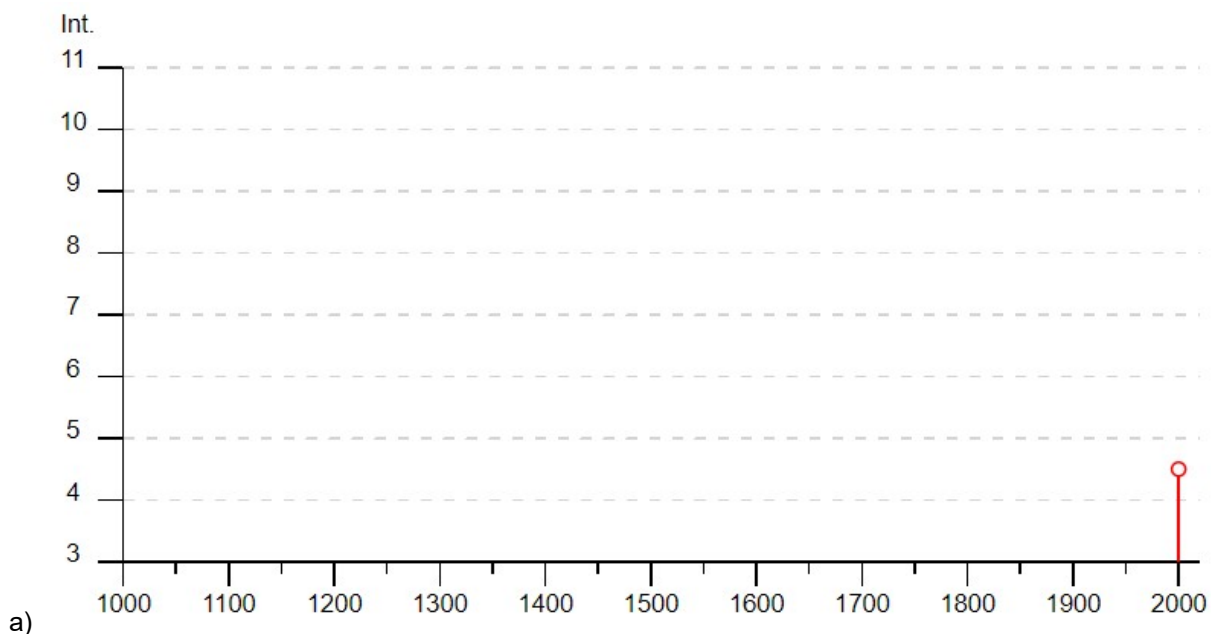
Dal Database Macrosismico Italiano 2015 dell'INGV (consultabile al seguente link: https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/query_place/) è stato possibile individuare la seguente storia sismica dell'area interessata dall'impianto fotovoltaico ricadente nel comune di Nulvi.

Questo fornisce un set omogeneo di intensità macrosismiche provenienti da diverse fonti relativo ai terremoti con intensità massima ≥ 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



a)

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 8: - 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)

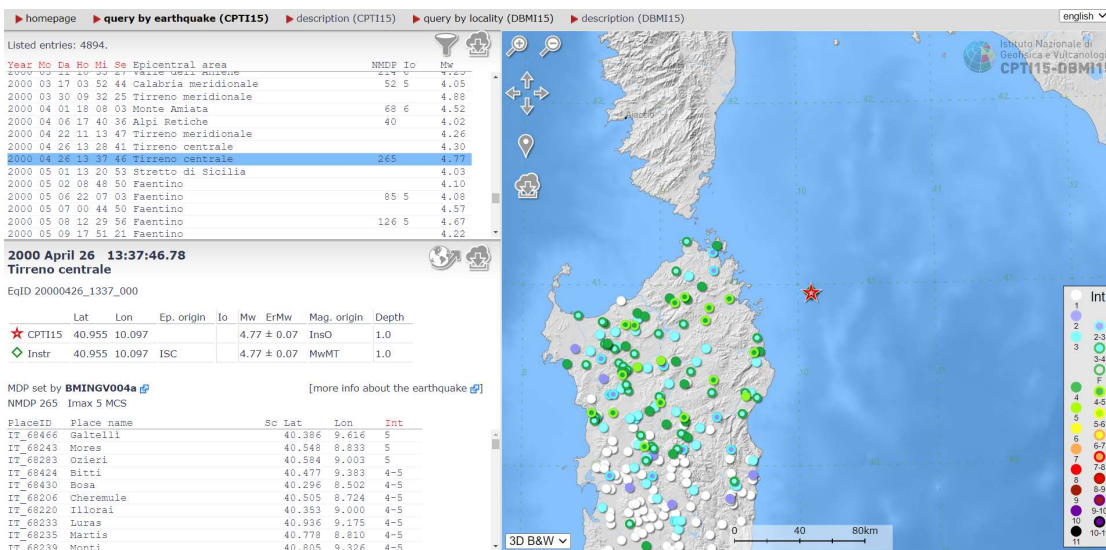


Figura 9: – Intensità registrate in seguito al sisma del 2000 del Tirreno centrale dal Catalogo parametrico dei terremoti italiani 2015 (CPTI15) dell'INGV

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.

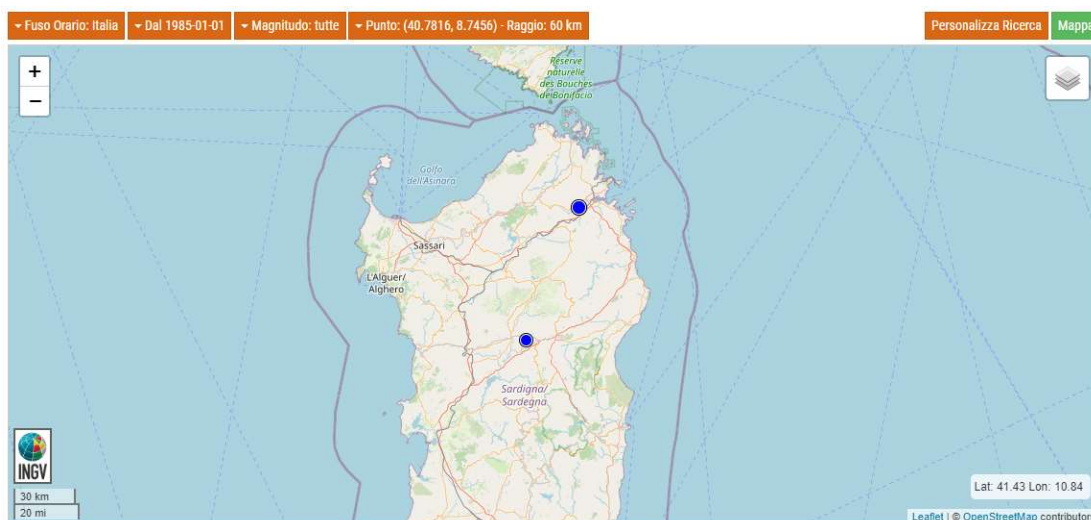


Figura 10: – Lista degli eventi di M <= 1 avvenuti dal 1985 ad oggi entro un raggio di 60 km dal Comune di Nulvi (SS) da INGV.

6.2 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.

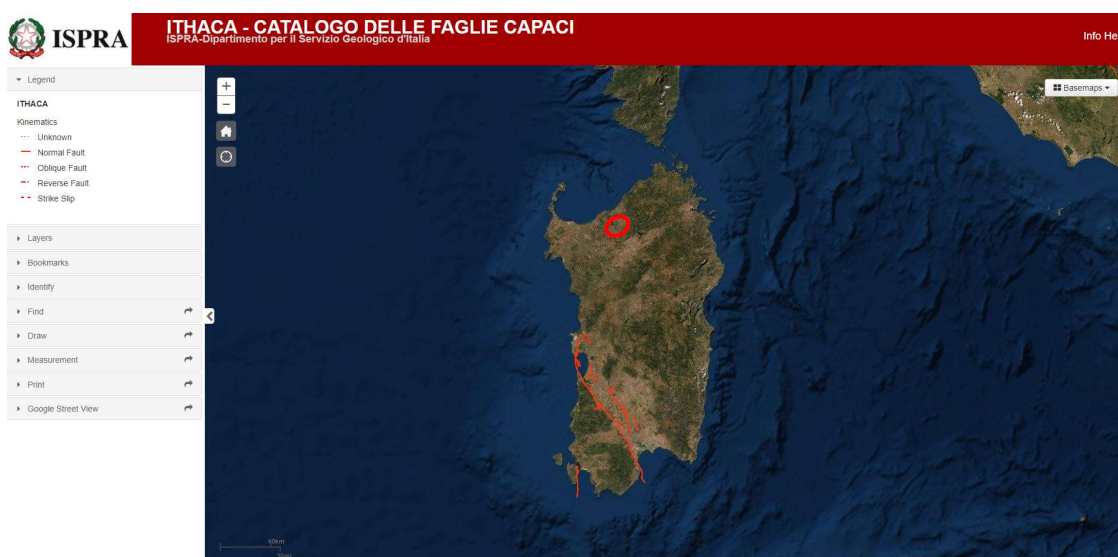


Figura 11: - Database Ithaca con individuazione delle strutture tettoniche attive in Italia (cerchio in rosso =area di studio <http://sgi2.isprambiente.it/ithacaweb/viewer/>)

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.

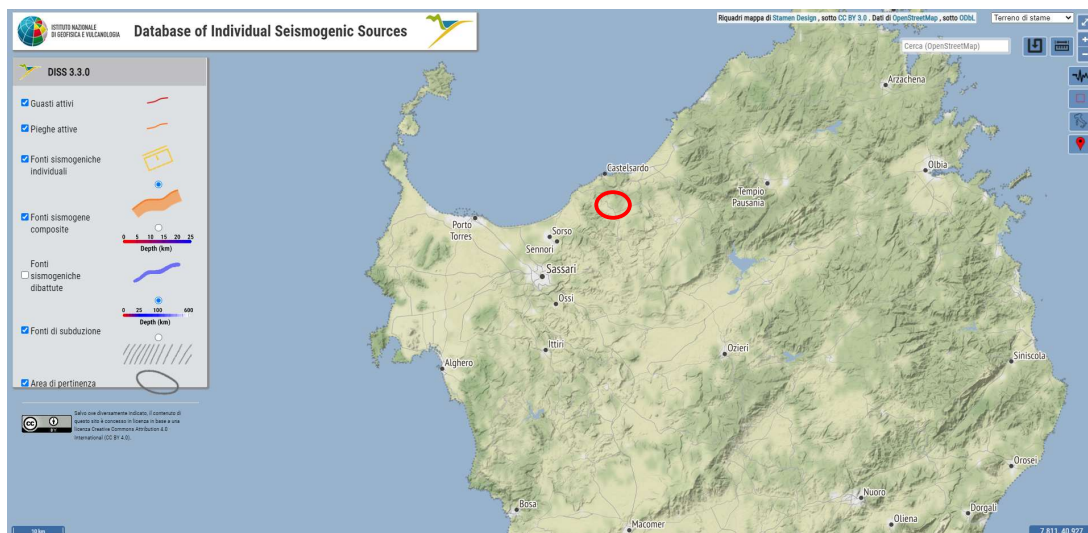


Figura 12: – Database DISS 3.3.0 ubicazione delle sorgenti sismogenetiche nell'area di studio - <https://doi.org/10.13127/diss3.3.0> (cerchio in rosso).

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 13: – Zonazione sismogenetica ZS9 con indicazione dell'area di studio (da 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.

6.3 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".

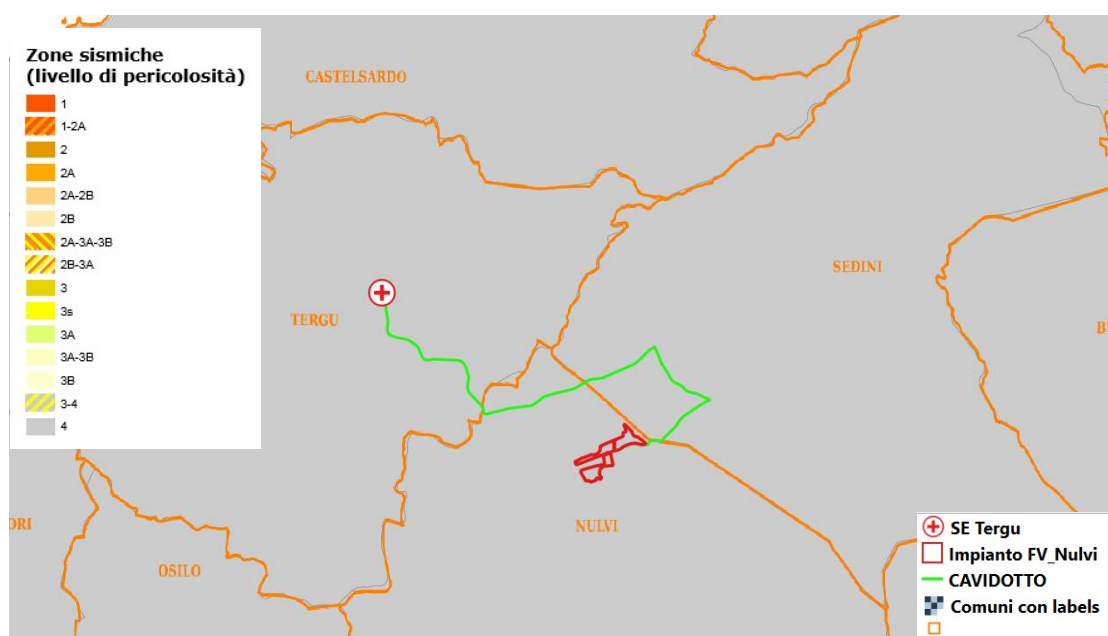


Figura 14: – Stralcio della classificazione sismica (aprile 2022)

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

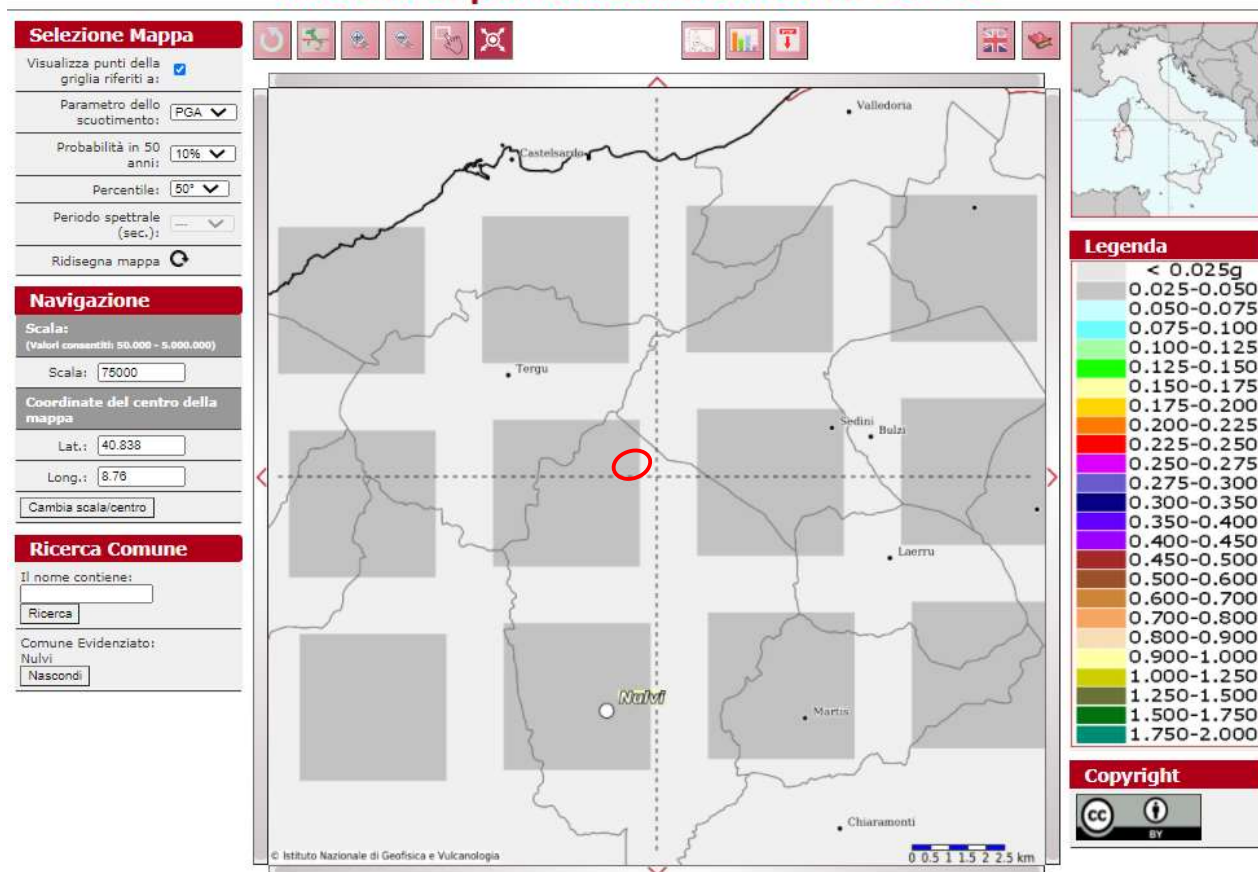


Figura 15: – Mappa dell'accelerazione massima al suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi ($V_s30 > 800\text{m/s}$ Cat. A).

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).

6.4 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
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.</i>
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</i>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.</i>
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.</i>

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° . 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 _R =30			T _R =50			T _R =72			T _R =101			T _R =140			T _R =201			T _R =475			T _R =975			T _R =2475		
	a _g	F _o	T _c *	a _g	F _o	T _c *	a _g	F _o	T _c *	a _g	F _o	T _c *	a _g	F _o	T _c *	a _g	F _o	T _c *	a _g	F _o	T _c *	a _g	F _o	T _c *	a _g	F _o	T _c *
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).

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

7. TRATTAZIONE TEORICA DEI CALCOLI GEOTECNICI

I calcoli geotecnici completi sono riportati negli elaborati di riferimento denominato "CALCOLI PRELIMINARI STRUTTURE".

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

- Verifica strutturale dei tracker di supporto dei moduli fotovoltaici;
- Verifica della portanza dei suoli nei confronti dei tracker e delle cabine prefabbricate.

7.1 ANALISI STRUTTURALI

I calcoli sono condotti nel pieno rispetto della normativa vigente e, in particolare, la normativa cui viene fatto riferimento nelle fasi di calcolo, verifica e progettazione.

Si sono utilizzati come modelli di calcolo quelli esplicitamente richiamati nel D.M. 17/01/2018.

Per quanto riguarda le azioni sismiche ed in particolare per la determinazione del fattore di struttura, dei dettagli costruttivi e le prestazioni sia agli S.L.U. che allo S.L.D. si fa riferimento al D.M. 17/01/18 e alla circolare del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 21 gennaio 2019, n. 7 la quale è stata utilizzata come norma di dettaglio.

Il progetto delle strutture costituenti la centrale in esame è stato elaborato con le prescrizioni della normativa tecnica vigente nel nostro Paese, e con le indicazioni contenute in pubblicazioni specializzate. Si richiamano, in particolare, i seguenti testi normativi:

- D.M. 17/01/2018 – Aggiornamento delle "Norme Tecniche per le Costruzioni" (NTC 2018);
- O.P.C.M. n. 3519 del 28/04/2006 - Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone
- O.P.C.M. n. 3431 del 03/05/2005 - Ulteriori modifiche ed integrazioni all'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003, recante "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica"
- D.M. 16/01/1996 - Norme tecniche relative ai Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e dei sovraccarichi, e relativa Circolare Ministeriale n. 156 del 04/07/1996;
- Lg. n. 64 del 02/02/1974 - Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche
- Lg. n. 1086 del 05/11/1971 - Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica;

- Allegato alla Lg. n. 1684 del 25/11/1962 - Elenco dei Comuni e frazioni e parti di Comune nei quali è obbligatoria l'osservanza delle norme tecniche di edilizia per le località sismiche della 1ª e della 2ª categoria.

7.2 ANALISI STRUTTURALI

La struttura di sostegno dei moduli fotovoltaici, composta in profilati di carpenteria metallica, la cui campata principale è di 5.0 m di luce.

La struttura è incastrata nel suolo di sedime, per mezzo di 7 pali direttamente infissi nel terreno, per una profondità di circa 1.8 metri.

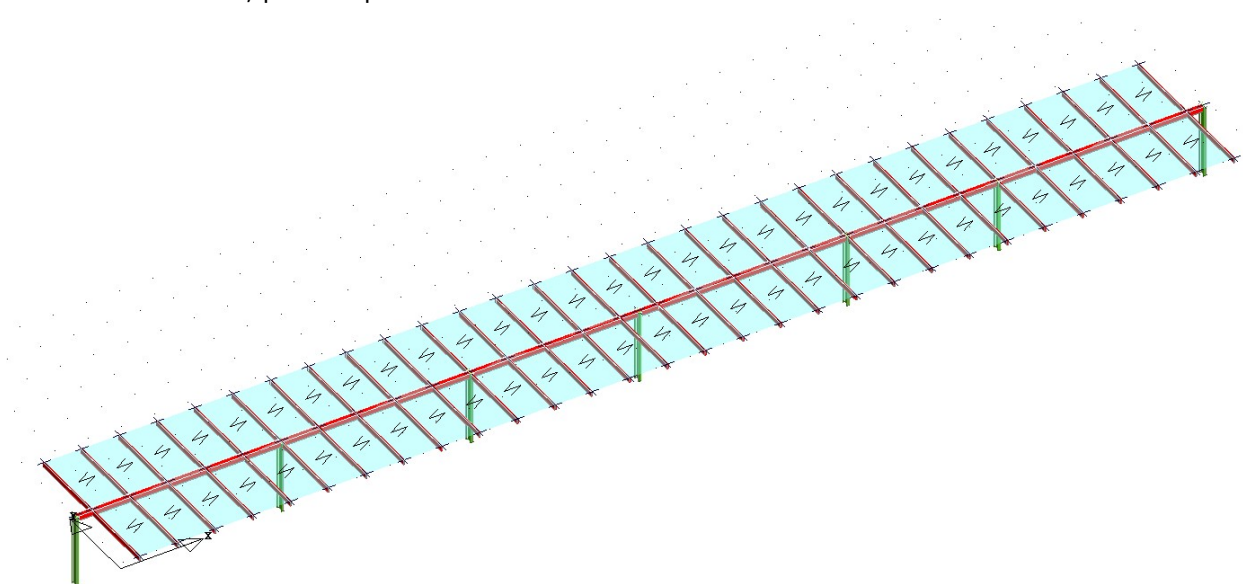


Figura 16: – Modello strutturale.

7.3 AZIONI SULLA STRUTTURA

La struttura modellata nel codice di calcolo è stata caricata con carico pannello al fine di simulare i moduli fotovoltaici applicando il peso proprio dei moduli (20 kg/m²), come azione principale il carico vento, come azione secondaria il carico neve (calcolati nei capitoli precedenti) ed è stata eseguita un'analisi statica lineare per calcolare la reazione sismica della struttura nelle 2 direzioni principali.

7.4 VERIFICHE STRUTTURALI

Le sollecitazioni così ottenute si sono confrontate con le resistenze degli elementi costituenti la struttura e la verifica risulta soddisfatta in ciascuna asta.

Consultare i tabulati di calcolo nella relazione "CALCOLI PRELIMINARI STRUTTURE".

7.5 VERIFICA LUNGHEZZA D'INFISSIONE

In via semplificata si procede alla verifica della lunghezza d'infissione, pari a 1.8 metri, ipotizzata in fase di progetto. La lunghezza di infissione definitiva sarà individuata in fase esecutiva in seguito alla realizzazione di pullout test, eseguiti con pali della medesima

dimensione di quelli della struttura, su varie verticali del sito in cui sorgerà l’impianto al fine di meglio conoscere i suoli presenti e la loro effettiva capacità portante.

Si è proceduti a verificare la portanza laterale del palo infisso utilizzando i parametri geotecnici medi descritti precedentemente. La capacità laterale è stata calcolata secondo le ntc 2018 come segue:

$$Q_{punta} = (\mu \times \sigma'_v \times Nq + c' \times Nc) \times Ap$$

essendo

$$\mu = \frac{1+2(1-\sin\phi')}{3}$$

$$Nq = \frac{3}{3-\sin\phi'} \exp\left[\left(\frac{\pi}{2}-\phi'\right)\tan\phi'\right] \tan^2\left(\frac{\pi}{4}+\frac{\phi'}{2}\right) \times Irr^{\frac{4\sin\phi'}{3(1+\sin\phi')}}$$

Irr = indice di rigidezza ridotta

σ'_v = tensione verticale efficace in punta

$$Nc = (Nq - 1) \cot \phi'$$

$$Q_{later} = \alpha \times Cum \times As$$

essendo

Cum = coesione non drenata media lungo lo strato

As = area della superficie laterale del palo

α = coeff. riduttivo in funzione delle modalità esecutive:

- per pali infissi: $\alpha = 1$ per $Cu \leq 25$ kPa (0,25 kg/cm²)

Stratigrafia	Spessore	γ	γ_{sat}	Cu	ϕ
	m	kg/mc	kN/mc	Kg/cmq	°
Suolo1	3.0	1814	2000	5.88	24

Z	Li	Suolo	Cu	ϕ	Qr totale (kN)
m	m		Kg/cmq	°	$\gamma_r = 1.15$
1.8	1.8	1	5.88	24	52.52765334

Poiché lo sforzo normale massimo alla base della struttura derivante dall’involuppo delle combinazioni di carico risulta essere circa 36.9 kN inferiore alla resistenza laterale massima del palo infisso, pari a 52.53 kN, la verifica risulta quindi soddisfatta.

7.6 VERIFICA PORTANZA FONDAZIONE CABINE

Le cabine saranno del tipo prefabbricato, opportunamente dimensionate dal punto di vista strutturale, ragion per cui si è proceduti alla sola verifica geotecnica, ossia che lo stato

MARTE S.R.L.



Via Degli Arredatori, 8 – 70026 Modugno (BA) – Italy
www.bfpgroup.net – 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.16703.00.056.01

PAGE

35 di/of 36

tensionale indotto sia sopportabile dal terreno di fondazione e che i cedimenti siano compatibili con l'opera.

A servizio dell'impianto saranno alloggiate tre tipologie di cabine; quella di consegna, quella utente e quella di trasformazione. Si prosegue verificando la portanza della sola cabina di trasformazione, in quanto è certamente quella che carica maggiormente il suolo a causa dell'elevato peso dei trasformatori. Verificata quest'ultima le altre si ritengono verificate di conseguenza.

8. CONCLUSIONI

L'analisi delle tematiche geologiche, geomorfologiche 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.

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 a_g 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.

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

IL GEOLOGO

Dott. Lucia Santopietro