

**MINISTERO DELLA TRANSIZIONE ECOLOGICA**  
**VALUTAZIONI ED AUTORIZZAZIONI AMBIENTALI**



Il presente disegno è di proprietà aziendale. A termini di legge ogni diritto è riservato.  
This drawing is company property. All rights are reserved according to law..

**COMUNI DI VILLASOR E DECIMOPUTZU**  
Provincia SU

**TITOLO**  
**TITLE** REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO FOTOVOLTAICO SU PENSILINA SITO NEI  
COMUNI DI VILLASOR (SU) E DECIMOPUTZU (SU) PER UNA POTENZA  
TOTALE DI 48 MW

**PROGETTAZIONE**  
**ENGINEERING**  
Ing. Giuliano Giuseppe Medici  
Ing. Arch. Valeria Medici  
Ing. Arch. Elisa Defraia

**COMMITTENTE**  
**CLIENT** ENERGETICA CAMPIDANO SRL

**OGGETTO**  
**OBJECT** RELAZIONE GEOLOGICA\_VIA

**DATA / DATE**  
LUGLIO 2021

**REL**

**F**

# COMUNE DI VILLASOR

(Prov. Sud sardegna)

## IMPIANTO FOTOVOLTAICO NON A TERRA (SU PENSILINA) SITO NEL COMUNE DI VILLASOR (SU) LOCALITÀ SARTU IS COCCUS

### RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA



#### Studio Tecnico Geologico

Servizi & Consulenze - Dott. Mario STRINNA

Sede legale : Viale Diaz, 48 - 09125 CAGLIARI - Tel.Fax 070.303083

Portatile +39 328.7906284 - E-mail mariostrinna@libero.it PEC mariostrinna@epap.sicurezzapostale.it

web : www.mariostrinna.com

*Committente:*

ENERGETICA CAMPIDANO SRL

*Oggetto:*

Verifica Geologica e Geotecnica

*Data:*

07/2021

*Scala:*

*Geologo [O.R.C. n. 441 - Sez. A]*

Dott. Mario STRINNA



*Collaboratore:*

*Aggiornamenti:*

*Tavola:*

*File: mario/geologia/2020/Villasor impianto fotovoltaico*

**Committente:** ENERGETICA CAMPIDANO SRL

**Progetto:** Impianto fotovoltaico non a terra (su pensilina) loc. Sartu Is Coccus - Villasor

**Il Geologo:** Dott. Mario STRINNA - **ORG** 441

Relazione geologica



## COMUNE DI VILLASOR

(Prov. Sud Sardegna)

### RELAZIONE GEOLOGICA

#### PROGETTO IMPIANTO FOTOVOLTAICO NON A TERRA (SU PENSILINA) VILLASOR LOCALITÀ SARTU IS COCCUS



### COMMITTENTE

ENERGETICA CAMPIDANO SRL

**GEOLOGO** [SEZ. A]

Dott. Mario STRINNA



La presente relazione non può essere né copiata né riprodotta, anche parzialmente, se non con il consenso del professionista incaricato, previa autorizzazione scritta. Eventuali mancanze saranno punite ai sensi di legge (Art.2578 C.C. - L.22.4.1941 N.6331)

This report can be neither copied nor reproduced, even partially, except with the consent of the professional person in charge, prior written permission. Any deficiencies will be punished according to the law (Art.2578 CC - L.22.4.1941 N.6331)



Viale Diaz n. 48 09125 Cagliari T/F 070.303083 Portatile +39 3287906284  
Assicurazione professionale (LLOYD'S) geologi certificato n. A819B0201B27FNA-LB

## INDICE

|   |         |
|---|---------|
| <b>RELAZIONE GEOLOGICA</b> .....  | pag. 3  |
| <b>A. PREMESSA</b> .....  | pag. 3  |
| <b>B. INQUADRAMENTO AEREO E GEOGRAFICO</b> .....                                  | pag. 4  |
| <br>  |         |
| <b>1. CARATTERI GEOLOGICI E STRATIGRAFICI DELL'AREA VASTA</b> .....               | pag. 8  |
| <b>1.1 - Tettonica</b> .....  | pag. 10 |
| <b>1.2 - Settore di interesse (area sensibile)</b> .....                          | pag. 11 |
| 1.2.1 - Inquadramento morfologico - climatico .....                               | pag. 12 |
| <b>1.3 - Idrogeologia e idrologia superficiale</b> .....                          | pag. 15 |
| 1.3.1 - Inquadramento idrografico e idrogeologico .....                           | pag. 16 |
| <b>1.4 - Sistema pedologico generale</b> .....                                    | pag. 18 |
| <b>1.5 - Pericolosità sismica e categoria di sottosuolo</b> .....                 | pag. 19 |
| 1.5.1 - Pericolosità Sismica Locale .....   | pag. 23 |
| 1.5.2 – Categorie di sottosuolo .....   | pag. 24 |
| 1.5.3 – Dati sismici sul sito (spettri di risposta) .....                         | pag. 26 |
| <b>1.6 – Analisi del PAI Regione Sardegna</b> .....                               | pag. 27 |
| <br>  |         |
| <b>RELAZIONE GEOTECNICA</b> .....   | pag. 28 |
| <br>  |         |
| <b>2. CONSIDERAZIONI GEOTECNICHE DI CONTESTO</b> .....                            | pag. 28 |
| 2.1 - Stima dei parametri geotecnici .....  | pag. 29 |
| <b>2.2 – Considerazioni sulla scavabilità e tenuta dei fronti di scavo</b> .....  | pag. 30 |
| <b>2.3 - Verifica degli SL secondo le NTC 2018</b> .....                          | pag. 31 |
| 2.3.1 – Cedimenti per ogni strato .....   | pag. 35 |
| 2.3.2 - Cedimenti elastici .....  | pag. 35 |
| 2.3.3 - Cedimenti BURLAND E BURBIDGE .....  | pag. 35 |
| 2.3.4 - Verifica a liquefazione - Metodo del C.N.R. - GNDT Da Seed e Idriss ..... | pag. 35 |
| <br>  |         |
| <b>3. CONCLUSIONI</b> .....   | pag. 38 |
| <br>  |         |
| <b>Appendice</b>  |         |
| - Inquadramento geologico su base cartografica 1:10.000 .....                     | pag. 45 |
| - Carta delle permeabilità su base cartografica 1:10.000 .....                    | pag. 46 |



## RELAZIONE GEOLOGICA

Competenze professionali: la redazione relazione geologica (L. 9.07.1908, n. 445; D.P.R. 7.01.1956 n. 164; L. 25.11.1962, n. 1684; L. 2.02.1974 n. 64; D. LL. PP. 15.05.1985; D.M. LL. PP. del 12.12.1985; D.M. 11.3.1988; L. R. 7.06.1989, n. 30; D.M. 04.05.1990; D.P.R. 10.09.1990, n. 285; D.P.C.M. 29.09.1998; D.P.R. 6.06.2001, n. 380; D.Lgs 12.04.2006, n. 163 e ss. mm. ii.; D. Lgs 3.04.2006, n. 152; D.M. 14.01.2008; Ord. P.C.M. del 20.03.2003 n. 3274; PRESIDENZA DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI DIPARTIMENTO DELLA PROTEZIONE CIVILE D. 21.10.2003; D. Ass. LL.PP. 21.02.005 n. 3 - Esecutività della Del. di G.R. n. 54/33 del 30.12.2004, Del. G.R.15/31 2004) è nella piena ed esclusiva competenza del geologo [Consiglio di Stato (V Sezione giurisdizionale) Decisione 4 maggio 1995, n°701]. Il divieto di subappalto della relazione geologica è sancito dalla Determinazione n. 3 del 27.02.2002 dell'Autorità per la Vigilanza sui Contratti Pubblici di Lavori, Servizi e Forniture. Sull'obbligatorietà dell'acquisizione della relazione geologica come elaborato di progetto ( punto B.5. DM 11.3.1988 "I risultati delle indagini devono essere oggetto di apposite relazioni, parte integrante del progetto") si è espresso il Consiglio di Stato sezione VI con sentenza 5666/2009.

### A. PREMESSA

Per lo studio dei terreni interessati dal progetto di un impianto fotovoltaico da realizzarsi all'esterno del contesto urbano verso Ovest, adiacente alla Strada Comunale Decimoputzu Villasor, è stato richiesto un accertamento geologico e geotecnico, con particolare riferimento alla caratterizzazione lito-stratigrafica e idrogeologica dei terreni che insistono nell'areale come substrato di appoggio delle fondazioni su palo infisso dove dovrà essere realizzato l'impianto, con particolare riferimento alla:

- Ricostruzione dell'assetto litostratigrafico del sedime di intervento sulla base di stratigrafie ricavate da specifici studi geologici svolti sul territorio al fine di definire la sequenza dei terreni;
- Problematica geotecnica connessa all'interazione opera-geologia locale;
- Definizione delle caratteristiche litotecniche attraverso la loro definizione, sulla base di documentazione disponibile, edita e inedita, documentabile dallo stesso scrivente sulla base di lavori pregressi svolti nel medesimo assetto territoriale<sup>1</sup> supportate da dati bibliografici e conoscenze dei luoghi.

Tale lavoro è stato eseguito in ottemperanza del **D.M. 11.03.1988** (Norme Tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione). Le indagini sono state svolte in ottemperanza alle norme fissate dall'**A.N.I.S.I.G.** (Ass. Naz. Imprese Specializzate in Indagini Geognostiche). Testo integrato con la **Circ. LL.PP. 24 Settembre 1988 n. 30483** (punto A3): istruzioni riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione, **Circolare n. 218/24/3 del 09.01.1996** e **n. 617 del 02.02.2009 – OPCM n. 3274 del 20.03.2003 - N.T.C. 2008** sulle costruzioni, **Nuove NTC 2018 sulle costruzioni** (§ 2.6 - § 3.2. + 3.2.2. - § 7.11.3.), secondo le seguenti fasi:



- Sopralluogo nell'area in esame ed esame critico della situazione attuale;
- Stesura di una relazione geologica sulla base di specifiche indagini geognostiche e prove in sito, il tutto supportato dalle conoscenze dei luoghi litologici per esperienze pregresse svolte dallo scrivente sull'areale sensibile.

Nello specifico i dati di dettaglio sono stati acquisiti tramite esperienze pregresse svolte dallo scrivente nello stesso contesto territoriale e osservazione (dirette) di evidenze litologiche (Sedimenti alluvionali → **bnb**: depositi alluvionali terrazzati Olocenici; **bb**: depositi alluvionali Olocenici; **bnc**: depositi alluvionali terrazzati limosi argillosi Olocenici) in affioramento nell'area, costituenti la copertura principale di tutto il territorio sensibile, di modesto spessore, sugli stessi elementi miocenici marini essenzialmente marnosi arenacei.

## B. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E AEREO

L'area interessata dallo studio è situata all'interno del Comune di Villasor, più precisamente, nella località Sartu Is Coccus, nella zona poco più a Ovest del tessuto urbano di Villasor. Morfologicamente trattasi di un territorio essenzialmente pianeggiante, la cui quota s.l.m.m. è di circa +28.0m degradante verso SSE.



### Dati geografici:

- **I.G.M.** in scala 1:25.000 N° 556 - I quadrante [Villasor];
- **C.T.R.** Foglio 556-030 in scala 1:10.000 [Cantoniera Sa Doda].

Figura 1 – Inquadramento aereo area sensibile [fonte Google Maps]

Coordinate km Gauss Boaga area sensibile [Fuso 32]:

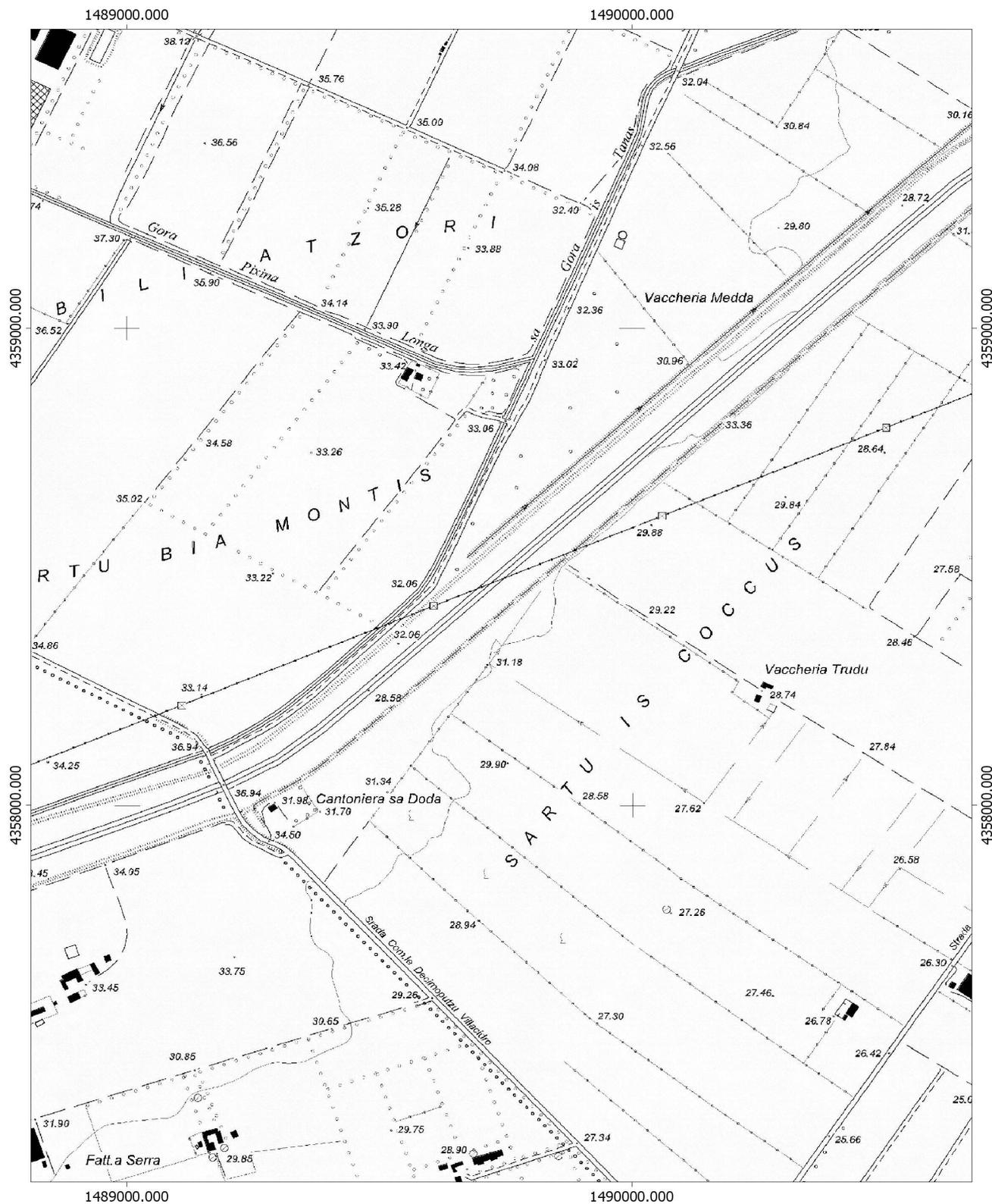
- **X = 1489753.2016 E**
- **Y = 4358088.4459 N**

<sup>1</sup> Sondaggi geognostici centrale ENEL - Geotest srl, Studio geologico idraulico Loc. Su Pardu Villasor

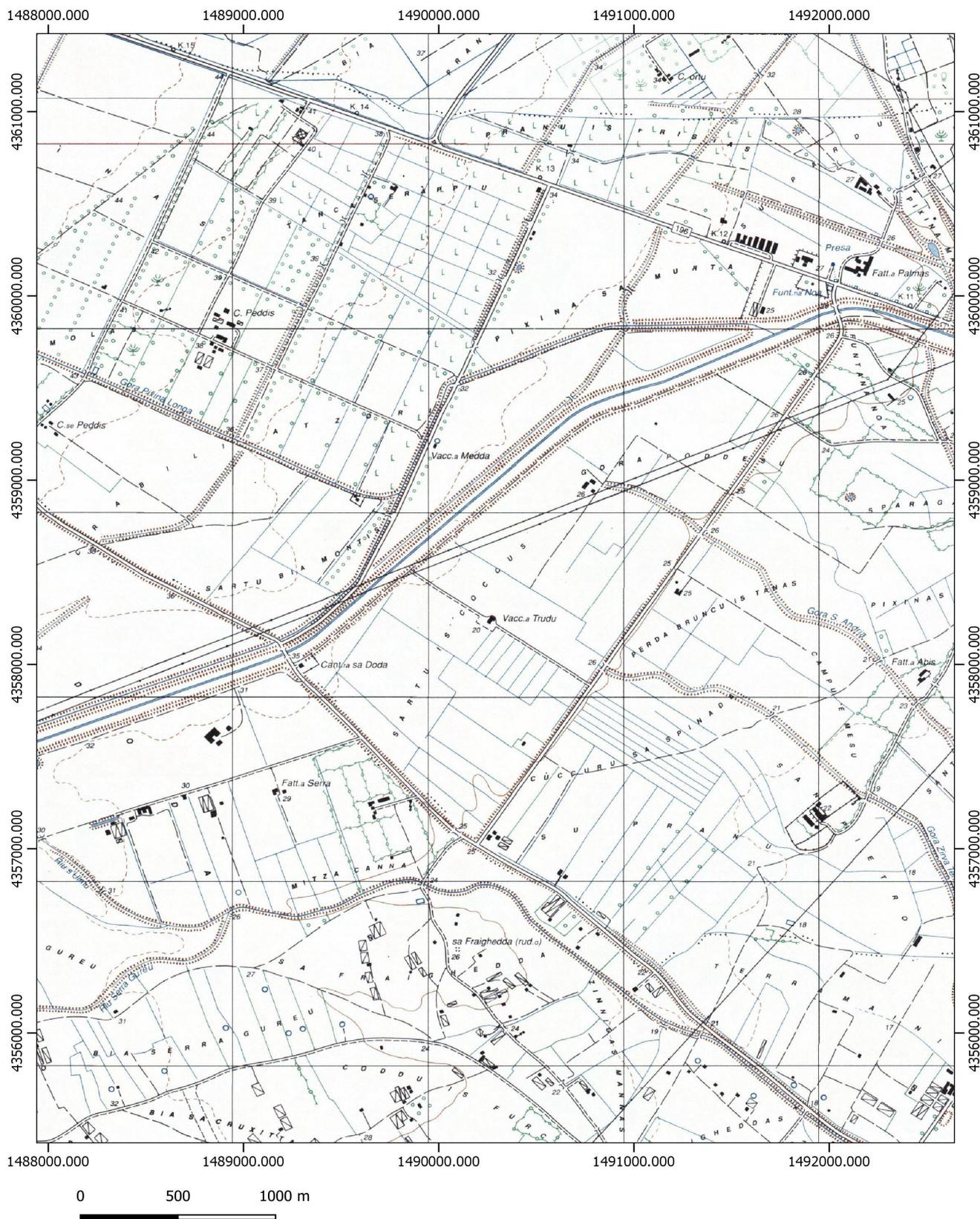
### INQUADRAMENTO AEREO



INQUADRAMENTO CARTOGRAFICO REGIONALE  
CTR FOGLIO 556 - 030 [CANTONIERA SA DODA] SCALA 1:10.000



INQUADRAMENTO CARTOGRAFICO REGIONALE  
IGM FOGLIO 556 - I QUADRANTE [VILLASOR] SCALA 1:25000



## 1. CARATTERI GEOLOGICI E STRATIGRAFICI DELL'AREA VASTA

L'area interessata, è costituita da litologie ascrivibili al Quaternario (Olocene). La fossa del Campidano, in cui è inserita la zona studiata, durante il Quaternario è stata ampiamente interessata dal trasporto e deposizione di enormi quantità di materiale asportati ed incisi in periodi successivi. I depositi quaternari rilevati nell'area cartografata sono costituiti esclusivamente da sedimenti di facies continentale, in particolare:

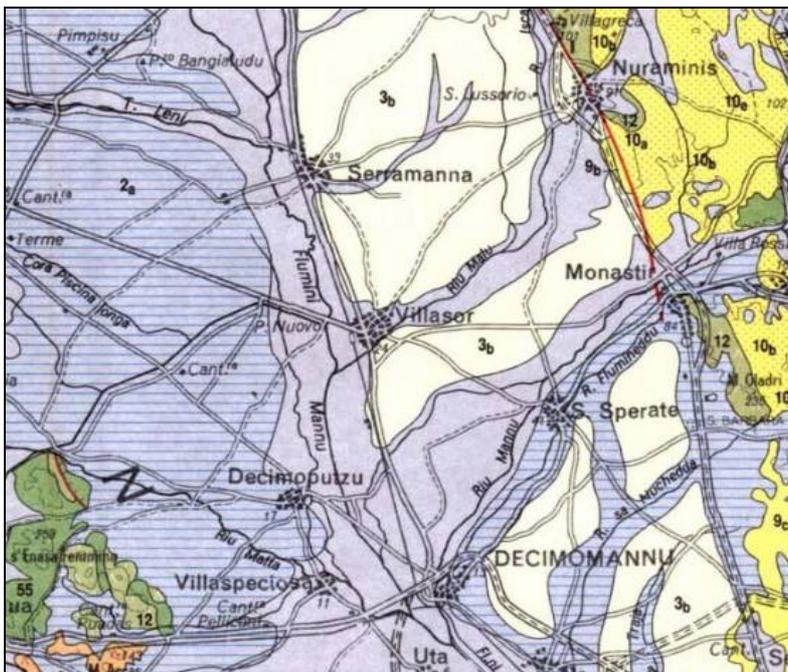


Figura 2 – Inquadramento Geologico della Sardegna (1:200.000)

- 1: Depositi quaternari ghiaiosi sabbiosi, limi e argille sabbiosi, colluviali
- 2a: Conglomerati, sabbie e argille più o meno compatti, in terrazzi e conoidi alluvionali
- 3b: Copertura sedimentaria e vulcanica: conglomerati, arenarie e argille del sistema alluvionale derivate dal rimaneggiamento di sedimenti miocenici

a elevata.

- Depositi di versante costituenti una vasta coltre detritica, formati da elementi poligenici ed eterometrici con grado di elaborazione da assente ascarso, in matrice sabbioso-limosa e cemento argilloso, grado di addensamento da medio a elevato, grado di ossidazione medio e alterazione degli elementi clastici moderata.

- Depositi alluvionali terrazzati più antichi, costituiti da elementi poligenici ed eterometrici in matrice argilloso sabbiosa e cemento argilloso, grado di addensamento elevato, grado di ossidazione elevato, stato di alterazione degli elementi clastici da medio a elevato, cementazione elevata.

I terreni di copertura sono di origine eluvio-colluviale, il loro spessore è modesto; lungo i fondovalle vi sono terreni detritici colluviali e alluvionali recenti con la presenza di terreni di riporto.

In Sardegna durante l'intervallo Messiniano – Quaternario, si sono manifestati movimenti tettonici disgiuntivi. Importanti fasi erosive hanno agito durante i periodi di continentalità, la cui dinamica è riconoscibile attraverso paleo-superfici e successioni stratigrafiche, quanto nelle morfologie residue attuali.

La trasgressione Oligo-Miocenica è stata preceduta da una fase tettonica distensiva post-ercinica e dalle prime manifestazioni calcoalcaline (*Coulon et al. 1974; Savelli, 1975*). La trasgressione ha avuto inizio nell'oligocene superiore e si è attuata su di un substrato tettonizzato, costituito da sedimenti continentali paleogenici (*Formazione del Cixerri, Pecorini & Pomesano Cherchi, 1969*) e localmente da terreni paleozoici. Nella Sardegna meridionale, a partire dal Miocene medio, la sedimentazione marina si è attuata, in condizioni di stasi vulcanica, fino al Messiniano evaporitico, in un bacino debolmente subsidente, che interessava tutta la fascia mediana dell'isola. Gli ultimi sedimenti marini miocenici sono costituiti da strati marnosi-siltosi. Questa successione si evolve rapidamente verso facies lagunari con frequenti emersioni ed erosioni, seguita dalle facies evaporitiche che precedono la completa emersione. Gli strati pliocenici trasgressivi, discordanti sul messiniano, sono costituiti da argille siltose a ricche macrofaune (*Cherchi & Martini, in stampa*). L'inizio del disseccamento nel mediterraneo e la trasgressione pliocenica sono datati rispettivamente 5,5 e 5 m.a. (*Van Couvering et al., 1976*).

E' importante puntualizzare questi dati, per inquadrare i fenomeni erosionali, tettonici e vulcanici manifestatisi in questo intervallo. La sedimentazione marina pliocenica è stata di breve durata. Gli strati più recenti sono riferibili alla parte basale della zona, anche sé, la presenza di una superficie di erosione, fa presupporre che in realtà non rappresentino gli ultimi livelli deposti. Sugli strati erosi del pliocene inferiore giace in discordanza la formazione di Samassi (*Pecorini & Pomesano Cherchi, 1969*), che consiste di sedimenti clastici continentali molto potenti, argillosi marnosi-ciottolosi, a giacitura caotica, di ambiente fluviale, derivati dal rimaneggiamento dei depositi miocenici e pliocenici preesistenti sulle sponde del Graben. In tutta la fossa del Campidano, presenta uno spessore medio di 450 – 550 m.; è presente in affioramento lungo il bordo orientale da Cagliari fino alla soglia di Sardara. La "Formazione di Samassi" è considerata sintettonica, in quanto caratterizza l'evoluzione paleogeografia della Fossa del Campidano di età Plio-Pleistocenica; rappresenta il risultato di un rapido incremento nell'energia del rilievo, con conseguente instaurarsi di una intensa erosione e di un accumulo veloce di sedimenti nella stessa. Durante il Quaternario, il graben del Campidano viene colmato da sedimenti alluvionali, fluviali, detrito di falda, etcc, che sono andati ricoprendo la Formazione di Samassi, la serie vulcano-sedimentaria oligo-miocenica e le vulcaniti plio-pleistoceniche. I materiali alluvionali quaternari, deposti a più riprese nel Campidano, sono costituiti da alternanze ciottoloso-sabbiose e limo-argillose, per spessori che arrivano fino a 200 m nella fossa. Per quanto riguarda una datazione attendibile dei vari depositi quaternari, essa può essere indicata, nella maggior parte dei casi, soltanto là dove è possibile definire i loro rapporti con il

Tirreniano marino, che è l'unica formazione quaternaria della Sardegna datata in base ai reperti paleontologici. Le principali conoscenze stratigrafiche sul Campidano meridionale sono relative allo studio del pozzo "Campidano 1 - Villasor" (*Pecorini e Pomesano Cherchi, 1969*) ed hanno evidenziato la presenza di una copertura alluvionale quaternaria sulla Formazione di Samassi, soprastante a sua volta la successione marnoso-arenacea del Miocene. Il Quaternario antico è rappresentato dalle "Alluvioni antiche terrazzate" (Pleistocene): si tratta di sedimenti fluviali di conoide e di piana alluvionale, costituiti da conglomerati, ghiaie, sabbie, spesso con abbondante matrice siltoso-argillosa arrossata, reinciati in più ordini di terrazzi in relazione alle diverse fasi morfogenetiche, connesse alle oscillazioni climatiche pleistoceniche.

Il Quaternario recente (Olocene) è contraddistinto da coltri eluvio-colluviali, da alluvioni recenti di fondovalle e di piana, da depositi sabbiosi e palustri in aree della piana ormai bonificate. Gli studi precedenti sulla regione campidanese sono sempre stati finalizzati alle conoscenze geologico-strutturali e stratigrafiche della fossa tettonica (*Vardabasso, 1958; Montaldo, 1959; Cherchi, Casula et al., 2001*). Solo "Seuffert" (1970) si è interessato dell'assetto geomorfologico del graben del Campidano, affrontando il problema della forma e della genesi dei piani pedemontani, valutando i principali fattori morfogenetici ed i processi connessi, che ne hanno determinato il suo modellamento.

La conseguenza più importante dei movimenti tettonici distensivi plio-pleistocenici è stata lo sprofondamento del graben del Campidano e per contro il sollevamento delle aree limitrofe, che furono interessate da intensi processi di erosione areale e lineare, con approfondimento delle valli e conseguente ringiovanimento del rilievo. L'assetto morfologico del Campidano appare chiaramente influenzato da fattori strutturali (tettonici e vulcanici), che hanno condizionato i fenomeni di denudazione e soprattutto i processi fluviali dei corsi d'acqua provenienti dai rilievi attigui al graben. In entrambi i lati del Campidano è stata riscontrata la presenza di più ordini di piani o di conoidi alluvionali, anche terrazzati. La loro genesi è da imputare principalmente alle variazioni climatiche Quaternarie. Infatti, in Sardegna, in concomitanza con i periodi glaciali ed interglaciali, si verificò rispettivamente una diminuzione ed un aumento nel regime delle precipitazioni, che favorì l'alternanza di processi erosivi superficiali e lineari e quindi di fasi morfogenetiche, responsabili della formazione dei piani pedemontani e della loro incisione.

## **1.1 - Tettonica**

I maggiori eventi strutturali della Sardegna meridionale sono riferiti alla fase di rifting, datata Oligocene superiore - Burdigaliano inferiore, seguita dalla formazione del graben campidanese nel Pliocene (*G. Casula, A. Cerchi, 2001*). L'attività esplorativa e le indagini sismiche hanno permesso di definire la struttura geologica della piana del Campidano, che è la parte più profonda del Rift Sardo. Il Campidano è un graben, che si trova impostato tra gli horst paleozoici del Sulcis-Iglesiente e del Sarrabus-Gerrei ed è bordato sia ad est che ad ovest da faglie normali principali, associate a sistemi di faglie sintetiche ed



antitetiche sub-parallele. Il graben campidanese, caratterizzato da un'orientazione NNW-SSE, si è sovrapposto nella parte meridionale del "Rift Sardo" Oligo-Miocenico, a sua volta sviluppatosi su preesistenti discontinuità strutturali del basamento paleozoico.

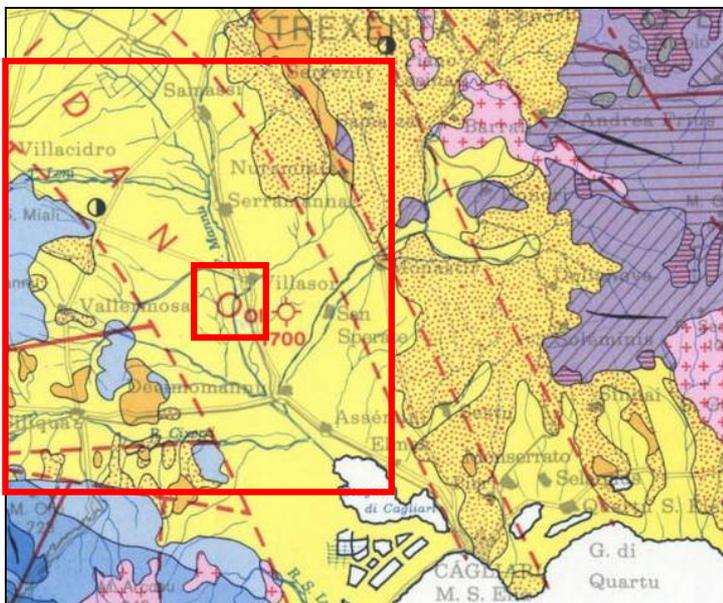


Figura 3 – Estratto dello schema strutturale della Sardegna [Cocozza]

Nel complesso le discontinuità strutturali plioceniche sono ben documentate, ovviamente, quando interessano la Formazione di Samassi o la parte più alta della serie miocenica. Le discontinuità tettoniche in formazioni geologiche più antiche, come la "Formazione del Cixerri", le vulcaniti e i sedimenti dell'Oligocene-Miocene inferiore, invece, non sono databili con precisione, in quanto sono connesse

Recenti studi su strutture tardo-paleozoiche (Elter, Musumeci, Pertusati, 1990; Di Vincenzo, Grezzo, Sartia, 1993) rilevano, nel basamento, faglie ben sviluppate in direzione WNW-ESE e ENE-WSW. Queste direzioni sono state mantenute dagli eventi tettonici del Terziario e del Plio-Quaternario (G. Casula, A. Cherchi et al., 2001). L'attività tettonica Plio-Quaternaria (probabilmente coeva all'estensione del Mar Tirreno), a cui si deve la genesi del graben, non ha fatto altro che riattivare le faglie ereditate dai precedenti stadi deformativi e innescare movimenti verticali lungo tali strutture, controllando la deposizione e le aree subsidenti.



Figura 4 – Contesto geologico generale (Fonte Sardegna Mappe)

all'origine e alla subsidenza della Fossa Sarda. Tutte le discontinuità o faglie che interessano il graben campidanese presentano in prevalenza direzioni NW-SE o N-S e sono note come "faglie campidanesi" (Fanucci et altri, 1977).

### 1.2 - Settore di interesse (area sensibile)

Il settore comprende un tratto del Campidano meridionale, conformato da ampi terrazzi e faglie dirette "certe", modellati da terreni le cui età vanno dal miocene - pliocene fino al quaternario antico e recente. Le coltri alluvionali quaternarie poggiano su una formazione continentale detritica

d'ambiente da torrentizio a lacustre, che ha colmato la depressione Campidanese a partire dal Pliocene; a sua volta poggia su di un substrato sedimentario terziario. L'area di sedime è stata interessata da deposizioni di materiale limoso argilloso molto addensato al di sopra di un substrato sabbioso-ghiaioso terrazzato [b<sub>na-nb-nc</sub>] passante a marnoso arenaceo [GST] Miocenico in profondità. Inoltre sono presenti, a settori, esterni all'area sensibile, bancate argillose grigiastre sottostanti livelli fangosi nerastri (Olocene), di piccolo spessore, con abbondante frazione organica.

### 1.2.1 - Inquadramento morfologico - climatico

Il Campidano, l'area pianeggiante più estesa della Sardegna, occupando la striscia di terra compresa tra il Golfo di Cagliari e quello di Oristano separa nettamente i due settori montuosi dell'Isola. Ad Occidente è limitato dai rilievi montuosi dell'Iglesiente, dalle quali i corsi d'acqua si riversano a valle con rapide e qualche cascata. Il lato orientale è caratterizzato da un progressivo passaggio dalla pianura del Campidano alle basse colline della Marmilla e della Trexenta ai più aspri rilievi paleozoici. Nonostante la sua apparente uniformità il Campidano è formato da terreni di tipo diverso, infatti, ad ovest prevalgono le alluvioni grossolane mentre ad est i depositi più fini.

La morfologia del settore di interesse risulta influenzata in prima analisi dalla tettonica oligo-miocenica e dalle litologie affioranti. L'area in oggetto risulta situata lungo il bordo orientale del Rift oligo-miocenico, la cosiddetta Fossa Sarda, in un'area bacinale bordata da colline con lievi acclività e profili dolci, e

contemporaneamente da affioramenti vulcanici con profili più marcati e accidentati, ed infine da affioramenti di antiche barriere coralligene.

Il profilo morfologico dominante nell'area in esame è quello di una piana alluvionale interrotta da rilievi, anche se esterni ed ininfluenti, a deboli pendenze. Tra questi ultimi si riscontra una tra le forme più caratteristiche dell'intero bordo orientale del campidano, le cuestas, che si sono impostate sui calcari biohermali e biostromali del I ciclo sedimentario marino miocenico della Formazione di Villagreca. Si tratta di un rilievo monoclinale asimmetrico, caratterizzato da un fronte ripido coincidente con il fronte di scogliera (front reef)



Figura 5 - Inquadramento Geologico areale [Sardegna geoportale]

b<sub>b</sub> - depositi alluvionali olocenici sabbiosi con subordinati limi e argille

b<sub>nb</sub> - depositi alluvionali terrazzati olocenici sabbiosi con subordinati limi e argille

b<sub>nc</sub> - depositi alluvionali terrazzati olocenici limosi argillosi

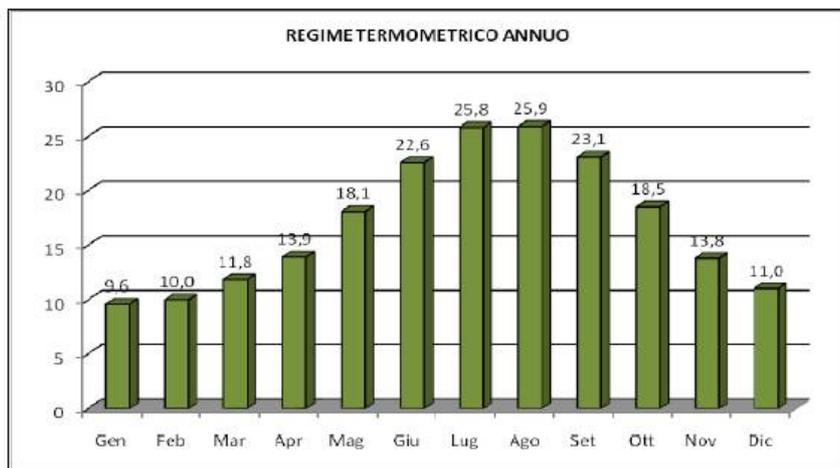
e da un dorso con lieve pendenza coincidente con la retro scogliera (back reef). Nell'area in esame sono rare le creste di versante, essendo per lo più una zona morfologicamente pianeggiante, ma sono invece più diffuse gli orli di scarpate di cave di sabbia attive e/o dismesse.

L'area studiata è interessata superficialmente dalla presenza di terreni alluvionali recenti sovrastanti il basamento consistente di età Miocenica costituito in prevalenza da litotipi marnosi e/o marnosi arenacei. Le alluvioni superficiali possono avere spessori variabili da zona a zona, comunque compresa tra 5.0 e 15.0 metri e vengono rappresentate da limi argillosi sovraconsolidati o da conglomerati ad abbondante matrice argillosa.

Il territorio di Villasor presenta una netta suddivisione fra la zona prevalentemente montuosa e collinare con la zona pianeggiante, questa suddivisione segue una direzione preferenziale NW-SE a debole pendenza e coincidente con l'originaria funzione di drenaggio delle acque di scorrimento superficiale provenienti dal settore montano. La zona interessata dall'intervento ricade nel settore di raccordo fra la zona collinare e la zona pianeggiante protratta verso il centro della fossa Sarda. Questa zona è caratterizzata dalla presenza della fascia detritico-alluvionale proveniente dall'erosione pleistocenica del settore montano. Questi depositi sono erosi dai corsi d'acqua principali e secondari che formano una serie di valli e vallette che drenano il flusso idrico proveniente dai versanti verso la pianura. La zona si trova all'interno del contesto di bacino del Flumini Mannu di Villasor il cui corso è stato in parte regimato (arginatura) verso ad esempio l'asta del Rio Nou. e comunque verso il tessuto urbano di Villasor.

Inoltre sono presenti canali artificiali a supporto dell'irrigazione agricola e comunque in essere per smaltire le acque superficiali durante eventi di pioggia consistente.

Questo tipo di morfologia ha dato origine ad un tipo di paesaggio sub-pianeggiante a debole pendenza, media inferiore al 5%÷ 10%, in cui si è potuta sviluppare l'attività agricola e l'uomo ha agito come fattore di modellamento alterandone spesso la dinamica naturale. Per la definizione delle caratteristiche climatiche che possono influenzare i fattori ambientali a scala locale, è stato effettuato un

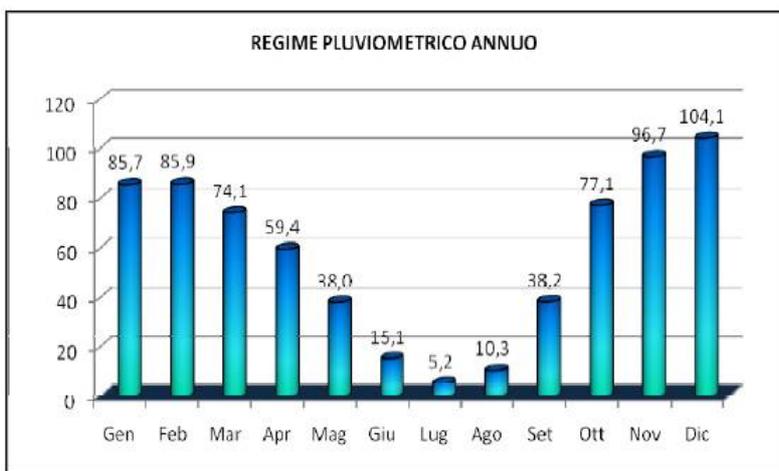


| Stazione di misura:<br>Villacidro |     | Anno idrologico Medio 1922-1992 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-----------------------------------|-----|---------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Moduli Termometrici in °C         |     |                                 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                                   | Gen | Feb                             | Mar  | Apr  | Mag  | Giu  | Lug  | Ago  | Set  | Ott  | Nov  | Dic  | Anno |
| N. Oss.                           | 41  | 41                              | 42   | 42   | 42   | 42   | 42   | 42   | 42   | 42   | 42   | 41   | 40   |
| Media                             | 9,6 | 10,0                            | 11,8 | 13,9 | 18,1 | 22,6 | 25,8 | 25,9 | 23,1 | 18,5 | 13,8 | 11,0 | 17,1 |
| Dev. St.                          | 1,8 | 1,9                             | 1,5  | 1,3  | 1,4  | 1,5  | 1,7  | 1,3  | 1,4  | 1,3  | 1,5  | 1,5  | 0,9  |

inquadramento generale del settore circostante il sito di interesse, a tal proposito sono stati utilizzati i dati misurati nella stazione di Villacidro (dati SISS). I dati di temperatura relativi alla stazione di misura di Villacidro si riferiscono ad un periodo di osservazione 1922-1992.

In Tabella sono sintetizzate le temperature medie mensili ed annua, il numero di osservazioni e la deviazione standard. I dati riportati ed il relativo compendio grafico indicano una temperatura media annua di 17,1°C; Luglio e Agosto, con Tm pari 25,8°C e 25,9 °C, come mesi più caldi e Gennaio e Febbraio (rispettivamente con Tm pari a 9,6 °C e 10,0 °C) come mesi più freddi.

Le precipitazioni relative alla stazione di Villacidro si riferiscono ad un periodo di osservazione compreso tra il 1922 e 1992. In Tabella sono riportate le precipitazioni medie mensili ed annua (in mm) il numero di osservazioni e la deviazione standard.

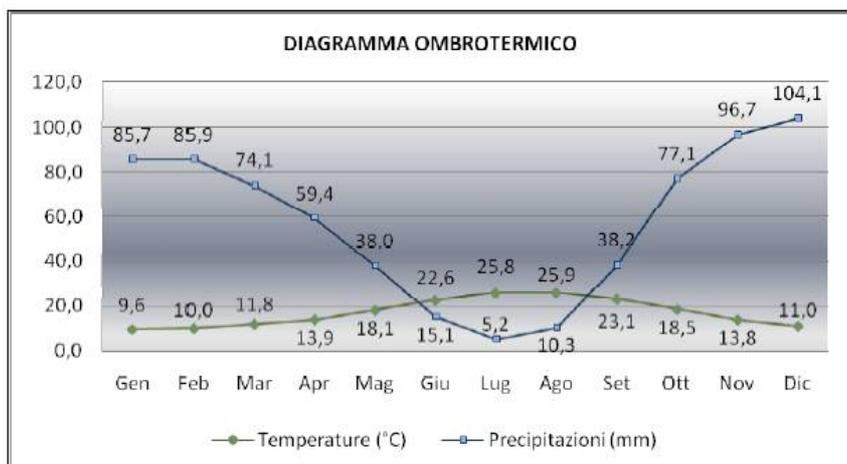


| Stazione di misura: Villacidro |      | Moduli pluviometrici in mm |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       | Anno idrologico Medio 1922-1992 |  |
|--------------------------------|------|----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|---------------------------------|--|
|                                | Gen  | Feb                        | Mar  | Apr  | Mag  | Giu  | Lug  | Ago  | Set  | Ott  | Nov  | Dic   | Anno                            |  |
| N. Oss.                        | 71,0 | 71,0                       | 71,0 | 71,0 | 71,0 | 70,0 | 71,0 | 71,0 | 71,0 | 70,0 | 70,0 | 71,0  | 69,0                            |  |
| Media                          | 85,7 | 85,9                       | 74,1 | 59,4 | 38,0 | 15,1 | 5,2  | 10,3 | 38,2 | 77,1 | 96,7 | 104,1 | 690,8                           |  |
| Dev. St.                       | 51,9 | 61,3                       | 54,0 | 42,8 | 31,4 | 20,9 | 14,7 | 18,6 | 35,9 | 62,5 | 57,9 | 55,6  | 144,7                           |  |

Dalla Tabella e dal relativo compendio grafico si evince che nella territorio di Villacidro la precipitazione media annua è di 690,9 mm. In generale i mesi più piovosi sono Novembre, con 96,7 mm e Dicembre con 104,1 mm, mentre quelli più aridi sono Luglio e Agosto, rispettivamente con 5,2 mm e 10,3 mm.

▪ Diagramma Ombrotermico

I Valori di temperatura e di precipitazione medi mensili consentono di ricostruire il diagramma che riproduce il regime termo-pluviometrico medio annuo. Infatti, riportando in ascisse i 12 mesi e in ordinate i corrispondenti valori medi mensili di T e P si può schematizzare il loro andamento nel corso dell'anno. Dall'analisi del grafico si evince che nei mesi estivi di Luglio e Agosto, dove le temperature medie mensili raggiungono il valore massimo di 25,8 e 25,9 °C, si riscontrano minimi di piovosità (rispettivamente 5,2 mm e 10,3



mm), mentre nei mesi di Novembre e Dicembre, dove le temperature medie mensili oscillano tra i 13,8°C e gli 11,0°C, si raggiungono le piovosità più elevate (rispettivamente 96,7 mm e 104,1 mm).

#### ▪ Tipo di clima

Nel settore esaminato i valori medi di temperatura e precipitazione sono caratteristici di un clima di tipo Temperato-Caldo con precipitazioni abbondanti: la temperatura media annua deve essere compresa tra 15° e 16,9° C ( $T_m = 17,1$  °C), la temperatura media del mese più freddo è compresa tra 6,5° e 9,9° C ( $T_m$  Gennaio = 9,6 °C), da tre a quattro mesi con la temperatura pari o superiore a 20° C (Giugno, Luglio, Agosto e settembre >20°C ). Le precipitazioni medie annue tra 500 e 800 mm ( $P_m/annua = 690,8$  mm).

### 1.3 - Idrogeologia e idrologia superficiale

Come si è detto precedentemente la zona è caratterizzata dalla presenza di depositi detritico alluvionali riferibili all'Olocene e all'Attuale. Questi depositi sono caratterizzati dalla presenza di elementi poligenici ed eterometrici in matrice sabbioso-limosa, con un grado di addensamento elevato e stato di ossidazione da medio e elevato. La permeabilità è per porosità e il suo grado varia da scarso a medio.

Generalmente, a causa delle caratteristiche litologiche di questi sedimenti e della loro modalità di sedimentazione, i flussi idrici all'interno non sono significativi. La loro struttura è il risultato di variazioni temporali dei corsi d'acqua che li hanno dato origine. Essi infatti sono caratterizzati dalla alternanza di depositi lentiformi di ciottoli e ghiaie variamente orientati con depositi sabbioso-limosi, la naturale compattazione e i fenomeni di alterazione e di ossidazione hanno ridotto i vuoti esistenti all'interno riducendone così la permeabilità. Gli scambi idrici tra i diversi livelli sono regolati dalle condizioni di carico piezometrico e dalle caratteristiche di permeabilità dei terreni stessi.

In periodi particolarmente piovosi gli strati superficiali possono essere sede di modestissime falde idriche freatiche. In profondità può essere presente un flusso idrico sotterraneo multi falda alimentato dai settori montani.

L'andamento dei corsi d'acqua nel Campidano è stato influenzato dalla struttura tettonica. Come è noto, la Soglia Guspini-Sardara (Martinis, Trudu, 1988) denominata come "horst-type twist-zone" (Colletta et al., 1988; Maillard e Mauffret, 1993), contraddistinto da un alto strutturale evidenziato soprattutto sulla base di prospezioni geofisiche e interpretato come basamento paleozoico tra il piccolo horst di Sardara (rilievo di Monreale) e il massiccio vulcanico del M.te Arcuentu, rappresenta un'area di transizione tra i due "Campidani". Tale zona di transizione funge anche da spartiacque tra i bacini idrografici che fanno affluire la acque verso il Golfo di Oristano e di Cagliari. Di fatto, i corsi d'acqua presenti nel Campidano meridionale scorrono in direzione nord-sud verso il Golfo di Cagliari. Essi hanno contribuito e contribuiscono all'apporto alluvionale e terrigeno nella zona in studio; sono il Flumini Mannu ed il Rio Malu. Il principale, il Flumini Mannu, nasce dal Tacco del Sarcidano ed attraversa, prima di giungere e



raccogliere le acque del Campidano, le regioni della Marmilla e della Trexenta per poi sfociare nello stagno di S. Gilla; il tratto terminale scorre in canali artificiali, tra le alluvioni terrazzate depositate dallo stesso fiume e dai suoi affluenti. Il Rio Malu è un affluente di sinistra e confluisce con il precedente a sud di Villasor, attraverso un canale artificiale, potenziato nella recente bonifica idraulica.

### 1.3.1 - Inquadramento idrografico e idrogeologico

L'assetto di un bacino idrografico e la sua configurazione sono fortemente influenzati da diversi fattori geologici, come tipo di roccia, grado di fatturazione e influenza tettonica, fattori morfologici, come pendenza dei versanti, ed anche meteorologici e biologici. Il Flumini Mannu è la più importante unità idrografica della Sardegna meridionale, sia per l'ampiezza del suo bacino, che per le caratteristiche idrologiche del corso principale e dei suoi maggiori affluenti. Il suo reticolo, piuttosto ramificato, si sviluppa sulla destra e sulla sinistra di un tronco principale orientato NE-SO.

Un sistema di faglie, orientate grosso modo perpendicolarmente NO-SE, costituiscono la via preferenziale per alcuni affluenti della destra idrografica, tra cui, il più importante, il Rio Cixerri, attualmente indipendente dal Fluminimannu. Alla sinistra idrografica gli affluenti maggiori sono il torrente Lanessi e il rio Mannu di San Sperate che, assieme al Flumineddu, drenano le acque della Trexenta. L'importanza di questi deriva dal fatto che i bacini idrografici di questi affluenti drenano interamente il settore di studio.

Le aree di alimentazione di tutto il sistema di affluenti è localizzata nei rilievi montuosi paleozoici e solo subordinatamente in quelli collinari cenozoici. L'idrografia dell'area in seguito alla creazione di alcuni canali d'irrigazione e la regolarizzazione dei principali corsi d'acqua ha subito notevoli modificazioni e la morfologia del reticolo idrografico risente delle condizioni climatiche e dei fattori strutturali della regione; il reticolo di tipo sub-parallelo. La stessa ricade morfologicamente in un terrazzo Olocenico, costituito da materiale alluvionale da grossolano (conglomerati, ghiaie prevalenti) a fine (limi-argillosi) diversamente addensato, passante ad un substrato marnoso-arenaceo miocenico.

Idrogeologia: nell'area oggetto di studio affiorano prevalentemente terreni quaternari rappresentati da alluvioni antiche e recenti appartenenti al Neozoico e subordinatamente da livelli marnosi arenacei (Pala A., Pecorini G., Porcu A., 1977- Struttura idrogeologica della soglia di Siliqua). I terreni alluvionali antichi e recenti sono sede di falde idriche superficiali. La falda freatica riveste particolare importanza nelle alluvioni ciottoloso-sabbiose più recenti delle zone di pianura percorse dai corsi d'acqua principali. In generale le falde profonde, vengono alimentate in prossimità delle sponde del Graben, in corrispondenza di discontinuità tettoniche e dove i depositi alluvionali quaternari e pliocenici sono ciottoloso-sabbiosi. Inoltre, si può escludere, che le acque superficiali del Campidano possano infiltrarsi nel sottosuolo oltre 70-80m



sotto il livello del mare, in quanto pressoché ovunque a tale profondità giacciono costantemente depositi costituiti da limi e argille costipati e addensati da risultare praticamente impermeabili. Per tale motivo le coltri alluvionali sono sede di acquiferi poco profondi.

I sedimenti continentali Pliocenici della Formazione di Samassi, che si presentano ben costipati e cementati, nonché i terreni marnoso-arenaci del Miocene, sono in genere scarsamente permeabili o impermeabili. Il territorio superficialmente è caratterizzato dalla permeabilità in grande della coltre alluvionale, che si estende nell'intorno dell'area esaminata. La stratigrafia analizzata, tramite l'osservazione dei sondaggi geognostici pregressi svolti dallo scrivente, ha evidenziato la presenza di acqua di falda superficiale, con livello statico variabile tra i -4.0m e i -6.50m, oltre una certa umidità naturale, soprattutto nei livelli più superficiali sabbiosi ghiaiosi. Il complesso acquifero della zona è costituito da un'alternanza di livelli sabbiosi ghiaiosi, con dispersi clasti di varia natura, con intercalazioni limoso-argillose-sabbiose, che localmente danno origine a variazioni di permeabilità. La permeabilità risulta media per porosità, localmente bassa a seconda dello stato di addensamento e della presenza di argilla.

I terreni, in base alle caratteristiche geolitologiche, con particolare riferimento alla capacità d'assorbimento (tab. 1) può essere classificato in:

**Tab. 1**

| Grado di permeabilità | Valore di k (m/s)     |
|-----------------------|-----------------------|
| alto                  | superiore a $10^{-3}$ |
| medio                 | $10^{-3} - 10^{-5}$   |
| basso                 | $10^{-5} - 10^{-7}$   |
| molto basso           | $10^{-7} - 10^{-9}$   |
| impermeabile          | minore di $10^{-9}$   |

All'interno dell'area di sedime sono stati distinti terreni alluvionali caratterizzati da differenti intervalli di permeabilità "K" (in m/s).

- Classe 1- Permeabilità da alta a media: Depositi alluvionali, costituiti da conglomerati e sabbie, caratterizzati da una permeabilità variabile da alta a media ( $10^{-3} \geq K \geq 10^{-5}$ )
- Classe 2- Permeabilità da bassa a molto bassa: livelli marnosi-arenacei (marne) caratterizzati da una permeabilità variabile da  $10^{-5} \geq K \geq 10^{-9}$ , in funzione del grado di addensamento.

Classe 1. Depositi Quaternari [bna/bnb]: si tratta di depositi olocenici caratterizzati da alluvioni terrazzate, che possono avere spessori variabili da zona a zona, con quote comprese tra i -5.0 e i -15.0 metri. Sono rappresentate da ghiaie grossolane prevalenti con lenti e livelli di sabbie e ghiaie fini a stratificazione incrociata, da livelli conglomeratici ad abbondante matrice siltoso-argillosa bruno-rossastra e da limi

argillosi normalmente consolidati, duri. La presenza di materiali clastici, prevalentemente derivati da rocce mioceniche e plioceniche (inferiore), di natura sedimentaria e non, e subordinatamente paleozoiche, hanno dato vita ad una serie alluvionale terrazzata abbastanza evidente, a SW della nostra area. In sostanza trattasi di alluvioni ciottoloso-sabbiose, talora incoerenti o poco cementate, con livelli sabbiosi-argillosi o limo-argillosi e con locali accumuli di carbonato di calcio sottoforma di incrostazioni, noduli e lenti più o meno indurite.

Classe 2. Serie Miocenica delle "Marne di Gesturi" [GST]: è rappresentata da terreni marnoso-arenacei appartenenti alla 2° trasgressione marina miocenica. Si tratta di sedimenti formati da marne arenacee, marne ed argille di colore giallo biancastre, subordinatamente da arenarie siltitiche grigiastre. La fauna fossile è caratterizzata da gasteropodi pelagici e bentonici, echinoidi, coralli bianchi e foraminiferi. Questa formazione, attribuita alle "Marne di Gesturi", la cui età risale al Burdigaliano superiore – Langhiano (Pecorini e Pomesano Cherchi, 1969), affiora in una fascia estesa dall'area Nord dell'abitato di San Sperate e più a SW in località "Bruncu Cunillu". Le marne di Gesturi (CHERCHI, 1974) sono, quindi rappresentate da una successione monotona, potente diverse centinaia di metri, di marne arenacee e siltitiche con subordinate intercalazioni di arenarie e, localmente, di calcari a "Lithothamnium" e calcareniti (IACCARINO et alii, 1985). Vengono distinte due facies: una marnoso-arenacea [GST] ed una piroclastico-epiclastica (GSTa non presente) (PECORINI & POMESANO CHERCHI, 1969). La facies marnoso-arenacea è data da marne arenacee, arenarie marnose e siltitiche, con subordinate intercalazioni di arenarie, soprattutto nelle parti basale e sommitale. La porzione basale è caratterizzata da alternanze di arenarie da medie a grossolane, talora ben cementate. Le marne sono da gialle a grigie a verdastre, con marcata fissilità nei termini più siltitici e fratturazione pseudoconcoide ("a saponetta") in quelli più argillosi. Il cemento è carbonatico. Il substrato delle marne di Gesturi è rappresentato dal membro delle arenarie di Serralonga (NLL2).

#### 1.4 - Sistema pedologico generale

Nel settore esaminato si rilevano suoli tipici della piana del Flumini Mannu, costituita da alluvioni antiche del Pleistocene ed alluvioni recenti Oloceniche, di composizione granulometrica e tessitura molto variabile. L'evoluzione di questi suoli è molto spinta sulle alluvioni antiche ben costipate e talvolta cementate, con profili A-Bt-C e A-Btg-Cg, contraddistinti da orizzonti illuviali argillici ed orizzonti screziati, riconducibili sia a condizioni di ossidazione che di idromorfia, appartenenti al sottogruppo dei Typic, Aquic Palexeralfs.

Si tratta di suoli profondi a tessitura da franco-sabbiosa-argillosa in superficie sino ad argillosa in profondità, con permeabilità da media a bassa in quanto condizionata dall'illuviazione di materiali argillosi, dalla cementazione, etc. Il drenaggio lento costituisce una delle principali limitazione all'uso agricolo degli



stessi. I suoli derivati da alluvioni recenti, da sabbioso-ciottolose a limo-argillose presentano un'evoluzione modesta ed una profondità sempre superiore al metro, con tessitura molto varia. Si passa da classi

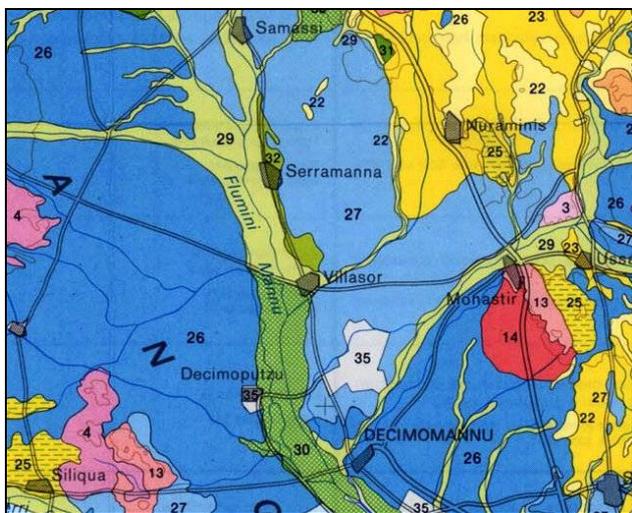


Figura 6 – Carta dei suoli della Sardegna (Prof. ARU - Scienze della Terra)

sabbioso franche a franco argillose, talvolta con caratteri “vertici” molto evidenti.

Anche la permeabilità è variabile, da buona nei Typic Xerofluvents, a lenta nel sottogruppo degli Aquisi per condizioni di idromorfia temporanea nelle aree leggermente depresse.

#### 1.4.1 - Paesaggi su alluvioni antiche e recenti (Unità 26 e 29)

L'unità è presente nella pianura alluvionale recente del Flumini Mannu. Si tratta di zone da pianeggianti a leggermente depresse, talvolta paludose in passato, non interessata da processi erosivi, in cui la genesi e l'evoluzione dei suoli è stata

condizionata da una rilevante presenza di argille a reticolo espandibile (Vertisuoli). I suoli di quest'area presentano un'evoluzione da elevata a modesta, con orizzonti pedologici ben sviluppati, con tessitura variabile da franco-sabbiosa-argillosa ad argillosa a seconda della profondità. Presentano un'elevata attitudine all'agricoltura, con notevole capacità d'uso adattandosi ad un'ampia gamma di colture erbacee ed arboree. La permeabilità va da bassa a media a seconda della presenza dei materiali argillosi presenti lungo il profilo.

Olocene: I suoli che ricoprono questi substrati, confinati in aree limitate vicino ai corsi d'acqua, sono solo debolmente sviluppati, con pietrosità elevata e drenaggio scarso. di buone caratteristiche generali, e si prestano in genere bene all'agricoltura. Sono costituite da accumuli con granulometrie miste, con orizzonti per lo più incoerenti o poco cementati, a matrice grigio bruna, con ciottoli di dimensioni variabili. Con il variare delle granulometrie può variare anche la potenza degli strati, nonché il comportamento idrologico dei profili.

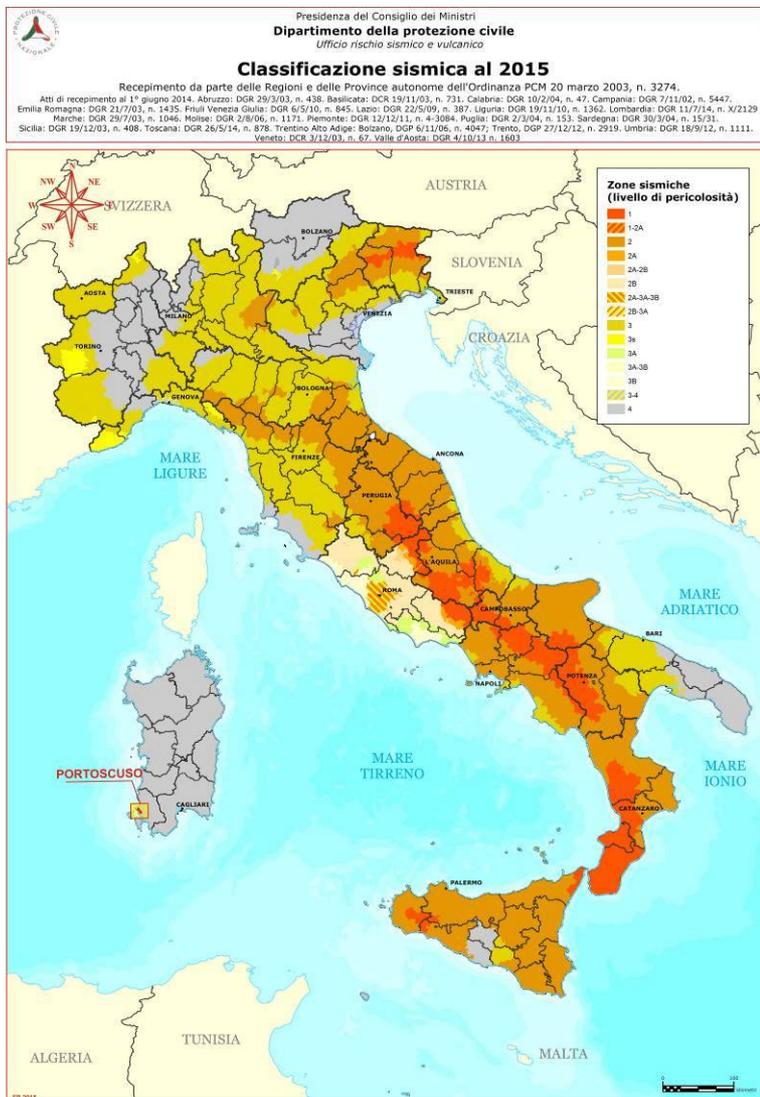
### 1.5 - Pericolosità sismica e categoria di sottosuolo

Per ridurre gli effetti del terremoto, l'azione dello Stato si è manifestata attraverso la Classificazione Sismica del Territorio, che si basa sull'intensità e frequenza dei terremoti del passato, e l'applicazione di speciali norme tecniche per le costruzioni (NTC) nelle zone classificate sismiche. Ai fini della caratterizzazione del territorio o di porzioni di esso è pertanto importante individuare l'appartenenza di

ciascun comune o porzione di esso ad una delle zone sismiche definite sulla base del valore massimo del parametro di pericolosità sismica valutato all'interno dell'area considerata.

### Quadro Normativo e Caratterizzazione Sismica del Territorio

La legislazione antisismica italiana, sino al 2003 classificava il territorio nazionale in tre categorie



sismiche. I Decreti Ministeriali emanati dal Ministero dei Lavori Pubblici tra il 1981 ed il 1984 avevano classificato complessivamente 2.965 comuni italiani su di un totale di 8.102, corrispondente al 45% della superficie del territorio nazionale nel quale risiede il 40% della popolazione.

Nei Decreti emessi fino al 1984 la sismicità fu definita attraverso il "grado di sismicità" S; nella proposta di riclassificazione del GdL del 1998 si utilizzarono 3 categorie sismiche più una categoria di Comuni Non Classificati (NC). La corrispondenza fra le diverse definizioni succedutesi nel tempo è sintetizzata in tabella. Nella Classificazione 2003 la sismicità fu definita da quattro zone omogenee numerate da 1 a 4. I criteri di classificazione sismica del territorio nazionale contenuti nell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003, furono basati sugli studi e le elaborazioni relative alla pericolosità sismica del territorio, ossia sull'analisi della probabilità

che il territorio fosse interessato in un certo periodo (generalmente 50 anni) da un evento che superava una determinata soglia di intensità o magnitudo. L'Ordinanza n. 3274 del 20 marzo 2003 della Presidenza del Consiglio dei Ministri "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica", affidò alle Regioni l'individuazione, la formazione e l'aggiornamento dell'elenco delle zone sismiche dando in questo modo attuazione al D. Lgs. 112/1998 ed in particolare agli articoli 93 comma 1g e 94 comma 2a, indicanti la ripartizione tra Stato e Regioni delle competenze in materia di riduzione del rischio sismico. L'Ordinanza, allineando il sistema normativo per le costruzioni in zona sismica al sistema dei codici europei (EC8),



consentì la razionalizzazione del processo d'individuazione delle zone sismiche. L'allegato 1 di tale Ordinanza, il cui aggiornamento dello studio di pericolosità di riferimento nazionale (Gruppo di Lavoro, 2004) previsto dall'O.P.C.M. 3274/03 fu adottato con l' dall'O.P.C.M. n. 3519 del 28 aprile 2006, stabilì che le zone sismiche erano individuate da 4 valori dell'accelerazione orizzontale di picco del suolo [ag] con probabilità di superamento del 10% in 50 anni. In particolare le "Norme tecniche" indicarono 4 valori di accelerazioni orizzontali (ag/g) di ancoraggio dello spettro di risposta elastico e le norme progettuali e costruttive da applicare; pertanto la sismicità fu definita mediante zone omogenee numerate da 1 a 4 in ordine crescente di pericolosità.

- **Zona 1** - È la zona più pericolosa, dove possono verificarsi forti terremoti. Comprende 708 Comuni o porzioni di essi per i quali  $[ag/g] \geq 0,25g$ .
- **Zona 2** - Nei 2.345 Comuni o porzioni di essi per i quali  $0,25g > [ag/g] \geq 0,15g$  possono verificarsi terremoti abbastanza forti.
- **Zona 3** - Nei 1.560 Comuni o porzioni di essi per i quali  $0,15g > [ag/g] \geq 0,05g$  possono essere soggetti a scuotimenti modesti.
- **Zona 4** - È la meno pericolosa. Nei 3.488 Comuni o porzioni di essi per i quali  $[ag/g] < 0,05g$  le possibilità di danni sismici sono basse.

Nella Carta della Zonazione Sismica del territorio nazionale (2003-2004) e nella Classificazione Sismica dei Comuni Italiani (OPCM 3274 20/03/2003 Allegato A), il Comune di Villasor ricadeva in zona 4. Per la presenza di alcuni errori ed imprecisioni nel testo dell'Ordinanza 3274 furono emendate dalla successiva Ordinanza 3316 del 2 ottobre 2003 "Modifiche ed integrazioni al testo dell'Ordinanza 3274". L'Ordinanza 3431, pubblicata sulla G.U. del 10 maggio 2005, apportò inoltre ulteriori modifiche, integrazioni e, a volte, semplificazioni all'Ordinanza 3274 del 2003, ne prorogò di ulteriori 3 mesi il periodo sperimentale di applicazione e traslò l'entrata in vigore, a carattere vincolante delle nuove norme sismiche al 8 agosto 2005 (adottato con l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3519 del 28 aprile 2006) . Il periodo di proroga fu ulteriormente esteso da Ordinanze successive fino all'emanazione del "Testo Unitario per la Normativa Tecnica sulle Costruzioni (Testo Unico)" del 23 settembre 2005.

L'Ordinanza 3274 del 20 marzo 2003 non entrò mai in vigore come norma vincolante, ma il suo impianto generale fu tuttavia confermato dalle norme successive. Il DM 14/09/2005 "Testo Unitario per la Normativa Tecnica sulle Costruzioni", pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale del 23 settembre 2005, che rappresentò la legge di riferimento per l'ingegneria civile, identificò i livelli di sicurezza e le prestazioni delle costruzioni, unificando sia le norme relative al comportamento e alla resistenza dei materiali e delle strutture sia quelle relative alla definizione delle azioni e dei loro effetti. Più specificamente per l'analisi sismica il decreto riprese la caratterizzazione delle azioni con l'impostazione generale introdotta dalle Ordinanze 3274 e 3431. Le procedure operative di dettaglio descritte in queste ultime erano da intendersi



solo come suggerimenti esemplificativi e non come imposizioni prescrittive. In particolare ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto il D.M. 14 settembre 2005 prescrisse "la necessità di valutare l'influenza delle condizioni litologiche e morfologiche locali sulle caratteristiche del moto del suolo in superficie, mediante studi specifici di risposta sismica locale". Qualora tali valori non fossero disponibili, poteva essere utilizzata "la classificazione basata sulla stima dei valori della velocità media delle onde sismiche di taglio Vs o il numero medio di colpi NSPT ottenuti in una prova penetrometrica dinamica ovvero sulla coesione non drenata media Cu".

Nella mappa della pericolosità sismica del territorio nazionale 2005, edita dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, il Comune di Villasor come l'intero territorio isolano, non presentò alcuna variazione: tutti i Comuni furono inseriti nella classe 4. Poiché .. (omissis) .. l'O.P.C.M. 3274 del 20 marzo 2003 al comma 2.1. "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica", dispone che "In zona 4 è lasciata facoltà alle singole regioni di introdurre o meno l'obbligo della progettazione antisismica", confermando quanto prescritto nelle precedenti ordinanze.

(omissis) ... Il D.G.R. 15/31 del 30 marzo 2004, stabilisce di recepire in via transitoria, fino a nuova determinazione conseguente all'aggiornamento della nuova mappa di rischi sismico nazionale, la classificazione sismica dei Comuni della Sardegna, così come riportato nell'allegato A dell'O.P.C.M. 3274 del 20 marzo 2003 in cui tutti i Comuni isolani sono inseriti in zona 4.... (omissis) .... rimane in vigore il D.G.R. 15/31 del 30 marzo 2004, che consente per i Comuni della Sardegna la "non introduzione dell'obbligo della progettazione antisismica.

Per meglio adattare le norme alle caratteristiche di sismicità, nel rispetto degli indirizzi e criteri stabiliti a livello nazionale, alcune Regioni hanno classificato il territorio nelle quattro zone proposte, altre Regioni hanno classificato diversamente il proprio territorio, ad esempio adottando solo tre zone e introducendo, in alcuni casi, delle sottozone. Qualunque sia stata la scelta regionale, a ciascuna zona o sottozona è attribuito un valore di pericolosità di base, espressa in termini di accelerazione massima su suolo rigido (ag). Tale valore di pericolosità di base non ha però influenza sulla progettazione.

Le Norme Tecniche per le Costruzioni (Decreto Ministeriale del 14 gennaio 2008), che sostituiscono quelle approvate con D.M. del 14 settembre 2005, hanno, infatti, modificato il ruolo che la classificazione sismica aveva ai fini progettuali: per ciascuna zona – e quindi territorio comunale – precedentemente veniva fornito un valore di accelerazione di picco e quindi di spettro di risposta elastico da utilizzare per il calcolo delle azioni sismiche.

Dal 1 luglio 2009 con l'entrata in vigore delle Norme Tecniche per le Costruzioni del 2008, per ogni costruzione ci si deve riferire ad una accelerazione di riferimento "propria" individuata sulla base delle coordinate geografiche dell'area di progetto e in funzione della vita nominale dell'opera. Un valore di



pericolosità di base, dunque, definito per ogni punto del territorio nazionale, su una maglia quadrata di 5 km di lato, indipendentemente dai confini amministrativi comunali. Va precisato che, in seguito a tale classificazione, tutte le regioni italiane (compresa la Sardegna) risultano a rischio sismico. In tutto il territorio nazionale vige quindi l'obbligo di progettare le nuove costruzioni e intervenire sulle esistenti con il metodo di calcolo semiprobabilistico agli stati limite e tenendo conto dell'azione sismica. Limitatamente alle costruzioni ordinarie presenti nei siti ricadenti in zona 4, per le costruzioni di tipo 1 e 2 e di classe d'uso I e II, la norma consente l'utilizzo della "vecchia" metodologia di calcolo alle tensioni ammissibili di cui al D.M. 16 gennaio 1996, ma obbliga comunque a tenere conto dell'azione sismica con l'assunzione di un grado di sismicità convenzionale  $S=5$ .

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.

L'entrata in vigore della revisione della norma NTC08, nel 2018, segna il definitivo abbandono della metodologia delle tensioni ammissibili: dal 22/03/2018, con l'entrata in vigore delle NTC08 non sarà più possibile utilizzare questa metodologia, neanche per le ex-zone 4, a favore del metodo semiprobabilistico agli Stati Limite. Inoltre nella norma NTC2018 sparisce ogni riferimento alla classificazione in zone sismiche, un refuso di stampa contenuto nelle NTC08 che contrastava fortemente con la metodologia della norma e con il calcolo a nodi degli scuotimenti attesi.

#### 1.5.1 - Pericolosità Sismica Locale

L'obiettivo delle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC) nella progettazione di nuove strutture è il controllo del livello di danneggiamento della costruzione a fronte dei terremoti che possono verificarsi nel sito. L'azione sismica di progetto è definita dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione descritta dalla probabilità che, in un fissato intervallo (periodo di riferimento "VR" espresso in anni), in detto sito si verifichi un evento sismico di entità almeno pari ad un valore prefissato; la probabilità è denominata "Probabilità di eccedenza o di superamento nel periodo di riferimento PVR". La *pericolosità sismica* è definita in termini di:

- accelerazione orizzontale massima attesa "ag" in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido (categoria A - NTC), con superficie topografica orizzontale (categoria T1);
- ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente  $S_e(T)$ , con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PVR nel periodo di riferimento VR.

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

- ag - accelerazione orizzontale massima al sito;



- $F_0$  - valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale.
- $T_c^*$  - periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Poiché le probabilità PVR di superamento nel periodo di riferimento VR variano al variare dello stato limite considerato, nelle verifiche devono essere presi in considerazione tutti i meccanismi di stato limite ultimo e di esercizio. In particolare, sono da valutare gli Stati Limite di Esercizio SLO (Stato Limite di Operatività) e SLD (Stato Limite di Danno) e gli Stati Limite Ultimi SLV (Stato Limite di salvaguardia della Vita) e SLC (Stato Limite di prevenzione del Collasso). Per la determinazione di  $a_g$  (accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido) è indispensabile conoscere le *coordinate geografiche decimali dell'opera da verificare*. Si determina, quindi, la maglia di riferimento con l'ausilio delle tabelle dei parametri spettrali fornite dal ministero e, sulla base della maglia interessata, si determinano i valori di riferimento del punto come media pesata dei valori nei vertici della maglia moltiplicati per le distanze dal punto: si ottengono in tal modo tre valori:  $a_g$  ( $g/10$ ),  $F_0$  e  $T_c^*$  → [definiscono le forme spettrali]. I valori di  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T_c^*$  per gli “stati limite di esercizio”, SLO e SLD, e per gli “stati limite ultimi”, SLC e SLD, sono calcolati con interpolazione basata sulle distanze, per maglie di riferimento rappresentative dell'intera area nella quale dovranno essere attuati gli interventi, utilizzando la classe d'uso II (Normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziale. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente [...]).

### 1.5.2 - Categorie di Sottosuolo

Per identificare la categoria di sottosuolo (§ 3.2.2. NTC 2018) finalizzata alla definizione dell'azione sismica di progetto, 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 di  $V_{s,eq}$  possono essere ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche.

Per velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio si intende la media pesata delle velocità delle onde S negli strati nei primi metri di profondità dal piano di posa della fondazione, dove per le fondazioni superficiali è riferita al piano di posa delle stesse. Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{s,eq}$  è definita dal parametro  $V_{s,30}$ , ottenuto ponendo  $H = 30$  m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità. Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono

definite in Tab. 3.2.II. Secondo lo schema presente nell'Ordinanza (NTC 2018) si tratta di un suolo appartenente alla classe C.

Di seguito si riportano la categoria di sottosuolo di riferimento (Tab. 3.2.II - NTC 2018).

| <b>Tab. 3.2.II – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.</b> |  |
|---|--|
| Categoria   | Caratteristiche della superficie topografica   |
| <b>C</b>  | 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. |

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

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

Si ricorda, che quando si calcolano i dati sismici locali è fondamentale considerare la Vita nominale VN di un'opera, convenzionalmente definita come il numero di anni nel quale è previsto che l'opera, purché soggetta alla necessaria manutenzione, mantenga specifici livelli prestazionali.

Nelle NTC 2018 i valori minimi di VN da adottare per i diversi tipi di costruzione sono riportati nella Tab. 2.4.I.

|          | <b>TIPI DI COSTRUZIONE</b>                              | <b>Valori minimi di VN (anni)</b> |
|----------|---|-----------------------------------|
| 1        | Costruzioni temporanee e provvisorie                    | 10                                |
| <b>2</b> | <b>Costruzioni con livelli di prestazioni ordinarie</b> | <b>50</b>                         |
| 3        | Costruzioni con livelli di prestazioni elevate          | 100                               |

Le azioni sismiche sulle costruzioni vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento  $V_R$  che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale di progetto VN per il coefficiente d'uso  $C_U \rightarrow V_R = VN * C_U$ .

Nelle NTC 2018 scompare la limitazione di 35 anni come periodo minimo di riferimento per la valutazione dell'azione sismica. Questo comporta valutazioni differenti del periodo di ritorno  $T_R$  per le Costruzioni temporanee e provvisorie. Rimangono inalterati i valori del coefficiente d'uso  $C_U$ , definito al variare della classe d'uso, come mostrato in Tab. 2.4.II.



|                    |     |            |     |     |
|--------------------|-----|------------|-----|-----|
| Classe d'uso       | I   | <b>II</b>  | III | IV  |
| Coefficiente $C_u$ | 0,7 | <b>1,0</b> | 1,5 | 2,0 |

|                  |   |
|------------------|---|
| Classe I         | Presenza occasionale di persone, edifici agricoli   |
| <b>Classe II</b> | <b>Normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziale. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente [...]</b>  |
| Classe III       | Affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti con attività particolarmente pericolose per l'ambiente |
| Classe IV        | Funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente [...]  |

**Nota:** nelle NTC 2018 viene eliminata la possibilità di usare il Metodo delle Tensioni Ammissibili per le strutture ricadenti in Zona sismica 4.

### 1.5.3 - Dati sismici sul sito (spettri di risposta)

Le forme spettrali sono definite, per ciascuna probabilità di superamento  $P_{VR}$  nel periodo di riferimento, a partire dai tre parametri validi:

- $a_g$  = accelerazione massima del terreno [g/10];
- $F_0$  = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- $TC^*$  = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale

#### Dati sull'area SENSIBILE:

Areale sensibile progetto impianto Villasor

- $X = 1489753.2016 \text{ E}$
- $Y = 4358088.4459 \text{ N}$

#### Dati sulla costruzione:

- Classe d'uso: 2 (normali affollamenti)
- Vita Nominale: 50 anni
- Coefficiente d'uso: 1.000000
- Vita di riferimento: 50.000000 anni

#### → **SLE (N.T.C)**

- Dati sulla costruzione (**SLO**) Probabilità di superamento nella vita di riferimento: 0.810000 (**SLO**)  
Periodo di ritorno: 30.107220 (anni): Valori finali calcolati:  $a_g = 0.0128 \text{ g} \rightarrow F_0 = 2.5776 \rightarrow Tc^* = 0.1400 \text{ sec}$
- Dati sulla costruzione (**SLD**) Probabilità di superamento nella vita di riferimento: 0.630000 (**SLD**)  
Periodo di ritorno: 50.289048 (anni): Valori finali calcolati:  $a_g = 0.0172 \text{ g} \rightarrow F_0 = 2.5500 \rightarrow Tc^* = 0.1500 \text{ sec}$



→ **SLU (N.T.C)**

- Dati sulla costruzione (**SLV**) Probabilità di superamento nella vita di riferimento: 0.100000 (**SLV**)  
Periodo di ritorno: 474.561079 (anni): Valori finali calcolati:  $ag = 0.0439 \text{ g} \rightarrow Fo = 2.5027 \rightarrow Tc^* = 0.3100 \text{ sec}$
- Dati sulla costruzione (**SLC**) Probabilità di superamento nella vita di riferimento: 0.050000 (**SLC**)  
Periodo di ritorno: 974.786287 (anni): Valori finali calcolati:  $ag = 0.0555 \text{ g} \rightarrow Fo = 2.5551 \rightarrow Tc^* = 0.3400 \text{ sec}$

### 1.6 - Analisi del PAI Regione Sardegna

*Il territorio dell'area di intervento ricade nel sub-bacino 7 "Flumendosa – Campidano – Cixerri" risulta all'esterno di aree interessate da perimetrazioni da pericolosità idraulica  $H_i$  (Art. 8 / Rev.41) e assenza di pericolosità da frana  $H_g$  (Art.8 / Rev. 42).*

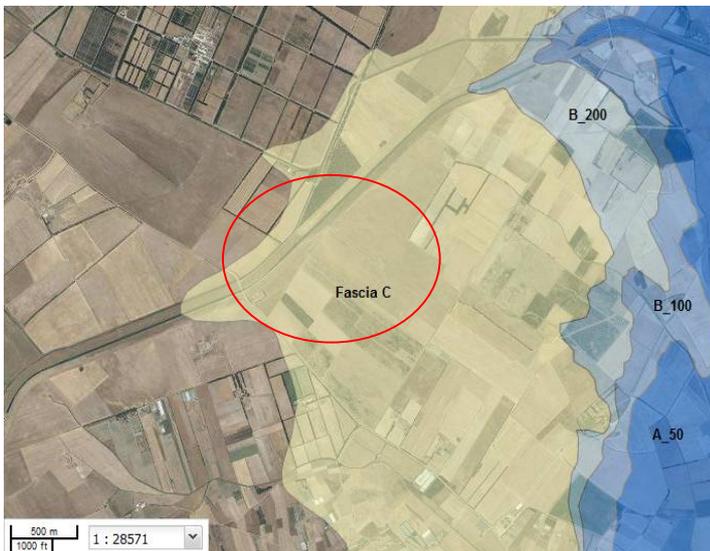


Figura 7 – Estratto da Piano di Assetto Idrogeologico Regione Sardegna [ Fonte Sardegna Geoportale PSFF] – In rosso "areale"

Dall'analisi delle tavole del P.A.I e dalle schede degli interventi relativi al quadro conoscitivo dei fenomeni di dissesto franoso, non si sono evidenziati e/o rilevati fenomeni franosi conosciuti e censiti dall'archivio AVI-CNR e IFFI, né pericolosità riconducibili a dissesti per crollo, ribaltamento e colate detritiche.

Dal punto di vista della pericolosità idraulica (PSFF) si evidenzia un rischio idraulico  $H_i$  in prossimità della dx idraulica e sx idraulica del Rio Flumini Mannu e del canale Rio Malu presente a SSE del tessuto urbano di Villasor.

## RELAZIONE GEOTECNICA

*Competenze professionali: la redazione relazione geotecnica come riportato all'art. 41, comma 1, lett. e), del citato D.P.R., dispone che formano oggetto dell'attività professionale degli iscritti nella sezione A dell'Albo dei geologi "le indagini e la relazione geotecnica". La competenza del geologo è stata inoltre riconosciuta dal Consiglio di Stato (V Sezione giurisdizionale) Decisione 4 maggio 1995, n°701 e dal Consiglio di Stato, IV Sezione n. 1473 del 12.03.2009. Le competenze degli ingegneri in materia di geotecnica sono circoscritte ai soli iscritti alla sezione A dell'Albo, settore "ingegneria civile ed ambientale", ai sensi dell'art. 46, comma 1, lett. a) [Parere del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti Ufficio Legislativo prot. n. 1849/500 del 24.07.2002]*

Tale lavoro è stato eseguito in ottemperanza del **D.M. 11.03.1988** (Norme Tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione). Le indagini sono state svolte in ottemperanza alle norme fissate dall'**A.N.I.S.I.G.** (Ass. Naz. Imprese Specializzate in Indagini Geognostiche). Testo integrato con la **Circ. LL.PP. 24 Settembre 1988 n. 30483** (punto A3): istruzioni riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione, **Circolare n. 218/24/3 del 09.01.1996** e **n. 617 del 02.02.2009** – **OPCM n. 3274 del 20.03.2003 - N.T.C. 2008** sulle costruzioni, **Nuove NTC 2018 sulle costruzioni** (§ 2.6 - § 3.2. ÷ 3.2.2. - § 7.11.3.), secondo le seguenti fasi:

- Sopralluogo nell'area in esame ed esame critico della situazione attuale;
- Stesura di una relazione geotecnica sulla base di specifiche indagini geognostiche e prove in sito, a supporto dalle conoscenze dei luoghi litologici per esperienze pregresse svolte dallo scrivente sull'areale sensibile<sup>2</sup>

## 2. CONSIDERAZIONI GEOTECNICHE DI CONTESTO

L'analisi dell'area sensibile conferma una situazione geomorfologica locale stabile, essendo il fabbricato ubicato in una zona pianeggiante leggermente degradante verso SSE, e una condizione litologica e geostrutturale piuttosto definita con ottima caratterizzazione meccanica del substrato essenzialmente marnoso arenaceo. Allo stesso è associata la presenza di una copertura quaternaria a giacitura orizzontale e omogenea di materiale detritico alluvionale e/o alluvionale terrazzato e/o eluvio-colluviale, costituito essenzialmente da livelli sabbiosi con subordinati limi e argille e/o livelli più francamente limosi argillosi.

Le opere previste in progetto non comporteranno scavi importanti per la posa delle fondazioni, né sbancamenti, né determineranno una modificazione nell'equilibrio morfologico dell'area d'intervento. Più precisamente le strutture verranno realizzate mediante infissione di un palo del diametro massimo di 20cm, con incastro di punta a -1.0m da p.c..

<sup>2</sup> Sondaggi geognostici centrale ENEL - Geotest srl, Studio geologico idraulico Loc. Su Pardu Villasor

Nel nostro contesto specifico, andrà ad interessare essenzialmente una diffusa copertura superficiale di materiale alluvionale di spessore decisamente plurimetrico, per lo più incoerente in matrice coesiva, poggiante in profondità (non rilevabile) su litologie marnose arenacee che soventemente, anche se non è il caso nostro, a loro volta poggiano sulla formazione arenacea di Serralonga.

Allo stato attuale, l'area di progetto inserita in un paesaggio morfologico pianeggiante, non è interessata da processi gravitativi, vista la modesta pendenza né da fenomeni di erosione idrica concentrata. Pertanto, i processi morfogenetici attivi si limitano a fenomeni di dilavamento diffuso lungo i canali artificiali di raccolta delle acque in esubero durante i periodi intensamente piovosi, ed a localizzata sedimentazione eluvio-colluviale.

In sintesi: sono qui presenti le tipologie di terreni descritti in relazione e che possono essere raggruppati secondo il seguente criterio di resistenza geotecnica:

Terreni del substrato (profondo) miocenico marnoso arenaceo:

- Marne arenacee → trattasi di sedimenti formati da marne arenacee, marne ed argille di colore giallo biancastro, subordinatamente da arenarie siltitiche grigiastre

Terreni di copertura quaternari:

- Depositi Quaternari olocenici, terrazzati, costituiti da alluvioni sabbiose ghiaiose in matrice fine, a tratti ciottolose, intercalate a livelli limo argillosi e/o argillosi debolmente limosi.

Le uniformità locali di compattazione, la maggiore o minore presenza del legante (limo ed argilla), la presenza (%) o meno di elementi più grossi (sabbie grosse – ghiaie, sino a ciottolame), influenzano la condizione geotecnica generale propria di questo strato, dello spessore stimato superiore ai 10 metri da p.c.; si tratta in generale di materiali di consistenza meccanica da mediocre a discreta, da moderatamente addensati a consolidati con l'aumentare della profondità.

Nel nostro caso, ci si potrà attestare, con lo scavo per la realizzazione delle fondazioni su palo, sempre all'interno di una stessa litologia così descritta:

- Sabbie limose argillose con ciottoletti e/o livelli ciottolosi in matrice limosa sabbiosa sovrastante livelli di argille limose verdastre addensate, passanti a sabbiose medio-fini in profondità. In questo contesto si evidenzia una sedimentazione di alluvioni fini, che si manifesta con livelli limosi da argillosi a debolmente sabbiosi, a cui si alternano livelli conglomeratici di debole spessore a diverso grado di addensamento e consistenza, non solo per il diverso contenuto nella frazione argillosa - limosa, ma anche per l'inclusione di elementi clastici, il cui ordine di grandezza varia dalle ghiaie fini ai ciottoli e ciottoletti.

## 2.1 - Stima dei parametri geotecnici

Nota la costituzione geostrutturale del sito, per la determinazione specifica della portanza del terreno e del suo carico limite è stata ritenuta sufficiente la caratterizzazione puntuale dei materiali situati poco al di



sotto del piano campagna su cui sarà intestato direttamente il palo a supporto dei pannelli previsti in progetto. Lo stesso graverà su di un terreno costituito da sabbie ghiaiose in matrice limosa argillosa con inclusioni eterometriche clastiche. Le caratteristiche geomeccaniche, utili alla determinazione del carico limite e della generale idoneità del terreno riguardo all'opera d'intervento, sono state ricavate da esperienze lavorative eseguite in aree limitrofe e litologicamente omogenee.

Le considerazioni che seguono hanno tenuto conto della correlazione esistente tra la formula di "Parry" e i valori rilevati dalle prove dinamiche discontinue SPT →  $R_{\text{terreno}} = 30N_{\text{spt}} / F_s$  coefficiente di sicurezza

I parametri geotecnici dell'unità litostratigrafica che insiste al piano di fondazione sono indicati nella tabella sottostante:

**Unità A]** Depositi alluvionali olocenici sabbiosi in matrice fine limo argillosa e/o argillosa, con sporadiche inclusioni eterometriche clastiche

|   |   |
|---|---|
| Peso di volume naturale ( $\gamma_n$ )                  | 19,12 KN/m <sup>3</sup>                           |
| Peso di volume saturo ( $\gamma_w$ )                    | 20,50 KN/m <sup>3</sup>                           |
| Angolo di attrito interno ( $\varphi$ )                 | 28°   |
| Coesione $c_d$  | 29,42 KN/m <sup>2</sup>                           |
| Modulo Elastico (E)                                     | 4726,81 KN/m <sup>2</sup> (Webb)                  |
| Modulo Edometrico (M)                                   | 8100,29 KN/m <sup>2</sup> (Menzebach e Malcev)    |
| N SPT   | 11 [ $R_{\text{terreno}} 1.07 \text{ daN/cm}^2$ ] |
| Winkler (Kg/cm <sup>3</sup> ) $Q = 1.0 \text{ Kg/cm}^2$ | 1,42  |
| Caratteristiche strato                                  | addensato   |

## 2.2 – Considerazioni sulla scavabilità e tenuta dei fronti di scavo

L'area è costituita da sedimenti alluvionali terrazzati Olocenici, costituiti Sabbie limose argillose con ciottolotti e/o livelli ciottolosi in matrice limosa sabbiosa sovrastante livelli di argille limose verdastre addensate, passanti a sabbiose medio-fini in profondità. In questo contesto si evidenzia una sedimentazione di alluvioni fini, che si manifesta con livelli limosi da argillosi a debolmente sabbiosi, a cui si alternano livelli conglomeratici di debole spessore a diverso grado di addensamento e consistenza, non solo per il diverso contenuto nella frazione argillosa - limosa, ma anche per l'inclusione di elementi clastici, il cui ordine di grandezza varia dalle ghiaie fini ai ciottoli e ciottoletti. In funzione di quanto sopra esposto, i terreni saranno facilmente asportabili con il semplice uso di un escavatore (terna) dotato di singola benna nei livelli più superficiali interessati dalla posa di una eventuale fondazione su "palo infisso" superficiale.

La capacità della parete di scavo di autosostenersi in assenza di opere di stabilizzazione dipende dalle caratteristiche fisico-meccaniche del terreno interessato. E' infatti possibile dare allo scavo un'inclinazione (inclinazione di sicurezza) tale per cui essa risulti stabile nel breve periodo senza che vi sia pericolo di crollo. La stabilità nei livelli alluvionali, nello specifico Pleistocenici Olocenici diversamente addensati,



essendo materiali a comportamento attrattivo e/o coesivo, è legata, indipendentemente dall'altezza dello scavo, al valore dell'angolo di attrito interno del materiale.

Il fattore di sicurezza (FS) di una parete di scavo viene definito come  $FS = \text{tg } \varphi / \text{tg } \beta$ , dove  $\varphi$  = angolo di attrito interno del materiale e  $\beta$  = inclinazione della parete di scavo, per cui lo scavo può essere considerato stabile, in assenza di significative variazioni delle condizioni al contorno, per valori di FS maggiori o uguali a 1. Nel nostro caso, avendo le coperture Quaternarie Oloceniche un  $\varphi_{\text{da SPT}} = 28^\circ$ , per lavorare in condizioni di sicurezza, si potrà tener conto di un'inclinazione della parete di scavo  $\text{min}$  di circa  $26^\circ$  (48,8%).

Per questi terreni, si può verificare l'altezza critica di scavo, che è l'altezza massima alla quale una scarpata verticale è stabile per un certo periodo di tempo senza bisogno di sostegni. Nel nostro caso, considerando i seguenti parametri geotecnici accorpabili per uniformità litologiche locali (riconducibili ad un unico livello)  $\rightarrow c_u = 29.42 \text{ KN/m}^2$  -  $\gamma_n = 19.12 \text{ KN/m}^3$  e utilizzando la seguente relazione:  $H_c = 4 c / \gamma_n$  si ottiene un'altezza critica di scavo  $H_c = \sim 6.0 \text{ m}$ . Tenendo conto delle "tensioni di trazione" di altezza (y), che si generano in seguito allo scavo, ed in presenza di eventuale acqua a breve profondità legata alla stagionalità del periodo, il valore dell'altezza critica (Hc) (Terzaghi) risulta ridotto per  $y = H_c/2 \rightarrow H_c' = \sim 3.0 \text{ m}$

*Si consiglia, comunque, in presenza di materiali ciottolosi granulari in matrice coesiva, di eseguire l'apertura del terreno, in condizioni di sicurezza, con una maggiore larghezza della base e una minore pendenza della parete di scavo, per abbattere l'incidenza di eventuali crolli, a causa dei fenomeni di rilassamento per diminuzione della spinta litostatica delle terre, conseguente lo sbancamento.*

*Generalmente, per profondità di scavo superiori a 1.0/1.5mt, trattandosi di materiali granulari non coerenti (D.lgs 81/2008), si consiglia di provvedere ad armare provvisoriamente i fronti di scavo. Da non dimenticare che, se si dovesse decidere di impiantare il cantiere durante il periodo invernale o comunque in previsione di eventi pluviometrici importanti, sarà opportuno predisporre degli adeguati sistemi di allontanamento sia delle acque superficiali dal fondo scavo, se presente, sia da quelle (eventuali) di debole falda idrica se risalita per incremento idrico.*

### 2.3 - Verifica degli SL secondo le NTC 2018

Premessa: *Nelle Norme Tecniche per le Costruzioni (N.T.C 2008) la verifica di sicurezza nei confronti degli stati limite ultimi (S.L.U) di resistenza, si ottiene con il "Metodo semiprobabilistico dei Coefficienti parziali" di sicurezza tramite la disequazione:  $E_d \leq R_d$ , dove  $E_d$  è il valore di progetto (risultante della combinazione delle azioni agenti sulle costruzioni),  $R_d$  è la resistenza di progetto del terreno, che equivale al carico limite calcolato con il metodo delle tensioni ammissibili (D.M.11/03/88) ridotto di un certo coefficiente parziale ( $\gamma_R$ ). Il valore di progetto si ottiene con una combinazione delle azioni sulle*



costruzioni e di coefficienti parziali, che tiene conto del massimo carico d'esercizio trasmesso sulla fondazione, dato da  $N = G + Q$ , che è la somma dei carichi permanenti sfavorevoli ( $G$ ) e dei carichi variabili sfavorevoli ( $Q$ ). La combinazione delle azioni è funzione del tipo di calcolo, se finalizzato agli stati limite ultimi (SLU) o agli stati limite d'esercizio (SLE). Nelle verifiche nei confronti degli stati limite ultimi (SLU) si possono adottare 2 metodi:

- Il primo metodo tiene conto di 2 combinazioni:

- ❖ **Strutturale (STR)**: è lo stato limite di resistenza della struttura e riguarda gli elementi di fondazione e di sostegno del terreno; è definito dalla combinazione  $A_1+M_1+R_1$ ;
- ❖ **Geotecnico (GEO)**: è lo stato limite di resistenza del terreno, si utilizza per il dimensionamento geotecnico delle opere di fondazione e di sostegno che interagiscono con il terreno; è definito dalla combinazione  $A_2+M_2+R_2$ ;

- Il secondo metodo si basa su di una combinazione unica, che considera sia gli stati limite ultimi strutturali che geotecnici, definita da  $A_1+M_1+R_3$ .

Le combinazioni sono formate da gruppi di coefficienti parziali  $\gamma$  con:

- $A$  = coefficienti parziali per le azioni,  $\gamma_F$ ;
- $M$  = coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno,  $\gamma_M$  (resistenza dei materiali);
- $R$  = coefficienti parziali per le verifiche agli stati limite ultimi delle fondazioni superficiali  $\gamma_R$  (resistenza globale del sistema)

Con le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (N.T.C 2018) le verifiche di sicurezza relative agli stati limite ultimi (SLU) e le analisi relative alle condizioni di esercizio (SLE) devono essere effettuate nel

rispetto dei principi e delle procedure indicate al § 2.6. Per ogni stato limite per perdita di equilibrio (EQU), come definito al §2.6.1, deve essere rispettata la condizione:

$$E_{inst,d} \leq E_{stb,d}$$

dove  $E_{inst,d}$  è il valore di progetto dell'azione instabilizzante,  $E_{stb,d}$  è il valore di progetto dell'azione stabilizzante. La verifica della suddetta condizione deve essere eseguita impiegando come fattori parziali per le azioni i valori  $\gamma_F$  riportati nella colonna EQU della tabella 6.2.1. Per ogni stato limite ultimo che preveda il raggiungimento della resistenza di un elemento strutturale (STR) o del terreno (GEO), come definiti al § 2.6.1, deve essere rispettata la condizione:  $E_d \leq R_d$  [§ 6.2.1] essendo  $E_d$  il valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione, definito dalle relazioni [6.2.2a] o [6.2.2b]. Effetto delle azioni e resistenza di progetto sono espresse nelle [6.2.2a] e [6.2.3] rispettivamente in funzione delle azioni di progetto  $\gamma F_k$ , dei parametri geotecnici di progetto  $X_k/\gamma_M$  e dei parametri geometrici di progetto  $a_d$ . Il coefficiente parziale di sicurezza  $\gamma_R$  opera direttamente sulla resistenza del sistema.

L'effetto delle azioni di progetto può anche essere valutato direttamente con i valori caratteristici delle azioni come indicato dalla [6.2.2b] con  $\gamma E = \gamma F$ .

In accordo a quanto stabilito al §2.6.1, la verifica della condizione [6.2.1] deve essere effettuata impiegando diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali, rispettivamente definiti per le azioni (A1 e A2), per i parametri geotecnici (M1 e M2) e per le resistenze (R1, R2 e R3). I diversi gruppi di coefficienti di sicurezza parziali sono scelti nell'ambito di due approcci progettuali distinti e alternativi.

Nel primo approccio progettuale (Approccio 1) le verifiche si eseguono con due diverse combinazioni di gruppi di coefficienti ognuna delle quali può essere critica per differenti aspetti dello stesso progetto.

Nel secondo approccio progettuale (Approccio 2) le verifiche si eseguono con un'unica combinazione di gruppi di coefficienti.

La verifica della stabilità globale deve essere effettuata secondo quanto previsto nel capitolo 6.8 secondo la combinazione 2 dell'approccio 1 tenendo conto dei coefficienti parziali delle tabelle 6.2.1 e 6.2II per le azioni e i parametri geotecnici, e nella tabella 6.8.1 per le resistenze globali.

Per la **verifica della capacità portante secondo le N.T.C 2018** è stato scelto il secondo metodo con la combinazione unica  $[A_1+M_1+R_3]$  in condizioni drenate (piano di posa): la verifica è stata svolta per un palo del diametro massimo di 20cm, con incastro di punta a -1.0m da p.c..

#### DATI GENERALI

|                           |          |
|---------------------------|----------|
| Normativa                 | NTC 2018 |
| Diametro della fondazione | 0,2 m    |
| Profondità piano di posa  | 1,0 m    |

#### SISMA

|                              |          |
|------------------------------|----------|
| Accelerazione massima (ag/g) | 0,05     |
| Effetto sismico secondo      | NTC 2018 |

#### STRATIGRAFIA TERRENO

| Spessor e strato [m] | Peso unità di volume [kN/m <sup>3</sup> ] | Peso unità di volume saturo [kN/m <sup>3</sup> ] | Angolo di attrito [°] | Coesione [kN/m <sup>2</sup> ] | Coesione non drenata [kN/m <sup>2</sup> ] | Modulo Elastico [kN/m <sup>2</sup> ] | Modulo Edometrico [kN/m <sup>2</sup> ] | Poisson | Coeff. consolid. az. primaria [cmq/s] | Coeff. consolidazione secondaria | Descrizione            |
|----------------------|---|--|-----------------------|-------------------------------|---|--------------------------------------|--|---------|---------------------------------------|----------------------------------|------------------------|
| 6,0                  | 19,12                                     | 20,5   | 28,0                  | 9,81                          | 29,42                                     | 4726,81                              | 8100,29                                | 0,3     | 0,0                                   | 0,0                              | Alluvionale terrazzato |

#### Carichi di progetto agenti sulla fondazione

| Nr. | Nome combinazioni | Pressione normale di progetto [kN/m <sup>2</sup> ] | N [kN] | Mx [kN·m] | My [kN·m] | Hx [kN] | Hy [kN] | Tipo     |
|-----|-------------------|--|--------|-----------|-----------|---------|---------|----------|
| 1   | A1+M1+R3          | 206,85   | 0,00   | 0,00      | 0,00      | 0,00    | 0,00    | Progetto |
| 2   | SISMA             | 206,85   | 0,00   | 0,00      | 0,00      | 0,00    | 0,00    | Progetto |
| 3   | S.L.E.            | 206,85   | 0,00   | 0,00      | 0,00      | 0,00    | 0,00    | Servizio |
| 4   | S.L.D.            | 206,85   | 0,00   | 0,00      | 0,00      | 0,00    | 0,00    | Servizio |



Sisma + Coeff. parziali parametri geotecnici terreno + Resistenze

| Nr | Correzione Sismica | Tangente angolo di resistenza al taglio | Coesione efficace | Coesione non drenata | Peso Unità volume in fondazione | Peso unità volume copertura | Coef. Rid. Capacità portante verticale | Coef. Rid. Capacità portante orizzontale |
|----|--------------------|---|-------------------|----------------------|---------------------------------|-----------------------------|--|--|
| 1  | No                 | 1                                       | 1                 | 1                    | 1                               | 1                           | 2,3                                    | 1,1                                      |
| 2  | Si                 | 1                                       | 1                 | 1                    | 1                               | 1                           | 1,8                                    | 1,1                                      |
| 3  | No                 | 1                                       | 1                 | 1                    | 1                               | 1                           | 1                                      | 1  |
| 4  | No                 | 1                                       | 1                 | 1                    | 1                               | 1                           | 1                                      | 1  |

**CARICO LIMITE FONDAZIONE COMBINAZIONE...A1+M1+R3**

**Autore: Meyerhof and Hanna (1978)**

- Carico limite [Qult] 620,54 kN/m<sup>2</sup>
- Resistenza di progetto [Rd] 269,8 kN/m<sup>2</sup>
- Fattore sicurezza [Fs=Qult/Ed] 3,0

**COEFFICIENTE DI SOTTOFONDAZIONE BOWLES (1982)**

**Autore: Meyerhof and Hanna (1978) (Condizione drenata)**

===== A1 + M1 + R3

Strato 1 sopra, strato 2 sotto

Fattori di capacità portante strato 1

Fattore [Nq] 14,72

Fattore [Nc] 25,8

Fattore [Ng] 3,42

Fattori di capacità portante strato 2

Fattore [Nq] 1,0

Fattore [Nc] 5,14

Carico limite strato 2 (qb) 114,72 kN/m<sup>2</sup>

Carico limite strato 1 (qt) 620,54 kN/m<sup>2</sup>

Incremento carico limite strato 1 2095,25 kN/m<sup>2</sup>

Coefficiente di punzonamento (ks) 0,9

Rapporto (q1/q2) 0,0

=====

Carico limite 620,54 kN/m<sup>2</sup>

Resistenza di progetto 269,8 kN/m<sup>2</sup>

**Autore: Meyerhof and Hanna (1978) (Condizione drenata)**

===== **SISMA**

Strato 1 sopra, strato 2 sotto

Fattori di capacità portante strato 1

Fattore [Nq] 14,72

Fattore [Nc] 25,8

Fattore [Ng] 3,42

Fattori di capacità portante strato 2

Fattore [Nq] 1,0

Fattore [Nc] 5,14

Carico limite strato 2 (qb) 114,72 kN/m<sup>2</sup>

Carico limite strato 1 (qt) 620,54 kN/m<sup>2</sup>

Incremento carico limite strato 1 2095,25 kN/m<sup>2</sup>

Coefficiente di punzonamento (ks) 0,9

Rapporto (q1/q2) 0,0

=====

Carico limite 620,54 kN/m<sup>2</sup>

Resistenza di progetto 344,74 kN/m<sup>2</sup>



### 2.3.1 – CEDIMENTI PER OGNI STRATO

\*Cedimento edometrico calcolato con: Metodo consolidazione monodimensionale di Terzaghi

|                               |                         |
|-------------------------------|-------------------------|
| Pressione normale di progetto | 100,0 kN/m <sup>2</sup> |
| Cedimento dopo T anni         | 15,0                    |
| Distanza                      | 0,08 m                  |
| Angolo                        | 129,93°                 |
| Cedimento totale              | 0,015 cm                |

Z: Profondità media dello strato; Dp: Incremento di tensione; Wc: Cedimento consolidazione; Ws: Cedimento secondario; Wt: Cedimento totale.

| Strato | Z<br>(m) | Tensione<br>(kN/m <sup>2</sup> ) | Dp<br>(kN/m <sup>2</sup> ) | Metodo     | Wc<br>(cm) | Ws<br>(cm) | Wt<br>(cm) |
|--------|----------|----------------------------------|----------------------------|------------|------------|------------|------------|
| 1      | 3,5      | 66,92                            | 0,246                      | Edometrico | 0,0152     | --         | 0,0152     |

### 2.3.2 - CEDIMENTI ELASTICI

|                               |                           |
|-------------------------------|---------------------------|
| Pressione normale di progetto | 100,0 kN/m <sup>2</sup>   |
| Spessore strato               | > 6 m                     |
| Profondità substrato roccioso | 0,0 m                     |
| Modulo Elastico               | 4726,81 kN/m <sup>2</sup> |
| Coefficiente di Poisson       | 0,3                       |

|                              |      |
|------------------------------|------|
| Coefficiente di influenza I1 | 0,5  |
| Coefficiente di influenza I2 | 0,02 |
| Coefficiente di influenza Is | 0,51 |

Cedimento al centro della fondazione 1,58 mm

Coefficiente di influenza I1 0,44

|                              |         |
|------------------------------|---------|
| Coefficiente di influenza I2 | 0,03    |
| Coefficiente di influenza Is | 0,45    |
| Cedimento al bordo           | 0,71 mm |

### 2.3.3 - CEDIMENTI BURLAND E BURBIDGE

|  |                         |
|--|-------------------------|
| Pressione normale di progetto                          | 100,0 kN/m <sup>2</sup> |
| Tempo  | 15,0                    |
| Profondità significativa Zi (m)                        | 2                       |
| Media dei valori di Nsp <sub>t</sub> all'interno di Zi | 11                      |
| Fattore di forma fs                                    | 1                       |
| Fattore strato compressibile fh                        | 1                       |
| Fattore tempo ft                                       | 1,44                    |
| Indice di compressibilità                              | 0,059                   |
| Cedimento  | 2,42 mm                 |

### 2.3.4 - VERIFICA A LIQUEFAZIONE - Metodo del C.N.R. - GNDT Da Seed e Idriss

Svo: Pressione totale di confinamento; S'vo: Pressione efficace di confinamento; T: Tensione tangenziale ciclica; R: Resistenza terreno alla liquefazione; Fs: Coefficiente di sicurezza

| Strato | Prof.<br>Strato<br>(m) | Nspt  | Nspt'  | Svo<br>(kN/m <sup>2</sup> ) | S'vo<br>(kN/m <sup>2</sup> ) | T     | R     | Fs   | Condizione:               |
|--------|------------------------|-------|--------|-----------------------------|------------------------------|-------|-------|------|---------------------------|
| 1      | 6,00                   | 11,00 | 10,001 | 114,718                     | 114,718                      | 0,035 | 0,132 | 3,73 | Livello non liquefacibile |



## GRAFICI

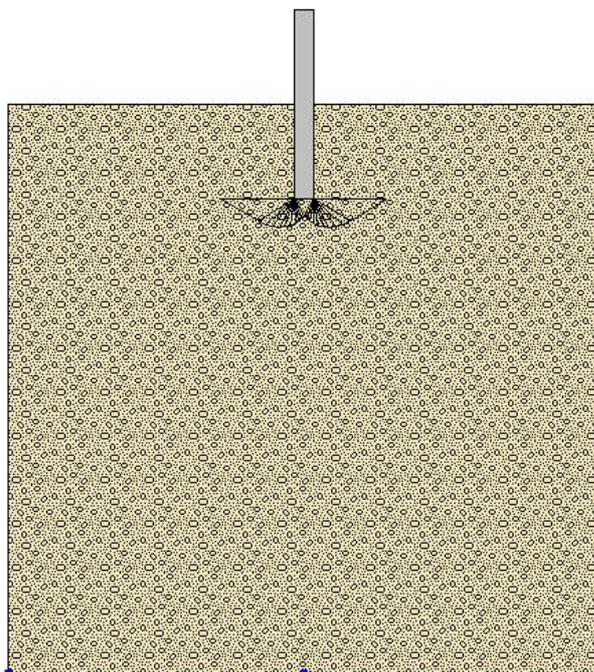


Figura 8 – Cuneo di intrusione

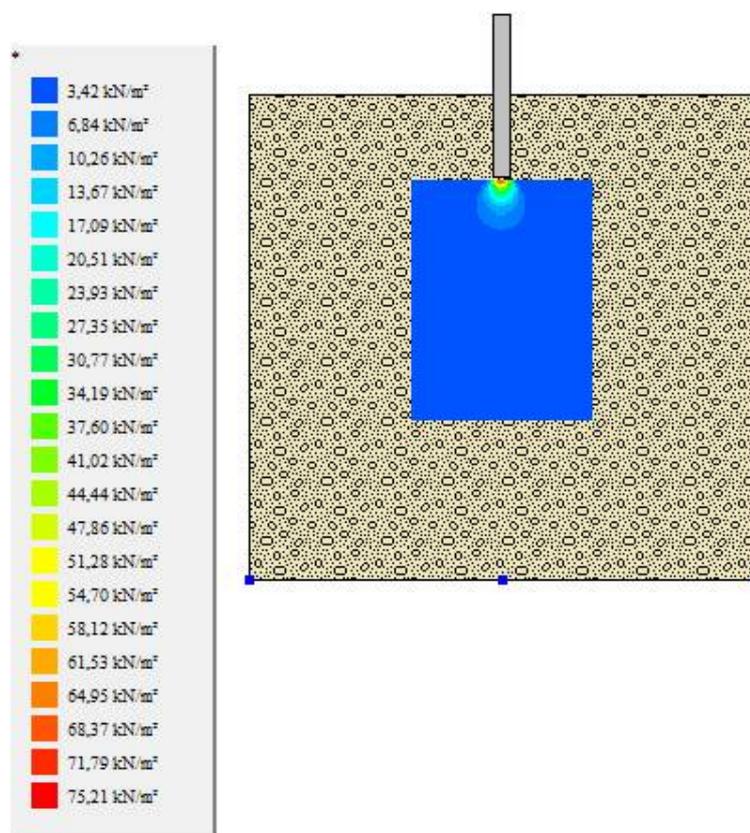
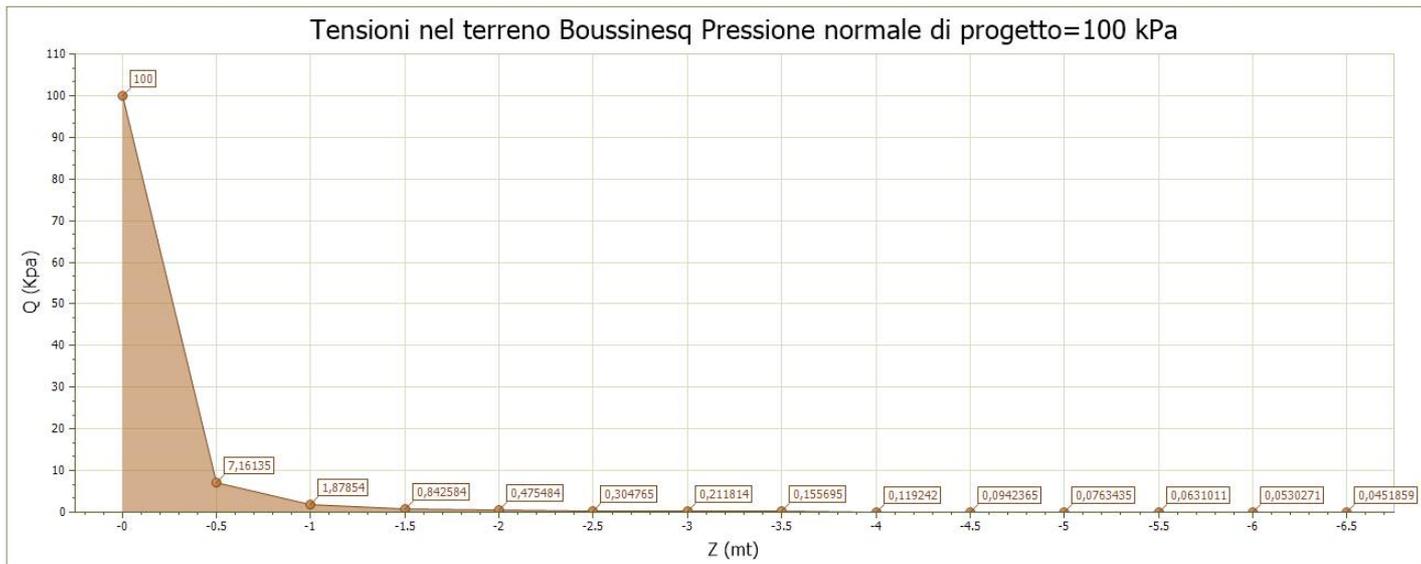


Figura 9 - Bulbo dello sviluppo delle pressioni

Committente: ENERGETICA CAMPIDANO SRL

Progetto: Impianto fotovoltaico non a terra (su pensilina) loc. Sartu Is Coccus - Villasor

Il Geologo: Dott. Mario STRINNA - ORG 441



### 3. CONCLUSIONI

**In conformità a quanto fin qui esposto si possono trarre le seguenti conclusioni:**

- L'area è costituita da sedimenti alluvionali terrazzati Olocenici, costituiti Sabbie limose argillose con ciottolotti e/o livelli ciottolosi in matrice limosa sabbiosa sovrastante livelli di argille limose verdastre addensate, passanti a sabbiose medio-fini in profondità. In questo contesto si evidenzia una sedimentazione di alluvioni fini, che si manifesta con livelli limosi da argillosi a debolmente sabbiosi, a cui si alternano livelli conglomeratici di debole spessore a diverso grado di addensamento e consistenza, non solo per il diverso contenuto nella frazione argillosa - limosa, ma anche per l'inclusione di elementi clastici, il cui ordine di grandezza varia dalle ghiaie fini ai ciottoli e ciottolotti. Le caratteristiche geotecniche di questi materiali sono da considerarsi da discrete sino a buone, funzione delle caratteristiche specifiche degli strati legato al grado di addensamento dello stesso.
- Dal punto di vista del loro comportamento geomeccanico, presentano caratteristiche variabili da litologia incoerente nei termini più attrattivi, a coesiva nei termini più plastici. In funzione di ciò, i terreni hanno mostrato una certa variabilità nella resistenza alla penetrazione da prove S.P.T (Standard Penetration Test). Questa disomogeneità è congruente alla tipica variabilità litologica dei depositi di ambiente fluviale, presentandosi nei nostri casi diversamente addensati e/o consistenti. Infatti, il terreno esaminato, fatta eccezione per la presenza di un orizzonte di minimo spessore per lo più alterato dalla stessa azione antropica sul territorio, di spessore modesto (0.30/0.40m) e con discreta pietrosità superficiale, è impostato su una copertura di sabbie ghiaiose con subordinati livelli di limi e argille, disomogenei per il contenuto, la composizione della matrice e il grado di cementazione, con una colorazione nocciola con patine rossastre per la ferrettizzazione da ox di ferro.
- Nell'area d'interesse non sono stati rilevati fenomeni franosi in atto né segni che ne lascino presagire l'occorrenza; non è stata riscontrata la presenza d'alcun elemento tettonico attivo, quali faglie o dislocazioni in genere, che possa favorire l'innescarsi di dissesti di qualsiasi natura e provocare ripercussioni sulla stabilità delle opere in progetto. Essa, inoltre, non è interessata da fenomeni di subsidenza, né sono stati rilevati altri fenomeni morfogenetici attivi in grado di influire in maniera significativa sulla stabilità dell'area. In considerazione delle caratteristiche tecniche dei terreni unitamente ai valori di pendenza su cui giacciono, l'area rimane caratterizzata da buone condizioni di stabilità.



- I terreni rilevati, in base alle caratteristiche geolitologiche, con particolare riferimento alla capacità d'assorbimento (tab. 1) possono essere suddivisi in:

| Grado di permeabilità | Valore di k (m/s)     |
|-----------------------|-----------------------|
| alto                  | superiore a $10^{-3}$ |
| medio                 | $10^{-3} - 10^{-5}$   |
| basso                 | $10^{-5} - 10^{-7}$   |
| molto basso           | $10^{-7} - 10^{-9}$   |
| impermeabile          | minore di $10^{-9}$   |

- Classe 1- Permeabilità da alta a media: Depositi alluvionali, costituiti da conglomerati e sabbie, caratterizzati da una permeabilità variabile da alta a media ( $10^{-3} \geq K \geq 10^{-5}$ ).
  - Classe 2- Permeabilità da bassa a molto bassa: livelli marnosi-arenacei (marne) caratterizzati da una permeabilità variabile da  $10^{-5} \geq K \geq 10^{-9}$ , in funzione del grado di addensamento.
- Il territorio dell'area di intervento ricade nel sub-bacino 7 "Flumendosa – Campidano – Cixerri" risulta all'esterno di aree interessate da perimetrazioni da pericolosità idraulica Hi (Art. 8 / Rev.41) e assenza di pericolosità da frana Hg (Art.8 / Rev. 42). Dall'analisi delle tavole del P.A.I e dalle schede degli interventi relativi al quadro conoscitivo dei fenomeni di dissesto franoso, non si sono evidenziati e/o rilevati fenomeni franosi conosciuti e censiti dall'archivio AVI-CNR e IFFI, né pericolosità riconducibili a dissesti per crollo, ribaltamento e colate detritiche. Dal punto di vista della pericolosità idraulica (PSFF) si evidenzia un rischio idraulico Hi in prossimità della dx idraulica e sx idraulica del Rio Flumini Mannu e del canale Rio Malu presente a SSE del tessuto urbano di Villasor.

#### Pericolosità Sismica Locale

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

- $a_g$  - accelerazione orizzontale massima al sito;
- $F_0$  - valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale.
- $T_c^*$  - periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

I valori di  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T_c^*$  per gli "stati limite di esercizio", SLO e SLD, e per gli "stati limite ultimi", SLC e SLD, sono calcolati con interpolazione basata sulle distanze, per maglie di riferimento rappresentative dell'intera area nella quale dovranno essere attuati gli interventi, utilizzando la classe d'uso II (Normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziale. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente [...]).



Dati sull'area SENSIBILE:

Areale sensibile progetto impianto Villasor

- X = 1489753.2016 E
- Y = 4358088.4459 N

Dati sulla costruzione:

- Classe d'uso: 2 (normali affollamenti)
- Vita Nominale: 50 anni
- Coefficiente d'uso: 1.000000
- Vita di riferimento: 50.000000 anni

→ **SLE (N.T.C)**

- Dati sulla costruzione (**SLO**) Probabilità di superamento nella vita di riferimento: 0.810000 (**SLO**) Periodo di ritorno: 30.107220 (anni): Valori finali calcolati:  $ag = 0.0128 \text{ g} \rightarrow Fo = 2.5776 \rightarrow Tc^* = 0.1400 \text{ sec}$
- Dati sulla costruzione (**SLD**) Probabilità di superamento nella vita di riferimento: 0.630000 (**SLD**) Periodo di ritorno: 50.289048 (anni): Valori finali calcolati:  $ag = 0.0172 \text{ g} \rightarrow Fo = 2.5500 \rightarrow Tc^* = 0.1500 \text{ sec}$

→ **SLU (N.T.C)**

- Dati sulla costruzione (**SLV**) Probabilità di superamento nella vita di riferimento: 0.100000 (**SLV**) Periodo di ritorno: 474.561079 (anni): Valori finali calcolati:  $ag = 0.0439 \text{ g} \rightarrow Fo = 2.5027 \rightarrow Tc^* = 0.3100 \text{ sec}$
- Dati sulla costruzione (**SLC**) Probabilità di superamento nella vita di riferimento: 0.050000 (**SLC**) Periodo di ritorno: 974.786287 (anni): Valori finali calcolati:  $ag = 0.0555 \text{ g} \rightarrow Fo = 2.5551 \rightarrow Tc^* = 0.3400 \text{ sec}$

Categorie di Sottosuolo (Tab. 3.2.II - NTC 2018).

| Tab. 3.2.II – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato. |  |
|--|--|
| Categoria  | Caratteristiche della superficie topografica   |
| <b>C</b>   | 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. |

Condizioni topografiche (Tab. 3.2.III)

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



Tab. 2.4.I.

|   | TIPI DI COSTRUZIONE                                     | Valori minimi di $V_N$ (anni) |
|---|---|-------------------------------|
| 1 | Costruzioni temporanee e provvisorie                    | 10                            |
| 2 | <b>Costruzioni con livelli di prestazioni ordinarie</b> | <b>50</b>                     |
| 3 | Costruzioni con livelli di prestazioni elevate          | 100                           |

Tab. 2.4.II.

| Classe d'uso       | I   | II         | III | IV  |
|--------------------|-----|------------|-----|-----|
| Coefficiente $C_u$ | 0,7 | <b>1,0</b> | 1,5 | 2,0 |

|                  |   |
|------------------|---|
| Classe I         | Presenza occasionale di persone, edifici agricoli   |
| <b>Classe II</b> | <b>Normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente [...]</b>  |
| Classe III       | Affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti con attività particolarmente pericolose per l'ambiente |
| Classe IV        | Funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente [...]  |

- Considerazioni geotecniche preliminari: si tratta di materiali essenzialmente incoerenti in matrice coesiva, con caratteristiche di resistenza meccanica generalmente discrete sia per composizione granulometrica, sia per grado di costipamento e/o cementazione dei sedimenti, confermate dai valori di resistenza alla punta (Parry) ottenuti dalla prova penetrometrica dinamica discontinua (NSPT). I parametri geotecnici dell'unità litostratigrafica che insiste al piano di fondazione sono indicati nella tabella sottostante:

**Unità A]** Depositi alluvionali olocenici sabbiosi in matrice fine limo argillosa e/o argillosa, con sporadiche inclusioni eterometriche clastiche

|   |  |
|---|--|
| Peso di volume naturale ( $\gamma_n$ )                  | 19,12 KN/m <sup>3</sup>                        |
| Peso di volume saturo ( $\gamma_w$ )                    | 20,50 KN/m <sup>3</sup>                        |
| Angolo di attrito interno ( $\varphi$ )                 | 28°  |
| Coesione $c_d$  | 29,42 KN/m <sup>2</sup>                        |
| Modulo Elastico (E)                                     | 4726,81 KN/m <sup>2</sup> (Webb)               |
| Modulo Edometrico (M)                                   | 8100,29 KN/m <sup>2</sup> (Menzebach e Malcev) |
| N SPT   | 11 [ R terreno 1.07 daN/cm <sup>2</sup> ]      |
| Winkler (Kg/cm <sup>3</sup> ) $Q = 1.0 \text{ Kg/cm}^2$ | 1,42   |
| Caratteristiche strato                                  | addensato                                      |

- Per la verifica della capacità portante secondo le N.T.C 2018 è stato scelto il secondo metodo con la combinazione unica  $[A_1+M_1+R_3]$  in condizioni non drenate:

Per la **verifica della capacità portante secondo le N.T.C 2018** è stato scelto il secondo metodo con la combinazione unica  $[A_1+M_1+R_3]$  in condizioni drenate (piano di posa): la verifica è stata svolta per un palo del diametro massimo di 20cm, con incastro di punta a -1.0m da p.c.. Dai calcoli effettuati (utilizzando i valori minimi possibili di resistenza alla compressione e con i massimi coefficienti di sicurezza) si ottiene:

Combinazione A1+M1+R3 - Meyerhof and Hanna (1978) – condizione drenata Il valore minimo del carico limite ultimo  $Q_{ult} = 620,54 \text{ kN/m}^2$ , con una resistenza di progetto ( $R_d$ ) =  $269,8 \text{ KN/m}^2$ .

I cedimenti elastici relativi al substrato di terreno interessato dal sovraccarico, si attesterebbero a valori inferiori al centimetro (centro 1,58mm / bordo 0,71mm), in corrispondenza di una pressione normale di progetto pari a  $100 \text{ KN/m}^2$  (ipotesi di verifica).

I cedimenti secondo Burland e Burbidge relativi al substrato di terreno interessato dal sovraccarico, si attesterebbero a valori inferiori al centimetro (2,42mm), in corrispondenza di una pressione normale di progetto pari a  $100 \text{ KN/m}^2$  (ipotesi di verifica).

I terreni presenti nell'area in oggetto non sono suscettibili al fenomeno di liquefazione in seguito a sollecitazioni dinamiche, in considerazione delle caratteristiche granulometriche, nonché dell'assenza di una vera e propria falda nei primi metri dal piano campagna - Metodo del C.N.R. - GNDT Da Seed e Idriss

- L'area è costituita da sedimenti alluvionali terrazzati Olocenici, costituiti Sabbie limose argillose con ciottolotti e/o livelli ciottolosi in matrice limosa sabbiosa sovrastante livelli di argille limose verdastre addensate, passanti a sabbiose medio-fini in profondità. In funzione di quanto sopra esposto, i terreni saranno facilmente asportabili con il semplice uso di un escavatore (terna) dotato di singola benna nei livelli più superficiali interessati dalla posa di una eventuale fondazione su "palo infisso" superficiale. La capacità della parete di scavo di autosostenersi in assenza di opere di stabilizzazione dipende dalle caratteristiche fisico-meccaniche del terreno interessato. Il fattore di sicurezza (FS) di una parete di scavo viene definito come  $FS = \text{tg } \varphi / \text{tg } \beta$ , dove  $\varphi$  = angolo di attrito interno del materiale e  $\beta$  = inclinazione della parete di scavo, per cui lo scavo può essere considerato stabile, in assenza di significative variazioni delle condizioni al contorno, per valori di FS maggiori o uguali a 1. Nel nostro caso, avendo le coperture Quaternarie Oloceniche un  $\varphi$  da SPT =  $28^\circ$ , per lavorare in condizioni di sicurezza, si potrà tener conto di un'inclinazione della parete di scavo  $\beta_{min}$  di circa  $26^\circ$  (48,8%).

Per questi terreni, si può verificare l'altezza critica di scavo. Nel nostro caso, considerando i seguenti parametri geotecnici accorpabili per uniformità litologiche locali (riconducibili ad un unico livello)  $\rightarrow c_u = 29.42 \text{ KN/m}^2 - \gamma_n = 19.12 \text{ KN/m}^3$  e utilizzando la seguente relazione:  $H_c = 4 c/\gamma_n$  si ottiene un'altezza critica di scavo  $H_c = \sim 6.0 \text{ m}$ . Tenendo conto delle "tensioni di trazione" di altezza ( $y$ ), che si generano in seguito allo scavo, ed in presenza di eventuale acqua a breve profondità legata alla stagionalità del periodo, il valore dell'altezza critica ( $H_c$ ) (Terzaghi) risulta ridotto per  $y = H_c/2 \rightarrow H_c' = \sim 3.0\text{m}$

*Si consiglia, comunque, in presenza di materiali ciottolosi granulari in matrice coesiva, di eseguire l'apertura del terreno, in condizioni di sicurezza, con una maggiore larghezza della base e una minore pendenza della parete di scavo, per abbattere l'incidenza di eventuali crolli, a causa dei fenomeni di rilassamento per diminuzione della spinta litostatica delle terre, conseguente lo sbancamento. Generalmente, per profondità di scavo superiori a 1.0/1.5mt, trattandosi di materiali granulari non coerenti (D.lgs 81/2008), si consiglia di provvedere ad armare provvisoriamente i fronti di scavo. Da non dimenticare che, se si dovesse decidere di impiantare il cantiere durante il periodo invernale o comunque in previsione di eventi pluviometrici importanti, sarà opportuno predisporre degli adeguati sistemi di allontanamento sia delle acque superficiali dal fondo scavo, se presente, sia da quelle (eventuali) di debole falda idrica se risalita per incremento idrico.*

- L'area, che ospiterà l'opera in progetto, non evidenzia ostacoli di:
  - Natura geologica, idrogeologica o morfologica che impediscano l'utilizzazione prevista dal progetto, a meno delle normali prescrizioni ingegneristiche;
  - Turbamento alle caratteristiche morfologiche del paesaggio. La stratigrafia, tipica dei terreni locali analizzati in situ, evidenzia la compatibilità della stessa in funzione delle opere (interventi) da realizzarsi, a supporto del progetto "Parco Fotovoltaico - Villasor".
  - Natura geotecnica che impedisca l'utilizzazione prevista dal progetto a meno delle normali prescrizioni ingegneristiche. Il progettista, verificata la compatibilità degli interventi previsti con la stessa natura del terreno, secondo le esigenze di progetto e di sue considerazioni di prudenza, potrà intervenire per avere l'opera finita a regola d'arte.

**Committente:** ENERGETICA CAMPIDANO SRL

**Progetto:** Impianto fotovoltaico non a terra (su pensilina) loc. Sartu Is Coccus - Villasor

**Il Geologo:** Dott. Mario STRINNA - **ORG** 441

Relazione geologica

**GEOLOGO** [sez. A]

Dott. Mario STRINNA



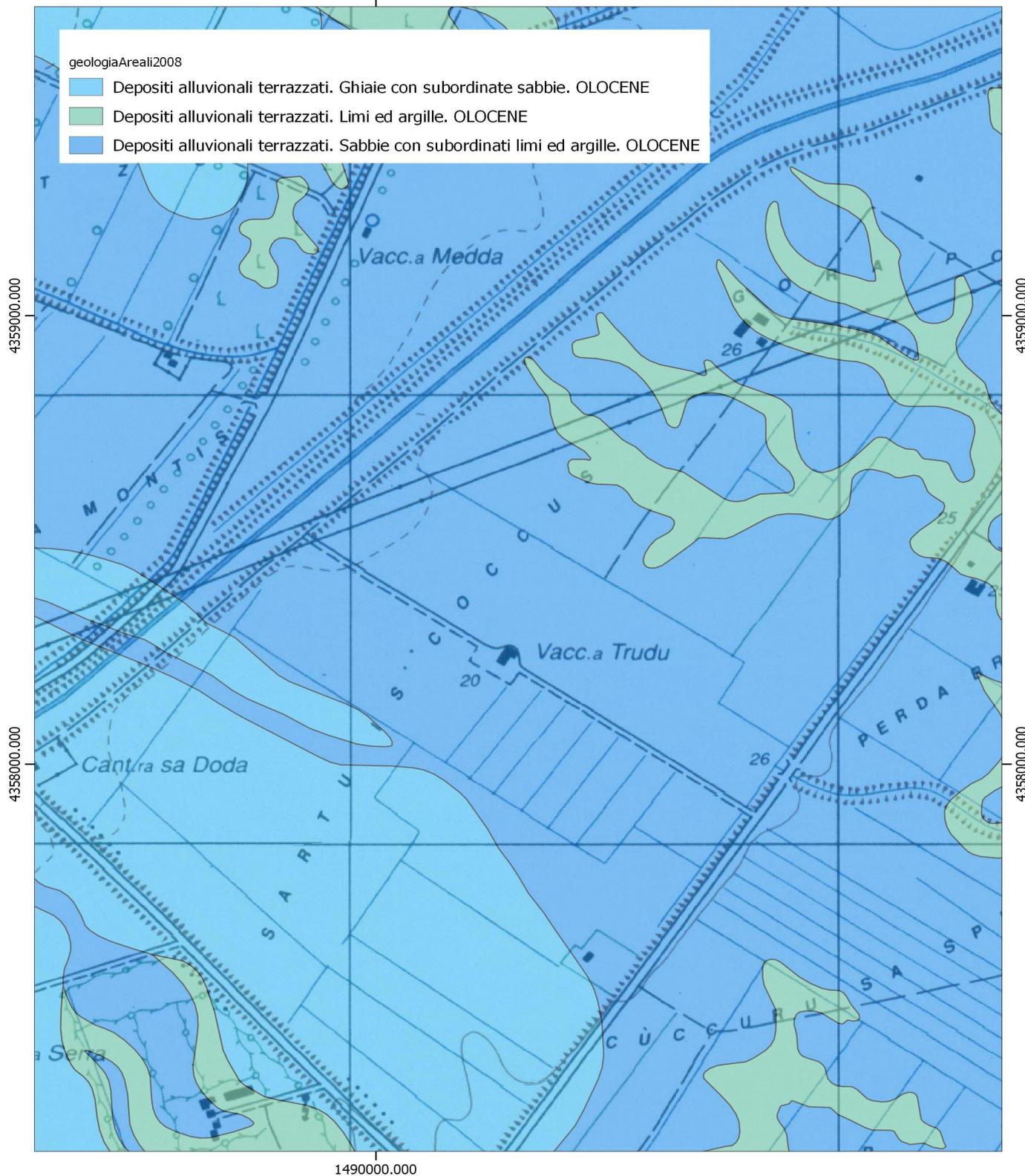
La presente relazione non può essere né copiata né riprodotta, anche parzialmente, se non con il consenso del professionista incaricato, previa autorizzazione scritta. Eventuali mancanze saranno punite ai sensi di legge (Art.2578 C.C. - L.22.4.1941 N.6331)

This report can be neither copied nor reproduced, even partially, except with the consent of the professional person in charge, prior written permission. Any deficiencies will be punished according to the law (Art.2578 CC - L.22.4.1941 N.6331)



Viale Diaz n. 48 09125 Cagliari T/F 070.303083 Portatile +39 3287906284  
Assicurazione professionale (LLOYD'S) geologi certificato n. A819B0201B27FNA-LB

INQUADRAMENTO GEOLOGICO  
SU BASE CTR 1:10.000 F. 556-030 CANTONIERA SA DODA  
1490000.000



CARTA DELLE PERMEABILITA'  
 SCALA 1:15000

