

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



**COMUNE DI VILLACIDRO**  
Provincia SU

*TITOLO*  
*TITLE*

REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO FOTOVOLTAICO SU PENSILINA SITO NEL  
COMUNE DI VILLACIDRO (SU) PER UNA POTENZA TOTALE DI 51 MW

*PROGETTAZIONE*  
*ENGINEERING*

Ing. Giuliano Giuseppe Medici  
Ing. Arch. Valeria Medici  
Ing. Arch. Elisa Defraia

*COMMITTENTE*  
*CLIENT*

SHARDANA ENERGETICA SRL

*OGGETTO*  
*OBJECT*

RELAZIONE GEOLOGICA\_VIA

*SCALA / SCALE*

*DATA / DATE*

NOVEMBRE 2021

*REL*

**F**

# COMUNE DI VILLACIDRO

(Prov. Sud sardegna)

## IMPIANTO FOTOVOLTAICO NON A TERRA (SU PENSILINA) SITO NEL COMUNE DI VILLACIDRO (SU) PER UNA POTENZA TOTALE DI 51 MWP

### 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.sicurezza postale.it

web : www.mariostrinna.com

*Committente:*

SHARDANA ENERGETICA SRL

*Oggetto:*

Verifica Geologica e Geotecnica

*Data:*

11/2021

*Scala:*

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

Dott. Mario STRINNA

*Collaboratore:*



*Aggiornamenti:*

*Tavola:*

*File: mario/geologia/2020/Villacidro impianto 51 MW*



## COMUNE DI VILLACIDRO

(Prov. Sud Sardegna)

### RELAZIONE GEOLOGICA

#### IMPIANTO FOTOVOLTAICO NON A TERRA (SU PENSILINA) SITO NEL COMUNE DI VILLACIDRO (SU) PER UNA POTENZA TOTALE DI 51 MWP



#### COMMITTENTE

SHARDANA ENERGETICA 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)



## INDICE

|   |         |
|---|---------|
| <b>RELAZIONE GEOLOGICA</b> .....  | pag. 3  |
| <b>A. PREMESSA</b> .....  | pag. 3  |
| <b>B. INQUADRAMENTO AEREO E GEOGRAFICO</b> .....                                  | pag. 4  |
| <b>1. CARATTERI GEOLOGICI E STRATIGRAFICI DELL'AREA VASTA</b> .....               | pag. 8  |
| 1.1 - Tettonica .....   | pag. 11 |
| 1.2 – Lineamenti geomorfologici generali .....                                    | pag. 12 |
| 1.3 – Sistema podologico generale .....   | pag. 12 |
| 1.4 - Settore di interesse (area sensibile).....                                  | pag. 13 |
| 1.5 – Inquadramento climatico generale .....                                      | pag. 14 |
| 1.6 - Idrogeologia e idrologia superficiale .....                                 | pag. 17 |
| 1.7 – Pericolosità geologica .....  | pag. 19 |
| 1.7.1 - Pericolosità Idrogeologica .....  | pag. 19 |
| 1.7.1.1 - Progetto P.S.F.F .....  | pag. 20 |
| 1.7.1.2 - Progetto I.F.F.I .....  | pag. 20 |
| 1.7.1.3 – Aree alluvionate Cleopatra V04 .....                                    | pag. 20 |
| 1.7.2 - Pericolosità sismica .....  | pag. 21 |
| 1.7.2.1 - Dati sismici sul sito (spettri di risposta) .....                       | pag. 27 |
| <b>RELAZIONE GEOTECNICA</b> .....   | pag. 28 |
| <b>2. Considerazioni geotecniche di contesto</b> .....                            | pag. 28 |
| 2.1 - Stima dei parametri geotecnici .....  | pag. 29 |
| 2.2 - Verifica degli SL secondo le NTC 2018.....                                  | pag. 30 |
| 2.2.1 – Cedimenti per ogni strato .....   | pag. 34 |
| 2.2.2 - Cedimenti Elastici .....  | pag. 34 |
| 2.2.3 - Cedimenti BURLAND E BURBIDGE .....  | pag. 34 |
| 2.3.4 - Verifica a liquefazione - Metodo del C.N.R. - GNDT Da Seed e Idriss ..... | pag. 35 |
| 2.4 – Considerazioni sulla scavabilità e tenuta dei fronti di scavo .....         | pag. 36 |
| <b>3. CONCLUSIONI</b> .....   | pag. 38 |
| <b>Appendice</b>  |         |
| - Inquadramento geologico su base cartografica 1:10.000 .....                     | pag. 45 |
| - Carta delle permeabilità su base cartografica 1:10.000 .....                    | pag. 46 |





## 1. 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 di Villacidro (NW), in località Gianna, a ridosso della linea ferroviaria complementare Villacidro – Isili, percorrendo la SP 61 con svolta a destra verso la località produttiva, attraverso strade di penetrazione agraria, 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**

<sup>1</sup> Lavori vari di sondaggi geognostici nell'areale impresa Geotest srl



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:

- Stesura di una relazione geologica sulla base delle conoscenze dei luoghi litologici per esperienze pregresse svolte dallo scrivente sull'areale sensibile, integrato con dati bibliografici e miscellanee. La 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 supportate da dati bibliografici, osservazioni e conoscenze dei luoghi. Nello specifico si rilevano nel contesto esaminato: sedimenti alluvionali → bn<sub>a</sub> depositi alluvionali terrazzati Olocenici ghiaiosi con subordinate sabbie; bn<sub>b</sub> depositi alluvionali terrazzati Olocenici sabbiosi con subordinati limi e argille. Nel contesto dell'areale, verso SW/NW sono presenti Depositi Pleistocenici dell'area Continentale - Litofacies nel sub sistema di Portoscuso (PVM2a) ghiaie medio grosse alluvionali terrazzate con subordinate sabbie.

## B. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E AEREO

L'area interessata dallo studio è situata all'interno del Comune di Villacidro, più precisamente a NE



Figura 1 – Inquadramento aereo areale sensibile [fonte Geostru Maps]

della zona industriale di Villacidro, percorrendo la SP 61 svolta a destra attraverso strade locali di penetrazione agraria. Morfologicamente trattasi di un territorio essenzialmente sub pianeggiante, la cui quota s.l.m.m. è variabile da un minimo di circa +62.0/66.0m ad un massimo di circa +75.0/80.0m, degradante verso NW.

### Dati geografici:

- **I.G.M.** Foglio 564 Sez. IV [Calasetta] alla scala 1:25.000;
- **C.T.R.** Foglio 547 – 100 [Podere San Michele] - Foglio 547 – 060 [San gavino Monreale sud] alla scala 1:10.000 .

Coordinate km Gauss Boaga areale sensibile [Fuso 32]:

- **X = 1483475.9739 E**
- **Y = 4372234.8814 N**





**Committente:** SHARDANA ENERGETICA SRL

**Progetto:** Impianto fotovoltaico non a terra sito nel Comune di Villacidro per una potenza di 51MWP

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

**Relazione geologica**

**INQUADRAMENTO AEREO**

BASE CTR FOGLIO 547 - 100 [PODERE SAN MICHELE] - FOGLIO 547 - 060 [SAN GAVINO MONREALE SUD]

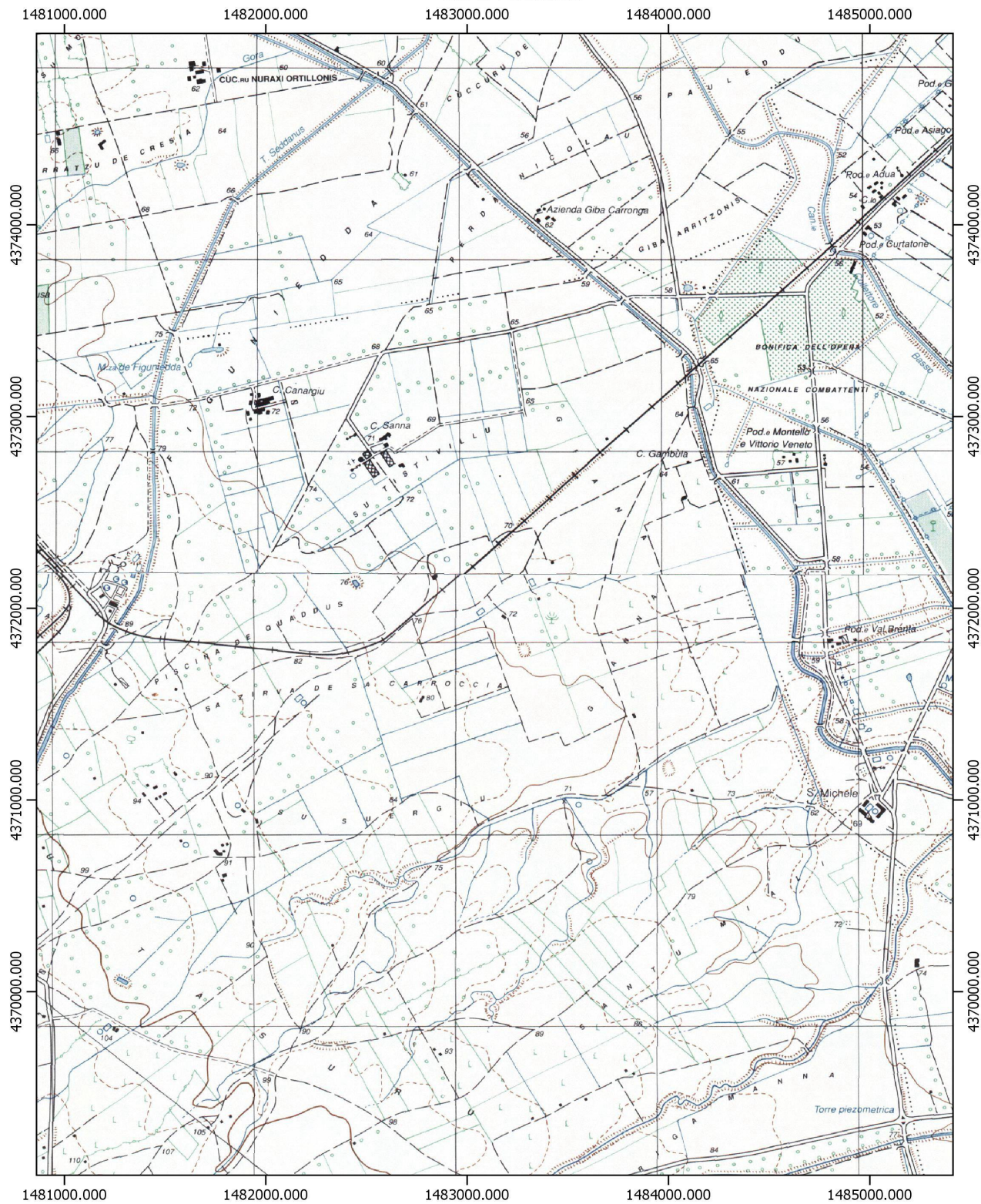
SCALA 1:10.000



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



INQUADRAMENTO CARTOGRAFICO REGIONALE  
BASE IGM FOGLIO 547 SEZ. III [VILLACIDRO] - FOGLIO 547 SEZ. IV [SAN GAVINO MONREALE]  
SCALA 1:25.000





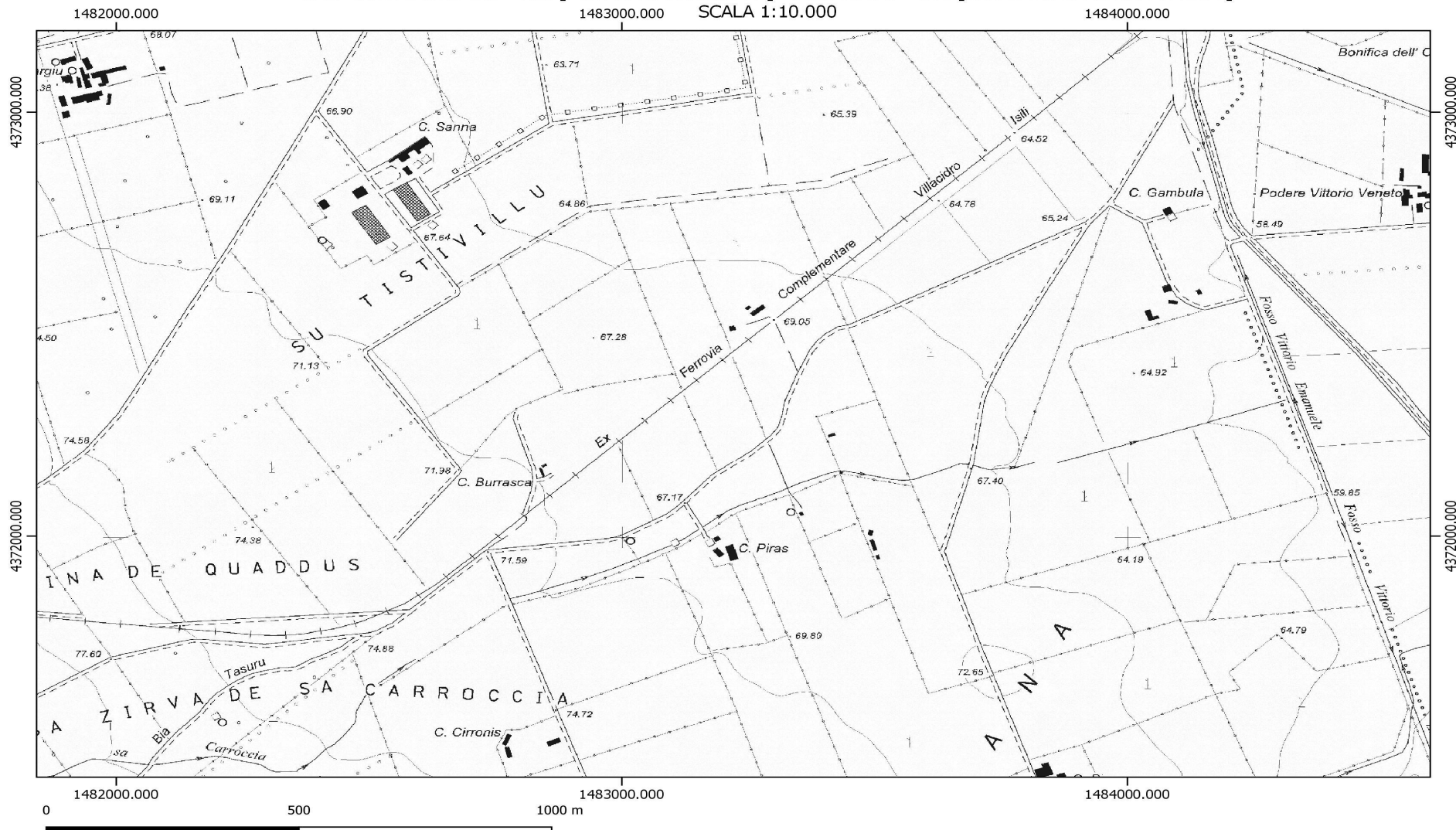
Committente: SHARDANA ENERGETICA SRL

Progetto: Impianto fotovoltaico non a terra sito nel Comune di Villacidro per una potenza di 51MWP

Il Geologo: Dott. Mario STRINNA - ORG 441

Relazione geologica

INQUADRAMENTO CARTOGRAFICO REGIONALE  
BASE CTR FOGLIO 547 - 100 [PODERE SAN MICHELE] - FOGLIO 547 - 060 [SAN GAVINO MONREALE SUD]  
SCALA 1:10.000



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



## 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.



Figura 2 - Estratta da "Carta Geologica della Sardegna" curata da Coordinamento della Cartografia Geologica e Geotematica della Sardegna

### Legenda:

- 1 - Ghiaie, sabbie e argille sabbiose dei depositi alluvionali, colluviali, eolici e litorali, travertini. Olocene
- 2a - Conglomerati, sabbie, argille più o meno compatte, in terrazzi e conoidi alluvionali. ?Pliocene-Pleistocene
- 3b - Formazione di Samassi. Conglomerati, arenarie e argille di sistema alluvionale, prevalentemente derivati dal rimaneggiamento di sedimenti miocenici (Campidano). Pliocene medio-super.-? Pleistocene
- 9b - Marne arenacee e siltose, arenarie, conglomerati, calcareniti e sabbie silicee. Burdigaliano sup.-Langhiano
- 10e - Arenarie, conglomerati, tuffi più o meno arenacee, calcari sublitorali. Oligocene sup. - Aquitaniano
- 10b- Conglomerati poligenici e arenarie continentali, con matrice argillosa rossastra. Oligocene sup. Aquitaniano
- 20 - Depositi carbonatici di piattaforma: calcari dolomitici e dolomie, dolomie arenacee, calcari marnosi. Trias medio
- 26 - Leucograniti equigranulari. Complesso plutonico del Crbonifero sup. - Permiano



- 55 – Formazione di S.Vito. Metarenarie micacee e quarziti alternate a metapeliti e rari metaconglomerati. Cambriano medio – Ordoviciano inferiore
- 58 – Metapeliti scure e carboniose, nella parte inferiore quarziti nere. Siluriano inf.
- 59 – Metasiltiti e metarenarie. Caradoc-Ashgilliano
- 61 – Formazione di Cabitza. Argilloscisti, metarenarie, metacalcari nodulari e metasiltiti. Cambriano inf.-Ordoviciano inf.
- 62 – Formazione di Gonnese. Metacalcari e metadolomie. Cambriano inf.

I depositi quaternari rilevati nell'area cartografata sono costituiti esclusivamente da sedimenti di facies continentale, in particolare:

- Depositi alluvionali incoerenti, formati da elementi ben elaborati, poligenici ed eterometrici (massi e ciottoli) in matrice generalmente sabbiosa, dei principali corsi d'acqua.

- Depositi alluvionali terrazzati da poco a mediamente cementati e scarsamente ossidati, con grado di alterazione medio-elevato, formati da elementi grossolani (ciottoli e massi) eterometrici e poligenici in matrice sabbioso-limosa e cemento limoso-argilloso.

- Depositi alluvionali terrazzati costituiti da elementi eterometrici in matrice argilloso-sabbiosa e cemento argilloso, con grado di addensamento da medio a elevato, grado di ossidazione medio, stato di alterazione medio, cementazione da media 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 la fine del Terziario e per tutto il 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 depositi. 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, depositi 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.

Recenti studi su strutture tardo-paleozoiche (*Elter, Musumeci, Pertusati, 1990; Di Vincenzo, Grezzo, Sartia, 1993*) rilevano, nel basamento,

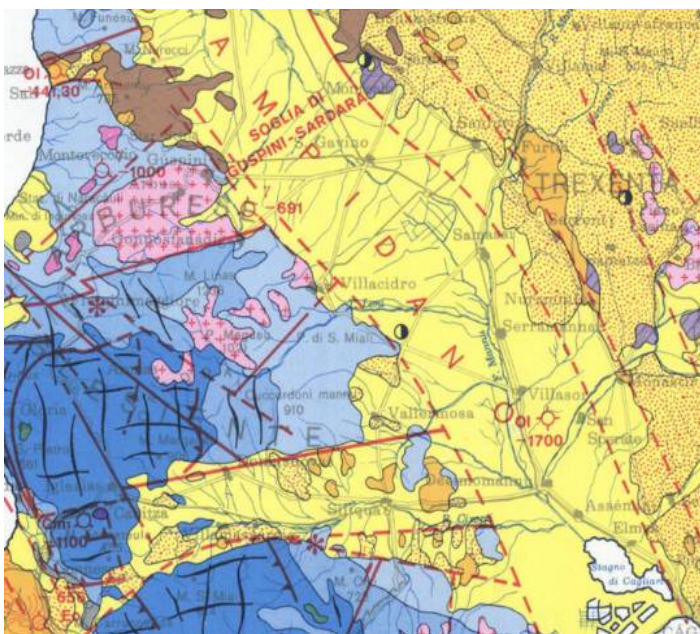


Figura 3 – Estratto dello schema strutturale della Sardegna



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. 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 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 al., 1977).

## 1.2 – Lineamenti geomorfologici generali

Il territorio di Villacidro 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. 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 vallecole che drenano il flusso idrico proveniente dai versanti verso la pianura. Questo tipo di morfologia ha dato origine ad un tipo di paesaggio sub-pianeggiante a debole pendenza, media di 10-15%, ma in alcuni tratti prossimi al 45%,

in cui si è potuta sviluppare l'attività agricola e l'uomo ha agito come fattore di modellamento alterandone spesso la dinamica naturale.

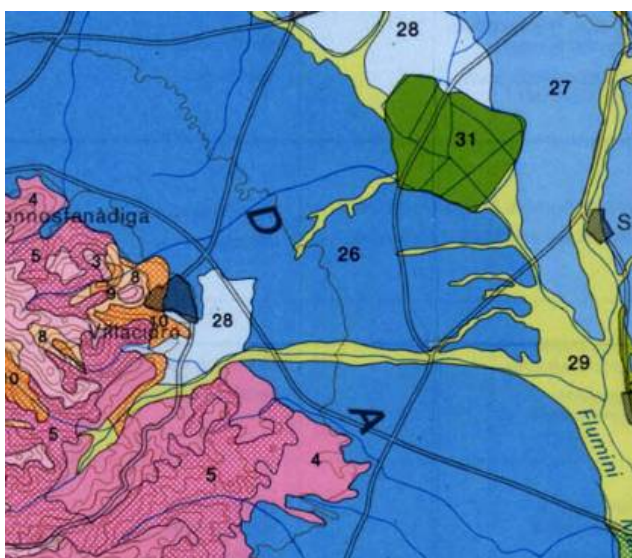


Figura 4 - Stralcio della carta dei Suoli della Sardegna (Aru et

## 1.3 – Sistema podologico generale

Il settore esaminato risulta estremamente composito sotto l'aspetto litologico e morfologico e di conseguenza anche dal punto di vista pedologico. I suoli verranno descritti nell'ambito dei grandi paesaggi litomorfologici, che identificano per una data area un'associazione di suoli in relazione ai litotipi più comuni e alle condizioni morfologiche



variabili. Per quanto riguarda la loro classificazione verrà utilizzata la SOIL SURVEY STAFF (1998), elaborata dal Soil Conservation Service degli USA. La complessità geologico-stratigrafica e morfologica di questo settore si rispecchia in un paesaggio variegato, caratterizzato da suoli diversamente evoluti, con orizzonti di profondità variabile, che saranno interessati parzialmente o completamente dalle opere in progetto.

Sulla base dell'analisi cartografica (Carta dei Suoli della Sardegna, A. Aru, P. Baldaccini, A. Vacca; 1989) e conoscenza dei luoghi si possono identificare le seguenti unità pedologiche:

#### **UNITA' 26** → *Paesaggi su alluvioni e su conglomerati del Pleistocene - Olocene*

Questi paesaggi presentano suoli estremamente eterogenei, in rapporto ai caratteri del substrato, alla morfologia ed all'età delle coperture. L'unità 26 caratterizza i suoli impostati sui depositi alluvionali pleistocenici (Subsistema di Portovesme) hanno subito processi di eluviazione e illuviazione determinando accumuli d'argilla negli orizzonti profondi. La presenza di orizzonti argillici con noduli di ferro e screziature dovute a processi di ossido-riduzione e chimici in questi suoli testimonia una pedogenesi molto lunga, avvenuta sotto l'influenza di climi diversi da quelli attuali. L'evoluzione dei suoli è molto spinta con formazione di profili A-Bt-C, A-Btg-C, tessitura franco-sabbioso-argillosa, permeabilità bassa, pH da subacido a neutro, capacità di scambio cationico bassa e grado di saturazione in basi da basso a medio (associazione di Typic, Ultic ed Aquic Palexeralfs).

L'unità 29 caratterizza i suoli sviluppati sulle pianure alluvionali recenti. Su questi suoli è difficile individuare orizzonti genetici caratteristici in quanto si tratta di sedimenti giovani, per cui non sempre è possibile distinguere un profilo tipico di riferimento, sia perché è molto variabile la natura geolitologica da cui si originano, sia per le modifiche a cui vanno incontro in relazione agli svariati usi antropici. In genere, questi suoli presentano un'evoluzione modesta con profilo A-C e subordinatamente profilo A-BW-C, in corrispondenza delle alluvioni meno recenti e sono caratterizzati da una profondità notevole, spesso superiore ai 100 cm e da una tessitura molto variabile; appartengono prevalentemente ai Typic, Vertic e Acquic Xerofluvents. Nel settore studiato si hanno suoli ghiaiosi o ghiaioso-sabbiosi e suoli sabbioso-limoso-argillosi, sino ad argillosi.

#### **1.4 - Settore di interesse (area sensibile)**

Gli interventi in progetto, trattandosi di un impianto fotovoltaico non a terra (su pensilina) non sono molto estesi territorialmente, infatti occupa una superficie di circa 80Ha. Comprende un'area all'interno dei confini amministrativi del Comune di Villacidro. Si è quindi ritenuto opportuno, per una migliore comprensione dello studio, trattare con maggior dettaglio le caratteristiche stratigrafiche e idrogeologiche dell'area di sedime. Litologicamente è interessato da terreni sedimentari alluvionali terrazzati (bn) che ricoprono i sedimenti ghiaiosi pleistocenici del Sistema di Portovesme e sono ricoperti dai depositi



alluvionali attuali e subattuali. Sono riconducibili ad un sistema di conoide e di piana alluvionale, i cui rapporti laterali sono caratterizzati da interdigitazione. Si tratta di ghiaie a stratificazione incrociata, alternati a ghiaie a stratificazione piano-parallela per la migrazione di barre deposte da corsi d'acqua con aumentata sinuosità e con elevato carico solido. Localmente sono presenti livelli sabbiosi a stratificazione piano-parallela o incrociata concava e sottili livelli pedogenizzati di suoli poco sviluppati. A contorno verso l'area di monte a ovest sono presenti depositi pleistocenici appartenenti alla Litofacies del sub sistema di Portoscuso (PVM2a), rappresentato da depositi di conoide e di piana alluvionale costituito da ghiaie alluvionali terrazzate da medie a grossolane, con subordinate sabbie.

In sintesi: sono di seguito rappresentate le tipologie di terreni descritti in relazione geologica e che possono essere raggruppati secondo il seguente criterio geomeccanico:

- Terreni costituenti le coperture Quaternarie antiche – Litofacies nel subsistema di Portoscuso Alluvioni terrazzate (PVM2a) ghiaiose con subordinate sabbie (Pleistocene)
- Terreni costituenti le coperture Quaternarie recenti – alluvionale terrazzato ghiaioso con subordinate sabbie (bna/bnb) e/o sabbie con subordinati limi e argille (Olocene)



Figura 5 – Inquadramento geologico generale [fonte Sardegna Geoportale]

### 1.5 – Inquadramento climatico generale

Il clima della Sardegna viene generalmente classificato come “Mediterraneo Interno”, caratterizzato da inverni miti e relativamente piovosi ed estati secche e calde. Da un punto di vista più generale, il

Mediterraneo può essere considerato come una fascia di transizione tra le zone tropicali, dove le stagioni sono definite in accordo alla quantità di pioggia, e le zone temperate, dove le stagioni sono caratterizzate dalle variazioni di temperatura. Di conseguenza si ha a che fare con grandi variazioni interstagionali di precipitazione accompagnate da variazioni di temperatura, senza che però le une e le altre raggiungano i valori estremi tipici delle due aree climatiche (Servizio Agrometeorologico Regionale per la Sardegna SAR).

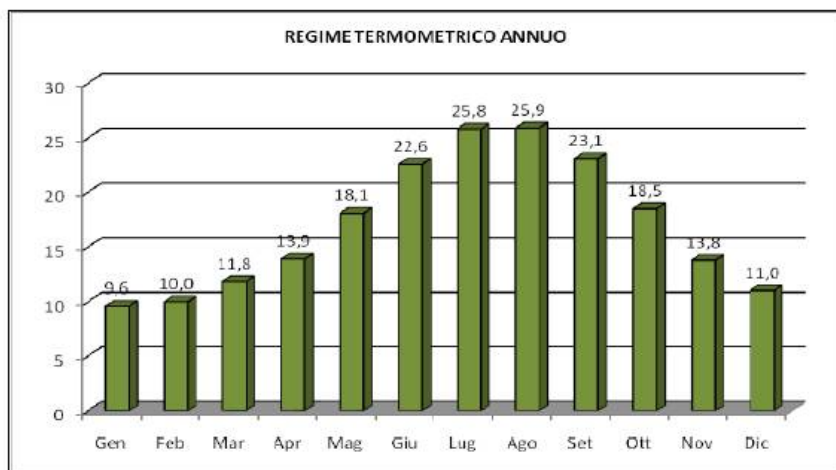
SAR).

In linea generale l'analisi delle variazioni delle medie mensili di temperatura e di precipitazione permette di individuare due stagioni climatiche tipiche delle regioni mediterranee: da Ottobre ad Aprile e da Maggio a Settembre.

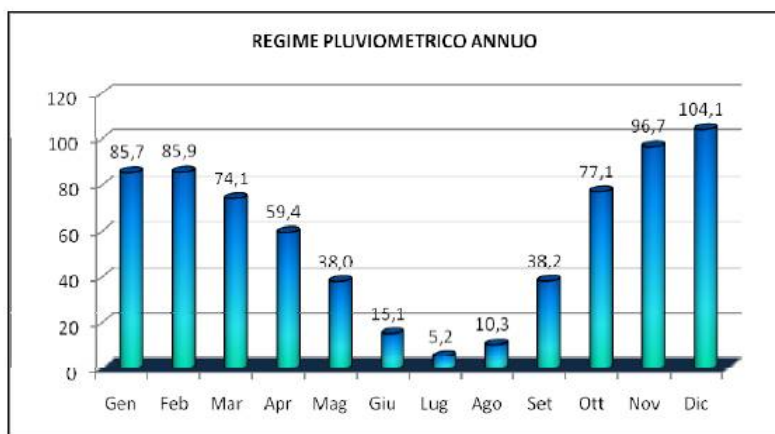
I periodi di transizione sono identificati rispettivamente con i mesi di Marzo-Aprile e Settembre-Novembre.

Le temperature medie risultano sostanzialmente costanti nei periodo estivo Luglio - Agosto e nel periodo invernale Dicembre - Febbraio.

Le precipitazioni invece hanno un massimo cumulato nel mese di Dicembre, mentre Luglio ed Agosto risultano i mesi più secchi. Durante il periodo piovoso, che va dall'autunno alla primavera, la Sardegna è prevalentemente interessata da aree cicloniche di provenienza atlantica che determinano nell'isola ripetute precipitazioni. Esse rappresentano, soprattutto nelle zone occidentali, più direttamente esposte, la componente normale delle precipitazioni. Per la



| Stazione di misura: 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  |



| Stazione di misura: Villacidro |      | Anno idrologico Medio 1922-1992 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |       |
|--------------------------------|------|---------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| Moduli pluviometrici in mm     |      |                                 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |       |
|                                | 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 |

definizione delle caratteristiche climatiche che possono influenzare i

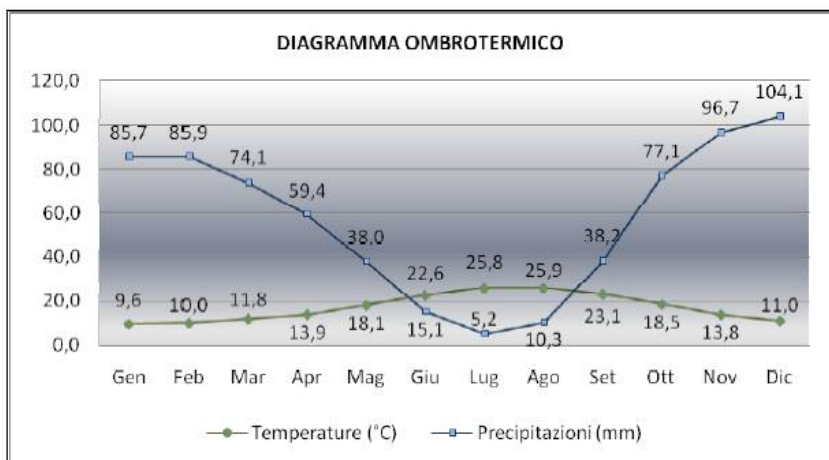


fattori ambientali a scala locale, è stato effettuato un inquadramento generale del settore circostante il sito di interesse, a tal proposito sono stati utilizzati i dati misurati nella stazione di Villacidro (dati SISS). I dati di temperatura relativi alla stazione di misura di Villacidro si riferiscono 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. 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 (Tm = 17,1 °C), la temperatura media del mese più freddo è compresa tra 6,5° e 9,9° C (Tm 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 (Pm/annua = 690,8 mm).





## 1.6 - Idrogeologia e idrologia superficiale

Dal punto di vista idrografico il settore in esame rientra nell'Unità Idrografica Omogenea (U.I.O.) del



Figura 7 – Rappresentazione U.I.O del Fumini Mannu – Cixerri (PTA Regione Sardegna)

Flumini Mannu\_Cagliari\_Cixerri, con un'estensione superficiale di 3.566 Km<sup>2</sup>. Essa comprende, oltre ai bacini principali del Flumini Mannu e del Cixerri, aventi un'estensione rispettivamente di circa 1779,46 e 618,14 km<sup>2</sup>, una serie di bacini minori costieri della costa meridionale della Sardegna, che si sviluppano lungo il Golfo di Cagliari, da Capo Spartivento a Capo Carbonara. È delimitata a nord dall'altopiano del Sarcidano, a est dal massiccio del Sarrabus – Gerrei, a ovest dai massicci dell'Iglesiente e del Sulcis e a sud dal Golfo di Cagliari. L'altimetria varia con quote che vanno dai 0m (s.l.m.) nelle aree costiere ai 1154 m (s.l.m.) in corrispondenza del Monte Linas, la quota più elevata della provincia di Cagliari. Dal punto di vista

idrografico superficiale sono presenti nel nostro contesto dei canali ripartitori EAF associati ad una serie di traverse (di confluenza) fluviali come Gora Sa Carroccia, Gora De Stai. A NW è presente il torrente Seddanus che dopo aver attraversato il piccolo agglomerato industriale di Villacidro, si riversa nel canale ripartitore NO – EAF.

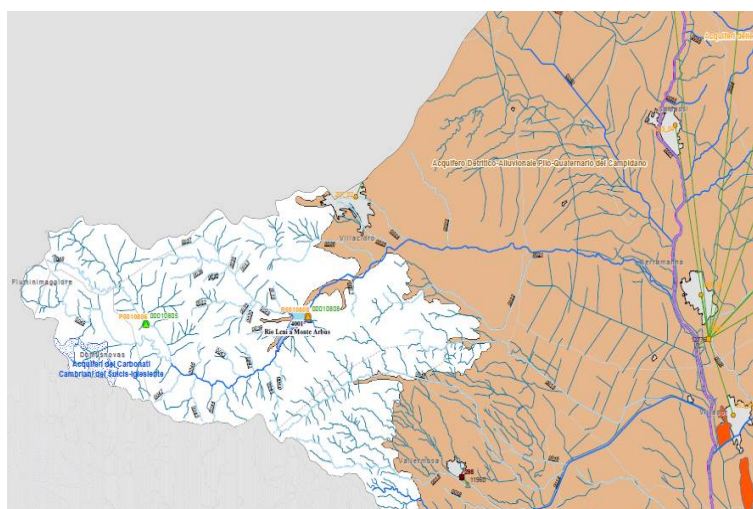







Figura 6 – Rappresentazione U.I.O del Fumini Mannu – Cixerri (PTA Regione Sardegna) - Acquiferi

### Acquiferi

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

Da punto di vista idrogeologico, i complessi acquiferi costituiti da una o più unità Idrogeologiche omogenee che caratterizzano il territorio, nell'ambito dell'unità idrografica omogenea di appartenenza, sono i seguenti:

Acquifero Detritico-Alluvionale Plio-Quaternario del Campidano: si tratta di

depositi alluvionali terrazzati, conglomeratici, arenacei, argillosi, a permeabilità per porosità



complessivamente medio-bassa nelle coltri ben costipate, localmente medio-alta nei livelli a matrice più grossolana.

Il complesso alluvionale quaternario, caratterizzante l'assetto stratigrafico dell'area di studio, è una diretta conseguenza dei movimenti neotettonici distensivi plio-pleistocenici, che hanno condizionato, unitamente alle oscillazioni eustatiche e climatiche, l'evoluzione paleogeografica del graben campidanese, e soprattutto del sistema idrografico. Le numerose variazioni quaternarie del livello di base degli alvei dei corsi d'acqua principali (Flumini Mannu, Cixerri) con una serie di innalzamenti e sprofondamenti, hanno determinato l'alternarsi di successive fasi morfogenetiche di accumulo, incisione e terrazzamento, rielaborando i sedimenti fluviali antichi dei glacis e delle grandi conoidi alluvionali del rio Cixerri e del rio S. Lucia, sino a definire una potente successione alluvionale distinta in alluvioni antiche pleistoceniche e in alluvioni più recenti oloceniche. L'alternanza di sedimenti a differente composizione granulometrica, grado d'addensamento e di consistenza, tipica dei sedimenti di bacino alluvionale, determina, localmente, variazioni di permeabilità. La permeabilità è una proprietà caratteristica delle terre/rocce ed esprime l'attitudine delle stesse a lasciarsi attraversare dall'acqua. Essa quindi si manifesta con la capacità di assorbire le acque piovane e di far defluire le acque sotterranee. Poiché il terreno non è un corpo omogeneo, è intuibile che all'interno dello stesso varino sia le caratteristiche chimico-fisiche, che le proprietà idrogeologiche. Vista la possibile disomogeneità dei depositi alluvionali, la permeabilità, non è rappresentata da un unico valore del coefficiente "K" in m/s ma da un intervallo di questo.

Geologicamente nell'area affiorano terreni quaternari di facies fluviale rappresentati da alluvioni antiche pleistoceniche e da alluvioni più recenti terrazzate (oloceniche), costituiti essenzialmente da alternanze di livelli conglomeratici poligenici ed eterometrici, ghiaie stratificate con intercalazioni di sabbie e limi/argille.

La distinzione tra le due formazioni alluvionali è legata alle caratteristiche morfometriche della frazione grossolana, al grado di compattazione, al contenuto e alla ferrettizzazione della matrice fine.

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 $10^{-9}$   |


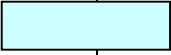
- **Classe 1** → medio - alta permeabilità, localmente medio - bassa ⇒ [Alluvioni recenti terrazzate dell'Olocene]



Si tratta di terreni a circolazione idrica discreta, costituiti prevalentemente da coperture alluvionali allo stato sciolto o semicoerente. La permeabilità per porosità è generalmente medio-alta in corrispondenza di livelli ciottoloso-sabbiosi in prossimità degli alvei dei corsi d'acqua, localmente medio-bassa in corrispondenza dei livelli fini ben costipati e/o cementati delle alluvioni terrazzate [ $10^{-2} \geq K \geq 10^{-5}$ ].

- **Classe 2** → medio bassa permeabilità ⇒ [Alluvioni antiche Pleistoceniche]

Vi rientrano le alluvioni antiche di conoide alluvionale, terrazzate, costituiti da livelli sabbioso-ciottolosi, conglomeratici, con intercalazioni limo-argillose, ben costipate e talora ferrettizzate. La permeabilità per porosità è generalmente bassa per la presenza di livelli da molto compatti sino a cementati, localmente media in corrispondenza dei livelli a maggiore componente arenacea [ $10^{-4} \geq K \geq 10^{-7}$ ].

| Età Geologica   | Grado di permeabilità relativa |   |    | Litologia  |
|---|--------------------------------|---|----|--|
|   | AP                             | MP  | BP |  |
| <b>Olocene</b><br>Depositi alluvionali recenti - terrazzati |                                |    |    | Depositi alluvionali contenenti ghiaie prevalenti e limitate lenti di sabbie e ghiaie fini |
| <b>Pleistocene</b><br>Alluvioni antiche terrazzate          |                                |  |    | Depositi di conoide alluvionale, costituiti da ghiaie con subordinate sabbie, terrazzate   |

## 1.7 – Pericolosità geologica

L'insieme dei fenomeni geologici e dei loro effetti su una determinata zona rappresenta quella che si definisce la pericolosità geologica, che comprende i fenomeni naturali quali ad esempio le frane, le alluvioni, i terremoti, le eruzioni vulcaniche ect. Nella fattispecie in questione, il quadro normativo di riferimento della Regione Sardegna disciplina la pericolosità idrogeologica e la pericolosità sismica.

### 1.7.1 - Pericolosità Idrogeologica

In riferimento al rischio idrogeologico la Regione Sardegna ha elaborato dei piani cui bisogna rapportarsi per qualsiasi opera e/o intervento da realizzarsi.

- Il Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.), elaborato dalla Regione Sardegna ai sensi della L. 18.05.1989 n. 183 e dalla L. 03.08.1998 n. 267, approvato con D.P.G.R. n. 67 del 10.07.2006 e aggiornato con D.P.G.R. 148 del 26.10.2012, è lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni e le norme d'uso finalizzate alla conservazione, alla difesa ed alla valorizzazione del suolo, alla prevenzione del rischio idrogeologico, sulla base delle caratteristiche fisiche ed ambientali del territorio interessato.
- Il Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (P.S.F.F.) approvato definitivamente dal Comitato istituzionale con Delibera n.2 del 17.12.2015, è lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo, mediante il quale



sono pianificate e programmate le azioni e le norme d'uso riguardanti le fasce fluviali; costituisce un approfondimento ed una integrazione del Piano di Assetto Idrogeologico (P.A.I.)

▪ *Il Piano di Gestione del Rischio di Alluvione (PGRA)*

Il Comune di Villacidro è ricompreso all'interno del bacino unico della Sardegna, Flumini Manni di Cagliari e Cixerri, così come individuato dal P.A.I. Sardegna e dal P.S.F.F. Sardegna. Nella fattispecie il sito oggetto di intervento ricade nella cartografia attualmente disponibile on-line e consultabile tramite la piattaforma "Sardegna Geoportale", in un'area (Art. 8) a pericolosità da frana (Hg) e idraulica (Hi) assente.

### 1.7.1.1 - Progetto P.S.F.F

Da una analisi del Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (PSFF) relativo al bacino del Flumini Mannu di Cagliari e Cixerri, non sono emersi per l'area esaminata rischi compatibili con i corsi d'acqua in funzione della sicurezza idraulica, ad eccezione (esterna) delle parti in prossimità del torrente Seddanus, a NW.



Figura 8 - Perimetrazioni delle aree caratterizzate da pericolosità idraulica mappate in ambito P.S.F.F. aggiornate alla data del 17.12.2015.

### 1.7.1.2 - Progetto I.F.F.I

Da una analisi dell'Inventario dei Fenomeni Franosi in Sardegna (IFFI) relativo al bacino del Flumini Mannu di Cagliari e Cixerri, non sono emersi per l'area esaminata rischi compatibili con eventi franosi.

### 1.7.1.3 – Aree alluvionate Cleopatra V04

Da una analisi delle perimetrazioni delle aree alluvionate nel corso dell'evento "Cleopatra" del 18.11.2013, si evidenzia che il sito in progetto ne ricalca alcune aree alluvionate.



Figura 9 - Perimetrazioni delle aree alluvionate nel corso dell'evento "Cleopatra" del 18.11.2013, aggiornate alla data del 31.03.2015

### 1.7.2 - Pericolosità sismica

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.

| Decreti fino al 1984 | GdL 1998          | Classificazioni e 2003 |
|----------------------|-------------------|------------------------|
| S=12                 | Prima categoria   | zona 1                 |
| S=9                  | Seconda categoria | zona 2                 |
| S=6                  | terza categoria   | zona 3                 |
| non classificato     | N.C.              | zona 4                 |

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

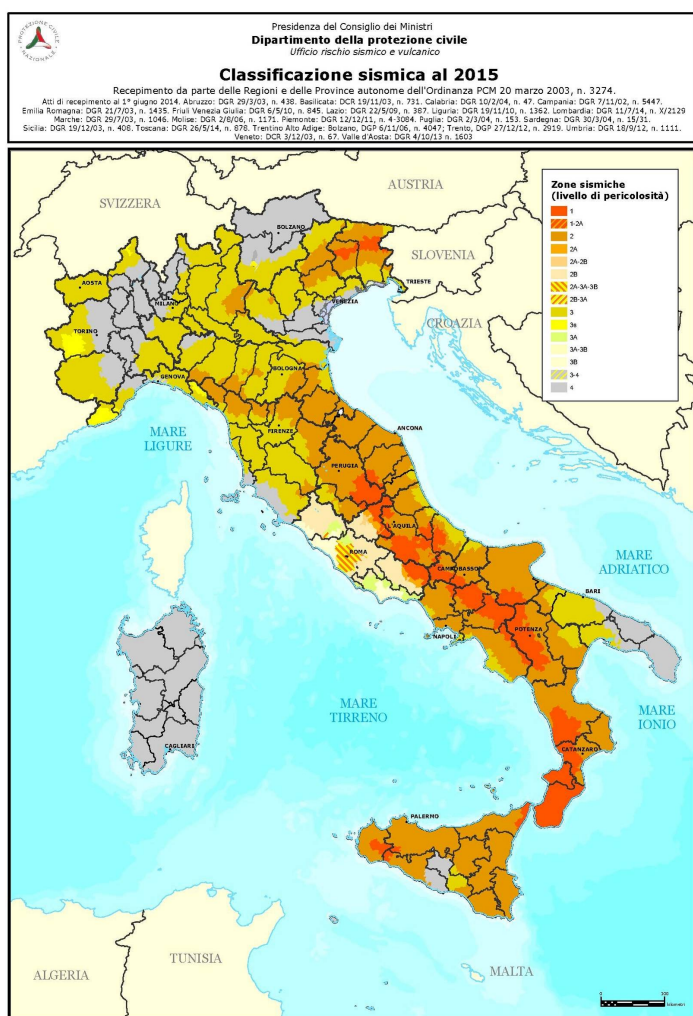




quattro zone omogenee numerate da 1 a 4. I criteri di classificazione sismica del territorio nazionale contenuti nell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003, furono basati sugli studi e le elaborazioni relative alla pericolosità sismica del territorio, ossia sull'analisi 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 Villacidro 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  $V_s$  o il numero medio di colpi NSPT ottenuti in una prova penetrometrica dinamica ovvero sulla coesione non drenata media  $C_u$ ". Nella mappa della pericolosità sismica del territorio nazionale 2005, edita dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, il Comune di Villacidro come l'intero territorio isolano, non presentò alcuna variazione: tutti i Comuni furono inseriti nella classe 4.

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.



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 ..... 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 ( $a_g$ ). 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.

### a) 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:

- $a_g$  - 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.

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 dovrà essere realizzata la nuova struttura e utilizzando la classe d'uso I (*Presenza occasionale di persone, edifici agricoli*).





### b) 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 Vs 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.

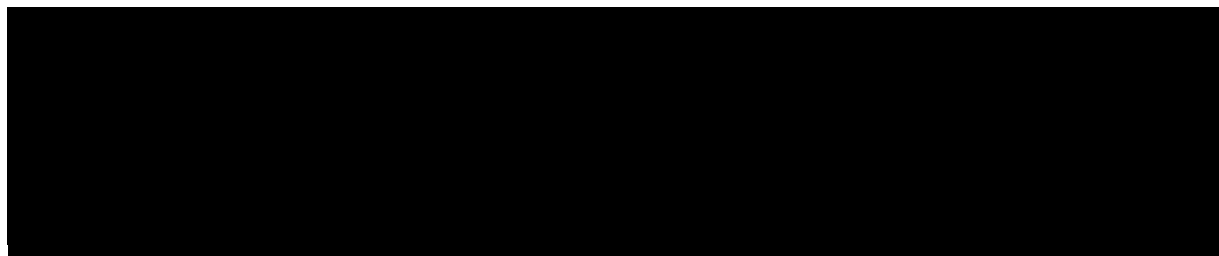
Per velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio si intende la media pesata delle velocità delle onde S negli strati nei primi metri di profondità dal piano di posa della fondazione, dove per le fondazioni superficiali è riferita al piano di posa delle stesse: secondo lo schema presente nell'Ordinanza (NTC 2018) si tratta di un suolo appartenente alla classe C.

Di seguito si riportano le categorie di sottosuolo di riferimento (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>   | <i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</i> |

### c) Condizione Topografica

Il moto generato da un terremoto, oltre che dalle caratteristiche stratigrafiche dei depositi di terreno e degli ammassi rocciosi e dalle proprietà fisiche e meccaniche dei materiali che li costituiscono, dipende dalle caratteristiche topografiche del sito. Nel caso specifico la superficie interessata dall'opera in progetto rientra nella Categoria topografia T1 – (Tab. 3.2.III - §.3.2.2 NTC 2018 di seguito riportata) per la quale la normativa (§ 7.11.3.3 delle NTC 2008) prevede che “Gli effetti topografici possono essere trascurati” poiché presentano “un'inclinazione media inferiore a 15°”.



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

Committente: SHARDANA ENERGETICA SRL

Progetto: Impianto fotovoltaico non a terra (su pensilina) sito nel Comune di Villacidro per una potenza di 51MWP

Il Geologo: Dott. Mario STRINNA - ORG 441

Relazione geologica

|   | 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                           |

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

Dati sulla costruzione:

- Classe d'uso: I
- Vita Nominale: 50 anni
- Coefficiente d'uso: 0.700000
- Vita di riferimento: 35.000000 anni

Dati sull'area SENSIBILE:

- $X = 1483475.9739 \text{ E}$
- $Y = 4372234.8814 \text{ N}$

### STATO LIMITE DI ESERCIZIO (S.L.E)

- Dati sulla costruzione **(SLO)** Probabilità di superamento nella vita di riferimento: 0.810000 (SLO)  
Periodo di ritorno: 30.00 (anni): Valori finali calcolati:  $a_g = 0.0127 \text{ g} \rightarrow F_o = 2.5776 \rightarrow T_{c^*} = 0.1400 \text{ sec}$
- Dati sulla costruzione **(SLD)** Probabilità di superamento nella vita di riferimento: 0.630000 (SLD)  
Periodo di ritorno: 35.20 (anni): Valori finali calcolati:  $a_g = 0.0140 \text{ g} \rightarrow F_o = 2.5689 \rightarrow T_{c^*} = 0.1430 \text{ sec}$

### STATO LIMITE ULTIMO (S.L.U)

- Dati sulla costruzione **(SLV)** Probabilità di superamento nella vita di riferimento: 0.100000 (SLV)  
Periodo di ritorno: 332.19 (anni): Valori finali calcolati:  $a_g = 0.0388 \text{ g} \rightarrow F_o = 2.4973 \rightarrow T_{c^*} = 0.2881 \text{ sec}$
- Dati sulla costruzione **(SLC)** Probabilità di superamento nella vita di riferimento: 0.050000 (SLC)  
Periodo di ritorno: 682.35 (anni): Valori finali calcolati:  $a_g = 0.0494 \text{ g} \rightarrow F_o = 2.5289 \rightarrow T_{c^*} = 0.3247 \text{ sec}$



## 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 progetto ubicato in una zona sub pianeggiante leggermente degradante verso NNE, e una condizione litologica e geostrutturale piuttosto definita con ottima caratterizzazione meccanica del substrato essenzialmente marnoso arenaceo miocenico. 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 ghiaiosi sabbiosi alluvionali terrazzati, a grana medio grossa, conglomeratici nelle parti cementate, in matrice fine coesiva diversamente distribuita.

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> Lavori vari di sondaggi geognostici nell'areale impresa Geotest srl





Nel nostro contesto specifico, andrà ad interessare essenzialmente una diffusa copertura superficiale (bna/bnb) di materiale alluvionale di spessore decisamente plurimetrico, per lo più incoerente in matrice coesiva, poggiante in profondità (non rilevabile) su litologie marnose arenacee.

Allo stato attuale, l'area di progetto inserita in un paesaggio morfologico sub 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 le aree di compenetrazione, durante i periodi intensamente piovosi, ed a localizzata sedimentazione eluvio-colluviale. 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 questi strati, dello spessore stimato superiore ai 10.0 metri da p.c., comunque variabile a seconda del tipo di sedimentazione considerata, come ad esempio nei depositi detritici eluvio colluviali gli spessori si attestano nell'ordine di qualche metro.

Nel nostro caso, ci si potrà attestare, con lo scavo per la realizzazione delle fondazioni su palo, sempre all'interno di una stessa litologia, alluvionale terrazzata (bn), per la minima profondità di infissione, così descritta:

- Depositi alluvionali terrazzati Olocenici (bna): ghiaie con subordinate sabbie;
- Depositi alluvionali terrazzati Olocenici (bnb): sabbie con subordinati limi e argille.

*Ghiaie e 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, conglomeratiche. 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 ghiaiosi sabbiosi, con subordinati livelli limo argillosi e/o argillosi, 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)                                     | 14121,57 KN/m <sup>2</sup> (Schmertmann)        |
| Modulo Edometrico (M)                                   | 15984,83 KN/m <sup>2</sup> (Menzebach e Malcev) |
| N SPT   | 12 [ R terreno 1.17 daN/cm <sup>2</sup> ]       |
| Winkler (Kg/cm <sup>3</sup> ) $Q = 1.0 \text{ Kg/cm}^2$ | 1,53  |
| Caratteristiche strato                                  | addensato                                       |

## 2.2 - 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 6.2.11 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 (amax/g)   | 0,002                    |
| Effetto sismico secondo          | Paolucci e Pecker (1997) |
| Coefficiente sismico orizzontale | 0,0003                   |

### Coefficienti sismici [N.T.C.]

#### Dati generali

|                      |                     |
|----------------------|---------------------|
| Tipo opera:          | 2 - Opere ordinarie |
| Classe d'uso:        | Classe I            |
| Vita nominale:       | 50,0 [anni]         |
| Vita di riferimento: | 35,0 [anni]         |

#### Parametri sismici su sito di riferimento

|                        |    |
|------------------------|----|
| Categoria sottosuolo:  | C  |
| Categoria topografica: | T1 |

| S.L.<br>Stato limite | TR<br>Tempo ritorno<br>[anni] | ag<br>[m/s <sup>2</sup> ] | F0<br>[-] | TC*<br>[sec] |
|----------------------|-------------------------------|---------------------------|-----------|--------------|
| S.L.O.               | 30,0                          | 0,0127                    | 2,5776    | 0,14         |
| S.L.D.               | 35,0                          | 0,014                     | 2,5689    | 0,143        |
| S.L.V.               | 332,0                         | 0,0388                    | 2,4973    | 2,2881       |
| S.L.C.               | 682,0                         | 0,0494                    | 2,5289    | 0,3247       |

#### Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

| S.L.<br>Stato limite | amax<br>[m/s <sup>2</sup> ] | beta<br>[-] | kh<br>[-] | kv<br>[sec] |
|----------------------|-----------------------------|-------------|-----------|-------------|
| S.L.O.               | 0,015                       | 0,2         | 0,0003    | 0,0002      |
| S.L.D.               | 0,015                       | 0,2         | 0,0003    | 0,0002      |
| S.L.V.               | 0,06                        | 0,2         | 0,0012    | 0,0006      |
| S.L.C.               | 0,0741                      | 0,2         | 0,0015    | 0,0008      |

### STRATIGRAFIA TERRENO

| Spessor<br>e strato<br>[m] | Peso<br>unità di<br>volume<br>[kN/m <sup>3</sup> ] | Peso<br>unità di<br>volume<br>saturo<br>[kN/m <sup>3</sup> ] | Angolo di<br>attrito<br>[°] | Coesion<br>e<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | Coesion<br>e non<br>drenata<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | Modulo<br>Elastico<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | Modulo<br>Edometrico<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | Poisson | Descrizione                    |
|----------------------------|--|--|-----------------------------|--------------------------------------|---|--|--|---------|--------------------------------|
| 0,3                        | 17,65  | 18,63  | 26                          |                                      |   | 7354,04                                    |  | 0,3     | Copertura frammista a<br>suolo |
| 6,0                        | 19,12  | 20,59  | 28,0                        | 9,81                                 | 29,42   | 14121,57                                   | 15984,83                                     | 0,35    | Alluvioni bn                   |



Committente: SHARDANA ENERGETICA SRL

Progetto: Impianto fotovoltaico non a terra (su pensilina) sito nel Comune di Villacidro per una potenza di 51MWP

Il Geologo: Dott. Mario STRINNA - ORG 441

Relazione geologica

Carichi di progetto agenti sulla fondazione

| Nr. | Nome combinazione | 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          | 98,06  | 0,00   | 0,00      | 0,00      | 0,00    | 0,00    | Progetto |
| 2   | SISMA             | 98,06  | 0,00   | 0,00      | 0,00      | 0,00    | 0,00    | Progetto |
| 3   | S.L.E.            | 98,06  | 0,00   | 0,00      | 0,00      | 0,00    | 0,00    | Servizio |
| 4   | S.L.D.            | 98,06  | 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 a 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: TERZAGHI (1955)

- Carico limite [Qult] 310,79 kN/m<sup>2</sup>
- Resistenza di progetto [Rd] 172,66 kN/m<sup>2</sup>
- Tensione [Ed] (ipotesi di verifica cedimenti 98,06 KN/m<sup>2</sup>)
- Fattore sicurezza [Fs=Qult/Ed] 3,0

Autore: TERZAGHI (1955) (Condizione drenata)

#### PARAMETRI GEOTECNICI DI CALCOLO

Peso unità di volume 19,12 kN/m<sup>3</sup>  
 Peso unità di volume saturo 20,5 kN/m<sup>3</sup>  
 Angolo di attrito 28,0 °  
 Coesione 9,81 kN/m<sup>2</sup>

Fattore [Nq] 7,14  
 Fattore [Nc] 17,24  
 Fattore [Ng] 4,74  
 Fattore forma [Sc] 1,0  
 Fattore forma [Sg] 1,0  
 Fattore correzione sismico inerziale [zq] 1,0  
 Fattore correzione sismico inerziale [zg] 1,0  
 Fattore correzione sismico inerziale [zc] 1,0

Carico limite 311,55 kN/m<sup>2</sup>  
 Resistenza di progetto 135,46 kN/m<sup>2</sup>

Autore: TERZAGHI (1955) (Condizione drenata)

SISMA

#### PARAMETRI GEOTECNICI DI CALCOLO

Peso unità di volume 19,12 kN/m<sup>3</sup>  
 Peso unità di volume saturo 20,5 kN/m<sup>3</sup>  
 Angolo di attrito 28,0 °  
 Coesione 9,81 kN/m<sup>2</sup>



|   |                          |
|---|--------------------------|
| Fattore [Nq]                              | 7,14                     |
| Fattore [Nc]                              | 17,24                    |
| Fattore [Ng]                              | 4,74                     |
| Fattore forma [Sc]                        | 1,0                      |
| Fattore forma [Sg]                        | 1,0                      |
| Fattore correzione sismico inerziale [zq] | 1,0                      |
| Fattore correzione sismico inerziale [zg] | 1,0                      |
| Fattore correzione sismico inerziale [zc] | 1,0                      |
| =====                                     |                          |
| Carico limite                             | 310,79 kN/m <sup>2</sup> |
| Resistenza di progetto                    | 172,66 kN/m <sup>2</sup> |

### 2.2.1 – CEDIMENTI PER OGNI STRATO

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

|                               |                         |
|-------------------------------|-------------------------|
| Pressione normale di progetto | 98,06 kN/m <sup>2</sup> |
| Cedimento dopo T anni         | 15,0                    |
| Distanza                      | 0,04 m                  |
| Angolo                        | 33,72 °                 |
| Cedimento totale              | 0,007cm                 |

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) |
|--------|----------|----------------------------------|----------------------------|------------|------------|------------|------------|
| 2      | 3,65     | 69,347                           | 0,215                      | Edometrico | 0,0071     | --         | 0,071      |

### 2.2.2 - CEDIMENTI ELASTICI

|                                      |                            |
|--------------------------------------|----------------------------|
| Pressione normale di progetto        | 98,06 kN/m <sup>2</sup>    |
| Spessore strato                      | 0,0 m                      |
| Profondità substrato roccioso        | 0,0 m                      |
| Modulo Elastico                      | 14121,57 kN/m <sup>2</sup> |
| Coefficiente di Poisson              | 0,35                       |
| =====                                |                            |
| Coefficiente di influenza I1         | 0,5                        |
| Coefficiente di influenza I2         | 0,02                       |
| Coefficiente di influenza Is         | 0,51                       |
| =====                                |                            |
| Cedimento al centro della fondazione | 0,5 mm                     |
| =====                                |                            |
| Coefficiente di influenza I1         | 0,44                       |
| Coefficiente di influenza I2         | 0,03                       |
| Coefficiente di influenza Is         | 0,45                       |
| Cedimento al bordo                   | 0,23 mm                    |
| =====                                |                            |

### 2.2.3 - CEDIMENTI BURLAND E BURBIDGE

|  |                         |
|--|-------------------------|
| Pressione normale di progetto                          | 98,06 kN/m <sup>2</sup> |
| Tempo  | 15,0                    |
| Profondità significativa Zi (m)                        | 2,5                     |
| Media dei valori di Nsp <sub>t</sub> all'interno di Zi | 12                      |
| Fattore di forma fs                                    | 1                       |
| Fattore strato compressibile fh                        | 1                       |
| Fattore tempo ft                                       | 1,44                    |
| Indice di compressibilità                              | 0,053                   |
| Cedimento  | 2,102 mm                |





2.2.4 - 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. Strato (m) | Nspt | Nspt'  | Svo (kN/m <sup>2</sup> ) | S'vo (kN/m <sup>2</sup> ) | T     | R     | Fs     | Condizione:               |
|--------|------------------|------|--------|--------------------------|---------------------------|-------|-------|--------|---------------------------|
| 1      | 0,3              | 10   | 22,547 | 5,295                    | 5,295                     | 0,000 | 0,000 | 0,000  | Livello non liquefacibile |
| 2      | 6,30             | 12   | 10,604 | 120,013                  | 120,013                   | 0,001 | 0,137 | 116,16 | Livello non liquefacibile |

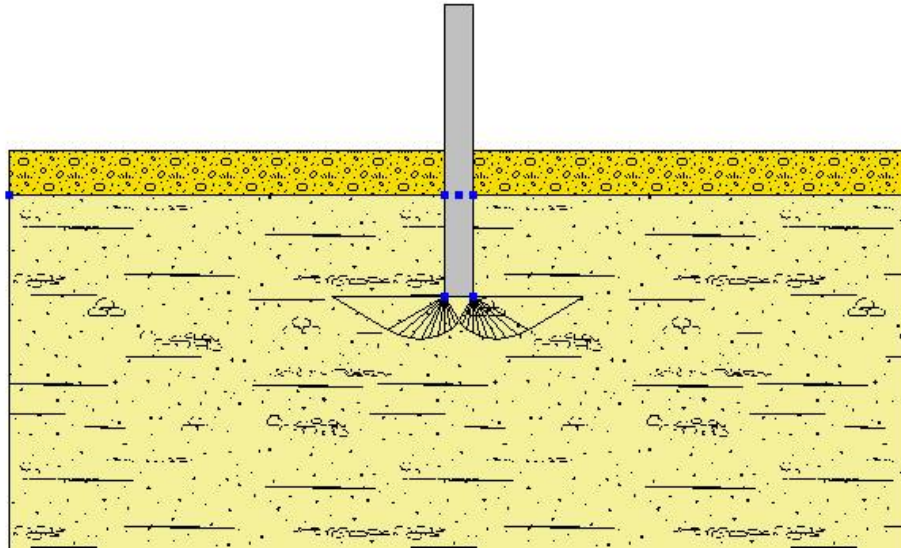


Figura 10 - Cuneo di intrusione

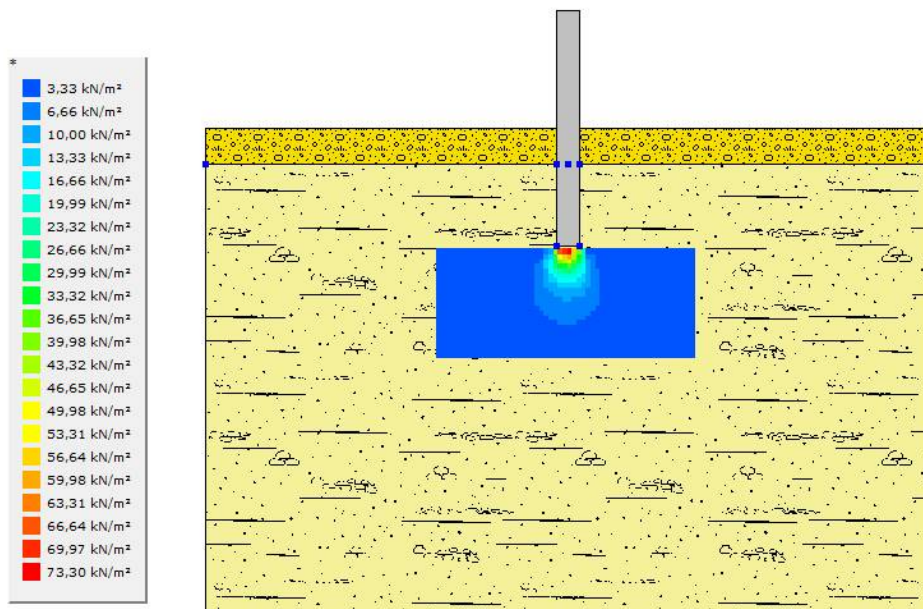
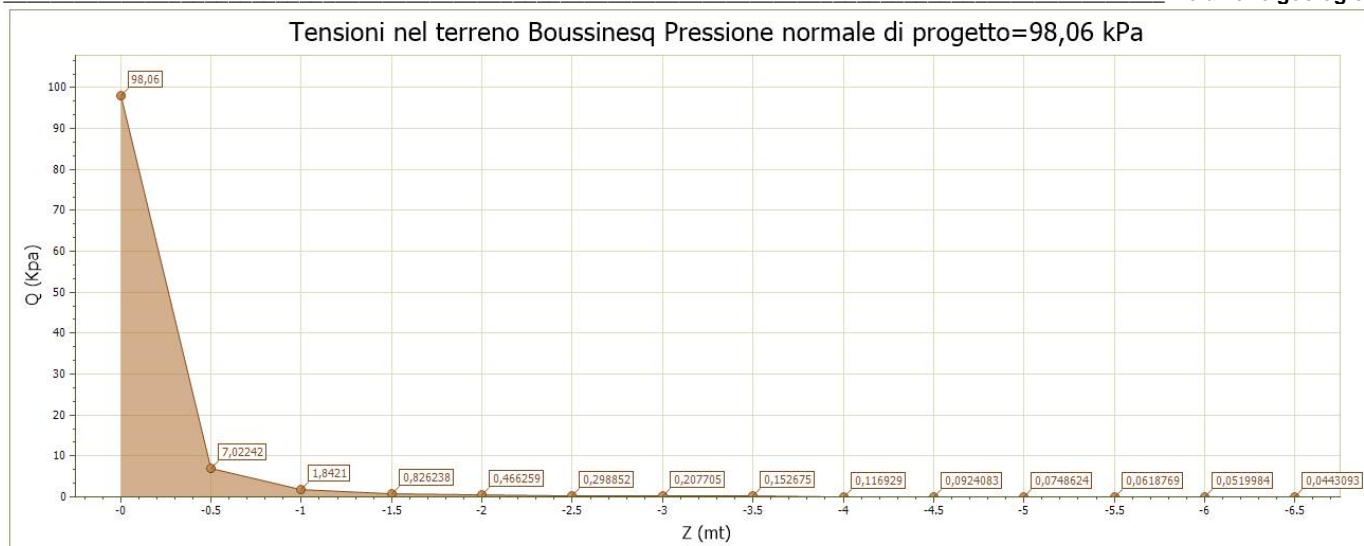


Figura 11 - Bulbo dello sviluppo delle pressioni



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

L'area è costituita da sedimenti alluvionali terrazzati antichi e recenti, costituiti da ghiaie sabbiose in matrice fine con ciottolotti e/o livelli ciottolosi conglomeratici con ferrettizzazione della matrice.

In funzione di quanto sopra esposto, i terreni vista la minima profondità di escavazione saranno facilmente asportabili con il semplice uso di un escavatore dotato di singola benna nei livelli più superficiali interessati dalla posa di una eventuale fondazione su "palo infisso".

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 Pleistocenici - Olocenici diversamente addensati, essendo materiali a comportamento attrattivo in matrice fine coesiva, 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  $\varphi = 28^\circ$ , per lavorare in condizioni di sicurezza, si potrà tener conto di un'inclinazione della parete di scavo  $\beta_{\text{min}}$  di circa  $27^\circ$ . 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 A)  $\rightarrow c_u = 29.42 \text{ KN/m}^2 - \gamma_n = 19.12 \text{ KN/m}^3$  e utilizzando la seguente relazione:  $H_c = 4 c_u / \gamma_n$  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  $y = Hc/2 \rightarrow Hc' = \sim 3.0m$

*Si consiglia, comunque, in presenza di materiali 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 dello scavo, se presente, sia da quelle (eventuali) di debole falda idrica se risalita per incremento idrico.*





### 3. CONCLUSIONI

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

- Gli interventi in progetto, sono ricompresi in un'area di circa 80Ha all'interno dei confini amministrativi del Comune di Villacidro. Litologicamente è interessato da terreni sedimentari quaternari. Essi ricoprono i sedimenti ghiaiosi pleistocenici del sistema di Portovesme (PVM2a), quando non affiorano. Sono riconducibili ad un sistema di conoide e di piana alluvionale, i cui rapporti laterali sono caratterizzati da interdigitazione. Si tratta di depositi alluvionali terrazzati Olocenici (bna/bnb), costituiti da sedimenti ghiaiosi sabbiosi, diversamente addensati e consistenti, intercalati a livelli limo-argillosi, per uno spessore stimato superiore ai 10m.

Le tipologie di terreni descritti in relazione sono stati raggruppati secondo il seguente criterio geomeccanico:

- Terreni costituenti le coperture Quaternarie antiche – Litofacies nel subsistema di Portoscuso Alluvioni terrazzate (PVM2a)
- Terreni costituenti le coperture Quaternarie recenti – Depositi alluvionali terrazzati (bna)
- 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** → medio - alta permeabilità, localmente medio - bassa ⇒ [Alluvioni recenti terrazzate dell'Olocene]

*Si tratta di terreni a circolazione idrica discreta, costituiti prevalentemente da coperture alluvionali allo stato sciolto o semicoerente. La permeabilità per porosità è generalmente medio-alta in*



*corrispondenza di livelli ciottoloso-sabbiosi in prossimità degli alvei dei corsi d'acqua, localmente medio-bassa in corrispondenza dei livelli fini ben costipati e/o cementati delle alluvioni terrazzate [ $10^{-2} \geq K \geq 10^{-5}$ ].*

- **Classe 2** → medio bassa permeabilità ⇒ [Alluvioni antiche Pleistoceniche]

*Vi rientrano le alluvioni antiche di conoide alluvionale, terrazzate, costituiti da livelli sabbioso-ciottolosi, conglomeratici, con intercalazioni limo-argillose, ben costipate e talora ferrettizzate. La permeabilità per porosità è generalmente bassa per la presenza di livelli da molto compatti sino a cementati, localmente media in corrispondenza dei livelli a maggiore componente arenacea [ $10^{-4} \geq K \geq 10^{-7}$ ].*

Nell'area di progetto, la soggiacenza della falda superficiale si colloca raramente entro i - 10.0m e l'andamento dei deflussi segue, in linea di massima, la morfologia superficiale. La distribuzione dei pozzi, per lo più impostati nelle coltri alluvionali quaternarie non è omogenea. Nel bacino le isofreatiche mostrano un andamento poco sinuoso in accordo con la morfologia, con evidenti zone di drenaggio lungo i principali corsi d'acqua e i suoi principali affluenti (Pala et alii, 1996). Altre zone di alimentazione sono presumibili alla base dei versanti, lungo il contatto tra i sedimenti quaternari e le altre litologie a permeabilità medio-bassa più antiche. Dall'analisi delle perforazioni per acqua censite dall'ISPRA (<http://portalesgi.isprambiente.it/>), si rilevano nell'area esaminata pozzi con falde sui depositi alluvionali non inferiori ai 12.0m, con punte di scorrimento sotterraneo anche di 30.0m da p.c..

- Il Comune di Villacidro è ricompreso all'interno del bacino unico della Sardegna, Flumini Manni di Cagliari e Cixerri, così come individuato dal P.A.I. Sardegna e dal P.S.F.F. Sardegna. Nella fattispecie il sito oggetto di intervento ricade nella cartografia attualmente disponibile on-line e consultabile tramite la piattaforma "Sardegna Geoportale", in un'area (Art. 8) a pericolosità da frana (Hg) e idraulica (Hi) assente.
- Da una analisi del Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (PSFF) non sono emersi per l'area esaminata rischi compatibili con i corsi d'acqua in funzione della sicurezza idraulica, ad eccezione (esterna) delle parti in prossimità del torrente Seddanus, a NW.
- Da una analisi dell'Inventario dei Fenomeni Franosi in Sardegna (IFFI) non sono emersi per l'area esaminata rischi compatibili con eventi franosi.
- Da una analisi delle perimetrazioni delle aree alluvionate nel corso dell'evento "Cleopatra" del 18.11.2013, si evidenzia che il sito in progetto ne ricalca alcune aree alluvionate.
- Pericolosità Sismica Locale: 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:

- $a_g$  - 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.

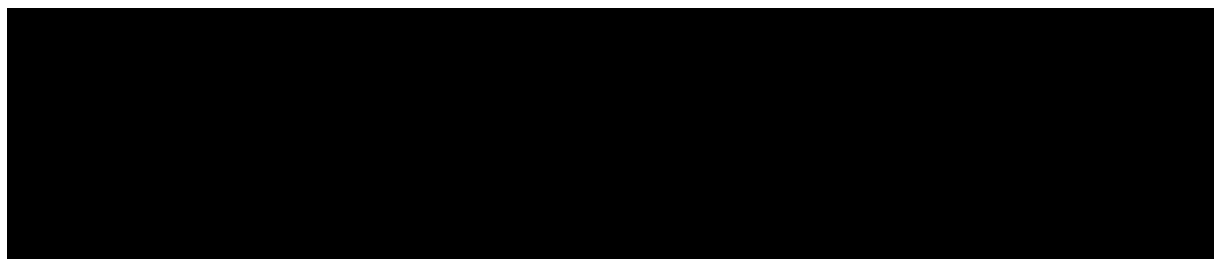
I valori di  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T_c^*$  per gli “stati limite di esercizio”, SLO e SLD, e per gli “stati limite ultimi”, SLC e SLD, sono calcolati con interpolazione basata sulle distanze, per maglie di riferimento rappresentative dell'intera area nella quale dovrà essere realizzata la nuova struttura e utilizzando la classe d'uso I (*Presenza occasionale di persone, edifici agricoli*).

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. 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: secondo lo schema presente nell'Ordinanza (NTC 2018) si tratta di un suolo appartenente alla classe C. Di seguito si riportano le categorie di sottosuolo di riferimento (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>   | <i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</i> |

Condizione Topografica: nel caso specifico la superficie interessata dall'opera in progetto rientra nella Categoria topografia T1 – (Tab. 3.2.III - §.3.2.2 NTC 2018 di seguito riportata) per la quale la normativa (§ 7.11.3.3 delle NTC 2008) prevede che “Gli effetti topografici possono essere trascurati” poiché presentano “un'inclinazione media inferiore a 15°”.





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

|   | 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                           |

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

Dati sulla costruzione:

- Classe d'uso: I
- Vita Nominale: 50 anni
- Coefficiente d'uso: 0.700000
- Vita di riferimento: 35.000000 anni

Dati sull'area SENSIBILE:

- **X** = 1483475.9739 E
- **Y** = 4372234.8814 N

#### **STATO LIMITE DI ESERCIZIO (S.L.E)**

- Dati sulla costruzione **(SLO)** Probabilità di superamento nella vita di riferimento: 0.810000  
(SLO) Periodo di ritorno: 30.00 (anni): Valori finali calcolati:  $a_g = 0.0127 \text{ g} \rightarrow F_0 = 2.5776$   
 $\rightarrow T_{c^*} = 0.1400 \text{ sec}$
- Dati sulla costruzione **(SLD)** Probabilità di superamento nella vita di riferimento: 0.630000  
(SLD) Periodo di ritorno: 35.20 (anni): Valori finali calcolati:  $a_g = 0.0140 \text{ g} \rightarrow F_0 = 2.5689$   
 $\rightarrow T_{c^*} = 0.1430 \text{ sec}$

#### **STATO LIMITE ULTIMO (S.L.U)**

- Dati sulla costruzione **(SLV)** Probabilità di superamento nella vita di riferimento: 0.100000  
(SLV) Periodo di ritorno: 332.19 (anni): Valori finali calcolati:  $a_g = 0.0388 \text{ g} \rightarrow F_0 = 2.4973$   
 $\rightarrow T_{c^*} = 0.2881 \text{ sec}$



- Dati sulla costruzione **(SLC)** Probabilità di superamento nella vita di riferimento: 0.050000  
(SLC) Periodo di ritorno: 682.35 (anni): Valori finali calcolati:  $ag = 0.0494 \text{ g} \rightarrow Fo = 2.5289$   
 $\rightarrow Tc^* = 0.3247 \text{ sec}$
- 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 pregresse eseguite in aree limitrofe, 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  $\rightarrow R_{\text{terreno}} = 30N_{\text{spt}} / F_s$  coefficiente di sicurezza*

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

**Unità A**  $\rightarrow$  Depositi alluvionali olocenici ghiaiosi sabbiosi, con subordinati livelli limo argillosi e/o argillosi, 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)                                     | 14121,57 KN/m <sup>2</sup> (Schmertmann)          |
| Modulo Edometrico (M)                                   | 15984,83 KN/m <sup>2</sup> (Menzebach e Malcev)   |
| N SPT   | 12 [ $R_{\text{terreno}} 1.17 \text{ daN/cm}^2$ ] |
| Winkler (Kg/cm <sup>3</sup> ) $Q = 1.0 \text{ Kg/cm}^2$ | 1,53  |
| 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<sub>1</sub>+M<sub>1</sub>+R<sub>3</sub>] 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<sub>1</sub>+M<sub>1</sub>+R<sub>3</sub>] 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 - TERZAGHI (1955) – condizione drenata: Il valore minimo del carico limite ultimo  $Q_{ult} = 310,79 \text{ kN/m}^2$ , con una resistenza di progetto ( $R_d$ ) = 172,66 KN/m<sup>2</sup>, con una tensione (Ed) ipotesi di verifica (cedimenti) pari a 98,06 KN/m<sup>2</sup>.

- I cedimenti elastici relativi al substrato di terreno interessato dal sovraccarico, si attesterebbero a valori inferiori al centimetro (centro 0,5mm / bordo 0,23mm), in corrispondenza di una pressione normale di progetto pari a 98,06 KN/m<sup>2</sup> (ipotesi di verifica).
- I cedimenti secondo Burland e Burbidge relativi al substrato di terreno interessato dal sovraccarico, si attesterebbero a valori inferiori al centimetro (2,102mm), in corrispondenza di una pressione normale di progetto pari a 98,06 KN/m<sup>2</sup> (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 recenti, costituiti da ghiaie sabbiose in matrice fine argillosa limosa, con subordinati livelli più francamente limosi argillosi. In funzione di quanto sopra esposto, i terreni vista la minima profondità di escavazione saranno facilmente asportabili con il semplice uso di un escavatore dotato di singola benna nei livelli più superficiali interessati dalla posa di una eventuale fondazione su "palo infisso" superficiale.

Il fattore di sicurezza (FS) di una parete di scavo viene definito come  $FS = \frac{\tan \varphi}{\tan \beta}$ , 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  $\varphi = 28^\circ$ , per lavorare in condizioni di sicurezza, si potrà tener conto di un'inclinazione della parete di scavo  $\beta_{min}$  di circa  $27^\circ$ . 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 A)  $\rightarrow c_u = 29.42 \text{ KN/m}^2 - \gamma_n = 19.12 \text{ KN/m}^3$  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 in matrice fine coesiva (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 non a terra – 51MW".
  - 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.

**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)







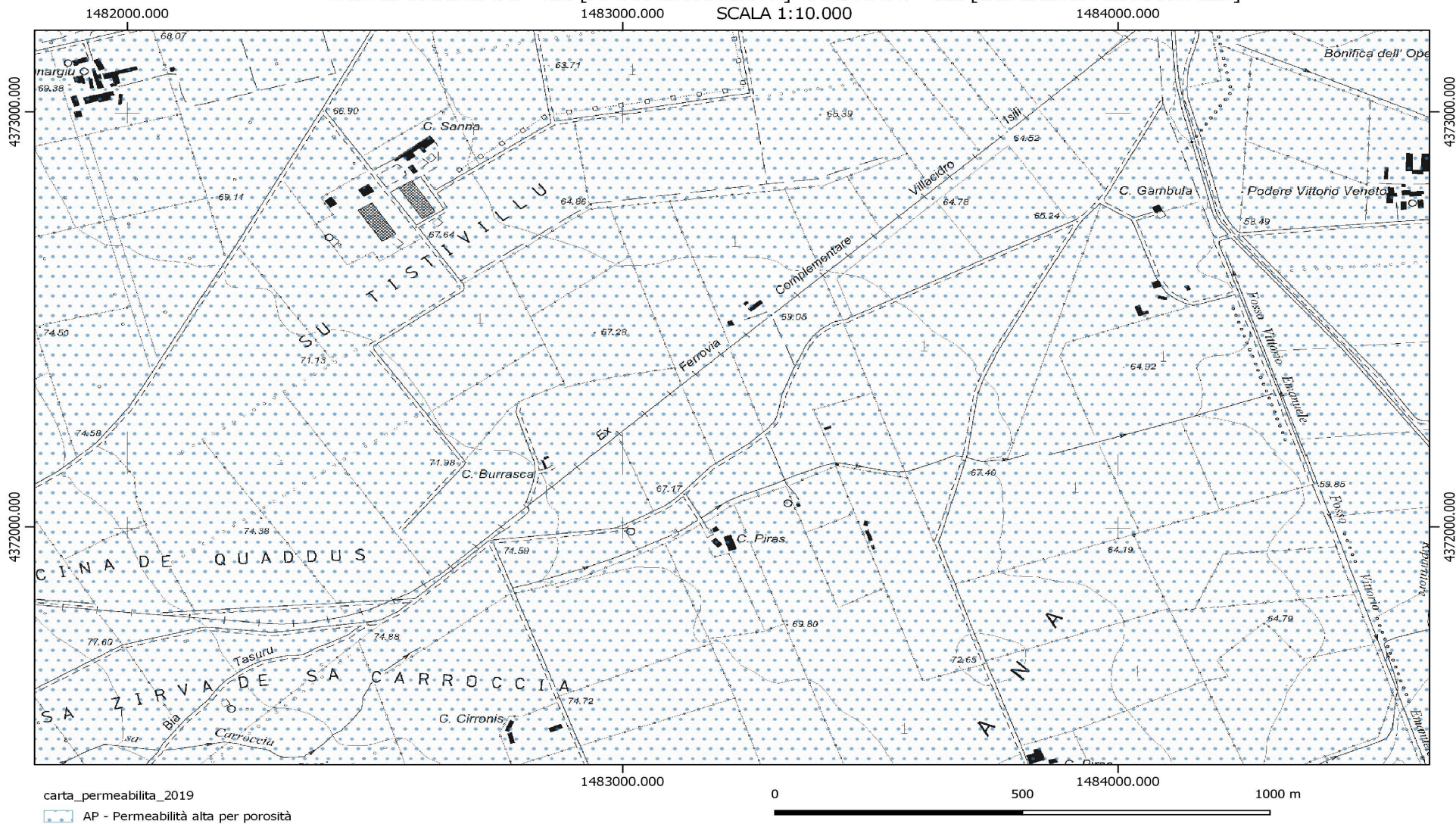
Committente: SHARDANA ENERGETICA SRL

Progetto: Impianto fotovoltaico non a terra (su pensilina) sito nel Comune di Villacidro per una potenza di 51MWP

Il Geologo: Dott. Mario STRINNA - ORG 441

Relazione geologica

CARTA DELLE PERMEABILITA'  
BASE CTR FOGLIO 547 - 100 [PODERE SAN MICHELE] - FOGLIO 547 - 060 [SAN GAVINO MONREALE SUD]  
SCALA 1:10.000



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