



## COMUNE DI GONNOSFANADIGA

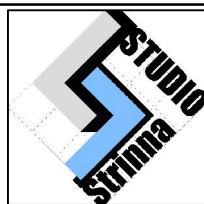
(Prov. del Sud Sardegna)

---

### REALIZZAZIONE IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA DA 34,49 MW IN IMMISSIONE, TIPO AD INSEGUIMENTO MONOASSIALE "GONNOS-MAR" - COMUNE DI GONNOSFANADIGA (SU)

---

#### 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:**

ENERGYGONNOSMAR1 SRL  
Via Isola San Pietro 3 - Cagliari (CA)  
Codice Fiscale: 03989760925

**Oggetto:**

RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA

**Data:**

04/2022

**Scala:**

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

Dott. Mario STRINNA

**Collaboratore:**



**Aggiornamenti:**

**Tavola:**

File: mario/geologia/2022/Impianto fotovoltaico GONNOSMAR

**Committente:** ENERGYGONNOSMAR1 SRL

**Progetto:** Impianto fotovoltaico a terra da 34,49 MW tipo ad inseguimento monoassiale – Gonnosfanadiga (SU)

**Il Geologo:** Dott. Mario STRINNA O.R.G Sardegna n. 441 [Sez. A]

**Relazione geologica e geotecnica**



## COMUNE DI GONNOSFANADIGA

(Prov. del Sud Sardegna)

### RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA

### REALIZZAZIONE IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA DA 34,49 MW IN IMMISSIONE, TIPO AD INSEGUIMENTO MONOASSIALE “GONNOS-MAR” - COMUNE DI GONNOSFANADIGA (SU)

#### **COMMITTENTE**

ENERGYGONNOSMAR1 SRL

Via Isola San Pietro 3 - Cagliari (CA)

Codice Fiscale: 03989760925

**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>C. BREVE DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO</b> .....	pag. 8
<b>1. CARATTERISTICHE GEOLOGICHE E SEDIMENTOLOGICHE GENERALI</b> .....	pag. 11
1.1 – Tettonica e Lineamenti geomorfologici generali .....	pag. 14
1.2 – Assetto geologico dell'area di sedime .....	pag. 15
1.3 - Inquadramento idrologico e idrogeologico generale .....	pag. 17
1.3.1 - Caratteristiche idrogeologiche dell'area di sedime .....	pag. 19
1.4 - Lineamenti climatici generali .....	pag. 21
1.5 – Pericolosità geologica .....	pag. 23
1.5.1 - Pericolosità Idrogeologica .....	pag. 23
1.5.2 - Progetto P.S.F.F .....	pag. 25
1.5.3 - Progetto I.F.F.I .....	pag. 26
1.5.4 - Pericolosità sismica di base .....	pag. 26
1.5.4.1- Dati sismici sul sito (spettri di risposta) .....	pag. 31
<b>RELAZIONE GEOTECNICA</b> .....	pag. 33
<b>2. CONSIDERAZIONI GEOTECNICHE E STRATIGRAFICHE SUL SEDIME</b> .....	pag. 33
2.1 - Verifica degli SL secondo le NTC 2018 .....	pag. 35
2.1.1 – Cedimenti .....	pag. 38
2.2 – Considerazioni sulla scavabilità e tenuta dei fronti di scavo .....	pag. 39
<b>3. CONCLUSIONI</b> .....	pag. 41
<b>Appendice</b>	
- Inquadramento Geologico su base cartografica 1:10.000 .....	pag. 48
- Carta delle permeabilità su base cartografica 1:10.000 .....	pag. 49

## 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 a NE del tessuto urbano di Gonnosfanadiga, nella località Suergiu Tranu, direzione C.se Marongiu percorrendo la SS 197 direzione Guspini, 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, su uno stesso contesto litologico, 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, supportate da dati bibliografici e conoscenze dei luoghi.

Tale lavoro è stato eseguito in ottemperanza del D.M. 11.03.1988 (Norme Tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione). Le indagini sono state svolte in ottemperanza alle norme fissate dall'A.N.I.S.I.G. (Ass. Naz. Imprese Specializzate in Indagini Geognostiche). Testo integrato con la Circ. LL.PP. 24 Settembre 1988 n. 30483 (punto A3): istruzioni riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri

generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione, Circolare n. 218/24/3 del 09.01.1996 e n. 617 del 02.02.2009 – OPCM n. 3274 del 20.03.2003 - 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;
- Ricostruzione dell'assetto litostratigrafico e definizione delle caratteristiche litotecniche attraverso la loro definizione basata sulla base di documentazione disponibile, edita e inedita, documentabile dallo stesso scrivente sulla base di lavori pregressi (Geotest srl: San Gavino, Guspini) svolti nel medesimo assetto litologico territoriale;
- Problematica geotecnica connessa all'interazione opera-geologia locale.

## B. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E AEREO

L'area interessata dallo studio ricade nel territorio Comunale di Gonnosfanadiga, nella località Suergiu Tranu, lungo la SS 197 in direzione di Guspini. Dal punto di vista topografico, l'area in esame risulta inclusa nella cartografia catastale al foglio 110, particelle 140, 137, 57, 110, 10, 134, 70, 80, 79, 59, 41, 40, 131, 128, 73, 22, 23, 24, 25, 26, 166, 113, 71, 176, 170, 174, 172, 74, 168, 180, 178, 11 del comune di Gonnosfanadiga, terreni localizzati nella ZONA AGRICOLA E. Morfologicamente trattasi di un'area sub pianeggiante di natura sedimentaria Quaternaria Olocenica: Depositi alluvionali terrazzati → ghiaie con subordinate sabbie (bna). Ad essi si contrappongono verso sud depositi alluvionali terrazzati bnb → più fini sabbiosi con subordinati limi e argille (bnb). Le pendenze del territorio, variabili da circa 80.0m a circa 93.0m s.l.m.m. verso il rio Trottu, risultano (medie) inferiori al 10%. Corograficamente è inquadrabile nei seguenti Fogli

Regionali:

- Foglio **I.G.M.** N. 547 Sez. IV° quadrante [SAN GAVINO MONREALE] alla scala 1:25.000;
- Foglio **C.T.R.** N. 547-050 [S'ORCILEDDU] alla scala 1:10.000.

Coordinate Km areale sensibile

**X** = 1474902.1718 longitudine **E**

**Y** = 4376648.8529 latitudine **N**



Figura 1 – Vista aerea zona impianto

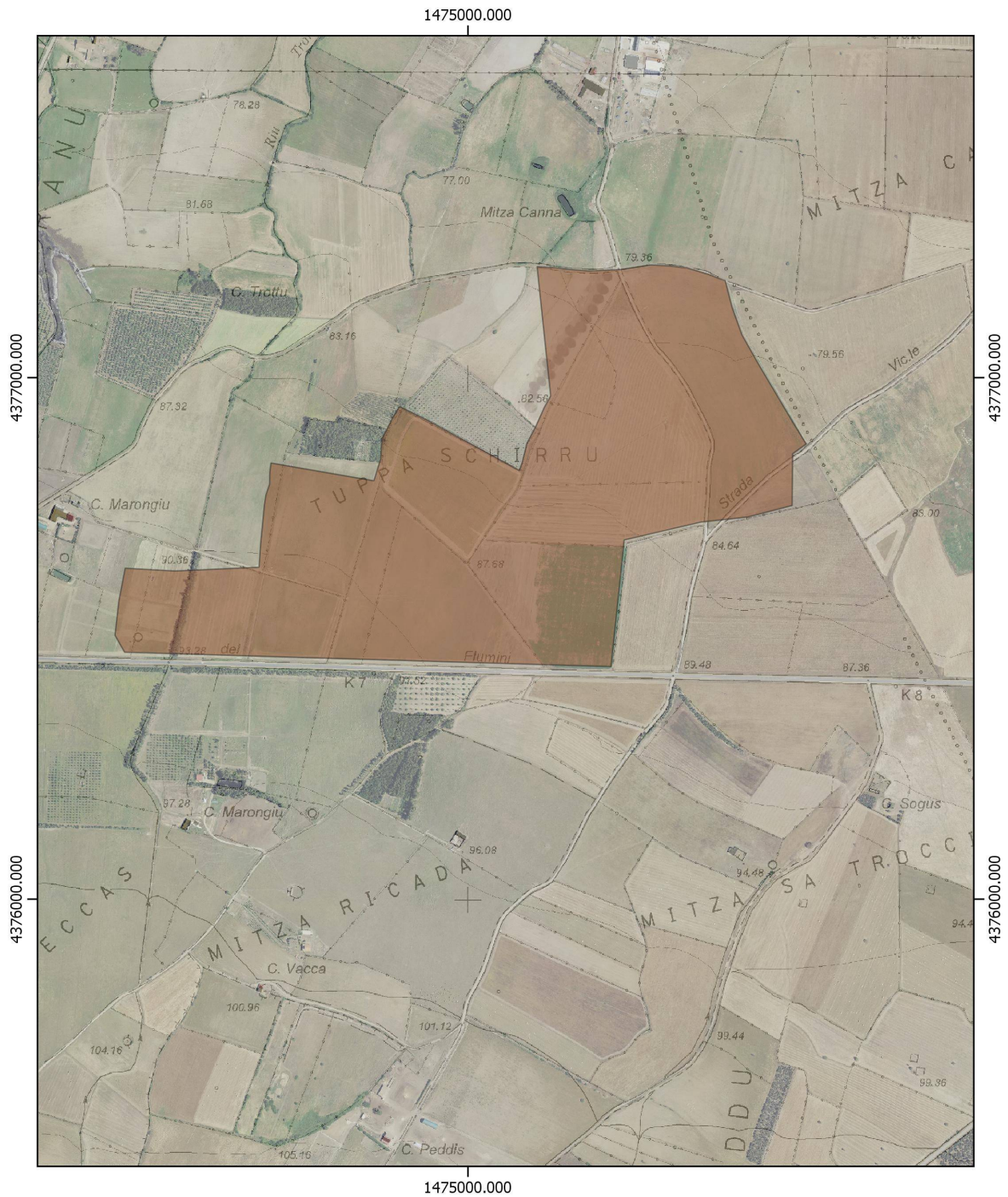
Committente: ENERGYGONNOSMAR1 SRL

Progetto: Impianto fotovoltaico a terra da 34,49 MW tipo ad inseguimento monoassiale – Gonnosfanadiga (SU)

Il Geologo: Dott. Mario STRINNA O.R.G Sardegna n. 441 [Sez. A]

Relazione geologica e geotecnica

INQUADRAMENTO AEREO  
SU BASE CTR FOGLIO 547-050 [S'ORCILEDDU]  
SCALA 1:10.000



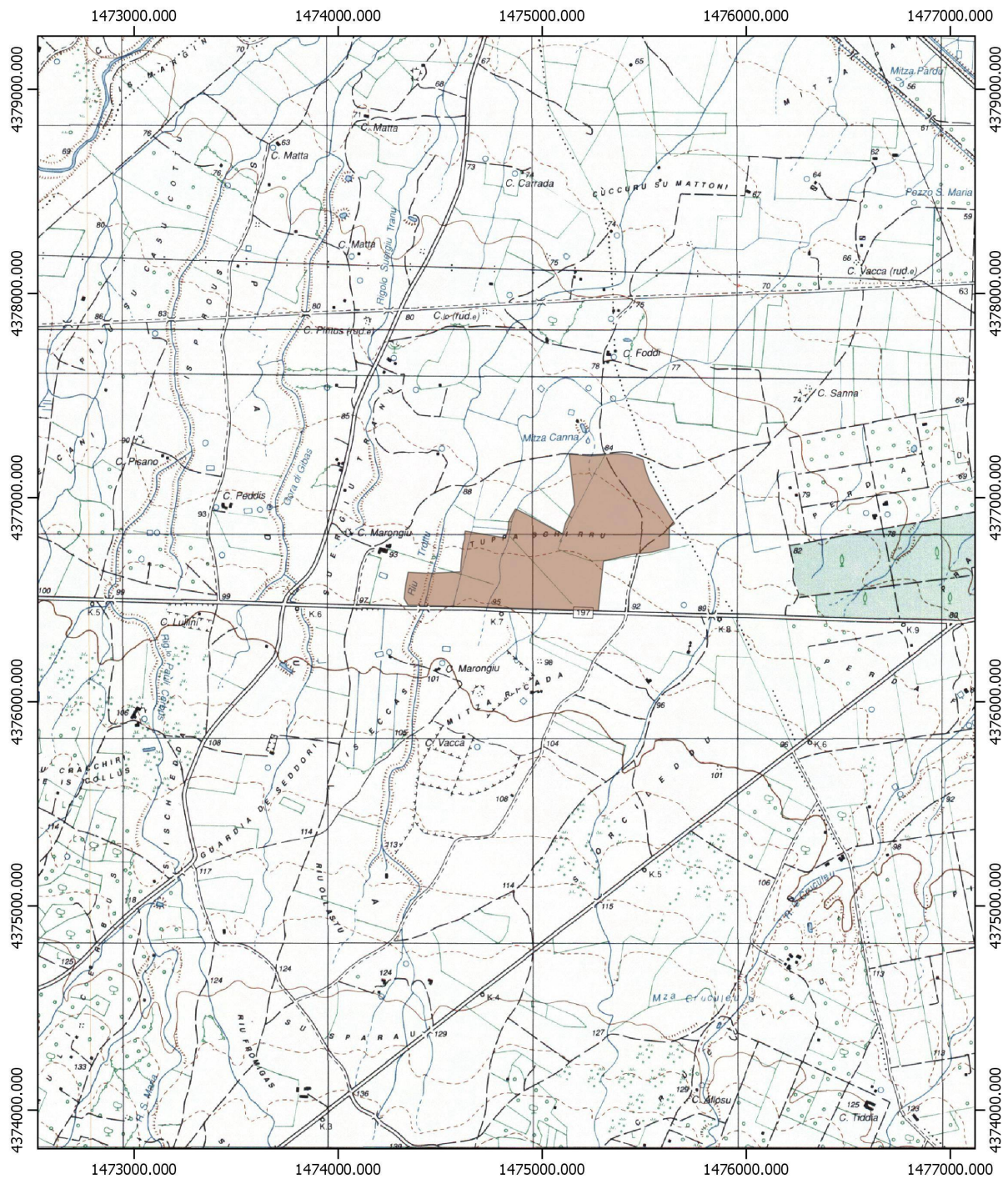
Committente: ENERGYGONNOSMAR1 SRL

Progetto: Impianto fotovoltaico a terra da 34,49 MW tipo ad inseguimento monoassiale – Gonnosfanadiga (SU)

Il Geologo: Dott. Mario STRINNA O.R.G Sardegna n. 441 [Sez. A]

Relazione geologica e geotecnica

INQUADRAMENTO CARTOGRAFICO REGIONALE  
SU BASE IGM FOGLIO 547 SEZ. IV° QUADRANTE [SAN GAVINO MONREALE]  
SCALA 1:25.000



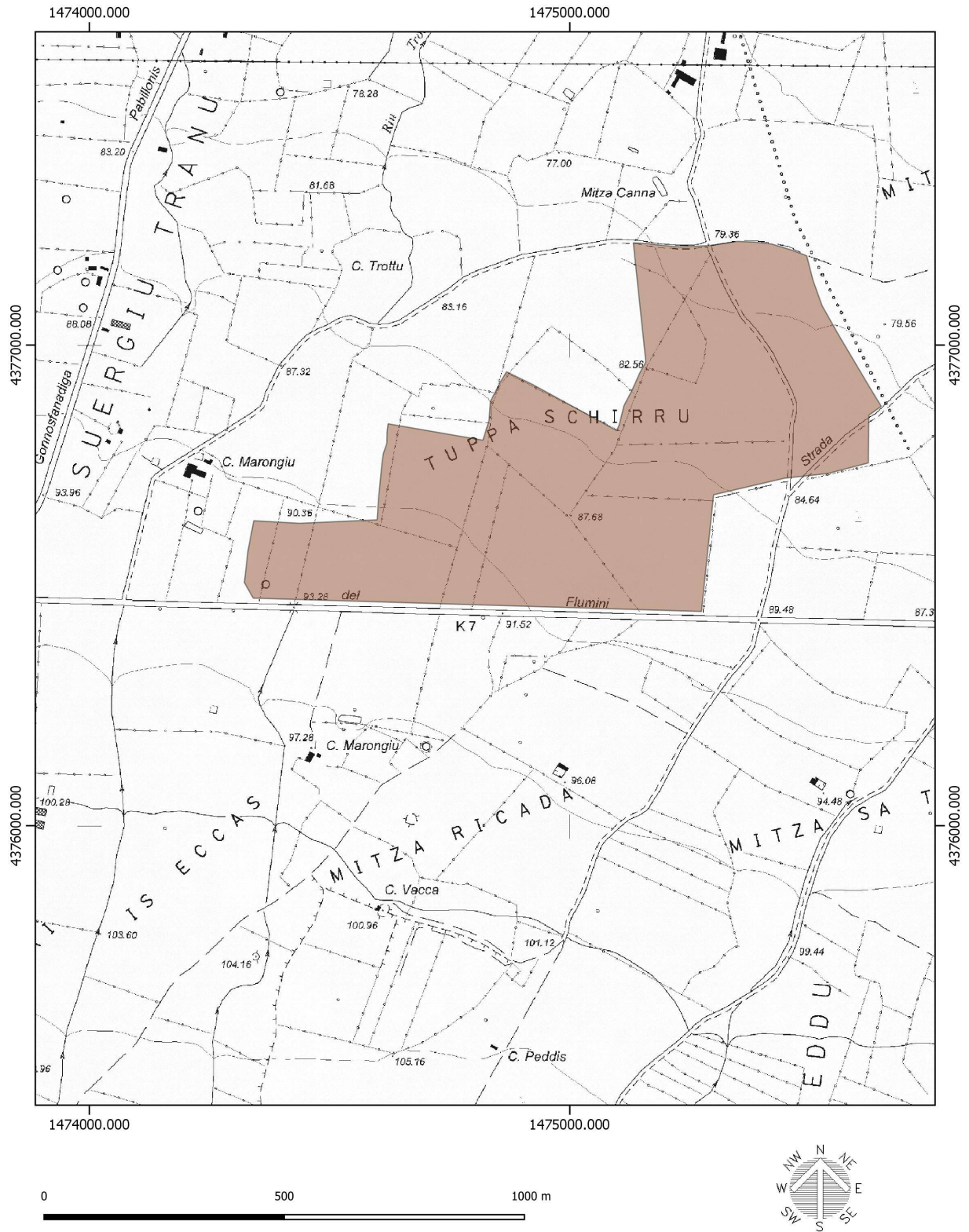
Committente: ENERGYGONNOSMAR1 SRL

Progetto: Impianto fotovoltaico a terra da 34,49 MW tipo ad inseguimento monoassiale – Gonnosfanadiga (SU)

Il Geologo: Dott. Mario STRINNA O.R.G Sardegna n. 441 [Sez. A]

Relazione geologica e geotecnica

INQUADRAMENTO CARTOGRAFICO REGIONALE  
SU BASE CTR FOGLIO 547-050 [S'ORCILEDDU]  
SCALA 1:10.000





### C. BREVE DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

La presente relazione fa parte del progetto esecutivo "REALIZZAZIONE IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA DA 34,49 MW IN IMMISSIONE - TIPO AD INSEGUIMENTO MONOASSIALE "GONNOS-MAR" – COMUNE DI GONNOSFANADIGA (SU)".

La società proponente del progetto è la ENERGYGONNOSMAR1 SRL, con sede legale Via Isola San Pietro 3, Cagliari (CA), Codice Fiscale: 03989760925, di proprietà di Alchemist SRLS che opera nel settore della progettazione di impianti per lo sfruttamento delle energie rinnovabili. L'area di intervento è ubicata all'interno di terreni siti nel Comune di Gonnosfanadiga, il cui abitato è localizzato ad una altitudine di circa 185 m. s.l.m., con un territorio di 125,2 km<sup>2</sup> ed una popolazione di circa 6.328 abitanti. Dal punto di vista topografico, l'area in esame risulta inclusa nella cartografia catastale al foglio 110, particelle 140, 137, 57, 110, 10, 134, 70, 80, 79, 59, 41, 40, 131, 128, 73, 22, 23, 24, 25, 26, 166, 113, 71, 176, 170, 174, 172, 74, 168, 180, 178, 11 del comune di Gonnosfanadiga, terreni localizzati nella ZONA AGRICOLA E secondo quanto documenta il Certificato di Destinazione Urbanistica (CDU).

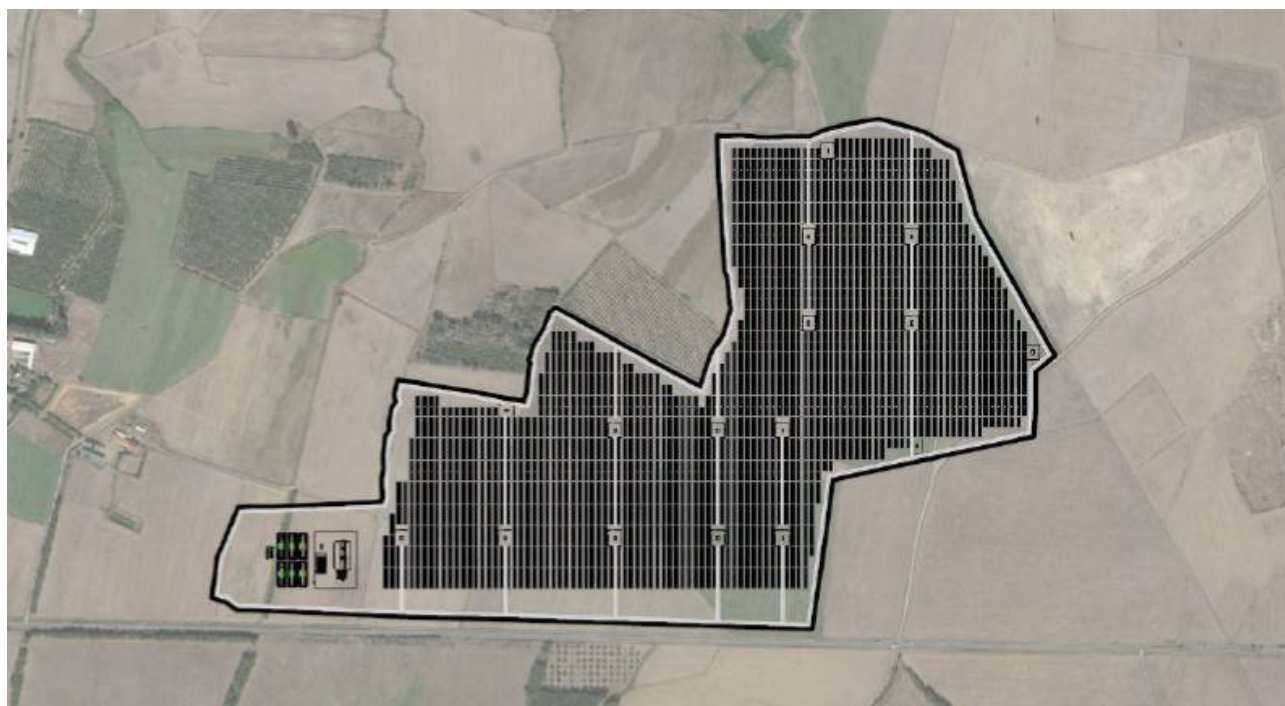


Figura 2 – Area intervento con impianto fotovoltaico

Il sito interessato alla realizzazione dell'impianto, si trova ad un'altitudine media di 89 m s.l.m. e ricopre un'area netta di 50 Ha. L'intervento contempla la realizzazione di un impianto fotovoltaico di potenza nominale in immissione pari a 34.487,6 kW di picco per la produzione di energia elettrica posato sul terreno livellato mediante l'istallazione di inseguitori solari.

Le distanze definite dal piano sono state rispettate, sia nel caso di confine con strada che con altri lotti; l'impianto è stato posizionato mantenendo le fasce di rispetto lungo tutti i suoi confini. Il passaggio all'interno dell'area è possibile sia lungo i confini, in quanto è stata definita una distanza di 12 metri, sia all'interno dell'area in quanto la distanza tra i pannelli è 5,40m. Sono state previste delle stradine per facilitare la percorrenza del sito, una che percorre l'intero perimetro dell'impianto, e le rispettive in corrispondenza delle cabine di campo. E' stata calcolata la superficie coperta totale: considerando le dimensioni di un pannello Longi da 545 W pari a 2,285x1,134m, si hanno delle superfici coperte rispettivamente di 145,04 m<sup>2</sup> per i tracker da 28x2 moduli e di 72,52m<sup>2</sup> per i tracker da 14x2 moduli. I moduli da 28x2 sono 1.102 (159.834,08 m<sup>2</sup>) e quelli da 14x2 sono 56 (4.061,12 m<sup>2</sup>). Nella progettazione è stata inserita anche un'opera di mitigazione dell'impatto visivo e inserimento di essenze arboree lungo tutta la superficie a confine (aree di rispetto) e le aree non utilizzate per l'impianto o le strutture strettamente connesse. L'obiettivo è, non solo mitigare, ma apportare un miglioramento sostanziale in termini di superfici, e della qualità degli interventi stessi. Attraverso lo studio di una nuova componente di verde si vuole arricchire la presenza delle essenze per tipologie e quantità con l'uso esclusivo di essenze autoctone, caratterizzate principalmente da vegetazione a macchia, da boschi e da praterie.

**IMPIANTO:** L'impianto sarà costituito da 63.280 moduli fotovoltaici monocristallini da 545 Wp di tipo bifacciale, organizzati in stringhe e collegati in serie tramite 16 Power Station (TIPO 2) da 2000 kVA posizionate in maniera baricentrica rispetto alle strutture di supporto dei pannelli. La tipologia e la configurazione delle strutture fotovoltaiche è caratterizzata da 1.102 tracker da 28x2 Portrait e da 56 tracker da 14x2 Portrait, disposti con rotazione +/- 55° in direzione Nord-Sud. L'impianto verrà connesso in antenna a 36 kV sulla sezione a 36 kV di una nuova Stazione Elettrica (SE) di Trasformazione a 220/150/36 kV della RTN da inserire in entra – esce alla linea RTN 220 kV "Sulcis - Oristano". Il gestore di rete ancora non ha rilasciato soluzioni progettuali di standard costruttivi per la Stazione elettrica a 36 kV. Dalle cabine di trasformazione le linee verranno raccolte all'interno della cabina di raccoglimento completa di interruttori MT, e quadro generale, quadro di distribuzione con le varie utenze. Dalla cabina di raccoglimento la linea arriverà alla stazione AT/MT a 36kV, secondo le indicazioni di TERNA.

I moduli fotovoltaici costituenti l'impianto andranno posizionati a terra come individuato nell'elaborato Planimetria Generale Impianto. Il criterio di posizionamento si è basato sull'utilizzo di strutture quali i tracker monoassiali. Le strutture, disposte con orientamento est-ovest, sono concepite per ruotare durante il giorno e seguire il tragitto del sole in maniera tale da ottenere un irraggiamento massimo per più ore possibili. Nell'intorno del campo fotovoltaico vengono lasciati

idonei spazi per effettuare le manutenzioni. All'interno della cabina elettrica verrà realizzato il quadro elettrico nel quale verranno installati gli interruttori di sezionamento.

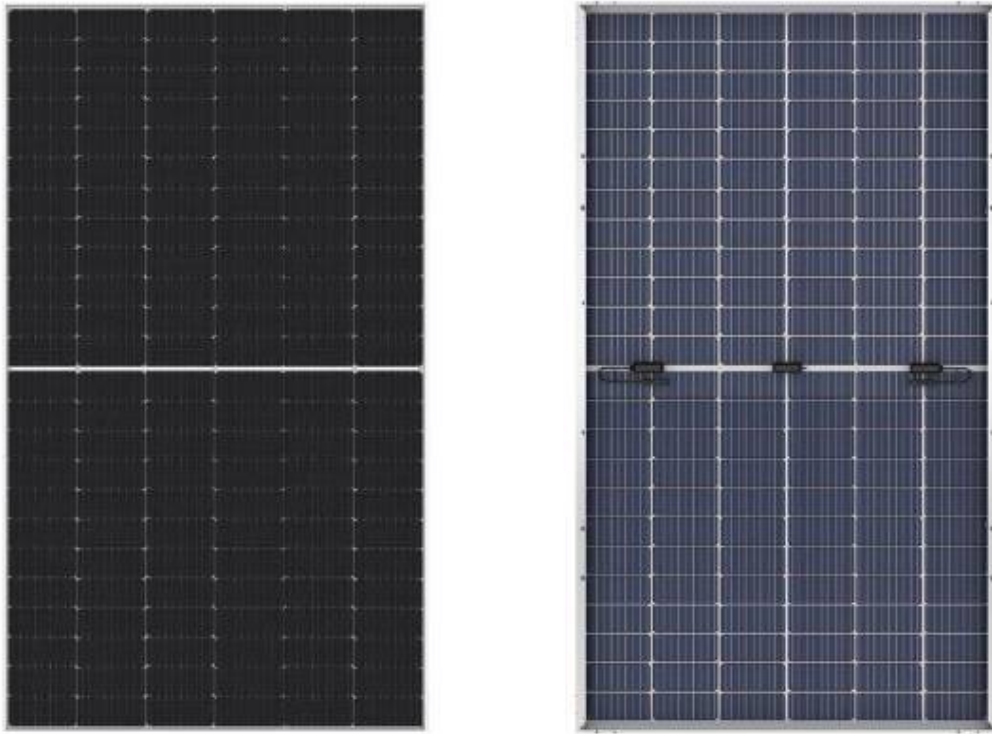


Figura 3 - Pannelli LONGI HI-MO5 LR5-72HBD da 545 W.

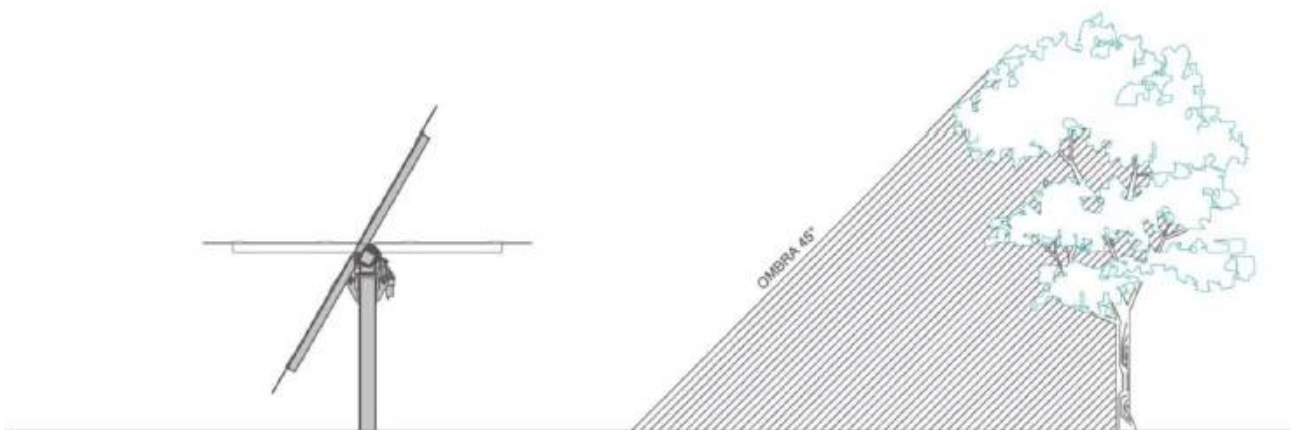


Figura 4 - Posizionamento Tracker, adeguata distanza dai fattori di ombreggiamento

## 1. CARATTERISTICHE GEOLOGICHE E SEDIMENTOLOGICHE GENERALI

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

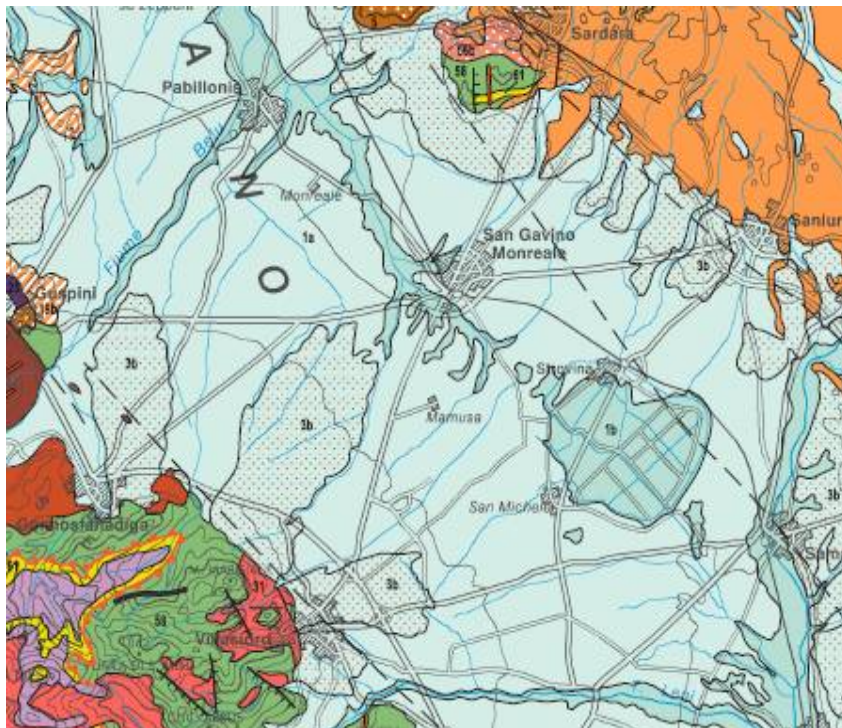
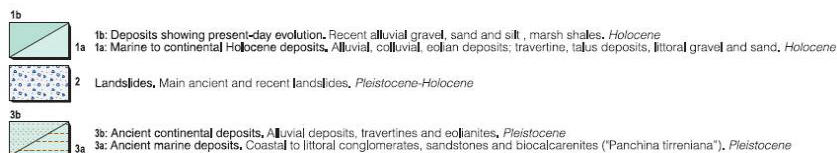


Figura 5 - Geological Map of Sardinia – Carmignani et alrii – 2015



sabbioso-limoso 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-limoso 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

successivi.

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

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 e Lineamenti geomorfologici generali

I maggiori eventi strutturali della Sardegna meridionale sono riferiti alla fase di rifting, datata Oligocene superiore - Burdigaliano inferiore, seguita dalla formazione del graben campidanese nel Pliocene (G. Casula, A. Cerchi, 2001). L'attività esplorativa e le indagini sismiche hanno permesso di definire la struttura geologica della piana del Campidano, che è la parte più profonda

del Rift Sardo. Il Campidano è un graben, che si trova impostato tra gli horst paleozoici del Sulcis-Iglesiente e del Sarrabus-Gerrei ed è bordato sia ad est che ad ovest da faglie normali principali, associate a sistemi di faglie sintetiche ed antitetiche sub-parallele. Il graben campidanese, caratterizzato da un'orientazione NNW-SSE, si è sovrapposto nella parte meridionale del "Rift Sardo" Oligo-Miocenico, a sua volta sviluppatosi su preesistenti discontinuità strutturali del basamento paleozoico.

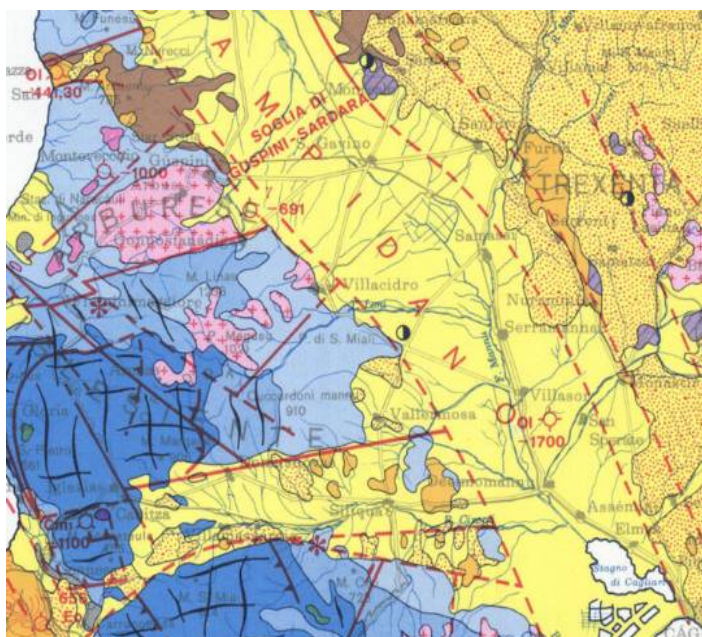


Figura 6 – Estratto dello schema strutturale della Sardegna [Cocozza]

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

rilevano, nel basamento, faglie ben sviluppate in direzione WNW-ESE e ENE-WSW. Queste direzioni sono state mantenute dagli eventi tettonici del Terziario e del Plio-Quaternario (G. Casula, A. Cerchi 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 altri, 1977). Il territorio di Gonnosfanadiga presenta una netta suddivisione fra la zona prevalentemente montuosa e collinare con la zona pianeggiante, questa

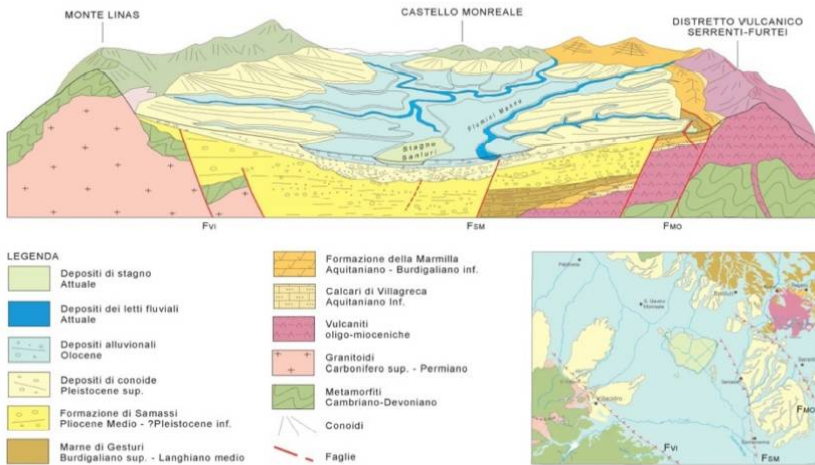


Figura 7 – schema morfologico stratigrafico del Campidano Centrale

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.

## 1.2 – Assetto geologico dell’area di sedime

L’assetto stratigrafico-strutturale dell’area è stato ricostruito integrando i dati ottenuti dal rilevamento geologico di superficie effettuato con tutte le informazioni ricavate dalla miscellanea presente, dalle fonti bibliografiche disponibili e dalle indagini esistenti su simili contesti



Figura 7 – Inquadramento geologico 25.000 (fonte Sardegna geoportale)



territoriali. Litologicamente è interessato da terreni sedimentari alluvionali terrazzati (bn) che ricoprono i sedimenti ghiaiosi pleistocenici del Sintema di Portovesme (PVM), ricoperti dai depositi alluvionali attuali e sub attuali. 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 a SW sono presenti in affioramento questi 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) e/o sabbie con subordinati limi e argille (bnb) (Olocene)

#### DEPOSITI QUATERNARI ANTICHI E RECENTI

Il rilevamento dei depositi quaternari affioranti nel Foglio Villacidro è stato effettuato inquadrando le unità litomorfologiche e pedo-stratigrafiche in sintemi o unità UBSU (Unconformity Bounded Stratigraphic Units; AA.VV., 1983), ossia in “unità stratigrafiche a limiti inconformi” (P ASQUAREÈ et alii, 1992).

La presenza di unità alluvionali terrazzate è stata di ausilio nella suddivisione delle facies dato che tessiture fini (silt ed argille), ricche di materia organica e con elevata umidità, sono facilmente evidenziabili da sedimenti più grossolani. Nell'area sono state distinte due principali unità deposizionali, separate da una importante superficie di erosione corrispondente ad una fase di incisione e terrazzamento: il sintema di Portovesme (PVM) del Pleistocene superiore e i depositi dell'Olocene. I depositi di conoide alluvionale (PVM2a) sono costituiti in prevalenza da ghiaie grossolane, talora blocchi, con spigoli da subangolosi a subarrotondati; subordinate sabbie grossolane si intercalano ai livelli ghiaiosi. Nelle parti apicali delle conoidi sono frequenti ghiaie grossolane fango sostenute (Gms) (loc. Coddu de su Medaueddu e Sanluri) con blocchi di diametro fino a 1 m, indicanti modalità di trasporto in massa. Nella parte intermedia delle conoidi il riempimento dei canali presenta granulometrie più variabili, con ghiaie e più raramente sabbie, a

stratificazione incrociata concava e a basso angolo (Gt e Gh). Sedimenti a base erosiva ma privi di evidenti strutture canalizzate sono probabilmente riconducibili a lobi connessi con processi di tracimazione e sheet flood sulla superficie mediana delle conoidi. Depositi alluvionali terrazzati (bn) affiorano estesamente nell'areale, soprattutto nella parte centrale della pianura. Essi 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. Nel settore meridionale la distribuzione di questi depositi è asimmetrica in quanto il principale corso d'acqua, il Flumini Mannu, proveniente dai rilievi del Sarcidano, scorre addossato alle conoidi tardo-pleistoceniche del versante settentrionale. Ne risulta un'elevata estensione dei sedimenti della conoide del Torrente Leni, affluente di destra del Flumini Mannu, e della pianura alluvionale che si origina alla loro confluenza. Si tratta di ghiaie a stratificazione incrociata concava (Gt) deposte all'interno di canali bassi e poco continui (es. loc. Su Sparau), alternati a ghiaie a stratificazione piano-parallela (Gp) per la migrazione di barre deposte da corsi d'acqua con aumentata sinuosità e con elevato carico solido. Localmente i canali solcano anche il substrato, costituito da terreni miocenici (formazione della Marmilla RML e marne di Gesturi-GST) nel bordo orientale del Campidano. Nell'area affiorano facies ghiaiose e sabbiose che costituiscono dossi variamente orientati. Nelle depressioni sono presenti sedimenti sabbioso-limosi. Si tratta di morfologie ubicate ai piedi delle conoidi nell'area di transizione alla pianura alluvionale, dove generalmente prendono origine le risorgenti. I dossi ghiaiosi costituiscono i resti delle antiche conoidi o di tracciati ad alta energia sui quali si sono approfonditi canali più stabili e in lenta aggradazione, dopo la disattivazione delle conoidi.

### 1.3 - Inquadramento idrologico e idrogeologico generale

Premessa: ai limiti dell'area in esame sono presenti due importanti corsi d'acqua: il Rio Mogoro e il Fluminimannu di Pabillonis. Sia il bacino imbrifero del Fluminimannu che quello del Rio Logoro drenano i deflussi del Campidano Centrale e Settentrionale, scolanti verso il Golfo di Oristano. Il Rio Mogoro, che rappresenta il limite settentrionale dell'area in studio, ha le sue sorgenti nelle pendici meridionali del M. Arci, scorre in una valle scavata tra gli altopiani basaltici di Strovina e Perdiana e devia in direzione nord-ovest verso il Golfo di Oristano. A seguito di interventi di bonifica, il tratto finale del corso del Rio Mogoro scorre lungo un canale artificiale arginato per poi sfociare nel sistema lagunare S.Giovanni-Marceddì. Anche il Fluminimannu di Pabillonis, le cui sorgenti si trovano nelle colline ad est del comune di Sardara, scorre al centro della fossa in direzione nord, nord-ovest verso il Golfo di Oristano e sfocia nello stagno di

S.Giovanni. Questo fiume insieme ai suoi due principali tributari, il Flumini Belu e il Flumini Malu drena tutte le acque provenienti dall'Arburese, dal Guspinese e dalla piana di Sardara. Il corso del Fluminimannu di Pabillonis è impostato sulle alluvioni oloceniche, costituite da ghiaie, sabbie, limi e argille, della pianura del Campidano. La composizione delle alluvioni presenti sul lato orientale della piana del Fluminimannu verso Sardara, contraddistinta in prevalenza da ciottoli di marne e di vulcaniti mioceniche e da una matrice fine argillosocarbonatica, rispecchia la natura litologica del bacino idrografico di alimentazione, essendo situato in parte nella Marmilla. Altri corsi d'acqua di minore importanza sono il Rio Setti e il Canale S'Acqua Cotta. Il Rio Setti nasce sulla Serra Figu (m 306), ossia sulle colline mioceniche nel territorio di Collinas, scorre in direzione est-ovest verso la piana di Sardara-Pabillonis e rappresenta un affluente di destra del Fluminimannu (Flumini Malu), così come il Rio S'Acqua Cotta, che passa per le terme di S.Maria De Is Acguas.

L'andamento dei corsi d'acqua in questa parte del Campidano è stato influenzato dalla tettonica. Come è stato già detto l'area tra Guspini e Sardara rappresenta un'area di transizione tra i due "Campidani", che funge anche da spartiacque tra i bacini idrografici che fanno affluire la acque verso il Golfo di Oristano e di Cagliari. Di fatto i corsi d'acqua presenti nel Campidano centrale presentano due direzioni prevalenti: alcuni defluiscono in direzione nord-ovest verso il Golfo di Oristano, mentre altri scorrono in direzione nord-sud verso il Golfo di Cagliari.



Complessi acquiferi presenti nella U.I.O. del Mannu di Pabillonis - Mogoro

Nello specifico il progetto è localizzato nella parte alta del bacino idrografico del Flumini Mannu di Pabillonis, ove le aste fluviali si sono impostate a partire dai rilievi allungati pressoché allineati in direzione NW-SE, tra gli abitati di Sardara, San Gavino, Guspini e di Villanovaforru. Le aste principali sono rappresentate dal Riu Trottu, Gola Spadula.

Il territorio in esame appartiene all'Unità Idrografica Omogenea (U.I.O.) del Flumini Mannu di Pabillonis – Mogoro; è caratterizzata da bacini idrogeologici costituiti prevalentemente da terreni detritico alluvionali con permeabilità medio-alta per porosità e

localmente bassa in corrispondenza delle coltri ben costipate o cementate. Sia il bacino imbrifero del Flumini Mannu che quello del Rio Mogoro Diversivo drenano i deflussi del Campidano

Centrale e Settentrionale verso il Golfo di Oristano. Il Rio Mogoro diversivo, nasce nelle pendici meridionali del M. Arci, scorre in una valle scavata tra gli altopiani basaltici di Strovina e Perdiana e sfocia nel sistema lagunare S.Giovanni-Marceddi. Il settore orientale del suo bacino, caratterizzato da morfologia collinare, è occupato da depositi marini di arenarie e marne mioceniche e da sedimenti continentali miocenici di conglomerati e arenarie con banchi di selce e livelli tufitici; invece nel settore centrale le litologie prevalenti sono legate al vulcanismo plio-pleistocenico: espandimenti ignimbrici di rioliti, riodaciti, daciti porfiriche vetrose e bollose sormontati da basalti alcalini e transizionali, andesiti basaltiche, trachiti e fonoliti. Il Fluminimannu di Pabillonis, le cui sorgenti si trovano nelle colline ad est del comune di Sardara, scorre al centro della fossa in direzione nord, nord-ovest verso il Golfo di Oristano dove sfocia. Il suo corso è impostato sulle alluvioni oloceniche, costituite da ghiaie, sabbie, argille e limi, della pianura del Campidano. Tra i rilievi e la pianura affiorano estesamente le rocce sedimentarie del Pleistocene, costituite da arenarie eoliche wurmiane. Altri corsi d'acqua di minore importanza sono il Rio Setti, un affluente di destra del Flumini Mannu, che nasce sulle colline mioceniche nel territorio di Collinas (Serra Figu, m 306), scorre in direzione est-ovest verso la piana di Sardara-Pabillonis ed il Rio S'Acqua Cotta, che passa per le terme di S.Maria De Is Acquis. Nel territorio in esame sono stati individuati tre complessi acquiferi principali:

- Acquifero Detritico-Alluvionale Plio-Quaternario del Campidano: depositi alluvionali conglomeratici, arenacei, argillosi e depositi palustri con permeabilità per porosità complessiva medio-bassa, localmente medio-alta nei livelli a matrice più grossolana. Comprende inoltre il detrito di falda e le sabbie eoliche con permeabilità medio-alta per porosità.
- Acquifero Detritico-Carbonatico Oligo-Miocenico del Campidano Orientale: marne arenacee e siltose, conglomerati a matrice argillosa con subordinate arenarie, calcareniti e sabbie, con locali intercalazioni tufacee la permeabilità è complessivamente medio-bassa per porosità; localmente medio-alta per porosità nei termini sabbioso-arenacei.
- Acquifero delle vulcaniti Plio-Pleistoceniche del Monte Arci (esterno): caratterizzato da una permeabilità per fessurazione da medio-bassa a bassa, nelle facies più litoidi, localmente medio-alta nelle facies più fessurate e vescicolari.

Importante sottolineare che ad ovest dell'area sensibile prevalgono terreni alluvionali sia antichi (plio-pleistocenici) che recenti, dove sono presenti falde idriche più o meno profonde. La falda freatica superficiale riveste particolare importanza nelle alluvioni sabbioso-ciottolose più recenti delle zone di pianura, percorse dai corsi d'acqua principali. In generale, si può ammettere che le falde profonde vengano alimentate dai corsi d'acqua in prossimità delle sponde del

graben, dove i depositi alluvionali quaternari e pliocenici sono prevalentemente sabbioso-ciottolosi.

### 1.3.1 - Caratteristiche idrogeologiche dell'area di sedime

L'area morfologicamente pianeggiante nella base di appoggio della struttura, situata ad una quota di circa 85m s.l.m.m., si presenta in generale debolmente inclinata ( $0^{\circ}$  -  $10^{\circ}$ ) e degradante in direzione SSW. Le caratteristiche stratigrafiche dell'area, unitamente alla configurazione morfologica ed alla mancanza di pozzi superficiali per l'approvvigionamento idrico, denotano che questa porzione di territorio non è sede di falda freatica superficiale, anche se le acque meteoriche defluiscono in direzione SW verso la piana tra Sardara e Pabillonis, come si evince anche dall'andamento dei principali corsi d'acqua, dove la falda idrica superficiale è certamente presente. L'assetto idrogeologico locale individuato non consente l'instaurarsi nell'area indicata per il posizionamento dell'impianto, di acquiferi superficiali a falda libera che possano interferire con l'opera in progetto. La disamina del portale del Servizio Geologico d'Italia per la consultazione dei dati tecnici relativi alle indagini nel sottosuolo trasmessi ai sensi della legge 464/84 e fruibili tramite il Portale del Servizio Geologico d'Italia (<http://portalesgi.isprambiente.it/it>), ha evidenziato falde superficiali nell'areale sensibile a partire da circa -20m/-25m.

La suddivisione in classi di permeabilità è stata effettuata, utilizzando come base di partenza le caratteristiche geologiche delle formazioni presenti. 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 [ $10^{-2} \geq K \geq 10^{-5}$ ].

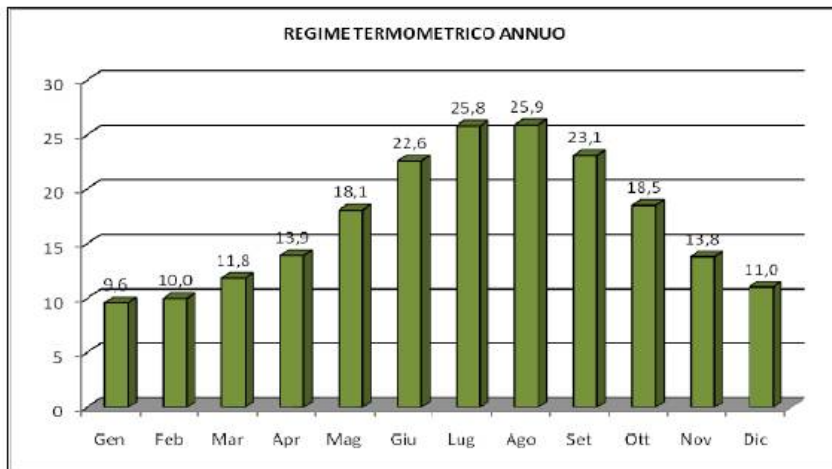
**Classe 2** → medio bassa permeabilità ⇒ [Alluvioni antiche Pleistoceniche]

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> Depositi alluvionali recenti - terrazzati				Depositi alluvionali contenenti ghiaie prevalenti e limitate lenti di sabbie e ghiaie fini
<b>Pleistocene</b> Alluvioni antiche terrazzate				Depositi di conoide alluvionale, costituiti da ghiaie con subordinate sabbie, terrazzate

**1.4 - Lineamenti climatici generali**

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



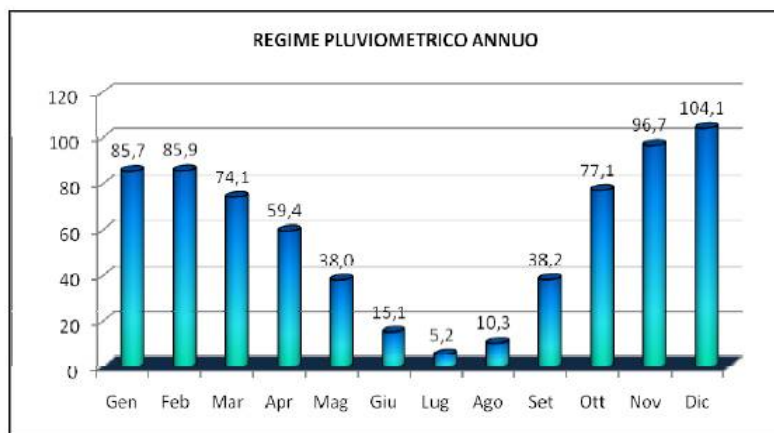
vista più generale, il Mediterraneo può essere considerato come una fascia di transizione tra le zone tropicali, dove le stagioni sono definite in accordo alla quantità di pioggia, e le zone temperate, dove le stagioni sono caratterizzate dalle variazioni di temperatura.

Di conseguenza si ha a che fare con grandi variazioni interstagionali di precipitazione accompagnate da variazioni di temperatura, senza che però

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

le une e le altre raggiungano i valori estremi tipici delle due aree climatiche (Servizio Agrometeorologico Regionale per la Sardegna SAR).





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

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 nel periodo estivo Luglio - Agosto e nel periodo invernale Dicembre - Febbraio.

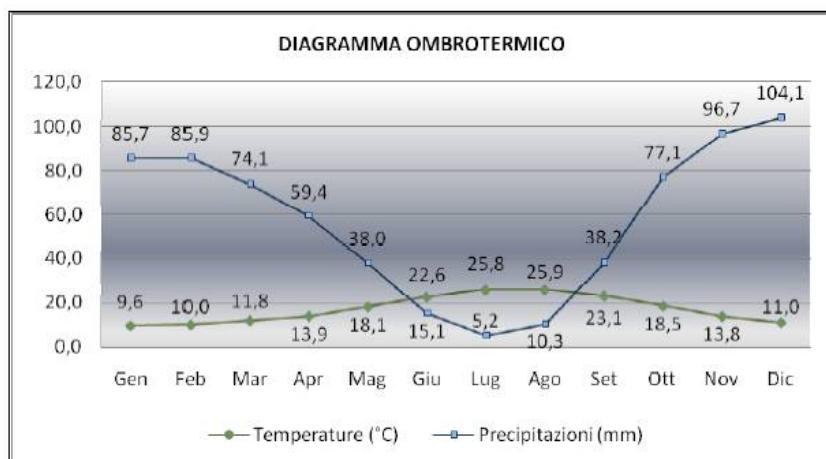
Le precipitazioni invece hanno un massimo cumulato nel mese di Dicembre, mentre Luglio ed Agosto risultano i mesi più secchi. Durante il periodo piovoso, che va dall'autunno alla primavera, la Sardegna è prevalentemente interessata da aree cicloniche di provenienza atlantica che determinano nell'isola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

## 1.5 – 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.

### 1.5.1 - 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 Gonnosfanadiga è ricompreso all'interno del U.I.O del Flumini Mannu di Pabillonis 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" (sulla base di quanto disposto dalla normativa P.A.I per il Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico della Sardegna "Allegato E/F" (criteri per la predisposizione degli studi di compatibilità idraulica e geologica-geotecnica di cui agli articoli 24/25 delle norme di attuazione del PAI Titolo III cap. I/II/III), in un'area con assenza sia di pericolosità idraulica  $H_i$  (Art. 8 - Rev. 41) sia di pericolosità geomorfologia (Rev. 42).



Figura 8 - Fasce art. 30 Ter - HS4 / Ordine gerarchico (numero di Horton-Strahler) 4 - Profondità L = 75 metri

Committente: ENERGYGONNOSMAR1 SRL

Progetto: Impianto fotovoltaico a terra da 34,49 MW tipo ad inseguimento monoassiale – Gonnosfanadiga (SU)

Il Geologo: Dott. Mario STRINNA O.R.G Sardegna n. 441 [Sez. A]

Relazione geologica e geotecnica

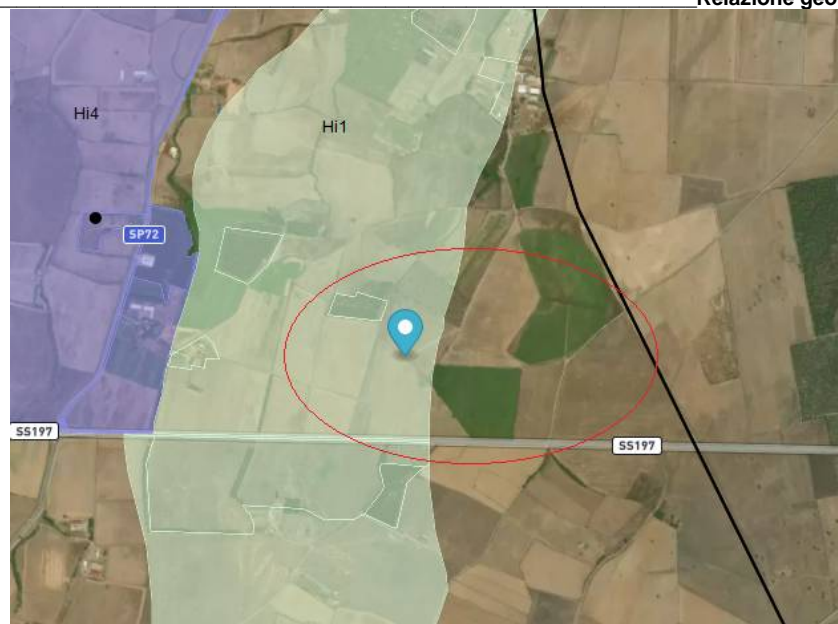


Figura 9 – Piano Gestione Rischio Alluvioni - i1\_P1\_6a\_E2\_Ri1 / Chiave Hi1 - Hi Max: P1 - Classe di pericolosità: E2 - Classe di elemento a rischio: 6a - Codice di elemento: Ri1

### 1.5.2 - Progetto P.S.F.F

Da una analisi del Piano Stralcio delle Fasce Fluviiali (PSFF) relativo al bacino del Flumini Mannu di Pabillonis, sono emersi per l'area esaminata rischi (bassi) compatibili con i corsi d'acqua in funzione della sicurezza idraulica.



Figura 10 - Fascia C - Tirso - Flumini Mannu di Pabillonis

### 1.5.3 - Progetto I.F.F.I

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

### 1.5.4 - Pericolosità sismica di base

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,

Decreti fino al 1984	GdL 1998	Classificazione 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

corrispondente al 45% della superficie del territorio nazionale nel quale risiede il 40% della popolazione. Nei Decreti emessi fino al 1984 la sismicità fu definita attraverso il "grado di sismicità"

S; nella proposta di riclassificazione del GdL del 1998 si utilizzarono 3 categorie sismiche più una categoria di Comuni Non Classificati (NC). La corrispondenza fra le diverse definizioni succedutesi nel tempo è sintetizzata in tabella. Nella Classificazione 2003 la sismicità fu definita da quattro zone omogenee numerate da 1 a 4. I criteri di classificazione sismica del territorio nazionale contenuti nell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003, furono basati sugli studi e le elaborazioni relative alla pericolosità sismica del territorio, ossia sull'analisi della probabilità che il territorio fosse interessato in un certo periodo (generalmente 50 anni) da un evento che superava una determinata soglia di intensità o magnitudo. L'Ordinanza n. 3274 del 20 marzo 2003 della Presidenza del Consiglio dei Ministri "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica", affidò alle Regioni l'individuazione, la formazione e l'aggiornamento dell'elenco delle zone sismiche dando in questo modo attuazione al D. Lgs. 112/1998 ed in particolare agli articoli 93 comma 1g e 94 comma 2a, indicanti la

ripartizione tra Stato e Regioni delle competenze in materia di riduzione del rischio sismico. L'Ordinanza, allineando il sistema normativo per le costruzioni in zona sismica al sistema dei codici europei (EC8), consentì la razionalizzazione del processo d'individuazione delle zone sismiche.

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

applicare; pertanto la sismicità fu definita mediante zone omogenee numerate da 1 a 4 in ordine crescente di pericolosità.

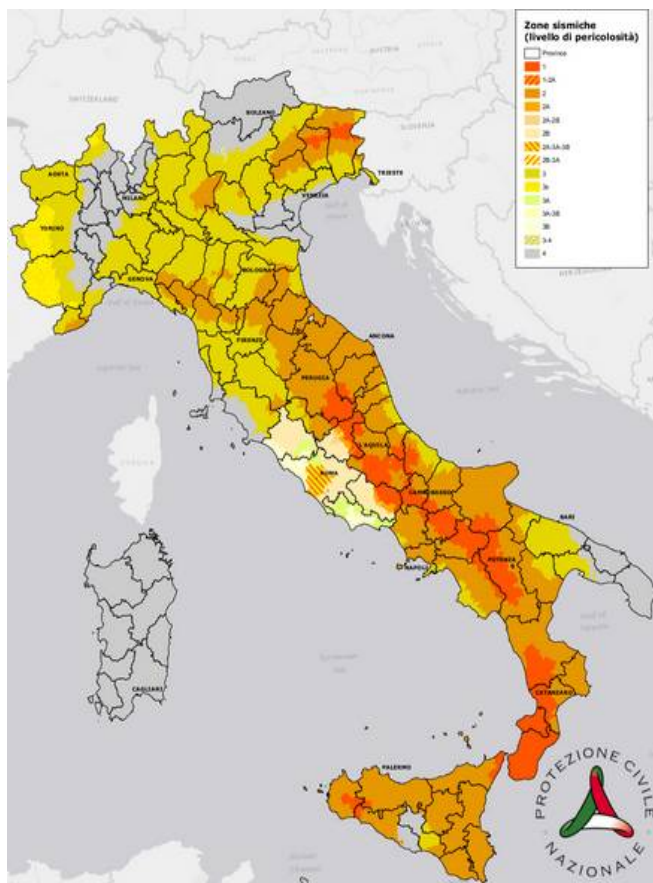


Figura 11 - Livello di pericolosità sismica dei Comuni italiani (2020)

- 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 Gonnosfanadiga ricadeva in zona 4. Per la presenza di alcuni errori ed imprecisioni nel testo dell'Ordinanza 3274 furono emendate dalla successiva Ordinanza 3316 del 2 ottobre 2003 "Modifiche ed integrazioni al testo dell'Ordinanza 3274". L'Ordinanza 3431, pubblicata sulla G.U. del 10 maggio 2005, apportò inoltre ulteriori

modifiche, integrazioni e, a volte, semplificazioni all'Ordinanza 3274 del 2003, ne prorogò di ulteriori 3 mesi il periodo sperimentale di applicazione e traslò l'entrata in vigore, a carattere vincolante delle nuove norme sismiche al 8 agosto 2005 (adottato con l'Ordinanza del presidente del Consiglio dei Ministri n. 3519 del 28 Aprile 2006). Il periodo di proroga fu ulteriormente esteso da Ordinanze successive fino all'emanazione del "Testo Unitario per la Normativa Tecnica sulle Costruzioni (Testo Unico)" del 23 settembre 2005.

L'Ordinanza 3274 del 20 marzo 2003 non entrò mai in vigore come norma vincolante, ma il suo impianto generale fu tuttavia confermato dalle norme successive. Il DM 14/09/2005 "Testo Unitario per la Normativa Tecnica sulle Costruzioni", pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale del 23 settembre 2005, che rappresentò la legge di riferimento per l'ingegneria civile, identificò i livelli di sicurezza e le prestazioni delle costruzioni, unificando sia le norme relative al comportamento e alla resistenza dei materiali e delle strutture sia quelle relative alla definizione delle azioni e dei loro effetti. Più specificamente per l'analisi sismica il decreto riprese la caratterizzazione delle azioni con l'impostazione generale introdotta dalle Ordinanze 3274 e 3431. Le procedure operative di dettaglio descritte in queste ultime erano da intendersi solo come suggerimenti esemplificativi e non come imposizioni prescrittive. In particolare ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto il D.M. 14 settembre 2005 prescrisse "la necessità di valutare l'influenza delle condizioni litologiche e morfologiche locali sulle caratteristiche del moto del suolo in superficie, mediante studi specifici di risposta sismica locale". Qualora tali valori non fossero disponibili, poteva essere utilizzata "la classificazione basata sulla stima dei valori della velocità media delle onde sismiche di taglio Vs o il numero medio di colpi NSPT ottenuti in una prova penetrometrica dinamica ovvero sulla coesione non drenata media Cu". Nella mappa della pericolosità sismica del territorio nazionale 2005, edita dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, il Comune di Gonnosfanadiga 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 realizzato l'impianto utilizzando la classe d'uso I (presenza occasionale di persone ....)

## 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 associando il piano di imposta delle fondazioni al substrato.

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>	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.

## 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°”.

Caratteristiche della superficie topografica	CATEGORIE TOPOGRAFICHE	Valori minimi di V <sub>N</sub> (anni)
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$	T1

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



Committente: ENERGYGONNOSMAR1 SRL

Progetto: Impianto fotovoltaico a terra da 34,49 MW tipo ad inseguimento monoassiale – Gonnosfanadiga (SU)

Il Geologo: Dott. Mario STRINNA O.R.G Sardegna n. 441 [Sez. A]

#### Relazione geologica e geotecnica

	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

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

Le forme spettrali sono definite, per ciascuna probabilità di superamento  $P_{VR}$  nel periodo di riferimento, a partire dai tre parametri validi:  $a_g$  = accelerazione massima del terreno [ $g/10$ ];  $F_0$  = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;  $T_c^*$  = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale

#### Dati sull'area SENSIBILE:

**X** = 1474902.1718 longitudine **E**

**Y** = 4376648.8529 latitudine **N**

#### Dati sulla costruzione:

Classe d'uso: I (presenza occasionale di persone .....)

Vita Nominale: 50 anni

Coefficiente d'uso: 0.700000

Vita di riferimento: 35.000000 anni

#### **SLE (N.T.C 2018)**

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

#### **SLU (N.T.C 2018)**

- Dati sulla costruzione (**SLV**) Probabilità di superamento nella vita di riferimento: 0.100000 (**SLV**)  
Periodo di ritorno: 332.19 (anni): Valori finali calcolati:  $a_g = 0.0388 g \rightarrow F_0 = 2.4973 \rightarrow T_c^* = 0.2881$  sec
- Dati sulla costruzione (**SLC**) Probabilità di superamento nella vita di riferimento: 0.050000 (**SLC**)  
Periodo di ritorno: 682.35 (anni): Valori finali calcolati:  $a_g = 0.0494 g \rightarrow F_0 = 2.5289 \rightarrow T_c^* = 0.3247$  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 - 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 delle conoscenze dei luoghi litologici per esperienze pregresse svolte dallo scrivente sull'areale sensibile. I dati di dettaglio sono stati acquisiti tramite evidenze litologiche in affioramento nell'area sensibile: sedimenti alluvionali → depositi alluvionali terrazzati olocenici (bna/bnb) ghiaiosi sabbiosi e/o sabbiosi con subordinati limi e argille (ristretti lembi sedimentari); Depositi pleistocenici dell'area continentale → Subsistema di Portoscuso PVM2a ghiaiosi alluvionali terrazzati, con subordinate sabbie.

## 2. CONSIDERAZIONI GEOTECNICHE E STRATIGRAFICHE SUL SEDIME

L'analisi dell'area sensibile conferma una situazione geomorfologica locale stabile, essendo il progetto ubicato in una zona sub pianeggiante leggermente degradante da WNW verso ESE, 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 massimo a -2.0m da p.c..

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 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 infisso, 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.*

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, litologicamente omogenee, oltre dalle verifiche puntuali (osservazioni litologiche) svolte sui luoghi. I valori di N/SPT (indice di portanza standard per la resistenza del terreno correlabile con la formula di "Parry –  $30NSPT/3$ " in  $daN/cm^2$ ) sono risultano a seconda

dello stato di addensamento e/o consistenza dei materiali. I parametri geotecnici dell'unità litostratigrafica che insiste al piano di fondazione sono indicati nella tabella sottostante, escludendo la copertura pedogenizzata in quanto poco significativa di minimo spessore:

**Unità A** → Depositi alluvionali olocenici ghiaiosi sabbiosi, con subordinati livelli limo argillosi e/o più francamente argillosi con l'aumento della profondità, con sporadiche inclusioni eterometriche clastiche

Peso di volume naturale ( $\gamma_n$ )	18,65KN/M <sup>3</sup>
Peso di volume saturo ( $\gamma_w$ )	19,80 KN/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito interno ( $\varphi$ )	28° ± 2 (Japanese National Railway)
Coesione n.d.	19.61 kN/m <sup>2</sup>
Modulo Edometrico (M)	24222,42 kN/m <sup>2</sup> (Menzebach e Malcev)
Modulo Elastico (E)	33832,94 kN/m <sup>2</sup> (D'Appolonia et Alii.)
Coefficiente di Winkler [ $Q = 1.0 \text{ Kg/cm}^2$ ]	2.56 Kg/cm <sup>3</sup>
N/SPT	≥ 20
Resistenza del terreno da SPT (Parry)	≥ 1.96 daN/cm <sup>2</sup>
NTC 2018 Meyerhof and Hanna (1978)	[Qult] 1119.37 kN/m <sup>2</sup> ÷ Resistenza di progetto [Rd] 486.68 kN/m <sup>2</sup>
Caratteristiche strato	addensato – molto addensato/duro

Nota: i parametri geotecnici sono stati calcolati con un valore medio di N/SPT di 20

## 2.1 - 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 A1+M1+R1;

- 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 A2+M2+R2;

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.I. 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 20 cm, con incastro di punta a -2.0m da p.c..

#### DATI GENERALI

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

#### SISMA

Accelerazione massima (amax/g)	0,03
Effetto sismico secondo	Paolucci e Pecker (1997)
Coefficiente sismico orizzontale	0,006

#### STRATIGRAFIA TERRENO

Spessore strato [m]	Peso unità di volume [kN/m <sup>3</sup> ]	Peso unità di volume saturo [kN/m <sup>3</sup> ]	Angolo di attrito [°]	Coesione [kN/m <sup>2</sup> ]	Coesione non drenata [kN/m <sup>2</sup> ]	Modulo Elastico [kN/m <sup>2</sup> ]	Modulo Edometrico [kN/m <sup>2</sup> ]	Poisson	Descrizione
0,4	17,65	18,63	26			7354,04		0,3	Copertura frammista a suolo
6,0	18,65	19,80	30	9,81	19,61	33832,94	24222,42	0,35	Unità A

#### 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 portante orizzontale
1	No	1	1	1	1	1	2,3	1,1

Committente: ENERGYGONNOSMAR1 SRL

Progetto: Impianto fotovoltaico a terra da 34,49 MW tipo ad inseguimento monoassiale – Gonnosfanadiga (SU)

Il Geologo: Dott. Mario STRINNA O.R.G Sardegna n. 441 [Sez. A]

Relazione geologica e geotecnica

2	Si	1	1	1	1	1	1,8	1,1
3	No	1	1	1	1	1	1	1
4	No	1	1	1	1	1	1	1

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

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

- Carico limite [Qult] 1119.37 kN/m<sup>2</sup>
- Resistenza di progetto [Rd] 486.68 kN/m<sup>2</sup>
- Tensione [Ed] 373.12 kN/m<sup>2</sup> (ipotesi di verifica cedimenti 98,06 KN/m<sup>2</sup>)
- Fattore sicurezza [Fs=Qult/Ed] 3,0

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

===== A1 + M1 + R3

Strato 1 sopra, strato 2 sotto

Fattori di capacità portante strato 1

Fattore [Nq] 18.4

Fattore [Nc] 30.14

Fattore [Ng] 4.66

Fattori di capacità portante strato 2

Fattore [Nq] 1.0

Fattore [Nc] 5.14

Carico limite strato 2 (qb) 121.23 kN/m<sup>2</sup>

Carico limite strato 1 (qt) 1119.37 kN/m<sup>2</sup>

Incremento carico limite strato 1 2356.6 kN/m<sup>2</sup>

Coefficiente di punzonamento (ks) 0.93

Rapporto (q1/q2) 0.0

=====

Carico limite 1119.37 kN/m<sup>2</sup>

Resistenza di progetto 486.68 kN/m<sup>2</sup>

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

===== SISMA

Strato 1 sopra, strato 2 sotto

Fattori di capacità portante strato 1

Fattore [Nq] 18.4

Fattore [Nc] 30.14

Fattore [Ng] 4.66

Fattori di capacità portante strato 2

Fattore [Nq] 1.0

Fattore [Nc] 5.14

Carico limite strato 2 (qb) 121.23 kN/m<sup>2</sup>

Carico limite strato 1 (qt) 1119.37 kN/m<sup>2</sup>

Incremento carico limite strato 1 2356.6 kN/m<sup>2</sup>

Coefficiente di punzonamento (ks) 0.93

Rapporto (q1/q2) 0.0

=====

Carico limite 1119.37 kN/m<sup>2</sup>

Resistenza di progetto 621.87 kN/m<sup>2</sup>

2.1.1 - CEDIMENTI

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 0,06 m



Committente: ENERGYGONNOSMAR1 SRL

Progetto: Impianto fotovoltaico a terra da 34,49 MW tipo ad inseguimento monoassiale – Gonnosfanadiga (SU)

Il Geologo: Dott. Mario STRINNA O.R.G Sardegna n. 441 [Sez. A]

Relazione geologica e geotecnica

Angolo 45,04 °  
Cedimento totale 0,003 cm

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

Strato	Z (m)	Tensione (kN/m <sup>2</sup> )	Dp (kN/m <sup>2</sup> )	Metodo	Wc (cm)	Ws (cm)	Wt (cm)
1	3,65	69,347	0,215	Edometrico	0,0033	--	0,033

### CEDIMENTI ELASTICI

Pressione normale di progetto 98,06 kN/m<sup>2</sup> (ipotesi di verifica)

Cedimento al centro della fondazione 0,17 mm

Cedimento al bordo 0,08 mm

### 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 Nspt all'interno di Zi 20

Cedimento 1,028 mm

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

Livello non liquefacibile

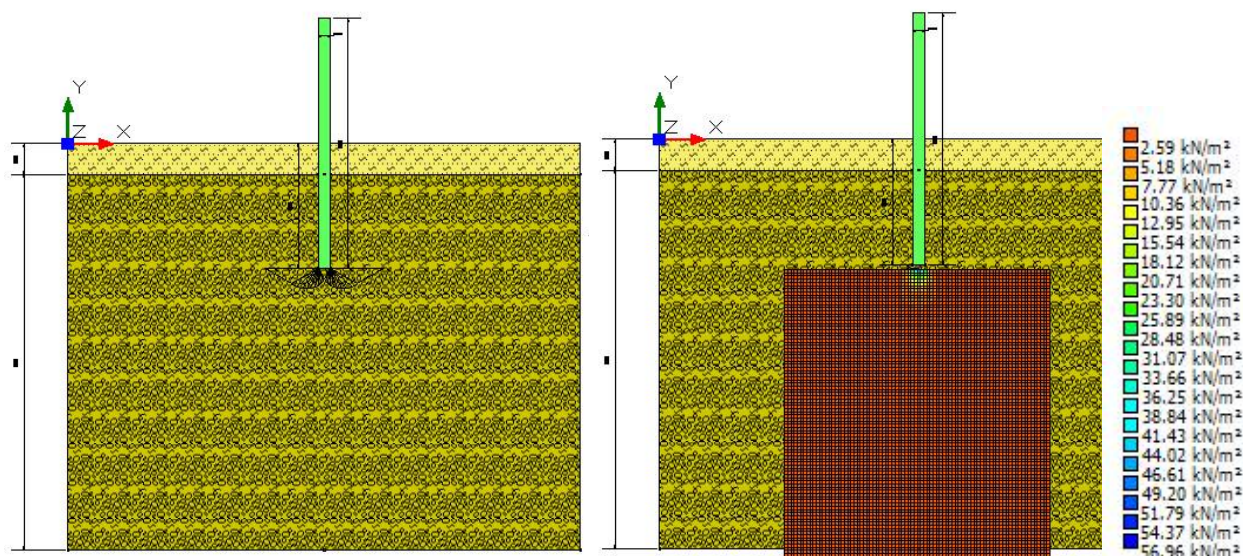


Figura 12 – Cuneo di intrusione / Bulbo delle pressioni

## 2.2 – 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  $FS = \frac{\tan \phi}{\tan \beta}$ , dove  $\phi$  = 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  $\phi = 28^\circ$ , per lavorare in condizioni di sicurezza, si potrà tener conto di un'inclinazione della parete di scavo 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)  $\rightarrow c_u = 19.61 \text{ KN/m}^2$  -  $\gamma_n = 18.65 \text{ KN/m}^3$  e utilizzando la seguente relazione:  $H_c = 4 \frac{c}{\gamma_n}$  si ottiene un'altezza critica di scavo  $H_c = \sim 4.20 \text{ m}$ . 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  $y = H_c/2 \rightarrow H_c' = \sim 2.10 \text{ m}$

*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 netta di 50Ha, all'interno dei confini amministrativi del Comune di Gonnosfanadiga. 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.
- Geologicamente nell'area affiorano terreni quaternari alluvionali terrazzati. La distinzione tra le varie sedimentazioni è legata alle caratteristiche morfometriche della frazione grossolana, al grado di compattazione, al contenuto e alla ferrettizzazione della matrice fine. La suddivisione in classi di permeabilità è stata effettuata, utilizzando come base di partenza le caratteristiche geologiche delle formazioni presenti. I terreni rilevati, in base alle caratteristiche geolitologiche, con particolare riferimento alla capacità d'assorbimento possono essere suddivisi in:

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 [ $10^{-4} \geq K \geq 10^{-7}$ ].

L'assetto idrogeologico locale individuato non consente l'instaurarsi nell'area indicata per il posizionamento dell'impianto, di acquiferi superficiali a falda libera che possano interferire con l'opera in progetto. La disamina del portale del Servizio Geologico d'Italia per la consultazione dei dati tecnici relativi alle indagini nel sottosuolo trasmessi ai sensi della legge 464/84 e fruibili tramite il Portale del Servizio Geologico d'Italia (<http://portalesgi.isprambiente.it/it>), ha evidenziato falde superficiali nell'areale sensibile a partire da circa -20m/-25m.

- Il Comune di Gonnosfanadiga è ricompreso all'interno del U.I.O del Flumini Mannu di Pabillonis 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" (sulla base di quanto disposto dalla normativa P.A.I per il Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico della Sardegna "Allegato E/F" (criteri per la predisposizione degli studi di compatibilità idraulica e geologica-geotecnica di cui agli articoli 24/25 delle norme di attuazione del PAI Titolo III cap. I/II/III), in un'area con assenza sia di pericolosità idraulica Hi (Art. 8 - Rev. 41) sia di pericolosità geomorfologia (Rev. 42). Da una analisi del Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (PSFF) relativo al bacino del Flumini Mannu di Pabillonis, sono emersi per l'area esaminata rischi (bassi) compatibili con i corsi d'acqua in funzione della sicurezza idraulica. Da una analisi dell'Inventario dei Fenomeni Franosi in Sardegna (IFFI) relativo al bacino del Flumini Mannu di Pabillonis, nell'area non sono emersi per l'area esaminata rischi compatibili con eventi franosi.
- 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  $Se(T)$ , 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°”.

CATEGORIE TOPOGRAFICHE	
Categoria Caratteristiche della superficie topografica	
<b>T1</b>	<b>Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media <math>i \leq 15^\circ</math></b>

Committente: ENERGYGONNOSMAR1 SRL

Progetto: Impianto fotovoltaico a terra da 34,49 MW tipo ad inseguimento monoassiale – Gonnosfanadiga (SU)

Il Geologo: Dott. Mario STRINNA O.R.G Sardegna n. 441 [Sez. A]

**Relazione geologica e geotecnica**

T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Tab. 2.4.I.

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

Tab. 2.4.I.

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

Dati sull'area SENSIBILE:

**X** = 1474902.1718 longitudine **E**

**Y** = 4376648.8529 latitudine **N**

Dati sulla costruzione:

Classe d'uso: I (presenza occasionale di persone .....)

Vita Nominale: 50 anni

Coefficiente d'uso: 0.700000

Vita di riferimento: 35.000000 anni

**SLE (N.T.C 2018)**

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

**SLU (N.T.C 2018)**

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



- Considerazioni geotecniche preliminari: si tratta di materiali da incoerenti a semicoerenti, con caratteristiche di resistenza meccanica generalmente discrete sia per composizione granulometrica, sia per grado di costipamento e/o cementazione dei sedimenti, confermate dai valori di resistenza alla punta (Parry) ottenuti da prove penetrometriche dinamiche discontinue su litologie correlabili (N/SPT), da verificarsi in sede definitiva. Nelle tabelle sottostanti sono riportati i parametri geotecnici dei principali livelli che insistono nell'area analizzata:

**Unità A** → Depositi alluvionali olocenici ghiaiosi sabbiosi, con subordinati livelli limo argillosi e/o più francamente argillosi con l'aumento della profondità, con sporadiche inclusioni eterometriche clastiche

Peso di volume naturale ( $\gamma_n$ )	18,65KN/M <sup>3</sup>
Peso di volume saturo ( $\gamma_w$ )	19,80 KN/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito interno ( $\varphi$ )	28° ± 2 (Japanese National Railway)
Coesione n.d.	19.61 kN/m <sup>2</sup>
Modulo Edometrico (M)	24222,42 kN/m <sup>2</sup> (Menzebach e Malcev)
Modulo Elastico (E)	33832,94 kN/m <sup>2</sup> (D'Appolonia et Alii.)
Coefficiente di Winkler [ $Q = 1.0 \text{ Kg/cm}^2$ ]	2.56 Kg/cm <sup>3</sup>
N/SPT	≥ 20
Resistenza del terreno da SPT (Parry)	≥ 1.96 daN/cm <sup>2</sup>
NTC 2018 Meyerhof and Hanna (1978)	[Qult] 1119.37 kN/m <sup>2</sup> ÷ Resistenza di progetto [Rd] 486.68 kN/m <sup>2</sup>
Caratteristiche strato	addensato – molto addensato/duro

Nota: i parametri geotecnici sono stati calcolati con un valore medio di N/SPT di 20

- 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 -2.0m da p.c.. Dai calcoli effettuati (utilizzando i valori minimi possibili di resistenza alla compressione e con i massimi coefficienti di sicurezza) si ottiene:
  - Combinazione A1+M1+R3 - Meyerhof and Hanna (1978) – condizione non drenata Il valore minimo del carico limite ultimo Qult = 1119.37 kN/m<sup>2</sup>, con una resistenza di progetto (Rd) = 486.68 KN/m<sup>2</sup>, ed una Tensione (Ed) = 373.12 kN/m<sup>2</sup> (*ipotesi di verifica cedimenti 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 0,17mm / bordo 0,08mm), in

corrispondenza di una pressione normale di progetto pari a 98,06 KN/m<sup>2</sup> (ipotesi di verifica).

- Cedimenti secondo Burland e Burbidge relativi al substrato di terreno interessato dal sovraccarico, si attesterebbero a valori inferiori al centimetro (1.028mm), 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 calpestio - Metodo del C.N.R. - GNDT Da Seed e Idriss

- 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. 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  $FS = \tan \varphi / \tan \beta$ , 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 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)  $\rightarrow c_u = 19.61 \text{ KN/m}^2 - \gamma_n = 18.65 \text{ KN/m}^3$  e utilizzando la seguente relazione:  $H_c = 4 c / \gamma_n$  si ottiene un'altezza critica di scavo  $H_c = \sim 4.20 \text{ m}$ . Tenendo conto delle "tensioni di trazione" di altezza (y), che si generano in seguito allo scavo, ed in presenza di eventuale

acqua a breve profondità legata alla stagionalità del periodo, il valore dell'altezza critica ( $H_c$ ) (Terzaghi) risulta ridotto per  $y = H_c/2 \rightarrow H_c' = \sim 2.10m$

*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.*

- 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 "Impianto Fotovoltaico a terra";
  - 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.

Cagliari li 20 Aprile 2022



**GEOLOGO** [sez. A]

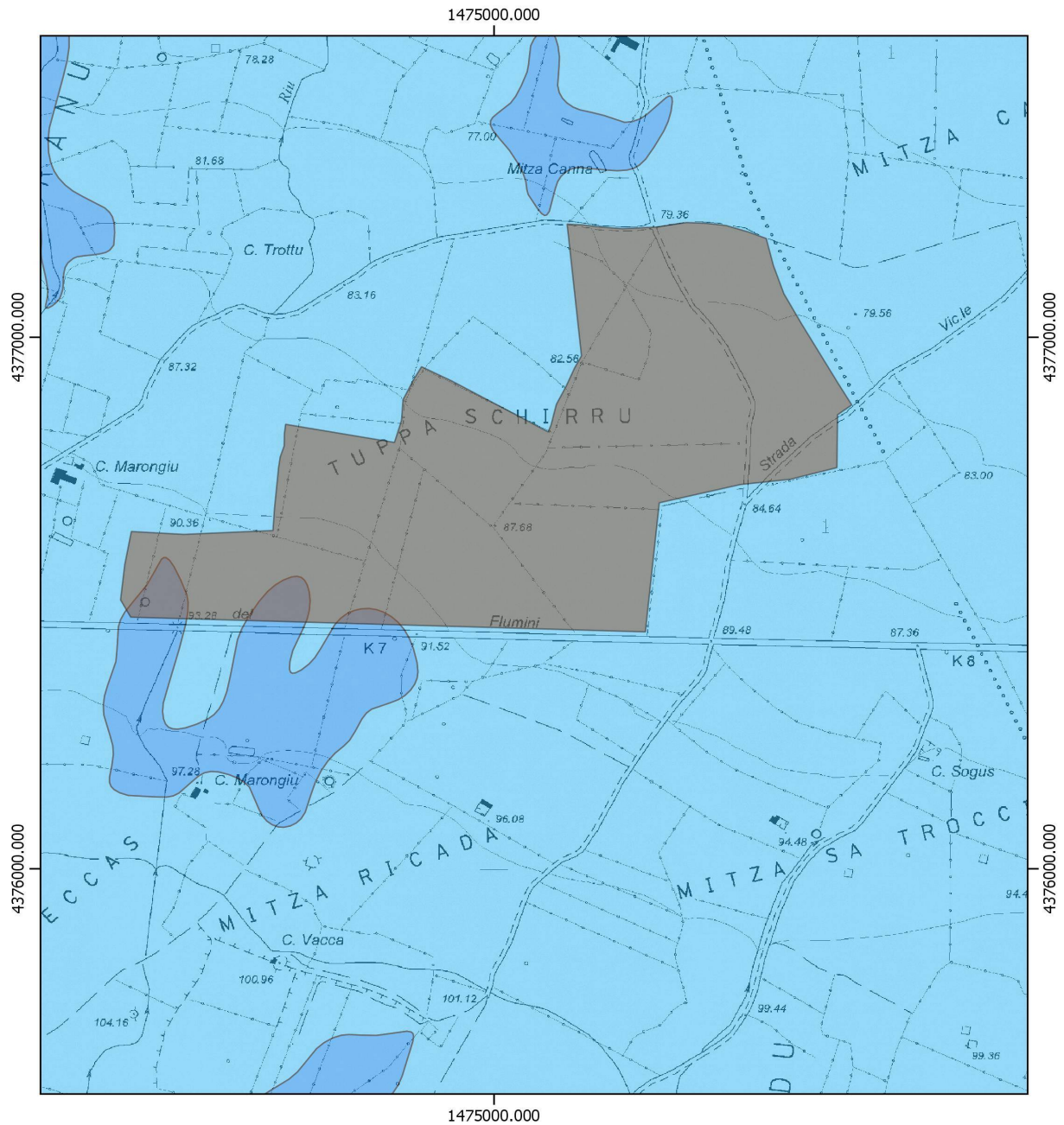
Dott. Mario STRINNA


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)



INQUADRAMENTO GEOLOGICO  
SU BASE CTR FOGLIO 547-050 [S'ORCILEDDU]  
SCALA 1:10.000



 Gonnos-Marras + CP Gonnos-Marras

geologiaAreali2008

 Depositi alluvionali terrazzati, Ghiaie con subordinate sabbie, OLOCENE

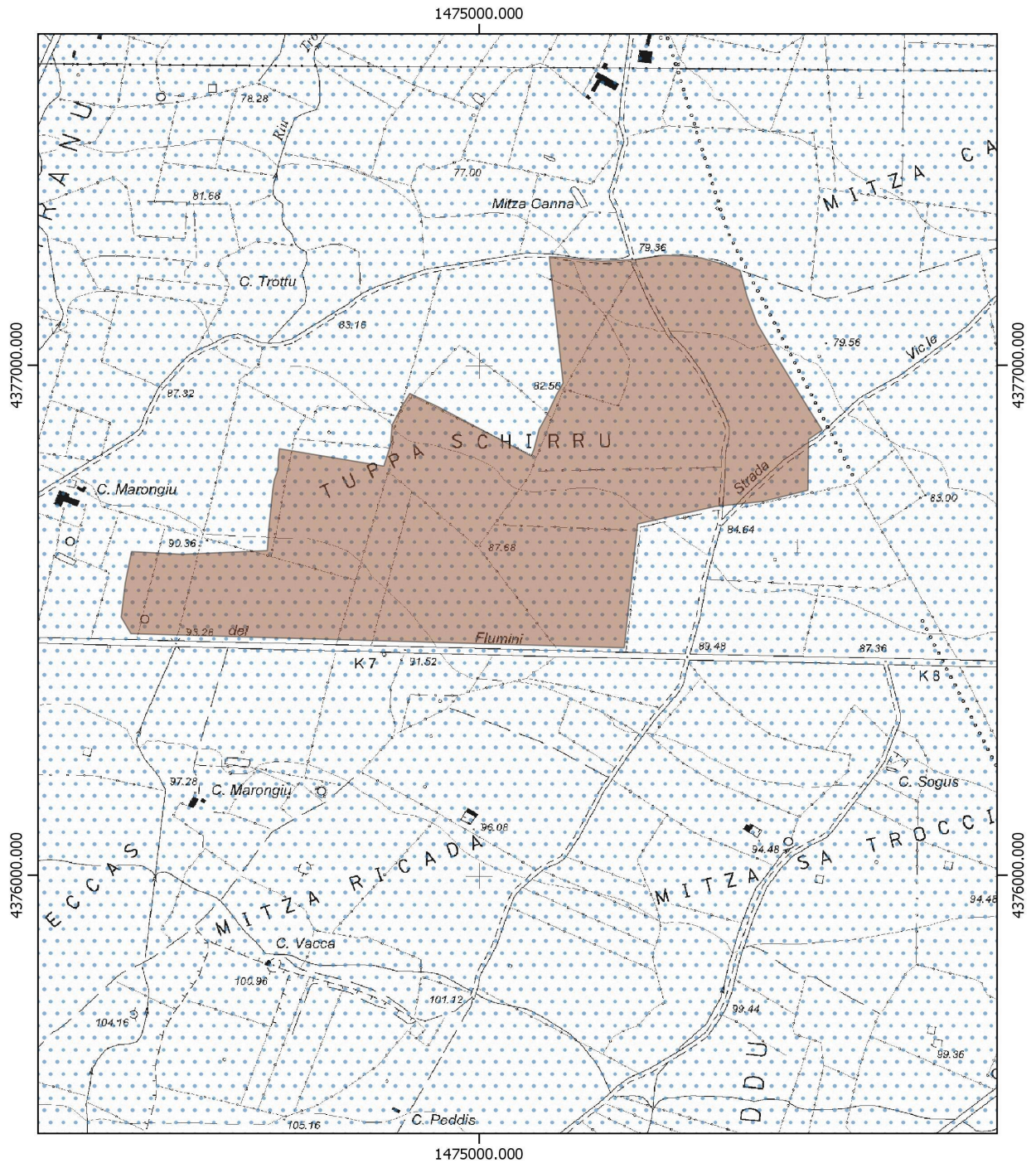
 Depositi alluvionali terrazzati, Sabbie con subordinati limi ed argille, OLOCENE


sardegnactr

0 500 1000 m




CARTA DELLE PERMEABILITA'  
SU BASE CTR FOGLIO 547-050 [S'ORCILEDDU]  
SCALA 1:10.000



 Gonnos-Marras + CP Gonnos-Marras

carta\_permeabilita\_2019

 AP - Permeabilità alta per porosità

0 500 1000 m

