

COMUNE DI LAERRU

(Prov. di Sassari)

REALIZZAZIONE IMPIANTO AGRIVOLTAICO A TERRA DA 39,58 MW TIPO AD INSEGUIMENTO MONOASSIALE "LAERRU" COMUNE DI LAERRU (SS)

RELAZIONE GEOLOGICA - 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 studiostrinna@gmail.com - mariostrinna@libero.it

PEC mariostrinna@pec.epap.it - web : www.mariostrinna.com

Committente:

ENERGYLAERRU S.R.L
Via Semplicio Spano 10, Olbia (SS)
CF 02954120909

Oggetto:

Relazione Geologica - Geotecnica

Data:

06/2023

Scala:

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

Dott. Mario STRINNA

Collaboratore:



Aggiornamenti:

Tavola:

File: mario/geologia/2023/Impianto fotovoltaico-Laerru (SS)

Committente: ENERGILAERRU SRL

Progetto: Impianto agrivoltaico a terra da 39,58 mw tipo ad inseguimento monoassiale "Laerru" - Comune di Laerru (SS)

Il Geologo: Dott. Mario STRINNA - ORG 441

Relazione geologica e geotecnica

COMUNE DI LAERRU

(Prov. di Sassari)

RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA

REALIZZAZIONE IMPIANTO AGRIVOLTAICO A TERRA DA 39,58 MW TIPO AD INSEGUIMENTO MONOASSIALE "LAERRU" COMUNE DI LAERRU (SS)



COMMITTENTE

ENERGYLAERRU S.R.L

Via Semplicio Spano 10, Olbia (SS)

CF 02954120909



GEOLOGO [SEZ. A]

Dott. Mario STRINNA

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

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



Viale Diaz n. 48 09125 Cagliari T/F 070.303083 Portatile +39 3287906284
Assicurazione professionale (LLOYD'S) geologi certificato n. GK22B0201D32M5ALB

INDICE

RELAZIONE GEOLOGICA	pag. 3
A. PREMESSA	pag. 3
B. INQUADRAMENTO AEREO E GEOGRAFICO	pag. 4
C. BREVE DESCRIZIONE DEL PROGETTO	pag. 9
1. CARATTERI GEOLOGICI E STRATIGRAFICI DELL'AREA VASTA	pag. 11
1.1 – Caratteristiche geomorfologiche del territorio	pag. 16
1.2 - Geologia di contesto (Settore di interesse)	pag. 18
1.3 – Lineamenti climatici generali	pag. 20
1.4 - Idrogeologia e idrologia superficiale	pag. 22
1.4.1 - Caratteristiche di permeabilità dell'area sensibile	pag. 24
1.5 – Pericolosità geologica	pag. 26
1.5.1 - Pericolosità Idrogeologica	pag. 26
1.5.1.1 - Progetto P.S.F.F	pag. 27
1.5.1.2 - Progetto I.F.F.I	pag. 27
1.5.2 - Pericolosità sismica	pag. 28
1.5.2.1 - Dati sismici sul sito (spettri di risposta)	pag. 34
RELAZIONE GEOTECNICA	pag. 35
1. CONSIDERAZIONI GEOTECNICHE DI CONTESTO E STRATIGRAFICHE	pag. 36
2.1 - Stima dei parametri geotecnici da prove SPT	pag. 38
2.2 - Verifica degli SL secondo le NTC 2018 – Interazione opera – terreno	pag. 40
2.2.1 – Cedimenti	pag. 45
2.3 – Considerazioni sulla scavabilità e tenuta dei fronti di scavo	pag. 46
3. CONCLUSIONI	pag. 49
Appendice	
- Inquadramento Geologico sc 1:10.000	pag. 58
- Carta delle Permeabilità sc 1:10.000	pag. 59

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 a terra da realizzarsi all'esterno del contesto urbano di Laerru (SS), nella località Bena e Crabas/Tanca Noa, raggiungibile percorrendo la SS 127 in direzione di Laerru, con svolta a sinistra in direzione della Cava di Pietra lungo la via di penetrazione interna agricola verso il Monte Indas (416.42m) a NW (strada vicinale Roccarutta), è stato richiesto un accertamento geologico e geotecnico, con particolare riferimento alla caratterizzazione lito-stratigrafica e idrogeologica dei terreni che insistono nell'areale come substrato di appoggio delle fondazioni su palo infisso dove dovrà essere realizzato l'impianto, con particolare riferimento alla:

- Ricostruzione dell'assetto litostratigrafico del sedime di intervento sulla base di stratigrafie ricavate da specifici studi geologici svolti sul territorio al fine di definire la sequenza dei terreni;
- Problematica geotecnica connessa all'interazione opera-geologia locale;
- Definizione delle caratteristiche litotecniche attraverso la loro definizione, sulla base di documentazione disponibile, edita e inedita, documentabile dallo stesso scrivente sulla base di lavori pregressi svolti nel medesimo assetto territoriale¹ 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.**

¹ Impresa Geotest srl



218/24/3 del 09.01.1996 e n. 617 del 02.02.2009 –OPCM n. 3274 del 20.03.2003 - N.T.C. 2008 sulle costruzioni, Nuove NTC 2018 sulle costruzioni (§ 2.6 - § 3.2. ÷ 3.2.2. - § 7.11.3.), secondo le seguenti fasi:

- Stesura di una relazione geologica sulla base delle conoscenze dei luoghi litologici per esperienze pregresse svolte dallo scrivente sull'areale sensibile, integrato con dati bibliografici e miscellanee. La definizione delle caratteristiche litotecniche attraverso la loro definizione, si è basata sulla documentazione disponibile, edita e inedita. I dati di dettaglio sono stati acquisiti tramite osservazione (dirette) di tagli stradali ed evidenze litologiche in affioramento nell'areale; nello specifico si rilevano nel contesto esaminato: a) Sedimenti alluvionali b → depositi alluvionali ghiaiosi sabbiosi grossolani - Olocenici - Olocene; b) Sedimenti legati alla gravità: Depositi di frana a1 → accumuli di blocchi derivanti dall'arretramento di cornici rocciose, carbonatiche o di vulcaniti, per frane di crollo e/o ribaltamento; c) Successione sedimentaria oligo miocenica del Logudoro – Sassarese: Litofacies nella formazione di Mores: RESa → calcareniti, calcari bioclastici, calcari nodulari a componente terrigena – Terziario Miocenico; d) Successione sedimentaria oligo miocenica del Logudoro – Sassarese: Formazione di Rio Minore LRM → Depositi epiclastici con intercalazioni di siltiti e marne, conglomerati; e) Distretto vulcanico di Osilo - Castelsardo: Unità di Logulenti LGU → Depositi di flusso piroclastico in facies ignimbratica pomiceo – cineritici, saldati di colore rossastro - Terziario Miocenico; f) Distretto vulcanico di Osilo - Castelsardo: Unità di Chiaramonti HRM → Depositi di flusso piroclastico in facies ignimbratica pomiceo – cineritici, a chimismo riodacitico, debolmente saldati, talora argillificati - Terziario Miocenico.

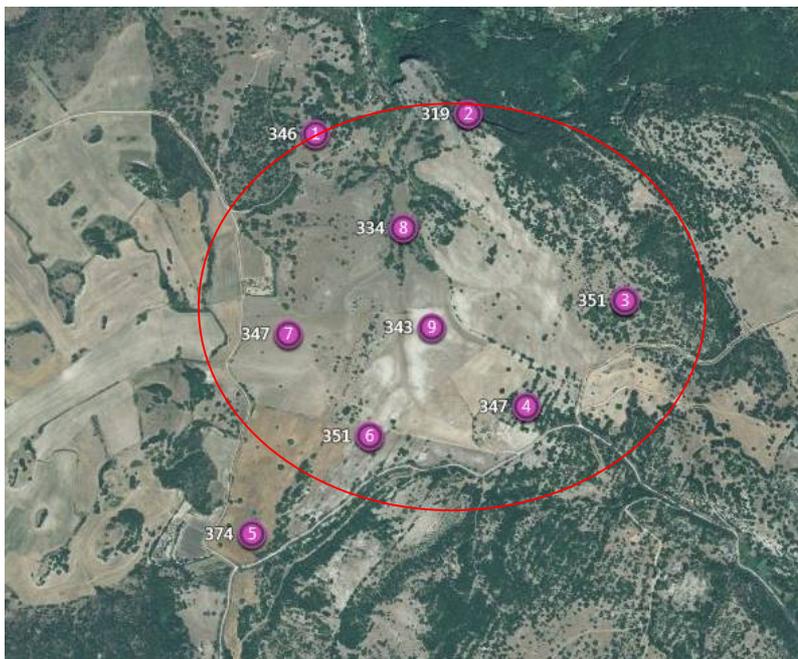


Figura 1 – Vista aerea, areale sensibile [fonte Geostru Maps]

B. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E AEREO

L'area interessata dallo studio è situata all'esterno del Comune di Laerru, più precisamente a NW del tessuto urbano distante in linea d'aria meno di 2Km, nella località Bena e Crabas, e Tanca Noa, percorrendo la SS 127 in direzione di Laerru, con svolta a sinistra lungo la via di penetrazione interna agricola verso il Monte Indas (416.42m) (strada vicinale Roccarutta), direzione la Cava di Pietra.

Morfologicamente trattasi di un territorio essenzialmente sub - pianeggiante,

Committente: ENERGILAERRU SRL

Progetto: Impianto agrivoltaico a terra da 39,58 mw tipo ad inseguimento monoassiale "Laerru" - Comune di Laerru (SS)

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

Relazione geologica e geotecnica

debolmente ondulato, la cui quota s.l.m.m. è variabile da un minimo di circa +320m/+330m ad un massimo di circa +350m/+360m, degradante verso SE località Badde verso il paese.

Dati geografici:

- Inquadramento Cartografico I.G.M. Foglio 442 Sez. III° Quadrante [Sedini] alla scala 1:25.000;
- Inquadramento Cartografico C.T.R. Foglio 442- 140 [Su Sassu] alla scala 1:10.000 .

Coordinate km Gauss Boaga - areale sensibile [Fuso 32]:

- X = 1484447.2900 longitudine E
- Y = 4519720.8300 latitudine N



Committente: ENERGILAERRU SRL

Progetto: Impianto agrivoltaico a terra da 39,58 mw tipo ad inseguimento monoassiale "Laerru" - Comune di Laerru (SS)

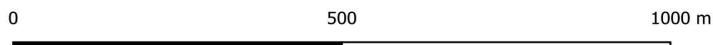
Il Geologo: Dott. Mario STRINNA - ORG 441

Relazione geologica e geotecnica

INQUADRAMENTO AEREO
SU BASE CTR FOGLIO 442 - 140 [SU SASSU]
SCALA 1:10.000



 Impianto LAERRU_SS.kmz



Viale Diaz n. 48 09125 Cagliari T/F 070.303083 Portatile +39 3287906284
Assicurazione professionale (LLOYD'S) geologi certificato n. GK22B0201D32M5ALB

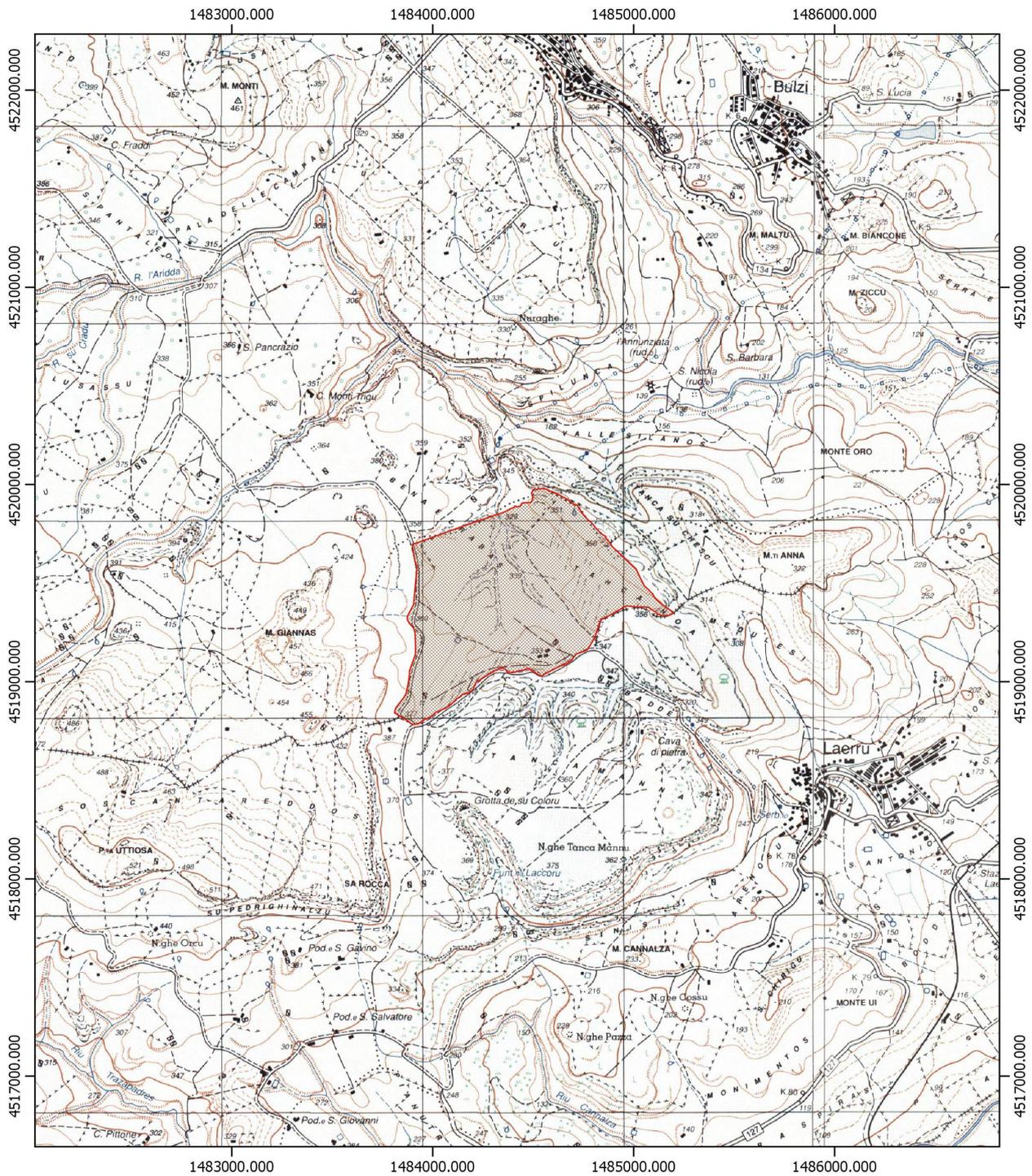
Committente:

Progetto: Impianto agrivoltaico a terra da 39,58 mw tipo ad inseguimento monoassiale "Laerru" - Comune di Laerru (SS)

Il Geologo: Dott. Mario STRINNA - ORG 441

Relazione geologica e geotecnica

INQUADRAMENTO CARTOGRAFICO REGIONALE
SU BASE IGM FOGLIO 442 SEZ. III° QUADRANTE [SEDINI]
SCALA 1:25.000



 Impianto LAERRU_SS.kmz

0 500 1000 m



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

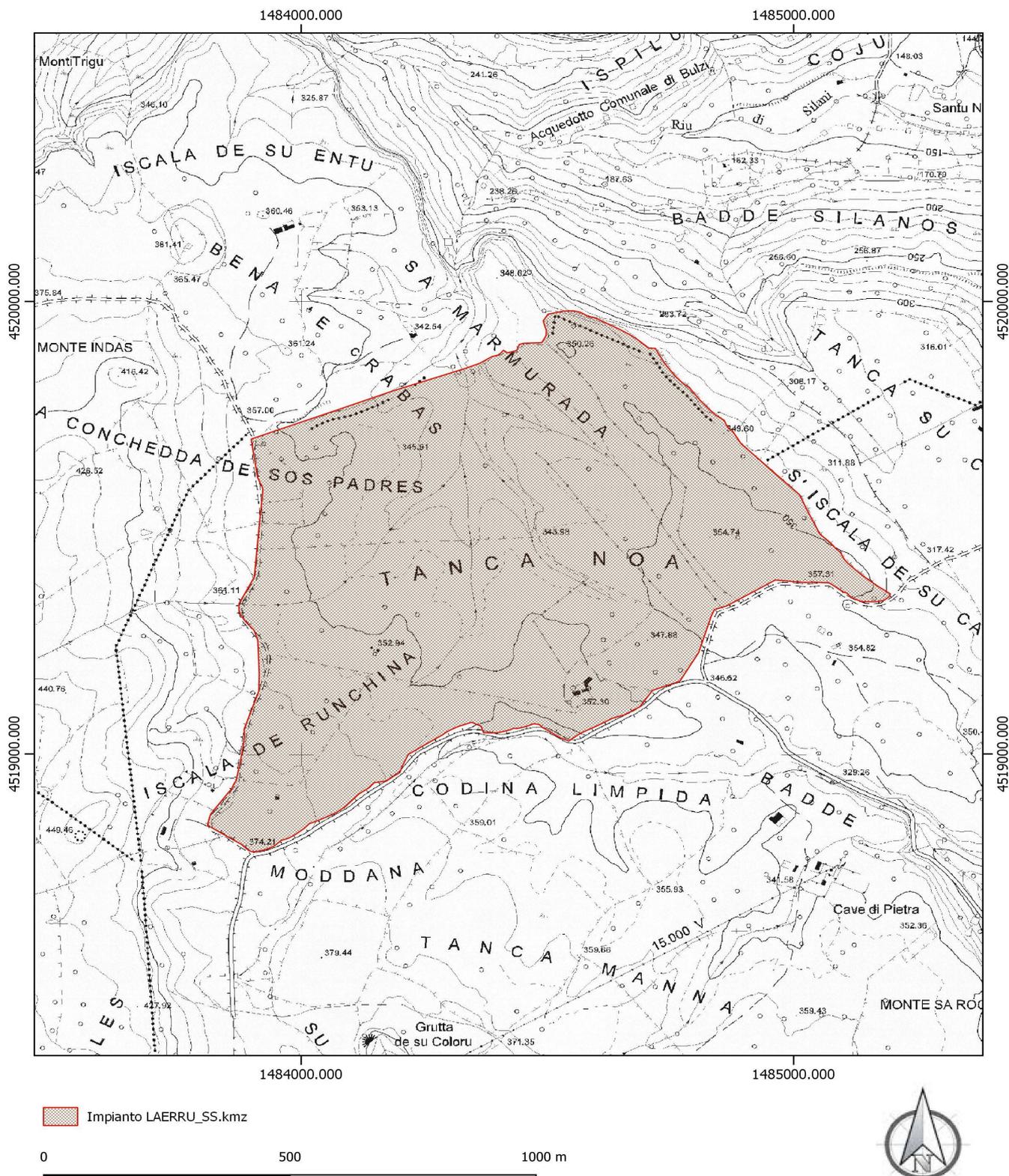
Committente:

Progetto: Impianto agrivoltaico a terra da 39,58 mw tipo ad inseguimento monoassiale "Laerru" - Comune di Laerru (SS)

Il Geologo: Dott. Mario STRINNA - ORG 441

Relazione geologica e geotecnica

INQUADRAMENTO CARTOGRAFICO REGIONALE
SU BASE CTR FOGLIO 442 - 140 [SU SASSU]
SCALA 1:10.000



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

Committente:

Progetto: Impianto agrivoltaico a terra da 39,58 mw tipo ad inseguimento monoassiale "Laerru" - Comune di Laerru (SS)

Il Geologo: Dott. Mario STRINNA - ORG 441

Relazione geologica e geotecnica

C. BREVE DESCRIZIONE DEL PROGETTO

La presente relazione fa parte del progetto di "realizzazione impianto fotovoltaico da 39,58 mw - tipo ad inseguimento monoassiale, denominato "Laerru" – Comune di Laerru (SS)".

L'area interessata dal progetto ricade all'interno di terreni siti nel Comune di Laerru. Dal punto di vista topografico, l'area in esame risulta inclusa nella cartografia catastale: Foglio 1 del Comune di Laerru, particelle 4, 5, 30, 15, 16, 17, 18, 19, 36, 37, 38, 63, 64, 32, 10, terreni localizzati nella zona agricola e nella zona di Insedimenti Produttivi D del comune di Laerru, secondo quanto documentano i Certificato di Destinazione Urbanistica (CDU).

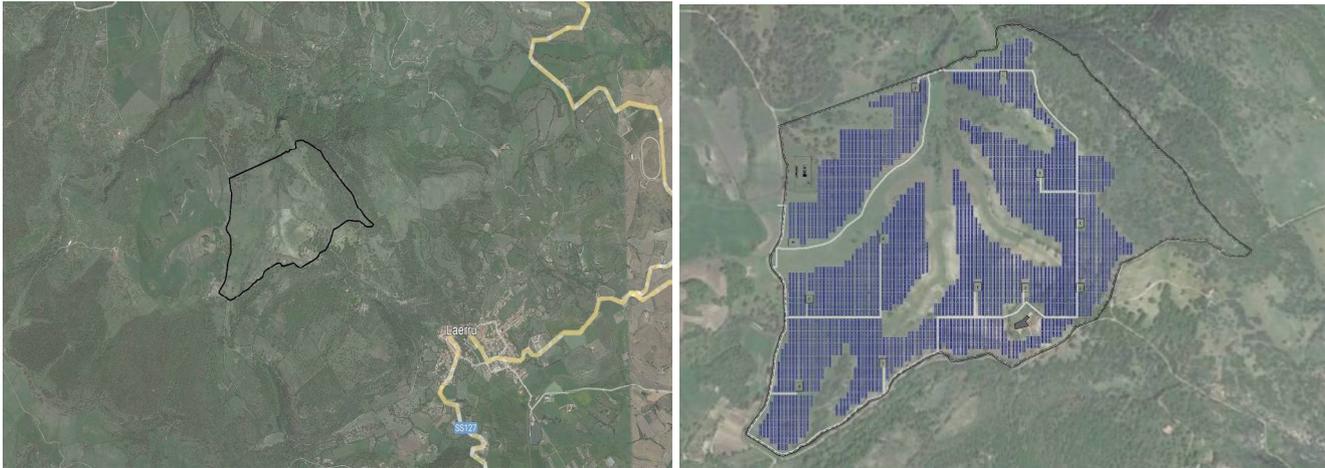


Figura 2 – Area di intervento + Impianto fotovoltaico

Il sito interessato alla realizzazione dell'impianto, si trova ad un'altitudine media di circa 360 m s.l.m. e ricopre un'area lorda di 85 Ha. L'intervento contempla la realizzazione di un impianto agrivoltaico di potenza nominale in immissione pari a 39.580,80 kWp di picco per la produzione di energia elettrica posato sul terreno livellato mediante l'installazione di inseguitori solari. Nella fattispecie, un impianto fotovoltaico connesso alla rete del Gestore è, in linea di principio, costituito dai seguenti componenti:

- Modulo fotovoltaico (o Pannello solare): capta la radiazione solare durante il giorno e la trasforma in energia elettrica in corrente continua;
- Inverter: trasforma l'energia elettrica da corrente continua a corrente alternata rendendola idonea alle esigenze della rete elettrica a monte e delle utenze a valle (es. stabilizzazione di tensione, sincronia delle forme d'onda di tensione e corrente, ecc.);
- Misuratori di energia: servono a controllare e contabilizzare la quantità di energia elettrica prodotta e scambiata con la rete.

Nel nostro caso la tipologia dell'impianto fotovoltaico è la seguente

- inseguitori monoassiali (detti anche "tracker"), ossia strutture poste con asse longitudinale Nord-Sud e angolo di rotazione Est-Ovest fino a $\pm 60^\circ$, che consentono quindi di seguire il sole nell'arco della giornata.



Rispetto alle strutture fisse, i tracker consentono di captare molta più energia solare nelle ore mattutine e pomeridiane in cui il sole è più basso, andando complessivamente a massimizzare la producibilità dell'impianto a parità di potenza installata e occupazione del suolo, in certe condizioni di latitudine e conformazione del sito.

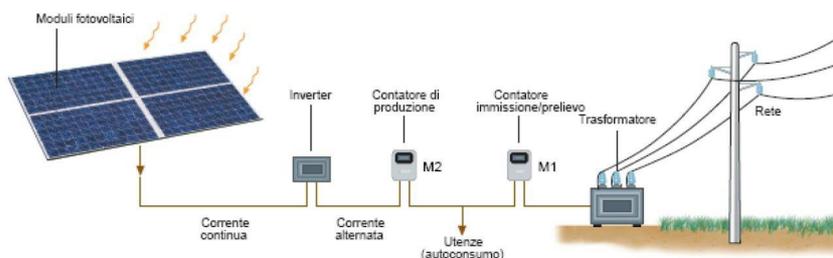
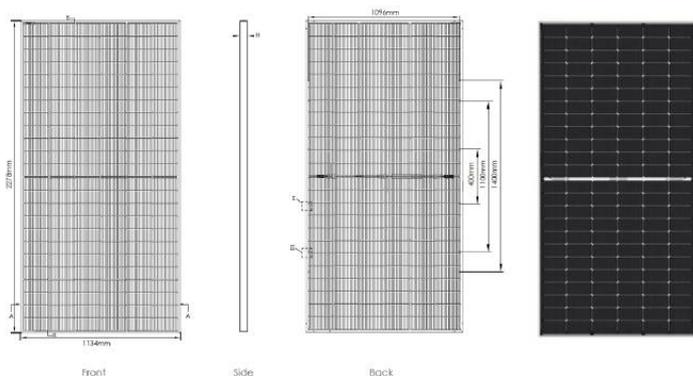


Figura 3 - Grafico Sistema fotovoltaico

L'impianto sarà costituito da 69.440 moduli fotovoltaici monocristallini da 570 Wp di tipo bifacciale, organizzati in stringhe e collegati in serie tramite 12 Power Station (di TIPO 1 da 3250/3200 kVA)

posizionate in maniera baricentrica rispetto alle strutture di supporto dei pannelli. La tipologia e la configurazione delle strutture fotovoltaiche è caratterizzata da 1.163 tracker a pali infissi da 28x2 pannelli e 154 tracker da 14x2.



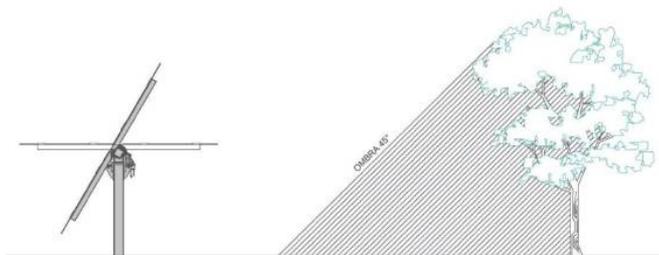
Pannelli Jinko Solar Tiger Neo N-type 72HL4-BDV da 570 W.

Nel presente progetto si utilizzeranno dei moduli fotovoltaici tipo Tiger Neo N-type 72HL4-BDV da 570 W, tra i più recenti disponibili in commercio, le cui caratteristiche

di massima sono riportate nelle schede tecniche allegate nell'elaborato grafico AV09.

I moduli fotovoltaici saranno installati su Tracker (inseguitori monoassiali) in acciaio zincato, in grado di ruotare automaticamente attorno all'asse orizzontale per seguire l'orbita solare e, pertanto, garantire

istantaneamente il massimo irraggiamento possibile al generatore fotovoltaico. Il motore per la rotazione sarà alimentato direttamente dalla potenza proveniente dai moduli fotovoltaici. La struttura sarà orientata con asse NORD/SUD come indicato nelle tavole grafiche e con inseguimento solare EST-OVEST.



Posizionamento Tracker, adeguata distanza dai fattori di ombreggiamento.

1. CARATTERI GEOLOGICI E STRATIGRAFICI DELL'AREA VASTA

L'evoluzione del territorio compreso nel distretto dell'Anglona è legata agli eventi geodinamici che hanno interessato tutta la Sardegna durante l'Era Terziaria. Le formazioni affioranti sono costituite prevalentemente da rocce vulcaniche e vulcano-sedimentarie del "Ciclo vulcanico calcoalino Oligo-Miocenico", a contatto con depositi continentali del Quaternario.

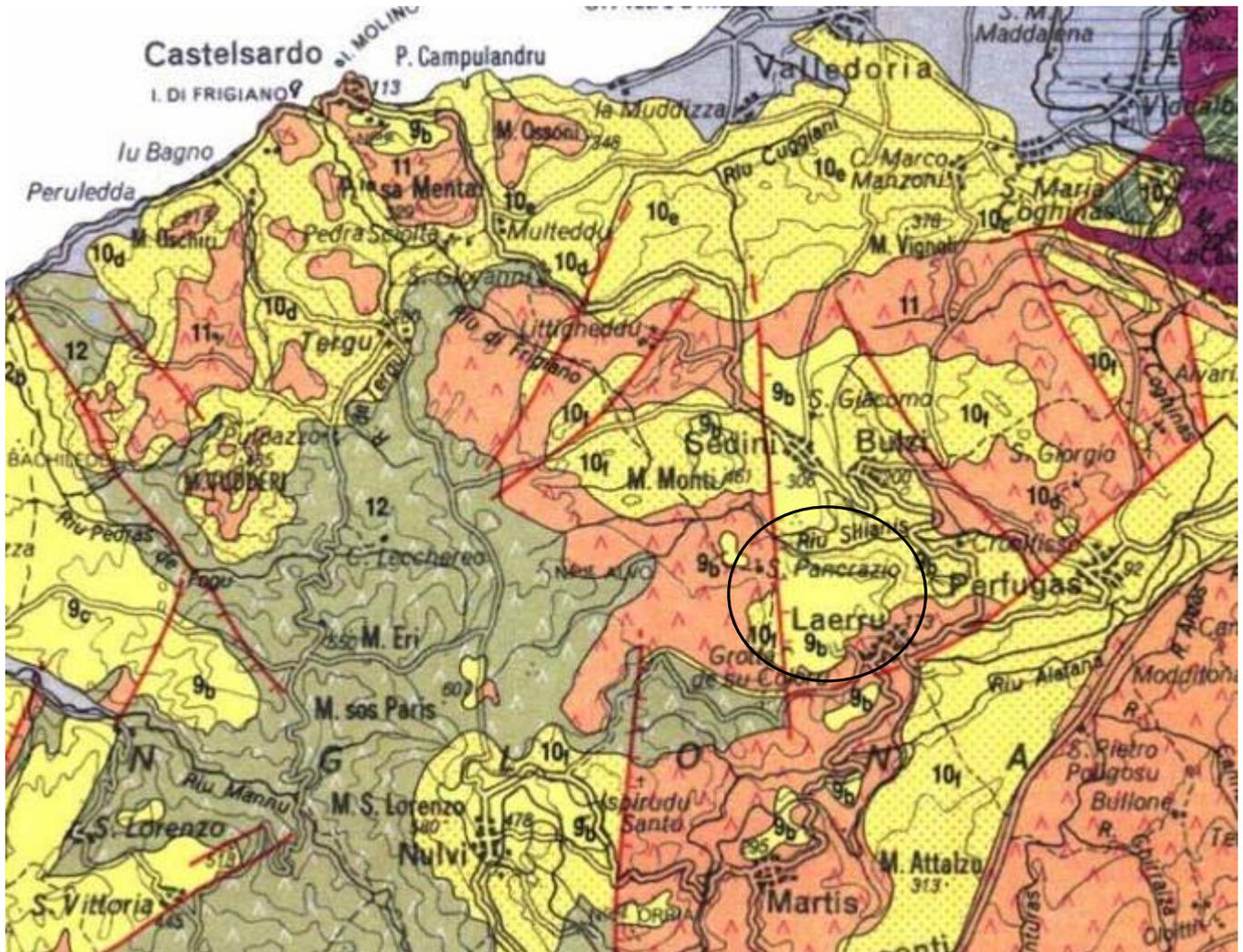


Figura 4 - Estratto da "Carta Geologica della Sardegna 1:200.000" curata da Coordinamento della Cartografia Geologica e Geotematica della Sardegna – Carmignani et Altri

Legenda:

Successione marina e depositi continentali del Miocene inf. - medio

9b – Marne arenacee e siltose, arenarie, conglomerati, calcareniti e sabbie silicee - Burdigaliano sup.-Langhiano

Depositi continentali e successione marina post Eocene med. – Miocene inf.

10e - Arenarie, conglomerati, tufiti più o meno arenacee, calcari sublitorali - Oligocene sup. – Aquitaniano

10f - Conglomerati e arenarie continentali , con banchi di selce, tufiti, tufi pomicei - Burdigaliano

Ciclo vulcanico calco alcalino oligo - miocenico

11 – Rioliti, riodaciti, daciti e subordinatamente commenditi, in espandimenti ignimbrici, cupole di ristagno e rare colate, con presenza talora di livelli epiclastici intercalati – Oligocene sup. – Miocene inf./med.

12 – Andesiti, andesiti basaltiche e rari basalti ad affinità Tholeiitica e calcoalcalina, talora sbrecciati, in colate e cupole di ristagno

Durante l'Oligo-Miocene, la Sardegna è sede di una importante attività magmatica ad affinità da calcalcalina e subordinatamente tholeiitica (Beccaluva et alii, 1987), legata all'evoluzione geodinamica del Mediterraneo Occidentale (Cherchi e Montardet, 1982). L'intensa fase tettonica oligocenica, conseguente alla collisione tra la placca africana ed europea e quindi al ciclo orogenetico alpino (Tapponier, 1977), risulta responsabile del complesso sistema di rift del Mediterraneo Occidentale, tra cui del "Rift Sardo", che attraversa l'isola dal golfo dell'Asinara al Golfo di Cagliari nella sua parte occidentale. La formazione del Rift Sardo (Oligocene superiore - Miocene inferiore) articolato in numerosi bacini e sub-bacini con geometrie di tipo half-graben (Lecca et al., 1997 e riferimenti), risultante dalla traslazione e rotazione antioraria del blocco Sardo-Corso dal margine provenzale dell'Europa (Letouzey, 1982; Cherchi e Tremolieres, 1984), è stata accompagnata da una serie di movimenti tettonici, caratterizzati da faglie trascorrenti con tipiche strutture sia transpressive (flower-structures), sia transtensive (bacini transtensivi dell'Anglona, Chilivani, Ottana, ecc.), e dallo sviluppo da un intenso vulcanismo a carattere calcalcalino. Durante gli imponenti movimenti isostatici che hanno accompagnato l'apertura del Rift regionale nel Miocene, l'Anglona costituiva un bacino di sedimentazione lacustre che solo durante il Serravalliano e in conseguenza di una trasgressione, si sarebbe evoluto in un bacino di deposizione marina.

La grande varietà di composizione e di modalità di emissione ha prodotto un complesso vulcanico composito, assai variabile da una zona all'altra della Sardegna. Le vulcaniti, sulla base dei dati vulcanologici, sequenziali e petrografici, vengono ricondotte, sostanzialmente, alle seguenti due serie: "andesitiche" a composizione da basica ad intermedia, ed "ignimbratiche" da intermedia ad acida.

Nella Sardegna settentrionale sono maggiormente rappresentati i prodotti delle serie "ignimbratiche"; si tratta di depositi piroclastici a chimismo da dacitico a riolitico, prevalentemente, riferibili a prodotti di flusso (flow e surge) e, in quantità del tutto subordinata, a prodotti di caduta (fall). I depositi relativi a flussi "ignimbratici" sono stati suddivisi in una serie superiore ed una inferiore (Deriu, 19864; Coulon, 1977). In questo quadro s'inserisce il complesso vulcanico effusivo dell'Anglona, costituito prevalentemente da andesiti nel settore occidentale del distretto ("Serie andesitica", Auct.) e da rioliti e riodaciti nella parte orientale; la successione vulcanica s'intercala spesso con livelli sedimentari marini datati paleontologicamente, permettendo quindi una più sicura attribuzione stratigrafica.

La successione vulcanica del territorio di Laerru, caratterizzata dall'unità ignimbratica molto saldata si intercala con sedimenti fluvio-lacustri e marini, con livelli pomiceo-cineritici e con flussi lavici andesitici. Al di sopra affiora, infine l'ultimo prodotto vulcanico dell'Anglona, rappresentato da un potente flusso pomiceo-cineritico (ben esposto presso Chiaramonti), ricoperto da sedimenti marini del Burdigaliano superiore, ascrivibili al "2° ciclo sedimentario".

I sedimenti trasgressivi caratterizzati da sedimentazione silicoclastica e carbonatica di ambiente marino, nell'area di Nulvi poggiano direttamente in discordanza su un substrato costituito da rocce

vulcaniche "oligo-mioceniche" (ignimbriti e subordinatamente andesiti) o vulcanoclastiche-epiclastiche (tufi o tufiti lacustri). Sopra tali depositi, in particolari condizioni di mare protetto, caldo e poco profondo, si sviluppa una piattaforma carbonatica (ad es. i Calcari inferiori: Mazzei & Oggiano, 1990), che raggiunge normalmente una decina di metri di spessore (Logudoro, Sassarese, Anglona, ecc.); è costituita soprattutto da calcari bioermali e biostromali, da calcari marnosi o arenacei, da calcareniti e biocalcareniti, molto ricchi in alghe calcaree (tra cui Lithothamnium), coralli, molluschi, echinidi, foraminiferi bentonici, ecc.. L'età di queste formazioni prevalentemente carbonatiche, sulla base delle datazioni paleontologiche o dei rapporti stratigrafici può essere riferita al Burdigaliano superiore-Langhiano inferiore (Cherchi, 1971; 1974; Cherchi & Schroeder, 1985b; Oggiano, 1987; ecc.). La successione è interrotta verso l'alto da una discontinuità nella sedimentazione ("hiatus") a causa della regressione messiniana, durante la quale prendono posto rapidamente facies lagunari ed evaporitiche (Cherchi, Marini, Murru e Robba, 1978).

Dall'Eocene medio (Luteziano inferiore) inizia un periodo di grande instabilità tettonica e di diffusa continentalità, testimoniate da un'importante attività vulcanica, dall'assenza di sedimenti marini fino all'Oligocene superiore-Miocene inferiore, dall'energico ringiovanimento del rilievo e dalla conseguente deposizione in molti settori dell'Isola di potenti sequenze clastiche continentali sintettoniche. Le prime formazioni marine successive all'Eocene medio sono riferite all'Oligocene sommitale, ma solo l'Aquitano marino è diffuso e ben documentato (Anglona di interesse, Marmilla, Sarcidano, etc.).

La successione sedimentaria è contemporanea a un'imponente attività vulcanica calcalina rappresentata da una varietà di prodotti effusivi ed esplosivi con composizione da basaltico-andesitica a riolitica. Le età radiometriche delle vulcaniti sono comprese tra 28 Ma (LECCA et alii, 1997) e 15 Ma (MORRA et alii, 1994), anche se la maggior parte dei prodotti vulcanici è riferibile al Burdigaliano

(BECCALUVA et alii, 1985). Questo potente complesso vulcano-sedimentario è in parte associato a una importante tettonica trascorrente responsabile delle più evidenti strutture terziarie della Sardegna. Faglie trascorrenti sinistre orientate NE/SW caratterizzano tutta la Sardegna centro-settentrionale.

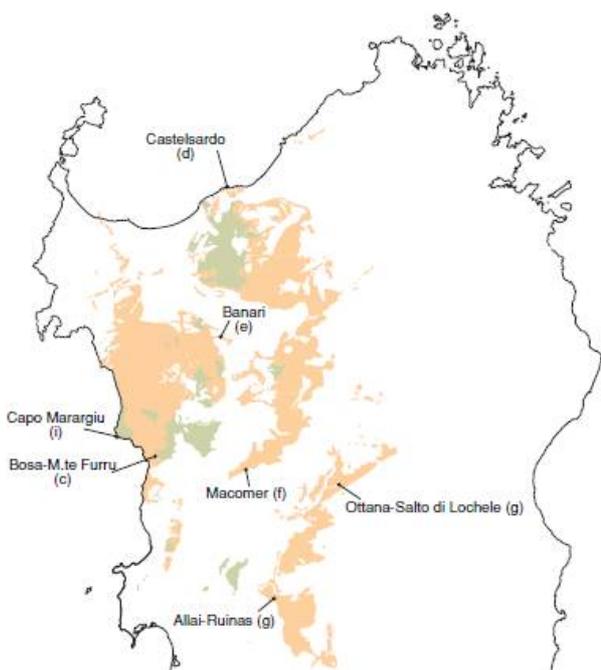


Figura 5 – Estratto da Memorie descrittive della carta Geologia della Sardegna - Affioramenti di Rioliti (11) - Andesiti (12) - Filoni (13) del ciclo calcalino oligo-miocenico



Ciclo vulcanico calcalcalino oligo-miocenico: Il vulcanismo oligo-miocenico rappresenta uno degli eventi geologici terziari più importanti. L'importanza di questo ciclo vulcanico è testimoniata dalla grande estensione degli affioramenti (fig. 4) e dai cospicui spessori delle successioni vulcaniche che raggiungono parecchie centinaia di metri. Si tratta di un'associazione di prodotti con affinità calcalcalina e subordinatamente tholeiitica e calcalcalina (BECCALUVA et alii, 1987), rappresentata da serie vulcaniche da basaltico-andesitiche a dacitiche (principalmente in colate laviche e cupole di ristagno) e da serie da dacitiche a riolitiche (principalmente in espandimenti ignimbrici). I primi eventi vulcanici di questo ciclo calcalcalino, riferibili a 32-26 Ma secondo BECCALUVA et alii (1987), e a 28-24 Ma secondo LECCA et alii (1997), sono rappresentati soprattutto da lave andesitiche nella Sardegna meridionale e da quarzo-dioriti subvulcaniche in quella settentrionale con tendenza tholeiitica (GIRAUD et alii, 1979; BECCALUVA et alii, 1994). Nel Miocene inferiore (tra 21 e 18 Ma) i prodotti vulcanici hanno affinità tholeiitica nella Sardegna meridionale e calcalcalina alta in potassio, fino a shoshonitica, nella Sardegna settentrionale. La grande varietà di composizione e di modalità di emissione ha prodotto un complesso vulcanico variabile da una zona all'altra. Sono distinti pertanto diversi complessi vulcanici

caratterizzati generalmente da un'alternanza di prodotti a composizione da basica ad intermedia ("Serie andesitica" Auct.) (12) e da intermedia ad acida ("Serie ignimbratica", Auct.) (11), localmente attraversati da sistemi di filoni (13). Di solito le litologie più basiche prevalgono nella parte basale della successioni vulcaniche, anche se talvolta le intercalazioni di termini da acidi a basici sono frequenti. In Anglona, la successione vulcanica si intercala spesso

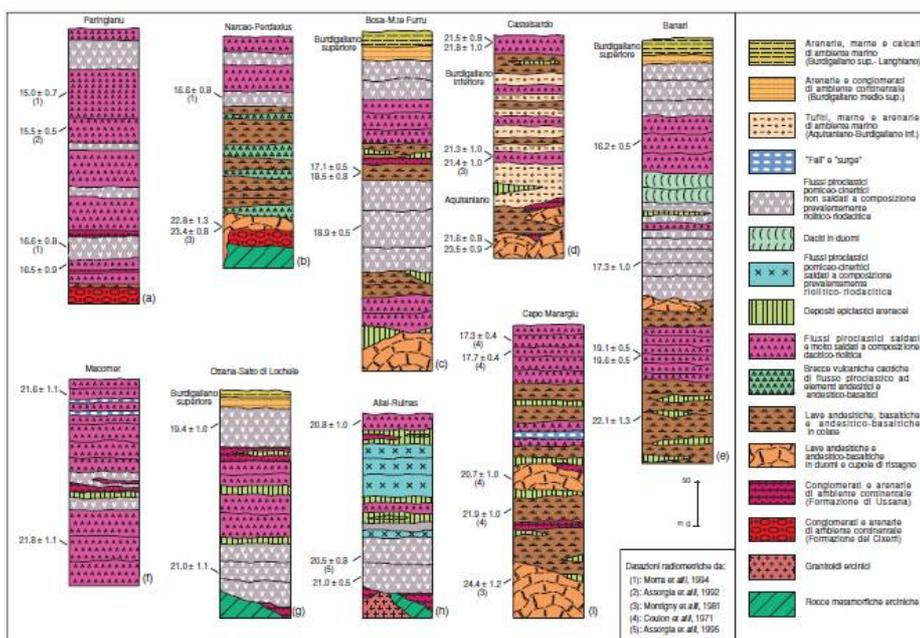


Figura 6 - Colonne stratigrafiche schematiche delle successioni vulcaniche affioranti in Sardegna (da LECCA et alii 1997; modificato).

con livelli sedimentari marini. Nella zona di Castelsardo ad esempio, la successione vulcano-sedimentaria è composta, dal basso verso l'alto (LECCA et alii, 1997), da duomi andesitici con flussi lavici subordinati (M. Ozzastru), da alternanze di livelli sedimentari con notevole componente vulcanica (conglomerati, marne e calcari di ambiente continentale, lacustre e marino) e di livelli vulcanici (brecce

andesitiche a pillow e ignimbriti) e raramente epiclastici; al di sopra affiorano estesamente flussi lavici andesitici (zona di Osilo), ricoperti da una potente unità ignimbratica molto saldata, che affiora con grande continuità da Castelsardo fino a Perfugas. Nell'area di Perfugas affiora la parte alta della successione vulcanica dell'Anglona: potente unità ignimbratica molto saldata si intercala con sedimenti fluvio-lacustri e marini, con livelli pomiceocineritici e con flussi lavici andesitici. Al di sopra affiora l'ultimo prodotto dell'Anglona, rappresentato da un potente flusso pomiceo-cineritico (ben esposto presso Chiaramonti), ricoperto da sedimenti marini del Burdigaliano superiore.

Depositi continentali e successione marina post-Eocene medio-Miocene inferiore (1° ciclo): si tratta di vasti affioramenti soprattutto di depositi clastici continentali (10a, 10b e 10c), tra cui alcuni di ambiente lacustre (10d e 10f - interesse), talora alternati a prodotti vulcanici calcalcalini (11/12 - interesse). Questa successione continentale localmente evolve anche ad ambienti marini (transizionali e sub-litorali) (10e) probabilmente a partire dall'Oligocene sommitale. Questa successione sedimentaria, insieme alle numerose intercalazioni vulcaniche dell'Oligocene- Miocene inferiore, costituisce il "1° ciclo" sedimentario post-eocenico, che poggia con discordanza angolare su formazioni di età variabile dal Paleozoico all'Eocene medio (Luteziano). Questo ciclo, che va dall'Oligocene medio-superiore al Burdigaliano inferiore- medio, è a sua volta ricoperto con discordanza angolare dal "2° ciclo" sedimentario che inizia nel Burdigaliano superiore (OGGIANO, 1987; MAZZEI & OGGIANO, 1990).

Successione marina e depositi continentali (2° ciclo: Burdigaliano superiore-Serravalliano inferiore): si tratta di una successione che inizia con conglomerati e arenarie (9a) e prosegue con depositi silicoclastici e carbonatici prevalentemente di ambiente marino (9b - interesse, 9c, 9d). I rapporti tra i depositi del "2° ciclo" e quelli del "1° ciclo" sono ben esposti nella Sardegna settentrionale con la regione dell'Anglona. In quest'area il "2° ciclo" poggia con discordanza angolare sui termini del ciclo precedente. Tra i sedimenti marini dei due cicli s'interpongono potenti depositi continentali e vulcanici (MAXIA & PECORINI, 1969; SPANO & ASUNIS, 1984; OGGIANO, 1987; MARTINI et alii, 1992). Il 2° ciclo inizia con conglomerati continentali (9a), che raggiungono notevoli spessori nella Sardegna centro-settentrionale, come a Mores (Logudoro) (MARTINI et alii, 1992), nella media valle del Tirso (PORCU, 1972; 1983) e in Anglona (OGGIANO, 1987); con spessori molto minori essi affiorano anche nella Sardegna meridionale. In questo ciclo si esaurisce l'attività vulcanica calcalcalina in Sardegna. Infatti solo in alcune località sono segnalati prodotti vulcanici di età più recente del Burdigaliano superiore: ad esempio nel distretto vulcanico del Sulcis, dove i più recenti depositi ignimbritici hanno età radiometriche (circa 15 Ma: MORRA et alii, 1994) riferibili al Langhiano.

Durante il Quaternario, la neotettonica plio-pleistocenica e i continui cambiamenti climatici, legati all'alternarsi di periodi glaciali e interglaciali hanno lasciato numerose testimonianze quali forme del paesaggio e depositi sedimentari. I processi morfogenetici hanno generato unità litologiche legate a

processi fluviali (alluvioni antiche) e gravitativi verificatisi nel Quaternario recente (depositi di versante, falde di detrito e depositi di frana).

1.1 – Caratteristiche geomorfologiche del territorio

L'assetto geomorfologico-strutturale del territorio è la risultante dell'azione di forze esogene ed endogene, responsabili dell'erosione e del modellamento delle superfici e di quegli antichi spostamenti tettonici a scala Regionale. La superficie terrestre è il risultato dell'interferenza di più processi geodinamici, che si manifestano con forme del rilievo differenti, in funzione dell'assetto geologico strutturale, dell'intensità e tipologia del processo geomorfologico prevalente. L'attuale panorama morfologico del paesaggio che caratterizza l'area di Bena e Crabas, e Tanca Noa, nel territorio di Laerru, rispecchia la complessa costituzione geolitologica e strutturale dell'Anglona, che conserva i segni d'importanti eventi geologici, in particolare legati al sistema di rifting Oligo-Miocenico. All'Orogenesi

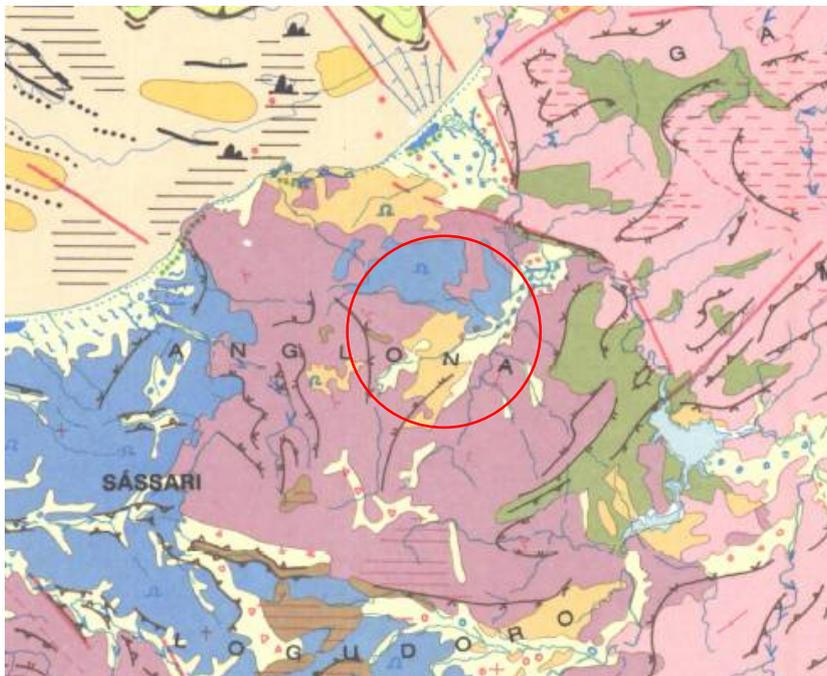
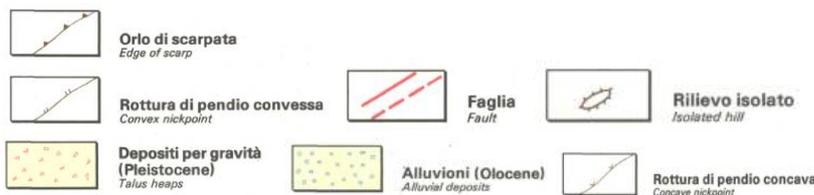


Figura 7 - Stralcio dalla carta geomorfologica della Sardegna marina/continentale (Prof. A Ulzega Dipartimento Scienze della Terra)



Alpina e alla neotettonica quaternaria si attribuisce la riattivazione delle lineazioni tettoniche e il ringiovanimento delle forme determinanti l'attuale conformazione della regione. A parità di altri fattori, tra cui quelli climatici, l'evoluzione e le forme del rilievo del settore in esame, caratterizzato da un sistema collinare eterogeneo, da ondulato ad aspro, sono riconducibili principalmente alle litologie affioranti: rocce vulcaniche e sedimentarie della successione Oligo-Miocenica, depositi detritici continentali del Quaternario (corpi di frana antichi). Le forme del rilievo, infatti, sono la risultante del differente grado di erodibilità delle

litologie affioranti, sulle quali hanno agito in maniera selettiva i processi esogeni, modificando il profilo dei versanti, creando depositi detritici e formazioni vallive.

L'aspetto del territorio è quello tipico dell'Anglona, caratterizzato da un paesaggio collinare impostato sulle rocce effusive acide, con tavolati e rilievi con forme coniche tabulari, a sommità arrotondata e/o a creste, con pendii da dolci acclivi, separati da valli strette a V o da vaste aree depresse a fondo piatto oppure concavo. L'alternanza di rilievi vulcanici, dalla forma conica e smussata in cima, da colline tronco-coniche, da rotture di pendio, alternate a vaste aree ondulate, è associata ai litotipi vulcanici caratterizzati da lave andesitiche e piroclastiti e/o a litologie sedimentarie calcaree. Le maggiori emergenze della zona sono colline, di varia natura litologica, in particolare di natura calcarenitica a componente terrigena, tra le quali Monti Anna (322m), Monti Trigu (351m), Medulesi (314m) alle cui pendici si è sviluppato l'abitato di Laerru. La località Tanca Noa è caratterizzata dalla litofacies nella formazione di Mores (RESa) di natura sedimentaria calcarenitica, a contatto con la formazione di Chiamonti (HRM) verso la zona della cava di Pietra, di natura di flusso piroclastico pomiceo cineritico. Per la presenza di una direttrice (N/S) di faglia presente a ovest si rilevano depositi di flusso piroclastico in facies ignimbratica rappresentati dall'unità di Logulentu (LGU). Nella zona sono presenti varie sorgenti di contatto (Monte Giannas 449m a ovest, Tanca Su Chescu e Valle Silanos a est) tra il piroclastico e la formazione calcarenitica della Litofacies di Mores. Poco più a ovest verso Monte Giannas emergono depositi epiclastici, di roccia i cui componenti sono stati trasportati da agenti esogeni quali acque, venti etc.

Da un punto di vista geomorfologico, le dorsali e le creste rocciose, separati da vaste zone di spianamento e incisioni fluviali, seguono l'andamento delle principali linee tettoniche e sono il risultato dell'azione congiunta dei processi di alterazione chimica e meccanica ad opera degli agenti atmosferici, e di dilavamento ad opera delle acque superficiali. In generale si può osservare un paesaggio ondulato, con colline dalle sommità arrotondate e pendii moderatamente acclivi, alternate a valli a fondo concavo o conche d'erosione, in corrispondenza delle piroclastiti (tufiti) e in subordine di rocce andesitiche, mentre un paesaggio collinare più aspro, con sommità tabulari, alternate a dorsali o cornici rocciose con rotture di pendio o versanti acclivi, e a valli strette e incise, sono associati a litologie più competenti, come le rocce ignimbriche e calcaree. La morfogenesi del settore collinare, oltre che dagli agenti atmosferici, è controllata principalmente dai caratteri litologici e dalle condizioni strutturali (giaciture, carattere di forte coesione e saldatura) e dall'alternanza delle formazioni litoidi e non (calcari, ignimbriti e prodotti piroclastici associati, depositi detritici colluviali, ecc.). In considerazione dell'ambito geomorfologico-ambientale del territorio in studio, i fattori di modellamento predominanti sono operati dalle dinamiche di versante, in particolare da processi erosivi legati a gravità unitamente ai fenomeni di ruscellamento diffuso e concentrato in rivoli o solchi. Tali processi, che favoriscono la formazione di detrito di falda e depositi colluviali, hanno innescato nel passato fenomeni d'instabilità nei versanti, come testimoniano i corpi di frana, presenti nel territorio di Laerru in corrispondenza della zona di Badde Silanos.

In generale, si tratta di un'area dalla morfologia collinare articolata, le cui quote più elevate si raggiungono nel settore NNE-WSW (M. Anna 322m, N.ghe Tanca Mannu 362m, M. Giannas 449m, M. Trigu 351m, Punta Uttiosa 521m). La maggior parte di questi rilievi sono modellati sulle calcareniti della formazione di Mores (Burdigaliano sup.) o dalle varie unità dei depositi di flusso piroclastico o epiclastici talora non saldati. Talora i rilievi sono modellati anche su litologie vulcaniche, mettendo in evidenza le porzioni saldate da quelle non saldate. La relativa uniformità dell'altezza dei rilievi, che aumenta gradatamente verso WSW, ed il fatto che alla medesima quota si rinvengono formazioni di età differente, suggeriscono che in passato questo settore sia stato caratterizzato da un'estesa superficie di spianamento. La morfologia attuale sarebbe il risultato della progressiva dissezione di quest'area da parte delle acque dilavanti e dei corsi d'acqua (es. Riu Silanos e Riu di Baldana). I corsi d'acqua principali ed in particolare il Riu Silanos a N, ha inciso moderatamente il rilievo, generando in corrispondenza delle formazioni piroclastiche e/o epiclastiche profonde gole delimitate da pareti sub-verticali. Sui terreni più erodibili le valli si ampliano e originano un paesaggio collinare con versanti più dolci e piccoli dossi isolati. Il dilavamento e l'erosione dei corsi d'acqua minori sarebbe invece responsabile dell'erosione della parte alta dell'antico rilievo che è oggi conservato con cime di uguale altezza.

1.2 - Geologia di contesto (Settore di interesse)

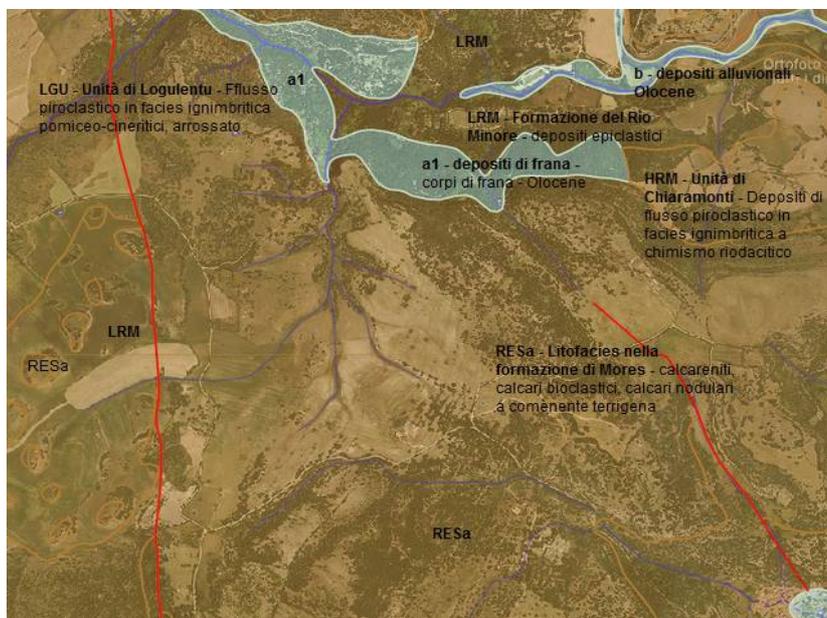


Figura 8 – Inquadramento geologico di contesto (da Sardegna Geoportale Sc1:25.000)

Il sito interessato alla realizzazione dell'impianto, ricopre un'area lorda di circa 85Ha, con tipologia delle strutture fotovoltaiche caratterizzata da tracker a pali infissi. Comprende un'area all'interno dei confini amministrativi del Comune di Laerru nella località Tanca Noa. Litologicamente è interessato da terreni sedimentari terziari miocenici (RESa) che ricoprono i depositi della successione vulcanica oligo-miocenica rappresentati dai depositi di flusso piroclastico (LGU, HRM) e da depositi epiclastici (LRM). Nell'area

sensibile sono rilevabili dal basso verso l'alto le seguenti formazioni geologiche ascrivibili al Terziario e Quaternario.

1. Successione vulcano-sedimentaria Oligo-miocenica

Distretto vulcanico di Osilo-Castelsardo: dall'oligocene sup. fino al Miocene inf. medio nella Sardegna settentrionale si sviluppa una diffusa attività vulcanica che da luogo alla messa in posto di prodotti vulcanici distinguibili in due serie, una ha prodotto vulcaniti a chimismo medio basico in colate e cupole di ristagno. La seconda serie, a chimismo acido, qui ben rappresentata, è composta da rioliti e riodaciti in espandimenti ignimbrici, cupole di ristagno, colate, con associati episodi freato magmatici. Queste rocce prodotte da un'intensa attività magmatica di tipo prevalentemente piroclastico, si è esplicata in diverse fasi paratossiche distribuite in un arco di tempo compreso tra 29 M.a. e 19 M.a (oligocene sup.- Miocene inf.), intervallate da periodi più o meno lunghi di stasi vulcanica. L'attuale distribuzione di questi depositi lungo una direzione preferenziale indica che la loro messa in posto è avvenuta probabilmente lungo paleo valli orientate NW/SE e SW/NE colmate dai prodotti dell'attività magmatica secondo flussi piroclastici provenienti da Nord e Ovest, dove erano probabilmente localizzati i centri di emissione. Vengono distinte le seguenti unità litostratigrafiche:

- ❖ Unità di Logulentu (LGU): depositi di flusso piroclastico in facies ignimbrica, pomiceo-cineritici, saldati, di colore rossastro, con tessitura macroeutattica. Esterna all'area;
- ❖ Unità di Chiaramonti (HRM): depositi di flusso piroclastico pomiceo-cineritici in facies ignimbrica a chimismo riodacitico, debolmente saldati, talora argillificati e/o silicizzati, con cristalli liberi di Pl, Sa, Bt, Qtz. Costituiscono la litofacies affiorante nell'area ad Est.

2. Successione sedimentaria Oligo-Miocenica del Logudoro-Sassarese

I sedimenti del ciclo marino miocenico ("2° ciclo"), caratterizzati da calcareniti, calcari detritico-organogeni, sabbie calcaree, deposti in ambiente di piattaforma, poggiano sul substrato costituito da vulcaniti del ciclo calcalino oligo-miocenico; affiorano in particolare a NW dell'abitato di Laerru.

- ❖ Formazione dei Calcari di Mores (RESa): le litofacies prevalenti consistono in calcari bioclastici stratificati, calcareniti, calcari nodulari a componente terrigena variabile, con faune a gasteropodi (Turritellidi), ostreidi ed echinidi ("Calcari inferiori" Auct.). Questa unità include sabbie quarzoso-feldspatiche, talvolta cementate, probabilmente legate a fasi regressive minori, tipiche di un ambiente caratterizzato da fondali costieri sabbiosi con livelli fossiliferi ricchi in echinidi, bivalvi e foraminiferi. Tali litologie poggiano generalmente con contatto netto sui prodotti piroclastici o sui tufi calcarei. [Burdigaliano sup.]

3. Depositi Quaternari dell'area continentale

Si tratta di depositi detritico-ciottolosi e sedimenti legati a gravità, rappresentati con corpi di frana antichi e recenti, caratterizzanti i terreni affioranti nell'abitato di Laerru e poco più a NNE dell'area dell'impianto in progetto.

- ❖ Litofacies nel Subsistema di Portoscuso (Sintema di Portovesme) (PVM2a): Ghiaie e sabbie alluvionali del Pleistocene;
- ❖ Depositi di versante (a): gli affioramenti più estesi si rinvengono a ridosso dei rilievi carbonatici e vulcanici, soprattutto quando il substrato è costituito da flussi piroclastici o epiclastiti. Si tratta di depositi in genere monogenici ed eterometrici, con clasti spigolosi o scarsamente elaborati ed una notevole matrice fine, accumulati essenzialmente per gravità alla base dei versanti;
- ❖ Depositi di frana (a1): si tratta di corpi di frana, costituiti da sedimenti legati a gravità, generalmente eterometrici, caratterizzati dai litotipi vulcano-sedimentari affioranti nelle aree limitrofe all'impianto fotovoltaico;
- ❖ Depositi alluvionali (b): Nei piccoli corsi d'acqua affluenti di quelli sopraccitati più importanti, i depositi alluvionali sono sempre di modesto spessore e spesso affiora il substrato roccioso. I depositi sono costituiti da ghiaie e sabbie grossolane. Verso valle gli alvei sono più ampi, e sulla pianura di esondazione prevalgono i sedimenti fini, costituiti da sabbie con rare ghiaie. I sedimenti sono stati depositati dove il deflusso è ostacolato per la scarsa pendenza o per l'affioramento del substrato.
- ❖ Coltri eluvio colluviali (b2): si tratta di depositi sabbiosi e siltosi in cui sono presenti percentuali variabili di detriti da fini a medi, con porzioni arricchite di frazione organica e, talora, suoli sepolti in genere a profilo poco differenziato. L'elevata presenza della frazione organica indica che si tratta di sedimenti derivati dall'erosione del suolo durante l'Olocene, mescolati a sedimenti provenienti, per degradazione fisica, direttamente dal substrato. Lo spessore in genere esiguo, di solito inferiore al metro, localmente può arrivare fino a qualche metro.

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

- Distretto vulcanico di Osilo-Castelsardo → Unità di Logulentu (LGU) - Unità di Chiaramonti (HRM);
- Successione sedimentaria Oligo-Miocenica del Logudoro-Sassarese → Formazione dei Calcari di Mores (RESa);
- Depositi Quaternari dell'area continentale → Litofacies nel Subsistema di Portoscuso (Sintema di Portovesme) (PVM2a) - Depositi alluvionali (b) - Depositi di versante (a) - Depositi di frana (a1) - Coltri eluvio colluviali (b2).

1.3 – Lineamenti climatici generali

Conoscere le condizioni climatiche è determinante per caratterizzare l'ambiente. Se consideriamo il clima nelle sue componenti esso influenza il suolo in maniera diretta e indiretta: dipendono dal clima le modificazioni del substrato, la tipologia delle colture nonché la morfologia del paesaggio. Per rilevare l'andamento del clima, si è tenuto conto di un periodo di osservazione che va dal 1922 al 1992 (Annali

Ideologici del SISS); arco di tempo sufficiente per la descrizione delle caratteristiche medie dei due parametri relativi a temperatura e piovosità.

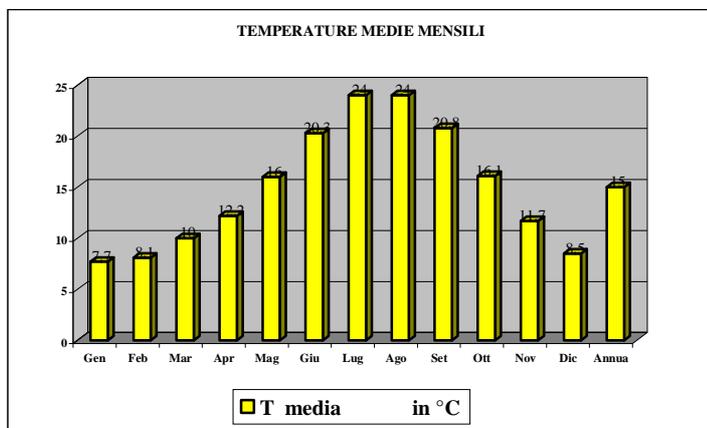
La caratterizzazione climatica del sito è stata eseguita avvalendosi dei dati rilevati dalla stazione di Ardara e da quella di Ozieri.

Temperature e Precipitazioni

Le temperature medie mensili e media annua sono determinate utilizzando i dati rilevati nella stazione di Ozieri tra il 1922 e il 1992, per numero di osservazioni comprese tra 69 in arco di tempo di 70 anni. In Tabella si riportano, oltre ai valori medi di temperatura mensile ed annua, il numero di osservazioni.

Stazione di Misura: Ozieri		Quota s.l.m.: m											
		TEMPERATURE MEDIE MENSILI ED ANNUA											
Tipo di apparecchio: Tm		Altezza dell'apparecchio dal suolo: m											
	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Annua
N.Oss.	69	69	69	69	69	69	69	69	69	69	69	69	69
Dev.St.	1.3	1.5	1.3	1.1	1.4	1.3	1.6	1.4	1.1	1.3	1.3	1.5	
T media in °C	7.7	8.1	10	12.2	16	20.3	24	24	20.8	16.1	11.7	8.5	15

L'andamento delle temperature medie mensili è visualizzato nel seguente grafico (istogramma delle temperature medie mensili, con riportati nell'asse delle ascisse i 12 mesi e nell'asse delle ordinate le temperature medie mensili in °C).



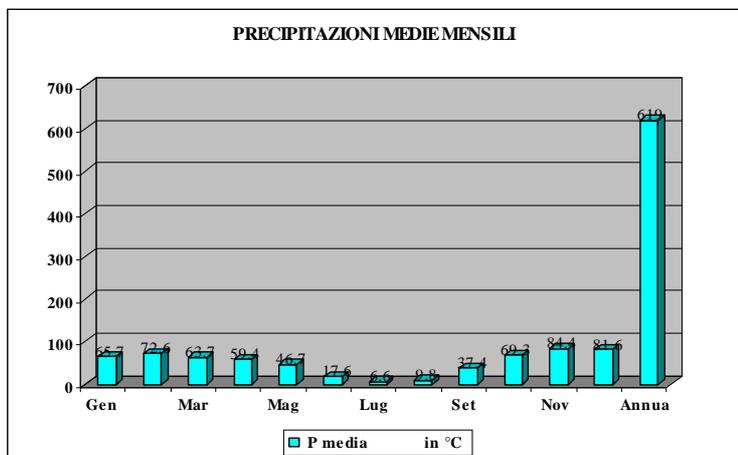
Dalla tabella e dal compendio grafico si evince che la temperatura media annua, calcolata con i valori mensili, è 15,0 °C. Inoltre, il mese più freddo è Gennaio con 7,7 °C e quelli più caldi sono Luglio e Agosto entrambi con 24 °C. Le precipitazioni medie mensili e media annua sono determinate utilizzando i dati misurati tra il 1922 e il 1992 nella stazione di Ardara, quindi per un

periodo di 71 anni. In tabella si riportano, oltre ai valori medi di precipitazione mensile ed annua, il numero di osservazioni e la deviazione standard.

Stazione di Misura: Ardara		Quota s.l.m.: 297 m											
		PRECIPITAZIONI MEDIE MENSILI ED ANNUA											
Tipo di apparecchio: P		Altezza dell'apparecchio dal suolo: 1.50 m											
	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Annua
N.Oss.	54	54	54	54	54	54	54	55	55	55	54	54	53
Dev.St.	39	47.8	39.1	46.3	36.2	19.2	13.3	1					
P media in °C	65.7	72.6	63.7	59.4	46.7	17.6	6.6	9.8	37.4	69.3	84.4	81.6	619

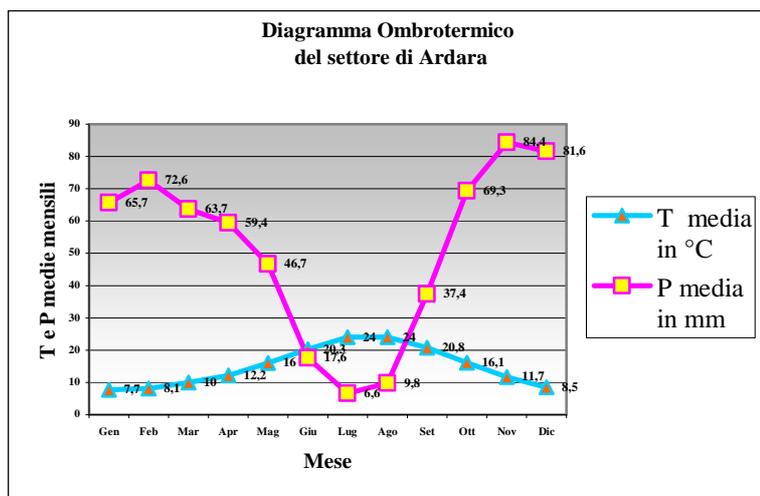
L'andamento delle precipitazioni medie mensili può essere meglio analizzato grazie alla grafico (Istogramma delle precipitazioni medie mensili, con riportati sull'asse delle ascisse i 12 mesi e sull'asse

delle ordinate le precipitazioni medie in mm).



Dalla tabella e dal compendio grafico si deduce che il modulo pluviometrico annuo, calcolato con i valori mensili, è 619 mm, che il mese più piovoso è novembre con 84.4 mm e quello più asciutto è luglio con 6,6 mm.. I valori di temperatura e precipitazione medi mensili hanno consentito la ricostruzione del diagramma ombrotermico 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 visualizzare il loro andamento nel corso dell'anno. L'andamento delle curve consente di affermare che nei mesi estivi di Luglio e Agosto, dove la temperatura media mensile raggiunge il valore massimo 24 °C, si hanno minimi di piovosità (rispettivamente 6,6 mm e 9.8 mm), mentre nei mesi di Novembre, Dicembre, Gennaio e Febbraio, dove le temperature medie mensili oscillano tra i 7,7 e gli 11,7 °C, si raggiungono le piovosità più elevate (rispettivamente 84.4 mm, 81.6 mm, 104,5 mm e 65.7). Le medie di temperatura e piovosità hanno consentito inoltre di

individuare il tipo di clima. Infatti, per la temperatura media annua con valori compresi tra 15,0 e 16,9 °C, la media del mese più freddo variabile tra 6,5 e 9,9 °C, e per i 4 mesi con temperatura superiore a 20,0 °C, il clima presente è di tipo "temperato-caldo". Anche le precipitazioni annue sono comprese tra 500 e 800 i accordo con il clima temperato caldo.



individuare il tipo di clima. Infatti, per la temperatura media annua con valori compresi tra 15,0 e 16,9 °C, la media del mese più freddo variabile tra 6,5 e 9,9 °C, e per i 4 mesi con temperatura superiore a 20,0 °C, il clima presente è di tipo "temperato-caldo". Anche le precipitazioni annue sono comprese tra 500 e 800 i accordo con il clima temperato caldo.

1.4 - Idrogeologia e idrologia superficiale

Il territorio in esame appartiene all'Unità Idrografica Omogenea (U.I.O) del Coghinas. Il bacino più importante è quello del Coghinas, che prende il nome dal fiume principale, ed è caratterizzato da un'intensa idrografia con sviluppo molto articolato dovuto alle varie tipologie rocciose attraversate. I



sottobacini drenanti i versanti occidentali hanno una rete idrografica piuttosto lineare, mantenendosi inizialmente paralleli alla linea di costa per poi richiudersi nel Rio Giobaduras che corre parallelo alla

linea di costa. I corsi d'acqua drenanti le pendici montuose ad est si mantengono paralleli alla linea di costa andando a gettarsi direttamente nel fiume Coghinas. Gli affluenti intestati sulle pendici meridionali sono caratterizzati dapprima da aste fluviali ad andamento lineare ortogonale alla linea di costa per poi ripiegare quasi bruscamente nella piana ad angolo retto.



Figura 9 - Rappresentazione della U.I.O. del Coghinas (da PTA Sardegna)

Il fiume Coghinas trae origine dalla catena del Marghine col nome di Rio Mannu di Ozieri e sfocia nella parte orientale del Golfo dell'Asinara dopo un

percorso di circa 115 Km. L'U.I.O del Coghinas è prevalentemente paleozoica: una sequenza vulcano-sedimentaria permiana ricopre i terreni paleozoici e depositi detritici quaternari delimitano ad ovest il corpo intrusivo suddetto.

La sequenza stratigrafica dell'area è chiusa dai depositi alluvionali del fiume Coghinas, da sabbie litorali e localizzati depositi eluvio-colluviali e di versante. La porzione sud-occidentale dell'unità idrografica, dove ricade il territorio di Laerru è invece prevalentemente terziaria. Il potente complesso vulcanico oligo-miocenico, che occupa quasi interamente e senza

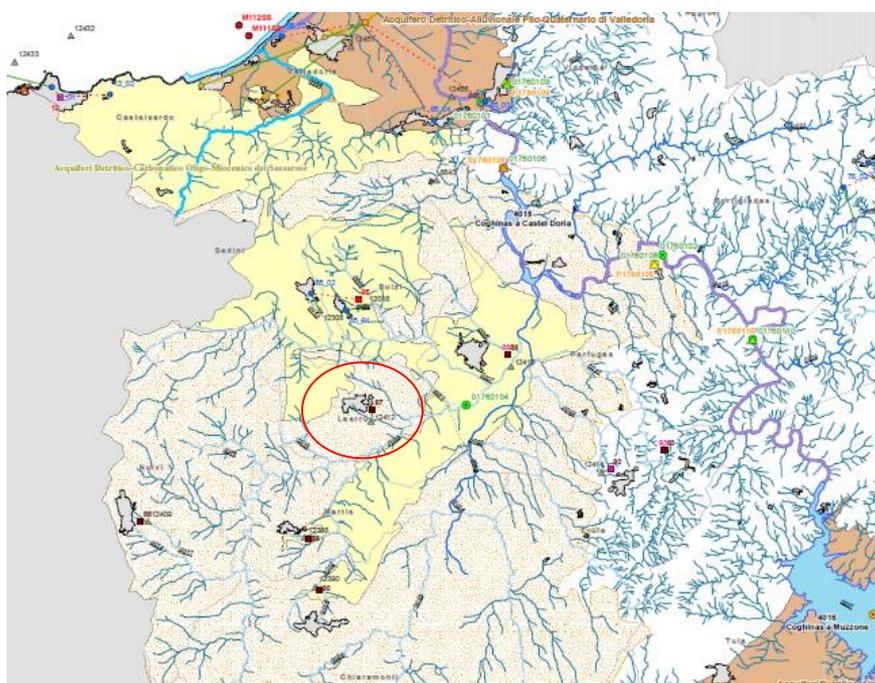


Figura 10 – Acquiferi UIO Coghinas (da PTA Sardegna)

- Acquiferi
- Acquiferi Plio Quaternari
 - Acquiferi Vulcanici Plio Quaternari
 - Acquiferi Sedimentari Terziari
 - Acquiferi Vulcanici Terziari



soluzione di continuità il settore centrale, costituisce il substrato della regione e poggia in parte sulla piattaforma carbonatica mesozoica della Nurra, ribassata di circa 2000 m dal sistema di faglie che ha dato origine alla "fossa sarda", ed in parte sul basamento cristallino paleozoico. Il Complesso vulcanico Oligo-Miocenico è stato ricoperto dalla "Serie sedimentaria miocenica", un complesso lacustre di transizione ai depositi marini calcareo-arenacei e marnoso-arenacei. Infine i prodotti del vulcanismo plio-quadernario e i depositi detritici quaternari si trovano in corrispondenza delle incisioni vallive ed in prossimità dei corsi d'acqua. I reticoli idrografici risultano sub-paralleli confluenti sui due rii principali, il rio Mannu ed il rio Binzales, precisamente a Sud-Ovest e Sud-Est dell'abitato di Laerru. L'andamento dei corsi d'acqua risulta abbastanza rettilineo e la presenza di pochi meandri è caratterizzata dalla presenza di litologie meno erodibili, quali andesiti ed ignimbriti. ruscelli originati ad Ovest dello spartiacque confluiscono nel bacino del fiume Silis (o Riu di Sorso), chiamato alle origini Rio Mannu, mentre quelli ad Est confluiscono nel bacino del fiume Coghinas. Nella zona sono presenti parecchi ruscelli o piccoli corsi d'acqua, ad eccezione del Rio Silanus, per lo più stagionali.

I complessi acquiferi sotterranei che caratterizzano il territorio di Laerru, nell'ambito dell'unità idrografica omogenea di appartenenza, sono i seguenti:

1. Acquifero Detritico-Carbonatico Oligo-Miocenico del Sassarese: calcari, calcareniti, arenarie marnose con subordinate marne e siltiti, conglomerati e arenari, con permeabilità complessiva medio-alta; da medio-bassa a medio-alta per porosità nei termini detritici, medio-alta per fessurazione e/o carsismo nei termini carbonatici;

2. Acquifero delle Vulcaniti Oligo-Mioceniche della Sardegna Nord-Occidentale: si tratta in prevalenza di rioliti, riodaciti, daciti e subordinate comenditi in espandimenti ignimbritici, cupole di ristagno e rare colate, con associati depositi di flusso piroclastico e livelli epiclastici. La permeabilità per fessurazione è complessivamente medio-bassa, più alta nei termini con sistemi di fratturazione marcati (espandimenti ignimbritici e lavici) e più bassa in quelli meno fratturati (cupole di ristagno) e nei livelli piroclastici ed epiclastici. Questi terreni affiorano nell'area sensibile.

1.4.1 - Caratteristiche di permeabilità dell'area sensibile

La caratterizzazione idrogeologica dell'area in esame consiste nella definizione di unità idrogeologiche basate essenzialmente sul riconoscimento di unità litologiche affioranti, con caratteristiche di permeabilità distintive, in funzione delle condizioni fisiche, sedimentologiche e giaciture delle stesse litofacies.

La permeabilità è una proprietà caratteristica di terreni/rocce ed esprime l'attitudine delle stesse a lasciarsi attraversare dall'acqua. Essa quindi si manifesta con la capacità di assorbire le acque piovane

e di far defluire le acque sotterranee. Poiché il terreno non è un corpo omogeneo, è intuibile che all'interno dello stesso varino sia le caratteristiche chimico-fisiche, che le proprietà idrogeologiche.

Nota la possibile disomogeneità sia in senso orizzontale sia verticale nelle caratteristiche chimico-fisiche e idrogeologiche delle unità litologiche individuate, anche la permeabilità non è rappresentata da un unico valore del coefficiente di conducibilità idraulica (K), ma da un intervallo di variazione dello stesso espresso in cm/s. I terreni rilevati, in base alle caratteristiche geolitologiche, con particolare riferimento alla capacità d'assorbimento (tab. 1) possono essere suddivisi in 3 classi di permeabilità:

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}

- Prima classe → vi appartengono le litologie vulcaniche del Terziario [HRM, LRM, LGU]. Le rocce effusive acide, costituite da rioliti, riodaciti, ignimbriti litoidi e depositi di flusso piroclastico in facies ignimbrítica, pressoché impermeabili per porosità, per la struttura massiva e compatta della roccia o per la presenza di livelli argillificati, presentano permeabilità complessiva da molto bassa a media per fessurazione, funzione del reticolo di fratture primarie e secondarie che pervadono l'ammasso vulcanico. La permeabilità per fessurazione è più alta nei termini con sistemi di fratturazione marcati (espandimenti ignimbrítici) e più bassa nei livelli piroclastici e epiclastici [$10^{-3} \geq K \geq 10^{-7}$];
- Seconda classe → i calcari miocenici, attribuibili ai "Calcari di Mores" (RESa) sono scarsamente permeabili per porosità, per la compattezza della roccia, ma presentano una permeabilità per fessurazione e/o carsismo variabile da bassa a buona (da $10^{-2} \geq K \geq 10^{-5}$);
- Terza classe → i depositi alluvionali recenti e attuali dell'unità b e detritico eluvio colluviale dell'unità b2: si tratta di ghiaie poligeniche ed eterometriche, da sub-arrotondate ad arrotondate, in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa generalmente abbondante; a luoghi si rinvencono passaggi di sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi a struttura indistinta, con abbondanti ghiaie poligeniche da sub-angolose ad arrotondate. Costituiscono acquiferi porosi a bassa trasmissività, sono sede di falde idriche sotterranee di modesta rilevanza, generalmente a deflusso unitario, che possono avere interscambi con i corpi idrici superficiali e/o con quelli sotterranei delle strutture idrogeologiche limitrofe. La permeabilità, esclusivamente per porosità, è variabile da media ad alta [$10^{-2} \geq K \geq 10^{-5}$]. I terreni di copertura dell' unità b2, sabbioso, sabbioso limoso e/o limoso sabbioso, con presenza di ghiaie poligeniche da angolose a sub-arrotondate – angolose, con locali clasti di dimensioni da decimetriche a metriche; localmente si rileva la presenza di argille limose e limi argilloso-sabbiosi a struttura

indistinta, con diffusi resti vegetali e sporadiche ghiaie poligeniche da angolose a sub-arrotondate. Costituiscono acquiferi porosi di scarsa trasmissività, moderatamente eterogenei ed anisotropi; sono privi di corpi idrici sotterranei di importanza significativa, a meno di piccole falde a carattere stagionale. La permeabilità, esclusivamente per porosità, è variabile da bassa a media [$10^{-4} \geq K \geq 10^{-6}$].

Da osservazioni dirette effettuate nell'areale ed in aree limitrofe litologicamente omogenee, integrato con la consultazione dei dati legge 464/84 tramite il Portale del Servizio Geologico d'Italia relativi alle indagini nel sottosuolo <http://portalesgi.isprambiente.it/it> è emerso che le prime falde produttive superficiali si rinvennero all'interno delle litologie vulcaniche ignimbriche in facies tufacea lapidea fratturata a partire da circa -30.0m da p.c., se consideriamo l'ambito a est della nostra area, entro 1.500mt di distanza lineare. A seguire soprattutto se ci spostiamo verso il tessuto urbano di Laerru si evidenziano falde superficiali a partire da -47.0m all'interno di litologie tufi pomicei bianchi in banchi regolari con livelli di argilla, e -93.0m da p.c. all'interno di litologie di roccia calcarea intervallata con strati terrosi.

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 Piano è redatto in ottemperanza alle previsioni del D.Lgs. 23 febbraio 2010, n.49 avente a oggetto "Attuazione della direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e*



alla gestione del rischio di alluvioni". Oltre ai riferimenti normativi, sono stati redatti a livello nazionale e comunitario numerosi documenti tecnici che riportano linee guida e indirizzi applicativi finalizzati a supportare le Autorità di Bacino nella redazione dei Piani di gestione del rischio di alluvione.

Il Comune di Laerru è ricompreso all'interno del bacino unico della Sardegna, U.I.O del Coghinas, così come individuato dal P.A.I. Sardegna e dal P.S.F.F. Sardegna. Nella fattispecie il sito oggetto di intervento ricade nella cartografia attualmente disponibile on-line e consultabile tramite la piattaforma "Sardegna Geoportale", in un'area a pericolosità da frana (Hg) e idraulica (Hi) assente (Art.8/Rev. 42/Rev. 59).

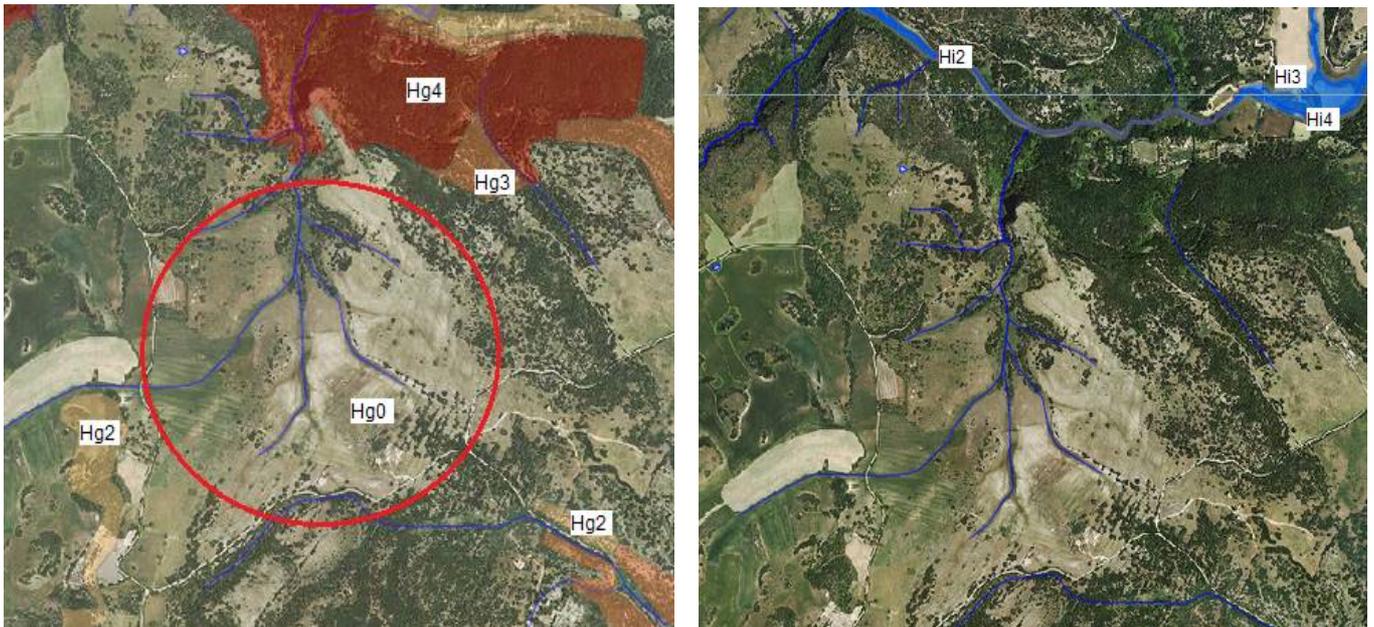


Figura 11 – Perimetrazioni delle aree caratterizzate da pericolosità geomorfologica mappate in ambito P.A.I. aggiornate alla data del 31.01.2018. - Perimetrazioni delle aree caratterizzate da pericolosità idraulica mappate a seguito di studi derivanti dall'applicazione dell'Art. 8 comma 2 delle Norme di Attuazione del P.A.I. aggiornate alla data del 31/01/2018.

1.5.1.1 - Progetto P.S.F.F

Da una analisi del Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (PSFF) relativo al bacino del Coghinas, nel comparto del rio Silanus, non sono emersi per l'area esaminata rischi compatibili con i corsi d'acqua in funzione della sicurezza idraulica, ad eccezione (esterna) delle parti in prossimità del settore nord.

1.5.1.2 - Progetto I.F.F.I

Da una analisi dell'Inventario dei Fenomeni Franosi in Sardegna (IFFI) relativo al bacino del Coghinas, nel settore nord di Laerru, non sono emersi per l'area esaminata rischi compatibili con eventi franosi.



Figura 12 – Progetto IFFI Regione Sardegna

1.5.2 - Pericolosità sismica

Per ridurre gli effetti del terremoto, l'azione dello Stato si è manifestata attraverso la Classificazione Sismica del Territorio, che si basa sull'intensità e frequenza dei terremoti del passato, e l'applicazione di speciali norme tecniche per le costruzioni (NTC) nelle zone classificate sismiche. Ai fini della caratterizzazione del territorio o di porzioni di esso è pertanto importante individuare l'appartenenza di ciascun comune o porzione di esso ad una delle zone sismiche definite sulla base del valore massimo del parametro di pericolosità sismica valutato all'interno dell'area considerata.

Quadro Normativo e Caratterizzazione Sismica del Territorio

La legislazione antisismica italiana, sino al 2003 classificava il territorio nazionale in tre categorie sismiche. I Decreti Ministeriali emanati dal Ministero dei Lavori Pubblici tra il 1981 ed il 1984 avevano classificato complessivamente 2.965 comuni italiani su di un totale di 8.102, corrispondente al 45% della superficie del territorio nazionale nel quale risiede il 40% della popolazione.

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

Nei Decreti emessi fino al 1984 la sismicità fu definita attraverso il "grado di sismicità" S; nella proposta di riclassificazione del GdL del 1998 si utilizzarono 3 categorie sismiche più una categoria di Comuni Non Classificati (NC).

La corrispondenza fra le diverse definizioni succedutesi nel tempo è sintetizzata in tabella. Nella Classificazione 2003 la sismicità fu definita da quattro zone omogenee numerate da 1 a 4. I criteri di classificazione sismica del territorio nazionale contenuti nell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003, furono basati sugli studi e le elaborazioni relative alla pericolosità sismica del territorio, ossia sull'analisi della probabilità che il territorio fosse interessato in un certo periodo (generalmente 50 anni) da un evento che superava una determinata soglia di intensità o

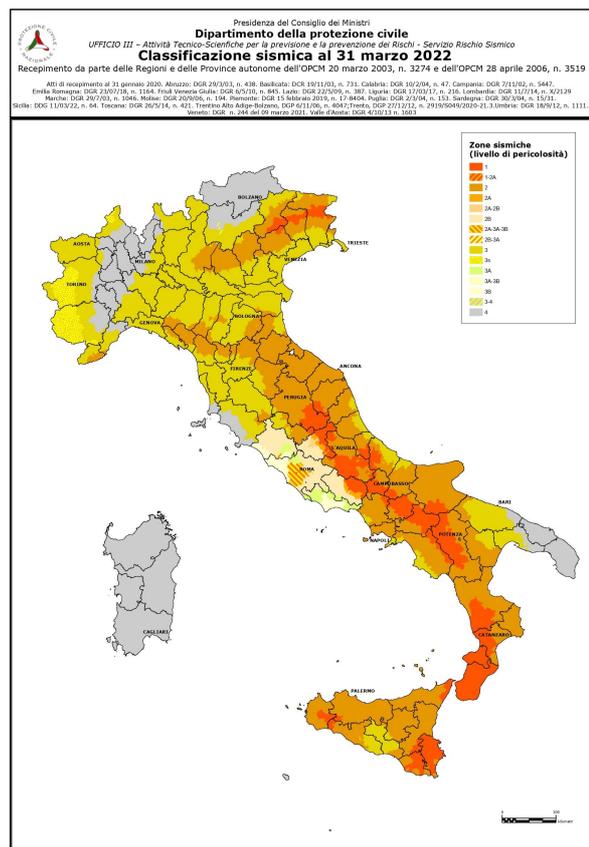
magnitudo. L'Ordinanza n. 3274 del 20 marzo 2003 della Presidenza del Consiglio dei Ministri "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica", affidò alle Regioni l'individuazione, la formazione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

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

indicarono 4 valori di accelerazioni orizzontali (ag/g) di ancoraggio dello spettro di risposta elastico e le norme progettuali e costruttive da applicare; pertanto la sismicità fu definita mediante zone omogenee numerate da 1 a 4 in ordine crescente di pericolosità.

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

Nella Carta della Zonazione Sismica del territorio nazionale (2003-2004) e nella Classificazione Sismica dei Comuni Italiani (OPCM 3274 20/03/2003 Allegato



A), il Comune di Laerru 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 Laerru 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 sottozone è attribuito un valore di pericolosità di base, espressa in termini di accelerazione massima su suolo rigido (a_g). Tale valore di pericolosità di base non ha però influenza sulla progettazione. Le Norme Tecniche per le Costruzioni (Decreto Ministeriale del 14 gennaio 2008), che sostituiscono quelle approvate con D.M. del 14 settembre 2005, hanno, infatti, modificato il ruolo che la classificazione sismica aveva ai fini progettuali: per ciascuna zona – e quindi territorio comunale – precedentemente veniva fornito un valore di accelerazione di picco e quindi di spettro di risposta elastico da utilizzare per il calcolo delle azioni sismiche.

Dal 1 luglio 2009 con l'entrata in vigore delle Norme Tecniche per le Costruzioni del 2008, per ogni costruzione ci si deve riferire ad una accelerazione di riferimento "propria" individuata sulla base delle coordinate geografiche dell'area di progetto e in funzione della vita nominale dell'opera. Un valore di pericolosità di base, dunque, definito per ogni punto del territorio nazionale, su una maglia quadrata di 5 km di lato, indipendentemente dai confini amministrativi comunali.

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

La Classificazione Sismica (Zona Sismica di Appartenenza del Comune) rimane utile solo per la gestione della pianificazione e per il controllo del territorio da parte degli Enti preposti. L'entrata in vigore della revisione della norma NTC08, nel 2018, segna il definitivo abbandono della metodologia delle tensioni ammissibili: dal 22/03/2018, con l'entrata in vigore delle NTC08 non sarà più possibile utilizzare questa metodologia, neanche per le ex-zone 4, a favore del metodo semiprobabilistico agli Stati Limite. Inoltre nella norma NTC2018 sparisce ogni riferimento alla classificazione in zone sismiche, un refuso di stampa contenuto nelle NTC08 che contrastava fortemente con la metodologia della norma e con il calcolo a nodi degli scuotimenti attesi.

a) Pericolosità Sismica Locale

L'obiettivo delle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC) nella progettazione di nuove strutture è il controllo del livello di danneggiamento della costruzione a fronte dei terremoti che possono verificarsi nel sito. L'azione sismica di progetto è definita dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione descritta dalla probabilità che, in un fissato intervallo (periodo di riferimento "VR" espresso in anni), in



detto sito si verifichi un evento sismico di entità almeno pari ad un valore prefissato; la probabilità è denominata "Probabilità di eccedenza o di superamento nel periodo di riferimento PVR" .

La *pericolosità sismica* è definita in termini di:

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

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

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

Poiché le probabilità PVR di superamento nel periodo di riferimento VR variano al variare dello stato limite considerato, nelle verifiche devono essere presi in considerazione tutti i meccanismi di stato limite ultimo e di esercizio. In particolare, sono da valutare gli Stati Limite di Esercizio SLO (Stato Limite di Operatività) e SLD (Stato Limite di Danno) e gli Stati Limite Ultimi SLV (Stato Limite di salvaguardia della Vita) e SLC (Stato Limite di prevenzione del Collasso).

Per la determinazione di a_g (accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido) è indispensabile conoscere le *coordinate geografiche decimali dell'opera da verificare*. Si determina, quindi, la maglia di riferimento con l'ausilio delle tabelle dei parametri spettrali fornite dal ministero e, sulla base della maglia interessata, si determinano i valori di riferimento del punto come media pesata dei valori nei vertici della maglia moltiplicati per le distanze dal punto: si ottengono in tal modo tre valori: a_g ($g/10$), F_0 e T_c^* → [definiscono le forme spettrali]. I valori di a_g , F_0 e T_c^* per gli "stati limite di esercizio", SLO e SLD, e per gli "stati limite ultimi", SLC e SLD, sono calcolati con interpolazione basata sulle distanze, per maglie di riferimento rappresentative dell'intera area nella quale dovrà essere realizzata la nuova struttura e utilizzando la classe d'uso I (*Presenza occasionale di persone, edifici agricoli*).

b) Categorie di Sottosuolo

Per identificare la categoria di sottosuolo (§ 3.2.2. NTC 2018) finalizzata alla definizione dell'azione sismica di progetto, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle

onde di taglio, VS. I valori di Vs eq possono essere ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche.

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

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	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.</i>

c) 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°".

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

Classe d'uso	I	II	III	IV
Coefficiente C _u	0,7	1,0	1,5	2,0

	TIPI DI COSTRUZIONE	Valori minimi di V _N (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinarie	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevate	100

1.5.2.1 - Dati sismici sul sito (spettri di risposta)

Dati sulla costruzione:

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

Dati sull'area SENSIBILE:

- X = 1484447.2900 longitudine E
- Y = 4519720.8300 latitudine N

STATO LIMITE DI ESERCIZIO (S.L.E)

- Dati sulla costruzione **(SLO)** Probabilità di superamento nella vita di riferimento: 0.810000 (SLO)
Periodo di ritorno: 30.00 (anni): Valori finali calcolati: $ag = 0.0180 \text{ g} \rightarrow Fo = 2.6325 \rightarrow Tc^* = 0.1700\text{sec}$
- Dati sulla costruzione **(SLD)** Probabilità di superamento nella vita di riferimento: 0.630000 (SLD)
Periodo di ritorno: 35.20 (anni): Valori finali calcolati: $ag = 0.0191 \text{ g} \rightarrow Fo = 2.6317 \rightarrow Tc^* = 0.1751 \text{ sec}$

STATO LIMITE ULTIMO (S.L.U)

- Dati sulla costruzione **(SLV)** Probabilità di superamento nella vita di riferimento: 0.100000 (SLV)
Periodo di ritorno: 332.19 (anni): Valori finali calcolati: $ag = 0.0363 \text{ g} \rightarrow Fo = 2.7651 \rightarrow Tc^* = 0.2750\text{sec}$
- Dati sulla costruzione **(SLC)** Probabilità di superamento nella vita di riferimento: 0.050000 (SLC)
Periodo di ritorno: 682.35 (anni): Valori finali calcolati: $ag = 0.0427 \text{ g} \rightarrow Fo = 2.8025 \rightarrow Tc^* = 0.3036\text{sec}$

RELAZIONE GEOTECNICA

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

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

- Sopralluogo nell'area in esame ed esame critico della situazione attuale;
- Stesura di una relazione geotecnica sulla base delle conoscenze dei luoghi litologici, per esperienze pregresse svolte dallo scrivente sull'areale sensibile², il tutto integrato dalla consultazione di miscellanee e bibliografia, ed osservazioni dirette di tagli litologici in affioramento nell'areale sensibile:
 - a) Sedimenti alluvionali b → depositi alluvionali ghiaiosi sabbiosi grossolani - Olocenici - Olocene;
 - b) Sedimenti legati alla gravità: Depositi di frana a1 → accumuli di blocchi derivanti dall'arretramento di cornici rocciose, carbonatiche o di vulcaniti, per frane di crollo e/o ribaltamento;
 - c) Successione sedimentaria oligo miocenica del Logudoro – Sassarese: Litofacies nella formazione di Mores: RESa → calcareniti, calcari bioclastici, calcari nodulari a componente terrigena – Terziario Miocenico;
 - d) Successione sedimentaria oligo miocenica del Logudoro – Sassarese: Formazione di Rio Minore LRM → Depositi epiclastici con intercalazioni di siltiti e marne, conglomerati;
 - e) Distretto vulcanico di Osilo - Castelsardo: Unità di Logulenti LGU → Depositi di flusso piroclastico in facies ignimbratica pomiceo – cineritici, saldati di colore rossastro - Terziario Miocenico;
 - f) Distretto vulcanico di Osilo - Castelsardo: Unità di Chiaramonti HRM → Depositi di flusso piroclastico in facies ignimbratica pomiceo – cineritici, a chimismo riodacitico, debolmente saldati, talora argillificati - Terziario Miocenico.

² Impresa Geotest srl



2. CONSIDERAZIONI GEOTECNICHE DI CONTESTO E STRATIGRAFICHE

L'analisi dell'area sensibile conferma una situazione geomorfologica locale stabile, essendo il progetto dell'impianto fotovoltaico ubicato in una zona sub pianeggiante leggermente degradante verso SE in direzione del tessuto urbano di Laerru, e una condizione litologica e geostrutturale piuttosto definita con ottima caratterizzazione meccanica del substrato essenzialmente vulcano sedimentario Terziario miocenico appartenente alle calcareniti della Litofacies nella Formazione di Mores (RESa). Allo stesso è associata la presenza sempre di un sedimentario Terziario ma di natura vulcanica attribuibile alla Formazione di Rio Minore (LRM) e all'Unità di Logulentu (LGU) presenti a WNE, e Unità di Chiamonti (HRM) verso Est.

La presenza delle coperture recenti quaternarie a giacitura sub-orizzontale e omogenea di materiale detritico alluvionale (b) e/o di sedimenti legati alla gravità come i depositi di frana (a1) oltre i depositi eluvio-colluviali (b2), fanno parte integrante al Tetto circoscritta soprattutto nella zona NNE (es. Valle Silanos) e SSE (es. tessuto urbano e areale di M. Cannalza) dell'areale.

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 (tracker a pali infissi) del diametro massimo di 20cm, con incastro di punta a -2.0m da p.c..

Nel nostro contesto specifico, andrà ad interessare essenzialmente una diffusa copertura superficiale di materiale detritico eluvio colluviale (b2) a clasti eterometrici derivanti dall'alterazione dei rilievi circostanti di natura vulcanica, frammisto a suolo per minimi spessori, per lo più incoerente in matrice fine coesiva, il tutto poggiante su litologie essenzialmente calcarenitiche che caratterizzano in maniera evidente il paesaggio dell'area dell'impianto, è costituita da biocalcareni e calcari bioclastici. Ad esso si dovrà tenere conto anche di un possibile interessamento delle strutture su terreni sempre sedimentari Terziari ma di natura vulcanica per lo stesso carattere deposizionale che gli caratterizza, costituiti sia da depositi di flusso piroclastico in facies ignimbratica pomiceo – cineritici, saldati di colore rossastro, sia da depositi epiclastici con intercalazioni di siltiti e marne, conglomeratici, soprattutto se ci si avvicina alle aree di confine proposte in progetto.

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 interna, durante i periodi intensamente piovosi, ed a localizzata sedimentazione eluvio-colluviale. Le uniformità locali di compattazione, la maggiore o minore presenza del legante (limo ed argilla), la presenza (%) o meno di elementi più grossi (sabbie grosse – ghiaie, sino a ciottolame), influenzano la condizione geotecnica generale propria di questi strati, dello spessore stimato superiore ai 10.0 metri da p.c., comunque variabile a seconda del tipo di sedimentazione

considerata, come ad esempio nei depositi detritici eluvio colluviali gli spessori si attestano nell'ordine di qualche metro. Nel nostro caso, ci si potrà attestare, con lo scavo per la realizzazione delle fondazioni su palo infisso, sempre all'interno di una stessa litologia di natura carbonatica a componente terrigena oltre le coperture recenti eluvio colluviali frammiste a suolo. In sintesi: sono qui presenti le tipologie dei terreni descritti in relazione e che possono essere raggruppati secondo il seguente criterio di resistenza geomeccanica, di cui alla relazione geologica:

- Distretto vulcanico di Osilo-Castelsardo → Unità di Logulentu (LGU) - Unità di Chiaramonti (HRM): Le litologie vulcaniche del substrato terziario, presenti nell'area di progetto, sottostanti la coltre superficiale più recente quaternaria, sono in genere stabilizzate sia naturalmente e/o dalla presenza di vegetazione arbustiva e/o a medio fusto. Si tratta di materiali da semicoerenti a coerenti, di discrete caratteristiche di resistenza meccanica nei primi livelli sino a buone con l'aumentare della profondità. Le caratteristiche geotecniche, ricavate attraverso le correlazioni con i valori conoscitivi di resistenza alla punta Ns/SPT, sono discrete, anche nei livelli più superficiali con valori di resistenza alla punta $100 \leq N/SPT \leq 50$.
- Successione sedimentaria Oligo-Miocenica del Logudoro-Sassarese → Formazione dei Calcari di Mores (RESa): si tratta di materiali da semicoerenti a coerenti, di discrete caratteristiche di resistenza meccanica nei livelli più alterati per carsificazione a componente terrigena, di colore rossastro, sino a buone con l'aumentare della profondità per il grado di compattezza. Le caratteristiche geotecniche, ricavate attraverso le correlazioni con i valori conoscitivi di resistenza alla punta Ns/SPT, sono discrete, anche nei livelli più superficiali con valori di resistenza alla punta $50 \leq N/SPT \leq 20$.
- Depositi Quaternari dell'area continentale → Depositi alluvionali (b) - Depositi di versante (a) - Depositi di frana (a1) - Coltri eluvio colluviali (b2): si tratta di depositi detritico-ciottolosi e sedimenti legati a gravità, rappresentati sia da corpi di frana antichi e recenti con valori di resistenza alla punta $N/SPT \geq 15$. Le coperture più superficiali, costituiscono un terreno di minimo spessore, costituito per lo più da un suolo di colore bruno violaceo, moderatamente addensato, a tessitura sabbiosa limosa, con pietrosità superficiale. Le caratteristiche geotecniche sono mediocri, poiché trattasi di livelli superficiali alterati, scarsamente consistenti, con valori di resistenza alla punta $N/SPT \leq 10$.

I dati di letteratura unitamente all'analisi della morfologia del territorio, hanno consentito di individuare in corrispondenza dell'area interessata dalla realizzazione dell'opera, a partire dal piano di campagna, il seguente assetto litostratigrafico locale, e per le quali il piano di riferimento (+0.00m) corrisponde al piano campagna, e che potranno comunque essere verificate con opportuni sondaggi geognostici continui a rotazione e prove S.P.T, in sede esecutiva:

- 0,00m ÷ 1,50 m → 5.0m: sedimenti quaternari di copertura, generalmente di debole spessore di natura detritica eluvio-colluviale, a tessitura sabbiosa limosa, talora con intercalati livelli argillificati

d'alterazione del substrato sottostante, presentano caratteristiche geomeccaniche da mediocri a discrete, funzione del grado di addensamento e cementazione;

- 5,0m → 10,0m e oltre → Substrato calcarenitico da semicoerente a coerente, di discrete caratteristiche di resistenza meccanica nei livelli più alterati per carsificazione, a componente terrigena di colore rossastro, sino a buone con l'aumentare della profondità per il grado di compattezza. Si tratta di materiali con caratteristiche di resistenza variabili in funzione della coesione interna (grado di cementazione) e dall'alterazione (argillificazione). Si evidenzia che la parte sommitale risulta spesso alterata e fratturata, passante a roccia debolmente fratturata in elementi clastici angolari in prossimità di discontinuità sub verticali.

2.1 - Stima dei parametri geotecnici da prove SPT

Nota la costituzione geostrutturale del sito, per la determinazione specifica della portanza del terreno e del suo carico limite è stata ritenuta sufficiente la caratterizzazione puntuale dei materiali situati poco al di sotto del piano campagna (volume significativo) su cui sarà intestato direttamente il palo (tracker) a supporto dei pannelli previsti in progetto. Nello specifico il volume significativo è quella porzione di terreno che si estende fino ad una profondità tale per cui gli incrementi di tensione, dovuti all'applicazione dei carichi in superficie, diventano trascurabili ovvero dell'ordine del 10% del carico applicato. Nel nostro caso (0.5/1B con B larghezza della palificata) interesserà una profondità entro i 3.0m da p.c.. Lo stesso graverà su di un terreno costituito da sabbie ghiaiose in matrice limosa argillosa con inclusioni eterometriche clastiche, conglomeratiche, soprastante un substrato calcarenitico da semicoerente a coerente. Le caratteristiche geomeccaniche, utili alla determinazione del carico limite e della generale idoneità del terreno riguardo all'opera d'intervento, sono state ricavate da esperienze lavorative eseguite in aree limitrofe e litologicamente omogenee, e commisurati ai dati di letteratura.

Le considerazioni che seguono hanno tenuto conto della correlazione esistente tra la formula di "Parry" e i valori rilevati dalle prove dinamiche discontinue N/SPT → $R_{\text{terreno}} = 30N_{\text{spt}} / F_s$ coefficiente di sicurezza. I parametri geotecnici dell'unità litostratigrafica che insiste per la maggiore al piano di fondazione sono indicati nella tabella sottostante:

Unità A → Ad esclusione del terreno vegetale di colore marroncino, depositi Olocenici ghiaiosi sabbiosi, con subordinati livelli sdi abbie limose argillose e/o limi argillosi sabbiosi, frammisti a elementi clastici eterometrici di litologie vulcaniche e calcarenitiche, debolmente umidi per la stagionalità del periodo. Si tratta di depositi accumulati essenzialmente per dinamiche superficiali. Essi si presentano incoerenti o cementati, a volte in corso di stabilizzazione da parte di una vegetazione erbacea ed arbustiva.

Peso di volume naturale (γ_n)	19,12 KN/M ³
Peso di volume saturo (γ_w)	20,59 KN/m ³

Committente: ENERGILAERRU SRL

Progetto: Impianto agrivoltaico a terra da 39,58 mw tipo ad inseguimento monoassiale "Laerru" - Comune di Laerru (SS)

Il Geologo: Dott. Mario STRINNA - ORG 441

Relazione geologica e geotecnica

Angolo di attrito interno (φ)	28° ± 2 (Road Bridge Specification)
Coesione n.d	19.61 ÷ 29.41 KN/m ²
Modulo Elastico (E)	29616,08 KN/m ² (Tornaghi et al.)
Modulo Edometrico (Md)	22163,02 KN/m ² (Menzebach e Malcev)
N/SPT medio	15 ÷ 18
Coefficiente di Winkler [$Q = 1.0 \text{ Kg/cm}^2$]	1.92 Kg/cm ³
Caratteristiche strato	da addensato a molto addensato
Resistenza Terreno (secondo Parry N/SPT)	1.47 ÷ 1.76 daN/cm ²
NTC 2018 - TERZAGHI (1955)	[Qult] 425.72 kN/m ² ÷ Resistenza di progetto [Rd] 236.51 kN/m ²

Nota: i parametri geotecnici sono stati calcolati con un valore conoscitivo di NSPT medio di 15/18 in quanto trattasi di depositi disomogenei per la stessa natura sedimentaria deposizionale

Unità B → Litologia calcarenitica diversamente fratturata, con spessori superiori ai 10.0m, colore grigiastro, con segni di ferrettizzazione nella matrice. Le facies prevalenti consistono in biocalcareni detritico-organogene deposte in ambiente di piattaforma medio-esterna; talvolta si presentano più friabili in conseguenza di una maggiore componente sabbiosa limosa argillosa con incostrazioni carbonatiche. Questa unità include sabbie quarzoso-feldspatiche, talvolta cementate, probabilmente legate a fasi regressive minori, tipiche di un ambiente caratterizzato da fondali costieri sabbiosi con livelli fossiliferi ricchi in echinidi, bivalvi e foraminiferi. Tali litologie poggiano generalmente con contatto netto sui prodotti piroclastici o sui tufi calcarei.

Peso di volume naturale (γ_n)	19,50 KN/m ³
Peso di volume saturo (γ_w)	20,01 KN/m ³
Angolo di attrito interno (φ)	28° ± 2 (Japanese National Railway)
Coesione n.d.	29.41 kN/m ²
Modulo Edometrico (M)	29321,88 kN/m ² (Menzebach e Malcev)
Modulo Elastico (E)	37559,46 kN/m ² (D'Appolonia et Alii.)
Coefficiente di Winkler [$Q = 1.0 \text{ Kg/cm}^2$]	3.22 Kg/cm ³
N/SPT	≥ 25
Resistenza del terreno da SPT (Parry)	≥ 2.45 daN/cm ²
Caratteristiche strato	addensato – molto addensato/duro

Nota: i parametri geotecnici sono stati calcolati con un valore medio di N/SPT di 25, 50 in quanto trattasi di depositi disomogenei/alterati per la stessa natura sedimentaria deposizionale

Unità B1 → Litologia calcarenitica poco fratturata/alterata, compatta

Peso di volume naturale (γ_N)	21.0 KN/ m ³
Angolo di attrito interno (φ)	> 35° ÷ 40°
Modulo Elastico (E)	98066,1 KN/m ²



Committente: ENERGILAERRU SRL

Progetto: Impianto agrivoltaico a terra da 39,58 mw tipo ad inseguimento monoassiale "Laerru" - Comune di Laerru (SS)

Il Geologo: Dott. Mario STRINNA - ORG 441

Relazione geologica e geotecnica

N/SPT	50
Resistenza terreno (secondo Parry NSPT)	4.90 daN/cm ²
Resistenza a compressione sclerometrica (σ_c)	≥ 150 MPa
Caratteristiche strato	da duro a molto duro (coerente)

Nota: i parametri geotecnici sono stati calcolati con un valore conoscitivo di NSPT di 50 in quanto trattasi di depositi disomogenei/alterati per la stessa natura sedimentaria deposizionale

Unità C → Deposito piroclastico pomiceo-cinertitico-lapilloso variamente saldato e fratturato di colore grigio con screziature grigio chiare. Presenta alterazioni limoso argillose frammiste a clasti eterometrici angolari. In profondità aumenta la coerenza del materiale, con discontinuità sub-verticali e sub-orizzonti da strette a parzialmente aperte e leggermente alterate, alternata a livelli estremamente fratturati.

Peso di volume naturale (γ_N)	22,55 KN/M ³
Peso di volume saturo (γ_w)	23,53 KN/m ³
Angolo di attrito interno (ϕ)	≥ 40°
Modulo Elastico (Me)	84000,0 KN/m ²
N/SPT	Rifiuto ≥ 50
Winkler (Kg/cm ³)	6.66
Resistenza a compressione monoassiale	38040,89 KN/m ²
RQD medio	60%
Caratteristiche strato	litoide
Resistenza terreno (secondo Parry NSPT)	4.90 ÷ 9,80daN/cm ²

2.2 - Verifica degli SL secondo le NTC 2018 – Interazione opera - terreno

Riferimenti di legge

- Legge n. 1086 del 5 Novembre 1971: Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica;
- Legge n. 64 del 2 febbraio 1974: Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche;
- D.M. LL.PP. 3 Marzo 1975: Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche;
- D.M. LL.PP. del 11 marzo 1988: Norme tecniche 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 Ministero LL.PP. 24 settembre 1988 n. 30483: Legge 2 febbraio 1974, n. 64; D.M. LL.PP. 11 MARZO 1988. Norme tecniche 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. Istruzioni per l'applicazione;
- D.M. LL.PP. 14 Febbraio 1992: Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche;
- D.M. LL.PP. 9 Gennaio 1996: Norme tecniche per le costruzioni delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche;



- Circolare Ministero LL.PP. 9 gennaio 1996 n. 218/24/3: Legge 2 febbraio 1974, n. 64; D.M. LL.PP. 11 MARZO 1988. Istruzioni applicative per la redazione della relazione geologica e della relazione geotecnica;
- D.M. LL.PP. 16 Gennaio 1996: Norme tecniche relative ai - Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi;
- D.M. LL.PP. 16 Gennaio 1996: Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche;
- Circolare Ministero LL.PP. 4 luglio 1996 n. 156 AA.GG./STC.: Istruzioni per l'applicazione delle - Norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi di cui al decreto ministeriale 16 gennaio 1996 -;
- Circolare Ministero LL.PP. 15 Ottobre 1996 n. n.252 AA.GG./STC.: Istruzioni per l'applicazione delle - Norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi di cui al decreto ministeriale 16 gennaio 1996;
- Circolare Ministero LL.PP. 10 Aprile 1997 n. 65/AA.GG.: Istruzioni per l'applicazione delle - Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche di cui al decreto ministeriale 16 gennaio 1996 -.
- Ordinanza P.C.M. n. 3274 del 20.3.2003. Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica.-
- Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali.-
- Eurocodice 8 - Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture - Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici.-
- Norme tecniche per le costruzioni D.M. 17 gennaio 2018 e succ. Aggiornamenti.-
- Eurocodice 7.- Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali.-
- Eurocodice 8.-Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture - Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici.-

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

Il primo metodo tiene conto di 2 combinazioni:

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



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

Le combinazioni sono formate da gruppi di coefficienti parziali γ con:

- A = coefficienti parziali per le azioni, γ_F ;
- M = coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno, γ_M (resistenza dei materiali);
- R = coefficienti parziali per le verifiche agli stati limite ultimi delle fondazioni superficiali γ_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 γ_F riportati nella colonna EQU della tabella 6.2.1. Per ogni stato limite ultimo che preveda il raggiungimento della resistenza di un elemento strutturale (STR) o del terreno (GEO), come definiti al § 2.6.1, deve essere rispettata la condizione: $E_d \leq R_d$ [§ 6.2.1] essendo E_d il valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione, definito dalle relazioni [6.2.2a] o [6.2.2b]. Effetto delle azioni e resistenza di progetto sono espresse nelle [6.2.2a] e [6.2.3] rispettivamente in funzione delle azioni di progetto γF_k , dei parametri geotecnici di progetto $X_k/\gamma M$ e dei parametri geometrici di progetto a_d . Il coefficiente parziale di sicurezza γ_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 (A_1 e A_2), per i parametri geotecnici (M_1 e M_2) e per le resistenze (R_1 , R_2 e R_3). 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. La verifica della

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

Per la verifica della capacità portante secondo le N.T.C 2018 è stato scelto il secondo metodo con la combinazione unica $[A_1+M_1+R_3]$ in condizioni drenate (piano di infissione): la verifica è stata svolta per un palo del diametro di 20cm, con incastro di punta a -2.0m da p.c..

DATI GENERALI

Normativa	NTC 2018
Diametro della fondazione (tracker)	0,20m
Profondità piano di posa	2,0 m

SISMA

Accelerazione massima (amax/g)	0.004
Effetto sismico secondo	NTC: Cascone Maugeri
Fattore di comportamento [q]	3
Periodo fondamentale vibrazione [T]	0.194
Coefficiente intensità sismico terreno [Khk]	0.0009
Coefficiente intensità sismico struttura [Khi]	0.0041

Coefficienti sismici [N.T.C.]

Dati generali

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

Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:	B
Categoria topografica:	T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s ²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30.0	0.018	2.6325	0.17
S.L.D.	35.0	0.0191	2.6317	0.187
S.L.V.	332.0	0.0363	2.7651	0.275
S.L.C.	682.0	0.0427	2.8025	0.3036

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s ²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0.0216	0.2	0.0004	0.0002
S.L.D.	0.0229	0.2	0.0005	0.0002
S.L.V.	0.0436	0.2	0.0009	0.0004
S.L.C.	0.0512	0.2	0.001	0.0005

Committente: ENERGILAERRU SRL

Progetto: Impianto agrivoltaico a terra da 39,58 mw tipo ad inseguimento monoassiale "Laerru" - Comune di Laerru (SS)

Il Geologo: Dott. Mario STRINNA - ORG 441

Relazione geologica e geotecnica

STRATIGRAFIA TERRENO

Spessor e strato [m]	Peso unità di volume [kN/m ³]	Peso unità di volume saturo [kN/m ³]	Angolo di attrito [°]	Coesione [kN/m ²]	Coesione non drenata [kN/m ²]	Modulo Elastico [kN/m ²]	Modulo Edometrico [kN/m ²]	Poisson	Descrizione
5.0	19.12	20.59	28.0	9.81	19.61	29616.08	22163.02	0.30	copertura + Unità A
9.0	19.5	20.01	30.0	9.81	29.41	37559.46	29321.88	0.35	Unità B
5.0	22.55	23.53	40.0	0.0	0.0	84000.0	0.0	0.35	Unità C

Carichi di progetto agenti sulla fondazione

Nr.	Nome combinazione	Pressione normale di progetto [kN/m ²]	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
2	Si	1	1	1	1	1	1,8	1,1
3	No	1	1	1	1	1	1	1
4	No	1	1	1	1	1	1	1

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

Autore: TERZAGHI (1955)

- Carico limite [Qult] 425.72 kN/m²
- Resistenza di progetto [Rd] 236.51 kN/m²
- Tensione [Ed] (ipotesi di verifica cedimenti 98,06 KN/m²)
- Fattore sicurezza [Fs=Qult/Ed] 3,0

COEFFICIENTE DI SOTTOFONDAZIONE BOWLES (1982)

Costante di Winkler 17028.75 kN/m³

Autore: TERZAGHI (1955) (Condizione drenata)

===== A1+M1+R3

Fattore [Nq]	7.14
Fattore [Nc]	17.24
Fattore [Ng]	4.74
Fattore forma [Sc]	1.3
Fattore forma [Sg]	0.6
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1.0

=====

Carico limite 425.8 kN/m²

Resistenza di progetto 185.13 kN/m²

Autore: TERZAGHI (1955) (Condizione drenata)

===== SISMA

Fattore [Nq]	7.14
Fattore [Nc]	17.24



Committente: ENERGILAERRU SRL

Progetto: Impianto agrivoltaico a terra da 39,58 mw tipo ad inseguimento monoassiale "Laerru" - Comune di Laerru (SS)

Il Geologo: Dott. Mario STRINNA - ORG 441

Relazione geologica e geotecnica

Fattore [Ng]	4.74
Fattore forma [Sc]	1.3
Fattore forma [Sg]	0.6
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	0.98
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1.0

Carico limite	425.72 kN/m ²
Resistenza di progetto	236.51 kN/m ²

2.2.1 – CEDIMENTI

CEDIMENTI PER OGNI STRATO

*Cedimento edometrico calcolato con: Metodo consolidazione monodimensionale di Terzaghi

Pressione normale di progetto	98,06 kN/m ²
Cedimento dopo T anni	15.0
Distanza	0.09 m
Angolo	140.88 °
Cedimento totale	0.013 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 ²)	Dp (kN/m ²)	Metodo	Wc (cm)	Ws (cm)	Wt (cm)
1	3.5	66.92	0.908	Edometrico	0.0123	--	0.0123
2	9.5	183.35	0.037	Edometrico	0.0011	--	0.0011
3	16.5	0	0	Schmertmann	0	--	0

CEDIMENTI ELASTICI

Pressione normale di progetto	98,06 kN/m ²
Spessore strato	0.0 m
Profondità substrato roccioso	0.0 m
Modulo Elastico	29616.08 kN/m ²
Coefficiente di Poisson	0.3

Coefficiente di influenza I1	0.53
Coefficiente di influenza I2	0.01
Coefficiente di influenza Is	0.53

Cedimento al centro della fondazione	1.95 mm
--------------------------------------	---------

Coefficiente di influenza I1	0.11
Coefficiente di influenza I2	0.12
Coefficiente di influenza Is	0.17
Cedimento al bordo	0.5 mm

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

Livello non liquefacibile

- La verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze: 1) accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g. 2) profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;



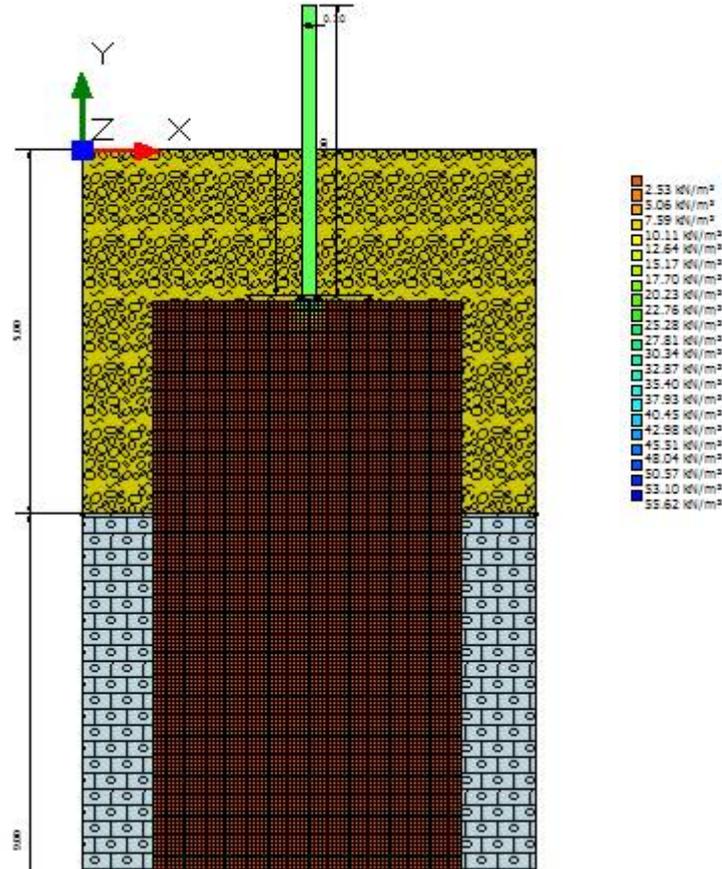


Figure 13 - Bulbo sviluppo delle pressioni (ipotesi di verifica 98,06 KN/m²)

2.3 – Considerazioni sulla scavabilità e tenuta dei fronti di scavo

Premessa: la porzione di territorio in studio è costituita in prevalenza da depositi sedimentari miocenici lambita da depositi vulcanici oligo miocenici, oltre le coperture più recenti detritiche Oloceniche, non sono sede di alcun movimento sismico o di subsidenza dato che i fenomeni di assestamento del basamento nella regione Sardegna si sono verificati in tempi geologici. I problemi di stabilità sono funzione diretta delle caratteristiche litologiche e delle proprietà geotecniche delle varie facies, dell'angolo di inclinazione dei versanti e della profondità della superficie della falda freatica/circolazione idrica dal piano di campagna. Questi parametri consentono di distinguere qualitativamente, per le litologie presenti nella porzione di territorio investigata, tre zone con diversi livelli di stabilità.

- Zone con buone caratteristiche di stabilità, contraddistinte da assetto morfologico vario, pendenza modesta e presenza di terre da molto consistenti a dure e/o da litotipi francamente litoidi in giacitura stabile;
- Zone con sufficienti caratteristiche di stabilità, contraddistinte da assetto morfologico dolce e senza brusche variazioni di inclinazione e presenza di coltri detritiche sedimentarie alluvionali e/o coesive di calcareniti/vulcaniti non saldate e/o di calcareniti/vulcaniti saldate in fase di degrado e della falda

superficiale. Nei terreni coesivi le proprietà geotecniche si riducono al diminuire della consistenza e del tenore di umidità, di conseguenza le condizioni di stabilità variano al variare del contenuto d'acqua e della consistenza. In litotipi privi di consistenza e poco/moderatamente consistenti o terreni consistenti e molto/estremamente consistenti con contenuto di umidità da medio a elevato, le condizioni di stabilità possono essere mantenute escludendo del tutto dall'interessamento ai carichi questi strati e, in presenza di falda, creando opportune opere di drenaggio che consentano di stabilizzare la superficie della falda al di sotto degli strati interessati da eventuali carichi.

- Zone potenzialmente instabili o instabili, caratterizzate da un'erosione in stato decisamente avanzato operante su varie facies della formazione vulcanica e su pendenze significative. In queste zone il fattore che gioca a sfavore della stabilità è essenzialmente quello topografico. In particolare, l'interconnessione elaborata con tre classi di pendenza, comprese rispettivamente tra 0 e 30%, 30 e 60% oltre 60%, consente di individuare tre sub-zone: la prima con modeste pendenze include le aree stabili; la seconda include le aree ove si possono presentare problemi d'instabilità quando i parametri geotecnici sono scadenti; la terza include le aree instabili.

Le caratteristiche litologiche e la pendenza moderata della superficie sulla quale è prevista la realizzazione dell'opera inferiore al 15% portano ad inserire l'area in quelle "Zone con sufficienti caratteristiche di stabilità" costituite da coltri detritico-ciottolose e sedimenti legati a gravità, al di sopra di un substrato carbonatico di natura calcarenitica bioclastica. Le coperture più superficiali, costituiscono un terreno di minimo spessore, costituito per lo più da un suolo di colore bruno violaceo, moderatamente addensato, a tessitura sabbiosa limosa, con pietrosità superficiale. Nel caso specifico la superficie interessata dall'opera in progetto rientra nella categoria topografia T1 per la quale la normativa (NTC 2018) prevede che "Gli effetti topografici possono essere trascurati" poiché presentano "un'inclinazione media inferiore a 15°".

L'area è costituita da una diffusa copertura superficiale di materiale detritico eluvio colluviale (b2) a clasti eterometrici derivanti dall'alterazione dei rilievi circostanti di natura vulcanica, frammisto a suolo per minimi spessori, per lo più incoerente in matrice fine coesiva, il tutto poggiante su litologie essenzialmente calcarenitiche che caratterizzano in maniera evidente il paesaggio dell'area dell'impianto, è costituita da biocalcareni e calcari bioclastici. Ad esso si contornano litologie di natura vulcanica costituite sia da depositi di flusso piroclastico in facies ignimbratica pomiceo – cineritici, saldati di colore rossastro, sia da depositi epiclastici con intercalazioni di silti e marne, conglomeratici.

Le litologie presentando al piano di intestamento dei tracher e oltre, caratteristiche essenzialmente incoerenti, saranno asportabili con il semplice uso di un escavatore dotato di singola benna nei livelli più superficiali. Per quelli più profondi, duri e consistenti, se presenti in subaffioramento (calcarenite e/o vulcanico) non si dovrà escludere si richiede l'uso di un adeguato martellone per roccia. 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 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 considerati, nello specifico Olocenici con assenza negli strati rilevabili di intercalazioni ad esempio calcarenitiche e/o vulcaniche, diversamente addensati, essendo materiali a comportamento granulare, è legata indipendentemente dall'altezza dello scavo al valore dell'angolo di attrito interno dello stesso materiale.

Il fattore di sicurezza (FS) di una parete di scavo viene definito come $FS = \text{tg } \varphi / \text{tg } \beta$, dove φ = angolo di attrito interno del materiale e β = 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 un φ medio a circa -2.0m uguale a 28° , per lavorare in condizioni di sicurezza, si dovrà tener conto di un'inclinazione della parete di scavo min. di circa 27° (51%).

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 cautelativi: $c_u = 19,61\text{KN/m}^2$; $\gamma_n = 19,12\text{KN/m}^3$ e utilizzando la seguente relazione: $H_c = 4 c / \gamma_n$ si ottiene un'altezza critica di scavo $H_c = \sim 4.0\text{m}$.

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 al contatto tra l'alluvionale e il substrato resistente terziario.

3. CONCLUSIONI

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

- Gli interventi in progetto sono ricompresi all'interno dei confini amministrativi del Comune di Laerru in Provincia di Sassari. Lo studio geologico, morfologico ed idrogeologico, dell'area effettuato sulla base dei dati bibliografici, dal rilevamento di campagna e aereofotogrammetrico, supportato da indagini geognostiche pregresse e conoscenze dei luoghi, acquisiti tramite osservazione (dirette) in affioramento presenti nell'area sensibile, ha permesso di ricostruire con sufficiente dettaglio la stratigrafia dell'area sensibile su cui è previsto il "progetto di installazione di un impianto fotovoltaico a terra". L'analisi dell'area sensibile conferma una situazione geomorfologica locale stabile, essendo il progetto dell'impianto fotovoltaico ubicato in una zona sub pianeggiante leggermente degradante verso SE in direzione del tessuto urbano di Laerru, e una condizione litologica e geostrutturale piuttosto definita con ottima caratterizzazione meccanica del substrato essenzialmente vulcano-sedimentario Terziario miocenico appartenente alle calcareniti della Litofacies nella Formazione di Mores (RESa). Allo stesso è associata la presenza sempre di un sedimentario Terziario ma di natura vulcanica attribuibile alla Formazione di Rio Minore (LRM) e all'Unità di Logulentu (LGU) presenti a WNE, e Unità di Chiaramonti (HRM) verso Est. La presenza delle coperture recenti quaternarie a giacitura sub-orizzontale di materiale detritico alluvionale (b) e/o di sedimenti legati alla gravità come i depositi di frana (a1) oltre i depositi eluvio-colluviali (b2), fanno parte integrante al Tetto circoscritta soprattutto nella zona NNE (es. Valle Silanos) e SSE (es. tessuto urbano e areale di M. Cannalza) dell'areale. Le tipologie di terreni descritti in relazione sono stati raggruppati secondo il seguente criterio geomeccanico:
 - Distretto vulcanico di Osilo-Castelsardo → Unità di Logulentu (LGU) - Unità di Chiaramonti (HRM);
 - Successione sedimentaria Oligo-Miocenica del Logudoro-Sassarese → Formazione dei Calcari di Mores (RESa);
 - Depositi Quaternari dell'area continentale → Depositi alluvionali (b) - Depositi di versante (a) - Depositi di frana (a1) - Coltri eluvio colluviali (b2).
- Nell'area d'interesse non sono stati rilevati fenomeni franosi in atto né segni che ne lascino presagire l'occorrenza; non è stata riscontrata la presenza d'alcun elemento tettonico attivo, quali faglie o dislocazioni in genere, che possa favorire l'innescarsi di dissesti di qualsiasi natura e provocare ripercussioni sulla stabilità delle opere in progetto. Essa, inoltre, non è interessata da fenomeni di subsidenza, né sono stati rilevati altri fenomeni morfogenetici attivi in grado di influire in maniera significativa sulla stabilità dell'area. In considerazione delle caratteristiche tecniche dei terreni unitamente ai valori di pendenza su cui giacciono, l'area rimane caratterizzata da buone condizioni di stabilità.

- I terreni rilevati, in base alle caratteristiche geolitologiche, con particolare riferimento alla capacità d'assorbimento (tab. 1) possono essere suddivisi in 3 classi di permeabilità:

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}

- Prima classe → vi appartengono le litologie vulcaniche del Terziario [HRM, LRM, LGU]. Le rocce effusive acide, costituite da rioliti, riodaciti, ignimbriti litoidi e depositi di flusso piroclastico in facies ignimbrítica, pressoché impermeabili per porosità, per la struttura massiva e compatta della roccia o per la presenza di livelli argillificati, presentano permeabilità complessiva da molto bassa a media per fessurazione, funzione del reticolo di fratture primarie e secondarie che pervadono l'ammasso vulcanico. La permeabilità per fessurazione è più alta nei termini con sistemi di fratturazione marcati (espandimenti ignimbríticos) e più bassa nei livelli piroclastici e epiclastici [$10^{-3} \geq K \geq 10^{-7}$];
- Seconda classe → i calcari miocenici, attribuibili ai "Calcari di Mores" (RESa) sono scarsamente permeabili per porosità, per la compattezza della roccia, ma presentano una permeabilità per fessurazione e/o carsismo variabile da bassa a buona (da $10^{-2} \geq K \geq 10^{-5}$);
- Terza classe → i depositi alluvionali recenti e attuali dell'unità b e detritico eluvio colluviale dell'unità b2: si tratta di ghiaie poligeniche ed eterometriche, da sub-arrotondate ad arrotondate, in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa generalmente abbondante; a luoghi si rinvencono passaggi di sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi a struttura indistinta, con abbondanti ghiaie poligeniche da sub-angolose ad arrotondate. Costituiscono acquiferi porosi a bassa trasmissività, sono sede di falde idriche sotterranee di modesta rilevanza, generalmente a deflusso unitario, che possono avere interscambi con i corpi idrici superficiali e/o con quelli sotterranei delle strutture idrogeologiche limitrofe. La permeabilità, esclusivamente per porosità, è variabile da media ad alta [$10^{-2} \geq K \geq 10^{-5}$]. I terreni di copertura dell'unità b2, sabbioso, sabbioso limoso e/o limoso sabbioso, con presenza di ghiaie poligeniche da angolose a sub-arrotondate – angolose, con locali clasti di dimensioni da decimetriche a metriche; localmente si rileva la presenza di argille limose e limi argilloso-sabbiosi a struttura indistinta, con diffusi resti vegetali e sporadiche ghiaie poligeniche da angolose a sub-arrotondate. Costituiscono acquiferi porosi di scarsa trasmissività, moderatamente eterogenei ed anisotropi; sono privi di corpi idrici sotterranei di importanza

significativa, a meno di piccole falde a carattere stagionale. La permeabilità, esclusivamente per porosità, è variabile da bassa a media [$10^{-4} \geq K \geq 10^{-6}$].

La disamina della consultazione dei dati legge 464/84 tramite il Portale del Servizio Geologico d'Italia relativi alle indagini nel sottosuolo <http://portalesgi.isprambiente.it/it> è emerso che le prime falde produttive superficiali si rinvenivano all'interno delle litologie vulcaniche ignimbriche in facies tufacea lapidea fratturata a partire da circa -30.0m da p.c., se consideriamo l'ambito a est della nostra area, entro 1.500mt di distanza lineare. A seguire soprattutto se ci spostiamo verso il tessuto urbano di Laerru si evidenziano falde superficiali a partire da -47.0m all'interno di litologie tufi pomicei bianchi in banchi regolari con livelli di argilla, e -93.0m da p.c. all'interno di litologie di roccia calcarea intervallata con strati terrosi.

□ Il Comune di Laerru è ricompreso all'interno del bacino unico della Sardegna, U.I.O del Coghinas, così come individuato dal P.A.I. Sardegna e dal P.S.F.F. Sardegna. Nella fattispecie il sito oggetto di intervento ricade nella cartografia attualmente disponibile on-line e consultabile tramite la piattaforma "Sardegna Geoportale", in un'area a pericolosità da frana (Hg) e idraulica (Hi) assente (Art.8/Rev. 42/Rev. 59). Da una analisi del Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (PSFF) relativo al bacino del Coghinas, nel comparto del rio Silanus, non sono emersi per l'area esaminata rischi compatibili con i corsi d'acqua in funzione della sicurezza idraulica, ad eccezione (esterna) delle parti in prossimità del settore nord. Da una analisi dell'Inventario dei Fenomeni Franosi in Sardegna (IFFI) relativo al bacino del Coghinas, nel settore nord di Laerru, 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 $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PVR nel periodo di riferimento VR.

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

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

I valori di ag, 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*). 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).

Categoria 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
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</i>

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

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

	TIPI DI COSTRUZIONE	Valori minimi di V_N (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinarie	50

Committente: ENERGILAERRU SRL

Progetto: Impianto agrivoltaico a terra da 39,58 mw tipo ad inseguimento monoassiale "Laerru" - Comune di Laerru (SS)

Il Geologo: Dott. Mario STRINNA - ORG 441

Relazione geologica e geotecnica

3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevate	100
---	--	-----

Dati sismici sul sito (spettri di risposta)

Dati sulla costruzione:

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

Dati sull'area SENSIBILE:

- X = 1484447.2900 longitudine E
- Y = 4519720.8300 latitudine N

STATO LIMITE DI ESERCIZIO (S.L.E)

- Dati sulla costruzione **(SLO)** Probabilità di superamento nella vita di riferimento: 0.810000 (SLO)
Periodo di ritorno: 30.00 (anni): Valori finali calcolati: $a_g = 0.0180 \text{ g} \rightarrow F_o = 2.6325 \rightarrow T_c^* = 0.1700 \text{ sec}$
- Dati sulla costruzione **(SLD)** Probabilità di superamento nella vita di riferimento: 0.630000 (SLD)
Periodo di ritorno: 35.20 (anni): Valori finali calcolati: $a_g = 0.0191 \text{ g} \rightarrow F_o = 2.6317 \rightarrow T_c^* = 0.1751 \text{ sec}$

STATO LIMITE ULTIMO (S.L.U)

- Dati sulla costruzione **(SLV)** Probabilità di superamento nella vita di riferimento: 0.100000 (SLV)
Periodo di ritorno: 332.19 (anni): Valori finali calcolati: $a_g = 0.0363 \text{ g} \rightarrow F_o = 2.7651 \rightarrow T_c^* = 0.2750 \text{ sec}$
 - Dati sulla costruzione **(SLC)** Probabilità di superamento nella vita di riferimento: 0.050000 (SLC)
Periodo di ritorno: 682.35 (anni): Valori finali calcolati: $a_g = 0.0427 \text{ g} \rightarrow F_o = 2.8025 \rightarrow T_c^* = 0.3036 \text{ sec}$
- Le caratteristiche geomeccaniche, utili alla determinazione del carico limite e della generale idoneità del terreno riguardo all'opera in progetto, sono state ricavate da esperienze lavorative pregresse eseguite in aree limitrofe, litologicamente omogenee correlabili, dati bibliografici e miscellanee, oltre da osservazioni dirette dei luoghi litologici su tagli stradali e altro. Le considerazioni che seguono hanno tenuto conto della correlazione esistente tra la formula di "Parry" e i valori rilevati dalle prove dinamiche discontinue N/SPT $\rightarrow R_{\text{terreno}} = 30N_{\text{spt}} / F_s$ coefficiente di sicurezza. I parametri



geotecnici dell'unità litostratigrafica che insiste per la maggiore al piano di fondazione sono indicati nelle tabelle sottostanti, come Unità litologiche:

Unità A → Ad esclusione del terreno vegetale di colore marroncino, depositi Olocenici ghiaiosi sabbiosi, con subordinati livelli sdi abbie limose argillose e/o limi argillosi sabbiosi, frammisti a elementi clastici eterometrici di litologie vulcaniche e calcarenitiche, debolmente umidi per la stagionalità del periodo. Si tratta di depositi accumulati essenzialmente per dinamiche superficiali. Essi si presentano incoerenti o cementati, a volte in corso di stabilizzazione da parte di una vegetazione erbacea ed arbustiva.

Peso di volume naturale (γ_n)	19,12 KN/M ³
Peso di volume saturo (γ_w)	20,59 KN/m ³
Angolo di attrito interno (ϕ)	28° ± 2 (Road Bridge Specification)
Coesione n.d	19.61 ÷ 29.41 KN/m ²
Modulo Elastico (E)	29616,08 KN/m ² (Tornaghi et al.)
Modulo Edometrico (Md)	22163,02 KN/m ² (Menzebach e Malcev)
N/SPT medio	15 ÷ 18
Coefficiente di Winkler [$Q = 1.0 \text{Kg/cm}^2$]	1.92 Kg/cm ³
Caratteristiche strato	da addensato a molto addensato
Resistenza Terreno (secondo Parry N/SPT)	1.47 ÷ 1.76 daN/cm ²
NTC 2018 - TERZAGHI (1955)	[Qult] 425.72 kN/m ² ÷ Resistenza di progetto [Rd] 236.51 kN/m ²

Nota: i parametri geotecnici sono stati calcolati con un valore conoscitivo di NSPT medio di 15/18 in quanto trattasi di depositi disomogenei per la stessa natura sedimentaria deposizionale

Unità B → Litologia calcarenitica diversamente fratturata, con spessori superiori ai 10.0m, colore grigiastro, con segni di ferrettizzazione nella matrice. Le facies prevalenti consistono in biocalcareniti detritico-organogene deposte in ambiente di piattaforma medio-esterna; talvolta si presentano più friabili in conseguenza di una maggiore componente sabbiosa limosa argillosa con incostrazioni carbonatiche. Questa unità include sabbie quarzoso-feldspatiche, talvolta cementate, probabilmente legate a fasi regressive minori, tipiche di un ambiente caratterizzato da fondali costieri sabbiosi con livelli fossiliferi ricchi in echinidi, bivalvi e foraminiferi. Tali litologie poggiano generalmente con contatto netto sui prodotti piroclastici o sui tufi calcarei.

Peso di volume naturale (γ_n)	19,50 KN/m ³
Peso di volume saturo (γ_w)	20,01 KN/m ³
Angolo di attrito interno (ϕ)	28° ± 2 (Japanese National Railway)
Coesione n.d.	29.41 kN/m ²
Modulo Edometrico (M)	29321,88 kN/m ² (Menzebach e Malcev)



Committente: ENERGILAERRU SRL

Progetto: Impianto agrivoltaico a terra da 39,58 mw tipo ad inseguimento monoassiale "Laerru" - Comune di Laerru (SS)

Il Geologo: Dott. Mario STRINNA - ORG 441

Relazione geologica e geotecnica

Modulo Elastico (E)	37559,46 kN/m ² (D'Appolonia et Alii.)
Coefficiente di Winkler [Q = 1.0 Kg/cm ²]	3.22 Kg/cm ³
N/SPT	≥ 25
Resistenza del terreno da SPT (Parry)	≥ 2.45 daN/cm ²
Caratteristiche strato	addensato – molto addensato/duro

Nota: i parametri geotecnici sono stati calcolati con un valore medio di N/SPT di 25, 50 in quanto trattasi di depositi disomogenei/alterati per la stessa natura sedimentaria deposizionale

Unità B1 → Litologia calcarenitica poco fratturata/alterata, compatta

Peso di volume naturale (γ_N)	21.0 KN/ m ³
Angolo di attrito interno (φ)	> 35° ÷ 40°
Modulo Elastico (E)	98066,1 KN/m ²
N/SPT	50
Resistenza terreno (secondo Parry NSPT)	4.90 daN/cm ²
Resistenza a compressione sclerometrica (σ_c)	≥ 150 MPa
Caratteristiche strato	da duro a molto duro (coerente)

Nota: i parametri geotecnici sono stati calcolati con un valore conoscitivo di NSPT di 50 in quanto trattasi di depositi disomogenei/alterati per la stessa natura sedimentaria deposizionale

Unità C → Deposito piroclastico pomiceo-cinertitico-lapilloso variamente saldato e fratturato di colore grigio con screziature grigio chiare. Presenta alterazioni limoso argillose frammiste a clasti eterometrici angolari. In profondità aumenta la coerenza del materiale, con discontinuità sub-verticali e sub-orizzonti da strette a parzialmente aperte e leggermente alterate, alternata a livelli estremamente fratturati.

Peso di volume naturale (γ_N)	22,55 KN/M ³
Peso di volume saturo (γ_w)	23,53 KN/m ³
Angolo di attrito interno (φ)	≥ 40°
Modulo Elastico (Me)	84000,0 KN/m ²
N/SPT	Rifiuto ≥ 50
Winkler (Kg/cm ³)	6.66
Resistenza a compressione monoassiale	38040,89 KN/m ²
RQD medio	60%
Caratteristiche strato	litoide
Resistenza terreno (secondo Parry NSPT)	4.90 ÷ 9,80daN/cm ²

- Per la verifica della capacità portante secondo le N.T.C 2018 è stato scelto il secondo metodo con la combinazione unica [A₁+M₁+R₃] in condizioni drenate (piano di infissione): la verifica è stata svolta per un palo del diametro di 20cm, con incastro di punta a -2.0m da p.c..



- Combinazione A1+M1+R3 - TERZAGHI (1955) – condizione drenata: Il valore minimo del carico limite ultimo $Q_{ult} = 425.72 \text{ KN/m}^2$, con una resistenza di progetto (R_d) = 236.51 KN/m^2 , con una tensione (E_d) ipotesi di verifica (cedimenti) pari a $98,06 \text{ KN/m}^2$;
 - I Cedimenti Elastici relativi al substrato di terreno interessato dal sovraccarico, si attesterebbero a valori inferiori al centimetro (centro $1,95\text{mm}$ / bordo $0,5\text{mm}$), in corrispondenza di una pressione normale di progetto pari a $98,06 \text{ KN/m}^2$ (ipotesi di verifica);
 - I Cedimenti per ogni strato (W_t) relativi al substrato di terreno interessato dal sovraccarico, si attesterebbero a valori inferiori al centimetro ($0,013$), in corrispondenza di una pressione normale di progetto pari a $98,06 \text{ KN/m}^2$ (ipotesi di verifica);
 - I terreni presenti nell'area in oggetto non sono suscettibili al fenomeno di liquefazione in seguito a sollecitazioni dinamiche, in considerazione delle caratteristiche granulometriche, nonché dell'assenza di una vera e propria falda nei primi metri dal piano campagna - Metodo del C.N.R. - GNDT Da Seed e Idriss.
- La porzione di territorio studiata è costituita da una diffusa copertura superficiale di materiale detritico eluvio colluviale (b2) a clasti eterometrici derivanti dall'alterazione dei rilievi circostanti di natura vulcanica, frammisto a suolo per minimi spessori, per lo più incoerente in matrice fine coesiva, il tutto poggiante su litologie essenzialmente calcarenitiche che caratterizzano in maniera evidente il paesaggio dell'area dell'impianto, è costituita da biocalcareni e calcari bioclastici. Ad esso si contornano litologie di natura vulcanica costituite sia da depositi di flusso piroclastico in facies ignimbratica pomiceo – cineritici, saldati di colore rossastro, sia da depositi epiclastici con intercalazioni di siltiti e marne, conglomeratici. Le litologie presentando al piano di intestamento dei tracher e oltre, caratteristiche essenzialmente incoerenti, saranno asportabili con il semplice uso di un escavatore dotato di singola benna nei livelli più superficiali. Per quelli più profondi, duri e consistenti, se presenti in subaffioramento (calcarenite e/o vulcanico) non si dovrà escludere si richiede l'uso di un adeguato martellone per roccia.

Il fattore di sicurezza (FS) di una parete di scavo viene definito come $FS = \text{tg } \varphi / \text{tg } \beta$, dove φ = angolo di attrito interno del materiale e β = 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 un φ medio a circa - 2.0m uguale a 28° , per lavorare in condizioni di sicurezza, si dovrà tener conto di un'inclinazione della parete di scavo min. di circa 27° (51%).

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 cautelativi: $c_u = 19,61\text{KN/m}^2$; $\gamma_n = 19,12\text{KN/m}^3$ e utilizzando la seguente relazione: $H_c = 4 c/\gamma_n$ si ottiene un'altezza critica di scavo $H_c = \sim 4.10\text{m}$.

Tenendo conto delle "tensioni di trazione" di altezza (y), che si generano in seguito allo scavo, ed in presenza di probabile umidità (stagionalità) a breve profondità per la stessa presenza di matrice coesiva, il valore dell'altezza critica (Hc) (Terzaghi) risulta ridotto per $y = H_c/2 \rightarrow H_c' = \sim 2.0\text{m}$

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 al contatto tra l'alluvionale e il substrato resistente terziario.

- 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 previste in progetto, a supporto del progetto dell'Impianto fotovoltaico a terra da 39,58 mw tipo ad inseguimento monoassiale;
 - 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 28 Giugno 2023



GEOLOGO [sez. A]

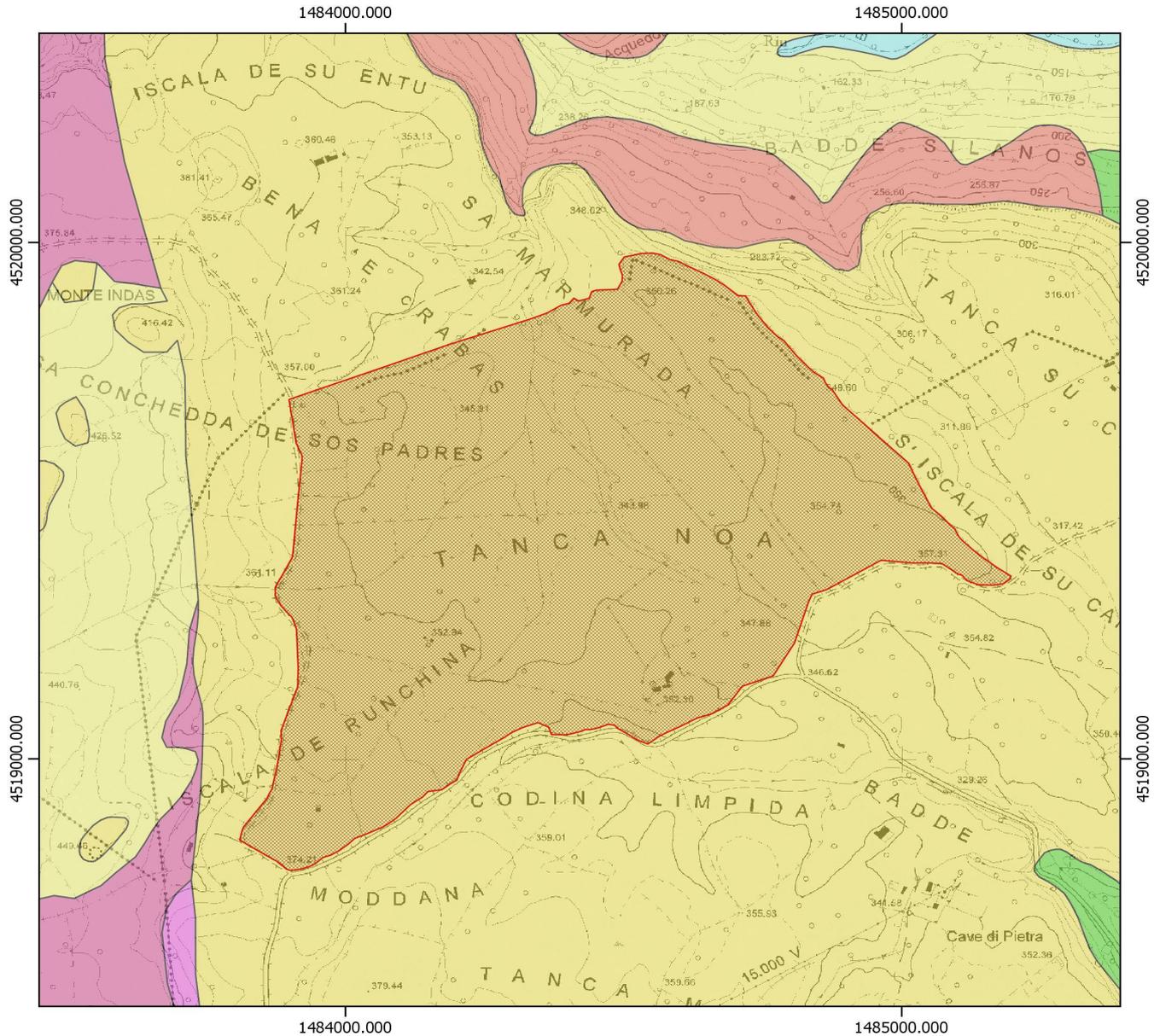
Dott. Mario STRINNA

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 442 - 140 [SU SASSU]
SCALA 1:10.000



 Impianto LAERRU_SS.kmz

geologiaAreali2008

 Depositi alluvionali. OLOCENE

 Depositi di frana. Corpi di frana. OLOCENE

 FORMAZIONE DEL RIO MINORE. Depositi epiclastici, silti e marne con resti di piante, conglomerati, e calcari silicizzati lacustri. BURDIGALIANO

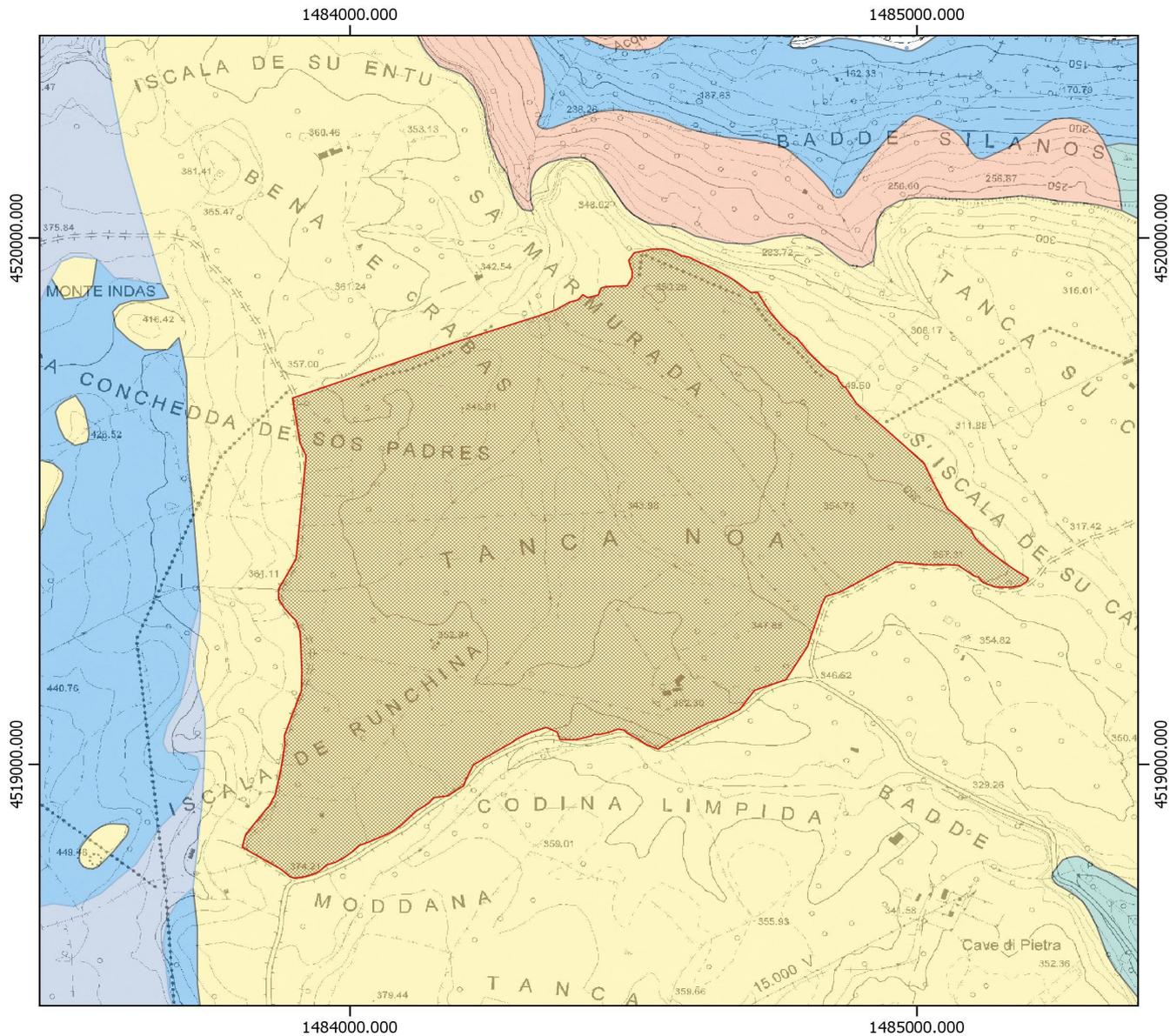
 Litofacies nella FORMAZIONE DI MORES. Calcareniti, calcari bioclastici fossiliferi. Calcari nodulari a componente terrigena, variabile

 UNITA' DI CHIARAMONTI. Depositi di flusso piroclastico pomiceo-cineritici in facies ignimbritica a chimismo riodacitico, debolmente saldati

 UNITA' DI LOGULENTU. Depositi di flusso piroclastico in facies ignimbritica, pomiceo-cineritici, saldati, di colore rossastro. BURDIGALIANO



CARTA DELLE PERMEABILITA'
SU BASE CTR FOGLIO 442 - 140 [SU SASSU]
SCALA 1:10.000



0 500 1000 m

Impianto LAERRU_SS.kmz

carta_permeabilita_2019

AP - Permeabilità alta per porosità

BF - Permeabilità bassa per fratturazione

MACF

MAP - Permeabilità medio alta per porosità

MBF - Permeabilità medio bassa per fratturazione

MF - Permeabilità media per fratturazione

