

Committente: ENERGYMAC3 SRL Via Semplicio Spano 10 – 07026 Olbia (SS)

Progetto: Richiesta di autorizzazione impianto fotovoltaico denominato Macchiareddu 3 - Area industriale Macchiareddu

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

Relazione geologica e geotecnica



COMUNE DI UTA - ASSEMINI

(Prov. di Cagliari – Città Metropolitana)

RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA

**REALIZZAZIONE IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA DA 24,76 MW
TIPO AD INSEGUIMENTO MONOASSIALE “MACCHIAREDDU 3”
AREA INDUSTRIALE DI MACCHIAREDDU COMUNE DI UTA E ASSEMINI (CA)**

COMMITTENTE

ENERGYMAC3 SRL

VIA SIMPLICIO SPANO 10 07026 OLBIA

CF 02842130904

GEOLOGO [SEZ. A]

Dott. Mario STRINNA



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

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



INDICE

RELAZIONE GEOLOGICA	pag. 3
A. PREMESSA	pag. 3
B. INQUADRAMENTO AEREO E GEOGRAFICO	pag. 4
C. BREVE DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO	pag. 8
1. CARATTERISTICHE GEOLOGICHE E SEDIMENTOLOGICHE GENERALI	pag. 11
1.1 - Caratteristiche geologiche, geomorfologiche e tettoniche generali	pag. 11
1.2 - Contesto geologico dell'area di sedime	pag. 19
1.3 - Inquadramento idrologico e idrogeologico generale	pag. 21
1.4 - Caratteristiche idrologiche e idrogeologiche del sedime in esame.....	pag. 23
1.4.1 - Caratteristiche morfologiche della falda nell'areale	pag. 25
1.5 – Lineamenti climatici generali dell'areale	pag. 28
1.6 – Pericolosità geologica	pag. 29
1.6.1 - Pericolosità Idrogeologica	pag. 30
1.6.2 - Progetto P.S.F.F	pag. 31
1.6.3 - Progetto I.F.F.I	pag. 31
1.6.4 - Pericolosità sismica di base	pag. 31
1.7 – Verifica sismica con tecnica MASW	pag. 38
1.7.1 - Prova MASW e descrizione del metodo	pag. 38
1.7.2 – Strumentazione impiegata	pag. 39
1.7.3 – Elaborazione dati	pag. 40
1.7.4 – Risultati finali	pag. 44
RELAZIONE GEOTECNICA	pag. 45
3. CONSIDERAZIONI GEOTECNICHE PRELIMINARI	pag. 45
3.1 - Parametrizzazione geologico-tecnica locale da prove S.P.T	pag. 48
3.2 – Considerazioni sulla scavabilità e tenuta dei fronti di scavo	pag. 50
3.3 - Verifica degli SL secondo le NTC 2018	pag. 51
3.3.1 – Cedimenti per ogni strato	pag. 55
3.3.2 - Cedimenti elastici	pag. 55
3.3.3 - Cedimenti BURLAND E BURBIDGE	pag. 56
3.3.4 - Verifica a liquefazione - Metodo del C.N.R. - GNDT Da Seed e Idriss	pag. 56
4. CONCLUSIONI	pag. 58
 Appendice	
- Inquadramento Geologico su base cartografica 1:10.000	pag. 66
- Carta delle permeabilità su base cartografica 1:10.000	pag. 67

RELAZIONE GEOLOGICA

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

A. PREMESSA

Per lo studio dei terreni interessati dal progetto di un impianto fotovoltaico da realizzarsi all'interno della ZI di Macchiareddu, a NE del complesso del CACIP VI^a strada Ovest, 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

¹ Comune di Uta Interventi sul Rio Coccodi - CACIP impianto compostaggio - Parco Eolico Macchiareddu - Stabilimento Sindjal - Fluorsid - RWM

Geognostiche). Testo integrato con la **Circ. LL.PP. 24 Settembre 1988 n. 30483** (punto A3): istruzioni riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione, **Circolare n. 218/24/3 del 09.01.1996** e **n. 617 del 02.02.2009 – OPCM n. 3274 del 20.03.2003 - N.T.C. 2008** sulle costruzioni, **Nuove NTC 2018 sulle costruzioni** (§ 2.6 - § 3.2. ÷ 3.2.2. - § 7.11.3.), secondo le seguenti fasi:

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

B. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E AEREO

L'area interessata dallo studio ricade nel territorio Comunale di Uta - Assemini, situata all'esterno del contesto urbanizzato, a sud in direzione del Rio Coccodi di cui l'omonima località, prospiciente a NE la VI^a strada Consortile. Morfologicamente trattasi di un'area pianeggiante alluvionale (depositi terrigeni continentali di conoide e piana alluvionale) sedimentaria terrazzata [bna → depositi alluvionali terrazzati ghiaiosi con subordinate sabbie (Olocene), a diretto contatto con depositi sempre alluvionali (bb ÷ ba ÷ bc) ma più francamente sabbiosi con subordinati limi e argille e/o limi argillosi (Olocene). A contorno si rilevano, a partire dalla località Sa Mitza De S'Acqua Bella, depositi Pleistocenici dell'area continentale rappresentati dalla Litofacies nel Subsistema di Portoscuso. Trattasi di ghiaie alluvionali terrazzate da medie a grossolane, con subordinate sabbie. Le pendenze del territorio, variabili da circa 9.0m s.l.m.m. a circa 4.0m s.l.m.m., risultano minori del 10% degradanti verso il Rio Cixerri a nord.

Corograficamente è inquadrabile nei seguenti Fogli Regionali:

- Foglio **I.G.M.** N. 556 – sez II quadrante denominato “Assemini” alla scala 1:25.000;
- Foglio **C.T.R.** N. 556-120 denominato “Assemini” alla scala 1:10.000.

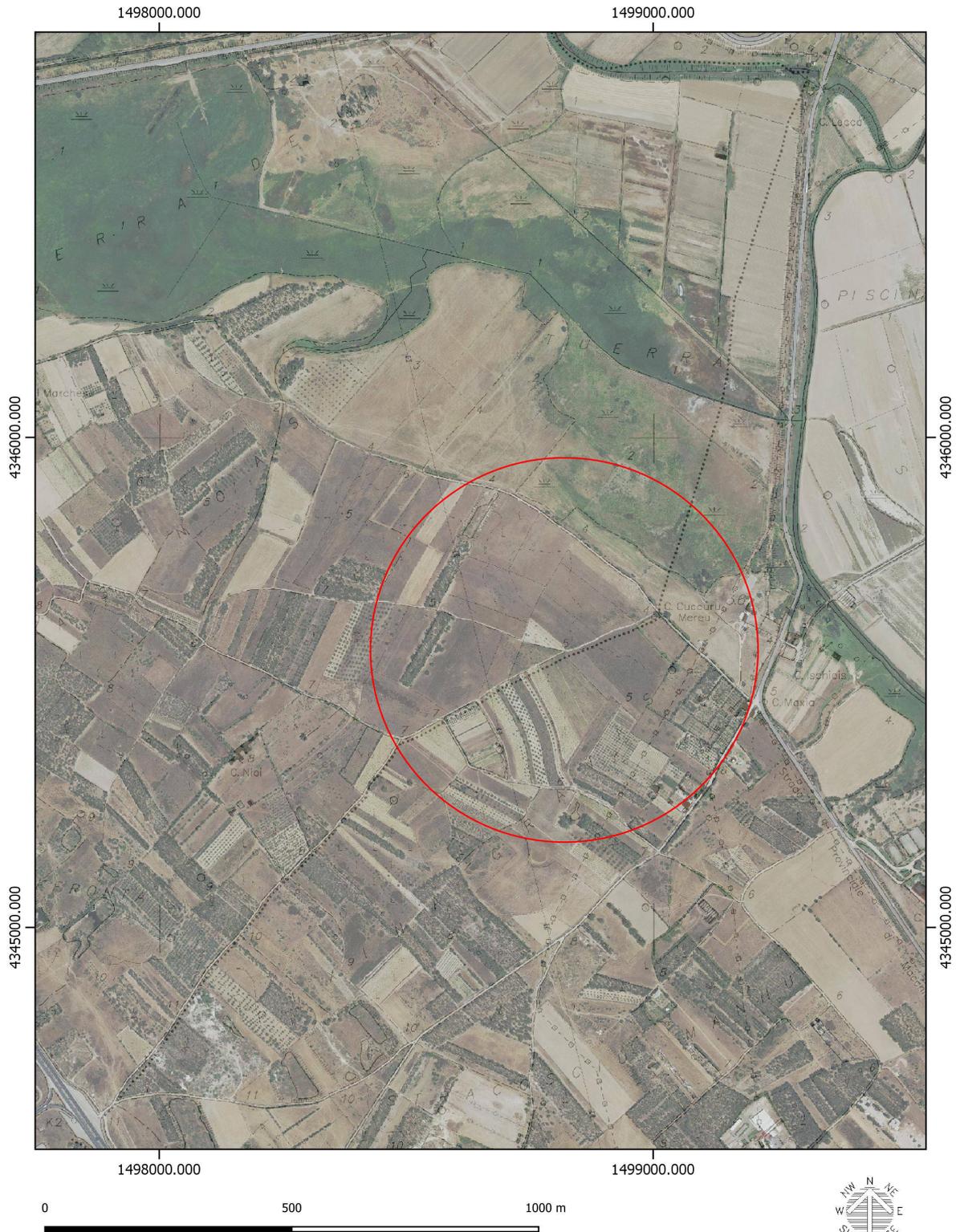
Coordinate Km Gauss-Boaga areale sensibile (Fuso 32)

Areale sensibile progetto impianto “Macchiareddu 3”

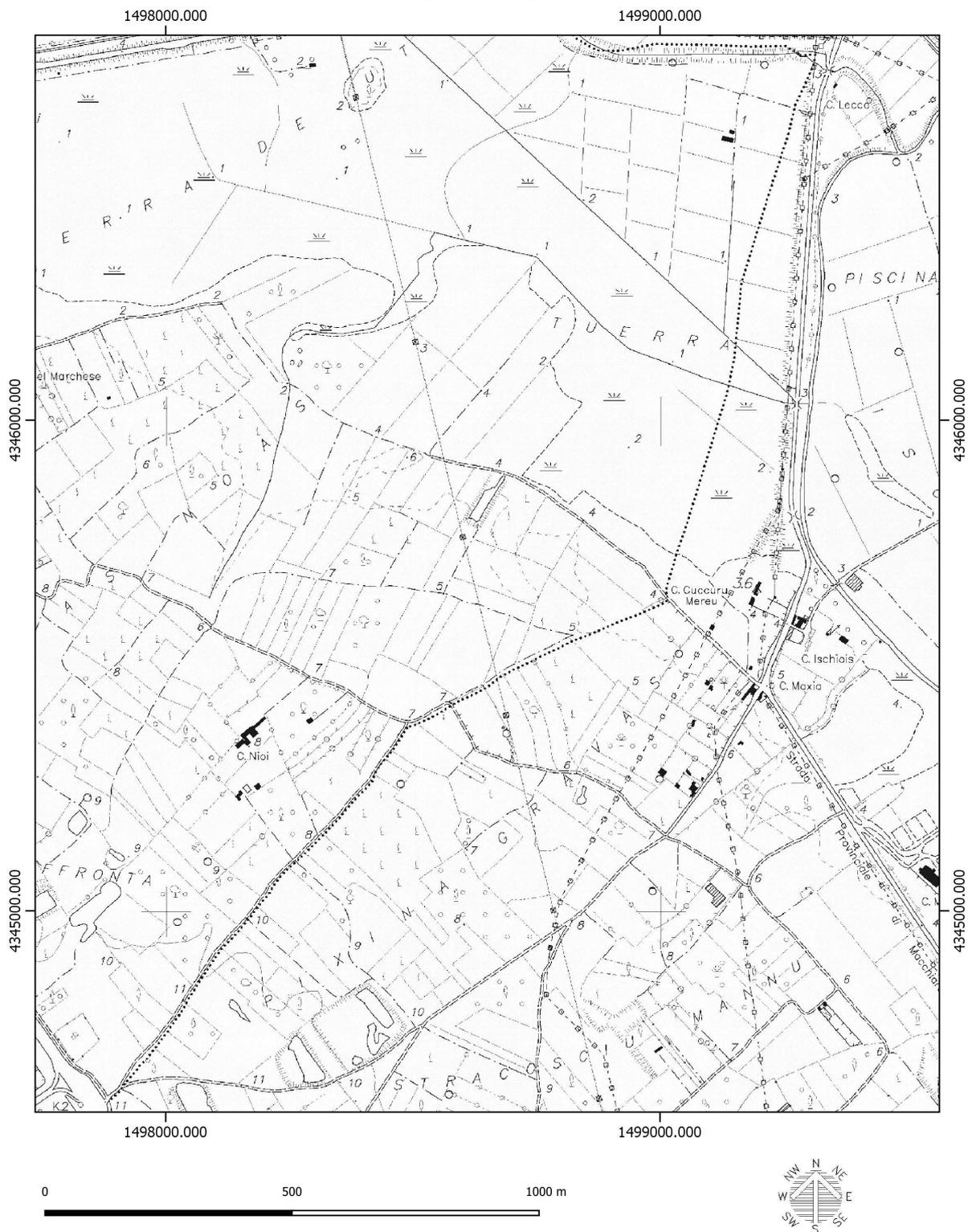
- **X = 1498407.4570 E**
- **Y = 4345882.3135 N**



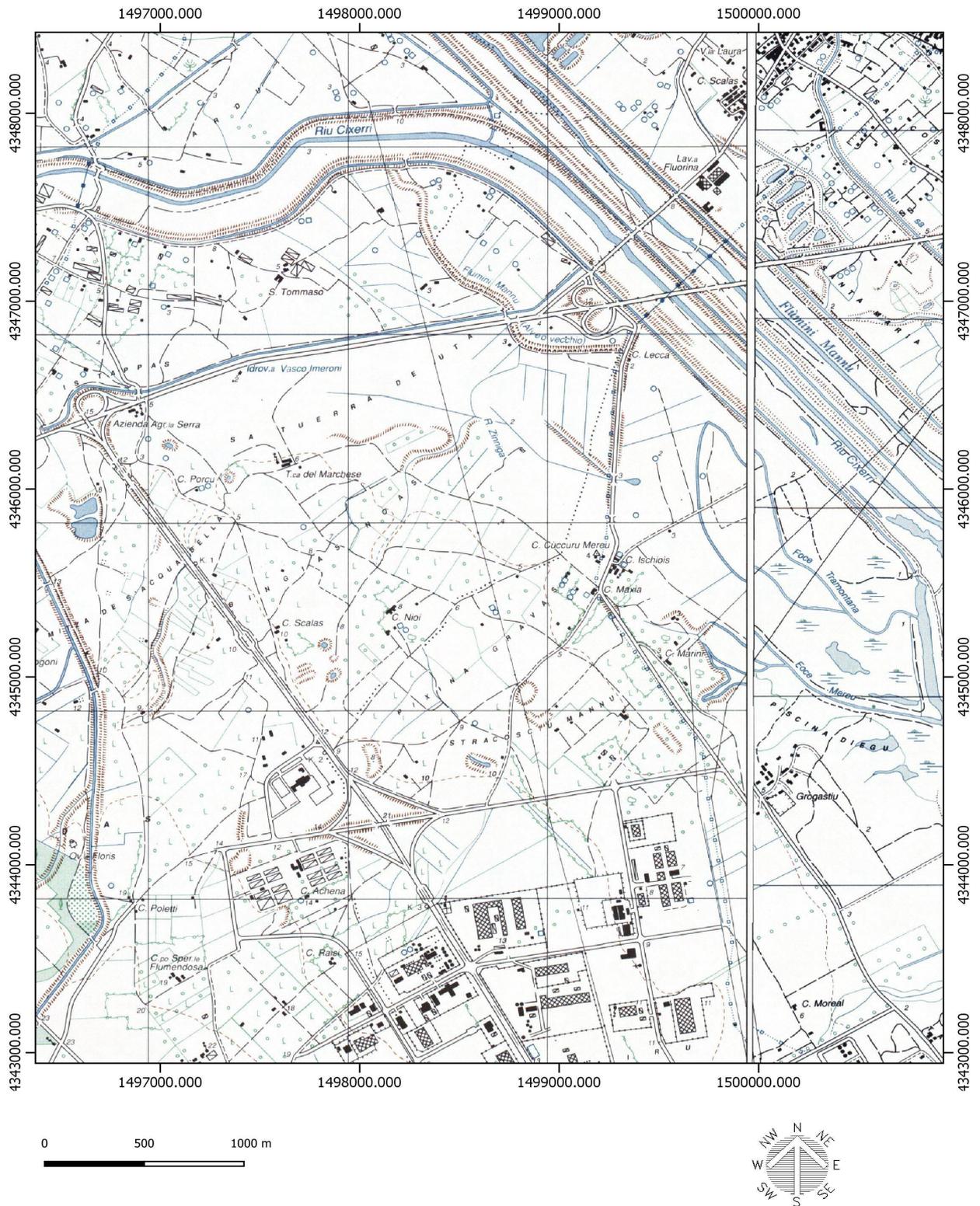
INQUADRAMENTO AEREO
SU BASE CTR FOGLIO 556 - 120 [ASSEMINEI]
SCALA 1:10.000



INQUADRAMENTO CARTOGRAFICO REGIONALE
SU BASE CTR FOGLIO 556 - 120 [ASSEMINI]
SCALA 1:10.000



INQUADRAMENTO CARTOGRAFICO REGIONALE
SU BASE IGM FOGLIO 556 - SEZ. II QUADRANTE [ASSEMINI]
SCALA 1:25.000



C. BREVE DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

Il progetto proposto denominato “MACCHIAREDDU 3”, ubicato nella zona industriale del Comune di Uta (loc. Macchiareddu), prevede la realizzazione di un “impianto fotovoltaico” che verrà realizzato su una superficie complessiva di circa 46,5 ha per una potenza nominale in immissione in rete è pari a 24.760,50 kW di picco, costituito da 58.260 moduli fotovoltaici monocristallini da 425 Wp di tipo bifacciale, organizzati in stringhe e collegati in serie tramite 10 Power Station da 1995 kVA posizionate in maniera baricentrica rispetto alle strutture di supporto dei pannelli.

Le strutture saranno per cui orientate lungo l'asse nord/sud con i pannelli che si orienteranno rivolgendo la superficie captante di mattina verso est e di sera verso ovest.



Con la realizzazione dell'impianto di potenza complessiva pari 24.760,50 kW si intende ottenere una produzione energetica consistente nel polo industriale di Macchiareddu mediante l'utilizzo di una fonte energetica rinnovabile, il Sole. Il fine è quello di agire in linea con le direttive del Piano Energetico Ambientale Regione Sardegna (PEARS), che da alcuni anni detta le linee

strategiche e gli obiettivi per ottimizzare il sistema energetico sardo, promuovendo sistemi che funzionino grazie ad una gestione intelligente e un uso efficiente dell'energia.

Il ricorso alla produzione energetica fotovoltaica nasce dall'esigenza di coniugare:

- tutela ambientale;
- inquinamento acustico inesistente;
- risparmio di combustibile fossile;
- produzione di energia elettrica senza emissioni di sostanze inquinanti.

I lavori previsti si riassumono in:

- Accantieramento e realizzazione della recinzione
- Scavi posa tubazioni e pozzetti
- Installazione delle strutture di sostegno dei moduli mediante infissione
- Installazione sovrastrutture in alluminio per il montaggio moduli
- Realizzazione basamento cabine
- Posizionamento cabine prefabbricate
- Posa delle dorsali in DC a AC
- Installazione dei moduli fotovoltaici
- Installazione e montaggio apparecchiature in AC
- Installazione, montaggio, scomparti MT e trasformatore
- Installazione e cablaggio inverter
- Montaggio e collegamento dell'Illuminazione esterna, telecamere, e sistema antintrusione
- Verifiche elettriche, misure di collaudo e connessione alla rete.

La struttura di fissaggio di tipo TRACKER monoassiale sarà orientata con asse NORD/SUD come indicato nelle tavole grafiche. Il sistema tracker scelto è quello della SAFE TRACK HORIZON della IDEEMATEC. Il movimento sarà garantito da appositi motori fissati direttamente alla struttura di tipo monofase che attraverso un sistema di riduttori e paranchi assicureranno il movimento delle vele da est ad ovest. I motori possono gestire con un singolo azionamento fino ad un massimo di 340 moduli FV. I motori del tracker vanno alimentati in trifase ad una tensione di 400V in alternata tramite cavo 4x2,5 mm² FG16OR16, assorbiranno una potenza di 250/370 W. Il componente principale del SAFE TRACK HORIZON è l'unità di azionamento disaccoppiata a basso carico, installata in basso dando stabilità a tutta la struttura, grazie ad un basso baricentro. L'intero sistema garantisce una certa resistenza al vento, in maniera da evitare spostamenti indesiderati.

L' intervento è individuato nelle aree di pertinenza del Consorzio per l'area di Sviluppo Industriale di Cagliari (CASIC), nei lotti classificati come Aree per attività industriali nel Piano

Regolatore Territoriale, destinazione urbanistica compatibile con la realizzazione di parchi fotovoltaici industriali. L'area interessata è ubicata in comune di Uta in Zona Industriale e dista circa 6 km dall'aeroporto di Cagliari-Elmas. È identificabile nello stralcio cartografico regionale IGM a scala 1:25 000 (Allegato AV01). La morfologia del terreno si presenta prevalentemente pianeggiante. Attualmente l'area è adibita ad uso agricolo, con coltivazioni semplici e specializzate. L'area circostante è caratterizzata dalla presenza di terreni anch'essi coltivati e da capannoni industriali.



Figura 1 - Fotoinserimento

1. CARATTERISTICHE GEOLOGICHE E SEDIMENTOLOGICHE GENERALI

1.1 - Caratteristiche geologiche, geomorfologiche e tettoniche generali

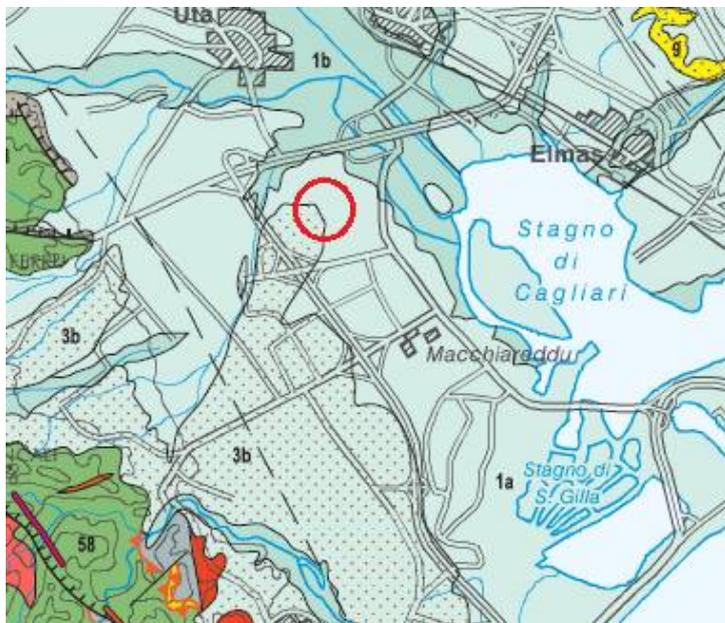
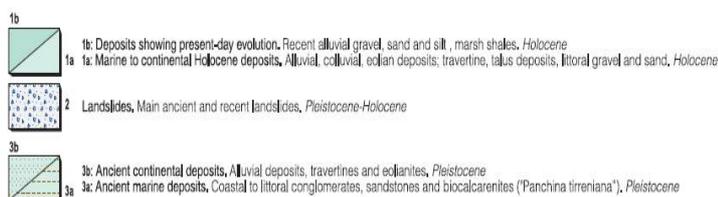


Figura 2 - Geological Map of Sardinia – Carmignani et altrii – 2015



L'area in esame ricade nel settore sud-occidentale della fossa tettonica del Campidano, una zona morfologicamente pianeggiante, che degrada dolcemente dalle pendici orientali dei rilievi paleozoici del Sulcis, verso lo Stagno di Cagliari a est, e verso il mare a sud.

La caratteristica peculiare dell'area, estendentesi tra il limite geomorfologico della fossa tettonica del Cixerri, a sviluppo EW, e la fossa Campidanese, a sviluppo NW-SE, è data dalla presenza, di una pianura alluvionale deltizia, solcata a nord dal Rio Cixerri e a sud dal Rio Santa Lucia. L'attuale configurazione geomorfologica complessiva evidenzia un prevalere dei processi endogeni, sia tettonici sia vulcanici, sui fenomeni

esogeni di erosione e accumulo, che hanno modificato solo parzialmente l'aspetto originario del territorio, come testimonia la presenza di conoidi alluvionali e depositi pedemontani che raccordano i rilievi alla pianura. Il differente rapporto tra le componenti geologico-litologiche e tettoniche e la loro influenza nei processi geomorfici, ha permesso di suddividere l'area d'insieme in settori, ognuno dei quali è caratterizzato da forme di rilievo distintive. Nel settore Nord occidentale, collinare, predominano i piccoli horst bordati, nelle zone di raccordo morfologico, da faglie dirette al contatto tra le formazioni terziarie e il complesso scistoso-metamorfoico paleozoico, ritenuto di età ordoviciana e comunemente noto nella letteratura geologica come Post-gotlandiano. Si tratta di una serie di colline, allineate in direzione NW-SE, costituenti una sorta di sbarramento naturale tra la piana del Cixerri e la pianura del Campidano denominato "soglia di Siliqua", caratterizzato da faglie dirette appartenenti a diversi sistemi. Il contatto tra il basamento Paleozoico con i sedimenti paleogenici e con le vulcaniti oligo-mioceniche, costituenti il domo andesitico di P.ta de su Ferru - P.ta de sa Domu è di tipo tettonico.

Il settore W-SW è caratterizzato da rilievi montuoso-collinari costituiti da rocce cristalline sia metamorfiche sia granitiche, rappresentanti la propaggine più orientale del M.te Arcosu, con

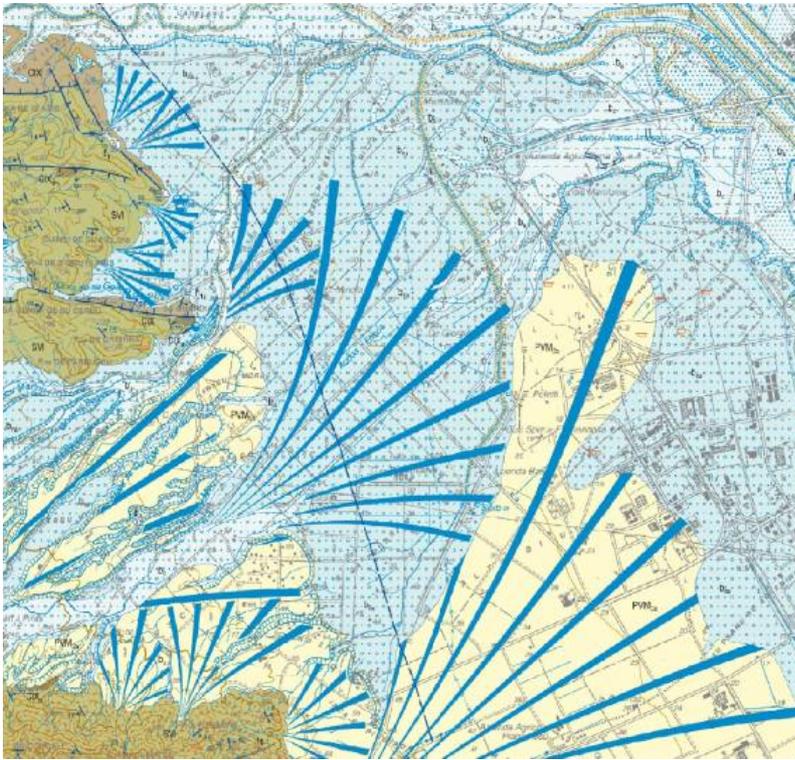


Figura 3 – Estratto da Inquadramento geologico [Fonte ISPRA 1:50.000]

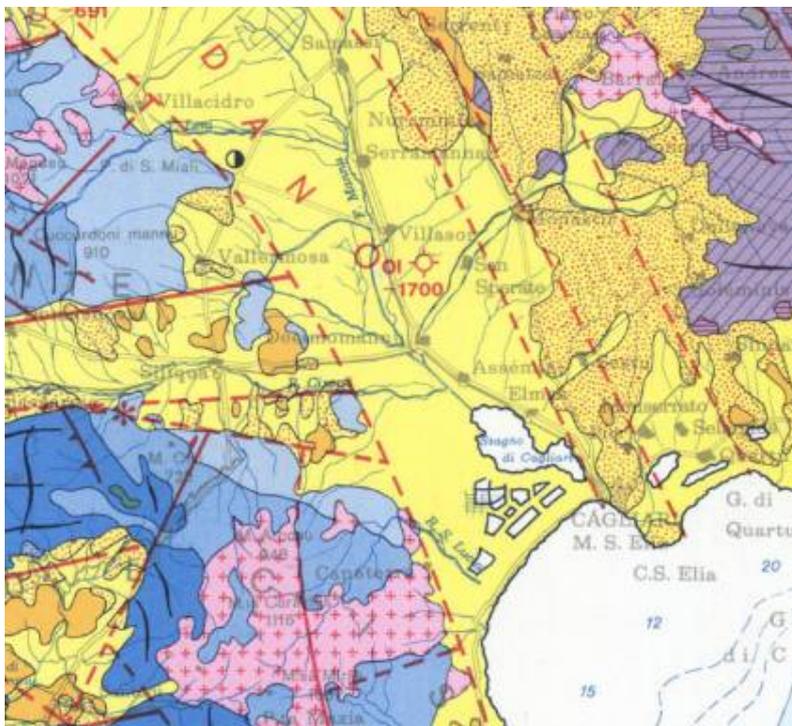


Figura 4 – Estratto da Carta strutturale della Sardegna 1:500.000

forme differenziate, da accidentate sino ad arrotondate, in base ai tipi litologici affioranti.

La piana di Capoterra-Uta, originata dalla colmata sedimentaria del Graben Campidanese formatosi nel Pliocene medio-superiore (Cherchi et al., 1978) e sovrainposto al più grande Rift Sardo, è caratterizzato da depositi di alluvioni antiche terrazzate, ben costipate e ferrettizzate, delle grandi conoidi del Rio Cixerri e del Rio S. Lucia e da alluvioni recenti; è il risultato della continua azione geomorfica dei corsi d'acqua e degli agenti esogeni che hanno eroso i rilievi ai bordi del graben e allontanato dai versanti i materiali dando origine alla pianura alluvionale che si estende sino al Rio Cixerri. Depositati alluvio-colluviali, che ricoprono generalmente la Formazione del Cixerri e il contatto di quest'ultima con il Paleozoico, piccoli conigli alluvionali alternati alle falde di detrito al piede dei versanti, occupano le aree pedemontane, in particolare fungono da raccordo tra la propaggine montuoso-collinare di M.te Arcosu, le colline di P.ta De Su

Ferru - P.ta De Sa Domu, P.ta de Parroccu, P.ta de Cristina, Sa Guardia, e la pianura.

L'antica impostazione stratigrafico-strutturale del territorio, essendo situato dove la fossa del Cixerri s'innesta mediante la soglia di Siliqua alla fossa del Campidano, è dovuta principalmente alla tettonica terziaria distensiva Oligo-Miocenica (formazione del Rift Sardo; Cherchi e Montadert, 1982) e Plio-Pleistocenica (Graben del campidano; Casula, A. Cherchi, 2001) ed ai relativi episodi vulcanici concomitanti l'orogenesi alpina. Sono comunque evidenti i segni della tettonica compressiva antecedente; infatti, l'intera area sarda è stata interessata da due grandi movimenti orogenetici: quello caledoniano (Cambrico-Silurico) e quello ercinico (Permo-Carbonifero), che hanno interessato potenti successioni terrigene preesistenti. All'orogenesi ercinica è dovuta inoltre la messa in un posto dei graniti. La formazione della serie Cambriana autoctona, la falda di ricoprimento scistoso-metamorfica ordoviciana, unitamente alla presenza di cornubianiti, nel settore sud occidentale testimonia gli effetti plicativi e il metamorfismo termico subito dai sedimenti arenaceo-argillosi ordoviciani, in seguito alla messa in posto dei graniti, durante l'orogenesi ercinica. In quest'area è evidente il contatto tra granito e/o sedimenti metamorfosati dell'ordoviciano e/o le metamorfite autoctone.

Il versante occidentale della pianura alluvionale, è caratterizzato oltre che da una faglia d'importanza regionale, con direzione NW-SE, che determina una brusca rottura di pendio, tra i rilievi cristallini paleozoici e la piana, da diversi sistemi di faglie, originatisi dai movimenti tettonici distensivi oligo-miocenici, concomitanti al distacco del blocco Sardo-Corso dal margine provenzale europeo. Le faglie subverticali che mettono a contatto il basamento Paleozoico con la formazione del Cixerri o con le vulcaniti, esempi tipici di tettonica sovrimposta, hanno direzioni prevalentemente NW– SE e NE-SW e subordinatamente Ovest-Est Nord-Sud. Attualmente, non è stata verificata l'antecedenza di un sistema o di un reticolato sull'altro.

La storia geologica di questa regione è testimoniata da affioramenti costituiti da litotipi metamorfici, vulcanici e sedimentari, ascrivibili al Paleozoico, al Terziario e al Quaternario.

Durante la "Fase Sarda" dell'orogenesi caledoniana (Ordoviciano medio), l'area del Sulcis fu sottoposta a una fase compressiva, in cui la potente serie sedimentaria Cambro-Ordoviciana è stata intensamente deformata, piegata, sollevata e parzialmente erosa dagli agenti esogeni. Con l'Orogenesi Ercinica (Cocozza et al., 1974) le coperture sedimentarie paleozoiche, per effetto di fasi compressive, assunsero una struttura a falde di ricoprimento e subirono deformazioni di alto e basso grado che originarono facies metamorfiche, assumendo tessitura scistosa. Oltre allo sconvolgimento dell'antico assetto fisiografico della Sardegna, le fasi della tettonica ercinica determinarono l'intrusione dei plutoni calcoalcalini lungo le faglie (trascorrenti e dirette) e la conseguente genesi del batolite granitico (Bralia et al., 1981).

L'evoluzione post-collisionale della catena ercinica è caratterizzata da una lunga fase continentale, che si protrae fino al Trias inferiore, in cui i rilievi ercinici vengono fortemente erosi con conseguente formazione di vaste zone a penepiano (Cocozza et al., op. cit.). Nel Mesozoico la Sardegna è stata interessata parzialmente da una progressiva trasgressione marina, che però, non è riuscita a sommergerla completamente, se non durante qualche breve periodo, seguita da una lunga fase di continentalità, nel Cretaceo, destinata a esumare almeno in parte il vecchio penepiano permiano. Per tale motivo affioramenti attribuibili al Mesozoico sono assenti. Durante l'Oligocene, l'intensa fase tettonica, conseguente alla collisione tra la placca africana ed europea e quindi al ciclo orogenetico alpino (Tapponier, 1977), risulta responsabile del distacco del blocco Sardo-Corso dal continente europeo e della sua rotazione antioraria, attraverso i quali la Sardegna ha raggiunto, nel Burdigaliano Medio, l'attuale posizione di isolamento nel Mediterraneo (Letouzey, 1982; Cherchi e Tremolieres, 1984).

In tale situazione, la Formazione del Cixerri, assume notevole importanza sia dal punto di vista paleogeografico che strutturale, sia perché rappresenta il prodotto dell'ultima sedimentazione continentale prima della deriva della microplacca sardo-corsa nel Mediterraneo Occidentale, sia perché alla stessa sono stati attribuiti i soli depositi continentali paleogenici sicuramente pre-vulcanici (Cherchi, 1985). Infatti, è stata riferita all'Eocene Medio–Oligocene Inferiore-Medio (Maxia, 1959; Pecorini e Pomesano Cherchi, 1969). Gli ambienti deposizionali sono essenzialmente continentali, con prevalenti facies fluvio-deltizie ed episodi lacustri e lagunari, il cui spessore medio è stato valutato attorno ai 200 m, con massimi che superano anche i 300 m (Barca & Palmerini, 1973).

I movimenti tettonici distensivi oligo-miocenici, determinano ripetute dislocazioni per frattura, che smembrano il basamento paleozoico sardo in un insieme di blocchi rialzati e ribassati fra loro, originando una grande fossa tettonica o "Rift Sardo" (Vardabasso, 1963), estesa longitudinalmente dal Golfo dell'Asinara al Golfo degli Angeli. Alla stessa è associato lo sviluppo di un vulcanismo calco-alcalino, suddiviso in cicli di attività alterna, con prodotti prevalentemente andesitici, presenti nella fascia centrale dell'Isola, dal Sassarese fino al Campidano e nel Basso Sulcis. L'ingressione marina Oligo-Miocenica, associata alle prime manifestazioni vulcaniche calco-alcaline (Coulon et al. 1974; Savelli, 1975), è iniziata dall'Oligocene superiore, su di un substrato tettonizzato, costituito da sedimenti continentali paleogenici (Formazione del Cixerri, Pecorini & Pomesano Cherchi, 1969) e localmente da terreni paleozoici; ancora oggi, nel Campidano meridionale è ben osservabile la linea di costa lungo la quale la serie miocenica è prevalentemente conglomeratico - paleogenica. Tuttavia, il Miocene si contraddistingue per una sedimentazione a carattere trasgressivo, tipica di ambiente marino profondo, che ha lasciato una

sequenza continua di depositi costituiti per lo più da sedimenti marnoso-arenacei e calcarei, per una potenza totale di circa 1000 m di sedimenti. La dinamica estensionale Plio-Quaternaria che ha interessato la Sardegna e il Tirreno nel Plio-Pleistocene è responsabile della genesi del Graben Campidanese. La formazione della nuova fossa, associata a un ampio sistema di faglie crostali estensionali, non ha fatto altro che innescare movimenti verticali nel settore meridionale del Rift Sardo, controllando la deposizione e le aree subsidenti. All'Orogenesi Alpina e alla neotettonica si attribuisce la riattivazione delle lineazioni tettoniche e il ringiovanimento delle forme determinanti l'attuale conformazione della regione. La caratteristica peculiare del Campidano, caratterizzato da un'orientazione NNW-SSE, è la sua colmata alluvionale iniziata dal Pliocene ed estesa a tutto il Quaternario pre-tirreniano. Infatti, verso la fine del Pliocene, lo sprofondamento del "graben" e per contro il sollevamento delle aree limitrofe, hanno determinato intensi processi di erosione areale e lineare interessante i rilievi ai bordi dello stesso, con la deposizione nella fossa di potenti coltri alluvionali. L'instabilità climatica, che caratterizza il periodo Pleistocene-Olocene, determina un'alternanza di differenti cicli morfogenetici, distinti da intensi processi di erosione e sedimentazione, con la formazione di depositi alluvionali in facies di conoide, di terrazzi, colluviali e detriti di falda, che ricoprono le formazioni terziarie precedenti.

Per la copertura alluvionale quaternaria, costituita da alternanze ciottoloso sabbiose e limo-argillose, per uno spessore che arriva fino a 200 m nella fossa, non esiste una datazione attendibile, per mancanza di correlazioni stratigrafiche con il Tirreniano marino, che è l'unica formazione quaternaria della Sardegna datata in base ai reperti paleontologici. Esiste una semplice distinzione:

- Quaternario antico caratterizzato dalle "Alluvioni antiche Pleistoceniche", costituite da sedimenti fluviali di conoide e di piana alluvionale, ben costipati, variamente ferrettizzati e reinciati in forma di terrazzi;
- Quaternario recente (Olocene) contraddistinto da depositi alluvionali di fondovalle e di piana, terrazzati e non, da depositi palustri limoso-argillosi in aree della piana leggermente depresse e da coltri eluvio-colluviali.

Nell'areale in esame, la situazione geologica in generale può essere sintetizzata come segue:

▪ **PALEOZOICO**

Il Paleozoico è rappresentato da sedimenti terrigeni metamorfosati dell'Ordoviciano, meta-sedimenti singenetici autoctoni e graniti ercinici. La formazione paleozoica ordoviciano [SVI "Arenarie di San Vito" da carta geologica 1:50000 "Assemini"], la più antica fra le formazioni affioranti nell'area, può essere considerata come la struttura portante sopra la quale poggiano, in discordanza, i sedimenti eocenici, le vulcaniti terziarie e le alluvioni antiche e recenti quaternarie. Il basamento

profondo affiora a NW della piana, frazionato in più parti, attraverso piccoli horst collinari, che si elevano nel paesaggio pianeggiante (P.ta Medau Becciu, P.ta De S'Ormu Is Abis, Genna De su Cerbu , P.ta De Parrucou e P.ta De Cristina, Sa Guardia, ecc.), bordati da faglie, che hanno direzione prevalente NW – SE e talora E – W; mentre nel settore sud-occidentale, occupa la propaggine orientale del maestoso rilievo granitico-scistoso di M.te Arcosu. L'Horst sviluppatosi prevalentemente in direzione E-W, è separato centralmente dal complesso vulcanico terziario di "P.ta De su Ferru"– "Sa Frontera". Infatti, gli affioramenti a ovest di Sa Frontera indicano che, in precedenza all'attività vulcanica terziaria, l'affioramento Nord occidentale e la propaggine Nord di M.te Arcosu (esterna all'area rilevata) erano unite; è proprio in corrispondenza di tali affioramenti che è avvenuta la frattura attraverso la quale è fuoriuscita la lava costituente i rilievi andesitici suddetti, cioè il diaframma separante i due maggiori affioramenti paleozoici. La litologia del settore NW, anche se smembrato in vari blocchi distinti, è piuttosto uniforme. Sono presenti, in frequentissime alternanze, da decimetriche a metriche, rocce metamorfiche di origine sedimentaria: metarenarie micacee, quarziti, metasiltiti, con laminazioni piano parallele ed incrociate. I termini litologici più frequenti e ricorrenti sono rappresentati da quarziti e arenarie alle quali, seppur molto frequentemente, s'intercalano strati scistosi di debole spessore. Gli affioramenti paleozoici a S-W comprendono un blocco montuoso-collinare, con allineamento W-E, costituito dai versanti del M.te Arcosu, P.ta De Is Tuvaras (380m), Su Concali (426 m), P.ta Bacumatzei (342 m), P.ta Fundavis (207 m). Il basamento Paleozoico, in cui si sono intrusi i graniti ercinici, è rappresentato da scisti cornubianitici, più o meno silicizzati a grana minuta, con scistosità poco marcata osservabili a S.ra Narboni, a P.ta Baccu Matzei e a P.ta Fundavis, argilloscisti scisti arenacei, quarziti. I leucograniti biotitici del Carbonifero superiore [VLD, "Unità Intrusiva di Villacidro"] attribuibili alle ultime fasi intrusive dell'orogenesi ercinica, responsabili dei fenomeni di termo-metamorfismo di contatto, che hanno portato alla genesi della formazione scistosa, affiorano limitatamente al settore sud occidentale dell'area in esame, più esattamente nel versante orientale di M.te Arcosu e lungo il Riu de Sa Spindula, nella valle tra S.ra Riu de Su Bentrusciu e Sa Sperrima. I litotipi delle intrusioni finali hanno carattere omogeneo, con distribuzione uniforme e spesso mostrano allineamenti diretti NW - SE.

▪ **TERZIARIO**

Il Terziario è rappresentato dal complesso sedimentario paleogenico ["Formazione del Cixerri", CIX], giacente in discordanza sul basamento paleozoico, e da un complesso vulcanico andesitico oligo-miocenico [PBN_{a,b} "Daciti e andesiti di M.te Sa Pibionada"] che si è iniettato nelle fratture del complesso scistoso- metamorfico. Il complesso sedimentario della Formazione del Cixerri, caratterizzata da ambienti deposizionali con prevalenti facies fluvio-deltizie, mostra, entro la valle

del Cixerri, caratteristiche giaciture e sedimentologiche tipiche ed ha anche il suo massimo sviluppo. Tale formazione, nella parte nord occidentale dell'area di studio, poggia con chiaro contatto tettonico sul basamento scistoso-metamorfico; occupa aree marginali della zona pedemontana attorno agli horst paleozoici, ma si presume sia per la maggior parte mascherata da alluvioni quaternarie (per abbassamento tettonico) o da coperture detritiche. E' costituita da arenarie quarzose, policrome (grigio-violacee, rossastre), spesso conglomeratiche, a ciottoli di rocce paleozoiche che si alternano con marne e argille siltose ben stratificate, violacee o giallo-rossastre, spesso contenenti noduli concrezionari giallastri, ferruginosi. La formazione generalmente presenta giacitura in banchi suborizzontali. Talvolta il contatto della Formazione del Cixerri sul basamento paleozoico è rappresentato da lembi di conglomerato basale (a Medau Becciu - Su Concali de Santa Maria); lo stesso affiora in località "Sa Guardia". Il Complesso andesitico terziario, che ha attraversato o ricoperto le formazioni sedimentarie, paleozoica e terziaria, è costituito principalmente dal caratteristico edificio di Sa Frontera - P.ta de Su Ferru – P.ta de Sa Domu. Lo stesso fa parte, assieme ai non lontani rilievi di M.te Truxionis, Castello dell'Acquafredda, M.te Exi, ecc., di un esteso complesso di vulcaniti, di tipo andesitico, allineato NW-SE secondo direttrici di frattura, che si inquadra in una più vasta associazione di rocce vulcaniche effusive (basalti, andesiti, piroclastiti, ecc) di tipo alcali-calcico, ampiamente diffuse nella cosiddetta " Fossa Sarda " di età Oligo-Miocenica. Le vulcaniti di questi affioramenti, sono costituite da ammassi di lave in giacitura subvulcanica, a tessitura porfirica, con fenocristalli di plagioclasio, anfibolo, a composizione prevalentemente andesitica.

▪ **QUATERNARIO**

I depositi quaternari di facies continentale, occupano la quasi totalità della piana di Uta-Capoterra, comprendono depositi alluvionali antichi e recenti, e localmente depositi fluvio-lacustri; coltri alluvio-colluviali e detrito di falda, si distribuiscono alle pendici dei rilievi paleozoici, delle colline vulcaniche terziarie e ricoprono la formazione del Cixerri. Depositi fluvio-lagunari, palustri o marini recenti affiorano in prossimità della zona umida della laguna di Cagliari e della linea di costa.

Alluvioni antiche: il complesso delle alluvioni antiche (pre-tirreniane), costituite da sedimenti fluviali di sistema di conoide e di piana alluvionale, giace discordante sul complesso leggermente inclinato del Terziario. Essa è costituita di sedimenti clastici grossolani, per lo più ghiaie e conglomerati, di evidente trasporto fluviale, ben costipati e talora cementati, a matrice argilloso-sabbiosa bruno-rossastra per la presenza di ossidi di ferro. I ciottoli arrotondati ed eterometrici, sono costituiti da scisto, granito, quarziti, scarsi quelli andesitici e più rari quelli calcarei, i quali rappresentano tutti termini affioranti nel settore occidentale come anche in regioni limitrofe.

Secondo Seuffert (1970), che si è interessato all'assetto geomorfologico del graben del Campidano, affrontando il problema della forma e della genesi dei piani pedemontani, la copertura di alluvionale antica che dai rilievi paleozoici degrada verso la piana, corrisponde a diverse generazioni di glacis sovrapposti. Il deposito più antico, per alterazione molto spinta e grado di cementazione, è attribuito al Terziario superiore-Quaternario antico, mentre gli altri vengono inquadrati nel Quaternario antico (Gunz -Mindel) e nel Quaternario medio e recente (Riss o Wurm) sulla base di correlazioni con le corrispondenti morfologie del Campidano, a loro volta datate tramite rapporti stratigrafici con i terrazzi costieri.

La formazione delle alluvioni antiche terrazzate testimoniano il periodo di sovralluvionamento nel graben del Campidano e nella valle del Cixerri. Infatti, i sollevamenti tettonici plio-pleistocenici ai bordi del graben e l'abbassamento della fossa, produssero un ringiovanimento del paesaggio con relativa riattivazione dell'azione erosiva dei fiumi, che reincisero a più riprese le grandi



Figura 5 – Esempio di alluvioni antiche in matrice argillosa-sabbiosa

conoidi alluvionali, terrazzandole e talora riesumando, lungo le scarpate e sul fondo delle terrazze, i sottostanti terreni sedimentari terziari. L'età delle alluvioni antiche del Campidano, riferita al Plio-Pleistocene, è stata possibile sia dalla correlazione paleogeografica con formazioni analoghe, distribuite largamente in Sardegna, attribuite allo stesso periodo, caratterizzato in tutta l'isola da un eccezionale

sviluppo dell'idrografia in relazione a particolari condizioni di continentalità, sia da considerazioni morfometriche sugli elementi ciottolosi costituenti le alluvioni terrazzate. La presenza di ciottoli poligenici, di forma sferica-ellissoidale, con un elevato indice di smussamento, in relazione diretta, con la maturità del sedimento clastico, ha permesso di stabilire un'origine antecedente al Quaternario ed un lungo processo di rimaneggiamento.

Alluvioni recenti: si tratta di depositi alluvionali recenti di fondovalle e di piana, terrazzati e non, di età olocenica. Sono posti ai lati degli alvei (rio Cixerri, rio S. Lucia e Flumini Mannu) della piana attuale ed in genere non sono interessati dalle dinamiche fluviali in atto nel letto ordinario; tratti di questa unità possono essere interessati da fenomeni alluvionali durante eventi idrometrici eccezionali. Gli stessi ricoprono parzialmente le alluvioni antiche terrazzate e occupano la parte a

nord della area in studio, fino al Rio Cixerri e la parte a sud-est verso la laguna di Cagliari. Si tratta di alluvioni grossolane, sabbioso-ciottolose, per lo più incoerenti o moderatamente costipate, a matrice sabbioso-limoso grigio-bruna e solo localmente leggermente arrossata. Litologicamente sono caratterizzate da ciottoli a elementi paleozoici, scisti arenacei più o meno metamorfici, arenarie quarzose, etc. (G. Pecorini & A Cherchi, 1969), sicuramente provenienti dall'erosione degli horst paleozoici a ovest della fossa.

Depositi di versante: si tratta di depositi detritici, in genere di spessore limitato (alcuni metri), distribuiti nella zona pedemontana alle pendici dei rilievi collinari paleozoici siti a ovest della piana, segnando un passaggio graduale verso le alluvioni terrazzate e la pianura. Sono costituiti da ciottoli di quarzite, di scisto e granito, a spigoli vivi a matrice prevalentemente argillosa, molto alterati, cementati fra loro da ossidi di ferro che conferiscono un colore rosso brunastro; essendo in genere ben consolidati non danno luogo a movimenti franosi.

1.2 – Contesto geologico dell'area di sedime

L'area in esame è situata nel settore sud occidentale del Campidano di Cagliari, conformato da ampie conoidi alluvionali e terrazzi, modellata da terreni la cui età va dal Terziario fino al

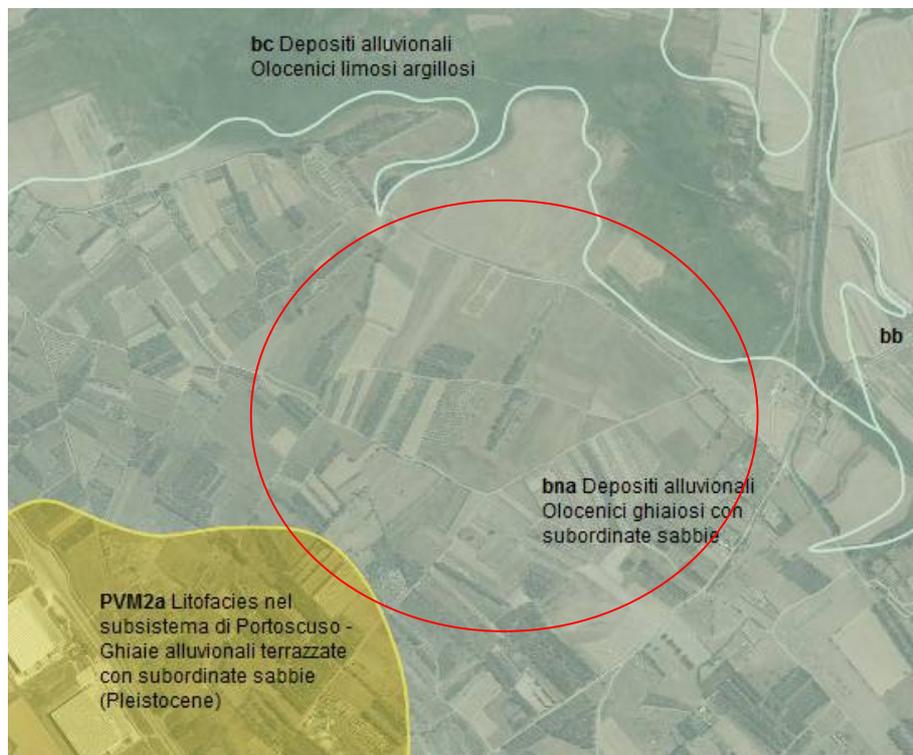


Figura 6 – Inquadramento geologico - Fonte Sardegna Geoportale

Quaternario recente. Il territorio, prevalentemente pianeggiante, è costituito quasi totalmente da una copertura Quaternaria di facies alluvionale terrazzata, con giacitura tabulare, appartenente al periodo "Pleistocene - Olocene". Le coltri alluvionali quaternarie poggiano discordanti sulla formazione continentale terziaria del Cixerri, sulle vulcaniti andesitiche e localmente sul basamento paleozoico, in particolare a

ovest dell'area sensibile. Molti autori hanno riconosciuto entro questi depositi la presenza di più ordini di terrazzi, legati sia alla differente evoluzione tettonica plio-quaternaria, sia ai vari processi

morfogenetici conseguenti le variazioni climatiche del Pleistocene-Olocene, che hanno visto l'alternarsi di fasi d'intensa erosione e fasi di accumulo dei sedimenti (O.Seuffert, 1970).

L'area sensibile collocandosi in un'area morfologicamente pianeggiante, è caratterizzata da un paesaggio uniforme e piatto, con forme evolute e spianate, la cui pendenza degrada dolcemente a E-SSE, verso l'area depressa dello Stagno di Cagliari e la linea di spiaggia verso il mare, mentre va aumentando a Ovest, verso la fascia detritica pedemontana di raccordo con le colline paleozoiche. L'estesa copertura alluvionale caratterizzante questa porzione di Campidano è costituita da sedimenti alluvionali derivati dall'appiattimento morfogenetico di grandi conoidi alluvionali deposte dai corsi d'acqua allo sbocco delle valli, che hanno inciso i rilievi del Sulcis orientale. In particolare l'area sensibile è impostata su depositi alluvionali antichi terrazzati risultanti dall'evoluzione della conoide alluvionale del Rio S. Lucia, reincisa e più volte plasmata dai processi di scorrimento delle acque superficiali, accentuati o mitigati dalle variazioni climatiche quaternarie. La stessa si estende in un ampio ventaglio, che dal punto di confluenza tra il rio Gutturu Mannu e il rio Gutturreddu si apre fino allo stagno di Cagliari, costituendo la stessa piana deltizia. In conformità a criteri morfostratigrafici, pedostratigrafici e morfoclimatici sono distinte sostanzialmente due unità deposizionali, separate da una superficie d'erosione corrispondente a una fase d'incisione e terrazzamento: alluvioni antiche terrazzate attribuite al "Subsistema di Portoscuso" del periodo Pleistocene e di alluvioni più recenti terrazzate.

- Litofacies nel sub sistema di Portoscuso [PVM2a] → si tratta di depositi fluvio-deltizi (autoctoni) pleistocenici, costituiti da ghiaie grossolane, più raramente blocchi, a spigoli subangolosi e subarrotondati, eterometrici, con dimensioni perlopiù decimetriche. I ciottoli sono poligenici, anche se prevalgono gli elementi di scisto, granito, quarzite, a riflettere la costituzione geolitologica del bacino di alimentazione dell'area. I depositi, generalmente di colore bruno rossastro sono ben costipati, talora ferrettizzati, per la presenza di ossidi ferrici nella matrice prevalentemente sabbioso-argillosa, a seguito di processi diagenetici legati all'alterazione idrica superficiale. I sedimenti più fini rappresentati da sabbie grossolane, sono sempre subordinati e si presentano in lenti o livelli intercalati a quelli ciottolosi. Alluvioni antiche conglomeratiche affiorano in particolare in località ad esempio "Planemesu".
- Alluvioni terrazzate Oloceniche [bna] → depositi alluvionali grossolani di fondovalle e di piana, costituiti da orizzonti conglomeratici, da livelli di ghiaie poligeniche a stratificazione incrociata concava alternate a ghiaie a stratificazione piano-parallela, con intercalazioni di livelli sabbioso-ciottolosi, a matrice generalmente sabbiosa, mediamente costipate con un basso grado di cementazione. Tali sedimenti alluvionali, affioranti in particolare a nord e a

est dell'area di sedime, derivano dal rimaneggiamento dei depositi conglomeratici antichi dei glacis d'accumulo e di conoide alluvionale e ricoprono i sedimenti del sistema di Portoscuso. Gli stessi sono a loro volta sovrastati dai depositi alluvionali attuali, costituiti da livelli ghiaiosi eterometrici e sciolti, che occupano le zone limitrofe agli alvei dei principali corsi d'acqua.

- Alluvioni Oloceniche [bb ÷ ba] → I sedimenti alluvionali sono in genere grossolani, presentando localmente lenti e sottili livelli di sabbia. Le strutture sedimentarie non si differenziano da quelle già descritte per i depositi alluvionali terrazzati olocenici, a testimoniare la presenza in un passato più o meno prossimo di corsi a canali intrecciati. Avvicinandosi ai versanti i sedimenti all'interno degli alvei possono essere anche molto grossolani con ciottoli e blocchi. Spesso allo sbocco delle valli che drenano i rilievi, i corsi d'acqua sono incisi all'interno di conoidi alluvionali delimitati in genere da scarpate anche di vari metri di altezza (ad es. quella del Rio Isca di Assemini). Nelle pianure alluvionali principali, come quelle ai lati dell'alveo attuale del Flumini Mannu, del Rio Cixerri e sulla antica posizione del Rio Serra Gureu (esterno), sono presenti tracce di antichi meandri abbandonati, spesso riempiti da sedimenti fini. Sedimenti fini sabbioso-siltosi ed argillosi, ricchi di materia organica e con frequenti intercalazioni sabbiose affiorano anche in un'area particolarmente estesa sui lati della pianura alluvionale attuale a S dell'allineamento Uta-Assemini.

1.3 - Inquadramento idrologico e idrogeologico generale

Nell'area il numero dei pozzi esistenti è notevole, soprattutto nella parte W con direzione Capoterra. Da queste osservazioni si è ritenuto importante visionare la carta delle isofreatiche, elaborata sulla base di 64 pozzi (Studio geo-idrologico - Sardegna meridionale, A. Pala-1984). Sono da evidenziare due acquiferi: la potenza del più superficiale si aggira intorno ai 30mt, quella del più profondo supera in alcuni punti i 150mt. Il complesso acquifero, è costituito principalmente da alternanze di ghiaie e sabbie con intercalazioni di sabbie argillose e argille che danno origine localmente a variazioni di permeabilità. Nella zona più orientale della pianura, i due acquiferi sono separati da uno strato lenticolare sabbioso-argilloso, a bassa permeabilità di potenza variabile tra i 10.0m e i 25.0m, che sostiene la falda freatica, mentre l'acquifero profondo poggia ad Est su un altro substrato argilloso e ad Ovest sul basamento cristallino. L'escursione del livello freatico risultante dalla media delle oscillazioni freatiche nei vari tipi litologici, è stata valutata in 2.20 m circa. Nelle alluvioni più antiche, risulta mediamente di m 2.25 con valori molto variabili nelle diverse zone, mentre nelle alluvioni più recenti assume un valore medio di m 1.80. Da un esame

delle curve è evidente una notevole diminuzione della permeabilità passando dal bordo della laguna verso Ovest. Si può dedurre quindi, un aumento della permeabilità che coincide con la transizione tra le alluvioni più antiche e quelle relativamente più recenti. Secondo quanto indicato dallo sviluppo delle isoidropse il deflusso delle acque avverrebbe secondo la direzione preferenziale NE-SW verso lo stagno S. Gilla.



Figura 7 – U.I.O. del Flumini Mannu-Cixerri

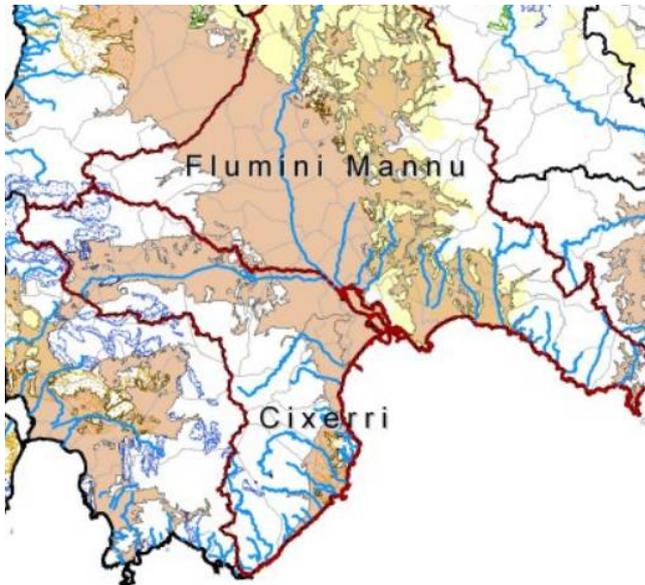


Figura 8 – Complessi acquiferi presenti nell'U.I.O. del Flumini Mannu-Cixerri

L'area in esame, situata nel settore sud-occidentale del Campidano di Cagliari, fa parte dell'Unità Idrogeologica Omogenea (U.I.O.) del Flumini Mannu - Cixerri. La vasta area lagunare e stagnale di S. Gilla, è un elemento caratteristico dell'idrografia superficiale di questa U.I.O., in quanto come corpo idrico di transizione, rappresenta una delle più importanti aree umide protette d'Europa: è classificato come *Zona di Protezione Speciale (ZPS)* dall'Unione Europea e *Zona umida di importanza internazionale* ai sensi della Convenzione di Ramsar. Il bacino imbrifero che

alimenta il deflusso di acque dolci verso la laguna è molto ampio e abbraccia una vasta regione che comprende il bacino del Flumini Mannu e quello del rio Cixerri, per una superficie totale di 2.242 kmq.

La piana alluvionale di Assemmini – Uta - Capoterra, delimitata a Ovest dalla zona pedemontana di raccordo con i rilievi del Sulcis orientale, a SE dal mare e dalla zona umida della laguna di Cagliari, a Nord dal rio Cixerri, è il risultato del deposito di potenti coltri di sedimenti fluviali trasportati dal rio S. Lucia e dal rio Cixerri. Il bacino idrografico del rio S. Lucia, che drena i deflussi dei versanti orientali dei Monti del Sulcis, interessa la piana del Campidano dopo la confluenza tra il rio Gutturu

Mannu e il rio Gutturreddu sino a sfociare nell'area umida, nel corpo idrico denominato Saline di

Capoterra. E' impostato in massima parte su litologie paleozoiche, caratterizzate dalle formazioni scistoso-metamorfiche e granitiche, subordinata la presenza di glaciai alluvionali e di alluvioni antiche e attuali. La rete idrografica è abbastanza gerarchizzata: i rii Gutturreddu e Gutturu Mannu ricevono innumerevoli affluenti, aventi delle portate molto limitate a carattere torrentizio temporaneo, caratterizzati da alvei prevalentemente impostati in roccia, entro valli molto strette con fondo a V. Il Rio Cixerri nasce a sud di Iglesias, sul Monte Croccoriga (313mt), scorre principalmente nella valle omonima in direzione ovest-est, parallelamente alla "Soglia di Siliqua", per poi congiungersi nella pianura del Campidano. La valle pressoché pianeggiante ha altitudini massime non superiori ai 150 m. Il Rio Cixerri, un tempo il più importante affluente del Flumini Mannu è diventato un corso d'acqua autonomo, a seguito de lavori di bonifica dello stagno di Santa Gilla, infatti, il suo alveo è stato canalizzato e rettificato sfociando nella laguna con una foce indipendente. Nel tratto più a valle, che attraversa la fascia pedemontana e la pianura presenta un reticolo subparallelo, caratterizzato da una dinamica fluviale di reincisione e terrazzamento di glaciai e antiche conoidi alluvionali.

La piana in esame è geologicamente dominata dal complesso alluvionale Quaternario distinto in "alluvioni antiche pleistoceniche" e "in alluvioni più recenti oloceniche", rappresentato dal complesso idrogeologico dell'Unita Detritico Alluvionale Plio-Quaternaria del Campidano: si tratta di depositi alluvionali conglomeratici, arenacei, argillosi, a permeabilità per porosità complessivamente medio-bassa nelle coltri ben costipate, localmente medio-alta nei livelli a matrice più grossolana.

1.4 - Caratteristiche idrologiche e idrogeologiche del sedime in esame

Il complesso alluvionale quaternario, caratterizzante l'assetto stratigrafico dell'area di studio, è una diretta conseguenza dei movimenti neotettonici distensivi plio-pleistocenici, che hanno condizionato, unitamente alle oscillazioni eustatiche e climatiche, l'evoluzione paleogeografica del graben campidanese, e soprattutto del sistema idrografico. Le numerose variazioni quaternarie del livello di base degli alvei dei corsi d'acqua principali, con una serie di innalzamenti e sprofondamenti, hanno determinato l'alternarsi di successive fasi morfogenetiche di accumulo, incisione e terrazzamento, rielaborando i sedimenti fluviali antichi dei glaciai e delle grandi conoidi alluvionali del rio Cixerri e del rio S.Lucia, sino a definire una potente successione alluvionale distinta in alluvioni antiche pleistoceniche e in alluvioni più recenti oloceniche. L'alternanza di sedimenti a differente composizione granulometrica, grado d'addensamento e di consistenza, tipica dei sedimenti di bacino alluvionale, determina, localmente, variazioni di permeabilità. La permeabilità è una proprietà caratteristica delle terre/rocce ed esprime l'attitudine delle stesse a

lasciarsi attraversare dall'acqua. Essa quindi si manifesta con la capacità di assorbire le acque piovane e di far defluire le acque sotterranee. Poiché il terreno non è un corpo omogeneo, è intuibile che all'interno dello stesso varino sia le caratteristiche chimico-fisiche, che le proprietà idrogeologiche. Vista la possibile disomogeneità dei depositi alluvionali, la permeabilità, non è rappresentata da un unico valore del coefficiente "K"_{m/s} ma da un intervallo di questo. Geologicamente nell'area affiorano terreni quaternari di facies fluviale rappresentati da alluvioni antiche pleistoceniche e da alluvioni più recenti terrazzate (oloceniche), costituiti essenzialmente da alternanze di livelli conglomeratici poligenici ed eterometrici, ghiaie stratificate con intercalazioni di sabbie e limi/argille. La distinzione tra le due formazioni alluvionali è legata alle caratteristiche morfometriche della frazione grossolana, al grado di compattazione, al contenuto e alla ferrettizzazione della matrice fine.

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

GRADO DI PERMEABILITÀ	VALORE DI K (M/S)
alto	superiore a 10^{-3}
medio	$10^{-3} - 10^{-5}$
basso	$10^{-5} - 10^{-7}$
molto basso	$10^{-7} - 10^{-9}$
impermeabile	minore di 10^{-9}

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

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

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

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

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

Per quanto riguarda le formazioni antiche al contorno del bacino alluvionale quaternario, si può

evidenziare che: il complesso sedimentario terziario della Formazione del Cixerri presenta un grado di permeabilità per porosità basso dovuto soprattutto all'abbondante frazione fine di natura argillosa presente nei vuoti intergranulari nei termini più alti della formazione. Tuttavia, la formazione non è completamente priva di acqua perché alcune facies particolari, come quella conglomeratica, ne possono contenere una certa quantità, anche se limitata. Le andesiti oligomioceniche presentano un grado di permeabilità molto basso che aumenta in funzione dello stato di alterazione e di fratturazione della roccia. Il Complesso delle metamorfiti e delle plutoniti fessurate, costituito dalle rocce granitoidi e scistose del Paleozoico, presenta in generale un grado di permeabilità molto basso per porosità e medio in corrispondenza di zone di fratturazione. La presenza di faglie, fratture e corpi filoniani favoriscono, infatti, l'infiltrazione delle acque dando luogo a una circolazione idrica profonda di discreta entità. I depositi palustri attuali (limi, argille siltose, sabbie) delle zone più depresse hanno permeabilità per porosità generalmente ridotta.

1.4.1 - Caratteristiche morfologiche della falda nell'areale

Nella pianura del Campidano prevalgono i terreni alluvionali sia antichi (plio-pleistocenici) che recenti (Olocene), e subordinatamente crostoni calcarei (*Pala A., Pecorini G.; Porcu A.; 1977-*

Struttura idrogeologica della Soglia di Siliqua), dove sono presenti falde idriche più o meno profonde. La falda freatica riveste particolare importanza nelle alluvioni sabbioso-ciottolose più recenti delle zone di pianura, percorse dai corsi d'acqua principali, tra cui il Flumini Mannu e il rio Cixerri. In

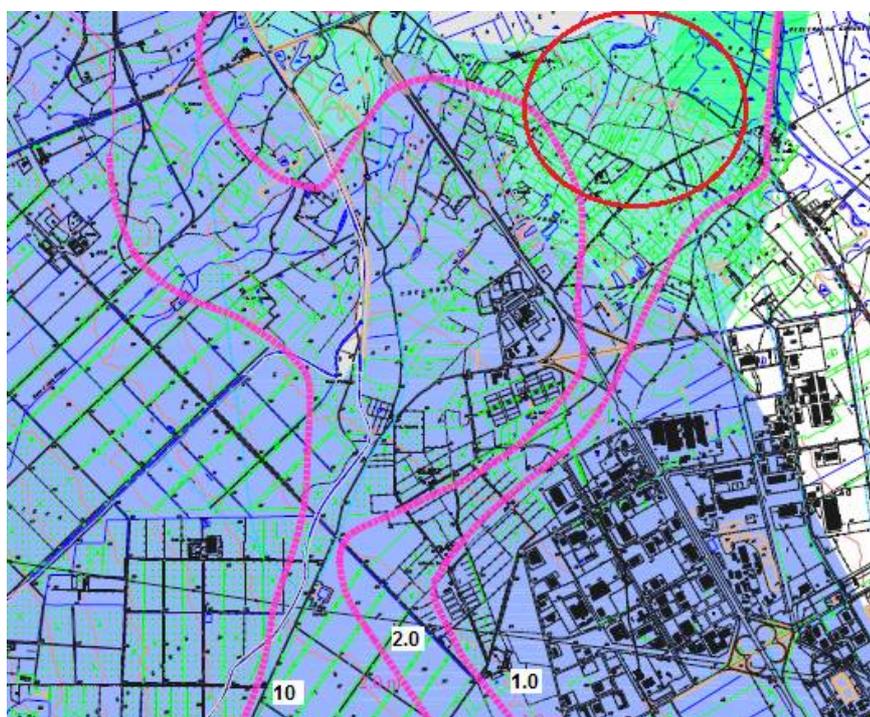


Figura 9 – Carta delle isofreatiche presenti nell'areale sensibile

generale, si può ammettere che le falde profonde siano alimentate dai corsi d'acqua in prossimità delle sponde del Graben, dove i depositi alluvionali quaternari e pliocenici sono prevalentemente sabbiosi. E' da escludere che le acque superficiali delle aree centrali del graben possano infiltrarsi nel sottosuolo oltre 70-80 m sotto il livello del mare, in quanto pressoché ovunque nel Campidano a tale profondità giacciono costantemente depositi costituiti da limi e argille costipati e addensati da risultare praticamente impermeabili, per questo motivo le coltri alluvionali sono acquifere pressoché esclusivamente nella parte più alta. Nella fossa del Campidano sono presenti alcune manifestazioni termali, in particolare su questo settore sud-occidentale (Villasor-Uta), le quali possono ritenersi legate a circuiti profondi che si svolgono esclusivamente nel basamento. Queste sorgenti si trovano sempre in corrispondenza di alti strutturali legati alle faglie d'importanza regionale, che limitano a est e a ovest il graben campidanese (*Pala A.; Pecorini G., Porcu A.; Serra S., 1982*). L'impermeabilità delle formazioni paleozoica e terziaria, costituenti i rilievi rocciosi, e la permeabilità della coltre alluvionale che si estende nella pianura ha condizionano l'idrografia superficiale e sotterranea.

La morfologia dell'area oggetto di studio, derivante dalla natura delle rocce presenti e dall'assetto tettonico, ha favorito lo sviluppo della rete idrografica superficiale. Infatti, l'elevata energia dei corsi d'acqua, dovuta all'acclività dei versanti, ha causato a monte un'erosione piuttosto intensa con conseguente produzione di detriti che, per trasporto e sedimentazione selettiva, hanno dato origine rispettivamente ai conoidi ed alla pianura alluvionale. La rete idrografica, influenzata dalla litologia e dalla morfologia del bacino, si sviluppa maggiormente nelle formazioni scistoso-metamorfiche, andesitiche, arenaceo-quarzoso conglomeratiche e nei glacis impermeabili, perché le acque meteoriche, smaltite repentinamente lungo i corsi d'acqua a elevata energia, una volte giunte in pianura vengono assorbite dalle alluvioni permeabili. Le acque di precipitazione provenienti dai rilievi impermeabili penetrando nel sottosuolo alimentano gli acquiferi rappresentati dai depositi alluvionali e dalle rocce impermeabili alterate e fessurate. L'analisi di profili stratigrafici, relative a precedenti esperienze lavorative mediante sondaggi geognostici a rotazione, in aree limitrofe litologicamente omogenee ², ha permesso di individuare entro il complesso delle alluvioni quaternarie, la presenza di un acquifero principalmente caratterizzato da una falda multistrato. Perforazioni eseguite nell'areale, nella piana di Uta, nell'ambito del "Progetto cassa speciale 25/96", hanno evidenziato nella coltre alluvionale, una variazione di facies continua dall'alto in basso. In generale, si passa progressivamente da terreni prevalentemente ghiaioso-ciottolosi con intercalazioni limo-argilloso-sabbiose, di buona permeabilità, a terreni prevalentemente argilloso-limosi e argillosi impermeabili. Il substrato del

² Macchiareddu, Uta, Rio Coccodi

complesso acquifero multistrato costituito da strati ghiaiosi e sabbiosi permeabili intercalati a livelli limoso-argilloso-sabbiosi e limoso-argillosi semi-permeabili o impermeabili, corrisponde al tetto del complesso alluvionale basale esclusivamente argilloso-limoso e idrogeologicamente sterile. Lo spessore dell'acquifero, corrispondente alla parte superiore più permeabile del complesso alluvionale pleistocenico, varia da un minimo di 34 mt ad un massimo di 77 mt, sulla base dei dati ottenuti dalla prospezione geofisica eseguita nel quadro del "Progetto Cassa 25/96". Le alluvioni antiche, caratterizzate da alternanze ciottoloso-sabbiose e limoso-argillose, con permeabilità elevata, anche se variabile in funzione della granulometria, del grado di costipamento e di alterazione dei sedimenti, presentano una circolazione per falde sovrapposte non sempre autonome fra loro. La permeabilità misurata in corrispondenza del complesso ghiaioso-sabbioso-limoso-argilloso, (perforazioni eseguite della piana di Uta - Assemini), è dell'ordine di $1.7 \div 3.0 \times 10^{-4}$ m/s. L'infiltrazione avviene al contatto tra le formazioni rocciose impermeabili e la coltre alluvionale superficiale che si estende nella pianura. Infatti, poiché lo smaltimento superficiale delle piogge avviene in maniera repentina, le acque giungono in pianura e vengono assorbite dai materiali alluvionali, dove passano ad alimentare la falda freatica ed eventuali falde profonde. Per evidenziare le principali direzioni di flusso e le zone di maggior drenaggio della falda, è stata analizzata la carta delle isofreatiche della piana di Uta in destra idrografica del rio Cixerri [Maggio 2002], ottenuta attraverso le misure del livello piezometrico nei pozzi, presenti nella stessa area. Dall'analisi dei dati si evince che la superficie piezometrica è collocata a una profondità che oscilla mediamente tra il piano di campagna e i -10m/-15m, poche volte li supera e va oltre i 30 m. L'acquifero principale, situato nella parte sommitale più permeabile del complesso alluvionale multistrato e ricoprente la quasi totalità dell'area in esame, è costituito principalmente da ghiaia e/o sabbia da medio-grossa a fine.

La falda superficiale di cui è stato ricostruito il livello piezometrico, localmente in pressione a causa dell'alternanza litologica, scorre essenzialmente su un sostrato che può essere argilloso, argilloso-limoso, limo-argilloso sabbioso. L'andamento irregolare delle isopieze e le ricorrenti variazioni di spaziatura delle stesse indicano il continuo cambiamento del gradiente idraulico, riconducibile a variazioni di permeabilità, che confermerebbero la varietà litologica caratteristica del complesso alluvionale. Dai rilievi, verso la pianura, l'aumento di permeabilità riscontrato è riconducibile al minor grado di costipamento delle alluvioni recenti rispetto a quelle antiche.

Le linee di corrente, tracciate perpendicolarmente alle isopieze, indicanti la direzione del flusso idrico consentono di determinare gli assi di drenaggio e alimentazione. I principali assi di alimentazione, con direzione SW-NE, e di drenaggio, con direzione SSW-NNE e W-ESE, consentono di determinare le direzioni preferenziali di flusso Nord, ossia verso il Riu Cixerri, e N-

ESE, cioè verso l'insediamento industriale di Macchiareddu (quindi verso la parte terminale del Riu Cixerri). Le direzioni principali di scorrimento e l'andamento generale delle isofreatiche indicano, nel complesso, che la falda è alimentata dalle acque provenienti dai rilievi e che a sua volta alimenta il corso d'acqua principale e il bacino attiguo (Sud).

1.5 - Lineamenti climatici generali dell'areale

Allo scopo di definire il tipo di clima dell'area in oggetto, sono stati presi in esame 14 anni di osservazione delle precipitazioni e delle temperature nel periodo 1989/2002. Secondo M. Pinna (Atlante della Sardegna – 1971), il clima del settore in studio, potrebbe essere definito come subtropicale, infatti analizzando temperatura e piovosità, presenta le seguenti caratteristiche: nessun mese ha temperatura media inferiore a 10 °C; la media annua é di almeno 17 °C e vi sono quattro mesi con temperatura media pari o superiore a 20 °C. Le precipitazioni annue

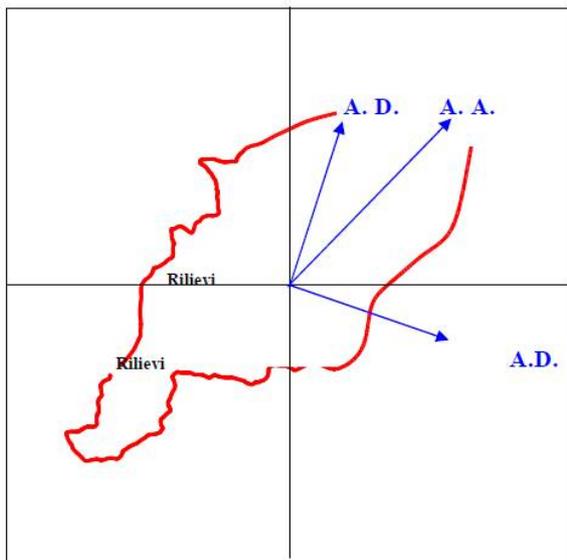


Figura 10 – Principali direzioni di scorrimento delle falde acquifere

oscillano tra 500 e 700 mm. La zona è comunque caratterizzata da temperature, nei mesi più caldi (giugno-agosto), di circa 27°C, mentre durante i mesi più freddi (dicembre-febbraio), il termometro si attesta attorno ai 10-12°C con una escursione termica annua che si aggira sui 16°C.". Tali limiti naturalmente possono essere ampiamente superati, con punte che possono andare ben al di sopra dei 30°C ed al di sotto di 0°C. In particolare l'area, può essere suddivisa in tre fasce subclimatiche: una montuosa, una pedemontana ed una costiera. La fascia montana è caratterizzata da un clima umido, la zona pedemontana da un microclima sub-umido ed infine la zona costiera presenta condizioni

meteorologiche di tipo secco-subumido. Queste caratteristiche climatiche condizionano i fenomeni di degradazione meteorica ed i processi di dilavamento e ruscellamento. I dati climatici elaborati nelle tabelle che seguono, hanno reso possibile la determinazione dei regimi pluviometrico e termometrico dell'area, risultati entrambi tipici di zone insulari mediterranee. Dai dati delle precipitazioni, si rileva innanzitutto una estrema instabilità pluviometrica nei vari mesi dell'anno, come è facile attendersi in ambiente mediterraneo. Le medie mensili assumono valori più elevati nei mesi autunnali per discendere progressivamente nei mesi invernali, sino ad

annullarsi quasi del tutto nei mesi di giugno e soprattutto luglio e agosto. Come si può osservare dall'analisi degli afflussi meteorici, ne deriva un regime dei corsi d'acqua a carattere stagionale, le piene, che si verificano di frequente durante la stagione autunnale, danno luogo ad un'azione maggiormente erosiva e ad un elevato rischio alluvione. La relazione tra le temperature e la piovosità evidenzia un periodo di aridità che, in questa regione ha inizio a maggio inoltrato per terminare a settembre, un arco di tempo piuttosto lungo nel quale gli afflussi meteorologici sono piuttosto scarsi in relazione alle temperature elevate. Il periodo umido ha inizio a settembre per terminare a maggio. Da notare che già a settembre si verificano episodi di precipitazioni abbondanti che trovando il terreno privo del manto erboso a seguito del periodo di riposo vegetativo appena trascorso, danno luogo a elevate capacità di erosione del suolo. Relativamente ai venti, come accade per tutta la Sardegna, si registra una netta dominanza in frequenza ed in intensità del vento di Maestrale (NW) e subordinatamente dello Scirocco (SE). I dati rilevati dalla stazione di Cagliari-Elmas mettono in evidenza che i mesi più ventosi risultano quelli invernali e che l'intensità è spesso elevata raggiungendo valori superiori a 25 m/sec.

anno	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Totale anno
1989	75,4	81,6	19,6	88,4	28,2	7,0	0,4	0,8	90,6	4,8	24,0	45,6	466,40
1990	33,0	6,4	12,8	72,2	112,2	8,4	0,8	36,0	1,6	162,0	47,8	60,4	553,60
1991	43,4	96,0	21,8	26,6	13,2	4,2	1,2	4,2	30,6	28,8	45,4	41,4	356,80
1992	34,0	11,4	63,4	34,0	28,2	25,0	4,6	0,0	0,0	124,4	22,6	114,8	462,40
1993	3,6	51,6	37,4	49,6	56,0	3,0	0,0	0,0	90,8	54,2	96,2	41,8	484,20
1994	41,6	33,4	14,8	44,6	12,2	2,6	12,2	0,0	139,6	41,8	48,8	42,2	433,80
1995	17,2	1,2	44,2	41,0	10,2	9,6	27,2	27,6	29,8	38,6	67,0	73,0	386,60
1996	39,4	57,2	99,0	41,6	40,4	51,8	5,6	0,6	132,6	78,4	38,0	192,6	777,20
1997	108,2	12,6	3,0	50,0	17,8	3,8	0,0	30,4	17,4	145,0	209,2	45,2	642,60
1998	18,2	37,2	20,6	60,6	41,2	0,2	0,0	16,2	41,0	14,2	19,6	98,4	367,40
1999	60,4	24,4	52,4	20,8	31,8	2,8	3,6	1,8	52,6	16,6	425,8	55,4	748,40
2000	23,0	12,2	67,4	43,8	8,4	36,6	3,0	0,0	3,2	45,8	73,6	145,8	462,80
2001	86,0	38,6	14,6	28,4	17,2	0,0	0,0	0,8	13,0	0,8	47,8	87,8	335,00
2002	31,2	13,4	33,2	140,0	40,4	5,8	3,9	51,0	21,6	66,4	90,4	53,6	550,90
Media	43,90	34,09	36,01	52,97	32,67	11,49	4,46	12,10	47,46	58,70	89,73	78,43	
Valore medio annuale del periodo 1989/2002													502,01

Figura 11 – Temperature (°C) mensili stazione Capoterra (1989-2002)

anno	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Totale anno
1989	75,4	81,6	19,6	88,4	28,2	7,0	0,4	0,8	90,6	4,8	24,0	45,6	466,40
1990	33,0	6,4	12,8	72,2	112,2	8,4	0,8	36,0	1,6	162,0	47,8	60,4	553,60
1991	43,4	96,0	21,8	26,6	13,2	4,2	1,2	4,2	30,6	28,8	45,4	41,4	356,80
1992	34,0	11,4	63,4	34,0	28,2	25,0	4,6	0,0	0,0	124,4	22,6	114,8	462,40
1993	3,6	51,6	37,4	49,6	56,0	3,0	0,0	0,0	90,8	54,2	96,2	41,8	484,20
1994	41,6	33,4	14,8	44,6	12,2	2,6	12,2	0,0	139,6	41,8	48,8	42,2	433,80
1995	17,2	1,2	44,2	41,0	10,2	9,6	27,2	27,6	29,8	38,6	67,0	73,0	386,60
1996	39,4	57,2	99,0	41,6	40,4	51,8	5,6	0,6	132,6	78,4	38,0	192,6	777,20
1997	108,2	12,6	3,0	50,0	17,8	3,8	0,0	30,4	17,4	145,0	209,2	45,2	642,60
1998	18,2	37,2	20,6	60,6	41,2	0,2	0,0	16,2	41,0	14,2	19,6	98,4	367,40
1999	60,4	24,4	52,4	20,8	31,8	2,8	3,6	1,8	52,6	16,6	425,8	55,4	748,40
2000	23,0	12,2	67,4	43,8	8,4	36,6	3,0	0,0	3,2	45,8	73,6	145,8	462,80
2001	86,0	38,6	14,6	28,4	17,2	0,0	0,0	0,8	13,0	0,8	47,8	87,8	335,00
2002	31,2	13,4	33,2	140,0	40,4	5,8	3,9	51,0	21,6	66,4	90,4	53,6	550,90
Media	43,90	34,09	36,01	52,97	32,67	11,49	4,46	12,10	47,46	58,70	89,73	78,43	

Valore medio annuale del periodo 1989/2002

502,01

Figura 12 – Precipitazioni (mm) mensili stazione Capoterra (1989-2002)

1.6 – 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.

1.6.1 - Pericolosità Idrogeologica

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

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

- Il Piano di Gestione del Rischio di Alluvione (PGRA)

Il Comune di Assemini - Uta è ricompreso all'interno del U.I.O Flumini Mannu – Cixerri, così come individuato dal P.A.I. Sardegna e dal P.S.F.F. Sardegna. Nella fattispecie il sito oggetto di intervento ricade nella cartografia attualmente disponibile on-line e consultabile tramite la piattaforma "Sardegna Geoportale" (sulla base di quanto disposto dalla normativa P.A.I per il Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico della Sardegna "Allegato E/F" (criteri per la predisposizione degli studi di compatibilità idraulica e geologica-geotecnica di cui agli articoli 24/25 delle norme di attuazione del PAI Titolo III cap. I/II/III), in un'area a pericolosità idraulica Hi1 (Art. 8), con assenza di pericolosità geomorfologia (Art. 8 - Rev. 42).



Figura 13 - 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.

1.6.2 - Progetto P.S.F.F

Da una analisi del Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (PSFF) relativo al bacino Flumini Mannu - Cixerri sono emersi per l'area esaminata (ZI Macchiareddu) rischi compatibili con i corsi d'acqua in funzione della sicurezza idraulica.

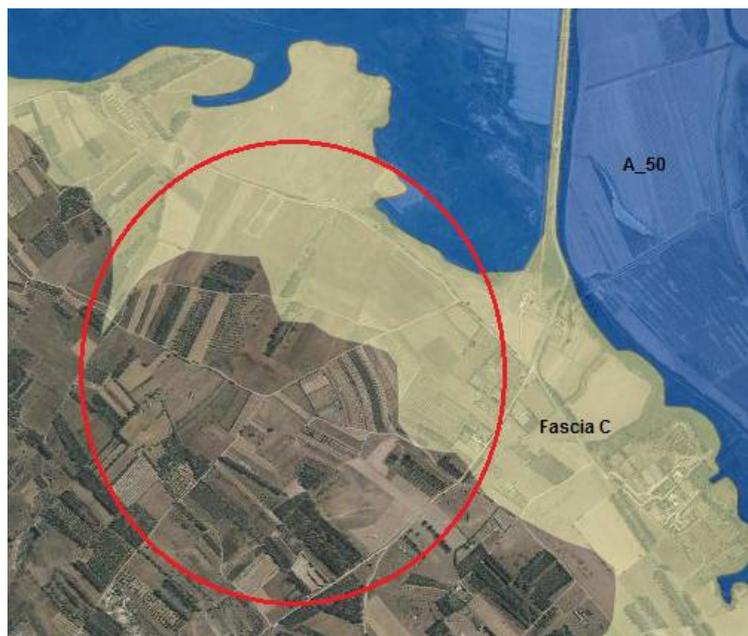


Figura 14 - Perimetrazioni delle aree caratterizzate da pericolosità idraulica mappate in ambito P.S.F.F. aggiornate alla data del 17.12.2015.

1.6.3 - Progetto I.F.F.I

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

1.6.4 - Pericolosità sismica di base

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

Quadro Normativo e Caratterizzazione Sismica del Territorio

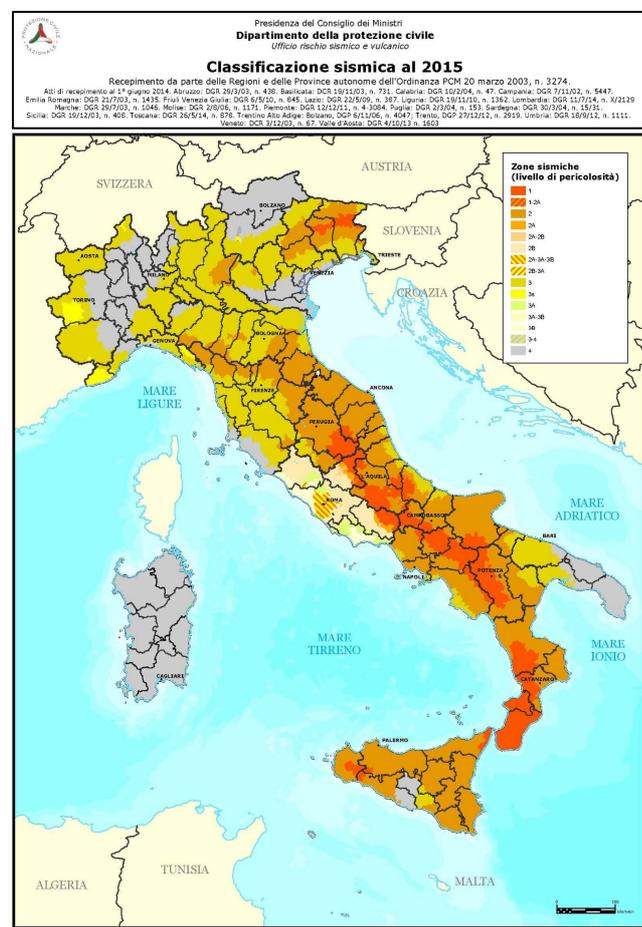
La legislazione antisismica italiana, sino al 2003 classificava il territorio nazionale in tre categorie sismiche. I Decreti Ministeriali emanati dal Ministero dei Lavori Pubblici tra il 1981 ed il 1984 avevano classificato complessivamente 2.965 comuni italiani su di un totale di 8.102, corrispondente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

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

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 Assemmini - Uta 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 Assemini – Uta come l'intero territorio isolano, non presentò alcuna variazione: tutti i Comuni furono inseriti nella classe 4. L'O.P.C.M. 3274 del 20 marzo 2003 al comma 2.1. "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica", dispone che "In zona 4 è lasciata facoltà alle singole regioni di introdurre o meno l'obbligo della progettazione antisismica", confermando quanto prescritto nelle precedenti ordinanze. Il D.G.R. 15/31 del 30 marzo 2004, stabilisce di recepire in via transitoria, fino a nuova determinazione conseguente all'aggiornamento della nuova mappa di rischi sismico nazionale, la classificazione sismica dei Comuni della Sardegna, così come riportato nell'allegato A dell'O.P.C.M. 3274 del 20 marzo 2003 in cui tutti i Comuni isolani sono inseriti in zona 4 rimane in vigore il D.G.R. 15/31 del 30 marzo 2004, che consente per i Comuni della Sardegna la "non introduzione dell'obbligo della progettazione antisismica. Per meglio adattare le norme alle caratteristiche di sismicità, nel rispetto degli indirizzi e criteri stabiliti a livello nazionale, alcune Regioni hanno classificato il territorio nelle quattro zone proposte, altre Regioni hanno classificato diversamente il proprio territorio, ad esempio adottando solo tre zone e introducendo, in alcuni casi, delle sottozone. Qualunque sia stata la scelta regionale, a ciascuna zona o sottozona è attribuito un valore di pericolosità di base, espressa in termini di accelerazione massima su suolo rigido (ag). Tale valore di pericolosità di base non ha però influenza sulla progettazione. Le Norme Tecniche per le Costruzioni (Decreto Ministeriale del 14 gennaio 2008), che sostituiscono quelle approvate con D.M. del 14 settembre 2005, hanno, infatti, modificato il ruolo che la classificazione sismica aveva ai fini progettuali: per ciascuna zona – e quindi territorio comunale – precedentemente veniva fornito un valore di accelerazione di picco e quindi di spettro di risposta elastico da utilizzare per il calcolo delle azioni sismiche. Dal 1 luglio 2009 con l'entrata in vigore delle Norme Tecniche per le Costruzioni del 2008, per ogni costruzione ci si deve riferire ad una accelerazione di riferimento "propria" individuata sulla base delle coordinate geografiche dell'area di progetto e in funzione della vita nominale dell'opera. Un valore di pericolosità di base, dunque, definito per

ogni punto del territorio nazionale, su una maglia quadrata di 5 km di lato, indipendentemente dai confini Amministrativi Comunali. Va precisato che, in seguito a tale classificazione, tutte le regioni italiane (compresa la Sardegna) risultano a rischio sismico. In tutto il territorio nazionale vige quindi l'obbligo di progettare le nuove costruzioni e intervenire sulle esistenti con il metodo di calcolo semiprobabilistico agli stati limite e tenendo conto dell'azione sismica. Limitatamente alle costruzioni ordinarie presenti nei siti ricadenti in zona 4, per le costruzioni di tipo 1 e 2 e di classe d'uso I e II, la norma consente l'utilizzo della "vecchia" metodologia di calcolo alle tensioni ammissibili di cui al D.M. 16 gennaio 1996, ma obbliga comunque a tenere conto dell'azione sismica con l'assunzione di un grado di sismicità convenzionale $S=5$. La Classificazione Sismica (Zona Sismica di Appartenenza del Comune) rimane utile solo per la gestione della pianificazione e per il controllo del territorio da parte degli Enti preposti. L'entrata in vigore della revisione della norma NTC08, nel 2018, segna il definitivo abbandono della metodologia delle tensioni ammissibili: dal 22/03/2018, con l'entrata in vigore delle NTC08 non sarà più possibile utilizzare questa metodologia, neanche per le ex-zone 4, a favore del metodo semiprobabilistico agli Stati Limite. Inoltre nella norma NTC2018 sparisce ogni riferimento alla classificazione in zone sismiche, un refuso di stampa contenuto nelle NTC08 che contrastava fortemente con la metodologia della norma e con il calcolo a nodi degli scuotimenti attesi.

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 II (*Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente.*

b) Categorie di Sottosuolo

Per identificare la categoria di sottosuolo (§ 3.2.2. NTC 2018) finalizzata alla definizione dell'azione sismica di progetto, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, VS. I valori di Vs eq possono essere ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana

grossa e le prove penetrometriche statiche. Per velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio si intende la media pesata delle velocità delle onde S negli strati nei primi metri di profondità dal piano di posa della fondazione, dove per le fondazioni superficiali è riferita al piano di posa delle stesse: secondo lo schema presente nell'Ordinanza (NTC 2018) si tratta di un suolo appartenente alla Classe C. Di seguito si riportano le categorie di sottosuolo di riferimento (Tab. 3.2.II - NTC 2018).

Tab. 3.2.II – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.	
Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

c) Condizione Topografica

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

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

Classe d'uso	I	II	III	IV
Coefficiente C_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

Dati sull'area SENSIBILE:

Areale sensibile progetto impianto “Macchiareddu 3”

- **X = 1498407.4570 E - Y = 4345882.3135 N**



Dati sulla costruzione:

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

→ SLE (N.T.C)

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

→ SLU (N.T.C)

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

1.7 – Verifica sismica con tecnica MASW

Nel mese di febbraio 2020 è stata eseguita, un'indagine geofisica in un'area vicina e correlabile al fine di ottenere informazioni stratigrafiche (Vs30 categoria sottosuolo) a complemento dello studio geologico e geotecnico. Si è proceduto con l'esecuzione di n. 1 prospezione sismica con tecnica MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves) e stima delle Vs,eq.



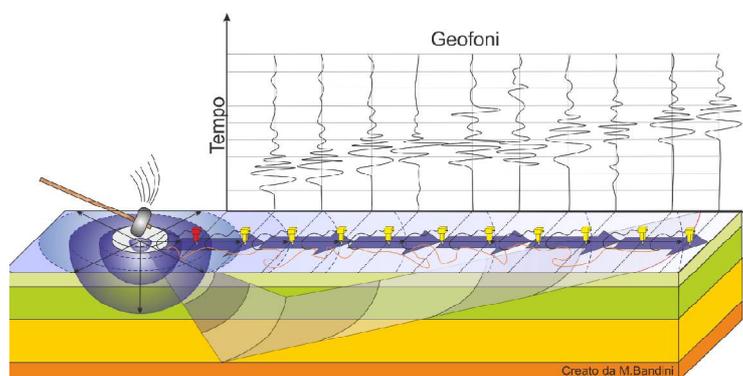
Figura 15 – Prova MASW - Ubicazione

1.7.1 - Prova MASW e descrizione del metodo

Scopo dell'indagine è quello di ricostruire, per l'area in oggetto, l'andamento delle velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità (V_s -z). Il modello sismico monodimensionale costituisce infatti l'aspetto principale sia nella stima degli effetti sismici di sito che nella definizione dell'azione sismica di progetto, in quanto consente di conoscere l'incidenza delle locali condizioni stratigrafiche nella modifica della pericolosità sismica di base (amplificazioni di natura litologica). Ciò permette una corretta progettazione strutturale in relazione alle condizioni sito- specifiche, garantendo un adeguato livello di protezione antisismica delle costruzioni (O.P.C.M. 3274 e s.m.i; D.M. 14.09.2005; D.M. 14.01.2008). Il metodo MASW consiste in tre fasi (V. Roma, 2002):

- la prima fase prevede il calcolo della velocità di fase (o curva di dispersione) apparente sperimentale;
- la seconda fase consiste nel calcolare la velocità di fase apparente numerica;
- la terza ed ultima fase consiste nell'individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s .

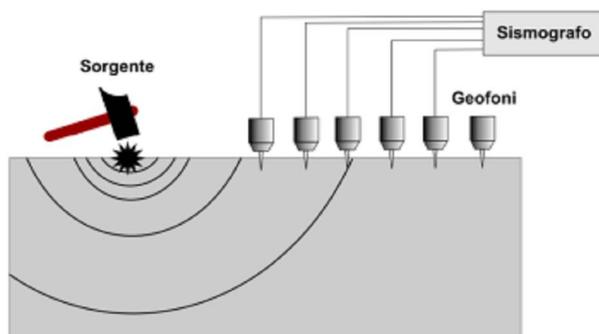
Modificando opportunamente lo spessore h , le velocità delle onde di taglio V_s e di compressione V_p (o in maniera alternativa alle velocità V_p), è possibile assegnare il coefficiente di Poisson ν , la densità di massa ρ degli strati che costituiscono il modello del suolo, fino a raggiungere una sovrapposizione ottimale tra la velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale e la velocità di fase (o curva di dispersione) numerica corrispondente al modello di suolo omogeneo. L'analisi delle onde superficiali è stata eseguita utilizzando la strumentazione classica per la prospezione sismica a rifrazione disposta sul terreno secondo un array lineare da 24 geofoni con spaziatura pari a 1.5 m. Per ottenere una buona risoluzione in termini di frequenza, oltre ad utilizzare geofoni da 4.5 Hz, è stato utilizzato un sismografo a 24 bit. Nell'esecuzione delle prove MASW attive è stato utilizzato come sistema di energizzazione una mazza di 10 Kg battente su piattello metallico.



La sorgente è stata posta ad una distanza di 5 m dal primo geofono (Optimum Field Parameters of an MASW Survey”, Park et al., 2005; Dal Moro, 2008).

1.7.2 – Strumentazione impiegata

- Per eseguire le prove MASW è stata utilizzata la seguente strumentazione:
- sismografo a 24 canali (Dolang mod. Esac 247), 24 bit
- 24 geofoni a frequenza propria di 4.5Hz;
- spaziatura tra geofoni 1.5m;
- tempo di acquisizione 2 s;
- offset di 5m.
- sorgente impulsiva: mazza battente da 10 kg.



1.7.3 – Elaborazione dati

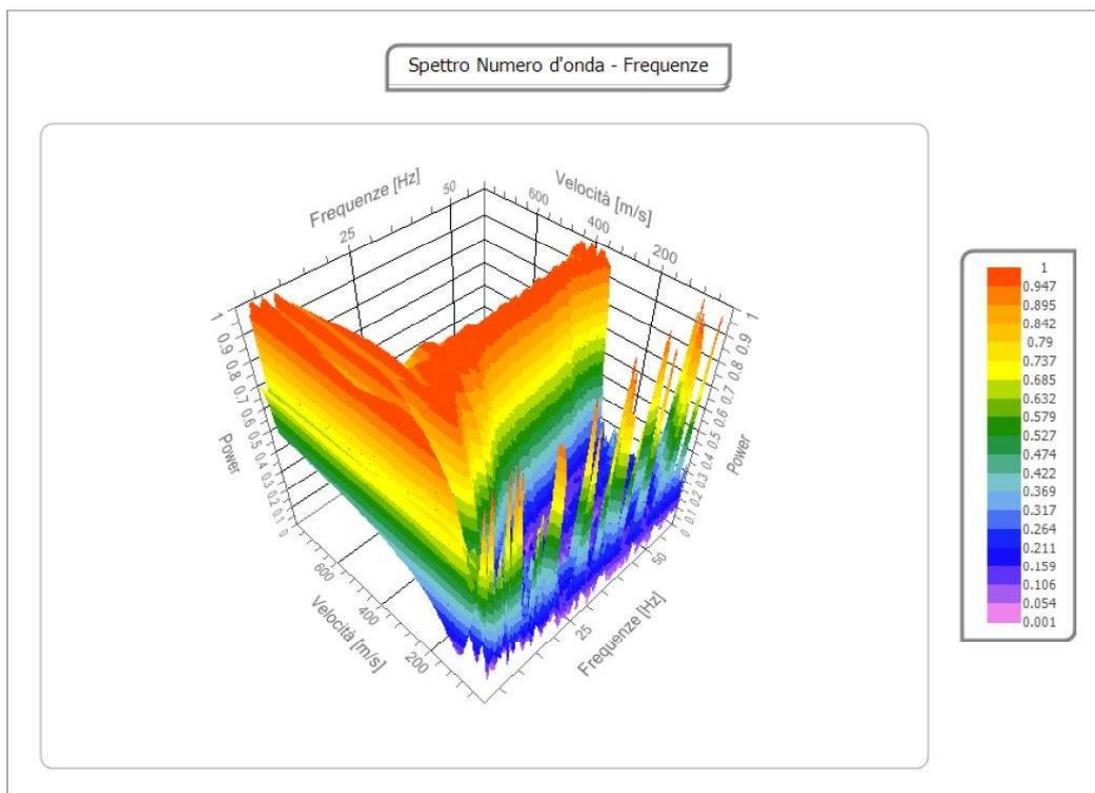
I dati sperimentali, acquisiti in formato SEG-2, sono stati trasferiti su PC e interpretati attraverso l'utilizzo di uno specifico programma di elaborazione (MASW, phd Vitantonio Roma 2008).

Tale programma permette di elaborare i dati acquisiti con il metodo attivo. L'analisi consiste nella trasformazione dei segnali registrati in uno spettro bidimensionale "phase velocity-frequency (c-f)" che analizza l'energia di propagazione delle onde superficiali lungo la linea sismica. In questo grafico è possibile distinguere il "modo fondamentale" delle onde di superficie, in quanto le onde di Rayleigh presentano un carattere marcatamente dispersivo che le differenzia da altri tipi di onde (onde riflesse, onde rifratte, onde multiple). Sullo spettro di frequenza viene eseguito un "picking" attribuendo ad un certo numero di punti una o più velocità di fase per un determinato numero di frequenze (vedi la curva di dispersione combinata presentata in allegato). Tali valori vengono successivamente riportati su un diagramma periodo-velocità di fase per l'analisi della curva di dispersione e l'ottimizzazione di un modello interpretativo. Variando la geometria del

modello di partenza ed i valori di velocità delle onde S si modifica automaticamente la curva calcolata di dispersione fino a conseguire un buon “fitting” con i valori sperimentali.

Dati sperimentali

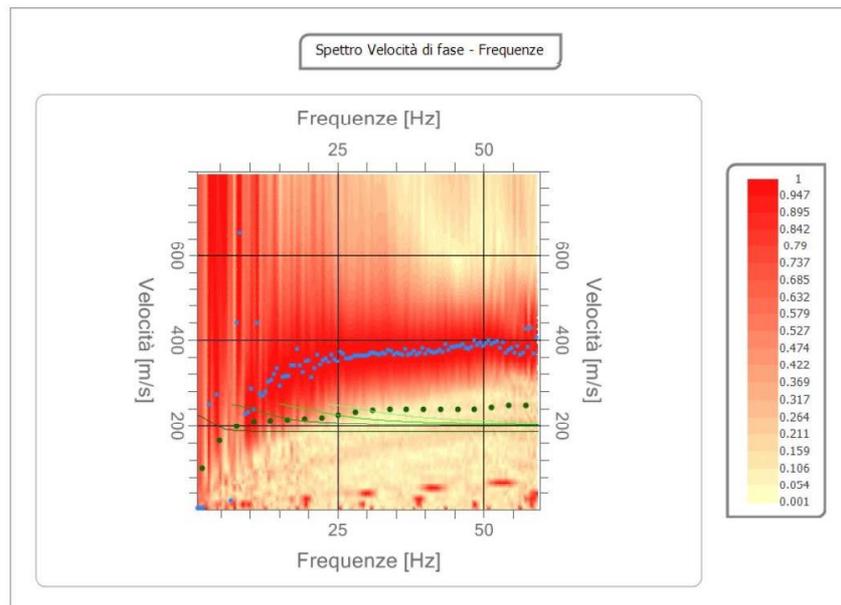
- Nome del file delle tracce C:\Users\Preload\UTA
- Numero di ricevitori 24
- Distanza tra i sensori: 1.5m
- Numero di campioni temporali 2048
- Passo temporale di acquisizione 2ms
- Numero di ricevitori usati per l'analisi 24
- L'intervallo considerato per l'analisi comincia a 0ms
- L'intervallo considerato per l'analisi termina a 4094ms
- I ricevitori sono invertiti (l'ultimo ricevitore nel file è il primo per l'analisi)



Visualizzazione 3D Spettro velocità di fase - frequenze

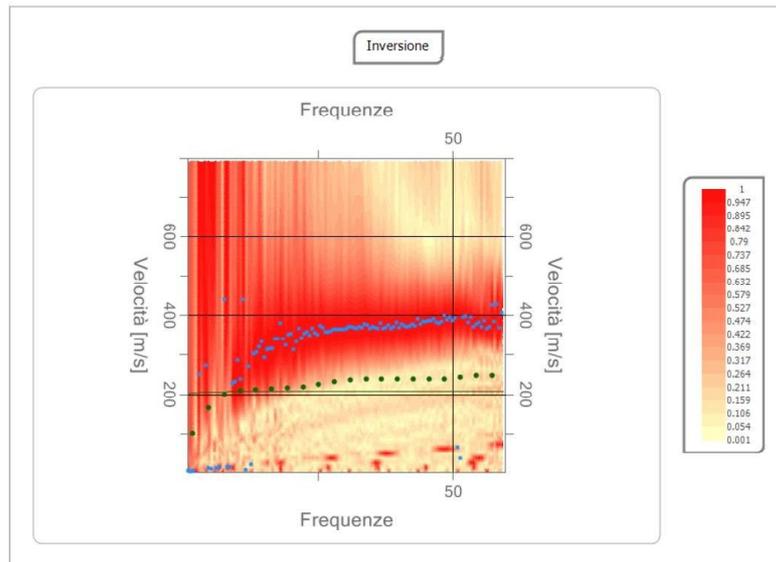
Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	2.0	100.0	0
2	4.9	164.4	0
3	7.8	198.2	0
4	10.7	210.2	0
5	13.6	212.8	0
6	16.5	213.4	0
7	19.4	215.4	0
8	22.3	219.5	0
9	25.2	225.2	0
10	28.1	231.1	0
11	31.0	236.0	0
12	33.9	238.9	0
13	36.8	239.7	0
14	39.7	238.9	0
15	42.6	237.8	0
16	45.5	237.7	0
17	48.5	239.6	0
18	51.4	243.7	0
19	54.3	247.9	0
20	57.2	247.0	0

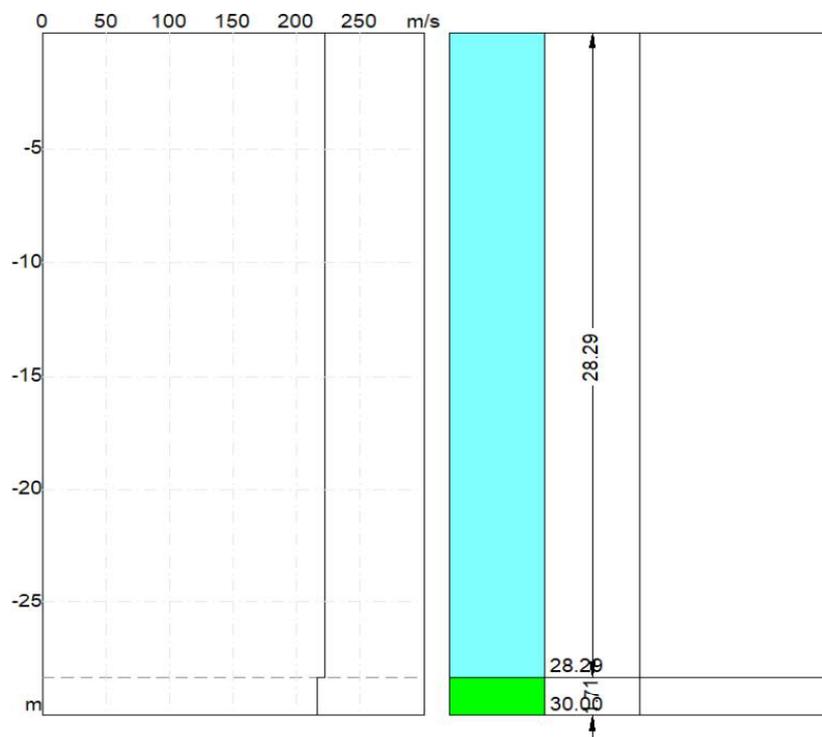


Inversione

n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1		28.29	28.29	1800.0	0.30	No	416.4	222.5
2		oo	oo	1800.0	0.30	No	404.3	216.1



Spettro frequenze – velocità dopo l'inversione



Profilo delle velocità e Modello stratigrafico

Committente: ENERGYMAC3 SRL Via Semplicio Spano 10 – 07026 Olbia (SS)

Progetto: Richiesta di autorizzazione impianto fotovoltaico denominato Macchiareddu 3 - Area industriale Macchiareddu

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

Relazione geologica e geotecnica

1.7.4 – Risultati finali

- profondità piano di posa → 0.0m
- $V_{s,eq}$ (m/sec) (30m) → 222.17
- **Categoria del suolo** → **C**

Categoria C

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.



RELAZIONE GEOTECNICA

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

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

- ❑ Sopralluogo nell'area in esame ed esame critico della situazione attuale;
- ❑ Stesura di una relazione geotecnica sulla base di specifiche indagini geognostiche e prove in sito, a supportato dalle conoscenze dei luoghi litologici per esperienze pregresse svolte dallo scrivente sull'areale sensibile³

3. CONSIDERAZIONI GEOTECNICHE E STRATIGRAFICHE SUL SEDIME

L'area sensibile si colloca nella piana di Uta - Capoterra, a est delle propaggini orientali dei rilievi Paleozoici del Sulcis occidentale, in un territorio morfologicamente pianeggiante che degrada dolcemente verso la zona umida dello Stagno di Cagliari. E' caratterizzata essenzialmente da una copertura Quaternaria continentale di facies alluvionale, modellata sulle antiche conoidi alluvionali del Pleistocene superiore. Le potenti coltri di alluvioni antiche, discordanti sulle formazioni continentali terziarie e localmente sul basamento paleozoico, sono state nel corso dell'evoluzione tettonica e climatica del Quaternario, modellate per lo più in forma di terrazzi e spianate creando un paesaggio uniforme e piatto. Sono rappresentate da una successione di sedimenti clastici, depositi a più riprese nella piana, costituiti da livelli per lo più

³ Riduzione del rischio Idraulico e ripristino delle infrastrutture sul Rio Coccodi – Comune di Uta

grossolani, di ghiaie alluvionali terrazzate, poligeniche ed eterometriche, in matrice limoso-argilloso-sabbiosa diversamente ferrettizzata, che si alternano a sabbie e ciottoli, a stratificazione incrociata, molto compatte e ben costipate. Si tratta di materiali da incoerenti a semicoerenti, con caratteristiche di resistenza meccanica generalmente buone sia per composizione granulometrica, sia per grado di costipamento e/o cementazione dei sedimenti. Le verifiche geolitologiche effettuate nell'areale dallo scrivente (Rio Coccodi), ha confermato una certa omogeneità litologica e geomeccanica nelle unità stratigrafiche rilevate. Infatti, il terreno esaminato, fatta eccezione per la presenza di un orizzonte di minimo spessore per lo più alterato dalla stessa azione antropica sul territorio, di spessore modesto (0.30/0.40m) e con elevata pietrosità superficiale, è impostato su una copertura di alluvioni ciottolose in matrice da limosa a sabbiosa carbonatica, molto addensate, soprastanti un'alternanza di livelli conglomeratici duri, a ciottoli poligenici ed eterometrici, disomogenei per il contenuto, la composizione della matrice e il grado di cementazione. Si passa da livelli conglomeratici semicoerenti, duri e debolmente cementati, in matrice da sabbioso-limosa a limoso-carbonatica di colore nocciola, a livelli in matrice da arenacea a limosa di colore nocciola rossastro (avana) per la ferrettizzazione. Presentano ciottoli eterometrici, per lo più di forma subarrotondata a indicare un lungo processo di trasporto, composti petrograficamente da rocce prevalentemente paleozoiche sia di natura metamorfica sia granitica, a riflettere la costituzione geologica del bacino di provenienza (rilievi del Sulcis occidentale). La sequenza è interrotta dalla presenza di livelli più plastici limosi argillosi a modesto contenuto di sabbie e ghiaie, e ciottoletti dispersi. Le alluvioni conglomeratiche hanno mostrato lungo tutto il profilo stratigrafico investigato, caratteristiche di resistenza e consistenza

meccanica molto buone, per l'elevato grado di compattezza.

Sulla base delle evidenze litologiche rilevate nel corso di sondaggi geognostici pregressi, di cui si riporta l'ubicazione, nella figura di lato riportata, si può asserire che l'area in esame presenta la seguente successione stratigrafica "Tipo", di seguito riportata a partire dall'alto e per le quali il piano di riferimento (+0.0m) corrisponde alla quota del piano campagna:

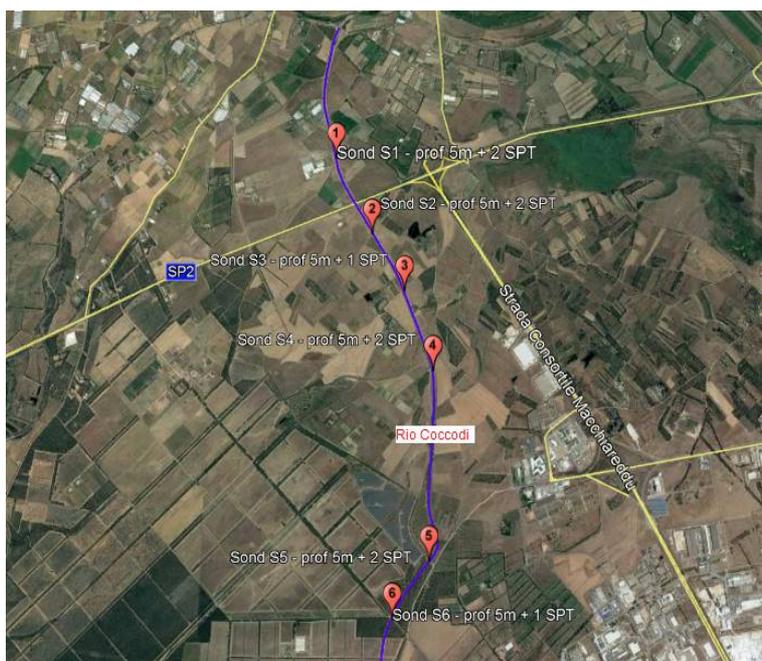


Figura 17 – Punti investigati pregressi litologicamente associabili all'area sensibile



Esempio in cassetta (sciolte per rotazione del carotiere) - 0.0m / 5.0m
ferrettizzazione nella matrice per ossidazione ferrica.

N.B.: Inizialmente per un minimo spessore variabile da 0.30/0.40m il materiale risulta alterato per la stessa attività antropica del territorio (strade di compenetrazione e attività agricole)

UNITA' A → Depositi alluvionali e/o terrazzati: sedimentazione quaternaria caratterizzata da un livello di alluvioni con ciottoli eterometrici, ghiaiose, in matrice sabbioso fine - limosa, disomogenea che conferisce agli stessi una colorazione variabile, da addensate a molto addensate, sino a dure, a tratti cementate, asciutte e/o debolmente umide legato alla stagionalità del periodo, colore nocciola. Presenta in generale screziature ocracee e segni di



Esempio in cassetta - 0.0m / 5.0m

UNITA' B → Depositi alluvionali e/o terrazzati: sedimentazione quaternaria ghiaiosa sabbiosa medio grossa, in matrice limosa argillosa, con dispersi ciottoletti, presenza di screziature ocracee e rossastre, a tratti debolmente cementato, da molto addensate sino a dure, colore nocciola giallastro, debolmente umido legato essenzialmente alla stagionalità del periodo.

In prima analisi, dal punto di vista della resistenza (portanza) si tratta di terreni alluvionali quaternari incoerenti di facies fluviale e di conoide, caratterizzati da alluvioni ciottolose ghiaiose grosse, sabbiose con subordinati limi e argille. Le verticali investigate sono costituite in prevalenza da livelli conglomeratici a ciottoli e ciottoletti eterometrici in una matrice essenzialmente sabbiosa fine limosa, a bassa % di frazione argillosa disomogenea, con aumento della stessa nella matrice verso la confluenza con il Rio Cixerri a Uta. Si tratta quindi di depositi alluvionali a grana grossa, conglomerati a ciottoli arrotondati, dure e molto compatte, eterogenei

per la variabilità del contenuto di limi, argille, ghiaie e sabbie fini nei vari livelli deposizionali, legati ad ambienti fluviali o di conoide, soggetti a ripetute inondazioni con flussi ad energia medio-bassa, come testimonia la presenza di ghiaia dispersa nella matrice. In generale si presentano (verticale investigata) asciutti o debolmente umidi soprattutto nelle parti con evidenze di screziature o patine ocracee – ferruginose per ossidazione ferrica. Anche la presenza discontinua del che si presenta diffuso nella matrice o della presenza di screziature ocracee e rossastre (ossidazioni) è indicativa rispettivamente di un’alternanza di fasi climatiche caldo umide, che hanno consentito la precipitazione dei carbonati e fenomeni di ristagno idrico.

I valori di NSPT (indice di portanza standard per la resistenza del terreno correlabile con la formula di “Parry – $30NSPT/3$ ” in daN/cm^2) sono risultati variabili a seconda dello stato di addensamento e/o consistenza dei materiali e comunque variabile secondo il seguente schema:

- **Livello tipo A]** spessore superiore ai 5.0m: Depositi alluvionali e/o terrazzati: sedimentazione quaternaria caratterizzata da un livello di alluvioni con ciottoli eterometrici, ghiaiose, in matrice sabbioso fine - limosa, disomogenea che conferisce agli stessi una colorazione variabile, da consistenti sino a dure, a tratti cementate, asciutte e/o debolmente umide legato alla stagionalità del periodo, colore nocciola. Presenta in generale screziature ocracee e segni di ferrettizzazione nella matrice per ossidazione ferrica → Resistenza da SPT (1.5m / 2.0m) $\geq 4.90 \div 9.81 daN/cm^2$;
- **Livello tipo B]** spessore superiore ai 5.0m: Depositi alluvionali e/o terrazzati: sedimentazione quaternaria ghiaiosa sabbiosa medio grossa, in matrice limosa argillosa, con dispersi ciottoletti, presenza di screziature ocracee e rossastre, a tratti debolmente cementato, da molto addensate sino a dure, colore nocciola giallastro, debolmente umido legato essenzialmente alla stagionalità del periodo → Resistenza da SPT (2.0m / 4.0m / 4.50m) $\geq 4.90 \div 9.81 daN/cm^2$

Si sottolinea che non è rilevabile la presenza di una falda acquifera superficiale, entro i 5.0m, ma solo una certa umidità naturale (molto debole) propria del materiale legata essenzialmente alla stagionalità del periodo.

3.1 - Parametrizzazione geologico-tecnica locale da prove S.P.T

Le indagini pregresse, svolte dallo scrivente nell’areale sensibile, hanno confermato una certa omogeneità nelle caratteristiche geomeccaniche nei vari livelli evidenziati (investigati), soprattutto nell’area interessata dal parco fotovoltaico denominato “CACIP 25” in progetto. Si tratta, in generale, di materiali di buona consistenza meccanica, costituiti da depositi sedimentari alluvionali (antichi e recenti) ghiaiosi sabbiosi in matrice limosa e/o limosa argillosa, frammisti a

ciottoli e ciottoletti eterometrici e ghiaie grosse, con una differente presenza di screziature ocracee e patine biancastre nella matrice. Le litologie si presentano generalmente asciutte o poco umide per la stagionalità del periodo. Analizzata la situazione locale si può affermare che i “depositi alluvionali Pleistocenici (antichi) – Olocenici (recenti)” costituiscono la litologia prevalente.

Sulla base delle conoscenze stratigrafiche dei luoghi si può fare una stima dei parametri geotecnici degli strati che insistono nell’area analizzata. I parametri geotecnici, utili al progettista ai fini delle verifiche strutturali, sono stati verificati attraverso le correlazioni dirette con i valori conoscitivi di NSPT, a cui possiamo associare i seguenti parametri fisico-meccanici caratteristici delle unità stratigrafiche che insistono nell’area analizzata:

- Angolo di resistenza al taglio φ ;
- Coesione nd (C_{nd});
- Modulo di deformazione (o di Young) E;
- Modulo Edometrico M;
- PP – VT;
- Coefficiente di Winkler (K);
- Resistenza del terreno da prove dinamiche SPT.

Nelle tabelle sottostanti sono riportati i parametri geotecnici dei principali livelli che insistono nell’area analizzata:

Unità A] Depositi alluvionali e/o terrazzati: sedimentazione quaternaria caratterizzata da un livello di alluvioni con ciottoli e ciottoletti eterometrici, ghiaiose, in matrice sabbioso fine - limosa, disomogenea che conferisce agli stessi una colorazione variabile, da consistenti sino a dure, a tratti cementate, asciutte e/o debolmente umide legato alla stagionalità del periodo, colore nocciola. Presenta in generale screziature ocracee e segni di ferrettizzazione nella matrice per ossidazione ferrica.

▪ Peso di volume naturale (γ_n)	20.13 KN/m ³
▪ Peso di volume saturo (γ_{sat})	21.11 KN/m ³
▪ Angolo di attrito interno (φ)	41° (Meyerhof) → ridotto 30.21°
▪ Coesione (nei termini a matrice)	(C nd) = 49.03 KN/m ²
▪ Densità relativa (Dr)	65 – 85 % (Gibbs & Holtz)
▪ Modulo Elastico (E)	72413,28 kgN/m ² (D’Appolonia et Alii)
▪ Modulo Edometrico (M)	76556,59 kg/cm ² (Menzebach e Malcev)
▪ NSPT medio	71
▪ R_T (secondo correlazione Parry Nspt)	≥ 6.86 daN/cm ²
▪ Coeff. Winkler (Kg/cm³) $Q = 1.5 \text{ Kg/cm}^2$	6.25 kg/cm ³



▪ **Caratteristiche strato** duro

Unita' B] Depositi alluvionali e/o terrazzati: sedimentazione quaternaria ghiaiosa sabbiosa medio grossa, in matrice limosa argillosa, con dispersi ciottolotti, presenza di screziature ocracee e rossastre, a tratti debolmente cementato, da molto addensato sino a duro, colore nocciola giallastro, debolmente umido legato essenzialmente alla stagionalità del periodo.

- Peso di volume naturale (γ_n)	20,89 KN/m ³
- Peso di volume saturo (γ_{sat})	21.87 KN/m ³
- Angolo di attrito interno (φ)	37° (Japanese N. Railway) → ridotto 26.78°
- Coesione (nei termini a matrice)	(C nd) = 98,07 KN/m ²
- Densità relativa (Dr)	65 – 85 % (Gibbs & Holtz)
- Modulo Elastico (E)	56535,34 kN/m ² (D'Appolonia et Alii)
- Modulo Edometrico (M)	60016,70 kg/cm ² (Menzebach e Malcev)
- NSPT medio	50
- R_T (secondo correlazione Parry Nsppt)	4.90 daN/cm ²
- Coeff. Winkler (Kg/cm³) $Q = 1.5 \text{ Kg/cm}^2$	4.34 kg/cm ³
- Caratteristiche strato	molto addensato - duro

Nella caratterizzazione geotecnica dei materiali, è possibile quindi rilevare due livelli litologici che si differenziano più che per la natura dei loro componenti clastici frammisti a ghiaie e sabbie, per il colore, per il grado di addensamento/compattazione e umidità. In generale all'interno di ogni strato si osserva una certa variabilità nella dimensione dei clasti nel loro grado di arrotondamento, nella percentuale delle diverse frazioni componenti la matrice e nel grado di alterazione e ossidazione. Pertanto, le uniformità locali di compactazione, la maggiore o minore presenza del legante (limo ed argilla), la presenza (%) o meno di elementi più grossi (ciottolate e ghiaia), influenzano la condizione geotecnica generale propria di questi strati, dello spessore complessivo decisamente maggiore di 20 metri.

3.2 – Considerazioni sulla scavabilità e tenuta dei fronti di scavo

L'area è costituita da depositi alluvionali antichi e recenti del Pleistocene - Olocene, grossolani di fondovalle e di piana di natura fluviale, costituiti da orizzonti conglomeratici duri, a ciottoli e ciottolotti eterometrici di natura essenzialmente Paleozoica, diversamente saldati in matrice a composizione disomogenea, che conferisce agli stessi una colorazione variabile; da livelli di ghiaie poligeniche e sabbie a stratificazione incrociata concava alternate a ghiaie a stratificazione piano-parallela, con intercalazioni di livelli sabbioso ghiaiosi -ciottolosi, a matrice generalmente limosa argillosa, mediamente costipate con un mediocre grado di cementazione. Le litologie presentando caratteristiche da incoerenti a semicoerenti (conglomerati), con intercalazioni

coesive per la presenza di limo e argilla, saranno facilmente asportabili con il semplice uso di un escavatore (terna) dotato di singola benna nei livelli più superficiali interessati dalla posa di una eventuale fondazione su “palo infisso” superficiale. La capacità della parete di scavo di autosostenersi in assenza di opere di stabilizzazione dipende dalle caratteristiche fisico-meccaniche del terreno interessato. E' infatti possibile dare allo scavo un'inclinazione (inclinazione di sicurezza) tale per cui essa risulti stabile nel breve periodo senza che vi sia pericolo di crollo. La stabilità nei livelli alluvionali, nello specifico Pleistocenici Olocenici diversamente addensati, essendo materiali a comportamento attrattivo e/o coesivo, è legata, indipendentemente dall'altezza dello scavo, al valore dell'angolo di attrito interno del materiale.

Il fattore di sicurezza (FS) di una parete di scavo viene definito come $FS = \tan \varphi / \tan \beta$, 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 Oloceniche un $\varphi_{da\ SPT} = 37^\circ$, per lavorare in condizioni di sicurezza, si potrà tener conto di un'inclinazione della parete di scavo β_{min} di circa 35° . Per questi terreni, si può verificare l'altezza critica di scavo, che è l'altezza massima alla quale una scarpata verticale è stabile per un certo periodo di tempo senza bisogno di sostegni. Nel nostro caso, considerando i seguenti parametri geotecnici accorpabili per uniformità litologiche locali (riconducibili ad un unico livello) $\rightarrow c_u = 49.03\text{ KN/m}^2$ - $\gamma_n = 20.13\text{ KN/m}^3$ e utilizzando la seguente relazione: $H_c = 4\ c_u / \gamma_n$ si ottiene un'altezza critica di scavo $H_c = \sim 10.0\text{ m}$. Tenendo conto delle “tensioni di trazione” di altezza (y), che si generano in seguito allo scavo, ed in presenza di eventuale acqua a breve profondità legata alla stagionalità del periodo, il valore dell'altezza critica (H_c) (Terzaghi) risulta ridotto per $y = H_c/2 \rightarrow H_c' = \sim 5.0\text{ m}$

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

3.3 - Verifica degli SL secondo le NTC 2018

Premessa: Nelle Norme Tecniche per le Costruzioni (N.T.C 2008) la verifica di sicurezza nei confronti degli stati limite ultimi (S.L.U) di resistenza, si ottiene con il “Metodo semiprobabilistico dei Coefficienti parziali” di sicurezza tramite la disequazione: $E_d \leq R_d$, dove E_d è il valore di progetto (risultante della combinazione delle azioni agenti sulle costruzioni), R_d è la resistenza di progetto del terreno, che equivale al carico limite calcolato con il metodo delle tensioni ammissibili (D.M.11/03/88) ridotto di un certo coefficiente parziale (γ_R). Il valore di progetto si ottiene con una combinazione delle azioni sulle costruzioni e di coefficienti parziali, che tiene conto del massimo carico d’esercizio trasmesso sulla fondazione, dato da $N = G + Q$, che è la somma dei carichi permanenti sfavorevoli (G) e dei carichi variabili sfavorevoli (Q). La combinazione delle azioni è funzione del tipo di calcolo, se finalizzato agli stati limite ultimi (SLU) o agli stati limite d’esercizio (SLE). Nelle verifiche nei confronti degli stati limite ultimi (SLU) si possono adottare 2 metodi:

- Il primo metodo tiene conto di 2 combinazioni:

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

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

Le combinazioni sono formate da gruppi di coefficienti parziali 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.I. Per ogni stato limite

ultimo che preveda il raggiungimento della resistenza di un elemento strutturale (STR) o del terreno (GEO), come definiti al § 2.6.1, deve essere rispettata la condizione: $E_d \leq R_d$ [§ 6.2.1] essendo E_d il valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione, definito dalle relazioni [6.2.2a] o [6.2.2b]. Effetto delle azioni e resistenza di progetto sono espresse nelle [6.2.2a] e [6.2.3] rispettivamente in funzione delle azioni di progetto γF_k , dei parametri geotecnici di progetto $X_k/\gamma M$ e dei parametri geometrici di progetto a_d . Il coefficiente parziale di sicurezza γR opera direttamente sulla resistenza del sistema.

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

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

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

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

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

Per la verifica della capacità portante secondo le N.T.C 2018 è stato scelto il secondo metodo con la combinazione unica $[A_1+M_1+R_3]$ in condizioni drenate (piano di posa): la verifica è stata svolta per un palo del diametro massimo di 20cm, con incastro di punta a -1.50/-2.0m da p.c..

DATI GENERALI

=====
Normativa NTC 2018
Diametro della fondazione 0,2 m
Profondità piano di posa 1,0 m
Correzione parametri

SISMA

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

STRATIGRAFIA TERRENO

Corr: Parametri con fattore di correzione (TERZAGHI)



Committente: ENERGYMAC3 SRL Via Semplice Spano 10 – 07026 Olbia (SS)

Progetto: Richiesta di autorizzazione impianto fotovoltaico denominato Macchiareddu 3 - Area industriale Macchiareddu

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

Relazione geologica e geotecnica

DH: Spessore dello strato; Gam: Peso unità di volume; Gams: Peso unità di volume saturo; Fi: Angolo di attrito; Ficorr: Angolo di attrito corretto secondo Terzaghi; c: Coesione; c Corr: Coesione corretta secondo Terzaghi; Ey: Modulo Elastico; Ed: Modulo Edometrico; Ni: Poisson; Cv: Coeff. consolidaz. primaria; Cs: Coeff. consolidazione secondaria; cu: Coesione non drenata

Spessore 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	Coeff. consolidaz. primaria [cmq/s]	Coeff. consolidazione secondaria	Descrizione
6,0	20,13	21,11	30,21	0,0	49,03	71413,28	76556,59	0,3	0,0	0,0	ghiaia con sabbia
6,0	20,89	21,87	26,78	0,0	98,07	56535,34	60016,7	0,35	0,0	0,0	ghiaia con sabbia limosa

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	142,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Progetto
2	SISMA	142,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Progetto
3	S.L.E.	142,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Servizio
4	S.L.D.	142,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Servizio

Sisma + Coeff. parziali parametri geotecnici terreno + Resistenze

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

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

Autore: Meyerhof and Hanna (1978)

Carico limite [Qult] 427,96 kN/m²

Resistenza di progetto [Rd] 186,07 kN/m²

Fattore sicurezza [Fs=Qult/Ed] 3,0

COEFFICIENTE DI SOTTOFONDAZIONE BOWLES (1982)

Costante di Winkler 32856,17 kN/m³

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

Strato 1 sopra, strato 2 sotto

Fattori di capacità portante strato 1

Fattore [Nq] 18,85

Fattore [Nc] 30,65

Fattore [Ng] 4,82

Fattori di capacità portante strato 2

Fattore [Nq] 1,0

Fattore [Nc] 5,14



Committente: ENERGYMAC3 SRL Via Semplicio Spano 10 – 07026 Olbia (SS)

Progetto: Richiesta di autorizzazione impianto fotovoltaico denominato Macchiareddu 3 - Area industriale Macchiareddu

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

Relazione geologica e geotecnica

Carico limite strato 2 (qb) 725,68 kN/m²

Carico limite strato 1 (qt) 427,96 kN/m²

Incremento carico limite strato 1 11429,95 kN/m²

Coefficiente di punzonamento (ks) 5,57

Rapporto (q1/q2) 51,99

=====
Carico limite 427,96 kN/m²

Resistenza di progetto 186,07 kN/m²

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

=====
SISMA

Strato 1 sopra, strato 2 sotto

Fattori di capacità portante strato 1

Fattore [Nq] 18,85

Fattore [Nc] 30,65

Fattore [Ng] 4,82

Fattori di capacità portante strato 2

Fattore [Nq] 1,0

Fattore [Nc] 5,14

Carico limite strato 2 (qb) 725,68 kN/m²

Carico limite strato 1 (qt) 427,96 kN/m²

Incremento carico limite strato 1 11429,95 kN/m²

Coefficiente di punzonamento (ks) 5,57

Rapporto (q1/q2) 51,99

=====
Carico limite 427,96 kN/m²

Resistenza di progetto 237,76 kN/m²

3.3.1 – CEDIMENTI PER OGNI STRATO

*Cedimento edometrico calcolato con: Metodo consolidazione monodimensionale di Terzaghi

Pressione normale di progetto 98,07 kN/m²

Cedimento dopo T anni 15,0

Distanza 0,06 m

Angolo 260,78 °

Cedimento totale 0,002 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	70,455	0,237	Edometrico	0,0015	--	0,0015
2	9	183,45	0,023	Edometrico	0,0002	--	0,0002



3.3.2 - CEDIMENTI ELASTICI

Pressione normale di progetto 98,07 kN/m²

Spessore strato 0,0 m

Profondità substrato roccioso 0,0 m

Modulo Elastico 0,0 kN/m²

Coefficiente di Poisson 0,3

Coefficiente di influenza I1 0,5

Coefficiente di influenza I2 0,02

Coefficiente di influenza Is 0,51

Cedimento al centro della fondazione 0,1 mm

Coefficiente di influenza I1 0,44

Coefficiente di influenza I2 0,03

Coefficiente di influenza Is 0,45

Cedimento al bordo 0,05 mm

3.3.3 - CEDIMENTI BURLAND E BURBIDGE

Pressione normale di progetto 98,07 kN/m²

Tempo 15,0

Profondità significativa Zi (m) 2

Media dei valori di Nspt all'interno di Zi 40

Fattore di forma fs 1

Fattore strato compressibile fh 1

Fattore tempo ft 1,44

Indice di compressibilità 0,01

Cedimento 0,385 mm

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

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

Strato	Prof. Strato (m)	Nspt	Nspt'	Svo (kN/m ²)	S'vo (kN/m ²)	T	R	Fs	Condizione:
1	6,00	40,00	35,204	120,778	120,778	0,035	5,899	166,21	Livello non liquefacibile
2	12,00	50,00	26,482	246,116	246,116	0,032	0,985	30,79	Livello non liquefacibile

GRAFICI

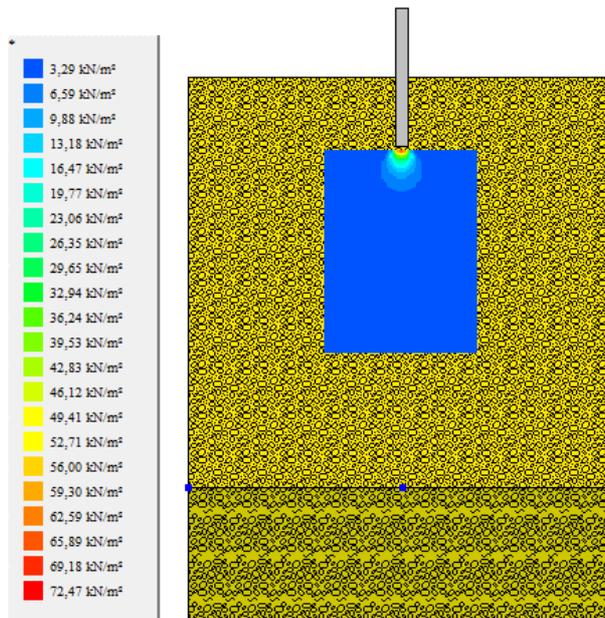


Figure 18 – Bulbo dello sviluppo delle pressioni

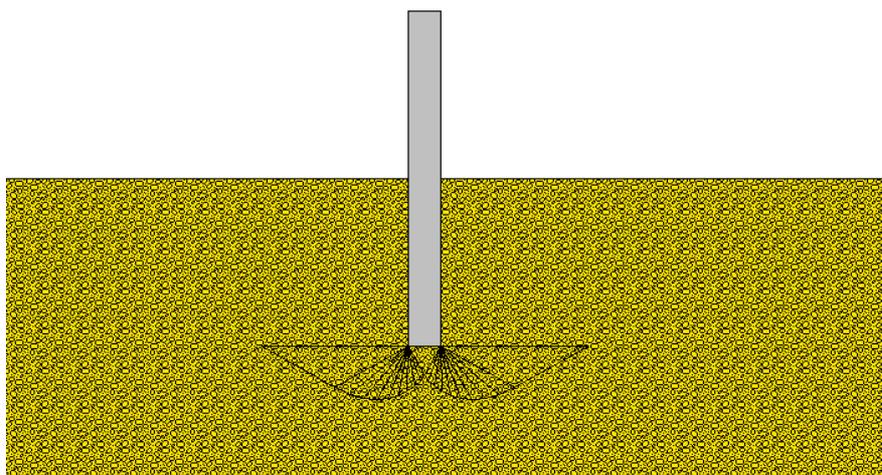


Figura 19 – Cuneo di intrusione

4. CONCLUSIONI

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

⇒ L'area sensibile si colloca nella piana di Uta – Capoterra - Assemini, a est delle propaggini orientali dei rilievi Paleozoici del Sulcis occidentale, in un territorio morfologicamente pianeggiante che degrada dolcemente verso la zona umida dello Stagno di Cagliari. E' caratterizzata essenzialmente da una copertura Quaternaria continentale di facies alluvionale, modellata sulle antiche conoidi alluvionali del Pleistocene superiore. Le potenti coltri di alluvioni antiche, discordanti sulle formazioni continentali terziarie e localmente sul basamento paleozoico, sono state nel corso dell'evoluzione tettonica e climatica del Quaternario, modellate per lo più in forma di terrazzi e spianate creando un paesaggio uniforme e piatto. Sono rappresentate da una successione di sedimenti clastici, depositi a più riprese nella piana, costituiti da livelli per lo più grossolani, di ghiaie alluvionali terrazzate, poligeniche ed eterometriche, in matrice limoso-argilloso-sabbiosa diversamente ferrettizzata, che si alternano a sabbie e ciottoli, a stratificazione incrociata, molto compatte e ben costipate. Si tratta di materiali da incoerenti a semicoerenti, con caratteristiche di resistenza meccanica generalmente buone sia per composizione granulometrica, sia per grado di costipamento e/o cementazione dei sedimenti. Le verifiche geo-litologiche effettuate nell'areale dallo scrivente (es. Macchiareddu, Uta, Interventi sul Rio Coccodi) ha confermato una certa omogeneità litologica e geomeccanica nelle unità stratigrafiche rilevate. Infatti, il terreno esaminato, fatta eccezione per la presenza di un orizzonte di minimo spessore per lo più alterato dalla stessa azione antropica sul territorio, di spessore modesto (0.30/0.50m) e con elevata pietrosità

superficiale, è impostato su una copertura di alluvioni ciottolose in matrice da sabbiosa a limosa argillosa, da molto addensate sino a dure, soprastanti un'alternanza di livelli conglomeratici duri, a ciottoli poligenici ed eterometrici, disomogenei per il contenuto, la composizione della matrice e il grado di cementazione. Presentano ciottoli eterometrici, per lo più di forma subarrotondata a indicare un lungo processo di trasporto, composti petrograficamente da rocce prevalentemente paleozoiche sia di natura metamorfica sia granitica, a riflettere la costituzione geologica del bacino di provenienza (rilievi del Sulcis occidentale). La sequenza è interrotta dalla presenza di livelli più plastici limosi argillosi a modesto contenuto di sabbie e ghiaie, e ciottoletti dispersi. Le alluvioni hanno mostrato lungo tutto il tracciato investigato, caratteristiche di resistenza e consistenza meccanica da buone a molto buone, per l'elevato grado di compattezza e cementazione.

- ⇒ Dal punto di vista del loro comportamento geomeccanico, presentano caratteristiche variabili da litologia incoerente a semicoerente nei termini più attrattivi, a coesiva nei termini più plastici. In funzione di ciò, i terreni hanno mostrato una certa variabilità nella resistenza alla penetrazione da prove S.P.T (Standard Penetration Test). Questa disomogeneità è congruente alla tipica variabilità litologica dei depositi di ambiente fluviale, presentandosi nei nostri casi diversamente addensati e/o consistenti e/o cementati. Essi, presentano negli strati più superficiali, o comunque dove sono presenti i livelli ghiaiosi grossi sabbiosi in matrice fine limosa discrete (buona) caratteristiche geotecniche, andando verso valori concretamente superiori con la profondità, dove è maggiore la presenza dei livelli conglomeratici duri e cementati.
- ⇒ Nell'area d'interesse non sono stati rilevati fenomeni franosi in atto né segni che ne lascino presagire l'occorrenza; non è stata riscontrata la presenza d'alcun elemento tettonico attivo, quali faglie o dislocazioni in genere, che possa favorire l'innescarsi di dissesti di qualsiasi natura e provocare ripercussioni sulla stabilità delle opere in progetto. Essa, inoltre, non è interessata da fenomeni di subsidenza, né sono stati rilevati altri fenomeni morfogenetici attivi in grado di influire in maniera significativa sulla stabilità dell'area. In considerazione delle caratteristiche tecniche dei terreni unitamente ai valori di pendenza su cui giacciono, l'area rimane caratterizzata da buone condizioni di stabilità.
- ⇒ Geologicamente nell'area affiorano terreni quaternari di facies fluviale rappresentati da alluvioni Pleistoceniche - Oloceniche, costituite essenzialmente da alternanze di livelli conglomeratici poligenici ed eterometrici, ghiaie stratificate con intercalazioni di sabbie e limi/argille. La distinzione tra le due formazioni alluvionali è legata alle caratteristiche

morfometriche della frazione grossolana, al grado di compattazione, al contenuto e alla ferrettizzazione della matrice fine. In funzione di ciò, i terreni rilevati con particolare riferimento alla capacità d'assorbimento possono essere suddivisi in:

Classe 1: medio alta permeabilità, localmente medio bassa \Rightarrow [Alluvioni recenti terrazzate dell'Olocene]

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

Classe 2: medio bassa permeabilità \Rightarrow [Alluvioni antiche Pleistoceniche]

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

\Rightarrow Sulla base di quanto disposto dalla normativa P.A.I per il Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico della Sardegna "Allegato E/F" (criteri per la predisposizione degli studi di compatibilità idraulica e geologica-geotecnica di cui agli articoli 24/25 delle norme di attuazione del PAI Titolo III cap. I), il cui bacino di riferimento è il n. 07_Flumendosa-Campidano-Cixerri, si evince che il nostro sito, interessato dagli interventi per la realizzazione di un parco Fotovoltaico, è interessato da pericolosità idraulica (PSFF – Art. 8) e da assenza di pericolosità da frana secondo quanto disposto dagli artt. 23-24-25 delle norme di Attuazione del P.A.I. La pericolosità idraulica ricade (NNE) nel tratto dettato dall'asta Foce Mereu. Da una analisi dell'Inventario dei Fenomeni Franosi in Sardegna (IFFI) non sono emersi per l'area esaminata rischi compatibili con eventi franosi.

\Rightarrow Pericolosità Sismica Locale

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

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

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

Dati sulla costruzione:

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

SLE (N.T.C)

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

SLU (N.T.C)

- Dati sulla costruzione (**SLV**) Probabilità di superamento nella vita di riferimento: 0.100000 (**SLV**)
Periodo di ritorno: 474.561079 (anni): Valori finali calcolati: $a_g = 0.0439 \text{ g} \rightarrow F_0 = 2.5027 \rightarrow T_c^* = 0.3100 \text{ sec}$
- Dati sulla costruzione (**SLC**) Probabilità di superamento nella vita di riferimento: 0.050000 (**SLC**)
Periodo di ritorno: 974.786287 (anni): Valori finali calcolati: $a_g = 0.0555 \text{ g} \rightarrow F_0 = 2.5551 \rightarrow T_c^* = 0.3400 \text{ sec}$

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

Tab. 3.2.II – Categorie di sottosuolo che permettono l’utilizzo dell’approccio semplificato.	
Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

Condizioni topografiche (Tab. 3.2.III)

CATEGORIE TOPOGRAFICHE	
Categoria Caratteristiche della superficie topografica	



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 $i > 30^\circ$

Tab. 2.4.I.

	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

Tab. 2.4.II.

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

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

⇒ Prova MASW risultati finali

- $V_{s,eq}$ (m/sec) (30m) → 222.17

Categoria del suolo → **C** (*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*)

⇒ Considerazioni geotecniche preliminari: si tratta di materiali da incoerenti a semicoerenti, con caratteristiche di resistenza meccanica generalmente buone sia per composizione granulometrica, sia per grado di costipamento e/o cementazione dei sedimenti, confermate dai valori di resistenza alla punta (Parry) ottenuti dalla prova penetrometrica dinamica discontinua (NSPT). Nelle tabelle sottostanti sono riportati i parametri geotecnici dei principali livelli che insistono nell'area analizzata:

Unità A → Dal punto di vista della portanza, la copertura quaternaria di facies fluviale, caratterizzata da un livello di alluvioni ciottolose in matrice sabbioso-limosa, da addensate a

molto addensate, asciutte e di colore variabile dal nocciola bruno al nocciola chiaro, presenta valori medi di NSPT a -1.0/-2.0m (indice di portanza standard) di $30 \div 40$, riconducibile utilizzando la correlazione NSPT con la formula di "Parry" per la verifica della resistenza alla penetrazione del terreno a $R_T \text{ (daN/cm}^2\text{)} = 30N_{\text{spt}} / F_s = 2.94 \div 3.92$, confermando la presenza di terreni con resistenza meccanica discreta-buona.

- Peso di volume naturale (γ_n)	18,10 ÷ 19,12 KN/m ³
- Peso di volume saturo (γ_{sat})	19,15 ÷ 20,59 KN/m ³
- Angolo di attrito interno (ϕ)	35° ÷ 37 (Japanese National Railway)
- Coesione (nei termini a matrice)	(C nd) = 39,23 KN/m ²
- Densità relativa (Dr)	67% (Gibbs & Holtz)
- Modulo Elastico (E)	44437,85 kgN/m ² (D'Appolonia et Alii)
- Modulo Edometrico (M)	38602,90 kg/cm ² (Menzebach e Malcev)
- NSPT medio	36
- R_T (secondo correlazione Parry NSPT)	≥ 2.94 ÷ 3.92 daN/cm ²
- Coeff. Winkler (Kg/cm³) $Q = 1.0 \text{ Kg/cm}^2$	4.55 kg/cm ³
- Caratteristiche strato	addensato/molto addensato/duro

Unità' B] Il sottostante substrato, è costituito da alluvioni antiche conglomeratiche a ciottoli poligenici arrotondati di dimensioni centimetriche, dure e molto compatte, con valori medi di NSPT già a partire da 2.0m/3.0m → 5.0m pari a 50 o a rifiuto, riconducibile utilizzando la correlazione NSPT con la formula di "Parry" a $R_T \text{ (daN/cm}^2\text{)} = 30N_{\text{spt}} / F_s = 4.90 \div 9.81$, confermando la presenza di terreni con resistenza meccanica molto buona.

- Peso di volume naturale (γ_n)	20,0 ÷ 21,0 KN/m ³
- Peso di volume saturo (γ_{sat})	20,85 ÷ 22,0 KN/m ³
- Angolo di attrito interno (ϕ)	37° ÷ 42° (Japanese National Railway)
- Coesione (nei termini a matrice)	(C nd) = 98,07 KN/m ²
- Densità relativa (Dr)	90% (Gibbs & Holtz)
- Modulo Elastico (E)	56535,34 kN/m ² (D'Appolonia et Alii)
- Modulo Edometrico (M)	60016,70 kg/cm ² (Menzebach e Malcev)
- NSPT medio	50
- R_T (secondo correlazione Parry NSPT)	4.90 ÷ 9.81 daN/cm ²
- Coeff. Winkler (Kg/cm³) $Q = 1.0 \text{ Kg/cm}^2$	4.55 kg/cm ³
- Caratteristiche strato	duro

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

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

- Combinazione A1+M1+R3 - Meyerhof and Hanna (1978) – condizione non drenata
Il valore minimo del carico limite ultimo $Q_{ult} = 427,96 \text{ kN/m}^2$, con una resistenza di progetto (R_d) = $186,07 \text{ KN/m}^2$.
- I cedimenti elastici relativi al substrato di terreno interessato dal sovraccarico, si attesterebbero a valori inferiori al centimetro (centro 0,1mm / bordo 0,05mm), in corrispondenza di una pressione normale di progetto pari a $98,07 \text{ KN/m}^2$ (ipotesi di verifica).
- I cedimenti secondo Burland e Burbidge relativi al substrato di terreno interessato dal sovraccarico, si attesterebbero a valori inferiori al centimetro (0.385mm), in corrispondenza di una pressione normale di progetto pari a $98,07 \text{ KN/m}^2$ (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 calpestio - Metodo del C.N.R. - GNDT Da Seed e Idriss

⇒ L'area è costituita da depositi alluvionali antichi e recenti del Pleistocene - Olocene, grossolani di fondovalle e di piana di natura fluviale, costituiti da orizzonti conglomeratici duri, a ciottoli e ciottolotti eterometrici di natura essenzialmente Paleozoica, diversamente saldati in matrice a composizione disomogenea, che conferisce agli stessi una colorazione variabile; da livelli di ghiaie poligeniche e sabbie a stratificazione incrociata concava alternate a ghiaie a stratificazione piano-parallela, con intercalazioni di livelli sabbioso ghiaiosi -ciottolosi, a matrice generalmente limosa argillosa, mediamente costipate con un mediocre grado di cementazione. Le litologie presentando caratteristiche da incoerenti a semicoerenti (conglomerati), con intercalazioni coesive per la presenza di limo e argilla, saranno facilmente asportabili con il semplice uso di un escavatore (terna) dotato di singola benna nei livelli più

superficiali interessati dalla posa di una fondazione su “palo infisso” superficiale, o utilizzando un apposito battipalo. La capacità della parete di scavo di autosostenersi in assenza di opere di stabilizzazione dipende dalle caratteristiche fisico-meccaniche del terreno interessato. E' infatti possibile dare allo scavo un'inclinazione (inclinazione di sicurezza) tale per cui essa risulti stabile nel breve periodo senza che vi sia pericolo di crollo. La stabilità nei livelli alluvionali, nello specifico Pleistocenici Olocenici diversamente addensati, essendo materiali a comportamento attrattivo e/o coesivo, è legata, indipendentemente dall'altezza dello scavo, al valore dell'angolo di attrito interno del materiale. Il fattore di sicurezza (FS) di una parete di scavo viene definito come $FS = \text{tg } \varphi / \text{tg } \beta$. Nel nostro caso, avendo le coperture Oloceniche un $\varphi_{\text{da SPT}} = 37^\circ$, per lavorare in condizioni di sicurezza, si potrà tener conto di un'inclinazione della parete di scavo min di circa 35° . 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, tenendo conto delle “tensioni di trazione” di altezza (y), che si generano in seguito allo scavo, ed in presenza di eventuale acqua a breve profondità legata alla stagionalità del periodo, il valore dell'altezza critica (**Hc**) (Terzaghi) risulta ridotto per $y = Hc/2 \rightarrow Hc' = \sim 5.0\text{m}$

⇒ L'area, che ospiterà l'opera in progetto, non evidenzia ostacoli di:

- Natura geologica, idrogeologica o morfologica che impediscano l'utilizzazione prevista dal progetto, a meno delle normali prescrizioni ingegneristiche;
- Turbamento alle caratteristiche morfologiche del paesaggio. La stratigrafia, tipica dei terreni locali analizzati in situ, evidenzia la compatibilità della stessa in funzione delle opere (interventi) da realizzarsi, a supporto del progetto “*Parco Fotovoltaico denominato Macchiareddu 3*”.
- 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 04 Novembre 2020



Committente: ENERGYMAC3 SRL Via Semplicio Spano 10 – 07026 Olbia (SS)

Progetto: Richiesta di autorizzazione impianto fotovoltaico denominato Macchiareddu 3 - Area industriale Macchiareddu

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

Relazione geologica e geotecnica

GEOLOGO [sez. A]

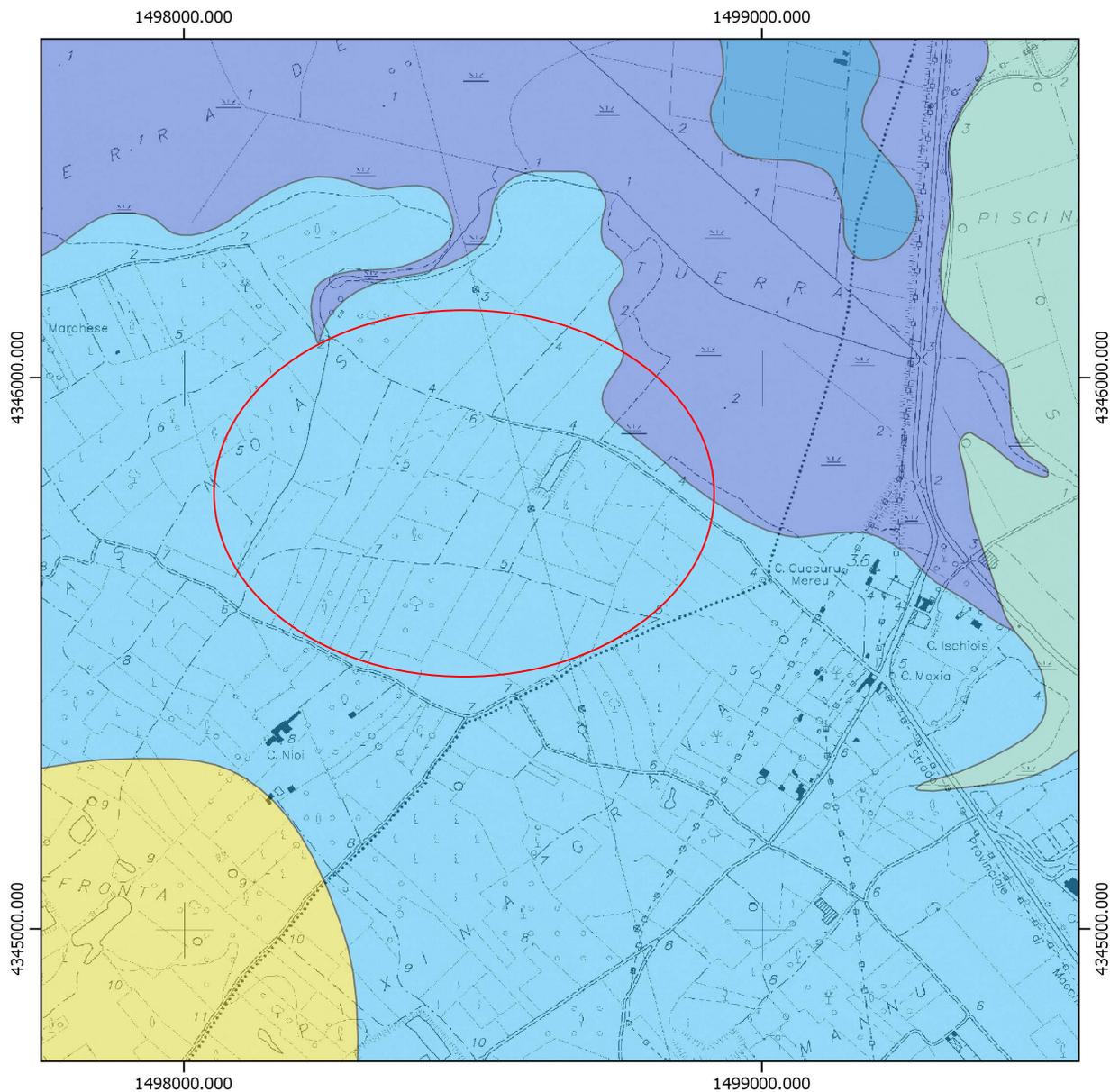
Dott. Mario STRINNA



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 556 - 120 [ASSEMINI]
SCALA 1:10.000

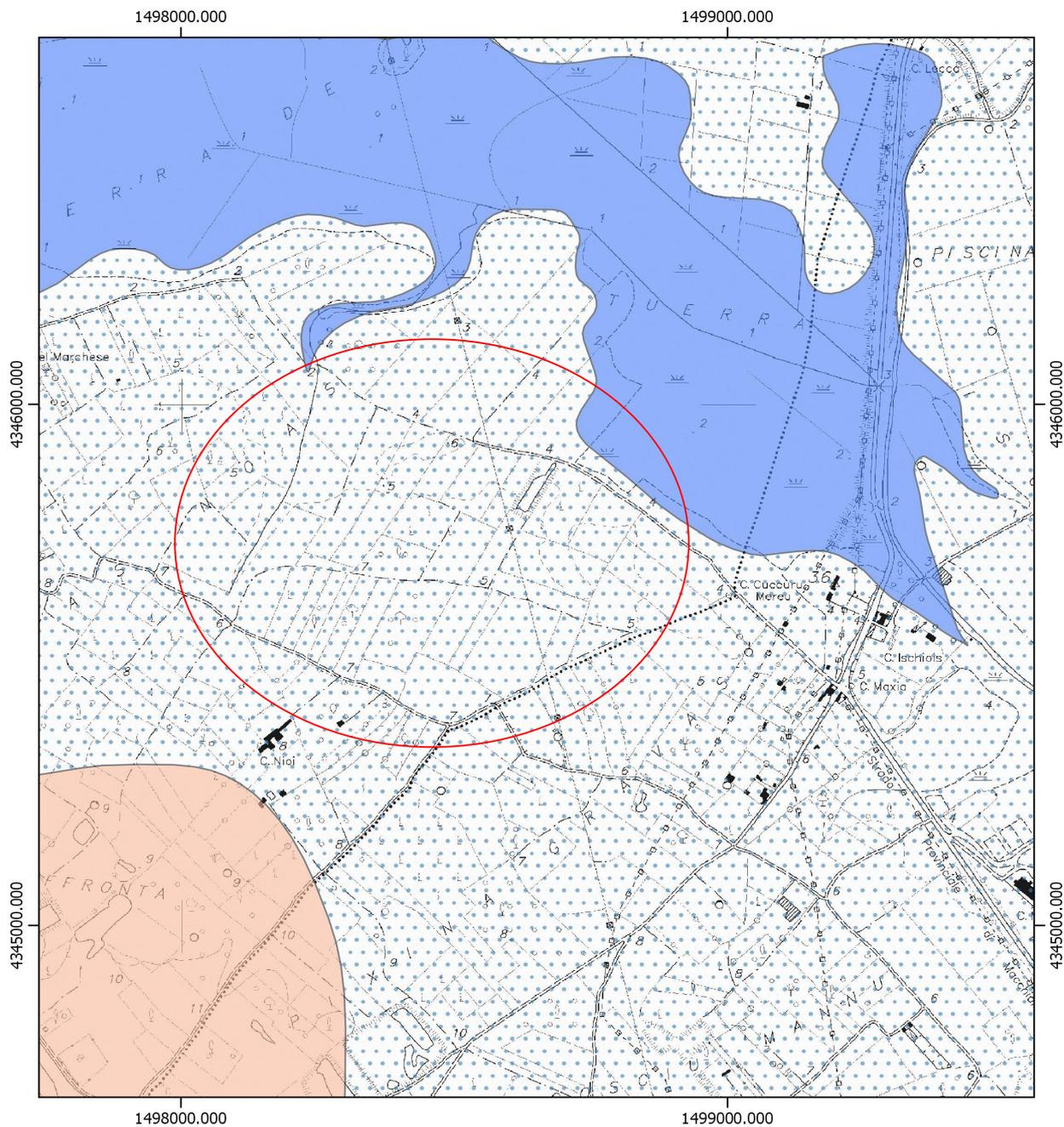


geologiaAreali2008

-  Depositi alluvionali terrazzati. Ghiaie con subordinate sabbie. OLOCENE
-  Depositi alluvionali. Ghiaie da grossolane a medie. OLOCENE
-  Depositi alluvionali. Limi ed argille. OLOCENE
-  Depositi alluvionali. Sabbie con subordinati limi e argille. OLOCENE
-  Litofacies nel Substema di Portoscuso (SINTEMA DI PORTOVESME). Ghiaie alluvionali terrazzate. PLEISTOCENE SUP.



CARTA DELLE PERMEABILITA'
SU BASE CTR FOGLIO 556 - 120 [ASSEMINI]
SCALA 1:10.000



carta_permeabilita_2019

-  AP - Permeabilità alta per porosità
-  BP
-  MAP - Permeabilità medio alta per porosità

0 500 1000 m

