



COMUNE DI ASSEMINI

(Prov. Cagliari - Città Metropolitana)

RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA

PIANO ATTUATIVO - La Cittadella Nord / La Cittadella Sud Località Truncu Is Follas - Assemini (Ca)



Studio Tecnico Geologico

Servizi & Consulenze - Dott. Mario STRINNA

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

Portatile +39 3287906284 - E-mail studiostrinna@gmail.com - mariostrinna@libero.it

PEC mariostrinna@epap.sicurezza postale.it web: www.mariostrinna.com

Committente:

Ing. Gianluigi Corongiu
Via Monatanu 77 - 09047 Selargius (Ca)
P.IVA 02768860922

Oggetto:

GEOLOGICA E GEOTECNICA

Data:

09/2022

Scala:

Geologo [ORC Sardegna n. 441]

Dott. Mario STRINNA



collaboratore:

Aggiornamenti:

Tavola:

File: mario/geologia/2022/PA Truncu Is Follas - Assemini

Committente: Ing. Gianluigi Corongiu Via Montanaru 77 – 09047 Selargius (Ca)

Progetto: Piano Attuativo "La Cittadella Nord - La Cittadella Sud" località Truncu Is Follas – Assemini (Ca)

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

Relazione geologica e geotecnica



COMUNE DI ASSEMINI

(Prov. di Cagliari – Città Metropolitana)

RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA

PIANO ATTUATIVO - La Cittadella Nord / La Cittadella Sud Località Truncu Is Follas – Assemini (Ca)

COMMITTENTE

Ing. Gianluigi Corongiu

Via Montanaru 77 – 09047 Selargius (Ca)

P.IVA 02768860922

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
1. CARATTERISTICHE GEOLOGICO – STRATIGRAFICHE DELL'AREA VASTA	pag. 8
1.1 - Inquadramento Tettonico generale	pag. 10
1.2 - Geologia di contesto (area sensibile)	pag. 12
1.2.1 - Premessa	pag. 12
1.2.2 - Inquadramento idrologico e idrogeologico	pag. 14
1.3 - Inquadramento climatico generale	pag. 17
1.4 – Pericolosità geologica	pag. 18
1.4.1 - Pericolosità Idrogeologica	pag. 18
1.4.1.1 - Progetto P.S.F.F.	pag. 20
1.4.1.2 - Progetto I.F.F.I.	pag. 20
1.4.2 - Pericolosità sismica di base	pag. 20
1.4.2.1 - Dati sismici sul sito (spettri di risposta).....	pag. 27
RELAZIONE GEOTECNICA	pag. 28
2. - Premessa	pag. 28
2.1 - Considerazioni litostratigrafiche locali e geotecniche	pag. 28
2.2 - Stratigrafie dei terreni attraversati e loro caratteristiche di resistenza	pag. 30
2.3 - Parametrizzazione geologico-tecnica locale da prove S.P.T	pag. 32
2.4 - Verifica di portanza: interazione opera-terreno secondo NTC 2018	pag. 34
2.4.1 - [Ipotesi A]	pag. 36
2.4.1.1 – Cedimenti	pag. 39
2.5 - Scavabilità del substrato di terreno dell'opera in progetto	pag. 40
3. CONCLUSIONI	pag. 42
 <u>Appendice</u>	
- Inquadramento Geologico sc 1:10.000	pag. 53
- Carta delle Permeabilità sc 1:10.000	pag. 54

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 "Piano Attuativo La Cittadella Nord - La Cittadella Sud a NNE del tessuto urbano di Elmas, è stato richiesto un accertamento geologico e geotecnico, con particolare riferimento alla caratterizzazione lito-stratigrafica dei terreni che insistono come substrato di appoggio per le nuove strutture previste in progetto, con particolare riferimento alla:

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

Tale lavoro è stato eseguito in ottemperanza del D.M. 11.03.1988 (Norme Tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione). Le indagini sono state svolte in ottemperanza alle norme fissate dall'A.N.I.S.I.G. (Ass. Naz. Imprese Specializzate in Indagini Geognostiche). Testo integrato con la Circ. LL.PP. 24 Settembre 1988 n. 30483 (punto A3): istruzioni riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione, Circolare n. 218/24/3 del 09.01.1996 e n. 617 del 02.02.2009 – OPCM n. 3274 del 20.03.2003 - Nuove N.T.C. 2018 (§ 6 - 6.2.2; § 3.2 - 3.2.2 - § 7.11) sulle costruzioni e Circolare applicativa 07 gennaio 2019. Norme di Attuazione PAI della Sardegna - Agg. Testo Coordinato 2022, Allegato F (criteri per la predisposizione degli studi di compatibilità geologica e geotecnica di cui all'art. 25 delle NdA. del PAI), secondo le seguenti fasi:

- Sopralluogo nell'area in esame ed esame critico della situazione attuale;



- Stesura di una relazione geologica sulla base delle conoscenze dei luoghi litologici per esperienze pregresse svolte dallo scrivente su stessi luoghi litologici del territorio (Impresa Geotest srl), integrato con dati bibliografici e miscellanee. Nello specifico si rilevano sedimenti alluvionali Olocenici presenti con depositi alluvionali terrazzati ghiaiosi con subordinate sabbie (bna) costituenti il principale materiale incoerente di tutto il territorio sensibile. A contorno si rilevano depositi sempre alluvionali (ba) ma più francamente ghiaiose sabbiose medio - grosse (Olocene) e, verso ENE depositi della successione sedimentaria oligo miocenica del Campidano rappresentata dalle Arenarie di Pirri (ADP) con litologie arenacee, arenacee marnose e/o siltose. Le pendenze del territorio risultano minori del 5% degradanti verso SSW in direzione dell'asta di I° confluyente con l'asta principale del Rio Murta e contestualmente la SS130 distante circa 700m in linea d'aria.

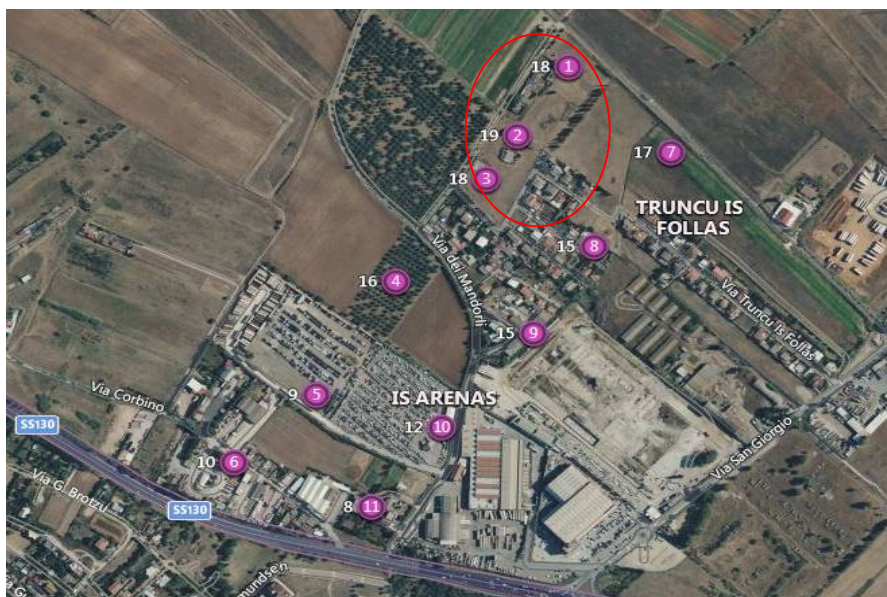
B. INQUADRAMENTO AEREO E GEOGRAFICO

L'area interessata dallo studio ricade all'interno del territorio Comunale di Assemini, nella località Truncu Is Follas, raggiungibile percorrendo la SS130 con svolta a destra nello svincolo lungo la strada San Giorgio, e successivamente svolta a sinistra sulla via Truncu Is Follas in direzione della Via dei Pini. Morfologicamente trattasi di un'area, con una quota altimetrica di circa 18.0m s.l.m.m, pianeggiante alluvionale terrazzata [bna → depositi alluvionali terrazzati ghiaiosi con subordinate sabbie (Olocene) e livelli limosi argillosi sabbiosi].

Corograficamente è inquadrabile nei seguenti Fogli Regionali:

- Foglio **I.G.M.** N. 557 – Sez. III quadrante [Cagliari] alla scala 1:25.000;
- Foglio **C.T.R.** N. 557-090 [Elmas] della Carta Tecnica della Sardegna alla scala 1:10.000.

INQUADRAMENTO AEREO LOTTO (Geostru Maps)



Coordinate Gauss-Boaga (Fuso 32) area sensibile:

X = 1504645.2155 longitudine **E**

Y = 4347765.8639 latitudine **N**



Committente: Ing. Gianluigi Corongiu Via Montanaru 77 – 09047 Selargius (Ca)

Progetto: Piano Attuativo "La Cittadella Nord - La Cittadella Sud" località Truncu Is Follas – Assemini (Ca)

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

Relazione geologica e geotecnica

INQUADRAMENTO AEREO
SU BASE CTR FOGLIO 557 - 090 [ELMAS] 1:10.000
SCALA 1:5.000



Viale Diaz n. 48 09125 Cagliari T/F 070.303083 Portatile +39 3287906284
Assicurazione professionale (LLOYD'S) geologi certificato n. GK20B0201B3384A-LB

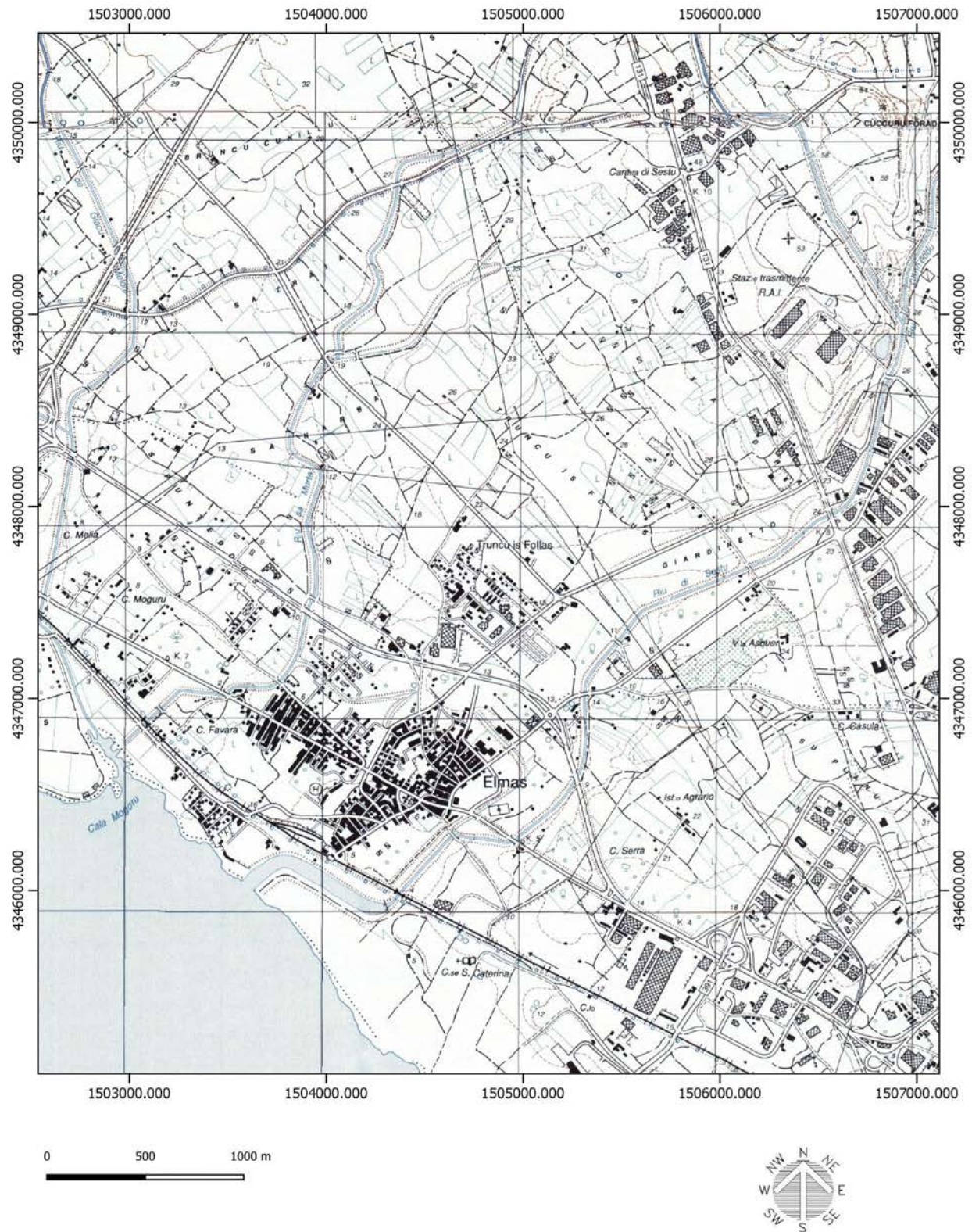
Committente: Ing. Gianluigi Corongiu Via Montanaru 77 – 09047 Selargius (Ca)

Progetto: Piano Attuativo "La Cittadella Nord - La Cittadella Sud" località Truncu Is Follas – Assemini (Ca)

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

Relazione geologica e geotecnica

INQUADRAMENTO CARTOGRAFICO REGIONALE
SU BASE IGM FOGLIO 557 SEZ. III° QUADRANTE [CAGLIARI]
SCALA 1:25.000



Viale Diaz n. 48 09125 Cagliari T/F 070.303083 Portatile +39 3287906284
Assicurazione professionale (LLOYD'S) geologi certificato n. GK20B0201B3384A-LB

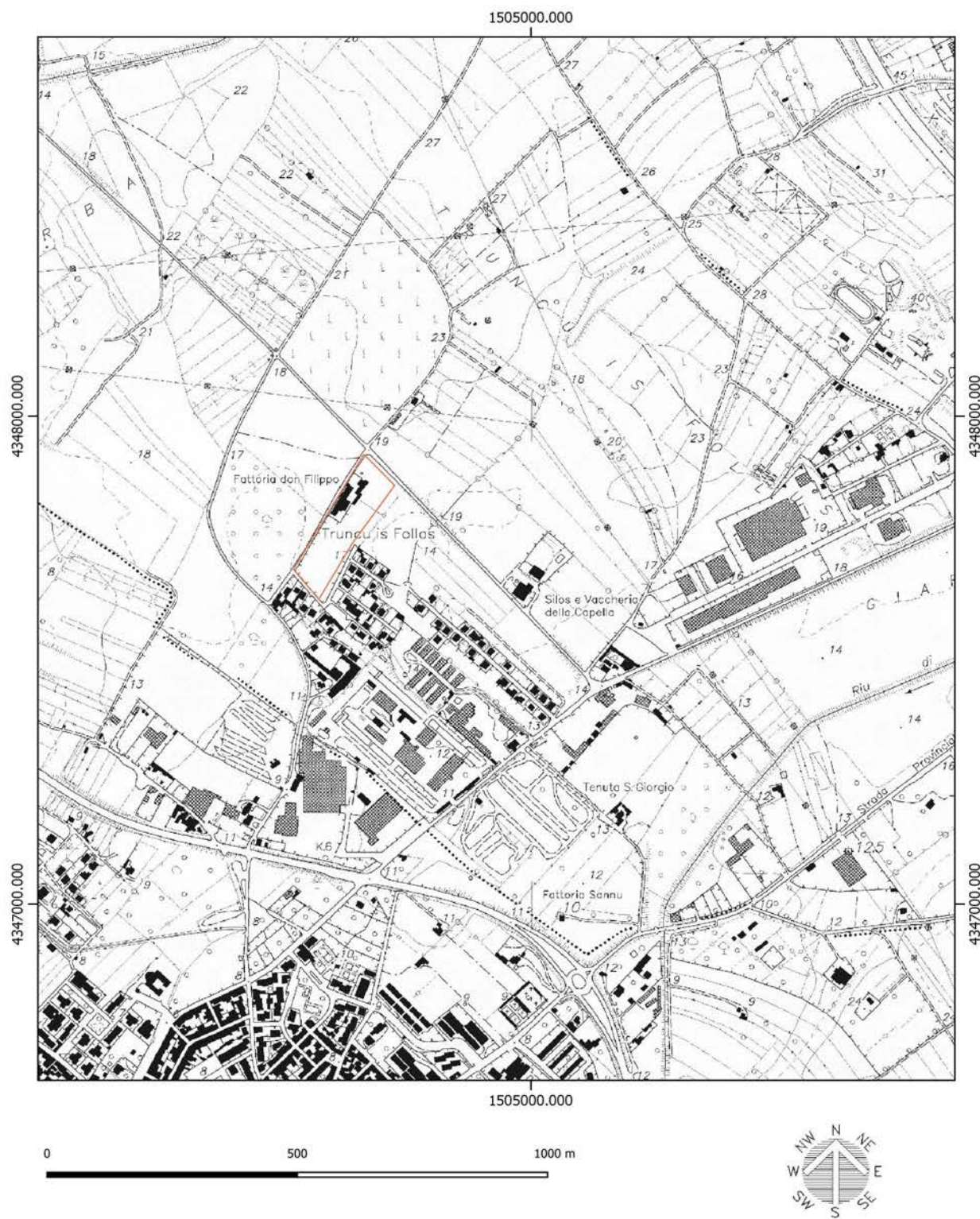
Committente: Ing. Gianluigi Corongiu Via Montanaru 77 – 09047 Selargius (Ca)

Progetto: Piano Attuativo "La Cittadella Nord - La Cittadella Sud" località Truncu Is Follas – Assemini (Ca)

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

Relazione geologica e geotecnica

INQUADRAMENTO CARTOGRAFICO REGIONALE
SU BASE CTR FOGLIO 557 - 090 [ELMAS]
SCALA 1:10.000



Viale Diaz n. 48 09125 Cagliari T/F 070.303083 Portatile +39 3287906284
Assicurazione professionale (LLOYD'S) geologi certificato n. GK20B0201B3384A-LB

1. CARATTERISTICHE GEOLOGICO – STRATIGRAFICHE DELL'AREA VASTA

L'area in esame ricade all'estremità meridionale della piana del Campidano, a NW della città di Cagliari. Il Campidano rappresenta la parte più depressa della fossa tettonica Campidanese, colmata nella sua parte superficiale dai depositi marini trasgressivi del Terziario e dai successivi discordanti episodi alluvionali del Quaternario. Il Graben Campidanese, di età Plio-Pleistocenica, si è sovrapposto nel settore meridionale del "Rift Sardo", la cui età risale invece all'Oligo-Miocene (*Vardabasso, 1963*). L'origine del Rift Sardo, intimamente legata alla più generale evoluzione geodinamica del Mediterraneo Centro-Occidentale (*Cherchi e Montardet, 1982*), è conseguenza del distacco del blocco Sardo-Corso dal margine provenzale dell'Europa e della sua rotazione antioraria, attraverso la quale la Sardegna ha raggiunto, nel Burdigaliano Medio, l'attuale posizione d'isolamento nel Mediterraneo (*Letouzey, 1982; Cherchi e Tremolieres, 1984*). Il substrato dell'area è costituito da terreni, che hanno avuto origine dalla trasgressione marina, che ha colmato il Rift Sardo Oligo-Miocenico (*Vardabasso, 1963*).

L'ingressione marina nella Sardegna meridionale, associata inizialmente a manifestazioni vulcaniche a carattere calco-alcalino (*Coulon et al., 1974*), si è attuata su di un substrato tettonizzato, costituito da sedimenti continentali paleogenici (*Formazione del Cixerri, Pecorini & Pomesano Cherchi, 1969*); ancora oggi, nel bordo orientale del Campidano è ben osservabile la linea di costa lungo la quale la serie miocenica è prevalentemente conglomeratico - paleogenica (*Maxia et al., 1970*). Dal Miocene medio, la sedimentazione marina è continuata, in condizioni di stasi vulcanica, fino al Messiniano evaporitico, in un bacino debolmente subsidente. I depositi marini miocenici di questo settore, in facies calcareo-marnosa e poi, prevalente, marnosa arenacea, costituiscono una serie continua di terreni dal piano Aquitaniano al Tortoniano, che caratterizzano il substrato dell'area urbana di Cagliari, (*G. Barrocu, T. Crespellani, A. Loi, 1981- Caratteristiche geologico-tecnico del sottosuolo dell'area di Cagliari*). La giacitura delle varie formazioni della serie è in genere orizzontale o sub-orizzontale. Importanti fasi erosive hanno agito durante i periodi di continentalità, la cui dinamica è riconoscibile attraverso paleo-superfici e successioni stratigrafiche, quanto nelle morfologie residue attuali. La trasgressione Oligo-Miocenica è stata preceduta da una fase tettonica distensiva post-ercinica e dalle prime manifestazioni calcoalcaline (*Coulon et al. 1974; Savelli, 1975*). La trasgressione ha avuto inizio nell'oligocene superiore e si è attuata su di un substrato tettonizzato, costituito da sedimenti continentali paleogenici (*Formazione del Cixerri, Pecorini & Pomesano Cherchi, 1969*) e localmente da terreni paleozoici. Nella Sardegna meridionale, a partire dal miocene medio, la sedimentazione marina si è attuata, in condizioni di stasi vulcanica, fino al Messiniano evaporitico, in un bacino debolmente subsidente, che interessava tutta la fascia mediana dell'isola.

Gli ultimi sedimenti marini miocenici sono costituiti da strati marnosi-siltosi. Questa successione si evolve rapidamente verso facies lagunari con frequenti emersioni ed erosioni, a seguire le facies evaporitiche che precedono la completa emersione.

Gli strati pliocenici trasgressivi, discordanti sul messiniano, sono costituiti da argille siltose a ricche macrofaune (*Cherchi & Martini, in stampa*).

L'inizio del disseccamento nel mediterraneo e la trasgressione pliocenica sono datati

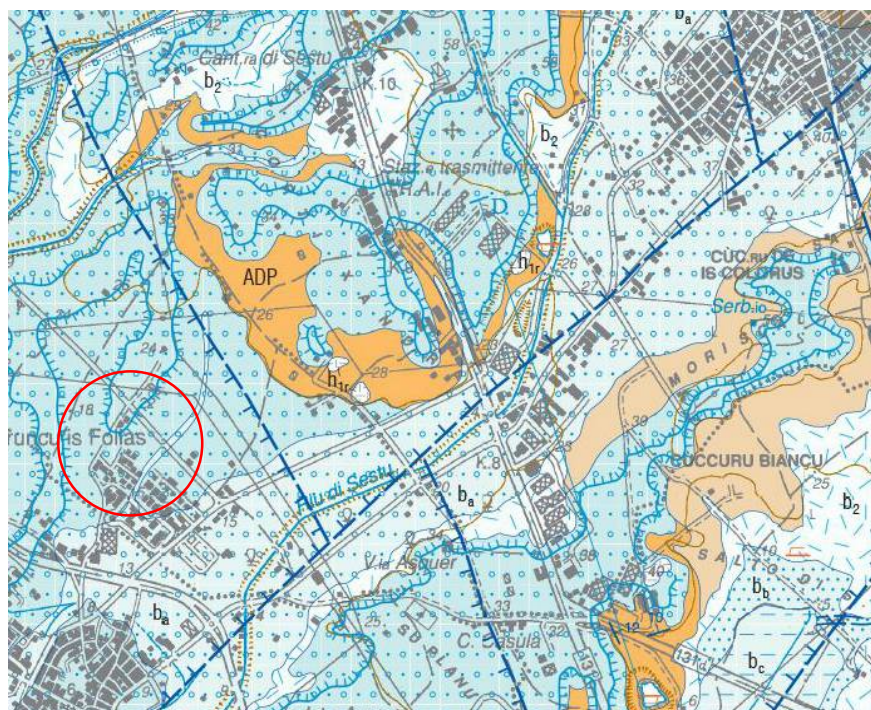


Figura 1 – Inquadramento geologico della Sardegna – Fonte ISPRA scala 1:50.000

- **b_{na}** "Depositi alluvionali terrazzati": alluvioni grossolane, con livelli e lenti di sabbie ghiaie fini a stratificazione incrociata e livelli limo-argillosi - Olocene
- **b_a** "Depositi alluvionali": alluvioni ghiaiose Olocene
- **b₂** "Coltri eluvio-colluviali": detriti immersi in matrice sabbioso-siltosa, con locali accumuli di carbonato di calcio in noduli, lenti - Olocene
- **h1r** "Depositi antropici, materiali di riporto - Olocene
- **ADP** "Arenarie di Pirri Oligo - Mioceniche": arenarie, arenarie marnose e/o siltose, siltiti grigio verdastre, calcareniti giallastre

rispettivamente 5,5 e 5 m.a. (*Van Couvering et al., 1976*). E' importante puntualizzare questi dati, per inquadrare i fenomeni erosionali, tettonici e vulcanici manifestatisi in questo intervallo.

La sedimentazione marina pliocenica è stata di breve durata. Gli strati più recenti sono riferibili alla parte basale della zona, anche sé, la presenza di una superficie di erosione, fa presupporre che in realtà non rappresentino gli ultimi livelli depositi. Sugli strati erosi del pliocene inferiore giace in discordanza la formazione di Samassi (*Pecorini & Pomesano Cherchi, 1969*), che consiste di sedimenti clastici continentali molto potenti, argillosi marnosi-ciottolosi, a giacitura caotica; questa costituisce la colmata del Graben campidanese e rappresenta il

prodotto di una colmata rapida di sedimenti rimaneggiati del miocene e pliocene. In tutta la fossa del campidano, presenta uno spessore medio di 450 – 550 m.; è presente in affioramento lungo il bordo orientale da Cagliari fino alla soglia di Sardara. Un piccolo lembo, preservato dall'erosione dalla copertura basaltica, affiora all'estremità NW della Giarra di Gesturi (*Pomesano Cherchi, 1971*), dimostrando la sua originaria maggiore estensione. E' da notare che precedentemente alla messa in posto delle lave basaltiche della giara, si è avuta una intensa attività erosiva che ha influenzato la

Formazione di Samassi. Litologicamente è costituita da marne argillose, siltose, a clasti eterometrici di calcare e marne mioceniche; inoltre contiene livelli di microfaune marine rimaneggiate, provenienti dai sedimenti pliocenici.

I depositi del Pleistocene (non rilevabili) si distinguono sia in sedimenti continentali,

prevalentemente di facies fluviale di conoide e di piana alluvionale, sia in sedimenti marino-litorali, rappresentati da biocalcareni riferibili alla "Panchina Tirreniana a Strombus" (MIS 5e), l'unico deposito

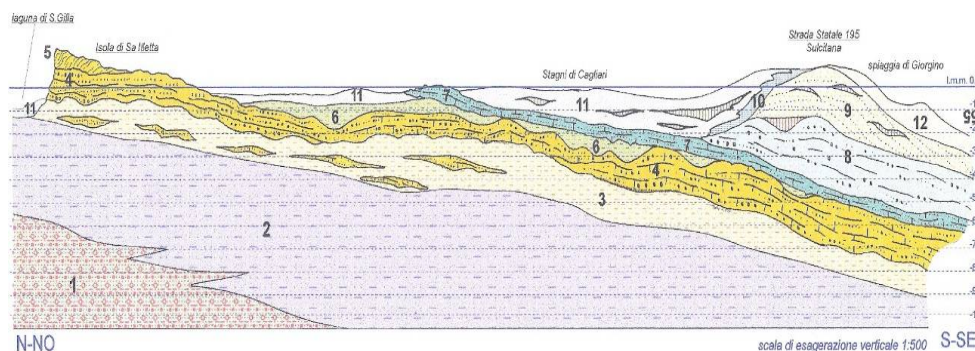


Figura 2 - Panchina Tirreniana" Sez. stratigrafica [Sa Illetta - Spiaggia di Giorgino]

quaternario della Sardegna datato in base ai reperti paleontologici.

I depositi alluvionali, deposti durante le fasi di regressione marina, costituiscono una serie di terrazzi con potenze variabili, fino a oltre 10 metri; sono formati da alluvioni ciottolose a ciottoli eterometrici di rocce paleozoiche (graniti, porfidi e metamorfiti), con intercalazioni sabbiose-argillose, ben costipate e arrossate. Durante l'Olocene continua la sedimentazione di alluvioni recenti di fondovalle e di piana, di depositi limoso-argillosi delle lagune e stagni costieri. Le alluvioni recenti, che occupano le regioni di fondovalle, sono generalmente incise nelle alluvioni terrazzate, ma il limite, a causa dell'antropizzazione, è visibile chiaramente solo in alcuni punti, che si differenziano soprattutto per l'arrossamento e per il maggiore costipamento che presentano le alluvioni antiche rispetto le recenti.

1.1 - Inquadramento Tettonico generale

Nel basamento paleozoico sono evidenti gli effetti dell'evoluzione orogenetica ercinica, caratterizzata fondamentalmente da due differenti eventi con caratteri strutturali, metamorfici e magmatici che sono stati riconosciuti in tutto il basamento della Sardegna (CARMIGNANI et alii, 1994b):

1. Un'importante tettonica compressiva, probabilmente diacrona, che ha interessato la Sardegna SE nel Viseano-Namuriano. Questo evento, correlato con la collisione continentale ercinica, ha determinato l'impilamento delle falde e un metamorfismo sincinemato progrado connesso con l'ispessimento crostale (fase sin-collisionale D1);
2. Una pervasiva tettonica distensiva tardo-orogena, che probabilmente si sviluppa nel Westfaliano-Permiano inferiore. Questo evento è stato correlato con il collasso della Catena

alla fine delle fasi di ispessimento crostale sin-collisionale (fase distensiva post-collisionale). Ad esso sono da imputare fenomeni di denudazione tettonica, con esumazione delle metamorfiti e produzione e messa in posto del magmatismo calcalkalino permo-carbonifero. La deformazione si è realizzata durante la risalita e il raffreddamento delle metamorfiti, e quindi a livelli strutturali sempre più superficiali. Ne deriva una grande varietà di strutture con stili differenti, che vanno da zone di taglio sin-metamorfiche ed associati sistemi di pieghe (fase D2 e fase D3), a faglie dirette poco inclinate e faglie dirette molto inclinate e trascorrenti

Tra gli elementi più caratteristici della tettonica post-collisionale ercinica riconosciuti nell'area del foglio sono zone di taglio dirette e grandi faglie a basso angolo che "sottraggono" grandi spessori di successione, determinando talora la diretta sovrapposizione dei termini carboniferi su quelli

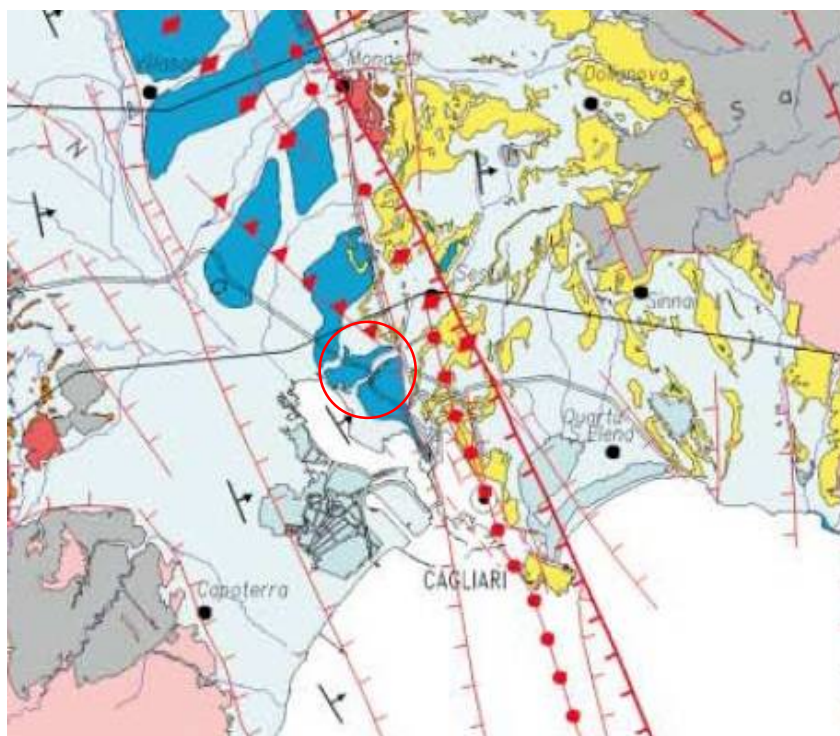


Figura 3 - Schema Geologico-Strutturale (Casula e Cherchi, 2001)

cambriani. Esse sono spesso marcate da cataclasiti foliate, in ogni caso poco osservabili e ridotte solitamente all'ordine del metro o assenti per la sovrapposizione di faglie dirette tardo erciniche. L'attività esplorativa e le indagini sismiche hanno permesso di definire la struttura geologica della piana del Campidano, che è la parte più profonda del Rift Sardo.

Il Graben Campidanese, caratterizzato da un'orientazione NNW-SSE, si è sovrapposto nella parte meridionale del "Rift Sardo" Oligo-Miocenico, a sua volta

sviluppatosi su preesistenti discontinuità strutturali del basamento paleozoico. Recenti studi su strutture tardo-paleozoiche (Elter, Musumeci, Pertusati, 1990; Di Vincenzo, Grezzo, Sartia, 1993) rilevano, nel basamento, faglie ben sviluppate in direzione WNW-ESE ed ENE-WSW. Queste direzioni sono state mantenute dagli eventi tettonici del Terziario e del Plio-Quaternario (G. Casula, A. Cherchi et al., 2001).

L'attività tettonica Plio-Pleistocenica (probabilmente coeva all'estensione del Mar Tirreno), cui si deve la genesi del Graben, non ha fatto altro che riattivare le faglie ereditate dai precedenti stadi deformativi e innescare movimenti verticali lungo tali strutture, controllando la deposizione e le aree

subsidenti. Nel complesso le discontinuità strutturali plioceniche sono ben documentate, ovviamente, quando interessano la Formazione di Samassi o la parte più alta della serie miocenica.

Tutte le discontinuità o faglie che interessano il Graben campidanese presentano in prevalenza direzioni NW-SE o N-S e sono note come "faglie campidanesi" (Fanucci et altri, 1977). Il principale elemento tettonico della struttura del Campidano meridionale è rappresentato dalla grande faglia che separa, anche morfologicamente, la pianura dalle colline di Serrenti-Monastir. La sua direzione è pressoché NNW-SSE. All'estremità meridionale del Campidano, in prossimità del settore in esame, la formazione alluvionale appare dislocata a gradini, per effetto di faglie recenti (Barroccu, 1970) con direzioni prevalenti NW-SE e NE-SW. Le faglie, con direttrice tettonica NW-SE sono ben evidenti lungo la sponda orientale dello stagno di Santa Gilla e lungo la statale 130 presso Cagliari, con un rigetto subverticale di circa 30 m. Lungo il bordo orientale dello stagno è presente una dislocazione per faglia, denominata "Faglia di Fangario". Ad est di questa dislocazione la formazione di Samassi si trova, in giacitura discordante sulle arenarie Serravalliane e sulle marne Langhiane; ad ovest si immerge verso lo stagno o verso Assemini, dove la base non è visibile e la parte superiore è ricoperta da depositi quaternari.

1.2 - Geologia di contesto (area sensibile)

1.2.1 - Premessa

Il settore comprende un tratto del Campidano meridionale, conformato da ampi terrazzi (Corraxi, Truncu Is Follas) e faglie dirette presunte, modellati da terreni le cui età vanno dal miocene - pliocene fino al quaternario antico e recente. Le coltri alluvionali quaternarie poggiano su una formazione

continentale detritica d'ambiente da torrentizio a lacustre, che a colmato la depressione Campidanese a partire dal Pliocene; a sua volta poggia su di un substrato sedimentario terziario.

L'area di sedime è stata interessata da deposizioni di materiale sabbioso ghiaioso in matrice limoso-argillosa da moderatamente addensato a addensato, sino a consistente-duro, al di sopra di un substrato

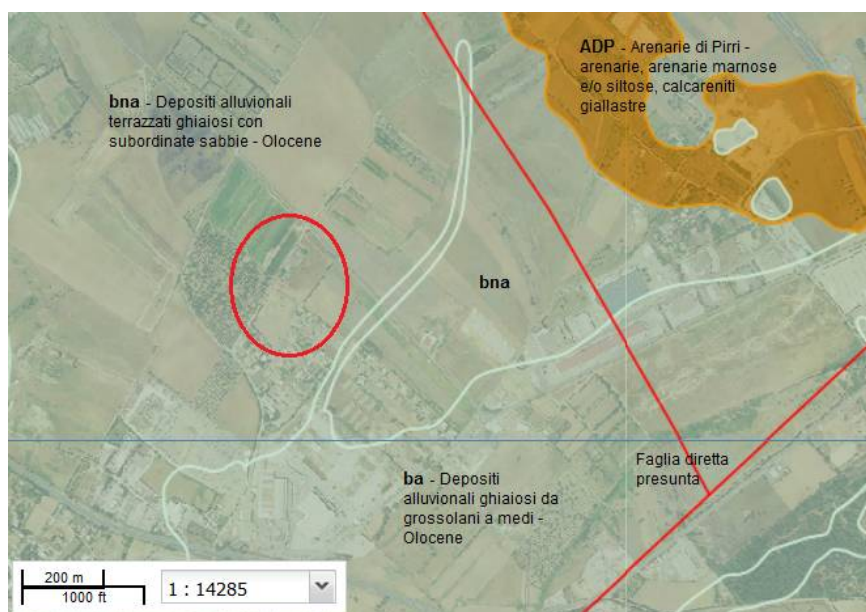


Figura 4 – Contesto geologico dell'areale [fonte Sardegna geoportale]

più francamente sabbioso-ghiaioso passante a marnoso arenaceo di età Miocenica con l'aumento della profondità. Inoltre sono presenti, a settori suborizzontali, bancate limose argillose grigiastre (Olocene) e/o argillose-argillose limose, di piccolo spessore.

Depositi continentali del Quaternario (Olocene): gli affioramenti più estesi nell'area di sedime, sono costituiti da depositi di facies fluvio-lacustre e depositi antropici attuali, passanti localmente a depositi alluvionali terrazzati, con presenza di carbonatazione e ossidazioni nerastre tipiche di ambienti riducenti. Nello specifico si tratta essenzialmente di un sedimentario continentale rappresentato da:

- Depositi alluvionali terrazzati (bna): si tratta di depositi alluvionali grossolani con limitati livelli e lenti di sabbie e ghiaie fini, in forma di terrazzi, posti ai lati dei letti attuali o dei tratti di alveo regimati, non interessati dalle dinamiche in atto. Tuttavia in alcuni tratti di quest'unità possono essere interessate da dinamiche alluvionali durante eventi idrometrici eccezionali. Inoltre per la stessa caratteristica sedimentologica di questa formazione possono essere presenti livelli, di debole spessore, più francamente limosi-argillosi e/o argillosi-limosi. Le pianure alluvionali del passato erano molto più estese di quelle attuali a indicare la presenza, anche con tempi di ritorno molto lunghi, di eventi idrometeorici di estrema importanza che riattivavano settori molto ampi della pianura in essere.
- Depositi alluvionali recenti (ba/b): si tratta di livelli di ghiaie da medie a grossolane con lenti e sottili livelli di sabbie e/o di depositi sabbiosi posti lungo le aree interessate dalle dinamiche alluvionali attuali;
- Coltri eluvio-colluviali (b2): si tratta di depositi in cui sono presenti percentuali di materiali fini (sabbia, silt), più o meno pedogenizzati ed arricchiti della frazione organica, frammisti a sedimenti più grossolani. Sono il risultato dell'erosione olocenica dei terreni affioranti unitamente all'alterazione fisica del substrato in posto. Localmente al loro interno sono stati osservati suoli ad accumulo di carbonato di calcio in noduli, croste e lenti più o meno induriti.

Sedimenti marini di età Miocenica (ADP): le Arenarie di Pirri (Elveziano-Tortoniano) sono una formazione sabbioso-arenacea, di ambiente litorale, rappresentata da sabbie medio-fini da incoerenti a più o meno cementate, stratificate e ben costipate, alternate a livelli di arenarie più o meno coerenti, spesso friabili. Le arenarie di colore grigio-verdastro sono formate da elementi di quarzo-feldspato e mica e da calcite, che costituisce il cemento. Hanno in genere uno scarso contenuto fossilifero, ma localmente si possono rinvenire livelli bioclastici, con resti di lamellibranchi, ostriche e pettinidi. Nell'area sono rappresentate da livelli sabbiosi più o meno limosi, diversamente addensati ed in matrice carbonatica, alternati a sabbie medio-fini grigiastre o grigio-verdastre, da sciolte sino a debolmente cementate. Depositi di questo tipo caratterizzano, quindi, gli affioramenti presso l'abitato di Pirri, che dà il nome alla formazione. Il cemento carbonatico è presente nella matrice solitamente in

percentuali modeste. Frequenti, ma sempre subordinate, le intercalazioni di sabbie fini e argille giallastre. Presenta quindi caratteristiche di resistenza variabili per il contenuto della componente fine limosa, che conferisce al materiale una certa plasticità e capacità di ritenzione idrica, anche se talvolta vanno migliorando con la profondità, all'aumentare del grado di addensamento e costipamento dei sedimenti, nonché al diverso grado di cementazione dei granuli, a spigoli vivi. La formazione delle Arenarie di Pirri, è in affioramento nel contesto di sedime per la presenza di una faglia diretta. Nel nostro caso specifico al tetto si sovrappongono depositi detritici eluvio colluviali con potenze variabili.

1.2.2 - Inquadramento idrologico e idrogeologico

L'area studiata trovandosi all'esterno dell'area urbana di Sestu lungo la ex SS131 al Km 8.50 direzione Monastir, è interessata superficialmente dalla presenza di terreni essenzialmente quaternari alluvionali terrazzati sovrastanti, a seconda dell'assetto litostratigrafico deposizionale, il miocene marino costituito in prevalenza da litotipi sabbiosi arenacei, marnosi e/o marnosi arenacei. Le alluvioni superficiali possono avere spessori variabili da zona a zona tra 5.0m - 15.0metri e oltre, e vengono rappresentate essenzialmente da materiali sabbiosi ghiaiosi in matrice fine coesiva.



Figura 5 - U.I.O del Flumini Mannu (da PTA Sardegna)

L'unità idrogeologica principale nel settore di studio è caratterizzata dall'Acquifero Detritico-Alluvionale Plio-Quaternario del Campidano: si tratta di terreni alluvionali conglomeratici, sabbiosi, argillosi con permeabilità da medio-alta per porosità nei livelli a matrice più grossolana, a medio-bassa in corrispondenza delle coltri alluvionali antiche ben costipate o cementate. Oltre ai due fiumi principali (Flumini Mannu e Rio Cixerri per estensione del bacino), riveste un'importanza non trascurabile il Rio di Sestu e Rio Murta, di cui il primo drena le acque della parte meridionale delle colline del Parteolla e, dopo aver attraversato l'area pianeggiante tra Sestu ed Elmas, termina il suo corso nello Stagno di Santa Gilla.

Gli apporti detritici alluvionali nel territorio in esame provengono principalmente dal Flumini Mannu e dal Rio Cixerri, entrambe caratterizzati da estesi bacini idrografici. Il primo attraversa e raccoglie le acque del Campidano e va a sfociare nella

laguna di S. Gilla, così come il Rio Cixerri che scorrendo in direzione ovest-est drena le acque dell'omonima valle. I corsi d'acqua sono caratterizzati da un regime torrentizio con portate generalmente limitate o nulle (piccoli corsi d'acqua) e piene violente e improvvise in occasione di precipitazioni intense che accadono con una frequenza abbastanza ravvicinata.

Il territorio ricade all'interno del bacino idrografico del Flumini Mannu appartenente all' Unità Idrografica Omogenea (U.I.O.) del Flumini Mannu di Cagliari-Cixerri. Il complesso acquifero che

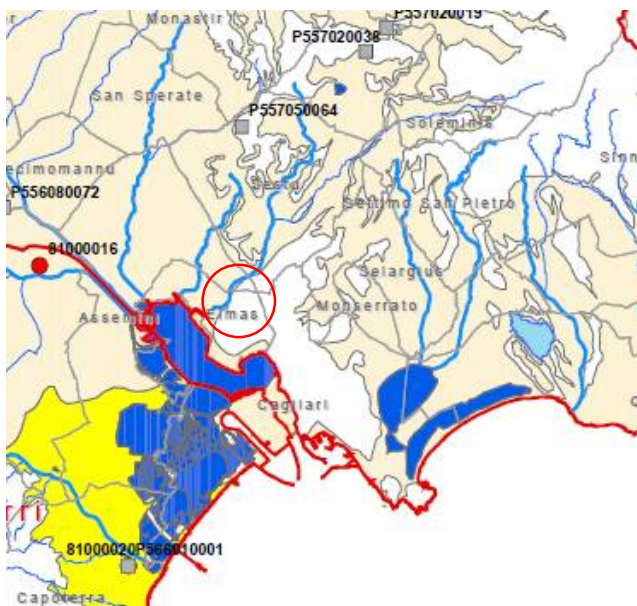


Figura 6 – Acquiferi sedimentari Plio Quaternari (Estratto PTA)

caratterizza il territorio, nell'ambito della U.I.O. di appartenenza, è rappresentato dall' Unità idrogeologica delle alluvioni Plio-Quaternarie: comprende depositi alluvionali, conglomeratici, arenacei, argillosi, depositi palustri, depositi antropici a permeabilità per porosità complessivamente medio-bassa nelle coltri ben costipate, localmente medio-alta nei livelli a matrice più grossolana. Nella pianura del Campidano prevalgono terreni alluvionali antichi (plio-pleistocenici) e recenti (olocenici), 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 Cixerri, e subordinatamente Rio Sestu.

Il complesso acquifero della zona è costituito da una successione di livelli sabbioso-ghiaiosi con intercalati strati limoso-argillosi scarsamente permeabili, che localmente danno origine a variazioni di permeabilità e livelli piezometrici differenti; per questo motivo si parla di falda multistrato.

L'alternanza di sedimenti a differente composizione granulometrica, grado d'addensamento e consistenza, tipica dei sedimenti alluvionali, 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, all'interno dello stesso variano sia le caratteristiche chimico-fisiche sia le proprietà idrogeologiche. Vista la possibile disomogeneità sedimentologica, la permeabilità non è rappresentata da un unico valore del coefficiente "K" (in m/s) ma da un intervallo di questo.

I depositi alluvionali olocenici, recenti e attuali, incoerenti e poco costipati rispetto le alluvioni antiche (da cui spesso derivano per rimaneggiamento), sono complessivamente permeabili per porosità, ma con valori suscettibili di variazioni dovute al contenuto di matrice (da sabbiosa ad argillosa) e del grado di compattazione del deposito.

Geologicamente, nell'area sensibile, affiorano terreni costituiti da sedimenti olocenici di facies fluvio-lacustre e palustre nella parte bassa, a sedimenti di facies alluvionale terrazzata localmente caratterizzati da differenti intervalli di permeabilità “K” (m/s). Nello specifico i terreni, in base alle caratteristiche geolitologiche, con particolare riferimento alla capacità d'assorbimento possono essere suddivisi in differenti classi di permeabilità, secondo i valori indicati nella tabella:

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

- Classe 1 → permeabilità medio-alta: comprende quei terreni a buona circolazione idrica, costituiti prevalentemente da coperture alluvionali allo stato sciolto o semicoerente. La permeabilità per porosità è generalmente medio-alta [$10^{-3} \geq K \geq 10^{-5}$] nei livelli sabbioso-ciottolosi e sabbiosi, con scarsa matrice fine;
- Classe 2 → permeabilità medio-bassa: vi rientrano i sedimenti alluvionali limoso-sabbiosi con un contenuto rilevante di matrice argillosa [$10^{-5} \geq K \geq 10^{-7}$]; la permeabilità è bassa nei livelli più francamente limoso- argillosi [$10^{-7} \geq K \geq 10^{-9}$];
- Classe 3 → [Complesso arenaceo quarzoso-micaceo (ADP) e/o marnoso arenaceo-argilloso Miocene] - La permeabilità di questo complesso arenaceo quarzoso-micaceo, di colore grigio verde alternato a sabbie quasi incoerenti è da considerarsi medio-alta per porosità, localmente media per fatturazione, nei livelli coerenti. Nella parte più marnosa è costituita da un'alternanza di livelli da marnoso-argillosi a marnoso-arenacei. La permeabilità è complessivamente bassa per porosità e per fessurazione, localmente medio-bassa in corrispondenza dei livelli più arenacei [$10^{-5} \geq K \geq 10^{-7}$];

Queste acque vengono in notevole quantità assorbite dai materiali alluvionali, dove passano ad alimentare la falda freatica superficiale (non rilevabile entro i 10mt) ed eventuali falde profonde. In generale, si può ammettere che le falde profonde vengono alimentate dai corsi d'acqua in prossimità delle sponde del “Graben”, dove i depositi alluvionali Quaternari sono prevalentemente ciottoloso-sabbiosi (Geologia e Idrogeologia del Campidano – Pala A., Pecorini G., Porcu A., Serra S., 1982).

Nota: sulla base delle condizioni topografiche e litostratigrafiche e della relativa vicinanza con il rio Sestu e Rio Murta nell'area sensibile in esame, la falda freatica superficiale sulla base di esperienze pregresse, e dalla disamine del Portale ISPRA 464/96 (Geological Survey of Italy Portal) si colloca ad una profondità (ricerca idrica a circa 200m dal lotto) media a partire da circa -15.0m dal p.c. con punte statiche di circa 10.0m/12.0m, anche meno, in direzione della zona Grogastu.

La morfologia è caratterizzata da una copertura Quaternaria continentale con giacitura circa tabulare, immersione verso N-NW con inclinazione modesta. Presenta una superficie essenzialmente piana la cui quota aumenta dolcemente da sud verso nord e da occidente verso oriente. Anche la fascia WNW presenta delle superfici pianeggianti caratterizzate da una copertura di alluvioni antiche che rivestono



Figura 7 - Carta geomorfologica marina e continentale della Sardegna 1:500.000

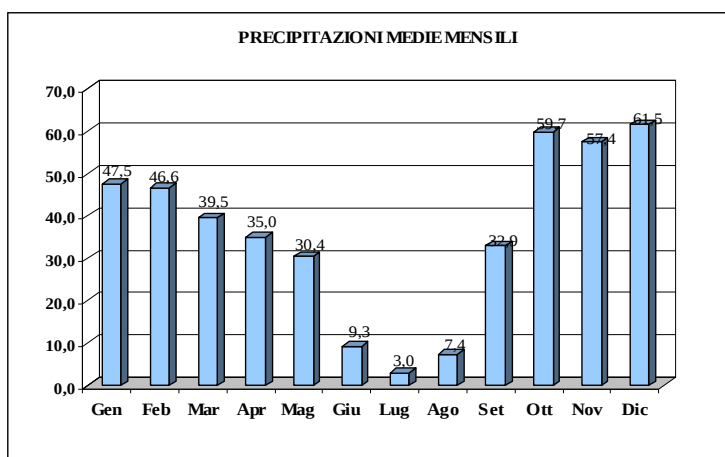
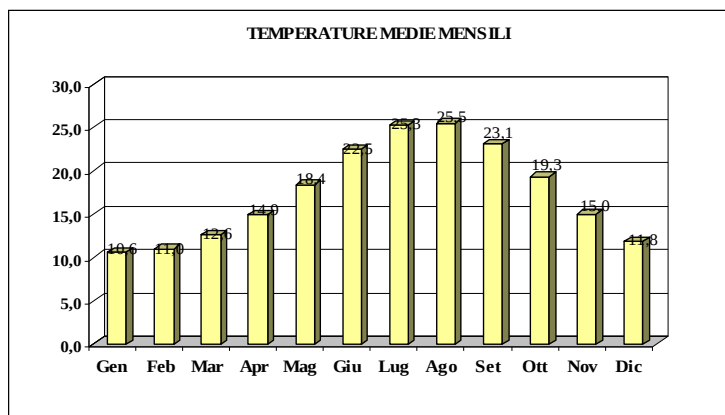
litologie mioceniche, periodo della trasgressione marina (ADP). Su tali espandimenti hanno operato gli agenti del modellamento del rilievo, (acqua, vento, temperatura) e soprattutto le forze endogene, innescando i processi erosivi. Su queste incisioni (rio Sestu) sono state messe a nudo gli episodi sedimentari marnoso-arenaci e limosi sabbiosi, in affioramento ad esempio verso il rio San Giovanni direzione strada Sestu-Selargius (fuori area).

In sintesi, l'area si colloca in un territorio morfologicamente pianeggiante o leggermente ondulato, quasi privo di dislivelli morfologici importanti, talvolta modificati dalle opere di urbanizzazione. Una tipica morfologia a terrazzi, legata all'approfondimento e alle variazioni del reticolo idrografico che ha interessato le valli e le pianure alluvionali durante le fasi morfogenetiche connesse alle variazioni climatiche del Pleistocene-Olocene, caratterizza l'area di sedime. In particolare il lotto di studio ricade su una porzione di terrazzo alluvionale, modellato dalle dinamiche fluviali probabilmente ascrivibili al Rio di Sestu o al Rio Sa Murta, attualmente delimitato dalla SS 130 e la ex SS 131.

1.3 - Inquadramento climatico generale

IL CLIMA esercita un'importantissima influenza: il bacino è interessato dall'isoterma annua di 17.5° C; il mese più freddo è Gennaio con temperature di 10° C mentre in Agosto si hanno temperature medie di 25° C. L'anno idrologico comincia nei mesi di Settembre – Ottobre con deboli precipitazioni

che gradualmente aumentano nei mesi di Dicembre e Gennaio. Il valore medio annuo si aggira intorno ai 600 mm ed aumenta con l'altitudine. I venti hanno una distribuzione piuttosto regolare, con



prevalenza nel mese di Gennaio da Ovest, mentre nel mese di Luglio una direzione prevalente da NW ad W.

Lo schema della circolazione idrica sotterranea non si discosta da quello che è in genere il deflusso superficiale. L'individuazione delle principali caratteristiche climatiche dell'area, sono state desunte considerando le medie storiche mensili disponibili per la Sardegna dagli annali Ideologici del SISS, per un periodo che va dal 1922 al 1992. Considerando la precipitazione e la temperatura media desunta dai dati delle stazioni riportate nelle tabelle del S.I.S.S., per la stazione di Cagliari, secondo la classificazione climatica di Thornthwaite la zona risulta in accordo con i dati riferiti alla Sardegna meridionale: mesotermico da subumido a subarido (subtropale semiarido), forte eccedenza idrica invernale.

In sintesi, non esistono condizioni attuali in cui l'attività in oggetto possa interferire con la geologia del settore; non esistono condizioni attuali in cui l'attività in oggetto possa interferire con l'idrologia del settore per fattori puramente morfologici.

1.4 – 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.

1.4.1 - 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)

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), si è proceduto a verificare se nell'area è presente questo tipo di vincolo. Dall'osservazione diretta della perimetrazione Regionale delle aree a pericolosità idraulica (Hi) e pericolosità geomorfologia (Hg) da frana, il cui bacino di riferimento è l'U.I.O. del Flumini Mannu, si evince che il nostro sito interessato dagli interventi di *Piano Attuativo La Cittadella Nord e La Cittadella Sud*, si trova all'esterno della perimetrazione da frana Hg (Art. 8 – Rev. 42) e idraulica Hi (Art. 8 - Rev. 59) dettata dalla presenza dei corsi d'acqua Rio Sestu e Rio Murta, secondo quanto disposto dagli artt. 23-24-25 delle norme di Attuazione del P.A.I.



Figura 8 - 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 (e Rev. 59 2020)

1.4.1.1 - Progetto P.S.F.F

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

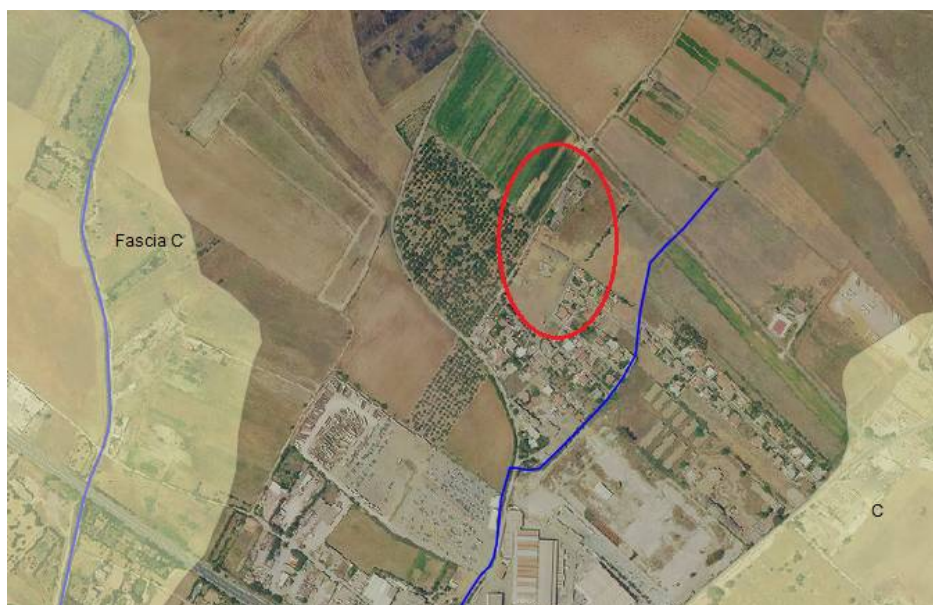


Figura 9 - Perimetrazioni delle aree caratterizzate da pericolosità idraulica mappate in ambito P.S.F.F. aggiornate alla data dicembre 2020.

1.4.1.2 - Progetto I.F.F.I

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

1.4.2 - Pericolosità sismica

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

Quadro Normativo e Caratterizzazione Sismica del Territorio

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

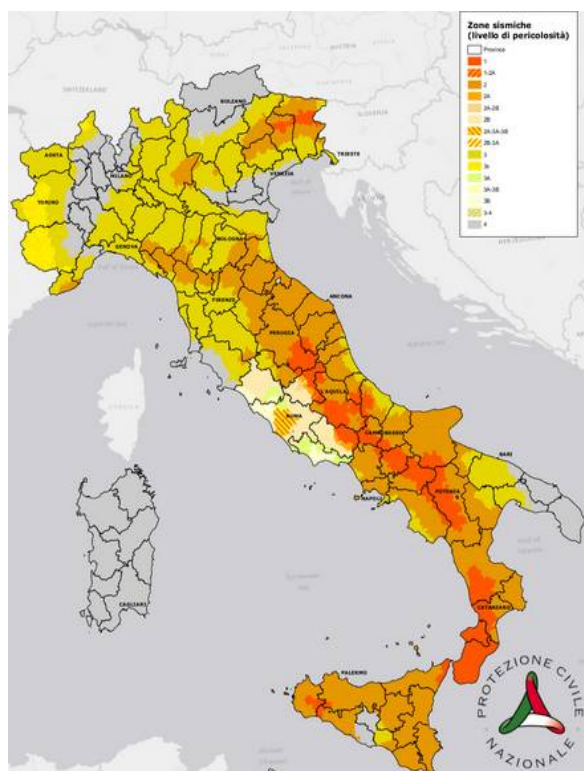


Figura 10 - Livello di pericolosità sismica dei Comuni italiani (2020)

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 Assemini 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 come l'intero territorio isolano, non presentò alcuna

variazione: tutti i Comuni furono inseriti nella classe 4. Poiché .. (omissis) .. l'O.P.C.M. 3274 del 20 marzo 2003 al comma 2.1. "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica", dispone che "In zona 4 è lasciata facoltà alle singole regioni di introdurre o meno l'obbligo della progettazione antisismica", confermando quanto prescritto nelle precedenti ordinanze. (omissis) ... Il D.G.R. 15/31 del 30 marzo 2004, stabilisce di recepire in via transitoria, fino a nuova determinazione conseguente all'aggiornamento della nuova mappa di rischi sismico nazionale, la classificazione sismica dei Comuni della Sardegna, così come riportato nell'allegato A dell'O.P.C.M. 3274 del 20 marzo 2003 in cui tutti i Comuni isolani sono inseriti in zona 4.... (omissis) rimane in vigore il D.G.R. 15/31 del 30 marzo 2004, che consente per i Comuni della Sardegna la "non introduzione dell'obbligo della progettazione antisismica. Per meglio adattare le norme alle caratteristiche di sismicità, nel rispetto degli indirizzi e criteri stabiliti a livello nazionale, alcune Regioni hanno classificato il territorio nelle quattro zone proposte, altre Regioni hanno classificato diversamente il proprio territorio, ad esempio adottando solo tre zone e introducendo, in alcuni casi, delle sottozone. Qualunque sia stata la scelta regionale, a ciascuna zona o sottozona è attribuito un valore di pericolosità di base, espressa in termini di accelerazione massima su suolo rigido (ag). Tale valore di pericolosità di base non ha però influenza sulla progettazione.

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

Dal 1 luglio 2009 con l'entrata in vigore delle Norme Tecniche per le Costruzioni del 2008, per ogni costruzione ci si deve riferire ad una accelerazione di riferimento "propria" individuata sulla base delle coordinate geografiche dell'area di progetto e in funzione della [vita nominale](#) dell'opera. Un valore di pericolosità di base, dunque, definito per ogni punto del territorio nazionale, su una maglia quadrata di 5 km di lato, indipendentemente dai confini amministrativi comunali. Va precisato che, in seguito a tale classificazione, tutte le regioni italiane (compresa la [Sardegna](#)) risultano a rischio sismico. In tutto il territorio nazionale vige quindi l'obbligo di progettare le nuove costruzioni e intervenire sulle esistenti con il metodo di calcolo semiprobabilistico agli stati limite e tenendo conto dell'azione sismica. Limitatamente alle costruzioni ordinarie presenti nei siti ricadenti in zona 4, per le costruzioni di tipo 1 e 2 e di classe d'uso I e II, la norma consente l'utilizzo della "vecchia" metodologia di calcolo alle tensioni ammissibili di cui al D.M. 16 gennaio 1996, ma obbliga comunque a tenere conto dell'azione sismica con l'assunzione di un grado di sismicità convenzionale $S = 5$.

La Classificazione Sismica (Zona Sismica di Appartenenza del Comune) rimane utile solo per la gestione della pianificazione e per il controllo del territorio da parte degli Enti preposti.

L'entrata in vigore della revisione della norma NTC08, nel 2018, segna il definitivo abbandono della metodologia delle tensioni ammissibili: dal 22/03/2018, con l'entrata in vigore, le 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 $Se(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PVR nel periodo di riferimento VR.

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

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

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: ag (g/10), F_0 e $Tc^* \rightarrow$ [definiscono le forme spettrali]. I valori di ag , F_0 e Tc^* 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 [...]).

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

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

Nota: indagini sismiche pregresse (Geotest srl – 2020) hanno evidenziato per questa porzione di territorio un suolo C.

Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite in Tab. 3.2.II.

Secondo lo schema presente nell'Ordinanza (NTC 2018) si tratta di un suolo appartenente alla Classe C. Di seguito si riportano la categoria di sottosuolo di riferimento (Tab. 3.2.II - NTC 2018).

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

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

CATEGORIE TOPOGRAFICHE	
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 $i > 30^\circ$

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

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

	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

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

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

Classe d'uso	I	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 [...]

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

1.4.2.1 - Dati sismici sul sito (spettri di risposta)

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

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

Dati sull'area SENSIBILE – Truncu Is Follas:

- $X = 1504645.2155$ longitudine **E**
- $Y = 4347765.8639$ latitudine **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

S.L.E (NTC 2018)

- Dati sulla costruzione **(SLO)** Probabilità di superamento nella vita di riferimento: 0.810000
(SLO) Periodo di ritorno: 30.11 (anni): Valori finali calcolati: $a_g = 0.0127$ g $\rightarrow F_0 = 2.5776 \rightarrow Tc^* = 0.1400$ sec
- Dati sulla costruzione **(SLD)** Probabilità di superamento nella vita di riferimento: 0.630000
(SLD) Periodo di ritorno: 50.29 (anni): Valori finali calcolati: $a_g = 0.0171$ g $\rightarrow F_0 = 2.5500 \rightarrow Tc^* = 0.1500$ sec

S.L.U (NTC 2018)

- Dati sulla costruzione **(SLV)** Probabilità di superamento nella vita di riferimento: 0.100000
(SLV) Periodo di ritorno: 474.56 (anni): Valori finali calcolati: $a_g = 0.0439$ g $\rightarrow F_0 = 2.5026 \rightarrow Tc^* = 0.3100$ sec
- Dati sulla costruzione **(SLC)** Probabilità di superamento nella vita di riferimento: 0.050000
(SLC) Periodo di ritorno: 974.79 (anni): Valori finali calcolati: $a_g = 0.0555$ g $\rightarrow F_0 = 2.5550 \rightarrow Tc^* = 0.3400$ sec

RELAZIONE GEOTECNICA

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

2. PREMESSA

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. 2018 sulle costruzioni (§ 2.6 - § 3.2. ÷ 3.2.2. - § 7.11.3.) Circolare applicativa 07 gennaio 2019, secondo le seguenti fasi:

- Sopralluogo nell'area in esame ed esame critico della situazione attuale;
- Stesura di una relazione geotecnica sulla base delle conoscenze dei luoghi litologici, per esperienze pregresse svolte dallo scrivente nell'areale sensibile, ed attuali mediante l'esecuzione di n.5 sondaggi geognostici a rotazione, a carotaggio continuo, con prove in sito dinamiche SPT (Standard Penetration Test) e prove di laboratorio geotecnico.

Nello specifico i dati di dettaglio acquisiti tramite esperienze pregresse/attuali svolte dallo scrivente nello stesso contesto territoriale e osservazione (dirette) di evidenze litologiche quaternarie [bna → depositi alluvionali terrazzati ghiaiosi con subordinate sabbie (Olocene) e livelli limosi argillosi] a diretto contatto con la Formazione miocenica delle Arenarie di Pirri [ADP → arenarie, arenarie marnose e/o siltose e siltiti grigio verdastre, e, meno frequentemente, conglomerati. A contorno si rilevano depositi sempre alluvionali (ba) ma più francamente ghiaiosi sabbiosi medio grossi (Olocene).

2.1 - Considerazioni litostratigrafiche locali e geotecniche

Nell'ambito del progetto di “Piano Attuativo La Cittadella Nord - La Cittadella Sud” in località Truncu Is Follas – Assemini (Ca) ” nel mese di Settembre 2020 è stato condotto uno studio di verifica geognostica avente lo scopo di caratterizzare l'area da un punto di vista geo-litologico e geotecnico.



Sulla base delle evidenze emerse nella parte geologica, si può affermare che l'area è impostata principalmente su litologie continentali quaternarie, alluvionali terrazzate Oloceniche costituite da ghiaie sabbiose in matrice fine limosa argillosa, con presenza clastica. Superficialmente, si ritrova una

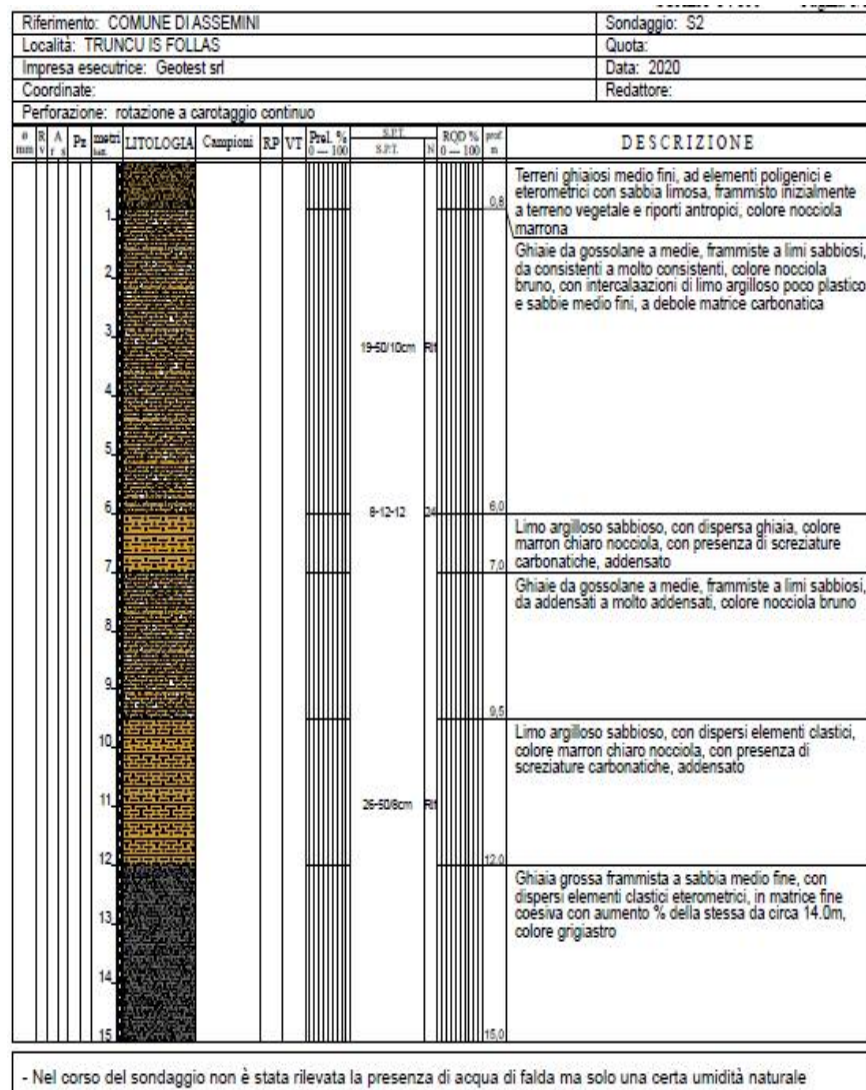


Figura 11 – Esempio stratigrafico – 0.0m / 15.0m

granulari, clastici a tessitura matrice sostenuta dove presenti (paraconglomerati) in una matrice fine coesiva (limi - argille) diversamente distribuita lungo una verticale, soprastanti livelli limoso argilloso a tratti frammisti a sabbia fine, il tutto poggiante (non rilevabile) su sedimentazioni Terziarie mioceniche. Lo spessore dei livelli ghiaiosi sabbiosi in matrice limoso argilloso addensati, e delle intercalazioni più francamente limose argillose sabbiose, sono variabili e non costanti in quanto la giacitura non é orizzontale, essendo un'area interessata da inondazioni antiche (es. Rio Sestu) ed erosione superficiale spinta.

copertura eluvio colluviale ghiaiosa sabbiosa in matrice fine coesiva, con molta probabilità rimaneggiato inizialmente per attività antropiche per uno spessore stimato di circa 0.80m/1.0m.

Più in profondità sono rilevabili elementi ghiaiosi sabbiosi da grossi a medio grossi, da addensati a molto addensati, con presenza di clasti eterometrici e poligenici, in matrice fine coesiva diversamente distribuita, con presenza di screziature carbonatiche, con intercalazioni di livelli limosi argilloso addensati, a tratti sabbiosi, di debole spessore. Si tratta in pratica della sequenza sedimentaria della zona caratterizzata prevalentemente da un'alternanza di materiali

Tali alternanze nella composizione tessiturale del deposito sedimentario sia in senso verticale sia nello sviluppo orizzontale sono imputabili principalmente alle variazioni del regime di flusso delle acque durante gli eventi alluvionali che hanno interessato l'area nella storia pregressa.

L'indagine ha confermato che la copertura sedimentaria Olocenica presente nel contesto, si estende uniformemente su tutta l'area interessata dal progetto e oltre, com'era facile prevedere dalle considerazioni geologiche precedenti, ma è importante evidenziare una presenza più rilevante di depositi clastici costituiti da una matrice a grana fine sabbiosa che tiene assieme ciottoli di varia natura (eterometrici) rispetto alla facies alluvionale grossolana contenente livelli di ghiaie e sabbie corrispondente alla facies bna riportata dalla cartografia ufficiale. La frazione grossolana rappresentata da ghiaie e ciottolotti risulta, invece, discontinua e dispersa nella matrice fine.

L'eterogeneità granulometrica legata alla maggiore o minore presenza della componente sabbiosa ghiaiosa, della frazione fine coesiva che funge da legante, la presenza di ciottoli a tessitura matrice sostenuta, il contenuto naturale di umidità, la presenza di intercalazioni limose argillose a debole frazione sabbiosa fine, influenzano lo stato di addensamento/consistenza e la condizione geotecnica generale propria di questi depositi; si tratta in generale di livelli da addensati a molto addensati sino a duri, compatti, con caratteristiche generali resistenza alla penetrazione di punta (R_p) mediocri/discrete con l'aumentare della profondità e il grado di addensamento/consistenza presente.

Dal punto di vista del loro comportamento geomeccanico, presentano caratteristiche variabili da litologia incoerente nei termini più attrattivi, a coesiva nei termini più limosi argillosi.

In funzione di ciò, i terreni hanno mostrato una certa variabilità della resistenza alla penetrazione da prove S.P.T (Standard Penetration Test). Questa disomogeneità, è congruente alla tipica variabilità litologica dei depositi di ambiente sedimentario continentale e marino.

Le caratteristiche geomeccaniche, utili alla determinazione del carico limite e della generale idoneità del terreno riguardo all'opera d'intervento, sono state ricavate da esperienze lavorative eseguite in aree limitrofe, litologicamente omogenee e correlabili, oltre dalle verifiche puntuali (osservazioni litologiche in affioramento) svolte sui luoghi di contesto. Nota la natura granulare di questi terreni, è importante stimare l'entità dei cedimenti indotti sotto al piano di appoggio della fondazione, nel nostro caso a trave rovescia, con il suo carico, che tuttavia saranno di modesta entità, in quanto quasi immediati (il drenaggio dell'acqua avviene quasi simultaneamente all'applicazione del carico, per la discreta permeabilità del terreno e si esauriscono in gran parte all'atto della costruzione.

2.2 - Stratigrafie dei terreni attraversati e loro caratteristiche di resistenza

Sulla base delle evidenze litologiche rilevate nel corso di indagini pregresse svolte dallo scrivente su di uno stesso contesto litologico correlabile (Impresa Geotest srl 2020), 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:



Esempio in cassetta stratigrafica – 0.0m / 5.0m

Unità A → Spessore 0.80/1.0m: Terreni ghiaiosi medio fini, ad elementi poligenici e eterometrici con sabbia limosa, frammisto inizialmente a terreno vegetale e riporti antropici, colore nocciola marron.



Esempio in cassetta stratigrafica – 0.0m / 5.0m

Unità B → Spessore 2.0m/5.0m: Ghiaie da gossolane a medie, frammiste a limi sabbiosi, da consistenti a molto consistenti, colore nocciola bruno, con intercalazioni di limo argilloso poco plastico e sabbie medio fini, a debole matrice carbonatica, con presenza clastica dispersa.



Esempio in cassetta stratigrafica – 5.0m / 10.0m

Unità C → 1.0m/3.0m : Limo argilloso sabbioso, con dispersi elementi clastici, colore marron chiaro nocciola, con presenza di screziature carbonatiche, addensato.



Esempio in cassetta stratigrafica – 10.0m / 15.0m

Unità D → 3.0m e più: Ghiaia grossa frammista a sabbia medio fine, con dispersi elementi clastici eterometrici, in matrice fine coesiva con aumento % della stessa con la profondità, colore grigiastro.

In prima analisi, dal punto di vista della resistenza (portanza), ad esclusione della prima unità di copertura (A) in quanto poco significative ai fini della posa della fondazione superficiale tipo "trave rovescia", trattasi di terreni costituiti in prevalenza da ghiaie e sabbie in una matrice fine coesiva diversamente distribuita, frammiste a elementi clastici eterometrici che ne aumentano le resistenze (paraconglomerati - matrice sostenuta), con presenza di screziature carbonatiche anche nelle parti coesive limose argillose intercalate all'alluvionale terrazzato. Si tratta di depositi alluvionali a grana da medio grossa a grossa, a tratti medio fine, eterogenei per la variabilità del contenuto di matrice fine limosa argillosa, legati ad ambienti fluviali soggetti a ripetute inondazioni con flussi ad energia medio-bassa, come testimonia la presenza di ghiaia dispersa. La presenza discontinua del carbonato, che si presenta diffuso nella matrice o in forma di screziature oltre che di screziature ocracee (ascrivibile alla presenza di idrossidi di Fe) è indicativa rispettivamente di un'alternanza di fasi climatiche caldo umide, che hanno consentito la precipitazione dei carbonati e fenomeni di ristagno idrico.

In funzione di quanto rilevato si può confermare una resistenza meccanica dei materiali investigati complessivamente discreta, per la presenza prevalente di livelli ghiaiosi sabbiosi, clastici eterometrici a matrice fine coesiva sostenuta. Si sottolinea che non è stata rilevata la presenza di una falda superficiale incidente lungo ciascuna verticale di sondaggio pregresso, ma solo una debole umidità naturale propria del materiale legata essenzialmente alla stagionalità del periodo.

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

Le indagini hanno confermato una certa omogeneità nelle caratteristiche geomeccaniche nei vari livelli evidenziati. Si tratta in generale, al piano delle fondazioni delle strutture in progetto, di materiali di discreta consistenza meccanica, costituiti da livelli ghiaiosi sabbiosi, clastici eterometrici da centimetrici a pluricentimetrici, in matrice fine coesiva diversamente distribuita, da addensati a molto addensati sino a duri, debolmente umidi, con presenza di screziature e incrostazioni carbonatiche più o meno spinte, con intercalazioni limose argillose sabbiose di debole spessore, consistenti e poco plastici, con presenza di carbonatazione biancastra. Analizzata la situazione locale si può affermare che i "depositi alluvionali terrazzati Olocenici" costituiscono la litologia prevalente.

I parametri geotecnici, utili al progettista ai fini delle verifiche strutturali, sono stati verificati attraverso le correlazioni dirette con i valori conoscitivi di **N/SPT** (indice di portanza standard correlabile con la formula di "Parry – $30\text{N/SPT}/3$ " in Kg/cm^2), a cui possiamo associare i seguenti parametri fisico-meccanici caratteristici delle unità stratigrafiche che insistono nell'area analizzata, ad esclusione della prima unità (**A**) in quanto poco significativa per la quota di imposta della fondazione prevista in progetto:

Unità B → Spessore 6.0m/7.0m: Ghiaie da gossolane a medie, frammiste a limi sabbiosi, da consistenti a molto consistenti, colore nocciola bruno, con intercalazioni di limo argilloso poco plastico e sabbie medio fini, a debole matrice carbonatica, con presenza clastica dispersa.

Peso di volume naturale (γ_N)	18,65 KN/M^3
Peso di volume saturo (γ_w)	19,80 KN/m^3
Angolo di attrito interno (ϕ)	$28^\circ \div 30^\circ$ (Peck-Hanson & Thornburn)
Coesione n.d.	$19.61 \div 29.41 \text{ kN}/\text{m}^2$
Modulo Edometrico (M)	$34421,34 \text{ kN}/\text{m}^2$ (Menzebach e Malcev)
Modulo Elastico (E)	$35303,94 \text{ kN}/\text{m}^2$ (Schmertmann)
Coefficiente di Winkler [$Q = 1.0 / 2.0 \text{ Kg}/\text{cm}^2$]	$3.84 \div 1.92 \text{ Kg}/\text{cm}^3$
N/SPT	30
Resistenza del terreno da SPT (Parry)	$2.94 \text{ daN}/\text{cm}^2$
NTC 2018 TERZAGHI (1955)	[Qult] $348.85 \text{ kN}/\text{m}^2 \div$ Resistenza di progetto [Rd] $193.8 \text{ kN}/\text{m}^2$ Tensione [Ed] $116.28 \text{ kN}/\text{m}^2$ (ipotesi x cedimenti $98.06 \text{ kN}/\text{m}^2$)
Caratteristiche strato	addensato – molto addensato - duro

Nota: i parametri geotecnici sono stati calcolati con un valore medio di N/SPT di 30 per la presenza di intercalazioni coesive

Unità C → Spessore 2.0m/5.0m: Limo argilloso sabbioso, con dispersi elementi clastici, colore marron chiaro nocciola, con presenza di screziature carbonatiche, addensato.

PESO DI VOLUME SECCO (γ_D)	19,12 KN/M^3
Peso di volume saturo (γ_w)	20,10 KN/m^3
Angolo di attrito interno (ϕ)	$26^\circ \div 28^\circ$ (Peck-Hanson & Thornburn)
Coesione n.d.	$29.41 \div 68.64 \text{ kN}/\text{m}^2$ (Sanglerat)
Modulo Edometrico (M)	$11767,98 \text{ kN}/\text{m}^2$ (Stroud e Butler)
Modulo Elastico (E)	$7845,32 \text{ kN}/\text{m}^2$ (Webb)
Coefficiente di Winkler [$Q = 1.0 \text{ Kg}/\text{cm}^2$]	$2.27 \text{ Kg}/\text{cm}^3$
N/SPT	50 → ridotto 20
Resistenza terreno da SPT (Parry)	$1.96 \text{ daN}/\text{cm}^2$
Caratteristiche strato	moderatamente consistente

Nota: i parametri geotecnici sono stati calcolati con un valore minimo di N/SPT di 20 per la variabilità % della frazione coesiva

Unità D → 3.0m e più: Ghiaia grossa frammista a sabbia medio fine, con dispersi elementi clastici eterometrici, in matrice fine coesiva, colore grigiastro.

PESO DI VOLUME SECCO (γ_D)	19,12 kN/m ³
Peso di volume saturo (γ_w)	20,10 kN/m ³
Angolo di attrito interno (ϕ)	32° (Peck-Hanson & Thornburn)
Coesione n.d.	9.81 ÷ 19.61 kN/m ² (Sanglerat)
Modulo Edometrico (M)	34421,34 kN/m ² (Menzebach e Malcev)
Modulo Elastico (E)	41384,06 kN/m ² (D'Appolonia et Alii.)
Coefficiente di Winkler [$Q = 1.0 \text{ Kg/cm}^2$]	3.84 Kg/cm ³
N/SPT	30
Resistenza terreno da SPT (Parry)	1.96 daN/cm ²
Caratteristiche strato	moderatamente consistente

Nota: i parametri geotecnici sono stati calcolati con un valore minimo di N/SPT di 30

2.4 - Verifica di portanza: interazione opera-terreno secondo NTC 2018

Riferimenti di legge

- Legge n. 1086 del 5 Novembre 1971: Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica;
- Legge n. 64 del 2 febbraio 1974: Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche;
- D.M. LL.PP. 3 Marzo 1975: Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche;
- D.M. LL.PP. del 11 marzo 1988: Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione;
- Circolare Ministero LL.PP. 24 settembre 1988 n. 30483: Legge 2 febbraio 1974, n. 64; D.M. LL.PP. 11 MARZO 1988. Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione. Istruzioni per l'applicazione;
- D.M. LL.PP. 14 Febbraio 1992: Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche;
- D.M. LL.PP. 9 Gennaio 1996: Norme tecniche per le costruzioni delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche;
- Circolare Ministero LL.PP. 9 gennaio 1996 n. 218/24/3: Legge 2 febbraio 1974, n. 64; D.M. LL.PP. 11 MARZO 1988. Istruzioni applicative per la redazione della relazione geologica e della relazione geotecnica;
- D.M. LL.PP. 16 Gennaio 1996: Norme tecniche relative ai - Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi;
- D.M. LL.PP. 16 Gennaio 1996: Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche;
- Circolare Ministero LL.PP. 4 luglio 1996 n. 156 AA.GG/STC.: Istruzioni per l'applicazione delle - Norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi di cui al decreto ministeriale 16 gennaio 1996 -;

- Circolare Ministero LL.PP. 15 Ottobre 1996 n. n.252 AA.GG./STC.: Istruzioni per l'applicazione delle - Norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi di cui al decreto ministeriale 16 gennaio 1996;
- Circolare Ministero LL.PP. 10 Aprile 1997 n. 65/AA.GG.: Istruzioni per l'applicazione delle - Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche di cui al decreto ministeriale 16 gennaio 1996 -.
- Ordinanza P.C.M. n. 3274 del 20.3.2003. Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica.-
- Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali.-
- Eurocodice 8 - Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture - Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici.-
- Norme tecniche per le Costruzioni 2018.- Aggiornamento alle Norme tecniche per le costruzioni D.M. 17 gennaio 2018
- Eurocodice 7.- Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali.
- Eurocodice 8.-Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture - Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici.

Premessa: Nelle Norme Tecniche per le Costruzioni (N.T.C 2008) la verifica di sicurezza nei confronti degli stati limite ultimi (S.L.U) di resistenza, si ottiene con il "Metodo semiprobabilistico dei Coefficienti parziali" di sicurezza tramite la disequazione: $E_d \leq R_d$, dove E_d è il valore di progetto (risultante della combinazione delle azioni agenti sulle costruzioni), R_d è la resistenza di progetto del terreno, che equivale al carico limite calcolato con il metodo delle tensioni ammissibili (D.M.11/03/88) ridotto di un certo coefficiente parziale (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 γ_R opera direttamente sulla resistenza del sistema. L'effetto delle azioni di progetto può anche essere valutato direttamente con i valori caratteristici delle azioni come indicato dalla [6.2.2b] con $\gamma E = \gamma F$.

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

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

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

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

2.4.1 - [Ipotesi A] 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: la verifica è stata svolta utilizzando una fondazione a trave rovescia 0.80m x 20.0m – H 0.40m, con incastro a 0.80m/1.0m da p.c..

DATI GENERALI

Normativa

NTC 2018

Larghezza fondazione

0.8 m



Lunghezza fondazione 20.0 m
 Profondità piano di posa 0.8/1.0 m
 Correzione parametri si

SISMA

Accelerazione massima (amax/g) 0.002
 Effetto sismico secondo Paolucci, Pecker (1997)
 Coefficiente sismico orizzontale 0.0004

Coefficienti sismici [N.T.C.]

Dati generali

Tipo opera: 2 - Opere ordinarie
 Classe d'uso: Classe II
 Vita nominale: 50.0 [anni]
 Vita di riferimento: 50.0 [anni]

- Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo: C
 Categoria topografica: T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30.0	0.013	2.578	0.14
S.L.D.	50.0	0.017	2.55	0.15
S.L.V.	475.0	0.044	2.503	0.31
S.L.C.	975.0	0.056	2.555	0.34

Opera: Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0.0156	0.2	0.0003	0.0002
S.L.D.	0.0204	0.2	0.0004	0.0002
S.L.V.	0.0528	0.2	0.0011	0.0005
S.L.C.	0.0672	0.2	0.0014	0.0007

STRATIGRAFIA TERRENO

Corr: Parametri con fattore di correzione (TERZAGHI)

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/m³]	Peso unità di volume saturo [kN/m³]	Angolo di attrito [°]	Coesione [kN/m²]	Coesione non drenata [kN/m²]	Modulo Elastico [kN/m²]	Modulo Edometrico [kN/m²]	Poisson	Coeff. consolidaz. primaria [cmq/s]	Coeff. consolidazione e secondaria	Descrizione
0.8	17.65	18.63	26.0	9.81	9.81	9806.65	0.0	0.3	0.0	0.0	Unità A
5.0	18.65	19.8	30.0	9.81	19.61	35303.94	34421.34	0.3	0.0	0.0	Unità B
2.0	19.12	20.1	28.0	9.81	68.64	7845.32	11767.98	0.3	0.0	0.0	Unità C
5.0	19.12	20.1	32.0	9.81	19.61	41384.06	34421.34	0.35	0.0	0.0	Unità D

Carichi di progetto agenti sulla fondazione

Nr.	Nome combinazioni	Pressione normale di progetto [kN/m ²]	N [kN]	Mx [kN·m]	My [kN·m]	Hx [kN]	Hy [kN]	Tipo
1	A1+M1+R3	116.28 (ipotesi 98.06)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Progetto
2	SISMA	116.28 (ipotesi 98.06)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Progetto
3	S.L.E.	116.28 (ipotesi 98.06)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Servizio
4	S.L.D.	116.28 (ipotesi 98.06)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Servizio

Sisma + Coeff. parziali parametri geotecnici terreno + Resistenze

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

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

- **Autore: TERZAGHI (1955)**
- Carico limite [Qult] 348.85 kN/m²
- Resistenza di progetto [Rd] 193.8 kN/m²
- Tensione [Ed] 116.28 kN/m²
- Fattore sicurezza [Fs = Qult/Ed] 3.0

COEFFICIENTE DI SOTTOFONDAZIONE BOWLES (1982)

Costante di Winkler 13953.87 kN/m³

Autore: TERZAGHI (1955) (Condizione drenata)

Fattore [Nq]	8.4
Fattore [Nc]	19.12
Fattore [Ng]	5.88
Fattore forma [Sc]	1.0
Fattore forma [Sg]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1.0

Carico limite 349.97 kN/m²
 Resistenza di progetto 152.16 kN/m²

Autore: TERZAGHI (1955) (Condizione drenata)

SISMA

Fattore [Nq]	8.4
Fattore [Nc]	19.12
Fattore [Ng]	5.88
Fattore forma [Sc]	1.0
Fattore forma [Sg]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	0.99
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1.0

Carico limite 348.85 kN/m²
 Resistenza di progetto 193.8 kN/m²



2.4.1.1 - CEDIMENTI

CEDIMENTI PER OGNI STRATO

*Cedimento edometrico calcolato con: Metodo consolidazione monodimensionale di Terzaghi

Pressione normale di progetto	98.06 kN/m ²
Cedimento dopo T anni	15.0
Distanza	7.87 m
Angolo	90.98 °
Cedimento totale	0.355 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)
2	3.3	60.745	15.353	Edometrico	0.223	--	0.223
3	6.8	126.49	5.248	Edometrico	0.0892	--	0.0892
4	10.3	193.41	2.927	Edometrico	0.0425	--	0.0425

CEDIMENTI ELASTICI

Pressione normale di progetto	98.06 kN/m ²
Spessore strato	0.0 m
Profondità substrato roccioso	0.0 m
Modulo Elastico	17651.97 kN/m ²
Coefficiente di Poisson	0.3
=====	
Coefficiente di influenza I1	0.26
Coefficiente di influenza I2	0.15
Coefficiente di influenza Is	0.34
=====	
Cedimento al centro della fondazione	1.84 mm
=====	
Coefficiente di influenza I1	0.11
Coefficiente di influenza I2	0.12
Coefficiente di influenza Is	0.18
Cedimento al bordo	0.49 mm

CEDIMENTI BURLAND E BURBIDGE

=====	
Pressione normale di progetto	98.06 kN/m ²
Tempo	15.0
Profondità significativa Zi (m)	3
Media dei valori di Nspt all'interno di Zi	30
Fattore di forma fs	1.532
Fattore strato compressibile fh	1
Fattore tempo ft	1.44
Indice di compressibilità	0.015
Cedimento	2.44 mm

GRAFICI

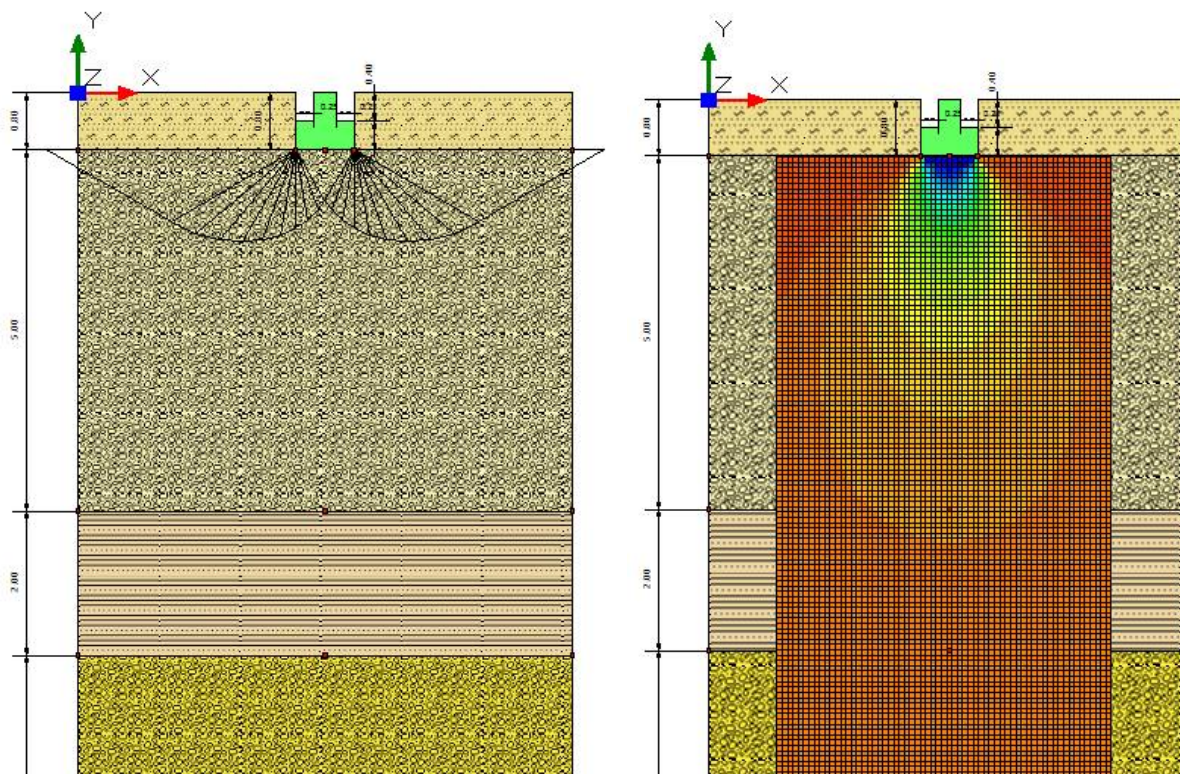


Figura 12 – Cuneo di intrusione + Bulbo delle pressioni (BOUSSINESQ) – ipotesi di verifica cedimenti 98.06 KN/m^2

2.5 - Scavabilità del substrato di terreno dell'opera in progetto

L'area è impostata principalmente su litologie continentali quaternarie, alluvionali terrazzate Oloceniche costituite da ghiaie sabbiose in matrice fine limosa argillosa, con presenza clastica, sottostante una debole copertura eluvio colluviale ghiaiosa sabbiosa in matrice fine coesiva, con molta probabilità rimaneggiato inizialmente per attività antropiche. In pratica trattasi di depositi caratterizzati prevalentemente da un'alternanza di materiali granulari, clastici in una matrice fine coesiva (limi - argille) diversamente distribuita lungo la verticale di sondaggio, con intercalazioni di livelli limoso argillosi sabbiosi. Le litologie sedimentarie presenti, essendo costituite prevalentemente da terreni granulari, clastici diversamente addensati, in una matrice fine coesiva, diversamente addensati, saranno facilmente asportabili con il semplice uso di un escavatore dotato di singola benna nei livelli più superficiali interessati dalla posa della fondazione superficiale a trave rovescia supposta intestata a circa -1.0m da p.c.. 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 di copertura, a seconda dello spessore, essendo materiali a comportamento attrattivo con fine plastico, 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 $FS = \tan \phi / \tan \beta$, 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 un ϕ da SPT uguale a circa $28^\circ \pm 2$, per lavorare in condizioni di sicurezza si potrà tener conto di un'inclinazione della parete di scavo min di circa 27° . Per questi terreni, si può verificare l'altezza critica di scavo, che è l'altezza massima alla quale una scarpata verticale è stabile per un certo periodo di tempo senza bisogno di sostegni.

Nel nostro caso considerando i seguenti parametri geotecnici cautelativi per Unità **A/B** → $c_u = 19.61 \text{ KN/m}^2 \div \gamma_n = 18.65 \text{ KN/m}^3$, e utilizzando la seguente relazione: $H_c = 4 c / \gamma_n$ si ottiene un'altezza critica di scavo H_c di circa 4.20m. Tenendo conto delle "tensioni di trazione" di altezza (y), che si generano in seguito allo scavo, ed in presenza di umidità presente già a breve profondità legata alla stagionalità del periodo, il valore dell'altezza critica (H_c) (Terzaghi) risulta ridotto per $y = H_c/2 \rightarrow H_c' = \sim 2.10\text{m}$.

Si consiglia, comunque, in presenza di materiali granulari in matrice coesiva, di eseguire l'apertura del terreno, in condizioni di sicurezza, con una maggiore larghezza della base e una minore pendenza della parete di scavo, per abbattere l'incidenza di eventuali crolli, a causa dei fenomeni di rilassamento per diminuzione della spinta litostatica delle terre, conseguente lo sbancamento. Generalmente, per profondità di scavo superiori a 1.0/1.5mt, trattandosi di materiali granulari non coerenti (D.lgs 81/2008), si consiglia di provvedere ad armare provvisoriamente i fronti di scavo. Da non dimenticare che, se si dovesse decidere di impiantare il cantiere durante il periodo invernale o comunque in previsione di eventi pluviometrici importanti, sarà opportuno predisporre degli adeguati sistemi di allontanamento sia delle acque superficiali dal fondo scavo sia da quelle (eventuali) di falda idrica venutasi a creare (risalita) per incremento idrico al contatto tra la copertura e i livelli intercalati limosi argillosi. Questo aspetto, in particolare, in quanto nel corso delle verifiche geognostiche pregresse è stata rilevata la presenza di umidità, diversamente spinta, su tutte le verticali investigate nell'areale di contesto correlabile.

3. CONCLUSIONI

Sulla base dello studio effettuato, si può asserire che:

- Dalle conoscenze di carattere geologico, morfologico e idrogeologico, l'area in esame su cui è prevista la realizzazione del progetto di "Piano Attuativo La Cittadella Nord - La Cittadella Sud" in località Truncu Is Follas – Assemini (Ca), è impostata principalmente su litologie continentali quaternarie, alluvionali terrazzate Oloceniche costituite da ghiaie sabbiose in matrice fine limosa argillosa, con presenza clastica. Superficialmente, si ritrova una copertura eluvio colluviale ghiaiosa sabbiosa in matrice fine coesiva, con molta probabilità rimaneggiato inizialmente per attività antropiche per uno spessore stimato di circa 0.80m/1.0m. Più in profondità sono rilevabili elementi ghiaiosi sabbiosi da grossi a medio grossi, da addensati a molto addensati, con presenza di clasti eterometrici e poligenici, in matrice fine coesiva diversamente distribuita, con presenza di screziature carbonatiche, con intercalazioni di livelli limosi argillosi addensati, a tratti sabbiosi, di debole spessore. Si tratta in pratica della sequenza sedimentaria della zona (alluvionale terrazzato) caratterizzata prevalentemente da un'alternanza di materiali granulari, clastici a tessitura matrice sostenuta dove presenti (paraconglomerati) in una matrice fine coesiva (limi - argille) diversamente distribuita soprastanti livelli limoso argillosi a tratti frammisti a sabbia fine, il tutto poggiante (non rilevabile) su sedimentazioni Terziarie mioceniche.

L'eterogeneità granulometrica legata alla maggiore o minore presenza della componente sabbiosa ghiaiosa, della frazione fine coesiva che funge da legante, la presenza di ciottoli a tessitura sostenuta, il contenuto naturale di umidità, influenzano lo stato di addensamento/consistenza e la condizione geotecnica generale propria di questi depositi; si tratta in generale di livelli da addensati a molto addensati sino a duri, compatti, con caratteristiche generali resistenza alla penetrazione di punta (R_p) mediocri/discrete con l'aumentare della profondità e il grado di addensamento/consistenza presente.

- 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 sensibile affiorano terreni costituiti da un'alternanza di sedimenti a differente composizione granulometrica, grado d'addensamento e di consistenza, tipica dei



sedimenti di bacino alluvionale, la quale determina, localmente, variazioni di permeabilità. Essa quindi si manifesta con la capacità di assorbire le acque piovane e di far defluire le acque sotterranee. Vista la possibile disomogeneità dei depositi alluvionali terrazzati, per la presenza di frazione coesiva, la permeabilità non è rappresentata da un unico valore del coefficiente "K" (m/s) ma da un intervallo di questo. La distinzione tra le alluvioni antiche e le alluvioni recenti terrazzate e non (oloceniche), è legata alle caratteristiche morfometriche della frazione grossolana e fine, al grado di compattazione e addensamento, al contenuto e alla ferrettizzazione della matrice fine. Nello specifico i terreni, in base alle caratteristiche geolitologiche, con particolare riferimento alla capacità d'assorbimento possono essere suddivisi in differenti classi di permeabilità, secondo i valori indicati nella tabella:

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

Classe 1 → permeabilità medio-alta: comprende quei terreni a buona circolazione idrica, costituiti prevalentemente da coperture alluvionali allo stato sciolto o semicoerente. La permeabilità per porosità è generalmente medio-alta [$10^{-3} \geq K \geq 10^{-5}$] nei livelli sabbioso-ciottolosi e sabbiosi, con scarsa matrice fine;

Classe 2 → permeabilità medio-bassa: vi rientrano i sedimenti alluvionali limoso-sabbiosi con un contenuto rilevante di matrice argillosa [$10^{-5} \geq K \geq 10^{-7}$]; la permeabilità è bassa nei livelli più francamente limoso- argillosi [$10^{-7} \geq K \geq 10^{-9}$];

Classe 3 → [Complesso arenaceo quarzoso-micaceo (ADP) e/o marnoso arenaceo-argilloso Miocene] - La permeabilità di questo complesso arenaceo quarzoso-micaceo, di colore grigio verde alternato a sabbie quasi incoerenti è da considerarsi medio-alta per porosità, localmente media per fatturazione, nei livelli coerenti. Nella parte più marnosa è costituita da un'alternanza di livelli da marnoso-argillosi a marnoso-arenacei. La permeabilità è complessivamente bassa per porosità e per fessurazione, localmente medio-bassa in corrispondenza dei livelli più arenacei [$10^{-5} \geq K \geq 10^{-7}$];

- 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), si è proceduto a verificare se nell'area è presente questo tipo di vincolo. Dall'osservazione diretta della

perimetrazione Regionale delle aree a pericolosità idraulica (Hi) e pericolosità geomorfologia (Hg) da frana, il cui bacino di riferimento è l'U.I.O. del Flumini Mannu, si evince che il nostro sito interessato dagli interventi di *Piano Attuativo La Cittadella Nord e La Cittadella Sud*, si trova all'esterno della perimetrazione da frana Hg (Art. 8 – Rev. 42) e idraulica Hi (Art. 8 - Rev. 59) dettata dalla presenza dei corsi d'acqua Rio Sestu e Rio Murta, secondo quanto disposto dagli artt. 23-24-25 delle norme di Attuazione del P.A.I. Da una analisi del Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (PSFF) relativo al bacino del Flumini Mannu - Campidano Cixerri non sono emersi per l'area esaminata rischi compatibili con i corsi d'acqua in funzione della sicurezza idraulica. Da una analisi dell'Inventario dei Fenomeni Franosi in Sardegna (IFFI) relativo al bacino del al bacino del Flumini Mannu - Capidano Cixerri non sono emersi per l'area esaminata rischi compatibili con eventi franosi.

Nota: sulla base delle condizioni topografiche e litostratigrafiche e della relativa vicinanza con il rio Sestu e Rio Murta nell'area sensibile in esame, la falda freatica superficiale sulla base di esperienze pregresse, e dalla disamine del Portale ISPRA 464/96 (Geological Survey of Italy Portal) si colloca ad una profondità (ricerca idrica a circa 200m dal lotto) media a partire da circa - 15.0m dal p.c. con punte statiche di circa 10.0m/12.0m, anche meno, in direzione della zona Grogastu.

▪ Pericolosità Sismica Locale: la pericolosità sismica è definita in termini di:

- accelerazione orizzontale massima attesa "ag" in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido (categoria C - NTC), con superficie topografica orizzontale (categoria T1);
- ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $Se(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PVR nel periodo di riferimento VR. Ai fini delle NTC le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR, a partire dai valori dei seguenti parametri sul sito di riferimento rigido orizzontale:
 - ag - accelerazione orizzontale massima al sito;
 - F_0 - valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
 - T_C^* - periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

I valori di ag , F_0 e T_C^* per gli "stati limite di esercizio", SLO e SLD, e per gli "Stati Limite Ultimi", SLC e SLD, sono calcolati con interpolazione basata sulle distanze, per maglie di riferimento rappresentative dell'intera area nella quale dovrà essere realizzato il nuovo comparto del Piano Attuativo utilizzando la Classe d'uso II.

Categorie di Sottosuolo: per identificare la categoria di sottosuolo (§ 3.2.2. NTC 2018) finalizzata alla definizione dell'azione sismica di progetto, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, VS. I valori di $V_{s\ eq}$ possono essere ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche. Per velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio si intende la media pesata delle velocità delle onde S negli strati nei primi metri di profondità dal piano di posa della fondazione, dove per le fondazioni superficiali è riferita al piano di posa delle stesse.

Nota: indagini sismiche pregresse (Geotest srl – 2020) hanno evidenziato per questa porzione di territorio un suolo C.

Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite in Tab. 3.2.II. Secondo lo schema presente nell'Ordinanza (NTC 2018) si tratta di un suolo appartenente alla Classe C. Di seguito si riportano la categoria di sottosuolo di riferimento (Tab. 3.2.II - NTC 2018).

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

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

CATEGORIE TOPOGRAFICHE	
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 $i > 30^\circ$

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

Nelle NTC 2018 i valori minimi di V_N da adottare per i diversi tipi di costruzione sono riportati nella 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

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

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

Classe d'uso	I	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 essenziali. 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 [...]

Dati sismici sul sito (spettri di risposta)

Dati sull'area SENSIBILE – Truncu Is Follas

- **X** = 1504645.2155 longitudine **E**
- **Y** = 4347765.8639 latitudine **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

S.L.E (NTC 2018)

- Dati sulla costruzione (**SLO**) Probabilità di superamento nella vita di riferimento: 0.810000 (SLO)

Periodo di ritorno: 30.11 (anni): Valori finali calcolati: $ag = 0.0127 \text{ g}$ □ $Fo = 2.5776$ □ $Tc^* = 0.1400 \text{ sec}$



- Dati sulla costruzione **(SLD)** Probabilità di superamento nella vita di riferimento: 0.630000 (SLD)
Periodo di ritorno: 50.29 (anni): Valori finali calcolati: $ag = 0.0171 \text{ g}$ □ $Fo = 2.5500$ □ $Tc^* = 0.1500 \text{ sec}$

S.L.U (NTC 2018)

- Dati sulla costruzione **(SLV)** Probabilità di superamento nella vita di riferimento: 0.100000 (SLV)
Periodo di ritorno: 474.56 (anni): Valori finali calcolati: $ag = 0.0439 \text{ g}$ □ $Fo = 2.5026$ □ $Tc^* = 0.3100 \text{ sec}$
- Dati sulla costruzione **(SLC)** Probabilità di superamento nella vita di riferimento: 0.050000 (SLC)
Periodo di ritorno: 974.79 (anni): Valori finali calcolati: $ag = 0.0555 \text{ g}$ □ $Fo = 2.5550$ □ $Tc^* = 0.3400 \text{ sec}$

- Le indagini hanno confermato una certa omogeneità nelle caratteristiche geomeccaniche nei vari livelli evidenziati. Si tratta in generale, al piano delle fondazioni delle strutture in progetto, di materiali di discreta consistenza meccanica, costituiti da livelli ghiaiosi sabbiosi, clastici eterometrici da centimetrici a pluricentimetrici, in matrice fine coesiva diversamente distribuita, da addensati a molto addensati sino a duri, debolmente umidi, con presenza di screziature e incrostazioni carbonatiche più o meno spinte, con intercalazioni limose argillose sabbiose di debole spessore, consistenti e poco plastici, con presenza di carbonatazione biancastra. Analizzata la situazione locale si può affermare che i "depositi alluvionali terrazzati Olocenici" costituiscono la litologia prevalente. I parametri geotecnici, utili al progettista ai fini delle verifiche strutturali, sono stati verificati attraverso le correlazioni dirette con i valori conoscitivi di **N/SPT** (indice di portanza standard correlabile con la formula di "Parry – $30\text{NSPT}/3$ " in Kg/cm^2), a cui possiamo associare i seguenti parametri fisico-meccanici caratteristici delle unità stratigrafiche che insistono nell'area analizzata, ad esclusione della prima unità **(A)** in quanto poco significativa per la quota di imposta della fondazione prevista in progetto:

Unità B → Spessore 6.0m/7.0m: Ghiaie da gossolane a medie, frammiste a limi sabbiosi, da consistenti a molto consistenti, colore nocciola bruno, con intercalazioni di limo argilloso poco plastico e sabbie medio fini, a debole matrice carbonatica, con presenza clastica dispersa.

Peso di volume naturale (γ_N)	18,65 KN/M^3
Peso di volume saturo (γ_w)	19,80 KN/m^3
Angolo di attrito interno (ϕ)	28° ÷ 30° (Peck-Hanson & Thornburn)
Coesione n.d.	19.61 ÷ 29.41 kN/m^2
Modulo Edometrico (M)	34421,34 kN/m^2 (Menzebach e Malcev)
Modulo Elastico (E)	35303,94 kN/m^2 (Schmertmann)
Coefficiente di Winkler [$Q = 1.0 / 2.0 \text{ Kg}/\text{cm}^2$]	3.84 ÷ 1.92 Kg/cm^3
N/SPT	30
Resistenza del terreno da SPT (Parry)	2.94 daN/cm^2

NTC 2018 TERZAGHI (1955)	[Qult] 348.85 kN/m ² ÷ Resistenza di progetto [Rd] 193.8 kN/m ² Tensione [Ed] 116.28 kN/m ² (ipotesi x cedimenti 98.06 kN/m ²)
Caratteristiche strato	addensato – molto addensato - duro

Nota: i parametri geotecnici sono stati calcolati con un valore medio di N/SPT di 30 per la presenza di intercalazioni coesive

Unità C → Spessore 2.0m/5.0m: Limo argilloso sabbioso, con dispersi elementi clastici, colore marron chiaro nocciola, con presenza di screziature carbonatiche, addensato.

PESO DI VOLUME SECCO (γ_D)	19,12 kN/m ³
Peso di volume saturo (γ_w)	20,10 kN/m ³
Angolo di attrito interno (ϕ)	26° ÷ 28° (Peck-Hanson & Thornburn)
Coesione n.d.	29.41 ÷ 68.64 kN/m ² (Sanglerat)
Modulo Edometrico (M)	11767,98 kN/m ² (Stroud e Butler)
Modulo Elastico (E)	7845,32 kN/m ² (Webb)
Coefficiente di Winkler [$Q = 1.0 \text{ Kg/cm}^2$]	2.27 Kg/cm ³
N/SPT	50 → ridotto 20
Resistenza terreno da SPT (Parry)	1.96 daN/cm ²
Caratteristiche strato	moderatamente consistente

Nota: i parametri geotecnici sono stati calcolati con un valore minimo di N/SPT di 20 per la variabilità % della frazione coesiva

Unità D → 3.0m e più: Ghiaia grossa frammista a sabbia medio fine, con dispersi elementi clastici eterometrici, in matrice fine coesiva, colore grigiastro.

PESO DI VOLUME SECCO (γ_D)	19,12 kN/m ³
Peso di volume saturo (γ_w)	20,10 kN/m ³
Angolo di attrito interno (ϕ)	32° (Peck-Hanson & Thornburn)
Coesione n.d.	9.81 ÷ 19.61 kN/m ² (Sanglerat)
Modulo Edometrico (M)	34421,34 kN/m ² (Menzebach e Malcev)
Modulo Elastico (E)	41384,06 kN/m ² (D'Appolonia et Alii.)
Coefficiente di Winkler [$Q = 1.0 \text{ Kg/cm}^2$]	3.84 Kg/cm ³
N/SPT	30
Resistenza terreno da SPT (Parry)	1.96 daN/cm ²
Caratteristiche strato	moderatamente consistente

Nota: i parametri geotecnici sono stati calcolati con un valore minimo di N/SPT di 30

- 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: $Ed \leq Rd$ [§ 6.2.1] essendo Ed 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/γ_M e dei parametri geometrici di progetto a_d . Il coefficiente parziale di sicurezza γ_R opera direttamente sulla resistenza del sistema. L'effetto delle azioni di progetto può anche essere valutato direttamente con i valori caratteristici delle azioni come indicato dalla [6.2.2b] con $\gamma E = \gamma F$. In accordo a quanto stabilito al §2.6.1, la verifica della condizione [6.2.1] deve essere effettuata impiegando diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali, rispettivamente definiti per le azioni (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.

[Ipotesi A] 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: la verifica è stata svolta utilizzando una fondazione a trave rovescia 0.80m x 20.0m – H 0.40m, con incastro a -1.0m da p.c..

Combinazione A1+M1+R3 - TERZAGHI (1955)– condizione drenata

- Il valore minimo del carico limite ultimo $Q_{ult} = 348.85 \text{ KN/m}^2$, con una resistenza di progetto (R_d) = 193.8 KN/m^2 e Tensione di progetto (E_d) = 116.28 KN/m^2 (carico utilizzato x cedimenti 98.06 KN/m^2);
- I Cedimenti Elastici relativi al substrato di terreno interessato dal sovraccarico, si attesterebbero a valori inferiori al centimetro (centro 1.84mm / bordo 0.49mm), in corrispondenza di una pressione normale di progetto pari a 98.06 KN/m^2 (ipotesi di verifica);

- I Cedimenti secondo Burland e Burbidge, calcolati per una pressione normale di progetto pari a 98.06 KN/m^2 (ipotesi di verifica), si attesterebbero a valori inferiori al centimetro (2.44 mm);
 - I Cedimenti per ogni strato W_t dopo 15 anni si attesterebbero anch'essi a valori inferiori al centimetro per i tre strati B/C/D (0.355 cm).
 - 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 falda nei primi metri dal piano calpestio - Metodo del C.N.R. - GNDT Da Seed e Idriss;
- L'area è impostata principalmente su litologie continentali quaternarie, alluvionali terrazzate Oloceniche costituite da ghiaie sabbiose in matrice fine limosa argillosa, con presenza clastica, sottostante una debole copertura eluvio colluviale ghiaiosa sabbiosa in matrice fine coesiva, con molta probabilità rimaneggiato inizialmente per attività antropiche. Le litologie presenti essendo costituite prevalentemente da terreni granulari, clastici diversamente addensati, in una matrice fine coesiva, diversamente addensati, saranno facilmente asportabili con il semplice uso di un escavatore dotato di singola benna nei livelli più superficiali interessati dalla posa della fondazione superficiale del tipo a trave rovescia supposta intestata a circa $0.80\text{m}/1.0\text{m}$ da p.c.. La capacità della parete di scavo di autosostenersi in assenza di opere di stabilizzazione dipende dalle caratteristiche fisico-meccaniche del terreno interessato. La stabilità nei livelli di copertura, a seconda dello spessore, essendo materiali a comportamento attrattivo con fine plastico, 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 un φ da SPT uguale a circa $28^\circ \pm 2$, per lavorare in condizioni di sicurezza si potrà tener conto di un'inclinazione della parete di scavo min di circa 27° . Per questi terreni, si può verificare l'altezza critica di scavo, che è l'altezza massima alla quale una scarpata verticale è stabile per un certo periodo di tempo senza bisogno di sostegni.
- Nel nostro caso considerando i seguenti parametri geotecnici cautelativi per Unità **A/B**] $\rightarrow c_u = 19.61 \text{ KN/m}^2 \div \gamma_n = 18.65 \text{ KN/m}^3$, e utilizzando la seguente relazione: $H_c = 4 c/\gamma_n$ si ottiene un'altezza critica di scavo H_c di circa 4.20m . Tenendo conto delle "tensioni di trazione" di altezza (y), che si generano in seguito allo scavo, ed in presenza di umidità presente già a breve profondità legata alla stagionalità del periodo, il valore dell'altezza critica (H_c) (Terzaghi) risulta ridotto per $y = H_c/2 \rightarrow H_c' = \sim 2.10\text{m}$.

Si consiglia, comunque, in presenza di materiali granulari in matrice coesiva, di eseguire l'apertura del terreno, in condizioni di sicurezza, con una maggiore larghezza della base e una minore pendenza della parete di scavo, per abbattere l'incidenza di eventuali crolli, a causa dei fenomeni di rilassamento per diminuzione della spinta litostatica delle terre, conseguente lo sbancamento. Generalmente, per profondità di scavo superiori a 1.0/1.5mt, trattandosi di materiali granulari non coerenti (D.lgs 81/2008), si consiglia di provvedere ad armare provvisoriamente i fronti di scavo. Da non dimenticare che, se si dovesse decidere di impiantare il cantiere durante il periodo invernale o comunque in previsione di eventi pluviometrici importanti, sarà opportuno predisporre degli adeguati sistemi di allontanamento sia delle acque superficiali dal fondo scavo sia da quelle (eventuali) di faldina idrica venutasi a creare (risalita) per incremento idrico al contatto tra la copertura e i livelli intercalati limosi argillosi. Questo aspetto, in particolare, in quanto nel corso delle verifiche geognostiche pregresse è stata rilevata la presenza di umidità, diversamente spinta, su tutte le verticali investigate nell'areale di contesto correlabile.

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

▪ **PIANO DELLE INDAGINI A SUPPORTO DELLA FASE PROGETTUALE DEFINITIVA/ESECUTIVA**

Nell'ambito della progettazione dei lavori di realizzazione del progetto di Piano Attuativo *La Cittadella Nord - La Cittadella Sud* località Truncu Is Follas – Assemini (Ca), è emersa la necessità di acquisire ulteriori elementi necessari ad aggiornare il modello concettuale geologico, e geotecnico proposto dell'area, al fine di verificare le considerazioni tecniche che sono scaturite in questa fase, e quindi definire con un ulteriore maggior dettaglio alcuni elementi necessari per la progettazione definitiva/esecutiva degli interventi.

a) Da un punto di vista tipologico, sono state individuate le seguenti attività:

Sondaggi: dovranno essere eseguiti in prossimità dei fabbricati (posizione strategica) con tipologia edilizia a schiera, bifamiliare e a unità singola per la parte residenziale, a torre o corpo unico per servizi connessi con la residenza e il volume pubblico. Le prove in foro di sondaggio discontinue SPT sono da prevedere, ad

intervalli decisi dal geologo di campo, e serviranno ad implementare e supportare la conoscenza geologica in termini di resistenza del terreno per la qualità geotecnica, ai fini delle correlazioni stesse per la parametrizzazione geotecnica utile alle verifiche strutturali di rilevati e/o fondazioni superficiali/profonde, stradelli o altro.

Laboratorio accreditato: sono state scelte sulla base delle caratteristiche dei terreni presenti e in funzione dei dati utili da ricercare quale angolo di attrito – coesione (Prova di taglio), Classificazione delle terre in termini di classi (AASHTO) e limiti di Atterberg per la "carta della plasticità" (LL-IP), oltre a prove Edometriche per la valutazione del coefficiente Cv di consolidazione.

Geofisica: sono state scelte ai fini di avere una precisa valutazione del tipo di suolo (categoria), e di una eventuale presenza di acqua superficiale (conducibilità quale inverso della resistività).

b) Da un punto di vista quantitativo, ma non limitativo, sono state previste:

Sondaggi geognostici a rotazione a carotaggio continuo:

- N. 6 Sondaggi a carotaggio continuo diametro perforazione 101mm, della profondità massima di 8.0m/10.0 ml. da p.c.;
- N. 2 prove dinamiche SPT discontinue in ciascun foro di sondaggio (n. 2 x 6 sondaggi = n. 12 SPT);

Prove di laboratorio geotecnico:

- N. 2 Classificazioni delle Terre + limiti di Atterberg;
- N. 2 Prove di Taglio diretto;
- N. 2 Prove Edometriche.

Indagini Geofisiche:

- N. 1 prova di tipo sismico con tecnica MASW Vs30eq.

Cagliari lì Settembre 2022

GEOLOGO [sez. A]

Dott. Mario STRINNA



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

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



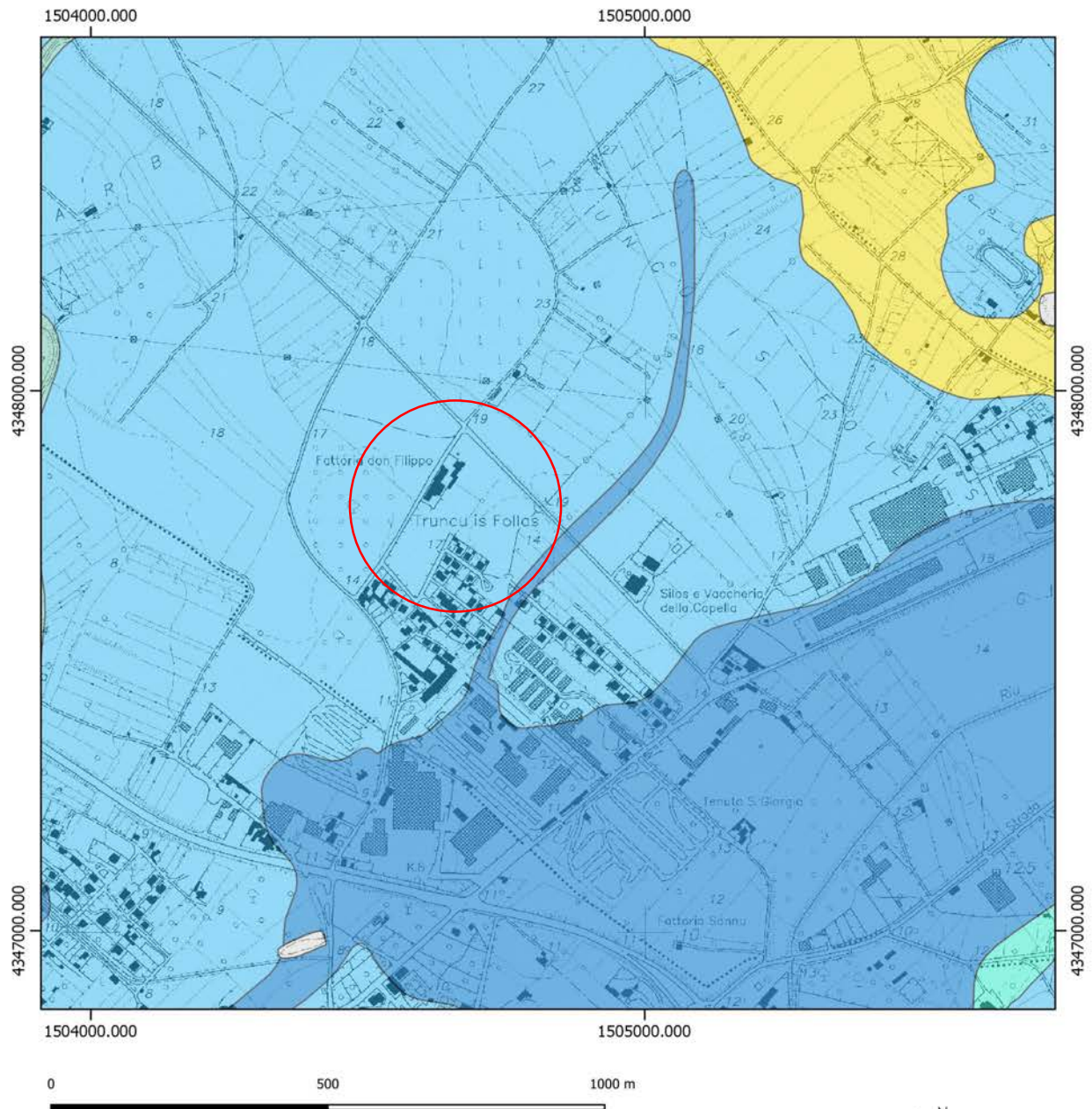
Committente: Ing. Gianluigi Corongiu Via Montanaru 77 – 09047 Selargius (Ca)

Progetto: Piano Attuativo "La Cittadella Nord - La Cittadella Sud" località Truncu Is Follas – Assemini (Ca)

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

Relazione geologica e geotecnica

INQUADRAMENTO GEOLOGICO
SU BASE CTR FOGLIO 557 - 090 [ELMAS]
SCALA 1:10.000



geologiaAreali2008

- ARENARIE DI PIRRI. Arenarie, arenarie mamose e/o siltose e siltiti grigio-verdastre
- Coltri eluvio-colluviali. Detriti immersi in matrice fine. OLOCENE
- Depositi alluvionali terrazzati. Ghiaie con subordinate sabbie. OLOCENE
- Depositi alluvionali. Ghiaie da grossolane a medie. OLOCENE
- Depositi alluvionali. Sabbie con subordinati limi e argille. OLOCENE
- Depositi antropici. Materiali di riporto e aree bonificate. OLOCENE



Viale Diaz n. 48 09125 Cagliari T/F 070.303083 Portatile +39 3287906284
Assicurazione professionale (LLOYD'S) geologi certificato n. GK20B0201B3384A-LB

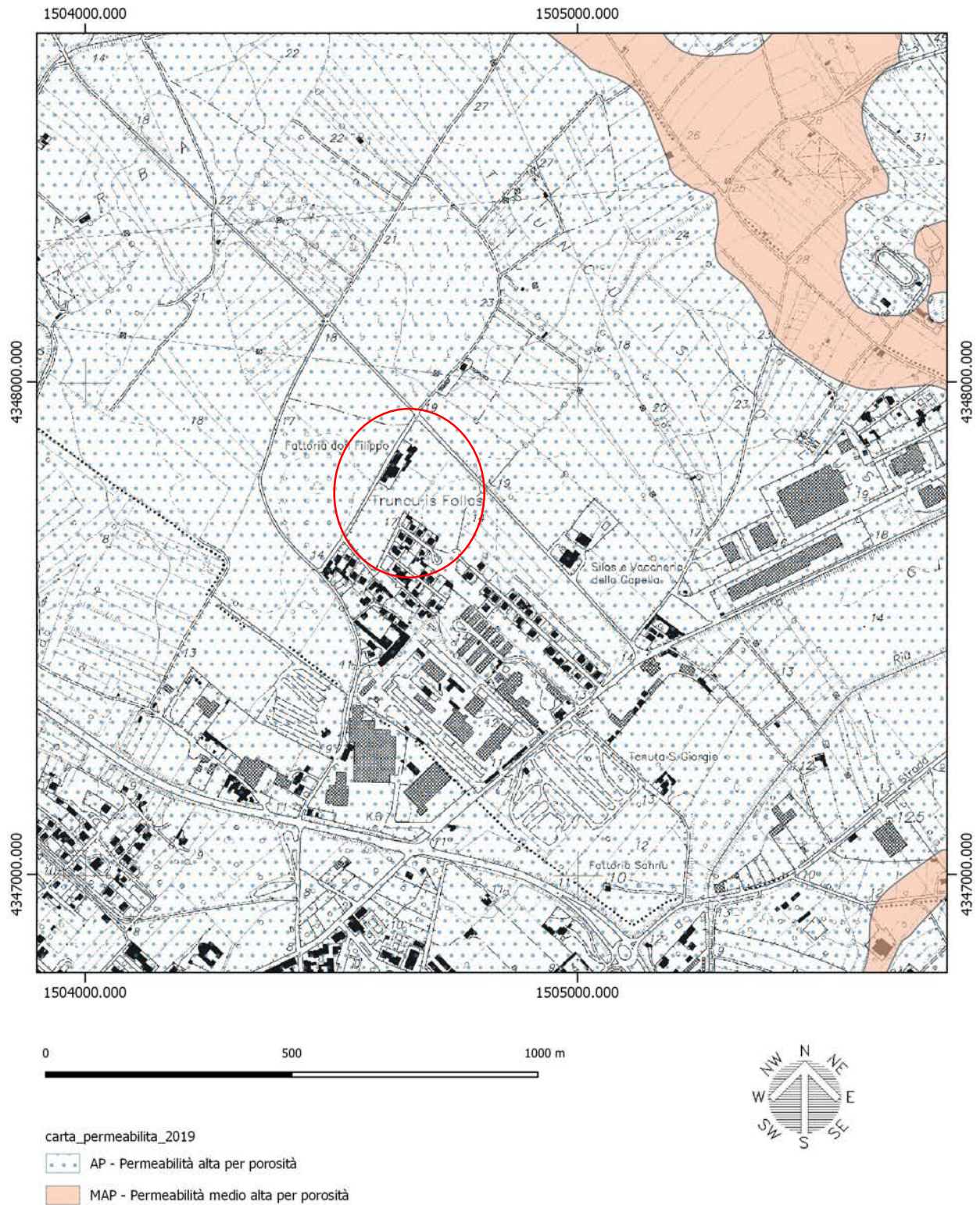
Committente: Ing. Gianluigi Corongiu Via Montanaru 77 – 09047 Selargius (Ca)

Progetto: Piano Attuativo "La Cittadella Nord - La Cittadella Sud" località Truncu Is Follas – Assemini (Ca)

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

Relazione geologica e geotecnica

CARTA DELLE PERMEABILITA'
SU BASE CTR FOGLIO 557 - 090 [ELMAS]
SCALA 1:10.000



Viale Diaz n. 48 09125 Cagliari T/F 070.303083 Portatile +39 3287906284
Assicurazione professionale (LLOYD'S) geologi certificato n. GK20B0201B3384A-LB