



COMUNE DI SANT'ANNA ARRESI

Provincia di Carbonia Iglesias

Servizio Tecnico Settore LL.PP.

Piazza Aldo Moro 3 - 09030 - SANT'ANNA ARRESI

e-mail: [semp.tecnico@comune.santannaarresi.ca.it](mailto:semp.tecnico@comune.santannaarresi.ca.it) per favore pubblico: [santannaarresi@pec.it](mailto:santannaarresi@pec.it)  
tel. 0701 368322/219 - fax 0701 366384

BANDO DI GARA A PROCEDURA APERTA  
PER LA PROGETTAZIONE DEFINITIVA -  
ESECUTIVA E L'ESECUZIONE DEI LAVORI  
PER LA REALIZZAZIONE  
PISTA CICLABILE  
DA SANT'ANNA ARRESI A PORTOPINO

## COMUNE DI SANT'ANNA ARRESI

PROVINCIA DI CARBONIA IGLESIAS

# BANDO DI GARA A PROCEDURA APERTA PER LA PROGETTAZIONE DEFINITIVA - ESECUTIVA E L'ESECUZIONE DEI LAVORI PER LA REALIZZAZIONE PISTA CICLABILE DA SANT'ANNA ARRESI A PORTOPINO

(art.53, comma 2, lett. c del d.lgs 12 aprile 2006, n.163)

C.I.G. 6664780E6E  
CUP: C51B15000440001  
CPV: 45233162-2

### PROGETTO DEFINITIVO

ELABORATO

RELAZIONE GEOTECNICA

D-D-02

STAZIONE DI PARTENZA PLANIMETRIA

#### OFFERENTE

**SI.Sca Srl**  
Via del Lavoro 15  
08100 Nuoro

#### PROGETTISTI

*Ing. Franco Rocca - Capogruppo*  
*Ing. Davide Pinna - Mandante*  
*Arch. Antonio Dejua - Mandante*  
*Arch. Miriam Eugenia Cossu - Mandante*  
*Arch. Andrea De Eccher - Mandante*  
*Ing. Massimiliano Manis - Mandante*  
*Arch. P. Murru - Mandante- Giovane Professionista*  
*Geol. Giovanni A. Atzeni - Mandante*  
*Agronomo Valerio Boi - Mandante*  
*Archeologo Nicola Dessi - Mandante*

**S.I.SCA. S.r.l.**

Via del Lavoro, 15 - 08100 Nuoro  
P.IVA 01342650916

tel/fax 0784255069 - 0784709007 [siscasrl@hotmail.com](mailto:siscasrl@hotmail.com) [siscasrl@arubapec.it](mailto:siscasrl@arubapec.it)

## **INDICE**

1. Premessa .....	1
2. Riferimenti normativi .....	1
3. Inquadramento geografico .....	2
4. Inquadramento geologico e tettonico .....	5
5. Riferimento al P.A.I. ed al P.S.F.F. ....	10
6. Caratterizzazione sismica del sito .....	10
7. Modellazione geotecnica .....	11
7.1. Metodologia di indagine.....	11
8. Piano delle indagini geognostiche .....	11
9. Dati di progetto .....	12
10. Verifiche di sicurezza agli stati limite .....	12
10.1. Verifiche di sicurezza agli stati limite ultimi, SLU .....	13
10.1.1. Calcolo del valore della resistenza del terreno .....	13
10.1.2. Calcolo del valore di progetto della resistenza del terreno .....	15
10.1.3. Calcolo del valore di progetto della pressione sul terreno .....	16
10.2. Verifiche di sicurezza agli stati limite di esercizio, SLE .....	18
11. Conclusioni .....	19

## 1. PREMESSA

Nell'ambito dei lavori di realizzazione dei **“lavori per la realizzazione della pista ciclabile da Sant'Anna Arresi a Portopino”**, il sottoscritto Dott. Geol. Giovanni A. Atzeni con la collaborazione del Dott. Geol. Massimo Trogu, ha redatto uno studio geotecnico al fine di conoscere l'assetto geologico-stratigrafico, geomorfologico, idrogeologico e le caratteristiche geotecniche dell'area interessata dal progetto, ubicata nel territorio del Comune di S. Anna Arresi.

L'indagine è stata condotta seguendo le modalità sotto riportate:

- Analisi e sintesi delle conoscenze bibliografiche sulla stratigrafia e geologia del settore.
- Analisi della cartografia disponibile sull'area di S. Anna Arresi.
- Realizzazione di una carta geologica in Scala 1:10.000.
- Per quanto riguarda lo studio del *modello geotecnico* e la classificazione meccanica e fisica dei terreni di fondazione, non avendo dati relativi ad indagini geotecniche, in quanto andranno effettuate in sede di progetto esecutivo, per le *verifiche di sicurezza agli stati limite ultimi (SLU)* e agli *stati limite di esercizio (SLE)*, si sono utilizzati dati di bibliografia o i risultati di prove geognostiche effettuate su terreni simili in aree limitrofe.

## 2. RIFERIMENTI NORMATIVI

L'elaborato è stato eseguito ottemperando le seguenti norme legislative:

- **D.M. LL. PP. del 11.03.1988** “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 terreni ed assicurare la stabilità complessiva del territorio nel quale si inseriscono”.
- **Circolare 218/24/3 del 09 gennaio 1996** “Istruzioni applicative per la redazione della Relazione Geologica e della Relazione Geotecnica”;
- **D.M. LL. PP. 16.01.1996** “Norme tecniche per la costruzione in zone sismiche”;
- **UNI EN 1990-2006 - Eurocodice** “Criteri generali di progettazione strutturale”;
- **UNI EN 1991-2006 - Eurocodice 1** “Azioni sulle strutture”;
- **UNI EN 1997-1-2005 e 1997-2-2007- Eurocodice 7** “Progettazione geotecnica”;
- **UNI EN 1998-1-2005, 1998-2-2009, 1998-3-2005, 1998-5-2005 e 1998-6-2005 Eurocodice 8** “Progettazione geotecnica”;
- **D.M. 14 settembre 2005 e 14 gennaio 2008**, “Norme Tecniche per le Costruzioni”;
- **Circolare Consiglio Superiore LL.PP. n. 617 del 02 febbraio 2009** “Istruzioni per l'applicazione delle nuove Norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14.01.2008”;
- Valutazione degli studi e della cartografia contenuti nel **Piano di Assetto Idrogeologico** e nel **Piano Stralcio Fasce Fluviali** relativi all'area in oggetto.

### 3. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area oggetto dello studio si estende dall'abitato del Comune di Sant'Anna Arresi a Portopino. La superficie d'interesse è compresa nella cartografia dell'I.G.M.I. in scala 1:25.000, nei Fogli n. 564 sez. Il tavoletta "Giba" e n. 572 sez. I tavoletta "Portopino", nella C. T. R. della Regione Sardegna in scala 1:10.000, nei Fogli n. 564160 "Sant'Anna Arresi" e n. 572040 "Porto Pino".



### UBICAZIONE DELL'AREA IN ESAME



**INQUADRAMENTO GEOGRAFICO**  
*Stralcio Fogli 564 Sez. II "Giba" e 572 Sez. I "Porto Pino"*  
Scala 1:25.000





# INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Settore Sant'Anna Arresi

## QUADRI D'UNIONE

FOGLI 1:50.000 I.G.M.I.

563	<b>564</b>	565
	<b>572</b>	573

### SEZIONI 1:25.000

IV	I
	<b>564</b>
III	II
IV	I
	<b>572</b>
III	II

### SEZIONI 1:10.000

010	020	030	040
050	060	070	080
090	100	110	120
130	140	150	<b>160</b>

010	020	030	<b>040</b>
050	060	070	080
090	100	110	120
130	140	150	160

## 4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO DEL SETTORE

La ricostruzione stratigrafica dei terreni di sedime delle opere in progetto, è stata ricavata dall'analisi delle conoscenze acquisite nel rilevamento, dai dati sulla geologia reperibili in letteratura ed in studi geologico-geotecnici eseguiti in aree limitrofe. Le formazioni individuate nella zona attraverso il rilevamento geologico condotto lungo il percorso ciclabile, corrispondono a quanto riportato nella bibliografia e cartografia geologica disponibile. L'area oggetto del presente studio, si colloca nella pianura costiera tra S. Anna Arresi e Porto Pino. È caratterizzata da un andamento topografico sub-pianeggiante, in cui affiora una copertura sedimentaria continentale quaternaria, che poggia in discordanza stratigrafica sul basamento paleozoico o sulle formazioni messesi in posto nel mesozoico e cenozoico. Nella quasi totalità dell'area, il substrato cristallino affiorante è rappresentato dalla sequenza metarenacea e metasiltitica della Formazione di Cabitza, dai leucograniti e dai leucosienograniti dell'Unità Intrusiva di Villacidro e da un lembo di calcari micritici massivi della Formazione di S. Giovanni. Inoltre, si segnalano dei piccoli affioramenti di Porfidi granitici e quarziferi Auct. che costituiscono la struttura di piccoli alti morfologici. In discordanza stratigrafica sul basamento è presente la sequenza sedimentaria continentale-transizionale del Miliolitico Auct., Paleocene-Eocene, costituita da strati di calcari, calcari marnosi, marne e argille palustri con intercalazione di strati carboniosi sormontata dalla Formazione del Cixerri del Eocene medio-Oligocene rappresentata da strati di conglomerati eterometrici e poligenici ad elementi del basamento paleozoico, arenarie quarzoso-feldspatiche, marne, siltiti e argille. Nelle aree pianeggianti sulle quali si estende il percorso in progetto, il substrato affiorante è ascrivibile esclusivamente al Sintema di Portovesme, PVM. È rappresentato prevalentemente dai depositi di origine alluvionale, PVM2a e sono costituiti da ghiaie eterometriche e poligeniche associate e sabbie medio-grossolane quarzoso feldspatiche ed elementi del basamento paleozoico, ben elaborati, con abbondante matrice limoso-argillosa ed occupano la porzione di pianura più distale dalla costa; nella parte pianeggiante a ridosso del litorale sono presenti depositi eolici quarzoso-feldspatici in prevalenza sabbiosi con una componente ghiaiosa fine variabile, PVM2b. Alla base degli alti morfologici il sintema è rappresentato da coltri detritiche di versante in brecce e sabbie a granulometria variabile con una matrice limosa. La giacitura generale dei depositi sedimentari in relazione all'andamento topografico, ove è stato possibile verificarlo, è generalmente sub-orizzontale. Il grado di cementazione risulta variabile e condizionato dalla percentuale di ossidi ferrosi della matrice mentre il costipamento dei sedimenti aumenta con la profondità per effetto del carico litostatico. Lungo la costa sono presenti le Alluvioni Terrazzate costituite da un'alternanza di lenti con estensione e spessore variabile a giacitura sub-orizzontale, generalmente in eteropia di facies. Sono costituite prevalentemente da ghiaie medio-grossolane e da sabbie eterometriche, a matrice talvolta limoso-argillosa, con clasti aventi un buon grado di elaborazione, in prevalenza di quarzo, feldspati e di metamorfiti paleozoiche. Sono presenti inoltre dei depositi eolici antichi di ambiente marino-transizionale, di colore variabile dal bianco, al giallo chiaro, all'ocra o al grigio se la matrice presenta un'alta frazione di materia organica. Questi sedimenti nella parte della pianura prossimale alla costa si trovano in eteropia di facies con le Alluvioni Terrazzate. Lungo i corsi d'acqua principali, sono

deposti depositi alluvionali a geometria lenticolare, ascrivibili all'Olocene, costituiti dall'accumulo di prodotti a granulometria variabile dalle ghiaie ai limi. Derivano principalmente dal rimaneggiamento delle formazioni precedentemente descritte. Lungo la costa inoltre, affiorano estesi corpi dunari di sabbie quarzo feldspatiche e sedimenti di ambiente transizionale costituiti da sabbie fini e limi. Nell'area sono presenti faglie di importanza regionale ed altre ad esse associate, generatesi durante i movimenti tettonici plio-quadernari relativi al graben del Golfo di Palmas, talvolta non visibili a causa della copertura quadernaria e del suolo. Di seguito sono descritti i litotipi illustrati nella carta geologica.

## **PALEOZOICO**

### **Gruppo di Gonnese, Formazioni di S. Giovanni, *GNN (Cambriano inf.)***

Il Gruppo di Gonnese affiora, seppur in modo discontinuo, in tutto l'Iglesiente Sulcis. È suddiviso in due formazioni, che dal basso sono: la Form. di S. Barbara, corrispondente al Membro della "Dolomia rigata degli Auct." e la Formazione di S. Giovanni, corrispondente al "Membro del Calcarea Ceroide degli Auct.". La Form. di S. Barbara, *GNN1*, è costituita da metadolomie e metacalcari stratificati derivati da originari fanghi carbonatici, apparati stromatolitici, livelli ricchi di pisoliti e di breccie. La parte alta della formazione mal stratificata, talvolta massiva, di colore grigio-bluaastro, risulta intensamente dolomitizzata. La Form. di S. Giovanni, *GNN2*, è rappresentata da metacalcari massivi o mal stratificati, di colore grigio, talvolta ricchi di resti fossili; derivano da originarie piattaforme carbonatiche e bacini di sedimentazione da supratidale a subtidale. Lo spessore varia da circa 150 a oltre i 300 m.

### **Formazione di Cabitza, *CAB (Cambriano Inf. – Ordoviciano Inf.)***

La Formazione di Cabitza, nota come "Scisti di Cabitza" Auct., giace in continuità stratigrafica con la sottostante Formazione di Campo Pisano, fuori carta, e chiude la successione pre-discordanza sarda, a sua volta sottostante la successione terrigena dell'Ordoviciano superiore. È costituita in prevalenza da metasedimenti terrigeni, con banchi, lenticelle e noduli carbonatici; nella parte inferiore sono presenti metasiltiti varicolori micacee e carbonatiche, anche in livelli da millimetrici a centimetrici piano paralleli, metarenarie fini argilloso-micacee grigio-verdi, quarziti arenacee grigie con frequenti laminazioni incrociate nella parte sommitale. In località Bau Pressiu, sede dell'intervento, questa formazione giace in discordanza angolare al di sotto dei metasedimenti clastici di Monte Argentu e risulta metamorfosata per il contatto con le intrusioni granitiche.

### **Unità intrusiva di Villacidro, *VLD (Carbonifero – Permiano Inf.)***

L'unità è costituita prevalentemente da termini leucogranitici, microgranitici, da leucosienograniti a biotite e da microleucosienograniti a biotite. Al contatto con il basamento metamorfico, i leucosienograniti presentano una tessitura più fine, di tipo "pegmatitico" e con una associazione paragenetica costituita da quarzoso-feldspatiche, talora con biotiti e rari assembramenti di pochi cm di magnetite e/o ematite. La struttura olocristallina si presenta a livello macroscopico isotropa, a grana grossa e moderatamente inequigranulare; a livello microscopico si individuano cristalli euedrali-subedrali di plagiocasio moderatamente zonato e abbondante ortoclasio micropertitico e quarzo policristallino o in cristalli subedrali; la biotite è presente per un 3-5% sotto forma di lamelle euedrali. La seconda facies leucogranitica presenta importanti fenomeni di alterazione accompagnati da

microfratture. Si presentano di colore bianco-grigio ma anche rosato o giallastro per via dell'alterazione; la tessitura è isotropa e la grana va da fine a medio-fine ma talvolta può presentarsi inequigranulare a struttura porfirica per fenocristalli anche centimetrici di quarzo globulare e ortoclasio micropertitico. La struttura della roccia generalmente si presenta isotropa o con una modesta isorientazione dei cristalli.

#### **Corteo filoniano, *fp, qa* (Carbonifero Sup - Permiano)**

Nel settore cartografato compaiono filoni granitici, *fp* e filoni quarziferi, *pa*. I Filoni granitici, si presentano a struttura da afirica a porfirica per fenocristalli di Qz, Fsp e Bt e tessitura isotropa; il colore è prevalentemente rosato e rossastro. I porfidi quarziferi auct. si presentano in colate ed ammassi subvulcanici a composizione da riolitica a dacitica, generalmente con struttura porfirica talvolta anisotropa per l'orientazione dei fenocristalli e dei cristalli della pasta di fondo.

### **MESOZOICO**

#### **Muschelkalc Auct., *MUK* (Triassico Med.)**

Sequenza costituita alla base da strati di conglomerati ed arenarie ad elementi del basamento paleozoico e di vulcaniti permiane, con rare intercalazioni di carbonati, passante verso l'alto a strati di calcari dolomitici e dolomie giallastre talvolta cariate con intercalazioni di lenti marnose e gessose.

#### **Keuper Auct., *KEU* (Triassico Sup.)**

Successione stratificata di calcari e calcari dolomitici di colore biancastro, mal stratificati e calcari grigio-azzurri ben stratificati in livelli prevalentemente centimetrici, talvolta sino al decimetro e calcari marnosi contraddistinti dalla presenza di noduli silicatici. Lo spessore della sequenza è intorno ai 50 m.

#### **Formazione di Guardia Sa Barracca, *GUB* (Giurassico Inf.-Med.)**

Sequenza di strati calcarei e dolomitici, in facies grainstone e packstone bioclastici e oolitici, talvolta selciferi, di colore grigio-giallastri mal stratificati o caotici, con abbondante associazione fossilifera.

#### **Formazione di Medau Mereu, *MDM* (Giurassico Med.)**

Alternanze di strati calcarei e calcari-marnosi in facies mudstone e wackstone, di colore grigio-beige con intercalazioni di marme color nocciola ben stratificate e con abbondante contenuto fossilifero.

### **CENOZOICO**

#### **Miliolitico Auct., *MLI* (Eocene inf.)**

Sequenza di sedimenti principalmente carbonatici che poggiano sia su sedimenti conglomeratico-arenacei (MLIa) sia direttamente sul basamento paleozoico, sia sui "Calcari a macroforaminiferi". Questa sequenza raggiunge spessori di 200 m. I litotipi più comuni sono tuttavia calcari spesso biocalastici, estremamente ricchi in fossili, che verso l'alto tendono a diventare arenacei e marnosi. Lo spessore raggiunge a Carbonia circa 20 m.

#### **Formazione del Cixerri, *CIX* (Eocene - Oligocene sup.?)**

Sedimenti continentali prodotti dall'erosione del basamento cristallino che colmano il nascente rift sardo. Sono costituiti da arenarie quarzoso-feldspatiche con matrice siltosa e da conglomerati eterometrici con matrice sabbioso limosa arrossata per la presenza di ossidi ferrosi. In questa potente sequenza si individuano frequenti intercalazioni lenticolari siltoso-argillose.

## **QUATERNARIO**

La coltre superficiale è rappresentata da sedimenti di origine alluvionale, transizionale e marina.

### **Sintema di Portovesme, PVM2a, PVM2b (Pleistocene sup.)**

Nell'area è rappresentata dal Subsintema di Portoscuso. È caratterizzata da due litofacies, una costituita da alluvioni terrazzate ghiaiose da medie a grossolane con subordinate sabbie, PVM2a, mentre l'altra è rappresentata prevalentemente da sabbie eoliche immerse in detriti di versante e breccie con subordinati depositi alluvionali, PVM2b.

### **Depositi alluvionali terrazzati, bna, bnb (Olocene)**

I depositi alluvionali della successione continentale quaternaria, di origine fluviale e deltizia, sono costituiti prevalentemente da ghiaie eterometriche e poligeniche con una matrice sabbioso-limosa di colore rosso per la presenza di ossidi ferrosi e da sabbie grossolane con una matrice limosa rossastra, marne arenacee e marne siltose chiare, con noduli argillosi e calcarei, sabbie ed argille varicolori. La geometria dei depositi è di tipo lenticolare con eteropie di facies verticali e laterali.

### **Depositi di spiaggia antiche, g (Pleistocene sup.-Olocene)**

Depositi più o meno cementati, in prevalenza sabbiosi e ghiaiosi poligenici con bivalvi e gasteropodi e subordinate sabbie-limose.

### **Depositi di spiaggia, g2 (Olocene)**

Depositi in prevalenza sabbiosi e ghiaiosi poligenici talvolta con resti di molluschi.

### **Depositi palustri, e5 (Olocene)**

Depositi limoso-sabbiosi e siltoso-argillosi talvolta con ghiaie fini e resti di molluschi e fanghi con abbondante frazione torbosa.

### **Depositi alluvionali terrazzati, bn (Olocene)**

I depositi alluvionali della successione continentale quaternaria, di origine fluviale e deltizia, sono costituiti prevalentemente da ghiaie eterometriche e poligeniche con una matrice sabbioso-limosa e da sabbie grossolane con una matrice limosa. La geometria dei depositi è di tipo lenticolare con eteropie di facies verticali e laterali.

### **Depositi alluvionali, b (Olocene)**

I depositi alluvionali recenti che si riscontrano lungo i corsi d'acqua, sono costituiti da ghiaie eterometriche e poligeniche, da sabbie a matrice limoso argillosa, da limi e argille. Questi sedimenti, sono derivati prevalentemente dal rimaneggiamento del substrato alluvionale più antico. La geometria dei depositi è di tipo lenticolare con eteropie di facies verticali e laterali.

### **Coltri eluvio-colluviali, b2 (Olocene)**

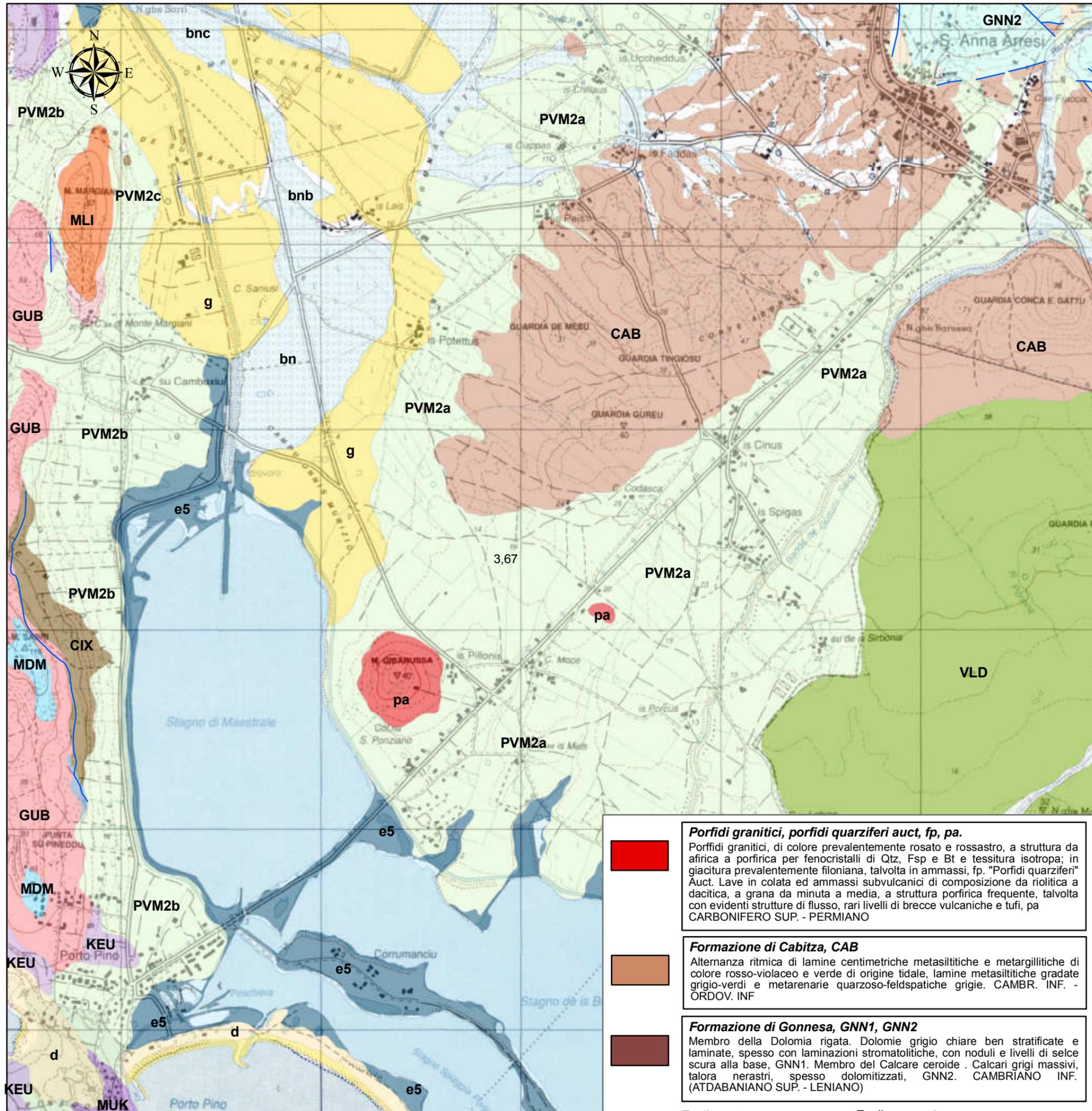
Sono state rilevate al piede dei versanti e nelle aree di raccordo con la pianura. La granulometria dei sedimenti, varia dalle ghiaie fini alle sabbie, immerse in matrice fine. Sono prodotte dall'erosione degli alti morfologici e dal rimaneggiamento del detrito di versante ad opera delle acque di ruscellamento.

### **Depositi di versante, a (Olocene)**

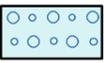
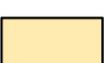
Depositi poligenici ed eterometrici con clasti poco elaborati, accumulati alla base dei versanti più ripidi; in genere sono incoerenti o parzialmente cementati.

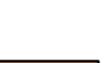
# CARTA GEOLOGICA Comune di S. Anna Arresi

Scala 1:20 000



## LEGENDA

- 
**Depositi di versante, a**  
 Detriti con clasti angolosi, talora parzialmente cementati. OLOCENE
- 
**Depositi alluvionali terrazzati, bn, bna, bnb, bnc**  
 Ghiaie con subordinate sabbie, bna. Sabbie con subordinati limi ed argille, bnb. Limi ed argille, bnc. OLOCENE
- 
**Depositi alluvionali, b**  
 Depositi ghiaiosi sabbiosi. OLOCENE
- 
**Coltri eluvio colluviali, b2**  
 Detriti immersi in matrice fine, talora con intercalazioni di suoli più o meno evoluti, arricchiti in frazione organica. OLOCENE
- 
**Depositi eolici, d**  
 Sabbie di duna ben classate. OLOCENE
- 
**Depositi lacustri palustri, e, e5**  
 Limi ed argille grigio scure con intercalazioni sabbiose, e. Limi ed argille limose talvolta ciottolose, fanghi torbosi con frammenti di molluschi, e5. OLOCENE
- 
**Depositi di spiaggia, g, g2**  
 Depositi di spiaggia antichi. Sabbie, arenarie, calciruditi, ghiaie con bivalvi, gasteropodi, con subordinati depositi sabbioso-limosi e calcilutiti di stagno costiero, g. Sabbie e ghiaie, talvolta con molluschi, etc, g2. PLEISTOCENE SUP. - ? OLOCENE
- 
**Sintema di Portovesme, PVM2a, PVM2b, PVM2c**  
 Litofacies nel Subsintema di Portoscuso. Ghiaie alluvionali terrazzate da medie a grossolane, con subordinate sabbie, PVM2a. Sabbie e arenarie eoliche con subordinati detriti e depositi alluvionali, PVM2b. Detriti di versante e breccie con subordinati depositi eolici e alluvionali, PVM2c. PLEISTOCENE
- 
**Formazione del Cixerri, CIX**  
 Argille siltose di colore rossastro, arenarie quarzoso-feldspatiche in bancate con frequenti tracce di bioturbazione, conglomerati eterometrici e poligenici debolmente cementati. EOCENE MEDIO - ?OLIGOCENE
- 
**Miliolitico Auct., MLI, MLIa**  
 Calcarei e calcari arenacei, spesso ricchissimi in milioliti di ambiente lagunare, MLI. Litofacies nella formazione del MILIOLITICO AUCT. Talora, alla base conglomerati poligenici a prevalenti clasti di quarzo e liditi, verso l'alto arenarie quarzose a cemento carbonatico, MLIa. EOCENE INF.
- 
**Formazione di Monte Nurra, NRR**  
 Dolomie e calcari dolomitici, calcari bioclastici, calcari selciferi, calcari marnosi e marne, con intercalazioni di arenarie quarzose. Alla base calcari e dolomie scure di ambiente lacustre a carofite. DOGGER
- 
**Formazione di Medau Mereu, MDM**  
 Calcarei (mudstone e wackestone) grigio-beige con intercalazioni marnose di colore nocciola, ben stratificati, fossiliferi (spicole di spugne, radiolari e foraminiferi). GIURASSICO INF. - ?GIURASSICO MEDIO
- 
**Formazione di Guardia Sa Barracca, GUB**  
 Calcarei (grainstone e packstone bioclastici, oolitici, localmente selciferi, subordinati mudstone) fossiliferi (foraminiferi, crinoidi, belemniti, brachiopodi, briozoi, ammoniti, etc.) grigio-giallastri, spesso dolomitici. LIAS
- 
**Keuper Auct, KEU**  
 Dolomie e dolomie calcaree, breccie dolomitiche, ben stratificate, da grigio chiare a scure con pseudomorfi di solfati; alla base, livelli discontinui di marne e argille varicolori. TRIASSICO SUP.
- 
**Muschelkalc Auct, MUK**  
 Calcarei laminati sottilmente stratificati e calcari dolomitici in grossi strati. TRIASSICO MEDIO
- 
**Unità Intrusiva di Villacidro, VLD**  
 Leucograniti, CARB. SUP. - PERMIANO

- 
**Porfidi granitici, porfidi quarziferi auct, fp, pa.**  
 Porfidi granitici, di colore prevalentemente rosato e rossastro, a struttura da affrica a porfirica per fenocristalli di Qtz, Fsp e Bt e tessitura isotropa; in giacitura prevalentemente filoniana, talvolta in ammassi, fp. "Porfidi quarziferi" Auct. Lave in colata ed ammassi subvulcanici di composizione da riolitica a dacitica, a grana da minuta a media, a struttura porfirica frequente, talvolta con evidenti strutture di flusso, rari livelli di breccie vulcaniche e tufi, pa CARBONIFERO SUP. - PERMIANO
- 
**Formazione di Cabitza, CAB**  
 Alternanza ritmica di lamine centimetriche metasiltitiche e metargillitiche di colore rosso-violaceo e verde di origine tidale, lamine metasiltitiche gradate grigio-verdi e metarenarie quarzoso-feldspatiche grigie. CAMBR. INF. - ORDOV. INF
- 
**Formazione di Gonnese, GNN1, GNN2**  
 Membro della Dolomia rigata. Dolomie grigio chiare ben stratificate e laminate, spesso con laminazioni stromatolitiche, con noduli e livelli di selce scura alla base, GNN1. Membro del Calcare cerioide. Calcarei grigi massivi, talora nerastrati, spesso dolomitizzati, GNN2. CAMBRIANO INF. (ATDABANIANO SUP. - LENIANO)

— Faglia certa      - - - Faglia presunta

## 5. RIFERIMENTO AL P. A. I. ED AL P. S. F. F.

Dall'esame della carta del Piano Stralcio Fasce Fluviali, della *pericolosità idraulica e geologica* del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico della Regione Sardegna, si evince che il settore sul quale insiste il progetto non ricade in alcuna delle aree delimitate nei vigenti P.A.I. e P.S.F.F..

## 6. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO

In base alla nuova classificazione del rischio sismico, la Sardegna ricade in **zona 4** corrispondente ad una sismicità molto bassa ed un *Peak Ground Acceleration*, PGA, inferiore a 0,05 g. La vita nominale di progetto dell'opera strutturale  $V_N$  è  $\geq 50$  anni in base alla tabella 2.4.I del D.M.14.01.2008. La classe d'uso ricade in classe **II** "costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti...." a cui corrisponde un valore del coefficiente d'uso  $C_U$  di **1,0**, tab. 2.4.II del D.M.14.01.2008. Le azioni sismiche sulla costruzione, sono state valutate in relazione al periodo di riferimento  $V_R$  che si ricava moltiplicando la vita nominale  $V_N$  per il coefficiente d'uso  $C_U$ :

$$V_R = V_N \times C_U = 50 \times 1,0 = 50 \text{ anni}$$

In funzione del periodo di riferimento  $V_R$  e della probabilità di superamento  $P_{VR}$ , tab. 3.2.I del D.M.14.01.2008, il tempo di ritorno  $T_R$  del sisma è dato dalla seguente formula:

$$T_R = -V_R / \ln(1 - P_{VR}) = -C_U \times V_N / \ln(1 - P_{VR})$$

Nella tabella seguente vengono riportati i valori dei tempi di ritorno  $T_R$  calcolati ed i valori dei tempi di ritorno  $T_R$  cautelativi estrapolati dalla tabella A2 del D.M.14.01.2008.

Stati Limite		Valori di $P_{VR}$	Tempi di Ritorno $T_R$ calcolati	Tempi di Ritorno $T_R$ cautelativi
		$C_U = 1,0$		
SLE	SLO	81,00%	30,11	50
	SLD	63,00%	50,29	72
SLU	SLV	10,00%	474,56	475
	SLC	5,00%	974,79	975

I valori relativi ai diversi stati limite corrispondenti ai tempi di ritorno  $T_R$  considerati, ai parametri spettrali  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T_c^*$ , dalla tab. 2 allegato B del D.M.14.01.2008, riferiti alle condizioni esistenti in Sardegna, sono riportati nella tabella seguente:

Stati Limite		Tempi di Ritorno $T_R$	$a_g/g$	$F_0$	$T_c$
SLE	SLO	50	0,0235	2,67	0,296
	SLD	72	0,0274	2,70	0,303
SLU	SLV	475	0,0500	2,88	0,340
	SLC	975	0,0603	2,98	0,372

In assenza di analisi specifiche sull'effetto della risposta sismica locale, è comunque possibile fare riferimento ad un approccio semplificato, basato sull'individuazione della categoria di sottosuolo di riferimento, tab. 3.2.II del D.M.14.01.2008 e della categoria topografica, tab. 3.2.IV del D.M.14.01.2008. In relazione ai parametri geotecnici valutati con le prove di laboratorio, alle tabelle sopracitate, alla categoria di sottosuolo **D** ed a quella topografica **T1**, è stata valutata l'accelerazione massima attesa in superficie, mediante la relazione:

$$a_{max} = S_S \times S_T \times a_g$$

dove

$S_S$  = coefficiente che tiene conto dell'effetto dell'amplificazione stratigrafica;

$S_T$  = coefficiente che tiene conto dell'effetto dell'amplificazione topografica;

$a_g$  = accelerazione orizzontale massima attesa sul suolo.

Sulla base dei dati sopra riportati ed in relazione alle tabelle 3.2.V e 3.2.VI del D.M.14.01.2008, i valori assunti sono i seguenti:  $S_S = 1,80$  e  $S_T = 1,00$

L'accelerazione massima attesa in superficie,  $a_{max}$ , in rapporto agli stati limite ed al tempo di ritorno  $T_R$  risulta:

Stati Limite		Tempi di Ritorno $T_R$	$a_{max}$ (m/s <sup>2</sup> )
SLE	SLO	50	0,42
	SLD	72	0,50
SLU	SLV	475	0,90
	SLC	975	1,09

Per quanto riguarda la caratterizzazione sismica del sito, si può ritenere che la bassa sismicità locale esclude l'instaurarsi di eventi in grado di provocare danni alle strutture che ne compromettano la funzionalità.

## 7. MODELLAZIONE GEOTECNICA

### 7.1. METODOLOGIA DI INDAGINE

I lavori in progetto prevedono la **“realizzazione di una pista ciclabile da Sant'Anna Arresi a Portopino”**. Per quanto riguarda lo studio del *modello geotecnico* e la classificazione meccanica e fisica dei terreni di fondazione, non avendo dati relativi ad indagini geotecniche eseguite *in situ*, in quanto andranno effettuate in sede di progetto esecutivo, per le *verifiche di sicurezza agli stati limite ultimi (SLU)* e *agli stati limite di esercizio (SLE)*, si sono utilizzati dati di bibliografia o i risultati di prove geognostiche effettuate su terreni simili posti in condizioni ambientali analoghe.

## 8. PIANO DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE

Come accennato nel paragrafo precedente, per la definizione della progettazione esecutiva si ritiene necessario eseguire un programma di indagini geognostiche *in situ* finalizzate alla ricostruzione

litostratigrafica del substrato ed alla valutazione delle caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni di sedime delle fondazioni. Di seguito si illustrano le indagini geognostiche e di laboratorio che si prevede di realizzare:

- N. 40 Pozzetti geognostici da realizzare in funzione dell'ubicazione delle opere e dei risultati del rilevamento geologico di superficie;
- n. 24 prove penetrometriche continue;
- n. 15 prove di carico su piastra da 300mm sul sottofondo naturale;
- n. 15 prove di carico su piastra da 300 mm sullo strato finale;

Per quanto riguarda le analisi di laboratorio su campioni rappresentativi si prevede di eseguire le seguenti analisi;

- n. 8 prove di taglio eseguite sui materiali campionati nei pozzetti esplorativi che ricadono all'interno delle aree di fondazione dei manufatti più importanti.
- n. 8 classificazione delle terre;
- n. 4 prove edometriche.

## 9. DATI DI PROGETTO

Le caratteristiche geometriche dell'opera e le relative particolarità progettuali, sono state fornite dalla committenza attraverso le planimetrie e le sezioni. In relazione al tipo di substrato, sono state stabilite le fondazioni più idonee e le relative dimensioni per ogni manufatto; per i ponti sono rappresentate dalla tipologia **su pali** in *c/s* armato,  $\phi = 0,60$  m e lunghezza **L** = 11 - 14 m, per le pensiline delle varie stazioni, dalla tipologia **a trave rovescia**, lunghezza **L** > 12 m, larghezza **B** = 0,40 m ed una profondità di posa **D** = 0,50 m mentre per "l'Albero fotovoltaico", la fondazione sarà del tipo **a plinto** con dimensioni 2,50 x 2,50 m con profondità del piano di posa **D** = 0,50 m. I manufatti da realizzare, nelle verifiche agli stati limite ultimi, verranno così identificati:

Ponte	Pensilina	Lunghezza (m)	Larghezza (m)
1 -3		10.80	3.80
2		14.50	3.80
	<b>Tipologia 1 Servizi stazione di partenza</b>	8.10	5.00
	<b>Tipologia 2 Albero fotovoltaico</b>	6.56	3.10
	<b>Tipologia 3 Pensilina attesa autobus</b>	5.00	1.40
	<b>Tipologia 4 Spazio gioco stazione di partenza</b>	6.10	8.12
	<b>Tipologia 6 Punto info stazione di arrivo</b>	5.00	4.10
	<b>Tipologia 7 Punto servizi stazione di arrivo</b>	5.20	4.30

## 10. VERIFICHE DI SICUREZZA AGLI STATI LIMITE

Per le valutazioni sul comportamento dei terreni e delle fondazioni, ottemperando alle disposizioni contenute nel DM del 14 gennaio 2008 "Norme Tecniche sulle Costruzioni", si è proceduto alle verifiche

di sicurezza relative agli *stati limite ultimi (SLU)* ed agli *stati limite di esercizio (SLE)*. Secondo quanto previsto dalla normativa, i valori di progetto dei parametri geotecnici  $X_d$  utilizzati, sono stati ricavati dal rapporto tra il valore caratteristico,  $X_k$  ed il coeff. di sicurezza parziale  $\gamma_m$  tabellati nel decreto, utilizzando la seguente equazione:

$$X_d = X_k / \gamma_m$$

Il valore caratteristico  $X_k$  rappresenta la soglia al di sotto della quale si colloca non più del 5% dei valori desumibili da una serie teoricamente illimitata di prove. Nel presente studio, i parametri nominali sono equiparati a quelli caratteristici, in base alle disposizioni del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, nel caso di valutazioni sulle fondazioni superficiali. *A causa dell'assenza di indagini geognostiche, per le verifiche agli stati limite ed il dimensionamento delle fondazioni, verranno utilizzati i parametri geotecnici di uno strato sabbioso ghiaioso, denominato SP, acquisiti da prove geognostiche effettuate su dei terreni simili posti nelle stesse condizioni ambientali.*

LITOTIPO	PARAMETRI GEOTECNICI		PARAMETRI NOMINALI ( $X_m$ )	PARAMETRI CARATTERISTICI ( $X_k$ )	PARAMETRI DI PROGETTO ( $X_D$ )	
					M1	M2
<b>Strato SP</b>	Angolo di attrito interno (°)	$\varphi$	$\varphi_m = 30,00$	$\varphi_k = 30,00$	$\varphi_d = 30,00$	$\varphi_d = 24,00$
	Coesione (kN/mq)	$c$	$C_m = 0,00$	$C_k = 0,00$	$C_d = 0,00$	$C_d = 0,00$
	Peso di volume naturale (kN/mc)	$\gamma$	$\gamma_m = 18,50$	$\gamma_m = 18,50$	$\gamma_d = 18,50$	$\gamma_d = 18,50$

*Parametri geotecnici nominali, caratteristici e di progetto dello strato SP.*

### 10.1. VERIFICA DI SICUREZZA AGLI STATI LIMITE ULTIMI, **SLU**

La verifica degli stati limite ultimi (*SLU*), si consegue con il “Metodo semiprobabilistico dei Coefficienti parziali” comparando i valori di progetto degli effetti e quelli delle resistenze, tramite la disequazione:

$$E_d \leq R_d$$

$E_d$  = valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione.

$R_d$  = valore di progetto della resistenza del terreno o capacità portante della fondazione.

Come disposto nelle N. T. C. del 2008, la verifica della resistenza dei terreni di sedime si effettua utilizzando la **Combinazione 2 (A2+M2+R2)** e la **Combinazione 1 (A1+M1+R1)** dell'**Approccio 1**. I coefficienti utilizzati sono riportati nelle tab. 6.2.I, 6.2.II, 6.4.II e 6.4.VI.

Nelle fondazione a pali, le caratteristiche del terreno **M** non vengono ridotte, per cui **M2 = M1**.

#### 10.1.1. CALCOLO DEL VALORE DELLA RESISTENZA DEL TERRENO

##### **Fondazioni profonde su pali**

La valutazione della *resistenza nominale del terreno*  $R_{calc}$  è funzione sia delle caratteristiche di resistenza alla compressione del materiale di cui è costituito, sia delle caratteristiche del terreno circostante. Queste possono essere calcolate con varie metodologie che utilizzano varie formule.

La resistenza del terreno di un palo viene calcolata sommando la portata di base o di punta,  $Q_p$  e la portata laterale dovuta all'attrito laterale terreno-palo  $Q_l$ .

$$R_{calc} = Q_p + Q_l$$

Le portate di base e di attrito laterale vengono calcolate con le seguenti espressioni:

$$Q_p = A_p N_q \sigma'_v$$

$$Q_l = A_l \Sigma L_i \sigma'_v K \tan \delta$$

dove:

$A_p$  = area della base del palo

$N_q$  = fattore di capacità portante

$\sigma'_v$  = pressione verticale efficace alla base del palo

$A_l$  = circonferenza del palo

$L_i$  = lunghezza del palo nello strato considerato

$K$  = coeff. di spinta a riposo

$\delta$  = angolo di attrito palo ed il terreno

### Fondazione superficiale a trave rovescia e plinto

Ai fini della valutazione della resistenza di progetto è stato applicato il metodo di Brinch-Hansen (1970) per il calcolo della resistenza del terreno  $R$ . Il metodo consiste nella risoluzione della formula:

$$R = (c_d N_c s_c d_c i_c g_c b_c + \gamma_d D N_q s_q d_q i_q g_q b_q + 0,5 \gamma_d B N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma g_\gamma b_\gamma)$$

dove:

**Fattori di capacità portante "N"**, coefficienti adimensionali espressi in funzione di  $\phi$ :

$$N_q = e^{\pi \tan \phi} \tan^2 (45 + \phi/2)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi$$

$$N_\gamma = 1,5 (N_q - 1) \tan \phi$$

**Fattori di forma "s"**: dipendono dalle dimensioni  $L$  (lunghezza) e  $B$  (larghezza) della fondazione:

$$s_c' = 0,2 B/L$$

$$s_c = 1 + N_q/N_c B/L$$

$$s_q = 1 + B/L \tan \phi$$

$$s_\gamma = 1 - 0,4 B/L$$

**Fattori di profondità "d"**: sono dipendenti dalla profondità del piano di fondazione  $D$ :

$$d_c' = 0,4 k$$

$$d_c = 1 + 0,4 k$$

$$d_q = 1 + 2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 k$$

$$d_\gamma = 1$$

$k = D/B$  nel caso  $D/B \leq 1$  oppure  $k = \tan^{-1} D/B$  (in rad) se  $D/B > 1$

**Fattori di inclinazione ed eccentricità del carico "i"**: sono dipendenti da  $H$  e  $V$ , componenti rispettivamente orizzontale e verticale del carico, nel caso lo stesso sia inclinato rispetto alla verticale e ad  $A_f$ , area efficace della fondazione, nel caso il carico non sia baricentrico rispetto alla stessa:

$A_f = (L - 2 e_L) (B - 2 e_B)$   $e_L$  corrisponde all'eccentricità del carico rispetto a  $L$  ed  $e_B$  rispetto a  $B$

$$i_c' = 0,5 - 0,5 (1 - H/A_f c'')^{1/2}$$

$$i_c = i_q - (1 - i_q) / (N_q - 1)$$

$$i_q = [1 - (0,5 H / V + A_f c'' \cot \phi)]^5$$

$$i_\gamma' = [1 - (0,7 H / V + A_f c'' \cot \phi)]^5$$

se il piano di fondazione è orizzontale

$$i_\gamma = \{1 - [(0,7 - \eta/450)H / V + A_f c'' \cot \phi]\}^5$$

se il piano di fondazione è inclinato

dove  $\eta$  è l'angolo positivo che il piano di fondazione forma con l'orizzontale e  $c''$  è l'aderenza alla base, pari alla coesione o a una sua frazione propria.

**Fattori di inclinazione del terreno "g"**: sono dipendenti da  $\beta$  che è l'angolo di inclinazione del pendio rispetto all'orizzontale:

$$g_c' = \beta / 147^\circ$$

$$g_c = 1 - \beta / 147^\circ$$

$$gq = g\gamma = (1 - 0,5 \tan \beta)^5$$

**Fattori di inclinazione del piano di fondazione "b":** sono dipendenti da  $\eta$  angolo di inclinazione del piano di fondazione rispetto all'orizzontale:

$$b_c' = \eta / 147^\circ$$

$$b_c = 1 - (\eta / 147^\circ)$$

$$b_q = \exp(-2\eta \tan \varphi)$$

$$b_q = \exp(-2,7\eta \tan \varphi)$$

### 10.1.2. CALCOLO DEL VALORE DI PROGETTO DELLA RESISTENZA DEL TERRENO

#### **Fondazioni profonde su pali**

Il valore della *resistenza caratteristica*  $R_{c,k}$  del terreno è dato dal minore dei valori ottenuti applicando alle resistenze calcolate  $R_{calc}$  i fattori di correlazione  $\xi$  riportati nella tabella 6.4.IV delle NTC 2008, in funzione del numero n di verticali indagate.

$$R_{c,k} = \min \left\{ \frac{(R_{c,calc})_{media}}{\xi_3}, \frac{(R_{c,calc})_{min}}{\xi_4} \right\}$$

Dividendo il valore di  $R_{c,k}$  con il coefficiente parziale  $\gamma_R$  della tabella 6.4.I delle NTC 2008, si ottiene il valore della *resistenza di progetto del terreno*,  $R_d$ :

$$R_d = (R_{c,k, base} / \gamma_R) + (R_{c,k, lat} / \gamma_R)$$

Nel presente studio, appurata la disomogeneità fisico-meccanica dei terreni di sedime, si è deciso a vantaggio della sicurezza, **di trascurare il contributo della resistenza alla base.**

Diametro del palo, <b>D</b> :	0,60 [m]
Area del palo, <b>A<sub>p</sub></b> :	0,283 [mq]
Lunghezza del pali, <b>L<sub>i</sub></b> :	11,00 / 14,00 [m]
Peso di volume di progetto del terreno L1, <b><math>\gamma_D</math></b> :	18,50 [kN/mc]
Angolo di attrito del terreno, <b><math>\varphi_D</math></b> :	30,00 [gradi]
Coesione di progetto del terreno, <b><math>c_D</math></b> :	0,00 [kN/mq]
Fattore di capacità portante, <b>N<sub>q</sub></b> :	22,10 / 20,63
Coefficiente di spinta a riposo, <b>k</b> :	0,50
Profondità del livello di falda dal p.c, <b>Z</b> :	1,60 [m]

Sulla base dei dati sopra elencati e delle equazioni di  $R_{calc}$  e  $R_{c,k}$  viste nei paragrafi precedenti, la resistenza di progetto del terreno  $R_d$ , **considerando solamente la resistenza laterale**, nelle condizioni geologiche riscontrate, sono pari a:

Ponte	Valore resistenza del terreno, $R_{c,k \text{ lat}}$ (KN)	Valore resistenza di progetto, $R_d$ (KN)
1 / 3	234,00	161,38
2	355,40	245,10

Valori di  $R_{c,k}$  e di  $R_d$  nell'approccio 1 combinazione 2.

Ponte	Valore resistenza del terreno, $R_{c,k \text{ lat}}$ (KN)	Valore resistenza di progetto, $R_d$ (KN)
1 / 3	234,00	234,00
2	355,40	355,40

Valori di  $R_{c,k}$  e di  $R_d$  nell'approccio 1 combinazione 1.

### Fondazioni superficiali a trave rovescia e plinto

Risolvendo l'equazione di Brinch-Hansen, sulla base dei dati esposti di seguito, si è calcolato il valore della **resistenza del terreno, R**, su cui applicando il coefficiente parziale  $\gamma_R$ , tabella 6.4.I delle NTC 2008, si ottiene il valore della **resistenza di progetto del terreno, R<sub>d</sub>**.

Lato della fondazione plinto, <b>B=L</b>	2,50 [m]
Lato minore della fondazione trave rovescia, <b>B</b> :	0,40 [m]
Lato maggiore della fondazione trave rovescia, <b>L</b> :	>12,00 [m]
Profondità del piano di posa della fondazione, <b>D</b> :	0,50 [m]
Peso di volume di progetto del terreno, $\gamma_p$ :	18,50 [kN/mc]
Angolo di attrito del terreno, $\varphi$ :	30,00/24,00 [gradi]
Profondità del livello di falda dal piano di fondazione, <b>Z</b> :	1,60 [m]

Sulla base dei dati sopra elencati, si può affermare che la resistenza di progetto del terreno R<sub>d</sub>, nelle condizioni geologiche riscontrate è pari a:

Pensilina	Valore resistenza del terreno, R (kg/cmq)	Valore resistenza di progetto, R <sub>d</sub> (kg/cmq)
Tipologia 1 Servizi stazione di partenza	13,82	7,68
Tipologia 2 Albero fotovoltaico	0,83	0,46
Tipologia 3 Pensilina attesa autobus	13,82	7,68
Tipologia 4 Spazio gioco stazione di partenza		
Tipologia 6 Punto info stazione di arrivo		
Tipologia 7 Punto servizi stazione di arrivo		

Valori di R e di R<sub>d</sub> nell'approccio 1 combinazione 2.

Pensilina	Valore resistenza del terreno, R (kg/cmq)	Valore resistenza di progetto, R <sub>d</sub> (kg/cmq)
Tipologia 1 Servizi stazione di partenza	27,63	27,63
Tipologia 2 Albero fotovoltaico	2,16	2,16
Tipologia 3 Pensilina attesa autobus	27,63	27,63
Tipologia 4 Spazio gioco stazione di partenza		
Tipologia 6 Punto info stazione di arrivo		
Tipologia 7 Punto servizi stazione di arrivo		

Valori di R e di R<sub>d</sub> nell'approccio 1 combinazione 1.

#### 10.1.3. CALCOLO DEL VALORE DI PROGETTO DELLA PRESSIONE SUL TERRENO

La pressione sul terreno prodotta dalle azioni della strutture, sono calcolate con la seguente combinazione statica:

$$\gamma_{G1} \times G_1 + \gamma_{G2} \times G_2 + \gamma_P \times P + \gamma_{Q1} \times Q_{k1} + \gamma_{Q2} \times \psi_{02} \times Q_{k2} + \gamma_{Q3} \times \psi_{03} \times Q_{k3} + \dots = E_d$$

dove:

- G<sub>1</sub>** = carichi permanenti strutturali sfavorevoli
- G<sub>2</sub>** = carichi permanenti non strutturali sfavorevoli
- P** = pretensione o precompressione
- Q<sub>k1</sub>** = azione variabile principale sfavorevole
- Q<sub>k2-j</sub>** = azioni variabili secondarie sfavorevole
- γ e ψ** = coefficienti parziali tab. 2.5 NTC

I dati forniti dal progettista riguardanti le azioni sul terreno esercitati dalle nuove costruzioni che si prevede di edificare, sono i seguenti:

Ponte / Pensilina	Lunghezza palo $L_i$ (m)	Interasse pali (m)	$G_1$	$Q_k$
1 / 3	11,00	da 2.00 a 2.80	104 KN	29 KN
2	14,00	da 2.00 a 2.80	190 KN	39 KN
Tipologia 2	Plinto		0,05 kg/cmq	0,012 kg/cmq
Tipologie 1-3-4-6-7	Trave rovescia		0,015 kg/cmq	0,01 kg/cmq

In

base

ai dati sopracitati, risolvendo la combinazione fondamentale statica, si evince che i valori di progetto della pressione sul terreno sono di:

Ponte / Pensilina	Approccio e Combinazione	Valore di progetto della pressione sul terreno, $E_d$
1 / 3	(A2 + M1 + R2)	141,70 KN
	(A1 + M1 + R1)	178,70 KN
2	(A2 + M1 + R2)	204,70 KN
	(A1 + M1 + R1)	305,50 KN
Tipologia 2	(A2 + M2 + R2)	0,067 kg/cmq
	(A1 + M1 + R1)	0,075 kg/cmq
Tipologie 1-3-4-6-7	(A2 + M2 + R2)	0,037 kg/cmq
	(A1 + M1 + R1)	0,044 kg/cmq

*Verifica agli SLU con l'approccio 1 combinazione 2 e combinazione 1.*

In base ai valori di  $E_d$  ed  $R_d$  ottenuti nei calcoli, le disequazioni  $E_d \leq R_d$ , risultano verificate in entrambe le combinazioni:

Ponte / Pensilina	Approccio e Combinazione	Disequazione di verifica $E_d \leq R_d$	
1 / 3	(A2 + M1 + R2)	$141,70 \leq 161,38$	<b>verificata</b>
	(A1 + M1 + R1)	$178,70 \leq 234,00$	<b>verificata</b>
2	(A2 + M1 + R2)	$204,70 \leq 245,10$	<b>verificata</b>
	(A1 + M1 + R1)	$305,50 \leq 355,40$	<b>verificata</b>
Tipologia 2	(A2 + M2 + R2)	$0,067 \leq 0,46$	<b>verificata</b>
	(A1 + M1 + R1)	$0,075 \leq 2,16$	<b>verificata</b>
Tipologie 1-3-4-6-7	(A2 + M2 + R2)	$0,037 \leq 7,68$	<b>verificata</b>
	(A1 + M1 + R1)	$0,044 \leq 27,63$	<b>verificata</b>

*Verifica agli SLU con l'approccio 1 combinazione 2 e combinazione 1.*

***I risultati conseguiti nel presente studio per ogni volume significativo, soddisfano la disequazione di verifica; però, a causa della disomogeneità dei terreni di sedime e delle caratteristiche fisico meccaniche dei vari corpi sedimentari, si rimanda alla relazione esecutiva supportata dalle indagini geognostiche, per le verifiche conclusive sul sistema fondazione/substrato di ogni manufatto.***

## 10.2. VERIFICA DI SICUREZZA AGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO, *SLE*

Nella verifica degli stati limite in condizioni di esercizio, *SLE*, dev'essere verificata l'entità dei cedimenti dei terreni di sedime sotto il carico massimo prescritto, rispetto al cedimento massimo consentito dal progettista, secondo la condizione:

$$E_d \leq C_d$$

dove:

$E_d$  = valore di progetto dell'effetto delle azioni (cedimento calcolato).

$C_d$  = valore limite prescritto dell'effetto delle azioni (cedimento massimo).

Gli stati limite di esercizio si riferiscono al raggiungimento del valore critico dei cedimenti che possono compromettere la funzionalità dell'opera. Il loro calcolo si esegue con la *combinazione di esercizio caratteristica rara*, attraverso il metodo edometrico:

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \times Q_{k2} + \psi_{03} \times Q_{k3} + \dots = E_d$$

dove:

$G_1$  = carichi permanenti strutturali sfavorevoli

$G_2$  = carichi permanenti non strutturali sfavorevoli

$P$  = pretensione o precompressione

$Q_{k1}$  = azione variabile principale

$Q_{k2-j}$  = azioni variabili secondarie

$\gamma$  e  $\psi$  = coefficienti parziali tab. 2.5 NTC

Il valore del cedimento massimo prescritto per l'effetto delle azioni  $C_d$ , prescritto dal progettista, non deve superare i 4 cm. Dai calcoli in combinazione rara, si ricava che i cedimenti massimi dello strato rappresentativo, stimati in corrispondenza del punto di pressione più elevata sono pari a:

Ponte / Pensilina	Cedimento $C_d$ (mm)		Diseguazione di verifica $E_d \leq C_d$ (mm)	
1 - 3	<i>Palo singolo</i>	0,89	$0,89 \leq 40,00$	<b>verificata</b>
	<i>Palificata</i>	2,21	$2,21 \leq 40,00$	<b>verificata</b>
2	<i>Palo singolo</i>	1,27	$1,27 \leq 40,00$	<b>verificata</b>
	<i>Palificata</i>	3,67	$3,67 \leq 40,00$	<b>verificata</b>
Tipologia 2	<i>Plinto</i>	8,67	$8,67 \leq 40,00$	<b>verificata</b>
Tipologie 1-3-4-6-7	<i>Trave rovescia</i>	9,19	$9,19 \leq 40,00$	<b>verificata</b>

In merito ai manufatti da edificare su fondazione superficiale, al fine di limitare gli effetti imputabili ai cedimenti differenziali correlati alle caratteristiche disomogenee dei terreni di sedime ed al possibile scadimento delle loro qualità a causa delle infiltrazioni d'acqua meteorica o marina, si ritiene importante irrigidire opportunamente le fondazioni, le cui dimensioni e profondità di posa, non devono essere inferiori a quelle utilizzate nei calcoli.

## 11. CONCLUSIONI

Il presente studio ha permesso di evidenziare quanto segue:

- L'area sulla quale insisteranno le opere in progetto, si estende dall'abitato del Comune di Sant'Anna Arresi a Portopino e ricade nella piana costiera di S. Anna Arresi, delimitata a nord, est ed ovest da una serie di basse colline che fanno da raccordo con i rilievi del Sulcis e degrada con debole pendenza verso la linea di costa a sud.
- Dal punto di vista geologico, l'area si colloca nella pianura costiera tra il centro urbano di S. A. Arresi e la costa di Porto Pino. È caratterizzata da un andamento topografico sub-pianeggiante, in cui affiora una copertura sedimentaria continentale quaternaria, che poggia in discordanza stratigrafica sul basamento paleozoico o sulle formazioni messesi in posto nel mesozoico e cenozoico. Nella quasi totalità dell'area, il substrato cristallino affiorante è rappresentato dalla sequenza metarenacea e metasiltitica della Formazione di Cabitza, dai leucograniti e dai leucosienograniti dell'Unità Intrusiva di Villacidro e da un lembo di calcari micritici massivi della Formazione di S. Giovanni. In discordanza stratigrafica sul basamento è presente la sequenza sedimentaria continentale-transizionale del Miliolitico Auct., Paleocene-Eocene, sormontata dalla Formazione del Cixerri del Eocene medio-Oligocene. Nelle aree pianeggianti sulle quali si estende il percorso in progetto, il substrato affiorante è ascrivibile esclusivamente al Sintema di Portovesme, PVM. Alla base degli alti morfologici il sintema è rappresentato da coltri detritiche di versante in brecce e sabbie a granulometria variabile con una matrice limosa. Lungo la costa sono presenti le Alluvioni Terrazzate costituite da un'alternanza di lenti con estensione e spessore variabile a giacitura sub-orizzontale, generalmente in eteropia di facies. Questi sedimenti nella parte della pianura prossimale alla costa si trovano in eteropia di facies con le Alluvioni Terrazzate. Nell'area sono presenti faglie di importanza regionale ed altre ad esse associate, generatesi durante i movimenti tettonici plio-quaternari relativi al graben del Golfo di Palmas, talvolta non visibili a causa della copertura quaternaria e del suolo.
- Dall'esame della carta del Piano Stralcio Fasce Fluviali, della pericolosità idraulica e della pericolosità geologica del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico della Regione Sardegna, si evince che il lotto in esame non ricade in alcuna delle aree delimitate nel P.A.I. vigente.
- I lavori in progetto prevedono la **“realizzazione di una pista ciclabile da Sant'Anna Arresi a Portopino**
- Per quanto riguarda lo studio del *modello geotecnico* e la classificazione meccanica e fisica dei terreni di fondazione, non avendo dati relativi ad indagini geotecniche, in quanto andranno effettuate in sede di progetto esecutivo, per le *verifiche di sicurezza agli stati limite ultimi (SLU)* e agli *stati limite di esercizio (SLE)*, si sono utilizzati dati di bibliografia o i risultati di prove geognostiche effettuate su terreni simili in aree limitrofe.
- Le caratteristiche geometriche dell'opera e le relative particolarità progettuali, sono state fornite dalla committenza attraverso le planimetrie e le sezioni. In relazione al tipo di substrato, sono

state stabilite le fondazioni più idonee e le relative dimensioni per ogni manufatto; per i ponti sono rappresentate dalla tipologia **su pali** in *c/s* armato,  $\phi = 0,60$  m e lunghezza  $L = 11 - 14$  m, per le pensiline delle varie stazioni, dalla tipologia **a trave rovescia**, lunghezza  $L > 12$  m, larghezza  $B = 0,40$  m ed una profondità di posa  $D = 0,50$  m mentre per “*l’Albero fotovoltaico*”, la fondazione sarà del tipo **a plinto** con dimensioni  $2,50 \times 2,50$  m con profondità del piano di posa  $D = 0,50$  m.

- La verifica della sicurezza nei confronti degli stati limite ultimi, SLU, che compara i valori di progetto dell’azione o dell’effetto dell’azione  $E_d$  e della resistenza del terreno o capacità portante dei terreni  $R_d$ , è stata conseguita con il “*Metodo semiprobabilistico dei Coefficienti parziali*” tramite la disequazione:

$$E_d \leq R_d$$

- Secondo le disposizioni delle Norme Tecniche per le Costruzioni del 14.01.2008, la verifica della resistenza del terreno e il relativo controllo, sono state effettuate rispettivamente la **Combinazione 2 (A2+M2+R2)** e con la **Combinazione 1, (A1+M1+R1)** dell’**Approccio 1**.
- In base ai valori di  $E_d$  ed  $R_d$  ottenuti nei calcoli, le disequazioni  $E_d \leq R_d$ , risultano verificate:

Ponte / Pensilina	Approccio e Combinazione	Disequazione di verifica $E_d \leq R_d$	
1 / 3	(A2 + M1 + R2)	$141,70 \leq 161,38$	<b>verificata</b>
	(A1 + M1 + R1)	$178,70 \leq 234,00$	<b>verificata</b>
2	(A2 + M1 + R2)	$204,70 \leq 245,10$	<b>verificata</b>
	(A1 + M1 + R1)	$305,50 \leq 355,40$	<b>verificata</b>
Tipologia 2	(A2 + M2 + R2)	$0,067 \leq 0,46$	<b>verificata</b>
	(A1 + M1 + R1)	$0,075 \leq 2,16$	<b>verificata</b>
Tipologie 1-3-4-6-7	(A2 + M2 + R2)	$0,037 \leq 7,68$	<b>verificata</b>
	(A1 + M1 + R1)	$0,044 \leq 27,63$	<b>verificata</b>

*Verifica agli SLU con l’approccio 1 combinazione 2 e combinazione 1.*

- Nella verifica degli *stati limite in condizioni di esercizio*, **SLE**, deve essere verificata l’entità dei cedimenti dei terreni di sedime sotto il carico massimo consentito, rispetto a quelli prescritti dal progettista, secondo la condizione:

$$E_d \leq C_d$$

Nel caso specifico, il valore del cedimento massimo prescritto per l’effetto delle azioni valutato dal progettista,  $C_d$ , non deve superare i 4 cm. Dai calcoli si evince che i cedimenti dello strato testato in corrispondenza del punto di pressione massima della fondazione, sono pari a:

Ponte / Pensilina	Cedimento $C_d$ (mm)		Diseguazione di verifica $E_d \leq C_d$ (mm)	
1 - 3	<i>Palo singolo</i>	0,89	$0,89 \leq 40,00$	<b>verificata</b>
	<i>Palificata</i>	2,21	$2,21 \leq 40,00$	<b>verificata</b>
2	<i>Palo singolo</i>	1,27	$1,27 \leq 40,00$	<b>verificata</b>
	<i>Palificata</i>	3,67	$3,67 \leq 40,00$	<b>verificata</b>
Tipologia 2	<i>Plinto</i>	8,67	$8,67 \leq 40,00$	<b>verificata</b>
Tipologie 1-3-4-6-7	<i>Trave rovescia</i>	9,19	$9,19 \leq 40,00$	<b>verificata</b>

- In merito ai manufatti da edificare, al fine di limitare gli effetti imputabili ai cedimenti differenziali correlati alle caratteristiche disomogenee dei terreni di sedime ed al possibile scadimento delle loro qualità a causa delle infiltrazioni d'acqua meteorica o marina, si ritiene importante irrigidire opportunamente le fondazione le cui dimensioni e profondità di posa, non devono essere inferiori a quelle utilizzate nei calcoli.
- Per quanto riguarda la caratterizzazione sismica del sito, si può ritenere che la bassa sismicità locale esclude l'instaurarsi di eventi in grado di provocare danni alle strutture che ne compromettano la funzionalità.

Donori, giugno 2016

I Tecnici  
Dott. Geol. Giovanni A. Atzeni  
Dott. Geol. Massimo Trogu