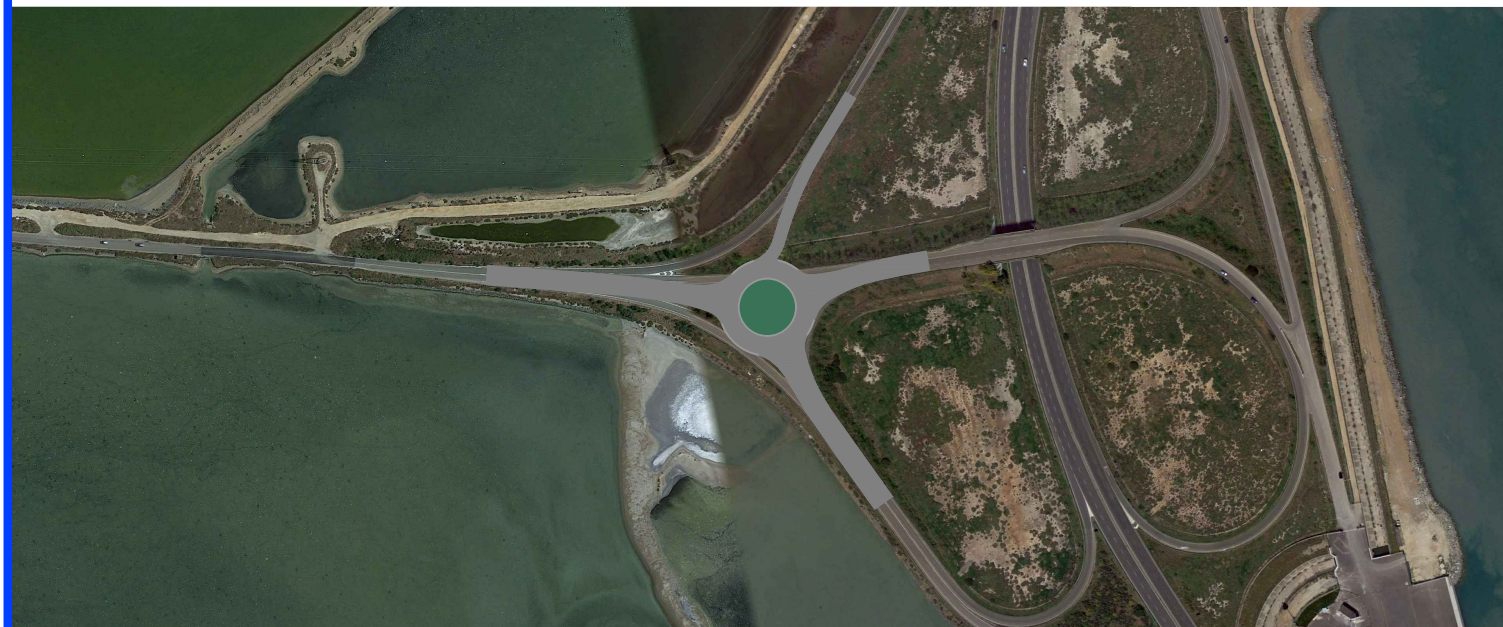


Autorità di Sistema Portuale
del Mare di Sardegna



Consorzio Industriale Provinciale
Cagliari



**REALIZZAZIONE DELLA ROTATORIA DI COMPLETAMENTO DELLA
VIABILITÀ DI RACCORDO DELLA BANCHINA POLIFUNZIONALE DEL
PORTO CANALE DI CAGLIARI CON LA S.S. 195 E LA S.P. 92
CUP B21B22001310005**

PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE GEOTECNICA

ALLEGATO

A2

Progettazione
UFFICIO TECNICO CACIP

Progettista
Ing. Vasco Ciuti

Collaboratori:
Ing. Matteo Bordignon
Ing. Franco Serra
Geom. Ezechiele Mameli
Geom. Luigi Dessi

Coord. Sicurezza
in fase di progettazione
Ing. Matteo Bordignon

Data

OTTOBRE 2020

Agg. REV. 01

LUGLIO 2022

Agg. REV. 02

GENNAIO 2023

Committente

AUTORITA' DEL SISTEMA PORTUALE DEL MARE DI SARDEGNA
Molo Dogana, 09123 - CAGLIARI

R.U.P.

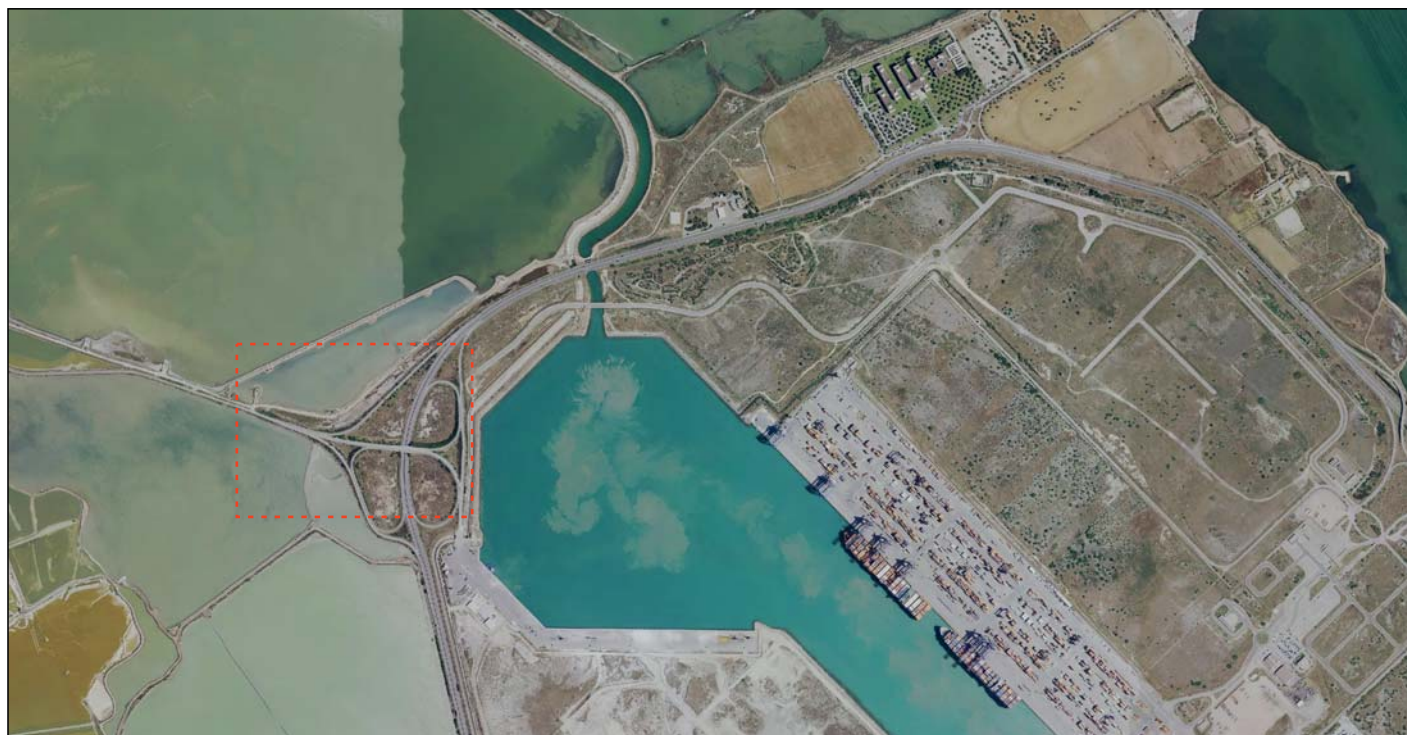
Ing. Alessandro BOGGIO



AUTORITÀ DI SISTEMA PORTUALE DEL MARE DI SARDEGNA

**REALIZZAZIONE DELLA ROTATORIA DI COMPLETAMENTO DELLA VIABILITÀ DI
RACCORDO DELLA BANCHINA POLIFUNZIONALE DEL PORTO CANALE DI CAGLIARI
CON LA S.S. 195 E LA S.P. 92.
CUP B21B22001310005 – CIG Z49376C4E6**

RELAZIONE GEOTECNICA



IL GEOLOGO



DOTT. GEOL. ALESSIO SODDE

Via L. Ariosto 9
08040 Ilbono (Nu)
Tel. 3881851787
alessiosodde81@gmail.com

IL COMMITTENTE

AUTORITÀ DEL SISTEMA PORTUALE DEL MARE DI SARDEGNA

Molo Dogana, 09123 Cagliari

IL RUP

ING. ALESSANDRO BOGGIO

| Revisioni | | |
|------------|--------|-----------------|
| Data | Numero | Descrizione |
| 23.12.2022 | 00 | Prima emissione |



INDICE

| | | |
|-----|---|----|
| 1 | PREMESSA | 1 |
| 1.1 | LOCALIZZAZIONE GEOGRAFICA DELL'INTERVENTO | 2 |
| 1.2 | DESCRIZIONE DEL PROGETTO | 7 |
| 2 | MODELLAZIONE GEOTECNICA DEL SITO | 9 |
| 3 | CONCLUSIONI | 14 |

APPENDICE 1 – CERTIFICATI PROVE DI LABORATORIO

ALLEGATO 1 – SEZIONE GEOLOGICA GEOTECNICA S1-S2 IN FORMATO DWF



1 PREMESSA

La presente **RELAZIONE GEOTECNICA** integra e completa lo studio geologico illustrato nella **RELAZIONE GEOLOGICA** e si pone l'obiettivo di ricostruire il modello geotecnico del volume significativo del terreno di sedime su cui si prevede la *“Realizzazione della rotatoria di completamento della viabilità di raccordo della banchina polifunzionale del Porto canale di Cagliari con la S.S. 195 e la S.P. 9”*.

Il modello geotecnico esposto in questa sede si basa sui risultati della campagna geognostica eseguita sotto la direzione dello scrivente nel mese di novembre 2022, esplicitasi nella realizzazione di sondaggi e pozzetti geognostici, prove in situ di tipo SPT e prove geotecniche di laboratorio oltre ad una prova sismica di superficie MASW.

In particolare la presente si propone di sviluppare le seguenti tematiche:

- Inquadramento dell'intervento e descrizione del progetto;
- interpretazione delle prove in situ e laboratorio;
- definizione dell'assetto litotecnico e caratterizzazione geotecnica dei terreni;
- analisi delle criticità e suggerimenti progettuali.



1.1 LOCALIZZAZIONE GEOGRAFICA DELL'INTERVENTO

L'area di intervento si trova lungo la viabilità di collegamento tra la zona industriale Macchiareddu (Strada Ex Contivecchi) ad ovest, la Strada Statale n.195 e la banchina polifunzionale del Porto Canale di Cagliari ad ovest.

Tale areale è ricompreso nelle seguenti tavole cartografiche:

- ⇒ Carta topografica I.G.M.I. in scala 1:25.000 n° 557-III "Cagliari";
- ⇒ Carta topografica C.T.R. in scala 1:10.000 n° 557130 "Macchiareddu".

Le coordinate geografiche e quelle chilometriche Gauss Boaga che identificano l'area di intervento risultano:

- 39°13'9.99"N - 9° 3'8.70"E
- 1504549 E - 4341125 N



Figura 1.1: Inquadramento dell'intervento su foto aerea e immagine tratte da Google Earth

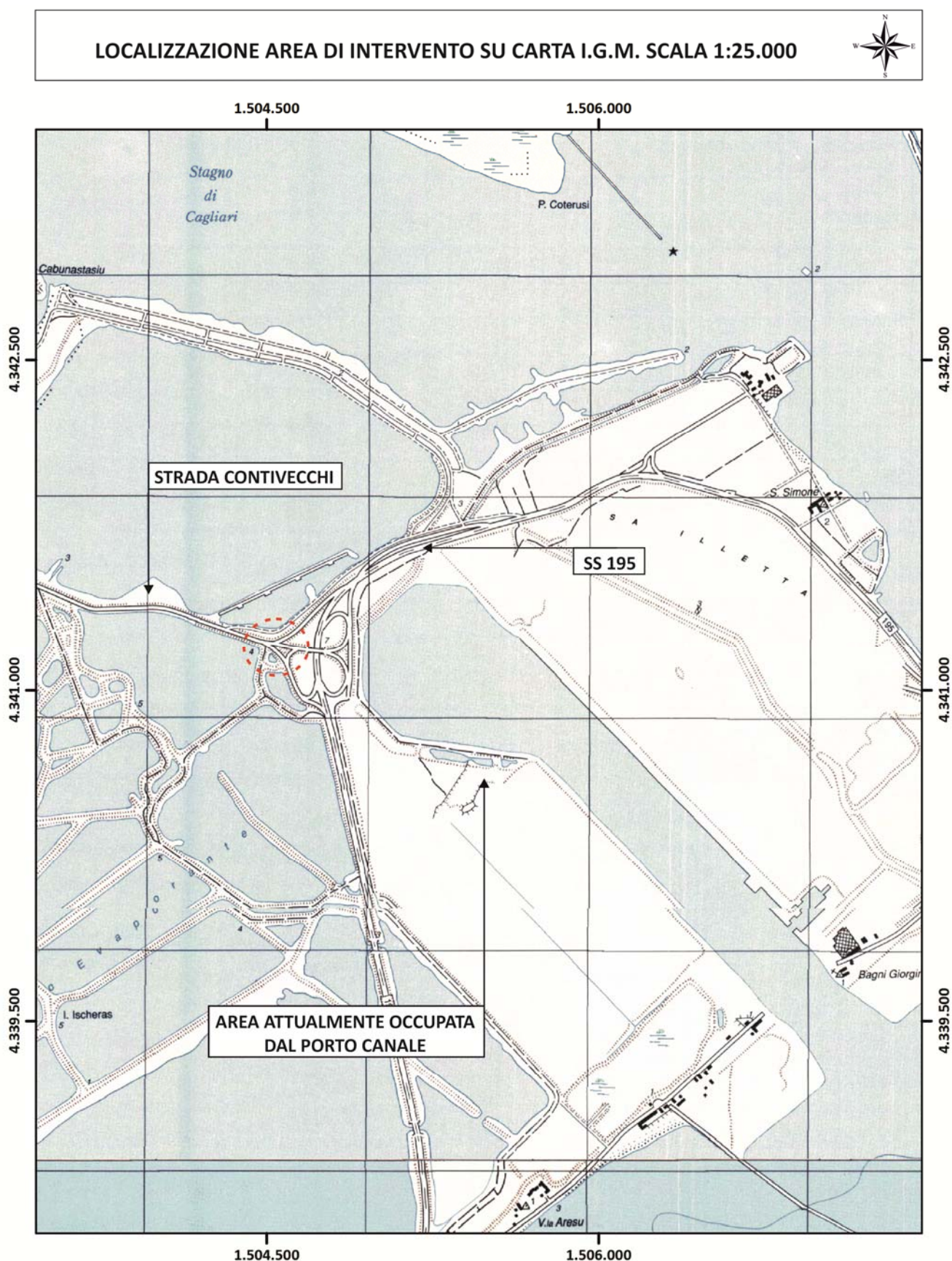


Figura 1.2: Inquadratura topografica dell'area di intervento (TRATTEGGIO ROSSO su carta IGM (scala 1:25.000))



**LOCALIZZAZIONE AREA DI INTERVENTO SU NUOVA CTR (GDB 2020 10 K)
FOGLIO 557130 MACCHAIREDU**

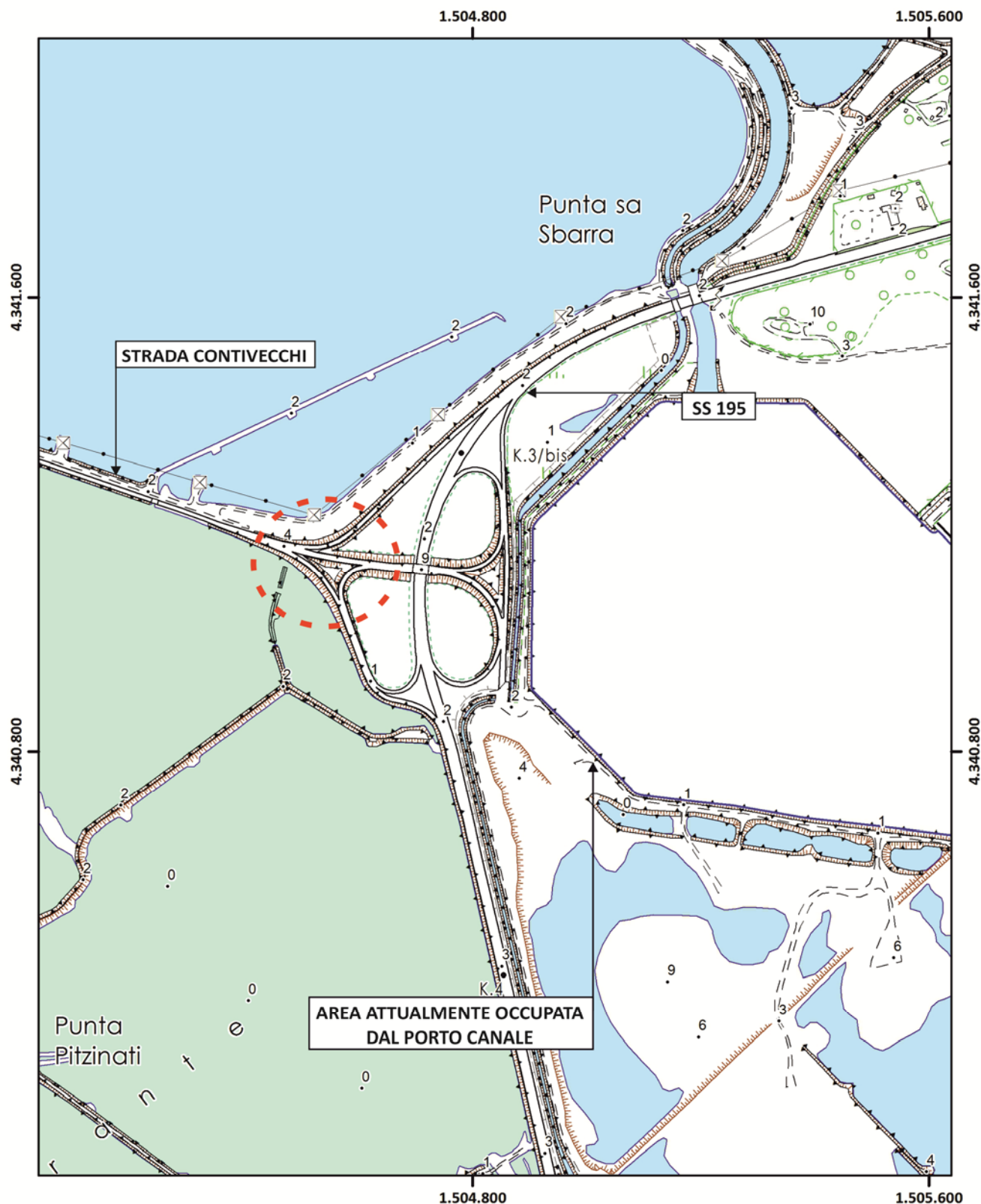


Figura 1.3: Inquadramento topografico dell'area di intervento su GDB2020



LOCALIZZAZIONE AREA DI INTERVENTO SU FOTO AEREA ANNO 2019



Figura 1.4: Inquadramento dell'area di intervento su foto aerea anno 2019



**LOCALIZZAZIONE AREA DI INTERVENTO SU OMBREGGIATURA DEL RILEVO
TRATTA DAL LIDAR CON PASSO 1 m**

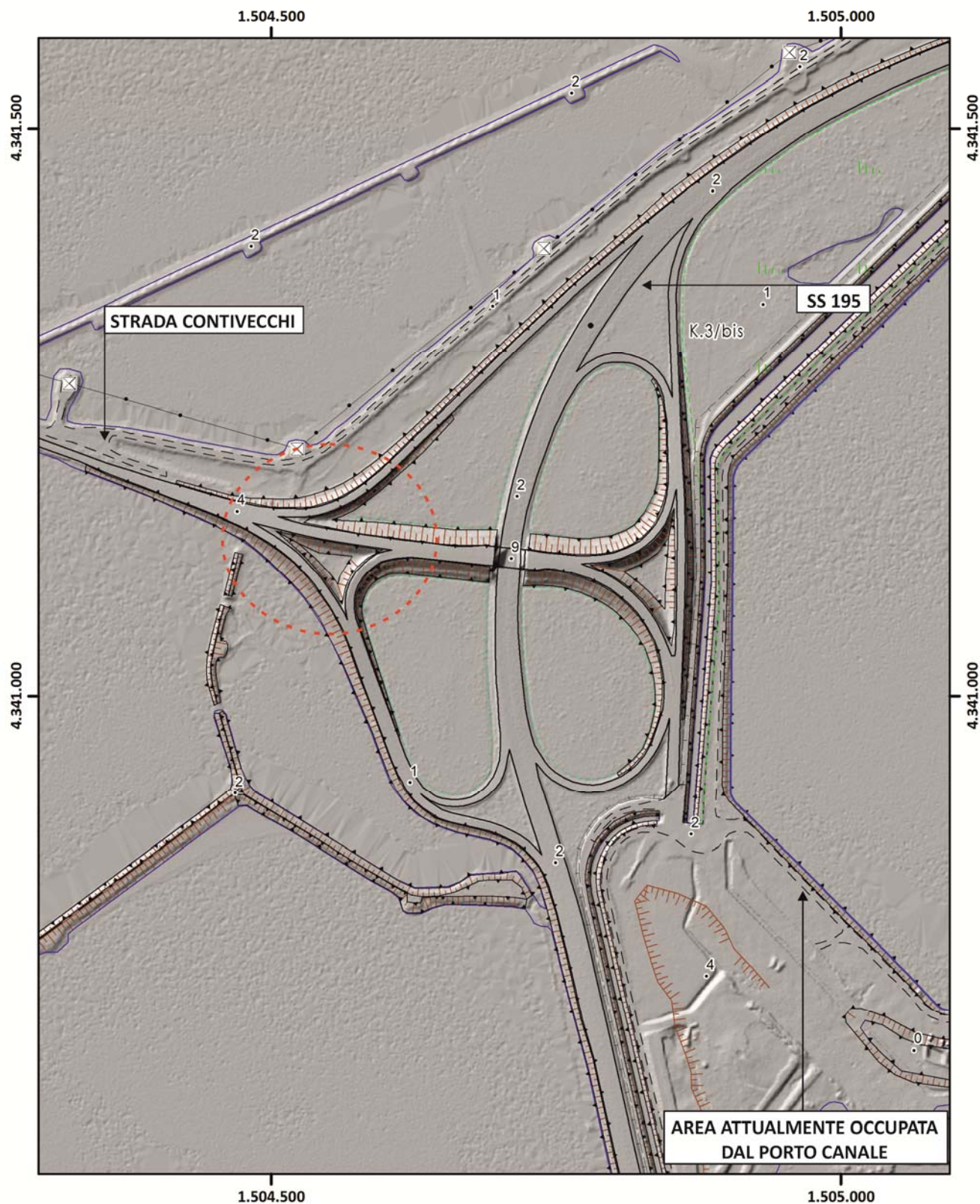


Figura 1.5: Inquadramento di intervento su ombreggiatura del rilievo, elaborata su base lidar



1.2 DESCRIZIONE DEL PROGETTO

Secondo quanto riportato nella Relazione Tecnica, *l'intervento in progetto prevede la realizzazione di una **rotatoria** nell'attuale svincolo gestito dall'Anas che consente le seguenti direzioni:*

- *bretella di accesso SS.195 – strada Ex Contivecchi;*
- *bretella di uscita da strada Ex Contivecchi – SS.195 direzione Pula;*
- *Rampa principale viadotto sulla SS195;*

Come si evince, data l'assenza del quarto petalo del quadrifoglio, è impossibilitato il collegamento tra il molo di ponente verso la direzione di Pula / Capoterra.

Pertanto tenuto conto del traffico pesante e di quello straordinario che ipoteticamente potrà essere veicolato sulla rotonda, si è progettata la stessa con un raggio esterno di 27 metri lineari, raggio interno di 17 metri lineari e larghezza della carreggiata di 11 metri lineari di cui 8 metri di corsia e banchine che sia in destra che sinistra di metri 1,50 ciascuna. Sulla rotatoria si innestano:

- **Raccordo 1** in entrata ed in uscita, questo raccordo è formato da un tratto di raccordo esistente che consentirà l'ingresso dei veicoli verso Macchiareddu e l'uscita dei veicoli verso Cagliari/Pula/Porto.
- **Raccordo 2** entrata, anche questo sfrutta un tratto di collegamento con la SS 195 esistente direzione verso Macchiareddu;
- **Raccordo 3** in entrata ed in uscita, che consente il collegamento verso il porto e/o Cagliari;
- **Raccordo 4** in entrata e uscita, che consentirà il collegamento in uscita verso Pula e SS195 e l'ingresso verso Macchiareddu/Porto/Cagliari.

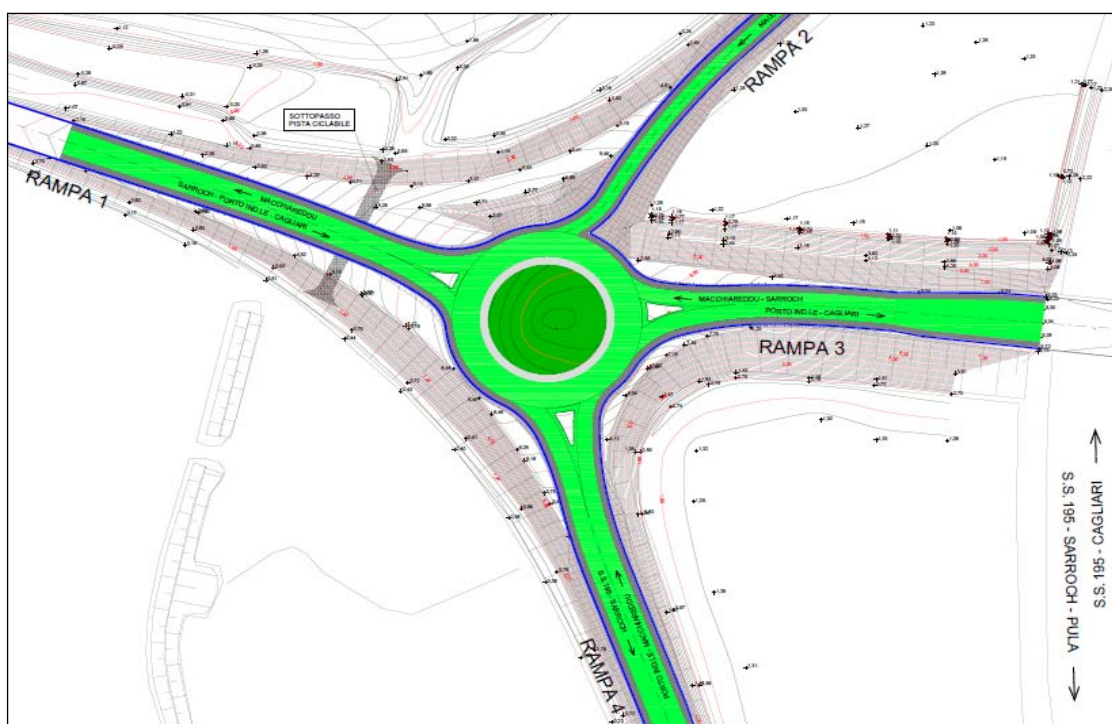


Figura 1.6: Stato di progetto estratto dalla Tavola 4.2 del Progetto Definitivo

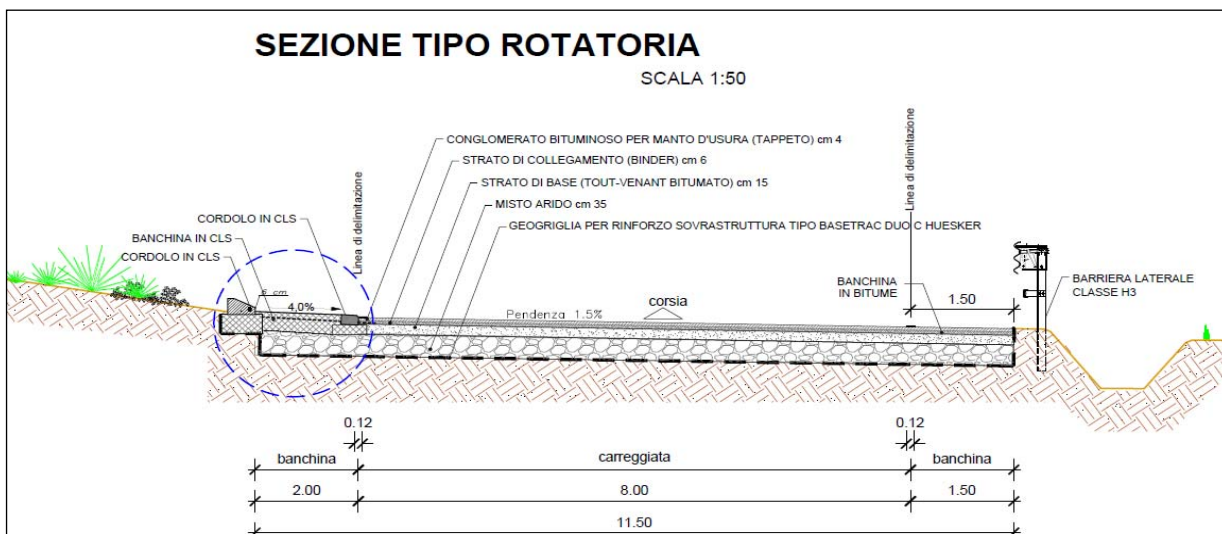


Figura 1.7: Sezione tipo della rotatoria tratta dalla Tavola 5 del Progetto Definitivo

Oltre alla rotatoria si prevede di realizzare un nuovo **sottopasso ciclabile** nel tratto RAMPA 1 - ingresso dei veicoli verso Macchiareddu e uscita dei veicoli verso Cagliari/Pula/Porto, delle dimensioni di 33.75 ml con larghezza 4.00 m ed altezza 3.07 m

Questo scatolare verrà realizzato con un muro di sostegno prefabbricato in c.a. vibrato serie MEDIA, dotato di marcatura "CE" ai sensi del D.M. 17/01/2018, costituito da un pannello verticale, oppure inclinato (max 15%), realizzato in calcestruzzo di classe di resistenza C35/45 MPa e acciaio B450C.

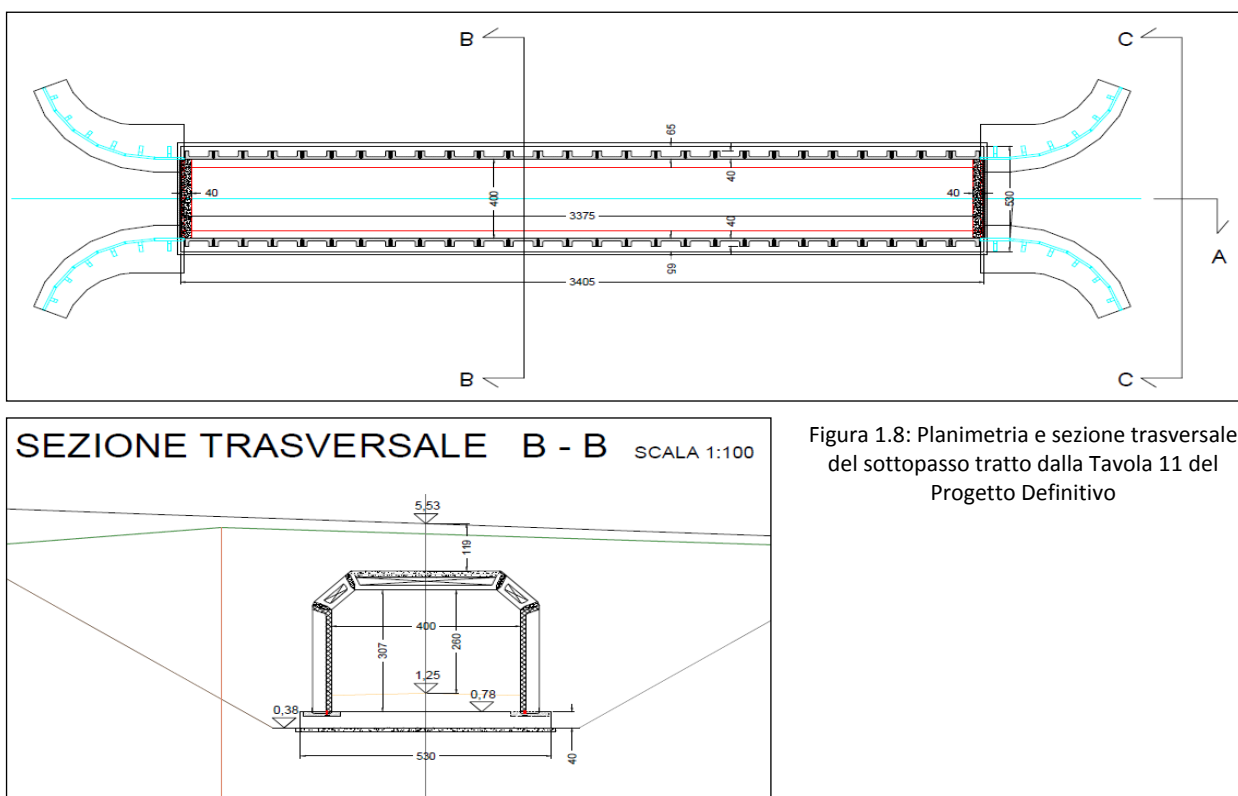


Figura 1.8: Planimetria e sezione trasversale del sottopasso tratto dalla Tavola 11 del Progetto Definitivo



2 MODELLAZIONE GEOTECNICA DEL SITO

Alla luce dei riscontri ottenuti dall'analisi delle prove di laboratorio e delle prove in situ, **il modello geotecnico del sottosuolo** prevede la presenza di **due differenti strati, Strato A (sovrastuttura stradale e rilevato) e Strato B** in cui sono stati **accorpati** i due strati distinti invece nella Relazione Geologica, ovvero **Strato B1 - Ghiaie e Sabbie Alluvionali** e **Strato B2 - Sabbie litorali**, che mostrano un comportamento geotecnico simile.

Pertanto a partire dallo strato più recente fino al più antico si rinviene la seguente successione litotecnica:

- **STRATO A** **SOVRASTRUTTURA STRADALE E RILEVATO**
- **STRATO B** **SABBIE GHIAIOSE ALLUVIONALI E SABBIE LITORALI**

STRATO A – SOVRASTRUTTURA STRADALE E TERRE DEL RILEVATO STRADALE

Sondaggi - Tetto: -0,50 m – Letto: -5,95 ÷ - 6,40 m. Spessore \approx 6,0

Pozzetti - Tetto: -0,00 m – Letto: -1,40 ÷ - 1,50 m. Spessore \approx 1,5

Dal punto di vista geotecnico i due strati A1 e A2 distinti nella Rel. Geologica sono stati accorpati. Si tratta di sabbie con ghiaia in matrice limosa, ad elementi del basamento paleozoico (granitoidi e metamorfiti), che formano le terre del rilevato stradale (Strato A2) sormontate da uno spessore di 50 cm di sovrastuttura stradale (Ghiaie sabbiose e circa 20 cm di pavimentazione (usura, binder e base). Per caratterizzare lo strato dal punto di vista meccanico è stata effettuata una prova SPT nel sondaggio S2 alla quota di -1,0 m che ha fornito il seguente numero di colpi **$N1+N2+N3 = 19+37+34$, ovvero $N_{SPT} = 71$ colpi** da cui risulta un terreno “molto addensato”.

Sono stati inoltre prelevati due campioni di terreno da sottoporre a prove di laboratorio; il primo campione, **S1C1, alla profondità compresa tra -0,6÷-1,0 m** sottoposto a Classificazione delle Terre e Taglio Diretto C.D, ed un secondo campione **S2C1 alla profondità compresa tra -0,8÷-2,0 m** sottoposto a prova CBR.

L'**Analisi Granulometrica** eseguita ha evidenziato la seguente composizione: Ghiaia 37,2%, Sabbia 39,5%, Limo -Argilla 23,3%, permettendo di assegnare per la Classificazione UNI EN 11531-1 la **Classe A2-4**, indicativa di Sabbie e ghiaie limose o argillose.

I **Limiti di Atterberg** hanno fornito un valore di Limite Liquido **$LL=23$** , Limite Plastico **$LP = 16$** , Indice Plastico **$I_p = 7$** (debolmente plastico) ed Indice di Gruppo **$I_g = 0$** .

La prova di taglio ha fornito come angolo di resistenza al taglio il valore di **$\phi'=25,2^\circ$** , come coesione drenata il valore di **$c' = 13,1$ kPa** e peso specifico naturale **$\gamma_n = 1,80$ g/cm³**.



La prova CBR ha restituito i seguenti risultati:

- ✓ Densità secca $\gamma_d = 2,00 \text{ g/cm}^3$
- ✓ Indice di portanza CBR – immediato a 2,5 mm = 35%
- ✓ Indice di portanza CBR – immediato a 5,0 mm = 32%

Analizzando i dati esposti si possono esprimere le seguenti considerazioni:

- il valore di N SPT risulta molto elevato ed è probabile che sia sovrastimato a causa della presenza di materiale molto grossolano che porta ad un incremento del numero dei colpi;
- viceversa il valore di angolo di resistenza al taglio ottenuto mediante la prova di taglio a giudizio dello scrivente appare sottostimato rispetto alle caratteristiche granulometriche del materiale (si consideri che la prova viene eseguita sulla frazione con $\phi < 2 \text{ cm}$)

Pertanto, considerando i risultati delle prove, l'andamento delle perforazioni, e quanto su esposto, a questo strato può essere attribuita la seguente parametrizzazione:

| STRATO A – TERRE DEL RILEVATO STRADALE | |
|--|---|
| Spessore 1,5 m ÷ 6,5 m | |
| PESO SPECIFICO NATURALE | $\gamma_n = 18,0 \div 20,0 \text{ kN/m}^3$ |
| PESO SPECIFICO IMMERSO | $\gamma' = 0,8 \div 1,0 \text{ kN/m}^3$ |
| ANGOLO DI RESISTENZA AL TAGLIO | $\varphi = 30^\circ$ |
| COESIONE DRENATA | $c' = 0,10 \div 0,15 \text{ daN/cm}^2$ |
| MODULO ELASTICO (Su base SPT - D'Appolonia) | $E_{EL} = 700 \text{ daN/cm}^2$ |
| CLASS. UNI EN 11531-1 | A2-4 |
| CBR 2,5 mm | 35% - Qualità terreno buono; impiego strade: Fondazione, base |

Tabella 2.1 – Parametri meccanici Strato A

**STRATO B – SABBIE GHIAIOSE ALLUVIONALI E SABBIE LITORALI**

Sondaggi - Tetto: -0,50 m – Letto: -5,95 ÷ - 6,50 m

Pozzetti - Tetto: -0,00 m – Letto: -1,40 ÷ - 1,50 m

Spessore: > 4,5 m

Dal punto di vista geotecnico i due strati B1 e B2 distinti nella Rel. Geologica sono stati accorpati.

Ghiaie sabbiose e sabbie ghiaiose, debolmente limose, ad elementi di basamento paleozoico di diametro variabile sino a 3-5 cm con qualche blocco, alternate a sabbie litorali con all'interno livelli cementati, sature da circa - 6,5 m dal p.c. nei sondaggi e da circa - 1,8 ÷ - 2,0 m dal p.c. nei pozzetti.

Detti sedimenti sono stati sottoposti nel corso delle terebrazioni a tre prove SPT:

- ⇒ la prima in **S1** alla quota di **-6,25 m** che ha fornito **N_{SPT} = 50 12 cm ovvero Rifiuto** ossia “terreno molto addensato”;
- ⇒ la seconda sempre in **S1** alla quota di **-8,5 m** che ha fornito il seguente numero di colpi **N1+N2+N3 = 7+16+21, ovvero N_{SPT} 37 colpi**, a cui corrisponde un terreno “addensato”,
- ⇒ la terza in **S2**, alla profondità di **-8,0 m** che ha fornito un valore **N1+N2+N3 = 13+25+29, ovvero N_{SPT} 64 colpi**, ovvero terreno “molto addensato”.

Il valore elevato di NSPT è da ricondurre sia alla presenza di materiale grossolano (ghiaie e ciottoli) nelle alluvioni, sia alla presenza di livelli cementati nelle sabbie litorali (SPT in S2).

Sono stati inoltre prelevati tre campioni di terreno sottoposti a Classificazione delle Terre e Taglio Diretto C. D., denominati **S1C2, S2C2, PZ4C1**. L'Analisi Granulometrica ha fornito i seguenti risultati:

| | S1C2 | S2C2 | PZ4C1 |
|--|-------------|------------------|-------------------|
| Ghiaia % | 52,4 | 41,8 | 38,0 |
| Sabbia % | 42,4 | 49,3 | 41,9 |
| Limo e argilla % | 5,2 | 8,9 | 20,1 |
| LL | N.D. | 19 | 22 |
| LP | N.D. | 16 | 14 |
| IP | N.D. | 3 (Non plastico) | 8 (poco plastico) |
| IG | 0 | 0 | 0 |
| Classificazione CNR UNI EN 11531-1 | A1-a | A1-b | A2-4 |
| Massa volumica apparente (g/cm³) | 1,78 | 1,78 | 1,78 |

Tabella 2.3 - Risultati delle prove di classificazione granulometrica sullo strato B

Le prove di taglio hanno fornito i seguenti valori:

| | S1C2 | S2C2 | PZ4C1 |
|------------------------------|-------------|-------------|--------------|
| φ' (°) | 29,6 | 29,3 | 29,6 |
| c' (KPa) | 6,5 | 2,2 | 4,0 |
| Peso di volume (g/mc) | 1,78 | 1,78 | 1,78 |

Tabella 2.4 – Risultati delle prove di taglio sullo Strato B



Pertanto a questo strato può essere attribuita la seguente parametrizzazione:

| STRATO B – GHAIE SABBIOSE ALLUVIONALI E SABBIE LITORALI | |
|---|--|
| Spessore > 4,0 m | |
| PESO SPECIFICO NATURALE | $\gamma_n = 18,0 \text{ kN/m}^3$ |
| PESO SPECIFICO IMMERSO | $\gamma' = 8,0 \text{ kN/m}^3$ |
| ANGOLO DI RESISTENZA AL TAGLIO | $\varphi = 29^\circ \div 30^\circ$ |
| COESIONE DRENATA | $c' = 0,00 \div 0,05 \text{ daN/cm}^2$ |
| MODULO EDOMETRICO (Su base SPT - Farrent) | $E_{ED} = 250 \text{ daN/cm}^2$ |
| CLASS. UNU EN 11531-1 | A1-a, A1-b, A2-4 |
| SPT | $N_{SPT} = 37$ colpi “addensato”, 64 colpi “molto addensato” |

Tabella 2.5 – Parametri meccanici Strato B

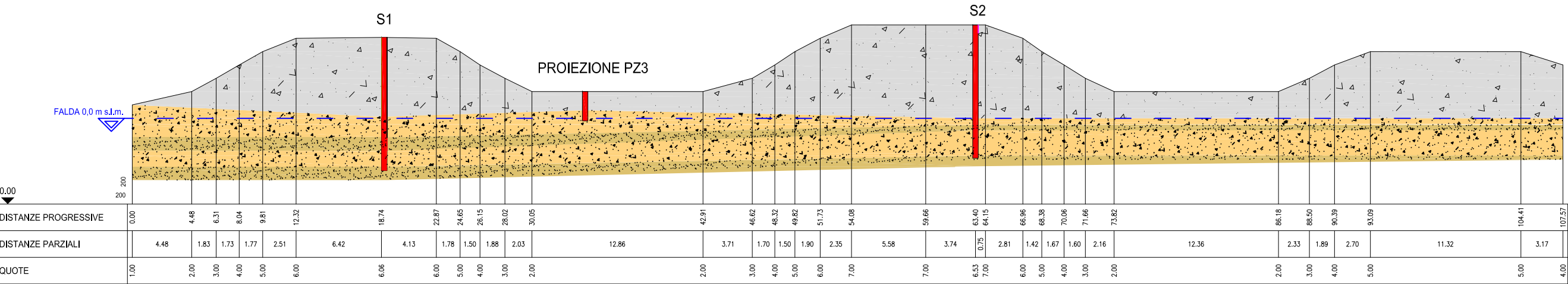
Nel complesso trattasi di terre dotate di buone caratteristiche meccaniche, per via del discreto angolo di resistenza al taglio, del buon stato di addensamento e della bassa/nulla plasticità, da considerarsi idonei come materiali di sottofondo (qualità portanti come sottofondo da eccellenti a Buone – Classificazione UNI 11531-1, Figura 2.1).

| Classificazione generale | Terre ghiaio-sabbiose Frazione passante allo staccio 0.063 mm ≤ 35% | | | | | | | Terre limo-argillose Frazione passante allo staccio 0.063 mm > 35% | | | | | Torbe e terre organiche palustri | |
|--|---|------|----------------|------------------------------------|------|------------------------|------|--|----------------------------------|---------------------------------------|--|--|--|--|
| Gruppo | A1 | | A3 | A2 | | | | A4 | A5 | A6 | A7 | | A8 | |
| Sottogruppo | A1-a | A1-b | | A2-4 | A2-5 | A2-6 | A2-7 | | | | A7-5 | A7-6 | | |
| Frazione passante allo staccio | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 mm | ≤ 50 | - | - | | | | | | | | | | | |
| 0.4 mm | ≤ 30 | ≤ 50 | > 50 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| 0.063 mm | ≤ 15 | ≤ 25 | ≤ 10 | ≤ 35 | ≤ 35 | ≤ 35 | ≤ 35 | > 35 | > 35 | > 35 | > 35 | > 35 | | |
| Caratteristiche della frazione passante allo staccio 0.4 mm | | | | | | | | | | | | | | |
| LL (Limite liquido) | - | - | - | ≤ 40 | > 40 | ≤ 40 | > 40 | ≤ 40 | > 40 | ≤ 40 | > 40 | > 40 | > 40 | |
| IP (Indice di plasticità) | ≤ 6 | ≤ 6 | N.P. | ≤ 10 | ≤ 10 | > 10 | > 10 | ≤ 10 | ≤ 10 | > 10 | IP ≤ LL-30 | IP > LL-30 | | |
| Indice di gruppo | 0 | | 0 | 0 | | ≤ 4 | | ≤ 8 | ≤ 12 | ≤ 16 | ≤ 20 | | | |
| Tipi usuali dei materiali caratteristici costituenti il gruppo | Ghiaia o breccia, ghiaia o breccia sabbiosa, sabbia grossa, pomice, scorie vulcaniche, pozzolane | | Sabbia fina | Ghiaia o sabbia limosa o argillosa | | | | Limi poco compres- sibili | Limi molto compres- sibili | Argille poco compres- sibili | Argille molto compres- sibili e media- mente plastiche | Argille molto compres- sibili e molto plastiche | Torbe di recente o remota formazion e, detriti organici | |
| Qualità portanti quale terreno di sottofondo in assenza di gelo | da eccellente a buono | | | | | Da mediocre a scadente | | | | | | | Da scartare | |
| Azione del gelo sulle qualità portanti | Nessuna o lieve | | | Media | | | | Molto elevata | | Media | Elevata | Media | | |
| Ritiro e rigonfiamento | Nulla | | | Nulla o lieve | | | | Lieve o medio | | Elevato | Elevato | Molto elevato | | |
| Permeabilità | Elevata | | | Media o scarsa | | | | | | | Scarsa o nulla | | | |

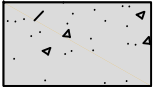
Figura 2.1 - Classificazione UNI 11531-1

A seguire è riportata la sezione con la ricostruzione del modello geotecnico del sottosuolo sulla base delle indagini effettuate.

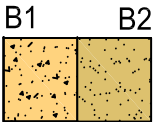
SEZIONE GEOLOGICA - GEOTECNICA S1-S2



LEGENDA



STRATO A- TERRE DELLA SOVRASTRUTTURA STRADALE E DEL RILEVATO - (Attuale)
Sabbie con ghiaia in matrice limosa, ad elementi del basamento paleozoico (granitoidi e metamorfiti), addensate, di colore marrone.
CARATTERISTICHE GEOTECNICHE
PESO DI VOLUME NATURALE γ_n : 18,00 - 20,00 kN/m³
ANGOLO DI RESISTENZA AL TAGLIO ϕ : 30°
MODULO DI COMPRIMIBILITÀ E: 350÷500 daN/cm²
COESIONE c: 0,0 - 0,1 daN/cm²
ANALISI GRANULOMETRICA : A2-4
INDICE DI PLASTICITÀ IP: 7 (Debolmente plastico)
INDICE DI GRUPPO:0



STRATO B - SABBIE GHIAIOSE (B1) E SABBIE LITORALI CON LIVELLI CEMENTATI (B2) (Olocene)
Ghiaie sabbiose e sabbie ghiaiose, debolmente limose (B1), di colore dall'avana chiaro al grigio, ad elementi di basamento paleozoico (granitoidi e metamorfiti) di diametro variabile sino a 5 -10 cm, con qualche blocco, alternate a sabbie litorali (B2), con livelli e strati cementati, con resti fossili (resti conchigliari, piste di animali limivori), sature da 0,0 m s.l.m.
CARATTERISTICHE GEOTECNICHE
PESO DI VOLUME NATURALE γ_n =18,00 kN/m³
ANGOLO DI RESISTENZA AL TAGLIO ϕ =29°
COESIONE c=0,0-0,05 daN/cm²
MODULO DI COMPRIMIBILITÀ E = 150÷200 daN/cm²
ANALISI GRANULOMETRICA : A1-a -A1-b - A2-4
INDICE DI PLASTICITÀ IP: 3-8 (Non plastico -debolmente plastico)
INDICE DI GRUPPO:0
CBR 5mm: 35%

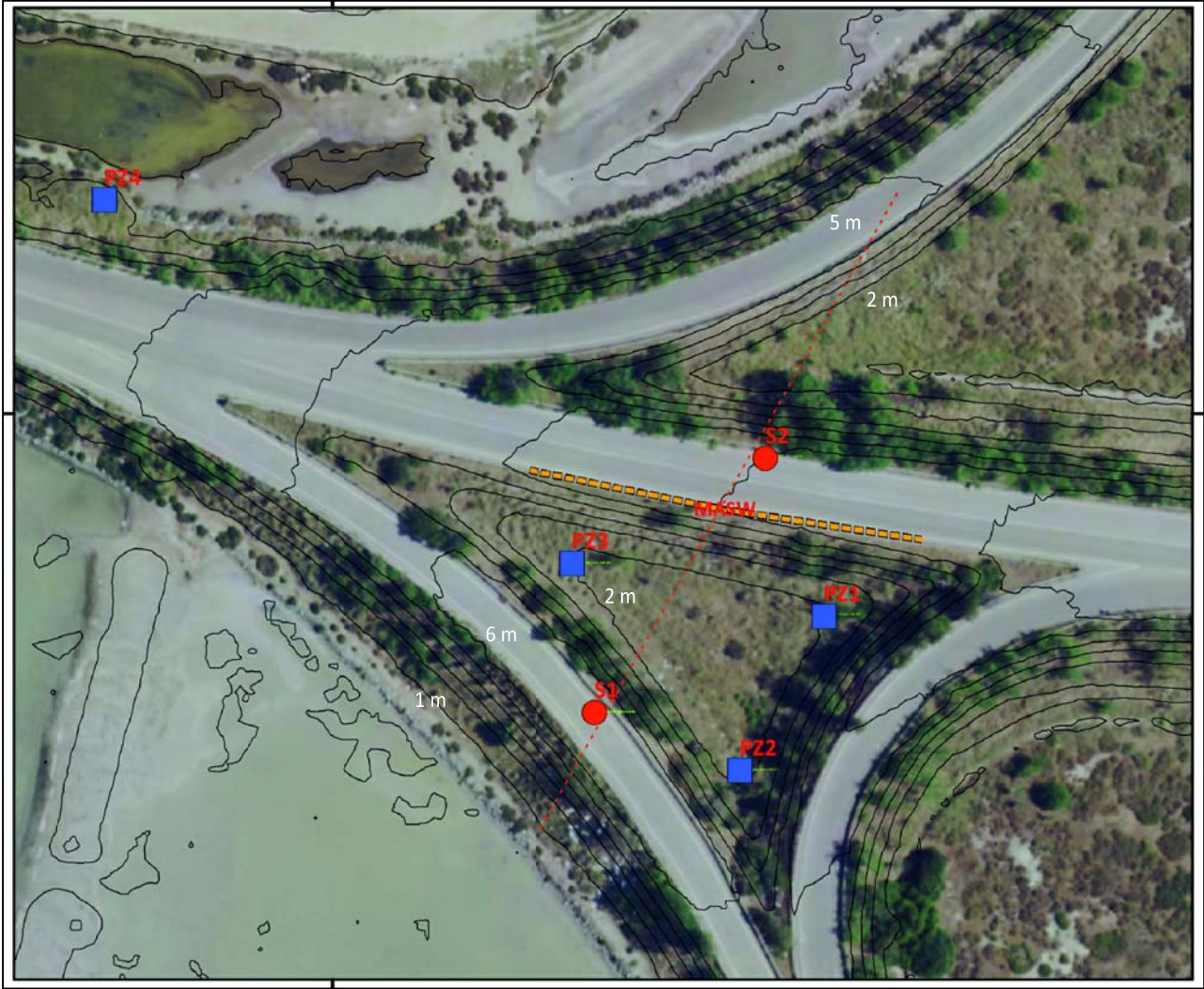


Figura 1 - In rosso traccia sezione geologica; topografia elaborata su base lidar 1 m



3 CONCLUSIONI

Come illustrato nel precedente paragrafo, e nella Relazione Geologica, sulla base della campagna di indagini geognostiche condotta, nel sottosuolo dell'area di intervento la successione dei terreni rinvenuti prevede la presenza, al di sotto delle terre costituenti la viabilità esistente (**Strato A1** (Pavimentazione e sottofondo stradale) e **Strato A2** (rilevato stradale) di una sequenza sedimentaria di ambiente alluvionale-transizionale costituita da sedimenti sabbioso - ghiaiosi (**Strato B**), con all'interno strati più francamente sabbiosi (sabbie litorali) e livelli cementati (arenarie) di colore dall'avana al grigio chiaro.

Dalle osservazioni macroscopiche dei terreni, oltre che dall'andamento della perforazione e dall'interpretazione delle prove geotecniche in situ e di laboratorio condotte per la determinazione delle caratteristiche geotecniche dei suddetti strati, si deduce quanto di seguito riportato:

- ⇒ le terre degli **Strati A1 e A2**, ovvero i **"materiali costituenti la viabilità"** si caratterizzano per un **comportamento meccanico molto BUONO a fini stradali**.
- ⇒ **Anche lo strato B mostra buone caratteristiche in virtù della granulometria, dello stato di addensamento e del comportamento prevalentemente frizionale;**
- ⇒ **Alla quota di 0,0 m s.l.m.**, ovvero a profondità variabili in relazione alla quota topografica dei punti di indagine è stata intercettata una **cospicua falda idrica** in equilibrio con il livello del mare

Gli interventi in progetto interferiranno prevalentemente con le terre del rilevato esistente, presenti sia al di sotto dell'attuale pavimentazione stradale per spessore di circa 6,5 m che all'interno delle aree verdi comprese tra le rampe che compongono l'attuale svincolo, con spessori di $\approx 1,5$ m.

Nel settore in cui si prevede la realizzazione del sottopasso ciclabile le opere di fondazione dell'opera interferiranno con il substrato naturale rappresentato dallo strato B, dotato di buone caratteristiche meccaniche, per il resto i tratti in rilevato di nuova realizzazione funzionali alla costruzione delle nuove rampe e della rotonda potranno poggiare sulle terre dei rilevati esistenti, dotate di buone-ottime caratteristiche geotecniche a fini stradali.

In conclusione si consiglia di adottare nelle verifiche geotecniche la seguente parametrizzazione:

| STRATO | TETTO (m) | LETTO (m) | γ_n (kN/m ³) | ϕ (°) | c' (daN/cm ²) | E (daN/cm ²) |
|----------|--------------|------------|------------------------------------|---------------|--------------------------------|-----------------------------|
| STRATO A | 0,0 | 1,4 ÷ -6,4 | 18,0 ÷ 20,0 | 30° | 0,1 | 700 |
| STRATO B | -1,4 ÷ - 6,4 | -10,0 | 18,00 | 29° | 0,05 | 250 |

Tabella 3.1 – Caratteristiche geotecniche dei terreni da utilizzare in sede di verifica



La categoria di sottosuolo a fini sismici, come già indicato nella relazione geologica, è la C.

23.12.2022

Il Tecnico incaricato

Dott. Geologo Alessio Sodde



Per redigere la presente relazione si è fatto riferimento alla seguente normativa:

- Legge n. 64 del 02.02.1974 «Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche», che prevede l'obbligatorietà dell'applicazione per tutte le opere, pubbliche e private, delle norme tecniche che saranno fissate con successivi decreti del Ministero LL.PP.;
- D.M. LL.PP. 11.03.1988 di applicazione della legge suddetta «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»;
- Circ. Min. LL.PP. n. 30483 del 24.09.1988 che prevede l'obbligo di sottoporre tutte le opere civili pubbliche e private da realizzare nel territorio della Repubblica, alle verifiche per garantire la sicurezza e la funzionalità del complesso opere-terreni ed assicurare la stabilità complessiva del territorio nel quale si inseriscono;
- Circolare n. 218/24/3 del 09.01.1996 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;
- D.P.R. 380/01
- DM II. TT 14/01/2008) «Nuove Norme Tecniche per le costruzioni»;
- DM II. TT 04/02/2008) «Nuove Norme Tecniche per le costruzioni»;
- DM 17/01/2018) «Aggiornamento delle "Norme Tecniche per le costruzioni"».
- P.A.I – Piano stralcio per l'assetto idrogeologico delle Regione Autonoma della Sardegna



APPENDICE 1 – CERTIFICATI PROVE DI LABORATORIO

ANALISI GRANULOMETRICA

UNI EN 933-1:1998

Certificato N.
Data

15263

07/12/2022

Committente: GEOTEST SRL - CAGLIARI

Cantiere: Rotatoria di completamento della viabilità di raccordo della banchina polifunzionale del porto canale di Cagliari con la SS 195 e la SP92

Sondaggio : S1

Campione: S1C1

Profondità campionamento (m da p.c.): -0,6 ÷ -1,0 m da p.c.

Data prelievo: 21/11/2022

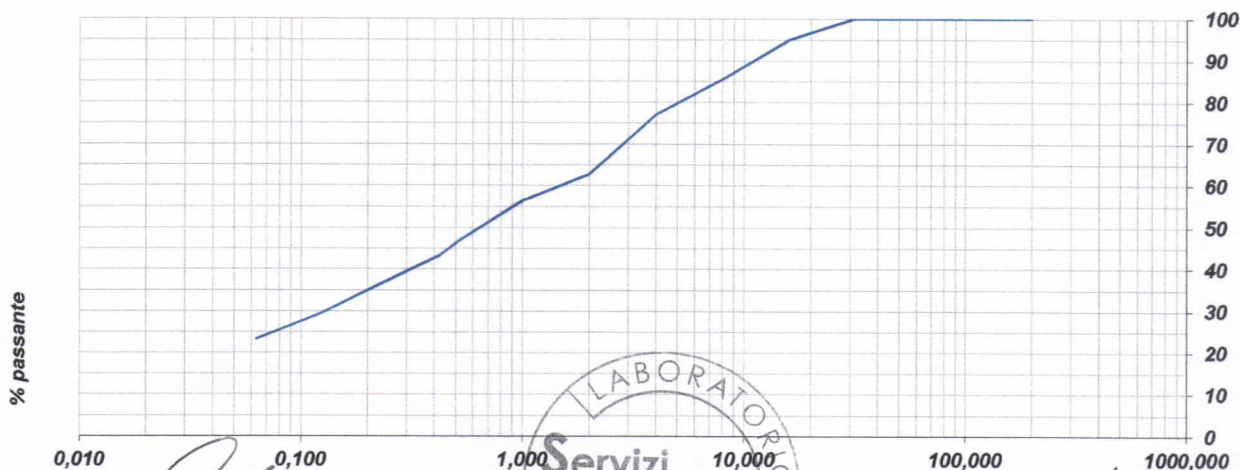
| Setacciatura | |
|--------------|--------------|
| Setacci (mm) | Passante (%) |
| 200 | 100,0 |
| 125 | 100,0 |
| 63,0 | 100,0 |
| 31,5 | 100,0 |
| 16,0 | 95,1 |
| 8,0 | 85,5 |
| 4,0 | 77,1 |
| 2,0 | 62,8 |
| 1,0 | 56,4 |
| 0,500 | 46,4 |
| 0,425 | 43,3 |
| 0,250 | 37,3 |
| 0,125 | 29,6 |
| 0,063 | 23,3 |

| LIMITI DI ATTERBERG | |
|-------------------------------|-------------|
| Boll. Uff. C.N.R. - UNI 10014 | |
| Limite Liquido | 23 |
| Limite Plastico | 16 |
| Indice Plastico | 7 |
| Indice di gruppo | 0 |
| Classificazione delle terre | A2-4 |
| UNI 11531-1:2014 | |

| CLASSIFICAZIONE AGI | | |
|---|---|------|
| Ghiaia ($\phi > 2$ mm) | % | 37,2 |
| Sabbia ($2 > \phi > 0,063$ mm) | % | 39,5 |
| Limo-argilla ($0,063 > \phi > 0,002$ mm) | % | 23,3 |
| Descrizione: Sabbia con ghiaia limosa | | |

| | | |
|---|-------|------|
| Determinazione massa volumica apparente (C.N.R. - Bollettino Ufficiale - Anno VII - N.63) | g/cmc | 1,80 |
| Tipo campionamento | | |
| Campione Rimaneggiato | | |

DIAMETRO DEI GRANI (mm)



IL TECNICO
Dott. Geol. Giorgio Madrigale



Servizi Geotecnici sas
Dott. Geol. Alessandro Melis

PROVA DI TAGLIO DIRETTO C.D.

ASTM D 3080

Committente: Geotest srl -Cagliari

Cantiere: Rotatoria di completamento della viabilità di raccordo della banchina polifunzionale del porto canale di Cagliari con la SS195 e la SP 92

Certificato N.

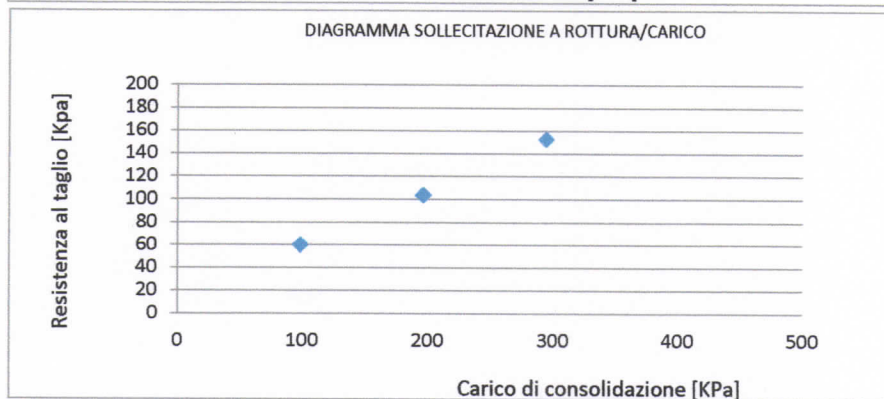
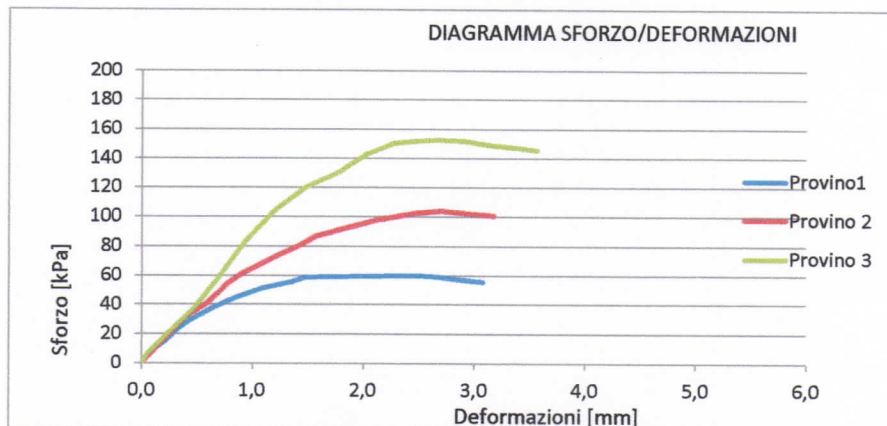
Data 05.12.2022

15264

Campione S1C1
Profondità prelievo: -0,6 ÷ -1,0 m da p.c.
Data prelievo: 21 Novembre 2022

| PROVINO N° | | | 1 | 2 | 3 |
|---------------------------------------|----------|-----|------|-------|-------|
| PRESSIONE VERTICALE DI CONSOLIDAZIONE | σ | KPa | 98,1 | 196,1 | 294,2 |
| ROTTURA SOLLECITAZIONE DI TAGLIO | | KPa | 60,1 | 103,9 | 152,5 |

| | |
|---|------|
| Tipo campionamento: Campione rimaneggiato | |
| Descrizione: sabbia con ghiaia limosa | |
| Peso di volume (g/cmc) | 1,80 |



Note: Prova consolidata lenta - Velocità di deformazione 0,006 mm/min

Angolo di resistenza al taglio 25,2°
Coesione efficace kPa 13,1

INTECNICO
Dott. Geol. Giorgio Madrigale



Servizi Geotecnici sas
Dott. Geol. Alessandro Melis

ANALISI GRANULOMETRICA

UNI EN 933-1:1998

Certificato N. **15265**
Data 07/12/2022

Committente: GEOTEST SRL - CAGLIARI

Cantiere: Rotatoria di completamento della viabilità di raccordo della banchina polifunzionale del porto canale di Cagliari con la SS 195 e la SP92

Sondaggio : S1
Campione: S1C2
Profondità campionamento (m da p.c.): -7,6 ÷ -8,0 m da p.c.
Data prelievo: 21/11/2022

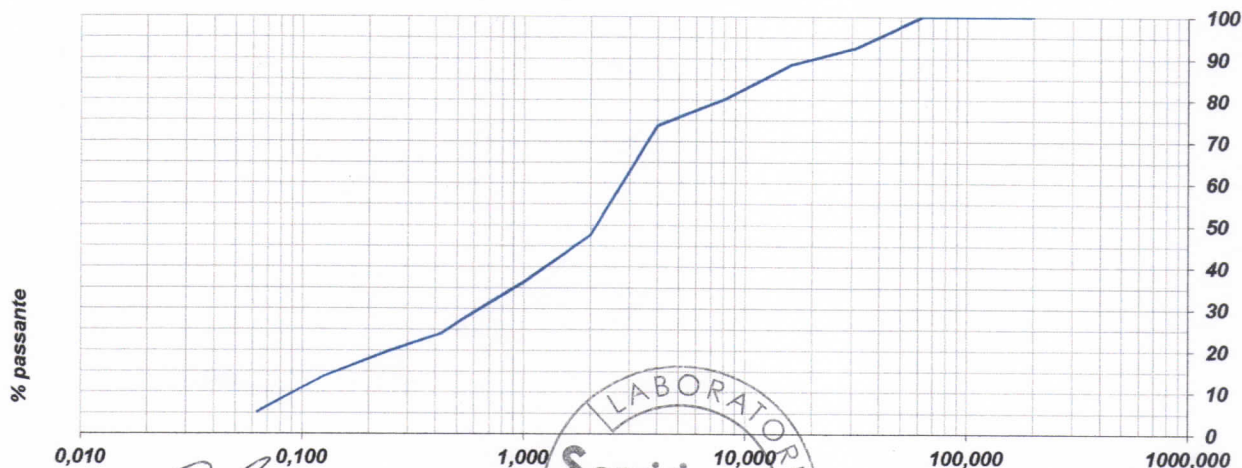
| Setacciatura | |
|--------------|--------------|
| Setacci (mm) | Passante (%) |
| 200 | 100,0 |
| 125 | 100,0 |
| 63,0 | 100,0 |
| 31,5 | 92,6 |
| 16,0 | 88,6 |
| 8,0 | 80,1 |
| 4,0 | 73,7 |
| 2,0 | 47,6 |
| 1,0 | 36,4 |
| 0,500 | 26,6 |
| 0,425 | 24,1 |
| 0,250 | 20,0 |
| 0,125 | 13,8 |
| 0,063 | 5,2 |

| LIMITI DI ATTERBERG | |
|-----------------------------|------|
| Boll.Uff.C.N.R. - UNI 10014 | |
| Limite Liquido | N.D. |
| Limite Plastico | N.D. |
| Indice Plastico | N.P. |
| Indice di gruppo | 0 |
| Classificazione delle terre | A1-a |
| UNI 11531-1:2014 | |

| CLASSIFICAZIONE AGI | | |
|--|---|------|
| Ghiaia ($\phi > 2$ mm) | % | 52,4 |
| Sabbia ($2 > \phi > 0,063$ mm) | % | 42,4 |
| Limo-argilla ($0,063 > \phi > 0,002$ mm) | % | 5,2 |
| Descrizione: Sabbia con ghiaia debolmente limosa | | |

| | | |
|---|-------|------|
| Determinazione massa volumica apparente (C.N.R. - Bollettino Ufficiale - Anno VII - N.63) | g/cmc | 1,78 |
| Tipo campionamento | | |
| Campione Rimaneggiato | | |

DIAMETRO DEI GRANI (mm)



IL TECNICO
Dott. Geol. Giorgio Madrigale



Servizi Geotecnici sas
Dott. Geol. Alessandro Melis

PROVA DI TAGLIO DIRETTO C.D.

ASTM D 3080

Committente: Geotest srl -Cagliari

Cantiere: Rotatoria di completamento della viabilità di raccordo della banchina polifunzionale del porto canale di Cagliari con la SS195 e la SP 92

Certificato N.

Data 05.12.2022

15266

Campione

S1C2

Profondità prelievo:

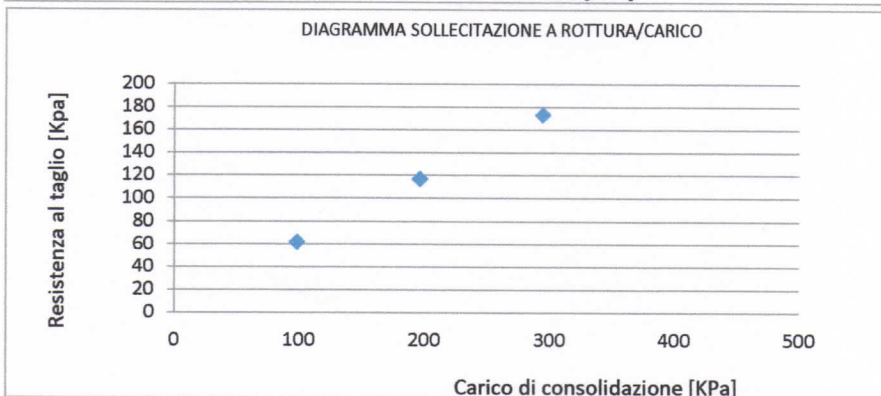
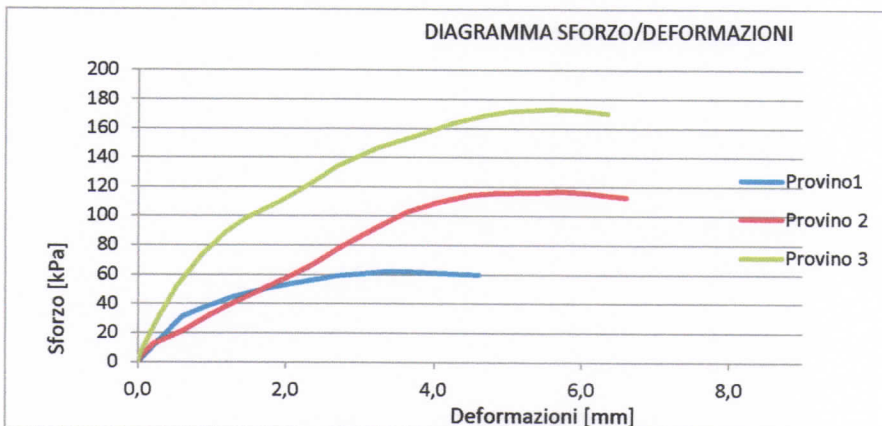
-7,6 ÷ -8,0 m da p.c.

Data prelievo:

21 Novembre 2022

| PROVINO N° | | 1 | 2 | 3 |
|---------------------------------------|--------------|------|-------|-------|
| PRESSIONE VERTICALE DI CONSOLIDAZIONE | σ KPa | 98,1 | 196,1 | 294,2 |
| ROTTURA SOLLECITAZIONE DI TAGLIO | KPa | 62,0 | 116,9 | 173,2 |

| | |
|--|------|
| Tipo campionamento: Campione rimaneggiato | |
| Descrizione: sabbia con ghiaia debolmente limosa | |
| Peso di volume (g/cmc) | 1,78 |



Note: Prova consolidata lenta - Velocità di deformazione 0,006 mm/min

Angolo di resistenza al taglio

29,6°

Coesione efficace kPa

6,5

IL TECNICO
Dott. Geol. Giorgio Madrigale



Servizi Geotecnici sas
Dott. Geol. Alessandro Melis

ANALISI GRANULOMETRICA

UNI EN 933-1:1998

Certificato N. **15267**
Data 07/12/2022

Committente: GEOTEST SRL - CAGLIARI

Cantiere: Rotatoria di completamento della viabilità di raccordo della banchina polifunzionale del porto canale di Cagliari con la SS 195 e la SP92

Sondaggio : S2
Campione: S2C2
Profondità campionamento (m da p.c.): -7,75 ÷ -8,00 m da p.c.
Data prelievo: 21/11/2022

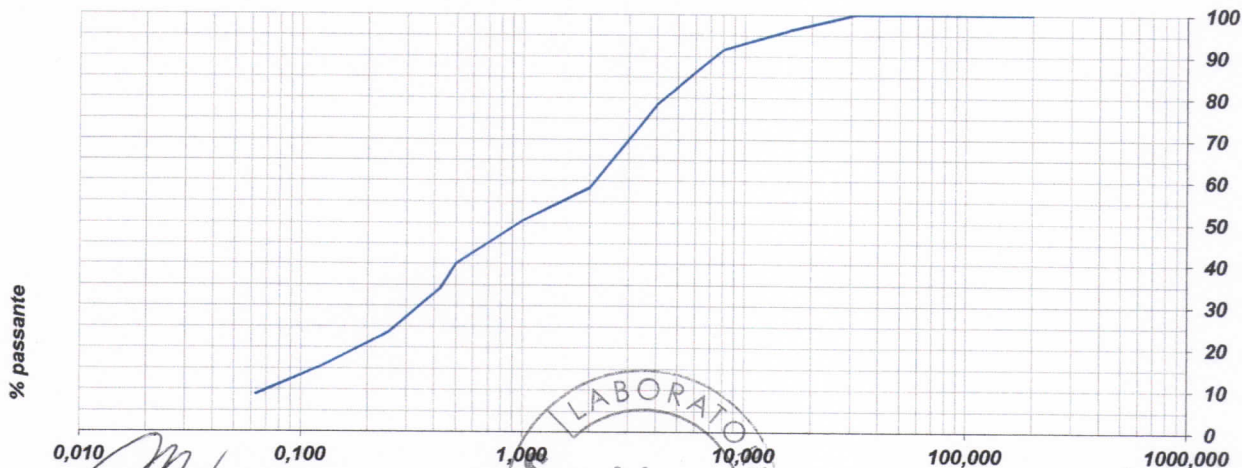
| Setacciatura | |
|--------------|--------------|
| Setacci (mm) | Passante (%) |
| 200 | 100,0 |
| 125 | 100,0 |
| 63,0 | 100,0 |
| 31,5 | 100,0 |
| 16,0 | 96,4 |
| 8,0 | 91,5 |
| 4,0 | 78,2 |
| 2,0 | 58,2 |
| 1,0 | 50,5 |
| 0,500 | 40,0 |
| 0,425 | 34,0 |
| 0,250 | 23,6 |
| 0,125 | 15,6 |
| 0,063 | 8,9 |

| LIMITI DI ATTERBERG | |
|-------------------------------|-------------|
| Boll. Uff. C.N.R. - UNI 10014 | |
| Limite Liquido | 19 |
| Limite Plastico | 16 |
| Indice Plastico | 3 |
| Indice di gruppo | 0 |
| Classificazione delle terre | A1-b |
| UNI 11531-1:2014 | |

| CLASSIFICAZIONE AGI | | |
|--|---|------|
| Ghiaia ($\phi > 2$ mm) | % | 41,8 |
| Sabbia ($2 > \phi > 0,063$ mm) | % | 49,3 |
| Limo-argilla ($0,063 > \phi > 0,002$ mm) | % | 8,9 |
| Descrizione: Sabbia con ghiaia debolmente limosa | | |

| | | |
|---|-------|------|
| Determinazione massa volumica apparente (C.N.R. - Bollettino Ufficiale - Anno VII - N.63) | g/cmc | 1,78 |
| Tipo campionamento | | |
| Campione Rimaneggiato | | |

DIAMETRO DEI GRANI (mm)



IL TECNICO
Dott. Geol. Giorgio Madrigale



Servizi Geotecnici sas
Dott. Geol. Alessandro Melis

PROVA DI TAGLIO DIRETTO C.D.

ASTM D 3080

Committente: Geotest srl -Cagliari

Cantiere: Rotatoria di completamento della viabilità di raccordo della banchina polifunzionale del porto canale di Cagliari con la SS195 e la SP 92

Certificato N.

Data 02.12.2022

Campione

S2C2

Profondità prelievo:

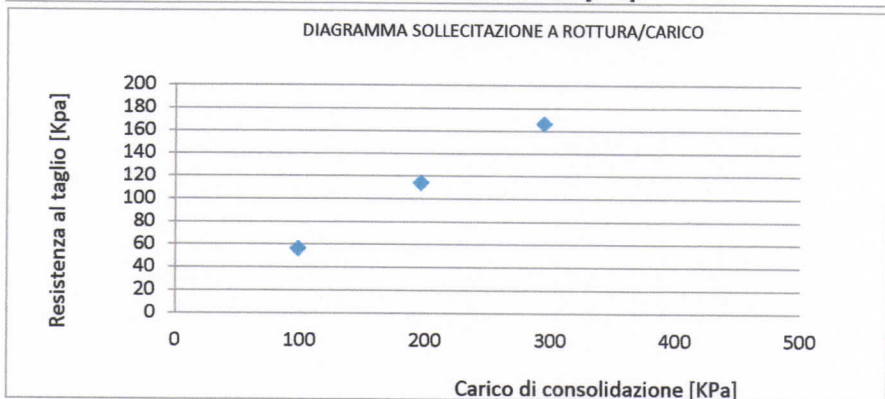
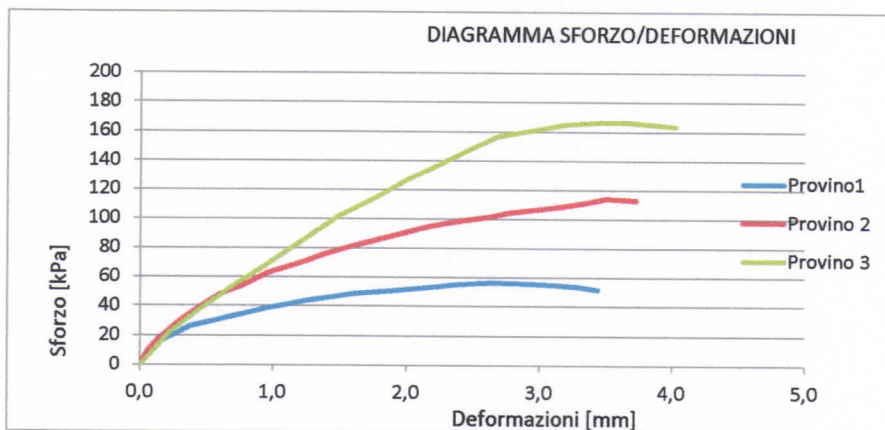
-7,6 ÷ -8,0 m da p.c.

Data prelievo:

21 Novembre 2022

| PROVINO N° | | | 1 | 2 | 3 |
|---------------------------------------|----------|-----|------|-------|-------|
| PRESSIONE VERTICALE DI CONSOLIDAZIONE | σ | KPa | 98,1 | 196,1 | 294,2 |
| ROTTURA SOLLECITAZIONE DI TAGLIO | | KPa | 56,3 | 114,1 | 166,2 |

| | |
|--|------|
| Tipo campionamento: Campione rimaneggiato | |
| Descrizione: sabbia con ghiaia debolmente limosa | |
| Peso di volume (g/cm ³) | 1,78 |



Note: Prova consolidata lenta - Velocità di deformazione 0,006 mm/min

Angolo di resistenza al taglio

29,3°

Coesione efficace kPa

2,2

IL TECNICO
Dott. Geol. Giorgio Madrigale



Servizi Geotecnici sas
Dott. Geol. Alessandro Melis

ANALISI GRANULOMETRICA

UNI EN 933-1:1998

Certificato N.

Data

07/12/2022

15269

Committente: GEOTEST SRL - CAGLIARI

Cantiere: Rotatoria di completamento della viabilità di raccordo della banchina polifunzionale del porto canale di Cagliari con la SS 195 e la SP92

Pozzetto : 4

Campione: Pz4 C1

Profondità campionamento (m da p.c.): -0,8 ÷ -1,2 m da p.c.

Data prelievo: 21/11/2022

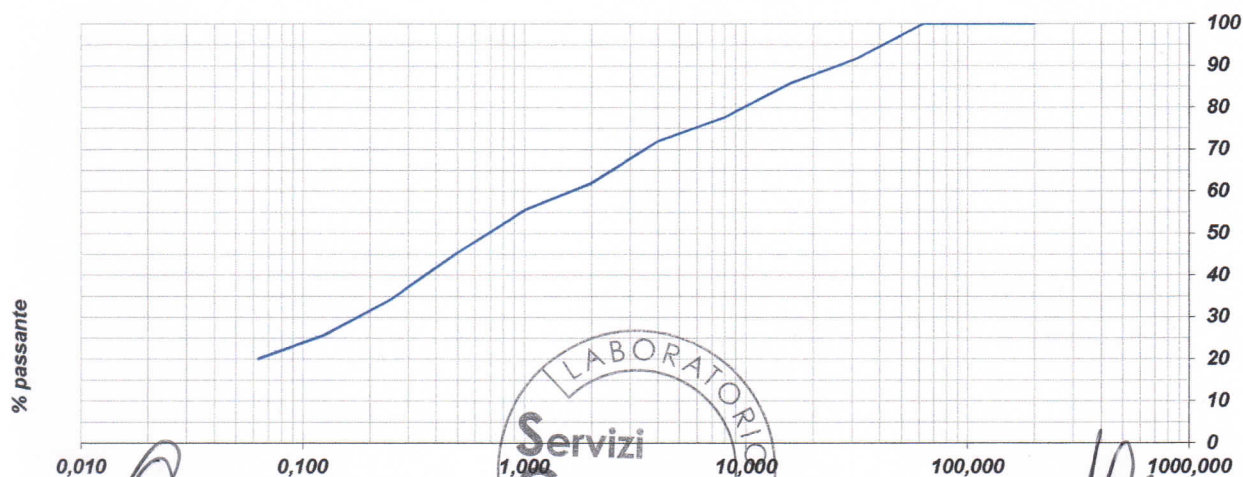
| Setacciatura | |
|--------------|--------------|
| Setacci (mm) | Passante (%) |
| 200 | 100,0 |
| 125 | 100,0 |
| 63,0 | 100,0 |
| 31,5 | 91,7 |
| 16,0 | 85,8 |
| 8,0 | 77,6 |
| 4,0 | 72,0 |
| 2,0 | 62,0 |
| 1,0 | 55,6 |
| 0,500 | 45,5 |
| 0,425 | 42,9 |
| 0,250 | 34,3 |
| 0,125 | 25,7 |
| 0,063 | 20,1 |

| LIMITI DI ATTERBERG | |
|-----------------------------|------|
| Boll.Uff.C.N.R. - UNI 10014 | |
| Limite Liquido | 22 |
| Limite Plastico | 14 |
| Indice Plastico | 8 |
| Indice di gruppo | 0 |
| Classificazione delle terre | A2-4 |
| UNI 11531-1:2014 | |

| CLASSIFICAZIONE AGI | | |
|--|---|------|
| Ghiaia ($\phi > 2$ mm) | % | 38,0 |
| Sabbia ($2 > \phi > 0,063$ mm) | % | 41,9 |
| Limo-argilla ($0,063 > \phi > 0,002$ mm) | % | 20,1 |
| Descrizione: Sabbia con ghiaia debolmente limosa | | |

| | | |
|---|-------|------|
| Determinazione massa volumica apparente (C.N.R. - Bollettino Ufficiale - Anno VII - N.63) | g/cmc | 1,78 |
| Tipo campionamento | | |
| Campione Rimaneggiato | | |

DIAMETRO DEI GRANI (mm)



IL TECNICO
Dott. Geol. Giorgio Madrigale



Servizi Geotecnici s.a.s.
Dott. Geol. Alessandro Melis

Laboratorio operante in sistema di Qualità Aziendale certificato secondo la UNI EN ISO 9001:2015 - Cert.N. SGQ022/09

PROVA DI TAGLIO DIRETTO C.D.

ASTM D 3080

Committente: Geotest srl -Cagliari

Cantiere: Rotatoria di completamento della viabilità di raccordo della banchina polifunzionale del porto canale di Cagliari con la SS195 e la SP 92

15270

Certificato N.

Data 02.12.2022

Campione

PZ4C1

Profondità prelievo:

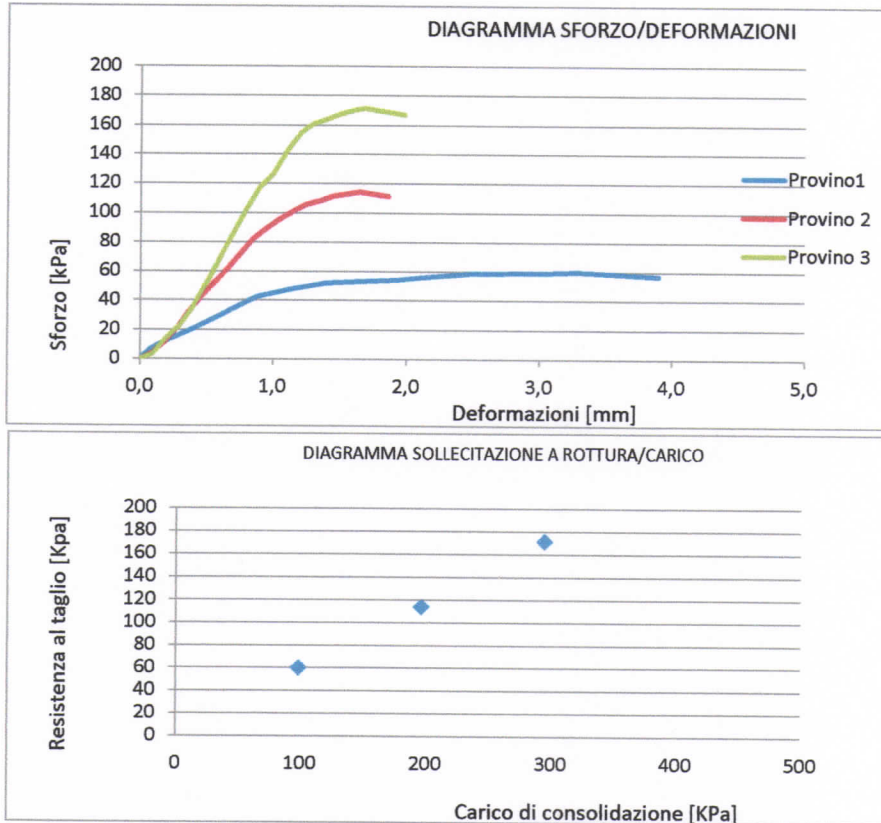
-0,8 ÷ -1,2 m da p.c.

Data prelievo:

21 Novembre 2022

| PROVINO N° | | | 1 | 2 | 3 |
|---------------------------------------|----------|-----|------|-------|-------|
| PRESSIONE VERTICALE DI CONSOLIDAZIONE | σ | KPa | 98,1 | 196,1 | 294,2 |
| ROTTURA SOLLECITAZIONE DI TAGLIO | | KPa | 60,1 | 114,1 | 171,3 |

| | |
|--|------|
| Tipo campionamento: Campione rimaneggiato | |
| Descrizione: sabbia con ghiaia debolmente limosa | |
| Peso di volume (g/cm ³) | 1,78 |



Note: Prova consolidata lenta - Velocità di deformazione 0,006 mm/min

Angolo di resistenza al taglio

29,6°

Coesione efficace kPa

4,0

IL TECNICO
Dott. Geol. Giorgio Madrigale



Servizi Geotecnici sas
Dott. Geol. Alessandro Melis

INDICE DI PORTANZA C.B.R.

CNR UNI 10009

15271

Certificato N.

Data: 07/12/2022

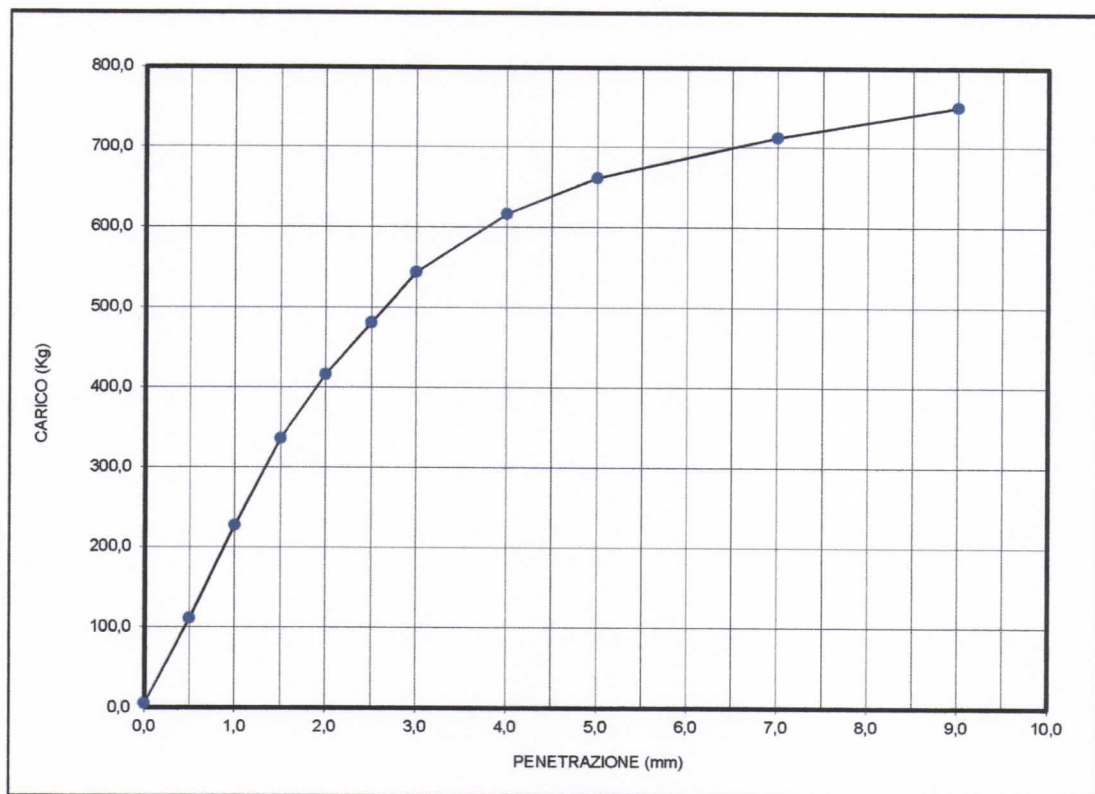
Committente: GEOTEST SRL - CAGLIARI

Cantiere: Rotatoria di completamento della viabilità di raccordo della banchina polifunzionale del porto canale di Cagliari con la SS 195 e la SP92

Campione: S2C1

Profondità campionamento: $-0,8 \div -1,2$ m da p.c.

Data prelievo: 21/11/2022



Note: Maturazione in condizione di saturazione per 96 ore

| | |
|--|-------|
| DENSITA' SECCA (g/cmc) | 2,061 |
| CONTENUTO IN UMIDITA' % | 7,2 |
| Metodo di costipamento Proctor Modificato | |
| Materiale trattenuto al crivello 25 UNI 2334 (%) | |

| | |
|-------------------------------|-----|
| UMIDITA' SOTTO IL PISTONE (%) | 9,5 |
|-------------------------------|-----|

| | |
|--------------------------------------|-------|
| Acqua assorbita durante l'immersione | |
| g | 220,0 |

| INDICE DI PORTANZA C.B.R. - IMMEDIATO | |
|---------------------------------------|----|
| Valore a 2,5 mm (%) | 35 |
| Valore a 5,0 mm (%) | 32 |

| MISURA DEL RIGONFIAMENTO | |
|--------------------------|------|
| % | 0,71 |

IL TECNICO
Dott. Geol. Giorgio Madrigale



Servizi Geotecnici sas
Dott. Geol. Alessandro Melis