



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA
ASSESSORATO DEI LAVORI PUBBLICI
SERVIZIO DI PIENA E INTERVENTO IDRAULICO
SERVIZIO DEL GENIO CIVILE DI ORISTANO



CONSORZIO DI BONIFICA DELL'ORISTANESE

Via Cagliari n. 170 – Oristano

Lavori di sistemazione e potenziamento della viabilità di servizio al piede dell'argine sinistro del Tirso in corrispondenza del ponte del Rimedio

SERVIZIO PIENA "SOMMA URGENZA E ATTIVITA' MANUTENTIVE URGENTI" ANNUALITA'
2022

C.A.T. 0622

C.U.P.: G11B23000630002

C.I.G.:

PROGETTO ESECUTIVO

Progettista

Ing. Francesco Castagna

Responsabile Unico del Progetto

Dott. Agr. Serafino Angelo Meloni

Collaboratori

Geom. Matteo Casciu

Geol. Stefano Sanna

Committente

Consorzio di Bonifica dell'Oristane

Il Presidente

Dott. Carlo Corrias

Titolo

Allegato

RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA

C

Rev.	Data	Nome file	Redattore	Verificatore
00	08/2024	1504P0622relgeogeotFC		

Sommario

1. RELAZIONE GEOLOGICA.....	2
2. RELAZIONE GEOTECNICA.....	28

Allegati

Stratigrafia pozzetto
Analisi granulometrica
Prova di taglio

RELAZIONE GEOLOGICA

Sommario

1. PREMESSA	3
2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	3
3. NORMATIVA VIGENTE	6
4. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO	8
5. INQUADRAMENTO GEOLOGICO	12
6. MODELLO GEOLOGICO E CONTESTO LOCALE	16
<u>7. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO</u>	<u>169</u>
8. CARATTERIZZAZIONE SISMICA	22
9. CONCLUSIONI	26

1. PREMESSA

La presente relazione tecnica è parte integrante del Progetto Esecutivo degli interventi denominati **"Lavori di sistemazione e potenziamento della viabilità di servizio al piede dell'argine sinistro del Tirso in corrispondenza del ponte del Rimedio" – (Servizio di piena 2022) – CAT P0622**. L'obiettivo prioritario dei lavori da eseguire è quello di realizzare una pista di servizio di larghezza pari a circa 2,80 metri, più 0,50 metri di banchina per lato e di lunghezza pari a 1.840,76 metri, che consenta lo svolgimento delle attività manutentive e di pulizia ordinaria all'interno della fascia demaniale, lungo il piede dell'argine sinistro del Fiume Tirso.

Le opere saranno realizzate con l'utilizzo delle risorse finanziarie inserite nella Convenzione GCO/CBO relativa allo svolgimento di attività inerenti al Servizio di Piena e Intervento idraulico 2022 e disciplinate dall'art. 7 lett. c) per un importo complessivo di Euro 300.000,00.

Non è stata prevista nessuna indagine geologica e geotecnica aggiuntiva in quanto sono state ritenute sufficienti, per la tipologia di opera da realizzare e per le formazioni geologiche riscontrate nell'area, oltre al rilevamento di campagna, alla fotointerpretazione e ai dati bibliografici esistenti, alcune indagini geologiche e geotecniche realizzate dal CBO nelle stesse aree alcuni anni fa per altro intervento progettuale, tra l'altro non ancora realizzato.

2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area interessata dal progetto della viabilità di servizio ricade nel territorio comunale di Oristano ed è localizzata in corrispondenza del tratto di argine sinistro del Fiume Tirso posto parallelamente alla S.P. n. 93 che conduce alla SP n. 55, collegando la città alla frazione di Silì.

La zona è facilmente raggiungibile tramite le strade provinciali già citate oltre all'altra viabilità urbana cittadina ed è ubicata nel Campidano settentrionale, all'interno dell'Ambito n° 9 "Golfo di Oristano", il più esteso tra i 27 ambiti costieri individuati dal Piano Paesaggistico Regionale (PPR). Questo settore della Sardegna è delimitato a nord dal Massiccio vulcanico del Montiferru, a nord-est dall'altopiano di Abbasanta-Paulilatino, a est dal Monte Grighine e dall'apparato vulcanico del Monte Arci, a sud-est dalla Marmilla, a

sud dal Campidano meridionale, a sud-ovest dai rilievi di Monte Arcuentu e da Capo Frasca, ad ovest dal Golfo di Oristano e, infine, a nord-ovest dalla penisola del Sinis. Esso è caratterizzato dalle seguenti unità fisiografiche principali:

- zone umide che caratterizzano quasi integralmente la zona occidentale;
- sistemi di spiagge e costa alta che si ritrovano da nord a sud dell'ambito;
- dagli espandimenti vulcanici del Monte Arci e più a sud in quelli di Capo Frasca;
- dalla piana alluvionale del Campidano settentrionale.

In particolare, il sito di interesse è inserito nella seguente cartografia ufficiale:

- Tavoletta I.G.M.I. in scala 1:50000, Foglio 528 sez. "Oristano";
- Tavoletta I.G.M.I. in scala 1:25000, Foglio 528 sez. I "Oristano Nord";
- C.T.R. Carta Tecnica Regionale in scala 1:10000, Foglio 528080 "Oristano";
- Carta Geologica d'Italia in scala 1:100000, Foglio 217 "Oristano";
- Carta Geologica d'Italia in scala 1:50000, Foglio 528 "Oristano".

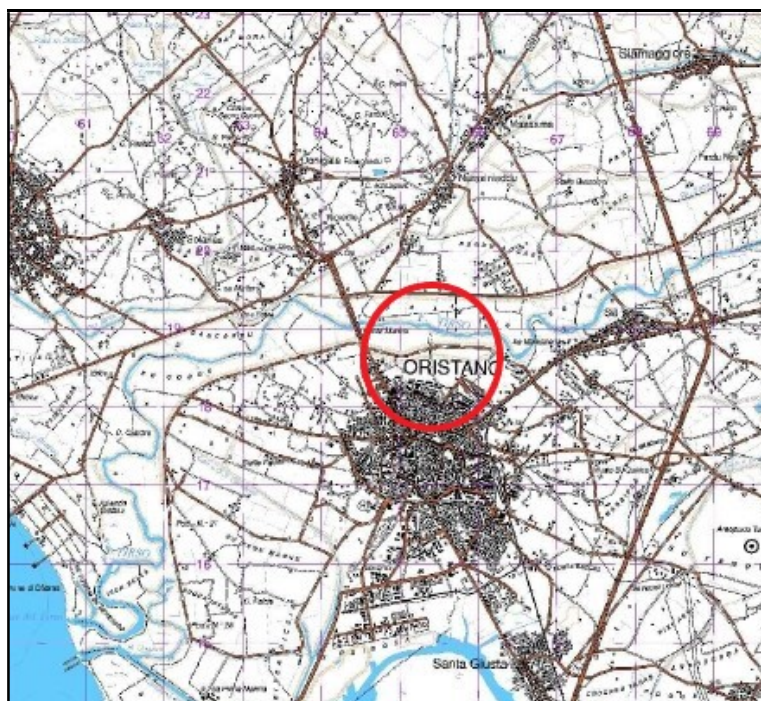


Fig. 1 Inquadramento geografico dell'area di progetto nella Carta I.G.M.I. Scala 1:50000 - Foglio n. 528 Sez. "Oristano"

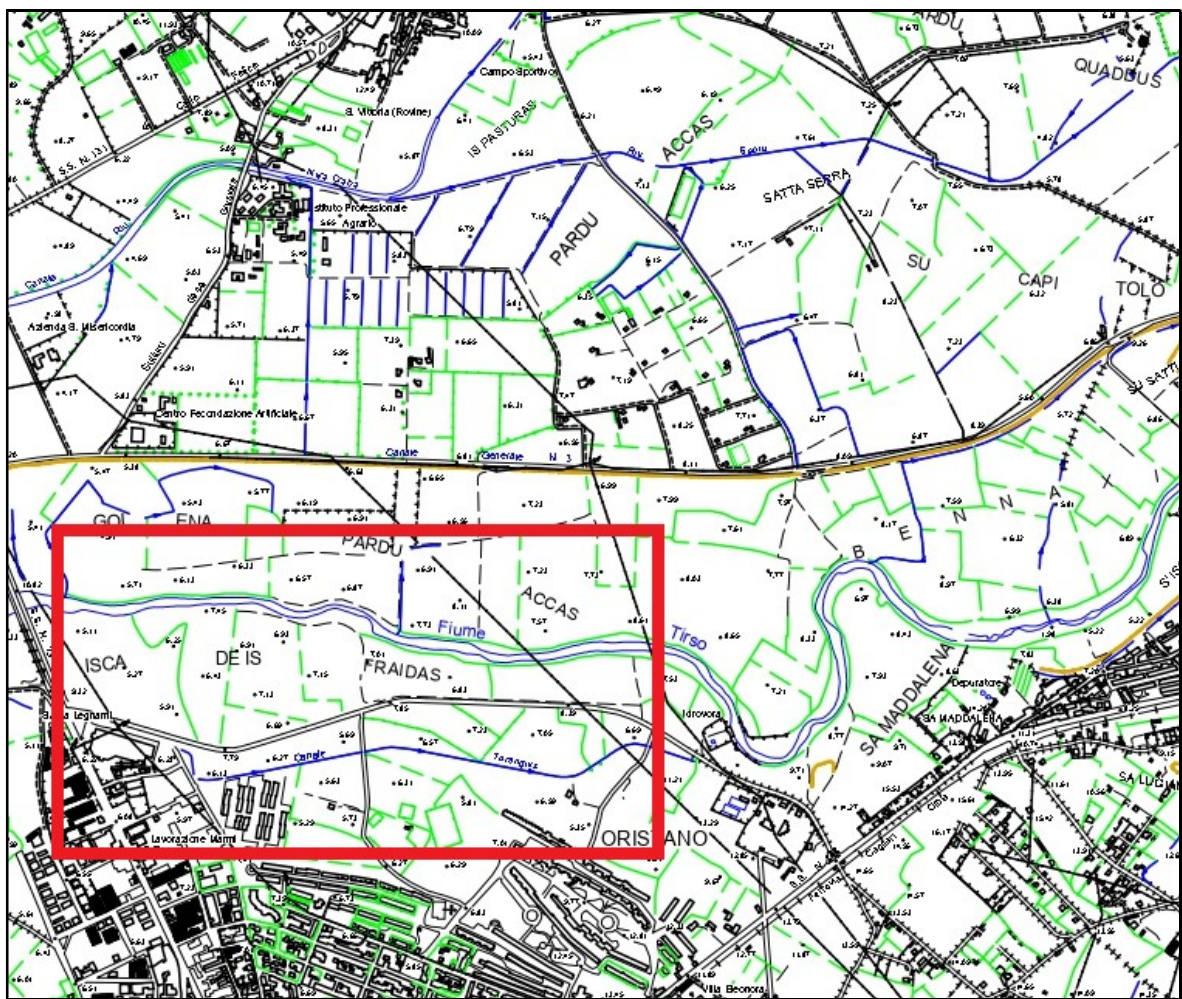


Fig. 2 Ubicazione area di intervento per realizzazione della pista di servizio (in rosso)
CTR Scala 1:10000 - Foglio 528080 Oristano



Fig. 3 Veduta satellitare dell'area di realizzazione della pista di servizio (in rosso)

3. NORMATIVA VIGENTE

Le principali condizioni vincolanti che interessano la progettazione di strade di qualsiasi tipo e che prevedono lo studio geologico della zona di possibile influenza dei relativi interventi sono contenute nei seguenti riferimenti normativi:

D.M. LL.PP. del 11/03/1988 e relative Circolari Ministeriali.

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.

Decreto Ministeriale 14.01.2008

Norme Tecniche per le Costruzioni

Circolare n. 617 Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 2 febbraio 2009

Istruzioni per l'Applicazione Nuove Norme Tecniche Costruzioni di cui al Decreto Ministeriale 14 Gennaio 2008

Decreto Ministero Infrastrutture e Trasporti 17 Gennaio 2018

Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»

Circolare n. 7 C.S.LL.PP. del 21 Gennaio 2019

Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al Decreto Ministeriale 17 Gennaio 2018.

Ordinanza P.C.M. n. 3274 del 20.3.2003

Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica

Ordinanza P.C.M. n. 3341 del 3.5.2005

Modifiche ed integrazioni all'Ordinanza P.C.M. n. 3274 del 20.3.2003

Ordinanza P.C.M. n. 3519 del 28.04.2006

Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone

DPCM 29/09/1998 e relativi allegati

Atto di indirizzo e coordinamento per l'individuazione dei criteri relativi agli adempimenti di cui all'art. 1, c.1 e 2 del D.L. 11 Giugno 1998, n.180

P.A.I. Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico e relative Norme di attuazione Regione Autonoma della Sardegna (N.A. Aggiorn. Dicembre 2022)

Piano Stralcio della Fasce Fluviali (PSFF)

Regione Autonoma della Sardegna

Circolare 9 Gennaio 1996 n. 218/24/3 Ministero dei Lavori Pubblici

Istruzioni applicative per la redazione della relazione geologica e della relazione geotecnica

D.Lgs 152/06 e ss.mm.ii.

Norme in materia ambientale

Piano Urbanistico Comunale (PUC) vigente del Comune di Oristano

Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA) – Primo Aggiornamento del PGRA del distretto idrografico della Sardegna ai sensi della direttiva 2007/60/CE (DPCM del 01.12.2022).

Gli interventi in progetto ricadono nelle aree individuate dal Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.), elaborato dalla Regione Sardegna ai sensi della L. 18.05.1989 n° 183 e della L. 03.08.1998 n° 267 e, in particolare, nel sub bacino del Tirso, settore a rischio idraulico, inquadrato dalla tavola n° 8 G.F.. Nello specifico la viabilità che si intende realizzare ricade interamente nella fascia fluviale del Tirso ed inserita nella classe Hi4-P3 (aree inondabili da piene con portate di colmo caratterizzate da tempi di ritorno di 50 anni) a pericolosità idraulica molto elevata. La medesima area è inserita nella classe Hg0 (aree studiate non soggette a potenziali fenomeni franosi) della pericolosità geomorfologica dello stesso PAI Sardegna.

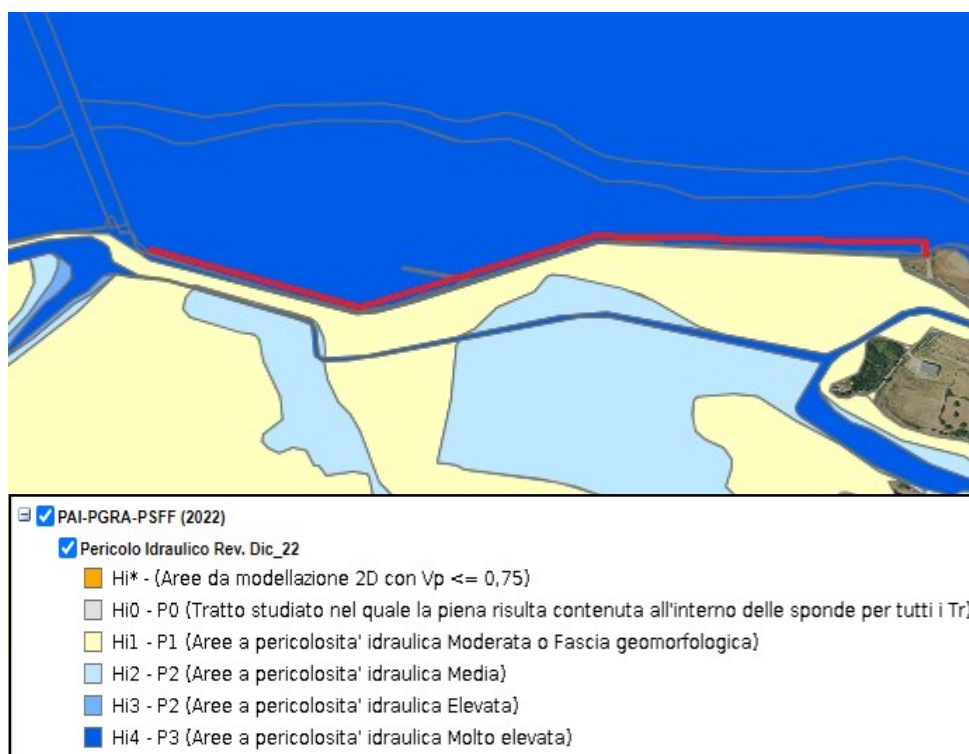


Fig. 4 Inquadramento nel PAI dell'area di realizzazione della pista di servizio (in rosso)
Stralcio aerofotogrammetrico estratto da sardegnageoportale.it

Le Norme Tecniche di Attuazione del Piano Paesaggistico Regionale (P.P.R.) approvato con Legge Regionale n°8 del 25.11.2004 e allegato alla Delibera G.R. n° 36/07 del 5.09.2006 inseriscono la zona nell'ambito n. 9 Golfo di Oristano, nel Foglio 528 I in scala 1:25000, come vincolo di Fascia Costiera / Beni Paesaggistici Ambientali (ex. Art. 142 - 143 D.Lgs. 42/2004 - Bene Paesaggistico d'Insieme).

Il Piano Urbanistico Comunale (P.U.C.) di Oristano inquadra la totalità del territorio interessato dall'intervento progettuale nella SOTTOZONA "H3" - SALVAGUARDIA AMBIENTALE, P.A.I..

4. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

L'assetto morfologico attuale è il risultato di processi fluviali e secondariamente eolici che, attivi durante tutto il Quaternario, in condizioni climatiche differenti dalle attuali, hanno dato luogo a ripe di erosione fluviale, meandri, terrazzi fluviali, coni di deiezione e campi dunali. Si rinvencono, pertanto, forme di accumulo e di erosione tipiche della dinamica fluviale e di quella eolica. Il Campidano di Oristano è attraversato dal tratto terminale del Fiume Tirso e dei suoi affluenti che hanno avuto un ruolo molto importante, con la loro azione di erosione, trasporto e sedimentazione, nella formazione della piana e nel suo successivo modellamento.



Fig. 5 - Stralcio della Carta Geologica d'Italia - Foglio 217 "Oristano" - scala: 1:100.000

La vasta superficie, da sub-pianeggiante ad ondulata, modellata nei potenti depositi detritici plio-quadernari di varia origine, degrada dolcemente verso il mare. Essa è incisa dagli alvei del Tirso e degli altri fiumi gravitanti nell'area, che presentano reticolo idrografico ad andamento da rettilineo a meandriforme, localmente anastomizzato. La piana è attraversata anche da una fitta rete di canali artificiali, realizzati dagli anni '30 del secolo scorso fino ad oggi. Superfici terrazzate, formatesi in diversi periodi ed in condizioni climatiche differenti dalle attuali, stagni, piccole paludi, lagune costiere e vasti campi dunali interrompono localmente la monotonia del paesaggio pianeggiante.

Nella pianura si distinguono le seguenti unità geomorfologiche:

- Le alluvioni antiche terrazzate. Questa formazione, substrato di tutta la zona, consiste in depositi sabbioso-ciottolosi, sedimentati nel Plio-Quaternario dal paleo-Tirso e dai fiumi minori che attraversano la pianura. Questi depositi un tempo costituivano la gran parte della pianura del Campidano. In seguito, sono stati parzialmente smantellati e modellati dalla successiva erosione fluviale tanto che oggi si presentano generalmente terrazzati. I terrazzi fluviali, debolmente ondulati, sono separati da piccole vallecicole nelle quali si instaura una rete idrografica attiva solo in occasione di forti precipitazioni. Essi sono caratterizzati da bordi generalmente netti e sono raccordati ai terreni più recenti da scarpate di erosione fluviale, oramai inattive, più o meno acclivi, dove agiscono il dilavamento diffuso ed il ruscellamento incanalato che localmente ha prodotto piccoli solchi di erosione. I terrazzi più ampi si trovano tra Solarussa-Siamaggiore e la S.S.131, dove raggiungono altezze intorno ai 40 metri s.l.m.m. e nel settore prospiciente il Monte Arci.

- Le conoidi alluvionali ed i glaci. Sono localizzati nella fascia pedemontana dei rilievi che delimitano la pianura. I depositi di conoide, caratteristici per la loro forma a ventaglio, sono il risultato della deposizione di ingenti quantità di materiale detritico trasportato a valle dalle acque incanalate provenienti dai rilievi al loro sbocco in pianura, per il brusco decremento della velocità dell'acqua. Nel settore di raccordo tra il Monte Arci e la pianura prevalgono i glaci detritici, che devono la loro origine all'arretramento parallelo dei versanti rocciosi, per erosione areale. Questi depositi detritici, così come le alluvioni antiche, sono stati successivamente incisi e localmente terrazzati.

- Le alluvioni medie sono costituite prevalentemente dal rimaneggiamento e rideposizione del materiale detritico asportato dall'azione erosiva dei fiumi dalle alluvioni antiche, modificato con il deposito di termini più francamente argillosi. Esse danno luogo a superfici terrazzate, raccordate con le alluvioni recenti da modeste ripe di erosione fluviale, evidenziate da piccole rotture di pendio.

- Le alluvioni recenti. Questi depositi, i cosiddetti terreni di "Bennaxi", si trovano lungo le rive del Tirso, del Mare Foghe, del Mogoro e dei loro affluenti. Questi terreni costituiscono delle ampie superfici sub-pianeggianti, debolmente degradanti verso ovest, più o meno incise dall'azione del fiume che le attraversa. Lungo gli alvei si possono riconoscere delle piccole ripe di erosione fluviale. Queste alluvioni costituiscono i terrazzi più recenti.

- Le aree palustri e delle paludi bonificate. All'interno delle alluvioni recenti si riconoscono delle aree depresse, create dal divagare dei corsi d'acqua nella pianura prima dello sbocco a mare. Queste zone, oggi bonificate, costituivano le aree paludose del Campidano. Le paludi sono numerose e punteggiano la vasta zona tra lo stagno di Cabras, il Mare Foghe e il Tirso, la zona della bonifica di Sassu ed ancora la piana di Arborea e, localmente, *Pardu Nou*, *Brabau* e *Pesaria*.

- Il sistema costiero e la foce del Tirso. Questo sistema è formato da una costa bassa sabbiosa, che termina con gli alti promontori rocciosi di Capo San Marco e Capo Frasca. Esso è caratterizzato da vasti campi dunali di retrospiaggia e da stagni e lagune costiere. La spiaggia sabbiosa ad arco borda la pianura con continuità, interrotta solo localmente dalla foce del Tirso e dalle bocche a mare delle lagune costiere. Essa è il risultato della ridistribuzione ed accumulo dei materiali detritici trasportati dal Tirso e dagli altri fiumi che sfociano nel Golfo, operata nel tempo dal moto ondoso e delle correnti litoranee. La spiaggia mostra un profilo longitudinale regolare a pendenza media, con la berma di tempesta evidente solo dopo le forti mareggiate. Le spiagge del settore settentrionale sono in persistente avanzamento dalla seconda metà del secolo scorso, ad eccezione di piccoli settori localizzati, di contro quelle del settore centrale e meridionale sono in erosione. Un cordone dunale delimita l'avanspiaggia dal retrospiaggia dove i venti dominanti hanno formato campi dunali di dimensioni variabili, oggi quasi interamente

stabilizzati da impianti a pino, come a Torregrande e ad Arborea. A ridosso dei cordoni dunali spesso si rinvencono piccole depressioni, che nel periodo delle piogge danno luogo a piccole paludi e stagni temporanei. Bacini idrici di dimensioni assai più grandi, invece, sono le lagune, più note come stagni, che nell'oristanese caratterizzano il passaggio fra l'ambiente costiero e la pianura. Esse si sono formate per accrescimento successivo di barre sabbiose, ad opera del mare e subordinatamente del vento che delimitando alcuni settori del mare del golfo, hanno dato luogo a questi bacini idrici salmastri. Tra queste le più importanti sono quella di Cabras e quella di Santa Giusta.

Nel contesto della pianura l'attività antropica è attualmente il processo morfogenetico più intenso. Gli insediamenti urbani, rurali e le infrastrutture, oltre alle attività economiche, stanno modificando velocemente l'assetto morfologico dell'area. Vaste porzioni di pianura sono state profondamente scavate per il prelievo di materiali per inerti, con la creazione di ampie e profonde cave che spesso, intercettando la falda freatica, si trasformano in laghetti. Altre sono state spianate a fini agricoli, rendendo spesso difficile il riconoscimento delle forme originarie dell'area. Nel settore costiero, ugualmente fortemente antropizzato, i processi di dinamica costiera ed eolica sono sempre attivi, anche se spesso subiscono le interferenze determinate dell'attività dell'uomo.

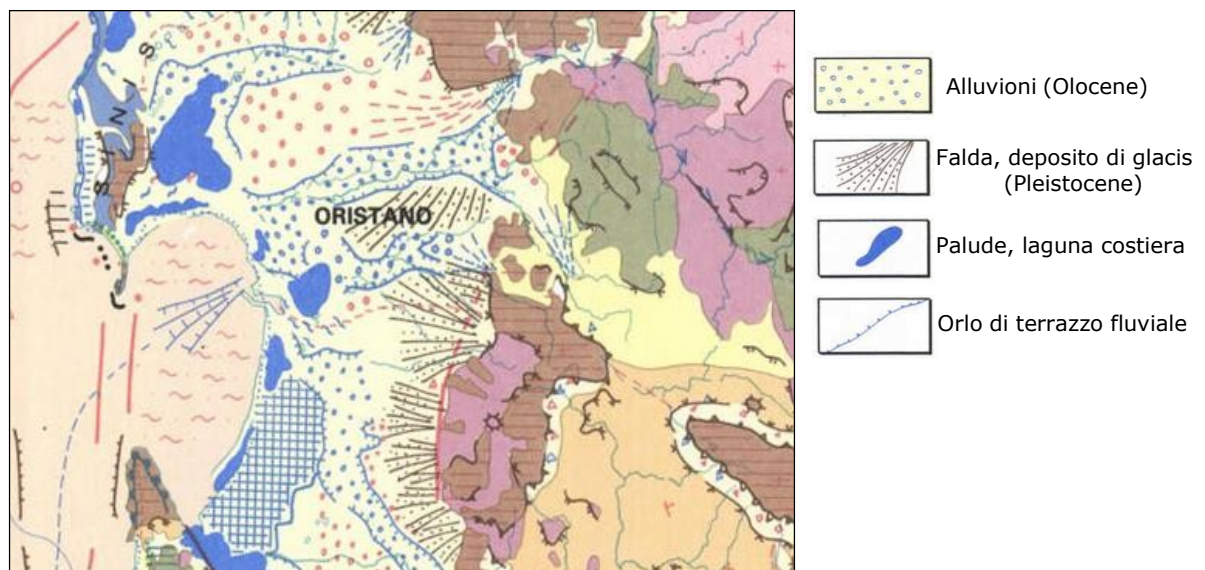


Fig. 6 - Stralcio della Carta Geologica Geomorfologica della Sardegna - scala: 1:500.000

5. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Assetto geostrutturale

L'assetto dell'area in esame è il risultato dell'evoluzione della Fossa Sarda, un profondo *rift* inquadrabile nell'ambito dello sviluppo della tettonica del Mediterraneo occidentale durante l'Oligo-Miocene (Cherchi & Montadert, 1982) e, successivamente, dei fenomeni distensivi che hanno interessato la placca continentale sarda e che hanno condotto alla formazione della fossa tettonica del Campidano.

Tali eventi hanno comportato in tutta l'area un sostanziale sprofondamento della crosta e marcati fenomeni di subsidenza. La formazione del rift sardo, in particolare, è conseguente al distacco, durante l'Oligocene, del massiccio sardo-corso dal margine provenzale e migrazione del blocco, con rotazione antioraria, verso sud, nel bacino Mediterraneo occidentale, fino alla posizione attuale (Cherchi & Montadert, 1982).

All'interno di questa vasta depressione tettonica, allungata in senso nord-sud, dal Golfo dell'Asinara fino al Golfo di Cagliari, su un probabile fondo granitico-scistoso, si sviluppò un intenso vulcanismo e si accumularono potenti spessori di sedimenti di natura marina e continentale.

La formazione della fossa campidanese, durante il Plio-Quaternario, è il risultato della ripresa della fase tettonica di sprofondamento terziaria e, precisamente, dei fenomeni distensivi legati all'apertura del Tirreno meridionale (Selli & Fabbri, 1971).

Si tratta, in particolare, di un bacino continentale chiuso all'interno del quale si sono depositati potenti spessori di materiali alluvionali o strati fluvio-lacustri in gran parte derivanti dallo smantellamento dei rilievi circostanti.

Direttamente coinvolto nella tettonica distensiva che ha condotto alla formazione della fossa campidanese è l'apparato vulcanico del Monte Arci.

Nel rilievo vulcanico, in particolare, si individuano almeno tre direzioni tettoniche principali, ossia NNW-SSE (direzione campidanese), N-S e NNE-SSW, rispetto alle quali concordano le direzioni dei dicchi alimentatori delle colate tardo-plioceniche; si tratta di associazioni di fratture e faglie distensive, a presumibile andamento crostale, che mettono in evidenza il carattere prevalentemente fissurale del vulcanismo tardo-pliocenico del Monte Arci (Assorgia et al., 1976).

Assetto Geologico generale

Il territorio in esame costituisce una porzione della fascia costiera del Golfo di Oristano, geologicamente e strutturalmente parte integrante della pianura del Campidano, che si estende per circa 115 km, con direzione NO-SE, dal Golfo di Cagliari al Golfo di Oristano.

Gli eventi geologici responsabili dell'attuale assetto geo-strutturale del settore in esame iniziarono nel Terziario, durante l'Oligocene medio, quando per la collisione della placca africana con quella europea, si ebbe la rototraslazione del blocco sardo-corso e l'apertura del rift sardo, con la suddivisione del basamento cristallino paleozoico, strutturalmente già evoluto, in due *horst* (Tapponier, 1977).

L'horst occidentale fu smembrato in blocchi, disposti in senso meridiano, rappresentati dalla Nurra, dai Monti di Flumentorgiu, l'Arburese-Iglesiente ed il Sulcis di grandi dimensioni, ed altri come il sud-Algherese e l'isola di Mal di Ventre, di dimensioni assai ridotte.

L'horst orientale, almeno apparentemente più omogeneo, è costituito dal complesso granitico del nord Sardegna, dalla zona assiale della catena ercinica della Sardegna nord-orientale, dalla zona a falde della catena ercinica della Sardegna centrale e dall'intrusione ercinica del Sarrabus.

La formazione della "fossa sarda", che si sviluppava dal Golfo di Cagliari a quello dell'Asinara con una larghezza di circa 40 km, fu seguita da un'intensa attività vulcanica sin-tettonica, portando al parziale riempimento della stessa, come testimoniano le estese coperture vulcaniche della Planargia, del Bosano e del Montiferru.

La subsidenza all'interno della fossa fu attiva per un lungo periodo cosicché il mare miocenico vi penetrò, come testimoniano i numerosi affioramenti di sedimenti marini miocenici nel Meilogu-Logudoro a nord e lungo i bordi della fossa campidanese a sud, nella Marmilla e nella Trexenta ad est e di Funtanazza e del Cixerri ad ovest.

Nel settore meridionale della "fossa sarda" la serie miocenica, ricostruita sulla base dei risultati di perforazioni profonde eseguite nel Campidano e delle indagini di superficie, presenta uno spessore di circa 1500 metri, di cui circa 300-400 metri di ambiente continentale ed il restante di ambiente marino. In relazione ai movimenti tettonici che hanno generato il bacino sedimentario

oligo-miocenico i materiali che si rinvenivano nella fossa sono stati suddivisi da *Cherchi e Montardet* (1982, 1984) in depositi pre-rift, syn-rift e post-rift, in funzione della loro posizione rispetto all'evoluzione della fossa stessa.

Nel Messiniano in seguito alla crisi di salinità del Mediterraneo occidentale, il mare miocenico si ritirò e le aree precedentemente sommerse divennero sede di un'intensa attività erosiva, come evidenziato da una netta superficie di erosione che tronca la sequenza stratigrafica miocenica.

Durante la fase di regressione si passa gradualmente da un ambiente di mare aperto ad un ambiente di mare ristretto. Questi passaggi sono testimoniati nella penisola del Sinis, dove si rinvenivano depositi evaporitici messiniani. Nel nuovo ambiente continentale, nelle aree più depresse vengono depositi i detriti asportati dalle aree altimetricamente più elevate. Si formano così i sedimenti continentali pliocenici della Formazione di Samassi. Nel Plio-Quaternario una nuova fase tettonica a carattere distensivo, collegata con l'origine del bacino oceanico del Tirreno centro-meridionale, interessa l'Isola ed è responsabile dell'apertura del graben campidanese, che si sovrappone al settore centro-meridionale della fossa sarda, attraverso il ringiovanimento, lungo i bordi paleozoici, di una serie di faglie parallele con direzione NNO-SSE. A queste ultime sono legate le manifestazioni vulcaniche responsabili della formazione dei grandi edifici vulcanici della Sardegna (Montiferru e Monte Arci) e della messa in posto dei basalti di piattaforma.

Questi ultimi, spesso in evidente inversione di rilievo, andarono a colmare i bassi morfologici, ricoprendo i depositi detritici post-miocenici. Lungo i bordi del graben questa situazione innescò un consistente regime erosivo che in parte smantellò i sedimenti miocenici.

Dal Pleistocene medio la Sardegna acquista una certa stabilità tettonica. Le oscillazioni climatiche del Quaternario, a partire dal Pleistocene e il susseguirsi delle variazioni eustatiche, generano nell'Isola degli evidenti mutamenti morfologici. Nell'Olocene, infine, assistiamo alla deposizione di sedimenti (alluvioni, depositi litorali, dune, etc.) che conferiscono alla Sardegna l'attuale aspetto morfologico. La successiva ripresa dell'attività erosiva, guidata dalle discontinuità tettoniche che ha agito con maggior intensità sulle litologie più erodibili, determinò la produzione di ingenti quantità di materiale detritico.

Il materiale eroso, trasportato a valle dalle acque superficiali, incanalate e non, venne depositato nella fossa del Campidano, fino a colmarla, con la formazione di potenti depositi detritici.

Nel Campidano la continua subsidenza e la mancanza di pendenze adeguate, ha consentito localmente il permanere di vaste zone depresse, come per esempio lo stagno di Sanluri e l'anello "lacustre" attorno al Golfo di Oristano e attorno a quello di Cagliari.

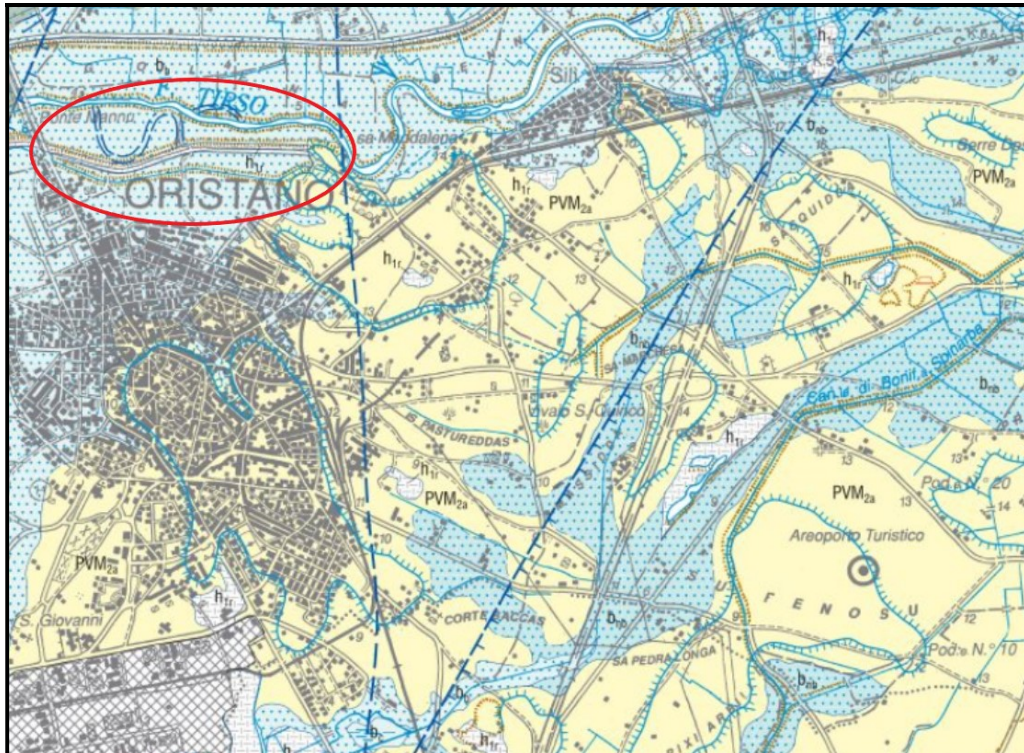


Fig. 7 - Stralcio della Carta Geologica d'Italia Foglio 528 "Oristano" – Scala 1:50.000

LEGENDA

- Depositi antropici**
 Discariche per inerti (h_{1n}); discariche per rifiuti solidi urbani (h_{1u}); materiali di riporto e aree bonificate, talvolta con frammenti di materiale archeologico (resti di pasto, ceramiche, manufatti litici) (h_{1r}). Lo spessore massimo è pari a 5 m.
OLOCENE
- Depositi alluvionali**
 Ghiaie ad elementi di rocce paleozoiche e vulcaniti terziarie (b_1); sabbie quarzose e limi (b_2); limi alluvionali (b_3). Lo spessore è fino a 5 m.
OLOCENE
- Coltri eluvio-colluviali**
 Detriti immersi in matrice sabbioso-siltosa, talora con intercalazioni di suoli più o meno evoluti. Lo spessore è fino a 3 m.
OLOCENE

SISTEMA DI PORTOVESME

- Subsistema di Portoscuso**
 Ghiaie e sabbie alluvionali terrazzate (PVM_{2a}). Lo spessore massimo raggiunge 35 m.
 Arenarie eoliche con resti ossei di vertebrati (*Mammuthus lamarmorae*) e molluschi polmonati, intercalazioni di detriti rimaneggiati, colluvi e paleosuoli (PVM_{2b}). Lo spessore massimo raggiunge 20 m.
Subsistema di Calamosca ("Panchina tirreniana" Auct.)
 Conglomerati e arenarie litorali, calcareniti e limi lagunari con resti fossili di molluschi (*Cerastoderma edulis*, *Ostrea edulis*), coralli e alghe; limi e argille sabbiosi di facies lagunare, con resti fossili di molluschi (*Mytilus galloprovincialis*, *Cerastoderma edulis*, *Conus* sp., etc.) (PVM_1). Lo spessore massimo in affioramento è circa 6 m.
PLEISTOCENE SUP.

La pianura si affaccia sul Golfo di Oristano con una costa bassa e sabbiosa ad arco, che termina con due promontori alti e rocciosi rappresentati da Capo Frasca verso SO e Capo San Marco verso NO.

Si tratta di una spiaggia di considerevoli dimensioni, sia per larghezza, sia per lunghezza, interrotta localmente dalla foce del Tirso e dalle bocche a mare delle lagune costiere.

Proprio agli apporti del Tirso, rappresentati prevalentemente da sabbie e ghiaie quarzose feldspatiche debolmente limose, ridistribuiti dalle correnti litoranee e dal moto ondoso, si deve l'origine della spiaggia.

Una serie di stagni e paludi, oggi per lo più bonificati e campi dunali di retrospiaggia, per buona parte rimboschiti a pino, evidenziano il passaggio tra la piana costiera e la spiaggia.

I corpi idrici, relitti di bracci fluviali e meandri abbandonati del Tirso e dei suoi affluenti, attualmente in parte bonificati ed i terrazzi fluviali, testimoniano le fasi evolutive dei corsi d'acqua, mentre le lagune costiere e gli stagni retrodunali rappresentano le diverse fasi evolutive della linea di costa, entrambe legate a periodi di sedimentazione, alternati a fasi di erosione, conseguenti sia a fenomeni di subsidenza tettonica sia al glacio-eustatismo quaternario.

6. MODELLO GEOLOGICO E CONTESTO LOCALE

Le alluvioni antiche del Tirso

Le alluvioni costituenti la grande conoide del Tirso sono sempre state genericamente indicate come "alluvioni antiche o terrazzate", ricollegandole in tal modo a tutti quei depositi alluvionali sardi sparsi un po' ovunque nell'Isola: in zone pianeggianti, ai bordi di massicci paleozoici, lungo le coste, nelle depressioni tettoniche o nelle valli di erosione e che venivano sempre indicate con il termine estremamente generico di "alluvioni terrazzate".

Esse sono costituite da sabbie medio-grossolane intercalate da livelli ciottolosi; i livelli sabbiosi sono costituiti da granuli arrotondati a prevalente componente quarzosa e cementate da ossidi di ferro e alluminio.

I livelli ciottolosi sono costituiti da clasti di dimensioni da centimetriche e decimetriche di natura basaltica, riolitica, ignimbratica e rari ciottoli di

ossidiana, molto arrotondati, immersi in una matrice sabbioso-quarzosa, molto arrossata.

Questa formazione è limitata al tetto da una superficie d'erosione con la presenza localmente di un crostone carbonatico. I sedimenti sono di origine fluviale, appartenenti alle alluvioni del Tirso che nella parte più prossima alle pendici del Monte Arci assumevano in carico i sedimenti costituenti le conoidi e i glacis del Monte Arci.

Alla base di tali depositi si trova una potente bancata di argille marine o salmastre che si incontrano generalmente nei sondaggi, ma è noto altri punti in cui affiorano prossime al piano di campagna ("argille basali" Auct.).

Il rilevamento ha permesso di identificare una grande varietà di facies nelle alluvioni antiche, nella loro grande variabilità molte di queste mostrano dei caratteri comuni che sono stati usati come anello di congiunzione nel tentativo di distinguere i corpi alluvionali principali che formano il grande cono di deiezione del Tirso.

Si è cercato anche di gerarchizzare tali corpi tentando di stabilire delle età relative in base a considerazioni stratigrafico-deposizionali, morfologiche e, quando ciò è stato possibile, anche su basi paleopedologiche. Si tenga sempre ben presente che tale gerarchizzazione, ai dati attuali, può essere solo puramente indicativa sia per l'incompletezza dei dati analitici fin qui acquisiti, sia perché è ignota fino a che punto eventuali movimenti neotettonici possono aver condizionato la successione sedimentaria, anche se dalla letteratura esistente pare che questa eventualità sia comunque alquanto remota. Altri depositi di una certa importanza sono i detriti di versante che si estendono sino verso Ollastra e Siapiccia, coprendo le sabbie fluviali del Tirso.

Tali depositi sono formati da ciottoli eterometrici con dimensioni da centimetriche a decimetriche, poligenici a litotipi quarzosi, metamorfici, granitici e rare ossidiane. I ciottoli mostrano un grado di elaborazione alquanto scarso e sono immersi in una matrice sabbioso argillosa.

Alluvioni limose e sabbiose recenti ed attuali

Seguono l'andamento dell'attuale letto del Tirso estendendosi maggiormente lungo la sponda destra. Le caratteristiche granulometriche di questi sedimenti, costituite da elementi prevalentemente argillosi sono in accordo con le modalità di deposizione dei materiali alluvionali; le ghiaie e le sabbie che

predominano nell'alto e medio corso del fiume sfumano, in modo più o meno rapido, ai limi della bassa pianura.

Limi ed argille palustri

Una vasta superficie è interessata da zone paludose ricoperte da uno strato di materiali limoso-argillosi. Di età recente, dall'Olocene all'attuale, questi depositi sono situati ai bordi degli stagni e delle paludi. Le argille lacustri occupano le zone depresse e le aree degli stagni bonificati agli inizi del secolo scorso, sono prevalentemente costituite da argille a carattere espandibile, montmorillonitiche di colore dal grigio chiaro (dato dal disfacimento del carbonato di calcio dei gusci dei resti conchigliari, talora abbondantemente presenti) a verde scuro e nero.

Attraverso l'osservazione diretta e l'analisi dei dati raccolti sulle caratteristiche geologiche e geotecniche dell'area è stato possibile ricostruire la sequenza litostratigrafica differenziando unità dotate di caratteristiche litologiche, petrografiche e geotecniche riconoscibili sul terreno. Verranno pertanto adeguatamente evidenziati sulla base di informazioni fondate sulle risultanze di indagini precedentemente svolte nello stesso territorio, sulla esperienza locale e di analisi diretta sulle condizioni dei luoghi prossimi all'area di intervento, la situazione geotecnica del substrato interessato dall'opera da realizzare. Per tali motivi non è stata prevista nessuna indagine geotecnica aggiuntiva in quanto si è ritenuto sufficiente, per la tipologia di intervento da eseguire e per le formazioni geologiche riscontrate nell'area, il rilevamento di campagna, la fotointerpretazione e i dati bibliografici esistenti (compresi accertamenti geognostici e geotecnici relativi ad altri lavori eseguiti) riferiti alla stessa zona. In particolare, i risultati di precedenti indagini geognostiche realizzate nel medesimo territorio, hanno consentito di avere un quadro attendibile circa la conformazione del substrato sopra il quale realizzare la pista di servizio, con l'analisi di parametri che permetteranno di determinare le loro caratteristiche stratigrafiche e fisico-meccaniche.

Quindi si prenderanno in considerazione un pozzetto geognostico con campionamento di terreno per le prove di laboratorio (taglio diretto, classificazione, analisi granulometrica e limiti di Atterberg) relativi ad altro

progetto di opera ancora non realizzata sempre in questo territorio, i cui dati sono riportati nella Relazione Geotecnica.

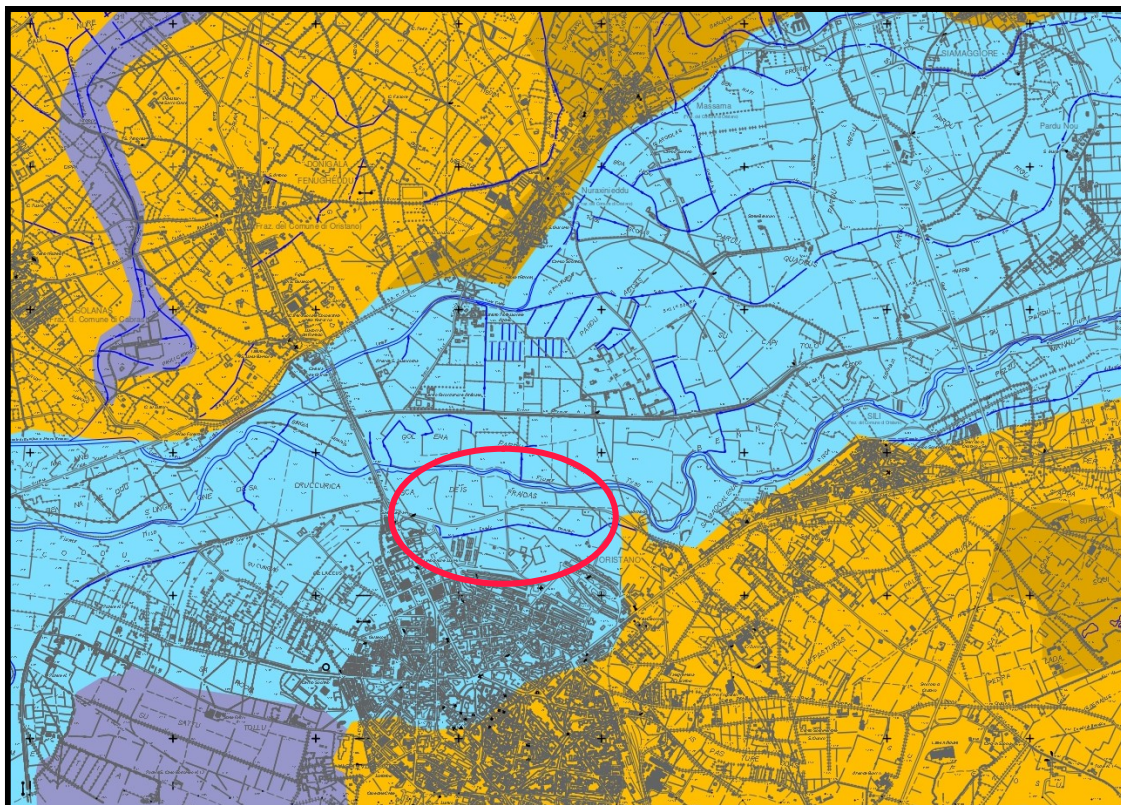
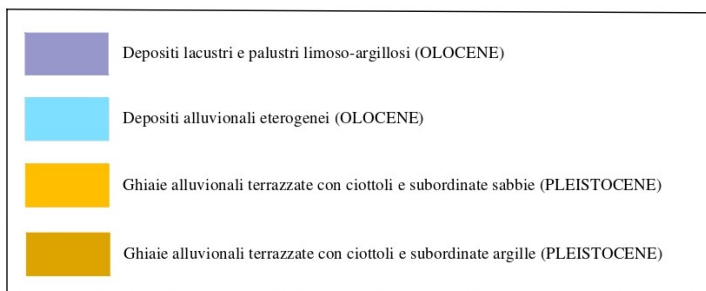


Fig. 8 - Carta Geolitologica

Legenda



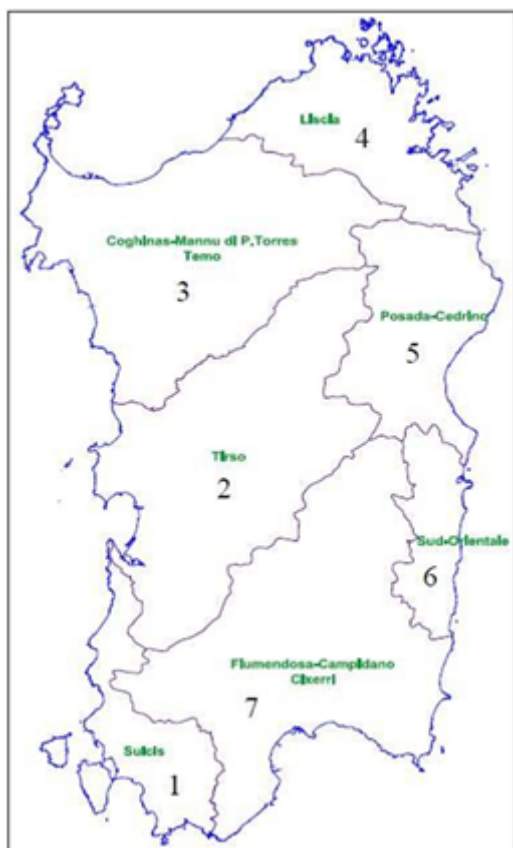
7. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

L'intero territorio della Sardegna è suddiviso in sette sub-bacini (fig. 9), ognuno dei quali caratterizzato nell'insieme da generali omogeneità geomorfologiche, geografiche, idrologiche, ma anche da forti differenze di estensione territoriale.

Il territorio è ricompreso nell'ambito del sub-bacino n. 2 "Tirso". I lineamenti geologici salienti di questo sottobacino regionale si contraddistinguono per una considerevole varietà di associazioni litologiche e morfo-strutturali.

L'U.I.O. (Unità Idrogeologica Omogenea) del Tirso ha un'estensione di circa 3365,78 Km² ed è costituita solo dall'omonimo bacino idrografico.

È caratterizzata da un'intensa idrografia con sviluppo prevalentemente dentritico dovuto alle varie tipologie rocciose attraversate lungo la parte centrale ed è delimitata a Ovest dal massiccio del Montiferru, a Nord-Ovest dalle Catene del Marghine e del Goceano, a Nord dall'altopiano di Buddusò, a Est dal massiccio del Gennargentu, a Sud dall'altopiano della Giara di Gesturi e dal Monte Arci. Il fiume Tirso, corso d'acqua principale, nasce dall'altopiano di Buddusò e sfocia nel Golfo di Oristano dopo un percorso di 159 km circa. Il suo



andamento si differenzia notevolmente procedendo dalla sorgente alla foce, anche se è possibile individuare tre tratti così connotati:

- nel primo tratto, compreso tra le sorgenti e la confluenza col Rio Liscoi, il corso del fiume presenta un percorso tortuoso con notevoli pendenze;
- nel secondo, tra la confluenza con il Rio Liscoi e il lago Omodeo, la pendenza si fa via via più dolce e il corso del fiume assume un andamento regolare;
- nell'ultimo, attraverso la piana di Oristano, il corso del fiume presenta pendenze minime ed è caratterizzato dalla presenza di grossi meandri.

Fig. 9 – Delimitazione sub-bacini

I principali affluenti del fiume ricadono tutti nella parte alta e media del corso e drenano talvolta dei sottobacini. Affluenti di minore importanza sono quelli che drenano i versanti occidentali del Monte Arci, caratterizzati da una rete idrografica piuttosto lineare, poco ramificata e quasi perpendicolare alla linea di costa.

Riguardo alle acque sotterranee, sulla base del quadro conoscitivo attuale, sono stati individuati per tutta la Sardegna 37 complessi acquiferi principali,

costituiti da una o più Unità Idrogeologiche con caratteristiche idrogeologiche sostanzialmente omogenee.

Di seguito, si riportano gli acquiferi che interessano la U.I.O. del Tirso

1. Acquifero dei Carbonati Mesozoici della Barbagia e del Sarcidano
2. Acquifero Detritico Carbonatico Oligo-Miocenico del Campidano Orientale
3. Acquifero delle Vulcaniti Oligo-Mioceniche della Sardegna Nord-Occidentale
4. Acquifero delle Vulcaniti Plio-Pleistoceniche della Sardegna Centro-Occidentale
5. Acquifero delle Vulcaniti Plio-Pleistoceniche del Monte Arci
6. Acquifero delle Vulcaniti Plio-Pleistoceniche della Giara di Gestori
7. Acquifero Detritico-Alluvionale Plio-Quaternario del Campidano

La permeabilità, che deve essere intesa come "la proprietà delle rocce di lasciarsi attraversare dall'acqua sottoposta a un carico idraulico", si distingue in due grandi tipologie, quella per porosità e quella per fessurazione.

La prima si manifesta in rocce porose, più o meno cementate, caratterizzate da numerosi piccoli vuoti intergranulari e intercomunicanti, mentre la seconda, invece, è tipica di rocce coerenti e compatte, ma solcate da diverse famiglie di fessure e giunti.

Nel territorio in esame si riscontra, proprio per via della presenza costante di sedimenti alluvionali, una scarsa variabilità in termini di unità idrogeologiche.

Di seguito si riportano le tre classi di permeabilità riscontrate:

- permeabilità alta per porosità e, nelle facies carbonatiche, anche per fessurazione;
- permeabilità per porosità complessiva medio-bassa; localmente medio alta nei livelli a matrice più grossolana;
- permeabilità complessiva per fessurazione da medio bassa a bassa; localmente in corrispondenza di facies fessurate, vescicolari e cavernose, permeabilità per fessurazione e subordinatamente per porosità medio-alta corrispondenti rispettivamente alle 3 unità idrogeologiche rilevate:

Unità detritico-carbonatica quaternaria, Unità delle alluvioni plio-quaternarie, Unità delle vulcaniti plio-quaternarie.

Il territorio in esame è caratterizzato per la quasi totalità dall'affioramento dell'Unità delle alluvioni plio-quaternarie che presentano, nella maggior parte

dei casi, una permeabilità media. La stessa aumenta negli orizzonti più francamente sabbiosi e ghiaiosi e, al contrario, diminuisce negli orizzonti caratterizzati da una granulometria più fine.

Nella zona costiera è presente l'Unità detritico-carbonatica quaternaria costituita in maggioranza da sabbie marine e dunari, la cui permeabilità è generalmente alta per porosità. Il lembo sud-orientale del territorio interessato, idrogeologicamente facente parte dell'Unità delle vulcaniti plioquaternarie, è caratterizzato, viceversa, da una permeabilità per fessurazione che passa da medio-bassa a bassa nelle facies più litoidi, mentre può variare sino a medio-alta nelle facies più fessurate e vescicolari.

L'assetto idrogeologico-stratigrafico, così come testimoniato anche da numerosi studi, oltre che da altri lavori svolti nella stessa zona di intervento, è caratterizzato dalla presenza di due acquiferi di rilevante importanza, uno superficiale e uno profondo.

L'acquifero superficiale, di tipo freatico, è impostato sui depositi alluvionali più recenti ed è per lo più alimentato dalle acque meteoriche, oltre che dall'interazione con i corsi d'acqua che insistono sul territorio. Il letto di tale acquifero è costituito da un orizzonte impermeabile di natura argillosa e sabbioso-argillosa.

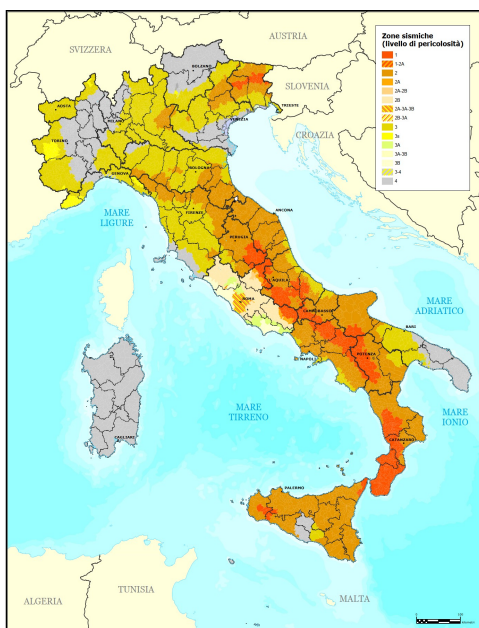
L'acquifero profondo, di tipo semi-confinato, è impostato sui prodotti alluvionali pleistocenici ed è di tipo multistrato a causa dei numerosi orizzonti a permeabilità più o meno bassa che lo costituiscono. Il deflusso sotterraneo presenta un andamento di direzione SE-NW.

I dati idrogeologici derivanti da studi pregressi svolti nella piana di Oristano indicano valori di permeabilità K dell'acquifero che si attestano sui $3,8 \times 10^{-4}$ e $1,2 \times 10^{-5}$ m/s.

8. CARATTERIZZAZIONE SISMICA

Le relazioni e le indagini specialistiche sono eseguite in conformità alle Norme Tecniche sulle Costruzioni di cui al D.M. Infrastrutture e Trasporti del 17 Gennaio 2018 e dalla Circolare n. 7 C.S.LL.PP. del 21 Gennaio 2019, le quali definiscono i principi da seguire "per il progetto, l'esecuzione e il collaudo delle costruzioni, nei riguardi delle prestazioni loro richieste in termini di requisiti essenziali di resistenza meccanica e stabilità, anche in caso di incendio e di

durabilità. Esse forniscono, quindi, i criteri generali di sicurezza, precisano le azioni che devono essere utilizzate nel progetto, definiscono le caratteristiche



dei materiali e dei prodotti e, più in generale, trattano gli aspetti attinenti alla sicurezza strutturale delle opere”.

L’O.P.C.M. n. 3274 del 23.03.2003 classifica dal punto di vista sismico l’intero territorio nazionale, inserendo il Comune di Oristano (così come tutti i Comuni Sardi) nella zona 4, definita la “meno pericolosa, con probabilità che capiti un terremoto molto bassa”, a cui corrisponde un’accelerazione orizzontale “ $a_g/g < 0,05$, con possibilità di danni sismici basse”.

Fig. 10 Classificazione sismica al 2015

La stessa zonizzazione è stata confermata anche dalla Regione Sardegna con D.G.R. 15/31 del 30/03/2004. Alla zona 4 corrisponde un’accelerazione orizzontale con probabilità di superamento del 10% in 50 anni inferiore a 0,05 (ag/g). Questo si traduce in un’accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico pari a 0,05 (ag/g) riferita a suoli molto rigidi.

Zona	Accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (a_g/g)	Accelerazione orizzontale massima convenzionale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (a_g/g)
1	0,25 - 0,35	0,35
2	0,15 - 0,25	0,25
3	0,05 - 0,15	0,15
4	$\leq 0,05$	0,05

In funzione delle diverse categorie di suolo e relativamente all’amplificazione stratigrafica si considerano i seguenti Coefficienti S_s (coefficiente stratigrafico) e C_c (coefficiente che modifica il valore di T_C , periodo corrispondente all’inizio del tratto a velocità costante dello spettro di risposta elastico) riportati nella tabella seguente:

Categoria sottosuolo	S_s	C_c
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_c^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_c^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_c^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_c^*)^{-0,40}$

I valori dei parametri caratteristici dello spettro di risposta elastico per il calcolo delle azioni sismiche orizzontali secondo le Norme tecniche per le costruzioni sono quelli di seguito indicati:

Categoria di sottosuolo	S_s	T_B	T_c	T_D
A, B, C, D, E	1,0	0,05 s	0,15 s	1,0 s

dove S è il fattore amplificativo e T_B , T_c e T_D sono i tempi relativi ai vari tratti dello spettro di risposta, corrispondente alle diverse categorie di profilo stratigrafico.

8.1. Categoria di sottosuolo e condizioni topografiche

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale tenendo conto della tipologia e caratterizzazione geotecnica dei terreni esistenti in sito. Secondo quanto riportato all'interno delle NTC 2018, la valutazione dell'azione sismica di progetto può essere effettuata mediante un approccio semplificato se le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano riconducibili alle categorie di sottosuolo riportate in Tab. 3.2.II.

Tab. 3.2.II – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	Depositi di terreni a grana grossa medianamente addensati o terreni a grana fina medianamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

In relazione alle categorie di suolo riscontrate nel rilevamento effettuato, alle indagini svolte in precedenti studi e in relazione alla cartografia geologica a disposizione, l'area di intervento progettuale è da intendersi appartenente alla CATEGORIA "C": Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, caratterizzati da valori di velocità equivalente compresi tra 180 e 360 m/s. Si evidenzia, inoltre, che trattandosi di intervento di modesta rilevanza come riportato nell'ultimo capoverso del punto 6.2.2 (INDAGINI, CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOTECNICA) del D.M. 17/01/2018: "Nel caso di costruzioni o di interventi di modesta rilevanza, che ricadano in zone ben conosciute dal punto di vista geotecnico, la progettazione può essere basata su preesistenti indagini e prove documentate, ferma restando la piena responsabilità del progettista su ipotesi e scelte progettuali". Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione (NTC 2018) – Tabella 3.2.V:

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a 30°	1,2
T4	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di 30°	1,4

La variazione spaziale del coefficiente di amplificazione topografica è definita da un decremento lineare con l'altezza del pendio o del rilievo, dalla sommità o dalla cresta, dove S_T assume il valore massimo riportato nella Tab. 3.2.V, fino alla base dove S_T assume valore unitario. Gli interventi in progetto sono ubicati in corrispondenza di una superficie pianeggiante e, pertanto, può essere assunto un valore di S_T pari a 1.0. La progettazione delle fondazioni riguarda generalmente anche la verifica nei confronti della liquefazione e della stabilità globale. Nel caso in questione, tuttavia, considerata la struttura litostratigrafica del sito, la verifica nei confronti della liquefazione può essere omessa non avendo riscontrato la presenza di terreni granulari sabbiosi saturi.

L'azione sismica di progetto viene definita partendo dalla "pericolosità di base" del sito d'intervento, elemento essenziale di conoscenza per la

determinazione dell'azione sismica. Le azioni di progetto si ricavano, ai sensi delle NTC, dalle accelerazioni a_g e delle relative forme spettrali. Queste ultime previste dalle stesse NTC sono determinate, su sito di riferimento rigido orizzontale, in funzione dei tre parametri, a_g accelerazione orizzontale massima del terreno, F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale, T^*c periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

9. CONCLUSIONI

Nell'ambito del Progetto Esecutivo degli interventi denominati **"Lavori di sistemazione e potenziamento della viabilità di servizio al piede dell'argine sinistro del Tirso in corrispondenza del ponte del Rimedio" – (Servizio di piena 2022) - CAT P0622"** - si è provveduto a redigere la presente relazione geologica, anche con l'ausilio di indagini geognostiche e di caratterizzazione sismica eseguite nello stesso territorio per altri progetti del CBO consentendo di definire un appropriato modello geologico di dettaglio e di riferimento per il progettista.

Sono stati presi in esame lo stato di fatto dei luoghi e le principali caratteristiche geologiche, idrogeologiche e geomorfologiche della zona e, in conformità alle norme tecniche vigenti in materia, è stata redatta questa relazione contenente le indicazioni riguardo l'intervento proposto.

Gli aspetti stratigrafici, geomorfologici ed idrogeologici esaminati non hanno dato luogo a particolari problematiche rispetto alla realizzazione della pista di servizio. Le indagini precedentemente eseguite in questo ampio territorio hanno fornito le indicazioni stratigrafiche, la categoria sismica del suolo e i valori correlati. È stato realizzato n°1 pozzetto geognostico con relativo campionamento consentendo la definizione della stratigrafia, costituita per lo più da alternanze di terreni limo-argillosi, sabbie e sabbie ghiaiose e ciottolose.

Tali litologie non comportano fenomeni di instabilità e hanno caratteristiche tali da essere facilmente scavabili con i mezzi meccanici convenzionali.

Dall'esecuzione dello scavo tramite il pozzetto geognostico non è stata intercettata alcuna circolazione di falda freatica.

Non si evidenziano fenomeni franosi in evoluzione o di instabilità, come pure non esiste una copertura pedologica che possa essere compromessa dalla realizzazione dell'intervento progettuale.

In relazione alla ricostruzione del modello geologico sono stati richiamati in sintesi i dati significativi che hanno consentito di ricostruire lo stesso, fornendo altresì le basi per una corretta modellizzazione geotecnica. La concordanza dei dati emersi dalle indagini dirette ha consentito di validare il modello geologico di riferimento definito nella presente relazione.

Sulla base di quanto sopra specificato si ritiene che l'opera prevista dal Progetto sia attuabile dal punto di vista geologico e idrogeologico.

RELAZIONE GEOTECNICA

Sommario

1. PREMESSA	29
2. INDAGINI GEOGNOSTICHE	29
3. MODELLO GEOLOGICO E GEOTECNICO.....	31
4. DESCRIZIONE DELLE OPERE E FATTIBILITA' GEOTECNICA	34
5. CONCLUSIONI	35

1. PREMESSA

Il seguente studio geotecnico, parte integrante del Progetto Esecutivo degli interventi denominati **“Lavori di sistemazione e potenziamento della viabilità di servizio al piede dell’argine sinistro del Tirso in corrispondenza del ponte del Rimedio” – (Servizio di piena 2022) - CAT P0622”**, prevede la realizzazione di una pista di servizio di larghezza pari a circa 2,80 metri, più 0,50 metri di banchina per lato e di lunghezza pari a 1.840,76 metri, per un importo finanziario complessivo di Euro 300.000,00. Tale opera dovrà consentire lo svolgimento delle attività manutentive e di pulizia ordinaria all’interno della fascia demaniale, lungo il piede dell’argine sinistro del Fiume Tirso.

Verranno analizzate le interazioni opera-terreno, facendo riferimento al modello geologico sviluppato e che consente di caratterizzare i terreni attraversati. Oltre al rilevamento di campagna, la fotointerpretazione e ai dati bibliografici esistenti, sono state considerate alcune indagini geognostiche svolte per altro progetto del CBO nella stessa area e che hanno permesso di acquisire informazioni finalizzate alla definizione della stratigrafia del sito. La caratterizzazione geotecnica del substrato di terreno su cui sarà realizzata la pista di servizio è stata completata, inoltre, con analisi di laboratorio svolte sempre nell’ambito del medesimo progetto del Consorzio in corso di realizzazione nello stesso territorio.

I risultati degli studi con l’ausilio anche delle precedenti indagini geognostiche cui si è fatto riferimento hanno consentito di avere un quadro attendibile circa la conformazione dei terreni osservati in corrispondenza degli interventi da realizzare, unitamente all’analisi dei parametri che hanno permesso di determinare le caratteristiche stratigrafiche e fisico-meccaniche delle litologie interessate.

2. INDAGINI GEOGNOSTICHE

Attraverso l'osservazione diretta e l'analisi dei dati raccolti sulle caratteristiche geotecniche dell'area è stato possibile ricostruire la sequenza litostratigrafica, differenziando unità dotate di caratteristiche litologiche, petrografiche e geotecniche riconoscibili sul terreno. Pertanto, verrà

adeguatamente evidenziata sulla base di informazioni relative alle risultanze delle indagini geognostiche riferite ad altro progetto CBO, ma riguardante la stessa area, sulla esperienza locale e l'osservazione diretta delle condizioni dei luoghi prossimi all'area di intervento, la situazione geotecnica del substrato interessato dall'opera da realizzare.

È stato preso in considerazione un pozzetto geognostico (PZ9) realizzato con escavatore ad una profondità tale da permettere l'esame delle caratteristiche del terreno che sarà interessato dalla pista e che ha consentito di ricostruire la stratigrafia del sito.

Dall'osservazione dei documenti riferiti a tale pozzetto, la cui ubicazione è riportata nella Fig. 1, è stato possibile valutare gli spessori della copertura e la conseguente profondità del substrato.



Fig. 1 - Vista satellitare dell'area d'intervento con ubicazione del pozzetto PZ9

Nella tabella sottostante sono indicate la profondità e i riferimenti topografici del pozzetto PZ9:

TABELLA RIEPILOGATIVA POZZETTO GEOGNOSTICO

POZZETTO	PROFONDITA'	COORDINATE	COORDINATE	LOCALITA'
n.	mt.	Lat.	Long.	
PZ9	3,40	08°35'18.7146"	39°54'58.0218"	FRAIDAS (ORISTANO)

Durante l'esecuzione del pozzetto geognostico PZ9 sono stati prelevati dei campioni rimaneggiati di terreno per poter effettuare delle prove di

laboratorio, al fine di definire la caratterizzazione fisico – meccanica dei terreni interessati.

POZZETTO n.	CAMPIONE	PROFONDITA' mt.	PROVA DI LABORATORIO
PZ9	<i>PZ9</i>	3,40	Taglio diretto Classificazione - Analisi granulometrica - Limiti di Atterberg

3. MODELLO GEOLOGICO E GEOTECNICO

I risultati delle analisi di superficie e le conoscenze acquisite tramite indagini geognostiche e geotecniche effettuate con precedenti progetti ricadenti nello stesso territorio hanno permesso la ricostruzione della conformazione geologica dei terreni dell'area coinvolta dall'intervento.

È stato possibile identificare lo spessore e la natura dei terreni, le loro caratteristiche tecniche, ricostruendo un modello geologico-tecnico di supporto al progetto da realizzare. Per l'elaborazione del modello geotecnico si è operato per fasi successive di approfondimento, utilizzando come base il modello geologico, differenziando le categorie di materiali presenti, in funzione dei caratteri geotecnici degli stessi.

Le informazioni acquisite nel corso dell'acquisizione dei dati geologici e geomorfologici nonché le risultanze relative alle precedenti indagini in sito, oltre ai dati reperiti in letteratura, hanno consentito di definire la situazione stratigrafica della zona coinvolta nel progetto di realizzazione della pista di servizio.

Il sedime si presenta sommariamente omogeneo arealmente e verticalmente. L'area è costituita da una sequenza di sedimenti di fascia di transizione, variabili da palustre ad alluvionali. Si tratta di depositi alluvionali sciolti, sabbioso-limosi o sabbioso-ghiaiosi in profondità (OLOCENE) (media qualità geotecnica), passanti a depositi di ambiente palustre costituiti da limi ed argille limose, talvolta ciottolose, fanghi torbosi con frammenti di molluschi (OLOCENE) (mediocre qualità geotecnica).

L'alternanza si ripete verso la superficie con depositi sabbiosi e poi argilloso-limosi sino alla coltre pedogenizzata. Per ogni singolo strato

identificato sono state analizzate le caratteristiche meccaniche e sulla base delle risultanze sono state definite le unità litostratigrafiche di riferimento.

Il livello idrico è stato intercettato nei pozzi presenti nelle aree adiacenti la zona in esame intorno a -2,40 metri dal p.c..

La ricostruzione del modello geologico-tecnico ha permesso di valutare la stabilità d'insieme dell'area interessata e di identificare le problematiche che la natura e le caratteristiche tecniche dei terreni possono creare nella scelta della soluzione progettuale. Le unità litostratigrafiche identificate nel modello geologico-tecnico di riferimento sono state caratterizzate dal punto di vista meccanico, attraverso l'analisi di dati ottenuti tramite prove di laboratorio (classificazioni CNR-UNI 10006 e 10014, prove di taglio dirette) su campioni significativi prelevati nell'unico pozzetto geognostico realizzato nell'area in esame. I parametri sono stati calcolati sulla base di elaborazioni di tipo statistico. Di seguito sono riportati, per le diverse unità stratigrafiche riscontrate con l'analisi del pozzetto geognostico, i parametri geomeccanici per il punto di indagine PZ9.

Area di intervento - Località "FRAIDAS"

POZZETTO (PZ9)

Di seguito si riepiloga schematicamente la successione stratigrafica e i parametri geotecnici dei livelli riscontrati, dall'alto verso il basso, utili alla definizione del problema.

In termini generali si configura questa sequenza:

A – Suolo argilloso, color marrone scuro sino a 0,60 metri;

$\gamma \cong 1,6 \div 1,7 \text{ g/cm}^3$;

$\varphi^\circ \cong 25$;

B – Argilla limosa, localmente debolmente sabbiosa, color marrone scuro sino a 1,70 metri;

$\gamma \cong 1,8 \div 1,9 \text{ g/cm}^3$;

$\varphi^\circ \cong 16 \div 17$;

$C \cong 25 \div 26 \text{ kPa}$;

C – Sabbia grossa e ghiaia sciolta in matrice limosa, color marrone sino a fondo scavo;

$$\gamma \cong 1,6 \text{ g/cm}^3;$$

$$\varphi^\circ = 29,28;$$

$$C = 0,2 \text{ kPa};$$

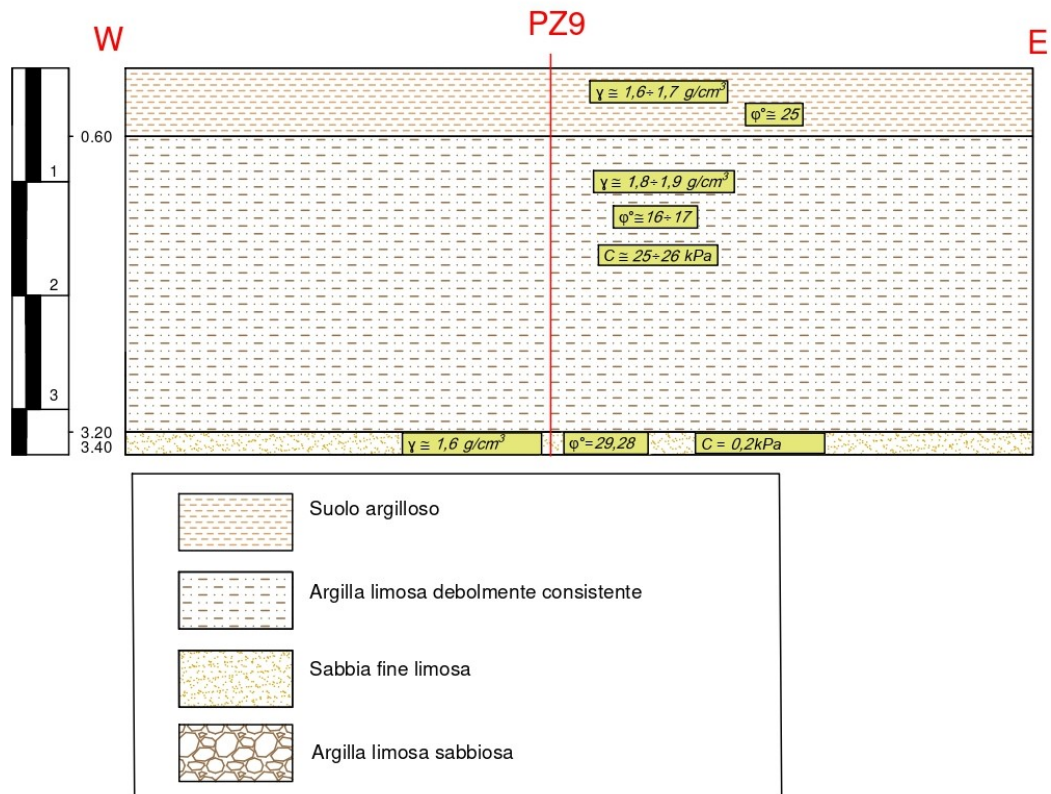


Fig. 2 – Profilo geotecnico in corrispondenza del pozzetto PZ9

PROVE DI LABORATORIO

È stata eseguita n° 1 prova di Taglio diretto e n° 1 Classificazione – Analisi granulometrica - Limiti di Atterberg

Nelle tabelle seguenti i risultati ottenuti:

TAGLIO DIRETTO			
CAMPIONE	PROFONDITA' Metri	Attrito interno φ°	Coesione C (kPa)
PZ9	3,40	29,28	0,21

CLASSIFICAZIONE - ANALISI GRANULOMETRICA - LIMITI DI ATTERBERG							
Campione	Profondità metri	Indice di consistenza	Limiti di consistenza			Classe	Descrizione
PZ9	3,40	I _c (%)	Li (%)	L _p (%)	L _q (%)	UNI 10006	Sabbia
		-	-	-	-	A1 - b	

4. DESCRIZIONE DELLE OPERE E FATTIBILITA' GEOTECNICA

La realizzazione dell'infrastruttura di servizio consentirà l'esecuzione delle attività manutentive e di pulizia ordinarie nella fascia, attualmente di proprietà privata, oggetto di esproprio, lungo il piede dell'argine sinistro del Tirso.

Il tratto di viabilità della pista di servizio ha una larghezza di circa 2,80 metri, più 0,50 metri di banchina per lato ed una lunghezza di 1.840,76 metri.

Dal punto di vista catastale l'intervento ricade all'interno dei Fogli n. 3 e n.7 del Comune Censuario di Oristano comportando per i lavori espropri ed occupazioni temporanee di aree. Le opere sono state progettate con l'obiettivo di migliorare l'accessibilità agli argini per il corretto esercizio dell'attività di vigilanza e presidio idraulico e per agevolare l'esecuzione delle operazioni di pulizia, di manutenzione e di intervento idraulico. Con tali lavori, inoltre, si contribuirà all'obiettivo generale del recupero e riuso delle fasce di rispetto degli argini e in generale delle aree demaniali, intervento sinergico ad altre attività di materializzazione dei confini in corso di realizzazione. L'opera attuale prevede l'esecuzione di una pista di servizio con adeguamento della livelletta di transito, con lavori di scavo e riporto limitati, al fine di adeguare la stessa alle esigenze di accesso e manutenzione della fascia demaniale in sponda sinistra Tirso (golena).

Infine, è prevista la demolizione di un pozzetto di sfiato in cls afferente a un tratto di condotta consortile che attraversa l'argine e che, tra l'altro, sarà oggetto di rimozione in esecuzione di altro progetto del CBO.

Nella presente relazione sono state analizzate le caratteristiche geotecniche dell'area nella quale verranno eseguiti i predetti lavori, facendo riferimento sia agli elementi acquisiti dalle indagini geologiche e geotecniche, queste ultime

svolte per conto del CBO da professionista esterno per altro progetto insistente nella stessa area, ma non ancora realizzato, sia al rilevamento di campagna.

L'intervento progettuale inquadrabile come un'opera di manutenzione in terreno demaniale al piede dell'argine con funzione di pista di servizio su area pianeggiante, prevede dapprima scavi/riporti per circa 30 centimetri di spessore, quindi l'esecuzione della massicciata e lo strato di finitura (5 cm) a chiusura superficiale del materiale sottostante, di più grossa pezzatura.

I limitati spessori di scavo/riporto, la tipologia di opera e la natura di terreno preesistente consentono limitate prescrizioni geologico-tecniche, riferibili in particolare a garantire un corretto smaltimento delle acque meteoriche attraverso l'eventuale realizzazione di cunette (a sezione trapezia, semplicemente scavate), soprattutto nei punti più critici, per preservare l'opera da immediato degrado.

5. CONCLUSIONI

Nell'ambito del Progetto Esecutivo degli interventi denominati **"Lavori di sistemazione e potenziamento della viabilità di servizio al piede dell'argine sinistro del Tirso in corrispondenza del ponte del Rimedio" – (Servizio di piena 2022) - CAT P0622"** è stato svolto uno studio geotecnico ai sensi della normativa vigente.

L'analisi dei dati riferiti all'esecuzione di un pozzetto geognostico e di analisi di laboratorio svolte in precedenza per altro progetto del CBO da realizzare nella stessa area di interesse, ha permesso di individuare una sequenza stratigrafica risultata omogenea sia orizzontalmente che verticalmente. Essa è caratterizzata da livelli litologici debolmente consistenti (argille limose), con sottostanti livelli mediamente/debolmente consistenti (sabbie limose). Dai parametri geotecnici determinati, tale sequenza stratigrafica nel suo complesso risulta essere costituita da litologie con mediocri caratteristiche meccaniche.

La falda non è stata riscontrata nel pozzetto PZ9 realizzato nel sito in esame, mentre nel territorio circostante è risultata assestarsi a quote variabili tra - 2,60 e -3,50 metri dal piano di campagna.

Sebbene i terreni attraversati siano caratterizzati da parametri geotecnici mediocri, gli studi e le analisi eseguiti permettono di valutare il progetto compatibile con le peculiarità geotecniche delle litologie che caratterizzano il

sottosuolo del sito di intervento, considerato che la loro portanza è generalmente sufficiente alle necessità progettuali.

I risultati ottenuti da precedenti indagini svolte nello stesso sito d'interesse e in quello circostante, di supporto alla definizione delle caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni coinvolti, permettono di escludere la presenza di particolari elementi naturali che inibiscano le ipotesi progettuali prospettate e di sostenere la fattibilità dell'intervento.



Studio Geologico - Tecnico
Dott. Geol. Giampiero Fenu
Via Indipendenza , 19
09041 Dolianova (CA)

Committente : Consorzio di Bonifica dell' Oristanese

Cantiere : Corpi arginali fiume Tirso

Località : Fraidas

Inizio scavo : 25/07/2016

Fine scavo : 25/07/2016

Pozzetto : PZ9

Profondità : 3,40 m.

Quota : p.c.

Longitudine : 39°54'58.0218"

Latitudine : 08°35'18.7146"

Scala 1:50	Profondità'	Stratigrafia	Descrizione	Falda	Campioni
	0.60		Suolo argilloso color marrone		
1			Argilla limosa debolmente consistente color marrone scuro		
2					
3					
	3.20 3.40		Sabbia media argillosa limosa color marrone - Fine scavo		= 3.40 =



DOCUMENTO DI PROVA

Certificato n° : 8349/16

Committente: Consorzio di Bonifica dell'Oristanese **Data consegna del campione:** 19/09/16

Opera : Eliminazione interferenze delle infrastrutture irrigue consortili con gli argini del fiume Tirso - CUP G14H15001150002- C.A.T. P0516. Interventi puntuali mirati alla ricostruzione dell'integrità dei corpi arginali del fiume Tirso mediante eliminazione delle interferenze con le condotte irrigue consortili incassate nel corpo arginale da sostituire con attraversamenti ad adeguata profondità da realizzare mediante spingitubo. CUP G14H14001520002-C.A.T P0116.

Località di provenienza : **Fraidas** **Sigla identificativa del campione :** **PZ9** **Profondità (m dal p.c.):** **3,40**

ANALISI GRANULOMETRICA - LIMITI DI ATTERBERG - CLASSIFICAZIONE

ASTM D421 D422 D2217 - ASTM 4318 - CNR BU N°23 - CNR UNI 10014 - CNR UNI 10006

Analisi granulometrica eseguita per setacciatura (via umida)

Aperture mm	Pass.cum. %
200,0	100,0
100,0	100,0
71,0	100,0
60,0	100,0
40,0	100,0
20,0	100,0
10,0	98,8
5,0	94,4
2,00	78,8
1,00	49,5
0,400	13,4
0,250	8,7
0,18	6,7
0,075	4,3

Umidità : % 8,6

Indice di consistenza : -

Limiti di consistenza

Limite di liquidità : % ND

Limite di plasticità : % ND

Indice di plasticità : % non plastico

Classi granulometriche (ASTM)

Contenuto in ciottoli (> 75 mm) : % 0

Contenuto in ghiaia (4,75-75 mm) : % 6

Contenuto in sabbia (0,075-4,75 mm) : % 90

Contenuto in limo + argilla (<0,075mm) : % 4

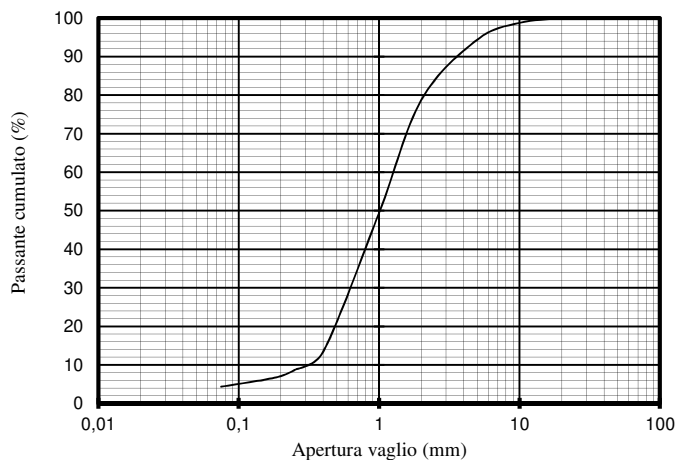
CLASSE (UNI 10006): A1-b

CLASSE (ASTM - USCS): SP

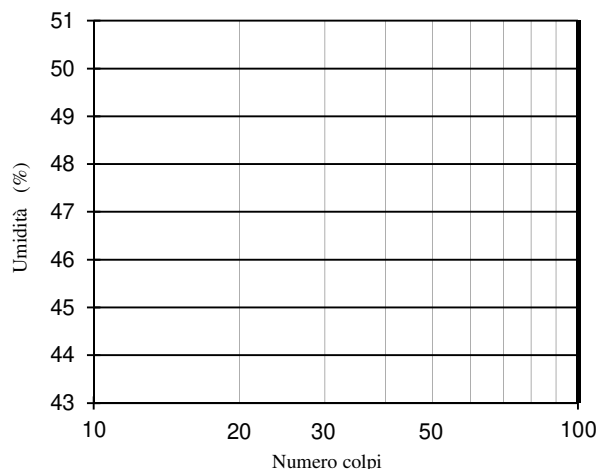
Descrizione tecnica
(USCS)

Sabbia poco gradata

Curva granulometrica



Limite di liquidità



DATA: 29-set-16

CAULA PAOLO
Date 30.09.2016 11:34

DOCUMENTO DI PROVARif. Lab. : 8350/16**Committente:** Consorzio di Bonifica dell'Oristanese **Data consegna campione:** 19/09/16**Opera :** Eliminazione interferenze delle infrastrutture irrigue consortili con gli argini del fiume Tirso - CUP G14H15001150002- C.A.T. P0516. Interventi puntuali mirati alla ricostruzione dell'integrità dei corpi arginali del fiume Tirso mediante eliminazione delle interferenze con le condotte irrigue consortili incassate nel corpo arginale da sostituire con attraversamenti ad adeguata profondità da realizzare mediante spingitubo. CUP G14H14001520002-C.A.T P0116.Località di provenienza : Fraidas Sigla identificativa del campione: PZ9 Profondità (m dal p.c.): 3,40**PROVA DI TAGLIO DIRETTO**

(Direct Shear Test Under Consolidated Drained Conditions)

ASTM D 3080 - 98 / UNI CEN ISO/TS 17892-10

Descrizione del campione : Sabbia grigia media, poco gradata, molto umidaCaratteristiche della prova : Consolidata drenata su provini parzialmente ricostruitiImmersione in acqua del provino durante la consolidazione e la fase di taglio :

si	no
----	----

Caratteristiche del provino	Provino n°	1	2	3	4
Contenuto d'acqua iniziale	%	8,6			
Peso di volume umido iniziale	g/cmc	1,695	1,706	1,679	1,656
Peso di volume secco	g/cmc	1,561	1,571	1,546	1,525

DATI DELLA CURVA DI CONSOLIDAZIONE

	Provino n°	1	2	3	4
Tempo al 100% della consolidazione primaria	min	6,25			
Tempo minimo di durata della prova	min	79,375			
Velocità massima di esecuzione calcolata	mm/min	0,50			

TAGLIO

Tensione verticale applicata	kPa	53,09	102,54	197,97	302,08
Resistenza massima al taglio	kPa	31,3	62,7	98,2	176,1
Deformazione orizzontale alla rottura	%	13,3	13,3	8,3	6,7
Velocità di prova	mm/min	0,50			

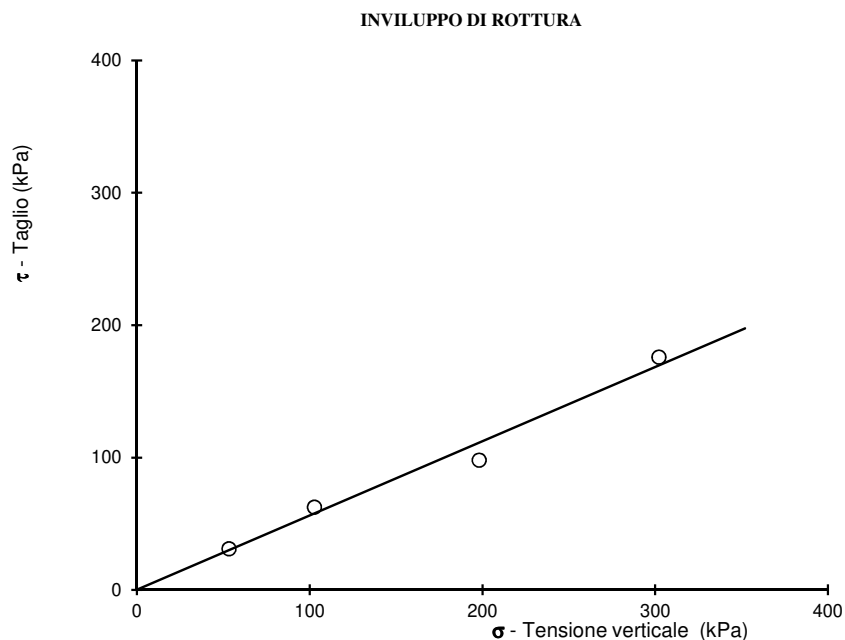
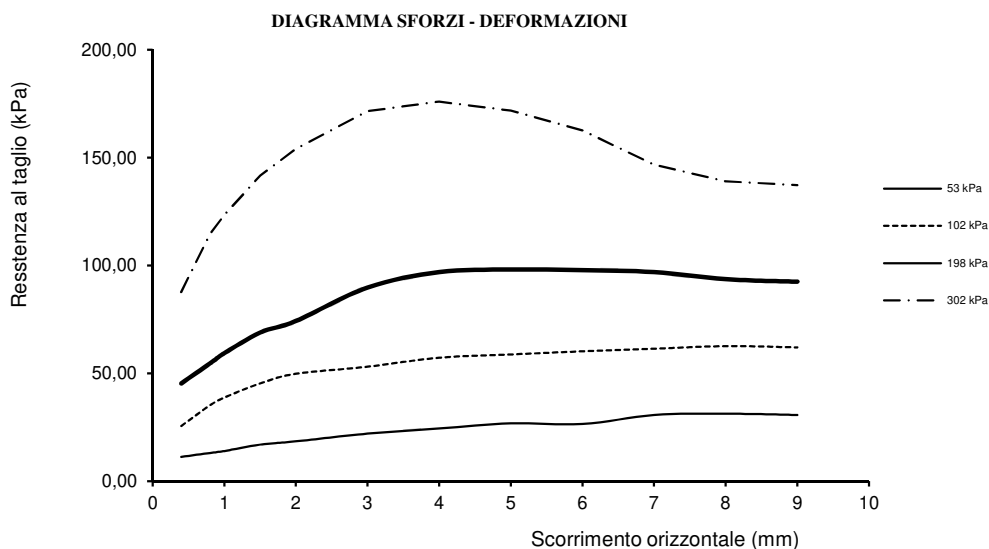
PARAMETRI DI RESISTENZA DI PICCO**ANGOLO DI
RESISTENZA AL
TAGLIO**
29,28 °**COESIONE**
0,2 kPa

Rif. Lab. : 8350/16

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

ASTM D 3080 - 98

(Direct Shear Test Under Consolidated Drained Conditions)



Data : 29/09/2016

Pag. : 2/2

soiltech s.n.c.
Laboratorio prove geotecniche
Il Responsabile della Sperimentazione
Dott. Geol. Paolo Caula