

COMUNE DI SELARGIUS

Settore Lavori Pubblici

PROGETTO ESECUTIVO

LAVORI DI ADEGUAMENTO VIA PERETTI E MESSA IN
SICUREZZA ACCESSO ALL'OSPEDALE BROTZU

ELABORATO

D

Relazione Geologica

COMMITTENTE

COMUNE SELARGIUS

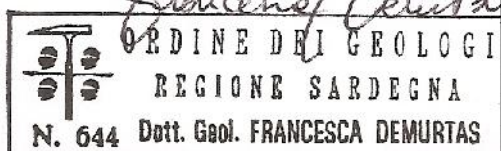
PROGETTAZIONE

A.T.P. CAPIDDU-FIGUS-DEMURTAS

Il capogruppo A.T.P.
DOTT.ING.ROBERTO CABIDDU
robertocabiddu@gmail.com
3280173774

DOTT.ING.FIGUS SIMONE
simonefigus@hotmail.it
3201105962

DOTT.GEOL.FRANCESCA DEMURTAS
fdemurtas@hotmail.com
3287356960



DATA

Novembre 2015



INDICE

1. PREMESSA.....	2
2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E NORMATIVO.....	3
2.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO.....	3
2.2 QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO.....	4
2.3 CLASSIFICAZIONE SISMICA.....	4
3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO GENERALE.....	5
3.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO STRUTTURALE GENERALE.....	5
3.2 CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA DEL SITO.....	6
3.3 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO.....	7
4. CARATTERI STRATIGRAFICI ED IDROGEOLOGICI DELL'AREA.....	8
5. CRITICITÀ GEOLOGICO – IDRAULICHE.....	8
6. INDAGINI GEOGNOSTICHE E RISULTATI DELLE PROVE IN SITU ED IN LABORATORIO.....	9
6.1 PROGRAMMAZIONE DELLE INDAGINI IN SITO ED IN LABORATORIO.....	9
6.2 SONDAGGI GEOGNOSTICI.....	10
6.3 PROVE PENETROMETRICHE.....	13
6.3.1 <i>Determinazione dell'angolo di resistenza al taglio</i>	14
6.4 ANALISI DI LABORATORIO.....	16
6.4.1 <i>Analisi granulometriche, Limiti di Atterberg e Indice di Gruppo</i>	16
6.4.2 <i>Prova di Costipamento Proctor</i>	17
6.4.3 <i>Determinazione Indice CBR</i>	18
6.5 DEFINIZIONE E CARATTERIZZAZIONE DELLE UNITÀ LITOTECNICHE.....	19
7. CONCLUSIONI.....	20

ALLEGATI

- ALLEGATO 1 – Inquadramento geografico territoriale
- ALLEGATO 2 - Carta Geologica
- ALLEGATO 3 - Certificati delle analisi di Laboratorio
- ALLEGATO 4 - Certificati dei carotaggi



1. PREMESSA

Il presente studio è parte integrante del progetto esecutivo relativo ai “*Lavori di adeguamento via Peretti e messa in sicurezza accesso all'Ospedale Brotzu*”, in comune di Selargius, provincia di Cagliari, località Su Planu.

I lavori riguardano la realizzazione di una rotatoria stradale all'intersezione tra la via Peretti, la via Araolla (fronte Ospedale Brotzu) e la regolarizzazione dell'imbocco alla via Peretti della via Montanaru, al fine di smaltire l'enorme mole di traffico che confluisce quotidianamente lungo tali tratti stradali.

La presente relazione riporta il sunto delle analisi geologico geotecniche eseguite in fase di progettazione definitiva, unitamente alla descrizione delle indagini geognostiche eseguite in situ ed in laboratorio, che hanno permesso di chiarire le caratteristiche litologiche e stratigrafiche del sito di intervento, oltreché la caratterizzazione fisica e meccanica dei materiali interessati dalle opere in progetto.

La relazione è stata redatta in ottemperanza alle normative vigenti in materia: D.M. 14.01.08 Testo Unico “*Norme Tecniche Per Le Costruzioni*”, e dalla Circolare n. 617 del 02.02.2009, del Consiglio superiore dei Lavori Pubblici di cui al D.M. 14 gennaio 2008, “*Istruzioni per l'applicazione delle Nuove Norme Tecniche per le costruzioni*”, - C6.2.1 Caratterizzazione e modellizzazione geologica del sito.

Gli interventi in oggetto non ricadono in aree censite dal “*Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico*” (P.A.I.) della Regione Sardegna, ed inoltre risultano compatibili con le previsioni degli strumenti urbanistici vigenti per la loro natura e destinazione d'uso finale.



2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E NORMATIVO

2.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Il comune di Selargius è situato nella parte meridionale della Sardegna, e rientra nel cosiddetto hinterland della città di Cagliari, il cui edificato urbano confina a sud, senza soluzione di continuità, con l'area urbana del capoluogo sardo. Il settore di intervento riguarda la via Peretti, in località Su Planu, che rappresenta un'arteria stradale molto importante per il collegamento dei comuni di Cagliari e Selargius, e dei due rami della SS 131, inoltre importante strada di accesso all'Ospedale Brotzu, centro ospedaliero di eccellenza del territorio regionale.

Geograficamente il territorio ricade nel settore sud orientale della Fossa del Campidano, caratterizzato da un andamento prevalentemente pianeggiante.

Cartograficamente l'area è individuata:

- al Foglio 557, Quadr. IV, Orient. NE "Selargius" della Cartografia IGMI, in scala 1:25.000,
- alla sezione 557 100 - "Monserato" della Cartografia Tecnica Numerica della Regione Sardegna, in scala 1:10.000,
- al Foglio 234 "Cagliari" della Carta Geologica d'Italia, in scala 1:100.000,
- al Foglio 557 "Cagliari" della Carta Geologica d'Italia - Progetto CARG, in scala 1:50.000.



Figura 1 – Inquadramento dell'areale di intervento su foto aerea.



2.2 QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO

Lo studio dell'area è stato eseguito a norma di quanto richiesto dal D.M. 24.01.09 Testo Unico "Norme Tecniche per le Costruzioni", e dalla Circolare n. 617 del 02.02.2009, del Consiglio superiore dei Lavori Pubblici di cui al D.M. 14 gennaio 2008, "Istruzioni per l'applicazione delle Nuove Norme Tecniche per le costruzioni", - C6.2.1 Caratterizzazione e modellizzazione geologica del sito. Tali normative individuano le fasi riguardanti la caratterizzazione e modellazione geologica del sito, consistente nella ricostruzione dei caratteri litologici, stratigrafici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici e di pericolosità geologica e idraulica del territorio.

Lo studio è stato svolto, inoltre, in ottemperanza a:

- Delibera di Giunta Regionale 30 marzo 2004 n. 15/31 pubblicata nel B.U. Sardegna, 21 agosto 2004 n. 23 – disposizioni preliminari in attuazione dell'O.P.C.M. 20 marzo 2003, n. 3274 recante "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica";

- Piano Stralcio per l'assetto idrogeologico - Interventi sulla rete idrografica e sui versanti. Legge 18 maggio 1989, n. 183, art. 17, comma 6, ter D.L. 180/98 e successive modifiche ed integrazioni.

2.3 CLASSIFICAZIONE SISMICA

Per quanto riguarda la classificazione sismica del territorio in esame, si precisa che, sulla base dei dati contenuti nell'Allegato A dello O.P.C.M. 20 Marzo 2003 n. 3274, tutti i Comuni della Regione Sardegna sono classificati in zona 4 che, nella classificazione sismica dei territori, rappresenta quella a rischio sismico molto basso (quasi inesistente).



3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO GENERALE

3.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO STRUTTURALE GENERALE

Il territorio oggetto di indagine ricade in larga scala nel settore meridionale della piana del Campidano, ampia valle di origine tettonica che si estende per una lunghezza di circa 100 km dal Golfo di Cagliari al Golfo di Oristano, con direzione NW-SE. La dinamica tettonica Plio quaternaria che originò tale fossa portò all'approfondimento del settore di circa 500 m, stimato da alcuni studiosi sulla base di alcuni pozzi profondi¹ eseguiti nell'area. Il bordo occidentale di questo importante basso strutturale è delimitato da una serie di faglie parallele (Faglia del Campidano), immergenti verso ENE. Nei lati della fossa tettonica, in rialzo morfologico, rinveniamo nel bordo occidentale (Sulcis-Iglesiente) le rocce del basamento paleozoico con subordinati affioramenti di rocce mesozoiche e cenozoiche. Il bordo orientale dell'area è invece rappresentato dalle colline terziarie del Medio Campidano, costituite in prevalenza da depositi continentali e marini dell'epoca terziaria; in questo settore la sequenza litologica è più graduale a dimostrazione di un sollevamento della regione meno marcato.

La fossa del Campidano si sovrainpose su un altro importante *Rift* Sardo Oligo-miocenico, la cosiddetta "Fossa sarda", una vasta depressione con direzione N-S estesa dal Golfo dell'Asinara al Golfo di Cagliari, e formatasi in seguito ai movimenti tettonici distensivi che portarono al distacco e alla rotazione del blocco sardo-corso dal margine europeo fino alla posizione attuale.

In concomitanza alla formazione della Fossa sarda si registrarono manifestazioni vulcaniche calco-alcaline e l'ingressione marina Oligo-miocenica, i cui depositi risultano poggianti in discordanza stratigrafica su sedimenti continentali paleogenici (formazione del Cixerri). Le manifestazioni vulcaniche orlano il bordo orientale del Campidano e sono rinvenibili nelle colline di Sardara e Monastir, intercalati spesso da depositi marnoso-arenacei e afferibili alla trasgressione marina sin-rift. La sedimentazione marina proseguì per tutto il Miocene, con la deposizione di marne argillose-sabbiose e arenarie, per una potenza totale di circa 1000 m di sedimenti, fino alla regressione Messiniana, con deposizione di sedimenti continentali prevalentemente lagunari.

L'attività tettonica Plio-Quaternaria responsabile della formazione della fossa del Campidano (*graben*) riattivò in sostanza le strutture e le lineazioni tettoniche precedenti,

¹ Pecorini G., Pomesano Cherchi A. 1962 – *Ricerche Geologiche e Biostratigrafiche sul Campidano meridionale (Sardegna)*. Mem. Soc. Geol. It., 8; pp. 421-451.



innescando movimenti verticali e portando alla profonda erosione dei versanti dei rilievi del graben, con la deposizione di detriti marnoso-argillosi e conglomeratici attribuibili alla Formazione di Samassi (Pliocene medio-sup.), ampiamente estesa nei bordi della Piana del Campidano.

La piana fu in seguito colmata da un'importante sequenza sedimentaria di depositi alluvionali, palustri e marini, afferenti all'epoca quaternaria, per spessori che raggiungono i 200 m nel settore centrale della fossa.

3.2 CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA DEL SITO

Gli interventi in progetto ricadono nella parte centro meridionale più ribassata della fossa del Campidano, che risulta caratterizzata in affioramento da depositi del Quaternario antico (Plio - Pleistocene), costituiti in prevalenza da sedimenti di piana alluvionale e costituiti da conglomerati, sabbie, ghiaie in abbondante matrice siltoso-argillosa, arrossata e ferretizzata, incisi in forma di terrazzi e ritrovabili negli alti morfologici e nelle aree più in quota, in genere non interessati da dinamiche fluviali in atto. Intercalati ad essi si rinvencono i depositi di conoide eluvio-colluviali, in cui si trovano intercalazioni di suoli più o meno evoluti e arricchiti in frazione organica. Lo spessore di tali depositi, valutato in una sezione in località *Su Planu*, arriva a 9 m.

I depositi più recenti (Olocene) sono rinvenibili nei settori di fondovalle e nelle aree morfologicamente più depresse, e sono costituiti da depositi ghiaioso-sabbiosi, in matrice prevalentemente sciolta.

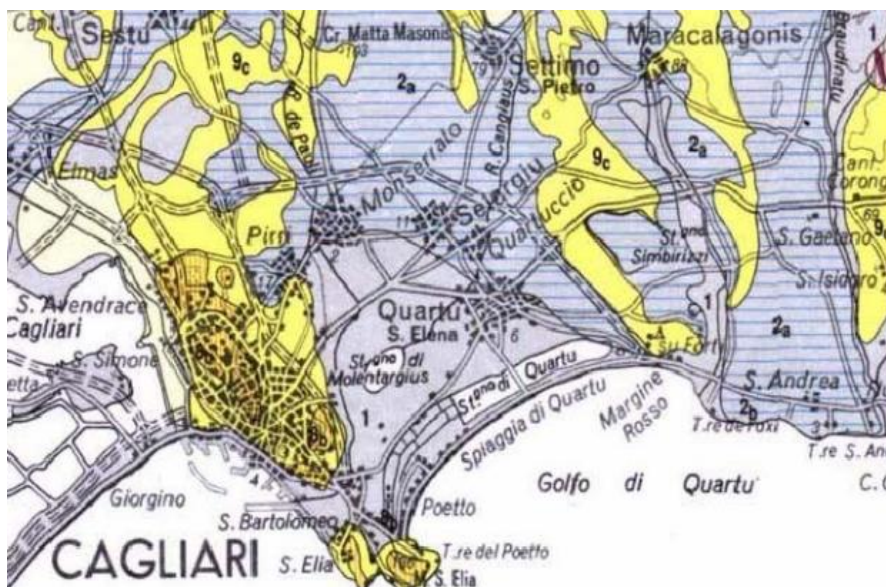


Figura 2 – Carta Geologica in scala 1:200.000 (fonte: Servizio Geologico Nazionale).



3.3 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

La rete stradale oggetto di intervento per la realizzazione della rotatoria di progetto è individuata alla quota 35 m s.l.m., morfologicamente nel settore di piana alluvionale terrazzata del basso Campidano, di ambiente fluviale e/o lacustre recente. La piana alluvionale è caratterizzata da un andamento sub-pianeggiante, debolmente inclinata a SW verso lo Stagno di Cagliari e modellata essenzialmente dalle dinamiche dei corsi d'acqua provenienti dall'area pedemontana a N-E del centro urbano di Selargius, che hanno colmato di sedimenti alluvionali le aree vallive.

La porzione meridionale della piana del Campidano mostra una certa complessità di ambienti costieri e di transizione all'entroterra, con vasti stagni-lagune che si distendono ai piedi del sistema collinare cagliaritano, la cui genesi è stata certamente determinata dai movimenti neotettonici che hanno interessato il settore in studio.

Il sistema collinare cagliaritano della successione sedimentaria miocenica caratterizza il paesaggio nell'intorno con una morfologia collinare degradante da NE verso SW, caratterizzata da rilievi dolci e a debole pendenza, con quote variabili da 100 m s.l.m. a 50 m.



Figura 3 – Ingresso attuale del complesso ospedaliero del Brotzu: parte dell'area parcheggi andr  occupata per la realizzazione della rotatoria.



4. CARATTERI STRATIGRAFICI ED IDROGEOLOGICI DELL'AREA

I terreni su cui insiste l'area urbana ed in particolare la Via Peretti sono caratterizzati dalla sequenza di depositi alluvionali e eluvio-colluviali sabbioso-limosi, da mediamente a ben addensati, in matrice fine limo-argillosa afferenti ad un ambiente di deposizione continentale fluvio – deltizio, risalente al riempimento della fossa tettonica del Campidano, nel periodo Plioquaternario. La permeabilità di tali sedimenti è generalmente contenuta ($K=10^{-5}$ - 10^{-4} m/sec.), così come la circolazione idrica è circoscritta nei termini a basso tenore di argilla. La potenza di questi complessi acquiferi è solitamente ridotta, ed hanno come substrato i livelli più marnosi e argillosi di sedimentazione marina miocenica, più compatti e cementati anche per la presenza di leganti carbonatici, riscontrati in profondità a -5 / -9 m dal p.c. Tali litologie presentano una permeabilità bassa /nulla e, poiché presentano spessori di alcune centinaia di metri, rappresentano il substrato e il tetto della falda freatica.

I depositi alluvionali olocenici (recenti), presenti esternamente all'area di progetto sono invece caratterizzati da buone permeabilità ($K > 10^{-4}$ m/sec.) poiché si presentano poco addensate e con granulometrie sabbioso ciottolose, in cui è possibile la circolazione idrica sotterranea e la formazione di falde, fortemente influenzate dagli apporti meteorici stagionali.

5. CRITICITÀ GEOLOGICO – IDRAULICHE

Per quanto riguarda le criticità geologiche, data la conformazione subpianeggiante dell'area non sono presenti nel territorio pericolosità geomorfologiche legate a processi di instabilità. Dal punto di vista idraulico invece, l'area può essere soggetta ad inondazioni diffuse, nonostante non sia stata censita dal Piano di Assetto Idrogeologico regionale, per effetto dell'intensa espansione urbanistica del territorio, che ha ridotto notevolmente le superfici di infiltrazione delle acque superficiali, determinando un innalzamento dei valori di coefficiente di deflusso e la riduzione dei tempi di corrivazione.



6. INDAGINI GEOGNOSTICHE E RISULTATI DELLE PROVE IN SITU ED IN LABORATORIO

6.1 PROGRAMMAZIONE DELLE INDAGINI IN SITO ED IN LABORATORIO

In relazione alle finalità del presente studio, e sulla base delle conoscenze della zona, la ricostruzione litostratigrafica e la caratterizzazione litologica e geotecnica dei terreni è stata effettuata sulla base dei dati ottenuti con l'esecuzione di una campagna geognostica, sviluppata con l'esecuzione di n. 2 sondaggi geognostici verticali, n. 1 prova penetrometrica dinamica discontinua in foro di sondaggio, e la realizzazione di prove di laboratorio su campioni prelevati nel corso dei sondaggi.

L'ubicazione dei punti di indagine, scelta di concerto con la Stazione Appaltante, è stata individuata in corrispondenza del terreno di proprietà comunale posto sul lato nord della Via Peretti, sito che sarà interessato dai lavori di sbancamento per la costruzione della rampa di accesso alla rotatoria dalla Via Araolla. La scelta del sito è stata fatta sia per la necessità di caratterizzare i nuovi terreni non interessati da opere esistenti, ancora normal consolidati, sia in quanto l'esecuzione dei fori di sondaggio nella via Peretti poteva risultare un ostacolo all'enorme flusso di traffico che ivi si trova a transitare quotidianamente (Figura 4).

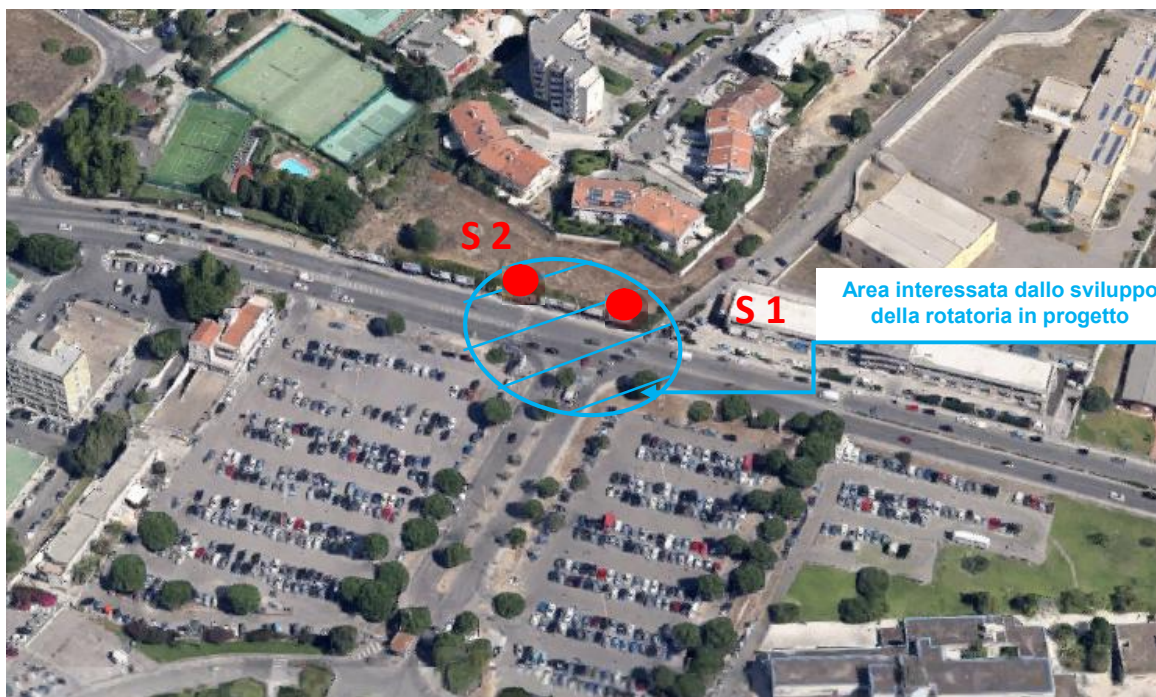


Figura 4 – Inquadramento dei sondaggi geognostici.



6.2 SONDAGGI GEOGNOSTICI

I sondaggi verticali a carotaggio continuo, eseguiti mediante sonda cingolata, sono stati spinti fino alla profondità di - 5m dal p.c. Essi sono andati ad indagare le litologie presenti nei terreni a nord della via Peretti, in corrispondenza dell'areale che verrà occupato dalla corsia di immissione dalla via Araolla alla rotonda. Il sito risulta in rialzo, con leggera pendenza verso la sede stradale esistente. I sondaggi hanno consentito la ricostruzione della successione stratigrafica dei terreni lungo la verticale della perforazione e la ricostruzione delle sezioni geologiche mediante la correlazione dei sondaggi.

I materiali prelevati durante i sondaggi sono stati catalogati su apposite cassette catalogatrici in plastica a 5 scomparti. I sondaggi hanno consentito il prelievo di alcuni campioni di terreno per le analisi e le prove di laboratorio. In particolare dal sondaggio S1, ubicato alla quota di + 0,50 m dalla Via Peretti, è stato prelevato il campione per le analisi di laboratorio necessarie per la determinazione delle proprietà fisiche e meccaniche dei terreni. Nel corso del sondaggio S2 (a +1,20 m dalla quota del piano strada) è stata eseguita la prova SPT (*Standard Penetration Test*) in foro, utile per la determinazione della resistenza alla compressione dei materiali e la determinazione dei parametri geotecnici.

I sondaggi hanno messo in evidenza la presenza nell'area, al di sotto del suolo agrario di modesto spessore, di una sequenza limoso-argillosa, coerente e compatta, ricca in elementi carbonatici, intercalata da livelli sabbiosi, talora ferretizzati. Nel dettaglio:

Sondaggio S1, (Gauss Boaga N 1509455, E 4344665) al di sotto del suolo agrario di spessore 0,50 m, si rinviene un primo strato coesivo a matrice argilloso limosa, di colore grigiastro, ricco in elementi in carbonato di spessore 0,20 m. Al di sotto di esso, dalla profondità di -0,70 m a -1,50 m è stato rilevato uno strato più compatto, di colore rossastro, ferretizzato, con ciottoli scuri e arrotondati, tipici di ambiente fluviale, con presenza di carbonati. In questo strato dalla quota -1 a -1,80 è stato prelevato il campione C1 per le analisi di laboratorio.

Al di sotto di esso, fino alla quota di -3,70 m si è rinvenuta la presenza di una sequenza argilloso-limosa compatta, di color nocciola con lente carbonatica bianco avorio alla quota -3 m e livello per lo più rossastro con minerali ferrosi a quota -3,60 m. Dalla quota -3,70 fino - 5 m in corrispondenza della chiusura del sondaggio si è rinvenuta una sequenza di argille e limi molto compatte, di colore verdastro ricche in elementi carbonatici. Nel presente sondaggio non è stata rilevata la presenza della falda.

Sondaggio S2, (Gauss Boaga N 1509443, E 4344671) dopo un primo strato di terreno vegetale, di spessore 0,50 m, si rinviene una prima sequenza di sabbie-limose e limi poco



compatti, di colore bianco-rossastro dalla quota - 0,50 m fino a - 0,90 m; al di sotto e fino alla quota -1,80 m si rinvencono argille limose color nocciola, a consistenza compatta, ricche in elementi carbonatici e a tratti ferretizzate, con intercalazioni di lenti sabbiose e ciottoli da 0,5 a 2 cm di diametro. In questo strato, alla quota -1,50 m è stata effettuata la prova SPT. Nella parte bassa la sequenza limoso-argillosa mostra una percentuale maggiore in sabbie, più compatta e color nocciola, al cui interno sono presenti lenti carbonatiche e a tratti si presentano ferretizzate, fino alla quota -3,10 m. Al di sotto si rinviene una sequenza di argille e limi ben compatta, di colore verdastro e ricca in elementi calcarei per uno spessore di 1,30 m. Dalla quota -4,40 e fino a fine foro (-5 m) la sequenza mostra la presenza di sabbie limo-argillose, di colore verdastro. Anche in questo sondaggio non è stata rilevata la presenza della falda.

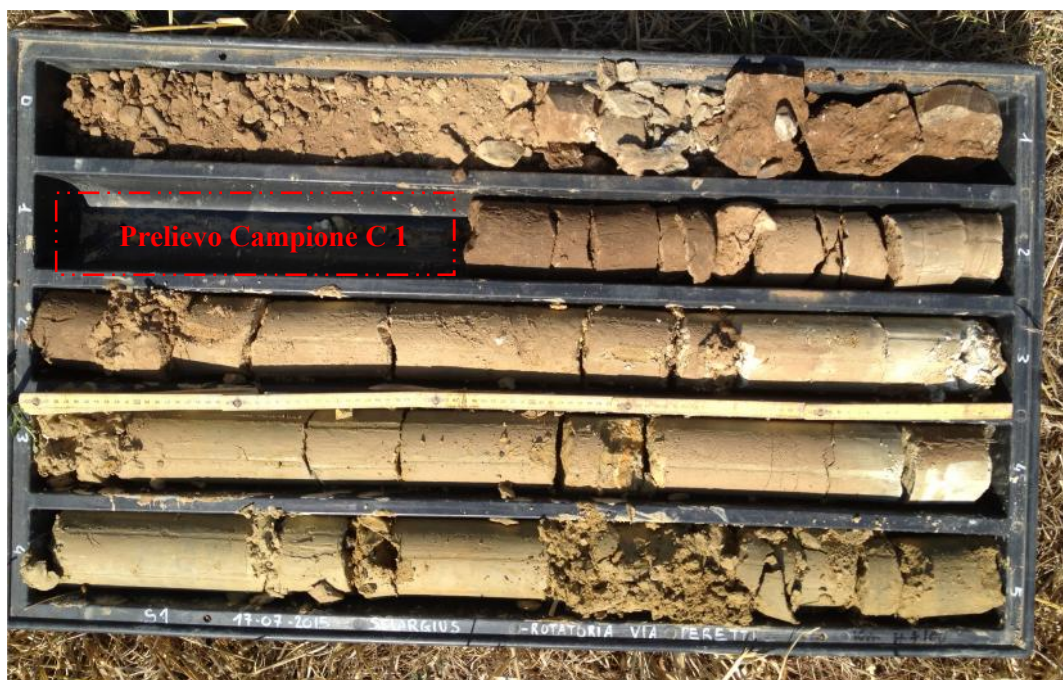


Figura 5 – Stratigrafia nel sondaggio S1.



Figura 6 – Stratigrafia nel sondaggio S2.



Figura 7 – Esecuzione dei sondaggi geognostici.



6.3 PROVE PENETROMETRICHE

Nel corso del sondaggio S2 è stata eseguita una prova penetrometrica dinamica discontinua di tipo S.P.T. (Standard Penetration Test), realizzata in foro alla profondità di -1,50 m. La profondità è stata scelta al fine di determinare la resistenza alla compressione e la compressibilità dei terreni costituenti lo strato di fondazione della sovrastruttura stradale, in quanto il sito in cui è stato effettuato il foro risulta a +1,00 m dal livello strada attuale.

La prova penetrometrica S.P.T. è una tecnica di indagine geognostica che consiste nella misurazione della resistenza alla penetrazione di una punta conica di dimensioni standard mediante percussione realizzata con un maglio, anch'esso definito secondo parametri di dimensione e forma normalizzati, in particolare vengono contati i numeri di colpi necessari (N_1 , N_2 , N_3) per la penetrazione di tre tratti del campionatore lunghi 15 cm l'uno. La prova viene sospesa ogni qualvolta il numero di colpi N , per un tratto di 15 cm, supera il valore di 50, annotando in tal caso il rifiuto alla penetrazione e registrando l'infissione in centimetri ottenuta con 50 colpi.

Il valore N_{SPT} è convenzionalmente il numero di colpi necessari per l'approfondimento di 30 cm, valutato quindi come N_2+N_3 , in caso di rifiuto la prova non viene ritenuta valida.

I risultati della prova hanno consentito di fare delle correlazioni con i diversi parametri geotecnici dei terreni quali: la compattezza, la densità relativa, l'angolo di resistenza al taglio, il Modulo Edometrico, la coesione non drenata; i risultati ottenuti sono stati poi confrontati con i parametri ottenuti dalle analisi di laboratorio.

Questo ha consentito di attribuire ai terreni i parametri fisico-meccanici necessari per la definizione del modello geologico del sito, così come prescritto dalla Circolare n. 617 del 02.02.2009, del Cons. sup. LL PP di cui al D.M. 14 gennaio 2008, "Istruzioni per l'applicazione delle Nuove Norme Tecniche per le costruzioni", C6.2.1 "Caratterizzazione e modellizzazione geologica". La sintesi delle correlazioni è di seguito riportata.

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA SPT ESEGUITA IN SONDAGGIO S2

Prova eseguita in data 17/07/2015
Falda non rilevata
Tipo elaborazione Nr. Colpi: Distribuzione normale R.C.
Terreni COESIVI

LITOLOGIA	Nspt	Prof. Strato (m)	N.ro di Colpi
Limi e argille	24	1,65	8
		1,80	9
		1,95	15



Coesione non drenata (Kg/cm²)

Nspt	Prof. Strato (m)	Fletcher (1965)
24	1,95	2,00

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
24	1,95	Robertson (1983)	48

Modulo edometrico

Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
24	1,95	Stroud e Butler (1975)	110,11

Modulo di Young (Kg/cm²)

Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Young (Kg/cm ²)
24	1,95	Apollonia	240,00

Classificazione AGI

Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
24	1,95	Classificaz. A.G.I. (1977)	MOLTO CONSISTENTE

Peso unità di volume

Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di vol. (t/m ³)
24	1,95	Meyerhof ed altri	1,63

Peso unità di volume saturo

Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di vol. sat. (t/m ³)
24	1,95	Meyerhof ed altri	1,95

6.3.1 Determinazione dell'angolo di resistenza al taglio

Per la determinazione dell'angolo di resistenza al taglio del terreno indagato, si può fare affidamento a numerose correlazioni tra il valore di N e l'angolo di resistenza al taglio, per lo più empiriche, presenti in letteratura. Tali correlazioni possono essere dirette o indirette, qualora sia ottenuto in funzione della densità relativa del materiale D_r .

- Shioi – Fukuni (1982):

$$\phi' = \sqrt{15 \cdot N} + 15$$

$$\phi' = 0.3 \cdot N + 27$$

Queste correlazioni vengono utilizzate in Giappone dove sono note rispettivamente come Road Bridge Specification e Japanese National Railway.

- Peck, Hanson, Thornburn (1974) hanno fornito un abaco di riferimento utilizzato nei paesi anglosassoni per determinare l'angolo di resistenza al taglio, sebbene generalmente fornisca valori dell'angolo di attrito piuttosto cautelativi.



- **Stroud (1988)** che fornisce il valore dell'angolo di attrito in funzione del valore di $(N)_{60}$, ossia il valore di N corretto per tenere in conto sia del livello tensionale sia dell'energia effettivamente rilasciata dal maglio delle aste.

In funzione delle formulazioni fin qui descritte è stato possibile determinare gli angoli di resistenza al taglio sulla base delle prove condotte, correlando tali valori con il valore individuato nell'ambito della prova di taglio diretto per il campione alla profondità di 10,5 m. Il valore finale dell'angolo di attrito del terreno indagato alle varie profondità a seguito delle valutazioni ed analisi dei risultati da parte degli scriventi è riportato nella tabella seguente (Tabella 1).

Tabella 1 – Valori dell'angolo di attrito secondo le differenti formulazioni e determinazione dell'angolo di attrito caratteristico del terreno indagato.

SONDAGGIO	Profondità (m)	NSPT	ϕ' correlazione 1 (Shioi-Fukuni) [°]	ϕ' correlazione 2 (Shioi-Fukuni) [°]	ϕ' Peck, Hanson, Thorburn [°]	ϕ' Stroud	ϕ' medio [°]
S2	1,5	24	34	34	35	38	35



6.4 ANALISI DI LABORATORIO

Nel corso del sondaggio S 1 è stato prelevato un campione di material C 1 (dalla quota -1 a -1,50 m dal p.c.) al fine di determinare le proprietà fisiche e meccaniche dei terreni alla base del rilevato stradale. In particolare sono state eseguite le seguenti analisi:

- *Analisi granulometriche e definizione dei limiti di Atterberg,*
- *Prova Proctor modificata,*
- *Prova CBR*

I certificati sono riportati nell'Allegato 3

6.4.1 *Analisi granulometriche, Limiti di Atterberg e Indice di Gruppo*

L'analisi granulometrica per setacciatura (ASTM D 422/ AGI 1994) del campione C 1, eseguita in laboratorio, ha permesso una prima classificazione dei terreni risultanti alla base del fondo stradale: in particolare attraverso la percentuale di passante al setaccio 200 (0,075mm) è stata effettuata la classificazione dei materiali nell'ambito della progettazione stradale secondo la Classificazione CNR UNI 10006:

Frazione passante al setaccio 0,075 mm	Terre	Classe di appartenenza
> 35%	LIMI POCO COMPRESSIBILI	A 4

I materiali ricadenti in tale classe presentano una qualità portante come terreno di sottofondo in assenza di gelo da mediocre a scadente; con variabilità molto elevata in presenza dell'azione del gelo. La classe inoltre definisce questi materiali come aventi un cambio di volume da lieve a medio ritiro o rigonfiamento in assenza / presenza di acqua.

Una ulteriore classificazione delle terre è stata data inoltre dalla valutazione dell'Indice di Gruppo I.G., che qualifica il comportamento statico di una terra, con portanza tanto migliore quanto più basso è l'Indice:

- Se risulta I.G.=0 il terreno si classifica buono
1<=I.G.<=10 il terreno risulta mediocre
10<I.G.<=20 il terreno risulta cattivo o pessimo.

dai risultati delle analisi di laboratorio è stato determinato un indice di Gruppo pari a

$$I.G. = 2$$



Attraverso la definizione dei Limiti di Atterberg (ASTM D 4318) sono state definite le caratteristiche dei materiali sulla base del comportamento delle terre al variare del contenuto d'acqua, che hanno determinato i seguenti valori:

Limite Liquido (%)	26
Limite Plastico (%)	17
Indice Plastico	9

Attraverso la Carta di Plasticità (sviluppata da Casagrande) basata sui valori del LL e IP, i materiali analizzati vengono classificati come ML - CL: limi e argille inorganiche a bassa compressibilità.

Il valore dell'Indice Plastico IP, rappresentante la fase plastica, è in genere indicativo per la prefigurazione di potenziali fenomeni di rigonfiabilità, ritiro e plasticizzazione dei terreni.

Il valore IP = 9 rappresenta terreni poco plastici, (basso grado di potenziale rigonfiabilità e plasticizzazione).

6.4.2 Prova di Costipamento Proctor

La prova di costipamento effettuata tramite il metodo A.A.S.H.O. modificato (secondo ASTM D 1557) ha permesso di determinare la massima densità del secco ottenuta nel campione C1, tramite costipamento meccanico, alla quale corrisponde una umidità ottimale per la quale si ha la massima densità raggiungibile con l'energia di costipamento impegnata. Il prelievo viene esaminato in laboratorio con contenuti d'acqua via via crescenti, ottenendo diversi valori della densità secca. Inserendo in un grafico con ascisse il contenuto d'acqua e come ordinate la densità secca è possibile determinare la curva Proctor (o curva di addensamento) riconoscibile dalla classica forma a campana. Dal grafico ottenuto (riportato nei certificati di laboratorio in Allegato 3) si ricava, attraverso il punto massimo della curva, il contenuto d'acqua ottimale e la densità secca ottimale. In corrispondenza del contenuto "ottimale d'acqua" si ha la massima densità della terra presa in esame.

Il grado di costipamento ottimale dei materiali costituenti il sottofondo stradale hanno mostrato un γ_s massimo pari a 1927 Kg/m³:

Densità massima secca	Umidità ottimale
1927 Kg/m ³	9,2%



6.4.3 Determinazione Indice CBR

L'indice di portanza CBR, espresso dal rapporto, in percentuale, fra il carico necessario a far penetrare un pistone di dimensioni normate all'interno di un provino confinato in una fustella metallica ed un carico di riferimento, ha permesso di valutare la resistenza meccanica dei terreni di sottofondo della pavimentazione stradale.

La prova, eseguita secondo la CNR UNI 10009 e la ASTM -American Standard Test Method- (ASTM D1883), ha dato un Indice CBR pari a 14% sia per penetrazione fino a profondità 2,5 mm sia 5 mm.

Nella prova è stato verificato inoltre il peso di volume secco e il rigonfiamento dopo 96 ore di imbibizione.

La percentuale di rigonfiamento dopo immersione è stata di 1,5%

Indice di portanza CBR	Densità secca	Misura del rigonfiamento (%)
14 %	1965 Kg/m ³	1,5 %

Tale indice rappresenta un elemento di riferimento che permette una classificazione qualitativa del terreno di sottofondo. Di seguito si riporta una indicazione di massima della qualità del terreno stabilita (ICAO):

CBR	QUALITA' DEL TERRENO
2 - 5	Sottofondo molto scadente
5 - 8	Sottofondo scadente
8 - 20	Sottofondo scadente e buono
20 - 30	Sottofondo ottimo



6.5 DEFINIZIONE E CARATTERIZZAZIONE DELLE UNITÀ LITOTECNICHE

Dalle indagini geognostiche eseguite *in situ* e dalle analisi di laboratorio è stato possibile identificare l'unità litologica interessata dallo sviluppo della sede stradale per l'adeguamento dell'accesso alla via Peretti, rappresentata dallo strato n. 3 di seguito definito in base alle caratteristiche tecniche rilevate.

Strato	Unità geotecniche	Profondità m	γ kg/mc	γ_{sat} kg/mc	Nspt	c_u kg/cm ²	ϕ'	E kg/cm ²
1	Suolo agrario	0.0-0.5						
2	Limi e argille bruni poco compatti	Da 0.5 a 0.70/0.90						
3	Limi argillosi compatti	Da 0.70/0.90 a 1,80	1629	1959	24	1,65	35°	110,11

Dalle Analisi di laboratorio è stato appurato che i terreni presenti alla profondità di posa della sovrastruttura stradale in ampliamento appartengono alla classe di appartenenza **A 4 - limi poco compressibili**, secondo la Classificazione stradale (AASHO-HRB, 1945 - CNR UNI 10006), con percentuale di frazione passante al setaccio 0,075 mm > 35%; presentano una scarsa permeabilità e un basso grado di potenziale rigonfiabilità e plasticizzazione.



7. CONCLUSIONI

Il rilevamento geologico e geomorfologico di dettaglio dell'area ha costituito la base per la definizione del modello geologico del sito, utile per la rappresentazione e la definizione delle litologie affioranti in funzione delle loro caratteristiche geologiche, stratigrafiche, geomorfologiche e idrogeologiche.

I sondaggi geognostici eseguiti nell'area e la prova penetrometrica SPT, hanno permesso di ricostruire la sequenza stratigrafica delle litologie interessate dalla posa della sovrastruttura stradale, riconducibili essenzialmente a depositi limoso argillosi a concrezioni calcaree, relativi ad un ambiente di deposizione continentale fluvio-deltizio e risalenti al periodo Plioquaternario, in corrispondenza della sedimentazione e al riempimento della fossa tettonica del Campidano. Durante l'esecuzione dei sondaggi non è stata rilevata la presenza della falda.

Dal punto di vista geomorfologico l'area non presenta processi morfologici che generino instabilità particolari; dal punto di vista idrogeologico, invece, la presenza nel sottosuolo di sedimenti limosi scarsamente permeabili può determinare l'incapacità di assorbire e regimare le acque piovane, determinando locali fenomeni di allagamento. Inoltre l'intensa espansione urbanistica del territorio, che ha ridotto notevolmente le superfici di infiltrazione delle acque superficiali, hanno determinato un innalzamento dei valori di coefficiente di deflusso e la riduzione dei tempi di corrivazione.

Dalle analisi di laboratorio effettuate su campioni di terreno prelevati nel corso dei carotaggi, è stato possibile determinare le caratteristiche granulometriche, fisiche e meccaniche dei terreni che andranno a costituire lo strato di fondazione della sovrastruttura stradale in progetto, caratterizzata da limi poco compressibili, presenti con spessore minimo 1 m presenti al di sotto del suolo agrario e di uno strato di sedimenti poco compatti dalla quota 0,70 m dal p.c., rientranti nella Classe A 4, secondo la classificazione AASHO-HRB, 1945 - CNR UNI 10006: I materiali ricadenti in tale classe presentano una qualità portante come terreno di sottofondo in assenza di gelo da mediocre a scadente; con variabilità molto elevata in presenza dell'azione del gelo. La classe inoltre definisce questi materiali come aventi un cambio di volume da lieve a medio ritiro o rigonfiamento in assenza / presenza di acqua.

La prova Proctor eseguita in laboratorio secondo la metodologia AASHO modificata ha determinato un grado di costipamento ottimale dei materiali costituenti il sottofondo stradale γ_s max pari a 1927 Kg/m³, con grado di umidità ottimale pari a 9,2%.

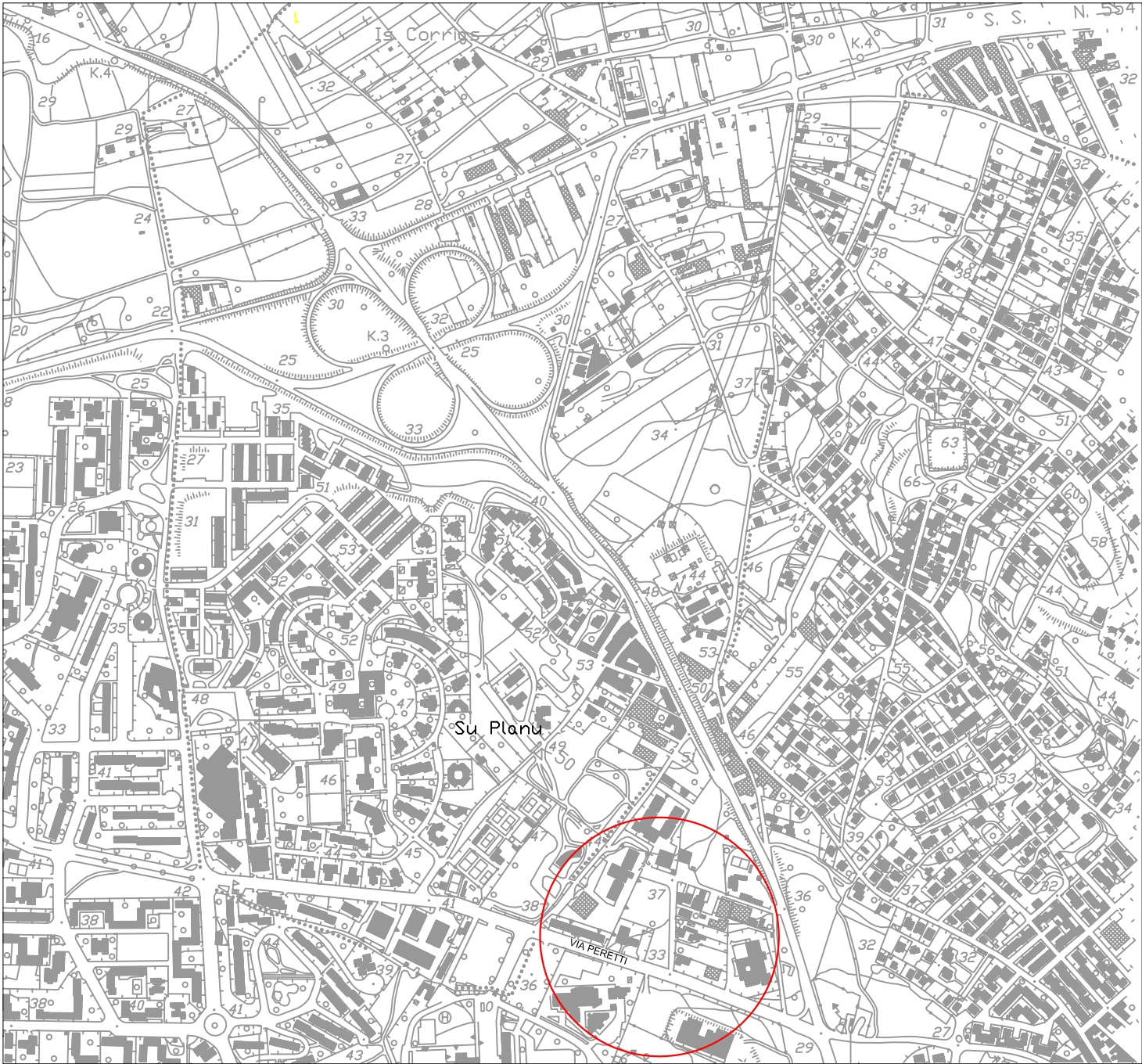
La prova di determinazione della portanza CBR () ha dato un Indice CBR pari a 14% e percentuale di rigonfiamento dopo 96 ore di immersione del 1,5%.



ALLEGATO 1

Inquadramento cartografico in scala 1:10.000

Inquadramento cartografico in scala 1:10.000



In rosso l'area di indagine

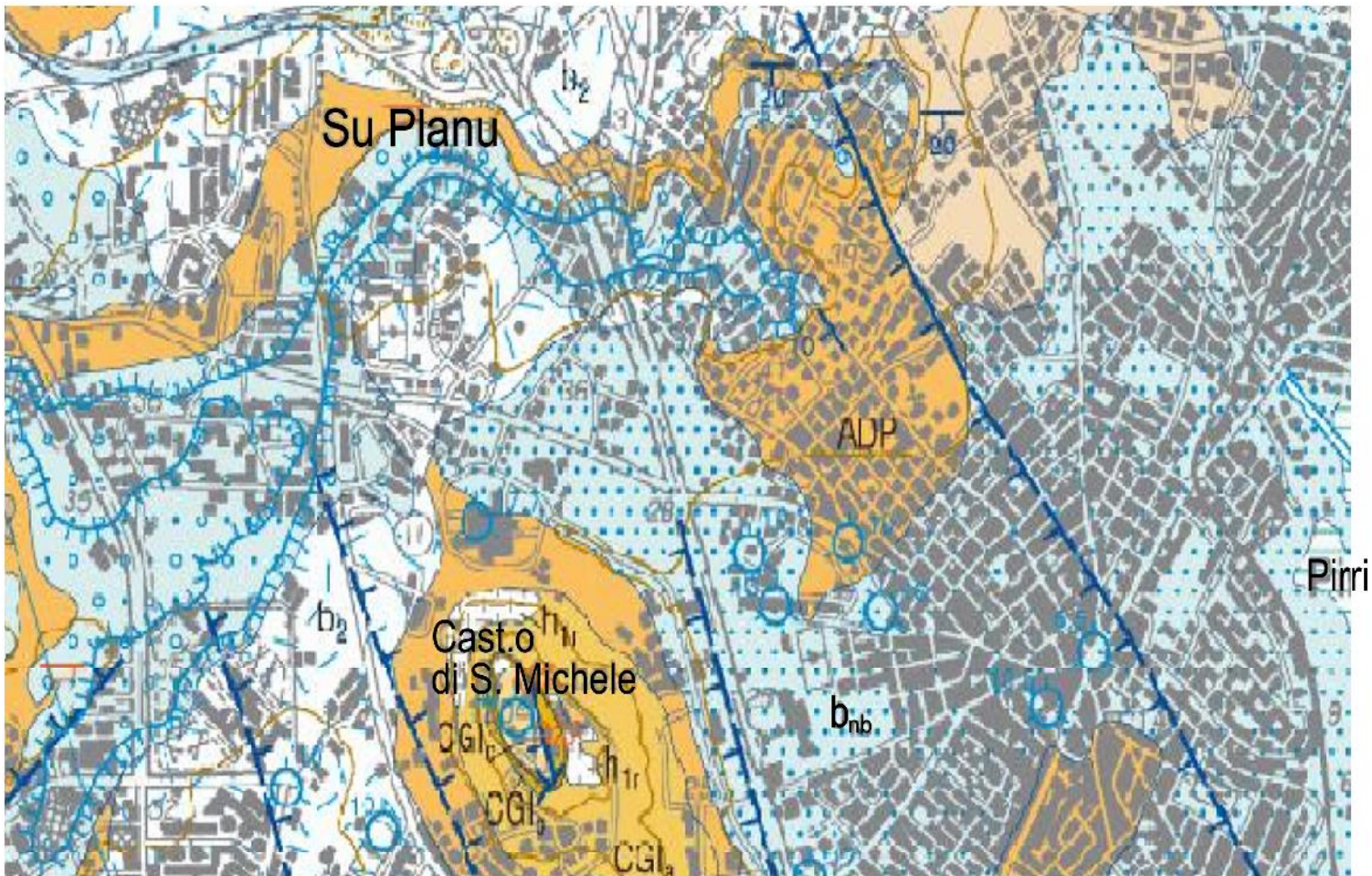


ALLEGATO 2

Carta Geologica dell'area in scala 1:25.000

Carta Geologica in scala 1:25.000

Estratto dal Foglio 557 "Cagliari" del Servizio Geologico Nazionale



LEGENDA:

Depositi continentali dell'area continentale Depositi Olocenici



Coltri eluvio-colluviali

Detriti grossolani immersi in matrice sabbioso-siltosa, talora con intercalazioni di suoli più o meno evoluti e arricchiti in frazione organica. Locali accumuli di carbonato di calcio in noduli, croste e lenti più o meno induriti.

OLOCENE



Depositi alluvionali terrazzati

Ghiaie grossolane prevalenti, con lenti e livelli di sabbie e ghiaie fini a stratificazione incrociata (b_{na}); sabbie prevalenti (b_{nb}); limi ed argille prevalenti (b_{nc}), talora con molluschi polmonati (*Helix cf. aperta*; *Rumina cf. decollata*).

OLOCENE

Sucessione sedimentaria Terziaria Sucessione Oligo-miocenica

ARENARIE DI PIRRI



Arenarie, arenarie marnose e/o siltose e siltiti grigio-verdastre, calcareniti giallastre, con molluschi (*Pecten revolutus*, *P. benedictus*, *Flabellipecten traterculus*, *Anomia (A.) ephippium*, *Turritella (T.) tricarinata*, *Conus meicati*, etc.), echinidi irregolari, alghe (*Lithothamnium*) e foraminiferi planctonici (*Orbulina suturalis*, *O. universa*); sabbie biancastre, lenti di conglomerati a clasti di metamorfiti paleozoiche con vario grado di elaborazione.

SERRAVALLIANO

ARGILLE DI FANGARIO



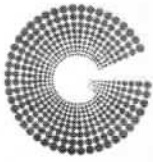
Argille e marne argillose e/o sabbiose grigio-giallastre, passanti verso l'alto ad arenarie marnose, contenenti brachiopodi, echinidi (*Schizaster desori*, *S. sardiniensis*, *Hemiaster (Trachyaster) lovisatoi*), gasteropodi (*Ficus (Ficus) conditus*, *Xenofora infundibulum*), crostacei, cefalopodi (*Aturia aturi*), pteropodi (*Vaginella austriaca*, *Clio caralitana*, *C. distefanoii*), bivalvi in sottili gusci, frammenti ittiolitici (*Carcharodon megalodon*), foraminiferi (*Orbulina suturalis subzone*) e nannoplancton (*MNN5b: H. walberdorfensis-S. heteromorphus subzone*).

LANGHIANO MEDIO?-SERRAVALLIANO INF.



ALLEGATO 3

Certificati delle analisi di Laboratorio



GEOSYSTEM

Del Dott. Geol. G.B. Demontis

ZONA INDUSTRIALE LOC. "PILL'E MATTA"
09044 QUARTUCCIU (CA) - TEL-FAX 070 852509
email: geosystemca@yahoo.it - www.geosystem.ca.it

LABORATORIO AUTORIZZATO ALL'ESECUZIONE
DI PROVE SU MATERIALI DA COSTRUZIONE SETTORE A
CIRCOLARE N.7617/STC DEL 08/09/2010
AUT. MINISTERO N.54313 DEL 19/12/2005

LABORATORIO AUTORIZZATO ALL'ESECUZIONE
DI PROVE SUI TERRENI SETTORE A
CIRCOLARE N.7618/STC DEL 08/09/2010
AUT. MINISTERO N.52487 DEL 11/10/2004

LABORATORIO CERTIFICATO ISO 9001
CERT. N.IT 11/0995 ISO 9001/UNI EN ISO 9001:2008

V.D.A. N° 3622-1 DEL 17/07/15

COMMITTENTE Dott. Geol. Francesca Demuro

CANTIERE Rotonda Via Peretti - Cagliari

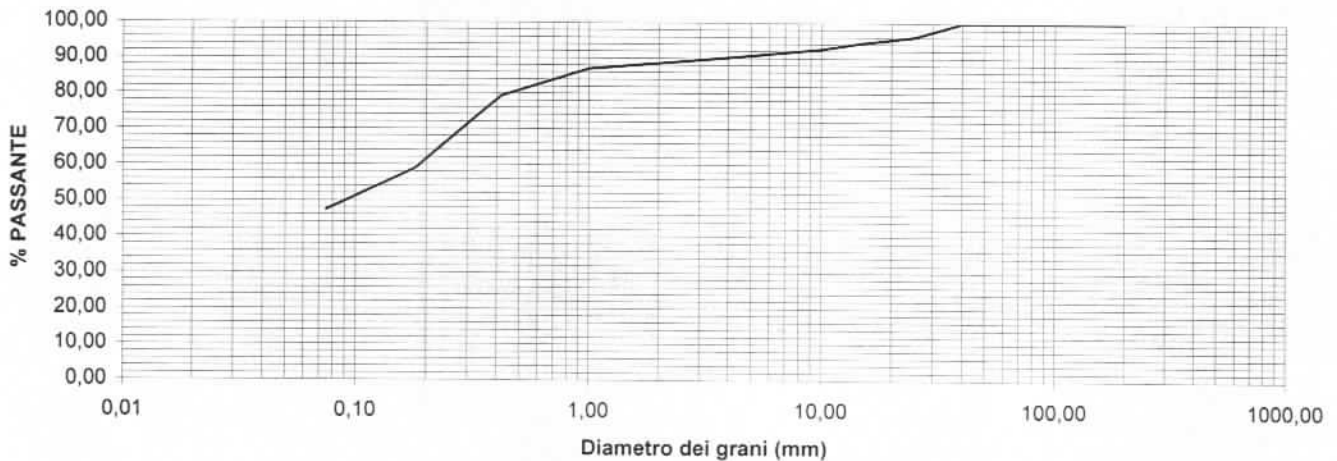
CAMPIONE S1 (1,00 - 1,50) m

UBICAZIONE \

DATA PRELIEVO \ DATA PROVA 21/07/15

CERTIFICATO N. 031385 DEL 27 LUG. 2015

ANALISI GRANULOMETRICA PER SETACCIATURA ASTM D 422 / AGI 1994		LIMITI DI ATTERBERG ASTM D 4318	
SETACCI (mm)	PASSANTE %		
200	100,00	LIMITE LIQUIDO (%)	26
150	100,00	LIMITE PLASTICO (%)	17
125	100,00	INDICE PLASTICO	9
100	100,00	INDICE DI GRUPPO	2
71	100,00	CLASS. UNI-CNR 10006	A4
60	100,00	Peso Specifico kN/m ³	/
40	100,00	Umidità naturale (%)	/
25	96,05		
15	94,39		
10	92,57		
5	90,73		
2	88,53		
1	87,01		
0,42	79,34		
0,18	58,90		
0,075	47,39		

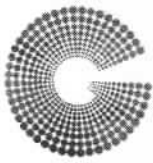


NOTE: Campione consegnato a cura del Committente.

IL TECNICO

IL DIRETTORE

Dott. Geol. Guido Demontis



V.D.A. N°	3622-1	DEL	17/07/15
COMMITTENTE	Dott. Geol. Francesca Demuro		
CANTIERE	Rotonda Via Peretti - Cagliari		
CAMPIONE UBICAZIONE	S1 (1,00 - 1,50) m	PROTOCOLLO	\
DATA PROVA	21/07/15	DATA PRELIEVO	\
CERTIFICATO N.	031386	DEL	27 LUG. 2015

PROVA DI COSTIPAMENTO AASHO (modificato)

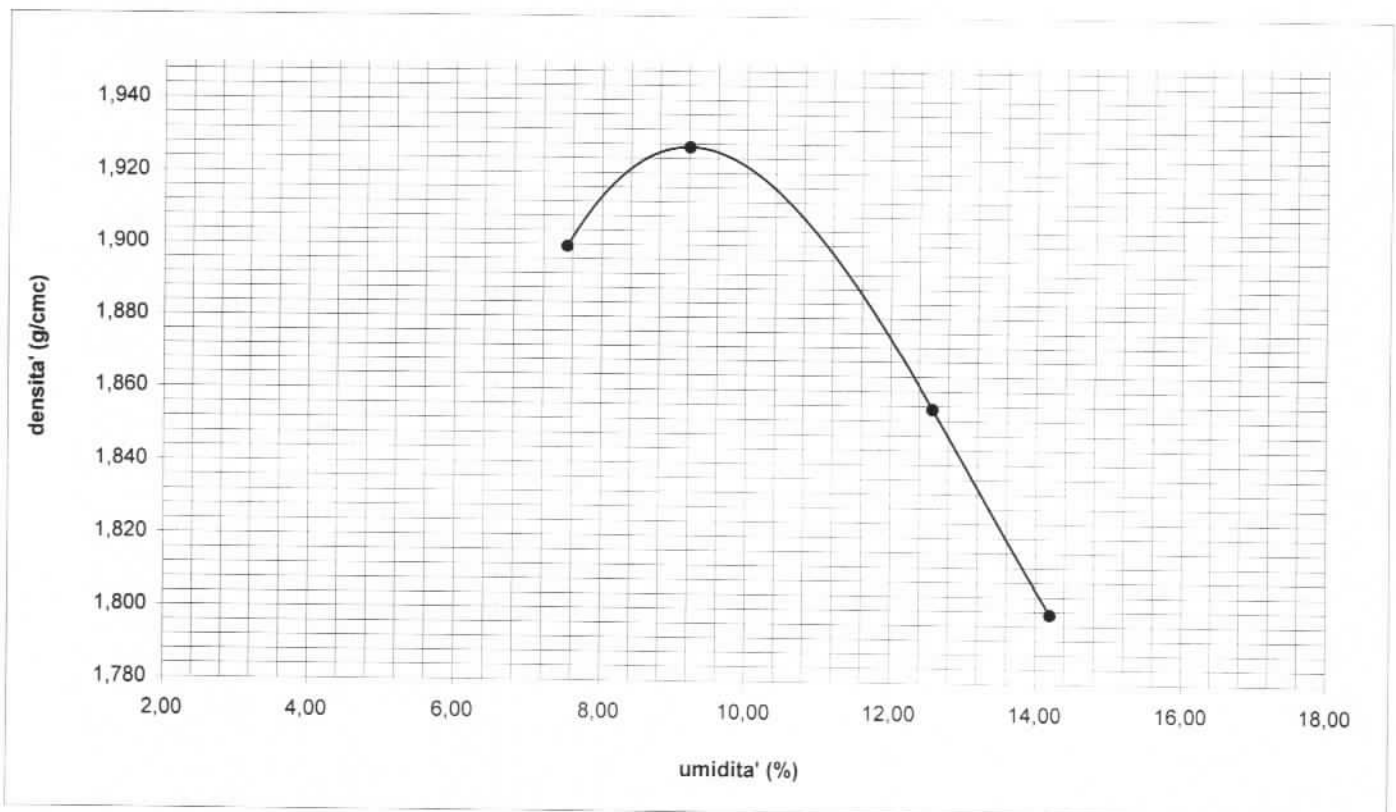
ASTM D 1557

DENSITA' MASSIMA SECCA

1927 Kg/m³

UMIDITA' OTTIMA

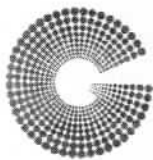
9,2 %



NOTE: \

IL TECNICO
[Signature]

IL DIRETTORE
Dott. Geol. Guido Demontis
[Signature]



V.D.A. N° 3622-1 DEL 17/07/15

COMMITTENTE Dott. Geol. Francesca Demuro

CANTIERE Rotonda Via Peretti - Cagliari

CAMPIONE S1 (1,00 - 1,50) m

UBICAZIONE

DATA PROVA 22/07/15

DATA PRELIEVO

CERTIFICATO N. 031387

DEL

27 LUG. 2015

INDICE DI PORTANZA C.B.R.

(ASTM D 1883)

	UMIDITA'		INDICE DI PORTANZA C.B.R.	
Iniziale	9,25	%	a 2,5 mm	14%
Sotto il pistone	13,66	%	a 5 mm	14%

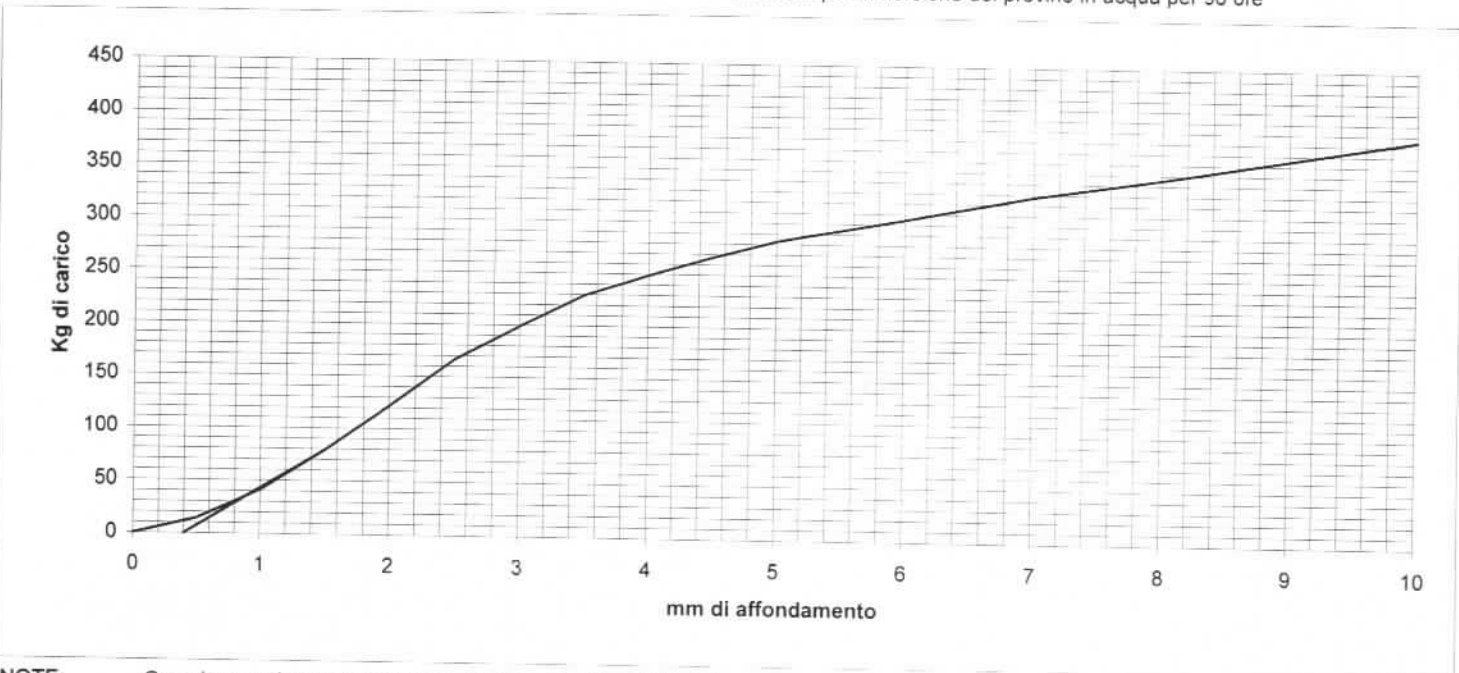
DENSITA' SECCA		MISURA DEL RIGONFIAMENTO	
1965,0	kg/m ³	Lineare assoluto	mm 1,77
		Lin. Percentuale	% 1,5

STATO DEL PROVINO

ricostruito

CONDIZIONI DI PROVA :

La penetrazione è stata effettuata dopo immersione del provino in acqua per 96 ore



NOTE: Campione prelevato in presenza del Committente e della D.L.

IL TECNICO

IL DIRETTORE

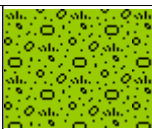
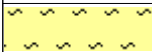



Dott. Geol. Guido Demontis



ALLEGATO 4

Certificati dei sondaggi geognostici (carotaggi continui)

Committente Comune di Selargius	Profondità raggiunta - 5 m	Quota Ass. P.C. 33 m s.l.m.	Certificato n° 01	Pagina 01
Ditta esecutrice GEOSYSTEM Cagliari	Indagine Lavori di adeguamento Via Peretti e messa in sicurezza accesso Ospedale Brotzu			Inizio/Fine Esecuzione 17-07-2015
Responsabile Dott. Geol. Francesca Demurtas	Sondaggio S 1	Tipo Carotaggio continuo		Coordinate Gauss Boaga N 1509455, E 4344665

Scala (m)	Litologia	Descrizione	Quota	%Carotaggio R.O.D.	S.P.T. (n° Colpi)	Pocket Test kg/cmq	Campioni	Metodo Perforazione	Metodo Stabilizzaz.	Falda	Piezometro (P) o Inclinometro (I)
		terreno vegetale	0.50								
		Limo debolmente argilloso colore grigio	0.20								
-1		Argilla e limi compatti, ricchi in carbonato, con livelli ricchi in minerali ferrosi, presenza di ciottoli scuri arrotondati, colore nocciola	1.10								
-2		Argilla limosa compatta, ricca in elementi carbonatici priva di ciottoli, color nocciola	1.90								
-4		Argille e limi compatti, ricchi in elementi carbonatici, colore verdastro	1.30								
-5											

-1.00
R
-1.50

(CS)
-5.00

Campioni: S-Pareti Sottili, O-Osterberg, M-Mazier, R-Rimaneggiato, Rs-Rimaneggiato da SPT
Piezometro: ATA-Tubo Aperto, CSG-Casagrande
Perforazione: CS-Carotiere Semplice, CD-Carotiere Doppio, EC-Elica Continua
Stabilizzazione: RM-Rivestimento Metallico, FB-Fanghi Betonitici
Prove SPT: PA-Punta Aperta, PC-Punta Chiusa
Carotaggio: continuo

Sonda: Carotaggio: continuo

Responsabile

Committente Comune di Selargius	Profondità raggiunta - 5 m	Quota Ass. P.C. 33,50 m s.l.m.	Certificato n° 02	Pagina 01
Ditta esecutrice GEOSYSTEM Cagliari	Indagine Lavori di adeguamento Via Peretti e messa in sicurezza accesso Ospedale Brotzu			Inizio/Fine Esecuzione 17-07-2015
Responsabile Dott. Geol. Francesca Demurtas	Sondaggio S 2	Tipo Carotaggio continuo		Coordinate Gauss Boaga N 1509440, E 4344671

Scala (m)	Litologia	Descrizione	Quota	%Carotaggio R.O.D.	S.P.T. (n° Colpi)	Pocket Test kg/cmq	Campioni	Metodo Perforazione	Metodo Stabilizzaz.	Falda	Piezometro (P) o Inclino metro (I)
		terreno vegetale	0.50								
		Sabbie e limi a consistenza sciolta, colore rossastro	0.40								
-1		Argilla e limi compatti, ricchi in carbonato, con livelli ricchi in minerali ferrosi, presenza di ciottoli scuri arrotondati con diametro da 0,2 a 2 cm colore nocciola	0.90		8 - 9 - 15 -1.50 PC						
-2		Argilla limosa compatta, ricca in elementi carbonatici e livelli sabbiosi, priva di ciottoli, color nocciola	1.30								
-3		Argille e limi compatti, ricchi in elementi carbonatici, colore verdastro	1.30								
-4		Argilla debolmente limoso - sabbiosa, colore verdastro	0.60								
-5								(CS) -5.00			

Campioni: S-Pareti Sottili, O-Osterberg, M-Mazier, R-Rimaneggiato, Rs-Rimaneggiato da SPT
 Piezometro: ATA-Tubo Aperto, CSG-Casagrande
 Perforazione: CS-Carotiere Semplice, CD-Carotiere Doppio, EC-Elica Continua
 Stabilizzazione: RM-Rivestimento Metallico, FB-Fanghi Betonitici
 Prove SPT: PA-Punta Aperta, PC-Punta Chiusa
 Carotaggio: continuo

Sonda: Carotaggio: continuo

Responsabile