



## COMUNE DI SELARGIUS

(Prov. di Cagliari)

### STUDIO GEOLOGICO E GEOTECNICO

*Opere di completamento del Campus della Scienza, della Tecnica e dell'Ambiente*

Esecuzione di sondaggi geognostici, prove in sito SPT, prove sismiche Vs30, prove di laboratorio, prove di carico su piastra, presso il campus della scienza, della tecnica e dell'ambiente

*Località Cuccuru Angius (Selargius) ex Polveriera*



#### Studio Tecnico Geologico

Servizi & Consulenze - Dott. Mario STRINNA

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

Portatile 333.2437873 - E-mail mariostrinna@libero.it PEC mariostrinna@epap.sicurezza postale.it

web: www.mariostrinna.com

Committente:

**COMUNE DI SELARGIUS**  
**P.zza Cellarium n. 1 - 09047 Selargius (Ca)**

Oggetto:

**RELAZIONE TECNICA**

Data:

08/2013

Scala:

Geologo [ORC Sardegna n. 441]

**Dott. Mario STRINNA**

Collaboratore:

**Dott.ssa Francesca MONTIS**

Aggiornamenti:

Firmato digitalmente da

**Mario Strinna**

CN = Strinna Mario  
O = Ordine Geologi/92034020922  
T = Laurea Geologia  
SerialNumber =  
IT=STRINNA66D11B354G  
e-mail = mariostrinna@libero.it  
C = IT

Tavola:

File: mario/geologia/2013/Selargius/Loc Cuccuru Angius

**Committente:** Comune di Selargius P.zza Cellarium n. 1 – 09047 Selargius

**Progetto:** Indagini geognostiche relative al completamento del Campus della Scienza, della Tecnica e dell' Ambiente

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

**Relazione geologica e geotecnica**



**COMUNE DI SELARGIUS**  
(PROV. DI CAGLIARI)

**RELAZIONE**  
**GEOLOGICA E GEOTECNICA**

ESECUZIONE DI SONDAGGI GEOGNOSTICI, PROVE IN SITO SPT, PROVE SISMICHE Vs30,  
PROVE DI LABORATORIO, PROVE DI CARICO SU PIASTRA,  
PRESSO IL CAMPUS DELLA SCIENZA, DELLA TECNICA E DELL' AMBIENTE  
- LOCALITÀ CUCCURU ANGIUS (SELARGIUS) -

**COMMITTENTE**

COMUNE DI SELARGIUS

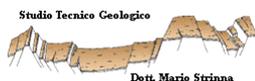
P.ZZA CELLARIUM N. 1 - 09047 SELARGIUS (CA)

**GEOLOGO** [Sez. A]

DOTT. MARIO STRINNA

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

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



Dott. Mario Strinna

Viale Diaz, 48 – 09125 Cagliari – Tel.Fax 070.303083 – Cell. 333.2437873

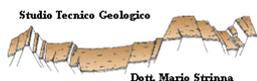
## INDICE

<b>A - PREMESSA</b> .....	<b>pag. 4</b>
<b>B - INQUADRAMENTO AEREO E GEOGRAFICO</b> .....	<b>pag. 4</b>
<b>1. INQUADRAMENTO GEOLOGICO - TETTONICO</b> .....	<b>pag. 7</b>
<b>1.1 - Caratteristiche geologiche e tettoniche generali</b> .....	<b>pag. 7</b>
<b>1.2 - Caratteristiche geologiche dell'area di sedime</b> .....	<b>pag. 9</b>
<b>1.3 - Caratteristiche idrogeologiche e idrologiche</b> .....	<b>pag. 10</b>
1.3.1 - Area di sedime località Cuccuru Angius .....	<b>pag. 11</b>
1.3.2 - PAI (Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico) .....	<b>pag. 13</b>
<b>1.4 - Sistema Pedologico</b> .....	<b>pag. 14</b>
<b>2. CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL SITO</b> .....	<b>pag. 17</b>
<b>2.1 - Classificazione sismica del sito in progetto</b> .....	<b>pag. 17</b>
2.1.1 - Dati sismici sul sito (spettri di risposta) .....	<b>pag. 19</b>
<b>2.2 - Indagine geofisica [Vs30]</b> .....	<b>pag. 20</b>
2.2.1 - Indagine MASW .....	<b>pag. 20</b>
2.2.2 - Descrizione del metodo MASW .....	<b>pag. 21</b>
2.2.3 - Elaborazione dati .....	<b>pag. 21</b>
<b>2.3 - PROVA MASW 1</b> .....	<b>pag. 22</b>
2.3.1 - Risultati delle analisi MASW 1 .....	<b>pag. 23</b>
<b>2.4 - Prospezione sismica a rifrazione</b> .....	<b>pag. 27</b>
2.4.1 - Sintesi dei risultati delle prospezioni sismiche .....	<b>pag. 28</b>
2.4.2.1 - Tipo di suolo (D.M. 14/01/2008) .....	<b>pag. 30</b>
<b>3. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEL SITO</b> .....	<b>pag. 32</b>
<b>Premessa</b> .....	<b>pag. 32</b>
<b>3.1 - Indagini geognostiche e prove in sito S.P.T</b> .....	<b>pag. 33</b>
<b>3.2 - Prove geotecniche in sito Standard Penetration Test [S.P.T.]</b> .....	<b>pag. 33</b>
<b>3.3 - Sondaggi geognostici a rotazione [continui doppio T2]</b> .....	<b>pag. 35</b>
3.3.1 - Sondaggio S1 e Prova S.P.T. ....	<b>pag. 35</b>
3.3.2 - Sondaggio S2 e Prova S.P.T. ....	<b>pag. 36</b>
3.3.3 - Sondaggio S3 e Prova S.P.T. ....	<b>pag. 37</b>
3.3.4 - Sondaggio S4 e Prova S.P.T. ....	<b>pag. 38</b>
3.3.5 - Sondaggio S5 e Prova S.P.T. ....	<b>pag. 39</b>
3.3.6 - Sondaggio S6 e Prova S.P.T. ....	<b>pag. 40</b>

3.3.7 - Sondaggio S7 e Prova S.P.T. ....	pag. 41
<b>3.4 - Considerazioni Stratigrafiche sui terreni attraversati .....</b>	<b>pag. 42</b>
<b>3.5 - Considerazioni geotecniche.....</b>	<b>pag. 43</b>
<b>3.6 - Stima dei parametri geotecnici .....</b>	<b>pag. 44</b>
3.6.1 - COESIVI .....	pag. 46
3.6.1.1 - Caratteristiche [Strato B].....	pag. 46
3.6.1.2 - Caratteristiche [Strato C] .....	pag. 48
3.6.1.3 - Caratteristiche [Strato D] .....	pag. 49
<b>3.7- Verifica degli stati limite secondo le N.T.C 2008 .....</b>	<b>pag. 50</b>
3.7.1 - Ipotesi di calcolo [trave rovescia] .....	pag. 52
<b>3.8 - Cedimenti .....</b>	<b>pag. 54</b>
3.8.1 - Cedimenti per ogni strato.....	pag. 54
3.8.2 - Cedimenti elastici .....	pag. 54
<b>3.9 - Considerazioni tecniche sullo stato dei terreni in posto</b> (30 Luglio 2013) .....	<b>pag. 56</b>
3.9.1 - Verifica con Fi e C corretti per presenza d'acqua e/o umidità.....	pag. 57
3.9.2 - Scavabilità .....	pag. 59
<b>4. PROVE DI CARICO SU PIASTRA .....</b>	<b>pag. 60</b>
<b>4.1 - Prove in sito di carico su piastra .....</b>	<b>pag. 60</b>
<b>4.2 - Risultati delle prove di carico su piastra .....</b>	<b>pag. 61</b>
<b>5. PROVE DI LABORATORIO GEOTECNICO .....</b>	<b>pag. 63</b>
<b>5.1 - Prove di laboratorio geotecnico .....</b>	<b>pag. 63</b>
<b>5.2 - Classificazione delle Terre</b> [CNR-UNI 10006] .....	<b>pag. 63</b>
5.2.1 - Risultato analisi granulometrica (UNI 10006).....	pag. 64
<b>5.3 - Prova Edometrica .....</b>	<b>pag. 65</b>
5.3.1 - Risultato della prova Edometrica.....	pag. 65
5.3.2 - Decorso dei cedimenti del tempo.....	pag. 65
<b>5.4 - Prova di resistenza meccanica</b> [Prova di Taglio diretto].....	<b>pag. 66</b>
5.4.1 - Risultato Prova di Taglio (CD).....	pag. 67
<b>6. CONCLUSIONI.....</b>	<b>pag. 68</b>

## ALLEGATI

• Carta Geologica scala 1:10.000.....	pag. 77
• Planimetria sondaggi geognostici + carico di piastra.....	pag. 79
• Documentazione stratigrafica e fotografica.....	pag. 81
• Certificati prove di laboratorio.....	pag. 108



## A - PREMESSA

Per lo studio dei terreni interessati dal progetto di completamento del Campus della Scienza, della Tecnica e dell' Ambiente, è stato richiesto uno studio geologico tecnico, con particolare riferimento alla caratterizzazione geomeccanica dei terreni che insistono come substrato di appoggio per le fondazioni delle future opere, al fine di:

- Identificare le litologie affioranti e non, nel settore in oggetto;
- Determinare le caratteristiche geomeccaniche del terreno al fine di verificare l' idoneità del substrato di appoggio delle nuove strutture.

Tale lavoro è stato eseguito in ottemperanza del **D.M. 11.03.1988** (Norme Tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l' esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione). Le indagini sono state svolte in ottemperanza alle norme fissate dall' **A.N.I.S.I.G.** (Ass. Naz. Imprese Specializzate in Indagini Geognostiche). Testo integrato con la **Circ. LL.PP. 24 Settembre 1988 n. 30483** (punto A3): istruzioni riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l' esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione, **Circolare n. 218/24/3 del 09.01.1996 e n. 617 del 02.02.2009 – OPCM n. 3274 del 20.03.2003 - Nuove Norme Tecniche N.T.C. 2008** (§ 6.2.1 - 6.2.2 - 3.2; § 3.2.2 - 7.11.3 sismica) sulle costruzioni, secondo le seguenti fasi:

- ❑ Sopralluogo nell' area in esame;
- ❑ Stesura di una relazione geologica e geotecnica sulla base dello studio effettuato (indagini geognostiche a carotaggio continuo, prove di laboratorio geotecnico, prove in sito SPT, prove di carico su piastra) supportata da dati bibliografici e esperienze lavorative eseguite nell' intorno e nella stessa area sensibile.

## B - INQUADRAMENTO AEREO E GEOGRAFICO

L' area in esame (ex polveriera) è situata in località “Cuccuru Angius”, a NO del tessuto urbano di Selargius, ad una quota compresa tra 44÷52 s.l.m.m., in prossimità del confine Amministrativo con il Comune di Monserrato.

Corograficamente é inquadrabile nei seguenti Fogli Tecnici Regionali:

- Foglio 557 - Sezione III “Cagliari” della Carta d' Italia dell' I.G.M. [scala 1:25.000];
- Foglio 557 - 100 “ Monserrato” del C.T.R. numerico della Regione Sardegna [scala 1:10.00].



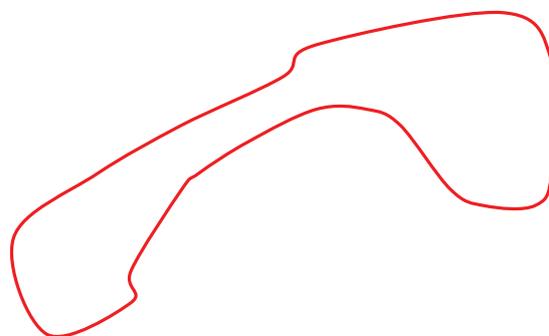


**Figura 1 – Inquadramento aereo da 50m [250piedi]**

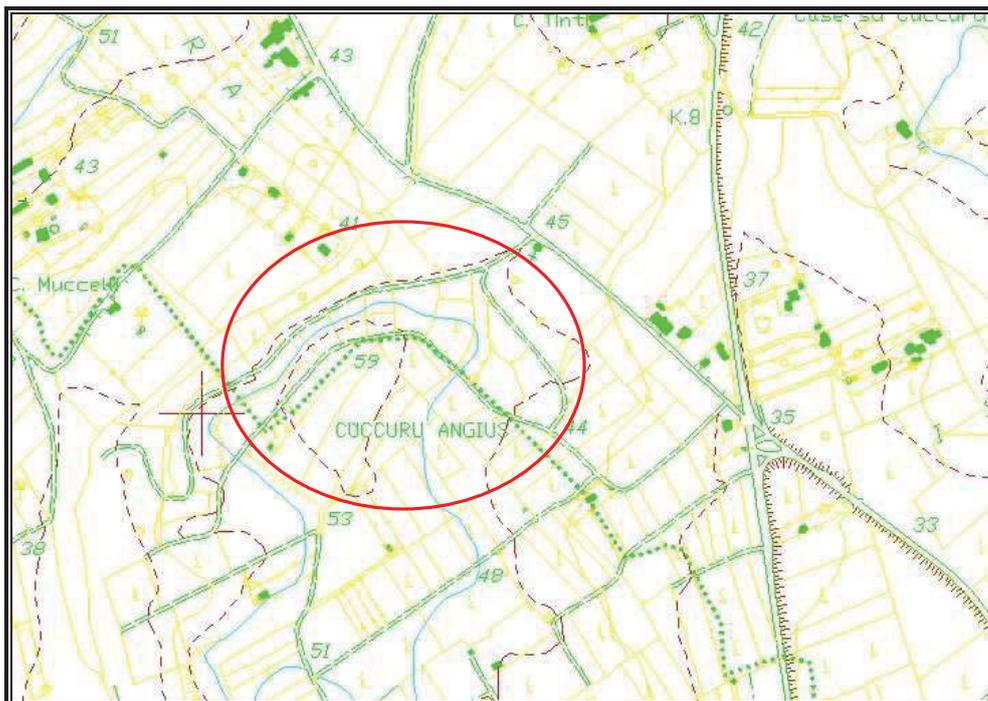
Coordinate Km [Gauss Boaga] area sensibile:

**X** = 1511314.9055 E [WGS84 511 285 ]

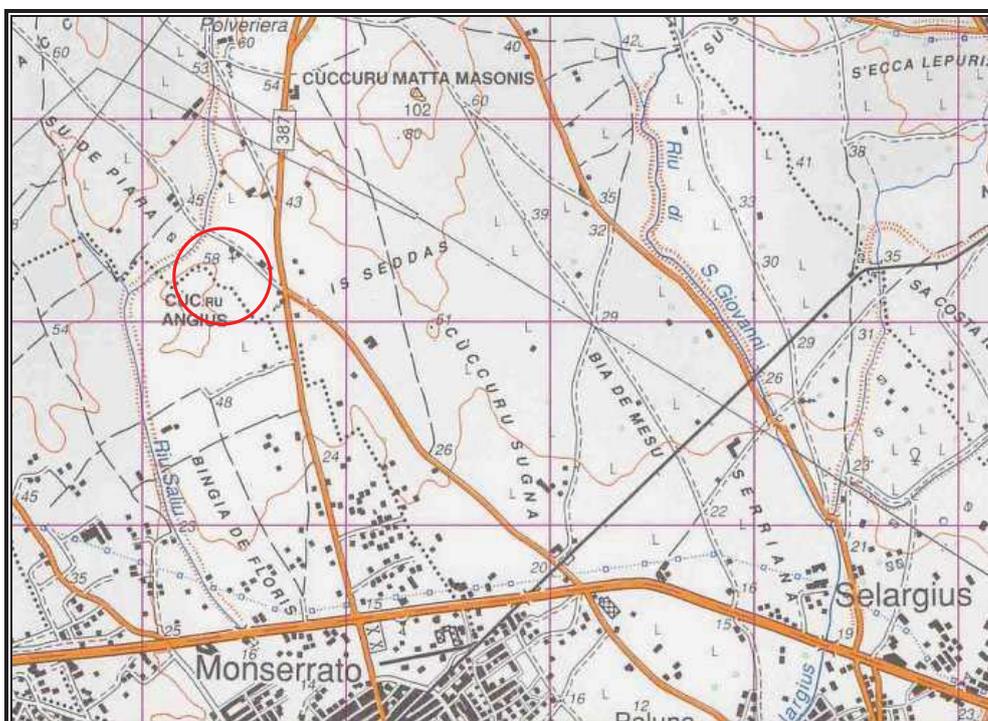
**Y** = 4348099.2113 N [WGS84 4 348 095]



**Lotto in esame**



**Figura 2 – Inquadramento corografico su C.T.R scala 1:10.000**

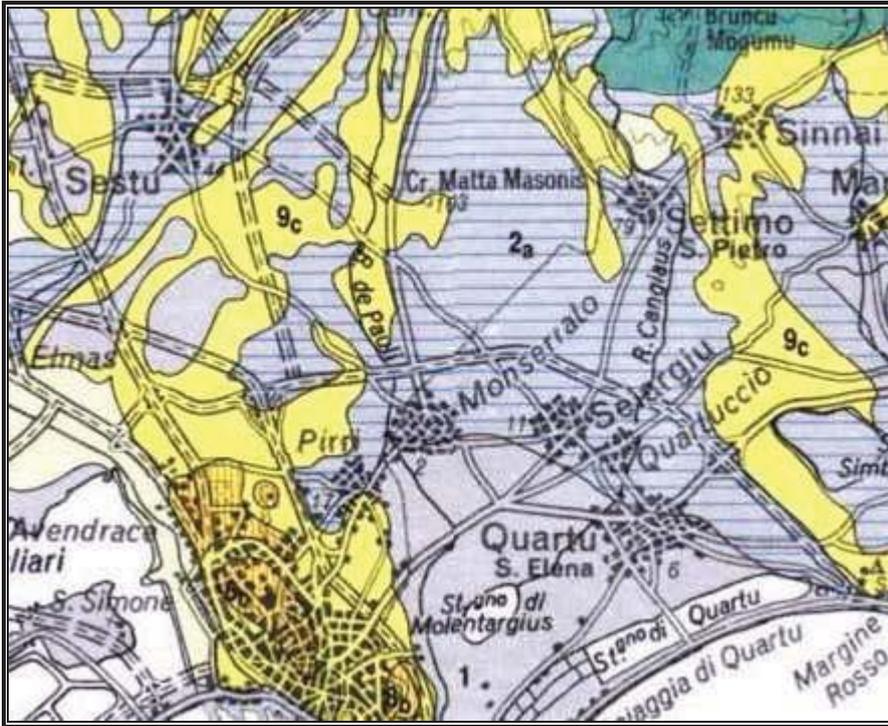


**Figura 3 – Inquadramento corografico su I.G.M scala 1:25.000**

## 1. INQUADRAMENTO GEOLOGICO - TETTONICO

### 1.1 - Caratteristiche geologiche e tettoniche generali

L'area in esame fa parte del territorio Comunale di Selargius, nel Campidano sud-orientale.



Ricade in un'area morfologicamente collinare, caratterizzata da formazioni sedimentarie del Terziario e depositi alluvio-colluviali del Quaternario.

I principali eventi strutturali del territorio sono riferiti alla fase di rifting Oligo-Miocenica e alla formazione del Graben del Campidano nel Pliocene medio-superiore (G. Casula, A. Cherchi, 2001). Il Rift Sardo o

“Fossa Sarda” (Cherchi e Montadert,

Figura 4 - da carta geologica scala 1:200.000 [Barca, Carmignani]

1982), vasta depressione che attraversa l'isola con andamento meridiano, dal Golfo dell'Asinara al Golfo di Cagliari, rappresenta il centro del bacino oligo-miocenico di sedimentazione. La sua formazione è diretta conseguenza del distacco del blocco Sardo-Corso dal margine provenzale europeo, attraverso i quali la Sardegna ha raggiunto l'attuale posizione nel Mediterraneo nel Burdigaliano Inferiore (Letouzey, 1982; Cherchi e Tremolieres, 1984).

L'ingressione marina Oligo-Miocenica, associata alle prime manifestazioni del vulcanismo calco-alcalino (Coulon et al. 1974; Savelli, 1975), è iniziata a partire dall'Oligocene superiore, su di un substrato tettonizzato, costituito da sedimenti continentali paleogenici (Formazione del Cixerri, Pecorini & Pomesano Cherchi, 1969) e localmente da terreni paleozoici; ancora oggi, nel Campidano meridionale è ben osservabile la linea di costa lungo la quale la serie miocenica è prevalentemente conglomeratico - paleogenica.

Tuttavia, il Miocene si contraddistingue per una sedimentazione a carattere trasgressivo, tipica di ambiente marino profondo, che ha lasciato una sequenza continua di depositi costituiti per lo più da sedimenti marnoso-argillosi, calcarei e sabbiosi, per una potenza totale di circa 1000 m di sedimenti. La sedimentazione marina continua in condizioni di stasi vulcanica fino alla regressione Messiniana, durante la quale prendono posto rapidamente facies lagunari ed evaporitiche alternate ad episodi continentali, accompagnati da processi erosionali e deposizione di paleosuoli (Cherchi, Marini, Murru e Robba, 1978).

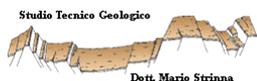
La dinamica estensionale Plio-Quaternaria che ha interessato la Sardegna e il Tirreno nel Plio-Pleistocene è responsabile della genesi del Graben Campidanese. La formazione della nuova fossa, associata a un ampio sistema di faglie crostali estensionali, non ha fatto altro che innescare movimenti verticali nel settore meridionale del Rift Sardo, controllando la deposizione e le aree subsidenti. La caratteristica peculiare del Campidano, caratterizzato da un'orientazione NNW-SSE, è la sua colmata alluvionale iniziata a partire dal Pliocene ed estesa a tutto il Quaternario pre-tirreniano. Infatti, lo sprofondamento del graben e per contro il sollevamento delle aree limitrofe, ha attivato intensi processi di erosione areale e lineare interessanti i rilievi ai bordi dello stesso, con la deposizione nella fossa di potenti coltri alluvionali.

L'instabilità climatica, che caratterizza il periodo Pleistocene-Olocene determina un'alternanza di differenti cicli morfogenetici, distinti da intensi processi di erosione e sedimentazione, con la formazione di depositi alluvionali, colluviali e detriti di falda, che ricoprono le formazioni mioceniche e/o plioceniche precedenti.

Per la copertura alluvionale quaternaria, costituita da alternanze ciottoloso-sabbiose e limo-argillose, per spessori che arrivano fino a 200 m nella fossa, non esiste una datazione attendibile, per mancanza di correlazioni stratigrafiche con il Tirreniano marino, che è l'unica formazione quaternaria della Sardegna datata in base ai reperti paleontologici.

Esiste una semplice suddivisione:

- Quaternario antico rappresentato dalle "Alluvioni antiche" del Pleistocene, costituite da sedimenti fluviali di conoide e di piana alluvionale, terrazzati e talvolta ferrettizzati;
- Quaternario recente (Olocene) contraddistinto da alluvioni recenti di fondovalle e di piana, da depositi sabbiosi e palustri, da coltri eluvio-colluviali.



## 1.2 - Caratteristiche geologiche dell'area di sedime

L'area sensibile, che ricade in una parte del sito della Ex Polveriera militare, è situata a nord-ovest centro abitato di Selargius.

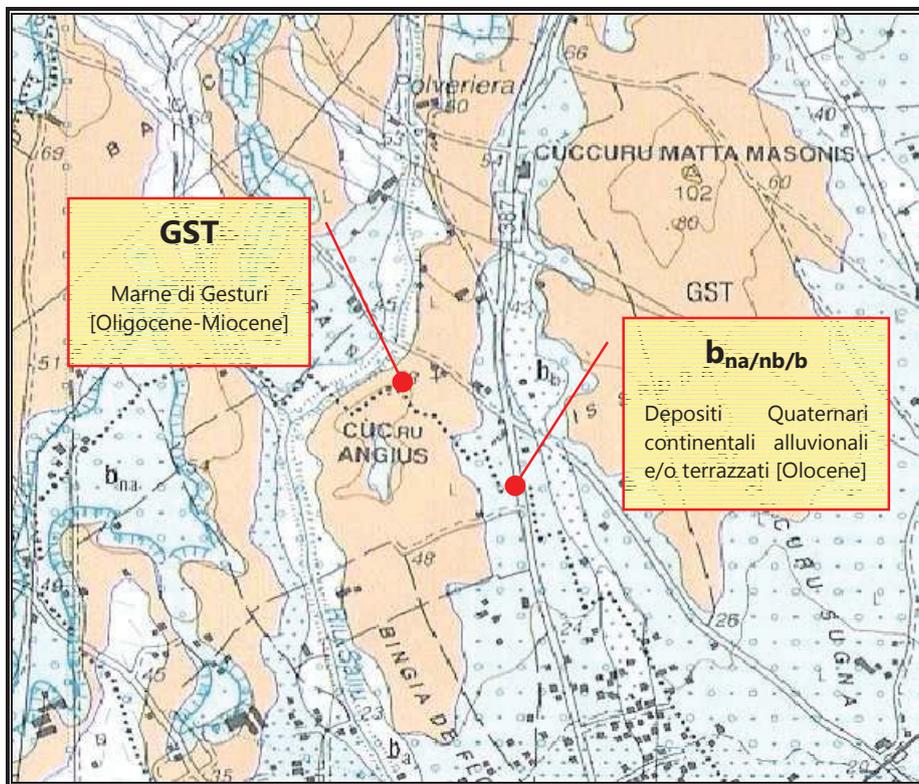


Figura 5 - da Carta Geologica ISPRA scala 1:50.000

Il territorio in esame è caratterizzato da depositi alluvionali e colluviali del Quaternario recente, poggianti su un substrato Terziario, costituito da una successione di sedimenti marnoso-arenacei del 2° ciclo sedimentario miocenico. I sedimenti marnoso-argillosi e marnoso-sabbiosi di età Langhiana affiorano formando una serie colline dal profilo arrotondato, allungate in direzione NO-

SE, separate da aree depresse colmate da una copertura quaternaria di facies alluvionale.

L'area di sedime ricade in una zona sub-pianeggiante, alle pendici della collina marnosa di Cuccuru Angius, in prossimità del Rio Saliu, un corso d'acqua a carattere torrentizio, che nasce nelle colline terziarie a nord del territorio.

Dal punto di vista litostratigrafico è costituita dalle seguenti formazioni:

- Terziario - Marne di Gesturi (GST): sono rappresentate da una successione monotona, potente diverse centinaia di metri, di marne arenacee e siltitiche giallastre, con subordinate intercalazioni di arenarie (Cherchi, 1974) e, localmente di calcari a "Lithothamnium" (Iaccarino et alii, 1985). La datazione delle marne è riferita al Burdigaliano superiore-Langhiano medio. L'area sensibile è rappresentata da marne e siltiti argillose, con intercalazioni di arenarie, soprattutto nelle parti basale e sommitale, contenenti faune a pteropodi, frammenti di molluschi, foraminiferi planctonici.

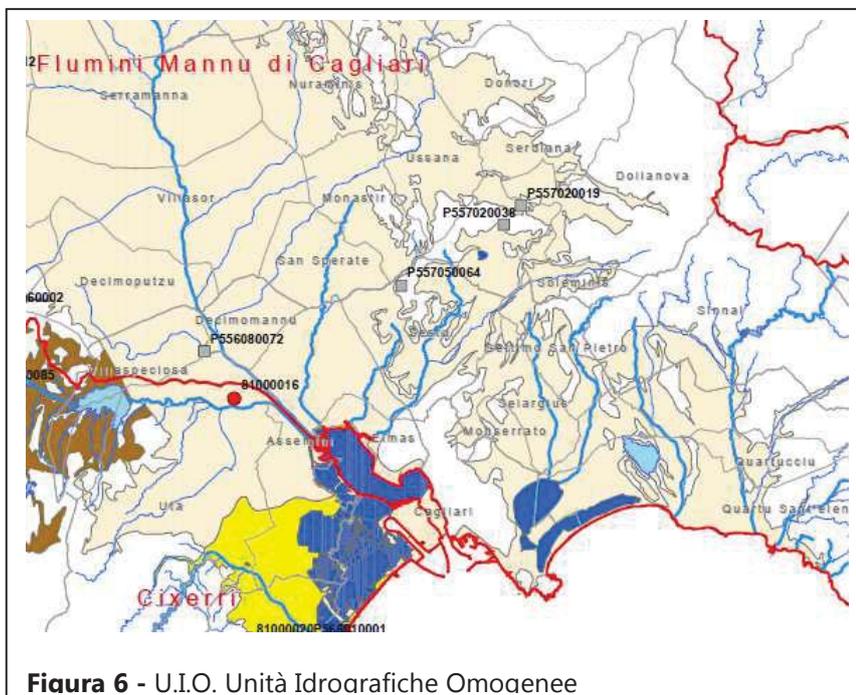


- Depositi Quaternari dell'Olocene: si tratta essenzialmente di sedimenti di pianura alluvionale, attribuiti al periodo Olocene. La distinzione tra le varie unità geolitologiche è funzione della granulometria del deposito e dell'età dei vari sedimenti depositi a più riprese in questo settore (depositi alluvionali terrazzati e non). Questi depositi prevalgono lungo le aree adiacenti le incisioni fluviali, nelle zone depresse racchiuse tra le colline mioceniche e in particolare lungo le sponde del Rio Saliu. Si possono distinguere depositi alluvionali terrazzati costituiti da sabbie prevalenti (**b<sub>nb</sub>**) e alluvioni recenti ghiaioso-sabbiose, con lenti e sottili livelli di sabbie (**b<sub>a</sub>**). I depositi colluviali, caratterizzati da una prevalente composizione argillo-limosa, con noduli carbonatici ed intercalazioni di suoli limo-argillosi, sono presenti localmente alle pendici delle colline mioceniche marnose.

### 1.3 - Caratteristiche idrogeologiche e idrologiche

Il reticolo idrografico del settore in esame, che ricade interamente all'interno del Bacino n° 7 Flumendosa - Campidano – Cixerri, presenta un regime torrentizio.

E' caratterizzato da corsi d'acqua di lunghezze ridotte, originati nell'area pedemontana a NE del Campidano di Cagliari.



Tra questi il Rio Saliu, che passa in prossimità all'area di progetto. Lo stesso nasce nelle colline terziarie a nord del territorio di Selargius in località Sa Mandara, e prosegue il suo percorso all'interno del Comune di Monserrato.

Il territorio appartenente all'Unità Idrografica Omogenea (U.I.O.) del Flumini Mannu di Cagliari - Cixerri, è caratterizzato da bacini

idrogeologici costituiti da terreni alluvionali del Plio-Quaternario e sedimentari del Terziario, a differente permeabilità. I complessi cquiferi individuati sono due:

- Acquifero Detritico-Alluvionale Plio-Quaternario del Campidano: si tratta di terreni alluvionali conglomeratici, sabbiosi, argillosi con permeabilità da medio-alta per porosità nei livelli a matrice più grossolana, a medio-bassa in corrispondenza delle coltri alluvionali antiche ben costipate o cementate.
- Acquifero Detritico-Carbonatico Oligo-Miocenico del Campidano Orientale: si tratta di depositi costituiti da marne, marne arenacee, marne argillose e siltose, con subordinate arenarie, calcareniti e sabbie, con locali intercalazioni tufacee, con permeabilità complessiva medio-bassa per porosità per la prevalenza dei termini marnosi, localmente medio-alta per porosità nei termini sabbioso-arenacei.

Nel bacino imbrifero del Rio Saliu affiorano sia terreni olocenici rappresentati da alluvioni ghiaioso-sabbiose, sia depositi miocenici, in prevalenza marnoso-argilloso-sabbiosi e come si può osservare nello stralcio della carta idrogeologica del territorio (P.U.C Selargius 2012) viene distinta l'unità delle Alluvioni Plio-Quaternarie (grigio) e l'unità Detritico Carbonatica Oligo-Miocenica Inferiore (giallo).

### 1.3.1 - Area di sedime località Cuccuru Angius

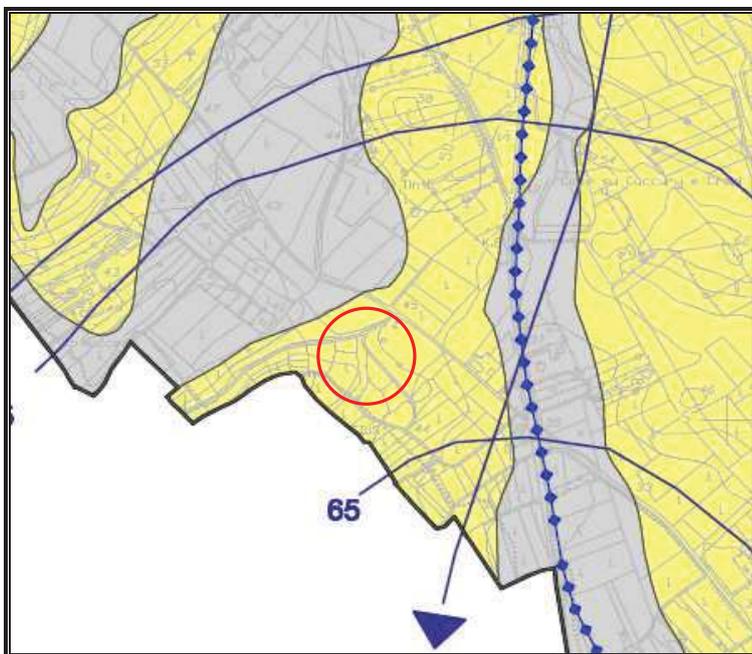


Figura 7 - da carta idrogeologica P.U.C Selargius 2012

Dall'analisi geolitologica di superficie e sulla base di quanto è emerso da indagini geognostiche (impresa Geotest srl) eseguite attualmente e in precedenza sulla stessa area di sedime, comprendente anche il piazzale da adibire a parcheggio, i terreni dal punto di vista geo-litologico sono costituiti da una copertura Quaternaria continentale costituita da terre di riporto limo-sabbiose, da depositi colluviali a composizione marnosa limosa prevalente, con frequenti noduli carbonatici e

intercalazioni di suoli argilloso limosi, ricchi in materia organica. Il substrato, costituito da marne

argillose e siltose, alterate, di colore giallastro, con sottili livelli carbonatici, appartenenti alla serie marina Miocenica, è presente a seconda dell'assetto morfologico già a partire da circa -1.0m da p.c..

Alla luce della configurazione geologico-stratigrafica, idrogeologica dei terreni di sedime e del contesto geomorfologico, si esclude la presenza di una falda idrica superficiale importante ed un'eventuale risalita della falda profonda. Infatti, il substrato marnoso risulta, in genere, scarsamente permeabile o impermeabile per la rilevante componente argillosa trattenuta. Si tratta quindi di terreni a scarso drenaggio, non acquiferi. Soltanto nelle zone adiacenti l'area in progetto, come il tratto del Rio Saliu, non si può escludere la presenza della falda freatica superficiale essendo costituite da alluvioni sabbioso-ghiaiose di permeabilità complessivamente buona.

I terreni, in base alle caratteristiche geolitologiche, con particolare riferimento alla capacità d'assorbimento possono essere suddivisi in differenti classi di permeabilità, secondo i valori indicati nella tabella:

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

Nell'area sensibile possiamo distinguere 3 classi a differente permeabilità:

- **Classe 1** - medio-alta permeabilità: sedimenti alluvionali recenti
- **Classe 2** - bassa permeabilità: depositi colluviali dell'Olocene
- **Classe 3** - molto bassa/impermeabile: marne mioceniche

Prima classe: appartengono quei terreni a buona circolazione idrica, costituiti prevalentemente da coperture alluvionali allo stato sciolto o semicoerente. La permeabilità è dovuta alla presenza di sedimenti sabbioso-ghiaiosi di età olocenica, scarsamente addensati [ $10^{-2} \leq K \leq 10^{-4}$ ]

Seconda classe: i depositi colluviali in matrice limoso-marnosa prevalente, con intercalazione di suoli limo-argillosi, presentano bassa permeabilità per porosità, localmente medio-bassa in corrispondenza di livelli limoso-sabbiosi [ $10^{-6} \leq K \leq 10^{-4}$ ]

Terza classe: le marne langhiane, con intercalazioni da argillose a siltose, talvolta associate a sottili livelli carbonatici, risultano per caratteristiche intrinseche scarsamente permeabili per porosità [ $K \leq 10^{-7}$ ].

### 1.3.2 – PAI (Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico)

L'area in progetto, situata all'interno del territorio Comunale di Selargius, in località Cuccuru Angius, appartiene all'Unità Idrografica Omogenea (U.I.O.) del Flumini Mannu di Cagliari, in quanto ricade all'interno del bacino idrografico del Rio Saliu. Dalla verifica della cartografia attualmente in uso (Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico) non ricade entro le Linee di Perimetrazione del P.A.I riferite al rischio idraulico e franoso.

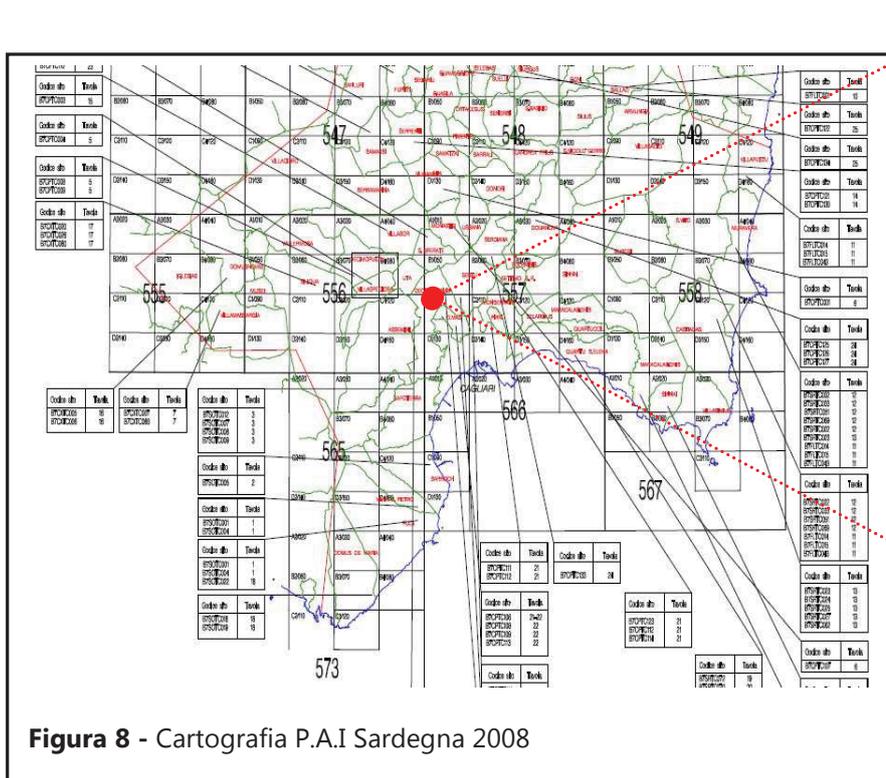
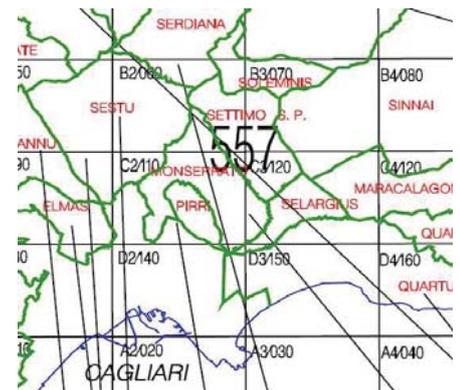
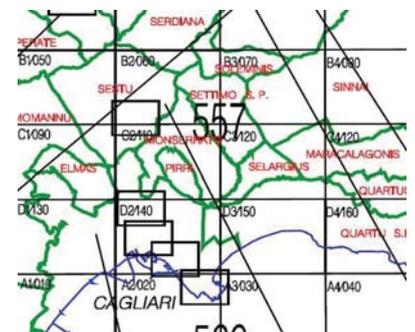


Figura 8 - Cartografia P.A.I Sardegna 2008



Piena



Frana

### Quadro di Unione

[Bacino 7 - Flumendosa Campidano Cixerri]

○ Area sensibile



Figura 9 - Carta di sintesi

## 1.4 - Sistema Pedologico

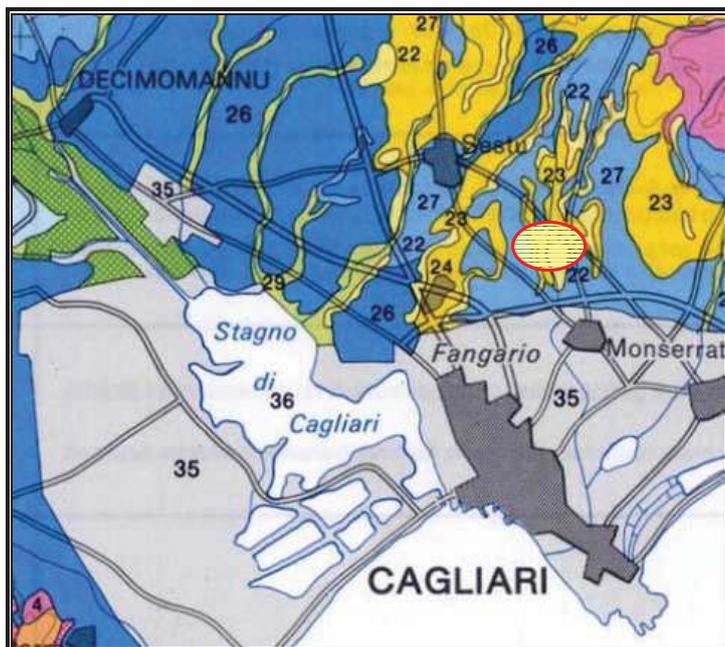


Figura 10 - Stralcio della carta dei Suoli della Sardegna [Aru-Vacca]

Nel settore esaminato, il paesaggio caratterizzato da morfologie collinari e tabulari, rispecchia le caratteristiche geologico-strutturali del territorio di Selargius nord-occidentale. Si tratta, infatti, di un paesaggio ondulato, in cui i dislivelli di quota determinati dalle forme di rilievo associate ai litotipi marnosi del terziario sono attenuati e colmati dai depositi detritici del Quaternario, di facies alluvio-colluviale prevalente.

Gli affioramenti quaternari presentano un'evoluzione dei profili con arricchimento

di argilla, che ne sovrasta uno più profondo con arricchimento evidente in carbonati. Tale orizzonte può essere più o meno vicino alla superficie, o addirittura affiorante.

I terreni marnosi, presentano suoli su:

- Superficie ondulate, caratterizzati da un profilo a modesto sviluppo, del tipo A-C, A-B<sub>w</sub>-C, per una profondità inferiore ai 50cm. Sono soggetti a rischi di erosione con, in alcuni casi, asportazione completa della copertura o suolo;
- Superficie da ondulata a sub-pianeggiante, caratterizzati da un profilo di moderato sviluppo, del tipo A-B<sub>w</sub>-C, A-B<sub>k</sub>-C e A-C per una profondità comprese tra 50 e 100cm. Sono soggetti a rischi di erosione da moderati ad elevati con, in alcuni casi, asportazione completa della copertura o suolo.

Sulla base dell'analisi della Carta dei Suoli della Sardegna (A. Aru, P. Baldaccini, A. Vacca; 1989) possiamo distinguere le seguenti unità pedologiche:



## [Unità 22]

### Paesaggi su marne, arenarie e calcari marnosi del Miocene e relativi depositi colluviali

I suoli derivati dalle marne sono associati a forme ondulate, sulle sommità delle colline e in corrispondenza dei litotipi più compatti. Questi suoli di debole spessore, di solito inferiore ai 50cm, presentano tessitura da franco-sabbiosa a franco-argillosa, struttura poliedrica sub-angolare e buona permeabilità. Le principali limitazioni all'uso agricolo sono rappresentate da una fertilità molto bassa, debole capacità di ritenuta idrica, da rocciosità e pietrosità superficiale elevata, oltre che da erosione diffusa e drenaggio lento. I suoli di quest'unità, secondo la classificazione U.S.D.A Soil Taxonomy (1988), appartengono ai Rock outcrop ed al sottogruppo dei Lithic Xerothents, caratterizzati da suoli giovanissimi a regime di umidità xerico, con profilo pedologico poco differenziato, presentando un solo orizzonte superficiale di tipo minerale.

## [Unità 23]

### Paesaggi su marne, arenarie e calcari marnosi del Miocene e relativi depositi colluviali

I suoli di questa unità, derivati anch'essi dalle marne, sono associati a forme ondulate e sub-pianeggianti, talvolta prossimi ai letti dei fiumi, su un substrato marnoso, arenaceo o marnoso calcareo. Questi suoli si presentano da mediamente profondi a profondi, con tessitura da franco-sabbiosa a franco-sabbiosa-argillosa, struttura poliedrica sub-angolare e angolare, da permeabili a mediamente permeabili.

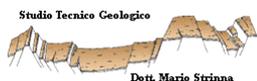
Le principali limitazioni all'uso agricolo sono rappresentate da una tessitura troppo fine, eccesso di carbonati, oltre ad avere un moderato pericolo di erosione e drenaggio lento.

I suoli di quest'unità, secondo la classificazione U.S.D.A Soil Taxonomy (1988), appartengono ai sottogruppi Typic, Vertic, Calcixerollic Xerochrepts, Typic Xerothents e, subordinati Xerofluvents, caratterizzati da suoli a regime di umidità xerico, con profilo pedologico poco differenziato, presentando un solo orizzonte superficiale di tipo minerale.

## [Unità 27]

### Paesaggi su alluvioni, conglomerati, arenarie eoliche e crostoni carbonatici

Quest'unità è impostata sui substrati quaternari antichi. L'evoluzione di questi suoli è molto spinta sulle alluvioni antiche ben costipate e talvolta cementate, con profili A-Bt-C e A-Btg-Cg, contraddistinti da orizzonti diagnostici ben sviluppati.



Si tratta di orizzonti illuviali argillici e orizzonti screziati, riconducibili sia a condizioni di ossidazione sia d'idromorfia. A tratti sono cementati per la presenza di ferro, alluminio e silice, in relazione alla maggiore o minore età del suolo.

Si tratta di suoli evoluti appartenenti all'ordine degli Alfisuoli, in particolare, in funzione della componente tessiturale e della permeabilità, si differenziano in vari sottogruppi. In corrispondenza delle alluvioni antiche terrazzate si rilevano suoli profondi appartenenti ai Typic, Aquic Palexeralfs, caratterizzati da tessitura da franco-sabbiosa-argillosa in superficie sino ad argillosa in profondità, da permeabilità medio-bassa, poiché condizionata dall'illuviazione di materiali argillosi e dalla cementazione.

Il drenaggio lento costituisce una delle principali limitazioni all'uso agricolo degli stessi. Dove si rinvencono coperture eoliche superficiali, si rilevano suoli poco sviluppati, con profilo pedologico poco evoluto classificati come Xeropsamments.

## 2. CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL SITO

### 2.1 - Classificazione sismica del sito in progetto

#### Premessa

L'Appendice A delle N.T.C 08, prevede, specificatamente, che le valutazioni relative alla definizione della “*pericolosità sismica di base*” debbano derivare da studi condotti a livello nazionale, su dati aggiornati, con procedure trasparenti e metodologie validate.

La pericolosità sismica in un generico sito deve essere descritta in modo tale da renderla compatibile con le NTC 2008, dotandola di un sufficiente livello di dettaglio, sia in termini geografici che in termini temporali; tali condizioni possono ritenersi soddisfatte in quanto i risultati dello studio di pericolosità sono forniti:

- In termini di valori di accelerazione orizzontale massima  $a_g$  e dei parametri ( $F_0$ ,  $T_c^*$  etc.) che permettono di definire gli spettri di risposta, ai sensi delle NTC 08, nelle condizioni di sito di riferimento rigido orizzontale (categ. A), in corrispondenza dei punti di un reticolo (reticolo di riferimento) i cui nodi sono sufficientemente vicini fra loro (la rete nazionale è definita da nodi che non distano più di 10 km);
- Per diverse probabilità di superamento in 50 anni e/o per diversi periodi di ritorno  $T_R$  ricadenti in un intervallo di riferimento (variabile tra 30 e 2475 anni).

L'azione sismica così individuata, viene successivamente variata, con le modalità precisate dalle N.T.C 08, per tener conto delle modifiche prodotte dalle condizioni stratigrafiche locali del sottosuolo, effettivamente presenti nel sito di costruzione e dalla morfologia della superficie; tali modifiche caratterizzano la risposta sismica locale (RSL).

Quindi, ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi (vedi cap. 3.2.2 NTC08); in assenza di tali analisi, si può fare riferimento a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento (Tab. 3.2.II e 3.2.III), attraverso la

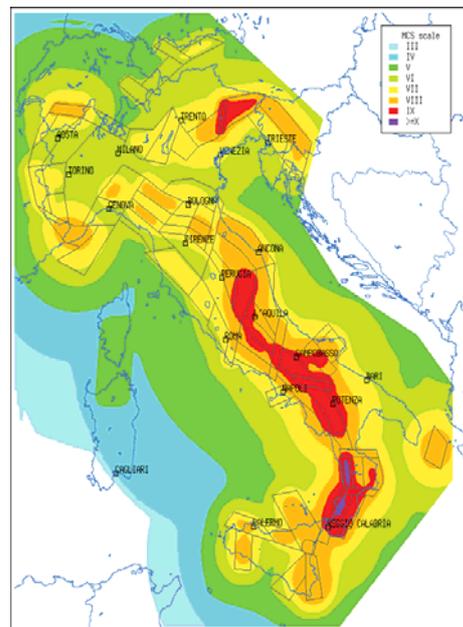


Figura 11 - Carta di sintesi sismica [Italia]

misura delle Vs30 o di altri parametri geotecnici; questo approccio, introdotto dall'OPCM n. 3274/03, allo stato, appare quasi sempre utilizzato nella comune pratica professionale.

Con l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n.3274 del 20 marzo 2003 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" è stata introdotta una nuova classificazione sismica del territorio nazionale articolata in 4 zone a diverso grado di sismicità espresso dal parametro  $a_g$  = accelerazione orizzontale massima convenzionale su suolo di categoria A. I valori convenzionali di  $a_g$ , espressi come frazione dell'accelerazione di gravità  $g$ , da adottare in ciascuna delle zone sismiche del territorio nazionale sono riferiti a probabilità di superamento del 10% in 50 anni ed assumono i valori riportati nella tabella sottostante:

Zona	Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10 % in 50 anni	Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (Norme Tecniche)
	$[a_g/g]$	$[a_g/g]$
1	> 0,25	0,35
2	0,15-0,25	0,25
3	0,05-0,15	0,15
4	<0,05	0,05

L'area in esame è classificata come zona sismica 4, in riferimento al D.M. 14/01/2008

- Zona 1: È la zona più pericolosa, dove possono verificarsi forti terremoti. Comprende 708 Comuni o porzioni di essi per i quali  $[a_g/g] \geq 0,25g$ .
- Zona 2: Nei 2.345 Comuni o porzioni di essi per i quali  $0,25g > [a_g/g] \geq 0,15g$  possono verificarsi terremoti abbastanza forti.
- Zona 3: Nei 1.560 Comuni o porzioni di essi per i quali  $0,15g > [a_g/g] \geq 0,05g$  possono essere soggetti a scuotimenti modesti.
- Zona 4: È la meno pericolosa. Nei 3.488 Comuni o porzioni di essi per i quali  $[a_g/g] < 0,05g$  le possibilità di danni sismici sono basse.

### 2.1.1 - Dati sismici sul sito (spettri di risposta)

#### **Dati sull'area SENSIBILE:**

- Latitudine: 4348099.2113 N
- Longitudine: 1511314.9055 E

#### Punti impiegati sulla maglia di riferimento

Primo punto: ID=45382 Lat.=38.079000 Long.=12.414000 Distanza= 310.765681 Km

Secondo punto: ID=45604 Lat.=38.030000 Long.=12.415000 Distanza= 313.264458 Km

Terzo punto: ID=45383 Lat.=38.080000 Long.=12.477000 Distanza= 315.685422 Km

Quarto punto: ID=45826 Lat.=37.980000 Long.=12.416000 Distanza= 315.889225 Km

#### Calcolo eseguito con interpolazione basata sulle distanze

#### **Dati sulla costruzione:**

- Classe d'uso: 2
- Vita Nominale: 50 anni
- Coefficiente d'uso: 1.000000
- Vita di riferimento: 50.000000 anni

**A) Dati sulla costruzione (SLV) Probabilità di superamento nella vita di riferimento: 0.100000**  
(SLV) Periodo di ritorno: 474.561079 (anni):

Valori finali calcolati:  $ag = 0.0439 \text{ g} \rightarrow Fo = 2.5027 \rightarrow Tc^* = 0.3100 \text{ sec}$

**B) Dati sulla costruzione (SLO) Probabilità di superamento nella vita di riferimento: 0.810000**  
(SLO) Periodo di ritorno: 30.107220 (anni):

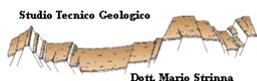
Valori finali calcolati:  $ag = 0.0128 \text{ g} \rightarrow Fo = 2.5776 \rightarrow Tc^* = 0.1400 \text{ sec}$

**C) Dati sulla costruzione (SLD) Probabilità di superamento nella vita di riferimento: 0.630000**  
(SLD) Periodo di ritorno: 50.289048 (anni):

Valori finali calcolati:  $ag = 0.0172 \text{ g} \rightarrow Fo = 2.5500 \rightarrow Tc^* = 0.1500 \text{ sec}$

**D) Dati sulla costruzione (SLC) Probabilità di superamento nella vita di riferimento: 0.050000**  
(SLC) Periodo di ritorno: 974.786287 (anni):

Valori finali calcolati:  $ag = 0.0555 \text{ g} \rightarrow Fo = 2.5551 \rightarrow Tc^* = 0.3400 \text{ sec}$



## 2.2 - Indagine geofisica [Vs30]

L'indagine geofisica, eseguita in data 30 Luglio 2013, è consistita in un profilo sismico utilizzando la tecnica MASW<sub>Vs30</sub>.

### 2.2.1 - Indagine MASW (Multi-Channel Analysis of Surface Waves)

Scopo dell'indagine è di ricostruire, per l'area in oggetto, l'andamento della velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità ( $V_s$ -z). Il modello sismico monodimensionale costituisce l'aspetto principale sia nella stima degli effetti sismici di sito che nella definizione dell'azione sismica di progetto, poiché consente di conoscere l'incidenza delle locali condizioni stratigrafiche nella modifica della pericolosità sismica di base (amplificazioni di natura litologica). Ciò permette una corretta progettazione

strutturale riguardo alle condizioni sitospecifiche, garantendo un adeguato livello di protezione antisismica delle costruzioni (O.P.C.M. 3274 e s.m.i; D.M. 14.09.2005; D.M. 14.01.2008).

Il fenomeno che si analizza è la propagazione delle onde di superficie. Più specificatamente si analizza la dispersione delle onde di superficie (cioè il fatto che frequenze diverse cioè lunghezze d'onda diverse viaggiano a velocità diversa). Il principio base è piuttosto semplice: le varie componenti (frequenze) del segnale (cioè del segnale sismico che si propaga) viaggiano ad una velocità che dipende dalle caratteristiche del mezzo. Più specificatamente: le lunghezze d'onda più ampie (cioè le frequenze più basse) sono influenzate dalla parte più profonda (in altre termini sentono gli strati più profondi), mentre le piccole lunghezze d'onda (le frequenze più alte) dipendono dalle caratteristiche della parte più superficiale. Poiché tipicamente la velocità delle onde sismiche aumenta con la profondità, ciò si rifletterà nel fatto che le frequenze più basse (delle onde di superficie) viaggeranno a una velocità maggiore rispetto le frequenze più alte. Quindi la tipica curva di dispersione si presenta secondo un trend del genere riportato nella figura sottostante (nella quale sono riportate le curve di dispersione sia delle onde di Rayleigh sia di Love per un tipico

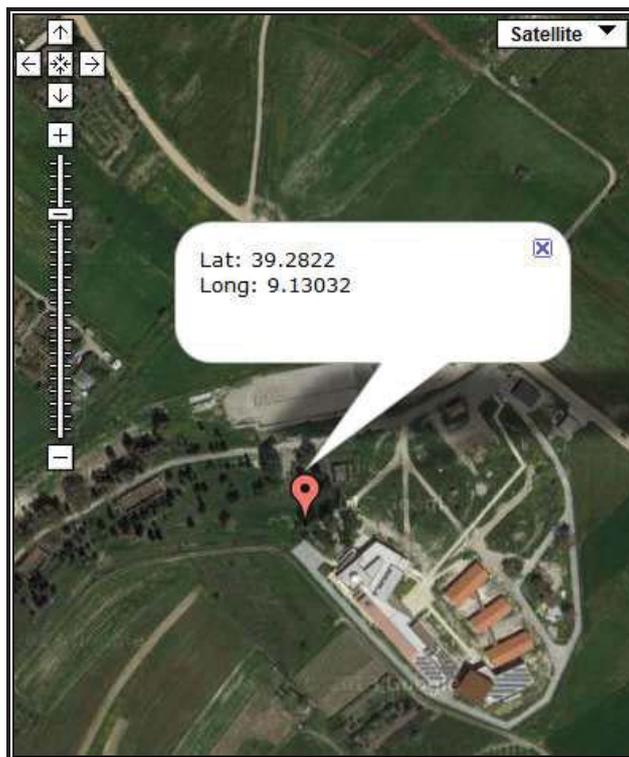


Figura 12 - Area indagine geofisica (vedi allegati)

modello). Tradizionalmente le MASW sono effettuate tramite analisi delle onde di Rayleigh (che sono registrate tramite i comuni geofoni a componente verticale, usati per la comune rifrazione in onde compressionali e considerando una comunissima sorgente ad impatto verticale, cioè la classica martellata).

### 2.2.2 - Descrizione del metodo MASW

Il metodo MASW consiste in tre fasi (V. Roma, 2002):

(1) la prima fase prevede il calcolo della velocità di fase (o curva di dispersione) apparente sperimentale, (2) la seconda fase consiste nel calcolare la velocità di fase apparente numerica, (3) la terza e ultima fase consiste nell'individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali  $V_s$ , modificando opportunamente lo spessore  $h$ , le velocità delle onde di taglio  $V_s$  e di compressione  $V_p$  (o in maniera alternativa alle velocità  $V_p$  è possibile assegnare il coefficiente di Poisson  $\nu$ ), la densità di massa  $\rho$  degli strati che costituiscono il modello del suolo, fino a raggiungere una sovrapposizione ottimale tra la velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale



e la velocità di fase (o curva di dispersione) numerica corrispondente al modello di suolo omogeneo. L'analisi delle onde superficiali è stata eseguita utilizzando la strumentazione classica per la prospezione sismica a rifrazione disposta sul terreno secondo un array lineare da 24 geofoni con spaziatura pari a 1.5 m, per una lunghezza totale di 36 mt. Per ottenere una buona risoluzione in termini di frequenza, oltre ad utilizzare geofoni da 4.5 Hz, è stato utilizzato un sismografo a 24 bit. Nell'esecuzione della prova MASW attiva è stata utilizzata come sistema di energizzazione una mazza di 8 Kg battente su piattello metallico. La sorgente è stata posta a una distanza di 6 m dal primo geofono (Optimum Field Parameters of an MASW Survey”, Park et al., 2005; Dal Moro, 2008).

### 2.2.3 - Elaborazione dati

I dati sperimentali, acquisiti in formato SEG-2/SU, sono stati trasferiti su PC e interpretati attraverso l'utilizzo di uno specifico programma di elaborazione (MASW, Roma 2008). Tale

programma permette di elaborare i dati acquisiti con il metodo attivo. L'analisi consiste nella trasformazione dei segnali registrati in uno spettro bidimensionale "phase velocity-frequency (c-f)" che analizza l'energia di propagazione delle onde superficiali lungo la linea sismica. In questo grafico è possibile distinguere il "modo fondamentale" delle onde di superficie, poiché le onde di Rayleigh presentano un carattere marcatamente dispersivo che le differenzia da altri tipi di onde (onde riflesse, onde rifratte, onde multiple). Sullo spettro di frequenza viene eseguito un "picking" attribuendo ad un certo numero di punti una o più velocità di fase per un determinato numero di frequenze (vedi la curva di dispersione combinata presentata in allegato). Tali valori vengono successivamente riportati su un diagramma periodo-velocità di fase per l'analisi della curva di dispersione e l'ottimizzazione di un modello interpretativo. Variando la geometria del modello di partenza e i valori di velocità delle onde S si modifica automaticamente la curva calcolata di dispersione fino a conseguire un buon "fitting" con i valori sperimentali.

### 2.3 - PROVA MASW 1

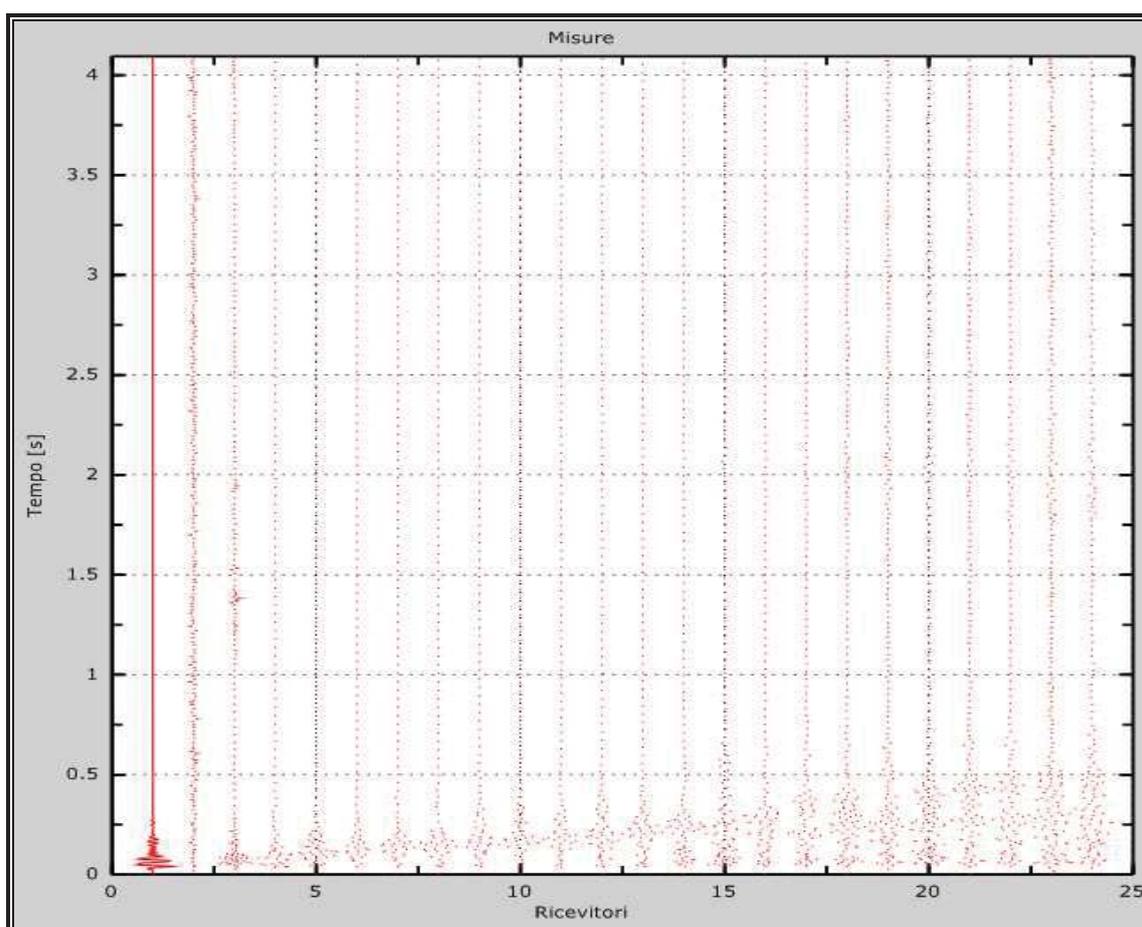


Figura 13 - Tracce sperimentali

### 2.3.1 - Risultati delle analisi MASW 1

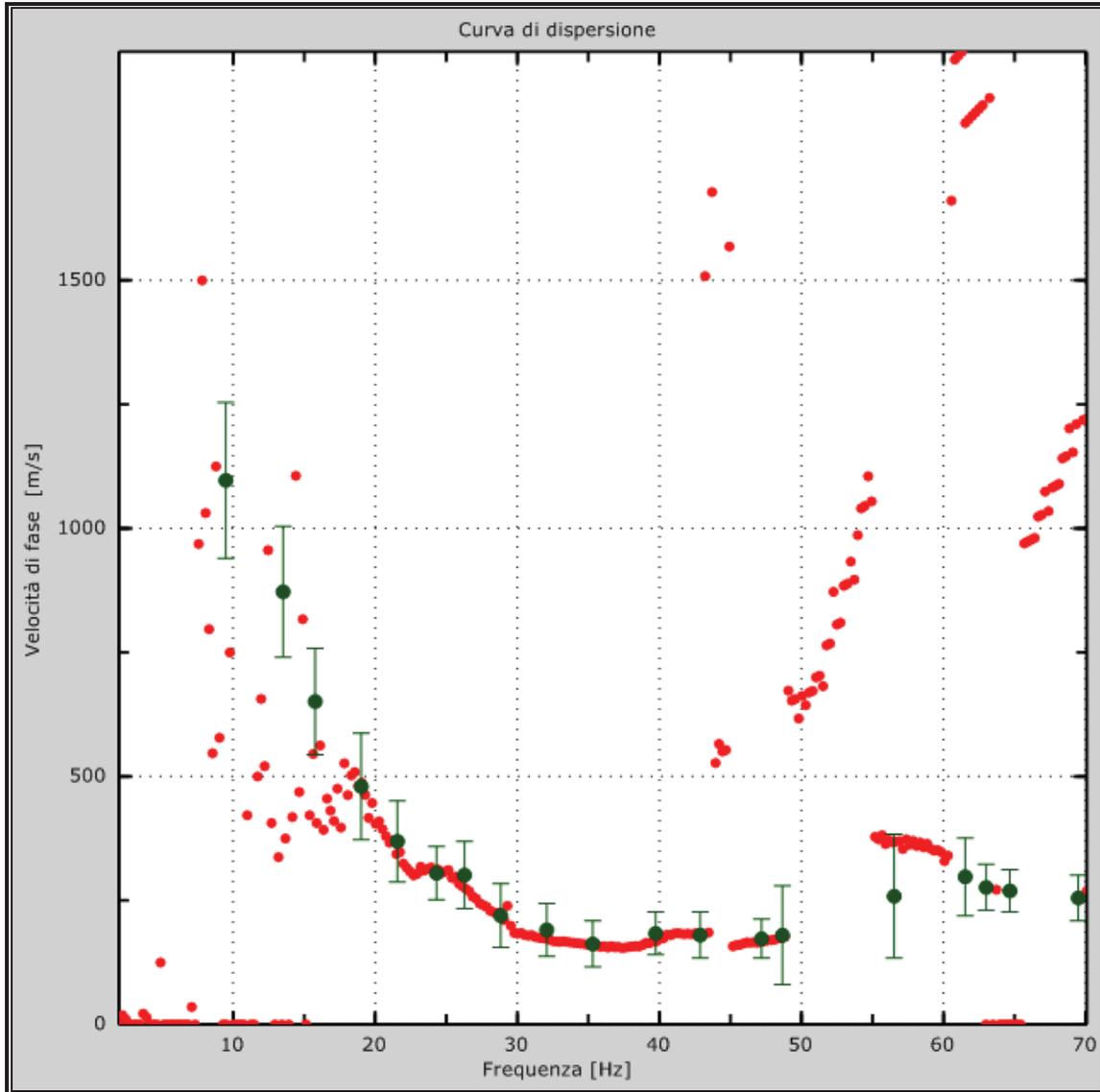
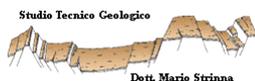


Figura 14 - Curva di dispersione

#### Profilo in sito

Numero di strati (escluso semispazio).....	5
Spaziatura ricevitori [m].....	1.5m
Numero ricevitori .....	24
Numero nodi .....	1
Numero interazioni.....	1



### **Strato 1**

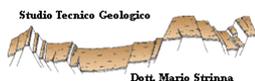
h [m] .....	2
z [m] .....	-2
Densità [kg/m <sup>3</sup> ] .....	1800
Poisson.....	0.2
Vs [m/s] .....	192.10
Vp [m/s].....	446.33
Vs min [m/s] .....	96.05
Vs max [m/s] .....	384.19
<b>Vs fin.[m/s] .....</b>	<b>273.321</b>

### **Strato 2**

h [m] .....	3
z [m] .....	-5
Densità [kg/m <sup>3</sup> ] .....	1800
Poisson.....	0.2
Vs [m/s] .....	243.62
Vp [m/s].....	351.73
Vs min [m/s] .....	121.81
Vs max [m/s] .....	487.25
<b>Vs fin.[m/s] .....</b>	<b>215.388</b>

### **Strato 3**

h [m] .....	3
z [m] .....	-8
Densità [kg/m <sup>3</sup> ] .....	1800
Poisson.....	0.2
Vs [m/s] .....	410.10
Vp [m/s].....	1339.38



Vs min [m/s] .....	205.05
Vs max [m/s] .....	820.20
<b>Vs fin.[m/s] .....</b>	<b>820.200</b>

#### **Strato 4**

h [m] .....	4
z [m] .....	-12
Densità [kg/m <sup>3</sup> ] .....	1800
Poisson.....	0.2
Vs [m/s] .....	532.98
Vp [m/s].....	1740.69
Vs min [m/s] .....	266.49
Vs max [m/s] .....	1065.95
<b>Vs fin.[m/s] .....</b>	<b>1065.950</b>

#### **Strato 5**

h [m] .....	0
z [m] .....	-30
Densità [kg/m <sup>3</sup> ] .....	1800
Poisson.....	0.2
Vs [m/s] .....	1218.70
Vp [m/s].....	3980.26
Vs min [m/s] .....	609.35
Vs max [m/s] .....	2437.40
<b>Vs fin.[m/s] .....</b>	<b>2437.400</b>

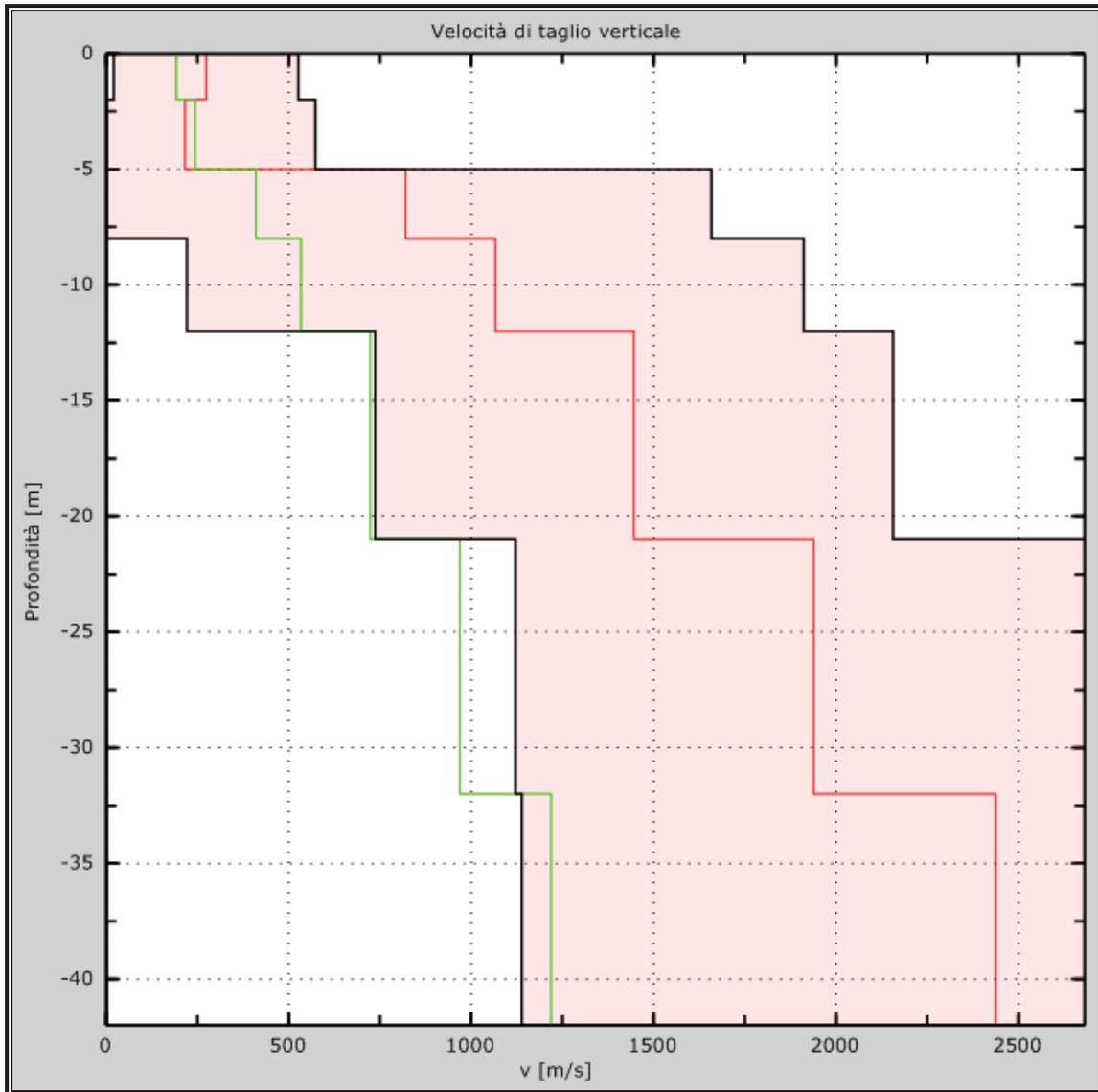


Figura 15 - Profilo Vs numerico

Piano di riferimento z = 0 [m] ..... 0

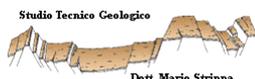
Vs30 [m/s] ..... 759

Sono state usate le normative O.P.C.M. n. 3274/2003 "Ex Testo Unico sulle costruzioni" ed Eurocodice 8

Il sito appartiene alle classi A, B, C, D, E o S1 (alluvionale, ghiaia, sabbia, limo, argilla, roccia).

Il sito non è suscettibile di liquefazione e non è argilla sensitiva.

**Tipo di suolo [ B ]**



Dott. Mario Strinna

Viale Diaz, 48 – 09125 Cagliari – Tel.Fax 070.303083 – Cell. 333.2437873

## 2.4 - Prospezione sismica a rifrazione

Il metodo sismico a rifrazione si basa sul concetto della bi-rifrazione delle onde elastiche a seguito del fronte d'onda conico. Data una sorgente di onde elastiche e uno stendimento di geofoni lungo un profilo giungeranno in superficie ai geofoni onde dirette, onde riflesse ed onde coniche o bi- rifratte (head wave): le onde analizzate sono quelle birifratte, cioè quelle che giungono sulla superficie di separazione con un angolo d'incidenza critico (secondo la legge di Snell) e che quindi vengono rifratte con un angolo di  $90^\circ$  propagandosi parallelamente alla superficie rifrangente e venendo nuovamente rifratte verso la superficie con lo stesso angolo di incidenza.

### Strumentazione utilizzata:

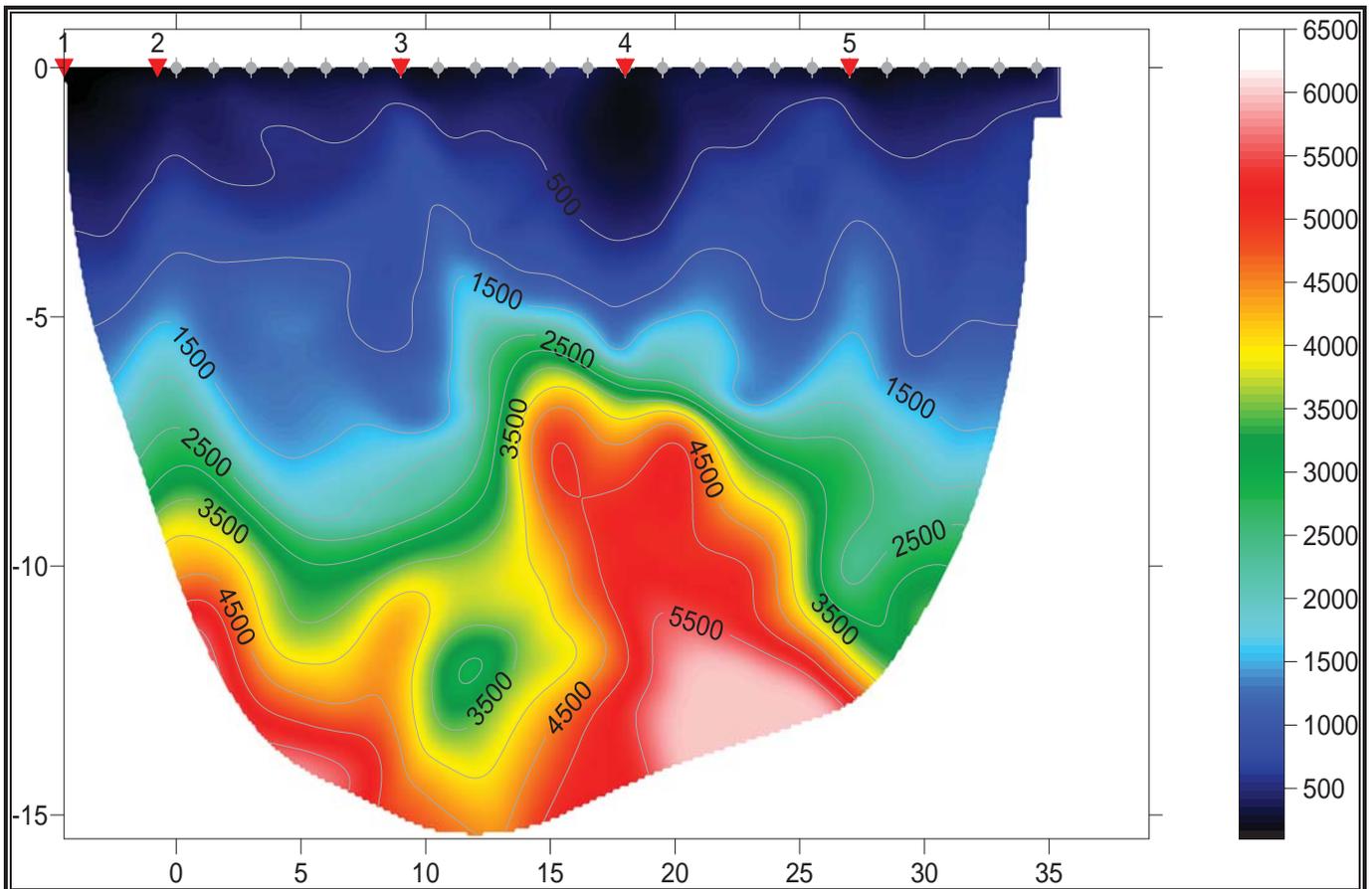
- Un sistema di energizzazione per le onde P: la sorgente è costituita da una mazza del peso di 10 Kg battente verticalmente su piastra circolare in acciaio del diametro di 25 cm posta direttamente sul p.c. per la generazione prevalentemente di onde P, in grado di generare onde elastiche ad alta frequenza ricche di energia, con forme d'onda ripetibili e direzionali;
- Un sistema di ricezione: costituito da 24 geofoni verticali monocomponente del tipo elettromagnetico a bobina mobile a massa sospesa con frequenza propria di 10 Hz (rifrazione), ovvero dei trasduttori di velocità in grado di tradurre in segnale elettrico la velocità con cui il suolo si sposta al passaggio delle onde sismiche longitudinali e trasversali prodotte da una specifica sorgente;
- Sistema di acquisizione dati: con memoria dinamica a 24 bit composto da 4 dataloggers per un totale di 24 canali, cavo sismico telemetrico di 96 m, MOM power con interfaccia USB 1.1 24 V, notebook PC Windows XP con software Panel Acquisition a 24 canali; il sistema è in grado di convertire in digitale e registrare su memoria il segnale proveniente da ciascun canale dal sistema di



ricezione; la conversione A/D avviene già dal primo metro di cavo: il sistema permette pertanto di eliminare molte fonti di disturbo dovute al trasferimento del segnale ed è inoltre dotato di un sistema di filtraggio in tempo reale, da un hardware complesso, che comporta un anello di regolazione con diversi passaggi di digital signal processing.

#### 2.4.1 - Sintesi dei risultati delle prospezioni sismiche

L'elaborazione dei dati di campagna ha consentito la rappresentazione di una sezione sismica utilizzando la tecnica tomografica. I dati ottenuti dall'analisi delle velocità di propagazione delle onde sismiche ha permesso di definire che il sottosuolo dell'area di indagine è piuttosto omogeneo e la suddivisione in tre principali unità, in funzione della velocità delle onde sismiche che risultano essere in accordo con il risultato della prospezione geoelettrica a conferma del modello geologico provvisorio.



**Figura 16** - Grafico velocità onde P

**Unità 1 – Strato più superficiale.** Si tratta di terreni incoerenti con valori di velocità delle onde P che variano da 0 a 400 m/sec.

**Unità 2** – Tale unità presenta valori di velocità delle onde P comprese tra 500 m/sec e 1500m/sec, Questo strato si estende tra i 3,0 e i 7/8 metri di profondità dal piano campagna.

**Unità 3 – Strato più profondo.** Tale unità presenta valori di velocità delle onde P superiori ai 1500/2000 m/sec., rappresenta il substrato maggiormente addensato. Questa unità si estende fino alla massima profondità investigata.

#### 2.4.2 - Risultati finali

Dal modello sismico monodimensionale, è possibile calcolare il valore delle Vs30, che rappresenta la “velocità equivalente” di propagazione entro 30 m di profondità delle onde di taglio.

Per il calcolo delle Vs30 si fa riferimento alla seguente espressione, riportata nel D.M. 14.09.2005 e nel D.M. 14.01.2008 (“Norme tecniche per le costruzioni”):

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}} : 759 \text{ (valore medio) [m/s]}$$

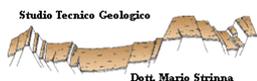
Piano di riferimento z = 0 [m].....0

Vs30 [m/s].....759

Tipo di suolo ..... **B**

Zona	Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10 % in 50 anni	Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (Norme Tecniche)
	[a <sub>g</sub> /g]	[a <sub>g</sub> /g]
1	> 0,25	0,35
2	0,15-0,25	0,25
3	0,05-0,15	0,15
4	<0,05	0,05

L'area in esame è classificata come zona sismica 4, in riferimento al D.M. 14/01/2008:



- **Zona 1** - È la zona più pericolosa, dove possono verificarsi forti terremoti. Comprende 708 Comuni o porzioni di essi per i quali  $[ag/g] \geq 0,25g$ .
- **Zona 2** - Nei 2.345 Comuni o porzioni di essi per i quali  $0,25g > [ag/g] \geq 0,15g$  possono verificarsi terremoti abbastanza forti.
- **Zona 3** - Nei 1.560 Comuni o porzioni di essi per i quali  $0,15g > [ag/g] \geq 0,05g$  possono essere soggetti a scuotimenti modesti.
- **Zona 4** - È la meno pericolosa. Nei 3.488 Comuni o porzioni di essi per i quali  $[ag/g] < 0,05g$  le possibilità di danni sismici sono basse.

#### 2.4.2.1 - Tipo di suolo (D.M. 14/01/2008)

**Tipo A:** Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di Vs30 superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.

**Tipo B:** Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs,30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero  $NSPT30 > 50$  nei terreni a grana grossa e  $cu30 > 250$  kPa nei terreni a grana fina).

**Tipo C:** Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o di terreni a grana fina mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero  $15 < NSPT30 < 50$  nei terreni a grana grossa e  $70 < cu30 < 250$  kPa nei terreni a grana fina).

**Tipo D:** Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 inferiori a 180 m/s (ovvero  $NSPT30 < 15$  nei terreni a grana grossa e  $cu30 < 70$  kPa nei terreni a grana fina).

**Tipo E:** Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con  $V_s > 800$  m/s).

**Committente:** Comune di Selargius P.zza Cellarium n. 1 – 09047 Selargius

**Progetto:** Indagini geognostiche relative al completamento del Campus della Scienza, della Tecnica e dell' Ambiente

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

**Relazione geologica e geotecnica**

**Tipo S1:** Depositi di terreni caratterizzati da valori di  $V_{s,30}$  inferiori a 100 m/s (ovvero  $10 < c_{u,30} < 20$  kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.

**Tipo S2:** Depositi di terreno liquefacibile o argille sensitive o altri profili di terreno non inclusi nei tipi A, B, C, D, E o S1. Attenzione: la nuova norma classifica come S2 una serie di siti che prima erano classificati come B, C, D, E.

### 3. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEL SITO

#### Premessa

Nell'ambito del progetto dei lavori di completamento del "Campus della Scienza, della Tecnica e dell' Ambiente", presso l'area "ex Polveriera di Selargius", nel mese di Luglio 2013 è stata condotta una campagna di indagini geognostiche aventi lo scopo di caratterizzare l'area da un punto di vista geolitologico e geotecnico.

Il lotto in esame, sopra il quale dovrà essere completato il Campus della Scienza, è impostato su una superficie ondulata, costituita da una debole copertura di suolo e/o materiale di riporto (S1/S2/S3/S4). In via preliminare, l'area sensibile è impostata su di una superficie geomorfologicamente ondulata, costituita principalmente dalla Formazione delle Marne di Gesturi.

Trattasi di litologie siltose-argillose, alterate e decomprese, da diversamente addensate sino a



**Figura 17** - Esempio di screziature ferriche (ocracee) nei depositi più superficiali

elluvio-colluviale, derivata essenzialmente dall'azione combinata dei processi di disgregazione meccanica della roccia affiorante dove presente e dal dilavamento diffuso. L'orizzonte di facies eluvio-colluviale, è costituito da limo debolmente argilloso o argilloso, talora in matrice carbonatica, diversamente addensato e consistente.

Dal punto di vista geomeccanico, i terreni presentano caratteristiche variabili per la stessa natura dei materiali, da incoerenti a coesivi, sino a litoidi. Le caratteristiche di questi depositi variano in generale da moderate a discrete, in funzione della granulometria del sedimento, della % variabile di matrice fine, ed in particolare del grado di addensamento e stato di consistenza delle litologie coesive.

dure, con grado di addensamento e compattezza, che va aumentando con la profondità, sino ad incontrare il substrato di appoggio Miocenico litoide (marne siltose). Esse, sono sovrastate da una copertura (superficiale) costituita da materiale di riporto e/o terreno limoso, di spessore inferiore al metro [è stato possibile riconoscere, nei sondaggi S1 ed S2, sotto il terreno di riporto, un orizzonte di suolo a tessitura limoso-argillosa di spessore decimetrico (20+30 cm)].

Il substrato, quando non affiora, è generalmente ricoperto da una coltre detritica

### 3.1 - Indagini geognostiche (sondaggi a carotaggio continuo) e prove in sito S.P.T [Standard Penetration Test]

La verifica geotecnica dell'area, eseguita in data 30 Luglio 2013, è consistita nelle seguenti indagini e prove geotecniche in sito:

- N° 7 sondaggi geognostici continui a rotazione, con testa a rotazione da 101mm;
- N° 12 prove geotecniche in sito [prove penetrometriche dinamiche discontinue S.P.T];
- N° 7 prove di carico su piastra sull'asse stradale (sterrato) esistente.

Sondaggi	Profondità di prova da p.c.
Sond. S1	-10.00 metri
Sond. S2	-10.00 metri
Sond. S3	-10.00 metri
Sond. S4	-5.00 metri
Sond. S5	-10.00 metri
Sond. S6	-10.00 metri
Sond. S7	-5.00 metri

### 3.2 - Prove geotecniche in sito Standard Penetration Test [S.P.T.]

La prova **S.P.T** (Standard Penetration Test) consiste nella misura del n° di colpi (**N**) necessari all'affondamento per 3 tratti di 15 cm di una punta conica  $\varnothing$  50 mm spinta dalla caduta, su una testa cilindrica interposta nelle aste di accompagnamento, di una massa battente pesante 63 Kg (140 lb) con una volata di 75 cm. In tal modo si può misurare la penetrazione della punta (**R<sub>p</sub>**). Il valore **N<sub>S.P.T.</sub>** si determina sommando il numero dei colpi dei due tratti finali e, si considera rifiuto un numero di colpi superiore a 40 per un tratto di 15 centimetri.

I valori di **N<sub>S.P.T.</sub>**, concernenti le prove penetrometriche dinamiche eseguite, sono rispettivamente:



Figura 18 - Esempio di Prova discontinua S.P.T.

**Committente:** Comune di Selargius P.zza Cellarium n. 1 – 09047 Selargius

**Progetto:** Indagini geognostiche relative al completamento del Campus della Scienza, della Tecnica e dell' Ambiente

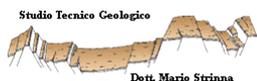
**Il Geologo:** Dott. Mario STRINNA O.R.G. N. 441 [Sez. A]

Relazione geologica e geotecnica

<b>Profondità Prove S.P.T.</b>	<b>N<sub>s.p.t.</sub></b>
Sondaggio <b>S1</b> S.P.T. a metri -1.00 -3.00	28-33-40 = 73 50-50-50 = Rifiuto
Sondaggio <b>S2</b> S.P.T. a metri -1.00 -3.00	13-14-17 = 31 31-30-20 = 50
Sondaggio <b>S3</b> S.P.T. a metri -1.00 -3.00 -7.10	22-17-18 = 35 18-21-19 = 40 50-50-50 = Rifiuto
Sondaggio <b>S4</b> S.P.T. a metri -1.00	18-11-21 = 32
Sondaggio <b>S5</b> S.P.T. a metri -1.00 -6.50	19-20-22 = 42 50-50-50 = Rifiuto
Sondaggio <b>S6</b> S.P.T. a metri -1.00 -3.00	20-22-24 = 46 30-34-32 = 50

I dati relativi alla Tensione Ammissibile ( $Q_{amm}$ ) da prove S.P.T sono rispettivamente:

<b>Verticali</b>	<b>Prova S.P.T.</b>	<b>N<sub>spt</sub></b>	<b>Q<sub>amm</sub> (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>
Sondaggio <b>S<sub>1</sub></b>	S.P.T. a metri 1.00 S.P.T. a metri 3.00	73 100 (Rifiuto)	7.3 10.0
Sondaggio <b>S<sub>2</sub></b>	S.P.T. a metri 1.00 S.P.T. a metri 3.00	31 50	3.1 5.0
Sondaggio <b>S<sub>3</sub></b>	S.P.T. a metri 1.00 S.P.T. a metri 3.00 S.P.T. a metri 7.10	35 40 100 (Rifiuto)	3.5 4.0 10.0
Sondaggio <b>S<sub>4</sub></b>	S.P.T. a metri 1.00	32	3.2
Sondaggio <b>S<sub>5</sub></b>	S.P.T. a metri 1.00 S.P.T. a metri 6.50	42 100 (Rifiuto)	4.2 10.0
Sondaggio <b>S<sub>6</sub></b>	S.P.T. a metri 1.00 S.P.T. a metri 3.00	46 66	4.6 6.6



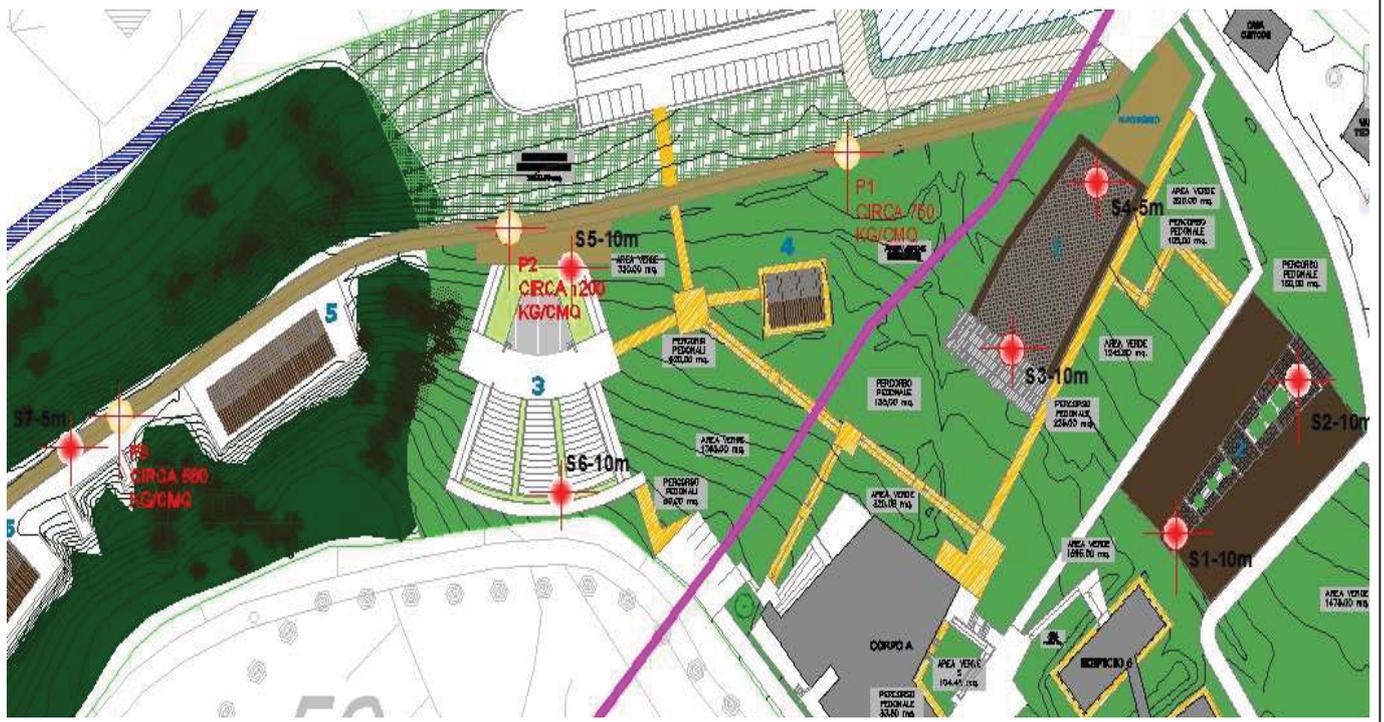
Dott. Mario Strinna

Viale Diaz, 48 – 09125 Cagliari – Tel.Fax 070.303083 – Cell. 333.2437873

### 3.3 - Sondaggi geognostici a rotazione [continui doppio T2]

Sono stati eseguiti n. 7 sondaggi geognostici (indicati con le sigle Sond S<sub>1</sub>÷S<sub>2</sub>...÷S<sub>7</sub>) in diversi punti dell'area sensibile (Campus della Scienza ex Polveriera), utilizzando una sonda a rotazione **MK900 CMV** con argano idraulico da Kg 2000, munita di speciale pompa a coclea Bellin NG800L, montata su carro gommato Magirus Jiupiter 6 x 6.

#### Ubicazione sondaggi geognostici (vedi allegati)



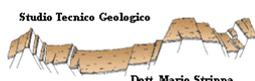
#### 3.3.1 - Sondaggio S1 e Prova S.P.T.

Il sondaggio (vedi planimetria) ha mostrato da subito, fatta eccezione per una debole copertura superficiale di materiale detritico di riporto, la presenza di terreni coesivi e semicoerenti, diversamente addensati e consistenti. Si tratta, sino alla profondità di 4.20 metri, di marne siltose-argillose, alterate e decomprese, passanti al substrato di marne siltitiche dure e diversamente cementate, che assumono consistenza litoide a partire da -5.10m e sino a fondo foro (-10.0m).



Figura 19 - Postazione sondaggio S1

L'indagine ha evidenziato i seguenti livelli litologici:



Dott. Mario Strinna

Viale Diaz, 48 – 09125 Cagliari – Tel.Fax 070.303083 – Cell. 333.2437873

- 1) Materiale detritico di riporto, costituito da ghiaie e ciottolotti, in matrice limoso-sabbiosa fine, sciolto, di colore nocciola chiaro [-0.80m p.c.];
- 2) Orizzonte di suolo a tessitura limoso-argillosa, addensato, di colore bruno grigiastro [da -0.80 a -1.10m];
- 3) Successione di marne siltose debolmente argillose, alterate e diversamente addensate, con intercalati livelletti (1-2 cm) di marne cementate e presenza di screziature carbonatiche biancastre e ocracee ferriche; colore nocciola giallognolo/nocciola grigiastro [da -1.10 a -4.20m];
- 4) Substrato costituito da marne siltose dure e diversamente cementate, passanti a litoidi e diversamente fratturate verso -5.10m; colore nocciola giallognolo/nocciola grigiastro [da -4.20 a -10.0m];

*In prima analisi, dal punto di vista della portanza sono terreni, da consistenti a molto consistenti, con  $N_{spt} -1.0m$  (indice di portanza standard) uguale a 73 e  $N_{spt} -2.0m$  uguale a rifiuto, da cui si deduce un  $Q_{amm} > 5.0 \text{ Kg/cm}^2$ , per entrambe le prove; questo ci permette di affermare che il terreno presenta una resistenza buona.*

### 3.3.2 - Sondaggio S2 e Prova S.P.T.

Il sondaggio (vedi planimetria) ha evidenziato da subito, fatta eccezione per una debole copertura superficiale (circa 60 cm) di materiale detritico di riporto soprastante un orizzonte pedogenetico, la presenza di terreni coesivi e semicoerenti, diversamente addensati e consistenti. Si tratta, sino alla profondità di 2.80 metri, di un livello di facies eluvio-colluviale di limo debolmente argilloso, in matrice carbonatica, soprastante una successione di marne siltose-argillose, alterate e



Figura 20 - Postazione sondaggio S2

decompresse, da diversamente addensate e consistenti sino a dure, all'aumentare della profondità.

L'indagine ha evidenziato i seguenti livelli litologici:

- 1) Materiale detritico di riporto, costituito da qualche ciottolotto in matrice limosa, passante a un orizzonte di suolo a tessitura limosa, addensato; colore nocciola [-0.60m p.c.];



- 2) Livello limoso debolmente argilloso, diversamente addensato in matrice carbonatica, di colore bruno grigiastro [da -0.60 a -2.80m];
- 3) Marne siltose-argillose, alterate e decomprese, diversamente addensate e debolmente plastiche; colore nocciola giallognolo con sfumature grigiastre [da -2.80 a -5.0m];
- 4) Livello di marne siltose argillose, molto addensate e consistenti, impregnate di ossidi ferrici, di colore nocciola ocraceo [da -5.0 a -5.90m];
- 5) Successione di marne siltose-argillose, da molto addensate sino a dure, con presenza di screziature ocracee e di scaglie di marne cementate; colore nocciola giallognolo [da -5.90 a -10.0m];

*In prima analisi, dal punto di vista della portanza sono terreni, da moderatamente consistenti a consistenti, con  $N_{spt} -1.0m$  (indice di portanza standard) uguale a 31 e  $N_{spt} -3.0m$  uguale a 50, da cui si deduce un  $Q_{amm}$  uguale a  $3.1 \text{ Kg/cm}^2$  e  $5.0 \text{ Kg/cm}^2$ ; questo ci permette di affermare che il terreno presenta una resistenza da discreta a buona.*

### 3.3.3 - Sondaggio S3 e Prova S.P.T.

Il sondaggio (vedi planimetria) ha evidenziato da subito, fatta eccezione per una debole copertura superficiale di terreno limoso (circa 80 cm di spessore), la presenza di materiali coesivi e semicoerenti, diversamente addensati e consistenti. Si tratta, sino alla profondità di 2.0 metri, di un livello di facies eluvio-colluviale limo-argilloso, addensato e molto consistente, soprastante la successione miocenica della zona, costituita da marne



Figura 21 - Postazione Sondaggio S3

siltose-argillose, inizialmente alterate e decomprese, da diversamente addensate sino a dure, la cui compattezza e consistenza migliora all'aumentare della profondità.

L'indagine ha evidenziato i seguenti livelli litologici:

- 1) Terreno di copertura superficiale, prevalentemente limoso, sciolto; colore nocciola grigiastro [-0.80m p.c.];
- 2) Livello limo-argilloso, addensato e molto consistente, con noduli e screziature carbonati che. Colore nocciola grigiastro [da -0.80 a -2.0m];

- 3) Marne siltose-argillose, alterate e decomprese, diversamente addensate, con presenza di screziature argillose grigiastre e ocracee ferriche; colore dal nocciola giallognolo al nocciola grigiastro [da -2.0 a -6.80m];
- 4) Successione di marne siltose-argillose, molto addensate/dure e compatte, con inclusioni di scaglie di marne argillose cementate e grigiastre verso -9.20m; colore variabile nocciola giallognolo/nocciola grigiastro [da -6.80 a -10. 0m].

*In prima analisi, dal punto di vista della portanza sono terreni, da moderatamente consistenti a consistenti, con  $N_{spt}$  -1.0m (indice di portanza standard) uguale a 35,  $N_{spt}$  -2.0m uguale a 40 e  $N_{spt}$  -7.10m uguale a rifiuto, da cui si deduce un  $Q_{amm}$  pari a  $3.5 \text{ Kg/cm}^2$ ,  $4.0 \text{ Kg/cm}^2$  e  $> 5.0 \text{ Kg/cm}^2$ ; questo ci permette di affermare che il terreno presenta una resistenza da discreta a buona.*

#### 3.3.4 - Sondaggio S4 e Prova S.P.T.

Il sondaggio (vedi planimetria) ha evidenziato da subito, fatta eccezione per una debole copertura superficiale di materiale detritico di riporto (circa 50 cm di spessore), la presenza di terreni coesivi e semicoerenti, diversamente addensati e consistenti. Si tratta, sino alla profondità di 1.80 metri, di un livello limo-argilloso di facies eluvio-colluviale, addensato e consistente, poggiante su una successione di marne siltose-argillose,



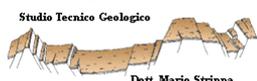
Figura 22 - Postazione sondaggio S4

alterate e decomprese, diversamente addensate e moderatamente plastiche.

L'indagine ha evidenziato i seguenti livelli litologici:

- 1) Materiale detritico di riporto, limoso con ciottolotti, sciolto; colore nocciola [-0.50m p.c.];
- 2) Livello limo-argilloso, addensato e consistente; colore nocciola grigiastro chiaro [da -0.50 a -1.80m];
- 3) Marne siltose-argillose, alterate e decomprese, diversamente addensate, con presenza di screziature argillose grigiastre; colore nocciola grigiastro [da -1.80 a -5.0m].

*In prima analisi, dal punto di vista della portanza sono terreni, da moderatamente consistenti a consistenti, con  $N_{spt}$  -1.0m (indice di portanza standard) uguale a 32, da cui si deduce un  $Q_{amm}$*



uguale a  $3.2 \text{ Kg/cm}^2$ ; questo ci permette di affermare che il terreno presenta una resistenza discreta.

### 3.3.5 - Sondaggio S5 e Prova S.P.T.

Il sondaggio (vedi planimetria) ha evidenziato da subito, fatta eccezione per una debole copertura superficiale di terreno limoso (circa 80 cm di spessore), la presenza di terreni coesivi e semicoerenti, diversamente addensati e consistenti. Si tratta, sino alla profondità di circa 4.0 metri, di un livello di facies eluvio-colluviale di limo argilloso, in matrice carbonatica, diversamente addensato e consistente, soprastante marne siltose-argillose, alterate e diversamente addensate, passanti a -6.50m al substrato litoide e compatto, di marne siltose diversamente fratturate.



Figura 23 - Postazione sondaggio S5

L'indagine ha evidenziato i seguenti livelli litologici:

- 1) Terreno di copertura superficiale limoso, sciolto; colore nocciola grigiastro [-0.80m p.c.];
- 2) Livello di facies eluvio-colluviale limoso debolmente argilloso, in matrice carbonatica, diversamente addensato e consistente, con screziature ocracee ferriche; colore nocciola grigiastro/nocciola giallognolo [da -0.80 a -4.0m];
- 3) Marne siltose-argillose, alterate e diversamente addensate, con presenza di marne cementate in scaglie; colore nocciola giallognolo [da -4.0 a -6.50m];
- 4) Substrato litoide compatto di marne siltose, diversamente fratturate, con presenza di ossidi ferrici lungo i piani di fratturazione; colore grigiastro [da -6.50 a -10.0m].

In prima analisi, dal punto di vista della portanza sono terreni, da moderatamente consistenti a consistenti, con  $N_{spt} -1.0m$  (indice di portanza standard) uguale a 42 e  $N_{spt} -6.5m$  uguale a rifiuto, da cui si deduce un  $Q_{amm}$  uguale a  $4.2 \text{ Kg/cm}^2$  e  $> 5.0 \text{ Kg/cm}^2$ ; questo ci permette di affermare che il terreno presenta una resistenza da discreta a buona.

### 3.3.6 - Sondaggio S6 e Prova S.P.T.

Il sondaggio (vedi planimetria) ha evidenziato da subito, fatta eccezione per un terreno di copertura superficiale limoso (circa 60 cm di spessore), la presenza di terreni coesivi e semicoerenti, diversamente addensati e consistenti. Si tratta, sino alla profondità di circa 2.20 metri, di un livello di facies eluvio-colluviale di limo debolmente argilloso, in matrice carbonatica, molto addensato, soprastante marne siltose-argillose, alterate e diversamente addensate, passanti a -4.70m al substrato litoide, costituito da marne siltose, diversamente fratturate.



Figura 24 - Postazione sondaggio S6

L'indagine ha evidenziato i seguenti livelli litologici:

1. Terreno di copertura superficiale limoso, sciolto; colore nocciola grigiastro [-0.60m p.c.];
2. Livello di facies eluvio-colluviale limoso debolmente argilloso, in matrice carbonatica, diversamente addensato e consistente, con screziature ocracee ferriche; colore nocciola grigiastro/nocciola giallognolo [da -0.60 a -2.20m];
3. Marne siltose-argillose, alterate e diversamente addensate, con presenza di marne cementate in scaglie; colore nocciola giallognolo [da -2.20 a -4.70m];
4. Substrato litoide di marne siltose, diversamente fratturate, con presenza di ossidi ferrici lungo i piani di fratturazione; colore grigiastro [da -4.70 a -10.0m].

*In prima analisi, dal punto di vista della portanza sono terreni, da moderatamente consistenti a consistenti, con  $N_{spt} -1.0m$  (indice di portanza standard) uguale a 42 e  $N_{spt} -3.0m$  uguale a 66, da cui si deduce un  $Q_{amm}$  uguale a  $4.2 \text{ Kg/cm}^2$  e  $6.6 \text{ Kg/cm}^2$ ; questo ci permette di affermare che il terreno presenta una resistenza da discreta a buona.*

### 3.3.7 - Sondaggio S7 e Prova S.P.T.

Il sondaggio (vedi planimetria), conferma come i precedenti, ad eccezione per una copertura superficiale di materiale detritico di riporto di circa 70 cm (strada sterrata), la presenza di terreni coesivi e semicoerenti, diversamente addensati e consistenti. Si tratta, sino alla profondità di circa 3.0 metri, di un livello eluvio-colluviale di limo più o meno argilloso, diversamente addensato e consistente, poggiante su una successione di marne siltose-argillose, alterate, da molto addensate a dure, per la presenza di scaglie di marne cementate.



Figura 25 - Postazione sondaggio S7

L'indagine ha evidenziato i seguenti livelli litologici:

1. Materiale detritico di riporto, con ghiaie e ciottolotti in matrice limosa-sabbiosa, sciolto; colore nocciola [-0.70m p.c.];
2. Livello di limo da debolmente argilloso ad argilloso, diversamente addensato e consistente; colore nocciola grigiastro/nocciola giallastro chiaro [da -0.70 a -3.0m];
3. Marne siltose-argillose, alterate, da molto addensate a dure verso -4.0m, per la presenza di scaglie di marne cementate; colore nocciola giallastro/nocciola grigiastro [da -3.0 a -5.0m].

**Nota:** lungo la strada sterrata (vedi planimetria), più avanti del sondaggio S7, è stato eseguito un carotaggio della profondità max di 1.0m (denominato Sst1), che ha evidenziato per circa 80 cm, la presenza di materiale detritico di riporto (strada), costituito da ciottoli e ciottoletti, in matrice limosa-sabbiosa, soprastante un livello di limo debolmente argilloso, molto addensato.



Figura 26 - Postazione sondaggio corto S st1 + cassetta da 0.0m a 1.0m

### 3.4 - Considerazioni Stratigrafiche sui terreni attraversati

In base alle evidenze geolitologiche, si può asserire che l'area d'indagine (Campus della Scienza, della Tecnica e dell' Ambiente - ex Polveriera), presenta la seguente successione stratigrafica "Tipo":

**[Strato A]** – Copertura superficiale costituita da materiale di riporto o terreno limoso, di spessore inferiore al metro; è stato possibile riconoscere (nei sond. S1, S2), sotto il terreno di riporto, un orizzonte di suolo a tessitura limoso-argillosa di spessore decimetrico (20÷30 cm);

**[Strato B]** – Livello di facies eluvio-colluviale, costituito da limo debolmente argilloso o argilloso, talora in matrice carbonatica, diversamente addensato e consistente;

**[Strato C]** – Marne siltose-argillose, alterate e decomprese, da diversamente addensate a dure, con grado di addensamento e compattezza, che va aumentando con la profondità;

**[Strato D]** – Substrato di consistenza litoide, costituito da marne siltose, diversamente fratturate;

Le caratteristiche lito-stratigrafiche locali sotto il piano campagna, si possono riassumere in:



Figura 27 - Depositi di copertura superficiali

**Strato B:** livello eluvio-colluviale di limo debolmente argilloso o argilloso, con un contenuto variabile di matrice carbonatica, diversamente addensato e consistente, di colore nocciola grigiastro

**Strato A:** copertura superficiale costituita da materiale di riporto, talora soprastante un orizzonte di suolo (sond. S1, S2), o da terreno limoso (sond. S3, S5, S6); lo spessore varia da 0.50m (sond. S4) a 1.10m (sond. S1); colore nocciola/nocciola grigiastro



Figura 28 - Livello eluvio-colluviale limoso argilloso

chiaro. La profondità raggiunta varia da un minimo di -1.80m [sond. S4] a un massimo di - 4.0m [sond S5].



Figura 29 - Successione di marne siltose argillose

**Strato C:** marne siltose-argillose, alterate e decomprese, da addensate sino a dure, con presenza di scaglie o intercalazioni (1÷2 cm) di marne cementate, di screziature ocracee per ossidi ferrici o grigiastre argillose. La compattezza e il grado di consistenza aumentano con la profondità. Raggiungono la profondità massima di -10.0m [sond. S2, S3] e di -5.0m [sond. S4, S7]. Il colore è nocciola giallognolo, talvolta nocciola grigiastro.

**Strato D:** substrato litoide, costituito da marne siltose compatte, diversamente fratturate, con presenza di ossidazioni ferriche lungo i piani di fratturazione, colore grigiastro. E' stato rilevato a una profondità variabile: -4.70m [sond. S6]; - 5.10m [sond. S1]; -6.50 [sond. S5].

**Nota:** nell'area d'indagine, la falda freatica superficiale non è stata rilevata sino alla profondità massima investigata (-10.0m da p.c.).



Figura 30 - Substrato litoide di marne siltose

### 3.5 - Considerazioni geotecniche

Sulla base delle indagini geognostiche eseguite, si può affermare che l'area interessata dai lavori di realizzazione del Campus della Scienza è impostata principalmente su litologie coesive e semicoerenti, caratterizzate, ad eccezione di una debole copertura superficiale di materiale di riporto o terreno limoso di spessore inferiore al metro, da depositi eluvio-colluviali di limo-argilloso in matrice più o meno carbonatica, soprastante la serie miocenica della zona, costituita da marne siltose-argillose, appartenenti alla Formazione delle Marne di Gesturi.

In particolare, è stato possibile distinguere, in maniera omogenea per tutta l'area, la presenza di marne, inizialmente alterate e decomprese, il cui grado di addensamento e consistenza è andata migliorando con la profondità, per il passaggio verso livelli di marne molto compatte e dure, sino a litoidi.

Il substrato di consistenza litoide, costituito da marne siltose diversamente fratturate, è stato rilevato in diversi punti, a profondità variabile: -4.70m [S6], -5.10 [S1], -6.50m [S5].

Dal punto di vista del comportamento geomeccanico, i vari livelli evidenziati presentano caratteristiche variabili, poiché trattasi di materiale coesivo e semicoerente diversamente addensato, tuttavia con valori di resistenza meccanica discreti, già dai primi strati, poiché il materiale è risultato consistente e asciutto.

Le caratteristiche geomeccaniche si possono riassumere partendo dall'alto verso il basso:

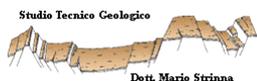
1. Depositi eluvio-colluviali limo-argillosi [Strato B]: caratteristiche discrete, poiché asciutti e diversamente addensati in matrice carbonatica ( $N_{SPT[-10m]} = 31$ );
2. Marne siltose-argillose diversamente consistenti [Strato C]: caratteristiche variabili da discrete a buone, poiché si presentano da molto addensate sino a dure con l'aumentare della profondità ( $N_{SPT[-3.0m]} = 40$ );
3. Substrato litoide di marne siltose [Strato D]: si tratta di rocce tenere diversamente fratturate, con buone caratteristiche di resistenza ( $N_{SPT} = \text{Rifiuto}$ ).

### 3.6 - Stima dei parametri geotecnici

Per l'area dei sondaggi  $S_1, S_2, \dots, S_7$  su cui sono previsti i lavori di realizzazione del Campus della Scienza, è stato disposto uno studio geo-litologico del sottosuolo; a tal fine è stato valutato: a) lo stato di compattezza dei terreni coesivi sulla base di prove  $N_{SPT}$ ; b) lo stato di consistenza e la resistenza al taglio non drenata per i livelli coesivi, attraverso i risultati ottenuti col penetrometro tascabile (*Pocket Penetrometer*) e scissometro tascabile (*Vane Test*) (AGI 1977).

In prima analisi si può definire:

- a) Valutazione dello stato di compattezza in depositi coesivi, sulla base di prove S.P.T (Terzaghi, 1948):



Terreni coesivi (KPa)	Nspt	Valutazione della consistenza
	< 2	Privo di consistenza
	2 - 4	Poco consistente (molle)
	4 - 8	Moderatamente consistente
	8 - 15	Consistente
	15 - 30	Molto consistente
	<b>&gt; 30</b>	<b>Duro</b>

b) Valutazione dello stato di addensamento/consistenza in depositi coesivi, con penetrometro tascabile P.P. (AGI 1977):

Terreni coesivi (KPa)	P.P.	Valutazione resistenza $R_p$ (KPa)
	25-50	Poco consistente
	50-100	Moderatamente consistente
	100-200	Consistente
	<b>&gt; 200</b>	<b>Molto consistente</b>

d) Valutazione della resistenza al taglio non drenata, con lo scissometro tascabile V.T. (AGI 1977):

Terreni coesivi (Kg/cm <sup>2</sup> )	V.T.	Valutazione resistenza $C_{n,d}$
	<b>0.1 - 0.5</b>	<b>Bassa-Media</b>
	<b>0.5 - 1.0</b>	<b>Medio-Alta</b>

e) Relazione fra resistenza penetrometrica S.P.T e resistenza a compressione semplice in terreni coesivi (Terzaghi, 1948):

Terreni coesivi (KPa)	Nspt	Resistenza compressione (KPa)
	15-30	192 - 388
	<b>&gt; 30</b>	<b>&gt; 388</b>

I parametri geotecnici, utili al progettista ai fini del calcolo strutturale, sono stati calcolati attraverso le correlazioni dirette con i valori conoscitivi di  $N_{spt}$ , per materiali coesivi, integrati dai dati delle prove di laboratorio eseguite sulle stesse litologie [(campioni ricostruiti: prova di taglio – classificazione delle terre UNI 10006 – prova Edometrica)].

### 3.6.1 - COESIVI

- a) Coesione non drenata  $C_u$ ;
- b) Modulo edometrico  $E_d$ ;
- c) Modulo dinamico di taglio.

#### 3.6.1.1 - Caratteristiche [Strato B]

Livelli eluvio-colluviali costituiti da limi debolmente argillosi o argillosi, con un contenuto variabile di matrice carbonatica, diversamente addensati e consistenti. I risultati relativi allo stato di consistenza e la coesione non drenata, ottenuti con il penetrometro tascabile P.P. e lo scissometro tascabile V.T., sono i seguenti:

##### [P.P.]

Sondaggio	P.P. (Kg/cm <sup>2</sup> )	Valutazione consistenza
S2	2.2 – 2.5	Molto consistente
S3	1.8	Consistente
S5	6.0	Duro

##### [V.T.]

Sondaggio	V.T. (Kg/cm <sup>2</sup> )	Valutazione resistenza
S2/S3/S5	0.5 - 1.0	Medio-Alta

I parametri geotecnici, sono stati calcolati attraverso le correlazioni dirette con i valori conoscitivi di  $N_{spt}$ , ottenuti alle profondità di prova di -1.0m, considerando  $N_{SPT} = 31$ :

#### - Coesione non drenata (Shioi - Fukui)

Il metodo è valido per argille di media plasticità e si basa sulle seguenti relazioni:

$$c_u \text{ (kg/cmq)} = 0.025 N_{spt} = \mathbf{0.77}$$

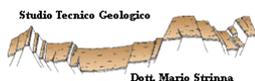
dove  $N_{spt}$  [31] è il numero di colpi misurato nello strato.

#### - Modulo Edometrico M (Stroud e Butler)

Il metodo è valido per argille di bassa plasticità si basa sulla seguente relazione:

$$M \text{ (Kg/cm}^2\text{)} = 6 N_{spt} = \mathbf{186}$$

dove  $N_{spt}$  [31] è il numero di colpi misurato nello strato.



### - Modulo dinamico di taglio (Ohsaki & Iwasaki)

Il metodo è valido per i terreni coesivi in genere (dai limi plastici alle argille). Vista la non trascurabile dispersione dei dati, il metodo va applicato con prudenza e solo per stime di primo riferimento; si basa sulla seguente relazione:

$$G_0 (t / mq) = aNspt^b = 20384 \approx 200 \text{ MPa}$$

con  $a = 1400$  e  $b = 0.78$ .

dove  $Nspt_{[31]}$  è il numero di colpi misurato nello strato.

### - Coefficiente di sottofondazione o di Winkler

Per modulo o coefficiente di sottofondazione **k** si definisce la relazione che esiste fra la pressione di contatto in ogni punto della fondazione e la relativa deformazione del terreno:  $k = Q/s$ .

Generalmente ci si basa sull'ipotesi che il modulo **k** sia costante sotto ogni punto della fondazione, come proposto da Winkler e da Westergaard. Numerose sono le relazioni proposte in letteratura per il calcolo di **k**. Viene qui impiegata la formula di Terzaghi, dove è possibile ricavare **k** in funzione dei risultati di una prova penetrometrica dinamica.

$$k (\text{kg/cm}^3) = 1 / (7.8 \times Q / N) = 3.97$$

$Q (\text{kg/cm}^2)$  = carico applicato sulla fondazione supposto uguale a  $1.0 \text{ Kg/cm}^2$ ;

$N$  = numero di colpi S.P.T (31) nello strato di fondazione.

**Tabella 1:** Parametri geotecnici **Strato B [limo-argilloso]**

<b>Peso di volume naturale (<math>\gamma_n</math>)</b>	19,50 KN/m <sup>3</sup>
<b>Peso di volume saturo (<math>\gamma_{sat}</math>)</b>	20,15 KN/m <sup>3</sup>
<b>Angolo di attrito interno (<math>\phi</math>)</b>	26°
<b>Coesione n.d. (<math>C_{nd}</math>)</b>	0.77 Kg/cm <sup>2</sup> (Shioi - Fukui)
<b>Pocket (P.P) medio</b>	2.5 Kg/cm <sup>2</sup>
<b>Van Test (V.T) medio</b>	0.5 - 1.0 Kg/cm <sup>2</sup>
<b>Modulo Edometrico (Md)</b>	18240,36 KN/m <sup>2</sup> (Stroud e Butler)
<b>Modulo di taglio (<math>G_0</math>)</b>	200 MPa (Ohsaki & Iwasaki)
<b>Coefficiente di Winkler</b>	3.97 (kg/cm <sup>3</sup> )
<b><math>N_{spt}</math></b>	31
<b>Qamm/S.L.E</b>	304 KN/m <sup>2</sup>
<b>Caratteristiche strato</b>	molto consistente

### 3.6.1.2 - Caratteristiche [Strato C]

Livelli di marne siltose-argillose, alterate e decomprese, da diversamente addensate sino a dure, la cui compattezza aumenta con la profondità. I risultati relativi allo stato di consistenza e la coesione non drenata, ottenuti con il penetrometro tascabile P.P. e lo scissometro tascabile V.T., sono i seguenti:

#### [P.P.]

Sondaggio	P.P. (Kg/cm <sup>2</sup> )	Valutazione consistenza
S2	2.1 - 6.0	Molto consistente/duro
S3	1.8 - 6.0	Consistente/duro
S4	4.1 - 5.4	Duro
S5	1.6 - 6.0	Consistente/duro
S6	1.4 - 6.0	Consistente/duro

#### [V.T.]

Sondaggio	V.T. (Kg/cm <sup>2</sup> )	Valutazione resistenza
S2	0.4 - 1.0	Medio-Alta
S3/S4/S6	0.5 - 1.0	Medio-Alta
S5	0.2 - 1.0	Bassa-Alta

I parametri geotecnici, sono stati calcolati attraverso le correlazioni dirette con i valori conoscitivi di  $N_{spt}$ , ottenuti alle profondità di prova di -3.0m, considerando  $N_{SPT} = 40$ :

#### - Coesione non drenata (Shioi - Fukui)

Il metodo è valido per argille di media plasticità e si basa sulle seguenti relazioni:

$$c_u \text{ (kg/cmq)} = 0.025 N_{spt} = \mathbf{1.0}$$

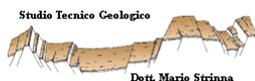
dove  $N_{spt [40]}$  è il numero di colpi misurato nello strato.

#### - Modulo Edometrico M (Stroud e Butler)

Il metodo è valido per argille di bassa plasticità si basa sulla seguente relazione:

$$M \text{ (Kg/cm}^2\text{)} = 6 N_{spt} = \mathbf{240}$$

dove  $N_{spt [40]}$  è il numero di colpi misurato nello strato.



### - **Modulo dinamico di taglio** (Ohsaki & Iwasaki)

Il metodo è valido per i terreni coesivi in genere (dai limi plastici alle argille). Vista la non trascurabile dispersione dei dati, il metodo va applicato con prudenza e solo per stime di primo riferimento, poiché sovrastima il valore reale; si basa sulla seguente relazione:

$$G_0 (t / mq) = aNspt^b = 24864 \approx 244 \text{ MPa}$$

con  $a = 1400$  e  $b = 0.78$ .

dove  $N_{spt [40]}$  è il numero di colpi misurato nello strato.

**Tabella 2:** Parametri geotecnici **Strato C** [marne siltose-argillose]

<b>Peso di volume naturale (<math>\gamma_n</math>)</b>	21,00 KN/m <sup>3</sup>
<b>Peso di volume saturo (<math>\gamma_{sat}</math>)</b>	21,85 KN/m <sup>3</sup>
<b>Angolo di attrito interno (<math>\phi</math>)</b>	28°
<b>Coesione n.d. (<math>C_{nd}</math>)</b>	1.0 Kg/cm <sup>2</sup> (Shioi - Fukui)
<b>Pocket (P.P)<sub>medio</sub></b>	4.0 Kg/cm <sup>2</sup>
<b>Van Test (V.T)<sub>medio</sub></b>	0.5 - 1.0 Kg/cm <sup>2</sup>
<b>Modulo Edometrico (Md)</b>	23535,96 KN/m <sup>2</sup> (Stroud e Butler)
<b>Modulo di taglio (<math>G_0</math>)</b>	244 MPa (Ohsaki & Iwasaki)
<b><math>N_{spt}</math></b>	40
<b>Qamm/S.L.E</b>	392.26 KN/m <sup>2</sup>
<b>Caratteristiche strato</b>	molto consistente

### 3.6.1.3 - Caratteristiche **[Strato D]**

Substrato di consistenza litoide, costituito da marne siltose diversamente fratturate.

### - **Compressione uniassiale da prove sclerometriche**

Il martello di Schmidt, noto come sclerometro, è utilizzato per misurare la “durezza di rimbalzo” della roccia. Dalla prova si ricava l'indice di rimbalzo R che è possibile correlare alla resistenza alla compressione uniassiale mediante la relazione di Irfan e Dearman (1978):  $\sigma_c = 0,775 R + 21,3$

Sondaggio [CAMPIONE]	Indice di rimbalzo R ( $\downarrow 90^\circ$ )	Compressione uniassiale ( $\sigma_c$ )
S1	11	29.82 Mpa
S5	23	39.12 Mpa
S6	20	36.80 Mpa

Prove sclerometriche

**Tabella 3:** Parametri geotecnici **Strato D** [marne siltose litoidi]

<b>Peso di volume naturale (<math>\gamma_n</math>)</b>	22.00 - 24.00 KN/m <sup>3</sup>
<b>Angolo di attrito interno (<math>\phi</math>)</b>	32° - 35°
<b>Coesione</b>	0.1 - 5 MPa
<b>Compressione uniassiale (<math>\sigma_c</math>)</b>	29.82 - 39.12 MPa (sclerometro)
<b>Modulo elasticità (E)</b>	30 - 80 MPa
<b>N<sub>spt</sub></b>	100 (rifiuto)
<b>Q<sub>amm</sub>/S.L.E</b>	> 490,33 KN/m <sup>2</sup>
<b>Caratteristiche strato</b>	litoide

### 3.7- Verifica degli stati limite secondo le N.T.C 2008 [Nuove Norme Tecniche sulle Costruzioni]

#### Riferimenti di legge

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

- *Circolare Ministero LL.PP. 15 Ottobre 1996 n. n.252 AA.GG./STC.: Istruzioni per l'applicazione delle - Norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi di cui al decreto ministeriale 16 gennaio 1996 -;*
- *Circolare Ministero LL.PP. 10 Aprile 1997 n. 65/AA.GG.: Istruzioni per l'applicazione delle - Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche di cui al decreto ministeriale 16 gennaio 1996 -.*
- *Ordinanza P.C.M. n. 3274 del 20.3.2003. Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica.-*
- *Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali.-*
- *Eurocodice 8 - Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture - Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici.-*
- *Norme Tecniche per le Costruzioni D.M. 14 gennaio 2008*

Con le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (**NTC 2008**) la verifica di sicurezza nei confronti degli stati limite ultimi (S.L.U) di resistenza, si ottiene con il “Metodo semiprobabilistico dei Coefficienti parziali” di sicurezza tramite la disequazione:

$$Ed \leq Rd,$$

dove Ed è il valore di progetto (risultante della combinazione delle azioni agenti sulle costruzioni), Rd è la resistenza di progetto del terreno, che equivale al carico limite calcolato con il metodo delle tensioni ammissibili (D.M.11/03/88) ridotto di un certo coefficiente parziale ( $\gamma_R$ ). Il valore di progetto si ottiene con una combinazione delle azioni sulle costruzioni e di coefficienti parziali, che tiene conto del massimo carico d'esercizio trasmesso sulla fondazione, dato da  $N = G + Q$ , che è la somma dei carichi permanenti sfavorevoli (G) e dei carichi variabili sfavorevoli (Q). La combinazione delle azioni è funzione del tipo di calcolo, se finalizzato agli stati limite ultimi (SLU) o agli stati limite d'esercizio (SLE). Nelle verifiche nei confronti degli stati limite ultimi (SLU) si possono adottare 2 metodi:

1. *Il primo metodo* tiene conto di 2 combinazioni:

- **Strutturale (STR):** è lo stato limite di resistenza della struttura e riguarda gli elementi di fondazione e di sostegno del terreno; è definito dalla combinazione  $A_1 + M_1 + R_1$ ;
- **Geotecnico (GEO):** è lo stato limite di resistenza del terreno, si utilizza per il dimensionamento geotecnico delle opere di fondazione e di sostegno che interagiscono con il terreno; è definito dalla combinazione  $A_2 + M_2 + R_2$ ;

2. *Il secondo metodo* si basa su di una combinazione unica, che considera sia gli stati limite ultimi strutturali che geotecnici, definita da  $A_1 + M_1 + R_3$ .

Le combinazioni sono formate da gruppi di coefficienti parziali  $\gamma$  con:

- A = coefficienti parziali per le azioni,  $\gamma_F$ ;
- M = coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno,  $\gamma_M$  (resistenza dei materiali);
- R = coefficienti parziali per le verifiche agli stati limite ultimi delle fondazioni superficiali  $\gamma_R$  (resistenza globale del sistema)

### 3.7.1 - Ipotesi di calcolo [trave rovescia]

Per la verifica della capacità portante secondo le NTC 2008 è stato scelto il secondo metodo, definito dalla combinazione unica  $[A_1+M_1+R_3]$  e considerato l'effetto sismico. Per il calcolo è stata considerata la condizione non drenata e una stratigrafia "tipo" e, la presenza del substrato marnoso di consistenza litoide, non è valutata, essendo stato rilevato solo in alcuni punti investigati.

#### **DATI GENERALI** [ipotesi di fondazione a trave rovescia: 1.20m x 10.0m]

Azione sismica	NTC 2008 / Zona 4
Zona	Comune di Selargius (Ex Polveriera)
Lat./ Long. [WGS84]	39,281732/9,1309261
Larghezza fondazione	1,2 m
Lunghezza fondazione	10,0 m
Profondità piano di posa	1,0 m
Altezza di incastro	1,0 m
Profondità falda	20,0

#### **SISMA**

Accelerazione massima (ag/g)	0,05
Effetto sismico secondo	NTC(C7.11.5.3.1)
Coefficiente intensità sismico terreno [Khk]	0,0313
Coefficiente intensità sismico struttura [Khi]	0,0156

#### **STRATIGRAFIA TERRENO**

Corr: Parametri con fattore di correzione (TERZAGHI)

DH: Spessore dello strato; Gam: Peso unità di volume; Gams: Peso unità di volume saturo; Fi: Angolo di attrito; Ficorr: Angolo di attrito corretto secondo Terzaghi; c: Coesione; c Corr: Coesione corretta secondo Terzaghi; Ey: Modulo Elastico; Ed: Modulo Edometrico; Ni: Poisson; Cv: Coeff. consolidaz. primaria; Cs: Coeff. consolidazione secondaria; cu: Coesione non drenata

DH [m]	Gam [kN/m <sup>3</sup> ]	Gams [kN/m <sup>3</sup> ]	Fi [°]	Fi Corr. [°]	c [kN/m <sup>2</sup> ]	c Corr. [kN/m <sup>2</sup> ]	cu [kN/m <sup>2</sup> ]	Ey [kN/m <sup>2</sup> ]	Ed [kN/m <sup>2</sup> ]	Ni	Cv [cmq/s]	Cs
1,0	17,65	18,63	28,0		0,0		0,0	7354,99	7198,08	0,35	0,0	0,0
2,8	19,5	20,15	26,0		45,0		75,51	11358,06	18240,36	0,5	0,0	0,0
6,2	21,0	21,85	28,0		80,0		100,0	14709,97	23535,96	0,5	0,0	0,0

Carichi di progetto agenti sulla fondazione

Nr.	Nome combinazione	Pressione normale di progetto [kN/m <sup>2</sup> ]	N [kN]	Mx [kN·m]	My [kN·m]	Hx [kN]	Hy [kN]	Tipo
1	A1+M1+R3	149,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Progetto
2	Sisma	149,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Progetto
3	S.L.E.	149,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Servizio
4	S.L.D.	149,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Servizio

**Committente:** Comune di Selargius P.zza Cellarium n. 1 – 09047 Selargius

**Progetto:** Indagini geognostiche relative al completamento del Campus della Scienza, della Tecnica e dell' Ambiente

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

Relazione geologica e geotecnica

Sisma + Coeff. parziali parametri geotecnici terreno + Resistenze

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

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

Autore: TERZAGHI (1955)

**Carico limite [Qult]** 448,06 kN/m<sup>2</sup>

**Resistenza di progetto[Rd]** 194,81 kN/m<sup>2</sup>

**Tensione [Ed]** 149,35 kN/m<sup>2</sup>

**Fattore sicurezza [Fs=Qult/Ed]** 3,0

**Condizione di verifica [Ed<=Rd]** Verificata

COEFFICIENTE DI SOTTOFONDAZIONE BOWLES (1982)

Costante di Winkler 17922,28 kN/m<sup>3</sup>

### A1+M1+R3 + SISMA

Autore: HANSEN (1970) (Condizione non drenata)

=====

Fattore [Nq]	1,0
Fattore [Nc]	5,14
Fattore [Ng]	0,0
Fattore forma [Sc]	0,02
Fattore profondità [Dc]	0,33
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1,0
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	1,0
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1,0

=====

Carico limite 544,46 kN/m<sup>2</sup>

Resistenza di progetto 236,72 kN/m<sup>2</sup>

Condizione di verifica [Ed<=Rd] Verificata

Autore: TERZAGHI (1955) (Condizione non drenata)

=====

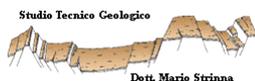
Fattore [Nq]	1,0
Fattore [Nc]	5,7
Fattore [Ng]	0,0
Fattore forma [Sc]	1,0
Fattore forma [Sg]	1,0
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1,0
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	1,0
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1,0

=====

Carico limite 448,06 kN/m<sup>2</sup>

Resistenza di progetto 194,81 kN/m<sup>2</sup>

Condizione di verifica [Ed<=Rd] Verificata



Dott. Mario Strinna

Viale Diaz, 48 – 09125 Cagliari – Tel.Fax 070.303083 – Cell. 333.2437873

Autore: MEYERHOF (1963) (Condizione non drenata)

Fattore [Nq]	1,0
Fattore [Nc]	5,14
Fattore [Ng]	0,0
Fattore forma [Sc]	1,02
Fattore profondità [Dc]	1,17
Fattore inclinazione carichi [Ic]	1,0
Fattore forma [Sq]	1,0
Fattore profondità [Dq]	1,0
Fattore inclinazione carichi [Iq]	1,0
Fattore forma [Sg]	1,0
Fattore profondità [Dg]	1,0
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1,0
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	1,0
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1,0

Carico limite	481,33 kN/m <sup>2</sup>
Resistenza di progetto	209,27 kN/m <sup>2</sup>
Condizione di verifica [Ed<=Rd]	Verificata

### 3.8 - Cedimenti

#### 3.8.1 - Cedimenti per ogni strato

*Cedimento edometrico calcolato con: Metodo consolidazione monodimensionale di Terzaghi*

<b>Pressione normale di progetto</b>	<b>149,35 kN/m<sup>2</sup></b>
Cedimento dopo T anni	15,0
<b>Cedimento totale</b>	<b>1,3 cm</b>

Z: Profondità media dello strato; Dp: Incremento di tensione; Wc: Cedimento di consolidazione; Ws: Cedimento secondario (deformazioni viscosi); Wt: Cedimento totale.

Strato	Z (m)	Tensione (kN/m <sup>2</sup> )	Dp (kN/m <sup>2</sup> )	Metodo	Wc (cm)	Ws (cm)	Wt (cm)
2	2,4	44,95	63,126	Edometrico	0,97	--	0,97
3	6,9	137,35	13,208	Edometrico	0,33	--	0,33

#### 3.8.2 - Cedimenti elastici

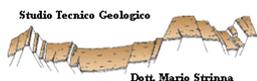
<b>Pressione normale di progetto</b>	<b>149,35 kN/m<sup>2</sup></b>
Spessore dello strato	0,0 m
Profondità substrato roccioso	10,0 m
Modulo Elastico	11358,06 kN/m <sup>2</sup>
Coefficiente di Poisson	0,5

Coefficiente di influenza I1	0,77
Coefficiente di influenza I2	0,1
Coefficiente di influenza Is	0,77

**Cedimento al centro della fondazione 13,99 mm**

Coefficiente di influenza I1	0,54
Coefficiente di influenza I2	0,13
Coefficiente di influenza Is	0,54

**Cedimento al bordo 4,89 mm**



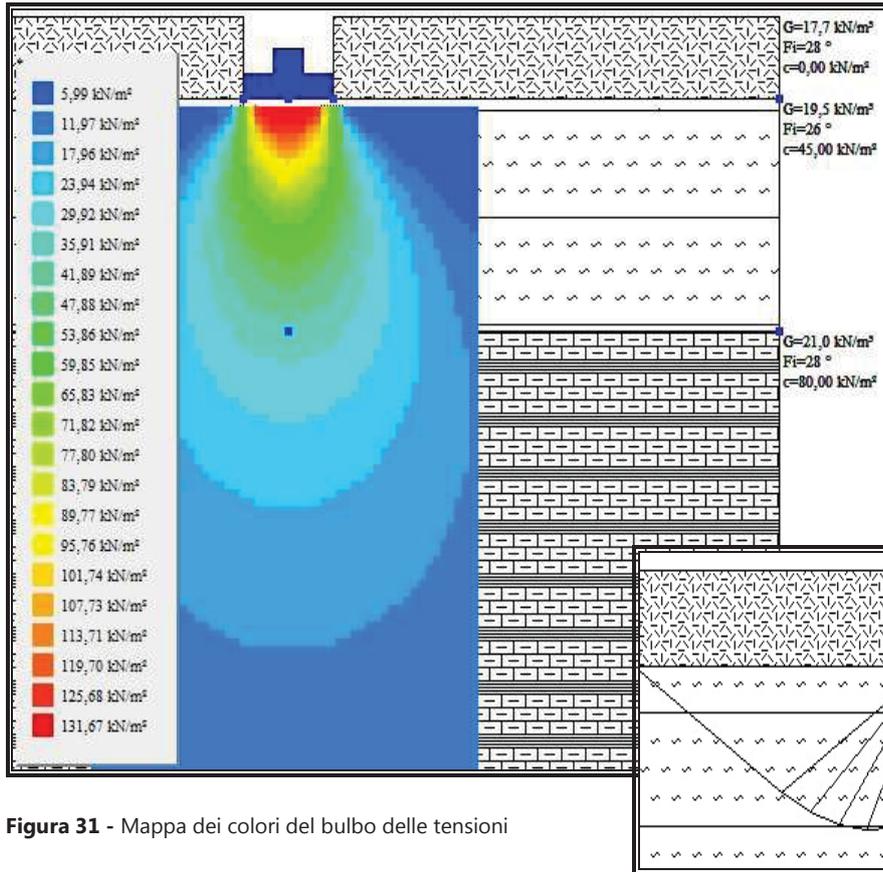


Figura 31 - Mappa dei colori del bulbo delle tensioni

[pressione normale di progetto = 149,35 KPa]

Figura 32 - Cuneo di intrusione sul terreno

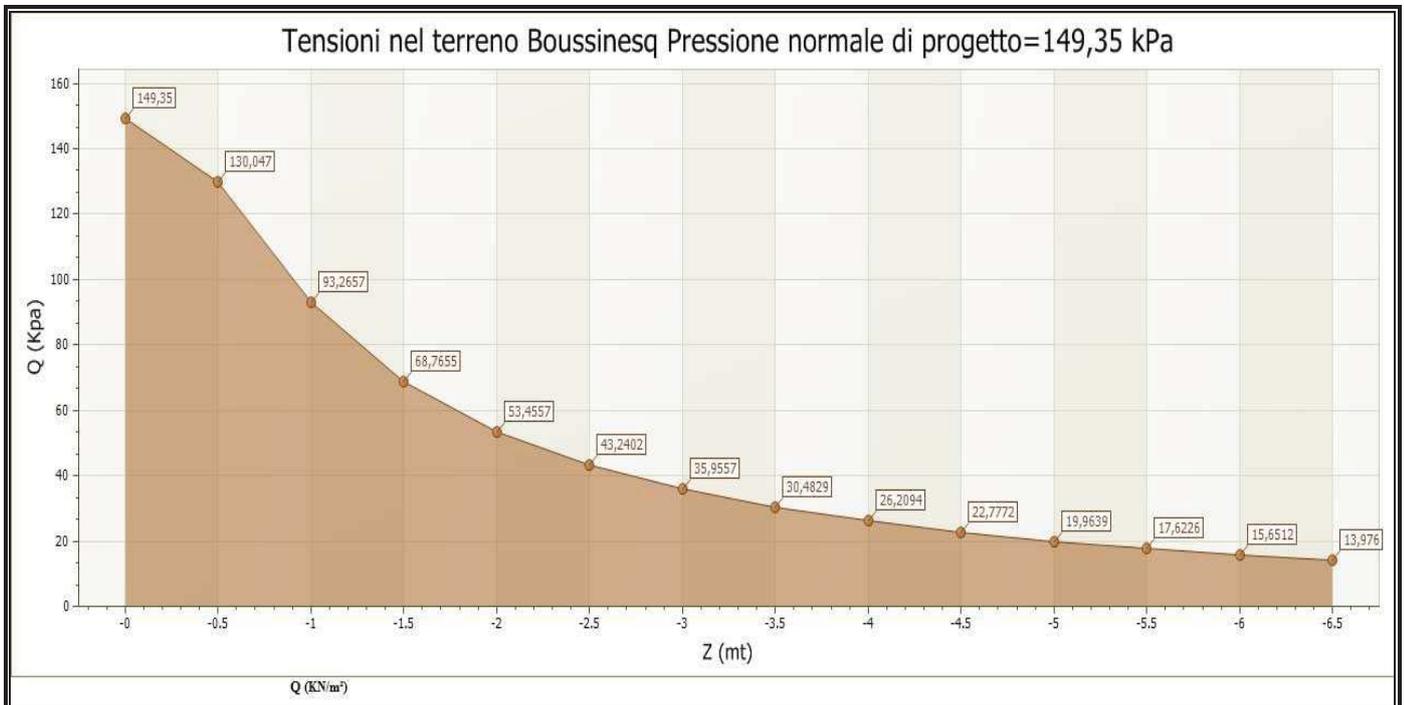


Figura 33 - Diagramma delle tensioni [pressione = 149,35 KPa]

### 3.9 - Considerazioni tecniche sullo stato dei terreni in posto (30 Luglio 2013)

I terreni di sedime, su cui dovrà essere impostato per il completamento (fabbricati) il Campus della Scienza di Selargius, sono costituiti a partire dall'alto (superficiale) da una copertura Quaternaria continentale, costituita sia da materiale antropico sia da terreno limoso di spessore, generalmente, inferiore al metro. Esso, poggia su livelli sedimentari coesivi, caratterizzati da limi argillosi carbonatici passanti a marne siltose-argillose, il cui grado di compattezza è abbastanza variabile e generalmente va migliorando con la profondità. Importante evidenziare che questi livelli litologici di spessore variabile, non sono uniformi a causa della differente concentrazione dei sedimenti (aree investigate) nelle diverse classi granulometriche fini. In particolare marna, limi e argille e talora sabbia fine, determinano variazioni, anche se moderate, nello stato di consistenza e addensamento, nella compressibilità e nei tempi di consolidazione del terreno, quindi nelle caratteristiche di resistenza meccanica.

Uno dei principali problemi di carattere geotecnico, a proposito della rilevanza delle stesse opere in progetto unitamente alle caratteristiche litostratigrafiche locali, è legato al fenomeno dei cedimenti differenziali, che possono verificarsi in funzione del differente comportamento (compressibilità) delle litologie coesive, a prevalente componente argillosa.

Il carico applicato dai fabbricati, previsti in progetto, indurrà un certo incremento delle tensioni scaricate al piano delle fondazioni, che si trasmette in maniera differente sui livelli coesivi, in funzione dello stato di consistenza e/o addensamento. Infatti, un aumento dello stato tensionale, comporterà cedimenti più o meno significativi in funzione dell'incremento di carico (distribuito nei vari punti della struttura) e del grado di compressibilità e consolidazione delle stesse litologie. Si ricorda che le cause di cedimento sono dovute essenzialmente all'entità dei carichi trasmessi ed alla presenza della falda idrica e/o di umidità spinta nel terreno. Durante l'applicazione di un carico in un terreno coesivo si formano delle sovrappressioni neutre, che a causa della sua scarsa permeabilità per l'elevata capacità di ritenzione, è espulsa molto lentamente. Man mano che le sovrappressioni interstiziali vanno dissipandosi, il carico si trasferisce dall'acqua allo scheletro solido, per cui aumenta la pressione efficace (intergranulare) e contemporaneamente lo spessore del terreno si comprime, dando luogo a un cedimento di consolidazione.

In conformità a quanto sopradetto, è importante evidenziare che: la verifica di stabilità dell'insieme terreno-fondazione ovvero della capacità portante di esercizio (vedi cap. 3.7), si riferisce al caso di un terreno (indagini di luglio 2013) generalmente asciutto in assenza di falda. La presenza di umidità e/o di acqua di ritenzione, comporta una riduzione del 30% dei parametri geotecnici di

coesione e angolo di attrito interno dei livelli più coesivi, con una conseguente riduzione della capacità portante e quindi della tensione di progetto, che nel nostro specifico caso si attesterebbe ad un valore pari a 102.01 KPa, con un cedimento Edometrico totale di 0.72 cm.

### 3.9.1 - Verifica con $F_i$ e $C$ corretti per presenza d'acqua e/o umidità

Corr: Parametri con fattore di correzione (TERZAGHI)

DH: Spessore dello strato; Gam: Peso unità di volume; Gams: Peso unità di volume saturo;  $F_i$ : Angolo di attrito; Ficorr: Angolo di attrito corretto secondo Terzaghi; c: Coesione; c Corr: Coesione corretta secondo Terzaghi;  $E_y$ : Modulo Elastico; Ed: Modulo Edometrico; Ni: Poisson; Cv: Coeff. consolidaz. primaria; Cs: Coeff. consolidazione secondaria; cu: Coesione non drenata

DH [m]	Gam [kN/m <sup>3</sup> ]	Gams [kN/m <sup>3</sup> ]	$F_i$ [°]	$F_i$ Corr. [°]	c [kN/m <sup>2</sup> ]	c Corr. [kN/m <sup>2</sup> ]	cu [kN/m <sup>2</sup> ]	$E_y$ [kN/m <sup>2</sup> ]	Ed [kN/m <sup>2</sup> ]	Ni	Cv [cmq/s]	Cs
1,0	17,65	18,63	28,0	19,61	0,0	0,0	0,0	7354,99	7198,08	0,35	0,0	0,0
2,8	19,5	20,15	26,0	18,1	45,0	30,15	75,51	11358,06	18240,36	0,5	0,0	0,0
6,2	21,0	21,85	28,0	19,61	80,0	53,6	100,0	14709,97	23535,96	0,5	0,0	0,0

Carichi di progetto agenti sulla fondazione

Nr.	Nome combinazione e	Pressione normale di progetto [kN/m <sup>2</sup> ]	N [kN]	Mx [kN·m]	My [kN·m]	Hx [kN]	Hy [kN]	Tipo
1	A1+M1+R3	102,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Progetto
2	Sisma	102,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Progetto
3	S.L.E.	102,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Servizio
4	S.L.D.	102,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Servizio

Sisma + Coeff. parziali parametri geotecnici terreno + Resistenze

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

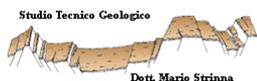
### CARICO LIMITE FONDAZIONE COMBINAZIONE...A1+M1+R3

Autore: TERZAGHI (1955)

Carico limite [Qult] 306,02 kN/m<sup>2</sup>  
 Resistenza di progetto [Rd] 133,05 kN/m<sup>2</sup>  
**Tensione [Ed] 102,01 kN/m<sup>2</sup>**  
 Fattore sicurezza [Fs=Qult/Ed] 3,0  
**Condizione di verifica [Ed<=Rd] Verificata**

COEFFICIENTE DI SOTTOFONDAZIONE BOWLES (1982)

Costante di Winkler 12240,91 kN/m<sup>3</sup>



**CEDIMENTI PER OGNI STRATO**

\*Cedimento edometrico calcolato con: Metodo consolidazione monodimensionale di Terzaghi

Pressione normale di progetto	102,01 kN/m <sup>2</sup>
Cedimento dopo T anni	15,0
Cedimento totale	0,72 cm

Z: Profondità media dello strato; Dp: Incremento di tensione; Wc: Cedimento di consolidazione; Ws: Cedimento secondario (deformazioni viscosi); Wt: Cedimento totale.

Strato	Z (m)	Tensione (kN/m <sup>2</sup> )	Dp (kN/m <sup>2</sup> )	Metodo	Wc (cm)	Ws (cm)	Wt (cm)
2	2,4	44,95	37,789	Edometrico	0,58	--	0,58
3	5,3	103,75	10,663	Edometrico	0,14	--	0,14
4	8,8	0	0	Schmertmann	0	--	0

**CEDIMENTI ELASTICI**

Pressione normale di progetto	102,01 kN/m <sup>2</sup>
Spessore dello strato	0,0 m
Profondità substrato roccioso	0,0 m
Modulo Elastico	11358,06 kN/m <sup>2</sup>
Coefficiente di Poisson	0,5

Coefficiente di influenza I1	0,21
Coefficiente di influenza I2	0,14
Coefficiente di influenza Is	0,21

Cedimento al centro della fondazione 2,5 mm

Coefficiente di influenza I1	0,08
Coefficiente di influenza I2	0,12
Coefficiente di influenza Is	0,08
Cedimento al bordo	0,49 mm

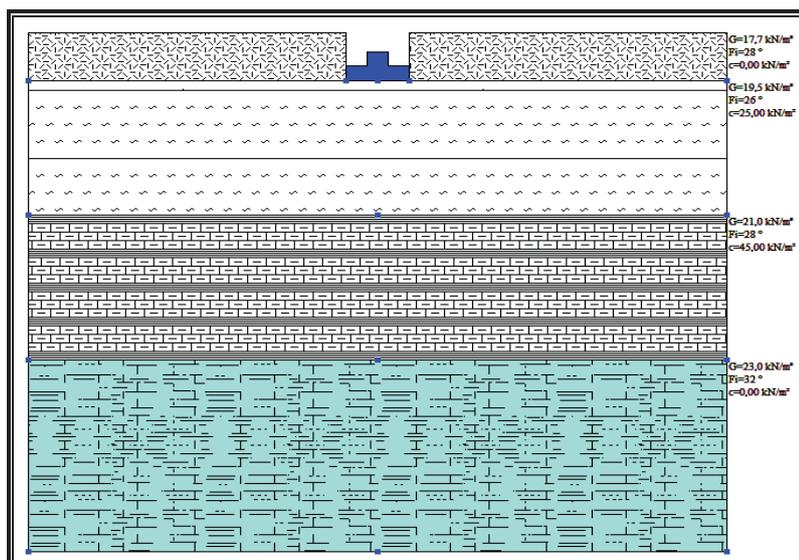


Figura 35 - Stratigrafia Tipo

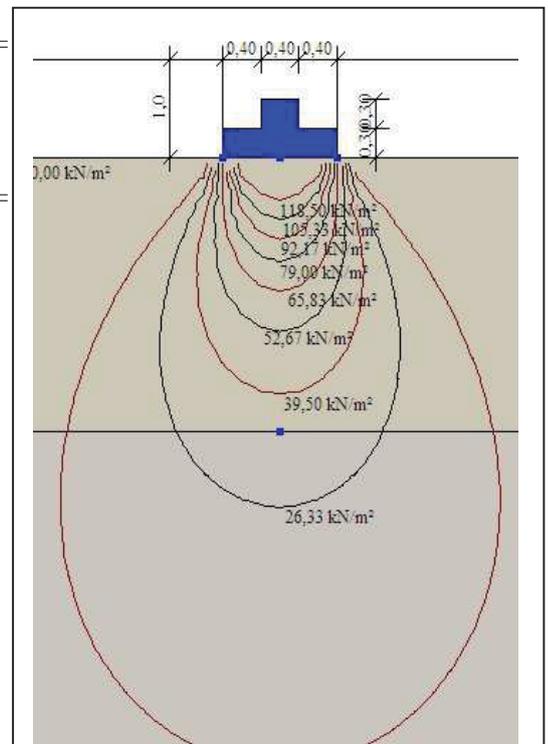
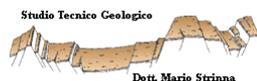


Figura 34 - Bulbo numerico delle tensioni

### 3.9.2 - Scavabilità

Scavabilità e tenuta dei fronti di scavo: l'area è costituita da una copertura quaternaria continentale di depositi antropici e/o terreno limoso, di spessore generalmente inferiore al metro, poggiante su livelli coesivi, costituiti inizialmente da limi argillosi in matrice carbonatica, di facies eluvio-colluviale passanti a marne limo-argillose di età miocenica. Le stesse presentano un diverso grado di consistenza e addensamento, che va migliorando con la profondità per la presenza di intercalazioni di marne cementate e in alcuni punti del substrato marnoso di consistenza litoide.

Per le litologie sopraccitate, non ci sarà difficoltà nell'escavazione, poiché facilmente asportabili con il semplice uso di un escavatore dotato di singola benna.

La capacità della parete di scavo d'autosostenersi in assenza d'opere di stabilizzazione dipende dalle caratteristiche fisico-meccaniche del terreno interessato. E', infatti, possibile dare allo scavo un'inclinazione (inclinazione di sicurezza) tale per cui esso risulti stabile nel breve periodo senza che vi sia pericolo di crollo. Fatta eccezione per i depositi di copertura, che non superano il metro, i livelli coesivi, presentano una buona capacità di autosostenimento, per la maggiore resistenza interna del materiale, dovuta alla coesione della matrice argillosa. Per questi terreni, è possibile verificare l'altezza critica di scavo, che è l'altezza massima alla quale una scarpata verticale è stabile per un limitato periodo di tempo senza bisogno di sostegni.

Nel nostro caso, considerando i seguenti parametri geotecnici cautelativi:  $c_{ridotto} = 30,15 \text{ KN/m}^2$ ;  $\gamma_{sat} = 20,15 \text{ KN/m}^3$  e utilizzando la seguente relazione  $H_c$ , si ottiene un'altezza critica di scavo:

$$H_c = 4 c / \gamma_{sat} = 5.98 \text{ m.}$$

## 4. PROVE DI CARICO SU PIASTRA

### 4.1 - Prove in sito di carico su piastra

In data 31/07/2013, nell'area del Campus della Scienza destinata al percorso carrabile, sono state



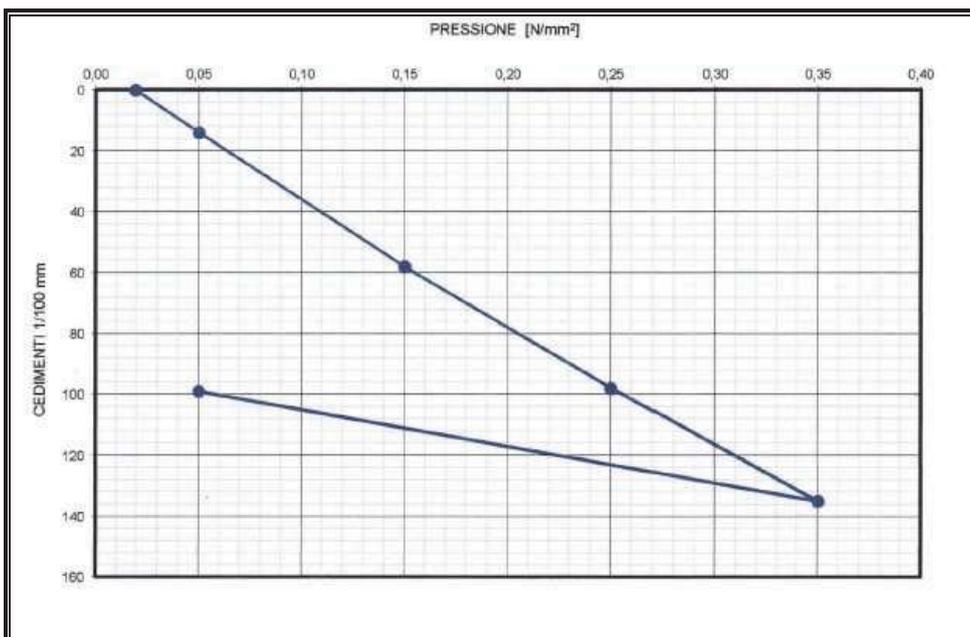
Figura 36 - Esecuzione della Prova di Piastra [P1]

eseguite n.7 prove in sito di carico su piastra.

La prova di carico su piastra effettuata in accordo con la Norma CNR UNI B.U. n.146/1992 consiste nell'applicare con un martinetto idraulico, usando un opportuno contrasto, un carico verticale su di una piastra circolare di diametro 300 mm (area 707 cm<sup>2</sup>) misurando con comparatori (1) sorretti da un traliccio avente gli appoggi sufficientemente lontani dalle aree caricate per gli abbassamenti della piastra.

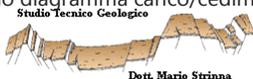
È eseguita per gradini di carico successivi e consente di determinare i cedimenti del terreno e di conseguenza il modulo di deformazione Md, definito dal rapporto tra l'incremento di carico ( $\Delta P$ ) e l'incremento del cedimento ( $\Delta S$ ) per il diametro della piastra ( $D$ ), secondo la relazione:

$$Md = \Delta P / \Delta S * D$$



I risultati delle prove sono rappresentati in un diagramma carico-cedimenti (vedi esempio in Fig. 29).

Figura 37 - Esempio diagramma carico/cedimento prova P1



## 4.2 - Risultati delle prove di carico su piastra

Il modulo di deformazione è stato calcolato per un intervallo di carico  $\Delta P = 0.15 - 0.25 \text{ N/mm}^2$  (equivalente a 0.15 - 0.25 MPa); i risultati sono indicati nella tabella A.

Tabella A

Prova di carico su piastra	Modulo di deformazione Md (N/mm <sup>2</sup> )	Deformazione (mm)
Prova P1	75	0,40
Prova P2	120	0,25
Prova P3	58,8	0,51
Prova P4	78,9	0,38
Prova P5	60	0,50
Prova P6	150	0,20
Prova P7	120	0,24

Secondo le norme CNR UNI, il modulo di deformazione Md, salvo diverse prescrizioni di progetto, dovrà essere non inferiore a 50 MPa, nell'intervallo di carico compreso tra 0.15-0.25 N/mm<sup>2</sup> per il piano di posa della sovrastruttura.

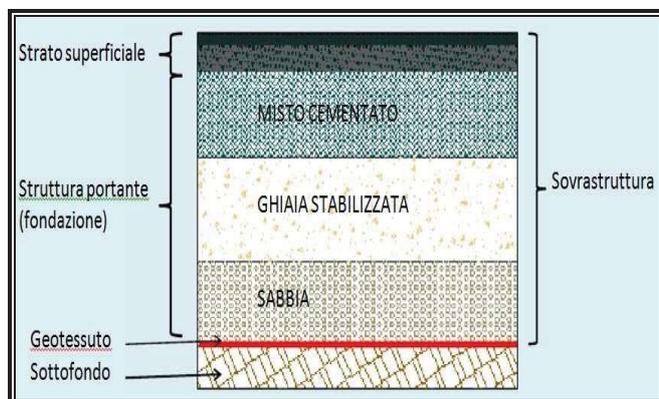


Figura 38 - Esempio Tipo di strada

I risultati delle prove di carico su piastra evidenziano la presenza di materiali di caratteristiche di portanza sufficienti e idonee come sottofondo di appoggio per la sovrastruttura, con valori del modulo di deformazione Md sempre superiore a 50 MPa.

La sovrastruttura, costituita da una struttura portante e strato superficiale, sarà realizzata in rapporto al volume di traffico, alla "vita utile" richiesta e alla capacità portante del sottofondo.

La sovrastruttura che deve trasmettere sul sottofondo, nel modo più uniforme possibile, le sollecitazioni dovute al traffico, potrà essere costituita, da uno o più strati composti da sabbie e ghiaie stabilizzati o ghiaie trattate a cemento.

I vari strati, a seconda dei casi, devono rispettare i seguenti requisiti:

- Strato di sabbia: le sabbie dovranno essere appartenenti ai gruppi A3 o A2-4 prive di plasticità, stese e costipate per strati < di 30 cm; il modulo di deformazione Md (verificato

con prove di carico su piastra) dovrà essere di 50 MPa calcolato nell'intervallo di carico nell'intervallo di carico compreso tra 0.15-0.25 N/mm<sup>2</sup>.

- Strato in ghiaia stabilizzata: sarà costituito da materiali appartenenti al gruppo A1a stabilizzati per granulometria di cui è consigliabile che almeno il 50% in peso sia composto da elementi frantumati a spigoli vivi. Il modulo di deformazione Md dovrà essere di almeno 80 MPa calcolato nell'intervallo di carico compreso tra 0.15-0.25 N/mm<sup>2</sup>;
- Misto cementato: gli strati in misto cementato sono costituiti da una miscela di ghiaia e sabbia impastato con cemento e acqua; lo strato non dovrà superare lo spessore di 30 cm dopo compattazione; il modulo di deformazione Md da eseguirsi nell'intervallo di tempo compreso fra 3 e 12 ore dopo la compattazione dovrà essere di almeno 100 MPa calcolato nell'intervallo di carico compreso tra 0.15-0.25 N/mm<sup>2</sup>.
- I requisiti dello strato superficiale, costituito da uno strato superiore di usura e strato inferiore di collegamento alla sovrastruttura (binder), sono variabili in funzione del tipo di strada e delle sollecitazioni che dovrà supportare.

Nel nostro caso specifico i risultati delle prove di carico su piastra avendo evidenziato la presenza di un sottofondo di appoggio per la sovrastruttura, ammissibile con valori del modulo di deformazione Md sempre superiore a 50 MPa, si ritiene di poter procedere con una riprofilatura della superficie mediante colmata aggiuntiva di materiale nelle parti in minima depressione e non. A seconda del traffico che s'intende fare transitare, si può procedere con una semplice rullatura della superficie in terra e/o sabbia e/o ghiaia grossa.

## 5. PROVE DI LABORATORIO GEOTECNICO

### 5.1 - Prove di laboratorio geotecnico

Durante l'esecuzione dei sondaggi geognostici sono stati prelevati n. 3 campioni di terreno, semi-disturbati, adeguatamente protetti e sigillati in modo da conservare integre le proprietà naturali fisico-meccaniche, successivamente conferiti presso il laboratorio geotecnico specializzato "Servizi Geotecnica s.a.s.", per essere sottoposti alle seguenti prove: analisi Granulometrica + limiti di Atterberg, prova di Taglio diretto e prova Edometrica.

L'elenco dei campioni prelevati [rappresentativi delle unità litologiche] e delle prove eseguite sono riportati nella "tabella" seguente:

Campioni [quota prelievo]	Class. delle Terre (UNI 10006)	Taglio diretto	Edometrica
S2C1 [da 1.0m → 1.5m]	X	X	
S2C1 [da 6.0m → 6.5m]			X

### 5.2 - Classificazione delle Terre [CNR-UNI 10006]

Le prove di classificazione che comprendono l'analisi granulometrica e la determinazione dei limiti (liquido e plastico) di Atterberg, permettono di classificare il materiale secondo la normativa UNI 10006. L'analisi granulometrica con setacci viene eseguita sottoponendo il materiale ad un accurato prelavaggio sul setaccio n. 200 (0,074 mm di apertura delle maglie), per asportare tutta la frazione limo-argillosa, recuperando il trattenuto a detto setaccio e sottoponendolo a vagliatura per determinarne la distribuzione granulometrica e quindi il passante in percentuale a ciascun setaccio.

Il quantitativo di materiale, occorrente per la formazione dei provino, varia a seconda della dimensione degli elementi presenti. Viene eseguita secondo la normativa contenuta nel bollettino CNR n. 23 del 14.12.1971 (ASTM D421 - D2217).

Qualora la frazione limo-argillosa sia molto elevata, la consueta analisi con setacci, pur valida per la classificazione, è scarsamente significativa. Si ricorre allora all'analisi granulometrica per sedimentazione per conoscere i contenuti percentuali di sabbia, limo e argilla. La prova è basata sulla diversa velocità di sedimentazione dei granuli di dimensioni diverse in seno ad una apposita soluzione deflocculante.

Il quantitativo di materiale rimasto in sospensione viene rilevato, ad intervalli di tempo crescenti, mediante letture con un densimetro. La prova viene eseguita secondo la norma ASTM D422.

I limiti di Atterberg servono per valutare le caratteristiche di plasticità di un terreno.

Il limite liquido è definito come il contenuto di umidità che separa lo stato liquido dallo stato plastico; analogamente il limite plastico separa lo stato plastico dallo stato semisolido di un terreno. La differenza numerica tra questi due limiti è chiamata indice plastico. I limiti di Atterberg vengono determinati su un quantitativo di 100-200 g di materiale passante al setaccio 0,425 UNI seguendo la norma CNR-UNI 10014 (ASTM D4318-84).

### 5.2.1 - Risultato analisi granulometrica (UNI 10006)

Il campione rappresentativo del livello di limo-argilloso diversamente addensato [S2C1 da 1.0m → 1.5m] è stato sottoposto ad analisi granulometrica per via secca. La pila standard per la vagliatura meccanica è costituita da 13 setacci con apertura della maglia decrescente da 100 mm a 0.075mm, limite di passaggio tra le frazioni grossolane e fini (limi e argille).

Il campione di sedimento è costituito per 96,9% [18% di sabbia fine] da terre grossolane, mentre il restante 78,9% (passante al vaglio 0.075mm) da terre a grana fine, come si può osservare dall'andamento della curva granulometrica (vedi certificati).

Limiti di Atterberg [CNR-UNI 10014]	
Limite liquido	42
Limite plastico	26
Indice plastico	16
Indice di gruppo	0
Classificazione [CNR-UNI 10006/63] = <b>A7-6</b>	

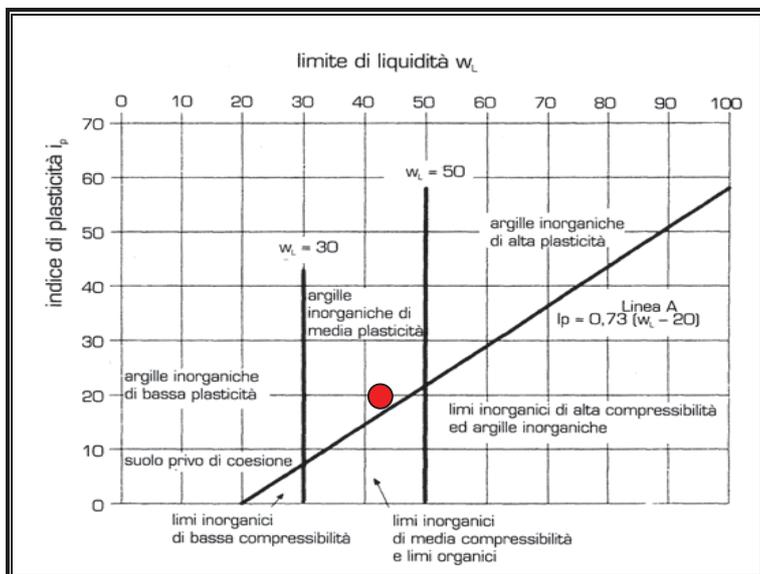


Figura 39 - Diagramma di Plasticità di Casagrande

Sulla frazione fine sono stati determinati i limiti di “Atterberg”: limite liquido, limite plastico, indice di plasticità e indice di gruppo (vedi diagramma plasticità). Il campione, sulla base della classificazione HBR-AASHTO (CNR-UNI 10006), che tiene conto dei limiti di Atterberg, è classificato come sottogruppo **A7 - 6**: si tratta di argille compressibili, mediamente plastiche, caratterizzata da limite liquido (LL) e da indice plastico (IP) rispettivamente pari a 42 e 26,

indicativi di un suolo coesivo (vedi diagramma di plasticità di Casagrande) a media plasticità, sensibile a variazioni dello stato di consistenza per aumento di contenuto d'acqua.

### 5.3 - Prova Edometrica

La prova edometrica, eseguita sui terreni coesivi, riproduce in laboratorio il comportamento del terreno sottoposto a incrementi di pressione in condizioni di deformazioni laterali impedite. Consiste nell'applicare una sequenza di carichi a un provino cilindrico saturo contenuto lateralmente, in modo che le deformazioni e il flusso dell'acqua avvengano solo in direzione verticale. Per ogni carico si permette la consolidazione. E' la prova più utilizzata per determinare i parametri di compressibilità, di consolidazione e per quantificare la storia tensionale di un deposito coesivo.

La cella edometrica è composta da un anello rigido contenente il provino (H = 19mm e D = 50mm) e da pietre porose poste sopra e sotto lo stesso. Le deformazioni verticali del provino sono misurate con un micrometro. Al provino si applica una sequenza di carichi verticali secondo una progressione geometrica, nel nostro caso: carico da 24,52 a 1569,12 KPa, con successivo scarico.

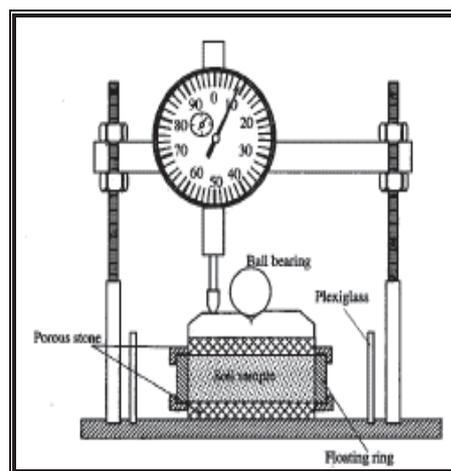


Figura 40 - Esempio strumentale

#### 5.3.1 - Risultato della prova Edometrica

L'incremento della tensione verticale provocata da un carico applicato induce nel provino una compressione verticale e un conseguente cedimento secondario, legato al fenomeno della consolidazione, che avviene lentamente a causa della scarsa permeabilità dei terreni coesivi.

I parametri ottenuti dalle prove Edometriche eseguite confermano la presenza di terreni coesivi, poco consistenti, compressibili e deformabili.

- Dalla Prova Edometrica S2C1 [da 6.0m → 6.5m] norma ASTM D2435: in corrispondenza di una pressione verticale ( $\sigma$ ) di 98.07 KPa, il cedimento indotto nel provino è di 0.504 mm, con modulo Edometrico di 4268 KPa e coefficiente di consolidazione ( $C_v$ ) pari a  $8,10 \cdot 10^{-4}$  cm<sup>2</sup>/sec. L'indice di compressione è di 0,357 con permeabilità pari a  $1,78 \cdot 10^{-8}$ .

#### 5.3.2 - Decorso dei cedimenti del tempo

Con riferimento alla teoria della consolidazione monodimensionale di Terzaghi è possibile stabilire il tempo di consolidazione  $t$  per raggiungere un determinato grado di consolidazione  $U$

(rapporto tra il cedimento al netto del cedimento iniziale e il cedimento totale) in uno strato di spessore  $2H$ , attraverso l'equazione:  $t = H^2 T_v / C_v$

dove

- $T_v$  = fattore tempo adimensionale funzione del grado di consolidazione  $U\%$ ,
- $H$  = spessore dello strato compressibile;
- $C_v$  = coefficiente di consolidazione edometrica

Nel caso in esame, sulla base dell'analisi stratigrafica e dei risultati della prova edometrica cui è stato sottoposto il campione più significativo per caratteristiche di plasticità e compressibilità, è stato calcolato, per uno strato di spessore medio pari a 2.50m, il tempo di consolidazione necessario al raggiungimento di un grado di consolidazione  $U$  del 90% ( da cui  $T_v = 0.8480$ ) stimato pari a 757.31 giorni.

#### 5.4 - Prova di resistenza meccanica [Prova di Taglio diretto]

Il comportamento meccanico di un terreno sollecitato a sforzi tangenziali è analizzato in laboratorio attraverso la prova di taglio diretto. La prova si esegue con l'impiego della scatola di Casagrande, costituita da un sistema di applicazione di una pressione verticale e orizzontale e da un sistema di misura delle deformazioni.

La rottura del provino, sottoposto, all'interno della scatola, a uno stato tensionale di tipo edometrico, è raggiunta provocando il taglio secondo un piano prestabilito.

La prova è condotta su almeno tre provini appartenenti allo stesso campione di terreno, preventivamente consolidati a valori di pressione normale crescente. Alla fine della fase di

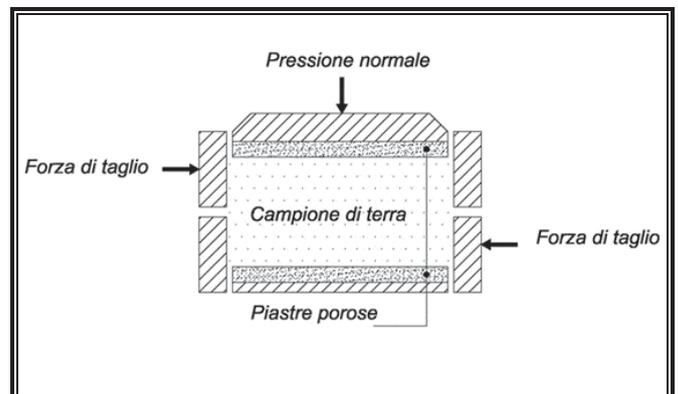


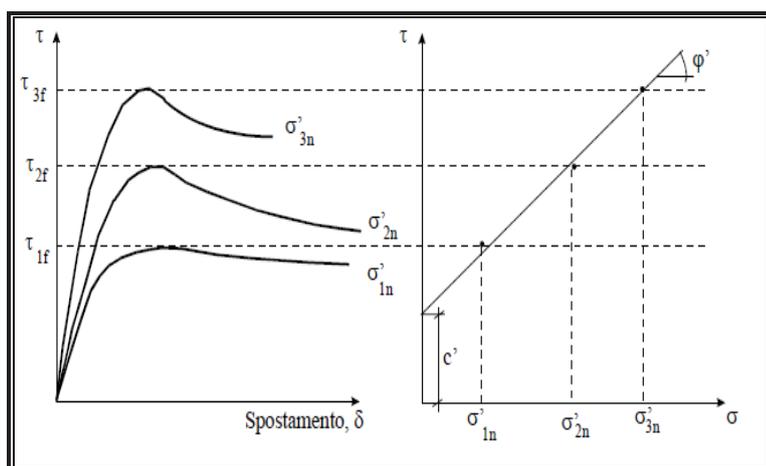
Figura 41 - Scatola di Casagrande

consolidazione, documentata attraverso la lettura dei cedimenti nel tempo, si procede con la fase di taglio imponendo una velocità di deformazione e registrando lo sforzo che ne consegue.

Per determinare i parametri di resistenza al taglio in condizioni drenate, la velocità di taglio deve essere sufficientemente contenuta affinché durante la fase di rottura non si riproducano sovrappressioni nei pori. Tale velocità dipende dalla permeabilità del suolo in esame ed è quindi correlata con la velocità di consolidazione. Per ogni provino si ottengono tre diversi valori di resistenza al taglio ( $\tau_f$ ), proporzionali alle tre diverse pressioni di consolidazione applicate ( $\sigma_n$ ), in

base ai quali si può tracciare la retta di Coulomb  $\tau_f = c + (\sigma_n \times \tan \varphi)$ , la cui pendenza e intercetta con l'asse  $\tau$ , rappresentano rispettivamente l'angolo di attrito  $\varphi$  e la coesione  $c$  di un terreno, parametri caratteristici di resistenza meccanica.

Durante la prova si controlla la velocità di applicazione del carico, misurando con un dinamometro il valore dello sforzo orizzontale al crescere della deformazione. Si può quindi tracciare il diagramma  $\tau$  - deformazione per diversi valori dello sforzo verticale, e determinare quindi il massimo valore di  $\tau$ . Questo tipo di prova si utilizza principalmente su terreni incoerenti,



per l'impossibilità di controllare il drenaggio.

#### 5.4.1 - Risultato Prova di Taglio (CD)

Il "criterio di resistenza a rottura" per le terre è governata dal Principio delle Tensioni Effettive, in virtù del quale la curva limite, corrispondente ad una retta nel piano di Mohr-Coulomb, va espressa oggettivamente

Figura 42 - Grafici determinazione della resistenza a rottura [ $\tau_f + \varphi$ ]

in termini di tensioni efficaci:  $\tau = c' + (\sigma' \times \tan \varphi')$ . Le prove di taglio analizzate si riferiscono essenzialmente a condizioni drenate e consolidate.

- Dalla Prova di Taglio S2C1 [da 1.0m → 1.5m] con apparecchio di Casagrande (ASTM D3080): dall'analisi del diagramma si evince che con un carico verticale ( $\sigma$ ) variabile da 100 KPa fino a 300 KPa, il campione (rappresentativo dell'unità lito-stratigrafica) presenta una resistenza al taglio ( $\tau$ ), superiore al carico applicato, una bassa deformazione verticale, con cedimenti minimi all'aumentare del carico  $\leq 1,37$ mm a 300 KPa di carico ( $\sigma$ ) verticale. L'angolo di resistenza al taglio è pari a  $26^\circ$ , mentre la coesione a 105 KPa.

*Nota: per tipologia e modalità d'esecuzione della stessa prova di taglio è fondamentale evidenziare che i risultati sono relativi a campioni ricostruiti in laboratorio, per cui le evidenze meccaniche ( $\varphi$ ) sono di poco sottostimate.*

## 6. CONCLUSIONI

In conformità a quanto fin qui esposto si possono trarre le seguenti conclusioni:

- **Dalle conoscenze di carattere geologico, morfologico e idrogeologico**, l'area in esame su cui è previsto il progetto di completamento del Campus della Scienza, della Tecnica e dell' Ambiente, è caratterizzata geologicamente da depositi continentali del Quaternario recente (Olocene), poggianti su un substrato Terziario, costituito da una successione di sedimenti marnoso-arenacei del 2° ciclo sedimentario miocenico. Si tratta di una copertura di depositi alluvionali e colluviali soprastanti una successione di livelli di marne siltose-argillose, diversamente addensate e consistenti appartenenti alla Formazione delle Marne di Gesturi.
  
- Nell'area d'interesse non sono stati rilevati fenomeni franosi in atto, né la presenza d'alcun elemento tettonico attivo, quali faglie o dislocazioni in genere, che possano favorire l'innescarsi di dissesti di qualsiasi natura. Essa, inoltre, non è interessata da fenomeni di subsidenza, né sono stati rilevati altri fenomeni morfogenetici attivi in grado di influire in maniera significativa sulla stabilità dell'area. In considerazione delle caratteristiche tecniche dei terreni unitamente ai valori di pendenza su cui giacciono le litologie, l'area rimane caratterizzata da discrete condizioni di stabilità.
  
- I terreni, rilevati nell'area sensibile, in base alle caratteristiche geolitologiche, con particolare riferimento alla capacità d'assorbimento possono essere suddivisi in 3 differenti classi di permeabilità omogenee:
  - Classe 1 - medio-alta permeabilità: sedimenti alluvionali recenti;
  - Classe 2 - bassa permeabilità: depositi colluviali dell'Olocene;
  - Classe 3 - molto bassa/impermeabile: marne mioceniche

Prima classe: appartengono quei terreni a buona circolazione idrica, costituiti prevalentemente da coperture alluvionali allo stato sciolto o semicoerente. La permeabilità è dovuta alla presenza di sedimenti sabbioso-ghiaiosi di età olocenica, scarsamente addensati [ $10^{-2} \leq K \leq 10^{-4}$ ];

Seconda classe: i depositi colluviali in matrice limoso-marnosa prevalente, con intercalazione di suoli limo-argillosi, presentano bassa permeabilità per porosità, localmente medio-bassa in corrispondenza di livelli limoso-sabbiosi [ $10^{-6} \leq K \leq 10^{-4}$ ];

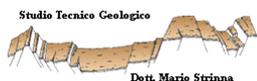
Terza classe: le marne langhiane, con intercalazioni da argillose a siltose, talvolta associate a sottili livelli carbonatici, risultano per caratteristiche intrinseche scarsamente permeabili per porosità [ $K \leq 10^{-7}$ ].

*\* Occorre precisare che la precedente distinzione, in assenza di sicure prove di permeabilità che consentano l'esatta determinazione del coefficiente K, è stata effettuata sulla base dei dati riportati in letteratura e dall'insieme delle osservazioni di campagna relative agli aspetti litologici, giaciture etc.*

- Alla luce della configurazione geologico-stratigrafica, idrogeologica dei terreni di sedime e del contesto geomorfologico, si esclude la presenza di una falda idrica superficiale importante ed un'eventuale risalita della falda profonda. Infatti, il substrato marnoso risulta, in genere, scarsamente permeabile o impermeabile per la rilevante componente argillosa trattenuta.
- Analisi del P.A.I.: l'area in progetto, situata all'interno del territorio Comunale di Selargius, in località Cuccuru Angius, appartiene all'Unità Idrografica Omogenea (U.I.O.) del Flumini Mannu di Cagliari, in quanto ricade all'interno del bacino idrografico del Rio Saliu. Dalla verifica della cartografia attualmente in uso (Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico) non ricade entro le Linee di Perimetrazione del P.A.I riferite al rischio idraulico e franoso.

*In sintesi, a oggi, nell'area esaminata, non sono stati rilevati fenomeni morfogenetici attivi riconducibili o predisponenti a situazioni di rischio legate alla situazione geologica, geomorfologica e all'idrologia del settore in cui esso si colloca; l'opera in progetto per la sua tipologia non può essere essa stessa motivo di rischio, fatte salve le normali prescrizioni progettuali.*

- I dati sismici dell'area sensibile, con coordinate: Latitudine: 4348099.2113 N e Longitudine: 1511314.9055 E hanno fornito i seguenti valori per un'accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (Norme Tecniche Costruzioni):



### Dati sulla costruzione:

Classe d'uso: 2

Vita Nominale: 50 anni

Coefficiente d'uso: 1.000000

Vita di riferimento: 50.000000 anni

- **(SLV)** Valori finali calcolati:  $ag = 0.0439 \text{ g} \div Fo = 2.5027 \div Tc^* = 0.3100 \text{ sec}$
- **(SLO)** Valori finali calcolati:  $ag = 0.0128 \text{ g} \div Fo = 2.5776 \div Tc^* = 0.1400 \text{ sec}$
- **(SLD)** Valori finali calcolati:  $ag = 0.0172 \text{ g} \div Fo = 2.5500 \div Tc^* = 0.1500 \text{ sec}$
- **(SLC)** Valori finali calcolati:  $ag = 0.0555 \text{ g} \div Fo = 2.5551 \div Tc^* = 0.3400 \text{ sec}$

L'area in esame è classificata come **zona sismica 4**, in riferimento al D.M. 14/01/2008:

**Zona 4** - È la meno pericolosa. Nei 3.488 Comuni o porzioni di essi per i quali  $[ag/g] < 0,05g$  le possibilità di danni sismici sono basse.

- **Risultati indagine sismica MASW:** per il calcolo delle Vs30 che rappresenta la “velocità equivalente” di propagazione entro 30 m di profondità delle onde di taglio, si fa riferimento alla seguente espressione, riportata nel D.M. 14.09.2005 e nel D.M. 14.01.2008 (“Norme tecniche per le costruzioni”):

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}}$$

da cui:

Piano di riferimento  $z=0$  [m]..... 0  
**Vs30 [m/s]..... 759**

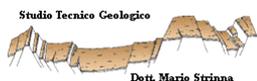
La normativa applicata è il DM 14 gennaio 2008

Il sito appartiene alle classi A, B, C, D, E o S1 (alluvionale, ghiaia, sabbia, limo, argilla, roccia).

Il sito non è suscettibile di liquefazione e non è argilla sensitiva.

**Tipo di suolo**(D.M. 14/01/2008)..... **B**

**Tipo B:** Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs,30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero NSPT30 > 50 nei terreni a granagrossa e  $cu_{30} > 250 \text{ kPa}$  nei terreni a grana fina).



- Nella tabella sono indicati i valori di  $N_{S.P.T}$  e i corrispondenti dati della Tensione Ammissibile ( $Q_{amm}$ ) relativi alle prove penetrometriche dinamiche [S.P.T] eseguite:

Verticali	Prova S.P.T.	Nspt	$Q_{amm} (Kg/cm^2)$
Sondaggio S <sub>1</sub>	S.P.T. a metri 1.00	73	7.3
	S.P.T. a metri 3.00	100 (Rifiuto)	10.0
Sondaggio S <sub>2</sub>	S.P.T. a metri 1.00	31	3.1
	S.P.T. a metri 3.00	50	5.0
Sondaggio S <sub>3</sub>	S.P.T. a metri 1.00	35	3.5
	S.P.T. a metri 3.00	40	4.0
	S.P.T. a metri 7.10	100 (Rifiuto)	10.0
Sondaggio S <sub>4</sub>	S.P.T. a metri 1.00	32	3.2
Sondaggio S <sub>5</sub>	S.P.T. a metri 1.00	2	4.2
	S.P.T. a metri 6.50	100 (Rifiuto)	10.0
Sondaggio S <sub>6</sub>	S.P.T. a metri 1.00	46	4.6
	S.P.T. a metri 3.00	66	6.6

- In base alle evidenze geolitologiche, si può asserire che l'area d'indagine presenta la seguente successione stratigrafica "Tipo":

**[Strato A]** – Copertura superficiale costituita da materiale di riporto o terreno limoso, di spessore inferiore al metro; è stato possibile riconoscere (nei sond. S1, S2), sotto il terreno di riporto, un orizzonte di suolo a tessitura limoso-argillosa di spessore decimetrico (20÷30 cm);

**[Strato B]** – Livello di facies eluvio-colluviale, costituito da limo debolmente argilloso o argilloso, talora in matrice carbonatica, diversamente addensato e consistente;

**[Strato C]** – Marne siltose-argillose, alterate e decomprese, da diversamente addensate a dure, con grado di addensamento e compattezza, che va aumentando con la profondità;

**[Strato D]** – Substrato di consistenza litoide, costituito da marne siltose, diversamente fratturate.

- Le caratteristiche geomeccaniche si possono riassumere partendo dall'alto verso il basso:
- 1) Depositi eluvio-colluviali limo-argillosi [Strato B]: caratteristiche discrete, poiché asciutti e diversamente addensati in matrice carbonatica ( $N_{SPT[-10m]} = 31$ );
  - 2) Marne siltose-argillose diversamente consistenti [Strato C]: caratteristiche variabili da discrete a buone, poiché si presentano da molto addensate sino a dure con l'aumentare della profondità ( $N_{SPT[-3.0m]} = 40$ );

3) Substrato litoide di marne siltose [Strato D]: si tratta di rocce tenere diversamente fratturate, con buone caratteristiche di resistenza ( $N_{SPT} = \text{Rifiuto}$ ).

- I parametri geotecnici, utili al progettista ai fini del calcolo strutturale, per i terreni che insistono nell'area analizzata, sono stati calcolati e verificati attraverso le correlazioni dirette con i valori conoscitivi di  $N_{spt}$ , relativi alle indagini eseguite:

**Tabella 1:** Parametri geotecnici **Strato B** [limo-argilloso]

Peso di volume naturale ( $\gamma_n$ )	19,50 KN/m <sup>3</sup>
Peso di volume saturo ( $\gamma_{sat}$ )	20,15 KN/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito interno ( $\phi$ )	26°
Coesione n.d. ( $C_{nd}$ )	0.77 Kg/cm <sup>2</sup> (Shioi - Fukui)
Pocket (P.P) medio	2.5 Kg/cm <sup>2</sup>
Van Test (V.T) medio	0-5 - 1.0 Kg/cm <sup>2</sup>
Modulo Edometrico (Md)	18240,36 KN/m <sup>2</sup> (Stroud e Butler)
Modulo di taglio ( $G_0$ )	200 MPa (Ohsaki & Iwasaki)
Coefficiente di Winkler	3.97 (kg/cm <sup>3</sup> )
$N_{spt}$	31
$Q_{amm/S.L.E}$	304 KN/m <sup>2</sup>
Caratteristiche strato	molto consistente

**Tabella 2:** Parametri geotecnici **Strato C** [marne siltose-argillose]

Peso di volume naturale ( $\gamma_n$ )	21,00 KN/m <sup>3</sup>
Peso di volume saturo ( $\gamma_{sat}$ )	21,85 KN/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito interno ( $\phi$ )	28°
Coesione n.d. ( $C_{nd}$ )	1.0 Kg/cm <sup>2</sup> (Shioi - Fukui)
Pocket (P.P) medio	4.0 Kg/cm <sup>2</sup>
Van Test (V.T) medio	0.5 - 1.0 Kg/cm <sup>2</sup>
Modulo Edometrico (Md)	23535,96 KN/m <sup>2</sup> (Stroud e Butler)
Modulo di taglio ( $G_0$ )	244 MPa (Ohsaki & Iwasaki)
$N_{spt}$	40
$Q_{amm/S.L.E}$	392.26 KN/m <sup>2</sup>
Caratteristiche strato	molto consistente

**Tabella 3:** Parametri geotecnici **Strato D** [marne siltose litoidi]

Peso di volume naturale ( $\gamma_n$ )	22.00 - 24.00 KN/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito interno ( $\phi$ )	32° - 35°
Coesione	0.1 - 5 MPa
Compressione uniassiale ( $\sigma_c$ )	29.82 - 39.12 MPa (sclerometro)
Modulo elasticità (E)	30 - 80 MPa
N <sub>spt</sub>	100 (rifiuto)
Q <sub>amm</sub> /S.L.E	> 490,33 KN/m <sup>2</sup>
Caratteristiche strato	litoide

- Scavabilità del substrato: l'area è costituita da una copertura quaternaria continentale di depositi antropici e/o terreno limoso, di spessore generalmente inferiore al metro, poggiante su livelli coesivi, costituiti inizialmente da limi argillosi in matrice carbonatica, passanti a marne limo-argillose di età miocenica. Le stesse presentano un diverso grado di consistenza e addensamento, che va migliorando con la profondità per la presenza d'intercalazioni di marne cementate e in alcuni punti del substrato marnoso di consistenza litoide. Per tali litologie, non ci sarà difficoltà nell'escavazione, poiché facilmente asportabili con il semplice uso di un escavatore dotato di singola benna.
  
- Tenuta dei fronti di scavo: in funzione delle caratteristiche fisico-meccaniche e in assenza d'opere di stabilizzazione, è possibile dare allo scavo un'inclinazione (inclinazione di sicurezza) tale per cui esso risulti stabile nel breve periodo senza che vi sia pericolo di crollo. Fatta eccezione per i depositi di copertura, che non superano il metro, i livelli coesivi presentano una buona capacità di autosostenimento, per la maggiore resistenza interna del materiale, dovuta alla coesione della matrice argillosa. Per questi terreni, è possibile verificare l'altezza critica di scavo, che è l'altezza massima alla quale una scarpata verticale è stabile per un limitato periodo di tempo senza bisogno di sostegni.  
 Nel nostro caso, considerando i seguenti parametri geotecnici cautelativi:  $c_{ridotto} = 30,15$  KN/m<sup>2</sup>;  $\gamma_{sat} = 20,15$  KN/m<sup>3</sup> e utilizzando la seguente relazione Hc, si ottiene un'altezza critica di scavo:  $Hc = 4 c/\gamma_{sat} = 5.98$  m.
  
- **La verifica della capacità portante (SLU/SLE)**, secondo le Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2008), è stata effettuata con il secondo metodo, che tiene conto della combinazione unica che considera sia gli stati limite ultimi strutturali che geotecnici, definita da

**A<sub>1</sub>+M<sub>1</sub>+R<sub>3</sub>**, Il calcolo ha tenuto conto di una ipotetica fondazione a trave rovescia [1.20m x 10.0m], con profondità di incastro a -1.0m da p.c.. Dai calcoli effettuati (utilizzando i valori minimi possibili di resistenza alla compressione e con i massimi coefficienti di sicurezza) si ottiene:

- Combinazione A<sub>1</sub>+M<sub>1</sub>+R<sub>3</sub> + Sisma : il valore minimo del carico limite (Terzaghi) **Q<sub>ult</sub> = 448,06 KN/m<sup>2</sup>**, con una resistenza di progetto (**R<sub>d</sub>**) = **194,81 KN/m<sup>2</sup>** e tensione di progetto (**Ed**) = **149,35 KN/m<sup>2</sup>**;
- Cedimenti: il cedimento edometrico totale per ogni strato, relativo al substrato di terreno del futuro fabbricato, si attesterebbe a un valore centimetrico (1,3 cm) in corrispondenza di una pressione normale di progetto pari a 149,35 kN/m<sup>2</sup>, consigliata sulla base delle caratteristiche geotecniche degli strati rilevati e ovviamente inferiore al valore della resistenza di progetto (R<sub>d</sub>) = 194,81 KN/m<sup>2</sup>, verificata con i valori minimi possibili di resistenza a compressione e con i massimi coefficienti di sicurezza; i cedimenti elastici, per la medesima tensione, risultano, al centro della fondazione, superiori al cm, pari a 13,99 mm.

**Nota:** importante evidenziare che la verifica di stabilità dell'insieme terreno-fondazione si riferisce al caso di un terreno (indagini di luglio 2013) asciutto e in assenza di falda. La presenza di umidità e/o di acqua di ritenzione, comporta una riduzione del 30% dei parametri geotecnici di coesione e angolo di attrito interno dei livelli più coesivi, con una conseguente riduzione della capacità portante e quindi della tensione di progetto, che nel nostro specifico caso si attesterebbe (come da calcolo) a un valore pari a **102.01 KPa**, con un cedimento Edometrico totale di poco inferiore al cm, pari a **0.72 cm**.

*Il progettista strutturale incaricato dovrà studiare la soluzione più consona secondo le esigenze di progetto e di sue considerazioni di prudenza. Alla luce di questi risultati si potrà intervenire per avere l'opera finita a regola d'arte. Qualsiasi variazione nelle ipotesi formulate, dovrà comunque essere riverificata dallo strutturista incaricato.*

- **Prove di carico su piastra:** il modulo di deformazione è stato calcolato per un intervallo di carico  $\Delta P = 0.15 - 0.25 \text{ N/mm}^2$  (equivalente a 0.15 - 0.25 MPa); i risultati sono indicati nella tabella A.

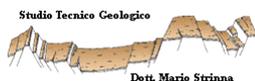


Tabella A

Prova di carico su piastra	Modulo di deformazione Md (N/mm <sup>2</sup> )	Deformazione (mm)
Prova P1	75	0,40
Prova P2	120	0,25
Prova P3	58,8	0,51
Prova P4	78,9	0,38
Prova P5	60	0,50
Prova P6	150	0,20
Prova P7	120	0,24

Secondo le norme CNR UNI, il modulo di deformazione Md, salvo diverse prescrizioni di progetto, dovrà essere non inferiore a 50 MPa, nell'intervallo di carico compreso tra 0.15-0.25 N/mm<sup>2</sup> per il piano di posa della sovrastruttura.

I risultati delle prove di carico su piastra evidenziano la presenza di materiali di caratteristiche di portanza sufficienti e idonee come sottofondo di appoggio per la sovrastruttura, con valori del modulo di deformazione Md sempre superiore a 50 MPa.

- L'intervento in progetto non costituisce turbamento alle caratteristiche morfologiche del paesaggio. La verifica geo-litologica dell'area ha confermato una certa omogeneità litologica nelle caratteristiche geomeccaniche nei vari livelli evidenziati. Si tratta in generale, ad eccezione dei depositi di copertura (riporto e sedimenti limosi) di spessore inferiore al metro, di terreni coesivi, di consistenza geomeccanica discreta, essendo costituiti da limi-argillosi carbonatici, passanti ad una successione di marne siltose-argillose, diversamente addensate e consistenti, con caratteristiche di compattezza che vanno migliorando con la profondità.
- L'area, che ospiterà l'opera in progetto, non evidenzia ostacoli di:
  - ▶ Natura geologica, idrogeologica o morfologica che impediscano l'utilizzazione prevista dal progetto;
  - ▶ Turbamento alle caratteristiche morfologiche del paesaggio. La stratigrafia, tipica dei terreni locali analizzati in situ, evidenzia la compatibilità degli stessi in funzione dell'opera da realizzarsi;
  - ▶ Natura geotecnica che impedisca l'utilizzazione prevista dal progetto a meno delle normali prescrizioni ingegneristiche. Il progettista, verificata la compatibilità

**Committente:** Comune di Selargius P.zza Cellarium n. 1 – 09047 Selargius

**Progetto:** Indagini geognostiche relative al completamento del Campus della Scienza, della Tecnica e dell' Ambiente

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

**Relazione geologica e geotecnica**

della struttura con il terreno, secondo le esigenze di progetto e di sue considerazioni di prudenza, potrà intervenire per avere l'opera finita a regola d'arte.

Cagliari, lì Agosto 2013

**GEOLOGO** [Sez. A]

DOTT. MARIO STRINNA

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

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



Dott. Mario Strinna

Viale Diaz, 48 – 09125 Cagliari – Tel.Fax 070.303083 – Cell. 333.2437873

**Committente:** Comune di Selargius P.zza Cellarium n. 1 – 09047 Selargius

**Progetto:** Indagini geognostiche relative al completamento del Campus della Scienza, della Tecnica e dell' Ambiente

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

**Relazione geologica e geotecnica**

## CARTA GEOLOGICA

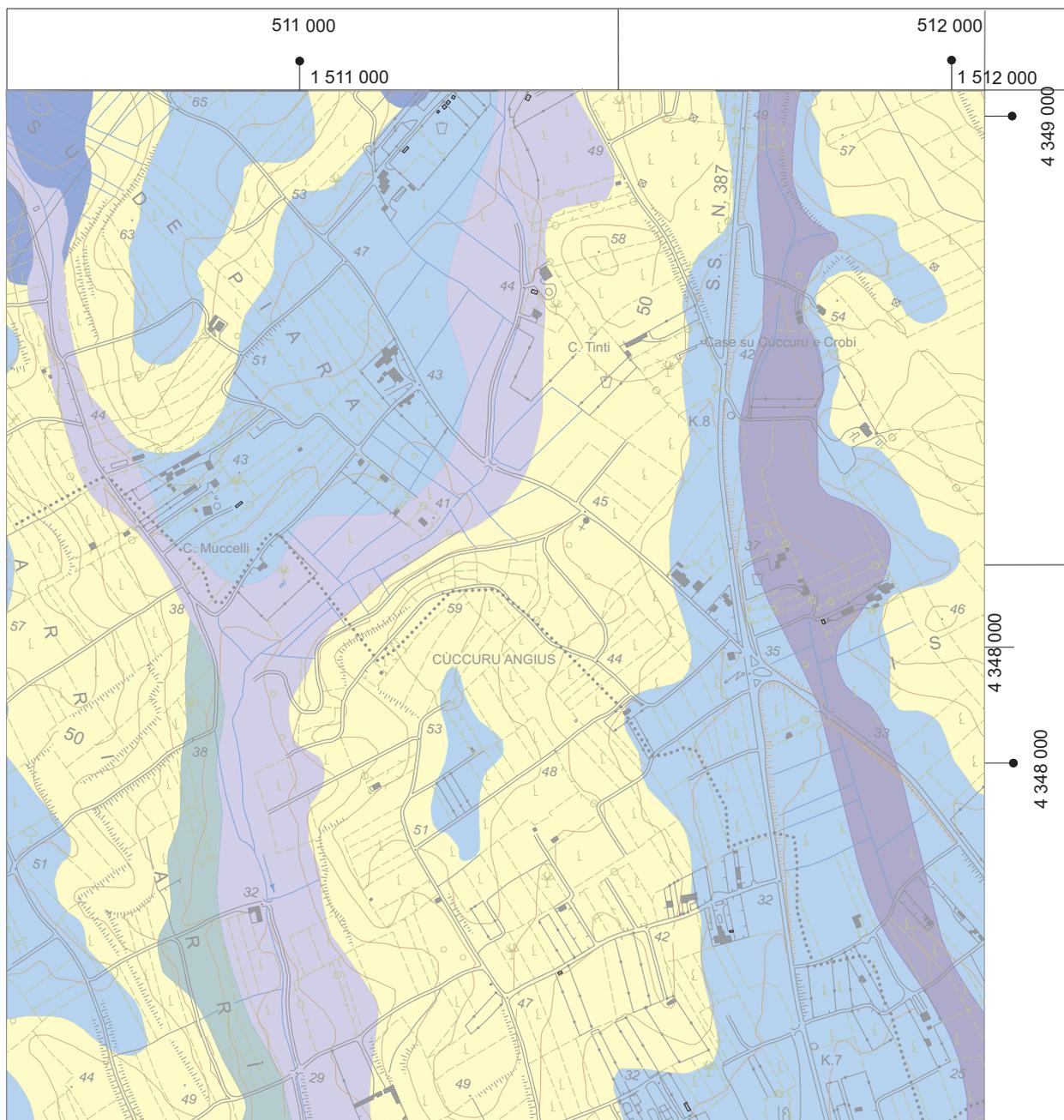


Dott. Mario Strinna

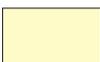
Viale Diaz, 48 – 09125 Cagliari – Tel.Fax 070.303083 – Cell. 333.2437873

# CARTA GEOLOGICA

SCALA 1:10.000



## LEGENDA

-  **ba**  
Depositi alluvionali. Ghiaie da grossolane a medie. OLOCENE
-  **bb**  
Depositi alluvionali. Sabbie con subordinate limi e argille. OLOCENE
-  **bna**  
Depositi alluvionali terrazzati. Ghiaie con subordinate sabbie. OLOCENE
-  **bnb**  
Depositi alluvionali terrazzati. Sabbie con subordinate limi e argille. OLOCENE
-  **b2**  
Coltri eluvio-colluviali. Detriti immersi in matrice fine, talora con intercalazioni di suoli più o meno evoluti, arricchiti in frazione organica. OLOCENE
-  **GST - Marna di Gesturi**  
Marne arenacee e siltitiche giallastre con intercalazioni di arenarie e calcareniti contenenti faune a pteropodi, molluschi, foraminiferi, nannoplancton, frammenti ittiolitici, frustoli vegetali. BURDIGALIANO SUP. - LANGHIANO MEDIO

**Committente:** Comune di Selargius P.zza Cellarium n. 1 – 09047 Selargius

**Progetto:** Indagini geognostiche relative al completamento del Campus della Scienza, della Tecnica e dell' Ambiente

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

**Relazione geologica e geotecnica**

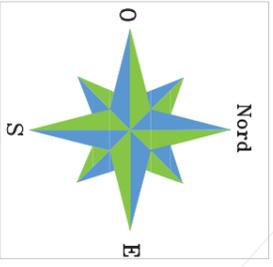
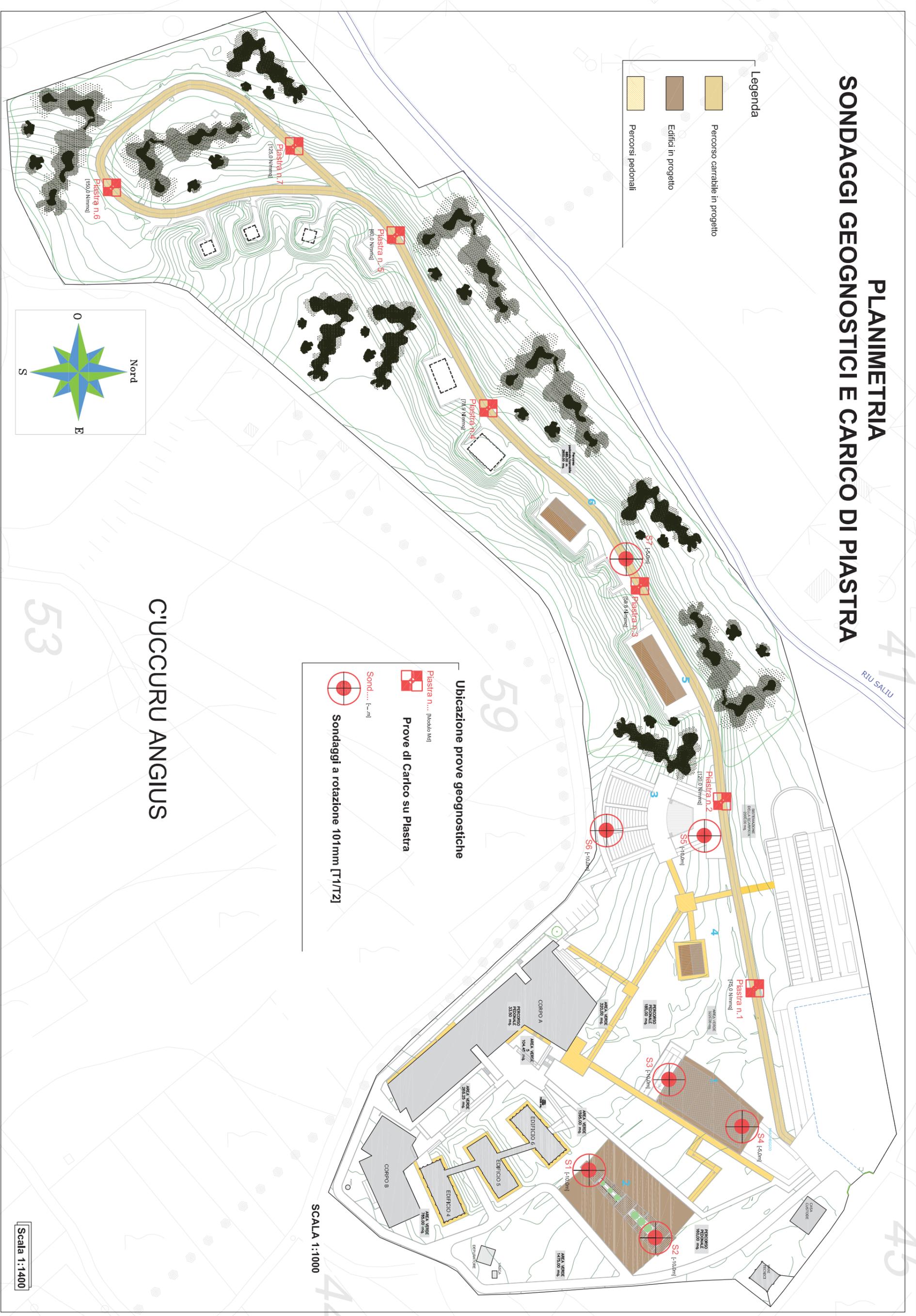
# **PLANIMETRIA**

## **SONDAGGI GEOGNOSTICI + CARICO DI PIASTRA**

# PLANIMETRIA SONDAGGI GEOGNOSTICI E CARICO DI PIASTRA

**Legenda**

-  Percorso carrabile in progetto
-  Edifici in progetto
-  Percorsi pedonali



C'UCCURU ANGIUS

53

59

41

45

**Ubicazione prove geognostiche**

-  Piastra n. ... (Modello M6)
-  Prove di Carico su Piastra
-  Sond. .... (L=...m)
-  Sondaggi a rotazione 101mm [T1/T2]

SCALA 1:1000

Scala 1:1400

**Committente:** Comune di Selargius P.zza Cellarium n. 1 – 09047 Selargius

**Progetto:** Indagini geognostiche relative al completamento del Campus della Scienza, della Tecnica e dell' Ambiente

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

**Relazione geologica e geotecnica**

# DOCUMENTAZIONE STRATIGRAFICA E FOTOGRAFICA

**Committente:** Comune di Selargius P.zza Cellarium n. 1 – 09047 Selargius

**Progetto:** Indagini geognostiche relative al completamento del Campus della Scienza, della Tecnica e dell' Ambiente

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

## **SONDAGGIO S1 (10.0M)**



**Committente:** Comune di Selargius P.zza Cellarium n. 1 – 09047 Selargius

**Progetto:** Indagini geognostiche relative al completamento del Campus della Scienza, della Tecnica e dell' Ambiente

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

Relazione geologica e geotecnica

## Stratigrafia S1

SCALA 1 : 33      Pagina 1/2

Riferimento: Campus della Scienza										Sondaggio: S1				
Località: Selargius										Quota: 45m s.m.l				
Impresa esecutrice: Geotest srl										Data: 30/07/2013				
Coordinate:										Redattore: Dott.Mario Strinna				
Perforazione: carotaggio continuo 101mm														
m	R	A	Pz	metri bat.	LITOLOGIA	Campioni	RP	VT	SPT		RQD % 0 --- 100	prof. m	DESCRIZIONE	
									Prel. % 0 --- 100	S.P.T. N				
				1					28-33-40	73		0.8		Materiale detritico di riporto, costituito da ghiaie e ciottolotti in matrice limo-sabbiosa fine, sciolto; colore nocciola chiaro
				1.1								1.1		Suolo a tessitura limoso-argillosa, addensato; colore bruno grigiastro
				2										Marne siltose debolmente argillose, alterate e decomprese, diversamente addensate, con intercalati livelletti (1-2 cm) di marne cementate e presenza di screziature ocracee ferriche e biancastre carbonatiche; colore nocciola giallognolo passante a nocciola grigiastro verso -3.10m da p.c..
				3					50-50-50	100				
				4										Marne siltiche dure e diversamente cementate, passanti a litoidi da -5.10m sino a fondo foro, diversamente fratturate; colore dal nocciola giallognolo al nocciola grigiastro.
				5								4.2		
				6										
				7										
				8										

**Committente:** Comune di Selargius P.zza Cellarium n. 1 – 09047 Selargius

**Progetto:** Indagini geognostiche relative al completamento del Campus della Scienza, della Tecnica e dell' Ambiente

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

Relazione geologica e geotecnica

## Stratigrafia S1

SCALA 1 : 33

Pagina 2/2

Riferimento: Campus della Scienza	Sondaggio: S1
Località: Selargius	Quota: 45m s.m.l
Impresa esecutrice: Geotest sri	Data: 30/07/2013
Coordinate:	Redattore: Dott.Mario Strinna
Perforazione: carotaggio continuo 101mm	

σ mm	R v	A r	A s	Pz	metri bat.	LITOLOGIA	Campioni	RP	VT	Prel. % 0 --- 100	SPT		RQD % 0 --- 100	prof. m	DESCRIZIONE	
											S.P.T.	N				
					9											Marne siltiche dure e diversamente cementate, passanti a litoidi da -5.10m sino a fondo foro, diversamente fratturate; colore dal nocciola giallognolo al nocciola grigiastro.
					10									10.0		

Probabile passaggio d'acqua verso -4.80m, per presenza rilevante di ossidazioni ferriche lungo i piani di fratturazione. Prova sclerometrica da -5.50m a -7.70m, rimbalzo R= 11 (resistenza a compressione 29,82 MPa).



**Committente:** Comune di Selargius P.zza Cellarium n. 1 – 09047 Selargius

**Progetto:** Indagini geognostiche relative al completamento del Campus della Scienza, della Tecnica e dell' Ambiente

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

## **SONDAGGIO S2 (10.0M)**



Committente: Comune di Selargius P.zza Cellarium n. 1 – 09047 Selargius

Progetto: Indagini geognostiche relative al completamento del Campus della Scienza, della Tecnica e dell' Ambiente

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

Relazione geologica e geotecnica

## Stratigrafia S2

SCALA 1 : 33 Pagina 1/2

Riferimento: Campus della Scienza		Sondaggio: S2												
Località: Selargius		Quota: 45m s.m.l												
Impresa esecutrice: Geotest srl		Data: 30/07/2013												
Coordinate:		Redattore: Dott. Mario Strinna												
Perforazione: carotaggio continuo 101mm														
se mm	R v	A r s	Pz	metri batt.	LITOLOGIA	Campioni	RP	VT	Prel. % 0---100	SPT S.P.T.	N	RQD % 0---100	prof. m	DESCRIZIONE
				1									0.4	Materiale detritico di riporto, costituito da qualche ciottolotto in matrice limosa, sciolto; colore nocciola chiaro
													0.6	Suolo a tessitura limosa, addensato; colore nocciola grigiastro
				2					2.5 0.4 2.2 0.6	13-14-17	31			Livello limoso debolmente argilloso in matrice carbonatica, diversamente addensato; colore nocciola biancastro
				3					2.1 0.5				2.8	
										31-30-20	50		3.0	Livellotto marnoso debolmente plastico; colore nocciola giallognolo
				4					4.0 0.4 3.6 0.4					Marne siltoso-argillose, alterate e decomprese, diversamente addensate, debolmente plastiche; colore nocciola giallognolo, con sfumature grigiastre
				5									5.0	
									4.2 1.0					Marne siltoso-argillose, molto addensate e consistenti, impregnate di ossidi ferrici; colore nocciola ocreo
				6									5.9	
														Marne siltoso-argillose, da addensate a molto addensate, a tratti dure, con presenza di screziature ocree ferriche e di marna siltosa cementata in scaglie; colore nocciola giallognolo
				7										
									6.0 1.0					
				8										



Dott. Mario Strinna

Viale Diaz, 48 – 09125 Cagliari – Tel.Fax 070.303083 – Cell. 333.2437873

**Committente:** Comune di Selargius P.zza Cellarium n. 1 – 09047 Selargius

**Progetto:** Indagini geognostiche relative al completamento del Campus della Scienza, della Tecnica e dell' Ambiente

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

Relazione geologica e geotecnica

## Stratigrafia S2

SCALA 1:33

Pagina 2/2

Riferimento: Campus della Scienza										Sondaggio: S2					
Località: Selargius										Quota: 45m s.m.l					
Impresa esecutrice: Geotest srl										Data: 30/07/2013					
Coordinate:										Redattore: Dott. Mario Strinna					
Perforazione: carotaggio continuo 101mm															
σ mm	R v	A r	A s	Pz	metri batt.	LITOLOGIA	Campioni	RP	VT	Prel. % 0 --- 100	SPT S.P.T.	N	RQD % 0 --- 100	prof. m	DESCRIZIONE
					9										Marne siltoso-argillose, da addensate a molto addensate, a tratti dure, con presenza di screziature ocracee ferriche e di marna siltosa cementata in scaglie; colore nocciola giallognolo.
								6.0	1.0						
									2.2	1.0					
					10				5.8	1.0					
								6.0	1.0						



Dott. Mario Strinna

Viale Diaz, 48 – 09125 Cagliari – Tel.Fax 070.303083 – Cell. 333.2437873

+0.00



-5.00 m

-10.00 m



-5.00 m

**Committente:** Comune di Selargius P.zza Cellarium n. 1 – 09047 Selargius

**Progetto:** Indagini geognostiche relative al completamento del Campus della Scienza, della Tecnica e dell' Ambiente

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

### **SONDAGGIO S3 (10.0M)**



### Stratigrafia S3

SCALA 1 : 33 Pagina 1/2

Riferimento: Campus della Scienza		Sondaggio: S3												
Località: Selargius		Quota: 45m s.m.l												
Impresa esecutrice: Geotest srl		Data: 31/07/2013												
Coordinate:		Redattore: Dott.Mario Strinna												
Perforazione: carotaggio continuo 101mm														
σ mm	R v	A r	Pz	metri bat.	LITOLOGIA	Campioni	RP	VT	Prel. % 0 --- 100	SPT S.P.T.	N	RQD % 0 --- 100	prof. m	DESCRIZIONE
														Terreno di copertura limoso, sciolto per rotazione del carotiere; colore nocciola grigiastro
				1						22-17-18	35		0.8	Limo-argilloso, addensato e molto consistente, con presenza di noduli e screziature carbonatiche biancastre; colore nocciola grigiastro chiaro
				2			0.8	0.8					2.0	
				3						18-21-19	40			Marne siltose-argillose, alterate e decomprese, diversamente addensate, con presenza di screziature grigiastre argillose ed ocracee ferriche; colore nocciola giallognolo passante a nocciola grigiastro verso -3.90m. Presenza a -4.80m di un livelletto duro grigiastro, costituito da scaglie di marne siltose cementate.
				4			6.0	1.0						
				5									5.0	Idem come sopra, ma molto addensato e consistente; colore nocciola grigiastro
				6										
				7			6.0	1.0		50-50-50	100		6.8	Marna siltoso-argillosa, addensata, con screziature ocracee ferriche; colore nocciola giallastro
				7			5.8	1.0						
				7			6.0	1.0					7.2	Idem come sopra, ma molto addensata e compatta; colore nocciola giallognolo passante a grigiastro verso -9.20m, per la presenza di scaglie di marne argillose cementate, grigiastre
				8			6.0	1.0						

**Committente:** Comune di Selargius P.zza Cellarium n. 1 – 09047 Selargius

**Progetto:** Indagini geognostiche relative al completamento del Campus della Scienza, della Tecnica e dell' Ambiente

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

Relazione geologica e geotecnica

## Stratigrafia S3

SCALA 1:33      Pagina 2/2

Riferimento: Campus della Scienza										Sondaggio: S3					
Località: Selargius										Quota: 45m s.m.l					
Impresa esecutrice: Geotest srl										Data: 31/07/2013					
Coordinate:										Redattore: Dott. Mario Strinna					
Perforazione: carotaggio continuo 101mm															
e mm	R v	A r	S s	Pz	metri batt.	LITOLOGIA	Campioni	RP	VT	Prel. % 0 --- 100	SPT S.P.T.	N	RQD % 0 --- 100	prof. m	DESCRIZIONE
					9	[Lithological pattern]								10.0	Idem come sopra, ma molto addensata e compatta, colore nocciola giallognolo passante a grigiastro verso -9.20m, per la presenza di scaglie di marne argillose cementate, grigiastre



Dott. Mario Strinna

Viale Diaz, 48 – 09125 Cagliari – Tel.Fax 070.303083 – Cell. 333.2437873



**Committente:** Comune di Selargius P.zza Cellarium n. 1 – 09047 Selargius

**Progetto:** Indagini geognostiche relative al completamento del Campus della Scienza, della Tecnica e dell' Ambiente

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

## **SONDAGGIO S4 (5.0M)**



**Committente:** Comune di Selargius P.zza Cellarium n. 1 – 09047 Selargius

**Progetto:** Indagini geognostiche relative al completamento del Campus della Scienza, della Tecnica e dell' Ambiente

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

Relazione geologica e geotecnica

## Stratigrafia S4

SCALA 1 : 33 Pagina 1/1

Riferimento: Campus della Scienza		Sondaggio: S4												
Località: Selargius		Quota: 45m s.m.l												
Impresa esecutrice: Geotest srl		Data: 31/07/2013												
Coordinate:		Redattore: Dott. Mario Strinna												
Perforazione: carotaggio continuo 101mm														
se mm	R v	A r s	Pz	metri batt.	LITOLOGIA	Campioni	RP	VT	Prel. % 0 --- 100	SPT S.P.T.	N	RQD % 0 --- 100	prof. m	DESCRIZIONE
														Materiale detritico di riporto, limoso con ciottolotti, sciolto; colore nocciola
				1						18-11-21	32		0.5	Livello limoso-argilloso, addensato e consistente; colore nocciola grigiastro chiaro
				2			4.1	0.5					1.8	Marna siltoso-argillosa, alterata e decompressa, moderatamente plastica e diversamente addensata, con presenza di screziature grigiastre verso -4.0m; colore nocciola grigiastro.
				3										
				4										
				5			5.4	1.0					5.0	



Dott. Mario Strinna

Viale Diaz, 48 – 09125 Cagliari – Tel.Fax 070.303083 – Cell. 333.2437873

**Committente:** Comune di Selargius P.zza Cellarium n. 1 – 09047 Selargius

**Progetto:** Indagini geognostiche relative al completamento del Campus della Scienza, della Tecnica e dell' Ambiente

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

Relazione geologica e geotecnica



**Committente:** Comune di Selargius P.zza Cellarium n. 1 – 09047 Selargius

**Progetto:** Indagini geognostiche relative al completamento del Campus della Scienza, della Tecnica e dell' Ambiente

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

## **SONDAGGIO S5 (10.0M)**



**Committente:** Comune di Selargius P.zza Cellarium n. 1 – 09047 Selargius

**Progetto:** Indagini geognostiche relative al completamento del Campus della Scienza, della Tecnica e dell' Ambiente

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

Relazione geologica e geotecnica

## Stratigrafia S5

SCALA 1 : 33      Pagina 1/2

Riferimento: Campus della Scienza		Sondaggio: S5												
Località: Selargius		Quota: 47m s.m.l												
Impresa esecutrice: Geotest srl		Data: 31/07/2013												
Coordinate:		Redattore: Dott. Mario Strinna												
Perforazione: carotaggio continuo 101mm														
σ mm	R v	A r	Pz	metri batt.	LITOLOGIA	Campioni	RP	VT	Prel. % 0 --- 100	SPT S.P.T.	N	RQD % 0 --- 100	prof. m	DESCRIZIONE
				1						19-20-22	42		0.8	Terreno di copertura limoso, sciolto per rotazione del carotiere; colore nocciola grigiastro
				2			6.0	1.0					1.5	Limo debolmente argilloso, in matrice carbonatica, con presenza sporadica di screziature ocracee ferriche, molto addensato; colore nocciola grigiastro
				3										Idem come sopra, ma diversamente addensato e diversamente consistene; colore variabile da nocciola giallognolo sino a -2.90m a nocciola grigiastro sino a -4.0m.
				4			6.0	1.0					4.0	Marne siltose-argillose, alterate e diversamente addensate, con incluse scaglie di marne cementate ( a -4.30m, -5.10m, -5.50m); colore nocciola giallognolo, passante a grigiastro verso -6.0m
				5										
				6										
				6										
				6			5.8	0.8						
				6			1.6	0.2						
				7						50-50-50	100		6.5	Substrato litoide, costituito da marne siltose, diversamente fratturate; colore grigiastro. Presenza di ossidazioni ferriche lungo i piani di fratturazione
				8										



Dott. Mario Strinna

Viale Diaz, 48 – 09125 Cagliari – Tel. Fax 070.303083 – Cell. 333.2437873

**Committente:** Comune di Selargius P.zza Cellarium n. 1 – 09047 Selargius

**Progetto:** Indagini geognostiche relative al completamento del Campus della Scienza, della Tecnica e dell' Ambiente

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

Relazione geologica e geotecnica

## Stratigrafia S5

SCALA 1:33 Pagina 2/2

Riferimento: Campus della Scienza	Sondaggio: S5
Località: Selargius	Quota: 47m s.m.l
Impresa esecutrice: Geotest srl	Data: 31/07/2013
Coordinate:	Redattore: Dott.Mario Strinna
Perforazione: carotaggio continuo 101mm	

σ mm	R v	A r	Pz	metri batt.	LITOLOGIA	Campioni	RP	VT	Prel. % 0 --- 100	SPT S.P.T.	N	RQD % 0 --- 100	prof. m	DESCRIZIONE
				9									10.0	Substrato litoide, costituito da marne siltose, diversamente fratturate; colore grigiastro. Presenza di ossidazioni ferriche lungo i piani di fratturazione.

Prova sclerometrica, indice di rimbalzo R = 23 (resistenza a compressione 39,12 MPa)



Dott. Mario Strinna

Viale Diaz, 48 – 09125 Cagliari – Tel.Fax 070.303083 – Cell. 333.2437873



**Committente:** Comune di Selargius P.zza Cellarium n. 1 – 09047 Selargius

**Progetto:** Indagini geognostiche relative al completamento del Campus della Scienza, della Tecnica e dell' Ambiente

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

## **SONDAGGIO S6 (10.0M)**



**Committente:** Comune di Selargius P.zza Cellarium n. 1 – 09047 Selargius

**Progetto:** Indagini geognostiche relative al completamento del Campus della Scienza, della Tecnica e dell' Ambiente

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

Relazione geologica e geotecnica

## Stratigrafia S6

SCALA 1:33 Pagina 1/2

Riferimento: Campus della Scienza		Sondaggio: S6												
Località: Selargius		Quota: 51m s.m.l												
Impresa esecutrice: Geotest srl		Data: 01/08/2013												
Coordinate:		Redattore: Dott.Mario Strinna												
Perforazione: carotaggio continuo 101mm														
Ø mm	R r	A s	Pz	metri vert.	LITOLOGIA	Campioni	RP	VT	PreL. % 0 --- 100	S.P.T. S.P.T.	N	RQD % 0 --- 100	prof. m	DESCRIZIONE
				0.6										Terreno di copertura limoso, sciolto per rotazione del carotiere; colore nocciola grigiastro
				1.0						20-22-24	46			Limò debolmente argilloso, addensato e consistente; colore bruno grigiastro
				2.2										Limò debolmente argilloso, in matrice carbonatica, con presenza di screziature ocracee ferriche, molto addensato; colore nocciola giallastro
				3.0				1.4	0.5					Marna siltosa-argillosa, alterata e diversamente addensata, con incluse scaglie di marna siltose cementate e screziature grigiastre argillose. Verso -4.35m è presente un livelletto di 3-4 cm di marna cementate; colore nocciola giallastro
				6.0				6.0	1.0					
				6.0				2.0	0.5					
				6.0				6.0						Substrato litoide, costituito da marna siltose, diversamente fratturate; colore grigiastro. Presenza di ossidazioni ferriche lungo i piani di fratturazione
				4.7										
				5.0										
				6.0										
				7.0										
				8.0										



Dott. Mario Strinna

Viale Diaz, 48 – 09125 Cagliari – Tel.Fax 070.303083 – Cell. 333.2437873

**Committente:** Comune di Selargius P.zza Cellarium n. 1 – 09047 Selargius

**Progetto:** Indagini geognostiche relative al completamento del Campus della Scienza, della Tecnica e dell' Ambiente

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

Relazione geologica e geotecnica

## Stratigrafia S6

SCALA 1:33 Pagina 2/2

Riferimento: Campus della Scienza										Sondaggio: S6					
Località: Selargius										Quota: 51m s.m.l					
Impresa esecutrice: Geotest srl										Data: 01/08/2013					
Coordinate:										Redattore: Dott.Mario Strinna					
Perforazione: carotaggio continuo 101mm															
Ø mm	R v	A r	A s	Pz	metri batt.	LITOLOGIA	Campioni	RP	VT	Prel. % 0 --- 100	SPT S.P.T.	N	RQD % 0 --- 100	prof. m	DESCRIZIONE
					9 10									10.0	Substrato litoide, costituito da marne siltose, diversamente fratturate; colore grigiastro. Presenza di ossidazioni ferriche lungo i piani di fratturazione.
Prova sclerometrica, indice di rimbalzo R= 20 (resistenza a compressione 36,80 MPa)															



Dott. Mario Strinna

Viale Diaz, 48 – 09125 Cagliari – Tel.Fax 070.303083 – Cell. 333.2437873



**Committente:** Comune di Selargius P.zza Cellarium n. 1 – 09047 Selargius

**Progetto:** Indagini geognostiche relative al completamento del Campus della Scienza, della Tecnica e dell' Ambiente

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

## **SONDAGGIO S7 (5.0M)**



**Committente:** Comune di Selargius P.zza Cellarium n. 1 – 09047 Selargius

**Progetto:** Indagini geognostiche relative al completamento del Campus della Scienza, della Tecnica e dell' Ambiente

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

Relazione geologica e geotecnica

## Stratigrafia S7

SCALA 1:33      Pagina 1/1

Riferimento: Campus della Scienza										Sondaggio: S7						
Località: Selargius										Quota: 48m s.m.l						
Impresa esecutrice: Geotest srl										Data: 01/08/2013						
Coordinate:										Redattore: Dott. Mario Strinna						
Perforazione: carotaggio continuo 101mm																
σ mm	R v	A r	A s	Pz	metri batt.	LITOLOGIA	Campioni	RP	VT	Prel. % 0 --- 100	SPT S.P.T.	N	RQD % 0 --- 100	prof. m	DESCRIZIONE	
																
					1									0.7		Materiale detritico di riporto (strada), costituito da ghiaie e ciottolotti, in matrice limoso-sabbiosa, sciolto; colore nocciola
					2									2.0		Limo debolmente argilloso, da sciolto ad addensato, colore nocciola grigiastro
					3									3.0		Limo-argilloso, diversamente addensato e consistente; colore nocciola giallastro chiaro
					4									4.0		Marna siltoso-argillosa, alterata e molto addensata, con presenza di scaglie di marne cementate, colore nocciola giallognolo
					5									5.0		Idem come sopra, ma dura, con maggiore presenza di marne cementate in scaglie; colore nocciola grigiastro



Dott. Mario Strinna

Viale Diaz, 48 – 09125 Cagliari – Tel.Fax 070.303083 – Cell. 333.2437873

**Committente:** Comune di Selargius P.zza Cellarium n. 1 – 09047 Selargius

**Progetto:** Indagini geognostiche relative al completamento del Campus della Scienza, della Tecnica e dell' Ambiente

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



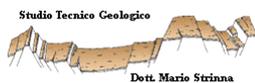
**Committente:** Comune di Selargius P.zza Cellarium n. 1 – 09047 Selargius

**Progetto:** Indagini geognostiche relative al completamento del Campus della Scienza, della Tecnica e dell' Ambiente

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

**Relazione geologica e geotecnica**

## CERTIFICATI PROVE DI LABORATORIO



Dott. Mario Strinna

Viale Diaz, 48 – 09125 Cagliari – Tel.Fax 070.303083 – Cell. 333.2437873



**Servizi Geotecnici s.a.s.**  
 Via Libeccio, 32 - 09126 Cagliari  
 Tel Fax +39070371705  
 e-mail info@servizigeotecnici.com

www.servizigeotecnici.com

**ANALISI GRANULOMETRICA**

Bollettino Ufficiale CNR UNI - Anno V N.23 del 14 Dicembre 1971

X 1984

Certificato N.  
 Data 07/08/2013

**Committente:** GEOTEST S.r.l. - Cagliari  
**Cantiere:** Lavori di completamento del Campus della Scienza, della Tecnica e dell' Ambiente - Comune di Selargius

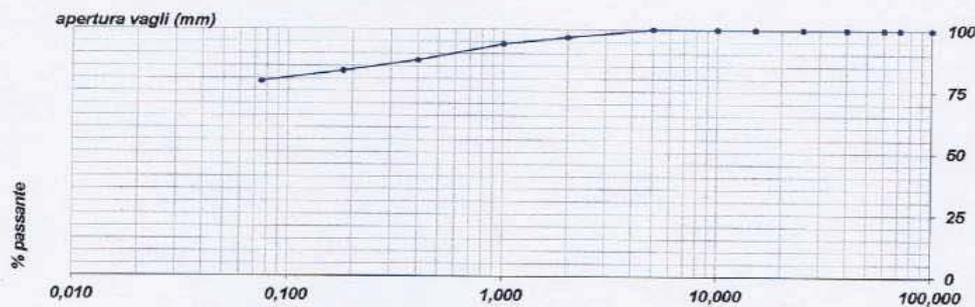
**Data prelievo:** 31/07/2013  
**Sondaggio:** S2  
**Profondità :** -1,0 ÷ -1,5 m da p.c.

Setacci (mm)	Passante (%)
100	100,0
71	100,0
60	100,0
40	100,0
25	100,0
15	100,0
10	100,0
5	100,0
2	96,9
1	94,1
0,4	87,5
0,18	83,2
0,075	78,9

LIMITI DI ATTERBERG	
Boll.Uff.C.N.R. – UNI 10014	
Limite Liquido	42
Limite Plastico	26
Indice Plastico	16
Indice di gruppo	0
CLASSIFICAZIONE	A7-6
Boll.Uff.C.N.R. – UNI 10006/63	

Massa volumica apparente	1,64	g/cmc
--------------------------	------	-------

NOTE :



IL TECNICO  
 Dott. Geol. Giorgio Madrigale

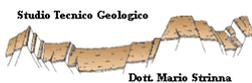


IL COORDINATORE  
 Dott. Geol. Alessandro Melis

M.11/0705 Classificazione/C  
 REV.0 del 01.02.06

Pagina 1 di 1

Laboratorio operante in sistema di Qualità Aziendale certificato secondo la UNI EN ISO 9001:2008 - Cert. SG0022/09



Dott. Mario Strinna

Viale Diaz, 48 – 09125 Cagliari – Tel.Fax 070.303083 – Cell. 333.2437873



**Servizi Geotecnici s.a.s.**  
 09126 Cagliari Via Libeccio 32  
 Tel Fax 070 371705  
 e-mail info@servizigeotecnici.com

www.servizigeotecnici.com

**PROVA DI TAGLIO DIRETTO**

ASTM D3080-90

**Committente:** GEOTEST S.r.l. - Cagliari  
**Cantiere:** Lavori di completamento del Campus della Scienza, della Tecnica e dell' Ambiente - Comune di Selargius

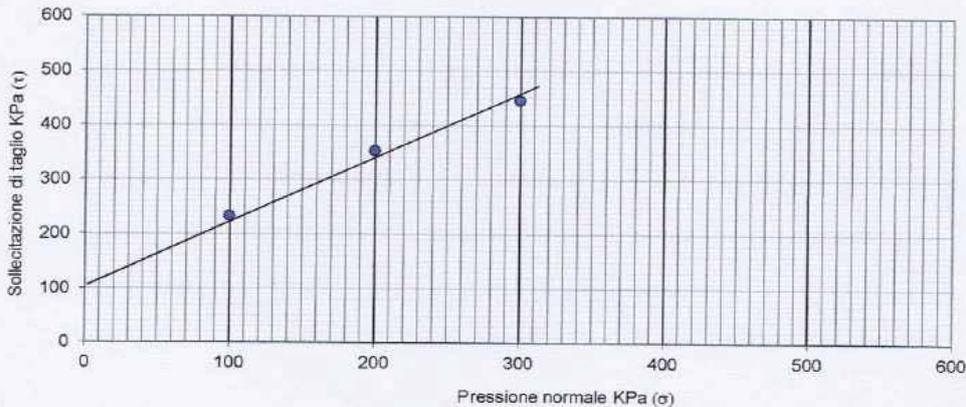
Certificato N. **X1985**  
 Data 07/08/2013

Sondaggio S2  
 Profondità (m dal p.c.): -1,0 ÷ -1,5 m da p.c.  
 Data prelievo: 31.07.2013

CONSOLIDAZIONE		1	2	3
PRESSIONE VERTICALE	$\sigma$ KPa	100	200	300
CEDIMENTO	mm	0,42	0,73	1,37

ROTTURA		1	2	3
SOLLECITAZIONE DI TAGLIO	$\tau$ KPa	232,0	352,0	445,0

Peso di volume (g/cm <sup>3</sup> )	1,64
-------------------------------------	------



Angolo di resistenza al taglio 26°  
 Coesione efficace 105 KPa

Note: Campione rimaneggiato ricostruito in laboratorio

IL TECNICO  
 Dott. Geol. Mario Madrigale



IL COORDINATORE  
 Dott. Geol. Alessandro Melis

Laboratorio operante in sistema di Qualità Aziendale certificato secondo la UNI EN ISO 9001:2008 - Cert.N. SGC022/09



Dott. Mario Strinna

Servizi Geotecnici s.a.s.  
 09126 Cagliari, Via Libeccio 32  
 Tel Fax 070 371705  
 e-mail info@servizigeotecnici.com

www.servizigeotecnici.com

**PROVA EDOMETRICA**  
 (ASTM D2435)

Certificato N. **X1986**

Committente : Geotest S.r.l. - Cagliari

Data : 07/08/2013

Cantiere : Lavori di completamento del Campus della Scienza, della Tecnica e dell' Ambiente - Comune di Selargius

Data prelievo 31.07.13

Campione: Sondaggio S2

Profondità (m) : -6,00/-6,50

Descrizione del campione

Argilla limosa addensata

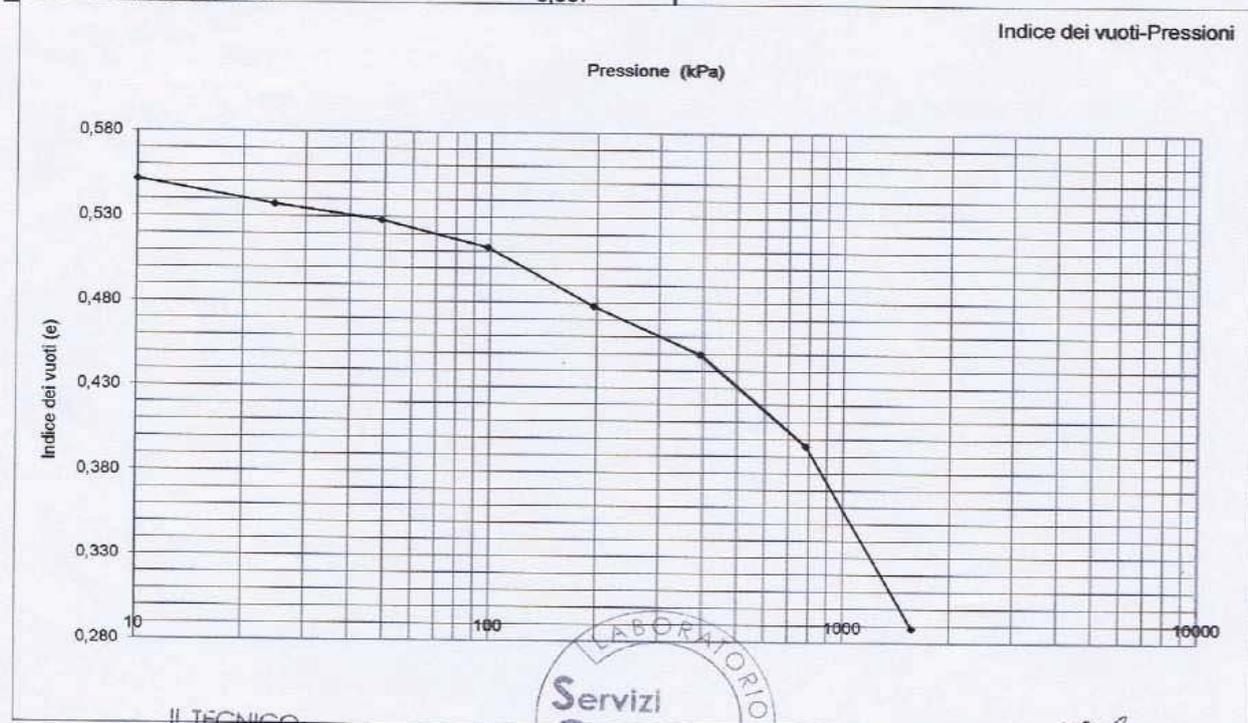
Altezza provino	cm	2,0
Area provino	cm <sup>3</sup>	40,0
Umidità 'iniziale	%	19,45
Peso di Volume naturale	g/cm <sup>3</sup>	1,980
Peso di Volume secco	g/cm <sup>3</sup>	1,680
Peso Specifico dei grani	g/cm <sup>3</sup>	2,497
Indice dei vuoti	e	0,551
Grado di saturazione	%	99,87



Pressione KPa	Cedimento mm	Indice dei vuoti e	Modulo Edometrico KPa	Coefficiente di consolidazione (Cv) cm <sup>2</sup> /sec	Coefficiente di Permeabilità cm/sec
0,00	0,000	0,551			
24,52	0,184	0,537			
49,04	0,310	0,528	4758		
98,07	0,504	0,512	4268	8,10E-04	1,78E-08
196,14	0,952	0,478	10321		
392,28	1,314	0,450	10623		
784,56	2,004	0,396	10179		
1569,12	3,391	0,288			

Indice di compressione ' Cc

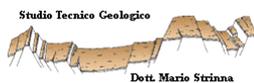
0,357



IL TECNICO  
 Dott. Geol. Giorgio Madrigale



IL COORDINATORE  
 Dott. Geol. Alessandro Melis



Dott. Mario Strinna

Viale Diaz, 48 – 09125 Cagliari – Tel.Fax 070.303083 – Cell. 333.2437873



## PROVA DI CARICO SU PIASTRA

Bollettino Ufficiale CNR UNI - Anno XXVI N.146/1992

Certificato N. **X 1977**

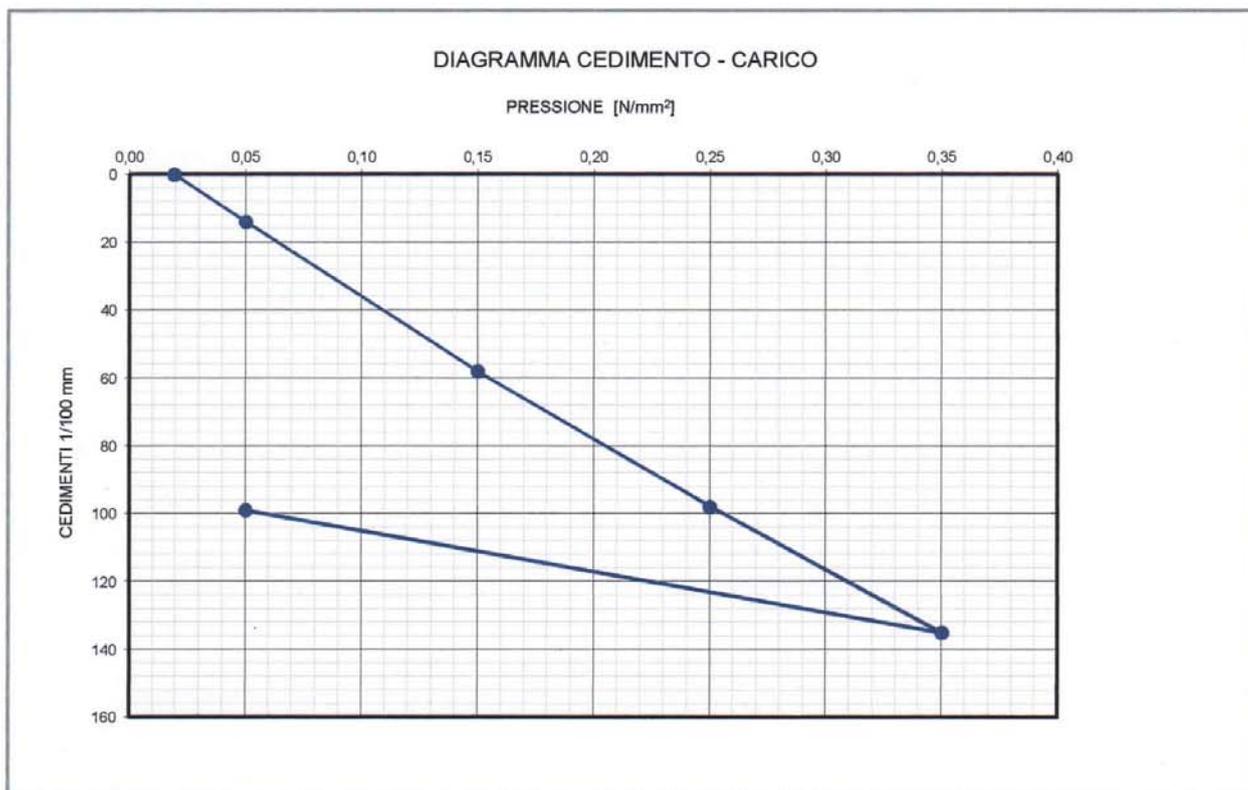
Data: 01/08/2013

Committente: GEOTEST S.r.l. - Cagliari

Cantiere: Lavori di completamento del Campus della Scienza, della Tecnica e dell'Ambiente - Comune di Selargius

Data di esecuzione: 31/07/2013  
 Ubicazione: Prova N. 1  
 Strato: Fondazione stradale esistente

Diametro piastra (mm) 300  
 Area piastra (cm<sup>2</sup>) 707



Note:

### DETERMINAZIONE DEL MODULO DI DEFORMAZIONE (Md)

Md (N/mm<sup>2</sup>) (0.15-0.25 N/mm<sup>2</sup>) = 75,0

Deformazione (mm) (0.15-0.25 N/mm<sup>2</sup>) = 0,40

IL TECNICO  
 Dott. Geol. Giorgio Madrigale



IL COORDINATORE  
 Dott. Geol. Alessandro Melis



## PROVA DI CARICO SU PIASTRA

Bollettino Ufficiale CNR UNI - Anno XXVI N.146/1992

Certificato N. **X 1978**

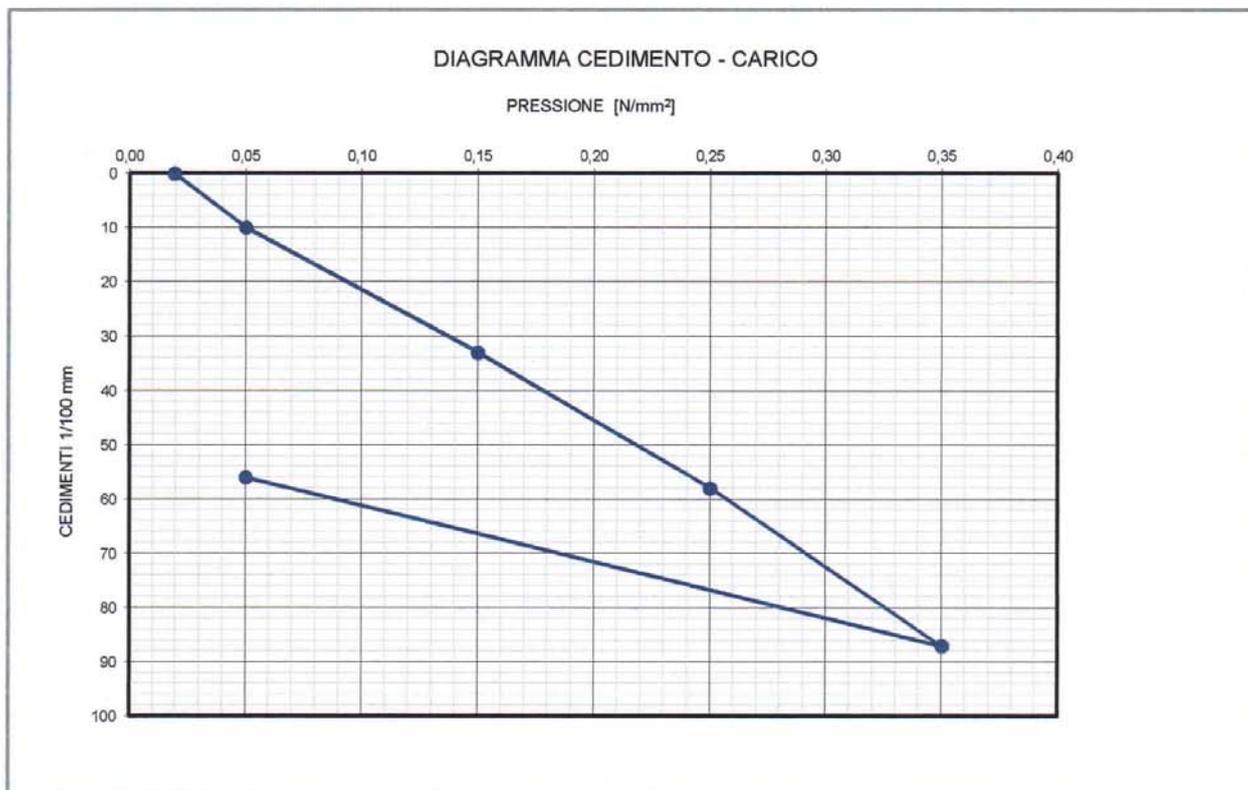
Data: 01/08/2013

Committente: GEOTEST S.r.l. - Cagliari

Cantiere: Lavori di completamento del Campus della Scienza, della Tecnica  
 e dell'Ambiente - Comune di Selargius

Data di esecuzione: 31/07/2013  
 Ubicazione: Prova N. 2  
 Strato: Fondazione stradale esistente

Diametro piastra (mm) 300  
 Area piastra (cm<sup>2</sup>) 707



Note:

### DETERMINAZIONE DEL MODULO DI DEFORMAZIONE (Md)

Md (N/mm<sup>2</sup>) (0.15-0.25 N/mm<sup>2</sup>) = 120,0

Deformazione (mm) (0.15-0.25 N/mm<sup>2</sup>) = 0,25

IL TECNICO  
 Dott. Geol. Giorgio Madrigale



COORDINATORE  
 Dott. Geol. Alessandro Melis



www.servizigeotecnici.com

Servizi Geotecnici s.a.s.  
09126 CAGLIARI, Via Libeccio 32  
Tel. Fax +39070371705  
e-mail info@servizigeotecnici.com

# PROVA DI CARICO SU PIASTRA

Bollettino Ufficiale CNR UNI - Anno XXVI N.146/1992

Certificato N° **X1979**

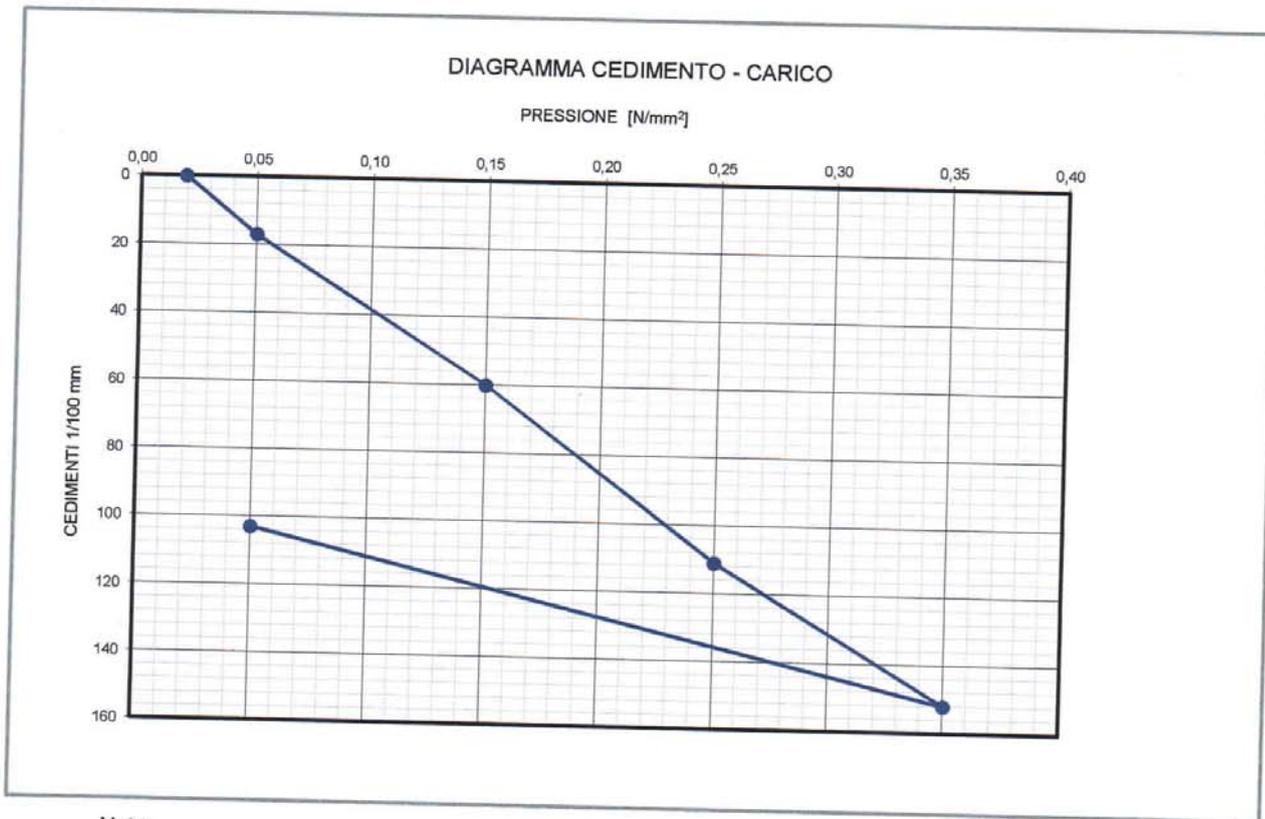
Data: 01/08/2013

Committente: GEOTEST S.r.l. - Cagliari

Cantiere: Lavori di completamento del Campus della Scienza, della Tecnica e dell'Ambiente - Comune di Selargius

Data di esecuzione: 31/07/2013  
Ubicazione: Prova N. 3  
Strato: Fondazione stradale esistente

Diametro piastra (mm) 300  
Area piastra (cm<sup>2</sup>) 707



Note:

## DETERMINAZIONE DEL MODULO DI DEFORMAZIONE (Md)

Md (N/mm <sup>2</sup> )	(0.15-0.25 N/mm <sup>2</sup> ) =	58,8
Deformazione (mm)	(0.15-0.25 N/mm <sup>2</sup> ) =	0,51

IL TECNICO  
Dott. Geol. Giorgio Madrigale



IL COORDINATORE  
Dott. Geol. Alessandro Melis

M.06/0705 Prova su piastra/C  
REV.0 del 01.02.06

Laboratorio operante in sistema di Qualità Aziendale certificato secondo la UNI EN ISO 9001:2008 - Cert. SGC022/09



## PROVA DI CARICO SU PIASTRA

Bollettino Ufficiale CNR UNI - Anno XXVI N.146/1992

Certificato N. **X1980**

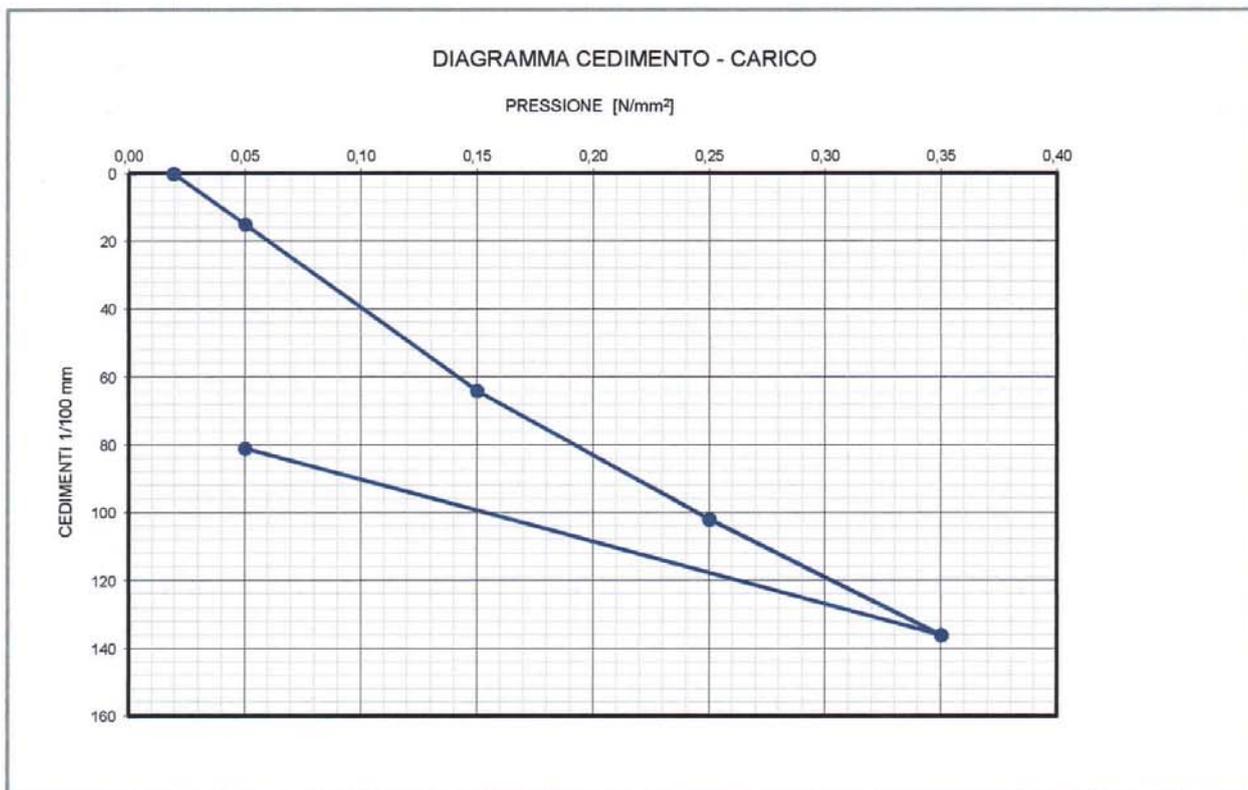
Data: 01/08/2013

Committente: GEOTEST S.r.l. - Cagliari

Cantiere: Lavori di completamento del Campus della Scienza, della Tecnica  
 e dell'Ambiente - Comune di Selargius

Data di esecuzione: 31/07/2013  
 Ubicazione: Prova N. 4  
 Strato: Fondazione stradale esistente

Diametro piastra (mm) 300  
 Area piastra (cm<sup>2</sup>) 707



Note:

### DETERMINAZIONE DEL MODULO DI DEFORMAZIONE (Md)

Md (N/mm<sup>2</sup>) (0.15-0.25 N/mm<sup>2</sup>) = 78,9

Deformazione (mm) (0.15-0.25 N/mm<sup>2</sup>) = 0,38

*IL TECNICO*  
 Dott. Geol. Giorgio Madrigale



*IL COORDINATORE*  
 Dott. Geol. Alessandro Melis



Servizi Geotecnici s.a.s.

09126 CAGLIARI, Via Libeccio 32

Tel. Fax +39070371705

e-mail info@servizigeotecnici.com

www.servizigeotecnici.com

# PROVA DI CARICO SU PIASTRA

Bollettino Ufficiale CNR UNI - Anno XXVI N.146/1992

Certificato N. **X1981**

Data: 01/08/2013

Committente: GEOTEST S.r.l. - Cagliari

Cantiere: Lavori di completamento del Campus della Scienza, della Tecnica e dell'Ambiente - Comune di Selargius

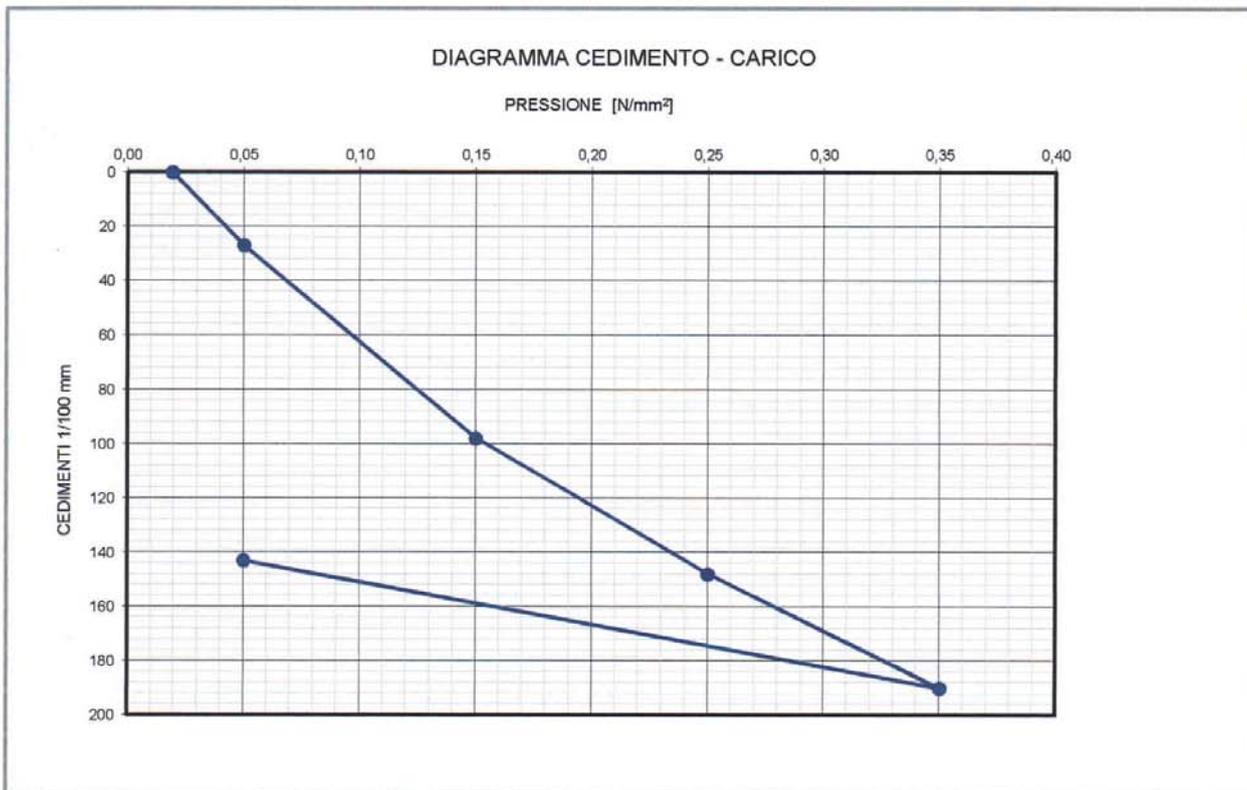
Data di esecuzione: 31/07/2013

Ubicazione: Prova N. 5

Strato: Fondazione stradale esistente

Diametro piastra (mm) 300

Area piastra (cm<sup>2</sup>) 707



Note:

## DETERMINAZIONE DEL MODULO DI DEFORMAZIONE (Md)

Md (N/mm<sup>2</sup>) (0.15-0.25 N/mm<sup>2</sup>) = 60,0

Deformazione (mm) (0.15-0.25 N/mm<sup>2</sup>) = 0,50

IL TECNICO  
Dott. Geol. Giorgio Madrigale



IL COORDINATORE  
Dott. Geol. Alessandro Mellis



Servizi Geotecnici s.a.s.

09126 CAGLIARI, Via Libeccio 32

Tel. Fax +39070371705

e-mail info@servizigeotecnici.com

www.servizigeotecnici.com

## PROVA DI CARICO SU PIASTRA

Bollettino Ufficiale CNR UNI - Anno XXVI N.146/1992

Certificato N. **X1982**

Data: 01/08/2013

Committente: GEOTEST S.r.l. - Cagliari

Cantiere: Lavori di completamento del Campus della Scienza, della Tecnica e dell'Ambiente - Comune di Selargius

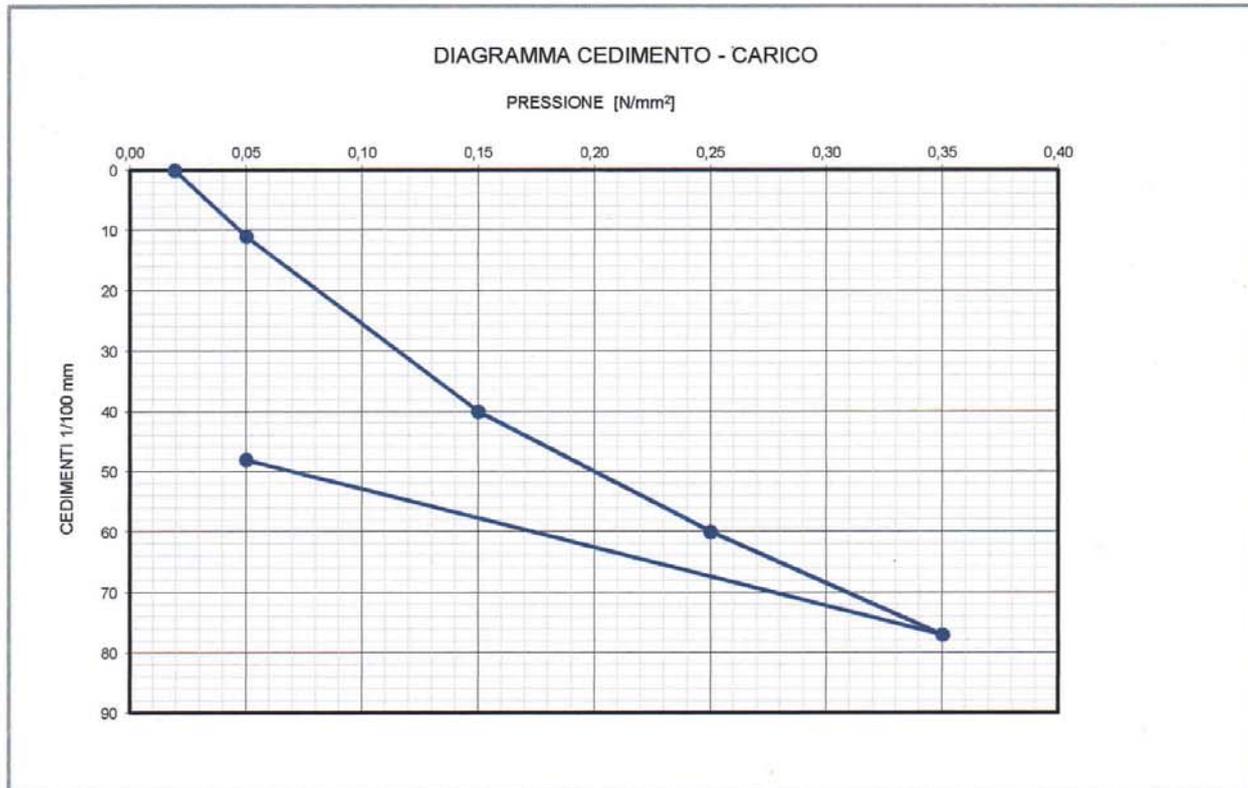
Data di esecuzione: 31/07/2013

Ubicazione: Prova N. 6

Strato: Fondazione stradale esistente

Diametro piastra (mm) 300

Area piastra (cm<sup>2</sup>) 707



Note:

### DETERMINAZIONE DEL MODULO DI DEFORMAZIONE (Md)

Md (N/mm<sup>2</sup>) (0.15-0.25 N/mm<sup>2</sup>) = 150,0

Deformazione (mm) (0.15-0.25 N/mm<sup>2</sup>) = 0,20

IL TECNICO  
Dott. Geol. Giorgio Madrigale



IL COORDINATORE  
Dott. Geol. Alessandro Melis



## PROVA DI CARICO SU PIASTRA

Bollettino Ufficiale CNR UNI - Anno XXVI N.146/1992

Certificato N. **X1982**

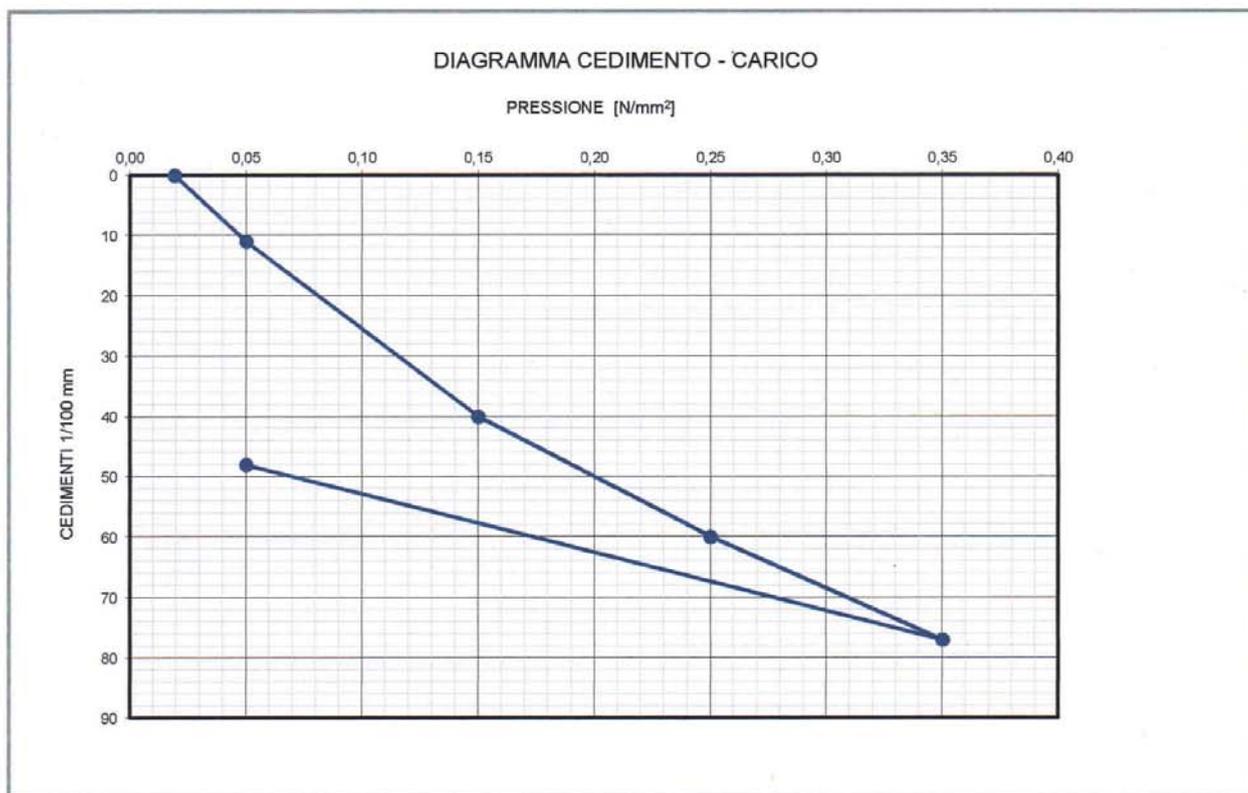
Data: 01/08/2013

Committente: GEOTEST S.r.l. - Cagliari

Cantiere: Lavori di completamento del Campus della Scienza, della Tecnica  
 e dell'Ambiente - Comune di Selargius

Data di esecuzione: 31/07/2013  
 Ubicazione: Prova N. 6  
 Strato: Fondazione stradale esistente

Diametro piastra (mm) 300  
 Area piastra (cm<sup>2</sup>) 707



Note:

### DETERMINAZIONE DEL MODULO DI DEFORMAZIONE (Md)

Md (N/mm<sup>2</sup>) (0.15-0.25 N/mm<sup>2</sup>) = 150,0

Deformazione (mm) (0.15-0.25 N/mm<sup>2</sup>) = 0,20

*IL TECNICO*  
 Dott. Geol. Giorgio Madrigale



*IL COORDINATORE*  
 Dott. Geol. Alessandro Melis



## PROVA DI CARICO SU PIASTRA

Bollettino Ufficiale CNR UNI - Anno XXVI N:146/1992

Certificato N. **X1983**

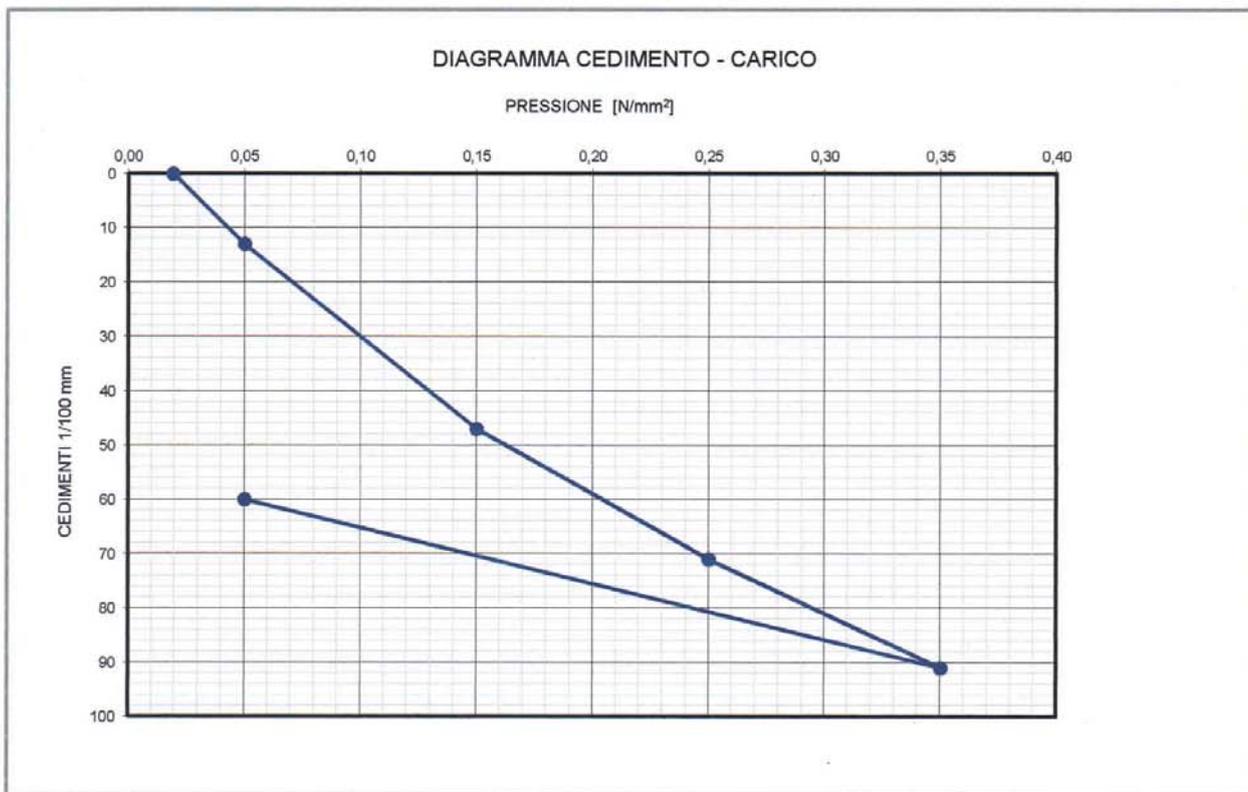
Data: 01/08/2013

Committente: GEOTEST S.r.l. - Cagliari

Cantiere: Lavori di completamento del Campus della Scienza, della Tecnica e dell'Ambiente - Comune di Selargius

Data di esecuzione: 31/07/2013  
 Ubicazione: Prova N. 7  
 Strato: Fondazione stradale esistente

Diametro piastra (mm) 300  
 Area piastra (cm<sup>2</sup>) 707



Note:

### DETERMINAZIONE DEL MODULO DI DEFORMAZIONE (Md)

Md (N/mm<sup>2</sup>) (0.15-0.25 N/mm<sup>2</sup>) = 125,0  
 Deformazione (mm) (0.15-0.25 N/mm<sup>2</sup>) = 0,24

IL TECNICO  
 Dott. Geol. Giorgio Madrigale



IL COORDINATORE  
 Dott. Geol. Alessandro Melis