

**DR. ANTONELLO ANGIUS**

**Geologo**

Via Italia, 143

09134 Cagliari

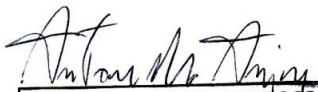
Tel/Fax 070403274

e.mail: angiusgeo@tiscali.it

**STUDIO DI GEOLOGIA TECNICA E AMBIENTALE**

**Comune di Carloforte**  
**Provincia di Carbonia-Iglesias**

**PROGETTO DEFINITIVO**

|                                                                                                                                                                                                                |                                                                                      |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Tavola: <b>Relazione geologica e sismica</b>                                                                                                                                                                   | Oggetto:<br><b>Realizzazione di punti di osservazione privilegiati sul paesaggio</b> |
| Scala:                                                                                                                                                                                                         |                                                                                      |
| Data:                                                                                                                                                                                                          |                                                                                      |
| Il Progettista: Ing. Marcello Angius                                                                                                                                                                           |  |
| Il Geologo: Dr. Antonello Angius<br><br> |                                                                                      |
| I Collaboratori: Dr. Marcello Piras                                                                                                                                                                            |                                                                                      |

**Committente: Comune di Carloforte**

## INDICE

|     |                                                                               |         |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------|---------|
| 1.0 | PREMESSA                                                                      | pag. 1  |
| 2.0 | INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E TOPOGRAFICO DEL SITO                               | pag. 3  |
| 3.0 | CONTESTO GEOLOGICO GENERALE                                                   | pag. 7  |
| 4.0 | CONTESTO GEOLOGICO DI DETTAGLIO                                               | pag. 8  |
| 5.0 | INDAGINI GEOGNOSTICHE                                                         | pag. 8  |
| 6.0 | MODELLO GEOLOGICO E PARAMETRIZZAZIONE GEOTECNICA<br>DEL SITO "PONTE STRADALE" | pag. 8  |
| 7.0 | IDROGRAFIA ED IDROGEOLOGIA                                                    | pag. 10 |
| 8.0 | MODELLAZIONE SISMICA                                                          | pag. 10 |
| 9.0 | CONCLUSIONI                                                                   | pag. 20 |

### ALLEGATI:

- PLANIMETRIA UBICAZIONE INDAGINI
- COLONNE STRATIGRAFICHE
- RASSEGNA FOTOGRAFICA SONDAGGI GEOGNOSTICI

## 1.0 Premessa

L'Amministrazione Comunale di Carloforte ha affidato al Dr. Geol. Antonello Angius la stesura della presente relazione geologica relativa al progetto definitivo: *Punti di osservazione privilegiata sul paesaggio*.

Le opere in progetto con maggiore rilevanza per quanto riguarda l'aspetto geologico e geotecnico ricadono nell'area delle Saline (FIGURA 1) ed in quella di Capo Sandalo.



**FIGURA 1** – Area delle Saline (Google Earth)

Entrambe le aree ricadono all'interno del SIC "Isola di San Pietro ITB040027", Capo Sandalo ricade inoltre interamente nella Zona di Protezione Speciale (Z.P.S.) ITB043035.

L'opera principale consiste nel rifacimento del ponte sul canale delle Saline, saranno inoltre realizzati, nella stessa zona, dei percorsi in terra stabilizzata e due capanni in legno per l'osservazione dell'avifauna.

A Capo Sandalo è prevista la sistemazione di alcuni camminamenti e l'installazione di opere d'arredo urbano.

La relazione definisce il modello geologico come previsto nel paragrafo 6.2.1 delle NTC 2008 e la modellazione sismica, concernente la "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione (par. 3.2). Vengono inoltre descritte le indagini geognostiche eseguite per l'opera principale del progetto, il nuovo ponte stradale sul canale delle Saline.

Lo studio geologico sarà esteso ad una zona significativamente ampia, in relazione al tipo di opera ed al contesto geologico in esame.

Saranno in pratica trattati tutti gli aspetti inerenti la pericolosità geologica e sismica tenendo conto che il concetto base della norma è la tutela della pubblica e privata incolumità.

Al fine di definire gli aspetti precedentemente descritti si è proceduto a:

- svolgere l'analisi delle condizioni geologiche e geomorfologiche del sito attraverso lo studio delle carte tematiche bibliografiche;
- rilevamento geologico e geomorfologico dell'area di "influenza" finalizzata alla ricostruzione della stratigrafia e dei possibili processi agenti;
- pianificare le indagini geognostiche per l'opera principale;
- elaborare i risultati delle indagini geognostiche.

Normativa di riferimento:

**D.M. 11.03.1988:** Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.

**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.

**Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici:** Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale. Allegato al voto n. 36 del 27.07.2007

**Eurocodice 8 (1998):** Indicazioni progettuali per la resistenza fisica delle strutture. Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici (stesura finale 2003)

**Eurocodice 7.1 (1997):** Progettazione geotecnica – Parte I : Regole Generali . - UNI

**Eurocodice 7.2 (2002):** Progettazione geotecnica – Parte II : Progettazione assistita da prove di laboratorio (2002). UNI

**Eurocodice 7.3 (2002):** Progettazione geotecnica – Parte II : Progettazione assistita con prove in sito(2002). UNI

**O.P.C.M. n. 3274** del 20/03/2003, n. 3519 del 28/04/2006

**D.M. 16 gennaio 1996 LL.PP.**

**Decreto Ministeriale 14.01.2008: Testo Unitario** - Norme Tecniche per le Costruzioni

**Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici:** Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008.

**Circolare CSLP n.617** del 2 febbraio 2009.

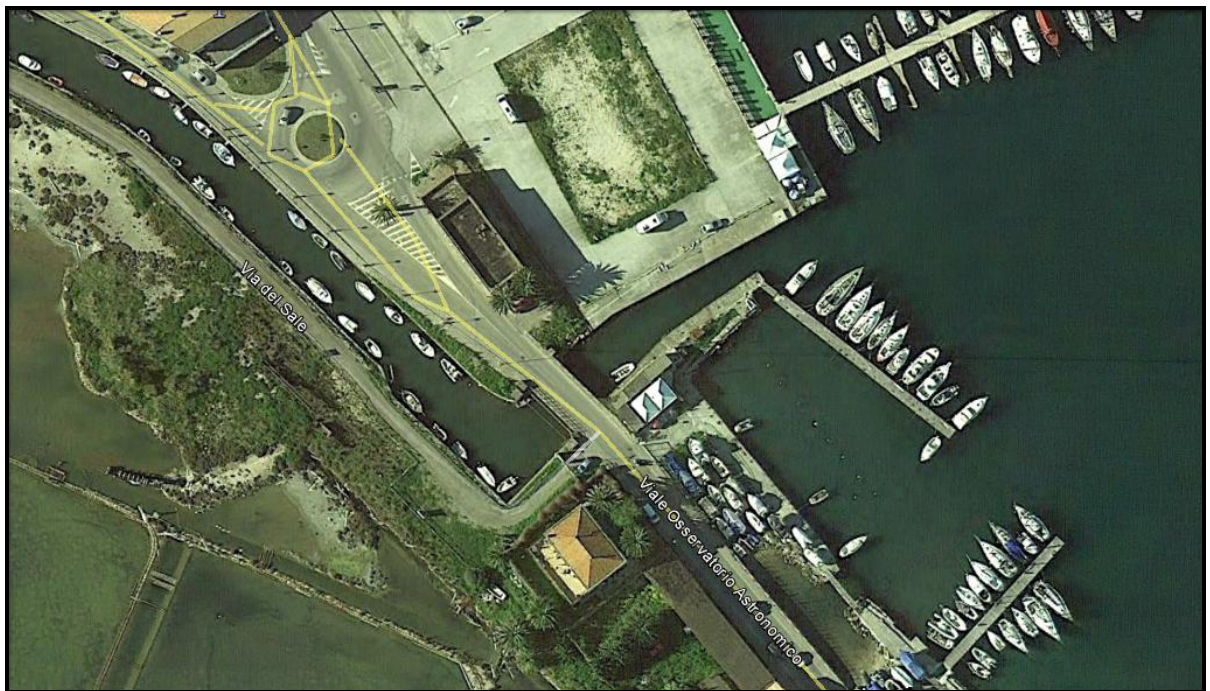
## 2.0 Inquadramento geografico e topografico del sito

Il sito che ospiterà l'opera principale (nuovo ponte stradale) è ubicato alla periferia SUD-EST del centro abitato lungo il Viale dell'Astronomia, in corrispondenza dello sbocco a mare del canale delle Saline (**FIGURA 2**).

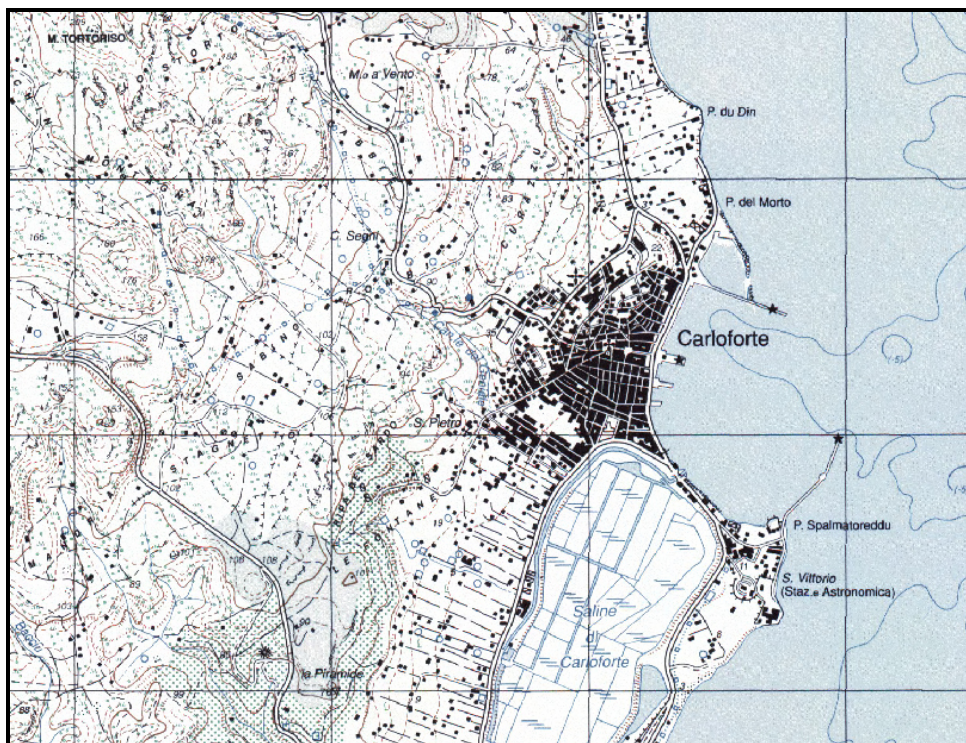
I riferimenti cartografici sono rappresentati da:

- Foglio n.563 sez. I dell'IGM (scala 1: 25.000); (**FIGURA 3**)
- Sez. "563080" della Nuova Carta Tecnica Regionale (scala 1: 10.000).  
Lat. 39°8'27"N                      Long. 8°18'31"E





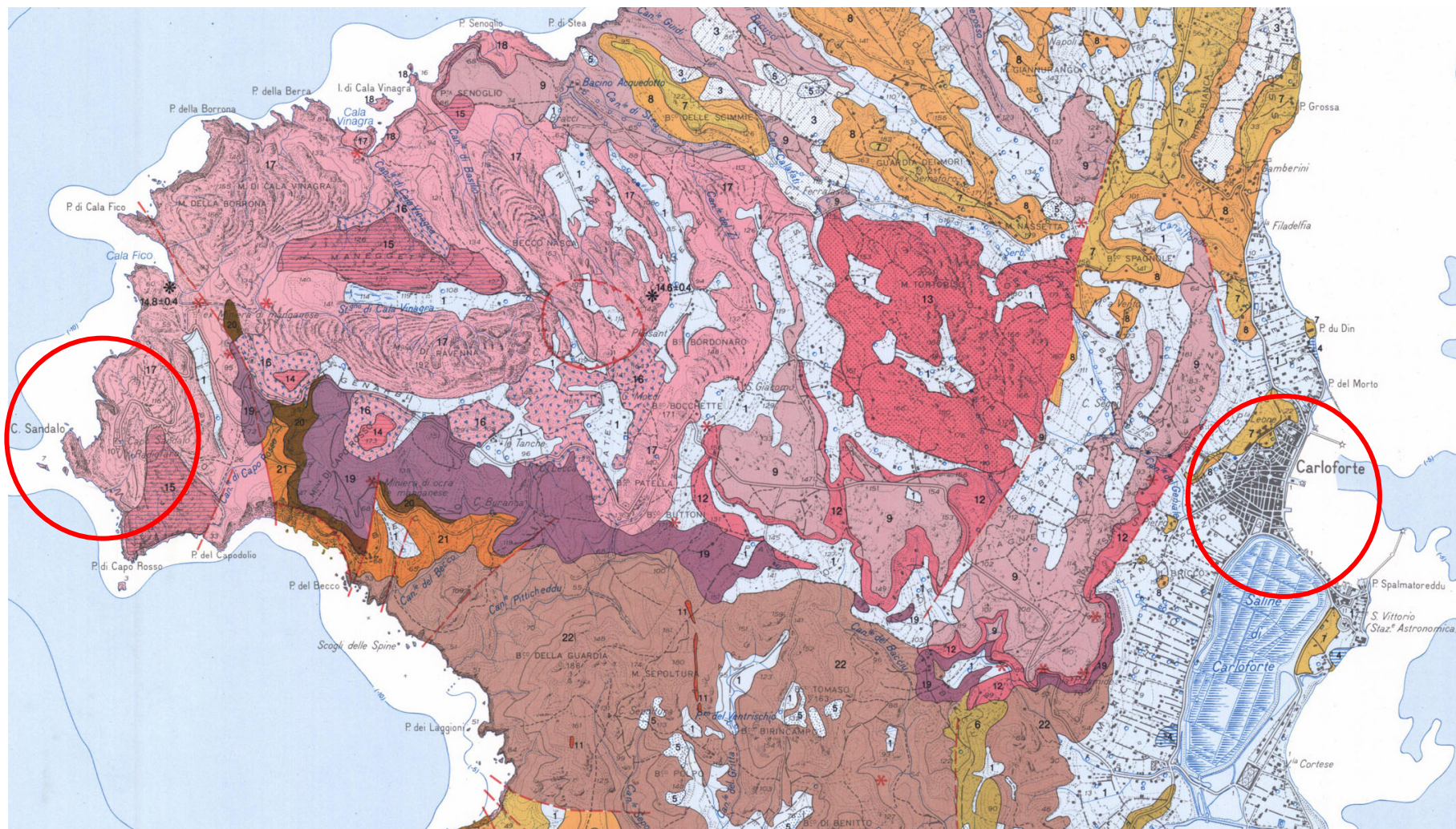
**FIGURA 2** - Inquadramento di dettaglio



**FIGURA 3** – Inquadramento I.G.M. 1:25.000



**FIGURA 4 -** Contesto geologico generale (ubicazione aree d'intervento)





## L E G E N D A L E G E N D

### FORMAZIONI SEDIMENTARIE QUATERNARIE QUATERNARY SEDIMENTS

- |                                                                                   |          |           |                                                                                                              |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <b>1</b> | <b>a</b>  | ALLUVIONI e TERRENO COLTIVATO.<br><i>ALLUVIUM and SOILS.</i>                                                 |
|  | <b>2</b> | <b>t</b>  | TRAVERTINO e SABBIE ± cementate.<br><i>TRAVERTINE and SANDS ± welded.</i>                                    |
|  | <b>3</b> | <b>s</b>  | SABBIE e ARENARIE carbonatiche (PSEUDOPANCHINA).<br><i>Carbonaceous SANDS and ARENITES (PSEUDOPANCHINA).</i> |
|  | <b>4</b> | <b>p</b>  | PANCHINA TIRRENIANA a Strombus e Conus.<br><i>PANCHINA TIRRENIANA with Strombus and Conus.</i>               |
|  | <b>5</b> | <b>aa</b> | ALLUVIONI ciottolose antiche.<br><i>Ancient pebbly ALLUVIUM.</i>                                             |

### FORMAZIONI VULCANICHE MIOCENICHE MIOCENE VOLCANICS

- |                                                                                     |           |                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | <b>6</b>  | <b>p<sub>1</sub></b>  | IGNIMBRITI RIOLITICHE, a struttura vitroclastica, a pl (An <sub>35</sub> ), kf (Or <sub>70-80</sub> ), ± bt.<br><i>RHYOLITIC IGNIMBRITES, vitroclastic in fabric, with pl (An<sub>35</sub>), kf (Or<sub>70-80</sub>), ± bt.</i>                                                                                                                   |
|  | <b>7</b>  | <b>p<sub>6</sub></b>  | IGNIMBRITI RIOLITICHE, a struttura eutaxitica, a pl (An <sub>20</sub> ), kf (Or <sub>65-70</sub> ), ± cpx, vetrose alla base.<br><i>RHYOLITIC IGNIMBRITES, eutaxitic in fabric, with pl (An<sub>20</sub>), kf (Or<sub>65-70</sub>), ± cpx, generally vitreous at the bottom.</i>                                                                  |
|  | <b>8</b>  | <b>p<sub>5</sub></b>  | IGNIMBRITI RIOLITICHE massive o finemente stratificate, sciolte alla base, a kf (Or <sub>50-60</sub> ), pl (An <sub>20</sub> ) bordato da kf, qz, ± bt.<br><i>Massive to thinly bedded RHYOLITIC IGNIMBRITES, poorly consolidated at the bottom, with kf (Or<sub>50-60</sub>), pl (An<sub>20</sub>) bordered by kf, qz, ± bt.</i>                 |
|  | <b>9</b>  | <b>τσ</b>             | IGNIMBRITI QUARZOTRACHITICHE, con fiamme nerastre schiacciate e piroclasti poligenici, a struttura eutaxitica, a kf (Or <sub>50-60</sub> ), qz, ± bt.<br><i>QUARTZTRACHYTIC IGNIMBRITES with dark flattened fiamme and polygenic pyroclasts, eutaxitic in fabric, with kf (Or<sub>50-60</sub>), qz, ± bt.</i>                                     |
|  | <b>10</b> | <b>p<sub>4</sub></b>  | IGNIMBRITI a chimismo da RIOLITICO a QUARZOLATITICO, a struttura eutaxitica, a pl (An <sub>20-25</sub> ), kf (Or <sub>20-30</sub> ), qz, ± bt, ± cpx.<br><i>RHYOLITIC-QUARTZLATITIC IGNIMBRITES, eutaxitic in fabric, with pl (An<sub>20-25</sub>), kf (Or<sub>20-30</sub>), qz, ± bt, ± cpx.</i>                                                 |
|  | <b>11</b> | <b>pX<sub>1</sub></b> | COMENDITE di B. <sup>co</sup> Bubò, a struttura porfirica, a qz, kf (Or <sub>50</sub> ), ± aeg; COMENDITE filoniana a kf (Or <sub>40-50</sub> ), qz, ± arf.<br><i>Porphyritic COMENDITE of B.<sup>co</sup> Bubò with qz, kf (Or<sub>50</sub>), ± aeg; COMENDITIC dykes with kf (Or<sub>40-50</sub>), qz, ± arf.</i>                               |
|  | <b>12</b> | <b>pX<sub>6</sub></b> | COMENDITE in colata, con strutture di flusso, ± autobrecciata, a kf (Or <sub>40-60</sub> ), qz, e rari femici alcalini, poggianti sopra un letto piroclastico.<br><i>COMENDITIC lava flows with fluidal structures, ± autobrecciated, with kf (Or<sub>40-60</sub>), qz, and rare dark alkaline minerals, overlying pyroclastic fall deposits.</i> |

- |                                                                                       |           |                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | <b>13</b> | <b>pX<sub>5</sub></b> | COMENDITE del M. <sup>10</sup> Tortoriso, ± autobrecciata, a kf (Or <sub>40-50</sub> ), qz, aeg ± acm, ± arf.<br><i>COMENDITE of M.<sup>10</sup> Tortoriso, ± autobrecciated, with kf (Or<sub>40-50</sub>), qz, aeg ± acm, ± arf.</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|    | <b>14</b> | <b>pX<sub>4</sub></b> | COMENDITE in colata, suborizzontale, verdognola a kf (Or <sub>40-55</sub> ), qz, aeg ± acm.<br><i>Horizontal lava flow of greenish COMENDITE with kf (Or<sub>40-55</sub>), qz, aeg ± acm.</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|    | <b>15</b> | <b>pX<sub>3</sub></b> | IGNIMBRITE COMENDITICA, a fessurazione colonnare prismatica, vetrosa alla base, a kf (Or <sub>40-50</sub> ), qz, ± aeg e/o acm.<br><i>COMENDITIC IGNIMBRITE, with prismatic columnar cracks, generally vitreous at the bottom, with kf (Or<sub>40-50</sub>), qz, ± aeg and/or acm.</i>                                                                                                                                                                                                                                      |
|    | <b>16</b> | <b>pX<sub>2</sub></b> | IGNIMBRITI COMENDITICHE, da massive a finemente stratificate, e CO-IGNIMBRITI con blocchi e lapilli riolitici ± cementati.<br><i>Massive to thinly bedded COMENDITIC IGNIMBRITES and CO-IGNIMBRITES with rhyolitic blocks and lapilli ± consolidated.</i>                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|    | <b>17</b> | <b>pX<sub>1</sub></b> | COMENDITE in potenti colate, con marcate linee di flusso, separazione colonnare e/o con fessure di ritenzione a sezione parabolica, a struttura porfirica con fenocristalli di kf (Or <sub>40-60</sub> ), arf, ± qz, ± aeg e acm. (14.6 - 14.8 ± 0.4 My).<br><i>Porphyritic COMENDITES in thick flows, with clear fluidal texture, columnar cracks and/or parabolic jointing, with kf (Or<sub>40-60</sub>), arf, ± qz, ± aeg and acm. (14.6 - 14.8 ± 0.4 My).</i>                                                           |
|    | <b>18</b> | <b>pX</b>             | COMENDITE di P. <sup>10</sup> Senogio, porosa, a struttura porfirica con fenocristalli di kf (Or <sub>40-50</sub> ), qz, arf, ± aeg.<br><i>Porous COMENDITE of P.<sup>10</sup> Senogio, porphyritic in fabric, with kf (Or<sub>40-50</sub>), qz, arf, ± aeg, phenocrysts.</i>                                                                                                                                                                                                                                               |
|   | <b>19</b> | <b>p<sub>3</sub></b>  | IGNIMBRITI RIOLITICHE, a struttura eutaxitica, a pl (An <sub>25-35</sub> ), bt nera e/o bronzea, in bancate poggianti su piroclastiti pomiceo-cineritiche.<br><i>RHYOLITIC IGNIMBRITES, eutaxitic in fabric, with pl (An<sub>25-35</sub>), black and/or bronze bt, in thick layers with ash-rich pumice beds on the bottom.</i>                                                                                                                                                                                             |
|  | <b>20</b> | <b>p<sub>2</sub></b>  | IGNIMBRITI RIOLITICHE, suborizzontali o debolmente inclinate, a struttura vitroclastica, a pl (An <sub>35</sub> ), bt nera, ± opx e cpx, con alla base cineriti ricche in bt, poggianti sopra una sequenza di ocre e diaspri mineralizzata a Mn.<br><i>RHYOLITIC IGNIMBRITES in thick horizontal layers or with weak dip, vitroclastic in fabric, with pl (An<sub>35</sub>), black bt, ± opx and cpx, with ash sheets rich in bt at the bottom, overlying succession of jaspers alternating with ochers Mn mineralized.</i> |
|  | <b>21</b> | <b>p<sub>1</sub></b>  | Sequenza di colate sottili RIOLITICHE a pl (An <sub>30</sub> ), kf (Or <sub>20</sub> ) criptopertitico, ± bt, e piroclastiti della M. <sup>97a</sup> di Capo Rosso.<br><i>Succession of RHYOLITIC thin lava flows, with pl (An<sub>30</sub>), cryptopertititic kf (Or<sub>20</sub>), ± bt, alternating with lapilli-tuff beds of M.<sup>97a</sup> di Capo Rosso.</i>                                                                                                                                                        |
|  | <b>22</b> | <b>p</b>              | RIOLITI e QUARZOLATITI, a struttura fluidale, con fenocristalli di kf (Or <sub>20-50</sub> ), pl (An <sub>20-30</sub> ) con orlo di kf, ± bt, ± opx e cpx, in potenti bancate, dislocate, da subverticali a molto inclinate.<br><i>Very thick RHYOLITIC and QUARTZLATITIC lava flows, dislocated from ± vertical to very dip, with fluidal structures and with kf (Or<sub>20-50</sub>), pl (An<sub>20-30</sub>) bordered by kf, ± bt, ± opx and cpx phenocrysts.</i>                                                        |

### 3.0 Inquadramento geologico generale

L'Isola di San Pietro, è una delle due isole principali dell'arcipelago del Sulcis nella parte sud-occidentale della Sardegna.

L'attuale configurazione dell'isola riflette gli eventi che l'attività vulcanica Oligo-Miocenica e Quaternaria. Durante l'Oligocene la Sardegna rimase in condizioni di continentalità e vide le prime manifestazioni vulcaniche ad affinità calcoalcalina che si prolungarono fino al Miocene medio. L'apertura delle bocche eruttive è legata alla tettonica distensiva coeva alla rotazione della microplacca Sardo-Corsa nel Mediterraneo.

Possono essere distinti due cicli vulcanici principali, quello Oligo-miocenico e successivamente quello Plio-pleistocenico.

In un primo tempo vengono messe in posto le Formazioni ignimbriche e laviche alternate a piroclastiti che costituiscono l'ossatura dell'isola. Successivamente si ha la messa in posto delle comenditi e delle trachiti.

Le formazioni vulcaniche Mioceniche con varietà prevalentemente effusive e a chimismo acido, costituiscono il basamento lapideo che caratterizza l'intera isola. Il settore N-NW è dominato, infatti, dall'affiorare dei prodotti legati alla modalità di messa in posto di nube ardente, che trova la sua massima espressione nelle ignimbriti riolitiche, a struttura eutattica e vetrosa alla base, e in quelle massive o finemente stratificate, tutte con tessitura pseudofluidale. Solo più a W, e spingendoci verso l'entroterra, dominano facies più schiettamente legate a modalità di messa in posto mista, in cui episodi piroclastici si alternano a fasi di colata lavica della quale è possibile anche individuarne la direzione di flusso: i termini petrografici dominanti sono riconducibili a comenditi, rioliti e quarzolatiti.

La morfologia rispecchia la diversa erodibilità delle formazioni vulcaniche e la presenza di specchi di faglia orientati in prevalenza secondo direttrici N-S, questi elementi hanno originato un paesaggio a terrazzi degradante verso mare.

L'erosione differenziale e la diversa erodibilità dei litotipi ha quindi dato luogo a paesaggi completamente differenti: morfologia a creste sul substrato comenditico, morfologia tabulare sulle lave riolitiche e quarzotrachitiche.

Tra gli agenti morfogenetici ricopre particolare importanza il vento, che ha contribuito al cesellamento del rilievo formando tafoni, alveolature, grotte marine, ed in subordine campi dunari, ben evidenti nelle zone costiere meridionali.

Il versante settentrionale differisce da quello meridionale perché è più ripido e costituito da rocce ad evidente fessurazione verticale mentre la costa orientale è bassa e sabbiosa, situata al riparo dei venti dominanti (maestrale), per cui prevale l'azione di deposito.

Nelle valli, tra i rilievi vulcanici, scorrono all'interno di piccoli bacini idrografici brevi rii, con carattere stagionale.

#### **4.0 Contesto geologico di dettaglio**

L'area interessata dalla demolizione e ricostruzione del ponte stradale è adiacente sul lato sud al centro abitato di Carloforte. L'opera consente di superare il canale d'accesso alle saline, navigabile da piccole imbarcazioni ed utilizzato come approdo.

La genesi della Salina di Carloforte è riferibile all'evoluzione quaternaria del profilo costiero dell'isola. Gli stagni e le lagune di San Pietro costituiscono infatti la forma residuale di antiche insenature marine originate dai processi di ingressione e regressione marina legati alle fasi eustatiche Quaternarie.

Il settore è caratterizzato da sedimenti marini di età Quaternaria sovrastanti il substrato vulcanico. Gli spessori di tali depositi sono quasi nulli o di pochi metri nella parte più prossima ai rilievi e di alcune decine di metri in prossimità della linea di costa. Localmente tra i sedimenti marini ed il substrato lapideo sono presenti alluvioni antiche ciottolose.

L'alternanza di paleo ambienti francamente marini, di linea di costa e palustri, spiegano l'alternanza di sedimenti sabbiosi ossidati e limosi ed argillosi grigi, tipici di ambiente riducente. I livelli arenacei cementati sono testimonianza di una facies di linea di costa databile Tirreniano.

La vocazione sedimentaria dell'area, riparata dai venti occidentali e ulteriormente protetta dall'insenatura morfologica, è giustificata dalla modesta energia del moto ondoso.

Nelle Saline di Carloforte il bacino idrico è separato dal mare da un setto sabbioso attualmente in gran parte occupato da strutture insediative.

L'area di Capo Sandalo è caratterizzata potenti colate di comenditi con evidenti linee di flusso e tipica fessurazione colonnare. Il substrato lapideo è praticamente affiorante.

#### **5.0 Indagini geognostiche**

Al fine di ricostruire il modello geologico di dettaglio e parametrizzare geotecnicamente i terreni di sedime del ponte stradale si è optato per eseguire due sondaggi a rotazione con carotaggio continuo, i fori sono stati ubicati in corrispondenza delle spalle. Uno dei due sondaggi ha raggiunto il substrato lapideo.

Data la natura attritiva e la prevedibile impossibilità di prelevare campioni rappresentativi per le prove di laboratorio, la parametrizzazione geotecnica è stata basata sull'esecuzione di prove penetrometriche di tipo SPT.

#### **6.0 Modello geologico e parametrizzazione geotecnica del sito "ponte stradale"**

L'esecuzione dei sondaggi geognostici ha confermato la presenza di sedimenti prevalentemente attritivi, da poco a moderatamente addensati, che poggiano a circa 23 metri dal p.c. sul substrato lapideo (ignimbrite).



La successione stratigrafica può essere schematizzata ed accorpata, dal punto di vista geotecnico ed a partire dall'alto verso il basso, secondo la seguente suddivisione.

La scelta dei *valori caratteristici* dei parametri geotecnici sarà basata sui risultati delle prove in sito, sui numerosi dati di letteratura, sulle capacità della struttura di ridistribuire i carichi e sul grado di cautela utilizzato per la scelta iniziale del parametro geotecnico base:

**LIVELLO 1)** mt 0.00 - 1.60 (max 1.90): **terreno di riporto e sabbia rimaneggiata** (sabbia, ghiaia, blocchi eterometrici), da marrone a beige, incoerente, asciutta o debolmente umida, poco addensata.

Ai fini della parametrizzazione geotecnica (per fondazioni indirette) questo livello può essere tralasciato e si esprime una stima del solo peso di volume:

$$\gamma = 16 \text{ kN/m}^3$$

**LIVELLO 2)** mt 1.60 (max 1.90) - 8.40 (max 8.60): **sabbia limosa** grigia con sottili e subordinate intercalazioni di limo sabbioso. Verso il basso tende a diventare microciottolosa e/o a perdere la matrice limosa. Satura, da poco a moderatamente addensata.

Il livello può essere considerato come essenzialmente attritivo. Al valore  $N_{\text{SPT}} = 10\text{-}21$  colpi/30 cm si associa un  $N_{\text{SPT (medio)}} = 15$  colpi/30 cm e si attribuiscono i seguenti parametri geotecnici:

$$D_R = 45\% \text{ (Gibbs-Holtz, 1957)} \quad \phi = 30^\circ \text{ (Schmertmann, 1977)}$$

$$\gamma = 18,5 \text{ kN/m}^3 \quad C = 0 \quad E_{\text{YOUNG}} = 10800 \text{ kN/m}^2 \text{ (Webb, 1970)}$$

**LIVELLO 3)** mt 8.40 (max 8.60) – 10.30 (max 10.50): **sabbia con limo e argilla sabbiosa**, da marroncina a grigio-verdastra, satura, sciolta o poco addensata.

Il livello può essere considerato come essenzialmente attritivo. Al valore  $N_{\text{SPT}} = 8$  colpi/30 cm si associano i seguenti parametri geotecnici:

$$D_R = 30\% \text{ (Gibbs-Holtz, 1957)} \quad \phi = 28^\circ \text{ (Schmertmann, 1977)}$$

$$\gamma = 18,0 \text{ kN/m}^3 \quad C = 0 \quad E_{\text{YOUNG}} = 4400 \text{ kN/m}^2 \text{ (Webb, 1970)}$$

**LIVELLO 4)** mt 10.30 (max 10.50) – 16.10 (max 16.70): **sabbia poco addensata con livelletti cementati**, si tratta di una facies di “Panchina” tipica di un paleoambiente di linea di costa. Il colore varia dal biancastro al grigio-beige, satura, è poco addensata ma i sottili livelletti cementati ne aumentano le caratteristiche generali di resistenza a taglio e compressibilità.

Il livello può essere considerato come essenzialmente attritivo. I valori SPT sono estremamente variabili  $N_{\text{SPT}} = 7\text{-}40$  colpi/30 cm in funzione della “struttura” del livello, si associa un  $N_{\text{SPT (medio)}} = 12$  colpi/30 cm e si attribuiscono i seguenti parametri geotecnici:

$$D_R = 40\% \text{ (Gibbs-Holtz, 1957)} \quad \phi = 30^\circ \text{ (Schmertmann, 1977)}$$

$$\gamma = 18,5 \text{ kN/m}^3 \quad C = 0 \quad E_{\text{YOUNG}} = 19200 \text{ kN/m}^2 \text{ (Webb, 1970)}$$

**LIVELLO 5)** mt 16.10 (max 16.70) – 23.00: **sabbia limosa o microciottolosa**, complesso di lenti interdigitate con granulometria assai variabile e grado di addensamento da basso a medio. Il colore varia dal nocciola, al grigio, all'arancio, testimonianza di un ambiente di sedimentazione parzialmente ossidante.

Il livello può essere considerato come essenzialmente attritivo. Al valore  $N_{SPT} = 9$  colpi/30 cm si attribuiscono i seguenti parametri geotecnici:

$D_R = 35\%$  (Gibbs-Holtz, 1957)     $\phi = 29^\circ$  (Schmertmann, 1977)

$\gamma = 18.5 \text{ kN/m}^3$                        $C = 0$                        $E_{YOUNG} = 11300 \text{ kN/m}^2$  (Webb, 1970)

**LIVELLO 6)** mt 23.00 ed oltre: **substrato lapideo**, ignimbrite fratturata con giunti suborizzontali e subverticali.

La parametrizzazione geotecnica è basata oltre che sulle caratteristiche visive delle carote estratte anche sulle correlazioni con i risultati di precedenti indagini eseguite su identico litotipo in aree adiacenti.

Resistenza a compressione monoassiale  $S_U = 50\text{-}100 \text{ MPa}$                        $\gamma = 24 \text{ kN/m}^3$

I parametri dell'ammasso roccioso stimati con il diagramma di Bieniawsky (1973) risultano:

$\phi = 30^\circ$                        $C = 100 \text{ kN/m}^2$                        $E_{\text{ammasso}} = 31.6 \text{ Mpa}$  (Serafim & Pereira)

## 7.0 Idrografia ed idrogeologia

Ai fini delle verifiche geotecniche la quota della falda può essere assunta identica a quella del l.m.m., circa -2.00 metri dall'attuale piano campagna. Le dimensioni del bacino che alimenta le saline e la posizione del ponte rispetto alle opere portuali escludono il manifestarsi di problematiche idrauliche o geologiche connesse a pericolo di erosione.

## 8.0 Modellazione sismica

### Analisi e valutazione della pericolosità sismica

Come noto le NTC 2008 prevedono, per la definizione dello stato di sicurezza delle costruzioni, un approccio di tipo semiprobabilistico adottando coeff. parziali di sicurezza ed il concetto di Stato Limite.

Le scelte progettuali per le opere di fondazione devono essere effettuate contestualmente e congruamente con quelle delle strutture in elevazione.

Le strutture di fondazione devono rispettare le verifiche agli stati limite, sia di esercizio (SLE) che ultimi (SLU), nonché quelle di durabilità. La circolare esplicativa del 02.02.2009, al paragrafo C7.11.5.3.1, riporta: "L'azione del sisma si traduce in accelerazioni nel sottosuolo (effetto cinematico) e nella fondazione, per l'azione delle forze d'inerzia generate nella struttura in elevazione (effetto inerziale)".

Nell'analisi pseudo-statica (azioni dinamiche rappresentabili mediante un'azione statica equivalente), modellando l'azione sismica attraverso la sola componente orizzontale gli effetti possono essere portati in conto mediante l'introduzione di coefficienti sismici rispettivamente denominati  $K_h$  e  $K_v$ . I valori  $K_h$  possono essere valutati facendo riferimento, nel caso in esame, ai valori di normativa specificati per i pendii.

L'effetto inerziale produce variazioni di tutti i coefficienti di capacità portante del carico limite in funzione del coefficiente sismico  $K_h$  e viene portato in conto impiegando le formule comunemente adottate per calcolare i coefficienti correttivi del carico limite in funzione dell'inclinazione, rispetto alla verticale, del carico agente sul piano di posa. L'effetto cinematico modifica il solo coefficiente  $N_y$  in funzione del coefficiente sismico  $K_h$ ; il fattore  $N_y$  viene quindi moltiplicato sia per il coefficiente correttivo dell'effetto inerziale, sia per il coefficiente correttivo per l'effetto cinematico.

Riassumendo, la riduzione del carico limite di fondazioni superficiali in presenza di sisma è dovuta alla riduzione del fattore di capacità portante  $N_y$ , a sua volta dovuta all'effetto cinematico della massa di terreno coinvolta nel meccanismo di rottura (effetto cinematico) ed all'effetto inerziale della struttura (effetto inerziale).

### **8.1 La pericolosità sismica di base**

Le azioni sismiche di progetto in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati si definiscono a partire dalla pericolosità sismica di base del sito di costruzione.

Precedentemente all'entrata in vigore delle NTC 2008 e della Circolare esplicativa del 2.02.2009 n.617 la normativa sismica faceva riferimento alle O.P.C.M. n. 3274 del 20/03/2003, n. 3519 del 28/04/2006 ed al D.M. 16 gennaio 1996 LL.PP.

L'opera in esame rientra nel tipo 2, classe d'uso II.

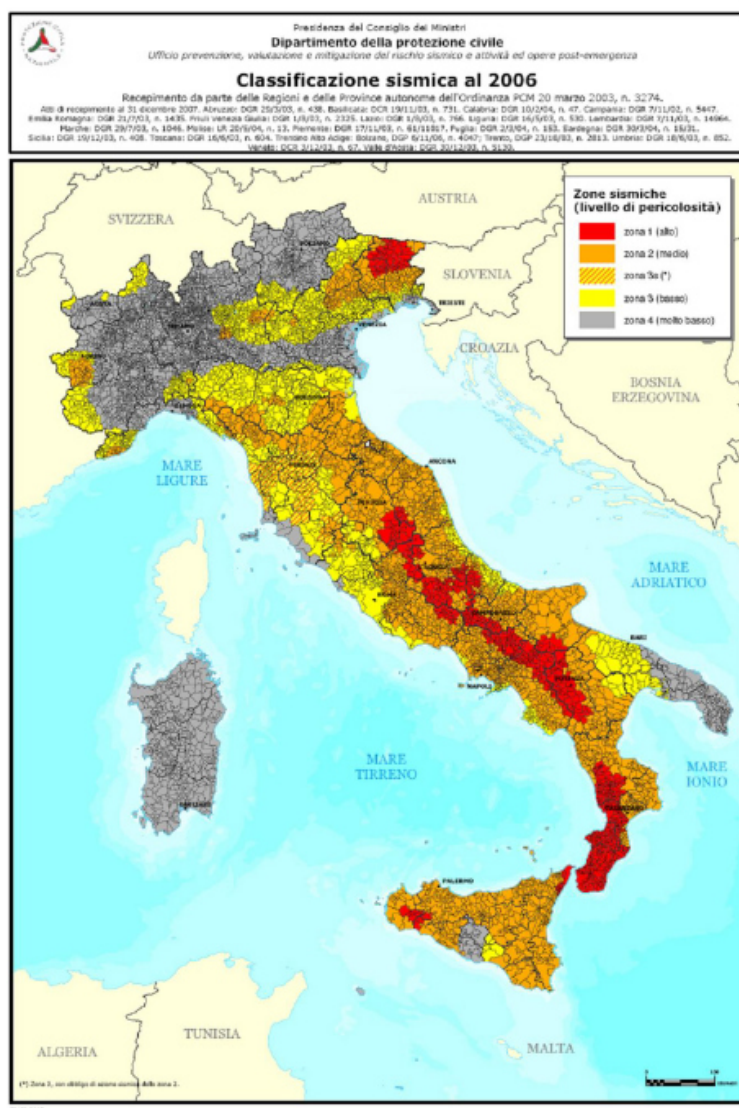
Il paragrafo 2.7 delle NTC 2008 e la circolare n.617 del 2/2/2009 del CSLP chiariscono che: in zona 4 il Progettista può utilizzare due metodi semplificati alternativi:

- con il primo metodo, per costruzioni di tipo 1 o 2, e classe d'uso I o II, può ancora utilizzare il metodo delle tensioni ammissibili (D.M. 11/03/88) e considerare le azioni sismiche del D.M. 16 gennaio 1996 (considerando il grado di sismicità  $S=S_S \times S_T=5$ ). In tal caso le accelerazioni ag non entrano in gioco in nessuna fase del procedimento di calcolo, ma come specificato da questo metodo semplificato sono esclusi i ponti;
- con il secondo metodo, valido per tutte le costruzioni e classi d'uso, le verifiche di sicurezza nei confronti dello SLV possono essere condotte per una forza di progetto calcolata assumendo uno spettro di progetto costante e pari a 0,07g, ed ammettendo implicitamente un possibile danneggiamento delle strutture, corrispondente ad un fattore di struttura di valore non superiore a  $q = 2,15$

Tutti i territori Comunali Italiani sono attualmente classificati in 4 zone principali in funzione del rischio sismico. Ogni territorio è classificato in funzione di una pericolosità sismica di base (o semplicemente pericolosità sismica), ossia dalla probabilità che nel proprio territorio si possa verificare un terremoto con una determinata intensità e con un particolare tempo di ritorno o periodo di riferimento ( $V_R$ ), in genere 475 anni, (probabilità di eccedenza o di superamento in un determinato periodo di riferimento ( $PV_R$ )).

Si evidenzia che l'aggiornamento degli elenchi delle zone sismiche è competenza delle Regioni. La Regione Sardegna non ha apportato modifiche alla mappa indicata nelle NTC 2008 e sopra riportata. Tutti i Comuni Sardi sono classificati in zona 4 e quindi a pericolosità sismica molto bassa.





**Nuova classificazione sismica del territorio nazionale (Fonte Protezione Civile)**

La pericolosità sismica di base è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa  $a_g$  ( $m/s^2$ ) in condizioni di campo libero (assenza di manufatti) su sito di riferimento rigido (categoria di suolo A delle Norme tecniche per le costruzioni) e con superficie topografica orizzontale (T1), i valori riferiti alle 4 zone sismiche del territorio nazionale sono riportati nella tabella seguente.

| ZONA SISMICA | PERICOLOSITÀ | ACCELERAZIONE ORIZZONTALE MASSIMA |
|--------------|--------------|-----------------------------------|
|--------------|--------------|-----------------------------------|

|          | SISMICA DI BASE    | CONVENZIONALE SU SUOLO DI CATEGORIA A, CON<br>PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO PARI AL 10% IN 50 ANNI<br>(a <sub>g</sub> ) |
|----------|--------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>1</b> | <b>ELEVATA</b>     | <b>0.35g</b>                                                                                                         |
| <b>2</b> | <b>MEDIA</b>       | <b>0.25g</b>                                                                                                         |
| <b>3</b> | <b>BASSA</b>       | <b>0.15g</b>                                                                                                         |
| <b>4</b> | <b>MOLTO BASSA</b> | <b>0.05g</b>                                                                                                         |

L'entrata in vigore delle NTC 2008 ha imposto che tutti gli edifici, anche quelli in zona 4, debbano essere progettati con criteri antisismici (con alcune deroghe rispetto al metodo da applicare), le Norme adottano però un criterio "sito dipendente" e non più "zona dipendente".

Le NTC 2008 definiscono la pericolosità sismica di base in modo più dettagliato rispetto alla normativa precedente. L'allegato B tab.1 delle NTC. fornisce, per determinati tempi di ritorno ( $T_R$ ) e per 10751 punti del territorio nazionale, disposti su un reticolo a maglie quadrate di circa 10 km di lato, i seguenti parametri (i valori sono identici per tutta la Sardegna):

Accelerazione orizzontale massima del terreno  $a_g$  (espressa in g/10);

Valore massimo  $F_0$  (adimensionale) del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

Inizio del periodo del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale  $T^*_c$  (secondi)

Per determinare i parametri è necessario conoscere le coordinate geografiche decimali delle opere da verificare (trasformare le sessagesimali), convertire le coordinate da WGS84 in ED50 (datum INGV) e scaricare i relativi parametri dal sito <http://esse1.mi.ingv.it/>, oppure individuare i parametri tramite la tab.1 dell'Allegato B. Questi parametri definiscono le forme spettrali.

Il calcolo dei coeff. sismici varia anche in funzione dell'opera (opere di sostegno, pendii o fondazioni, paratie).

Si rimarca che in Sardegna i parametri sono costanti, a parità di  $T_R$ , per tutto il territorio dell'isola.

Questi parametri costituiscono i dati principali per prevedere gli effetti causati sulle costruzioni dai terremoti che possono colpire le aree oggetto del progetto e quindi per dimensionare le strutture secondo criteri antisismici.

I parametri relativi alla pericolosità sismica di base dipendono invece esclusivamente dall'intensità del terremoto che può avvenire in un determinato tempo di ritorno e consentono di prevedere gli effetti sulle costruzioni delle onde sismiche che si propagano entro un substrato rigido (suolo di categoria A) ed orizzontale ( $T_1$ ). Ma per superfici topografiche non orizzontali e suoli di categoria differente, la risposta del terreno e quindi la pericolosità sismica di base potranno essere anche molto differenti.

## 8.2 La pericolosità sismica locale

La pericolosità di un terremoto dipende infatti dalla sua intensità ma anche dalle caratteristiche geologiche e morfologiche del sito in esame (Pericolosità sismica locale). Rispetto alla Pericolosità sismica di base quella locale può essere superiore o al limite uguale. Le onde sismiche possono infatti subire un processo di amplificazione per cause topografiche e/o litologiche.

Determinazione della pericolosità sismica locale secondo le NTC 2008 (approccio semplificato)

Secondo il D.M. 14 gennaio 2008 in mancanza di studi approfonditi per la determinazione della pericolosità sismica locale, si può far riferimento ad un approccio semplificato che si basa sulla individuazione di categorie di suolo e topografiche di riferimento basandosi sulle tabelle sottostanti.

**NTC 2008, tabella 3.2.II – Categorie di sottosuolo**

| Categoria | Descrizione                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A         | Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.                                                                                                                                                                                     |
| B         | Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $NSPT_{,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).      |
| C         | Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o 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 $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < NSPT_{,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina). |
| D         | Depositi 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 $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $NSPT_{,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).                 |
| 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).                                                                                                                                                                                                                                                                       |

Per determinare la categoria di sottosuolo dovremo quindi determinare la velocità delle  $V_{s,30}$  o utilizzare i dati SPT,  $C_u$  e stratigrafici. Il suolo di fondazione dell'opera in esame rientra nella categoria E ed in quella topografica T1

Ai fini della identificazione della categoria di sottosuolo, la classificazione si dovrebbe effettuare preferenzialmente in base ai valori della velocità equivalente  $V_{s,30}$  di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 metri di profondità.

Per le fondazioni superficiali, tale profondità è riferita al piano di posa delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Per muri di sostegno dei terrapieni, la profondità è riferita al piano d'imposta delle fondazioni.



**Tab. 3.2.IV Categoria topografica**

| CATEGORIE TOPOGRAFICHE                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Categoria                                                                                                                                                                                                                                     | Caratteristiche della superficie topografica                                                                     |
| T1                                                                                                                                                                                                                                            | Superficie piana, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$                              |
| T2                                                                                                                                                                                                                                            | Pendii con inclinazione media $i \geq 15^\circ$                                                                  |
| T3                                                                                                                                                                                                                                            | Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base ed inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$ |
| T4                                                                                                                                                                                                                                            | Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base ed inclinazione media $i > 30^\circ$                  |
| Le suesposte categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m. |                                                                                                                  |

Una volta stabilite le categorie di sottosuolo e topografiche, si determinano i coefficienti  $S_s$  (di amplificazione stratigrafica),  $C_c$  (funzione della categoria di suolo) e  $S_T$  (di amplificazione topografica) con l'ausilio delle seguenti tabelle. I tre coefficienti variano per i vari SLO, SLD, SLV, SLC dato che varia il tempo di ritorno.

| Espressioni dei coefficienti $S_s$ e $C_c$ |                                                                 |                              |
|--------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|------------------------------|
| Categoria                                  | $S_s$                                                           | $C_c$                        |
| <b>A</b>                                   | 1,00                                                            | 1,00                         |
| <b>B</b>                                   | $1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$ | $1,10 \cdot (T_c^*)^{-0,20}$ |
| <b>C</b>                                   | $1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$ | $1,05 \cdot (T_c^*)^{-0,33}$ |
| <b>D</b>                                   | $0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$ | $1,25 \cdot (T_c^*)^{-0,50}$ |
| <b>E</b>                                   | $1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$ | $1,15 \cdot (T_c^*)^{-0,40}$ |

| Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica $S_T$                                                                                                                                                                       |                                            |       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|-------|
| Categoria topografica                                                                                                                                                                                                                     | Ubicazione dell'opera o dell'intervento    | $S_T$ |
| T1 (pendii con $i \leq 15^\circ$ )                                                                                                                                                                                                        | -----                                      | 1,0   |
| T2 (pendii con $i \geq 15^\circ$ )                                                                                                                                                                                                        | In corrispondenza della sommità del pendio | 1,2   |
| T3 (creste con $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$ )                                                                                                                                                                                          | In corrispondenza della cresta del rilievo | 1,2   |
| T4 (creste con $i \geq 30^\circ$ )                                                                                                                                                                                                        | In corrispondenza della cresta del rilievo | 1,4   |
| <i>La variazione spaziale del coefficiente di amplificazione topografica è definita da un decremento lineare con l'altezza del pendio o rilievo, dalla sommità o cresta fino alla base, dove <math>S_T</math> assume valore unitario.</i> |                                            |       |

I parametri sismici locali, relativi a pendii o fondazioni, sono quindi:

$a_{max}$ ;  $S_T$ ;  $S_s$ ; (che definiscono le forme spettrali)

si determina quindi  $a_{max} = a_g \times S_T \times S_s$

Ricordiamo che l'accelerazione massima  $a_{max}$  è espressa in  $m/s^2$

Dal valore nominale di  $a_g$  (g), accelerazione orizzontale massima attesa al sito, si passa quindi ad  $a_g$  ( $m/s^2$ ) moltiplicando per 9.81

Come detto l'area ricade in zona sismica 4 per la quale il parametro  $a_g$  (acc. max orizzontale attesa nel sito, con probabilità di superamento del 10% in 50 anni)  $< 0.05g$

Si determinamo, infine, i coefficienti sismici orizzontale e verticale

$$K_h = \beta_s \times (a_{max} / g) \quad K_v = \pm 0.5 K_h$$

con  $\beta_s$  coeff. di riduzione dell'accelerazione max attesa al sito

*$\beta_s$  coeff. di riduzione dell'accelerazione max attesa al sito*

|                       | Categoria di sottosuolo |            |
|-----------------------|-------------------------|------------|
|                       | A                       | B, C, D, E |
|                       | $\beta_s$               | $\beta_s$  |
| $0,2 < a_g (g) = 0,4$ | 0,30                    | 0,28       |
| $0,1 < a_g (g) = 0,2$ | 0,27                    | 0,24       |
| $a_g (g) = 0,1$       | 0,20                    | 0,20       |

### 8.3 Verifiche sismiche per l'opera in esame

Le condizioni considerate per la valutazione della risposta sismica locale sono le seguenti:

Tipo di elaborazione: stabilità dei pendii e fondazioni

Coord. topografiche, localizzazione: Sardegna

Zona sismica: 4

Tipo di interpolazione: media ponderata

Vita nominale  $V_N = 75$  anni

Coeff. d'uso  $C_U = 1$

Categoria sottosuolo = E

Categoria topografica = T1

$a_g = 0.05 g$

Ogni stato limite da prendere in esame deve essere riferito ad un determinato  $T_R$ , quindi i coeff. sismici saranno differenti per i vari SLO operatività, SLD danno, SLV vita, SLC collasso. L'accelerazione orizzontale  $a_g$  viene riferita a determinate probabilità di superamento  $PV_R$  del valore "base" riferite ad un periodo di riferimento  $VR$ .

Il periodo di riferimento si ricava moltiplicando la vita nominale dell'opera per il coeff. d'uso

$$V_R = V_N \times C_U$$

**Tab. 2.4.II** – Valori del coefficiente d'uso  $C_U$

| CLASSE D'USO       | I   | II  | III | IV  |
|--------------------|-----|-----|-----|-----|
| COEFFICIENTE $C_U$ | 0,7 | 1,0 | 1,5 | 2,0 |

Se  $V_R \leq 35$  anni si pone comunque  $V_R = 35$  anni.

$$V_R = 75 \times 1 = 75$$

La PVR in funzione dei diversi stati limite si ricava utilizzando la tabella seguente

**Tabella 3.2.I** – Probabilità di superamento  $P_{V_R}$  al variare dello stato limite considerato

| Stati Limite              |     | $P_{V_R}$ : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento $V_R$ |
|---------------------------|-----|-------------------------------------------------------------------------|
| Stati limite di esercizio | SLO | 81%                                                                     |
|                           | SLD | 63%                                                                     |
| Stati limite ultimi       | SLV | 10%                                                                     |
|                           | SLC | 5%                                                                      |

Qualora la protezione nei confronti degli stati limite di esercizio sia di prioritaria importanza, i valori di  $P_{V_R}$  forniti in tabella devono essere ridotti in funzione del grado di protezione che si vuole raggiungere.

Per ciascuno stato limite e relativa PVR, il periodo di ritorno del sisma  $T_R$  è direttamente legato al periodo di riferimento  $V_R$  dalla formula:

$$T_R = -V_R / \ln(1 - P_{V_R}) = -C_U \cdot V_N / \ln(1 - P_{V_R}) \quad (C.3.2.1)$$

**Tabella C.3.2.I.** Valori di  $T_R$  espressi in funzione di  $V_R$

| Stati Limite                    |     | Valori in anni del periodo di ritorno $T_R$ al variare del periodo di riferimento $V_R$ |
|---------------------------------|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| Stati Limite di Esercizio (SLE) | SLO | $(^1) 30 \text{ anni} \leq T_R = 0,60 \cdot V_R$                                        |
|                                 | SLD | $T_R = V_R$                                                                             |
| Stati Limite Ultimi (SLU)       | SLV | $T_R = 9,50 \cdot V_R$                                                                  |
|                                 | SLC | $T_R = 19,50 \cdot V_R \leq 2475 \text{ anni } (^1)$                                    |



*Parametri sismici locali*

|                                         | <b>PV<sub>R</sub>%</b> | <b>T<sub>R</sub> (anni)</b> | <b>a<sub>g</sub> (g)</b> | <b>F<sub>0</sub></b> | <b>T<sub>c</sub> (sec)</b> |
|-----------------------------------------|------------------------|-----------------------------|--------------------------|----------------------|----------------------------|
| Operatività ( <b>SLO</b> )              | 81                     | 30                          | 0.019                    | 2.610                | 0.273                      |
| Danno ( <b>SLD</b> )                    | 63                     | 50                          | 0.024                    | 2.670                | 0.296                      |
| Salvaguardia della vita ( <b>SLE</b> )  | 10                     | 475                         | 0.050                    | 2.880                | 0.340                      |
| Prevenzione dal collasso ( <b>SLC</b> ) | 5                      | 975                         | 0.060                    | 2.980                | 0.372                      |

*Coefficienti sismici*

|            | <b>S<sub>s</sub></b> | <b>C<sub>c</sub></b> | <b>S<sub>T</sub></b> | <b>K<sub>h</sub></b> | <b>K<sub>v</sub></b> | <b>a<sub>max</sub><br/>(m/s<sup>2</sup>)</b> | <b>β</b> |
|------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------------------------------|----------|
| <b>SLO</b> | 1,600                | 1,930                | 1,000                | 0,006                | 0,003                | 0,292                                        | 0,200    |
| <b>SLD</b> | 1,600                | 1,870                | 1,000                | 0,008                | 0,004                | 0,369                                        | 0,200    |
| <b>SLV</b> | 1,600                | 1,770                | 1,000                | 0,016                | 0,008                | 0,785                                        | 0,200    |
| <b>SLC</b> | 1,600                | 1,710                | 1,000                | 0,019                | 0,010                | 0,946                                        | 0,200    |

Nelle verifiche sismiche entrano in gioco anche i coeff.  $\psi$  funzione della categoria dell'edificio o delle azioni variabili.

| <b>Categoria/Azione variabile</b>                                         | <b><math>\Psi_{0j}</math></b> | <b><math>\Psi_{1j}</math></b> | <b><math>\Psi_{2j}</math></b> |
|---------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Categoria A Ambienti ad uso residenziale                                  | 0,7                           | 0,5                           | 0,3                           |
| Categoria B Uffici                                                        | 0,7                           | 0,5                           | 0,3                           |
| Categoria C Ambienti suscettibili di affollamento                         | 0,7                           | 0,7                           | 0,6                           |
| Categoria D Ambienti ad uso commerciale                                   | 0,7                           | 0,7                           | 0,6                           |
| Categoria E Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale | 1,0                           | 0,9                           | 0,8                           |
| Categoria F Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso $\leq 30$ kN)    | 0,7                           | 0,7                           | 0,6                           |
| Categoria G Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso $> 30$ kN)       | 0,7                           | 0,5                           | 0,3                           |
| Categoria H Coperture                                                     | 0,0                           | 0,0                           | 0,0                           |
| Vento                                                                     | 0,6                           | 0,2                           | 0,0                           |
| Neve (a quota $\leq 1000$ m s.l.m.)                                       | 0,5                           | 0,2                           | 0,0                           |
| Neve (a quota $> 1000$ m s.l.m.)                                          | 0,7                           | 0,5                           | 0,2                           |
| Variazioni termiche                                                       | 0,6                           | 0,5                           | 0,0                           |

Nella progettazione per le AZIONI SISMICHE il rispetto dei vari SL è conseguito:

Nei confronti di tutti gli SLE se sono rispettate le verifiche al solo SLD;

Nei confronti di tutti gli SLU se sono rispettate le verifiche al solo SLV.

I coeff. sismici  $K_h$  e  $K_v$  agiscono direttamente sui coeff. di carico limite della formula trimomia  $N_q$ ,  $N_c$ ,  $N_\gamma$

Per valutare l'effetto sismico sul carico limite del terreno di fondazione Paolucci & Pecker (1977) introducono sui tre termini della capacità portante i fattori parziali Z così determinati:

$$Z_q = (1 - K_h / \tan \phi) 0,35$$

$$Z_c = 1 - 0,32 \times K_h$$

$$Z_\gamma = Z_q$$

La verifica a scorrimento in condizioni sismiche si ottiene imponendo che il taglio sismico  $T_k$  sia:

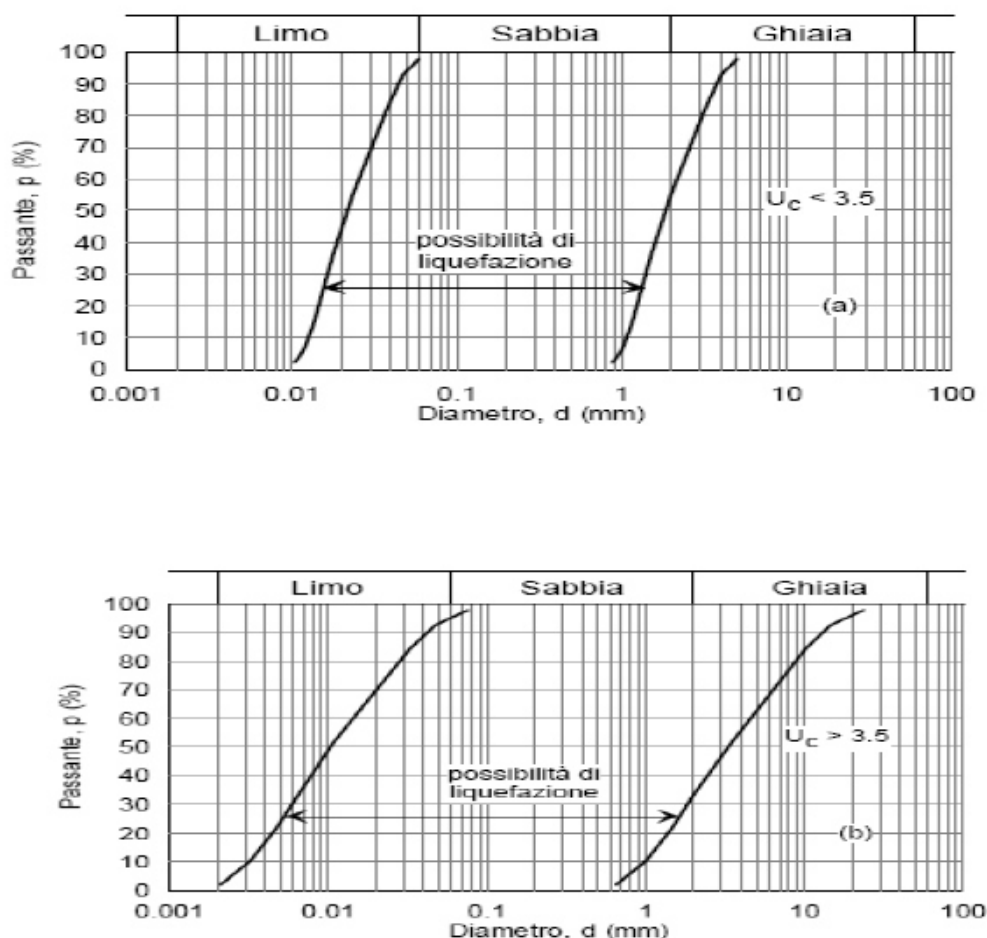
$$T_k \leq \frac{1}{\gamma_R} \left[ N_k \cdot \frac{\tan(\phi'_k)}{\gamma_\phi} \right]$$

Il valore di  $T_k$  si ottiene da  $W$  (carico verticale) x  $K_h$  con  $K_h = H/W$   
dove  $H$  = carico orizzontale

#### **8.4 Stabilità nei confronti della liquefazione**

La verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti 5 circostanze:

- eventi sismici attesi di magnitudo  $M$  inferiore a 5;
- accelerazioni max attese al piano campagna in assenza di manufatti inferiori a 0,1g;
- profondità media stagionale della falda superiore a 15 metri dal p.c.. per p.c. sub orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
- depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata ( $N_{160}$ )  $N_{160} > 30$  oppure  $q_{c1N} > 180$  (dove ( $N_{160}$ ) 60 è il valore della resistenza penetrometrica SPT normalizzata ad una tensione verticale efficace di 100 kPa e  $q_{c1N}$  è il valore della resistenza penetrometrica CPT normalizzata ad una tensione verticale efficace di 100 kPa;
- distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella fig. 7.11.1.a nel caso di terreni con  $UC < 3.5$  ed in fig. 7.11.1.b nel caso di terreni con  $UC > 3.5$  ( $UC$  = coeff. di uniformità)



**Figura 7.11.1 – Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione.**

Per l'opera in esame non è dunque necessaria la verifica a liquefazione.

## 9.0 CONCLUSIONI

La caratterizzazione geologica e geotecnica del sito in esame, basata anche sulle specifiche indagini eseguite, esclude la pericolosità geologica del sito sia in presenza che in assenza delle opere in progetto.

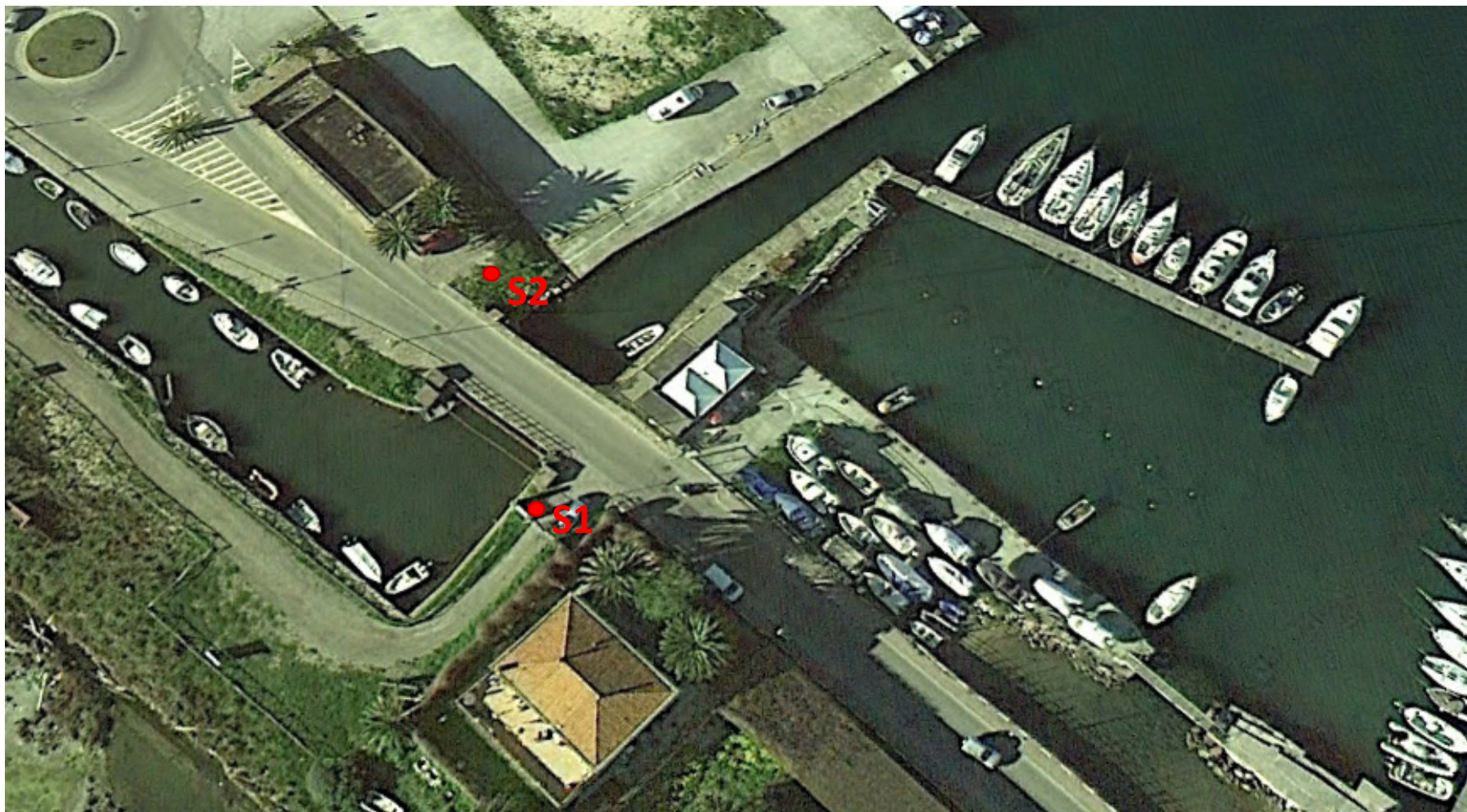
I vincoli gravanti sui terreni saranno analizzati dal progettista.

Le opere in progetto non interferiscono negativamente con i processi geomorfologici ed idrogeologici.

La parametrizzazione geotecnica evidenzia la necessità di impiegare strutture di fondazione di tipo indiretto, pali trivellati di medio o grande diametro gettati in opera in presenza di fanghi bentonitici o diaframmi portanti.



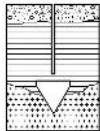
## Planimetria ubicazione indagini



Legenda:

- Sondaggi geognostici





# DR. ANTONELLO ANGIUS

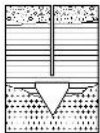
Via Italia, 143 Cagliari 09134

angiusgeo@tiscali.it www.angiusgeo.com

SONDAGGI GEOGNOSTICI - MONITORAGGIO AMBIENTALE

|                                                     |                                       |                                           |                                             |                    |
|-----------------------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------------|--------------------|
| Committente<br><b>Comune di Carloforte</b>          | Profondità raggiunta<br><b>-20.00</b> | Quota Ass. P.C.<br><b>1</b>               | Certificato n°<br><b>1</b>                  | Pagina<br><b>1</b> |
| Operatore<br><b>Salis Giampaolo</b>                 | Indagine<br><b>Geotecnica</b>         | Cantiere<br><b>Ponte Saline</b>           | Inizio/Fine Esecuzione<br><b>18.05.2015</b> |                    |
| Responsabile<br><b>Dott. Geol. Angius Antonello</b> | Sondaggio<br><b>Sond. 1</b>           | Tipo Carotaggio<br><b>Continuo 101 mm</b> | Tipo Sonda<br><b>Hydra Joy 3</b>            | Coordinate X Y     |

| Scala (mt) | Litologia | Descrizione                                                                                           | Quota        | %Carotaggio R.Q.D. | S.P.T. (n° Colpi) | Pocket Test kg/cmq | Vane Test kg/cmq | Campioni | Metodo Perforazione | Falda |
|------------|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|--------------------|-------------------|--------------------|------------------|----------|---------------------|-------|
|            |           | TERRENO DI RIPORTO: sabbia e ghiaia, asciutta, poco addensata.                                        | 1.00         |                    |                   |                    |                  |          |                     |       |
| 1          |           | Sabbia rimaneggiata beige con pochi ciottoli, incoerente, sciolta, asciutta.                          | 1.60         |                    |                   |                    |                  |          |                     |       |
| 2          |           | Sabbia beige, incoerente, sciolta, da umida a satura                                                  | 2.80         |                    | 12-6-4            |                    |                  |          |                     |       |
| 3          |           | Ghiaia e sabbia con conchiglie, grigia, incoerente, satura, poco addensata.                           | 3.50<br>3.80 |                    | 3.10 PC           |                    |                  |          |                     |       |
| 4          |           | Limo sabbioso, marrone.                                                                               | 4.40         |                    |                   |                    |                  |          |                     |       |
| 5          |           | Sabbia grigia con conchiglie e pochissimi microciottoli, incoerente, satura, poco addensata.          |              |                    | 5-10-11           |                    |                  |          |                     |       |
| 6          |           | Sabbia limosa grigia, da poco a moderatamente addensata, satura.                                      | 6.50         |                    | 6.20 PC           |                    |                  |          |                     |       |
| 7          |           | Sabbia debolmente limosa, incoerente, satura, moderatamente addensata.                                |              |                    |                   |                    |                  |          |                     |       |
| 8          |           |                                                                                                       | 8.20         |                    |                   |                    |                  |          |                     |       |
| 9          |           | Sabbia microciottolosa, nocciola, incoerente, moderatamente addensata.                                | 8.60<br>9.10 |                    | 1-2-6             |                    |                  |          |                     |       |
| 10         |           | Sabbia argillosa marroncina, poco addensata.                                                          | 9.70         |                    | 9.10 PC           |                    |                  |          |                     |       |
| 11         |           | Argilla sabbiosa grigio-verdastra, debolmente plastica.                                               | 10.30        |                    |                   |                    |                  |          |                     |       |
| 12         |           | Sabbia verdastra incoerente, satura, poco addensata.                                                  |              |                    |                   |                    |                  |          |                     |       |
| 13         |           | Sabbia carbonatica biancastra poco addensata, con livelletti cementati conghigliari (PANCHINA).       |              |                    |                   |                    |                  |          |                     |       |
| 14         |           |                                                                                                       | 15.00        |                    | 5-4-3             |                    |                  |          |                     |       |
| 15         |           | Sabbia nocciola, microciottolosa, con conchiglie, poco addensata, con livelletti cementati (PANCHINA) | 16.10        |                    | 15.10 PC          |                    |                  |          |                     |       |
| 16         |           | Sabbia limosa, nocciola con frammenti di conchiglie, da poco a moderatamente addensata.               |              |                    |                   |                    |                  |          |                     |       |
| 17         |           |                                                                                                       |              |                    |                   |                    |                  |          |                     |       |
| 18         |           |                                                                                                       |              |                    |                   |                    |                  |          |                     |       |
| 19         |           |                                                                                                       |              |                    |                   |                    |                  |          |                     |       |
| 20         |           |                                                                                                       | 20.00        |                    |                   |                    |                  |          |                     |       |
| 21         |           |                                                                                                       |              |                    |                   |                    |                  |          |                     |       |
| 22         |           |                                                                                                       |              |                    |                   |                    |                  |          |                     |       |
| 23         |           |                                                                                                       |              |                    |                   |                    |                  |          |                     |       |
| 24         |           |                                                                                                       |              |                    |                   |                    |                  |          |                     |       |
| 25         |           |                                                                                                       |              |                    |                   |                    |                  |          |                     |       |



# DR. ANTONELLO ANGIUS

Via Italia, 143 Cagliari 09134

angiusgeo@tiscali.it www.angiusgeo.com

SONDAGGI GEOGNOSTICI - MONITORAGGIO AMBIENTALE

|                                                     |                                       |                                           |                                             |                    |
|-----------------------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------------|--------------------|
| Committente<br><b>Comune di Carloforte</b>          | Profondità raggiunta<br><b>-24.50</b> | Quota Ass. P.C.                           | Certificato n°<br><b>2</b>                  | Pagina<br><b>1</b> |
| Operatore<br><b>Salis Giampaolo</b>                 | Indagine<br><b>Geotecnica</b>         | Cantiere<br><b>Ponte Saline</b>           | Inizio/Fine Esecuzione<br><b>18.05.2015</b> |                    |
| Responsabile<br><b>Dott. Geol. Angius Antonello</b> | Sondaggio<br><b>Sond. 2</b>           | Tipo Carotaggio<br><b>Continuo 101 mm</b> | Tipo Sonda<br><b>Hydra Joy 3</b>            | Coordinate X Y     |

| Scala (mt) | Litologia | Descrizione                                                                                                                                                   | Quota          | %Carotaggio R.Q.D. | S.P.T. (n° Colpi) | Pocket Test kg/cmq | Vane Test kg/cmq | Campioni | Metodo Perforazione | Falda |
|------------|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|--------------------|-------------------|--------------------|------------------|----------|---------------------|-------|
| 1          |           | TERRENO DI RIPORTO: sabbia, ghiaia e blocchi eterometrici, asciutta, poco addensata.                                                                          | 1.90           |                    |                   |                    |                  |          |                     |       |
| 2          |           | Sabbia grigio chiaro, incoerente, poco addensata.                                                                                                             |                |                    |                   |                    |                  |          |                     |       |
| 3          |           |                                                                                                                                                               |                |                    |                   |                    |                  |          |                     |       |
| 4          |           |                                                                                                                                                               | 4.60           |                    |                   |                    |                  |          |                     |       |
| 5          |           | Sabbia limosa da grigio scuro a marroncina, moderatamente addensata.                                                                                          |                |                    |                   |                    |                  |          |                     |       |
| 6          |           |                                                                                                                                                               | 6.50           |                    |                   |                    |                  |          |                     |       |
| 7          |           | Sabbia debolmente limosa, incoerente, satura, moderatamente addensata.                                                                                        | 7.20           |                    |                   |                    |                  |          |                     |       |
| 8          |           | Sabbia beige quasi incoerente da poco a moderatamnte addensata.                                                                                               | 8.40           |                    |                   |                    |                  |          |                     |       |
| 9          |           | Sabbia limosa con microciottoli, poco addensata, Argilla limosa e sabbiosa, marroncina, moderatamente consistente.                                            | 8.80<br>9.30   |                    |                   |                    |                  |          |                     |       |
| 10         |           | Sabbia incoerente, beige, poco addensata. Da mt 10.50 a mt 10.70 livello carbonatico                                                                          |                |                    |                   |                    |                  |          |                     |       |
| 11         |           |                                                                                                                                                               | 12.00          |                    |                   |                    |                  |          |                     |       |
| 12         |           | Sabbia e Panchina                                                                                                                                             |                |                    |                   |                    |                  |          |                     |       |
| 13         |           | Da 14.70 a 15.00 livello sabbioso e microciottoloso da verdastro a marroncino.                                                                                |                |                    |                   |                    |                  |          |                     |       |
| 14         |           |                                                                                                                                                               | 15.00          |                    |                   |                    |                  |          |                     |       |
| 15         |           | sabbia da limosa a incoerente, conchigliare, beige, sciolta.                                                                                                  |                |                    |                   |                    |                  |          |                     |       |
| 16         |           |                                                                                                                                                               | 16.70          |                    |                   | 9-18-22            |                  |          |                     |       |
| 17         |           | Sabbia limosa marroncina, moderatamente addensata.                                                                                                            | 17.30          |                    |                   | 17.00 PC           |                  |          |                     |       |
| 18         |           | Sabbia e ghiaia microciottolosa, da moderatamente addensata a addensata.                                                                                      |                |                    |                   |                    |                  |          |                     |       |
| 19         |           | Intercalazioni di limo argilloso e sabbioso, bruno da m                                                                                                       | 18.50          |                    |                   |                    |                  |          |                     |       |
| 20         |           | Sabbia incoerente da grigio ad arancio, da moderatamente addensata a addensata.                                                                               |                |                    |                   |                    |                  |          |                     |       |
| 21         |           |                                                                                                                                                               | 20.50<br>20.90 |                    |                   |                    |                  |          |                     |       |
| 22         |           | Argilla limosa e sabbiosa, grigia con screziature arancio, da moderatamente consistente a consistente.                                                        |                |                    |                   |                    |                  |          |                     |       |
| 23         |           | Sabbia microciottolosa con legante limoso-argilloso, grigia con screziature arancio, moderatamente addensata, sfumante in sabbia conchigliare poco addensata. | 23.00          |                    |                   | 5-4-5<br>22.00 PC  |                  |          |                     |       |
| 24         |           | SUBSTRATO LAPIDEO: ignimbrite fratturata con giunti suborizzontali e subverticali.                                                                            |                |                    |                   |                    |                  |          |                     |       |
| 25         |           |                                                                                                                                                               | 24.50          |                    |                   |                    |                  |          |                     |       |

Campioni: S-Parati Scotti, O-Osterberg, M-Mazzer, R-Rimaneggiato, R-Rimaneggiato da SPT  
Perforazione:CS-Carotiere Semplice, CD-Carotiere Doppio, EC-Elica Continua  
Prove SPT:PA-Punta Aperta, PC-Punta Chiusa  
Carotaggio:Continuo 101 mm

Sonda Hydra Joy 3

Responsabile



Sondaggio 1



Sondaggio 2



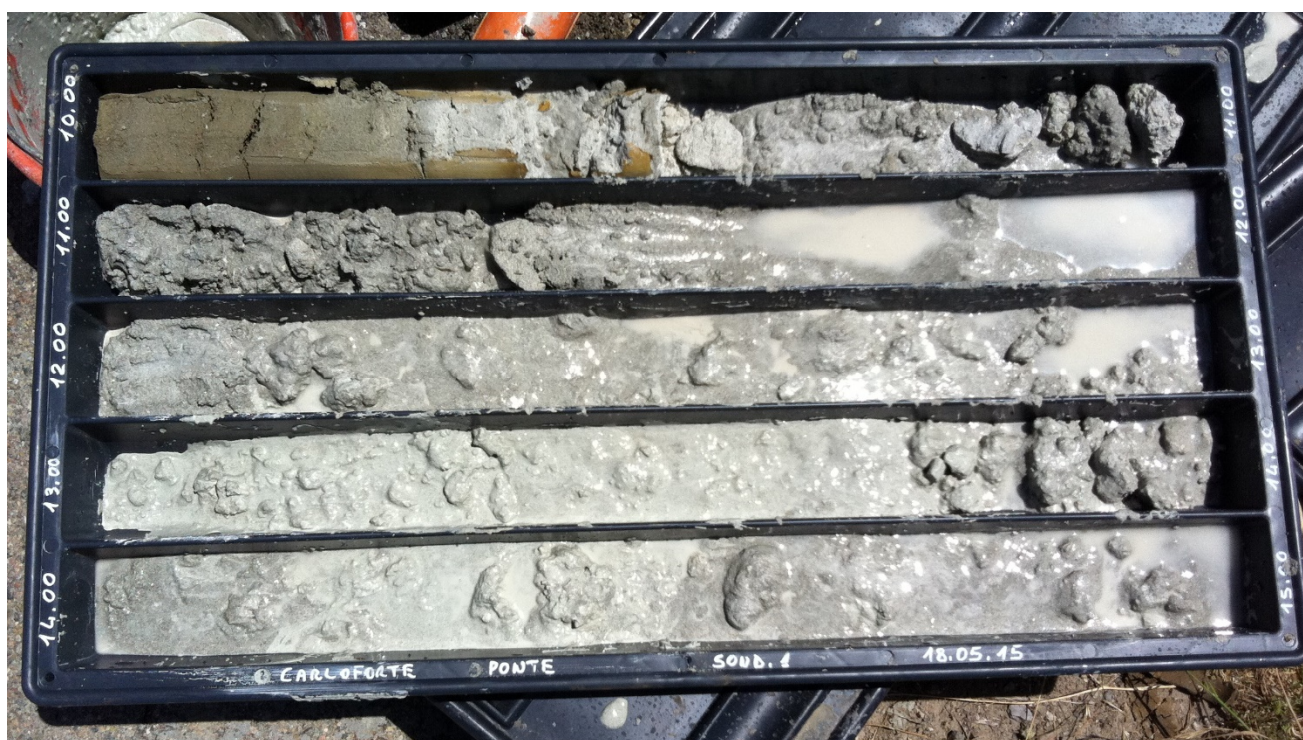


Sond. 1, mt 0 - 5



Sond. 1, mt 5 - 10





Sond. 1, mt 10 - 15

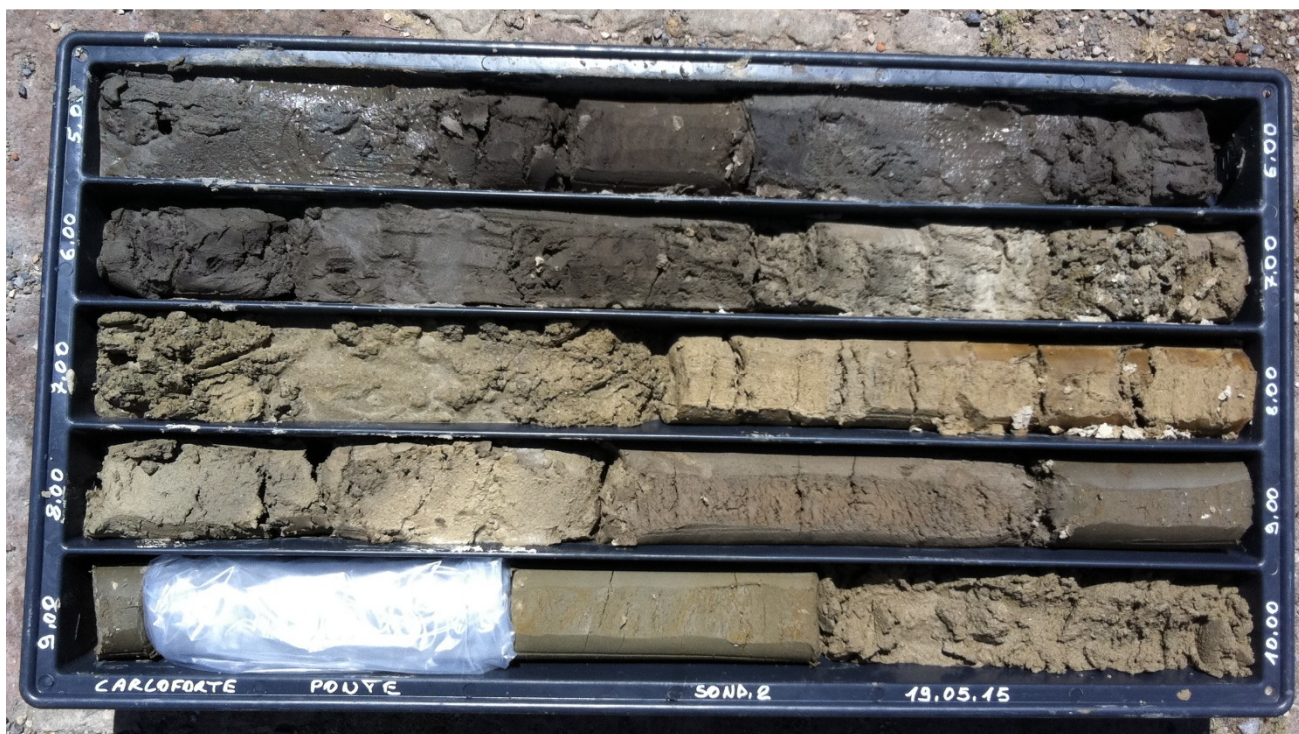


Sond. 1, mt 15 - 20





Sond. 2, mt 0 - 5

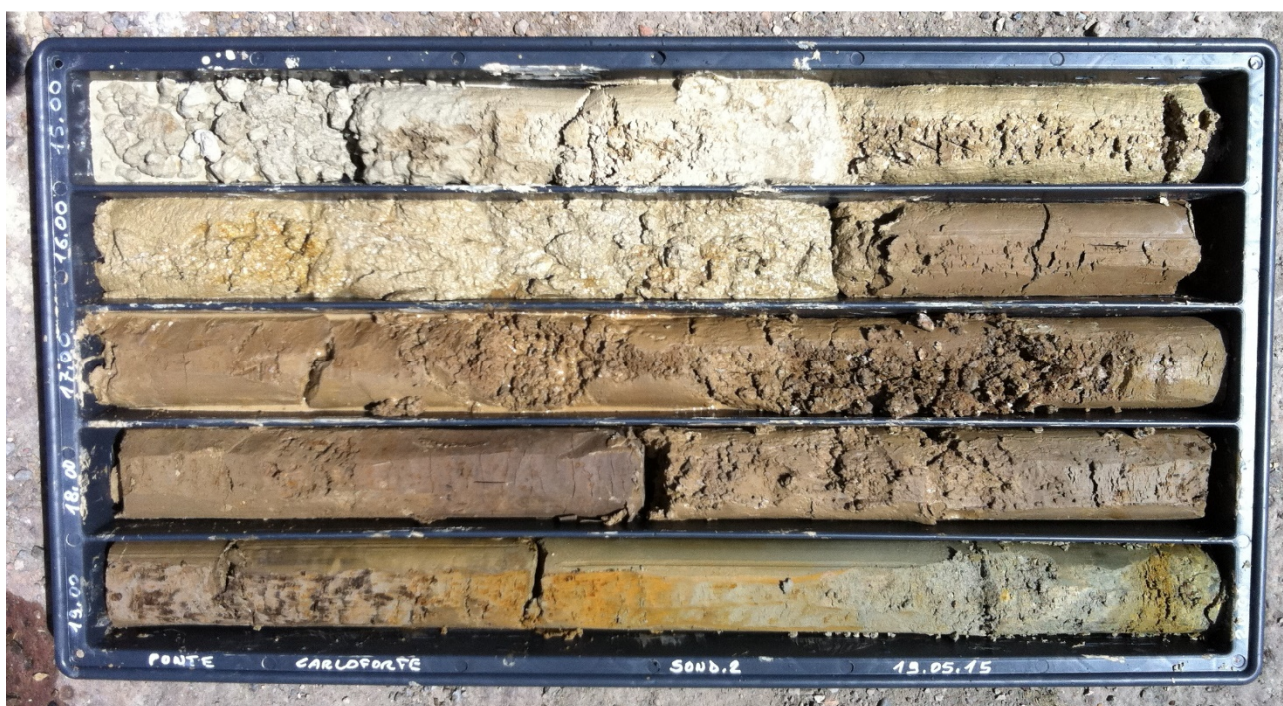


Sond. 2, mt 5 - 10





Sond. 2, mt 10 - 15



Sond. 2, mt 15 - 20





Sond. 2, mt 20 - 25