



CONSORZIO INDUSTRIALE PROVINCIALE DI SASSARI

REVAMPING IMPIANTO DI DEPURAZIONE CONSORTILE DI PORTO TORRES

PROGETTO DEFINITIVO

R.T.P.:

Progettista generale:

Ing. Angelo Cantatore



Via dei Palustei 16
38100 MEANO (TN)



RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:

Ing. Graziano Mura

Responsabile integrazioni specialistiche:

Ing. Fabrizio Parboni Arquati



Piazzale stazione 7
35131 PADOVA (PD)



Ing. Berardo Giangiulio



Via Cavour, 45
66010 Palombaro (Ch)



Ing. Francesco Petretto



Via Armando Diaz n° 1
07100 Sassari (SS)



TITOLO:

RELAZIONE GEOLOGICA

ELABORATO:

D-T-340-05

DATA:

Maggio 2023

AGGIORNAMENTO:

SCALA:

-

COMUNE DI PORTO TORRES

Provincia di Sassari

Dott. Geol. Lorenzo Falzoi – Via Giovanni Marghinotti n° 12 – 07100 Sassari (SS)
mail: lorenzo.falzoi@gmail.com – PEC: lorenzo.falzoi@pec.epap.it
cell. 3205712144 – P.Iva 02322980901

PROGETTO: Interventi di manutenzione straordinaria (revamping) dell'impianto di depurazione consortile di Porto Torres. Realizzazione di un nuovo locale per la disidratazione dei fanghi. CUP: G27H20002700007 CIG: Z5039F735D

ELABORATO: RELAZIONE GEOLOGICA E SULLE INDAGINI

COD:A_01

COD: 17/23

DATA: maggio 2023

REV: 00

IL CONSULENTE:

Dott. Geol. Lorenzo Falzoi



IL COMMITTENTE:

**Consorzio Industriale
Provinciale di Sassari**



SOMMARIO

| | | |
|-----|--|----|
| 1 | PREMESSA..... | 2 |
| 2 | INQUADRAMENTO CARTOGRAFICO..... | 3 |
| 3 | NOTIZIE STORICHE DEPURATORE CONSORTILE..... | 5 |
| 4 | DETTAGLI PROGETTUALI..... | 7 |
| 4.1 | Intervento di messa in sicurezza locale disidratazione fanghi esistente..... | 7 |
| 4.1 | Realizzazione nuovo locale disidratazione fanghi..... | 10 |
| 5 | ANALISI DISPOSIZIONI E VINCOLI..... | 12 |
| 5.1 | PGRA – Piano di Gestione del Rischio Alluvioni..... | 12 |
| 5.2 | PAI – Piano Stralcio d'Assetto Idrogeologico..... | 12 |
| 6 | RELAZIONE SULLE INDAGINI..... | 13 |
| 6.1 | Sintesi sondaggi geognostici..... | 14 |
| 6.1 | Sintesi prove di laboratorio geotecnico..... | 17 |
| 6.1 | Sintesi prove geofisiche..... | 17 |
| 7 | RELAZIONE GEOLOGICA..... | 19 |
| 7.1 | Finalità e metodologia di studio..... | 19 |
| 7.2 | Inquadramento Geologico..... | 19 |
| 7.3 | Inquadramento geomorfologico..... | 23 |
| 7.4 | Inquadramento idrogeologico generale..... | 24 |
| 7.5 | Inquadramento idrogeologico sito specifico..... | 24 |
| 7.6 | Contesto geologico con preciso riferimento al progetto..... | 28 |
| 7.7 | Modellazione Geologica area locale disidratazione fanghi esistente..... | 28 |
| 7.8 | Modellazione Geologica area locale disidratazione fanghi in progetto..... | 29 |
| 8 | RELAZIONE SULLA PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE..... | 30 |
| 8.1 | Sismicità storica..... | 30 |
| 8.2 | Pericolosità sismica di base..... | 30 |
| 8.3 | Azione Sismica di progetto..... | 32 |
| 8.4 | Categoria di sottosuolo..... | 32 |
| 8.5 | Condizioni topografiche..... | 34 |
| 8.6 | Liquefazione..... | 34 |
| 9 | MODELLAZIONE GEOTECNICA..... | 36 |
| 9.1 | Caratterizzazione geotecnica dei terreni..... | 36 |
| 10 | CONSIDERAZIONI SUI DISSESTI IN ATTO..... | 40 |
| 11 | CONCLUSIONI..... | 42 |

ALLEGATI:

Campagna indagini aprile 2023

- Ubicazione Indagini
- Stratigrafie sondaggi
- Certificati laboratorio geotecnico
- Report prove SPT
- Report Geofisico
-
- Sezione geologica e geotecnica

1 PREMESSA

In relazione al progetto per “*Interventi di manutenzione straordinaria (revamping) dell'impianto di depurazione consortile di Porto Torres. Realizzazione di un nuovo locale per la disidratazione dei fanghi (CUP: G27H20002700007 CIG: Z5039F735D)*”, il Consorzio Industriale Provinciale di Sassari ha affidato allo scrivente Dott. Geol. Lorenzo Falzoi, la redazione della presente relazione geologica e relazione sulle indagini, per determinare gli assetti geologico strutturali e le caratteristiche fisico meccaniche dei terreni interessati dalle opere in oggetto.

A integrazione di due campagne indagini geognostiche pregresse condotte del 2017 (consolidamento locale essiccamento fanghi) e nel 2019 (realizzazione altre opere) all'interno del medesimo sito, allo scopo di consolidare e verificare i dati e la natura dei terreni di sedime e la fattibilità dell'interventi di progetto, si è reso necessario estendere la caratterizzazione geologica e geotecnica con una nuova campagna indagini condotta ad aprile del corrente anno.

Il presente lavoro, quindi, per il tipo e l'ampiezza dello studio, è stato elaborato in parziale ottemperanza al D.M. 11.03.1988 e ss.mm.ii, e secondo quanto stabilito nelle “Norme tecniche per le costruzioni” del **D.M. del 17 gennaio 2018** e **Circolare esplicativa 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP** per la ricostruzione del modello geologico (§ 6.2.1 delle NTC 2018), del modello geotecnico dei terreni fondali (§ 6.2.2 delle NTC 2018) e sismostratigrafico del sottosuolo e la definizione del valore di $V_{s,eq}$ per la determinazione della categoria di sottosuolo, in attinenza con prove geofisiche eseguite (§ 3.2.2 delle NTC 2018).

Nello specifico lo studio geologico attuale è stato caratterizzato dalle seguenti attività:

- ricerca e analisi bibliografica e cartografica di sondaggi e prove pregresse, della geologia e delle caratteristiche litologiche dei terreni affioranti nell'area di studio e nelle zone contermini;
- esame delle foto aeree e satellitari disponibili, per un'estensione significativa rispetto all'opera in oggetto;
- verifica fenomeni franosi nella Carta Inventario dei Movimenti Franosi I.F.F.I. - Inventario Fenomeni Franosi in Italia;
- verifica fenomeni franosi nell'Inventario dei Fenomeni Franosi e Situazioni a Rischio di Frana del P.A.I. Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico;
- rilevamento geologico e geomorfologico delle aree interessate dal presente progetto;
- esecuzione di n° 1 profilo sismico tomografico a rifrazione in onde P, finalizzati alla ricostruzione dei rapporti esistenti tra i terreni di copertura e il substrato geologico costituente il volume significativo dell'opera;
- esecuzione di n° 2 profili sismici di superficie in tecnica MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves), finalizzati alla determinazione della categoria di sottosuolo nell'ambito della definizione delle azioni sismiche di progetto;

- esecuzione di n° 2 sondaggi a carotaggio continuo con prelievo di n°4 campioni geotecnici, ed esecuzione di diverse prove SPT in foro, al fine di ricostruire il modello stratigrafico dei terreni e di verificare la presenza e quota della falda freatica;
- Esecuzione delle seguenti prove di laboratorio sui campioni indisturbati prelevati nei sondaggi a carotaggio continuo: Prove di classificazione, di resistenza al taglio, di compressibilità edometrica e di compressione uniassiale.

2 INQUADRAMENTO CARTOGRAFICO

Il depuratore è ubicato in un'area consortile, situata all'interno del sito petrolchimico multi societario del Comune di Porto Torres. Esso si sviluppa su un'area di circa 14 ettari prospiciente il porto industriale di Porto Torres e confinante su tre lati con gli stabilimenti di proprietà Syndial. In particolare, gli interventi in progetto si collocano nel settore sud orientale dell'area del depuratore.

Dal punto di vista cartografico l'area è distinta nelle seguenti tavole:

- 1:25.000 - Carta Geologica di Base – Regione Sardegna;
- 1:25.000 - Carta Topografica I.G.M, Foglio 441 sez. III "Porto Torres";
- 1:10.000 - Carta Tecnica Regionale, tavola 441130.

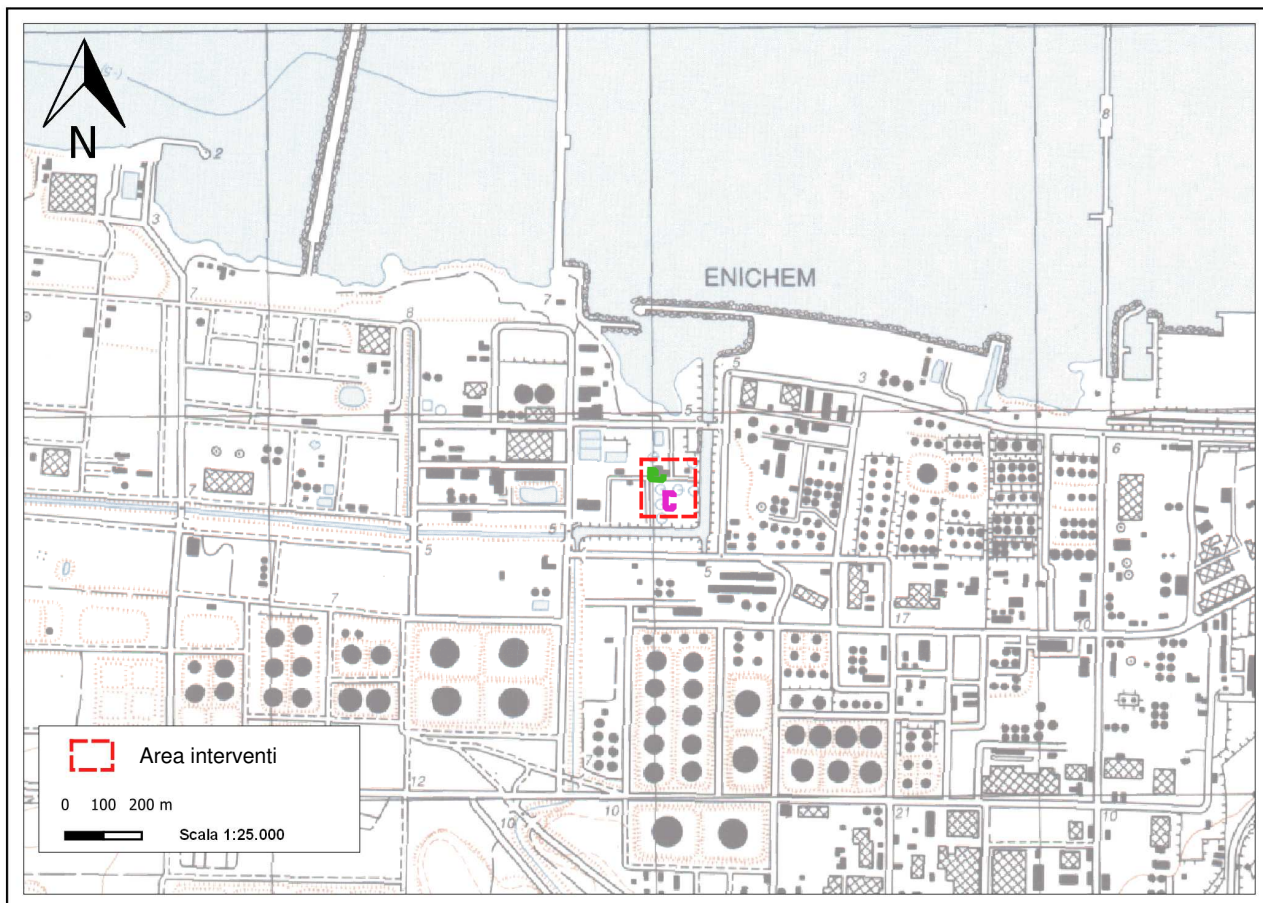


Figura 1 – Foglio I.G.M. 441 Sez. III in scala 1:25.000 con inquadramento dell'area.

Le coordinate geografiche dei baricentri delle aree di intervento previste, in WGS84, sono di seguito riportate:

| Edificio da consolidare | Edificio in progetto |
|---|---|
| Latitudine: 40°50'6.23" N Longitudine: 8°21'31.40" E | Latitudine: 40°50'4.03"N Longitudine: 8°21'33.11"E |

3 NOTIZIE STORICHE DEPURATORE CONSORTILE

Il sito oggetto del presente lavoro ha subito notevoli trasformazioni, nel corso degli ultimi 60 anni, che ne hanno mascherato e in parte obliterato i caratteri geomorfologici e ambientali originari.

Fino all'inizio degli anni '60, l'area era in gran parte occupata dallo Stagno di Genano che si affacciava su un tratto di costa rocciosa bassa intervallata da piccole spiagge sabbioso-ciottolose.

Lo Stagno di Genano fu utilizzato dagli anni '60 agli anni '80 come recapito finale di "tutti i reflui industriali non trattati" prodotti dal Petrolchimico di Porto Torres.

Nel Verbale di consegna dei lavori di realizzazione del depuratore e del canale emissario a mare, è possibile chiaramente pervenire all'accertamento della situazione preesistente alla realizzazione del depuratore, gestita almeno fino al 1984, anno dell'avvio dell'impianto. Su tale documentazione sono evidenziate e descritte le tre vasche di calma utilizzate dall'allora SIR per lo scarico nello Stagno di Genano delle acque chimiche ed oleose da produzione e le acque decantate da oli minerali.

Si riporta una panoramica fotografica ripresa sul cantiere avviato, con già parte dello Stagno di Genano oggetto di colmata, all'interno del quale si notano a destra verso Nord la citata vasca di decantazione oli e sulla sinistra verso Sud la vasca di calma di scarico dei reflui industriali, ambedue realizzate direttamente sul terreno senza alcuna impermeabilizzazione.

I lavori per la realizzazione del depuratore iniziarono nei primi anni '80 e gli impianti entrarono in funzione nel gennaio del 1986.

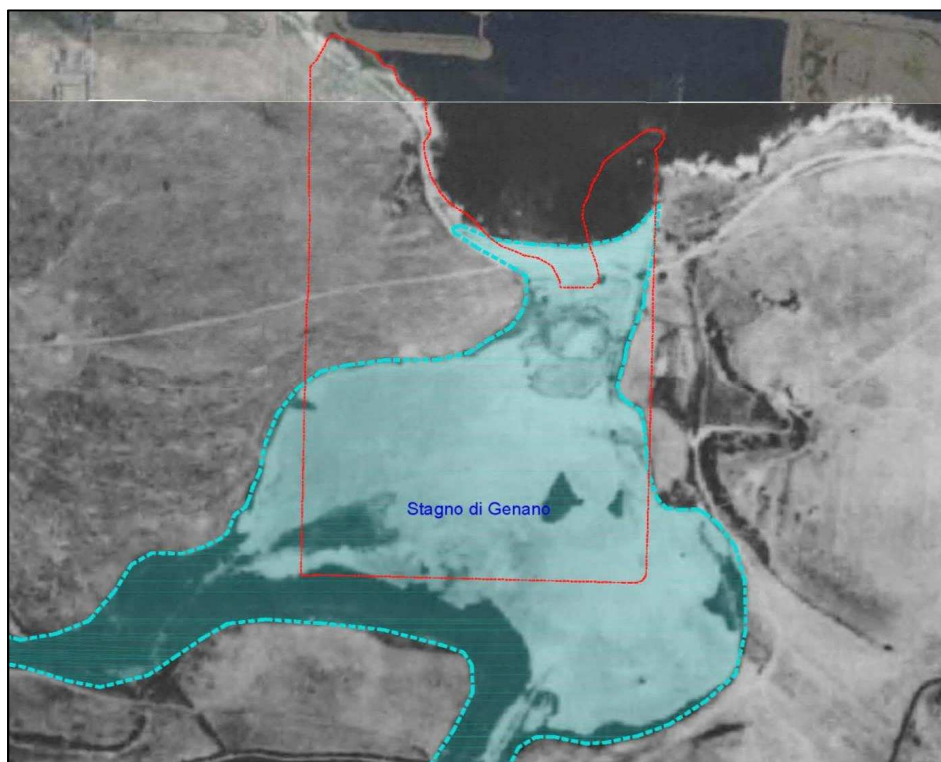


Figura 2 – Ubicazione dello Stagno di Genano su Ortofoto del 1955 (fonte RAS). In rosso il confine dell'attuale depuratore consortile

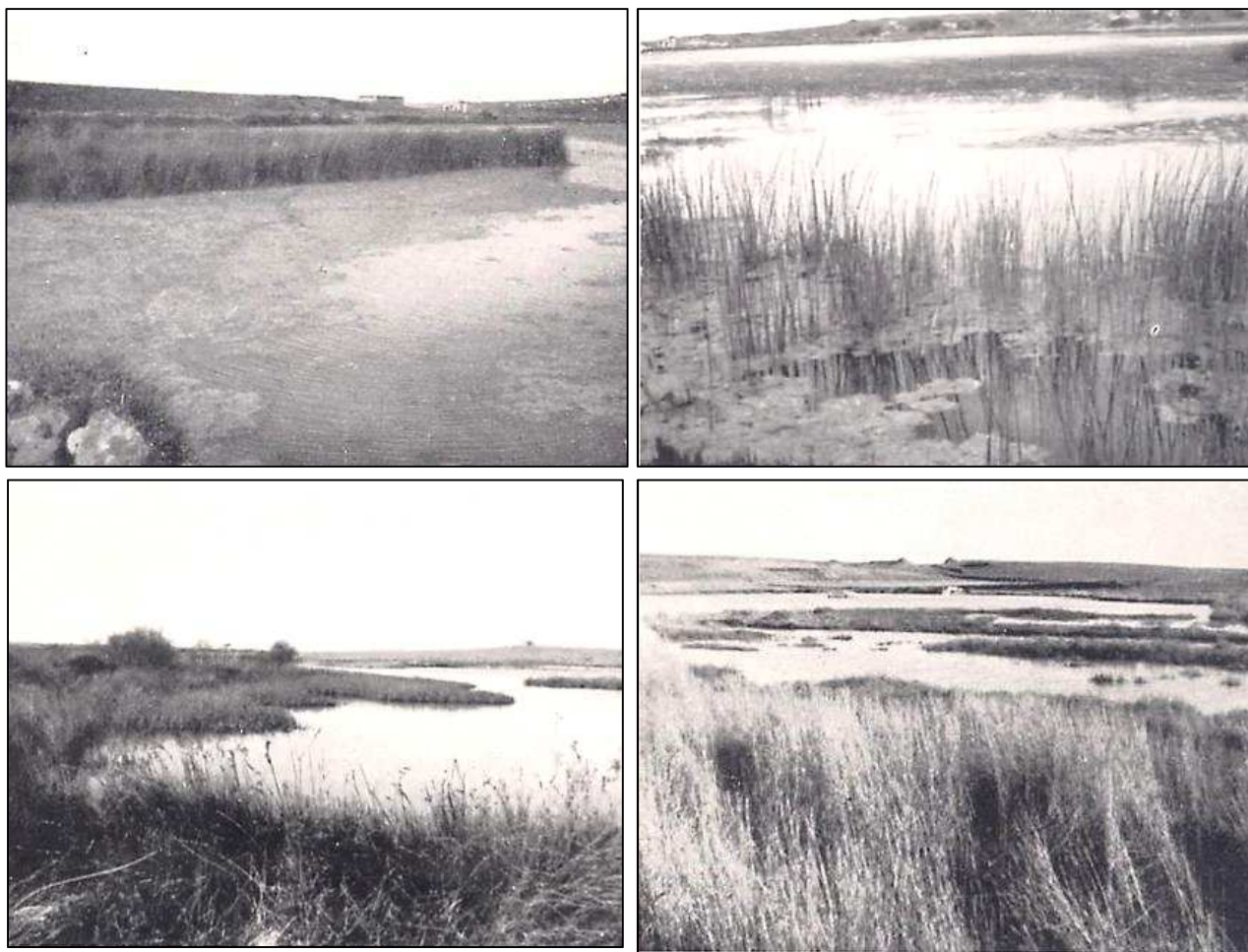


Figura 3 – Foto storiche dello Stagno di Genano (Studi SS., Sez. III, v 5 – 1962)

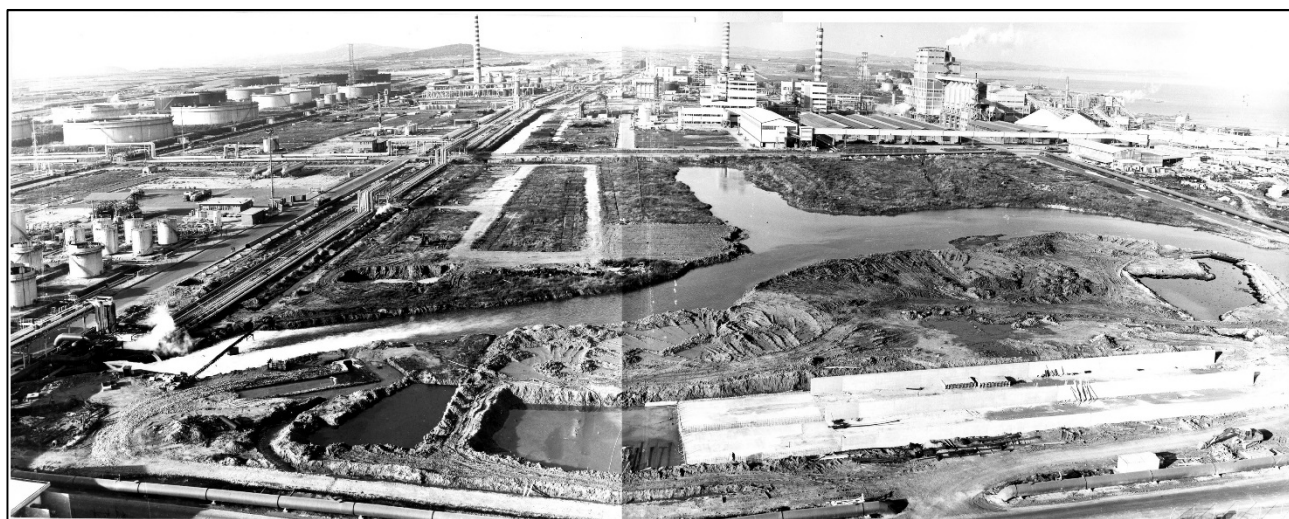


Figura 4 – Prime fasi della realizzazione del depuratore consortile.

4 DETTAGLI PROGETTUALI

4.1 Intervento di messa in sicurezza locale disidratazione fanghi esistente

Da un confronto tra gli attuali progettisti e la Committenza è emerso che:

- alcuni degli interventi previsti nel Progetto Definitivo a Base Gara sul manufatto in oggetto risulterebbero di difficile fattibilità con particolare riferimento alla realizzazione di n.41 micropali (ciascuno di lunghezza pari a 20 m) posti all'interno dell'ingombro del manufatto in quanto bisognerebbe attestarsi con le trivelle all'interno del manufatto stesso;
- le condizioni attuali del manufatto, visto l'importante cedimento differenziale riscontrato, denotano una certa irreversibilità sulle condizioni di sicurezza: infatti le travi ubicate nella zona interessata dal cedimento presentano comunque una certa deformazione che, seppure fosse in campo elastico, sarebbe comunque impossibile da ripristinare;
- eventuali interventi di miglioramento/adeguamento sismico, qualora si ritenessero fattibili date le condizioni attuali del manufatto, non sarebbero tali da garantire la stessa vita utile del manufatto (in quanto esistente) rispetto alla vita utile che possiederebbe un manufatto di nuova realizzazione.

Per tanto la scelta della Committenza è consistita, ferma restando l'importanza del locale disidratazione fanghi per il funzionamento ottimale dell'impianto di depurazione, nella **delocalizzazione del locale stesso con realizzazione di struttura ex-novo (di cui trattasi al successivo Capitolo della presente Relazione) ubicata su un'area dell'impianto attualmente non utilizzata.**

Per quanto riguarda il manufatto esistente, in tale fase progettuale, è stata prevista la sola "messa in sicurezza" della porzione oggetto di dissesto strutturale: sarà facoltà della Committenza valutare, in previsione futura, se demolire totalmente il fabbricato oppure prevedere interventi sul manufatto stesso.

La **messa in sicurezza** del manufatto esistente consiste nella **stabilizzazione del cedimento differenziale che avviene ripristinando il corretto trasferimento dei carichi gravanti dalla struttura in elevazione, nella porzione oggetto del cedimento, su strati profondi del sottosuolo mediante realizzazione di zattera su micropali**. La zattera, da realizzarsi previa rimozione delle piastre esistenti e pulizia manuale dello spazio tra la testa del palo e l'intradosso della platea, presenta spessore di 0,25 m (pari alla dimensione del "vuoto" attuale) ed ingombro di dimensioni 2,40 m x 2,40 m.

La zattera ovviamente sarà tale da inglobare l'ingombro del palo ed avrà la sola funzione di trasmettere i carichi gravanti dalla struttura in elevazione sui nuovi micropali "scaricando", a favore di sicurezza, il palo esistente: tale scelta progettuale, infatti, discende dal fatto che non è noto se il difetto costruttivo è dovuto ad una errata realizzazione geometrica del palo rispetto alla platea oppure se il palo stesso abbia subito cedimenti prima ancora del getto della platea (la nuova zattera

non sarà ancorata alla testa del palo né all'intradosso della platea: al fine di realizzare tale ipotesi progettuale, sulla testa del palo stesso si prevede la posa in opera di cuscinetto in polistirolo dello spessore di 2 cm da predisporre prima del getto della nuova zattera).

Per tanto la zattera sarà fondata su n.3 micropali aventi ciascuno diametro di 114 mm e lunghezza di 22 m.

Per maggiori dettagli sulla geometria dell'opera si rimanda ai relativi elaborati grafici di progetto.

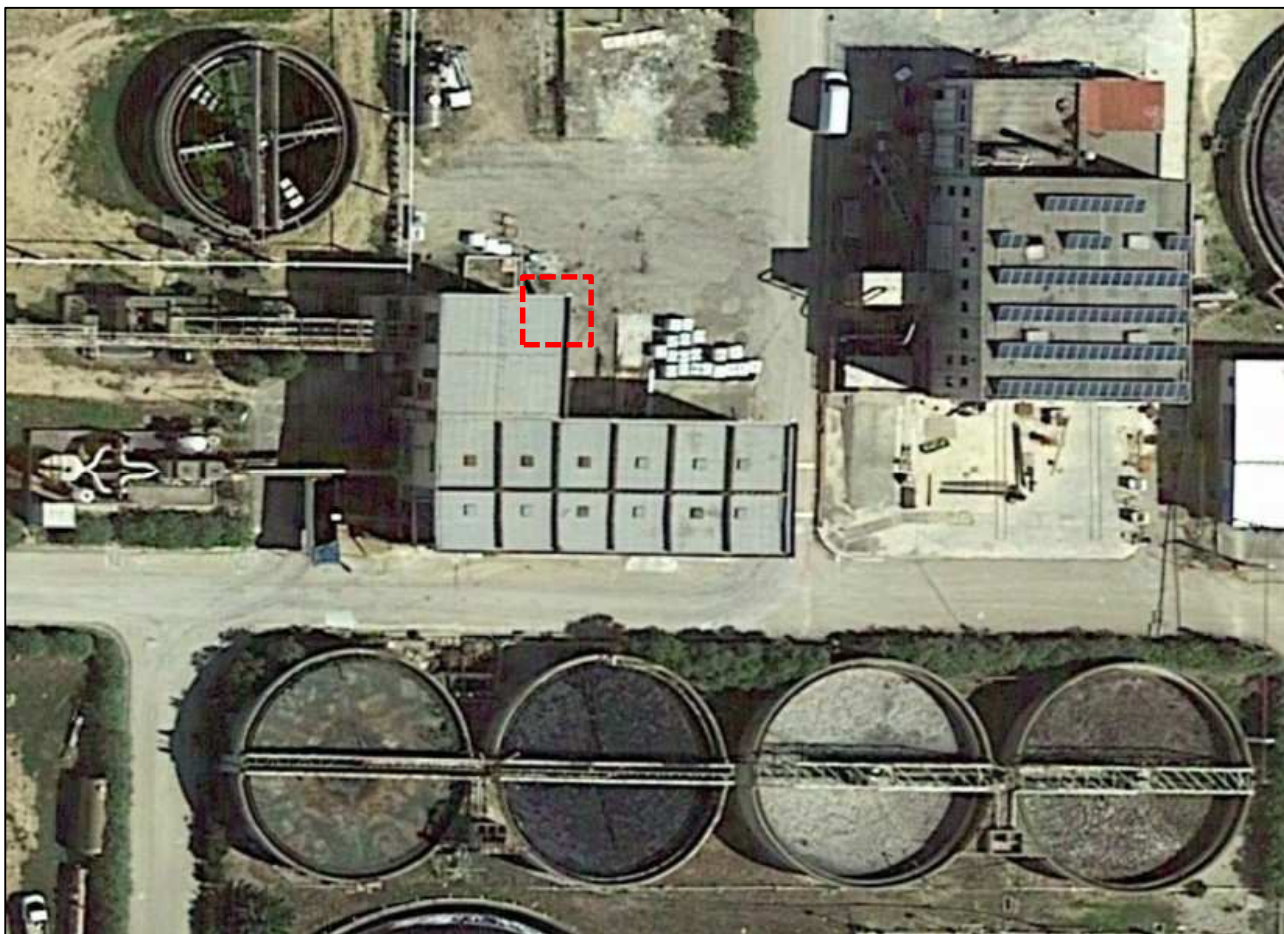


Figura 5 – Vista in pianta del locale disidratazione fanghi esistente con identificazione area di intervento (in rosso)



Figura 6 – Effetti del cedimento differenziale dovuto al difetto costruttivo sull'attacco palo-platea

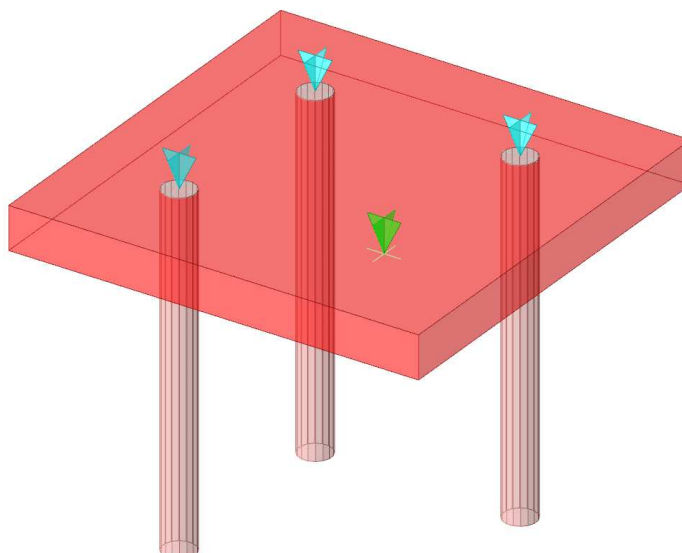


Figura 7 – Modello tridimensionale degli interventi

Ai fini di un corretto dimensionamento delle opere di consolidamento, a conferma del modello geologico generale e per la restituzione di quello con le caratteristiche fisico meccaniche dei terreni interessate dagli interventi sopra descritti, sono state considerate valide le risultanze della campagna indagini del 2017 consistite nella realizzazione di due sondaggi geognostici (uno interno alla struttura e uno immediatamente all'esterno), spinti alla profondità di 23 e 25 metri dal p.c rispettivamente, la cui ubicazione è riportata nella figura sottostante. Tali indagini sono state integrate nell'aprile 2023 dalla realizzazione di uno stendimento sismico in tecnica MASW per la definizione della categoria di sottosuolo e conferma della profondità del substrato lapideo.

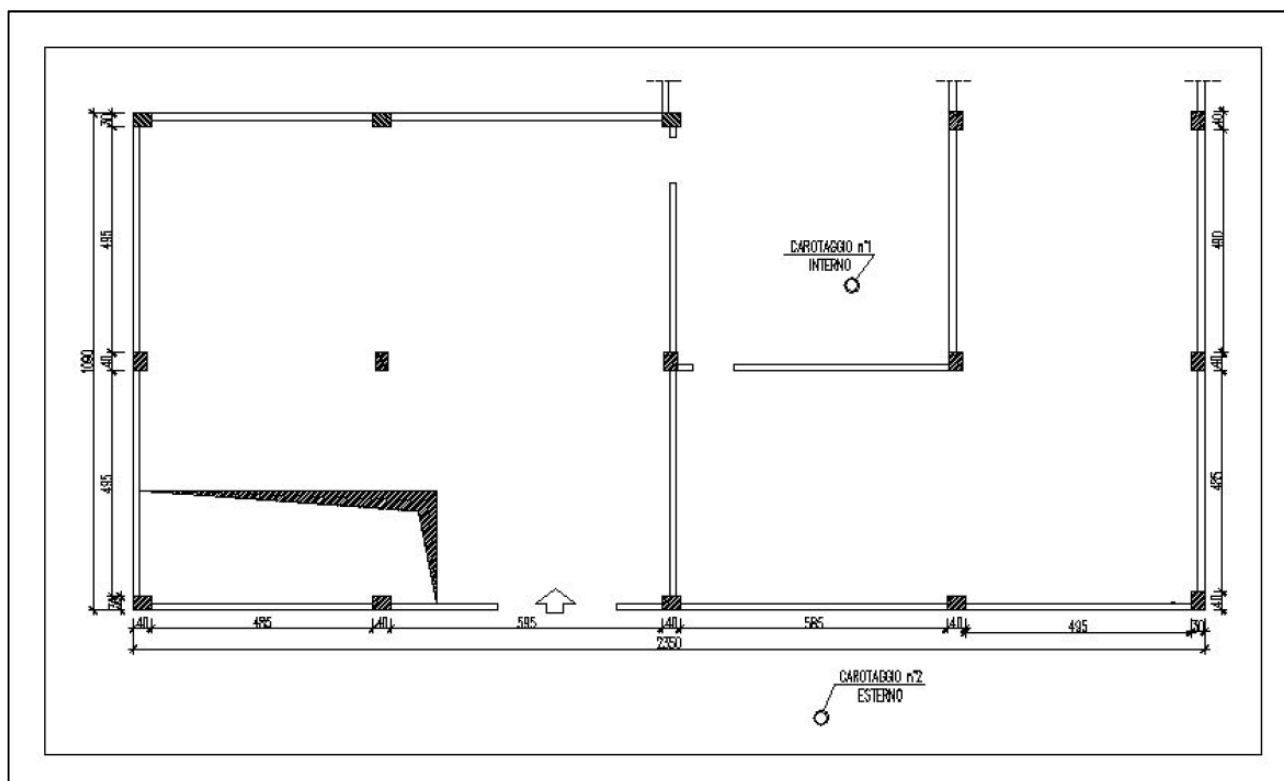


Figura 8 – Ubicazione sondaggi ottobre 2017

4.1 Realizzazione nuovo locale disidratazione fanghi

Il Nuovo locale di disidratazione fanghi è rappresentato da un manufatto con struttura a telaio in acciaio da carpenteria da realizzarsi nell'area dell'impianto dove è presente una platea esistente. In corrispondenza di ciascuno dei nuovi montanti della struttura in elevazione si prevede la realizzazione di plinti su pali di fondazione date le caratteristiche meccaniche degli strati costituenti il sottosuolo. Si riportano le caratteristiche salienti dell'opera:

- **Struttura di fondazione:** è di tipo profondo essendo costituito da n.16 plinti su pali trivellati in c.a. Ciascun plinto presenta dimensioni in pianta 1,00 m x 1,00 m e spessore di 0,40 m e ciascun palo presenta un diametro di 0,40 m ed una lunghezza di 14,00 m. Come già esposto, poiché il manufatto viene realizzato su un'area in cui è presente una platea esistente, il getto dei plinti su pali sarà da realizzarsi previo scasso della platea esistente in corrispondenza di ciascun plinto. Pertanto, tutta la restante porzione della platea esistente costituirà semplicemente la struttura di collegamento del nuovo sistema di fondazione (i nuovi plinti non presentano alcuna connessione con la platea esistente).

- **Struttura in elevazione:** è costituita da un telaio in acciaio con ingombro in pianta rettangolare di dimensioni esterne complessive di 12,80 m x 15,00 m. La struttura in elevazione è suddivisa in due unità funzionali: un locale quadri ed un locale disidratazione. Il locale quadri presenta ingombro in pianta rettangolare di dimensioni 12,80 m x 4,30 m con altezza minima sotto trave di 3,00 m ed altezza massima sotto trave di 3,50 m, mentre il locale disidratazione presenta ingombro in pianta rettangolare di dimensioni 12,80 m x 10,70 m con altezza minima sotto trave di 4,50 m ed altezza massima sotto trave di 5,00 m. Il telaio in acciaio consta di n. 16 montanti ciascuno costituito da profilati HEB 200. Per quanto riguarda il locale quadri, in testa ai montanti sono realizzate, nella direzione trasversale del manufatto, travi IPE 240 (collegate ai montanti di bordo del locale quadri), mentre in direzione longitudinale sono realizzate n.2 travi di bordo IPE 200 e n.2 travi interne IPE 270. Per quanto riguarda il locale disidratazione, in testa ai montanti sono realizzate, in direzione longitudinale, travi IPE 220 mentre in direzione trasversale sono realizzate travi IPE 240 (in particolare vengono realizzate delle travi rompitratta di sezione IPE 220 nella porzione del locale disidratazione nella quale i montanti sono posti ad un interasse di 5,80 m). Gli arcarecci di copertura sono costituiti tutti da profili di sezione OMEGA 12x60x30x3. Per quanto concerne la copertura: il locale quadri presenta copertura a falda singola con angolo di circa 6,6° al di sopra dell'orizzontale (pendenza dell'11,6%) mentre il locale disidratazione presenta copertura a due falde rispettivamente con angolo di 6,10° al di sopra dell'orizzontale (pendenza del 10,6%) e di 5,0° (pendenza dell'8,6%). I tamponamenti esterni sono realizzati con pannelli di tipo sandwich di spessore 4 cm, mentre il pacchetto di copertura è realizzato con pannelli di tipo sandwich di spessore 3 cm. La struttura di sostegno dei pannelli di tamponamento è composta da montanti e travi costituiti tutti da profilati UPN 120.

Il telaio in acciaio è ancorato alla testa dei plinti mediante piastre fissate con barre annegate nel calcestruzzo. Tutte le unioni in elevazione sono di tipo bullonato.

La struttura in elevazione è realizzata fuori terra con quota di estradosso della platea di fondazione pari alla quota del piano campagna. Per quanto riguarda il locale quadri, la quota del livello di gronda è pari a +3,00 m rispetto al p.c. e la quota del livello di colmo è pari a +3,50 m rispetto al p.c. Per quanto riguarda il locale disidratazione, la quota del livello di gronda è pari a +4,50 m rispetto al p.c. e la quota del livello di colmo è pari a +5,00 m rispetto al p.c.

Per maggiori dettagli sulla geometria dell'opera si rimanda ai relativi elaborati grafici di progetto. Nelle successive figure sono riportate l'ubicazione planimetrica della platea esistente all'interno dell'impianto nonché le immagini relative al modello utilizzato nel programma di calcolo.

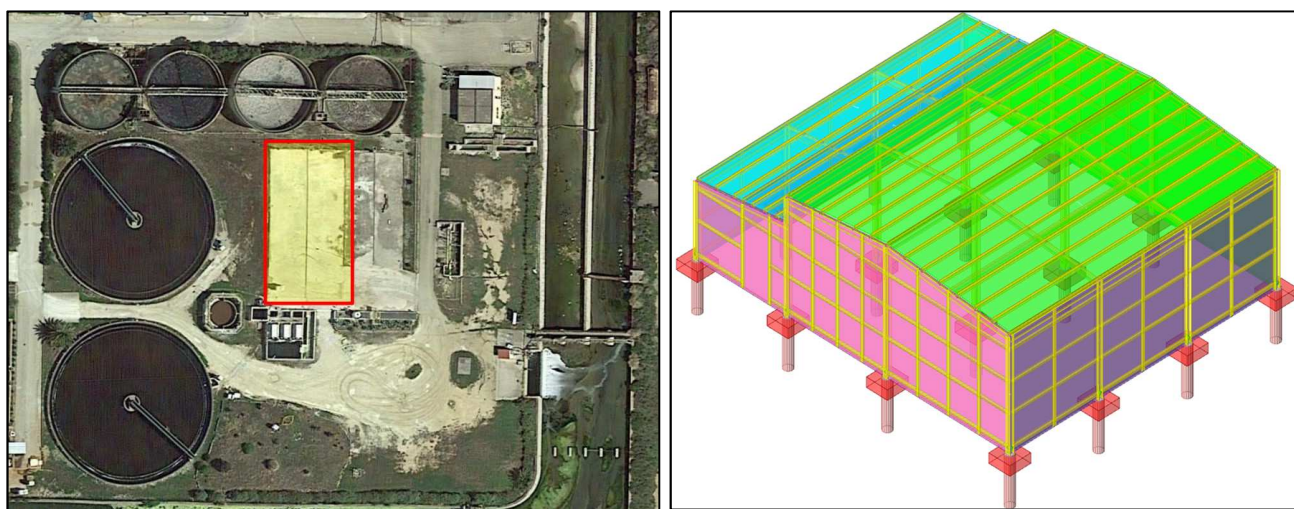


Figura 9 – Vista in pianta della platea esistente all'interno dell'impianto (sx) e Modello tridimensionale della struttura (dx)

5 ANALISI DISPOSIZIONI E VINCOLI

Al fine di valutare eventuali limitazioni alla fattibilità degli interventi in progetto e all'uso del territorio, si è verificato il regime vincolistico proposto dalle principali norme vigenti a tutela del territorio.

5.1 PGRA – Piano di Gestione del Rischio Alluvioni

L'articolo 7 del D.lgs. 23 febbraio 2010 n. 49 "Attuazione della Direttiva Comunitaria 2007/60/CE, relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni", che recepisce in Italia la Direttiva comunitaria 2007/60/CE, prevede che in ogni distretto idrografico, di cui all'art. 64 del D.lgs. 152/2006, sia predisposto il Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni. In tal senso il Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni della Regione Sardegna è uno strumento trasversale di raccordo tra diversi piani e progetti, tra cui il **PAI** (per la Pericolosità idraulica) e il **PSFF** (Piano Stralcio Fasce Fluviali), di carattere pratico e operativo ma anche informativo, conoscitivo e divulgativo, per la gestione dei diversi aspetti organizzativi e pianificatori correlati con la gestione degli eventi alluvionali in senso lato. Si rileva che l'area in questione non risulta interessata dalle perimetrazioni all'interno della cartografia ufficiale del Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni e, per quanto concerne il pericolo idraulico, l'area del depuratore oggetto di studio, non ricade in aree perimetrate dal Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico, e dal Piano Stralcio Fasce Fluviali.

5.2 PAI – Piano Stralcio d'Assetto Idrogeologico

Per quanto attiene al Piano di Assetto Idrogeologico – Pericolosità da frana, con deliberazione n. 1 del 16.06.2015, il Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino ha approvato in via definitiva la variante al Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico (PAI) relativa al sub-bacino Coghinas – Mannu - Temo (sub-bacino 3) in cui ricade interamente il Comune di Porto Torres. Le varianti proposte e adottate dallo "Studio di dettaglio e approfondimento del quadro conoscitivo della pericolosità e del rischio da frana nel Sub Bacino n°3 Coghinas – Mannu – Temo", inquadrano le aree di ingombro dei due interventi in progetto e oggetto della manutenzione straordinaria e della realizzazione del locale disidratazione fanghi, all'interno di "Aree prive di pericolosità geomorfologica".

6 RELAZIONE SULLE INDAGINI

Al fine di ricostruire un modello completo di tipo geologico, geotecnico, sismico e idrogeologico, in questa fase progettuale, a integrazione delle campagne geognostiche pregresse (2017 e 2019), nel mese di aprile del 2023, è stata effettuata una campagna di indagini geognostiche dirette e indirette costituite da:

- Sondaggi geognostici
- Prove in situ (SPT)
- Analisi geotecniche di laboratorio
- Indagini geofisiche (sismica)

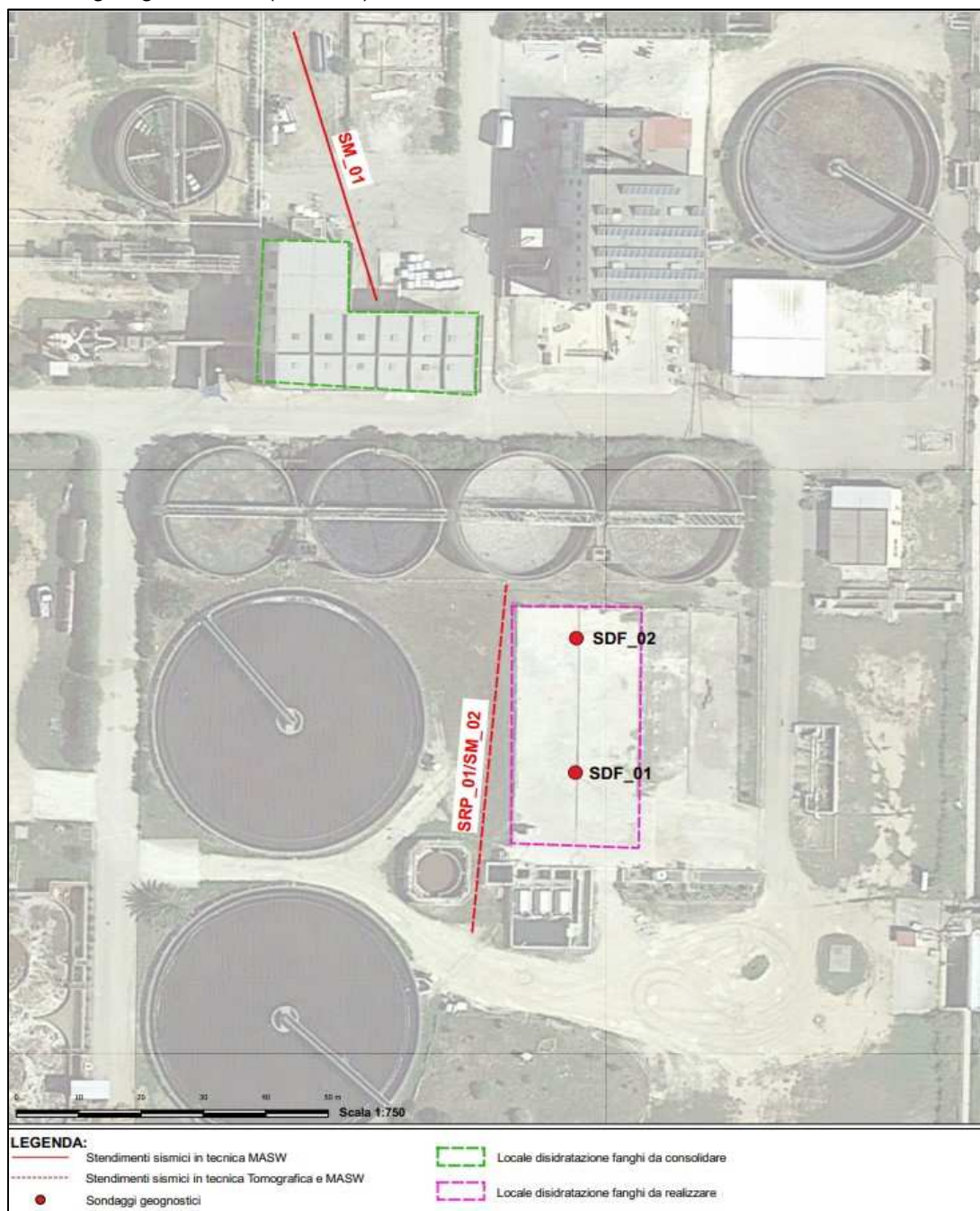


Figura 10 – Ubicazione indagini 2023

I sondaggi, la cui ubicazione è riportata nella figura 10, hanno primariamente consentito una precisa ricostruzione stratigrafica dell'area e il campionamento dei materiali interessati dalla perforazione nell'area ove sorgerà il nuovo locale disidratazione fanghi. Nello specifico, sono stati realizzati 2 sondaggi spinti fino alla profondità 15,00 m dal piano campagna.

Durante l'approfondimento dei sondaggi è stato possibile inoltre sia effettuare un totale di 10 prove penetrometriche in foro (SPT) nelle coperture antropiche e palustri al di sopra del *bedrock*, che campionare i materiali attraversati alle varie profondità per sottoporli a successive prove geotecniche (Classificazione, prove di taglio, Prove Edometriche, Prove compressione uniassiale su provini lapidei). In totale sono stati prelevati 4 campioni geotecnici i cui certificati sono allegati al presente elaborato.

Infine, l'analisi delle carote sul substrato lapideo ha consentito di valutare la fratturazione dell'ammasso roccioso e determinare l'indice RQD per la caratterizzazione dell'ammasso roccioso.

Sono stati effettuate inoltre prove indirette di tipo sismico al fine della caratterizzazione del sito di progetto tramite la ricostruzione del modello sismo-stratigrafico del sottosuolo e con la contestuale determinazione della Categoria di sottosuolo definita dal valore di $V_{s,eq}$, secondo quanto stabilito nelle "Norme tecniche per le costruzioni" del D.M. del 17 gennaio 2018, sia per l'area in cui è prevista la realizzazione del locale disidratazione fanghi, che per quella in cui saranno realizzati gli interventi di consolidamento di quello esistente.

6.1 Sintesi sondaggi geognostici

In sintesi, i sondaggi hanno consentito di ricostruire per ogni punto di indagine un modello stratigrafico e valutare la circolazione idrica sotterranea. Durante l'avanzamento dei sondaggi è stato inoltre possibile prelevare campioni geotecnici, effettuare le prove in foro SPT e valutare lo stato di fratturazione (RQD).

Si riportano di seguito le informazioni principali per ogni sondaggio, le cui stratigrafie di dettaglio sono riportate in allegato.

SDF_01: Tale sondaggio si è approfondito fino a -15 metri con la tecnica del carotaggio a rotazione continuo.

Al di sotto di una platea di calcestruzzo sono stati rilevati materiali di riporto con clasti di natura calcarea e matrice sabbioso-limosa-argillosa fino alla profondità di 3,80m; seguono depositi palustri limo-argillosi ricchi di sostanza organica, privi di consistenza e saturi di colore grigio-nerastro fino a - 8,00 m; da 8,90 a 9,40 si rinvencono sabbie grigie sciolte o poco addensate; da 9,40 a 15,00 m si rinviene il substrato lapideo miocenico costituito da una calcarenite organogena, ricca di fossili (*Turritelle*, *bivalvi*), vacuolare, molto alterata nel primo metro di profondità e maggiormente

consistente con l'aumentare della profondità. Nella porzione lapidea sono stati registrati i seguenti valori di RQD:

- 12-13m: 0%
- 13-14m: 80%
- 14-15 m: 76%

Le prove SPT che hanno rispettivamente interessato le coperture antropiche, i depositi palustri, le sabbie alla base, e i livelli superficiali delle calcareniti, all'interno delle quali la prova è andata a rifiuto evidenziandone una consistenza lapidea.

| ID | PROF | N1 | N2 | N3 | Nspt | STRATO |
|------|------------------|----|---------|----|---------|----------------------|
| SPT1 | -1,00 - 1,45 m | 3 | 4 | 5 | 9 | Riporto |
| SPT2 | -2,00 - 2,45 m | 1 | 1 | 2 | 3 | Riporto |
| SPT3 | -4,20 - 4,65 m | 0 | 0 | 0 | 0 | Depositi lacustri |
| SPT4 | -7,00 - 7,45 m | 0 | 1 | 1 | 2 | Depositi lacustri |
| SPT5 | -10,00 - 10,45 m | 3 | 11 | 11 | 22 | Calcarenite alterata |
| SPT6 | 12,00 m | 30 | 50x11cm | | Rifiuto | Calcarenite lapidea |

La misura del livello di falda nel foro di sondaggio si è stabilizzata a – 2,35 m dal p.c.

SDF_02: Tale sondaggio si è approfondito fino a -15 metri con la tecnica del carotaggio a rotazione continuo.

Al di sotto di una platea di calcestruzzo sono stati rilevati materiali di riporto con clasti di natura calcarea e matrice sabbioso-limosa-argillosa fino alla profondità di 4,20m; seguono depositi palustri limo-argillosi ricchi di sostanza organica, priva di consistenza e saturi di colore grigio-nerastro fino a – 9,00 m; da 9,00 a 10,00 si rinvencono sabbie grigie sciolte o poco addensate; da 9,40 a 15,00 m si rinviene il substrato lapideo miocenico costituito da una calcarenite organogena, ricca di fossili (*Turritelle, bivalvi*), vacuolare, molto alterata nel primo metro di profondità e maggiormente consistente con l'aumentare della profondità. Nella porzione lapidea sono stati registrati i seguenti valori di RQD:

- 12-13m: 30%
- 13-14m: 38%
- 14-15 m: 23%

Le prove SPT che hanno rispettivamente interessato le coperture antropiche, i depositi lacustri, le sabbie alla base, e i livelli superficiali delle calcareniti, all'interno delle quali la prova è andata a rifiuto evidenziandone una consistenza lapidea.

| ID | PROF | N1 | N2 | N3 | Nspt | STRATO |
|------|----------------|----|----|----|------|---|
| SPT1 | -1,50 - 1,95 m | 2 | 2 | 3 | 5 | Riporto |
| SPT2 | -3,00 - 3,45 m | 1 | 2 | 2 | 4 | Riporto |
| SPT3 | -4,50 - 4,95 m | 0 | 1 | 0 | 1 | Depositi lacustri |
| SPT4 | -9,00 - 9,45 m | 6 | 5 | 1 | 6 | Sabbie (gli ultimi 15 cm della prova sono riferiti alle sabbie) |

La misura del livello di falda nel foro di sondaggio si è stabilizzata a – 2,00 m dal p.c.



Figura 11 – Realizzazione sondaggio SDF_01 e SDF_02



Figura 12 – Spezzoni di carota di calcarenite con in evidenza l'abbondante componente fossilifera

6.1 Sintesi prove di laboratorio geotecnico

Analisi sui campioni indisturbati di terreno:

| PARAMETRO | CAMPIONE SDF_01 (3,20÷3,80m) | CAMPIONE SDF_02 (6,80÷7,40m) |
|---------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| Densità naturale (kN/m ³) | 19,28 | 15,28 |
| Indice dei vuoti (e) | 0,607 | 1,965 |
| Grado di Saturazione (%) | 95,07 | 100,70 |
| Coesione efficace (kPa) | 15,10 | 13,40 |
| Coesione non drenata (kPa) | 13,25 | 12,06 |
| Angolo attrito efficace (°) | 25,60 | 27,00 |
| Limite Liquido (%) | 36 | 59 |
| Limite Plastico (%) | 27 | 42 |
| Indice Plastico | 9 | 17 |
| Indice di Gruppo | 2 | 15 |
| Class. UNI 11531-1 | A4 | A7-5 |
| Limite di Ritiro Ws (%) | 19,71 | 26,71 |
| Ritiro Lineare Ls (%) | 25,54 | 25,52 |

Analisi sui campioni di roccia:

| PARAMETRO | CAMPIONE SDF_01 (13,50÷13,82m) | CAMPIONE SDF_02 (12,80÷13,00m) |
|-------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Massa Volumica (kg/m ³) | 1864,3 | 2155,6 |
| Resistenza a rottura (MPa) | 4,12 | 11,72 |
| Modulo di Young (MPa) | --- | 11474 |

6.1 Sintesi prove geofisiche

Unitamente ai sondaggi geognostici è stata eseguita una campagna di indagini geofisiche finalizzata alla caratterizzazione sismostratigrafica del sito di progetto tramite la ricostruzione dei modelli sismo-stratigrafici del sottosuolo, unitamente alla determinazione della Categoria di Sottosuolo definita dal valore di Vs,eq, secondo quanto stabilito nelle "Norme tecniche per le costruzioni" del D.M. del 17 gennaio 2018.

Nello specifico sono state svolte le seguenti indagini geofisiche:

- N. 2 profili sismici Masw (Multi-channel Analysis of Surface Waves) monodimensionali con elaborazione profilo in onde S;
- N. 1 profilo sismico a rifrazione in tecnica tomografica con acquisizione in onde P;

| PROFILO | Tecnica di indagine | lunghezza stendimento (m) | distanza intergeofonica (m) | orientazione stendimento | durata acquisizione (s) | tempo di campionamento (ms) |
|---------------|------------------------------|---------------------------|-----------------------------|--------------------------|-------------------------|-----------------------------|
| SM_01 | Sismica MASW | 46 | 2.0 | SE-NO | 1.0 | 0.500 |
| SM_02 | Sismica MASW | 57.5 | 2.5 | S-N | 1.0 | 0.500 |
| SRP_01 | Tomografia sismica in onde P | 60.0 | 2.5 | S-N | 1.0 | 0.250 |

I profili sismici a rifrazione hanno consentito di delineare il seguente modello sismo-stratigrafico interpretativo:

| PROFILO SM_01 | | | | |
|---------------|----------------|--------------------|------------------------------------|-------------------------|
| STRATO | SPESSORE medio | VELOCITA' Vs media | LITOLOGIA | CARATTERISTICHE FISICHE |
| 1 | 6.50 m | 218 m/s | Limo sabbioso argilloso con clasti | poco addensato |
| 2 | 6.80 m | 127 m/s | Limi argillosi | molto scadenti |
| 3 | 4.60 m | 292 m/s | Terreni granulari prevalenti | mediamente addensati/ |
| 4 | 7.30 m | 567 m/s | Substrato litoide calcarenitico | alterato |
| 5 | 4.80 m | 686 m/s | | poco alterato |

Modello sismo-stratigrafico derivato dall'indagine sismica area locale disidratazione fanghi esistente

| PROFILO SM_02 - SRP_01 | | | | | |
|------------------------|------------------|-----------------------|--------------------|--|-------------------------------------|
| STRATO | SPESSORE min-max | VELOCITA' Vp min -max | VELOCITA' Vs media | LITOLOGIA | CARATTERISTICHE FISICHE |
| 1 | 6.5-10.0 m | 400 - 1600 m/s | 176.5 m/s | Limi sabbiosi e limi argillosi con clasti | poco addensati |
| 2 | 0.5 - 1.5 m | 1600 - 1800 m/s | 301 m/s | Terreni granulari prevalenti e/o substrato | mediamente addensati/molto alterato |
| 3 | 10.1 m | >1800 m/s | 438 m/s | Substrato litoide calcarenitico | molto alterato |
| 4 | n.d. | n.d. | 724 m/s | | poco alterato |

Modello sismo-stratigrafico derivato dall'indagine sismica area locale disidratazione fanghi in progetto

I profili MASW hanno invece consentito di ottenere i seguenti risultati, determinanti per la categorizzazione sismica del sottosuolo:

SM_01: Vs,eq (30.0 m) = 252 m/s Cat. di sottosuolo C (Locale esistente)

SM_02: Vs,eq (30.0 m) = 332 m/s – Cat. di sottosuolo C (Locale in progetto)

Per ulteriori dettagli si rimanda al *report* geofisico in allegato.

7 RELAZIONE GEOLOGICA

7.1 Finalità e metodologia di studio

L'inquadramento del contesto geologico, nel quale si inseriscono gli interventi progettuali in oggetto è finalizzato alla caratterizzazione degli eventuali suoli di copertura e dei litotipi geologici presenti ed è funzionale definizione delle caratteristiche fisico meccaniche dei terreni interessati dalle strutture per la definizione della capacità degli stessi a interagire con i carichi.

7.2 Inquadramento Geologico

Al fine di definire un inquadramento che risultasse adeguato alla scala di dettaglio del presente lavoro, è stata impiegata la Carta Geologica di Base della Sardegna in scala 1:25.000 che definisce, in maniera particolareggiata, i litotipi presenti nell'area di interesse. Tali dati bibliografici sono stati confermati utilizzando la campagna di indagini effettuata.

I dati litostratigrafici provenienti dalle informazioni dirette, hanno permesso la definizione di un maggior dettaglio nella ricostruzione delle coperture quaternarie e antropiche al di sopra delle formazioni lapidee. Di seguito si riportano le formazioni presenti nell'area oggetto di studio con il corredo di valutazioni specifiche sull'entità di tali coperture.

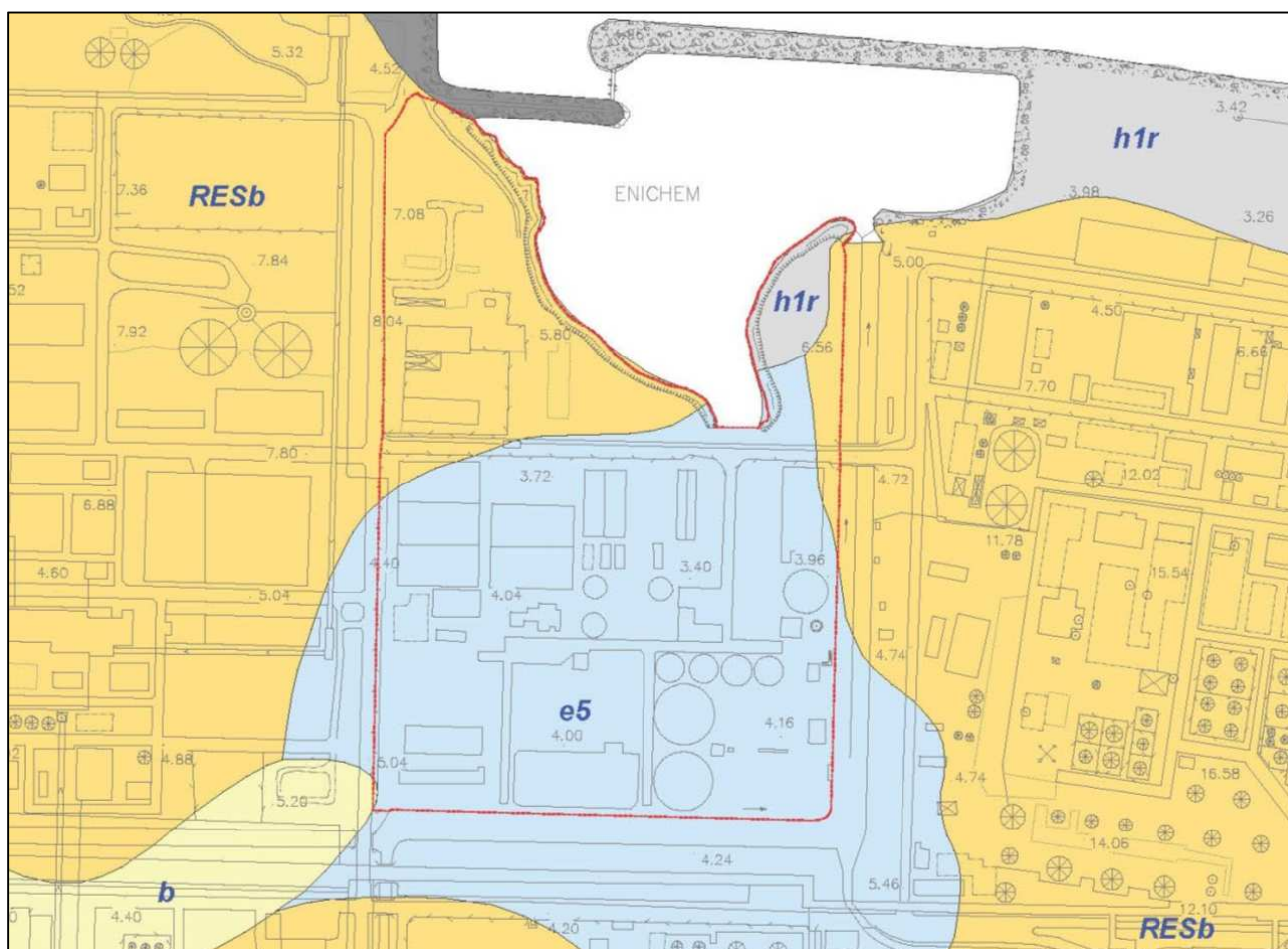


Figura 13 – Inquadramento Geologico – Carta Geologica di Base – Regione Sardegna.

SUCCESSIONI VULCANO-SEDIMENTARIE TERZIARIE

SUCCESSIONE VULCANO-SEDIMENTARIA OLIGO-MIOCENICA

Complesso vulcanico oligo-miocenico della Sardegna centro-settentrionale

A partire dall'Oligocene superiore fino al Miocene inferiore-medio, nella Sardegna settentrionale in generale, si sviluppa una diffusa attività vulcanica responsabile della messa in posto di prodotti vulcanici riconoscibili in due serie; una ha prodotto vulcaniti a chimismo medio basico in colate e cupole di ristagno, mentre la seconda, a chimismo acido, è composta da rioliti riodaciti e daciti in espandimenti ignimbrici, cupole di ristagno e colate, con associati episodi freatomagmatici.

L'attività erosiva legata prevalentemente ai flussi in superficie delle acque torrentizie, ha favorito la deposizione di intercalazioni sedimentarie conglomeratiche e arenacee a elementi clastici prevalentemente vulcanici, provenienti da queste rocce vulcaniche effusive, di tipo prevalentemente piroclastico.

I riscontri attuali sulla distribuzione di questi depositi lungo una direzione preferenziale, indica che la loro messa in posto è avvenuta quasi certamente lungo paleo valli orientate NW-SE e SW-NE e colmate dai prodotti dell'attività magmatica secondo flussi piroclastici provenienti da Nord o da Ovest, dove probabilmente erano localizzati i principali centri di emissione.

Distretto vulcanico di Capo Marargiu

CZS - UNITÀ DI CANDELAZZOS. *Depositi di flusso piroclastico in facies ignimbrica, pomiceo-cineritici, prevalentemente non saldati, di colore grigio-violaceo. BURDIGALIANO.*

I depositi di questa unità, non inclusi nel nostro inquadramento, affiorano immediatamente a sud dell'area inquadrata e la loro distribuzione areale è abbastanza limitata.

Complesso sedimentario oligo-miocenico della Sardegna centro-settentrionale

I sedimenti miocenici rappresentano, nel loro complesso, la quasi totalità dei depositi presenti nell'area inquadrata. Dal punto di vista geologico infatti il basamento miocenico, la cui successione sedimentaria è costituita prevalentemente da depositi marini, talvolta in affioramento, costituisce la struttura basale dell'intera area ed è ricoperto da spessori variabili di sedimenti e depositi quaternari.

Le litofacies presenti a Porto Torres sono principalmente costituiti da calcari detritici organogeni, grossolani, passanti verso la parte basale a depositi marnosi in genere a giacitura orizzontale o debolmente inclinata. Subordinatamente si rinvencono, intercalate a queste litologie, livelli di calcari arenacei, arenarie e "sabbioni". Lo spessore del basamento raggiunge potenze ragguardevoli nell'ordine del centinaio di metri.

RESa - Litofacies nella FORMAZIONE DI MORES. Calcareniti, calcari bioclastici fossiliferi. Calcari nodulari a componente terrigena, variabile, con faune a gasteropodi (*Turritellidi*), ostreidi ed echinidi (*Scutella*, *Amphiope*) ("*Calcari inferiori*" Auct.). Ambiente litorale. BURDIGALIANO SUP.

I depositi di questa unità sono diffusamente presenti in gran parte della zona urbana, di fronte al porto civico e alla sinistra del Riu Manno di Porto Torres, dalla sua foce, lungo la S.P. 34 fino a coprire la porzione sud della zona industriale. Nella maggior parte dei casi tale litofacies non è in affioramento, come è facile intuire, per la forte antropizzazione del territorio e, per quanto riguarda la parte in agro, per le coperture quaternarie a essa sovrapposte. Tale unità non risulta in affioramento nell'area inquadrata.

RESb - Litofacies nella FORMAZIONE DI MORES. Arenarie e conglomerati a cemento carbonatico, fossiliferi e bioturbati. Intercalazioni di depositi sabbioso-arenacei quarzoso-feldspatici a grana medio-grossa, localmente ricchi in ossidi di ferro (*Ardara-Mores*). Ambiente litorale. BURDIGALIANO SUP.

I calcari organogeni con componenti terrigene così come descritte, sono in continuità con litofacies arenitiche e conglomerati a cemento carbonatico. Talora sono presenti livelli sabbiosi poco cementati all'interno della serie marina.

Le due unità sopracitate sono in continuità stratigrafica tra di loro con complessi rapporti eterometrici laterali, che le vedono spesso, in occasioni di prospezioni geognostiche dirette, come sovrapposte e non facilmente distinguibili.



Figura 14 - Affioramento delle calcareniti mioceniche lungo un taglio stradale a breve distanza dal depuratore consortile.

DEPOSITI QUATERNARI

DEPOSITI QUATERNARI DELL'AREA CONTINENTALE

Depositi Olocenici dell'area continentale

Ambiente continentale – Sedimenti lacustri

e5 - Depositi palustri. Limi e argille limose talvolta ciottolose, fanghi torbosi con frammenti di molluschi. OLOCENE

Ambiente continentale – Sedimenti alluvionali

b - Depositi alluvionali. OLOCENE

Depositi antropici

h1r - Depositi antropici. Materiali di riporto e aree bonificate. OLOCENE

Le coperture quaternarie sono rappresentate dai sedimenti palustri ascrivibili allo *Stagno di Genano* (ora completamente interrato durante le fasi di realizzazione del polo petrolchimico) e dalle alluvioni recenti presenti lungo gli immissari dello stagno stesso. Nelle aree più prossime alla linea di costa i sedimenti miocenici sono ricoperti, quando non affioranti, da spessori variabili di depositi eolici post tirreniani costituiti da sabbioni a granuli silicei, spesso ben cementati, a stratificazione incrociata. Infine, lungo il litorale, sono presenti spiagge sabbiose attuali con cordoni di dune mentre all'interno delle aree portuali tendono a depositarsi sabbie fini e limi.

Da un punto di vista strutturale l'area in studio è attribuibile al cosiddetto Rift Sardo, ampia fossa tettonica che avrebbe interessato l'intera Sardegna da nord a sud, la cui apertura sarebbe associata agli eventi vulcanici più antichi manifestatisi, verosimilmente, tra l'Oligocene superiore e l'Aquitano. I sistemi di faglie associate al rift non sono facilmente rilevabili a causa della sovrapposizione di strutture tardive. Successivamente si passa a fasi evolutive tettonico-sedimentarie. La prima, attuata in condizioni continentali, è testimoniata dalla presenza di depositi fluviali in parte sottostanti e in parte intercalati a depositi piroclastici, decentrati rispetto all'area di studio, testimonianza di una coesistenza, per un certo periodo, di attività vulcanica e sedimentaria. La seconda fase, maggiormente rappresentata, attua il dislocamento delle predette piroclastiti, iniziando in condizioni continentali ed evolvendosi, in continuità di sedimentazione, verso un ambiente marino epicontinentale. Queste fasi comprendono un periodo compreso tra il Miocene inferiore e quello medio.

7.3 Inquadramento geomorfologico

Da un punto di vista morfologico, l'area può essere definita come piano collinare, caratterizzata da deboli pendenze. L'inquadramento areale mette in evidenza una porzione di territorio intensamente modificata dagli interventi antropici, soprattutto la fascia costiera e vaste superfici retrostanti. Tali azioni di antropiche, infatti, hanno contribuito a rendere pianeggiante il territorio con interventi di scavo e riporto di materiali lapidei che hanno interessato anche altre estese superfici.

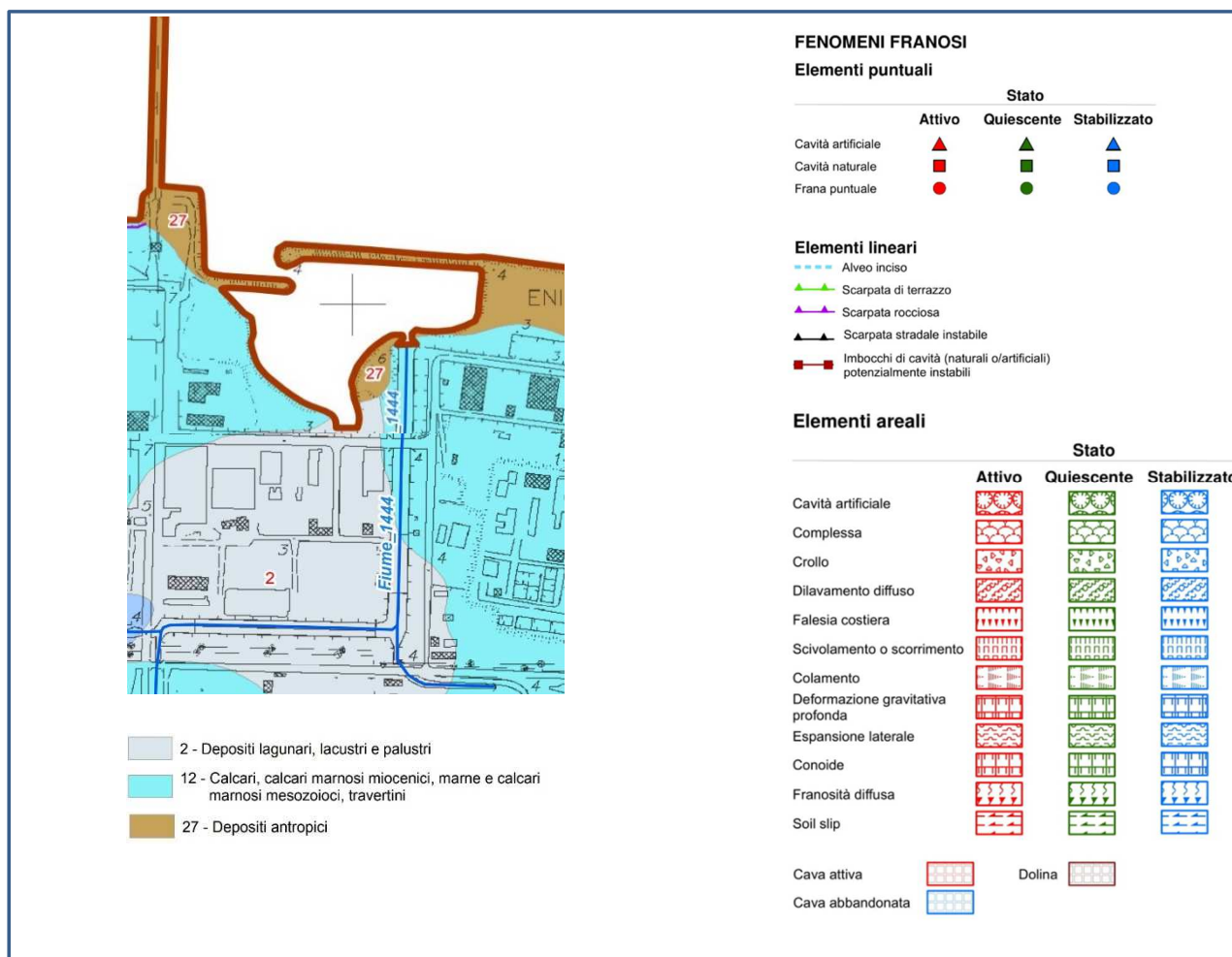


Figura 15 – Inquadramento geomorfologico – Fonte: “Carta geomorfologica Variante generale Sub Bacino n° 03 Coghinas –Mannu-Temo”.

7.4 Inquadramento idrogeologico generale

L'assetto idrogeologico nell'area industriale di Porto Torres è caratterizzato dalla presenza di un acquifero principale che ha sede nei terreni di copertura e, soprattutto, nelle facies calcarenitiche del Miocene. Tale acquifero appare marginalmente ricollegabile agli acquiferi che, verso nord e verso est, hanno sede nelle coperture alluvionali recenti, alimentati direttamente sia dagli sversamenti del sistema idrografico (con perdite di subalveo), sia dalle infiltrazioni superficiali. Quest'ultimo acquifero presenta una certa potenzialità solo nei settori dove le coperture raggiungono spessori ragguardevoli e dove, appunto, è presumibilmente presente un'alimentazione di subalveo laterale da parte dei corsi d'acqua come il Rio Mannu o i suoi affluenti.

L'acquifero di maggiore interesse per l'area in esame è, comunque, quello trattenuto alla base delle formazioni più antiche, come le vulcaniti che rappresentano il substrato, per lo più impermeabile, che impone una direzione di deflusso della falda verso nord o nord-est e, localmente, si incontra e si unisce alla falda marina, incuneandosi sopra. La roccia serbatoio, la calcarenite, è a permeabilità primaria per porosità e secondaria per fratturazione.

La variabilità della composizione granulometrica dei vari strati nei quali essa si definisce, implica un'analoga variabilità del coefficiente di permeabilità. Tuttavia la mancanza di continuità laterale e verticale dei livelli a granulometria fine permette comunicazione tra i corpi idrici dei livelli più permeabili. Si può quindi dire che l'area in esame è sede di una falda freatica sostanzialmente unitaria, di scarsa potenza ma abbastanza diffusa arealmente complessivamente di bassa permeabilità. La ricostruzione dell'andamento della falda è stata effettuata per tutta l'area all'interno dello studio effettuato dalla Syndial e dagli altri operatori all'interno del SIN, da cui si evince, comunque, che la direzione di deflusso prevalente è quella diretta verso la linea di costa.

Il secondo acquifero è invece quello profondo, di notevole potenzialità, ed ha sede nelle sequenze calcaree mesozoiche. Rappresenta il grande serbatoio della Nurra che, in passato, ha consentito emungimenti dell'ordine di decine di metri cubi al secondo e che, ancora oggi, rappresenta una vera e propria risorsa.

Tale acquifero confinato, permeabile per fratturazione e carsismo, è protetto alla sommità da notevoli spessori di litologie pressoché impermeabili appartenenti alle stesse sequenze mesozoiche, ma che presentano un minore grado di fratturazione e assenza di carsismo.

7.5 Inquadramento idrogeologico sito specifico

Nell'area ove sorge il depuratore consortile e nella più vasta porzione di territorio in cui è inquadrata l'area di progetto, le caratteristiche idrogeologiche sono legate alle caratteristiche intrinseche dei litotipi e dei depositi presenti, nonché ai reciproci assetti stratigrafici e strutturali.

I riscontri diretti provenienti dai sondaggi nel depuratore hanno permesso una buona ricostruzione litostratigrafica generale e un'ottima identificazione delle qualità dei depositi e dei litotipi intercettati dai sondaggi stessi. Le caratteristiche granulometriche delle formazioni riconosciute hanno poi permesso una fedele ricomposizione di un modello idrogeologico che tenesse conto non solo delle singolarità formazionali in termini di trasmissività, ma anche di schemi in cui i rapporti giaciturali e sedimentari tra le formazioni potessero restituire modelli dinamici di migrazione laterale dei flussi idrici sotterranei.

L'acquifero principale è contenuto nella formazione miocenica marnoso-arenacea e nei depositi di copertura costituiti da sedimenti fini di origine lacustre.

Il grado di permeabilità, misurato mediante prove in situ (prove Lefranc e Slug test), è nel complesso scarso con valori di conducibilità idraulica variabili da $2,44 \cdot 10^{-6}$ a $7,39 \cdot 10^{-7}$ m/sec.

Pregressi rilievi freaticimetrici a disposizione dello scrivente hanno permesso la ricostruzione della morfologia della falda mediante interpolazione dei punti di uguale quota assoluta (m. s.l.m.m.) della superficie freatica (linee isofreatiche).

La carta delle isofreatiche così realizzata mostra una zona di depressione nella porzione sud-ovest del depuratore, in corrispondenza dei piezometri S_DEP_43 e S_DEP_52, con quote assolute che si attestano intorno ai - 2,20 m s.l.m.. Tale anomalia crea una direzione di deflusso locale verso sud-ovest e opposta alla generale direzione di scorrimento della falda sotterranea verso il prospiciente mare. La causa di questo fenomeno potrebbe essere imputata all'influenza esercitata dalla barriera idraulica di Syndial ubicata a monte idraulico del depuratore (vedi figura seguente stralcio *"Carta ubicazione indagini e pozzi barriera idraulica Syndial e stralcio Carta isofreatiche depuratore – Lithos Srl, anno 2017"*). Infatti, lo sviluppo dei coni di depressione prodotti con l'emungimento dei pozzi-barriera potrebbe aver prodotto un progressivo abbassamento delle quote freaticimetriche nella porzione immediatamente a valle idrogeologica con conseguente inversione del gradiente idraulico locale. Le indagini geotecniche condotte nel 1978, in seno alla progettazione del depuratore consortile, evidenziarono la presenza di una falda il cui livello si attestava a quote variabili tra + 1,00 e + 1,50 m s.l.m.

È stato evidenziato, inoltre, uno spartiacque sotterraneo orientato circa NNW-SSE nella porzione centrale del depuratore con quote assolute che raggiungono i +1,80 m in corrispondenza del piezometro S_DEP_42.

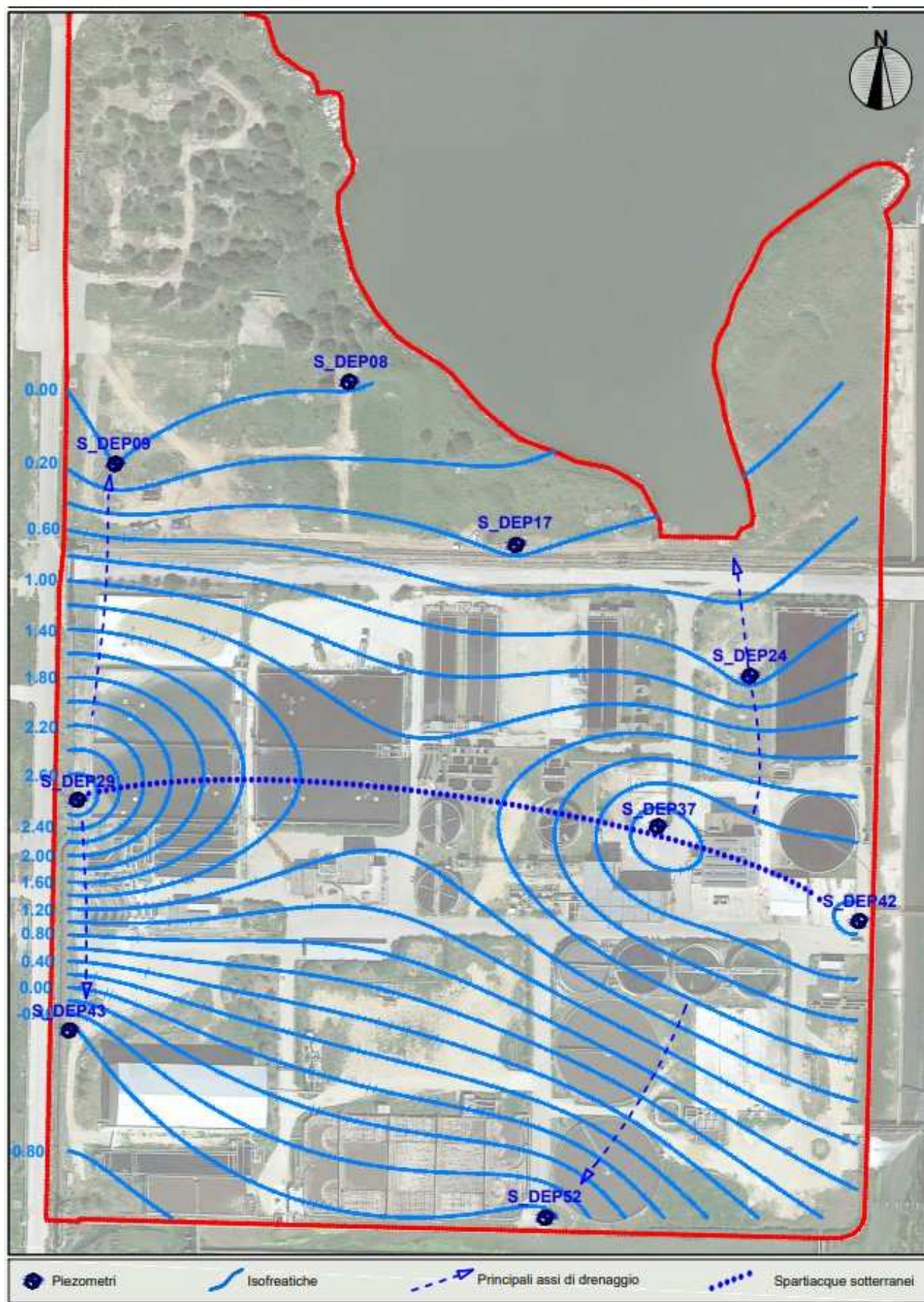


Figura 16 – Stralcio Carta delle isofreatiche (Fonte Lithos Srl anno 2017)

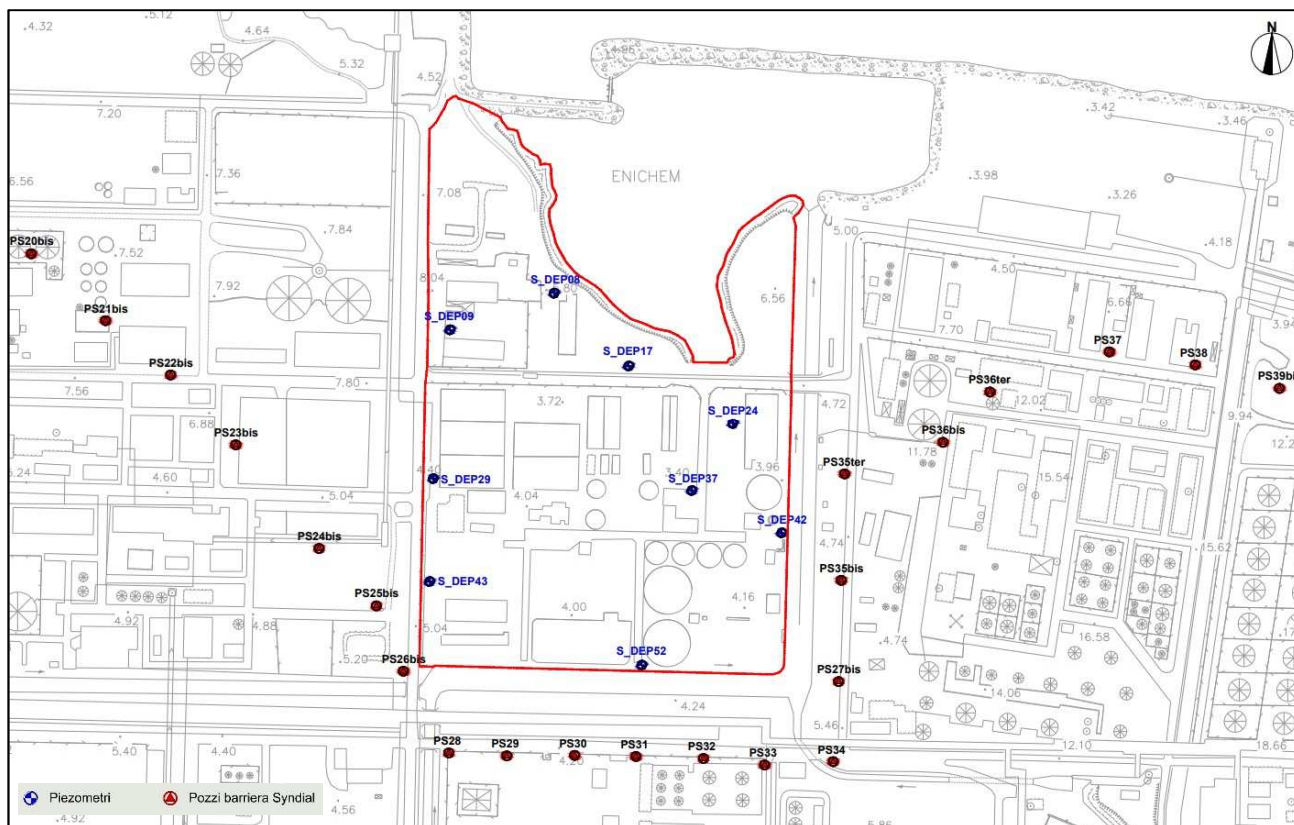


Figura 17 – Carta ubicazione piezometri depuratore e pozzi barriera idraulica Syndial (Fonte Lithos Srl anno 2017)

Si riporta nella tabella seguente il rilievo freaticometrico dei piezometri prossimi alle aree di intervento e i livelli di stabilizzazione della falda nei due fori di sondaggio realizzati nella contestuale campagna di indagine realizzata dallo scrivente.

| Piezometro | Soggiacenza falda dal P.C (m) | Quota Assoluta (m s.l.m.) |
|------------|----------------------------------|------------------------------|
| | Aprile 2023 | Aprile 2023 |
| SDF_01 | 2,35 | 1,35 |
| SDF_02 | 2,00 | 1,00 |
| S_DEP_37 | 0,90 | 2,15 |
| S_DEP_42 | 1,32 | 1,90 |
| S_DEP_52 | 4,72 | - 1,30 |

Come si evince dai risultati sopra tabellati le quote freaticometriche rilevate sono del tutto correlabili con quelle delle scorse campagne di monitoraggio confermando pertanto il medesimo andamento anomalo della morfologia della falda.

Più in particolare nel nuovo locale disidratazione si rinverrà la falda a una quota circa 2,00 m dal piano campagna mentre nel locale esistente, oggetto di consolidamento, la falda si rinverrà a un quota di circa 0,90 m dal p.c.

7.6 Contesto geologico con preciso riferimento al progetto

Lo studio del contesto geologico, come già precedentemente riportato, è stato raffinato e maggiormente particolareggiato mediante indagini dirette e indirette effettuate. Sono state prese in considerazione altresì le risultanze di sondaggi e scavi effettuati nelle aree limitrofe e che hanno rivelato la stratigrafia locale. Tale studio ha permesso di mettere a nudo e di ricostruire il dettaglio geologico dei terreni di sedime, anche in stretta correlazione con le velocità delle onde dei vari orizzonti.

7.7 Modellazione Geologica area locale disidratazione fanghi esistente

La ricostruzione stratigrafica del sito è stata fatta attraverso l'analisi delle carote di terreno prelevate lungo la verticale di ogni sondaggio nella campagna indagine del 2017 la cui ubicazione è riportata all'interno della presente relazione. Tali informazioni sono state poi confrontate con i dati provenienti dalle campagne più recenti per altri lavori d'indagine nel sottosuolo di carattere geotecnico e ambientale svolti nell'area del depuratore (Indagini 2019) e quest'ultima.

La litostratigrafia del sottosuolo dell'area area locale disidratazione fanghi esistente è risultata coerente con gli assetti litostratigrafici di tutta l'area del depuratore e può essere schematizzata, dall'alto verso il basso, nei termini seguenti:

- **Da 0,20 a 4,00 m dal p.c (variabile fino a 6,00 m):** Materiale di riporto costituito da sabbie con argilla ghiaiose limose, poco addensato, mediamente plastico, molto umido, color grigio-giallastro.
- **Da 4,00÷6,00 a 16,50 m dal p.c. (variabile fino a 18,00 m):** Depositi palustri con presenza di gusci di bivalvi di ambiente salmastro, costituiti da argille con limi ghiaioso sabbioso di colore grigio scuro, sciolti, saturi.
- **Da 16,50÷18,00 a 20,00 (variabile fino a 22,00) dal p.c.:** Calcarenite miocenica variamente alterata, colore giallastro, fossilifera.
- **Oltre 20,00-22,00 dal p.c. (in prossimità dello spigolo da consolidare)** Calcarenite organogena, ricca di fossili (Turritelle, bivalvi), vacuolare, consistente.

Le evidenze emerse dai sondaggi effettuati per locale disidratazione fanghi oggetto degli interventi di consolidamento sono stati corroborati dai dati della prova geofisica eseguita proprio in prossimità dello spigolo per la determinazione della categoria di sottosuolo e dell'andamento, lungo la verticale, delle onde s. La superficie freatica risulta attestata a una profondità di circa 0,90 metri dal piano campagna, in equilibrio con il livello del mare e suscettibile di variazioni.

7.8 Modellazione Geologica area locale disidratazione fanghi in progetto

La stratigrafia del sottosuolo in questo specifico settore può essere così schematizzata, dall'alto verso il basso, nei termini seguenti dopo la platea in calcestruzzo:

- **Da 0,70 a 3,80 m dal p.c (variabile fino a 4,20 m):** Materiale di riporto costituito da sabbie con argilla ghiaiose limose poco addensato, mediamente plastico, molto umido, color grigio-giallastro.
- **Da 3,80÷4,20 a 8,00 m dal p.c. (variabile fino a 9,00 m):** Depositi palustri con presenza di gusci di bivalvi di ambiente salmastro, costituiti da argille con limi ghiaioso sabbioso di colore grigio scuro-nerastri, sciolti, saturi.
- **Da 8,00÷9,00 a 9,40 m dal p.c. (variabile fino a 10,00 m):** Strato di Sabbie di colore grigio, sciolte, sature.
- **Da 9,40÷10,00 a 11,40 m dal p.c. (variabile fino a 11,70 m):** Calcarenite miocenica molto alterata, colore giallastro, fossilifera.
- **Oltre i 11,40÷11,70 dal p.c.** Calcarenite organogena, ricca di fossili (Turritelle, bivalvi), vacuolare, consistente.

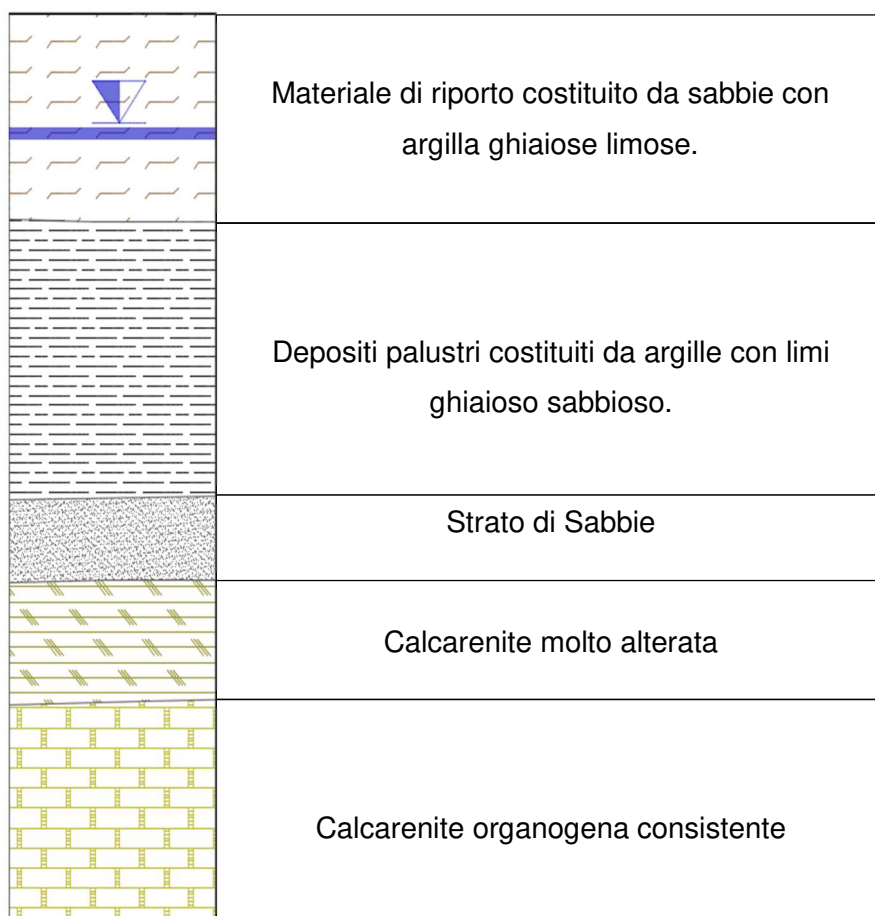


Figura 18 – Modello geologico relativo al nuovo locale disidratazione fanghi

Parallelamente alla sezione longitudinale della platea esistente su cui dovrà essere realizzato il nuovo locale per la disidratazione dei fanghi, oggetto del presente elaborato, è stato effettuato uno stendimento sismico a rifrazione in onde P (tomografia 2D) ed elaborato anche in tecnica MASW con cui il modello geologico presentato è risultato coerente. La superficie freatica risulta attestata a una profondità intorno ai 2,00 metri dal piano campagna, in equilibrio con il livello del mare e suscettibile di modeste variazioni.

8 RELAZIONE SULLA PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

8.1 Sismicità storica

La sismicità della Regione Sardegna è assai bassa. Tali evidenze sono messe in rilievo da molti indicatori, quali l'evoluzione cinematica del Mediterraneo centrale, che secondo qualsiasi ricostruzione, ci dice che l'intero blocco sardo-corso è rimasto stabile negli ultimi 7 milioni di anni.

Il catalogo storico dei terremoti riporta, infatti, solo due eventi nel Nord della Sardegna, entrambi di magnitudo inferiore a 5 (nel 1924 e nel 1948); il catalogo strumentale (sismicità degli ultimi 25 anni registrata dalla rete nazionale) riporta solo alcuni eventi nel Tirreno e pochissimi eventi a Sud della Sardegna (come gli ultimi eventi del marzo 2006), tutti eventi di magnitudo inferiore a 5. L'evento sismico più forte in Sardegna, infatti, è stato registrato nel 1948 nella zona tra Castelsardo e Tempio Pausania; fu un terremoto che provocò solo qualche lieve danno. Nel 2006 alcune scosse avvennero nel Golfo di Cagliari, spaventando la popolazione senza danni.

Nella zona presa in esame la situazione è analoga: non è impossibile che si verifichi qualche scossa leggera ma la probabilità è molto bassa. Si tratta, insomma, di eventi di bassa energia, e infrequenti.

8.2 Pericolosità sismica di base

Le Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC) D.M. 14.01.2008 così come gli aggiornamenti relativi di cui al D.M. 17.01.2018, introducono il concetto di pericolosità sismica di base in condizioni ideali di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale.

La "pericolosità sismica di base", di seguito chiamata semplicemente pericolosità sismica, costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche da applicare alle costruzioni e alle strutture.

Allo stato attuale, la pericolosità sismica su reticolo di riferimento nell'intervallo di riferimento è fornita dai dati pubblicati sul sito dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia - INGV, <http://esse1.mi.ingv.it/>.

Le NTC introducono il concetto di nodo di riferimento di un reticolo composto da 10751 punti in cui è stato suddiviso l'intero territorio italiano. Le stesse NTC forniscono, per ciascun nodo del reticolo di riferimento e per ciascuno dei periodi di ritorno T_r considerati dalla pericolosità sismica, tre parametri:

- a_g = accelerazione orizzontale massima del terreno (espressa in g/10);
- F_0 = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_c^* = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Da un punto di vista normativo, pertanto, la pericolosità sismica di un sito non è sintetizzata più dall'unico parametro (a_g), ma dipende dalla posizione rispetto ai nodi della maglia elementare del reticolo di riferimento contenente il punto in esame (Tabella A1 delle NTC), dalla Vita Nominale e dalla Classe d'Uso dell'opera. I punti del reticolo di riferimento riportati nella Tabella A1 delle NTC hanno un passo di circa 10 km e sono definiti in termini di Latitudine e Longitudine.

La rappresentazione grafica dello studio di pericolosità sismica di base dell'INGV, da cui è stata tratta la Tabella A1 delle NTC, è caratterizzata da una mappa di pericolosità Sismica del Territorio Nazionale, espressa in termini di accelerazione massima del suolo rigido (in g) in funzione della probabilità di eccedenza nel periodo di riferimento considerato.

Per tutte le isole, con l'esclusione della Sicilia, Ischia, Procida, Capri gli spettri di risposta sono definiti in base a valori di a_g , F_0 , T_c^* uniformi su tutto il territorio di ciascuna isola e per tali valori, necessari per la determinazione delle azioni sismiche, si fa riferimento agli Allegati A e B.

(Decreto del Ministro delle Infrastrutture 14 gennaio 2008, pubblicato nel S.O. alla Gazzetta Ufficiale del 4 febbraio 2008, n.29, ed eventuali successivi aggiornamenti).

Per la Regione Sardegna, e quindi per il Comune di Porto Torres, l'assegnazione dei parametri per i vari tempi di ritorno è semplificata dalle tabelle sottostanti che assegna i singoli valori di a_g , F_0 , T_c^* .

| TR=30 | | | TR=50 | | | TR=72 | | | TR=101 | | | TR=140 | | |
|-------|-------|---------|-------|-------|---------|-------|-------|---------|--------|-------|---------|--------|-------|---------|
| a_g | F_0 | T_c^* | a_g | F_0 | T_c^* | a_g | F_0 | T_c^* | a_g | F_0 | T_c^* | a_g | F_0 | T_c^* |
| 0,186 | 2,61 | 0,273 | 0,235 | 2,67 | 0,296 | 0,274 | 2,7 | 0,303 | 0,314 | 2,73 | 0,307 | 0,351 | 2,78 | 0,313C |

| TR=201 | | | TR=475 | | | TR=975 | | | TR=2475 | | |
|--------|-------|---------|--------|-------|---------|--------|-------|---------|---------|-------|---------|
| a_g | F_0 | T_c^* | a_g | F_0 | T_c^* | a_g | F_0 | T_c^* | a_g | F_0 | T_c^* |
| 0,393 | 2,82 | 0,322 | 0,5 | 2,88 | 0,34 | 0,603 | 3 | 0,372 | 0,747 | 3,09 | 0,401 |

Tabella valori di a_g , F_0 , T_c^ per la Regione Sardegna*

8.3 Azione Sismica di progetto

Nei riguardi dell'azione sismica l'obiettivo è il controllo del livello di danneggiamento della costruzione a fronte dei terremoti che possono verificarsi nel sito di costruzione. L'azione sismica sulle costruzioni è quindi valutata da una "pericolosità sismica di base", in condizioni ideali di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A nelle NTC).

L'azione sismica così individuata viene poi variata per tener conto delle modifiche prodotte dalle condizioni locali stratigrafiche del sottosuolo effettivamente presente nel sito di costruzione e dalla morfologia della superficie. Tali modifiche caratterizzano la risposta sismica locale.

8.4 Categoria di sottosuolo

In base a quanto attualmente esposto delle "Norme tecniche per le costruzioni" del D.M. 17 gennaio 2018, che aggiornano e sostituiscono il precedente D.M. del 14 gennaio 2008, è necessario determinare le azioni sismiche di progetto tramite specifiche analisi di sito o mediante un approccio semplificato che si basa sul calcolo della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio ($V_{S,eq}$) partendo dal piano di posa delle fondazioni.

Il valore di $V_{S,eq}$ (in m/s) viene calcolato secondo la seguente espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

dove h_i e $V_{S,i}$ indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio $\gamma < 10^{-6}$) dello strato i -esimo, per un totale di N strati presenti al disopra del substrato sismico (con $V_S > 800$ m/s), fino a un H massimo di 30 m ($V_{S,30}$).

| PROFILO MASW SM_01 (Area locale disidratazione fanghi esistente) | | |
|--|--------------------------|--------------------------|
| STRATO | SPESSORE medio (h_i) | VELOCITÀ media (V_s) |
| 1 | 6.50 m | 218 m/s |
| 2 | 6.80 m | 127 m/s |
| 3 | 4.60 m | 292 m/s |
| 4 | 7.30 m | 567 m/s |
| 5 | 4.80 m | 686 m/s |

Dai i dati sopra elencati si evince l'assenza di un substrato sismico ($V_s > 800$ m/s) affiorante entro i primi 30 m di profondità e quindi, considerando in via cautelativa il piano di posa delle fondazioni coincidente con il piano campagna, sono stati ricavati i seguenti valori di velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio riferiti ai primi 30.0 m di profondità ($H = 30.0$ m nella precedente espressione):

SM_01: $V_{s,eq}$ (30.0 m) = 252 m/s

| PROFILO MASW SM_02 (Area locale disidratazione fanghi in progetto) | | |
|---|----------------------------|--|
| STRATO | SPESSORE medio (hi) | VELOCITÀ media (V_s) |
| 1 | 3.40 m | 181 m/s |
| 2 | 5.00 m | 172 m/s |
| 3 | 1.80 m | 301 m/s |
| 4 | 10.10 m | 438 m/s |
| 5 | 9.70 m | 724 m/s |

Dai i dati sopra elencati si evince l'assenza di un substrato sismico ($V_s > 800$ m/s) affiorante entro i primi 30 m di profondità e quindi, considerando in via cautelativa il piano di posa delle fondazioni coincidente con il piano campagna, sono stati ricavati i seguenti valori di velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio riferiti ai primi 30.0 m di profondità ($H = 30.0$ m nella precedente espressione):

SM_02: $V_{s,eq}$ (30.0 m) = 332 m/s

Pertanto, sulla base dei valori ottenuti dalle due prove masw e secondo quanto stabilito dal DM del 17 gennaio 2018, è possibile assegnare al terreno di progetto la seguente categoria di profilo stratigrafico del suolo di fondazione per entrambi i siti di progetto:

Categoria di Sottosuolo "C"

| | | Descrizione |
|-------------------------|---|---|
| Categoria di Sottosuolo | 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. |
| | B | Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s. |
| | C | Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s. |
| | D | Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s. |
| | E | Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m. |

Tabella 3.2.II delle NTC

8.5 Condizioni topografiche

Il sito in esame è ubicato in corrispondenza di un contesto antropizzato pianeggiante e pertanto, in base a quanto previsto dal DM del 17 gennaio 2018, Tabella 3.2.III, l'area può essere classificata nella seguente categoria topografica:

Categoria Topografica "T1"

| | | Descrizione |
|------------------------|----|---|
| Categorie Topografiche | T1 | Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione $i \leq 15^\circ$; |
| | T2 | Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$; |
| | T3 | Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$; |
| | T4 | Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$. |

Tabella 3.2.III delle NTC2018

8.6 Liquefazione

Per liquefazione si intende generalmente una somma di fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate. 7.11.3.4.1 NTC 2018).

La perdita di resistenza dei terreni con determinate caratteristiche, sotto sollecitazioni di taglio cicliche o monotoniche, e il conseguente raggiungimento di una condizione di fluidità pari a quella di un liquido viscoso, avviene quando la pressione dell'acqua nei pori aumenta fino ad arrivare al valore della pressione totale di confinamento, fino ad annullare gli sforzi efficaci, da cui dipende la

resistenza al taglio. Tali fenomeni di liquefazione dei terreni si verificano soprattutto in presenza di sabbie fini e nei limi saturi di densità da media a bassa e a granulometria piuttosto uniforme, anche se contenenti una frazione fine limoso-argillosa.

Nel caso specifico, in relazione al paragrafo 7.11.3.4.2 delle NTC 2018, la verifica a liquefazione può essere omessa poiché le accelerazioni massime attese al piano di campagna, circa **0,05g**, inferiori perciò, a 0,1g indipendentemente dalla granulometria presente in sito.

9 MODELLAZIONE GEOTECNICA

La modellazione geotecnica presentata è stata ricavata dalle prove geotecniche effettuate in sito (SPT) e dalle prove di laboratorio (Analisi granulometrica completa, prove edometriche, prove di taglio diretto, limiti di Atterberg, classificazioni e prove di compressione uniassiale) condotte su campioni prelevati in fase di carotaggio nell'ultima campagna geognostica e riportate nella tabella di sintesi all'interno del capitolo 5 del presente elaborato. I certificati di laboratorio relativi alle prove effettuate sono riportate in allegato.

9.1 Caratterizzazione geotecnica dei terreni

La parametrizzazione delle qualità fisico meccaniche derivata dalle analisi effettuate, integrati con i modelli sismo-stratigrafici ottenuti dalle indagini geofisiche e confrontati con i dati bibliografici reperiti, è riferita ai singoli orizzonti coincidenti con il modello geologico presentato ed è ritenuto valido sia per i volumi di terreno al di sotto del locale disidratazione fanghi da realizzare, che per i terreni dei sedime al di sotto del locale esistente, oggetto del consolidamento.

Dalla sequenza stratigrafica individuata, considerando il grado di addensamento dei materiali, è stato quindi dedotto il modello geotecnico dei terreni.

| | Tipologia di deposito | Granulometria |
|----------|----------------------------|------------------------------------|
| Strato 1 | Materiale di riporto | Sabbie con argilla ghiaiose limose |
| Strato 2 | Depositi palustri | Argille con limi ghiaioso sabbioso |
| Strato 3 | Strato di Sabbie | Sabbia sciolte |
| Strato 4 | Calcarenite molto alterata | Materiale granulare |
| Strato 5 | Calcarenite consistente | Lapideo |

9.1.1 Caratterizzazione Strato 1 – Materiale di riporto (spessore 4,0÷6,0m area locale esistente / Spessore 4,0m area locale in progetto)

| γ (kN/m ³) | ϕ' (°) | C' (kN/m ²) | Cu (kN/m ²) | Indice dei vuoti | N _{spt} | Classificazione 11531-1 |
|-------------------------------|-------------|-------------------------|-------------------------|------------------|------------------|----------------------------|
| 19,28 | 25,60 | 15,10 | 13,25 | 0,607 | 3 | A4 |

9.1.1 Caratterizzazione Strato 2 – Depositi palustri (spessore 11,0÷16,0m area locale esistente / Spessore 4,0÷5,0 m area locale in progetto)

| γ (kN/m ³) | ϕ' (°) | C' (kN/m ²) | Cu (kN/m ²) | Indice dei vuoti | N _{spt} | Classificazione 11531-1 |
|-------------------------------|-------------|-------------------------|-------------------------|------------------|------------------|-------------------------|
| 15,28 | 27 | 13,40 | 12,06 | 1,965 | 1 | A7-5 |

9.1.2 Caratterizzazione Strato 3 – Strato di sabbie grigie (spessore 1,0÷2,0 m presente solo sotto locale in progetto)

| γ (kN/m ³) | ϕ' (°) | C' (kN/m ²) | Ed (kN/m ²) | N _{spt} | Poisson |
|-------------------------------|-------------|-------------------------|-------------------------|------------------|---------|
| 18,90 | 26,90 | 0,00 | 4167,8 | 6 | 0,35 |

9.1.3 Caratterizzazione Strato 4 – Calcarenite molto alterata – scarsamente cementata (spessore 1,0÷2,0 m rilevata solo sotto il nuovo locale in progetto) – Cautelativamente questi parametri possono essere utilizzati in mancanza di prove specifiche al modello geotecnico al di sotto del locale esistente dove lo spessore stimato è di 2,0÷5,0m).

| γ (kN/m ³) | ϕ' (°) | C' (kN/m ²) | Ed (kN/m ²) | N _{spt} | Poisson |
|-------------------------------|-------------|-------------------------|-------------------------|------------------|---------|
| 20,00 | 33,34 | 0,00 | 152983,7 | 22 | 0,31 |

9.1.4 Caratterizzazione Strato 5 – Calcarenite consistente

La prova è rivolta alla determinazione di un indice di resistenza per la classificazione e la caratterizzazione dei materiali rocciosi. Il valore numerico è stato ricavato dalla prova di resistenza compressione monoassiale della roccia.

Per la valutazione delle caratteristiche geomeccaniche dell'ammasso marnoso calcareo, si è fatto riferimento proprio alle succitate prove di laboratorio condotte su spezzoni di roccia prelevate dai sondaggi SDF_01 e SDF_02 e usato la classificazione di Bieniawski che si basa sul rilievo, in campagna, di sei parametri, A1 resistenza a compressione uniassiale, A2 indice RQD (Rock Quality Designation Index), A3 spaziatura delle discontinuità, A4 condizioni delle discontinuità, A5 condizioni idrauliche e A6 orientamento delle discontinuità.

Da questi sei parametri si ricava l'Rock Mass Rating (RMR, Bieniawski).

L'RMR, nella pratica, viene differenziato come:

$$\text{RMR di base} = \text{RMR}_b = A1 + A2 + A3 + A4 + A5$$

$$\text{RMR corretto} = \text{RMR}_c = (A1 + A2 + A3 + A4 + A5) + A6$$

A1 resistenza a compressione uniassiale:

A1 si può ricavare sia da prove di laboratorio (Point Load Test), sia da prove di campagna mediante sclerometro o da prove speditive (Standard ISRM), definendo la resistenza a compressione uniassiale S_U .

La resistenza a compressione uniassiale S_U , nel nostro caso, è stata ottenuta attraverso prove di laboratorio (Compressione monoassiale) i cui certificati sono allegati al presente elaborato.

Per la determinazione del valore di S_U si è fatto riferimento alla media dei valori ottenuti dalle prove che restituiscono un valore medio di 7,5 per cui si ottiene un valore del Coefficiente **A1 = 2**

A2 indice RQD (Rock Quality Designation Index):

Dalle evidenze delle carote di sondaggio, si ricava un valore di RQD pari a 50, che restituisce un valore del coefficiente **A2** pari a **13**;

A3 spaziatura delle discontinuità:

Una volta calcolata la spaziatura media, cioè la distanza media tra due discontinuità adiacenti, è possibile ricavare il valore del coefficiente A3, mediante la seguente relazione:

SPAZIATURA s (m) = $0,6 \div 2,0$ per cui abbiamo un valore di **A3** pari a **13**

A4 condizioni delle discontinuità:

Determinare dalle tavole di classificazione di Bieniawski il valore numerico relativo alla condizione delle discontinuità, invece, risulta molto soggettivo.

Perciò per valutare correttamente A4 conviene procedere sommando alcuni parametri numerici attribuibili alla persistenza del giunto, all'apertura del giunto, alla rugosità dello stesso, all'alterazione delle pareti, e al materiale di riempimento:

V1 – Persistenza del giunto $1 \div 3 \text{ m} = 4$

V2 – Apertura del giunto $1 \div 5 \text{ mm} = 1$

V3 – Rugosità del giunto rugosa = 5

V4 – Alterazione delle pareti Mediamente alterate = 3

V5 – Riempimento delle discontinuità < 5mm compatto = 4

$$\text{A4} = \text{V1} + \text{V2} + \text{V3} + \text{V4} + \text{V5} = 17$$

A5 condizioni idrauliche:

Questo valore viene derivato dalle condizioni idrauliche riferite ad un fronte di 10 m. Dalle tabelle fornite da Bieniawski si ottiene, a favore di sicurezza:

Venute d'acqua= <10 l/min

Condizione= umida

Coefficiente **A5 = 10**

Per cui si ha RMR b= 55,0

A6 orientamento delle discontinuità:

Per l'orientamento delle discontinuità si applica un coefficiente di correzione A6, a seconda che si tratti di gallerie o fondazioni:

Fondazioni = Favorevole

A6=-2

Attribuiti tutti i coefficienti, sulla base del valore RMRc calcolato si identificano 5 intervalli a cui corrispondono 5 classi di ammasso roccioso e altrettante valutazioni di qualità della roccia:

| | | | | | |
|-------------|-------------|---------|-----------------|----------|----------------|
| RMRc | 100 - 81 | 80 - 61 | 60 - 41 | 40 - 21 | <= 20 |
| Classe | I | II | III | IV | V |
| Descrizione | Molto buono | Buono | Mediocre | Scadente | Molto scadente |

Il valore totale **RMR = 53,0** che definisce dalla classificazione tecnica un ammasso mediocre.

Sulla base dell'RMR si possono ricavare i parametri di resistenza dell'ammasso:

$$\text{coesione } c \text{ (kPa)} = 3,625 \text{ RMR}_C$$

$$\text{angolo di attrito } \varphi' = 25 (1 + 0,01 \text{ RMR}_C) \text{ per } \text{RMR}_C > 20$$

$$\text{angolo di attrito } \varphi' = 1,5 \text{ RMR}_C \text{ per } \text{RMR}_C < 20$$

| $\gamma \text{ (kN/m}^3\text{)}$ | $\varphi' \text{ (}^\circ\text{)}$ | $C' \text{ (kN/m}^2\text{)}$ | Modulo di Young (Gpa) |
|----------------------------------|------------------------------------|------------------------------|-----------------------|
| 20,00 | 38,25 | 192,12 | 11,474 |

10 CONSIDERAZIONI SUI DISSESTI IN ATTO

All'interno dell'area del depuratore si sono registrati fenomeni di dissesto a carico di alcune strutture e della viabilità interna.

Il gruppo di professionisti che ha curato la progettazione preliminare del presente intervento inquadra tali fenomeni come "subsidenza" dichiarando che *"il fenomeno ha avuto un incremento repentino nella sua evoluzione per effetto degli emungimenti della falda attraverso la rete dei pozzi creata a difesa dell'inquinamento dell'area industriale"* (pag 19 della relazione geotecnica).

A tal proposito il gruppo di verificatori formula le seguenti osservazioni nel RAPPORTO DI VERIFICA N. 1 DEL 02.02.2023: *"Essendo attualmente la falda a quota di 120 cm (pagina 9) 130 cm (pagina 10) rispetto al piano campagna al fine della corretta interpretazione del fenomeno è importante ricostruire il processo di emungimento verificatosi nel tempo (numero dei pozzi estensione della superficie che è stata soggetta all'abbattimento della falda, variazione delle pressioni efficaci prodotte dalla variazione della quota piezometrica, velocità di abbassamento della falda, abbattimento breve o prolungato). È opportuno inoltre uno studio più approfondito sulle definizioni delle caratteristiche meccaniche del terreno e della permeabilità in quanto caratteristiche meccaniche del terreno non uniformi con abbassamento uniforme della falda generano cedimenti differenziali e variazioni della permeabilità del terreno genera un decorso di consolidazione che evolvendosi con velocità diversa dà luogo a cedimenti diversi dopo un periodo di tempo (la subsidenza provoca danni alla costruzione solo se provoca cedimenti differenziali). Risulta infine significativo conoscere il periodo e la modalità di esecuzione del rinterro dello stagno."*

In merito a quanto sopra espresso si ritiene che i casi di dissesto registrati nell'area del depuratore consortile siano stati erroneamente ricondotti al fenomeno della subsidenza che per definizione prevede "un abbassamento a scala regionale di vaste superfici". Nel caso in esame, invece, si osservano diversi cedimenti delle strutture di fondazione, quando non ancorate correttamente al sottostante substrato lapideo mediante opportuni pali, o deformazioni superficiali plasto-viscose di alcuni settori della pavimentazione stradale. Al contempo si osserva come diversi manufatti, limitrofi alle aree in dissesto, non abbiano presentato criticità.

È evidente che una corretta analisi del fenomeno della subsidenza debba prevedere una adeguata definizione delle conoscenze geometriche relative all'intero territorio mediante reti di monitoraggio integrate (livellazione geometrica e GPS) facendo ricorso inoltre all'impiego di analisi interferometrica di dati radar e restituzione di opportune carte isocinetiche. Pertanto, il presente studio, finalizzato alla realizzazione di interventi e/o manufatti puntuali in un'area ristretta, ha una scala di osservazione temporale e spaziale non confrontabile con l'ampiezza richiesta per un corretto inquadramento dei suddetti fenomeni.

È parere dello scrivente, a seguito di analisi pregresse e dati di nuova acquisizione, che le criticità a carico delle strutture siano da imputare a cedimenti puntuali strettamente legati alla particolare sequenza stratigrafica caratterizzata da depositi antropici di qualità scadente sovrastanti potenti spessori di depositi palustri sciolti e saturi a cui si correla un modello geotecnico che fa riferimento a materiali fortemente compressibili con gradi di saturazione prossimi al Limite Liquido e con conseguenti qualità fisico-meccaniche molto scadenti.

Non si esclude che alla particolare genesi deposizionale dei terreni costituenti il volume significativo al di sotto delle opere in progetto unitamente all'assetto idrogeologico locale abbiano concorso in maniera sfavorevole le ripetute sollecitazioni dovute al passaggio di mezzi pesanti e/o movimentazione di macchinari di particolare incidenza accentuando i fenomeni di cedimento quali quelli in esame.

In particolare, con riferimento al modello idrogeologico locale, è verosimile che l'andamento delle isofreatiche sia stato perturbato dalla presenza del barriera idraulico, realizzato per la messa in sicurezza operativa delle acque di falda del polo petrolchimico. Le misurazioni condotte dallo scrivente sui piezometri limitrofi sono risultate coerenti con tali ipotesi.

Si evidenzia altresì che il dinamismo della superficie piezometrica è comunque legata anche alle oscillazioni del livello medio marino il cui cuneo salino è stato rilevato nella rete di monitoraggio dell'area. I livelli della falda misurati sono infatti prossimi al piano campagna e presentano un'escursione dell'ordine decimetrico correlabile all'entità dei cedimenti rilevati.

Inoltre il quadro fessurativo evidenziato è comunque da imputare alla erronea messa in opera dei sistemi di fondazione complessi risultando non adeguato al particolare assetto geotecnico locale.

11 CONCLUSIONI

Attraverso un'accurata caratterizzazione geologica e geotecnica a integrazione di dati provenienti da campagne indagini geognostiche pregresse e le considerazioni emerse è stato possibile determinare le caratteristiche stratigrafiche, strutturali e geotecniche dei terreni interessati nell'ambito del progetto *"Interventi di manutenzione straordinaria (revamping) dell'impianto di depurazione consortile di Porto Torres. Realizzazione di un nuovo locale per la disidratazione dei fanghi (CUP: G27H20002700007 CIG: Z5039F735D)"* all'interno del Comune di Porto Torres.

Le considerazioni espresse anche in forza delle conoscenze storiche degli assetti morfologici dell'area oggetto di studio e la situazione geologica e geotecnica emersa dalla campagna indagini dirette e indirette funzionale alla realizzazione degli interventi in progetto e al corretto dimensionamento degli stessi, hanno evidenziato, per il sito in oggetto, una sequenza stratigrafica caratterizzata da depositi antropici di qualità scadente sovrastanti potenti spessori di depositi palustri sciolti e saturi al di sopra del substrato lapideo miocenico. Nel dettaglio dei capitoli precedenti sono esplicitate le caratteristiche litostratigrafiche e sismostratigrafiche con la definizione del modello geotecnico relativo ai singoli orizzonti e necessari alla progettazione, così come richiesto dal §6.2.2 delle NTC2018.

È stato inoltre effettuato un monitoraggio della rete di pozzi esistenti all'interno dell'area del depuratore consortile per un'analisi di dati freaticometrici pregressi integrati ai sondaggi di nuova realizzazione per la determinazione di un modello idrogeologico sito specifico finalizzato all'analisi delle possibili cause dei dissesti riscontrati alla struttura oggetto del consolidamento. Sono stati, all'uopo, riportati i livelli di falda riscontrati che si attestano su valori di - 0,90 metri dal pc, al di sotto del locale disidratazione fanghi esistente e -2,00 metri dal pc sotto la platea su cui sorgerà quello nuovo. Non si esclude, però, che i valori misurati puntualmente, coerenti con l'andamento delle isofreatiche ricostruite con la rete di monitoraggio dell'intera area del depuratore e in interferenza con il cuneo di ingressione marina con il quale risulta in equilibrio, possano essere influenzati dall'azione continua del barriera idraulico del polo petrolchimico ubicato a monte idraulico del depuratore.

Anche in merito a ciò, sono state fatte valutazioni sulla generale stabilità geomorfologica delle aree interessate dagli interventi di progetto anche in relazione a richiamati fenomeni di subsidenza che, a parere dello scrivente, con le motivazioni riportate all'interno dell'elaborato, non risultano pertinenti al caso specifico e per i quali sarebbero necessari azioni di monitoraggio di più ampia scala e non commensurati alle indagini mirate agli interventi puntuali previsti e legati al consolidamento del locale esistente e per la realizzazione di quello in progetto.

Le risultanze sui modelli presentati con le relative correlazioni dei parametri fisico meccanici, le considerazioni sugli assetti idrogeologici, sulla pericolosità geologica generale e sulle cause dei

cedimenti localizzati determinati sia dalle scadenti qualità geotecniche che dalle sollecitazioni indotte dalle attività dei mezzi meccanici e di trasporto, hanno restituito un quadro generale ritenuto sufficientemente esaustivo per la realizzazione degli interventi di progetto e per il corrispondente e corretto dimensionamento strutturale delle opere di fondazione.

Per quanto riguarda la realizzazione del nuovo locale disidratazione fanghi si raccomanda l'utilizzo di fondazioni di tipo indiretto (pali di fondazione) da intestare all'interno dello strato calcarenitico rinvenibile a profondità superiori a 12,00 m dal p.c.

La categoria di sottosuolo di riferimento per i entrambi i siti di progetto è la **C**;

La categoria topografica di riferimento per il sito in esame è la **T1**;

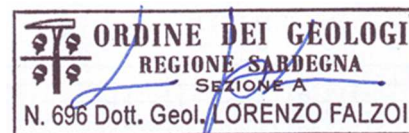
Qualora durante l'esecuzione delle opere di fondazione si rinvenissero condizioni differenti e non previste in tale contesto o comunque dubbi sulla effettiva natura dei litotipi descritti, si raccomanda di richiedere la tempestiva ispezione del cantiere da parte del geologo.

Si tenga presente che la tipologia, l'ampiezza dell'indagine e le relative considerazioni sono strettamente subordinate al tipo e alle dimensioni delle opere in progetto, e pertanto non devono essere generalizzate per interventi di altra natura.

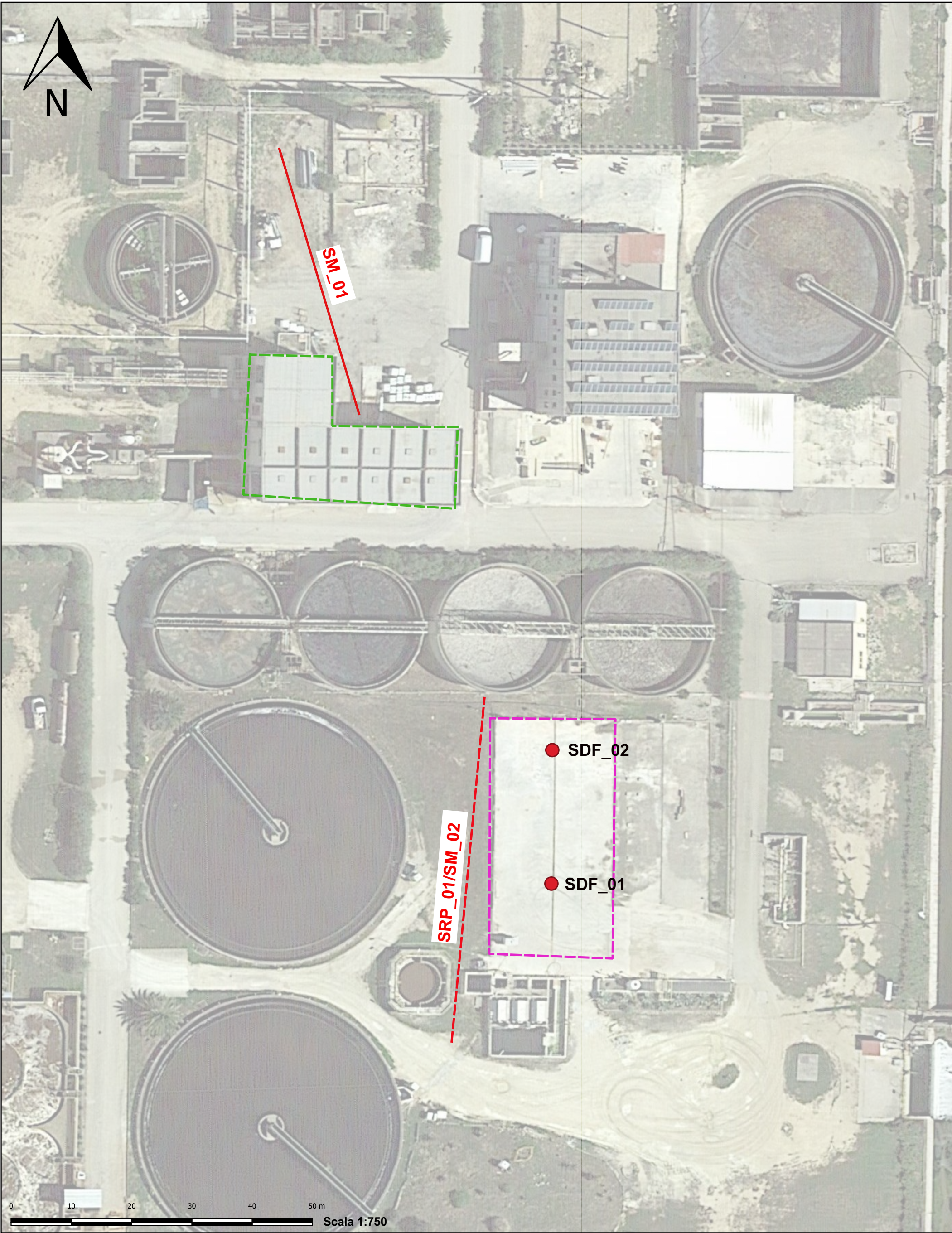
Sassari

maggio 2023

Dott. Geol. Lorenzo Falzoi



UBICAZIONE INDAGINI



LEGENDA:

- | | | | |
|--|---|--|---|
| | Stendimenti sismici in tecnica MASW | | Locale disidratazione fanghi da consolidare |
| | Stendimenti sismici in tecnica Tomografica e MASW | | Locale disidratazione fanghi da realizzare |
| | Sondaggi geognostici | | |

STRATIGRAFIE E FOTO CASSETTE CATALOGATRICI
CAMPAGNA INDAGINI APRILE 2023

DOTT.GEOL.LORENZO FALZOI
Via Giovanni Marghinotti 12
07100 Sassari
Cell. 3205712144
P.IVA 02322980901

INTERVENTI DI MANUTENZIONE STRAORDINARIA (REVAMPING)
DELL'IMPIANTO DI DEPURAZIONE CONSORTILE DI PORTO TORRES.
REALIZZAZIONE DI UN NUOVO LOCALE PER LA DISIDRATAZIONE DEI FANGHI
CUP: G27H20002700007 CIG: Z5039F735D

| | | | |
|--|--|---|---------------------------------|
| Committente CIPSS | Cantiere Nuovo locale disidratazione fanghi | Data 06/04/2023 | Sondaggio SDF_01 |
| Geologo Assistente Alle indagini Geol. Lorenzo Falzoi | Tipo Carotaggio Carotaggio continuo | Coordinate Geografiche WGS84 40°50'3.78"N - 8°21'33.04"E | Quota Ass. P.C. + 3,00 m slm |

| Scala | Litologia | Descrizione | Quota | R.Q.D. | S.P.T. | Pocket | Vane Test | Campioni | Falda | Carotiere |
|-------|-----------|--|-------|--------|-----------------------------------|--------|--------------------------|----------|-------|--------------|
| | | Platea calcestruzzo con rete elettrosaldata da 6 mm | 0.20 | | | | | | | |
| | | Materiale di riporto costituito da ghiaie e ciottoli in matrice | 0.60 | | | | | | | |
| | | Limo-argillosa beige | | | Spt1 N:3/4/5 1.00 PA | | 0,8 kg/cmq 0,2 kg/cmq | | | |
| 1 | | | | | Spt2 N:1/1/2 2.00 PA | | 0-0,1 kg/cmq | | | |
| 2 | | Sabbie con argille ghiaioso-limose con clasti di natura calcareo-marnosa, colore grigio marrone, sciolte e prive di consistenza, da umide a sature. evidenza olfattiva e visiva di potenziale contaminazione da 2,50 m a 4,00 m circa. | | | | | | | 2.35 | |
| 3 | | | | | | | | 3.20 | | |
| | | | 3.80 | | Spt3 N: 0 4.20 PA | | | 01 | 3.80 | |
| 4 | | | | | | | | | | |
| 5 | | Argille con limi sabbiose colore grigio scuro nerastro, ricche di frazione organica, con gusci di bivalvi, sciolte, prive di consistenza, sature. Presenza di gusci di bivalvi di ambiente salmastro. | | | Spt4 N:0/1/1 7.00 PA | | | | | |
| 6 | | | 8.00 | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | | | | |
| 8 | | Sabbie di colore grigio, sciolte, sature. | | | | | | | | |
| 9 | | | 9.40 | | Spt5 N:3/11/11 10.00 PA | | | | | |
| 10 | | Calcarenite molto alterata, colore giallastro, fossilifera. | | | | | | | | |
| 11 | | | 11.70 | | Spt6 N: 30/50x11cm 12.00 PA | | | | | |
| 12 | | | | 0% | | | | | | CD 12-15m |
| 13 | | Calcarenite organogena, ricca di fossili (Turritelle, bivalvi), vacuolare, consistente. | | 80% | | | | 13.50 | | |
| 14 | | | | 76% | | | | 02 | 13.82 | |
| 15 | | | 15.00 | | | | | | | |

Campioni: S-Pareti Sottili, O-Osterberg, M-Mazier, R-Rimaneggiato, Rs-Rimaneggiato da SPT
Piezometro: ATA-Tubo Aperto, CSG-Casagrande
Prove SPT:PA-Punta Aperta, PC-Punta Chiusa
Carotaggio:Carotaggio continuo

Sondaggio SDF_01



SDF_01 (0.00 – 5.00m)



SDF_01 (5.00 – 10.00m)



SDF_01 (10.00 – 15.00m)

DOTT.GEOL.LORENZO FALZOI
Via Giovanni Marghinotti 12
07100 Sassari
Cell. 3205712144
P.IVA 02322980901

INTERVENTI DI MANUTENZIONE STRAORDINARIA (REVAMPING)
DELL'IMPIANTO DI DEPURAZIONE CONSORTILE DI PORTO TORRES.
REALIZZAZIONE DI UN NUOVO LOCALE PER LA DISIDRATAZIONE DEI FANGHI
CUP: G27H20002700007 CIG: Z5039F735D

| | | | |
|--|--|---|---------------------------------|
| Committente CIPSS | Cantiere Nuovo locale disidratazione fanghi | Data 07/04/2023 | Sondaggio SDF_02 |
| Geologo Assistente Alle indagini Geol. Lorenzo Falzoi | Tipo Carotaggio Carotaggio continuo | Coordinate Geografiche WGS84 40°50'4.50"N - 8°21'33.05"E | Quota Ass. P.C. + 3,00 m slm |

| Scala | Litologia | Descrizione | Quota | R.Q.D. | S.P.T. | Pocket | Vane Test | Campioni | Falda | Carotiere |
|-------|-----------|--|-------|--------|-----------------------------|--------|--------------------------|----------|-------|-----------|
| | | Platea calcestruzzo con rete elettrosaldata da 6 mm | 0.20 | | | | | | | CS |
| | | materiale di riporto costituito da ghiaie e ciottoli in matrice limo-argillosa beige | 0.50 | | | | | | | 0-10,5m |
| 1 | | | | | Spt1 N:2/2/3 1.50 PA | | 0,8 kg/cmq 0,2 kg/cmq | | | |
| 2 | | Sabbie con argille ghiaioso-limose con clasti di natura calcareo-marnosa, colore grigio marrone, sciolti e privi di consistenza, da umidi a saturi. evidenza olfattiva e visiva di potenziale contaminazione da 2,50 m a 4,00 m circa. | | | Spt2 N:1/2/2 3.00 PA | | 0-0,1 kg/cmq | | 2.00 | |
| 3 | | | | | | | | | | |
| 4 | | | 4.20 | | Spt3 N: 0/1/0 4.50 PA | | | | | |
| 5 | | | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | | | |
| 7 | | Argille con limi sabbiose colore grigio scuro nerastro, ricche di frazione organica, con gusci di bivalvi, sciolte, prive di consistenza, sature. Presenza di gusci di bivalvi di ambiente salmastro. | | | | | 6.80 01 7.40 | | | |
| 8 | | | | | | | | | | |
| 9 | | | 9.00 | | Spt4 N:6/5/1 9.00 PA | | | | | |
| 10 | | Sabbie di colore grigio, sciolte, sature. | 10.00 | | | | | | | CS |
| 11 | | Calcarenite molto alterata, colore giallastro, fossilifera. | 11.40 | | | | | | | 10,5-15m |
| 12 | | | | | | | | | | |
| 13 | | Calcarenite organogena, ricca di fossili (Turritelle, bivalvi), vacuolare, consistente. | | 30% | | | 12.80 02 13.00 | | | |
| 14 | | | | 38% | | | | | | |
| 15 | | | 15.00 | 23% | | | | | | |

Campioni: S-Pareti Sottili, O-Osterberg, M-Mazier, R-Rimaneggiato, Rs-Rimaneggiato da SPT
Piezometro: ATA-Tubo Aperto, CSG-Casagrande
Prove SPT:PA-Punta Aperta, PC-Punta Chiusa
Carotaggio:Carotaggio continuo

Sondaggio SDF_02



SDF_02 (0.00 – 5.00m)

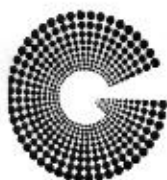


SDF_02 (5.00 – 10.00m)



SDF_02 (10.00 – 15.00m)

CERTIFICATI LABORATORIO GEOTECNICO
CAMPAGNA INDAGINI APRILE 2023



GEOSYSTEM

Del Dott. Geol. G.B. Demontis

ZONA INDUSTRIALE LOC. "PILL'E MATTA"
09044 QUARTUCCIU (CA)

TEL/FAX 070852509-070852424 - www.geosystem.ca.it
email: geosystemca@yahoo.it - pec: geosystem@pec.it

LABORATORIO AUTORIZZATO ALL'ESECUZIONE DI:
PROVE SU MATERIALI DA COSTRUZIONE SETTORE A
DI CUI ALL'ART. 59 DEL D.P.R. N.380/2001
CIRCOLARE N.7618/STC DEL 08/09/2010
AUT. MINISTERO N.0000527 DEL 30/09/2019
PROVE SUI TERRENI SETTORE A
DI CUI ALL'ART. 59 DEL D.P.R. N.380/2001
CIRCOLARE N.7618/STC DEL 08/09/2010
AUT. MINISTERO N.0000519 DEL 25/09/2019
CONTROLLI NON DISTRUTTIVI SU CALCESTRUZZO
CERTIFICAZIONE UNI EN ISO 9712
REGOLAMENTO IT-IND-REG-02, NDT CIV
LABORATORIO CERTIFICATO ISO 9001
CERT. N.IT 11/0996 ISO 9001/UNI EN ISO 9001

V.D.A. N°
COMMITTENTE
CANTIERE

6461-1
F.C.I. Tech Srl

DEL

07/04/2023

CAMPIONE
UBICAZIONE
DATA PRELIEVO

Interventi di manutenzione straordinaria (revamping) dell'impianto di depurazione consortile di Porto Torres
Realizzazione di un nuovo locale per la disidratazione dei fanghi
SDF_01 (3,20-3,80)m

DATA PROVA

20/04/2023

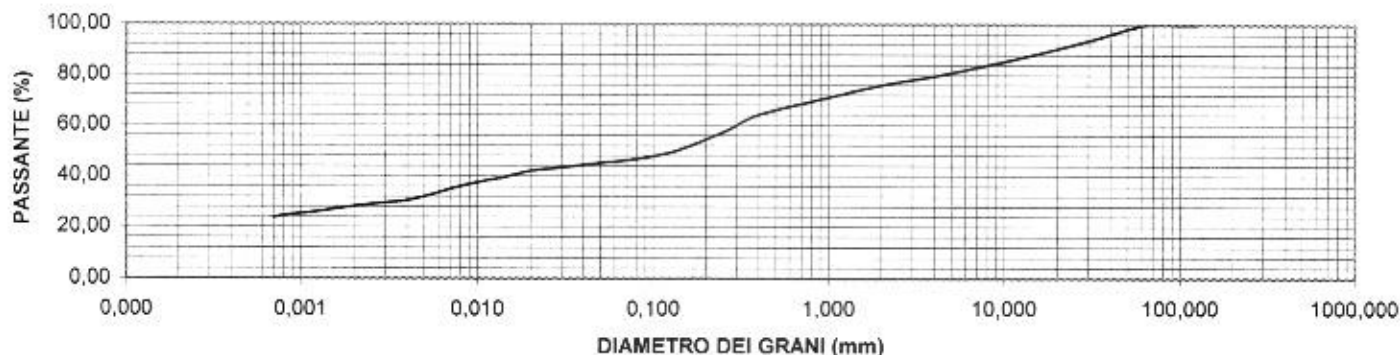
CERTIFICATO N.

046513

DEL

03 MAG. 2023

| Analisi granulometrica per setacciatura e sedimentazione UNI EN 933-1/17892-4 | | Limiti di Atterberg UNI CEN ISO/TS 17892-12 | |
|--|------------|--|-------|
| SETACCI (mm) | PASSANTE % | LIMITE LIQUIDO (%) | 36 |
| 125,0 | 100,00 | LIMITE PLASTICO (%) | 27 |
| 100,0 | 100,00 | INDICE PLASTICO | 9 |
| 63,0 | 100,00 | INDICE DI GRUPPO | 2 |
| 31,5 | 94,14 | CLASS. UNI EN 11531-1 | A4 |
| 16,0 | 88,74 | Massa Vol. dei grani (kN/m³) | 25,49 |
| 8,0 | 83,92 | | |
| 4,0 | 79,59 | | |
| 2,0 | 76,02 | | |
| 1,0 | 71,03 | | |
| 0,40 | 64,10 | | |
| 0,25 | 57,21 | | |
| 0,125 | 49,28 | | |
| 0,063 | 45,71 | | |
| 0,0552 | 45,46 | | |
| 0,0394 | 44,31 | | |
| 0,0281 | 43,16 | | |
| 0,0201 | 42,01 | | |
| 0,0145 | 39,71 | | |
| 0,0107 | 37,98 | | |
| 0,0077 | 35,68 | | |
| 0,0056 | 32,80 | | |
| 0,0040 | 30,50 | | |
| 0,0028 | 29,35 | | |
| 0,0020 | 28,20 | | |
| 0,0012 | 25,90 | | |
| 0,0008 | 24,75 | | |
| 0,0007 | 23,60 | | |



NOTE

Campione consegnato a cura del Committente.

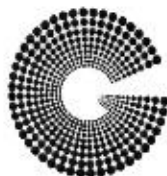
IL TECNICO

Dott.ssa Geol. Stefania Lai

IL DIRETTORE

Dott. Geol. Guido Demontis

C.C.I.A.A. CAGLIARI 52034 - CODICE FISCALE DMN GNN 64D15 B354K - PARTITA IVA 01588890928



GEOSYSTEM

Del Dott. Geol. G.B. Demontis

ZONA INDUSTRIALE LOC. "PILL'E MATTA"
09044 QUARTUCCIU (CA)

TEL/FAX 070852509-070852424 - www.geosystem.ca.it
email: geosystemca@yahoo.it - pec: geosystem@pec.it

LABORATORIO AUTORIZZATO ALL'ESECUZIONE DI:
PROVE SU MATERIALI DA COSTRUZIONE SETTORE A
DI CUI ALL'ART. 59 DEL D.P.R. N.380/2001
CIRCOLARE N.7817/STC DEL 08/09/2010
AUT. MINISTERO N.0000527 DEL 30/09/2019
PROVE SUI TERRENI SETTORE A
DI CUI ALL'ART. 59 DEL D.P.R. N.380/2001
CIRCOLARE N.7818/STC DEL 08/09/2010
AUT. MINISTERO N.0000519 DEL 25/09/2019
CONTROLLI NON DISTRUTTIVI SU CALCESTRUZZO
CERTIFICAZIONE UNI EN ISO 9712
REGOLAMENTO IT-IND-REG-02_NDT_CIV
LABORATORIO CERTIFICATO ISO 9001
CERT. N.IT 11/0998 ISO 9001/UNI EN ISO 9001

V.D.A. N. 6461-1 DEL 07/04/2023
COMMITTENTE F.C.I. Tech Srl
CANTIERE Interventi di manutenzione straordinaria (revamping) dell'impianto di depurazione consortile di Porto Torres
Realizzazione di un nuovo locale per la disidratazione dei fanghi
CAMPIONE SDF_01 (3,20-3,80)m
UBICAZIONE \\\nDATA PRELIEVO 4-6-7/04/2023 DATA PROVA 21/04/2023

CERTIFICATO N° 046514 DEL 03 MAG. 2023

DETERMINAZIONE LIMITE DI RITIRO

ASTM D 4943/CNR UNI 10014/64

Determinazione del contenuto minimo d'acqua necessario per saturare i vuoti intergranulari di una terra
Quantità minima di acqua oltre la quale non si hanno ulteriori riduzioni di volume

La prova si esegue sul passante al setaccio 0,42 mm poi viene umidificato ad un livello di umidità "W"
superiore del 10% del suo limite liquido "WL"

| | | |
|--------------------------------------|--------------------------------|-------------------|
| Limite liquido "WL" = | 36 | % |
| Volume iniziale del provino "V" | 17,90 | cm ³ |
| Volume finale del provino secco "Vs" | 13,33 | cm ³ |
| Peso secco netto del provino "Ps" | 22,38 | gr |
| Densità dell'acqua (Ga) | 0,998 | Kg/m ³ |
| Limite di ritiro "Ws" | $W - 100 * Ga * (V - Vs) / Ps$ | % |
| Limite di ritiro "Ws" = | 19,71 | % |
| Ritiro Lineare Ls = | 25,54 | % |

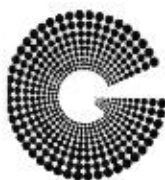
NOTE:

IL TECNICO

Dott.ssa Geol. Stefania Lai

IL DIRETTORE

Dott. Geol. Guido Demontis



GEOSYSTEM

Del Dott. Geol. G.B. Demontis

ZONA INDUSTRIALE LOC. "PILL'E MATTA"
09044 QUARTUCCIU (CA)

TEL/FAX 070852509-070852424 - www.geosystem.ca.it
email: geosystemca@yahoo.it - pec: geosystem@pec.it

LABORATORIO AUTORIZZATO ALL'ESECUZIONE DI:
PROVE SU MATERIALI DA COSTRUZIONE SETTORE A
DI CUI ALL'ART. 59 DEL D.P.R. N.380/2001
CIRCOLARE N.7617/STC DEL 08/09/2010
AUT. MINISTERO N.0000527 DEL 30/09/2019
PROVE SUI TERRENI SETTORE A
DI CUI ALL'ART. 59 DEL D.P.R. N.380/2001
CIRCOLARE N.7618/STC DEL 08/09/2010
AUT. MINISTERO N.0000619 DEL 25/09/2019
CONTROLLI NON DISTRUTTIVI SU CALCESTRUZZO
CERTIFICAZIONE UNI EN ISO 9712
REGOLAMENTO IT-IND-REG-02_NDT.CIV
LABORATORIO CERTIFICATO ISO 9001
CERT. N.IT 11/0996 ISO 9001/UNI EN ISO 9001

V.D.A. N°
COMMITTENTE
CANTIERE

6461-3
F.C.I. Tech Srl
Interventi di manutenzione straordinaria (revamping) dell'impianto di depurazione consortile di Porto Torres
Realizzazione di un nuovo locale per la disidratazione dei fanghi
SDF_02 (6,80-7,40)m

DEL 07/04/2023

CAMPIONE
UBICAZIONE
DATA PRELIEVO

4-6-7/04/2023

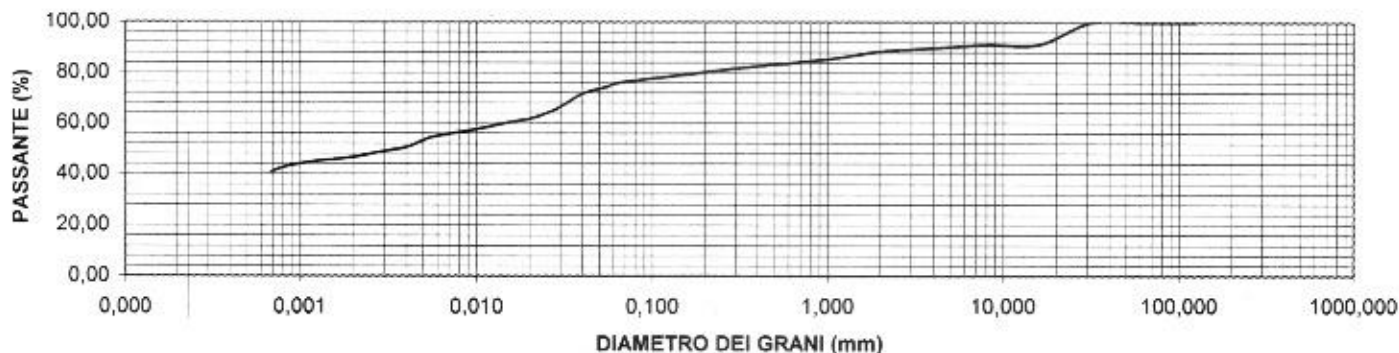
DATA PROVA 20/04/2023

CERTIFICATO N.

046515

DEL 03 MAG. 2023

| Analisi granulometrica per setacciatura e sedimentazione UNI EN 933-1/17892-4 | | Limiti di Atterberg UNI CEN ISO/TS 17892-12 | |
|--|------------|--|-------|
| SETACCI (mm) | PASSANTE % | LIMITE LIQUIDO (%) | 59 |
| 125,0 | 100,00 | LIMITE PLASTICO (%) | 42 |
| 100,0 | 100,00 | INDICE PLASTICO | 17 |
| 63,0 | 100,00 | INDICE DI GRUPPO | 15 |
| 31,5 | 100,00 | CLASS. UNI EN 11531-1 | A7-5 |
| 16,0 | 91,29 | Massa Vol. dei grani (kN/m ³) | 25,27 |
| 8,0 | 91,18 | | |
| 4,0 | 89,77 | | |
| 2,0 | 88,43 | | |
| 1,0 | 85,30 | | |
| 0,40 | 82,62 | | |
| 0,25 | 81,02 | | |
| 0,125 | 78,52 | | |
| 0,063 | 75,83 | | |
| 0,0555 | 74,33 | | |
| 0,0398 | 71,47 | | |
| 0,0289 | 65,75 | | |
| 0,0208 | 61,94 | | |
| 0,0149 | 60,03 | | |
| 0,0109 | 58,13 | | |
| 0,0078 | 56,22 | | |
| 0,0056 | 54,31 | | |
| 0,0040 | 50,50 | | |
| 0,0028 | 48,60 | | |
| 0,0020 | 46,69 | | |
| 0,0012 | 44,79 | | |
| 0,0008 | 42,88 | | |
| 0,0007 | 40,97 | | |



NOTE

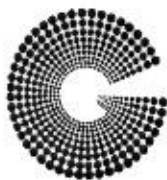
Campione consegnato a cura del Committente.

IL TECNICO

Dott.ssa Geol. Stefania Lai

IL DIRETTORE

Dott. Geol. Guido Demontis



GEOSYSTEM

Del Dott. Geol. G.B. Demontis

ZONA INDUSTRIALE LOC. "PILL'E MATTÀ"
09044 QUARTUCCIU (CA)

TEL/FAX 070852509-070852424 - www.geosystem.ca.it
email: geosystemca@yahoo.it - pec: geosystem@pec.it

LABORATORIO AUTORIZZATO ALL'ESECUZIONE DI:
PROVE SU MATERIALI DA COSTRUZIONE SETTORE A
DI CUI ALL'ART. 58 DEL D.P.R. N. 380/2001
CIRCOLARE N. 7617/STC DEL 08/09/2010
AUT. MINISTERO N.0000527 DEL 30/06/2019
PROVE SUI TERRENI SETTORE A
DI CUI ALL'ART. 58 DEL D.P.R. N. 380/2001
CIRCOLARE N. 7618/STC DEL 08/09/2010
AUT. MINISTERO N.0000515 DEL 25/08/2019
CONTROLLI NON DISTRUTTIVI SU CALCESTRUZZO
CERTIFICAZIONE UNI EN ISO 9712
REGOLAMENTO IT-IND-REG-02_NDT_CIV
LABORATORIO CERTIFICATO ISO 9001
CERT. N. IT 11/0996 ISO 9001/UNI EN ISO 9001

V.D.A. N. 6461-3 DEL 07/04/2023
COMMITTENTE F.C.I. Tech Srl
CANTIERE Interventi di manutenzione straordinaria (revamping) dell'impianto di depurazione consortile di Porto Torres
Realizzazione di un nuovo locale per la disidratazione dei fanghi
CAMPIONE SDF_02 (6,80-7,40)m
UBICAZIONE 1
DATA PRELIEVO 4-6-7/04/2023 DATA PROVA 21/04/2023

CERTIFICATO N° 046516 DEL 03 MAG. 2023

DETERMINAZIONE LIMITE DI RITIRO

ASTM D 4943/CNR UNI 10014/64

Determinazione del contenuto minimo d'acqua necessario per saturare i vuoti intergranulari di una terra
Quantità minima di acqua oltre la quale non si hanno ulteriori riduzioni di volume

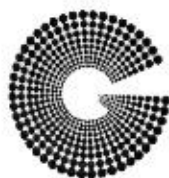
La prova si esegue sul passante al setaccio 0,42 mm poi viene umidificato ad un livello di umidità "W"
superiore del 10% del suo limite liquido "WL"

| | | |
|--------------------------------------|--------------------------------|-------------------|
| Limite liquido "WL" = | 42 | % |
| Volume iniziale del provino "V" | 17,57 | cm ³ |
| Volume finale del provino secco "Vs" | 13,08 | cm ³ |
| Peso secco netto del provino "Ps" | 20,58 | gr |
| Densità dell'acqua (Ga) | 0.998 | Kg/m ³ |
| Limite di ritiro "Ws" | $W - 100 * Ga * (V - Vs) / Ps$ | % |
| Limite di ritiro "Ws" = | 26,71 | % |
| Ritiro Lineare Ls = | 25,52 | % |

NOTE:

IL TECNICO
Dott.ssa Geol. Stefania Lai

IL DIRETTORE
Dott. Geol. Guido Demontis



GEOSYSTEM

Del Dott. Geol. G.B. Demontis

ZONA INDUSTRIALE LOC. "PILL'E MATTA"
09044 QUARTUCCIU (CA)

TEL/FAX 070852509-070852424 - www.geosystem.ca.it
email: geosystemca@yahoo.it - pec: geosystem@pec.it

LABORATORIO AUTORIZZATO ALL'ESECUZIONE DI:
PROVE SU MATERIALI DA COSTRUZIONE SETTORE A
DI CUI ALL'ART. 59 DEL D.P.R. N.380/2001
CIRCOLARE N.7017/STC DEL 08/09/2010
AUT. MINISTERO N.0000527 DEL 30/09/2019
PROVE SUI TERRENI SETTORE A
DI CUI ALL'ART. 59 DEL D.P.R. N.380/2001
CIRCOLARE N.7618/STC DEL 08/09/2010
AUT. MINISTERO N.0000519 DEL 25/09/2019
CONTROLLI NON DISTRUTTIVI SU CALCESTRUZZO
CERTIFICAZIONE UNI EN ISO 9712
REGOLAMENTO IT-IND-REG-02 NDT CIV
LABORATORIO CERTIFICATO ISO 9001
CERT. N.IT 11/0996 ISO 9001-UNI EN ISO 9001

V.D.A. N° 6461-1 DEL 07/04/2023
COMMITTENTE F.C.I. Tech Srl
CANTIERE Interventi di manutenzione straordinaria (revamping) dell'impianto di depurazione consortile di Porto Torres
Realizzazione di un nuovo locale per la disidratazione dei fanghi
CAMPIONE SDF_01 (3,20-3,80)m
DATA PRELIEVO 4-6-7/04/2023 DATA PROVA 11/04/2023
CERTIFICATO N. 046517 DEL 03 MAG. 2023

PROVA EDOMETRICA

(ASTM D2435)

DESCRIZIONE DEL CAMPIONE: Argilla sabbiosa poco consistente

CARATTERISTICHE DEL PROVINO

| | | |
|--------------------------------|-------------------|-------|
| Altezza provino | cm | 2,000 |
| Area provino | cm ² | 20,00 |
| Umidità iniziale | % | 22,36 |
| Densità naturale | kN/m ³ | 19,28 |
| Densità secca | kN/m ³ | 15,75 |
| Peso specifico reale dei grani | kN/m ³ | 25,32 |
| Grado di saturazione | % | 95,07 |
| Indice dei vuoti | e | 0,607 |
| Pocket Penetrometer | kPa | 25 |

CICLI DI CARICO

| Pressione kPa | Cedimento mm | Indice dei vuoti e | Modulo Edometrico kPa | Coeff.di consolidazione cm ² /sec | Coeff.di Permeabilità' m/sec |
|------------------|-----------------|-----------------------|--------------------------|---|---------------------------------|
| 0 | 0,000 | 0,607 | \ | \ | \ |
| 25 | 0,143 | 0,596 | 3429 | \ | \ |
| 49 | 0,440 | 0,572 | 1639 | 7,63E-04 | 4,4E-10 |
| 98 | 0,920 | 0,533 | 1998 | 6,80E-04 | 3,2E-10 |
| 196 | 1,470 | 0,489 | 3402 | 6,20E-04 | 1,7E-10 |
| 392 | 2,050 | 0,443 | 6266 | 5,88E-04 | 8,3E-11 |
| 785 | 2,730 | 0,388 | 10355 | \ | \ |
| 1569 | 3,410 | 0,333 | 19926 | \ | \ |
| \ | \ | \ | \ | \ | \ |
| \ | \ | \ | \ | \ | \ |

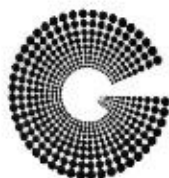
NOTE: Campione prelevato a cura della Geosystem

IL TECNICO

Dott.ssa Geol. Stefania Lai

IL DIRETTORE

Dott. Geol. Guido Demontis



GEOSYSTEM

Del Dott. Geol. G.B. Demontis

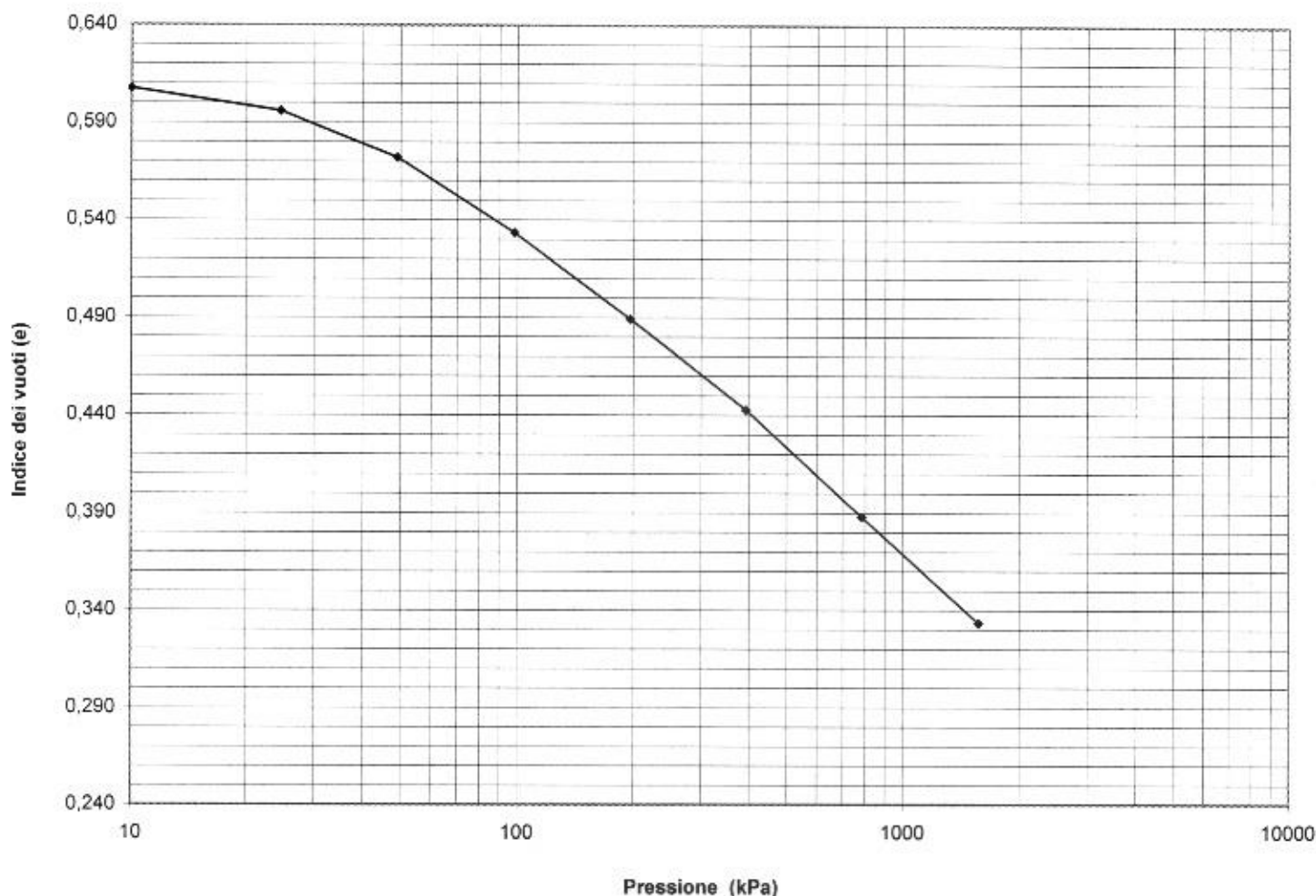
ZONA INDUSTRIALE LOC. "PILL'E MATTA"
09044 QUARTUCCIU (CA)

TEL/FAX 070852509-070852424 - www.geosystem.ca.it
email: geosystemca@yahoo.it - pec: geosystem@pec.it

LABORATORIO AUTORIZZATO ALL'ESECUZIONE DI:
PROVE SU MATERIALI DA COSTRUZIONE SETTORE A
DI CUI ALL'ART. 59 DEL D.P.R. N.380/2001
CIRCOLARE N.7617/STC DEL 08/09/2010
AUT. MINISTERO N.0000627 DEL 30/09/2019
PROVE SUI TERRENI SETTORE A
DI CUI ALL'ART. 58 DEL D.P.R. N.380/2001
CIRCOLARE N.7618/STC DEL 08/09/2010
AUT. MINISTERO N.0000519 DEL 25/09/2019
CONTROLLI NON DISTRUTTIVI SU CALCESTRUZZO
CERTIFICAZIONE UNI EN ISO 9712
REGOLAMENTO IT-IND-REG-02, NDT CIV
LABORATORIO CERTIFICATO ISO 9001
CERT. N. IT 110985 ISO 9001/UNI EN ISO 9001

V.D.A. N° 6461-1 DEL 07/04/23
COMMITTENTE F.C.I. Tech Srl
CANTIERE Interventi di manutenzione straordinaria (revamping) dell'impianto di depurazione consortile di Porto Torres
CAMPIONE SDF_01 (3,20-3,80)m
UBICAZIONE \
DATA PRELIEVO 4-6-7/04/2023 DATA PROVA 11/04/2023
CERTIFICATO N. 046517 DEL 03 MAG. 2023

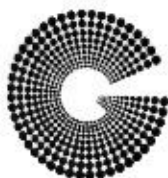
PROVA EDOMETRICA
GRAFICO Indice dei vuoti-Log Pressioni



IL TECNICO
Dott.ssa Geol. Stefania Lai

IL DIRETTORE
Dott. Geol. Guido Demontis

C.C.I.A.A. CAGLIARI 52034 - CODICE FISCALE DMN GNN 64D15 B354K - PARTITA IVA 01588890929



GEOSYSTEM

Del Dott. Geol. G.B. Demontis

ZONA INDUSTRIALE LOC. "PILL'E MATTA"
09044 QUARTUCCIU (CA)

TEL/FAX 070852509-070852424 - www.geosystem.ca.it
email: geosystemca@yahoo.it - pec: geosystem@pec.it

LABORATORIO AUTORIZZATO ALL'ESECUZIONE DI:
PROVE SU MATERIALI DA COSTRUZIONE SETTORE A
DI CUI ALL'ART. 59 DEL D.P.R. N.380/2001
CIRCOLARE N.7817/STC DEL 08/08/2010
AUT. MINISTERO N.0000527 DEL 30/08/2019
PROVE SUI TERRENI SETTORE A
DI CUI ALL'ART. 59 DEL D.P.R. N.380/2001
CIRCOLARE N.7818/STC DEL 08/08/2010
AUT. MINISTERO N.0000518 DEL 25/08/2019
CONTROLLI NON DISTRUTTIVI SU CALCESTRUZZO
CERTIFICAZIONE UNI EN ISO 9712
REGOLAMENTO IT-IND-REG-02, NDT CIV
LABORATORIO CERTIFICATO ISO 9001
CERT. N.IT 11/0996 ISO 9001/UNI EN ISO 9001

V.D.A. N° 6461-3 DEL 07/04/2023
COMMITTENTE F.C.I. Tech Srl
CANTIERE Interventi di manutenzione straordinaria (revamping) dell'impianto di depurazione consortile di Porto Torres
Realizzazione di un nuovo locale per la lisdrazione dei fanghi
CAMPIONE SDF_02 (6,80-7,40)m
DATA PRELIEVO 4-6-7/04/2023 DATA PROVA 11/04/2023
CERTIFICATO N. 046518 DEL 03 MAG. 2023

PROVA EDOMETRICA (ASTM D2435)

DESCRIZIONE DEL CAMPIONE: Argilla poco consistente con sostanza vegetale e conchiglie

CARATTERISTICHE DEL PROVINO

| | | |
|--------------------------------|-------------------|--------|
| Altezza provino | cm | 2,000 |
| Area provino | cm ² | 20,00 |
| Umidità iniziale | % | 74,88 |
| Densità naturale | kN/m ³ | 15,28 |
| Densità secca | kN/m ³ | 8,74 |
| Peso specifico reale dei grani | kN/m ³ | 25,91 |
| Grado di saturazione | % | 100,70 |
| Indice dei vuoti | e | 1,965 |
| Pocket Penetrometer | kPa | 25 |

CICLI DI CARICO

| Pressione kPa | Cedimento mm | Indice dei vuoti e | Modulo Edometrico kPa | Coeff. di consolidazione cm ² /sec | Coeff. di Permeabilità m/sec |
|------------------|-----------------|-----------------------|--------------------------|--|---------------------------------|
| 0 | 0,000 | 1,965 | \ | \ | \ |
| 25 | 0,180 | 1,938 | 2724 | \ | \ |
| 49 | 0,420 | 1,903 | 2025 | 3,19E-04 | 1,5E-10 |
| 98 | 1,600 | 1,728 | 814 | 2,18E-04 | 2,5E-10 |
| 196 | 2,800 | 1,550 | 1504 | 1,20E-04 | 7,1E-11 |
| 392 | 4,150 | 1,350 | 2499 | 8,76E-05 | 2,9E-11 |
| 785 | 5,550 | 1,142 | 4441 | \ | \ |
| 1569 | 7,000 | 0,927 | 7819 | \ | \ |
| \ | \ | \ | \ | \ | \ |
| \ | \ | \ | \ | \ | \ |

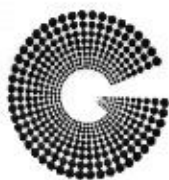
NOTE: Campione prelevato a cura della Geosystem

IL TECNICO

Dott.ssa Geol. Stefania Lai

IL DIRETTORE

Dott. Geol. G.B. Demontis



GEOSYSTEM

Del Dott. Geol. G.B. Demontis

ZONA INDUSTRIALE LOC. "PIL'E MATTÀ"
09044 QUARTUCCIU (CA)

TEL/FAX 070852509-070852424 - www.geosystem.ca.it
email: geosystemca@yahoo.it - pec: geosystem@pec.it

LABORATORIO AUTORIZZATO ALL'ESECUZIONE DI:
PROVE SU MATERIALI DA COSTRUZIONE SETTORE A
DI CUI ALL'ART. 59 DEL D.P.R. N.380/2001
CIRCOLARE N.7618/STC DEL 08/09/2010
AUT. MINISTERO N.0000527 DEL 30/09/2019
PROVE SUI TERRENI SETTORE A
DI CUI ALL'ART. 59 DEL D.P.R. N.380/2001
CIRCOLARE N.7618/STC DEL 08/09/2010
AUT. MINISTERO N.0000519 DEL 25/09/2018
CONTROLLI NON DISTRUTTIVI SU CALCESTRUZZO
CERTIFICAZIONE UNI EN ISO 9712
REGOLAMENTO IT-IND-REG-02, NDT CIV
LABORATORIO CERTIFICATO ISO 9001
CERT. N.IT 11/0996 ISO 9001/UNI EN ISO 9001

V.D.A. N° 6461-3 DEL 07/04/23
COMMITTENTE F.C.I. Tech Srl
CANTIERE Interventi di manutenzione straordinaria (revamping) dell'impianto di depurazione consortile di Porto Torres

CAMPIONE SDF_02 (6,80-7,40)m

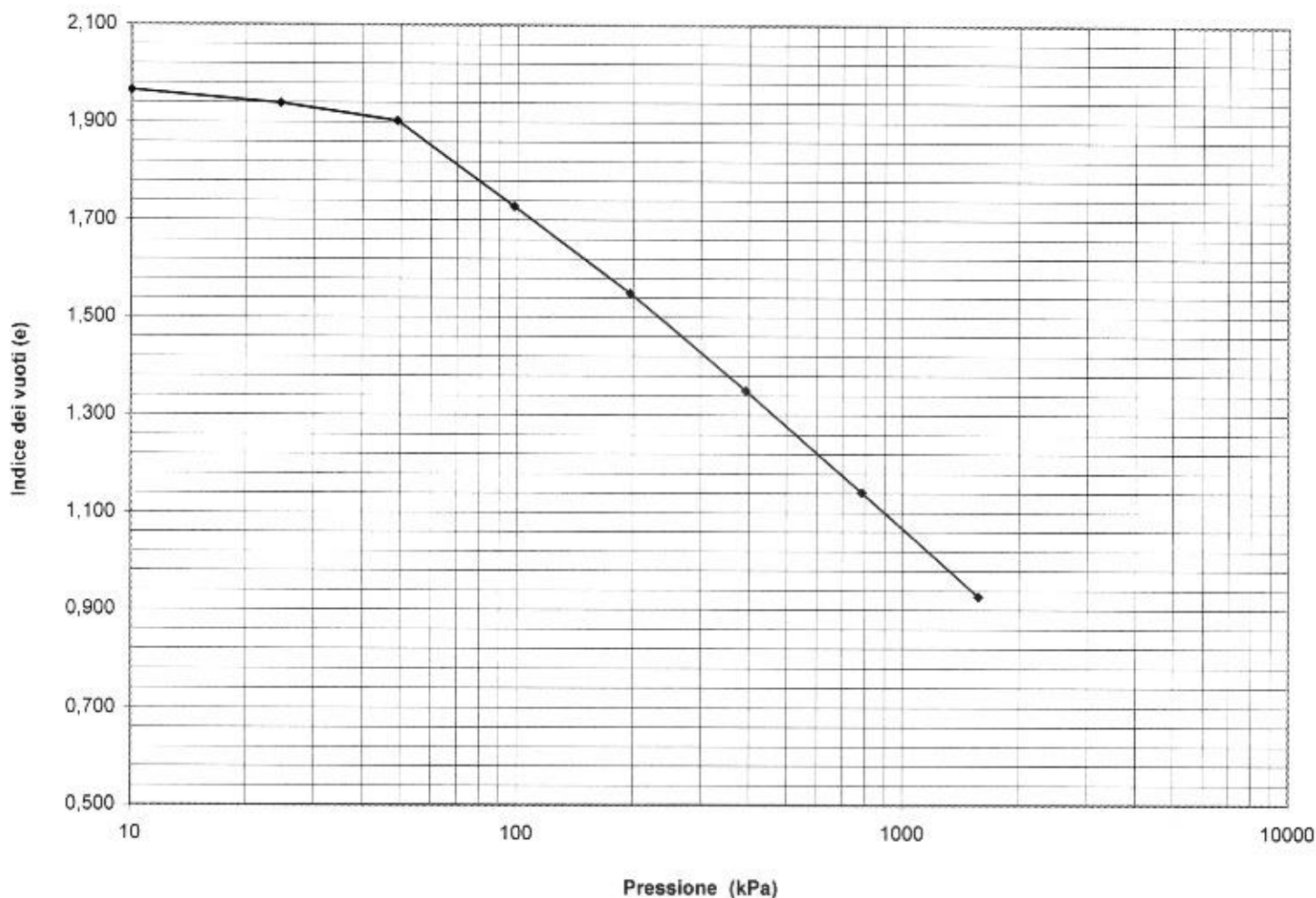
UBICAZIONE \

DATA PRELIEVO 4-6-7/04/2023

DATA PROVA 11/04/2023

CERTIFICATO N. 046518 DEL 03 MAG. 2023

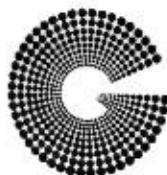
PROVA EDOMETRICA GRAFICO Indice dei vuoti-Log Pressioni



IL TECNICO
Dott.ssa Geol. Stefania Lai

IL DIRETTORE
Dott. Geol. Guido Demontis

C.C.I.A.A. CAGLIARI 52034 - CODICE FISCALE DMN GNN 64D15 B354K - PARTITA IVA 01588890929



GEOSYSTEM

Del Dott. Geol. G.B. Demontis

ZONA INDUSTRIALE LOC. "PILL'E MATTA"
09044 QUARTUCCIU (CA)

TEL/FAX 070852509-070852424 - www.geosystem.ca.it
email: geosystemca@yahoo.it - pec: geosystem@pec.it

LABORATORIO AUTORIZZATO ALL'ESECUZIONE DI:
PROVE SU MATERIALI DA COSTRUZIONE SETTORE A
DI CUI ALL'ART. 59 DEL D.P.R. N.380/2001
CIRCOLARE N.7817/STC DEL 08/06/2010
AUT. MINISTERO N.0000527 DEL 30/06/2019
PROVE SUI TERRENI SETTORE A
DI CUI ALL'ART. 69 DEL D.P.R. N.380/2001
CIRCOLARE N.7818/STC DEL 08/06/2010
AUT. MINISTERO N.0000519 DEL 25/09/2019
CONTROLLI NON DISTRUTTIVI SU CALCESTRUZZO
CERTIFICAZIONE UNI EN ISO 9712
REGOLAMENTO IT-IND-REG-02_NDT CIV
LABORATORIO CERTIFICATO ISO 9001
CERT. NIT 11/0996 ISO 9001:2015 EN ISO 9001

V.D.A. N° 6461-1 DEL 07/04/2023
COMMITTENTE F.C.I. Tech Srl
CANTIERE Interventi di manutenzione straordinaria (revamping) dell'impianto di depurazione consortile di Porto Torres
Realizzazione di un nuovo locale per la disidratazione dei fanghi
CAMPIONE SDF_01 (3,20-3,80)m
UBICAZIONE \

DATA PROVA 03/05/2023 DATA PRELIEVO 4-6-7/04/2023

CERTIFICATO N. 046519 DEL 03 MAG. 2023
PROVA DI COMPRESSIONE IN ESPANSIONE LATERALE LIBERA
(ASTM D2166)

DESCRIZIONE DEL CAMPIONE: Argilla sabbiosa poco consistente

STATO DEL CAMPIONE: Indisturbato

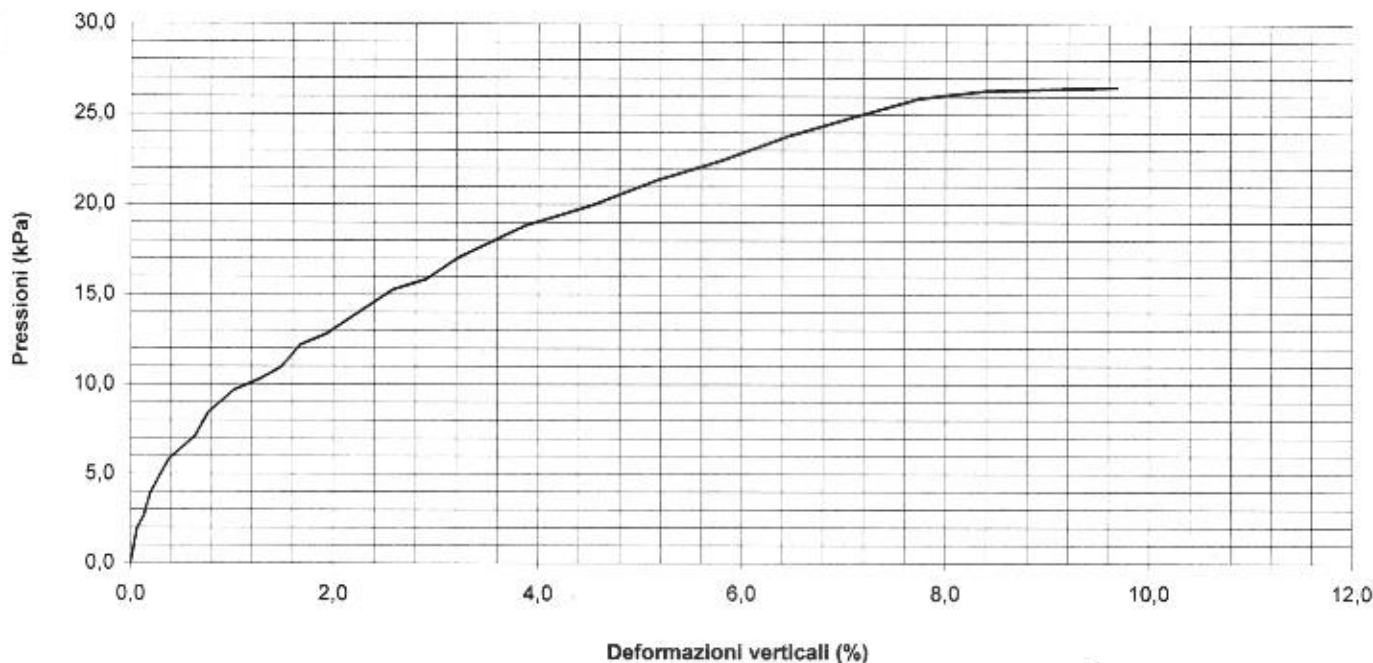
| | | |
|--------------------------|--------|------|
| Velocita'di deformazione | mm/min | 0,71 |
|--------------------------|--------|------|

| | | | | | |
|------------------|----|--------|---------------------|-------------------|-------|
| Diametro provino | mm | 83,00 | Densita'naturale | kN/m ³ | 19,70 |
| Altezza iniziale | mm | 155,00 | Umidita'naturale | % | 22,36 |
| Altezza finale | mm | 140,00 | Pocket penetrometer | kPa | 25 |

PRESSIONE A ROTTURA kPa 26,5

DEFORMAZIONE A ROTTURA mm 15,00

DEFORMAZIONE A ROTTURA % 9,68

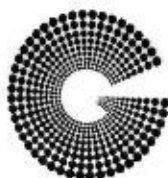


NOTE: Campione consegnato a cura del Committente

IL TECNICO
Dott.ssa Geol. Stefania Lai

IL DIRETTORE
Dott. Geol. Guido Demontis

C.C.I.A.A. CAGLIARI 52034 - CODICE FISCALE DMN GNN 64D15 B354K - PARTITA IVA 01588890929



GEOSYSTEM

Del Dott. Geol. G.B. Demontis

ZONA INDUSTRIALE LOC. "PILL'E MATTA"
09044 QUARTUCCIU (CA)

TEL/FAX 070852509-070852424 - www.geosystem.ca.it
email: geosystemca@yahoo.it - pec: geosystem@pec.it

LABORATORIO AUTORIZZATO ALL'ESECUZIONE DI:
PROVE SU MATERIALI DA COSTRUZIONE SETTORE A
DI CUI ALL'ART. 56 DEL D.P.R. N.380/2001
CIRCOLARE N.7817/STO DEL 08/06/2010
AUT. MINISTERO N.0000527 DEL 30/06/2019
PROVE SUI TERRENI SETTORE A
DI CUI ALL'ART. 59 DEL D.P.R. N.380/2001
CIRCOLARE N.7818/STO DEL 08/06/2010
AUT. MINISTERO N.0000519 DEL 25/06/2019
CONTROLLI NON DISTRUTTIVI SU CALCESTRUZZO
CERTIFICAZIONE UNI EN ISO 9712
REGOLAMENTO IT-IND-REG-02_NDT.CIV
LABORATORIO CERTIFICATO ISO 9001
CERT. N.IT 110998 ISO 9001/UNI EN ISO 9001

V.D.A. N° 6461-3 DEL 07/04/2023
COMMITTENTE F.C.I. Tech Srl
CANTIERE Interventi di manutenzione straordinaria (revamping) dell'impianto di depurazione consortile di Porto Torres
Realizzazione di un nuovo locale per la disidratazione dei fanghi
CAMPIONE SDF_02 (6,80-7,40)m PROTOCOLLO \\\nUBICAZIONE \\\nDATA PROVA 03/05/2023 DATA PRELIEVO 4-6-7/04/2023

CERTIFICATO N. 046520 DEL 03 MAG. 2023
PROVA DI COMPRESSIONE IN ESPANSIONE LATERALE LIBERA
(ASTM D2166)

DESCRIZIONE DEL CAMPIONE: Argilla poco consistente con sostanza vegetale e conchiglie

STATO DEL CAMPIONE: Indisturbato

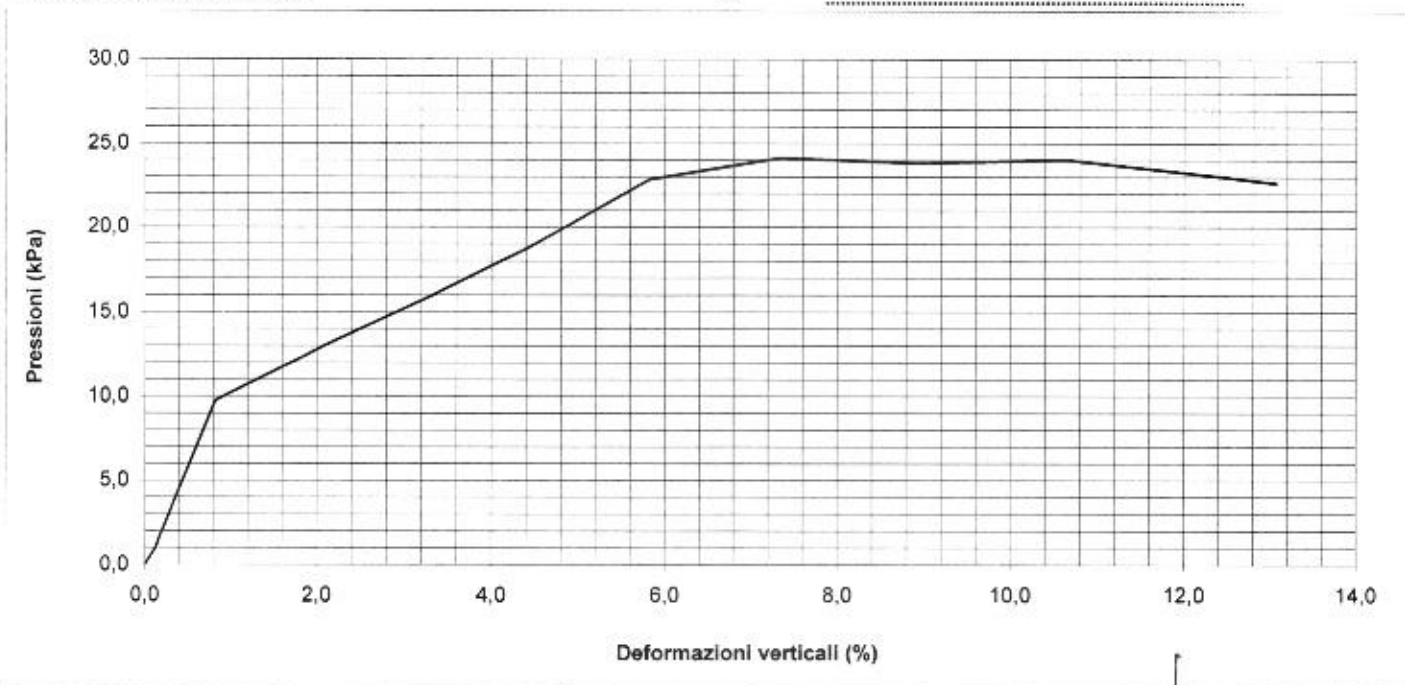
| | | |
|--------------------------|--------|------|
| Velocità di deformazione | mm/min | 0,71 |
|--------------------------|--------|------|

| | | | | | |
|------------------|----|-------|---------------------|-------------------|-------|
| Diametro provino | mm | 38,10 | Densità naturale | kN/m ³ | 15,58 |
| Altezza iniziale | mm | 76,20 | Umidità naturale | % | 74,88 |
| Altezza finale | mm | 70,61 | Pocket penetrometer | kPa | 25,00 |

PRESSIONE A ROTTURA kPa 24,13

DEFORMAZIONE A ROTTURA mm 5,59

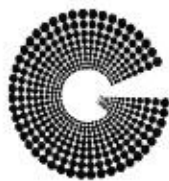
DEFORMAZIONE A ROTTURA % 7,34



NOTE: /

IL TECNICO
Dott.ssa Geol. Stefania Lai

IL DIRETTORE
Dott. Geol. Guido Demontis



GEOSYSTEM

Del Dott. Geol. G.B. Demontis

ZONA INDUSTRIALE LOC. "PILL'E MATTA"
09044 QUARTUCCIU (CA)

TEL/FAX 070852509-070852424 - www.geosystem.ca.it
email: geosystemca@yahoo.it - pec: geosystem@pec.it

LABORATORIO AUTORIZZATO ALL'ESECUZIONE DI:
PROVE SU MATERIALI DA COSTRUZIONE SETTORE A
DI CUI ALL'ART. 58 DEL D.P.R. N.380/2001
CIRCOLARE N.7817/STC DEL 08/06/2010
AUT. MINISTERO N.0000527 DEL 30/06/2019
PROVE SUI TERRENI SETTORE A
DI CUI ALL'ART. 58 DEL D.P.R. N.380/2001
CIRCOLARE N.7818/STC DEL 08/06/2010
AUT. MINISTERO N.0000519 DEL 25/06/2019
CONTROLLI NON DISTRUTTIVI SU CALCESTRUZZO
CERTIFICAZIONE UNI EN ISO 9712
REGOLAMENTO IT-IND-REG-02_MDT_CIV
LABORATORIO CERTIFICATO ISO 9001
CERT. N.IT 11/0696 ISO 9001/AN/ EN ISO 9001

V.D.A. N° 6461-4 DEL 07/04/2023
COMMITTENTE Dott. Geol. Lorenzo Falzoi
CANTIERE Interventi di manutenzione straordinaria (revamping) dell'impianto di depurazione consortile di Porto Torres
CAMPIONE Realizzazione di un nuovo locale per la disidratazione dei fanghi
UBICAZIONE SDF-02 (12,80-13,00m)
DATA PROVA 04/05/2023 DATA PRELIEVO 4-6/04/23

CERTIFICATO N.

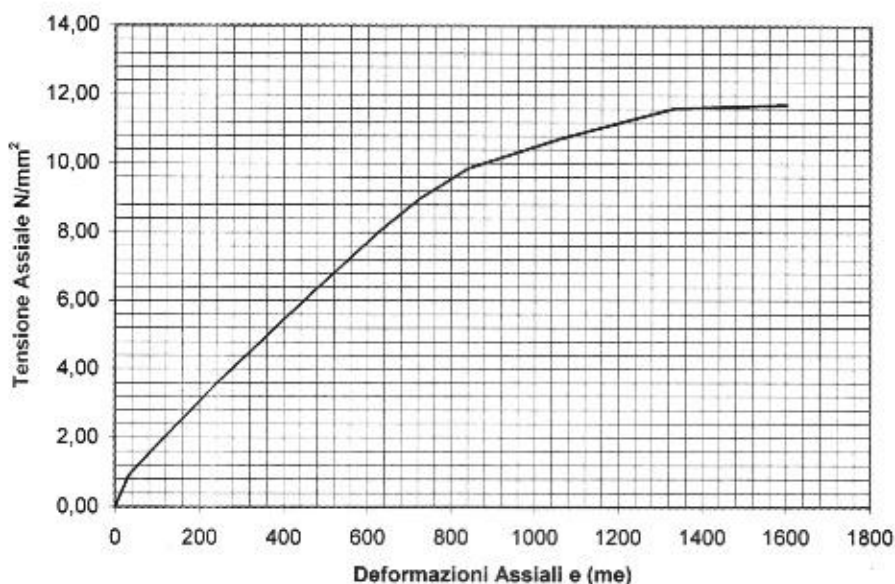
046544

DEL 05 MAG. 2023

PROVA DI COMPRESSIONE MONOASSIALE SU CAROTE
RILEVAZIONE DELLA CURVA SFORZI DEFORMAZIONI E DETERMINAZIONE DEL MODULO ELASTICO "E"
(Raccomandazioni ISRM)

Velocità di deformazione 0,5-1,0 N/mm² al secondo

| | | | | | |
|------------------|-------------------|--------|-------------------------------|-------------------|-------|
| Diametro provino | mm | 84,00 | Modulo di Young Tangente "Et" | N/mm ² | 11474 |
| Densità naturale | kg/m ³ | 2155,6 | Deformazione a rottura | (me) | 1600 |
| Altezza iniziale | mm | 131,00 | Resistenza a rottura | N/mm ² | 11,72 |



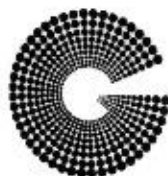
NOTE: Campioni consegnati a cura del Committente

LO SPERIMENTATORE

IL DIRETTORE

Dott. Geol. Guido Demontis

C.C.I.A.A. CAGLIARI 52034 - CODICE FISCALE DMN GNN 64D15 B354K - PARTITA IVA 0158890029



GEOSYSTEM

Del Dott. Geol. G.B. Demontis

ZONA INDUSTRIALE LOC. "PILL'E MATTÀ"
09044 QUARTUCCIU (CA)

TEL/FAX 070852509-070852424 - www.geosystem.ca.it
email: geosystemca@yahoo.it - pec: geosystem@pec.it

LABORATORIO AUTORIZZATO ALL'ESECUZIONE DI:
PROVE SU MATERIALI DA COSTRUZIONE SETTORE A
DI CUI ALL'ART. 59 DEL D.P.R. N.380/2001
CIRCOLARE N.7617/STC DEL 08/09/2010
AUT. MINISTERO N.000627 DEL 30/09/2019
PROVE SUI TERRENI SETTORE A
DI CUI ALL'ART. 59 DEL D.P.R. N.380/2001
CIRCOLARE N.7618/STC DEL 08/09/2010
AUT. MINISTERO N.000619 DEL 25/09/2019
CONTROLLI NON DISTRUTTIVI SU CALCESTRUZZO
CERTIFICAZIONE UNI EN ISO 9712
REGOLAMENTO IT-IND-REG-02_NDT CIV
LABORATORIO CERTIFICATO ISO 9001
CERT. N.IT 11/0996 ISO 9001/UNI EN ISO 9001

V.D.A. N° 6461-1 DEL 07/04/2023
COMMITTENTE F.C.I. Tech Srl
CANTIERE Interventi di manutenzione straordinaria (revamping) dell'impianto di depurazione consortile di Porto Torres
Realizzazione di un nuovo locale per la disidratazione dei fanghi
CAMPIONE SDF_01 (3,20-3,80)m
UBICAZIONE \

DATA PRELIEVO 4-6-7/04/2023 DATA PROVA 03/05/2023

CERTIFICATO N. 046545 DEL 05 MAG. 2023

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

(Apparecchio di Casagrande) ASTM D3080-98

DESCRIZIONE DEL CAMPIONE : Argilla sabbiosa poco consistente

STATO DEL CAMPIONE Indisturbato

STATO DEI PROVINI Indisturbati

POCKET PENETROMETER 25 kPa

VELOCITA' DI PROVA: 0,04 mm/min

CARATTERISTICHE INIZIALI

| | N. | 1 | 2 | 3 |
|----------------------|-------------------|--------|--------|--------|
| Provinci | mm | 18,40 | 18,40 | 18,40 |
| Altezza | mm | 6,20 | 6,20 | 6,20 |
| Lato | mm | 22,36 | 22,36 | 22,36 |
| Umidità naturale | % | 22,36 | 22,36 | 22,36 |
| Umidità di prova | % | 22,36 | 22,36 | 22,36 |
| Massa campione secco | gr | 115,66 | 119,40 | 116,69 |
| Densità naturale | kN/m ³ | 19,28 | 19,90 | 19,45 |
| Densità secca | kN/m ³ | 15,75 | 16,26 | 15,89 |

FASE DI CONSOLIDAZIONE

| | | | | |
|-----------------------------|-----|-------|-------|-------|
| Carico verticale | kPa | 98,1 | 147,0 | 196,1 |
| Altezza dopo consolidazione | mm | 16,81 | 17,00 | 16,52 |

FASE DI ROTTURA

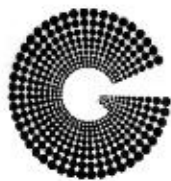
| | | | | |
|-------------------------|-------------------|-------|-------|-------|
| Carico verticale | kPa | 98,1 | 147,0 | 196,1 |
| Altezza finale provino | mm | 16,40 | 16,60 | 16,21 |
| Umidità di prova finale | % | 16,26 | 16,26 | 16,26 |
| Densità umida finale | kN/m ³ | 20,92 | 21,33 | 21,35 |
| Densità secca finale | kN/m ³ | 17,99 | 18,35 | 18,36 |

| | | | | |
|------------------------------|-----|-------|-------|--------|
| Scorrimento orizzontale | mm | 7,77 | 7,89 | 6,51 |
| Sforzo al taglio (massimo) t | kPa | 63,00 | 85,00 | 109,00 |

NOTE: Campione consegnato a cura del Committente

LO SPERIMENTATORE
Dott.ssa Geol. Stefania Lai

IL DIRETTORE
Dott. Geol. Guido Demontis



GEOSYSTEM

Del Dott. Geol. G.B. Demontis

ZONA INDUSTRIALE LOC. "PILL'E MATTA"
09044 QUARTUCCIU (CA)

TEL/FAX 070852509-070852424 - www.geosystem.ca.it
email: geosystemca@yahoo.it - pec: geosystem@pec.it

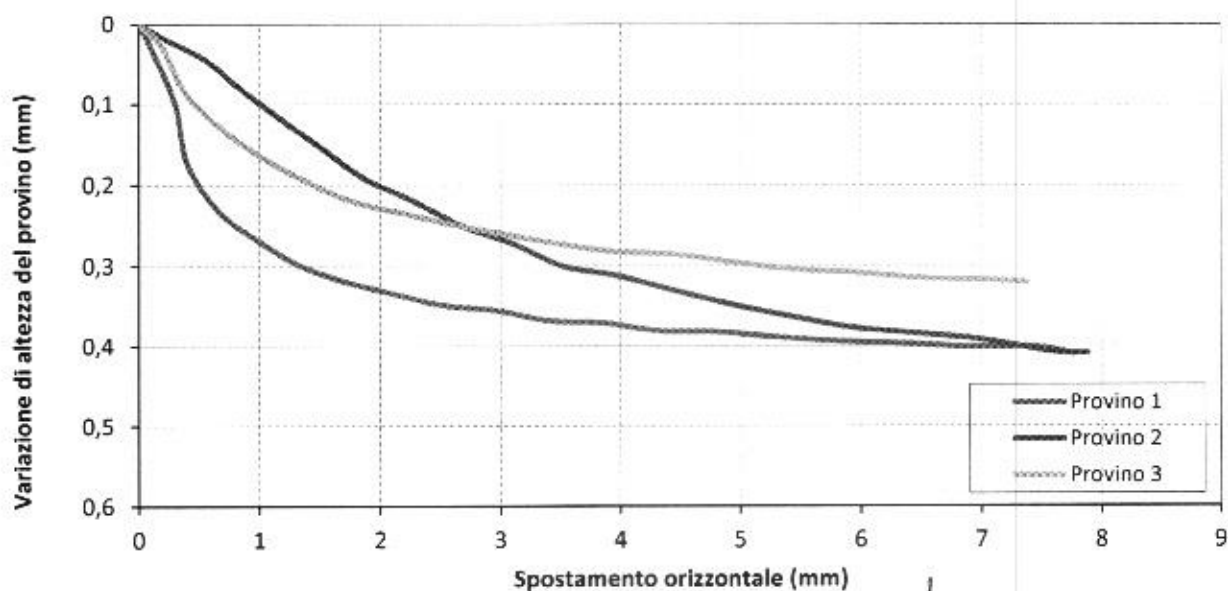
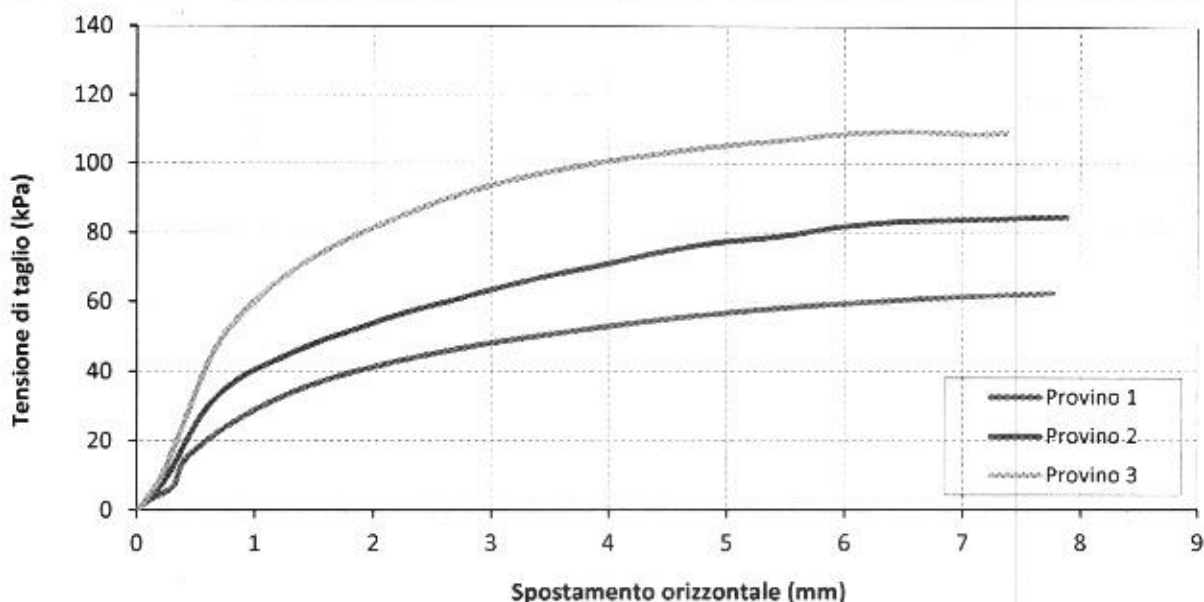
LABORATORIO AUTORIZZATO ALL'ESECUZIONE DI:
PROVE SU MATERIALI DA COSTRUZIONE SETTORE A
DI CUI ALL'ART. 59 DEL D.P.R. N. 380/2001
CIRCOLARE N.761/STC DEL 08/09/2010
AUT. MINISTERO N.0000527 DEL 30/09/2019
PROVE SUI TERRENI SETTORE A
DI CUI ALL'ART. 59 DEL D.P.R. N. 380/2001
CIRCOLARE N.761/STC DEL 08/09/2010
AUT. MINISTERO N.0000519 DEL 25/09/2019
CONTROLLI NON DISTRUTTIVI SU CALCESTRUZZO
CERTIFICAZIONE UNI EN ISO 9712
REGOLAMENTO IT-IND-REG-02_NDT.CIV
LABORATORIO CERTIFICATO ISO 9001
CERT. N. IT 110095 ISO 9001/UNI EN ISO 9001

MISURA DELLA RESISTENZA AL TAGLIO MEDIANTE APPARECCHIATURA DI TAGLIO DIRETTO

ASTM D 3080-98

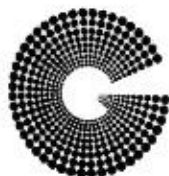
CERTIFICATO DI PROVA - FASE DI TAGLIO

| | | | |
|-------------|--------------------------|----------------|--------------|
| V.D.A. n. | 6461-1 | DEL | 07/04/2023 |
| Committente | Dott. Geol. Lorenzo Falz | CERTIFICATO N. | 046545 |
| Cantiere | Porto Torres | | |
| Campione | SDF_01 (3,20-3,80)m | DEL | 05 MAG. 2023 |



Il Tecnico

Il Direttore



GEOSYSTEM

Del Dott. Geol. G.B. Demontis

ZONA INDUSTRIALE LOC. "PILL'E MATTÀ"
09044 QUARTUCCIU (CA)

TEL/FAX 070852509-070852424 - www.geosystem.ca.it
email: geosystemca@yahoo.it - pec: geosystem@pec.it

LABORATORIO AUTORIZZATO ALL'ESECUZIONE DI:
PROVE SU MATERIALI DA COSTRUZIONE SETTORE A
DI CUI ALL'ART. 59 DEL D.P.R. N.383/2001
CIRCOLARE N.7618/STC DEL 08/09/2010
AUT. MINISTERO N.0000521 DEL 30/09/2019
PROVE SUI TERRENI SETTORE A
DI CUI ALL'ART. 59 DEL D.P.R. N.383/2001
CIRCOLARE N.7618/STC DEL 08/09/2010
AUT. MINISTERO N.0000519 DEL 25/09/2019
CONTROLLI NON DISTRUTTIVI SU CALCESTRUZZO
CERTIFICAZIONE UNI EN ISO 9712
REGOLAMENTO IT-IND-REG-02, NDT CIV
LABORATORIO CERTIFICATO ISO 9001
CERT. N.IT 110996 ISO 9001/UNI EN ISO 9001

V.D.A. N° 6461-3 DEL 07/04/2023
COMMITTENTE F.C.I. Tech Srl
CANTIERE Interventi di manutenzione straordinaria (revamping) dell'impianto di depurazione consortile di Porto Torres
Realizzazione di un nuovo locale per la disidratazione dei fanghi
CAMPIONE SDF_02 (6,80-7,40)m
UBICAZIONE \
DATA PRELIEVO 4-6-7/04/2023 DATA PROVA 03/05/2023

CERTIFICATO N.

546546

DEL

05 MAG. 2023

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

(Apparecchio di Casagrande) ASTM D3080-98

DESCRIZIONE DEL CAMPIONE : Argilla poco consistente con sostanza vegetale e conchiglie

STATO DEL CAMPIONE Indisturbato

STATO DEI PROVINI Indisturbati

POCKET PENETROMETER 25 kPa

VELOCITA' DI PROVA: 0,04 mm/min

CARATTERISTICHE INIZIALI

| | N. | 1 | 2 | 3 |
|----------------------|-------------------|-------|-------|-------|
| Provinci | mm | 18,40 | 18,40 | 18,40 |
| Altezza | mm | 6,20 | 6,20 | 6,20 |
| Lato | mm | 74,88 | 74,88 | 74,88 |
| Umidità naturale | % | 74,88 | 74,88 | 74,88 |
| Umidità di prova | % | 74,88 | 74,88 | 74,88 |
| Massa campione secco | gr | 61,80 | 62,69 | 61,69 |
| Densità naturale | kN/m ³ | 15,32 | 15,54 | 15,29 |
| Densità secca | kN/m ³ | 8,76 | 8,89 | 8,74 |

FASE DI CONSOLIDAZIONE

| | | | | |
|-----------------------------|-----|-------|-------|-------|
| Carico verticale | kPa | 98,1 | 147,0 | 196,1 |
| Altezza dopo consolidazione | mm | 16,10 | 15,60 | 14,70 |

FASE DI ROTTURA

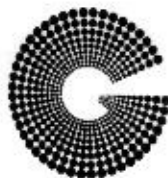
| | | | | |
|-------------------------|-------------------|-------|-------|-------|
| Carico verticale | kPa | 98,1 | 147,0 | 196,1 |
| Altezza finale provino | mm | 15,81 | 15,45 | 14,56 |
| Umidità di prova finale | % | 56,68 | 56,68 | 56,68 |
| Densità umida finale | kN/m ³ | 15,62 | 16,22 | 16,94 |
| Densità secca finale | kN/m ³ | 9,97 | 10,35 | 10,81 |

| | | | | |
|------------------------------|-----|-------|-------|--------|
| Scorrimento orizzontale | mm | 7,36 | 3,90 | 3,38 |
| Sforzo al taglio (massimo) t | kPa | 64,00 | 87,00 | 114,00 |

NOTE: Campione consegnato a cura del Committente

LO SPERIMENTATORE
Dott.ssa Geol. Stefania Lai

IL DIRETTORE
Dott. Geol. Guido Demontis



GEOSYSTEM

Del Dott. Geol. G.B. Demontis

ZONA INDUSTRIALE LOC. "PILL'E MATTA"
09044 QUARTUCCIU (CA)

TEL/FAX 070852508-070852424 - www.geosystem.ca.it
email: geosystemca@yahoo.it - pec: geosystem@pec.it

LABORATORIO AUTORIZZATO ALL'ESECUZIONE DI:
PROVE SU MATERIALI DA COSTRUZIONE SETTORE A
DI CUI ALL'ART. 59 DEL D.P.R. N. 340/2001
CIRCOLARE N.7617/STC DEL 06/09/2010
AUT. MINISTERO N.0000527 DEL 30/09/2019
PROVE SUI TERRENI SETTORE A
DI CUI ALL'ART. 68 DEL D.P.R. N. 340/2001
CIRCOLARE N.7618/STC DEL 06/09/2010
AUT. MINISTERO N.0000516 DEL 25/09/2019
CONTROLLI NON DISTRUTTIVI SU CALCESTRUZZO
CERTIFICAZIONE UNI EN ISO 9712
REGOLAMENTO IT-IND-REG-02_NDT_CIV
LABORATORIO CERTIFICATO ISO 9001
CERT. N.IT 11/0096 ISO 9001/UNI EN ISO 9001

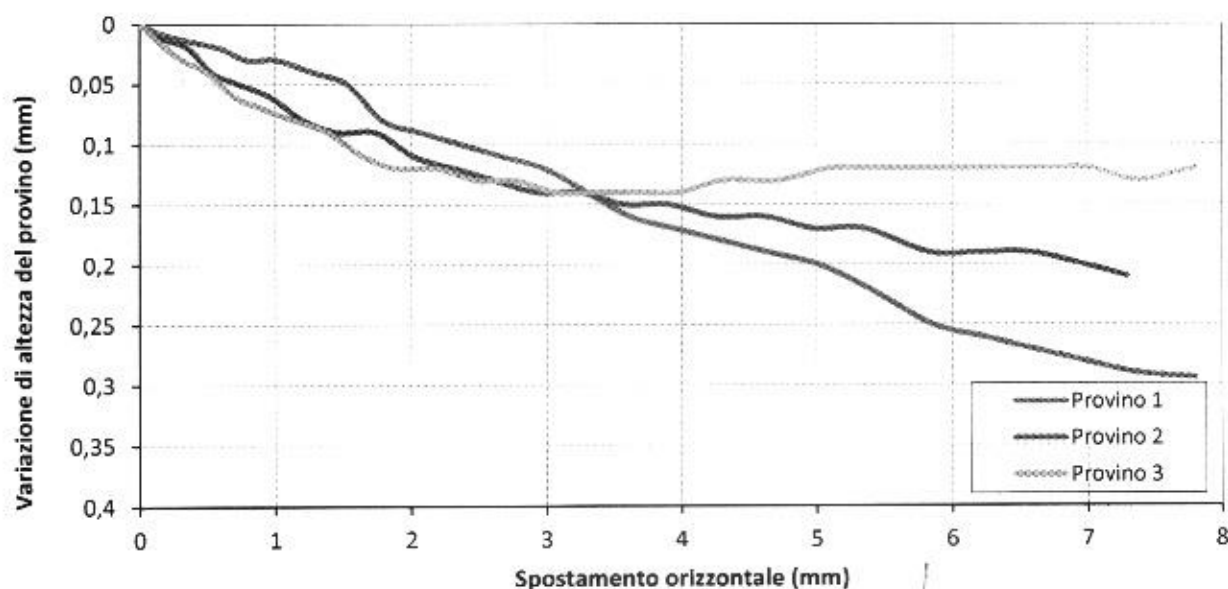
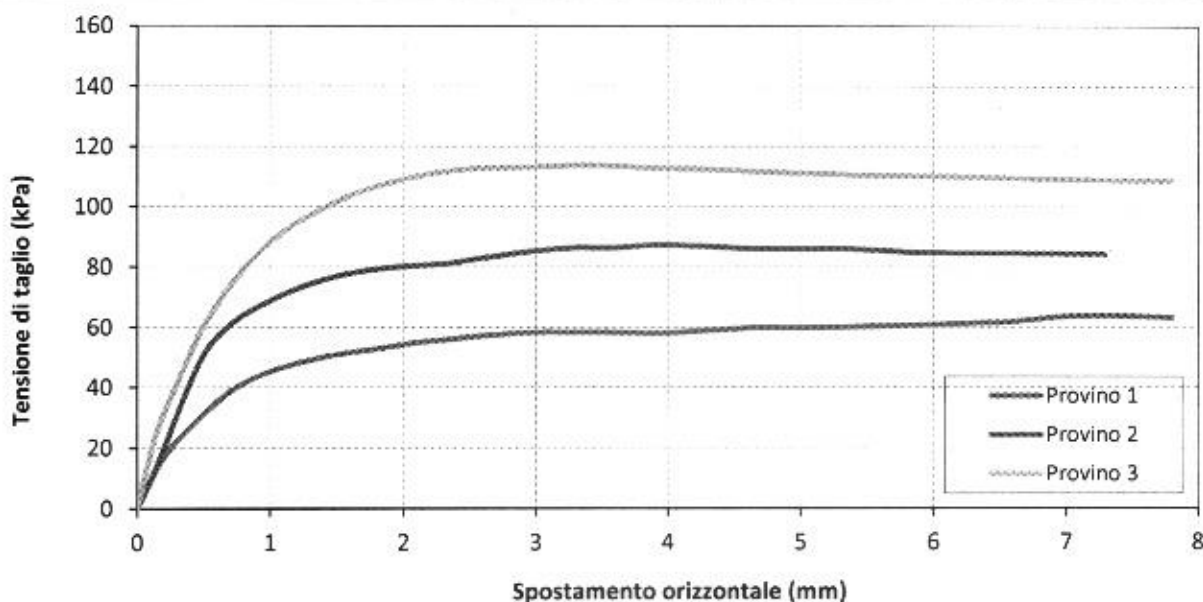
MISURA DELLA RESISTENZA AL TAGLIO MEDIANTE APPARECCHIATURA DI TAGLIO DIRETTO

ASTM D 3080-98

CERTIFICATO DI PROVA - FASE DI TAGLIO

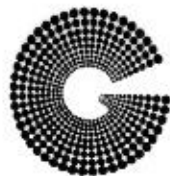
| | | | |
|-------------|--------------------------|----------------|--------------|
| V.D.A. n. | 6461-3 | DEL | 07/04/2023 |
| Committente | Dott. Geol. Lorenzo Falz | CERTIFICATO N. | |
| Cantiere | Porto Torres | | |
| Campione | SDF_02 (6,80-7,40)m | DEL | 05 MAG. 2023 |

046546



Il Tecnico

Il Direttore



GEOSYSTEM

Del Dott. Geol. G.B. Demontis

ZONA INDUSTRIALE LOC. "PILL'E MATTA"
09044 QUARTUCCIU (CA)

TEL/FAX 070852509-070852424 - www.geosystem.ca.it
email: geosystemca@yahoo.it - pec: geosystem@pec.it

LABORATORIO AUTORIZZATO ALL'ESECUZIONE DI:
PROVE SU MATERIALI DA COSTRUZIONE SETTORE A
DI CUI ALL'ART. 59 DEL D.P.R. N.380/2001
CIRCOLARE N.7817/STC DEL 08/09/2010
AUT. MINISTERO N.0000527 DEL 30/09/2019
PROVE SUI TERRENI SETTORE A
DI CUI ALL'ART. 58 DEL D.P.R. N.380/2001
CIRCOLARE N.7818/STC DEL 08/09/2010
AUT. MINISTERO N.0000519 DEL 25/09/2019
CONTROLLI NON DISTRUTTIVI SU CALCESTRUZZO
CERTIFICAZIONE UNI EN ISO 9712
REGOLAMENTO IT-IND-REG-02_NDT_CIV
LABORATORIO CERTIFICATO ISO 9001
CERT. N. IT 110996 ISO 9001/UNI EN ISO 9001

V.D.A. N° 6461-2 DEL 07/04/2023
COMMITTENTE F.C.I. Tech Srl
CANTIERE Interventi di manutenzione straordinaria (revamping) dell'impianto di depurazione consortile di Porto Torres
Realizzazione di un nuovo locale per la disidratazione dei fanghi
CAMPIONE SDF_01 (13,50-13,80)m
UBICAZIONE \

DATA PRELIEVO 4-6-7/04/2023 DATA PROVA 04/05/2023

CERTIFICATO N. 046547 DEL 05 MAG. 2023

PROVA DI COMPRESSIONE MONOASSIALE SU CAROTE DI ROCCIA
(ASTM D7012-14) - Metodo C

| VDA n. | Identificativo | Profondità | Dimensioni (mm) | | Massa volumica | Res.Unit. | NOTE |
|--------|----------------|-------------|-----------------|---------|-------------------|-------------------|------|
| | | m | Diametro | Altezza | Kg/m ³ | N/mm ² | |
| 6461-2 | SDF_01 | 13,50-13,80 | 83,0 | 122,0 | 1864,3 | 4,12 | \ |
| \ | \ | \ | \ | \ | \ | \ | \ |
| \ | \ | \ | \ | \ | \ | \ | \ |
| \ | \ | \ | \ | \ | \ | \ | \ |
| \ | \ | \ | \ | \ | \ | \ | \ |
| \ | \ | \ | \ | \ | \ | \ | \ |
| \ | \ | \ | \ | \ | \ | \ | \ |
| \ | \ | \ | \ | \ | \ | \ | \ |
| \ | \ | \ | \ | \ | \ | \ | \ |
| \ | \ | \ | \ | \ | \ | \ | \ |
| \ | \ | \ | \ | \ | \ | \ | \ |
| \ | \ | \ | \ | \ | \ | \ | \ |
| \ | \ | \ | \ | \ | \ | \ | \ |
| \ | \ | \ | \ | \ | \ | \ | \ |
| \ | \ | \ | \ | \ | \ | \ | \ |
| \ | \ | \ | \ | \ | \ | \ | \ |

Attrezzatura di Prova: Pressa 3000 KN Controls, Unità di Comando MCC88 Controls, bilancia, calibro.

Velocità di prova 0,5-1,0 N/mm²

Note : Nel caso in cui il rapporto tra la lunghezza e il diametro del provino testato è minore di 2 si applicherà, come da normativa, una correzione al valore di resistenza alla compressione ottenuto dalla prova

IL TECNICO
Dott.ssa Geol. Stefania Lai

IL DIRETTORE
Dott. Geol. Guido Demontis

C.C.I.A.A. CAGLIARI 52034 - CODICE FISCALE DMN GNN 64D15 B354K - PARTITA IVA 01588890929

**REPORT PROVE PENETROMETRICHE IN FORO SPT
CAMPAGNA INDAGINI APRILE 2023**

PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE CONTINUE
(DYNAMIC PROBING)
DPSH – DPM (... sctpt ecc.)

Note illustrative - Diverse tipologie di penetrometri dinamici

La prova penetrometrica dinamica consiste nell'infiggere nel terreno una punta conica (per tratti consecutivi δ) misurando il numero di colpi N necessari.

Le Prove Penetrometriche Dinamiche sono molto diffuse ed utilizzate nel territorio da geologi e geotecnici, data la loro semplicità esecutiva, economicità e rapidità di esecuzione.

La loro elaborazione, interpretazione e visualizzazione grafica consente di “catalogare e parametrizzare” il suolo attraversato con un'immagine in continuo, che permette anche di avere un raffronto sulle consistenze dei vari livelli attraversati e una correlazione diretta con sondaggi geognostici per la caratterizzazione stratigrafica.

La sonda penetrometrica permette inoltre di riconoscere abbastanza precisamente lo spessore delle coltri sul substrato, la quota di eventuali falde e superfici di rottura sui pendii, e la consistenza in generale del terreno.

L'utilizzo dei dati, ricavati da correlazioni indirette e facendo riferimento a vari autori, dovrà comunque essere trattato con le opportune cautele e, possibilmente, dopo esperienze geologiche acquisite in zona.

Elementi caratteristici del penetrometro dinamico sono i seguenti:

- peso massa battente M;
- altezza libera caduta H;
- punta conica: diametro base cono D, area base A (angolo di apertura α);
- avanzamento (penetrazione) δ ;
- presenza o meno del rivestimento esterno (fanghi bentonitici).

Con riferimento alla classificazione ISSMFE (1988) dei diversi tipi di penetrometri dinamici (vedi tabella sotto riportata) si rileva una prima suddivisione in quattro classi (in base al peso M della massa battente) :

- tipo LEGGERO (DPL);
- tipo MEDIO (DPM);
- tipo PESANTE (DPH);
- tipo SUPERPESANTE (DPSH).

Classificazione ISSMFE dei penetrometri dinamici:

| Tipo | Sigla di riferimento | peso della massa M (kg) | prof. max indagine battente (m) |
|--------------------------------|-----------------------------|------------------------------------|--|
| Leggero | DPL (Light) | $M \leq 10$ | 8 |
| Medio | DPM (Medium) | $10 < M < 40$ | 20-25 |
| Pesante | DPH (Heavy) | $40 \leq M < 60$ | 25 |
| Super pesante (Super Heavy) | DPSH | $M \geq 60$ | 25 |

penetrometri in uso in Italia

In Italia risultano attualmente in uso i seguenti tipi di penetrometri dinamici (non rientranti però nello Standard ISSMFE):

- DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-30) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE)
massa battente $M = 30$ kg, altezza di caduta $H = 0.20$ m, avanzamento $\delta = 10$ cm, punta conica ($\alpha=60-90^\circ$), diametro $D = 35.7$ mm, area base cono $A=10 \text{ cm}^2$ rivestimento / fango bentonitico : talora previsto;
- DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-20) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE)
massa battente $M = 20$ kg, altezza di caduta $H=0.20$ m, avanzamento $\delta = 10$ cm, punta conica ($\alpha= 60-90^\circ$), diametro $D = 35.7$ mm, area base cono $A=10 \text{ cm}^2$ rivestimento / fango bentonitico : talora previsto;
- DINAMICO PESANTE ITALIANO (SUPERPESANTE secondo la classifica ISSMFE)
massa battente $M = 73$ kg, altezza di caduta $H=0.75$ m, avanzamento $\delta=30$ cm, punta conica ($\alpha = 60^\circ$), diametro $D = 50.8$ mm, area base cono $A=20.27 \text{ cm}^2$ rivestimento: previsto secondo precise indicazioni;
- DINAMICO SUPERPESANTE (Tipo EMILIA)
massa battente $M=63.5$ kg, altezza caduta $H=0.75$ m, avanzamento $\delta=20-30$ cm, punta conica conica ($\alpha = 60^\circ-90^\circ$) diametro $D = 50.5$ mm, area base cono $A = 20 \text{ cm}^2$, rivestimento / fango bentonitico : talora previsto.

Correlazione con Nspt

Poiché la prova penetrometrica standard (SPT) rappresenta, ad oggi, uno dei mezzi più diffusi ed economici per ricavare informazioni dal sottosuolo, la maggior parte delle correlazioni esistenti riguardano i valori del numero di colpi Nspt ottenuto con la suddetta prova, pertanto si presenta la necessità di rapportare il numero di colpi di una prova dinamica con Nspt. Il passaggio viene dato da:

$$NSPT = \beta_t \cdot N$$

Dove:

$$\beta_t = \frac{Q}{Q_{SPT}}$$

in cui Q è l'energia specifica per colpo e Q_{spt} è quella riferita alla prova SPT.

L'energia specifica per colpo viene calcolata come segue:

$$Q = \frac{M^2 \cdot H}{A \cdot \delta \cdot (M + M')}$$

in cui

| | |
|----|----------------------|
| M | peso massa battente. |
| M' | peso aste. |
| H | altezza di caduta. |

A area base punta conica.
 δ passo di avanzamento.

Valutazione resistenza dinamica alla punta Rpd

Formula Olandesi

$$R_{pd} = \frac{M^2 \cdot H}{[A \cdot e \cdot (M + P)]} = \frac{M^2 \cdot H \cdot N}{[A \cdot \delta \cdot (M + P)]}$$

Rpd resistenza dinamica punta (area A).
e infissione media per colpo (δ/N).
M peso massa battente (altezza caduta H).
P peso totale aste e sistema battuta.

Calcolo di $(N_1)_{60}$

$(N_1)_{60}$ è il numero di colpi normalizzato definito come segue:

$$(N_1)_{60} = CN \cdot N_{60} \text{ con } CN = \sqrt{(Pa/\sigma_{vo})} \quad CN < 1.7 \quad Pa = 101.32 \text{ kPa (Liao e Whitman 1986)}$$

$$N_{60} = N_{SPT} \cdot (ER/60) \cdot C_s \cdot C_r \cdot C_d$$

ER/60 rendimento del sistema di infissione normalizzato al 60%.
 C_s parametro funzione della controcamicia (1.2 se assente).
 C_d funzione del diametro del foro (1 se compreso tra 65-115mm).
 C_r parametro di correzione funzione della lunghezza delle aste.

Metodologia di Elaborazione.

Le elaborazioni sono state effettuate mediante un programma di calcolo automatico Dynamic Probing della *GeoStru Software*.

Il programma calcola il rapporto delle energie trasmesse (coefficiente di correlazione con SPT) tramite le elaborazioni proposte da Pasqualini (1983) - Meyerhof (1956) - Desai (1968) - Borowczyk-Frankowsky (1981). Permette inoltre di utilizzare i dati ottenuti dall'effettuazione di prove penetrometriche per estrapolare utili informazioni geotecniche e geologiche.

Una vasta esperienza acquisita, unitamente ad una buona interpretazione e correlazione, permettono spesso di ottenere dati utili alla progettazione e frequentemente dati maggiormente attendibili di tanti dati bibliografici sulle litologie e di dati geotecnici determinati sulle verticali litologiche da poche prove di laboratorio eseguite come rappresentazione generale di una verticale eterogenea disuniforme e/o complessa.

In particolare consente di ottenere informazioni su:

- l'andamento verticale e orizzontale degli intervalli stratigrafici,

- la caratterizzazione litologica delle unità stratigrafiche,
- i parametri geotecnici suggeriti da vari autori in funzione dei valori del numero dei colpi e delle resistenza alla punta.

Valutazioni statistiche e correlazioni

Elaborazione Statistica

Permette l'elaborazione statistica dei dati numerici di Dynamic Probing, utilizzando nel calcolo dei valori rappresentativi dello strato considerato un valore inferiore o maggiore della media aritmetica dello strato (dato comunque maggiormente utilizzato); i valori possibili in immissione sono :

Media

Media aritmetica dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media minima

Valore statistico inferiore alla media aritmetica dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Massimo

Valore massimo dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Minimo

Valore minimo dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Scarto quadratico medio

Valore statistico di scarto dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media deviata

Valore statistico di media deviata dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media (+ s)

Media + scarto (valore statistico) dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media (- s)

Media - scarto (valore statistico) dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Distribuzione normale R.C.

Il valore di $N_{spt,k}$ viene calcolato sulla base di una distribuzione normale o gaussiana, fissata una probabilità di non superamento del 5%, secondo la seguente relazione:

$$N_{spt,k} = N_{spt,medio} - 1.645 \cdot (\sigma_{N_{spt}})$$

dove $\sigma_{N_{spt}}$ è la deviazione standard di N_{spt}

Distribuzione normale R.N.C.

Il valore di $N_{spt,k}$ viene calcolato sulla base di una distribuzione normale o gaussiana, fissata una probabilità di non superamento del 5%, trattando i valori medi di N_{spt} distribuiti normalmente:

$$N_{spt,k} = N_{spt,medio} - 1.645 \cdot (\sigma_{N_{spt}}) / \sqrt{n}$$

dove n è il numero di letture.

Pressione ammissibile

Pressione ammissibile specifica sull'interstrato (con effetto di riduzione energia per svergolamento aste o no) calcolata secondo le note elaborazioni proposte da Herminier, applicando un coefficiente di sicurezza (generalmente = 20-22) che corrisponde ad un coefficiente di sicurezza standard delle fondazioni pari a 4, con una geometria fondale standard di larghezza pari a 1 m ed immorsamento d = 1 m.

Correlazioni geotecniche terreni incoerenti

Liquefazione

Permette di calcolare utilizzando dati N_{spt} il potenziale di liquefazione dei suoli (prevalentemente sabbiosi).

Attraverso la relazione di *SHI-MING (1982)*, applicabile a terreni sabbiosi, la liquefazione risulta possibile solamente se N_{spt} dello strato considerato risulta inferiore a N_{spt} critico calcolato con l'elaborazione di *SHI-MING*.

Correzione N_{spt} in presenza di falda

$$N_{spt\ corretto} = 15 + 0.5 \cdot (N_{spt} - 15)$$

N_{spt} è il valore medio nello strato

La correzione viene applicata in presenza di falda solo se il numero di colpi è maggiore di 15 (la correzione viene eseguita se tutto lo strato è in falda).

Angolo di Attrito

- Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof (1956) - Correlazione valida per terreni non molli a prof. < 5 m; correlazione valida per sabbie e ghiaie rappresenta valori medi. - Correlazione storica molto usata, valevole per prof. < 5 m per terreni sopra falda e < 8 m per terreni in falda (tensioni < 8-10 t/mq)
- Meyerhof (1956) - Correlazioni valide per terreni argillosi ed argillosi-marnosi fessurati, terreni di riporto sciolti e coltri detritiche (da modifica sperimentale di dati).
- Sowers (1961)- Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. < 4 m. sopra falda e < 7 m per terreni in falda) $\sigma > 5$ t/mq.
- De Mello - Correlazione valida per terreni prevalentemente sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi (da modifica sperimentale di dati) con angolo di attrito < 38° .

- Malcev (1964) - Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. > 2 m e per valori di angolo di attrito < 38°).
- Schmertmann (1977)- Angolo di attrito (gradi) per vari tipi litologici (valori massimi). N.B. valori spesso troppo ottimistici poiché desunti da correlazioni indirette da D_r %.
- Shioi-Fukuni (1982) - ROAD BRIDGE SPECIFICATION, Angolo di attrito in gradi valido per sabbie - sabbie fini o limose e limi siltosi (cond. ottimali per prof. di prova > 8 m sopra falda e > 15 m per terreni in falda) $\sigma > 15$ t/mq.
- Shioi-Fukuni (1982) - JAPANESE NATIONALE RAILWAY, Angolo di attrito valido per sabbie medie e grossolane fino a ghiaiose.
- Angolo di attrito in gradi (Owasaki & Iwasaki) valido per sabbie - sabbie medie e grossolane-ghiaiose (cond. ottimali per prof. > 8 m sopra falda e > 15 m per terreni in falda) $\sigma > 15$ t/mq.
- Meyerhof (1965) - Correlazione valida per terreni per sabbie con % di limo < 5% a profondità < 5 m e con (%) di limo > 5% a profondità < 3 m.
- Mitchell e Katti (1965) - Correlazione valida per sabbie e ghiaie.

Densità relativa (%)

- Gibbs & Holtz (1957) correlazione valida per qualunque pressione efficace, per ghiaie D_r viene sovrastimato, per limi sottostimato.
- Skempton (1986) elaborazione valida per limi e sabbie e sabbie da fini a grossolane NC a qualunque pressione efficace, per ghiaie il valore di D_r % viene sovrastimato, per limi sottostimato.
- Meyerhof (1957).
- Schultze & Menzenbach (1961) per sabbie fini e ghiaiose NC, metodo valido per qualunque valore di pressione efficace in depositi NC, per ghiaie il valore di D_r % viene sovrastimato, per limi sottostimato.

Modulo Di Young (E_y)

- Terzaghi - elaborazione valida per sabbia pulita e sabbia con ghiaia senza considerare la pressione efficace.
- Schmertmann (1978), correlazione valida per vari tipi litologici.
- Schultze-Menzenbach, correlazione valida per vari tipi litologici.
- D'Appollonia ed altri (1970), correlazione valida per sabbia, sabbia SC, sabbia NC e ghiaia.
- Bowles (1982), correlazione valida per sabbia argillosa, sabbia limosa, limo sabbioso, sabbia media, sabbia e ghiaia.

Modulo Edometrico

Begemann (1974) elaborazione desunta da esperienze in Grecia, correlazione valida per limo con sabbia, sabbia e ghiaia

- Buismann-Sanglerat , correlazione valida per sabbia e sabbia argillosa.
- Farrent (1963) valida per sabbie, talora anche per sabbie con ghiaia (da modifica sperimentale di dati).
- Menzenbach e Malcev valida per sabbia fine, sabbia ghiaiosa e sabbia e ghiaia.

Stato di consistenza

- Classificazione A.G.I. 1977

Peso di Volume

- Meyerhof ed altri, valida per sabbie, ghiaie, limo, limo sabbioso.

Peso di volume saturo

- Terzaghi-Peck (1948-1967)

Modulo di poisson

- Classificazione A.G.I.

Potenziale di liquefazione (Stress Ratio)

- Seed-Idriss (1978-1981) . Tale correlazione è valida solamente per sabbie, ghiaie e limi sabbiosi, rappresenta il rapporto tra lo sforzo dinamico medio τ e la tensione verticale di consolidazione per la valutazione del potenziale di liquefazione delle sabbie e terreni sabbio-ghiaiosi attraverso grafici degli autori.

Velocità onde di taglio V_s (m/s)

- Tale correlazione è valida solamente per terreni incoerenti sabbiosi e ghiaiosi.

Modulo di deformazione di taglio (G)

- Ohsaki & Iwasaki – elaborazione valida per sabbie con fine plastico e sabbie pulite.
- Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982) elaborazione valida soprattutto per sabbie e per tensioni litostatiche comprese tra 0,5 - 4,0 kg/cmq.

Modulo di reazione (Ko)

- Navfac (1971-1982) - elaborazione valida per sabbie, ghiaie, limo, limo sabbioso.

Resistenza alla punta del Penetrometro Statico (Q_c)

- Robertson (1983) - Q_c

Correlazioni geotecniche terreni coesivi

Coesione non drenata

- Benassi & Vannelli- correlazioni scaturite da esperienze ditta costruttrice Penetrometri SUNDA (1983).
- Terzaghi-Peck (1948-1967), correlazione valida per argille sabbiose-siltose NC con $N_{spt} < 8$, argille limose-siltose mediamente plastiche, argille marnose alterate-fessurate.
- Terzaghi-Peck (1948). C_u (min-max).
- Sanglerat, da dati Penetr. Statico per terreni coesivi saturi, tale correlazione non è valida per argille sensitive con sensitività > 5 , per argille sovraconsolidate fessurate e per i limi a bassa plasticità.
- Sanglerat, (per argille limose-sabbiose poco coerenti), valori validi per resistenze penetrometriche < 10 colpi, per resistenze penetrometriche > 10 l'elaborazione valida è comunque quella delle "argille plastiche" di Sanglerat.
- (U.S.D.M.S.M.) U.S. Design Manual Soil Mechanics Coesione non drenata per argille limose e argille di bassa media ed alta plasticità, (C_u - N_{spt} -grado di plasticità).
- Schmertmann (1975), C_u (Kg/cmq) (valori medi), valida per **argille** e **limi argillosi** con $N_c = 20$ e $Q_c/N_{spt} = 2$.
- Schmertmann (1975), C_u (Kg/cmq) (valori minimi), valida per argille NC.
- Fletcher (1965), (Argilla di Chicago). Coesione non drenata C_u (Kg/cmq), colonna valori validi per argille a medio-bassa plasticità.
- Houston (1960) - argilla di media-alta plasticità.
- Shioi-Fukuni (1982), valida per suoli poco coerenti e plastici, argilla di media-alta plasticità.
- Begemann.
- De Beer.

Resistenza alla punta del Penetrometro Statico (Q_c)

- Robertson (1983) - Q_c

Modulo Edometrico-Confinato (M_o)

- Stroud e Butler (1975),- per litotipi a media plasticità, valida per litotipi argillosi a media-medio-alta plasticità - da esperienze su argille glaciali.
- Stroud e Butler (1975), per litotipi a medio-bassa plasticità ($IP < 20$), valida per litotipi argillosi a medio-bassa plasticità ($IP < 20$) - da esperienze su argille glaciali.
- Vesic (1970), correlazione valida per argille molli (valori minimi e massimi).

- Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner Modulo Confinato -Mo (Eed) (Kg/cmq)-, valida per litotipi argillosi e limosi-argillosi (rapporto $Q_c/N_{spt}=1.5-2.0$).
- Buismann- Sanglerat, valida per argille compatte ($N_{spt} < 30$) medie e molli ($N_{spt} < 4$) e argille sabbiose ($N_{spt} = 6-12$).

Modulo Di Young (E_Y)

- Schultze-Menzenbach - (Min. e Max.), correlazione valida per limi coerenti e limi argillosi con I.P. > 15 .
- D'Appollonia ed altri (1983), correlazione valida per argille sature-argille fessurate.

Stato di consistenza

- Classificazione A.G.I. 1977.

Peso di Volume

- Meyerhof ed altri, valida per argille, argille sabbiose e limose prevalentemente coerenti.

Peso di volume saturo

- Meyerhof ed altri.

PROVA SDF_01/SPT1

Strumento utilizzato...CAMPIONATORE RAYMOND FORO

Prova eseguita in data 06/04/2023

Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

| Profondita' (m) | Nr. Colpi |
|-----------------|-----------|
| 1,15 | 3 |
| 1,30 | 4 |
| 1,45 | 5 |

TERRENI INCOERENTI

Densita' relativa

| | NSPT | Prof. Strato (m) | Gibbs & Holtz 1957 | Meyerhof 1957 | Schultze & Menzenbach (1961) | Skempton 1986 |
|-------|------|------------------|--------------------|---------------|------------------------------|---------------|
| [1] - | 9 | 1,45 | 38,54 | 73,98 | 100 | 30,74 |

Angolo di resistenza al taglio

| | NSPT | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Peck-Hanson - Thornburn-Meyerhof 1956 | Meyerhof (1956) | Sowers (1961) | Malcev (1964) | Meyerhof (1965) | Schmertmann (1977) Sabbie | Mitchell & Katti (1981) | Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION) | Japanese National Railway | De Mello | Owasaki & Iwasaki |
|-------|------|------------------|----------------------------------|---------------------------------------|-----------------|---------------|---------------|-----------------|---------------------------|-------------------------|---|---------------------------|----------|-------------------|
| [1] - | 9 | 1,45 | 9 | 29,57 | 22,57 | 30,52 | 36,55 | 33,29 | 0 | <30 | 26,62 | 29,7 | 27,23 | 28,42 |

Modulo di Young (MPa)

| | NSPT | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Terzaghi | Schmertmann (1978) (Sabbie) | Schultze-Menzenbach (Sabbia ghiaiosa) | D'Appollonia ed altri 1970 (Sabbia) | Bowles (1982) Sabbia Media |
|-------|------|------------------|----------------------------------|----------|-----------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------|
| [1] - | 9 | 1,45 | 9 | --- | 7,06 | 10,48 | --- | --- |

Modulo Edometrico (MPa)

| | NSPT | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Buisman-Sanglerat (sabbie) | Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia) | Farrent 1963 | Menzenbach e Malcev (Sabbia media) |
|-------|------|------------------|----------------------------------|----------------------------|-----------------------------------|--------------|------------------------------------|
| [1] - | 9 | 1,45 | 9 | --- | 4,51 | 6,27 | 7,66 |

Classificazione AGI

| | NSPT | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Correlazione | Classificazione AGI |
|-------|------|------------------|----------------------------------|-----------------------|---------------------|
| [1] - | 9 | 1,45 | 9 | Classificazione A.G.I | POCO ADDENSATO |

Peso unita' di volume

| | NSPT | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Correlazione | Peso Unita' di Volume (kN/m ³) |
|-------|------|---------------------|-------------------------------------|--------------------|--|
| [1] - | 9 | 1,45 | 9 | Terzaghi-Peck 1948 | 14,36 |

Peso unita' di volume saturo

| | NSPT | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Correlazione | Peso Unita' Volume Saturo (kN/m ³) |
|-------|------|---------------------|-------------------------------------|--------------------|--|
| [1] - | 9 | 1,45 | 9 | Terzaghi-Peck 1948 | 18,75 |

Modulo di Poisson

| | NSPT | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Correlazione | Poisson |
|-------|------|---------------------|-------------------------------------|--------------|---------|
| [1] - | 9 | 1,45 | 9 | (A.G.I.) | 0,34 |

PROVA SDF_01/SPT2

Strumento utilizzato...CAMPIONATORE RAYMOND FORO

Prova eseguita in data 06/04/2023

Falda rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

| Profondita' (m) | Nr. Colpi |
|-----------------|-----------|
| 2,15 | 1 |
| 2,30 | 1 |
| 2,45 | 2 |

TERRENI INCOERENTI

Densita' relativa

| | NSPT | Prof. Strato (m) | Gibbs & Holtz 1957 | Meyerhof 1957 | Schultze & Menzenbach (1961) | Skempton 1986 |
|-------|------|------------------|--------------------|---------------|------------------------------|---------------|
| [1] - | 3 | 2,45 | 22,61 | 51,52 | 0 | 15,3 |

Angolo di resistenza al taglio

| | NSPT | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Peck-Hanson - Thornburn-Meyerhof 1956 | Meyerhof (1956) | Sowers (1961) | Malcev (1964) | Meyerhof (1965) | Schmertmann (1977) Sabbie | Mitchell & Katti (1981) | Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION) | Japanese National Railway | De Mello | Owasaki & Iwasaki |
|-------|------|------------------|----------------------------------|---------------------------------------|-----------------|---------------|---------------|-----------------|---------------------------|-------------------------|---|---------------------------|----------|-------------------|
| [1] - | 3 | 2,45 | 3 | 27,86 | 20,86 | 28,84 | --- | 30,81 | 0 | <30 | 21,71 | 27,9 | 23,93 | 22,75 |

Modulo di Young (MPa)

| | NSPT | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Terzaghi | Schmertmann (1978) (Sabbie) | Schultze-Menzenbach (Sabbia ghiaiosa) | D'Appollonia ed altri 1970 (Sabbia) | Bowles (1982) Sabbia Media |
|-------|------|------------------|----------------------------------|----------|-----------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------|
| [1] - | 3 | 2,45 | 3 | --- | 2,35 | --- | --- | --- |

Modulo Edometrico (MPa)

| | NSPT | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Buisman-Sanglerat (sabbie) | Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia) | Farrent 1963 | Menzenbach e Malcev (Sabbia media) |
|-------|------|------------------|----------------------------------|----------------------------|-----------------------------------|--------------|------------------------------------|
| [1] - | 3 | 2,45 | 3 | --- | 3,30 | 2,09 | 5,04 |

Classificazione AGI

| | NSPT | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Correlazione | Classificazione AGI |
|-------|------|------------------|----------------------------------|-----------------------|---------------------|
| [1] - | 3 | 2,45 | 3 | Classificazione A.G.I | SCIOLTO |

Peso unita' di volume

| | NSPT | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Correlazione | Peso Unita' di Volume (kN/m ³) |
|-------|------|---------------------|-------------------------------------|--------------------|--|
| [1] - | 3 | 2,45 | 3 | Terzaghi-Peck 1948 | 13,58 |

Peso unita' di volume saturo

| | NSPT | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Correlazione | Peso Unita' Volume Saturo (kN/m ³) |
|-------|------|---------------------|-------------------------------------|--------------------|--|
| [1] - | 3 | 2,45 | 3 | Terzaghi-Peck 1948 | 18,27 |

Modulo di Poisson

| | NSPT | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Correlazione | Poisson |
|-------|------|---------------------|-------------------------------------|--------------|---------|
| [1] - | 3 | 2,45 | 3 | (A.G.I.) | 0,35 |

PROVA SDF_01/SPT3

Strumento utilizzato...CAMPIONATORE RAYMOND FORO

Prova eseguita in data 06/04/2023

Falda rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

| Profondita' (m) | Nr. Colpi |
|-----------------|-----------|
| 4,35 | 0 |
| 4,50 | 0 |
| 4,65 | 0 |

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA SDF_01/SPT3**TERRENI COESIVI****Coesione non drenata (KPa)**

| | NSPT | Prof. Strato (m) | Terzaghi-Peck | Sanglerat | Terzaghi-Peck (1948) | U.S.D. M.S.M | Schmertmann 1975 | SUNDA (1983) Benassi e Vannelli | Fletcher (1965) Argilla di Chicago | Houston (1960) | Shioi - Fukui 1982 | Begemann | De Beer |
|-------|------|------------------|---------------|-----------|----------------------|--------------|------------------|---------------------------------|------------------------------------|----------------|--------------------|----------|---------|
| [1] - | 0 | 4,65 | 0,00 | 0,00 | 0,00 - 14,71 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 43,54 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

Modulo Edometrico (MPa)

| | NSPT | Prof. Strato (m) | Stroud e Butler (1975) | Vesic (1970) | Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner | Buisman-Sanglerat |
|-------|------|------------------|------------------------|--------------|--|-------------------|
| [1] - | 0 | 4,65 | 0,00 | -- | 0,18 | 0,00 |

Modulo di Young (MPa)

| | NSPT | Prof. Strato (m) | Schultze | Apollonia |
|-------|------|------------------|----------|-----------|
| [1] - | 0 | 4,65 | -2,00 | 0,00 |

Classificazione AGI

| | NSPT | Prof. Strato (m) | Correlazione | Classificazione |
|-------|------|------------------|---------------|----------------------|
| [1] - | 0 | 4,65 | A.G.I. (1977) | PRIVO DI CONSISTENZA |

Peso unita' di volume

| | NSPT | Prof. Strato (m) | Correlazione | Peso unita' di volume (kN/m³) |
|-------|------|------------------|--------------|-------------------------------|
| [1] - | 0 | 4,65 | Meyerhof | 13,63 |

Peso unita' di volume saturo

| | NSPT | Prof. Strato (m) | Correlazione | Peso unita' di volume saturo (kN/m ³) |
|-------|------|---------------------|--------------|---|
| [1] - | 0 | 4,65 | Meyerhof | 17,95 |

PROVA SDF_01/SPT4

Strumento utilizzato...CAMPIONATORE RAYMOND FORO

Prova eseguita in data 06/04/2023

Falda rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

| Profondita' (m) | Nr. Colpi |
|-----------------|-----------|
| 7,15 | 0 |
| 7,30 | 1 |
| 7,45 | 1 |

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA SDF_01/SPT4**TERRENI COESIVI****Coesione non drenata (kPa)**

| | NSPT | Prof. Strato (m) | Terzaghi-Peck | Sanglerat | Terzaghi-Peck (1948) | U.S.D. M.S.M | Schmertmann 1975 | SUNDA (1983) Benassi e Vannelli | Fletcher (1965) Argilla di Chicago | Houston (1960) | Shioi - Fukui 1982 | Begemann | De Beer |
|-------|------|------------------|---------------|-----------|----------------------|--------------|------------------|---------------------------------|------------------------------------|----------------|--------------------|----------|---------|
| [1] - | 2 | 7,45 | 12,26 | 24,52 | 0,00 - 14,71 | 8,04 | 18,93 | 0,00 | 17,95 | 57,37 | 9,81 | 0,00 | 24,52 |

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

| | NSPT | Prof. Strato (m) | Correlazione | Qc (MPa) |
|-------|------|------------------|------------------|----------|
| [1] - | 2 | 7,45 | Robertson (1983) | 0,39 |

Modulo Edometrico (MPa)

| | NSPT | Prof. Strato (m) | Stroud e Butler (1975) | Vesic (1970) | Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner | Buisman-Sanglerat |
|-------|------|------------------|------------------------|--------------|--|-------------------|
| [1] - | 2 | 7,45 | 0,90 | 2,94 | 2,18 | 2,45 |

Modulo di Young (MPa)

| | NSPT | Prof. Strato (m) | Schultze | Apollonia |
|-------|------|------------------|----------|-----------|
| [1] - | 2 | 7,45 | 0,25 | 1,96 |

Classificazione AGI

| | NSPT | Prof. Strato (m) | Correlazione | Classificazione |
|-------|------|------------------|---------------|----------------------|
| [1] - | 2 | 7,45 | A.G.I. (1977) | PRIVO DI CONSISTENZA |

Peso unita' di volume

| | NSPT | Prof. Strato (m) | Correlazione | Peso unita' di volume (kN/m³) |
|-------|------|------------------|--------------|-------------------------------|
| [1] - | 2 | 7,45 | Meyerhof | 15,30 |

Peso unita' di volume saturo

| | NSPT | Prof. Strato (m) | Correlazione | Peso unita' di volume saturo (kN/m ³) |
|-------|------|---------------------|--------------|---|
| [1] - | 2 | 7,45 | Meyerhof | 18,14 |

PROVA SDF_01/SPT5

Strumento utilizzato...CAMPIONATORE RAYMOND FORO

Prova eseguita in data 06/04/2023

Falda rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

| Profondita' (m) | Nr. Colpi |
|-----------------|-----------|
| 10,15 | 3 |
| 10,30 | 11 |
| 10,45 | 11 |

TERRENI INCOERENTI

Densita' relativa

| | NSPT | Prof. Strato (m) | Gibbs & Holtz 1957 | Meyerhof 1957 | Schultze & Menzenbach (1961) | Skempton 1986 |
|-------|------|------------------|--------------------|---------------|------------------------------|---------------|
| [1] - | 22 | 10,45 | 100 | 0 | 0 | 48,94 |

Angolo di resistenza al taglio

| | NSPT | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Peck-Hanson - Thornburn-Meyerhof 1956 | Meyerhof (1956) | Sowers (1961) | Malcev (1964) | Meyerhof (1965) | Schmertmann (1977) Sabbie | Mitchell & Katti (1981) | Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION) | Japanese National Railway | De Mello | Owasaki & Iwasaki |
|-------|------|------------------|----------------------------------|---------------------------------------|-----------------|---------------|---------------|-----------------|---------------------------|-------------------------|---|---------------------------|----------|-------------------|
| [1] - | 22 | 10,45 | 18,5 | 32,29 | 25,29 | 33,18 | NaN | 36,61 | 28 | 30-32 | 31,66 | 32,55 | 33,08 | 34,24 |

Modulo di Young (MPa)

| | NSPT | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Terzaghi | Schmertmann (1978) (Sabbie) | Schultze-Menzenbach (Sabbia ghiaiosa) | D'Appollonia ed altri 1970 (Sabbia) | Bowles (1982) Sabbia Media |
|-------|------|------------------|----------------------------------|----------|-----------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------|
| [1] - | 22 | 10,45 | 18,5 | 30,11 | 14,51 | 21,48 | 31,26 | 16,43 |

Modulo Edometrico (MPa)

| | NSPT | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Buisman-Sanglerat (sabbie) | Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia) | Farrent 1963 | Menzenbach e Malcev (Sabbia media) |
|-------|------|------------------|----------------------------------|----------------------------|-----------------------------------|--------------|------------------------------------|
| [1] - | 22 | 10,45 | 18,5 | 10,89 | 6,42 | 12,88 | 11,82 |

Classificazione AGI

| | NSPT | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Correlazione | Classificazione AGI |
|-------|------|------------------|----------------------------------|-----------------------|-------------------------|
| [1] - | 22 | 10,45 | 18,5 | Classificazione A.G.I | MODERATAMENTE ADDENSATO |

Peso unita' di volume

| | NSPT | Prof. Strato | Nspt corretto per | Correlazione | Peso Unità di |
|--|------|--------------|-------------------|--------------|---------------|
|--|------|--------------|-------------------|--------------|---------------|

| | | (m) | presenza falda | | Volume (kN/m ³) |
|-------|----|-------|----------------|--------------------|--------------------------------|
| [1] - | 22 | 10,45 | 18,5 | Terzaghi-Peck 1948 | 15,49 |

Peso unita' di volume saturo

| | NSPT | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Correlazione | Peso Unita' Volume Saturo (KN/m ³) |
|-------|------|---------------------|-------------------------------------|--------------------|--|
| [1] - | 22 | 10,45 | 18,5 | Terzaghi-Peck 1948 | 19,44 |

Modulo di Poisson

| | NSPT | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Correlazione | Poisson |
|-------|------|---------------------|-------------------------------------|--------------|---------|
| [1] - | 22 | 10,45 | 18,5 | (A.G.I.) | 0,32 |

PROVA SDF_01/SPT6

Strumento utilizzato...PROVE SPT IN FORO

Prova eseguita in data 06/04/2023

Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

| Profondita' (m) | Nr. Colpi |
|-----------------|-----------|
| 12,15 | |
| 12,30 | RIFIUTO |
| 12,45 | |

PROVA SDF_02/SPT1

Strumento utilizzato...CAMPIONATORE RAYMOND FORO

Prova eseguita in data 07/04/2023

Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

| Profondita' (m) | Nr. Colpi |
|-----------------|-----------|
| 1,65 | 2 |
| 1,80 | 2 |
| 1,95 | 3 |

TERRENI INCOERENTI

Densita' relativa

| | NSPT | Prof. Strato (m) | Gibbs & Holtz 1957 | Meyerhof 1957 | Schultze & Menzenbach (1961) | Skempton 1986 |
|-------|------|------------------|--------------------|---------------|------------------------------|---------------|
| [1] - | 4,63 | 1,95 | 24,91 | 52,88 | 89,09 | 19,84 |

Angolo di resistenza al taglio

| | NSPT | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Peck-Hanson - Thornburn-Meyerhof 1956 | Meyerhof (1956) | Sowers (1961) | Malcev (1964) | Meyerhof (1965) | Schmertmann (1977) Sabbie | Mitchell & Katti (1981) | Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION) | Japanese National Railway | De Mello | Owasaki & Iwasaki |
|-------|------|------------------|----------------------------------|---------------------------------------|-----------------|---------------|---------------|-----------------|---------------------------|-------------------------|---|---------------------------|----------|-------------------|
| [1] - | 4,63 | 1,95 | 4,63 | 28,32 | 21,32 | 29,3 | 35,08 | 31,51 | 0 | <30 | 23,33 | 28,39 | 24,7 | 24,62 |

Modulo di Young (MPa)

| | NSPT | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Terzaghi | Schmertmann (1978) (Sabbie) | Schultze-Menzenbach (Sabbia ghiaiosa) | D'Appollonia ed altri 1970 (Sabbia) | Bowles (1982) Sabbia Media |
|-------|------|------------------|----------------------------------|----------|-----------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------|
| [1] - | 4,63 | 1,95 | 4,63 | --- | 3,63 | --- | --- | --- |

Modulo Edometrico (MPa)

| | NSPT | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Buisman-Sanglerat (sabbie) | Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia) | Farrent 1963 | Menzenbach e Malcev (Sabbia media) |
|-------|------|------------------|----------------------------------|----------------------------|-----------------------------------|--------------|------------------------------------|
| [1] - | 4,63 | 1,95 | 4,63 | --- | 3,63 | 3,22 | 5,75 |

Classificazione AGI

| | NSPT | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Correlazione | Classificazione AGI |
|-------|------|------------------|----------------------------------|-----------------------|---------------------|
| [1] - | 4,63 | 1,95 | 4,63 | Classificazione A.G.I | POCO ADDENSATO |

Peso unita' di volume

| | NSPT | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Correlazione | Peso Unita' di Volume (kN/m ³) |
|-------|------|---------------------|-------------------------------------|--------------------|--|
| [1] - | 4,63 | 1,95 | 4,63 | Terzaghi-Peck 1948 | 13,80 |

Peso unita' di volume saturo

| | NSPT | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Correlazione | Peso Unita' Volume Saturo (kN/m ³) |
|-------|------|---------------------|-------------------------------------|--------------------|--|
| [1] - | 4,63 | 1,95 | 4,63 | Terzaghi-Peck 1948 | 18,40 |

Modulo di Poisson

| | NSPT | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Correlazione | Poisson |
|-------|------|---------------------|-------------------------------------|--------------|---------|
| [1] - | 4,63 | 1,95 | 4,63 | (A.G.I.) | 0,34 |

PROVA SDF_02/SPT2

Strumento utilizzato...CAMPIONATORE RAYMOND FORO

Prova eseguita in data 07/04/2023

Falda rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

| Profondita' (m) | Nr. Colpi |
|-----------------|-----------|
| 3,15 | 1 |
| 3,30 | 2 |
| 3,45 | 2 |

TERRENI INCOERENTI

Densita' relativa

| | NSPT | Prof. Strato (m) | Gibbs & Holtz 1957 | Meyerhof 1957 | Schultze & Menzenbach (1961) | Skempton 1986 |
|-------|-------|------------------|--------------------|---------------|------------------------------|---------------|
| [1] - | 3,704 | 3,45 | 29,18 | 62,55 | 0 | 17,3 |

Angolo di resistenza al taglio

| | NSPT | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Peck-Hanson - Thornburn-Meyerhof 1956 | Meyerhof (1956) | Sowers (1961) | Malcev (1964) | Meyerhof (1965) | Schmertmann (1977) Sabbie | Mitchell & Katti (1981) | Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION) | Japanese National Railway | De Mello | Owasaki & Iwasaki |
|-------|-------|------------------|----------------------------------|---------------------------------------|-----------------|---------------|---------------|-----------------|---------------------------|-------------------------|---|---------------------------|----------|-------------------|
| [1] - | 3,704 | 3,45 | 3,704 | 28,06 | 21,06 | 29,04 | --- | 31,12 | 0 | <30 | 22,45 | 28,11 | 25,04 | 23,61 |

Modulo di Young (MPa)

| | NSPT | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Terzaghi | Schmertmann (1978) (Sabbie) | Schultze-Menzenbach (Sabbia ghiaiosa) | D'Appollonia ed altri 1970 (Sabbia) | Bowles (1982) Sabbia Media |
|-------|-------|------------------|----------------------------------|----------|-----------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------|
| [1] - | 3,704 | 3,45 | 3,704 | --- | 2,91 | --- | --- | --- |

Modulo Edometrico (MPa)

| | NSPT | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Buisman-Sanglerat (sabbie) | Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia) | Farrent 1963 | Menzenbach e Malcev (Sabbia media) |
|-------|-------|------------------|----------------------------------|----------------------------|-----------------------------------|--------------|------------------------------------|
| [1] - | 3,704 | 3,45 | 3,704 | --- | 3,44 | 2,58 | 5,35 |

Classificazione AGI

| | NSPT | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Correlazione | Classificazione AGI |
|-------|-------|------------------|----------------------------------|-----------------------|---------------------|
| [1] - | 3,704 | 3,45 | 3,704 | Classificazione A.G.I | SCIOLTO |

Peso unita' di volume

| | NSPT | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Correlazione | Peso Unita' di Volume (kN/m ³) |
|-------|-------|---------------------|-------------------------------------|--------------------|--|
| [1] - | 3,704 | 3,45 | 3,704 | Terzaghi-Peck 1948 | 13,68 |

Peso unita' di volume saturo

| | NSPT | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Correlazione | Peso Unita' Volume Saturo (kN/m ³) |
|-------|-------|---------------------|-------------------------------------|--------------------|--|
| [1] - | 3,704 | 3,45 | 3,704 | Terzaghi-Peck 1948 | 18,32 |

Modulo di Poisson

| | NSPT | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Correlazione | Poisson |
|-------|-------|---------------------|-------------------------------------|--------------|---------|
| [1] - | 3,704 | 3,45 | 3,704 | (A.G.I.) | 0,35 |

PROVA ... SDF_02/SPT3

Strumento utilizzato...CAMPIONATORE RAYMOND FORO

Prova eseguita in data 07/04/2023

Falda rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

| Profondita' (m) | Nr. Colpi |
|-----------------|-----------|
| 4,65 | 0 |
| 4,80 | 1 |
| 4,95 | 0 |

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA SDF_02/SPT3**TERRENI COESIVI****Coesione non drenata (kPa)**

| | NSPT | Prof. Strato (m) | Terzaghi-Peck | Sanglerat | Terzaghi-Peck (1948) | U.S.D. M.S.M | Schmertmann 1975 | SUNDA (1983) Benassi e Vannelli | Fletcher (1965) Argilla di Chicago | Houston (1960) | Shioi - Fukui 1982 | Begemann | De Beer |
|-------|-------|------------------|---------------|-----------|----------------------|--------------|------------------|---------------------------------|------------------------------------|----------------|--------------------|----------|---------|
| [1] - | 0,926 | 4,95 | 5,69 | 11,38 | 0,00 - 14,71 | 3,73 | 8,63 | 0,00 | 8,34 | 49,92 | 4,51 | 0,00 | 11,38 |

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

| | NSPT | Prof. Strato (m) | Correlazione | Qc (Mpa) |
|-------|-------|------------------|------------------|----------|
| [1] - | 0,926 | 4,95 | Robertson (1983) | 0,18 |

Modulo Edometrico (MPa)

| | NSPT | Prof. Strato (m) | Stroud e Butler (1975) | Vesic (1970) | Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner | Buisman-Sanglerat |
|-------|-------|------------------|------------------------|--------------|--|-------------------|
| [1] - | 0,926 | 4,95 | 0,42 | 1,36 | 1,10 | 1,14 |

Modulo di Young (MPa)

| | NSPT | Prof. Strato (m) | Schultze | Apollonia |
|-------|-------|------------------|----------|-----------|
| [1] - | 0,926 | 4,95 | -0,96 | 0,91 |

Classificazione AGI

| | NSPT | Prof. Strato (m) | Correlazione | Classificazione |
|-------|-------|------------------|---------------|----------------------|
| [1] - | 0,926 | 4,95 | A.G.I. (1977) | PRIVO DI CONSISTENZA |

Peso unita' di volume

| | NSPT | Prof. Strato (m) | Correlazione | Peso unita' di volume (kN/m ³) |
|-------|-------|---------------------|--------------|---|
| [1] - | 0,926 | 4,95 | Meyerhof | 14,51 |

Peso unita' di volume saturo

| | NSPT | Prof. Strato (m) | Correlazione | Peso unita' di volume saturo (kN/m ³) |
|-------|-------|---------------------|--------------|---|
| [1] - | 0,926 | 4,95 | Meyerhof | 18,04 |

PROVA SDF_02/SPT4

Strumento utilizzato...CAMPIONATORE RAYMOND FORO

Prova eseguita in data 07/04/2023

Falda rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

| Profondita' (m) | Nr. Colpi |
|-----------------|-----------|
| 9,15 | 6 |
| 9,30 | 5 |
| 9,45 | 1 |

TERRENI INCOERENTI

Densita' relativa

| | NSPT | Prof. Strato (m) | Gibbs & Holtz 1957 | Meyerhof 1957 | Schultze & Menzenbach (1961) | Skempton 1986 |
|-------|-------|------------------|--------------------|---------------|------------------------------|---------------|
| [1] - | 5,556 | 9,45 | 85,58 | 0 | 0 | 22,3 |

Angolo di resistenza al taglio

| | NSPT | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Peck-Hanson - Thornburn-Meyerhof 1956 | Meyerhof (1956) | Sowers (1961) | Malcev (1964) | Meyerhof (1965) | Schmertmann (1977) Sabbie | Mitchell & Katti (1981) | Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION) | Japanese National Railway | De Mello | Owasaki & Iwasaki |
|-------|-------|------------------|----------------------------------|---------------------------------------|-----------------|---------------|---------------|-----------------|---------------------------|-------------------------|---|---------------------------|----------|-------------------|
| [1] - | 5,556 | 9,45 | 5,556 | 28,59 | 21,59 | 29,56 | NaN | 31,9 | 0 | <30 | 24,13 | 28,67 | 28,41 | 25,54 |

Modulo di Young (MPa)

| | NSPT | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Terzaghi | Schmertmann (1978) (Sabbie) | Schultze-Menzenbach (Sabbia ghiaiosa) | D'Appollonia ed altri 1970 (Sabbia) | Bowles (1982) Sabbia Media |
|-------|-------|------------------|----------------------------------|----------|-----------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------|
| [1] - | 5,556 | 9,45 | 5,556 | --- | 4,36 | --- | --- | --- |

Modulo Edometrico (MPa)

| | NSPT | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Buisman-Sanglerat (sabbie) | Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia) | Farrent 1963 | Menzenbach e Malcev (Sabbia media) |
|-------|-------|------------------|----------------------------------|----------------------------|-----------------------------------|--------------|------------------------------------|
| [1] - | 5,556 | 9,45 | 5,556 | --- | 3,81 | 3,87 | 6,16 |

Classificazione AGI

| | NSPT | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Correlazione | Classificazione AGI |
|-------|-------|------------------|----------------------------------|-----------------------|---------------------|
| [1] - | 5,556 | 9,45 | 5,556 | Classificazione A.G.I | POCO ADDENSATO |

Peso unita' di volume

| | NSPT | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Correlazione | Peso Unita' di Volume (KN/m ³) |
|-------|-------|---------------------|-------------------------------------|--------------------|--|
| [1] - | 5,556 | 9,45 | 5,556 | Terzaghi-Peck 1948 | 13,92 |

Peso unita' di volume saturo

| | NSPT | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Correlazione | Peso Unita' Volume Saturo (KN/m ³) |
|-------|-------|---------------------|-------------------------------------|--------------------|--|
| [1] - | 5,556 | 9,45 | 5,556 | Terzaghi-Peck 1948 | 18,48 |

Modulo di Poisson

| | NSPT | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Correlazione | Poisson |
|-------|-------|---------------------|-------------------------------------|--------------|---------|
| [1] - | 5,556 | 9,45 | 5,556 | (A.G.I.) | 0,34 |

REPORT GEOFISICO
CAMPAGNA INDAGINI APRILE 2023



GEOLOGIA
GEOFISICA
GEOTECNICA
IDROGEOLOGIA

REGIONE SARDEGNA

COMUNE DI PORTO TORRES



**INTERVENTI DI MANUTENZIONE STRAORDINARIA
(REVAMPING) DELL'IMPIANTO DI DEPURAZIONE
CONSORTILE DI PORTO TORRES. REALIZZAZIONE DI UN
NUOVO LOCALE PER LA DISIDRATAZIONE DEI FANGHI**

| | | |
|------------------------------|---|-----------------------------------|
| Codice Pratica GS_13_2023 | Committente Consorzio Industriale Provinciale di Sassari | Data Aprile 2023 |
| Pagine 10 | | |
| Tavole 3 | | |
| Allegati 1 | | |

**TOMOGRAFIA SISMICA IN ONDE P E
PROFILO Vs CON METODO MASW**

DIRETTORE TECNICO
Dott. Geol. Stefano Bellaveglia

TECNICI SPERIMENTATORI
Dott. Geol. Lorenzo Falzoi

GEOFISICA SARDEGNA s.r.l.s.
Via Cavour, 59 - 07100 Sassari
Codice Fiscale - Partita IVA 02778270906
Cell. 347 5238011 - 320 5712144 - 339 2349655 - 349 5858305
email: info@geofisicasardegna.it - PEC: geofisicasardegna@pec.it

INDICE

| | |
|---|---|
| 1. PREMESSA..... | 2 |
| 2. METODOLOGIA INDAGINE SISMICA..... | 3 |
| 2.1 Specifiche tecniche di acquisizione e schema delle prove sismiche | 3 |
| 2.2 Tecniche di indagine | 4 |
| 2.2.1 Tecnica Masw | 4 |
| 2.2.1 Sismica a rifrazione | 4 |
| 2.3 Approccio analitico | 5 |
| 2.3.1 Analisi Masw | 5 |
| 2.3.2 Analisi tomografia sismica..... | 6 |
| 3. ELABORAZIONE PROVE SISMICHE..... | 7 |
| 4. AZIONI SISMICHE DI PROGETTO | 8 |
| 4.1 Categoria di sottosuolo..... | 8 |

Tavole:

| | |
|----------------|---|
| Tavola 1 | Ubicazione delle indagini Foto satellitare Google Earth scala 1:750 |
| Tavola 2 | Certificati indagini sismica a rifrazione |
| Tavola 3 | Certificati indagini MASW |

Allegati:

| | |
|------------------|---|
| Allegato 1 | Specifiche tecniche strumentazione |
|------------------|---|

1. PREMESSA

Su commissione di CIPSS nell'ambito del progetto di "INTERVENTI DI MANUTENZIONE STRAORDINARIA (REVAMPING) DELL'IMPIANTO DI DEPURAZIONE CONSORTILE DI PORTO TORRES. REALIZZAZIONE DI UN NUOVO LOCALE PER LA DISIDRATAZIONE DEI FANGHI", è stata eseguita una campagna di indagini geofisiche finalizzata alla caratterizzazione sismostratigrafica del sito di progetto tramite la ricostruzione dei modelli sismo-stratigrafici del sottosuolo, unitamente alla determinazione della Categoria di Sottosuolo definita dal valore di $V_{s,eq}$, secondo quanto stabilito nelle "Norme tecniche per le costruzioni" del D.M. del 17 gennaio 2018.

Nello specifico sono state svolte le seguenti indagini geofisiche:

- N. 2 profili sismici Masw (Multi-channel Analysis of Surface Waves) monodimensionali con elaborazione profilo in onde S;
- N. 1 profilo sismico a rifrazione in tecnica tomografica con acquisizione in onde P;

2. METODOLOGIA INDAGINE SISMICA

Le prospezioni sismiche vengono utilizzate nell'ambito dell'esplorazione del sottosuolo tramite lo studio della propagazione di onde elastiche generate o artificialmente mediante esplosioni controllate, vibrazioni indotte sul terreno con intensità e frequenza note, masse battenti di vario peso e tipologia o con sorgenti naturali.

Nel caso di sorgenti artificiali si parlerà di sismica attiva e rientrano in questa categoria le indagini di sismica a rifrazione, a riflessione le indagini Masw, le Sasw e tutte le prove eseguite in foro (down-hole, cross-hole, up-hole) mentre nel caso di sorgenti naturali (*noise*) si parlerà di sismica passiva che comprendono le prove sismiche ReMi, Nakamura, Spac, Esac.

2.1 Specifiche tecniche di acquisizione e schema delle prove sismiche

I sismogrammi sono stati acquisiti con un sismografo PASI 16S24 (mod.2007) con risoluzione di acquisizione 16bit (24bit con sovracampionamento e post processing) collegato tramite cavo a 24 geofoni verticali di tipo elettromagnetico a bobina mobile, con frequenza propria di 4.5 Hz, utilizzati sia per i profili sismici a rifrazione in onde P che per i profili sismici con tecnica MASW.

Per il profilo a rifrazione sono stati eseguiti 7 punti di energizzazione (due agli estremi, posti ad una distanza pari alla metà della distanza intergeofonica, e tre all'interno del profilo), mentre per i profili Masw è stata eseguita una serie di punti di energizzazione (shot) a distanze variabili dai geofoni G1 e G24, selezionando poi, in fase di elaborazione, lo shot che presentava la migliore qualità del segnale. Come sistema di energizzazione è stata utilizzata una mazza da 8 Kg che si è dimostrata in grado di fornire energia sufficiente allo scopo prefissato (Fig. 2.1.).

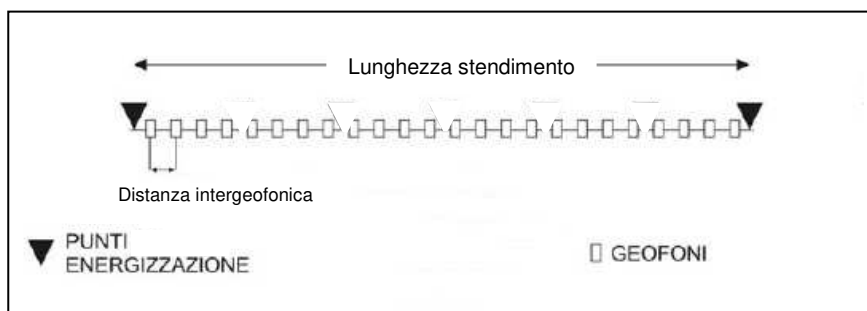


Fig. 2.1 - Schema sismica MASW e rifrazione

Come sistema di trigger per fornire il tempo zero all'acquisitore, è stato utilizzato un geofono starter posto in corrispondenza della piastra di battuta.

| PROFILO | Tecnica di indagine | lunghezza stendimento (m) | distanza intergeofonica (m) | orientazione stendimento | durata acquisizione (s) | tempo di campionamento (ms) |
|---------------|------------------------------|---------------------------|-----------------------------|--------------------------|-------------------------|-----------------------------|
| SM_01 | Sismica MASW | 46.0 | 2.0 | SE-NO | 1.0 | 0.500 |
| SM_02 | Sismica MASW | 57.5 | 2.5 | S-N | 1.0 | 0.500 |
| SRP_01 | Tomografia sismica in onde P | 60.0 | 2.5 | S-N | 1.0 | 0.250 |

2.2 Tecniche di indagine

2.2.1 Tecnica Masw

L'indagine MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves) è una tecnica investigativa che consente una ricostruzione della distribuzione della velocità delle onde S nel sottosuolo, permettendo di ricavare il parametro $V_{s,eq}$ necessario per la classificazione dei suoli in base alle NTC 2018 che stabiliscono le nuove norme tecniche in materia di progettazione antisismica.

Per quanto concerne la fase di acquisizione del dato di campo, l'indagine MASW non è troppo diversa da una comune acquisizione per un'indagine di sismica a rifrazione, in quanto le onde di superficie sono facilmente generabili da una qualsiasi sorgente sismica quale ad esempio una mazza. L'acquisizione del dato prevede di effettuare uno stendimento di 24 geofoni (preferibilmente da 4,5 Hz) allineati con la sorgente ad una distanza intergeofonica variabile in base alle condizioni di sito e di energizzare in un solo punto (off set) con una sorgente ad impatto verticale, ad una distanza dal geofono più esterno anch'essa variabile in un range prestabilito. I sismogrammi così ottenuti vengono poi selezionati in fase di elaborazione, utilizzando solamente lo shoot che presenta la migliore qualità del segnale.

2.2.1 Sismica a rifrazione

La metodologia di indagine a rifrazione consiste nel produrre una perturbazione elastica (*shot*) in un punto della superficie del terreno e nel rilevare e registrare in più punti distanti il tempo intercorso tra l'istante dell'energizzazione (*tempo zero*) e l'arrivo di un suo impulso rifratto dalle superfici di discontinuità presenti nel sottosuolo. Le registrazioni avvengono tramite l'utilizzo di sensori detti *geofoni*, allineati lungo uno stendimento a distanze reciproche (distanza intergeofonica) variabili in funzione dell'obiettivo e delle specifiche condizioni di sito.

I segnali più importanti che vengono registrati sono relativi a tre tipi di onde, di seguito indicati nel loro ordine di arrivo: onde di compressione o primarie (onde P), onde di taglio o secondarie (onde S) e onde di Rayleigh o superficiali. Le registrazioni a distanze crescenti dal punto di energizzazione vengono quindi riportate su di

un grafico distanze/tempi di arrivo per ogni tipologia di onda che si propaga nel mezzo elastico, ottenendo così una retta di inclinazione variabile rispetto all'asse delle ascisse detta *dromocrona* (Fig.2.2.1).

I tempi di arrivo dei raggi rifratti si disporranno nel diagramma tempi-distanze secondo una serie di rette di pendenza diversa tra loro e inferiore a quella delle onde dirette; dal calcolo dei coefficienti angolari delle rette così individuate si è in grado quindi di determinare la velocità di propagazione dell'onda negli orizzonti attraversati e di conseguenza, noto il tempo intercetto, anche il loro spessore.

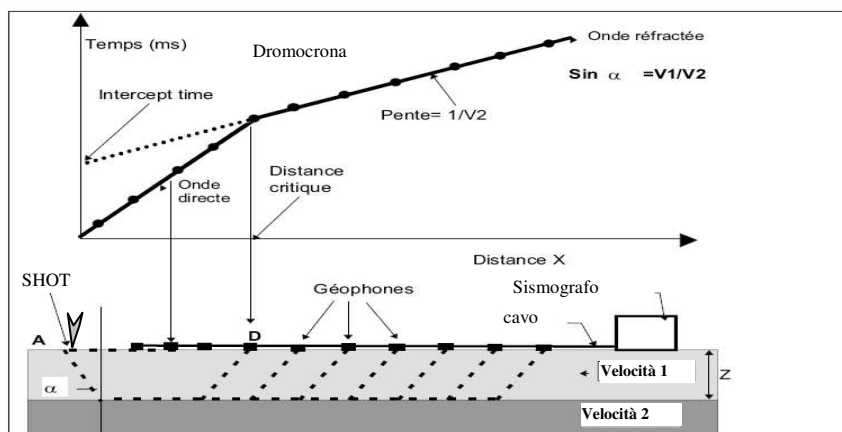


Fig.2.2.1 - Indagine sismica a rifrazione

2.3 Approccio analitico

2.3.1 Analisi Masw

Il profilo Vs,eq con il metodo MASW viene ricavato tramite il software di elaborazione WinMasw che si basa sull'inversione delle curve di dispersione delle onde di superficie Rayleigh, che costituiscono un particolare tipo di onde di superficie che si trasmettono sull'interfaccia libera di un mezzo isotropo e omogeneo, come risultato dell'interferenza tra onde di pressione P e onde di taglio verticali Sv. In un mezzo stratificato queste onde sono di tipo guidato e dispersivo e vengono definite pseudo-Rayleigh; la dispersione è una deformazione di un treno di onde dovuta ad una variazione di propagazione di velocità con la frequenza, le componenti a frequenza minore penetrano più in profondità rispetto a quelle a frequenza maggiore, per un dato modo e presentano normalmente più elevate velocità di fase. Il calcolo del profilo di velocità delle onde di Rayleigh, V(fase)/Frequenza, viene quindi convertito nel profilo di Vs/profondità. La procedura utilizzata per la determinazione del profilo prevede quattro operazioni svolte in successione:

1. acquisizione delle onde superficiali (dati di campo);
2. determinazione dello spettro di velocità;
3. individuazione della curva di dispersione sullo spettro di velocità;
4. inversione della curva di dispersione attraverso l'utilizzo di algoritmi genetici.

Gli algoritmi evolutivi rappresentano un tipo di procedura di ottimizzazione appartenente alla classe degli algoritmi euristici (soft computing) e rispetto ai comuni metodi di inversione lineare basati su metodi del

gradiente (matrice Jacobiana), queste tecniche di inversione offrono un'affidabilità del risultato di gran lunga superiore per precisione e completezza.

Resta comunque sottinteso che il calcolo algoritmico non prevede un risultato univoco ma una serie di risultati attendibili in un range di modelli validi e per tale motivo i dati finali possono presentare discordanze rispetto ai modelli ottenuti con altre tecniche di indagine sismica (down hole, cross hole, ecc). Il fit tra il modello calcolato con tecnica MASW e il modello ottenuto con altri metodi di indagine sismica è quindi funzione delle conoscenze geologiche di sito e per tale motivo la presenza di dati ricavati da indagini integrative (sondaggi, penetrometrie, ecc) permette di restringere il campo di incertezza, ottimizzando il modello finale.

2.3.2 Analisi tomografia sismica

Il software di elaborazione tomografico utilizzato (*Rayfract v 3.18*), elabora un modello teorico compiendo alcune migliaia di iterazioni sulla base dei primi arrivi delle onde sismiche. Tale modello viene affinato automaticamente fino a che i dati teorici coincidono il più possibile con quelli acquisiti direttamente nella campagna di indagini sismiche. Attraverso questo tipo di elaborazioni si riducono sensibilmente gli eventuali errori dovuti a fattori soggettivi di interpretazione. L'elaborato finale fornisce la velocità relativa a singole celle unitarie di piccole dimensioni, in maniera tale da individuare e discriminare le anomalie laterali di velocità.

3. ELABORAZIONE PROVE SISMICHE

L'elaborazione dei profili sismici a rifrazione, integrati con i dati ottenuti dalle prove Masw, hanno permesso di ricostruire i seguenti modelli sismostratigrafici interpretativi validi per i terreni investigati:

| PROFILO SM_01 | | | | |
|---------------|----------------|--------------------|------------------------------------|-------------------------|
| STRATO | SPESSORE medio | VELOCITA' Vs media | LITOLOGIA | CARATTERISTICHE FISICHE |
| 1 | 6.50 m | 218 m/s | Limo sabbioso argilloso con clasti | poco addensato |
| 2 | 6.80 m | 127 m/s | Limi argillosi | molto scadenti |
| 3 | 4.60 m | 292 m/s | Terreni granulari prevalenti | mediamente addensati/ |
| 4 | 7.30 m | 567 m/s | Substrato litoide calcarenitico | alterato |
| 5 | 4.80 m | 686 m/s | | poco alterato |

| PROFILO SM_02 - SRP_01 | | | | | |
|------------------------|------------------|-----------------------|--------------------|--|-------------------------------------|
| STRATO | SPESSORE min-max | VELOCITA' Vp min -max | VELOCITA' Vs media | LITOLOGIA | CARATTERISTICHE FISICHE |
| 1 | 6.5-10.0 m | 400 - 1600 m/s | 176.5 m/s | Limi sabbiosi e limi argillosi con clasti | poco addensati |
| 2 | 0.5 – 1.5 m | 1600 - 1800 m/s | 301 m/s | Terreni granulari prevalenti e/o substrato | mediamente addensati/molto alterato |
| 3 | 10.1 m | >1800 m/s | 438 m/s | Substrato litoide calcarenitico | alterato |
| 4 | n.d. | n.d. | 724 m/s | | poco alterato |

4. AZIONI SISMICHE DI PROGETTO

Le Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC) adottano un approccio prestazionale alla progettazione delle strutture nuove e alla verifica di quelle esistenti. Nei riguardi dell'azione sismica l'obiettivo è il controllo del livello di danneggiamento della costruzione a fronte dei terremoti che possono verificarsi nel sito di costruzione. L'azione sismica sulle costruzioni è quindi valutata da una "pericolosità sismica di base", in condizioni ideali di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A nelle NTC). L'azione sismica così individuata viene poi variata per tener conto delle modifiche prodotte dalle condizioni locali stratigrafiche del sottosuolo effettivamente presente nel sito di costruzione e dalla morfologia della superficie. Tali modifiche caratterizzano la risposta sismica locale.

4.1 Categoria di sottosuolo

In base a quanto attualmente esposto delle "Norme tecniche per le costruzioni" del D.M. 17 gennaio 2018, che aggiornano e sostituiscono il precedente D.M. del 14 gennaio 2008, è necessario determinare le azioni sismiche di progetto tramite specifiche analisi di sito o mediante un approccio semplificato che si basa sul calcolo della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio ($V_{s,eq}$) partendo dal piano di posa delle fondazioni. Il valore di $V_{s,eq}$ (in m/s) viene calcolato secondo la seguente espressione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

dove h_i e $V_{s,i}$ indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio $\gamma < 10^{-6}$) dello strato i -esimo, per un totale di N strati presenti al di sopra del substrato sismico (con $V_s > 800$ m/s), fino ad un H massimo di 30 m (V_{s30}). Le indagini sismiche hanno permesso quindi di ricostruire i seguenti profili sismo-stratigrafici necessari per il calcolo delle $V_{s,eq}$:

| PROFILO MASW SM_01 | | |
|--------------------|--------------------------|--------------------------|
| STRATO | SPESSORE medio (h_i) | VELOCITÀ media (V_s) |
| 1 | 6.50 m | 218 m/s |
| 2 | 6.80 m | 127 m/s |
| 3 | 4.60 m | 292 m/s |
| 4 | 7.30 m | 567 m/s |
| 5 | 4.80 m | 686 m/s |

Dai i dati sopra elencati si evince l'assenza di un substrato sismico ($V_s > 800$ m/s) affiorante entro i primi 30 m di profondità e quindi, considerando in via cautelativa il piano di posa delle fondazioni coincidente con il piano campagna, sono stati ricavati i seguenti valori di velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio riferiti ai primi 30.0 m di profondità ($H = 30.0$ m nella precedente espressione):

SM_01: $V_{s,eq}$ (30.0 m) = 252 m/s

| PROFILO MASW SM_02 | | |
|--------------------|--------------------------|--------------------------|
| STRATO | SPESSORE medio (h_i) | VELOCITÀ media (V_s) |
| 1 | 3.40 m | 181 m/s |
| 2 | 5.00 m | 172 m/s |
| 3 | 1.80 m | 301 m/s |
| 4 | 10.10 m | 438 m/s |
| 5 | 9.70 m | 724 m/s |

Dai i dati sopra elencati si evince l'assenza di un substrato sismico ($V_s > 800$ m/s) affiorante entro i primi 30 m di profondità e quindi, considerando in via cautelativa il piano di posa delle fondazioni coincidente con il piano campagna, sono stati ricavati i seguenti valori di velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio riferiti ai primi 30.0 m di profondità ($H = 30.0$ m nella precedente espressione):

SM_02: $V_{s,eq}$ (30.0 m) = 332 m/s

Pertanto, sulla base dei valori ottenuti dalle due prove masw e secondo quanto stabilito dal DM del 17 gennaio 2018, è possibile assegnare al terreno di progetto la seguente categoria di profilo stratigrafico del suolo di fondazione:

Categoria di sottosuolo C : Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

Sassari, Aprile 2023

GEOFISICA SARDEGNA s.r.l.s.
Il Direttore Tecnico
Dott. Geol. Stefano Bellaveglia



COMUNE DI PORTO TORRES

PROVINCIA DI SASSARI

**INTERVENTI DI MANUTENZIONE STRAORDINARIA (REVAMPING)
DELL'IMPIANTO DI DEPURAZIONE CONSORTILE DI PORTO TORRES.
REALIZZAZIONE DI UN NUOVO LOCALE PER LA DISIDRATAZIONE DEI FANGHI**

OGGETTO: UBICAZIONE DELLE INDAGINI
Foto satellitare Google Earth

TAVOLA N°

1

SCALA

1:750





GEOFISICA SARDEGNA s.r.l.s.

Via Cavour,59 - Sassari C.F.-P.I.: 02778270906

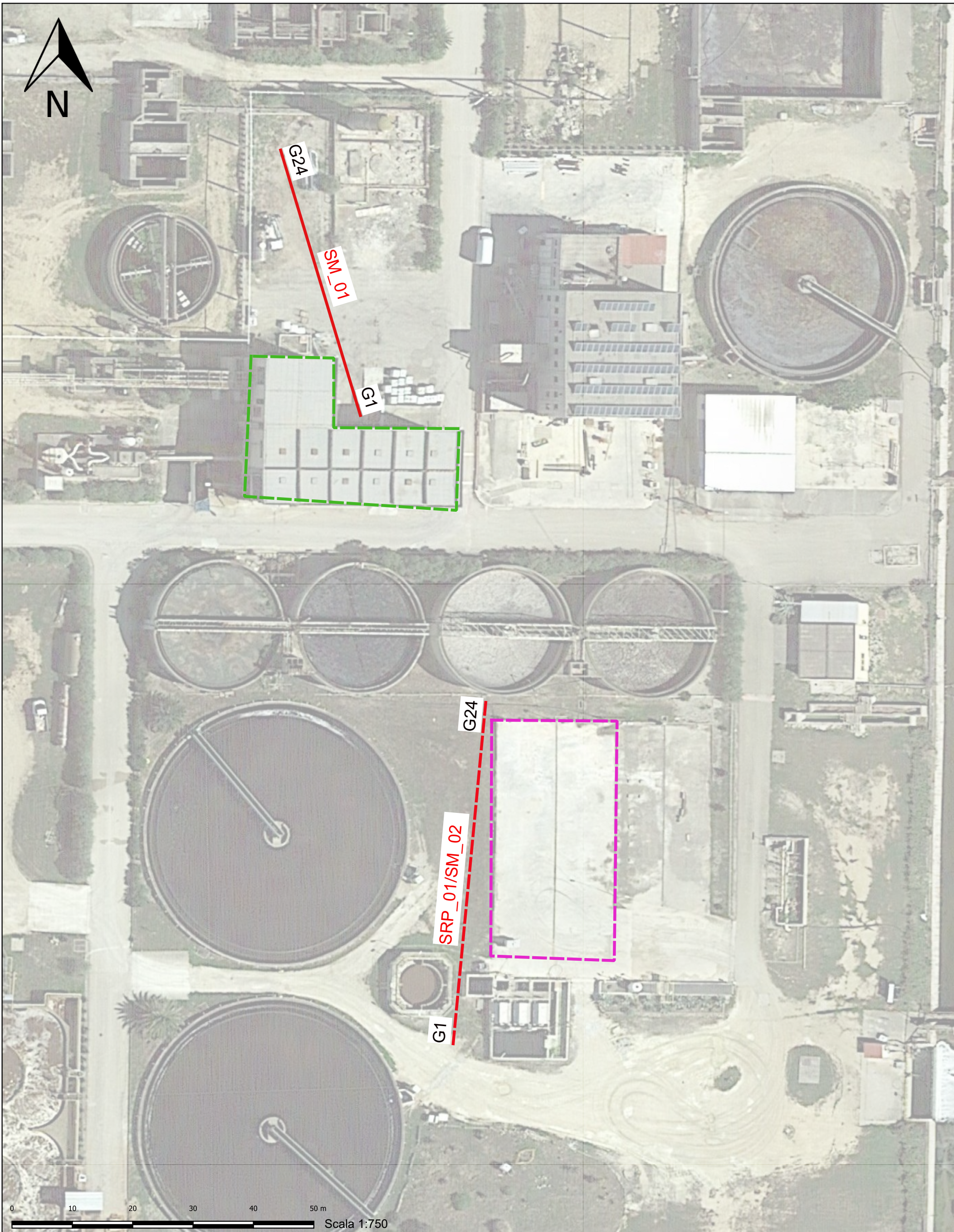
DIRETTORE TECNICO:

Dott. Geol. Stefano Bellaveglia





Legenda

-  Stendimenti sismici in tecnica MASW
-  Stendimenti sismici in tecnica Tomografica e MASW
-  Locale disidratazione fanghi da consolidare
-  Locale disidratazione fanghi da realizzare

UBICAZIONE INDAGINI GEOFISICHE



LEGENDA:

- LEGENDA:**
-  Stendimenti sismici in tecnica MASW
 -  Stendimenti sismici in tecnica Tomografica e MASW
 -  Locale disidratazione fanghi da consolidare
 -  Locale disidratazione fanghi da realizzare



GEOFISICA SARDEGNA s.r.l.s.
Via Cavour, 59 / 07100 Sassari
Codice Fiscale / P. IVA 02778270906

COMUNE DI PORTO TORRES

PROVINCIA DI SASSARI

**INTERVENTI DI MANUTENZIONE STRAORDINARIA (REVAMPING)
DELL'IMPIANTO DI DEPURAZIONE CONSORTILE DI PORTO TORRES.
REALIZZAZIONE DI UN NUOVO LOCALE PER LA DISIDRATAZIONE DEI FANGHI**

OGGETTO: CERTIFICATI INDAGINI SISMICA A RIFRAZIONE

TAVOLA N°

2

N° PROFILI

1

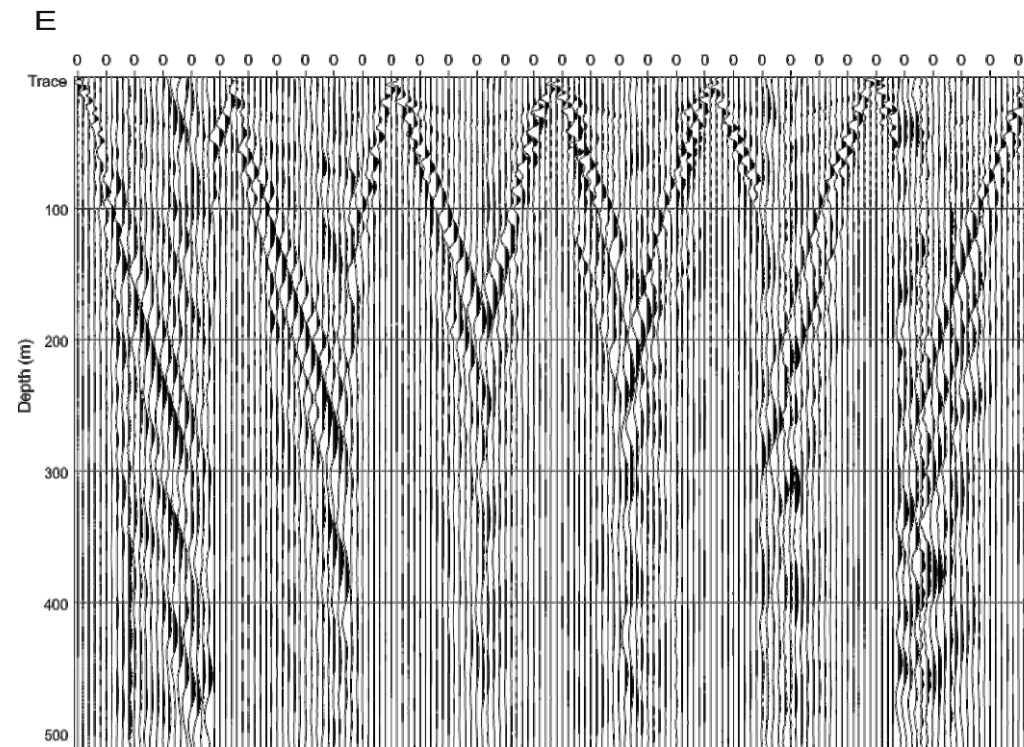
GEOFISICA SARDEGNA s.r.l.s.

Via Cavour,59 - Sassari C.F.-P.I.: 02778270906

DIRETTORE TECNICO:

Dott. Geol. Stefano Bellaveglia

SISMOGRAMMI



Codice Certificato di prova: GS_13_2023_SRP_01

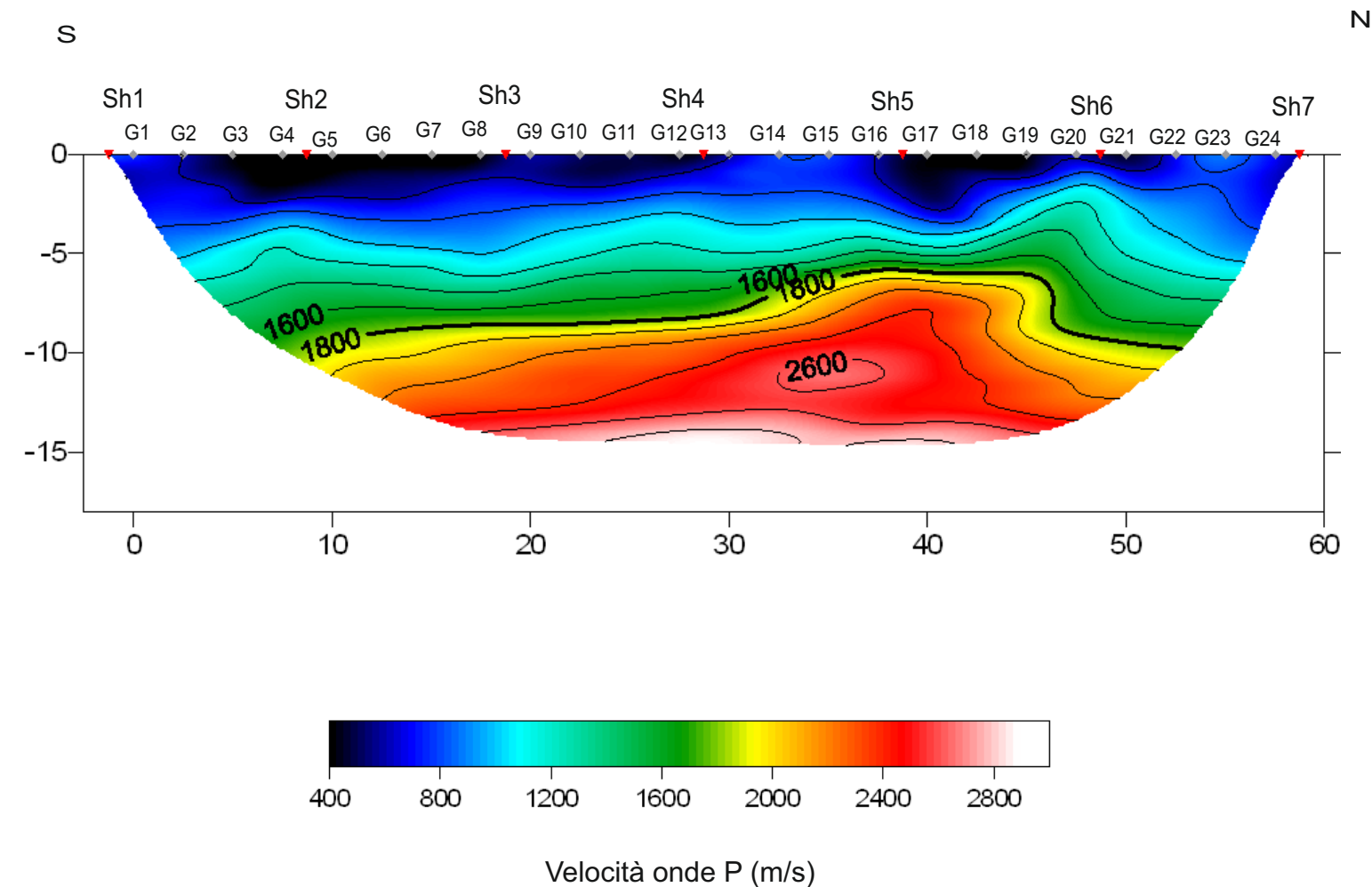
Committente: CIPSS - Data Esecuzione: 06/04/2023 - Località: Depuratore Consortile - Comune: Porto Torres (SS)

SPECIFICHE TECNICHE DI ACQUISIZIONE

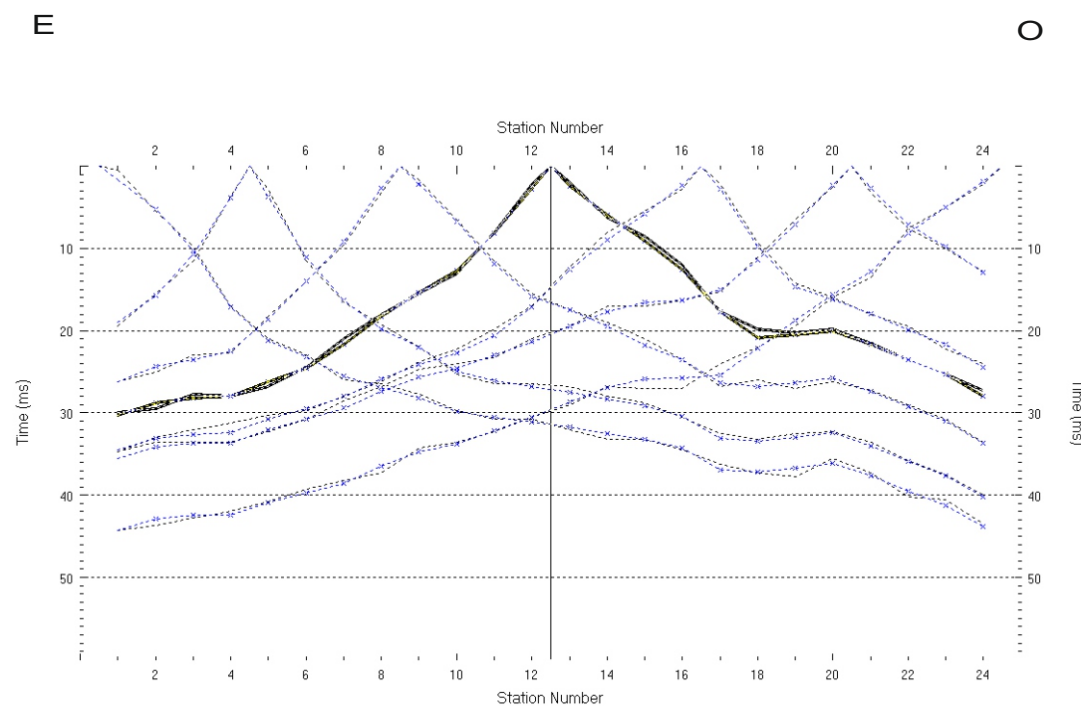
| | |
|--|--|
| Tipo geofoni | verticali |
| Frequenza geofoni | 4.5 Hz |
| N° geofoni | 24 |
| N° scoppi | 7 |
| Lunghezza stendimento | 60.0 m |
| Distanza intergeofonica | 2.5 m |
| Orientazione stendimento | S-N |
| Coordinate estremi (WGS 84 UTM 32N) | Sh1: N 4520542; E 445953 Sh7: N 4520598; E 445959 |
| Durata acquisizione | 1 s |
| Tempo di campionamento | 0.250 ms |



PROFILO SISMICO 2D



DROMOCRONE



COMUNE DI PORTO TORRES

PROVINCIA DI SASSARI

**INTERVENTI DI MANUTENZIONE STRAORDINARIA (REVAMPING)
DELL'IMPIANTO DI DEPURAZIONE CONSORTILE DI PORTO TORRES.
REALIZZAZIONE DI UN NUOVO LOCALE PER LA DISIDRATAZIONE DEI FANGHI**

OGGETTO: CERTIFICATI INDAGINI MASW

TAVOLA N°

3

N° PROFILI

2

GEOFISICA SARDEGNA s.r.l.s.

Via Cavour,59 - Sassari C.F.-P.I.: 02778270906

DIRETTORE TECNICO:

Dott. Geol. Stefano Bellaveglia



CERTIFICATO DI PROVA INDAGINE SISMICA MASW

GEOFISICA SARDEGNA s.r.l.s.
Società di Servizi indagini geologiche, geofisiche, geotecniche ed ambientali
Via Cavour n°59, 07100 Sassari - C.F. e P.I. 02778270906
Cell. 347 5238011 - 320 5712144 - 339 2349655 - 349 5858305
email: info@geofisicasardegna.it - PEC: geofisicasardegna@pec.it

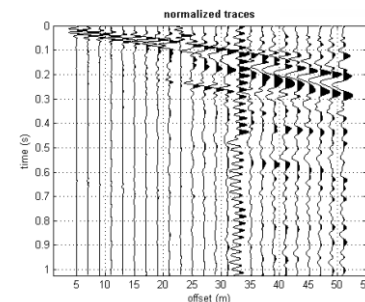
Codice Certificato di prova: **GS_13_23_SM_01**
Committente: CIPSS - Data Esecuzione: 06/04/2023 -
Località: Depuratore consortile - Comune: Porto Torres (SS)

SPECIFICHE TECNICHE DI ACQUISIZIONE

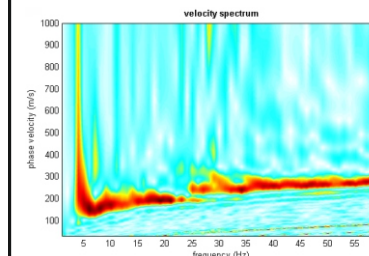
| Profilo | SM_01 |
|--|--|
| Tipo geofoni | verticali |
| Frequenza geofoni | 4.5 Hz |
| N° geofoni | 24 |
| N° scoppi | 7 |
| Lunghezza stendimento | 57.5 m |
| Distanza intergeofonica | 2.5 m |
| Orientazione stendimento | SE - NW |
| Coordinate estremi (WGS 84 UTM 32N) | Sh1: N 4520542; E 445953 Sh7: N 4520598; E 445959 |
| Durata acquisizione | 1 s |
| Tempo di campionamento | 0.500 ms |
| Superficie di esecuzione | terreno |



SISMOGRAMMI



SPETTRO



DATI NUMERICI

Rayleigh wave analysis

Optimizing Vs & Thickness - generation: 1; average & best misfits: -16.9752 -3.81969
Optimizing Vs & Thickness - generation: 2; average & best misfits: -17.7526 -3.81969
Optimizing Vs & Thickness - generation: 3; average & best misfits: -19.28 -3.81969
Optimizing Vs & Thickness - generation: 4; average & best misfits: -14.5417 -3.32802
Optimizing Vs & Thickness - generation: 5; average & best misfits: -11.3448 -2.21888
Optimizing Vs & Thickness - generation: 6; average & best misfits: -13.0058 -2.21888
Optimizing Vs & Thickness - generation: 7; average & best misfits: -14.0829 -2.21888
Optimizing Vs & Thickness - generation: 8; average & best misfits: -14.2833 -2.21888
Optimizing Vs & Thickness - generation: 9; average & best misfits: -17.3828 -2.21888
Optimizing Vs & Thickness - generation: 10; average & best misfits: -16.15 -2.21888
Optimizing Vs & Thickness - generation: 11; average & best misfits: -17.0876 -2.21888
Optimizing Vs & Thickness - generation: 12; average & best misfits: -18.3235 -2.21888
Optimizing Vs & Thickness - generation: 13; average & best misfits: -15.1121 -2.21888
Optimizing Vs & Thickness - generation: 14; average & best misfits: -13.64 -2.21888
Optimizing Vs & Thickness - generation: 15; average & best misfits: -14.3804 -2.21888
Optimizing Vs & Thickness - generation: 16; average & best misfits: -11.2947 -2.21888
Optimizing Vs & Thickness - generation: 17; average & best misfits: -11.8848 -1.73416
Optimizing Vs & Thickness - generation: 18; average & best misfits: -13.3729 -1.73416
Optimizing Vs & Thickness - generation: 19; average & best misfits: -14.057 -1.73416
Optimizing Vs & Thickness - generation: 20; average & best misfits: -16.9408 -1.63312
Optimizing Vs & Thickness - generation: 21; average & best misfits: -16.337 -1.63312
Optimizing Vs & Thickness - generation: 22; average & best misfits: -13.9787 -1.62977
Optimizing Vs & Thickness - generation: 23; average & best misfits: -13.5998 -1.617
Optimizing Vs & Thickness - generation: 24; average & best misfits: -12.9631 -1.61437
Optimizing Vs & Thickness - generation: 25; average & best misfits: -11.9335 -1.61437
Optimizing Vs & Thickness - generation: 26; average & best misfits: -14.4074 -1.61437
Optimizing Vs & Thickness - generation: 27; average & best misfits: -14.1144 -1.61437
Optimizing Vs & Thickness - generation: 28; average & best misfits: -12.685 -1.61437
Optimizing Vs & Thickness - generation: 29; average & best misfits: -13.1093 -1.61437
Optimizing Vs & Thickness - generation: 30; average & best misfits: -14.556 -1.61437
Optimizing Vs & Thickness - generation: 31; average & best misfits: -11.1624 -1.61437

Checking the new search space (for the finer search)

Now a finer search around the most promising search space area

Rayleigh wave analysis

Optimizing Vs & Thickness - generation: 1; average & best misfits: -19.0843 -1.61437
Optimizing Vs & Thickness - generation: 2; average & best misfits: -16.116 -1.61437
Optimizing Vs & Thickness - generation: 3; average & best misfits: -15.1154 -1.61437
Optimizing Vs & Thickness - generation: 4; average & best misfits: -18.586 -1.61437
Optimizing Vs & Thickness - generation: 5; average & best misfits: -16.581 -1.61437

MEAN MODEL

VS (m/s): 218 127 292 567 686
Thickness (m): 6.5 6.8 4.6 7.3

Fundamental mode

Mean model

| f(Hz) | VR(m/s) |
|---------|----------|
| 4.0304 | 347.6755 |
| 5.01992 | 174.8097 |
| 6.75157 | 163.6832 |
| 9.47275 | 167.4574 |
| 13.1834 | 172.8953 |
| 15.4099 | 170.7528 |
| 29.3868 | 133.4615 |
| 43.3637 | 128.3788 |

First higher mode

Mean model

| | |
|---------|----------|
| 7.24633 | 365.9886 |
| 14.6677 | 215.547 |
| 16.6468 | 191.2831 |
| 19.6153 | 187.4632 |
| 23.5734 | 185.9212 |
| 25.5524 | 182.312 |
| 41.5084 | 142.0712 |

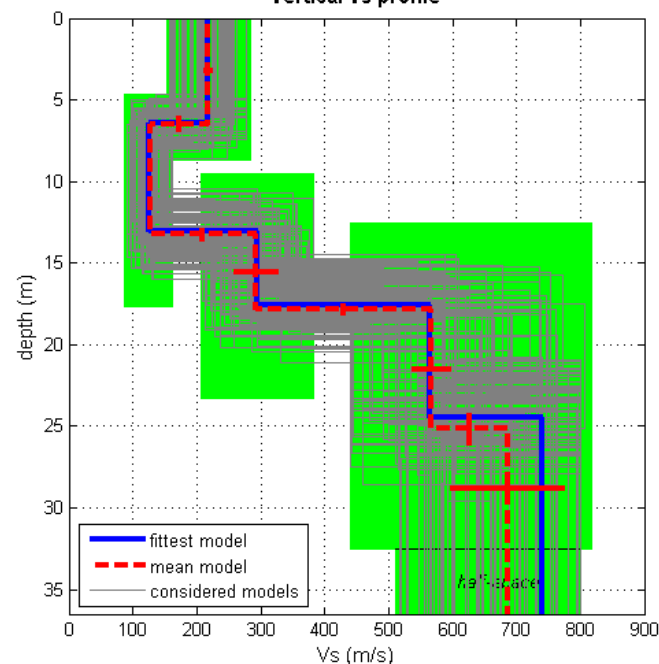
winMASW Standard
Surface Wave Analysis

www.eliosoft.it

PROFILO DI VELOCITA' 1D Vs,eq (Vs30)= 252 m/s

Categoria Sottosuolo NTC : C

Vertical Vs profile





CERTIFICATO DI PROVA INDAGINE SISMICA MASW

GEOFISICA SARDEGNA s.r.l.s.
Società di Servizi indagini geologiche, geofisiche, geotecniche ed ambientali
Via Cavour n°59, 07100 Sassari - C.F. e P.I. 02778270906
Cell. 347 5238011 - 320 5712144 - 339 2349655 - 349 5858305
email: info@geofisicasardegna.it - PEC: geofisicasardegna@pec.it

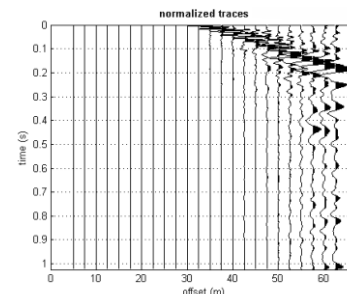
Codice Certificato di prova: **GS_13_23_SM_02**
Committente: CIPSS - Data Esecuzione: 06/04/2023 -
Località: Depuratore consortile - Comune: Porto Torres (SS)

SPECIFICHE TECNICHE DI ACQUISIZIONE

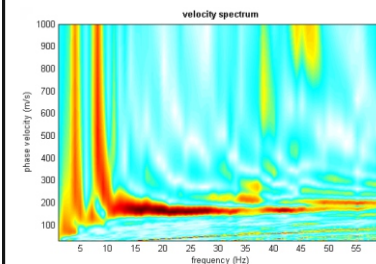
| Profilo | SM_02 |
|--|--|
| Tipo geofoni | verticali |
| Frequenza geofoni | 4.5 Hz |
| N° geofoni | 24 |
| N° scoppi | 7 |
| Lunghezza stendimento | 57.5 m |
| Distanza intergeofonica | 2.5 m |
| Orientazione stendimento | S - N |
| Coordinate estremi (WGS 84 UTM 32N) | Sh1: N 4520646; E 445939 Sh7: N 4520689; E 445926 |
| Durata acquisizione | 1 s |
| Tempo di campionamento | 0.500 ms |
| Superficie di esecuzione | pavimentazione |



SISMOGRAMMI



SPETTRO



DATI NUMERICI

Rayleigh wave analysis

Optimizing Vs & Thickness - generation: 1; average & best misfits: -14.7883 -6.82243
Optimizing Vs & Thickness - generation: 2; average & best misfits: -14.1359 -6.22708
Optimizing Vs & Thickness - generation: 3; average & best misfits: -15.68 -3.71098
Optimizing Vs & Thickness - generation: 4; average & best misfits: -13.3699 -3.71098
Optimizing Vs & Thickness - generation: 5; average & best misfits: -13.8959 -3.32163
Optimizing Vs & Thickness - generation: 6; average & best misfits: -10.0951 -3.32163
Optimizing Vs & Thickness - generation: 7; average & best misfits: -12.7073 -3.32163
Optimizing Vs & Thickness - generation: 8; average & best misfits: -10.8665 -3.0528
Optimizing Vs & Thickness - generation: 9; average & best misfits: -11.5219 -3.0528
Optimizing Vs & Thickness - generation: 10; average & best misfits: -13.2859 -3.0528
Optimizing Vs & Thickness - generation: 11; average & best misfits: -16.3783 -3.0528
Optimizing Vs & Thickness - generation: 12; average & best misfits: -11.7275 -3.0528
Optimizing Vs & Thickness - generation: 13; average & best misfits: -12.6126 -3.0528
Optimizing Vs & Thickness - generation: 14; average & best misfits: -12.5602 -3.0528
Optimizing Vs & Thickness - generation: 15; average & best misfits: -11.0628 -3.0528
Optimizing Vs & Thickness - generation: 16; average & best misfits: -12.3973 -3.0528
Optimizing Vs & Thickness - generation: 17; average & best misfits: -11.0739 -2.87384
Optimizing Vs & Thickness - generation: 18; average & best misfits: -12.7593 -2.87384
Optimizing Vs & Thickness - generation: 19; average & best misfits: -11.9978 -2.87384
Optimizing Vs & Thickness - generation: 20; average & best misfits: -12.2063 -2.87384
Optimizing Vs & Thickness - generation: 21; average & best misfits: -14.362 -2.87384
Optimizing Vs & Thickness - generation: 22; average & best misfits: -14.3103 -2.87384
Optimizing Vs & Thickness - generation: 23; average & best misfits: -14.964 -2.87384
Optimizing Vs & Thickness - generation: 24; average & best misfits: -12.3029 -2.87384
Optimizing Vs & Thickness - generation: 25; average & best misfits: -12.038 -2.87384
Optimizing Vs & Thickness - generation: 26; average & best misfits: -12.2039 -2.87384
Optimizing Vs & Thickness - generation: 27; average & best misfits: -13.7599 -2.87384
Optimizing Vs & Thickness - generation: 28; average & best misfits: -11.6962 -2.87384
Optimizing Vs & Thickness - generation: 29; average & best misfits: -12.632 -2.87384
Optimizing Vs & Thickness - generation: 30; average & best misfits: -13.3315 -2.87384
Optimizing Vs & Thickness - generation: 31; average & best misfits: -12.6859 -2.87384

Checking the new search space (for the finer search)

Now a finer search around the most promising search space area

Rayleigh wave analysis

Optimizing Vs & Thickness - generation: 1; average & best misfits: -13.6978 -2.87384
Optimizing Vs & Thickness - generation: 2; average & best misfits: -12.4135 -2.87384
Optimizing Vs & Thickness - generation: 3; average & best misfits: -12.4375 -2.87384
Optimizing Vs & Thickness - generation: 4; average & best misfits: -14.0352 -2.87384
Optimizing Vs & Thickness - generation: 5; average & best misfits: -14.8316 -2.87384

MEAN MODEL

VS (m/s): 181 172 301 438 724
Thickness (m): 3.4 5.0 1.8 10.1

Fundamental mode

Mean model

| f(Hz) | VR(m/s) |
|---------|----------|
| 4.0304 | 347.6755 |
| 5.01992 | 174.8097 |
| 6.75157 | 163.6832 |
| 9.47275 | 167.4574 |
| 13.1834 | 172.8953 |
| 15.4099 | 170.7528 |
| 29.3868 | 133.4615 |
| 43.3637 | 128.3788 |

First higher mode

Mean model

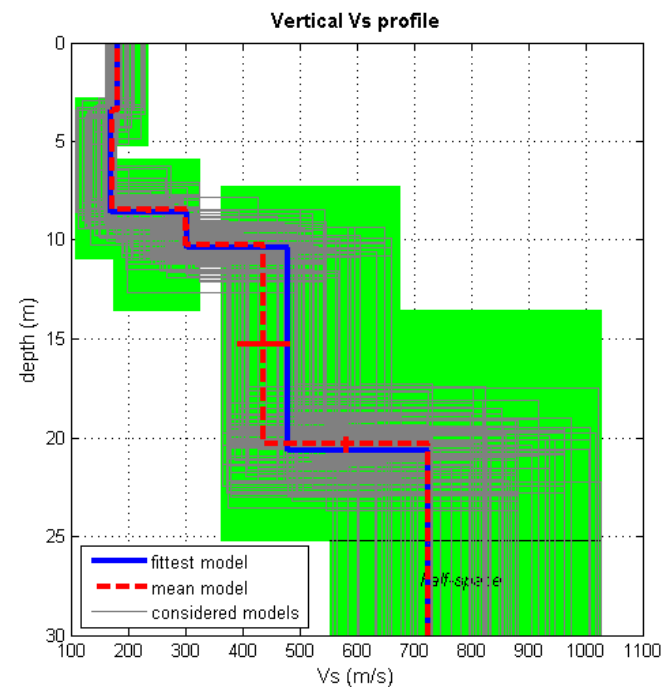
| | |
|---------|----------|
| 7.24633 | 365.9886 |
| 14.6677 | 215.547 |
| 16.6468 | 191.2831 |
| 19.6153 | 187.4632 |
| 23.5734 | 185.9212 |
| 25.5524 | 182.312 |
| 41.5084 | 142.0712 |

winMASW Standard
Surface Wave Analysis

www.eliosoft.it

PROFILO DI VELOCITA' 1D Vs,eq (Vs30)= 332 m/s

Categoria Sottosuolo NTC : C



COMUNE DI PORTO TORRES

PROVINCIA DI SASSARI

**INTERVENTI DI MANUTENZIONE STRAORDINARIA (REVAMPING)
DELL'IMPIANTO DI DEPURAZIONE CONSORTILE DI PORTO TORRES.
REALIZZAZIONE DI UN NUOVO LOCALE PER LA DISIDRATAZIONE DEI FANGHI**

OGGETTO: SPECIFICHE TECNICHE STRUMENTAZIONE

ALLEGATO N°

1

GEOFISICA SARDEGNA s.r.l.s.

Via Cavour,59 - Sassari C.F.-P.I.: 02778270906

DIRETTORE TECNICO:

Dott. Geol. Stefano Bellaveglia

SPECIFICHE TECNICHE DELLA STRUMENTAZIONE

SISMOGRAFO PASI mod. 16S24

| | |
|----------------------------------|--|
| Processore | Pentium 233MMX Intel |
| Trattamento dati | Floating Point 32-bit |
| Ambiente operativo | Windows 3.11 |
| Interfaccia multilingue | Italiano, Inglese Francese Spagnolo, ecc... |
| Numero canali | 24 |
| Puntamento | VersaPoint Mouse |
| Display | VGA a colori in LCD-TFT 10.4" |
| Supporto di memorizzazione | Hard-Disk 4.3 Gb |
| Risoluzione di acquisizione | 16 bit (24 bit con sovracampionamento e post Processing) |
| Stampante (opzionale) | Seiko DPU-411 thermal printer |
| Porte dati esterne | Rs232, stampante, tastiera |
| Sonde ambiente interne | Temperatura e umidità relativa |
| Protezioni interne | Termiche prevenzione e controllo surriscaldamenti (Warning sul display e blocco) |
| Compatibilità dati acquisiti | SEG-2 |
| Connettori geofoni 1 o 2 | Standard NK-27-21C |
| Alimentazione | 12Vdc (batteria o alimentatore, opz.) |
| Allarme | Di batteria scarica |
| Temperatura Funzionamento | 0°C - 55°C |
| Immagazzinaggio | - 55°C - 150°C |
| Umidità | 5% - 90% non condensante |
| Dimensioni fisiche | (482.6 x 355.6 x 196.8 mm) |
| Peso | da 14 a 20 Kg |
| Durata acquisizione | 32, 64, 128, 256, 512, 1024, 2048 16000,00 ms |
| Tempi di campionamento | 31, 62, 125, 250, 500, 1000, 2000 µs |
| Filtri in acquisizione e uscita: | |
| - <i>Passo alto</i> | 25, 35, 50, 70, 100, 140, 200, 280, 400 Hz |
| - <i>Passo basso</i> | 250, 500, 1000 Hz |
| - <i>Notch</i> | 50, 60, 150, 180 Hz |

FUNZIONI SPECIALI

- Enhancement con/senza preview totale/parziale
- Marker per determinare posizione nel tempo dei punti video
- A.G.C.
- Delay
- Pre-trigger: 0 - 100 ms (step di 1 ms)
- Post-trigger: 0 - 16.000 ms (step di 1 ms)
- **Inversione di polarità**
- Noise-monitor con visualizzazione real time a cascata
- Visualizzazione vecchie acquisizioni (ordinate per ora e data)
- Visualizzazione in wiggle-trace o variable-area
- Funzione di determinazione risorse disponibili sullo strumento in funzione dello spazio libero su disco
- Trace-size automatica o manuale per ogni canale
- Le acquisizioni sono automaticamente registrate sullo strumento
- Massima acquisizione: 1.024.000 campioni/acquisizione
- Calibrazioni automatiche
- Doppia auto-taratura offset
- Taratura ingressi su tensioni di riferimento
- Taratura guadagno
- Massimo range di tensione in ingresso: +/- 5V

SPECIFICHE DI ACQUISIZIONE

Risoluzione 16 Bit reali

| | |
|----------------|--------|
| Guadagno = 1 | 97 dB |
| Guadagno = 5 | 101 dB |
| Guadagno = 10 | 105 dB |
| Guadagno = 20 | 105 dB |
| Guadagno = 50 | 105 dB |
| Guadagno = 100 | 105 dB |

Larghezza di Banda 5KHz (qualunque guadagno)

Rumore di sistema

| | |
|-------------|---|
| GUADAGNO | RUMORE DI SISTEMA (Compreso quello di quantizzazione) |
| - da 2 a 10 | 0.6 LSBrms |
| - 20 | 0.7 LSBrms |
| - 50 | 1.1 LSBrms |
| - 100 | 2.0 LSBrms |

GEOFONI

Sonde geofoniche da foro n. 2 Geofoni triassiali 10 Hz collegati rigidamente a distanza di 1.0 m
n. 1 geofono triassiale mod. GEOSTUFF. BHG-3
orientazione automatica

Geofoni verticali

| | |
|-----------|--------------|
| Quantità | n. 25 |
| Marca | OYO-Geospace |
| Frequenza | 14Hz |

Geofoni verticali

| | |
|-----------|------------------|
| Quantità | n. 25 |
| Marca | PASI CDJ - Z 4.5 |
| Frequenza | 4.5 Hz |

Geofoni orizzontali

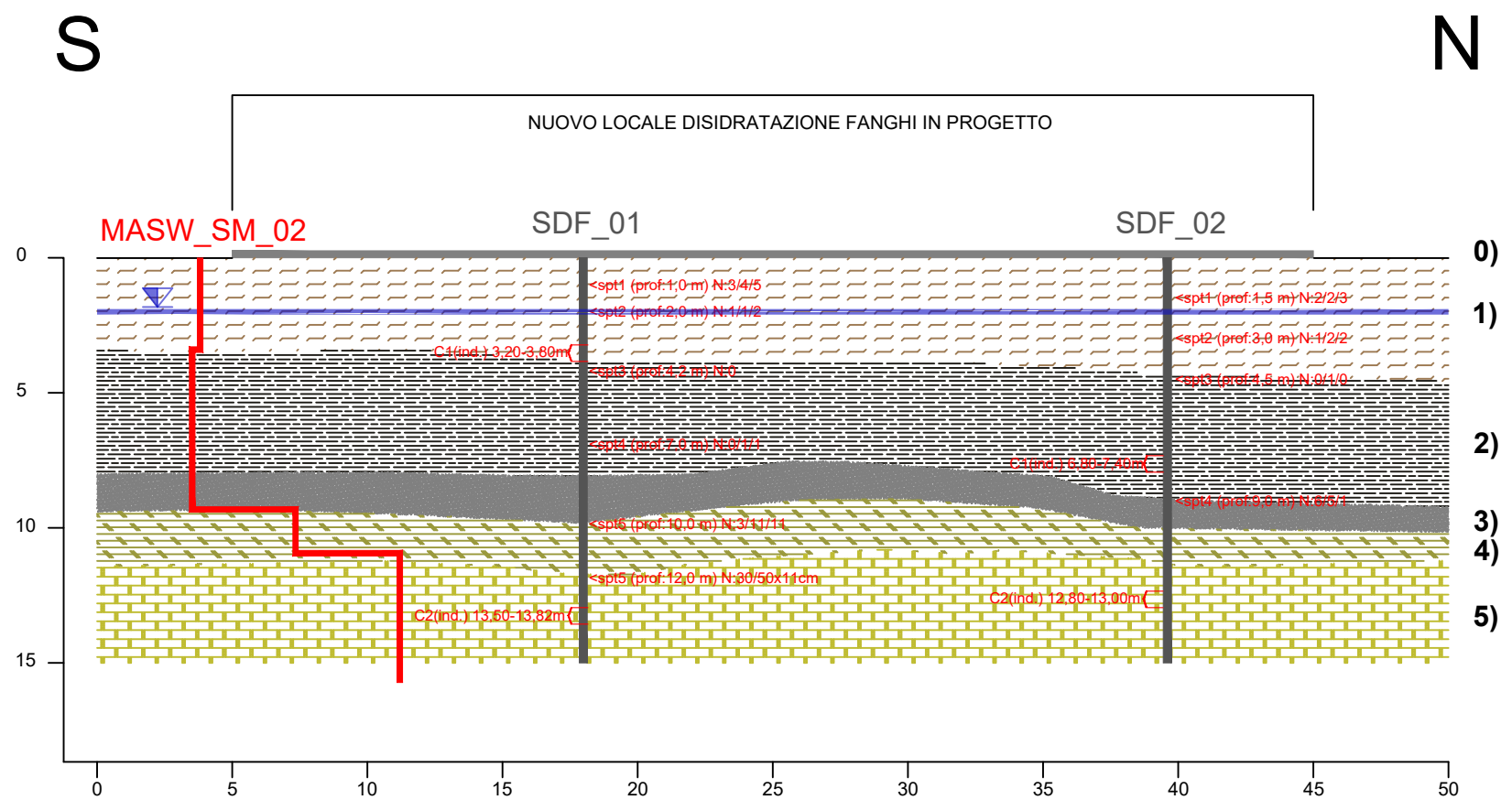
| | |
|-----------|-------------|
| Quantità | n. 25 |
| Marca | MARK |
| Frequenza | 14Hz |

Geofono starter

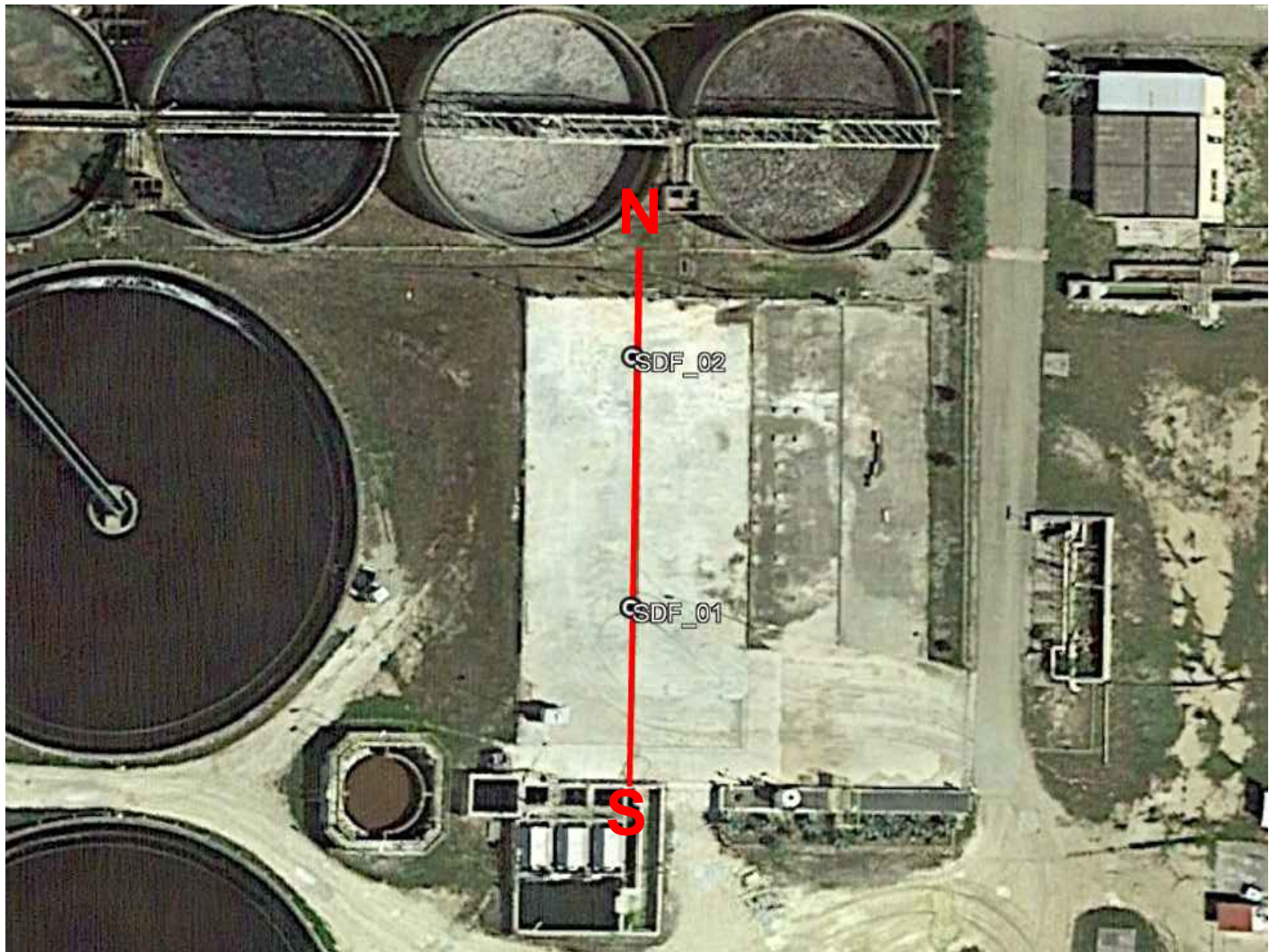
ENERGIZZATORI

Per onde P - SH

Mazza da 8 Kg
Sistema a caduta libera con massa da 100 Kg
Sistema idraulico con massa accelerata semovente



Ubicazione sezione



SEZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA NUOVO LOCALE DISIDRATAZIONE FANGHI

LEGENDA:

- 0) Platea esistente
- 1) Materials di riporto costituiti sabbie con argille ghiaioso-limose con clasti di natura calcareo-marnosa
- 2) Argille con limi sabbiose colore grigio scuro nerastro, prive di consistenza, sature
- 3) Sabbie di colore grigio, sciolte o poco addensate;
- 4) Calcareniti giallastre alterate;
- 5) Calcareniti più o meno vacuolari lapidee, colore giallastro.