



REGIONE TOSCANA

DIREZIONE DIFESA DEL SUOLO E PROTEZIONE CIVILE
SETTORE ASSETTO IDROGEOLOGICO

INTERVENTI DI SISTEMAZIONE IDRAULICA DEL SISTEMA DEI CORSI D'ACQUA BALBANO DOGAIA CASTIGLIONCELLO, IN COMUNE DI LUCCA (LU)

INTERVENTO PER LA REALIZZAZIONE DELL'IMPIANTO DI SOLLEVAMENTO DI NOZZANO - I LOTTO

PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO

DIRIGENTE RESPONSABILE DEL CONTRATTO

Ing. Gennarino Costabile

RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO

Ing. Francesco Piani

UFFICIO DI PROGETTAZIONE



*Studio INGEEO
Ingegneri e Geologi Associati
Via Acquacalda 840/A - 55100 Lucca
Telefono 0583 - 48682
Telefax 0583 - 464539
E-mail ingegneri@ingeo.it*

Dott. Ing. ENRICO FAVILLA

Ordine degli Ingegneri della Provincia di Lucca n.1248/A

Dott. Geol. LUIGI GIAMMATTEI

Ordine degli Ingegneri della Regione Toscana n.381

Collaboratori:

ING. ALESSANDRO GIORGI

ING. SIMONE MARTINELLI

GEOL. MARIANNA GENOVESI

CODICE PROGETTO

DA2014LU0004

CIG: 826073917A

CUP: D66B19007920001

OGGETTO ELABORATO

Relazione geologica e geotecnica

SCALA ELABORATO

| | Soggetto competente | Data | Firma | ELABORATO |
|------------|---|----------------|-------|-----------|
| Emesso | Il geologo incaricato: Luigi Giammattei | Settembre 2020 | | REL B.1 |
| Visionato | | | | |
| Confermato | | | | |

Firenze, Via di Novoli 26, 50127 FI

SOMMARIO

| | | |
|--------------|---|-----------|
| 1 | PREMESSA E DATI DI PROGETTO | 2 |
| 2 | INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO | 4 |
| 3 | INQUADRAMENTO NORMATIVO | 6 |
| 3.1 | INQUADRAMENTO SOVRACOMUNALE | 6 |
| 3.2 | INQUADRAMENTO COMUNALE | 7 |
| 3.2.1 | REGOLAMENTO URBANISTICO | 7 |
| 3.2.2 | PIANO STRUTTURALE | 8 |
| 4 | INQUADRAMENTO SISMICO | 10 |
| 4.1 | PERICOLOSITÀ SISMICA DI RIFERIMENTO PER IL TERRITORIO NAZIONALE | 10 |
| 4.2 | ZONAZIONE SISMICA | 11 |
| 4.3 | AZIONE SISMICA DELL'AREA DI PROGETTO | 13 |
| 5 | INDAGINI GEOGNOSTICHE PER LA CARATTERIZZAZIONE DEL SITO E MODELLO GEOTECNICO | 14 |
| 5.1 | SONDAGGIO | 15 |
| 5.2 | CAMPIONE | 17 |
| 5.3 | PROVE PENETROMETRICHE | 17 |
| 5.3.1 | PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA (CPTM) | 17 |
| 5.3.2 | PROVA PENETROMETRICA DINAMICA SUPERPESANTE (DPSH) | 18 |
| 5.3.3 | FALDA | 18 |
| 5.4 | INDAGINI SISMICHE | 19 |
| 5.4.1 | INDAGINE MASW | 19 |
| 5.4.2 | INDAGINE DI RUMORE AMBIENTALE A STAZIONE SINGOLA (HVSr) | 19 |
| 6 | LOCALIZZAZIONE SISMICA E CALCOLO AZIONE SISMICA | 20 |
| 7 | MODELLO GEOLOGICO - GEOTECNICO | 21 |
| 8 | CONTENIMENTO DELL'IMPERMEABILIZZAZIONE DEL SUOLO | 22 |
| 9 | VERIFICA FRONTE DI SCAVO | 23 |
| 10 | LIQUEFAZIONE | 24 |
| 11 | CONCLUSIONI | 25 |

TAVOLA

Tavola 1 - Sezione geologica e geotecnica

ALLEGATI

- All.1 – Relazione sulle indagini geognostiche (Bierregi srl)
- All.2 - Tabulati di calcolo dei parametri e coefficienti sismici (azione sismica)
- All.3 - Tabulati di calcolo della verifica alla liquefazione
- All.4 - Taylor

1 PREMESSA E DATI DI PROGETTO

Per incarico ricevuto dalla Regione Toscana, il sottoscritto geol. Luigi Giammattei, redige la presente relazione geologica e geotecnica sulle indagini di supporto al progetto di realizzazione del un nuovo impianto di sollevamento da realizzarsi a Nozzano nel Comune di Lucca (Figura 1-1).

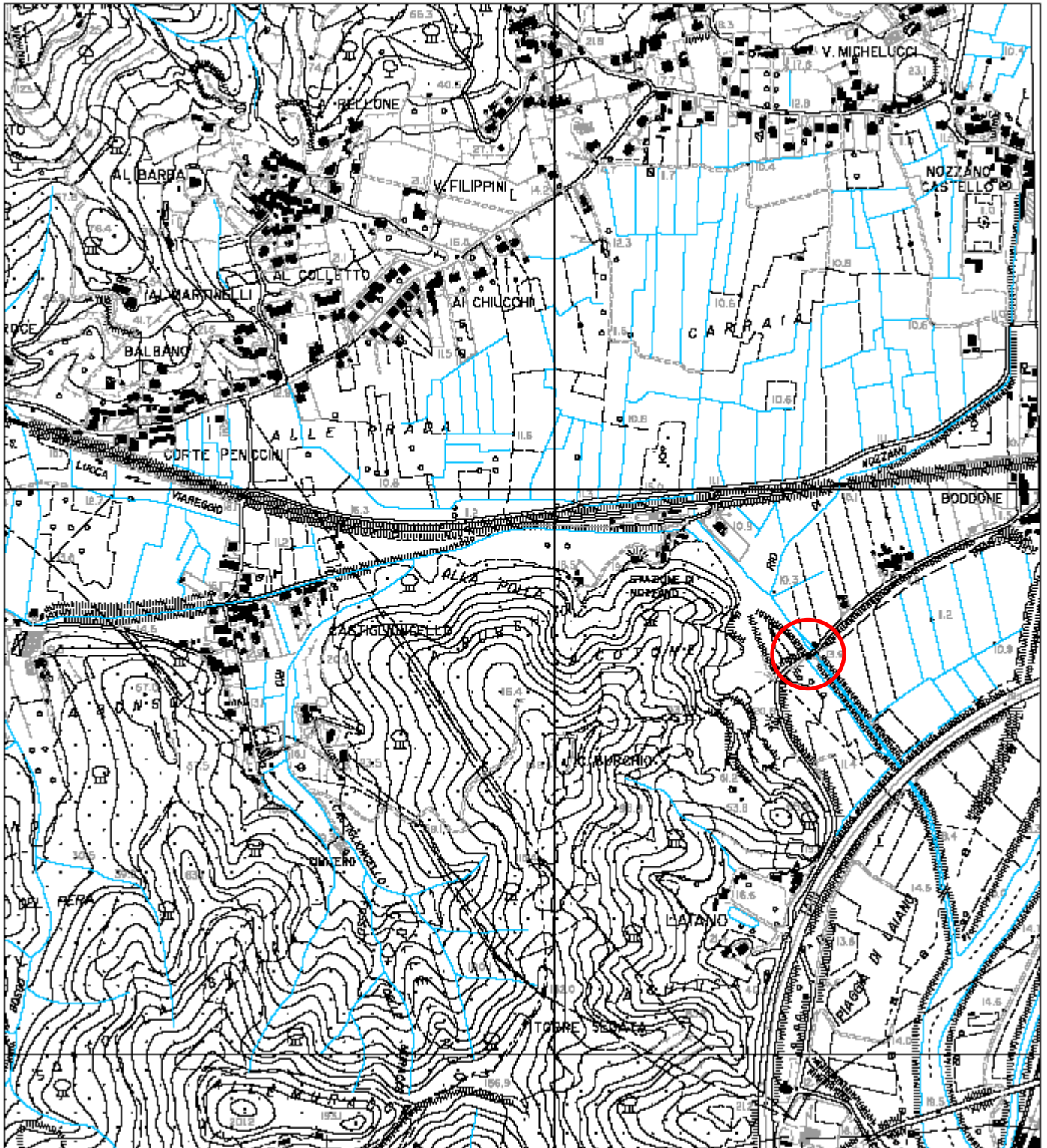


Figura 1-1 Corografia (1:10.000). In rosso l'area oggetto di intervento.

Nello specifico, l'intervento consiste nella realizzazione di un nuovo edificio di alloggi pompe di dimensioni pari a 21x13 m, con un'altezza di ca. 9.5 m. Il volume complessivo dell'edificio è quindi pari a ca. 2593,00 m³: ai sensi del DPGR 36R/2009 l'intervento rientra quindi in classe di indagine 2.

Per maggiori dettagli sugli interventi in oggetto si rimanda agli elaborati progettuali.

Per la caratterizzazione geotecnica e sismica dei terreni in corrispondenza dell'intervento è stata eseguita una apposita campagna geognostica situ specifica composta da n. 1 sondaggio a carotaggio continuo con prelievo di campione per le analisi di laboratorio, n.1 prova penetrometrica statica, n.1 prova penetrometrica dinamica super-pesante, n.1 stesa sismica di tipo MASW e n.1 indagine sismica di rumore a stazione singola.

Si fa presente che, l'aggiornamento della classificazione sismica della Toscana, approvata con Del. GRT n° 421 del 26/05/2014 (pubblicata su BURT Parte Seconda n. 22 del 04.06.2014, inserisce il territorio comunale di Lucca in "Zona 3".

Per quanto riguarda il contenimento dell'impermeabilizzazione si fa presente che l'intervento trasformerà ca. 275 m² di superficie e pertanto è soggetto a quanto disposto dall'articolo 15 delle Norme Tecniche di Attuazione comunali.

L'intervento risulta inserito all'interno dell'area di tutela del reticolo idrografico della Regione Toscana (Figura 1-2) e pertanto deve rispettare le disposizioni riportate nell'articolo 3 della LR 41/2018.



Figura 1-2 - Estratto classificazione del reticolo regionale ai sensi della L.R. 79/2012

Art.3 – comma 2

Negli alvei, nelle golene, sugli argini e nelle aree comprendenti le due fasce di larghezza di dieci metri dal piede esterno dell'argine o, in mancanza, dal ciglio di sponda dei corsi d'acqua del reticolo idrografico di cui all'articolo 22, comma 2, lettera e), della l.r. 79/2012, nel rispetto della normativa statale e regionale di riferimento e delle condizioni di cui al comma 5, sono consentiti i seguenti interventi:

a) interventi di natura idraulica, quali in particolare:

- 1) trasformazioni morfologiche degli alvei e delle golene;
 - 2) impermeabilizzazione del fondo degli alvei;
 - 3) rimodellazione della sezione dell'alveo;
 - 4) nuove inalveazioni o rettificazioni dell'alveo.
- b) reti dei servizi essenziali e opere sovrappassanti o sottopassanti il corso d'acqua;
- c) opere finalizzate alla tutela del corso d'acqua e dei corpi idrici sottesi;
- d) opere connesse alle concessioni rilasciate ai sensi del regio decreto 11 dicembre 1933, n. 1775 (Approvazione del testo unico delle disposizioni di legge sulle acque e sugli impianti elettrici);
- e) interventi volti a garantire la fruibilità pubblica;
- f) itinerari ciclopedonali;
- g) opere di adduzione e restituzione idrica;
- h) interventi di riqualificazione ambientale.

L'intervento pertanto, ai sensi della suddetta legge, risulta fattibile.

Infine, l'area d'intervento risulta soggetta a "vincolo idrogeologico", come istituito dal R.D. n°3267 del 30.12.1923 e inserita, in parte, nelle aree boscate (Figura 1-3).

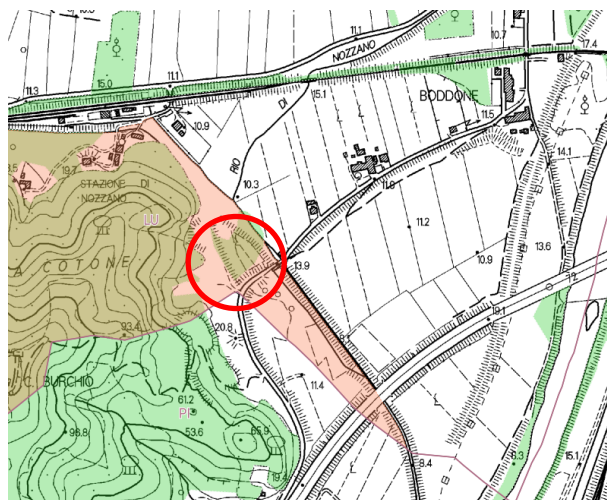


Figura 1-3- Estratto Sita – Vincolo Idrogeologico (da SITA Regione Toscana)

Nella presente Relazione Tecnica si verifica pertanto la compatibilità degli interventi in base al contesto geologico, geomorfologico, idrogeologico e sismico in cui si inseriscono.

2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO

L'area d'intervento ricade all'estremità occidentale della pianura lucchese al margine con le prime pendici collinari che bordano i monti pisani, alla quota media di circa 11 m s.l.m. (Figura 1-1).

La Piana di Lucca costituisce un bacino sedimentario intermontano, originato con lo sviluppo delle depressioni tettoniche che cominciarono a delinearsi nella struttura dell'Appennino Settentrionale a partire dal Miocene superiore. Tale

depressione, corrispondente ad un'area tettonicamente subsidente, fu sede di sedimentazione a partire dal Pliocene/Pleistocene inferiore. Dalla fine del Pliocene fino a tutto il Pleistocene inferiore la piana di Lucca era occupata da un vasto lago, che dette luogo alla sedimentazione di depositi fluvio-lacustri. Successivamente, con il prosciugamento del lago, la sedimentazione è stata principalmente influenzata dalla deposizione fluviale.

Dal punto di vista geologico-stratigrafico, l'area in esame si colloca su "depositi alluvionali attuali e recenti", depositi nel corso dell'Olocene dal fiume Serchio e dai suoi affluenti: tali depositi alluvionali sono costituiti in prevalenza da "ghiaie eterometriche, sabbie e limi di composizione generalmente poligenica dei terrazzi fluviali recenti – b1", denominati comunemente "bellettone" (Figura 2-1); al di sotto del "bellettone" si trova un livello di ghiaie e sabbie addensate, che costituiscono l'acquifero superficiale principale dell'intera Piana di Lucca.

Per quanto concerne l'assetto idrogeologico, secondo i dati relativi alle isopieze del tetto della falda riportate nella tavola QG 04 - centro - Carta idrogeologica e della vulnerabilità degli acquiferi allegata al Piano Strutturale, in questa zona la falda si attesta ad una quota di ca. 8.0 m slm, con una soggiacenza quindi di ca. 3 m dal p.c.

Nelle indagini eseguite (luglio 2020), la falda è stata individuata alla quota compresa tra 2.87 e 4.30 m dal p.c..

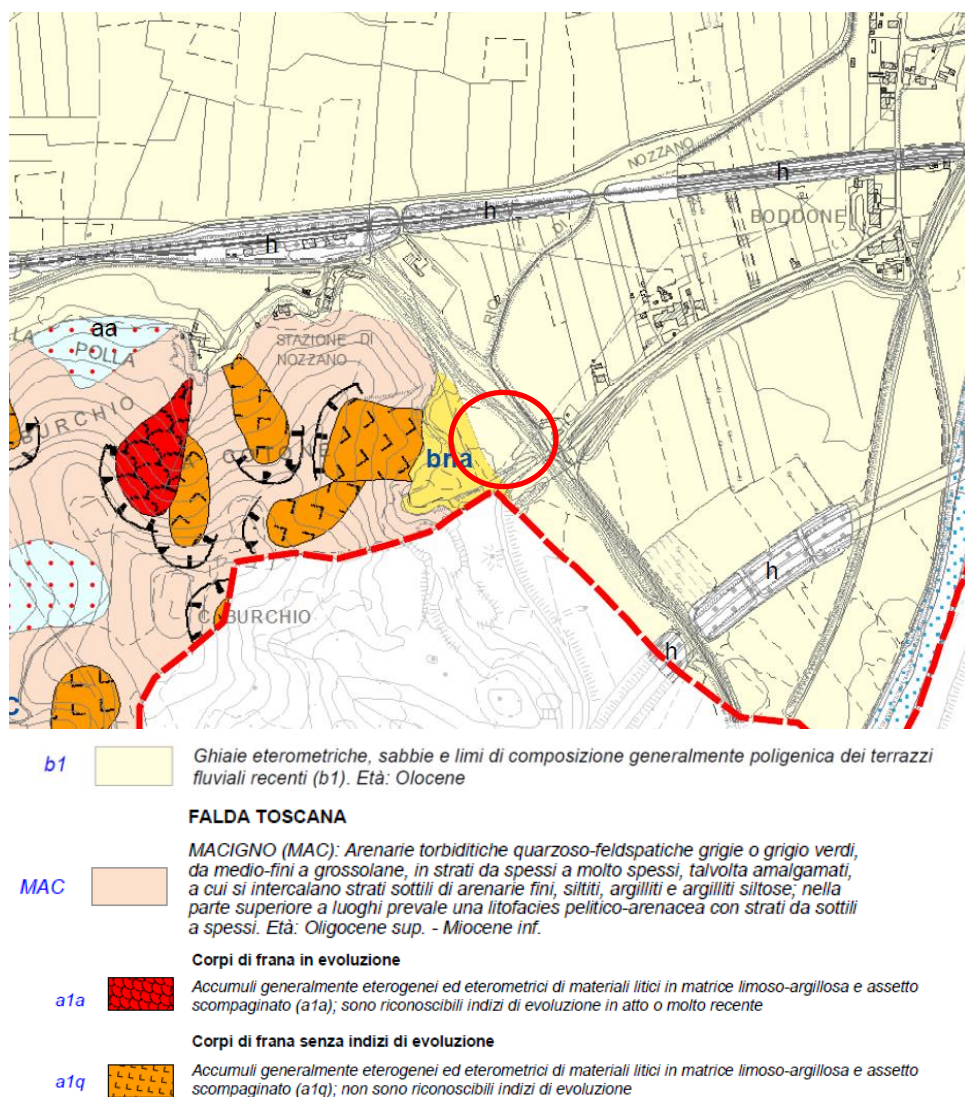


Figura 2-1 Estratto Carta geologica (PS Lucca). In rosso l'area in oggetto.

Di seguito viene riportato il quadro normativo relativo agli strumenti di pianificazione e gestione del territorio in cui si inseriscono gli interventi in oggetto.

Dal 17 febbraio 2017 risultano soppresse, per espressa disposizione di legge (rif. art. 51 comma 4 della legge n. 221/2015), tutte le Autorità di Bacino di cui alla legge 183/1989, e quindi, anche l'Autorità di Bacino del fiume Serchio sostituita dall'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale che, ai sensi della legge n. 221/2015, comprende, oltre al bacino del Serchio e dell'Arno, anche i bacini liguri, il bacino del Magra, e tutti i bacini toscani dal Carrione all'Albegna.

Secondo quanto riportato nella cartografia tematica prodotta dall'Autorità di Bacino del Fiume Serchio in merito alla pericolosità da frana (PAI) l'area in esame risulta inserita in **“Aree di Paleovalle”**, corrispondenti ad una **pericolosità P.F.1** (Figura 3-1), per la quale valgono le disposizioni riportate nell'art. 15 delle norme:

[...] l'edificabilità è condizionata ai vincoli esistenti sul territorio ed alla esecuzione di indagine geologica e geotecnica nei casi previsti dalla normativa vigente e/o dallo Strumento Urbanistico.



Figura 3-1 - Estratto Carta pericolosità alluvioni PGRA



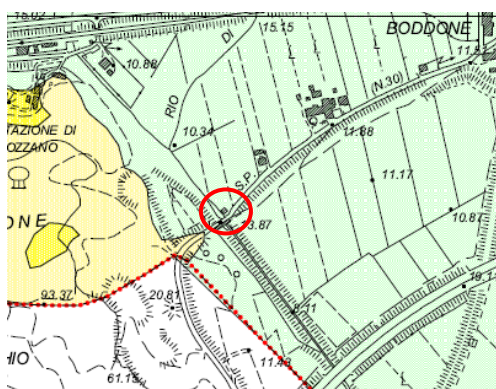
Figura 3-2 Estratto PAI AdB Serchio

3.2 Inquadramento comunale

3.2.1 Regolamento Urbanistico

Secondo le tavole allegate al Regolamento Urbanistico approvato con Del. C.C. n. 25 del 2004 per l'area si individuano le seguenti pericolosità :

- **Pericolosità geotecnica bassa ("classe 2I")**: Corrisponde ad una situazione geologico-tecnica apparentemente stabile sulla quale tuttavia permangono alcuni dubbi, prevalentemente di carattere geotecnico in relazione alle opere edilizie che potranno essere realizzate nell'area stessa, che comunque potranno essere chiariti a livello di indagine geognostica di supporto alla progettazione edilizia, svolta anche in riferimento ai fenomeni di ritiro e rigonfiamento dei terreni superficiali a prevalente componente argillosa (Figura 3-3).

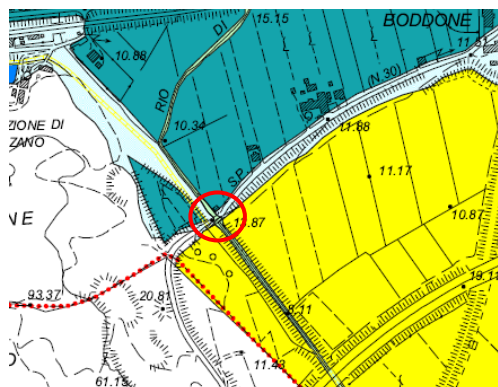


Pericolosità geotecnica delle aree di pianura

| | | | |
|--|----|-------|---|
| | 2I | BASSA | Corrisponde ad una situazione geologico-tecnica apparentemente stabile sulla quale tuttavia permangono alcuni dubbi, prevalentemente di carattere geotecnico in relazione alle opere edilizie che potranno essere realizzate nell'area stessa, che comunque potranno essere chiariti a livello di indagine geognostica di supporto alla progettazione edilizia, svolta anche in riferimento ai fenomeni di ritiro e rigonfiamento dei terreni superficiali a prevalente componente argillosa. |
|--|----|-------|---|

Figura 3-3– Estratto Carta della pericolosità geomorfologica (RU)

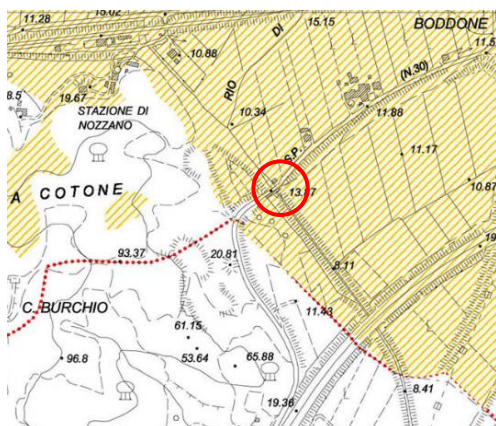
- **Pericolosità idraulica elevata ("classe 4I")**: Aree di pianura con notizie storiche di: eventi alluvionali frequenti o ricorrenti di classe III o superiore; ristagni stagionali, ricorrenti o frequenti di classe III o superiore (Figura 3-4).



| | Classe | Pericolosità | Caratteri |
|--|--------|--------------|---|
| | 1I | IRRILEVANTE | Aree collinari o montane sopraelevate di almeno 1 m rispetto al limite esterno dell'alveo di naturale esondazione o 2 m rispetto al ciglio di sponda, prive di notizie storiche di precedenti inondazioni o allagamenti da ristagno. |
| | 2I | BASSA | Aree di pianura: - prive di notizie storiche di precedenti inondazioni; - con notizie storiche di ristagni con frequenza ricorrente o inferiore di classe I. |
| | 3ai | MEDIO-BASSA | Aree di pianura con notizie storiche di: - eventi alluvionali ricorrenti o frequenti di classe I; - ristagni ricorrenti, frequenti od occasionali di classe II. |
| | 3bi | MEDIO-ALTA | Aree di pianura con notizie storiche di: - eventi alluvionali frequenti o ricorrenti di classe II. |
| | 4I | ELEVATA | Aree di pianura con notizie storiche di: - eventi alluvionali frequenti o ricorrenti di classe III o superiore; - ristagni stagionali, ricorrenti o frequenti di classe III o superiore. |
| | 4ao | ELEVATA | Alveo fluviale ordinario in modellamento attivo: porzione dell'alveo raggiungibile dalle piene stagionali, caratterizzata da ciottolame mobile, depositi sabbiosi e limosi sciolti; la vegetazione eventualmente presente è per lo più arbustiva. |
| | 4ag | ELEVATA | Aree golenali: fasce a lato dell'alveo, comprese tra le sponde del corso d'acqua e gli argini maestri, nelle quali le acque si espandono con andamento stagnante o comunque diverso da quello della corrente principale del fiume. |
| | 4ae | ELEVATA | Aree di naturale esondazione e di tutela dei caratteri ambientali dei corsi d'acqua: aree essenzialmente di fondovalle caratterizzate da indicatori idrogeomorfologici e valori biologici naturali, nelle quali il legame con il corso d'acqua è ancora evidente. |

Figura 3-4 – Estratto Carta della Pericolosità idraulica (RU)

- **Pericolosità sismica media ("classe 3I")**: aree non interessate da fenomeni attivi, suscettibili, per costituzione geologica e/o morfologica, di subire fenomeni di moderata amplificazione della sollecitazione sismica, senza deformazioni permanenti del suolo (Figura 3-4).



Pericolosità da fenomeni sismici

| | | |
|----|---------|--|
| 3t | MEDIA | Are non interessate da fenomeni attivi, suscettibili, per costituzione geologica e/o morfologica, di subire fenomeni di moderata amplificazione della sollecitazione sismica, senza deformazioni permanenti del suolo. |
| 4t | ELEVATA | Are interessate da fenomeni attivi, suscettibili, per costituzione geologica e/o morfologica, di subire deformazioni permanenti del suolo e/o fenomeni di elevata amplificazione della sollecitazione sismica. |

Figura 3-5 – Estratto Carta della Pericolosità sismica (Variante RU)

Per assegnare le fattibilità agli interventi in oggetto è stata consultata la matrice riportata nelle NTA della Variante straordinaria di salvaguardia del P.S. del 2012 e la matrice riportata nella Relazione tecnica della variante sismica del 2006, considerando un grado di esposizione “alto”.

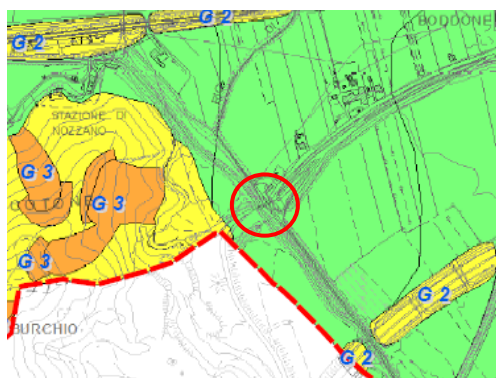
Le fattibilità risultanti, con le relative prescrizioni, sono riportate nella tabella seguente:

| | | |
|---|---|---|
| Fattibilità geomorfologica - geotecnica | 2I NESSUNA LIMITAZIONE | Approfondimento di indagine geotecnica richiesto soltanto a supporto dell'intervento diretto. |
| Fattibilità idraulica | 4iii FORTI LIMITAZIONI | Trasformazioni fisiche e funzionali di edifici o opere esistenti sono ammesse solo se non comportanti incrementi di rischio idraulico o, nel caso lo comportino, se dotati di accorgimenti progettuali e/o funzionali atti alla mitigazione del rischio medesimo. |
| Fattibilità sismica | 3tt POSSIBILI ALCUNE LIMITAZIONI | Indagini di approfondimento, condotte a norma del D.M. 11/03/88 e delle Norme tecniche per le costruzioni, richieste sia nel caso di intervento diretto che di piano attuativo. |

3.2.2 Piano Strutturale

Dalla consultazione della cartografia redatta a supporto del nuovo Piano Strutturale del Comune di Lucca, approvato definitivamente con Delibera del Consiglio Comunale n. 39 del 24.04.2017, le classi di pericolosità geomorfologica, sismica e idraulica individuate sono:

- **Pericolosità geomorfologica bassa (G.1):** aree in cui i processi geomorfologici e le caratteristiche litologiche, giaciture non costituiscono fattori predisponenti al verificarsi di processi morfoevolutivi. (Figura 3-6).



CLASSI DI PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA

| | Classe | Pericolosità | Caratteri |
|--|--------|---------------|--|
| | G.1 | BASSA | Are in cui i processi geomorfologici e le caratteristiche litologiche, giaciture non costituiscono fattori predisponenti al verificarsi di processi morfoevolutivi. |
| | G.2 | MEDIA | Are in cui sono presenti fenomeni franosi inattivi e stabilizzati (naturalmente o artificialmente), aree con elementi geomorfologici, litologici e giaciture dalla cui valutazione risulta una bassa propensione al dissesto, corpi detritici su versanti con pendenze inferiori al 25%. |
| | G.3 | ELEVATA | Are in cui sono presenti fenomeni quiescenti, aree con potenziale instabilità connessa alla giacitura, all'attività, alla litologia, alla presenza di acque superficiali e sotterranee, nonché a processi di degrado di carattere antropico; aree interessate da intensi fenomeni erosivi e da subsidenza, aree caratterizzate da terreni con scadenti caratteristiche geotecniche, corpi detritici su versanti con pendenze superiori al 25%. |
| | G.4 | MOLTO ELEVATA | Are in cui sono presenti fenomeni attivi e relative aree di influenza, aree interessate da collassi. |

Figura 3-6 – Estratto Carta della pericolosità geomorfologica (PS)

- **Pericolosità idraulica molto elevata (I.4):** area a pericolosità idraulica molto elevata con $Tr < 30$ anni (Figura 3-7).

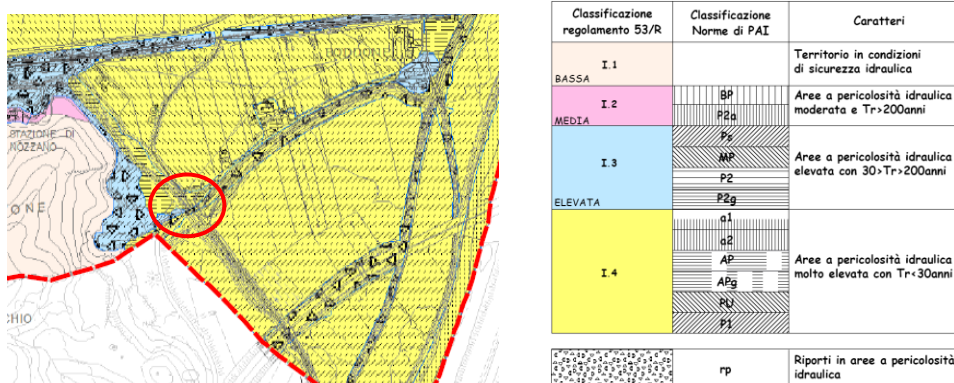


Figura 3-7 – Estratto Carta della pericolosità idraulica (PS)

- **Pericolosità sismica media (S.2):** zona esterna al perimetro studiato con la microzonazione. L'area tuttavia, per analogia con quelle adiacenti, può essere inserita in pericolosità sismica media S.2 corrispondenti a zone suscettibili di instabilità di versante inattiva e che pertanto potrebbero subire una riattivazione dovuta ad effetti dinamici quali possono verificarsi in occasione di eventi sismici; zone stabili suscettibili di amplificazioni locali (che non rientrano tra quelli previsti per la classe di pericolosità sismica S.3) (Figura 3-8).

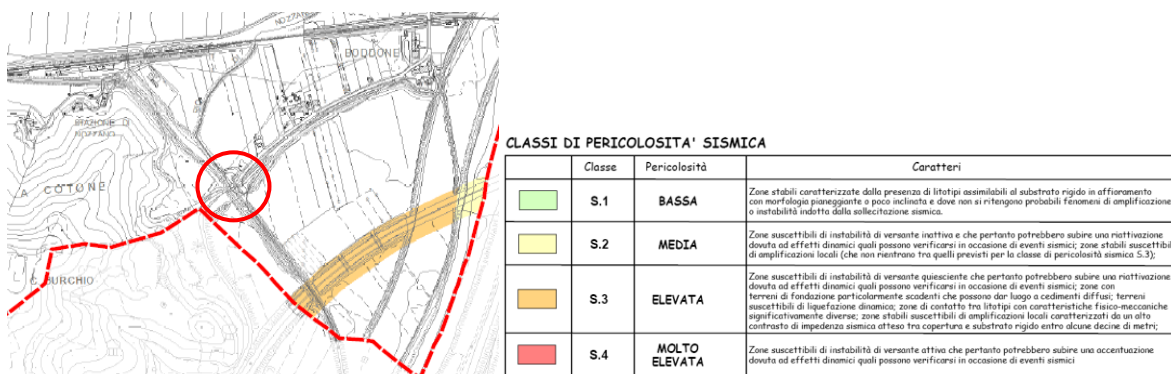


Figura 3-8 – Estratto Carta dalla pericolosità sismica

Nell' "Allegato C alla Disciplina di piano Pericolosità idrogeologica e sismica, disposizioni applicative" contenuto nel nuovo Piano Strutturale sono riportate le seguenti prescrizioni in funzione delle classi di pericolosità assegnate:

Art. 4 - comma 4.5. Nelle situazioni caratterizzate da pericolosità geomorfologia bassa (G1): possono non essere dettate condizioni di fattibilità dovute a limitazioni di carattere geomorfologico condizioni di attuazione sono indicate in funzione delle specifiche indagini da eseguirsi a livello edificatorio al fine di non modificare negativamente le condizioni ed i processi geomorfologici presenti nell'area e nei suoi dintorni significativi.

Art. 5 - comma 2.3. Nelle situazioni caratterizzate da pericolosità sismica media e bassa (S2 – S1): non è necessario che il piano operativo o i piani attuativi dettino condizioni di fattibilità specifiche per la fase attuativa o per la valida formazione del titolo abilitativo all'attività edilizia.

Art. 6 - comma 4.1 Nelle situazioni caratterizzate da pericolosità idraulica molto elevata (I4): le trasformazioni ammissibili sono disciplinate dalla legge regionale 21 maggio 2012, n. 21 e s.m.i. Nel territorio di competenza del bacino del Serchio le trasformazioni ammissibili devono rispettare anche i contenuti delle norme del PAI, con particolare riferimento agli artt. 20,21,22, 22bis e 24.

Per quanto riguarda le prescrizioni di carattere geomorfologico e sismico si fa presente che per la caratterizzazione geotecnica dei terreni su cui si impostano gli interventi è stata eseguita una specifica campagna geognostica dettagliatamente descritta nel cap. 5.

Con la presente Relazione Geologica si ottempera pertanto alle prescrizioni comunali e sovracomunali e pertanto l'intervento risulta fattibile sotto il profilo geologico-geomorfologico, sismico e idraulico.

4 INQUADRAMENTO SISMICO

4.1 Pericolosità sismica di riferimento per il territorio nazionale

La pericolosità sismica è lo scuotimento del suolo atteso in un dato sito con una certa probabilità di eccedenza in un dato intervallo di tempo, ovvero la probabilità che un certo valore di scuotimento si verifichi in un dato intervallo di tempo. Questo tipo di stima si basa sulla definizione di una serie di elementi di input (quali catalogo dei terremoti, zone sorgente, relazione di attenuazione del moto del suolo, ecc.) e dei parametri di riferimento (per esempio: scuotimento in accelerazione o spostamento, tipo di suolo, finestra temporale, ecc.).

A seguito dell'Ordinanza PCM 3274/2003 (GU n.108 dell'8 maggio 2003) l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia ha realizzato la Mappa di Pericolosità sismica 2004 (MPS04) che descrive la pericolosità sismica attraverso il parametro dell'accelerazione massima attesa con una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni su suolo rigido e pianeggiante. Dopo la sua approvazione da parte della Commissione Grandi Rischi del Dipartimento della Protezione Civile nella seduta del 6 aprile 2004, la mappa MPS04 è diventata ufficialmente la mappa di riferimento per il territorio nazionale con l'emanazione dell'Ordinanza PCM 3519/2006 (G.U. n.105 dell'11 maggio 2006) (Figura 4-1). A seguito di tale classificazione il territorio del Comune di Lucca era stato inserito in zona 3 corrispondente ad una accelerazione massima al suolo compresa tra 0.125 e 150g. Basandosi sui valori di accelerazione proposti dalla mappa di pericolosità sismica MPS04, a seguito all'Ordinanza PCM 3519/2006, le Regioni e le Province Autonome hanno potuto aggiornare le pericolosità del proprio territorio per individuare le soglie che definiscono il limite tra una zona sismica e un'altra.

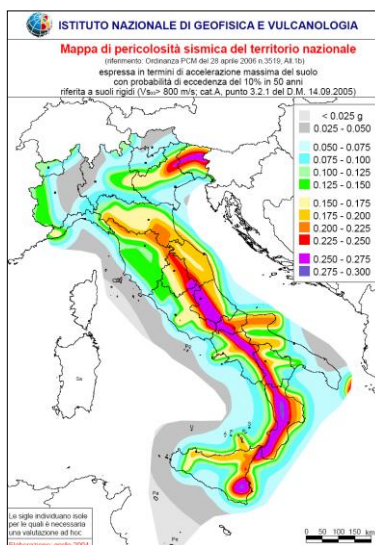


Figura 4-1- La Mappa di Pericolosità sismica 2004 (MPS04).

A tal proposito la Regione Toscana con delibera di GRT n° 431 del 19.06.06, approvava la riclassificazione sismica del territorio regionale, applicando (prima fra tutte le regioni italiane) i criteri nazionali riportati nel suddetto O.P.C.M. 3519 del 28 aprile 2006 e attualmente aggiornata con Deliberazione GRT n. 421 del 26/05/2014, pubblicata sul BURT Parte Seconda n. 22 del 04.06.2014, per la quale il Comune di Lucca risulta classificato sismico e collocato in “**zona 3**”, riprendendo la precedente classificazione del 2006.

La classificazione sismica nazionale aggiornata al 2015, consultabile sul sito del Dipartimento della Protezione Civile, è riportata nella Figura 4-2 sottostante.

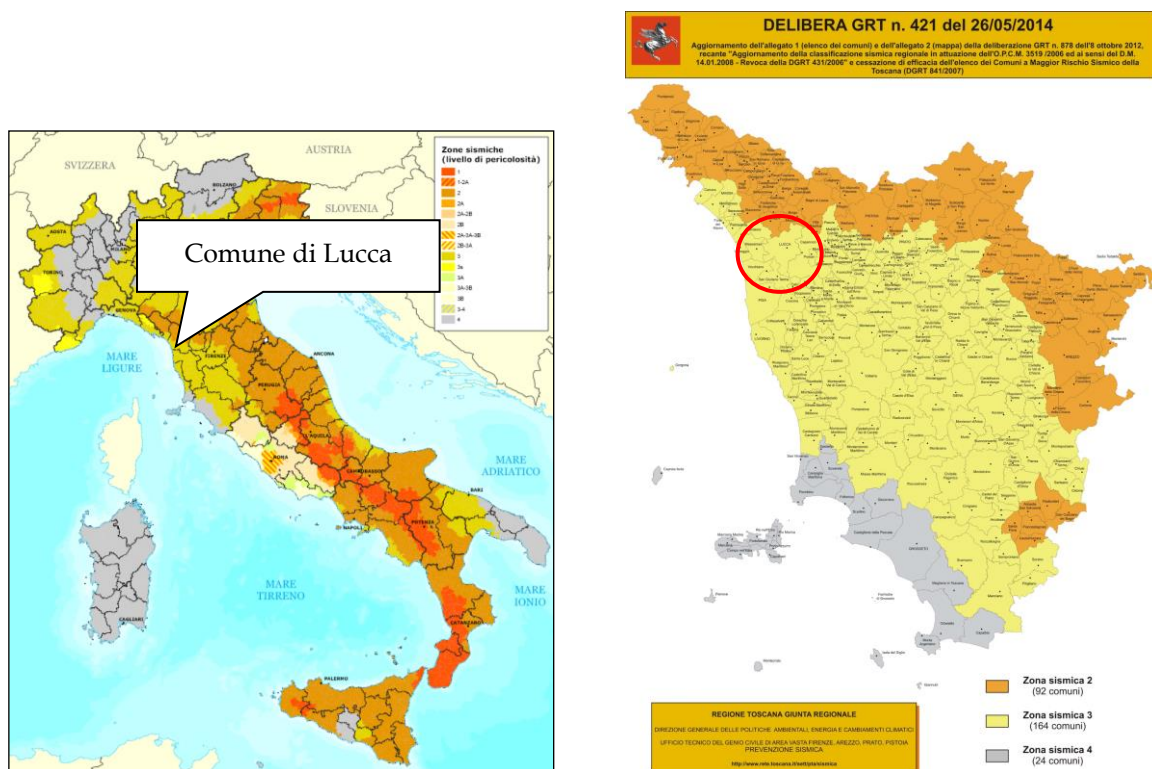


Figura 4-2-Classificazione sismica nazionale aggiornata al 2015 secondo le normative regionali sismiche; Figura 4-3- Classificazione sismica Regione Toscana.

4.2 Zonazione sismica

Nell'ambito della realizzazione della Mappa di Pericolosità MPS04, l'INGV ha realizzato una nuova zonizzazione sismogenetica, denominata ZS9, a partire da una sostanziale rivalutazione della precedente zonizzazione ZS4 realizzata da Meletti et alii. nel 2000, alla luce delle evidenze di tettonica attiva e delle valutazioni sul potenziale sismogenetico acquisite negli ultimi anni.

Le zone sismogenetiche individuate con la ZS9 sono 36 (da 9 01 a 9 36) (Figura 4-4) ed in particolare il territorio comunale di Lucca di nostro interesse, rientra nella zona simogenetica 16 (916) – Versilia-Chianti per la quale è stata osservata una magnitudo massima di 5.68 (Figura 4-5).

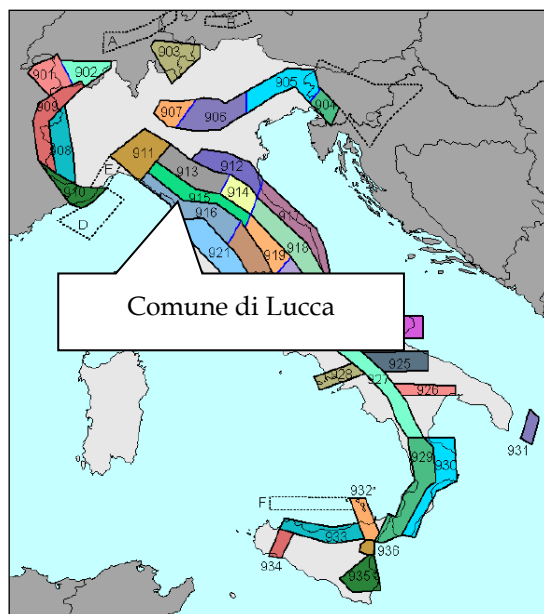


Figura 4-4- Zonazione sismogenetica ZS9.

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|----------------------------|------|----------------|----------------|----------------------------|---------------------------|-------|------------|-------|------------|
| nome ZS | N ZS | DISS2 MwMax | CPTI2 MwMax | CPTI2 MwMax (classe) | CPTI2 completo 04.2 | Az1 | Mw Max1 | Az2 | Mw Max2 |
| Savoia | 901 | | 5.79 | 5.68 | 5.68 | +1(a) | 5.91 | +2(d) | 6.14 |
| Vallese | 902 | | 6.10 | 6.14 | 6.14 | | 6.14 | | 6.14 |
| Grigioni-Valtellina | 903 | | 5.79 | 5.68 | 5.22 | +3(b) | 5.91 | +4(d) | 6.14 |
| Trieste -Monte Nevoso | 904 | | 5.71 | 5.68 | 5.68 | | 5.68 | +2(d) | 6.14 |
| Friuli -Veneto Orientale | 905 | 6.4 | 6.66 | 6.60 | 6.60 | | 6.60 | | 6.60 |
| Garda-Veronese | 906 | 6.2 | 6.49 | 6.60 | 6.60 | | 6.60 | | 6.60 |
| Bergamasco | 907 | 5.9 | 5.67 | 5.68 | 5.68 | G | 5.91 | +2(d) | 6.14 |
| Piemonte | 908 | | 5.67 | 5.68 | 5.68 | | 5.68 | +2(d) | 6.14 |
| Alpi Occidentali | 909 | | 5.54 | 5.45 | 5.45 | +1(a) | 5.68 | +3(d) | 6.14 |
| Nizza-Sanremo | 910 | 6.3 | 6.29 | 6.37 | 6.37 | | 6.37 | | 6.37 |
| Tortona-Bobbio | 911 | | 5.67 | 5.68 | 5.68 | | 5.68 | +2(d) | 6.14 |
| Dorsale Ferrarese | 912 | 6.2 | 5.88 | 5.91 | 5.91 | G | 6.14 | G | 6.14 |
| Appennino Emiliano-Romagn. | 913 | | 5.85 | 5.91 | 5.91 | | 5.91 | +1(d) | 6.14 |
| Forlivese | 914 | | 5.97 | 5.91 | 5.91 | | 5.91 | +1(d) | 6.14 |
| Garfagnana-Mugello | 915 | 6.4 | 6.49 | 6.60 | 6.60 | | 6.60 | | 6.60 |
| Versilia-Chianti | 916 | | 5.52 | 5.45 | 5.45 | +1(c) | 5.68 | +3(d) | 6.14 |
| Rimini-Ancona | 917 | 6.1 | 5.94 | 5.91 | 5.91 | G | 6.14 | G | 6.14 |
| Medio-Marchigiana/Abruzz. | 918 | | 6.23 | 6.14 | 6.14 | +1(a) | 6.37 | +1(a) | 6.37 |
| Appennino Umbro | 919 | 6.0 | 6.33 | 6.37 | 6.37 | | 6.37 | | 6.37 |
| Val di Chiana-Ciociaria | 920 | | 5.57 | 5.68 | 5.45 | +1(b) | 5.68 | +3(d) | 6.14 |
| Etruria | 921 | | 5.91 | 5.91 | 5.91 | | 5.91 | +1(d) | 6.14 |
| Colli Albani | 922 | | 5.53 | 5.45 | 5.45 | | 5.45 | | 5.45 |
| Appennino Abruzzese | 923 | 6.7 | 6.99 | 7.06 | 7.06 | | 7.06 | | 7.06 |
| Molise-Gargano | 924 | 6.7 | 6.73 | 6.83 | 6.83 | | 6.83 | | 6.83 |
| Ofanto | 925 | | 6.72 | 6.83 | 6.83 | | 6.83 | | 6.83 |
| Basento | 926 | 5.8 | 5.84 | 5.91 | 5.91 | | 5.91 | +1(d) | 6.14 |
| Sannio-Irpinia -Basilicata | 927 | 6.8 | 6.96 | 7.06 | 7.06 | | 7.06 | | 7.06 |
| Ischia-Vesuvio | 928 | | 5.78 | 5.68 | 5.68 | +1(a) | 5.91 | +1(a) | 5.91 |
| Calabria Tirrenica | 929 | 7.0 | 7.24 | 7.29 | 7.29 | | 7.29 | | 7.29 |
| Calabria Ionica | 930 | 6.0 | 6.60 | 6.60 | 6.60 | | 6.60 | | 6.60 |
| Canale d'Otranto | 931 | | 6.90 | 6.83 | 6.83 | | 6.83 | | 6.83 |
| Eolie-Patti | 932 | 6.1 | 6.06 | 6.14 | 6.14 | | 6.14 | | 6.14 |
| Sicilia settentrionale | 933 | | 5.89 | 5.91 | 5.91 | +1(c) | 6.14 | +1(c) | 6.14 |
| Belice | 934 | | 6.12 | 6.14 | 6.14 | | 6.14 | | 6.14 |
| Iblei | 935 | | 7.41 | 7.29 | 7.29 | | 7.29 | | 7.29 |
| Etna | 936 | | 5.30 | 5.22 | 5.22 | +1(a) | 5.45 | +1(a) | 5.45 |

Figura 4-5- Tabella riassuntiva di Mmax (Gruppo di Lavoro (2004). Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003. Rapporto Conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma, aprile 2004, 65 pp. + 5 appendici).

Mmax1 – magnitudo "osservata; Mmax2 – magnitudo "cautelativa".

4.3 Azione sismica dell'area di progetto

Come già indicato, l'aggiornamento della classificazione sismica della Toscana, approvata con Del. GRT n° 421 del 26/05/2014 (pubblicata su BURT Parte Seconda n. 22 del 04.06.2014, inserisce il territorio comunale di Lucca in "Zona 3".

La valutazione dell'azione sismica di progetto va definita, secondo il nuovo DM 17.01.2018 (NTC18), attraverso specifiche analisi di Risposta Sismica Locale (RSL). In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà del terreno siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab 3.2.II delle norme, è possibile fare riferimento ad un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio V_s .

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

| Categoria | Caratteristiche della superficie topografica |
|-----------|--|
| A | Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m. |
| B | Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s. |
| C | Depositi di terreni a grana grossa 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. |

I valori di V_s sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni compresi nel volume significativo.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{s,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione (3.2.1 delle NTC18):

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

con:

h_i spessore dell' i -esimo strato;

$V_{s,i}$ velocità delle onde di taglio nell' i -esimo strato;

N numero di strati;

H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro $V_{s,30}$, ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

5 INDAGINI GEOGNOSTICHE PER LA CARATTERIZZAZIONE DEL SITO E MODELLO GEOTECNICO

Al fine di caratterizzare i terreni oggetto d'intervento da un punto di vista stratigrafico, geotecnico e sismico è stata eseguita una specifica campagna geognostica composta da:

- n° 1 Sondaggio a carotaggio continuo con prelievo campione e prove SPT in foro
- n° 1 Prova penetrometrica statica meccanica (CPTm);
- n° 1 Prova penetrometrica dinamica superpesante (DPSH);
- n° 1 Analisi Multicanale delle Onde Superficiali (MASW - Onde di Love);
- n° 1 Indagine di rumore ambientale a stazione singola (HVSr)

Tutte le indagini geognostiche sono state realizzate dalla ditta Bierregi s.r.l. di Lucca in possesso dell'attestazione SOA categoria OS 20-B - Indagini geognostiche, ed operante in regime di qualità UNI ISO 9001-2008.

L'ubicazione delle indagini è riportata nella figura Figura 5-1 seguente.

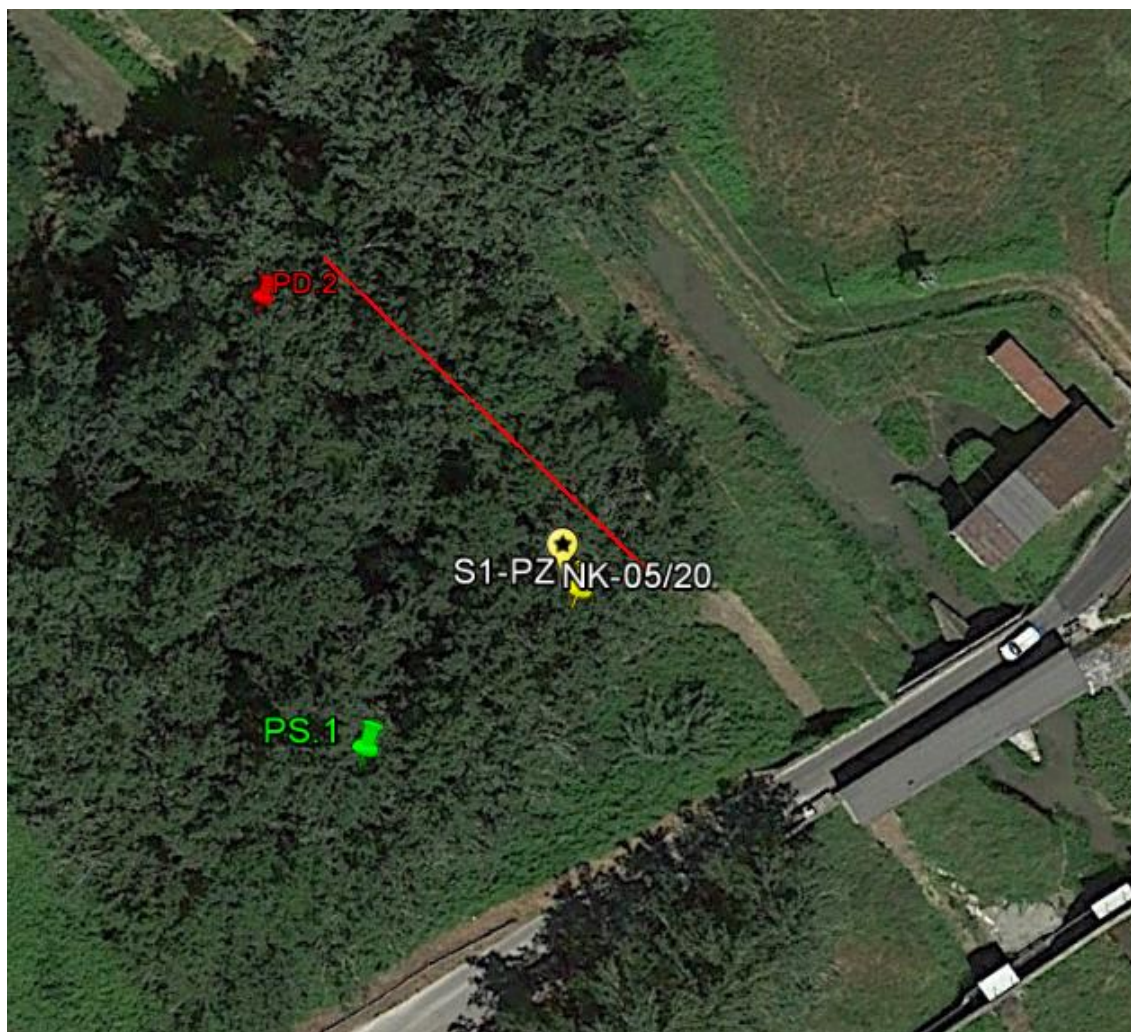


Figura 5-1 – Ubicazione indagini (in verde la prova penetrometrica statica, in rosso la prova penetrometrica dinamiche e la stesa sismica MASW ed in giallo il sondaggio e la misura di rumore)

5.1 Sondaggio

Il sondaggio, realizzato secondo le "Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche - AGI, 1977" e "Raccomandazioni ISSMGE", è stato eseguito mediante una Sonda CMW MK 600.

Il sondaggio ha raggiunto la profondità di 20 metri con avanzamento a carotaggio continuo e nel corso della sua esecuzione, sotto la direzione costante del geologo di cantiere, sono state effettuate le seguenti operazioni:

- raccolta in apposite cassette catalogatrici del materiale estratto;
- descrizione del materiale estratto e ricostruzione della stratigrafia di dettaglio dei terreni attraversati;
- prelievo di n.1 campione di terreno indisturbato;
- esecuzione di n.4 prove S.P.T. standard;
- documentazione fotografica.

Il sondaggio è stato attrezzato con tubo piezometrico per consentire la misurazione ed il monitoraggio della falda nel tempo (Figura 5-2).

I dati relativi al sondaggio eseguito sono schematicamente riportati di seguito:

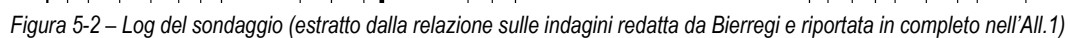
| n° sondaggio | Profondità (m) | n° SPT | n° Campioni | Piezometro | Inclinometro | n° cassette | Avanzamento |
|--------------|----------------|--------|-------------|------------|--------------|-------------|---------------------|
| S1 | 20.0 | 4 | 1 | si | no | 4 | Carotaggio continuo |

Durante l'esecuzione del sondaggio geognostico sono state eseguite n. 4 prove SPT standard; di seguito sono riportati i dati raccolti ed il valore dei parametri geotecnici ricavati dagli stessi (Tabella 5-1).

| Sondaggio | N° SPT | Profondità indagine | N1 | N2 | N3 | NSPT |
|-----------|--------|---------------------|----|----|----|------|
| S1 | 1 | 6.00 | 2 | 4 | 5 | 9 |
| | 2 | 9.00 | 2 | 2 | 4 | 6 |
| | 3 | 12.00 | 5 | 5 | 8 | 13 |
| | 4 | 15.00 | 3 | 5 | 7 | 12 |

| CORRELAZIONI PARAMETRI GEOTECNICI E SPT - SONDAGGIO S1 | | | | | | | | | | | |
|--|-----------------|----------------------|---|--------------|-----------------|-------------------|----------------------------------|----------------------------|--------------------------------|----------------|-----------------------|
| | | Peck e Hanson (1953) | Ed - Menzebach e Malcev (terreni granulari) | | | | Ed - Sanglerat (Terreni coesivi) | | Cu - Sanglerat (terreni coesi) | | |
| | | | Sabbia fine | Sabbia media | Sabbia ghiaiosa | Sabbia con ghiaia | Argille a media plasticità | Argille a bassa plasticità | Argille a media plasticità | Argille limose | Argille limo-sabbiose |
| Nspt | γ (t/m3) | ϕ | Ed | Ed | Ed | Ed | Ed | Ed | Cu | Cu | Cu |
| 9 | 1.90 | 29.70 | 69.86 | 78.14 | 132.14 | 144.56 | 45.00 | 54.00 | 1.08 | 0.90 | 0.54 |
| 6 | 1.90 | 28.80 | 59.24 | 64.76 | 100.76 | 109.04 | 30.00 | 36.00 | 0.72 | 0.60 | 0.36 |
| 13 | 2.00 | 30.90 | 84.02 | 95.98 | 173.98 | 191.92 | 65.00 | 78.00 | 1.56 | 1.30 | 0.78 |
| 12 | 2.00 | 30.60 | 80.48 | 91.52 | 163.52 | 180.08 | 60.00 | 72.00 | 1.44 | 1.20 | 0.72 |

Tabella 5-1- Tabella di correlazione tra i valori di SPT e i parametri geotecnici secondo vari autori



La falda misurata nel piezometro installato nel sondaggio è risultata, in data 14 luglio 2020, alla profondità di 4.30 m dal p.c..

5.2 Campione

Al fine di caratterizzare da un punto di vista geotecnico i terreni investigati, sono state eseguite analisi geotecniche di laboratorio su n.1 campione indisturbato prelevato alla profondità compresa tra 3.2 e 3.7 m di profondità. Le analisi geotecniche sono state eseguite dal laboratorio certificato SOCOTEC ITALIA SRL - Dipartimento di Ferrara. Attualmente i risultati di tali indagini non sono ancora pervenuti.

Nelle successive fasi progettuali il modello geotecnico elaborato in questa sede verrà implementato, e se necessario modificato, tenendo conto anche di tali dati.

5.3 Prove penetrometriche

5.3.1 Prova penetrometrica statica meccanica (CPTm)

La prova penetrometrica di tipo statico con punta meccanica di tipo Begemann (CPTM), consente di rilevare, mediante una centralina elettronica, i valori della Resistenza di punta (q_c) e della Resistenza laterale locale (f_s). Dal valore dei parametri q_c e f_s è possibile ricavare il "Rapporto Begemann" (q_c/f_s), con il quale è possibile risalire alla granulometria dei terreni attraversati e ai principali parametri geomeccanici del terreno; in particolare il valore dell'angolo di attrito (ϕ), per gli orizzonti prevalentemente incoerenti (limi, sabbie e ghiaie), quello della coesione non drenata (C_u), per gli orizzonti prevalentemente coerenti (torbe, argille) e il coefficiente di compressibilità volumetrica (m_v), inverso del modulo edometrico (M_o), che consente la valutazione dei cedimenti indotti dalla presenza di sovraccarichi.

I risultati della prova statica sono riportati di seguito:

Prova penetrometrica Ps1

| Committente: | | Regione Toscana | | | | | | | | | | U.M.: kg/cm ² | | Data eseg.: 17/07/2020 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------|---------|--|------|---------------------|-----------|--------|---------|-------|-----------|-----------|---------|--------------------------|---------|--------------------------------|---------|---------|---------|---------|-----------|-----------|-----------|------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| Cantiere: | | Indagini geognostiche Impianto di sollevamento | | | | | | | | | | Pagina: 1 | | Data certificato: 24/07/2020 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Località: | | Loc. Cateratte, Nozzano - Lucca (LU) | | | | | | | | | | Elaborato: | | Falda: -2.87 m da quota inizio | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| NATURA COESIVA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | NATURA GRANULARE | | | | | | | | | |
| Prof. m | qc U.M. | qc/fs | zone | γ' t/m ³ | σ'Vo U.M. | Vs m/s | Cu U.M. | OCR % | Eu50 U.M. | Eu25 U.M. | Mo U.M. | Dr % | φSc (°) | φCa (°) | φKo (°) | φDB (°) | φDM (°) | φME (°) | F.L. U.M. | E'50 U.M. | E'25 U.M. | Mo U.M. | | | | | | | | | |
| 0.20 | -- | -- | | 1.85 | 0.04 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | | | | | | | | | |
| 0.40 | 49.0 | 23.7 | 4 | 2.01 | 0.08 | 240 | 1.63 | 99.9 | 277.7 | 416.5 | 147.0 | 100 | 43 | 42 | 39 | 37 | 45 | 31 | 81.7 | 122.5 | 147.0 | -- | | | | | | | | | |
| 0.60 | 40.0 | 13.9 | 4 | 2.00 | 0.12 | 222 | 1.33 | 99.9 | 226.7 | 340.0 | 120.0 | 93 | 42 | 39 | 36 | 34 | 42 | 30 | 66.7 | 100.0 | 120.0 | -- | | | | | | | | | |
| 0.80 | 53.0 | 21.5 | 4 | 2.01 | 0.16 | 247 | 1.77 | 99.9 | 300.3 | 450.5 | 159.0 | 95 | 43 | 39 | 36 | 34 | 42 | 31 | 88.3 | 132.5 | 159.0 | -- | | | | | | | | | |
| 1.00 | 41.0 | 19.2 | 4 | 2.00 | 0.20 | 224 | 1.37 | 70.6 | 232.3 | 348.5 | 123.0 | 81 | 41 | 36 | 34 | 31 | 40 | 30 | 68.3 | 102.5 | 123.0 | -- | | | | | | | | | |
| 1.20 | 19.0 | 57.6 | 4 | 1.92 | 0.24 | 168 | 0.78 | 27.8 | 131.8 | 197.8 | 58.1 | 50 | 37 | 32 | 29 | 27 | 36 | 27 | 31.7 | 47.5 | 57.0 | -- | | | | | | | | | |
| 1.40 | 17.0 | 15.9 | 2 | 1.97 | 0.28 | 161 | 0.72 | 21.0 | 123.0 | 184.5 | 54.1 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | | | | | | | | | |
| 1.60 | 13.0 | 21.7 | 2 | 1.93 | 0.31 | 145 | 0.60 | 14.3 | 102.8 | 154.2 | 46.5 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | | | | | | | | | |
| 1.80 | 21.0 | 21.0 | 4 | 1.93 | 0.35 | 174 | 0.82 | 18.1 | 140.0 | 210.0 | 63.0 | 44 | 37 | 30 | 27 | 25 | 34 | 27 | 35.0 | 52.5 | 63.0 | -- | | | | | | | | | |
| 2.00 | 15.0 | 20.5 | 2 | 1.95 | 0.39 | 154 | 0.67 | 12.2 | 113.3 | 170.0 | 49.5 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | | | | | | | | | |
| 2.20 | 16.0 | 23.9 | 2 | 1.96 | 0.43 | 157 | 0.70 | 11.4 | 118.3 | 177.4 | 51.8 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | | | | | | | | | |
| 2.40 | 14.0 | 29.8 | 2 | 1.94 | 0.47 | 150 | 0.64 | 9.2 | 111.6 | 167.4 | 48.2 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | | | | | | | | | |
| 2.60 | 8.0 | 13.3 | 2 | 1.86 | 0.51 | 121 | 0.40 | 4.7 | 140.9 | 211.3 | 35.2 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | | | | | | | | | |
| 2.80 | 8.0 | 15.1 | 2 | 1.86 | 0.54 | 121 | 0.40 | 4.3 | 151.9 | 227.8 | 35.2 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | | | | | | | | | |
| 3.00 | 17.0 | 51.5 | 4 | 0.91 | 0.56 | 161 | 0.72 | 8.6 | 133.2 | 199.8 | 54.1 | 25 | 34 | 27 | 24 | 22 | 30 | 27 | 28.3 | 42.5 | 51.0 | -- | | | | | | | | | |
| 3.20 | 16.0 | 17.2 | 2 | 0.96 | 0.58 | 157 | 0.70 | 7.9 | 140.1 | 210.2 | 51.8 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | | | | | | | | | |
| 3.40 | 78.0 | 36.6 | 3 | 0.96 | 0.60 | 286 | -- | -- | -- | -- | -- | 76 | 40 | 34 | 31 | 29 | 38 | 33 | 130.0 | 195.0 | 234.0 | -- | | | | | | | | | |
| 3.60 | 103.0 | 30.9 | 3 | 1.00 | 0.62 | 317 | -- | -- | -- | -- | -- | 85 | 41 | 35 | 32 | 30 | 39 | 34 | 171.7 | 257.5 | 309.0 | -- | | | | | | | | | |
| 3.80 | 121.0 | 23.0 | 4 | 1.07 | 0.64 | 337 | 4.03 | 62.5 | 685.7 | 1028.5 | 363.0 | 89 | 42 | 36 | 33 | 31 | 40 | 35 | 201.7 | 302.5 | 363.0 | -- | | | | | | | | | |
| 4.00 | 140.0 | 35.0 | 3 | 1.06 | 0.66 | 356 | -- | -- | -- | -- | -- | 94 | 42 | 36 | 34 | 31 | 40 | 36 | 233.3 | 350.0 | 420.0 | -- | | | | | | | | | |
| 4.20 | 131.0 | 23.4 | 4 | 1.07 | 0.68 | 347 | 4.37 | 63.7 | 742.3 | 1113.5 | 393.0 | 91 | 42 | 36 | 33 | 31 | 40 | 35 | 218.3 | 327.5 | 393.0 | -- | | | | | | | | | |
| 4.40 | 102.0 | 32.6 | 3 | 1.00 | 0.70 | 316 | -- | -- | -- | -- | -- | 81 | 41 | 34 | 32 | 30 | 39 | 34 | 170.0 | 255.0 | 306.0 | -- | | | | | | | | | |
| 4.60 | 101.0 | 50.5 | 3 | 1.00 | 0.72 | 315 | -- | -- | -- | -- | -- | 80 | 41 | 34 | 31 | 29 | 39 | 34 | 168.3 | 252.5 | 303.0 | -- | | | | | | | | | |
| 4.80 | 18.0 | 18.0 | 2 | 0.98 | 0.74 | 164 | 0.75 | 6.3 | 193.5 | 290.2 | 56.2 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | | | | | | | | | |
| 5.00 | 12.0 | 25.5 | 2 | 0.92 | 0.76 | 141 | 0.57 | 4.4 | 212.9 | 319.3 | 44.6 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | | | | | | | | | |
| 5.20 | 18.0 | 15.0 | 2 | 0.98 | 0.78 | 164 | 0.75 | 6.0 | 207.4 | 311.2 | 56.2 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | | | | | | | | | |
| 5.40 | 15.0 | 20.5 | 2 | 0.95 | 0.80 | 154 | 0.67 | 5.0 | 221.2 | 331.7 | 49.5 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | | | | | | | | | |
| 5.60 | 6.0 | 15.0 | 1 | 0.46 | 0.81 | 109 | 0.30 | 1.8 | 36.8 | 55.2 | 9.0 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | | | | | | | | | |
| 5.80 | 6.0 | 18.2 | 2 | 0.82 | 0.83 | 109 | 0.30 | 1.8 | 171.5 | 257.2 | 28.8 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | | | | | | | | | |
| 6.00 | 7.0 | 25.9 | 2 | 0.84 | 0.84 | 115 | 0.35 | 2.1 | 194.3 | 291.4 | 32.2 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | | | | | | | | | |
| 6.20 | 8.0 | 29.6 | 2 | 0.86 | 0.86 | 121 | 0.40 | 2.4 | 214.4 | 321.6 | 35.2 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | | | | | | | | | |
| 6.40 | 7.0 | 17.5 | 2 | 0.84 | 0.88 | 115 | 0.35 | 2.0 | 196.2 | 294.3 | 32.2 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | | | | | | | | | |
| 6.60 | 6.0 | 22.2 | 2 | 0.82 | 0.89 | 109 | 0.30 | 1.6 | 173.7 | 260.6 | 28.8 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | | | | | | | | | |
| 6.80 | 7.0 | 25.9 | 2 | 0.84 | 0.91 | 115 | 0.35 | 1.9 | 197.8 | 296.7 | 32.2 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | | | | | | | | | |
| 7.00 | 6.0 | 15.0 | 1 | 0.46 | 0.92 | 109 | 0.30 | 1.5 | 37.7 | 56.6 | 9.0 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | | | | | | | | | |
| 7.20 | 6.0 | 18.2 | 2 | 0.82 | 0.94 | 109 | 0.30 | 1.5 | 174.8 | 262.3 | 28.8 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | | | | | | | | | |
| 7.40 | 7.0 | 25.9 | 2 | 0.84 | 0.95 | 115 | 0.35 | 1.8 | 199.6 | 299.5 | 32.2 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | | | | | | | | | |
| 7.60 | 15.0 | 20.5 | 2 | 0.95 | 0.97 | 154 | 0.67 | 3.9 | 272.4 | 408.4 | 49.5 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | | | | | | | | | |
| 7.80 | 7.0 | 13.2 | 1 | 0.46 | 0.98 | 115 | 0.35 | 1.7 | 43.3 | 64.9 | 10.5 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | | | | | | | | | |
| 8.00 | 13.0 | 32.5 | 4 | 0.88 | 1.00 | 145 | 0.60 | 3.4 | 280.3 | 420.4 | 46.5 | 2 | 31 | 23 | 19 | 18 | 26 | 26 | 21.7 | 32.5 | 39.0 | -- | | | | | | | | | |

dove Q_c è il valore medio della Resistenza statica alla punta (Kg/cm^2); Q_c/f_s è il valore medio del rapporto Begemann; N_{spt} è il valore medio del numero di colpi equivalenti alla prova standardizzata; R_{pd} è il valore medio della Resistenza dinamica alla punta (Kg/cm^2); ϕ è il valore medio dell'angolo di attrito interno ($^\circ$); C_u è il valore medio della coesione non drenata (Kg/cm^2); mv è il valore medio del coefficiente di compressibilità volumetrica (cm^2/Kg); γ è il valore medio del peso di volume del terreno (tonn/m^3).

La prova penetrometrica di tipo dinamico super pesante (DPSH) consiste nell'infiggere a percussione una punta troncoconica standardizzata nel terreno, valutando ogni 20 cm il numero dei colpi (N20) necessari all'avanzamento; successivamente, in base al numero di colpi N20 equiparati al valore standardizzato NSPT (mediante un coefficiente correttivo che nel caso specifico risulta pari a $\beta_t=1.521$), viene calcolato il valore dei principali parametri geomeccanici (φ =angolo di attrito; E =modulo edometrico; γ =peso in volume del terreno).

DR % = densità relativa α' (°) = angolo di attrito efficace E' (kg/cm²) = modulo di deformazione drenato W% = contenuto d'acqua
e (-) = indice dei vuoti C_u (kg/cm²) = coesione non drenata γ_{sat} , γ_d (t/m³) = peso di volume saturo e secco (rispettivamente) del terreno
 V_s (m/sec) = Velocità onde di taglio G (kg/cm²) = Modulo di taglio dinamico Q (kg/cm²) = $[Rpd/Chi]$ [15>=Chi>=20] capacità portante Sanglerat 1972

| Indagine | Livello da p.c. (m) |
|----------|---------------------|
| S1-pz | -4.30 |
| Ps1 | -2.87 |
| Pd2 | -4.19 |

5.4 Indagini sismiche

5.4.1 Indagine MASW

Al fine di fornire una precisa definizione della categoria di suolo di fondazione è stata eseguita, nell'area in oggetto, una prospezione sismica con metodologia MASW. Questo tipo di indagine consente di caratterizzare le proprietà elastiche dei materiali ottenendo quindi la classificazione del terreno di fondazione in base alle nuove norme antisismiche (NTC 2018).

Il bedrock sismico ($V_s > 800$ m/s) è stato individuato alla profondità di 25.7 m. La V_s equivalente, a partire dal piano campagna è risultata pari a 242 m/s.

Se si riesegue il calcolo a partire dal piano di fondazione di progetto, considerato per semplicità tutto alla quota di -4.3 m dal p.c., la v_s equivalente risulta pari a 276 m/s.

In entrambi i casi, ai sensi del D.M. 17.01.2018, i terreni in oggetto in **Categoria di Suolo 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 metri".

Per ulteriori dettagli si rimanda all'allegato 1.

5.4.2 Indagine di rumore ambientale a stazione singola (HVSR)

Il rumore sismico ambientale deriva dalla composizione di molte sorgenti che agiscono in tempi diversi e in zone diverse. Nel campo di rumore vengono rappresentate sia le onde di volume che le onde di superficie; quest'ultime hanno però carattere dominante in quanto caratterizzate da minore attenuazione.

L'esito di questa prova è una curva sperimentale che rappresenta il valore del rapporto fra le ampiezze spettrali medie delle vibrazioni ambientali in funzione della frequenza di vibrazione. Le frequenze alla quali la curva H/V mostra dei massimi sono legate alle frequenze di risonanza del terreno al di sotto del punto di misura. Le indagini HVSR vengono impiegate, per caratterizzare le proprietà elastiche dei materiali ed evidenziare eventuali contrasti d'impedenza sismica presenti nel sottosuolo che sono causa dei fenomeni di amplificazione che si possono verificare durante un evento sismico. In generale, la stima della frequenza di risonanza sarà tanto più precisa quanto maggiore sarà il contrasto d'impedenza tra copertura e bedrock sismico.

È possibile stabilire una relazione fra lo spessore H dei terreni di copertura, la velocità media delle onde S all'interno di quest'ultimo (V_s) e la frequenza di risonanza fondamentale f_0 dello strato.

Nel caso in esame la misura eseguita ha dato il seguente risultato:

- Frequenza: $f_0 = 3.3$ Hz
- Ampiezza: $A = 3.6$

Considerando le correlazioni tra frequenza e profondità del substrato messe a punto da Albarello et alii nel 2010 (Tabella seguente), è possibile ipotizzare che il passaggio tra copertura e bedrock avvenga ad una profondità compresa tra 20 e 30 metri. Tale dato è concorde sia con le informazioni acquisite con il sondaggio, che fino alla profondità di 20 m non individua il substrato, che con quelle acquisite dal masw che individua il bedrock ($V_s > 800$ m/s) alla quota di 25.7 m dal p.c..

| f_0 (Hz) | h (m) | |
|------------|----------|--------------------|
| < 1 | > 100 | Centinaia di metri |
| 1 - 2 | 50 - 100 | |
| 2 - 3 | 30 - 50 | |
| 3 - 5 | 20 - 30 | Decine di metri |
| 5 - 8 | 10 - 20 | |
| 8 - 20 | 5 - 10 | |
| > 20 | < 5 | Qualche metro |

$H/V > 3$ Alto contrasto
 $2 < H/V < 3$ Basso Contrasto

Figura 5-3 – Abachi preliminari per una stima semi-qualitativa dello spessore coperture e dell'entità del contrasto sismico (Tabella A – Albarello et alii, 2010)

Per le caratteristiche tecniche dettagliate della strumentazione utilizzata e per la visione dei diagrammi e dei tabulati delle indagini eseguite, si rimanda al relativo allegato (All.1).

6 LOCALIZZAZIONE SISMICA E CALCOLO AZIONE SISMICA

L'aggiornamento della classificazione sismica della Toscana, approvato con Deliberazione GRT n. 421 del 26/05/2014 e pubblicata sul BURT Parte Seconda n. 22 del 04.06.2014, inserisce il territorio comunale di Lucca, in "Zona 3".

Per il calcolo dell'azione sismica ai sensi delle Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M.17.01.2018) è necessario attribuire, oltre alla categoria di suolo, che nel nostro caso è risultata essere la E, anche la categoria topografica; per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale; per configurazioni superficiali semplici si può adottare la classificazione secondo la Tab. 3.2.IV delle NTC, che, nel caso del sito in esame prevede l'attribuzione ad una "categoria topografica T1", avente fattore S_t 1.0.

E' necessario inoltre stabilire la "classe d'uso" dell'infrastruttura di progetto ai sensi delle NTC (e di conseguenza del coefficiente d'uso C_u , da Tab. 2.4.II NTC), e la "vita nominale" (Tab. 2.4.I NTC). Per la struttura in progetto è possibile attribuire, cautelativamente, una "classe d'uso" II (Coefficiente d'uso $C_u=1$) e una vita nominale $V_n \geq 50$ anni.

Inserendo questi parametri nel software "Geostru PS – parametri sismici" (http://www.geostru.com/geoapp/Parametri_Sismici.aspx), è stato possibile calcolare l'azione sismica di progetto, ricavando i coefficienti sismici per i vari Stati Limite, dei quali sono da prendere in considerazione quelli dello Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV):

Amax (accelerazione massima): 1.953 m/s²;
 Kh (coefficiente sismico orizzontale): 0.048;
 Kv (coefficiente sismico verticale): 0.024.

Per i dettagli si veda il relativo allegato (All.2).

7 MODELLO GEOLOGICO - GEOTECNICO

Nella tabella seguente vengono riportate le unità litologiche riconosciute sulla base della totalità delle indagini svolte, con i rispettivi parametri geotecnici attribuiti secondo una stima ragionata e cautelativa in accordo a quanto richiesto dal D.M. 17.01.2018.

| Unità litologiche | Profondità (m) | Descrizione | Parametri | | | | |
|-------------------|------------------|--|---------------------------------|---------------|-----------------------------|--|-----------------------------|
| | | | γ (t/m ³) | ϕ (°) | Cu (kg/cm ²) | c' [*] (kg/cm ²) | Mo (kg/cm ²) |
| U.Lit.A | Da 0.0 a 10.0 m | Limo sabbioso grigio-marrone con ghiaia e talvolta trovanti arenacei | 1.90 | 29 | 0.50 | 0.15 | 50 |
| U.Lit.B | Da 10.0 a 17.0 m | Sabbia medio-grossolana con ghiaia debolmente limosa | 1.95 | 32 | 0.35 | 0.03 | 250 |
| U.Lit.C | Da 17.0 a 20.0 m | Sabbia medio-grossolana debolmente limosa con ghiaia e abbondante materia organica | 1.90 | 30 | 0.30 | 0.03 | 150 |

γ è il peso di volume del terreno (tonn/m³), ϕ è l'angolo di attrito interno (°); Cu è la coesione non drenata (Kg/cm²); c' è la coesione drenata, Mo è il Modulo di compressibilità (Kg/cm², inverso del coefficiente di compressibilità).

*in assenza di dati diretti, aspettando i risultati delle analisi di laboratorio, la coesione è stata attribuita attraverso dati bibliografici. Per l'unità litotecnica C di cui non si hanno dati diretti sono stati considerati i parametri dell'unità soprastante cautelativamente ridotti.

La ricostruzione dell'andamento stratigrafico dell'area è schematizzata nella sezione di Tavola 1 allegata in calce di cui in Figura 7-1 è riportato uno stralcio.

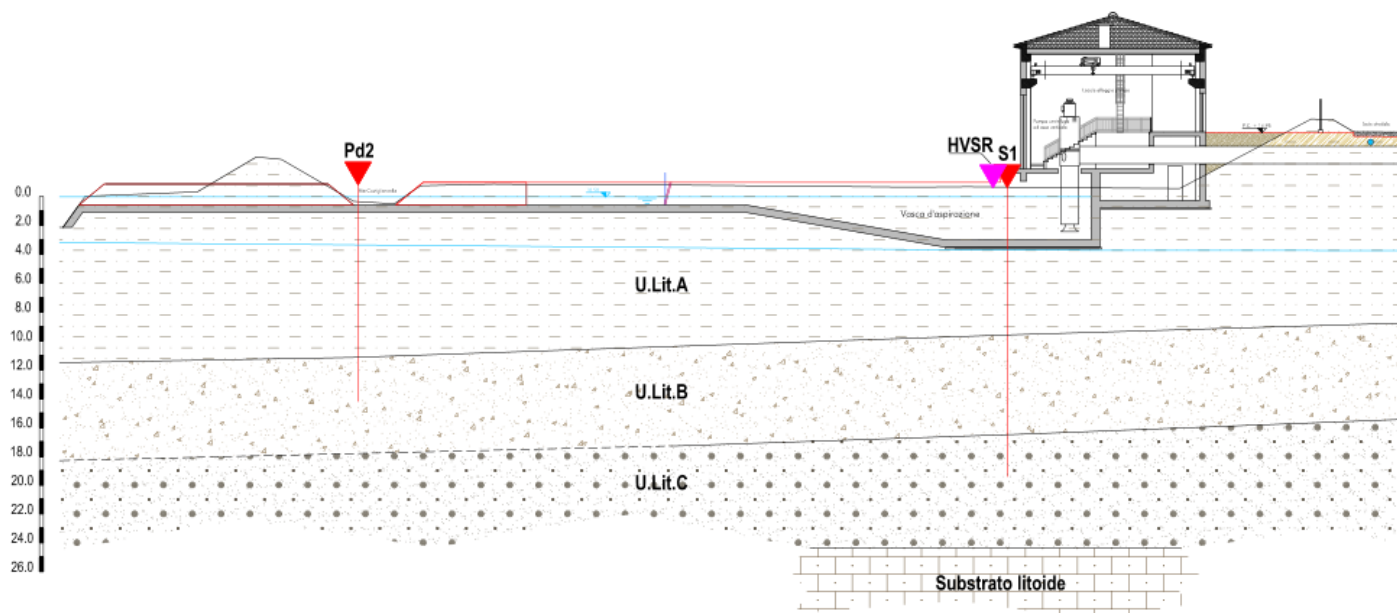


Figura 7-1 - Ricostruzione dell'andamento stratigrafico dell'area

8 CONTENIMENTO DELL'IMPERMEABILIZZAZIONE DEL SUOLO

Considerando che la realizzazione del manufatto di alloggio delle pompe apporterà una modifica delle attuali superfici scolanti di ca. 300 m², che passano da permeabile ad impermeabile, dovranno essere rispettate le disposizioni dell'art. 15 delle Norme comunali.

Nel suddetto articolo si ricavano i seguenti valori del coefficiente di deflusso per ogni tipologia di superficie scolante:

- per le superfici impermeabili il coefficiente di deflusso è pari a $\varphi = 1$
- per le superfici semipermeabili si ha $\varphi = 0,5$
- per le superfici permeabili (area verde) $\varphi = 0,2$.

Per il calcolo delle portate attualmente effluenti dal lotto ci riferiamo a periodi di ritorno pari a 20 anni, ad un tempo di scroscio pari ad un'ora e ad un'altezza d'acqua, precipitata durante l'intero evento piovoso considerato, pari a 60 mm.

Le portate effluenti allo stato attuale vengono calcolate con riferimento alla formula razionale:

$$Q = 0.002778 \cdot \frac{\varphi \cdot S \cdot h}{t_s}$$

dove:

- φ : è il coefficiente di afflusso alla rete
 S : è la superficie afferente espressa in ettari (ha)
 h : è l'altezza di pioggia nel tempo t_s , espressa in mm
 t_s : è il tempo di scroscio considerato espresso in ore
 Q : è la portata in m³/s

Sostituendo i valori dei coefficienti di permeabilità nella formula, considerando t_s pari a 1.0 ora e h pari a 60 mm, si ottengono le seguenti portate dello stato attuale e dello stato modificato:

stato attuale

$$Q_{att} = (0.2 \times 0.06 \times 300) = \underline{3.6 \text{ m}^3}$$

stato modificato

$$Q_{mod} = (1.0 \times 0.06 \times 300) = \underline{18.0 \text{ m}^3}$$

Portata da accumulare e smaltire all'ora:

$$Q_{mod} - Q_{att} = 18.0 - 3.6 = \underline{14.4 \text{ m}^3}$$

Considerando la tipologia di opera che si sta progettando, le acque di surplus idrico, raccolte dai pluviali, potranno essere recapitate direttamente nella vasca di aspirazione avente una capienza di oltre 100 m³ che sarà dotata di una pompa per il suo svuotamento. La vasca quindi, in periodo di non utilizzo delle idrovore, sarà praticamente sempre vuota o con un livello liquido molto basso e garantirà quindi abbondantemente la ritenzione dell'acqua derivante dalla trasformazione delle superfici. Lo scarico delle acque così trattenute avverrà nel rio Castiglioncello attraverso la pompa.

9 VERIFICA FRONTE DI SCAVO

Considerando che per la realizzazione della vasca di aspirazione dovrà essere eseguito uno scavo alla profondità massima di 4.20 m dal p.c., è opportuno effettuare una valutazione della stabilità delle pareti di scavo allo stato transitorio, ovvero durante la fase di cantiere, mediante la formula di Taylor (metodo del cerchio di attrito, Taylor 1936), che riportiamo di seguito:

$$F_s = c/\gamma \times N_s/H$$

dove: F_s = fattore di sicurezza; c = coesione (t/m^2); γ = peso di volume (t/m^3); H = altezza dello scavo (m); N_s = numero di stabilità (funzione dell'angolo di attrito interno ϕ e dell'angolo di inclinazione della parete di scavo).

Ai sensi delle NTC la verifica dovrà essere effettuata secondo l'approccio 1 combinazione 2 (A2+M2+R2), per cui i valori caratteristici del terreno dovranno essere divisi per i coefficienti di tab. 6.2.II delle NTC, e il coefficiente di sicurezza risultante diviso a sua volta per il coefficiente R2 di Tab 6.8.I (NTC), pari a 1.1.

Nel nostro caso lo scavo interesserà l'U.Lit. A per la quali sono stati considerati i seguenti parametri caratteristici, ridotti secondo i coefficienti M2 riportati in Tab. 6.2.II (NTC):

| | Parametri caratteristici | Coefficienti di riduzione M2 | Parametri di progetto |
|----------|--------------------------|------------------------------|-----------------------|
| c | 1.5 t/m^2 | 1.40 | 1.07 t/m^2 |
| γ | 1.9 t/m^3 | 1.00 | 1.90 t/m^3 |
| ϕ | 29° | 1.25 (tg ϕ) | 24° |

c =coesione drenata, γ =peso di volume e ϕ = angolo di attrito interno

Considerando l'altezza dello sbancamento $H = 4.20$ m e il numero di stabilità $N_s = 9$ (per una pendenza delle pareti dello scavo considerata pari a 70°), valore del coefficiente di sicurezza risulta:

$$F_s = 1.21$$

che diviso per il coefficiente R2 pari a 1.1, risulta:

$$F_s = 1.21/1.1 = 1.10$$

Il fattore di sicurezza indica quindi, seppure al limite, la stabilità dello scavo ai sensi delle NTC18. Sarebbe quindi opportuno aumentare il grado di sicurezza realizzando lo scavo, con un angolo più basso o adottando accorgimenti tecnici per il sostegno delle pareti (palificate, palancole ecc).

Per il dettaglio delle valutazioni eseguite si veda il relativo allegato (All.4).

Considerando che il monitoraggio della falda attraverso le indagini, ha evidenziato la presenza di una falda alla quota di ca. 4.00 m, si consiglia di realizzare lo scavo, e concludere la gettata delle fondazioni, in stagioni a minima incidenza di piogge, in cui la falda acquifera si trova a livelli di massima soggiacenza in modo da evitare la sua intercettazione.

Tuttavia se lo scavo in progetto, di profondità massima di 4.20 m, intercettasse la falda e, per raggiungere condizioni favorevoli all'esecuzione dell'intervento, fosse necessario prevedere dei sistemi di abbattimento del livello piezometrico (pompa, anello perimetrale di well-point ecc.), la procedura di emungimento della falda dovrà essere preventivamente autorizzata dall'ufficio della Regione Toscana - Genio Civile Toscana Nord - sede di Lucca secondo quanto riportato nell'art. 10 – Emungimento di acqua sotterranea finalizzata all'abbassamento del livello piezometrico del DPGR 61R/2016.

Infine si ricorda che nel §6.8.6.2 le NTC18 indicano che *“per scavi in trincea a fronte verticale di altezza superiore ai 2 m, nei quali sia prevista la permanenza di personale, e per scavi che ricadano in prossimità di manufatti esistenti, deve essere prevista una struttura di sostegno delle pareti di scavo”*.

10 LIQUEFAZIONE

Il fenomeno della liquefazione si manifesta sotto l'azione di carichi ciclici come quelli indotti da un sisma, quando la pressione dell'acqua nei pori aumenta progressivamente fino ad eguagliare la pressione totale di confinamento, cioè quando gli sforzi efficaci da cui dipende la resistenza al taglio si riducono a zero. Deve pertanto essere verificata la suscettibilità alla liquefazione nei casi in cui il terreno oggetto d'intervento comprenda strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda, anche se contenenti una frazione fine limo argillosa.

La ricostruzione geologica dell'area in esame non ha permesso di escludere la presenza di spessori rilevanti di sabbie sciolte sotto falda e pertanto si è ritenuto opportuno eseguire il calcolo della suscettibilità dei terreni in oggetto alla liquefazione secondo il metodo dell'Eurocodice 8 (ENV 1998-5) che considera i valori delle Vs.

Il metodo si basa sulla determinazione del fattore di sicurezza $F_s = CSR/CRR$, indicativo della propensione o meno del terreno a liquefare.

La metodologia, partendo da una parametrizzazione geomeccanica e sismica dei terreni costituenti l'area in esame, porta alla individuazione della suscettibilità a liquefazione dei terreni costituenti i terreni di fondazione, analizzando strati dello spessore di 0.20 m al di sotto del livello di falda.

Per quanto concerne maggiori informazioni riguardanti la metodologia di calcolo, le relative tabelle e le sezioni schematiche prodotte, si rimanda all'All.3.

Per il calcolo sono stati inseriti i seguenti dati di input:

- la falda freatica è stata considerata alla profondità di -2.8 dal p.c.;
- sono stati inseriti i dati sismici ricavati nel cap. 4, considerando una Magnitudo massima osservata di 5.68 (colonna 8 della Tab.6, del Rapporto Conclusivo) derivante dalle mappe di pericolosità sismica redatte dall'INGV ai sensi dell'OPCM 20.03.2003 n. 3274, All.1, considerando che l'area in oggetto rientra nella Zona Sismogenetica n. 916 “Versilia-Chianti”(ZS9-16);
- i terreni sono stati considerati completamente privi della frazione fine.

Durante la fase di elaborazione, il programma ha analizzato la suscettibilità di liquefazione a partire dalla profondità di 2.8 m (profondità di falda), con un passo di 0.20 metri.

Il calcolo, eseguito fino alla profondità di 15 m, ha prodotto un coefficiente di sicurezza sempre maggiore di 1,25 e pertanto, ai sensi delle NTC18, i terreni in gioco non sono suscettibili di liquefazione (All. 3).

11 CONCLUSIONI

Sulla base delle indagini svolte e dei dati raccolti si ritiene l'intervento fattibile dal punto di vista geologico, idraulico e sismico, ai sensi degli Strumenti Urbanistici vigenti (P.S e R.U.), del P.A.I. Autorità di Bacino del Fiume Serchio e del PGRA del Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale.

Considerando la tipologia di opera che verrà realizzata (impianto di sollevamento all'interno degli interventi di sistemazione idraulica dei corsi d'acqua Balbano-Dogaia-Castiglioncello), ai sensi dell'art. 15 delle NTA comunali, si ritiene che le acque derivanti dall'impermeabilizzazione possano essere contenute dalla vasca progettata e reimmesse nel rio Castiglioncello.

I dati ottenuti dalle indagini geognostiche eseguite, hanno permesso di ricostruire il modello geologico-geotecnico e sismico del sottosuolo oggetto di intervento sul quale l'ingegnere strutturista dovrà basarsi per eseguire i calcoli geotecnici.

Le verifiche sulla stabilità del fronte di scavo hanno evidenziato la necessità di realizzare delle opere per il sostegno delle pareti in fase esecutiva. Considerando la presenza fino ad almeno 25 metri di depositi con caratteristiche geotecniche non troppo discrete, si consiglia di realizzare un'opera di sostegno permanente, che possa servire, oltre che in fase esecutiva, anche in fase di esercizio come fondazione.

Il calcolo per la verifica della suscettibilità dei terreni alla liquefazione ha prodotto un coefficiente di sicurezza sempre maggiore di 1,25 e pertanto, ai sensi delle NTC18, i terreni in gioco non sono suscettibili di liquefazione.

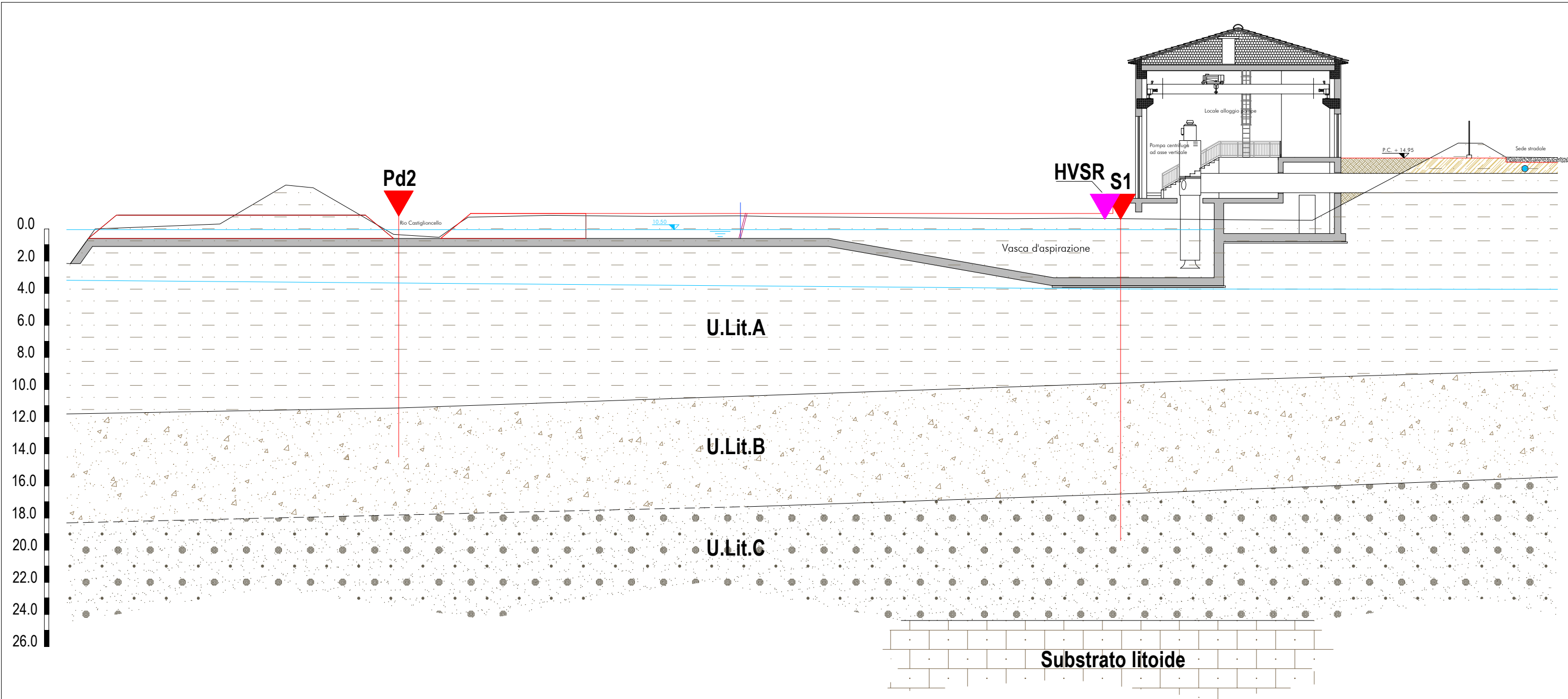
Si segnala inoltre che in ottemperanza al D. Lgs 152/2006 e del D.P.R. 120/2017, le terre di risulta degli scavi possono essere riutilizzate nel sito, portate a discarica o utilizzate in un altro sito. Secondo le indicazioni progettuali, i terreni scavati saranno interamente ricollocati in loco, e pertanto, al fine di valutare la loro idoneità, sono stati analizzati n. 4 campioni di terreno prelevati a differenti profondità.

Le analisi hanno evidenziato che non vi sono sostanze inquinanti che determinano lo sfioramento dei valori dei valori limite per la destinazione dell'area e pertanto i terreni potranno essere riutilizzati in loco, e in caso di esubero, essere smaltiti presso le pubbliche discariche. Per i dettagli delle analisi si rimanda alla consultazione dei certificati rilasciati dal Laboratorio di analisi (Alpha Ecologia srl di Firenze) allegati alla Relazione Generale.

In fase esecutiva dei lavori si consiglia l'assistenza geologica di cantiere da parte di Tecnico abilitato al fine di verificare le ipotesi stratigrafiche, geologiche, idrogeologiche e progettuali fatte ed apporre se necessario le eventuali modifiche.

Lucca, Settembre 2020

SEZIONE STRATIGRAFICA E GEOTECNICA (Scala 1:200)



| Unità litologiche | Profondità (m) | Descrizione | Parametri | | | | |
|-------------------|------------------|--|---------------------------------|---------------|-----------------------------|--|-----------------------------|
| | | | γ (t/m ³) | ϕ (°) | Cu (kg/cm ²) | c ^{1*} (kg/cm ²) | Mo (kg/cm ²) |
| U.Lit.A | Da 0.0 a 10.0 m | Limo sabbioso grigio-marrone con ghiaia e talvolta trovanti arenacei | 1.90 | 29 | 0.50 | 0.05 | 50 |
| U.Lit.B | Da 10.0 a 17.0 m | Sabbia medio-grossolana con ghiaia debolmente limosa | 1.95 | 32 | 0.35 | 0.03 | 250 |
| U.Lit.C | Da 17.0 a 20.0 m | Sabbia medio-grossolana debolmente limosa con ghiaia e abbondante materia organica | 1.90 | 30 | 0.30 | 0.03 | 150 |



Sondaggio a carotaggio continuo



Prova penetrometrica dinamica (DPSH)



Indagine di rumore ambientale a stazione singola

γ è il peso di volume del terreno (tonn/m³), ϕ è l'angolo di attrito interno (°); **Cu** è la coesione non drenata (Kg/cm²); c' è la coesione drenata, **Mo** è il Modulo di compressibilità (Kg/cm², inverso del coefficiente di compressibilità).
*in assenza di dati diretti, aspettando i risultati delle analisi di laboratorio, la coesione è stata considerata pari al 10% di quella non drenata individuata dalla prova. Per l'unità litotecnica C di cui non si hanno dati diretti sono stati considerati i parametri dell'unità soprastante cautelativamente ridotti.

ALLEGATO 1

Relazione sulle indagini geognostiche (Bierregi srl)

LEGENDA VALORI DI RESISTENZA FATTORI DI CONVERSIONE

Strumento utilizzato:
TG63-200 - Pagani - Piacenza

Caratteristiche:

- punta conica meccanica \varnothing 35.7 mm, area punta $A_p = 10 \text{ cm}^2$
- punta conica meccanica angolo di apertura: $\alpha = 60^\circ$
- manicotto laterale di attrito tipo 'Begemann' ($\varnothing = 35.7 \text{ mm}$ - $h = 133 \text{ mm}$ - $A_m = 150 \text{ cm}^2$)
- velocità di avanzamento costante $V = 2 \text{ cm/sec}$ ($\pm 0,5 \text{ cm / sec}$)
- spinta max nominale dello strumento S_{max} variabile a seconda del tipo
- costante di trasformazione $CT = \text{SPINTA (Kg)} / \text{LETTURA DI CAMPAGNA}$
(dato tecnico legato alle caratteristiche del penetrometro utilizzato, fornito dal costruttore)

fase 1 - resistenza alla punta: $q_c \text{ (kg/cm}^2 \text{)} = (L_1) \times CT / 10$

fase 2 - resistenza laterale locale: $f_s \text{ (kg/cm}^2 \text{)} = [(L_2) - (L_1)] \times CT / 150$

fase 3 - resistenza totale : $R_t \text{ (kg/cm}^2 \text{)} = (L_t) \times CT$

- Prima lettura = lettura di campagna durante l' infissione della sola punta (fase 1)
- Seconda lettura = lettura di campagna relativa all'infissione di punta e manicotto (fase 2)
- Terza lettura = lettura di campagna relativa all'infissione delle aste esterne (fase 3)

N.B. : la spinta $S \text{ (Kg)}$, corrispondente a ciascuna fase , si ottiene moltiplicando la corrispondente lettura di campagna L per la costante di trasformazione CT .

N.B. : nonostante la distanza intercorrente (20 cm circa) fra il centro del manicotto laterale e la punta conica del penetrometro , la resistenza laterale locale f_s viene computata alla stessa quota della punta .

CONVERSIONI

1 kN (kiloNewton) = 1000 N \approx 100 kg = 0,1 t

1 MN (megaNewton) = 1.000 kN = 1.000.000 N \approx 100 t

1 kPa (kiloPascal) = 1 kN/m² = 0,001 MN/m² = 0,001 MPa \approx 0,1 t/m² = 0,01 kg/cm²

1 MPa (megaPascal) = 1 MN/m² = 1.000 kN/m² = 1000 kPa \approx 100 t/m² = 10 kg/cm²

1 kg/cm² = 10 t/m² \approx 100 kN/m² = 100 kPa = 0,1 MN/m² = 0,1 MPa

1 t = 1000 kg \approx 10 kN

LEGENDA VALUTAZIONI LITOLOGICHE CORRELAZIONI GENERALI

Valutazioni in base al rapporto: $F = (q_c / f_s)$

Begemann 1965 - Raccomandazioni A.G.I. 1977

Valide in via approssimata per terreni immersi in falda :

| $F = q_c / f_s$ | NATURA LITOLOGICA | PROPRIETA' |
|--|-------------------------------|------------|
| $F \leq 15 \text{ kg/cm}^2$ | TORBE ED ARGILLE ORGANICHE | COESIVE |
| $15 \text{ kg/cm}^2 < F \leq 30 \text{ kg/cm}^2$ | LIMI ED ARGILLE | COESIVE |
| $30 \text{ kg/cm}^2 < F \leq 60 \text{ kg/cm}^2$ | LIMI SABBIOSI E SABBIE LIMOSE | GRANULARI |
| $F > 60 \text{ kg/cm}^2$ | SABBIE E SABBIE CON GHIAIA | GRANULARI |

**Vengono inoltre riportate le valutazioni stratigrafiche fornite da Schmertmann (1978),
ricavabili in base ai valori di q_c e di $FR = (f_s / q_c) \% :$**

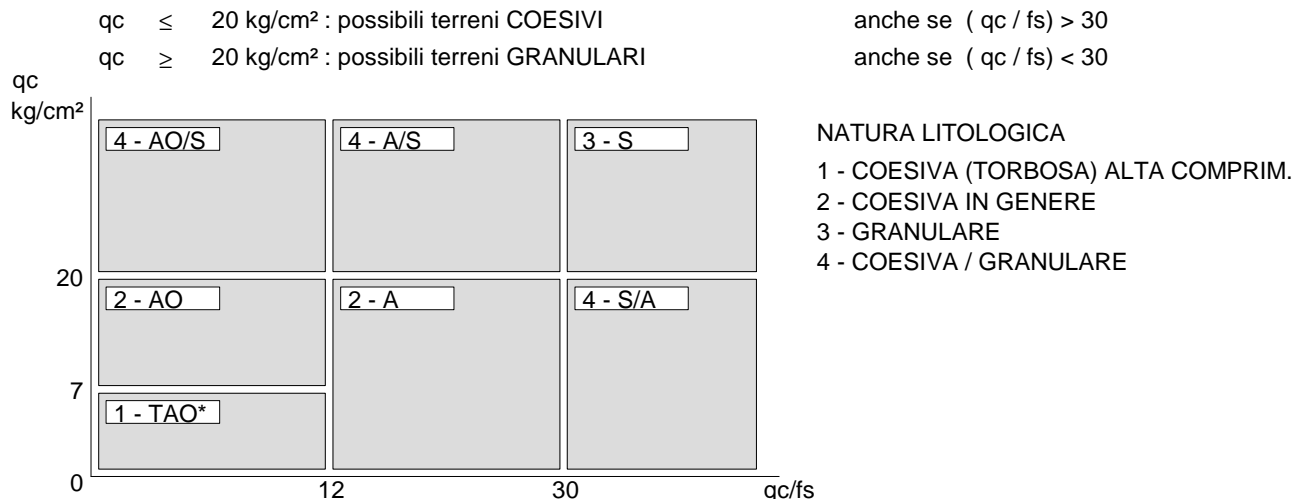
| | | |
|-------|---|---|
| - AO | = | argilla organica e terreni misti |
| - Att | = | argilla (inorganica) molto tenera |
| - At | = | argilla (inorganica) tenera |
| - Am | = | argilla (inorganica) di media consistenza |
| - Ac | = | argilla (inorganica) consistente |
| - Acc | = | argilla (inorganica) molto consistente |
| - ASL | = | argilla sabbiosa e limosa |
| - SAL | = | sabbia e limo / sabbia e limo argilloso |
| - Ss | = | sabbia sciolta |
| - Sm | = | sabbia mediamente addensata |
| - Sd | = | sabbia densa o cementata |
| - SC | = | sabbia con molti fossili, calcareniti |

Secondo Schmertmann il valore della resistenza laterale da usarsi, dovrebbe essere pari a:

- $1/3 \pm 1/2$ di quello misurato , per depositi sabbiosi
- quello misurato (inalterato) , per depositi coesivi.

LEGENDA PARAMETRI GEOTECNICI SPECIFICHE TECNICHE

Le scelte litologiche vengono effettuate in base al rapporto q_c / f_s (Begemann 1965 - A.G.I. 1977) prevedendo altresì la possibilità di casi dubbi :



PARAMETRI GEOTECNICI (validità orientativa) - simboli - correlazioni - bibliografia

- γ' = peso dell' unità di volume (efficace) del terreno [correlazioni : γ' - q_c - natura]
(Terzaghi & Peck 1967 - Bowles 1982)
- σ'_{vo} = tensione verticale geostatica (efficace) del terreno (valutata in base ai valori di γ')
- C_u = coesione non drenata (terreni coesivi) [correlazioni : C_u - q_c]
- OCR = grado di sovra consolidazione (terreni coesivi) [correlazioni : OCR - C_u - σ'_{vo}]
(Ladd et al. 1972 / 1974 / 1977 - Lancellotta 1983)
- E_u = modulo di deformazione non drenato (terreni coesivi) [correl. : E_u - C_u - OCR - I_p I_p = ind.plast.]
 E_{u50} - E_{u25} corrispondono rispettivamente ad un grado di mobilitazione dello sforzo deviatorico pari al 50-25% (Duncan & Buchigani 1976)
- E' = modulo di deformazione drenato (terreni granulari) [correlazioni : E' - q_c]
 E'_{50} - E'_{25} corrispondono rispettivamente ad un grado di mobilitazione dello sforzo deviatorico pari al 50-25% (coeff. di sicurezza $F = 2 - 4$ rispettivamente)
Schmertmann 1970 / 1978 - Jamiolkowski ed altri 1983)
- M_o = modulo di deformazione edometrico (terreni coesivi e granulari) [correl. : M_o - q_c - natura]
Sanglerat 1972 - Mitchell & Gardner 1975 - Ricceri et al. 1974 - Holden 1973)
- D_r = densità relativa (terreni granulari N. C. - normalmente consolidati)
[correlazioni : D_r - R_p - σ'_{vo} (Schmertmann 1976)]
- \emptyset' = angolo di attrito interno efficace (terreni granulari N.C.) [correl. : \emptyset' - D_r - q_c - σ'_{vo})
 \emptyset'_{Ca} - Caquot (1948) \emptyset'_{Ko} - Koppejan (1948)
 \emptyset'_{DB} - De Beer (1965) \emptyset'_{Sc} - Schmertmann (1978)
 \emptyset'_{DM} - Durgunoglu & Mitchell (1975) (sabbie N.C.) \emptyset'_{Me} - Meyerhof (1956 / 1976) (sabbie limose)
- F.L. = accelerazione al suolo che può causare liquefazione (terreni granulari)
(g = accelerazione gravità)(Seed & Idriss 1971 - Sirio 1976) [correlazioni : (A_{max}/g) - D_r]
- V_s = velocità di propagazione delle onde sismiche (Iyisan 1996)

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI

CPT

riferimento

certificato n°

PS.1**200717A**

CPT048/20

Committente: **Regione Toscana**Cantiere: **Indagini geognostiche Impianto di sollevamento**Località: **Loc. Cateratte, Nozzano - Lucca (LU)**U.M.: **kg/cm²**Data eseg.: **17/07/2020**Pagina: **1**Data certificato: **24/07/2020**

Elaborato:

Falda: **-2.87 m** da quota inizio

| H m | L1 - | L2 - | Lt - | qc kg/cm² | fs kg/cm² | F - | Rf % | H m | L1 - | L2 - | Lt - | qc kg/cm² | fs kg/cm² | F - | Rf % |
|--------|---------|---------|---------|--------------|--------------|--------|---------|--------|---------|---------|---------|--------------|--------------|--------|---------|
| 0.20 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0.0 | 0.00 | | | | | | | | | | |
| 0.40 | 49.0 | 80.0 | 0 | 49.0 | 2.07 | 24 | 4.2 | | | | | | | | |
| 0.60 | 40.0 | 83.0 | 0 | 40.0 | 2.87 | 14 | 7.2 | | | | | | | | |
| 0.80 | 53.0 | 90.0 | 0 | 53.0 | 2.47 | 21 | 4.7 | | | | | | | | |
| 1.00 | 41.0 | 73.0 | 0 | 41.0 | 2.13 | 19 | 5.2 | | | | | | | | |
| 1.20 | 19.0 | 24.0 | 0 | 19.0 | 0.33 | 58 | 1.7 | | | | | | | | |
| 1.40 | 17.0 | 33.0 | 0 | 17.0 | 1.07 | 16 | 6.3 | | | | | | | | |
| 1.60 | 13.0 | 22.0 | 0 | 13.0 | 0.60 | 22 | 4.6 | | | | | | | | |
| 1.80 | 21.0 | 36.0 | 0 | 21.0 | 1.00 | 21 | 4.8 | | | | | | | | |
| 2.00 | 15.0 | 26.0 | 0 | 15.0 | 0.73 | 21 | 4.9 | | | | | | | | |
| 2.20 | 16.0 | 26.0 | 0 | 16.0 | 0.67 | 24 | 4.2 | | | | | | | | |
| 2.40 | 14.0 | 21.0 | 0 | 14.0 | 0.47 | 30 | 3.4 | | | | | | | | |
| 2.60 | 8.0 | 17.0 | 0 | 8.0 | 0.60 | 13 | 7.5 | | | | | | | | |
| 2.80 | 8.0 | 16.0 | 0 | 8.0 | 0.53 | 15 | 6.6 | | | | | | | | |
| 3.00 | 17.0 | 22.0 | 0 | 17.0 | 0.33 | 52 | 1.9 | | | | | | | | |
| 3.20 | 16.0 | 30.0 | 0 | 16.0 | 0.93 | 17 | 5.8 | | | | | | | | |
| 3.40 | 78.0 | 110.0 | 0 | 78.0 | 2.13 | 37 | 2.7 | | | | | | | | |
| 3.60 | 103.0 | 153.0 | 0 | 103.0 | 3.33 | 31 | 3.2 | | | | | | | | |
| 3.80 | 121.0 | 200.0 | 0 | 121.0 | 5.27 | 23 | 4.4 | | | | | | | | |
| 4.00 | 140.0 | 200.0 | 0 | 140.0 | 4.00 | 35 | 2.9 | | | | | | | | |
| 4.20 | 131.0 | 215.0 | 0 | 131.0 | 5.60 | 23 | 4.3 | | | | | | | | |
| 4.40 | 102.0 | 149.0 | 0 | 102.0 | 3.13 | 33 | 3.1 | | | | | | | | |
| 4.60 | 101.0 | 131.0 | 0 | 101.0 | 2.00 | 51 | 2.0 | | | | | | | | |
| 4.80 | 18.0 | 33.0 | 0 | 18.0 | 1.00 | 18 | 5.6 | | | | | | | | |
| 5.00 | 12.0 | 19.0 | 0 | 12.0 | 0.47 | 26 | 3.9 | | | | | | | | |
| 5.20 | 18.0 | 36.0 | 0 | 18.0 | 1.20 | 15 | 6.7 | | | | | | | | |
| 5.40 | 15.0 | 26.0 | 0 | 15.0 | 0.73 | 21 | 4.9 | | | | | | | | |
| 5.60 | 6.0 | 12.0 | 0 | 6.0 | 0.40 | 15 | 6.7 | | | | | | | | |
| 5.80 | 6.0 | 11.0 | 0 | 6.0 | 0.33 | 18 | 5.5 | | | | | | | | |
| 6.00 | 7.0 | 11.0 | 0 | 7.0 | 0.27 | 26 | 3.9 | | | | | | | | |
| 6.20 | 8.0 | 12.0 | 0 | 8.0 | 0.27 | 30 | 3.4 | | | | | | | | |
| 6.40 | 7.0 | 13.0 | 0 | 7.0 | 0.40 | 18 | 5.7 | | | | | | | | |
| 6.60 | 6.0 | 10.0 | 0 | 6.0 | 0.27 | 22 | 4.5 | | | | | | | | |
| 6.80 | 7.0 | 11.0 | 0 | 7.0 | 0.27 | 26 | 3.9 | | | | | | | | |
| 7.00 | 6.0 | 12.0 | 0 | 6.0 | 0.40 | 15 | 6.7 | | | | | | | | |
| 7.20 | 6.0 | 11.0 | 0 | 6.0 | 0.33 | 18 | 5.5 | | | | | | | | |
| 7.40 | 7.0 | 11.0 | 0 | 7.0 | 0.27 | 26 | 3.9 | | | | | | | | |
| 7.60 | 15.0 | 26.0 | 0 | 15.0 | 0.73 | 21 | 4.9 | | | | | | | | |
| 7.80 | 7.0 | 15.0 | 0 | 7.0 | 0.53 | 13 | 7.6 | | | | | | | | |
| 8.00 | 13.0 | 19.0 | 0 | 13.0 | 0.40 | 33 | 3.1 | | | | | | | | |
| 8.20 | 10.0 | 19.0 | 0 | 10.0 | 0.60 | 17 | 6.0 | | | | | | | | |
| 8.40 | 8.0 | 17.0 | 0 | 8.0 | 0.60 | 13 | 7.5 | | | | | | | | |
| 8.60 | 13.0 | 20.0 | 0 | 13.0 | 0.47 | 28 | 3.6 | | | | | | | | |
| 8.80 | 11.0 | 20.0 | 0 | 11.0 | 0.60 | 18 | 5.5 | | | | | | | | |
| 9.00 | 29.0 | 36.0 | 0 | 29.0 | 0.47 | 62 | 1.6 | | | | | | | | |
| 9.20 | 38.0 | 43.0 | 0 | 38.0 | 0.33 | 115 | 0.9 | | | | | | | | |
| 9.40 | 39.0 | 49.0 | 0 | 39.0 | 0.67 | 58 | 1.7 | | | | | | | | |
| 9.60 | 32.0 | 42.0 | 0 | 32.0 | 0.67 | 48 | 2.1 | | | | | | | | |
| 9.80 | 32.0 | 39.0 | 0 | 32.0 | 0.47 | 68 | 1.5 | | | | | | | | |
| 10.00 | 34.0 | 46.0 | 0 | 34.0 | 0.80 | 43 | 2.4 | | | | | | | | |
| 10.20 | 26.0 | 34.0 | 0 | 26.0 | 0.53 | 49 | 2.0 | | | | | | | | |
| 10.40 | 19.0 | 25.0 | 0 | 19.0 | 0.40 | 48 | 2.1 | | | | | | | | |
| 10.60 | 24.0 | 30.0 | 0 | 24.0 | 0.40 | 60 | 1.7 | | | | | | | | |
| 10.80 | 15.0 | 21.0 | 0 | 15.0 | 0.40 | 38 | 2.7 | | | | | | | | |
| 11.00 | 30.0 | 46.0 | 0 | 30.0 | 1.07 | 28 | 3.6 | | | | | | | | |
| 11.20 | 5.0 | 12.0 | 0 | 5.0 | 0.47 | 11 | 9.4 | | | | | | | | |
| 11.40 | 5.0 | 11.0 | 0 | 5.0 | 0.40 | 13 | 8.0 | | | | | | | | |
| 11.60 | 8.0 | 13.0 | 0 | 8.0 | 0.33 | 24 | 4.1 | | | | | | | | |
| 11.80 | 10.0 | 16.0 | 0 | 10.0 | 0.40 | 25 | 4.0 | | | | | | | | |
| 12.00 | 7.0 | 13.0 | 0 | 7.0 | 0.40 | 18 | 5.7 | | | | | | | | |
| 12.20 | 10.0 | 17.0 | 0 | 10.0 | 0.47 | 21 | 4.7 | | | | | | | | |
| 12.40 | 130.0 | 206.0 | 0 | 130.0 | 5.07 | 26 | 3.9 | | | | | | | | |
| 12.60 | 119.0 | 196.0 | 0 | 119.0 | 5.13 | 23 | 4.3 | | | | | | | | |
| 12.80 | 105.0 | 190.0 | 0 | 105.0 | 5.67 | 19 | 5.4 | | | | | | | | |
| 13.00 | 75.0 | 136.0 | 0 | 75.0 | 4.07 | 18 | 5.4 | | | | | | | | |
| 13.20 | 100.0 | 171.0 | 0 | 100.0 | 4.73 | 21 | 4.7 | | | | | | | | |
| 13.40 | 91.0 | 150.0 | 0 | 91.0 | 3.93 | 23 | 4.3 | | | | | | | | |
| 13.60 | 36.0 | 43.0 | 0 | 36.0 | 0.47 | 77 | 1.3 | | | | | | | | |
| 13.80 | 56.0 | 79.0 | 0 | 56.0 | 1.53 | 37 | 2.7 | | | | | | | | |
| 14.00 | 90.0 | 139.0 | 0 | 90.0 | 3.27 | 28 | 3.6 | | | | | | | | |
| 14.20 | 70.0 | 130.0 | 0 | 70.0 | 4.00 | 18 | 5.7 | | | | | | | | |
| 14.40 | 61.0 | 82.0 | 0 | 61.0 | 1.40 | 44 | 2.3 | | | | | | | | |
| 14.60 | 58.0 | 80.0 | 0 | 58.0 | 1.47 | 39 | 2.5 | | | | | | | | |
| 14.80 | 59.0 | 86.0 | 0 | 59.0 | 1.80 | 33 | 3.1 | | | | | | | | |
| 15.00 | 61.0 | 83.0 | 0 | 61.0 | 1.47 | 41 | 2.4 | | | | | | | | |

H = profondità

L1 = prima lettura (punta)

L2 = seconda lettura (punta + laterale)

Lt = terza lettura (totale)

CT = 10.00 costante di trasformazione

qc = resistenza di punta

fs = resistenza laterale calcolata
alla stessa quota di qc

F = rapporto Begemann (qc / fs)

Rf = rapporto Schmertmann (fs / qc)*100

nota: Falda rilevata in foro

Software by dott. Geol. Diego Merlin 0425-840820

FON032

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

DIAGRAMMI DI RESISTENZA E LITOLOGIA

CPT

riferimento

certificato n°

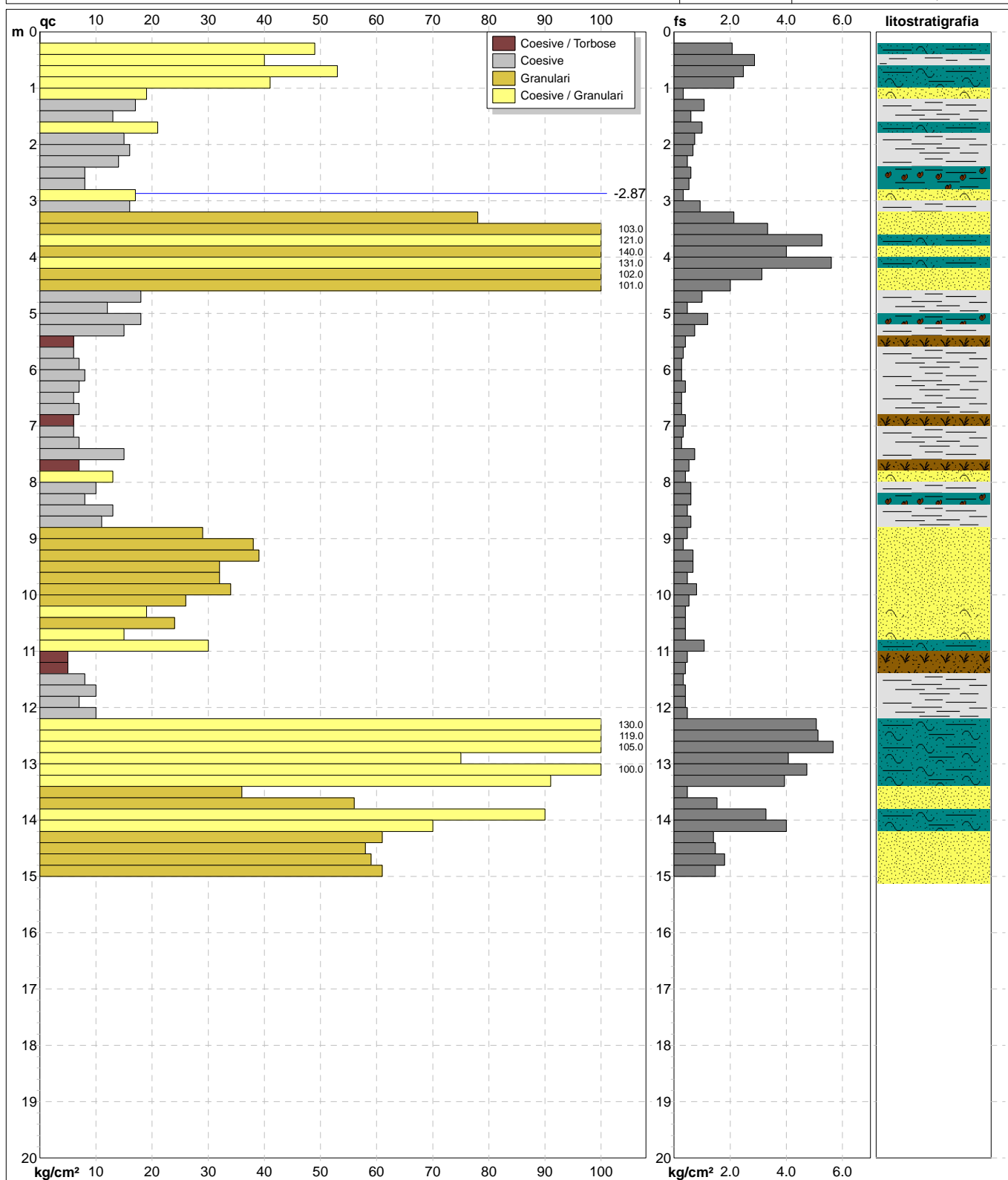
PS.1**200717A**

CPT048/20

Committente: **Regione Toscana**
Cantiere: **Indagini geognostiche Impianto di sollevamento**
Località: **Loc. Cateratte, Nozzano - Lucca (LU)**

U.M.: **kg/cm²**
Scala: **1:100**
Pagina: **1**
Elaborato:

Data eseg.: **17/07/2020**
Data certificato: **24/07/2020**
Quota inizio: **piano campagna**
Falda: **-2.87 m** da quota inizio



Litologia: **Begemann [qc + qc/fs] 4 Zone**
Penetrometro: **TG63-200**
Responsabile: **Dott. Geol. Andrea Gambini**
Assistente:

Preforo: **m**
Corr.astine: **kg/ml**
Cod.ISTAT: **046017**
Cod. punta:

nota: Falda rilevata in foro

Software by dott. Geol. Diego Merlin 0425-840820

FON032

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

DIAGRAMMI LITOLOGIA

CPT

riferimento

certificato n°

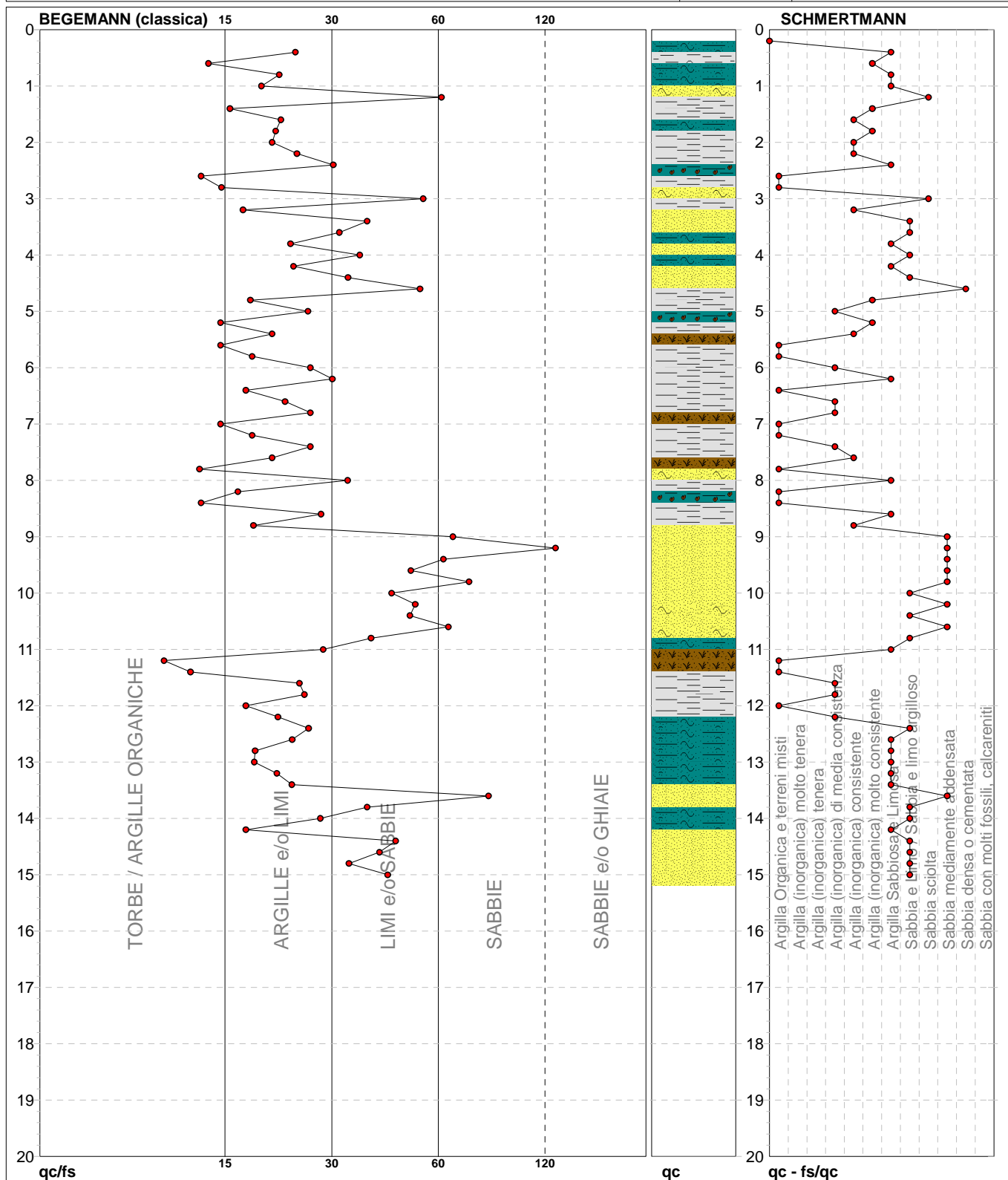
PS.1**200717A**

CPT048/20

Committente: **Regione Toscana**
Cantiere: **Indagini geognostiche Impianto di sollevamento**
Località: **Loc. Cateratte, Nozzano - Lucca (LU)**

U.M.: **kg/cm²**
Scala: **1:100**
Pagina: **1**
Elaborato:

Data eseg.: **17/07/2020**
Data certificato: **24/07/2020**
Falda: **-2.87 m da quota inizio**



Torbe / Argille org. : 35 punti, 35.35%
Argille e/o Limi : 41 punti, 41.41%
Limi e/o Sabbie : 20 punti, 20.20%
Sabbie: 4 punti, 4.04%

Argilla Organica e terreni misti: 13 punti, 13.13%
Argilla (inorganica) media consist.: 8 punti, 8.08%
Argilla (inorganica) consistente: 7 punti, 7.07%
Argilla (inorganica) molto consist.: 5 punti, 5.05%

Argilla Sabbiosa e Limosa: 16 punti, 16.16%
Sabbia e Limo / Sabbia e limo arg.: 14 punti, 14.14%
Sabbia sciolta: 2 punti, 2.02%
Sabbia mediamente addensata: 8 punti, 8.08%
Sabbia densa o cementata: 1 punti, 1.01%

nota: Falda rilevata in foro

Software by dott. Geol. Diego Merlin 0425-840820

FON032

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
PARAMETRI GEOTECNICI**CPT**

riferimento

certificato n°

PS.1**200717A**

CPT048/20

Committente: **Regione Toscana**Cantiere: **Indagini geognostiche Impianto di sollevamento**Località: **Loc. Cateratte, Nozzano - Lucca (LU)**U.M.: **kg/cm²**Data esec.: **17/07/2020**Data certificato: **24/07/2020**Pagina: **1**Elaborato: **Falda: -2.87 m da quota inizio**

| Prof. m | qc U.M. | qc/fs | zone | γ' t/m³ | σ'_{vo} U.M. | Vs m/s | NATURA COESIVA | | | | | NATURA GRANULARE | | | | | | | | | | F.L. | E'50 U.M. | E'25 U.M. | Mo U.M. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------|------------|-------|------|-------------------|------------------------|-----------|----------------|----------|--------------|--------------|------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|----|----|----|------|--------------|--------------|------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | | | | | | | Cu U.M. | OCR % | Eu50 U.M. | Eu25 U.M. | Mo U.M. | Dr % | ϕ Sc (°) | ϕ Ca (°) | ϕ Ko (°) | ϕ DB (°) | ϕ DM (°) | ϕ Me (°) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0.20 | -- | -- | ? | 1.85 | 0.04 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |

PENETROMETRO DINAMICO IN USO : **DPSH (S. Heavy)**

| Classificazione ISSMFE (1988) dei penetrometri dinamici | | |
|---|--------------------|--------------------------|
| TIPO | Sigla Certificato | Massa Battente M (kg) |
| Leggero | DPL (Light) | $M \leq 10$ |
| Medio | DPM (Medium) | $10 < M < 40$ |
| Pesante | DPH (Heavy) | $40 \leq M < 60$ |
| Super pesante | DPSH (Super Heavy) | $M \geq 60$ |

CARATTERISTICHE TECNICHE : **DPSH (S. Heavy)**

| | |
|-------------------------------------|---|
| MASSA BATTENTE | M = 63,50 kg |
| ALTEZZA CADUTA LIBERA | H = 0,75 m |
| MASSA SISTEMA BATTUTA | Ms = 30,00 kg |
| DIAMETRO PUNTA CONICA | D = 50,50 mm |
| AREA BASE PUNTA CONICA | A = 20,0000 cm ² |
| ANGOLO APERTURA PUNTA | $\alpha = 90^\circ$ |
| LUNGHEZZA DELLE ASTE | La = 1,00 m |
| MASSA ASTE PER METRO | Ma = 8,00 kg |
| PROF. GIUNZIONE 1 ^a ASTA | P1 = 0,80 m |
| AVANZAMENTO PUNTA | $\delta = 0,20$ m |
| NUMERO DI COLPI PUNTA | N = N(20) \Rightarrow Relativo ad un avanzamento di 20 cm |
| RIVESTIMENTO / FANGHI | NO |
| RENDIMENTO SPECIFICO x COLPOQ | $= (MH)/(A\delta) = 11,91 \text{ kg/cm}^2$ (prova SPT : Qspt = 7,83 kg/cm ²) |
| COEFF.TEORICO RENDIMENTO | $\beta_t = Q/Q_{spt} = 1,521$ (teoricamente : Nspt = $\beta_t N$) |

Valutazione resistenza dinamica alla punta Rpd [funzione del numero di colpi N] (FORMULA OLANDESE) :

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

Rpd = resistenza dinamica punta [area A]
e = infissione per colpo = δ / N

M = massa battente (altezza caduta H)
P = massa totale aste e sistema battuta

| UNITA' di MISURA (conversioni) |
|---|
| 1 kg/cm ² = 0.098067 MPa \approx 0,1 MPa |
| 1 MPa = 1 MN/m ² = 10.197 kg/cm ² |
| 1 bar = 1.0197 kg/cm ² = 0.1 MPa |
| 1 kN = 0.001 MN = 101.97 kg |

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA TABELLE VALORI DI RESISTENZA

DIN PD.2

- committente : Regione Toscana
- lavoro : Indagini geognostiche impianto di sollevamento
- località : Loc. Cateratte, Nozzano - Lucca (LU)

- data prova : 17/07/2020
- quota inizio : piano campagna
- prof. falda : 4,19 m da quota inizio

- note : Perforo attrezzato con piezometro

| Prof.(m) | N(colpi p) | Rpd(kg/cm ²) | asta | Prof.(m) | N(colpi p) | Rpd(kg/cm ²) | asta |
|-------------|------------|--------------------------|------|---------------|------------|--------------------------|------|
| 0,00 - 0,20 | 1 | 7,4 | 1 | 7,60 - 7,80 | 7 | 33,6 | 8 |
| 0,20 - 0,40 | 1 | 7,4 | 1 | 7,80 - 8,00 | 5 | 22,8 | 9 |
| 0,40 - 0,60 | 1 | 7,4 | 1 | 8,00 - 8,20 | 7 | 32,0 | 9 |
| 0,60 - 0,80 | 1 | 7,4 | 1 | 8,20 - 8,40 | 5 | 22,8 | 9 |
| 0,80 - 1,00 | 1 | 6,9 | 2 | 8,40 - 8,60 | 5 | 22,8 | 9 |
| 1,00 - 1,20 | 1 | 6,9 | 2 | 8,60 - 8,80 | 5 | 22,8 | 9 |
| 1,20 - 1,40 | 1 | 6,9 | 2 | 8,80 - 9,00 | 5 | 21,8 | 10 |
| 1,40 - 1,60 | 1 | 6,9 | 2 | 9,00 - 9,20 | 6 | 26,1 | 10 |
| 1,60 - 1,80 | 1 | 6,9 | 2 | 9,20 - 9,40 | 5 | 21,8 | 10 |
| 1,80 - 2,00 | 1 | 6,4 | 3 | 9,40 - 9,60 | 3 | 13,1 | 10 |
| 2,00 - 2,20 | 1 | 6,4 | 3 | 9,60 - 9,80 | 2 | 8,7 | 10 |
| 2,20 - 2,40 | 1 | 6,4 | 3 | 9,80 - 10,00 | 2 | 8,3 | 11 |
| 2,40 - 2,60 | 1 | 6,4 | 3 | 10,00 - 10,20 | 3 | 12,5 | 11 |
| 2,60 - 2,80 | 1 | 6,4 | 3 | 10,20 - 10,40 | 1 | 4,2 | 11 |
| 2,80 - 3,00 | 1 | 6,0 | 4 | 10,40 - 10,60 | 1 | 4,2 | 11 |
| 3,00 - 3,20 | 4 | 24,1 | 4 | 10,60 - 10,80 | 5 | 20,8 | 11 |
| 3,20 - 3,40 | 4 | 24,1 | 4 | 10,80 - 11,00 | 4 | 16,0 | 12 |
| 3,40 - 3,60 | 4 | 24,1 | 4 | 11,00 - 11,20 | 5 | 19,9 | 12 |
| 3,60 - 3,80 | 3 | 18,1 | 4 | 11,20 - 11,40 | 5 | 19,9 | 12 |
| 3,80 - 4,00 | 3 | 17,0 | 5 | 11,40 - 11,60 | 3 | 12,0 | 12 |
| 4,00 - 4,20 | 5 | 28,3 | 5 | 11,60 - 11,80 | 4 | 16,0 | 12 |
| 4,20 - 4,40 | 3 | 17,0 | 5 | 11,80 - 12,00 | 4 | 15,3 | 13 |
| 4,40 - 4,60 | 5 | 28,3 | 5 | 12,00 - 12,20 | 5 | 19,1 | 13 |
| 4,60 - 4,80 | 5 | 28,3 | 5 | 12,20 - 12,40 | 11 | 42,1 | 13 |
| 4,80 - 5,00 | 3 | 16,0 | 6 | 12,40 - 12,60 | 9 | 34,5 | 13 |
| 5,00 - 5,20 | 2 | 10,7 | 6 | 12,60 - 12,80 | 9 | 34,5 | 13 |
| 5,20 - 5,40 | 1 | 5,3 | 6 | 12,80 - 13,00 | 8 | 29,4 | 14 |
| 5,40 - 5,60 | 5 | 26,7 | 6 | 13,00 - 13,20 | 7 | 25,8 | 14 |
| 5,60 - 5,80 | 4 | 21,4 | 6 | 13,20 - 13,40 | 8 | 29,4 | 14 |
| 5,80 - 6,00 | 2 | 10,1 | 7 | 13,40 - 13,60 | 8 | 29,4 | 14 |
| 6,00 - 6,20 | 2 | 10,1 | 7 | 13,60 - 13,80 | 8 | 29,4 | 14 |
| 6,20 - 6,40 | 1 | 5,1 | 7 | 13,80 - 14,00 | 8 | 28,3 | 15 |
| 6,40 - 6,60 | 4 | 20,2 | 7 | 14,00 - 14,20 | 8 | 28,3 | 15 |
| 6,60 - 6,80 | 9 | 45,5 | 7 | 14,20 - 14,40 | 9 | 31,9 | 15 |
| 6,80 - 7,00 | 4 | 19,2 | 8 | 14,40 - 14,60 | 8 | 28,3 | 15 |
| 7,00 - 7,20 | 3 | 14,4 | 8 | 14,60 - 14,80 | 7 | 24,8 | 15 |
| 7,20 - 7,40 | 4 | 19,2 | 8 | 14,80 - 15,00 | 8 | 27,3 | 16 |
| 7,40 - 7,60 | 12 | 57,6 | 8 | | | | |

- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **DPSH (S. Heavy)**

- M (massa battente)= **63,50** kg - H (altezza caduta)= **0,75** m - A (area punta)= **20,0000** cm² - D(diam. punta)= **50,50** mm

- Numero Colpi Punta N = **N(20)** [δ = 20 cm]

- Uso rivestimento / fanghi iniezione : **NO**

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd

DIN PD.2

Scala 1: 100

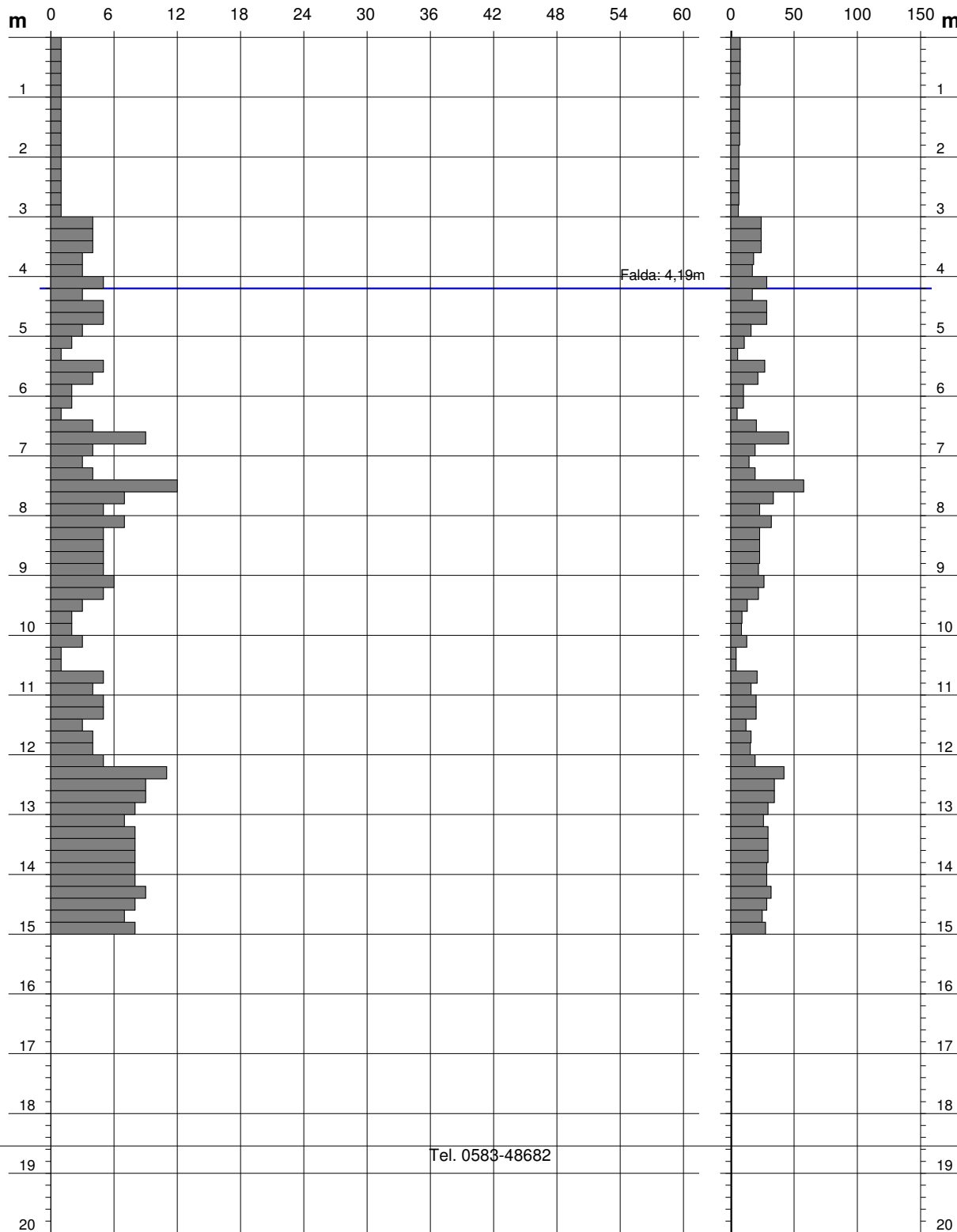
- committente : Regione Toscana
- lavoro : Indagini geognostiche impianto di sollevamento
- località : Loc. Cateratte, Nozzano - Lucca (LU)

- data prova : 17/07/2020
- quota inizio : piano campagna
- prof. falda : 4,19 m da quota inizio

- note : Perforo attrezzato con piezometro

N = N(20) numero di colpi penetrazione punta - avanzamento $\delta = 20,00$ cm

Rpd (kg/cm²)



PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DIAGRAMMA RESISTENZA DINAMICA PUNTA

DIN PD.2

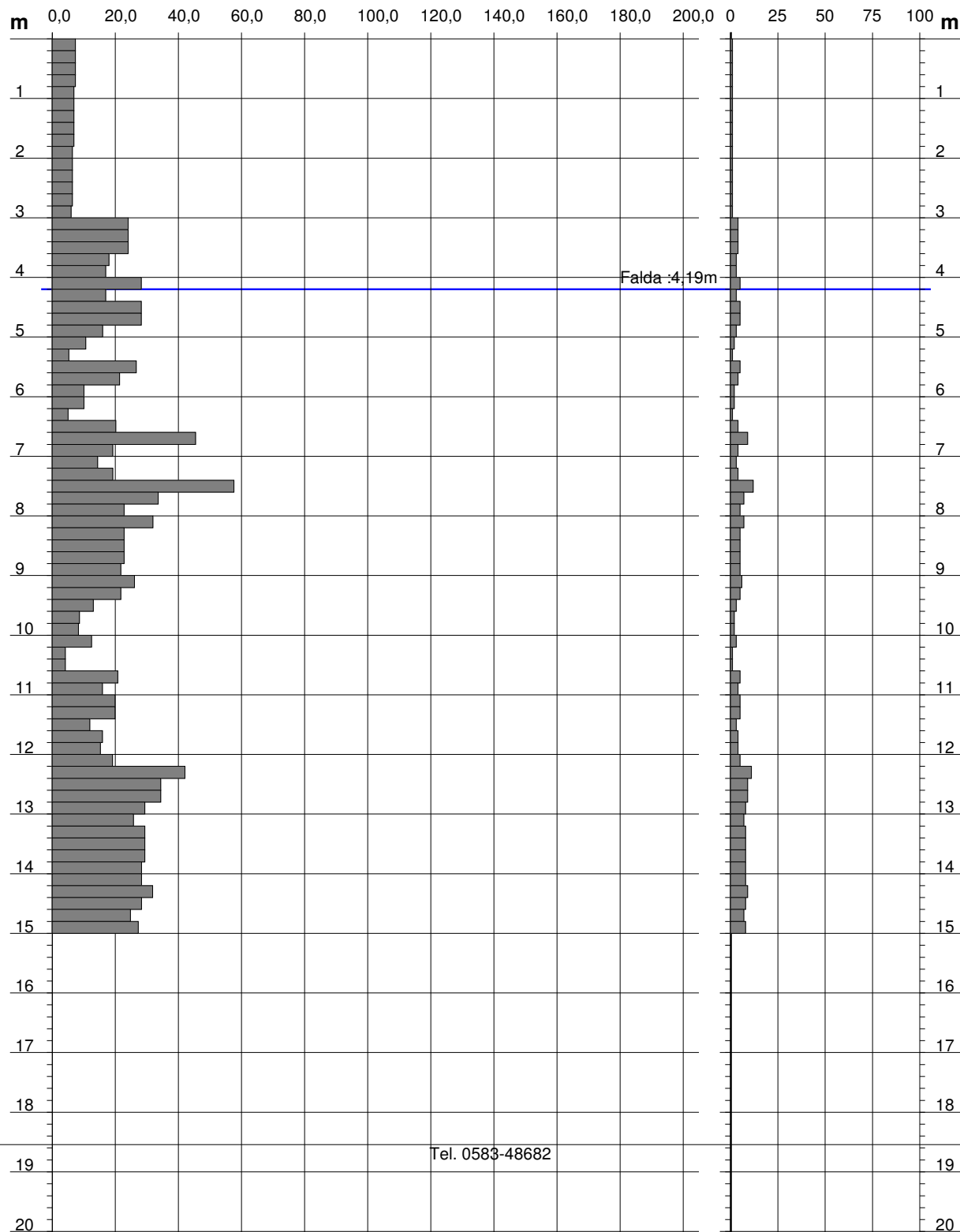
Scala 1: 100

- committente : Regione Toscana
- lavoro : Indagini geognostiche impianto di sollevamento
- località : Loc. Cateratte, Nozzano - Lucca (LU)

- data prova : 17/07/2020
- quota inizio : piano campagna
- prof. falda : 4,19 m da quota inizio

Rpd (kg/cm²) Resistenza dinamica alla punta, formula "Olandese"

N = N(20) n° colpi $\delta = 20,00$ cm



PROVA PENETROMETRICA DINAMICA ELABORAZIONE STATISTICA

DIN PD.2

- committente : Regione Toscana
- lavoro : Indagini geognostiche impianto di sollevamento
- località : Loc. Cateratte, Nozzano - Lucca (LU)

- data prova : 17/07/2020
- quota inizio : piano campagna
- prof. falda : 4,19 m da quota inizio

- note : Perforo attrezzato con piezometro

| n° | Profondità (m) | PARAMETRO | ELABORAZIONE STATISTICA | | | | | | | VCA | β | Nspt |
|----|----------------|-----------|-------------------------|-----|-----|----------------------|------|------|------|-----|---------|------|
| | | | M | min | Max | $\frac{1}{2}(M+min)$ | s | M-s | M+s | | | |
| 1 | 0,00 3,00 | N | 1,0 | 1 | 1 | 1,0 | ---- | 1,0 | 1,0 | 1 | 1,52 | 2 |
| | | Rpd | 6,8 | 6 | 7 | 6,4 | ---- | 6,4 | 7,3 | | | |
| 2 | 3,00 6,60 | N | 3,3 | 1 | 5 | 2,2 | 1,3 | 2,0 | 4,7 | 3 | 1,52 | 5 |
| | | Rpd | 18,6 | 5 | 28 | 11,8 | 7,8 | 10,8 | 26,4 | | | |
| 3 | 6,60 12,20 | N | 4,6 | 1 | 12 | 2,8 | 2,3 | 2,3 | 6,9 | 5 | 1,52 | 8 |
| | | Rpd | 20,4 | 4 | 58 | 12,3 | 11,4 | 9,1 | 31,8 | | | |
| 4 | 12,20 15,00 | N | 8,3 | 7 | 11 | 7,6 | 1,0 | 7,3 | 9,3 | 8 | 1,52 | 12 |
| | | Rpd | 30,2 | 25 | 42 | 27,5 | 4,4 | 25,9 | 34,6 | | | |

M: valore medio min: valore minimo Max: valore massimo s: scarto quadratico medio VCA: valore caratteristico assunto
N: numero Colpi Punta prova penetrometrica dinamica (avanzamento $\delta = 20$ cm) Rpd: resistenza dinamica alla punta (kg/cm²)
 β : Coefficiente correlazione con prova SPT (valore teorico $\beta_t = 1,52$) Nspt: numero colpi prova SPT (avanzamento $\delta = 30$ cm)

Nspt - PARAMETRI GEOTECNICI

DIN PD.2

| | | | NATURA GRANULARE | | | | | | | NATURA COESIVA | | | | | | |
|----|-------|-------|------------------|-----|----|----|---------|-----|------|----------------|------|----|------|------|-------|------|
| n° | H1 | H2 | Nspt | Vs | G | Dr | ϕ' | E' | Ysat | Yd | Cu | Ed | Ysat | W | e | Q |
| 1 | 0,00 | 3,00 | 2 | 83 | 22 | 7 | 26 | 207 | 1,85 | 1,36 | 0,13 | 12 | 1,75 | 46,9 | 1,267 | 0,34 |
| 2 | 3,00 | 6,60 | 5 | 122 | 43 | 18 | 28 | 230 | 1,88 | 1,41 | 0,31 | 30 | 1,83 | 39,3 | 1,061 | 0,85 |
| 3 | 6,60 | 12,20 | 8 | 151 | 61 | 28 | 29 | 253 | 1,91 | 1,46 | 0,50 | 48 | 1,87 | 35,0 | 0,945 | 1,11 |
| 4 | 12,20 | 15,00 | 12 | 174 | 83 | 38 | 30 | 284 | 1,94 | 1,52 | 0,75 | 72 | 1,92 | 31,2 | 0,842 | 1,46 |

Nspt: numero di colpi prova SPT (avanzamento $\delta = 30$ cm)

DR % = densità relativa ϕ' (°) = angolo di attrito efficace E' (kg/cm²) = modulo di deformazione drenato W% = contenuto d'acqua
e (-) = indice dei vuoti Cu (kg/cm²) = coesione non drenata Ysat, Yd (t/m³) = peso di volume saturo e secco (rispettivamente) del terreno
Vs (m/sec) = Velocità onde di taglio G (kg/cm²) = Modulo di taglio dinamico Q (kg/cm²) = [Rpd/Chi] [15<=Chi<=20] capacità portante Sanglerat 1972

MASW - STL170720A (Onde di Love)
REGIONE TOSCANA
LOC. CATERATTE, NOZZANO - LUCCA (LU)

Numero di canali 24
Distanza intergeofonica 2,0 metri
Lunghezza 46,0 metri
Azimuth N130° (SE-NW)

Coordinate Gauss-Boaga Geofono G1:
X = 1613427,9994 Y = 4853718,5946
Coordinate Gauss-Boaga Geofono G24:
X = 1613394,3462 Y = 4853749,9548

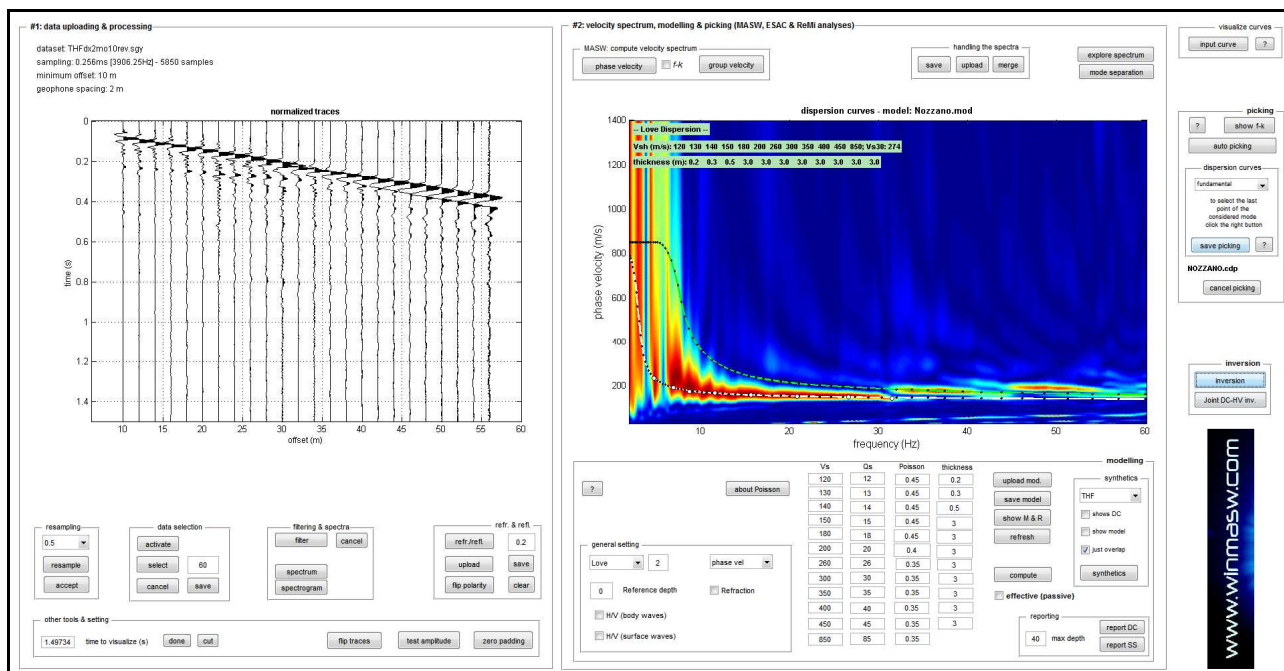


Fig.1: Sismogramma (Shot3 THFdx2mo10rev) e spettro delle velocità con "picking"

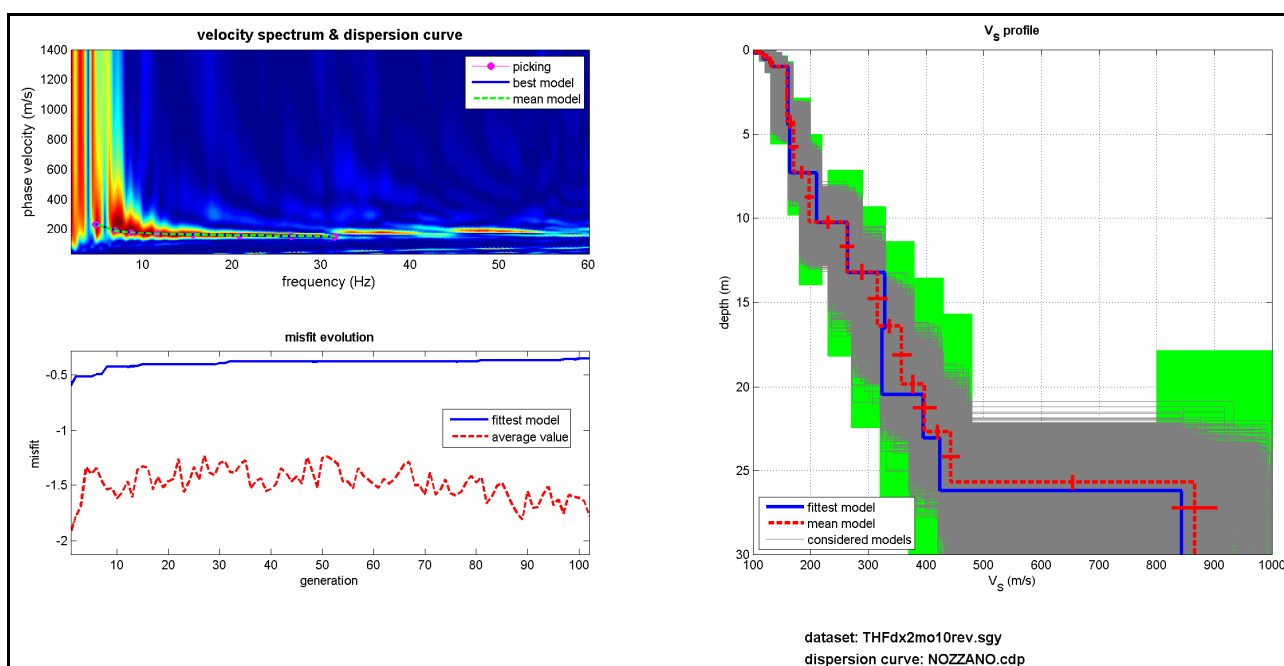


Fig.2: Grafico Misfit - Profilo verticale delle Onde S

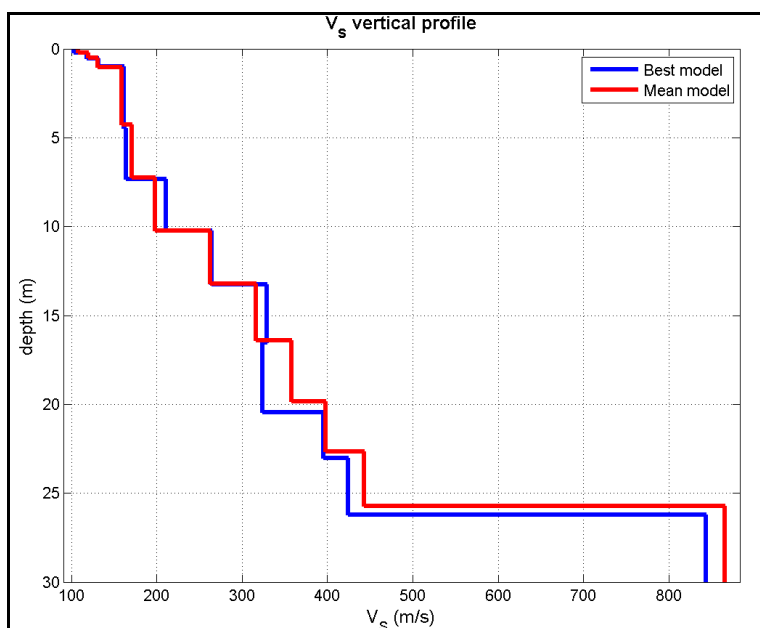


Fig.3: Profilo verticale Vs (Modello medio/Modello migliore)

| MASW NOZZANO STL170720A (modello medio) | Profondità | | Spessore (h_i) | Velocità ($V_{s,i}$) | $h_i/V_{s,i}$ |
|--|------------|-------|--------------------|------------------------|---------------|
| | da (m) | a (m) | (metri) | (m/s) | (-) |
| Sismostrato 1 | 0.00 | 0.20 | 0.20 | 108 | 0.0019 |
| Sismostrato 2 | 0.20 | 0.50 | 0.30 | 120 | 0.0025 |
| Sismostrato 3 | 0.50 | 1.00 | 0.50 | 131 | 0.0038 |
| Sismostrato 4 | 1.00 | 4.20 | 3.20 | 159 | 0.0201 |
| Sismostrato 5 | 4.20 | 7.20 | 3.00 | 171 | 0.0175 |
| Sismostrato 6 | 7.20 | 10.20 | 3.00 | 198 | 0.0152 |
| Sismostrato 7 | 10.20 | 13.20 | 3.00 | 263 | 0.0114 |
| Sismostrato 8 | 13.20 | 16.40 | 3.20 | 316 | 0.0101 |
| Sismostrato 9 | 16.40 | 19.80 | 3.40 | 358 | 0.0095 |
| Sismostrato 10 | 19.80 | 22.60 | 2.80 | 398 | 0.0070 |
| Sismostrato 11 | 22.60 | 25.70 | 3.10 | 443 | 0.0070 |
| Sismostrato 12 (bedrock) | 25.70 | 30.00 | 4.30 | 866 | 0.0050 |

H = 25.7 metri

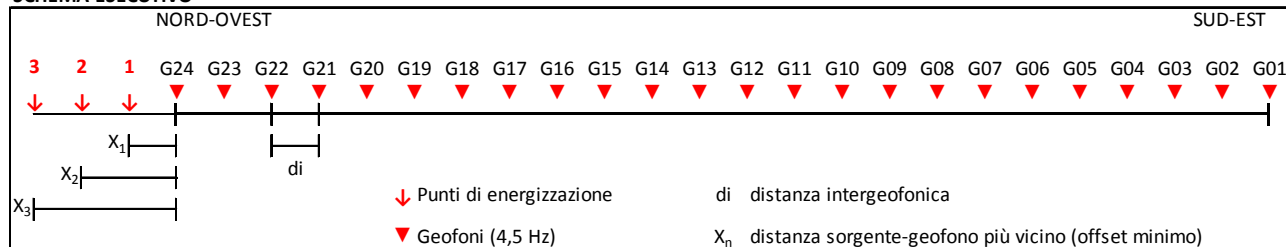
 $\Sigma h_i/V_{s,i} = 0.1061$

$$V_{s,eq} = V_{s,30} = 25.7/0.1061 = 242 \text{ m/s}$$

 Categoria di Sottosuolo E
(a partire dal piano campagna)

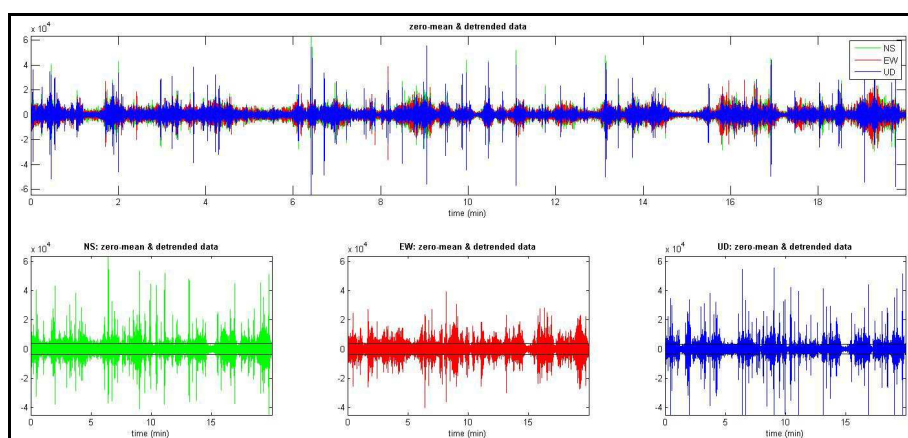
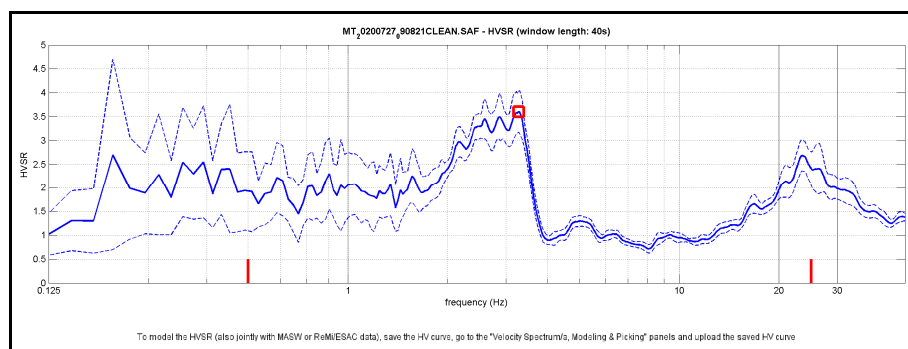
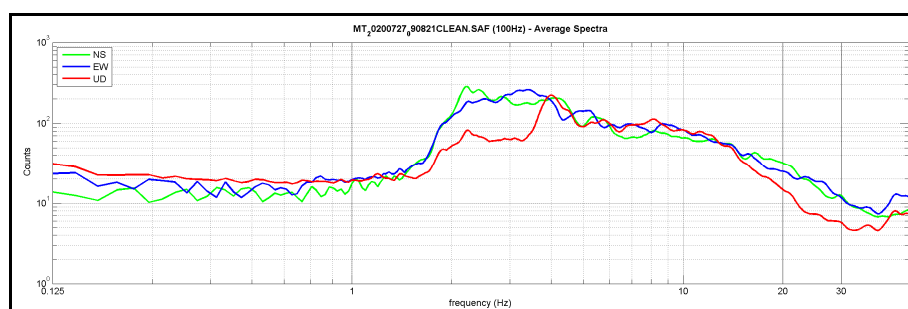
"Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 metri"

SCHEMA ESECUTIVO



POSTAZIONE HVSR Nk-05/20

| | |
|--|--------------------------------------|
| Dataset: | MT_20200727_090821CLEAN.SAF |
| Durata Totale della Registrazione: | 0h 20' 00" |
| Lunghezza di analisi della sequenza temporale: | 0h 08' 48" (NO rimozione transienti) |
| Freq. Campionamento: | 100 Hz |
| Lunghezza finestre: | 40 s |
| Tipo di lisciamento: | triangolare |
| Lisciamento: | 5% |
| Tapering: | 8% |
| Coordinate Gauss-Boaga | X= 1613417,6535 Y= 4853718,794 |

**Figura 1: Dataset registrazione****Figura 2: Rapporto spettrale orizzontale su verticale (Curva H/V)****Figura 3: Spettri delle singole componenti (N-S verde, E-W blu e Z rosso)**

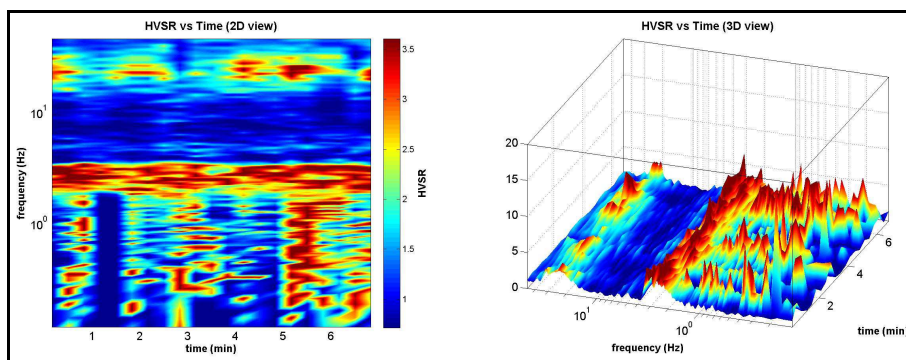


Figura 4: Serie temporale H/V (stazionarietà)

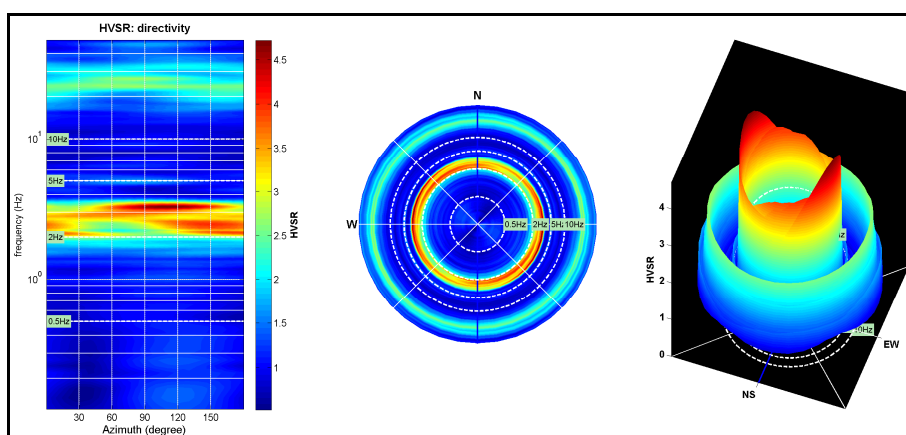


Figura 5: Direzionalità H/V

CRITERI SESAME - POSTAZIONE HVSR Nk-05/20

Risultati ottenuti considerando l'intervallo 0.5-25.0Hz =====

Peak frequency (Hz): 3.3 (± 0.9)

Peak HVSR value: 3.6 (± 0.4)

=== Criteria for a reliable H/V curve =====

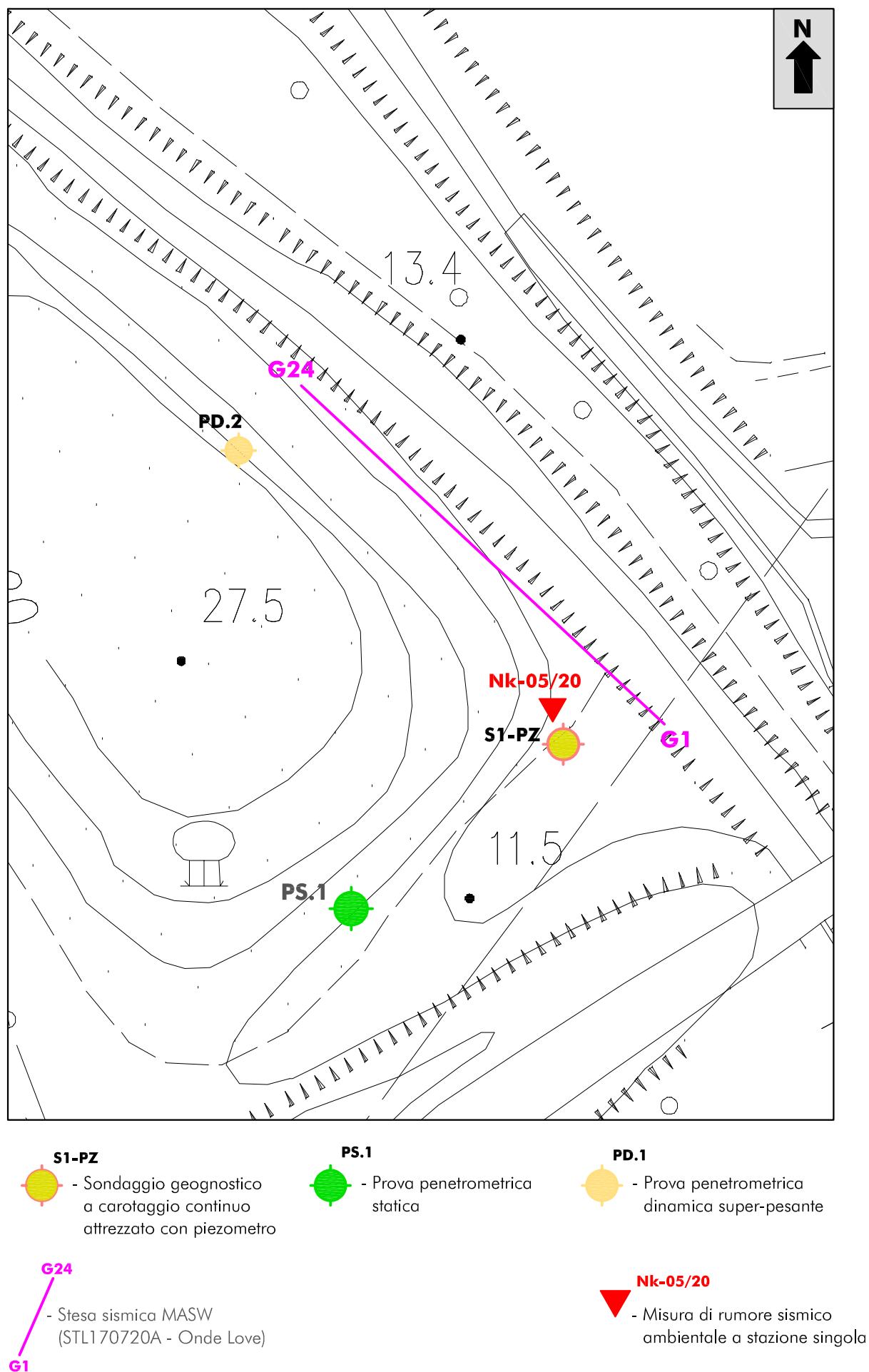
- #1. $[f_0 > 10/Lw]$: $3.273 > 0.25$ (OK)
- #2. $[nc > 200]$: $2749 > 200$ (OK)
- #3. $[f_0 > 0.5\text{Hz}; \sigma_A(f) < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0]$ (OK)

=== Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled) =====

- #1. $[\text{exists } f_- \text{ in the range } [f_0/4, f_0] \mid AH/V(f_-) < A_0/2]$: yes, at frequency 1.2 Hz (OK)
- #2. $[\text{exists } f_+ \text{ in the range } [f_0, 4f_0] \mid AH/V(f_+) < A_0/2]$: yes, at frequency 3.7 Hz (OK)
- #3. $[A_0 > 2]$: $3.6 > 2$ (OK)
- #4. $[f_{\text{peak}}[Ah/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%]$: (OK)
- #5. $[\sigma_A(f) < \epsilon(f_0)]$: $0.939 > 0.164$ (NO)
- #6. $[\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)]$: $0.428 < 1.58$ (OK)

FIG.2 - UBICAZIONE INDAGINI

(C.T.R. Regione Toscana - Foglio n. 19F26 - Scala 1:500)



ALLEGATO 2

Tabulati di calcolo dei parametri e coefficienti sismici (azione sismica)

Parametri sismici

Tipo di elaborazione: Stabilità dei pendii
Muro rigido: 0

Sito in esame.

latitudine: 43,828659
longitudine: 10,411416
Classe: 2
Vita nominale: 50

Siti di riferimento

| | | | | |
|----------|-----------|--------------|--------------|-----------|
| Sito 1 | ID: 19602 | Lat: 43,8435 | Lon: 10,3707 | Distanza: |
| 3659,150 | | | | |
| Sito 2 | ID: 19603 | Lat: 43,8453 | Lon: 10,4400 | Distanza: |
| 2942,926 | | | | |
| Sito 3 | ID: 19825 | Lat: 43,7953 | Lon: 10,4425 | Distanza: |
| 4467,211 | | | | |
| Sito 4 | ID: 19824 | Lat: 43,7935 | Lon: 10,3732 | Distanza: |
| 4969,158 | | | | |

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: E
Categoria topografica: T1
Periodo di riferimento: 50anni
Coefficiente cu: 1

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %
Tr: 30 [anni]
ag: 0,040 g
Fo: 2,569
Tc*: 0,233 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %
Tr: 50 [anni]
ag: 0,050 g
Fo: 2,551
Tc*: 0,249 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %
Tr: 475 [anni]
ag: 0,124 g
Fo: 2,362
Tc*: 0,287 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %
Tr: 975 [anni]
ag: 0,159 g
Fo: 2,389
Tc*: 0,290 [s]

Coefficienti Sismici Stabilità dei pendii

SL0:

Ss: 1,600
Cc: 2,060
St: 1,000
Kh: 0,013
Kv: 0,006
Amax: 0,635
Beta: 0,200

SLD:

Ss: 1,600
Cc: 2,000
St: 1,000
Kh: 0,016
Kv: 0,008
Amax: 0,788
Beta: 0,200

SLV:

Ss: 1,600
Cc: 1,890
St: 1,000
Kh: 0,048
Kv: 0,024
Amax: 1,953
Beta: 0,240

SLC:

Ss: 1,580
Cc: 1,890
St: 1,000
Kh: 0,060
Kv: 0,030
Amax: 2,467
Beta: 0,240

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50
Geostru

Coordinate WGS84

latitudine: 43.827696
longitudine: 10.410413

ALLEGATO 3

Tabulati di calcolo della verifica alla liquefazione

DATI GENERALI

Data 28/07/2020
Normativa: Norme Tecniche Costruzioni, Circolare 2 febbraio 2009, n.617

Fattore sicurezza normativa 1.25

FALDA
Profondità falda idrica 2.8 m

DATI SIMICI
Accelerazione Bedrock 0.124
Fattore amplificazione 2.362

Tipo Suolo: B-Sabbie, ghiaie molto addensate, argille molto consistenti $V_{s30}=360-800$
Morfologia: T1-Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$

Coefficiente amplificazione stratigrafica (SS) 1.2
Coefficiente amplificazione topografica (ST) 1
Magnitudo momento sismico (M_w) 5.68
Distanza epicentro 10 Km
Peak ground acceleration (PGA) 0.1488

PARAMETRI GEOTECNICI

| Strato Nr | Descrizio ne | Quota iniziale (m) | Quota finale (m) | Peso unità volume (KN/mc) | Peso unità volume saturo (KN/mc) | Numero colpi medio (Nspt) | D50 granuli (mm) | Resistenz a qc (KPa) | Resistenz a attrito laterale fs (KPa) | Velocità onde di taglio Vs (m/s) |
|-----------|--------------|--------------------|------------------|---------------------------|----------------------------------|---------------------------|------------------|----------------------|---------------------------------------|----------------------------------|
| 1 | U.LIT.A | 0 | 10 | 19 | 20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 184 |
| 2 | U.LIT.B | 10 | 15 | 19 | 20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 312 |

Eurocodice 8 VS

| Strato Nr. | Frazione limosa (%) | Frazione argillosa (%) | Indice di plasticità (%) | Tipo Suolo | Validità |
|------------|---------------------|------------------------|--------------------------|------------|----------|
| 1-U.LIT.A | 0 | 0 | | 1 | 1 |
| 2-U.LIT.B | 0 | 0 | | 1 | 1 |

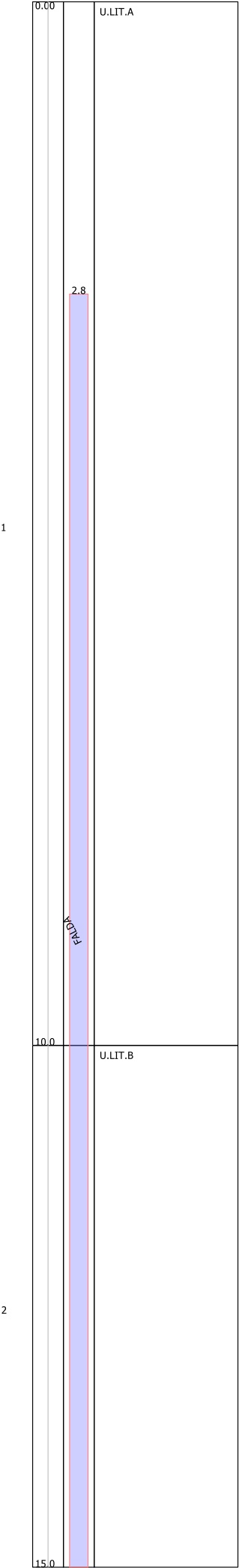
| Nr. | Profondità dal p.c. (m) | Pressione litostatica totale (KPa) | Pressione verticale effettiva (KPa) | Velocità normalizzata Vs1 (m/s) | Valore critico di Vs1 (V_{s1c}) (m/s) | Coefficiente riduttivo (rd) | Resistenza alla liquefazione (CRR) | Sforzo di taglio normalizzato (CSR) | Coefficiente di sicurezza Fs | Suscettibilità di liquefazione | Probabilità di liquefazione (%) |
|-----|-------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|---|-----------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| 1 | 3.00 | 57.200 | 55.239 | 213.431 | 220.000 | 0.977 | 0.270 | 0.041 | 6.58 | NL | 0.105 |
| 2 | 3.20 | 61.200 | 57.277 | 211.506 | 220.000 | 0.976 | 0.236 | 0.042 | 5.58 | NL | 0.174 |
| 3 | 3.40 | 65.200 | 59.316 | 209.665 | 220.000 | 0.974 | 0.215 | 0.043 | 4.94 | NL | 0.255 |
| 4 | 3.60 | 69.200 | 61.355 | 207.901 | 220.000 | 0.972 | 0.200 | 0.045 | 4.48 | NL | 0.344 |
| 5 | 3.80 | 73.200 | 63.393 | 206.209 | 220.000 | 0.971 | 0.189 | 0.046 | 4.13 | NL | 0.443 |
| 6 | 4.00 | 77.200 | 65.432 | 204.583 | 220.000 | 0.969 | 0.180 | 0.047 | 3.85 | NL | 0.549 |
| 7 | 4.20 | 81.200 | 67.471 | 203.020 | 220.000 | 0.968 | 0.173 | 0.048 | 3.62 | NL | 0.663 |
| 8 | 4.40 | 85.200 | 69.509 | 201.515 | 220.000 | 0.966 | 0.166 | 0.048 | 3.43 | NL | 0.784 |
| 9 | 4.60 | 89.200 | 71.548 | 200.064 | 220.000 | 0.965 | 0.161 | 0.049 | 3.27 | NL | 0.912 |
| 10 | 4.80 | 93.200 | 73.587 | 198.664 | 220.000 | 0.963 | 0.156 | 0.050 | 3.12 | NL | 1.047 |
| 11 | 5.00 | 97.200 | 75.625 | 197.311 | 220.000 | 0.962 | 0.152 | 0.051 | 3.00 | NL | 1.189 |
| 12 | 5.20 | 101.200 | 77.664 | 196.003 | 220.000 | 0.960 | 0.149 | 0.052 | 2.88 | NL | 1.337 |
| 13 | 5.40 | 105.200 | 79.703 | 194.738 | 220.000 | 0.959 | 0.145 | 0.052 | 2.78 | NL | 1.491 |

| | | | | | | | | | | | |
|----|-------|---------|---------|---------|---------|-------|-------|-------|------|----|-------|
| 14 | 5.60 | 109.200 | 81.741 | 193.512 | 220.000 | 0.957 | 0.142 | 0.053 | 2.69 | NL | 1.651 |
| 15 | 5.80 | 113.200 | 83.780 | 192.324 | 220.000 | 0.956 | 0.139 | 0.053 | 2.61 | NL | 1.817 |
| 16 | 6.00 | 117.200 | 85.819 | 191.171 | 220.000 | 0.954 | 0.137 | 0.054 | 2.53 | NL | 1.989 |
| 17 | 6.20 | 121.200 | 87.857 | 190.052 | 220.000 | 0.953 | 0.134 | 0.055 | 2.46 | NL | 2.167 |
| 18 | 6.40 | 125.200 | 89.896 | 188.966 | 220.000 | 0.951 | 0.132 | 0.055 | 2.40 | NL | 2.349 |
| 19 | 6.60 | 129.200 | 91.935 | 187.909 | 220.000 | 0.950 | 0.130 | 0.056 | 2.34 | NL | 2.537 |
| 20 | 6.80 | 133.200 | 93.973 | 186.882 | 220.000 | 0.948 | 0.128 | 0.056 | 2.28 | NL | 2.730 |
| 21 | 7.00 | 137.200 | 96.012 | 185.882 | 220.000 | 0.946 | 0.126 | 0.057 | 2.23 | NL | 2.928 |
| 22 | 7.20 | 141.200 | 98.051 | 184.908 | 220.000 | 0.945 | 0.124 | 0.057 | 2.18 | NL | 3.130 |
| 23 | 7.40 | 145.200 | 100.089 | 183.959 | 220.000 | 0.943 | 0.122 | 0.057 | 2.13 | NL | 3.337 |
| 24 | 7.60 | 149.200 | 102.128 | 183.034 | 220.000 | 0.942 | 0.121 | 0.058 | 2.09 | NL | 3.549 |
| 25 | 7.80 | 153.200 | 104.167 | 182.132 | 220.000 | 0.940 | 0.119 | 0.058 | 2.05 | NL | 3.765 |
| 26 | 8.00 | 157.200 | 106.205 | 181.251 | 220.000 | 0.939 | 0.118 | 0.059 | 2.01 | NL | 3.984 |
| 27 | 8.20 | 161.200 | 108.244 | 180.392 | 220.000 | 0.937 | 0.116 | 0.059 | 1.97 | NL | 4.208 |
| 28 | 8.40 | 165.200 | 110.283 | 179.552 | 220.000 | 0.936 | 0.115 | 0.059 | 1.94 | NL | 4.436 |
| 29 | 8.60 | 169.200 | 112.321 | 178.732 | 220.000 | 0.934 | 0.114 | 0.060 | 1.91 | NL | 4.668 |
| 30 | 8.80 | 173.200 | 114.360 | 177.930 | 220.000 | 0.933 | 0.112 | 0.060 | 1.87 | NL | 4.903 |
| 31 | 9.00 | 177.200 | 116.399 | 177.146 | 220.000 | 0.931 | 0.111 | 0.060 | 1.84 | NL | 5.142 |
| 32 | 9.20 | 181.200 | 118.437 | 176.379 | 220.000 | 0.928 | 0.110 | 0.061 | 1.82 | NL | 5.384 |
| 33 | 9.40 | 185.200 | 120.476 | 175.628 | 220.000 | 0.923 | 0.109 | 0.061 | 1.79 | NL | 5.630 |
| 34 | 9.60 | 189.200 | 122.515 | 174.892 | 220.000 | 0.918 | 0.108 | 0.061 | 1.76 | NL | 5.878 |
| 35 | 9.80 | 193.200 | 124.553 | 174.172 | 220.000 | 0.912 | 0.107 | 0.061 | 1.74 | NL | 6.130 |
| 36 | 10.00 | 197.200 | 126.592 | 173.467 | 220.000 | 0.907 | 0.106 | 0.062 | 1.71 | NL | 6.384 |
| 37 | 10.20 | 201.200 | 128.631 | 292.967 | 220.000 | 0.902 | 0.241 | 0.062 | 3.90 | NL | 0.531 |
| 38 | 10.40 | 205.200 | 130.669 | 291.817 | 220.000 | 0.896 | 0.239 | 0.062 | 3.84 | NL | 0.553 |
| 39 | 10.60 | 209.200 | 132.708 | 290.690 | 220.000 | 0.891 | 0.237 | 0.062 | 3.79 | NL | 0.575 |
| 40 | 10.80 | 213.200 | 134.747 | 289.584 | 220.000 | 0.886 | 0.235 | 0.063 | 3.75 | NL | 0.598 |
| 41 | 11.00 | 217.200 | 136.786 | 288.499 | 220.000 | 0.880 | 0.232 | 0.063 | 3.70 | NL | 0.622 |
| 42 | 11.20 | 221.200 | 138.824 | 287.434 | 220.000 | 0.875 | 0.230 | 0.063 | 3.65 | NL | 0.646 |
| 43 | 11.40 | 225.200 | 140.863 | 286.389 | 220.000 | 0.870 | 0.228 | 0.063 | 3.61 | NL | 0.670 |
| 44 | 11.60 | 229.200 | 142.902 | 285.362 | 220.000 | 0.864 | 0.226 | 0.063 | 3.57 | NL | 0.695 |
| 45 | 11.80 | 233.200 | 144.940 | 284.353 | 220.000 | 0.859 | 0.224 | 0.064 | 3.53 | NL | 0.721 |
| 46 | 12.00 | 237.200 | 146.979 | 283.362 | 220.000 | 0.854 | 0.223 | 0.064 | 3.49 | NL | 0.747 |
| 47 | 12.20 | 241.200 | 149.018 | 282.387 | 220.000 | 0.848 | 0.221 | 0.064 | 3.45 | NL | 0.774 |
| 48 | 12.40 | 245.200 | 151.056 | 281.430 | 220.000 | 0.843 | 0.219 | 0.064 | 3.41 | NL | 0.801 |
| 49 | 12.60 | 249.200 | 153.095 | 280.488 | 220.000 | 0.838 | 0.217 | 0.064 | 3.37 | NL | 0.829 |
| 50 | 12.80 | 253.200 | 155.134 | 279.562 | 220.000 | 0.832 | 0.215 | 0.065 | 3.33 | NL | 0.857 |
| 51 | 13.00 | 257.200 | 157.172 | 278.651 | 220.000 | 0.827 | 0.214 | 0.065 | 3.30 | NL | 0.886 |
| 52 | 13.20 | 261.200 | 159.211 | 277.755 | 220.000 | 0.822 | 0.212 | 0.065 | 3.26 | NL | 0.916 |
| 53 | 13.40 | 265.200 | 161.250 | 276.873 | 220.000 | 0.816 | 0.210 | 0.065 | 3.23 | NL | 0.946 |
| 54 | 13.60 | 269.200 | 163.288 | 276.004 | 220.000 | 0.811 | 0.208 | 0.065 | 3.19 | NL | 0.977 |
| 55 | 13.80 | 273.200 | 165.327 | 275.150 | 220.000 | 0.806 | 0.207 | 0.065 | 3.16 | NL | 1.008 |
| 56 | 14.00 | 277.200 | 167.366 | 274.308 | 220.000 | 0.800 | 0.205 | 0.066 | 3.13 | NL | 1.040 |
| 57 | 14.20 | 281.200 | 169.404 | 273.479 | 220.000 | 0.795 | 0.203 | 0.066 | 3.10 | NL | 1.073 |
| 58 | 14.40 | 285.200 | 171.443 | 272.662 | 220.000 | 0.790 | 0.202 | 0.066 | 3.07 | NL | 1.107 |
| 59 | 14.60 | 289.200 | 173.482 | 271.858 | 220.000 | 0.784 | 0.200 | 0.066 | 3.04 | NL | 1.141 |
| 60 | 14.80 | 293.200 | 175.520 | 271.065 | 220.000 | 0.779 | 0.199 | 0.066 | 3.01 | NL | 1.176 |
| 61 | 15.00 | 297.200 | 177.559 | 270.283 | 220.000 | 0.774 | 0.197 | 0.066 | 2.98 | NL | 1.212 |

IPL (Iwasaki)=0 Zcrit=20 m Rischio=Molto basso

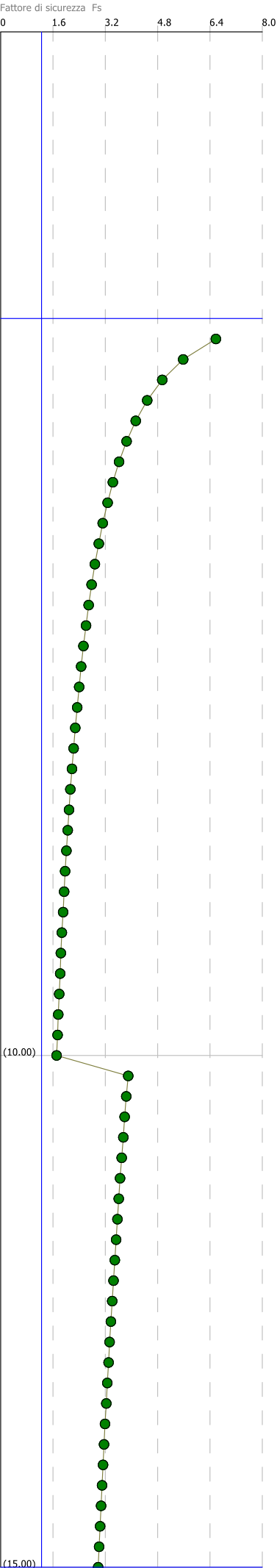
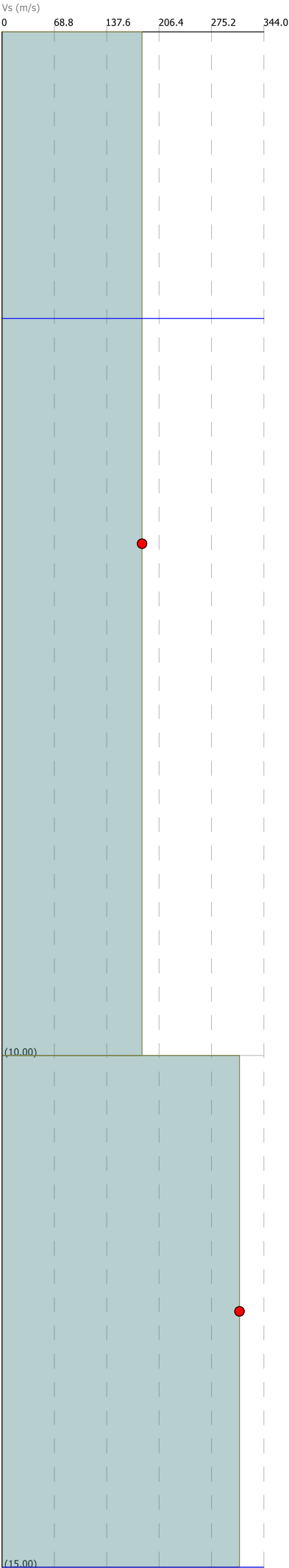
NL – Non Liquefacibile

Colonna stratigrafica



1

2



ALLEGATO 4
Taylor

Altezza critica di uno sbancamento a parete verticale.

Dati

| | | |
|-----|--|------------------------------------|
| C = | | (coesione in t/m ²) |
| γ = | | (peso di volume t/m ³) |

$$H_c = 2c_u / \gamma \quad \#DIV/0! \quad (\text{Altezza critica sbancamento})$$

Metodo del cerchio di attrito (Taylor, 1937)

Dati

| | | |
|------|-------|------------------------------------|
| C = | 1.07 | (Coesione in t/m ²) |
| γ = | 1.90 | (Peso di volume t/m ³) |
| H = | 4.20 | (Altezza dello sbancamento) |
| φ = | 24.00 | (Angolo attrito interno) |
| Ns = | 9.00 | (Numero di stabilità) |

$$F_c = c / \gamma * Ns / H = 1.21 \quad (\text{Fattore di sicurezza})$$

Metodo di Taylor corretto in funzione dei sovraccarichi prodotti dagli edifici adiacenti

Dati

| | | |
|--------------------|------|-------------------------------------|
| q = | 0 | (Sovraccarico in t/m ²) |
| H' = q / γ | 0.00 | (Altezza sovraccarico) |
| H _{TOT} = | 4.20 | (Altezza scavo corretta) |

$$F_c = c / \gamma * Ns / H_{TOT} = 1.21 \quad (\text{Fattore di sicurezza})$$

Dott. Geol. Giorgio Aprile

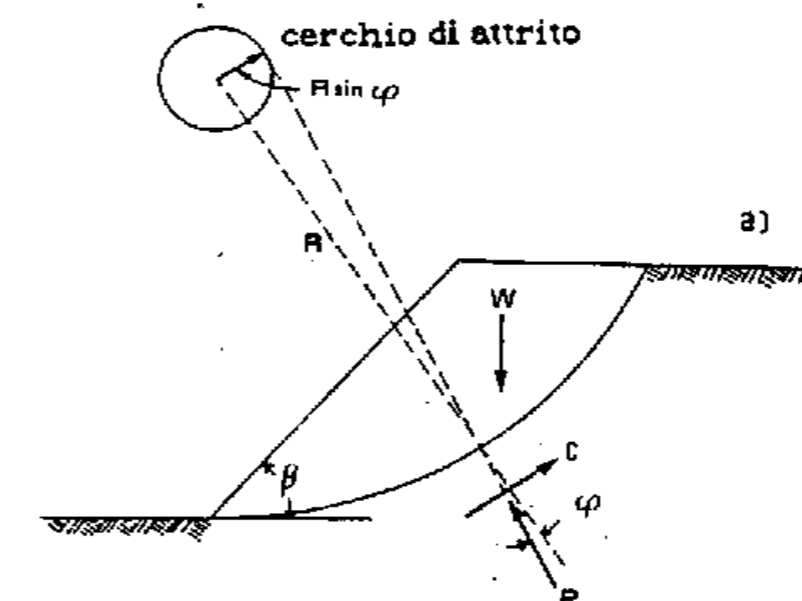
Studio di Geologia

Via Principessa Elena, 10

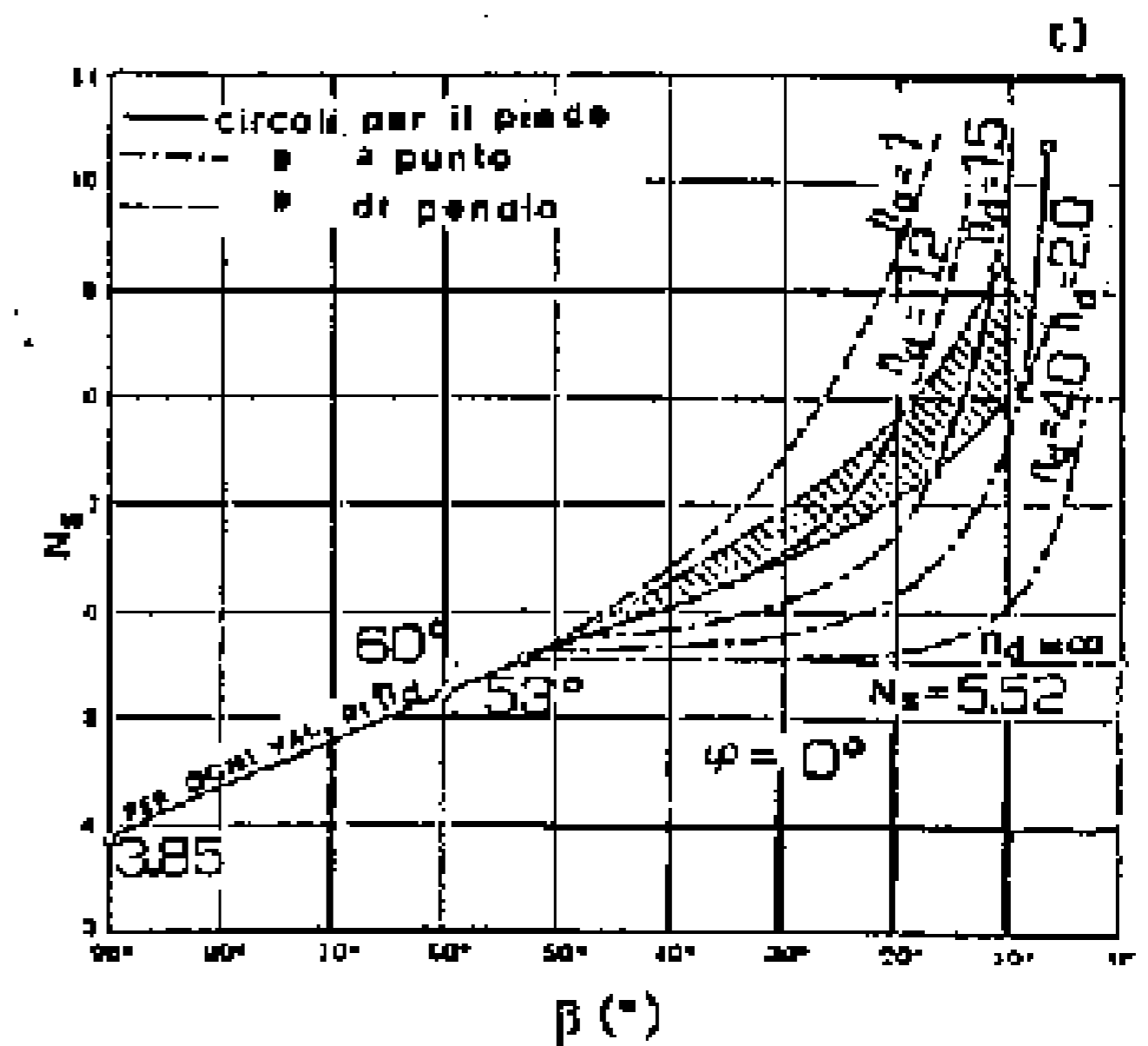
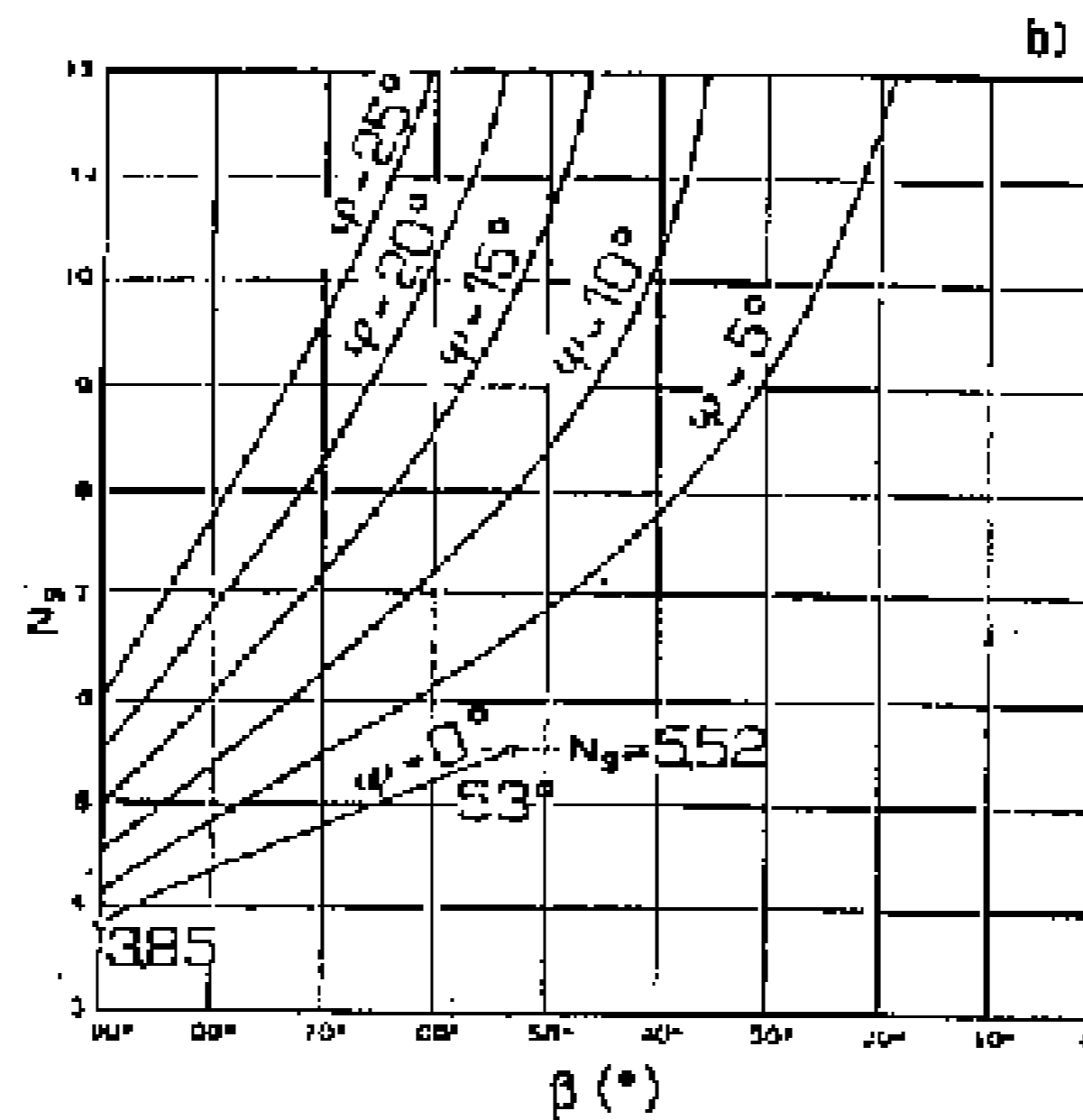
97014 Ispica (RG)

Tel. 0932/704121

E-mail aprilegiorgio@tiscali.it



W = peso del terreno
c = coesione
φ = angolo di attrito
β = angolo del pendio
P = forza risultante



a) Schema di riferimento; b) relazione fra angolo β ed Ns per terreno dotato di attrito; c) relazione fra angolo β ed Ns per φ = 0

Fonte: Taylor (1937), ridisegnato.