

REGIONE: Emilia Romagna

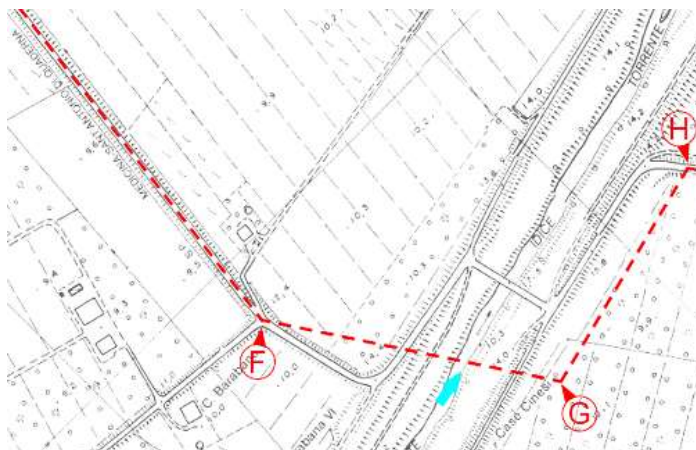
PROVINCIA: Bologna

COMUNE: Medicina

RELAZIONE GEOLOGICA - MODELLIZZAZIONE GEOTECNICA

PROGETTO: PROGETTO PER L'ATTRAVERSAMENTO INFERIORE CON LINEA MT del Torrente idice, in LOCALITÀ' SANT'ANTONIO, IN COMUNE DI MEDICINA (BO).

Caratterizzazione e modellizzazione geologica, geotecnica e sismica del sito.



NORMATIVA D.M. 17/01/2018, ENTRATA IN VIGORE IL 22/03/2018

DATA : 16-09-2022

DOCUMENTO : n. 60-022

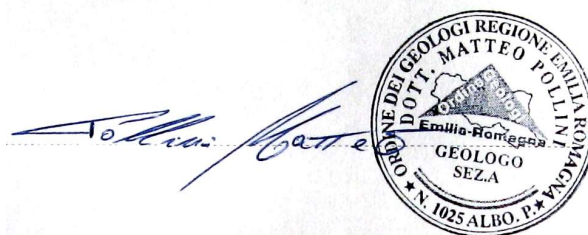
COMMITTENTE:

A.M. SOLAR s.r.l.

Vicolo Gabbiani, 30, 48121 Ravenna (RA)

GEOLOGO:

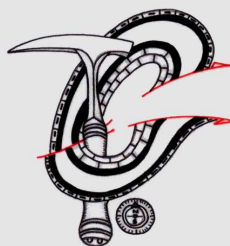
Dr.Geol. Matteo Pollini



I.GEO.S

- Sede legale: Argenta (FE) Via B. Tisi n. 5
Uffici Reggio Emilia (RE) : via Emilia S. Pietro
uffici support Bolzano (BZ): via C. di
Risparmio

Tel. : 339- 2613319

e.mail : pollinimatteo72@gmail.comPEC : pollinimatteo@epap.sicurezzapostale.it

- Geologia
- Geotecnica
- Idrogeologia
- Ambiente
- Sicurezza cantieri
- Fonti Rinnovabili

Associated M.P.E. – partner R.P.D.E.
Business Development BIOENERGIE

INDICE

| | |
|---|----|
| 1. PREMESSA..... | 3 |
| 2. VINCOLISTICA | 3 |
| 2.1. UBICAZIONI E CARATTERISTICHE GENERALI DELL'INTERVENTO | 3 |
| 2.2. QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO | 6 |
| 2.3. DESCRIZIONE DEL SITO D'INTERVENTO (vincolistica sovra comunale) | 6 |
| 2.4. INDIVIDUAZIONI DELLE PROBLEMATICHE AMBIENTALI..... | 11 |
| 2.5. ANALISI DOCUMENTAZIONE PIANI URBANISTICI | 11 |
| 2.6. ANALISI CARTOGRAFIA PIANI DI BACINO (PAI ; PIAE) | 11 |
| 3. GEOMORFOLOGIA e GEOLOGIA..... | 15 |
| 3.1. LITOLOGIA DI SUPERFICIE | 20 |
| 3.2.. SUBSIDENZA | 20 |
| 4. TETTONICA LOCALE | 20 |
| 5. DATI STORICI..... | 22 |
| 6. CARATTERISTICHE SISMICHE | 23 |
| 7. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO IN BASE ALLE N.T.C. 2018 | 25 |
| 7.1. VERIFICA DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE | 27 |
| 8. criticità idrauliche | 41 |
| 9. campagna di indagini | 41 |
| 10. STRUMENTAZIONE UTILIZZATA..... | 42 |
| 11. CARATTERISTICHE LITOSTRATIGRAFICHE E GEOTECNICHE (MODELLO GEOLOGICO) | 43 |
| 12. MODELLO IDROGEOLOGICO DELL'AREA..... | 49 |
| 13. VERIFICA AL SIFONAMENTO | 51 |
| 14. CONCLUSIONI E PRESCRIZIONI | 57 |

1. PREMESSA

Su incarico dei **A.M. SOLAR s.r.l.** (Vicolo Gabbiani, 30 - 48121 Ravenna (RA)), lo scrivente ha eseguito un'indagine geognostica in un sito sul quale è in progetto L'ATTRAVERSAMENTO INFERIORE CON LINEA MT del Torrente Idice, in comune di Molinella - BO). A quest'intervento è rivolta la seguente relazione geologica, che è stata realizzata allo scopo di ricavare indicazioni per la realizzazione del modello geologico locale, e per fornire definire le caratteristiche geologiche-geotecniche-idrogeologiche generali. Il **29-02-2008** il Senato ha approvato, senza modifiche, il disegno di legge n. 2013, nel testo licenziato dalla Camera dei deputati; pertanto il decreto-legge 31 dicembre 2007, n. 248, recante proroga di termini previsti da disposizioni legislative e disposizioni urgenti in materia finanziaria, il cosiddetto milleproroghe, è stato convertito in legge e si attende soltanto la pubblicazione sulla Gazzetta Ufficiale. Il 01-07-2009 è poi entrato in vigore il D.M. 14/01/2008 (sostituito con NTC 2018). **Il Comune di Medicina è stato classificato in zona 2**, e ad esso si applica la normativa antisismica dettata, in materia, dalla legislazione statale e regionale. Sulla scorta del D.M. 14/01/2008 (sostituito con NTC 2018), la Classe d'Uso risulta essere la IV. Le modalità d'indagine e i risultati ottenuti sono descritti e analizzati nel presente rapporto.

2. VINCOLISTICA

2.1. UBICAZIONI E CARATTERISTICHE GENERALI DELL'INTERVENTO

L'area oggetto del presente studio si trova a circa 5 Mw a sud est del centro abitato di Medicina (BO). Precisamente la linea di progetto, si trova in corrispondenza del torrente idice, a nord ovest della frazione di Sant'Antonio e prevede un attraversamento TOC dalle aree in dx idraulica alle aree in sx idraulica del Torrente Idice, passando al di sotto del suo alveo.

Per fornire un'indicazione più precisa sull'ubicazione dell'area oggetto di intervento vengono riportate: uno stralcio della Carta Tecnica Regionale.

Considerata la natura dei terreni attraversati e la necessità di assicurare un'ottima qualità del servizio, si propone di realizzare in cavo interrato utilizzando la tecnica della Trivellazione Orizzontale Controllata (TOC) tecnologia ormai consolidata.

Con tale sistema è possibile installare condutture al di sotto di grandi vie, di corsi d'acqua, canali marittimi; ultimamente tale tecnologia sta permettendo di intervenire in modo efficace anche a profondità importanti.

Le fasi operative per la posa di una tubazione mediante trivellazione controllata sono essenzialmente tre: Esecuzione del foro pilota; Alesatura del foro; Tiro e posa della tubazione.

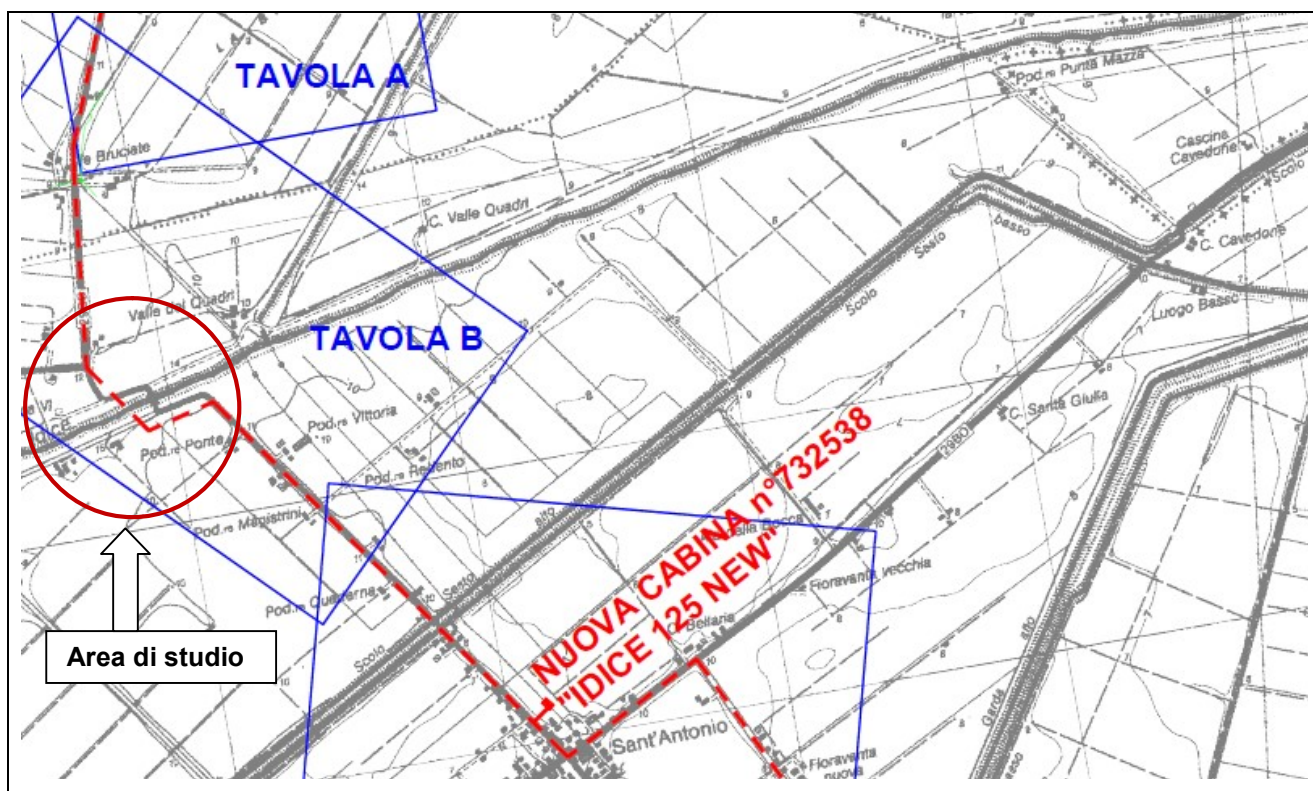


Fig. 1 - Ubicazione tracciato nuova linea elettrica con indicazione area di studio per attraversamento TOC. Scala 1:25.000, ridotta del 20%.

Legenda :

- **CPTU1** – prova penetrometrica statica a punta elettrica
- **CPT2** – prova penetrometrica statica a punta meccanica
- ◆ **S1** – Sondaggio a carotaggio continuo

Fig. 1a - Ubicazione tracciato nuova linea elettrica e prove geognostiche eseguite. Scala 1:5.000, ridotta del 14%. Il sondaggio 22...e la Cptu 22... sono derivate dalla banca dati della RER

Comune Medicina (BO)

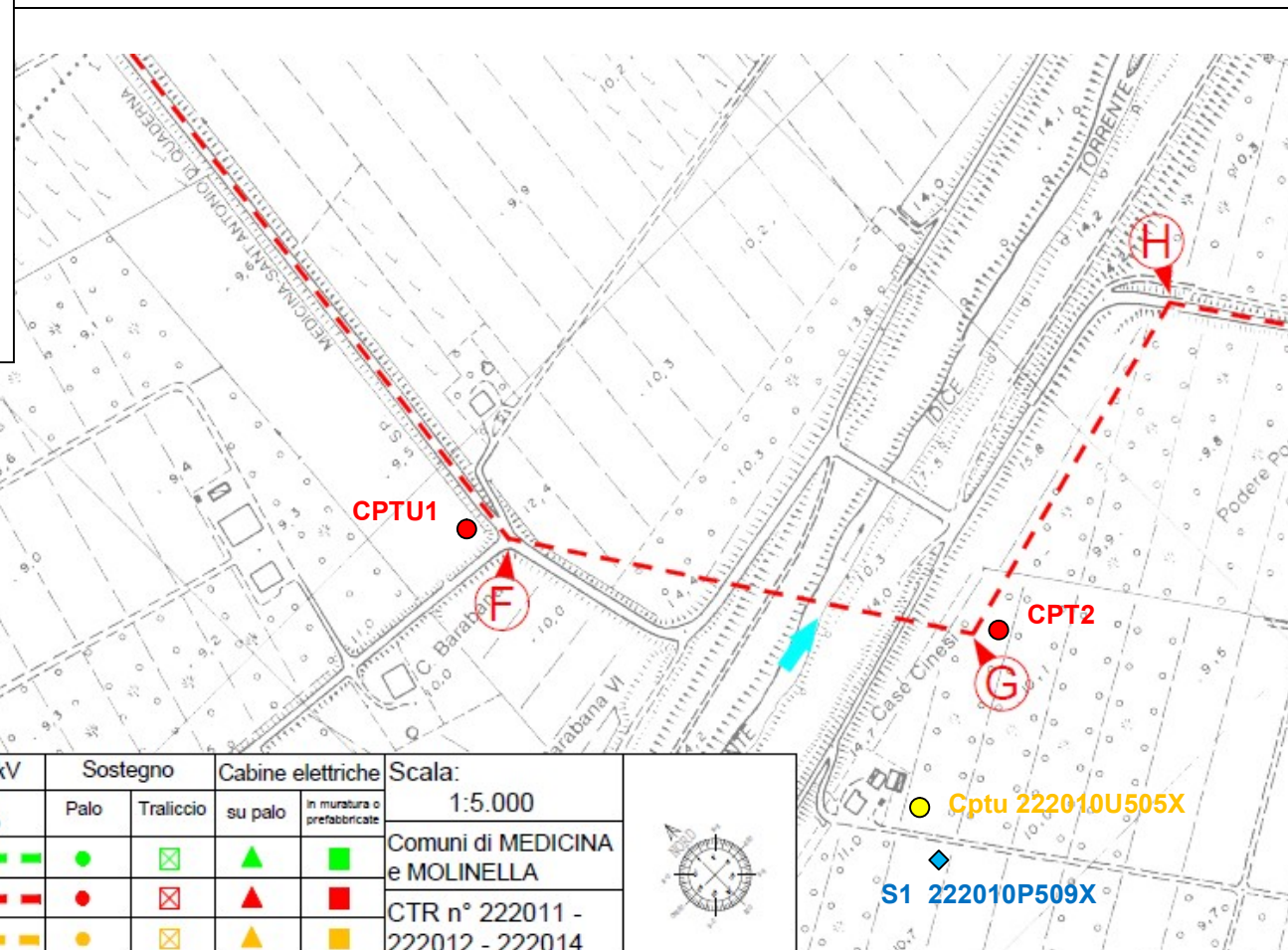
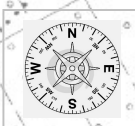


TAVOLA B

| LEGENDA | Linee a 15 kV | Linee ad eliche visibili a 15 kV | | Sostegno | | Cabine elettriche | | Scala: |
|-------------|--------------------------------|----------------------------------|------------------|----------|-----------|-------------------|-----------------------------|---|
| | Linea aerea in conduttori nudi | Cavo aereo elicoord | Cavo sotterraneo | Palo | Traliccio | su palo | in muratura o prefabbricate | 1:5.000 |
| Esistente | | | | | | | | Comuni di MEDICINA e MOLINELLA CTR n° 222011 - 222012 - 222014 |
| In progetto | | | | | | | | |
| Da demolire | | | | | | | | |



● **Cptu 222010U505X**
◆ **S1 222010P509X**

2.2. QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO

Tutte le indagini geognostiche e le valutazioni geotecniche svolte nel presente lavoro sono state eseguite secondo le seguenti normative e raccomandazioni di riferimento:

D.M. 14-03-2008 : “Testo Unitario”-Norme Tecniche per le Costruzioni (entrato in vigore il 01/07/2009). Sostituito dal **D.M. 17.01.2018 (NTC) entrato in vigore il 22/03/2018**

- **Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici** : “Istruzioni per l’applicazione delle Norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 14 gennaio 2008. Circolare e febbraio 2009.

- **Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici** : “Pericolosità Sismica e criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale. Allegato al voto n.36 del 27-07-2007.

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

Eurocodice 7.1 (1997) : Progettazione geotecnica-Parte I: regole generali - UNI

Eurocodice 7.2 (2002) : Progettazione geotecnica-Parte II: progettazione assistita da prove di laboratorio (2002) UNI

Eurocodice 7.3 (2002) : Progettazione geotecnica-Parte II: progettazione assistita da prove in sito (2002)-UNI

A.G.I. Associazione Geotecnica Italiana

“Aspetti Geotecnica della progettazione in zona sismica” Linee Guida (edizione provvisoria marzo 2005)

PTCP: Piano Territoriale di Coordinamento provinciale

PSC intercomunale

- **Nota Regione Emilia Romagna (13/10/2009)** “conclusione del regime transitorio delle norme tecniche per le costruzioni di cui al D. M. 14 gennaio 2008 ed illustrazione dell’art. 64, comma 7, della L.R. n. 6 del 2009.”

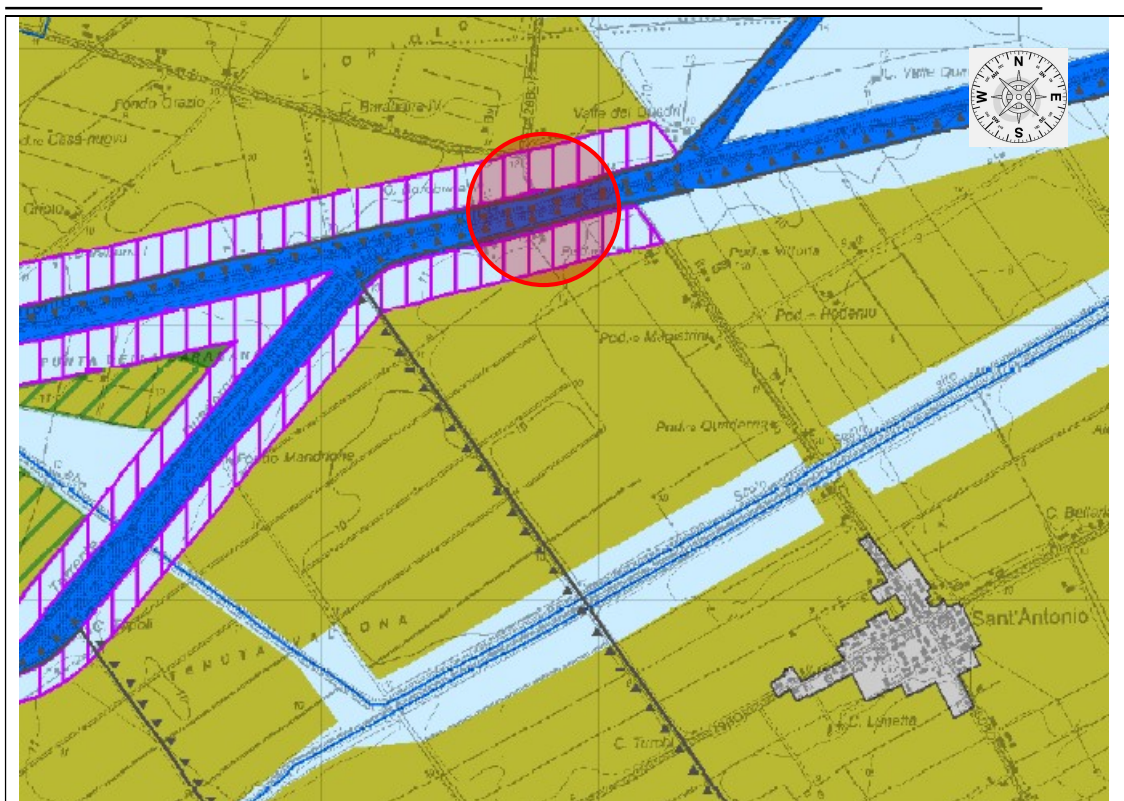
- **Linee Guida (luglio 2010)** NTC 2008; Gruppo Interregionale dell’Ordine dei Geologi

2.3. DESCRIZIONE DEL SITO D’INTERVENTO (VINCOLISTICA SOVRA COMUNALE)

Dal punto di vista della vincolistica a scala sovra comunale, si fa riferimento a quanto riportato nel PTCP/PTM attualmente vigente, della Provincia di Bologna e dalle cartografie del psc. Secondo tali strumenti urbanistici, il sito fa parte di un’ampia zona ad allungamento EW, denominato “aree interessate da bonifiche storiche di pianura”, nonché aree urbanizzate. Secondo la Carta schema assetto strutturale scala 1:10.000, l’area è inserita ai bordi del territorio urbanizzato e ambito di potenziale localizzazione di nuovi insediamenti urbani.

Secondo il nuovo PTM di Bologna, il sito indagato ha le seguenti caratteristiche:

- Carta degli ecosistemi tav.2 (PTM Bologna), scala 1:25.000. il sito indagato fa parte di Aree agricole della Pianura delle Bonifiche, entro le fasce perfluviali della pianura (art. 22) ad alta probabilità di inondazione al bordo del perimetro delle aree protette e siti della rete Natura 2000.
- Carta della struttura tav.1 (PTM Bologna), scala 1:50.000. il sito indagato fa parte di aree di ecosistema agricolo, delle acque ferme e correnti, in aree protette.
- Carta di area vasta del rischio idraulico, rischio da frana e dell'assetto dei versanti tav.2 (PTM Bologna), scala 1:25.000. il sito indagato, ricade in aree (PGRA) di scenario P1 e P2 derivato dal reticolo naturale principale e secondario (RP) e si trova ad est di aree a scenario P2 derivato dal reticolo naturale principale (RP), entrambe, in ambito di controllo degli apporti d'acqua in pianura, entro le fasce perfluviali della pianura (art. 22) ad alta probabilità di inondazione (PSAI)
- Carta di area vasta delle aree suscettibili di effetti locali tav.4 (PTM Bologna), scala 1:65.000. il sito indagato si trova in parte in aree tipo C (Sedimenti prevalentemente fini di pianura - Depositi coesivi prevalenti (limi, limi argillosi, argille).
- Carta degli elementi geologici che possono determinare effetti locali (PTM Bologna), scala 1:25.000. il sito indagato si trova su depositi di piana fluviale prevalentemente fini



Legenda:

Ecosistema urbano

Ecosistemi delle acque correnti (Art. 19)

Alveo attivo e reticolo idrografico (Art. 20)

Reticolo idrografico principale

Reticolo idrografico secondario

Reticolo idrografico minore

Canali di bonifica

Fasce perfluviali di pianura (Art. 22)

Aree interne alle fasce perfluviali

Aree ad alta probabilità di inondazione

Ecosistema Agricolo della pianura (Art. 16 e 18)

Aree agricole della Pianura Alluvionale

Aree agricole costituenti zone di particolare interesse naturalistico e paesaggistico della pianura alluvionale

Aree agricole della Pianura delle Bonifiche

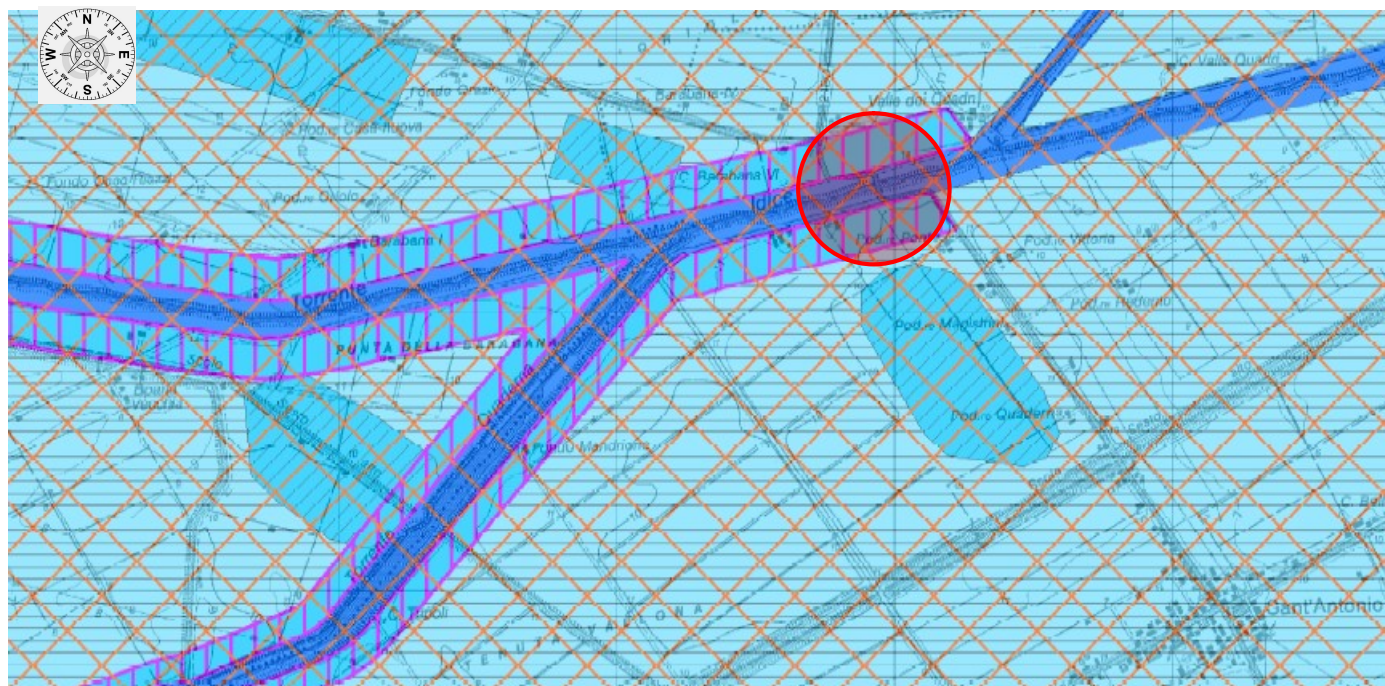
Aree agricole costituenti zone di particolare interesse naturalistico e paesaggistico della pianura delle bonifiche

Aree protette e siti delle rete Natura 2000

Perimetro delle aree protette e Siti della Rete Natura 2000

area indagata

Fig. 3 – Carta degli ecosistemi tav.2 (PTM Bologna), scala 1:25.000, ridotta del 20%.



Legenda:

area indagata

Zonizzazione del rischio idraulico PSAI

- Alvei attivi e invasi dei bacini idrici
- Aree ad alta probabilita' di inondazione
- Aree a rischio di inondazione in caso di eventi di pioggia con tempo di ritorno di 200 anni

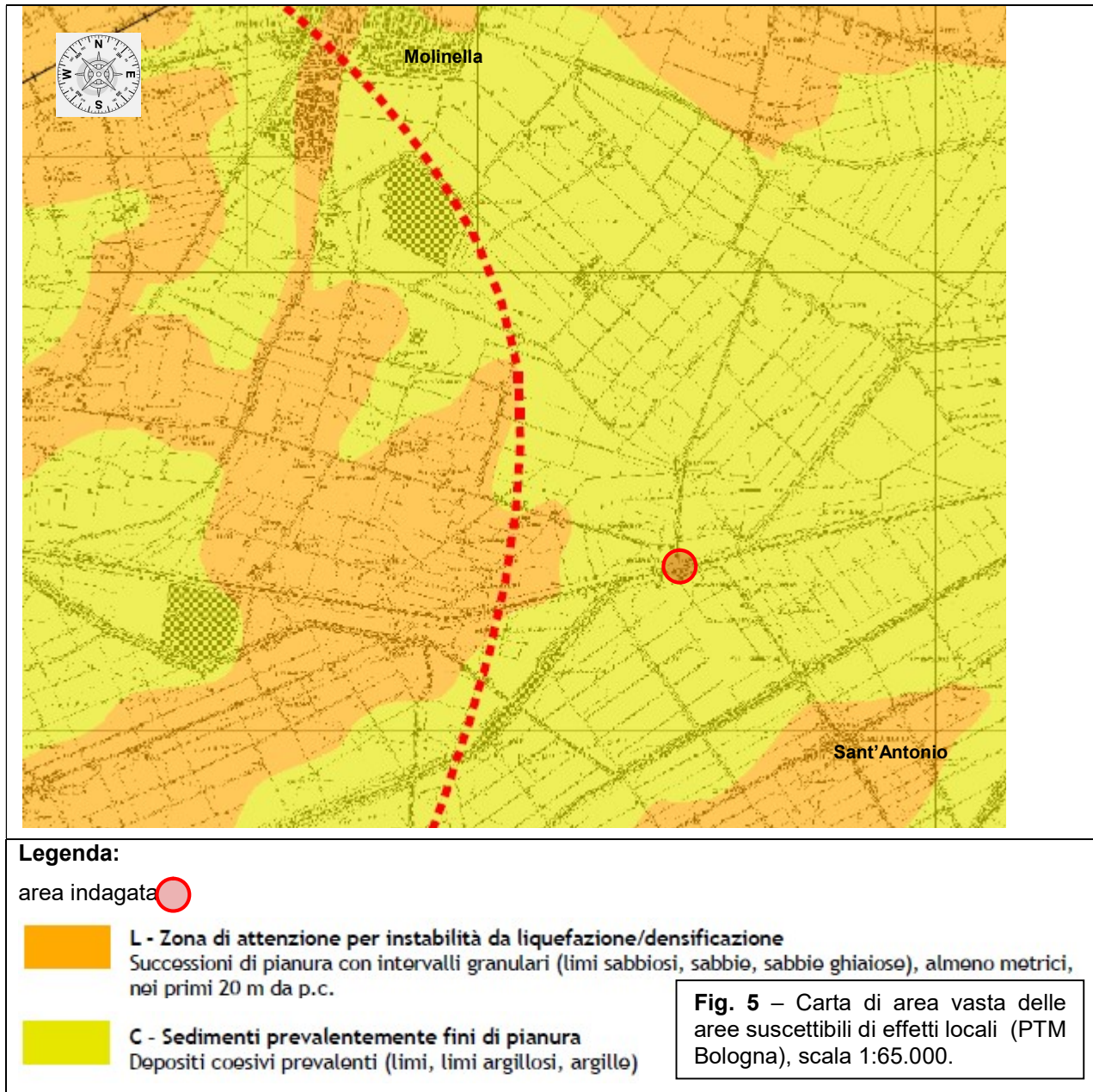
Scenari di pericolosità idraulica PGRA

- Scenario P3 derivato dal Reticolo Secondario di Pianura (RSP)
- Scenario P3 derivato dal Reticolo Naturale Principale e Secondario (RP)
- Scenario P2 derivato dal Reticolo Naturale Principale e dal Reticolo Secondario di Pianura (RP+RSP)
- Scenario P2 derivato dal Reticolo Secondario di Pianura (RSP)
- Scenario P2 derivato dal Reticolo Naturale Principale (RP)
- Scenario P1 derivato dal Reticolo Naturale Principale e Secondario (RP)

Gestione delle acque meteoriche

- Ambito di controllo degli apporti d'acqua in pianura

Fig. 4 – Carta di area vasta del rischio idraulico, rischio da frana e dell'assetto dei versanti tav.3 (PTM Bologna), scala 1:25.000, ridotta del 20%.



2.4. INDIVIDUAZIONI DELLE PROBLEMATICHE AMBIENTALI

Dal punto di vista ambientale, le problematiche connesse al sito indagato riguardano la presenza dell'attraversamento in profondità sia delle arginature di sinistra che in destra idraulica, dei corsi fluviali interessati dalla TOC. Il tracciato in progetto, come da prescrizioni, dovrà essere posto ad una profondità tale da non interferire né con l'assetto idrogeologico dei corsi fluviali locali né determinare squilibri sulle arginature presenti. Il sito indagato non attraversa terreni interessati da fenomeni franosi e, dal punto di vista cartografico, le aree interessate non fanno parte né di aree di risorgive né di fontanazzi segnalati.

2.5. ANALISI DOCUMENTAZIONE PIANI URBANISTICI

Si fa riferimento a quanto riportato nelle cartografie esistenti di ptcp/ptm e psc, per le azioni di piano, che fornisce indicazioni in merito alle limitazioni e destinazioni d'uso del territorio dal punto di vista idro-geo-morfologico.

Secondo quanto riportato dai vari strumenti urbanisti comunali e sovracomunali, si possono riassumere le seguenti caratteristiche:

carta dei vincoli idrogeologici ed idraulici:

Secondo la Carta della sicurezza idraulica ed idrogeologica l'area di studio fa parte di una fascia, ad andamento est ovest, di area perfluviale con alta probabilità di alluvionamento (questo secondo le cartografie esistenti e secondo i modelli matematici utilizzati dagli enti di competenza per la redazione delle relative cartografie). Il sito indagato, secondo le cartografie comunali non ha vincoli particolari che possano precludere all'intervento in progetto.

2.6. ANALISI CARTOGRAFIA PIANI DI BACINO (PAI ; PIAE)

Secondo la cartografia del PAE (piano attività estrattive) comunale e del PIAE provinciale, l'area indagata non ricade in zone di escavazione inerti. Secondo quanto riportato nel PAI (Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico del Fiume PO e fiume Reno), il sito indagato risulta non essere interessato da emergenze naturalistiche, paesaggistiche e storico-culturali presenti nelle aree di dissesto idraulico ed idrogeologico. Tutta l'area di Molinella, secondo

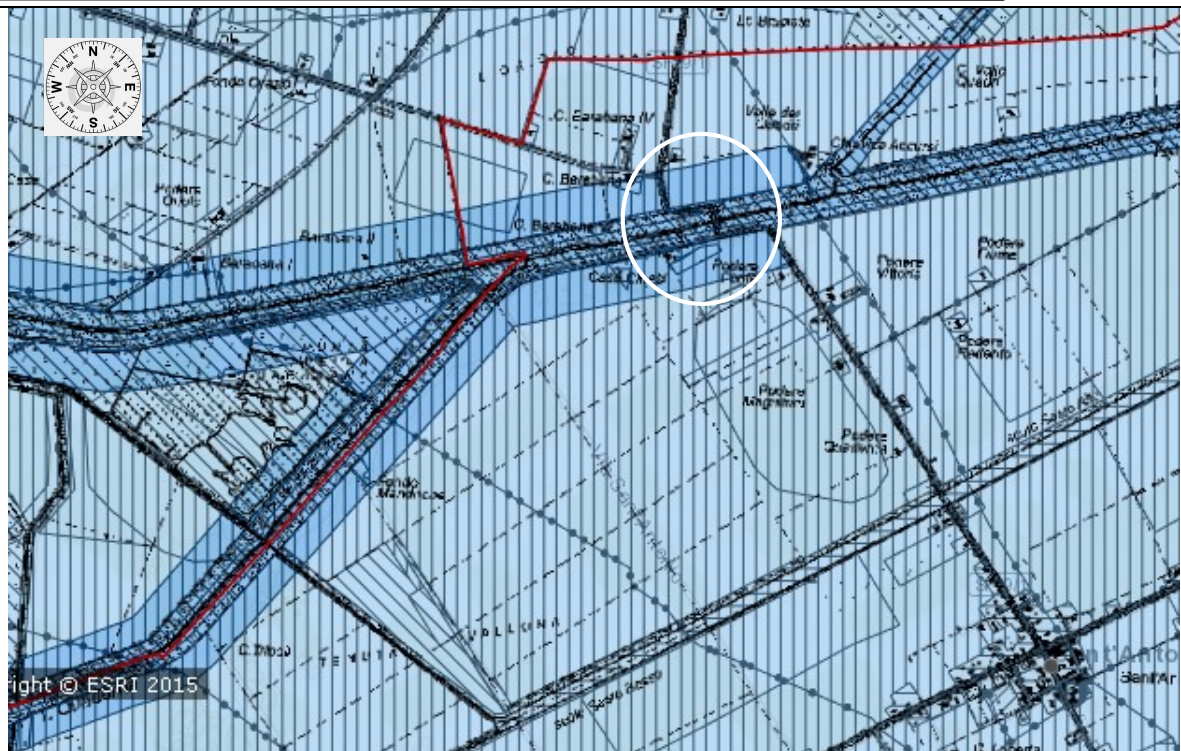
la carta Pai del rischio idraulico ed idrogeologico, sono caratterizzate da un rischio R1 (moderato), ed R2 (medio) con assenza di criticità relativamente agli assetti morfologici dei manufatti arginali (questo secondo le cartografia esistenti ed in assenza di modellazioni e simulazioni su rischi idraulici specifici).

In particolare si riportano di seguito le cartografie relative:

<https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/suolo-bacino/sezioni/pianificazione/autorita-bacino-reno/psai/tavole-tit-ii-reno-tavole>

Secondo la cartografia interattiva della RER sulla direttiva alluvioni, il sito indagato ha le seguenti caratteristiche:







- > Distretto_idrografico_fiume_Po
- > PUOM_Alluvioni_frequenti_H_P3_ITI021FHMHRPRER_2022
- > PUOM_Alluvioni_poco_frequenti_M_P2_ITI021FHMMRPRER_2022
- > PUOM_Alluvioni_rare_L_P1_ITI021FHMLRPRER_2022
- > PUOM_Alluvioni_poco_frequenti_M_P2_ITI021FHMMRSPRER_2022
- > Distretto_idrografico_fiume_Po
- > EESP_Reticolo_Principale_ITI021FRMRERPOLY_2019
- > EESP_Reticolo_Secondario_di_Pianura_ITI021FRMRERPOLY_2019
- > PUOM_Alluvioni_frequenti_H_P3_ITI021FHMHRPRER_2019
- > PUOM_Alluvioni_poco_frequenti_M_P2_ITI021FHMMRPRER_2019
- > PUOM_Alluvioni_rare_L_P1_ITI021FHMLRPRER_2019
- > PUOM_Alluvioni_poco_frequenti_M_P2_ITI021FHMMRSPRER_2019



Legenda:

EESP_Poligoni_Bacino_Reno_ITI021_2019

EESP_Reticolo_Principale_ITI021FRMRERPOLY_2019

-  Infrastrutture strategiche
-  Insediamenti produttivi o impianti tecnologici, potenzialmente pericolosi dal punto di vista ambientale
-  Zone urbanizzate
-  Attività produttive
-  Strutture strategiche e sedi di attività collettive
-  Beni ambientali, storici e culturali di rilevante interesse; beni ambientali, storici e culturali di rilevante interesse

PUOM_Bacino_Reno_ITI021_2019

PUOM_Reticolo_Principale_ITI021_2019

PUOM_Alluvioni_frequenti_H_P3_ITI021FHMHRPRER_2019



PUOM_Alluvioni_poco_frequenti_M_P2_ITI021FHMMRPRER_2019



PUOM_Alluvioni_rare_L_P1_ITI021FHMLRPRER_2019



PUOM_Reticolo_Secondario_di_Pianura_ITI021_2019

PUOM_Alluvioni_frequenti_H_P3_ITI021FHMHRSPRER_2019



PUOM_Alluvioni_poco_frequenti_M_P2_ITI021FHMMRSPRER_2019



PUOM_Distretto_Po_ITN008_2019

PUOM_Reticolo_Principale_ITN008_2019

PUOM_Alluvioni_frequenti_H_P3_ITN008FHMHRPRER_2019



PUOM_Alluvioni_poco_frequenti_M_P2_ITN008FHMMRPRER_2019



PUOM_Alluvioni_rare_L_P1_ITN008FHMLRPRER_2019



RUOM_Reticolo_Secondario_di_Pianura_ITR081FRMRERPOLY_2019

-  R1
-  R2
-  R3
-  R4

RUOM_Poligoni_Bacino_Reno_ITI021_2019

RUOM_Reticolo_Principale_ITI021FRMRERPOLY_2019

-  R1
-  R2
-  R3
-  R4

Fig. 6 – carta rischio alluvioni (PAI Reno e Po) Il sito indagato è puntato, in figura.
<https://servizimoka.regione.emilia-romagna.it/mokaApp/apps/DA/index.html>

3. GEOMORFOLOGIA E GEOLOGIA

L'area ha quote topografiche comprese tra + 8 e 9 metri slm (escluso le sommità arginali). Dallo studio della Carta geologica di pianura dell'Emilia Romagna scala 1: 250.000, il territorio in cui ricade l'area in esame è interessato dalla presenza di depositi di piana alluvionale. A questi corrispondono sia a) sabbie da medie a fini in strati di spessore decimetrico passanti lateralmente ed intercalate a sabbie fini e finissime limose, localmente sabbie grossolane in corpi lenticolari e nastriformi (depositi di canale distributore e di argine) argille limose, argille e limi argillosi laminati, localmente con concentrazioni di materiali organici parzialmente decomposti. Area interfluviale e depositi di palude. Da un punto di vista podologico (note illustrative della Carta dei suoli della Regione Emilia Romagna), l'area ricade in una zona transizionale fra: a) Gruppo 2, Sottogruppo 2A, Unità 2 Aa, e b) Gruppo 3, Sottogruppo 3A, Unità 3 Ab. La conformazione del rilievo dell'Unità 2 Aa è caratterizzata da depressioni, prima occupate da acque palustri e gradualmente bonificate nel corso degli ultimi secoli. I suoli di questa unità sono pianeggianti, con pendenza che varia tipicamente da 0,05 a 0,1%. Molto profondi, a tessitura fine, calcarei e con moderata disponibilità di ossigeno, sono moderatamente alcalini.

Formati in sedimenti a tessitura fine, l'evoluzione di questi suoli è stata improntata da fenomeni di contrazione e rigonfiamento delle argille, con strutturazione di tipo fisico-meccanico, tendente ad uniformarne il profilo. La conformazione del rilievo dell'Unità 3 Ab invece, è caratterizzata da estesi dossi fluviali, con fiumi pensili rispetto al piano campagna ed imbrigliati artificialmente con potenti arginature. Formatosi in sedimenti a tessitura media, sono caratterizzati da deboli evidenze di soluzione e riprecipitazione dei carbonati; tracce di idromorfia, con riduzione e segregazione locale del ferro libero, si trovano nelle parti più profonde del substrato.

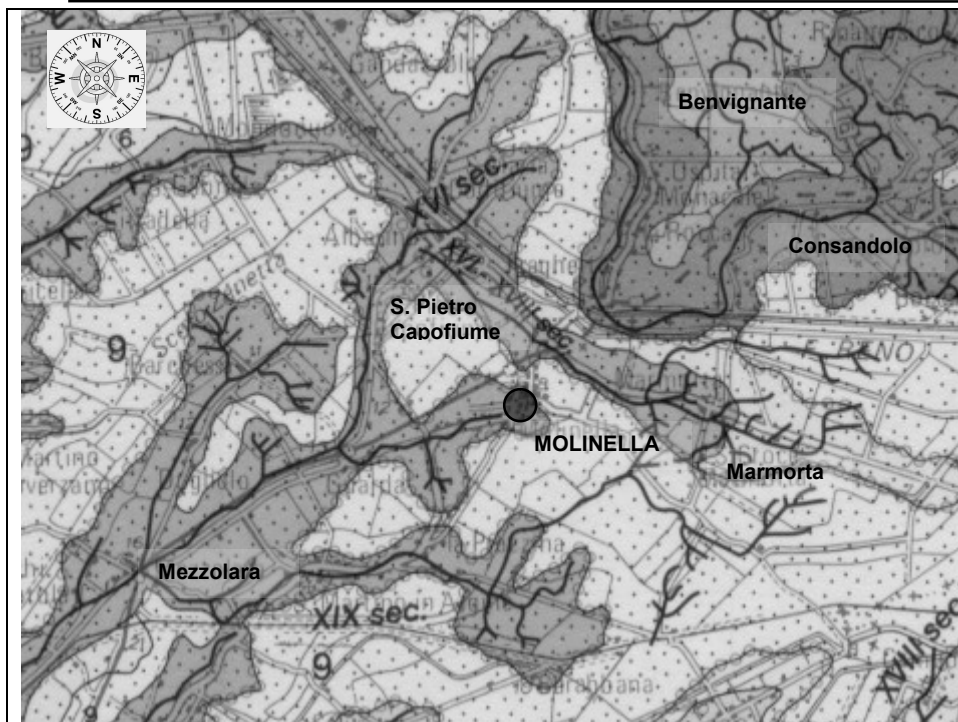
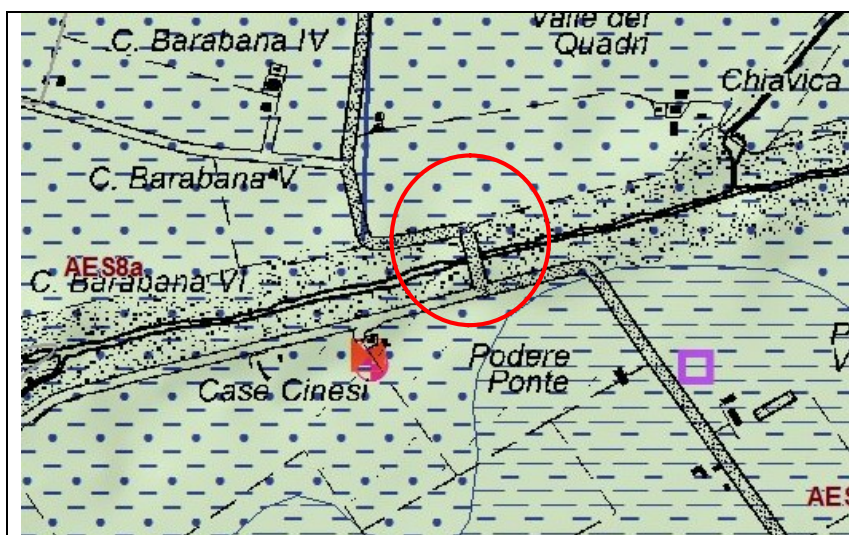


Fig. 7 – estratto carta geologica di pianura dell'Emilia Romagna alla scala 1: 250000. Da notare come il territorio in oggetto, sia interessato dalla presenza di depositi alluvionali fluviali.



Legenda:

Linee geomorf./antrop. (10K)

— ventaglio di esondazione

Ambienti deposiz. e litologie (10K)

Argilla Limosa - Piana alluvionale

— Limo Sabbioso - Piana alluvionale

Coperture quaternarie (10K)

□ AES8a - Unità di Modena

Fig. 7B – carta geologica di pianura di Molinella, tratto da sito wed RER. Scala 1:10.000 rimpicciolita del 20%.

legenda AES8a - Unità di Modena

| | |
|-------------------------|------------------------------------|
| nome | Unità di Modena |
| tessitura | Limo Sabbioso |
| sigla tessitura | LS |
| ambiente | Piana alluvionale |
| deposito | Piana alluvionale |
| legenda tessitura | Limo Sabbioso - Piana alluvionale |
| AES8a - Unità di Modena | |
| nome | Unità di Modena |
| tessitura | Argilla Limosa |
| sigla tessitura | AL |
| ambiente | Piana alluvionale |
| deposito | Piana alluvionale |
| legenda tessitura | Argilla Limosa - Piana alluvionale |

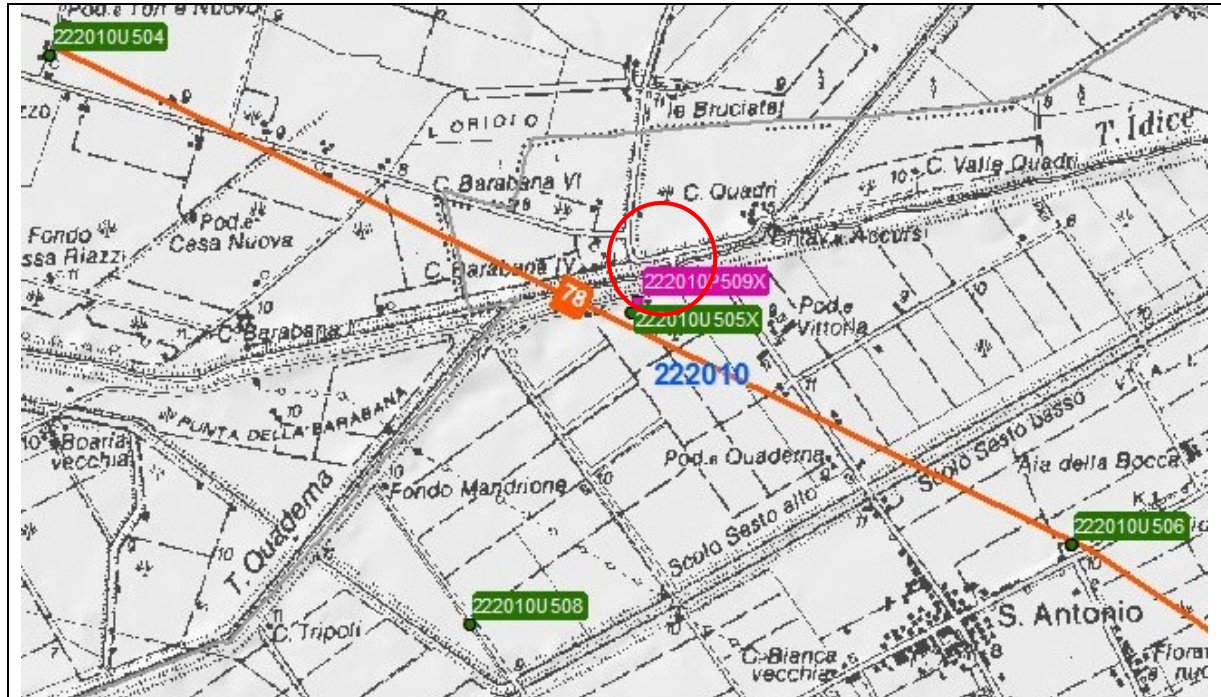
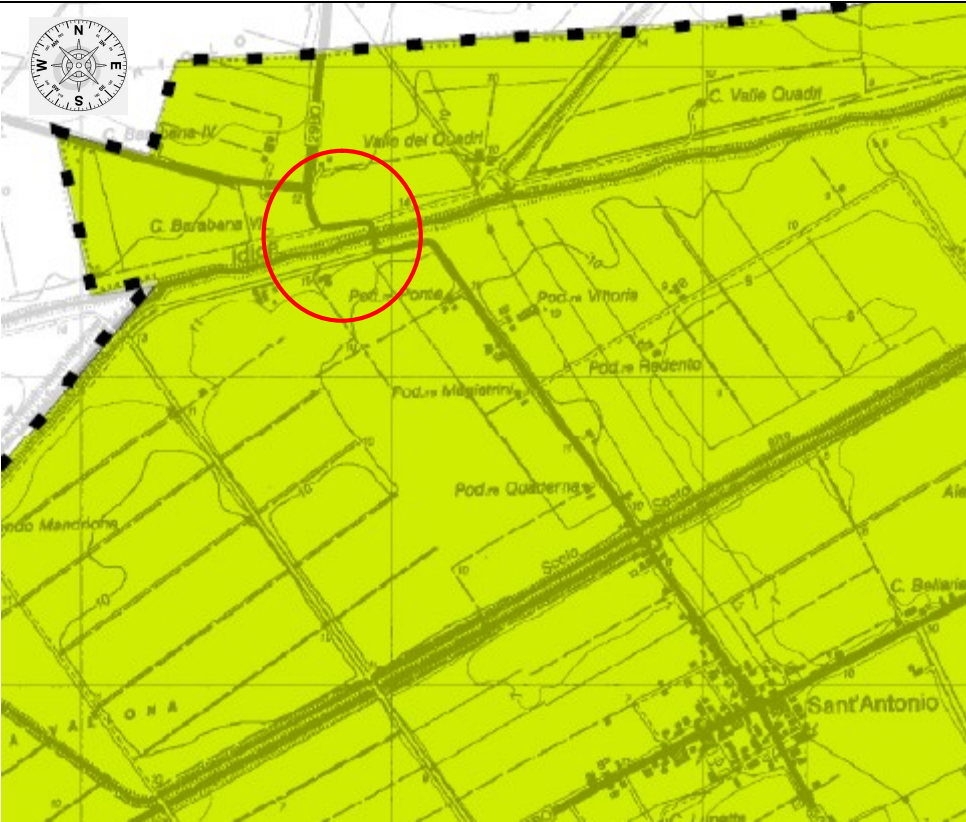


Fig. 7C – carta sezioni geolitologiche di pianura tra Medicina e Molinella, tratto da sito wed RER. Scala 1:30.000 rimpicciolita del 10%.

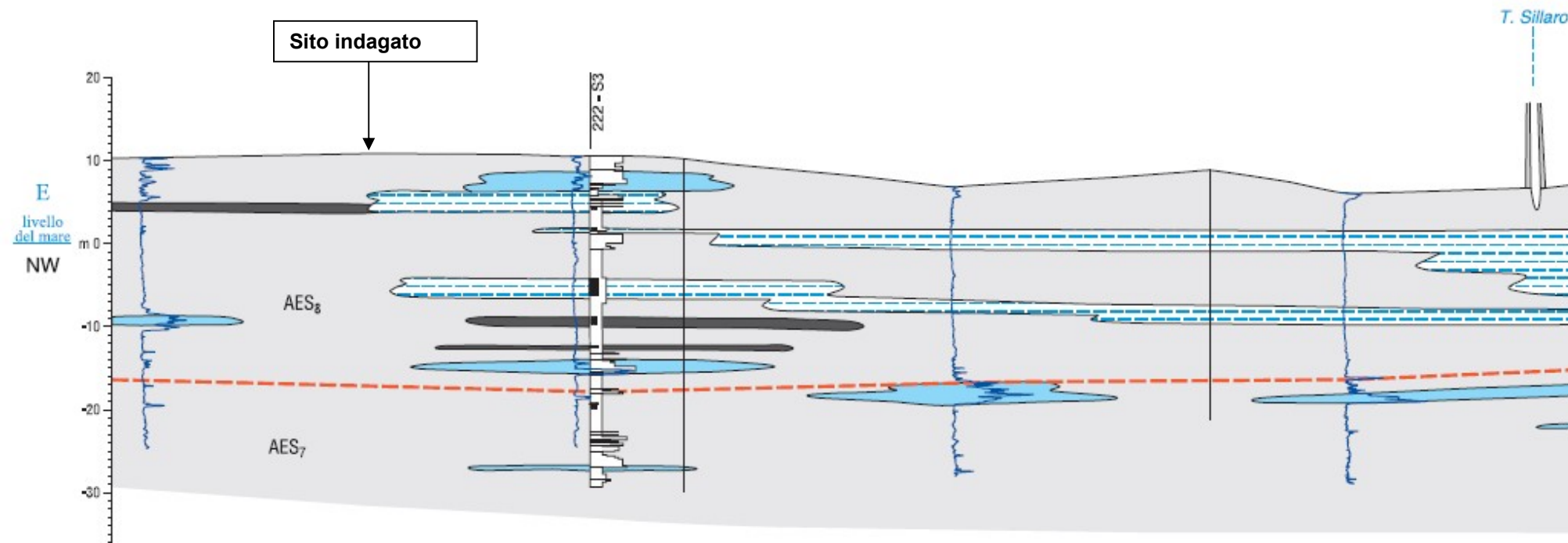


Legenda:

Zona 1

Fig. 7D - Carta modelli geologici di pianura, scala 1:35.000. Stralcio cartografia tecnica MZS comune di Medicina (BO) – Terre di Pianura.

| Zona 1 | | |
|--------|---|--|
| | Descrizione litologico-tessiturale | Note |
| | Depositi di pianura prevalentemente pelitici (argille e limi), possono essere presenti intercalazioni sabbiose anche di spessore metrico. Non sono segnalati depositi ghiaiosi almeno fino a 30-35 m di profondità dal p.c. | Possono essere presenti strati sabbiosi potenzialmente liquefacibili |



Legenda:

DEPOSITI ALLUVIONALI

- Ghiaie di riempimento di canale fluviale
- Sabbie di riempimento di canale e di rotta fluviale
- Alternanze di sabbie, limi ed argille di tracimazione fluviale indifferenziata
- Argille e limi con sostanza organica di palude

DEPOSITI DELTIZI, LITORALI E MARINI

- Argille e limi con sostanza organica di palude-laguna
- Sabbie di cordone litorale
- Base del Subintema di Ravenna - AES₈
- Base del Subintema di Villa Verucchio - AES₇

Fig. 8 - Estratto sezione n. 078 passante il sito indagato. Tratto da RER cartografie geologiche.

3.1. LITOLOGIA DI SUPERFICIE

Le frazioni granulometriche prese in considerazione sono: sabbia (particelle comprese fra 1 e 0,08 mm), limo (0,08-0,002 mm) e argilla (<0,002 mm). Non sono stati rinvenuti granuli di dimensioni superiori ad 1 mm. La classificazione litologica in base alle tre classi granulometriche componenti è stata fatta, infine, per mezzo del diagramma triangolare di Shepard (1954). La distribuzione dei vari tipi litologici è chiaramente legata al reticolo idrografico dei rami del Po e del Reno, che anticamente divagavano in questo settore della pianura. Sui dossi dei paleo alvei sono presenti sedimenti sabbiosi (principalmente sabbie limose e sabbie argillose), alternati a terreni equilibrati (miscele ternarie argilla-limo-sabbia). Altri lembi di terreni equilibrati si rinvencono lateralmente a tali dossi.

3.2.. SUBSIDENZA

L'area in esame, come in generale il territorio bolognese e ferrarese, è soggetta a subsidenza. La componente naturale del fenomeno è prevalentemente ascrivibile al costipamento dei sedimenti più recenti, ancora non litificati. Il condizionamento del substrato è rappresentato dal suo stesso carattere di orogene recente, capace di dar luogo a movimenti verticali residui, nonché dalla sua forma corrugata, che determina variazioni locali dei tassi di costipamento dei terreni sovrapposti, producendo una loro attenuazione nelle zone corrispondenti agli alti strutturali sepolti. I fenomeni di subsidenza registrati con metodi strumentali sono però principalmente di carattere artificiale, denotano variabilità sia nello spazio che nel tempo, e sono attribuibili alla sottrazione di acqua dall'acquifero freatico o dagli acquiferi immediatamente sottostanti.

4. TETTONICA LOCALE

La convergenza tra placca europea e africana è accomodata nell'appennino settentrionale da pattern deformativi e da un'attività sismica molto complessi. Il campo di stress attivo, ricavato dall'analisi dei meccanismi focali di terremoti e dallo studio dello stress in pozzi, rileva la presenza di un settore tirrenico della catena in cui domina un campo deformativi estensionale mentre nel settore adriatico prevale una compressione attiva. In quest'ultimo settore, in cui si colloca l'Emilia Romagna, la tettonica attiva è generalmente caratterizzata dalla presenza di strutture compressive attive, come sovrascorrimenti e piegamenti.

L'analisi sismotettonica condotta in recenti studi (Benedetti et. al., 2003), ha messo in evidenza come parte delle strutture individuate da profili sismici che interessano il riempimento sedimentario Plio-pleistocenico siano caratterizzate da attività da molto recente ad attuale. In particolare, risultano attivi i sovrascorrimenti sepolti che danno luogo agli archi di Piacenza-Parma, Reggio Emilia e Ferrara. A tali strutture (in particolare alla dorsale ferrarese) possono essere associati i fenomeni di fagliazione superficiale (note illustrative della Carta sismotettonica della R.E.R. scala 1: 250000).

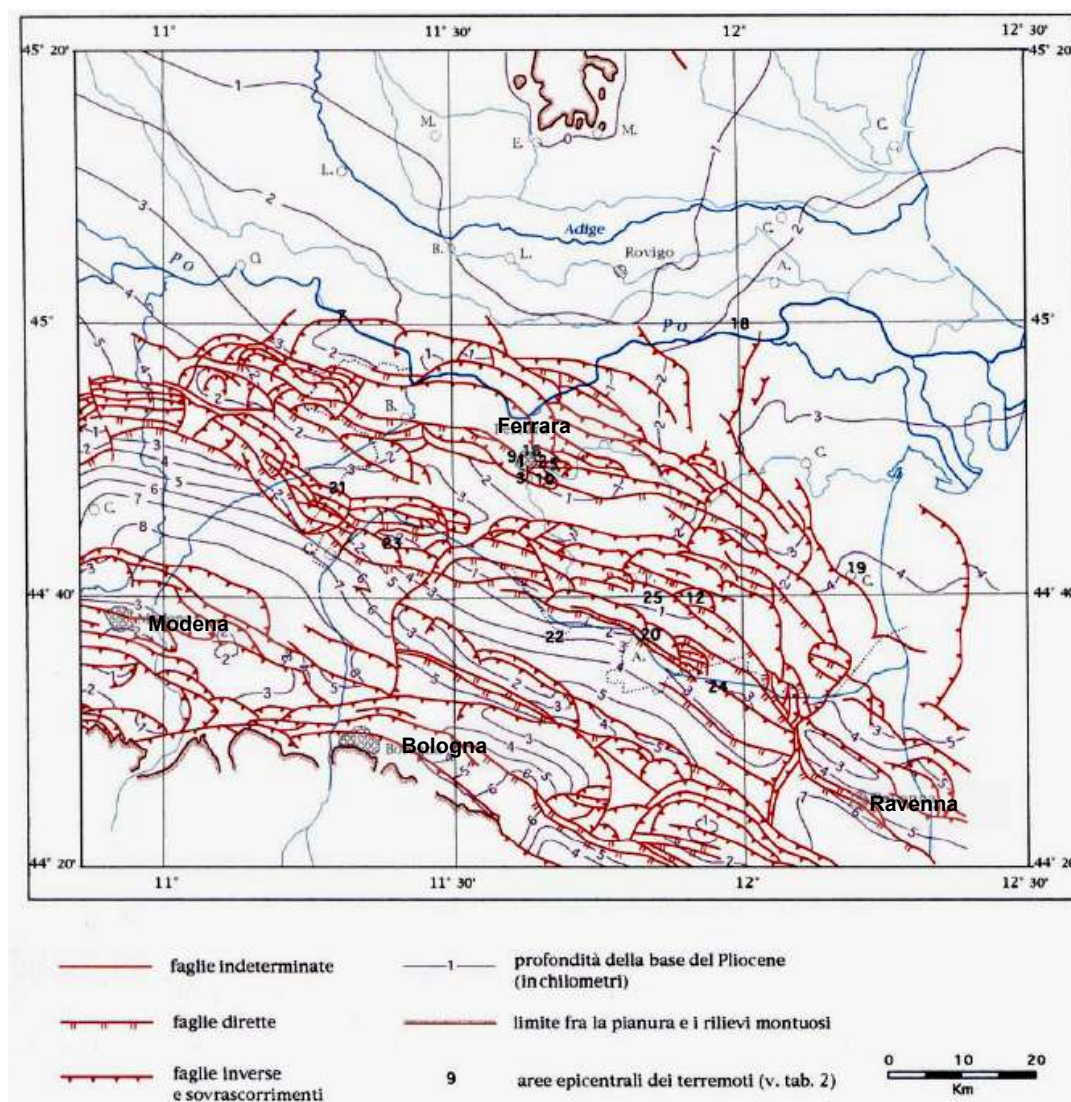


Fig. 9 – Carta strutturale della Pianura padana orientale, con le pieghe dell'appennino sepolto (CNR, 1992) e zone epicentrali dei terremoti che hanno colpito il territorio tra Ferrara, Bologna, Modena e Ravenna.

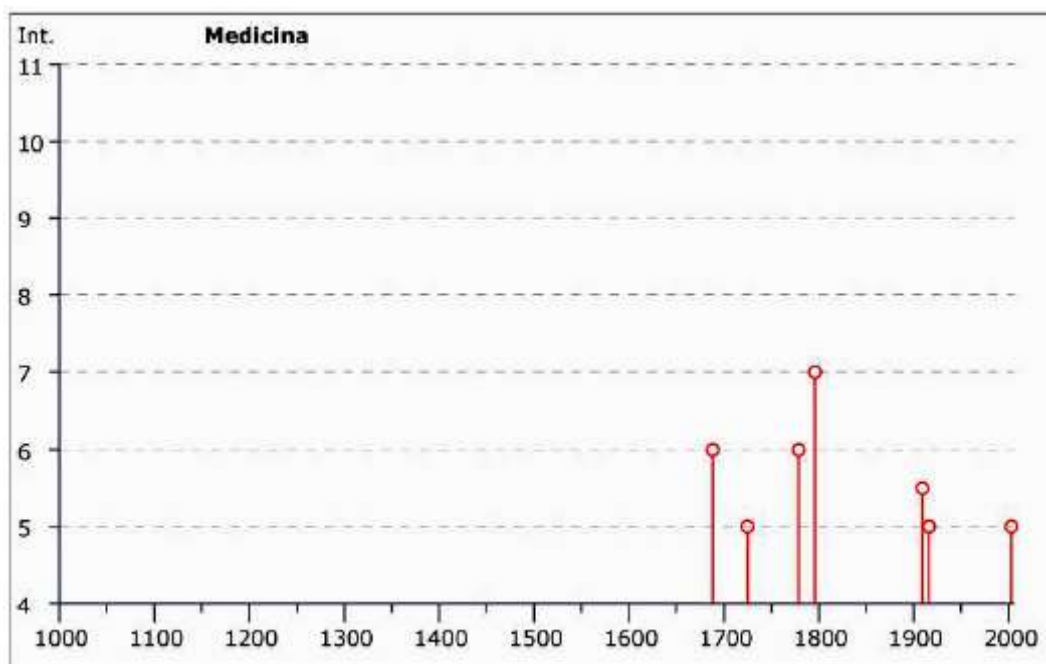
5. DATI STORICI

Per il territorio comunale di Molinella e per la bassa pianura bolognese in generale sono storicamente documentate numerose scosse sismiche. Molte di queste sono attribuibili a eventi esterni al territorio, come nel caso della maggior scossa del terremoto del Friuli, il 6 maggio 1976: la presenza di sedimenti clastici incoerenti e saturi d'acqua può essere infatti motivo di amplificazione di scosse sismiche anche provenienti da luoghi non vicini; Le scosse più forti sono invece riconducibili a eventi locali, imputabili a movimenti delle pieghe dell'Appennino sepolto, probabilmente amplificate dalla natura dei materiali sovrastanti. Nel seguito verranno appunto elencate e considerate le più importanti tra queste ultime. Vanno fatte alcune premesse. Nell'analisi dei terremoti storici si può far riferimento solo a documenti scritti che segnalano i danni registrati nei vari luoghi in cui il sisma ha fatto sentire i suoi effetti. Fino a un secolo fa, infatti, non esisteva una rete di sismografi che permettesse di misurare l'ampiezza delle scosse sismiche.

Storia sismica di Medicina [44.477, 11.639]

Numero di eventi: 18

| Effetti | | In occasione del terremoto del: | | |
|---------|------------------|---------------------------------|-----|----------------|
| I[MCS] | Data | Az | Np | Io Mw |
| 6 | 1688 04 11 12:20 | Romagna | 39 | 8-9 5.78 ±0.35 |
| 5 | 1725 10 29 17:40 | Appennino tosco-emiliano | 28 | 8 5.43 ±0.34 |
| 6 | 1779 06 04 07:00 | Bolognese | 13 | 7 5.24 ±0.52 |
| 7 | 1796 10 22 04:00 | Emilia orientale | 27 | 7 5.61 ±0.36 |
| 3-4 | 1891 06 07 01:0 | Valle d'Ilasi | 403 | 8-9 5.86 ±0.06 |
| 3-4 | 1895 03 23 | COMACCHIO | 37 | 6 4.74 ±0.31 |
| 3 | 1898 01 16 12:1 | Romagna settentrionale | 73 | 6-7 4.79 ±0.33 |
| NF | 1904 11 17 05:02 | Pistoiese | 204 | 7 5.15 ±0.14 |
| 5-6 | 1909 01 13 00:45 | BASSA PADANA | 799 | 6-7 5.53 ±0.09 |
| 5 | 1916 05 17 12:4 | Alto Adriatico | 132 | 5.95 ±0.14 |
| 3 | 1951 05 15 22:54 | LODIGIANO | 154 | 6-7 5.39 ±0.14 |
| 2 | 1956 04 26 03:0 | Appennino tosco-emiliano | 75 | 6 4.77 ±0.14 |
| NF | 1986 12 06 17:0 | BONDENO | 604 | 6 4.61 ±0.10 |
| NF | 2000 05 06 22:0 | Emilia Romagna | 84 | 5 4.17 ±0.09 |
| NF | 2000 05 08 12:2 | Emilia Romagna | 126 | 5 4.66 ±0.09 |
| NF | 2000 05 10 16:5 | Emilia Romagna | 151 | 5-6 4.86 ±0.09 |
| 5 | 2003 09 14 21:4 | Appennino bolognese | 133 | 6 5.29 ±0.09 |
| 3 | 2003 12 07 10:2 | Zona Forlì | 172 | 5 4.22 ±0.09 |



6. CARATTERISTICHE SISMICHE

Dal punto di vista sismotettonico (carta sismotettonica della Regione Emilia Romagna alla scala 1: 250000), circa 5 Km a nord e a sud dell'abitato di Medicina e Molinella passano due lineamenti tettonici sepolti, tra loro pseudoparalleli ad andamento NW-SE, indicati in bibliografia come sovrascorrimenti (rispettivamente sud-vergente e nord-vergente) con possibili riattivazioni. Viene anche individuato poco a sud del centro di Molinella, quello che storicamente è stato l'epicentro macrosismico di terremoto con $M \geq 5.5$

La magnitudo di progetto prevista nell'area sismogenetica 912 dal Gruppo di Lavoro dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia è 6,14Mw, ma su tutta l'area della Dorsale Ferrarese storicamente in provincia di Bologna e Ferrara, e aree limitrofe, non sono documentati terremoti di magnitudosuperiore a 5,6Ms. Al di fuori della zona sismogenetica 912 e dunque al di fuori della Dorsale Ferrarese sembra dunque responsabile usare la magnitudo di progetto di 5 1/4, per l'analisi del rischio della liquefazione e la determinazione del rapporto di sforzo ciclico. La magnitudo di progetto prevista nell'area sismogenetica 912 dal Gruppo di Lavoro dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia è 6,14Mw, ma su tutta l'area della Dorsale Ferrarese storicamente in provincia di Ferrara, e aree limitrofe, non sono documentati terremoti di magnitudosuperiore a 5,6Ms (almeno sino al 2012).

Il sisma del 21/05/2012 (ore 4.04) e del **29/05/2012** (ore 9.00) con epicentro tra Bologna, Ferrara e Modena, hanno registrato rispettivamente una magnitudo Richter di **6.0** e **5.8** con ipocentri tra 6 e 10 Km di profondità.

La Mw calcolata dall'inversione dei dati della rete sismica nazionale risulta pari a 5.9.

La mappa di scuotimento atteso è stata determinata dai dati della Rete Sismica Nazionale. In un'area di circa 30x30 km² intorno all'epicentro la mappa prevede intensità fino al VII-VIII grado della scala Mercalli modificata. Nell'evento di magnitudo Mw=5.9 del 20/5/2012, le shakemap indicano che *nella zona epicentrale le accelerazioni massime sono state stimate **fino a 0.3g**, ossia il 30% dell'accelerazione di gravità*. Questo valore è tuttavia stimato in quanto non vi sono dati da stazioni sismiche poste all'epicentro stesso o negli immediati paraggi per cui è solo indicativo. La shakemap in intensità (Mercalli Modificata, MMI, Fig. 1)

Si fa riferimento di seguito alla microzonazione sismica comunale, a corredo del psc attualmente in vigore.

7. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO IN BASE ALLE N.T.C. 2018

Viene di seguito fornita al progettista una serie di dati, in parte ottenuta tramite software-free Geostru, per la determinazione dei parametri sismici di sito in relazione al Decreto Ministeriale NTC 2018. Viene considerato, nel calcolo, la max accelerazione al suolo, calcolata dal software, in relazione ai punti nodali.

Tipo di elaborazione: Stabilità dei pendii

Sito in esame.

latitudine: 44,576133 [°]

longitudine: 11,706587 [°]

Classe d'uso: IV. Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

Vita nominale: 100 [anni]

Tipo di interpolazione: Media ponderata **Siti di riferimento.**

| | ID | Latitudine [°] | Longitudine [°] | Distanza [m] |
|--------|-------|----------------|-----------------|--------------|
| Sito 1 | 16513 | 44,570870 | 11,666230 | 3249,8 |
| Sito 2 | 16514 | 44,571930 | 11,736340 | 2402,6 |
| Sito 3 | 16292 | 44,621930 | 11,734850 | 5562,4 |
| Sito 4 | 16291 | 44,620860 | 11,664710 | 5977,3 |

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: D

Categoria topografica: T1

Periodo di riferimento: 200 anni

Coefficiente cu: 2

| | Prob. superamento [%] | Tr [anni] | ag [g] | Fo [-] | Tc* [s] |
|--------------------------------|-----------------------|-----------|--------|--------|---------|
| Operatività (SLO) | 81 | 120 | 0,093 | 2,468 | 0,278 |
| Danno (SLD) | 63 | 201 | 0,118 | 2,524 | 0,277 |
| Salvaguardia della vita (SLV) | 10 | 1898 | 0,280 | 2,434 | 0,301 |
| Prevenzione dal collasso (SLC) | 5 | 2475 | 0,308 | 2,410 | 0,307 |

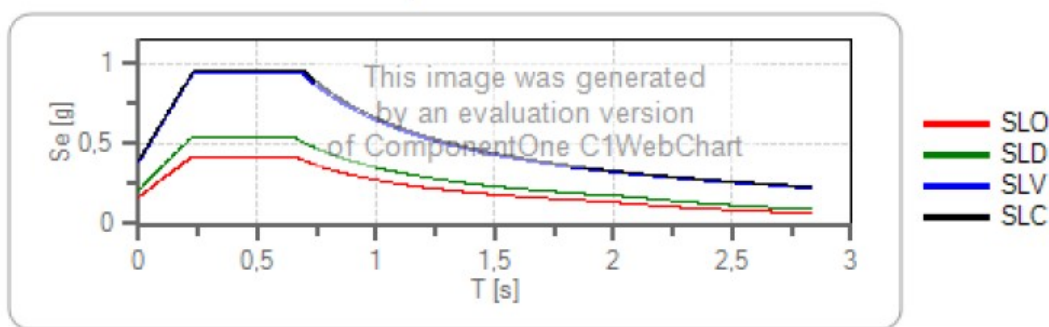
Coefficienti Sismici Stabilità dei pendii e fondazioni

| | Ss [-] | Cc [-] | St [-] | Kh [-] | Kv [-] | Amax [m/s ²] | Beta [-] |
|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------------------------|----------|
| SLO | 1,800 | 2,370 | 1,000 | 0,011 | 0,006 | 0,600 | 0,180 |
| SLD | 1,800 | 2,380 | 1,000 | 0,015 | 0,007 | 0,600 | 0,240 |
| SLV | 1,380 | 2,280 | 1,000 | 0,019 | 0,009 | 0,600 | 0,310 |
| SLC | 1,290 | 2,250 | 1,000 | 0,019 | 0,009 | 0,600 | 0,310 |

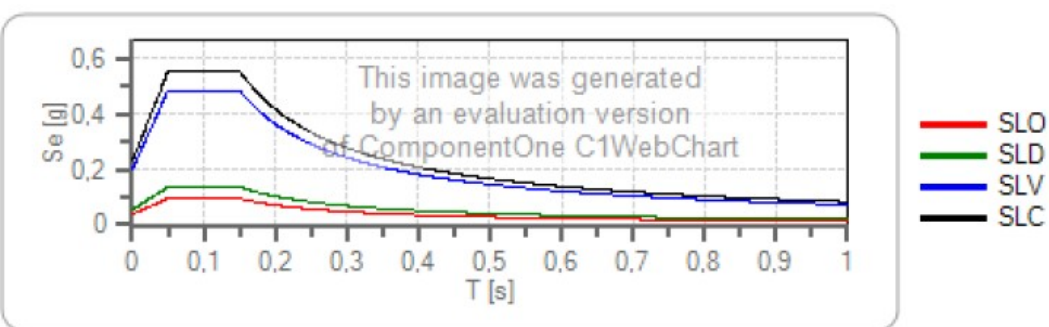
Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali e verticali

Coefficiente di smorzamento viscoso = 5 %

Fattore che altera lo spettro elastico = 1,000

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali

| | cu | ag [g] | Fo | Tc* [s] | Ss | Cc | St | S | | TB [s] | TC [s] | TD [s] |
|-----|----|--------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| SLO | 2 | 0,093 | 2,468 | 0,278 | 1,800 | 2,370 | 1,000 | 1,800 | 1,000 | 0,220 | 0,660 | 1,974 |
| SLD | 2 | 0,118 | 2,524 | 0,277 | 1,800 | 2,380 | 1,000 | 1,800 | 1,000 | 0,219 | 0,658 | 2,070 |
| SLV | 2 | 0,280 | 2,434 | 0,301 | 1,380 | 2,280 | 1,000 | 1,380 | 1,000 | 0,229 | 0,686 | 2,718 |
| SLC | 2 | 0,308 | 2,410 | 0,307 | 1,290 | 2,250 | 1,000 | 1,290 | 1,000 | 0,231 | 0,692 | 2,832 |

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali

| | cu | ag [g] | Fo | Tc* [s] | Ss | Cc | St | S | | TB [s] | TC [s] | TD [s] |
|-----|----|--------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| SLO | 2 | 0,093 | 2,468 | 0,278 | 1,000 | 2,370 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 0,050 | 0,150 | 1,000 |
| SLD | 2 | 0,118 | 2,524 | 0,277 | 1,000 | 2,380 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 0,050 | 0,150 | 1,000 |
| SLV | 2 | 0,280 | 2,434 | 0,301 | 1,000 | 2,280 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 0,050 | 0,150 | 1,000 |
| SLC | 2 | 0,308 | 2,410 | 0,307 | 1,000 | 2,250 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 0,050 | 0,150 | 1,000 |

7.1. VERIFICA DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

Ai fini delle verifiche nei riguardi del potenziale di liquefazione, vengono tralasciati gli strati a prevalente carattere argilloso, mentre vengono presi in considerazione gli intervalli stratigrafici aventi granulometriche ricadenti nel range del limo e della sabbia.

In base alla normativa sismica vigente (OPCM 3274 e 3316), deve essere eseguita la verifica alla liquefazione nei seguenti casi:

- ... la falda freatica si trovi in prossimità della superficie (p.c.) ed il terreno di fondazione comprenda strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda, anche se contenenti una frazione fine limo-argillosa....nel caso di edifici con fondazioni superficiali tale verifica può essere omessa per litotipi suscettibili che si trovino a profondità maggiore di 15 m da p.c.

In particolare vengono ritenuti motivi di esclusione dalla verifica a liquefazione, quando si accertino almeno una di queste circostanze:

a- Eventi sismici attesi di magnitudo di momento M_w inferiore a 6 e durata inferiore a 15 sec. ("La Liquefazione del terreno in condizioni sismiche" – Crespellani, Nardi, Simoncini – Zanichelli 1988).

b- Accelerazioni massime attese al piano campagna in condizioni *free-field* minori di 0,1g;

c- Accelerazioni massime al piano campagna in condizioni *free-field* minori di 0,15g e terreni con caratteristiche ricadenti in una delle tre seguenti categorie:

- frazione di fine, FC, superiore al 20% (FC=frazione passante al setaccio ASTM 200, 0,074mm), con indice di plasticità $PI > 10$;
- $FC \geq 35\%$ e resistenza $(N_1)_{60} > 20$;
- $FC \leq 5\%$ e resistenza $(N_1)_{60} > 25$

d- Dove $(N_1)_{60}$ è il valore normalizzato della resistenza penetrometrica della prova SPT.

e- Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate in appositi diagrammi, da distinguere i materiali in funzione del coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ o $U_c > 3,5$.

f- Copertura di strati superficiali non liquefacibili con spessore maggiore di 3m, oppure con spessore maggiore di 5m per magnitudo maggiori di $M > 7$.

Nel caso specifico dei terreni esaminati nel presente lavoro, è stata fatta una verifica per la liquefazione su tutto l'intervallo sino a m 20 (eseguita da Geotea srl). Il deposito analizzato è risultato avere rischio di liquefazione basso. Tale risultato, vista la litologia della sezione analizzata, quasi pressochè tutta coesiva sino a m 19, è confermata anche dalle carte di MZS comunali.

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

Project title : 19.140_POLLINI GEOL. MATTEO

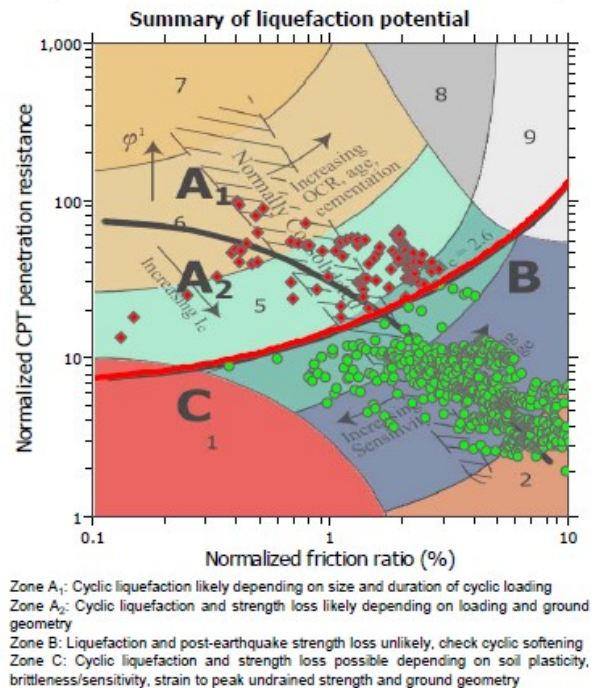
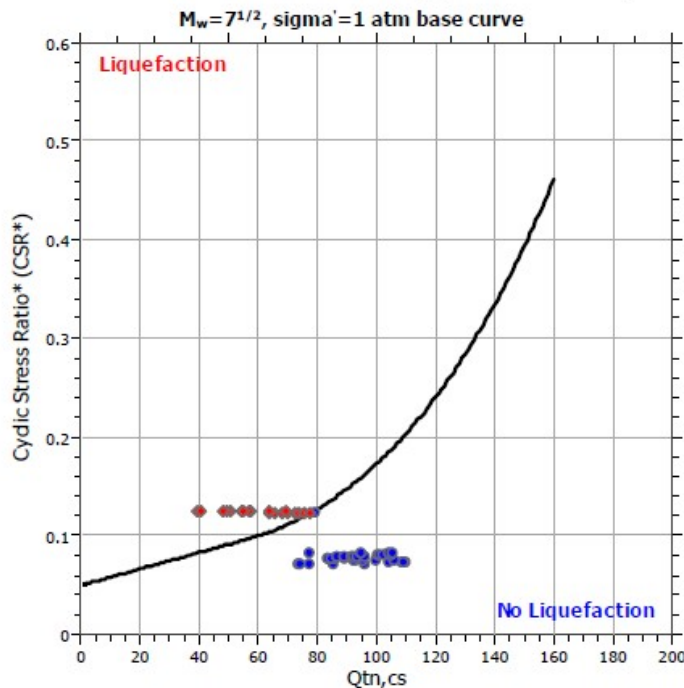
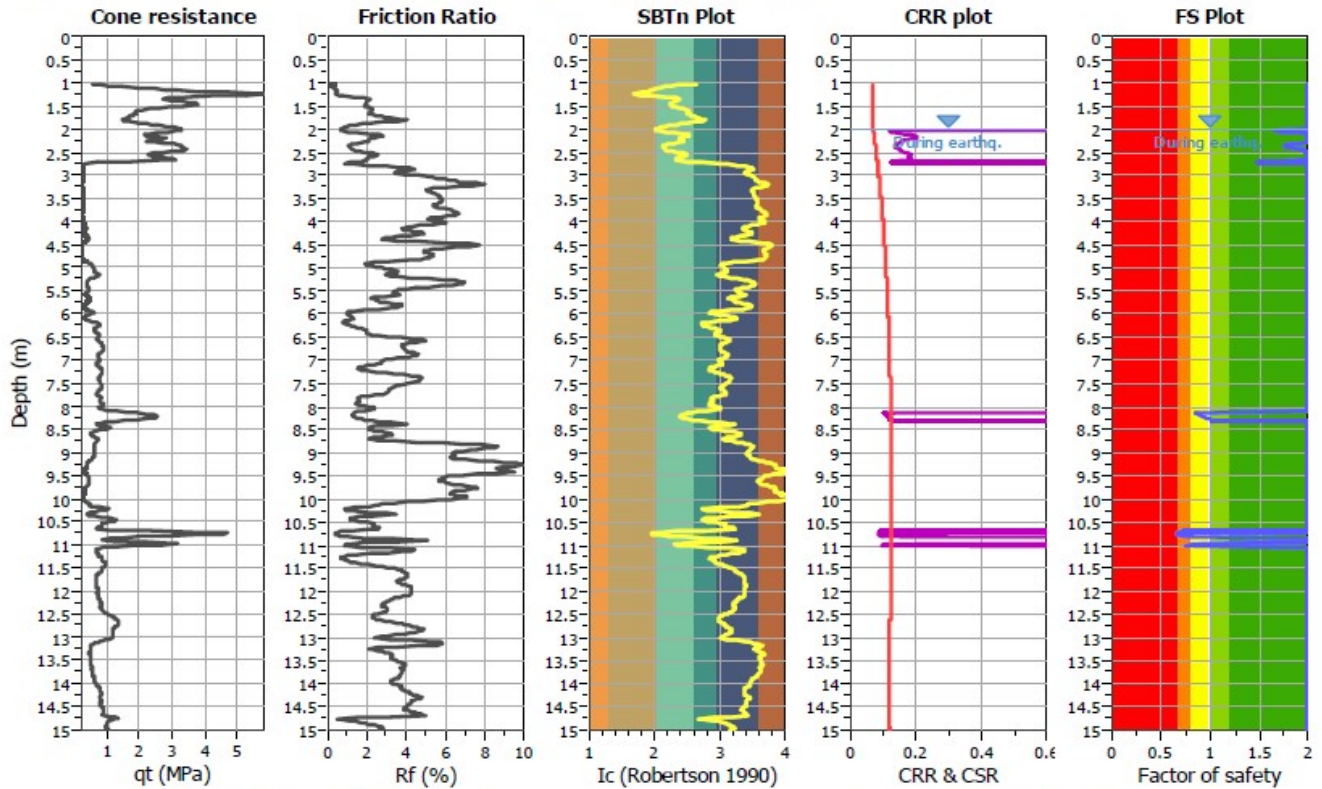
Location : Medicina (BO)

CPTU1

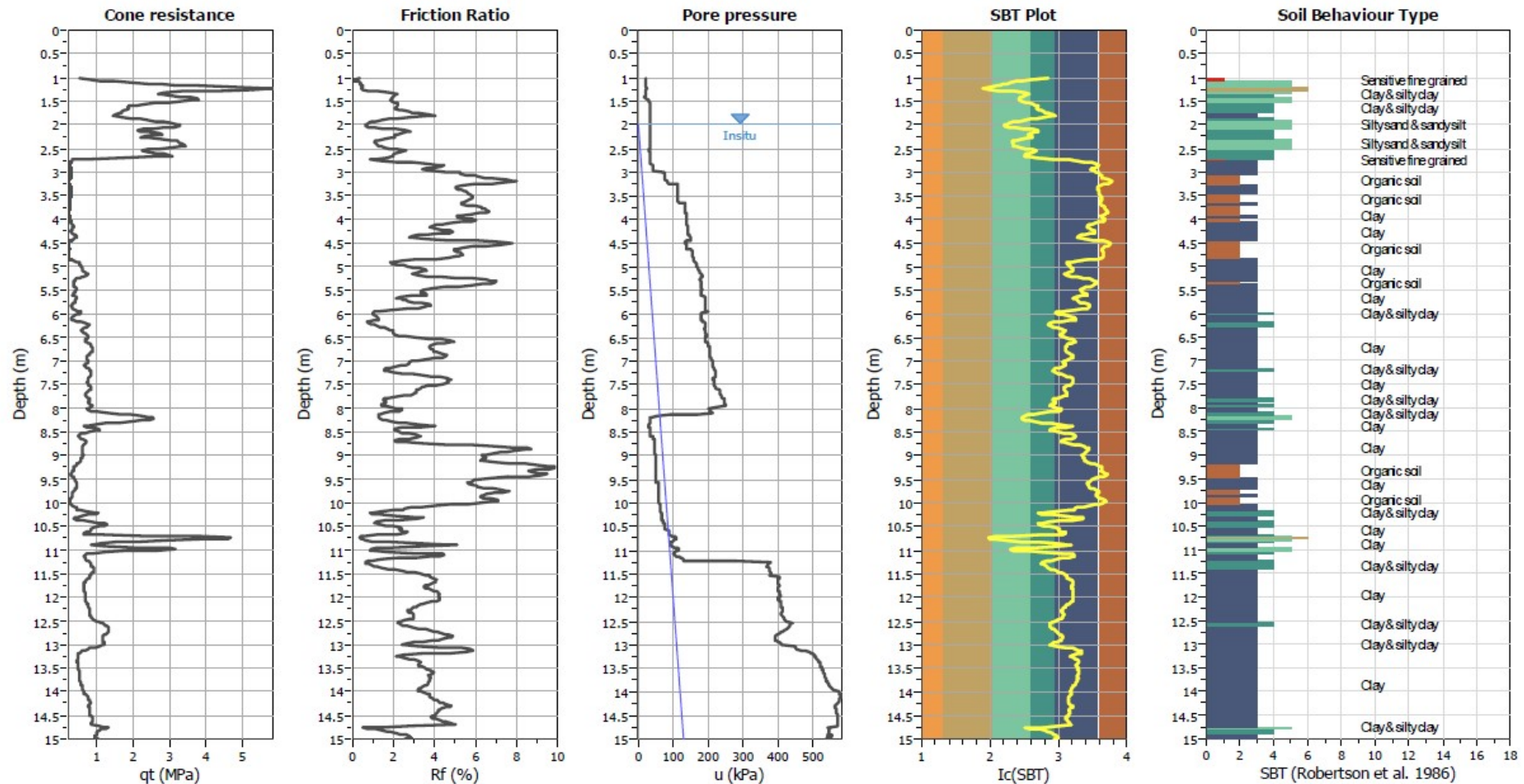
CPT file : Basic results

Input parameters and analysis data

| | | | | | | | |
|------------------------------|-------------------|---------------------------|--------------|-------------------------|-----|----------------------|------------|
| Analysis method: | NCEER (1998) | G.W.T. (in-situ): | 2.00 m | Use fill: | No | Clay like behavior | |
| Fines correction method: | NCEER (1998) | G.W.T. (earthq.): | 2.00 m | Fill height: | N/A | applied: | Sands only |
| Points to test: | Based on Ic value | Average results interval: | 3 | Fill weight: | N/A | Limit depth applied: | No |
| Earthquake magnitude M_w : | 5.60 | Ic cut-off value: | 2.60 | Trans. detect. applied: | No | Limit depth: | N/A |
| Peak ground acceleration: | 0.23 | Unit weight calculation: | Based on SBT | K_σ applied: | Yes | | |



CPT basic interpretation plots



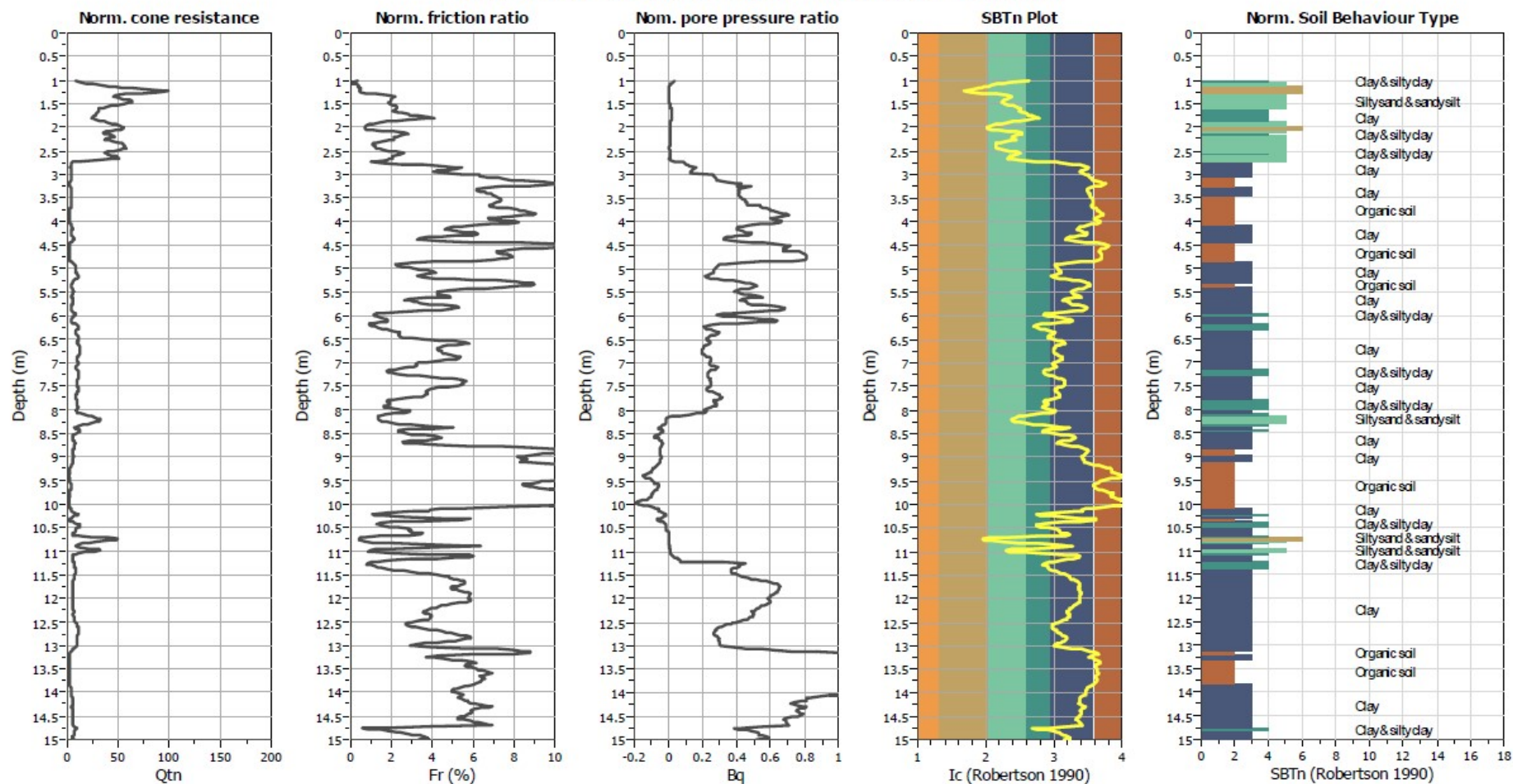
Input parameters and analysis data

| | | | | | |
|--------------------------------|----------------------|--------------------------------|--------------|-----------------------------|------------|
| Analysis method: | NCEER (1998) | Depth to water table (erthq.): | 2.00 m | Fill weight: | N/A |
| Fines correction method: | NCEER (1998) | Average results interval: | 3 | Transition detect. applied: | No |
| Points to test: | Based on I_c value | I_c cut-off value: | 2.60 | K_{α} applied: | Yes |
| Earthquake magnitude M_w : | 5.60 | Unit weight calculation: | Based on SBT | Clay like behavior applied: | Sands only |
| Peak ground acceleration: | 0.23 | Use fill: | No | Limit depth applied: | No |
| Depth to water table (insitu): | 2.00 m | Fill height: | N/A | Limit depth: | N/A |

SBT legend

| | | |
|---------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| 1. Sensitive fine grained | 4. Clayey silt to silty | 7. Gravely sand to sand |
| 2. Organic material | 5. Silty sand to sandy silt | 8. Very stiff sand to |
| 3. Clay to silty clay | 6. Clean sand to silty sand | 9. Very stiff fine grained |

CPT basic interpretation plots (normalized)

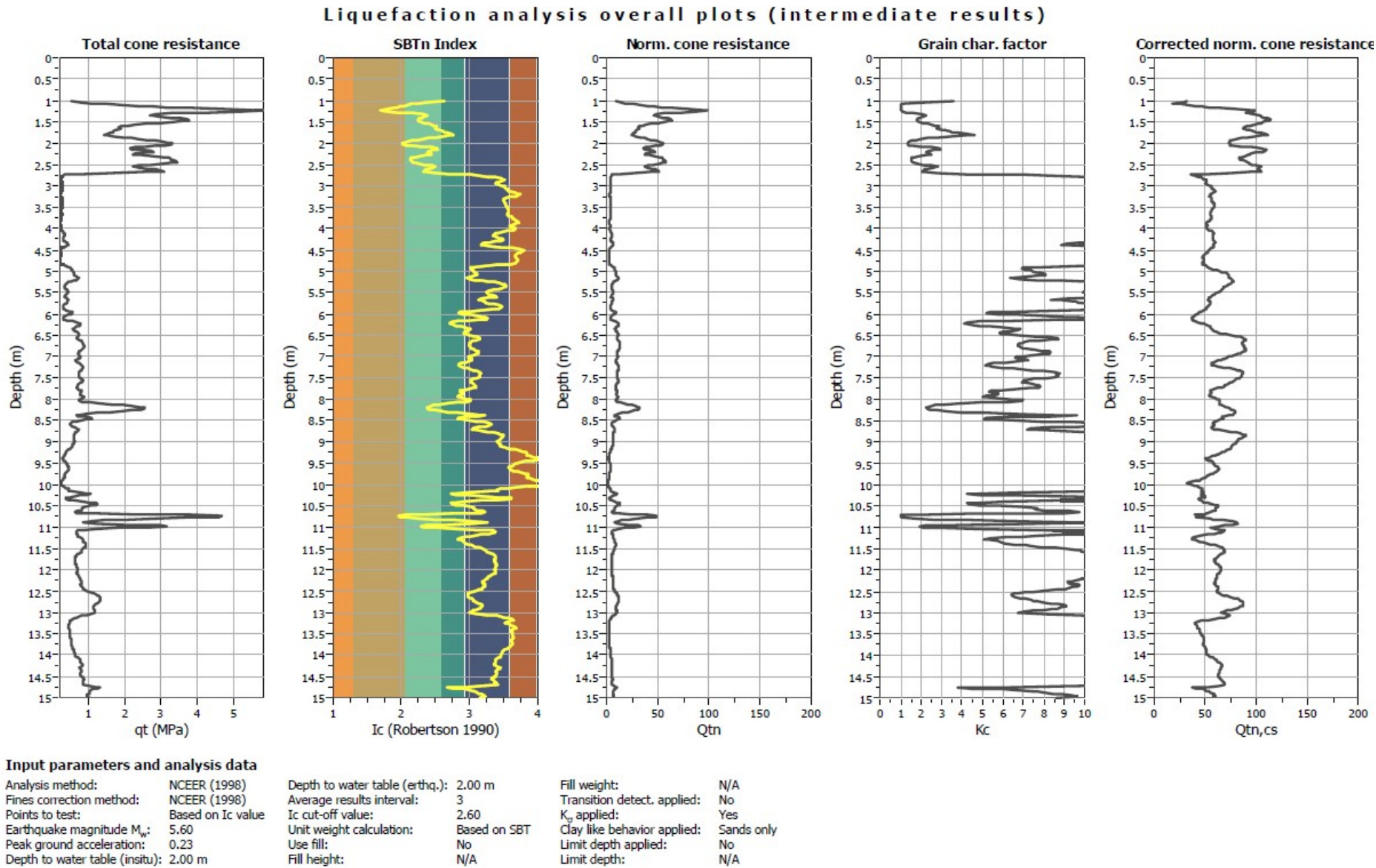


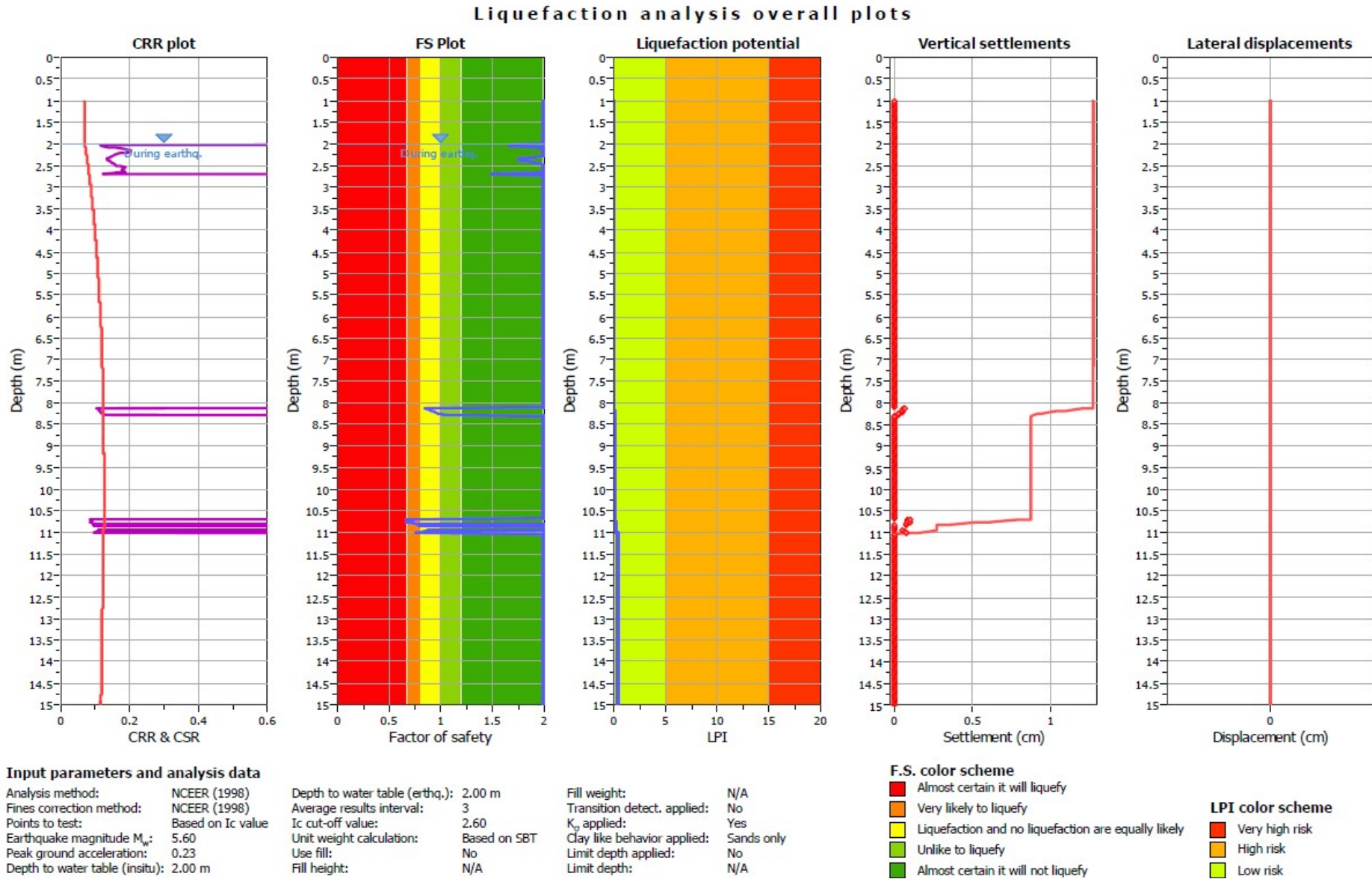
Input parameters and analysis data

Analysis method: NCEER (1998)
Fines correction method: NCEER (1998)
Points to test: Based on Ic value
Earthquake magnitude M_w : 5.60
Peak ground acceleration: 0.23
Depth to water table (insitu): 2.00 m

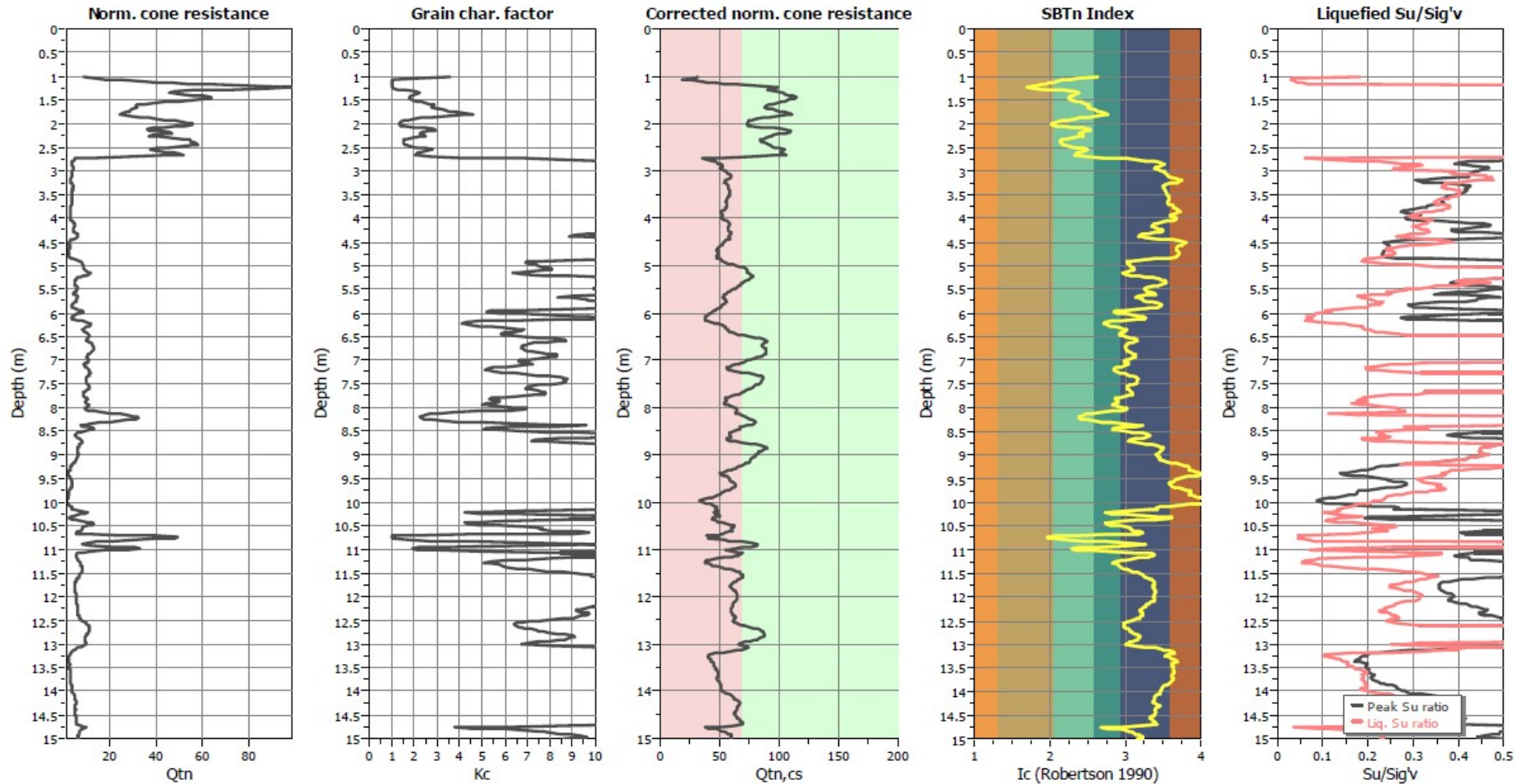
Depth to water table (erthq.): 2.00 m
Average results interval: 3
Ic cut-off value: 2.60
Unit weight calculation: Based on SBT
Use fill: No
Fill height: N/A

Fill weight: N/A
Transition detect. applied: No
 K_0 applied: Yes
Clay like behavior applied: Sands only
Limit depth applied: No
Limit depth: N/A





Check for strength loss plots (Robertson (2010))



Input parameters and analysis data

| | | | | | |
|---------------------------------------|-------------------|---------------------------------|--------------|-----------------------------|------------|
| Analysis method: | NCEER (1998) | Depth to water table (earthq.): | 2.00 m | Fill weight: | N/A |
| Fines correction method: | NCEER (1998) | Average results interval: | 3 | Transition detect. applied: | No |
| Points to test: | Based on Ic value | Ic cut-off value: | 2.60 | K ₀ applied: | Yes |
| Earthquake magnitude M _w : | 5.60 | Unit weight calculation: | Based on SBT | Clay like behavior applied: | Sands only |
| Peak ground acceleration: | 0.23 | Use fill: | No | Limit depth applied: | No |
| Depth to water table (insitu): | 2.00 m | Fill height: | N/A | Limit depth: | N/A |

This software is licensed to: GEOTEA S.R.L.

CPT name: Basic results

| :: Liquefaction Potential Index calculation data :: | | | | | | | | | | | |
|---|------|----------------|----------------|----------------|------|--------------|------|----------------|----------------|----------------|------|
| Depth (m) | FS | F _L | w _z | d _z | LPI | Depth (m) | FS | F _L | w _z | d _z | LPI |
| 1.02 | 2.00 | 0.00 | 9.49 | 0.02 | 0.00 | 1.04 | 2.00 | 0.00 | 9.48 | 0.02 | 0.00 |
| 1.06 | 2.00 | 0.00 | 9.47 | 0.02 | 0.00 | 1.08 | 2.00 | 0.00 | 9.46 | 0.02 | 0.00 |
| 1.10 | 2.00 | 0.00 | 9.45 | 0.02 | 0.00 | 1.12 | 2.00 | 0.00 | 9.44 | 0.02 | 0.00 |
| 1.14 | 2.00 | 0.00 | 9.43 | 0.02 | 0.00 | 1.16 | 2.00 | 0.00 | 9.42 | 0.02 | 0.00 |
| 1.18 | 2.00 | 0.00 | 9.41 | 0.02 | 0.00 | 1.20 | 2.00 | 0.00 | 9.40 | 0.02 | 0.00 |
| 1.22 | 2.00 | 0.00 | 9.39 | 0.02 | 0.00 | 1.24 | 2.00 | 0.00 | 9.38 | 0.02 | 0.00 |
| 1.26 | 2.00 | 0.00 | 9.37 | 0.02 | 0.00 | 1.28 | 2.00 | 0.00 | 9.36 | 0.02 | 0.00 |
| 1.30 | 2.00 | 0.00 | 9.35 | 0.02 | 0.00 | 1.32 | 2.00 | 0.00 | 9.34 | 0.02 | 0.00 |
| 1.34 | 2.00 | 0.00 | 9.33 | 0.02 | 0.00 | 1.36 | 2.00 | 0.00 | 9.32 | 0.02 | 0.00 |
| 1.38 | 2.00 | 0.00 | 9.31 | 0.02 | 0.00 | 1.40 | 2.00 | 0.00 | 9.30 | 0.02 | 0.00 |
| 1.42 | 2.00 | 0.00 | 9.29 | 0.02 | 0.00 | 1.44 | 2.00 | 0.00 | 9.28 | 0.02 | 0.00 |
| 1.46 | 2.00 | 0.00 | 9.27 | 0.02 | 0.00 | 1.48 | 2.00 | 0.00 | 9.26 | 0.02 | 0.00 |
| 1.50 | 2.00 | 0.00 | 9.25 | 0.02 | 0.00 | 1.52 | 2.00 | 0.00 | 9.24 | 0.02 | 0.00 |
| 1.54 | 2.00 | 0.00 | 9.23 | 0.02 | 0.00 | 1.56 | 2.00 | 0.00 | 9.22 | 0.02 | 0.00 |
| 1.58 | 2.00 | 0.00 | 9.21 | 0.02 | 0.00 | 1.60 | 2.00 | 0.00 | 9.20 | 0.02 | 0.00 |
| 1.62 | 2.00 | 0.00 | 9.19 | 0.02 | 0.00 | 1.64 | 2.00 | 0.00 | 9.18 | 0.02 | 0.00 |
| 1.66 | 2.00 | 0.00 | 9.17 | 0.02 | 0.00 | 1.68 | 2.00 | 0.00 | 9.16 | 0.02 | 0.00 |
| 1.70 | 2.00 | 0.00 | 9.15 | 0.02 | 0.00 | 1.72 | 2.00 | 0.00 | 9.14 | 0.02 | 0.00 |
| 1.74 | 2.00 | 0.00 | 9.13 | 0.02 | 0.00 | 1.76 | 2.00 | 0.00 | 9.12 | 0.02 | 0.00 |
| 1.78 | 2.00 | 0.00 | 9.11 | 0.02 | 0.00 | 1.80 | 2.00 | 0.00 | 9.10 | 0.02 | 0.00 |
| 1.82 | 2.00 | 0.00 | 9.09 | 0.02 | 0.00 | 1.84 | 2.00 | 0.00 | 9.08 | 0.02 | 0.00 |
| 1.86 | 2.00 | 0.00 | 9.07 | 0.02 | 0.00 | 1.88 | 2.00 | 0.00 | 9.06 | 0.02 | 0.00 |
| 1.90 | 2.00 | 0.00 | 9.05 | 0.02 | 0.00 | 1.92 | 2.00 | 0.00 | 9.04 | 0.02 | 0.00 |
| 1.94 | 2.00 | 0.00 | 9.03 | 0.02 | 0.00 | 1.96 | 2.00 | 0.00 | 9.02 | 0.02 | 0.00 |
| 1.98 | 2.00 | 0.00 | 9.01 | 0.02 | 0.00 | 2.00 | 2.00 | 0.00 | 9.00 | 0.02 | 0.00 |
| 2.02 | 1.67 | 0.00 | 8.99 | 0.02 | 0.00 | 2.04 | 1.67 | 0.00 | 8.98 | 0.02 | 0.00 |
| 2.06 | 1.73 | 0.00 | 8.97 | 0.02 | 0.00 | 2.08 | 1.93 | 0.00 | 8.96 | 0.02 | 0.00 |
| 2.10 | 2.00 | 0.00 | 8.95 | 0.02 | 0.00 | 2.12 | 2.00 | 0.00 | 8.94 | 0.02 | 0.00 |
| 2.14 | 2.00 | 0.00 | 8.93 | 0.02 | 0.00 | 2.16 | 2.00 | 0.00 | 8.92 | 0.02 | 0.00 |
| 2.18 | 2.00 | 0.00 | 8.91 | 0.02 | 0.00 | 2.20 | 2.00 | 0.00 | 8.90 | 0.02 | 0.00 |
| 2.22 | 2.00 | 0.00 | 8.89 | 0.02 | 0.00 | 2.24 | 2.00 | 0.00 | 8.88 | 0.02 | 0.00 |
| 2.26 | 2.00 | 0.00 | 8.87 | 0.02 | 0.00 | 2.28 | 2.00 | 0.00 | 8.86 | 0.02 | 0.00 |
| 2.30 | 1.93 | 0.00 | 8.85 | 0.02 | 0.00 | 2.32 | 1.83 | 0.00 | 8.84 | 0.02 | 0.00 |
| 2.34 | 1.76 | 0.00 | 8.83 | 0.02 | 0.00 | 2.36 | 1.75 | 0.00 | 8.82 | 0.02 | 0.00 |
| 2.38 | 1.77 | 0.00 | 8.81 | 0.02 | 0.00 | 2.40 | 1.82 | 0.00 | 8.80 | 0.02 | 0.00 |
| 2.42 | 1.89 | 0.00 | 8.79 | 0.02 | 0.00 | 2.44 | 1.94 | 0.00 | 8.78 | 0.02 | 0.00 |
| 2.46 | 1.96 | 0.00 | 8.77 | 0.02 | 0.00 | 2.48 | 1.98 | 0.00 | 8.76 | 0.02 | 0.00 |
| 2.50 | 2.00 | 0.00 | 8.75 | 0.02 | 0.00 | 2.52 | 2.00 | 0.00 | 8.74 | 0.02 | 0.00 |
| 2.54 | 2.00 | 0.00 | 8.73 | 0.02 | 0.00 | 2.56 | 2.00 | 0.00 | 8.72 | 0.02 | 0.00 |
| 2.58 | 2.00 | 0.00 | 8.71 | 0.02 | 0.00 | 2.60 | 2.00 | 0.00 | 8.70 | 0.02 | 0.00 |
| 2.62 | 2.00 | 0.00 | 8.69 | 0.02 | 0.00 | 2.64 | 2.00 | 0.00 | 8.68 | 0.02 | 0.00 |
| 2.66 | 2.00 | 0.00 | 8.67 | 0.02 | 0.00 | 2.68 | 1.95 | 0.00 | 8.66 | 0.02 | 0.00 |
| 2.70 | 1.49 | 0.00 | 8.65 | 0.02 | 0.00 | 2.72 | 2.00 | 0.00 | 8.64 | 0.02 | 0.00 |
| 2.74 | 2.00 | 0.00 | 8.63 | 0.02 | 0.00 | 2.76 | 2.00 | 0.00 | 8.62 | 0.02 | 0.00 |
| 2.78 | 2.00 | 0.00 | 8.61 | 0.02 | 0.00 | 2.80 | 2.00 | 0.00 | 8.60 | 0.02 | 0.00 |
| 2.82 | 2.00 | 0.00 | 8.59 | 0.02 | 0.00 | 2.84 | 2.00 | 0.00 | 8.58 | 0.02 | 0.00 |
| 2.86 | 2.00 | 0.00 | 8.57 | 0.02 | 0.00 | 2.88 | 2.00 | 0.00 | 8.56 | 0.02 | 0.00 |
| 2.90 | 2.00 | 0.00 | 8.55 | 0.02 | 0.00 | 2.92 | 2.00 | 0.00 | 8.54 | 0.02 | 0.00 |

This software is licensed to: GEOTEA S.R.L.

CPT name: Basic results

| :: Liquefaction Potential Index calculation data :: (continued) | | | | | | | | | | | |
|---|------|----------------|----------------|----------------|------|--------------|------|----------------|----------------|----------------|------|
| Depth (m) | FS | F _L | w _z | d _z | LPI | Depth (m) | FS | F _L | w _z | d _z | LPI |
| 2.94 | 2.00 | 0.00 | 8.53 | 0.02 | 0.00 | 2.96 | 2.00 | 0.00 | 8.52 | 0.02 | 0.00 |
| 2.98 | 2.00 | 0.00 | 8.51 | 0.02 | 0.00 | 3.00 | 2.00 | 0.00 | 8.50 | 0.02 | 0.00 |
| 3.02 | 2.00 | 0.00 | 8.49 | 0.02 | 0.00 | 3.04 | 2.00 | 0.00 | 8.48 | 0.02 | 0.00 |
| 3.06 | 2.00 | 0.00 | 8.47 | 0.02 | 0.00 | 3.08 | 2.00 | 0.00 | 8.46 | 0.02 | 0.00 |
| 3.10 | 2.00 | 0.00 | 8.45 | 0.02 | 0.00 | 3.12 | 2.00 | 0.00 | 8.44 | 0.02 | 0.00 |
| 3.14 | 2.00 | 0.00 | 8.43 | 0.02 | 0.00 | 3.16 | 2.00 | 0.00 | 8.42 | 0.02 | 0.00 |
| 3.18 | 2.00 | 0.00 | 8.41 | 0.02 | 0.00 | 3.20 | 2.00 | 0.00 | 8.40 | 0.02 | 0.00 |
| 3.22 | 2.00 | 0.00 | 8.39 | 0.02 | 0.00 | 3.24 | 2.00 | 0.00 | 8.38 | 0.02 | 0.00 |
| 3.26 | 2.00 | 0.00 | 8.37 | 0.02 | 0.00 | 3.28 | 2.00 | 0.00 | 8.36 | 0.02 | 0.00 |
| 3.30 | 2.00 | 0.00 | 8.35 | 0.02 | 0.00 | 3.32 | 2.00 | 0.00 | 8.34 | 0.02 | 0.00 |
| 3.34 | 2.00 | 0.00 | 8.33 | 0.02 | 0.00 | 3.36 | 2.00 | 0.00 | 8.32 | 0.02 | 0.00 |
| 3.38 | 2.00 | 0.00 | 8.31 | 0.02 | 0.00 | 3.40 | 2.00 | 0.00 | 8.30 | 0.02 | 0.00 |
| 3.42 | 2.00 | 0.00 | 8.29 | 0.02 | 0.00 | 3.44 | 2.00 | 0.00 | 8.28 | 0.02 | 0.00 |
| 3.46 | 2.00 | 0.00 | 8.27 | 0.02 | 0.00 | 3.48 | 2.00 | 0.00 | 8.26 | 0.02 | 0.00 |
| 3.50 | 2.00 | 0.00 | 8.25 | 0.02 | 0.00 | 3.52 | 2.00 | 0.00 | 8.24 | 0.02 | 0.00 |
| 3.54 | 2.00 | 0.00 | 8.23 | 0.02 | 0.00 | 3.56 | 2.00 | 0.00 | 8.22 | 0.02 | 0.00 |
| 3.58 | 2.00 | 0.00 | 8.21 | 0.02 | 0.00 | 3.60 | 2.00 | 0.00 | 8.20 | 0.02 | 0.00 |
| 3.62 | 2.00 | 0.00 | 8.19 | 0.02 | 0.00 | 3.64 | 2.00 | 0.00 | 8.18 | 0.02 | 0.00 |
| 3.66 | 2.00 | 0.00 | 8.17 | 0.02 | 0.00 | 3.68 | 2.00 | 0.00 | 8.16 | 0.02 | 0.00 |
| 3.70 | 2.00 | 0.00 | 8.15 | 0.02 | 0.00 | 3.72 | 2.00 | 0.00 | 8.14 | 0.02 | 0.00 |
| 3.74 | 2.00 | 0.00 | 8.13 | 0.02 | 0.00 | 3.76 | 2.00 | 0.00 | 8.12 | 0.02 | 0.00 |
| 3.78 | 2.00 | 0.00 | 8.11 | 0.02 | 0.00 | 3.80 | 2.00 | 0.00 | 8.10 | 0.02 | 0.00 |
| 3.82 | 2.00 | 0.00 | 8.09 | 0.02 | 0.00 | 3.84 | 2.00 | 0.00 | 8.08 | 0.02 | 0.00 |
| 3.86 | 2.00 | 0.00 | 8.07 | 0.02 | 0.00 | 3.88 | 2.00 | 0.00 | 8.06 | 0.02 | 0.00 |
| 3.90 | 2.00 | 0.00 | 8.05 | 0.02 | 0.00 | 3.92 | 2.00 | 0.00 | 8.04 | 0.02 | 0.00 |
| 3.94 | 2.00 | 0.00 | 8.03 | 0.02 | 0.00 | 3.96 | 2.00 | 0.00 | 8.02 | 0.02 | 0.00 |
| 3.98 | 2.00 | 0.00 | 8.01 | 0.02 | 0.00 | 4.00 | 2.00 | 0.00 | 8.00 | 0.02 | 0.00 |
| 4.02 | 2.00 | 0.00 | 7.99 | 0.02 | 0.00 | 4.04 | 2.00 | 0.00 | 7.98 | 0.02 | 0.00 |
| 4.06 | 2.00 | 0.00 | 7.97 | 0.02 | 0.00 | 4.08 | 2.00 | 0.00 | 7.96 | 0.02 | 0.00 |
| 4.10 | 2.00 | 0.00 | 7.95 | 0.02 | 0.00 | 4.12 | 2.00 | 0.00 | 7.94 | 0.02 | 0.00 |
| 4.14 | 2.00 | 0.00 | 7.93 | 0.02 | 0.00 | 4.16 | 2.00 | 0.00 | 7.92 | 0.02 | 0.00 |
| 4.18 | 2.00 | 0.00 | 7.91 | 0.02 | 0.00 | 4.20 | 2.00 | 0.00 | 7.90 | 0.02 | 0.00 |
| 4.22 | 2.00 | 0.00 | 7.89 | 0.02 | 0.00 | 4.24 | 2.00 | 0.00 | 7.88 | 0.02 | 0.00 |
| 4.26 | 2.00 | 0.00 | 7.87 | 0.02 | 0.00 | 4.28 | 2.00 | 0.00 | 7.86 | 0.02 | 0.00 |
| 4.30 | 2.00 | 0.00 | 7.85 | 0.02 | 0.00 | 4.32 | 2.00 | 0.00 | 7.84 | 0.02 | 0.00 |
| 4.34 | 2.00 | 0.00 | 7.83 | 0.02 | 0.00 | 4.36 | 2.00 | 0.00 | 7.82 | 0.02 | 0.00 |
| 4.38 | 2.00 | 0.00 | 7.81 | 0.02 | 0.00 | 4.40 | 2.00 | 0.00 | 7.80 | 0.02 | 0.00 |
| 4.42 | 2.00 | 0.00 | 7.79 | 0.02 | 0.00 | 4.44 | 2.00 | 0.00 | 7.78 | 0.02 | 0.00 |
| 4.46 | 2.00 | 0.00 | 7.77 | 0.02 | 0.00 | 4.48 | 2.00 | 0.00 | 7.76 | 0.02 | 0.00 |
| 4.50 | 2.00 | 0.00 | 7.75 | 0.02 | 0.00 | 4.52 | 2.00 | 0.00 | 7.74 | 0.02 | 0.00 |
| 4.54 | 2.00 | 0.00 | 7.73 | 0.02 | 0.00 | 4.56 | 2.00 | 0.00 | 7.72 | 0.02 | 0.00 |
| 4.58 | 2.00 | 0.00 | 7.71 | 0.02 | 0.00 | 4.60 | 2.00 | 0.00 | 7.70 | 0.02 | 0.00 |
| 4.62 | 2.00 | 0.00 | 7.69 | 0.02 | 0.00 | 4.64 | 2.00 | 0.00 | 7.68 | 0.02 | 0.00 |
| 4.66 | 2.00 | 0.00 | 7.67 | 0.02 | 0.00 | 4.68 | 2.00 | 0.00 | 7.66 | 0.02 | 0.00 |
| 4.70 | 2.00 | 0.00 | 7.65 | 0.02 | 0.00 | 4.72 | 2.00 | 0.00 | 7.64 | 0.02 | 0.00 |
| 4.74 | 2.00 | 0.00 | 7.63 | 0.02 | 0.00 | 4.76 | 2.00 | 0.00 | 7.62 | 0.02 | 0.00 |
| 4.78 | 2.00 | 0.00 | 7.61 | 0.02 | 0.00 | 4.80 | 2.00 | 0.00 | 7.60 | 0.02 | 0.00 |
| 4.82 | 2.00 | 0.00 | 7.59 | 0.02 | 0.00 | 4.84 | 2.00 | 0.00 | 7.58 | 0.02 | 0.00 |

This software is licensed to: GEOTEA S.R.L.

CPT name: Basic results

| :: Liquefaction Potential Index calculation data :: (continued) | | | | | | | | | | | |
|---|------|----------------|----------------|----------------|------|--------------|------|----------------|----------------|----------------|------|
| Depth (m) | FS | F _L | w _z | d _z | LPI | Depth (m) | FS | F _L | w _z | d _z | LPI |
| 4.86 | 2.00 | 0.00 | 7.57 | 0.02 | 0.00 | 4.88 | 2.00 | 0.00 | 7.56 | 0.02 | 0.00 |
| 4.90 | 2.00 | 0.00 | 7.55 | 0.02 | 0.00 | 4.92 | 2.00 | 0.00 | 7.54 | 0.02 | 0.00 |
| 4.94 | 2.00 | 0.00 | 7.53 | 0.02 | 0.00 | 4.96 | 2.00 | 0.00 | 7.52 | 0.02 | 0.00 |
| 4.98 | 2.00 | 0.00 | 7.51 | 0.02 | 0.00 | 5.00 | 2.00 | 0.00 | 7.50 | 0.02 | 0.00 |
| 5.02 | 2.00 | 0.00 | 7.49 | 0.02 | 0.00 | 5.04 | 2.00 | 0.00 | 7.48 | 0.02 | 0.00 |
| 5.06 | 2.00 | 0.00 | 7.47 | 0.02 | 0.00 | 5.08 | 2.00 | 0.00 | 7.46 | 0.02 | 0.00 |
| 5.10 | 2.00 | 0.00 | 7.45 | 0.02 | 0.00 | 5.12 | 2.00 | 0.00 | 7.44 | 0.02 | 0.00 |
| 5.14 | 2.00 | 0.00 | 7.43 | 0.02 | 0.00 | 5.16 | 2.00 | 0.00 | 7.42 | 0.02 | 0.00 |
| 5.18 | 2.00 | 0.00 | 7.41 | 0.02 | 0.00 | 5.20 | 2.00 | 0.00 | 7.40 | 0.02 | 0.00 |
| 5.22 | 2.00 | 0.00 | 7.39 | 0.02 | 0.00 | 5.24 | 2.00 | 0.00 | 7.38 | 0.02 | 0.00 |
| 5.26 | 2.00 | 0.00 | 7.37 | 0.02 | 0.00 | 5.28 | 2.00 | 0.00 | 7.36 | 0.02 | 0.00 |
| 5.30 | 2.00 | 0.00 | 7.35 | 0.02 | 0.00 | 5.32 | 2.00 | 0.00 | 7.34 | 0.02 | 0.00 |
| 5.34 | 2.00 | 0.00 | 7.33 | 0.02 | 0.00 | 5.36 | 2.00 | 0.00 | 7.32 | 0.02 | 0.00 |
| 5.38 | 2.00 | 0.00 | 7.31 | 0.02 | 0.00 | 5.40 | 2.00 | 0.00 | 7.30 | 0.02 | 0.00 |
| 5.42 | 2.00 | 0.00 | 7.29 | 0.02 | 0.00 | 5.44 | 2.00 | 0.00 | 7.28 | 0.02 | 0.00 |
| 5.46 | 2.00 | 0.00 | 7.27 | 0.02 | 0.00 | 5.48 | 2.00 | 0.00 | 7.26 | 0.02 | 0.00 |
| 5.50 | 2.00 | 0.00 | 7.25 | 0.02 | 0.00 | 5.52 | 2.00 | 0.00 | 7.24 | 0.02 | 0.00 |
| 5.54 | 2.00 | 0.00 | 7.23 | 0.02 | 0.00 | 5.56 | 2.00 | 0.00 | 7.22 | 0.02 | 0.00 |
| 5.58 | 2.00 | 0.00 | 7.21 | 0.02 | 0.00 | 5.60 | 2.00 | 0.00 | 7.20 | 0.02 | 0.00 |
| 5.62 | 2.00 | 0.00 | 7.19 | 0.02 | 0.00 | 5.64 | 2.00 | 0.00 | 7.18 | 0.02 | 0.00 |
| 5.66 | 2.00 | 0.00 | 7.17 | 0.02 | 0.00 | 5.68 | 2.00 | 0.00 | 7.16 | 0.02 | 0.00 |
| 5.70 | 2.00 | 0.00 | 7.15 | 0.02 | 0.00 | 5.72 | 2.00 | 0.00 | 7.14 | 0.02 | 0.00 |
| 5.74 | 2.00 | 0.00 | 7.13 | 0.02 | 0.00 | 5.76 | 2.00 | 0.00 | 7.12 | 0.02 | 0.00 |
| 5.78 | 2.00 | 0.00 | 7.11 | 0.02 | 0.00 | 5.80 | 2.00 | 0.00 | 7.10 | 0.02 | 0.00 |
| 5.82 | 2.00 | 0.00 | 7.09 | 0.02 | 0.00 | 5.84 | 2.00 | 0.00 | 7.08 | 0.02 | 0.00 |
| 5.86 | 2.00 | 0.00 | 7.07 | 0.02 | 0.00 | 5.88 | 2.00 | 0.00 | 7.06 | 0.02 | 0.00 |
| 5.90 | 2.00 | 0.00 | 7.05 | 0.02 | 0.00 | 5.92 | 2.00 | 0.00 | 7.04 | 0.02 | 0.00 |
| 5.94 | 2.00 | 0.00 | 7.03 | 0.02 | 0.00 | 5.96 | 2.00 | 0.00 | 7.02 | 0.02 | 0.00 |
| 5.98 | 2.00 | 0.00 | 7.01 | 0.02 | 0.00 | 6.00 | 2.00 | 0.00 | 7.00 | 0.02 | 0.00 |
| 6.02 | 2.00 | 0.00 | 6.99 | 0.02 | 0.00 | 6.04 | 2.00 | 0.00 | 6.98 | 0.02 | 0.00 |
| 6.06 | 2.00 | 0.00 | 6.97 | 0.02 | 0.00 | 6.08 | 2.00 | 0.00 | 6.96 | 0.02 | 0.00 |
| 6.10 | 2.00 | 0.00 | 6.95 | 0.02 | 0.00 | 6.12 | 2.00 | 0.00 | 6.94 | 0.02 | 0.00 |
| 6.14 | 2.00 | 0.00 | 6.93 | 0.02 | 0.00 | 6.16 | 2.00 | 0.00 | 6.92 | 0.02 | 0.00 |
| 6.18 | 2.00 | 0.00 | 6.91 | 0.02 | 0.00 | 6.20 | 2.00 | 0.00 | 6.90 | 0.02 | 0.00 |
| 6.22 | 2.00 | 0.00 | 6.89 | 0.02 | 0.00 | 6.24 | 2.00 | 0.00 | 6.88 | 0.02 | 0.00 |
| 6.26 | 2.00 | 0.00 | 6.87 | 0.02 | 0.00 | 6.28 | 2.00 | 0.00 | 6.86 | 0.02 | 0.00 |
| 6.30 | 2.00 | 0.00 | 6.85 | 0.02 | 0.00 | 6.32 | 2.00 | 0.00 | 6.84 | 0.02 | 0.00 |
| 6.34 | 2.00 | 0.00 | 6.83 | 0.02 | 0.00 | 6.36 | 2.00 | 0.00 | 6.82 | 0.02 | 0.00 |
| 6.38 | 2.00 | 0.00 | 6.81 | 0.02 | 0.00 | 6.40 | 2.00 | 0.00 | 6.80 | 0.02 | 0.00 |
| 6.42 | 2.00 | 0.00 | 6.79 | 0.02 | 0.00 | 6.44 | 2.00 | 0.00 | 6.78 | 0.02 | 0.00 |
| 6.46 | 2.00 | 0.00 | 6.77 | 0.02 | 0.00 | 6.48 | 2.00 | 0.00 | 6.76 | 0.02 | 0.00 |
| 6.50 | 2.00 | 0.00 | 6.75 | 0.02 | 0.00 | 6.52 | 2.00 | 0.00 | 6.74 | 0.02 | 0.00 |
| 6.54 | 2.00 | 0.00 | 6.73 | 0.02 | 0.00 | 6.56 | 2.00 | 0.00 | 6.72 | 0.02 | 0.00 |
| 6.58 | 2.00 | 0.00 | 6.71 | 0.02 | 0.00 | 6.60 | 2.00 | 0.00 | 6.70 | 0.02 | 0.00 |
| 6.62 | 2.00 | 0.00 | 6.69 | 0.02 | 0.00 | 6.64 | 2.00 | 0.00 | 6.68 | 0.02 | 0.00 |
| 6.66 | 2.00 | 0.00 | 6.67 | 0.02 | 0.00 | 6.68 | 2.00 | 0.00 | 6.66 | 0.02 | 0.00 |
| 6.70 | 2.00 | 0.00 | 6.65 | 0.02 | 0.00 | 6.72 | 2.00 | 0.00 | 6.64 | 0.02 | 0.00 |
| 6.74 | 2.00 | 0.00 | 6.63 | 0.02 | 0.00 | 6.76 | 2.00 | 0.00 | 6.62 | 0.02 | 0.00 |

This software is licensed to: GEOTEA S.R.L.

CPT name: Basic results

| :: Liquefaction Potential Index calculation data :: (continued) | | | | | | | | | | | |
|---|------|----------------|----------------|----------------|------|--------------|------|----------------|----------------|----------------|------|
| Depth (m) | FS | F _L | w _z | d _z | LPI | Depth (m) | FS | F _L | w _z | d _z | LPI |
| 6.78 | 2.00 | 0.00 | 6.61 | 0.02 | 0.00 | 6.80 | 2.00 | 0.00 | 6.60 | 0.02 | 0.00 |
| 6.82 | 2.00 | 0.00 | 6.59 | 0.02 | 0.00 | 6.84 | 2.00 | 0.00 | 6.58 | 0.02 | 0.00 |
| 6.86 | 2.00 | 0.00 | 6.57 | 0.02 | 0.00 | 6.88 | 2.00 | 0.00 | 6.56 | 0.02 | 0.00 |
| 6.90 | 2.00 | 0.00 | 6.55 | 0.02 | 0.00 | 6.92 | 2.00 | 0.00 | 6.54 | 0.02 | 0.00 |
| 6.94 | 2.00 | 0.00 | 6.53 | 0.02 | 0.00 | 6.96 | 2.00 | 0.00 | 6.52 | 0.02 | 0.00 |
| 6.98 | 2.00 | 0.00 | 6.51 | 0.02 | 0.00 | 7.00 | 2.00 | 0.00 | 6.50 | 0.02 | 0.00 |
| 7.02 | 2.00 | 0.00 | 6.49 | 0.02 | 0.00 | 7.04 | 2.00 | 0.00 | 6.48 | 0.02 | 0.00 |
| 7.06 | 2.00 | 0.00 | 6.47 | 0.02 | 0.00 | 7.08 | 2.00 | 0.00 | 6.46 | 0.02 | 0.00 |
| 7.10 | 2.00 | 0.00 | 6.45 | 0.02 | 0.00 | 7.12 | 2.00 | 0.00 | 6.44 | 0.02 | 0.00 |
| 7.14 | 2.00 | 0.00 | 6.43 | 0.02 | 0.00 | 7.16 | 2.00 | 0.00 | 6.42 | 0.02 | 0.00 |
| 7.18 | 2.00 | 0.00 | 6.41 | 0.02 | 0.00 | 7.20 | 2.00 | 0.00 | 6.40 | 0.02 | 0.00 |
| 7.22 | 2.00 | 0.00 | 6.39 | 0.02 | 0.00 | 7.24 | 2.00 | 0.00 | 6.38 | 0.02 | 0.00 |
| 7.26 | 2.00 | 0.00 | 6.37 | 0.02 | 0.00 | 7.28 | 2.00 | 0.00 | 6.36 | 0.02 | 0.00 |
| 7.30 | 2.00 | 0.00 | 6.35 | 0.02 | 0.00 | 7.32 | 2.00 | 0.00 | 6.34 | 0.02 | 0.00 |
| 7.34 | 2.00 | 0.00 | 6.33 | 0.02 | 0.00 | 7.36 | 2.00 | 0.00 | 6.32 | 0.02 | 0.00 |
| 7.38 | 2.00 | 0.00 | 6.31 | 0.02 | 0.00 | 7.40 | 2.00 | 0.00 | 6.30 | 0.02 | 0.00 |
| 7.42 | 2.00 | 0.00 | 6.29 | 0.02 | 0.00 | 7.44 | 2.00 | 0.00 | 6.28 | 0.02 | 0.00 |
| 7.46 | 2.00 | 0.00 | 6.27 | 0.02 | 0.00 | 7.48 | 2.00 | 0.00 | 6.26 | 0.02 | 0.00 |
| 7.50 | 2.00 | 0.00 | 6.25 | 0.02 | 0.00 | 7.52 | 2.00 | 0.00 | 6.24 | 0.02 | 0.00 |
| 7.54 | 2.00 | 0.00 | 6.23 | 0.02 | 0.00 | 7.56 | 2.00 | 0.00 | 6.22 | 0.02 | 0.00 |
| 7.58 | 2.00 | 0.00 | 6.21 | 0.02 | 0.00 | 7.60 | 2.00 | 0.00 | 6.20 | 0.02 | 0.00 |
| 7.62 | 2.00 | 0.00 | 6.19 | 0.02 | 0.00 | 7.64 | 2.00 | 0.00 | 6.18 | 0.02 | 0.00 |
| 7.66 | 2.00 | 0.00 | 6.17 | 0.02 | 0.00 | 7.68 | 2.00 | 0.00 | 6.16 | 0.02 | 0.00 |
| 7.70 | 2.00 | 0.00 | 6.15 | 0.02 | 0.00 | 7.72 | 2.00 | 0.00 | 6.14 | 0.02 | 0.00 |
| 7.74 | 2.00 | 0.00 | 6.13 | 0.02 | 0.00 | 7.76 | 2.00 | 0.00 | 6.12 | 0.02 | 0.00 |
| 7.78 | 2.00 | 0.00 | 6.11 | 0.02 | 0.00 | 7.80 | 2.00 | 0.00 | 6.10 | 0.02 | 0.00 |
| 7.82 | 2.00 | 0.00 | 6.09 | 0.02 | 0.00 | 7.84 | 2.00 | 0.00 | 6.08 | 0.02 | 0.00 |
| 7.86 | 2.00 | 0.00 | 6.07 | 0.02 | 0.00 | 7.88 | 2.00 | 0.00 | 6.06 | 0.02 | 0.00 |
| 7.90 | 2.00 | 0.00 | 6.05 | 0.02 | 0.00 | 7.92 | 2.00 | 0.00 | 6.04 | 0.02 | 0.00 |
| 7.94 | 2.00 | 0.00 | 6.03 | 0.02 | 0.00 | 7.96 | 2.00 | 0.00 | 6.02 | 0.02 | 0.00 |
| 7.98 | 2.00 | 0.00 | 6.01 | 0.02 | 0.00 | 8.00 | 2.00 | 0.00 | 6.00 | 0.02 | 0.00 |
| 8.02 | 2.00 | 0.00 | 5.99 | 0.02 | 0.00 | 8.04 | 2.00 | 0.00 | 5.98 | 0.02 | 0.00 |
| 8.06 | 2.00 | 0.00 | 5.97 | 0.02 | 0.00 | 8.08 | 2.00 | 0.00 | 5.96 | 0.02 | 0.00 |
| 8.10 | 2.00 | 0.00 | 5.95 | 0.02 | 0.00 | 8.12 | 0.84 | 0.16 | 5.94 | 0.02 | 0.02 |
| 8.14 | 0.86 | 0.14 | 5.93 | 0.02 | 0.02 | 8.16 | 0.89 | 0.11 | 5.92 | 0.02 | 0.01 |
| 8.18 | 0.91 | 0.09 | 5.91 | 0.02 | 0.01 | 8.20 | 0.93 | 0.07 | 5.90 | 0.02 | 0.01 |
| 8.22 | 0.95 | 0.05 | 5.89 | 0.02 | 0.01 | 8.24 | 0.97 | 0.03 | 5.88 | 0.02 | 0.00 |
| 8.26 | 0.99 | 0.01 | 5.87 | 0.02 | 0.00 | 8.28 | 1.02 | 0.00 | 5.86 | 0.02 | 0.00 |
| 8.30 | 2.00 | 0.00 | 5.85 | 0.02 | 0.00 | 8.32 | 2.00 | 0.00 | 5.84 | 0.02 | 0.00 |
| 8.34 | 2.00 | 0.00 | 5.83 | 0.02 | 0.00 | 8.36 | 2.00 | 0.00 | 5.82 | 0.02 | 0.00 |
| 8.38 | 2.00 | 0.00 | 5.81 | 0.02 | 0.00 | 8.40 | 2.00 | 0.00 | 5.80 | 0.02 | 0.00 |
| 8.42 | 2.00 | 0.00 | 5.79 | 0.02 | 0.00 | 8.44 | 2.00 | 0.00 | 5.78 | 0.02 | 0.00 |
| 8.46 | 2.00 | 0.00 | 5.77 | 0.02 | 0.00 | 8.48 | 2.00 | 0.00 | 5.76 | 0.02 | 0.00 |
| 8.50 | 2.00 | 0.00 | 5.75 | 0.02 | 0.00 | 8.52 | 2.00 | 0.00 | 5.74 | 0.02 | 0.00 |
| 8.54 | 2.00 | 0.00 | 5.73 | 0.02 | 0.00 | 8.56 | 2.00 | 0.00 | 5.72 | 0.02 | 0.00 |
| 8.58 | 2.00 | 0.00 | 5.71 | 0.02 | 0.00 | 8.60 | 2.00 | 0.00 | 5.70 | 0.02 | 0.00 |
| 8.62 | 2.00 | 0.00 | 5.69 | 0.02 | 0.00 | 8.64 | 2.00 | 0.00 | 5.68 | 0.02 | 0.00 |
| 8.66 | 2.00 | 0.00 | 5.67 | 0.02 | 0.00 | 8.68 | 2.00 | 0.00 | 5.66 | 0.02 | 0.00 |

This software is licensed to: GEOTEA S.R.L.

CPT name: Basic results

| :: Liquefaction Potential Index calculation data :: (continued) | | | | | | | | | | | |
|---|------|----------------|----------------|----------------|------|--------------|------|----------------|----------------|----------------|------|
| Depth (m) | FS | F _L | w _z | d _z | LPI | Depth (m) | FS | F _L | w _z | d _z | LPI |
| 8.70 | 2.00 | 0.00 | 5.65 | 0.02 | 0.00 | 8.72 | 2.00 | 0.00 | 5.64 | 0.02 | 0.00 |
| 8.74 | 2.00 | 0.00 | 5.63 | 0.02 | 0.00 | 8.76 | 2.00 | 0.00 | 5.62 | 0.02 | 0.00 |
| 8.78 | 2.00 | 0.00 | 5.61 | 0.02 | 0.00 | 8.80 | 2.00 | 0.00 | 5.60 | 0.02 | 0.00 |
| 8.82 | 2.00 | 0.00 | 5.59 | 0.02 | 0.00 | 8.84 | 2.00 | 0.00 | 5.58 | 0.02 | 0.00 |
| 8.86 | 2.00 | 0.00 | 5.57 | 0.02 | 0.00 | 8.88 | 2.00 | 0.00 | 5.56 | 0.02 | 0.00 |
| 8.90 | 2.00 | 0.00 | 5.55 | 0.02 | 0.00 | 8.92 | 2.00 | 0.00 | 5.54 | 0.02 | 0.00 |
| 8.94 | 2.00 | 0.00 | 5.53 | 0.02 | 0.00 | 8.96 | 2.00 | 0.00 | 5.52 | 0.02 | 0.00 |
| 8.98 | 2.00 | 0.00 | 5.51 | 0.02 | 0.00 | 9.00 | 2.00 | 0.00 | 5.50 | 0.02 | 0.00 |
| 9.02 | 2.00 | 0.00 | 5.49 | 0.02 | 0.00 | 9.04 | 2.00 | 0.00 | 5.48 | 0.02 | 0.00 |
| 9.06 | 2.00 | 0.00 | 5.47 | 0.02 | 0.00 | 9.08 | 2.00 | 0.00 | 5.46 | 0.02 | 0.00 |
| 9.10 | 2.00 | 0.00 | 5.45 | 0.02 | 0.00 | 9.12 | 2.00 | 0.00 | 5.44 | 0.02 | 0.00 |
| 9.14 | 2.00 | 0.00 | 5.43 | 0.02 | 0.00 | 9.16 | 2.00 | 0.00 | 5.42 | 0.02 | 0.00 |
| 9.18 | 2.00 | 0.00 | 5.41 | 0.02 | 0.00 | 9.20 | 2.00 | 0.00 | 5.40 | 0.02 | 0.00 |
| 9.22 | 2.00 | 0.00 | 5.39 | 0.02 | 0.00 | 9.24 | 2.00 | 0.00 | 5.38 | 0.02 | 0.00 |
| 9.26 | 2.00 | 0.00 | 5.37 | 0.02 | 0.00 | 9.28 | 2.00 | 0.00 | 5.36 | 0.02 | 0.00 |
| 9.30 | 2.00 | 0.00 | 5.35 | 0.02 | 0.00 | 9.32 | 2.00 | 0.00 | 5.34 | 0.02 | 0.00 |
| 9.34 | 2.00 | 0.00 | 5.33 | 0.02 | 0.00 | 9.36 | 2.00 | 0.00 | 5.32 | 0.02 | 0.00 |
| 9.38 | 2.00 | 0.00 | 5.31 | 0.02 | 0.00 | 9.40 | 2.00 | 0.00 | 5.30 | 0.02 | 0.00 |
| 9.42 | 2.00 | 0.00 | 5.29 | 0.02 | 0.00 | 9.44 | 2.00 | 0.00 | 5.28 | 0.02 | 0.00 |
| 9.46 | 2.00 | 0.00 | 5.27 | 0.02 | 0.00 | 9.48 | 2.00 | 0.00 | 5.26 | 0.02 | 0.00 |
| 9.50 | 2.00 | 0.00 | 5.25 | 0.02 | 0.00 | 9.52 | 2.00 | 0.00 | 5.24 | 0.02 | 0.00 |
| 9.54 | 2.00 | 0.00 | 5.23 | 0.02 | 0.00 | 9.56 | 2.00 | 0.00 | 5.22 | 0.02 | 0.00 |
| 9.58 | 2.00 | 0.00 | 5.21 | 0.02 | 0.00 | 9.60 | 2.00 | 0.00 | 5.20 | 0.02 | 0.00 |
| 9.62 | 2.00 | 0.00 | 5.19 | 0.02 | 0.00 | 9.64 | 2.00 | 0.00 | 5.18 | 0.02 | 0.00 |
| 9.66 | 2.00 | 0.00 | 5.17 | 0.02 | 0.00 | 9.68 | 2.00 | 0.00 | 5.16 | 0.02 | 0.00 |
| 9.70 | 2.00 | 0.00 | 5.15 | 0.02 | 0.00 | 9.72 | 2.00 | 0.00 | 5.14 | 0.02 | 0.00 |
| 9.74 | 2.00 | 0.00 | 5.13 | 0.02 | 0.00 | 9.76 | 2.00 | 0.00 | 5.12 | 0.02 | 0.00 |
| 9.78 | 2.00 | 0.00 | 5.11 | 0.02 | 0.00 | 9.80 | 2.00 | 0.00 | 5.10 | 0.02 | 0.00 |
| 9.82 | 2.00 | 0.00 | 5.09 | 0.02 | 0.00 | 9.84 | 2.00 | 0.00 | 5.08 | 0.02 | 0.00 |
| 9.86 | 2.00 | 0.00 | 5.07 | 0.02 | 0.00 | 9.88 | 2.00 | 0.00 | 5.06 | 0.02 | 0.00 |
| 9.90 | 2.00 | 0.00 | 5.05 | 0.02 | 0.00 | 9.92 | 2.00 | 0.00 | 5.04 | 0.02 | 0.00 |
| 9.94 | 2.00 | 0.00 | 5.03 | 0.02 | 0.00 | 9.96 | 2.00 | 0.00 | 5.02 | 0.02 | 0.00 |
| 9.98 | 2.00 | 0.00 | 5.01 | 0.02 | 0.00 | 10.00 | 2.00 | 0.00 | 5.00 | 0.02 | 0.00 |
| 10.02 | 2.00 | 0.00 | 4.99 | 0.02 | 0.00 | 10.04 | 2.00 | 0.00 | 4.98 | 0.02 | 0.00 |
| 10.06 | 2.00 | 0.00 | 4.97 | 0.02 | 0.00 | 10.08 | 2.00 | 0.00 | 4.96 | 0.02 | 0.00 |
| 10.10 | 2.00 | 0.00 | 4.95 | 0.02 | 0.00 | 10.12 | 2.00 | 0.00 | 4.94 | 0.02 | 0.00 |
| 10.14 | 2.00 | 0.00 | 4.93 | 0.02 | 0.00 | 10.16 | 2.00 | 0.00 | 4.92 | 0.02 | 0.00 |
| 10.18 | 2.00 | 0.00 | 4.91 | 0.02 | 0.00 | 10.20 | 2.00 | 0.00 | 4.90 | 0.02 | 0.00 |
| 10.22 | 2.00 | 0.00 | 4.89 | 0.02 | 0.00 | 10.24 | 2.00 | 0.00 | 4.88 | 0.02 | 0.00 |
| 10.26 | 2.00 | 0.00 | 4.87 | 0.02 | 0.00 | 10.28 | 2.00 | 0.00 | 4.86 | 0.02 | 0.00 |
| 10.30 | 2.00 | 0.00 | 4.85 | 0.02 | 0.00 | 10.32 | 2.00 | 0.00 | 4.84 | 0.02 | 0.00 |
| 10.34 | 2.00 | 0.00 | 4.83 | 0.02 | 0.00 | 10.36 | 2.00 | 0.00 | 4.82 | 0.02 | 0.00 |
| 10.38 | 2.00 | 0.00 | 4.81 | 0.02 | 0.00 | 10.40 | 2.00 | 0.00 | 4.80 | 0.02 | 0.00 |
| 10.42 | 2.00 | 0.00 | 4.79 | 0.02 | 0.00 | 10.44 | 2.00 | 0.00 | 4.78 | 0.02 | 0.00 |
| 10.46 | 2.00 | 0.00 | 4.77 | 0.02 | 0.00 | 10.48 | 2.00 | 0.00 | 4.76 | 0.02 | 0.00 |
| 10.50 | 2.00 | 0.00 | 4.75 | 0.02 | 0.00 | 10.52 | 2.00 | 0.00 | 4.74 | 0.02 | 0.00 |
| 10.54 | 2.00 | 0.00 | 4.73 | 0.02 | 0.00 | 10.56 | 2.00 | 0.00 | 4.72 | 0.02 | 0.00 |
| 10.58 | 2.00 | 0.00 | 4.71 | 0.02 | 0.00 | 10.60 | 2.00 | 0.00 | 4.70 | 0.02 | 0.00 |

This software is licensed to: GEOTEA S.R.L.

CPT name: Basic results

| :: Liquefaction Potential Index calculation data :: (continued) | | | | | | | | | | | |
|---|------|----------------|----------------|----------------|------|-----------|------|----------------|----------------|----------------|------|
| Depth (m) | FS | F _L | w _z | d _z | LPI | Depth (m) | FS | F _L | w _z | d _z | LPI |
| 10.62 | 2.00 | 0.00 | 4.69 | 0.02 | 0.00 | 10.64 | 2.00 | 0.00 | 4.68 | 0.02 | 0.00 |
| 10.66 | 2.00 | 0.00 | 4.67 | 0.02 | 0.00 | 10.68 | 2.00 | 0.00 | 4.66 | 0.02 | 0.00 |
| 10.70 | 0.73 | 0.27 | 4.65 | 0.02 | 0.02 | 10.72 | 0.66 | 0.34 | 4.64 | 0.02 | 0.03 |
| 10.74 | 0.73 | 0.27 | 4.63 | 0.02 | 0.03 | 10.76 | 0.72 | 0.28 | 4.62 | 0.02 | 0.03 |
| 10.78 | 0.67 | 0.33 | 4.61 | 0.02 | 0.03 | 10.80 | 0.76 | 0.24 | 4.60 | 0.02 | 0.02 |
| 10.82 | 0.78 | 0.22 | 4.59 | 0.02 | 0.02 | 10.84 | 2.00 | 0.00 | 4.58 | 0.02 | 0.00 |
| 10.86 | 2.00 | 0.00 | 4.57 | 0.02 | 0.00 | 10.88 | 2.00 | 0.00 | 4.56 | 0.02 | 0.00 |
| 10.90 | 2.00 | 0.00 | 4.55 | 0.02 | 0.00 | 10.92 | 2.00 | 0.00 | 4.54 | 0.02 | 0.00 |
| 10.94 | 2.00 | 0.00 | 4.53 | 0.02 | 0.00 | 10.96 | 0.89 | 0.11 | 4.52 | 0.02 | 0.01 |
| 10.98 | 0.83 | 0.17 | 4.51 | 0.02 | 0.02 | 11.00 | 0.78 | 0.22 | 4.50 | 0.02 | 0.02 |
| 11.02 | 0.76 | 0.24 | 4.49 | 0.02 | 0.02 | 11.04 | 2.00 | 0.00 | 4.48 | 0.02 | 0.00 |
| 11.06 | 2.00 | 0.00 | 4.47 | 0.02 | 0.00 | 11.08 | 2.00 | 0.00 | 4.46 | 0.02 | 0.00 |
| 11.10 | 2.00 | 0.00 | 4.45 | 0.02 | 0.00 | 11.12 | 2.00 | 0.00 | 4.44 | 0.02 | 0.00 |
| 11.14 | 2.00 | 0.00 | 4.43 | 0.02 | 0.00 | 11.16 | 2.00 | 0.00 | 4.42 | 0.02 | 0.00 |
| 11.18 | 2.00 | 0.00 | 4.41 | 0.02 | 0.00 | 11.20 | 2.00 | 0.00 | 4.40 | 0.02 | 0.00 |
| 11.22 | 2.00 | 0.00 | 4.39 | 0.02 | 0.00 | 11.24 | 2.00 | 0.00 | 4.38 | 0.02 | 0.00 |
| 11.26 | 2.00 | 0.00 | 4.37 | 0.02 | 0.00 | 11.28 | 2.00 | 0.00 | 4.36 | 0.02 | 0.00 |
| 11.30 | 2.00 | 0.00 | 4.35 | 0.02 | 0.00 | 11.32 | 2.00 | 0.00 | 4.34 | 0.02 | 0.00 |
| 11.34 | 2.00 | 0.00 | 4.33 | 0.02 | 0.00 | 11.36 | 2.00 | 0.00 | 4.32 | 0.02 | 0.00 |
| 11.38 | 2.00 | 0.00 | 4.31 | 0.02 | 0.00 | 11.40 | 2.00 | 0.00 | 4.30 | 0.02 | 0.00 |
| 11.42 | 2.00 | 0.00 | 4.29 | 0.02 | 0.00 | 11.44 | 2.00 | 0.00 | 4.28 | 0.02 | 0.00 |
| 11.46 | 2.00 | 0.00 | 4.27 | 0.02 | 0.00 | 11.48 | 2.00 | 0.00 | 4.26 | 0.02 | 0.00 |
| 11.50 | 2.00 | 0.00 | 4.25 | 0.02 | 0.00 | 11.52 | 2.00 | 0.00 | 4.24 | 0.02 | 0.00 |
| 11.54 | 2.00 | 0.00 | 4.23 | 0.02 | 0.00 | 11.56 | 2.00 | 0.00 | 4.22 | 0.02 | 0.00 |
| 11.58 | 2.00 | 0.00 | 4.21 | 0.02 | 0.00 | 11.60 | 2.00 | 0.00 | 4.20 | 0.02 | 0.00 |
| 11.62 | 2.00 | 0.00 | 4.19 | 0.02 | 0.00 | 11.64 | 2.00 | 0.00 | 4.18 | 0.02 | 0.00 |
| 11.66 | 2.00 | 0.00 | 4.17 | 0.02 | 0.00 | 11.68 | 2.00 | 0.00 | 4.16 | 0.02 | 0.00 |
| 11.70 | 2.00 | 0.00 | 4.15 | 0.02 | 0.00 | 11.72 | 2.00 | 0.00 | 4.14 | 0.02 | 0.00 |
| 11.74 | 2.00 | 0.00 | 4.13 | 0.02 | 0.00 | 11.76 | 2.00 | 0.00 | 4.12 | 0.02 | 0.00 |
| 11.78 | 2.00 | 0.00 | 4.11 | 0.02 | 0.00 | 11.80 | 2.00 | 0.00 | 4.10 | 0.02 | 0.00 |
| 11.82 | 2.00 | 0.00 | 4.09 | 0.02 | 0.00 | 11.84 | 2.00 | 0.00 | 4.08 | 0.02 | 0.00 |
| 11.86 | 2.00 | 0.00 | 4.07 | 0.02 | 0.00 | 11.88 | 2.00 | 0.00 | 4.06 | 0.02 | 0.00 |
| 11.90 | 2.00 | 0.00 | 4.05 | 0.02 | 0.00 | 11.92 | 2.00 | 0.00 | 4.04 | 0.02 | 0.00 |
| 11.94 | 2.00 | 0.00 | 4.03 | 0.02 | 0.00 | 11.96 | 2.00 | 0.00 | 4.02 | 0.02 | 0.00 |
| 11.98 | 2.00 | 0.00 | 4.01 | 0.02 | 0.00 | 12.00 | 2.00 | 0.00 | 4.00 | 0.02 | 0.00 |
| 12.02 | 2.00 | 0.00 | 3.99 | 0.02 | 0.00 | 12.04 | 2.00 | 0.00 | 3.98 | 0.02 | 0.00 |
| 12.06 | 2.00 | 0.00 | 3.97 | 0.02 | 0.00 | 12.08 | 2.00 | 0.00 | 3.96 | 0.02 | 0.00 |
| 12.10 | 2.00 | 0.00 | 3.95 | 0.02 | 0.00 | 12.12 | 2.00 | 0.00 | 3.94 | 0.02 | 0.00 |
| 12.14 | 2.00 | 0.00 | 3.93 | 0.02 | 0.00 | 12.16 | 2.00 | 0.00 | 3.92 | 0.02 | 0.00 |
| 12.18 | 2.00 | 0.00 | 3.91 | 0.02 | 0.00 | 12.20 | 2.00 | 0.00 | 3.90 | 0.02 | 0.00 |
| 12.22 | 2.00 | 0.00 | 3.89 | 0.02 | 0.00 | 12.24 | 2.00 | 0.00 | 3.88 | 0.02 | 0.00 |
| 12.26 | 2.00 | 0.00 | 3.87 | 0.02 | 0.00 | 12.28 | 2.00 | 0.00 | 3.86 | 0.02 | 0.00 |
| 12.30 | 2.00 | 0.00 | 3.85 | 0.02 | 0.00 | 12.32 | 2.00 | 0.00 | 3.84 | 0.02 | 0.00 |
| 12.34 | 2.00 | 0.00 | 3.83 | 0.02 | 0.00 | 12.36 | 2.00 | 0.00 | 3.82 | 0.02 | 0.00 |
| 12.38 | 2.00 | 0.00 | 3.81 | 0.02 | 0.00 | 12.40 | 2.00 | 0.00 | 3.80 | 0.02 | 0.00 |
| 12.42 | 2.00 | 0.00 | 3.79 | 0.02 | 0.00 | 12.44 | 2.00 | 0.00 | 3.78 | 0.02 | 0.00 |
| 12.46 | 2.00 | 0.00 | 3.77 | 0.02 | 0.00 | 12.48 | 2.00 | 0.00 | 3.76 | 0.02 | 0.00 |
| 12.50 | 2.00 | 0.00 | 3.75 | 0.02 | 0.00 | 12.52 | 2.00 | 0.00 | 3.74 | 0.02 | 0.00 |

This software is licensed to: GEOTEA S.R.L.

CPT name: Basic results

| :: Liquefaction Potential Index calculation data :: (continued) | | | | | | | | | | | |
|---|------|----------------|----------------|----------------|------|--------------|------|----------------|----------------|----------------|------|
| Depth (m) | FS | F _L | w _z | d _z | LPI | Depth (m) | FS | F _L | w _z | d _z | LPI |
| 12.54 | 2.00 | 0.00 | 3.73 | 0.02 | 0.00 | 12.56 | 2.00 | 0.00 | 3.72 | 0.02 | 0.00 |
| 12.58 | 2.00 | 0.00 | 3.71 | 0.02 | 0.00 | 12.60 | 2.00 | 0.00 | 3.70 | 0.02 | 0.00 |
| 12.62 | 2.00 | 0.00 | 3.69 | 0.02 | 0.00 | 12.64 | 2.00 | 0.00 | 3.68 | 0.02 | 0.00 |
| 12.66 | 2.00 | 0.00 | 3.67 | 0.02 | 0.00 | 12.68 | 2.00 | 0.00 | 3.66 | 0.02 | 0.00 |
| 12.70 | 2.00 | 0.00 | 3.65 | 0.02 | 0.00 | 12.72 | 2.00 | 0.00 | 3.64 | 0.02 | 0.00 |
| 12.74 | 2.00 | 0.00 | 3.63 | 0.02 | 0.00 | 12.76 | 2.00 | 0.00 | 3.62 | 0.02 | 0.00 |
| 12.78 | 2.00 | 0.00 | 3.61 | 0.02 | 0.00 | 12.80 | 2.00 | 0.00 | 3.60 | 0.02 | 0.00 |
| 12.82 | 2.00 | 0.00 | 3.59 | 0.02 | 0.00 | 12.84 | 2.00 | 0.00 | 3.58 | 0.02 | 0.00 |
| 12.86 | 2.00 | 0.00 | 3.57 | 0.02 | 0.00 | 12.88 | 2.00 | 0.00 | 3.56 | 0.02 | 0.00 |
| 12.90 | 2.00 | 0.00 | 3.55 | 0.02 | 0.00 | 12.92 | 2.00 | 0.00 | 3.54 | 0.02 | 0.00 |
| 12.94 | 2.00 | 0.00 | 3.53 | 0.02 | 0.00 | 12.96 | 2.00 | 0.00 | 3.52 | 0.02 | 0.00 |
| 12.98 | 2.00 | 0.00 | 3.51 | 0.02 | 0.00 | 13.00 | 2.00 | 0.00 | 3.50 | 0.02 | 0.00 |
| 13.02 | 2.00 | 0.00 | 3.49 | 0.02 | 0.00 | 13.04 | 2.00 | 0.00 | 3.48 | 0.02 | 0.00 |
| 13.06 | 2.00 | 0.00 | 3.47 | 0.02 | 0.00 | 13.08 | 2.00 | 0.00 | 3.46 | 0.02 | 0.00 |
| 13.10 | 2.00 | 0.00 | 3.45 | 0.02 | 0.00 | 13.12 | 2.00 | 0.00 | 3.44 | 0.02 | 0.00 |
| 13.14 | 2.00 | 0.00 | 3.43 | 0.02 | 0.00 | 13.16 | 2.00 | 0.00 | 3.42 | 0.02 | 0.00 |
| 13.18 | 2.00 | 0.00 | 3.41 | 0.02 | 0.00 | 13.20 | 2.00 | 0.00 | 3.40 | 0.02 | 0.00 |
| 13.22 | 2.00 | 0.00 | 3.39 | 0.02 | 0.00 | 13.24 | 2.00 | 0.00 | 3.38 | 0.02 | 0.00 |
| 13.26 | 2.00 | 0.00 | 3.37 | 0.02 | 0.00 | 13.28 | 2.00 | 0.00 | 3.36 | 0.02 | 0.00 |
| 13.30 | 2.00 | 0.00 | 3.35 | 0.02 | 0.00 | 13.32 | 2.00 | 0.00 | 3.34 | 0.02 | 0.00 |
| 13.34 | 2.00 | 0.00 | 3.33 | 0.02 | 0.00 | 13.36 | 2.00 | 0.00 | 3.32 | 0.02 | 0.00 |
| 13.38 | 2.00 | 0.00 | 3.31 | 0.02 | 0.00 | 13.40 | 2.00 | 0.00 | 3.30 | 0.02 | 0.00 |
| 13.42 | 2.00 | 0.00 | 3.29 | 0.02 | 0.00 | 13.44 | 2.00 | 0.00 | 3.28 | 0.02 | 0.00 |
| 13.46 | 2.00 | 0.00 | 3.27 | 0.02 | 0.00 | 13.48 | 2.00 | 0.00 | 3.26 | 0.02 | 0.00 |
| 13.50 | 2.00 | 0.00 | 3.25 | 0.02 | 0.00 | 13.52 | 2.00 | 0.00 | 3.24 | 0.02 | 0.00 |
| 13.54 | 2.00 | 0.00 | 3.23 | 0.02 | 0.00 | 13.56 | 2.00 | 0.00 | 3.22 | 0.02 | 0.00 |
| 13.58 | 2.00 | 0.00 | 3.21 | 0.02 | 0.00 | 13.60 | 2.00 | 0.00 | 3.20 | 0.02 | 0.00 |
| 13.62 | 2.00 | 0.00 | 3.19 | 0.02 | 0.00 | 13.64 | 2.00 | 0.00 | 3.18 | 0.02 | 0.00 |
| 13.66 | 2.00 | 0.00 | 3.17 | 0.02 | 0.00 | 13.68 | 2.00 | 0.00 | 3.16 | 0.02 | 0.00 |
| 13.70 | 2.00 | 0.00 | 3.15 | 0.02 | 0.00 | 13.72 | 2.00 | 0.00 | 3.14 | 0.02 | 0.00 |
| 13.74 | 2.00 | 0.00 | 3.13 | 0.02 | 0.00 | 13.76 | 2.00 | 0.00 | 3.12 | 0.02 | 0.00 |
| 13.78 | 2.00 | 0.00 | 3.11 | 0.02 | 0.00 | 13.80 | 2.00 | 0.00 | 3.10 | 0.02 | 0.00 |
| 13.82 | 2.00 | 0.00 | 3.09 | 0.02 | 0.00 | 13.84 | 2.00 | 0.00 | 3.08 | 0.02 | 0.00 |
| 13.86 | 2.00 | 0.00 | 3.07 | 0.02 | 0.00 | 13.88 | 2.00 | 0.00 | 3.06 | 0.02 | 0.00 |
| 13.90 | 2.00 | 0.00 | 3.05 | 0.02 | 0.00 | 13.92 | 2.00 | 0.00 | 3.04 | 0.02 | 0.00 |
| 13.94 | 2.00 | 0.00 | 3.03 | 0.02 | 0.00 | 13.96 | 2.00 | 0.00 | 3.02 | 0.02 | 0.00 |
| 13.98 | 2.00 | 0.00 | 3.01 | 0.02 | 0.00 | 14.00 | 2.00 | 0.00 | 3.00 | 0.02 | 0.00 |
| 14.02 | 2.00 | 0.00 | 2.99 | 0.02 | 0.00 | 14.04 | 2.00 | 0.00 | 2.98 | 0.02 | 0.00 |
| 14.06 | 2.00 | 0.00 | 2.97 | 0.02 | 0.00 | 14.08 | 2.00 | 0.00 | 2.96 | 0.02 | 0.00 |
| 14.10 | 2.00 | 0.00 | 2.95 | 0.02 | 0.00 | 14.12 | 2.00 | 0.00 | 2.94 | 0.02 | 0.00 |
| 14.14 | 2.00 | 0.00 | 2.93 | 0.02 | 0.00 | 14.16 | 2.00 | 0.00 | 2.92 | 0.02 | 0.00 |
| 14.18 | 2.00 | 0.00 | 2.91 | 0.02 | 0.00 | 14.20 | 2.00 | 0.00 | 2.90 | 0.02 | 0.00 |
| 14.22 | 2.00 | 0.00 | 2.89 | 0.02 | 0.00 | 14.24 | 2.00 | 0.00 | 2.88 | 0.02 | 0.00 |
| 14.26 | 2.00 | 0.00 | 2.87 | 0.02 | 0.00 | 14.28 | 2.00 | 0.00 | 2.86 | 0.02 | 0.00 |
| 14.30 | 2.00 | 0.00 | 2.85 | 0.02 | 0.00 | 14.32 | 2.00 | 0.00 | 2.84 | 0.02 | 0.00 |
| 14.34 | 2.00 | 0.00 | 2.83 | 0.02 | 0.00 | 14.36 | 2.00 | 0.00 | 2.82 | 0.02 | 0.00 |
| 14.38 | 2.00 | 0.00 | 2.81 | 0.02 | 0.00 | 14.40 | 2.00 | 0.00 | 2.80 | 0.02 | 0.00 |
| 14.42 | 2.00 | 0.00 | 2.79 | 0.02 | 0.00 | 14.44 | 2.00 | 0.00 | 2.78 | 0.02 | 0.00 |

This software is licensed to: GEOTEA S.R.L.

CPT name: Basic results

| :: Liquefaction Potential Index calculation data :: (continued) | | | | | | | | | | | |
|---|------|----------------|----------------|----------------|------|---|------|----------------|----------------|----------------|------|
| Depth (m) | FS | F _L | w _z | d _z | LPI | Depth (m) | FS | F _L | w _z | d _z | LPI |
| 14.46 | 2.00 | 0.00 | 2.77 | 0.02 | 0.00 | 14.48 | 2.00 | 0.00 | 2.76 | 0.02 | 0.00 |
| 14.50 | 2.00 | 0.00 | 2.75 | 0.02 | 0.00 | 14.52 | 2.00 | 0.00 | 2.74 | 0.02 | 0.00 |
| 14.54 | 2.00 | 0.00 | 2.73 | 0.02 | 0.00 | 14.56 | 2.00 | 0.00 | 2.72 | 0.02 | 0.00 |
| 14.58 | 2.00 | 0.00 | 2.71 | 0.02 | 0.00 | 14.60 | 2.00 | 0.00 | 2.70 | 0.02 | 0.00 |
| 14.62 | 2.00 | 0.00 | 2.69 | 0.02 | 0.00 | 14.64 | 2.00 | 0.00 | 2.68 | 0.02 | 0.00 |
| 14.66 | 2.00 | 0.00 | 2.67 | 0.02 | 0.00 | 14.68 | 2.00 | 0.00 | 2.66 | 0.02 | 0.00 |
| 14.70 | 2.00 | 0.00 | 2.65 | 0.02 | 0.00 | 14.72 | 2.00 | 0.00 | 2.64 | 0.02 | 0.00 |
| 14.74 | 2.00 | 0.00 | 2.63 | 0.02 | 0.00 | 14.76 | 2.00 | 0.00 | 2.62 | 0.02 | 0.00 |
| 14.78 | 2.00 | 0.00 | 2.61 | 0.02 | 0.00 | 14.80 | 2.00 | 0.00 | 2.60 | 0.02 | 0.00 |
| 14.82 | 2.00 | 0.00 | 2.59 | 0.02 | 0.00 | 14.84 | 2.00 | 0.00 | 2.58 | 0.02 | 0.00 |
| 14.86 | 2.00 | 0.00 | 2.57 | 0.02 | 0.00 | 14.88 | 2.00 | 0.00 | 2.56 | 0.02 | 0.00 |
| 14.90 | 2.00 | 0.00 | 2.55 | 0.02 | 0.00 | 14.92 | 2.00 | 0.00 | 2.54 | 0.02 | 0.00 |
| 14.94 | 2.00 | 0.00 | 2.53 | 0.02 | 0.00 | 14.96 | 2.00 | 0.00 | 2.52 | 0.02 | 0.00 |
| 14.98 | 2.00 | 0.00 | 2.51 | 0.02 | 0.00 | 15.00 | 2.00 | 0.00 | 2.50 | 0.02 | 0.00 |
| | | | | | | Overall liquefaction potential: 0.32 | | | | | |

LPI = 0.00 - Liquefaction risk very low

LPI between 0.00 and 5.00 - Liquefaction risk low

LPI between 5.00 and 15.00 - Liquefaction risk high

LPI > 15.00 - Liquefaction risk very high

Abbreviations

FS: Calculated factor of safety for test point

F_L: 1 - FSw_z: Function value of the extend of soil liquefaction according to depthd_z: Layer thickness (m)

LPI: Liquefaction potential index value for test point

8. CRITICITÀ IDRAULICHE

In base a quanto riportato nel quadro conoscitivo del PSC del comune di Medicina e nel ptcp/ptm della provincia di Bologna, l'area in esame interessata dalla TOC sul Torrente Idice risulta essere un' area a rischio alluvionamento. Tale analisi è condizionata ovviamente con le modellistiche attualmente adottate dagli enti preposti.

9. CAMPAGNA DI INDAGINI

Per la CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA E LITOLOGICA DEL SITO, visto il tipo di opera prevista ed il volume significativo di terreno da essa coinvolto, è stato concordato con il Progettista e committenza di eseguire in sito una prova penetrometrica statica (CPT1) + n. 1 prova penetrometrica statica a punta elettrica (CPTU1) + utilizzare indagini, per confronto, sia provenienti dalla banca dati della regione Emilia Romagna, sia comunale (microzonazione sismica). La profondità della prova statica è stata programmata al fine di determinare le caratteristiche geomeccaniche dei litotipi presenti fino a quote sufficienti ad ottenere un decremento

superiore al 90% dell'incremento di carico indotto in corrispondenza del piano di fondazione per le fondazioni di seguito considerate; tale profondità è stata scelta in fase esecutiva in seguito ai valori di resistenza verificati nel corso della prova stessa e considerando la trasmissione delle tensioni verticali derivanti dalla teoria di Bousinnesq.

10. STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

Il ***Cone Penetration Test*** (o prova CPT) misura la resistenza di un terreno alla penetrazione di una punta conica (punta Begemann) e di un manicotto (*friction jacket cone*) aventi le sottoindicate dimensioni standard: - la punta ha forma conica, avente angolo di 60° e area della superficie di base pari a 10 cm^2 ; - il manicotto per la misura dell'attrito laterale locale ha una superficie laterale di 150 cm^2 , ed è posto immediatamente sopra la punta conica. È stato utilizzato un penetrometro meccanico (tipo Deep Drill da 15 tonn di spinta) con misura della resistenza discontinua (caratterizzato da una lettura ogni 20 cm) mediante manometri. Durante l'infissione nel terreno del sistema punta-batteria aste, vengono misurate alternativamente la resistenza alla punta R_p e la resistenza all'attrito laterale R_l , entrambe espresse in Kg/cm^2 . Dal rapporto R_p/R_l , secondo la teoria di Begemann, è possibile individuare la natura litologica dei terreni interessati dalla prova CPT, in base alla risposta meccanica che ogni singolo strato fornisce.

Detta anche “piezocono” (CPTU) tale prova è caratterizzata dal fatto che il penetrometro statico a punta elettrica in questione è dotato di un elemento poroso di ceramica fine o di acciaio detto filtro, posizionato sulla punta dello strumento od in prossimità di essa, che permette di misurare e registrare, oltre ai parametri di resistenza alla penetrazione q_c ed f_s , anche la pressione interstiziale u nei terreni saturi al di sotto del livello di falda, sia durante l'avanzamento che a penetrometro fermo. La misura della pressione neutrale u è condizionata dalla completa saturazione del filtro, che si ottiene saturando preventivamente il filtro stesso con fluidi viscosi quali oli siliconici. Questa prova permette di identificare stratificazioni, anche molto sottili con differenti caratteristiche di permeabilità basandosi sulla misura contemporanea della resistenza alla punta q_c e della pressione neutrale u . Tale peculiarità è utilizzata nello studio dei problemi di filtrazione e consolidazione. La pressione neutrale misurata con il piezocono si indica con i simboli u_1 , u_2 , u_3 , in funzione

della posizione che occupa il filtro sulla punta del piezocono. Con il piezocono si possono eseguire anche prove di dissipazione della pressione neutra e quindi è possibile stimare le caratteristiche di permeabilità e di consolidazione del terreno; queste prove si eseguono arrestando la penetrazione del piezocono nel terreno in modo tale che la pressione dei pori Δu in eccesso, dovuta alla penetrazione, si possa dissipare. Si misura, quindi, la velocità di riduzione della pressione fino ad un abbattimento del 60% - 80%.

Dalla velocità del processo di dissipazione dipende il processo di consolidazione orizzontale e risulta quindi possibile determinare il coefficiente di consolidazione orizzontale c_h e quello di permeabilità orizzontale k_h .

11. CARATTERISTICHE LITOSTRATIGRAFICHE E GEOTECNICHE (MODELLO GEOLOGICO)

Le caratteristiche litostratigrafiche esaminate per mezzo del rapporto di Begemann (1965), in corrispondenza della verticale della prova CPT1 e CPTU1, indicano la presenza di materiali prevalentemente coesivi, per tutto l'intervallo sino a m 20, tranne alcuni livelli di limi sabbiosi e sabbie fini limoso/argillose alle seguenti quote da piano campagna:

14,40-14,60

19,40-20,00

Si sono individuati n. 8 banchi litologici omogenei, il cui andamento generale è confermato anche dalle stratigrafie di sondaggi, cpt e cptu della banca dati della Regione Emilia Romagna (Servizio geologico sismico e dei suoli).

via Benvenuto Tisi n. 5, Argenta (FE)- tel 339.26.133.19 ; mail: pollinimatteo72@gmail.com

Software by dott. Geol. Diego Merlin +39 0425-840820

I.GEO.S - Dott. Geol. Pollini Matteo

Studio di Geologia-geotecnica-idrogeologia ed Ambiente. B.D Bioenergie

via Benvenuto Tisi n. 5, Argenta (FE)- tel 339.26.133.19 ; mail: pollinimatteo72@gmail.com

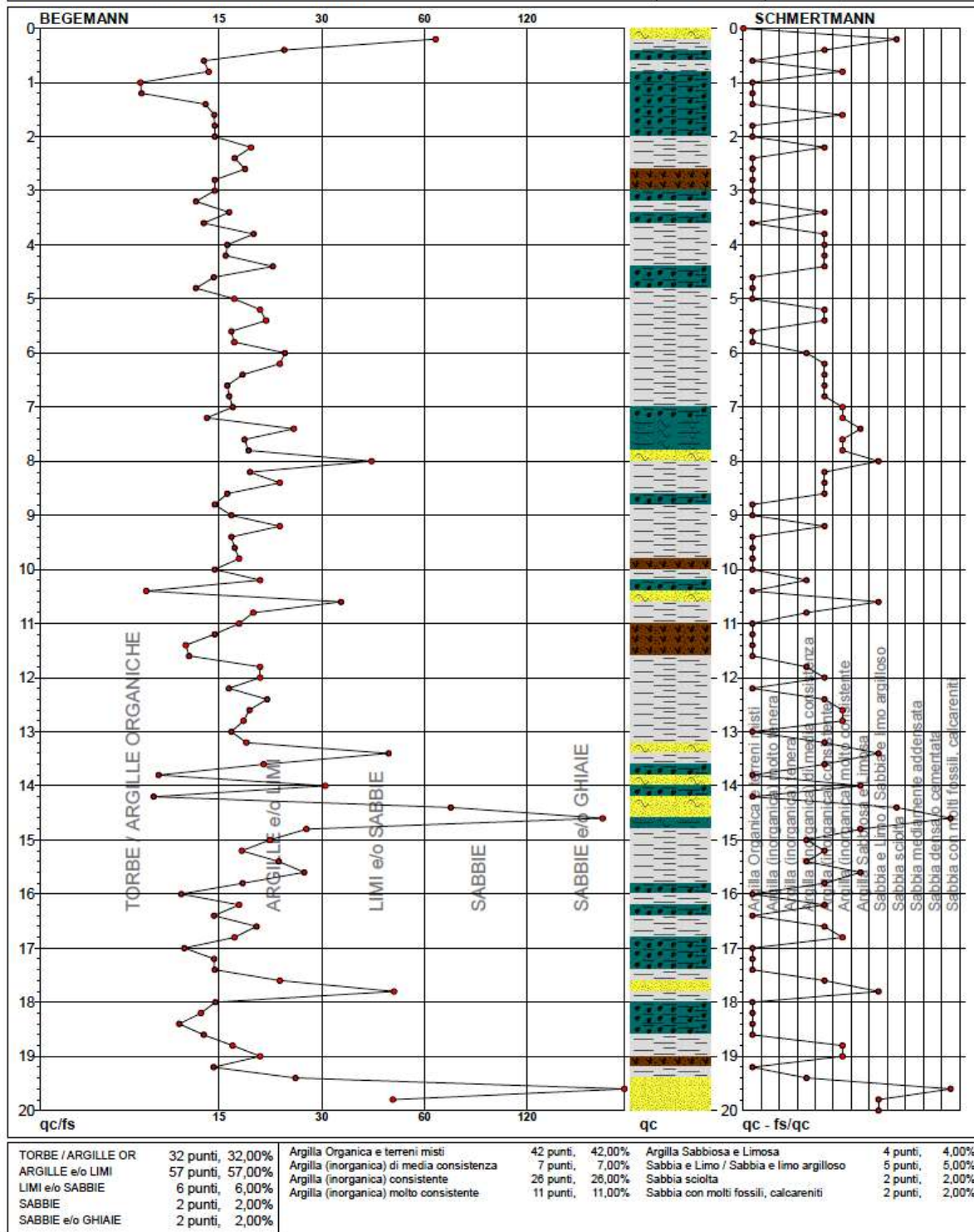
**PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
DIAGRAMMI LITOLOGIA****CPT****2**

Riferimento

04/2021Committente Privato
Cantiere Medicina (BO)
Località TOC IdiceU.M.: kg/cm²
Scala: 1:100
Pagina 1
Elaborato

Data esec. 13/09/2022

Falda -1,80 m



note: Zona sismica: 3

FON015

Software by dott. Geol. Diego Merlin +39 0425-540820

I.GEO.S - Dott. Geol. Pollini Matteo
 Studio di Geologia-geotecnica-idrogeologia ed Ambiente. B.D Bioenergie
 via Benvenuto Tisi n. 5, Argenta (FE)- tel 339.26.133.19 ; mail: pollinimatteo72@gmail.com

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.

Relazione Geologica

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

PARAMETRI GEOTECNICI

CPT

2

Riferimento

| | |
|-------------|---------------|
| Committente | Privato |
| Cantiere | Medicina (BO) |
| Località | TOC Idice |

| | |
|-----------|-------|
| U.M.: | kg/cm |
| Pagina | 1 |
| Elaborato | |

| | |
|------------|------------|
| Data esec. | 13/09/2022 |
|------------|------------|

Falda -1,80 m

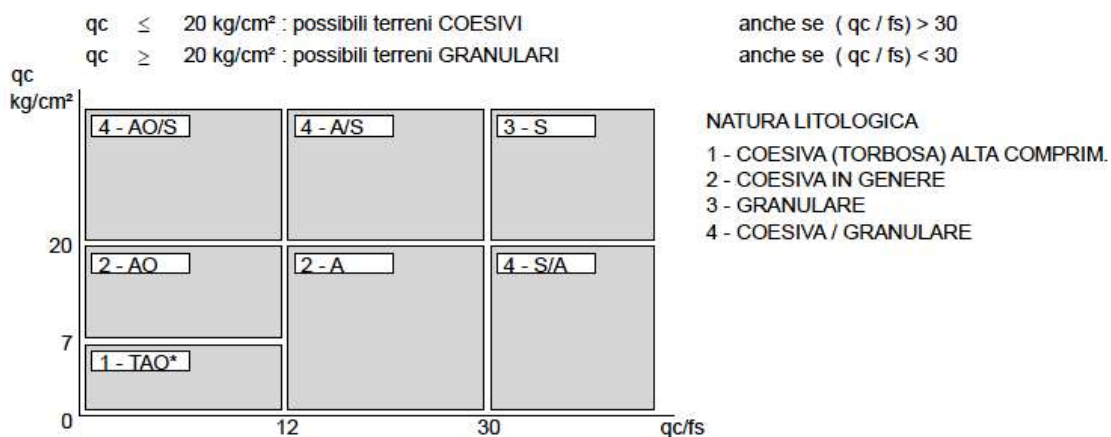
| NATURA COESIVA | | | | | | | | | | | | | NATURA GRANULARE | | | | | | | | | | | | |
|----------------|---------|-------|------|-----------------------------|---------------------|--------|---------|-------|-----------|-----------|---------|------|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|-----------|-----------|---------|-----|-----|--|--|
| H m | qc U.M. | qcfs | 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 % | Sc (%) | Ca (%) | Ko (%) | DB (%) | DM (%) | Me (%) | E'50 U.M. | E'25 U.M. | Mo U.M. | FL1 | FL2 | | |
| 0.20 | 20.00 | 60.61 | 4 | 1.85 | 0.04 | 171 | 0.80 | 99.9 | 136.0 | 204.0 | 60.0 | 97 | 43 | 41 | 39 | 36 | 44 | 27 | 33.3 | 50.0 | 60.0 | -- | -- | | |
| 0.40 | 17.00 | 23.29 | 2 | 1.85 | 0.07 | 161 | 0.72 | 99.9 | 123.0 | 184.5 | 54.1 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | | |
| 0.60 | 15.00 | 14.02 | 2 | 1.11 | 0.56 | 154 | 0.67 | 56.0 | 113.3 | 170.0 | 49.5 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | | |
| 0.80 | 26.00 | 14.44 | 4 | 1.85 | 0.15 | 189 | 0.93 | 62.3 | 157.9 | 236.8 | 78.0 | 72 | 40 | 35 | 33 | 31 | 40 | 28 | 43.3 | 65.0 | 78.0 | -- | -- | | |
| 1.00 | 20.00 | 9.39 | 4 | 1.85 | 0.19 | 171 | 0.80 | 39.2 | 136.0 | 204.0 | 60.0 | 58 | 38 | 33 | 30 | 28 | 37 | 27 | 33.3 | 50.0 | 60.0 | -- | -- | | |
| 1.20 | 17.00 | 9.44 | 2 | 1.85 | 0.22 | 161 | 0.72 | 27.5 | 123.0 | 184.5 | 54.1 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | | |
| 1.40 | 16.00 | 14.16 | 2 | 1.85 | 0.26 | 157 | 0.70 | 21.6 | 118.3 | 177.4 | 51.8 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | | |
| 1.60 | 19.00 | 14.96 | 2 | 1.85 | 0.30 | 168 | 0.78 | 20.9 | 131.8 | 197.8 | 58.1 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | | |
| 1.80 | 15.00 | 15.00 | 2 | 0.95 | 0.32 | 154 | 0.67 | 16.0 | 113.3 | 170.0 | 49.5 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | | |
| 2.00 | 12.00 | 15.00 | 2 | 0.92 | 0.33 | 141 | 0.57 | 12.3 | 97.1 | 145.7 | 44.8 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | | |
| 2.20 | 10.00 | 15.00 | 2 | 0.90 | 0.35 | 132 | 0.50 | 9.8 | 85.4 | 128.1 | 40.0 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | | |
| 2.40 | 8.00 | 17.02 | 2 | 0.96 | 0.37 | 121 | 0.40 | 7.0 | 92.7 | 139.1 | 35.2 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | | |
| 2.60 | 6.00 | 18.18 | 2 | 0.82 | 0.39 | 109 | 0.30 | 4.6 | 107.2 | 160.9 | 28.8 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | | |
| 2.80 | 6.00 | 15.00 | 1 | 0.46 | 0.39 | 109 | 0.30 | 4.5 | 19.9 | 28.8 | 9.0 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | | |
| 3.00 | 6.00 | 15.00 | 1 | 0.46 | 0.40 | 109 | 0.30 | 4.3 | 20.2 | 30.3 | 9.0 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | | |
| 3.20 | 8.00 | 13.33 | 2 | 0.96 | 0.42 | 121 | 0.40 | 5.9 | 111.9 | 167.9 | 35.2 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | | |
| 3.40 | 12.00 | 16.44 | 2 | 0.92 | 0.44 | 141 | 0.57 | 8.7 | 104.0 | 156.0 | 44.8 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | | |
| 3.60 | 14.00 | 14.00 | 2 | 0.94 | 0.48 | 150 | 0.64 | 9.5 | 108.8 | 164.7 | 48.0 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | | |
| 3.80 | 14.00 | 19.18 | 2 | 0.94 | 0.49 | 150 | 0.64 | 9.0 | 133.0 | 199.8 | 52.2 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | | |
| 4.00 | 13.00 | 16.25 | 2 | 0.93 | 0.50 | 145 | 0.60 | 8.1 | 118.7 | 178.0 | 46.5 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | | |
| 4.20 | 14.00 | 16.09 | 2 | 0.94 | 0.51 | 150 | 0.64 | 8.2 | 122.7 | 184.1 | 48.2 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | | |
| 4.40 | 13.00 | 21.67 | 2 | 0.93 | 0.53 | 145 | 0.60 | 7.4 | 131.3 | 196.9 | 46.5 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | | |
| 4.60 | 10.00 | 14.93 | 2 | 0.90 | 0.55 | 132 | 0.50 | 5.6 | 148.8 | 223.2 | 40.0 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | | |
| 4.80 | 8.00 | 13.33 | 2 | 0.96 | 0.57 | 121 | 0.40 | 4.1 | 158.4 | 237.7 | 35.2 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | | |
| 5.00 | 9.00 | 16.98 | 2 | 0.88 | 0.59 | 127 | 0.45 | 4.5 | 163.2 | 244.8 | 37.8 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | | |
| 5.20 | 12.00 | 20.00 | 2 | 0.92 | 0.60 | 141 | 0.57 | 5.9 | 160.9 | 241.4 | 44.8 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | | |
| 5.40 | 5.75 | 16.67 | 2 | 0.91 | 0.62 | 137 | 0.54 | 5.2 | 170.4 | 255.6 | 42.5 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | | |
| 5.60 | 10.00 | 16.67 | 2 | 0.90 | 0.64 | 132 | 0.50 | 4.7 | 175.2 | 267.3 | 40.0 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | | |
| 5.80 | 9.00 | 16.98 | 2 | 0.88 | 0.66 | 127 | 0.45 | 3.9 | 184.4 | 276.6 | 37.8 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | | |
| 6.00 | 11.00 | 23.40 | 2 | 0.91 | 0.68 | 137 | 0.54 | 4.7 | 187.9 | 281.8 | 42.5 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | | |
| 6.20 | 12.00 | 22.64 | 2 | 0.92 | 0.69 | 141 | 0.57 | 4.9 | 192.0 | 288.0 | 44.8 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | | |
| 6.40 | 12.00 | 17.91 | 2 | 0.92 | 0.71 | 141 | 0.57 | 4.8 | 197.9 | 296.8 | 44.8 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | | |
| 6.60 | 13.00 | 16.25 | 2 | 0.93 | 0.73 | 145 | 0.60 | 5.0 | 202.1 | 303.1 | 46.5 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | | |
| 6.80 | 12.00 | 16.44 | 2 | 0.92 | 0.75 | 141 | 0.57 | 4.5 | 206.1 | 313.7 | 44.8 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | | |
| 7.00 | 18.00 | 16.92 | 2 | 0.98 | 0.77 | 194 | 0.75 | 6.1 | 202.1 | 304.1 | 56.2 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | | |
| 7.20 | 20.00 | 23.29 | 4 | 1.85 | 0.19 | 171 | 0.80 | 39.2 | 136.0 | 204.0 | 60.0 | 23 | 34 | 26 | 23 | 21 | 29 | 27 | 33.3 | 50.0 | 60.0 | -- | -- | | |
| 7.40 | 23.00 | 24.73 | 4 | 0.94 | 0.81 | 190 | 0.87 | 6.9 | 203.6 | 305.4 | 69.0 | 27 | 34 | 26 | 23 | 22 | 30 | 28 | 38.3 | 57.5 | 69.0 | -- | -- | | |
| 7.60 | 23.00 | 18.11 | 4 | 0.94 | 0.83 | 180 | 0.87 | 6.7 | 210.5 | 315.8 | 69.0 | 26 | 34 | 26 | 23 | 22 | 30 | 28 | 38.3 | 57.5 | 69.0 | -- | -- | | |
| 7.80 | 21.00 | 18.58 | 4 | 0.93 | 0.84 | 174 | 0.82 | 6.1 | 222.3 | 333.4 | 63.0 | 23 | 34 | 26 | 23 | 21 | 29 | 27 | 35.0 | 52.5 | 63.0 | -- | -- | | |
| 8.00 | 19.00 | 40.43 | 4 | 0.92 | 0.86 | 168 | 0.78 | 5.5 | 233.6 | 350.4 | 58.1 | 19 | 33 | 25 | 22 | 21 | 29 | 27 | 31.7 | 47.5 | 57.0 | -- | -- | | |
| 8.20 | 15.00 | 18.75 | 2 | 0.95 | 0.88 | 154 | 0.67 | 4.4 | 245.9 | 368.9 | 49.5 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | | |
| 8.40 | 12.00 | 22.64 | 2 | 0.92 | 0.90 | 141 | 0.57 | 3.6 | 253.9 | 380.8 | 44.8 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | | |
| 8.60 | 12.00 | 16.92 | 2 | 0.92 | 0.92 | 145 | 0.60 | 3.7 | 259.1 | 388.5 | 46.5 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | | |
| 8.80 | 12.00 | 15.00 | 2 | 0.92 | 0.94 | 141 | 0.57 | 3.4 | 263.1 | 394.7 | 44.8 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | | |
| 9.00 | 10.00 | 16.67 | 2 | 0.90 | 0.95 | 132 | 0.50 | 2.8 | 254.5 | 381.7 | 40.0 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | | |
| 9.20 | 12.00 | 22.64 | 2 | 0.92 | 0.97 | 141 | 0.57 | 3.2 | 271.1 | 406.6 | 44.8 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | | |
| 9.40 | 10.00 | 16.67 | 2 | 0.90 | 0.99 | 132 | 0.50 | 2.7 | 259.1 | 388.7 | 40.0 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | | |
| 9.60 | 8.00 | 17.02 | 2 | 0.86 | 1.01 | 121 | 0.40 | 2.0 | 224.5 | 336.7 | 35.2 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | | |
| 9.80 | 7.00 | 17.50 | 2 | 0.84 | 1.02 | 115 | 0.35 | 1.6 | 202.1 | 303.2 | 32.2 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | | |
| 10.00 | 6.00 | 15.00 | 1 | 0.46 | 1.03 | 109 | 0.30 | 1.3 | 38.3 | 57.5 | 9.0 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | | |
| 10.20 | 8.00 | 20.00 | 2 | 0.96 | 1.05 | 121 | 0.40 | 1.9 | 226.8 | 336.8 | 35.2 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | | |
| 10.40 | 11.00 | 17.91 | 2 | 0.91 | 1.07 | 137 | 0.54 | 2.7 | 275.8 | 419.2 | 42.5 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | | |
| 10.60 | 20.00 | 33.33 | 4 | 0.93 | 1.09 | 171 | 0.80 | 4.3 | 303.9 | 455.8 | 60.0 | 15 | 33 | 24 | 21 | 20 | 28 | 27 | 33.3 | 50.0 | 60.0 | -- | -- | | |
| 10.80 | 9.00 | 19.15 | 2 | 0.88 | 1.11 | 127 | 0.45 | 2.0 | 251.0 | 376.5 | 37.8 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | | |
| 11.00 | 7.00 | 17.50 | 2 | 0.84 | 1.12 | 115 | 0.35 | 1.5 | 204.7 | 307.0 | 32.2 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | | |
| 11.20 | 6.00 | 15.00 | 1 | 0.46 | 1.13 | 109 | 0.30 | 1.2 | 38.7 | 58.0 | 9.0 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | | |
| 11.40 | 5.00 | 12.50 | 1 | 0.46 | 1.14 | 101 | 0.25 | 0.9 | 32.5 | 48.8 | 7.5 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | | |
| 11.60 | 6.00 | 12.77 | 1 | 0.46 | 1.15 | 109 | 0.30 | 1.2 | 38.7 | 58.1 | 9.0 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | | |
| 11.80 | 8.00 | 20.00 | 2 | 0.96 | 1.17 | 121 | 0.40 | 1.6 | 230.9 | 346.3 | 35.2 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | | |
| 12.00 | 12.00 | 20.00 | 2 | 0.92 | 1.19 | 141 | 0.57 | 2.3 | 302.0 | 453.1 | 42.5 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | | |
| 12.20 | 10.00 | 16.42 | 2 | 0.91 | 1.20 | 137 | 0.54 | 2.3 | 291.7 | 437.5 | 42.5 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | | |
| 12.40 | 14.00 | 20.90 | 2 | 0.94 | 1.22 | 150 | 0.64 | 2.8 | 324.9 | 487.4 | 48.2 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | | |
| 12.60 | 20.00 | 18.69 | 4 | 0.93 | 1.24 | 171 | 0.80 | 3.6 | 350.4 | 525.6 | 60.0 | 11 | 33 | 24 | 20 | 19 | 27 | 27 | 33.3 | 50.0 | 60.0 | -- | -- | | |
| 12.80 | 18.00 | 18.00 | 2 | 0.98 | 1.26 | 164 | 0.75 | 3.3 | 352.4 | 528.6 | 56.2 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | | |
| 13.00 | 10.00 | 16.67 | 2 | 0.90 | 1.28 | 132 | 0.50 | 1.9 | 281.5 | 422.3 | 40.0 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | | |
| 13.20 | 11.00 | 18.33 | 2 | 0.91 | 1.30 | 137 | 0.54 | 2.1 | 296.1 | 447.1 | 42.5 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | | |
| 13.40 | 9.00 | 45.00 | 4 | 0.85 | 1.31 | 127 | 0.45 | 1.6 | 258.8 | 389.6 | 37.8 | -- | 31 | 19 | 16 | 15 | 25 | 26 | 15.0 | 22.5 | 27.0 | -- | -- | | |
| 13.60 | 13.43 | 20.00 | 2 | 0.93 | 1.33 | 139 | 0.68 | 3.2 | 370.0 | 555.8 | 56.2 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | | |
| 13.80 | 14.00 | 10.53 | 2 | 0.94 | 1.35 | 150 | 0.64 | 2.2 | 339.5 | 509.3 | 48.2 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | | |
| 14.00 | 16.00 | 30.19 | 4 | 0.90 | 1.37 | 157 | 0.70 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

FON015

Software by dott. Geol. Diego Merlin +39 0425-840820

LEGENDA PARAMETRI GEOTECNICI SPECIFICHE TECNICHE

Le scelte litologiche vengono effettuate in base al rapporto qc / fs (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' - qc - 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 - qc]
- 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' - qc]
 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 - qc - 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)]
- ϕ' = angolo di attrito interno efficace (terreni granulari N.C.) [correl. : ϕ' - D_r - qc - σ'_{vo}]
 ϕ'_{Ca} - Caquot (1948) ϕ'_{Ko} - Koppejan (1948)
 ϕ'_{DB} - De Beer (1965) ϕ'_{Sc} - Schmertmann (1978)
 ϕ'_{DM} - Durgunoglu & Mitchell (1975) (sabbie N.C.) ϕ'_{Me} - Meyerhof (1956 / 1976) (sabbie limose)
- $F.L.$ = fattore di liquefazione ($F.L.1$ = Sabbie Pulite, $F.L.2$ = Sabbie Limose)
- V_s = velocità di propagazione delle onde sismiche (Iyisan 1996)

| PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--------------|--|------------|--|
| SEZIONE GEOTECNICA | | | | | | | | | | | | | | | Riferimento | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Committente Privato | | | | | | | | | | | | | | | U.M.: kg/cm² | | 13/09/2022 | |
| Cantiere Medicina (BO) | | | | | | | | | | | | | | | 1 | | | |
| Località TOC Idice | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| Param. 04/2021 [2] | | | | | | | NATURA COESIVA | | | | | NATURA GRANULARE | | | | | | | | | | | |
|--------------------|-------|-------|--------|------|------|------|----------------|------|-------|-------|----|------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|-------|-------|------|
| H.m | qc | qc/fs | γ' | σ'vo | Vs | Cu | OCR | Eu50 | Eu25 | Mo | Dr | Sc | Ca | Ko | DB | DM | Me | FLs | FLI | E'50 | E'25 | Mo | |
| da | a | U.M. | t/m² | U.M. | m/s | U.M. | % | U.M. | U.M. | U.M. | % | (°) | (°) | (°) | (°) | (°) | (°) | | | U.M. | U.M. | U.M. | |
| 0,00 | 2,40 | 16,3 | 14,93 | 1,5 | 0,23 | 157 | 0,69 | 39,6 | 119,0 | 178,5 | 53 | 76 | 40 | 36 | 34 | 32 | 40 | 28 | — | — | 36,7 | 55,0 | 66,0 |
| 2,40 | 3,20 | 6,5 | 15,03 | 0,7 | 0,40 | 112 | 0,33 | 4,8 | 64,8 | 97,2 | 21 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | |
| 3,20 | 6,80 | 11,6 | 17,43 | 0,9 | 0,59 | 139 | 0,55 | 6,0 | 158,5 | 237,7 | 44 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | |
| 6,80 | 11,00 | 13,5 | 18,68 | 0,9 | 0,95 | 145 | 0,59 | 3,7 | 229,2 | 343,8 | 46 | 22 | 34 | 26 | 22 | 21 | 29 | 27 | — | — | 35,0 | 52,5 | 63,0 |
| 11,00 | 11,80 | 6,3 | 14,97 | 0,6 | 1,15 | 110 | 0,31 | 1,2 | 85,2 | 127,8 | 15 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | |
| 11,80 | 19,00 | 15,9 | 19,99 | 0,9 | 1,51 | 154 | 0,64 | 2,2 | 341,7 | 512,5 | 50 | 13 | 33 | 23 | 20 | 19 | 27 | 28 | — | — | 41,3 | 61,9 | 74,3 |
| 19,00 | 19,40 | 8,5 | 19,54 | 0,7 | 1,85 | 123 | 0,43 | 1,0 | 171,2 | 256,8 | 25 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | |
| 19,40 | 20,00 | 78,0 | 130,00 | 1,0 | 1,90 | 285 | — | — | — | — | 47 | 37 | 28 | 25 | 24 | 32 | 33 | — | — | 130,0 | 195,0 | 234,0 | |

12. MODELLO IDROGEOLOGICO DELL'AREA

Nel territorio in cui l'area è inserita, l'andamento, la profondità e la direzione della falda freatica, sono legati oltre che agli eventi meteorici, anche alla rete di canali e di scoli presenti. La falda freatica, ubicata nel livello più superficiale della serie idrogeologica locale, ha caratteristiche di falda libera; è delimitata solo inferiormente da un substrato impermeabile, mentre il suo limite superiore (o superficie freatica) è variabile in funzione dell'alimentazione. Alcuni corsi d'acqua coincidono con zone di alto della superficie freatica, e quindi con spartiacque sotterranei (cioè zone di alimentazione); appare evidente che il torrente Idice ed il fiume Reno, sono i corsi che influenzano maggiormente la falda freatica. Altri spartiacque sotterranei coincidono con paleoalvei, costituiti litologicamente da terreni sabbiosi, che divengono vie preferenziali di circolazione idrica alimentante la falda freatica. I rapporti spaziali risultano molto complessi e sono quelli tipici dei sedimenti alluvionali; in generale ci si può ricondurre ad una distribuzione lenticolare con spesse e ramificate interdigitazioni tra i termini prevalentemente argillosi e quelli invece più sabbiosi. Le principali direzioni di drenaggio seguono gli assi direzionali delle canalizzazioni o sono influenzate dalla presenza di impianti idrovori; gli spartiacque coincidono in parte con quelli dei bacini artificiali o con parte di paleoalvei. In linea generale il mezzo poroso è caratterizzato da un litotipo principale, costituito dal vario alternarsi di materiali sia limoso-argillosi impermeabili, che sabbiosi (generalmente sabbie medio-fini, con percentuali variabili della frazione limoso-argillosa). Al momento dell'esecuzione della redazione del presente lavoro, il livello medio di falda superficiale, misurato entro i fori residuali delle cpt eseguite, era di m 1.80 m da p.c.

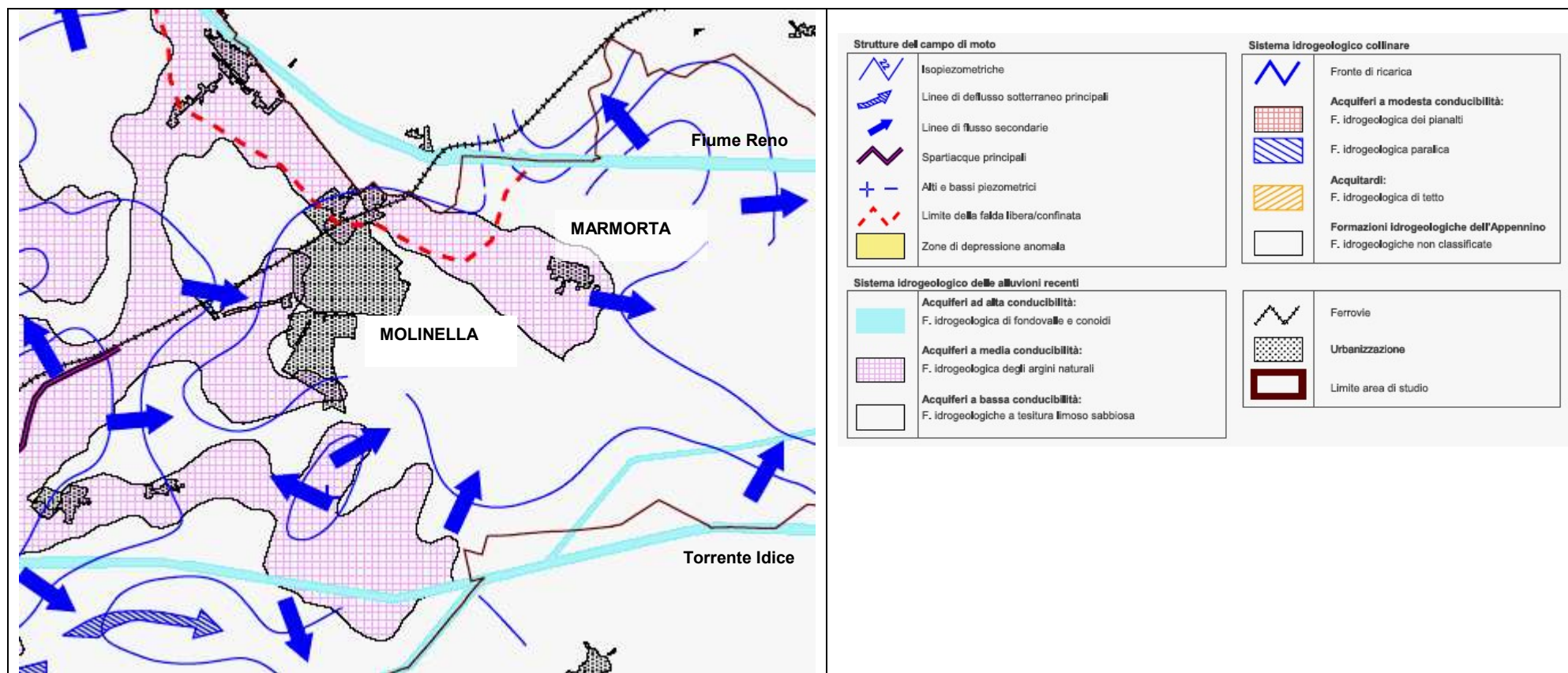


Fig. 11 - Modello idrogeologico dell'area di Molinella. Stralcio cartografia tecnica del PSC del Comune di Molinella (BO) – Terre di Pianura.

13. VERIFICA AL SIFONAMENTO

Il sifonamento si verifica quando, in virtù di una differenza di carico idraulico tra l'alveo e il piano campagna, attraverso il paramento arginale e nel sottostante terreno di fondazione si instaurano dei moti di filtrazione che riducono le tensioni efficaci del terreno. Ove le tensioni si annullano, le particelle del terreno vengono mobilizzate dall'acqua, che le asporta innescando un processo di erosione interna del terreno. I canalicoli di flusso che si instaurano al suo interno accelerano il fenomeno che può determinarne il collasso.

La condizione di annullamento delle tensioni efficaci identifica il gradiente idraulico critico; essa si manifesta generalmente laddove l'acqua fuoriesce dal terreno dando origine ad un fenomeno noto come fontanazzo e si propaga velocemente verso l'interno del terreno di fondazione e del paramento arginale, in quanto l'asportazione dei grani di terreno provoca una diminuzione della resistenza al passaggio dell'acqua. La rottura di un argine per sifonamento è dunque influenzata dal tipo di terreno, dalla differenza di carico idraulico lato fiume - lato campagna, dal conseguente reticolo idrodinamico che si instaura e dalla rapidità di variazione del carico idraulico. La zona dell'argine più vulnerabile al sifonamento è la base del rilevato, in quanto il terreno di riporto che costituisce l'intradosso del rilevato e il terreno di fondazione difficilmente sono ben amalgamati, la stratificazione degli stessi favorisce la formazione di canali preferenziali di infiltrazione all'interfaccia tra i due strati.

Lungo tale interfaccia si viene a delineare il percorso più breve di filtrazione che determina il maggiore gradiente idraulico. Bligh (1910) ha studiato questo aspetto elaborando un coefficiente di sicurezza per i vari tipi di terreno, in funzione della loro granulometria. Tale coefficiente (rapporto di creeping, C_w) è definito come il rapporto tra il percorso minimo di filtrazione, L , e il carico idraulico medio, h , che garantisce che non si innescino fenomeni di piping. Successivamente Lane (1935) ha introdotto il concetto di anisotropia nel processo di filtrazione e modificato il rapporto di creep per tenere in considerazione il fatto che la permeabilità idraulica verticale è minore di quella orizzontale (Tabella 1):

$$C_w = \frac{1/3 L_h + L_v}{h}$$

dove il significato dei simboli L_h e L_v è riportato in Figura 1.

Il criterio di Bligh (1910) è stato successivamente affinato per fornire formulazioni per la valutazione dei fenomeni di sifonamento più dettagliate e raffinate, fra le quali quella di Sellmeijer (2006), di seguito riportata.

| Terreno | Bligh | Lane |
|-----------------------------|-------|------|
| limi - sabbia molto fine | 20 | 8.5 |
| sabbia fine | 15 | 7.0 |
| sabbia media | 12 | 6.0 |
| sabbia grossolana | 10 | 5.0 |
| ghiaia | 5 | - |
| ghiaia fine | - | 4.0 |
| ghiaia media | - | 3.5 |
| ghiaia grossa con ciottoli | - | 3.0 |
| massi con ciottoli e ghiaia | - | 2.5 |
| argilla molle | - | 3.0 |
| argilla media | 6.0 | 2.0 |
| argilla compatta | 3.0 | 1.8 |
| argilla molto compatta | - | 1.6 |

Tabella 1: Valori del rapporto di creep C_w [-], secondo Bligh e Lane

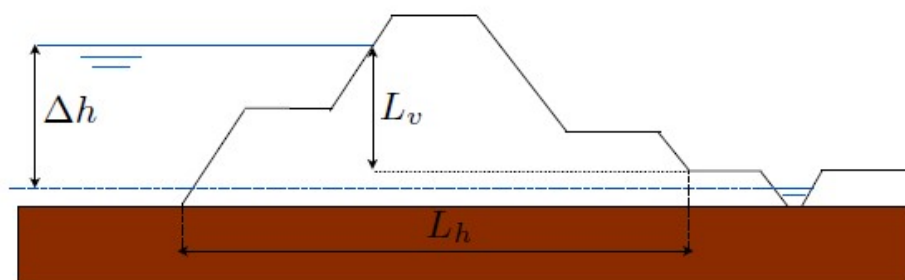


Figura 1: Schema per il calcolo del fenomeno di piping.

L'installazione della TOC prevede un percorso che in nessuna sezione intercetta la linea più breve di infiltrazione. Le prescrizioni prevedono l'installazione della condotta al di fuori di un bulbo definito da tre punti precisi: 10m dal piede della scarpata sia golenale che lato campagna e 7m di profondità dalla quota del piano campagna in corrispondenza del rilevato arginale. La verifica di sifonamento verrà effettuata senza considerare l'interazione con la nuova installazione in quanto questa, per quanto possa creare le condizioni di percorso preferenziale di flusso nell'intercapedine tra la parete esterna della condotta ed il terreno rimaneggiato circostante, è decisamente più lungo rispetto a quello definito dalla base del rilevato arginale.

Modello di Sellmeijer

L'approccio di Sellmeijer (1988) e Sellmeijer (2006) è un modello fisicamente basato, che schematizza i tre meccanismi responsabili del fenomeno del sifonamento:

- l'instaurarsi di un moto di filtrazione nello strato di terreno alla base del rilevato arginale,
- la formazione di un percorso preferenziale di filtrazione (pipe) all'interno del terreno,
- l'erosione della particelle del terreno all'interno di questo percorso, che comporta il suo progressivo ingrandimento, fino alla formazione di fontanazzi ed eventualmente al collasso arginale.

Sellmeijer (1988) propone una formulazione applicabile al caso di un rilevato arginale che insiste su un terreno omogeneo e consente di valutare il carico critico che porta al collasso arginale:

$$\frac{H_{cr}}{L} = G \times R \times F \times S$$

$$G = \left(\frac{D}{L}\right)^{\frac{0.28}{(D/L)^{0.28} - 1}}$$

$$R = \frac{\gamma_p}{\gamma_w} \tan(\theta)$$

$$S = \eta \times \frac{d_{70}}{\sqrt[5]{K \times L}}$$

$$F = 0.68 - 0.1 \times \ln(S)$$

dove D è lo spessore dell'acquifero sottostante l'argine, L è la lunghezza orizzontale di filtrazione, pari alla larghezza arginale (*Figura 2*), γ_p e γ_w sono i pesi specifici del terreno (immerso) e dell'acqua, θ è l'angolo di riposo del terreno, $\eta=0.25$ il coefficiente di White, d_{70} la granulometria corrispondente al passante 70%, $\mu = \mu/\mu_w$ la conducibilità intrinseca del terreno (dove μ è la conducibilità idraulica satura e μ_w la viscosità dinamica dell'acqua); infine H_{cr} è il carico critico che porta al collasso arginale. I fattori G, R, S e F sono denominati rispettivamente fattore geometrico, fattore di equilibrio al rotolamento, proprietà della sabbia e fattore correttivo 4 forze. L'applicazione di questo metodo di verifica consiste nel confronto dei due valori H_{cr} e H.

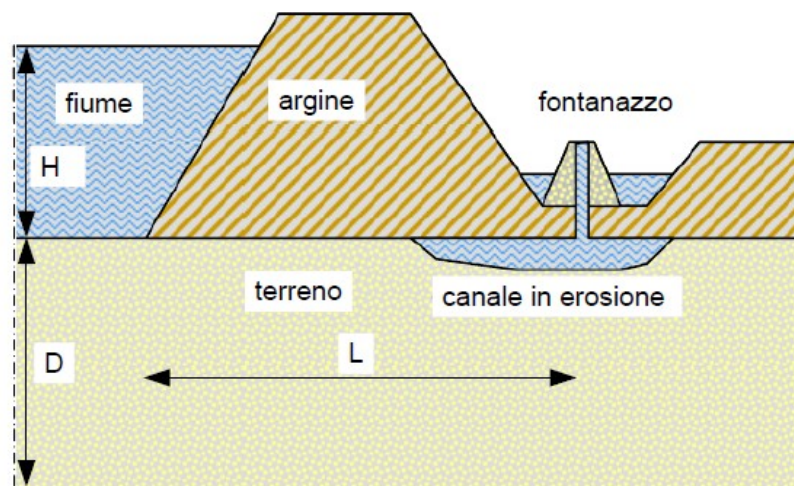


Figura 2: schema concettuale del modello di Sellmeijer (1988).

Applicazione del modello Sellmeijer (2006):

Alla luce delle indagini geologiche effettuate sul terreno, è possibile affermare che il modello Sellmeijer, risulta adeguato a questa specifica verifica per il sifonamento in quanto si è in presenza di un rilevato arginale che insiste su un terreno omogeneo.

Non avendo a disposizione dati relativi ai livelli idrometrici estremi attesi all'interno dell'area arginata, a titolo precauzionale è stato assunto il livello del carico pari all'altezza del ciglio del rilevato.

Per quanto riguarda i valori del parametro di conducibilità idraulica è possibile affermare, dalle indagini svolte, che si è in presenza di depositi a bassa permeabilità (depositi a granulometria prevalentemente limosa e limoso argillosa, limi, limi argillosi con locali e rare intercalazioni di limi sabbiosi e sabbie limose) caratterizzati da valori di conducibilità idraulica $k < 10^{-9}$ m/sec.

Nell'applicazione del modello Sellmeijer, descritto nel paragrafo precedente, all'aumentare del valore di conducibilità idraulica diminuisce il valore di carico critico H_{cr} , si è scelto quindi di utilizzare il valore di conducibilità più alto che rappresentasse la litologia del sito, assumendo quindi $k = 10^{-8}$ m/sec.

Inoltre, non avendo a disposizione dati certi relativamente alla presenza e allo spessore dell'acquifero sottostante l'argine, si è scelto di ipotizzare diversi scenari con spessori D differenti, pari a 10, 20 e 50 metri.

Sulla base della caratterizzazione litostratigrafica con specifico riferimento alle CPT 1 e CPT 2, dall'applicazione del modello si ottengono le seguenti quantità:

Sellmeijer (1988) e Sellmeijer (2006)

| | | |
|-----------------|------------------------|---|
| D | 10 m | spessore dell'acquifero sottostante l'argine |
| H | 12.1 m | carico alla fondazione del rilevato |
| L | 65.0 m | lunghezza orizzontale di infiltrazione |
| $\gamma'_{p,k}$ | 9.1 kN/m ³ | peso specifico del terreno immerso caratteristico |
| $\gamma'_{p,d}$ | 8.2 kN/m ³ | peso specifico del terreno immerso di progetto |
| γ_w | 10.0 kN/m ³ | peso specifico dell'acqua |
| θ_k | 22 ° | angolo attrito interno mezzo caratteristico |
| θ_d | 18 ° | angolo attrito interno mezzo di progetto |
| η | 0.25 | coefficiente di White |
| d_{70} | 0.006 mm | diametro caratteristico |
| μ | 0.001 Pa sec | viscosità acqua |
| κ | 1.00E-08 m/sec | conducibilità idraulica |
| K | 1.00E-12 | conducibilità intrinseca del mezzo |
| G | 1.69 | fattore geometrico |
| R | 0.26 | fattore di equilibrio al rotolamento |
| S | 3.73 | fattore delle proprietà del mezzo incoerente |
| F | 0.55 | fattore correttivo |

verifica al sifonamento

H_{cr} 59.6 m carico critico

Tabella 2: Applicazione del modello Sellmeijer, nell'ipotesi di spessore D = 10 m

Sellmeijer (1988) e Sellmeijer (2006)

| | | |
|-----------------|------------------------|---|
| D | 20 m | spessore dell'acquifero sottostante l'argine |
| H | 12.1 m | carico alla fondazione del rilevato |
| L | 65.0 m | lunghezza orizzontale di infiltrazione |
| $\gamma'_{p,k}$ | 9.1 kN/m ³ | peso specifico del terreno immerso caratteristico |
| $\gamma'_{p,d}$ | 8.2 kN/m ³ | peso specifico del terreno immerso di progetto |
| γ_w | 10.0 kN/m ³ | peso specifico dell'acqua |
| θ_k | 22 ° | angolo attrito interno mezzo caratteristico |
| θ_d | 18 ° | angolo attrito interno mezzo di progetto |
| η | 0.25 | coefficiente di White |
| d_{70} | 0.006 mm | diametro caratteristico |
| μ | 0.001 Pa sec | viscosità acqua |
| κ | 1.00E-08 m/sec | conducibilità idraulica |
| K | 1.00E-12 | conducibilità intrinseca del mezzo |
| G | 1.41 | fattore geometrico |
| R | 0.26 | fattore di equilibrio al rotolamento |
| S | 3.73 | fattore delle proprietà del mezzo incoerente |
| F | 0.55 | fattore correttivo |

verifica al sifonamento

H_{cr} 49.6 m carico critico

Tabella 3: Applicazione del modello Sellmeijer, nell'ipotesi di spessore D = 20 m

Sellmeijer (1988) e Sellmeijer (2006)

| | | |
|-----------------|------------------------|---|
| D | 50 m | spessore dell'acquifero sottostante l'argine |
| H | 12.1 m | carico alla fondazione del rilevato |
| L | 65.0 m | lunghezza orizzontale di infiltrazione |
| $\gamma'_{p,k}$ | 9.1 kN/m ³ | peso specifico del terreno immerso caratteristico |
| $\gamma'_{p,d}$ | 8.2 kN/m ³ | peso specifico del terreno immerso di progetto |
| γ_w | 10.0 kN/m ³ | peso specifico dell'acqua |
| θ_k | 22 ° | angolo attrito interno mezzo caratteristico |
| θ_d | 18 ° | angolo attrito interno mezzo di progetto |
| η | 0.25 | coefficiente di White |
| d_{70} | 0.006 mm | diametro caratteristico |
| μ | 0.001 Pa sec | viscosità acqua |
| κ | 1.00E-08 m/sec | conducibilità idraulica |
| K | 1.00E-12 | conducibilità intrinseca del mezzo |
| G | 1.15 | fattore geometrico |
| R | 0.26 | fattore di equilibrio al rotolamento |
| S | 3.73 | fattore delle proprietà del mezzo incoerente |
| F | 0.55 | fattore correttivo |

verifica al sifonamento

H_{cr} 40.5 m carico critico

Tabella 4: Applicazione del modello Sellmeijer, nell'ipotesi di spessore D = 10 m

La verifica, per le diverse ipotesi di spessore dell'acquifero, risulta soddisfatta, in quanto in ogni caso, il carico critico risulta superiore al valore del carico alla fondazione del rilevato.

Considerazioni sui cedimenti arginali

La condotta verrà installata mediante la tecnica del TOC già descritta nelle fasi più sopra. La particolare tecnica di installazione permette, mediante l'utilizzo di camicie che seguono la perforazione, di mantenere il foro stabile ed aperto, in qualunque stadio della realizzazione ed in qualunque sezione,. Di fatto, l'asportazione di terreno è seguita dall'installazione di tubazioni verificate allo schiacciamento funzionali all'inserimento delle tubazioni in PEHD finali (anche verificate allo schiacciamento).

Non sono quindi prevedibili cedimenti di sorta nel rilevato arginale, né alla quota della fondazione, né al coronamento, garantendo condizioni di sicurezza dell'opera geotecnica pari alle attuali, sia dal punto di vista della stabilità dell'argine che dal punto di vista idraulico.

14. CONCLUSIONI E PRESCRIZIONI

In base al presente documento non sussistono, allo stato attuale e secondo le indagini che si sono potute eseguire nel presente lavoro, rischi geologici o naturali, sul sito indagato, che possa precludere all'intervento in oggetto, nel comune di Medicina (BO).

Per alimentare dal punto di vista elettrico il faro di Goro, si prevede la realizzazione di una nuova linea elettrica tramite un attraversamento TOC dalle aree in sx idraulica alle aree in dx idraulica del Torrente Idice, passando al di sotto del suo alveo.

Tale intervento non andrà ad alterare l'equilibrio e le condizioni morfologiche e di stabilità delle aree interessate dall'intervento in oggetto, né quelle arginali né quelle delle sponde ed in generale del Torrente Idice, dal momento che verranno, in caso di realizzazione del TOC, rispettate le prescrizioni di AIPO e degli enti competenti.

Il parere geologico sulla realizzazione della linea elettrica in oggetto è positivo e compatibile con lo stato litostratigrafico locale. Le metodologie di intervento sia per la profondità di attraversamento TOC, sia per la sua ubicazione spaziale rispetto il corpo arginale e l'alveo del corso fluviale presente, non influenzeranno lo stato generale dei versanti arginali e dell'alveo interessati dall'attraversamento in sotterraneo della linea elettrica.

Da calcoli eseguiti dal collega Ing. Cesari Francesco (vedi paragrafi precedenti), non si riscontrano per il sito indagato possibilità di fenomeni di sifonamento e, per le modalità di esecuzione del TOC, non si riscontrano criticità per cedimenti del rilevato arginale.

Dal punto di vista stratigrafico, si ha una situazione pressoché omogenea procedendo da nord est verso sud ovest, dove preponderanti sono i terreni coesivi sino a circa – 19 metri da p.c.

La situazione litostratigrafica induce a suggerire una profondità di attraversamento delle arginature e dell'alveo tra i – 4 ed i – 9 m, oppure tra – 12 ed i - 14 m oppure tra i – 19 ed i – 22 m da p.c. attuale (prendendo come riferimento la quota piano campagna sulla verticale di CPT1 ed il sondaggio a carotaggio continuo della banca dati regionale). Questo per sfruttare le litologie a frazione coesiva maggiore (argille limose e limi argillosi) presenti a

queste quote, evitando di attraversare terreni sa frazione granulare maggiore (le cui quote sono riportate a pag. 44 del presnte lavoro)

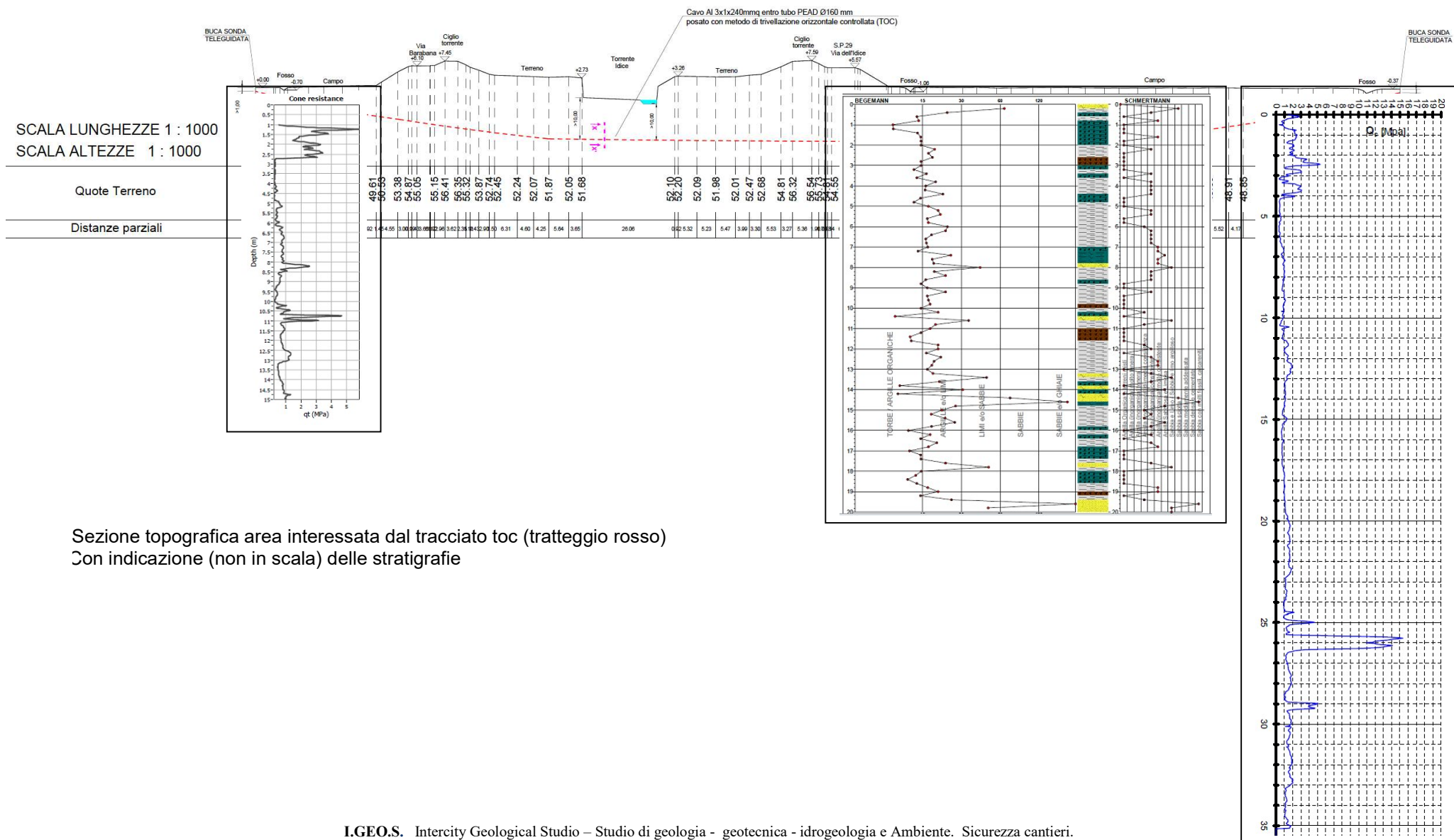
Dal punto di vista sismico, si è in presenza di suoli tipo D.

Il modello geologico e geotecnico elaborato nella presente relazione è stato eseguito sulla base delle indagini geognostiche che si sono potute eseguire, in proporzione ed in relazione: al tipo di opera e/o intervento indicato dal Progettista; al volume significativo del terreno coinvolto da tale opera.

Argenta, il 16 settembre 2022

Dr.Geol. Matteo Pollini





Stratigrafia del sondaggio 222010P509X della RER a sud del torrente Idice

