

**PROVINCIA DI FERRARA
COMUNE DI FERRARA**

AREA "PETROLIFERA ESTENSE" VIA PADOVA 43

**PIANO PARTICOLAREGGIATO DI INIZIATIVA PRIVATA
ZONA B4.5**

RELAZIONE GEOLOGICA, SISMICA, GEOTECNICA



Committente: PETROLIFERA ESTENSE SPA
Via Padova n.43 FERRARA

Data: Ferrara, ottobre 2013

Rif.rel. 13/2013



EDILGEO *geologia sostenibile*

Studio Tecnico Geologico dr.geol.Marilena Martinucci
via Pontegradella 11- via Pomposa 27A 44123 Ferrara
tel 0532 740943 – 1864146 fax - 3356815433
e.mail: edilgeo.fe@email.it marilena.martinucci@email.it
www.geo-logica.eu - info@geo-logica.eu

COMUNE DI FERRARA

AREA "PETROLIFERA ESTENSE" - VIA PADOVA 43 PIANO PARTICOLAREGGIATO

RELAZIONE GEOLOGICA, SISMICA, GEOTECNICA



INDICE

1. Premessa
 - 1.1. Contenuti della Relazione Geologica
2. Quadro di Riferimento Vincolistico
 - 2.1. Normativa di Riferimento
 - 2.1.1. Norme Urbanistiche ed Edilizie
 - 2.1.2. Norme Relative alle Acque
 - 2.1.3. Norme Relative ai Siti Inquinati
 - 2.2. Classificazione Sismica
 - 2.3. Il Piano Strutturale Comunale
3. Il Modello Geologico
 - 3.1. Inquadramento Geologico del Sito
 - 3.1.1. Assetto Strutturale e Sismicità
 - 3.1.2. Modello geomorfologico
 - 3.1.3. Assetto Idrogeologico
4. Risposta Sismica Locale
 - 4.1. Sismicità storica
 - 4.2. Risposta sismica Locale e effetto di sito
5. Modello Geotecnico del Sottosuolo
 - 5.1. Indagine Geognostica
 - 5.2. Categoria di sottosuolo e parametri sismici e geotecnici
 - 5.2.1. Successione litologica
 - 5.2.2. Unità litotecniche
 - 5.2.3. Categoria di sottosuolo
 - 5.2.4. Parametri sismici
 - 5.3. Considerazioni Geotecniche Generali
 - 5.3.1. Fondazione Diretta: Pressione Ammissibile
 - 5.3.2. Modulo di Reazione del Terreno
 - 5.4. Verifica di Stabilità ai Fenomeni di Liquefazione
 - 5.5. Cedimenti postsismici
6. Considerazioni per Il Piano delle Infrastrutture
 - 6.1. Strade e Piazzali
7. Invarianza idraulica
8. Vulnerabilità e Pericolosità Geologica
 - 8.1. Pericolosità Sismica
 - 8.2. Pericolosità Ambientale
 - 8.2.1. Bonifica del Sito
 - 8.3. Pericolosità Idraulica
 - 8.3.1. Invarianza Idraulica
 - 8.3.2. Vulnerabilità Idrogeologica
 - 8.4. Pericolosità Geotecnica

1. PREMESSA

Per incarico della Ditta Petrolifera Estense s.p.a. con sede a Ferrara via Padova 43 si redige la presente Relazione per il Piano Particolareggiato di iniziativa privata, ubicato a Ferrara via Padova 43.

La presente Relazione geologica, sismica, geotecnica redatta secondo le normative aggiornate all'ottobre 2013, fa seguito a due Relazioni preliminari eseguite in un tempo precedente alla esecuzione della caratterizzazione e bonifica dell'area, già utilizzata per deposito e commercio carburanti, e alla impossibilità di accedere per eseguire le necessarie indagini geognostiche e sismiche.

2

1.1. Descrizione del sito di intervento

Il sito oggetto di studio è localizzato a Ferrara, lungo la via Padova; è confinante con il Canale Gramicia,

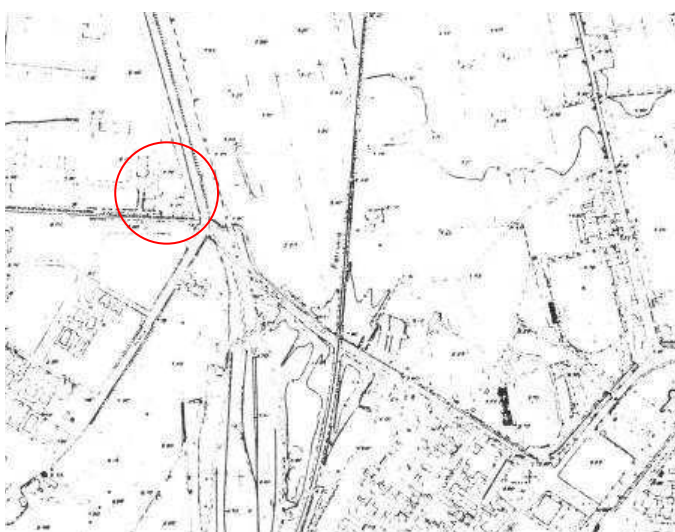


Ubicazione dell'area

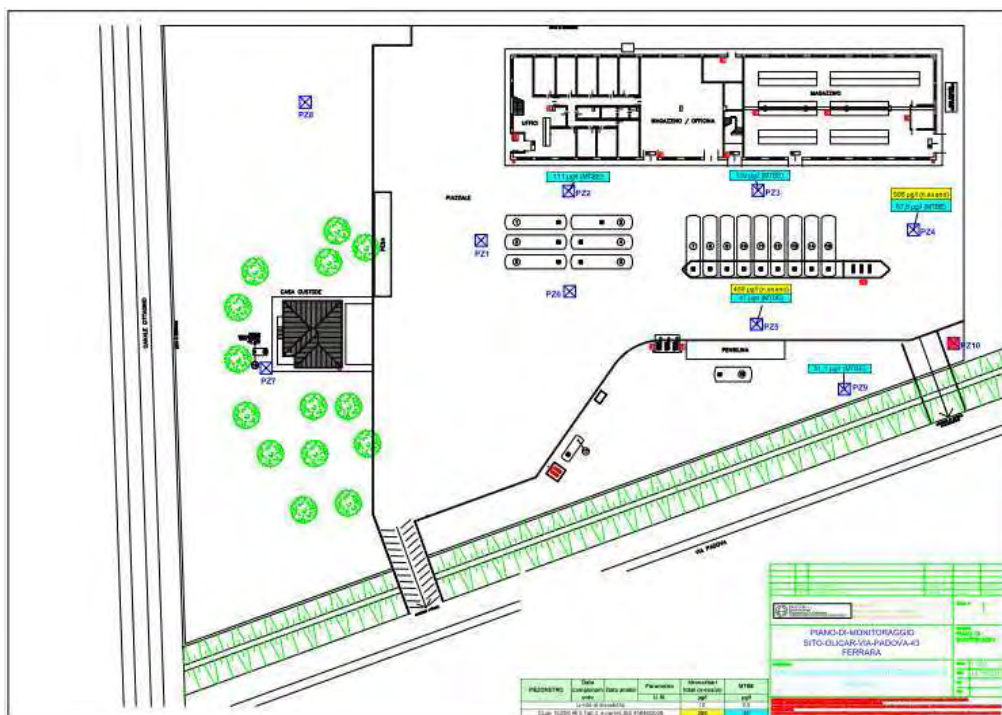
e l'area del Consorzio Agrario



Stralcio CTR non in scala



Stralcio carta quotata



Attualmente l'area è occupata dalla Palazzina Uffici lungo il lato ovest e dall'edificio-casa custode nell'area verde a sud.

Nel piazzale ove erano ubicate le cisterne carburante è avvenuta la bonifica con asporto delle stesse e riempimento con terreno e materiale di riporto più grossolano in superficie.

1.2. Piano di lavoro

Per la progettazione di opere su grandi aree, fra le quali gli interventi per nuovi insediamenti civile ed industriali e la ristrutturazione di insediamenti esistenti, la normativa vigente prevede che prima della progettazione delle singole opere per le quali valgono le norme specifiche, sia verificata e documentata con relazione tecnica la fattibilità dal punto di vista geologico e geotecnico e, se necessario, individuati i limiti imposti al progetto dalle caratteristiche del sottosuolo.

La verifica di fattibilità geologica e geotecnica comprende l'accertamento delle modifiche che il sistema di opere in progetto può indurre nell'area e deve precisare se le condizioni locali impongono l'adozione di soluzioni e procedimenti costruttivi di particolare onerosità .

Per accertare la fattibilità dovranno pertanto essere definiti attraverso la Relazione geologica:

- i lineamenti geomorfologici e la loro tendenza evolutiva;
- i caratteri litostratigrafici e strutturali;
- la stabilità, anche in termini di subsidenza, compressibilità e consistenza dei terreni;
- il regime delle acque superficiali, lo schema idrogeologico e le caratteristiche delle falde idriche, relativamente alle opere;
- le proprietà fisico-meccaniche dei terreni anche in rapporto alle falde;
- la presenza di eventuali cavità o disomogeneità naturali o artificiali nel sottosuolo, significative ai fini del progetto.

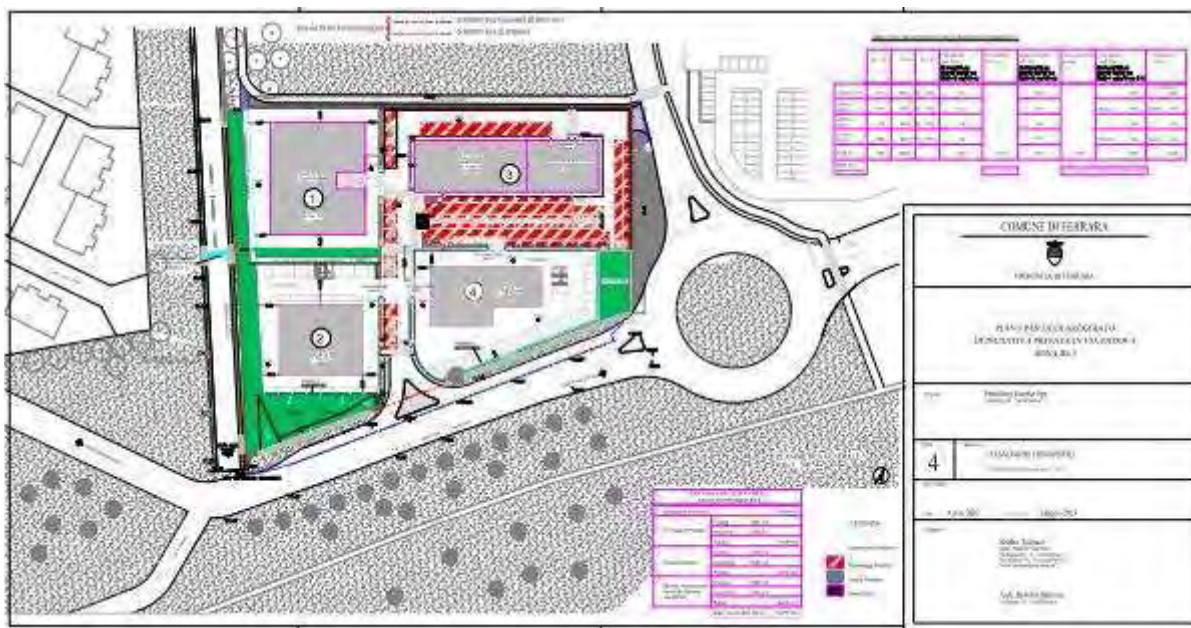
L'entrata in vigore del D.M. 14 settembre 2005, sostituito dal D.M. 14 gennaio 2008, ha ribadito la necessità degli studi geologici e geotecnici nell'elaborazione dei Piani urbanistici e nel progetto di insiemi di manufatti e interventi che interessino ampie superfici specificando che tali studi devono essere estesi a tutta la zona di possibile influenza degli interventi previsti, al fine di accertare destinazioni d'uso compatibili del territorio in esame.

Attraverso il Modello Geologico si deve valutare inoltre la pericolosità sismica e le indagini devono essere finalizzate anche alla caratterizzazione del territorio per lo studio dei fenomeni di amplificazione locale.

La zona di intervento in seguito ORDINANZA 3274/2003 e 3316/2003 della Presidenza del Consiglio dei Ministri (PCM) 20 marzo 2003, ricade in zona sismica di terzo grado.

Il D.M. 14.01.2008 Nuove Norme Tecniche per le costruzioni, nella valutazione della sicurezza delle costruzioni pone fra le azioni, causa capace di indurre stati limite in una struttura, le azioni derivanti dai terremoti.

Il Piano Particolareggiato prevede la costruzione di n.3 palazzine e la ristrutturazione del fabbricato esistente, con aree verdi e parcheggi.



Trattandosi di un Piano Particolareggiato la normativa prevede anche una Relazione riguardante la "Valutazione di compatibilità delle previsioni con la riduzione del rischio sismico e con le esigenze di protezione civile sulla base di pericolosità locale nonché di vulnerabilità ed esposizione urbana".

Si inserisce questa parte nella presente Relazione.

Terminate le opere di bonifica dell'area si è eseguita una Indagine geognostica e sismica per le valutazioni richieste. L'Indagine è stata eseguita dalla Ditta SONGEO srl di Gualdo di Voghiera FE, laboratorio con autorizzazione del Servizio Tecnico Centrale del Ministero delle infrastrutture (art.59, DPR 380/2001).

2. QUADRO DI RIFERIMENTO VINCOLISTICO

5

La Relazione geologica per un Piano Particolareggiato deve dare le necessarie indicazioni per operare nella conoscenza delle pericolosità geologico-tecniche riguardo la tutela dal rischio idrogeologico, idraulico, sismico e geotecnico. Il piano a sua volta deve inserirsi nella Pianificazione comunale e/o sovraordinata tenendo conto dei vincoli ambientali e delle prescrizioni tecnico-amministrative.

Di seguito le leggi e norme di interesse sia nazionale che della regione Emilia-Romagna seguite nella esecuzione di tale studio e nella stesura della Relazione.

2.1. Normativa di riferimento

2.1.1. Norme urbanistiche ed edilizie

- Legge 17 agosto 1942, n.1150 "Legge Urbanistica" e succ. mod.
- Legge 2 febbraio 1974, n.64 "Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche"
- D.P.R. 6 giugno 2001, m.380 "Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia"
- Ordinanza n.3274 P.C.M. del 20 marzo 2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica"
- D.M. 11 marzo 1988 "Norme Tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione"
- D.M. 14 gennaio 2008, "Norme tecniche per le costruzioni"
- Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008. Circolare 2 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
- PCM – Dip. Protezione Civile, Indirizzi e criteri per la Microzonazione sismica, Parti I , II e III. Roma settembre 2008.
- D.m. 12 dicembre 1985 "Norme tecniche relative alle tubazioni"
- L.R. 24 marzo 2000, n.20 "Disciplina generale sulla tutela e l'uso del territorio"
- L.R. 25 novembre 2002, n.31 "Disciplina generale dell'edilizia"
- Piano Territoriale Paesistico Regionale dell'Emilia Romagna
- Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale di Ferrara, B.U.R. E.R. 12 marzo 1997
- Piano Strutturale Comunale di Ferrara, RUE., approvato con D.R.
- Regolamento Edilizio del Comune di Ferrara, agosto 1998
- A.G.I. (Associazione Geotecnica Italiana)"Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche (giugno 1977)".

- Eurocode EC-7 : Geotechnics,design – 1997 – 2002 Eurocode EC-8 : Geotechnics,design - 1998
- Delibera 112 del 2 maggio 2007 “Atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell’art.16,comma 1 della L.R. 20/2000 “ per “Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica”
- L.R. 30 ottobre 2008, n.19 “Norme per la riduzione del rischio sismico”
- Delibera GR E-R n.1373/2011 “Atto di indirizzo recante l’individuazione della documentazione attinente alla riduzione del rischio sismico necessaria per il rilascio del permesso di costruire e per gli altri titoli edilizi, alla individuazione degli elaborati costitutivi e dei contenuti del progetto esecutivo riguardante le strutture e alla definizione delle modalità di controllo degli stessi, ai sensi dell’art.12, comma 1, e dell’art.4, comma 1, della L.R. n.19 del 2008”

2.1.2. *Norme relative alle acque*

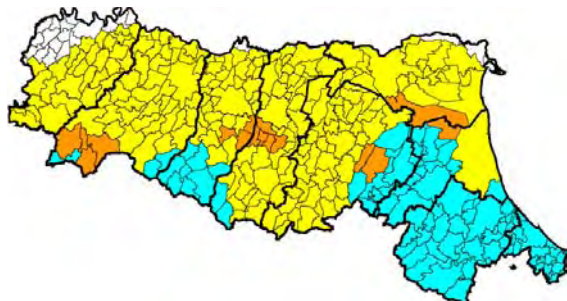
- R.D. 8 maggio 1904, n.368 "Disposizioni in materia di Polizia Idraulica"
- T.U. 25 luglio 1904, n.523 “Testo Unico di legge sulle opere idrauliche”
- R.D. 11 dicembre 1933, n.1775 "Testo Unico delle disposizioni di legge sulle acque e sugli impianti elettrici"
- D. Lgs.11 maggio 1999, n.152 “Disposizioni sulla tutela delle acque dall’inquinamento e recepimento della direttiva 91/271/CEE concernente il trattamento delle acque reflue urbane e della direttiva 91/676/CEE relativa alla protezione delle acque dall’inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole”
- D.Lgs 18 agosto 2000, n.258 “Disposizioni correttive e integrative del decreto legislativo 11 maggio 1999, n.152, in materia di tutela delle acque dall’inquinamento, a norma dell’art.1, comma 4, della legge 24 aprile 1998, n.128.”
- D.M. 12 giugno 2003, n.185 “Regolamento recante norme tecniche per il riutilizzo delle acque reflue in attuazione dell’art.26, comma 2, del decreto legislativo 11 maggio 1999, n.152”.
- Delibera G.R. n. 1053/2003 “Direttiva concernente indirizzi per l’applicazione del D. L.vo 11 maggio 99, n.152 recante disposizioni in materia di tutela delle acque dall’inquinamento”.
- Delibera G.R. 14 febbraio 2005 n.286 “Direttiva concernente indirizzi per la gestione delle acque di prima pioggia e di lavaggio delle aree esterne”

2.1.3. *Norme relative ai siti contaminati*

- D.lgs. 3 aprile 2006, n.152 e s.m.i. “Norme in materia ambientale” – Parte quarta Titolo V Bonifica dei siti contaminati

2.2. Classificazione sismica

Il territorio dell'Emilia-Romagna è classificato sismico nella sua interezza dal 24 ottobre 2005.



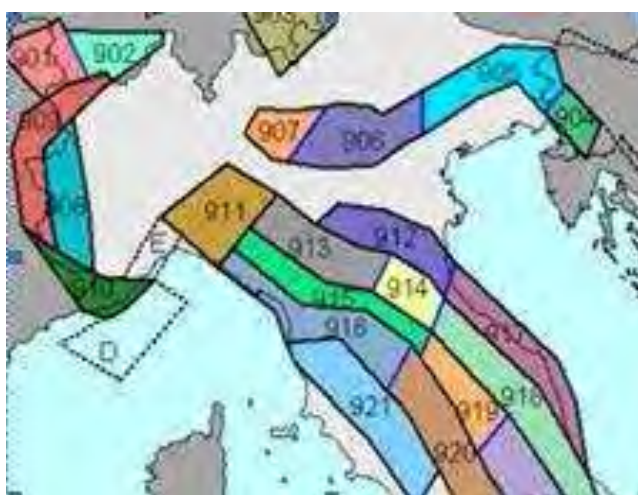
Classe	sismicità	PGA
2	media	0,15-0,25 g
3	bassa	0,05-0,15 g
4	molto bassa	< 0,15 g

7

I comuni della provincia di Ferrara appartengono per la maggior parte alla classe 3, con esclusione di Argenta classificata in classe 2 e i comuni di Berra, Mesola e Goro inseriti in classe 4.

La classificazione è operata dalle Regioni sulla base della Mappa MPS04 di riferimento di tutto il territorio nazionale in base all'OPCM 3519/2006. Questa Mappa della Pericolosità sismica indica la probabilità che un certo valore di scuotimento si verifichi in un dato intervallo di tempo. Essa si basa sia sulla storia dei terremoti avvenuti riportati negli Elenchi, che sulla geologia delle zone di sorgente (zone sismogenetiche) e sulla propagazione-attenuazione delle onde.

Nella zonazione nazionale ZS9 la zona di riferimento sismogenetica è la n°12, la porzione più esterna della fascia in compressione dell'arco dell'Appennino settentrionale, con le zone-sorgente longitudinali rispetto all'asse della catena appenninica. La profondità efficace, cioè la profondità alla quale avviene il maggior numero di terremoti, e che determina la pericolosità della zona, corrispondente allo strato sismogenetico, per la zona S912 è valutato, con calcolo probabilistico, intorno a 7 Km.



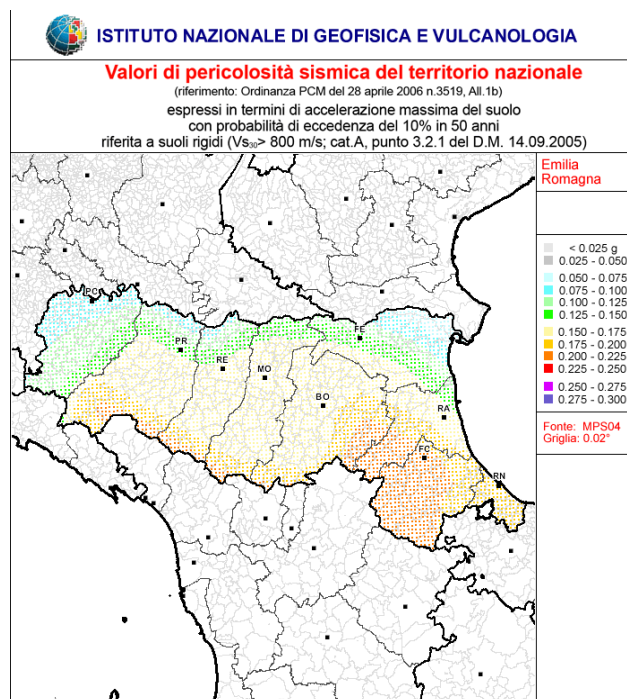
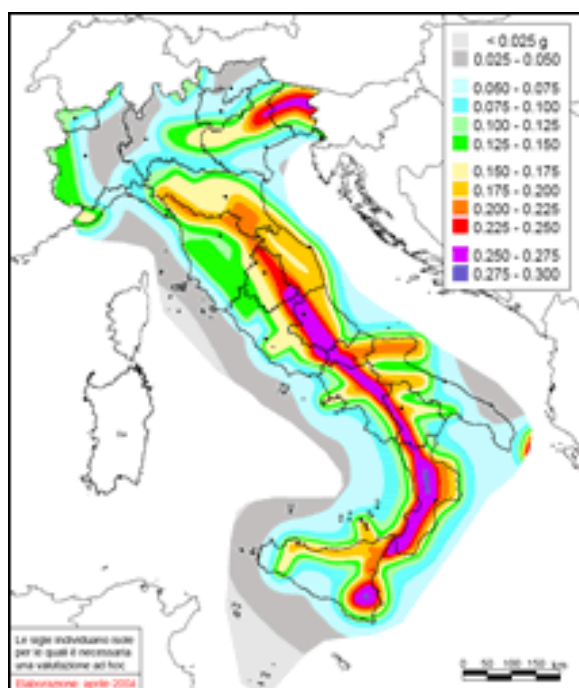
INGV: Zonazione Sismogenetica ZS9 – App.2 al Rapporto conclusivo marzo 2004

La carta della Pericolosità sismica del territorio nazionale è stata redatta dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (I.N.G.V.) sulla base dei valori di accelerazione massima al suolo (a_g), con probabilità di superamento in 50 anni del 10%, riferiti a suoli rigidi caratterizzati da $V_{s30} > 800$ m/s (V_{s30} è la velocità media delle onde sismiche di taglio entro i primi 30 metri di sottosuolo).

In base a questi valori il sottosuolo del territorio nazionale è stato suddiviso in quattro zone caratterizzate da valori diversi di a_g .

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

Tabella – valori di accelerazione per le quattro zone sismiche



Le mappe di pericolosità sismica dell'I.N.G.V.

2.3. Il Piano Strutturale Comunale

Il comune di Ferrara è dotato di Piano Strutturale aggiornato ed integrato nella parte sismica e geotecnica con l'approvazione del Regolamento Urbanistico Edilizio del 15 maggio 2012 e successivamente, a seguito degli eventi sismici posteriori, con indagini ancora in corso per la Microzonizzazione sismica di terzo livello.

Si fa pertanto riferimento, come richiede la normativa, alla Relazione “Valutazione del rischio sismico delle aree edificate ed edificabili del PSC del comune di Ferrara” a firma degli Ingegneri Fioravante e Giretti dell’Università di Ferrara – Consorzio Ferrara Ricerche. Infatti l’Atto della Regione E-R n.1373/2011 al punto B.2.2 Allegato B riporta come elementi essenziali della relazione di calcolo “descrizione ... delle caratteristiche geologiche, morfologiche e idrogeologiche del sito oggetto di intervento e con l’indicazione,...,di eventuali problematiche riscontrate e delle soluzioni ipotizzate, tenuto conto anche delle indicazioni degli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica;” e “normativa tecnica e riferimenti tecnici utilizzati, tra cui le eventuali prescrizioni sismiche contenute negli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica;” infine per quello che riguarda l’azione sismica “definizione dei parametri di progetto che concorrono alla definizione dell’azione sismica di base del sito....”

Riportiamo le conclusioni (pg.55 ultime otto righe) della Relazione.”*I depositi descritti sono suscettibili di effetti di sito in caso di sisma, tra i quali vi sono l’amplificazione stratigrafica, i cedimenti per riconsolidazione e/o addensamento, la liquefazione. In particolare il fattore di amplificazione stratigrafica è risultato per tutti i punti di indagine pari a 1,5, massimo valore atteso nella zona secondo la normativa regionale di riferimento. La suscettibilità a liquefazione dei terreni presenti nei siti indagati è risultata mediamente bassa, localmente elevata o molto elevata. I depositi presenti sono risultati mediamente suscettibili di cedimenti per addensamento o riconsolidazione indotti da sisma”.*

Queste considerazioni sono valutate quindi puntuali, caso per caso per ogni punto indagato, così come rappresentato nella Carta di sintesi delle valutazioni locali degli effetti di sito, indicativa della effettiva pericolosità sismica locale, e nelle varie schede delle verticali analizzate.

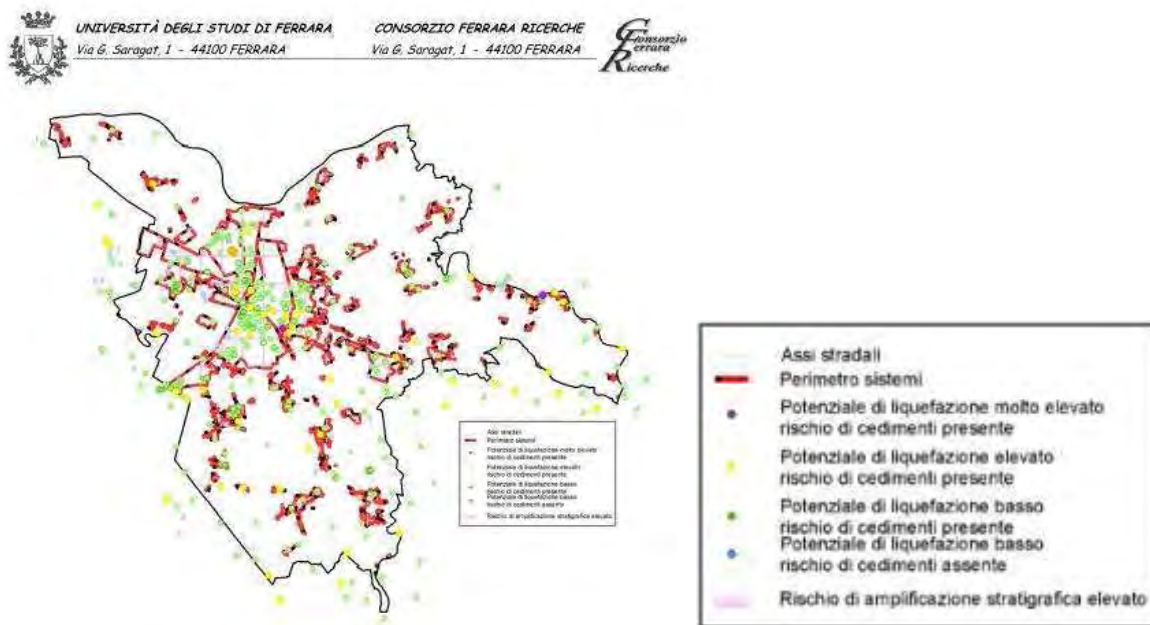


Figura 9.1 – Carta di sintesi delle valutazioni locali degli effetti di sito

Carta del PSC di sintesi delle valutazioni locali degli effetti di sito

Per l'area a nord del centro storico di Ferrara è indicato "potenziale di liquefazione basso e rischio di cedimenti presente"

3. MODELLO GEOLOGICO

3.1. Inquadramento geologico del sito

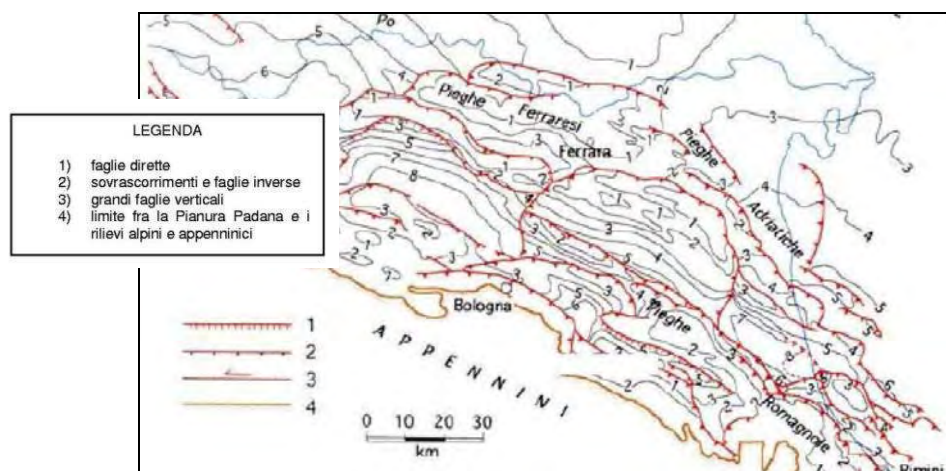
3.1.1. Assetto strutturale e sismicità

Il territorio della provincia di Ferrara è parte dell'ampio bacino subsidente padano in cui, a partire dal periodo Cenozoico, si sono riversati i sedimenti provenienti dall'erosione della catena alpina e degli Appennini e il cui assetto deve essere visto nel suo complesso di substrato roccioso e coltre alluvionale.

Il substrato roccioso costituisce il margine della struttura nord-appenninica formatasi a partire dalla fine dell'era mesozoica con l'avvicinamento del Margine europeo a quello Insubro-appenninico e il formarsi delle prime catene montuose nel Cretaceo-Eocene consistente nella formazione di coltri dovute alla subduzione della crosta continentale con il suo successivo riaffioramento in superficie a causa della minore densità rispetto alla crosta oceanica e al mantello stesso.

Nell'Oligo-Miocene, con la completa consunzione della crosta oceanica, la deformazione interessa la crosta continentale. In questa fase si ha un trasporto del margine interno, tirrenico, verso quello esterno, adriatico, fino all'apertura, nel tardo Miocene, del Bacino Tirrenico.

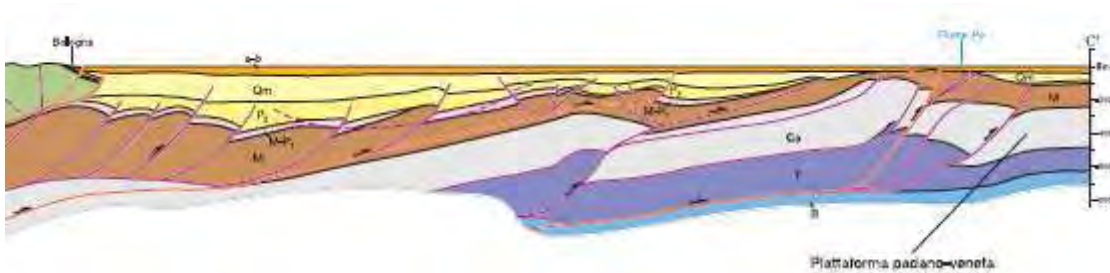
Il Sistema Nord-appenninico è contraddistinto, e si riconoscono ancora ora (Boccaletti et al.,1984), da una serie di strutture omogenee longitudinali: il margine interno tirrenico, il margine esterno adriatico, una parte sepolta sotto la coltre alluvionale padana, l'omoclinale pede-alpina.



Carta strutturale della Pianura Padana (Pieri e Groppi, 1992)

Queste strutture longitudinali hanno subito dislocazioni individuate in lineamenti trasversali.

Le strutture che interessano la provincia ferrarese appartengono alla catena esterna nella sua parte sepolta. Essa presenta sovrascorrimenti pede-appenninici attivi dal tardo Miocene fino ad ora, che si presentano come una tipica struttura da ambiente compressivo, a ventaglio embriciato, il cui scollamento principale si trova alla base delle successioni mesozoiche.



Sezione litostrutturale con direzione Sud – Nord da Bologna al fiume Po

I cunei sinsedimentari ricoprono e fissano le strutture tettoniche permettendone la datazione. Risulta che le fasi tettoniche più accentuate si sono verificate tra il Messiniano e il Pliocene inferiore (5 ml di anni fa) e alla fine del Pliocene (2 ml di anni fa), mentre il Quaternario mostra ondulazione accentuata fino al Pleistocene medio superiore, non escludendo una attività olocenica (Castellarin et al.,1985).

La sedimentazione avvenuta contemporaneamente agli avvenimenti tettonici, è stata di ambiente marino nel Pleistocene medio e inferiore a causa della continua subsidenza seguita dal ritiro del mare a più riprese.

In seguito, per la regressione wurmiana dell'ultima era glaciale, si ha la conseguente sedimentazione continentale e quindi la trasgressione olocenica che interesserà la parte orientale della struttura, in subsidenza rispetto all'alto strutturale della dorsale.

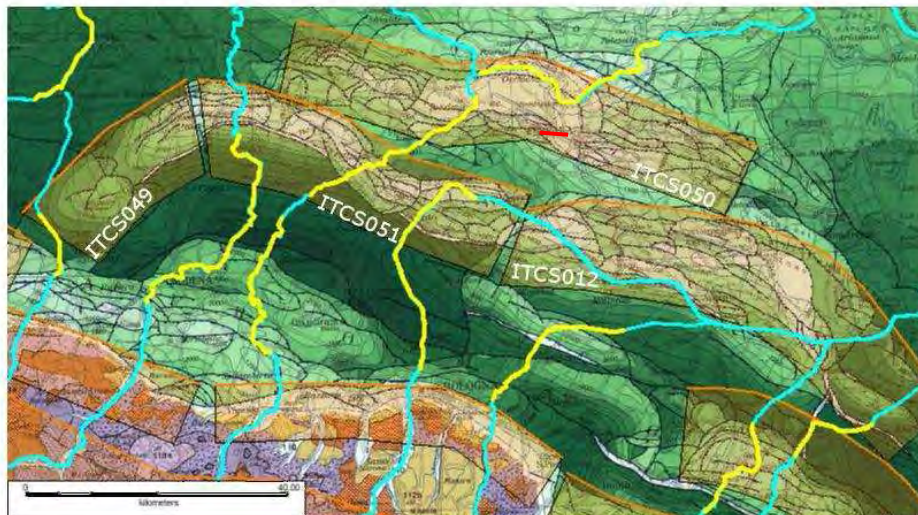
Ne consegue pertanto un assetto tettonico prepliocenico molto vario, con profondità del substrato dai 2700 metri del sinclinorio di Ferrara sud, ai 202 metri del Pozzo Casaglia 1 della Dorsale Ferrarese.



Modello strutturale che evidenzia l'alto strutturale della Dorsale Ferrarese (Bigi e al. 1992)

Da livellazioni della rete altimetrica nazionale, è stato riscontrato un movimento di subsidenza generale e differenziale per cui l'alto di Casaglia si sarebbe ulteriormente sollevato rispetto alle fasce circostanti, in accordo con recenti studi neotettonici e dati sismici.

Una maggiore testimonianza dell'attività Quaternaria (Olocenica), è data senza dubbio dallo spostamento dell'alveo principale del Po verificatosi nel XII secolo d.C. con la rotta di Ficarolo. Prima di tale spostamento l'alveo attraversava la zona della dorsale tra Ficarolo e Ospitale di Bondeno (Burrato et al., 2003).



12

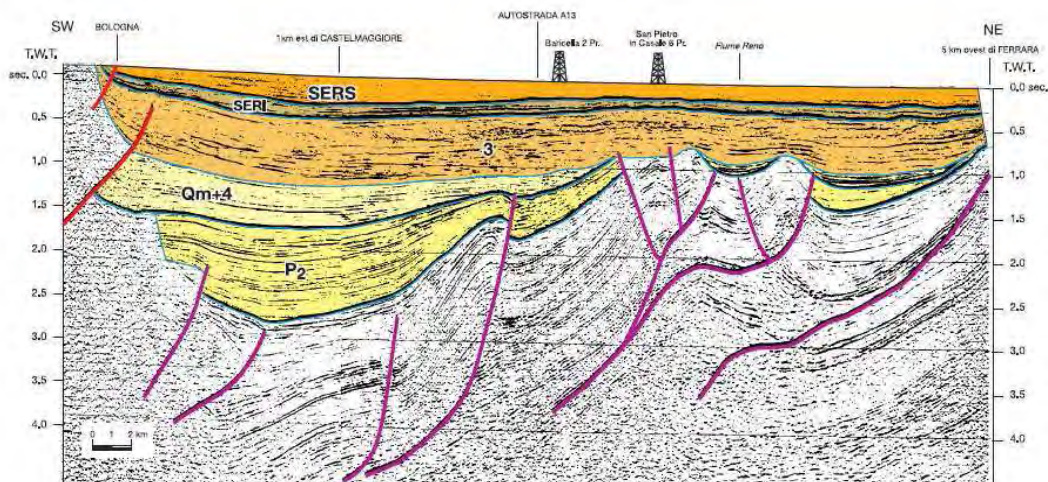
*Dal DISS (Database of Individual Seismogenetic Sources) dell'INGV
Sorgenti sismogenetiche ITCS050 Poggiorusco-Migliarino – ITCS051 Novi-Poggiorenatico
Corso dei fiumi: in azzuro corso regolare – in giallo corso anomalo*

Inoltre, dai confronti dei dati sulla neotettonica (Bondesan e Castellani) e da recenti studi sismici (Agip, carta dei riflettori), si deduce la presenza di una faglia trascorrente, a direzione NE-SW, probabilmente ancora attiva.

Infine, dall'analisi delle linee sismiche che attraversano la zona (Agip), gli accavallamenti più vecchi sono a Sud, mentre quelli più recenti sono a Nord del cuneo di accrezione, quindi una eventuale attività Quaternaria sarebbe logico aspettarsela proprio nella zona della dorsale.

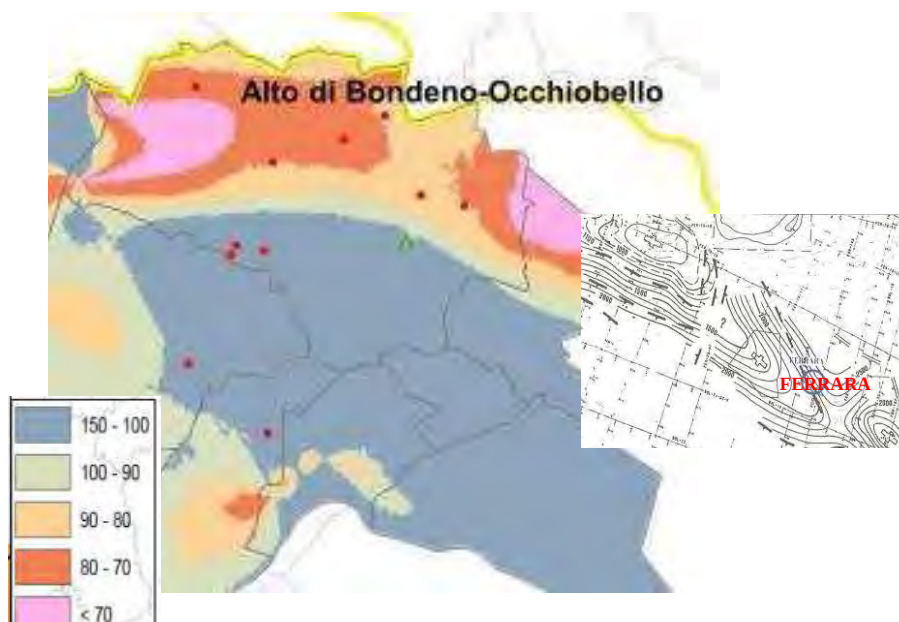
Per quanto riguarda i rigetti, il piano principale di sovrascorrimento fa registrare un rigetto di almeno 2800 m, in quanto si ritrova il Cretaceo sotto la Dolomia Principale (Trias); per quanto riguarda il Quaternario si trovano rigetti sensibilmente minori, ma comunque molto marcati: basti pensare che nel pozzo Casaglia 1 si hanno 200 m di potenza della coltre alluvionale, mentre nel Ferrara 1 si ha una potenza di 900 m.

L'alto strutturale di Casaglia, limitato da due faglie inverse, si inquadra in un ambiente tettonico di tipo compressivo, con piani di scollamento sempre più ripidi da nord a sud, situazione che conferma la successione temporale degli avvenimenti da sud a nord e quindi non esclude la possibilità di una eventuale attività quaternaria proprio nella zona nord del cuneo di accrezione.



AGIP – sezione sismica con direzione sud – nord da Bologna a Ferrara

A scala locale, dalla ricostruzione tettonica operata sulla base delle ricerche AGIP, la città di Ferrara è localizzata sull'anticlinale con asse NW-SE interessata da una linea di dilatazione che dalla zona di Cona si riporta verso il Parco Urbano, a est della città storica.



Carte strutturali con la ricostruzione dell'anticlinale di Bondeno (Regione E-R 2013) e di Ferrara (AGIP)

3.1.2. Modello geomorfologico

Il territorio della città di Ferrara è caratterizzato da un microrilievo dovuto alla regimazione delle acque superficiali, formato nella sua parte più superficiale dall'azione del fiume Po e dei suoi rami secondari i cui caratteri sono ancora evidenti.

Il territorio a nord della città di Ferrara è costituito da sedimenti alluvionali recenti legati all'azione di deposito dei fiumi alpini e appenninici, come il Po, il Reno, il Panaro e i loro rami secondari.

In superficie le sedimentazioni sono databili all'olocene e costituite da materiali fini, quali sabbia, limo e argilla, con frequenti episodi torbosi.

Nel sottosuolo, al di sotto di queste alluvioni recenti, è presente una coltre di sedimenti di età pliocenico – pleistocenica caratterizzata da sedimenti marini, deltizi, lagunari e fluvio palustri, con spessori variabili dai 50 metri di Casaglia ai 200 metri nella zona sud-est di Ferrara.

Il substrato roccioso si rileva fra i 200 e i 2000 metri di profondità, costituente il margine settentrionale dell'Appennino e caratterizzato da una fitta serie di anticlinali, faglie inverse e ricoprimenti con assi a direzione generale W NW – E SE.

Le fasi orogenetiche interessanti il substrato sono databili al Miocene; successivamente prevalsero movimenti di tipo verticale.

Nel Pliocene e nel Quaternario si ebbe dapprima l'emersione con l'erosione delle culminazioni e sedimentazione nelle depressioni.

Seguirono fenomeni collegati alla subsidenza con sedimentazione fino a verificarsi il completo ricoprimento delle strutture e la deposizione in ambiente continentale dei terreni più recenti, funzione delle variazioni climatiche e delle conseguenti migrazioni dei vari ambienti.

La lettura della storia geologica più recente è possibile ancora tramite l'osservazione dell'assetto geomorfologico, quando non sia stato troppo invasivo l'intervento antropico.

La condizione dei corsi d'acqua nella bassa pianura padana è sempre stata di sedimentazione: il fiume, libero di espandere le sue acque di piena nelle aree circostanti, tende a distribuire i sedimenti più grossolani come le sabbie nelle barre e si costruisce argini naturali a granulometria limosa. Man mano che si allontanano dall'alveo le acque depositano materiali sempre più fini come limi e argille. Questi sedimenti si costipano maggiormente rispetto alle sabbie per cui per effetto naturale si creano dislivelli tra i corsi d'acqua e le aree laterali. Nelle aree più depresse intercluse e con terreni più fini e meno permeabili si creano ristagni con paludi e acquitrini che permettono la deposizione di materiale organico che porterà alla formazione di argille organiche e torbe.

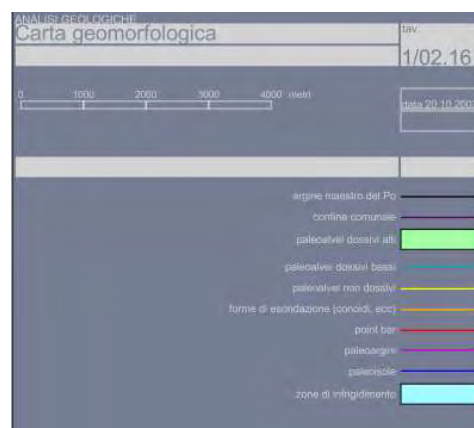
Questa situazione in continua evoluzione cambia naturalmente quando i fiumi più rilevati rispetto alle zone laterali, tendono a mutare il loro corso riversando con maggiore facilità le acque nelle zone di basso morfologico.

Su questo processo naturale è intervenuta l'azione dell'uomo che, per difendersi dalle inondazioni, ha alzato argini sempre più elevati costringendo i fiumi nei letti originari e, di fatto, irrigidendo il reticolo idrografico portando all'esaltazione dei dislivelli fra le zone più basse comprese all'interno della rete e le strutture fluviali argini – alveo.

L'area a nord di Ferrara è dominata dal corso attuale del Po, con l'argine destro intorno a quota (+ 15,00), e caratterizzata dalla presenza degli antichi alvei del Po fra cui il paleoalveo del Po di Ferrara e del Po di Volano.

Fra le strutture minori è riconoscibile il dosso sabbioso di antico alveo che si stacca dal Po di Ferrara nei pressi di Mizzana e si dirige verso Pontelagoscuro, attraversando l'area dello Stabilimento Multisocietario.

Di natura antropica è il dosso conosciuto come Argine Traversagno costruito da Mizzana a Pontelagoscuro a protezione della città dalle inondazioni provenienti da ovest.



Stralcio Carta Geomorfologica PSC Ferrara (2003)

3.1.3. Caratterizzazione litostratigrafica

La successione litologica e stratigrafica dell'area è ricostruita in base alle numerose indagini eseguite dalla scrivente nell'intorno dell'area di studio e in tutta l'area dello Stabilimento Multisocietario.

- In superficie il primo livello ha caratteristiche variabili secondo gli interventi e le attività presenti; vi sono terreni naturali di natura argilloso limosa e terreni di riporto di natura diversa e manufatti.
- Seguono sedimenti limosi con intercalati livelli sabbiosi di spessore variabile collegabili al livello sabbioso caratterizzante la fascia interessata dal paleoalveo che interessa la zona più a ovest e passa attraverso lo stabilimento industriale. La profondità del letto è variabile da 3 a 7 metri.
- Continuano in profondità fino a c.a 13 metri sedimenti limoso argillosi con intercalazioni torbose e con lenti a sabbie fini o sabbie limose verso il letto nella parte ovest mentre verso est i depositi sono più argillosi e sempre con intercalazioni torbose.
- Segue uno strato sabbioso di età wurmiana sede del primo acquifero confinato che raggiunge la profondità di 40-45 metri dal piano campagna.

3.1.4. Assetto idrogeologico

Generalmente il territorio del comune di Ferrara è interessato da una falda superficiale strettamente connessa con le antiche direttrici dei drenaggi ora estinti e con i canali e scoli della rete della Bonifica.

Questa falda è comunemente denominata falda freatica, anche se localmente presenta un certo grado di salienza.

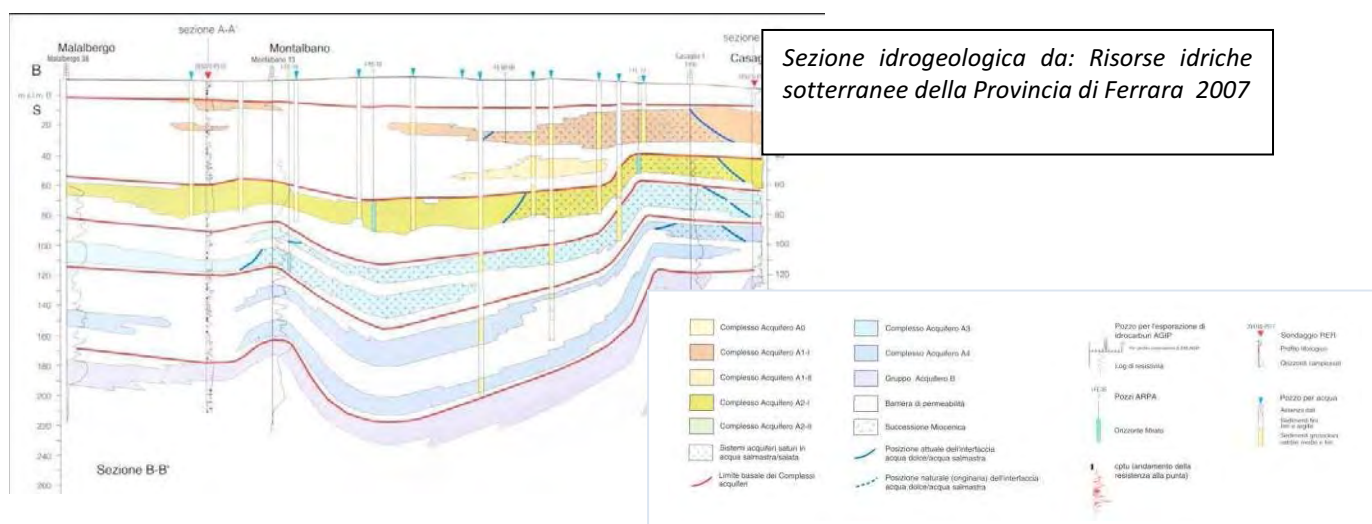
Dalla bibliografia specializzata e da indagini dirette condotte, risulta che nel sottosuolo sono presenti diversi acquiferi confinati di cui solo i più superficiali, fino a 50 – 60 metri di profondità, sfruttabili per scopi civili e industriali per la natura delle acque dolci.

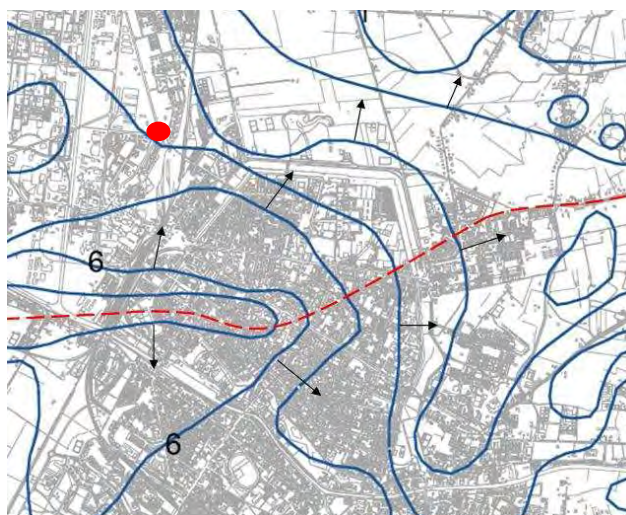
In profondità si riconoscono ulteriori acquiferi caratterizzati da acque salmastre e chiaramente salate.

La serie idrogeologica locale può essere così sintetizzata:

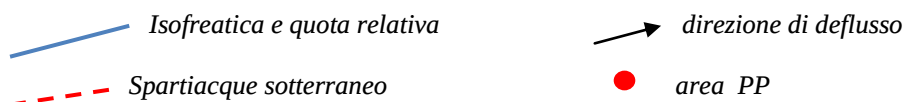
16

falda	Prof tetto m Da p.c.	Potenza m	Tipo	Note
Freatica	0÷2	----	Freatica	
I° acquifero	4÷37	3÷40	Confinata	Dolce
II° acquifero	29÷62	8÷30	Confinata	Dolce
III° acquifero	55÷110	15÷25	Confinata	Salmastra
IV° acquifero	90÷126	3÷15	Confinata	Salmastra
V° acquifero	135÷152	10÷30	Confinata	Salmastra
VI° acquifero	200÷210	40÷110	Confinata	Salmastra





Isofreatiche (metri sul medio mare)) dal PRG comune di Ferrara (73).



Il drenaggio delle acque superficiali avviene tramite la rete della Bonifica.

I numerosi scoli e fossati sono collegati a direttrici di drenaggio principali che nella zona in esame sono identificati in:

- | | |
|-------------------------------|-------------------------------------|
| - Canale Bianco | a ovest e nord del Polo Industriale |
| - Canale Cittadino – Gramicia | a sud |
| - Canale Boicelli | a ovest |

Il canale Bianco e il canale Cittadino nascono entrambi nella zona nord ovest della Provincia di Ferrara, a est dell'abitato di Bondeno, e drenano tutto il territorio posto fra il Po e il Canale di Burana.

Al limite est del Polo Industriale entrambi sottopassano in Canale Boicelli per drenare verso est.

Il Canale Cittadino, sottopassato il Canale Boicelli, prende il nome di Canale Gramicia e riversa le acque, presso Baura, nel Canale Naviglio. Questo confluisce poi nel Canal Bianco presso l'abitato di Coccanelle. Questo canale costituisce il confine Sud dell'area di intervento

Il Canale Boicelli è utilizzato sia per la Navigazione interna, attraverso la conca di navigazione di Pontelagoscuro, che per l'irrigazione, attraverso una presa del Consorzio generale di Bonifica che alimenta il Po di Volano.

La quota media dell'acqua nel canale è legata alla quota dell'acqua nel Po di Volano che, regolata attraverso la chiusa di Valpagliaro, è ad una quota prossima a (+4,60).

4. RISPOSTA SISMICA LOCALE

4.1. Sismicità storica

La zona, interessata dalla sequenza sismica attuale iniziata il 20 maggio 2012, è caratterizzata da una modesta sismicità storica, così come riportata dai Cataloghi.

In realtà la cronaca del tempo (Giacomo da Marano, XIV sec.) riporta di un forte terremoto a Ferrara nel 1346, quando il 22 Febbraio "cascarono molte case, palazzi e torri...e nelle ville casamenti, fenili, pieze et

altri edifici". L'evento fu risentito anche a Modena l'8 Febbraio (Giovanni da Bazzano, XV sec.) e forse in altre città della pianura padana per cui si potrebbe trattare di una sequenza protrattasi per diversi giorni. Così è stato anche per il terremoto del 1570 di magnitudo calcolata pari a 5.5 che non è dovuto alle medesime due strutture interessate attualmente ma ad una struttura più orientale. L'evento principale del 17 novembre diede comunque inizio ad una sequenza sismica lunga quattro anni. La documentazione storica, oltre agli effetti distruttivi su edifici e monumenti, ricorda, riguardo quegli eventi sismici, una brusca variazione nel livello del Po a Stellata e fenomeni di liquefazione dei terreni. Si ricordano gli eventi successivi del 1695 (M=4), del 1743 (M=4.6) e del 1787 (M=4) a Ferrara e del 1908 e 1922 nella zona di Cento. Maggiormente interessata da eventi sismici è l'area modenese colpita dal terremoto dell'8 maggio 1987 di magnitudo M = 4.6.

Anno	Epicentro	Intensità epicentro
1234	FERRARA	7.0
1249	MODENA	6.5
1285	FERRARA	6.5
1346	FERRARA	7.5
1410	FERRARA	6.5
1425	FERRARA SUD	6.0
1474	MODENA	6.0
1508	FERRARA SUD	6.0
1561	FERRARA	5.5
1570	FERRARA	7.5
1574	FINALE EMILIA	7.0
1695	FERRARA	5.5
1743	FERRARA	6.5
1780	BOLOGNESE	5.5
1834	BOLOGNA	5.5
1922	CENTO	3.5
1928	CARPI	6.5
1967	CORREGGIO	5.5
1986	BONDENO	6.0
1996	CORREGGIO	7.0

Dall' elenco dei terremoti riportati nel catalogo parametrico dei terremoti italiani (Scala Mercalli-Càncani-Sieberg)

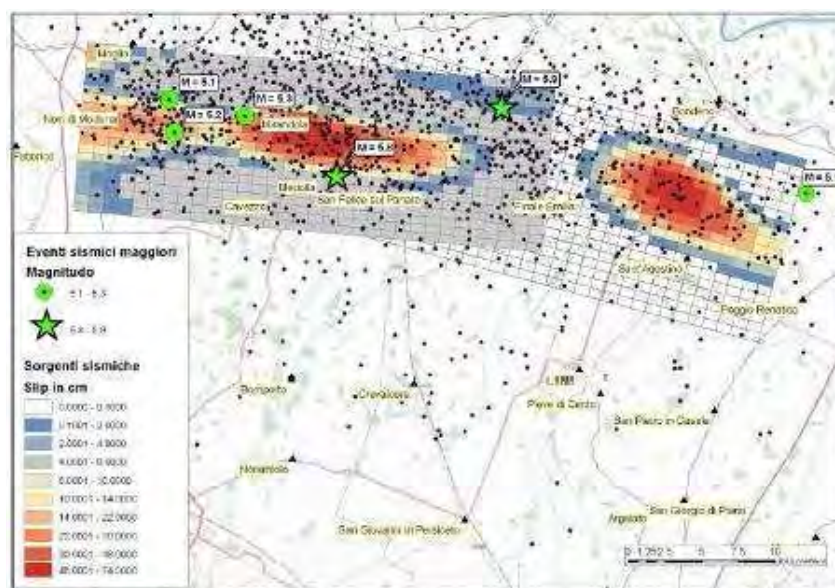
Un terremoto di Magnitudo (MI) 5.9 è avvenuto il giorno 20 maggio 2012 alle ore 4.03 con epicentro nei pressi di Finale Emilia, Lat. 44,89°N, Long. 11,23°E, alla profondità di Km 6,3, preceduto da un episodio di MI = 4.1 alle ore 1.13.

Sono seguite numerose repliche fra cui una scossa di MI = 4.9 alle ore 7.30 e una di MI 5.1 alle ore 15.18. Le due scosse principali di magnitudo 5.9 e 5.1 hanno epicentri allineati NW-SE, distanti c.a 10 Km e la sismicità è distribuita lungo un'area allungata per c.a 40 Km con direzione simile.

Il 29 maggio alle ore 9.30 una scossa MI = 5.8 con epicentro alla profondità di Km 10,2 si è verificata in provincia di Modena nel comune di Medolla, Lat. 44.85°N, Long. 11.09°E, con replica alle ore 12.55 con MI = 5.3 ed epicentro alla profondità di 6,8 Km, seguita il 3 giugno alle ore 21.20 da una scossa MI = 5.1 con epicentro alla profondità di Km 9,2, Lat. 44.90°N, Long. 10.94°E, con spostamento quindi del fenomeno verso ovest.

tabella dei terremoti con M>5 (aggiornata al 13 luglio 2012)						
data	ora UTC (ora locale)	latitudine	longitudine	profondità	magnitudo	fonte
20/05/2012	02:03:52 (04:03:52)	44.889	11.228	6.3	5.9	iside.rm.ingv.it
20/05/2012	02:07:31 (04:07:31)	44.863	11.370	5.0	5.1	iside.rm.ingv.it
20/05/2012	13:18:02 (15:18:02)	44.831	11.490	4.7	5.1	iside.rm.ingv.it
29/05/2012	07:00:03 (09:00:03)	44.851	11.086	10.2	5.8	iside.rm.ingv.it
29/05/2012	10:55:57 (12:55:57)	44.888	11.008	6.8	5.3	iside.rm.ingv.it
29/05/2012	11:00:25 (13:00:25)	44.879	10.947	5.4	5.2	iside.rm.ingv.it
03/06/2012	19:20:43 (21:20:43)	44.899	10.943	9.2	5.1	iside.rm.ingv.it

La sequenza sismica è continuata con più di 2000 repliche.



Sorgenti sismiche (da Atzori et al. 2012)

Le due sequenze sono legate a due strutture compressive del margine appenninico. Per ambedue le sequenze di eventi il meccanismo focale è di tipo compressivo con direzione di massima compressione NS e orientazione dei piani di faglia EW.

4.2. La risposta sismica locale

Studiare la Risposta sismica locale vuol dire definire la Funzione di trasferimento o la Funzione di amplificazione rappresentativa della situazione geologico-strutturale al di sotto della zona esaminata. In generale la forma della Funzione Amplificazione o Trasferimento è legata alla modalità di trasmissione delle onde all'interno dello strato superficiale e, in particolare, alle interferenze che si generano tra queste onde.

Nel caso di basamento rigido (bedrock) ricoperto da sedimenti soffici l'onda sismica proveniente dal basso rimane intrappolata all'interno dello strato sedimentario a causa della presenza di forti contrasti di impedenza alla base (interfaccia basamento-copertura) e alla superficie (interfaccia sedimenti-aria). Le onde intrappolate tra forti contrasti di impedenza interferiscono fra loro portando alla amplificazione. Se il contrasto di impedenza è piccolo l'amplificazione riguarda solo alcune frequenze, sulla base del rapporto V_s/H .

All'interno dello strato sedimentario la velocità delle onde S cambia con la profondità e naturalmente cambia anche l'amplificazione. Il processo di propagazione dipende dalle proprietà meccaniche del terreno, proprietà come la rigidità e lo smorzamento.

Attraverso codici di calcolo, tenendo conto di quattro parametri: spessore dello strato, densità dei terreni, modulo di taglio e smorzamento, per ciascuno strato, si esegue la valutazione dell'amplificazione stratigrafica. L'amplificazione viene calcolata in funzione della frequenza (o del periodo) scelta come il rapporto fra gli spettri di risposta del moto di input (al basamento) e quello di output (al di sopra del sedimento) di un terremoto di riferimento (condizioni 1D).

Oltre allo spettro di risposta del terremoto di riferimento, per il calcolo della RSL è necessario riferirsi ad un idoneo gruppo di accelerogrammi (NTC 2008) ricavati da Banche Dati.

Tale studio è stato eseguito per il territorio comunale di Ferrara. Nella zona nord è confermato un fattore di amplificazione FA pari a 1,5. Tale valore è infatti quello indicato dalla Regione E-R per i terreni di tali caratteristiche nella zona denominata Pianura 2.

5. MODELLO GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO

Riguarda la caratterizzazione e la modellazione geotecnica basata sui risultati delle indagini effettuate per rappresentare le condizioni stratigrafiche, il regime delle pressioni interstiziali e la caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni e delle rocce comprese nel volume significativo.

5.1. Indagine geognostica

In osservanza alle NTC 2008, punto 6.6.2 Indagini, caratterizzazione e modellazione geotecnica, che specificano che *"I valori caratteristici delle grandezze fisiche e meccaniche da attribuire ai terreni devono essere ottenuti mediante specifiche prove di laboratorio su campioni indisturbati di terreno e attraverso l'interpretazione dei risultati di prove e misure in sito"*, si è definito un Piano delle Indagini che ha previsto l'esecuzione di una Indagine geognostica e sismica.

Le Indagini e le prove sono state eseguite e certificate da laboratorio con autorizzazione del Servizio Tecnico Centrale del Ministero delle infrastrutture (art.59, DPR 380/2001) SONGEO s.r.l. e ha compreso l'esecuzione di

- Una prova penetrometrica statica con piezocono sismico che consente di misurare la velocità nel terreno delle onde sismiche S permettendo una valutazione diretta del parametro Vs30 contemporaneamente alla acquisizione dei parametri geotecnici qc e fs e della pressione neutra U (SCPTU) spinta alla profondità di m 30,00 dal p.c.
- N. 3 prove penetrometriche statiche a punta meccanica Begemann - CPT fino alla profondità di m 20,00 dal p.c.

La prova penetrometrica statica con piezocono sismico CPTU consiste nell'infissione a pressione nel terreno di un piezocono solidale a un modulo sismico, mediante una batteria di aste coassiali.

Alla punta penetrometrica elettrica con elemento poroso e trasduttore di pressione (piezocono) è associato un modulo sismico con due geofoni a distanza di 1 metro l'uno dall'altro, che registrano le onde di taglio generate da un dispositivo di energizzazione posto in superficie. Mediante la misurazione del ritardo di arrivo delle onde di taglio fra i due geofoni nello strato di terreno compreso, eseguito ad ogni metro, si misura la velocità di propagazione delle onde S.

Le caratteristiche geometriche del piezocono rispettano le norme standard internazionali.

Caratteristiche del Piezocono			
Canali di misura:		Dimensioni:	
Resistenza di punta (qc):	10; 50; 100 MPa	Angolo di apertura cono:	60°
Attrito laterale (fs):	0,5 MPa	Diametro:	36 mm
Pressione nei pori (U):	2,5 MPa	Sezione di spinta:	10 cm²
Inclinazione:	0 - 40°	Superficie laterale:	150 cm²
		Peso:	2,1 kg
		Lunghezza:	413 mm

Tab. 4 Caratteristiche del Piezocono

Durante il movimento continuo di spinta, si acquisiscono le grandezze qc (resistenza di punta) ed fs (attrito laterale) ad ogni centimetro di profondità. Il sistema acquisisce inoltre il valore della U (Pressione Idrostatica nei Pori), l'angolo di inclinazione della batteria di aste ed il tempo di dissipazione (tempo intercorrente misurato tra la misura della sovrappressione ottenuta in fase di spinta e la pressione misurata in fase di alleggerimento di spinta).

Il certificato della SCPTU e delle CPT sono riportati in allegato.

5.2. Categoria di sottosuolo e parametri sismici e geotecnici

5.2.1. Successione litologica



5.2.2. Unità litotecniche

La successione delle Unità litotecniche in base ai risultati delle indagini e alle relative valutazioni, può essere riassunta come segue. Le profondità sono indicative perché riferite al piano campagna di riferimento della prova, quindi hanno valore relativo.

Per i parametri geotecnici, dato il volume significativo interessato, si assumono **valori caratteristici** pari ai **valori medi**.

22

- Unità A –** comprende i terreni argillosi da m 1,00 a m 10,00
 $\gamma_a = 18 \text{ KN/m}^3$
 $c_u = 30-40 \text{ Kpa}$
 $\phi = 0^\circ$
 $M_o = 3.000 - 4.000 \text{ KPa}$
- Unità B -** comprende argille e argille limose da m 10,00 a m 15,00
 $\gamma_a = 18 \text{ KN/m}^3$
 $c_u = 50 \text{ Kpa}$
 $\Phi = 0^\circ$
 $M_o = 4.000 \text{ Kpa}$
- Unità C -** comprende il banco sabbioso da m 15,00 a m 27,50
 $\gamma_a = 19 \text{ KN/m}^3$
 $c_u = 0$
 $\Phi = 35^\circ$
 $Dr = 60\%$
 $M_o = 35.000 - 40.000 \text{ Kpa}$
- Unità D –** comprende i terreni limosi da m 27,50

ove

- γ_a peso di volume naturale del terreno
 Dr densità relativa
 c_u coesione non drenata
 ϕ° angolo attrito
 M_o modulo edometrico

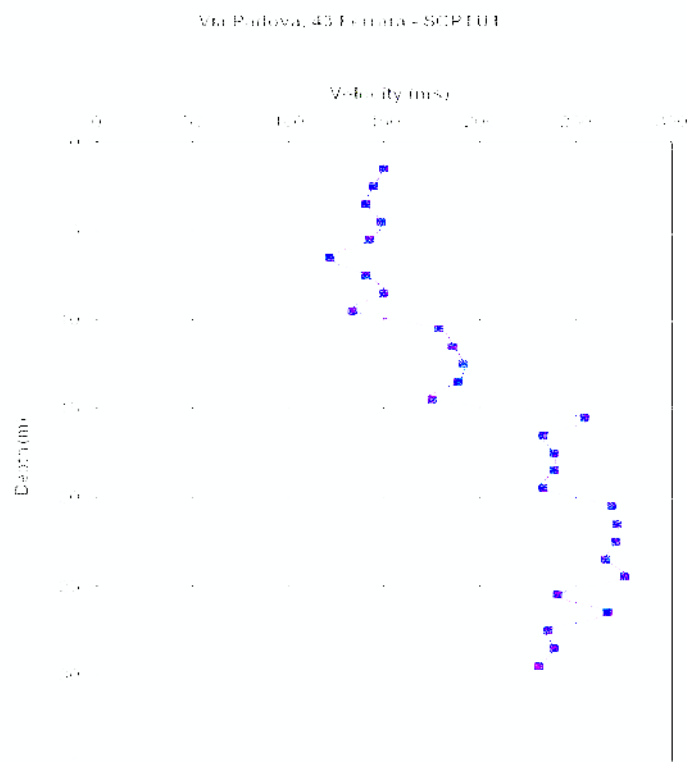
Il livello della falda è localizzato a c.a m 1,50 dal piano campagna.

5.2.3. Categoria di sottosuolo

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto è necessario valutare l'effetto della risposta sismica basandosi sull'individuazione della categoria di sottosuolo di riferimento.

Questa classificazione si basa sui valori della velocità equivalente $V_{s,30}$ di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 metri di profondità.

L'indagine effettuata con il cono sismico (SCPTU) ha consentito di ricostruire il quadro sismico del sottosuolo dell'area indagata fino alla massima profondità d'indagine raggiunta di 30 m.



$V_{s30} = 205 \text{ m/s}$ Il sottosuolo ricade in Depositi riferibili alla categoria di suolo C - *depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate o di argilla a media consistenza con spessori variabili da diverse decine sino a centinaia di metri, caratterizzati da valori di V_{s30} compresi fra 180 e 360 m/s ($15 < N_{spt} < 50$, $70 < c_u < 250 \text{ KPa}$)*

5.2.4. Parametri sismici

La classificazione sismica introdotta dall'OPCM 3519/2006, recepita dal D.M. 14.01.08, attribuisce al Comune di Ferrara un valore di accelerazione massima orizzontale di picco al suolo appartenente agli intervalli 0,125 g - 0,150 g, con $T=0$, su suolo rigido ($V_{s30} > 800 \text{ m/sec}$), con una probabilità di superamento del 10% in 50 anni.

I parametri sismici necessari alla progettazione

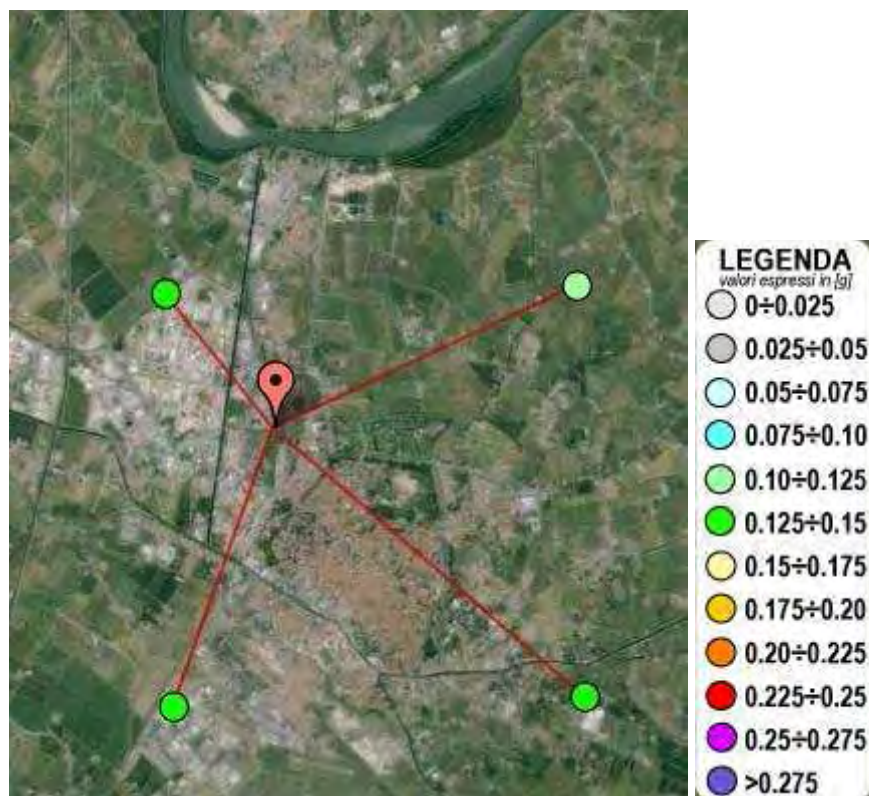
a_g accelerazione orizzontale massima al sito

F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale

T^*_c periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale

per tutti i siti del territorio nazionale, fra cui scegliere quelli del sito in esame, sono forniti dall'allegato al D.M. 2008, con riferimento alla mappa redatta dall'INGV.

Per il Comune di Ferrara lo spettro di risposta è calcolato per un valore di accelerazione massima al suolo di 0,2 g, dato un Fattore di amplificazione di 1,5 e una $V_{s30} = 205 \text{ m/sec}$ che indica un suolo di classe C.



24

Coord. Punto Target

Latitudine 44.853374 [deg]
Longitudine 11.605296 [deg]
Ag (Tr=475anni, 50° perc.) 0.130 [g]

Vertici della maglia del reticolo di riferimento

Vertice 1 (ID=15180) d₁=2.34 [km]
Vertice 2 (ID=15181) d₂=4.52 [km]
Vertice 3 (ID=15402) d₃=3.98 [km]
Vertice 4 (ID=15403) d₄=5.55 [km]

Costruzione: Classe d'uso e vita nominale

Classe d'uso II
Vita nominale V_N 50

Spettro di progetto Accelerazione S_e

Tipo ☒ elastico ☐ anelastico (SLU)

Direzione ☒ Orizzontale ☐ Verticale

Spettro elastico Spostamento S_De

Direzione ☐ Orizzontale

Tipo terreno ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D ☐ E

Amplificazione suolo ☒ T1 ☐ T2 ☐ T3 ☐ T4

h/H

h=quota sito

H=altezza

topografico

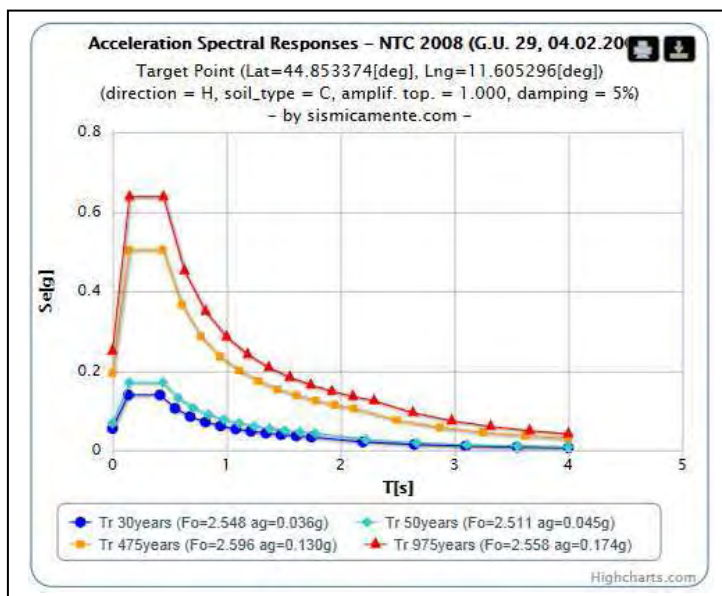
Smorzamento ξ [%]

rilievo

TARGET POINT

Lat: 44.853374
Lng: 11.605296

Stato Limite	T _r [anni]	a _g [g]	F _o [-]	T [*] _c [s]
Operatività (SLO)	30	0.036	2.548	0.251
Danno (SLD)	50	0.045	2.511	0.276
Salvaguardia Vita (SLV)	475	0.130	2.596	0.274
Prevenzione Collasso (SLC)	975	0.174	2.558	0.280



5.3. Considerazioni geotecniche preliminari

Le opere di cui è prevista la costruzione dovranno essere inoltre verificate con riferimento ai meccanismi di rottura per carico limite e scorrimento come previsto da Norme Tecniche per le costruzioni 2008.
Le verifiche di sicurezza relative agli stati limite ultimi (SLU) devono rispettare la condizione

$$Ed < Rd$$

25

essendo

Ed il valore di progetto dell'azione

Rd il valore di progetto della resistenza del terreno

La resistenza del terreno (Rd) va valutata in riferimento ai coefficienti parziali relativi ai parametri geotecnici del terreno secondo l'approccio 1 e le seguenti combinazioni di carico

- ♦ combinazione 1 "A1 + M1 + R1" STR
- ♦ combinazione 2 "A2 + M2 + R2" GEO

per le azioni (A1 e A2)

per i parametri geotecnici (M1 e M2)

per le resistenze (R1, R2, R3)

Le verifiche devono essere effettuate nei confronti dello stato limite ultimo SLU di tipo geotecnico (GEO) per

- collasso per carico limite dell'insieme fondazione-terreno
- collasso per scorrimento sul piano di posa
- stabilità globale

La verifica di stabilità globale dovrà essere effettuata secondo l'Approccio 1 – Combinazione 2 (A2+M2+R2), tenendo conto dei coefficienti parziali

per le azioni o i loro effetti (tab. 6.2.I N.T.C.)

per i parametri geotecnici del terreno (tab. 6.2.II N.T.C.)

per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e fronti di scavo (6.8.I N.T.C.)

5.3.1. Pressione ammissibile per fondazione diretta

In fase di pianificazione attuativa, ipotizzando l'adozione di fondazione diretta, si danno alcune indicazioni preliminari per la pressione ammissibile da utilizzare per le future progettazioni.

Si procede pertanto alla verifica della pressione limite al piano di fondazione, utilizzando la relazione proposta da Brinch - Ansen,.

Tale espressione rappresenta la estensione della relazione di Buismann e Terzaghi con la introduzione dei casi particolari (forma, inclinazione carico - base fondazione - piano campagna , profondità del piano di posa).

Per condizioni drenate

$$Q_{lim} = 1/2 \gamma' B \cdot N_{\gamma} \cdot s_{\gamma} \cdot i_{\gamma} \cdot b_{\gamma} \cdot g_{\gamma} + q' \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot b_q \cdot g_q + c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot b_c \cdot g_c$$

Per condizioni non drenate

$$Q_{lim} = c_u' \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot b_c \cdot g_c + q'$$

essendo:

γ	= peso di volume del terreno (γ' p.vol.t. immerso)
B	= dimensione minore della fondazione
$q' = \gamma \cdot H$	= carico preesistente al piano fondazione
c'	= coesione
c_u	= coesione non drenata
N_γ, N_q, N_c	= fattori capacita' portante , legati all'ang. di res. al taglio ϕ
s_γ, s_q, s_c	= fattori di forma della fondazione
i_γ, i_q, i_c	= fattori correttivi per inclin. del carico
b_γ, b_q, b_c	= fattori correttivi per inclinazione base della fondazione
g_γ, g_q, g_c	= fattori correttivi per piano campagna inclinato
d_γ, d_q, d_c	= fattori dipendenti dalla profondita' del piano di posa

Trascurando i fattori correttivi per

- inclinazione del carico

- inclinazione base della fondazione

- piano campagna inclinato

trascurando anche i fattori di profondità a favore della sicurezza

per le ipotesi generiche di:

fondazione diretta continua B = 1,50 m

profondità di posa metri 1,0 dal piano campagna attuale

carico centrato e verticale

e per le caratteristiche geotecniche soprariportate risulta

$$Q_{lim} = 270 \text{ KPa}$$

Per la verifica della adottabilita' di tale tipo di fondazione, si verifica, attraverso la relazione proposta da Fröhlich, il valore della pressione critica per i terreni compressibili presenti al di sotto del piano di fondazione.

Essa vale:

$$P_{crit} = \frac{\pi(\gamma D + c \cdot \text{ctg } \phi)}{\text{ctg } \phi - (\pi/2 - \phi)}$$

assunto:	coesione non drenata	$c_u = 40 \text{ KPa}$
	angolo attrito interno	$\phi' = 0^\circ$

La relazione sopra scritta assume la forma:

$$P_{crit.} = (c_u \cdot \pi)$$

e risolvendo risulta:

$$P_{crit.} = 125 \text{ kPa}$$

da tale valore, che rappresenta l'inizio di fenomeni di plasticizzazione, introducendo un fattore riduttivo, compreso fra 1 e 2 in relazione alle modalita' di carico, si ricava il valore della pressione ammissibile che per coeff di riduzione di $f=1,75$ fornisce un valore di pressione ammissibile pari a

$$q_{amm} = 71 \text{ kPa}$$

valore compatibile con la edificazione

5.3.2.Modulo di reazione del terreno

Di seguito si valuta la rigidità delle molle che simulano il comportamento del terreno di sottofondazione di un manufatto in condizioni statiche e dinamiche.

Il modulo di reazione del terreno può essere stimato sulla base dei parametri geotecnici tramite la relazione proposta da **Vesic (1961)**

$$K_s' = 0,65 \cdot [(E_s \cdot B^4)/(E_f \cdot J_f)]^{1/12} \cdot [E_s/(1 - \nu^2)]$$

ove

E_f = modulo di Young della fondazione (70 Kg/cm²)

J_f = momento di inerzia per unità di fondazione

E_s = modulo di Young del terreno

ν = rapporto di Poisson del terreno

B = larghezza della fondazione

Il modulo di Winkler è : $K_s = \frac{K's}{B}$

Poichè la radice dodicesima di un qualunque valore moltiplicato per 0,65 risulta approssimativamente pari a 1, la relazione sopra indicata può essere semplificata nella forma

$$K_s = \frac{E_s}{[B(1-\nu^2)]}$$

Prof piano fond (m)	Larghezza fondazione (m)	Ks max	
		(Kg/cm ³)	(KN/m ³)
1,0	1,50	0.55	5394
1,0	2,00	0,42	4118
1,0	2,50	0,33	3235
1,0	3,00	0,28	2745

5.4. Verifica di stabilità ai fenomeni di liquefazione

Sulla base delle indagini eseguite si procede alla “verifica di stabilità in relazione ai fenomeni di liquefazione” possibili in terreni sabbiosi e sabbioso-limosi presenti entro la profondità di 15 :/20 metri. La verifica viene eseguita sino a m 20.

Un terreno incoerente durante un evento sismico, viene interessato da sollecitazioni cicliche di taglio. Si ha liquefazione se la scossa sismica produce un numero di cicli tali che la pressione interstiziale raggiunga il valore della pressione di confinamento. In definitiva per liquefazione si intende il quasi totale annullamento della resistenza al taglio e un comportamento meccanico caratteristico dei liquidi.

Se si rappresenta la resistenza al taglio con la relazione di Coulomb

$$\tau = c + (\sigma_{vo} - u) \tan \varphi$$

essendo

c = coesione del terreno

σ_{vo} = pressione litostatica totale alla profondità di indagine

u = pressione interstiziale dell'acqua

φ = angolo di resistenza al taglio

si avrà $\tau = 0$

solamente se " $c = 0$ "⁽¹⁾ e " $(\sigma_{vo} - u) = 0$ "⁽²⁾

- quindi inesistente per terre coesive o incoerenti con abbondante frazione coesiva (1)

- e solo per $\sigma_{vo} = u$ la pressione interstiziale uguaglia la pressione totale litostatica

Il fenomeno interessa quindi essenzialmente depositi sciolti non coesivi immersi in falda ed in occasione di eventi sismici è legato a:

caratteristiche delle vibrazioni sismiche
proprietà geotecniche dei terreni
fattori ambientali

Dalle osservazioni sui casi reali di liquefazione si è notato che:

maggiore è la pressione di confinamento maggiore è il numero di cicli di carico richiesto per il collasso
tanto più è bassa la densità relativa del deposito (D_r), tanto maggiore è il rischio di liquefazione
la dimensione, la distribuzione, il grado di uniformità e la forma delle particelle solide influenzano sensibilmente la liquefazione dei depositi

La valutazione del potenziale di liquefazione viene eseguito secondo le indicazioni di Seed e Idriss, verificando gli sforzi al taglio indotti alle varie profondità del terreno in esame dal terremoto di progetto, e confrontandoli con la resistenza al taglio ciclica offerta dal terreno alle sollecitazioni indotte dal Sisma.

La resistenza al taglio ciclica viene valutata utilizzando correlazioni empiriche che legano questo parametro ai valori di resistenza penetrometrica (statica o dinamica)

La resistenza dei terreni alla liquefazione viene valutata in termini di fattore di resistenza alla liquefazione espresso dal rapporto fra la resistenza del terreno agli sforzi di taglio ciclico (CRR) e la sollecitazione di taglio massimo indotta dal sisma (Cyclic Stress Ratio – CSR)

$$F = CRR / CSR$$

Per questi terreni si è valutato il valore di CSR di progetto ed il corrispondente valore di CRR dal cui rapporto risulta il grado di sicurezza per una data intensità di Sisma.

Dati: zona di 3° categoria

- accelerazione massima al suolo

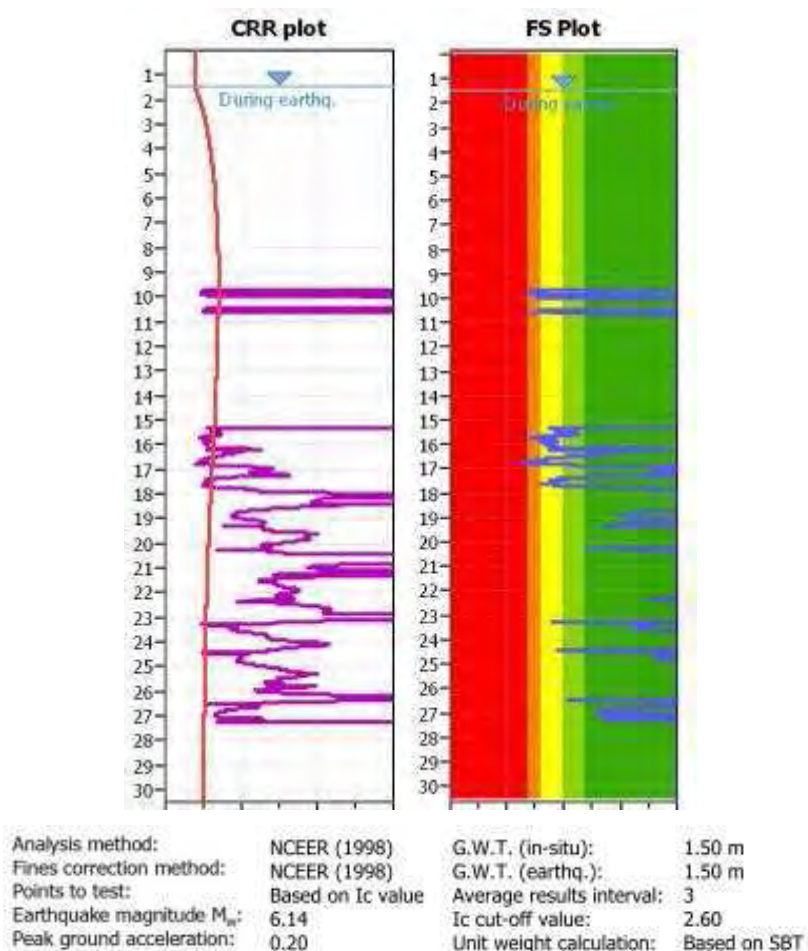
$$a_{max} / g = 0,15 g$$

- Categoria di suolo C
- Coeff amplificativo per il tipo di suolo (C) $S = 1,5$
- forza tangenziale medio ciclico di progetto $\tau_{av} = 0,65 \cdot (S \cdot a_{max}/g) \cdot \sigma'_{vo} \cdot R_d$
- Cyclic Stress Ratio $CSR = \tau_{av} / \sigma'_{vo}$

essendo:

- τ_{av} valore medio della tensione tangenziale ciclica
- a_{max} massima accelerazione orizzontale attesa alla superficie del suolo (PGA)
- g accelerazione di gravità $9,81 \text{ m/s}^2$
- σ_{vo} e σ'_{vo} tensione litostatica rispettivamente totale e iniziale
- R_d Coeff funzione profondità Z

Per $F > 1$ non esiste pericolo di liquefazione



In allegato il Rapporto della suscettibilità alla liquefazione calcolata secondo Robertson per $M_w = 6,14$ e una accelerazione massima al suolo di $0,2g$.

5.5. Cedimenti postsismici

Riguardo ai cedimenti post-sismici prevedibili, si ritiene che nei terreni granulari del banco sabbioso indicato su cui è stata operata la valutazione della pericolosità alla liquefazione, possano essere esclusi. Il fenomeno della liquefazione può provocare un cedimento post-sismico permanente dei terreni granulari che può essere valutato dalla relazione

$$\Delta H = \varepsilon_v H$$

Dove H è l'altezza dello strato liquefacibile ed ε_v (%) è la deformazione volumetrica

$$\varepsilon_v = \frac{\alpha \cdot Cr}{1 + e_0} \log \left(\frac{1}{1 - \frac{\Delta u}{\sigma'_0}} \right)$$

in cui

- α è una costante sperimentale compresa fra 1 e 1,5;
- e_0 è l'indice dei vuoti iniziale;
- Cr è l'indice di riconsolidazione postciclica;
- $\frac{\Delta u}{\sigma'_0}$ è il rapporto di pressione interstiziale.

Per effettuare questa verifica è necessario ottenere i parametri dei sedimenti interessati da prove di laboratorio.

La falda freatica è stata misurata alla profondità media di m 1,50 dal piano campagna.

Riguardo ai terreni coesivi, per i quali in caso di sisma si prevede un incremento delle pressioni interstiziali con un cedimento di riconsolidazione per la successiva dissipazione delle pressioni interstiziali accumulate durante il terremoto, l'Atto di indirizzo della Regione prescrive che il calcolo del cedimento sia effettuato per terreni soffici con coesione $c_u < 70$ kPa e plastici con Indice $I_p > 30\%$.

Per il sito in oggetto ci riferiamo ai risultati dell'analisi effettuata su un campione nel terreno dell'area adiacente dell'ex Consorzio Agrario.

Il campione, rappresentativo dei terreni coesivi del sottosuolo del sito, sottoposto ai Limiti di Atterberg ha mostrato un Indice plastico I_p pari a 21%, cioè inferiore al 30% indicato come limite dalla norma, per cui non risulta necessario procedere al calcolo dei cedimenti postsimici.

6. CONSIDERAZIONI PER IL PIANO DELLE INFRASTRUTTURE

Un Piano Particolareggiato prevede infrastrutture in superficie (strade e piazzali) e nel sottosuolo (rete fognaria, acquedotto, gas e altro).

Per le strade e piazzali il progetto terrà conto dei terreni di posa in rapporto al carico di traffico previsto. Di seguito si riportano le valutazioni in proposito.

Per le reti tecnologiche interraste in fase progettuale si dovranno eseguire le verifiche geologiche e geotecniche dirette, come richiede la normativa (DM 12.12.85), che analizzeranno le caratteristiche dei terreni interessati e i rapporti con la prima falda.

6.1. Strade e piazzali

Per il calcolo dello spessore della sovrastruttura stradale e piazzali numerose sono le relazioni essenzialmente empiriche. Lo spessore della sovrastruttura deve distribuire in profondità il carico

trasmeso dai veicoli, riportando tale carico entro valori compatibili con le caratteristiche geotecniche dei terreni . Se tale carico è troppo elevato il terreno sottostante subisce delle deformazioni elevate, con conseguente deformazione della sede stradale.

La prima fase della progettazione consiste nella analisi statica della strada, nel caso di carico massimo su ruota singola e verificando che il valore trasmesso dal carico, diffuso attraverso il terreno di riporto sul terreno di fondazione sia minore della massima capacità portante del terreno in regime elastico valutato attraverso la relazione di Frohlich come già eseguito in precedenza e per :

coesione non drenata $c_u = 40 \div 50 \text{ Kg/cm}^2$
angolo di attrito interno $\phi = 0^\circ$
peso di volume del terreno $\gamma = 18 \text{ KN/mc}$

$P_{crit} = 125 \text{ KPa}$

6.1.1. Calcolo sovrastruttura

- Metodo di Goldbeck

Utilizzando la relazione di Goldbeck per il calcolo dello spessore della sovrastruttura, per carico trasmesso da automezzi pesanti di servizio, si assume::

- carico ruota $P = 6500 \text{ Kg}$ (pressione di gonfiaggio $p_g = 8,5 \text{ bar}$)

- larghezza pneumatico $2b = 25 \text{ cm}$

- $a = P / (\pi \cdot p_g \cdot b) = 19,5 \text{ cm}$

$S = [(\delta \times P / \pi \times p_{crit}/f) - (a \times b) + ((a+b)/2)^2]^{1/2} - ((a+b)/2)$

essendo $d = 1,6$ (rapp fra pressione massima al suolo e press media uniforme)

$S = [(1,6 \times 6500 / \pi \cdot 0,8) - (12,5 \times 19,5) + ((12,5+19,5)/2)^2]^{1/2} - ((12,5+19,5)/2) = 48 \text{ cm}$

- Metodo razionale degli strati

Per il dimensionamento della sovrastruttura può essere utilizzato il metodo razionale degli strati basato sulla deformazione elastica dei terreni costituenti il rilevato stradale, per il cui calcolo vengono utilizzati i moduli elastici dinamici dei terreni costituenti il corpo stradale e di sottofondo

MATERIALI

I materiali costituenti il pacchetto della pavimentazione sono caratterizzati dal modulo dinamico di elasticità E e dal modulo di Poisson. ν .

Il controllo del grado di addensamento potrà essere eseguito attraverso prove su piastra diametro 30 cm , al primo ciclo di carico, per i seguenti valori:

strato	Natura	Intervallo di carico (Mpa)
Sottofondo	Terra costipata	0.05÷0.15
Rilevato	Riporto (A1, A3 ...)	0.05÷1.5
Fondazione	Misto granulare stabilizzato	0.05÷0.15

MATERIALI : PARAMETRI

Sottofondo

Per la determinazione del modulo di sottofondo si possono utilizzare le relazioni sperimentali:

$E_o = 10 \text{ CBR} = 2,5 \text{ Md}$ (MPa)

e per terreni coesivi vale la relazione

CBR = Coesione non drenata $c_u / 0,025$ (KPa)
E quindi : $E_o = (10/0.025) \times c_u$ (MPa)
Per il sito in esame $c_u = 0,05$ MPa
 $E_o = 400 \times 0,05 = 20$ MPa $\nu = 0,45$

Il sottofondo adeguatamente scoticato (15./30 cm) dovrà essere adeguatamente compattato

Geotessuto : Sul piano di posa fra riporto sabbioso e terreno in sito è opportuno prevedere la posa di un telo di geotessuto, nontessuto e/o tessuto, del peso di circa 200 ./350 g/m² con funzione ripartitrice di carico e anti intasamento.

Fondazione

Lo strato di fondazione è previsto con riporto, di uno o più strati, dello spessore variabile in relazione alla quota del terreno scoticato, con spessore minimo di cm 20.. Questo strato dovrà essere costituito da materiale appartenente secondo norma UNI 10006/2002 ai gruppi A1,A3,A2-4 oppure A4 e/o A6 corretti o granulometricamente o con miscelazione a calce/cemento.

I materiali sciolti (sabbiosi) potranno essere miscelati con cemento, i terreni limo argillosi con calce.

Il riporto dovrà essere steso in strati dello spessore reso prossimo a 20 cm ,adeguatamente compattato ad umidità prossima a quella ottimale,(previo controllo umidità ottimale in laboratorio con Prove di consolidazione Proctor). Se troppo umido sarà adeguatamente aerato se troppo secco adeguatamente umidificato. La deumidificazione potrà essere ottenuta attraverso l'apporto di calce viva

Nel caso di riporto di materiali limo-argillosi si dovrà eseguire una miscelazione con calce (circa 3./ 5 % in peso del materiale secco) con Pulvimixer .

Seguirà il controllo dell' addensamento con prova su piastra 30 cm di diametro – $M_d > 40./70$ MPa.

Tenuto conto di un coefficiente di Poisson ν di 0,4 per questo terreno si ammettono valori di modulo elastico prossimi a

$$E_1 = 100./150 \text{ MPa} \quad \nu = 0,40$$

Misto granulare stabilizzato granulometricamente (II strato di fondazione)

Per il secondo strato di fondazione si considera l'utilizzo di un misto granulare stabilizzato ben gradato (0÷50 mm), adeguatamente compattato con una umidità prossima a quella ottimale.

Per il controllo del grado di addensamento si dovrà raggiungere un modulo di deformazione con prova su piastra 30 cm prossimo a $M_d = 80 ./100$ MPa

Lo spessore reso dovrà essere non inferiore a 20 cm

Per questo strato si adottano valori di $E_2 = 200$ MPa $\nu = 0,3$

Strato di base bituminoso

Conglomerato bituminoso di base con spessore reso cm 10 .

Per questo materiale adeguatamente chiuso si può assumere un valore di modulo elastico

$$E_3 = 2000 ./2200 \text{ MPa}$$

Conglomerato bituminoso - Binder Usura

Questo strato si considera costituito da

Binder-Usura spessore mm 50

Ed il modulo elastico $E_4 = 3500$ MPa

VERIFICA - PAVIMENTAZIONE FLESSIBILE : Metodo Biroulia-Ivanov

Diametro impronta 0.40 m

Pressione gonfiaggio 0,60 MPa

Strato	Spessore (m)	Mod Elastico E (MPa)	Mod Elast Equiv Ee (MPa)
Binder-usura	0,05	3500	180
Base bitumin.	0,10	2200	131
Il str Fondaz	0,20	200	65
I° str fonda	0,20	100	35
Sottofondo		20	

33

Modulo elastico (in superficie) = 180 MPa

Freccia corrispondente a (Ee) = 1,331 mm

Freccia ammissibile: $f_{amm} = 1,7 - 0,26 \log N = 1,518 \div 1,440$ mm (per $N = 5$ e $N = 10$)

Modulo di Progetto = 158 MPa

Essendo Mod Progetto < Modulo elast equivalente Ee la condizione è verificata

Riassumendo la sovrastruttura stradale e piazzali parcheggio potranno avere la seguente conformazione

Binder - usura	mm	50
Base bituminosa	mm	100
Fondazione in misto stabilizzato(A1)	mm	200
I° strato fondazione sabbia (A3)	mm	200
Geotessuto		
Sottofondo adeguatamente scoticato e compattato		

7. INVARIANZA IDRAULICA

La Direttiva della Regione Emilia-Romagna concernente "Indirizzi per la gestione delle acque di prima pioggia e di lavaggio da aree esterne" in ottemperanza all'art.39 del D. Lgs 11 maggio 1999, n.152, ora sostituito dal D. lgs. 152/2006 parte terza, disciplina lo smaltimento delle acque meteoriche di dilavamento delle superfici impermeabili quali strade, piazzali, suscettibili di essere contaminate e delle acque meteoriche dalle coperture di fabbricati e superfici impermeabili non suscettibili di essere contaminate.

La stessa direttiva suggerisce per la scelta dei diversi sistemi di drenaggio (3.4) nelle aree di nuova urbanizzazione la realizzazione di impianti che permettano di raccogliere le acque meteoriche dei tetti, o da altre superfici impermeabili scoperte non suscettibili di essere inquinate con sostanze pericolose, e di convogliarle con brevi reti esclusivamente pluviali aventi recapito su suoli permeabili o in vicini corpi ricettori superficiali ovvero recuperate per usi non pregiati.

La stessa Direttiva specifica che con tale separazione a monte delle reti fognarie si possono ottenere notevoli vantaggi sia idraulici che ambientali e al fine di limitare il carico idraulico sul sistema fognario degli agglomerati, nel caso di nuove urbanizzazioni ed in presenza di un corpo idrico ricettore superficiale per il recapito delle acque meteoriche, si prevederà di norma la realizzazione di sistemi di tipo separato.

Sulla base di quanto previsto dall'art.29 lett.e) del D. Lgs 152/99 per gli scarichi delle reti bianche che recapitano sul suolo o negli strati superficiali del sottosuolo si applicano le prescrizioni e le modalità di scarico previste dalla deliberazione del Comitato dei Ministri per la tutela delle acque dall'inquinamento del 4 febbraio 1977 – Allegato 5, punti 1 e 2.

Riguardo le acque di dilavamento della strada, che saranno raccolte nelle cunette di bordo strada, non è permesso il loro scarico diretto nel suolo/sottosuolo ma dovranno essere raccolte ed adeguatamente trattate.

Il principio dell'Invarianza Idraulica sancisce che la portata al colmo di piena risultante dal drenaggio di un'area debba essere costante prima e dopo la trasformazione dell'uso del suolo in quell'area.

Lo studio di un bilancio idrologico deve essere eseguito per bacino e a questo si deve fare riferimento per un intervento di urbanizzazione parziale o per un intervento diretto di edificazione. Le componenti del bilancio in un bacino idrologico sono in effetti numerose e variabili, dalle diverse componenti del deflusso, alla variabilità della capacità di infiltrazione e, non ultimo per importanza, alle diverse modalità di manifestarsi degli eventi meteorici e degli afflussi.

Per un'area di nuova urbanizzazione è necessario verificare che l'intervento proposto non aggravi l'esistente livello di rischio idraulico nè possa pregiudicare la possibilità di una futura riduzione di tale livello. In pratica è necessario verificare che, modificando le caratteristiche e l'uso del suolo, sia verificata la compatibilità dei deflussi con i corpi recettori.

VALUTAZIONE DEFLUSSI SUPERFICIALI						
			Superficie	Coeff deflusso	Totale	%
edifici (case e box)	imper	7.456	0,9	6.710,4	56,15%	
strade e marciapiedi	imper	2.409	0,85	2.047,65	18,14%	
parcheeggi pubblici e privati	imper	1.576	0,85	1.339,6	11,87%	
Verde pubblico e privato	permeab	1.836	0,2	367,2	13,82%	
=====	=====	=====	=====	=====	=====	=====
		Precip mm/ora	superficie totale	coeff deflusso	Totale	
Superficie totale	55	13.277	0,72	9.559 mc		

In pratica è necessario verificare che, modificando le caratteristiche e l'uso del suolo, sia verificata la compatibilità dei deflussi con i corpi recettori.

Il Piano Particolareggiato interessa un'area già occupata da edifici, parcheggi, piazzali impermeabilizzati, con una porzione a verde nella zona sud al limite con il canale Gramicia.

8. VULNERABILITA' E PERICOLOSITA' GEOLOGICA

La pericolosità geologica è l'insieme dei fenomeni geologici e dei loro effetti tesi a generare incidenti su una particolare porzione di territorio.

Esistono situazioni di pericolosità geologica che agiscono sulle attività umane e situazioni di pericolo che agiscono sulle risorse naturali geologiche o a queste collegate, ad opera delle attività antropiche.

Queste pericolosità sono gestite dalla Pianificazione territoriale.

8.1. Pericolosità sismica

Con l'Ordinanza PCM 3274/2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica", si è dato il via alla riclassificazione sismica del territorio nazionale e alle conseguenti normative riguardanti gli usi e le attività sul territorio.

Il Comune di Ferrara è inserito in zona 3.

Il Piano Urbanistico Attuativo deve valutare l'effettivo Grado di pericolosità sismica locale attraverso l'analisi della Risposta sismica locale (RSL) con

- valutazione dei fattori di amplificazione sismica
- categoria del suolo e profondità del bedrock
- spessore della copertura
- velocità delle onde di taglio fino a 30 metri Vs30.

Dalle considerazioni effettuate è risultato $V_{s30} = 205$ m/s, per cui il sottosuolo ricade in Depositi riferibili alla categoria di suolo "C".

Per sisma di $M = 6,14$, per l'area è minimo il rischio del fenomeno di liquefazione.

8.2. Pericolosità ambientale

L'area era adibita a deposito di carburante con serbatoi interrati, ubicati come nella allegata planimetria, in corrispondenza delle pompe di carburante ora demolite.

Il sottosuolo è stato bonificato, con Piano di Caratterizzazione, Analisi di rischio e Piano di Monitoraggio eseguito dalla Ditta ENECOR s.r.l. – dr. geol. Silvia Paparella.

8.3. Pericolosità idraulica

8.3.1. Invarianza idraulica

Il principio dell'Invarianza Idraulica sancisce che la portata al colmo di piena risultante dal drenaggio di un'area debba essere costante prima e dopo la trasformazione dell'uso del suolo in quell'area.

Il Piano Particolareggiato interessa un'area già occupata da edifici, parcheggi, piazzali impermeabilizzati, con una porzione a verde nella zona sud al limite con il canale Gramicia.

La valutazione effettuata indica la possibilità di precipitazioni con un volume di acqua meteorica da smaltire di circa novemila metricubi.

Il progetto potrà prevedere la scelta per le zone a parcheggi privati di una pavimentazione semipermeabile che permetta l'infiltrazione di una parte delle acque meteoriche. Data la presenza in superficie di terreni poco permeabili e una prima falda a profondità media di m 1,50, si consiglia un progetto specifico per l'infiltrazione e il drenaggio delle acque al di sotto della pavimentazione e il deflusso verso lo scolo Gramicia, al fine di non provocare disagi o danni creati da un drenaggio difficoltoso.

8.3.2.Vulnerabilità idrogeologica

La Direttiva della Regione Emilia-Romagna concernente "Indirizzi per la gestione delle acque di prima pioggia e di lavaggio da aree esterne" in ottemperanza all'art.39 del D. Lgs 11 maggio 1999, n.152, disciplina lo smaltimento delle acque meteoriche di dilavamento delle superfici impermeabili quali strade, piazzali, suscettibili di essere contaminate e delle acque meteoriche dalle coperture di fabbricati e superfici impermeabili non suscettibili di essere contaminate.

La stessa direttiva suggerisce per la scelta dei diversi sistemi di drenaggio (3.4) nelle aree di nuova urbanizzazione la realizzazione di impianti che permettano di raccogliere le acque meteoriche dei tetti, o da altre superfici impermeabili scoperte non suscettibili di essere inquinate con sostanze pericolose, e di convogliarle con brevi reti esclusivamente pluviali aventi recapito su suoli permeabili o in vicini corpi ricettori superficiali ovvero recuperate per usi non pregiati.

La stessa Direttiva specifica che con tale separazione a monte delle reti fognarie si possono ottenere notevoli vantaggi sia idraulici che ambientali e al fine di limitare il carico idraulico sul sistema fognario degli agglomerati, nel caso di nuove urbanizzazioni ed in presenza di un corpo idrico ricettore superficiale per il recapito delle acque meteoriche, si prevederà di norma la realizzazione di sistemi di tipo separato.

E' auspicabile pertanto che, come detto al paragrafo precedente, sia permesso alle acque meteoriche di dilavamento di tetti e piazzali di infiltrarsi nel terreno tramite un progetto che ne permetta la naturale depurazione, non essendoci le condizioni per progettare una raccolta e un riuso di tali acque per usi non pregiati.

8.4.Pericolosità geotecnica

Le considerazioni geotecniche a livello di Piano Particolareggiato sono di carattere generale e devono dare unicamente le indicazioni per la compatibilità dell'area alla urbanizzazione o trasformazione urbanistica, mettendo in rilievo eventuali aspetti da approfondire nella progettazione, e per la fattibilità e progettazione delle opere di urbanizzazione.

In fase di progettazione delle costruzioni si dovranno eseguire valutazioni geotecniche specifiche in funzione delle tipologie di opere da costruire.

Particolare attenzione dovrà essere posta nell'area già occupata dai serbatoi del carburante, ora bonificata con sostituzione del terreno e riempimento. In tale area dovranno essere posizionati i parcheggi.

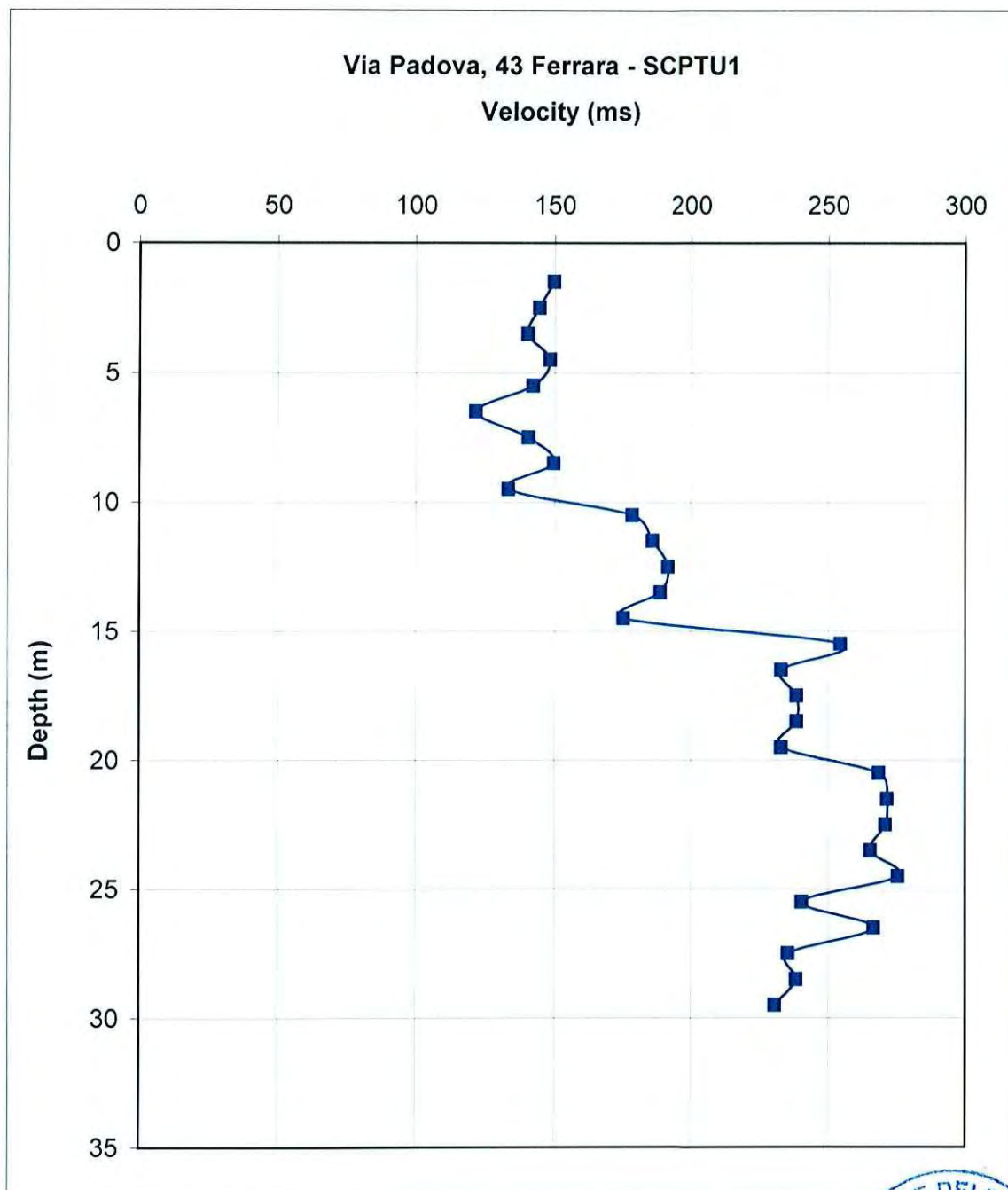
Se sono previsti vani interrati per autorimesse negli edifici prossimi al canale Gramicia, la progettazione dovrà tenere conto della presenza della falda e dei suoi rapporti con il canale.

37

Ferrara, 25 ottobre 2013

Dr.geol. Marilena Martinucci



COMMITTENTE: Studio Geologico Tecnico Edilgeo di Martinucci Marilena**LOCALITA':** Via Padova, 43 Ferrara ditta Olicar**GRAFICO ONDE S**

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

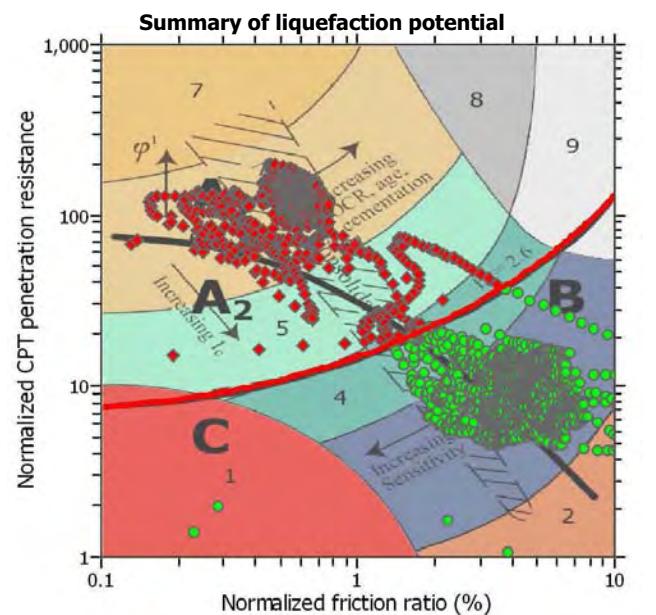
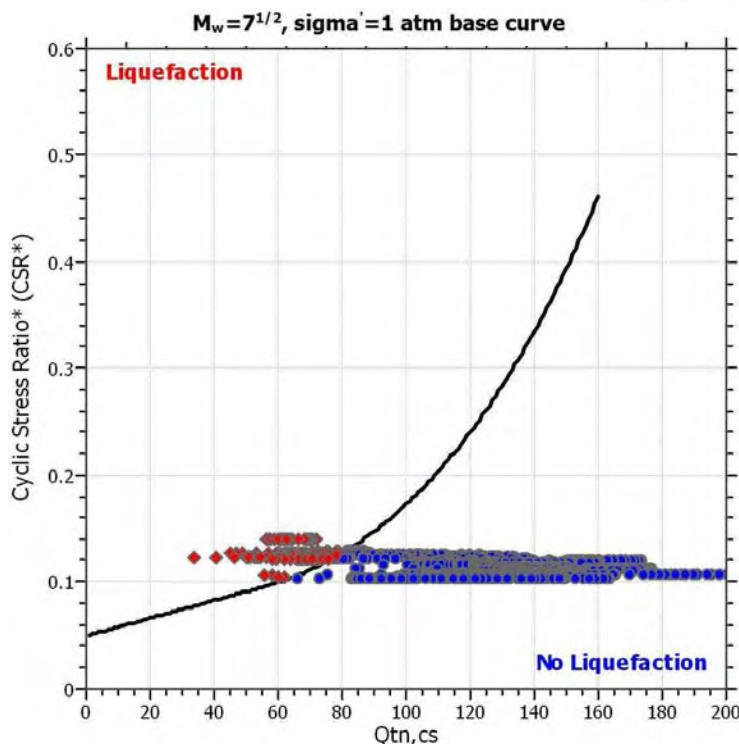
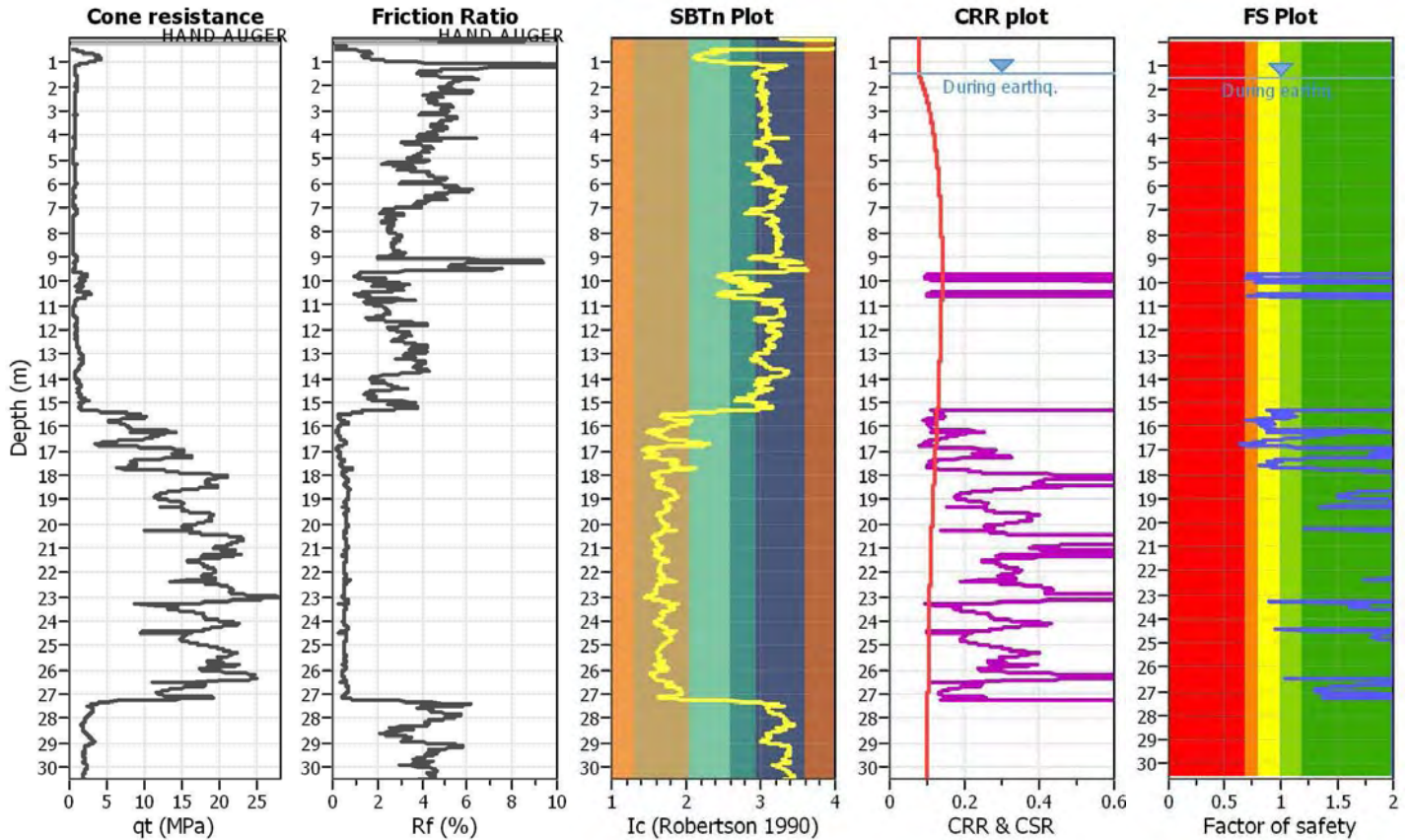
Project title : **PIANO PARTICOLAREGGIATO**

Location : **FERRARA VIA PADOVA 43**

CPT file : **CPTU**

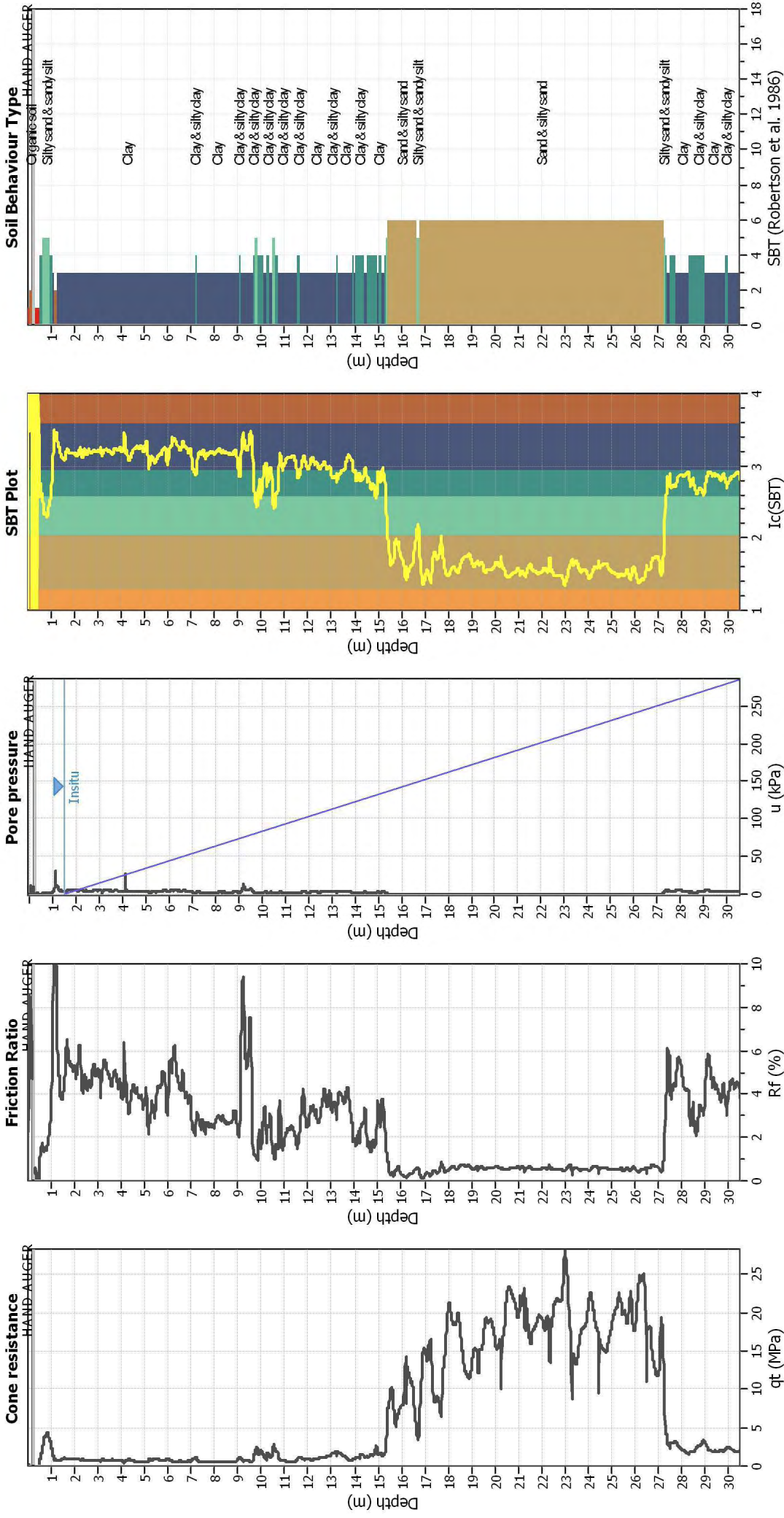
Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	G.W.T. (in-situ):	1.50 m	Use fill:	No	Clay like behavior	
Fines correction method:	NCEER (1998)	G.W.T. (earthq.):	1.50 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 :	6.14	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	No	Limit depth:	N/A
Peak ground acceleration:	0.20	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_g applied:	Yes		



Zone A₁: Cyclic liquefaction likely depending on size and duration of cyclic loading
Zone A₂: Cyclic liquefaction and strength loss likely depending on loading and ground geometry
Zone B: Liquefaction and post-earthquake strength loss unlikely, check cyclic softening
Zone C: Cyclic liquefaction and strength loss possible depending on soil plasticity, brittleness/sensitivity, strain to peak undrained strength and ground geometry

CPT basic interpretation plots



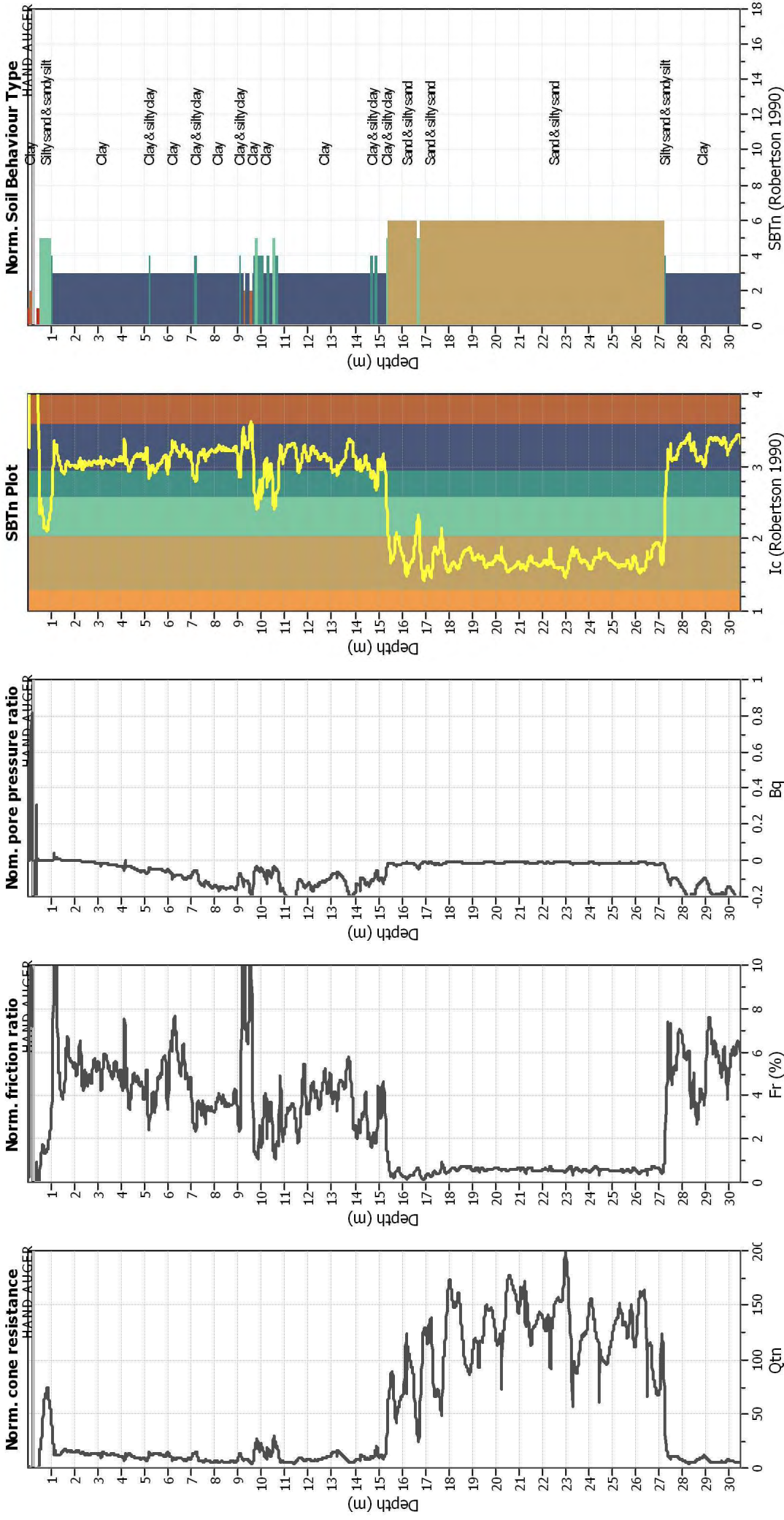
Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Depth to water table (erth.q.):	1.50 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_p applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.20	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.50 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)



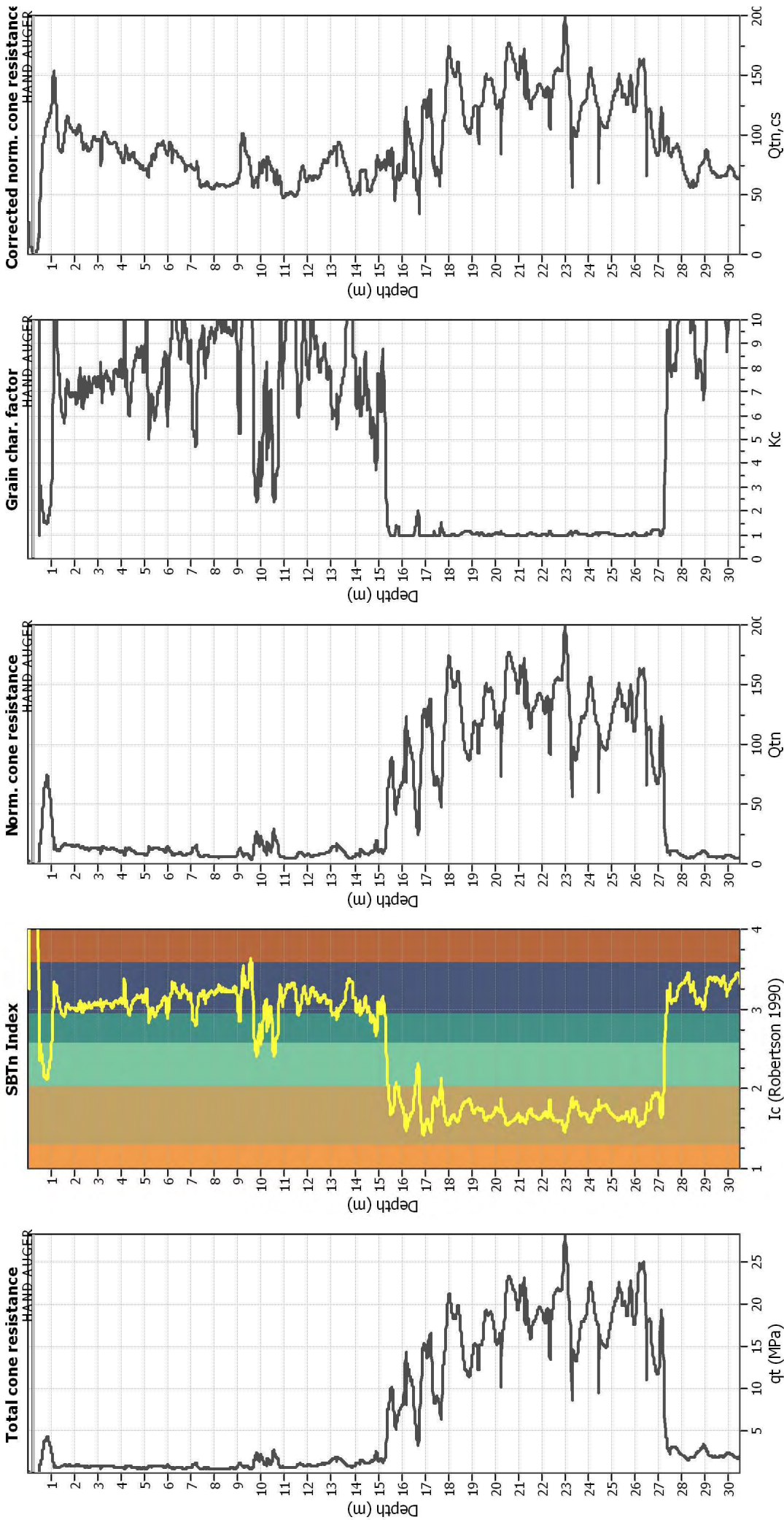
Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	NCEER (1998)	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	K ₀ applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.20	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.50 m	Limit depth:	N/A
Depth to water table (earthq.):	1.50 m		
Average results interval:	3		
Ic cut-off value:	2.60		
Unit weight calculation:	Based on SBT		
Use fill:	No		
Fill height:	N/A		

SBTn 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

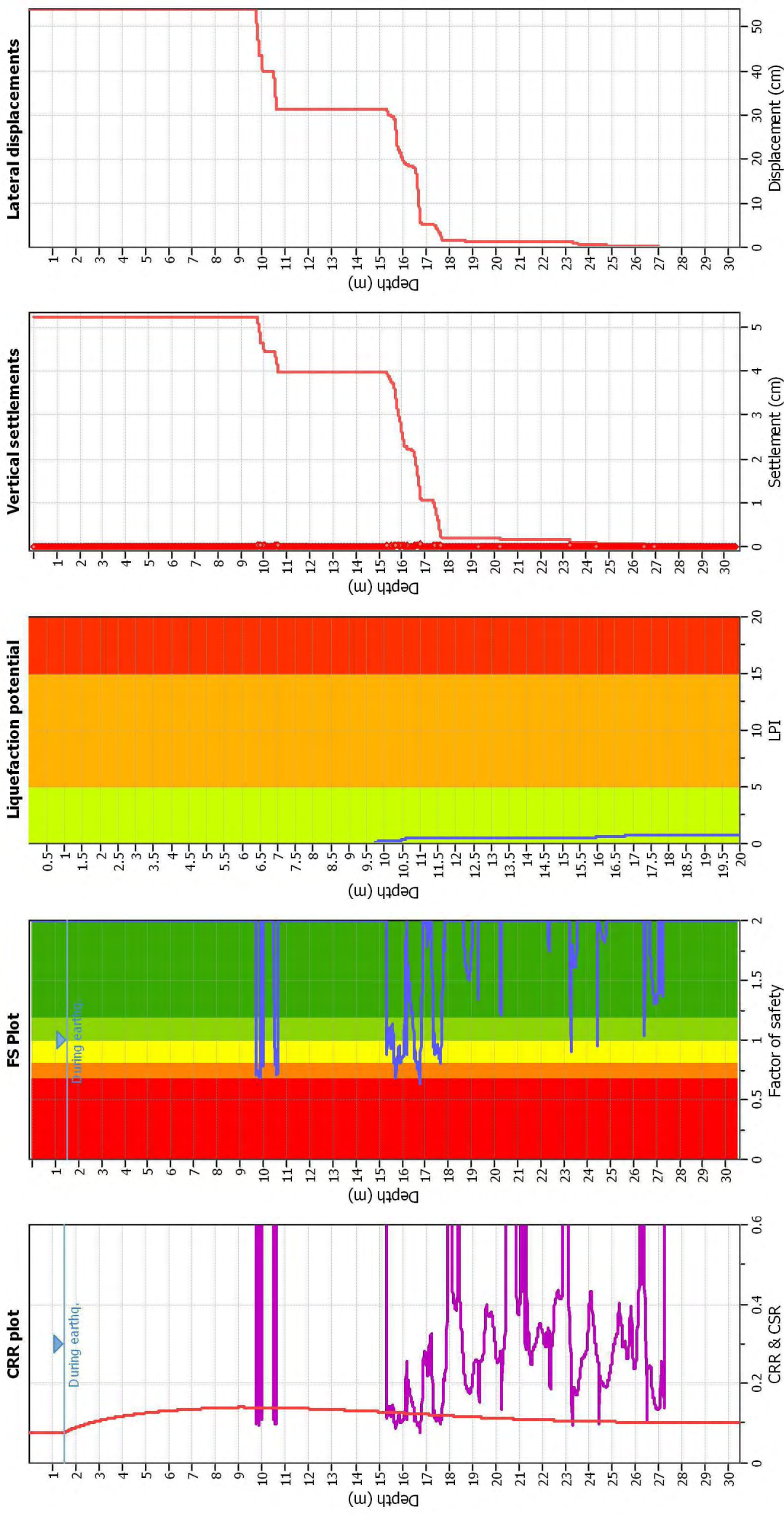
Liquefaction analysis overall plots (intermediate results)



Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Depth to water table (erthq.):	1.50 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_G applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.20	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.50 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

Liquefaction analysis overall plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Depth to water table (earthq.):	1.50 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_{σ} applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.20	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.50 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

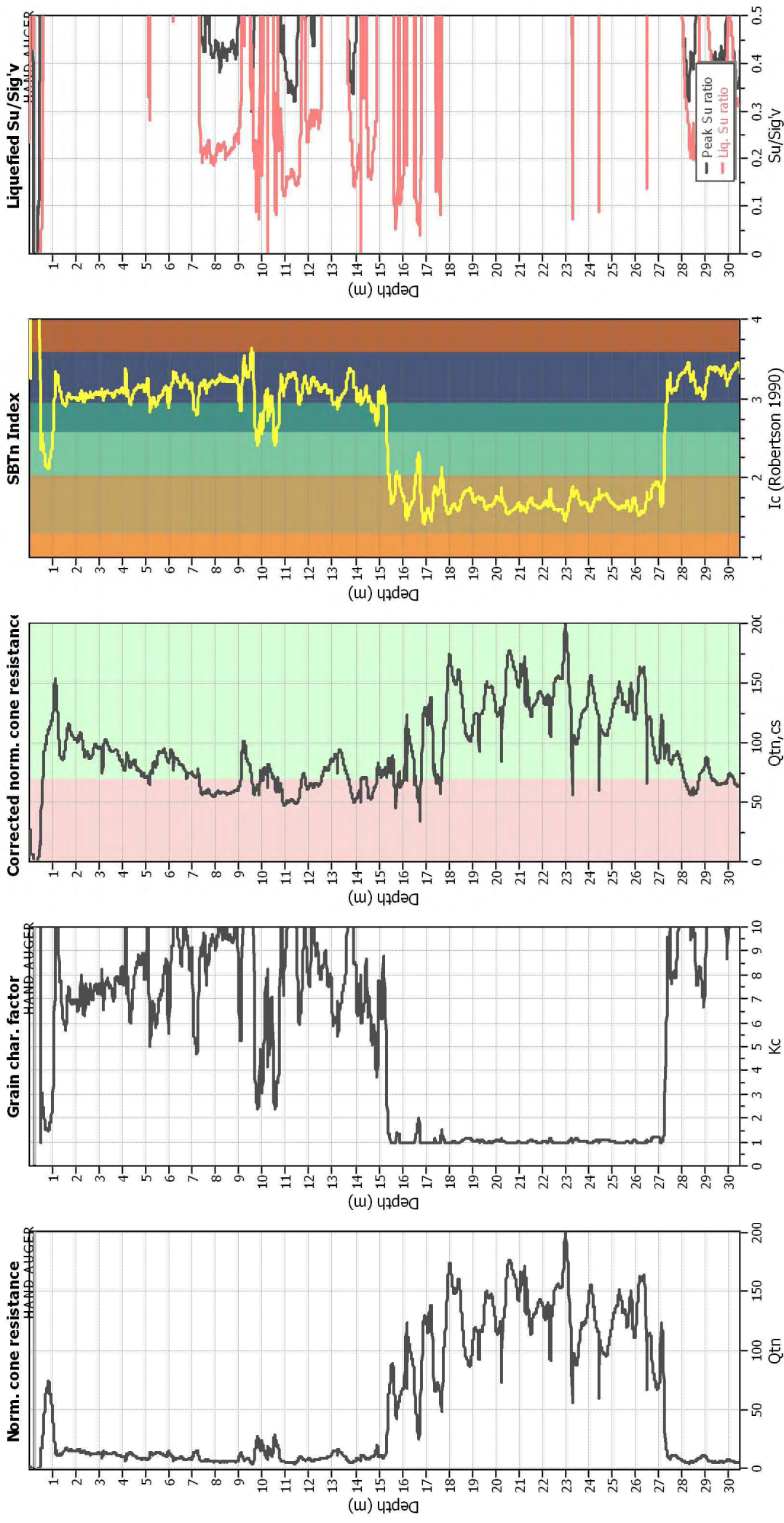
F.S. color scheme

Almost certain it will liquefy	Very likely to liquefy	Liquefaction and no liquefaction are equally likely	Unlike to liquefy	Almost certain it will not liquefy
Very high risk	High risk	Low risk		

LPI color scheme

Very high risk	High risk	Low risk

Check for strength loss plots (Robertson (2010))



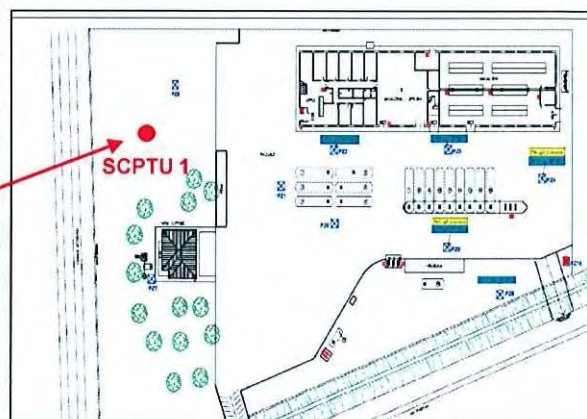
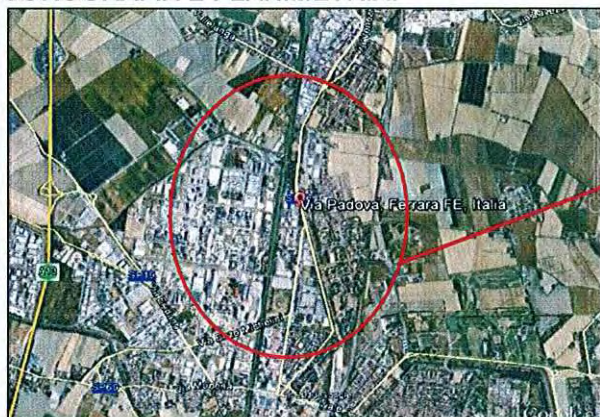
Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Depth to water table (erth.q.):	1.50 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 _σ applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.20	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.50 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

CERTIFICATO DI PROVA

Certificato n°	335/13	data	24/10/2013	N° VERBALE ACCETTAZIONE	43/13	data	14/10/2013
COMMITTENTE:		Studio Geologico Ambientale Edilgeo					
LOCALITA':		Via Padova 43, Ferrara					
CANTIERE:		Olicar					
SCPTU N°		1					
Specifiche di prova:		ASTM D 3441-98; AGI 1977					
Attrezzatura:		Penetrometro PAGANI TG 63-200					
Procedure:		PRO E05					
Attrezzi:		Punta elettrica e piezocono					
DATA ESECUZIONE PROVA		14/10/2013					
QUOTA INIZIO PROVA		p.c.					
PROFONDITA' DELLA PROVA		30,00 m					
PROFONDITA' DELLA FALDA		1,80 m					

COROGRAFIA E PLANIMETRIA:



IL PRESENTE CERTIFICATO SI COMPONE DI:

3 PAGINE

Sperimentatore

Direttore



SONGEO S.R.L.					CERTIFICATO N° 335/13 DATA 24/10/13
Cone Penetration Test (CPTU) - Date: 14/10/2013					VERBALE ACCETTAZIONE N° 43/13 DATA 14/10/13
Site: Olicar - Test: Scptu 1	Profondità falda: -1,80 m da p.c.				_____ Qc _____ Qt _____ U0 _____ U2 _____ U2 - U0

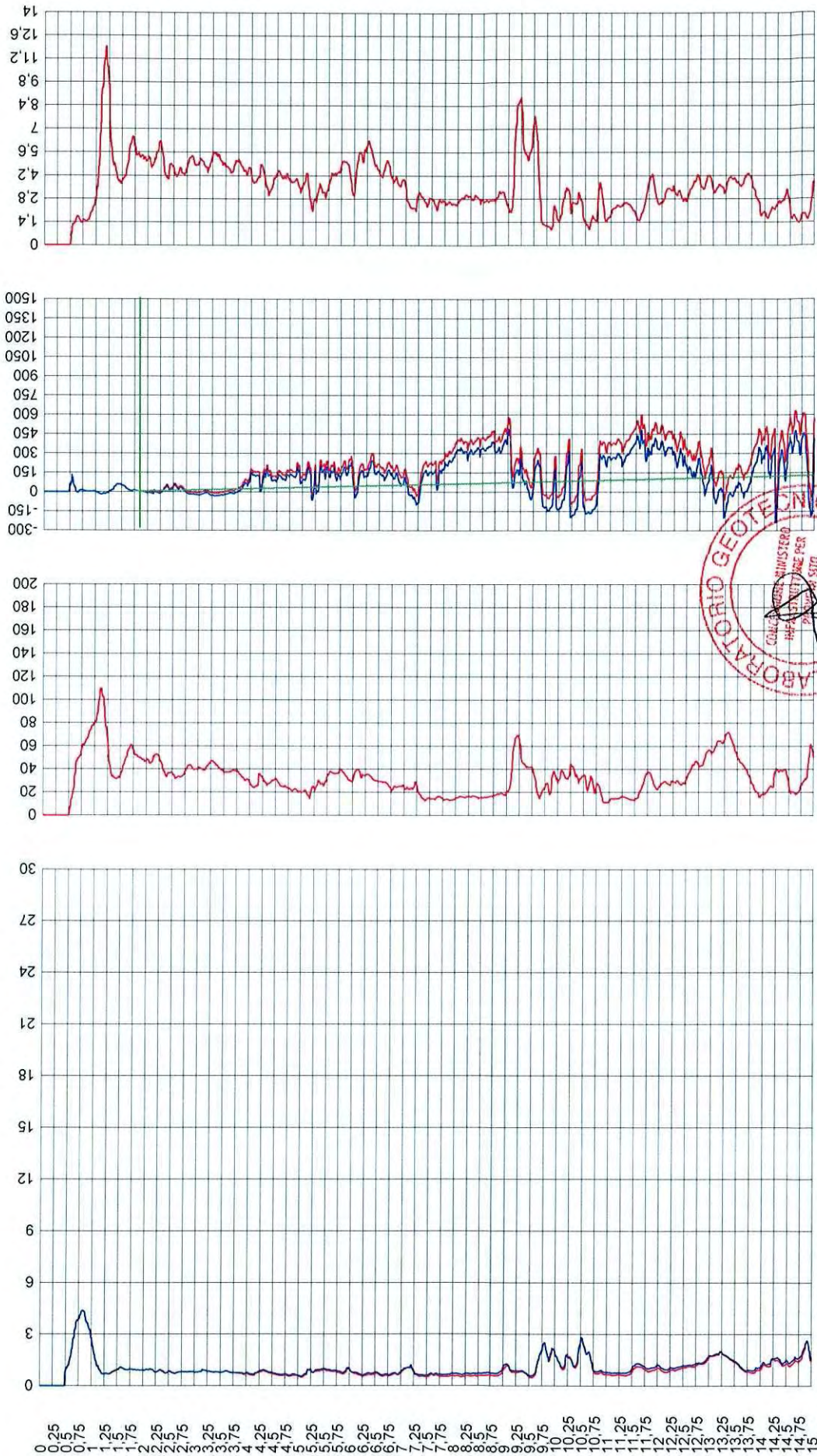
VERBALE ACCETTAZIONE N° 43/13 DATA 14/10/13

Profondità falda: -1,80 m da p.c.

Fs [kPa]

U2 [KPa]

Rf [%]



Direttore

Page: 2/3

SONGEO S.R.L.

Cone Penetration Test (CPTU) - Date: 14/10/2013

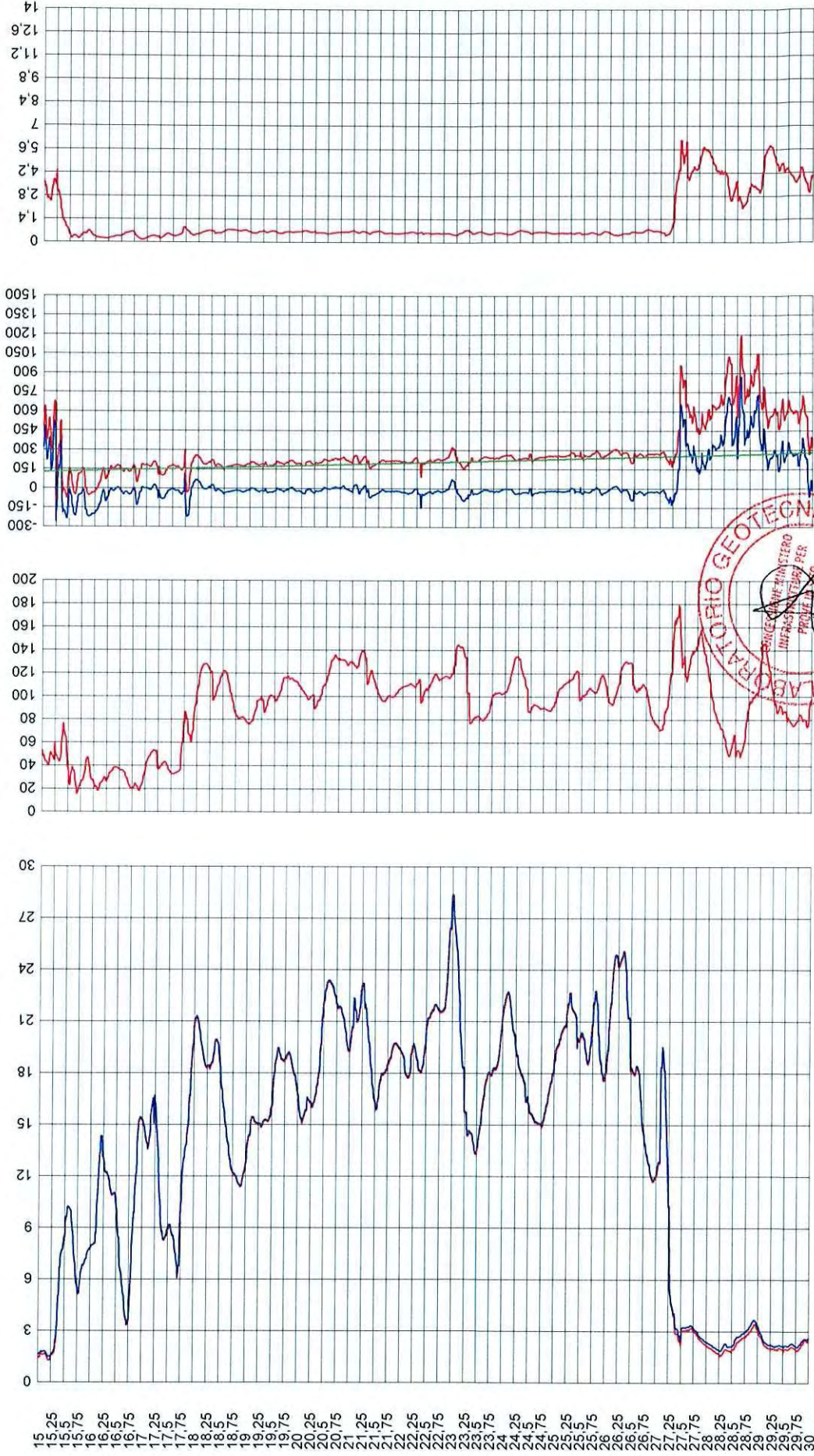
Site: Olicar - Test: Scptu 1

Qc [MPa]

Fs [KPa]

U2 [KPa]

Rf [%]



CPTU-ACQ for TGAS (Pagani G.E. acquisition system)

Sperimentatore

Direttore

via A. Ascari 6 - 44019 Gualdo di Voghiera (FE)
tel. 0532 773136-815683 Fax 0532 776455

E mail info@songeo.it - www.songeo.it

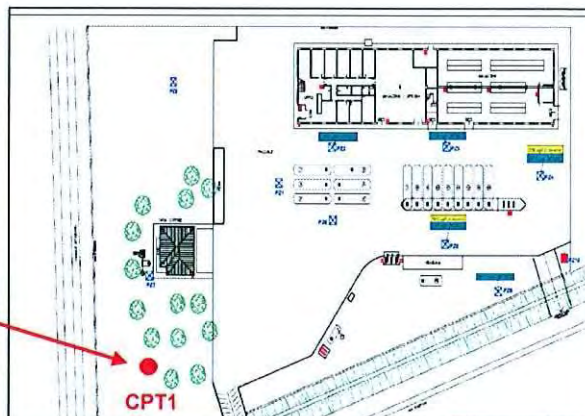
Decreto di concessione n° 56718 del 17.09.2007, per il rilascio dei certificati relativi
alle prove geotecniche in sito (settore c), ai sensi del D.P.R. 06.06.2001 n° 380 e della
Circolare n° 349/STC del 16.12.1999

CERTIFICATO DI PROVA

Certificato n°	332/13	data	24/10/2013	N° VERBALE ACCETTAZIONE	43/13	data	14/10/2013
-------------------	--------	------	------------	----------------------------	-------	------	------------

COMMITTENTE:	Studio Geologico Ambientale Edilgeo
LOCALITA':	Via Padova 43, Ferrara
CANTIERE:	Olicar
CPT N°	1
Specifiche di prova:	ASTM D 3441-98; AGI 1977
Attrezzatura:	Penetrometro PAGANI TG 63-200
Procedure:	PRO E05
Attrezzi:	Punta meccanica BEGEMANN
DATA ESECUZIONE PROVA	14/10/2013
QUOTA INIZIO PROVA	p.c.
PROFONDITA' DELLA PROVA	20,00 m
PROFONDITA' DELLA FALDA	1,90 m

COROGRAFIA E PLANIMETRIA:



IL PRESENTE CERTIFICATO SI COMPONE DI:

3 PAGINE

Sperimentatore

Direttore



PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI

CPT**1**

riferimento

029-2013

certificato n°

332/13

n° verb. accett.

43/13

Committente: **Studio Geologico Ambientale Edilgeo**Cantiere: **Olicar**Località: **Via Padova 43, Ferrara**U.M.: **kg/cm²**Data esec.: **14/10/2013**Data certificato: **24/10/2013**

Pagina:

Elaborato:

Falda: **-1,90 m da p.c.**

H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc kg/cm²	fs kg/cm²	F -	Rf %	H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc kg/cm²	fs kg/cm²	F -	Rf %
0,20	0	0		0,0	0,80	0		15,20	16	25		16,0	0,93	17	5,8
0,40	22	34		22,0	2,13	10	9,7	15,40	53	67		53,0	1,13	47	2,1
0,60	39	71		39,0	0,87	45	2,2	15,60	47	64		47,0	0,80	59	1,7
0,80	40	53		40,0	1,13	35	2,8	15,80	40	52		40,0	1,67	24	4,2
1,00	43	60		43,0	1,33	32	3,1	16,00	131	156		131,0	2,27	58	1,7
1,20	46	66		46,0	2,33	20	5,1	16,20	118	152		118,0	2,20	54	1,9
1,40	28	63		28,0	1,60	18	5,7	16,40	131	164		131,0	2,20	60	1,7
1,60	15	39		15,0	1,07	14	7,1	16,60	150	183		150,0	2,87	52	1,9
1,80	12	28		12,0	0,67	18	5,6	16,80	195	238		195,0	3,67	53	1,9
2,00	11	21		11,0	0,67	16	6,1	17,00	192	247		192,0	2,20	87	1,1
2,20	9	19		9,0	0,53	17	5,9	17,20	221	254		221,0	3,47	64	1,6
2,40	8	16		8,0	0,60	13	7,5	17,40	208	260		208,0	2,93	71	1,4
2,60	10	19		10,0	0,60	17	6,0	17,60	131	175		131,0	4,27	31	3,3
2,80	12	21		12,0	0,67	18	5,6	17,80	115	179		115,0	2,33	49	2,0
3,00	10	20		10,0	0,60	17	6,0	18,00	70	105		70,0	1,60	44	2,3
3,20	8	17		8,0	0,53	15	6,6	18,20	31	55		31,0	2,00	16	6,5
3,40	9	17		9,0	0,60	15	6,7	18,40	114	144		114,0	2,87	40	2,5
3,60	11	20		11,0	0,67	16	6,1	18,60	110	153		110,0	3,53	31	3,2
3,80	12	22		12,0	0,60	20	5,0	18,80	153	206		153,0	3,13	49	2,0
4,00	11	20		11,0	0,73	15	6,6	19,00	128	175		128,0	4,73	27	3,7
4,20	10	21		10,0	0,60	17	6,0	19,20	85	156		85,0	2,80	30	3,3
4,40	9	18		9,0	0,60	15	6,7	19,40	238	280		238,0	1,67	143	0,7
4,60	10	19		10,0	0,60	17	6,0	19,60	258	283		258,0	2,47	104	1,0
4,80	9	18		9,0	0,47	19	5,2	19,80	241	278		241,0	2,13	113	0,9
5,00	11	18		11,0	0,60	18	5,5	20,00	250	282		250,0			
5,20	9	18		9,0	0,53	17	5,9								
5,40	8	16		8,0	0,53	15	6,6								
5,60	10	18		10,0	0,60	17	6,0								
5,80	12	21		12,0	0,60	20	5,0								
6,00	12	21		12,0	0,67	18	5,6								
6,20	14	24		14,0	0,53	26	3,8								
6,40	12	20		12,0	0,60	20	5,0								
6,60	9	18		9,0	0,47	19	5,2								
6,80	9	16		9,0	0,47	19	5,2								
7,00	8	15		8,0	0,40	20	5,0								
7,20	8	14		8,0	0,40	20	5,0								
7,40	8	14		8,0	0,53	15	6,6								
7,60	7	15		7,0	0,40	18	5,7								
7,80	6	12		6,0	0,40	15	6,7								
8,00	7	13		7,0	0,40	18	5,7								
8,20	7	13		7,0	0,47	15	6,7								
8,40	7	14		7,0	0,40	18	5,7								
8,60	8	14		8,0	0,47	17	5,9								
8,80	9	16		9,0	0,40	23	4,4								
9,00	15	21		15,0	0,93	16	6,2								
9,20	12	26		12,0	0,53	23	4,4								
9,40	12	20		12,0	0,53	23	4,4								
9,60	10	18		10,0	0,67	15	6,7								
9,80	19	29		19,0	0,73	26	3,8								
10,00	15	26		15,0	0,40	38	2,7								
10,20	13	19		13,0	0,47	28	3,6								
10,40	9	16		9,0	0,33	27	3,7								
10,60	8	13		8,0	0,40	20	5,0								
10,80	8	14		8,0	0,33	24	4,1								
11,00	8	13		8,0	0,67	12	8,4								
11,20	10	20		10,0	0,80	13	8,0								
11,40	18	30		18,0	0,73	25	4,1								
11,60	15	26		15,0	0,60	25	4,0								
11,80	12	21		12,0	0,60	20	5,0								
12,00	11	20		11,0	0,80	14	7,3								
12,20	13	25		13,0	0,87	15	6,7								
12,40	18	31		18,0	1,07	17	5,9								
12,60	23	39		23,0	1,33	17	5,8								
12,80	23	43		23,0	1,33	17	5,8								
13,00	18	38		18,0	1,00	18	5,6								
13,20	17	32		17,0	0,93	18	5,5								
13,40	15	29		15,0	0,60	25	4,0								
13,60	16	25		16,0	0,80	20	5,0								
13,80	27	39		27,0	1,00	27	3,7								
14,00	15	30		15,0	0,73	21	4,9								
14,20	32	43		32,0	0,80	40	2,5								
14,40	20	32		20,0	0,53	38	2,7								
14,60	16	24		16,0	1,00	16	6,3								
14,80	13	28		13,0	0,73	18	5,6								
15,00	12	23		12,0	0,60	20	5,0								

H = profondità

L1 = prima lettura (punta)

L2 = seconda lettura (punta + laterale)

Lt = terza lettura (totale)

CT = 10,00 costante di trasformazione

qc = resistenza di punta

fs = resistenza laterale calcolata

0.20 m sopra quota qc

F = rapporto Begemann (qc / fs)

Rf = rapporto Schmertmann (fs / qc) * 100

FON000

Software by dott. Geol. Diego Merlin 0425/840820

pag. 2 di 3

Sperimentatore

Direttore



PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
DIAGRAMMI DI RESISTENZA**CPT****1**

riferimento

029-2013

certificato n°

332/13

n° verb. accett.

43/13

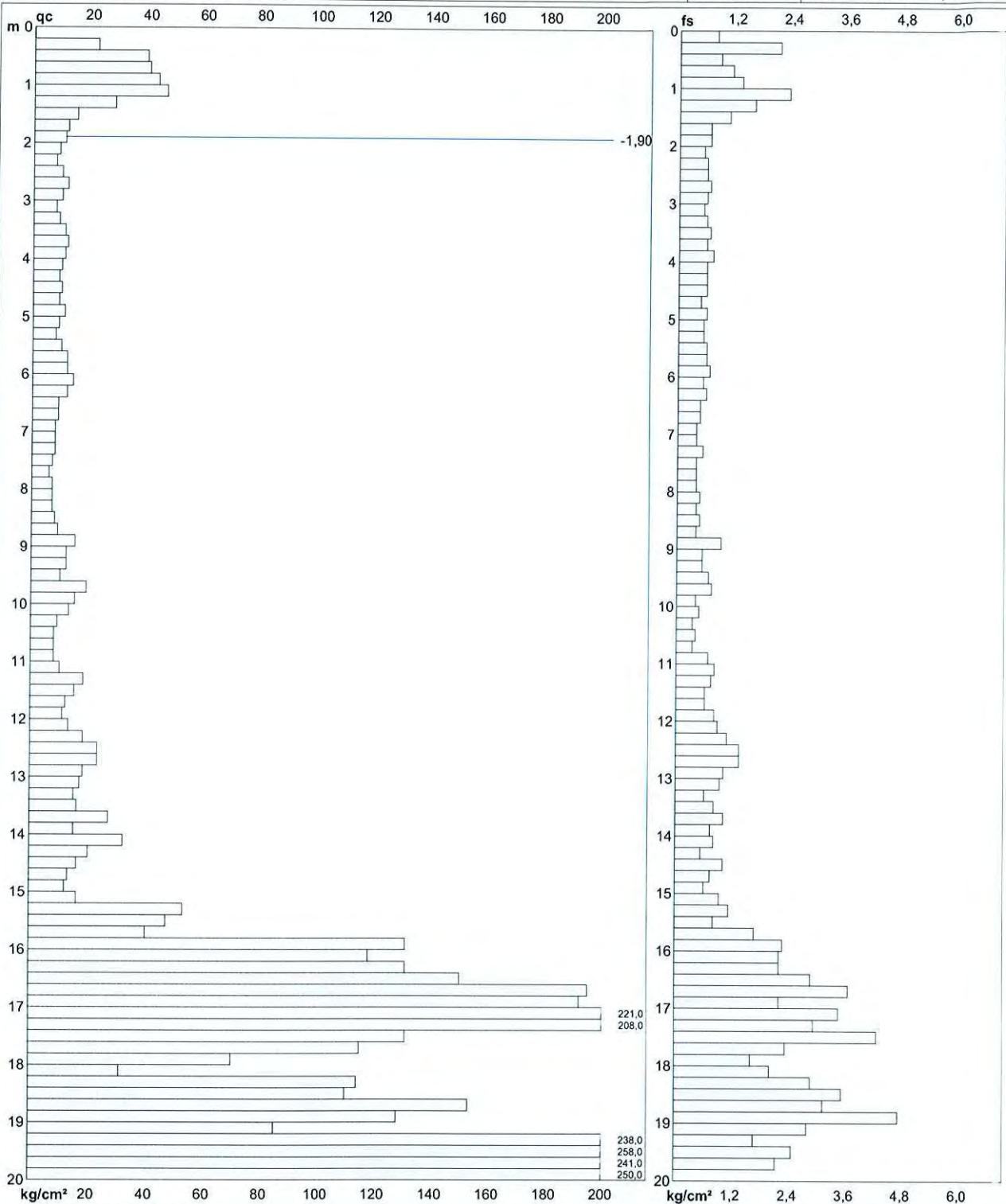
Committente: **Studio Geologico Ambientale Edilgeo**Cantiere: **Olicar**Località: **Via Padova 43, Ferrara**U.M.: **kg/cm²**Scala: **1:100**

Pagina:

Elaborato:

Data eseg.: **14/10/2013**Data certificato: **24/10/2013**

Quota inizio: p.c.

Falda: **-1,90 m** da p.c.Penetrometro: **TG63-200S**Responsabile: **R. Sacchetti**Assistente: **M. Rolfini**Preforo: **m**Corr.astine: **kg/ml**Cod. ISTAT: **038008**

Cod. punta:

FON000

Software by dott. Geol. Diego Merlin 0425-840820

pag. **3 di 3**

Sperimentatore

Direttore



via A. Ascari 6 - 44019 Gualdo di Voghiera (FE)

tel. 0532 773136-815683 Fax 0532 776455

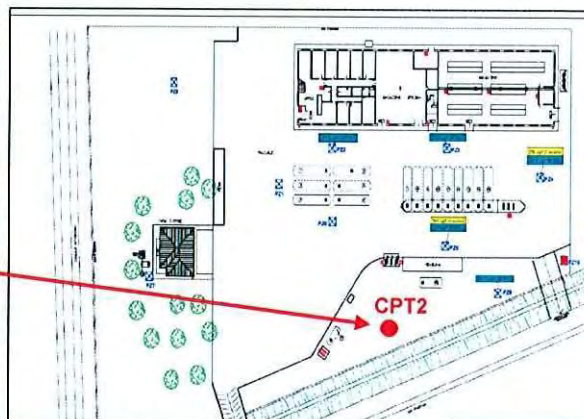
E mail info@songeo.it - www.songeo.it

Decreto di concessione n° 56718 del 17.09.2007, per il rilascio dei certificati relativi alle prove geotecniche in sito (settore c), ai sensi del D.P.R. 06.06.2001 n° 380 e della Circolare n° 349/STC del 16.12.1999

CERTIFICATO DI PROVA

Certificato n°	333/13	data	24/10/2013	N° VERBALE ACCETTAZIONE	43/13	data	14/10/2013
COMMITTENTE:	Studio Geologico Ambientale Edilgeo						
LOCALITA':	Via Padova 43, Ferrara						
CANTIERE:	Olicar						
CPT N°	2						
Specifiche di prova:	ASTM D 3441-98; AGI 1977						
Attrezzatura:	Penetrometro PAGANI TG 63-200						
Procedure:	PRO E05						
Attrezzi:	Punta meccanica BEGEMANN						
DATA ESECUZIONE PROVA	17/10/2013						
QUOTA INIZIO PROVA	p.c.						
PROFONDITA' DELLA PROVA	20,00 m						
PROFONDITA' DELLA FALDA	1,30 m						

COROGRAFIA E PLANIMETRIA:



IL PRESENTE CERTIFICATO SI COMPONE DI:

3 PAGINE

Sperimentatore

Direttore



**PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI**

CPT	2
riferimento	029-2013
certificato n°	333/13
n° verb. accett.	43/13

Committente: **Studio Geologico Ambientale Edilgeo**
 Cantiere: **Olicar**
 Località: **Via Padova 43, Ferrara**

U.M.: **kg/cm²** Data eseg.: **17/10/2013**
 Data certificato: **24/10/2013**
 Pagina:
 Elaborato: **Falda: -1,30 m da p.c.**

H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc kg/cm²	fs kg/cm²	F -	Rf %	H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc kg/cm²	fs kg/cm²	F -	Rf %
0,20	0	0		0,0	1,07	0		15,20	74	88		74,0	1,80	41	2,4
0,40	30	46		30,0	1,13	27	3,8	15,40	96	123		96,0	1,07	90	1,1
0,60	30	47		30,0	1,47	20	4,9	15,60	98	114		98,0	1,53	64	1,6
0,80	18	40		18,0	1,13	16	6,3	15,80	82	105		82,0	0,93	88	1,1
1,00	16	33		16,0	0,87	18	5,4	16,00	101	115		101,0	1,53	66	1,5
1,20	8	21		8,0	0,60	13	7,5	16,20	94	117		94,0	1,73	54	1,8
1,40	9	18		9,0	0,60	15	6,7	16,40	110	136		110,0	1,60	69	1,5
1,60	8	17		8,0	0,67	12	8,4	16,60	105	129		105,0	2,20	48	2,1
1,80	8	18		8,0	0,60	13	7,5	16,80	84	117		84,0	2,07	41	2,5
2,00	9	18		9,0	0,53	17	5,9	17,00	115	146		115,0	2,20	52	1,9
2,20	7	15		7,0	0,47	15	6,7	17,20	143	176		143,0	3,20	45	2,2
2,40	6	13		6,0	0,20	30	3,3	17,40	115	163		115,0	1,40	82	1,2
2,60	6	9		6,0	0,33	18	5,5	17,60	140	161		140,0	1,00	140	0,7
2,80	5	10		5,0	0,20	25	4,0	17,80	160	175		160,0	2,40	67	1,5
3,00	6	9		6,0	0,27	22	4,5	18,00	118	154		118,0	1,73	68	1,5
3,20	7	11		7,0	0,47	15	6,7	18,20	79	105		79,0	1,80	44	2,3
3,40	10	17		10,0	0,47	21	4,7	18,40	88	115		88,0	1,27	69	1,4
3,60	13	20		13,0	0,53	25	4,1	18,60	91	110		91,0	1,40	65	1,5
3,80	11	19		11,0	0,67	16	6,1	18,80	73	94		73,0	2,40	30	3,3
4,00	12	22		12,0	0,60	20	5,0	19,00	123	159		123,0	2,53	49	2,1
4,20	10	19		10,0	0,53	19	5,3	19,20	166	204		166,0	3,73	45	2,2
4,40	10	18		10,0	0,53	19	5,3	19,40	198	254		198,0	2,87	69	1,4
4,60	12	20		12,0	0,60	20	5,0	19,60	222	265		222,0	2,40	93	1,1
4,80	14	23		14,0	0,67	21	4,8	19,80	203	239		203,0	1,87	109	0,9
5,00	10	20		10,0	0,60	17	6,0	20,00	192	220		192,0			
5,20	8	17		8,0	0,40	20	5,0								
5,40	10	16		10,0	0,40	25	4,0								
5,60	9	15		9,0	0,53	17	5,9								
5,80	13	21		13,0	0,87	15	6,7								
6,00	15	28		15,0	0,87	17	5,8								
6,20	16	29		16,0	0,93	17	5,8								
6,40	13	27		13,0	0,67	19	5,2								
6,60	16	26		16,0	1,00	16	6,3								
6,80	12	27		12,0	0,67	18	5,6								
7,00	10	20		10,0	0,60	17	6,0								
7,20	8	17		8,0	0,60	13	7,5								
7,40	7	16		7,0	0,60	12	8,6								
7,60	7	16		7,0	0,53	13	7,6								
7,80	7	15		7,0	0,47	15	6,7								
8,00	6	13		6,0	0,40	15	6,7								
8,20	7	13		7,0	0,47	15	6,7								
8,40	7	14		7,0	0,47	15	6,7								
8,60	7	14		7,0	0,60	12	8,6								
8,80	9	18		9,0	0,47	19	5,2								
9,00	8	15		8,0	0,53	15	6,6								
9,20	11	19		11,0	0,47	23	4,3								
9,40	56	63		56,0	1,13	50	2,0								
9,60	45	62		45,0	0,60	75	1,3								
9,80	34	43		34,0	0,80	43	2,4								
10,00	9	21		9,0	0,53	17	5,9								
10,20	8	16		8,0	0,40	20	5,0								
10,40	6	12		6,0	0,33	18	5,5								
10,60	7	12		7,0	0,27	26	3,9								
10,80	9	13		9,0	0,53	17	5,9								
11,00	6	14		6,0	0,40	15	6,7								
11,20	6	12		6,0	0,53	11	8,8								
11,40	10	18		10,0	0,60	17	6,0								
11,60	10	19		10,0	0,73	14	7,3								
11,80	9	20		9,0	0,67	13	7,4								
12,00	9	19		9,0	0,67	13	7,4								
12,20	10	20		10,0	0,80	13	8,0								
12,40	14	26		14,0	0,87	16	6,2								
12,60	17	30		17,0	1,20	14	7,1								
12,80	20	38		20,0	1,40	14	7,0								
13,00	22	43		22,0	1,27	17	5,8								
13,20	22	41		22,0	1,27	17	5,8								
13,40	20	39		20,0	0,93	22	4,7								
13,60	16	30		16,0	1,13	14	7,1								
13,80	17	34		17,0	0,93	18	5,5								
14,00	15	29		15,0	1,00	15	6,7								
14,20	13	28		13,0	1,20	11	9,2								
14,40	15	33		15,0	0,93	16	6,2								
14,60	41	55		41,0	1,47	28	3,6								
14,80	37	59		37,0	1,47	25	4,0								
15,00	25	47		25,0	0,93	27	3,7								

H = profondità
 L1 = prima lettura (punta)
 L2 = seconda lettura (punta + laterale)
 Lt = terza lettura (totale)
 CT = 10,00 costante di trasformazione

qc = resistenza di punta
 fs = resistenza laterale calcolata
 0.20 m sopra quota qc
 F = rapporto Begemann (qc / fs)
 Rf = rapporto Schmertmann (fs / qc) * 100

Sperimentatore



Direttore



FON000

Software by dott. Geol. Diego Merlin 0425-840820

pag. 2 di 3

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
DIAGRAMMI DI RESISTENZA**CPT****2**

riferimento

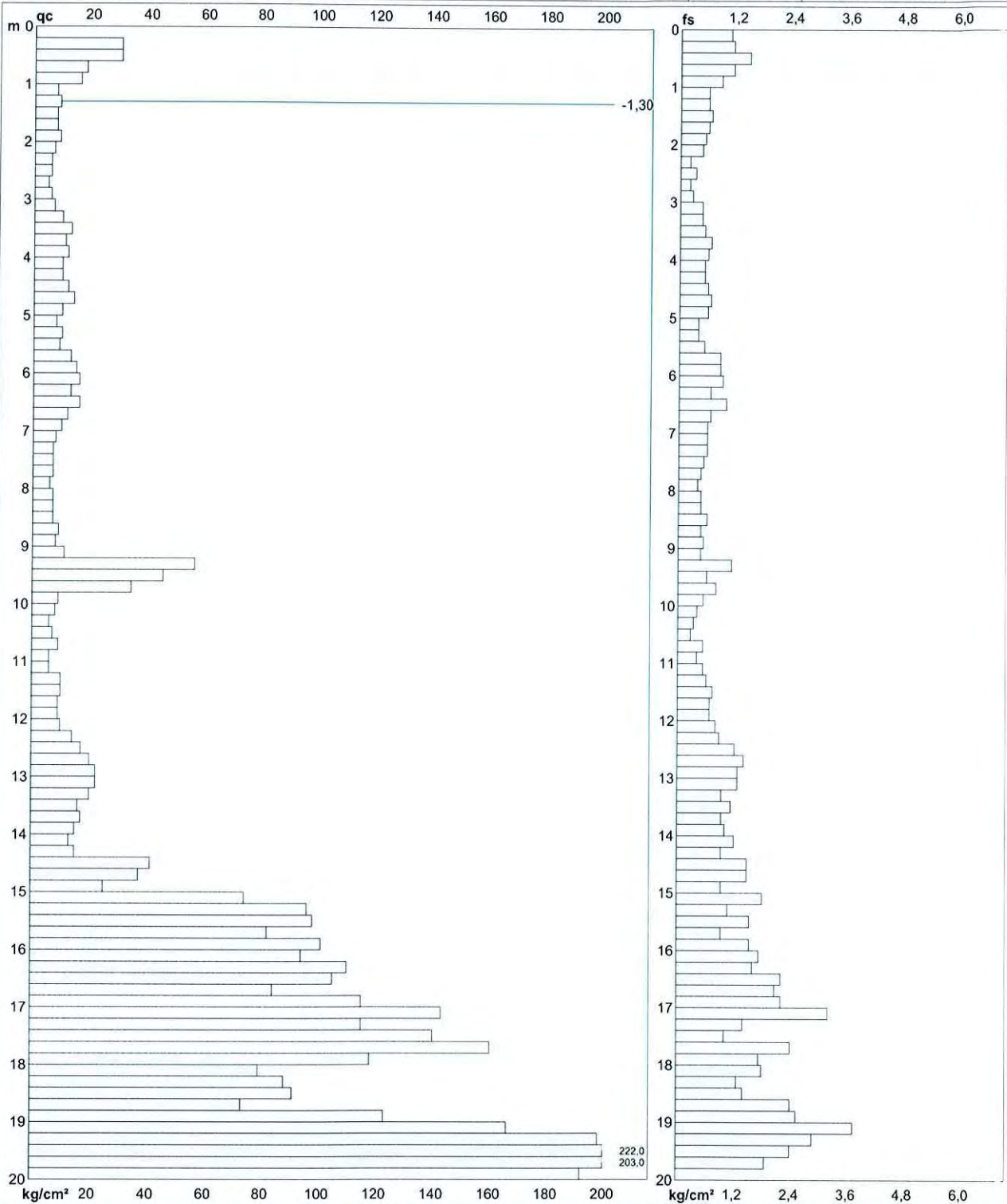
029-2013

certificato n°

333/13

n° verb. accett.

43/13

Committente: **Studio Geologico Ambientale Edilgeo**
Cantiere: **Olicar**
Località: **Via Padova 43, Ferrara**U.M.: **kg/cm²** Data esec.: **17/10/2013**
Scala: **1:100** Data certificato: **24/10/2013**
Pagina:
Elaborato: Quota inizio: p.c.
Falda: **-1,30 m** da p.c.Penetrometro: **TG63-200S**
Responsabile: **R. Sacchetti**
Assistente: **M. Rolfini**Preforo: **m**
Corr.astine: **kg/ml**
Cod. ISTAT: **038008**
Cod. punta:

FON000

Sperimentatore

Direttore

Software by dott. Geol. Diego Merlin 0425-840820

pag. 3 di 3



via A. Ascari 6 - 44019 Gualdo di Voghiera (FE)

tel. 0532 773136-815683 Fax 0532 776455

E mail info@songeo.it - www.songeo.it

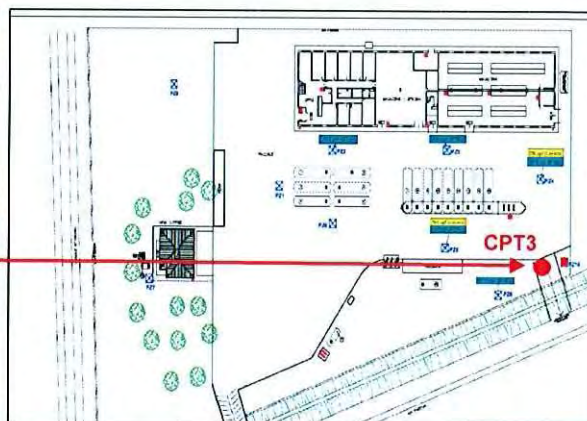
Decreto di concessione n° 56718 del 17.09.2007, per il rilascio dei certificati relativi
alle prove geotecniche in sito (settore c), ai sensi del D.P.R. 06.06.2001 n° 380 e della
Circolare n° 349/STC del 16.12.1999

CERTIFICATO DI PROVA

Certificato n°	334/13	data	24/10/2013	N° VERBALE ACCETTAZIONE	43/13	data	14/10/2013
-------------------	--------	------	------------	----------------------------	-------	------	------------

COMMITTENTE:	Studio Geologico Ambientale Edilgeo
LOCALITA':	Via Padova 43, Ferrara
CANTIERE:	Olicar
CPT N°	3
Specifiche di prova:	ASTM D 3441-98; AGI 1977
Attrezzatura:	Penetrometro PAGANI TG 63-200
Procedure:	PRO E05
Attrezzi:	Punta meccanica BEGEMANN
DATA ESECUZIONE PROVA	17/10/2013
QUOTA INIZIO PROVA	p.c.
PROFONDITA' DELLA PROVA	20,00 m
PROFONDITA' DELLA FALDA	1,30 m

COROGRAFIA E PLANIMETRIA:



IL PRESENTE CERTIFICATO SI COMPONE DI:

3 PAGINE

Sperimentatore

Direttore



PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

DIAGRAMMI DI RESISTENZA

CPT**3**

riferimento

029-2013

certificato n°

334/13

n° verb. accett.

43/13

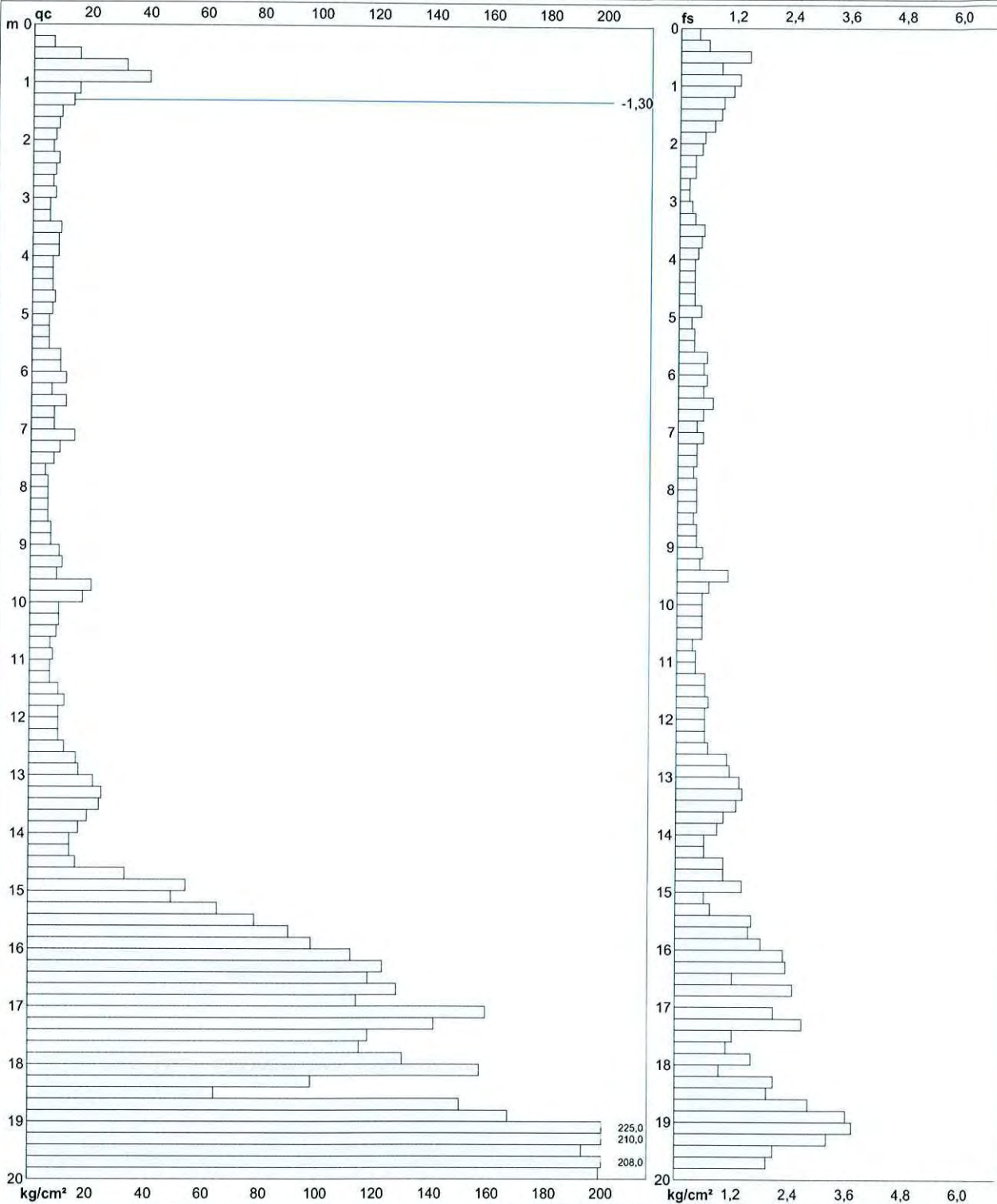
Committente: **Studio Geologico Ambientale Edilgeo**Cantiere: **Olicar**Località: **Via Padova 43, Ferrara**U.M.: **kg/cm²**Scala: **1:100**

Pagina:

Elaborato:

Data esec.: **17/10/2013**Data certificato: **24/10/2013**

Quota inizio: p.c.

Falda: **-1,30 m** da p.c.Penetrometro: **TG63-200S**Responsabile: **R. Sacchetti**Assistente: **M. Rolfini**Preforo: **m**Corr. astine: **kg/ml**Cod. ISTAT: **038008**

Cod. punta:

FON000

Sperimentatore

Direttore

Software by dott. Geol. Diego Marlin 0425-840820

pag. 3 di 3



PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI**CPT****3**riferimento **029-2013**certificato n° **334/13**n° verb. accett. **43/13**Committente: **Studio Geologico Ambientale Edilgeo**Cantiere: **Olicar**Località: **Via Padova 43, Ferrara**U.M.: **kg/cm²**Data esec.: **17/10/2013**Data certificato: **24/10/2013**

Pagina:

Elaborato:

Falda: **-1,30 m da p.c.**

H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc kg/cm²	fs kg/cm²	F -	Rf %	H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc kg/cm²	fs kg/cm²	F -	Rf %
0,20	0	0		0,0	0,40	0		15,20	49	70		49,0	0,60	82	1,2
0,40	7	13		7,0	0,60	12	8,6	15,40	65	74		65,0	0,73	89	1,1
0,60	16	25		16,0	1,47	11	9,2	15,60	78	89		78,0	1,60	49	2,1
0,80	32	54		32,0	0,87	37	2,7	15,80	90	114		90,0	1,53	59	1,7
1,00	40	53		40,0	1,27	31	3,2	16,00	98	121		98,0	1,80	54	1,8
1,20	16	35		16,0	1,13	14	7,1	16,20	112	139		112,0	2,27	49	2,0
1,40	14	31		14,0	0,93	15	6,6	16,40	123	157		123,0	2,33	53	1,9
1,60	10	24		10,0	0,87	11	8,7	16,60	118	153		118,0	1,20	98	1,0
1,80	9	22		9,0	0,73	12	8,1	16,80	128	146		128,0	2,47	52	1,9
2,00	8	19		8,0	0,53	15	6,6	17,00	114	151		114,0	-0,20	-570	-0,2
2,20	7	15		7,0	0,47	15	6,7	17,20	159	156		159,0	2,07	77	1,3
2,40	9	16		9,0	0,33	27	3,7	17,40	141	172		141,0	2,67	53	1,9
2,60	8	13		8,0	0,33	24	4,1	17,60	118	158		118,0	1,20	98	1,0
2,80	7	12		7,0	0,20	35	2,9	17,80	115	133		115,0	1,07	107	0,9
3,00	8	11		8,0	0,20	40	2,5	18,00	130	146		130,0	1,60	81	1,2
3,20	6	9		6,0	0,27	22	4,5	18,20	157	181		157,0	0,93	169	0,6
3,40	6	10		6,0	0,33	18	5,5	18,40	98	112		98,0	2,07	47	2,1
3,60	10	15		10,0	0,53	19	5,3	18,60	64	95		64,0	1,93	33	3,0
3,80	9	17		9,0	0,47	19	5,2	18,80	150	179		150,0	2,80	54	1,9
4,00	9	16		9,0	0,40	23	4,4	19,00	167	209		167,0	3,60	46	2,2
4,20	7	13		7,0	0,33	21	4,7	19,20	225	279		225,0	3,73	60	1,7
4,40	7	12		7,0	0,33	21	4,7	19,40	210	266		210,0	3,20	66	1,5
4,60	7	12		7,0	0,33	21	4,7	19,60	193	241		193,0	2,07	93	1,1
4,80	8	13		8,0	0,33	24	4,1	19,80	208	239		208,0	1,93	108	0,9
5,00	7	12		7,0	0,47	15	6,7	20,00	199	228		199,0			
5,20	6	13		6,0	0,27	22	4,5								
5,40	6	10		6,0	0,33	18	5,5								
5,60	6	11		6,0	0,33	18	5,5								
5,80	10	15		10,0	0,60	17	6,0								
6,00	10	19		10,0	0,53	19	5,3								
6,20	12	20		12,0	0,60	20	5,0								
6,40	7	16		7,0	0,53	13	7,6								
6,60	12	20		12,0	0,73	16	6,1								
6,80	8	19		8,0	0,53	15	6,6								
7,00	8	16		8,0	0,40	20	5,0								
7,20	15	21		15,0	0,53	28	3,5								
7,40	10	18		10,0	0,40	25	4,0								
7,60	8	14		8,0	0,40	20	5,0								
7,80	5	11		5,0	0,33	15	6,6								
8,00	6	11		6,0	0,40	15	6,7								
8,20	6	12		6,0	0,40	15	6,7								
8,40	6	12		6,0	0,40	15	6,7								
8,60	6	12		6,0	0,33	18	5,5								
8,80	7	12		7,0	0,40	18	5,7								
9,00	7	13		7,0	0,40	18	5,7								
9,20	10	16		10,0	0,53	19	5,3								
9,40	11	19		11,0	0,47	23	4,3								
9,60	9	16		9,0	1,07	8	11,9								
9,80	21	37		21,0	0,67	31	3,2								
10,00	18	28		18,0	0,53	34	2,9								
10,20	10	18		10,0	0,53	19	5,3								
10,40	10	18		10,0	0,53	19	5,3								
10,60	9	17		9,0	0,53	17	5,9								
10,80	7	15		7,0	0,33	21	4,7								
11,00	8	13		8,0	0,40	20	5,0								
11,20	7	13		7,0	0,40	18	5,7								
11,40	7	13		7,0	0,60	12	8,6								
11,60	10	19		10,0	0,60	17	6,0								
11,80	12	21		12,0	0,67	18	5,6								
12,00	10	20		10,0	0,60	17	6,0								
12,20	10	19		10,0	0,60	17	6,0								
12,40	10	19		10,0	0,60	17	6,0								
12,60	12	21		12,0	0,67	18	5,6								
12,80	16	26		16,0	1,07	15	6,7								
13,00	17	33		17,0	1,13	15	6,6								
13,20	22	39		22,0	1,33	17	6,0								
13,40	25	45		25,0	1,40	18	5,6								
13,60	24	45		24,0	1,27	19	5,3								
13,80	20	39		20,0	1,00	20	5,0								
14,00	17	32		17,0	0,87	20	5,1								
14,20	14	27		14,0	0,60	23	4,3								
14,40	14	23		14,0	0,60	23	4,3								
14,60	16	25		16,0	1,00	16	6,3								
14,80	33	48		33,0	1,00	33	3,0								
15,00	54	69		54,0	1,40	39	2,6								

H = profondità

L1 = prima lettura (punta)

L2 = seconda lettura (punta + laterale)

Lt = terza lettura (totale)

CT = 10,00 costante di trasformazione

qc = resistenza di punta

fs = resistenza laterale calcolata

0,20 m sopra quota qc

F = rapporto Begemann (qc / fs)

Rf = rapporto Schmertmann (fs / qc) * 100

FON000

Software by dott. Geol. Diego Merlin 0425-840820

pag. 2 di 3

Sperimentatore

Direttore