

COMUNE DI POGGIO RENATICO

PROVINCIA DI FERRARA

REALIZZAZIONE DI IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA DI POTENZA 49.3920 KWp

COMMITTENTE : **PR SOLAR s.r.l.**

PROGETTISTA ARCHITETTONICO: **ING. MINORCHIO MASSIMILIANO**



INGEGNERIA
INTEGRATA

INGEGNERIA INTEGRATA Srl StP

Ing. Minorchio Massimiliano

Cell: 347/9126620

e-mail: minorchio.massimiliano@gmail.com

Sede: Via Ugo la Malfa, 10 - 40026 Imola (BO)

Ufficio Tecnico tel. 0542/644055

N° ELABORATO

R1)

ELABORATO

F 9@5N=C B 9 ; 9C @C ; = 5

SCALA

-

PRATICA N°

DATA

25/06/2021

DISEGNATORE

MM

REVISIONE 1 _____

REVISIONE 2 _____

REVISIONE 3 _____

REVISIONE 4 _____

REGIONE: Emilia Romagna

PROVINCIA: Ferrara

COMUNE: Poggio Renatico

RELAZIONE GEOLOGICA - MODELLIZZAZIONE GEOTECNICA

PROGETTO: realizzazione impianto fotovoltaico in comune di Poggio renatico (FE) in via Padusa

Caratterizzazione e modellizzazione geologica, geotecnica e sismica del sito



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

DATA : 23-11-2020

DOCUMENTO : n. 36-020

COMMITTENTE:

P.R. SOLAR srl
Vicolo Gabbiani n. 30 , cap 48121 Ravenna (RA)
Numero REA RA – 221564 C.F./p.iva 02664640394
PEC p.r.solarsrl@poste-certificate.eu

GEOLOGO:

Dr.Geol. Matteo Pollini



I.GEO.S

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

Tel. : 339- 2613319

e.mail : pollinimatteo72@gmail.com

PEC : pollinimatteo@epap.sicurezza postale.it



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

Associated B.E. – partner

R.P.D.E. **Business Development**
BIOENERGIE

INDICE

1. PREMESSA.....	3
2. VINCOLISTICA	3
2.1. UBICAZIONI E CARATTERISTICHE GENERALI DELL'INTERVENTO	3
2.2. QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO	6
2.3. DESCRIZIONE DEL SITO D'INTERVENTO (vincolistica sovra comunale)	6
2.4. INDIVIDUAZIONI DELLE PROBLEMATICHE AMBIENTALI.....	9
2.5. ANALISI DOCUMENTAZIONE PIANI URBANISTICI	9
2.6. ANALISI CARTOGRAFIA PIANI DI BACINO (PAI ; PIAE)	16
3. GEOMORFOLOGIA e GEOLOGIA	16
4. TETTONICA LOCALE	25
5. CARATTERISTICHE SISMICHE	26
5.1. CARATTERISTICHE SISMICHE PSC COMUNE di POGGIO RENATICO e FERRARA	27
6. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO IN BASE ALLE N.T.C. 2018	30
6.1. INDAGINI SISMICHE e RISPOSTA SISMICA LOCALE	32
6.1.1. HVSR -	32
6.3. VERIFICA DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE	38
7. rischio di alluvionamento	45
8. campagna di indagini	46
9. STRUMENTAZIONE UTILIZZATA.....	46
10. CARATTERISTICHE LITOSTRATIGRAFICHE E GEOTECNICHE (MODELLO GEOLOGICO)	47
10.1 prove penetrometriche	47
10.2 sondaggi a secco elicoidali	59
13. CONCLUSIONI E PRESCRIZIONI	60

1. PREMESSA

Su incarico di **P.R. SOLAR srl** (Vicolo Gabbiani n. 30, Ravenna-RA), lo scrivente ha eseguito un'indagine geognostica in un sito sul quale è in progetto la realizzazione di un impianto fotovoltaico, in comune di Poggio Renatico (FE). A quest'intervento è rivolta la seguente relazione geologica, che è stata realizzata allo scopo di ricavare indicazioni per la realizzazione del modello geologico locale, e per fornire definire le caratteristiche geologiche-geotecniche-idrogeologiche generali, nonché valutare le caratteristiche sismiche del sito. Il **29-02-2008** il Senato ha approvato, senza modifiche, il disegno di legge n. 2013, nel testo licenziato dalla Camera dei deputati; pertanto il decreto-legge 31 dicembre 2007, n. 248, recante proroga di termini previsti da disposizioni legislative e disposizioni urgenti in materia finanziaria, il cosiddetto milleproroghe, è stato convertito in legge e si attende soltanto la pubblicazione sulla Gazzetta Ufficiale. Il 01-07-2009 è poi entrato in vigore il D.M. 14/01/2008. **Il Comune di Poggio Renatico è stato classificato in zona 3**, e ad esso si applica la normativa antisismica dettata, in materia, dalla legislazione statale e regionale. Poiché nello specifico, l'edificio oggetto del presente studio risulta essere un'opera stradale, sulla scorta del D.M. 14/01/2008 (sostituito con NTC 2018), la Classe d'Uso risulta essere la II (manutenzione ordinaria e straordinaria). Le modalità d'indagine e i risultati ottenuti sono descritti e analizzati nel presente rapporto.

2. VINCOLISTICA

2.1. UBICAZIONI E CARATTERISTICHE GENERALI DELL'INTERVENTO

L'area oggetto del presente studio ricade nel settore sud occidentale del territorio provinciale di Ferrara, in comune di Poggio Renatico, al confine con il comune di Ferrara. Precisamente l'area di studio è interclusa tra l'asse autostradale A13 bologna-Padova (ad est), la strada provinciale 70 a nord-nord est, via Padusa a nord e via Ferrara a sud.

Per fornire un'indicazione più precisa sull'ubicazione dell'area oggetto di intervento vengono riportate: uno stralcio della Carta Tecnica Regionale, alla scala 1: 40.000 (fig. 1) ed una carta ctr alla scala 1:10000.

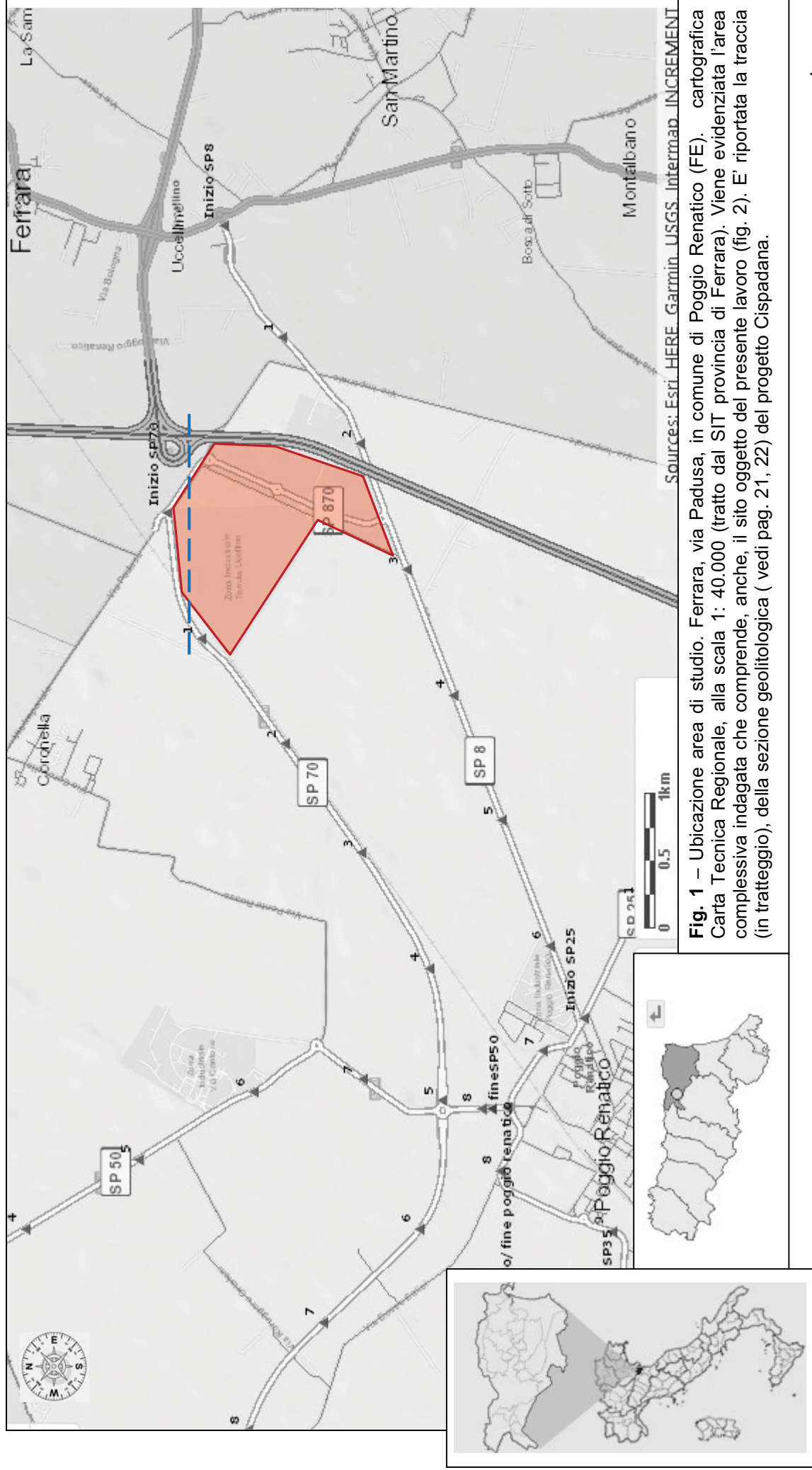


Fig. 1 – Ubicazione area di studio. Ferrara, via Padusa, in comune di Poggio Renatico (FE). cartografica Carta Tecnica Regionale, alla scala 1: 40.000 (tratto dal SIT provincia di Ferrara). Viene evidenziata l'area complessiva indagata che comprende, anche, il sito oggetto del presente lavoro (fig. 2). E' riportata la traccia (in tratteggio), della sezione geolitologica (vedi pag. 21, 22) del progetto Cispadana.

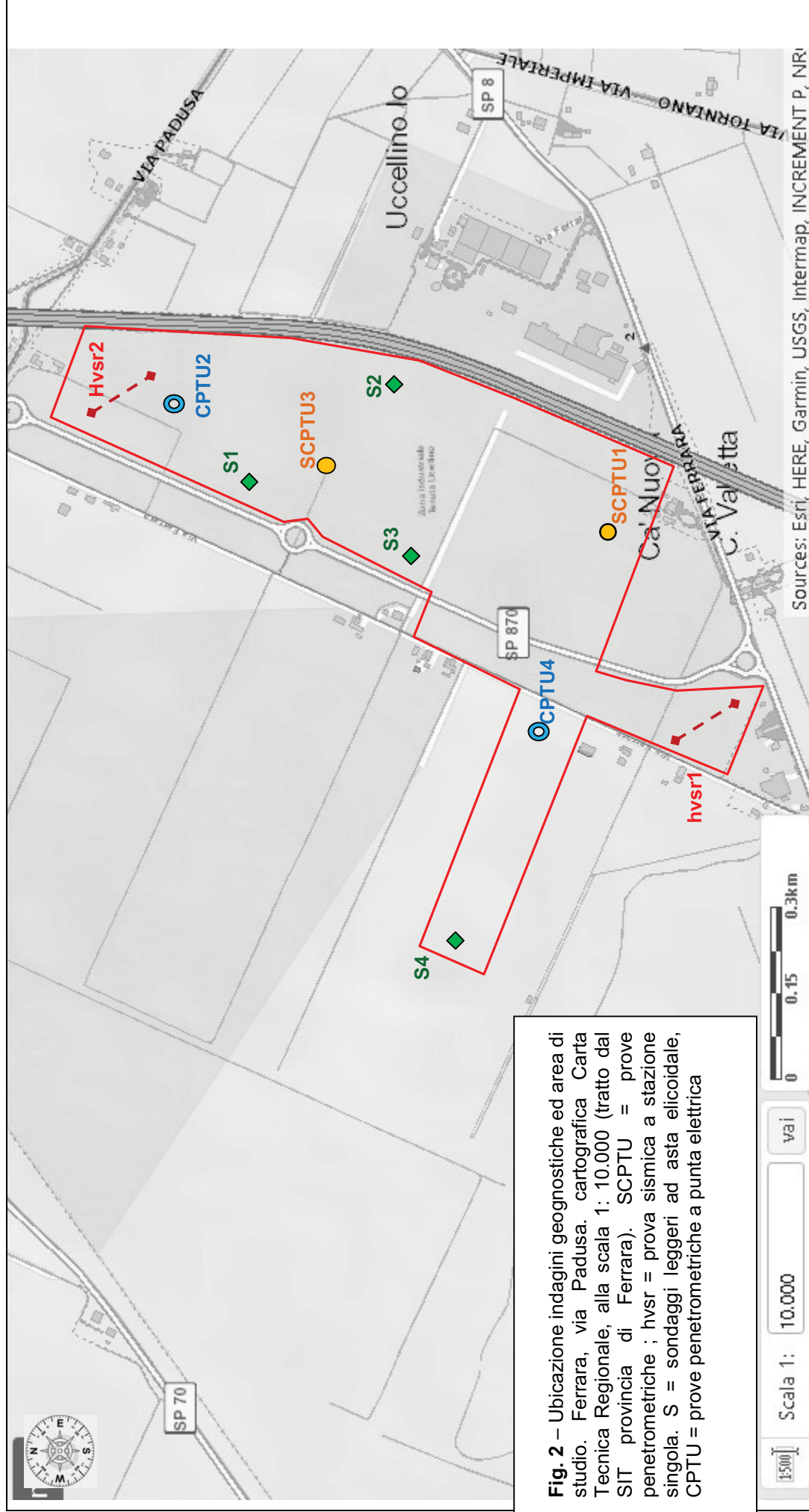


Fig. 2 – Ubicazione indagini geognostiche ed area di studio. Ferrara, via Padusa. cartografica Carta Tecnica Regionale, alla scala 1: 10.000 (tratto dal SIT provincia di Ferrara). SCPTU = prove penetrometriche ; hvsr = prova sismica a stazione singola. S = sondaggi leggeri ad asta elicoidale, CPTU = prove penetrometriche a punta elettrica

Sources: Esri, HERE, Garmin, USGS, Intermap, INCREMENT P, NR

2.2. QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO

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

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

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

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

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

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

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

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

A.G.I. Associazione Geotecnica Italiana

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

PTCP: Piano Territoriale di Coordinamento provinciale

PSC intercomunale

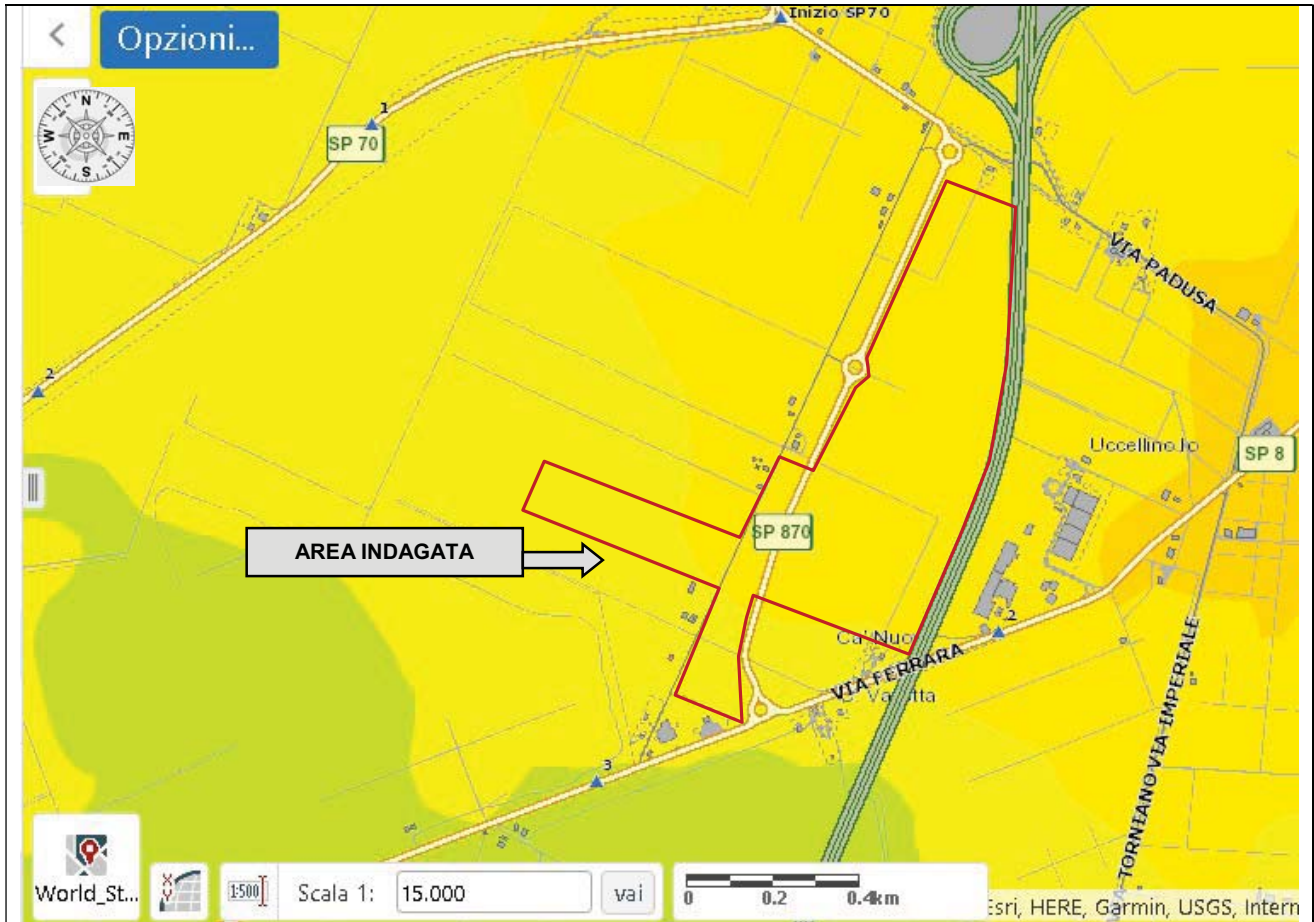
- **Nota Regione Emilia Romagna (13/10/2009)** “conclusione del regime transitorio delle norme tecniche per le costruzioni di cui al D. M. 14 gennaio 2008 ed illustrazione dell’art. 64, comma 7, della L.R. n. 6 del 2009.”

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

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

Dal punto di vista della vincolistica a scala sovra comunale, si fa riferimento a quanto riportato nel PTCP attualmente vigente, della Provincia di Ferrara. Secondo tale strumento, il sito indagato non risulta essere caratterizzato da vincoli tali, da precludere all’intervento in progetto.

- Il sito indagato è esterno a parte di un Sistema e zona strutturante la forma del territorio
- Carta altimetria. Il sito indagato per la quasi totalità ha quote comprese tra 9 e 10 metri slm, con diminuzione quote verso ovest-nord ovest.
- Carta reti tecnologiche, rifiuti, verde. Il sito indagato è attraversato da n. 2 direttrici an andamento nord-sud, di linee di alta ed altissima tensione.
- Carta dei vincoli. Il sito indagato è esente da vincoli. Secondo le reti ecologiche, aree tampone si trovano più a sud.

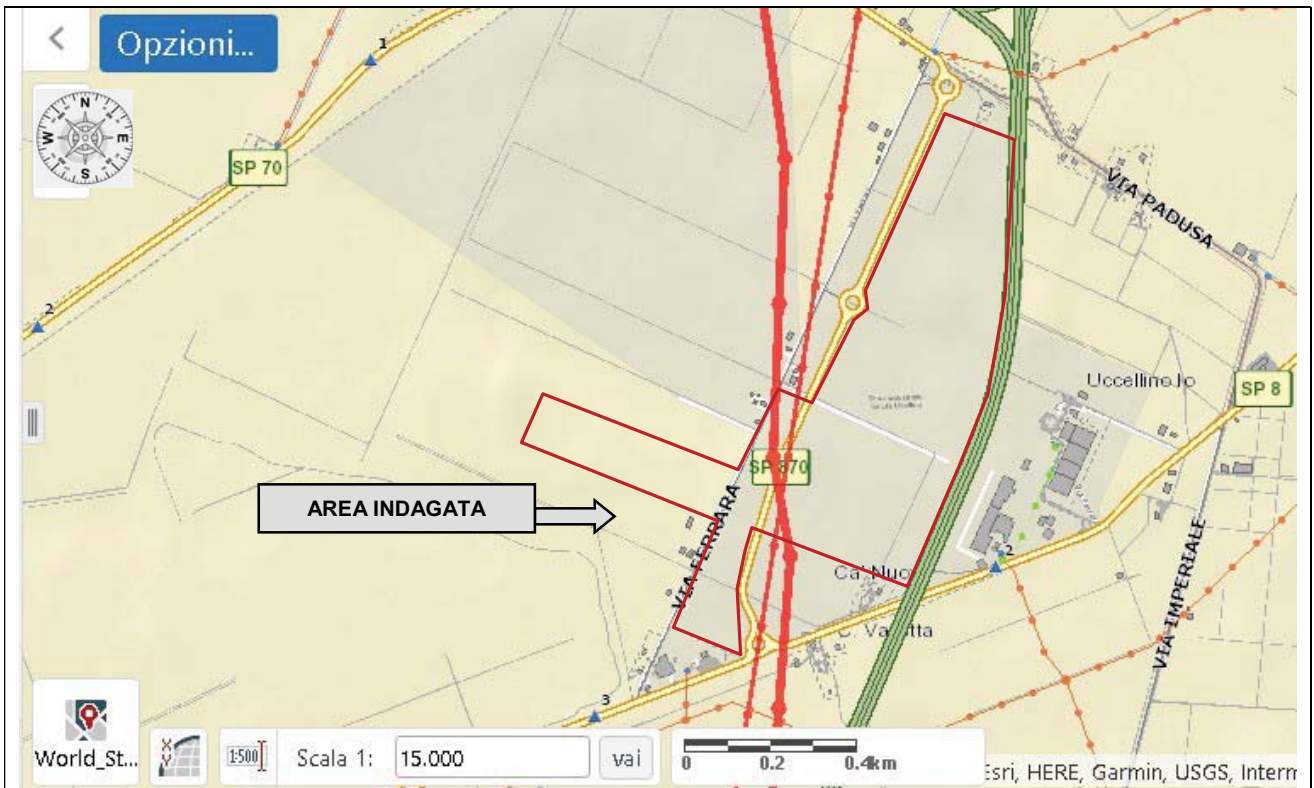


Legenda:

- 0
- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9
- 10

- Autostrada A13
- Statali
- Provinciali
- Non ufficiali
- Cippi chilometrici
- Inizio/fine centri abitati

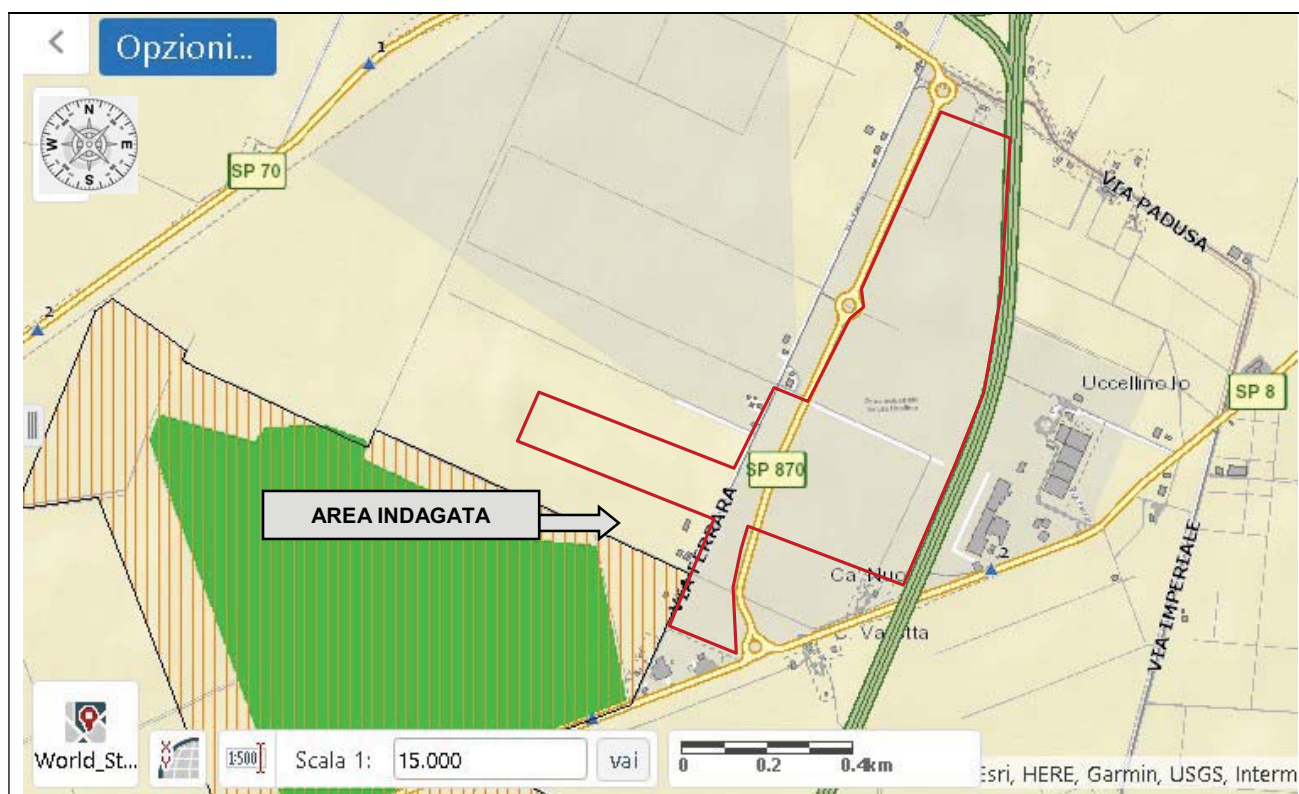
Fig. 3 - Carta altimetria. Ptcp. Scala 1:15.000, rimpicciolita del 15%.



Legenda:

- | | | | | | |
|--|--------------------|--|-----------------------------------|--|-----------------|
| | Linee 380 kV Terna | | Linee 132 kV Ferrovie dello Stato | | Tronco MT aereo |
| | Linee 220 kV Terna | | Linee 132 kV SAN MARCO BIOEN | | |
| | Linee 132 kV Terna | | | | |

Fig. 4 - Carta reti tecnologiche, rifiuti, verde. Ptcp. Scala 1:15.000, rimpicciolita del 15%.



Legenda:

Stepping stones (Art.24 quater)

Esistente

Progetto

Nodi esistenti (Art.24 quater)

area tampone

core area

Nodi progetto (Art.24 quater)

Corridoi secondari (Art.24 quat

Corridoi primari (Art.24 quater)

Aree boscate private

Aree boscate pubbliche

Autostrada A13

Statali

Provinciali

Fig. 5 - Carta dei vincoli da ptcp. Ptcp. Scala 1:15.000, rimpicciolita del 15%.

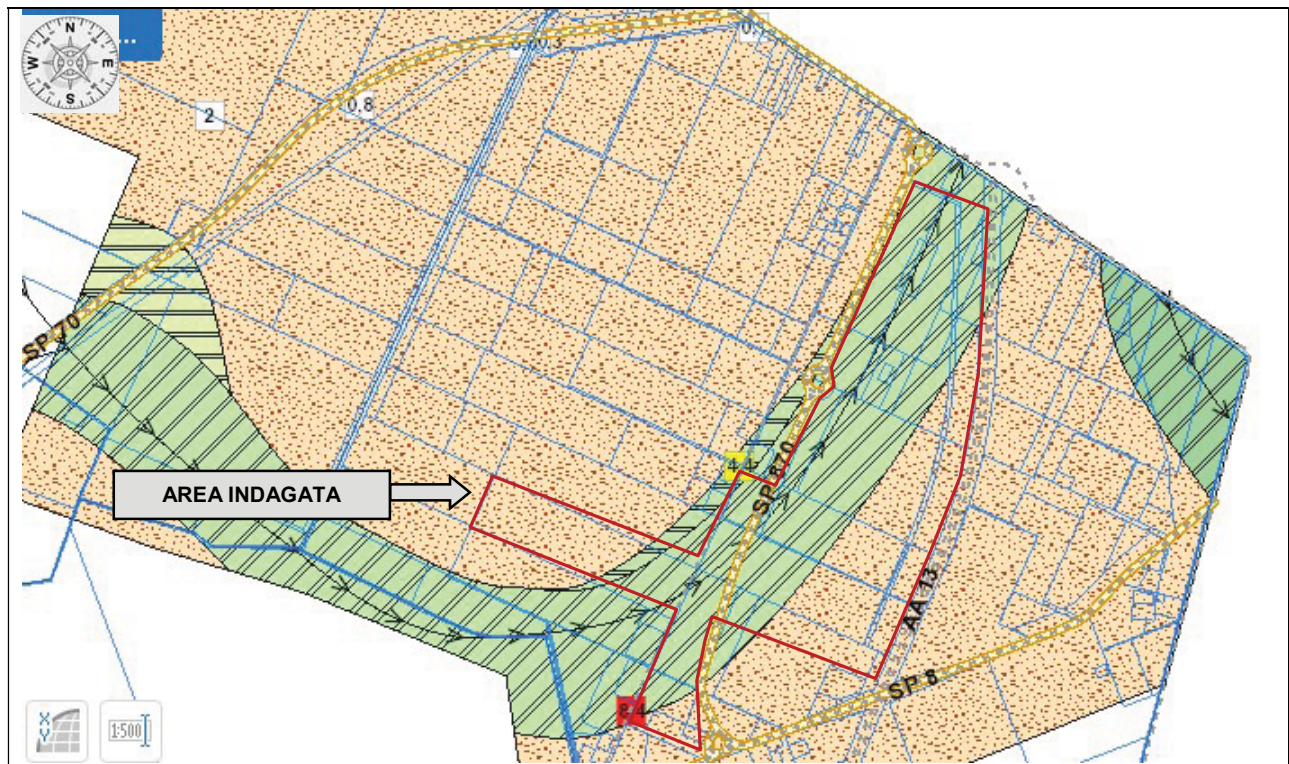
2.4. INDIVIDUAZIONI DELLE PROBLEMATICHE AMBIENTALI

Dal punto di vista ambientale, le problematiche connesse al sito indagato, dal momento che questo va ad occupare suolo (anche se in maniera limitata), sono connesse alla regimazione delle acque di prima pioggia che devono essere mantenute regimate in modo corretto. Questo anche alla luce delle diverse quote di microrilievo tra l'area in cui si prevede la realizzazione dell'impianto fotovoltaico e le strade al contorno di esso.

2.5. ANALISI DOCUMENTAZIONE PIANI URBANISTICI

Relativamente alla vincolistica comunale, in mancanza del PSC mai adottato dal comune di Poggio Renatico, si fa riferimento alla cartografia del prg vigente. Secondo tale strumento urbanistico, il sito indagato ha le seguenti caratteristiche:

-
- Carta rischio sismico. Il sito indagato risulta per il 90 % circa interessato dalla presenza di aree potenzialmente suscettibili alla liquefazione, con forme di superficie sepolte e zone suscettibili di instabilità. Per il restante 10% circa, invece, verso il tracciato autostradale a13, il sito indagato è classificato come zona stabile suscettibile di amplificazioni locali.
 - Carta dei vincoli da psc (territorio urbanizzato e vincoli). Psc. Scala 1:15.000. il sito indagato , ad est della SP870 è classificato come territorio urbanizzato, mentre la restante superficie è classificata come urbanizzabile artigianale. Il sito indagato, in corrispondenza dei tracciati stradali è in parte interessato da fasce di rispetto stradali.
 - Microzonazione sismica - carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica alla scala 1: 10.012. il sito indagato, per circa il 90% (corrispondente a tutta la parte centro settentrionale), è cartografato come zona L (zona potenzialmente suscettibile di liquefazione). Il restante 10% (corrispondente al settore sud del sito indagato), invece, è cartografato come zona A (zona suscettibile di amplificazione)
 - Microzonazione sismica - carta fattori di amplificazione e del rischio di liquefazione, alla scala 1: 10.000. Il 90% dell'area indagata, ad esclusione della sua propaggine SW, ricade in area LQ1 (area con presenza di terreni suscettibili alla liquefazione già nei primi 10 m da p.c.; FAPGA = 1.5; FH 0.1-0.5s = 1.8; FH 0.5-1.0s = 2.5 stima con abachi DAL 112/2007). La propaggine W-SW, invece è cartografata come zona suscettibile di amplificazione (FAPGA = 1.5; FH 0.1-0.5s = 1.8; FH 0.5-1.0s = 2.5 stima con abachi DAL 112/2007).
 - Microzonazione sismica - carta microzone omogenee in prospettiva sismica, alla scala 1: 10.000. Il 90% dell'area indagata, ad esclusione della sua propaggine SW, ricade in area LQ1 (area con presenza di terreni suscettibili alla liquefazione già nei primi 10 m da p.c.; con substrato-bedrock ≥ 120 m). La propaggine W-SW, invece è cartografata come zona suscettibile di amplificazione (con substrato-bedrock ≥ 120 m). Su parte dell'area oggetto del presente studio, vi sono sia orizzonti L2 (orizzonti liquefacibili- minimo m 1 di spessore, presenti tra m 5 e m 10 da p.c.) che L3 (orizzonti liquefacibili- minimo m 2 di spessore, presenti tra m 10 e m 15 da p.c).



Legenda:







- | | |
|--|---|
| <input checked="" type="checkbox"/>  SISMICA | <input checked="" type="checkbox"/> Microzone Omogenee in
prospettiva sismica |
| <input checked="" type="checkbox"/> Zone suscettibilita' liquefazione | <input checked="" type="checkbox"/> Forme di superficie e
sepolte |
| <input checked="" type="checkbox"/>  Valore puntuale dell'Indice
di Liquefazione IL (Sonmez, 2003) | <input checked="" type="checkbox"/>  Zone stabili suscettibili di
amplificazione locali |
| <input checked="" type="checkbox"/>  Zone stabili suscettibili di
amplificazioni locali | <input checked="" type="checkbox"/>  Zone di attenzione per
instabilita' |
| <input checked="" type="checkbox"/>  Zone suscettibili di
instabilita' | |

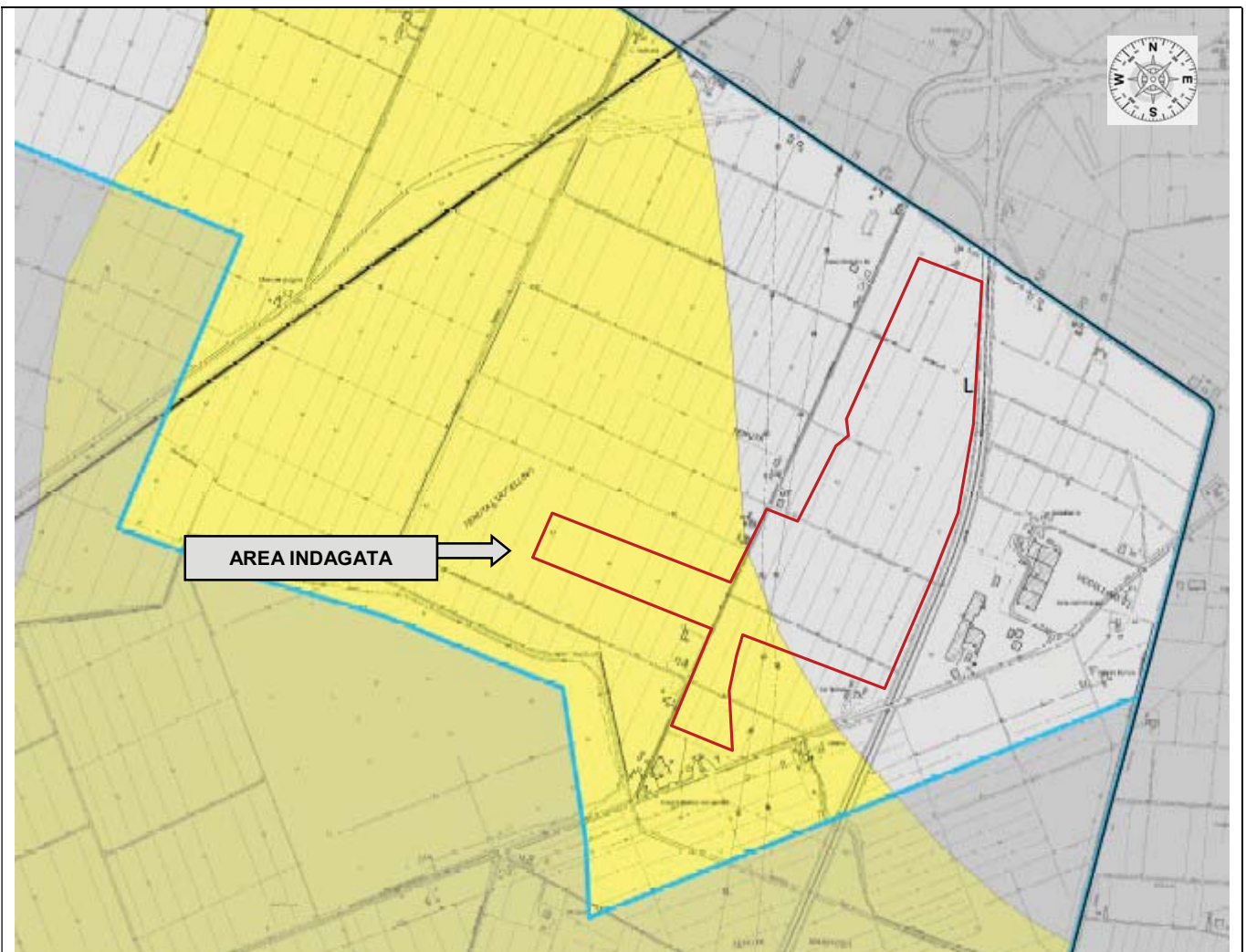
Fig. 6 - Carta dei vincoli da psc (rischio sismico). Psc. Scala 1:15.000, rimpicciolita del 10%.



Legenda:

Fig. 7 - Carta dei vincoli da psc (territorio urbanizzato e vincoli). Psc. Scala 1:15.000, rimpicciolita del 10%.

- | | | | | | |
|---------------------------------------|--|----------------------------|-------------------------------------|--|------------------------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> | | | <input checked="" type="checkbox"/> | | Fasce Rispetto Stradale |
| <input checked="" type="checkbox"/> | | | <input checked="" type="checkbox"/> | | Fasce Rispetto Ferroviario |
| Perimetrazione territorio urbanizzato | | | <input checked="" type="checkbox"/> | | Area di Studio - Zone |
| <input checked="" type="checkbox"/> | | Patrimonio Edilizio Rurale | Interesse Paesaggistico Ambientale | | |
| <input checked="" type="checkbox"/> | | Maceri | <input checked="" type="checkbox"/> | | Strade Comunali |
| <input checked="" type="checkbox"/> | | Fasce Rispetto Tecnologico | <input checked="" type="checkbox"/> | | Strade Provinciali - Statali |
| | | | <input checked="" type="checkbox"/> | | Fiumi e Canali |



Legenda:

A

Zona suscettibile di amplificazione.
E' ritenuta sufficiente la stima del fattore di amplificazione tramite procedure semplificate.
(secondo livello di approfondimento)

A Ambito non interessato dallo studio di microzonazione sismica

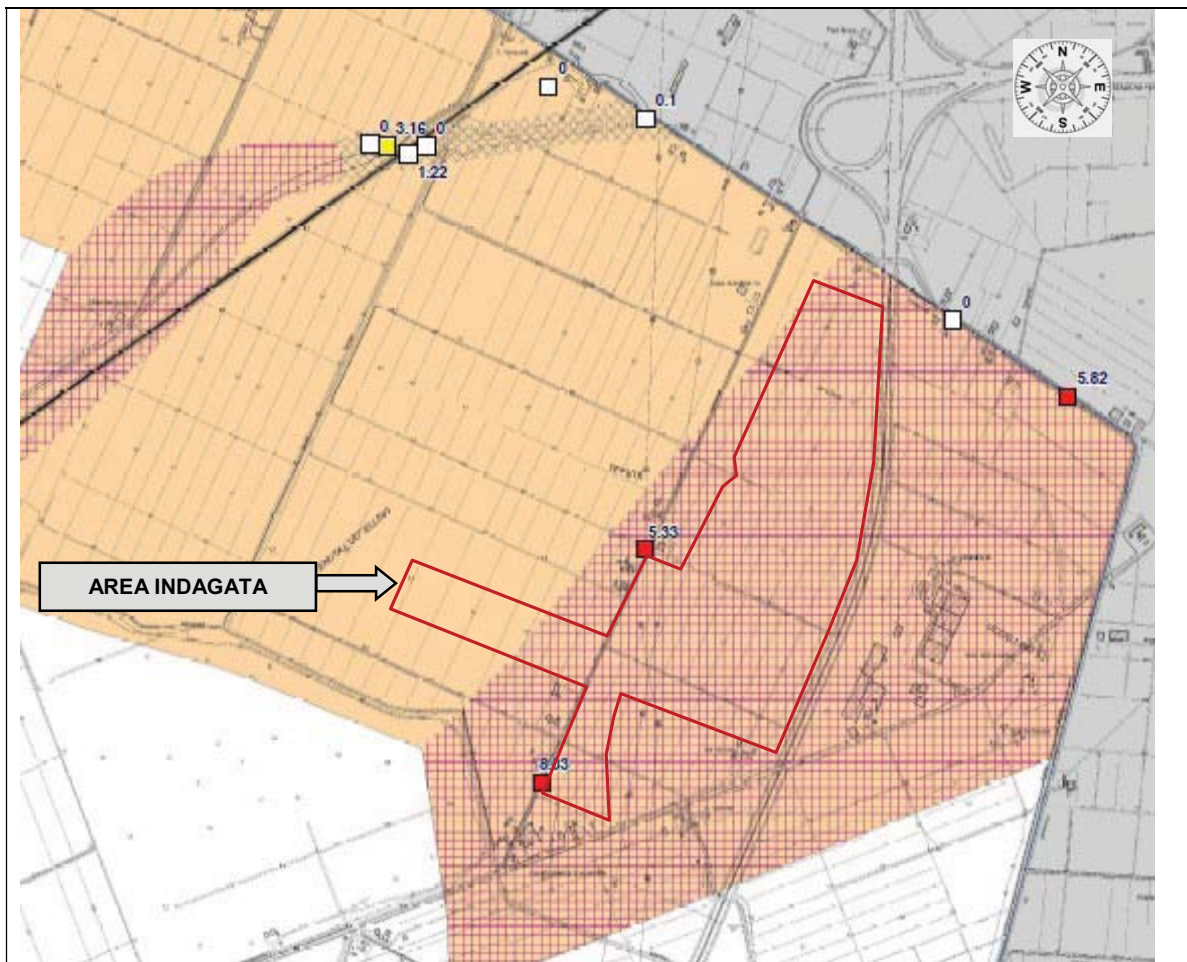
L

Zona potenzialmente suscettibile di liquefazione.
Occorre valutare il fattore di amplificazione e verificare la presenza di condizioni predisponenti la liquefazione; nel caso sia confermata la presenza di tali condizioni occorre stimare l'indice di liquefazione (terzo livello di approfondimento).

Ai fini della progettazione (Norme Tecniche per le Costruzioni 2008), nelle aree in cui è confermata la presenza di condizioni predisponenti la liquefazione (categoria di sottosuolo S2) non è ammessa la definizione dell'azione sismica tramite l'approccio semplificato descritto al punto 3.2.2 delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14/01/2008.



L Ambito non interessato dallo studio di microzonazione sismica

Fig. 8 - Microzonazione sismica - carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica alla scala 1: 10.012, rimpicciolita del 50%. da RER.



Legenda:

Zone suscettibili di amplificazione e liquefazione.

A1	Zona suscettibile di amplificazione. FAPGA = 1.5 FH 0.1 - 0.5s = 1.8 FH 0.5 - 1.0s = 2.5 Stima con abachi DAL 112/2007	 LQ1	FAPGA = 1.5; FH 0.1 - 0.5s = 1.8; FH 0.5 - 1.0s = 2.5 Stima con abachi DAL 112/2007 Presenza di terreni suscettibili di liquefazione già nei primi 10 m dal piano campagna
		 LQ2	FAPGA = 1.5; FH 0.1 - 0.5s = 1.8; FH 0.5 - 1.0s = 2.5 Stima con abachi DAL 112/2007 Presenza di terreni suscettibili di liquefazione tra 10 e 20 m dal piano campagna

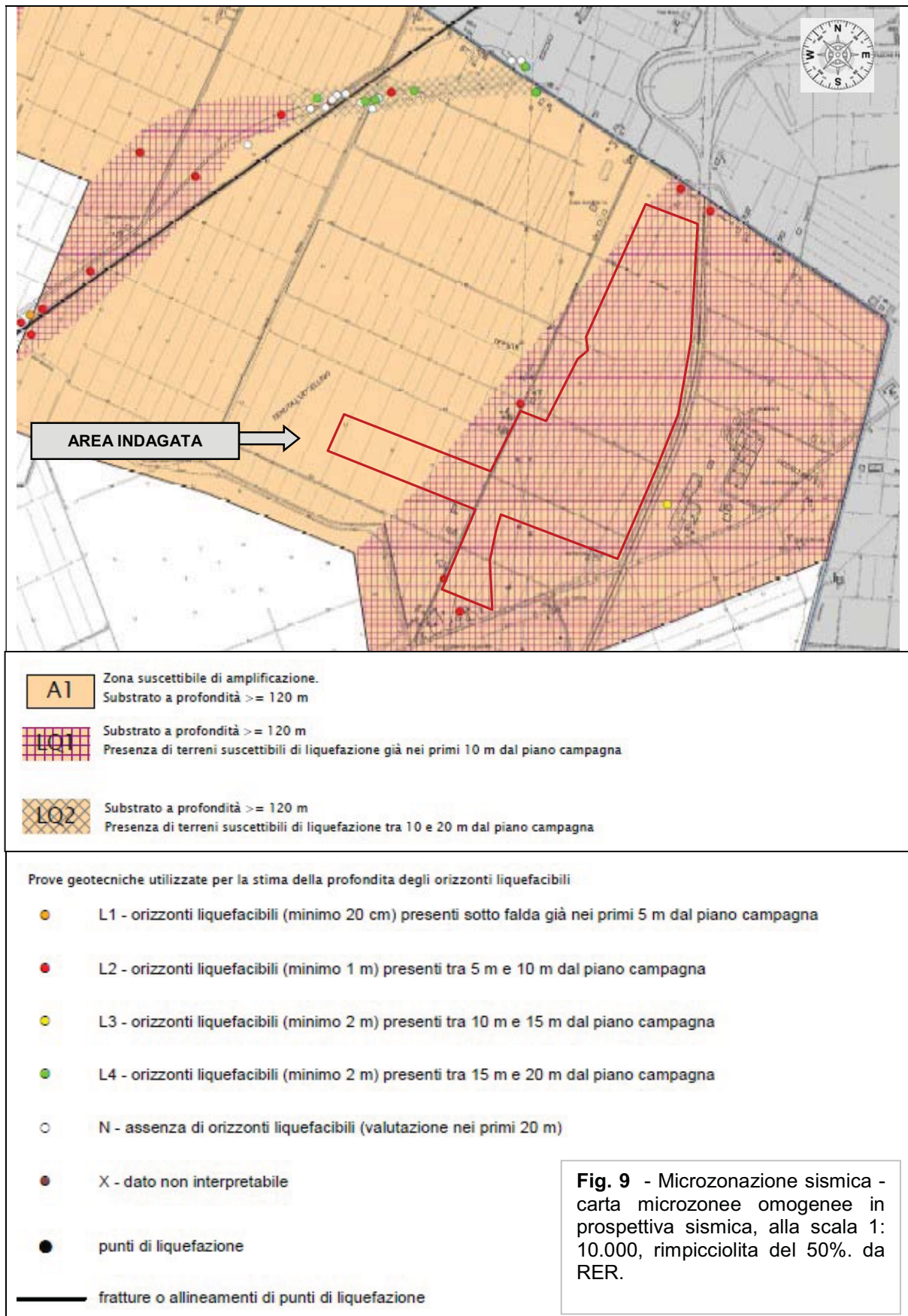
Ai fini della progettazione (Norme Tecniche per le Costruzioni 2008), in queste zone (categoria di sottosuolo S2) non è ammessa la definizione dell'azione sismica tramite l'approccio semplificato descritto al punto 3.2.2 delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14/01/2008.

Valore dell'Indice di Liquefazione (IL: classificazione secondo Sonmez, 2003).

stima IL 10 m		stima IL 15-20 m	
1.2	◇ Rischio di liquefazione basso (0.0 < IL < 2.0)		1.5
2.8	◇ Rischio di liquefazione moderato (2.0 <= IL < 5.0)		3.3
5.4	◇ Rischio di liquefazione elevato (5.0 <= IL < 15.0)		6.4

Per ogni verticale di verifica è riportato il valore puntuale di IL

Fig. 9 - Microzonazione sismica - carta fattori di amplificazione e del rischio di liquefazione, alla scala 1: 10.000, rimpicciolita del 50%. da RER.



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

Secondo la cartografia del PAE (piano attività estrattive) comunale e del PIAE provinciale, l'area indagata non ricade in zone di escavazione inerti. Secondo quanto riportato nel PAI (Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico del Fiume PO), il sito indagato risulta non essere interessato da emergenze naturalistiche, paesaggistiche e storico-culturali presenti nelle aree di dissesto idraulico ed idrogeologico. Tutta l'area in esame, (relativamente alle varie cartografie di scenari di rischio idraulico da psc e da piano di protezione civile di Ferrara), non risulta essere a rischio di allagamenti significativi.

3. GEOMORFOLOGIA E GEOLOGIA

L'area in esame, in generale, è morfologicamente limitata da 2 barriere morfologiche (antropiche) rappresentate dal tracciato autostradale A13 ad est, e dal tracciato stradale di via Padusa (ad ovest). Per quanto riguarda la situazione morfologica locale, la zona di studio è caratterizzata da quote topografiche che variano da + 7 (a sud) a + 9,00 metri s.l.m, nel settore settentrionale.

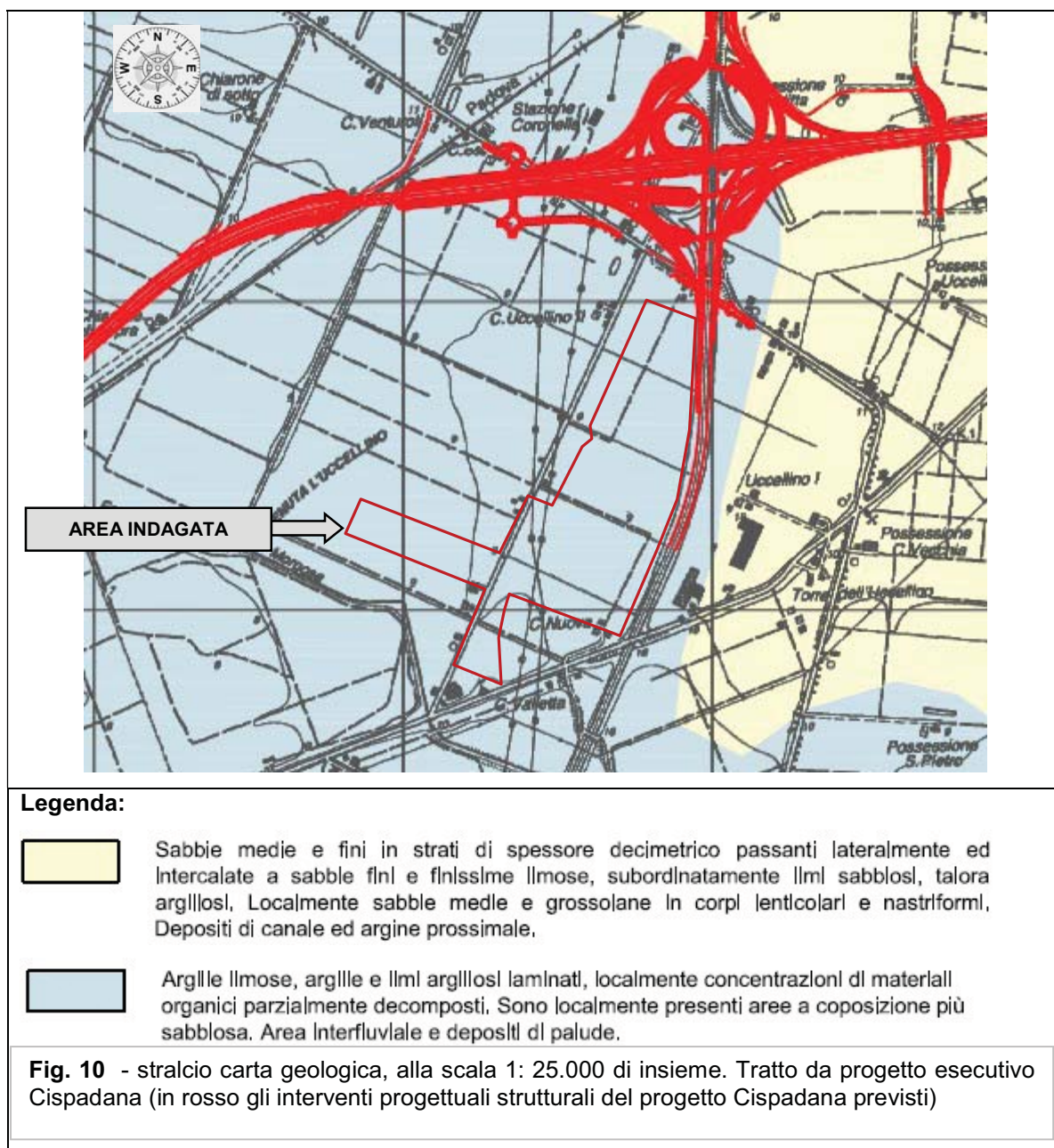
L'area è composta da una vasta parte del bacino interfluviale della Sammartina, che rappresenta una conca chiusa tra i dossi del Canal Ladino e del Vecchio Reno, del Po di Ferrara, del Po di Primaro e dell'argine di S.Martino (tratto meridionale dell'antico argine della Sammartina). Tale bacino presenta quote digradanti da WNW a ESE, da m 11 nella parte occidentale fino a 5-5.5 m sl.m. in località C. Branesa vicino alla superstrada Ferrara-Mare (va però tenuto presente che il bacino idraulico attualmente detto della Sammartina ha come margine NW lo scolo Rinaldi, le cui spalle presentano quote di poco superiori a 9 m). Verso SW, oltre il dosso del Vecchio Reno, la zona descritta dal modello comprende anche un lembo marginale del grande bacino interfluviale delle ex Valli del Poggio, che ha centro presso Poggio Renatico; qui le quote scendono verso SW dai m 11 del dosso del Vecchio Reno ai m 9,5 dei terreni prossimi al casello autostradale di Ferrara Sud. Nel settore a Est del Primaro sono individuabili, oltre al fianco destro del dosso del Volano e al fianco orientale del Primaro (entrambi caratterizzati da ventagli e canali di rotta, piccoli dossi secondari che si dipartono da questi rami del Po), altre depressioni.

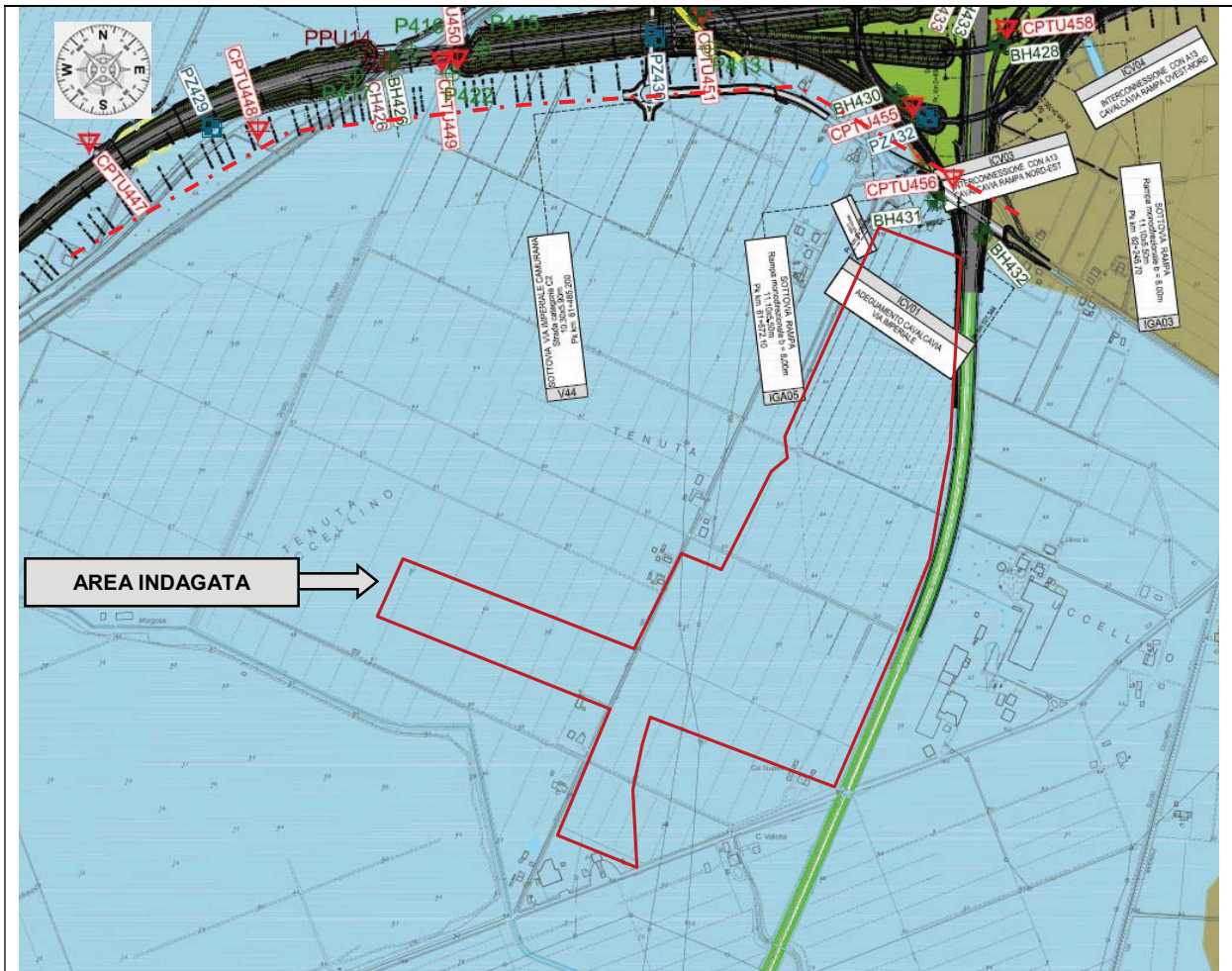
Tutto il territorio presenta in genere quote sensibilmente minori a quelle delle zone a Ovest del Primario; la depressione maggiore (Prati di Palmirano) presenta quote minime intorno a 1,5 m.

Nella Sammartina, che costituisce un comparto morfologico concavo, compreso tra diversi fiumi, la maggior parte del terreno superficiale risulta costituita da materiali argillosi (argille-sabbiose, argille-limose e argille); in questa zona i terreni sono quindi, dal punto di vista agronomico, di modesto pregio.

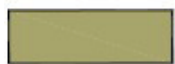
Vari sondaggi attestano che tale corpo sabbioso (spesso contenente sabbie addensate), di età fine-Pleistocene/primo-Olocene, che a Nord della città comincia tra i 18 e i 25 m di profondità, è abbastanza continuo e si spinge anche a Sud di Ferrara, manifestando una certa tendenza ad aumentare di profondità (fino a oltre 30 m). Nella «zona via Bologna-Cona» è infatti generalmente rinvenibile tra i 25 e i 28 m di profondità (-18/-22 m rispetto al l.m.m.). Per l'Olocene, l'assetto stratigrafico della zona risulta abbastanza complesso. Nei livelli più profondi strati e lenti di sedimenti sabbiosi testimoniano la presenza di antichi corsi fluviali di cui non è attualmente possibile ricostruire l'andamento planimetrico. Risultano più leggibili, a Sud di Ferrara, gli ultimi 20 metri di sedimenti. A NW dell'area in esame (zona tra Mizzana e via S. Giacomo), strati di sabbie grigie, tra -12 e -1 m rispetto al l.m.m., attestano la presenza di un corpo subalveo paragonabile a quello del Po attuale. Tra circa -12 e -8 m, sulla linea via Krasnodar-viale Beethoven-viale Wagner-Aguscello, si individua una fascia di sedimenti sabbiosi interpretabile o come argine naturale Sud di un primitivo Po di Ferrara, o come testimonianza di un paleoalveo ed esso parallelo: all'estremità Ovest di via Krasnodar questi materiali sabbiosi si spingono fino a m -3 (meno di 10 m dal piano campagna). Lenti varie di sedimenti sabbioso-limosi forse collegabili a conoidi di rotta si rinvencono inoltre a varie profondità: sembrano più sicuramente riferibili alla conoide di una rotta molto antica del Po di Ferrara quelli situati tra -2 e 0 m dal l.m.m. nell'area via Trentini-via Beethoven-via Bologna. Nei 6 m più superficiali (tra 0 e 6 m dal l.m.m.), l'unico corpo sabbioso rinvenibile si sviluppa lungo il Volano, e appare sicuramente riferibile al Po di Ferrara di età storica e alle sue pertinenze dirette: in particolare potrebbero appartenere a due conoidi di rotte relativamente recenti le lenti di materiali sabbiosolimosi rinvenute, tra -2 e + 3 m, rispettivamente tra il Po di Ferrara e via Krasnodar e tra il Po di Ferrara e via Aeroporto. Verso il centro della

Sammartina i corpi sabbiosi si riducono rapidamente di spessore e dominano decisamente i sedimenti limosi e argillosi di piana interfluviale. Tale situazione è ancora più marcata nella parte più meridionale della Sammartina, ove si hanno quasi esclusivamente materiali argilloso limosi, talora marcati da livelli torbosi attribuibili alla presenza di antiche paludi. Lenti e strati sabbiosi isolati di modesto spessore potrebbero collegarsi, anche qui, alla presenza di antichi corsi d'acqua secondari, di cui non è possibile ricostruire l'andamento. Sono assai scarsi, per l'area in esame, i dati stratigrafici relativi al Po di Primaro.

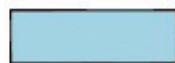




Legenda:



Depositi a granulometria prevalentemente limoso sabbiosa, da argillosi a debolmente argillosi



Depositi a granulometria prevalentemente argillosa e argilloso limosa talora con presenza di residui vegetali e lenti di strati torbosi.



BH2

Sondaggi stratigrafici a carotaggio continuo



CPTU11

Prove penetrometriche statliche con punta elettrica e plezocono



PZ6

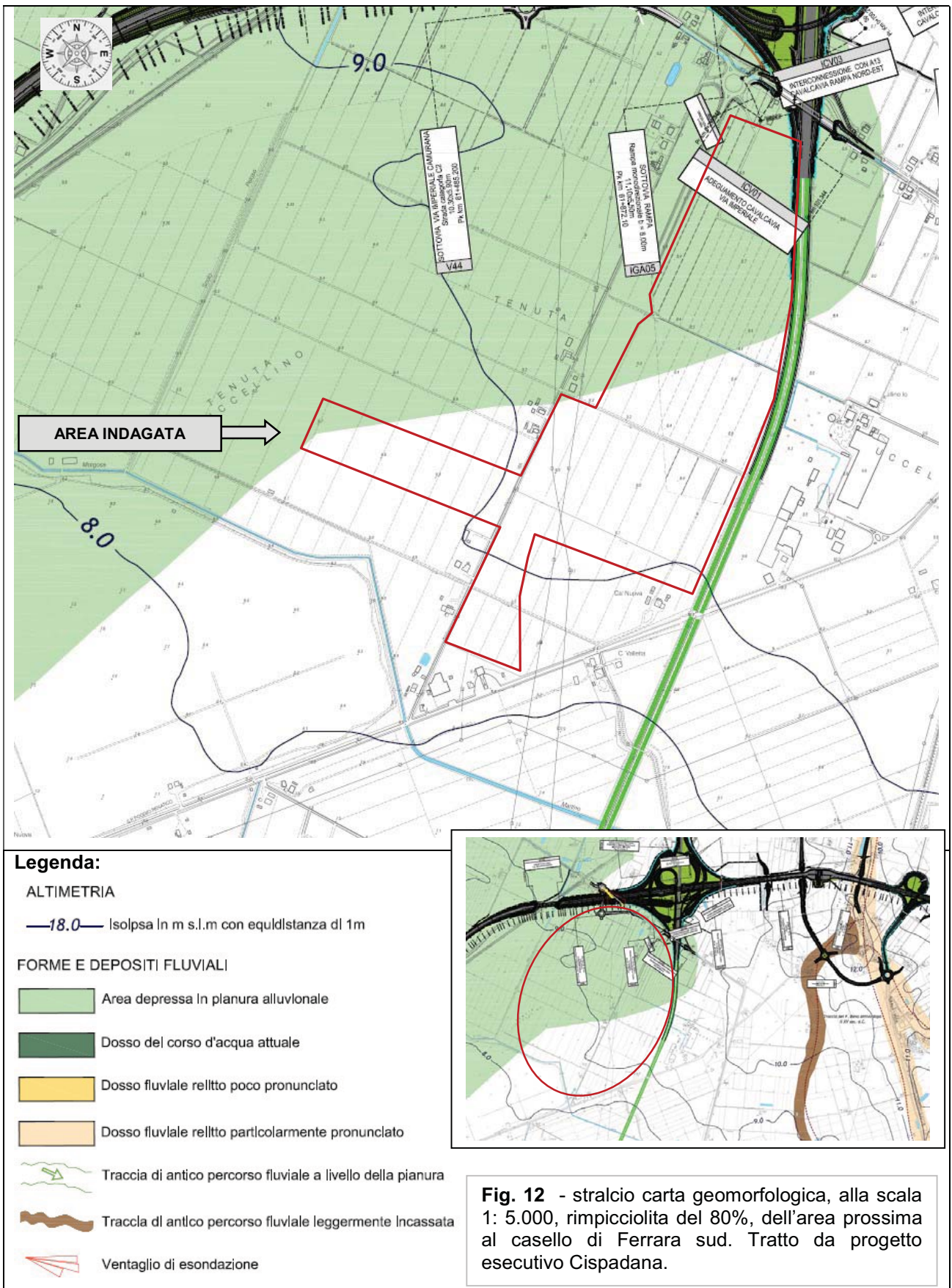
Pozzetti esplorativi

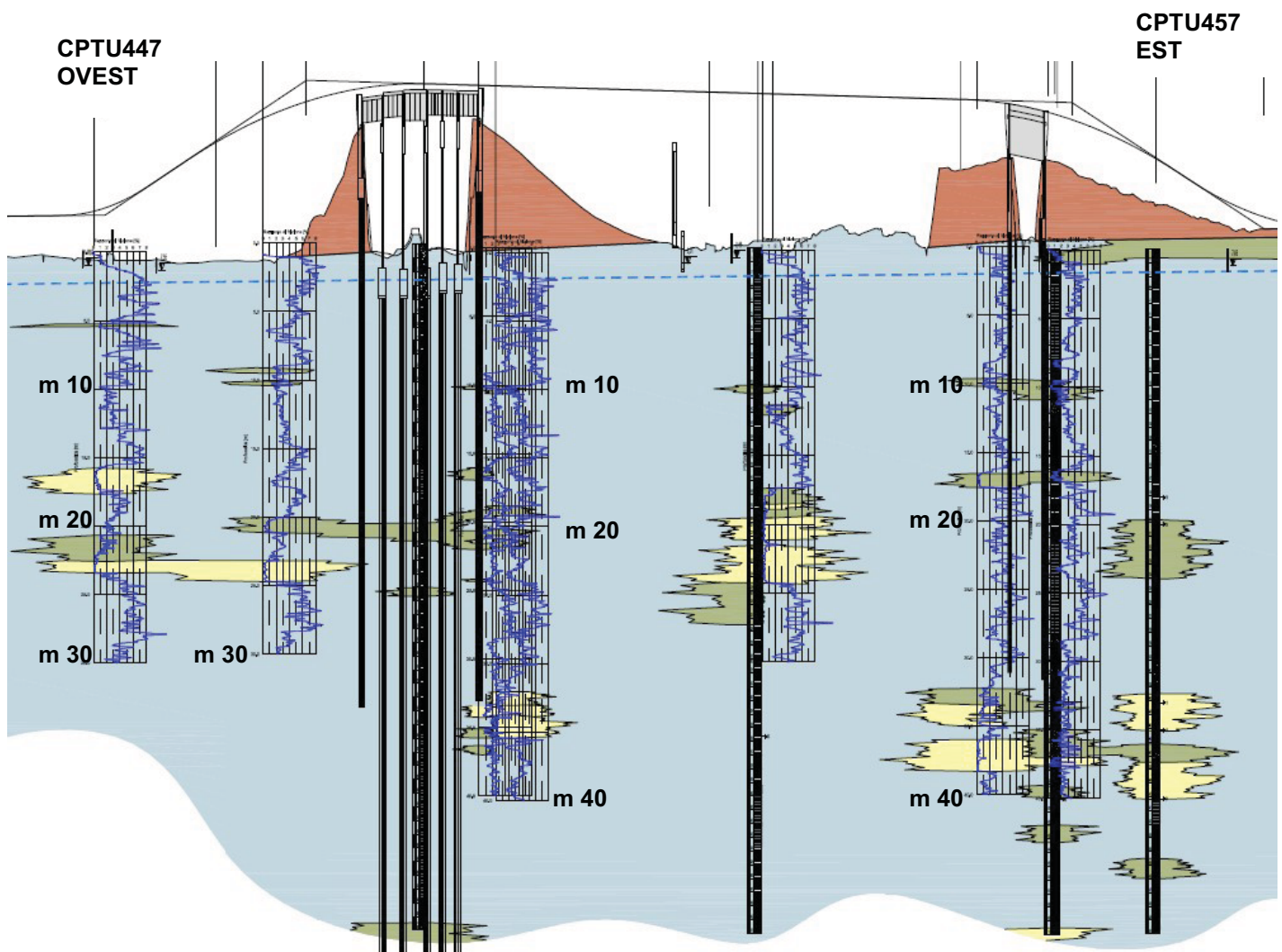


PPU1

Prove penetrometriche statliche con punta elettrica e plezocono

Fig. 11 - stralcio carta geologica, alla scala 1: 5.000, rimpicciolita del 90%, dell'area prossima al casello di Ferrara sud.. Tratto da progetto esecutivo Cispadana. E' riportata la traccia (linea tratteggiata) del profilo geologico di fig. 13





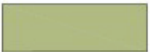
Legenda:



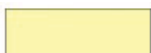
Rilevati antropici.



Argille, argille limose e debolmente limose o sabbiose, limi, limi argillosi e debolmente argillosi o sabbiosi, di colore nocciola, marrone, grigio e nerastro. Localmente sono presenti striature rossastre e ocre, venature nerastre per presenza di frustoli carboniosi e resti torbosi, e concrezioni calcaree millimetriche (calcineilli). Tali depositi sono caratterizzati generalmente da **bassa permeabilità, con coefficiente di permeabilità $k < 10^{-9}$ m/sec.**



Limii sabbiosi e sabbie limose, talora debolmente argillose di colore nocciola, marrone e grigio, a **media permeabilità, con coefficiente di permeabilità $10^{-6} > k > 10^{-9}$ m/sec.**



Sabbia fine, talora debolmente limosa di colore nocciola, marrone e grigio, da poco a mediamente addensate. Intercalate all'unità 3 si rinvencono talora livelli di spessore centimetrico e decimetrico ascrivibili ad altre unità geotecniche. **Depositii a permeabilità elevata, con coefficiente di permeabilità $k > 10^{-6}$ m/sec.**

Fig. 13 - stralcio profilo geologico ovest-est del settore appena a nord del sito indagato (Tratto da progetto esecutivo Cispadana).

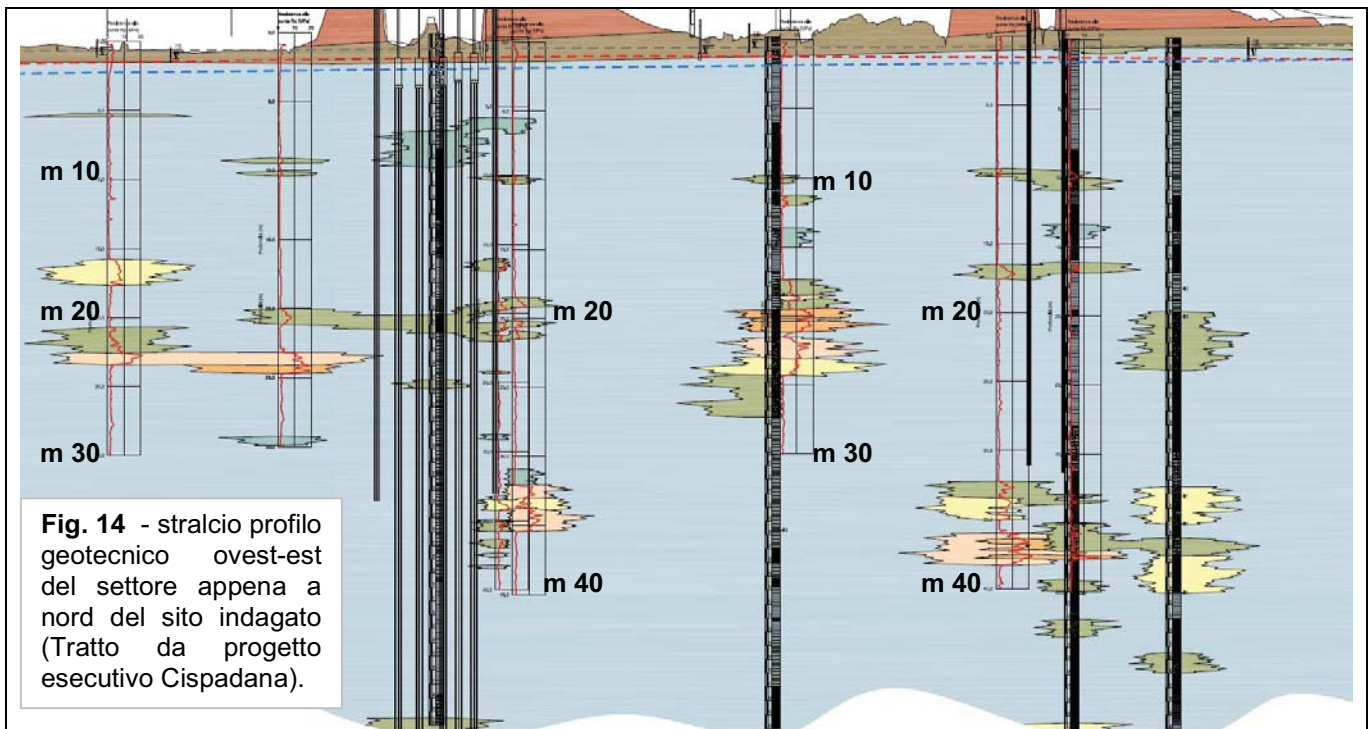


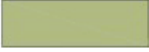







Fig. 14 - stralcio profilo geotecnico ovest-est del settore appena a nord del sito indagato (Tratto da progetto esecutivo Cispadana).

Legenda (zona omogenea "F"):

- | | |
|--|---|
| <p> Rilevati antropici.</p> <p> <u>Unità 1.</u> Argille, argille limose e debolmente limose o sabbiose, limi, limi argillosi e debolmente argillosi o sabbiosi, di colore nocciola, marrone, grigio e nerastro. Localmente sono presenti striature rossastre e ocra, venature nerastre per presenza di frustoli carboniosi e resti torbosi, e concrezioni calcaree millimetriche (calcinelli). L'unità si presenta da moderatamente consistente a consistente. I primi metri dal piano campagna appaiono talvolta sovraconsolidati per essiccamento. Resistenza alla punta media 1+3 MPa.</p> <p> <u>Unità 2.</u> Limi sabbiosi e sabbie limose, talora debolmente argillose di colore nocciola, marrone e grigio. Resistenza alla punta media 3+8 MPa.</p> <p> <u>Unità 3.</u> Sabbia fine, talora debolmente limosa di colore nocciola, marrone e grigio, da poco a mediamente addensate. Intercalate all'unità 3 si rinvencono talora livelli di spessore centimetrico e decimetrico ascrivibili ad altre unità geotecniche. Resistenza alla punta media 8+10 MPa, Dr ≤ 50%.</p> <p> <u>Unità 4.</u> Sabbia media, talora debolmente limosa di colore nocciola, marrone e grigio. Localmente sono presenti livelli di sabbie più grossolane. Si presenta da mediamente addensata ad addensata. Intercalate all'unità 4 si rinvencono talora livelli di spessore centimetrico e decimetrico ascrivibili ad altre unità geotecniche. Resistenza alla punta media 10+15 MPa, Dr = 50%+70%.</p> <p> <u>Unità 5.</u> Sabbia media, talora debolmente limosa, di colore nocciola, marrone e grigio. Localmente sono presenti livelli di sabbie più grossolane talora ghialose. Le sabbie presentano generalmente un buon grado di addensamento. Intercalate all'unità 5 si rinvencono talora livelli di spessore centimetrico e decimetrico ascrivibili ad altre unità geotecniche. Resistenza alla punta media >15 MPa, Dr ≥ 70%.</p> <p> <u>Unità 6.</u> Argilla poco consistente, di colore grigio scuro e nero con abbondante presenza di frustoli carboniosi e livelli organici indecomposti. Localmente si rinvencono livelli di torba di spessore decimetrico.</p> | <p> <u>Unità R.</u> Terreno vegetale e/o suoli agrari, sovraconsolidati per essiccamento. Localmente terreni di riporto.</p> |
|--|---|

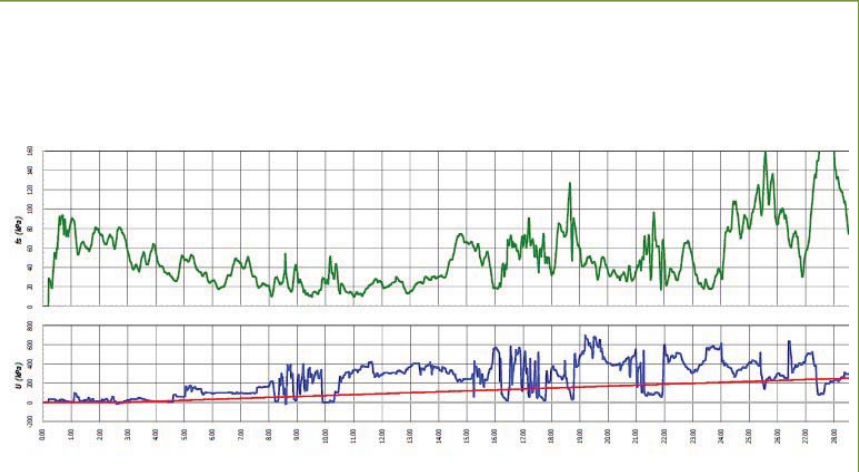
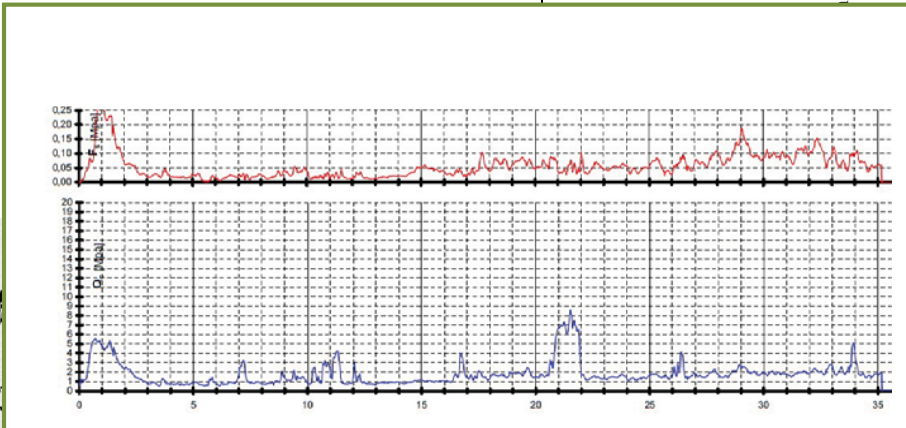
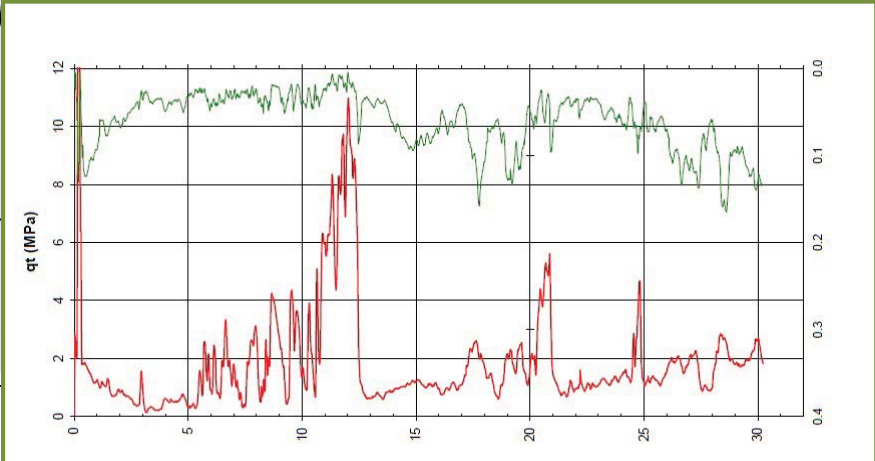
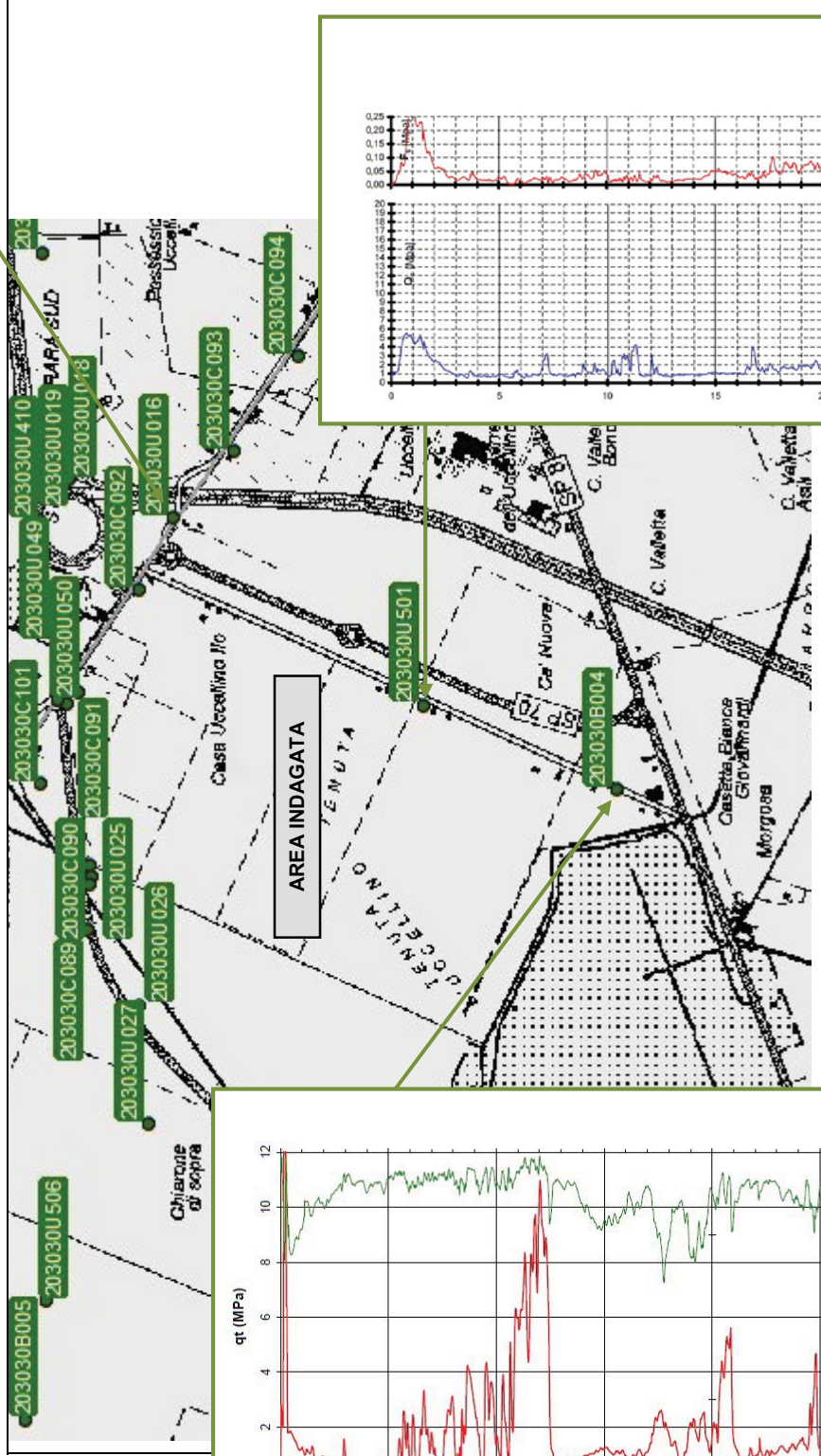


Fig. 15 - carta sezioni geologiche. Da RER. Triangolazione per confronto di indagini al contorno.

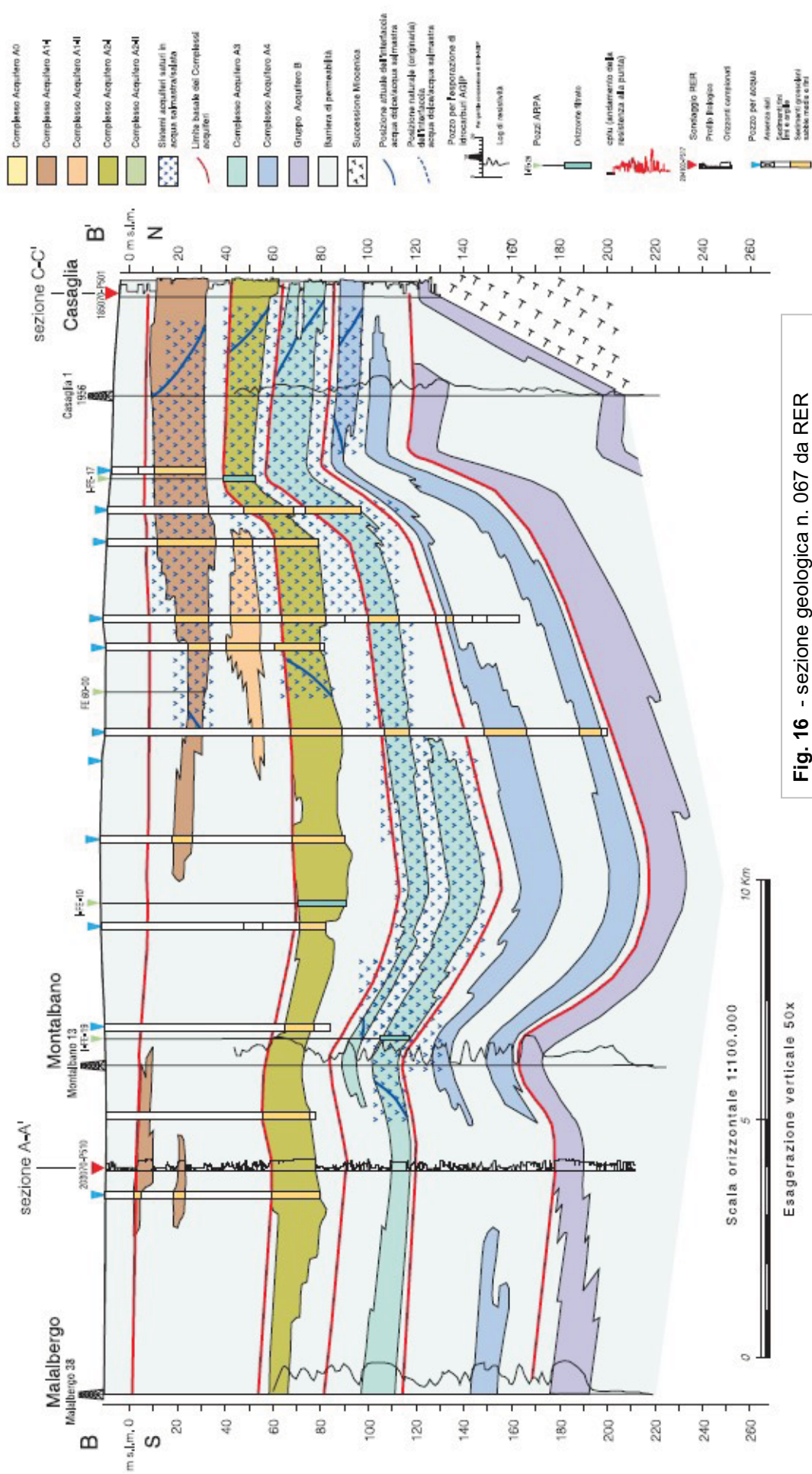


Fig. 16 - sezione geologica n. 067 da RER

4. TETTONICA LOCALE

La convergenza tra placca europea e africana è accomodata nell'appennino settentrionale da pattern deformativi e da un'attività sismica molto complessi. Il campo di stress attivo, ricavato dall'analisi dei meccanismi focali di terremoti e dallo studio dello stress in pozzi, rileva la presenza di un settore tirrenico della catena in cui domina un campo deformativi estensionale mentre nel settore adriatico prevale una compressione attiva. In quest'ultimo settore, in cui si colloca l'Emilia Romagna, la tettonica attiva è generalmente caratterizzata dalla presenza di strutture compressive attive, come sovrascorrimenti e piegamenti. L'analisi sismotettonica condotta in recenti studi (Benedetti et. al., 2003), ha messo in evidenza come parte delle strutture individuate da profili sismici che interessano il riempimento sedimentario Plio-pleistocenico siano caratterizzate da attività da molto recente ad attuale. In particolare, risultano attivi i sovrascorrimenti sepolti che danno luogo agli archi di Piacenza-Parma, Reggio Emilia e Ferrara. A tali strutture (in particolare alla dorsale ferrarese) possono essere associati i fenomeni di fagliazione superficiale (note illustrative della Carta sismotettonica della R.E.R. scala 1: 250000).

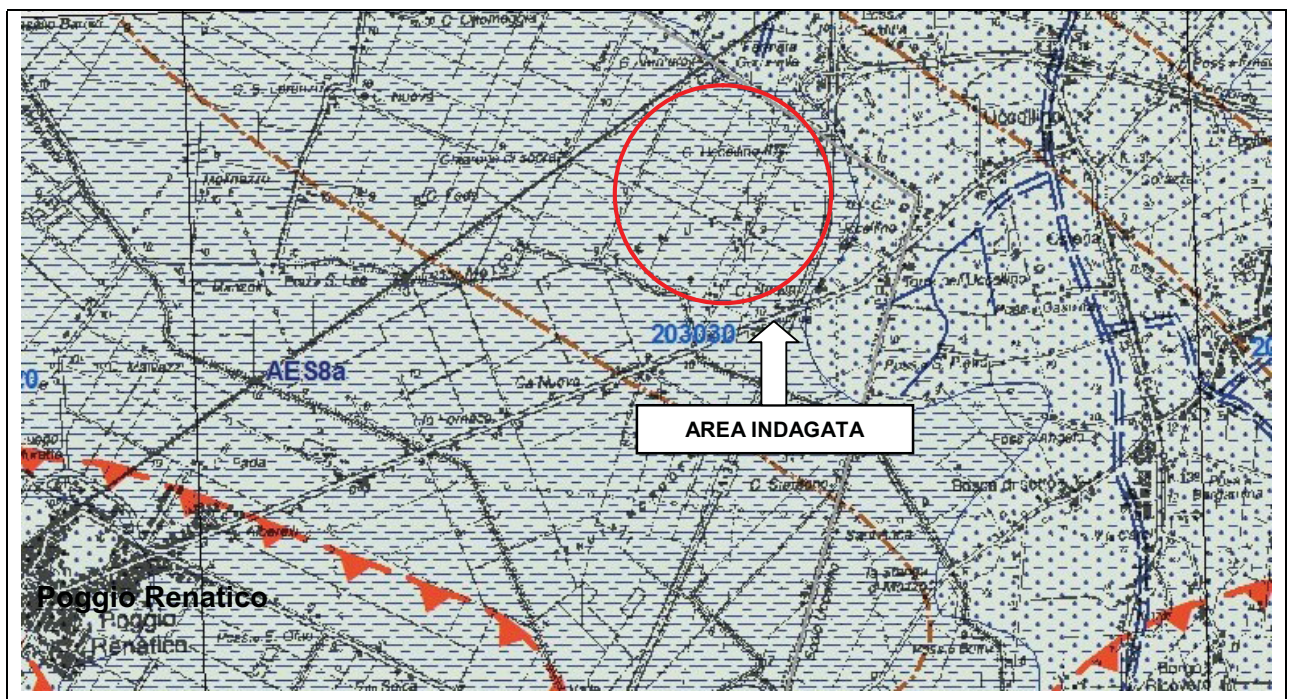


Fig. 17 - carta geologica con indicazione elementi tettonici di Ferrara ovest, da RER, scala 1:40.000, rimpicciolita del 20%

5. CARATTERISTICHE SISMICHE

Per il territorio comunale di Poggio renatico e Ferrara e per il Ferrarese in generale, sono storicamente documentate numerose scosse sismiche. Molte di queste sono attribuibili a eventi esterni al territorio, come nel caso della maggior scossa del terremoto del Friuli, il 6 maggio 1976: la presenza di sedimenti clastici incoerenti e saturi d'acqua può essere infatti motivo di amplificazione di scosse sismiche anche provenienti da luoghi non vicini; si è trattato comunque di fenomeni che nel Ferrarese non hanno provocato danni. Le scosse più forti sono invece riconducibili a eventi locali, imputabili a movimenti delle pieghe dell'Appennino sepolto, probabilmente amplificate dalla natura dei materiali sovrastanti. Nel seguito verranno appunto elencate e considerate le più importanti tra queste ultime.

Al di fuori della zona sismogenetica 912 e dunque al di fuori della Dorsale Ferrarese sembra dunque responsabile usare la magnitudo di progetto di 51/4, per l'analisi del rischio della liquefazione e la determinazione del rapporto di sforzo ciclico.

Invece, nell'utilizzo dei grafici basati sull'indice di resistenza penetrometrica dinamica (SPT), sono da preferire le curve dedicate alle sabbie limose (come si vedrà di seguito), funzione della percentuale in fine. Nelle sabbie dello strato "C", depositatesi in ambiente costiero ed in ambiente di piallassa sono significative le componenti limose, dunque con frazione coesiva > del 20%. La magnitudo di progetto prevista nell'area sismogenetica 912 dal Gruppo di Lavoro dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia è 6,14M, ma su tutta l'area della Dorsale Ferrarese storicamente in provincia di Ferrara, e aree limitrofe, non sono documentati terremoti di magnitudo superiore a 5,6Ms (questo almeno sino al 2012).

Il sisma del 21/05/2012 (ore 4.04) e del **29/05/2012** (ore 9.00) con epicentro tra Bologna, Ferrara e Modena, hanno registrato rispettivamente una magnitudo Richter di **6.0** e **5.8** con ipocentri tra 6 e 10 Km di profondità. La magnitudo Richter (MI) dell'evento principale del 20/05/2012 è pari a 5.9 (± 0.3), che è stata determinata con i dati di circa 60 sismogrammi della rete sismica nazionale. Il calcolo del momento tensore ha rivelato la magnitudo momento (Mw) e il tipo di movimento avvenuto durante la scossa principale. Si tratta di un meccanismo compressivo con direzione di massima compressione nord-sud. **La Mw calcolata dall'inversione dei dati della rete sismica nazionale risulta pari a 5.9.** La mappa di scuotimento atteso è stata determinata dai dati della Rete Sismica Nazionale. In un'area di circa 30x30 km² intorno all'epicentro la mappa prevede intensità fino al VII-VIII grado della scala Mercalli modificata.

L'evento di magnitudo Mw=5.9 del 20/5/2012 delle 2:03 GMT (ore 4:03 ora locale) è stato risentito in tutto il nord-Italia e le shakemap calcolate subito dopo l'evento confermano queste

osservazioni. In particolare, *nella zona epicentrale le accelerazioni massime sono state stimate fino a 0.3g, ossia il 30% dell'accelerazione di gravità*. Questo valore è tuttavia stimato in quanto non vi sono dati da stazioni sismiche poste all'epicentro stesso o negli immediati paraggi per cui è solo indicativo.

5.1. CARATTERISTICHE SISMICHE PSC COMUNE DI POGGIO RENATICO E FERRARA

Per una caratterizzazione generale del sito, vengono di seguito riportate le indicazioni ottenute da indagini eseguite per la redazione della parte geologica del PSC e sismica del PSC-POC comunale di Ferrara, nonché dello studio di microzonazione sismica comunale e da indagini sismiche di sito del comune di Poggio Renatico.

L'area indagata, ha le seguenti caratteristiche:

- Microzonazione sismica - carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica alla scala 1: 10.012 (RER) il sito indagato, per circa il 90% (corrispondente a tutta la parte centro settentrionale), è cartografato come zona L (zona potenzialmente suscettibile di liquefazione). Il restante 10% (corrispondente al settore sud del sito indagato), invece, è cartografato come zona A (zona suscettibile di amplificazione)
- Microzonazione sismica - carta fattori di amplificazione e del rischio di liquefazione, alla scala 1: 10.000 (RER). Il 90% dell'area indagata, ad esclusione della sua propaggine SW, ricade in area LQ1 (area con presenza di terreni suscettibili alla liquefazione già nei primi 10 m da p.c.; FAPGA = 1.5; FH 0.1-0.5s = 1.8; FH 0.5-1.0s = 2.5 stima con abachi DAL 112/2007). La propaggine W-SW, invece è cartografata come zona suscettibile di amplificazione (FAPGA = 1.5; FH 0.1-0.5s = 1.8; FH 0.5-1.0s = 2.5 stima con abachi DAL 112/2007).
- Microzonazione sismica - carta microzone omogenee in prospettiva sismica, alla scala 1: 10.000 (RER). Il 90% dell'area indagata, ad esclusione della sua propaggine SW, ricade in area LQ1 (area con presenza di terreni suscettibili alla liquefazione già nei primi 10 m da p.c.; con substrato-bedrock ≥ 120 m). La propaggine W-SW, invece è cartografata come zona suscettibile di amplificazione (con substrato-bedrock ≥ 120 m). Su parte dell'area oggetto del presente studio, vi sono sia orizzonti L2 (orizzonti liquefacibili- minimo m 1 di spessore, presenti tra m 5 e m 10 da p.c.) che L3 (orizzonti liquefacibili- minimo m 2 di spessore, presenti tra m 10 e m 15 da p.c).

Essendo il sito indagato al confine del territorio comunale di Ferrara, ed avendo le medesime caatteristiche, si riportano, di seguito gli input sismici comunali/intercomunali

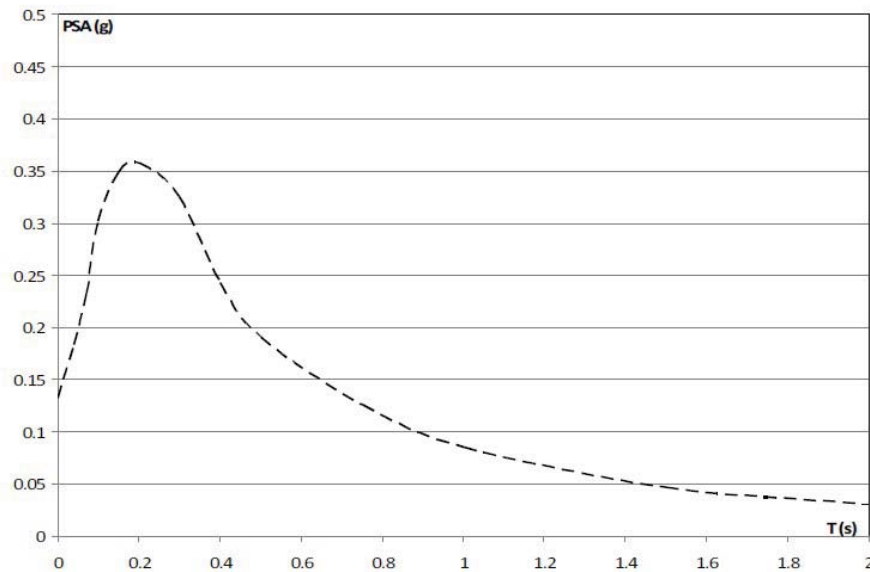


Fig 18A – Spettro di risposta per il comune di Ferrara relativamente agli studi di microzonazione sismica (da PSC).

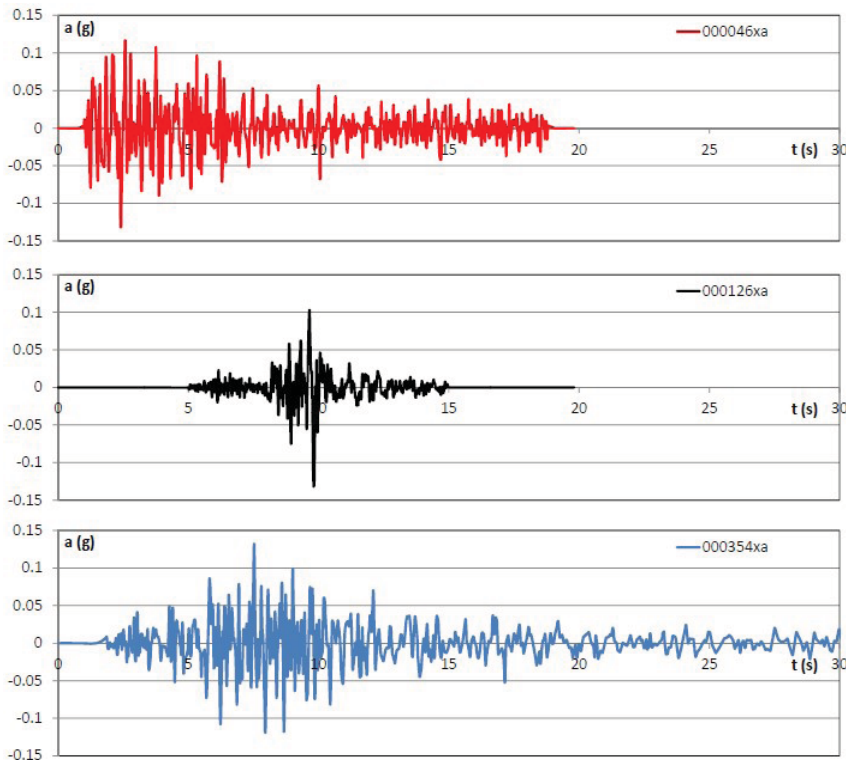
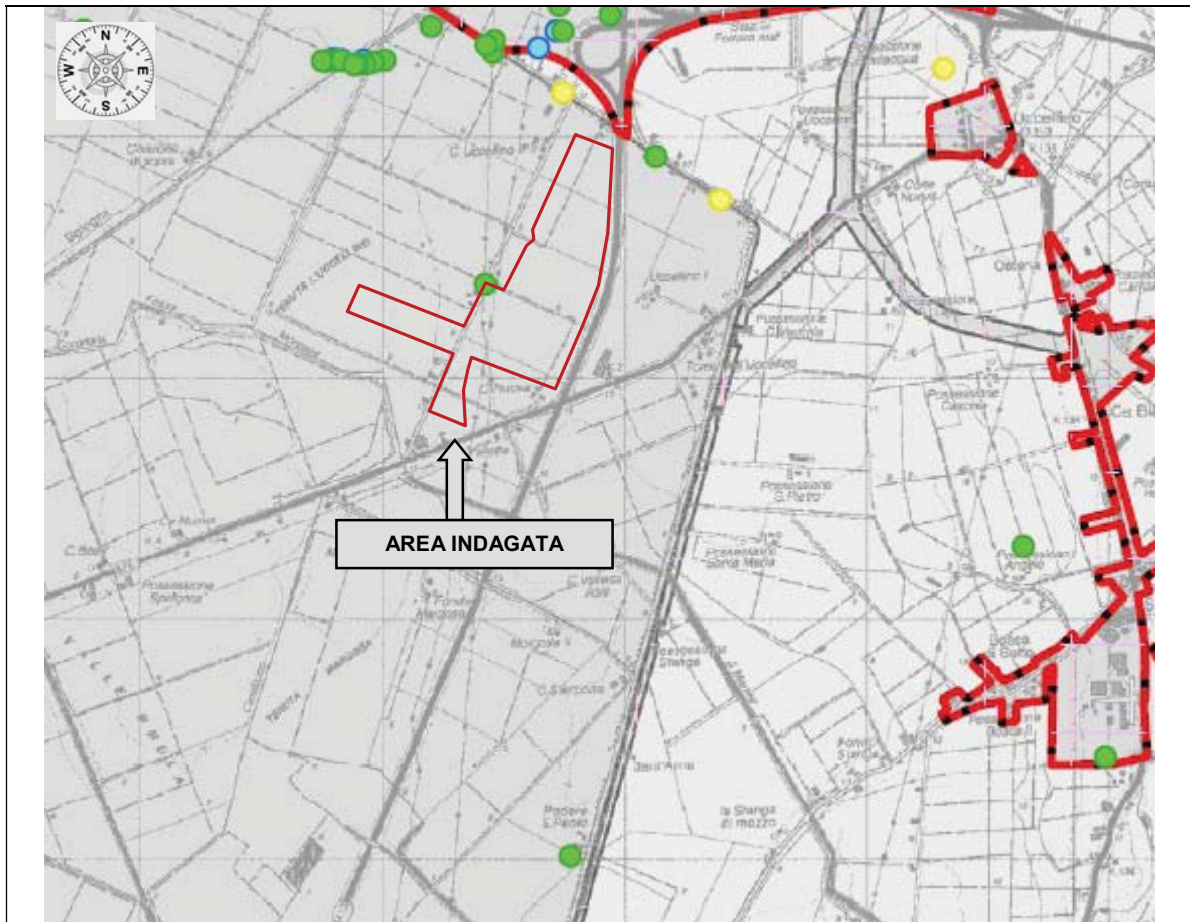


Fig 18B – Accelerogrammi sismici di riferimento per il comune di Ferrara.



Legenda:

Potenziale di liquefazione molto elevato - rischio di cedimenti presente	
Potenziale di liquefazione elevato - rischio di cedimenti presente	
Potenziale di liquefazione basso - rischio di cedimenti presente	
Potenziale di liquefazione basso - rischio di cedimenti assente	
Rischio di amplificazione stratigrafica elevato	

Fig. 19 - stralcio carta di sintesi della valutazione locali degli effetti di sito, alla scala 1: 36.000. Tratto da psc comune Ferrara.

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

Viene di seguito fornita al progettista una serie di dati, in parte ottenuta tramite software-free Geostru, per la determinazione dei parametri sismici di sito in relazione al Decreto Ministeriale NTC 2018 ed in base ad indagini sito specifiche eseguite nell'area di studio.



Sito in esame.

latitudine: 44,786564 [°]

longitudine: 11,548165 [°]

Classe d'uso: II. Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

Vita nominale: 50 [anni]

Tipo di interpolazione: Media ponderata

Siti di riferimento.

	ID	Latitudine [°]	Longitudine [°]	Distanza [m]
Sito 1	15623	44,768580	11,519480	3020,8
Sito 2	15624	44,769720	11,589840	3785,3
Sito 3	15402	44,819710	11,588260	4857,0
Sito 4	15401	44,818570	11,517800	4290,1

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: C

Categoria topografica: T1

Periodo di riferimento: 50 anni

Coefficiente cu: 1

	Prob. superamento [%]	Tr [anni]	ag [g]	Fo [-]	Tc* [s]
Operatività (SLO)	81	30	0,039	2,547	0,256
Danno (SLD)	63	50	0,051	2,467	0,271
Salvaguardia della vita (SLV)	10	475	0,149	2,590	0,271
Prevenzione dal collasso (SLC)	5	975	0,201	2,537	0,278

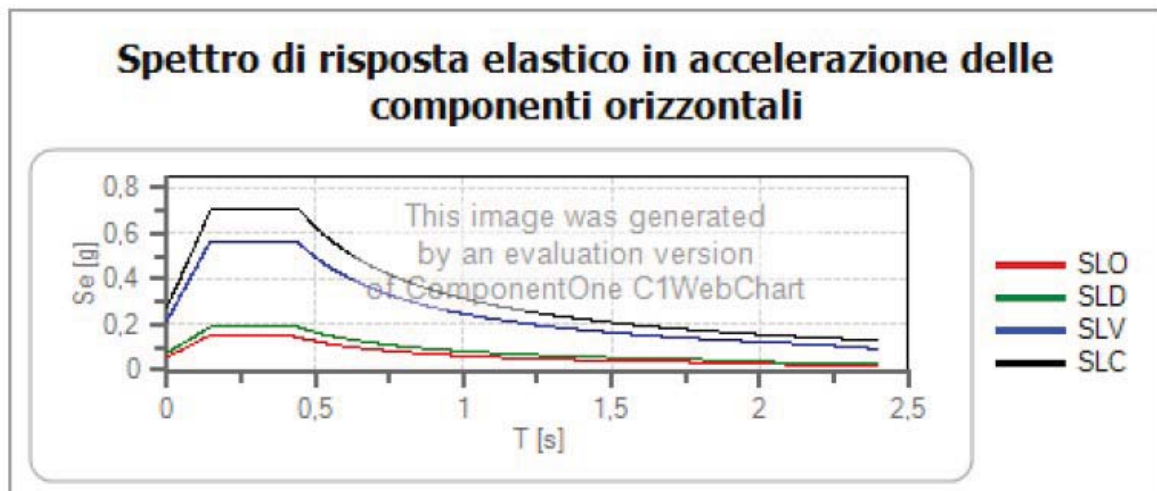
Coefficienti Sismici fondazioni e Stabilità dei pendii

	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	Kh [-]	Kv [-]	Amax [m/s ²]	Beta [-]
SLO	1,500	1,650	1,000	0,012	0,006	0,600	0,200
SLD	1,500	1,620	1,000	0,012	0,006	0,600	0,200
SLV	1,470	1,610	1,000	0,015	0,007	0,600	0,240
SLC	1,390	1,600	1,000	0,017	0,009	0,600	0,280

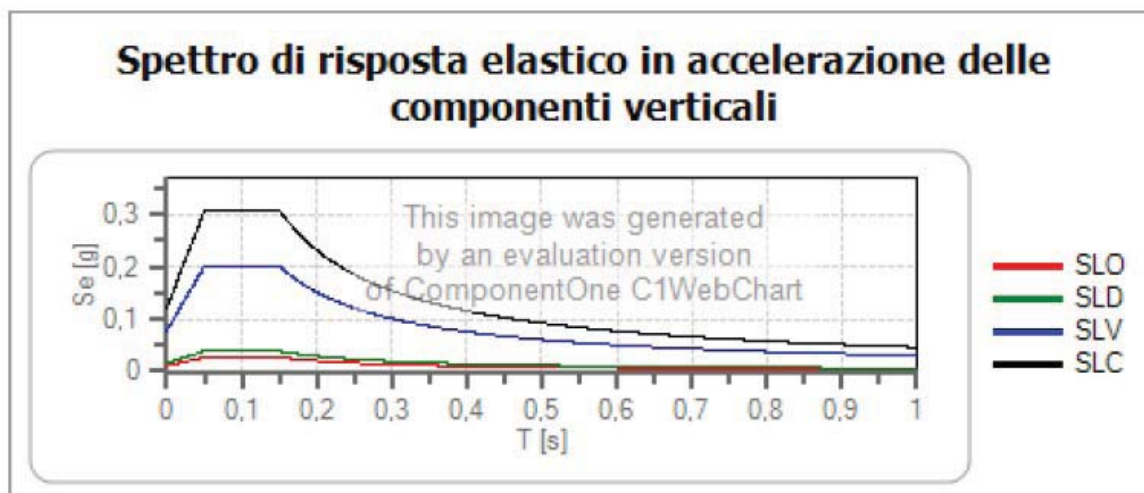
Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali e verticali

Coefficiente di smorzamento viscoso = 5 %

Fattore che altera lo spettro elastico = 1,000



	cu	ag [g]	Fo	Tc* [s]	Ss	Cc	St	S		TB [s]	TC [s]	TD [s]
SLO	1	0,039	2,547	0,256	1,500	1,650	1,000	1,500	1,000	0,141	0,423	1,757
SLD	1	0,051	2,467	0,271	1,500	1,620	1,000	1,500	1,000	0,146	0,439	1,806
SLV	1	0,149	2,590	0,271	1,470	1,610	1,000	1,470	1,000	0,146	0,437	2,196
SLC	1	0,201	2,537	0,278	1,390	1,600	1,000	1,390	1,000	0,148	0,445	2,402



	cu	ag [g]	Fo	Tc* [s]	Ss	Cc	St	S		TB [s]	TC [s]	TD [s]
SLO	1	0,039	2,547	0,256	1,000	1,650	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000
SLD	1	0,051	2,467	0,271	1,000	1,620	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000
SLV	1	0,149	2,590	0,271	1,000	1,610	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000
SLC	1	0,201	2,537	0,278	1,000	1,600	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000

6.1. INDAGINI SISMICHE E RISPOSTA SISMICA LOCALE

Ai sensi della **OPCM 3274** e successive variazioni e secondo l’Atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell’**art. 16, c.1, della L.R. 20/2000** per “Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica”, per la caratterizzazione sismica del sito, viene utilizzata l’analisi sismica di III° livello, fatta da colleghi, sia per la redazione della microzonazione sismica di 3° livello comunale, che per interventi puntuali in lotti attigui a quello indagato. *Vengono utilizzati dati* mediante analisi HVSR, eseguito.

6.1.1. HVSR - Misura a stazione singola H/V: procedura e strumentazione utilizzata

Il metodo HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) proposto da Nogoshi e Igarashi (1970) e successivamente modificato da Nakamura (1989), si basa sull’analisi del rapporto spettrale tra le componenti orizzontale (H) e verticale (V) del rumore sismico registrato in un sito. Il rumore sismico è presente ovunque ed è generato sia da fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) che dall’attività antropica. Il rumore sismico è indicato spesso come microtremore poiché è caratterizzato da oscillazioni molto deboli (dell’ordine dei $\mu\text{m/s}$). I microtremori sono in parte costituiti da onde di volume, P o S, ma soprattutto da

onde superficiali, la cui velocità è comunque prossima a quella delle onde S (Mulargia et al., 2007). La tecnica di misura del rumore sismico richiede tempi di registrazione pari a 14-30 minuti e necessita di sensori tridirezionali da sismologia con messa in bolla, digitalizzatore 24 bit con elevata dinamica, elevato guadagno ed elevata frequenza dicampionamento nativo, con minimizzazione del rumore elettro/meccanico.

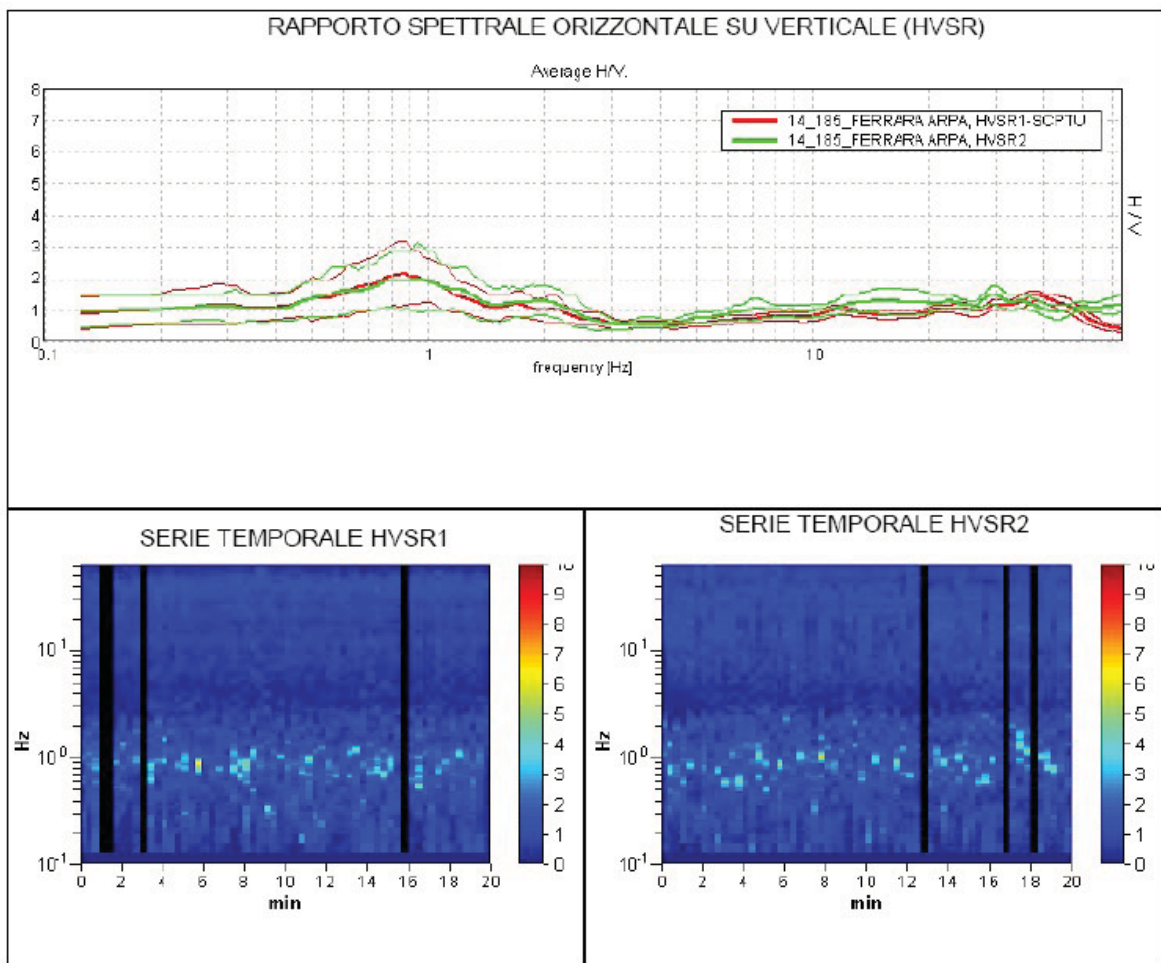
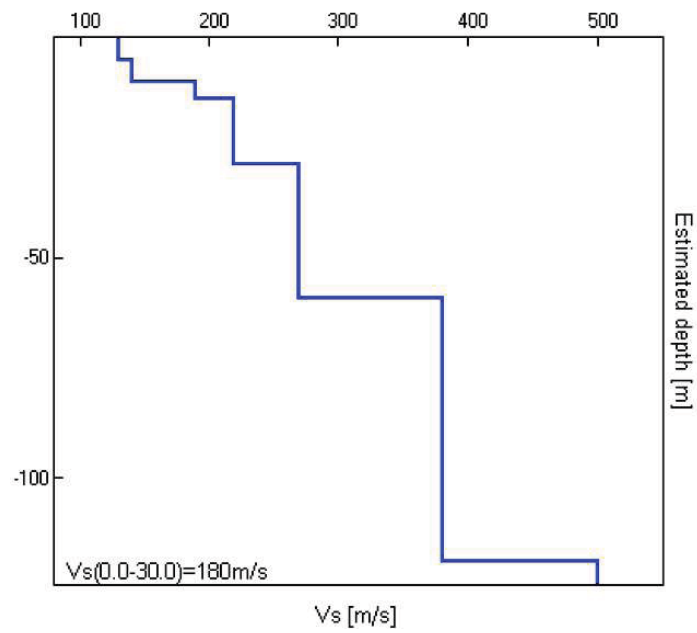
L'acquisizione è stata eseguita utilizzando un tromografo digitale, "TROMINO ENGY" (Micromed S.p.A.) dotato di 3 canali velocimetrici (N-S, E-W, Up-Down) ad alto guadagno per l'acquisizione del microtremore sismico ambientale (fino a ~1.5 mm/s); il sistema opera nell'intervallo di frequenze 0.1–1024 Hz. L'elaborazione dei dati di rumore sismico acquisiti è avvenuta mediante software Grilla.

Le curve HVSR1 e HVSR2 sono risultate del tutto confrontabili tra loro. Per frequenze superiori a 1 Hz, queste sono caratterizzate solo da deboli irregolarità e deviazioni dalla planarità legate alla presenza di stratificazioni nel sottosuolo a contrasto d'impedenza molto basso. Nell'intervallo 0.5-1.0 Hz circa si registra una modesta amplificazione locale del moto del suolo per risonanza stratigrafica a basso contrasto.

Il tutto è confermato inoltre anche dalla stratigrafia del terreno evinta dalle schede stratigrafiche dei pozzi limitrofi alla zona di studio, che indicano la presenza di sabbie e conseguente falda confinata captata, a partire da mt 90 sino a mt 130 circa da piano campagna.

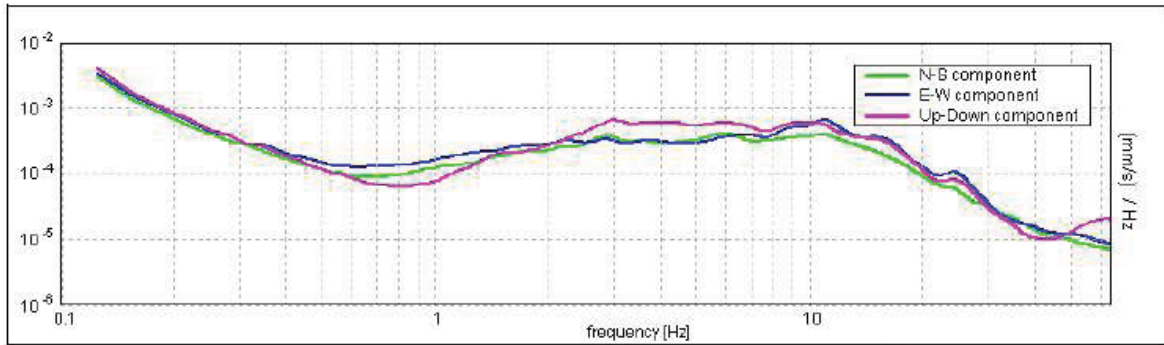
Modello di sottosuolo per il sito proposto è il seguente:

Profondità base strato (m)	Spessore (m)	Vs (m/s)
5.00	5.00	130
10.00	5.00	140
14.00	4.00	190
29.00	15.00	220
59.00	30.00	270
119.00	60.00	380
inf.	inf.	500



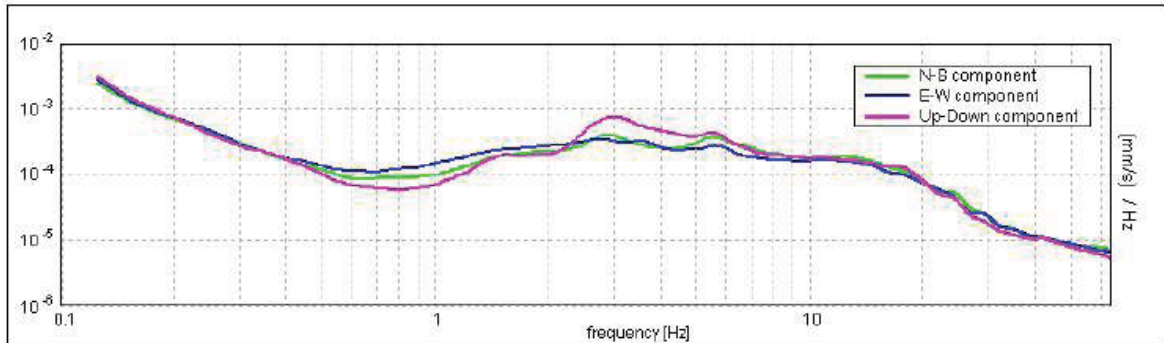
Curva H/V (HVSR) registrata nel sito in esame e serie temporale considerata nell'analisi.

SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI HVSR1

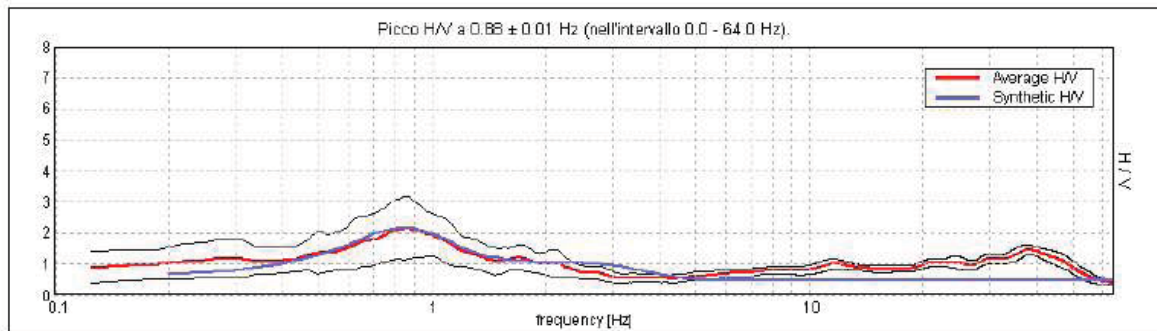


· spettri delle 3 componenti del moto in velocità registrate nel sito

SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI HVSR2



H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO



· confronto tra curva HVSR1 sperimentale registrata nel sito e curva teorica (blu) relativa al modello di sottosuolo proposto per il sito.

La coppia magnitudo-distanza utilizzata per la ricerca degli accelerogrammi di input è stata scelta tenendo conto di:

- Storia sismica del comune di appartenenza del sito in esame (Database Macrosismico Italiano 2011-DBM11): valore massimo di Intensità macrosismica al sito (comune di **Ferrara**) pari a **I (MCS) = 8**, **terremoto con epicentro = Ferrara (anno 1570), Mw = 5.46± 0.25, distanza epicentro-sito in studio = 3 Km circa**;
- Carta Sismogenetica d'Italia (ZS9 – INGV) secondo la quale il sito in studio ricade all'interno della **zona sismogenetica 912 (dorsale ferrarese)** alla quale corrisponde una **Mw max = 6.14**;
- Analisi di disaggregazione della pericolosità sismica di base (Progetto DPCINGV-S1; disaggregazione del valore di ag con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni): coppia Magnitudo-Distanza media rappresentativa pari a **M= 4.950; D= 9.580 Km; Epsilon= 0.541**;
- Effetti di scuotimento prodotti dal sisma emiliano del maggio 2012 (Mappe di scuotimento legge 122/2012 del 1 agosto 2012): scossa di magnitudo **M=5.9 (data 20/05/2012)**; Coord. epicentrali: **44.8890N, 11.2280E**; distanza epicentrale dal sito di interesse pari a **D=30 Km circa** (l'Intensità Macrosismica in scala Mercalli Modificata "MMI" misurata nella stazione accelerometrica più vicina al sito in studio, quella di Copparo-Coccanile "CPC", è risultata pari a pari a I = 5.4 effetto moderato).

Di seguito (tabella 2 e fig.3) si riportano le caratteristiche degli **accelerogrammi di input** estratti da **REXEL** utilizzati nel calcolo e i relativi spettri di risposta in accelerazione. La loro media è confrontata con lo spettro di riferimento delle NTC 2008 (spettro target).

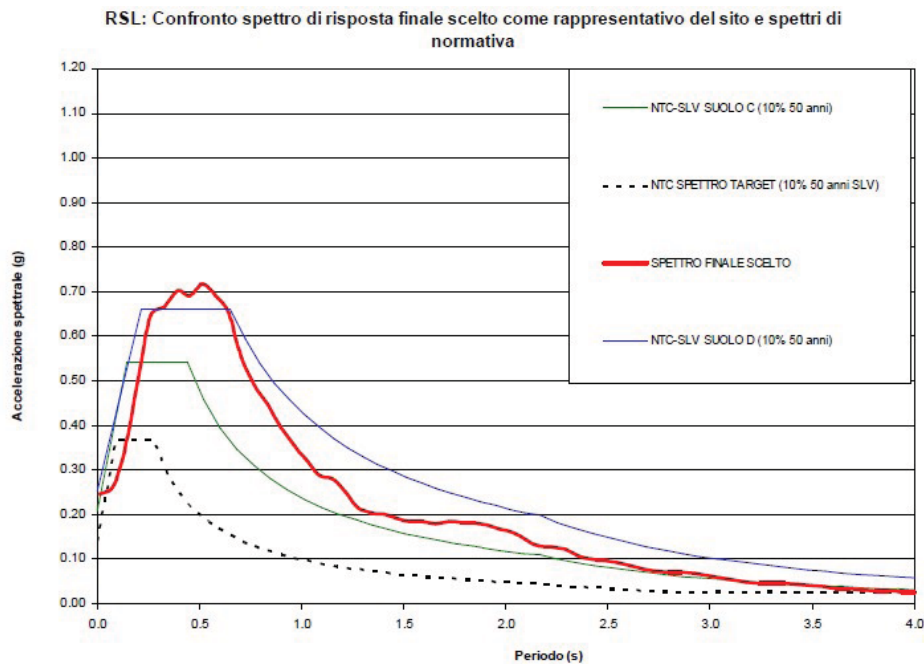
Waveform ID	Earthquake Name	Date	Mw	Fault Mechanism	Epicentral Distance [km]	PGA_X [m/s ²]	PGA_Y [m/s ²]	Classe sito
270	val comino earthquake	07/05/1984	5.9	normal	27.0005	0.63325	0.66285	A
103	friuli earthquake 4th shock	15/09/1976	5.9	thrust	16.4207	1.2852	2.449	A
270	val comino earthquake	07/05/1984	5.9	normal	27.0005	0.63325	0.66285	A
103	friuli earthquake 4th shock	15/09/1976	5.9	thrust	16.4207	1.2852	2.449	A
260	val comino earthquake	07/05/1984	5.9	normal	10.2931	0.98389	1.096	A
255	gubbio earthquake	29/04/1984	5.6	normal	16.7602	0.48837	0.65775	A
488	umbria-marche 3rd shock	14/10/1997	5.6	normal	22.0159	0.52517	0.62086	A
mean:			5.814286		19.41594	0.833461	1.228316	A

Tabella 2 – Terremoti di riferimento utilizzati nell'analisi (da ITACA – Rexel v3.5 beta)

A partire dagli accelerogrammi di input e dal modello di sottosuolo utilizzato, sono stati ottenuti gli spettri di risposta in accelerazione attesi al sito (spettri di risposta dell'oscillatore armonico tipo a un solo grado di libertà SDOF).

Il calcolo eseguito mediante il software **STRATA** è stato condotto con i seguenti vincoli:

- Variazione delle curve degrado-smorzamento relative ai materiali utilizzati nel calcolo (Darendeli);
- Variazione profondità del bedrock (distribuzione Log Normale; prof. min 250 m – prof. max 300 m; $\sigma = 0.50$);
- n° di profili calcolati: 50;
- n° terremoti input utilizzati: 10;
- n° spettri di risposta finali generati: 500.



Il valore di PGA dello spettro finale scelto è risultato:

- **PGA = 0.247 g**
- **PGA/PGA₀ (F.A.) = 1.74**

Dove:

P.G.A. = *Pick Ground Acceleration*, accelerazione massima orizzontale al sito in superficie;

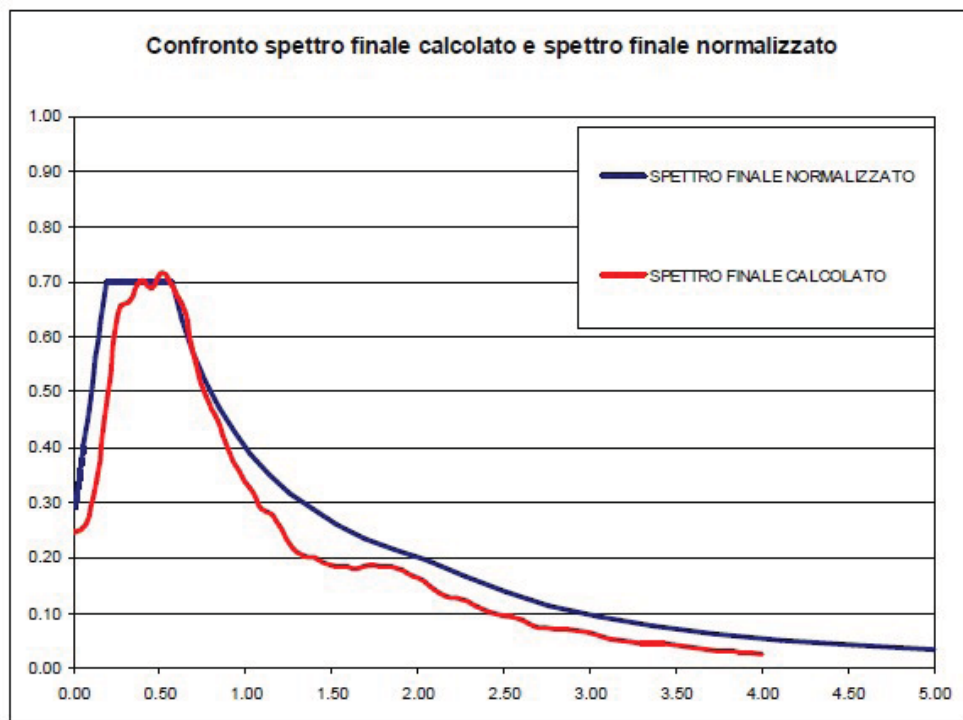
P.G.A./P.G.A.₀ (F.A.) = Rapporto tra accelerazione massima orizzontale al sito in superficie e accelerazione massima orizzontale di base (riferita a suolo rigido orizzontale di categoria A). Questo rapporto rappresenta il fattore di amplificazione sismica (F.A.) del sito in esame;

Parametri sismici indipendenti del sito investigato:

- Accelerazione massima orizzontale di base = 0.142 g
- F_0 (amplificazione spettrale massima) = 2.593
- T^*_c = 0.272 s

I parametri derivati che definiscono lo spettro normalizzato sono i seguenti:

- S (coeff. di amplificazione) = 1.9
- C_c (coefficiente calcolato in funzione dei valori di F_0 e T^*_c) = 2.1
- Smorzamento convenzionale (5%) = 1
- T_B (inizio tratto spettro ad accelerazione costante) = 0.190s
- T_C (inizio tratto spettro a velocità costante) = 0.571 s
- T_D (inizio tratto spettro a spostamento costante) = 2.168 s



Spettro di risposta finale normalizzato

6.3. VERIFICA DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

L'area analizzata risulta caratterizzata da un andamento generalmente orizzontale con distribuzione lenticolare delle varie unità litologiche con spesse e ramificate interdigitazioni tra i termini prevalentemente argillosi e quelli invece più sabbioso-limosi.

In queste condizioni, gli unici problemi che possono verificarsi in occasione di eventi sismici, possono essere legati unicamente a particolari caratteristiche litologiche e geotecniche degli orizzonti caratterizzati da una percentuale elevata di materiale limoso e/o sabbioso. Ai fini delle verifiche nei riguardi del potenziale di liquefazione, vengono tralasciati gli strati a prevalente carattere argilloso, mentre vengono presi in considerazione gli intervalli stratigrafici aventi granulometriche ricadenti nel range del limo e della sabbia.

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

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

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

- a- Eventi sismici attesi di magnitudo di momento Mw inferiore a 6 e durata inferiore a 15 sec. (“La Liquefazione del terreno in condizioni sismiche” – Crespellani, Nardi, Simoncini – Zanichelli 1988).
- b- Accelerazioni massime attese al piano campagna in condizioni *free-field* minori di 0,1g;
- c- Accelerazioni massime al piano campagna in condizioni *free-field* minori di 0,15g e terreni con caratteristiche ricadenti in una delle tre seguenti categorie:
 - frazione di fine, FC, superiore al 20% (FC=frazione passante al setaccio ASTM 200, 0,074mm), con indice di plasticità $PI > 10$;
 - $FC \geq 35\%$ e resistenza $(N_1)_{60} > 20$;
 - $FC \leq 5\%$ e resistenza $(N_1)_{60} > 25$
- d- Dove $(N_1)_{60}$ è il valore normalizzato della resistenza penetrometrica della prova SPT.
- e- Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate in appositi diagrammi, da distinguere i materiali in funzione del coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ o $U_c > 3,5$.
- f- Copertura di strati superficiali non liquefacibili con spessore maggiore di 3m, oppure con spessore maggiore di 5m per magnitudo maggiori di $M > 7$.

Relativamente al sito indagato, e confrontando la stratigrafia puntuale con quelle delle altre indagini eseguite a nord, sud ed est. Per le analisi di liquefazione, in base ai diversi approcci è stata considerata una magnitudo pari a 6.14 ed una P.g.A = 0.25g. il livello di falda è stato inserito tra – 2.00 e – 2.40 m da p.c.

Considerando il DAL 112/2007 della Regione Emilia Romagna, che indica un deposito sabbioso suscettibile di liquefazione quando $F_s < 1$, vengono utilizzate le analisi elaborate con Idriss % Boulanger (2008).

Per l’interpretazione delle indagini che “circondano” il sito indagato, si riporta uno stralcio di premessa dello studio “confronto tra metodi semplificati di stima del rischio di liquefazione da prove cpt e cptu” di J.Facciorusso, C.Madiai, G.Vannucchi, dal quale si desume che: “ l’indice LPI è calcolato con riferimento ad una verticale di indagine. Gli effetti bi e tri dimensionali sono trascurati. Tale semplificazione può condurre talora a stime errate. In particolare se la liquefazione in un sito è limitata a lenti isolate, la liquefazione in superficie può non manifestarsi anche per valori significativi di LPI. Viceversa uno strato liquefatto sottile, profondo, molto diffuso ed esteso, può determinare rottura del terreno e “lateral spreading” anche per bassi valori di lpi. La variabilità ed eterogeneità naturale delle condizioni stratigrafiche e geotecniche può spiegare la non sempre buona correlazione tra i valori dell’indice LPI e le evidenze di liquefazione”.

Dalla correlazione stratigrafica tra le indagini eseguite e le prove analizzate nella banca dati della RER, del psc-poc-microzonazione sismica comunale, nonché da studi specifici (vedi Stevanin 2016), si può affermare che solamente un piccolo livello liquefacibile, che si trova geograficamente più a nord e ad est del sito indagato), presente tra m 2.80/4.00 e m 3.20/4.80, risulta correlabile e “continuo orizzontalmente ” su tutto l’areale, ma in prossimità di via Bologna. Di conseguenza i singoli valori di IPL sono stati valutati tenendo in considerazione l’effettiva contonità latero-verticale.

Per il sito indagato, pertanto con i metodi e le indagini che si sono potuti eseguire nel presente lavoro, si ottiene un rischio di liquefazione basso (questo, prendendo in considerazione le prove più significative SCPTU1 e CPTU2)

Come dati di input, si sono individuati gli strati con $F_s < 1$ (Idriss & Boulenger, 2008) .

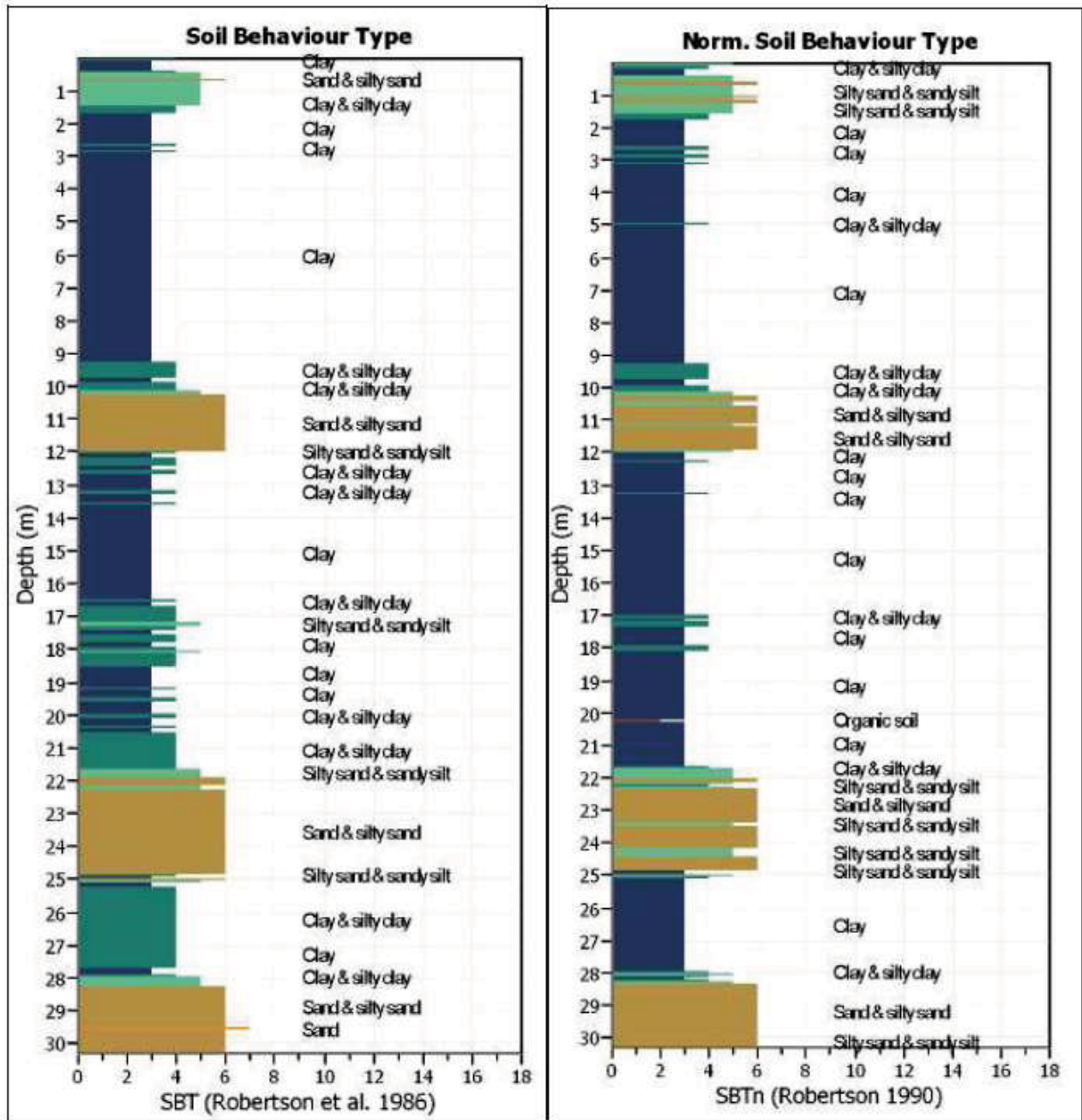
SCPTU1 – STRATI CON $F_s < 1$		
SCPTU1	PROFONDITÀ	SPESSORE
	9.94 – 10.00	0.06
	10.08 – 11.96	1.88
	12.28 – 12.36	0.08
	12.40 – 12.42	0.02

CPTU2 – STRATI CON $F_s < 1$		
CPTU2	PROFONDITÀ	SPESSORE
	4.64 – 4.84	0.20
	4.88 – 5.16	0.28
	5.44 – 5.66	0.22
	5.76 – 5.88	0.12
	9.10 – 9.16	0.06
	9.70 – 10.02	0.32
	10.30 – 10.42	0.12
	12.08 – 12.36	0.28
	16.52 – 16.62	0.10
	17.10 – 17.24	0.14
	17.76 – 17.88	0.12
	17.92 – 17.96	0.04
	18.88 – 18.98	0.10
	19.18 – 19.20	0.02
19.24 – 19.26	0.02	

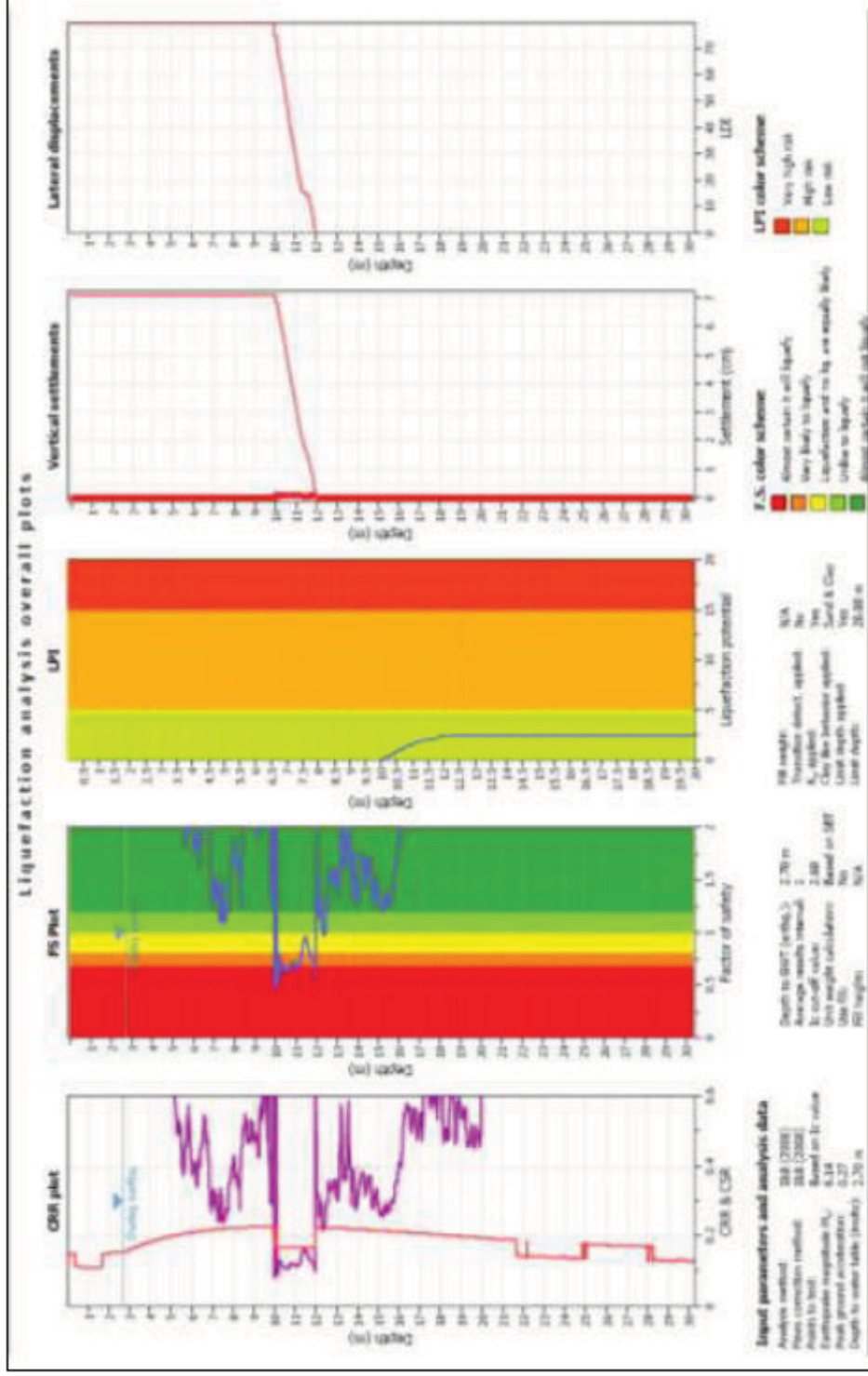
Come detto, un deposito sabbioso risulta quindi suscettibile a liquefazione quando $F_s < 1$.

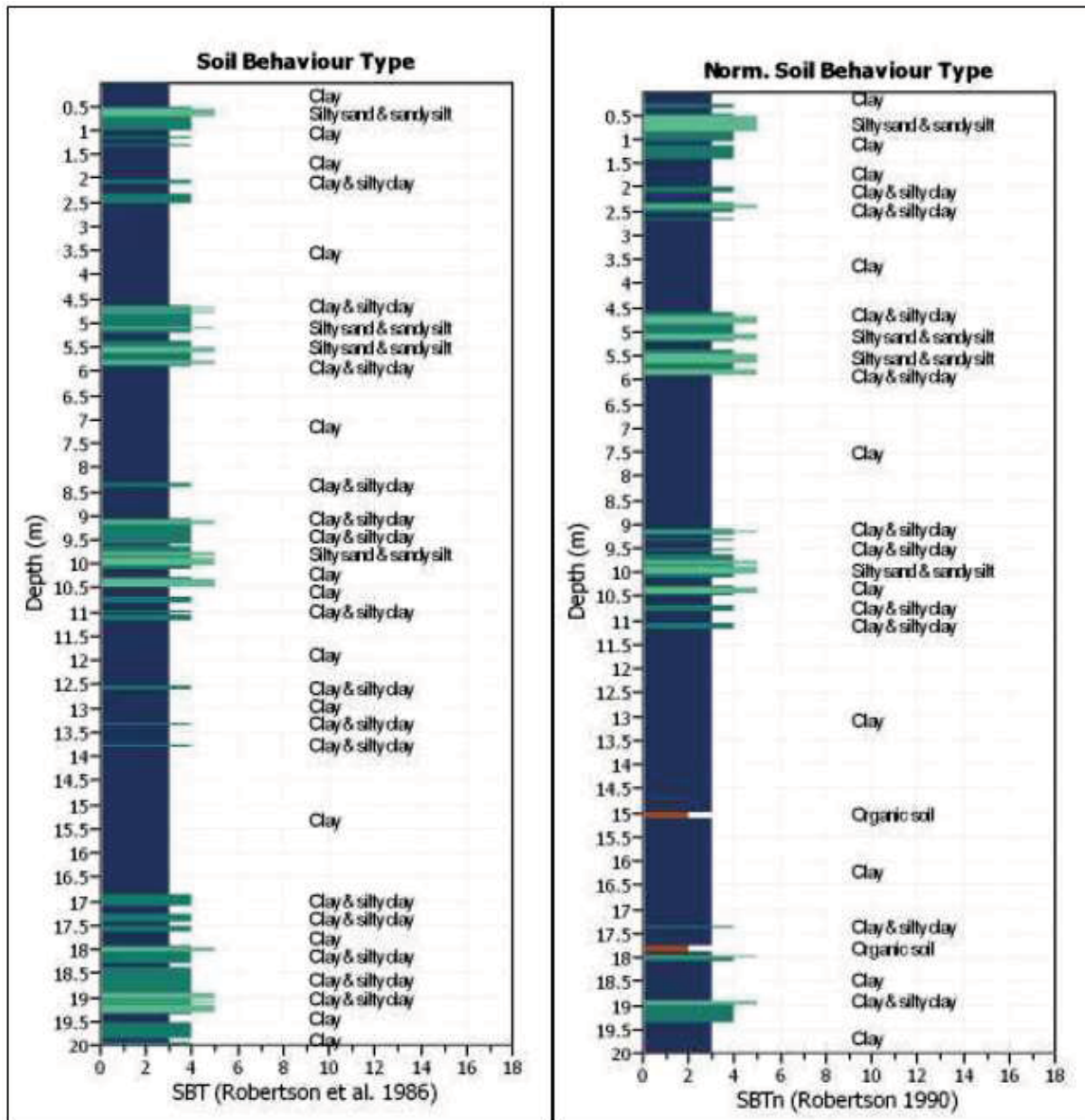
Utilizzando il software CLiq v.1.7.6.34 è stato determinato il fattore F_s applicando il metodo di Idriss & Boulanger (2008) individuando quindi gli spessori caratterizzati da $F_s < 1$, di seguito riportati.

Vengono di seguito riportate le verifiche sulle indagini rappresentative di riferimento scelte su tutte quelle eseguite per la redazione del presente lavoro.

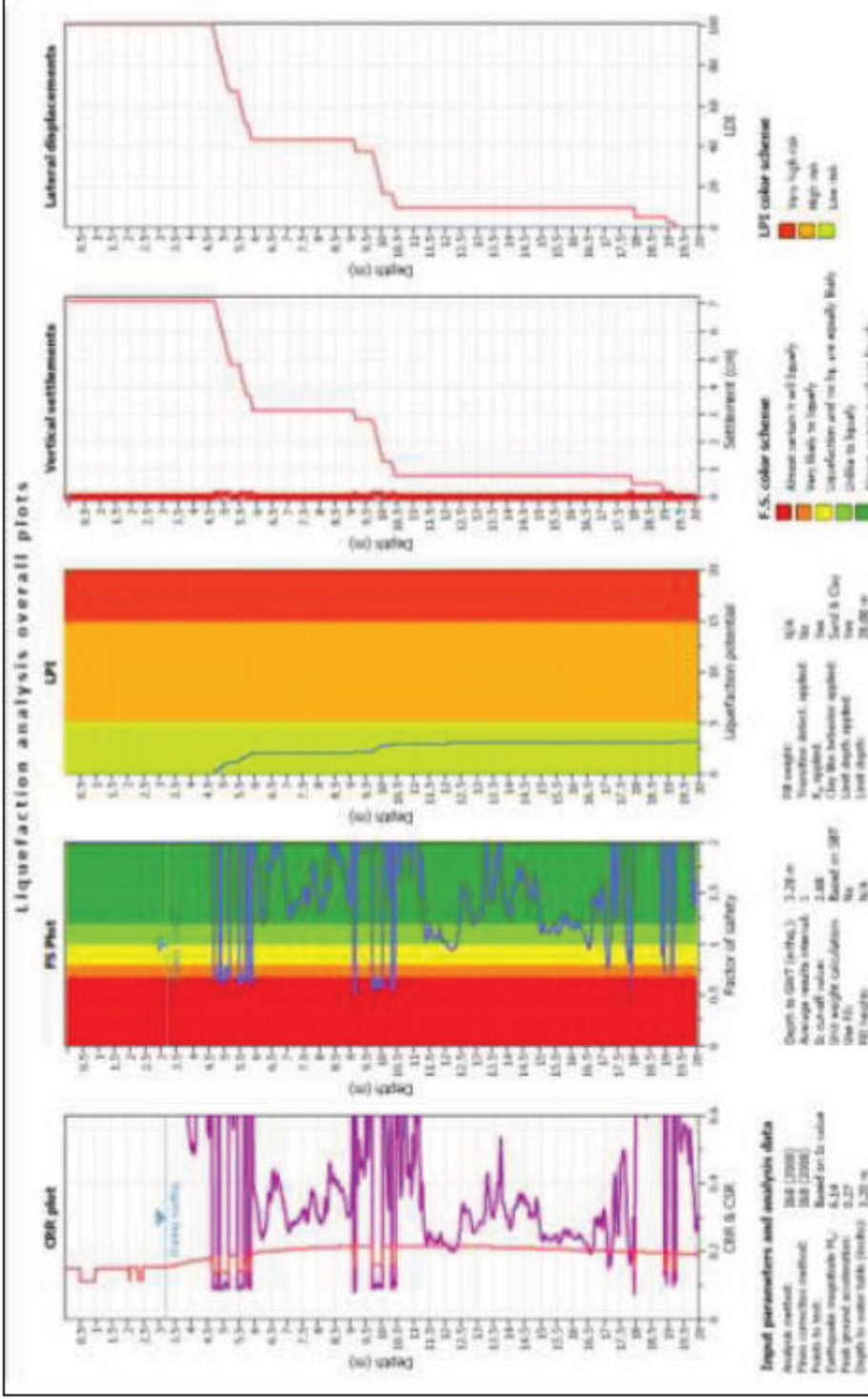


SCPTU1 – Tipo di comportamento del terreno in base a Robertson 1986 a sinistra e normalizzato in base a Robertson 1990 a destra





CPTU2 – Tipo di comportamento del terreno in base a Robertson 1986 a sinistra e normalizzato in base a Robertson 1990 a destra



Per stimare il grado di severità globale dovuta alla liquefazione del deposito, utilizzando lo stesso software CLiq v.1.7.6.34 è stato determinato, inoltre, l'Indice del Potenziale di Liquefazione in base a diversi autori, considerando una magnitudo pari a 6.14, una P.G.A = 0.27. Il livello della falda è stato mantenuto invariato nell'ipotesi dell'avvenimento del sisma, in base alla litologia prevalentemente coesiva riscontrata in superficie; non sono infatti disponibili studi relativi alla variazione del livello della falda specifici.

In corrispondenza della verticale SCPTU1, l'Indice del Potenziale di liquefazione, a seconda dell'autore è compreso fra circa 2.2 e 4.0, mentre in corrispondenza della verticale CPTU2, l'Indice del Potenziale di liquefazione, a seconda dell'autore è compreso fra circa 1.8 e 4.2.

In base al metodo di Idriss e Boulanger (2008), suggerito dalla determinazione n° 1105 del 03/02/2014 della Regione Emilia Romagna, l'Indice del Potenziale di Liquefazione assume il seguente valore esatto:

SCPTU1 = 2.449

CPTU2 = 3.143

In base all'indice di potenziale liquefazione il sito si definisce a rischio basso in corrispondenza delle prove.

si evince che il valore dell'Indice di Potenziale liquefazione rimane al di sotto della soglia pari a 5 (rischio basso/alto) fino ad un valore di PGA maggiore di 0.30g.

Considerando una magnitudo = 6.14, una P.G.A. = 0.27g ed una quota di falda di circa – 200 cm da p.c. attuale, sulle verticali d'indagine, si ottiene un **rischio di liquefazione basso**.

7. RISCHIO DI ALLUVIONAMENTO

In base a quanto riportato nel quadro conoscitivo del PSC 2008-2009, del comune di Ferrara, e nel PTCP della provincia di Ferrara (visto che il psc del comune di Poggio Renatico non è stato adottato), l'area in esame non risulta essere a rischio di alluvionamento (questo con le cartografie esistenti).

8. CAMPAGNA DI INDAGINI

Per la CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA E LITOLOGICA DEL SITO, visto il tipo di opera indagata, la superficie complessiva interessata ed il volume significativo di terreno da essa coinvolto, è stato concordato con i Progettisti di eseguire un idoneo piano di indagini :

- n. 2 prove penetrometriche statiche SCPTU
- n. 2 prove penetrometriche statiche CPTU
- n. 2 indagini sismiche a stazione singola HVSR
- n. 4 sondaggi leggeri a secco elicoidali Φ 40 mm

Inoltre si sono utilizzate tutte le indagini eseguite da colleghi per la redazione del psc-poc-microzonazione sismica comunale (di Ferrara), nonché studi specifici di aree limitrofe (per confronto, ad esempio i dati di progettazione del tracciato stradale della Cispadana) e la banca dati geognostici della RER.

La profondità delle prove cpt è stata programmata al fine di determinare le caratteristiche geomeccaniche dei litotipi presenti fino a quote sufficienti ad ottenere un decremento superiore al 90% dell'incremento di carico indotto in corrispondenza del piano di fondazione per le fondazioni di seguito considerate; tale profondità è stata scelta in fase esecutiva in seguito ai valori di resistenza verificati nel corso della prova stessa e considerando la trasmissione delle tensioni verticali derivanti dalla teoria di Bousinesq.

9. STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

Il *Cone Penetration Test* (o prova CPT) misura la resistenza di un terreno alla penetrazione di una punta conica (punta Begemann) e di un manicotto (*friction jacket cone*) aventi le sottoindicate dimensioni standard: - la punta ha forma conica, avente angolo di 60° e area della superficie di base pari a 10 cm^2 ; - il manicotto per la misura dell'attrito laterale locale ha una superficie laterale di 150 cm^2 , ed è posto immediatamente sopra la punta conica. È stato utilizzato un penetrometro meccanico tipo Deep Drill da 20 tonni di spinta, con misura della resistenza discontinua (caratterizzato da una lettura ogni 20 cm), rispettivamente mediante manometri. Durante l'infissione nel terreno del sistema punta-batteria aste, vengono misurate alternativamente la resistenza alla punta R_p e la

resistenza all'attrito laterale R_l , entrambe espresse in Kg/cm^2 . Dal rapporto R_p/R_l , secondo la teoria di Begemann, è possibile individuare la natura litologica dei terreni interessati dalla prova CPT, in base alla risposta meccanica che ogni singolo strato fornisce.

10. CARATTERISTICHE LITOSTRATIGRAFICHE E GEOTECNICHE (MODELLO GEOLOGICO)

10.1 PROVE PENETROMETRICHE

Le caratteristiche litostratigrafiche esaminate per mezzo del rapporto di Begemann (1965), in corrispondenza della verticale della prova eseguita, così come confermato anche dalla elaborazione delle c_{ptu} regionali e dei sondaggi della banca dati geognostica della Regione Emilia Romagna, indicano la presenza di materiali coesivi alternati a livelli coesivo granulari tra p.c. e - 20.00 m, per passare poi ad alternanze di argille e sedimenti granulari/coesivi (sabbie e limi sabbiosi) sino a m 28, per poi passare (sino a m 30 fine indagine) a sabbie limose.

Date le modalità di acquisizione dati, i parametri geotecnici hanno esclusivamente validità orientativa come i risultati delle prossime valutazioni con essi eseguite.

Per valutazioni più precise si rimanda ad eventuali idonee analisi di laboratorio da effettuarsi su campioni indisturbati prelevati nel corso di ulteriori sondaggi geognostici a carotaggio continuo.

Precisamente nel corso dell'analisi dei dati sono stati individuati i seguenti intervalli stratigrafici:

Da piano campagna, precedute localmente da un sottile orizzonte (0.40 – 0.60 m) a consistenza plastica ($q_c = 1.2 - 1.9$ MPa; $R_f = 4.2 - 6\%$), sono inizialmente presenti delle argille limose di colore marrone, di consistenza plastica dura ($q_c = 2.0 - 4.5$ MPa; $R_f = 3.5 - 6.1\%$) ed umidità scarsa, presumibilmente sovraconsolidate per essiccazione, che a partire da una profondità media di mt 1.20 assumono in prevalenza una consistenza plastica ($q_c = 1.4 - 1.9$ MPa; $R_f = 3.5 - 6.4\%$).

A partire da una profondità media di mt 1.60/1.80, per uno spessore di mt 2.00/2.40, prevalgono dei limi argillosi di colore beige di consistenza plastica ($q_c = 1.0 - 1.7$ MPa; $R_f = 3.2 - 6.4\%$) ed umidità media.

Sotto prevalgono dei limi argillosi di colore beige con screziature grigiastre, di consistenza plastico

tenera ($q_c = 0.5 - 0.9$ MPa; $R_f = 3.5 - 6.4\%$) ed umidità da medio elevata alla totale saturazione idrica, inglobanti orizzonti a consistenza plastica ($q_c = 1.0 - 1.8$ MPa; $R_f = 2.9 - 6.4\%$).

A partire da una profondità media di mt 10.00-10.60, sino a circa mt 14.00, si evidenziano delle sabbie localmente limose di addensamento da medio a medio buono ($q_c = 4.1 - 8.2$ MPa; $R_f = 1.2 - 2\%$), inglobanti

localmente lenti limose di consistenza da plastica a plastico dura ($q_c = 1.4 - 2.8$ MPa; $R_f = 3.2 - 5.5\%$).

Sotto sono presenti delle argille limose e/o viceversa di consistenza plastica ($q_c = 1.4 - 1.8$ MPa; $R_f = 3.7 - 6\%$), che da circa mt 16.60 assumono una consistenza plastico dura ($q_c = 2.0 - 3.8$ MPa; $R_f = 3.1 - 6.4\%$).

A partire da una profondità di circa mt 19.00, per circa mt 2.50, si evidenziano delle sabbie di medio addensamento ($q_c = 3.7 - 6.0$ MPa; $R_f = 1.7 - 2.3\%$).

Sotto prevalgono dei limi argillosi e/o sabbiosi di consistenza plastico dura ($q_c = 2.0 - 3.4$ MPa; $R_f = 3.1 - 6.4\%$), inglobanti sottili orizzonti sabbiosi di medio addensamento ($q_c = 4.1 - 6.0$ MPa; $R_f = 1.6 - 2.3\%$).

Infine da mt 23.40 e sino alla profondità indagata, prevalgono delle sabbie di addensamento da medio a medio elevato ($q_c = 5.2 - 20.5$ MPa; $R_f = 1.2 - 2.2\%$)

SCPTU1 – PARAMETRIZZAZIONE GEOTECNICA UNITÀ LITOTECNICHE


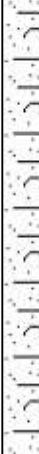
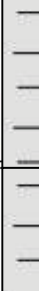
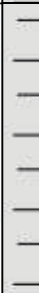
N. strato	Profondità		Descrizione	Parametrizzazione geotecnica	Parametri caratteristici
	tetto (mt)	letto (mt)			
1	0.00	0.40	Argille ed argille limose, consistenti, moderatamente plastiche, sensitive. Aumento della frazione limosa al	$q_c = 11.01 \text{ kg/cm}^2$ $f_s = 0,39 \text{ kg/cm}^2$ $\gamma = 1,87 \text{ t/m}^3$ $\gamma_{sat} = 1,95 \text{ t/m}^3$ $C_u = 0,55 \text{ kg/cm}^2$ $OCR > 9$ $E_u = 411.43 \text{ kg/cm}^2$ $E_{ed} = 45.43 \text{ kg/cm}^2$	$c_{u_k} = 0.36 \text{ kg/cm}^2$
2	0.40	1.52	Alternanza di limi sabbiosi e limi argillosi/sabbie fini limose. Talora presenza di livelli a frazione granulare maggiore (sabbie fini limose, limi argillosi ed argille limiose)	$q_c = 44.15 \text{ kg/cm}^2$ $f_s = 0,68 \text{ kg/cm}^2$ $V_{coe} = 2,11 \text{ t/m}^3$ $V_{inc} = 1,90 \text{ t/m}^3$ $\gamma_{sat-coe} = 2,19 \text{ t/m}^3$ $\gamma_{sat-inc} = 2,20 \text{ t/m}^3$ $C_u = 2,21 \text{ kg/cm}^2$ $Dr = 90.73 \%$ $\Phi = 39.88^\circ$ $OCR_{coe} > 9$ $OCR_{inc} = 0.76$ $E_u = 1648.32 \text{ kg/cm}^2$ $E_{ed} = 88.30 \text{ kg/cm}^2$ $E_d = 70.62 \text{ kg/cm}^2$	$c_{u_k} = 1.57 \text{ kg/cm}^2$ $\phi_k = 37.70^\circ$
3	1.52	9.22	Argille inorganiche talora limose con locali livelli di limi argillosi ed argille francamente limose, moderatamente consistenti e debolmente plastiche.	$q_c = 9.87 \text{ kg/cm}^2$ $f_s = 0,45 \text{ kg/cm}^2$ $\gamma = 1,83 \text{ t/m}^3$ $\gamma_{sat} = 1,91 \text{ t/m}^3$ $C_u = 0,49 \text{ kg/cm}^2$ $OCR = 2.94$ $E_u = 329.82 \text{ kg/cm}^2$ $E_{ed} = 43.27 \text{ kg/cm}^2$	$c_{u_k} = 0.12 \text{ kg/cm}^2$
4	9.22	10.14	Limi argillosi alternati ad argille limose e limi sabbioso-argillosi. Talora presenza di argille limose ed argille inorganiche.	$q_c = 13.90 \text{ kg/cm}^2$ $f_s = 0,20 \text{ kg/cm}^2$ $V_{coe} = 1.89 \text{ t/m}^3$ $V_{inc} = 1,90 \text{ t/m}^3$ $\gamma_{sat-coe} = 1.97 \text{ t/m}^3$ $\gamma_{sat-inc} = 2,20 \text{ t/m}^3$ $C_u = 0.69 \text{ kg/cm}^2$ $Dr = 5 \%$ $\Phi = 28.70^\circ$ $OCR_{coe} = 0.69$ $OCR_{inc} < 0.5$ $E_u = 449.07 \text{ kg/cm}^2$ $E_{ed} = 48.30 \text{ kg/cm}^2$ $E_d = 26.89 \text{ kg/cm}^2$	$c_{u_k} = 0.32 \text{ kg/cm}^2$ $\phi_k = 28.24^\circ$

5	10.14	11.98	Sabbie fini moderatamente addensate, talora passanti a sabbie limose e localmente limi argillosi alternati..	$R_p = 63.00 \text{ kg/cm}^2$ $R_l = 0,27 \text{ kg/cm}^2$ $\gamma = 1,90 \text{ t/m}^3$ $\gamma_{\text{sat}} = 2,20 \text{ t/m}^3$ $D_r = 31.29\%$ $\Phi = 32,55^\circ$ $\text{OCR} < 0.5$ $E_d = 53.43 \text{ kg/cm}^2$	$\phi_k = 31.91^\circ$
6	11.98	21.66	Argille inorganiche in alternanza con argille limose e limi argillosi, consistenti, moderatamente plastici. Localmente presenza di limi sabbiosi e limi argillosi tra m 17.00 e 17.40 e m 18.00 e 18.20.	$q_c = 14.88 \text{ kg/cm}^2$ $f_s = 0,51 \text{ kg/cm}^2$ $\gamma = 1,88 \text{ t/m}^3$ $\gamma_{\text{sat}} = 1,96 \text{ t/m}^3$ $C_u = 0,74 \text{ kg/cm}^2$ $\text{OCR} = 0.99$ $E_u = 432.41 \text{ kg/cm}^2$ $E_{ed} = 48.42 \text{ kg/cm}^2$	$c_{u_k} = 0.30 \text{ kg/cm}^2$
7	21.66	25.08	Sabbie fini limose e sabbie fini. Alternana con limi argillosi, limi sabbiosi e limi argillosi. Prevale la frazione granulare poco addensata.	$R_p = 83.24 \text{ kg/cm}^2$ $R_l = 0,30 \text{ kg/cm}^2$ $\gamma = 1,90 \text{ t/m}^3$ $\gamma_{\text{sat}} = 2,20 \text{ t/m}^3$ $D_r = 17.89\%$ $\Phi = 31.17^\circ$ $\text{OCR} < 0.5$ $E_d = 74.92 \text{ kg/cm}^2$	$\phi_k = 29.73^\circ$
8	25.08	27.92	Limi argillosi/argille limose	$q_c = 13.61 \text{ kg/cm}^2$ $f_s = 0,30 \text{ kg/cm}^2$	$c_{u_k} = 0.52 \text{ kg/cm}^2$
			Limi sabbiosi e limi argillosi con intercalazioni di argille inorganiche limose, consistenti.	$\gamma = 1,83 \text{ t/m}^3$ $\gamma_{\text{sat}} = 1,91 \text{ t/m}^3$ $C_u = 0,68 \text{ kg/cm}^2$ $\text{OCR} < 0.5$ $E_u = 311.58 \text{ kg/cm}^2$ $E_{ed} = 48.18 \text{ kg/cm}^2$	
9	27.92	30.30	Sabbie fini limose e sabbie fini. Alternanza con limi argillosi e limi sabbioso argillosi.	$R_p = 103.11 \text{ kg/cm}^2$ $R_l = 0,27 \text{ kg/cm}^2$ $\gamma = 1,90 \text{ t/m}^3$ $\gamma_{\text{sat}} = 2,20 \text{ t/m}^3$ $D_r = 17.63\%$ $\Phi = 31.42^\circ$ $\text{OCR} < 0.5$ $E_d = 90.61 \text{ kg/cm}^2$	$\phi_k = 29.93^\circ$

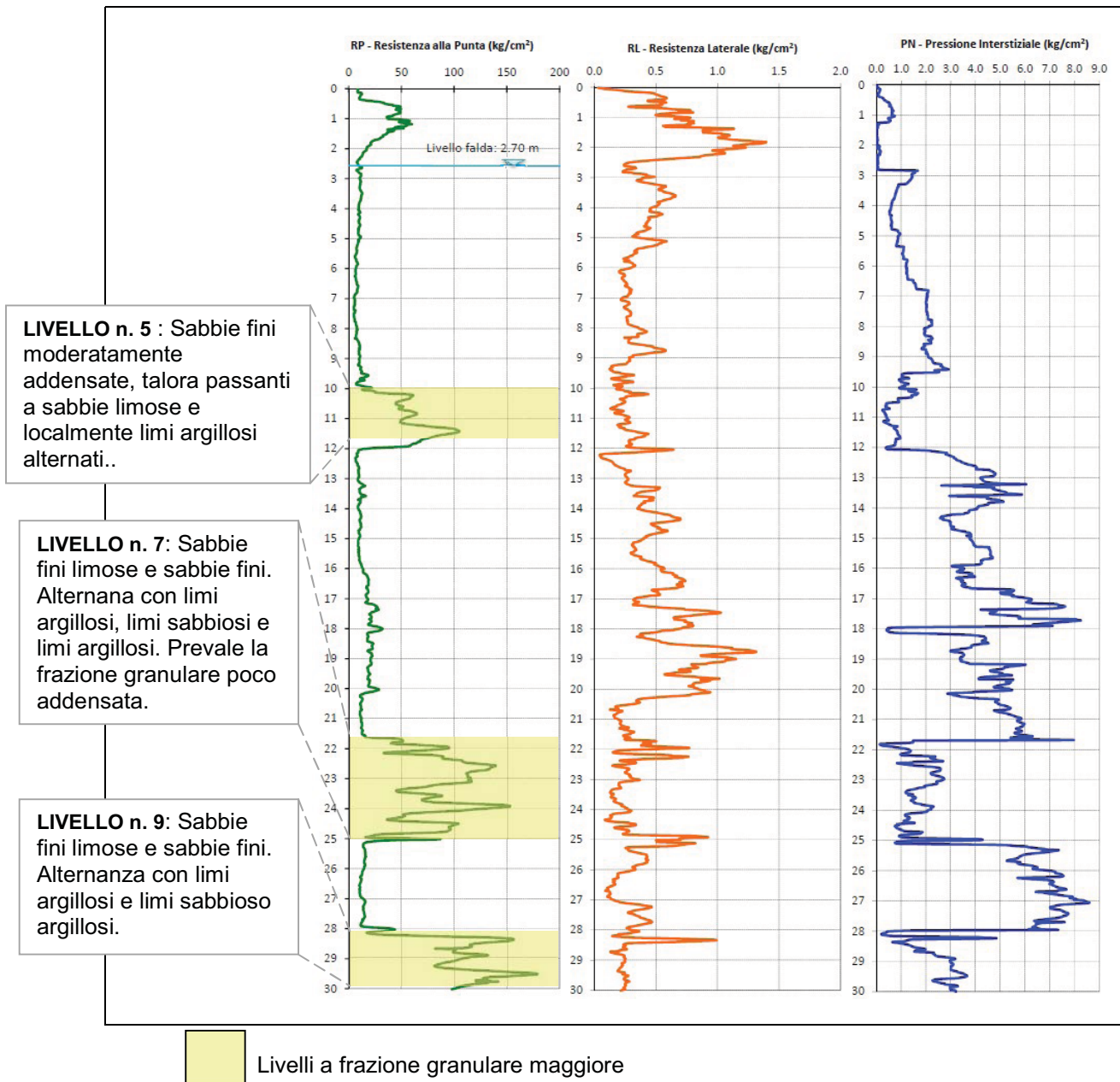
I valori dei parametri geotecnici riportati in tabella, si riferiscono alle medie dei parametri relativi agli spessori corrispondenti, invece i parametri caratteristici sono riferiti ai valori rilevati ogni 2 cm di profondità relativi alla prova. Per tale motivo possono essere rilevate delle approssimazioni leggermente differenti.

CPTU2 – PARAMETRIZZAZIONE GEOTECNICA UNITÀ LITOTECNICHE

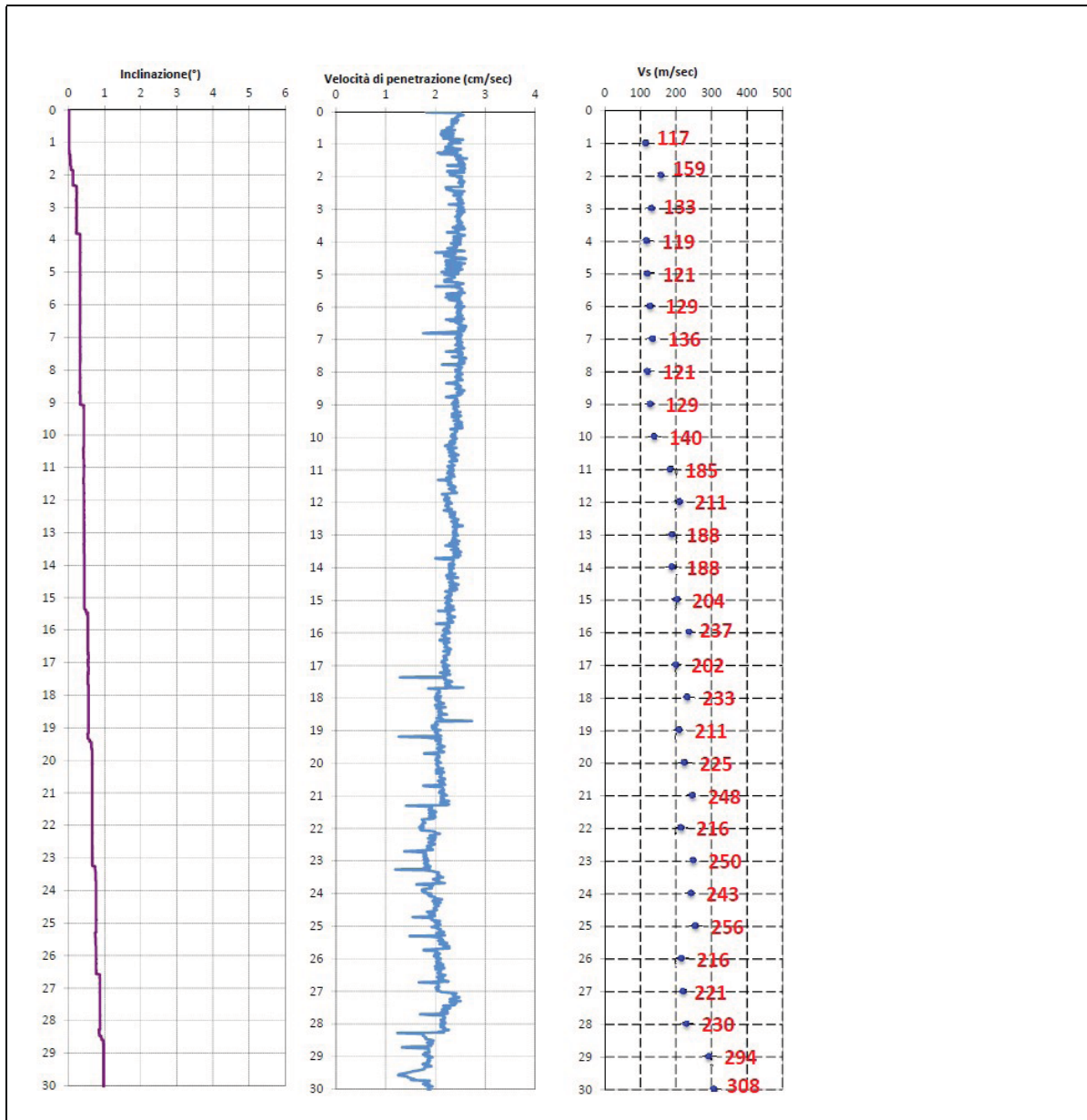
N. strato	Profondità		Descrizione	Parametrizzazione geotecnica	Parametri caratteristici
	tetto (mt)	letto (mt)			
1	0.00	0.50	Argille ed argille limose, consistenti, moderatamente plastiche.	$q_c = 12.77 \text{ kg/cm}^2$ $f_s = 0,55 \text{ kg/cm}^2$ $\gamma = 1,90 \text{ t/m}^3$ $\gamma_{sat} = 1,98 \text{ t/m}^3$ $C_u = 0,64 \text{ kg/cm}^2$ $OCR > 9$ $E_u = 477.04 \text{ kg/cm}^2$ $E_{ed} = 47.63 \text{ kg/cm}^2$	$c_{u_k} = 0.39 \text{ kg/cm}^2$
2	0.50	0.94	limi sabbiosi e limi argillosi/sabbie fini limose, passanti a limi argillosi ed argille limose	$q_c = 41.26 \text{ kg/cm}^2$ $f_s = 1.23 \text{ kg/cm}^2$ $\gamma_{coe} = 2,09 \text{ t/m}^3$ $\gamma_{inc} = 1,80 \text{ t/m}^3$ $\gamma_{sat-coe} = 2,17 \text{ t/m}^3$ $\gamma_{sat-inc} = 2,10 \text{ t/m}^3$ $C_u = 2,06 \text{ kg/cm}^2$ $Dr = 97.46\%$ $\Phi = 40.67^\circ$ $OCR_{coe} > 9$ $OCR_{inc} = 0.63$ $E_u = 1541.85 \text{ kg/cm}^2$ $E_{ed} = 82.52 \text{ kg/cm}^2$ $E_d = 74.40 \text{ kg/cm}^2$	$c_{u_k} = 1.39 \text{ kg/cm}^2$ $\phi_k = 39.98^\circ$
3	0.94	4.58	Argille inorganiche ed argille limose	$q_c = 14.02 \text{ kg/cm}^2$ $f_s = 0,71 \text{ kg/cm}^2$	$c_{u_k} = 0.32 \text{ kg/cm}^2$
			Argille inorganiche consistenti, talora con argille limose e limi argillosi. Limi sabbiosi e limi argillosi a m 2.32-2.42	$\gamma = 1,91 \text{ t/m}^3$ $\gamma_{sat} = 1,99 \text{ t/m}^3$ $C_u = 0,70 \text{ kg/cm}^2$ $OCR > 9$ $E_u = 505.11 \text{ kg/cm}^2$ $E_{ed} = 48.34 \text{ kg/cm}^2$	
4	4.58	5.92	limi sabbiosi alternati a limi argillosi ed argille limose. Presenza sporadica di argille limose/sabbie limose/limi argillosi	$q_c = 19.60 \text{ kg/cm}^2$ $f_s = 0,36 \text{ kg/cm}^2$ $\gamma_{coe} = 1.96 \text{ t/m}^3$ $\gamma_{inc} = 1,80 \text{ t/m}^3$ $\gamma_{sat-coe} = 2,04 \text{ t/m}^3$ $\gamma_{sat-inc} = 2,10 \text{ t/m}^3$ $C_u = 0.98 \text{ kg/cm}^2$ $Dr = 19.39\%$ $\Phi = 29.40^\circ$ $OCR_{coe} = 2.41$ $OCR_{inc} < 0.5$ $E_u = 695,93 \text{ kg/cm}^2$ $E_{ed} = 42.91 \text{ kg/cm}^2$ $E_d = 20.68 \text{ kg/cm}^2$	$c_{u_k} = 0.50 \text{ kg/cm}^2$ $\phi_k = 29.65^\circ$

5	5.92	9.00	Argille inorganiche moderatamente consistenti, limose a tratti. Argille limose a m 8.30-8.38	 <p> $q_c = 7.05 \text{ kg/cm}^2$ $f_s = 0,26 \text{ kg/cm}^2$ $\gamma = 1,76 \text{ t/m}^3$ $\gamma_{sat} = 1,84 \text{ t/m}^3$ $C_u = 0,35 \text{ kg/cm}^2$ $OCR = 1,18$ $E_u = 209.17 \text{ kg/cm}^2$ $E_{ed} = 35.39 \text{ kg/cm}^2$ </p>	$c_{u_k} = 0.25 \text{ kg/cm}^2$
6	9.00	11.20	limi argillosi ed argille limose in alternanza con limi sabbiosi e limi argillosi. A circa m 10.00, locali livelli di sabbie fini limose e limi argillosi	 <p> $q_c = 17.70 \text{ kg/cm}^2$ $f_s = 0,32 \text{ kg/cm}^2$ $\gamma_{coe} = 1.93 \text{ t/m}^3$ $\gamma_{inc} = 1,80 \text{ t/m}^3$ $\gamma_{sat-coe} = 2,01 \text{ t/m}^3$ $\gamma_{sat-inc} = 2,10 \text{ t/m}^3$ $C_u = 0.89 \text{ kg/cm}^2$ $Dr = 5\%$ $\Phi = 28.70^\circ$ $OCR_{coe} = 1.06$ $OCR_{inc} < 0.5$ $E_u = 589.34 \text{ kg/cm}^2$ $E_{ed} = 46.33 \text{ kg/cm}^2$ $E_d = 27.70 \text{ kg/cm}^2$ </p>	$c_{u_k} = 0.15 \text{ kg/cm}^2$ $\phi_k = 27.73^\circ$
7	11.20	17.90	Argille ed argille limose moderatamente consistenti, con limi argillosi e localmente, da m 17.30 a m 17.38, limi sabbiosi e limi argillosi	 <p> $q_c = 9.71 \text{ kg/cm}^2$ $f_s = 0,36 \text{ kg/cm}^2$ $\gamma = 1,79 \text{ t/m}^3$ $\gamma_{sat} = 1,87 \text{ t/m}^3$ $C_u = 0,49 \text{ kg/cm}^2$ </p>	$c_{u_k} = 0.30 \text{ kg/cm}^2$
8	17.90	20.00	Argille inorganiche molto consistenti, alternate a limi argillosi ed argille limose, localmente con limi sabbiosi. Talora, sabbie fini limose e limi argillosi.	 <p> $q_c = 28.19 \text{ kg/cm}^2$ $f_s = 0,86 \text{ kg/cm}^2$ $\gamma = 2.01 \text{ t/m}^3$ $\gamma_{sat} = 2.09 \text{ t/m}^3$ $C_u = 1.41 \text{ kg/cm}^2$ $OCR = 1,55$ $E_u = 918.81 \text{ kg/cm}^2$ $E_{ed} = 56.38 \text{ kg/cm}^2$ </p>	$c_{u_k} = 0.43 \text{ kg/cm}^2$

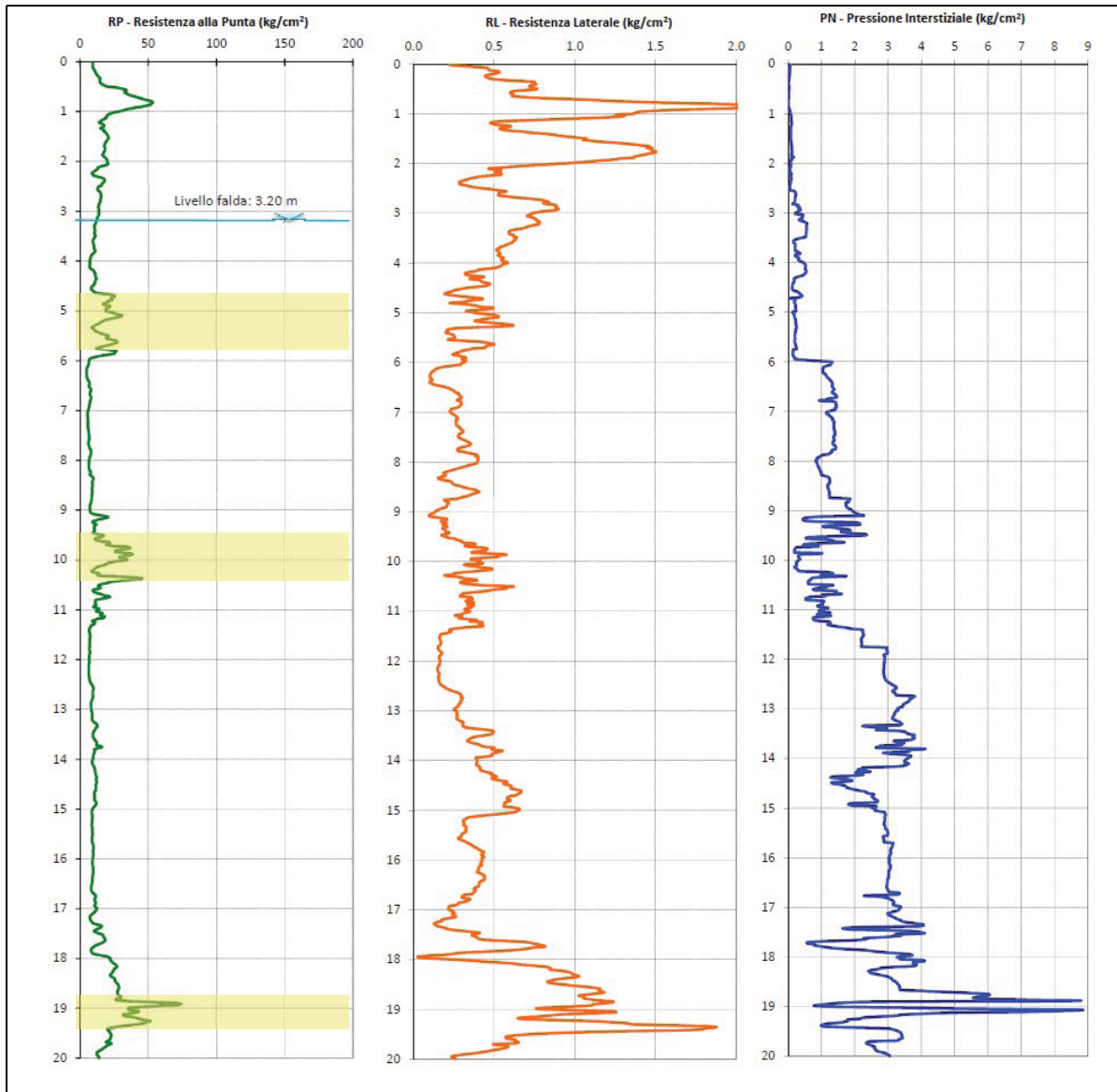
SCPTU1




SCPTU1

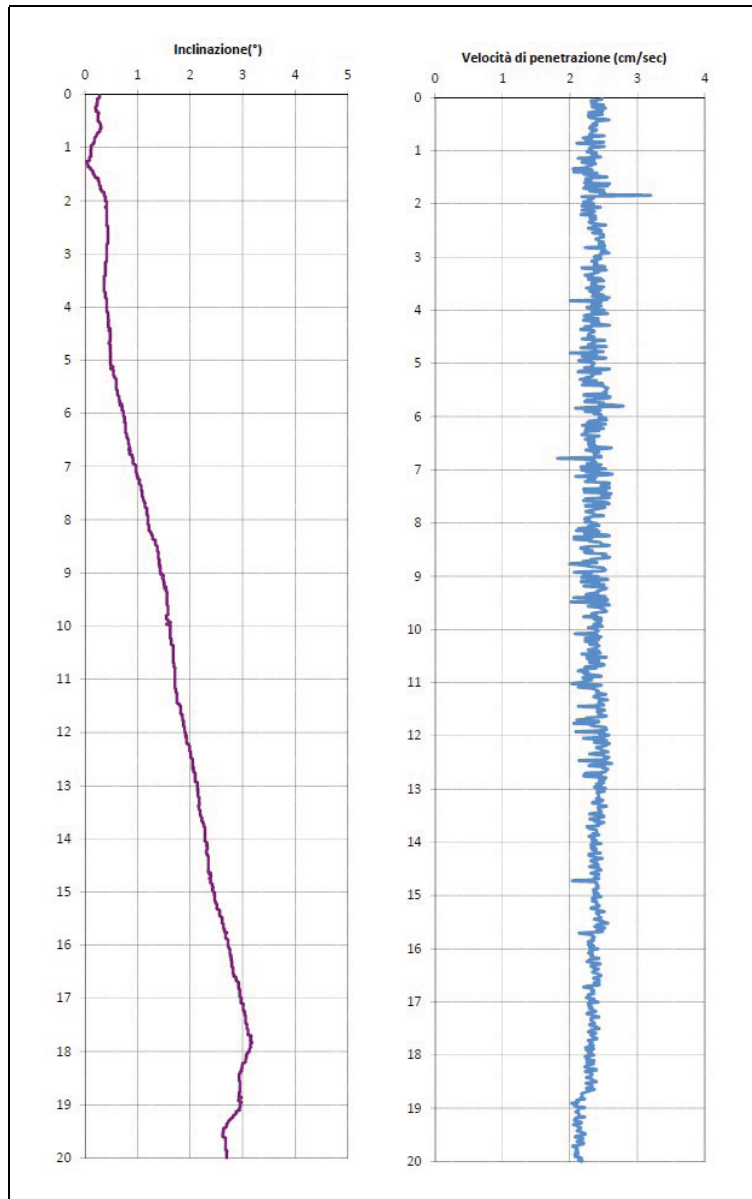


CPTU2



 Livelli a frazione granulare maggiore (in questo caso, limi argilloso sabbiosi)

CPTU2



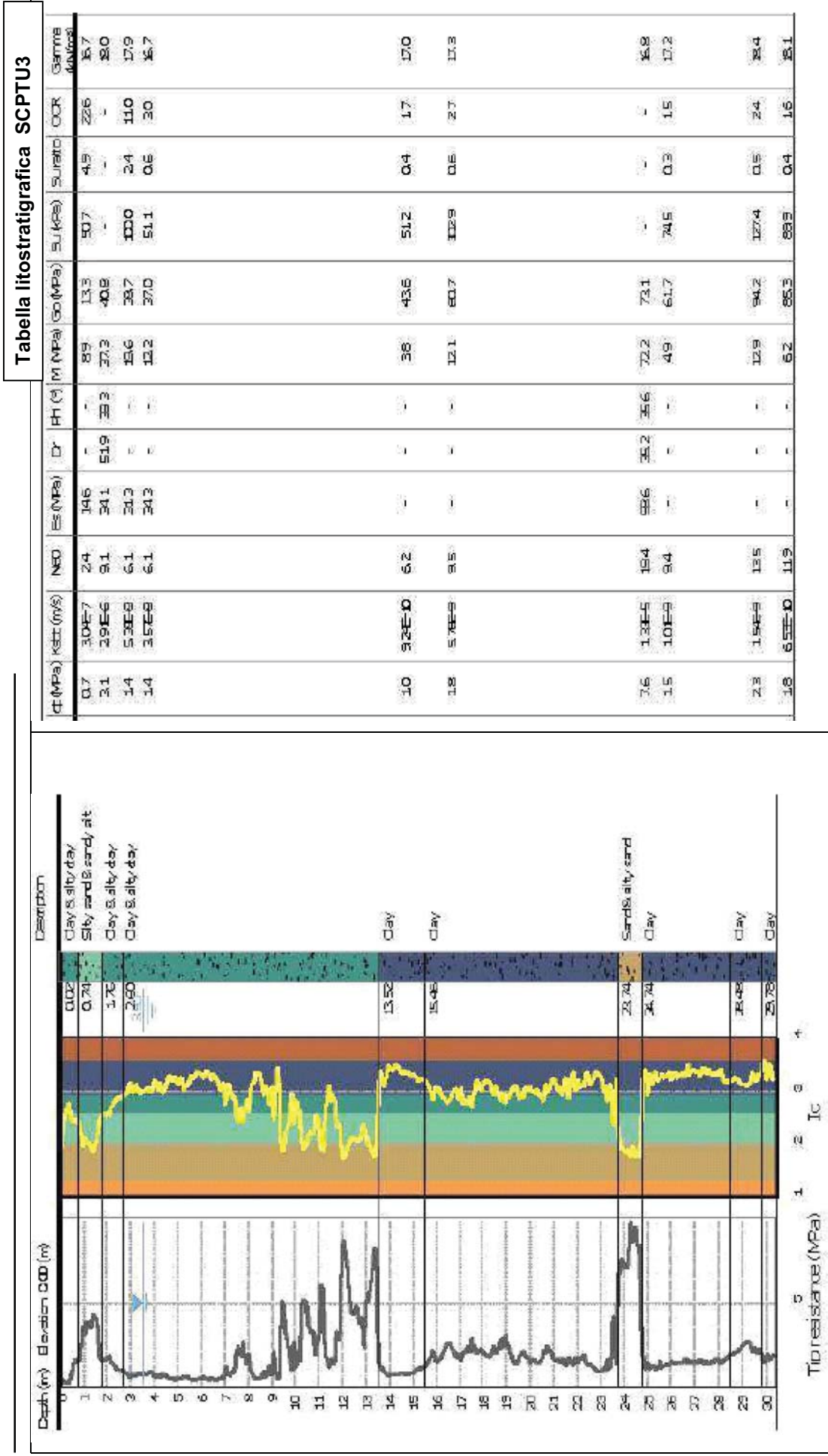
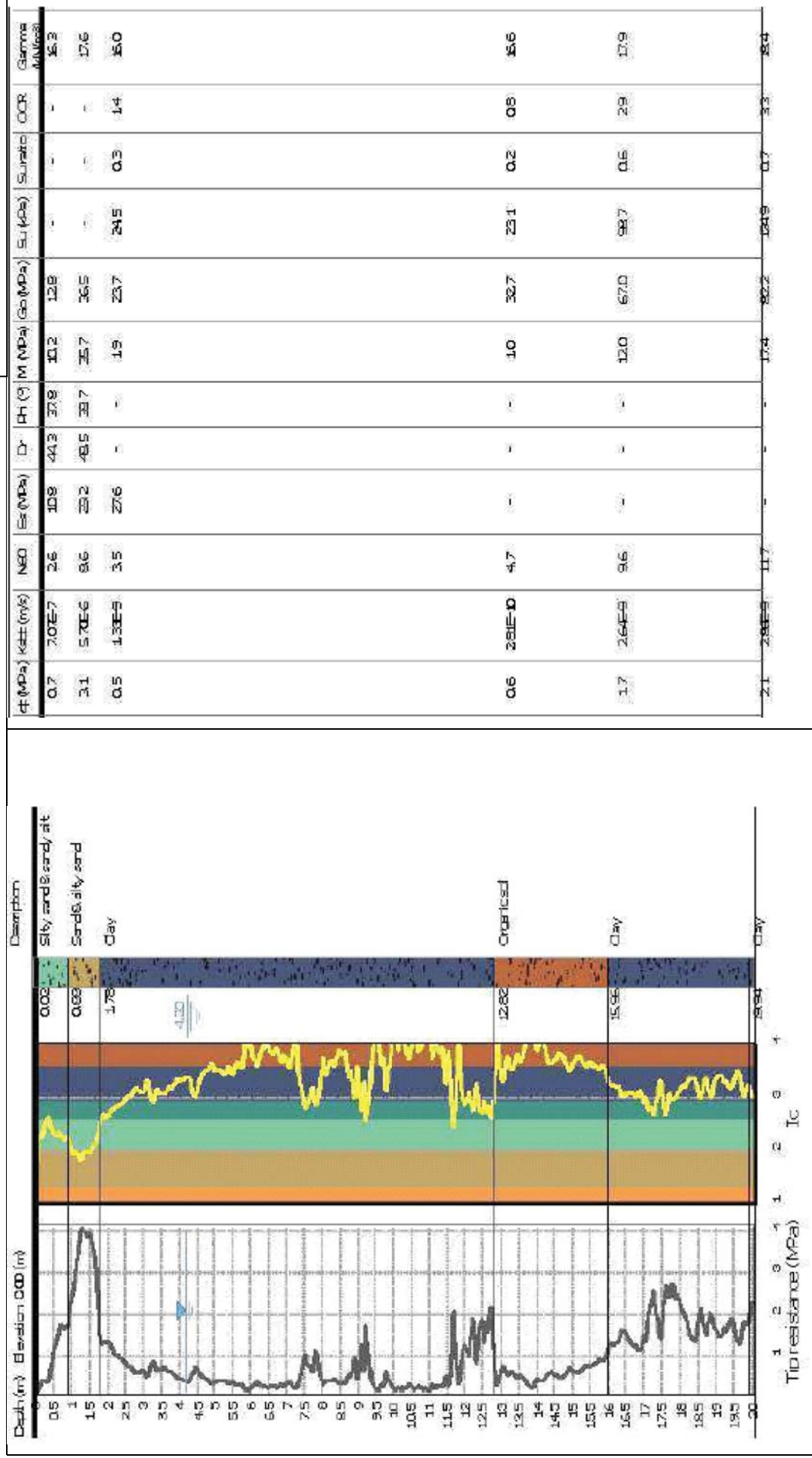


Tabella litostratigrafica CPTU4



Legenda parametri geotecnici tanella precedente:

- TERRENI INCOERENTI

Angolo di resistenza al taglio (ϕ): Angolo di resistenza al taglio (Schmertmann 1977-1982) – per varie litologie (correlazione che generalmente sovrastima il valore)

Densità relativa (D_r %): Densità Relativa (Jamiołkowski 1985)

Modulo Edometrico (E_d): Modulo Edometrico (Robertson & Campanella) da Schmertmann

Peso unità di Volume Gamma:

- Peso unità di Volume Gamma (t/m^3) (Meyerhof)

- Peso unità di Volume Gamma saturo (t/m^3) (Meyerhof)

OCR - Grado di Sovraconsolidazione: Grado di Sovraconsolidazione OCR (Larsson 1991 S.G.I.)

- TERRENI COESIVI

Coesione Non Drenata (C_u): Coesione non drenata (Terzaghi - valore minimo)

Modulo Edometrico (E_{ed}) - Metodo generale del modulo edometrico.

Modulo di deformazione non drenato - Modulo di deformazione non drenato E_u (Cancelli ed altri 1980)

Peso unità di Volume Gamma

- Peso unità di Volume terreni coesivi (t/m^3) (Meyerhof)

- Peso unità di Volume saturo terreni coesivi (t/m^3) (Meyerhof)

OCR - Grado di Sovraconsolidazione OCR (Piacentini-Righi Inacos 1978)

10.2 SONDAGGI A SECCO ELICOIDALI

Su tutto l'area indagata, si riscontra una certa omogeneità, nonostante, verso nord nord ovest, prevalgono le frazioni a % coesiva maggiore. La stratigrafia locale è caratterizzata, fino alla massima profondità indagata di m 4, dalla prevalenza di argille più o meno limose, nocchie grigiastre, moderatamente plastiche e consistenti, intercalate a livelli meno spessi di limi nocciola, da debolmente sabbiosi a sabbiosi, debolmente consistenti e moderatamente plastici. Tali intercalazioni fanno supporre che gli spessori di limo, in particolare quelli compresi tra mt. 1.15 e mt. 2.35 di profondità, costituiscano piccoli serbatoi discontinui che contengono la falda più superficiale.

S1 (profondità indagine mt 4.00 da p.c.)	
0.00 – 1.80 m	limi argillosi nocciola, moderatamente consistenti, plastici
1.80 – 3.00 m	limi argilloso-sabbiosi, nocciola-grigiastri, plastici, moderatamente consistenti
3.30 – 4.00 m	argille debolmente limose, nocciola-grigiastre, plastiche, moderatamente consistenti

S2 (profondità indagine mt 4.00 da p.c.)	
0.00 – 1.50 m	limi argillosi nocciola, moderatamente consistenti, plastici
1.50 – 2.20 m	limi argilloso-sabbiosi, nocciola-grigiastri, plastici, moderatamente consistenti
2.20 – 4.00 m	argille debolmente limose, nocciola-grigiastre, plastiche, moderatamente consistenti

S3 (profondità indagine mt 4.00 da p.c.)	
0.00 – 0.70 m	limi argillosi nocciola, moderatamente consistenti, plastici
0.70 – 2.30 m	limi argilloso-sabbiosi, nocciola-grigiastri, plastici, moderatamente consistenti- presenza di livelli a frazione granulare maggiore (limi sabbiosi e sabbie fini limo argillose)
2.30 – 4.00 m	argille debolmente limose, nocciola-grigiastre, plastiche, moderatamente consistenti

S4 (profondità indagine mt 4.00 da p.c.)	
0.00 – 1.00 m	limi argillosi nocciola, moderatamente consistenti, plastici
1.00 – 4.00 m	argille debolmente limose, nocciola-grigiastre, plastiche, moderatamente consistenti. Presenza sporadica e locale di livelli di limi sabbiosi e limi argillosi

13. CONCLUSIONI E PRESCRIZIONI

In base al presente documento non sussistono, allo stato attuale e secondo le indagini che si sono potute eseguire nel presente lavoro, rischi geologici o naturali sul sito indagato che possano precludere alla realizzazione dell'opera in progetto..

Per la CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA E LITOLOGICA DEL SITO, visto il tipo di opera indagata, la superficie complessiva interessata (di circa 42 ettari) ed il volume significativo di terreno da essa coinvolto, è stato concordato con i Progettisti di eseguire un idoneo piano di indagini :

- n. 2 prove penetrometriche statiche SCPTU
- n. 2 prove penetrometriche statiche CPTU
- n. 2 indagini sismiche a stazione singola HVSR
- n. 4 sondaggi leggeri a secco elicoidali Φ 40 mm

Inoltre si sono utilizzate tutte le indagini eseguite da colleghi per la redazione del psc-poc-microzonazione sismica comunale (di Ferrara), nonché studi specifici di aree limitrofe (per confronto, ad esempio i dati di progettazione del tracciato stradale della Cispadana) e la banca dati geognostici della RER.

Le caratteristiche litostratigrafiche esaminate per mezzo del rapporto di Begemann (1965), in corrispondenza della verticale della prova eseguita, così come confermato anche dalla elaborazione delle cptu regionali e dei sondaggi della banca dati geognostica della Regione Emilia Romagna, indicano la presenza di materiali coesivi alternati a livelli coesivo granulari tra p.c. e - 20.00 m, per passare poi ad alternanze di argille e sedimenti granulari/coesivi (sabbie e limi sabbiosi) sino a m 28, per poi passare (sino a m 30 fine indagine) a sabbie limose (vedi descrizione specifiche di pag. 48,...,59 ed allegati).

La falda superficiale, al momento della redazione del presente lavoro, stazionava mediamente a quota -2,40 m dap.c. (Misura che però risente di un periodo di almeno 1 mese di scarsa piovosità).

Dal punto di vista sismico (NTC 2018) in base a dati bibliografici ed indagini sismiche (HVSR) eseguite nell'area indagata, il sito indagato è contraddistinto da *suoli tipo C*.

Si possono ricavare i seguenti dati:

- $V_s 30 = 180$ m/s
- **Classificazione terreno = C**
- PGA su suolo rigido = 0,158g (ma in base agli ultimi terremoti del 20 e del 29/05/2012, si sono registrati valori di oltre 0,27 da confermare)
- Fattore di Amplificazione FA = 1,5-1,6
- Periodo naturale T in condizioni Free- Field, T = 0,71 s
- Magnitudo massima attesa in zona sismogenetica 912, Mw = 6,14
- Magnitudo massima dal catalogo dei terremoti storici Mw = 5,58

E' stato determinato, inoltre, l'Indice del Potenziale di Liquefazione in base a diversi autori, considerando una magnitudo pari a 6.14, una P.G.A = 0.27. Il livello della falda è stato mantenuto invariato nell'ipotesi dell'avvenimento del sisma (- cm 200 da p.c.), in base alla litologia prevalentemente coesiva riscontrata in superficie; non sono infatti disponibili studi relativi alla variazione del livello della falda specifici.

In corrispondenza della verticale SCPTU1 (indagine di riferimento per la costruzione del modello geologico locale), l'Indice del Potenziale di liquefazione, a seconda dell'autore è compreso fra circa 2.2 e 4.0, mentre in corrispondenza della verticale CPTU2, l'Indice del Potenziale di liquefazione, a seconda dell'autore è compreso fra circa 1.8 e 4.2.

Considerando una magnitudo = 6.14, una P.G.A. = 0.27g ed una quota di falda ci circa – 200 cm da p.c. attuale, sulla verticale d'indagine SCPTU1 si ottiene un **rischio di liquefazione basso**.

In base al metodo di Idriss e Boulanger (2008), suggerito dalla determinazione n° 1105 del 03/02/2014 della Regione Emilia Romagna, l'Indice del Potenziale di Liquefazione assume il seguente valore esatto:

$$SCPTU1 = 2.449$$

$$CPTU2 = 3.143$$

Il progettista strutturista, che eseguirà la relazione geotecnica (come da NTC 2018), deve avvalersi della relazione geologica, in cui sono riportate le caratteristiche litologiche, geotecniche e sismiche del sito.

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

Qualora nella relazione geotecnica (da redigere a carico del Progettista) si accerti la necessità, in base ad un approccio prestazionale di progettazione (come indicato nelle NTC 2018), di approfondire e migliorare i dati geologici-geotecnici, si dovranno eseguire ulteriori indagini geognostiche integrative a quelle utilizzate per la redazione del presente documento.

In relazione alla morfologia/topografia locale, si consiglia di non creare delle aree depresse per evitare ristagni d'acqua vicino le opere previste e di riutilizzare in loco, ove possibile, i materiali di eventuali escavazioni, come previsto dalla normativa terre e rocce da scavo.

Argenta, il 23 novembre 2020

Dr.Geol. Matteo Pollini




Seguono allegati

SCPTU1 - STIMA PARAMETRI GEOTECNICI

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Cu (Kg/cm ²)
Strato 1	0,40	11,01	0,39	0,0	0,0	Terzaghi	0,55
Strato 2	1,52	44,15	0,68	0,2	0,2	Terzaghi	2,21
Strato 3	9,22	9,87	0,45	1,1	1,1	Terzaghi	0,49
Strato 4	10,14	13,90	0,20	1,9	1,9	Terzaghi	0,69
Strato 6	21,66	14,88	0,51	3,3	3,3	Terzaghi	0,74
Strato 8	27,92	13,61	0,30	5,3	5,3	Terzaghi	0,68

Modulo edometrico E_{ed}

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	E _{ed} (Kg/cm ²)
Strato 1	0,40	11,01	0,39	0,0	0,0	Metodo generale	45.43
Strato 2	1,52	44,15	0,68	0,2	0,2	Metodo generale	88.30
Strato 3	9,22	9,87	0,45	1,1	1,1	Metodo generale	43.27
Strato 4	10,14	13,90	0,20	1,9	1,9	Metodo generale	48.30
Strato 6	21,66	14,88	0,51	3,3	3,3	Metodo generale	48.42
Strato 8	27,92	13,61	0,30	5,3	5,3	Metodo generale	48.18

Modulo di deformazione non drenato E_u

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	E _u (Kg/cm ²)
Strato 1	0,40	11,01	0,39	0,0	0,0	Cancelli 1980	411,43
Strato 2	1,52	44,15	0,68	0,2	0,2	Cancelli 1980	1648,32
Strato 3	9,22	9,87	0,45	1,1	1,1	Cancelli 1980	329,82
Strato 4	10,14	13,90	0,20	1,9	1,9	Cancelli 1980	449,07
Strato 6	21,66	14,88	0,51	3,3	3,3	Cancelli 1980	432,41
Strato 8	27,92	13,61	0,30	5,3	5,3	Cancelli 1980	311,58

Grado di sovraconsolidazione

	Prof. Strato	qc	fs	Tensione	Tensione	Correlazione	Ocr
--	--------------	----	----	----------	----------	--------------	-----

	(m)	(Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)	litostatica totale (Kg/cm ²)	litostatica efficace (Kg/cm ²)		
Strato 1	0,40	11,01	0,39	0,0	0,0	Piacentini Righi 1978	>9
Strato 2	1,52	44,15	0,68	0,2	0,2	Piacentini Righi 1978	>9
Strato 3	9,22	9,87	0,45	1,1	1,1	Piacentini Righi 1978	2,94
Strato 4	10,14	13,90	0,20	1,9	1,9	Piacentini Righi 1978	0,69
Strato 6	21,66	14,88	0,51	3,3	3,3	Piacentini Righi 1978	0,99
Strato 8	27,92	13,61	0,30	5,3	5,3	Piacentini Righi 1978	<0.5

Peso unità di volume

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
Strato 1	0,40	11,01	0,39	0,0	0,0	Meyerhof	1,87
Strato 2	1,52	44,15	0,68	0,2	0,2	Meyerhof	2,11
Strato 3	9,22	9,87	0,45	1,1	1,1	Meyerhof	1,83
Strato 4	10,14	13,90	0,20	1,9	1,9	Meyerhof	1,89
Strato 6	21,66	14,88	0,51	3,3	3,3	Meyerhof	1,88
Strato 8	27,92	13,61	0,30	5,3	5,3	Meyerhof	1,83

Peso unità di volume saturo

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
Strato 1	0,40	11,01	0,39	0,0	0,0	Meyerhof	1,95
Strato 2	1,52	44,15	0,68	0,2	0,2	Meyerhof	2,19
Strato 3	9,22	9,87	0,45	1,1	1,1	Meyerhof	1,91
Strato 4	10,14	13,90	0,20	1,9	1,9	Meyerhof	1,97
Strato 6	21,66	14,88	0,51	3,3	3,3	Meyerhof	1,96
Strato 8	27,92	13,61	0,30	5,3	5,3	Meyerhof	1,91

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato 2	1,52	44,15	0,68	0,2	0,2	Jamiolkowski 1985	90,73
Strato 4	10,14	13,90	0,20	1,9	1,9	Jamiolkowski 1985	5,00
Strato 5	11,98	63,00	0,27	2,2	2,2	Jamiolkowski 1985	31,29
Strato 7	25,08	83,24	0,30	4,7	4,7	Jamiolkowski 1985	17,89
Strato 9	30,30	103,11	0,27	5,8	5,8	Jamiolkowski 1985	17,63

– Angolo di resistenza al taglio

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato 2	1,52	44,15	0,68	0,2	0,2	Schmertmann	39,88
Strato 4	10,14	13,90	0,20	1,9	1,9	Schmertmann	28,70
Strato 5	11,98	63,00	0,27	2,2	2,2	Schmertmann	32,55
Strato 7	25,08	83,24	0,30	4,7	4,7	Schmertmann	31,17
Strato 9	30,30	103,11	0,27	5,8	5,8	Schmertmann	31,42

Modulo Edometrico

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)
Strato 2	1,52	44,15	0,68	0,2	0,2	Robertson & Campanella da Schmertmann	70,62
Strato 4	10,14	13,90	0,20	1,9	1,9	Robertson & Campanella da Schmertmann	26,89
Strato 5	11,98	63,00	0,27	2,2	2,2	Robertson & Campanella da Schmertmann	53,43
Strato 7	25,08	83,24	0,30	4,7	4,7	Robertson & Campanella da Schmertmann	74,92
Strato 9	30,30	103,11	0,27	5,8	5,8	Robertson & Campanella da Schmertmann	90,61

Grado di sovraconsolidazione

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Ocr
Strato 2	1,52	44,15	0,68	0,2	0,2	Larsson 1991 S.G.I.	0,76
Strato 4	10,14	13,90	0,20	1,9	1,9	Larsson 1991 S.G.I.	<0.5
Strato 5	11,98	63,00	0,27	2,2	2,2	Larsson 1991 S.G.I.	<0.5
Strato 7	25,08	83,24	0,30	4,7	4,7	Larsson	<0.5
						1991 S.G.I.	
Strato 9	30,30	103,11	0,27	5,8	5,8	Larsson 1991 S.G.I.	<0.5

– Peso unità di volume

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
Strato 2	1,52	44,15	0,68	0,2	0,2	Meyerhof	1,90
Strato 4	10,14	13,90	0,20	1,9	1,9	Meyerhof	1,90
Strato 5	11,98	63,00	0,27	2,2	2,2	Meyerhof	1,90
Strato 7	25,08	83,24	0,30	4,7	4,7	Meyerhof	1,90
Strato 9	30,30	103,11	0,27	5,8	5,8	Meyerhof	1,90

Peso unità di volume saturo

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
Strato 2	1,52	44,15	0,68	0,2	0,2	Meyerhof	2,20
Strato 4	10,14	13,90	0,20	1,9	1,9	Meyerhof	2,20
Strato 5	11,98	63,00	0,27	2,2	2,2	Meyerhof	2,20
Strato 7	25,08	83,24	0,30	4,7	4,7	Meyerhof	2,20
Strato 9	30,30	103,11	0,27	5,8	5,8	Meyerhof	2,20

CPTU2 - STIMA PARAMETRI GEOTECNICI

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Cu (Kg/cm ²)
Strato 1	0,50	12,77	0,55	0,0	0,0	Terzaghi	0,64
Strato 2	0,94	41,26	1,23	0,1	0,1	Terzaghi	2,06
Strato 3	4,58	14,02	0,71	0,6	0,6	Terzaghi	0,70
Strato 4	5,92	19,60	0,36	1,0	1,0	Terzaghi	0,98
Strato 5	9,00	7,05	0,26	1,5	1,5	Terzaghi	0,35
Strato 6	11,20	17,70	0,32	2,0	2,0	Terzaghi	0,89
Strato 7	17,90	9,71	0,36	2,8	2,8	Terzaghi	0,49
Strato 8	20,00	28,19	0,86	3,7	3,7	Terzaghi	1,41

Modulo edometrico E_{ed}

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	E _{ed} (Kg/cm ²)
Strato 1	0,50	12,77	0,55	0,0	0,0	Metodo generale	47.63
Strato 2	0,94	41,26	1,23	0,1	0,1	Metodo	82.52

						generale	
Strato 3	4,58	14,02	0,71	0,6	0,6	Metodo generale	48.34
Strato 4	5,92	19,60	0,36	1,0	1,0	Metodo generale	42.91
Strato 5	9,00	7,05	0,26	1,5	1,5	Metodo generale	35.39
Strato 6	11,20	17,70	0,32	2,0	2,0	Metodo generale	46.33
Strato 7	17,90	9,71	0,36	2,8	2,8	Metodo generale	42.92
Strato 8	20,00	28,19	0,86	3,7	3,7	Metodo generale	56.38

Modulo di deformazione non drenato Eu

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Eu (Kg/cm ²)
Strato 1	0,50	12,77	0,55	0,0	0,0	Cancelli 1980	477,04
Strato 2	0,94	41,26	1,23	0,1	0,1	Cancelli 1980	1541,85
Strato 3	4,58	14,02	0,71	0,6	0,6	Cancelli 1980	505,11
Strato 4	5,92	19,60	0,36	1,0	1,0	Cancelli 1980	695,93
Strato 5	9,00	7,05	0,26	1,5	1,5	Cancelli 1980	209,17
Strato 6	11,20	17,70	0,32	2,0	2,0	Cancelli 1980	589,34
Strato 7	17,90	9,71	0,36	2,8	2,8	Cancelli 1980	257,72
Strato 8	20,00	28,19	0,86	3,7	3,7	Cancelli 1980	918,81

Grado di sovraconsolidazione

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Ocr
Strato 1	0,50	12,77	0,55	0,0	0,0	Piacentini Righi 1978	>9
Strato 2	0,94	41,26	1,23	0,1	0,1	Piacentini Righi 1978	>9
Strato 3	4,58	14,02	0,71	0,6	0,6	Piacentini Righi 1978	>9
Strato 4	5,92	19,60	0,36	1,0	1,0	Piacentini Righi 1978	2,41
Strato 5	9,00	7,05	0,26	1,5	1,5	Piacentini Righi 1978	1,18
Strato 6	11,20	17,70	0,32	2,0	2,0	Piacentini Righi 1978	1,06
Strato 7	17,90	9,71	0,36	2,8	2,8	Piacentini Righi 1978	0,83
Strato 8	20,00	28,19	0,86	3,7	3,7	Piacentini Righi 1978	1,55

– **Peso unità di volume**

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
Strato 1	0,50	12,77	0,55	0,0	0,0	Meyerhof	1,90
Strato 2	0,94	41,26	1,23	0,1	0,1	Meyerhof	2,09
Strato 3	4,58	14,02	0,71	0,6	0,6	Meyerhof	1,91
Strato 4	5,92	19,60	0,36	1,0	1,0	Meyerhof	1,96
Strato 5	9,00	7,05	0,26	1,5	1,5	Meyerhof	1,76
Strato 6	11,20	17,70	0,32	2,0	2,0	Meyerhof	1,93
Strato 7	17,90	9,71	0,36	2,8	2,8	Meyerhof	1,79
Strato 8	20,00	28,19	0,86	3,7	3,7	Meyerhof	2,01

Peso unità di volume saturo

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
Strato 1	0,50	12,77	0,55	0,0	0,0	Meyerhof	1,98
Strato 2	0,94	41,26	1,23	0,1	0,1	Meyerhof	2,17
Strato 3	4,58	14,02	0,71	0,6	0,6	Meyerhof	1,99
Strato 4	5,92	19,60	0,36	1,0	1,0	Meyerhof	2,04
Strato 5	9,00	7,05	0,26	1,5	1,5	Meyerhof	1,84
Strato 6	11,20	17,70	0,32	2,0	2,0	Meyerhof	2,01
Strato 7	17,90	9,71	0,36	2,8	2,8	Meyerhof	1,87
Strato 8	20,00	28,19	0,86	3,7	3,7	Meyerhof	2,09

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato 2	0,94	41,26	1,23	0,1	0,1	Jamiolkowski 1985	97,46
Strato 4	5,92	19,60	0,36	1,0	1,0	Jamiolkowski 1985	19,39
Strato 6	11,20	17,70	0,32	2,0	2,0	Jamiolkowski 1985	5,00

Angolo di resistenza al taglio

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato 2	0,94	41,26	1,23	0,1	0,1	Schmertmann	40,67
Strato 4	5,92	19,60	0,36	1,0	1,0	Schmertmann	29,40
Strato 6	11,20	17,70	0,32	2,0	2,0	Schmertmann	28,70

Modulo Edometrico

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)
Strato 2	0,94	41,26	1,23	0,1	0,1	Robertson & Campanella da Schmertmann	74,40
Strato 4	5,92	19,60	0,36	1,0	1,0	Robertson & Campanella da Schmertmann	20,68
Strato 6	11,20	17,70	0,32	2,0	2,0	Robertson & Campanella da Schmertmann	27,70

Grado di sovraconsolidazione

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Ocr
Strato 2	0,94	41,26	1,23	0,1	0,1	Larsson 1991 S.G.I.	0,63
Strato 4	5,92	19,60	0,36	1,0	1,0	Larsson 1991 S.G.I.	<0.5
Strato 6	11,20	17,70	0,32	2,0	2,0	Larsson 1991 S.G.I.	<0.5

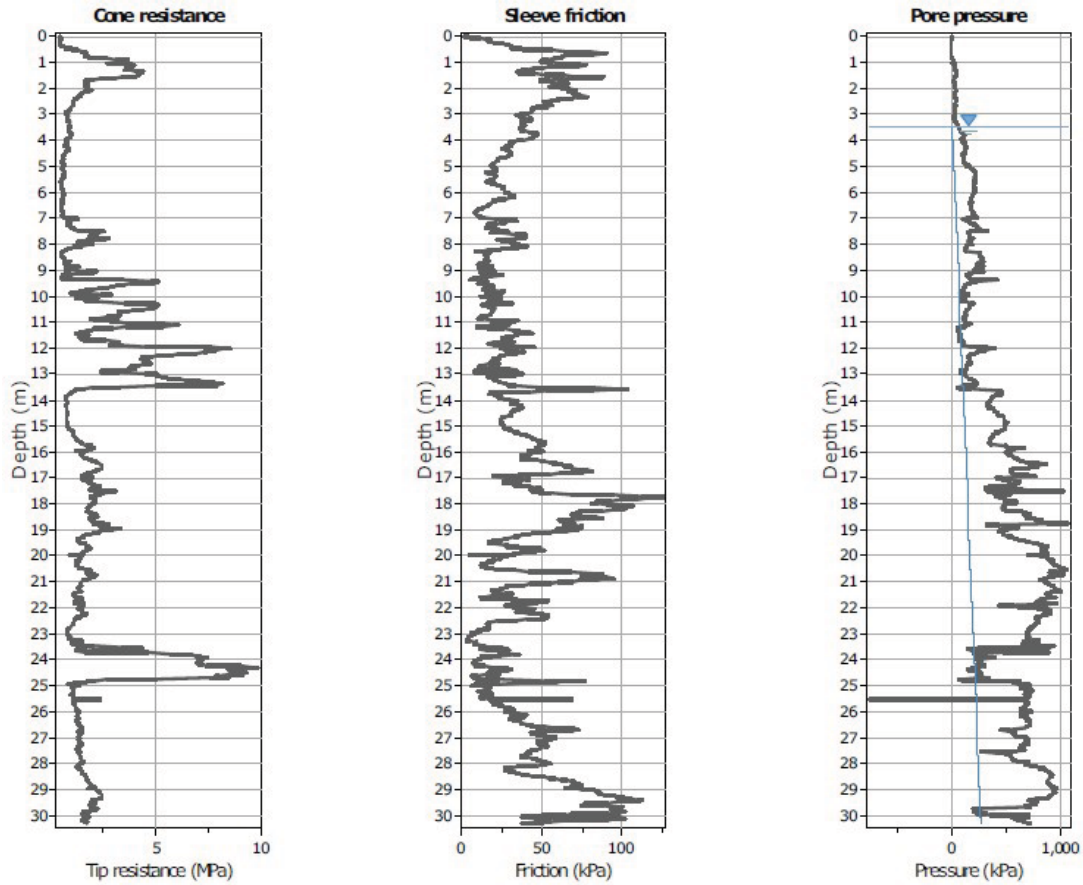
Peso unità di volume

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
Strato 2	0,94	41,26	1,23	0,1	0,1	Meyerhof	1,80
Strato 4	5,92	19,60	0,36	1,0	1,0	Meyerhof	1,80
Strato 6	11,20	17,70	0,32	2,0	2,0	Meyerhof	1,80

Peso unità di volume saturo

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
Strato 2	0,94	41,26	1,23	0,1	0,1	Meyerhof	2,10
Strato 4	5,92	19,60	0,36	1,0	1,0	Meyerhof	2,10
Strato 6	11,20	17,70	0,32	2,0	2,0	Meyerhof	2,10

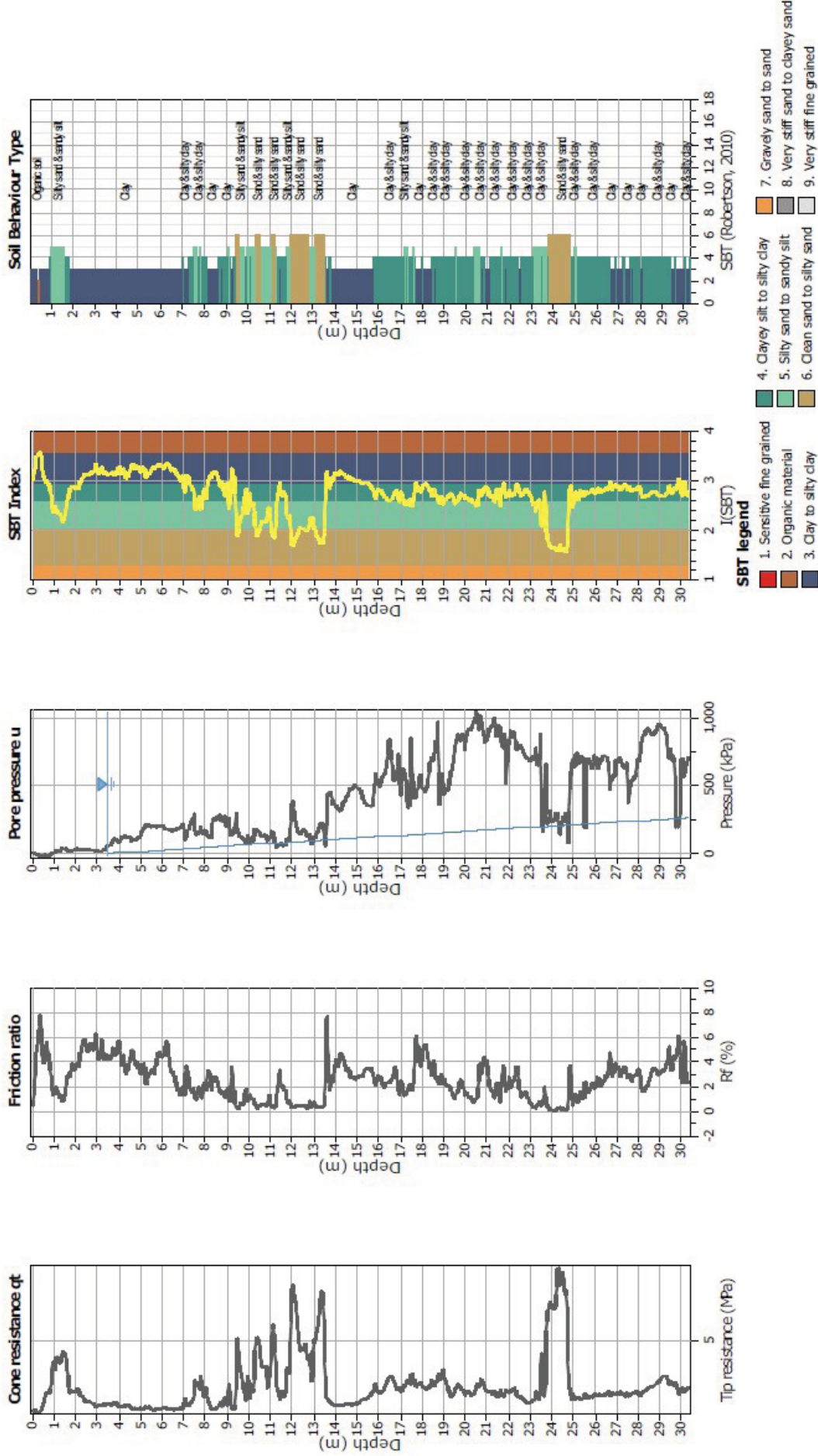
SCPTU3



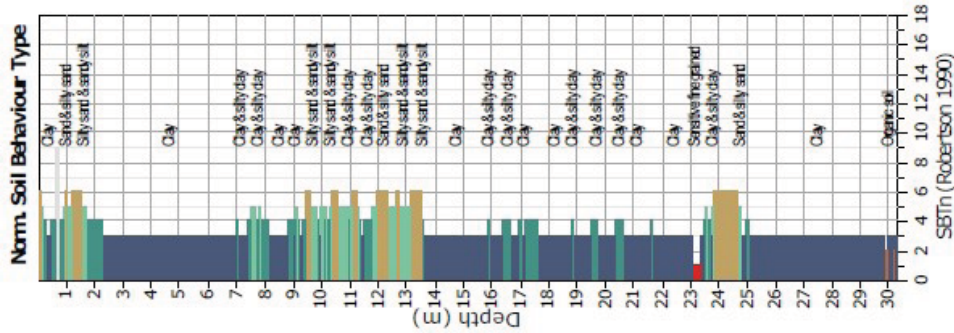
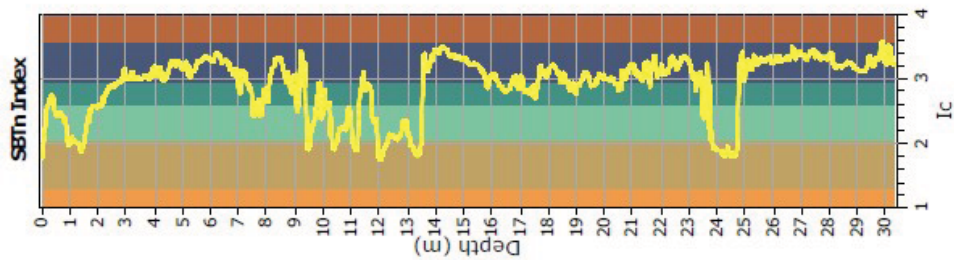
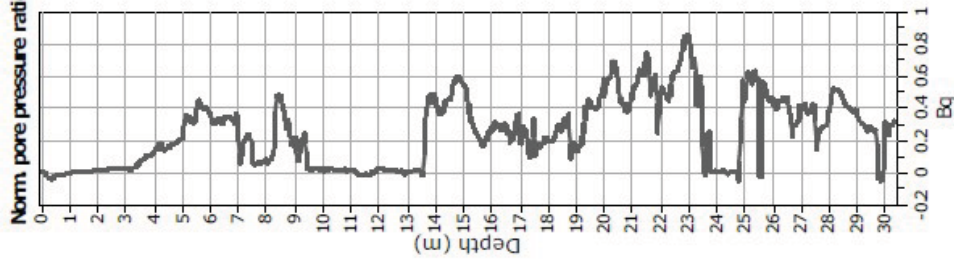
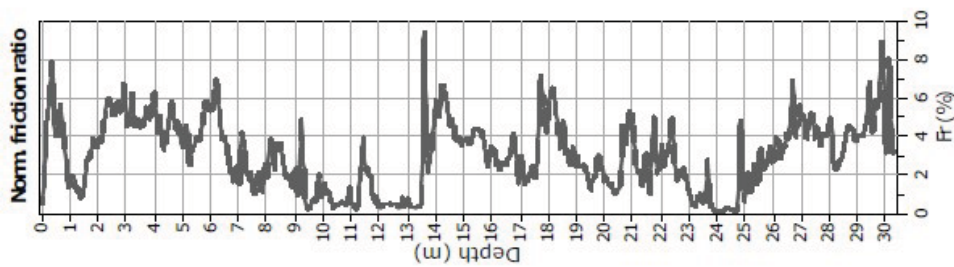
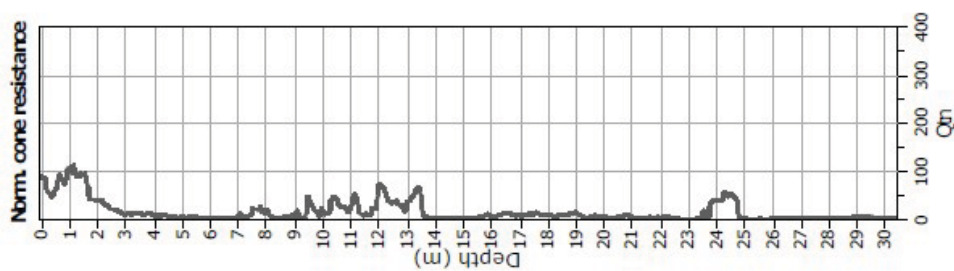
The plot below presents the cross correlation coefficient between the raw qc and fs values (as measured on the field). X axes presents the lag distance (one lag is the distance between two successive CPT measurements).

I

SCPTU3

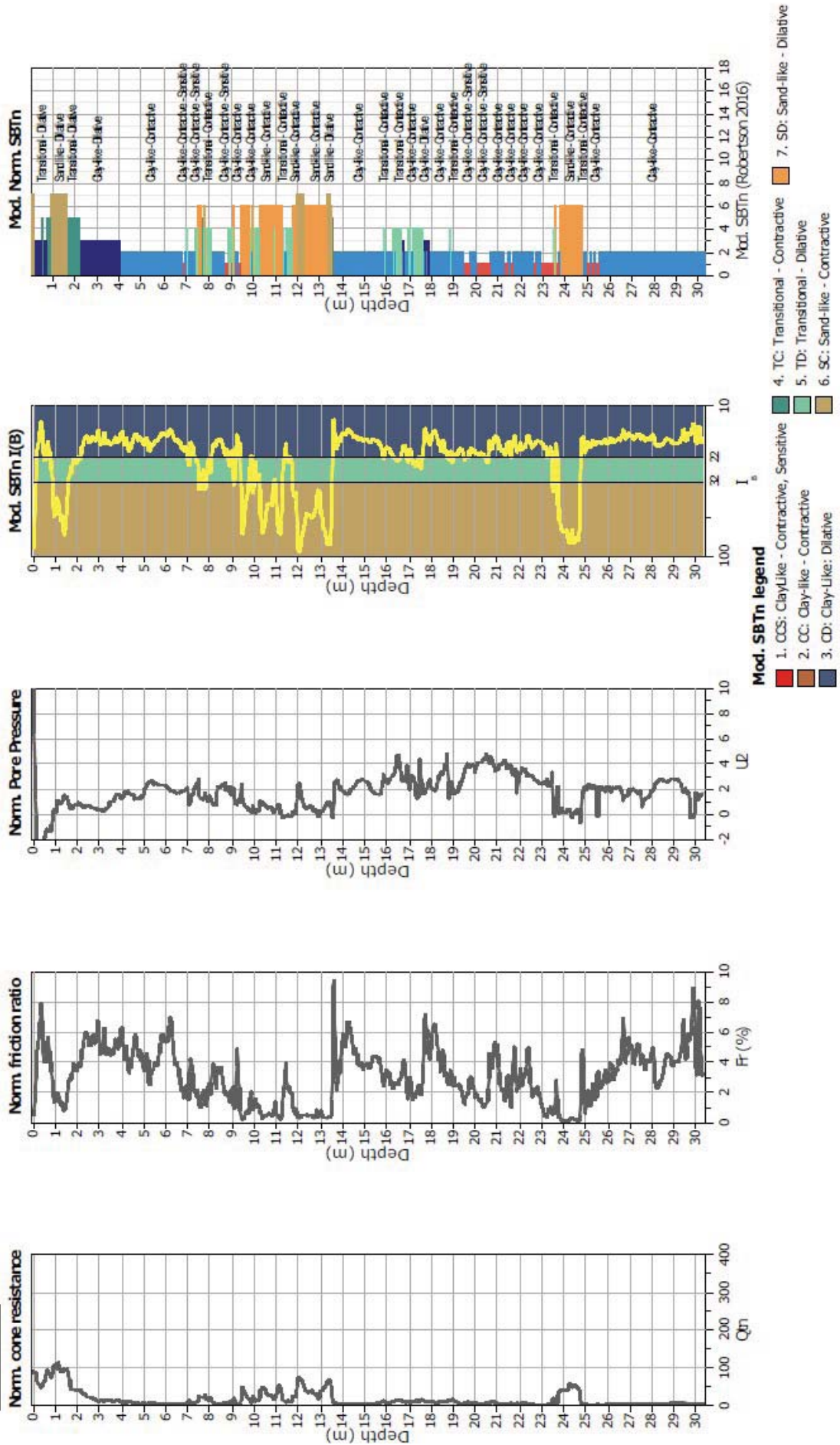


SCPTU3

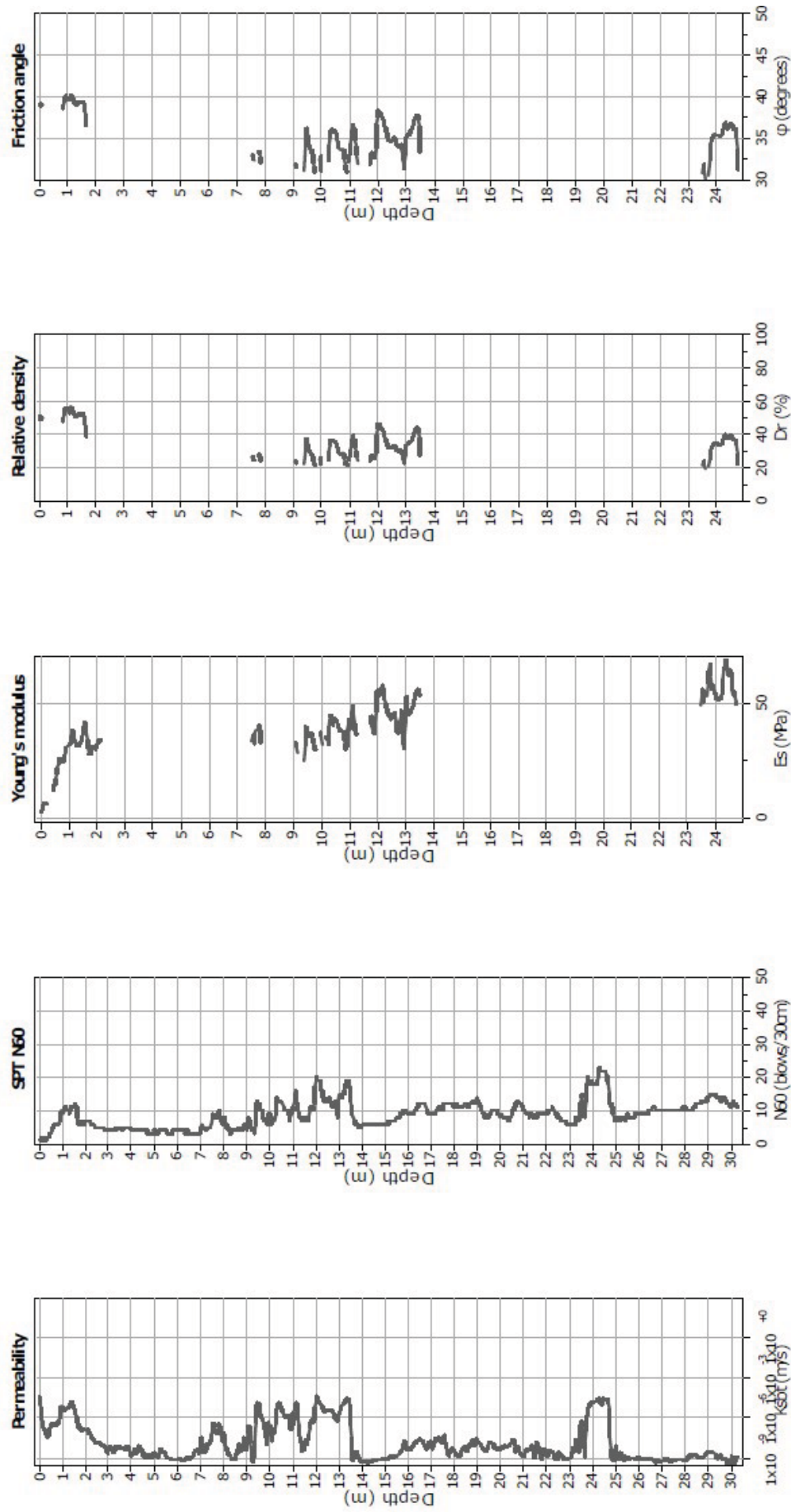


- SBTn legend**
- 1. Sensitive fine grained
 - 2. Organic material
 - 3. Clay to silty clay
 - 4. Clayey silt to silty clay
 - 5. Silty sand to sandy silt
 - 6. Clean sand to silty sand
 - 7. Gravely sand to sand
 - 8. Very stiff sand to clayey sand
 - 9. Very stiff fine grained

SCPTU3



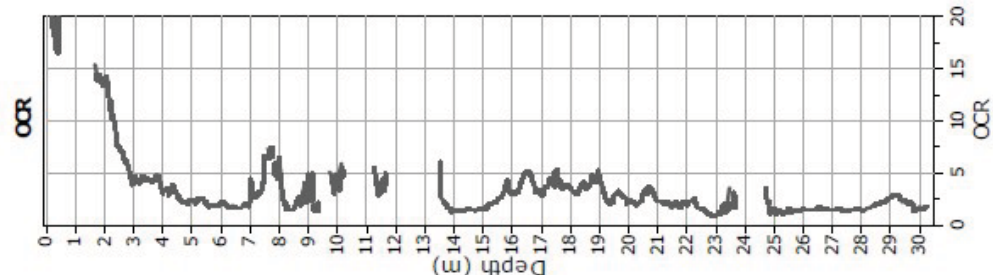
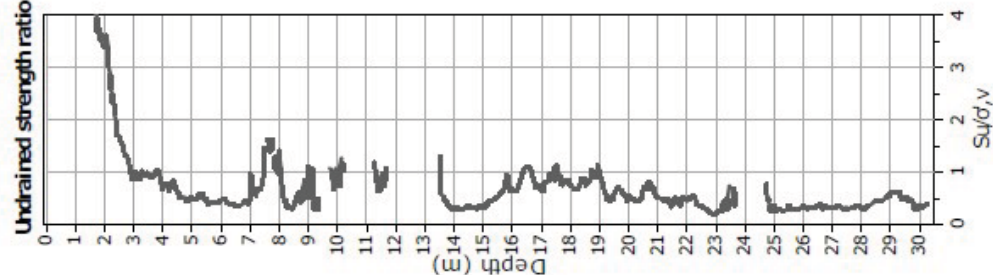
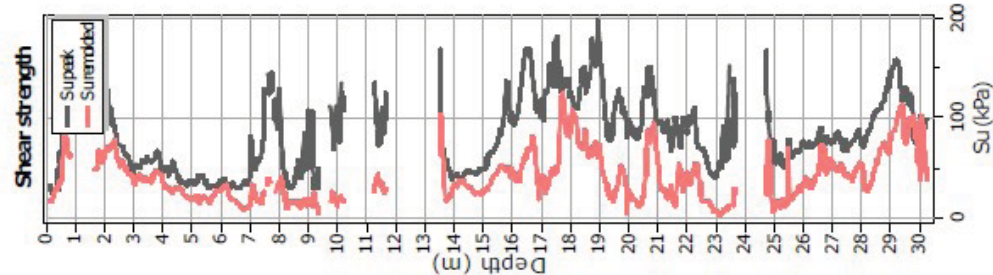
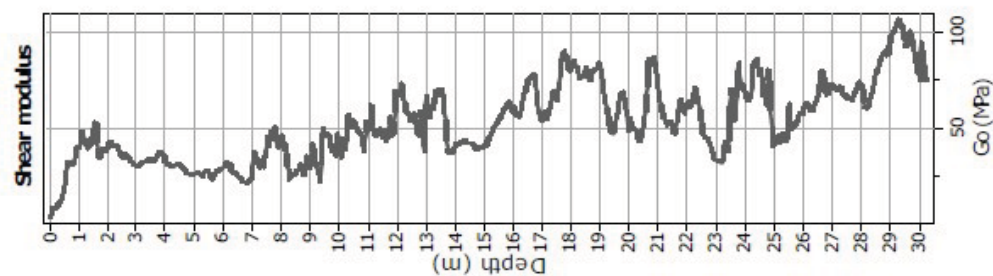
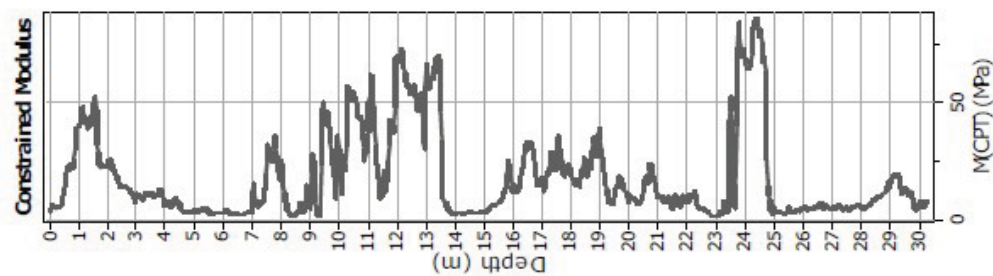
SCPTU3



Relative density constant, C_{Dr} : 350.0
 Phi: Based on Kulhawy & Mayne (1990)
 —●— User defined estimation data

Calculation parameters
 Permeability: Based on SBT_n
 SPT N₆₀: Based on I_c and q_t
 Young's modulus: Based on variable alpha using I_c (Robertson, 2009)

SCPTU3



Calculation parameters

Constrained modulus: Based on variable α/β using I_c and Q_m (Robertson, 2009)

Go: Based on variable α/β using I_c (Robertson, 2009)

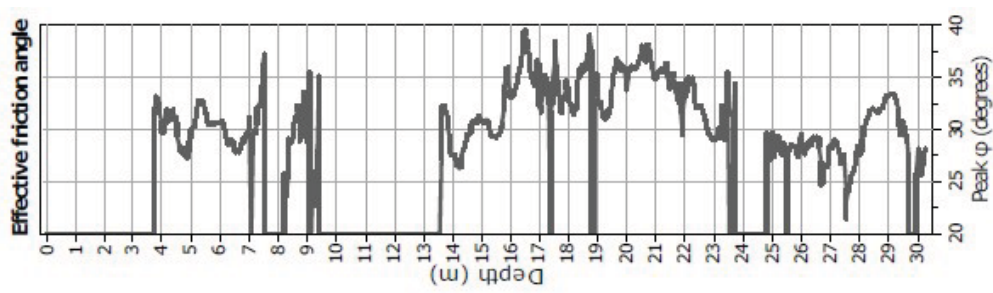
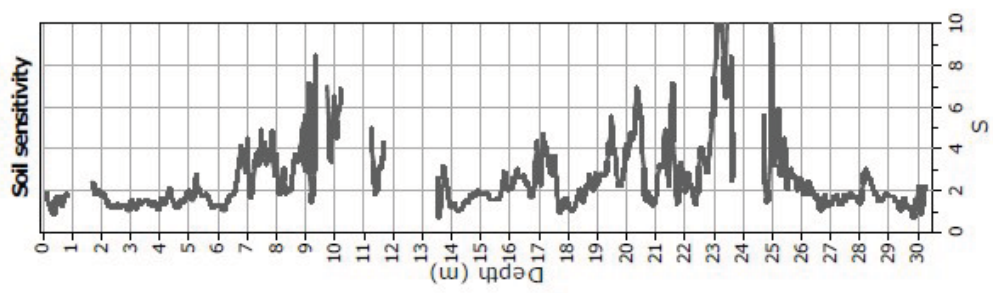
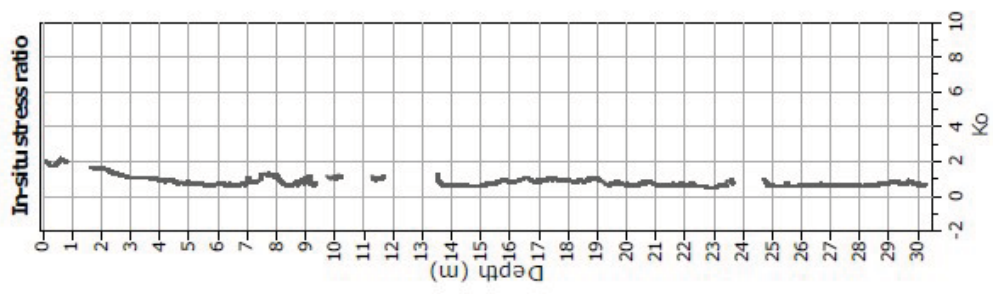
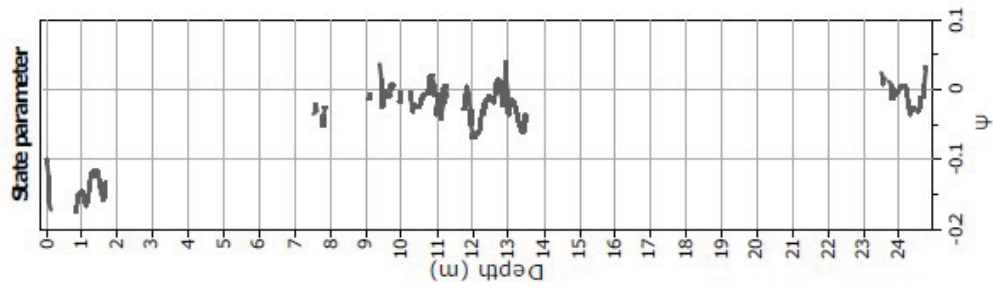
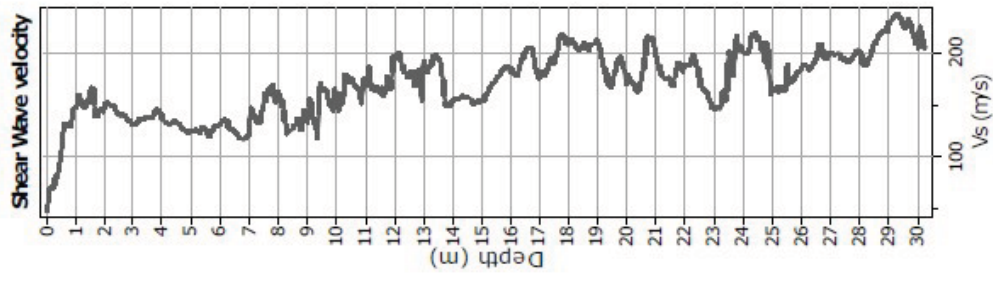
Undrained shear strength cone factor for clays, N_{sk} : 14

OCR factor for clays, N_{sk} : 0.33

—●— User defined estimation data

—●— Flat Dilatometer Test data

SCPTU3

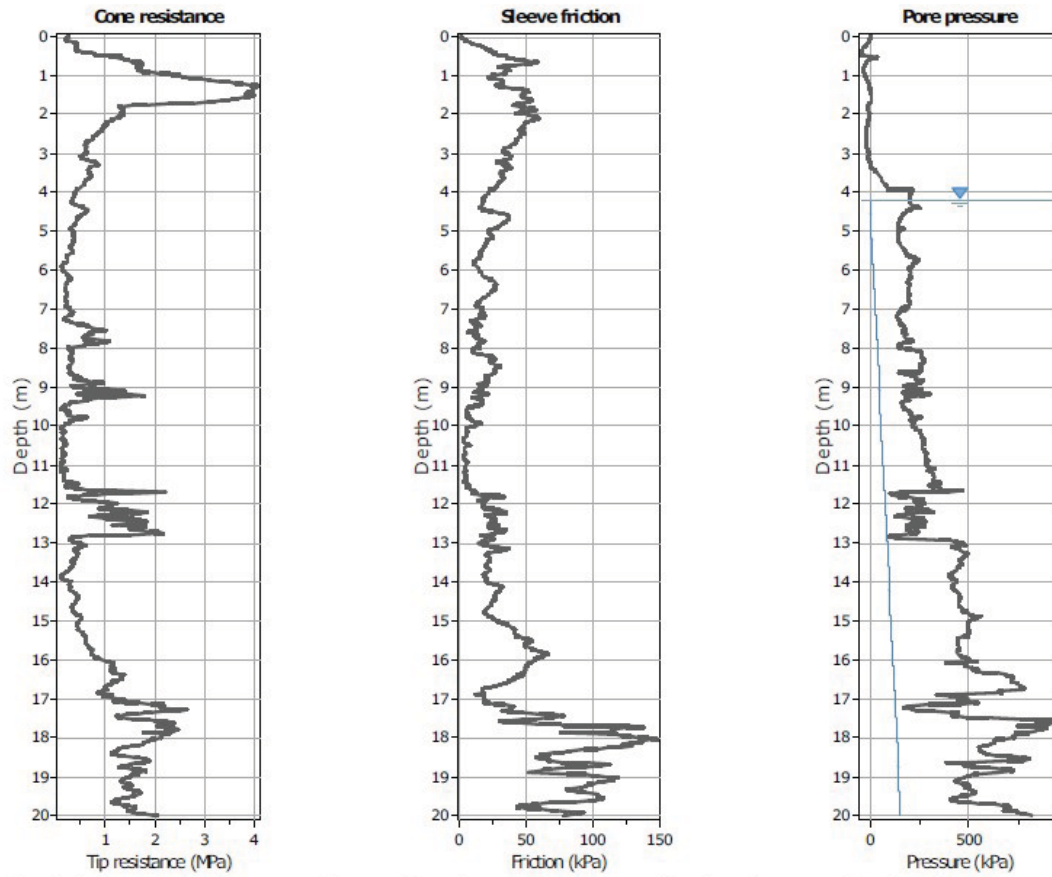


Calculation parameters

Soil Sensitivity factor, N_s : 7.00

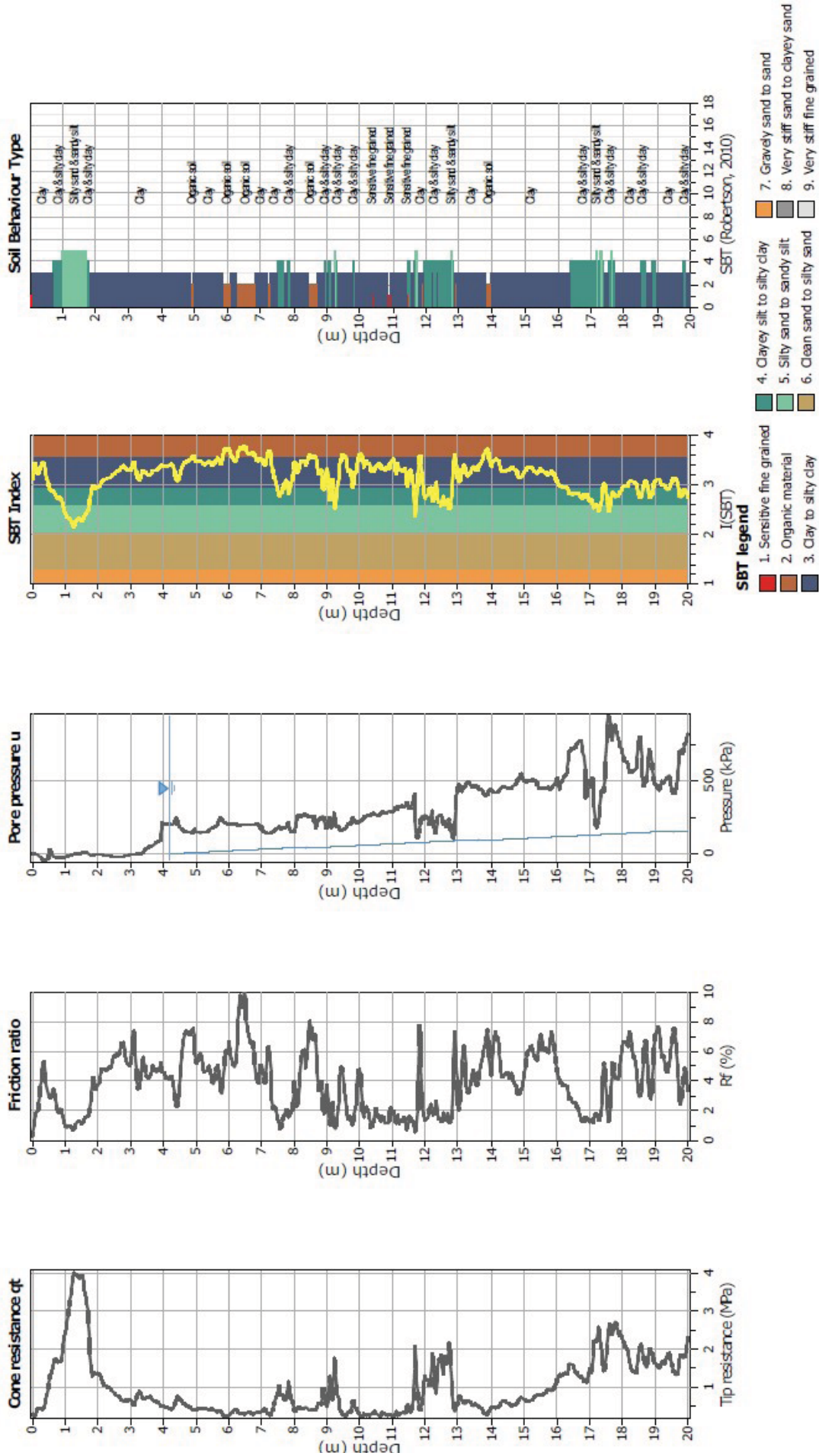
—●— User defined estimation data

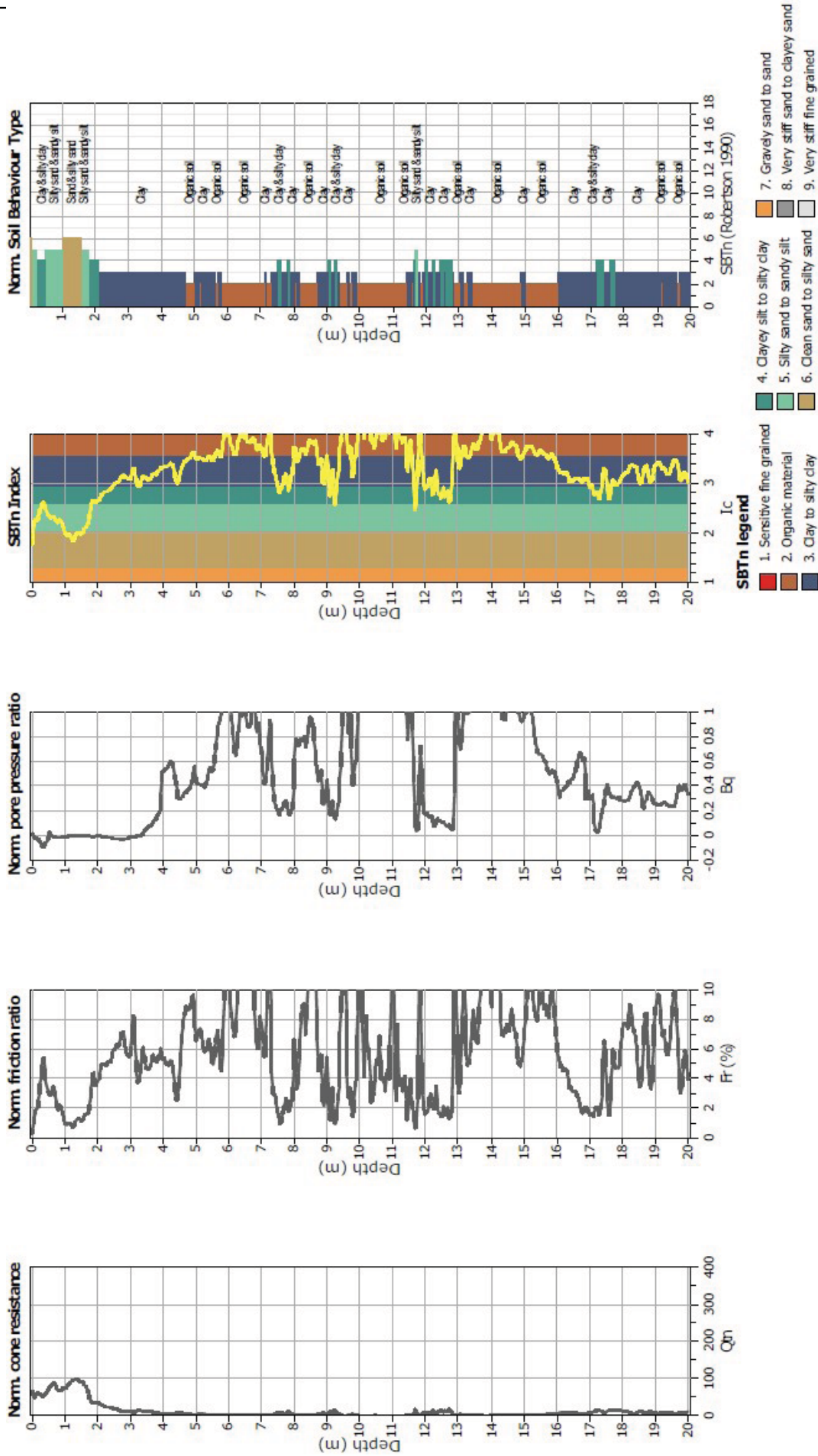
CPTU4



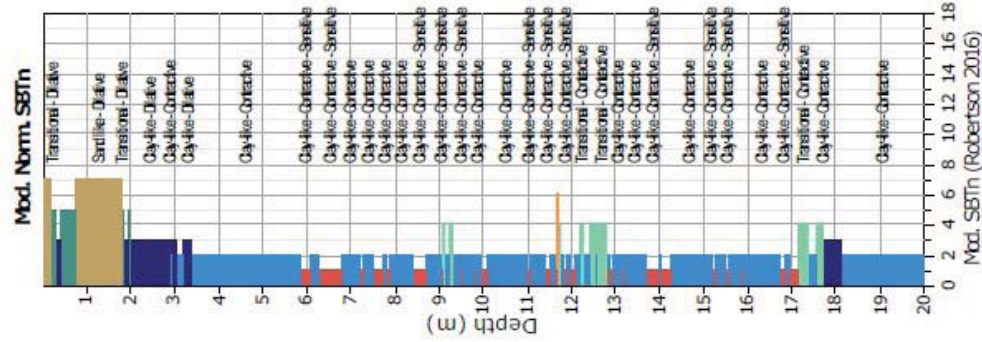
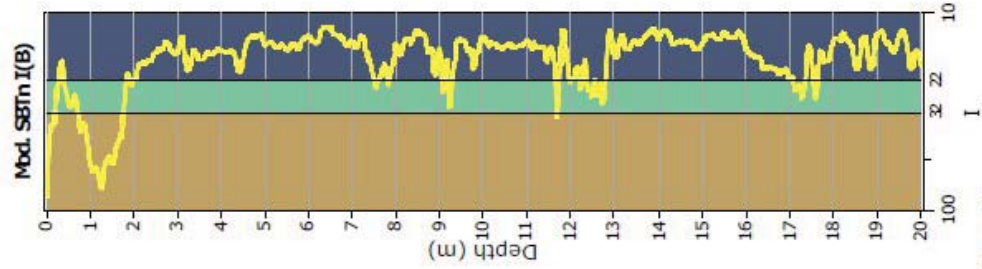
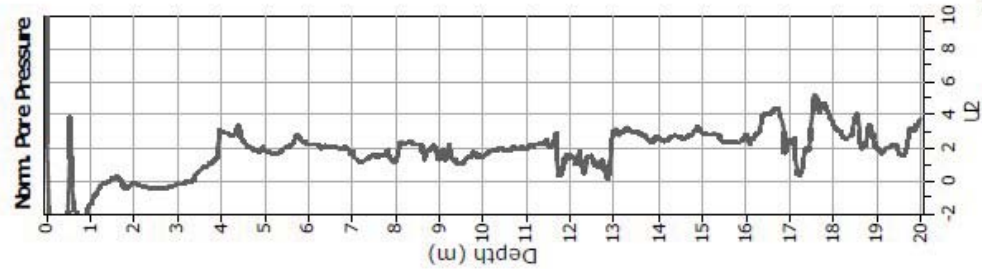
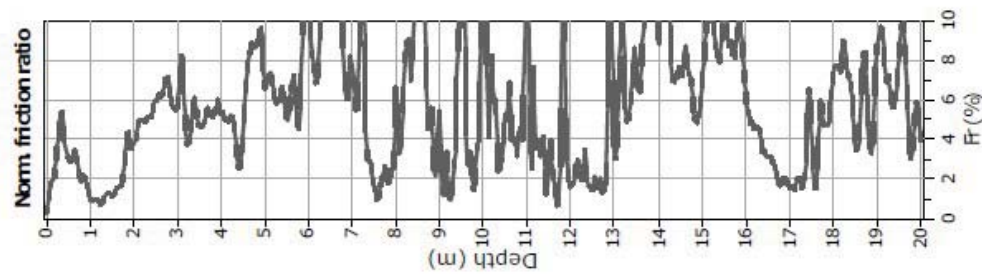
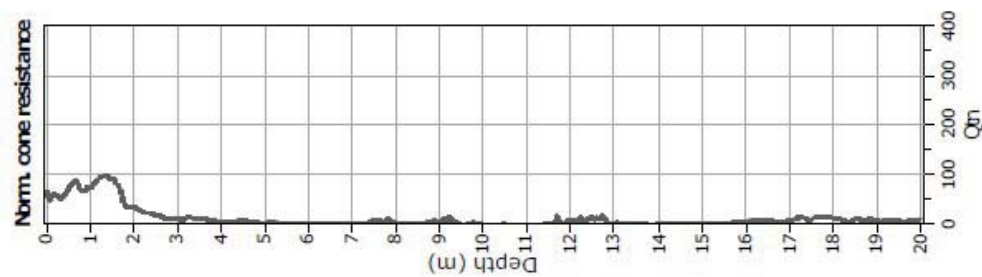
The plot below presents the cross correlation coefficient between the raw qc and fs values (as measured on the field). X axes presents the lag distance (one lag is the distance between two successive CPT measurements).

I



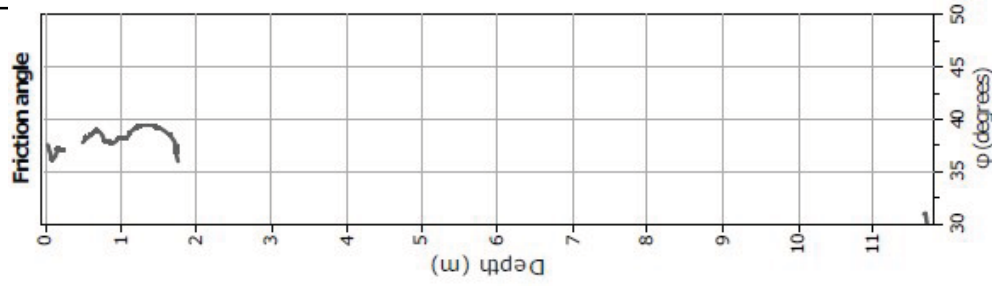
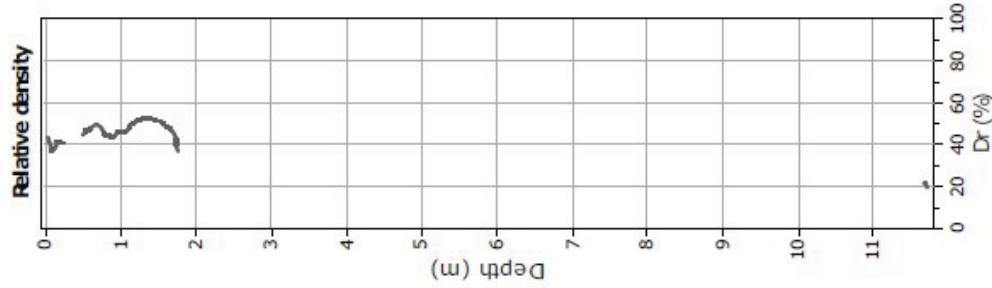
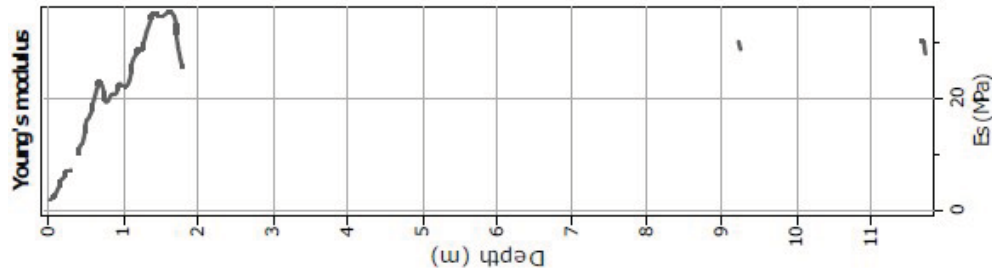
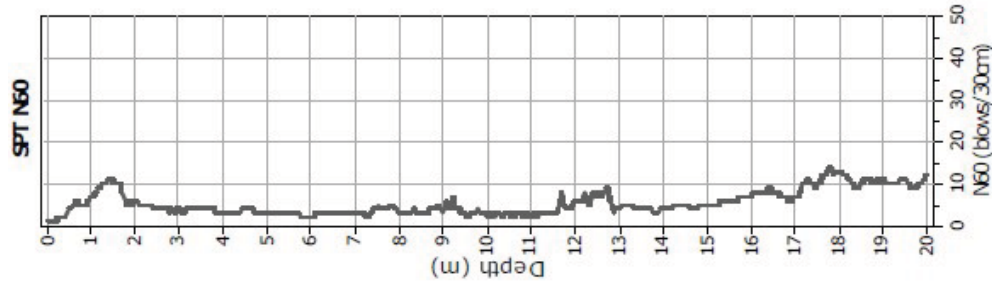
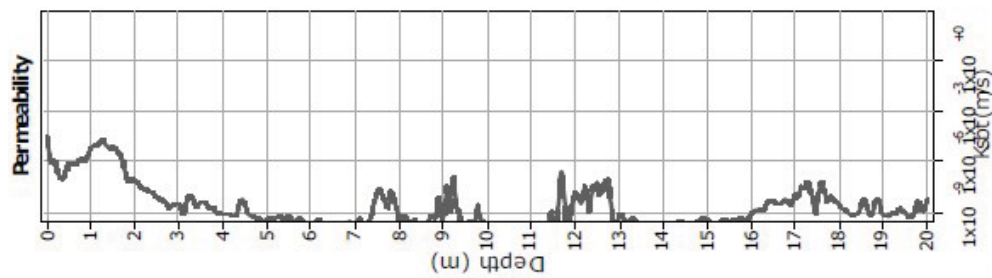


CPTU4



- Mod. SBTn legend**
- 1. CC: ClayLike - Contractive, Sensitive
 - 2. CC: Clay-like - Contractive
 - 3. CD: Clay-Like: Dilative
 - 4. TC: Transitional - Contractive
 - 5. TD: Transitional - Dilative
 - 6. SC: Sand-like - Contractive
 - 7. SD: Sand-like - Dilative

CPTU4



Calculation parameters

Permeability: Based on SBT_n

SBT_{N60} : Based on I_c and q_t

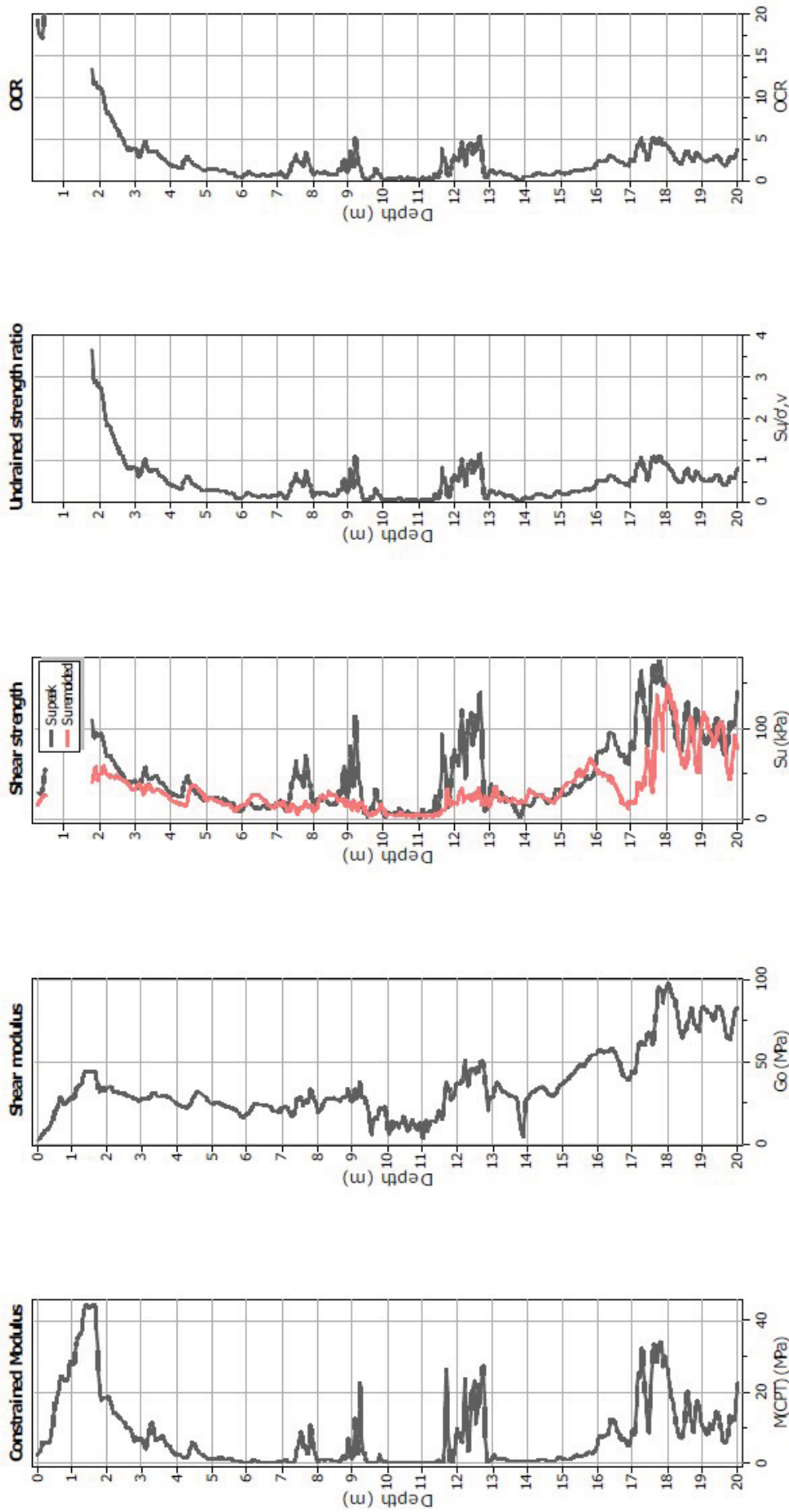
Young's modulus: Based on variable alpha using I_c (Robertson, 2009)

Relative density constant, C_{Dr} : 350.0

Phi: Based on Kulhawy & Mayne (1990)

—●— User defined estimation data

CPTU4



Calculation parameters

Constrained modulus: Based on variable $\alpha/\beta/\gamma$ using I_c and Q_{in} (Robertson, 2009)

Go: Based on variable $\alpha/\beta/\gamma$ using I_c (Robertson, 2009)

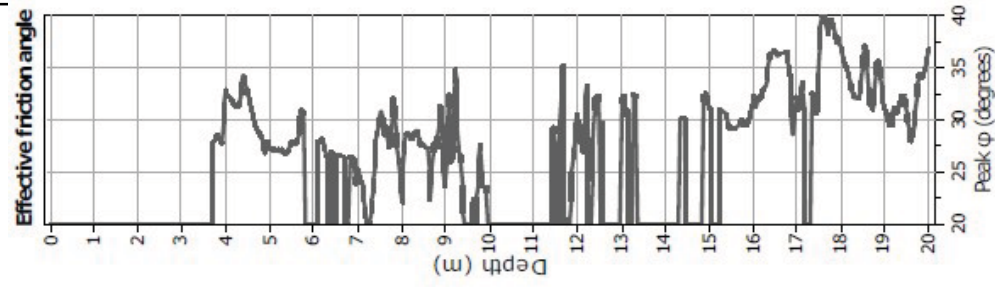
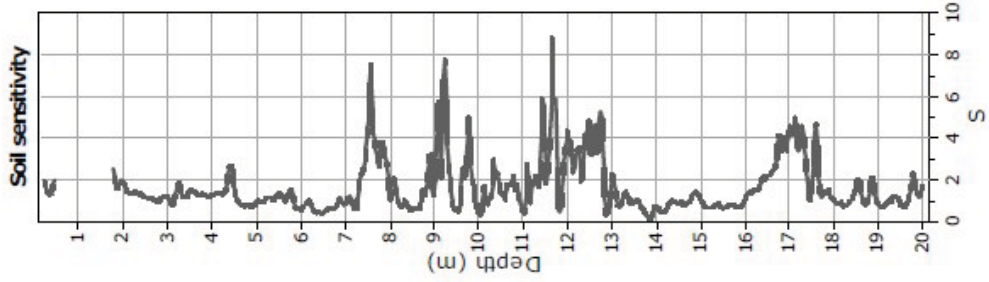
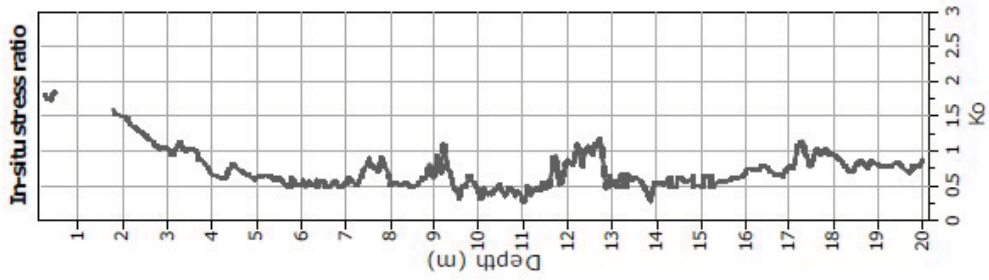
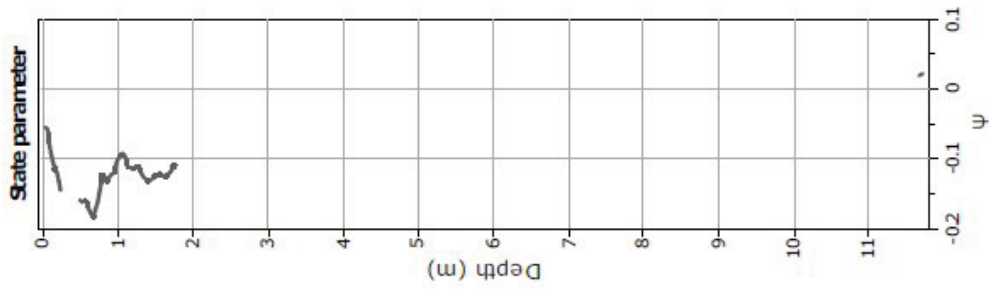
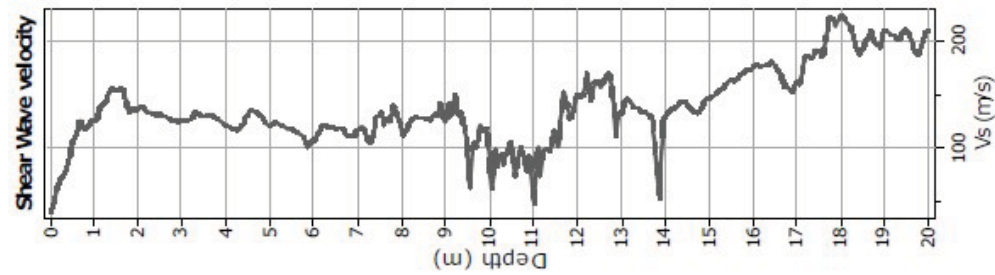
Undrained shear strength cone factor for clays, N_{kt} : 14

OCR factor for clays, N_{kt} : 0.33

—●— User defined estimation data

—●— Flat Dilatometer Test data

CPTU4



Calculation parameters

Soil Sensitivity factor, N_s : 7.00

—●— User defined estimation data