

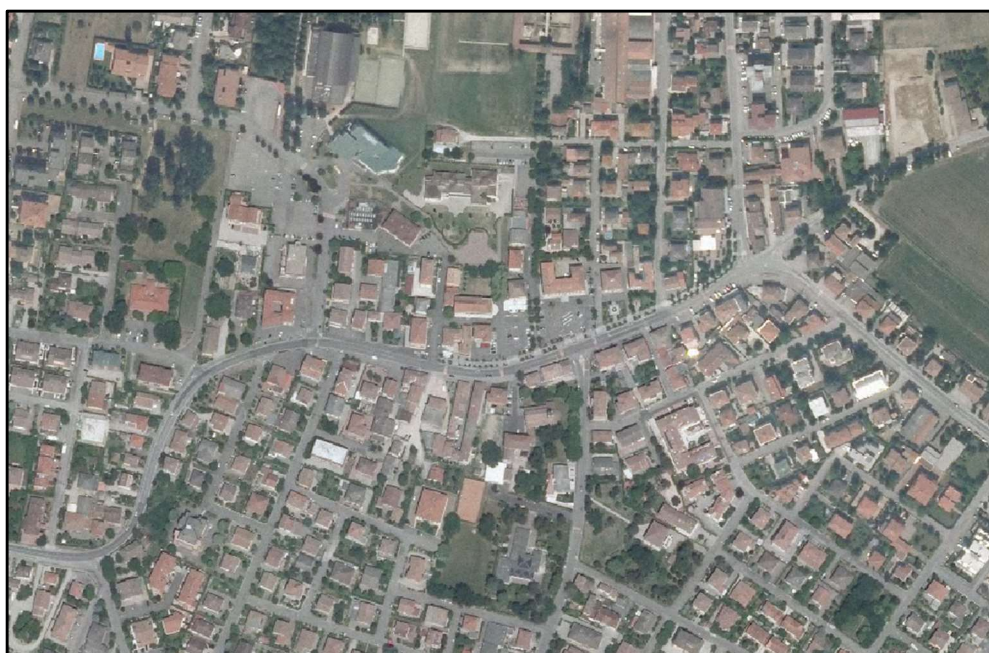
Comune di Medolla

Provincia di Modena



P.S.C. Piano Strutturale Comunale

VARIANTE 2020



RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA

Ambito APCi (NI) 5

Adottato con delibera di CC n. .. del .. /../2020

Sindaco
Dott. Alberto Calciolari

GEOLOGO
Dott. Valeriano Franchi

Responsabile Urbanistica Edilizia
Geom. Alberto Annovi

MARZO 2020

E
Comune di Medolla
Comune di Medolla
Protocollo N. 0006619/2020 del 01/07/2020

COMUNE DI MEDOLLA
Provincia di Modena

PIANO STRUTTURALE COMUNALE
VARIANTE 2020

RELAZIONE GEOLOGICA
Ambito APCi (ni) 5

Dott. Geol. Valeriano Franchi
V.le Caduti in Guerra, 1 - 41121 Modena
Tel: 059-226540
e-mail: valerianofranchi@tin.it

Modena, 11/02/2020

RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA

INDICE CONTENUTI

Premessa	3
1. Inquadramento geografico-fisico	4
2. Inquadramento geologico, geomorfologico ed idrogeologico	6
3. Indagini geognostiche.....	12
4. Indagine sismica.....	15
5. Microzonazione sismica	17
6. RISPOSTA SISMICA LOCALE DI TERZO LIVELLO.....	19
6.1. Suscettibilità alla liquefazione	23
7. Sintesi dell'analisi dei dati raccolti e conclusioni	24

ALLEGATI

PREMESSA

Nella presente relazione vengono trattati gli aspetti geologici e sismici inerenti l'area di Variante al PSC di Medolla (MO) per cui è prevista la trasformazione di un'area attualmente agricola in area produttivi in via dei Falegnami. L'area è ubicata nel settore meridionale del territorio comunale di Medolla, a pochi metri dal confine con il territorio comunale di Cavezzo (MO), nella zona industriale in via dei Falegnami.

Lo studio è stato condotto nel rispetto delle normative vigenti in materia, DM 11.03.1988, con riferimento specifico agli aspetti sismici come da DGR 630/2019 e da DM 17.01.2018.

Per l'adempimento delle specifiche normative, è stato effettuato un sopralluogo sull'area in data 23/01/2020 al fine di verificarne l'idoneità geologica e geomorfologica.

Per la caratterizzazione litostratigrafia e geotecnica dei terreni di sottofondazione, nelle date 23 e 24 gennaio 2020, sono state effettuate 3 prove penetrometriche statiche a punta meccanica (CPTm), spinte fino alla profondità massima di 15,8 m, e 2 prove penetrometriche con piezocono (CPTu), spinte alla profondità massima di 20 m.

Per la classificazione sismica del terreno di sottofondazione sono stati utilizzati i dati ricavati da un'indagine a sismica attiva (MASW) e una a sismica passiva (HVSr), da cui è stato possibile interpretare il profilo di velocità delle onde di taglio (V_s) con la profondità, da cui si sono ricavati i fattori di amplificazione sismica come da DGR 630/2019 e, in ultima analisi, il parametro di normativa V_{s30} , nonché la frequenza vibrazionale naturale del terreno.

La relazione si articola nel seguente modo:

- Inquadramento geografico - fisico
- Inquadramento geologico, geomorfologico ed idrogeologico
- Indagini geognostiche e modello geologico-geotecnico
- Indagini sismiche
- Definizione dell'azione sismica di base
- Effetti di sito
- Sintesi dell'analisi dei dati raccolti e conclusioni

ALLEGATI

1. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO-FISICO

L'area esaminata, oggetto di Variante al PSC, è ubicata nel settore meridionale del territorio comunale di Medolla (MO), a pochi metri ad est del confine con il territorio comunale di Cavezzo (MO), nella zona industriale in via dei Falegnami. Dal punto di vista topografico si trova in corrispondenza di un'ampia area pianeggiante, nella bassa pianura, sub-orizzontale, con una debole pendenza verso NE, e con quote che, in corrispondenza dell'area, sono prossime a 20 m s.l.m. Gli elementi idrografici più prossimi sono rappresentati esclusivamente da aste di ordine minore del reticolo superficiale, ovvero dal Diversivo di Cavezzo, che scorre 70 m ad ovest dell'area. Il Fiume Secchia scorre 3 km a sud ovest.

Il clima è caratterizzato, nel periodo 1991-2015, da precipitazioni totali annue, in media, di 643 mm e temperature medie annue di 14,0°C¹, pari, rispettivamente, ad una variazione di -16 mm e +1,2°C rispetto al periodo 1961-1990.

Nella cartografia regionale, l'area è compresa nella Tavola alla scala 1:25.000 nr. 184SO denominata "Mirandola" (Figura 1), nella Sezione alla scala 1:10.000 nr. 184130 denominata "Medolla" e nell'Elemento alla scala 1:5.000 nr. 184131 denominato "Medolla" e nr. 184134 denominato "Cavezzo" (Figura 2).

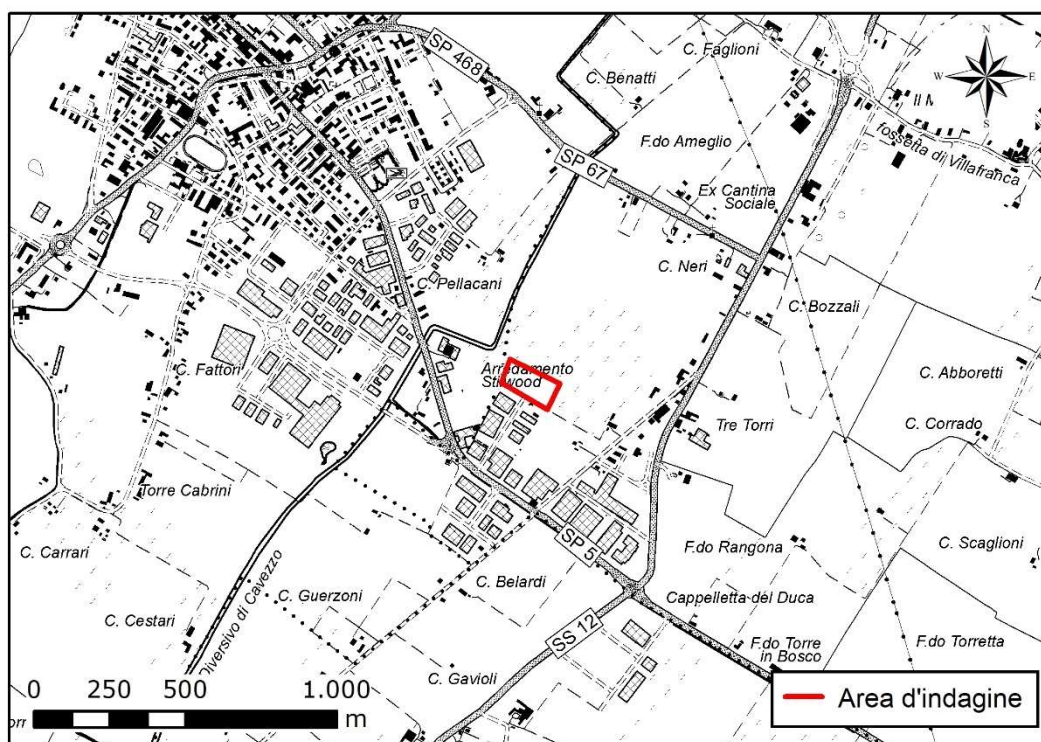


Figura 1 - Inquadramento geografico su C.T.R. con dettaglio topografico a scala 1:25.000 - Tavola nr. 184SO denominata "Mirandola".

¹ Atlante Idroclimatico dell'Emilia-Romagna - <https://goo.gl/E7ljSU>

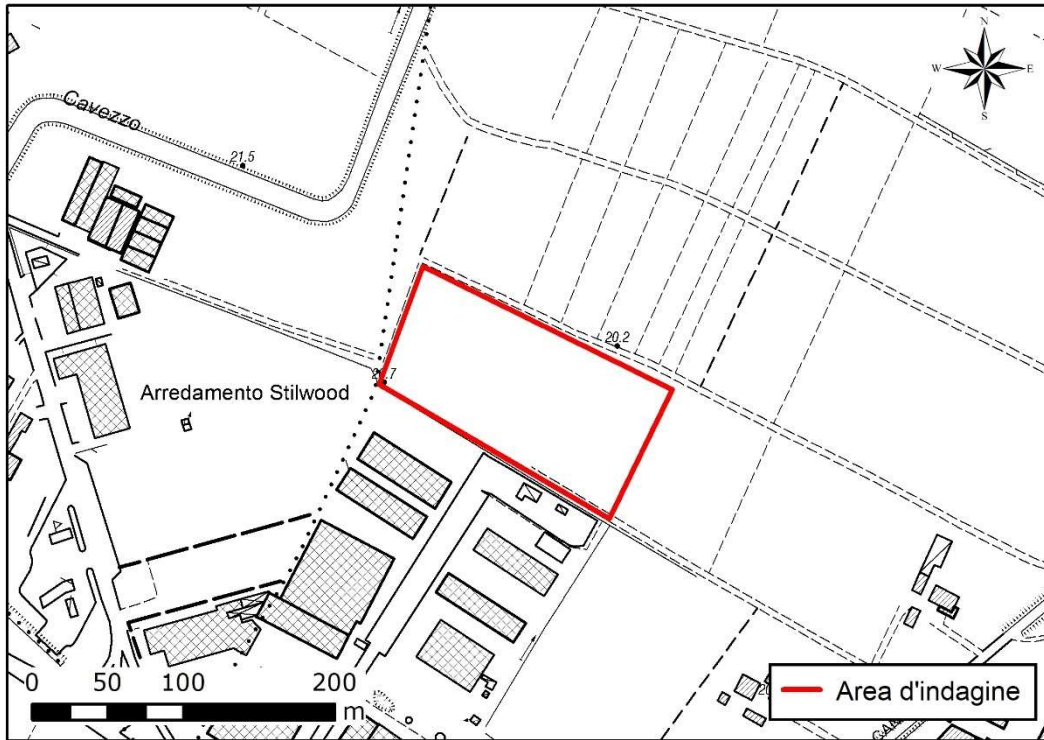


Figura 2 - Ubicazione dell'area d'indagine su C.T.R. con dettaglio topografico a scala 1:5.000 - Elementi nr. 184131 denominato "Medolla" e nr. 184134 denominato "Cavezzo".

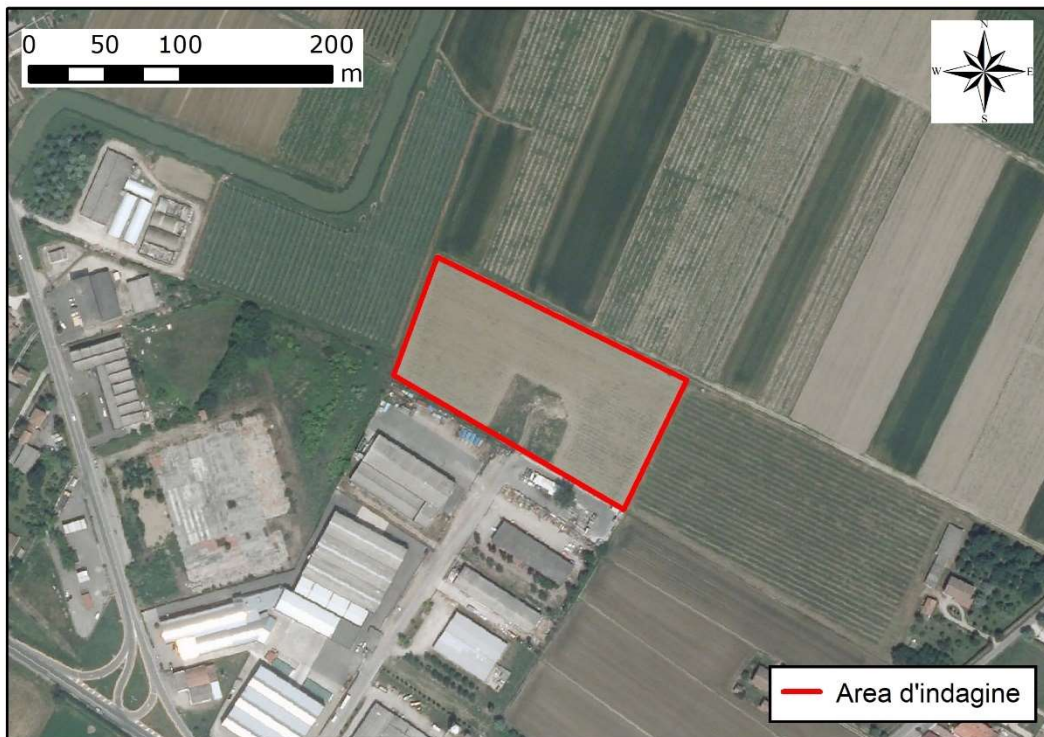


Figura 3 - Ubicazione dell'area d'indagine su ortofoto satellitare (fonte: Google Satellite - 2020-02-08).

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO

Per quanto riguarda la litologia superficiale, l'esame del Foglio geologico nr. 75 "Mirandola" della Carta Geologica d'Italia (Figura 4) mostra come l'area in esame si trovi in una zona in cui prevalgono in superficie, argille sabbiose e sabbie argillose (a^s), caratteristiche di gran parte del territorio comunale. Pochi metri più a nord emergono terreni a maggior percentuale sabbiosa (S), in corrispondenza di Cavezzo e presenti anche ad est ed a NE di Medolla.

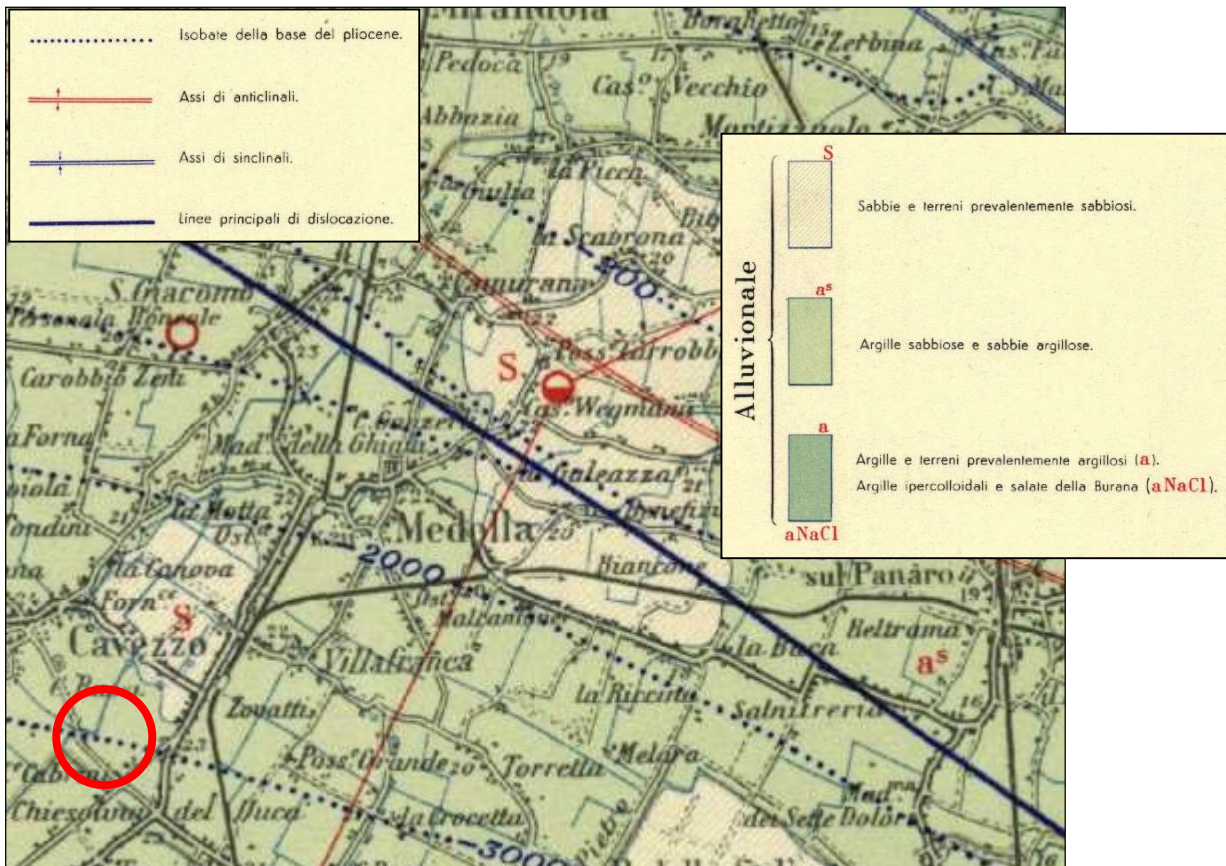


Figura 4 – Stralci del Foglio nr. 75 "Mirandola" della Carta Geologica d'Italia a scala 1:100.000. Il cerchio rosso individua l'area di studio.

Il quadro litologico superficiale del Foglio 75 viene in parte ripreso anche dall'elaborazione di dati litologici puntuali nella "Carta della litologia di superficie" di Figura 5 (Giusti, 2001), ove, per quanto riguarda l'area di studio, il passaggio litologico tra limi prevalenti (in corrispondenza dell'area di studio) e sabbie viene confermato, pur cambiando in maniera sostanziale le perimetrazioni dei vari ambiti litologici nell'intorno più ampio del territorio comunale.

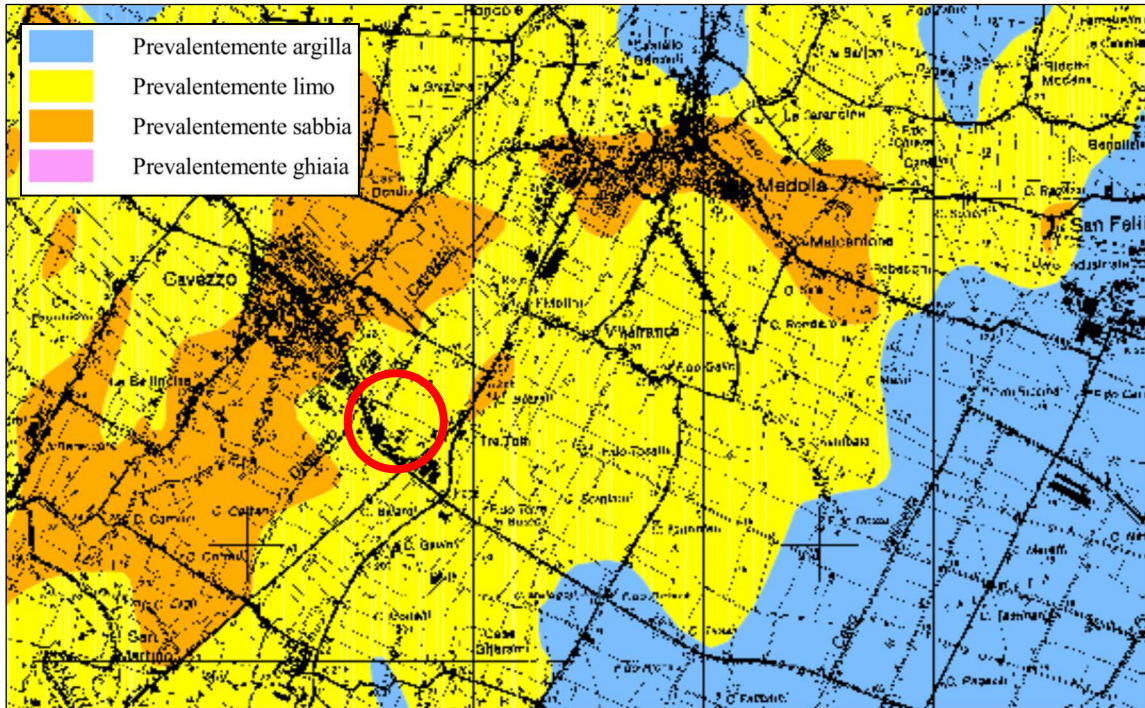


Figura 5 – Stralcio della “Carta della litologia di superficie” elaborata, su base cartografica a scala 1:25.000, nell’ambito della tesi di dottorato in Scienze Geologiche - “Geomorfologia della pianura modenese e studio d’impatto ambientale del tracciato ferroviario ad alta velocità nel territorio di Castelfranco Emilia” (Giusti, 2001). Università degli studi di Modena e Reggio Emilia, Dipartimento di Scienze della Terra. Il cerchio rosso individua l’area di studio.

Per quanto riguarda la stratigrafia oltre il primo metro più superficiale, alla piccola scala (Figura 6), è possibile notare come, in prossimità di Medolla, lo spessore dei depositi quaternari subisca una repentina diminuzione di spessore fino a raggiungere un minimo di 78 m in corrispondenza dell’alto strutturale in corrispondenza del pozzo “Camurana”, identificato in figura 4 in prossimità della lettera “S”.

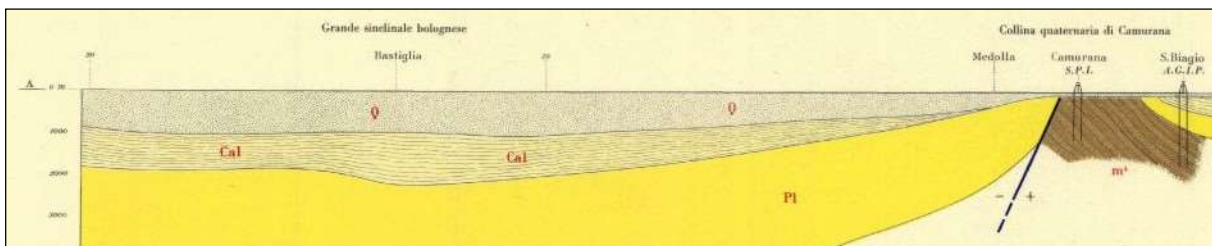
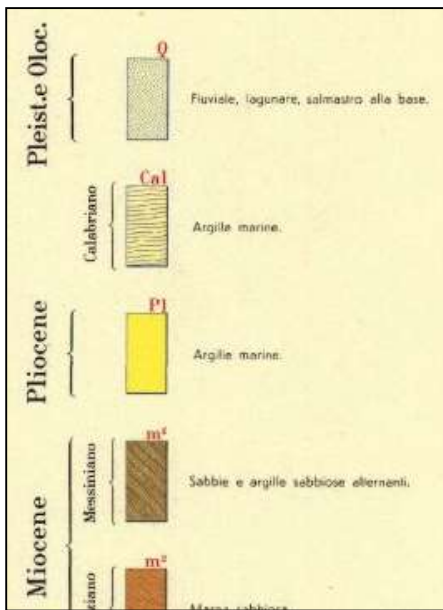


Figura 6 – Profilo stratigrafico A-A’ di figura 4. Legenda: a seguire.



A scala maggiore, il dettaglio migliore sulla stratigrafia dell'area può essere trovato nell'esame dei sondaggi geognostici, più prossimi all'area di studio, resi disponibili on-line dal database geognostico della Regione Emilia-Romagna (Figura 7)². In particolare, la stratigrafia ricavata durante la perforazione del pozzo per acqua identificato con la sigla "184130P611", molto prossimo all'area in esame, ha identificato un primo spessore di 39 m di argilla compatta, seguito da:

3 m di sabbia compatta fine,
 14 m di argille,
 10 m di sabbia compatta a media granulometria (con presenza d'acqua)

per un totale di 66 m (si veda la stratigrafia del pozzo in Allegato 1).

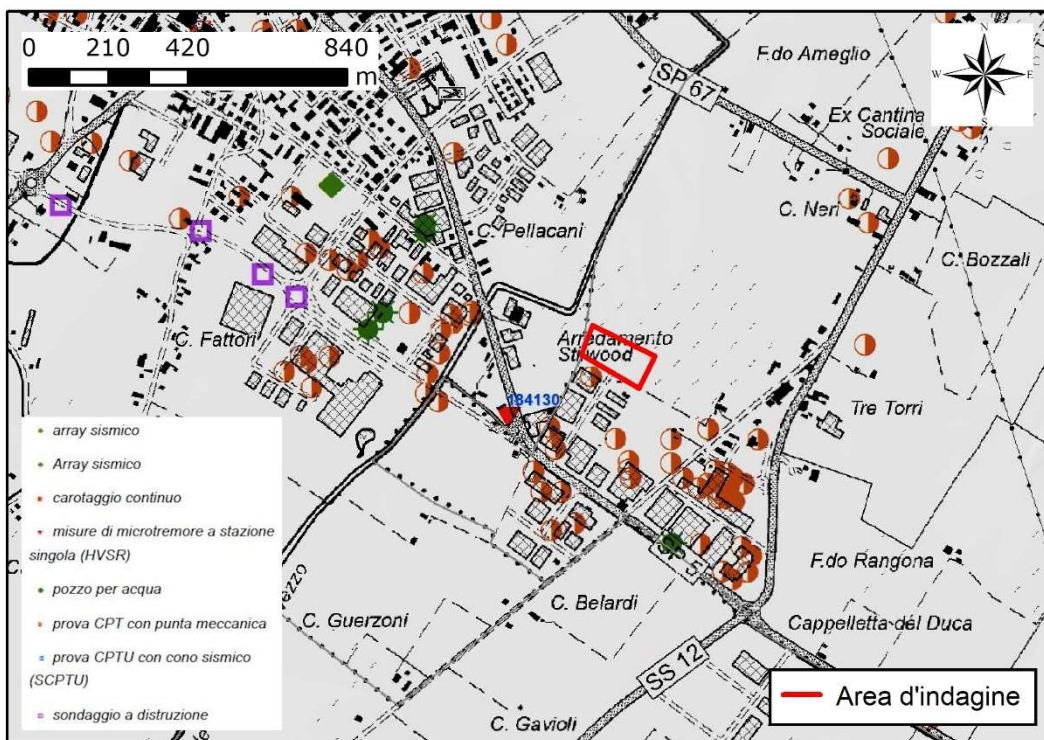


Figura 7 – Ubicazione dei sondaggi geognostici del database della Regione Emilia-Romagna. Il poligono rosso circonda l'area di studio.

Dal punto di vista geomorfologico, l'area in studio si sviluppa in un contesto caratterizzato dalla presenza di forme superficiali legate alla paleo-dinamica fluviale (Figura 8 e Figura 9).

² <http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/cartografia/webgis-banchedati/sezioni-geologiche-prove-geognostiche-pianura>

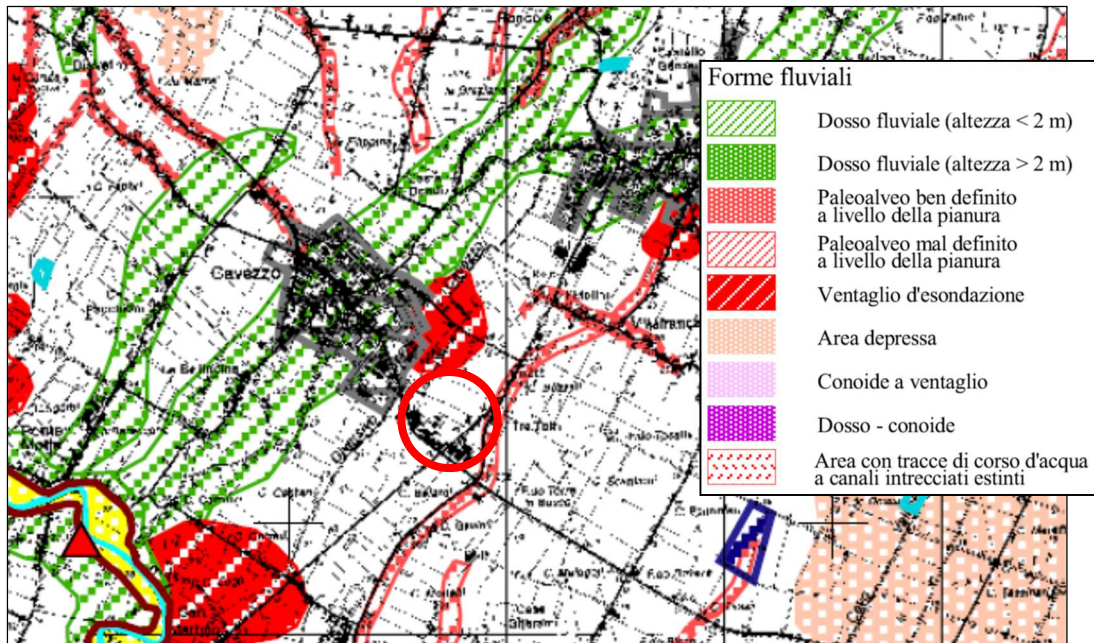


Figura 8 – Stralcio della “Carta geomorfologica della pianura modenese” elaborata, su base cartografica a scala 1:25.000, nell’ambito della tesi di dottorato in Scienze Geologiche - “Geomorfologia della pianura modenese e studio d’impatto ambientale del tracciato ferroviario ad alta velocità nel territorio di Castelfranco Emilia” (Giusti, 2001). Università degli studi di Modena e Reggio Emilia, Dipartimento di Scienze della Terra. Il cerchio rosso individua l’area di studio.

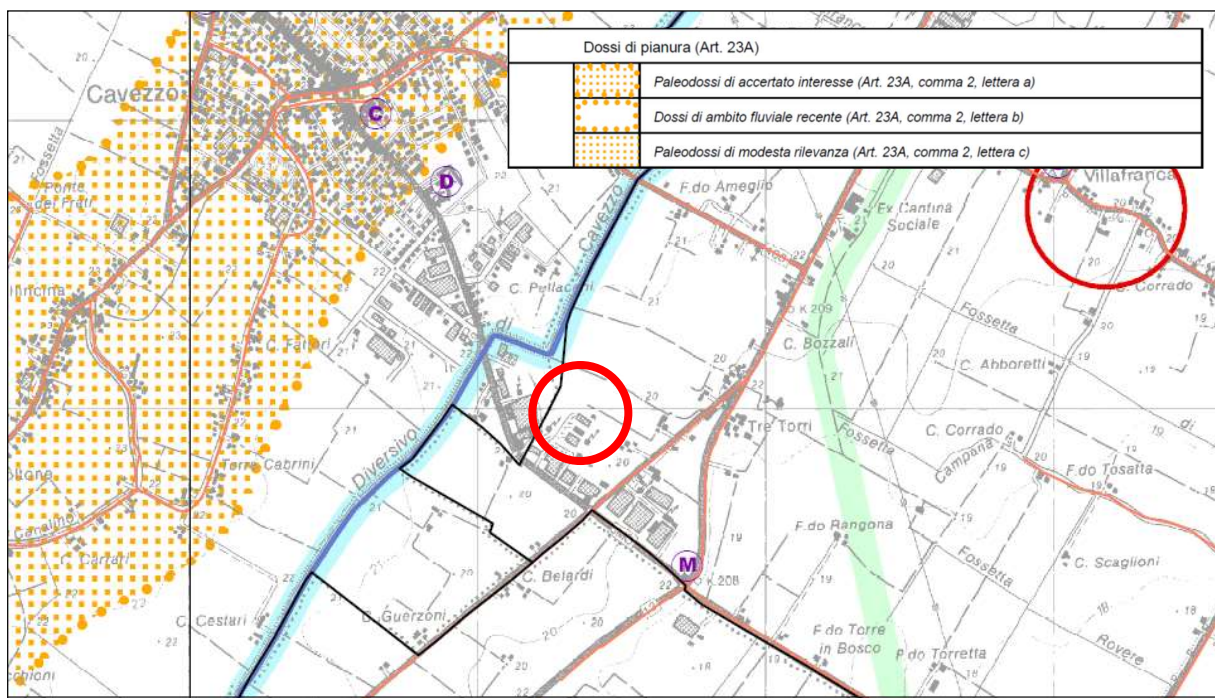


Figura 9 – Stralcio della Tavola 1.1 “Tutela delle risorse paesistiche e storico culturali” del PTCP della Provincia di Modena (2009). Il cerchio rosso individua l’area di studio.

Elemento rilevante in tale contesto geomorfologico è rappresentato dal dosso fluviale (o da un insieme di dossi fluviali) che attraversa Cavezzo, passando per Medolla, per poi proseguire per S. Felice e terminare a Finale Emilia, costruito da

un paleo-Fiume Secchia che ha mantenuto ivi il suo alveo fino all'epoca romana-medievale (Panizza et al., 2004³). Dalla Figura 8 il dosso fluviale non interessa l'area di studio, mentre in Figura 8 essa risulta molto prossima ad un paleoalveo mal definito a livello della pianura.

In merito all'idrografia, il sistema idrografico è rappresentato esclusivamente dal reticolo di drenaggio della Bonifica Burana ed ha nel Diversivo di Cavezzo l'elemento più prossimo; quest'ultimo scorre al confine nord-ovest del perimetro dell'area in esame, con andamento prevalentemente SO-NE.

Per quanto riguarda le acque sotterranee, il territorio comunale si trova in corrispondenza del complesso idrogeologico della pianura alluvionale e deltizia padana. In particolare, in corrispondenza dell'area di studio e di un suo ampio intorno, ad una falda freatica superficiale, effimera, impostata nei sedimenti limo-argillosi, segue un consistente spessore di argille, fino a circa -40 m ove compare il primo spessore significativo di sabbia (circa 3 m) capace di ospitare un secondo acquifero (confinato).

L'elaborazione delle misurazioni piezometriche effettuata nel 2003 per il QC del PSC di Medolla (Figura 10) mostra una superficie piezometrica, in corrispondenza dell'area di studio, a circa 19,5 m s.l.m., per una soggiacenza di circa 0,5 m.

In occasione dell'esecuzione delle prove penetrometriche statiche in corrispondenza dell'area di studio, la falda è stata intercettata a una profondità da 0,6 a 2,0 m da piano campagna.

L'analisi dei dati a disposizione porta, pertanto, ad ipotizzare, per l'area, una falda superficiale effimera, la cui scarsa persistenza è dovuta alla presenza di litotipi a bassa permeabilità. Il livello piezometrico relativo alla falda confinata presente a circa -40 m sembra attestarsi a circa -10 m, in base a quanto ricavabile dai dati relativi al pozzo per acqua in Allegato 1.

³ M. Panizza, D. Castaldini, M. Pellegrini, C. Giusti e D. Piacentini (2004) – Matrici geo-ambientali e sviluppo insediativo: un'ipotesi di ricerca. In: C. Mazzeri (a cura di) – Per un atlante storico ambientale urbano, APM Edizioni, 31-51 pp.

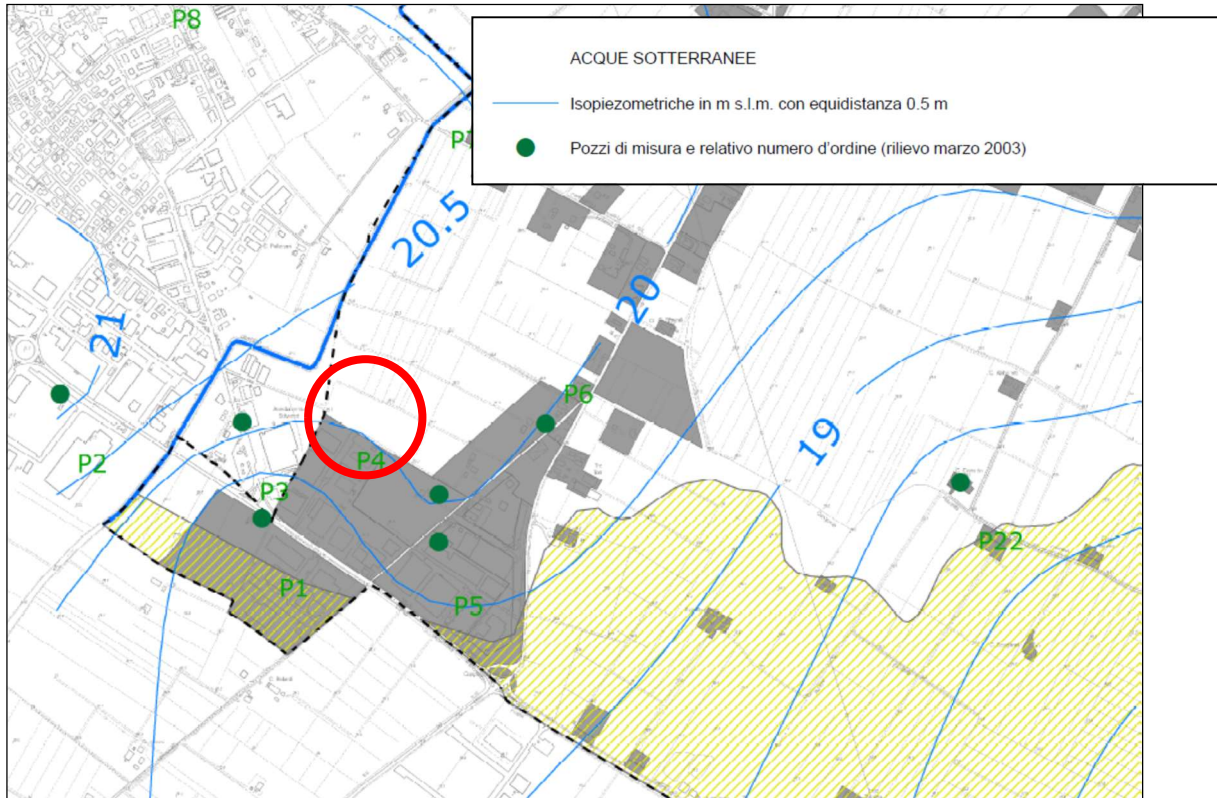


Figura 10 – Stralcio della Tavola QC11 – “Suoli e rischio idraulico” del QC del PSC del Comune di Medolla. Il cerchio rosso individua l’area di studio.

3. INDAGINI GEOGNOSTICHE

Nelle giornate del 23 e 24 gennaio 2020 è stata eseguita un'indagine geognostica nell'area in oggetto al fine di analizzare le caratteristiche litostratigrafiche e geotecniche dei terreni che saranno interessati dall'intervento in progetto.

L'indagine è stata condotta mediante l'esecuzione di 3 prove penetrometriche statiche a punta meccanica (CPTm) e 2 prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTu). L'ubicazione delle prove è mostrata nella planimetria riportata in Figura 11, mentre i diagrammi penetrometrici, unitamente ai tabulati di campagna, sono riportati in Allegato 2.

Le prove, che hanno raggiunto la profondità massima di 20 m dal piano di campagna (CPTu 2), sono state eseguite utilizzando un penetrometro statico Pagani cingolato 100kN, con le seguenti caratteristiche tecniche:

Rif. Norme	ASTM D3441-86
Diametro Punta conica meccanica	35,7
Angolo di apertura punta	60
Area punta	10
Superficie manicotto	150
Passo letture (cm)	20
Costante di trasformazione Ct	20

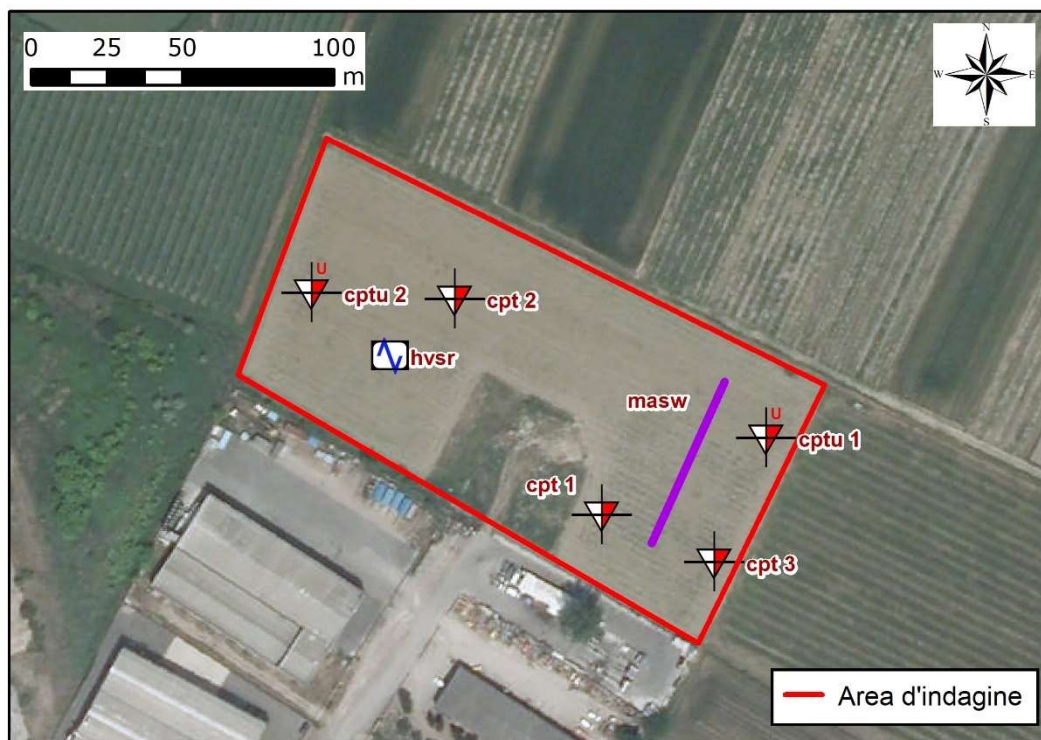


Figura 11 - Ubicazione dei sondaggi penetrometrici statici e delle indagini sismiche.

Dal punto di vista litostratigrafico, oltre il primo livello superficiale di suolo agricolo, le prove penetrometriche espone in seguito hanno evidenziato la presenza, nella quasi totalità delle verticali indagate, di terreni coerenti (argille e argille limose), avvalorando l'interpretazione litologica del PTCP.

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI CPTm 1

Prof. Strato (m)	Qc (Kg/cm²)	Fs (Kg/cm²)	Cu (Kg/cm²)	γ (t/m³)	γ_s (t/m³)	Φ (°)	Eed (kg/cm²)	Descrizione
0,00-4,80	10,4	0,5	0,5	1,9	1,9	21,7	44,5	Argilla inorganica di media consistenza
4,80-7,80	11,1	0,5	0,6	1,9	1,9	22,0	45,6	Argilla inorganica compatta
7,80-11,00	19,5	1,3	1,0	2,0	2,0	25,8	43,0	Argilla inorganica molto compatta
11,00-15,80	33,3	1,4	1,7	2,0	2,1	32,0	66,7	Argille sabbiose e limose
Falda rilevata: - 0,70 m da p.c.								

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI CPTm 2

Prof. Strato (m)	Qc (Kg/cm²)	Fs (Kg/cm²)	Cu (Kg/cm²)	γ (t/m³)	γ_s (t/m³)	Φ (°)	Eed (kg/cm²)	Descrizione
0,00-2,80	8,3	0,5	0,4	1,8	1,9	20,7	39,3	Argille organiche e terreni misti
2,80-7,80	9,4	0,5	0,5	1,8	1,9	21,2	42,3	Argilla inorganica di media consistenza
7,80-12,40	21,0	1,2	1,1	2,0	2,0	26,5	42,1	Argilla inorganica molto compatta
Falda rilevata: non rilevata a causa della chiusura del foro di sondaggio a seguito della estrazione delle aste di prova								

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI CPTm 3

Prof. Strato (m)	Qc (Kg/cm²)	Fs (Kg/cm²)	Cu (Kg/cm²)	γ (t/m³)	γ_s (t/m³)	Φ (°)	Eed (kg/cm²)	Descrizione
0,00-2,60	8,2	0,4	0,4	1,8	1,9	20,7	38,9	Argilla inorganica di media consistenza
2,60-6,00	9,5	0,6	0,5	1,8	1,9	21,3	42,4	Argille organiche e terreni misti
6,00-9,60	12,6	0,9	0,6	1,9	2,0	22,6	47,4	Argille organiche e terreni misti
9,60-12,80	29,7	1,5	1,5	2,0	2,1	30,3	59,4	Argilla inorganica molto compatta
Falda rilevata: - 2,00 m da p.c.								

Un primo livello di terreno a scarsa consistenza, prevalentemente argilloso, è presente in tutte le prove, a partire dal piano campagna fino a profondità variabili tra circa 8 e 10 m nelle tre CPTm; lo stesso primo strato argilloso a scarsa consistenza vede approfondire la sua base in corrispondenza della CPTu-1, a circa 13 m; in corrispondenza della CPTu-2, lo strato argilloso mostra una scarsa consistenza fino a fondo prova, ovvero a circa 20 m.

Un secondo livello argilloso, maggiormente consistente rispetto al primo, è presente nella parte inferiore delle tre verticali CPTm ed in quella della CPTu-1.

Il margine occidentale dell'area (indagato dalla CPTu-2) sembra pertanto indicare un decadimento dei parametri geotecnici delle argille rispetto alla restante porzione dell'area, forse a causa della maggiore distanza dal paleoalveo di Figura 8 e, quindi, da eventuali apporti di sedimenti più grossolani (limi), in grado di migliorare i valori di resistenza geomeccanica del deposito.

COMUNE DI MEDOLLA (MO)
PIANO STRUTTURALE COMUNALE - VARIANTE 2020
RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA

Dott. Geol. Valeriano Franchi
V.le Caduti in Guerra, 1
41121 Modena
valerianofranchi@tin.it

Project:
Location:

CPT: CPTu-1

Total depth: 13.95 m

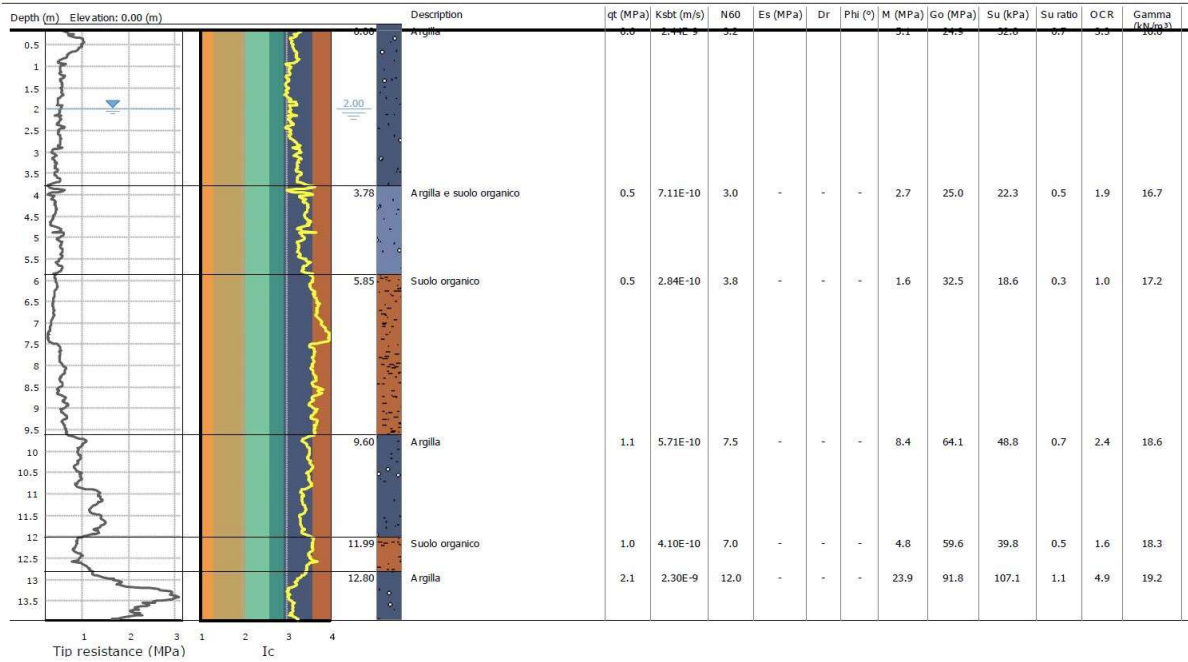


Figura 12 - Grafico e parametri geotecnici CPTu1.

Dott. Geol. Valeriano Franchi
V.le Caduti in Guerra, 1
41121 Modena
valerianofranchi@tin.it

Project:
Location:

CPT: CPTu-2

Total depth: 19.82 m

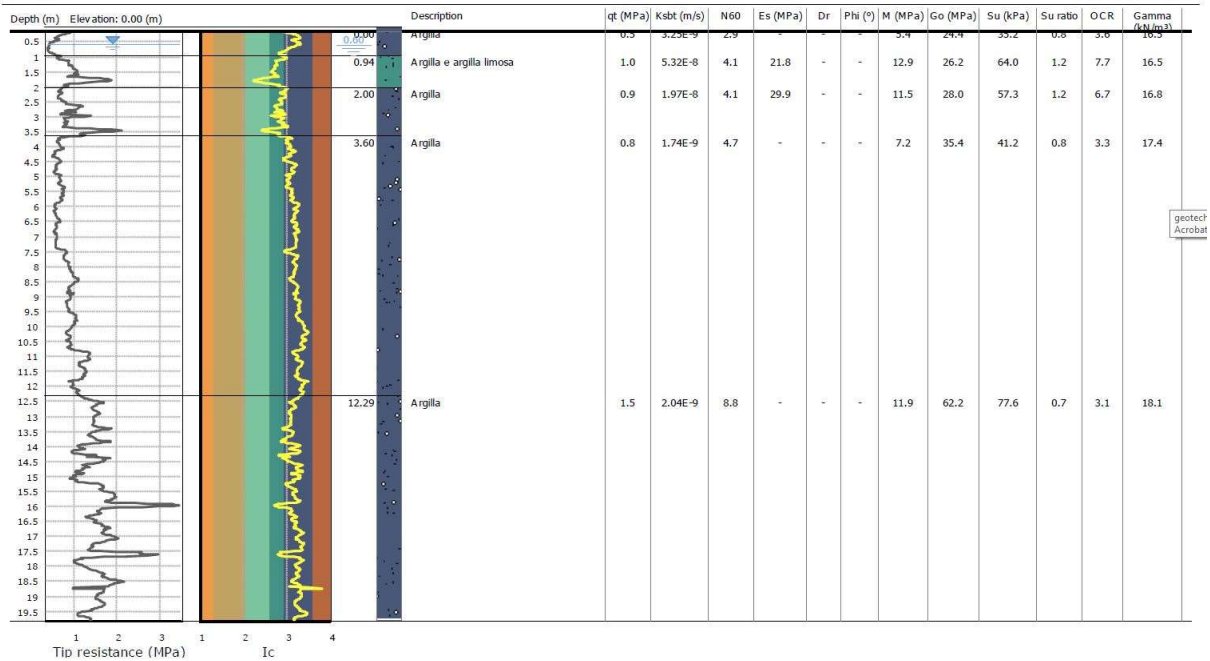


Figura 13 - Grafico e parametri geotecnici CPTu2.

4. INDAGINE SISMICA

Per la classificazione sismica dei terreni, sono stati utilizzati i dati ricavati dall'esecuzione di una indagine a sismica attiva MASW (Allegato 3) e una indagine a sismica passiva HVSR (Allegato 3), eseguite in data 24/01/2020 all'interno dell'area oggetto di variante (Figura 11). Le indagini geofisiche hanno permesso di interpretare il profilo della velocità delle onde sismiche V_s con la profondità e di ricavare il parametro di Normativa V_{s30} , risultato pari a **182** m/sec per l'indagine MASW, e **181** m/sec per l'indagine HVSR, che inserisce il terreno di fondazione all'interno della classe **C** - *Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.*

L'indagine HVSR ha altresì identificato un picco dei rapporti H/V intorno a **0,80 Hz**, con ampiezza del rapporto prossima a 2,5 (Figura 15).

Profondità da p.c. (m)	Spessore (m)	Velocità onde S (m/sec)
2.4	2.4	135
8.8	6.4	128
17.3	8.5	205
47.7	30.4	228
112.7	65.0	393

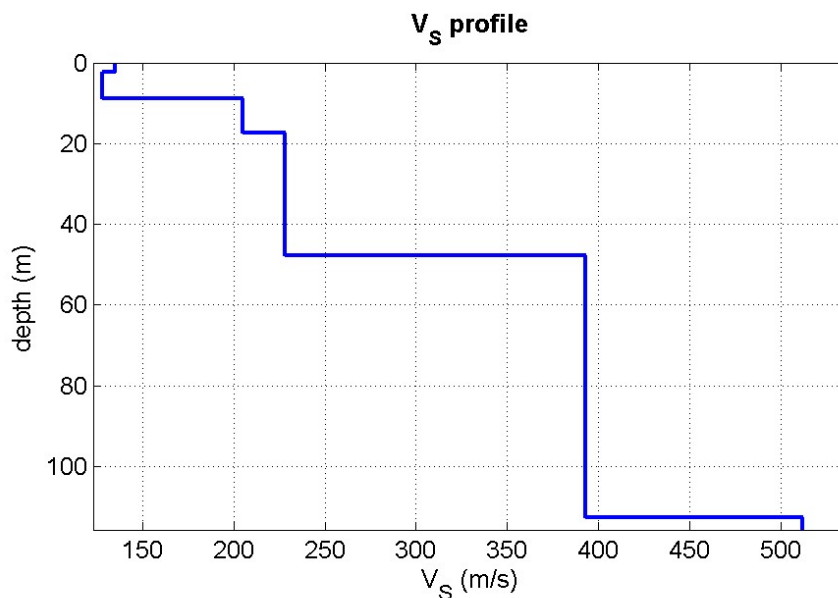


Figura 14 - Diagramma velocità V_s /profondità interpretato da prova MASW.

COMUNE DI MEDOLLA (MO)
 PIANO STRUTTURALE COMUNALE - VARIANTE 2020
 RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA

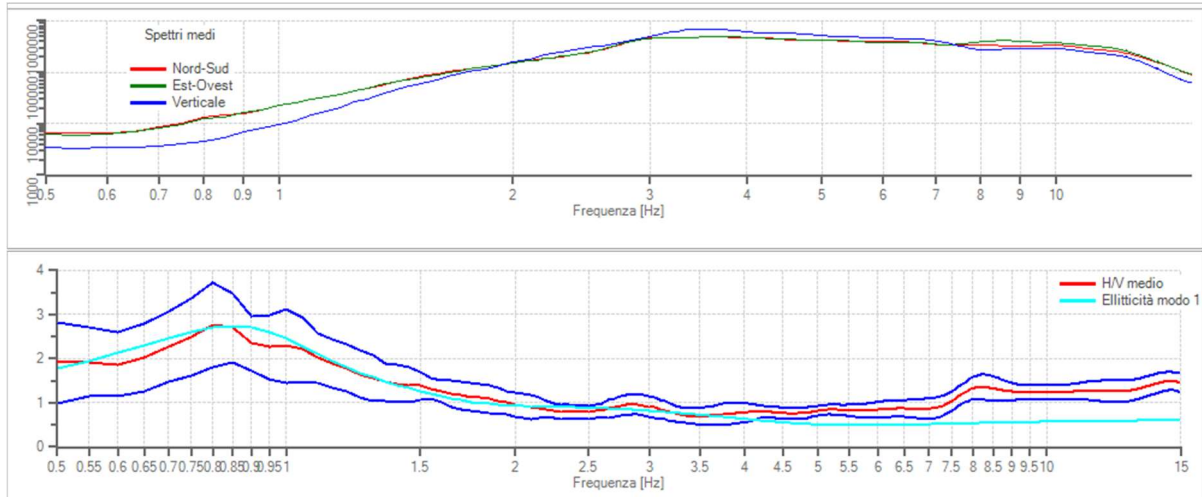
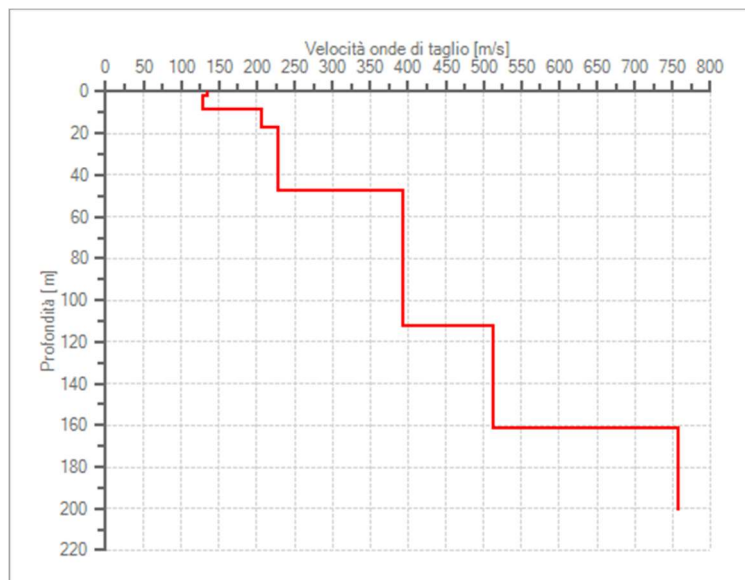


Figura 15 - Spettri medi nelle tre direzioni (sopra) e curve dei rapporti H/V (sotto) ricavate dall'indagine a sismica passiva (HVSr) eseguita per questo studio.



Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso per Unità di Vol. [kN/m ³]	Coeff. di Poisson	Velocità onde di taglio [m/s]
1	0	2.4	19	0.41	135
2	2.4	6.4	19	0.35	128
3	8.8	8.5	19	0.35	205
4	17.3	30.4	20	0.3	228
5	47.7	65	22	0.3	393
6	112.7	48.8	22	0.3	512
7	161.5	40	22	0.25	758

Figura 16 - Profilo di Vs con la profondità, interpretato dai dati dell'indagine sismica HVSr.

5. MICROZONAZIONE SISMICA

La carta 2.2 del rischio sismico delle aree suscettibili di effetti locali del PTCP 2009 della Provincia di Modena individua la zona in esame come "area soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e a potenziali cedimenti" (Figura 17).

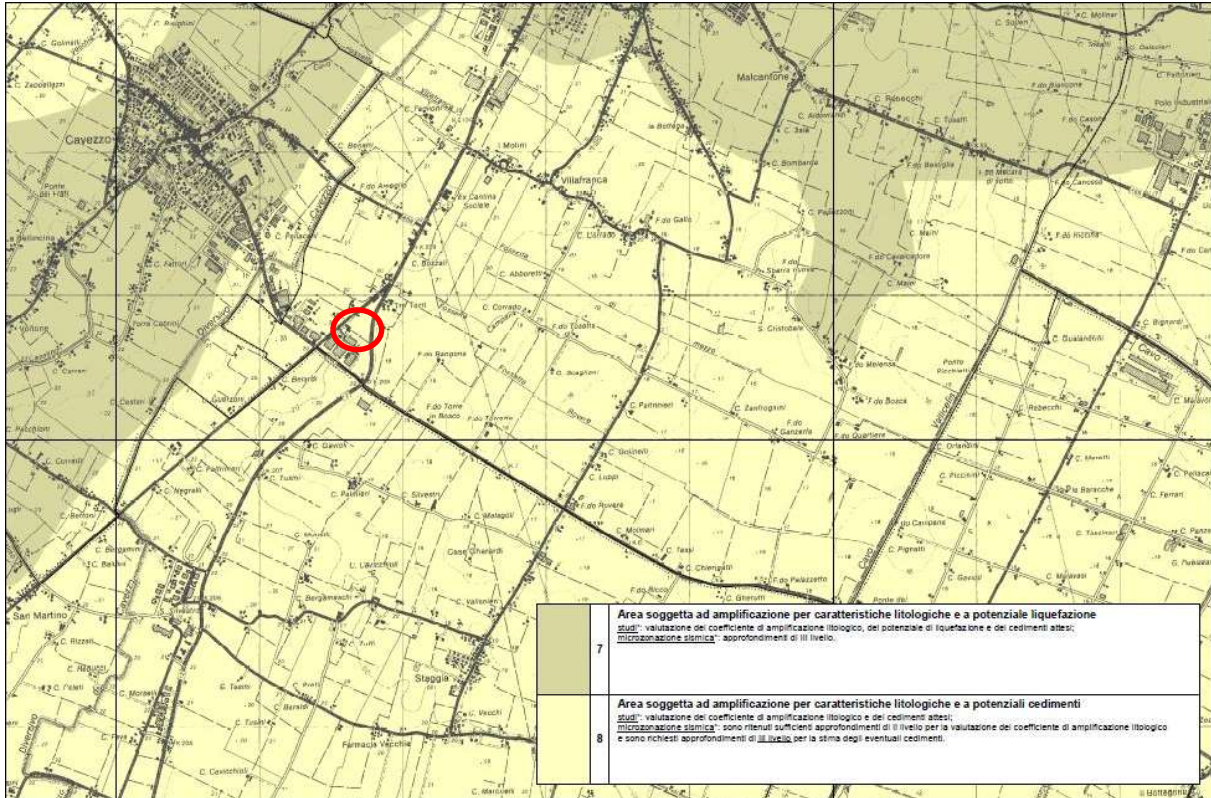


Figura 17 - Stralcio della Tavola 2.2 – Rischio sismico: carta delle aree suscettibili di effetti locali; PTCP della Provincia di Modena, approvato con D.C.P. n. 46 del 18/03/2009. Il cerchio rosso individua l'area di studio.

La carta delle MOPS (Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica) della microzonazione sismica prodotta dalla Regione Emilia Romagna con Ordinanza del Commissario delegato per la ricostruzione n. 70 del 13 novembre 2012⁴, (Figura 18) inserisce l'area in una zona stabile potenzialmente suscettibile di, per la cui stima sono necessari approfondimenti di III livello.

⁴ <http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/geologia/sismica/speciale-terremoto/sisma-2012-ordinanza-70-13-11-2012-cartografia#autotoc-item-autotoc-2>

COMUNE DI MEDOLLA (MO)
 PIANO STRUTTURALE COMUNALE - VARIANTE 2020
 RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA

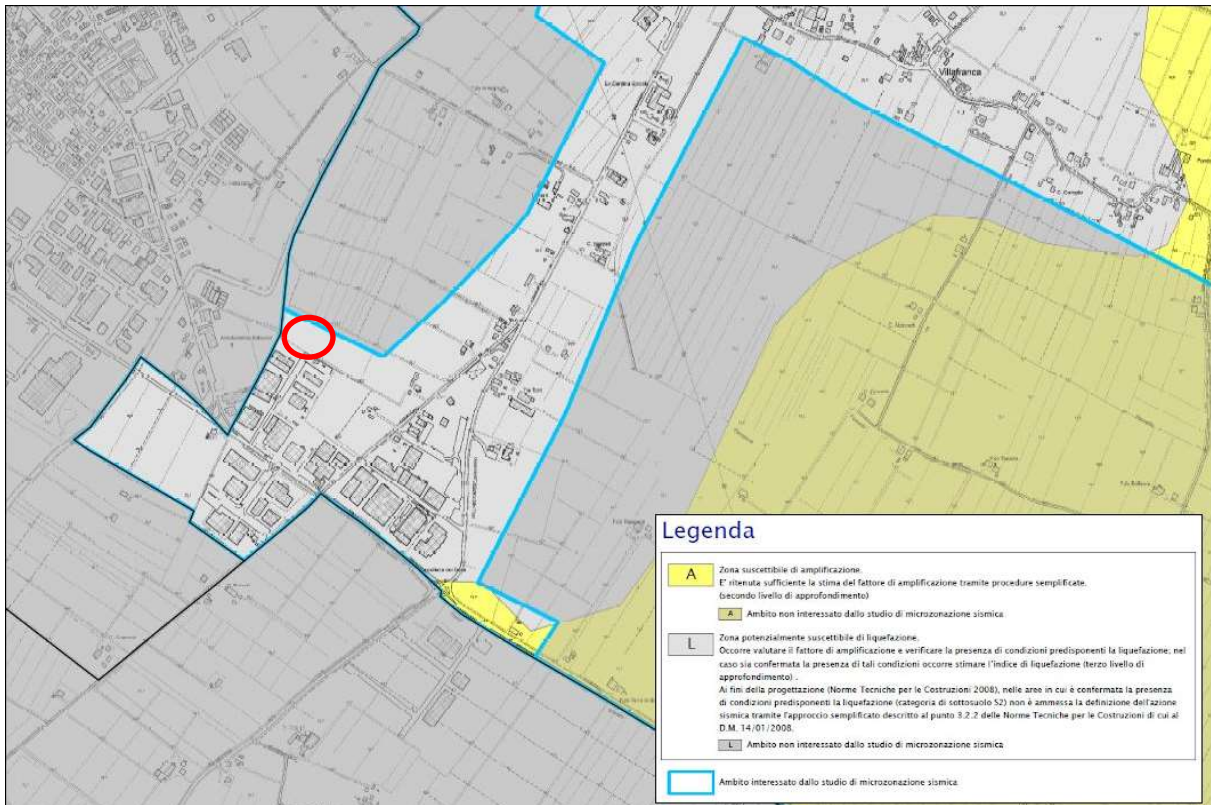


Figura 18 - Stralcio della carta delle Microzone omogenee in prospettiva sismica della Regione Emilia Romagna per le aree del terremoto del 2012. In rosso l'area in esame.

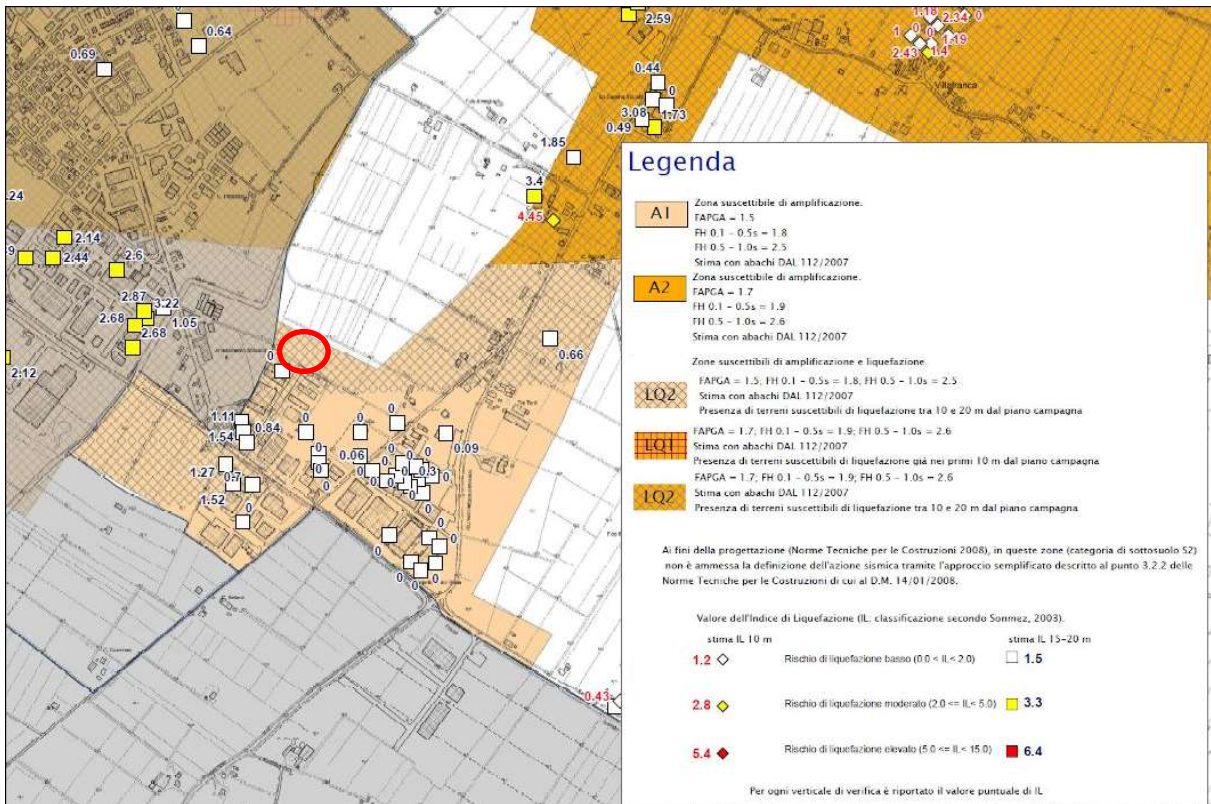


Figura 19 - Stralcio della carta di Microzonazione sismica della Regione Emilia Romagna per le aree del terremoto del 2012. In rosso l'area in esame.

La carta di Microzonazione sismica (Figura 19) inquadra l'area come zona suscettibile di amplificazione e liquefazione, con fattori di amplificazione $FAPGA = 1.5$; $FH 0.1 - 0.5s = 1.8$; $FH 0.5 - 1.0s = 2.5$. Inoltre segnala la presenza di terreni suscettibili di liquefazione tra 10 e 20 m di profondità dal piano campagna. Tuttavia sempre in tale carta di Microzonazione sismica, viene stimato, attraverso prove in situ utilizzate per tale elaborato⁵, un Rischio di liquefazione basso, pari a un indice di liquefazione 0.

6. RISPOSTA SISMICA LOCALE DI TERZO LIVELLO

Appositamente per tale elaborato, la valutazione del coefficiente di amplificazione litostratigrafico è stata condotta attraverso un'analisi di risposta sismica locale monodimensionale, lineare equivalente, nel dominio delle frequenze, utilizzando il codice di calcolo "STRATA"⁶, includendo l'effetto delle possibili incertezze sui dati di base e valutando:

- lo spettro di risposta elastico (al 5% di smorzamento),
- i parametri dello spettro semplificato previsto dalla normativa che meglio si adattano allo spettro di risposta ottenuto dall'analisi numerica.

Un importante vantaggio legato a questo codice di calcolo è la possibilità che esso offre di gestire le significative incertezze presenti nei dati di modellazione (moto di riferimento, profilo di V_s , curve di smorzamento e riduzione del modulo di taglio) permettendo di fornire stime adeguatamente conservative degli spettri di scuotimento attesi.

Il moto di riferimento prescelto è costituito dalle componenti orizzontali di tre accelerogrammi forniti dalla Regione Emilia-Romagna per l'intera regione⁷, moltiplicandone le accelerazioni normalizzate per il valore di accelerazione di riferimento più prossimo al sito, pari a **0,153g**, considerando una vita nominale di 50 anni ed una classe d'uso **II** e lo stato limite SLV.

⁵ <http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/sismica/speciale-terremoto/sisma-2012-ordinanza-70-13-11-2012-cartografia#autotoc-item-autotoc-2>

⁶ Kottke, A.R. & Rathje, E.M. (2008) – Technical Manual for Strata. PEER Report 2008, Pacific Earthquake Engineering Research Center, College of Engineering, University of California, Berkeley, 81 p.

⁷ http://geo.regione.emilia-romagna.it/gstatico/documenti/DGR630_2019/Allegato_4.zip

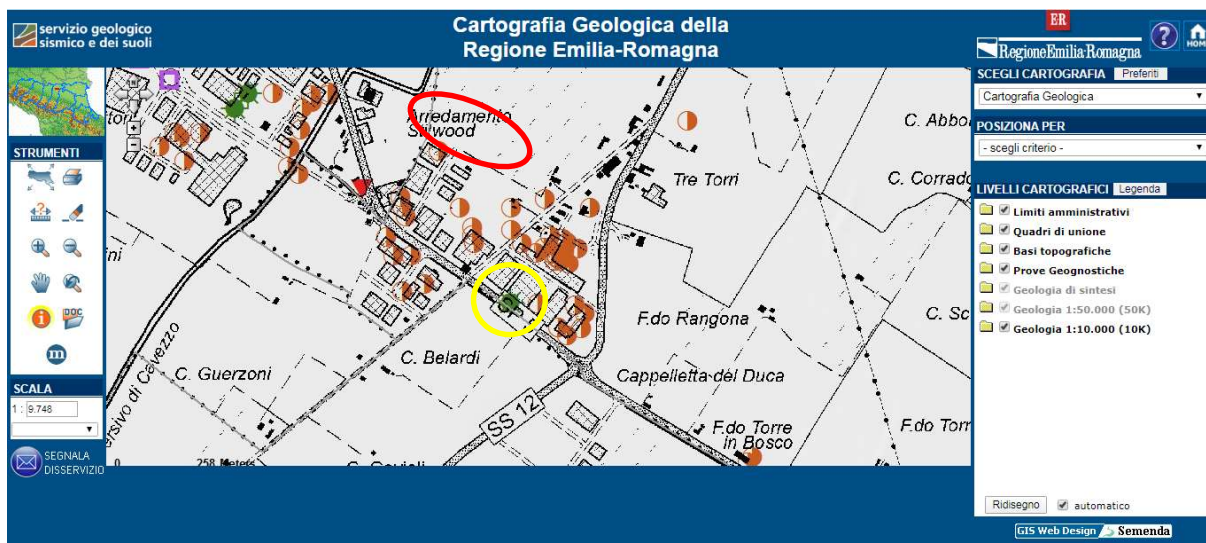


Figura 20 – Ubicazione (nel cerchio giallo) del pozzo per acqua (codice 184130P611) del database geognostico della Regione Emilia-Romagna, la cui stratigrafia è stata utilizzata per estrapolare quella dell'area in esame (ellisse rossa) fino a -66m dal p.d.c.

Il profilo stratigrafico è stato inserito, fino a -20 m, in base alla stratigrafia ricavata dalla prova penetrometrica CPTu-2 eseguita per questo studio (vedasi Allegato 2) all'interno dell'area in esame. Oltre tale profondità, fino a -66 m, la stratigrafia è stata assunta uguale a quella ricavata dal pozzo per acqua più prossimo - di codice 184130P611, estratto dal database geognostico della Regione Emilia-Romagna (Allegato 1) (Figura 20). Oltre tale profondità - fino a quella ipotizzata per il bedrock sismico (sensu Mascandola et al., 2019)⁸ pari a -160 m - causa l'assenza di sezioni geologiche o sondaggi profondi prossimi all'area d'indagine, si è optato per assumere la stratigrafia del pozzo AGIP in località Cortile di Carpi, presente circa 6 km a SO dell'area ed anch'essa estraibile dal database geognostico regionale (Allegato 4 e Figura 21).

La profondità del bedrock sismico è stata ipotizzata sulla base della relazione (proposta da Albarello et al., 2011)⁹, che lega la frequenza di vibrazione fondamentale del terreno, ricavata dall'indagine HVSR eseguita nell'area di studio ($f_0 = 0,8$ Hz), con il profilo di Vs nei primi 30 m, ricavato dall'indagine MASW, anch'essa realizzata nell'area di studio. Tale relazione permette di estrapolare i valori di Vs ben oltre la profondità raggiunta dall'indagine geofisica, fino a raggiungere la profondità del principale contrasto d'impedenza, ipotizzabile come interfaccia tra il bedrock sismico e la coltre sedimentaria più superficiale.

⁸ Mascandola, C., Massa, M., Barani, S., Albarello, D., Lovati, S., Martelli, L., Poggi, V., 2019. Mapping the Seismic Bedrock of the Po Plain (Italy) through Ambient-Vibration Monitoring. *Bull. Seismol. Soc. Am.* 109, 164–177.

⁹ Albarello, D., Cesi, C., Eulilli, V., Guerrini, F., Lunedei, E., Paolucci, E., Pileggi, D., Puzilli, L., 2011. The contribution of the ambient vibration prospecting in seismic microzoning: an example from the area damaged by the April 6, 2009 L'Aquila (Italy) earthquake. *Boll. di Geofis. Teor. e Appl.* 52, 513–538.



Figura 21 - Ubicazione del sondaggio Agip "CARPI-001", più prossimo all'area in esame (identificato dal quadrato giallo), la cui stratigrafia è stata utilizzata per estendere quella locale da -66 m fino a -160 m dal p.d.c.

In base alla sezione geologica nr. 032 passante circa 4 km a sud dell'area, la profondità ipotizzata del bedrock sismico corrisponderebbe all'interfaccia tra il Gruppo acquifero A e quello B, identificata da Mascandola et al. (2019) come potenziale superficie del bedrock sismico e corrispondente alla superficie "Y" databile a 0,45 Ma.

Per quanto riguarda le curve di smorzamento e di riduzione del modulo di taglio, sono state utilizzate curve fornite dallo stesso programma di calcolo per sabbie e argille. Sono state effettuate 100 simulazioni per ciascun accelerogramma, consentendo variazioni nel profilo di velocità. La distribuzione degli spettri di risposta in superficie è riportata in Figura 22, mentre in Figura 23 viene confrontato lo spettro mediano da RSL con quello di normativa per l'area di studio, sottosuolo di tipo D, SLV, $V_n = 50$ e $c_u = II$.

Come si vede, lo spettro di risposta in superficie (sia nella forma normalizzata che in quella non normalizzata, **50° percentile della popolazione**), ottenuto dalla presente analisi, è sempre più basso di quello di normativa per: suolo D, $V_n = 50$ anni e $c_u = II$. I valori dello spettro normalizzato sono riportati in Allegato 5 (50° percentile). La PGA risulta pari a **0,17g**; il massimo valore dello spettro in accelerazione è pari a **0,49g** a 0,29 secondi; l'ordinata del plateau dello spettro normalizzato è pari a **0,41g**.

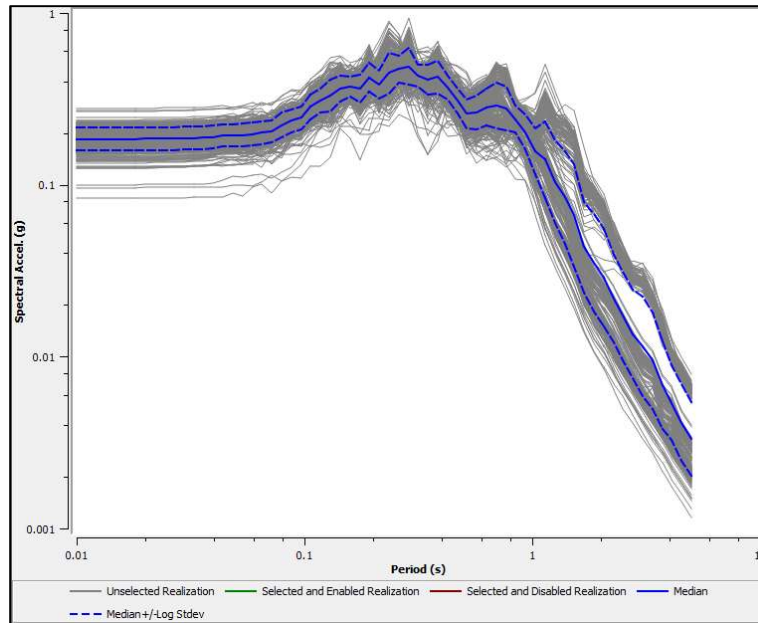


Figura 22 - Popolazione degli spettri di risposta visco-elastici (5% di smorzamento) alla superficie di campagna per il sito (scala logaritmica per entrambi gli assi del grafico). La linea blu continua indica la mediana (50° percentile) della distribuzione mentre i due andamenti tratteggiati corrispondono rispettivamente al 16° e 84° percentile della distribuzione.

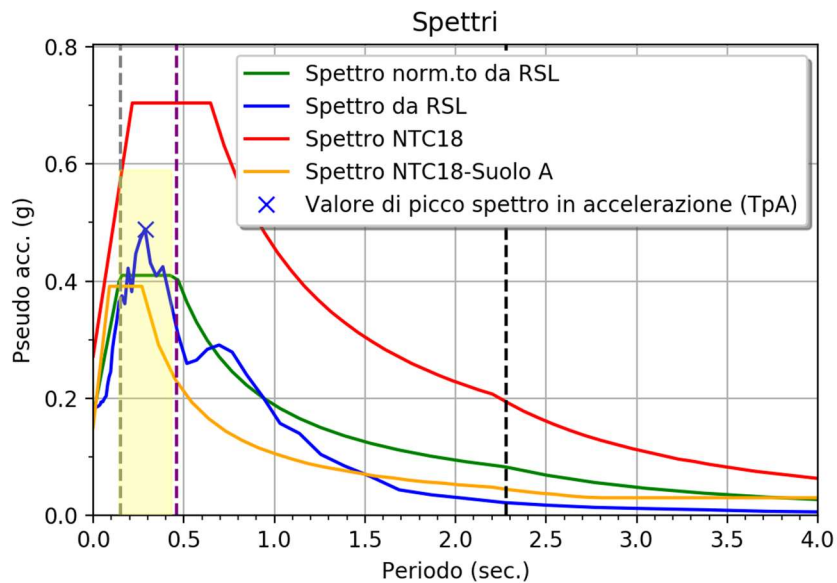


Figura 23 - Curva blu: spettro di risposta visco-elastico (5% di smorzamento, 50° percentile della popolazione) relativo al sito in esame, alla superficie topografica attuale (in verde: normalizzato). In rosso: spettro di risposta secondo Normativa per suolo D, SLV, $V_n=50$ e $C_u=II$.

Di seguito, i parametri fondamentali per la costruzione dello spettro normalizzato da RSL, al piano campagna (p.d.c.), sensu NTC18:

	p.d.c.
Ag (g) - Suolo A	0.17
F ₀	2.41
T _b	0.15
T _c	0.46
T _d	2.28
S	1.13

Tabella 1 - Parametri fondamentali per la costruzione dello spettro normalizzato da RSL, al piano campagna (p.d.c.), sensu NTC18.

I fattori di amplificazione della PGA e dell'intensità di Housner (sensu DGR 630/2019) sono risultati pari a:

Fattori di amplificazione	p.d.c.
F.A. PGA	1,13
F.A. SA1	1,27
F.A. SA2	1,71
F.A. SA3	2,17
F.A. SA4	1,99
F.A. SI1	1,34
F.A. SI2	1,98
F.A. SI3	2,05

Tabella 2 - Fattori di amplificazione della PGA e dell'intensità di Housner da RSL (sensu DGR 630/2019).

I valori di pericolosità sismica, sempre secondo la DGR 630/2019, sono risultati pari a:

Indici di pericolosità (cm/s²)	p.d.c.
H _{SM}	388,4
H ₀₄₀₈	291,56
H ₀₇₁₁	230,12
H ₀₅₁₅	176,97

Tabella 3 - Valori di pericolosità sismica da RSL, secondo la DGR 630/2019.

6.1. Suscettibilità alla liquefazione

Data la pressoché esclusiva presenza di terreni coesivi nella zona indagata, evidenziata dalle verticali esplorate nei punti di prova, si può ritenere che la suscettibilità alla liquefazione dei terreni in caso di evento sismico in questa area sia molto bassa. Per tale motivo non viene proposta alcuna analisi su questo tema.

7. SINTESI DELL'ANALISI DEI DATI RACCOLTI E CONCLUSIONI

Dall'analisi integrata dei dati scientifici disponibili in bibliografia, delle osservazioni di campagna effettuate durante il sopralluogo e dei dati acquisiti ed elaborati grazie ai sondaggi geognostici e geofisici eseguiti, è stato possibile caratterizzare il terreno in esame dai punti di vista litostratigrafico, geotecnico e sismico e dare un giudizio sulla fattibilità della Variante al PSC.

Giudizio che è risultato essere positivo e che ha permesso di dichiarare la **fattibilità della trasformazione urbanistica di un'area da agricola a produttiva in variante al PSC di Medolla.**

Dallo studio eseguito emerge come l'area si collochi in una zona a debolissima inclinazione topografica, che permette uno sviluppo edilizio senza particolari problemi, con presenza, nei 20 m indagati, di terreni a prevalente componente fine, marcatamente argillosi.

Dal punto di vista geotecnico, fino alla profondità di 8-9 metri il terreno risulta avere scarse condizioni geomeccaniche. Proseguendo invece da questo livello la consistenza cresce con la profondità e si denotano terreni con medie caratteristiche geomeccaniche.

Considerando i profili della resistenza alla punta media, le verticali penetrometriche mostrano andamenti molto simili sia nella forma che nei valori, con picchi massimi e resistenze che aumentano da 12 a 20 m.

La soggiacenza della falda più superficiale, sulla scorta dei dati piezometrici elaborati dal Arpae, dovrebbe attestarsi tra 1 e 2 m dal p.d.c.; in occasione dell'esecuzione delle prove penetrometriche, il livello di falda è stato intercettato tra 0,6 e 2,0 m dal piano campagna.

Per la caratterizzazione sismica del terreno sono stati utilizzati i dati ricavati da un'indagine a sismica attiva (MASW) e una a sismica passiva (HVSr) realizzate in data 24/01/2020 in corrispondenza dell'area d'indagine, che ha restituito un valore di V_{s30} pari a **181** m/s, permettendo di assegnare al terreno in esame la categoria di suolo **C** *"Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s"*.

L'indagine HVSr ha altresì identificato un picco dei rapporti H/V intorno a **0,80 Hz**, con ampiezza del rapporto prossima a 2,5.

La microzonazione sismica del Comune di Medolla inserisce l'area in una zona stabile suscettibile di amplificazione litostratigrafica e di cedimenti differenziali, per la cui stima sono necessari approfondimenti di III livello.

I fattori di amplificazione sismica (sensu DGR 630/2019) sono risultati pari a:

Fattori di amplificazione	p.d.c.
F.A. PGA	1,13
F.A. SA1	1,27
F.A. SA2	1,71
F.A. SA3	2,17
F.A. SA4	1,99
F.A. SI1	1,34
F.A. SI2	1,98
F.A. SI3	2,05

In generale, la configurazione litostratigrafia, geotecnica e sismica, in relazione alle caratteristiche costruttive previste dalla Variante PSC, rende possibile ipotizzare l'adozione di fondazioni dirette superficiali, il cui dimensionamento strutturale dovrà tener conto dei parametri geotecnici e sismici in questa sede indicati, in relazione alle reali strutture fondali ed ai relativi carichi trasmessi al terreno. Si ritiene di dover mettere in evidenza, a tal proposito, i valori bassi di resistenza dei terreni argillosi in condizioni non drenate, in particolare in corrispondenza della CPTu2.

Data la pressoché esclusiva presenza di terreni coesivi nella zona indagata, evidenziata dalle verticali esplorate nei punti di prova, si può ritenere che la suscettibilità alla liquefazione dei terreni in caso di evento sismico in questa area sia molto bassa.

Modena, 11/02/2020

Il Tecnico incaricato

Dott. Geol. Valeriano Franchi



Allegato 1

Stratigrafia pozzo per acqua

184130P611

Pratica No 3736 38 COMPENSORIO 184730
 COMUNE-Istat P611

Codice fiscale 09986280155
 -Ditta DECE INDUSTRIE CHIMICHE SPA
 -residente a CAVEZZO - MO - in Via VOLTURNO 96
 -Pozzo ad uso ANTINCENDIO in Comune di MEDOLLA - MO -
 Frazione VILLA FRANCA Località VIA SPARATO 1 U Mapp. No 91 IFg. 18
 -Data di ultimazione della perforazione: 1992
 -Ditta perforatrice: BRUNELLI VENTINO A.M. VIA F. R. ROSSELLI 51
VILLA POMA - MANTOVA -

CARATTERISTICHE DEL POZZO
 *avanpozzo (si o no) SI 150
 *diametro interno tubi mm. 145
(esterno 0.160)
 *profondità mt. 66,-

EQUIPAGGIAMENTO
 * tipo della pompa LOVARA HF 15
 * tubo pompa Ø mm. 50-
 *potenza Cv 5,5
KW
 *prevalenza mt. _____
 *portata lt/sec. 3,88

- Livello dinamico mt. 15
 - Livello statico mt. 10
 - Portata pozzo: lt/sec. 4
 - Superficie irrigata:
 ha. --- are --- ca. ---
 - Consumo giornaliero (24 ore):

metri cubi _____
USO SALUTARIO PER MANTENERE L'IMPIANTO EFFICIENTE

La Ditta sottoscritta afferma, sotto la propria responsabilità, che la presente dichiarazione è completa e veritiera.

Data 18/12/1992

Firma _____
 società per azioni
 cod. fiscale 09986280155 via voltorno 96
 part. IVA 020030367 41032 cavezzo
 modena

STRATIGRAFIA DEL TERRENO		Falde captate
Indicare la natura dei terreni e le FALE ACQUIFERE attraversati		
-da mt. <u>0,00</u> a mt. <u>1,00</u>	<u>TERRENO VEGETALE</u>	
-da mt. <u>1,00</u> a mt. <u>39,00</u>	<u>ARGILLA COMPATTA</u>	
-da mt. <u>39,00</u> a mt. <u>42,00</u>	<u>SABBIA COMPATTA FINE</u>	
-da mt. <u>42,00</u> a mt. <u>56,00</u>	<u>ARGILLA</u>	
-da mt. <u>56,00</u> a mt. <u>66,00</u>	<u>SABBIA COMPATTA DI TIPO MEDIO</u> <u>CON FALEA ACQUIFERA</u>	X
-da mt. _____ a mt. _____	_____	
-da mt. _____ a mt. _____	_____	

Localizzazione del pozzo

Long. <u>324</u>	Lat. <u>-64</u>	Ha. <u>21</u>
Quota piano campagna: m.s.l.m.		<u>= 81 =</u>

ANNOTAZIONI: _____

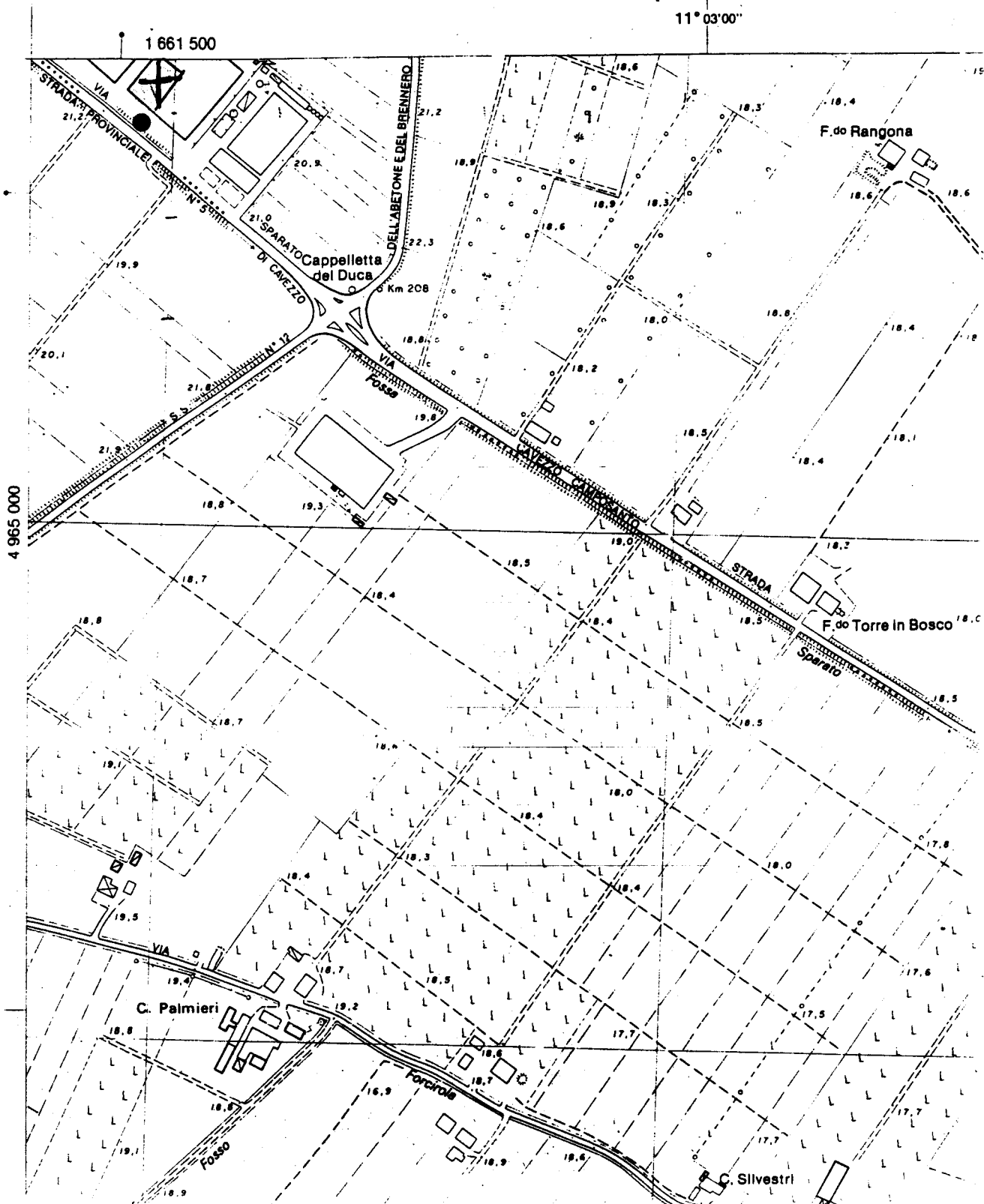
N.B. : Qualora la Ditta sia in possesso di referti di analisi dell'acqua del pozzo, rilasciati da Laboratori o Sabinetti, è invitata ad allegarne copia.

COMPILARE ANCHE NEL RETRO

UBICAZIONE RICERCA IDRICA

scala 1 : 5.000

02 STAGIA

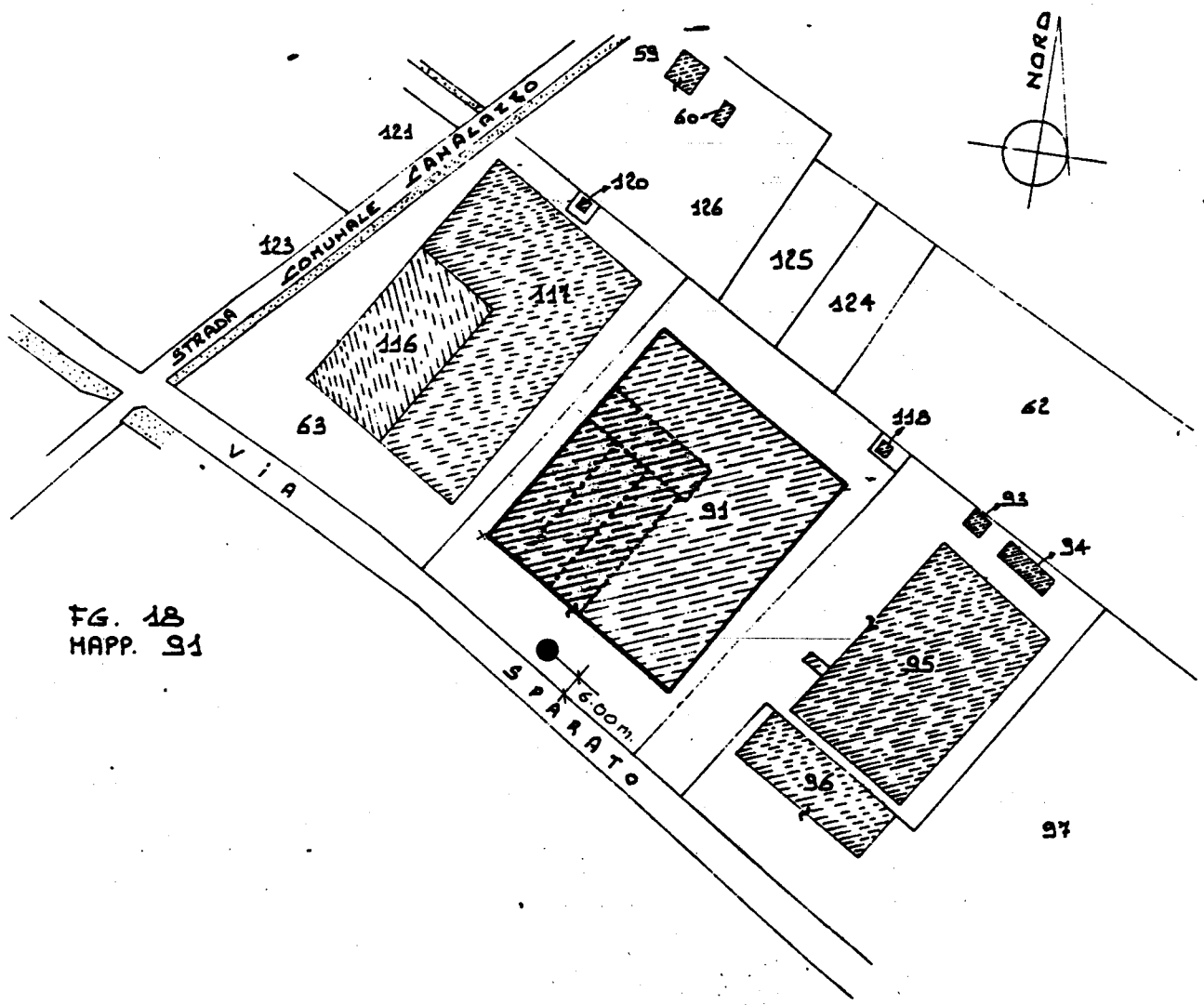


COMMITTENTE: DITTA R.G.P. DI REBECCHI GIAN PIETRO S.A.S. VIA CANALETTO N. 20 - BASTIGLIA		COMUNE: MEDOLLA
OGGETTO: RISTRUTTURAZIONE DI PORZIONE DI FABBRICATO IN VIA SPARATO N. 1 A MEDOLLA		PROVINCIA: MODENA
TAVOLA: PIANTA PIANO TERRA		DATA:
		SCALA: 1:2000 - 1:100

● UBICAZIONE RICERCA IDRICA

scala 1 : 2.000

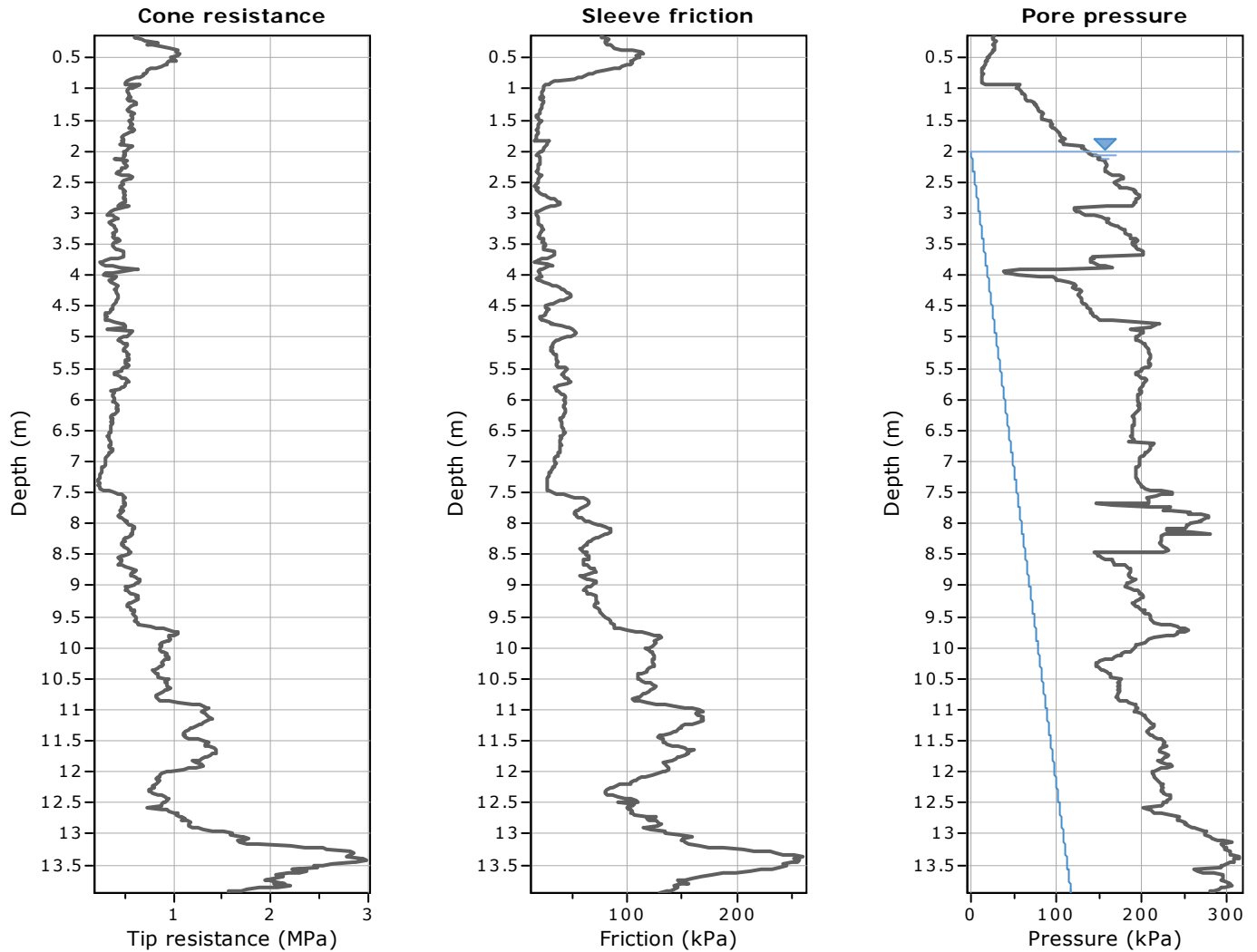
R.G.P. S.p.A. C. sec
 Via *CA*
 41030 BASTIGLIA (Modena)



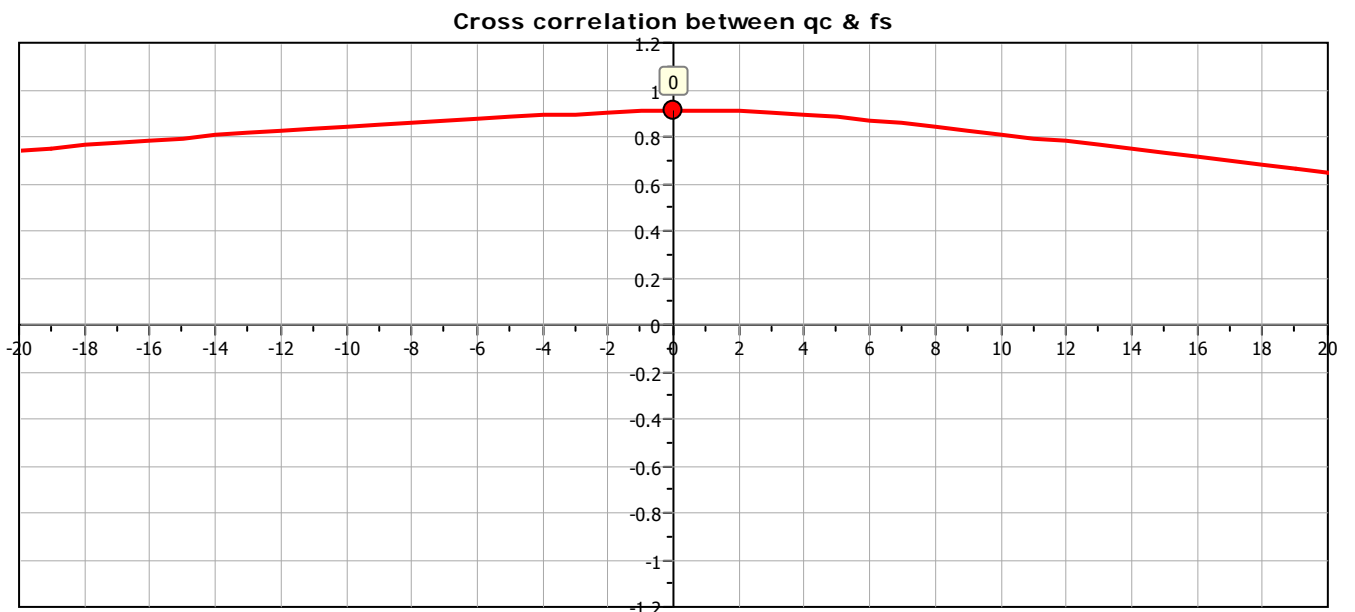
FG. 18
 MAPP. 91

Allegato 2

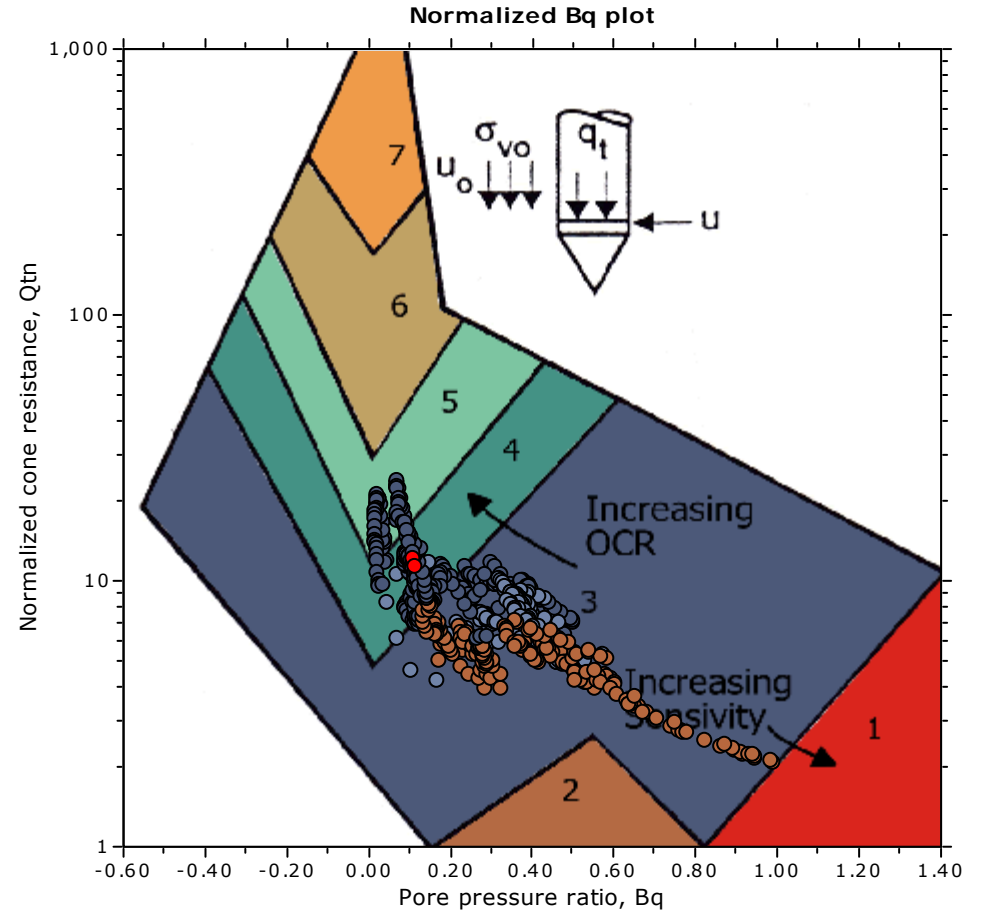
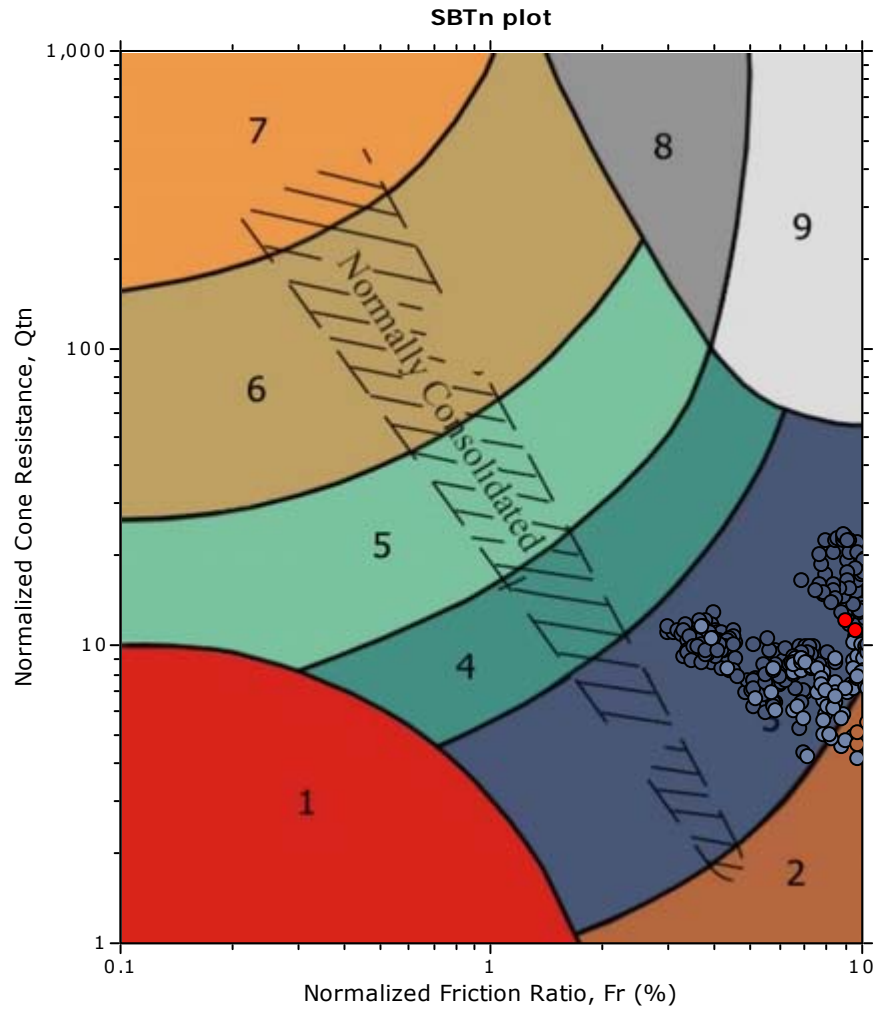
Indagini geognostiche eseguite per questo studio (3 CPTm, 2 CPTu)



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

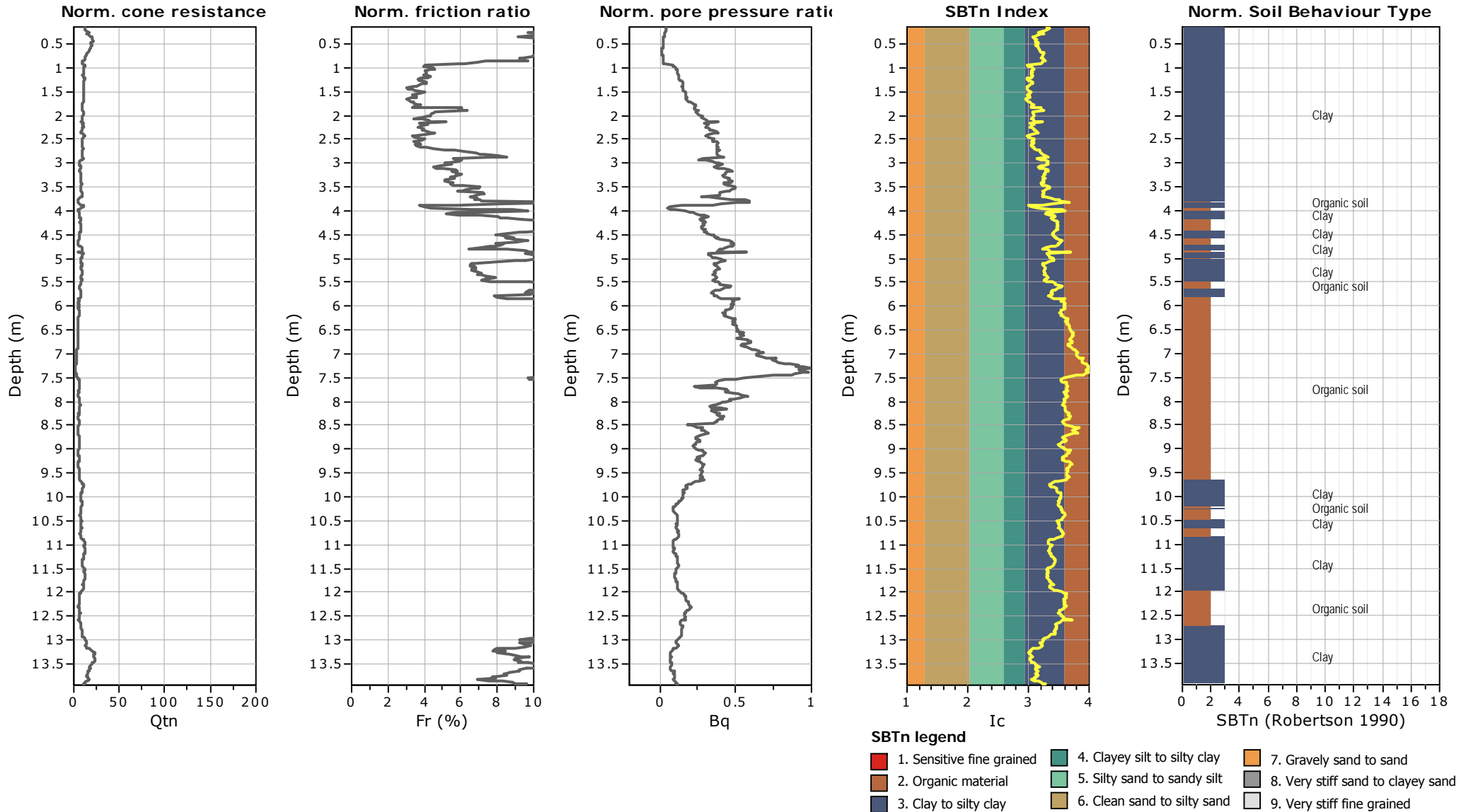


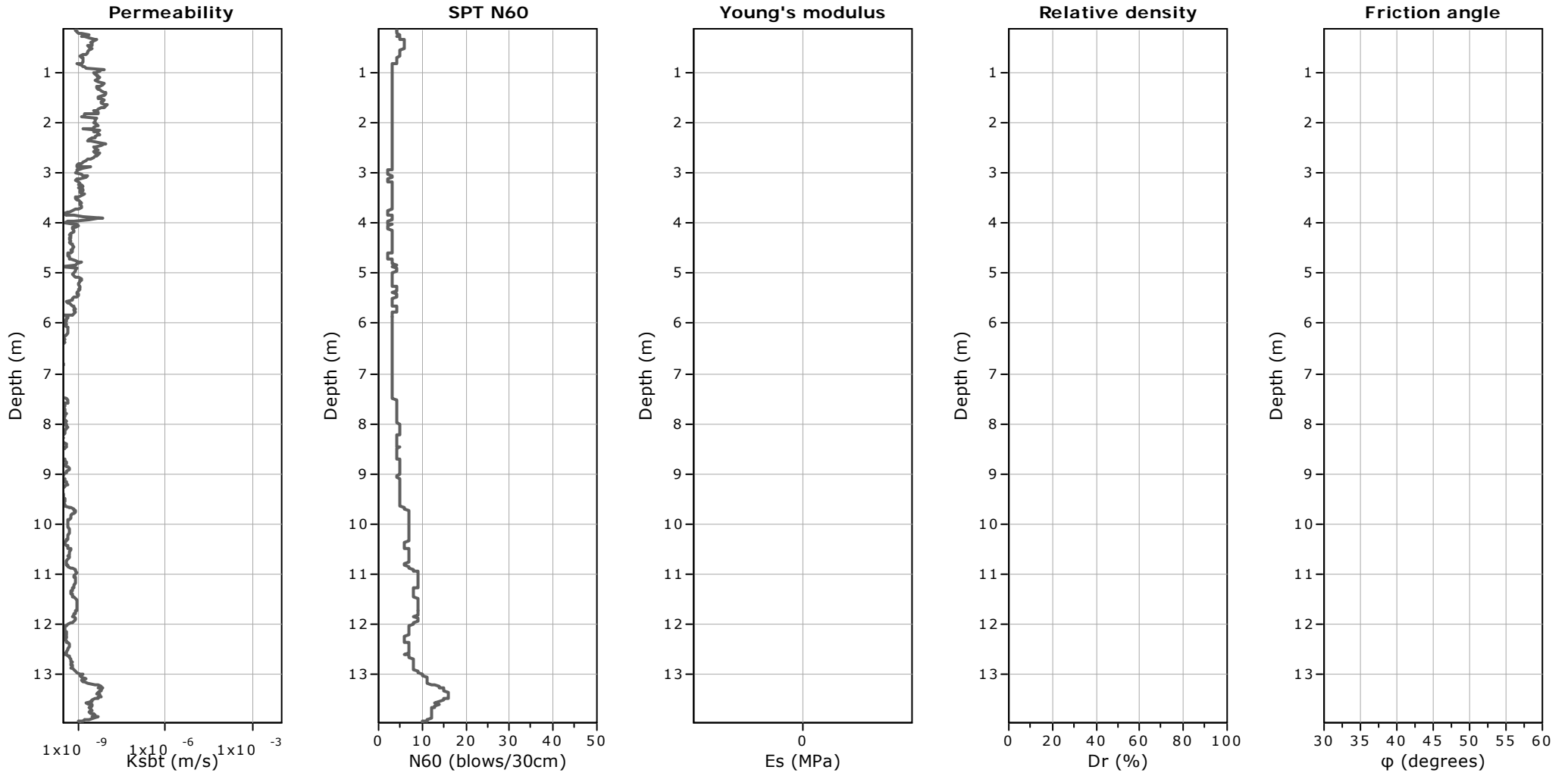
SBT - Bq plots (normalized)



SBTn legend

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





Calculation parameters

Permeability: Based on SBT_n

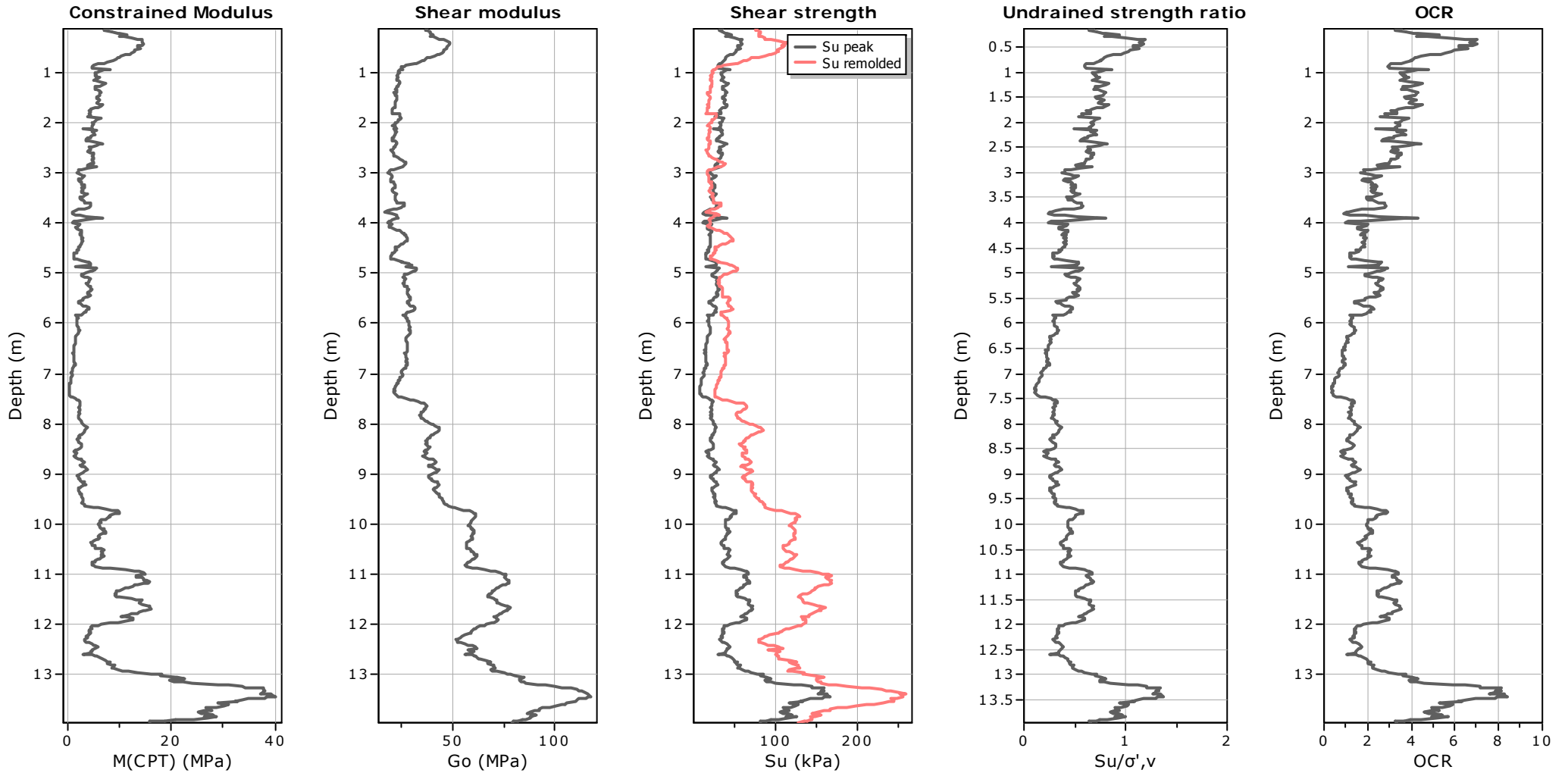
SPT N₆₀: Based on I_c and q_t

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

Relative density constant, C_{Dr}: 350.0

Phi: Based on Kulhawy & Mayne (1990)

● — User defined estimation data



Calculation parameters

Constrained modulus: Based on variable *alpha* using I_c and Q_m (Robertson, 2009)

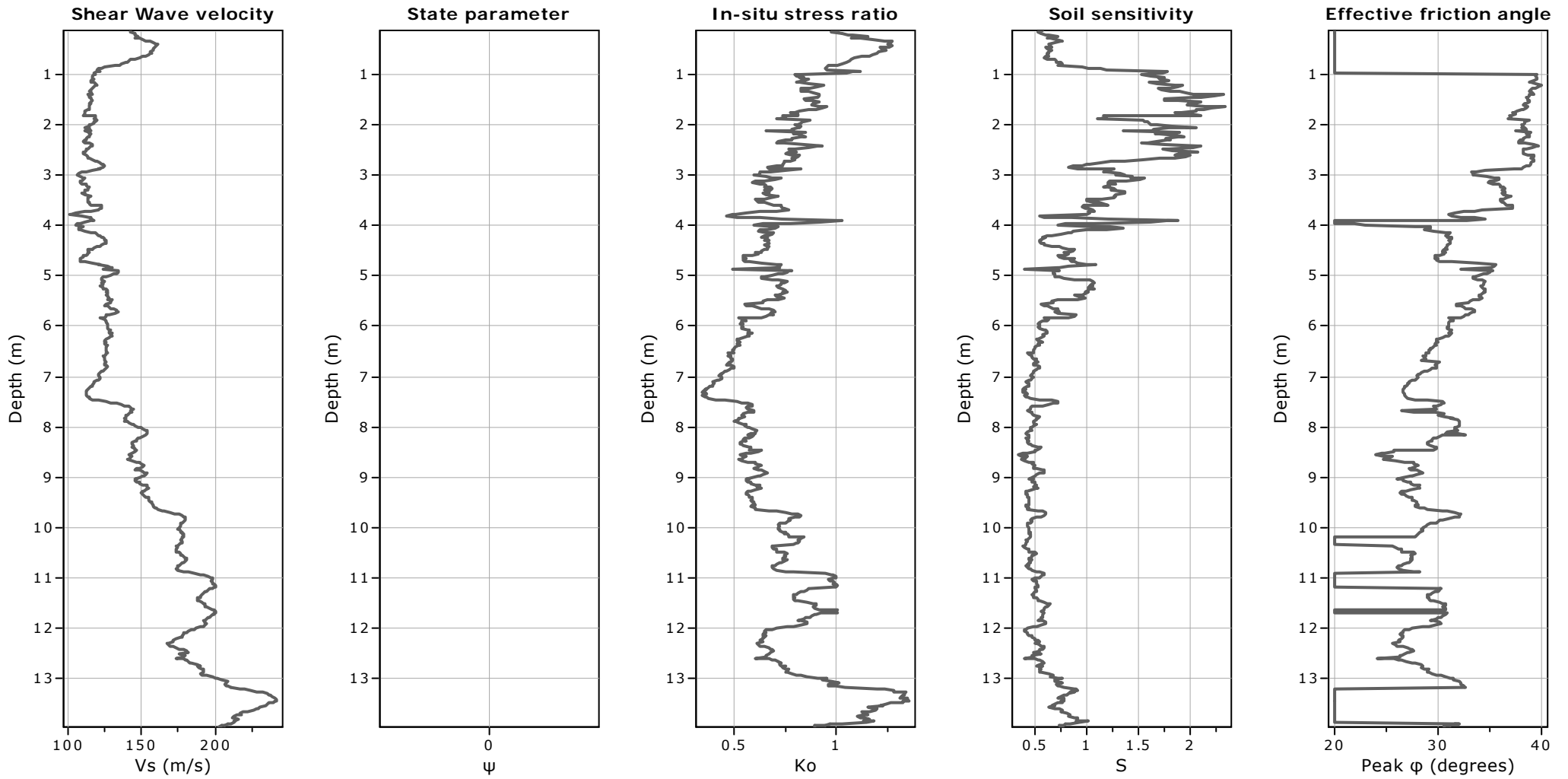
Go: Based on variable *alpha* using I_c (Robertson, 2009)

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

OCR factor for clays, N_{kt} : Auto

● User defined estimation data

● Flat Dilatometer Test data



Calculation parameters

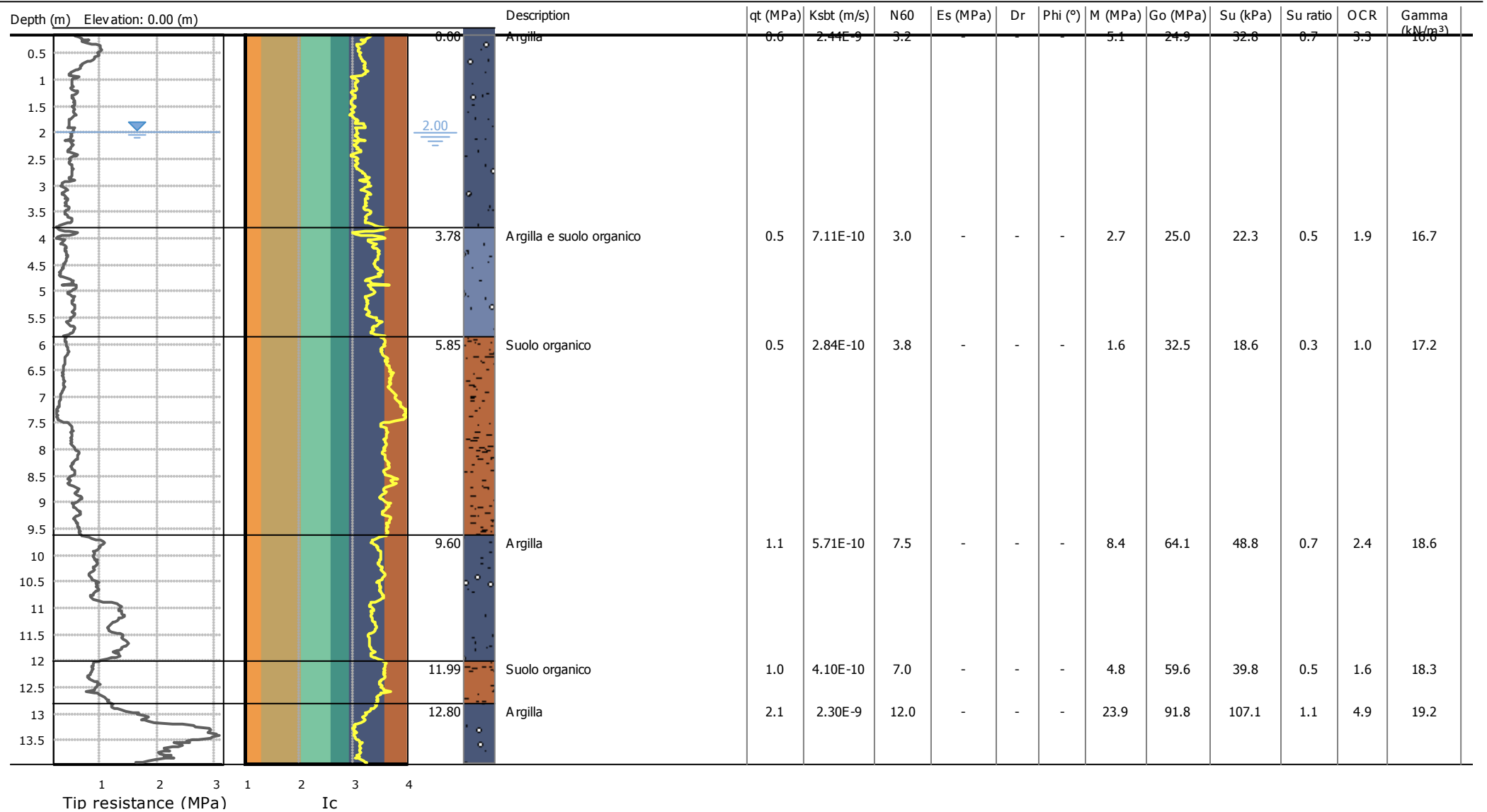
Soil Sensitivity factor, N_s : 7.00

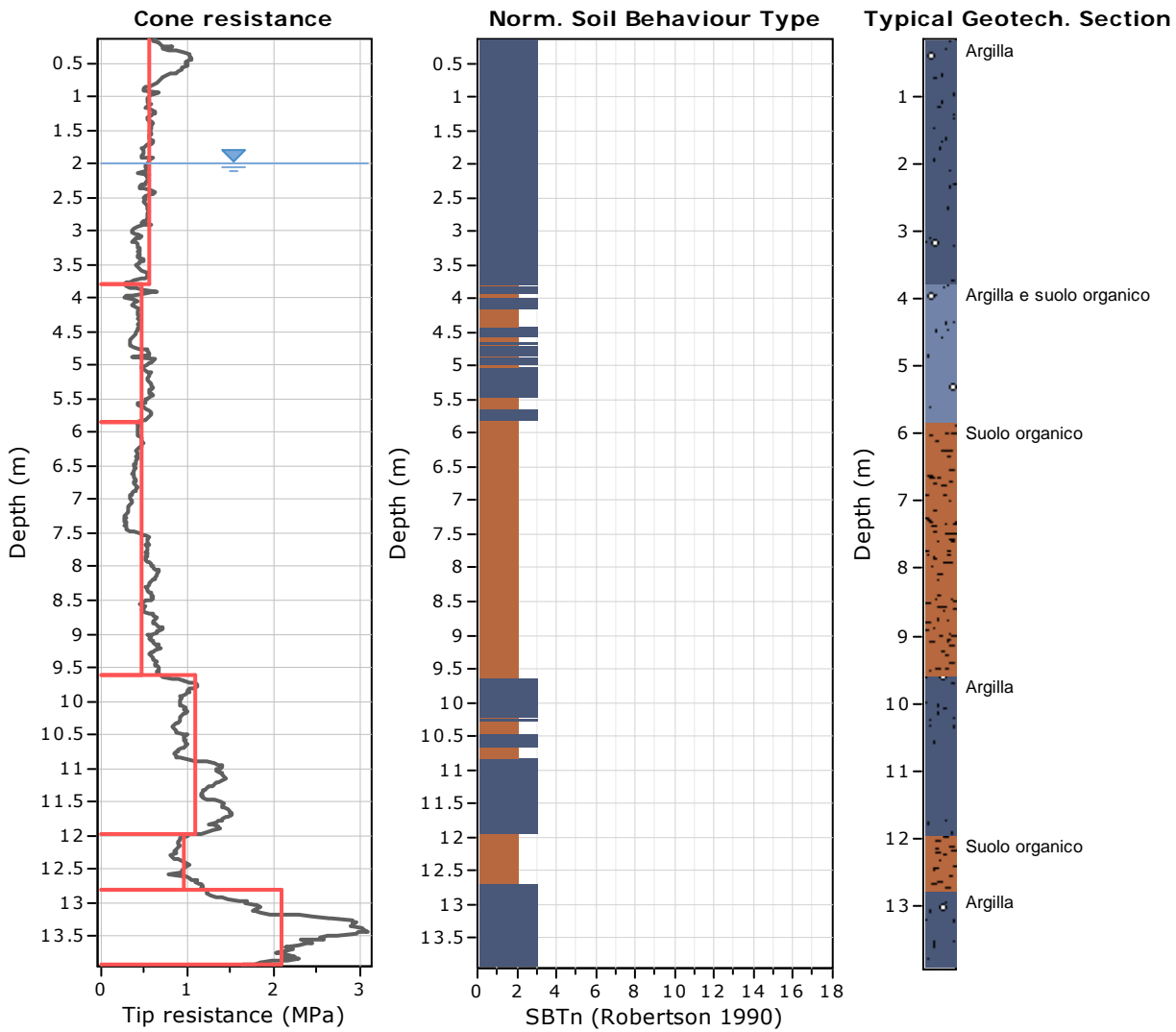
—●— User defined estimation data

Dott. Geol. Valeriano Franchi
 V.le Caduti in Guerra, 1
 41121 Modena
 valerianofranchi@tin.it

Project:
 Location:

CPT: CPTu-1
 Total depth: 13.95 m





Tabular results

:: Layer No: 1 ::		
Code: 1	Start depth: 0.00 (m), End depth: 3.78 (m)	
Description: Argilla		
Basic results		
Total cone resistance:	0.55 ±0.16 MPa	
Sleeve friction:	28.08 ±28.60 kPa	
SBT _n :	3	
SBT _n description:	Clay	
Estimation results		
Permeability:	2.44E-09 ±2.27E-09 m/s	Constrained Mod.: 5.08 ±3.22 MPa
N60:	3.21 ±0.89 blows	Go: 24.89 ±8.26 MPa
Es:	0.00 ±0.00 MPa	Su: 32.79 ±9.11 kPa
Dr (%):	0.00 ±0.00	Su ratio: 0.73 ±0.24
φ (degrees):	0.00 ±0.00 °	O.C.R.: 3.34 ±1.20
Unit weight:	16.60 ±0.76 kN/m ³	

:: Layer No: 2 ::

Code: 2 Start depth: 3.78 (m), End depth: 5.85 (m)

Description: Argilla e suolo organico

Basic results

Total cone resistance: 0.46 ±0.09 MPa

Sleeve friction: 32.57 ±9.81 kPa

SBT_n: 3

SBTn description: Clay

Estimation results

Permeability: 7.11E-10 ±7.83E-10 m/s

N60: 2.98 ±0.63 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 16.70 ±0.41 kN/m³

Constrained Mod.: 2.72 ±1.23 MPa

Go: 24.99 ±3.87 MPa

Su: 22.32 ±5.69 kPa

Su ratio: 0.51 ±0.11

O.C.R.: 1.91 ±0.58

:: Layer No: 3 ::

Code: 3 Start depth: 5.85 (m), End depth: 9.60 (m)

Description: Suolo organico

Basic results

Total cone resistance: 0.48 ±0.12 MPa

Sleeve friction: 50.09 ±16.89 kPa

SBT_n: 2

SBTn description: Organic soil

Estimation results

Permeability: 2.84E-10 ±8.81E-11 m/s

N60: 3.76 ±0.85 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 17.21 ±0.48 kN/m³

Constrained Mod.: 1.64 ±0.90 MPa

Go: 32.49 ±7.28 MPa

Su: 18.55 ±5.77 kPa

Su ratio: 0.34 ±0.08

O.C.R.: 1.03 ±0.32

:: Layer No: 4 ::

Code: 4 Start depth: 9.60 (m), End depth: 11.99 (m)

Description: Argilla

Basic results

Total cone resistance: 1.09 ±0.23 MPa

Sleeve friction: 128.12 ±19.92 kPa

SBT_n: 3

SBTn description: Clay

Estimation results

Permeability: 5.71E-10 ±1.75E-10 m/s

N60: 7.51 ±1.14 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 18.60 ±0.25 kN/m³

Constrained Mod.: 8.39 ±3.84 MPa

Go: 64.12 ±8.19 MPa

Su: 48.78 ±12.65 kPa

Su ratio: 0.66 ±0.13

O.C.R.: 2.38 ±0.64

:: Layer No: 5 ::

Code: 5 Start depth: 11.99 (m), End depth: 12.80 (m)

Description: Suolo organico

Basic results

Total cone resistance: 0.95 ±0.11 MPa

Sleeve friction: 102.53 ±14.78 kPa

SBT_n: 2

SBTn description: Organic soil

Estimation results

Permeability: 4.10E-10 ±8.19E-11 m/s

N60: 6.97 ±0.63 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 18.29 ±0.19 kN/m³

Constrained Mod.: 4.84 ±1.39 MPa

Go: 59.58 ±4.69 MPa

Su: 39.78 ±6.04 kPa

Su ratio: 0.47 ±0.06

O.C.R.: 1.55 ±0.27

:: Layer No: 6 ::**Code: 6** **Start depth: 12.80 (m), End depth: 13.91 (m)****Description:** Argilla**Basic results**

Total cone resistance: 2.09 ±0.57 MPa

Sleeve friction: 173.57 ±46.67 kPa

SBT_n: 3SBT_n description: Clay**Estimation results**

Permeability: 2.30E-09 ±1.86E-09 m/s

N60: 11.98 ±2.46 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 19.20 ±0.39 kN/m³

Constrained Mod.: 23.91 ±9.65 MPa

Go: 91.83 ±15.43 MPa

Su: 107.14 ±33.86 kPa

Su ratio: 1.10 ±0.33

O.C.R.: 4.89 ±1.90

Dott. Geol. Valeriano Franchi

V.le Caduti in Guerra, 1

41121 Modena

valerianofranchi@tin.it

Project:

Location:

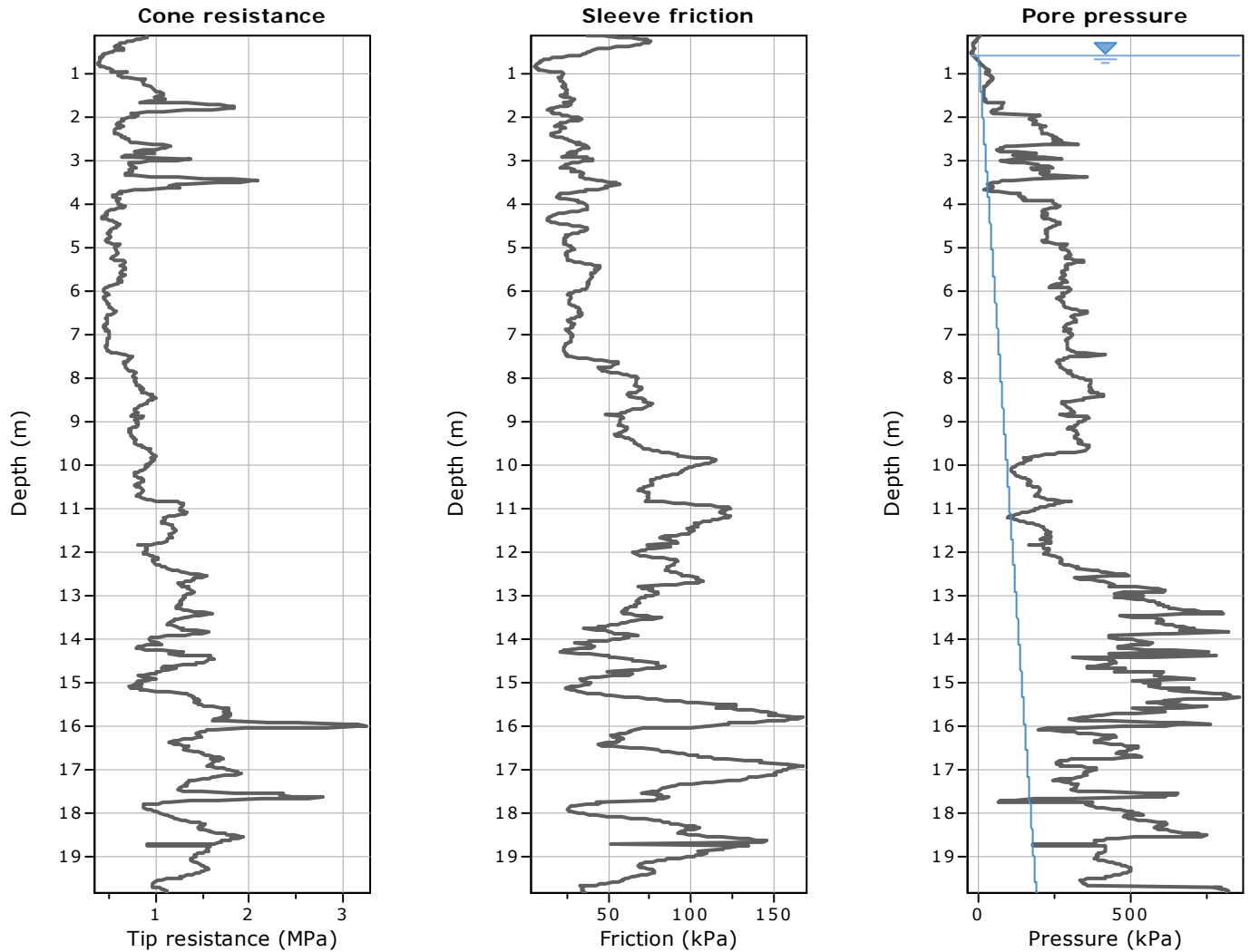
CPT: CPTu-1

Total depth: 13.95 m, Date: 30/01/2020

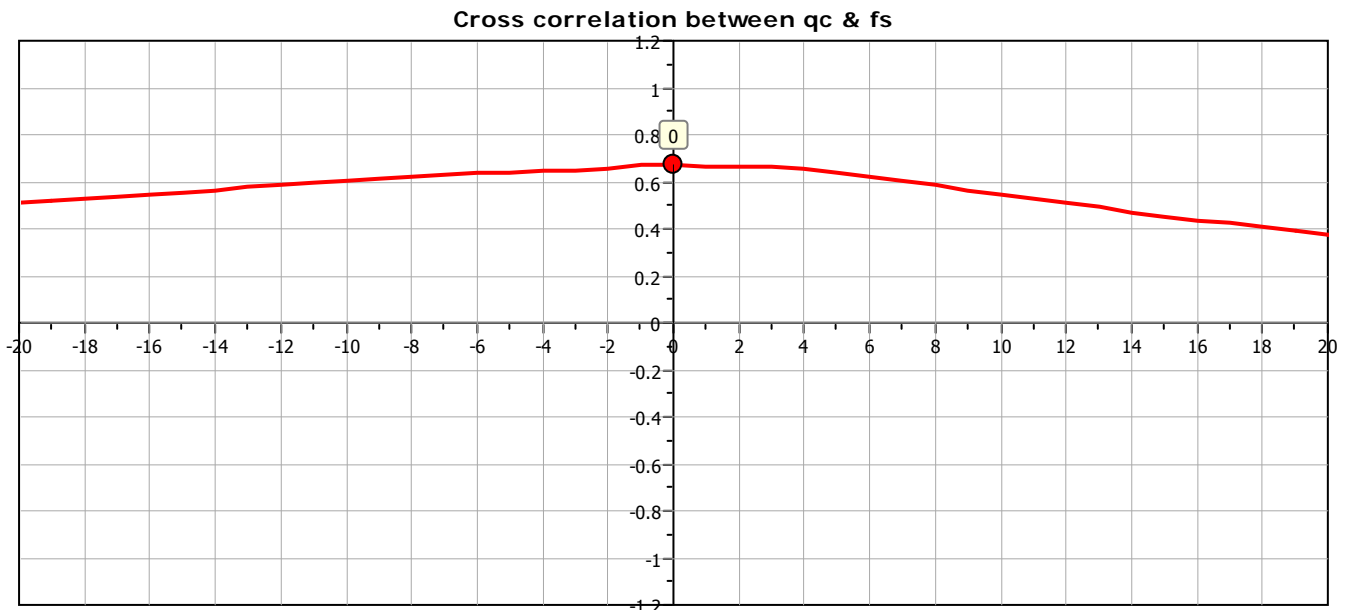
Summary table of mean values

From depth To depth (m)	Thickness (m)	Permeability (m/s)	SPT _{N60} (blows/30cm)	E _s (MPa)	D _r	Friction angle	Constrained modulus, M (MPa)	Shear modulus, G ₀ (MPa)	Undrained strength, S _u (kPa)	Undrained strength ratio	OCR	Unit weight (kN/m ³)
0.00	3.78	2.44E-09	3.2	0.0	0.0	0.0	5.1	24.9	32.8	0.7	3.3	16.6
3.78		(±2.27E-09)	(±0.9)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±3.2)	(±8.3)	(±9.1)	(±0.2)	(±1.2)	(±0.8)
3.78	2.07	7.11E-10	3.0	0.0	0.0	0.0	2.7	25.0	22.3	0.5	1.9	16.7
5.85		(±7.83E-10)	(±0.6)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±1.2)	(±3.9)	(±5.7)	(±0.1)	(±0.6)	(±0.4)
5.85	3.75	2.84E-10	3.8	0.0	0.0	0.0	1.6	32.5	18.6	0.3	1.0	17.2
9.60		(±8.81E-11)	(±0.9)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.9)	(±7.3)	(±5.8)	(±0.1)	(±0.3)	(±0.5)
9.60	2.39	5.71E-10	7.5	0.0	0.0	0.0	8.4	64.1	48.8	0.7	2.4	18.6
11.99		(±1.75E-10)	(±1.1)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±3.8)	(±8.2)	(±12.6)	(±0.1)	(±0.6)	(±0.3)
11.99	0.81	4.10E-10	7.0	0.0	0.0	0.0	4.8	59.6	39.8	0.5	1.6	18.3
12.80		(±8.19E-11)	(±0.6)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±1.4)	(±4.7)	(±6.0)	(±0.1)	(±0.3)	(±0.2)
12.80	1.11	2.30E-09	12.0	0.0	0.0	0.0	23.9	91.8	107.1	1.1	4.9	19.2
13.91		(±1.86E-09)	(±2.5)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±9.7)	(±15.4)	(±33.9)	(±0.3)	(±1.9)	(±0.4)

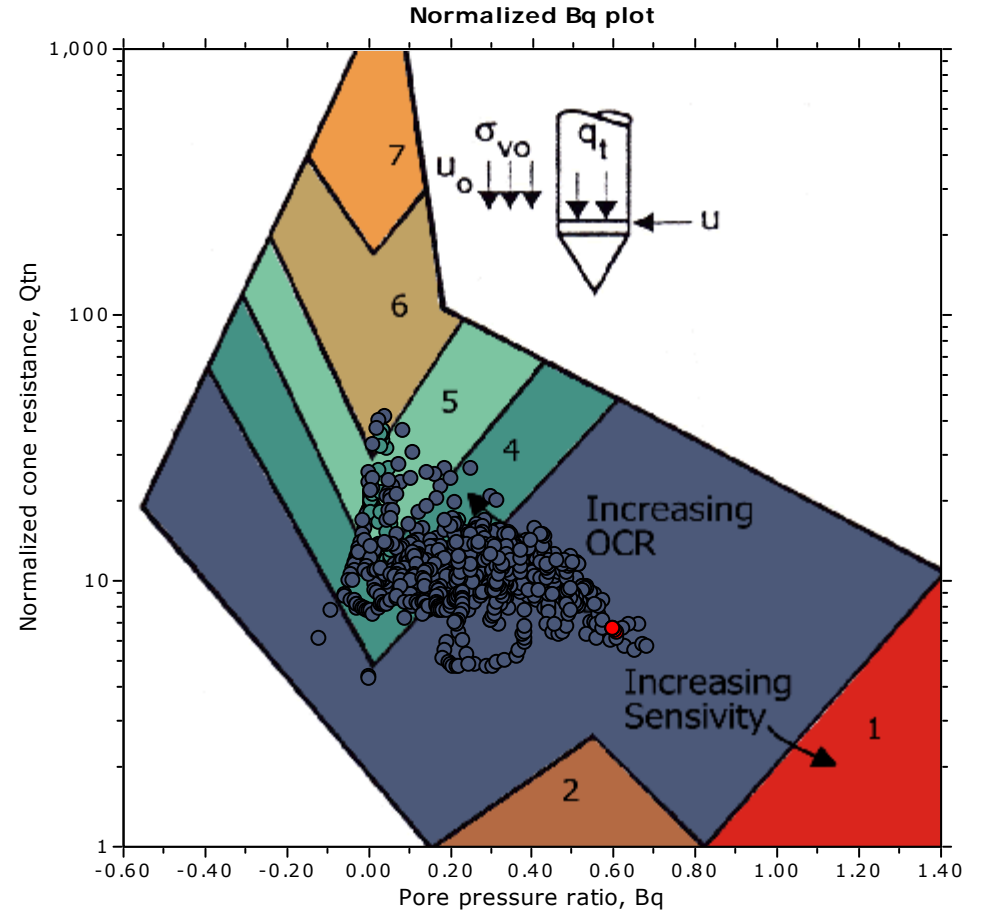
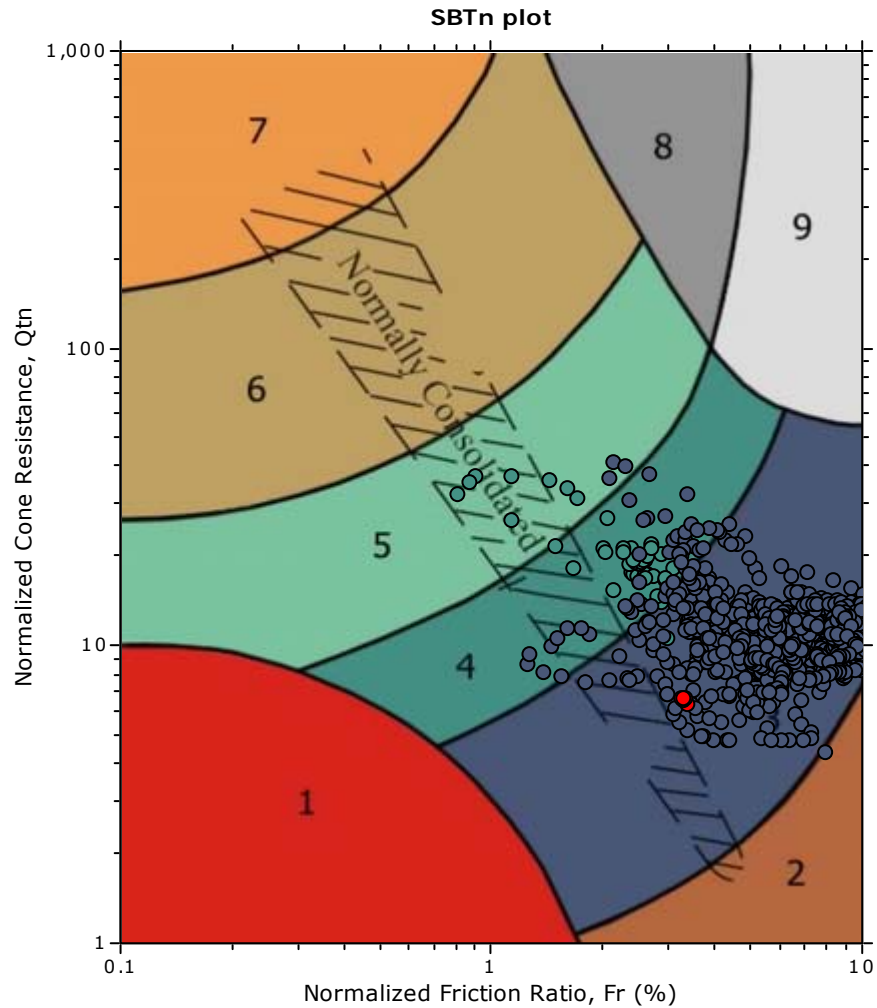
Depth values presented in this table are measured from free ground surface



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

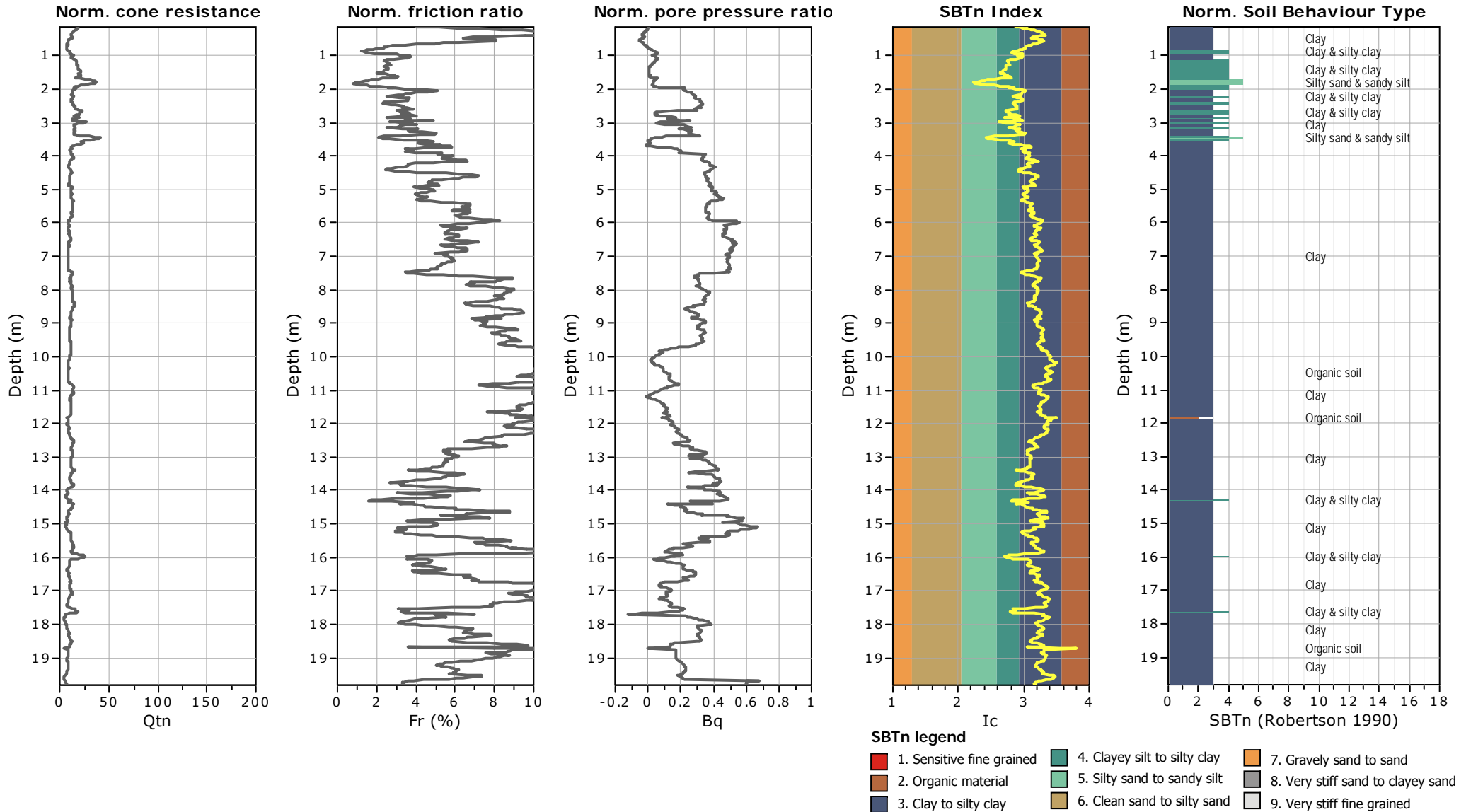


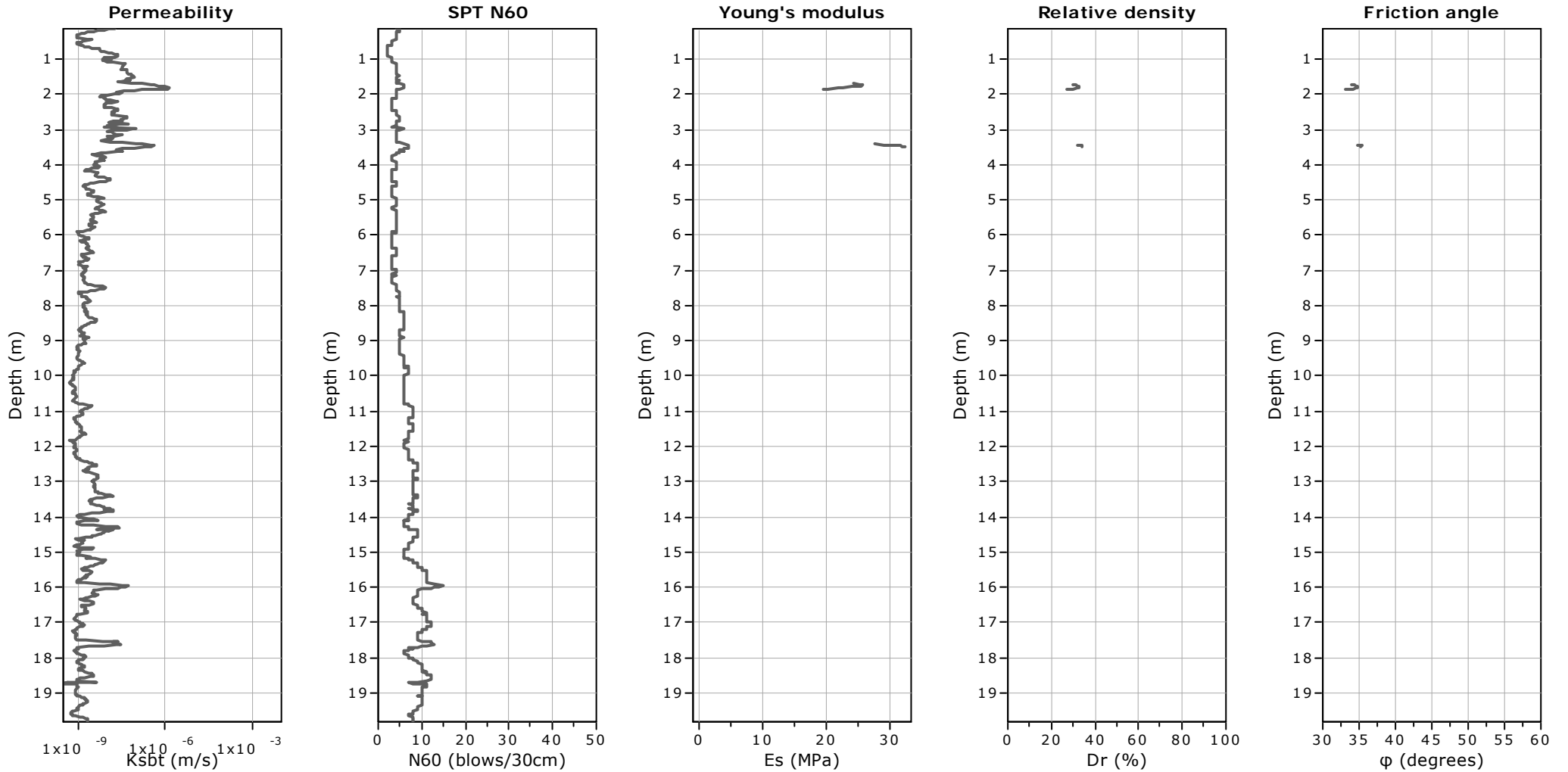
SBT - Bq plots (normalized)



SBTn legend

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





Calculation parameters

Permeability: Based on SBT_n

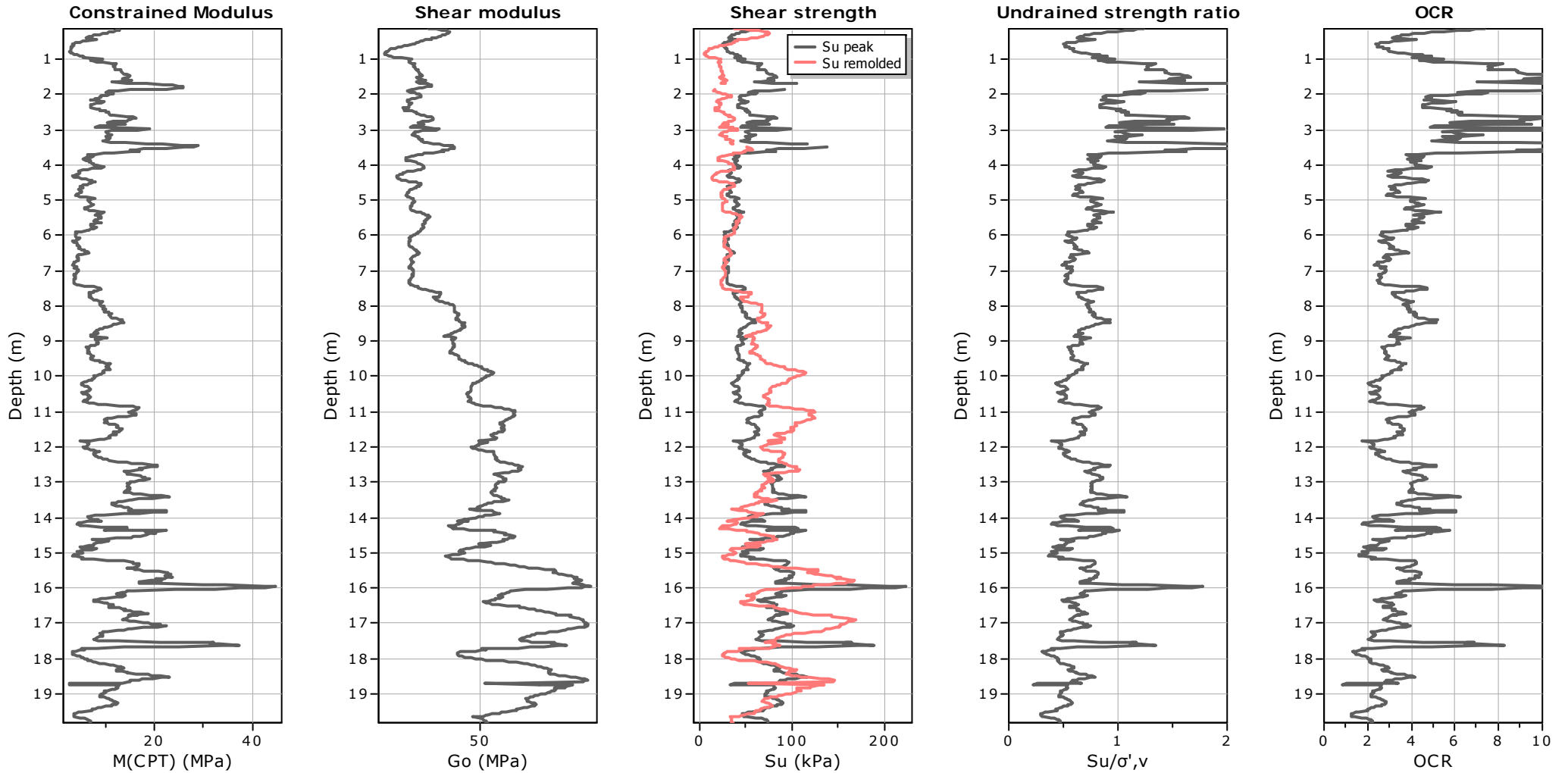
SPT N₆₀: Based on I_c and q_t

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

Relative density constant, C_{Dr}: 350.0

Phi: Based on Kulhawy & Mayne (1990)

● — User defined estimation data



Calculation parameters

Constrained modulus: Based on variable *alpha* using I_c and Q_m (Robertson, 2009)

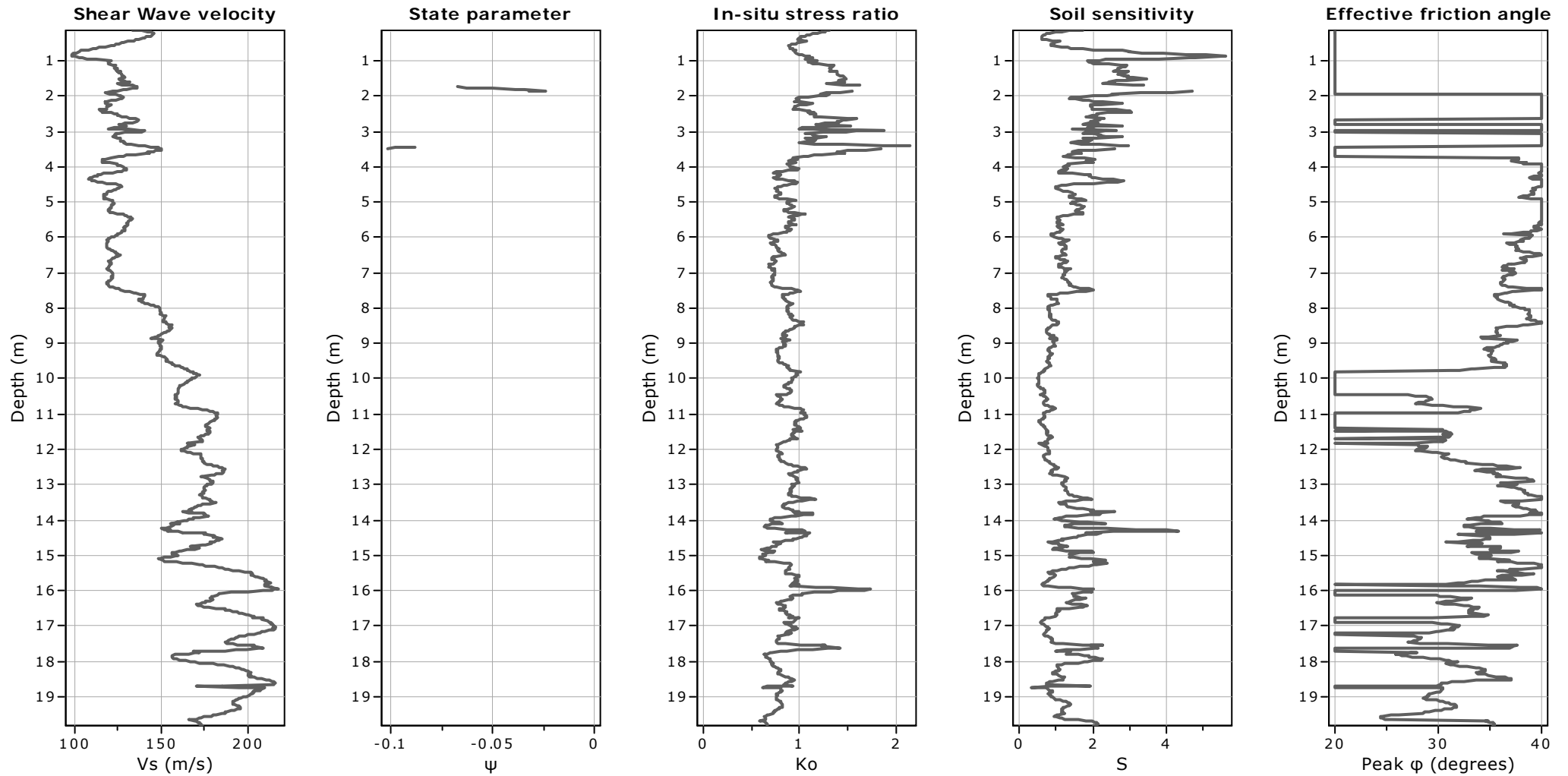
Go: Based on variable *alpha* using I_c (Robertson, 2009)

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

OCR factor for clays, N_{kt} : Auto

● User defined estimation data

● Flat Dilatometer Test data



Calculation parameters

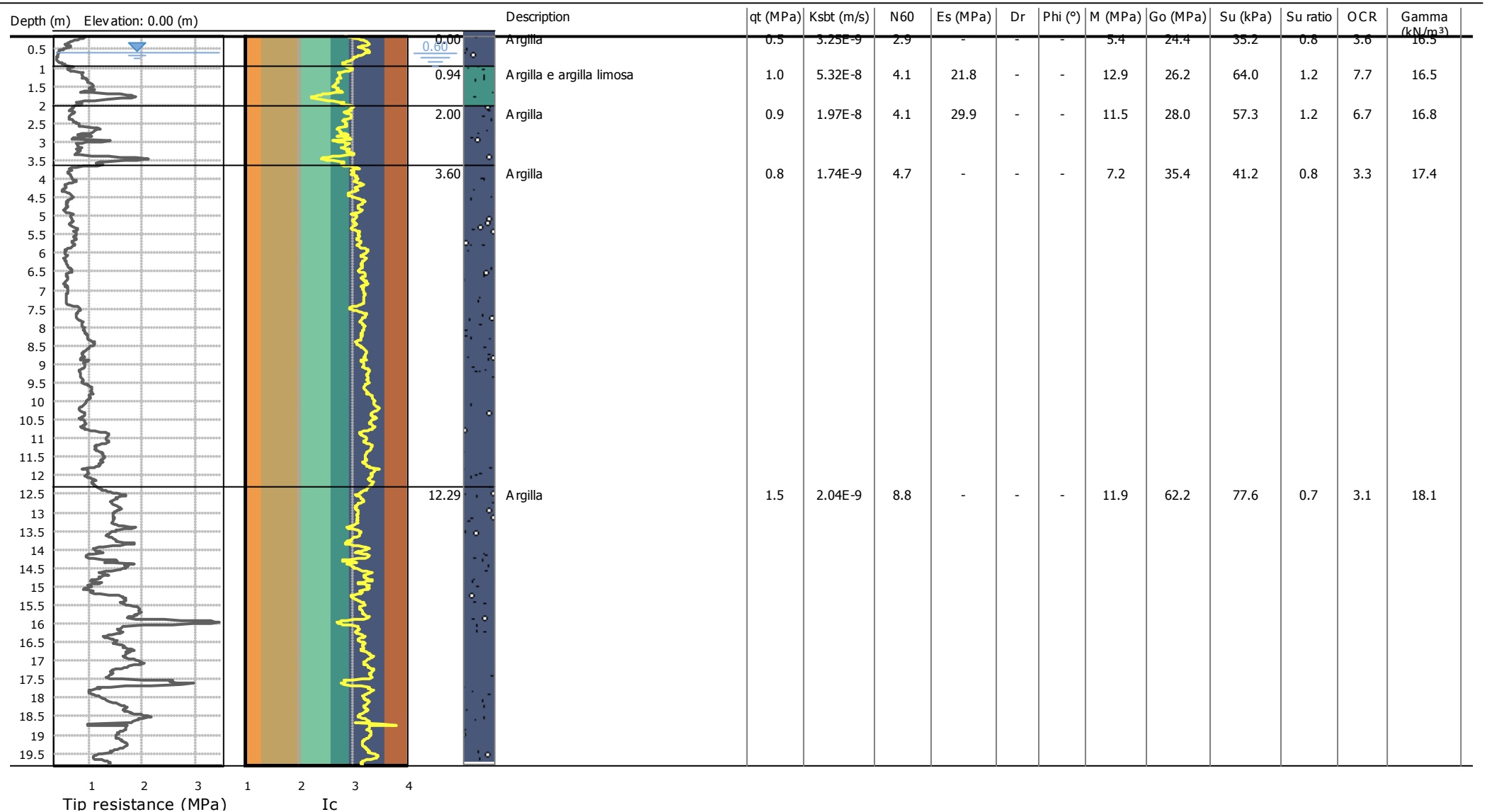
Soil Sensitivity factor, N_s : 7.00

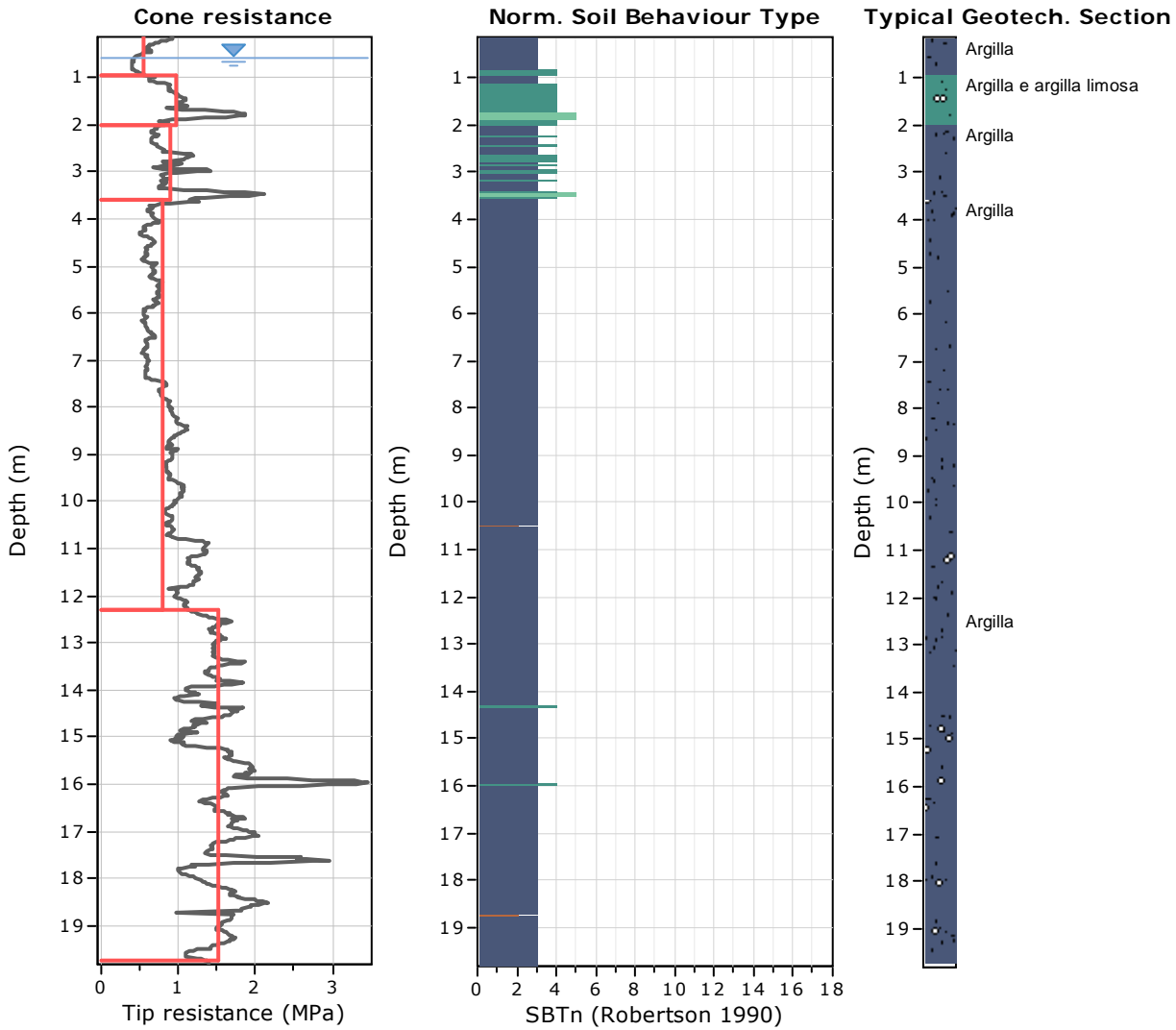
—●— User defined estimation data

Dott. Geol. Valeriano Franchi
 V.le Caduti in Guerra, 1
 41121 Modena
 valerianofranchi@tin.it

Project:
 Location:

CPT: CPTu-2
 Total depth: 19.82 m





Tabular results

:: Layer No: 1 ::		
Code: 1	Start depth: 0.00 (m), End depth: 0.94 (m)	
Description: Argilla		
Basic results		
Total cone resistance:	0.54 ±0.17 MPa	
Sleeve friction:	25.08 ±26.93 kPa	
SBT _n :	3	
SBT _n description:	Clay	
Estimation results		
Permeability:	3.25E-09 ±7.32E-09 m/s	Constrained Mod.: 5.43 ±3.34 MPa
N60:	2.95 ±1.07 blows	Go: 24.41 ±8.78 MPa
Es:	0.00 ±0.00 MPa	Su: 35.19 ±9.53 kPa
Dr (%):	0.00 ±0.00	Su ratio: 0.76 ±0.24
φ (degrees):	0.00 ±0.00 °	O.C.R.: 3.65 ±1.28
Unit weight:	16.46 ±1.14 kN/m ³	

.: Layer No: 2 .:

Code: 2 Start depth: 0.94 (m), End depth: 2.00 (m)

Description: Argilla e argilla limosa

Basic results

Total cone resistance: 0.97 ±0.34 MPa

Sleeve friction: 21.85 ±4.20 kPa

SBT_n: 4

SBTn description: Clay & silty clay

Estimation results

Permeability: 5.32E-08 ±3.40E-07 m/s

N60: 4.11 ±0.85 blows

Es: 21.79 ±3.42 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 16.52 ±0.28 kN/m³

Constrained Mod.: 12.94 ±4.95 MPa

Go: 26.21 ±2.63 MPa

Su: 64.05 ±14.52 kPa

Su ratio: 1.23 ±0.24

O.C.R.: 7.71 ±2.20

.: Layer No: 3 .:

Code: 3 Start depth: 2.00 (m), End depth: 3.60 (m)

Description: Argilla

Basic results

Total cone resistance: 0.89 ±0.34 MPa

Sleeve friction: 28.90 ±9.52 kPa

SBT_n: 3

SBTn description: Clay

Estimation results

Permeability: 1.97E-08 ±7.10E-08 m/s

N60: 4.12 ±1.10 blows

Es: 29.90 ±3.36 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 16.81 ±0.44 kN/m³

Constrained Mod.: 11.54 ±4.86 MPa

Go: 28.02 ±4.85 MPa

Su: 57.33 ±19.31 kPa

Su ratio: 1.17 ±0.37

O.C.R.: 6.71 ±3.03

.: Layer No: 4 .:

Code: 4 Start depth: 3.60 (m), End depth: 12.29 (m)

Description: Argilla

Basic results

Total cone resistance: 0.81 ±0.22 MPa

Sleeve friction: 48.56 ±29.97 kPa

SBT_n: 3

SBTn description: Clay

Estimation results

Permeability: 1.74E-09 ±2.88E-09 m/s

N60: 4.71 ±1.56 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 17.37 ±0.73 kN/m³

Constrained Mod.: 7.23 ±3.00 MPa

Go: 35.37 ±12.62 MPa

Su: 41.25 ±10.25 kPa

Su ratio: 0.76 ±0.14

O.C.R.: 3.31 ±0.92

.: Layer No: 5 .:

Code: 5 Start depth: 12.29 (m), End depth: 19.72 (m)

Description: Argilla

Basic results

Total cone resistance: 1.51 ±0.38 MPa

Sleeve friction: 72.21 ±36.35 kPa

SBT_n: 3

SBTn description: Clay

Estimation results

Permeability: 2.04E-09 ±5.89E-09 m/s

N60: 8.80 ±1.76 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 18.07 ±0.60 kN/m³

Constrained Mod.: 11.88 ±7.06 MPa

Go: 62.17 ±14.03 MPa

Su: 77.59 ±25.77 kPa

Su ratio: 0.70 ±0.23

O.C.R.: 3.10 ±1.47

Dott. Geol. Valeriano Franchi

V.le Caduti in Guerra, 1

41121 Modena

valerianofranchi@tin.it

Project:

Location:

CPT: CPTu-2

Total depth: 19.82 m, Date: 30/01/2020

Summary table of mean values

From depth To depth (m)	Thickness (m)	Permeability (m/s)	SPT _{N60} (blows/30cm)	E _s (MPa)	D _r	Friction angle	Constrained modulus, M (MPa)	Shear modulus, G ₀ (MPa)	Undrained strength, S _u (kPa)	Undrained strength ratio	OCR	Unit weight (kN/m ³)
0.00	0.94	3.25E-09	2.9	0.0	0.0	0.0	5.4	24.4	35.2	0.8	3.6	16.5
0.94		(±7.32E-09)	(±1.1)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±3.3)	(±8.8)	(±9.5)	(±0.2)	(±1.3)	(±1.1)
0.94	1.06	5.32E-08	4.1	21.8	0.0	0.0	12.9	26.2	64.0	1.2	7.7	16.5
2.00		(±3.40E-07)	(±0.9)	(±3.4)	(±0.0)	(±0.0)	(±4.9)	(±2.6)	(±14.5)	(±0.2)	(±2.2)	(±0.3)
2.00	1.60	1.97E-08	4.1	29.9	0.0	0.0	11.5	28.0	57.3	1.2	6.7	16.8
3.60		(±7.10E-08)	(±1.1)	(±3.4)	(±0.0)	(±0.0)	(±4.9)	(±4.8)	(±19.3)	(±0.4)	(±3.0)	(±0.4)
3.60	8.69	1.74E-09	4.7	0.0	0.0	0.0	7.2	35.4	41.2	0.8	3.3	17.4
12.29		(±2.88E-09)	(±1.6)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±3.0)	(±12.6)	(±10.3)	(±0.1)	(±0.9)	(±0.7)
12.29	7.43	2.04E-09	8.8	0.0	0.0	0.0	11.9	62.2	77.6	0.7	3.1	18.1
19.72		(±5.89E-09)	(±1.8)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±7.1)	(±14.0)	(±25.8)	(±0.2)	(±1.5)	(±0.6)

Depth values presented in this table are measured from free ground surface

PROVA ... CPT 1

Committente:

Strumento utilizzato: PAGANI 100 kN

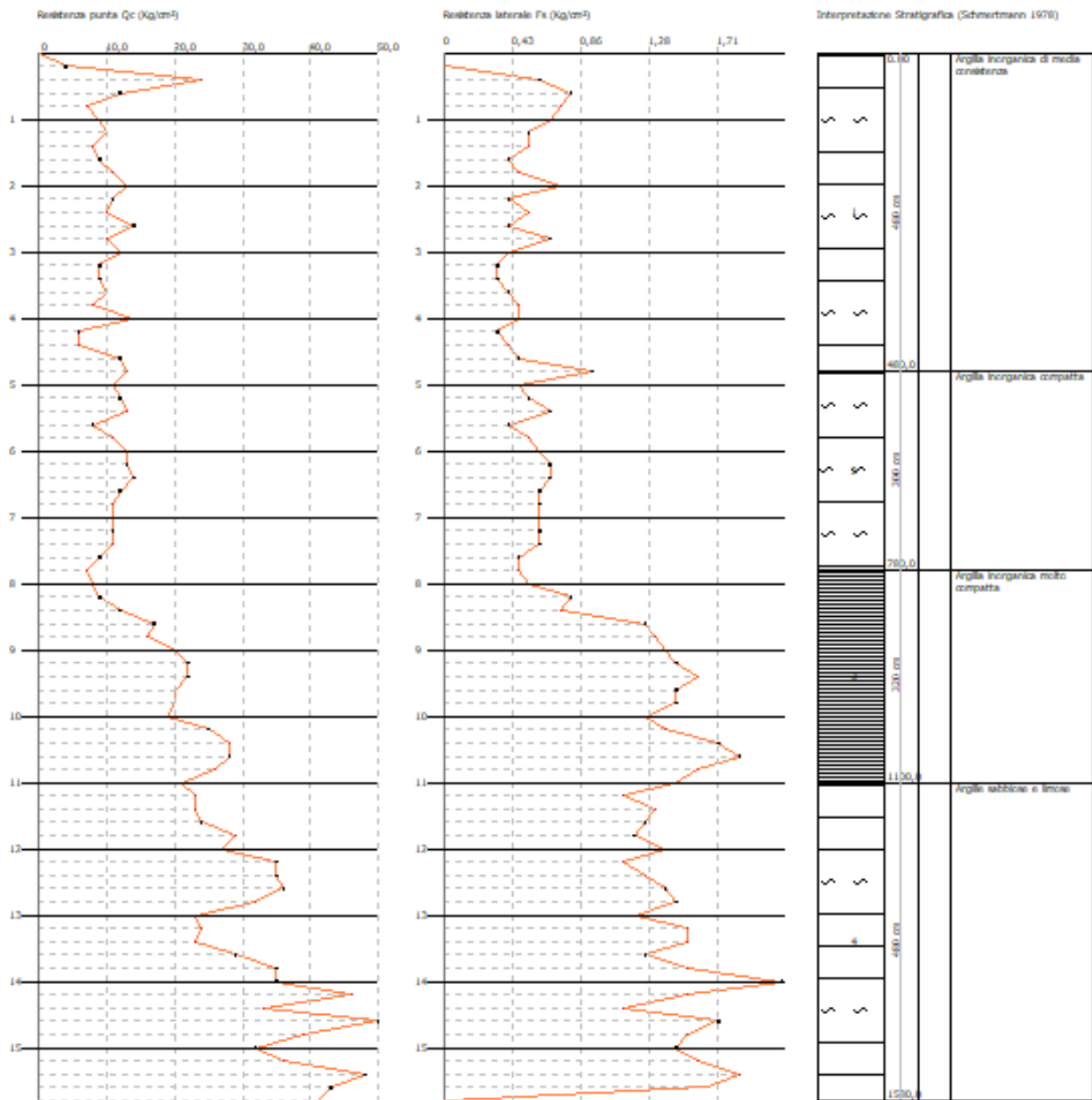
Prova eseguita in data: 23/01/2020

Profondità prova: 15,80 mt

Località: Medolla (MO)

Profondità (m)	Lettura punta (Kg/cm ²)	Lettura laterale (Kg/cm ²)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertmann)
0,20	4,00	0,0	4,0	0,0		0,0
0,40	24,00	0,0	24,0	0,6	40,0	2,5
0,60	12,00	21,0	12,0	0,8	15,0	6,7
0,80	7,00	19,0 7,0		0,733333	9,545	10,5
1,00	9,00	20,0 9,0		0,666667	13,5	7,4
1,20	10,00	20,0 10,0		0,533333	18,75	5,3
1,40	8,00	16,0 8,0		0,533333	15,0	6,7
1,60	9,00	17,0	9,0	0,4	22,5	4,4
1,80	11,00	17,0 11,0		0,466667	23,571	4,2
2,00	13,00	20,0 13,0		0,733333	17,727	5,6
2,20	11,00	22,0	11,0	0,4	27,5	3,6
2,40	10,00	16,0 10,0		0,533333	18,75	5,3
2,60	14,00	22,0	14,0	0,4	35,0	2,9
2,80	10,00	16,0 10,0		0,666667	15,0	6,7
3,00	12,00	22,0	12,0	0,4	30,0	3,3
3,20	9,00	15,0 9,0		0,333333	27,0	3,7
3,40	9,00	14,0 9,0		0,333333	27,0	3,7
3,60	10,00	15,0	10,0	0,4	25,0	4,0
3,80	8,00	14,0 8,0		0,466667	17,143	5,8
4,00	14,00	21,0 14,0		0,466667	30,0	3,3
4,20	6,00	13,0 6,0		0,333333	18,0	5,6
4,40	6,00	11,0	6,0	0,4	15,0	6,7
4,60	12,00	18,0 12,0		0,466667	25,714	3,9
4,80	13,00	20,0 13,0		0,933333	13,929	7,2
5,00	11,00	25,0 11,0		0,466667	23,571	4,2
5,20	12,00	19,0 12,0		0,533333	22,5	4,4
5,40	13,00	21,0 13,0		0,666667	19,5	5,1
5,60	8,00	18,0	8,0	0,4	20,0	5,0
5,80	11,00	17,0 11,0		0,533333	20,625	4,8
6,00	13,00	21,0	13,0 0,6		21,667	4,6
6,20	13,00	22,0 13,0		0,666667	19,5	5,1
6,40	14,00	24,0 14,0		0,666667	21,0	4,8
6,60	12,00	22,0	12,0	0,6	20,0	5,0
6,80	11,00	20,0	11,0 0,6		18,333	5,5
7,00	11,00	20,0	11,0 0,6		18,333	5,5
7,20	11,00	20,0	11,0 0,6		18,333	5,5
7,40	11,00	20,0	11,0 0,6		18,333	5,5
7,60	9,00	18,0 9,0		0,466667	19,286	5,2
7,80	7,00	14,0 7,0		0,466667	15,0	6,7
8,00	8,00	15,0 8,0		0,533333	15,0	6,7
8,20	9,00	17,0	9,0	0,8	11,25	8,9
8,40	12,00	24,0 12,0		0,733333	16,364	6,1
8,60	17,00	28,0 17,0		1,266667	13,421	7,5
8,80	16,00	35,0 16,0		1,333333	12,0	8,3
9,00	20,00	40,0	20,0 1,4		14,286	7,0
9,20	22,00	43,0 22,0		1,466667	15,0	6,7
9,40	22,00	44,0	22,0	1,6	13,75	7,3
9,60	20,00	44,0 20,0		1,466667	13,636	7,3
9,80	20,00	42,0 20,0		1,466667	13,636	7,3
10,00	19,00	41,0 19,0		1,266667	15,0	6,7
10,20	25,00	44,0	25,0 1,4		17,857	5,6
10,40	28,00	49,0 28,0		1,733333	16,154	6,2
10,60	28,00	54,0 28,0		1,866667	15,0	6,7
10,80	26,00	54,0	26,0	1,6	16,25	6,2
11,00	21,00	45,0 21,0		1,466667	14,318	7,0
11,20	23,00	45,0 23,0		1,133333	20,294	4,9
11,40	23,00	40,0 23,0		1,333333	17,25	5,8
11,60	24,00	44,0 24,0		1,266667	18,947	5,3
11,80	29,00	48,0	29,0 1,2		24,167	4,1

12,00	27,00	45,0	27,0 1,4		19,286	5,2
12,20	35,00	56,0 35,0		1,133333	30,882	3,2
12,40	35,00	52,0 35,0		1,266667	27,632	3,6
12,60	36,00	55,0	36,0 1,4		25,714	3,9
12,80	32,00	53,0 32,0		1,466667	21,818	4,6
13,00	23,00	45,0	23,0 1,2		19,167	5,2
13,20	24,00	42,0 24,0		1,533333	15,652	6,4
13,40	23,00	46,0 23,0		1,533333	15,0	6,7
13,60	29,00	52,0 29,0		1,266667	22,895	4,4
13,80	35,00	54,0 35,0		1,533333	22,826	4,4
14,00	35,00	58,0 35,0		2,133333	16,406	6,1
14,20	46,00	78,0 46,0		1,533333	30,0	3,3
14,40	33,00	56,0 33,0		1,133333	29,118	3,4
14,60	50,00	67,0 50,0		1,733333	28,846	3,5
14,80	39,00	65,0 39,0		1,533333	25,435	3,9
15,00	32,00	55,0 32,0		1,466667	21,818	4,6
15,20	36,00	58,0	36,0	1,6	22,5	4,4
15,40	48,00	72,0 48,0		1,866667	25,714	3,9
15,60	43,00	71,0 43,0		1,666667	25,8	3,9
15,80	41,00	66,0 41,0		0,0		0,0



PROVA ... CPT 2

Committente:

Strumento utilizzato: PAGANI 100 kN

Prova eseguita in data: 23/01/2020

Profondità prova: 12,40 mt

Località: Medolla (MO)

Profondità (m)	Lettura punta (Kg/cm ²)	Lettura laterale (Kg/cm ²)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertmann)
0,20	3,00	0,0	3,0	0,0		0,0
0,40	9,00	0,0	9,0	0,466667	19,286	5,2
0,60	9,00	16,0 9,0		0,733333	12,273	8,1
0,80	6,00	17,0 6,0		0,666667	9,0	11,1
1,00	7,00	17,0	7,0	0,4	17,5	5,7
1,20	8,00	14,0 8,0		0,466667	17,143	5,8
1,40	10,00	17,0 10,0		0,533333	18,75	5,3
1,60	9,00	17,0	9,0	0,4	22,5	4,4
1,80	10,00	16,0 10,0		0,733333	13,636	7,3
2,00	11,00	22,0 11,0		0,333333	33,0	3,0
2,20	9,00	14,0	9,0	0,6	15,0	6,7
2,40	9,00	18,0	9,0	0,4	22,5	4,4
2,60	9,00	15,0 9,0		0,466667	19,286	5,2
2,80	7,00	14,0 7,0		0,666667	10,5	9,5
3,00	10,00	20,0 10,0		0,466667	21,429	4,7
3,20	6,00	13,0 6,0		0,266667	22,5	4,4
3,40	11,00	15,0	11,0	0,4	27,5	3,6
3,60	17,00	23,0	17,0 0,6		28,333	3,5
3,80	9,00	18,0	9,0	0,6	15,0	6,7
4,00	8,00	17,0 8,0		0,466667	17,143	5,8
4,20	11,00	18,0	11,0 0,6		18,333	5,5
4,40	7,00	16,0	7,0	0,4	17,5	5,7
4,60	8,00	14,0	8,0	0,4	20,0	5,0
4,80	9,00	15,0	9,0	0,4	22,5	4,4
5,00	8,00	14,0 8,0		0,466667	17,143	5,8
5,20	9,00	16,0 9,0		0,466667	19,286	5,2
5,40	10,00	17,0 10,0		0,533333	18,75	5,3
5,60	13,00	21,0 13,0		0,533333	24,375	4,1
5,80	12,00	20,0	12,0	0,6	20,0	5,0
6,00	11,00	20,0 11,0		0,533333	20,625	4,8
6,20	10,00	18,0 10,0		0,466667	21,429	4,7
6,40	10,00	17,0	10,0	0,4	25,0	4,0
6,60	10,00	16,0 10,0		0,533333	18,75	5,3
6,80	8,00	16,0 8,0		0,533333	15,0	6,7
7,00	7,00	15,0 7,0		0,466667	15,0	6,7
7,20	6,00	13,0	6,0	0,4	15,0	6,7
7,40	7,00	13,0	7,0	0,4	17,5	5,7
7,60	8,00	14,0 8,0		0,533333	15,0	6,7
7,80	11,00	19,0	11,0 0,6		18,333	5,5
8,00	13,00	22,0 13,0		0,866667	15,0	6,7
8,20	13,00	26,0	13,0	1,0	13,0	7,7
8,40	17,00	32,0 17,0		1,133333	15,0	6,7
8,60	16,00	33,0	16,0	1,0	16,0	6,3
8,80	17,00	32,0	17,0 1,2		14,167	7,1
9,00	17,00	35,0	17,0	1,0	17,0	5,9
9,20	16,00	31,0 16,0		1,066667	15,0	6,7
9,40	15,00	31,0	15,0	1,2	12,5	8,0
9,60	17,00	35,0 17,0		1,133333	15,0	6,7
9,80	23,00	40,0 23,0		1,266667	18,158	5,5
10,00	25,00	44,0	25,0 1,6		15,625	6,4
10,20	24,00	48,0	24,0	1,6	15,0	6,7
10,40	22,00	46,0	22,0 1,4		15,714	6,4
10,60	24,00	45,0 24,0		1,133333	21,176	4,7
10,80	23,00	40,0 23,0		1,466667	15,682	6,4
11,00	24,00	46,0 24,0		1,266667	18,947	5,3

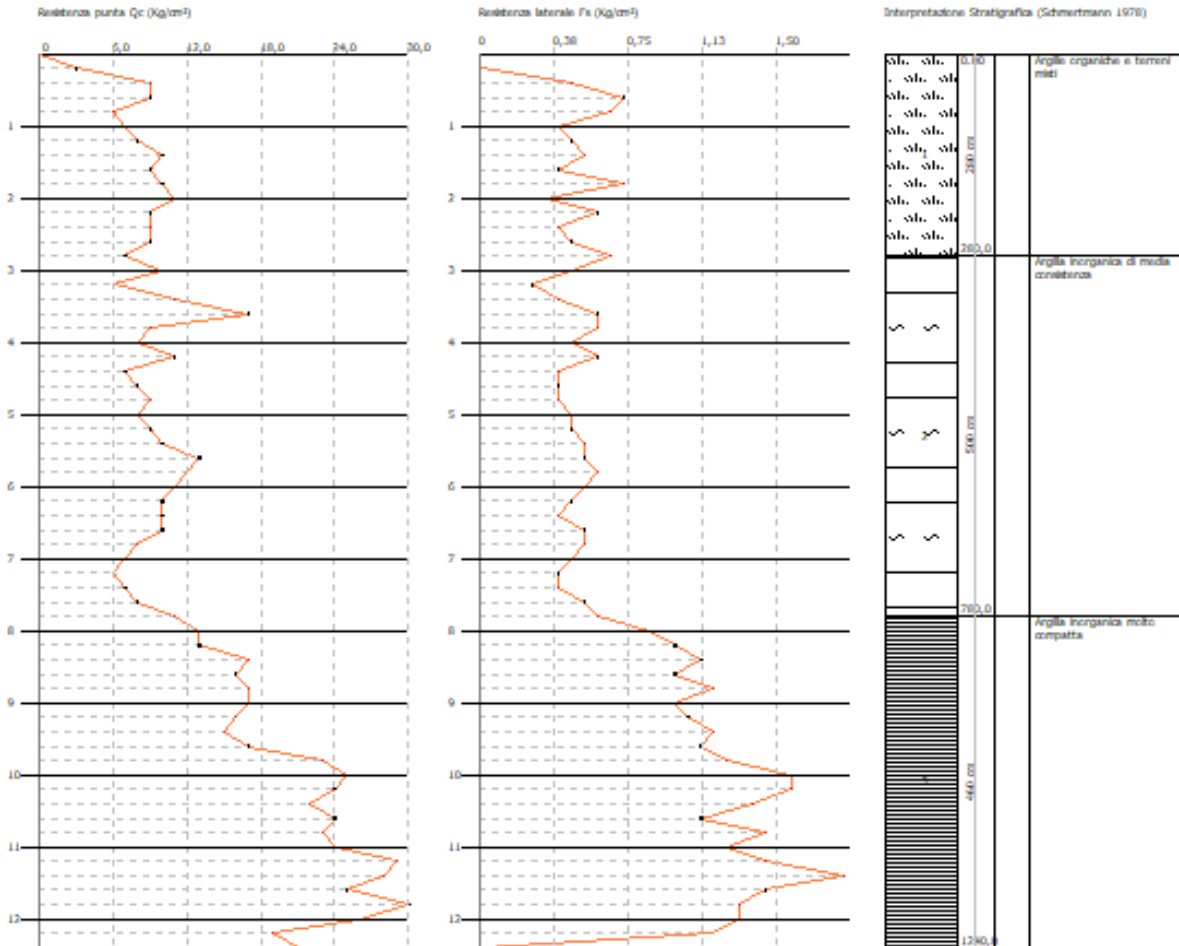
11,20	29,00	48,0	29,0	1,466667	19,773	5,1
11,40	28,00	50,0	28,0	1,866667	15,0	6,7
11,60	25,00	53,0	25,0	1,466667	17,045	5,9
11,80	30,00	52,0	30,0	1,333333	22,5	4,4
12,00	26,00	46,0	26,0	1,333333	19,5	5,1
12,20	19,00	39,0	19,0	1,2	15,833	6,3
12,40	21,00	39,0	21,0	0,0	0,0	0,0

Dott. Geol. Valentino Franchi
Viale Caduti in Guerra 1, Modena

Probe CPT - Cone Penetration CPT 2
Strumento utilizzato PAGWE 100 IN

Comitente:
Contiene: Via del Falegnami
Località: Medolla (MO)

Data: 23/01/2020



PROVA ... CPT 3

Committente:

Strumento utilizzato: PAGANI 100 kN

Prova eseguita in data: 24/01/2020

Profondità prova: 12,80 mt

Località: Medolla (MO)

Profondità (m)	Lettura punta (Kg/cm ²)	Lettura laterale (Kg/cm ²)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertmann)
0,20	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	
0,40	7,00	0,0 7,0		0,266667	26,25	3,8
0,60	7,00	11,0	7,0 0,6		11,667	8,6
0,80	9,00	18,0 9,0		0,533333	16,875	5,9
1,00	9,00	17,0 9,0		0,533333	16,875	5,9
1,20	6,00	14,0 6,0		0,333333	18,0	5,6
1,40	6,00	11,0 6,0		0,333333	18,0	5,6
1,60	9,00	14,0 9,0		0,466667	19,286	5,2
1,80	9,00	16,0	9,0	0,6	15,0	6,7
2,00	12,00	21,0	12,0	0,4	30,0	3,3
2,20	12,00	18,0 12,0		0,466667	25,714	3,9
2,40	12,00	19,0 12,0		0,666667	18,0	5,6
2,60	8,00	18,0	8,0	0,4	20,0	5,0
2,80	8,00	14,0	8,0	0,8	10,0	10,0
3,00	10,00	22,0 10,0		0,666667	15,0	6,7
3,20	14,00	24,0	14,0	0,8	17,5	5,7
3,40	8,00	20,0 8,0		0,466667	17,143	5,8
3,60	9,00	16,0 9,0		0,466667	19,286	5,2
3,80	10,00	17,0 10,0		0,666667	15,0	6,7
4,00	9,00	19,0 9,0		0,466667	19,286	5,2
4,20	8,00	15,0 8,0		0,466667	17,143	5,8
4,40	10,00	17,0 10,0		0,533333	18,75	5,3
4,60	8,00	16,0	8,0 0,6		13,333	7,5
4,80	9,00	18,0	9,0	0,6	15,0	6,7
5,00	11,00	20,0 11,0		0,733333	15,0	6,7
5,20	9,00	20,0	9,0	0,6	15,0	6,7
5,40	10,00	19,0 10,0		0,733333	13,636	7,3
5,60	8,00	19,0 8,0		0,733333	10,909	9,2
5,80	10,00	21,0	10,0 0,6		16,667	6,0
6,00	10,00	19,0 10,0		0,466667	21,429	4,7
6,20	11,00	18,0 11,0		0,733333	15,0	6,7
6,40	8,00	19,0 8,0		0,733333	10,909	9,2
6,60	8,00	19,0 8,0		0,533333	15,0	6,7
6,80	7,00	15,0	7,0 0,6		11,667	8,6
7,00	7,00	16,0	7,0 0,6		11,667	8,6
7,20	9,00	18,0	9,0	0,6	15,0	6,7
7,40	9,00	18,0 9,0		0,666667	13,5	7,4
7,60	8,00	18,0	8,0 0,6		13,333	7,5
7,80	8,00	17,0 8,0		0,666667	12,0	8,3
8,00	10,00	20,0 10,0		1,066667	9,375	10,7
8,20	12,00	28,0 12,0		1,133333	10,588	9,4
8,40	15,00	32,0	15,0	1,2	12,5	8,0
8,60	18,00	36,0	18,0	1,2	15,0	6,7
8,80	22,00	40,0 22,0		1,666667	13,2	7,6
9,00	21,00	46,0 21,0		1,266667	16,579	6,0
9,20	19,00	38,0	19,0 1,2		15,833	6,3
9,40	17,00	35,0 17,0		1,066667	15,937	6,3
9,60	17,00	33,0 17,0		1,066667	15,937	6,3
9,80	20,00	36,0 20,0		1,066667	18,75	5,3
10,00	21,00	37,0 21,0		1,666667	12,6	7,9
10,20	29,00	54,0 29,0		1,666667	17,4	5,7
10,40	28,00	53,0 28,0		1,333333	21,0	4,8
10,60	29,00	49,0 29,0		1,533333	18,913	5,3
10,80	28,00	51,0 28,0		1,466667	19,091	5,2
11,00	28,00	50,0	28,0	1,4	20,0	5,0
11,20	24,00	45,0 24,0		1,666667	14,4	6,9

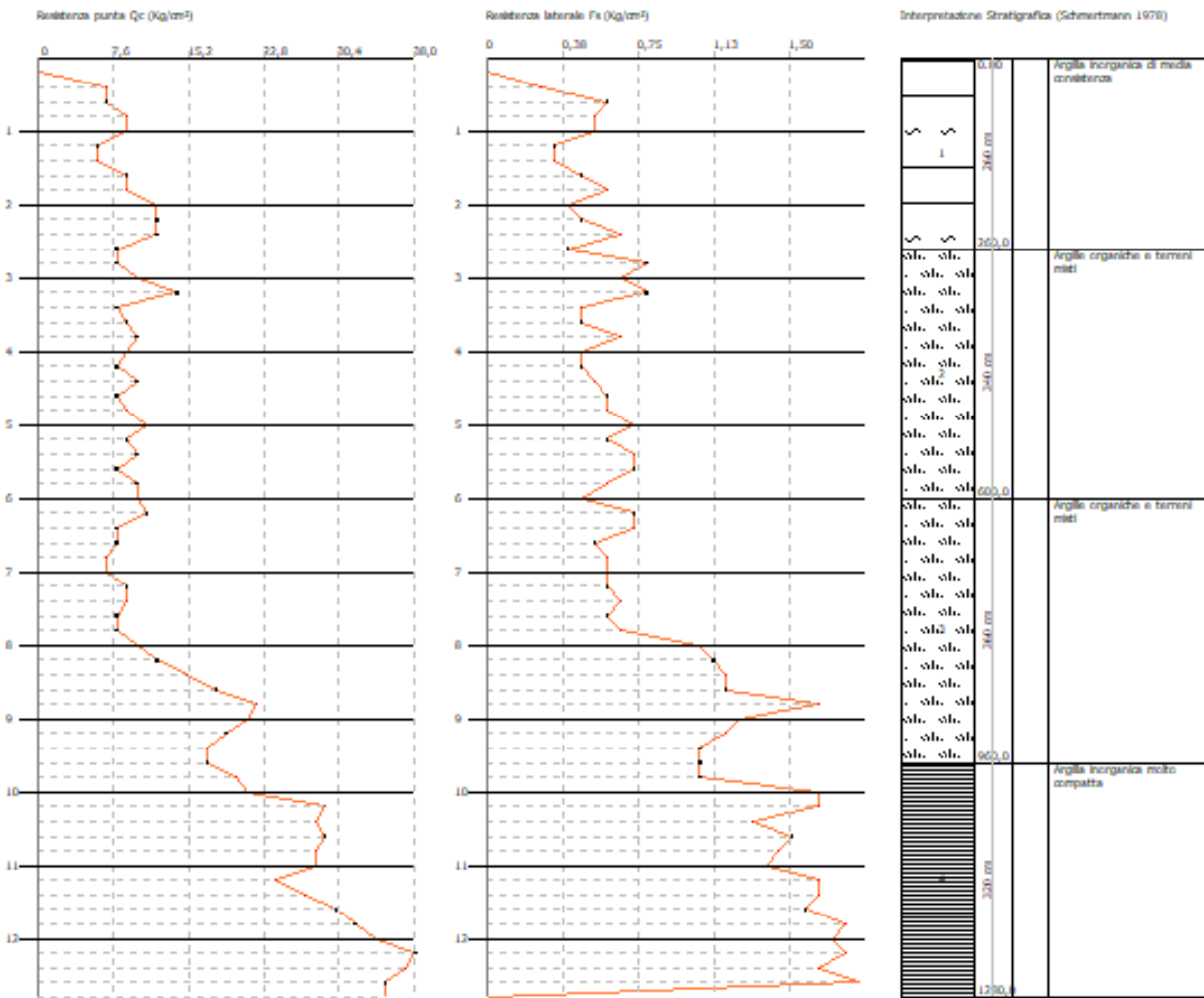
11,40	27,00	52,0	27,0		1,666667	16,2	6,2
11,60	30,00	55,0		30,0	1,6	18,75	5,3
11,80	32,00	56,0		32,0	1,8	17,778	5,6
12,00	34,00	61,0	34,0		1,733333	19,615	5,1
12,20	38,00	64,0		38,0	1,8	21,111	4,7
12,40	37,00	64,0	37,0		1,666667	22,2	4,5
12,60	35,00	60,0	35,0		1,866667	18,75	5,3
12,80	35,00	63,0	35,0		0,0		0,0

Dott. Geol. Valeriano Franchi
Viale Caduti in Guerra 1, Modena

Probe CPT - Cone Penetration CPT 3
Strumento utilizzato PAGWE 100 IN

Comitente:
Cantiere: Via dei falegnami
Località: Medolla (MO)

Data: 24/01/2020



Allegato 3

Indagini geofisiche eseguite per questo studio (1 MASW, 1 HVSR)

Indagine geofisica tramite tecnica MASW Via dei Falegnami, Medolla

- INTRODUZIONE

Il 24 Gennaio 2020, è stata eseguita su di un lotto di terreno situato in Via dei Falegnami a Medolla in Provincia di Modena, una campagna sismica con metodo MASW di tipo attivo. L'indagine è stata svolta con l'obiettivo di determinare la velocità ponderata delle onde sismiche di taglio nei primi 30 metri a partire da piano campagna (V_{s30}), in riferimento alla nuova classificazione sismica del territorio (N.t.c. 23/09/05), al D.m. 14/01/08 ("Nuove norme tecniche per la costruzione") ed alla delibera G.r.e.r. (n. 1677 del 24/10/05).

Di seguito si riportano la metodologia della ricerca e i risultati dell'indagine eseguita.

- 1. METODO DI INDAGINE

La MASW (Multichannel Analysis of Seismic Waves) è una metodologia di indagine geofisica che consente l'individuazione di frequenza, ampiezza, lunghezza d'onda e velocità di propagazione delle onde sismiche superficiali (principalmente onde di Rayleigh) generate artificialmente. L'analisi delle onde superficiali permette la determinazione delle velocità delle onde di taglio verticali (V_s) nei terreni al di sotto dello stendimento sismico.

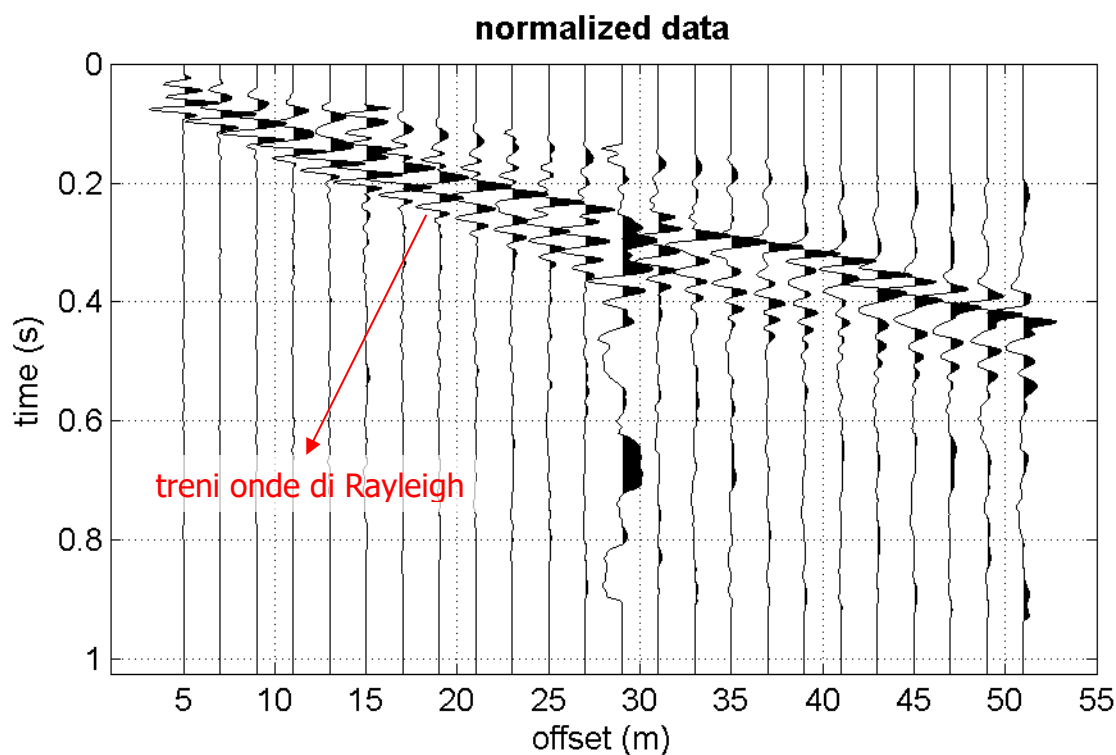
L'indagine è realizzata disponendo lungo una linea retta, a intervalli regolari, una serie di geofoni collegati ad un sismografo. Una fonte puntuale di energia, quale mazza battente su piastra metallica o cannoncino sismico, produce treni d'onda che attraversano il terreno con percorsi, velocità e frequenze variabili. Il passaggio del treno d'onda sollecita la massa inerziale presente nel geofono, l'impulso così prodotto viene convertito in segnale elettrico e acquisito dal sismografo. Il risultato è un sismogramma che contiene molteplici informazioni quali tempo di arrivo ai geofoni rispetto all'istante di energizzazione, frequenze e relative ampiezze dei treni d'onda.

La successiva elaborazione consente di ottenere un diagramma 1D (profondità/velocità onde di taglio) tramite modellizzazione ed elaborazione matematica con algoritmi capaci di minimizzare le differenze tra i modelli elaborati e i dati di partenza. Il diagramma, riferibile al centro della linea sismica, rappresenta un valor medio della sezione di terreno interessata all'indagine di lunghezza circa corrispondente a quella della linea sismica e profondità variabile principalmente in funzione delle caratteristiche dei materiali attraversati e della geometria dello stendimento.

Il metodo MASW sfrutta le caratteristiche di propagazione delle onde di Rayleigh per ricavare le equivalenti velocità delle onde di taglio (V_s), essendo le onde di Rayleigh prodotte dall'interazione delle onde di taglio verticali e delle onde di volume (V_p).

Le onde di Rayleigh si propagano secondo fronti d'onda cilindrici, producendo un movimento ellittico delle particelle durante il transito. Con i metodi di energizzazione usuali i due terzi dell'energia prodotta viene trasportata dalle onde di Rayleigh a fronte di meno di un terzo suddiviso tra le rimanenti tipologie di onde. Inoltre le onde di Rayleigh sono meno sensibili delle onde P e S alla dispersione in funzione della distanza e con un'attenuazione geometrica inferiore.

Onde di Rayleigh ad alte frequenze e piccole lunghezze d'onda trasportano informazioni relative agli strati più superficiali mentre quelle a basse frequenze e lunghezze d'onda maggiori interessano anche gli strati più profondi. In pratica il metodo MASW di tipo attivo opera in intervalli di frequenze comprese tra 5 e 70 Hz circa, permettendo di indagare una profondità massima variabile, in funzione delle caratteristiche dei terreni interessati, tra 30 e 50 metri.



- Sismogramma -

La geometria della linea sismica ha influenza sui dati e quindi sul risultato finale, infatti la massima lunghezza d'onda acquisibile è circa corrispondente alla lunghezza dello stendimento; mentre la distanza tra i geofoni, solitamente compresa tra 1 e 3 metri, definisce la minima lunghezza d'onda individuabile evitando fenomeni di aliasing.

Nella campagna di indagine del lavoro in oggetto è stato eseguito uno stendimento di 24 geofoni, utilizzando tutto lo spazio a disposizione, con spaziatura tra i geofoni di 2 metri per una lunghezza della linea sismica di 46 metri. L'energizzazione è stata eseguita a 2 m, 5,0 m e 10,0 metri dal primo geofono. Per ridurre il rumore di fondo sono stati sommati più tiri.

- 2. STRUMENTAZIONE

Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato un sismografo multicanale PASI 16S24-U , munito di contenitore in ABS a tenuta stagna da campo, conversione A/D a 24 bit, dotato di 24 geofoni PASI verticali con frequenza propria di 4,5 Hz, collegati allo strumento tramite cavi elettrici schermati.

Lo strumento è in grado di gestire l'acquisizione simultanea su 24 canali e di rilevare l'istante di energizzazione (tempo zero) tramite geofono starter. È inoltre equipaggiato di software proprietario in grado di gestire tutte le operazioni di campagna attraverso le seguenti fasi:

- impostazione numero di canali e metodologia di indagine;
- impostazione frequenza e lunghezza di campionamento;
- selezione entità dell'amplificazione del segnale per ogni canale;
- impostazione filtri delle frequenze indesiderate;
- visualizzazione sismogramma con misura dei tempi di arrivo;
- esecuzione operazioni di somma e sottrazione di ulteriori sismogrammi;
- memorizzazione di tutti i dati relativi all'acquisizione.

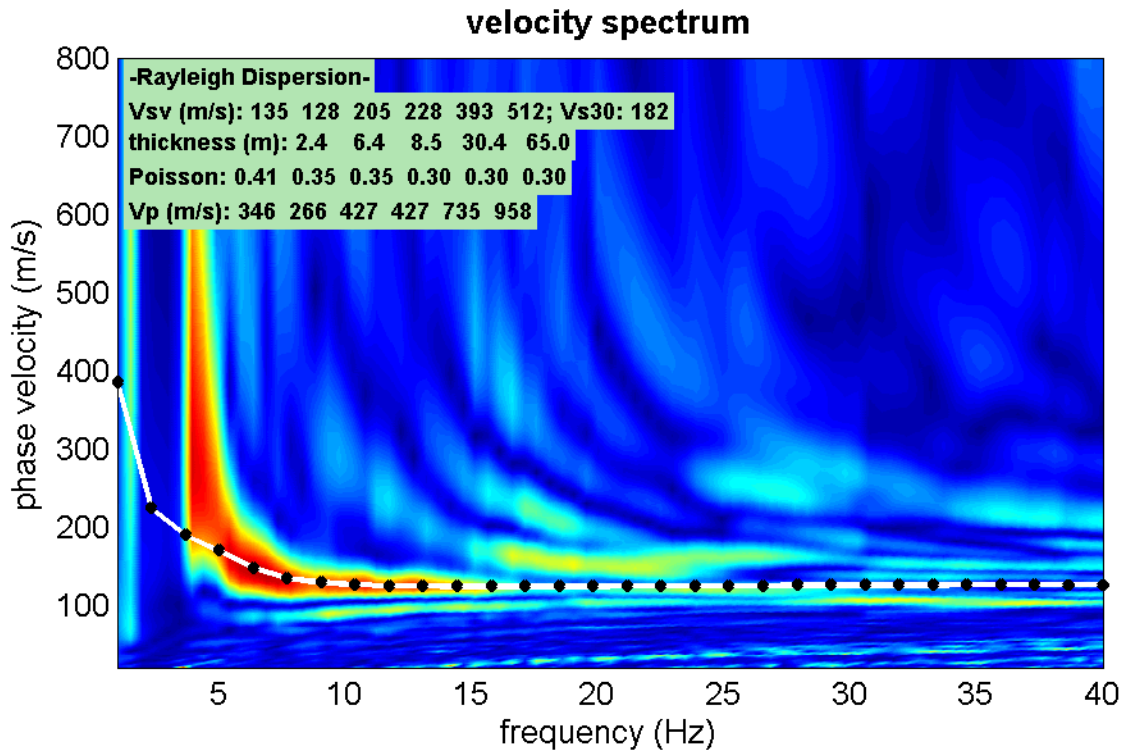
Per l'energizzazione è stata utilizzata una mazza del peso di 8 kg e una piastra di battuta di alluminio.

- **3. ELABORAZIONE**

L'elaborazione è stata effettuata con un software dedicato (*Winmasw 6.0 - Eliosoft*) in grado di gestire le fasi di preparazione, analisi, modellizzazione e restituzione finale.

La fase iniziale consiste nel filtraggio del segnale sismico per eliminare il "rumore" ed eventuali frequenze indesiderate. Il software permette di visualizzare il sismogramma nel dominio spazio-tempo e visualizzando i grafici frequenza-ampiezza anche per le singole tracce. Sono disponibili varie modalità di gestione del segnale, le cui principali sono i filtri "passa basso", "passa alto", "passa banda", "taglia banda", il "muting" e l'ACG. Inoltre tramite le curve di attenuazione delle onde superficiali è possibile valutare con maggior precisione la qualità dei dati acquisiti.

La fase successiva consiste nel calcolo della curva di dispersione, visualizzata tramite diagramma frequenza-numero d'onda con appropriata scala cromatica dell'ampiezza.



Utilizzando la curva di dispersione si procede ad individuare la curva della velocità di fase apparente del modo fondamentale e, ove possibile, dei modi superiori.

La fase di inversione prevede una modellizzazione monodimensionale che consente di determinare un profilo di velocità delle onde di taglio V_s in funzione della profondità. L'elaborazione avviene tramite l'applicazione di procedimenti calcolo e algoritmi genetici di inversione (global-search methods), che gestiscono all'intero di un "spazio di ricerca", modelli caratterizzati da parametri velocità di taglio (V_s) e spessori degli strati. Altri parametri previsti dal modello sono il coefficiente di Poisson e la velocità delle onde di volume (V_p) che, assieme a spessore degli sismostrati e relative V_s , possono venire modificati anche manualmente. Tramite interazioni successive si ottiene un modello di inversione in grado di far coincidere con la migliore approssimazione possibile la curva di dispersione elaborata nella fase precedente e quella modellizzata. Viene inoltre restituita una stima dell'attendibilità (deviazione standard) del modello proposto ottenuta con tecniche statistiche.

Avendo a disposizione la stratigrafia di un sondaggio a carotaggio continuo è stato possibile impostare un modello geologico\geofisico con il quale definire parametri quali lo spessore degli strati e coefficiente di Poisson. Tale modello consente una più accurata inversione dei dati di campagna e di conseguenza una migliore definizione della sismostratigrafia del sito.

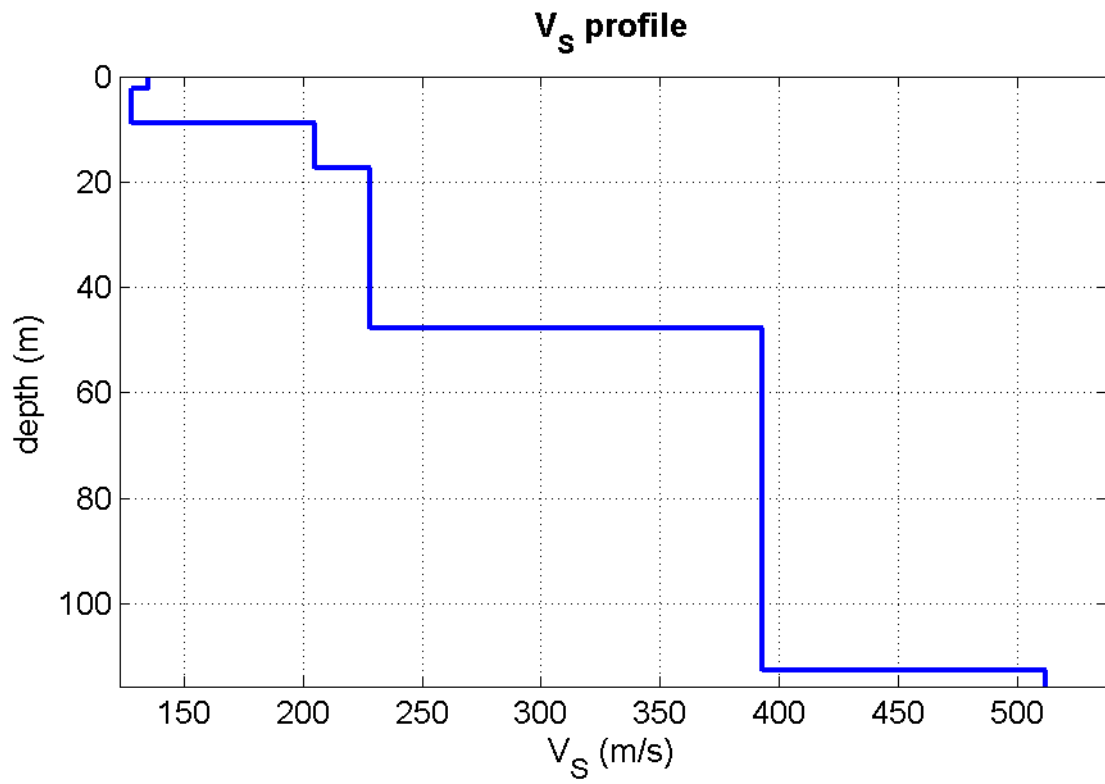
In conclusione viene restituito un diagramma (1D) delle velocità delle onde di taglio (V_s) in funzione della profondità, con relativa tabella, calcolo delle V_{s30} e correlazione al tipo di terreno, come da normativa.

Va ricordato che il diagramma 1D mostra una suddivisione sismostratigrafica ricostruita sul differente comportamento sismico dei materiali investigati. È quindi possibile che variazioni di velocità non corrispondano necessariamente a passaggi litologici netti.

- 4. RISULTATI - DETERMINAZIONE DELLE CATEGORIA DEL SUOLO DI FONDAZIONE

L'analisi delle onde di taglio (V_s) tramite metodo MASW, ha consentito di determinare gli spessori dei sismostrati e le relative velocità di taglio, come riportato in tabella e relativo diagramma, permettendo di calcolare il valore V_{s30} per la sezione indagata. Il valore di V_{s30} è riferito ai primi 30 m a partire dal piano campagna risulta pari a **182 m/sec.**

Profondità da p.c. (m)	Spessore (m)	Velocità onde S (m/sec)
2.4	2.4	135
8.8	6.4	128
17.3	8.5	205
47.7	30.4	228
112.7	65.0	393



- Diagramma velocità/profondità-

Indagine geofisica tramite tecnica HVSR

Via dei Falegnami, Medolla

Cenni sulla teoria della tecnica HVSR

La tecnica HVSR permette in primo luogo di valutare la frequenza di vibrazione naturale di un sito. Successivamente, come ulteriore sviluppo, la stima del parametro normativo Vs30 attraverso un processo di inversione del problema iniziale. Le ipotesi alla base della tecnica sono: una concentrazione del contenuto in frequenza localizzato maggiormente in quelle basse (tipicamente al di sotto dei 20 Hz); assenza di sorgenti periodiche e/o con contenuto in alte frequenze; le sorgenti di rumore sono uniformemente distribuite intorno alla stazione di registrazione. Se queste sono soddisfatte, la tecnica può essere suddivisa nelle fasi che vengono di seguito illustrate.

Si esegue una registrazione del rumore ambientale lungo tre direzioni ortogonali tra loro (x,y,z) con una singola stazione. Tale registrazione deve essere effettuata, secondo le indicazioni del progetto SESAME, per una durata non inferiore ai 20 minuti.

Si esegue un'operazione detta di windowing, in cui le tre tracce registrate vengono suddivise in finestre temporali di prefissata durata. Secondo le indicazioni del succitato progetto SESAME tale dimensione, detta Long Period, deve essere almeno pari ai 20 secondi. Si ottiene così un insieme di finestre "long", che sono sincronizzate fra le tracce.

Queste finestre vengono filtrate in base a dei criteri che permettono di individuare l'eventuale presenza di transienti (disturbi temporanei con grandi contributi nelle frequenze alte) o di fenomeni di saturazione.

Per ciascuna delle finestre rimanenti, quindi ritenute valide, viene valutato lo spettro di Fourier. Quest'ultimo viene sottoposto a tapering e/o lisciamento secondo una delle varie tecniche note in letteratura e ritenute all'uopo idonee.

Successivamente si prendono in considerazione gli spettri delle finestre relative alle tracce orizzontali in coppia. Ovvero, ogni spettro di una finestra per esempio della direzione X, ha il suo corrispettivo per le finestre nella direzione Y, vale a dire che sono relative a finestre temporali sincrone. Per ognuna di queste coppie viene eseguita una somma tra le componenti in frequenza secondo un determinato criterio che può essere, ad esempio, una semplice media aritmetica o una somma euclidea.

Per ciascuna coppia di cui sopra, esiste lo spettro nella direzione verticale Z, ovvero relativo alla finestra temporale sincrona a quelle della coppia. Ogni componente in frequenza di questo spettro viene usato come denominatore nel rapporto con quello della suddetta coppia. Questo permette quindi di ottenere il ricercato rapporto spettrale H/V per tutti gli intervalli temporali in cui viene suddivisa la registrazione durante l'operazione di windowing.

Eseguendo per ciascuna frequenza di tali rapporti spettrali una media sulle varie finestre, si ottiene il rapporto spettrale H/V medio, la cui frequenza di picco (frequenza in cui è localizzato il massimo valore assunto dal rapporto medio stesso) rappresenta la deducibile stima della frequenza naturale di vibrazione del sito.

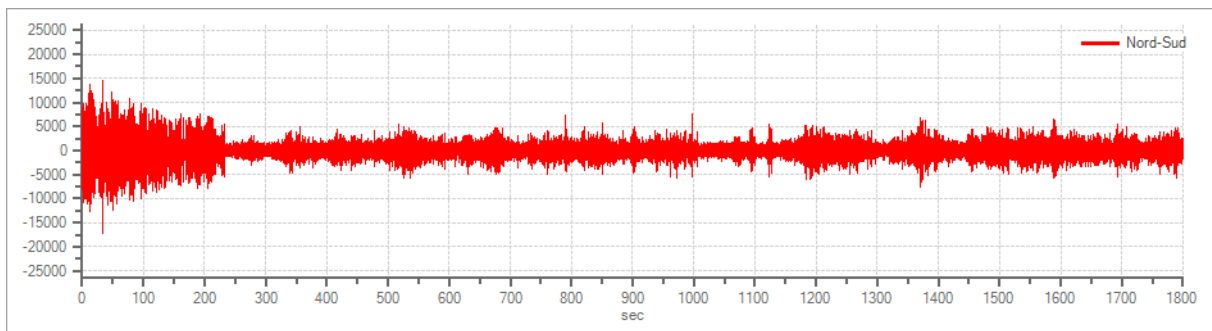
L'ulteriore ipotesi che questo rapporto spettrale possa ritenersi una buona approssimazione dell'ellitticità del modo fondamentale della propagazione delle onde di Rayleigh, permette di confrontare questi due al fine di ottenere una stima del profilo stratigrafico. Tale procedura, detta di inversione, consente di definire il profilo sostanzialmente in termini di spessore e velocità delle onde di taglio. Avendo quindi una stima del profilo della velocità delle onde di taglio, è possibile valutarne il parametro normativo Vs30.

Tracce in input

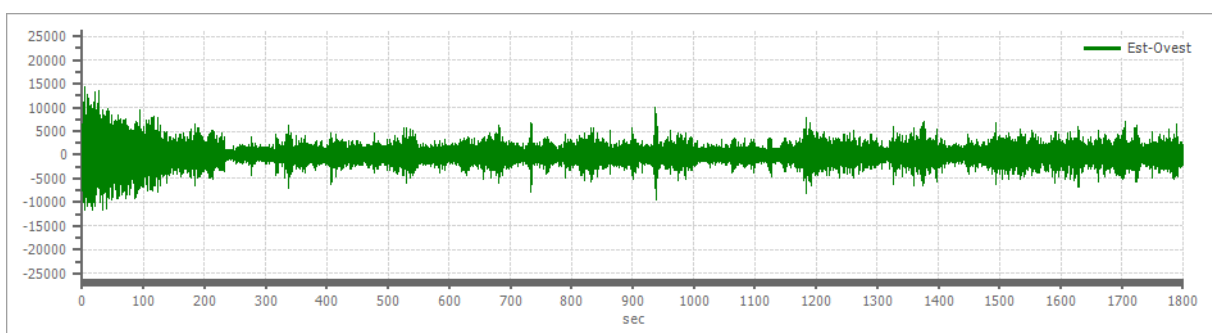
Dati riepilogativi:

Numero tracce:	3
Durata registrazione:	1800 s
Frequenza di campionamento:	300.00 Hz
Numero campioni:	540000
Direzioni tracce:	Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

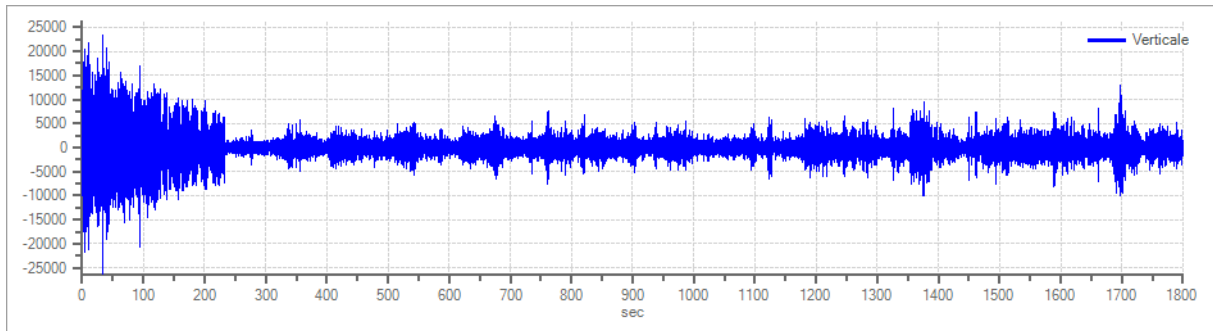
Grafici tracce:



Traccia in direzione Nord-Sud



Traccia in direzione Est-Ovest



Traccia in direzione Verticale

Finestre selezionate

Dati riepilogativi:

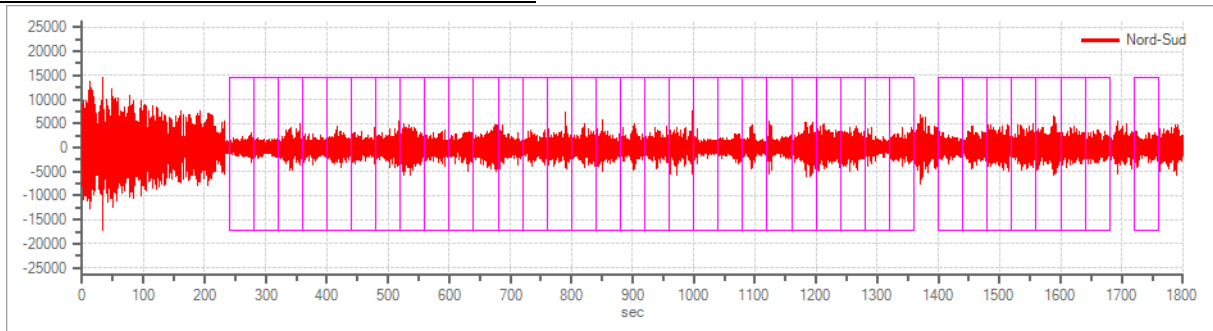
Numero totale finestre selezionate:36
 Numero finestre incluse nel calcolo:36
 Dimensione temporale finestre:40.000 s
 Tipo di lisciamento: Konno & Ohmachi
 Percentuale di lisciamento: 10.00 %
 Coefficiente di banda: 40.00

Tabella finestre:

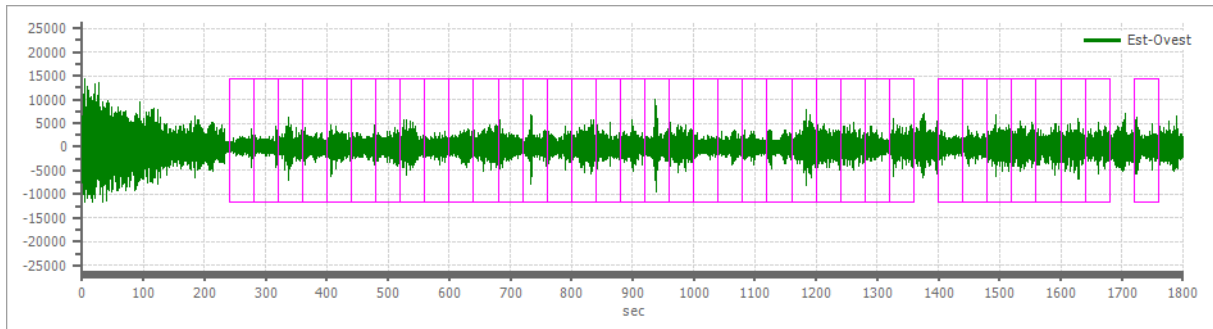
Numero finestra	Istante iniziale	Istante finale	Selezione
1	240	280	Inclusa
2	280	320	Inclusa
3	320	360	Inclusa
4	360	400	Inclusa
5	400	440	Inclusa
6	440	480	Inclusa
7	480	520	Inclusa
8	520	560	Inclusa
9	560	600	Inclusa
10	600	640	Inclusa
11	640	680	Inclusa
12	680	720	Inclusa
13	720	760	Inclusa
14	760	800	Inclusa
15	800	840	Inclusa
16	840	880	Inclusa
17	880	920	Inclusa
18	920	960	Inclusa
19	960	1000	Inclusa
20	1000	1040	Inclusa
21	1040	1080	Inclusa
22	1080	1120	Inclusa
23	1120	1160	Inclusa
24	1160	1200	Inclusa
25	1200	1240	Inclusa

26	1240	1280	Inclusa
27	1280	1320	Inclusa
28	1320	1360	Inclusa
29	1400	1440	Inclusa
30	1440	1480	Inclusa
31	1480	1520	Inclusa
32	1520	1560	Inclusa
33	1560	1600	Inclusa
34	1600	1640	Inclusa
35	1640	1680	Inclusa
36	1720	1760	Inclusa

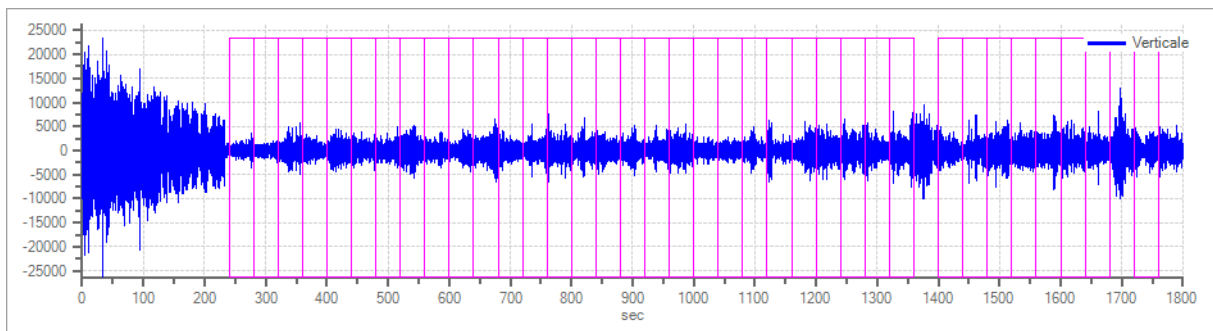
Grafici tracce con finestre selezionate:



Traccia e finestre selezionate in direzione Nord-Sud

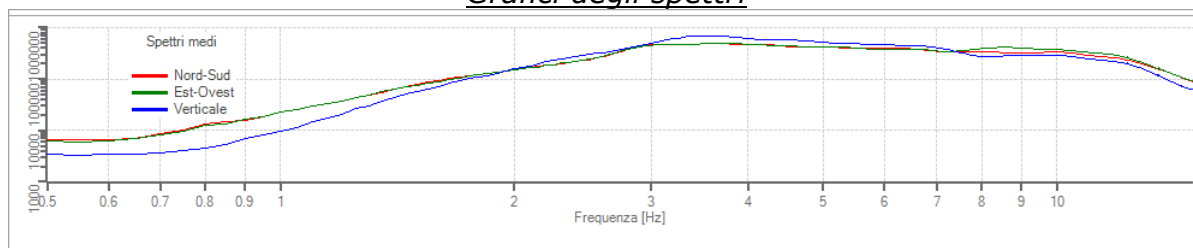


Traccia e finestre selezionate in direzione Est-Ovest

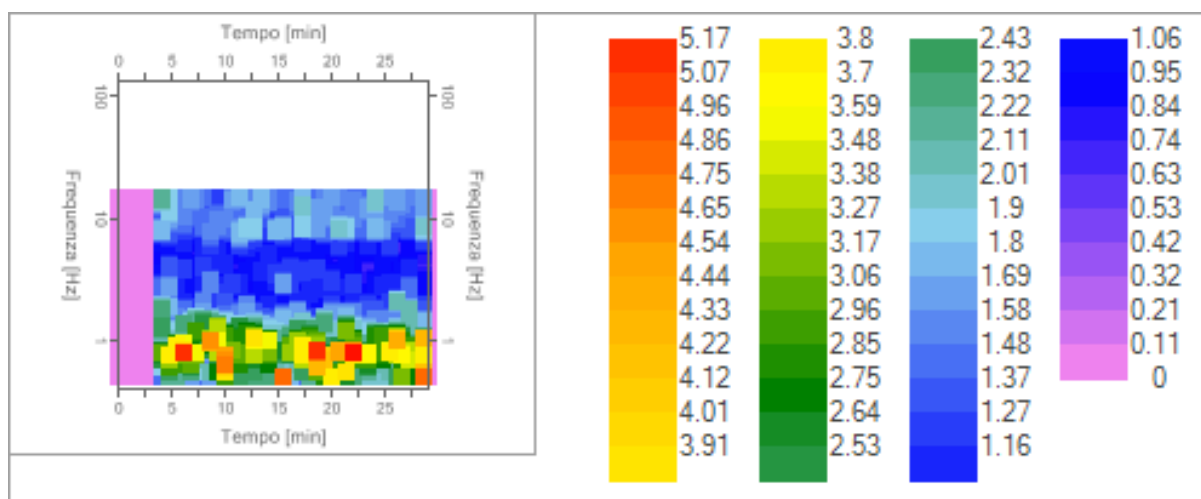


Traccia e finestre selezionate in direzione Verticale

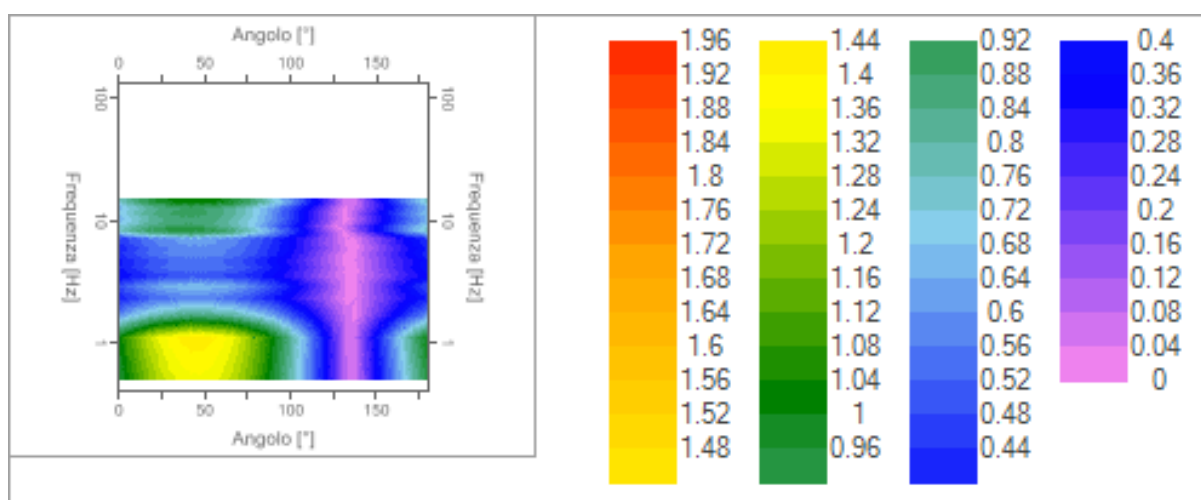
Grafici degli spettri



Spettri medi nelle tre direzioni



Mappa della stazionarietà degli spettri



Mappa della direzionalità degli spettri

Rapporto spettrale H/V

Dati riepilogativi:

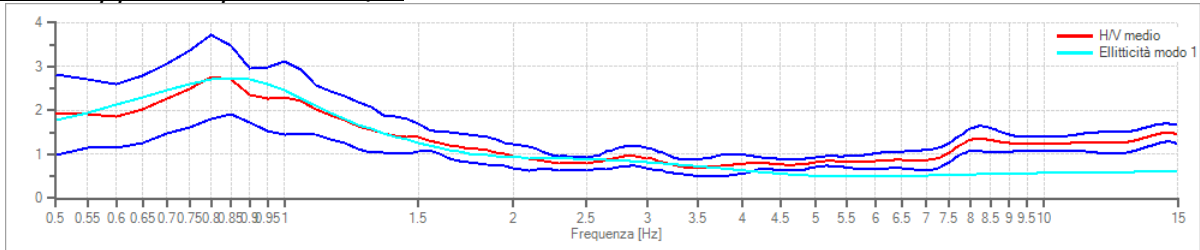
Frequenza massima: 15.00 Hz
 Frequenza minima: 0.50 Hz
 Passo frequenze: 0.05 Hz
 Tipo lisciamiento:: Konno & Ohmachi
 Percentuale di lisciamiento: 10.00 %

Tipo di somma direzionale: Media aritmetica

Risultati:

Frequenza del picco del rapporto H/V: 0.80 Hz \pm 0.34 Hz

Grafico rapporto spettrale H/V



Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

Verifiche SESAME:

Verifica	Esito
$f_0 > 10/l_w$	Ok
$n_c(f_0) > 200$	Ok
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$	Ok
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Ok
$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	Ok
$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	Ok
$A_0 > 2$	Ok
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	Ok
$\sigma_f < \varepsilon(f)$	Ok
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	Ok

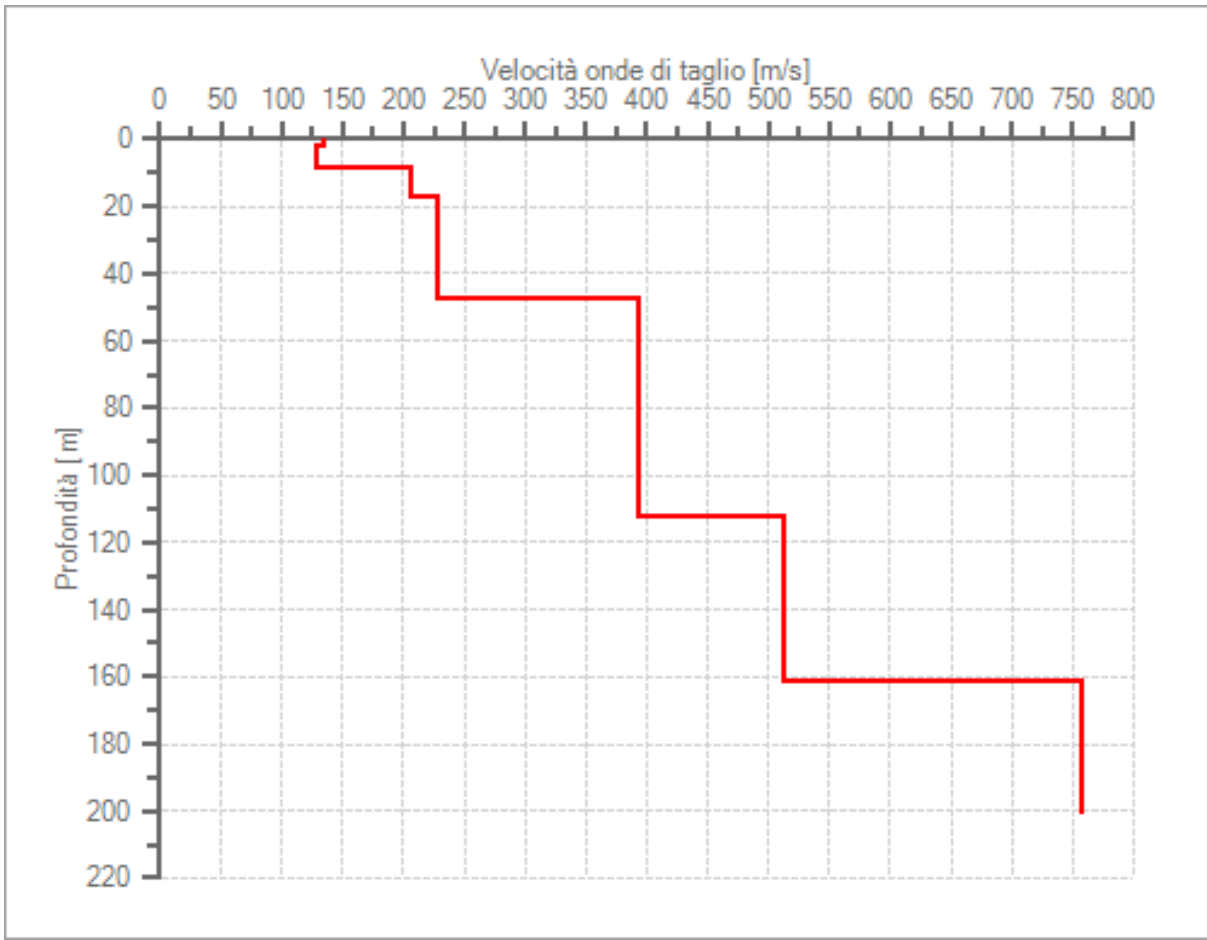
Modello stratigrafico

Dati riepilogativi:

Numero strati: 7
 Frequenza del picco dell'ellitticità: 0.85 Hz
 Valore di disadattamento: 0.34
 Valore Vseq: 181.88 m/s

Dati della stratigrafia:

Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso per Unità di Vol. [kN/m³]	Coeff. di Poisson	Velocità onde di taglio [m/s]
1	0	2.4	19	0.41	135
2	2.4	6.4	19	0.35	128
3	8.8	8.5	19	0.35	205
4	17.3	30.4	20	0.3	228
5	47.7	65	22	0.3	393
6	112.7	48.8	22	0.3	512
7	161.5	40	22	0.25	758



Profilo delle velocità delle onde di taglio.

Indice

Cenni tecnica HVSR	.2
Dati generali	.3
Tracce in input	.3
Grafici tracce	.3
Finestre selezionate	.4
Tabella finestre	.4
Grafici tracce con finestre selezionate	.5
Grafici degli spettri	.6
Mappa stazionarietà	.6
Mappa direzionalità	.6
Rapporto spettrale H/V	.7
Grafico H/V	.7
Verifiche SESAME	.7
Modello stratigrafico	.8
Grafico Profilo velocità	.8
Indice	.10

Allegato 4

Stratigrafia sondaggio Agip

"CARPI-001"

Azienda Generale Italiana Petroli

RICERCHE PETROLIFERE

ZONA A.I. CANTINE DI Carpi

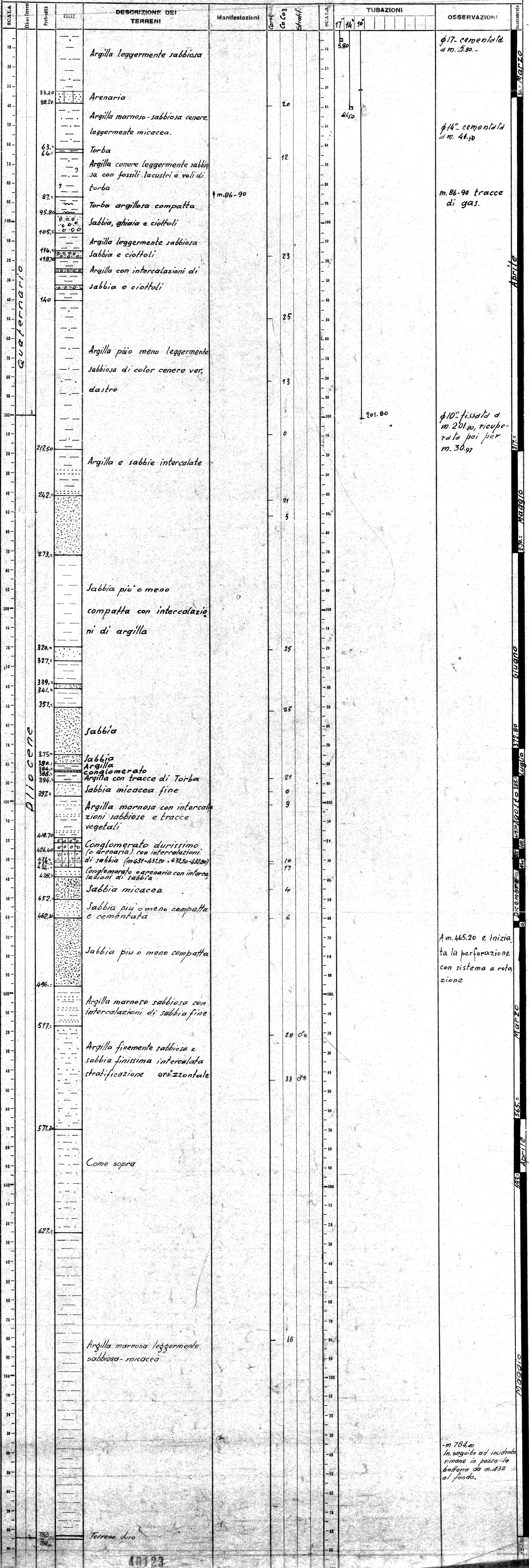
SONDA N. 1

LEGGENDA:

- | | | | | | | | |
|--|--------------|--|-----------------|--|--------------|--|--------------|
| | Ghiaia | | Arenaria | | Acqua dolce | | Segni d'olio |
| | Conglomerato | | Argilla o Marna | | Acqua salata | | Odore d'olio |
| | Sabbia | | Calcare | | Olio | | Gas |

Iniziata la Perforazione il: 25 Marzo 1942 - XX
Sistema: Wirth

Terminata il: 30 Maggio 1943
Quota S. L. M. mt.:



Allegato 5
Valori dello spettro di risposta
normalizzato, in superficie, da analisi di
risposta sismica locale
(50° percentile della popolazione di spettri)

Valori dello spettro normalizzato sono riportati in (50° percentile)

Tempo (s)	Acc. (g)
0	0.17
0.01	0.18598
0.01103674	0.187636711
0.012180962	0.189465177
0.01344381	0.191483208
0.014837583	0.193710458
0.016375854	0.196168615
0.018073604	0.198881619
0.019947366	0.201875891
0.022015388	0.20518059
0.024297811	0.208827902
0.026816861	0.212853344
0.029597071	0.217296119
0.032665516	0.222199495
0.036052079	0.227611222
0.039789741	0.233584006
0.043914901	0.240176012
0.048467732	0.247451436
0.053492574	0.255481133
0.05903836	0.264343299
0.065159101	0.274124243
0.071914402	0.284919214
0.079370053	0.296833345
0.08759866	0.309982659
0.096680359	0.324495214
0.106703594	0.340512343
0.117765978	0.358190033
0.129975243	0.377700438
0.14345029	0.399233563
0.158322349	0.4097
0.174736253	0.4097
0.192851851	0.4097
0.212845565	0.4097
0.234912106	0.4097
0.259266373	0.4097
0.286145543	0.4097
0.315811383	0.4097
0.348552798	0.4097
0.384688645	0.4097
0.424570838	0.4097
0.468587776	0.401764954
0.517168124	0.364025039

0.570784988	0.329830234
0.629960525	0.298847529
0.695271024	0.270775194
0.76735252	0.245339842
0.84690699	0.222293768
0.934709187	0.201412534
1.031614184	0.182492786
1.138565706	0.16535027
1.256605315	0.149818041
1.386882557	0.135744837
1.530666156	0.122993604
1.689356369	0.111440161
1.864498624	0.100971995
2.057798569	0.09148716
2.271138684	0.082893285
2.506596612	0.068317027
2.766465394	0.056085083
3.053275801	0.04604323
3.369820977	0.037799338
3.719183643	0.031031488
4.104766118	0.0254754
4.530323453	0.020914112
5	0.017169508