

Dott. Geol.
Marco Boccaletti
Cell 328/0037410
mail: info@marcoboccaletti.it
pec: marcoboccaletti@pec.it
P.IVA: 02543030353
C.F.: BCCMRC84S19D037G
Sede operativa:
Via Terracini 22,
41012 Carpi (MO)

Regione Emilia-Romagna

Provincia di Modena

Comune di Carpi

RELAZIONE GEOLOGICA SULLE INDAGINI:

CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO

RELAZIONE SULLA MODELLAZIONE SISMICA:

PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE DEL SITO DI COSTRUZIONE

RELAZIONE GEOTECNICA SULLE INDAGINI:

CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE DEL VOLUME SIGNIFICATIVO DI TERRENO

Committente:

SERVIZIO SANITARIO REGIONALE EMILIA-ROMAGNA

Azienda Ospedaliero – Universitaria di Modena

Via del Pozzo 71 – Modena.



Titolo progetto:

Area Operativa Nord – H Carpi – Programma straordinario di investimenti in sanità – ex art.20 L.67/88 V Fase II stralcio – DGR 18011/2019 Intervento APD02. Realizzazione del nuovo Ospedale di Carpi – Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica.



Dott. Geol. Marco Boccaletti

Revisione: Rev.0

Data: Marzo 2021

Redazione: Dott. Geol. Marco Boccaletti

SERVIZIO SANITARIO REGIONALE E.R. Azienda Ospedaliero – Universitaria di Modena	Area Operativa Nord – H Carpi – Programma straordinario di investimenti in sanità – ex art.20 L.67/88 V Fase II stralcio – DGR 18011/2019 Intervento APD02. Realizzazione del nuovo Ospedale di Carpi – Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica.	
	<i>Relazione geologica sulle indagini:</i>	<i>Caratterizzazione e modellazione geologica del sito</i>
	<i>Relazione sulla modellazione sismica:</i>	<i>"Pericolosità sismica di base" del sito di costruzione</i>
	<i>Relazione geotecnica sulle indagini:</i>	<i>Caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno</i>

INDICE

Indice	1
Introduzione	2
Premessa	2
Inquadramento geografico - territoriale.....	2
Elaborati grafici ed allegati	3
Note e riferimenti bibliografici	4
Relazione geologica: caratterizzazione e modellazione del sito.....	5
Contesto geologico - strutturale	5
Contesto geomorfologico	6
Contesto geologico locale	8
Inquadramento idrogeologico	10
Schema Idrogeologico Regionale	10
Modello idrogeologico locale	11
Considerazioni sul primo acquifero [acquifero A].....	11
Rilevazioni del battente idrico sotterraneo.....	11
Analisi idraulica ai sensi della dgr 1300/2016.....	12
Relazione sulla pericolosità sismica ed analisi dell'azione sismica	16
Storia sismica del sito	16
Analisi degli strumenti di pianificazione territoriale	20
Sicurezze del territorio – P.T.C.P. Modena.....	20
Carta delle mops – Microzonazione sismica II° livello P.S.C.....	20
Identificazione categoria suolo di fondazione	22
Fattore di amplificazione sismico stratigrafico locale (dgr 630/2019).....	24
Fattore di amplificazione topografico	25
Coefficienti di accelerazione sismica.....	25
Analisi di risposta sismica locale.....	25
Cenni metodologici.....	25
Definizione dello spettro di risposta relativo al sito in analisi.....	26
Frequenza primaria terreni di fondazione.....	29
Analisi suscettibilità alla liquefazione.....	31
Relazione geotecnica sulle indagini: modellazione del sito.....	33
Successione litomeccanica	33
Caratterizzazione geomeccanica dei terreni	33
Tipologia fondale e piano di posa.....	38
Problematiche connesse alla presenza di falda freatica prossima al piano campagna.....	39
Altezze critiche di scavo e opere di sicurezza	39
Conclusioni	41
Appendice I: incertezze interpretative e metodologiche relative alla ricostruzione del modello geologico – geotecnico - sismico.	48
Appendice II: riferimenti normativi.....	49

SERVIZIO SANITARIO REGIONALE E.R. Azienda Ospedaliero - Universitaria di Modena	Area Operativa Nord – H Carpi – Programma straordinario di investimenti in sanità – ex art.20 L.67/88 V Fase II stralcio – DGR 18011/2019 Intervento APD02. Realizzazione del nuovo Ospedale di Carpi – Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica.	
	<i>Relazione geologica sulle indagini:</i>	<i>Caratterizzazione e modellazione geologica del sito</i>
	<i>Relazione sulla modellazione sismica:</i>	<i>"Pericolosità sismica di base" del sito di costruzione</i>
	<i>Relazione geotecnica sulle indagini:</i>	<i>Caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno</i>

INTRODUZIONE

PREMESSA

Su incarico del **Servizio Sanitario Regionale Emilia-Romagna, Azienda Ospedaliero – Universitaria di Modena**, nei pressi di Via Quattro Pilastrini, a Carpi (MO), è stata svolta una campagna d'indagini geognostica e geofisica per individuare i caratteri geologici, idrogeologici, geotecnici e dinamici dei terreni costituenti il primo sottosuolo. Le verifiche condotte sono finalizzate al *progetto di fattibilità tecnica ed economica del nuovo Ospedale di Carpi*.

Le presenti analisi sono state svolte in ottemperanza ai dettati del D.M. 11/03/88 e circ. LL.PP. N° 30483 del 24/09/88 ed in riferimento alla normativa tecnica regionale DRG 630/2019 in materia di pianificazione.

INQUADRAMENTO GEOGRAFICO - TERRITORIALE

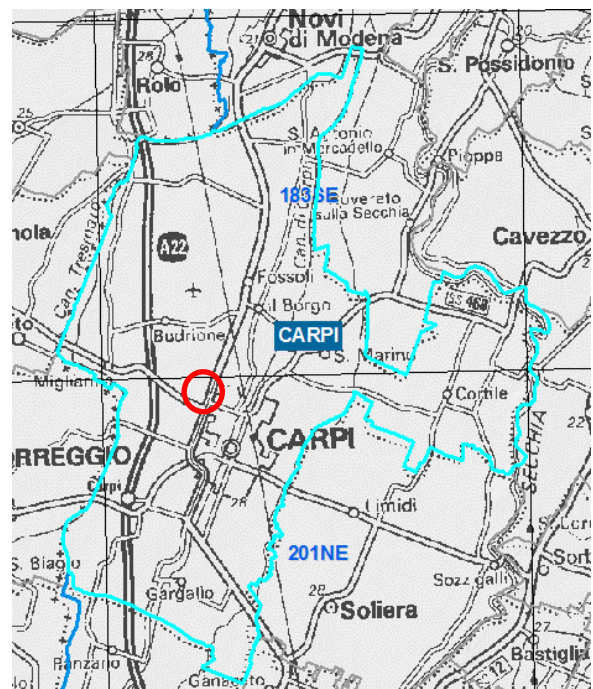
Il comune di Carpi si colloca all'interno del comparto nord-occidentale del territorio provinciale di Modena, in stretta adiacenza alla limitrofa Provincia di Reggio Emilia. Attraversando da nord verso sud il suo territorio comunale si osserva come il paesaggio tipico della bassa pianura padana, caratterizzata da una conformazione topografica spiccatamente pianeggiante, lascia spazio a superfici subpianeggianti, degradanti prevalentemente in direzione sud ovest - nord est (ambiti di media pianura).

Il territorio comunale, presenta un'estensione complessiva pari a 131,5 km² e confina a nord con i comuni di Novi di Modena e Rolo, a ovest con Fabbrico, Rio Saliceto e Correggio, a sud con Campogalliano, Modena e Soliera, infine, ad est con Cavezzo e San Prospero.

I principali nuclei abitati, oltre al capoluogo, sono le località di Budrione, Migliarina, Fossoli, San Marino, Cortile, S. Martino Secchia, Santa Croce e Gargallo.

Nello specifico, l'area oggetto di studio si ubica in corrispondenza del settore centrale del territorio comunale, in prossimità di Via Quattro Pilastrini.

L'area di studio si presenta pianeggiante, anche a seguito dell'attività antropica, e le quote oscillano tra 23,5 ÷ 24,5 m s.l.m.



SERVIZIO SANITARIO REGIONALE E.R. Azienda Ospedaliero – Universitaria di Modena	Area Operativa Nord – H Carpi – Programma straordinario di investimenti in sanità – ex art.20 L.67/88 V Fase II stralcio – DGR 18011/2019 Intervento APD02. Realizzazione del nuovo Ospedale di Carpi – Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica.	
	<i>Relazione geologica sulle indagini:</i>	<i>Caratterizzazione e modellazione geologica del sito</i>
	<i>Relazione sulla modellazione sismica:</i>	<i>"Pericolosità sismica di base" del sito di costruzione</i>
	<i>Relazione geotecnica sulle indagini:</i>	<i>Caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno</i>

Cartografia di riferimento

Foglio 1:50000	183 201	Suzzara Modena
Tavoletta 1:25000	183SE 201NE	Novi di Modena Carpi
Sezione 1:10000	183150 201030	Budrione Carpi
Elemento 1:5000	183152 183153 201031 201034	Fossoli Budrione Carpi Est Carpi Ovest

Le coordinate geografiche, espresse secondo l'**ellissoide ED50**, relative circa al centro di ciascun lotto oggetto di possibile intervento corrispondono a:

Soluzione 1: 10,87568 ÷ 44,80554

Soluzione 2: 10,87235 ÷ 44,79789

ELABORATI GRAFICI ED ALLEGATI

- Tav. 1. Ubicazione dell'area.
- Tav. 2. Estratto carta geologica.
- Tav. 3. Ubicazione indagini in situ.
- Tav. 4. Carta di microzonazione sismica.
- Allegato fotografico: indagini in situ.
- Prospezione geofisica integrata Re.Mi. – M.A.S.W.
- Prospezione geofisica a stazione singola HVSR.
- Prove penetrometriche statiche CPT.
- Analisi statistica prove penetrometriche statiche CPT.
- Verifica alla suscettività a liquefazione.

SERVIZIO SANITARIO REGIONALE E.R. Azienda Ospedaliero - Universitaria di Modena	Area Operativa Nord – H Carpi – Programma straordinario di investimenti in sanità – ex art.20 L.67/88 V Fase II stralcio – DGR 18011/2019 Intervento APD02. Realizzazione del nuovo Ospedale di Carpi – Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica.	
	Relazione geologica sulle indagini:	<i>Caratterizzazione e modellazione geologica del sito</i>
	Relazione sulla modellazione sismica:	<i>"Pericolosità sismica di base" del sito di costruzione</i>
	Relazione geotecnica sulle indagini:	<i>Caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno</i>

NOTE E RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- 1) **A.G.I.P.** (1969): *Italia II- Geologia e ricerca petrolifera; Pianura Padano Veneta – Enciclopedia del petrolio e del gas naturale*. ENI.
- 2) **A.G.I.P.** (1981): *Subsurface geological structure of the Po Plain, Italy*. CNR.
- 3) **AMMINISTRAZIONE COMUNE DI CARPI** (2013): *Studio di Microzonazione sismica*. Relazione tecnico illustrativa a cura di Arkigeo di Gasparini Dott. Geol. Giorgio.
- 4) **BEGEMANN, H.K.S.P.** (1965): *The frictional jacket cone a san aid in determining the soil profile*, Proceedings, 6th Int. Conf. Soil Mech. Fdn. Engr S. Montreal.
- 5) **BOCCALETTI M. – MARTELLI L. – AA. VV.** (2004): *Carta sismo tettonica della Regione Emilia- Romagna*. S.E.L.C.A. Firenze.
- 6) **BOSELLINI A. – MUTTI E. – RICCI LUCCHI F.** (1989): *Rocce e Successioni Sedimentarie*. UTET.
- 7) **CARTA GEOLOGICA D'ITALIA** alla scala 1:50000 (2009): *Foglio 181 Parma nord*. Note illustrative. ISPRA - Servizio geologico d'Italia - Regione Emilia-Romagna.
- 8) **CARTA GEOLOGICA D'ITALIA** alla scala 1:50000 (in stampa): *Foglio 182 Guastalla*. Note illustrative. ISPRA - Servizio geologico d'Italia - Regione Emilia-Romagna.
- 9) **CARTA GEOLOGICA D'ITALIA** alla scala 1:50000 (2014): *Foglio 200 Reggio nell'Emilia*. Note illustrative. ISPRA - Servizio geologico d'Italia - Regione Emilia-Romagna.
- 10) **CARTA GEOLOGICA D'ITALIA** alla scala 1:50000 (2009): *Foglio 201 Modena*. Note illustrative. ISPRA - Servizio geologico d'Italia - Regione Emilia-Romagna.
- 11) **CARTA SISMOTETTONICA DELLA REGIONE EMILIA ROMAGNA ED AREE LIMITROFE** (2017): Note illustrative. RER - Servizio geologico, sismico e dei suoli - Regione Emilia-Romagna.
- 12) **CASADIO M., ELMI C.** (1995 e 2006): *Il manuale del geologo*, Pitagora Editrice, Bologna.
- 13) **CIVITA M.** (2005): *Idrogeologia applicata e ambientale*, Casa Editrice Ambrosiana, Milano.
- 14) **COLOMBO P.** (1974): *Elementi di geotecnica*, Zanichelli, Bologna.
- 15) **DAL MORO G.** (2012): *Onde di superficie in geofisica applicata – Acquisizione e analisi di dati secondo tecniche MASW e HVSR*, Dario Flaccovio Editore, Palermo.
- 16) **DISS Working Group** (2018). *Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.2.1: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas*. <http://diss.rm.ingv.it/diss/>, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.
- 17) **LOCATI M., CAMASSI R. E STUCCHI M.** (a cura di) (2015). *BDMI15*, la versione 2015 del *Database Microsismico Italiano*. Milano, Bologna, <https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15>
- 18) **MARTELLI L., ROMANI M.** (2013): *Microzonazione sismica e analisi della condizione limite per l'emergenza delle aree epicentrali dei terremoti della Pianura emiliana di Maggio Giugno 2012. Relazione illustrativa* (Ordinanza del commissario delegato – Presidente RER n° 70/2012).
- 19) **NORI L., DI MARCANTONIO P.** (2014): *Manuale pratico di risposta sismica locale – Dal sismogramma allo spettro di progetto con Rexel e Strata*, EPC Editore, Roma.
- 20) **PROVINCIA DI MODENA** (2009): *Piano di tutela e coordinamento Provinciale* – Sito internet: <http://www.territorio.provincia.modena.it/page.asp?IDCategoria=121&IDSezione=2869>
- 21) **R.E.R.–SERVIZIO GEOLOGICO, SISMICO E DEI SUOLI, SEZ. CARTOGRAFIA INTERATTIVA** (2007) – *Sito Internet: http://www.regione.emilia-romagna.it/wcm/geologia/canali/cartografia.htm*, Bologna.
- 22) **R.E.R.–SERVIZIO GEOLOGICO, DIFESA DEL SUOLO, COSTA E BONIFICA** (2016): *Cartografia delle Mappe della pericolosità, degli elementi esposti e del rischio di alluvioni del Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni relative al territorio della Regione Emilia-Romagna - Sito Internet: http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/suolo-bacino/sezioni/piano-di-gestione-del-rischio-alluvioni/cartografia#tavole%20pdf%20PGRA*

SERVIZIO SANITARIO REGIONALE E.R. Azienda Ospedaliero - Universitaria di Modena	Area Operativa Nord – H Carpi – Programma straordinario di investimenti in sanità – ex art.20 L.67/88 V Fase II stralcio – DGR 18011/2019 Intervento APD02. Realizzazione del nuovo Ospedale di Carpi – Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica.	
	Relazione geologica sulle indagini:	<i>Caratterizzazione e modellazione geologica del sito</i>
	Relazione sulla modellazione sismica:	<i>"Pericolosità sismica di base" del sito di costruzione</i>
	Relazione geotecnica sulle indagini:	<i>Caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno</i>

RELAZIONE GEOLOGICA: CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE DEL SITO

CONTESTO GEOLOGICO - STRUTTURALE

L'area in esame appartiene alla Pianura Padana costituita da una sequenza deposizionale compresa tra la catena appenninica a sud e quella alpina a nord, che forma un'ampia e profonda depressione di sedimenti di età Mesozoica, Terziaria e Quaternaria.

La storia deformativa, a carattere essenzialmente compressivo, congiuntamente alle variazioni climatiche che si sono susseguite, ha contribuito a definire l'architettura dei depositi marini e continentali di riempimento del Bacino Padano.

Nello specifico, il comparto territoriale in analisi è legato allo sviluppo della catena appenninica, costituita da una struttura a falde caratterizzata dalla sovrapposizione di elementi paleogeografici più interni su elementi più esterni. Infatti, l'attuale conformazione del Bacino Padano è riconducibile alle spinte compressive le quali, a partire dal *Miocene sup.* hanno interessato l'Appennino settentrionale e l'antistante substrato padano. L'avanzamento delle falde appenniniche ha determinato sprofondamenti flessurali nell'antistante avampaese padano ed il formarsi di un bacino subsidente con lo sviluppo dell'avanfossa padano adriatica.

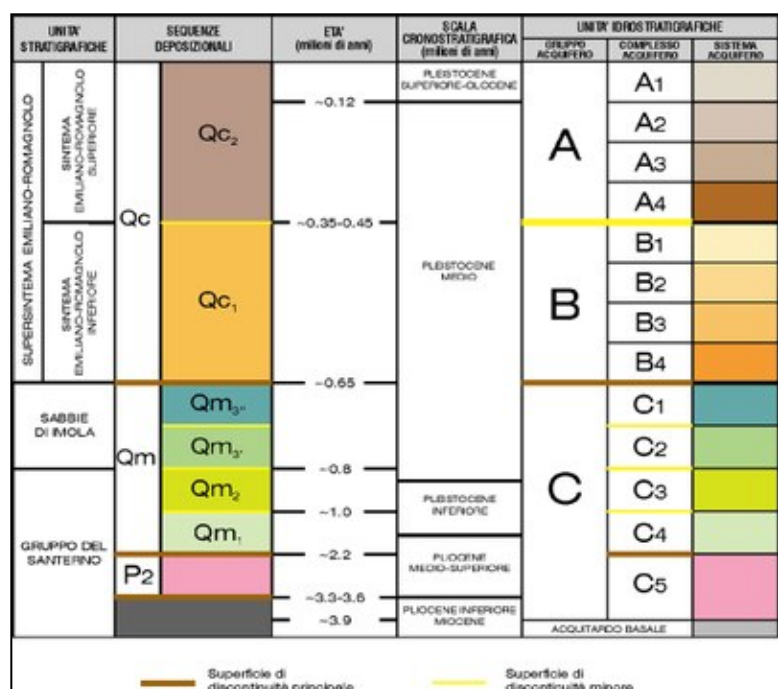
A seguito dell'abbassamento del livello del mare, avvenuto durante il *Messiniano*, e la conseguente crisi di salinità, a partire dal *Pliocene* si verifica una generale trasgressione marina con la conseguente deposizione di importanti orizzonti pelitici e, nelle zone più profonde, di sequenze torbiditiche.

Il riempimento progressivo del Bacino Padano prosegue nel *Pleistocene*, con l'inizio di un nuovo ciclo sedimentario costituito da successioni marine via via meno profonde [Quaternario marino, Qm].

Infine, a partire dal *Pleistocene medio* si verifica il passaggio da un ambiente marino ad uno continentale, costituito da depositi clastici messi in posto dalle alluvioni dei fiumi alpino-appenninici e dal Po [Quaternario Continentale, Qc]. Si riscontra, infatti, la troncatura al tetto dei depositi marini ed il conseguente contatto erosivo con depositi sabbioso-ghiaiosi alluvionali del Pleistocene medio-superiore.

In tale complesso la base delle formazioni plioceniche si rinviene tra 200 (Novi MO - Mirandola) e 6.000/8000 m di profondità (Soliera - Nonantola - S. Giovanni in Persiceto) e lo spessore medio delle formazioni quaternarie è circa di 1.000/1200 m.

All'interno di queste ultime la base del Sintema Emiliano Romagnolo Superiore (SERS) si pone a profondità variabili tra - 150/ - 200 m da p.c.



SERVIZIO SANITARIO REGIONALE E.R. Azienda Ospedaliero-Universitaria di Modena	Area Operativa Nord – H Carpi – Programma straordinario di investimenti in sanità – ex art.20 L.67/88 V Fase II stralcio – DGR 18011/2019 Intervento APD02. Realizzazione del nuovo Ospedale di Carpi – Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica.	
	<i>Relazione geologica sulle indagini:</i>	<i>Caratterizzazione e modellazione geologica del sito</i>
	<i>Relazione sulla modellazione sismica:</i>	<i>"Pericolosità sismica di base" del sito di costruzione</i>
	<i>Relazione geotecnica sulle indagini:</i>	<i>Caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno</i>

La disamina dei profili sismici realizzati da AGIP ha permesso di riconoscere nel sottosuolo la presenza di archi di accavallamento legati all'evoluzione del bacino di avanfossa padano – adriatico generato in seguito alla collisione e subduzione di crosta continentale. Dette strutture, presentanti orientazione generale NO – SE nel settore occidentale ed O – E in quello orientale, sono costituite da pieghe anticlinali e *thrusts*, separate da sinclinali, e guidano la migrazione progressiva verso nord – est dell'avanfossa plio- pleistocenica.

Nello specifico, l'area in esame, da un punto di vista strutturale, si colloca in corrispondenza della sinclinale sottesa tra la *Dorsale Ferrarese*, a nord, e la "*Zona delle Pieghe pedeappenniniche*" (emiliano - romagnole), a sud. L'area compresa tra i suddetti archi di pieghe costituisce un ampio bacino, fortemente subsidente, denominato Bacino di Carpi-Cento, che si estende dal suddetto Capoluogo sino a Cento di Ferrara.

Le Pieghe Ferraresi costituiscono l'arco più esterno della struttura che forma il sistema di saldatura tra le pieghe appenniniche ed il blocco alpino; si osserva, quindi una risalita pronunciata del substrato Mesozoico e, di conseguenza, una riduzione dello spessore dei sedimenti terziari – quaternari.

La successione dei depositi quaternari affioranti nella zona in analisi è rappresentata dagli orizzonti di seguito descritti, dall'alto in basso in senso stratigrafico.

Serie Litostratigrafica:

SUCCESSIONE NEOGENICO - QUATERNARIA DEL MARGINE APPENNINICO PADANO

SINTEMA EMILIANO ROMAGNOLO SUPERIORE (AES) (Pleistocene medio? – Olocene)

Unità alluvionale da grossolana a fine con alla base una superficie di discontinuità nel margine appenninico e nell'alta pianura, passante a una superficie di continuità nel sottosuolo della pianura, su AEI.

SUBSINTEMA DI RAVENNA (AES8) (Olocene età radiometrica base: 11.000-8.000 anni)

Limi sabbiosi e limi argillosi negli apparati dei torrenti minori o ghiaie in lenti entro limi, subordinate ghiaie e ghiaie sabbiose in quelli dei torrenti e fiumi principali. A tetto suoli a basso grado di alterazione con fronte di alterazione potente fino a 150 cm e parziale decarbonatazione; orizzonti superficiali di colore giallo-bruno. Nell'alta pianura su AES7b (affiorante solo in cave). Potenza fino a oltre 20 m.

UNITA' DI MODENA (AES8a) (Post-VI secolo dC.)

Depositi ghiaiosi e fini. Unità definita dalla presenza di un suolo a bassissimo grado di alterazione, con profilo potente meno di 100 cm, calcareo e grigio-giallastro. Corrisponde al primo ordine dei terrazzi nelle zone intravallive. Nella pianura ricopre resti archeologici di età romana del VI secolo d.C. Potenza massima di alcuni metri (<10 m).

Ciascun corpo sedimentario ivi descritto è caratterizzato, al suo interno, da un trend trasgressivo – regressivo; tra i cicli riconosciuti nel sottosuolo, il più recente è costituito solamente dalla porzione basale trasgressiva, la quale corrisponde ai primi 20 m circa di sottosuolo.

I terreni del primo sottosuolo dell'area in analisi risultano ascrivibili al Subsintema di Ravenna (**AES8**), il quale è costituito da sedimenti fini negli apparati dei torrenti minori e/o distali.

CONTESTO GEOMORFOLOGICO

Le forme del paesaggio riscontrabili nel comparto centrale del territorio comunale di Carpi sono quelle tipiche della media pianura Padana; la superficie topografica risulta, infatti, pianeggiante, solo a tratti blandamente acclive, con pendenze medie locali del 2,0 ÷ 3,0 ‰, tendenzialmente declinanti in

SERVIZIO SANITARIO REGIONALE E.R. Azienda Ospedaliero - Universitaria di Modena	Area Operativa Nord – H Carpi – Programma straordinario di investimenti in sanità – ex art.20 L.67/88 V Fase II stralcio – DGR 18011/2019 Intervento APD02. Realizzazione del nuovo Ospedale di Carpi – Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica.	
	Relazione geologica sulle indagini:	<i>Caratterizzazione e modellazione geologica del sito</i>
	Relazione sulla modellazione sismica:	<i>"Pericolosità sismica di base" del sito di costruzione</i>
	Relazione geotecnica sulle indagini:	<i>Caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno</i>

senso sud ovest – nord est. Le quote del piano campagna, in prossimità del sito in analisi, sono comprese tra 23,5 e 24,5 m s.l.m.

Procedendo verso sud, in direzione degli Appennini, in corrispondenza della porzione di territorio compresa tra le isoipse 30 ÷ 35 m s.l.m. si colloca la zona di transizione tra la media e l'alta pianura.

Le morfosculture riscontrabili all'interno di tale ambito sono riconducibili all'azione modellatrice del Fiume Secchia e dei corsi d'acqua secondari; questi ultimi, nella fattispecie il Cavo Tresinaro ed il Cavo Lama, rappresentano, rispettivamente, inoltre, il limite occidentale e quello orientale del territorio comunale di Carpi.

A tale agente modellatore occorre aggiungere l'azione dell'uomo, il quale attraverso bonifiche, canalizzazioni, urbanizzazioni, ecc. ha modificato ulteriormente l'aspetto del paesaggio.

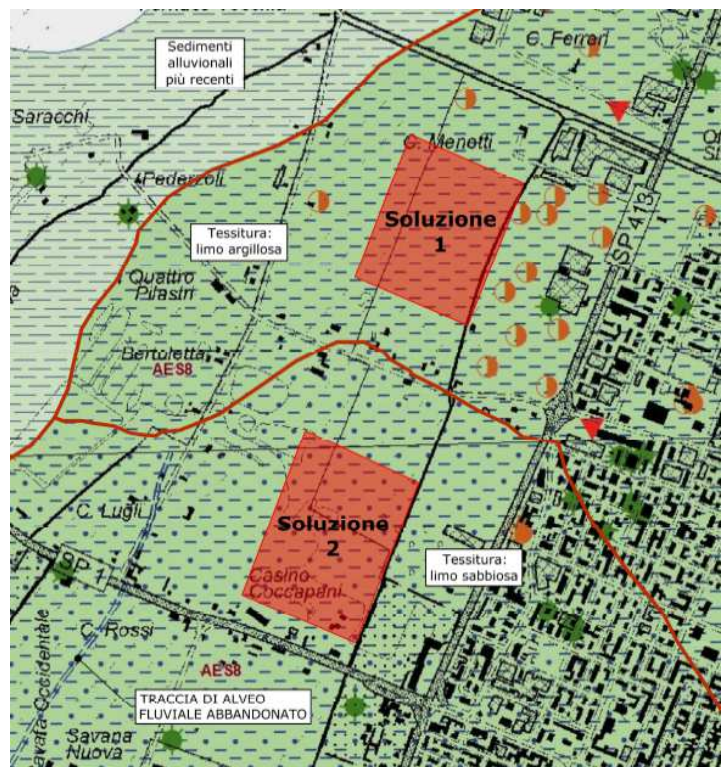
All'interno dell'area in esame, ascrivibile ad un contesto di piana alluvionale, sono, quindi, riscontrabili ambienti di canale e di argine (prossimale o distale).

Negli ambiti planiziali i fiumi in condizioni naturali svolgono prevalentemente un'azione sedimentante per colmare le aree più depresse. Ne consegue che, in occasione delle variazioni climatiche, comportanti fenomeni di piena fluviale, si generano, in condizioni naturali, fenomeni di rotta e/o tracimazione che causano una mutazione nelle direzioni dei corpi d'alveo. I tratti residui di fiume così originatisi, a luoghi, costituiscono ostacoli alle successive impostazioni del reticolo idrografico. A tali morfosculture sono, quindi, associabili a litologie relativamente grossolane, prevalentemente sabbiose e/o sabbioso limose, a seconda dell'energia idrodinamica.

Allontanandosi dai corsi d'acqua si individuano, invece, sedimenti sempre più fini: a prevalente dominanza limosa, in corrispondenza degli argini distali, e maggior componente argillosa nelle aree interfluviali e di palude.

La principale morfoscultura presente nei pressi dell'area di studio è rappresentata da un antico tracciato fluviale [paleoalveo], attribuibile ad un sistema idrografico differente da quello attuale, le cui tracce hanno origine nei pressi del margine meridionale del territorio comunale di Carpi, in località Cantone – C. Vellani. Tale elemento prosegue verso nord attraversando l'abitato di Santa Croce, successivamente la Zona industriale di Carpi e, infine, si interrompe nei pressi del toponimo C. Lugli.

Dal punto di vista stratigrafico, il primo sottosuolo di entrambi i lotti in esame risulta ascrivibile al Subsistema di Ravenna [AES8] ma, al contempo, la cartografia geologica evidenzia un cambiamento nella sua tessitura. A sud di Via Quattro Pilastri



SERVIZIO SANITARIO REGIONALE E.R. Azienda Ospedaliero Universitaria di Modena	Area Operativa Nord – H Carpi – Programma straordinario di investimenti in sanità – ex art.20 L.67/88 V Fase II stralcio – DGR 18011/2019 Intervento APD02. Realizzazione del nuovo Ospedale di Carpi – Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica.	
	Relazione geologica sulle indagini:	<i>Caratterizzazione e modellazione geologica del sito</i>
	Relazione sulla modellazione sismica:	<i>"Pericolosità sismica di base" del sito di costruzione</i>
	Relazione geotecnica sulle indagini:	<i>Caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno</i>

[Soluzione 2], infatti, la litologia predominante del primo sottosuolo è rappresentata da termini limosi e limoso sabbiosi, oltrepassando tale asse viario [Soluzione 1], invece, si osserva il passaggio a materiali più fini a comportamento prettamente coesivo, quali litotipi argilloso limosi e limoso argillosi.

Procedendo in direzione ovest e in direzione nord, si osserva, infine, il passaggio sedimenti alluvionali più recenti, attribuibili all'Unità di Modena [AES8a].

CONTESTO GEOLOGICO LOCALE

Le indagini geognostiche realizzate nel corso della presente campagna d'indagine geognostica, congiuntamente a quelle pregresse recuperate in bibliografia, hanno permesso di definire il modello geologico del primo sottosuolo per ciascun lotto in esame.

Le unità riconosciute sono, quindi, state differenziate sulla base dei valori di resistenza alla punta (qc), della resistenza ad attrito laterale locale (fs), del rapporto di *Begemann* (qc/fs) e, infine, del grado di sovraconsolidazione delle medesime.

Soluzione 1

Tale comparto territoriale è stato caratterizzato sulla base delle indagini geognostiche recuperate in bibliografia [codice ID RER: 183150C071, 183150C085 e 183150C86] e, ad integrazione, dalla verticale penetrometrica CPT3/21, svolta nel corso dell'attuale campagna d'indagine geognostica e geofisica.

In relazione al contesto paesaggistico ove sono state realizzate le indagini geognostiche, i dati relativi ai primi 120 ÷ 160 cm da p.c. sono stati esclusi dai modelli di ricostruzione stratigrafica a seguito del probabile rimaneggiamento antropico.

Il primo terreno naturale risulta quindi costituito da materiali argilloso limosi e limoso argillosi a medio – medio basso grado di consistenza [UGT1], il cui letto si pone a profondità variabile tra – 2,0 ÷ – 2,8 m da p.c.

Oltre tali profondità, la sequenza sedimentaria prosegue con termini argillosi e argilloso limosi a maggior grado di consistenza, evidenziando, inoltre, un moderato incremento del grado di sovraconsolidazione [UGT2]. La base di tale unità si pone a quote variabili tra – 5,0 ÷ – 5,8 m da p.c.

UGT3, seppure anch'esso costituito da materiali argilloso limosi e limoso argillosi, evidenzia un calo nei valori di resistenza alla punta, il quale risulta particolarmente accentuato sulle verticali C085 e C086.

La successione litomeccanica prosegue, dunque, con un orizzonte presentante marcata variabilità laterale del grado di consistenza [UGT4/UGT4bis]; infatti, sulla verticale C071 sono stati riconosciuti materiali coesivi a medio elevato grado di consistenza [UGT4bis] mentre sulle restanti indagini, tale parametro si riduce sensibilmente [UGT4].

Fa quindi seguito una sequenza limoso argillosa, argilloso limosa e, talora, francamente limosa [UGT5], la cui base si pone a profondità variabili tra – 10,4 ÷ – 11,4 m da p.c.

Oltre tali profondità fanno seguito due differenti corpi sedimentari coesivi [UGT6 e UGT7], presentanti un graduale aumento del grado di consistenza e, al contempo, del grado di sovraconsolidazione.

Nei primi 15,0 m da p.c. si osserva, quindi, il susseguirsi di orizzonti sedimentari presentanti un aspetto tabulare, contraddistinti da buona continuità laterale e da un marcato dominio della frazione

SERVIZIO SANITARIO REGIONALE E.R. Azienda Ospedaliero - Universitaria di Modena	Area Operativa Nord – H Carpi – Programma straordinario di investimenti in sanità – ex art.20 L.67/88 V Fase II stralcio – DGR 18011/2019 Intervento APD02. Realizzazione del nuovo Ospedale di Carpi – Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica.	
	<i>Relazione geologica sulle indagini:</i>	<i>Caratterizzazione e modellazione geologica del sito</i>
	<i>Relazione sulla modellazione sismica:</i>	<i>"Pericolosità sismica di base" del sito di costruzione</i>
	<i>Relazione geotecnica sulle indagini:</i>	<i>Caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno</i>

coesiva su quella granulare. L'unico intervallo all'interno del quale è possibile riconoscere materiali limosi e/o limoso sabbiosi si pone a profondità generalmente comprese tra $- 7,0 \div - 8,6$ m e $- 10,4 \div - 11,4$ m da p.c.

Oltre la base di UGT7, che, come esposto in precedenza, risulta costituito da materiali coesivi a medio grado di consistenza, i diagrammi penetrometrici [rif. 183150C032 e 183150C151 entrambe protratte sino a 30,0 m da p.c.] evidenziano la presenza di livelli compressibili, di spessore pressoché metrico, generalmente localizzati tra $- 15,0/ - 16,0$ m e $- 19,0/ - 20,0$ m da p.c.

Di contro, in corrispondenza della verticale CPT-Rm3/21 tra $- 15,0$ e $- 18,0$ m da p.c. è stato intercettato un corpo sabbioso e/o sabbioso limoso a medio elevato grado di addensamento [UGT8] a cui fa seguito una unità argilloso e/o argilloso limosa a medio grado di consistenza [UGT9].

Sulla base delle indagini pregresse, invece, un primo significativo episodio francamente sabbioso e/o sabbioso limoso a medio elevato grado di addensamento è stato indentificato sulla verticale C032 ad una profondità di $- 24,0$ m pc sino a $- 30,0$ m p.c.; tuttavia, tale elemento non trova continuità sulla verticale C151 ove, alle medesime profondità, sono stati intercettati materiali coesivi a medio elevato grado di consistenza.

Sulla base delle attuali informazioni, si presume, quindi, che tali livelli sabbiosi e/o sabbioso limosi si contraddistinguano per un carattere spiccatamente lenticolare e discontinuo.

Soluzione 2

Le indagini eseguite nel corso dell'attuale campagna geognostica [CPT-Rm1/21 e CPT-Rm2/21] hanno permesso di ricostruire un modello geologico preliminare del primo sottosuolo.

Oltrepassato l'orizzonte rimaneggiato superficiale, il quale costituisce il rilevato arginale, il primo terreno naturale [UGTA] risulta costituito essenzialmente da litotipi limosi e/o limoso argillosi a medio basso grado di consistenza. Tale corpo sedimentario si protrae generalmente sino a $- 4,4 \div - 6,2$ m da p.c.

La sequenza sedimentaria prosegue, dunque, con materiali analoghi a quelli appena descritti ma, al contempo, presentanti un maggiore grado di consistenza [UGTB]. La base di suddetta unità si colloca a profondità variabili tra $- 7,4 \div - 8,8$ m da p.c.

Oltre tali profondità è stato identificato un orizzonte prettamente argilloso e/o argilloso limoso a medio elevato grado di consistenza e sovraconsolidazione [UGTC].

Con UGTD si osserva nuovamente un incremento della frazione limosa, limoso argillosa e, subordinatamente, limoso sabbiosa su quella maggiormente coesiva [argillosa s.s.]. La base di tale orizzonte si pone a profondità variabili tra $- 11,0$ e $- 11,8$ m da p.c.

Nei primi dieci metri di sottosuolo, in accordo con quanto esposto all'interno del sito della cartografia geologica, la frazione granulometrica predominante è quella limosa e, le unità si contraddistinguono per buona continuità laterale.

Oltre la base di UGTD, invece, si osserva un incremento della variabilità litologica laterale; infatti, sulla verticale CPT-Rm1/21 UGTE risulta costituita da litotipi limosi e limoso argillosi mentre sulla restante verticale CPT-Rm2/21 è stata intercettata una lente sabbiosa e/o sabbioso limosa a medio elevato grado di addensamento [UGT Ebis].

SERVIZIO SANITARIO REGIONALE E.R. Azienda Ospedaliero - Universitaria di Modena	Area Operativa Nord – H Carpi – Programma straordinario di investimenti in sanità – ex art.20 L.67/88 V Fase II stralcio – DGR 18011/2019 Intervento APD02. Realizzazione del nuovo Ospedale di Carpi – Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica.	
	<i>Relazione geologica sulle indagini:</i>	<i>Caratterizzazione e modellazione geologica del sito</i>
	<i>Relazione sulla modellazione sismica:</i>	<i>"Pericolosità sismica di base" del sito di costruzione</i>
	<i>Relazione geotecnica sulle indagini:</i>	<i>Caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno</i>

Procedendo in direzione est, uscendo dall'area di pertinenza del lotto Soluzione 2, tale corpo sedimentario tende a scomparire; infatti, le indagini recuperate in bibliografia [C046A – C046B e C046C] presentano un andamento dei diagrammi penetrometrici analoghi a quello di CPT-Rm1/21.

La ricostruzione del modello geologico prosegue, quindi, esclusivamente sulla base di CPT1/21 in quanto le verticali pregresse si sono tutte arrestate a profondità pari a - 15,0 m da p.c.

Oltrepassato l'orizzonte a marcata variabilità laterale [UGT E/Ebis], la sequenza sedimentaria prosegue, dunque, con l'alternarsi di corpi limosi, limoso argillosi e argilloso limosi [UGT F e UGT H], il cui spessore risulta variabile tra 1,4 e 2,0 m, a livelli metrici francamente sabbiosi a medio – medio basso grado di addensamento [UGT G e UGT I].

INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

L'area appartiene al Bacino Idrogeologico Padano, compreso tra le catene alpine ed appenniniche e terminante circa 50 km ad est della Costa Adriatica.

Detto complesso è costituito dai depositi clastici del Quaternario Continentale, i quali sono assemblati ed impilati in un'alternanza di livelli più o meno permeabili. I rapporti stratigrafici di suddetti orizzonti risultano decisamente complessi.

Le formazioni acquifere della zona in oggetto risultano costituite prevalentemente dai depositi clastici dei fiumi appenninici appartenenti alla fascia idrogeologica del margine appenninico, ivi costituenti la Piana alluvionale appenninica.

SCHEMA IDROGEOLOGICO REGIONALE

In base alla serie geologica, ricavata utilizzando i dati litostratigrafici pubblicati da AGIP, sono stati definiti i lineamenti strutturali e le caratteristiche idrogeologiche delle formazioni geologiche, schematicamente discretizzabili come di seguito esposto:

A - Quaternario Continentale: è formato prevalentemente da ghiaie con livelli di sabbie ed argille. Si tratta di un complesso a permeabilità primaria variabile, sia in senso verticale che laterale. Da quanto esposto appare evidente che esiste la possibilità di un multiacquifero o un acquifero a permeabilità verticale variabile.

B - Quaternario Marino: presenta un quadro idrogeologico diverso rispetto al precedente: si riscontra infatti una maggiore continuità nella sedimentazione essendo cambiato l'ambiente deposizionale; prevalgono in questa fase i sedimenti più fini, con qualche intercalazione sabbioso ghiaiosa. Tale caratteristica si riscontra anche nel Calabriano ed in tutto il Pliocene medio superiore. I sedimenti prevalentemente argillosi hanno uno spessore di 400 ÷ 1400 m. Questo livello può essere considerato impermeabile con la presenza di orizzonti sabbiosi permeati da acque fossili ipersaline.

C - Pliocene inferiore e la parte sommitale del Miocene: sono caratterizzati da fitte alternanze di argille e sabbie, oppure marne e sabbie. In questo caso la successione è assimilabile ad un multiacquifero, che può essere considerato come un acquifero a permeabilità variabile sia sulla verticale, alternanze di granulometria dei sedimenti, che lateralmente, dovuta alla differenziazione delle facies che sono legate agli andamenti strutturali. La potenza di questa unità è valutata sui 1400 metri circa e costituisce l'acquitard di base.

SERVIZIO SANITARIO REGIONALE E.R. Azienda Ospedaliero - Universitaria di Modena	Area Operativa Nord – H Carpi – Programma straordinario di investimenti in sanità – ex art.20 L.67/88 V Fase II stralcio – DGR 18011/2019 Intervento APD02. Realizzazione del nuovo Ospedale di Carpi – Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica.	
	<i>Relazione geologica sulle indagini:</i>	<i>Caratterizzazione e modellazione geologica del sito</i>
	<i>Relazione sulla modellazione sismica:</i>	<i>"Pericolosità sismica di base" del sito di costruzione</i>
	<i>Relazione geotecnica sulle indagini:</i>	<i>Caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno</i>

MODELLO IDROGEOLOGICO LOCALE

La serie idrogeologica di seguito descritta si è ricostruita ordinando le colonne litostratigrafiche di perforazioni per pozzi, eseguite nell'area di studio o in ambiti territoriali strettamente adiacenti.

In base a ciò, si riscontra che il sottosuolo in esame è caratterizzato da un complesso prevalentemente impermeabile costituito da sequenze argilloso limose alle quali si intercalano livelli limoso sabbiosi e/o sabbioso limosi, con permeabilità e spessori variabili. Di conseguenza, dal punto di vista idrogeologico, si tratta di acquiferi a struttura sostanzialmente lentiforme.

I caratteri sopraesposti, congiuntamente alla conformazione geometrica degli acquiferi, collocano l'area in analisi in corrispondenza della fascia di passaggio all'Unità idrogeologica della Media Pianura.

CONSIDERAZIONI SUL PRIMO ACQUIFERO [ACQUIFERO A]

Il primo livello freatico riscontrabile nel sottosuolo si colloca a profondità generalmente comprese tra - 1,5 ÷ - 2,5 m da p.c., è contraddistinto da modesti spessori e viene alimentato dalle infiltrazioni di acque meteoriche. Tale condizione definisce quindi una superficie piezometrica a tetto libero soggetta a sensibili escursioni stagionali.

Gli ulteriori livelli acquiferi sono stati identificati sulla base della disamina di sezioni di ricostruzione stratigrafica reperibili dal sito della cartografia geologica RER [rif. Sez. 32]. In prossimità dell'area di studio [Via Quattro Pilastri], i principali livelli permeabili dell'acquifero A sono riscontrabili alle seguenti profondità:

- da - 65,0 ± 5,0 m a - 70,0 ± 5,0 m da p.c., costituito da litotipi sabbiosi e/o sabbioso limosi.
- da - 90,0 ± 5,0 m a - 95,0 ± 5,0 m da p.c.; presenza di termini sabbiosi e/o sabbioso limosi.
- da - 125,0 ± 5,0 m a - 135,0 ± 5,0 m da p.c.; costituito materiali sabbiosi e/o sabbioso grossolani.

Tali orizzonti permeabili, costituiti da materiali grossolani presentanti comportamento prettamente incoerente, sono intrappolati all'interno di importanti sequenze alluvionali costituite da litotipi argilloso limosi e/o limoso argillosi coesivi.

Il passaggio tra acquifero A ed acquifero B si pone a profondità prossime a - 150 m da p.c.

RILEVAZIONI DEL BATTENTE IDRICO SOTTERRANEO

Al momento dell'esecuzione delle prove penetrometriche (Marzo 2021), per ciascuna verticale d'indagine è stata misurata la presenza di livello idrico sotterraneo, rilevandone nello specifico:

CPT1	Battente idrico sotterraneo a - 2,40 m p.c.
CPT2	Battente idrico sotterraneo a - 2,20 m p.c.
CPT3	Battente idrico sotterraneo a - 2,35 m p.c.

Il tetto della tavola piezometrica risulta, quindi, pressoché omogeneo in entrambi i comparti territoriali indagati.

Al netto del progressivo abbassamento del livello freatico, generalmente compreso tra -0,5 e -1,0 m, evidenziato a partire dalla metà degli anni '90, all'interno del comprensorio Carpi - Correggio, le rilevazioni attuali risultano in accordo con quanto esposto all'interno del PTCC Carpi Correggio (G.P. Mazzetti, 1984).

SERVIZIO SANITARIO REGIONALE E.R. Azienda Ospedaliero - Universitaria di Modena	Area Operativa Nord – H Carpi – Programma straordinario di investimenti in sanità – ex art.20 L.67/88 V Fase II stralcio – DGR 18011/2019 Intervento APD02. Realizzazione del nuovo Ospedale di Carpi – Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica.	
	Relazione geologica sulle indagini:	Caratterizzazione e modellazione geologica del sito
	Relazione sulla modellazione sismica:	"Pericolosità sismica di base" del sito di costruzione
	Relazione geotecnica sulle indagini:	Caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno

ANALISI IDRAULICA AI SENSI DELLA DGR 1300/2016

L'area oggetto di intervento edilizio si colloca, in primo luogo, all'interno di un ambito riconducibile al reticolo secondario di pianura (**RSP**), costituito da corsi d'acqua secondari di pianura gestiti dai Consorzi di bonifica e irrigui della media e bassa pianura padana; di questi, l'elemento di principale importanza è rappresentato dal Cavo Tresinaro.

Al contempo, il sito ricade, tuttavia, all'interno di un ambito riconducibile al reticolo principale di pianura (**RP**), costituito dall'asta del Fiume Secchia.

La perimetrazione delle aree potenzialmente allagabili è stata effettuata con riferimento agli scenari di alluvione frequente (P3) e poco frequente (P2) previsti dalla Direttiva.

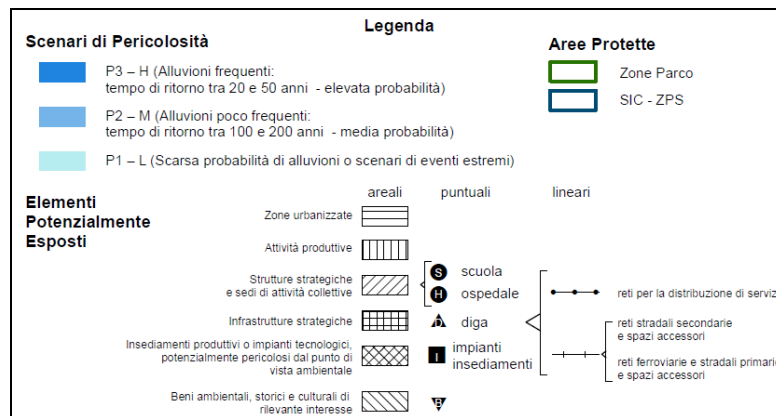
Attualmente le acque meteoriche vengono convogliate all'interno della rete fognaria e, subordinatamente, ove presenti, nei fossi.

In relazione alla disamina dell'elaborato grafico "Direttiva Europea 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni – Mappa della pericolosità e degli elementi potenzialmente esposti", il comparto territoriale in analisi risulta ascrivibile ai seguenti ambiti:

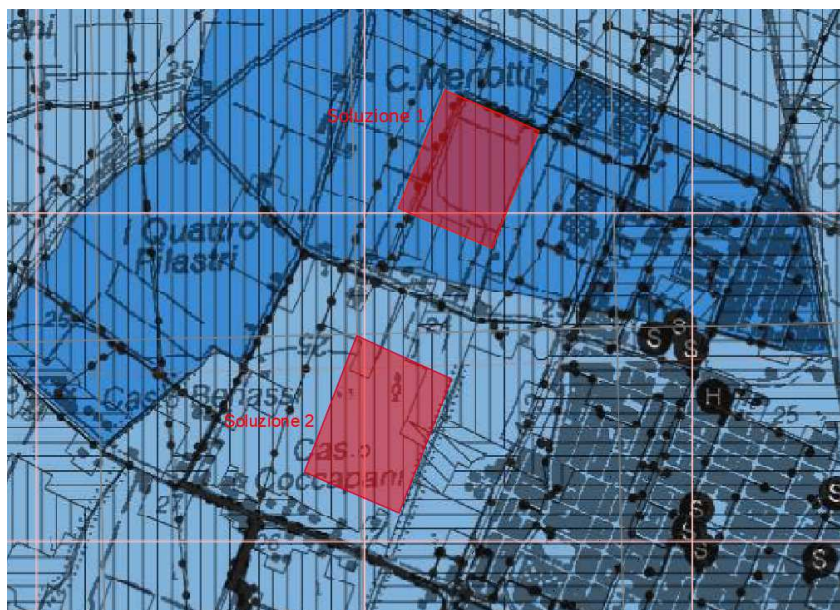
RP	entrambi i lotti [Soluzione 1 e Soluzione 2] sono contraddistinti da alluvioni o scenari di <u>eventi estremi P1 – L bassa probabilità</u> ;
RSP	Soluzione 1 presentante uno scenario di pericolosità P3 – H, ovvero alluvioni frequenti, con tempo di ritorno tra 20 e 50 anni – elevata probabilità. Soluzione 2 caratterizzato da alluvioni poco frequenti P2 – M ($T_R = 100 \div 200$ anni – media probabilità).



SERVIZIO SANITARIO REGIONALE E.R. Azienda Ospedaliero - Universitaria di Modena	Area Operativa Nord – H Carpi – Programma straordinario di investimenti in sanità – ex art.20 L.67/88 V Fase II stralcio – DGR 18011/2019 Intervento APD02. Realizzazione del nuovo Ospedale di Carpi – Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica.	
	Relazione geologica sulle indagini:	<i>Caratterizzazione e modellazione geologica del sito</i>
	Relazione sulla modellazione sismica:	<i>"Pericolosità sismica di base" del sito di costruzione</i>
	Relazione geotecnica sulle indagini:	<i>Caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno</i>



Mappe di Pericolosità ed Elementi esposti – Reticolo Principale di Pianura (RP).



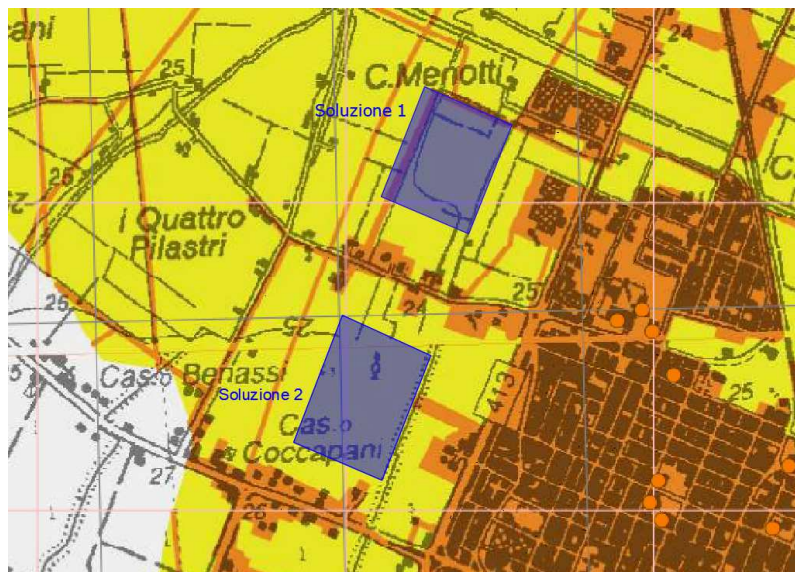
Mappe di Pericolosità ed Elementi esposti – Reticolo Secondario Pianura (RSP).

A seguire si riportano le perimetrazioni della mappa del rischio potenziale esposte all'interno del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA), ai sensi della direttiva europea 2007/60/CE.

Lo scenario di rischio alluvioni collegate al reticolo idrografico principale di pianura risulta per entrambi i comparti in analisi di tipo moderato, localmente medio.

Legenda		CLASSI DI PERICOLOSITA'	
Aree Protette		CLASSI DI RISCHIO	CLASSI DI DANNO
Zone Parco	SIC - ZPS	P3	P2
Classi di Rischio R1 (rischio moderato o nullo) R2 (rischio medio) R3 (rischio elevato) R4 (rischio molto elevato)	puntuali	D4	R3
	lineari	D3	R3
	areali	D2	R2
		D1	R1

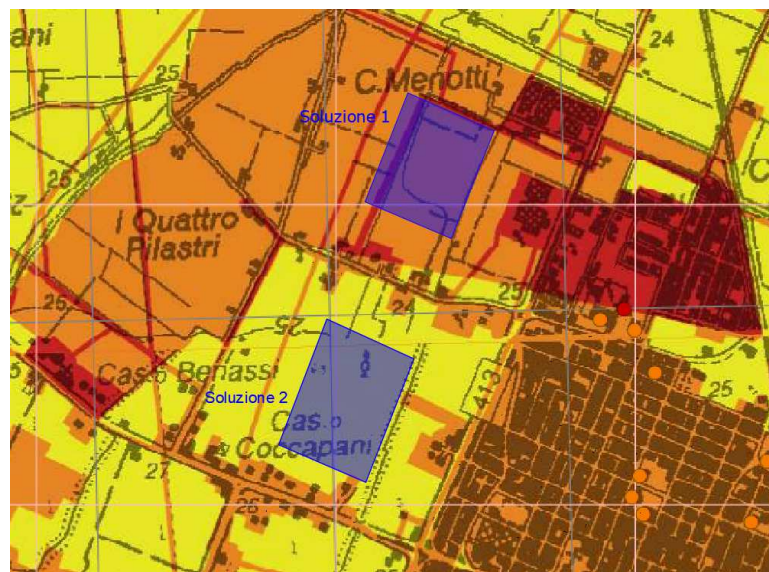
SERVIZIO SANITARIO REGIONALE E.R. Azienda Ospedaliero-Universitaria di Modena	Area Operativa Nord – H Carpi – Programma straordinario di investimenti in sanità – ex art.20 L.67/88 V Fase II stralcio – DGR 18011/2019 Intervento APD02. Realizzazione del nuovo Ospedale di Carpi – Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica.	
	<i>Relazione geologica sulle indagini:</i>	<i>Caratterizzazione e modellazione geologica del sito</i>
	<i>Relazione sulla modellazione sismica:</i>	<i>"Pericolosità sismica di base" del sito di costruzione</i>
	<i>Relazione geotecnica sulle indagini:</i>	<i>Caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno</i>



Mappe del Rischio – Reticolo Principale di Pianura (RP).

Analizzando, quindi, il rischio alluvioni imputabile al reticolo secondario si riscontrano due differenti scenari per i lotti in esame. Il lotto settentrionale [Soluzione 1] evidenzia scenari di rischio medio localmente elevati, soprattutto nel comparto nord e quello orientale.

Procedendo verso sud, il rischio alluvioni si attenua: la Soluzione 2, infatti, mostra uno scenario di rischio moderato, localmente medio.

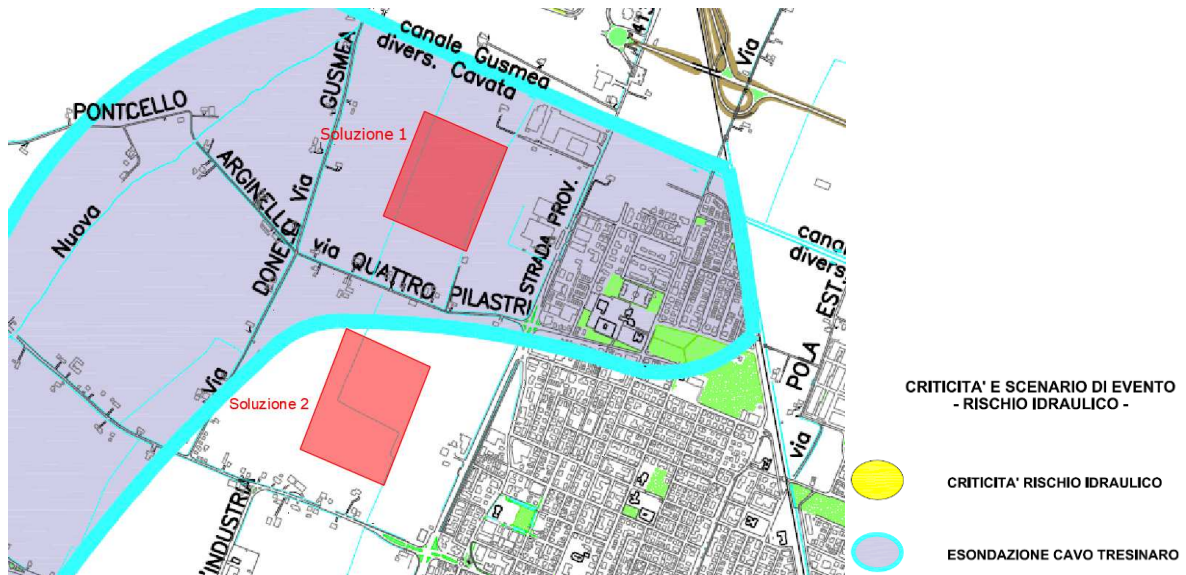


Legenda		CLASSI DI RISCHIO		CLASSI DI PERICOLOSITA'	
Aree Protette	Zone Parco	SIC - ZPS		P3	P2
Classi di Rischio	puntuali	lineari	areali		
R1 (rischio moderato o nullo)	●	~	■	D4	R3
R2 (rischio medio)	●	~	■	D3	R3
R3 (rischio elevato)	●	~	■	D2	R2
R4 (rischio molto elevato)	●	~	■	D1	R1

Mappe del Rischio – Reticolo Secondario Pianura (RSP).

SERVIZIO SANITARIO REGIONALE E.R. Azienda Ospedaliero - Universitaria di Modena	Area Operativa Nord – H Carpi – Programma straordinario di investimenti in sanità – ex art.20 L.67/88 V Fase II stralcio – DGR 18011/2019 Intervento APD02. Realizzazione del nuovo Ospedale di Carpi – Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica.	
	<i>Relazione geologica sulle indagini:</i>	<i>Caratterizzazione e modellazione geologica del sito</i>
	<i>Relazione sulla modellazione sismica:</i>	<i>"Pericolosità sismica di base" del sito di costruzione</i>
	<i>Relazione geotecnica sulle indagini:</i>	<i>Caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno</i>

Le criticità sopradescritte che contraddistinguono la Soluzione 1 sembrano trovare, inoltre, conferma all'interno dell'elaborato grafico Criticità e Scenario di Evento – Rischio Idraulico – presente nel Piano di Emergenza di Protezione Civile redatto per il comune di Carpi.



Estratto Piano di Emergenza di Protezione Civile redatto di Carpi: Criticità e Scenario di Evento – Rischio Idraulico.

Tuttavia, a partire dal secondo dopoguerra non si ha memoria storica di eventi esondivi, riconducibili al Cavo Tresinaro, che abbiano interessato l'area di pertinenza della Soluzione 1. Inoltre, al fine di ridurre potenziali criticità idrauliche, a partire dalla seconda metà degli anni '90 a nord dell'abitato di Rio Saliceto, in località Cà de Frati, sono state realizzate le casse di espansione del Cavo Tresinaro.

Di contro, si ritiene più verosimile che la Soluzione 1 sia interessata da drenaggio difficoltoso in caso di piogge critiche.

A tale proposito, risulta opportuna, quindi, la realizzazione di un rilievo plano-altimetrico di dettaglio al fine di valutare l'effettivo rischio da esondazione.

Al fine di ottemperare alle prescrizioni in materia di vulnerabilità e al fine di ridurre il danneggiamento dei beni e delle strutture e la tutela della vita umana, così come previsto dal DGR 1300/2016, si suggerisce:

- i piani di calpestio dell'opera dovranno essere previsti a quote superiori rispetto a quelle degli assi stradali adiacenti;
- gli impianti tecnici siano realizzati con accorgimenti tali da assicurare la continuità del funzionamento dell'impianto, anche in caso di alluvionamento;
- le aperture siano a tenuta stagna o provviste di protezioni idonee;
- la realizzazione di un idoneo sistema di raccolta e allontanamento delle acque bianche;
- la messa in posa di un idoneo sistema di raccolta e veicolamento delle acque corrivanti sulla superficie areale all'intorno del fabbricato, in grado di proteggere lo stesso dalle piogge critiche o dagli eventi di allagamento.

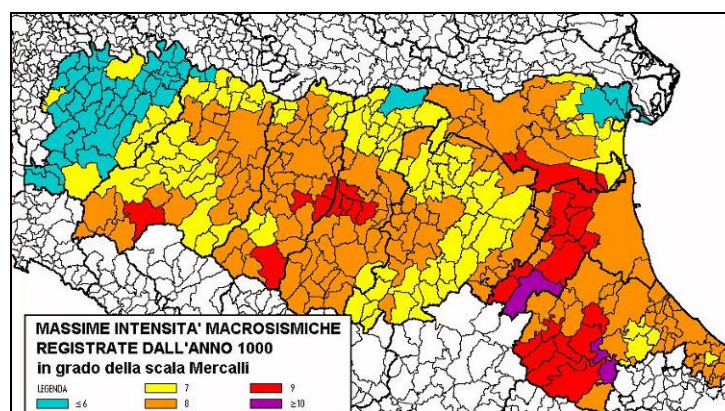
In fase di progettazione esecutiva, a seguito dell'incremento delle superfici impermeabilizzate, si dovrà, quindi, porre particolare attenzione alla riorganizzazione dell'attuale reticolo idrografico secondario (cavi e fossi); i nuovi tracciati dovranno garantire il corretto deflusso delle piogge critiche e le fasi di piena insistenti sugli stessi.

SERVIZIO SANITARIO REGIONALE E.R. Azienda Ospedaliero - Universitaria di Modena	Area Operativa Nord – H Carpi – Programma straordinario di investimenti in sanità – ex art.20 L.67/88 V Fase II stralcio – DGR 18011/2019 Intervento APD02. Realizzazione del nuovo Ospedale di Carpi – Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica.	
	Relazione geologica sulle indagini:	Caratterizzazione e modellazione geologica del sito
	Relazione sulla modellazione sismica:	"Pericolosità sismica di base" del sito di costruzione
	Relazione geotecnica sulle indagini:	Caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno

RELAZIONE SULLA PERICOLOSITÀ SISMICA ED ANALISI DELL'AZIONE SISMICA

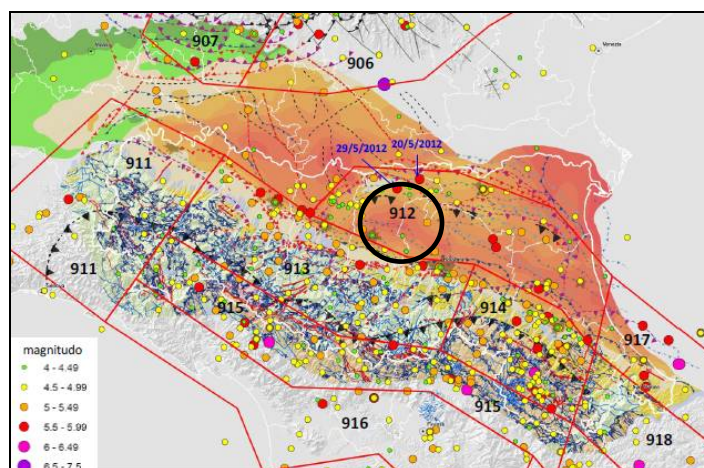
STORIA SISMICA DEL SITO

Secondo quanto esposto all'interno del catalogo delle massime intensità macrosismiche osservate nei comuni italiani, valutate a partire dalla banca dati macrosismici del GNNT e dai dati del Catalogo dei Forti Terremoti in Italia di ING/SGA, elaborato per il Dipartimento della Protezione Civile (*D. Molin, M. Stucchi e G. Valensise, 1996*), per il territorio comunale di Carpi vengono documentati eventi sismici giungenti al 7° - 8° grado della Scala Mercalli - Cancani - Sieberg, con intensità massima corrispondente ad $M = 4,5 \div 5,4$, come evidenziato nella seguente figura.



Zonazione sismica della RER sulla base della scala MCS.

Gli epicentri sismici verificatisi nel territorio in analisi hanno origine, per la quasi totalità, nei primi 15 ÷ 25 km del sottosuolo evidenziando la prevalenza di un'attività sismogenetica di tipo superficiale. La zonazione sismica del territorio nazionale, la quale identifica le zone sorgente a caratteristiche sismiche omogenee, elaborata da I.N.G.V. (2003), attribuisce l'ambito territoriale in oggetto alla zona sismogenetica 912. La componente cinematica principale che regola la distribuzione degli sforzi all'interno di suddetta fascia è di tipo compressivo (prevalentemente *thrust*) legata all'accavallamento delle propaggini del fronte appenninico.

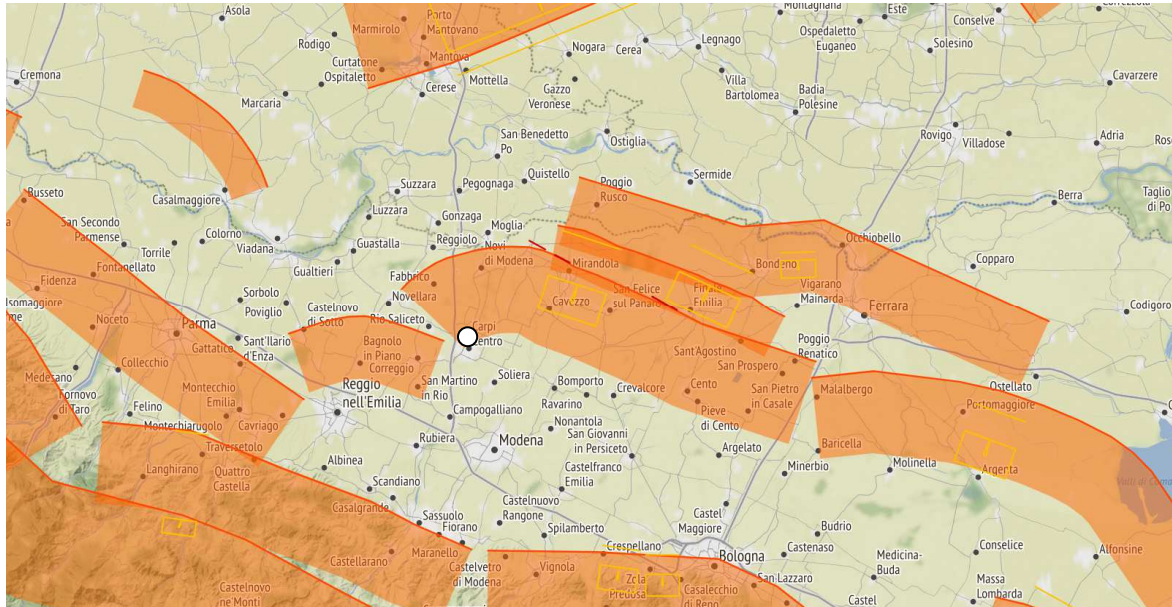


Zonazione sismogenetica ZS9 (INGV, 2004).

Tra le principali sorgenti sismogenetiche presenti nell'intorno dell'area occorre ricordare:

SERVIZIO SANITARIO REGIONALE E.R. Azienda Ospedaliero - Universitaria di Modena	Area Operativa Nord – H Carpi – Programma straordinario di investimenti in sanità – ex art.20 L.67/88 V Fase II stralcio – DGR 18011/2019 Intervento APD02. Realizzazione del nuovo Ospedale di Carpi – Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica.	
	Relazione geologica sulle indagini:	<i>Caratterizzazione e modellazione geologica del sito</i>
	Relazione sulla modellazione sismica:	<i>"Pericolosità sismica di base" del sito di costruzione</i>
	Relazione geotecnica sulle indagini:	<i>Caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno</i>

- ITCS049 Campegine - Correggio, ascrivibile alle Pieghe Ferraresi, ritenuta capace di generare terremoti di Mw = 5.5, con meccanismi di *thrust* ad una profondità compresa tra 3 ÷ 10 km;
- ITCS051 Carpi - Poggio Renatico, ascrivibile alle Pieghe Ferraresi, ritenuta capace di generare terremoti di Mw = 6.0, con meccanismi di *thrust* ad una profondità compresa tra 2 ÷ 10 km;



Estratto sito <http://diss.rm.ingv.it/dissmap/dissmap.phtml>

Nell'ambito a cui appartiene il territorio comunale di Carpi, all'interno del Database Macrosismico DBMI15, utilizzato per la compilazione del catalogo parametrico CPTI15 (Gruppo di lavoro CPTI, 2015 – INGV, Bologna) sono documentati gli eventi sismici di seguito riportati:

Storia sismica di Carpi

Osservazioni disponibili: 84

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
HD	1117	01	03	15	15		Veronese	55	9	6.52
F	1474	03	11	20	30		Modena	3	5	4.16
5	1624	03	19				Argenta	18	7-8	5.43
6-7	1661	03	21	23			Modenese	4	6-7	4.86
5	1666	04	14	18	58		Bolognese	3	5	4.16
5-6	1671	06	20	10			Modenese-Reggiano	8	7	5.27
4	1672	04	14	15	45		Riminese	92	8	5.59
4	1695	02	25	05	30		Asolano	107	10	6.40
6-7	1806	02	12				Reggiano	28	7	5.21
4-5	1811	07	15	22	44		Modenese-Reggiano	19	6-7	5.13
6	1818	12	09	18	55		Parmense	26	7	5.24
F	1828	10	09	02	20		Oltrepò Pavese	110	8	5.72
F	1831	07	14	15	30		Reggiano	8	5-6	4.60
6	1831	09	11	18	15		Pianura emiliana	25	7-8	5.48

SERVIZIO SANITARIO REGIONALE E.R. Azienda Ospedaliero - Universitaria di Modena	Area Operativa Nord – H Carpi – Programma straordinario di investimenti in sanità – ex art.20 L.67/88 V Fase II stralcio – DGR 18011/2019 Intervento APD02. Realizzazione del nuovo Ospedale di Carpi – Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica.	
	<i>Relazione geologica sulle indagini:</i>	<i>Caratterizzazione e modellazione geologica del sito</i>
	<i>Relazione sulla modellazione sismica:</i>	<i>"Pericolosità sismica di base" del sito di costruzione</i>
	<i>Relazione geotecnica sulle indagini:</i>	<i>Caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno</i>

3-4		1831 09 13 05 30	Pianura emiliana	7		
6		1832 03 11 06 45	Carpi	14	5	4.51
5		1832 03 11 08 45	Parmense	14		
3-4		1832 03 12 08 45	Reggiano	7		
7		1832 03 13 03 30	Reggiano	97	7-8	5.51
F		1832 03 14 04 40	Reggiano	5		
F		1832 03 14 07 41	Reggiano	7		
5		1832 04 19 14 14	Reggiano	5		
3		1834 02 14 13 15	Val di Taro-Lunigiana	112	9	5.96
4		1834 07 04 00 45	Val di Taro-Lunigiana	24	6-7	5.08
3		1834 10 04 19	Bolognese	12	6	4.71
3		1837 04 11 17	Lunigiana	60	9	5.94
3		1846 08 14 12	Colline Pisane	121	9	6.04
F		1850 09 18 06 20	Modenese	7	5	4.16
4		1860 07 17 13 43 3	Reggiano	5	4-5	3.93
4-5		1887 02 23 05 21 5	Liguria occidentale	1511	9	6.27
3		1889 03 08 02 57 0	Bolognese	38	5	4.53
NF		1898 01 16 13 10	Romagna settentrionale	110	6	4.59
NF		1908 06 28 03 19	Finale Emilia	11	4-5	3.93
5		1909 01 13 00 45	Emilia Romagna orientale	867	6-7	5.36
NF		1909 08 25 00 22	Crete Senesi	259	7-8	5.34
NF		1910 03 22 23 29	Bassa modenese	15	5	4.16
5		1912 09 12 21 15	Carpi	13	4	3.76
6		1914 10 27 09 22	Lucchesia	660	7	5.63
4		1915 10 10 23 10	Reggiano	30	6	4.87
3		1916 08 16 07 06 1	Riminese	257	8	5.82
4-5		1918 05 06 08 05	Reggiano	8	5-6	4.41
6		1919 06 29 15 06 1	Mugello	565	10	6.38
6		1920 09 07 05 55 4	Garfagnana	750	10	6.53
3-4		1923 06 28 15 12	Modenese	22	6	5.04
7		1928 06 13 08	Carpi	35	6	4.67
5		1928 07 25 01 25	Carpi	3	4-5	3.93
3		1929 04 10 05 44	Bolognese	87	6	5.05
5		1929 04 19 04 16	Bolognese	82	6-7	5.13
3		1929 04 19 22 40	Bolognese	12	5-6	4.54
5		1929 04 20 01 10	Bolognese	109	7	5.36
4-5		1929 04 22 08 26	Bolognese	41	6-7	5.10
4		1929 05 11 19 23	Bolognese	64	6-7	5.29
4		1932 07 13 03 42	Reggiano	8	4-5	3.86

SERVIZIO SANITARIO REGIONALE E.R. Azienda Ospedaliero - Universitaria di Modena	Area Operativa Nord – H Carpi – Programma straordinario di investimenti in sanità – ex art.20 L.67/88 V Fase II stralcio – DGR 18011/2019 Intervento APD02. Realizzazione del nuovo Ospedale di Carpi – Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica.	
	<i>Relazione geologica sulle indagini:</i>	<i>Caratterizzazione e modellazione geologica del sito</i>
	<i>Relazione sulla modellazione sismica:</i>	<i>"Pericolosità sismica di base" del sito di costruzione</i>
	<i>Relazione geotecnica sulle indagini:</i>	<i>Caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno</i>

4		1936 10 18 03 10	Alpago Cansiglio	269	9	6.06
3-4		1937 12 10 18 04	Frignano	28	6	5.30
4		1939 10 15 14 05	Garfagnana	62	6-7	4.96
2		1957 08 27 11 54	Appennino modenese	58	5	4.73
5		1963 11 04 15 46	Bassa modenese	5	5	4.16
4		1967 04 03 16 36 1	Reggiano	45	5	4.44
6		1971 07 15 01 33 2	Parmense	228	8	5.51
5		1971 09 11 23 18 1	Pianura emiliana	15	5	4.19
4		1972 10 25 21 56 1	Appennino settentrionale	198	5	4.87
5		1978 12 25 22 53 4	Bassa modenese	28	5	4.39
3		1980 12 23 12 01 0	Piacentino	69	6-7	4.57
4		1983 11 09 16 29 5	Parmense	850	6-7	5.04
2		1986 12 06 17 07 1	Ferrarese	604	6	4.43
4-5		1987 04 24 02 30 2	Reggiano	54	6	4.64
6		1987 05 02 20 43 5	Reggiano	802	6	4.71
4		1987 05 08 11 10 2	Bassa modenese	24	6	4.44
5		1988 03 15 12 03 1	Reggiano	160	6	4.57
4		1989 09 13 21 54 0	Prealpi Vicentine	779	6-7	4.85
6-7		1996 10 15 09 55 5	Pianura emiliana	135	7	5.38
4		1996 10 26 04 56 5	Pianura emiliana	63	5-6	3.94
4		1996 10 26 06 50 2	Pianura emiliana	35	5-6	3.63
4-5		1996 11 25 19 47 5	Pianura emiliana	65	5-6	4.29
4-5		1996 12 16 09 09 5	Pianura emiliana	115	5-6	4.06
4		1997 05 12 22 13 5	Pianura emiliana	56	4-5	3.68
5		2000 06 18 07 42 0	Pianura emiliana	304	5-6	4.40
NF		2002 06 08 20 13 0	Frignano	115	4	4.23
NF		2002 06 18 22 23 3	Frignano	186	4	4.30
4		2003 09 14 21 42 5	Appennino bolognese	133	6	5.24
4-5		2008 12 23 15 24 2	Parmense	291	6-7	5.36
3-4		2011 07 17 18 30 2	Pianura lombardo-veneta	73	5	4.79
6		2012 05 29 07 00 0	Pianura emiliana	87	7-8	5.90

A detti dati vanno aggiunti quelli relativi allo sciame sismico che ha interessato la bassa pianura emiliana nei mesi di Maggio-Giugno – Luglio 2012 ed hanno presentato una intensità massima pari a $MW = 5.8 \div 5.9$.

SERVIZIO SANITARIO REGIONALE E.R. Azienda Ospedaliero - Universitaria di Modena	Area Operativa Nord – H Carpi – Programma straordinario di investimenti in sanità – ex art.20 L.67/88 V Fase II stralcio – DGR 18011/2019 Intervento APD02. Realizzazione del nuovo Ospedale di Carpi – Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica.	
	Relazione geologica sulle indagini:	Caratterizzazione e modellazione geologica del sito
	Relazione sulla modellazione sismica:	"Pericolosità sismica di base" del sito di costruzione
	Relazione geotecnica sulle indagini:	Caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno

ANALISI DEGLI STRUMENTI DI PIANIFICAZIONE TERRITORIALE

SICUREZZE DEL TERRITORIO – P.T.C.P. MODENA

Dall'estratto della "Carta delle aree suscettibili di effetti locali" del PTCP vigente della Provincia di Modena, si rileva come entrambi i lotti potenzialmente interessati dall'intervento edificatorio in oggetto ricadono su due ambiti territoriali, contraddistinti da differenti fenomeni di amplificazione in caso di sollecitazione dinamica e, al contempo, a diversi livelli di approfondimento.

Il comparto orientale si ricade nell'ambito delle aree potenzialmente suscettibili ad amplificazione per caratteristiche litologiche e a potenziali cedimenti [Zona 8]. Per tale ambito sono richiesti approfondimenti di II livello per la valutazione del coefficiente di amplificazione litologico e approfondimenti di III livello per la stima di eventuali cedimenti.

Il settore occidentale, invece, rientra in un ambito soggetto ad amplificazione per caratteristiche litologiche e a potenziale liquefazione in caso di evento sismico [Zona 7]. Per tale ambito sono richiesti approfondimenti di III livello per la valutazione del coefficiente di amplificazione litologico del potenziale di liquefazione e dei cedimenti attesi.



7	<p>Area soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e a potenziale liquefazione <u>studi</u>": valutazione del coefficiente di amplificazione litologico, del potenziale di liquefazione e dei cedimenti attesi; <u>microzonazione sismica</u>": approfondimenti di III livello.</p>
8	<p>Area soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e a potenziali cedimenti <u>studi</u>": valutazione del coefficiente di amplificazione litologico e dei cedimenti attesi; <u>microzonazione sismica</u>": sono ritenuti sufficienti approfondimenti di II livello per la valutazione del coefficiente di amplificazione litologico e sono richiesti approfondimenti di III livello per la stima degli eventuali cedimenti.</p>

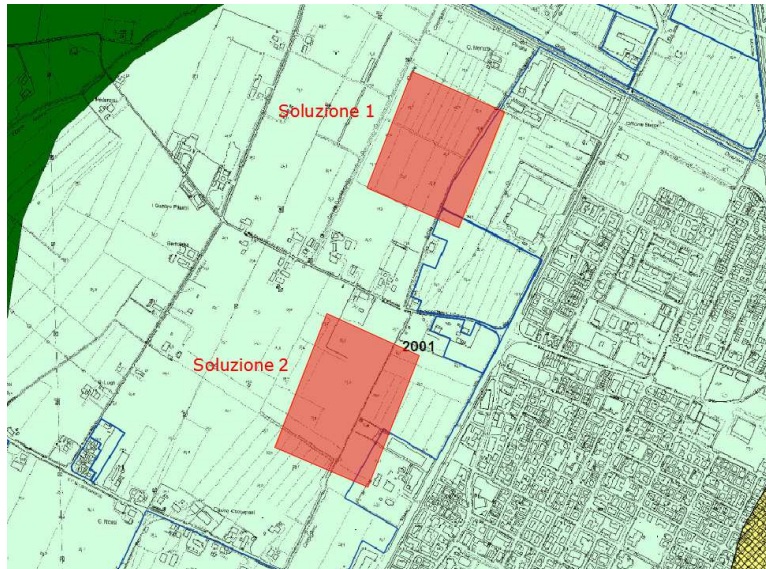
Estratto Carta degli effetti locali- PTCP.

CARTA DELLE MOPS – MICROZONAZIONE SISMICA II° LIVELLO P.S.C.

In questo caso, invece, secondo quanto visualizzato nella Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS), dello studio di Microzonazione sismica di II livello, redatta a cura di ARKIGEO del Dott. Geol. G. Gasparini (2013), entrambe le ipotesi progettuali ricadono all'interno della

SERVIZIO SANITARIO REGIONALE E.R. Azienda Ospedaliero-Universitaria di Modena	Area Operativa Nord – H Carpi – Programma straordinario di investimenti in sanità – ex art.20 L.67/88 V Fase II stralcio – DGR 18011/2019 Intervento APD02. Realizzazione del nuovo Ospedale di Carpi – Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica.	
	Relazione geologica sulle indagini:	<i>Caratterizzazione e modellazione geologica del sito</i>
	Relazione sulla modellazione sismica:	<i>"Pericolosità sismica di base" del sito di costruzione</i>
	Relazione geotecnica sulle indagini:	<i>Caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno</i>

medesima microzona stabile suscettibile di amplificazione denominata Zona 1: la successione stratigrafica è costituita da alternanze di strati di argille e argille limose con strati di limi, limi sabbiosi e sabbie limose (sedimenti di provenienza appenninica).



Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

- 2001 Zona 1-Alternanze di strati di argille e argille limose con strati di limi, limi sabbiosi e sabbie limose (sedimenti di provenienza appenninica)
- 2002 Zona 2- Argille e argille limose (con radi strati sabbiosi) sovrastate da un orizzonte superficiale limo-sabbioso
- 2003 Zona 3-Argille e limi prevalenti (con radi strati sabbiosi) fino ad almeno 25-40 m di profondità, sovrastanti depositi sabbia
- 2004 Zona 4-Peliti prevalenti (con radi strati sabbiosi) fino almeno 20-30 m di profondità
- 2005 Zona 5-Argille e limi fino 5-10 m di profondità. Sabbie prevalenti tra 5-20 m di profondità
- 2006 Zona 6-Alternanze tra strati metrici/plurimetrici sabbiosi e strati metrici/plurimetrici pelitici



Zone suscettibili di instabilità

 Liquefazioni

Estratto Carta MOPS – MZS.

Di seguito si riporta, inoltre, un estratto dell'elaborato grafico "Carta di Microzonazione sismica Livello 2: FA_{PGA}"

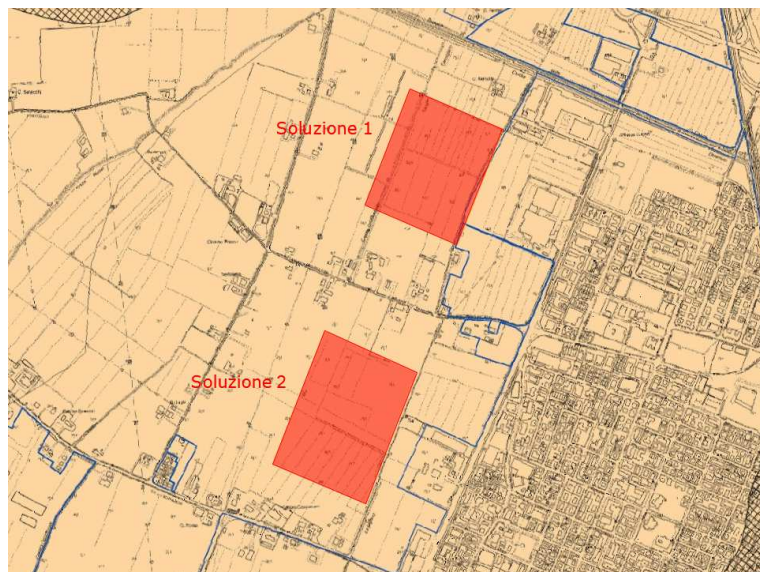
Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali (FA PGA)

-  Fa = 1,5 - 1,6
-  Fa = 1,7 - 1,8

Zone suscettibili di instabilità

 Liquefazioni

SERVIZIO SANITARIO REGIONALE E.R. Azienda Ospedaliero - Universitaria di Modena	Area Operativa Nord – H Carpi – Programma straordinario di investimenti in sanità – ex art.20 L.67/88 V Fase II stralcio – DGR 18011/2019 Intervento APD02. Realizzazione del nuovo Ospedale di Carpi – Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica.	
	Relazione geologica sulle indagini:	<i>Caratterizzazione e modellazione geologica del sito</i>
	Relazione sulla modellazione sismica:	<i>"Pericolosità sismica di base" del sito di costruzione</i>
	Relazione geotecnica sulle indagini:	<i>Caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno</i>



Estratto Carta MZS II Livello – Carta FA_{PGA}

I fattori di amplificazione del sito in esame, per i vari intervalli spettrali considerati, secondo quanto descritto nel documento tecnico a cura di ARKIGEO del *Dott. Geol. G. Gasparini*, sono i seguenti:

FA_{pga}:	FA_{SI0,1 - 0,5 s}	FA_{SI0,5 - 1,0 s}
1,5 ÷ 1,6	1,7 ÷ 1,8	>2,5

Lo studio di Microzonazione sismica del Comune di Carpi, a cura di ARKIGEO del *Dott. Geol. G. Gasparini*, è stato redatto in ottemperanza alla DAL 112/2007, la quale non risulta essere più vigente. Le analisi esposte dallo Scrivente sono state condotte in riferimento alla DGR 630/2019.

IDENTIFICAZIONE CATEGORIA SUOLO DI FONDAZIONE

Per ciascun lotto in esame, al fine di determinare la categoria del suolo di fondazione, valutare lo schema sismo-stratigrafico e ricavare i parametri dell'azione sismica dell'area in oggetto, sono state svolte le seguenti prospezioni geofisiche:

- **Stendimento sismico integrato Remi – MASW:** effettuata utilizzando un sismografo digitale a 24 canali ad elevata dinamica *GEOMETRICS GEODE*, attrezzato con 24 geofoni verticali con frequenza propria di 4,5 Hz, disposti ad interasse di 3,0m per una lunghezza totale di indagine pari a 69,0m. L'acquisizione dei microtremori ambientali è stata eseguita effettuando una decina di registrazioni della durata di 30 sec con una frequenza di campionamento di 500 Hz; la prospezione MASW è stata effettuata mediante 10 battute all'esterno dello stendimento.
- **Prospezione a stazione singola:** acquisizione di microtremori ambientali, sono state eseguite utilizzando un sismometro TROMINO ad elevata dinamica; le acquisizioni sono state eseguite campionando il segnale a 128 Hz per una durata di 50 minuti.

I dati acquisiti dalle rilevazioni effettuate, denotano che i primi 30 m del sottosuolo sono contraddistinti da velocità di propagazione delle onde di taglio Vs, profondità e spessori, come riportato nella seguente tabella.

Trattandosi di uno studio di fattibilità geologica, geotecnica e sismica e non disponendo di indicazioni precise in merito alle caratteristiche tipologiche e geometriche delle strutture fondali a

SERVIZIO SANITARIO REGIONALE E.R. Azienda Ospedaliero - Universitaria di Modena	Area Operativa Nord – H Carpi – Programma straordinario di investimenti in sanità – ex art.20 L.67/88 V Fase II stralcio – DGR 18011/2019 Intervento APD02. Realizzazione del nuovo Ospedale di Carpi – Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica.	
	<i>Relazione geologica sulle indagini:</i>	Caratterizzazione e modellazione geologica del sito
	<i>Relazione sulla modellazione sismica:</i>	"Pericolosità sismica di base" del sito di costruzione
	<i>Relazione geotecnica sulle indagini:</i>	Caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno

realizzarsi, cautelativamente, il calcolo del V_{seq} è stato realizzato a partire dalla profondità di - 1,0 m da p.c.

Soluzione 1

Sismo - orizzonte	Profondità da p.c. [m]	Spessore medio [m]	Vs [m/sec]
1	1,0 ÷ 8,5	7,5	162
2	8,5 ÷ 25,5	17,0	226
3	25,5 ÷ 31,0	5,5	329

Soluzione 2

Sismo - orizzonte	Profondità da p.c. [m]	Spessore medio [m]	Vs [m/sec]
1	1,0 ÷ 7,1	6,1	144
2	7,1 ÷ 19,0	11,9	209
3	19,0 ÷ 31,0	12,0	329

La definizione del valore V_{seq} , velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio nei primi 30 m del sottosuolo, si è determinata mediante la relazione:

$$V_{s, eq} = \frac{H}{\sum_{strato=1}^N \frac{h(strato)}{V_s(strato)}}$$

dove:

N = numero strati individuabili nei primi metri di suolo, ciascuno caratterizzato da spessore h e velocità onde s Vs

H = profondità del substrato, $V_s \geq 800$ m/s

ottenendo, per i metodi di acquisizione sopra descritti, i seguenti valori di velocità V_{seq} :

Soluzione 1 - $V_{seq} = 217$ m/sec

Soluzione 2 - $V_{seq} = 221$ m/sec

Dai parametri sopra esposti, in relazione alla sequenza litomeccanica riscontrata dall'esecuzione delle prove penetrometriche, congiuntamente ai ben noti margini d'incertezza intrinseci alla metodologia utilizzata per il calcolo del V_{seq} , si ritiene che i litotipi che formano i primi 30 m del sottosuolo, soggiacenti la quota di incastro delle fondazioni, sono attribuibili a:

Categoria 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.

Tab. 3.2.II Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.	
Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle

SERVIZIO SANITARIO REGIONALE E.R. Azienda Ospedaliero - Universitaria di Modena	Area Operativa Nord – H Carpi – Programma straordinario di investimenti in sanità – ex art.20 L.67/88 V Fase II stralcio – DGR 18011/2019 Intervento APD02. Realizzazione del nuovo Ospedale di Carpi – Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica.	
	<i>Relazione geologica sulle indagini:</i>	<i>Caratterizzazione e modellazione geologica del sito</i>
	<i>Relazione sulla modellazione sismica:</i>	<i>"Pericolosità sismica di base" del sito di costruzione</i>
	<i>Relazione geotecnica sulle indagini:</i>	<i>Caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno</i>

	proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 m/s e 180 m/s.
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Le prospezioni geofisiche di superficie condotte nell'ambito del presente studio attribuiscono ad entrambi i lotti la medesima categoria di sottosuolo [categoria C] e, al contempo, presentano valori di V_{seq} molto simili tra loro.

FATTORE DI AMPLIFICAZIONE SISMICO STRATIGRAFICO LOCALE (DGR 630/2019)

Sulla base delle indicazioni della Delibera dell'Assemblea Legislativa della Regione Emilia-Romagna n° 630 del 29/04/2019 – Allegato A2, si è determinato il coefficiente di amplificazione sismico locale mediante la tecnica di Housner. Nell'analisi non si è considerato l'effetto della topografia in quanto l'area in oggetto si colloca all'interno di un'area ampiamente pianeggiate.

In riferimento allo spessore ed omogeneità dei materiali investigati, si è considerato il caso di **"PIANURA 2: settore di pianura con sedimenti alluvionali prevalentemente fini, alternanze di limi, argille, e sabbie, caratterizzato dalla presenza di una importante discontinuità stratigrafica responsabile di un significativo contrasto d'impedenza a circa 100 m da p.c. e dal tetto del substrato rigido a circa 150 m da p.c."**. Si è quindi determinato il valore di incremento della intensità sismica locale, mediante la relazione di Housner:

$$\Delta a = \int_{T1}^{T2} PSV dt$$

dove:

Δa = fattore di amplificazione

PSV = spettro di risposta in velocità

In occasione di sollecitazione sismica, in funzione delle caratteristiche litostratigrafiche locali e dei contrasti di impedenza ($V_{s30} = 217 \div 221$ m/s), la successione sismostratigrafica può essere interessata dai seguenti fattori di amplificazione:

FAp_{ga}:	SA1:	SA2:	SA3:	SA4:
1,7	1,8	2,4 ÷ 2,7	2,8 ÷ 3,2	2,7 ÷ 3,1

Dove: fattori di amplificazione **SA1** ($0,1s \leq T \leq 0,5s$), **SA2** ($0,4s \leq T \leq 0,8s$), **SA3** ($0,7s \leq T \leq 1,1s$), **SA4** ($0,5s \leq T \leq 1,5s$).

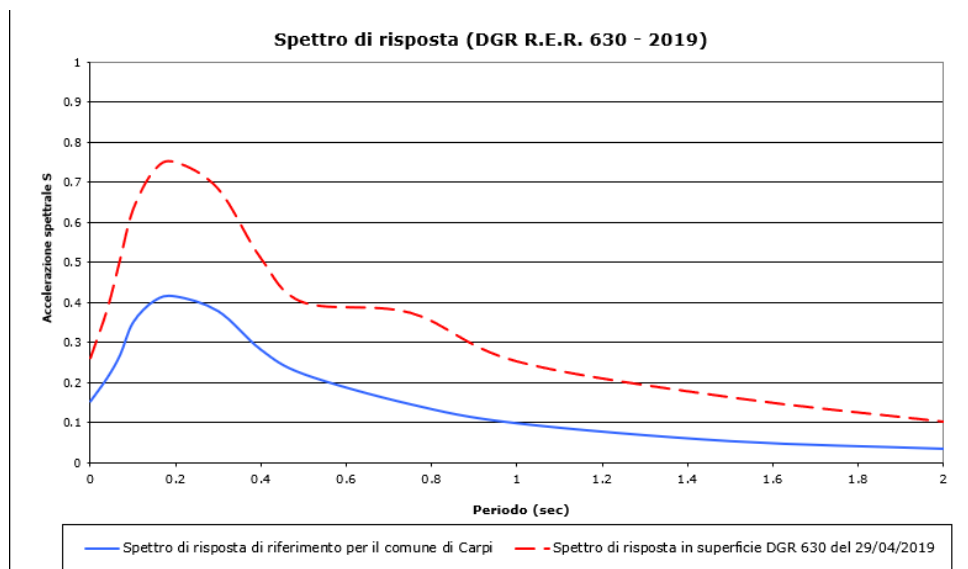
SI1:	SI2:	SI3:
1,9 ÷ 2,0	2,7 ÷ 3,0	2,9 ÷ 3,3

Dove: fattori di amplificazione **SI1** ($0,1s \leq T \leq 0,5s$), **SI2** ($0,5s \leq T \leq 1,0s$), **SI3** ($0,5s \leq T \leq 1,5s$).

per un valore dell'accelerazione al suolo di riferimento pari a:

$$a_g = 0,154 \text{ g}$$

SERVIZIO SANITARIO REGIONALE E.R. Azienda Ospedaliero-Universitaria di Modena	Area Operativa Nord – H Carpi – Programma straordinario di investimenti in sanità – ex art.20 L.67/88 V Fase II stralcio – DGR 18011/2019 Intervento APD02. Realizzazione del nuovo Ospedale di Carpi – Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica.	
	<i>Relazione geologica sulle indagini:</i>	<i>Caratterizzazione e modellazione geologica del sito</i>
	<i>Relazione sulla modellazione sismica:</i>	<i>"Pericolosità sismica di base" del sito di costruzione</i>
	<i>Relazione geotecnica sulle indagini:</i>	<i>Caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno</i>



FATTORE DI AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICO

Il sito in oggetto si ubica all'interno di un'ampia area pianeggiante in relazione a quanto asserto dalla DAL 630/2019, si potrà quindi considerare un coefficiente di amplificazione topografica pari a:

$$S_T = 1,0$$

COEFFICIENTI DI ACCELERAZIONE SISMICA

Alla luce degli studi effettuati nella presente relazione, i terreni di fondazione saranno sottoposti ad un'accelerazione sismica quantificabile secondo i seguenti parametri:

Approccio semplificato da Tab. DGR 630/2019	
Pga di riferimento	0,154
Coefficiente di amplificazione litologica	1,7
Coefficienti di amplificazione topografico:	1,000
a_{max}/g	0,262
coefficiente sismico orizzontale	$k_h = 0,063$
coefficiente sismico verticale	$k_v = \pm 0,031$

ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE

CENNI METODOLOGICI

In relazione alla classe d'uso della struttura a realizzarsi, per ciascun lotto, si è svolta l'analisi sismica approfondita dell'amplificazione stratigrafica allo SLV (RSL).

In primo luogo, si ricostruisce lo spettro di riferimento del comune di Carpi [TR = 475 anni, pga = 0,154g], successivamente, sulla base di quanto ricavato dalle prospezioni geofisiche, dal valore di Vs30 desunto e dalla conseguente attribuzione del sito in analisi ad una specifica categoria di sottosuolo, è possibile determinare lo spettro di risposta maggiorato del coefficiente di amplificazione stratigrafico (S_S); tale grafico è indicato dalla linea di colore fucsia.

La simulazione di scuotimento in superficie, necessaria per la definizione della risposta sismica locale, è stata condotta selezionando 11 accelerogrammi di input (opportunitamente scalati) e, per ciascuno di essi, è stato definito lo spettro di risposta. Successivamente, la media dei risultati ottenuti

SERVIZIO SANITARIO REGIONALE E.R. Azienda Ospedaliero - Universitaria di Modena	Area Operativa Nord – H Carpi – Programma straordinario di investimenti in sanità – ex art.20 L.67/88 V Fase II stralcio – DGR 18011/2019 Intervento APD02. Realizzazione del nuovo Ospedale di Carpi – Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica.	
	<i>Relazione geologica sulle indagini:</i>	<i>Caratterizzazione e modellazione geologica del sito</i>
	<i>Relazione sulla modellazione sismica:</i>	<i>"Pericolosità sismica di base" del sito di costruzione</i>
	<i>Relazione geotecnica sulle indagini:</i>	<i>Caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno</i>

è stata confrontata con lo spettro di risposta a probabilità uniforme per il Comune di Carpi, supponendo la condizione di suolo rigido.

Nello specifico, sono stati considerati i seguenti accelerogrammi come input:

nome	fonte
000046xa	
000126xa	http://www.regione.emilia-romagna.it/wcm/geologia/canali/sismica.htm
000354xa	
000946xa	European strong motion database
001241ya	http://www.isesd.hi.is/
000055xa	Definizione di accelerogrammi di riferimento per l'argine destro del Po redatta da A. Marcellini, D. Albarello, D. Gerosa messi a disposizione dal Servizio geologico, sismico e dei suoli della RER per studi di microzonazione.
000368xa	
004675ya	
006239ya	
006275ya	
007059xa	

Sulla base dei risultati delle indagini geofisiche [prospezione Re.Mi. - M.A.S.W. e verticale HVSR], rapportati alle sequenze deposizionali del Quaternario Continentale, è stato discretizzato il profilo delle onde S, estrapolando i valori e le profondità sino al raggiungimento del bedrock sismico considerato corrispondente a circa $V_s = 700$ m/sec. Nel caso in cui, alla massima profondità indagata, non siano state intercettate suddette velocità, è stato ipotizzato un incremento proporzionale all'ultimo tratto di curva sperimentale.

Dal punto di vista operativo, per ogni singolo accelerogramma considerato, il software STRATA per la determinazione del fattore di amplificazione stratigrafico, richiede che sia inserita la stratigrafia del sito in analisi e la profondità desunta alla quale si riscontra il *bedrock* sismico.

Per ogni sismo-orizzonte occorre indicare il *soil type*, lo spessore (espresso in metri), il peso di volume (espresso in kN/m^3) e la velocità di propagazione delle onde di taglio (m/sec).

A ciascun numero di *soil type*, corrisponde una tipologia granulometrica e fisica di suolo e, di conseguenza, una relativa curva di decadimento, messa a disposizione dal programma.

DEFINIZIONE DELLO SPETTRO DI RISPOSTA RELATIVO AL SITO IN ANALISI

Per lo studio della risposta sismica del sito in esame si è scelto di utilizzare come lo spettro di riferimento del comune di Carpi con $T_R = 475$ anni, calcolato su suolo rigido (ovvero il bedrock sismico).

Per ciascun lotto, la sequenza sismostratigrafica è stata desunta da uno stendimento sismico integrato Re.Mi. - M.A.S.W. ed una acquisizione di microtremori a stazione singola (HVSR).

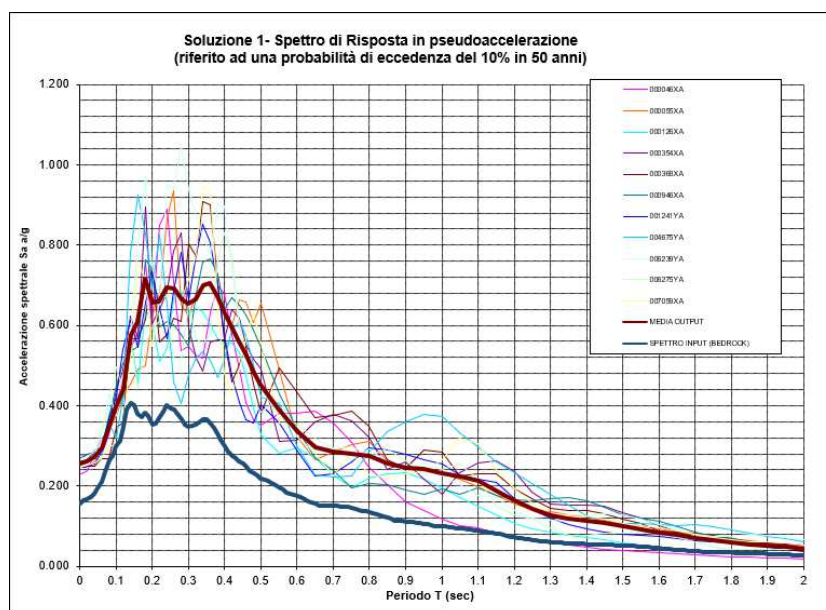
Qui di seguito si riporta la stratigrafia ed i parametri di input adottati per le simulazioni mediante il software STRATA:

SERVIZIO SANITARIO REGIONALE E.R. Azienda Ospedaliero - Universitaria di Modena	Area Operativa Nord – H Carpi – Programma straordinario di investimenti in sanità – ex art.20 L.67/88 V Fase II stralcio – DGR 18011/2019 Intervento APD02. Realizzazione del nuovo Ospedale di Carpi – Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica.	
	Relazione geologica sulle indagini:	<i>Caratterizzazione e modellazione geologica del sito</i>
	Relazione sulla modellazione sismica:	<i>"Pericolosità sismica di base" del sito di costruzione</i>
	Relazione geotecnica sulle indagini:	<i>Caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno</i>

Soluzione 1

Soil Type	Unit Weight [kN/m ³]	G/Gmax Model	Damping Model
1	19.00	Idriss (1990), Clay	Idriss (1990), Clay
2	19.00	Idriss (1990), Sand	Idriss (1990), Sand
3	19.50	Idriss (1990), Clay	Idriss (1990), Clay
4	20.50	Idriss (1990), Sand	Idriss (1990), Sand
5	21.30	Idriss (1990), Sand	Idriss (1990), Sand

Depth [m]	Thickness [m]	Soil Type	V _s [m/s]
0.00	8.50	1	162.00
8.50	17.00	1	226.00
25.50	25.50	1	329.00
51.00	15.00	1	341.00
66.00	5.00	2	430.00
71.00	25.00	3	450.00
96.00	5.00	4	580.00
101.00	24.00	5	650.00
125.00	Half-Space	Bedrock	730.00



Spettri di risposta calcolati con approfondimento di III livello.

Di seguito si riportano i parametri di sollecitazione sismica ricavati dallo studio di III Livello

Pga di riferimento	0,154
Coefficiente di amplificazione litologica	1,67 (III livello)
Coefficienti di amplificazione topografico:	1,000
a _{max} /g	0,257
coefficiente sismico orizzontale	k_h = 0,062
coefficiente sismico verticale	k_v = ± 0,031

FAPga:	SA1:	SA2:	SA3:	SA4:
1,67	1,83	2,01	2,15	2,09

Dove: fattori di amplificazione **SA1** (0,1s ≤ T ≤ 0,5s), **SA2** (0,4s ≤ T ≤ 0,8s), **SA3** (0,7s ≤ T ≤ 1,1s), **SA4** (0,5s ≤ T ≤ 1,5s).

SERVIZIO SANITARIO REGIONALE E.R. Azienda Ospedaliero-Universitaria di Modena	Area Operativa Nord – H Carpi – Programma straordinario di investimenti in sanità – ex art.20 L.67/88 V Fase II stralcio – DGR 18011/2019 Intervento APD02. Realizzazione del nuovo Ospedale di Carpi – Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica.	
	<i>Relazione geologica sulle indagini:</i>	<i>Caratterizzazione e modellazione geologica del sito</i>
	<i>Relazione sulla modellazione sismica:</i>	<i>"Pericolosità sismica di base" del sito di costruzione</i>
	<i>Relazione geotecnica sulle indagini:</i>	<i>Caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno</i>

SI1:	SI2:	SI3:
1,92	2,04	2,11

Dove: fattori di amplificazione **SI1** ($0,1s \leq T \leq 0,5s$), **SI2** ($0,5s \leq T \leq 1,0s$), **SI3** ($0,5s \leq T \leq 1,5s$).

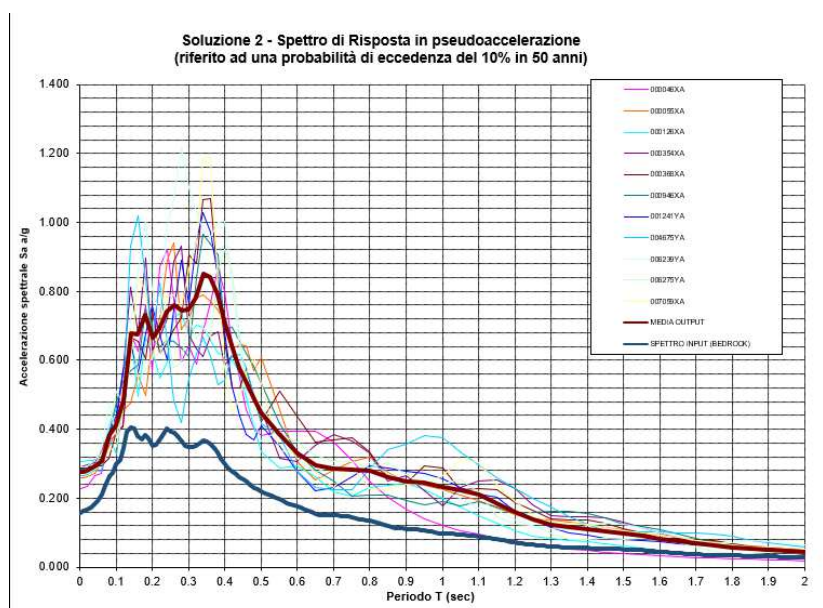
In relazione a quanto esposto da Naso et Al. [2019], la Soluzione 1 presenta una pericolosità sismica [H_{SM}] moderata - alta.

HSM_{0,1-0,5}:	HSM_{0,4-0,8}:	HSM_{0,7-1,1}:	HSM_{0,5-1,5}:
604	372	246	221

Soluzione 2

Soil Type	Unit Weight [kN/m ³]	G/Gmax Model	Damping Model
1	19.00	Idriss (1990), Clay	Idriss (1990), Clay
2	19.00	Idriss (1990), Sand	Idriss (1990), Sand
3	19.50	Idriss (1990), Clay	Idriss (1990), Clay
4	20.50	Idriss (1990), Sand	Idriss (1990), Sand
5	21.30	Idriss (1990), Sand	Idriss (1990), Sand

Depth [m]	Thickness [m]	Soil Type	Vs [m/s]
0.00	7.10	1	144.00
7.10	11.90	1	209.00
19.00	16.60	1	329.00
35.60	21.40	1	317.00
57.00	5.00	2	330.00
62.00	28.00	3	450.00
90.00	5.00	4	580.00
95.00	30.00	5	650.00
125.00	Half-Space	Bedrock	730.00



Spettri di risposta calcolati con approfondimento di III livello.

Di seguito si riportano i parametri di sollecitazione sismica ricavati dallo studio di III Livello

SERVIZIO SANITARIO REGIONALE E.R. Azienda Ospedaliero - Universitaria di Modena	Area Operativa Nord – H Carpi – Programma straordinario di investimenti in sanità – ex art.20 L.67/88 V Fase II stralcio – DGR 18011/2019 Intervento APD02. Realizzazione del nuovo Ospedale di Carpi – Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica.	
	<i>Relazione geologica sulle indagini:</i>	<i>Caratterizzazione e modellazione geologica del sito</i>
	<i>Relazione sulla modellazione sismica:</i>	<i>"Pericolosità sismica di base" del sito di costruzione</i>
	<i>Relazione geotecnica sulle indagini:</i>	<i>Caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno</i>

Pga di riferimento	0,154
Coefficiente di amplificazione litologica	1,77 (III livello)
Coefficienti di amplificazione topografico:	1,000
a_{max}/g	0,276
coefficiente sismico orizzontale	$k_h = 0,066$
coefficiente sismico verticale	$k_v = \pm 0,033$

FAppa:	SA1:	SA2:	SA3:	SA4:
1,77	2,02	2,03	2,17	2,08

Dove: fattori di amplificazione **SA1** ($0,1s \leq T \leq 0,5s$), **SA2** ($0,4s \leq T \leq 0,8s$), **SA3** ($0,7s \leq T \leq 1,1s$), **SA4** ($0,5s \leq T \leq 1,5s$).

SI1:	SI2:	SI3:
2,11	2,06	2,10

Dove: fattori di amplificazione **SI1** ($0,1s \leq T \leq 0,5s$), **SI2** ($0,5s \leq T \leq 1,0s$), **SI3** ($0,5s \leq T \leq 1,5s$).

Anche in questo caso, la Soluzione 2 evidenzia una classe di pericolosità sismica [H_{SM}] moderata - alta.

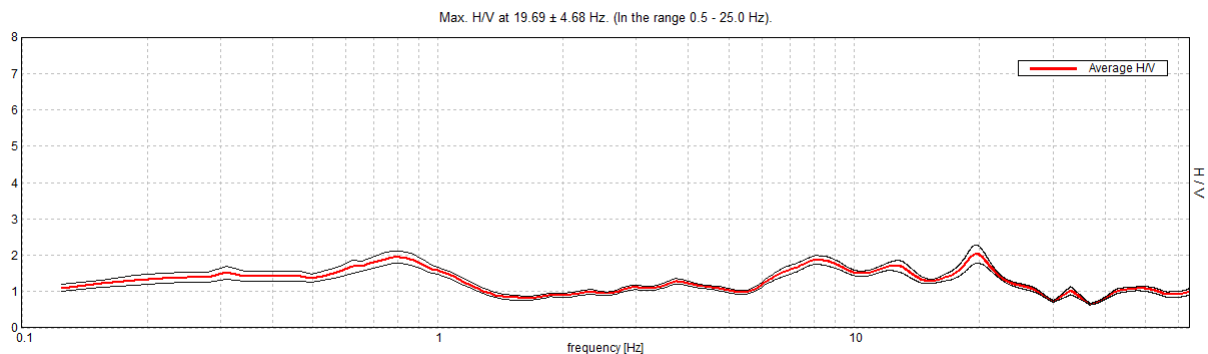
HSM_{0,1-0,5:}	HSM_{0,4-0,8:}	HSM_{0,7-1,1:}	HSM_{0,5-1,5:}
665	376	248	220

FREQUENZA PRIMARIA TERRENI DI FONDAZIONE

I microtremori ambientali acquisiti mediante sismografo TROMINO ad elevata dinamica sono, quindi, stati elaborati con la tecnica HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio* o *metodo di Nakamura*). L'ipotesi alla base della metodologia è che essendo i microtremori causati prevalentemente dalle onde di Rayleigh, la componente verticale del moto non subisce fenomeni di amplificazione in corrispondenza di marcati contrasti di impedenza sismica, mentre detto fenomeno avviene per le componenti orizzontali, soprattutto in corrispondenza della frequenza fondamentale di risonanza (F_0) dei terreni indagati. Eseguendo quindi il rapporto tra gli spettri di frequenza orizzontale e verticale (H/V) si ottiene un grafico in cui si evidenziano le frequenze in cui si hanno i maggiori effetti di amplificazione locale.

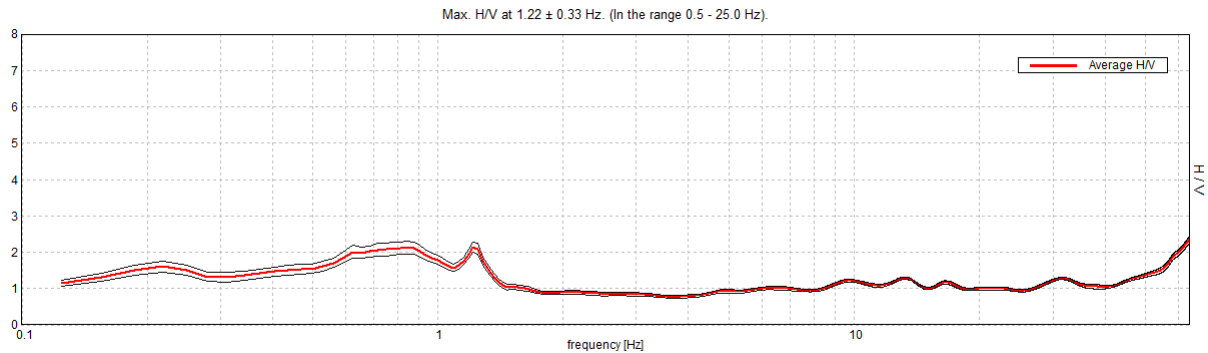
L'elaborazione HVSR dei dati acquisiti ha evidenziato i risultati riportati nella figura di seguito, in cui la linea rossa continua in grassetto evidenzia la media delle finestre di calcolo, mentre le linee tratteggiate rappresentano l'intervallo di confidenza al 90% rispetto alla media calcolata.

Soluzione 1



SERVIZIO SANITARIO REGIONALE E.R. Azienda Ospedaliero - Universitaria di Modena	Area Operativa Nord – H Carpi – Programma straordinario di investimenti in sanità – ex art.20 L.67/88 V Fase II stralcio – DGR 18011/2019 Intervento APD02. Realizzazione del nuovo Ospedale di Carpi – Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica.	
	Relazione geologica sulle indagini:	<i>Caratterizzazione e modellazione geologica del sito</i>
	Relazione sulla modellazione sismica:	<i>"Pericolosità sismica di base" del sito di costruzione</i>
	Relazione geotecnica sulle indagini:	<i>Caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno</i>

Soluzione 2



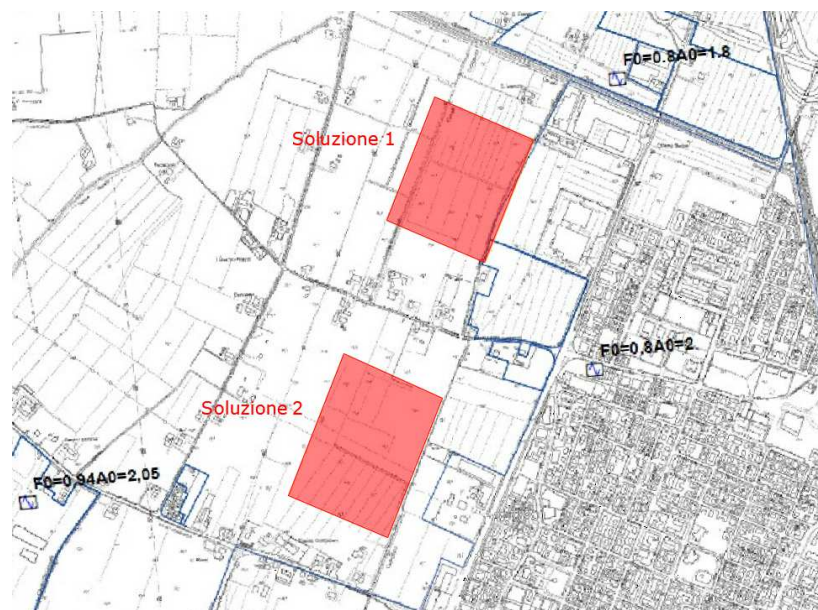
In relazione a quanto esposto all'interno delle linee guida SESAME (2005), l'elaborazione dell'acquisizione soddisfa i primi tre criteri fondamentali (*vedi scheda HVSR allegata*); la curva H/V risulta, quindi, affidabile.

In relazione al contesto geologico – geomorfologico dell'area di studio, l'elaborazione proposta dal software Grilla® dell'acquisizione svolta in prossimità del lotto Soluzione 1 restituisce un picco a 19.7 Hz, il quale non risulta riconducibile alle frequenze principali naturali del sottosuolo.

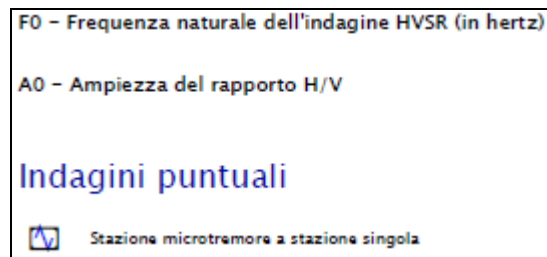
A tale proposito si possono quindi ritenere rappresentativi i picchi individuati alle seguenti frequenze:

Acquisizione	f_0 [Hz]	T [s]
HVSR – Soluzione 1	0,80	1,25
HVSR – Soluzione 2	0,85	1,17

Di seguito si riporta un estratto della *Carta delle frequenze naturali dei terreni*, redatta nell'ambito degli studi di Microzonazione sismica del Comune di Carpi.



SERVIZIO SANITARIO REGIONALE E.R. Azienda Ospedaliero - Universitaria di Modena	Area Operativa Nord – H Carpi – Programma straordinario di investimenti in sanità – ex art.20 L.67/88 V Fase II stralcio – DGR 18011/2019 Intervento APD02. Realizzazione del nuovo Ospedale di Carpi – Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica.	
	<i>Relazione geologica sulle indagini:</i>	<i>Caratterizzazione e modellazione geologica del sito</i>
	<i>Relazione sulla modellazione sismica:</i>	<i>"Pericolosità sismica di base" del sito di costruzione</i>
	<i>Relazione geotecnica sulle indagini:</i>	<i>Caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno</i>



Valori di frequenza variabili tra $F_0 = 0,70 \div 0,95$ Hz sono usuali per l'ambito territoriale in analisi.

ANALISI SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE

Per il comparto in esame, si è eseguita una verifica a suscettibilità alla liquefazione in riferimento al metodo di *Robertson & Wride* (1997b), *modificato MSF Idriss*, utilizzando un foglio di calcolo direttamente realizzato che definisce la suscettibilità alla liquefazione in rapporto ai valori di q_c ed alla sollecitazione tangenziale ciclica. Detta analisi è stata effettuata considerando l'assenza di manufatti poiché questa è la configurazione più sfavorevole per il rischio di liquefazione.

Il coefficiente di sicurezza alla liquefazione è stato determinato mediante la relazione:

$$FSL = \frac{CRR_{7,5}}{CSR} \cdot MSF$$

dove:

FSL = coefficiente di sicurezza

$$CRR = 93 \cdot \left[\frac{(q_{c_{ln}})_{cs}}{1000} \right]^3 + 0.08$$

ove:

$(q_{c_{ln}})_{cs}$ = valore resistenza alla punta normalizzato, funzione di CF (%componenti fini) e di K, funzione di IC (indice del tipo di terreno); kPa

$$CSR = \frac{\tau_d}{\sigma'_0} = 0,65 \frac{A}{g} \frac{\sigma_0}{\sigma'_0} (1 - 0,00765z)$$

ove:

τ_d = tensione tangenziale ciclica

τ_e = resistenza del terreno

σ_0 = tensione verticale totale

σ'_0 = tensione verticale efficace

A/g = valore di accelerazione, equivalente a 0,15 per S6.

z = profondità dello strato

Δn_f = coefficiente funzione del contenuto in materiali fini

$CRR_{7,5}$ = capacità di resistenza ciclica riferita a $M = 7,5$

MSF = fattore di magnitudo riferito all'intensità attesa in sito.

Il modello di calcolo elabora gli intervalli potenzialmente suscettibili alla liquefazione in relazione al contenuto di materiali fini, restituendo i coefficienti di sicurezza sulla verticale della prova penetrometrica.

SERVIZIO SANITARIO REGIONALE E.R. Azienda Ospedaliero - Universitaria di Modena	Area Operativa Nord – H Carpi – Programma straordinario di investimenti in sanità – ex art.20 L.67/88 V Fase II stralcio – DGR 18011/2019 Intervento APD02. Realizzazione del nuovo Ospedale di Carpi – Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica.	
	<i>Relazione geologica sulle indagini:</i>	<i>Caratterizzazione e modellazione geologica del sito</i>
	<i>Relazione sulla modellazione sismica:</i>	<i>"Pericolosità sismica di base" del sito di costruzione</i>
	<i>Relazione geotecnica sulle indagini:</i>	<i>Caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno</i>

I_L	Rischio liquefazione
$I_L = 0$	Nullo
$0 < I_L \leq 2$	Basso
$2 < I_L \leq 5$	Moderato
$5 < I_L \leq 15$	Alto
$I_L > 15$	Molto alto

[Sonmez, 2003]

Le verifiche sono state condotte utilizzando una Magnitudo pari a $M_w = 6,14$ ed applicando un battente idrico sotterraneo prossimo a - 2,00m p.c.).

Soluzione 1

CPT	I_L
C071	0,00
C085	0,08
C086	0,03
CPT3/21	0,60

Per tale ambito si è fatto riferimento alle indagini pregresse recuperate in bibliografia (RER: C071 – C085 e C086) e, al contempo, alla verticale eseguita nel corso della attuale campagna d'indagine geognostica CPT-Rm3/21.

Sulla base delle indagini considerate si evidenzia un rischio di potenziale liquefazione molto basso [$I_L = 0,6$].

Soluzione 2

CPT	I_L
CPT1/21	0,3
CPT2/21	4,47

Le indagini eseguite mostrano significative variazioni litologiche laterali e, con esse, anche una marcata variabilità del rischio di potenziale liquefazione; infatti, se da un lato CPT-Rm1/21 mostra un I_L molto basso, pari a $I_L = 0,3$, tale parametro cresce sensibilmente sulla verticale CPT-Rm2/21, evidenziando un indice di potenziale liquefazione moderato, pari a $I_L = 4,47$.

I livelli potenzialmente liquefacibili di CPT-Rm2/21 sono riscontrabili a profondità comprese tra - 10 ÷ - 15 m da p.c.

A seguito delle attuali analisi preliminari svolte, si ritiene che il modello geologico del primo sottosuolo sia maggiormente assimilabile allo scenario esposto all'interno degli studi di PTCP – "Carta delle aree suscettibili di effetti locali": la presenza di un passaggio tra comparti territoriali non soggetti a liquefazione [Zona 8] ad ambiti potenzialmente liquefacibili [Zona 7].

Una volta definito il lotto sul quale sviluppare l'intervento edificatorio in progetto, in relazione alle risultanze sopra esposte, la suscettività a liquefazione del primo sottosuolo dovrà essere approfondita ulteriormente in fase di progettazione esecutiva mediante specifiche indagini geognostiche e analisi di laboratorio.

Ad ogni modo, durante il manifestarsi degli eventi sismici del Maggio – Giugno 2012, in corrispondenza dell'area di studio, non sono stati segnalati fenomeni di liquefazione e/o densificazione.

SERVIZIO SANITARIO REGIONALE E.R. Azienda Ospedaliero - Universitaria di Modena	Area Operativa Nord – H Carpi – Programma straordinario di investimenti in sanità – ex art.20 L.67/88 V Fase II stralcio – DGR 18011/2019 Intervento APD02. Realizzazione del nuovo Ospedale di Carpi – Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica.	
	Relazione geologica sulle indagini:	<i>Caratterizzazione e modellazione geologica del sito</i>
	Relazione sulla modellazione sismica:	<i>"Pericolosità sismica di base" del sito di costruzione</i>
	Relazione geotecnica sulle indagini:	<i>Caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno</i>

RELAZIONE GEOTECNICA SULLE INDAGINI: MODELLAZIONE DEL SITO

Nel corso della presente campagna d'indagine geognostica, per la caratterizzazione fisico-meccanica del sottosuolo sono state eseguite n°3 prove penetrometriche statiche CPT-Rm, le quali sono state svolte utilizzando un penetrometro statico, con caratteristiche conformi allo standard europeo (cfr. *Raccomandazioni ISSMFE-AGI*), mod. SP-100 Geo Deep Drill, con cella di pressione idraulica, a lettura analogica, attrezzando la prima asta con punta Begemann (*Friction Sleeve Cone*).

Tramite il portale cartografico della regione Emilia-Romagna, inoltre, sono state recuperate n°3 ulteriori verticali penetrometriche CPT Rm [C071, C085 e C086], svolte in adiacenza al lotto Soluzione 1 ed all'interno del medesimo contesto geologico – geomorfologico.

L'attuale campagna d'indagine geognostica ha previsto, quindi, nello specifico, la realizzazione di n°2 verticali all'interno del lotto Soluzione 2 e di una verticale, in adiacenza al lotto Soluzione 1.

Detto piano di lavoro, congiuntamente alle prospezioni geofisiche considerate, ha consentito di esaminare la parte di sottosuolo significativamente influenzata, direttamente o indirettamente, dalla costruzione dell'opera e che interagisce con l'opera stessa, ovvero il volume significativo.

SUCCESSIONE LITOMECCANICA

I punti indagati sono ubicati come nella planimetria "Tav. 3. Ubicazione Indagini in situ" ed i relativi risultati appaiono visualizzati negli allegati: *diagrammi penetrometrici*. In base al rapporto di Begemann ottenuto dall'esecuzione di prove penetrometriche statiche CPT Rm, si è riconosciuta, dall'alto in basso rispetto alla quota del piano cortilivo, la successione litostratigrafico - meccanica di seguito descritta.

CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA DEI TERRENI

I dati ottenuti dall'esecuzione delle prove penetrometriche statiche CPT Rm ha permesso di ricavare i principali parametri geotecnici, necessari per la caratterizzazione geomeccanica del primo sottosuolo. Di seguito per ciascun parametro viene riportato l'Autore al quale si è fatto riferimento; nello specifico:

Parametro	Autore	Parametro	Autore
<i>Cu</i>	<i>Begemann</i>	<i>Ed</i>	<i>Mitchell e Gardner</i>
ϕ'	<i>L'Herminier; Caquot</i>	<i>Dr</i>	<i>Jamiolkowski et Alii</i>
<i>c'</i>	<i>Mesre et Alii</i>	<i>k</i>	<i>Bowles mod.</i>

Il coefficiente di *Poisson*, ν , si è ricavato da correlazioni empiriche tra velocità di propagazione delle onde sismiche e valori di resistenza penetrometrica, il modulo elastico da correlazioni tra *Ed*, *E* e ν .

L'analisi è stata effettuata in termini statistici secondo il D.M. 17/01/2018 (si veda allegato "Analisi statistica dati penetrometrici"), ricavando i valori caratteristici di resistenza alla punta (q_c) e di attrito laterale locale (f_s) per ognuna delle unità individuate e quindi estrapolando i parametri geotecnici di seguito evidenziati.

SERVIZIO SANITARIO REGIONALE E.R. Azienda Ospedaliero - Universitaria di Modena	Area Operativa Nord – H Carpi – Programma straordinario di investimenti in sanità – ex art.20 L.67/88 V Fase II stralcio – DGR 18011/2019 Intervento APD02. Realizzazione del nuovo Ospedale di Carpi – Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica.	
	Relazione geologica sulle indagini:	<i>Caratterizzazione e modellazione geologica del sito</i>
	Relazione sulla modellazione sismica:	<i>"Pericolosità sismica di base" del sito di costruzione</i>
	Relazione geotecnica sulle indagini:	<i>Caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno</i>

Soluzione 1

- **UGT1 (da -1,0 ÷ -1,6m a -2,0 ÷ -2,8m p.c.):**
 In relazione al contesto paesaggistico ove sono state realizzate le indagini geognostiche, i dati relativi ai primi 120 ÷ 160 cm da p.c. sono stati esclusi dai modelli di ricostruzione stratigrafica. Il primo terreno naturale è costituito da termini argilloso limosi e limoso argillosi a medio – medio basso grado di consistenza. Al penetrometro statico sono stati registrati valori medi di resistenza alla punta variabili tra $q_{cm} = 7 \div 14 \text{ kgf/cmq}$; i valori di resistenza ad attrito laterale locale sono compresi tra $f_{sm} = 0,4 \div 0,9 \text{ kgf/cmq}$.
- **UGT2 (da -2,0 ÷ -2,8m a -4,8 ÷ -5,8m p.c.):**
 Litotipi argillosi e argilloso limosi a medio elevato grado di consistenza e sovraconsolidazione. Si sono rilevati valori medi di resistenza alla punta oscillanti tra $q_{cm} = 16 \div 28 \text{ kgf/cmq}$ e valori di resistenza ad attrito laterale locale variabili tra $f_{sm} = 0,8 \div 1,5 \text{ kgf/cmq}$.
- **UGT3 – UGT3bis (da -4,8 ÷ -5,8m a -5,4 ÷ -7,2 m p.c.):**
 Terreni argillosi e argilloso limosi presentanti variazioni laterali del grado di consistenza; infatti, sulle verticali C085, C086 e CPT3/21 sono stati identificati materiali a medio basso grado di consistenza [UGT3] mentre sulla restante verticale tale parametro risulta più elevato [C071 – UGT3bis].
 Al penetrometro statico in corrispondenza delle verticali C085, C086 e CPT3/21 sono stati rilevati valori di resistenza alla punta pari a $q_{cm} = 8 \div 16 \text{ kgf/cmq}$ e valori di resistenza ad attrito laterale locale compresi tra $f_{sm} = 0,4 \div 0,9 \text{ kgf/cmq}$.
 La restante indagine C071, invece, ha registrato valori di resistenza alla punta variabili tra $16 \div 22 \text{ kgf/cmq}$ e valori di resistenza ad attrito laterale locale compresi tra $f_{sm} = 0,8 \div 1,1 \text{ kgf/cmq}$.
- **UGT4 – UGT4bis (da -5,4 ÷ -7,2 m a -6,4 ÷ -8,4m p.c.):**
 Unità presentante marcata variabilità litologica laterale; infatti, in corrispondenza del settore occidentale [C071 – UGT4bis] sono stati identificati materiali coesivi fortemente sovraconsolidati mentre sulle restanti verticali [C085, C086 e CPT3/21 – UGT4] sono stati identificati litotipi argilloso limosi e limoso argillosi mediamente consistenti.
 Sulla verticale C071 sono stati registrati valori medi di resistenza alla punta variabili tra $q_{cm} = 24 \div 32 \text{ kgf/cmq}$ e valori di resistenza ad attrito laterale locale pari a $f_{sm} = 0,8 \div 1,5 \text{ kgf/cmq}$.
 Sulle restanti verticali si sono rilevati valori di resistenza alla punta pari a $q_{cm} = 12 \div 24 \text{ kgf/cmq}$ e resistenza ad attrito laterale locale pari a $f_{sm} = 0,5 \div 1,1 \text{ kgf/cmq}$.
- **UGT5 (da -6,4 ÷ -8,4m a -10,6 ÷ -11,6m p.c.):**
 Sequenza limosa, limoso argillosa e argilloso limosa a medio grado di consistenza, caratterizzata da valori medi oscillanti tra $q_{cm} = 8 \div 20 \text{ kgf/cmq}$ e valori di resistenza ad attrito laterale locale compresi tra $f_{sm} = 0,4 \div 1,0 \text{ kgf/cmq}$.
- **UGT6 (da -10,6 ÷ -11,6m a -13,0 ÷ -13,4m p.c.):**
 Terreni argillosi e argilloso limosi a medio elevato grado di consistenza. Al penetrometro statico sono stati registrati valori medi di resistenza alla punta variabili tra $q_{cm} = 12 \div 24 \text{ kgf/cmq}$ e la resistenza ad attrito laterale locale è compresa tra $f_{sm} = 0,5 \div 1,3 \text{ kgf/cmq}$.
- **UGT7 (da -13,0 ÷ -13,4m a -15,0m p.c.):**
 Litotipi argillosi e argilloso limosi ad elevato grado di consistenza e sovraconsolidazione. Sono caratterizzati da valori medi di resistenza alla punta variabili tra $q_{cm} = 14 \div 36 \text{ kgf/cmq}$ e valori di resistenza ad attrito laterale locale oscillanti tra $f_{sm} = 0,7 \div 2,1 \text{ kgf/cmq}$.
- **UGT8 (da -15,0m a -18,0m p.c.):**
 Orizzonte francamente sabbioso e/o sabbioso limoso a medio grado di addensamento. Al penetrometro statico sono stati rilevati valori medi di resistenza alla punta variabili tra $q_{cm} = 40 \div 110 \text{ kgf/cmq}$, con valori medi minimi pari a $q_{cm} = 20 \div 28 \text{ kgf/cmq}$. La resistenza ad attrito laterale locale è compresa tra $f_{sm} = 0,5 \div 2,5 \text{ kgf/cmq}$.
- **UGT9 (da -18,0m a -20,0m p.c.):**
 Litotipi argillosi e argilloso limosi a medio grado di consistenza. Sono caratterizzati da valori medi di resistenza alla punta variabili tra $q_{cm} = 12 \div 18 \text{ kgf/cmq}$ e valori di resistenza ad attrito laterale locale oscillanti tra $f_{sm} = 0,7 \div 1,2 \text{ kgf/cmq}$.

SERVIZIO SANITARIO REGIONALE E.R. Azienda Ospedaliero - Universitaria di Modena	Area Operativa Nord – H Carpi – Programma straordinario di investimenti in sanità – ex art.20 L.67/88 V Fase II stralcio – DGR 18011/2019 Intervento APD02. Realizzazione del nuovo Ospedale di Carpi – Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica.	
	Relazione geologica sulle indagini:	<i>Caratterizzazione e modellazione geologica del sito</i>
	Relazione sulla modellazione sismica:	<i>"Pericolosità sismica di base" del sito di costruzione</i>
	Relazione geotecnica sulle indagini:	<i>Caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno</i>

	Profondità	Descrizione geotecnica
ORS	da p.c. a -1,0 ÷ -1,5 m p.c.	A, AL e LA a medio elevato grado di consistenza. Grado di compressibilità basso.
UGT1	Da -1,0 ÷ -1,5 m a -2,0 ÷ -3,0 m p.c.	LA e LA a medio - medio basso grado di consistenza. Grado di compressibilità medio.
UGT2	Da -2,0 ÷ -3,0 m a -5,0 ÷ -6,0 m p.c.	A e AL a medio elevato OC. Grado di compressibilità basso.
UGT3	Da -5,0 ÷ -6,0 m a -5,5 ÷ -7,0 m p.c.	A e AL a medio basso grado di consistenza. Grado di compressibilità medio.
UGT3bis	Da - 6,0 a - 7,0m p.c. Solo C071	A e AL a medio grado di consistenza. Grado di compressibilità basso.
UGT4	Da -5,5 ÷ -6,0m a - 6,5 ÷ - 7,5m p.c.	LA, AL e, talora, L a medio grado di consistenza. Grado di compressibilità basso.
UGT4bis	Da - 7,0 a - 8,5m p.c. Solo C071	A e AL a medio elevato OC. Grado di compressibilità basso.
UGT5	Da - 6,5 ÷ - 8,5m a - 10,5 ÷ - 11,5m p.c.	L, LA e AL a medio grado di consistenza. Grado di compressibilità medio - medio elevato.
UGT6	Da - 10,5 ÷ - 11,5m a - 13,0 ÷ - 13,5m p.c.	A e AL a medio elevato OC. Grado di compressibilità basso.
UGT7	Da - 13,0 ÷ - 13,5m a - 15,0m p.c.	A e AL ad elevato OC. Grado di compressibilità molto basso.
UGT8	Da - 15,0 a - 18,0m p.c.	S e SL a medio grado di addensamento. Grado di compressibilità basso.
UGT9	Da - 18,0 a - 20,0m p.c.	A - AL a medio grado di consistenza. Grado di compressibilità medio.

Litologie: T = torba; A = argille; AL = argille limose; L = limi; LA = Limi argillosi; LS = limi sabbiosi; SL = sabbie limose; S = sabbie; SGh = sabbie ghiaiose; Gh = ghiaie; GhS = ghiaie sabbiose; OC = sovraconsolidazione (*Over Consolidated*).

	Parametri geognostici caratteristici [kgf/cm ²]	Parametri geotecnici caratteristici					
		ϕ'_k [°]	c'_k [kgf/cm ²]	c_{uk} [kgf/cm ²]	γ_{nk} [kgf/cm ³]	Dr_k [%]	E_{dk} [kgf/cm ²]
ORS	$q_{Ck} = 16,88$ $f_{Sk} = 1,19$	23	0,09	0,52	0,00193	--	57
UGT1	$q_{Ck} = 10,54$ $f_{Sk} = 0,62$	22	0,08	0,44	0,00188	--	47
UGT2	$q_{Ck} = 19,36$ $f_{Sk} = 1,16$	23	0,14	0,67	0,00190	--	62
UGT3	$q_{Ck} = 10,92$ $f_{Sk} = 0,53$	21	0,09	0,42	0,00185	--	46
UGT3bis	$q_{Ck} = 16,94$ $f_{Sk} = 0,80$	22	0,12	0,62	0,00188	--	56
UGT4	$q_{Ck} = 15,83$ $f_{Sk} = 0,64$	22	0,11	0,56	0,00188	--	52
UGT4bis	$q_{Ck} = 25,98$ $f_{Sk} = 1,04$	23	0,13	0,65	0,00191	--	66
UGT5	$q_{Ck} = 12,99$ $f_{Sk} = 0,56$	22	0,08	0,38	0,00188	--	42
UGT6	$q_{Ck} = 16,38$	23	0,12	0,53	0,00190	--	49

SERVIZIO SANITARIO REGIONALE E.R. Azienda Ospedaliero - Universitaria di Modena	Area Operativa Nord – H Carpi – Programma straordinario di investimenti in sanità – ex art.20 L.67/88 V Fase II stralcio – DGR 18011/2019 Intervento APD02. Realizzazione del nuovo Ospedale di Carpi – Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica.	
	<u>Relazione geologica sulle indagini:</u>	Caratterizzazione e modellazione geologica del sito
	<u>Relazione sulla modellazione sismica:</u>	"Pericolosità sismica di base" del sito di costruzione
	<u>Relazione geotecnica sulle indagini:</u>	Caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno

	$f_{sk} = 0,94$						
UGT7	$q_{Ck} = 21,02$ $f_{sk} = 1,21$	23	0,13	0,63	0,00193	--	69
UGT8	$q_{Ck} = 49,18$ $f_{sk} = 0,83$	27	--	--	0,00195	49	75
UGT9	$q_{Ck} = 13,53$ $f_{sk} = 0,81$	22	0,08	0,46	0,00190	--	48

Ove: c_u = coesione non drenata, c' = coesione drenata; ϕ' = angolo di attrito efficace; D_r = densità relativa; γ_n = peso dell'unità di volume; E_d = modulo edometrico, k = modulo di reazione, OC = sovraconsolidate (*Over Consolidated*).

Soluzione 2

- **UGTA (da -1,4 ÷ -1,6m a -4,0 ÷ -6,2m p.c.):**
I dati relativi ai primi 140 ÷ 160 cm da p.c. sono stati esclusi dai modelli di ricostruzione stratigrafica. Il primo terreno naturale è costituito da litotipi limosi, limoso argilloso, argilloso limosi e, talora, limoso sabbiosi a medio basso grado di consistenza. Al penetrometro statico sono stati registrati valori medi di resistenza alla punta variabili tra $q_{cm} = 7 \div 14 \text{ kgf/cmq}$; i valori di resistenza ad attrito laterale locale sono compresi tra $f_{sm} = 0,2 \div 0,7 \text{ kgf/cmq}$.
- **UGTB (da -4,0 ÷ -6,2m a -7,4 ÷ -7,8m p.c.):**
Termini argilloso limosi, argillosi e limoso argillosi a medio grado di consistenza, presentanti valori medi di resistenza alla punta oscillanti tra $q_{cm} = 11 \div 19 \text{ kgf/cmq}$ e valori di resistenza ad attrito laterale locale variabili tra $f_{sm} = 0,4 \div 0,9 \text{ kgf/cmq}$.
- **UGTC (da -7,4 ÷ -7,8m a -8,8 ÷ -9,2m p.c.):**
Corpo argilloso e argilloso limoso a medio elevato grado di consistenza e sovraconsolidazione, contraddistinti da valori medi di resistenza alla punta pari a $q_{cm} = 17 \div 34 \text{ kgf/cmq}$ e resistenza ad attrito laterale locale compresa tra $f_{sm} = 0,7 \div 1,5 \text{ kgf/cmq}$.
- **UGTD (da -8,8 ÷ -9,2m a -10,8 ÷ -11,8m p.c.):**
Litotipi limosi, limoso argillosi e, talora, limoso sabbiosi a medio grado di consistenza. Al penetrometro statico sono stati riscontrati valori medi di resistenza alla punta variabili tra $q_{cm} = 11 \div 26 \text{ kgf/cmq}$, con valori medio minimi pari a $q_{cm} = 6 \div 9 \text{ kgf/cmq}$. La resistenza ad attrito laterale locale è compresa tra $f_{sm} = 0,3 \div 0,9 \text{ kgf/cmq}$.
- **UGTE/ UGTEbis (da -10,8 ÷ -11,8m a -14,0 ÷ -14,4m p.c.):**
Corpo sedimentario contraddistinto da spiccata variabilità litologica laterale; infatti, in corrispondenza di CPT1/21 sono stati identificati litotipi limosi e limoso argillosi a medio basso grado di consistenza [UGTE], mentre sulla rimanente verticale [CPT2/21 - UGTEbis] sono stati riconosciuti terreni sabbiosi e sabbioso limosi a medio grado di addensamento.
Sulla verticale CPT1/21 sono stati registrati valori medi di resistenza alla punta variabili tra $q_{cm} = 7 \div 13 \text{ kgf/cmq}$ e valori di resistenza ad attrito laterale locale pari a $f_{sm} = 0,3 \div 0,6 \text{ kgf/cmq}$.
La restante indagine ha evidenziato valori di resistenza alla punta pari a $q_{cm} = 26 \div 57 \text{ kgf/cmq}$ e resistenza ad attrito laterale locale pari a $f_{sm} = 0,2 \div 0,7 \text{ kgf/cmq}$.
- **UGTF (da -14,4m a -16,0m p.c.):**
Litotipi limoso argillosi, limosi e limoso sabbiosi a medio grado di consistenza. Sono caratterizzati da valori medi di resistenza alla punta variabili tra $q_{cm} = 14 \div 26 \text{ kgf/cmq}$ e valori di resistenza ad attrito laterale locale oscillanti tra $f_{sm} = 0,3 \div 0,9 \text{ kgf/cmq}$.
- **UGTG (da -16,0m a -16,8m p.c.):**
Orizzonte francamente sabbioso e/o sabbioso limoso a medio basso grado di addensamento. Al penetrometro statico sono stati rilevati valori medi di resistenza alla punta variabili tra $q_{cm} = 40 \div 50 \text{ kgf/cmq}$ e resistenza ad attrito laterale locale compresa tra $f_{sm} = 0,5 \div 1,5 \text{ kgf/cmq}$.
- **UGTH (da -16,8m a -19,0m p.c.):**
Litotipi argilloso limosi e limoso argillosi a medio grado di consistenza. Sono stati registrati valori medi di resistenza alla punta oscillanti tra $q_{cm} = 10 \div 24 \text{ kgf/cmq}$ e la resistenza ad attrito laterale locale è pari a $f_{sm} = 0,5 \div 1,1 \text{ kgf/cmq}$.

SERVIZIO SANITARIO REGIONALE E.R. Azienda Ospedaliero-Universitaria di Modena	Area Operativa Nord – H Carpi – Programma straordinario di investimenti in sanità – ex art.20 L.67/88 V Fase II stralcio – DGR 18011/2019 Intervento APD02. Realizzazione del nuovo Ospedale di Carpi – Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica.	
	Relazione geologica sulle indagini:	<i>Caratterizzazione e modellazione geologica del sito</i>
	Relazione sulla modellazione sismica:	<i>"Pericolosità sismica di base" del sito di costruzione</i>
	Relazione geotecnica sulle indagini:	<i>Caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno</i>

- **UGTI (da -19,0m a -20,0m p.c.):**

Corpo francamente sabbioso e/o sabbioso limoso a medio grado di addensamento. Al penetrometro statico sono stati rilevati valori medi di resistenza alla punta variabili tra $q_{cm} = 40 \div 70 \text{ kgf/cm}^2$ e resistenza ad attrito laterale locale compresa tra $f_{sm} = 0,3 \div 0,8 \text{ kgf/cm}^2$.

	Profondità	Descrizione geotecnica
ORS	da p.c. a -1,5 m p.c.	A, AL e LA a medio elevato grado di consistenza. Grado di compressibilità basso.
UGTA	da -1,5 m a -4,5 ÷ -6,0 m p.c.	L, LA e AL a medio - medio basso grado di consistenza. Grado di compressibilità medio elevato.
UGTB	da -4,5 ÷ -6,0 m a -7,5 ÷ -8,0 m p.c.	AL, A e LA, sature, a medio elevato grado di consistenza. Grado di compressibilità medio basso.
UGTC	Da -7,5 ÷ -8,0 m a -9,0 ÷ -9,5 m p.c.	A e AL mediamente OC, grado di compressibilità basso.
UGTD	Da -9,0 ÷ -9,5 m a -11,0 ÷ -12,0 m p.c.	L, LA e, talora, LS mediamente consistenti. Grado di compressibilità medio elevato.
UGTE	Da -12,0m a -14,5m p.c. Solo CPT1/21	L e LA a medio basso grado di consistenza. Grado di compressibilità elevato.
UGTEbis	Da - 11,0 a - 14,0 m Solo CPT2/21	S e SL a medio elevato grado di addensamento. Grado di compressibilità basso.
UGTF	Da - 14,0 ÷ - 14,5 m a - 15,0 ÷ - 16,0 m p.c.	LA, L e AL a mediamente consistenti. Grado di compressibilità medio.
UGTG	Da - 16,0 a - 17,0 m p.c.	S e SL a medio grado di addensamento. Grado di compressibilità basso.
UGTH	Da - 17,0 a - 19,0 m p.c.	AL e LA a mediamente consistenti. Grado di compressibilità medio basso.
UGTI	Da - 19,0 a - 20,0 m p.c.	S e SL a medio elevato grado di addensamento. Grado di compressibilità basso.

Litologie: T = torba; A = argille; AL = argille limose; L = limi; LA = Limi argillosi; LS = limi sabbiosi; SL = sabbie limose; S = sabbie; SGh = sabbie ghiaiose; Gh = ghiaie; GhS = ghiaie sabbiose; OC = sovraconsolidazione (*Over Consolidated*).

	Parametri geognostici caratteristici [kgf/cm ²]	Parametri geotecnici caratteristici					
		ϕ'_k [°]	c'_k [kgf/cm ²]	c_{uk} [kgf/cm ²]	γ_{nk} [kgf/cm ³]	Dr_k [%]	E_{dk} [kgf/cm ²]
ORS	$q_{Ck} = 10,59$ $f_{sk} = 0,83$	22	0,09	0,44	0,00190	--	48
UGTA	$q_{Ck} = 9,45$ $f_{sk} = 0,38$	21	0,07	0,36	0,00183	--	42
UGTB	$q_{Ck} = 14,24$ $f_{sk} = 0,59$	22	0,11	0,53	0,00190	--	46
UGTC	$q_{Ck} = 20,88$ $f_{sk} = 1,13$	23	0,14	0,64	0,00190	--	57
UGTD	$q_{Ck} = 11,74$ $f_{sk} = 0,41$	20	0,07	0,37	0,00188	--	38
UGTE	$q_{Ck} = 8,71$ $f_{sk} = 0,37$	18	0,05	0,27	0,00185	--	30
UGTEbis	$q_{Ck} = 32,66$ $f_{sk} = 0,31$	26	--	--	0,00193	52	65
UGTF	$q_{Ck} = 16,52$	22	0,08	0,43	0,00188	--	48

SERVIZIO SANITARIO REGIONALE E.R. Azienda Ospedaliero - Universitaria di Modena	Area Operativa Nord – H Carpi – Programma straordinario di investimenti in sanità – ex art.20 L.67/88 V Fase II stralcio – DGR 18011/2019 Intervento APD02. Realizzazione del nuovo Ospedale di Carpi – Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica.	
	Relazione geologica sulle indagini:	<i>Caratterizzazione e modellazione geologica del sito</i>
	Relazione sulla modellazione sismica:	<i>"Pericolosità sismica di base" del sito di costruzione</i>
	Relazione geotecnica sulle indagini:	<i>Caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno</i>

	$f_{Sk} = 0,51$						
UGTG	$q_{Ck} = 26,55$ $f_{Sk} = 0,24$	24	--	--	0,00191	49	60
UGTH	$q_{Ck} = 14,17$ $f_{Sk} = 0,59$	21	0,07	0,39	0,00188	--	50
UGTI	$q_{Ck} = 42,15$ $f_{Sk} = 0,30$	23	--	--	0,00195	59	84

Ove: c_u = coesione non drenata, c' = coesione drenata; ϕ' = angolo di attrito efficace; D_r = densità relativa; γ_n = peso dell'unità di volume; E_d = modulo edometrico, k = modulo di reazione, OC = sovraconsolidate (*Over Consolidated*).

TIPOLOGIA FONDALE E PIANO DI POSA

L'analisi del modello geologico e geotecnico, congiuntamente alla tipologia di intervento edificatorio in progetto (fabbricato di n°4 piani fuori terra ed vano interrato adibito a locale tecnico il cui sviluppo in pianta è differente da quello dei piani fuori terra), indicano come i terreni siano caratterizzati da medio-basso grado di consistenza; l'eventuale utilizzo di fondazioni dirette, in funzione delle dimensioni delle stesse, potrebbe determinare cedimenti dei terreni di sottofondazione per processi di consolidamento non tollerabili dalle strutture in elevazione.

In relazione al contesto geologico e geomorfologico dell'area e alle caratteristiche tipologiche e geometriche del fabbricato in oggetto, è consigliabile valutare l'utilizzo di fondazioni di tipo profondo.

Le caratteristiche tipologiche e geometriche di queste saranno da verificarsi con maggior grado dettaglio, nel contesto delle progettazioni esecutive e della stessa loro esecuzione.

Soluzione 1

Nel caso in cui si ritenesse maggiormente idoneo all'intervento edificatorio in progetto tale comparto territoriale, in fase di progettazione esecutiva, si dovrà porre particolare attenzione al dimensionamento degli elementi profondi in quanto, sulla base delle indagini geognostiche considerate, oltre UGT7 [tra - 15,0 e - 20,0 m da p.c.] sono stati identificati livelli compressibili a minor grado di consistenza. Suddetti materiali potrebbero indurre cedimenti assoluti e differenziali estremamente significativi.

Soluzione 2

Nel caso in cui si validasse l'intervento edificatorio su tale lotto, a profondità comprese tra - 10 e - 15 m p.c. si sono riconosciute sensibili variazioni litologiche laterali; sulla verticale CPT-Rm1/21 sono stati identificati litotipi limosi, limoso sabbiosi e limoso argillosi a medio basso grado di consistenza, quindi, compressibili.

Di contro, in corrispondenza di CPT-Rm2/21 si sono riconosciuti materiali medio-grossolani, meno sensibili a fenomeni di consolidazione, quali sabbie e sabbie limose a medio grado di addensamento.

Sarà quindi opportuno in fase esecutiva, per un corretto dimensionamento degli elementi fondali, determinare la litologia predominante all'interno di suddetto intervallo di profondità.

SERVIZIO SANITARIO REGIONALE E.R. Azienda Ospedaliero - Universitaria di Modena	Area Operativa Nord – H Carpi – Programma straordinario di investimenti in sanità – ex art.20 L.67/88 V Fase II stralcio – DGR 18011/2019 Intervento APD02. Realizzazione del nuovo Ospedale di Carpi – Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica.	
	Relazione geologica sulle indagini:	<i>Caratterizzazione e modellazione geologica del sito</i>
	Relazione sulla modellazione sismica:	<i>"Pericolosità sismica di base" del sito di costruzione</i>
	Relazione geotecnica sulle indagini:	<i>Caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno</i>

PROBLEMATICHE CONNESSE ALLA PRESENZA DI FALDA FREATICA PROSSIMA AL PIANO CAMPAGNA.

In relazione alle quote alle quali è stato riscontrato il battente idrico sotterraneo al momento delle indagini (Marzo 2021) si consiglia la messa in opera, alla base degli scavi, di idonei sistemi di impermeabilizzazione degli elementi fondali.

In fase esecutiva, a seguito delle rilevazioni effettuate, nel caso di adozione di fondazioni dirette si potrebbe intercettare il livello idrico freatico che richiederebbe idonee tecniche di garanzia di impermeabilizzazione; tale condizione, per processi di saturazione /contrazione, potrebbe influenzare negativamente le condizioni all'interfaccia terreno fondazione.

A tale proposito, preliminarmente alla realizzazione degli scavi generalizzati e/o localizzati è consigliabile eseguire saggi esplorativi per verificare l'assenza di eventuali escursioni positive del livello idrico sotterraneo che potrebbero indurre processi di sifonamento a fondo scavo; in tali eventualità saranno da adottarsi idonee tecniche di abbassamento localizzato del livello dell'acqua nel sottosuolo a quote sottostanti almeno 0,5 m le previste profondità di scavo. Tali interventi non dovranno generare coni di depressione della falda idrica che possano interessare l'area di impronta dei limitrofi fabbricati in essere.

ALTEZZE CRITICHE DI SCAVO E OPERE DI SICUREZZA

Le attuali scelte progettuali prevedono la realizzazione di un vano interrato adibito a locale tecnico la cui area di impronta risulta differente dallo sviluppo fuori terra del fabbricato principale; in relazione a quanto esposto si è effettuata la verifica dell'altezza critica dei fronti di scavo.

Considerando che questi ultimi interesseranno i primi 3,0 m del sottosuolo, l'analisi è stata effettuata in riferimento ai parametri geotecnici dei terreni che formano i primi 3,0 ÷ 5,0 metri dal piano campagna, contraddistinti dalla presenza di orizzonti argilloso limosi e limoso argillosi a medio basso grado di consistenza.

Valutando sia i tempi operativi che i caratteri geomeccanici e l'impiego geotecnico dell'opera in esame degli orizzonti interessati dalle operazioni di scavo, le verifiche di stabilità degli scavi sono state effettuate in condizioni drenate.

Condizioni drenate – tensioni efficaci

Per il calcolo dell'altezza critica dei terreni, si è utilizzata la seguente relazione (*Lancellotta – Geotecnica, 1987*), valida per scavi subverticali e assenza di falda:

$$H_{CRIT} = [(4 \cdot c') / \gamma'] \cdot \tan(45 + \phi' / 2)$$

Soluzione 1

dove:

H_c = altezza critica,

c' = coesione in termini di tensioni totali [0,08 kgf/cmq = UGT1],

γ' = peso di volume del terreno [UGT1= 0,00188 kgf/cm³],

ϕ' = angolo di attrito [UGT1= 22°],

SERVIZIO SANITARIO REGIONALE E.R. Azienda Ospedaliero - Universitaria di Modena	Area Operativa Nord – H Carpi – Programma straordinario di investimenti in sanità – ex art.20 L.67/88 V Fase II stralcio – DGR 18011/2019 Intervento APD02. Realizzazione del nuovo Ospedale di Carpi – Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica.	
	<i>Relazione geologica sulle indagini:</i>	<i>Caratterizzazione e modellazione geologica del sito</i>
	<i>Relazione sulla modellazione sismica:</i>	<i>"Pericolosità sismica di base" del sito di costruzione</i>
	<i>Relazione geotecnica sulle indagini:</i>	<i>Caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno</i>

da cui:

$$H_{\text{CRIT}} = [(4 \times 0,08) / 0,00188] \cdot \tan(56^\circ) = 252 \text{ cm}$$

Pertanto, adottando un coefficiente di sicurezza:

$$\eta = 1,3$$

risulta un'altezza di scavo, in parete sub verticale, utilizzabile, corrispondente a:

$$h_e = 252 / 1,3 = 193 \text{ cm} - > 1,93 \text{ m}$$

In condizioni efficaci, l'altezza di scavo verticale massima risulta pari a 1,90 m.

Ne consegue che, per eseguire gli scavi in condizioni di sicurezza per altezze superiori a **1,90m**, si dovrà provvedere alla realizzazione di idonee opere di sostegno, adeguatamente dimensionate in funzione dei cunei di materiale coinvolto, delle tensioni indotte nel sottosuolo e della presenza di edifici esistenti o di macchine operatrici lungo il perimetro dell'area escavata.

Gli scavi dovranno essere, comunque, protetti dagli effetti dell'azione meteorica.

Soluzione 2

dove:

H_c = altezza critica,

c' = coesione in termini di tensioni totali [0,07 kgf/cm² = UGTA],

γ' = peso di volume del terreno [UGTA= 0,00183 kgf/cm³],

ϕ' = angolo di attrito [UGTA= 21°],

da cui:

$$H_{\text{CRIT}} = [(4 \times 0,07) / 0,00183] \cdot \tan(55,5^\circ) = 222 \text{ cm}$$

Pertanto, adottando un coefficiente di sicurezza:

$$\eta = 1,3$$

risulta un'altezza di scavo, in parete sub verticale, utilizzabile, corrispondente a:

$$h_e = 222,0 / 1,3 = 171 \text{ cm} - > 1,71 \text{ m}$$

In condizioni efficaci, l'altezza di scavo verticale massima risulta pari a 1,70 m.

Ne consegue che, per eseguire gli scavi in condizioni di sicurezza per altezze superiori a **1,70 - 1,90m**, si dovrà provvedere alla realizzazione di idonee opere di sostegno, adeguatamente dimensionate in funzione dei cunei di materiale coinvolto, delle tensioni indotte nel sottosuolo e della presenza di edifici esistenti o di macchine operatrici lungo il perimetro dell'area escavata.

Gli scavi dovranno essere, comunque, protetti dagli effetti dell'azione meteorica.

SERVIZIO SANITARIO REGIONALE E.R. Azienda Ospedaliero Universitaria di Modena	Area Operativa Nord – H Carpi – Programma straordinario di investimenti in sanità – ex art.20 L.67/88 V Fase II stralcio – DGR 18011/2019 Intervento APD02. Realizzazione del nuovo Ospedale di Carpi – Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica.	
	<i>Relazione geologica sulle indagini:</i>	<i>Caratterizzazione e modellazione geologica del sito</i>
	<i>Relazione sulla modellazione sismica:</i>	<i>"Pericolosità sismica di base" del sito di costruzione</i>
	<i>Relazione geotecnica sulle indagini:</i>	<i>Caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno</i>

CONCLUSIONI

L'analisi delle cartografie tecniche realizzate nell'ambito degli studi a livello comunale e provinciale, congiuntamente alle indagini eseguite nel corso dell'attuale campagna d'indagine geognostica e geofisica e alle verticali penetrometriche pregresse recuperate in bibliografica ha permesso di definire i principali caratteri geologici, idrogeologici, geotecnici e dinamici dei terreni costituenti il primo sottosuolo per ciascun lotto in esame. È stato, inoltre, possibile riconoscere ed evidenziare differenze tra i due lotti.

Di seguito, si è quindi a presentare una sintesi delle risultanze ottenute.

Contesto geologico stratigrafico.

Il primo sottosuolo di entrambi i lotti in esame risulta costituito da sedimenti alluvionali [Subsistema di Ravenna (**AES8**)] ma, al contempo, la cartografia geologica evidenzia un passaggio nella sua tessitura. A sud di Via Quattro Pilastri [Soluzione 2], infatti, la litologia predominante del primo sottosuolo è rappresentata da termini limosi e limoso sabbiosi, oltrepassando tale asse viario [Soluzione 1], invece, si osserva il passaggio a materiali più fini a comportamento prettamente coesivo, quali litotipi argilloso limosi e limoso argillosi.

Modello geologico locale

Soluzione 1

Nei primi 15,0 m da p.c. si osserva il susseguirsi di orizzonti sedimentari presentanti un aspetto tabulare, contraddistinti da buona continuità laterale e da un marcato dominio della frazione coesiva su quella granulata. L'unico intervallo all'interno del quale è possibile riconoscere materiali limosi e/o limoso sabbiosi si pone a profondità generalmente comprese tra $-7,0 \div -8,6$ m e $-10,4 \div -11,4$ m p.c.

Oltre la base di UGT7, che, come esposto in precedenza, risulta costituito da materiali coesivi a medio elevato grado di consistenza, i diagrammi penetrometrici [rif. 183150C032 e 183150C151 entrambe protratte sino a 30,0 m da p.c.] evidenziano la presenza di livelli compressibili, di spessore pressoché metrico, generalmente localizzati tra $-15,0/ -16,0$ m e $-19,0/-20,0$ m da p.c.

Un primo significativo episodio francamente sabbioso e/o sabbioso limoso a medio elevato grado di addensamento è stato indentificato sulla verticale C032 ad una profondità di $-24,0$ m pc sino a $-30,0$ m p.c.; tuttavia, tale elemento non trova continuità sulla verticale C151 ove, alle medesime profondità, sono stati intercettati materiali coesivi a medio elevato grado di consistenza.

Soluzione 2

Nei primi dieci metri di sottosuolo, in accordo con quanto esposto all'interno del sito della cartografia geologica, la frazione granulometrica predominante è quella limosa e, le unità si contraddistinguono per buona continuità laterale.

Oltre la base di UGTD, invece, si osserva un incremento della variabilità litologica laterale; infatti, sulla verticale CPT-Rm1/21 UGTE risulta costituita da litotipi limosi e limoso argillosi mentre sulla restante verticale CPT-Rm2/21 è stata intercettata una lente sabbiosa e/o sabbioso limosa a medio elevato grado di addensamento [UGT Ebis].

La ricostruzione del modello geologico prosegue, quindi, esclusivamente sulla base di CPT1/21 in quanto le verticali pregresse si sono tutte arrestate a profondità pari a $-15,0$ m da p.c.

SERVIZIO SANITARIO REGIONALE E.R. Azienda Ospedaliero - Universitaria di Modena	Area Operativa Nord – H Carpi – Programma straordinario di investimenti in sanità – ex art.20 L.67/88 V Fase II stralcio – DGR 18011/2019 Intervento APD02. Realizzazione del nuovo Ospedale di Carpi – Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica.	
	<i>Relazione geologica sulle indagini:</i>	<i>Caratterizzazione e modellazione geologica del sito</i>
	<i>Relazione sulla modellazione sismica:</i>	<i>"Pericolosità sismica di base" del sito di costruzione</i>
	<i>Relazione geotecnica sulle indagini:</i>	<i>Caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno</i>

Oltrepassato l'orizzonte a marcata variabilità laterale [UGT E/Ebis], la sequenza sedimentaria prosegue, dunque, con l'alternarsi di corpi limosi, limoso argillosi e argilloso limosi [UGT F e UGT H], il cui spessore risulta variabile tra 1,4 e 2,0 m, a livelli metrici francamente sabbiosi a medio – medio basso grado di addensamento [UGT G e UGT I].

Contesto idraulico (ai sensi della DGR 1300/2016)

L'area oggetto di intervento edilizio si colloca, in primo luogo, all'interno di un ambito riconducibile al reticolo secondario di pianura (**RSP**), costituito da corsi d'acqua secondari di pianura gestiti dai Consorzi di bonifica e irrigui della media e bassa pianura padana; di questi, l'elemento di principale importanza è rappresentato dal Cavo Tresinaro.

Analizzando il rischio alluvioni imputabile al reticolo secondario si riscontrano apparentemente due differenti scenari per i lotti in esame. Il lotto settentrionale [Soluzione 1] evidenzia scenari di rischio medio localmente elevati, soprattutto nel comparto nord e quello orientale.

Procedendo verso sud, il rischio alluvioni si attenua: il lotto Soluzione 2, infatti, mostra uno scenario di rischio moderato, localmente medio.

Le criticità sopradescritte che contraddistinguono la Soluzione 1 sembrano trovare, inoltre, conferma all'interno dell'elaborato grafico Criticità e Scenario di Evento – Rischio Idraulico – presente nel Piano di Emergenza di Protezione Civile redatto per il comune di Carpi.

Tuttavia, a partire dal secondo dopoguerra non si ha memoria storica di eventi esondivi, riconducibili al Cavo Tresinaro, che abbiano interessato l'area di pertinenza della Soluzione 1. Inoltre, al fine di ridurre potenziali criticità idrauliche, a partire dalla seconda metà degli anni '90 a nord dell'abitato di Rio Saliceto, in località Cà de Frati, sono state realizzate le casse di espansione del Cavo Tresinaro.

Di contro, si ritiene più verosimile che la Soluzione 1 sia interessata da drenaggio difficoltoso in caso di piogge critiche.

A tale proposito, risulta opportuno, quindi, la realizzazione di un rilievo plano-altimetrico di dettaglio al fine di valutare l'effettivo rischio da esondazione.

Contesto sismico

Le prospezioni geofisiche di superficie condotte nell'ambito del presente studio attribuiscono ad entrambi i lotti la medesima categoria di sottosuolo [categoria C] e, al contempo, presentano valori di V_{seq} molto simili tra loro.

Soluzione 1	Soluzione 2
$V_{seq} = 217 \text{ m/sec}$	$V_{seq} = 221 \text{ m/sec}$

Categoria 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.

La successione sismostratigrafica può essere interessata dai seguenti fattori di amplificazione:

Approccio semplificato da Tab. DGR 630/2019	
Pga di riferimento	0,154
Coefficiente di amplificazione litologica	1,7
Coefficienti di amplificazione topografico:	1,000

SERVIZIO SANITARIO REGIONALE E.R. Azienda Ospedaliero - Universitaria di Modena	Area Operativa Nord – H Carpi – Programma straordinario di investimenti in sanità – ex art.20 L.67/88 V Fase II stralcio – DGR 18011/2019 Intervento APD02. Realizzazione del nuovo Ospedale di Carpi – Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica.	
	Relazione geologica sulle indagini:	<i>Caratterizzazione e modellazione geologica del sito</i>
	Relazione sulla modellazione sismica:	<i>"Pericolosità sismica di base" del sito di costruzione</i>
	Relazione geotecnica sulle indagini:	<i>Caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno</i>

a_{max}/g	0,262
coefficiente sismico orizzontale	$k_h = 0,063$
coefficiente sismico verticale	$k_v = \pm 0,031$

Analisi di Risposta Sismica Locale (RSL - III livello DGR 630/2019)

Le analisi condotte evidenziano per entrambi i lotti una pericolosità sismica [H_{SM}] moderata-elevata, seppure con qualche differenza. Sulla base della attuale campagna d'indagine geofisica, non esaustiva al fine di una progettazione esecutiva, il lotto Soluzione 2 presenta un valore di H_{SM} relativamente maggiore di quello desunto per il lotto Soluzione 1.

Soluzione 1

F _{Apga} :	SA1:	SA2:	SA3:	SA4:
1,67	1,83	2,01	2,15	2,09

Dove: fattori di amplificazione **SA1** ($0,1s \leq T \leq 0,5s$), **SA2** ($0,4s \leq T \leq 0,8s$), **SA3** ($0,7s \leq T \leq 1,1s$), **SA4** ($0,5s \leq T \leq 1,5s$).

SI1:	SI2:	SI3:
1,92	2,04	2,11

Dove: fattori di amplificazione **SI1** ($0,1s \leq T \leq 0,5s$), **SI2** ($0,5s \leq T \leq 1,0s$), **SI3** ($0,5s \leq T \leq 1,5s$).

Soluzione 2

F _{Apga} :	SA1:	SA2:	SA3:	SA4:
1,77	2,02	2,03	2,17	2,08

Dove: fattori di amplificazione **SA1** ($0,1s \leq T \leq 0,5s$), **SA2** ($0,4s \leq T \leq 0,8s$), **SA3** ($0,7s \leq T \leq 1,1s$), **SA4** ($0,5s \leq T \leq 1,5s$).

SI1:	SI2:	SI3:
2,11	2,06	2,10

Dove: fattori di amplificazione **SI1** ($0,1s \leq T \leq 0,5s$), **SI2** ($0,5s \leq T \leq 1,0s$), **SI3** ($0,5s \leq T \leq 1,5s$).

Frequenza primaria terreni di fondazione

I dati ricavati evidenziano, al netto di un disturbo evidente sulle basse frequenze, un picco principale individuabile alla seguente frequenza:

Acquisizione	f_0 [Hz]	T [s]
HVSR – Soluzione 1	0,80	1,25
HVSR – Soluzione 2	0,85	1,17

Il picco rilevato dalla acquisizione HVSR – Soluzione 1 non risulta attendibile nella determinazione del passaggio terreni di copertura – *bedrock*. La frequenza rilevata definisce degli spessori estremamente esigui della copertura ed è, quindi, maggiormente riconducibile alla possibile presenza di opere interrato e/o manufatti antropici.

La frequenza evidenziata sul lotto Soluzione 2, di contro, risulta più in linea con il contesto geologico geomorfologico dell'area.

SERVIZIO SANITARIO REGIONALE E.R. Azienda Ospedaliero - Universitaria di Modena	Area Operativa Nord – H Carpi – Programma straordinario di investimenti in sanità – ex art.20 L.67/88 V Fase II stralcio – DGR 18011/2019 Intervento APD02. Realizzazione del nuovo Ospedale di Carpi – Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica.	
	Relazione geologica sulle indagini:	<i>Caratterizzazione e modellazione geologica del sito</i>
	Relazione sulla modellazione sismica:	<i>"Pericolosità sismica di base" del sito di costruzione</i>
	Relazione geotecnica sulle indagini:	<i>Caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno</i>

Suscettività a liquefazione

Le indagini condotte nel corso dell'attuale campagna d'indagine geognostica, congiuntamente alle verticali recuperate in bibliografia, hanno permesso per ciascun lotto in esame una valutazione preliminare del rischio liquefazione, evidenziando una moderata variabilità dell'indice di potenziale liquefazione [rif. Sonmez 2003].

La verticale CPT-Rm3/21 [Soluzione 1] avvalorata sostanzialmente quanto desunto dalle verifiche condotte sulle prove penetrometriche pregresse [C071, C085 e C086]: è stato identificato, infatti, un rischio di potenziale liquefazione molto basso.

Di contro, le verifiche condotte sul Lotto Soluzione 2 mostrano una moderata variabilità laterale del rischio di potenziale liquefazione: in corrispondenza di CPT-Rm1/21 si evidenzia un valore pari a $I_L = 0,3$ mentre sulla restante verticale CPT-Rm2/21 tale indice assume un valore pari a $I_L = 4,47$.

A seguito delle attuali analisi preliminari svolte, sembra che il modello geologico del primo sottosuolo sia maggiormente assimilabile allo scenario esposto all'interno degli studi di PTCP – "Carta delle aree suscettibili di effetti locali": la presenza di un passaggio tra comparti territoriali non soggetti a liquefazione [Zona 8] ad ambiti potenzialmente liquefacibili [Zona 7].

Modellazione geotecnica

Soluzione 1

	Profondità	Descrizione geotecnica
ORS	da p.c. a -1,0 ÷ -1,5 m p.c.	A, AL e LA a medio elevato grado di consistenza. Grado di compressibilità basso.
UGT1	Da -1,0 ÷ -1,5 m a -2,0 ÷ -3,0 m p.c.	LA e LA a medio - medio basso grado di consistenza. Grado di compressibilità medio.
UGT2	Da -2,0 ÷ -3,0 m a -5,0 ÷ -6,0 m p.c.	A e AL a medio elevato OC. Grado di compressibilità basso.
UGT3	Da -5,0 ÷ -6,0 m a -5,5 ÷ -7,0 m p.c.	A e AL a medio basso grado di consistenza. Grado di compressibilità medio.
UGT3bis	Da - 6,0 a - 7,0m p.c. Solo C071	A e AL a medio grado di consistenza. Grado di compressibilità basso.
UGT4	Da -5,5 ÷ -6,0m a - 6,5 ÷ - 7,5m p.c.	LA, AL e, talora, L a medio grado di consistenza. Grado di compressibilità basso.
UGT4bis	Da - 7,0 a - 8,5m p.c. Solo C071	A e AL a medio elevato OC. Grado di compressibilità basso.
UGT5	Da - 6,5 ÷ - 8,5m a - 10,5 ÷ - 11,5m p.c.	L, LA e AL a medio grado di consistenza. Grado di compressibilità medio - medio elevato.
UGT6	Da - 10,5 ÷ - 11,5m a - 13,0 ÷ - 13,5m p.c.	A e AL a medio elevato OC. Grado di compressibilità basso.
UGT7	Da - 13,0 ÷ - 13,5m a - 15,0m p.c.	A e AL ad elevato OC. Grado di compressibilità molto basso.
UGT8	Da - 15,0 a - 18,0m p.c.	S e SL a medio grado di addensamento. Grado di compressibilità basso.
UGT9	Da - 18,0 a - 20,0m p.c.	A - AL a medio grado di consistenza. Grado di compressibilità medio.

Litologie: T = torba; A = argille; AL = argille limose; L = limi; LA = Limi argillosi; LS = limi sabbiosi; SL = sabbie limose; S = sabbie; SGh = sabbie ghiaiose; Gh = ghiaie; GhS = ghiaie sabbiose; OC = sovraconsolidazione (*Over Consolidated*).

SERVIZIO SANITARIO REGIONALE E.R. Azienda Ospedaliero-Universitaria di Modena	Area Operativa Nord – H Carpi – Programma straordinario di investimenti in sanità – ex art.20 L.67/88 V Fase II stralcio – DGR 18011/2019 Intervento APD02. Realizzazione del nuovo Ospedale di Carpi – Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica.	
	Relazione geologica sulle indagini:	<i>Caratterizzazione e modellazione geologica del sito</i>
	Relazione sulla modellazione sismica:	<i>"Pericolosità sismica di base" del sito di costruzione</i>
	Relazione geotecnica sulle indagini:	<i>Caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno</i>

	Parametri geognostici caratteristici [kgf/cm ²]	Parametri geotecnici caratteristici					
		ϕ'_k [°]	c'_k [kgf/cm ²]	c_{uk} [kgf/cm ²]	γ_{nk} [kgf/cm ³]	Dr_k [%]	E_{dk} [kgf/cm ²]
ORS	$q_{Ck} = 16,88$ $f_{Sk} = 1,19$	23	0,09	0,52	0,00193	--	57
UGT1	$q_{Ck} = 10,54$ $f_{Sk} = 0,62$	22	0,08	0,44	0,00188	--	47
UGT2	$q_{Ck} = 19,36$ $f_{Sk} = 1,16$	23	0,14	0,67	0,00190	--	62
UGT3	$q_{Ck} = 10,92$ $f_{Sk} = 0,53$	21	0,09	0,42	0,00185	--	46
UGT3bis	$q_{Ck} = 16,94$ $f_{Sk} = 0,80$	22	0,12	0,62	0,00188	--	56
UGT4	$q_{Ck} = 15,83$ $f_{Sk} = 0,64$	22	0,11	0,56	0,00188	--	52
UGT4bis	$q_{Ck} = 25,98$ $f_{Sk} = 1,04$	23	0,13	0,65	0,00191	--	66
UGT5	$q_{Ck} = 12,99$ $f_{Sk} = 0,56$	22	0,08	0,38	0,00188	--	42
UGT6	$q_{Ck} = 16,38$ $f_{Sk} = 0,94$	23	0,12	0,53	0,00190	--	49
UGT7	$q_{Ck} = 21,02$ $f_{Sk} = 1,21$	23	0,13	0,63	0,00193	--	69
UGT8	$q_{Ck} = 49,18$ $f_{Sk} = 0,83$	27	--	--	0,00195	49	75
UGT9	$q_{Ck} = 13,53$ $f_{Sk} = 0,81$	22	0,08	0,46	0,00190	--	48

Ove: c_u = coesione non drenata, c' = coesione drenata; ϕ' = angolo di attrito efficace; Dr = densità relativa; γ_n = peso dell'unità di volume; E_d = modulo edometrico, k = modulo di reazione, OC = sovraconsolidate (*Over Consolidated*).

Soluzione 2

	Profondità	Descrizione geotecnica
ORS	da p.c. a -1,5 m p.c.	A, AL e LA a medio elevato grado di consistenza. Grado di compressibilità basso.
UGTA	da -1,5 m a -4,5 ÷ -6,0 m p.c.	L, LA e AL a medio – medio basso grado di consistenza. Grado di compressibilità medio elevato.
UGTB	da -4,5 ÷ -6,0 m a -7,5 ÷ -8,0 m p.c.	AL, A e LA, sature, a medio elevato grado di consistenza. Grado di compressibilità medio basso.
UGTC	Da -7,5 ÷ -8,0 m a -9,0 ÷ -9,5 m p.c.	A e AL mediamente OC, grado di compressibilità basso.
UGTD	Da -9,0 ÷ -9,5 m a -11,0 ÷ -12,0 m p.c.	L, LA e, talora, LS mediamente consistenti. Grado di compressibilità medio elevato.
UGTE	Da -12,0 m a -14,5 m p.c. Solo CPT1/21	L e LA a medio basso grado di consistenza. Grado di compressibilità elevato.
UGTEbis	Da -11,0 a -14,0 m Solo CPT2/21	S e SL a medio elevato grado di addensamento. Grado di compressibilità basso.
UGTF	Da -14,0 ÷ -14,5 m	LA, L e AL a mediamente consistenti. Grado di compressibilità medio.

SERVIZIO SANITARIO REGIONALE E.R. Azienda Ospedaliero - Universitaria di Modena	Area Operativa Nord – H Carpi – Programma straordinario di investimenti in sanità – ex art.20 L.67/88 V Fase II stralcio – DGR 18011/2019 Intervento APD02. Realizzazione del nuovo Ospedale di Carpi – Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica.	
	Relazione geologica sulle indagini:	Caratterizzazione e modellazione geologica del sito
	Relazione sulla modellazione sismica:	"Pericolosità sismica di base" del sito di costruzione
	Relazione geotecnica sulle indagini:	Caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno

	a – 15,0÷ – 16,0 m p.c.	
UGTG	Da – 16,0 a – 17,0 m p.c.	S e SL a medio grado di addensamento. Grado di compressibilità basso.
UGTH	Da – 17,0 a – 19,0 m p.c.	AL e LA a mediamente consistenti. Grado di compressibilità medio basso.
UGTI	Da – 19,0 a – 20,0 m p.c.	S e SL a medio elevato grado di addensamento. Grado di compressibilità basso.

Litologie: T = torba; A = argille; AL = argille limose; L = limi; LA = Limi argillosi; LS = limi sabbiosi; SL = sabbie limose; S = sabbie; SGh = sabbie ghiaiose; Gh = ghiaie; GhS = ghiaie sabbiose; OC = sovraconsolidazione (*Over Consolidated*).

	Parametri geognostici caratteristici [kgf/cm ^q]	Parametri geotecnici caratteristici					
		ϕ'_k [°]	c'_k [kgf/cm ^q]	C_{uk} [kgf/cm ^q]	γ_{nk} [kgf/cm ^c]	Dr_k [%]	E_{dk} [kgf/cm ^q]
ORS	$q_{Ck} = 10,59$ $f_{Sk} = 0,83$	22	0,09	0,44	0,00190	--	48
UGTA	$q_{Ck} = 9,45$ $f_{Sk} = 0,38$	21	0,07	0,36	0,00183	--	42
UGTB	$q_{Ck} = 14,24$ $f_{Sk} = 0,59$	22	0,11	0,53	0,00190	--	46
UGTC	$q_{Ck} = 20,88$ $f_{Sk} = 1,13$	23	0,14	0,64	0,00190	--	57
UGTD	$q_{Ck} = 11,74$ $f_{Sk} = 0,41$	20	0,07	0,37	0,00188	--	38
UGTE	$q_{Ck} = 8,71$ $f_{Sk} = 0,37$	18	0,05	0,27	0,00185	--	30
UGTEbis	$q_{Ck} = 32,66$ $f_{Sk} = 0,31$	26	--	--	0,00193	52	65
UGTF	$q_{Ck} = 16,52$ $f_{Sk} = 0,51$	22	0,08	0,43	0,00188	--	48
UGTG	$q_{Ck} = 26,55$ $f_{Sk} = 0,24$	24	--	--	0,00191	49	60
UGTH	$q_{Ck} = 14,17$ $f_{Sk} = 0,59$	21	0,07	0,39	0,00188	--	50
UGTI	$q_{Ck} = 42,15$ $f_{Sk} = 0,30$	23	--	--	0,00195	59	84

Ove: C_u = coesione non drenata, c' = coesione drenata; ϕ' = angolo di attrito efficace; Dr = densità relativa; γ_n = peso dell'unità di volume; E_d = modulo edometrico, k = modulo di reazione, OC = sovraconsolidate (*Over Consolidated*).

Problematiche connesse alla presenza di falda freatica prossima al piano campagna

In fase esecutiva, a seguito delle rilevazioni effettuate, nel caso di adozione di fondazioni dirette si potrebbe intercettare il livello idrico freatico che richiederebbe idonee tecniche di garanzia di impermeabilizzazione; tale condizione, per processi di saturazione /contrazione, potrebbe influenzare negativamente le condizioni all'interfaccia terreno fondazione.

A tale proposito, preliminarmente alla realizzazione degli scavi generalizzati e/o localizzati è consigliabile eseguire saggi esplorativi per verificare l'assenza di eventuali escursioni positive del livello idrico sotterraneo che potrebbero indurre processi di sifonamento a fondo scavo; in tali

SERVIZIO SANITARIO REGIONALE E.R. Azienda Ospedaliero – Universitaria di Modena	Area Operativa Nord – H Carpi – Programma straordinario di investimenti in sanità – ex art.20 L.67/88 V Fase II stralcio – DGR 18011/2019 Intervento APD02. Realizzazione del nuovo Ospedale di Carpi – Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica.	
	Relazione geologica sulle indagini:	<i>Caratterizzazione e modellazione geologica del sito</i>
	Relazione sulla modellazione sismica:	<i>"Pericolosità sismica di base" del sito di costruzione</i>
	Relazione geotecnica sulle indagini:	<i>Caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno</i>

eventualità saranno da adottarsi idonee tecniche di abbassamento localizzato del livello dell'acqua nel sottosuolo a quote sottostanti almeno 0,5 m le previste profondità di scavo. Tali interventi non dovranno generare coni di depressione della falda idrica che possano interessare l'area di impronta dei limitrofi fabbricati in essere.

Altezze critiche di scavo

Per eseguire gli scavi in condizioni di sicurezza per altezze superiori a **1,70 - 1,90m**, si dovrà provvedere alla realizzazione di idonee opere di sostegno, adeguatamente dimensionate in funzione dei cunei di materiale coinvolto, delle tensioni indotte nel sottosuolo e della presenza di edifici esistenti o di macchine operatrici lungo il perimetro dell'area escavata.

Gli scavi dovranno essere, comunque, protetti dall'alterazione meteorica.

Fattibilità geologica, geotecnica e sismica dell'intervento

Nelle fasi di progettazione esecutiva, una volta identificato il lotto più idoneo all'intervento edilizio in progetto, alla stima dei carichi trasmessi al suolo dalle strutture in elevazione, congiuntamente alla variabilità laterale e verticale e alle caratteristiche granulometriche dei materiali che costituiscono il primo sottosuolo e del diverso grado di compressibilità degli stessi, dovranno essere eseguite un idoneo ed adeguato tipo di indagini geognostiche, prospezioni geofisiche e corredate da analisi di laboratorio geotecnico, ad integrazione di quelle effettuate nel contesto dell'analisi di fattibilità preliminare.

Detti studi, sinergicamente alla conoscenza delle caratteristiche e dei carichi progettuali, consentiranno il calcolo della capacità resistente del terreno agli stati limite ultimi ai piani di posa prescelti, sia in assenza di sisma (SLU) che in presenza dello stesso (SLV).

In fase progettuale, inoltre, in relazione alle reali tensioni applicate al suolo e alla migliore determinazione delle geometrie fondali, sarà necessario provvedere alla verifica dettagliata dei valori dei cedimenti e alla corretta scelta delle dimensioni fondali da adottare, al fine di ottenere cedimenti differenziali, cedimenti post sismici e valori di distorsione angolare rientranti nell'ambito della tollerabilità.

In relazione a quanto esposto nel presente documento, agli studi e alle analisi eseguite, entrambi i lotti, seppure con moderate differenze, evidenziano caratteristiche di idonea fattibilità geologico tecnica e sismica per l'uso degli stessi ai fini edificatori.

Carpi, Marzo 2021

Dott. Geol. Marco Boccaletti

SERVIZIO SANITARIO REGIONALE E.R. Azienda Ospedaliero - Universitaria di Modena	Area Operativa Nord – H Carpi – Programma straordinario di investimenti in sanità – ex art.20 L.67/88 V Fase II stralcio – DGR 18011/2019 Intervento APD02. Realizzazione del nuovo Ospedale di Carpi – Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica.	
	<i>Relazione geologica sulle indagini:</i>	<i>Caratterizzazione e modellazione geologica del sito</i>
	<i>Relazione sulla modellazione sismica:</i>	<i>"Pericolosità sismica di base" del sito di costruzione</i>
	<i>Relazione geotecnica sulle indagini:</i>	<i>Caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno</i>

APPENDICE I: INCERTEZZE INTERPRETATIVE E METODOLOGICHE RELATIVE ALLA RICOSTRUZIONE DEL MODELLO GEOLOGICO – GEOTECNICO - SISMICO.

É doveroso soffermarsi sul grado di interpretazione dei dati analizzati e sulle incertezze intrinseche dei metodi utilizzati e delle ricostruzioni effettuate, che assumono carattere soggettivo.

Meritano di essere sottolineati i seguenti aspetti:

- Le indagini geognostiche hanno consentito di definire con buon grado di dettaglio i valori di coesione non drenata nei litotipi più fini a comportamento coesivo e, in corrispondenza dei termini più grossolani, la corretta stima dell'angolo d'attrito. Gli altri parametri geotecnici presentati all'interno del suddetto documento tecnico sono stati desunti mediante correlazioni empiriche, ben note in letteratura, e dall'analisi comparativa di prove di laboratorio eseguite su campioni indisturbati prelevati su terreni ascrivibili al medesimo contesto geologico - geomorfologico.
- L'esecuzione di prospezioni geofisiche di superficie (Re.Mi. – M.A.S.W.) presenta fisiologicamente un margine di errore noto in letteratura, oltre ad un alone di soggettività dipendente dalle scelte del soggetto elaboratore; tuttavia, quanto emerso da suddette analisi, conferma quanto individuato dalle indagini geognostiche.

L'esecuzione di tale indagine integrata consente di definire con buon grado di dettaglio i primi metri di sottosuolo mediante le prospezioni di tipo attivo (M.A.S.W.) le quali tendono a diventare meno precise con l'aumentare della profondità, ove invece le prospezioni geofisiche passive (Re.Mi.) aumentano di risoluzione.

SERVIZIO SANITARIO REGIONALE E.R. Azienda Ospedaliero - Universitaria di Modena	Area Operativa Nord – H Carpi – Programma straordinario di investimenti in sanità – ex art.20 L.67/88 V Fase II stralcio – DGR 18011/2019 Intervento APD02. Realizzazione del nuovo Ospedale di Carpi – Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica.	
	Relazione geologica sulle indagini:	<i>Caratterizzazione e modellazione geologica del sito</i>
	Relazione sulla modellazione sismica:	<i>"Pericolosità sismica di base" del sito di costruzione</i>
	Relazione geotecnica sulle indagini:	<i>Caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno</i>

APPENDICE II: RIFERIMENTI NORMATIVI

NORME NAZIONALI

- **R.D. 30 dicembre 1923 n°3267**

Vincolo idrogeologico: "Riordinamento e riforma della legislazione in materia di boschi e di terreni montani."

- **R.D. 16 maggio 1926 n°1126**

Approvazione del regolamento per l'applicazione del regio decreto 30 dicembre 1923, n. 3267, concernente il riordinamento e la riforma della legislazione in materia di boschi e di terreni montani.

- **Legge 2 febbraio 1974, n. 64**

Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.

- **Legge 8 agosto 1985, n. 431 - (Galasso)**

Conversione in legge con modificazioni del Decreto Legge 27 giugno 1985, n. 312 concernente disposizioni urgenti per la tutela delle zone di particolare interesse ambientale.

- **Decreto Ministero dei Lavori Pubblici 11 Marzo 1988**

Circolare Ministero Lavori Pubblici, 24 Settembre 1988, N. 30483

Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione. Istruzioni per l'applicazione.

- **Parere Ministero Lavori Pubblici, 17 dicembre 1993, N. 138**

Consiglio Superiore, Assemblea Generale

Legge 2 febbraio 1974 n.64 - Decreto Ministeriale 11 marzo 1988 - Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e stabilità delle opere di fondazione. Relazione geologica e geotecnica. Competenze professionali.

- **Legge 11 febbraio 1994, n. 109 - (MERLONI TER)**

Legge quadro in materia di lavori pubblici.

- **Decisione n° 701/1995 della V Sezione giurisdizionale del Consiglio di Stato**

Esclusiva competenza del geologo per la relazione geologica La competenza del geologo anche per la relazione geotecnica.

- **Ministero dei Lavori Pubblici - Circolare 9 gennaio 1996, n. 218/24/3**

Legge 2 febbraio 1974, n. 64. Decreto del ministero dei Lavori Pubblici 11 marzo 1988. Istruzioni applicative per la redazione della relazione geologica e della relazione geotecnica.

- **Dlgs 11 maggio 1999, n.152**

Disposizioni sulla tutela delle acque dall'inquinamento e recepimento della direttiva 91/271/CEE concernente il trattamento delle acque reflue urbane e della direttiva 91/676/CEE relativa alla protezione delle acque dall'inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole.

- **Decreto Legge 12 ottobre 2000, n. 279**

Interventi urgenti per le aree a rischio idrogeologico molto elevato e in materia di protezione civile, nonché a favore delle zone della regione Calabria danneggiate dalle calamità idrogeologiche di settembre ed ottobre 2000.

- **Decreto del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio, 12 giugno 2003, n. 185**

Regolamento recante norme tecniche per il riutilizzo delle acque reflue in attuazione dell'articolo 26, comma 2, del decreto legislativo 11 maggio 1999, n.152.

- **Presidenza del Consiglio dei Ministri:**

Ordinanza n. 3379 del 5 novembre 2004: Disposizioni urgenti di protezione civile.

Ordinanza n. 3316 del 2 ottobre 2003: Modifiche ed integrazioni all'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003.

Ordinanza n. 3274 del 20 marzo 2003: Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica.

- **Ministero delle Infrastrutture:**

Decreto 14 gennaio 2008 Norme Tecniche sulle Costruzioni

Circolare 2 febbraio 2009 n. 617 C.S.LL.PP. Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008.

- **Dlgs 11 febbraio 2010, n. 22;**

Riassetto della normativa in materia di ricerca e coltivazione delle risorse geotermiche, a norma dell'articolo 27, comma 28, della legge 23 luglio 2009, n. 99. (10G0037).

SERVIZIO SANITARIO REGIONALE E.R. Azienda Ospedaliero - Universitaria di Modena	Area Operativa Nord – H Carpi – Programma straordinario di investimenti in sanità – ex art.20 L.67/88 V Fase II stralcio – DGR 18011/2019 Intervento APD02. Realizzazione del nuovo Ospedale di Carpi – Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica.	
	<i>Relazione geologica sulle indagini:</i>	<i>Caratterizzazione e modellazione geologica del sito</i>
	<i>Relazione sulla modellazione sismica:</i>	<i>"Pericolosità sismica di base" del sito di costruzione</i>
	<i>Relazione geotecnica sulle indagini:</i>	<i>Caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno</i>

- Ministero delle Infrastrutture e dei trasporti:
Decreto 17 gennaio 2018 Norme Tecniche sulle Costruzioni.

NORME REGIONALI

- L.R. 24 marzo 2000 n°20
Disciplina generale sulla tutela e uso del territorio.

- Delibera GR n°1117 del 11/07/2000
Direttiva regionale concernente le procedure amministrative e le norme tecniche relative alla gestione del vincolo idrogeologico, ai sensi ed in attuazione degli artt. 148, 149, 150 e 151 della L.R. 21 aprile 1999, n. 3 "Riforma del sistema regionale e locale".

- Delibera dell'Assemblea legislativa progr. n°112 - oggetto n°3121 del 2 maggio 2007
Gli indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica.

- L.R 23/05/2011 del 687/2011
Atto di indirizzo recante individuazione degli interventi privi di rilevanza per la pubblica incolumità ai fini sismici e delle varianti, riguardanti parti strutturali, che non rivestono carattere sostanziale e definizione della documentazione attinente alla riduzione del rischio sismico necessaria per il rilascio del permesso di costruire e per la denuncia di inizio attività, ai sensi degli articoli 9, comma 4, e 10, comma 3 della L.R. n. 19 del 2008.

- DGR 1373/2011
Atto di indirizzo recante l'individuazione della documentazione attinente alla riduzione del rischio sismico necessaria per il rilascio del permesso di costruire e per gli altri titoli edilizi, alla individuazione degli elaborati costitutivi e dei contenuti del progetto esecutivo riguardante le strutture e alla definizione delle modalità di controllo degli stessi, ai sensi dell'art. 12, comma 1 e dell'art. 4, comma 1, della L.R. n°19/2008.

- D.E.R. n°1105 del 03 Febbraio 2014
Indicazioni sulla documentazione tecnica da produrre a supporto della richiesta di contributi per interventi di consolidamento di terreno di fondazione in caso di riparazione, ripristino con miglioramento sismico o demolizione e ricostruzione di edifici dichiarati inagibili che abbiano riportato danni da liquefazione, a seguito della sequenza sismica che ha interessato la pianura emiliana nel maggio-giugno 2012.

- Delibera n. 2193 del 21 Dicembre 2015.
Aggiornamento degli indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna.

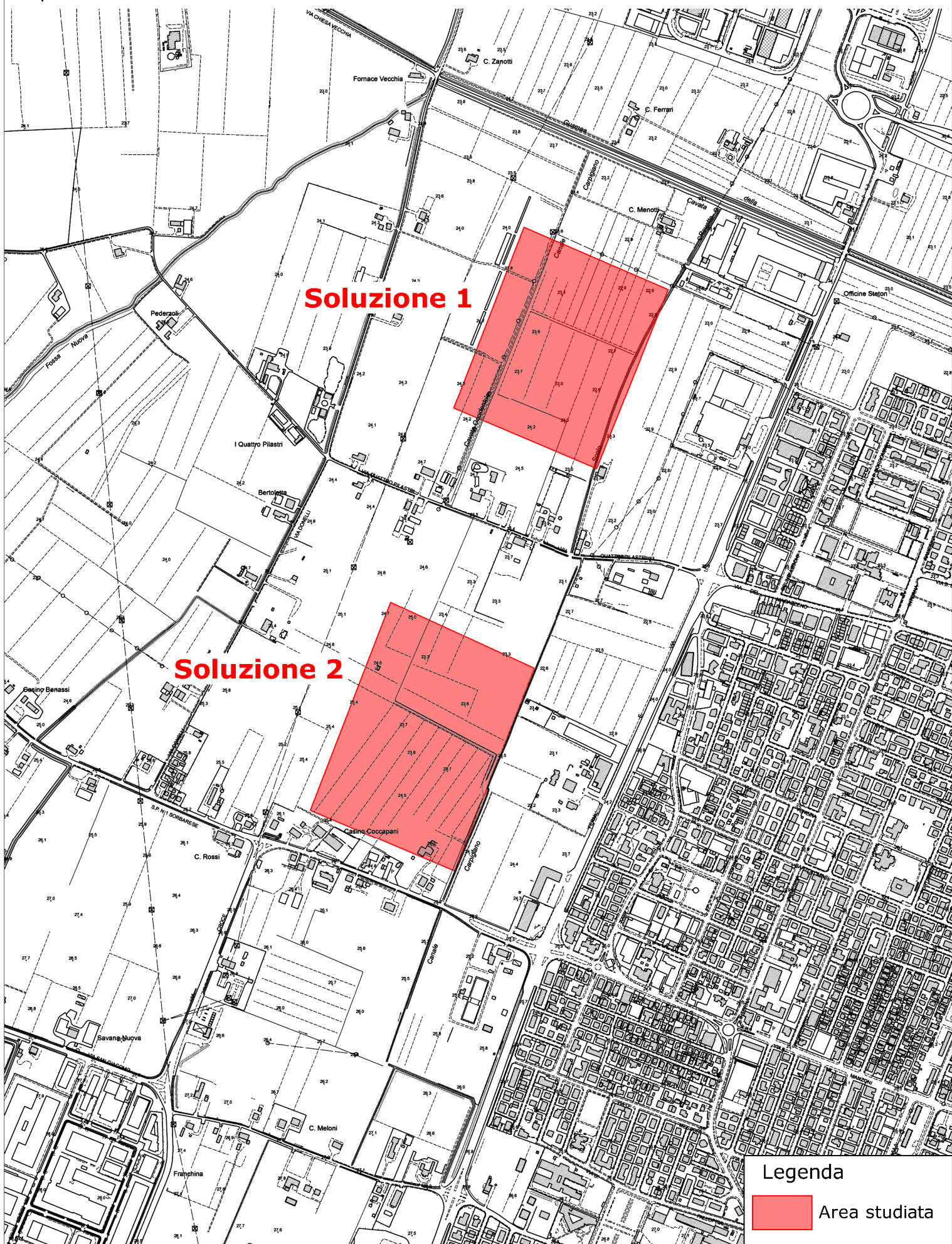
- Delibera GR n° 1300 del 01 Agosto 2016
Disposizioni regionali inerenti l'attuazione del PGRA (Piano Gestione Rischio Alluvioni) nel territorio regionale del Distretto Padano.

- Delibera n. 630 del 29 Aprile 2019.
Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (artt. 22 e 49, LR n° 24/2017).



Tav. 1 - Ubicazione area di studio

Scala 1:10000



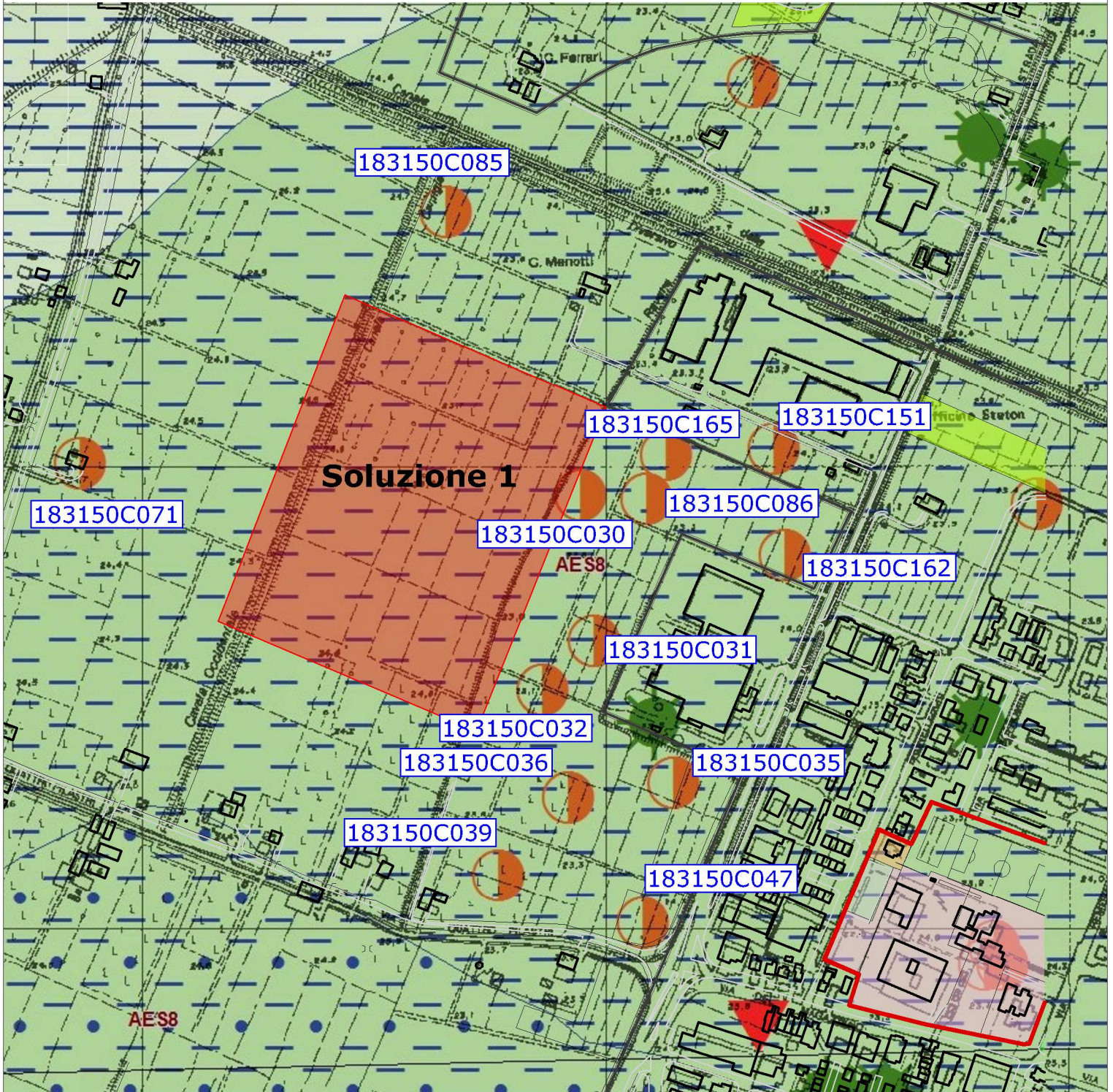
Legenda

 Area studiata



Tav. 2a - Estratto carta geologica - Soluzione 1

Scala 1:5000



LEGENDA

Depositi quaternari

AES8 Subsintema di Ravenna

↳ AES8a Unità di Modena

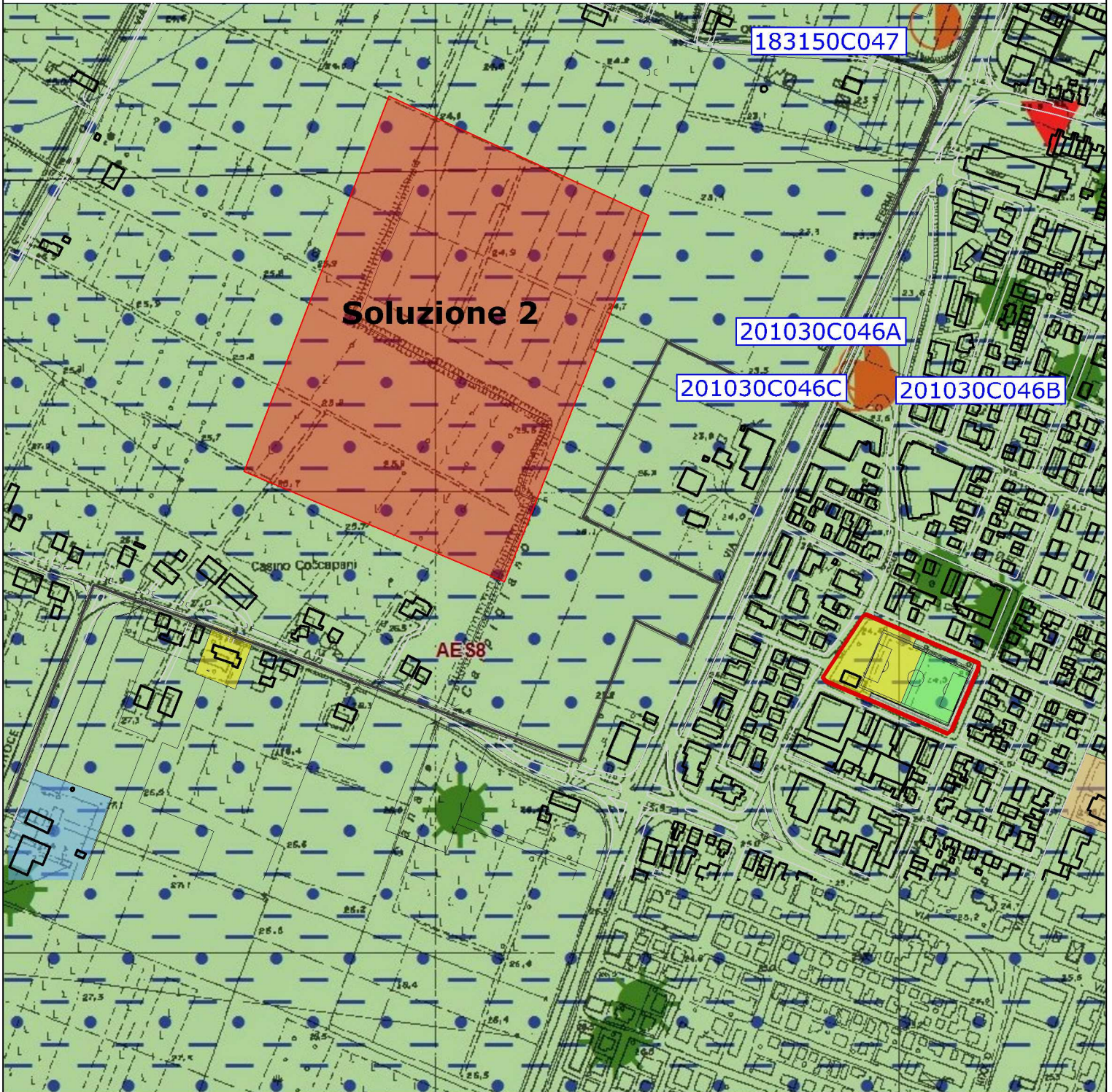


Area studiata



Tav. 2b - Estratto carta geologica - Soluzione 2

Scala 1:5000



LEGENDA

Depositi quaternari

AES8 Subsintema di Ravenna

↳ AES8a Unità di Modena

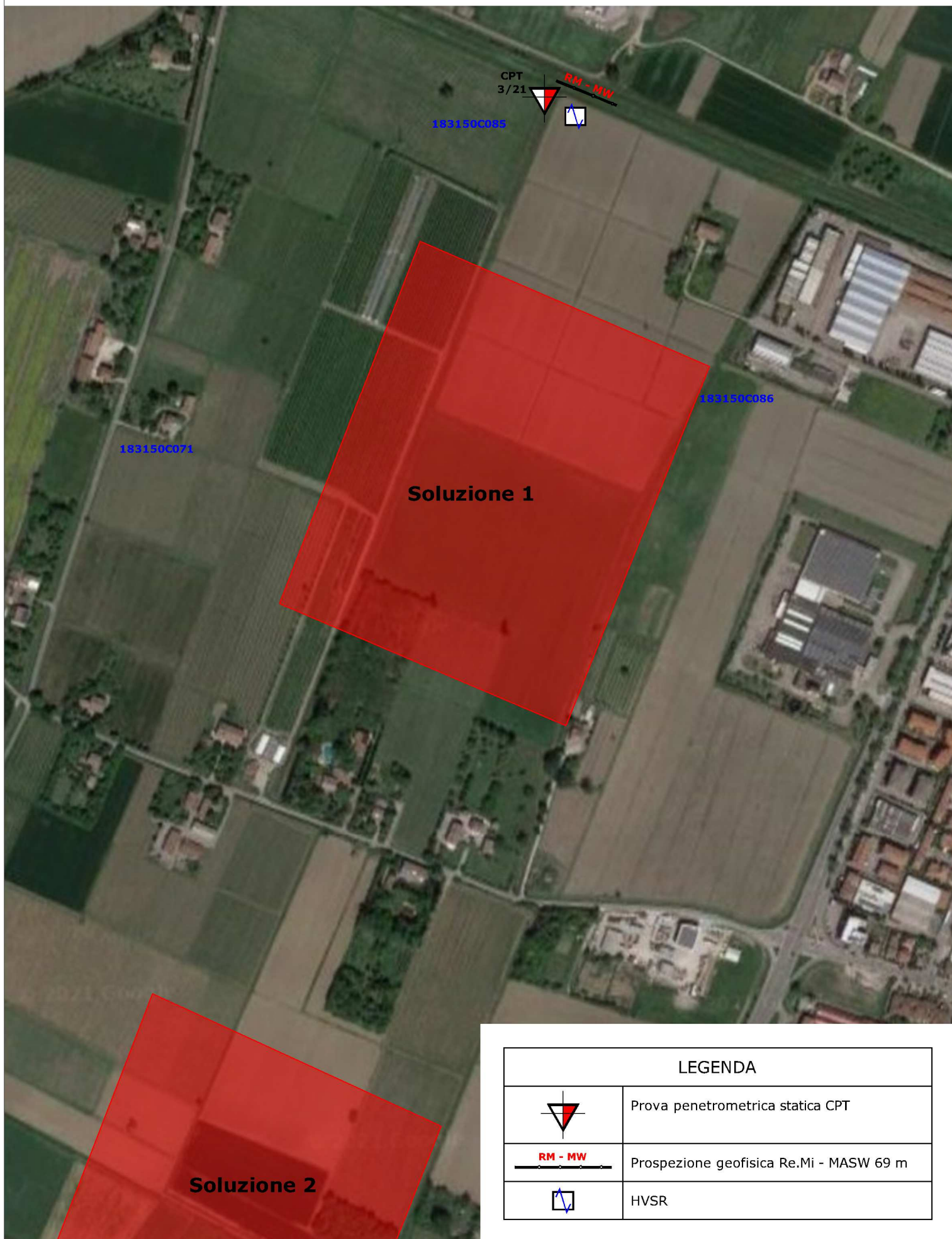


Area studiata



Tav. 3a - Ubicazione indagini in situ - Soluzione 1

Scala 1:5000



CPT
3/21

RM - MW

183150C085




183150C086

183150C071

Soluzione 1

Soluzione 2

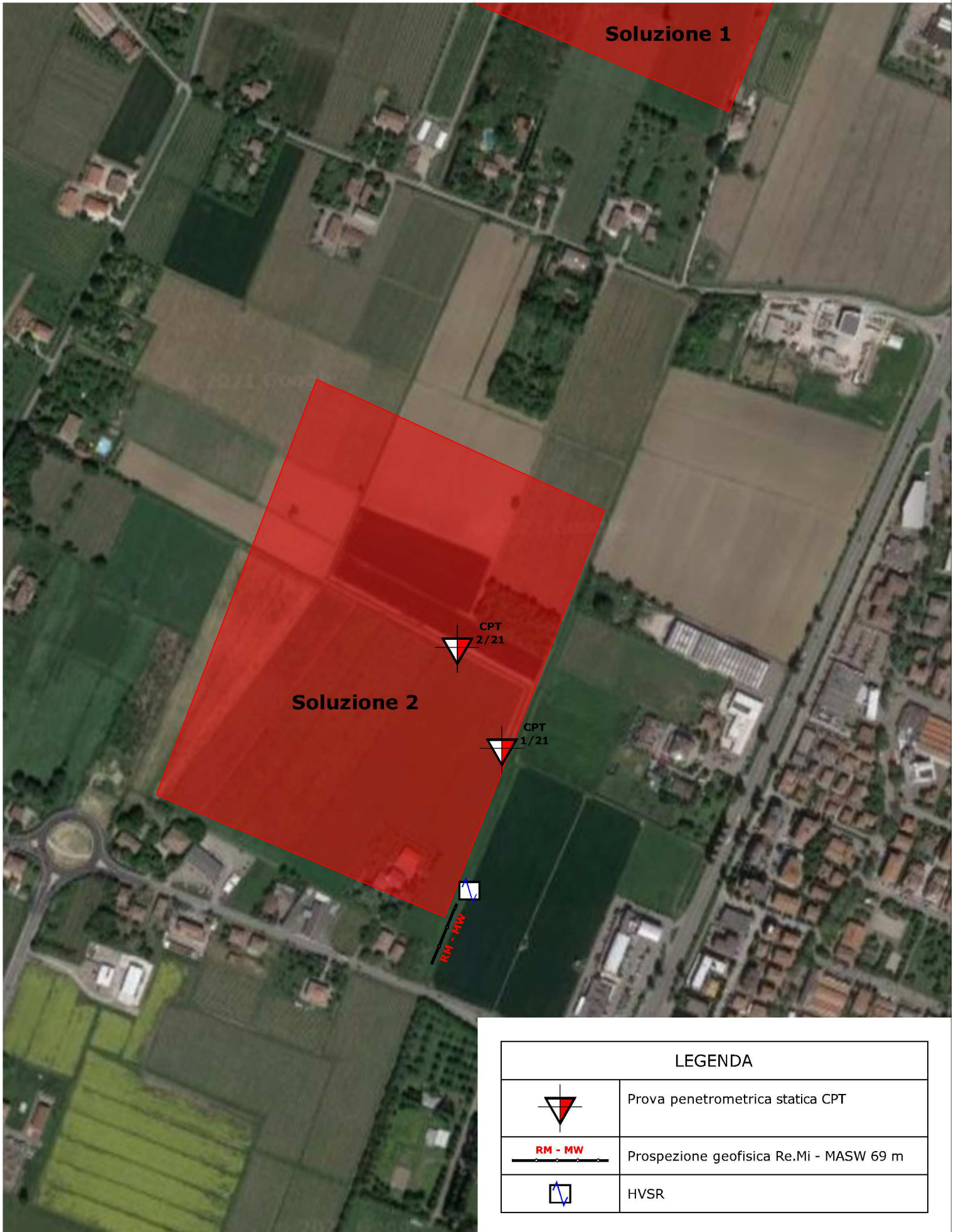
LEGENDA

	Prova penetrometrica statica CPT
	Prospezione geofisica Re.Mi - MASW 69 m
	HVSR



Tav. 3b - Ubicazione indagini in situ - Soluzione 2

Scala 1:5000

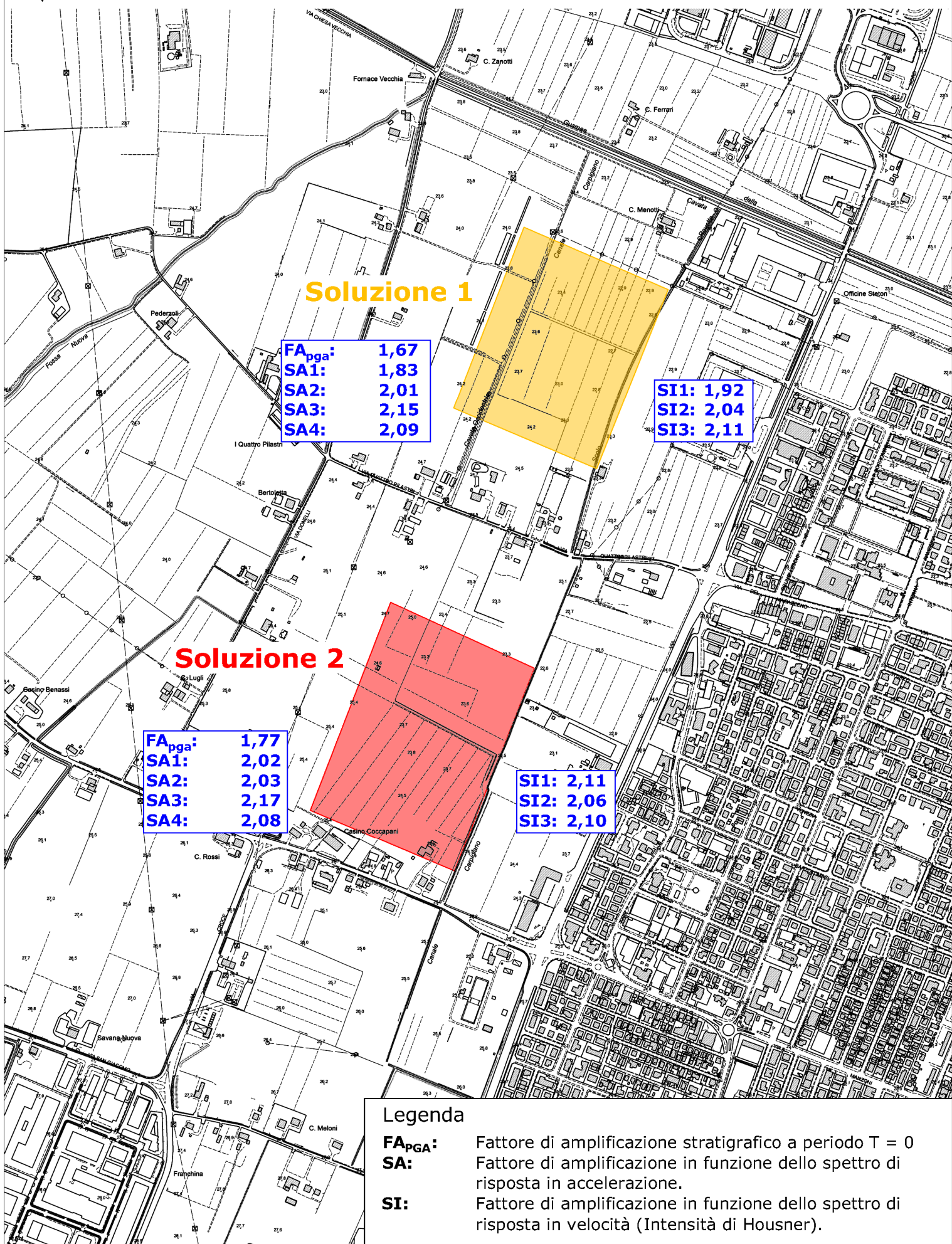


LEGENDA	
	Prova penetrometrica statica CPT
	Prospezione geofisica Re.Mi - MASW 69 m
	HVSR



Tav. 4 - Carta di microzonazione sismica

Scala 1:10000



RAPPORTO FOTOGRAFICO

Indagini penetrometriche CPT



CPT1/21 – Soluzione 2



CPT2/21 – Soluzione 2



CPT3/21 – Soluzione 1

Prospezioni geofisiche



Re.Mi. – M.A.S.W. 69 m - Soluzione 1



HVSR – Soluzione 1



Re.Mi. – M.A.S.W. 69 m - Soluzione 2



HVSR – Soluzione 2

Prospezione geofisica integrata Re.Mi. - M.A.S.W.

Committente: S.S.R. ER - Az. Ospedaliero - Univ. Modena

Cantiere: Soluzione 1

Caratteristiche geometriche stendimento:

n° geofoni: 24

distanza geofoni: 3,0 m

lunghezza stendimento: 69,0 m

Località: Carpi (MO)

Data: 02/03/2021

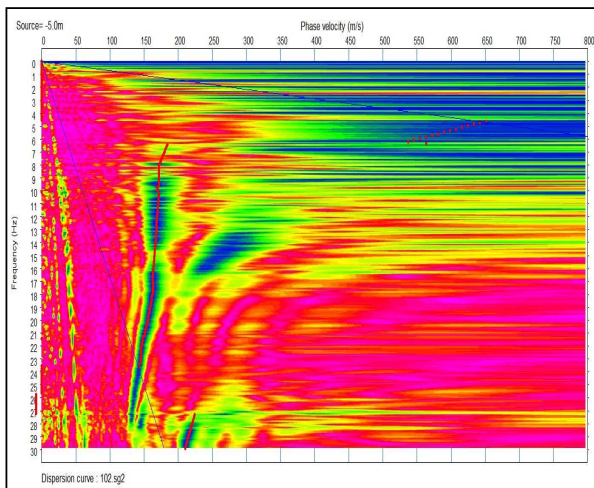
Caratteristiche acquisizioni:

sismografo: GEOMETRICS GEODE

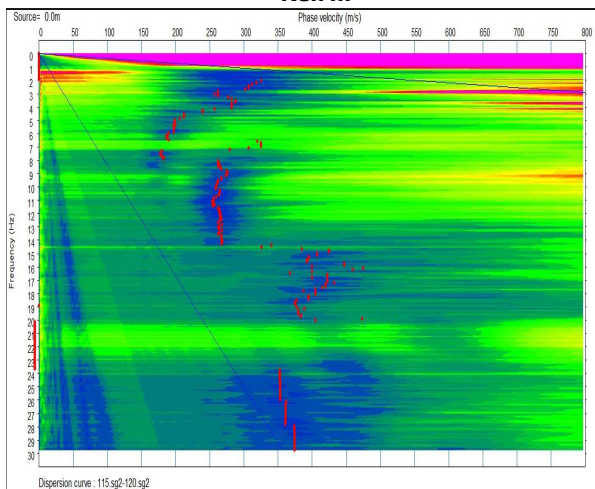
frequenza campionamento: 500 Hz

durata acquisizioni: 30 sec

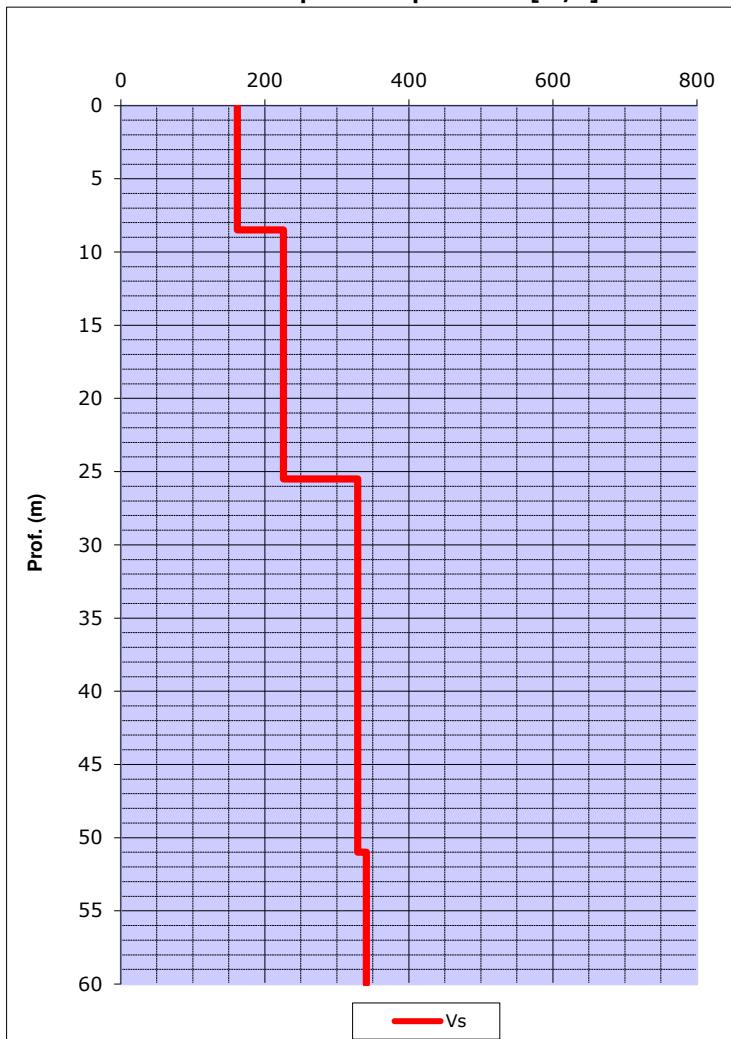
M.A.S.W.



Re.Mi.



Modello interpretativo profilo Vs [m/s]



Strato n°	Da [m]	A [m]	ΔH (m)	Vs [m/sec]	hi/Vi
1	1.0	8.5	7.5	162	0.0463
2	8.5	25.5	17.0	226	0.0752
3	25.5	31.0	5.5	329	0.0167
4			0.0		
5			0.0		

Vs Eq:

217

m/sec

Dott. Geol. Marco Boccaletti - Via Terracini 22, 41012 Carpi (MO)

Cell. 328 - 0037410 - e.mail: info@marcoboccaletti.it

Prospezione geofisica integrata Re.Mi. - M.A.S.W.

Committente: S.S.R. ER - Az. Ospedaliero - Univ. Modena

Cantiere: Soluzione 2

Caratteristiche geometriche stendimento:

n° geofoni: 24

distanza geofoni: 3,0 m

lunghezza stendimento: 69,0 m

Località: Carpi (MO)

Data: 02/03/2021

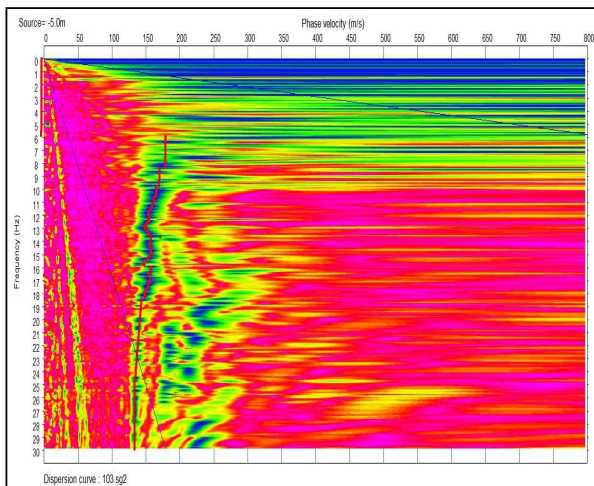
Caratteristiche acquisizioni:

sismografo: GEOMETRICS GEODE

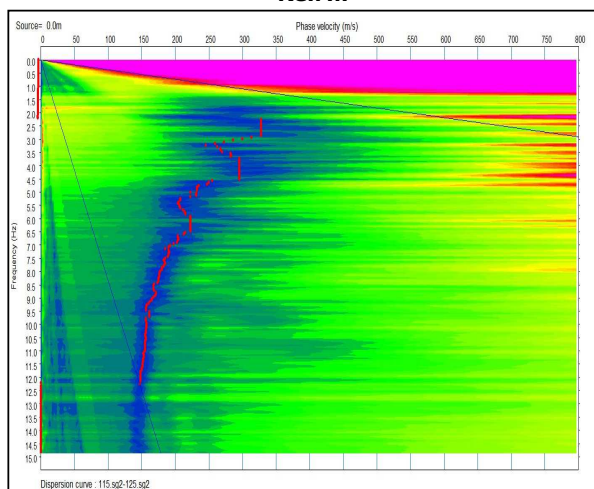
frequenza campionamento: 500 Hz

durata acquisizioni: 30 sec

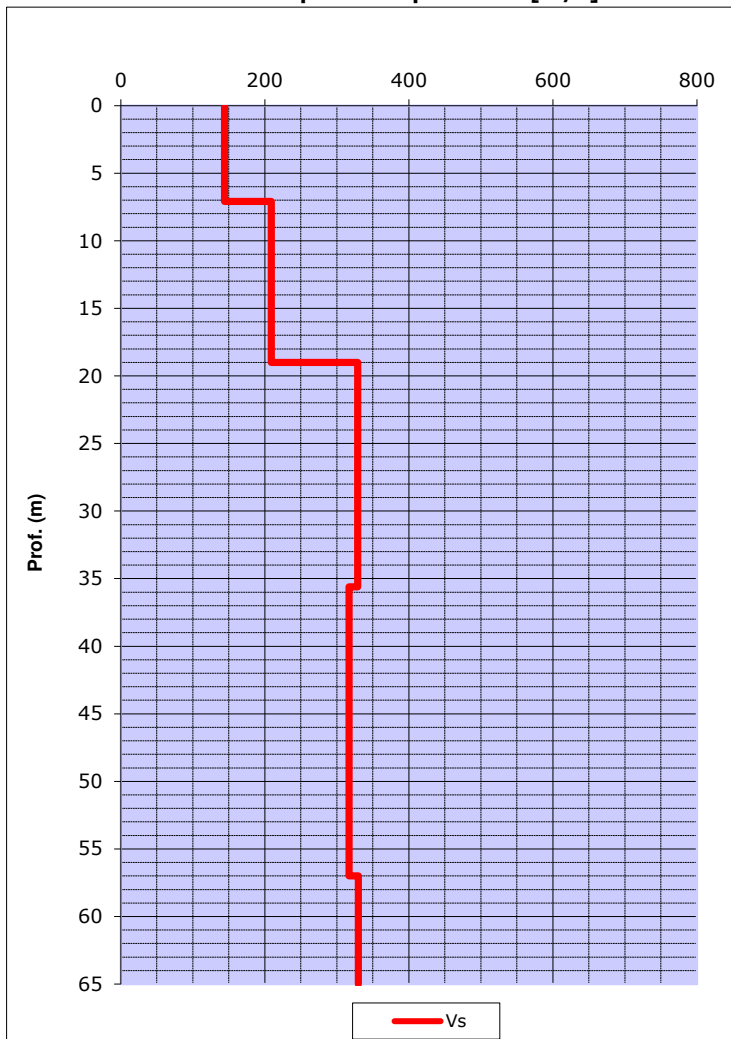
M.A.S.W.



Re.Mi.



Modello interpretativo profilo Vs [m/s]



Strato n°	Da [m]	A [m]	ΔH (m)	Vs [m/sec]	hi/Vi
1	1.0	7.1	6.1	144	0.0424
2	7.1	19.0	11.9	209	0.0569
3	19.0	31.0	12.0	329	0.0365
4			0.0		
5			0.0		

Vs Eq:

221

m/sec

Dott. Geol. Marco Boccaletti - Via Terracini 22, 41012 Carpi (MO)

Cell. 328 - 0037410 - e.mail: info@marcoboccaletti.it

Prospezione geofisica a stazione singola HVSR

Committente: Servizio Sanitario Reg. ER -
 Az. Ospedaliero - Univ. Modena

Cantiere: Carpi H - Soluzione 1

Località: Carpi (MO)

Data acquisizione: 02/03/2021

Caratteristiche strumentali e dell'acquisizione:

Instrument: TRZ-0134/01-11

Channel labels: N - S; E - W; Up Down

Trace Length: 50 min

Data GPS: not available

Window size: 20 sec

Sampling rate: 128 Hz

Smoothing type: Triangular window

Smoothing: 10%

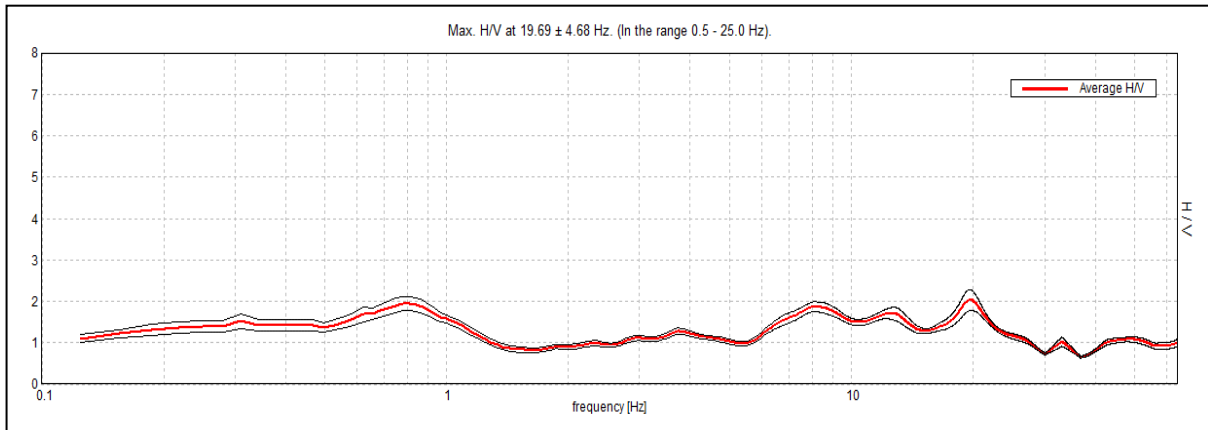


Fig.1: H/V spectral Ratio

Max. H/V at 19.69 ± 4.68 Hz (in the range 0.5 - 25.0 Hz).

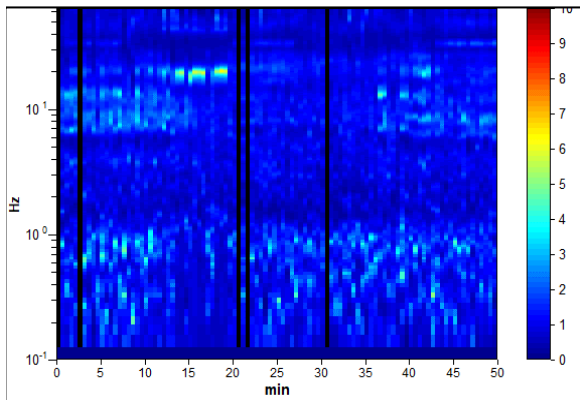


Fig. 2: H/V Time History

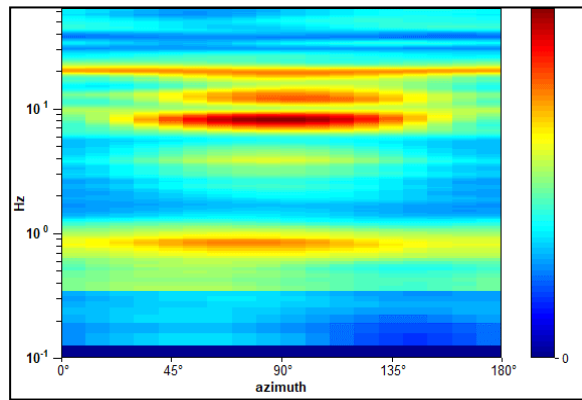


Fig. 3: Directional H/V

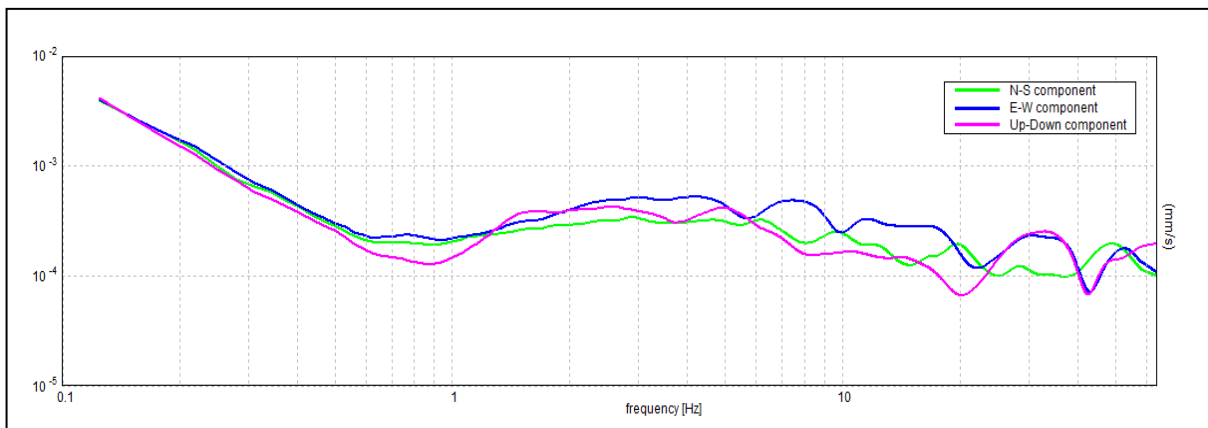


Fig. 4: Single Component Spectra

[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 19.69 ± 4.68 Hz (in the range 0.5 - 25.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	19.69 > 0.33	OK	
$n_c(f_0) > 200$	56109.4 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 946 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	5.625 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	27.406 Hz	OK	
$A_0 > 2$	2.03 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.23747 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	4.67513 < 0.98438		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.2536 < 1.58	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

Dott. Geol. Marco Boccaletti

Via Terracini 22, 41012 Carpi (MO) cel. 328/0037410 mail: info@marcoboccaletti.it

Prospezione geofisica a stazione singola HVSR

Committente: Servizio Sanitario Reg. ER -
Az. Ospedaliero - Univ. Modena

Cantiere: Carpi H - Soluzione 2

Località: Carpi (MO)

Data acquisizione: 02/03/2021

Caratteristiche strumentali e dell'acquisizione:

Instrument: TRZ-0134/01-11

Channel labels: N - S; E - W; Up Down

Trace Length: 50 min

Data GPS: not available

Window size: 20 sec

Sampling rate: 128 Hz

Smoothing type: Triangular window

Smoothing: 10%

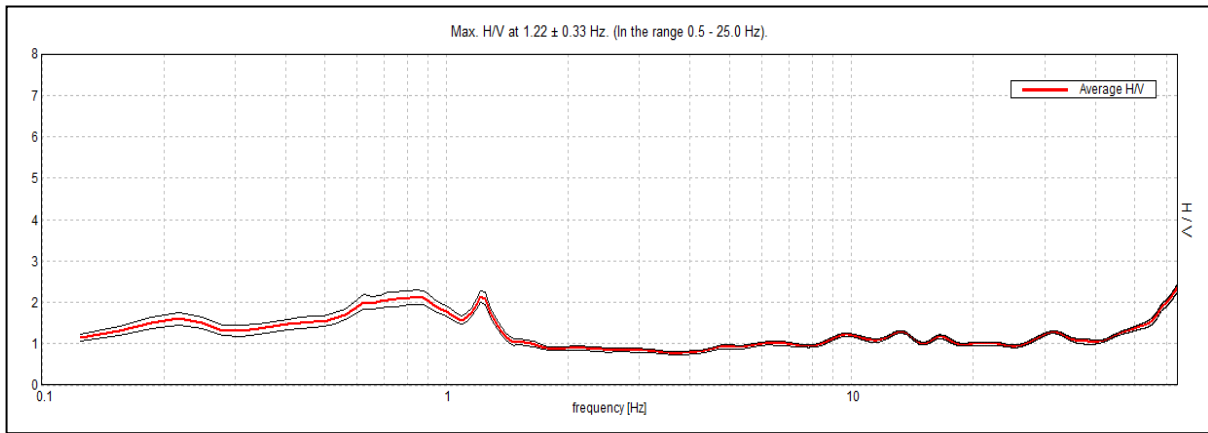


Fig.1: H/V spectral Ratio

Max. H/V at 1.22 ± 0.33 Hz (in the range 0.5 - 25.0 Hz).

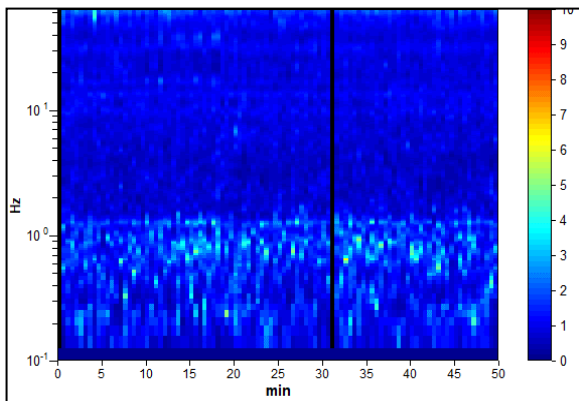


Fig. 2: H/V Time History

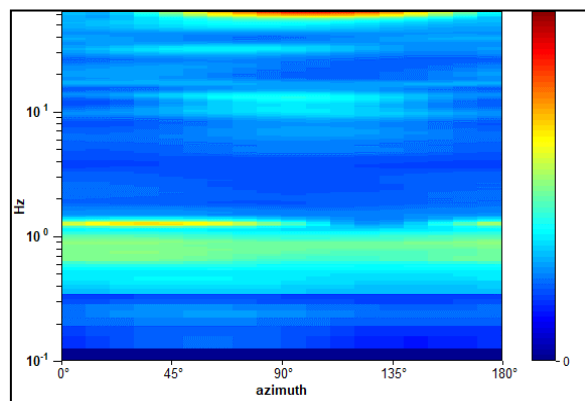


Fig. 3: Directional H/V

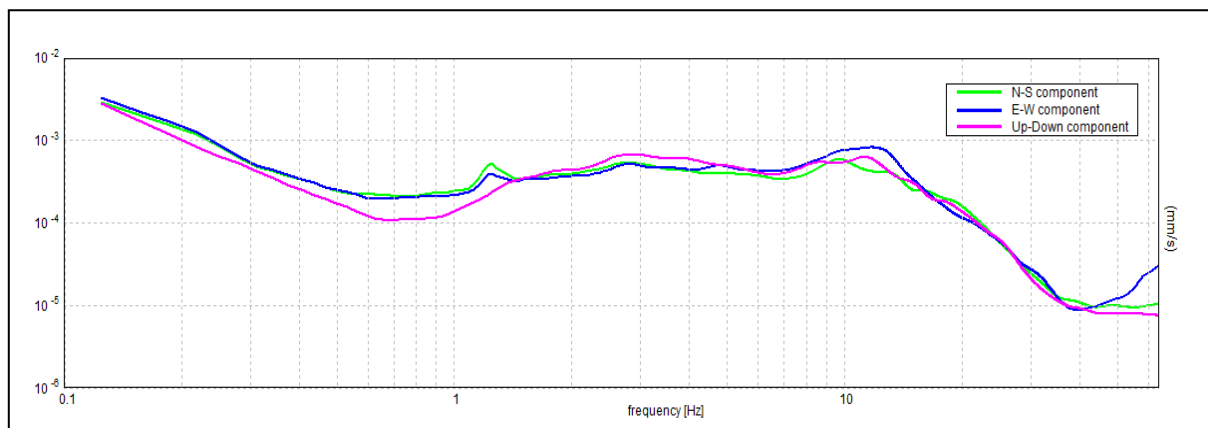


Fig. 4: Single Component Spectra

[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 1.22 ± 0.33 Hz (in the range 0.5 - 25.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$1.22 > 0.33$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$3583.1 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 60 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.469 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$2.13 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.27095 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.33022 < 0.12188$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.1375 < 1.78$	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

OPERATORE: Dott. M. Boccaletti

COMMITTENTE: Azienda Ospedaliero – Univ Mo

Strumento: SP-100

CANTIERE: Soluzione 1

Quota: p.c.

Profondità falda: -2,35 m p.c.

Data: 04/03/2021

Letture di campagna e elaborazioni

PROF.	qc kgf/cm ²	RI kgf/cm ²	fs kgf/cm ²	qc/fs
0.2			0.60	8.33
0.4	10	19	1.20	8.57
0.6	12	30	1.40	9.78
0.8	15	36	1.53	13.57
1.0	19	42	1.40	16.58
1.2	21	42	1.27	13.42
1.4	17	36	1.27	10.59
1.6	12	31	1.13	16.67
1.8	10	27	0.60	15.00
2.0	11	20	0.73	17.14
2.2	8	19	0.47	17.50
2.4	7	14	0.40	21.67
2.6	13	19	0.60	16.67
2.8	20	29	1.20	16.50
3.0	22	40	1.33	14.29
3.2	20	40	1.40	16.58
3.4	21	42	1.27	15.00
3.6	23	42	1.53	16.58
3.8	21	44	1.27	17.25
4.0	23	42	1.33	14.25
4.2	19	39	1.33	18.46
4.4	16	36	0.87	17.81
4.6	19	32	1.07	19.09
4.8	14	30	0.73	20.63
5.0	11	22	0.53	21.43
5.2	10	18	0.47	51.00
5.4	17	24	0.33	28.13
5.6	15	20	0.53	30.00
5.8	18	26	0.60	24.00
6.0	16	25	0.67	40.00
6.2	16	26	0.40	30.00
6.4	14	20	0.47	30.00
6.6	12	19	0.40	15.00
6.8	13	19	0.87	22.50
7.0	15	28	0.67	21.00
7.2	14	24	0.67	26.25
7.4	14	24	0.53	22.50
7.6	9	17	0.40	15.00
7.8	8	14	0.53	27.00
8.0	18	26	0.67	50.00
8.2	20	30	0.40	32.14
8.4	15	21	0.47	18.33
8.6	11	18	0.60	21.00
8.8	14	23	0.67	25.00
9.0	15	25	0.60	24.55
9.2	18	27	0.73	25.00
9.4	15	26	0.60	18.33
9.6	11	20	0.60	19.50
9.8	13	22	0.67	40.00
10.0	24	34	0.60	23.18

PROF.	qc kgf/cm ²	RI kgf/cm ²	fs kgf/cm ²	qc/fs
10.2	17	26	0.73	41.25
10.4	11	22	0.27	33.33
10.6	20	24	0.60	17.14
10.8	8	17	0.47	23.57
11.0	11	18	0.47	15.00
11.2	10	17	0.67	18.75
11.4	10	20	0.53	15.00
11.6	10	18	0.67	12.00
11.8	8	18	0.67	18.46
12.0	16	26	0.87	15.00
12.2	14	27	0.93	16.25
12.4	13	27	0.80	16.15
12.6	14	26	0.87	16.36
12.8	12	25	0.73	17.31
13.0	15	26	0.87	19.62
13.2	17	30	0.87	17.00
13.4	17	30	1.00	15.83
13.6	19	34	1.20	15.83
13.8	19	37	1.20	15.00
14.0	18	36	1.20	15.79
14.2	20	38	1.27	17.73
14.4	26	45	1.47	18.00
14.6	24	46	1.33	18.00
14.8	18	38	1.00	45.00
15.0	15	30	0.33	26.25
15.2	21	26	0.80	75.00
15.4	60	72	0.80	108.00
15.6	36	48	0.33	38.44
15.8	41	46	1.07	13.85
16.0	48	64	3.47	45.00
16.2	48	100	1.07	44.12
16.4	100	116	2.27	412.50
16.6	110	144	0.27	96.67
16.8	116	120	1.20	56.25
17.0	60	78	1.07	75.00
17.2	80	96	1.07	75.00
17.4	100	116	1.33	20.00
17.6	28	48	1.40	15.00
17.8	15	36	1.00	18.00
18.0	12	27	0.67	17.14
18.2	16	26	0.93	16.88
18.4	18	32	1.07	15.00
18.6	16	32	1.07	14.17
18.8	17	33	1.20	18.00
19.0	12	30	0.67	16.00
19.2	16	26	1.00	15.00
19.4	12	27	0.80	17.50
19.6	14	26	0.80	17.14
19.8	16	28	0.93	-1.20
20.0	12	26		

OPERATORE: Dott. M. Boccaletti

COMMITTENTE:

Azienda Ospedaliero – Univ Mod

Strumento: SP-100

CANTIERE:

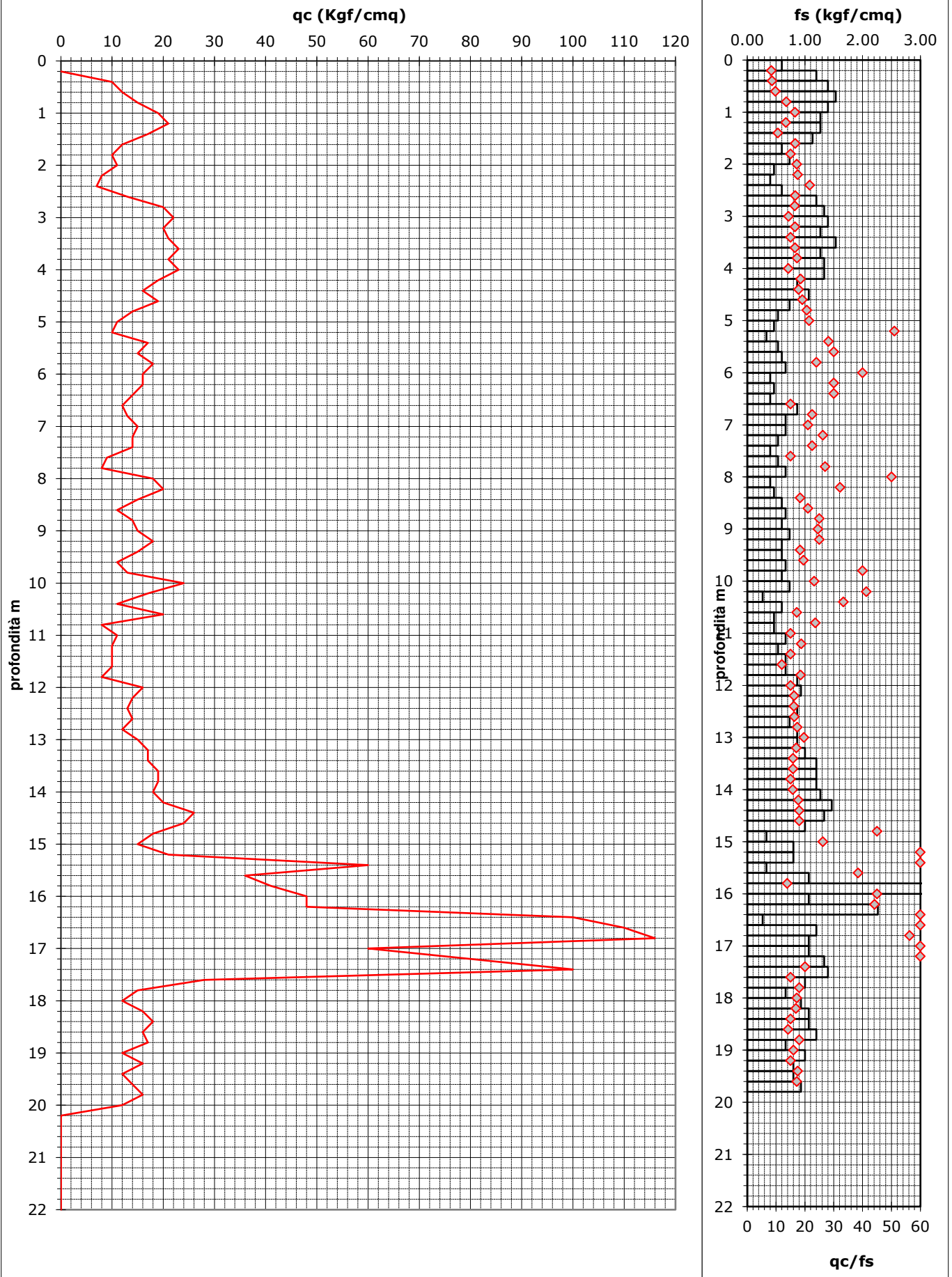
Soluzione 1

Quota: p.c.

Profondità falda:

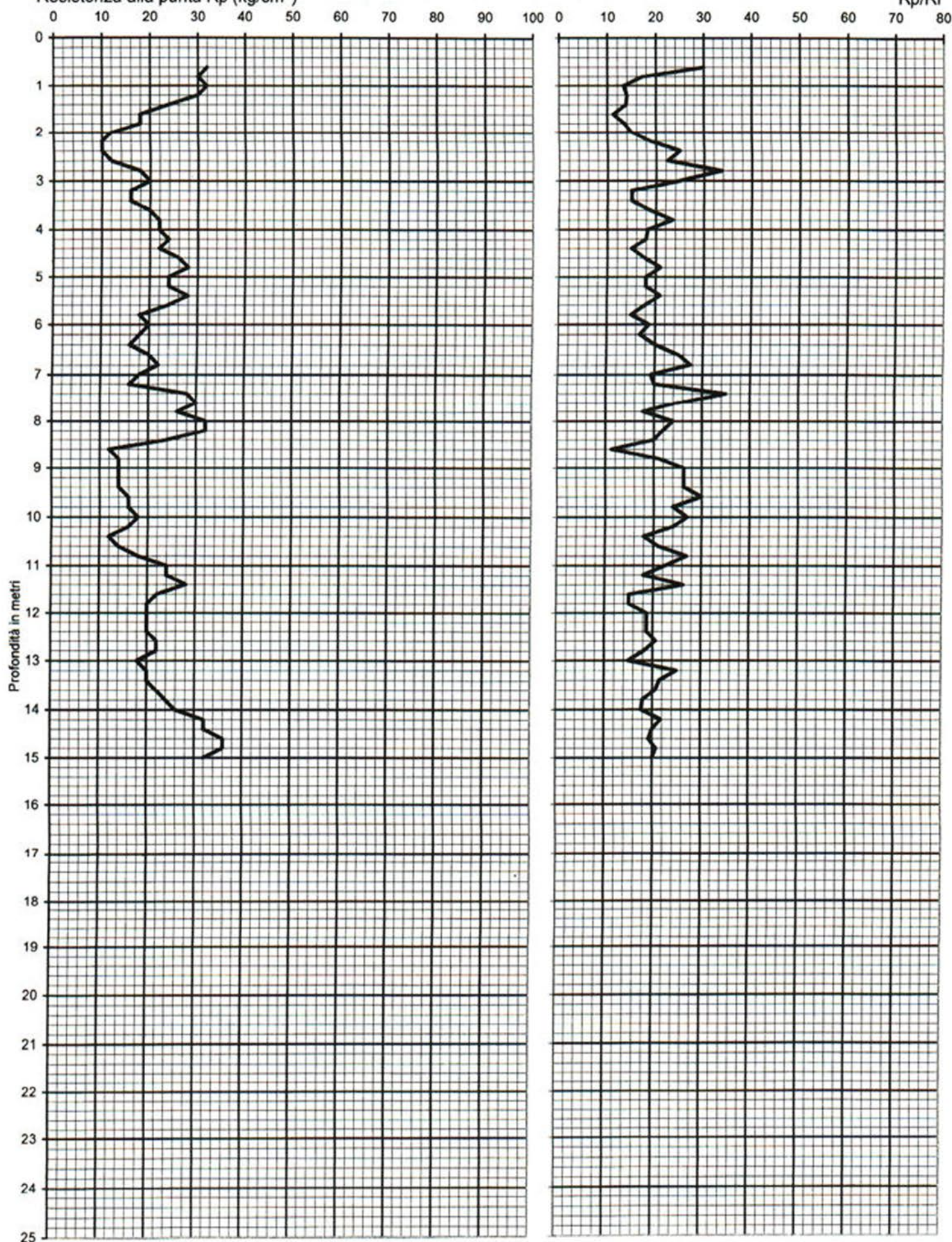
-2,35 m p.c.

Data: 04/03/2021

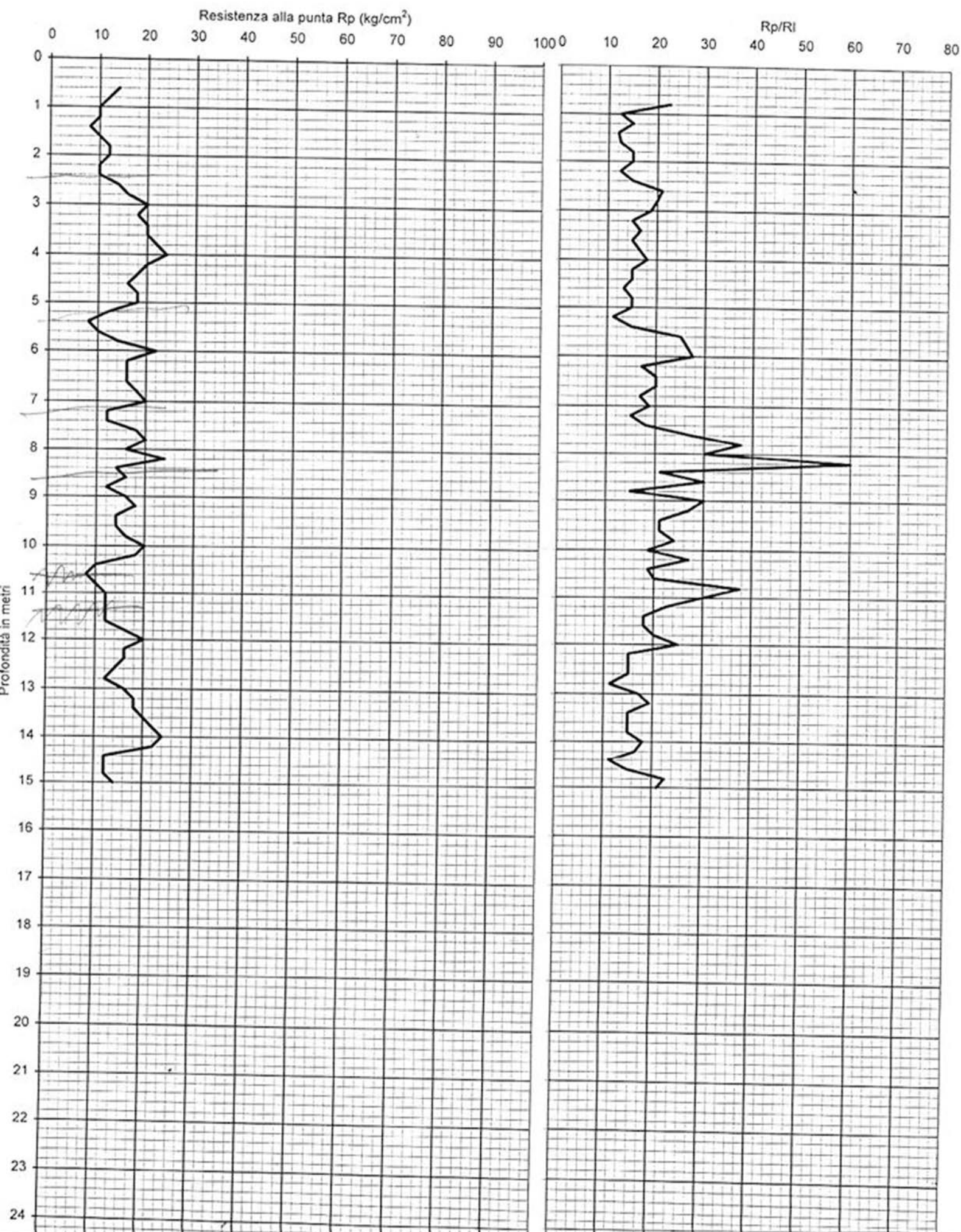


Resistenza alla punta R_p (kg/cm^2)

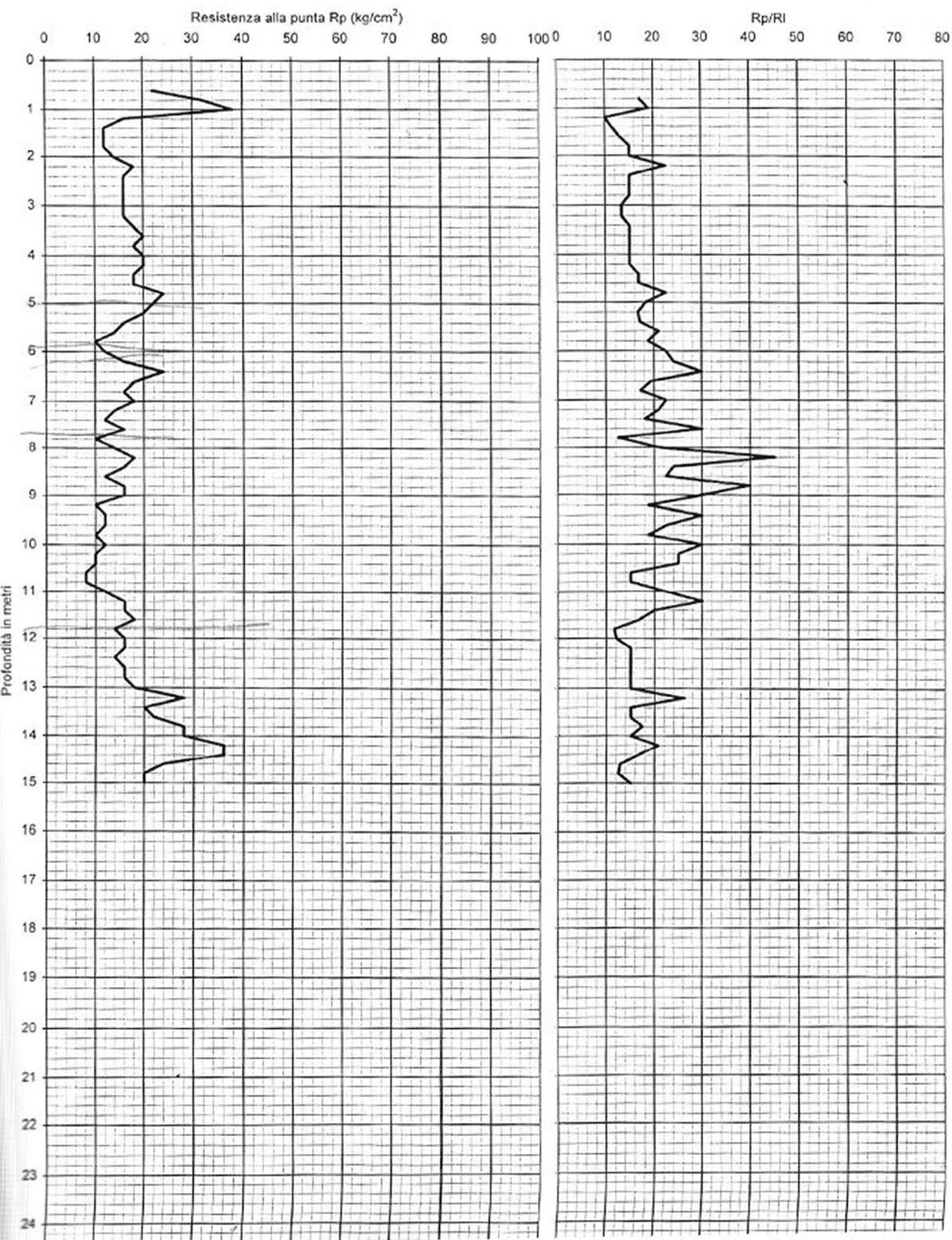
R_p/R_l



Profundità (m)	P (kg/cm ²)	P + L (kg/cm ²)	Rp (kg/cm ²)	RI (kg/cm ²)	Rp/RI [-]
0,20					
0,40					
0,60	14	24	14	0,67	21,00
0,80	12	20	12	0,53	22,50
1,00	10	22	10	0,80	12,50
1,20	10	20	10	0,67	15,00
1,40	8	18	8	0,67	12,00
1,60	10	22	10	0,80	12,50
1,80	12	24	12	0,80	15,00
2,00	12	24	12	0,80	15,00
2,20	10	22	10	0,80	12,50
2,40	10	20	10	0,67	15,00
2,60	14	24	14	0,67	21,00
2,80	16	28	16	0,80	20,00
3,00	20	36	20	1,07	18,75
3,20	18	36	18	1,20	15,00
3,40	20	38	20	1,20	16,67
3,60	20	40	20	1,33	15,00
3,80	22	42	22	1,33	16,50
4,00	24	44	24	1,33	18,00
4,20	20	40	20	1,33	15,00
4,40	18	36	18	1,20	15,00
4,60	16	34	16	1,20	13,33
4,80	18	36	18	1,20	15,00
5,00	18	36	18	1,20	15,00
5,20	12	28	12	1,07	11,25
5,40	8	16	8	0,53	15,00
5,60	10	16	10	0,40	25,00
5,80	14	22	14	0,53	26,25
6,00	22	34	22	0,80	27,50
6,20	16	30	16	0,93	17,14
6,40	16	28	16	0,80	20,00
6,60	16	28	16	0,80	20,00
6,80	18	34	18	1,07	16,88
7,00	20	36	20	1,07	18,75
7,20	12	24	12	0,80	15,00
7,40	12	22	12	0,67	18,00
7,60	18	28	18	0,67	27,00
7,80	20	28	20	0,53	37,50
8,00	16	24	10	0,53	30,00
8,20	24	30	24	0,40	60,00
8,40	14	24	14	0,67	21,00
8,60	16	24	16	0,53	30,00
8,80	12	24	12	0,80	15,00
9,00	16	24	16	0,53	30,00
9,20	18	28	18	0,67	27,00
9,40	14	24	14	0,67	21,00
9,60	14	24	14	0,67	21,00
9,80	16	26	16	0,67	24,00
10,00	20	36	20	1,07	18,75
10,20	18	28	18	0,67	27,00
10,40	10	18	10	0,53	18,75
10,60	8	14	8	0,40	20,00
10,80	10	14	10	0,27	37,50
11,00	12	18	12	0,40	30,00
11,20	12	20	12	0,53	22,50
11,40	12	22	12	0,67	18,00
11,60	12	22	12	0,67	18,00
11,80	16	28	16	0,80	20,00
12,00	20	32	20	0,80	25,00
12,20	16	32	16	1,07	15,00
12,40	16	32	16	1,07	15,00
12,60	14	28	14	0,93	15,00
12,80	12	28	12	1,07	11,25
13,00	16	30	16	0,93	17,14
13,20	18	32	18	0,93	19,29
13,40	18	36	18	1,20	15,00
13,60	20	40	20	1,33	15,00
13,80	22	44	22	1,47	15,00
14,00	24	44	24	1,33	18,00
14,20	22	42	22	1,33	16,50
14,40	12	28	12	1,07	11,25
14,60	12	24	12	0,80	15,00
14,80	12	20	12	0,53	22,50
15,00	14	24	14	0,67	21,00



Profondità (m)	P (kg/cm ²)	P + L (kg/cm ²)	Rp (kg/cm ²)	Rl (kg/cm ²)	Rp/Rl [-]
0,20					
0,40					
0,60	22	44	22	1,47	15,00
0,80	32	60	32	1,87	17,14
1,00	38	68	38	2,00	19,00
1,20	16	40	16	1,60	10,00
1,40	12	28	12	1,07	11,25
1,60	12	26	12	0,93	12,86
1,80	12	24	12	0,80	15,00
2,00	14	28	14	0,93	15,00
2,20	18	30	18	0,80	22,50
2,40	16	32	16	1,07	15,00
2,60	16	32	16	1,07	15,00
2,80	16	32	16	1,07	15,00
3,00	16	34	16	1,20	13,33
3,20	16	34	16	1,20	13,33
3,40	18	36	18	1,20	15,00
3,60	20	40	20	1,33	15,00
3,80	18	36	18	1,20	15,00
4,00	20	40	20	1,33	15,00
4,20	20	40	20	1,33	15,00
4,40	18	34	18	1,07	16,88
4,60	18	34	18	1,07	16,88
4,80	24	40	24	1,07	22,50
5,00	22	40	22	1,20	18,33
5,20	20	38	20	1,20	16,67
5,40	16	30	16	0,93	17,14
5,60	14	24	14	0,67	21,00
5,80	10	18	10	0,53	18,75
6,00	12	20	12	0,53	22,50
6,20	16	26	16	0,67	24,00
6,40	24	36	24	0,80	30,00
6,60	18	32	18	0,93	19,29
6,80	16	30	16	0,93	17,14
7,00	18	30	18	0,80	22,50
7,20	14	24	14	0,67	21,00
7,40	12	22	12	0,67	18,00
7,60	16	24	16	0,53	30,00
7,80	10	22	10	0,80	12,50
8,00	14	24	14	0,67	21,00
8,20	18	24	18	0,40	45,00
8,40	16	26	16	0,67	24,00
8,60	12	20	12	0,53	22,50
8,80	16	22	16	0,40	40,00
9,00	16	24	16	0,53	30,00
9,20	10	18	10	0,53	18,75
9,40	12	18	12	0,40	30,00
9,60	12	20	12	0,53	30,00
9,80	10	18	10	0,53	18,75
10,00	12	18	12	0,40	30,00
10,20	10	16	10	0,40	25,00
10,40	10	16	10	0,40	25,00
10,60	8	16	8	0,53	15,00
10,80	8	16	8	0,53	15,00
11,00	12	20	12	0,53	22,50
11,20	16	24	16	0,53	30,00
11,40	16	28	16	0,80	20,00
11,60	18	34	18	1,07	16,88
11,80	14	32	14	1,20	11,67
12,00	16	36	16	1,33	12,00
12,20	16	32	16	1,07	15,00
12,40	14	28	14	0,93	15,00
12,60	16	32	16	1,07	15,00
12,80	16	32	16	1,07	15,00
13,00	18	36	18	1,20	15,00
13,20	28	44	28	1,07	26,25
13,40	20	40	20	1,33	15,00
13,60	22	44	22	1,47	15,00
13,80	28	52	28	1,60	17,50
14,00	28	56	28	1,87	15,00
14,20	36	62	36	1,73	20,77
14,40	36	68	36	2,13	16,88
14,60	24	52	24	1,87	12,86
14,80	20	44	20	1,60	12,50
15,00	20	40	20	1,33	15,00



OPERATORE: Dott. M. Boccaletti

COMMITTENTE: Azienda Ospedaliero – Univ Mo

Strumento: SP-100

CANTIERE: Soluzione 2

Quota: p.c.

Profondità falda: -2,40 m p.c.

Data: 04/03/2021

Letture di campagna e elaborazioni

PROF.	qc kgf/cmq	RI kgf/cmq	fs kgf/cmq	qc/fs
0.2			0.87	15.00
0.4	13	26	0.87	11.25
0.6	9	22	0.80	10.71
0.8	10	22	0.93	12.50
1.0	10	24	0.80	9.38
1.2	10	22	1.07	11.47
1.4	13	29	1.13	20.00
1.6	8	25	0.40	19.29
1.8	9	15	0.47	30.00
2.0	10	17	0.33	45.00
2.2	9	14	0.20	37.50
2.4	10	13	0.27	22.50
2.6	9	13	0.40	24.00
2.8	8	14	0.33	30.00
3.0	10	15	0.33	30.00
3.2	10	15	0.33	27.00
3.4	9	14	0.33	24.00
3.6	8	13	0.33	26.25
3.8	7	12	0.27	27.00
4.0	9	13	0.33	22.50
4.2	9	14	0.40	20.00
4.4	8	14	0.40	11.25
4.6	9	15	0.80	18.75
4.8	10	22	0.53	30.00
5.0	10	18	0.33	22.50
5.2	9	14	0.40	22.50
5.4	9	15	0.40	25.00
5.6	10	16	0.40	23.57
5.8	11	17	0.47	19.29
6.0	9	16	0.47	20.00
6.2	8	15	0.40	18.00
6.4	12	18	0.67	17.50
6.6	14	24	0.80	21.00
6.8	14	26	0.67	23.33
7.0	14	24	0.60	17.73
7.2	13	22	0.73	20.63
7.4	11	22	0.53	21.00
7.6	14	22	0.67	20.00
7.8	16	26	0.80	16.67
8.0	20	32	1.20	20.00
8.2	24	42	1.20	18.89
8.4	34	52	1.80	16.30
8.6	25	52	1.53	19.62
8.8	17	40	0.87	33.00
9.0	11	24	0.33	22.50
9.2	12	17	0.53	21.82
9.4	16	24	0.73	28.13
9.6	15	26	0.53	30.00
9.8	14	22	0.47	20.00
10.0	8	15	0.40	41.25

PROF.	qc kgf/cmq	RI kgf/cmq	fs kgf/cmq	qc/fs
10.2	11	17	0.27	27.00
10.4	9	13	0.33	39.00
10.6	13	18	0.33	28.13
10.8	15	20	0.53	42.00
11.0	14	22	0.33	45.00
11.2	18	23	0.40	30.00
11.4	14	20	0.47	42.00
11.6	14	21	0.33	32.50
11.8	13	18	0.40	20.00
12.0	8	14	0.40	17.50
12.2	7	13	0.40	17.14
12.4	8	14	0.47	24.00
12.6	8	15	0.33	20.00
12.8	12	17	0.60	20.63
13.0	11	20	0.53	27.86
13.2	13	21	0.47	32.50
13.4	13	20	0.40	27.00
13.6	9	15	0.33	22.50
13.8	9	14	0.40	26.25
14.0	7	13	0.27	30.00
14.2	10	14	0.33	39.00
14.4	13	18	0.33	28.13
14.6	15	20	0.53	15.00
14.8	14	22	0.93	24.00
15.0	16	30	0.67	26.25
15.2	14	24	0.53	54.00
15.4	18	26	0.33	47.50
15.6	19	24	0.40	25.00
15.8	20	26	0.80	12.75
16.0	17	29	1.33	250.00
16.2	50	70	0.20	27.27
16.4	40	43	1.47	76.67
16.6	46	68	0.60	17.73
16.8	13	22	0.73	19.09
17.0	14	25	0.73	17.81
17.2	19	30	1.07	21.18
17.4	24	40	1.13	15.94
17.6	17	34	1.07	21.43
17.8	10	26	0.47	22.50
18.0	12	19	0.53	23.33
18.2	14	22	0.60	28.13
18.4	15	24	0.53	54.00
18.6	18	26	0.33	22.50
18.8	21	26	0.93	5.00
19.0	18	32	3.60	115.00
19.2	46	100	0.40	210.00
19.4	70	76	0.33	147.00
19.6	49	54	0.33	51.25
19.8	41	46	0.80	-6.20
20.0	62	74		

OPERATORE: Dott. M. Boccaletti

COMMITTENTE:

Azienda Ospedaliero – Univ Mod

Strumento: SP-100

CANTIERE:

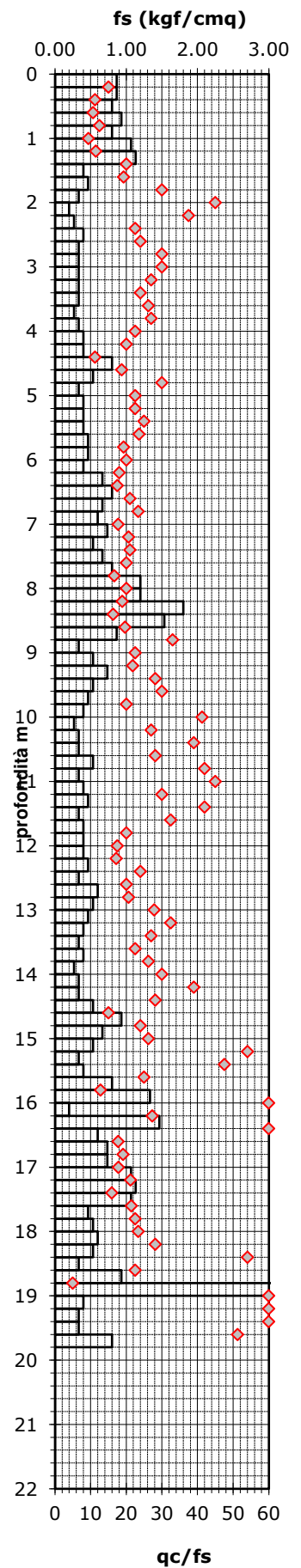
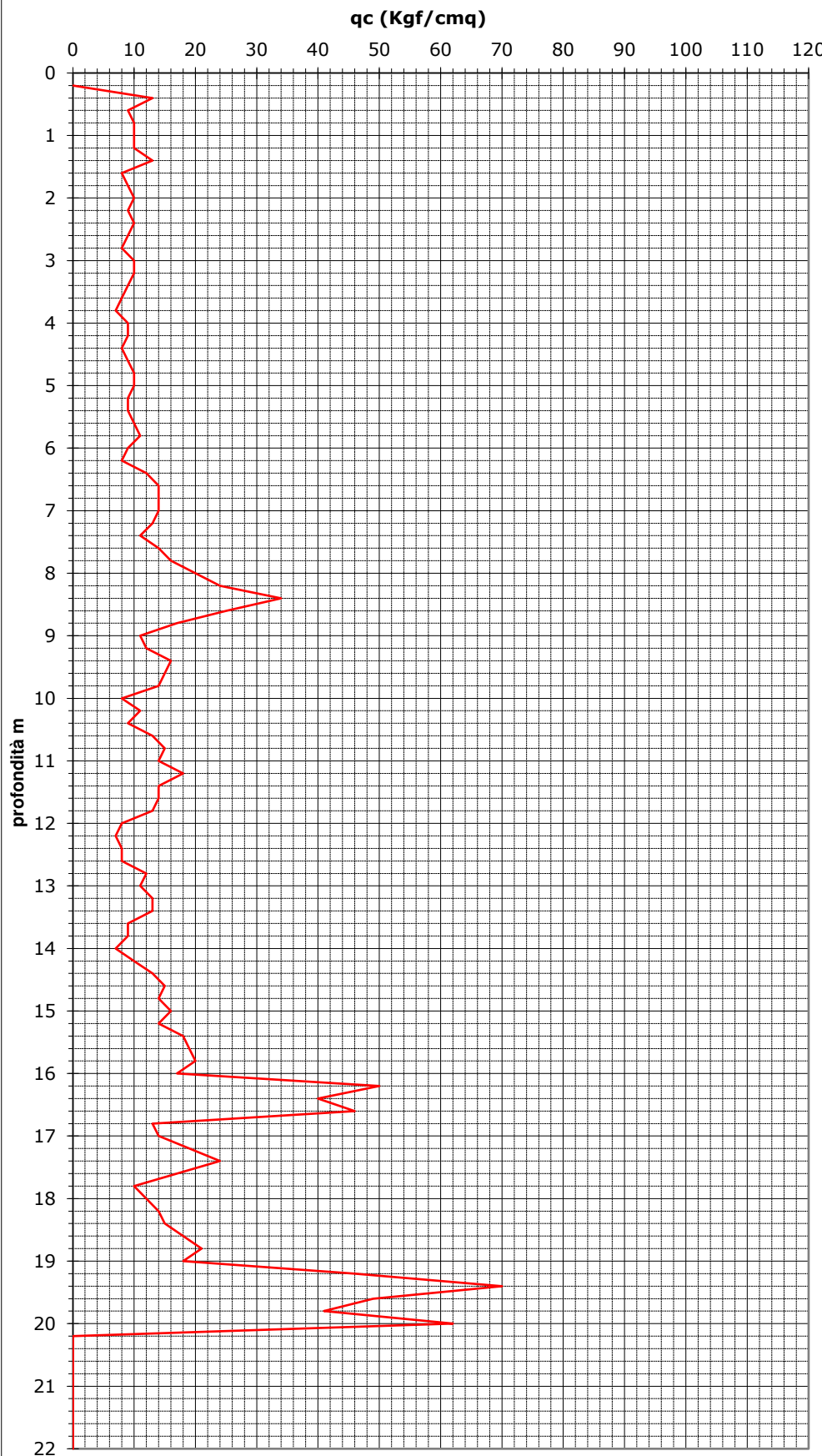
Soluzione 2

Quota: p.c.

Profondità falda:

-2,40 m p.c.

Data: 04/03/2021



OPERATORE: Dott. M. Boccaletti

COMMITTENTE: Azienda Ospedaliero – Univ Mo

Strumento: SP-100

CANTIERE: Soluzione 2

Quota: p.c.

Profondità falda: -2,20 m p.c.

Data: 04/03/2021

Letture di campagna e elaborazioni

PROF.	qc kgf/cm ²	RI kgf/cm ²	fs kgf/cm ²	qc/fs
0.2			0.53	13.85
0.4	12	20	0.87	9.55
0.6	7	20	0.73	9.71
0.8	11	22	1.13	15.83
1.0	19	36	1.20	10.00
1.2	14	32	1.40	14.06
1.4	15	36	1.07	18.75
1.6	15	31	0.80	16.88
1.8	9	21	0.53	21.43
2.0	10	18	0.47	37.50
2.2	15	22	0.40	18.75
2.4	10	16	0.53	27.00
2.6	9	17	0.33	26.67
2.8	16	21	0.60	32.50
3.0	13	22	0.40	82.50
3.2	11	17	0.13	37.50
3.4	10	12	0.27	42.00
3.6	14	18	0.33	21.43
3.8	10	15	0.47	33.00
4.0	11	18	0.33	20.63
4.2	11	16	0.53	18.00
4.4	12	20	0.67	20.00
4.6	16	26	0.80	20.00
4.8	16	28	0.80	24.00
5.0	16	28	0.67	21.82
5.2	16	26	0.73	22.50
5.4	15	26	0.67	40.00
5.6	16	26	0.40	36.00
5.8	12	18	0.33	24.55
6.0	18	23	0.73	65.00
6.2	13	24	0.20	20.36
6.4	19	22	0.93	24.55
6.6	18	32	0.73	23.18
6.8	17	28	0.73	27.00
7.0	18	29	0.67	12.86
7.2	18	28	1.40	15.00
7.4	11	32	0.73	21.25
7.6	17	28	0.80	18.00
7.8	24	36	1.33	16.30
8.0	25	45	1.53	17.73
8.2	26	49	1.47	16.67
8.4	30	52	1.80	18.41
8.6	27	54	1.47	13.64
8.8	20	42	1.47	19.00
9.0	19	41	1.00	19.29
9.2	18	33	0.93	18.00
9.4	12	26	0.67	24.00
9.6	16	26	0.67	52.50
9.8	14	24	0.27	19.50
10.0	13	17	0.67	45.00

PROF.	qc kgf/cm ²	RI kgf/cm ²	fs kgf/cm ²	qc/fs
10.2	6	16	0.13	20.63
10.4	11	13	0.53	65.00
10.6	26	34	0.40	24.00
10.8	8	14	0.33	24.38
11.0	13	18	0.53	120.00
11.2	32	40	0.27	57.00
11.4	38	42	0.67	90.00
11.6	36	46	0.40	78.75
11.8	42	48	0.53	67.50
12.0	36	44	0.53	57.50
12.2	46	54	0.80	210.00
12.4	56	68	0.27	427.50
12.6	57	61	0.13	345.00
12.8	46	48	0.13	150.00
13.0	50	52	0.33	185.00
13.2	37	42	0.20	150.00
13.4	40	43	0.27	70.00
13.6	28	32	0.40	48.75
13.8	26	32	0.53	78.00
14.0	26	34	0.33	39.55
14.2	29	34	0.73	23.44
14.4	25	36	1.07	35.45
14.6	26	42	0.73	32.73
14.8	24	35	0.73	22.50
15.0	9	20	0.40	22.50
15.2	6	12	0.27	45.00
15.4	24	28	0.53	12.86
15.6	6	14	0.47	12.86
15.8	6	13	0.47	-0.60
16.0	6	13		
16.2				
16.4				
16.6				
16.8				
17.0				
17.2				
17.4				
17.6				
17.8				
18.0				
18.2				
18.4				
18.6				
18.8				
19.0				
19.2				
19.4				
19.6				
19.8				
20.0				

OPERATORE: Dott. M. Boccaletti

COMMITTENTE:

Azienda Ospedaliero – Univ Mod

Strumento: SP-100

CANTIERE:

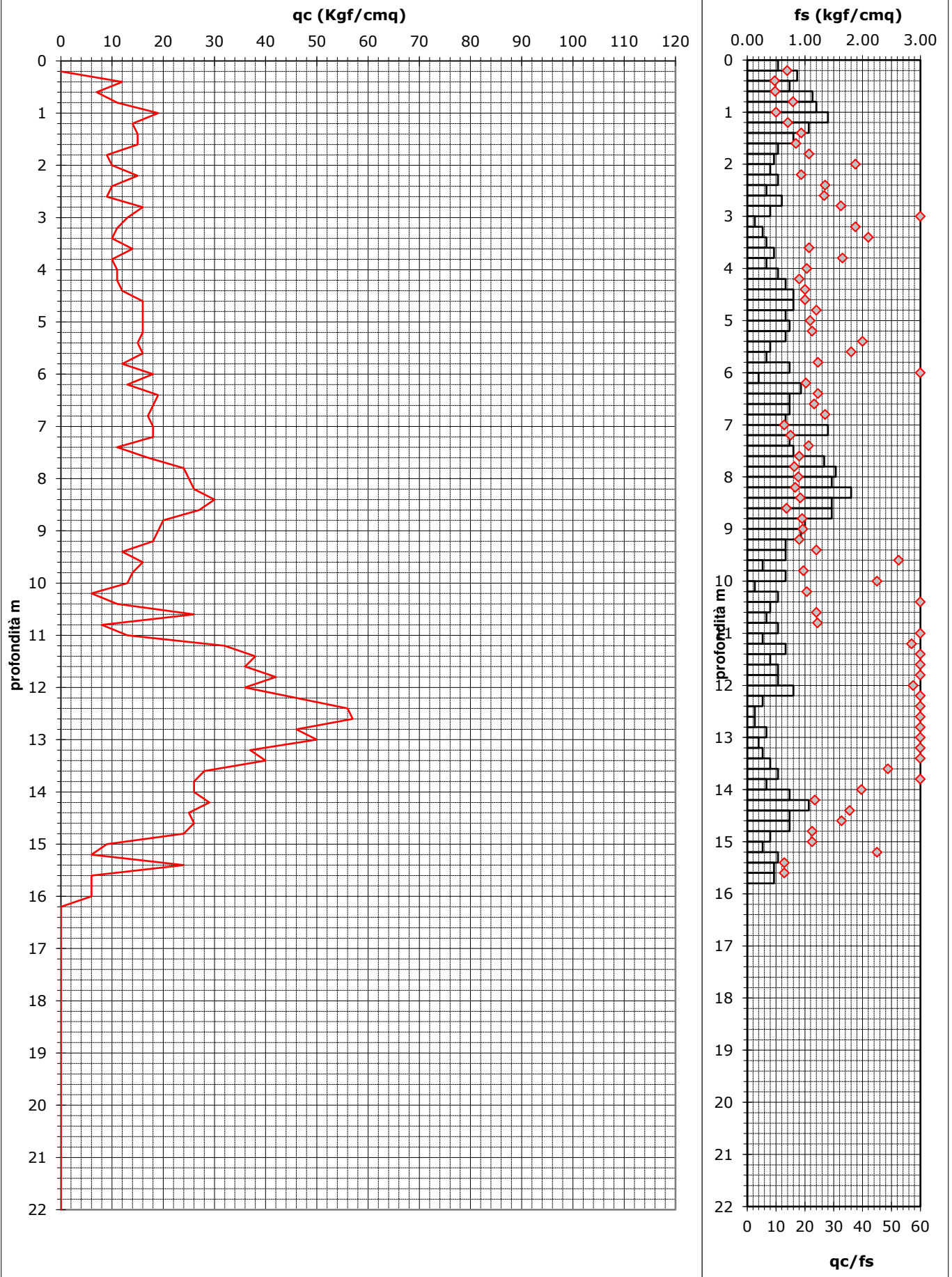
Soluzione 2

Quota: p.c.

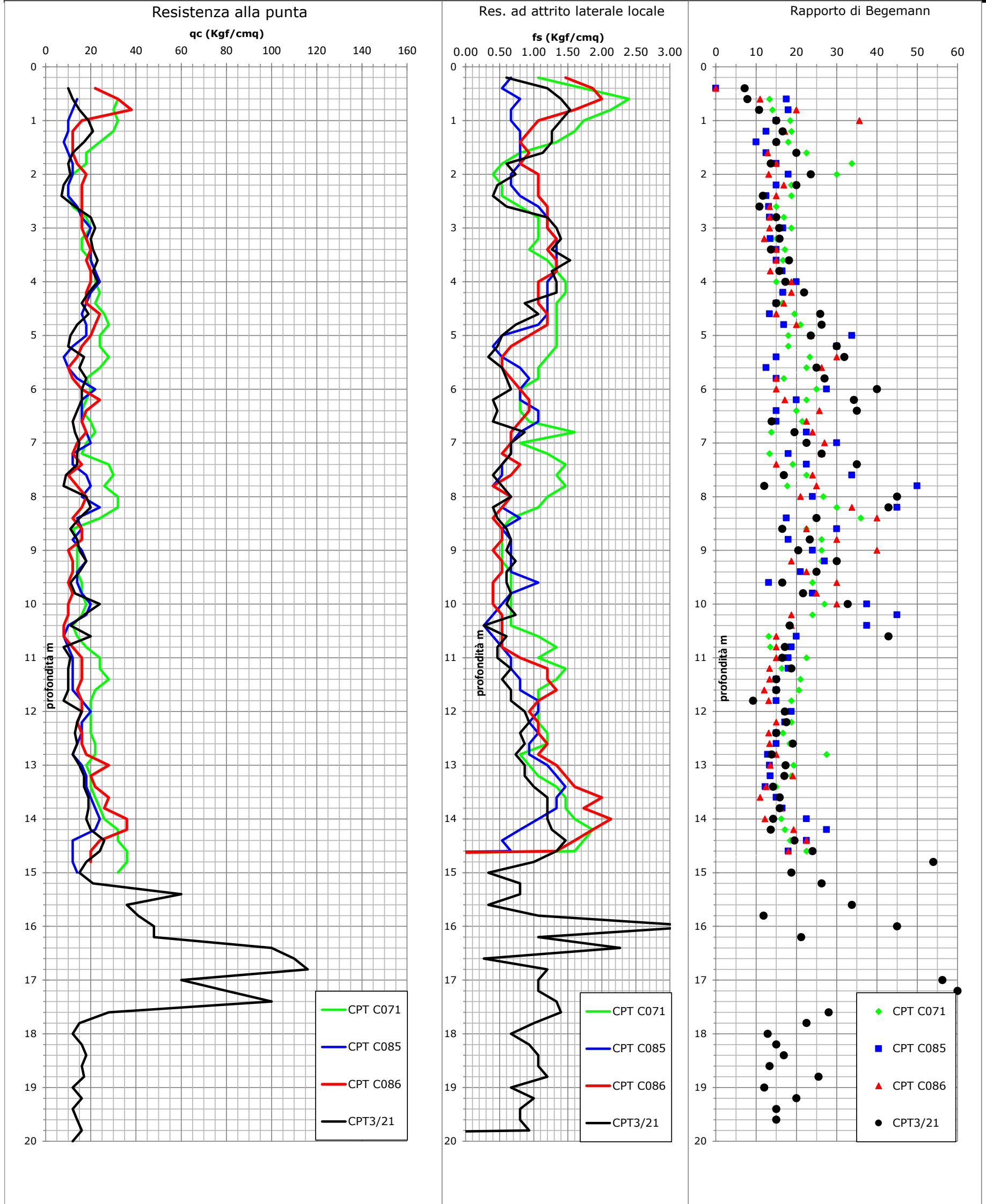
Profondità falda:

-2,20 m p.c.

Data: 04/03/2021



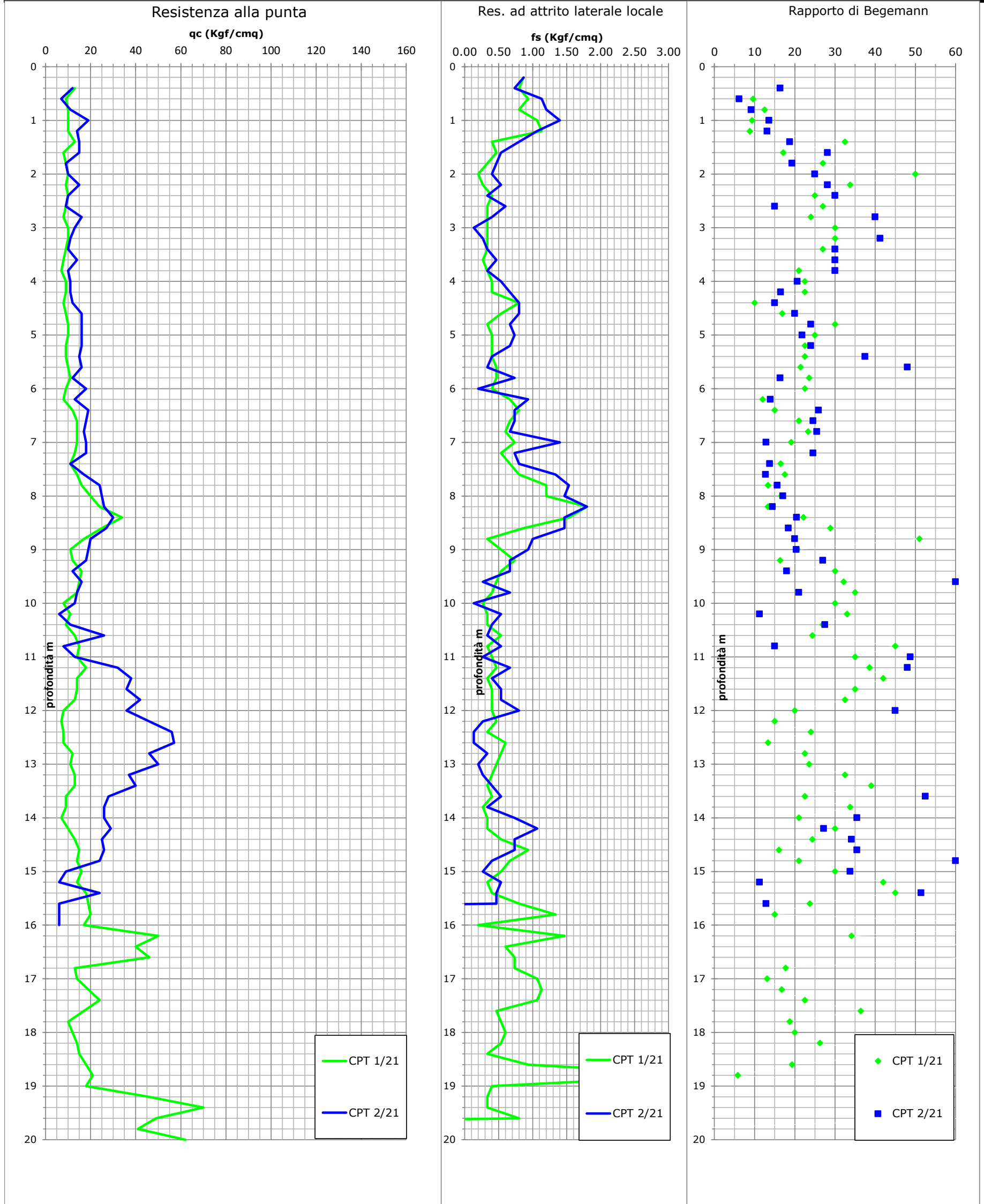
Analisi statistica dati penetrometrici



	qc (kgf/cmq)											
	ORS	UGT1	UGT2	UGT3	UGT3bis	UGT4	UGT4bis	UGT6	UGT7	UGT8	UGT9	UGT10
campioni	22	20	53	12	7	19	6	76	40	37	13	12
Minimo	8.00	7.00	16.00	8.00	16.00	12.00	24.00	8.00	12.00	12.00	21.00	12.00
Massimo	38.00	18.00	28.00	16.00	22.00	24.00	32.00	24.00	28.00	36.00	116.00	18.00
Media	20.09	11.45	20.08	12.25	18.57	16.95	28.67	13.68	17.35	22.95	65.23	14.67
Moda	32.00	12.00	20.00	10.00	20.00	16.00	32.00	12.00	16.00	20.00	60.00	12.00
Mediana	18.00	12.00	20.00	12.00	18.00	16.00	29.00	14.00	16.00	22.00	60.00	15.50
Dev. Stand.	8.55	2.29	3.09	2.45	2.06	2.72	2.98	3.62	3.59	6.85	31.19	2.09
Media troncata	19.67	11.38	19.86	12.30	18.57	16.82	28.67	13.50	17.09	22.74	64.64	14.60
t student	1.72	1.73	1.67	1.80	1.94	1.73	2.02	1.67	1.68	1.69	1.78	1.80
qck	16.88	10.54	19.36	10.92	16.94	15.83	25.98	12.99	16.38	21.02	49.18	13.53

	fs (kgf/cmq)											
	ORS	UGT1	UGT2	UGT3	UGT3bis	UGT4	UGT4bis	UGT6	UGT7	UGT8	UGT9	UGT10
campioni	22	20	53	12	7	19	6	76	40	37	13	12
Minimo	0.53	0.40	0.80	0.40	0.80	0.33	0.80	0.27	0.53	0.33	0.27	0.67
Massimo	2.40	1.07	1.53	1.07	1.60	1.07	1.47	1.07	1.47	2.13	3.47	1.20
Media	1.38	0.69	1.20	0.63	1.01	0.73	1.24	0.58	0.99	1.32	1.24	0.90
Moda	0.67	0.80	1.20	0.53	0.80	0.80	1.20	0.67	1.07	1.33	1.07	1.00
Mediana	1.40	0.70	1.20	0.53	0.93	0.80	1.27	0.57	1.07	1.33	1.07	0.93
Dev. Stand.	0.49	0.18	0.17	0.19	0.27	0.21	0.23	0.15	0.21	0.38	0.80	0.17
Media troncata	1.36	0.69	1.22	0.61	1.01	0.73	1.24	0.58	0.99	1.33	1.13	0.89
t student	1.72	1.73	1.67	1.80	1.94	1.73	2.02	1.67	1.68	1.69	1.78	1.80
fsk	1.19	0.62	1.16	0.53	0.80	0.64	1.04	0.56	0.94	1.21	0.83	0.81

Analisi statistica dati penetrometrici



	qc (kgf/cm ²)										
	ORS	UGT A	UGT B	UGT C	UGT D	UGT E	UGT Ebis	UGT F	UGT G	UGT H	UGT I
campioni	13	38	23	14	23	13	17	11	4	12	5
Minimo	7.00	7.00	11.00	17.00	6.00	7.00	13.00	14.00	24.00	10.00	41.00
Massimo	19.00	16.00	19.00	34.00	26.00	13.00	57.00	26.00	50.00	24.00	70.00
Media	12.15	9.97	15.09	23.29	13.17	9.85	37.53	18.91	40.00	16.25	53.60
Moda	10.00	9.00	16.00	20.00	14.00	8.00	36.00	14.00	#N/D	14.00	#N/D
Mediana	12.00	10.00	16.00	24.00	13.00	9.00	37.00	18.00	43.00	16.00	49.00
Dev. Stand.	3.03	1.88	2.32	4.89	3.92	2.21	11.15	4.17	9.90	3.83	10.74
Media tronca	12.00	9.72	15.16	22.92	12.89	9.82	37.87	18.67	40.00	16.10	53.60
t student	1.78	1.69	1.72	1.77	1.72	1.78	1.75	1.81	2.35	1.80	2.13
qck	10.59	9.45	14.24	20.88	11.74	8.71	32.66	16.52	26.55	14.17	42.15

	fs (kgf/cm ²)										
	ORS	UGT A	UGT B	UGT C	UGT D	UGT E	UGT Ebis	UGT F	UGT G	UGT H	UGT I
campioni	13	38	23	14	23	13	17	11	4	12	5
Minimo	0.53	0.13	0.20	0.73	0.13	0.27	0.13	0.33	0.53	0.33	0.33
Massimo	1.40	1.13	1.40	1.80	0.93	0.60	0.80	1.07	1.47	1.13	0.80
Media	0.94	0.43	0.68	1.30	0.48	0.41	0.39	0.64	0.78	0.73	0.53
Moda	0.87	0.33	0.67	1.47	0.33	0.40	0.53	0.33	0.53	0.60	0.33
Mediana	0.87	0.40	0.67	1.40	0.47	0.40	0.33	0.67	0.57	0.67	0.40
Dev. Stand.	0.22	0.18	0.23	0.34	0.19	0.09	0.18	0.23	0.40	0.25	0.22
Media tronca	0.94	0.40	0.67	1.30	0.47	0.41	0.38	0.63	0.78	0.73	0.53
t student	1.78	1.69	1.72	1.77	1.72	1.78	1.75	1.81	2.35	1.80	2.13
fsk	0.83	0.38	0.59	1.13	0.41	0.37	0.31	0.51	0.24	0.59	0.30

VERIFICA SUSCETTIBILITA' ALLA LIQUEFAZIONE COL METODO DI ROBERTSON & WRIE MODIFICATO (1998)

Cantiere: Soluzione 1
 Località: Carpi
 Operatore: Dr. M. Boccaletti

Quota inizio: p.c.
 Prof. falda: -2,35 m p.c.
 DATA: 04/03/2021

PROVA N°: 3/21

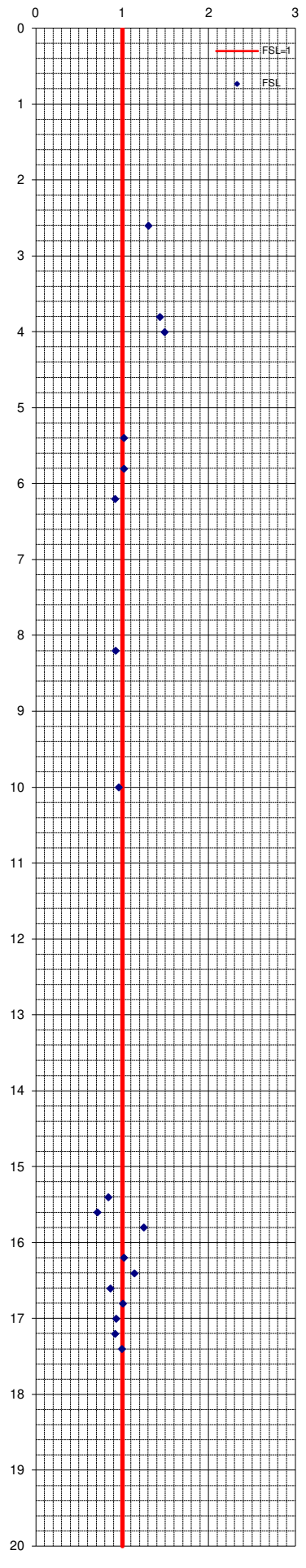
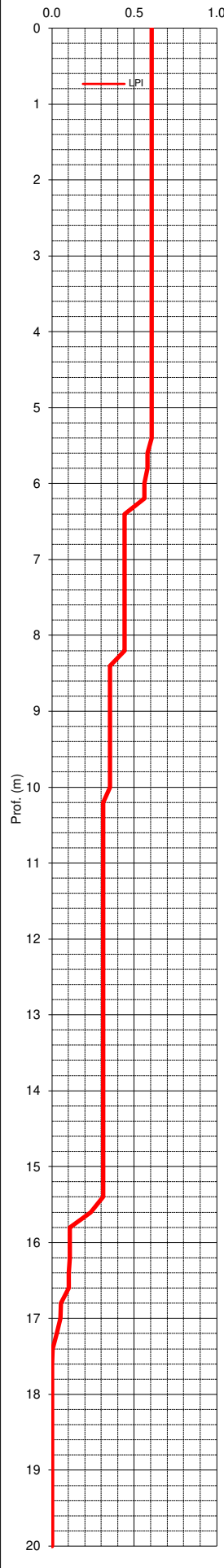
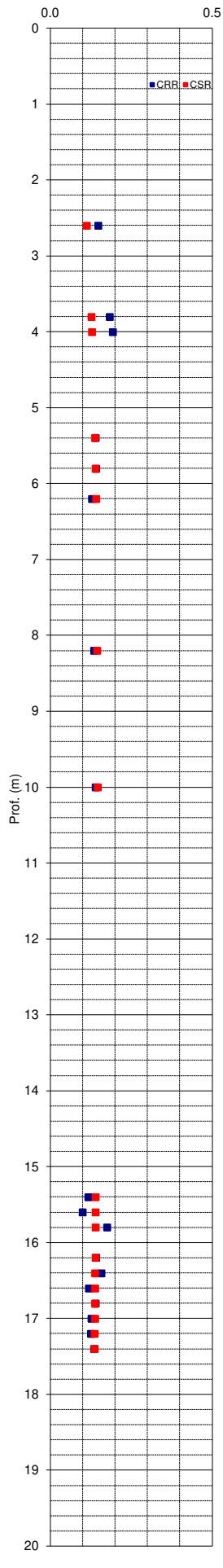
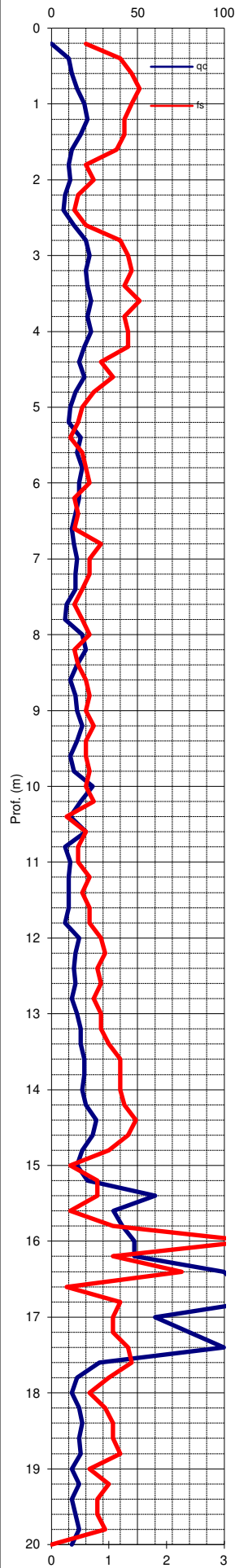
Prof. Falda considerata	2
amax/g	0.257
Magnitudo attesa M	6.14

MSF (Idriss, 1997)

1.67

Indice del Potenziale di liquefazione I_L

0.604



VERIFICA SUSCETTIBILITA' ALLA LIQUEFAZIONE COL METODO DI ROBERTSON & WRIE MODIFICATO (1998)

Cantiere: Via Gusmea

Quota inizio: p.c.

PROVA N°: C071

Località: Carpi

Prof. falda: -2,00 m p.c.

Prof. Falda considerata 2

Operatore: 0

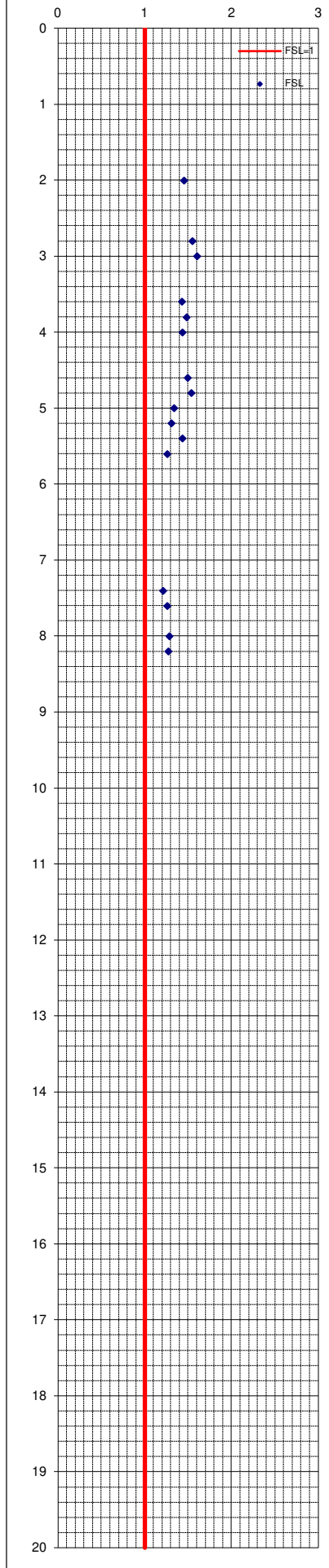
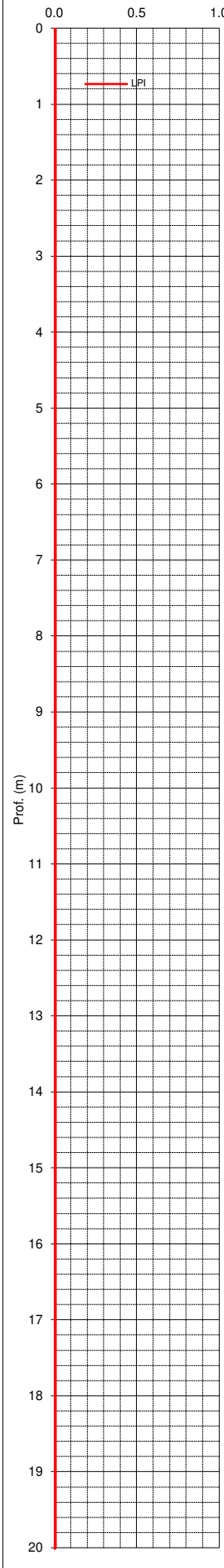
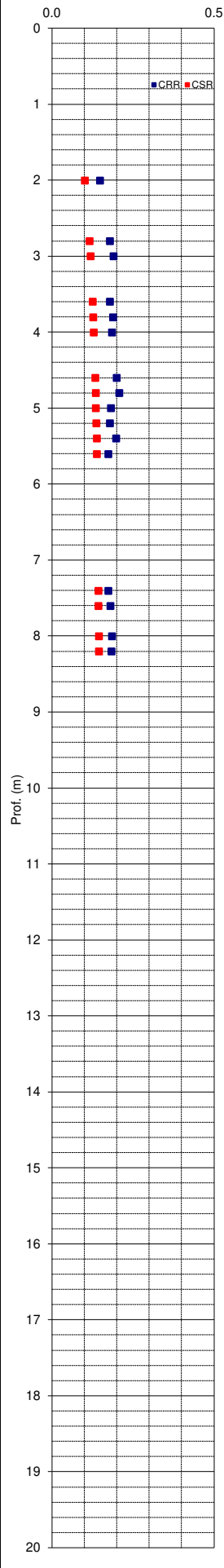
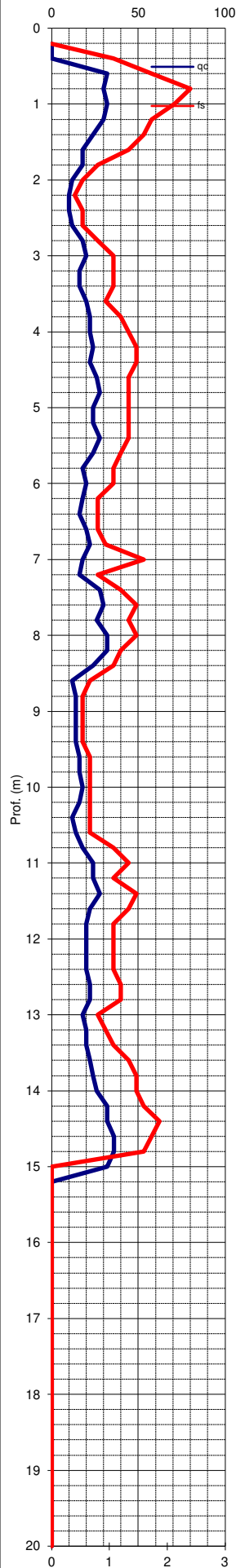
DATA 24/09/2000

amax/g 0.257

MSF (Idriss, 1997) 1.67

Indice del Potenziale di liquefazione I_L 0.000

Magnitudo attesa M 6.14



VERIFICA SUSCETTIBILITA' ALLA LIQUEFAZIONE COL METODO DI ROBERTSON & WRIE MODIFICATO (1998)

Cantiere: Via Gusmea

Quota inizio: p.c.

PROVA N°: C085

Località: Carpi

Prof. falda: -2,00 m p.c.

Prof. Falda considerata 2

Operatore: 0

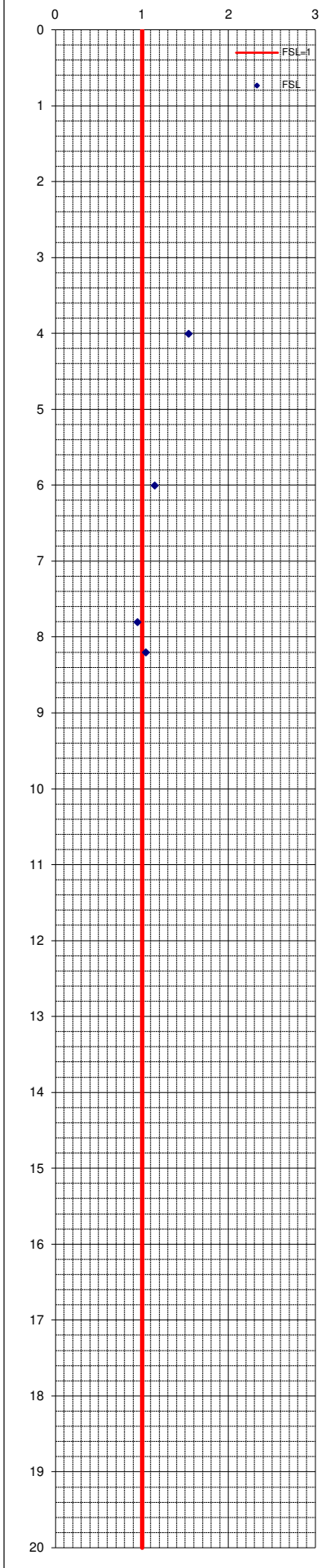
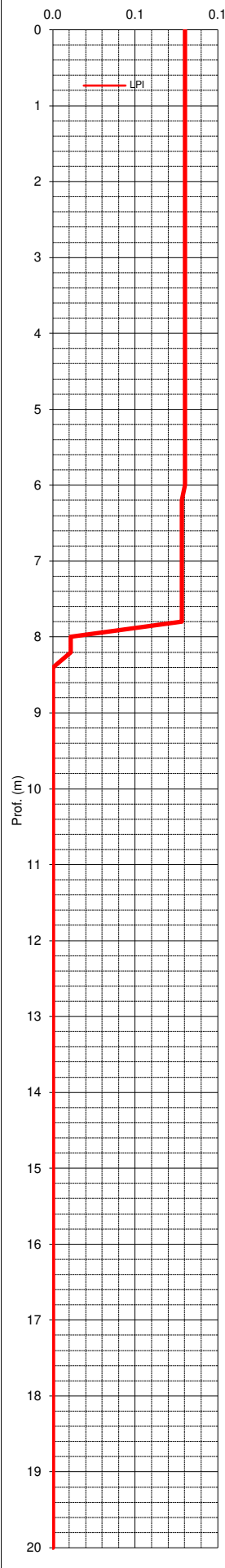
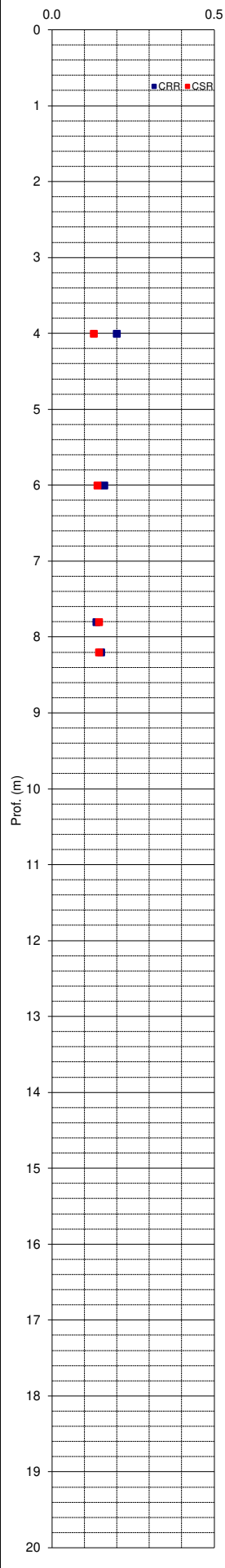
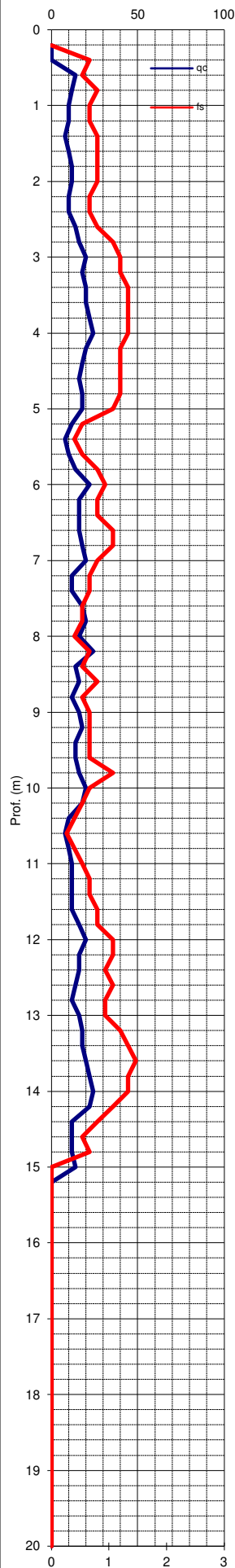
DATA 22/08/1996

amax/g 0.257

MSF (Idriss, 1997) 1.67

Indice del Potenziale di liquefazione I_L 0.080

Magnitudo attesa M 6.14



VERIFICA SUSCETTIBILITA' ALLA LIQUEFAZIONE COL METODO DI ROBERTSON & WRIE MODIFICATO (1998)

Cantiere: Carpi PRG
 Località: Carpi
 Operatore: 0

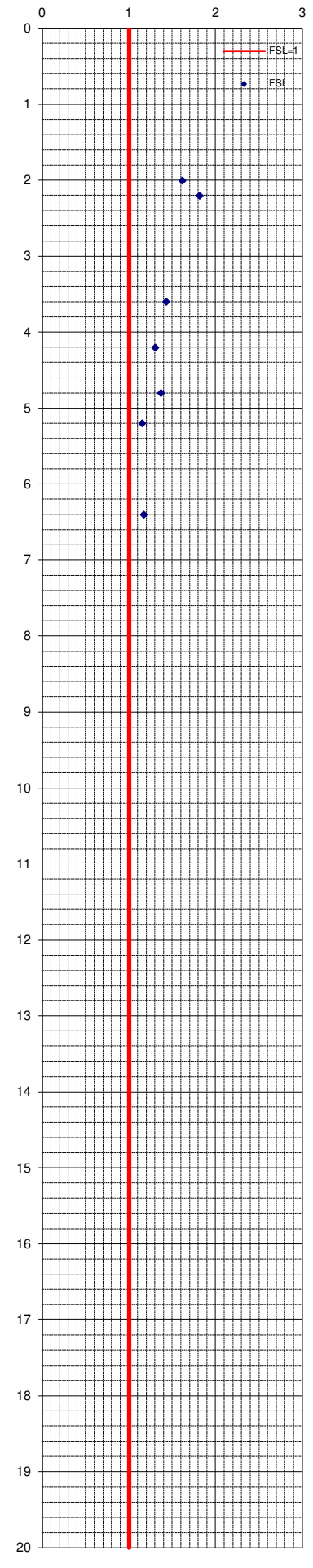
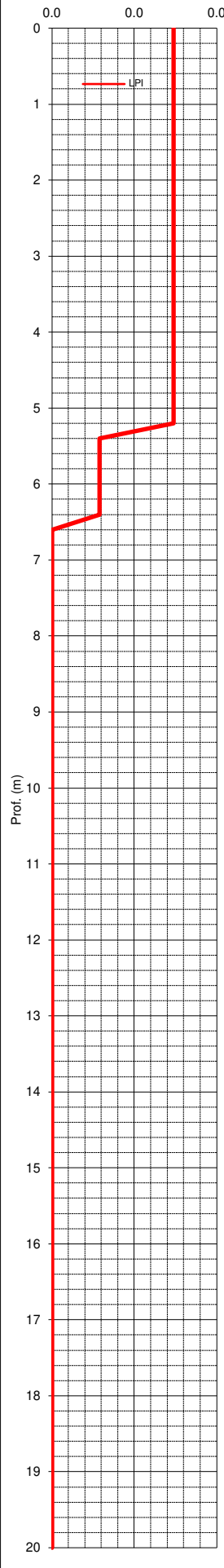
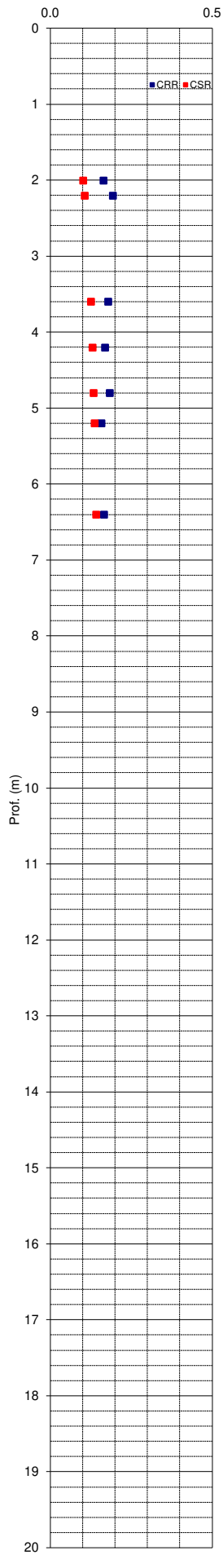
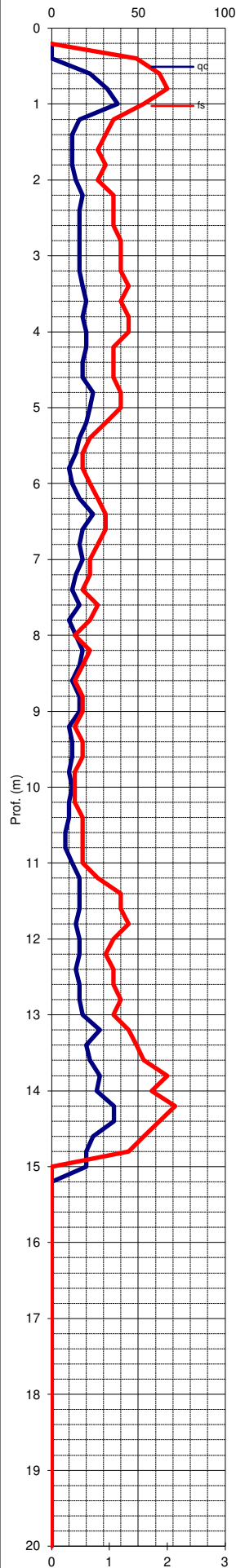
Quota inizio: p.c.
 Prof. falda: -2,00 m p.c.
 DATA: 22/08/1996

PROVA N°: C086

Prof. Falda considerata	2
amax/g	0.257
Magnitudo attesa M	6.14

MSF (Idriss, 1997) **1.67**

Indice del Potenziale di liquefazione I_L **0.003**



VERIFICA SUSCETTIBILITA' ALLA LIQUEFAZIONE COL METODO DI ROBERTSON & WRIE MODIFICATO (1998)

Cantiere: Soluzione 2
 Località: Carpi
 Operatore: Dr. M. Boccaletti

Quota inizio: p.c.
 Prof. falda: -2,40 m p.c.
 DATA: 04/03/2021

PROVA N°: 1/21

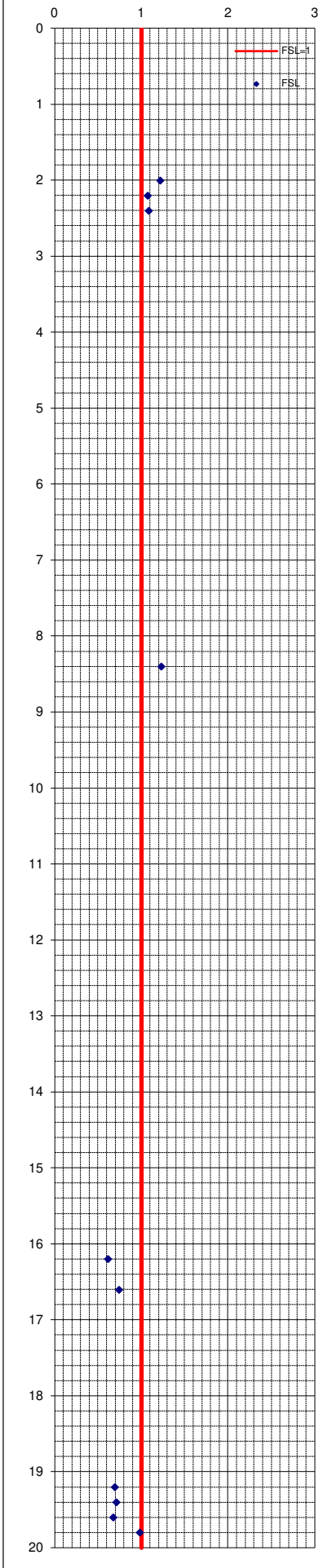
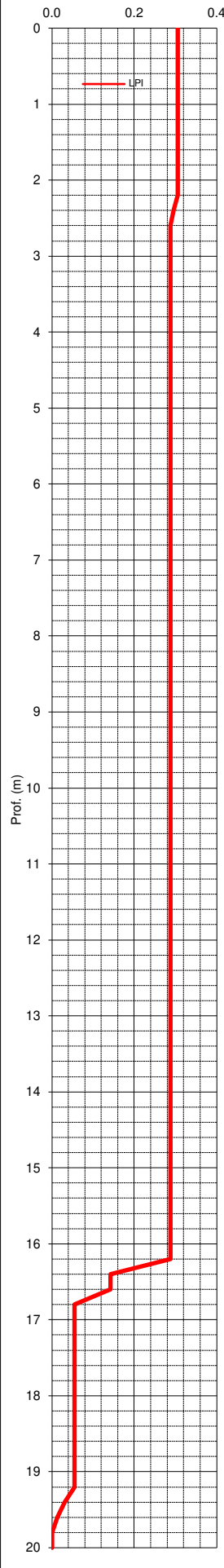
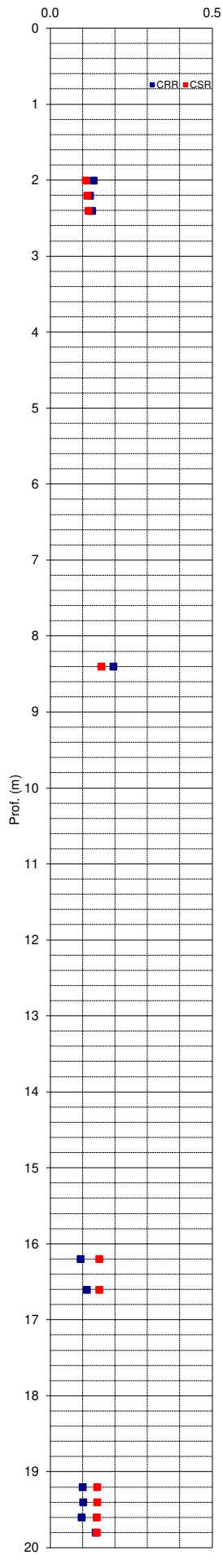
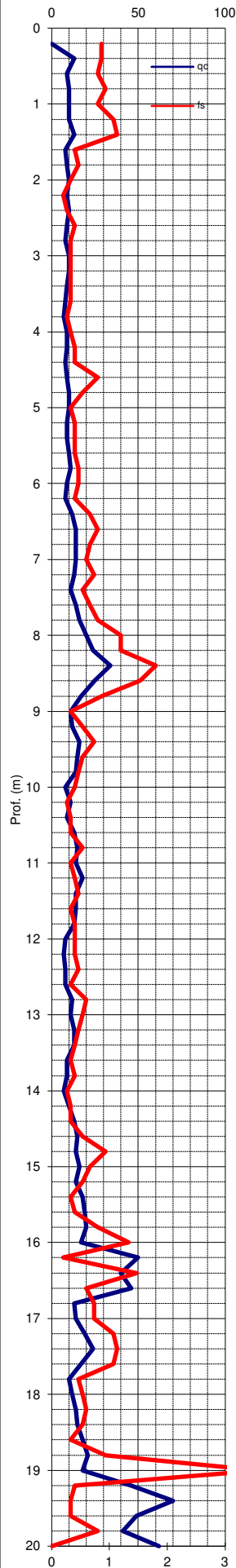
Prof. Falda considerata	2
amax/g	0.276
Magnitudo attesa M	6.14

MSF (Idriss, 1997)

1.67

Indice del Potenziale di liquefazione I_L

0.305



VERIFICA SUSCETTIBILITA' ALLA LIQUEFAZIONE COL METODO DI ROBERTSON & WRIE MODIFICATO (1998)

Cantiere: Soluzione 2
 Località: Carpi
 Operatore: Dr. M. Boccaletti

Quota inizio: p.c.
 Prof. falda: -2,20 m p.c.
 DATA: 04/03/2021

PROVA N°: 2/21

Prof. Falda considerata	2
amax/g	0.276
Magnitudo attesa M	6.14

MSF (Idriss, 1997)

1.67

Indice del Potenziale di liquefazione I_L

4.475

