



Committente:



COMUNE DI CARPI Corso A. Pio, 91 41012 - Carpi (MO)
c.f. 00184280360 e-mail: comune.carpi@pec.comune.carpi.mo.it



Oggetto:

PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA (PNRR)
Missione M5 - Componente C2 - Investimento 2.1 - Investimenti in progetti di rigenerazione urbana, volti a ridurre situazioni di emarginazione e degrado sociale.
Progetto n. 63/2021 - "REALIZZAZIONE DI PISTA CICLOPEDONALE DI SCAVALCAMENTO ALLA TANGENZIALE BRUNO LOSI" ID 8230 -CUP: C91B19000070004

Nome archivio

T03-23 ESE

Tavola n

RGE

Scala

Data

aprile 2023

Titolo

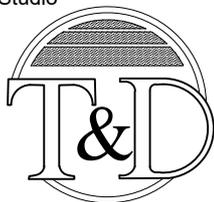
RELAZIONE GEOLOGICA

Aggiornamenti

giugno 2023

Responsabile Unico del Procedimento: Ing. Calogero Filippello

Studio



Ingegneri Associati

AZIENDA CON SISTEMA
DI GESTIONE PER LA QUALITA'
UNI EN ISO 9001:2015
CERTIFICATO CSQA N. 3303

Via Linz, 93
38121 - TRENTO
tel. 0461 / 822552
fax 0461 / 829692
E-mail info@ited.it

Timbro:

ORDINE DEGLI INGEGNERI
DELLA PROV. DI TRENTO

dott.ing. **ANTONIO LICINI**

ISCRIZIONE ALBO N° 1488

Geologo dott. Rinaldo Bussola

**RELAZIONE GEOLOGICO TECNICA E SISMICA, COMPRENSIVA DI
INDAGINI, RELATIVA ALLA COSTRUZIONE DI UNA PISTA CICLO-
PEDONALE DI SCAVALCAMENTO ALLA TAMGENZIALE BRUNO LOSI
NEL COMUNE DI CARPI (MO)**



Trento, giugno 2022

Il Relatore



INDICE

1. Premessa.....	2
2. Geologia	
2.1 Ubicazione dell'area di intervento.....	3
2.2 Inquadramento geologico e geomorfologico generale.....	4
2.5 Inquadramento idrogeologico.....	7
3. Indagini geognostiche eseguite	
3.1 Prove penetrometriche statiche CPT (Cone Penetration Test)....	8
3.2 Indagine geofisica MASW.....	13
3.3 Indagine geofisica a stazione singola HVSR (Tromino®).....	20
4. Classificazione macrosismica ed analisi dell'azione sismica.....	27
5. Verifica della suscettibilità alla liquefazione	
5.1 Generalità.....	31
5.2 Liquefazione.....	32
6. Conclusioni.....	34

Allegati

- 1) "Inquadramento Corografico" - *scala 1:25.000* -
- 2) "Inquadramento geografico" - *scala 1:10.000* -
- 3) "Inquadramento area di interesse" - *scala 1:5.000* -
- 4) "Ubicazione indagini geognostiche eseguite" - *disegno fuori scala* -
- 5) "Prove penetrometriche statiche CPT1-CPT2" - *dati e diagrammi* -
- 6) "Elaborazione prove penetrometriche statiche CPT1-CPT2"
- *Parametri Geotecnici da programma "CPTWIN ver. 3.2" Geosoft s.a.s.*-
- *Parametri Geotecnici CPT1 da programma "Static Probing" GeoStru s.r.l.*-
- 7) "Rischio di liquefazione e calcolo cedimenti post-sismici" – *dati e diagrammi*-
- 8) "Prospezione sismica di superficie MASW" - *dati e diagrammi* -
- 9) "Tromografia digitale HVSR (Tromino®)" - *dati e diagrammi* -

**RELAZIONE GEOLOGICO TECNICA E SISMICA, COMPRENSIVA DI
INDAGINI, RELATIVA ALLA COSTRUZIONE DI UNA PISTA CICLO-
PEDONALE DI SCAVALCAMENTO ALLA TANGENZIALE BRUNO LOSI
NEL COMUNE DI CARPI (MO)**

1. PREMESSA

Su incarico del Comune di Carpi, in Provincia di Modena, e d'intesa con il Progettista, ing. Antonio Licini, si è provveduto alla stesura della presente relazione geologico tecnica e sismica relativa alla costruzione di una pista ciclo-pedonale di scavalcamento alla Tangenziale Bruno Losi nel Comune di Carpi.

A tale scopo, dopo aver eseguito un sopralluogo di dettaglio dell'area di intervento, è stata effettuata un'indagine geognostica al fine di determinare le caratteristiche geomeccaniche dei terreni, in corrispondenza del settore di maggior interesse dal punto di vista geotecnico, vale a dire in corrispondenza del previsto sovrappasso della ciclopedonale sulla Tangenziale Bruno Losi. Allo scopo sono state eseguite n. 2 prove penetrometriche statiche CPT (*Cone Penetration Test*) spinte sino ad una profondità di - 25.00 m dall'attuale p.c.

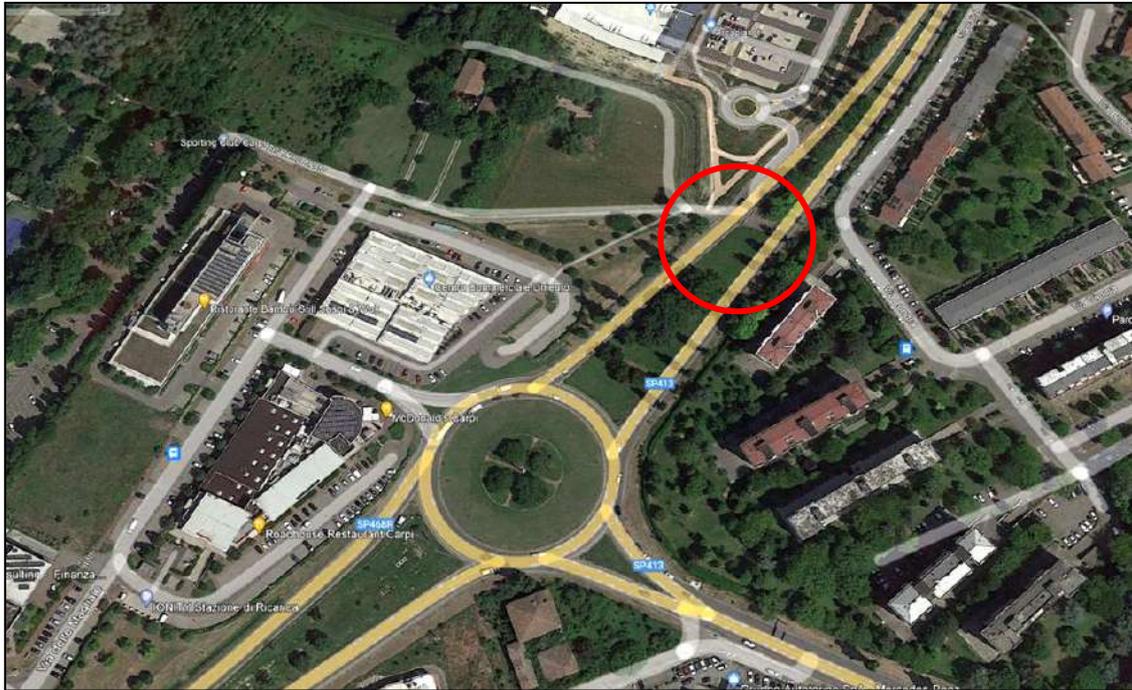
Successivamente, sullo stesso sito è stata effettuata una prospezione sismica di superficie Masw (*Multichannel Spectral Analysis of Waves*) per la determinazione in modo diretto delle onde $V_{s,eq}$ per valutare la risposta sismica del sito. In tale occasione è stata eseguita anche una registrazione di microtremori in corrispondenza della prova CPT1 mediante tromografo digitale (TROMINO®) denominata HVSR per la determinazione del primo modo di vibrare del terreno.

L'insieme delle indagini eseguite è stato svolto, previa comunicazione al Committente Comune di Carpi, dal Dott. Geol. Lorenzo Malvezzi dello Studio Tecnico Ambientale GEOTECH di Fossoli di Carpi (MO), Collega con il quale mi sono interfacciato per l'ubicazione e la tipologia delle indagini da realizzare.

Di seguito dopo aver richiamato i dati geologici di carattere generale del settore di interesse, verranno evidenziate le caratteristiche geotecniche e sismiche dei terreni presenti nell'area di intervento alla luce dei risultati delle indagini appositamente svolte per la realizzazione in sicurezza dei lavori in progetto.

- GEOLOGIA -

2.1 Ubicazione dell'area di intervento



Estratto foto aerea (da *Google*) con ubicazione del sovrappasso in progetto

L'area in esame si localizza nel settore occidentale dell'abitato del Comune di Carpi (MO) e più precisamente al margine di una zona residenziale posta ad una quota media di 28.0 m s.l.m.

Cartograficamente l'area è compresa nella tavola in scala 1:25.000 della C.T.R. n. 201 N-E denominata "Carpi" (Allegato n. 1) e nella sezione, sempre della C.T.R., in scala 1:10.000 n. 201030 denominata "Carpi" (Allegato n. 2) e nel rispettivo Elemento in scala 1:5.000 n. 201034 denominato "Carpi Ovest" (Allegato n. 3).

Nello specifico la porzione di pista ciclopedonale che scavalca la Tangenziale Bruno Losi risulta ubicata tra via Londra e Stradello Morto nel Comune di Carpi (vedi foto aerea sopra riportata).

2.2 Inquadramento geologico e geomorfologico generale

La zona in esame si colloca nella parte centro-meridionale del bacino subsidente Plio-Quaternario della Pianura Padana costituito da un'ampia depressione a stile compressivo formata, negli orizzonti più recenti da depositi Pliocenico Quaternari.

Da una sedimentazione di tipo marino che caratterizza il Pliocene e parte del Pleistocene, si passa ad una di tipo continentale, con il colmamento del golfo padano che si trasforma progressivamente in pianura alluvionale, attraverso l'accumulo di sedimenti fluviali e fluvio-glaciali derivanti dal rapido smantellamento e modellamento delle catene montuose circostanti.

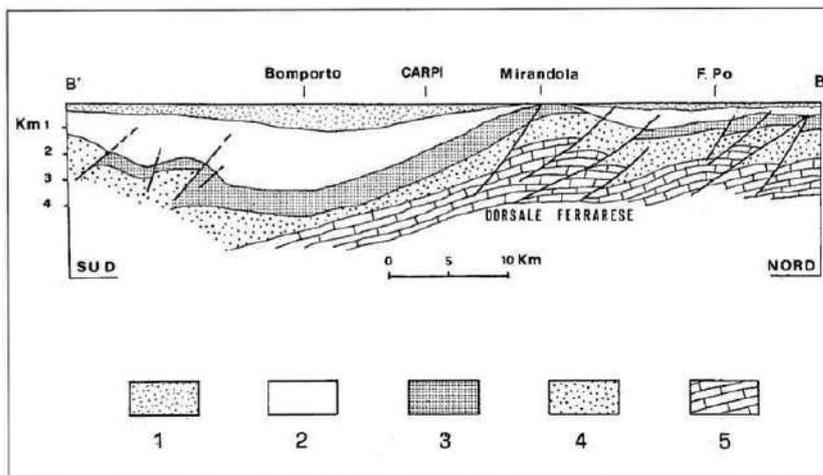


Fig. 4 - Sezione geologica schematica, indicativa della situazione strutturale profonda della bassa Pianura modenese ridisegnata adattandola alla situazione di Mirandola (rif. Fig. 3) (Fonte: PIERI, 1980).
Legenda: 1) depositi alluvionali; 2) sedimenti marini del Pliocene superiore e Quaternario; 3) sedimenti marini del Pliocene inferiore; 4) idem del Paleogene-Miocene; 5) formazioni Calcaree marine del Mesozoico

In particolare, in base ai dati AGIP MINERARIA (1959), tali sedimenti sono a loro volta suddivisi in formazioni del Quaternario Continentale nei primi 350/400 m del sottosuolo e del Quaternario Marino da 400 a 1050/1200 m di profondità (vedi figura sopra riportata).

I terreni Olocenici, d'origine alluvionale, poggiano sul sottostante Pleistocene continentale e/o marino, strutturalmente caratterizzato da elementi sufficientemente definiti. In modo schematico possiamo definire tre zone:

- a) zona delle pieghe pedeappenniniche, dal margine collinare alla Via Emilia, costituita da una successione di sinclinali ed anticlinali, con asse e vergenza appenninica spesso fagliate e sovrascorse sul fianco nord;
- b) zona della sinclinale Bologna-Bompoto-Reggio Emilia, dove i depositi Quaternari raggiungono il loro massimo spessore per tutta la pianura padana;
- c) zona della Dorsale Ferrarese, alto strutturale costituito da una serie di pieghe associate a faglie, dove, in talune culminazioni, lo spessore del Quaternario si riduce a poche decine di metri.

Dott. Rinaldo Bussola
Geologo

L'andamento della "Dorsale Ferrarese" è complessivamente E-SE/O-NO ma in corrispondenza di Novi di Modena e Correggio subisce una decisa inflessione verso sud assumendo un orientamento NE-SO. Tale anomalia sarebbe imputabile alla presenza di una serie di faglie con direttrice NE-SO a rigetto orizzontale. Detta struttura è quindi contraddistinta, nel suo complesso, da un'intensa tettonizzazione subita anche in tempi recenti (Cremaschi e Papani, 1975; Ist. Geol. Mo., 1978).

Si configura quindi un bacino sedimentario che ha subito una notevole azione di subsidenza, controllata dai movimenti tettonici della struttura esaminata; tali movimenti sono stati accertati nel pre-Wurm, pre-Riss ed ipotizzati anche nel pre-Mindel. Movimenti analoghi sarebbero stati segnalati anche in epoca storica, e traducibili con un progressivo "sfuggire", da parte della rete idrografica superficiale, alla Dorsale Ferrarese: il Po verso nord, il Crostolo verso ovest ed il Secchia verso est (Veggiani, 1974).

A tale riguardo occorre ricordare che il Po all'inizio del Neolitico passava di poco a nord dell'allineamento S. Martino in Rio, Soliera, Bomporto, Ravarino e Cento, mentre nella prima metà del secondo millennio a.c. attraversava le aree attualmente occupate da Carpi, S. Marino, S. Prospero e Finale Emilia. Negli ultimi secoli a.c., infine, sarebbe passato per Novellara, Cavezzo, Medolla, Massa Finalese e Bondeno.

Il substrato marino pre-Olocenico, oltre a controllare quindi gli spessori dei depositi alluvionali, sembra essere dominante sull'idrografia stessa e quindi sulla morfologia, dando origine ad una piana morfologica, tipica della pianura alluvionale medio-bassa, con pendenze estremamente modeste e litologia di superficie generalmente fine.

La base dei terreni Pliocenici si trova in zona a circa 4.000 ÷ 5.000 m mentre quelle del Quaternario a circa 2.000 ÷ 2.500 m (?); per quanto riguarda il passaggio fra i terreni continentali (Olocenici) e marini (Pleistocenici), pur rimarcando la sua variabilissima gradualità, lo si può individuare a circa 400 ÷ 500 m di profondità dal piano di campagna circostante.

L'andamento della superficie di separazione fra le acque "dolci" e quelle "salate" è paragonabile all'andamento della base del Pliocene con profondità pari a circa 500 m in corrispondenza di Carpi, 600 m di Soliera ed in netta risalita verso nord fino a 50 m in corrispondenza di Novi di Modena.

I depositi alluvionali che formano i primi 400/500 m del sottosuolo sono costituiti da ripetitive sequenze di livelli sostanzialmente argilloso - limosi ai quali s'intercalano lenti sabbiose di modesto spessore contraddistinte da una spiccata lenticolarità ed una sensibile discontinuità laterale.

Dott. Rinaldo Bussola
Geologo

La variabilità litologica del territorio comunale di Carpi è dovuta alle divagazioni dei corsi d'acqua della zona est ed in particolare modo del fiume Secchia che attualmente scorre pochi chilometri ad est di Carpi. Dette caratteristiche attribuiscono la successione descritta in precedenza all'Unità Idrogeologica della Media Pianura Padana Appenninica formata dagli apporti distali dei fiumi.

L'area d'indagine rientra quindi all'interno del dominio deposizionale del fiume Secchia, corresponsabile del colmamento dell'ampio bacino subsidente di età Pliocenico-Quaternaria della Pianura Padana; nella parte di medio-alta pianura, che a partire dai rilievi collinari si estende sino all'altezza di Campogalliano, il corso d'acqua si trova a scorrere al di sopra di un ampio ventaglio di depositi grossolani (ghiaie e sabbie), alimentando, attraverso l'infiltrazione in subalveo, le falde freatiche.

La zona in esame invece, immediatamente antistante le conoidi, è quella della piana alluvionale propriamente detta, che si estende sino al Po e nella quale il fiume Secchia, si trova a scorrere, per buona parte del proprio percorso, pensile rispetto alla pianura circostante.

I depositi della pianura alluvionale sono prevalentemente fini e finissimi (limi ed argille), deposti per accrescimento verticale e subordinatamente sabbiosi, legati a barre di accrescimento laterale, ad argini naturali e ventagli di rotta; generalmente i depositi sabbiosi, e comunque i depositi più grossolani, sono disposti in fasce parallele ai corsi d'acqua attuali o corrispondenti ad antichi tracciati (paleoalvei), mentre i depositi fini hanno una distribuzione del tutto irregolare. Si evidenziano quindi numerosi paleoalvei sia ad est sia ad ovest di Carpi.

La diminuzione di pendenza che avviene al passaggio tra alta e media pianura ha reso necessario, fin da tempi antichi, la realizzazione di opere di difesa di sponda come gli argini, che accompagnano il corso dei fiumi principali fino allo sbocco in Po, allo scopo di impedire le frequenti esondazioni dei fiumi stessi.

In corrispondenza dell'inizio dei tratti arginati si chiude di conseguenza il vero e proprio bacino di alimentazione dei corsi d'acqua principali. La realizzazione delle arginature nel medio e basso corso dei fiumi ha avuto l'effetto di arrestare la naturale evoluzione degli stessi.

Non bisogna infatti dimenticare che lo stesso colmamento della pianura è avvenuto a seguito delle divagazioni dei corsi d'acqua; questi ultimi dopo avere stazionato per un certo periodo in una porzione, divengono pensili a seguito dei continui apporti sedimentari che costituiscono veri e propri argini naturali.

Successivamente tali argini, in corrispondenza di eventi di piena eccezionali, vengono rotti ed il fiume si trasferisce in un'area più depressa.

La realizzazione delle opere di difesa, che va vista come un ampliamento e potenziamento degli argini naturali del fiume, ha di fatto determinato il blocco dell'evoluzione morfologica nella pianura esterna alle aree golenali del fiume, impedendo allo stesso, oltre che di invadere le aree circostanti (salvo eventi particolarmente calamitosi), di modificare il proprio tracciato a seconda dell'assetto plano-altimetrico del territorio circostante.

In questo modo la "pensilità" dei corsi d'acqua è aumentata tanto che attualmente il livello di piena ordinaria supera costantemente la quota delle campagne circostanti per gran parte del loro corso di media e bassa pianura.

La distribuzione in superficie dei terreni appartenenti alle varie classi granulometriche identificate, è testimonianza delle principali fasi deposizionali recenti succedutesi sul territorio in esame; si evidenzia chiaramente la stretta connessione tra litologia di superficie ed evoluzioni idrografiche del fiume Secchia, responsabile, oltre che delle caratteristiche litostratigrafiche di quest'area del territorio, anche delle forme morfologiche presenti.

I depositi limosi, ampiamente diffusi nell'area di interesse, sono da ricollegarsi ad acque con bassa energia deposizionale e risultano prevalentemente collocati nelle zone circostanti i corsi d'acqua minori e nelle fasce più esterne di quelli principali, mentre quelli argillosi contraddistinguono le aree vallive, rappresentando i depositi delle zone topograficamente più basse, in seguito all'esaurimento dell'energia di trasporto delle acque di esondazione.

2.3 Inquadramento idrogeologico

Per quanto riguarda l'idrogeologia il sottosuolo dell'area in esame è caratterizzato dalla presenza di due falde: una falda superficiale impostata nei livelli granulometricamente più grossolani ed alimentata direttamente per infiltrazione superficiale e un'altra differenziabile a sua volta in falda intermedia e profonda. Quest'ultima è impostata nei livelli limo-sabbiosi profondi, ed alimentata dai corsi d'acqua principali ed è collegata alle circolazioni idriche sotterranee a scala regionale.

Poiché le falde profonde sono protette dall'infiltrazione da potenti strati a permeabilità bassissima, prenderemo in esame soltanto la "falda" più superficiale la quale è talmente influenzata dai locali prelievi che diviene difficile stabilire il suo andamento naturale.

I livelli statici della falda superficiale si stabilizzano nell'area in esame su quote di circa - 1.00 ÷ 2.00 m dal p.c. con escursione stagionale che determina un aumento del livello statico del primo acquifero a maggio rispetto dicembre.

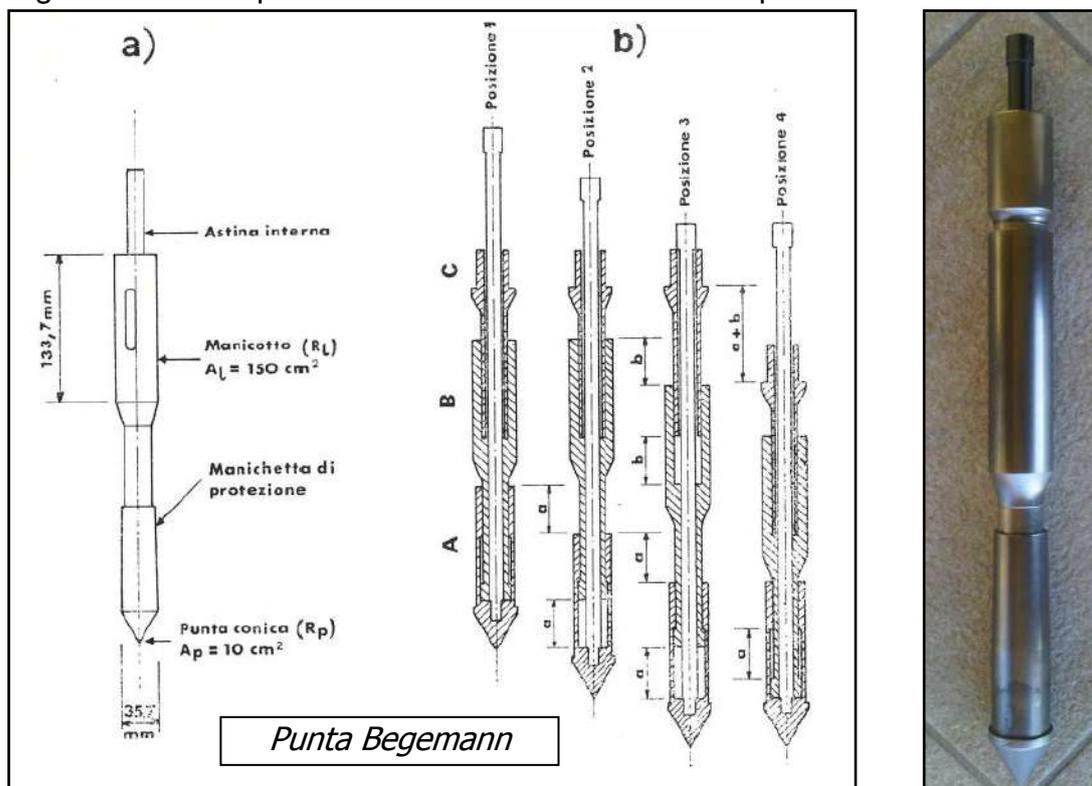
- INDAGINI GEOGNOSTICHE ESEGUITE -

3.1 Prove penetrometriche statiche CPT (Cone Penetration Test)

In data 13 giugno 2022 è stata eseguita un'indagine geognostica in corrispondenza dell'area in oggetto al fine di valutare le caratteristiche litostratigrafiche e geotecniche dei terreni su cui graveranno le fondazioni della passerella ciclopedonale in progetto che scavalca la Tangenziale Bruno Losi.

Allo scopo sono state eseguite n. 2 prove penetrometriche che in relazione alle presumibili caratteristiche granulometriche dei terreni del primo sottosuolo, sono state effettuate con infissione statica utilizzando un penetrometro statico di tipo PAGANI TG 63-100 KN, autoancorante, dotato di cella di pressione idraulica a lettura digitale con caratteristiche conformi allo standard europeo (cfr. Indicazioni AGI-ISSMFE).

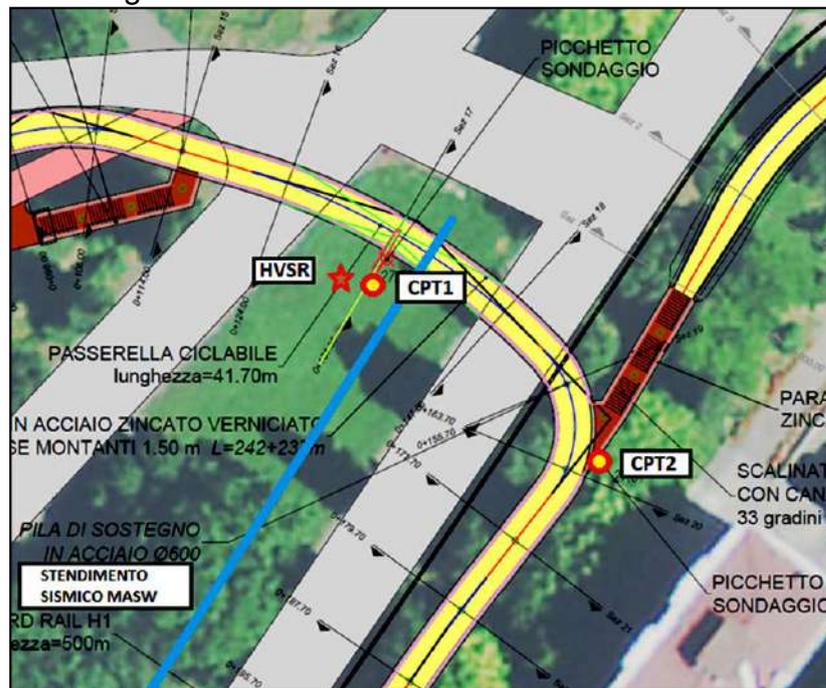
Il penetrometro risulta attrezzato sulla prima asta di punta *Begemann* (Friction Sleeve Cone) (Fig. 4), la quale possiede un cono con un'area di 10 cm^2 ed un angolo di conicità pari a 60° e di un manicotto al di sopra del cono di 150 cm^2 .



Le operazioni d'infissione si sono svolte nel seguente modo: durante l'affondamento della punta sono state riportate le pressioni lette a lettura digitale ogni

20 cm d'avanzamento ottenendo una resistenza penetrometrica alla punta (R_p), espressa in Kg/cm^2 , così anche per i valori di resistenza laterale locale (R_l), espressa sempre in Kg/cm^2 , secondo le norme

Il numero e l'ubicazione delle prove sono state valutate dallo scrivente in relazione alla forma ed alle dimensioni della struttura in progetto e in funzione della accessibilità del lotto, rispettando il principio del massimo ricoprimento dell'area. L'ubicazione dei punti di indagine è riportata nella planimetria di seguito riportata, estratto dell'Allegato n. 4.



I sondaggi penetrometrici (Allegato n.5), sono stati spinti sino alla profondità di -25.00 m dal piano campagna attuale, profondità sufficiente in relazione alla tipologia di fondazione ipotizzata, rilevando inoltre un livello statico medio della falda all'interno dei fori di sondaggio pari a:

Prova CPT1 I.s. = -2.80 m da p.c.

Prova CPT2 I.s. = -2.80 m da p.c.

Tale valore si ritiene comunque soggetto ad escursioni di notevoli entità in funzione delle condizioni climatiche, cioè legate alla piovosità ed alla temperatura.

Dalle prove eseguite, in base al rapporto di *Begemann* che indica la componente litologica dei terreni, si è riconosciuta la seguente successione litostratigrafica, descritta dall'alto verso il basso rispetto al piano di campagna.

DESCRIZIONE LITOMECCANICA PROVA CPT1

Nella prova CPT1 è stato individuato un primo strato da -0.40 m a -2.00 m caratterizzato litologicamente da argille e argille torbose e terreno di riporto al tetto in gran parte sovraconsolidato per essiccamento con buone caratteristiche geotecniche, con valori medi di R_p resistenza alla punta in termini statici, pari a 3.55 MPa.

Subito sotto, da -2.00 m a -6.00 m di profondità si assiste ad una diminuzione dei valori di resistenza alla punta mentre dal punto di vista litologico abbiamo delle argille e argille limose con al tetto dei livelli decimetrici di limi a media consistenza che danno valori medi di resistenza alla punta pari a 1.10 MPa.

In profondità, da -6.00 m a -13.80 m si denota un lieve aumento dei valori di resistenza alla punta mentre dal punto di vista litologico abbiamo delle argille e argille limose con intercalati livelli decimetrici di limi e uno di sabbie a buona consistenza che danno valori medi di resistenza alla punta pari a 1.50 MPa.

Ancora oltre, da -13.80 m a -18.00 m di profondità si denota una lieve diminuzione dei valori di resistenza alla punta mentre dal punto di vista litologico abbiamo delle argille e argille limose a media consistenza che danno valori medi di resistenza alla punta pari a 1.09 MPa.

Come ultimo intervallo, da -18.00 m a -25.00 m dal locale p.c. si assiste ad un aumento dei valori di resistenza alla punta mentre dal punto di vista litologico si rileva la presenza di argille e argille limose a buona compattezza che danno valori medi di resistenza alla punta pari a 2.06 MPa.



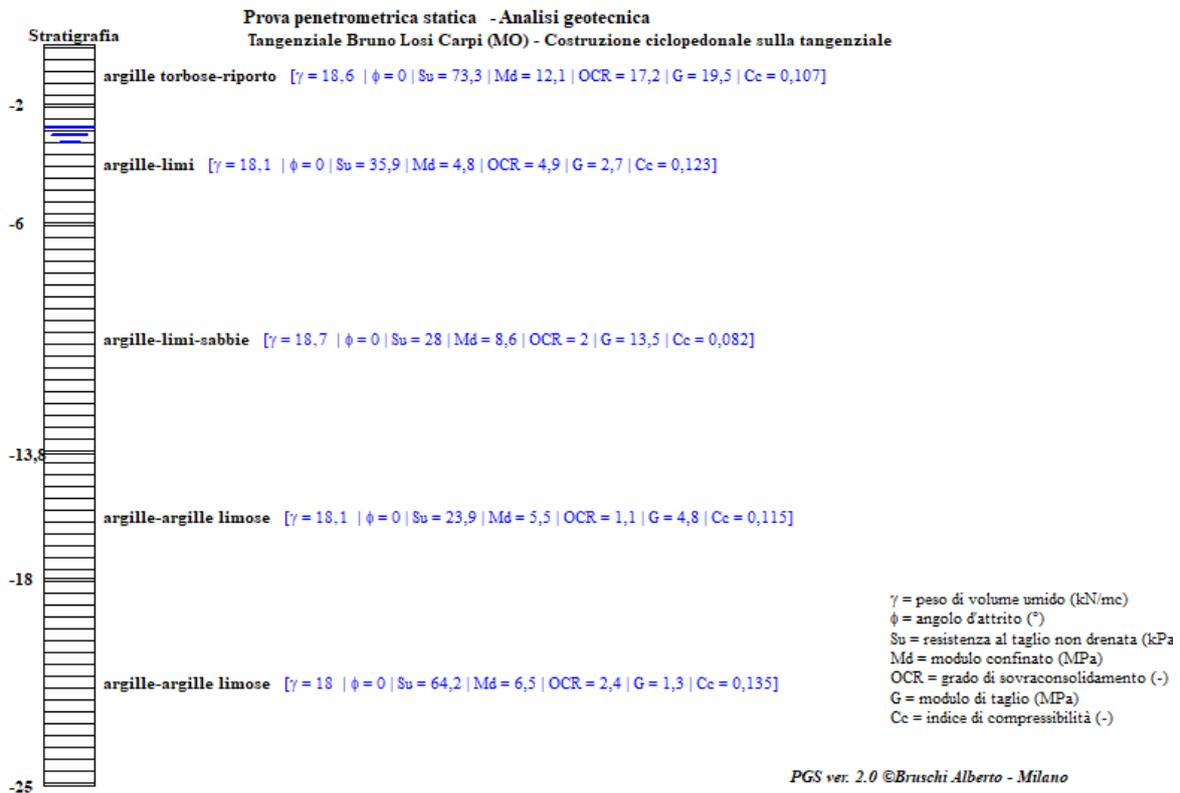
Prova CPT1 Penetrometro Pagani TG 63-100

- CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA CPT1 -

da m.	a m.	Qc	g	ld	f	Su	M	OCR	Go	Vs	Cc	Litotipo
0,4	2,0	3,55	18,6			73,3	12,1	17,2	19,5	292,1	0,107	argille torbose-riporto
2,0	6,0	1,1	18,1			35,9	4,8	4,9	2,7	141	0,123	argille-limi
6,0	13,8	1,5	18,7			28	8,6	2	13,5	169,7	0,082	argille-limi-sabbie
13,8	18,0	1,09	18,1			23,9	5,5	1,1	4,8	139,3	0,115	argille-argille limose
18,0	25,0	2,06	18			64,2	6,5	2,4	1,3	208,1	0,135	argille-argille limose

Qc = resistenza alla punta (MPa)
g = peso di volume (kN/mc)
Id = indice di densità (%)
f = angolo d'attrito (°)
Su = resistenza al taglio non drenata (kPa)
M = modulo confinato (MPa)
OCR = grado di sovraconsolidamento (-)
Go = modulo di taglio (MPa)
Vs = velocità onde di taglio (m/s)
Cc = indice di compressibilità (-)

- Litologia Prova CPT 1 -



DESCRIZIONE LITOMECCANICA PROVA CPT2

Nella prova CPT2 (vedi pagina successiva) è stato individuato un primo strato da -0.40 m a -2.40 m di profondità dal p.c. caratterizzato litologicamente da argille torbose e argille limose con buone caratteristiche geotecniche in gran parte sovraconsolidate per essiccamento, con valori medi di R_p , resistenza alla punta in termini statici, pari a 5.13 MPa.

Subito sotto, da -2.40 m a -6.80 m di profondità si assiste ad una diminuzione dei valori di resistenza alla punta mentre dal punto di vista litologico abbiamo delle argille e argille limose con dei limi a media consistenza che danno valori medi di resistenza alla punta pari a 1.40 MPa.

Proseguendo in profondità, da -6.80 m a -11.00 m, si denota una lieve diminuzione dei valori di resistenza alla punta mentre dal punto di vista litologico sono presenti dei limi e limi argillosi alternati a delle argille limose a media compattezza che danno valori medi di resistenza alla punta pari a 1.12 MPa.

Da -11.00 m a -14.00 m abbiamo un lieve aumento dei valori di resistenza alla punta mentre dal punto di vista litologico abbiamo dei limi alternati a dei livelli decimetrici di argille a buona consistenza che danno valori medi di resistenza alla punta pari a 1.45 MPa.

Proseguendo in profondità, da -14.00 m a -17.40 m si denota una diminuzione dei valori di resistenza alla punta mentre dal punto di vista litologico sono presenti argille ed argille limose a media consistenza che danno valori medi di resistenza alla punta pari a 1.00 MPa.

Come ultimo intervallo, da -17.40 m a -25.00 m si denota un aumento dei valori di resistenza alla punta mentre dal punto di vista litologico abbiamo delle argille alternate a dei limi a buona consistenza che danno valori medi di resistenza alla punta pari a 1.97 MPa.



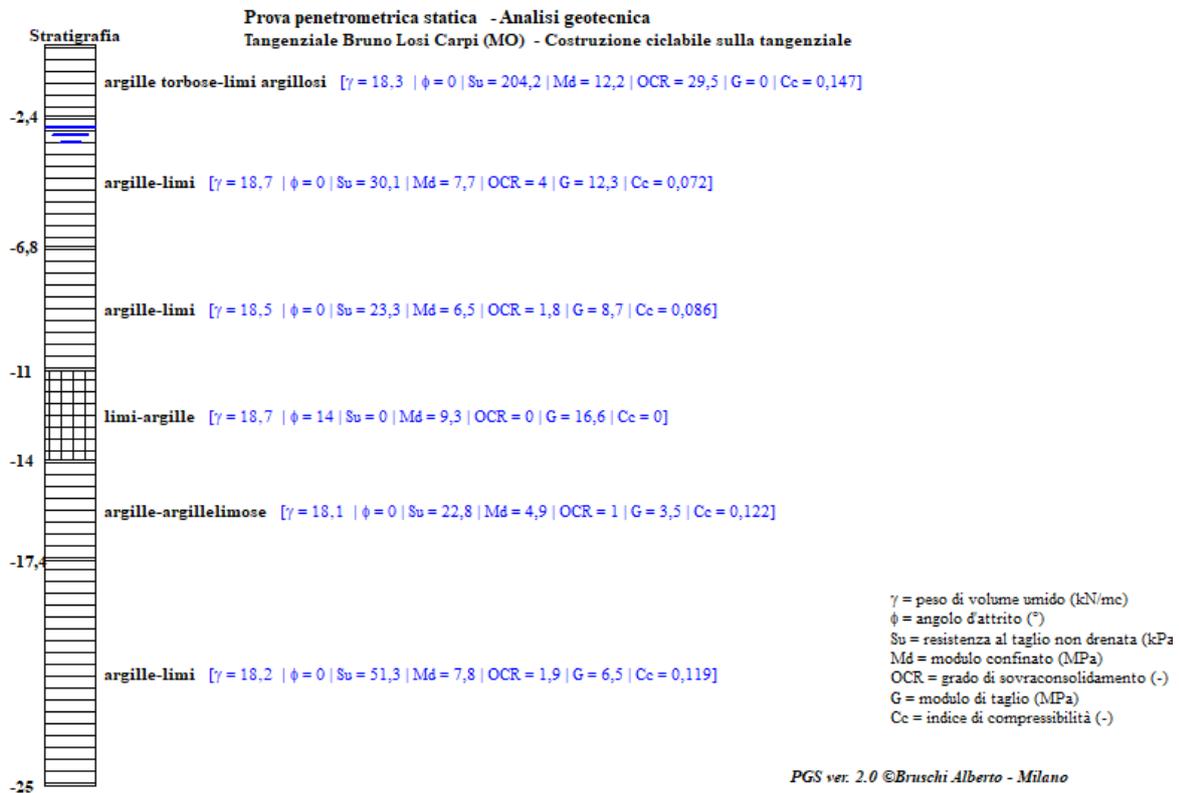
Prova CPT2 Penetrometro Pagni TG 63-100.

- CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA CPT2 -

da m.	a m.	Qc	g	Id	f	Su	M	OCR	Go	Vs	Cc	Litotipo
0,4	2,4	5,13	18,3			204,2	12,2	29,5	0	369,5	0,147	argille torbose-limi argillosi
2,4	6,8	1,4	18,7			30,1	7,7	4	12,3	163,5	0,072	argille-limi
6,8	11,0	1,12	18,5			23,3	6,5	1,8	8,7	142,2	0,086	argille-limi
11,0	14,0	1,45	18,7	9,5	14		9,3		16,6	166,5	0	limi-argille
14,0	17,4	1	18,1			22,8	4,9	1	3,5	132,3	0,122	argille-argillelimose
17,4	25,0	1,97	18,2			51,3	7,8	1,9	6,5	201,6	0,119	argille-limi

Qc = resistenza alla punta (MPa)
g = peso di volume (kN/mc)
ld = indice di densità (%)
f = angolo d'attrito (°)
Su = resistenza al taglio non drenata (kPa)
M = modulo confinato (MPa)
OCR = grado di sovraconsolidamento (-)
Go = modulo di taglio (MPa)
Vs = velocità onde di taglio (m/s)
Cc = indice di compressibilità (-)

- Litologia CPT 2 -



Si è proceduto inoltre ad eseguire un'elaborazione di ogni singola prova per ogni 20 cm di sondaggio ottenendo i principali parametri geotecnici come indicato in Allegato n.6. E' stata anche eseguita una valutazione dei parametri geotecnici medi all'interno degli strati della prova CPT1 per l'utilizzo ai fini delle verifiche agli stati limite.

3.2 Indagine geofisica MASW.

Lo scopo di un'indagine sismica di tipo MASW, come quella appositamente eseguita nel sito d'intervento, consente la determinazione diretta della velocità

delle onde trasversali (Onde di taglio - onde Sh/Sv) dei terreni del sottosuolo in esame e da queste ottenere una corretta caratterizzazione della categoria sismica del sottosuolo dell'area in oggetto.

L'indagine sismica adottata, Masw (in sismica attiva) è stata scelta in funzione delle limitazioni che affliggono in genere misure di onde Sh in metodi a rifrazione tradizionali (come ad es. difficoltà di generazione di onde polarizzate Sh o inversioni di velocità identificabili con difficoltà o valutabili con costosi lunghi ed impegnativi - costosi metodi sismici in foro Cross-Hole e/o Down-Hole).

La tecnica sismica (Masw) non invasiva di superficie, è stata ampiamente testata (perfezionata già dal 1999) ed è contemplata fra le indagini per la definizione rigorosa del profilo di Vs per caratterizzazione sismica del sito (*NTC-08 e ad es. Lai, Foti e Rota "Input sismico e stabilità geotecnica dei siti di costruzione - IUSS Press Eucentre 2009*) e risulta migliore per la caratterizzazione del primo sottosuolo; tecniche basate su utilizzo di registrazioni di micro-tremori di origine naturale e/o antropica (tecniche passive) possono caratterizzare infatti il sottosuolo più in profondità, diverse decine sino alle volte anche a centinaia di metri (*Lai et alii - IUSS Press Eucentre 2009*) ma con minor risoluzione per la zona prossima alla superficie che invece più ci interessa.

Inoltre diversi autori (*Lachet e Bard 94, Bard 99, De Ferrari et alii - Università studi di Genova 2008*) per terreni alluvionali quali quelli in oggetto, segnalano che sistemi d'acquisizione in sismica passiva, sono poco idonei, in quanto l'utilizzo di tecniche passive, è possibile o consigliabile nel caso di:

- intenso "rumore antropico" (che impedisce o maschera l'acquisizione dei dati in sismica attiva)
- discreto contrasto di impedenza sismica (>2,5-3) fra il substrato (sismico) ed il materasso alluvionale sovrastante.

E' Importante l'interramento del sensore sismico passivo (per migliorare l'accoppiamento sensore-terreno), quindi altri autori (*Konno e Ohmachi 98, Bard 99, Bindi et alii 2000, Parolai et alii 2002*) consigliano di evitare terreni caratterizzati da: erba, fango, terreno saturo, neve, ghiaccio, materiali incoerenti in superficie (ghiaia, ciottoli, quindi piazzali rilevati ecc.), coperture artificiali con piastrelle, superfici sintetiche, parquet ecc.

La Base Masw appositamente eseguita, per le possibilità operative presenti in corrispondenza del sito di intervento, presenta (compreso il punto di shot) la geometria come sotto indicato:

➤ Numero geofoni	24
➤ Spaziatura geofoni	2,0 m
➤ Lunghezza stendimento geofonico	46,0 m
➤ Distanza punto di shot da ultimo geofono	9 m
➤ Lunghezza complessiva	55,0 m

Dott. Rinaldo Bussola
Geologo

Con la tecnica Masw (indagine sismica non invasiva di superficie) si ottiene una modellazione del sottosuolo, basandosi sulla propagazione delle onde di Rayleigh, oggi realizzata mediante approcci multi stazioni, che risultano robusti ed efficienti (Foti, 2000; Lai e Wilmanski, 2005) rispetto ai primi approcci del metodo, che si basavano essenzialmente su 2 ricevitori (Prova Sasw - Stoke et al., 1994). Queste prove (masw-sasw) sfruttano la proprietà della dispersione geometrica, che rende la velocità di propagazione delle onde di Rayleigh (V_R) dipendente dalla frequenza di eccitazione in mezzi verticalmente eterogenei. L'onda di R. costituisce un particolare tipo d'onda sismica ed è facilmente individuabile in quanto ha una velocità differente dai treni d'onda delle onde P ed S risultando più lenta anche di queste ultime, con una velocità di propagazione $V_R \approx 0,9 \div 0,96 V_s$ (da V. Socco Lab. Geofisica Appl. Dip. Ing Territorio Politecnico di TORINO). L'onda di Rayleigh si trasmette infatti sulla superficie libera di un mezzo isotropo e omogeneo ed è il risultato dell'interferenza e della combinazione d'onde sismiche di pressione (P-waves) e onde di taglio polarizzate verticalmente (Sv-waves). La prova consiste nel produrre sulla superficie del terreno, in corrispondenza del sito da investigare, una sollecitazione (piccolo sisma) e nel registrare le vibrazioni prodotte sempre in corrispondenza della superficie, a distanze note e prefissate. Il profilo di V_s viene determinato attraverso la soluzione di un problema matematico di inversione della curva di dispersione (V_R in funzione della frequenza). In un mezzo reale stratificato avviene una dispersione delle onde prodotte; in altre parole, una deformazione del treno d'onda, dovuto alla variazione della velocità di propagazione, con la frequenza, che varia in relazione alle caratteristiche di "rigidezza" di ogni singolo strato.

• **Caratteristiche attrezzatura**

L'indagine MASW è stata eseguita utilizzando un sismografo multicanale ad incrementi di segnale, della Abem-Seistronix mod. Ras 24 con 24 canali attivi (sistema ampliabile sino a 240 canali),

sismografo (ch 1-24)

Le specifiche tecniche dello strumento sono:

-processore:	Pentium 200 MMx Intel,
-Trattamento dati:	Floating Point 48-Bit,
-Ambiente operativo:	Windows 7 32 bit,
-Display:	VGA colori LCD_TFT 15"
-Supporto memorizz.:	Hard Disk
-Risoluzione acquisizione:	12/48 bit
-Sonde ambiente interne:	temperatura, umidità relativa
-Formato dati:	SEG-2 (.dat),
-Durata acquisizioni:	Rifrazione, 32÷4000 ms

-Tempi campionamento:	da 12 μ s a 4 ms
-Filtri digitali:	Passa alto (25÷400 Hz)

Passa Basso (100÷250 Hz)
Notch (50÷180 Hz)

-Attivazione filtri:	in acquisizione o manualmente
-Trigger:	inibizione impulsi dovuti a rimbalzi
- Canali:	24/48 (max 240)



Altra strumentazione:

- un cavo con lunghezza 65 m per collegare in serie i geofoni
- 24 geofoni da 4,5 Hz
- Sorgente impulsiva: mazza battente da 10 Kg con piastra di battuta in alluminio 15x15 cm, da disporre sul terreno.
- Bindella metrica per posizionare i ricevitori.
- "TROMINO"®, per l'acquisizione HVSR

Successivamente, dopo aver computerizzato i dati con un programma specifico, è stato possibile rivedere i segnali e quindi eventualmente filtrarli od amplificarli per una più corretta acquisizione dei tempi d'arrivo.

La velocità di propagazione delle perturbazioni, indotte energizzando il suolo con i sistemi suddetti, dipende dalle caratteristiche meccaniche di un determinato litotipo ed in particolare dai moduli elastici di: Young, Poisson, d'incompressibilità, di rigidità e dalla densità.

• **Metodologia d'indagine**

La prova consiste nel produrre sulla superficie del terreno, in corrispondenza del sito da investigare, una sollecitazione, e nel registrare le vibrazioni prodotte, sempre in corrispondenza della superficie, a distanze note e prefissate.

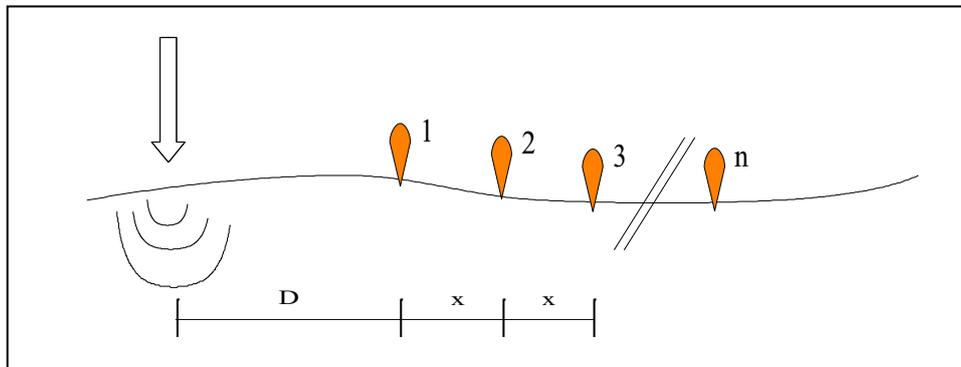


Fig. 7 - Schema acquisizione multicanale.

Con tale tecnica si ottiene una modellazione del sottosuolo, tramite l'analisi delle onde di Rayleigh che costituiscono un particolare tipo di onde di superficie, che si trasmettono sulla superficie libera di un mezzo isotropo e omogeneo e sono il risultato dell'interferenza e della combinazione di onde sismiche di pressione (P-waves) e onde di taglio polarizzate verticalmente (Sv-waves).

In un mezzo stratificato si verifica una dispersione delle onde prodotte cioè una deformazione del treno d'onda, dovuto alla variazione di propagazione di velocità, con la frequenza. Le componenti a frequenza minore penetrano quindi

più in profondità con velocità di fase in genere più alta, rispetto alle componenti a frequenza maggiore.

Il calcolo del profilo delle velocità delle onde di Rayleigh è visualizzato tramite grafici V (fase) / frequenza, e convertito tramite calcoli e programmi appropriati in profili V_s / profondità.

Si ottiene quindi una dettagliata ricostruzione della distribuzione nel sottosuolo, della velocità delle onde S, anche se sono possibili leggere incertezze nella determinazione (<10÷20%) in particolare quando la stratigrafia è completamente sconosciuta.

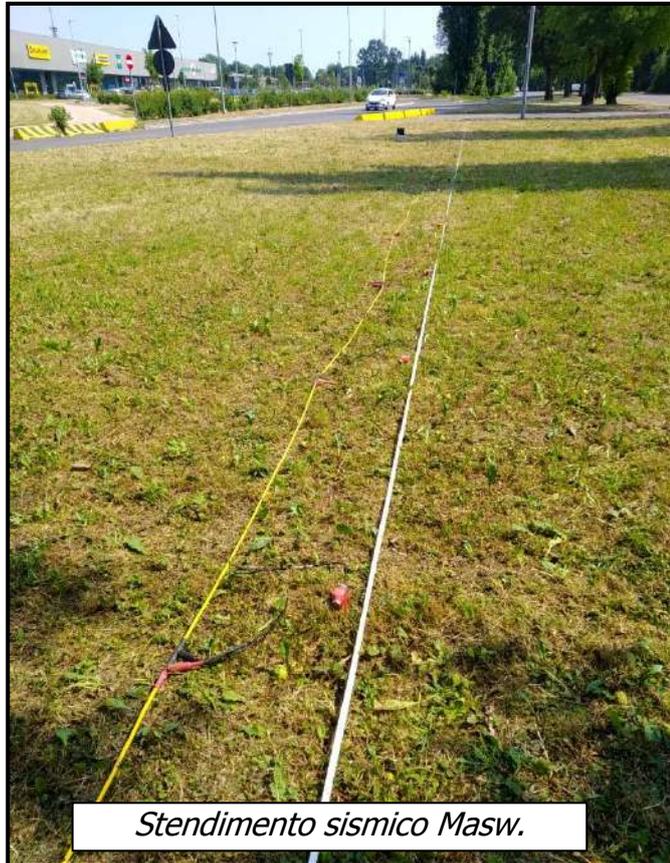
L'interpretazione delle tecniche di rilievo sismico MASW traggono spunto dalle prime tecniche studiate da Nazarian e Stokoe (1984) che per primi hanno presentato il metodo SASW che utilizzava una sorgente di impulso e 2 soli sismometri di rilevazione (1 Hz) con spaziatura da 1 sino a 500 m.

Tale tecnica risultava però poco significativa in ambienti rumorosi o nel caso di treni d'onda di pressione molto energetici che quindi coprono gli arrivi delle onde di Rayleigh. A tale scopo Park et Alii (1999) hanno sviluppato il metodo MASW, per sopperire in parte alle difficoltà di applicazione della tecnica Sasw in alcune situazioni.

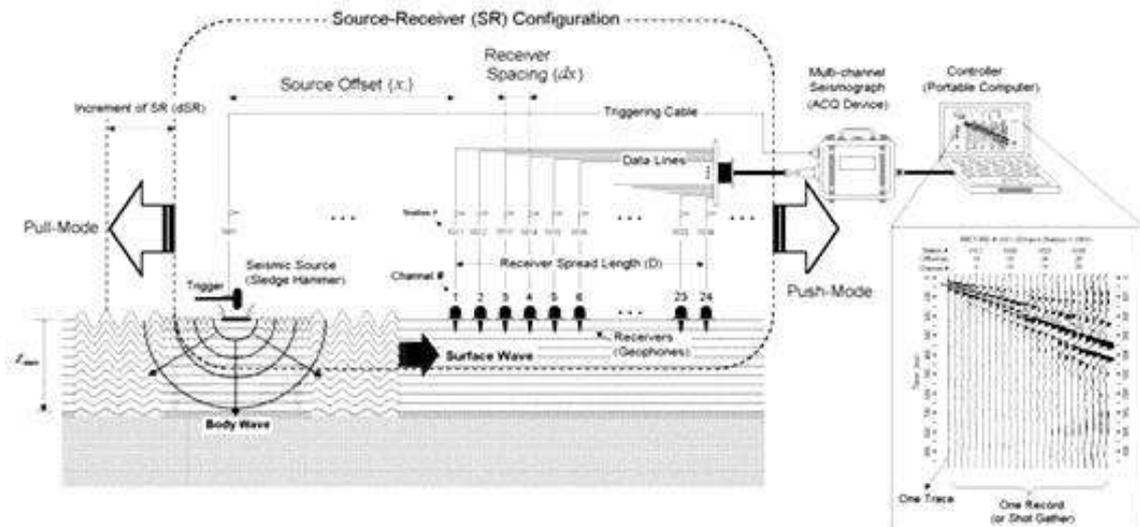
La differenza principale è l'utilizzo simultaneo di 24 geofoni (sismometri polarizzati verticalmente con frequenza di 4 Hz) per consentire di ricavare numerosi profili di velocità V_s , ricavati dallo studio delle velocità di fase delle onde di Rayleigh.

I geofoni sono spazati in genere da 0,5 a 10 m e forniscono una ridondanza statistica delle misure delle velocità di fase, avvalorandone quindi la veridicità (rispetto al metodo Sasw che si basava solo su 2 geofoni).

Le tracce dei sismogrammi, possono essere salvate nel dominio temporale, permettendo quindi di distinguere ed evidenziare (nel record di registrazione) le onde di Rayleigh, caratterizzate da elevata ampiezza di segnale (circa il 60% dell'energia prodotta si ripartisce nelle onde di Rayleigh).



Stendimento sismico Masw.



Dal sismogramma tramite una trasformata nel dominio, frequenza (f) – numero d'onda (k), le tracce cui corrispondono i massimi spettrali (senza trascurare i modi superiori se presenti) si può così risalire alla curva di dispersione (cioè un grafico ampiezza/frequenza) mediante la relazione:

$$V_R(f) = f/k.$$

che consente di individuare il segnale proprio, relativo alle onde superficiali che interessano tale metodologia.

Il processo iniziale di individuazione della curva di dispersione caratteristica del sito in esame è ottenuto tramite il software (SWAN® vers. 2008) seguito poi da una fase di elaborazione-interpretazione, eseguendo una “analisi spettrale” si procede sostanzialmente nella risoluzione del cosiddetto problema inverso: a partire dalla curva di dispersione misurata in situ, si arriva al modello di stratificazione del terreno con i relativi parametri sismici, secondo il seguente schema:

- Concatenazione dei file contenenti i record di registrazione in situ.
- fase di pre-processing per “ottimizzare” i record stessi in modo da migliorare la qualità dell'interpretazione cioè eventuale filtraggio o “pulizia” dei dati grezzi.
- Passaggio dal sismogramma al dominio spettrale mediante trasformata FK.
- Picking dei punti dello spettro per ottenere la curva di dispersione sperimentale; la procedura consiste nel trovare per ogni frequenza dei massimi assoluti/relativi dello spettro FK, finalizzata alla individuazione del modo fondamentale di propagazione dell'onda (ovvero quello a velocità minore), senza trascurare (analisi multimodale) di ricercare anche eventuali modi superiori.
- Estrazione curva di dispersione sperimentale mediante la procedura sopra indicata dallo spettro FK.
- Inversione: tale procedura è avviata allo scopo di ottimizzare un modello stratigrafico che sia relativo e sovrapponibile alla curva di dispersione sperimentale propria del sito; in tale procedura il programma **SWAN®** utilizza una tecnica di inversione lineare tipo OCCAM che presenta il vantaggio di minimizzare l'errore quadratico medio tra dati sperimentali e dati teorici. In linea generale come in gran parte dei processi di inversione (definiti “try and

Dott. Rinaldo Bussola
Geologo

error”) l’inversione viene fermata quando un determinato parametro, definito ϵ (cioè la differenza fra dato osservato e dato calcolato) è in genere $< 2-3\%$. L’inversione OCCAM, utilizzando differenze quadratiche medie, da risultati ancora migliori, di un’inversione lineare classica, dato che quando si raggiunge lo stop dell’inversione (ϵ_{MIN}) cioè un valore percentualmente molto piccolo, la sovrapposizione delle curve è davvero buona.

- Fase di ottimizzazione e di taratura della curva teorica, realizzata contestualmente alla procedura d’inversione, con inserimento (eventuale) di strati sino ad un massimo di 30, assegnazione di moduli di Poisson e taratura dello spessore degli strati mediante confronto con prove dirette (prove penetrometriche, stratigrafie di sondaggio, colonne di perforazioni di pozzi ecc.) ed eseguendo ulteriori processi di inversione allo scopo di raffinare il risultato ottenuto, cioè una curva di dispersione teorica finale molto ben sovrapposta a quella sperimentale.

L’obiettivo finale cioè l’ottenimento di un profilo verticale delle Vs, minimizzando le imprecisioni (risultati random), ottenendo quindi un modello ad elevata attendibilità e fortemente rappresentativo, mediante le tarature, del reale profilo Vs/profondità del sito in analisi, come d’altronde suggerito anche da ricercatori in ambito geofisico (es. Dal Moro et alii Gruppo Esplor. Geofisica - Dip. Geol e Scienze Marine Univ. Trieste “cosa migliore è confrontare lo spettro di velocità osservato, con le curve teoriche di dispersione di un modello che riteniamo plausibile per l’area sotto esame.”).

Considerazioni sulle tecniche di inversione:

- Le tecniche d’inversione possono fornire soluzioni non univoche, ma proprio per ovviare a questa possibilità, si eseguono TARATURE, con dati reali del sito (prove cpt, stratigrafie ecc.) utilizzando anche parametri che esprimono la “rigidezza” degli strati individuati (es. coeff. Poisson), proprio per indirizzare l’inversione verso un modello molto vicino a quello reale.
-
- La funzione obiettivo (il misfit tra dato osservato e dato calcolato) è prossima a zero, solo in caso ideale in assenza di rumore; per questo motivo il sismogramma può essere trattato o filtrato per ridurre al minimo od eliminare eventuali rumori o disturbi esterni, che non hanno nulla a che fare con l’onda sismica che stiamo analizzando.

E’ tuttavia fuorviante e non corretto attribuire una percentuale di errore eseguendo una operazione di alterazione delle velocità sismiche, ottenute dall’esecuzione dei dettagliati processi di inversione sopra esposti (esempio attribuendo un errore globale del $\pm 10\%$, quindi alterando ad es. le velocità sismiche ottenute moltiplicando $\cdot 0,9$ le Vs dei singoli strati), perché in tal modo si vanificherebbe completamente l’elaborazione Masw, che è stata fatta con cura ed esperienza secondo principi codificati e consolidati. Ipotizzando possa esistere un modello Vs/profondità analogo a quello definito con l’interpretazione corretta della prova Masw, ma con velocità alterate (cioè diminuite/aumentate del 10%) si otterrebbe un Macth fra curva sperimentale e teorica completamente non attendibile. A titolo di esempio si allegano alcune figure che illustrano tale erronea operazione di alterazione delle Vs calcolate.

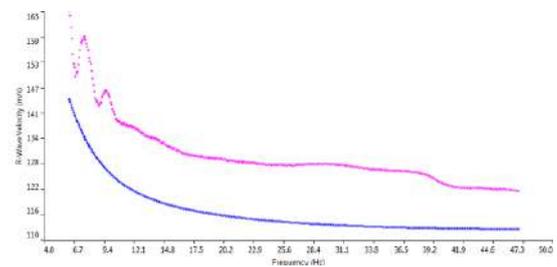
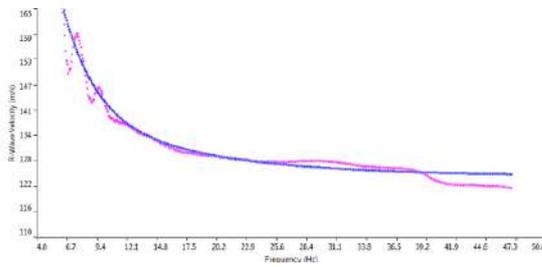


Grafico con sovrapposizione fra curva dispersione sperimentale (magenta) e curva teorica (blu) ottenuta dal processo inversione Masw dominio frequenza/velocità. Si noti la quasi perfetta corrispondenza del fitting fra le due curve

Grafico con sovrapposizione fra curva dispersione sperimentale (magenta) e curva teorica "alterata" modificando le Vs diminuendole erroneamente del 10% (blu) dominio frequenza/velocità. Si noti la completa "sfasatura" della curva teorica sinonimo di un allontanamento dalla reale stratigrafia sismica che caratterizza il sito quindi un modello **NON ACCETTABILE**

I dati della prospezione Masw, con riferimento ai principali grafici di riferimento, sopra descritti, ed in particolare alla stratificazione della velocità sismica Vs con la profondità, sono contenuti nell'Allegato n. 8 riportato a fine relazione.

3.3 Indagine geofisica a stazione singola HVSR (Tromino®).

- **Introduzione e basi teoriche.**

Per l'acquisizione dei dati di microtremore sismico, è stato utilizzato uno degli strumenti più diffusi per l'acquisizione di dati in sismica passiva a stazione singola, denominato "TROMINO"®, certificato e coperto da brevetto internazionale.

Al fine di determinare le eventuali frequenze fondamentali di vibrazione dei terreni costituenti il sottosuolo dell'area in esame è stata eseguita una registrazione di microtremori mediante tromografo digitale nella posizione riportata nella planimetria a pag.9, estratta dell'Allegato n. 4. In corrispondente al punto in cui è stata eseguita la prova CPT1.

Tale strumentazione appositamente progettata e costruita da Micromed S.p.A.,



Indagine HVSR Tromino.

Dott. Rinaldo Bussola
Geologo

rappresenta la nuova generazione di strumenti digitali per la misura al alta risoluzione del rumore sismico ambientale ed anche per la misura di vibrazioni antropiche, indotte su strutture (norma DIN 4150 e UNI 9916).

Tecnicamente è un sismografo appositamente studiato per il rilievo del micro-tremore sismico, nell'intervallo di frequenze fra 0,1 e 512 Hz, mediante l'impiego di masse strumentali molto ridotte, con una struttura rigida non risonante e costruita con materiali non diffrangenti. Il rumore, convenzionalmente suddiviso in microsisma (frequenze < 1Hz, sorgenti naturali lontane) e microtremore (frequenze > 1Hz, sorgenti antropiche locali) è costituito sia da onde di volume (onde P e onde S) sia da onde superficiali in proporzione variabile. Il microsisma è prevalentemente costituito da onde di Rayleigh mentre il microtremore oltre alle onde di volume contiene sia onde di Love sia onde di Rayleigh.

I metodi che si basano sull'acquisizione del rumore sismico si dicono passivi in quanto il rumore non è generato ad hoc, come ad esempio nella sismica attiva. Nel tragitto dalla sorgente "s" al sito "x" le onde elastiche (sia di terremoto che di microtremore) subiscono riflessioni, rifrazioni, intrappolamento per fenomeni di guida d'onda, attenuazioni che dipendono dalla natura del sottosuolo attraversato. Questo significa che se da un lato l'informazione relativa alla sorgente viene persa e non sono più applicabili le tecniche della sismica classica di "ray tracing", è presente comunque una parte debolmente correlata nel segnale che può essere estratta e che contiene le informazioni relative al percorso del segnale ed in particolare relative alla struttura locale vicino al sensore. Questa informazione è però "sepolta" all'interno del rumore casuale e può essere estratta attraverso tecniche opportune.

La tecnica maggiormente sfruttata per lo studio dei microtremori è quella dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale e conosciuta come HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio). Praticamente si tratta di installare solidalmente il Tromino al suolo (nel caso di misure per la frequenza del sottosuolo) o di appoggiarlo, eventualmente mediante l'uso di piedini regolabili (nel caso di misure di frequenza su strutture con pavimentazioni non perfettamente orizzontali) e di misurare il tremore sismico, con durata di registrazione adeguata alla frequenza minima di interesse per il sito e/o la tipologia d'indagine in analisi.

Per le misure sul terreno naturale, si ipotizza di misurare la frequenza della coltre sedimentaria, di copertura del bedrock sismico (rocce che presentano $V_S > 700-800$ m/sec), quindi nel nostro caso delle strutture geologiche sepolte dalla coltre alluvionale della Pianura Padana, (quindi con spessore max ipotizzato non superiore a 300 m), da ciò ne deriva una stima (in prima approssimazione) della frequenza dell'ordine di circa 0.5 Hz, che equivale ad un periodo $T = 2$ sec. Pertanto per poter "osservare" e registrare con Tromino® queste frequenze, si tratta di mantenere in acquisizione lo strumento per una

durata minima teorica di almeno 2 sec. Poiché poi il metodo si basa su tecniche di risoluzione spettrale elevata, il segnale viene acquisito su finestre temporali di almeno 10 volte più lunghe. E' opportuna, ed indispensabile, anche una ridondanza statistica (30-40 ripetizioni), che consente di mediare opportunamente le registrazioni, per evitare di interpretare rumori "locali" random.

In sintesi, per ottenere un'acquisizione di rumore sismico (microtremore) a scopi stratigrafici anche profondi, si devono quindi analizzare dati con durata di acquisizione minime di 15 minuti per il terreno. Tale strumento è in grado di acquisire il rumore sismico, presente ovunque sulla superficie terrestre, e che risulta generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica oltre che, ovviamente, dall'attività dinamica terrestre.

In sintesi la metodologia dei rapporti spettrali H/V permette di valutare la variazione di ellitticità dell'onda di Rayleigh in funzione della frequenza, permettendo così di ricavare la frequenza fondamentale di un sito. Tale parametro risulta essere legato alla presenza di una superficie di discontinuità con un sufficiente contrasto di impedenza sismica.

Il valore del picco rilevabile dalla curva H/V risulta essere inversamente proporzionale alla profondità dell'interfaccia e direttamente proporzionale alla velocità di propagazione delle onde S dei materiali sovrastanti l'interfaccia mediante la relazione:

$$f_0 = \frac{V_s}{4H}$$

Questo effetto è sommabile cosicché la curva HVSR mostra come massimi relativi le frequenze di risonanza dei vari strati. Questo, insieme ad una stima delle velocità che è solitamente disponibile almeno a livello di massima, è in grado di fornire previsioni sullo spessore h degli strati.

Il risultato della acquisizione eseguita nel sito in esame è quindi analizzato mediante il codice di calcolo "Grilla" (appositamente sviluppato da Micromed), che consente di archiviare, analizzare e permettere la revisione del segnale misurato in sito. Tale software consente di realizzare approfondite analisi spettrali di base e procedure per analisi HVSR secondo procedure codificate dal progetto di ricerca SESAME (2005).

I passi principali sono:

- uso di strumentazione certificata e/o verificata da opportune commissioni (tecnico - scientifiche).
- analisi dettagliata dello spettro di Fourier delle componenti verticali del segnale per individuare ed eliminare componenti "monocromatiche" (possibile rumore antropico).

- eliminare (in genere la sequenza completa è di suddividere l'acquisizione in sottofinestre di 20 sec) le sottofinestre con contenuti TRANSIENTI, cioè le porzioni di segnale contenenti transienti legati a sorgenti vicine al sensore (cioè passi o passaggi di autoveicoli).

Calcolo H/V per ogni sottofinestra selezionata mediante:

- eliminazione segnale di eventuali offset
- calcolo spettri di Fourier
- Smoothing degli spettri Fourier per minimizzare effetti d'instabilità numerica del computo dei rapporti, ottimizzando caso x caso la % di smoothing, per evitare di alterare le caratteristiche dello spettro intrinseco e quindi della curva H/V che ne deriva.
- Calcolo delle curve H/V in componente N-S - E-O – verticale
- Stima del valore medio dei rapporti spettrali per ciascuna sottofinestra e definizione deviazione standard
- Identificazione curve H/V dei picchi statisticamente più significativi e stima indice di affidabilità da opportuni test statistici che permettono di definire l'affidabilità della curva H/V ed identificare il picco più significativo su criteri quantitativi.
- Se l'acquisizione viene eseguita in diverse condizioni l'acquisizione: es. esecuzione in diverse ore del giorno, diverso processing dei dati, diverse condizioni atmosferiche ecc., i risultati della curva H/V devono risultare paragonabili.

Importante è comunque sottolineare che quando si considerano eccitazioni intense (come in caso di sisma) e si voglia tenere conto in maniera realistica del comportamento non lineare del terreno, i valori max della funzione di amplificazione e le frequenze di risonanza, possono risultare frequentemente anche notevolmente inferiori a quelle determinate in base alle supposizioni semplicistiche che tengono conto di ipotesi di comportamento lineare, poiché l'energia di eccitazione del suolo viene in parte spesa in attrito interno e in deformazioni permanenti. Si ricorda che il moto sismico è amplificato in corrispondenza di determinate frequenze che corrispondono alle frequenze naturali f_n di vibrazione del deposito:

$$f_n = 1/T_n = (V_s * (2n-1)) / (4 * H) \text{ con } n=1,2, \dots$$

mentre risulta ridotto di amplificazione alle frequenze elevate a causa dello smorzamento del terreno. Di particolare importanza è la prima frequenza naturale di vibrazione del deposito denominata frequenza fondamentale di risonanza:

$$f_1 = 1/T_1 = V_s/4H$$

E' quindi necessario porre particolare attenzione a fenomeni di doppia risonanza, cioè la corrispondenza tra le frequenze fondamentali del segnale sismico e quelle degli edifici.

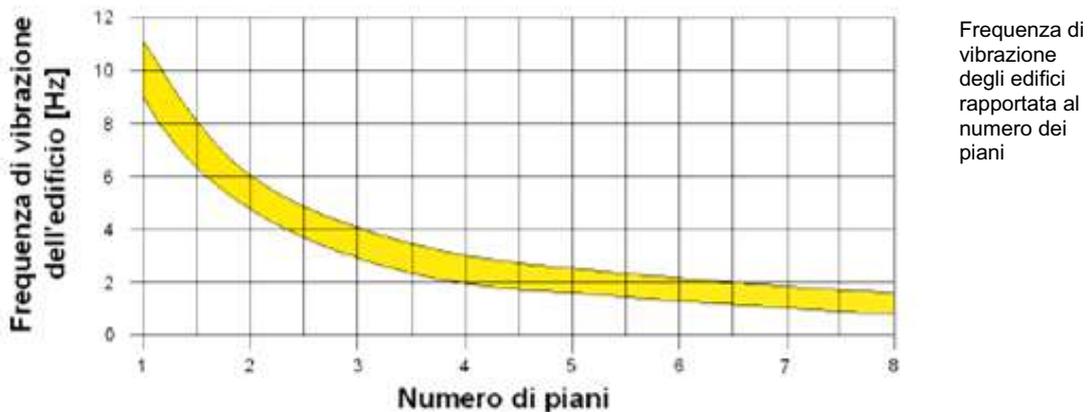
Dal punto di vista empirico è noto che la frequenza di risonanza di un edificio è governata principalmente dall'altezza e può pertanto essere calcolata, in prima approssimazione, secondo la formula:

$$\text{freq. naturale edificio} \approx 10\text{Hz} / \text{numero piani}$$

la coincidenza di risonanza tra terreno e struttura:

$$\text{freq. naturale edificio} \approx \text{freq. fondamentale di risonanza del sito}$$

è particolarmente pericolosa poiché dà luogo alla massima amplificazione e deve quindi essere oggetto di studi approfonditi.



- **Strumentazione impiegata.**

Le registrazioni del rumore sismico ambientale sono state effettuate mediante tromografo digitale della Micromed S.p.A. "Tromino", il quale permette sia l'acquisizione digitale in alta risoluzione in modo passivo e non intrusivo sia il pre-processing dei dati. È costituito da tre sensori elettrodinamici (velocimetri) ortogonali (N-S, E-W e in senso verticale) con autobloccaggio in fase di non acquisizione. Considerando il suolo come un corpo visco-elastico risulta possibile effettuare la misurazione delle frequenze proprie di oscillazione, riconosciute come funzioni delle proprietà meccaniche dei materiali e della morfologia attorno al sito in esame. Le principali note tecniche di questo tromografo digitale sono di seguito esposte:

NOTE TECNICHE

Alimentazione: 2 batterie alcaline x 1.5 VDC AA
Voltaggio interno: +3.3 V, +3.6 V per la sezione analogica
Consumi: 75 mW (GPS disattivato), 450 mW (GPS attivo)
Durata delle batterie: 80 h di misura continua con GPS disattivato
Numero di canali: 3+1 analogici
Amplificatori: tutti canali con input differenziali

Dott. Rinaldo Bussola
Geologo

Rumore: < 0.5 μ V r.m.s. @128 Hz sampling
Impedenza dell'input: 10 ⁶ Ohm
Range di frequenze: DC - 360 Hz
Frequenza di campionamento: 16384 Hz per canale
Frequenze di sovracampionamento: 32x, 64x, 128x
Conversione A/D: equivalente a 24 bit
Massimo input analogico: 51.2 mV (781 nV/digit)
Display grafico: 128 x 64 pixel, retroilluminato
Tastiera: 4 tasti a membrana
Orologio: interno, permanente con datario e allarme, può essere visualizzato anche durante l'acquisizione
Livella: a bolla d'aria, elevata precisione orizzontale, sensibilità 5' d'arco (0.083°)
Connessioni: porta USB, tipo B
Registrazione dati: memoria interna, standard 512 Mb, opzionale fino a 2 Gb
Dimensione e peso: 10 x 14 x 7.7 (altezza) cm, peso 1.1 kg, contenitore di alluminio
Accoppiamento col terreno: su punte e cuscinetto reologico
Condizioni operative: temperatura - 10 / +70°C, umidità 0-90% senza condensa
Impermeabilità indice di protezione IP = 65 (resistente alla polvere, resistente agli spruzzi)
Sensori: 3 velocimetri elettrodinamici ortogonali ad alta risoluzione autobloccaggio quando non in acquisizione

I risultati dell'analisi presentati in questo lavoro sono stati ottenuti col software Grilla in dotazione a TROMINO. In sintesi, il segnale dei velocimetri è acquisito in ciascun sito per un tempo t (20 min), e digitalizzato a 24 bit.

Il software Grilla, per ciascuna delle 3 componenti del moto:

1. divide il tracciato acquisito in finestre di lunghezza L (in questo lavoro generalmente 30 s),
2. elimina il trend da ciascuna finestra,
3. ne fa il "taper" con una finestra Bartlett,
4. fa il "pad" di ciascuna finestra con degli zero,
5. calcola la trasformata di Fourier (FFT) per ciascuna finestra,
6. calcola lo spettro di ampiezza per ciascuna finestra,
7. liscia lo spettro di ogni finestra secondo la funzione di lisciamento f, e calcola il rapporto spettrale HVSR ad ogni frequenza, per ciascuna finestra.

La funzione HVSR finale è data dalle media degli HVSR di ciascuna finestra. Per produrre l'HVSR finale le componenti orizzontali sono mediate tra loro con la media quadratica e vengono poi divise per la componente verticale.

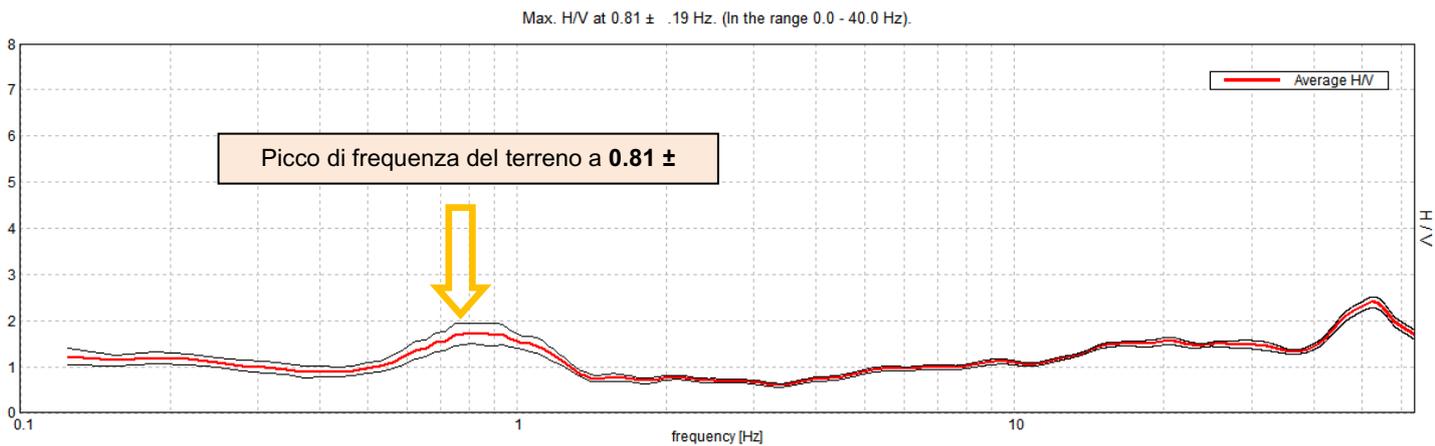
Tutti i grafici presentati in questo lavoro sono stati ottenuti con lisciamento secondo finestre triangolari con ampiezza pari al 10% della frequenza centrale.

- **Interpretazione dei risultati e conclusioni.**

Il risultato dell'elaborazione è il grafico del "Rapporto spettrale orizzontale su verticale", presentato nella scheda "**misura microtremori (HVSr)**", che mette in evidenza (se presenti) picchi di amplificazione del segnale ($HVSR \gg 1$) dovuti alla presenza nel sottosuolo di contrasti di impedenza sismica fra gli strati che innescano amplificazioni del segnale sismico.

Il valore finale del HVSR in funzione della frequenza espresso nel grafico è indicato da una linea rossa che indica la media RMS delle componenti orizzontali rispetto alle verticali, mentre l'intervallo di confidenza (95%) relativo all'ampiezza HVSR è dato dalle linee nere sottili.

Nella figura sotto allegata è riportato l'andamento del rapporto H/V ottenuto su tutto l'intervallo di frequenze analizzate (0-64 Hz).



Registrazione H/V suolo.

L'elaborazione eseguita ha permesso l'individuazione di **un picco principale di risonanza collocato alla frequenza di 0.81 Hz ± 0.19** che risulta essere associabile a un contrasto di impedenza in corrispondenza di una discontinuità stratigrafica.

Nell'Allegato 9, a fine relazione, viene riportata la scheda della registrazione.

4. CLASSIFICAZIONE MACROSISMICA E ANALISI DELL'AZIONE SISMICA.

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto (come previsto nelle Norme Tecniche per le Costruzioni D.M. 17/01/2018 capitolo 3.2.2) sono stati esaminati i dati ottenuti dalle prospezione sismiche di superficie, in particolare quelli della prospezione MASW, che permette di individuare la categoria di sottosuolo di riferimento, basandosi sulla misura diretta dei valori della velocità media delle onde di taglio V_s .

In base a quanto sopra, la classificazione delle categorie dei suoli di fondazione, come da capitolo 3.2.2 (cfr. Norme Tecniche per le Costruzioni D.M. 17/01/2018), ai vari strati sismostratigrafici individuati, è stato associato il valore della velocità V_s direttamente misurate, consentendo di ottenere la V_{s30} , cioè la velocità media di propagazione delle onde di taglio nei primi 30 m di sottosuolo in quanto siamo in presenza di depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m.

Da tale analisi si sono ottenuti i relativi valori di velocità delle onde V_s nel caso di una fondazione posta a -1,00 m da p.d.c. attuale:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}} \quad [3.2.1]$$

con:

- h_i spessore dell' i -esimo strato;
 $V_{S,i}$ velocità delle onde di taglio nell' i -esimo strato;
 N numero di strati;
 H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

**$V_{S,eq} = 208$ m/sec
calcolata tra -1,00 e -31,00**

In accordo con le norme tecniche per il progetto, la valutazione e l'adeguamento degli edifici contenute nelle Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 17/01/2018) a cui si farà sempre riferimento di seguito, paragrafo 3.2.2, al terreno di fondazione è possibile associare una:

Categoria del suolo di fondazione di tipo "C"

C	<i>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 $V_{S,eq}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</i>
---	--

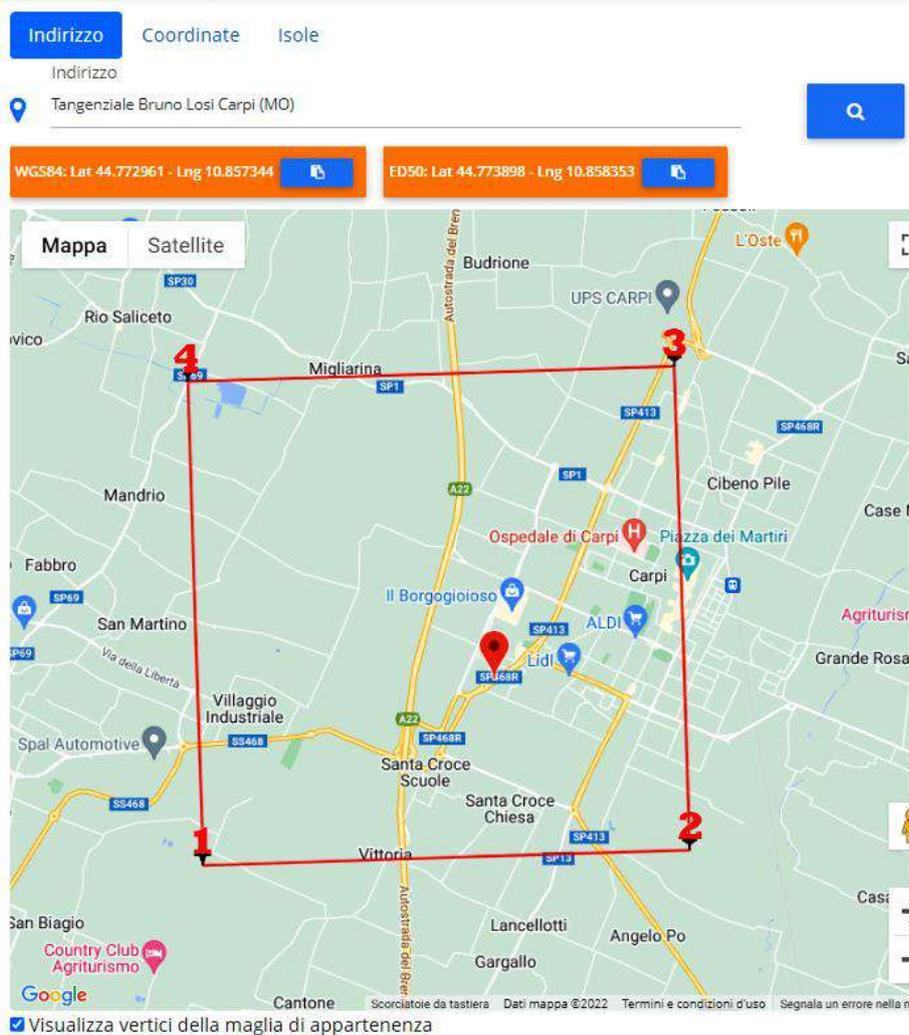
Dott. Rinaldo Bussola
Geologo

L'azione sismica di progetto in base alla quale valutare il rispetto dei diversi stati limite presi in considerazione viene definita partendo dalla "pericolosità di base" del sito di costruzione, che è l'elemento essenziale di conoscenza per la determinazione dell'azione sismica.

Con l'entrata in vigore del D.M. 17 gennaio 2018, infatti, la stima della pericolosità sismica viene definita mediante un approccio "**sito dipendente**" e non più tramite un criterio "zona dipendente".

La stima dei parametri spettrali necessari per la definizione dell'azione sismica di progetto viene quindi effettuata calcolandoli direttamente per il sito in esame, utilizzando come riferimento le informazioni disponibili nel reticolo di riferimento (v. tabella 1 nell'Allegato B del D.M. 17 gennaio 2018).

Per il sito in esame, identificato in **Tangenziale Bruno Losi** nel Comune di **Carpi** Provincia di **Modena**, abbiamo i seguenti parametri sismici (vedi tabella alla pagina successiva):



Stati limite

Classe Edificio

II. Affollamento normale. Assenza di funz. pubbliche e sociali...

Vita Nominale: 50

Interpolazione: Media ponderata

CU = 1

Stato Limite	Tr [anni]	a_g [g]	Fo	Tc* [s]
Operatività (SLO)	30	0.043	2.510	0.249
Danno (SLD)	50	0.054	2.505	0.265
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.154	2.575	0.271
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.206	2.527	0.277
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	50			

Coefficienti sismici

Tipo: Stabilità dei pendii e fondazioni

Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.

H (m): 1 us (m): 0.1

Cat. Sottosuolo: C

Cat. Topografica: T1

	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,50	1,50	1,46	1,39
CC Coeff. funz categoria	1,66	1,63	1,62	1,60
ST Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00

Acc.ne massima attesa al sito [m/s²]: 0.6

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.013	0.016	0.054	0.080
kv	0.006	0.008	0.027	0.040
Amax [m/s ²]	0.632	0.799	2.202	2.803
Beta	0.200	0.200	0.240	0.280

Tabella riassuntiva parametri sismici

- Parametri sismici -

Tipo di elaborazione: **Stabilità dei pendii e fondazioni**

Sito in esame.

latitudine: 44,773898
 longitudine: 10,858353
 Classe: 2
 Vita nominale: 50

Dott. Rinaldo Bussola
Geologo

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 15613	Lat: 44,7549	Lon: 10,8162	Distanza:
	3941,000			
Sito 2	ID: 15614	Lat: 44,7564	Lon: 10,8866	Distanza:
	2954,230			
Sito 3	ID: 15392	Lat: 44,8064	Lon: 10,8843	Distanza:
	4156,508			
Sito 4	ID: 15391	Lat: 44,8049	Lon: 10,8139	Distanza:
	4912,946			

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: C
Categoria topografica: T1
Periodo di riferimento: 50anni
Coefficiente cu: 1

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %
Tr: 30[anni]
ag: 0,043 g
Fo: 2,510
Tc*: 0,249 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %
Tr: 50[anni]
ag: 0,054 g
Fo: 2,505
Tc*: 0,265 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %
Tr: 475[anni]
ag: 0,154 g
Fo: 2,575
Tc*: 0,271 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %
Tr: 975[anni]
ag: 0,206 g
Fo: 2,527
Tc*: 0,277 [s]

Coefficienti Sismici

SLO:

Ss: 1,500
Cc: 1,660
St: 1,000
Kh: 0,013
Kv: 0,006

Dott. Rinaldo Bussola
Geologo

Amax: 0,632
Beta: 0,200

SLD:

Ss: 1,500
Cc: 1,630
St: 1,000
Kh: 0,016
Kv: 0,008
Amax: 0,799
Beta: 0,200

SLV:

Ss: 1,460
Cc: 1,620
St: 1,000
Kh: 0,054 <= COEFFICIENTE SISMICO ORIZZONTALE
Kv: 0,027
Amax: 2,202 <= ACCELERAZIONE MASSIMA = $S_s * S_t * a_g$ (m/s²)
Beta: 0,240

SLC:

Ss: 1,390
Cc: 1,600
St: 1,000
Kh: 0,080
Kv: 0,040
Amax: 2,803
Beta: 0,280

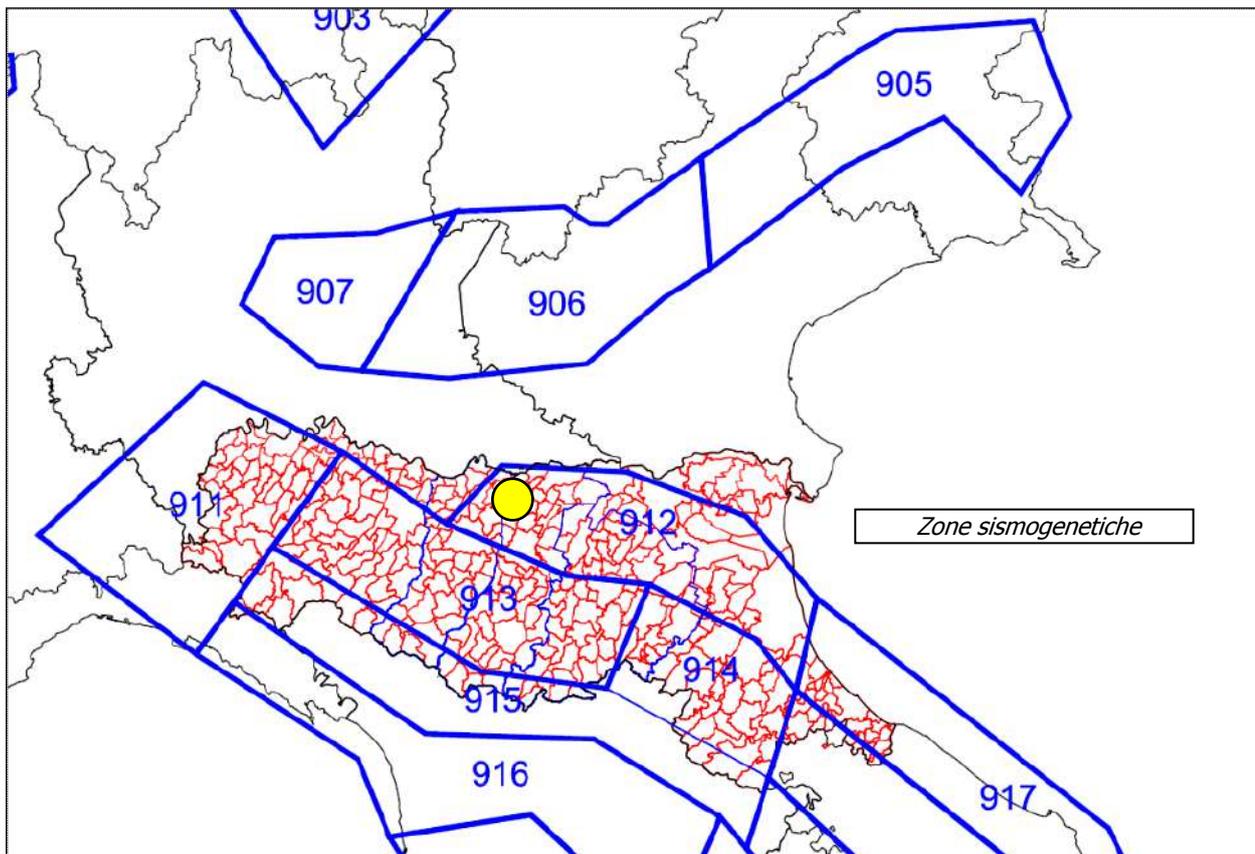
5. VERIFICA DELLA SUSCETTIBILITA' ALLA LIQUEFAZIONE.

5.1 Generalità.

L'area in esame appartiene alla Zona Sismogenetica n° 912 denominata "Dorsale Ferrarese" che rappresenta la zona più esterna della fascia in compressione dell'arco appenninico settentrionale (vedi pagina successiva).

Il Catalogo parametrico dei terremoti italiani Edizione 2004 denominato CPTI04 registra valori massimi di magnitudo momento Mw per la zona sismogenetica n° 912 pari a 5.80.

In considerazione degli eventi sismici del maggio/giugno 2012 e delle prime indicazioni fornite dall'INGV (Comunicato 31 maggio 2012), per le verifiche alla liquefazione si è fatto cautelativamente riferimento ad un valore di magnitudo massima attesa pari a **6.14**.



5.2 Liquefazione.

Litologicamente i terreni del primo sottosuolo in tutta l'area di interesse risultano caratterizzati da una certa discontinuità tipica di un ambiente di pianura alluvionale nel quale si alternano sia spazialmente che temporalmente ambienti deposizionali tra loro collegati.

La verifica della suscettibilità alla liquefazione è stata eseguita considerando i risultati delle prove penetrometriche sino alla profondità massima raggiunta di -25.00 m dal p.c.

I livelli granulometricamente più grossolani individuati risultano essere in falda e pertanto esistono potenzialmente le condizioni per l'instaurarsi del fenomeno della liquefazione.

La falda è stata considerata alla profondità di -2.80 m dal p.d.c. per le prove CPT1 e CPT2 effettuate come direttamente verificato nei fori di sondaggio penetrometrici.

Di conseguenza è stata effettuata un'analisi per verificare la possibilità di occorrenza di fenomeni di liquefazione attraverso un'analisi semplificata in condizioni di free-field valutando, ad ogni quota z del deposito compresa nei primi 15 m, la suscettibilità alla liquefazione attraverso un coefficiente di sicurezza FL dato dal rapporto tra la resistenza disponibile alla liquefazione (CRR) e sollecitazione indotta dall'azione sismica (rapporto di tensione ciclica CSR).

Per quanto concerne la magnitudo, come riportato nel capitolo precedente, si è fatto riferimento ad un valore massimo pari a 5.90. Per quel che concerne invece l'**accelerazione massima attesa in superficie** nell'area in esame, secondo quanto stabilito dalle NTC 2018 e dalla Circolare n°617 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 2 febbraio 2009, si è arrivati ad un valore pari a **0.22 g**, ottenuto dall'analisi semplificata prevista dalle NTC2018.

Il metodo applicato per entrambe le prove per la verifica al potenziale di liquefazione fa riferimento alla metodologia di Boulanger & Idriss (2004). Tale metodo ha fornito le migliori corrispondenze con i fenomeni di liquefazione effettivamente osservati sul territorio del cratere interessato dagli eventi sismici del maggio-giugno 2012 (*Confronto tra metodi semplificati di stima del rischio di liquefazione da prove CPT e CPTU* - Università di Firenze - Facciorusso J., Madiati C., Vannucchi G., 31 marzo 2013). In particolare il valore dell'indice del potenziale di liquefazione "IL" valutato porta alla definizione del rischio di liquefazione secondo **Sonmez (2003)** che risulta:

<i>Indice del potenziale di liquefazione, I_L</i> SONMEZ, 2003	Pericolosità di liquefazione
$I_L = 0$	Nulla
$0 < I_L < 2$	Bassa
$2 < I_L < 5$	Moderata
$5 < I_L < 15$	Alta
$I_L > 15$	Molto alta

Come riportato in Allegato n. 7, e riassunto nella tabella seguente si è ottenuti un valore contenuto dell'indice di potenziale di liquefazione I_L con il rischio di liquefazione che può essere considerata **Basso** e i relativi valori dei cedimenti sismici calcolati per tutte e due le prove.

Prova CPT	Indice di potenziale liquefazione I_L	Rischio di liquefazione	Cedimento terreni granulari saturi (cm)
CPT1	0.33	Basso	1.10
CPT2	0.43	Basso	1.28

6. CONCLUSIONI.

La presente relazione ha esaminato i caratteri geologici, idrogeologici, geomorfologici, geotecnici e sismici di un'area ubicata sulla Tangenziale Bruno Losi nel Comune di Carpi (MO), in corrispondenza della quale è prevista la realizzazione di una pista ciclopedonale a scavalco della tangenziale stessa.

La caratterizzazione litostratigrafica e geotecnica del terreno di sottofondazione per la ricostruzione del "modello geotecnico" è stata ottenuta mediante l'esecuzione di n. 2 prove penetrometriche statiche (CTP 1 e CTP 2) spinte entrambe ad una profondità di -25.00 m dal p.c. attuale, profondità sufficiente in relazione all'ipotesi di *volume significativo* (A.G.I., 1977). Il livello della falda freatica nel sottosuolo dell'area studiata è stato riscontrato, al momento delle prove (giugno 2022), ad una quota media di -2.80 m dal p.c., valore rilevato all'interno del foro delle prove penetrometriche statiche.

Per quanto riguarda la definizione delle caratteristiche sismiche del sito è stata effettuata una prospezione sismica di superficie MASW la quale ha permesso di determinare in modo diretto la velocità delle onde S, per una fondazione posta a -1,00 m dal p.c. attuale, pari a $V_{s30} = 208 \text{ m/sec}$ e la relativa categoria di suolo "**Categoria di suolo C**".

Successivamente si è proceduto ad eseguire sui dati delle prove penetrometriche statiche CPT1 e CPT2 una verifica del **potenziale di liquefazione I_L** che è risultato **Basso**, con il rispettivo calcolo dei **cedimenti sismici**.

La presente relazione geologica e sismica è stata redatta in ottemperanza ai contenuti del D.M. 17 gennaio 2018 (NTC 2018) "*Norme Tecniche per le Costruzioni*" e successive integrazioni. **Sulla base delle indagini eseguite, considerazioni e ipotesi svolte si dichiara quindi la fattibilità geologica dell'intervento in progetto per gli aspetti esaminati.** In fase esecutiva si dovrà in ogni caso controllare la rispondenza tra il modello geologico di riferimento assunto in questa sede e la situazione effettivamente riscontrata, adeguando il modello geotecnico ed il progetto esecutivo in caso di difformità.

Trento, giugno 2022

Dott. Geol. Rinaldo Bussola

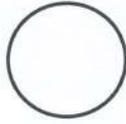


Allegati

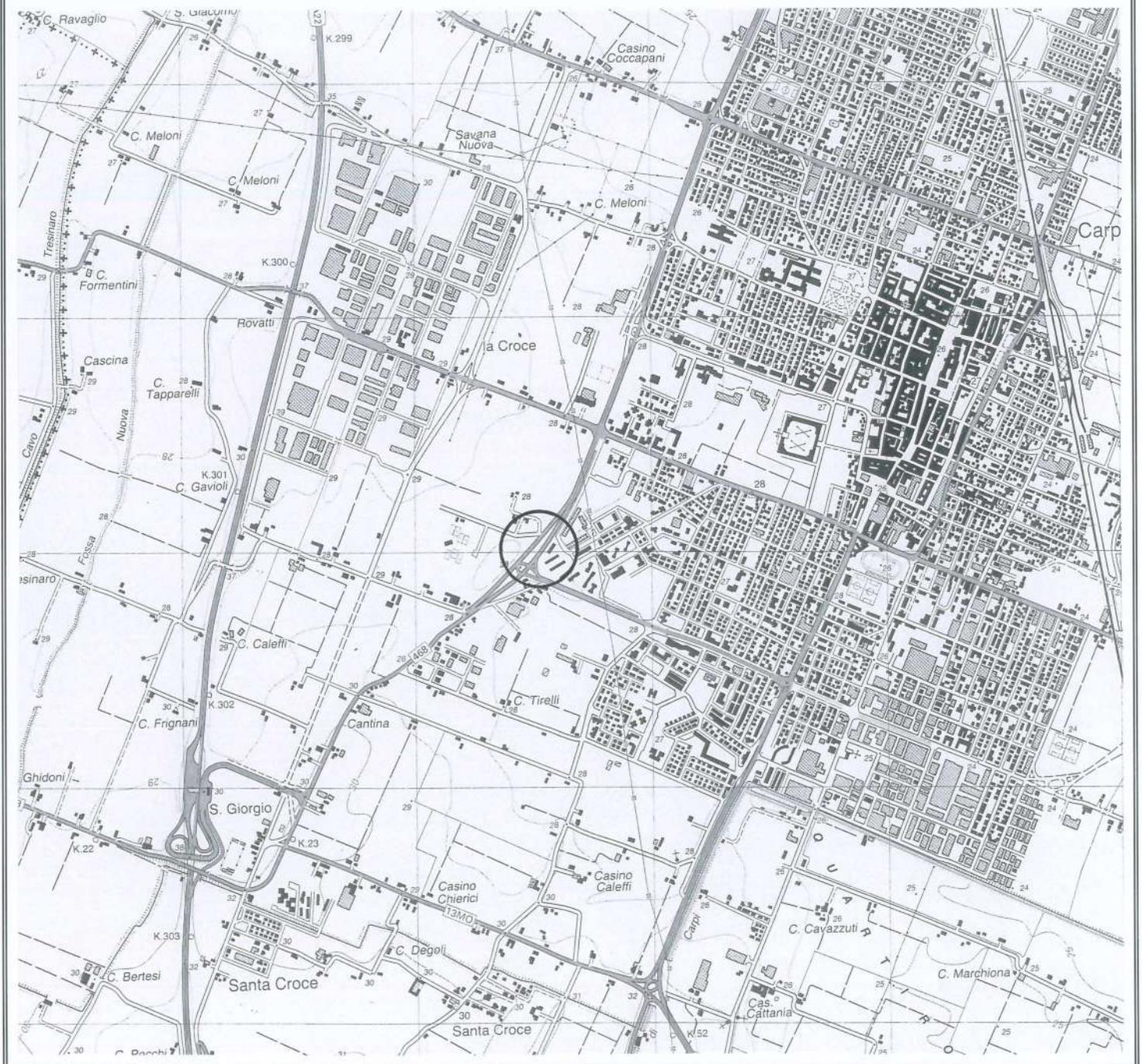
- 1) “Inquadramento Corografico” - *scala 1:25.000* -
- 2) “Inquadramento geografico” - *scala 1:10.000* -
- 3) “Inquadramento area di interesse” - *scala 1:5.000* -
- 4) “Ubicazione indagini geognostiche eseguite” - *disegno fuori scala* -
- 5) “Prove penetrometriche statiche CPT1-CPT2” - *dati e diagrammi* -
- 6) “Elaborazione prove penetrometriche statiche CPT1-CPT2”
- *Parametri Geotecnici da programma "CPTWIN ver. 3.2" Geosoft s.a.s.-*
- *Parametri Geotecnici CPT1 da programma "Static Probing" GeoStru s.r.l.-*
- 7) “Rischio di liquefazione e calcolo cedimenti post-sismici” – *dati e diagrammi-*
- 8) “Prospezione sismica di superficie MASW” - *dati e diagrammi* -
- 9) “Tromografia digitale HVSR (Tromino®)” - *dati e diagrammi* -

"INQUADRAMENTO COROGRAFICO"
- C.T.R. scala 1:25.000 -
Foglio n. 201 N-E "Carpi"

LEGENDA



Area di interesse

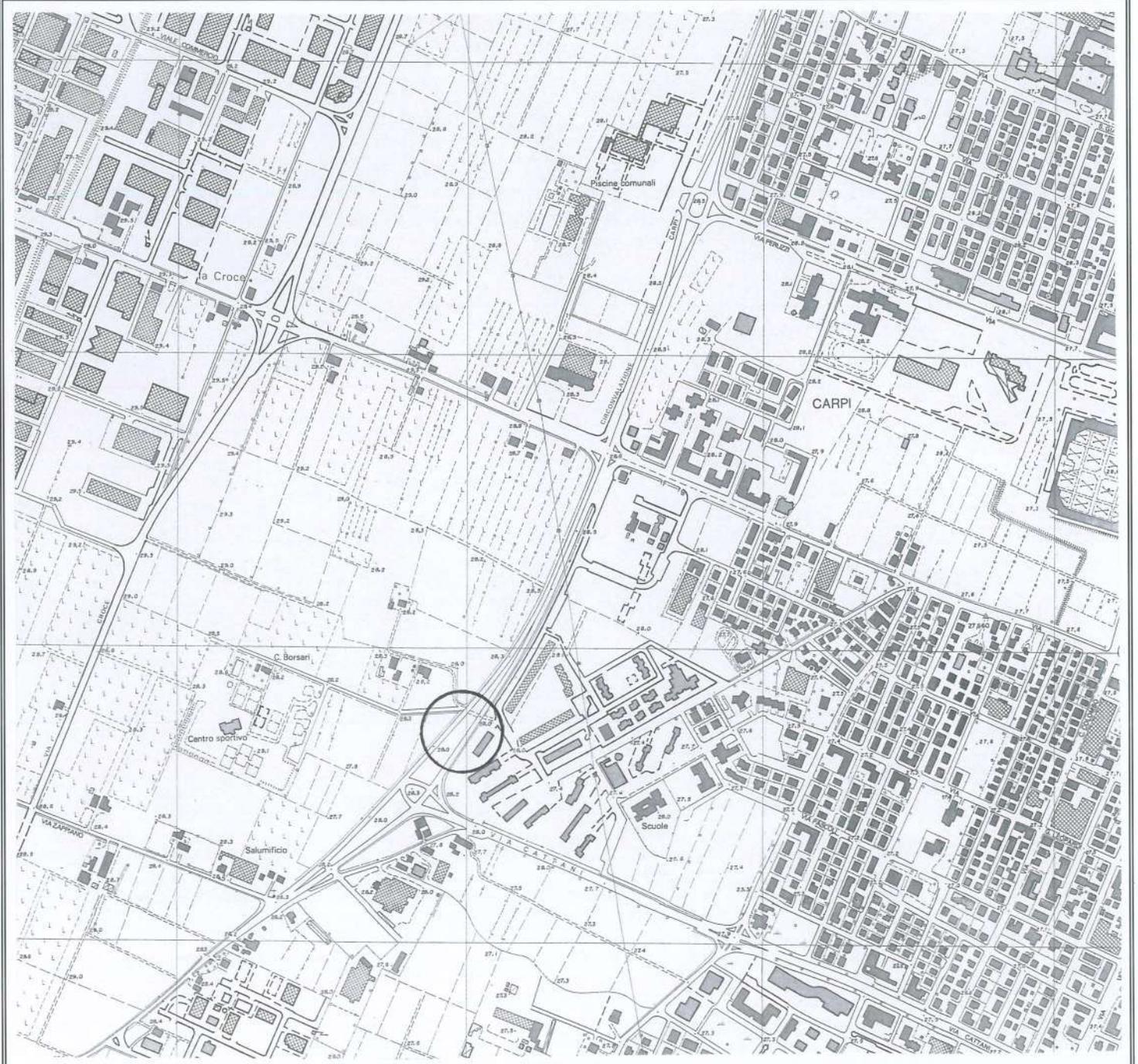


“INQUADRAMENTO GEOGRAFICO”
- C.T.R. scala 1:10.000 -
Sezione n. 201030 “Carpi”

LEGENDA



Area di interesse

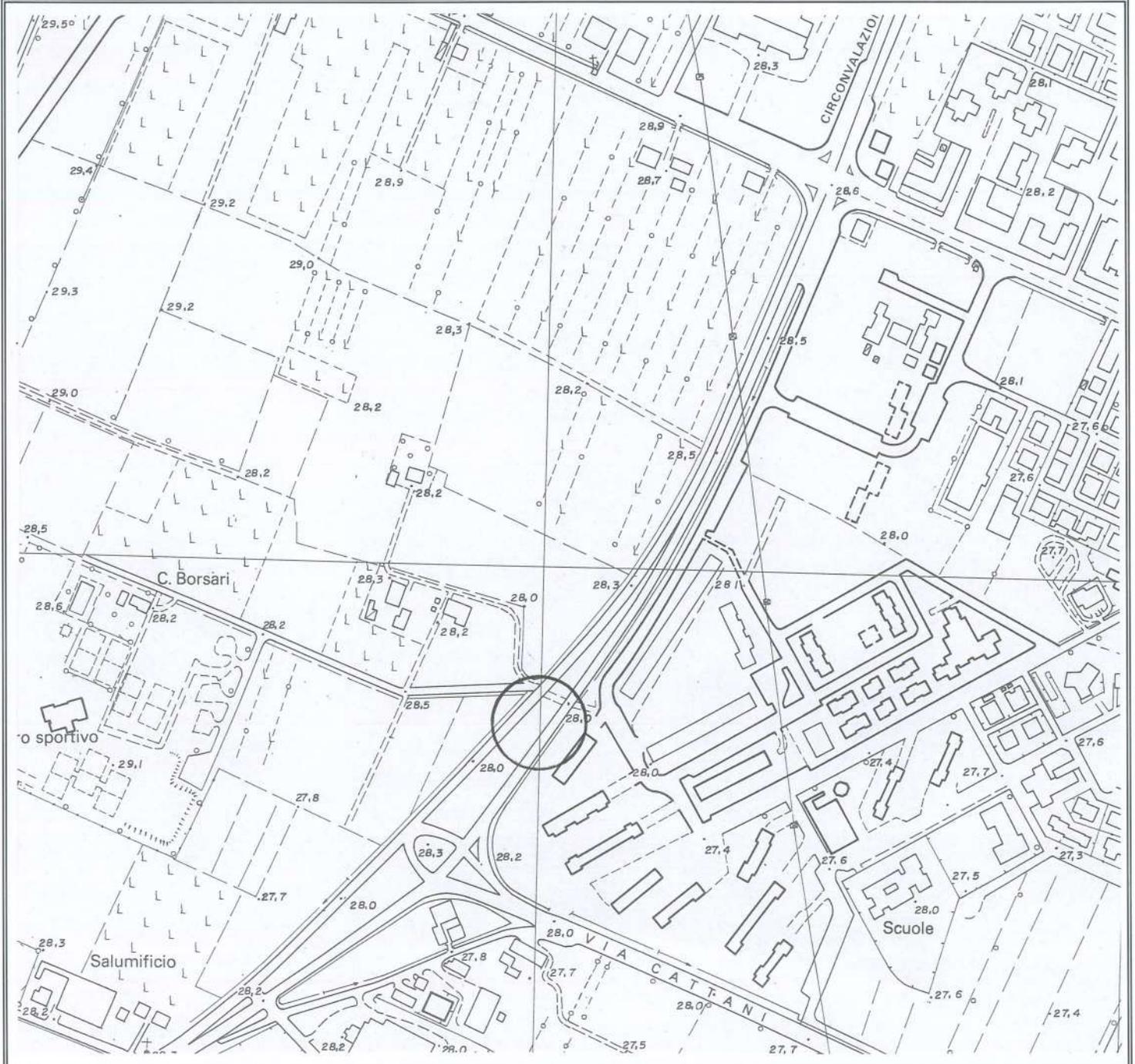


“INQUADRAMENTO AREA DI INTERESSE”
- C.T.R. scala 1:5.000 -
Elemento n. 201034 “Carpi Ovest”

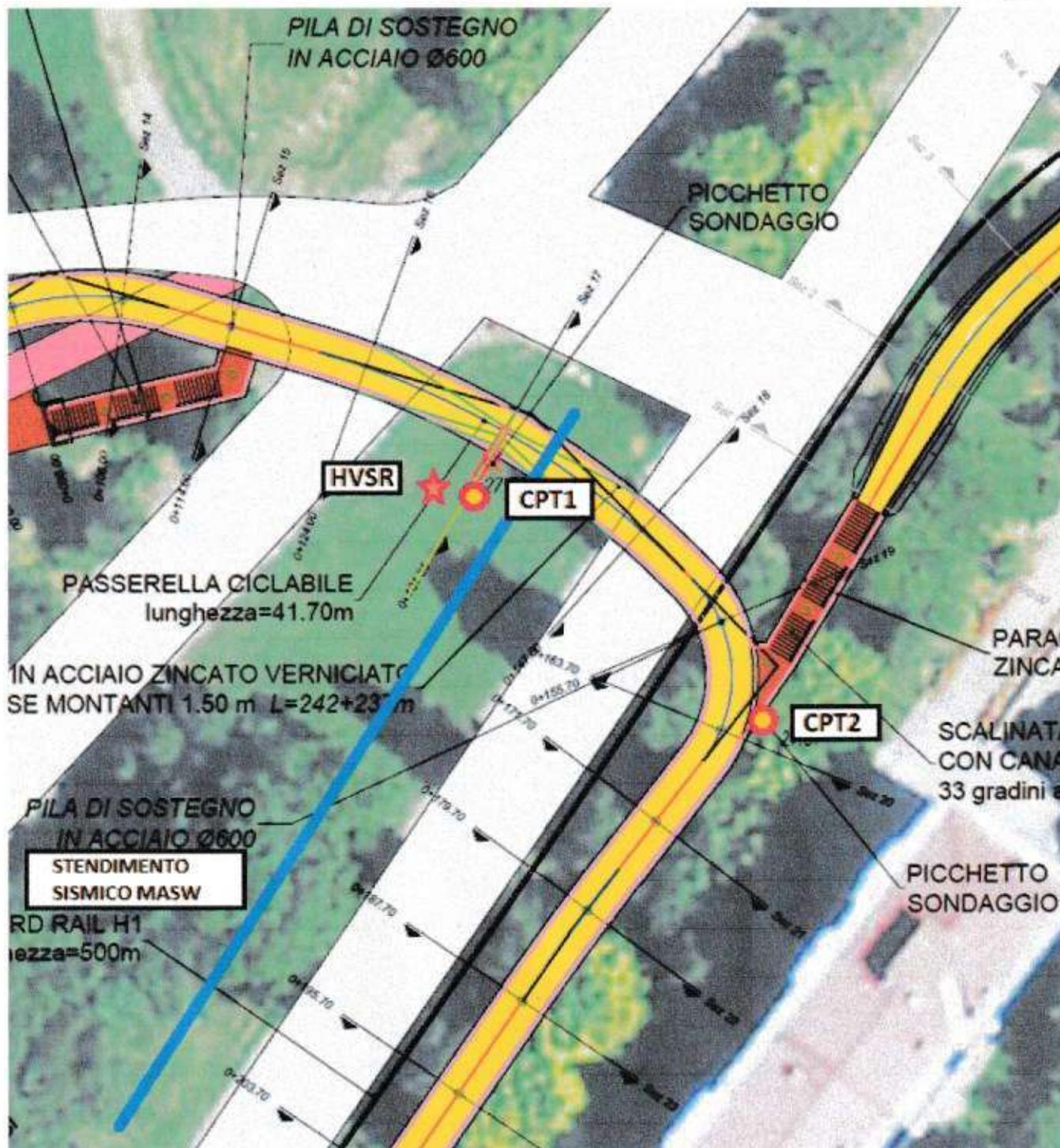
LEGENDA



Area di interesse



“UBICAZIONE INDAGINI GEOGNOSTICHE ESEGUITE”
 planimetria generale ciclopedonale su tangenziale B. L.
 - disegno fuori scala -



Allegato N. 5

“PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CPT1-CPT2”

- dati e diagrammi -

STUDIO TECNICO AMBIENTALE

GEOTECH

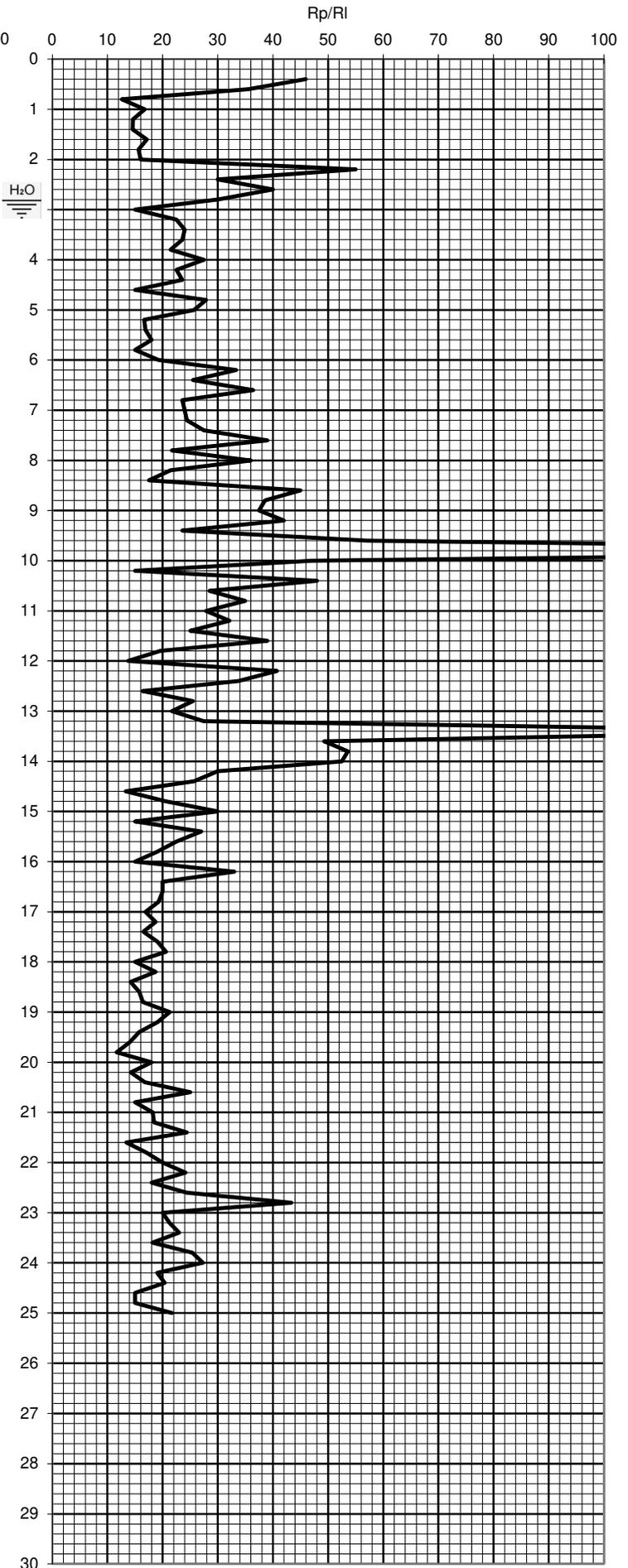
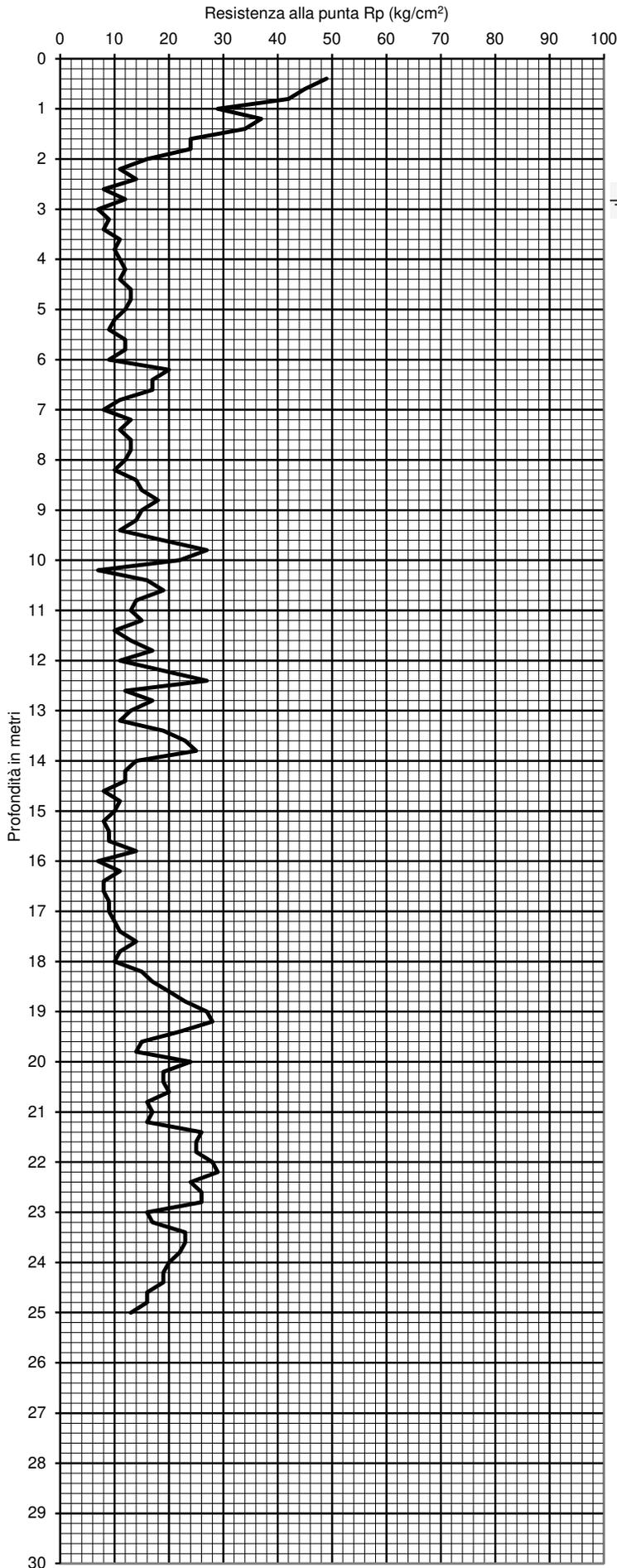
di Dott. Geol. Lorenzo Malvezzi

Via I. Martinelli n° 51A - 41012 Fossoli di Carpi (MO)
Tel. 059/654076 - Fax +3917882215311

PROVA PENETROMETRICA STATICA

Penetrometro TG 63-100 KN

Committente : Comune di Carpi
Località : Tang. Bruno Losi Carpi (MO)
Prova numero : 1
Data : 13/06/2022
Operatore : Dott. Geol. L. Malvezzi
Quota : p.d.c. attuale



PROF. (M)	P (KG/CM2)	P + L (KG/CM2)	RP (KG/CM2)	RL (KG/CM2)	RP/RL [-]
0.20					
0.40	49	64	49	1.07	45.94
0.60	45	61	45	1.27	35.53
0.80	42	61	42	3.33	12.60
1.00	29	79	29	1.73	16.73
1.20	37	63	37	2.53	14.61
1.40	34	72	34	2.33	14.57
1.60	24	59	24	1.40	17.14
1.80	24	45	24	1.53	15.65
2.00	16	39	16	1.00	16.00
2.20	11	26	11	0.20	55.00
2.40	14	17	14	0.47	30.00
2.60	8	15	8	0.20	40.00
2.80	12	15	12	0.40	30.00
3.00	7	13	7	0.47	15.00
3.20	9	16	9	0.40	22.50
3.40	8	14	8	0.33	24.00
3.60	11	16	11	0.47	23.57
3.80	10	17	10	0.47	21.43
4.00	11	18	11	0.40	27.50
4.20	12	18	12	0.53	22.50
4.40	11	19	11	0.47	23.57
4.60	13	20	13	0.87	15.00
4.80	13	26	13	0.47	27.86
5.00	12	19	12	0.47	25.71
5.20	10	17	10	0.60	16.67
5.40	9	18	9	0.53	16.88
5.60	12	20	12	0.67	18.00
5.80	12	22	12	0.80	15.00
6.00	9	21	9	0.47	19.29
6.20	20	27	20	0.60	33.33
6.40	17	26	17	0.67	25.50
6.60	17	27	17	0.47	36.43
6.80	11	18	11	0.47	23.57
7.00	8	15	8	0.33	24.00
7.20	13	18	13	0.53	24.38
7.40	11	19	11	0.40	27.50
7.60	13	19	13	0.33	39.00
7.80	13	18	13	0.60	21.67
8.00	12	21	12	0.33	36.00
8.20	10	15	10	0.47	21.43
8.40	14	21	14	0.80	17.50
8.60	15	27	15	0.33	45.00
8.80	18	23	18	0.47	38.57
9.00	15	22	15	0.40	37.50
9.20	14	20	14	0.33	42.00
9.40	11	16	11	0.47	23.57
9.60	19	26	19	0.33	57.00
9.80	27	32	27	0.13	202.50
10.00	22	24	22	0.47	47.14
10.20	7	14	7	0.47	15.00
10.40	16	23	16	0.33	48.00
10.60	19	24	19	0.67	28.50
10.80	14	24	14	0.40	35.00
11.00	13	19	13	0.47	27.86
11.20	15	22	15	0.47	32.14
11.40	10	17	10	0.40	25.00
11.60	13	19	13	0.33	39.00
11.80	17	22	17	0.87	19.62
12.00	11	24	11	0.80	13.75
12.20	19	31	19	0.47	40.71
12.40	27	34	27	0.80	33.75
12.60	12	24	12	0.73	16.36
12.80	17	28	17	0.67	25.50
13.00	13	23	13	0.60	21.67
13.20	11	20	11	0.40	27.50
13.40	19	25	19	0.13	142.50
13.60	23	25	23	0.47	49.29
13.80	25	32	25	0.47	53.57
14.00	14	21	14	0.27	52.50
14.20	12	16	12	0.40	30.00
14.40	12	18	12	0.47	25.71
14.60	8	15	8	0.60	13.33
14.80	11	20	11	0.53	20.63
15.00	10	18	10	0.33	30.00

PROF. (M)	P (KG/CM2)	P + L (KG/CM2)	RP (KG/CM2)	RL (KG/CM2)	RP/RL [-]
15.20	8	13	8	0.33	24.00
15.40	9	17	9	0.53	16.88
15.60	9	14	9	0.33	27.00
15.80	14	20	14	0.40	35.00
16.00	7	18	7	0.73	9.55
16.20	11	18	11	0.47	23.57
16.40	8	13	8	0.33	24.00
16.60	8	14	8	0.40	20.00
16.80	9	15	9	0.40	22.50
17.00	9	16	9	0.47	19.29
17.20	10	18	10	0.53	18.75
17.40	11	19	11	0.53	20.63
17.60	14	24	14	0.67	21.00
17.80	11	22	11	0.73	15.00
18.00	10	18	10	0.53	18.75
18.20	15	25	15	0.67	22.50
18.40	17	29	17	0.80	21.25
18.60	20	38	20	1.20	16.67
18.80	23	42	23	1.27	18.16
19.00	27	48	27	1.40	19.29
19.20	28	47	28	1.27	22.11
19.40	22	44	22	1.47	15.00
19.60	15	36	15	1.40	10.71
19.80	14	30	14	1.07	13.13
20.00	24	42	24	1.20	20.00
20.20	16	32	16	1.07	15.00
20.40	17	31	17	0.93	18.21
20.60	16	29	16	0.87	18.46
20.80	26	42	26	1.07	24.38
21.00	25	53	25	1.87	13.39
21.20	25	47	25	1.47	17.05
21.40	28	49	28	1.40	20.00
21.60	29	47	29	1.20	24.17
21.80	24	44	24	1.33	18.00
22.00	26	42	26	1.07	24.38
22.20	26	35	26	0.60	43.33
22.40	16	28	16	0.80	20.00
22.60	17	29	17	0.80	21.25
22.80	23	38	23	1.00	23.00
23.00	23	42	23	1.27	18.16
23.20	22	35	22	0.87	25.38
23.40	20	31	20	0.73	27.27
23.60	19	34	19	1.00	19.00
23.80	19	33	19	0.93	20.36
24.00	16	32	16	1.07	15.00
24.20	16	32	16	1.07	15.00
24.40	13	22	13	0.60	21.67
24.60	16	32	16	1.07	15.00
24.80	16	32	16	1.07	15.00
25.00	13	22	13	0.60	21.67
25.20					
25.40					
25.60					
25.80					
26.00					
26.20					
26.40					
26.60					
26.80					
27.00					
27.20					
27.40					
27.60					
27.80					
28.00					
28.20					
28.40					
28.60					
28.80					
29.00					
29.20					
29.40					
29.60					
29.80					
30.00					

STUDIO TECNICO AMBIENTALE

GEOTECH

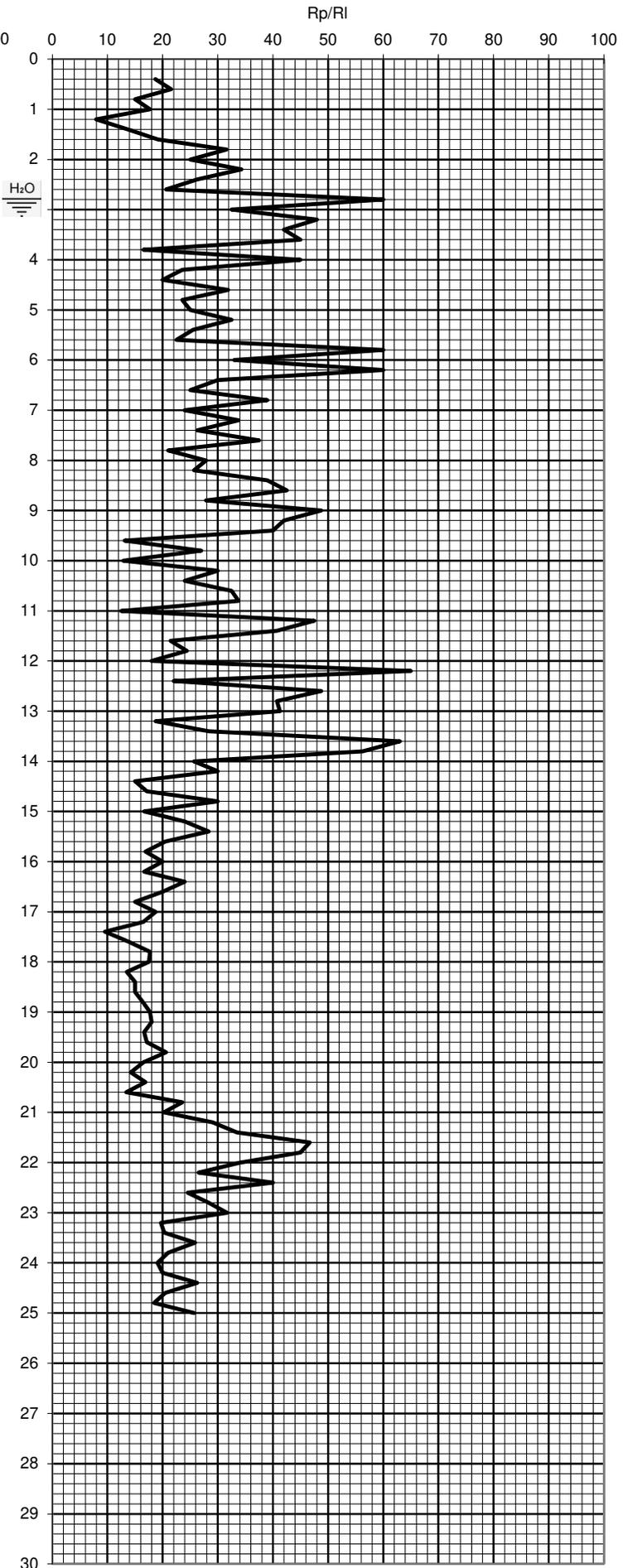
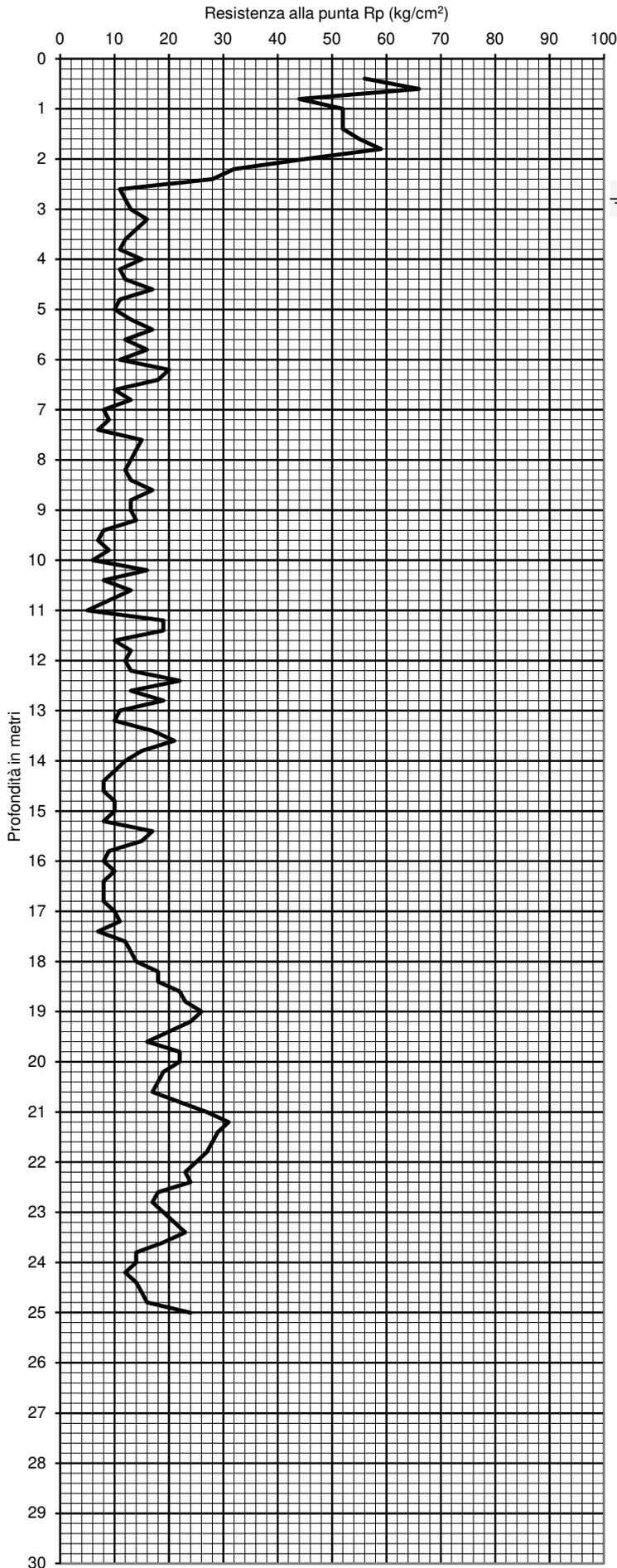
di Dott. Geol. Lorenzo Malvezzi

Via I. Martinelli n° 51A - 41012 Fossoli di Carpi (MO)
Tel. 059/654076 - Fax +3917882215311

PROVA PENETROMETRICA STATICA

Penetrometro TG 63-100 KN

Committente : Comune di Carpi
Località : Tang. Bruno Losi Carpi (MO)
Prova numero : 2
Data : 13/06/2022
Operatore : Dott. Geol. L. Malvezzi
Quota : p.d.c. attuale



PROF. (M)	P (KG/CM2)	P + L (KG/CM2)	RP (KG/CM2)	RL (KG/CM2)	RP/RL [-]
0.20					
0.40	56	88	56	3.00	18.67
0.60	66	111	66	3.07	21.52
0.80	44	90	44	2.93	15.00
1.00	52	96	52	2.93	17.73
1.20	52	96	52	6.53	7.96
1.40	52	150	52	3.80	13.68
1.60	55	112	55	2.87	19.19
1.80	59	102	59	1.87	31.61
2.00	45	73	45	1.80	25.00
2.20	32	59	32	0.93	34.29
2.40	28	42	28	1.07	26.25
2.60	11	27	11	0.53	20.63
2.80	12	20	12	0.20	60.00
3.00	13	16	13	0.40	32.50
3.20	16	22	16	0.33	48.00
3.40	14	19	14	0.33	42.00
3.60	12	17	12	0.27	45.00
3.80	11	15	11	0.67	16.50
4.00	15	25	15	0.33	45.00
4.20	11	16	11	0.47	23.57
4.40	12	19	12	0.60	20.00
4.60	17	26	17	0.53	31.88
4.80	11	19	11	0.47	23.57
5.00	10	17	10	0.40	25.00
5.20	13	19	13	0.40	32.50
5.40	17	23	17	0.67	25.50
5.60	12	22	12	0.53	22.50
5.80	16	24	16	0.27	60.00
6.00	11	15	11	0.33	33.00
6.20	20	25	20	0.33	60.00
6.40	18	23	18	0.60	30.00
6.60	10	19	10	0.40	25.00
6.80	13	19	13	0.33	39.00
7.00	8	13	8	0.33	24.00
7.20	9	14	9	0.27	33.75
7.40	7	11	7	0.27	26.25
7.60	15	19	15	0.40	37.50
7.80	14	20	14	0.67	21.00
8.00	13	23	13	0.47	27.86
8.20	12	19	12	0.47	25.71
8.40	13	20	13	0.33	39.00
8.60	17	22	17	0.40	42.50
8.80	13	19	13	0.47	27.86
9.00	13	20	13	0.27	48.75
9.20	14	18	14	0.33	42.00
9.40	8	13	8	0.20	40.00
9.60	7	10	7	0.53	13.13
9.80	9	17	9	0.33	27.00
10.00	6	11	6	0.47	12.86
10.20	16	23	16	0.53	30.00
10.40	8	16	8	0.33	24.00
10.60	13	18	13	0.40	32.50
10.80	9	15	9	0.27	33.75
11.00	5	9	5	0.40	12.50
11.20	19	25	19	0.40	47.50
11.40	19	25	19	0.47	40.71
11.60	10	17	10	0.47	21.43
11.80	13	20	13	0.53	24.38
12.00	12	20	12	0.67	18.00
12.20	13	23	13	0.20	65.00
12.40	22	25	22	1.00	22.00
12.60	13	28	13	0.27	48.75
12.80	19	23	19	0.47	40.71
13.00	11	18	11	0.27	41.25
13.20	10	14	10	0.53	18.75
13.40	17	25	17	0.60	28.33
13.60	21	30	21	0.33	63.00
13.80	15	20	15	0.27	56.25
14.00	12	16	12	0.47	25.71
14.20	10	17	10	0.33	30.00
14.40	8	13	8	0.53	15.00
14.60	8	16	8	0.47	17.14
14.80	10	17	10	0.33	30.00
15.00	10	15	10	0.60	16.67

PROF. (M)	P (KG/CM2)	P + L (KG/CM2)	RP (KG/CM2)	RL (KG/CM2)	RP/RL [-]
15.20	8	17	8	0.60	13.33
15.40	17	22	17	0.33	51.00
15.60	15	24	15	0.60	25.00
15.80	9	20	9	0.73	12.27
16.00	8	16	8	0.53	15.00
16.20	10	16	10	0.40	25.00
16.40	8	17	8	0.60	13.33
16.60	8	13	8	0.33	24.00
16.80	8	14	8	0.40	20.00
17.00	10	18	10	0.53	18.75
17.20	11	19	11	0.53	20.63
17.40	7	17	7	0.67	10.50
17.60	12	23	12	0.73	16.36
17.80	13	26	13	0.87	15.00
18.00	14	25	14	0.73	19.09
18.20	18	30	18	0.80	22.50
18.40	18	38	18	1.33	13.50
18.60	22	40	22	1.20	18.33
18.80	23	45	23	1.47	15.68
19.00	26	47	26	1.40	18.57
19.20	24	46	24	1.47	16.36
19.40	20	40	20	1.33	15.00
19.60	16	34	16	1.20	13.33
19.80	22	36	22	0.93	23.57
20.00	22	38	22	1.07	20.63
20.20	22	36	22	0.93	23.57
20.40	27	47	27	1.33	20.25
20.60	31	47	31	1.07	29.06
20.80	29	42	29	0.87	33.46
21.00	28	37	28	0.60	46.67
21.20	27	36	27	0.60	45.00
21.40	25	36	25	0.73	34.09
21.60	23	36	23	0.87	26.54
21.80	24	33	24	0.60	40.00
22.00	18	29	18	0.73	24.55
22.20	17	26	17	0.60	28.33
22.40	19	28	19	0.60	31.67
22.60	21	37	21	1.07	19.69
22.80	23	40	23	1.13	20.29
23.00	19	30	19	0.73	25.91
23.20	14	24	14	0.67	21.00
23.40	14	25	14	0.73	19.09
23.60	12	21	12	0.60	20.00
23.80	14	22	14	0.53	26.25
24.00	15	26	15	0.73	20.45
24.20	16	29	16	0.87	18.46
24.40	24	38	24	0.93	25.71
24.60	15	26	15	0.73	20.45
24.80	16	29	16	0.87	18.46
25.00	24	38	24	0.93	25.71
25.20					
25.40					
25.60					
25.80					
26.00					
26.20					
26.40					
26.60					
26.80					
27.00					
27.20					
27.40					
27.60					
27.80					
28.00					
28.20					
28.40					
28.60					
28.80					
29.00					
29.20					
29.40					
29.60					
29.80					
30.00					

Allegato N. 6

“ELABORAZIONE PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CPT1-CPT2”

- *parametri geotecnici (ogni 20 cm) da programma “CPTWIN ver. 3.2” Geosoft s.a.s. -*
- *parametri geotecnici CPT1 (singolo strato) da programma “Static Probing” GeoStru s.r.l. -*

ANALISI PROVE PENETROMETRICHE STATICHE

- Programma CPTWIN ver. 3.2 -

Committente: Comune di Carpi (MO)
 Localita': Tangenziale Bruno Losi Carpi (MO)
 Lavoro: Ciclopedonale di scavalamento tangenziale
 Data: 13/06/2022

Legenda dei parametri geotecnici :

z = Profondità (m)
 g = peso di volume (kN/mc)
 sv = tensione litostatica totale (kPa)
 sv' = tensione litostatica effettiva (kPa)
 Uo = pressione nei pori (kPa)
 Id = indice di densità (%)
 f = angolo d'attrito (°)
 Su = resistenza al taglio non drenata (kPa)
 OCR = grado di sovraconsolidamento
 M = modulo confinato (MPa)
 Cc = Indice di Compressibilità (-)
 Go = Modulo di Taglio (MPa)
 Vs = Velocità onde di Taglio (m/s)

Prova penetrometrica statica CPT n. 1

Dati del Penetrometro :

Penetrometro Statico tipo Pagani da 100 KN.
 Apertura cono = 60°
 Area Punta = 10 cmq
 Area Laterale = 150 cmq
 Costante di trasformazione 'Ct': 1
Profondità della falda da p.d.c.: -2.80 da p.d.c..

*
*
*

- Parametri Geotecnici CPT1 -

z	g	sv	sv'	Uo	Id	f	Su	OCR	M	Cc	Go	Vs
0,2												
0,4	20,0	7,6	7,6	0,0	70	42,4		0	17,9		49,9	360
0,6	19,5	11,5	11,5	0,0	61	41,0		0	19,3		52,3	342
0,8	19,5	15,4	15,4	0,0	54	40,0		0	20,3		54,3	327
1,0	18,0	19,0	19,0	0,0			115,2	30	7,8	0,220	0,0	259
1,2	18,5	22,7	22,7	0,0			147,1	30	9,4	0,129	0,0	302
1,4	18,0	26,3	26,3	0,0			134,9	30	8,8	0,166	0,0	287
1,6	17,5	29,8	29,8	0,0			94,8	25,4	6,8	0,196	0,0	230
1,8	18,0	33,4	33,4	0,0			94,7	22,6	6,8	0,145	0,0	230
2,0	17,5	36,9	36,9	0,0			62,5	13,5	5,2	0,194	0,0	179
2,2	17,5	40,4	40,4	0,0			42,4	8,3	4,2	0,188	0,0	141
2,4	20,0	44,4	44,4	0,0	24	32,2		0	11,3		28,9	164
2,6	17,5	47,9	47,9	0,0			30,1	5	3,6	0,145	0,0	116
2,8	20,0	51,9	51,9	0,0	21	31,1		0	10,2		25,8	149
3,0	17,5	55,4	53,4	2,0			25,8	3,8	3,4	0,143	0,0	106
3,2	18,0	59,0	55,1	3,9			33,6	4,8	3,8	0,136	0,0	125
3,4	18,0	62,6	56,7	5,9			29,5	4,1	3,6	0,134	0,0	116
3,6	18,5	66,3	58,5	7,8			41,3	5,6	4,2	0,107	0,0	141
3,8	18,0	69,9	60,1	9,8			37,2	4,9	4	0,129	0,0	133
4,0	18,0	73,5	61,7	11,8			41,1	5,3	4,2	0,123	0,0	141
4,2	18,5	77,2	63,5	13,7			44,9	5,6	4,4	0,111	0,0	149
4,4	18,0	80,8	65,1	15,7			40,79	5	4,2	0,131	0,0	141
4,6	18,5	84,5	66,8	17,7			48,6	5,8	4,6	0,115	0,0	157
4,8	17,5	88,0	68,4	19,6			48,5	5,6	4,6	0,156	0,0	157
5,0	18,5	91,7	70,1	21,6			44,3	5	4,4	0,119	0,0	149
5,2	18,0	95,3	71,8	23,5			36,2	4	4	0,129	0,0	133
5,4	17,5	98,8	73,3	25,5			32	3,4	3,8	0,156	0,0	125
5,6	18,0	102,4	74,9	27,5			43,9	4,6	4,4	0,126	0,0	149
5,8	18,0	106,0	76,6	29,4			43,8	4,5	4,4	0,141	0,0	149
6,0	17,5	109,5	78,1	31,4			31,6	3,2	3,8	0,185	0,0	125
6,2	19,5	113,4	80,0	33,4	25	32,5		0	15,9		38,6	205
6,4	18,5	117,1	81,8	35,3			63,3	6,1	5,4	0,114	0,0	186
6,6	18,5	120,8	83,5	37,3			63,2	6	5,4	0,119	0,0	186
6,8	18,0	124,4	85,2	39,2			39	3,6	4,2	0,123	0,0	141
7,0	17,5	127,9	86,7	41,2			26,9	2,4	3,6	0,145	0,0	116
7,2	19,5	131,8	88,6	43,2	20	30,2		0	11,3		27,3	157
7,4	18,0	135,4	90,3	45,1			38,6	3,4	4,2	0,131	0,0	141
7,6	18,5	139,1	92,0	47,1			46,4	4	4,6	0,108	0,0	157
7,8	19,5	143,0	94,0	49,1	19	30,0		0	11,5		27,7	157
8,0	18,0	146,6	95,6	51,0			42,1	3,5	4,4	0,134	0,0	149
8,2	18,5	150,3	97,3	53,0			34	2,7	4	0,111	0,0	133
8,4	18,5	154,0	99,1	54,9			49,8	4	4,8	0,111	0,0	164
8,6	18,0	157,6	100,7	56,9			53,7	4,2	4,9	0,138	0,0	172
8,8	20,0	161,6	102,7	58,9	22	31,4		0	15,1		36,0	192
9,0	18,5	165,3	104,5	60,8			53,4	4	4,9	0,108	0,0	172
9,2	19,5	169,2	106,4	62,8	19	30,1		0	12,4		29,5	164
9,4	18,5	172,9	108,2	64,7			37,1	2,7	4,2	0,107	0,0	141
9,6	19,5	176,8	110,1	66,7	22	31,5		0	15,9		37,8	199
9,8	20,0	180,8	112,1	68,7	27	33,1		0	20,8		48,9	248
10,0	20,5	184,9	114,3	70,6	23	32,1		0	18,1		42,8	218

ANALISI PROVE PENETROMETRICHE STATICHE

- Programma CPTWIN ver. 3.2 -

Committente: Comune di Carpi (MO)
Località: Tangenziale Bruno Losi Carpi (MO)
Lavoro: Ciclopedonale di scavalamento tangenziale
Data: 13/06/2022

Prova penetrometrica statica CPT n. 1

Dati del Penetrometro :

Penetrometro Statico tipo Pagani da 100 KN.

*
*
*

Apertura cono = 60°

Area Punta = 10 cmq

Area Laterale = 150 cmq

Costante di trasformazione 'Ct': 1

Profondità della falda da p.d.c.: -2.80 da p.d.c..

Legenda dei parametri geotecnici :

z = Profondità (m)

g = peso di volume (kN/mc)

sv = tensione litostatica totale (kPa)

sv' = tensione litostatica effettiva (kPa)

Uo = pressione nei pori (kPa)

Id = indice di densità (%)

f = angolo d'attrito (°)

Su = resistenza al taglio non drenata (kPa)

OCR = grado di sovraconsolidamento

M = modulo confinato (MPa)

Cc = Indice di Compressibilità (-)

Go = Modulo di Taglio (MPa)

Vs = Velocità onde di Taglio (m/s)

- Parametri Geotecnici CPT1 -

z	g	sv	sv'	Uo	Id	f	Su	OCR	M	Cc	Go	Vs
10,2	17,5	188,4	115,8	72,6			20,5	1,4	3,4	0,156	0,0	106
10,4	19,5	192,3	117,7	74,6	20	30,5		0	13,9		32,8	179
10,6	20,0	196,3	119,8	76,5	22	31,3		0	15,9		37,5	199
10,8	18,0	199,9	121,4	78,5			48	3,1	4,8	0,130	0,0	164
11,0	18,5	203,6	123,2	80,4			43,9	2,8	4,6	0,108	0,0	157
11,2	18,5	207,3	124,9	82,4			51,7	3,3	4,9	0,108	0,0	172
11,4	18,0	210,9	126,5	84,4			31,6	1,9	4	0,129	0,0	133
11,6	18,5	214,6	128,3	86,3			43,4	2,7	4,6	0,108	0,0	157
11,8	20,0	218,6	130,3	88,3	20	30,5		0	14,8		34,6	186
12,0	17,5	222,1	131,8	90,3			35,1	2,1	4,2	0,172	0,0	141
12,2	18,5	225,8	133,6	92,2			67	4	5,7	0,123	0,0	199
12,4	20,0	229,8	135,6	94,2	24	32,7		0	21,9		50,9	248
12,6	17,5	233,3	137,2	96,1			38,7	2,2	4,4	0,156	0,0	149
12,8	18,0	236,9	138,8	98,1			58,5	3,3	5,4	0,124	0,0	186
13,0	18,0	240,5	140,4	100,1			42,4	2,4	4,6	0,135	0,0	157
13,2	18,0	244,1	142,1	102,0			34,2	1,9	4,2	0,140	0,0	141
13,4	19,5	248,0	144,0	104,0	21	30,8		0	16,2		37,7	199
13,6	20,5	252,1	146,2	105,9	22	31,7		0	19,3		44,7	224
13,8	20,0	256,1	148,2	107,9	24	32,1		0	20,3		46,8	236
14,0	18,5	259,8	149,9	109,9			45,6	2,4	4,8	0,111	0,0	164
14,2	19,5	263,7	151,9	111,8	16	28,5		0	11,1		26,0	149
14,4	18,5	267,4	153,6	113,8			37,29	1,9	4,4	0,111	0,0	149
14,6	17,5	270,9	155,1	115,8			21,2	1	3,6	0,145	0,0	116
14,8	18,0	274,5	156,8	117,7			33	1,6	4,2	0,140	0,0	141
15,0	18,0	278,1	158,4	119,7			28,9	1,4	4	0,138	0,0	133
15,2	18,0	281,7	160,1	121,6			20,7	1	3,6	0,122	0,0	116
15,4	17,5	285,2	161,6	123,6			24,6	1,2	3,8	0,146	0,0	125
15,6	18,0	288,8	163,2	125,6			24,4	1,1	3,8	0,116	0,0	125
15,8	19,5	292,7	165,2	127,5	17	29,1		0	12,8		29,6	164
16,0	17,5	296,2	166,7	129,5			16,2	0,7	3,4	0,206	0,0	106
16,2	18,0	299,8	168,3	131,5			32	1,5	4,2	0,123	0,0	141
16,4	18,0	303,4	170,0	133,4			19,89	0,9	3,6	0,122	0,0	116
16,6	18,0	307,0	171,6	135,4			19,7	0,9	3,6	0,134	0,0	116
16,8	18,0	310,6	173,3	137,3			23,6	1	3,8	0,126	0,0	125
17,0	18,0	314,2	174,9	139,3			23,4	1	3,8	0,136	0,0	125
17,2	18,0	317,8	176,5	141,3			27,3	1,2	4	0,138	0,0	133
17,4	18,0	321,4	178,2	143,2			31,1	1,3	4,2	0,131	0,0	141
17,6	18,0	325,0	179,8	145,2			43	1,9	4,8	0,130	0,0	164
17,8	17,5	328,5	181,4	147,2			30,9	1,3	4,2	0,156	0,0	141
18,0	18,0	332,1	183,0	149,1			26,7	1,1	4	0,138	0,0	133
18,2	18,0	335,7	184,6	151,1			46,6	2	4,9	0,126	0,0	172
18,4	18,0	339,3	186,3	153,0			54,4	2,3	5,4	0,130	0,0	186
18,6	18,0	342,9	187,9	155,0			66,3	2,8	6	0,147	0,0	205
18,8	18,0	346,5	189,5	157,0			78,09	3,2	6,6	0,140	0,0	224
19,0	18,0	350,1	191,2	158,9			94	3,9	7,4	0,136	0,0	248
19,2	18,5	353,8	192,9	160,9			97,8	4	7,6	0,127	0,0	254
19,4	18,0	357,4	194,6	162,8			73,7	3	6,4	0,156	0,0	218
19,6	17,5	360,9	196,1	164,8			45,6	1,8	4,9	0,191	0,0	172
19,8	17,5	364,4	197,6	166,8			41,4	1,6	4,8	0,168	0,0	164
20,0	18,0	368,0	199,3	168,7			81,3	3,2	6,8	0,134	0,0	230

ANALISI PROVE PENETROMETRICHE STATICHE

- Programma CPTWIN ver. 3.2 -

Committente: Comune di Carpi (MO)
Localita': Tangenziale Bruno Losi Carpi (MO)
Lavoro: Ciclopedonale di scavalamento tangenziale
Data: 13/06/2022

Prova penetrometrica statica CPT n. 1

Dati del Penetrometro :

Penetrometro Statico tipo Pagani da 100 KN.
Apertura cono = 60°
Area Punta = 10 cmq
Area Laterale = 150 cmq
Costante di trasformazione 'Ct': 1
Profondità della falda da p.d.c.: -2.80 da p.d.c..

Legenda dei parametri geotecnici :

z = Profondità (m)
g = peso di volume (kN/mc)
sv = tensione litostatica totale (kPa)
sv' = tensione litostatica effettiva (kPa)
Uo = pressione nei pori (kPa)
Id = indice di densità (%)
f = angolo d'attrito (°)
Su = resistenza al taglio non drenata (kPa)
OCR = grado di sovraconsolidamento
M = modulo confinato (MPa)
Cc = Indice di Compressibilità (-)
Go = Modulo di Taglio (MPa)
Vs = Velocità onde di Taglio (m/s)

- Parametri Geotecnici CPT1 -

z	g	sv	sv'	Uo	Id	f	Su	OCR	M	Cc	Go	Vs
20,2	17,5	371,5	200,8	170,7			61,1	2,4	5,7	0,160	0,0	199
20,4	18,0	375,1	202,4	172,7			61	2,4	5,7	0,146	0,0	199
20,6	18,5	378,8	204,2	174,6			64,8	2,5	6	0,120	0,0	205
20,8	17,5	382,3	205,7	176,6			48,7	1,8	5,2	0,156	0,0	179
21,0	18,0	385,9	207,4	178,5			52,6	2	5,4	0,140	0,0	186
21,2	18,0	389,5	209,0	180,5			48,4	1,8	5,2	0,139	0,0	179
21,4	18,5	393,2	210,7	182,5			88,3	3,3	7,2	0,122	0,0	242
21,6	18,0	396,8	212,4	184,4			84,1	3,1	7	0,166	0,0	236
21,8	18,0	400,4	214,0	186,4			84	3,1	7	0,145	0,0	236
22,0	18,0	404,0	215,6	188,4			95,8	3,5	7,6	0,134	0,0	254
22,2	18,5	407,7	217,4	190,3			99,7	3,6	7,8	0,122	0,0	259
22,4	18,0	411,3	219,0	192,3			79,5	2,9	6,8	0,141	0,0	230
22,6	18,5	415,0	220,8	194,2			87,4	3,1	7,2	0,122	0,0	242
22,8	19,5	418,9	222,7	196,2	22	31,3		0	21,8		48,9	242
23,0	18,0	422,5	224,3	198,2			47,1	1,6	5,2	0,134	0,0	179
23,2	18,0	426,1	226,0	200,1			51	1,8	5,4	0,130	0,0	186
23,4	18,5	429,8	227,7	202,1			74,8	2,6	6,6	0,125	0,0	224
23,6	18,0	433,4	229,4	204,0			74,7	2,6	6,6	0,140	0,0	224
23,8	18,5	437,1	231,1	206,0			70,5	2,4	6,4	0,119	0,0	218
24,0	18,5	440,8	232,8	208,0			62,4	2,1	6	0,116	0,0	205
24,2	18,0	444,4	234,5	209,9			58,2	1,9	5,7	0,137	0,0	199
24,4	18,0	448,0	236,1	211,9			58,1	1,9	5,7	0,132	0,0	199
24,6	17,5	451,5	237,6	213,9			45,9	1,5	5,2	0,156	0,0	179
24,8	17,5	455,0	239,2	215,8			45,8	1,5	5,2	0,156	0,0	179
25,0	18,0	458,6	240,8	217,8			33,7	1,1	4,6	0,128	0,0	157

ANALISI PROVE PENETROMETRICHE STATICHE

- Programma CPTWIN ver. 3.2 -

Committente: Comune di Carpi (MO)
Località: Tangenziale Bruno Losi Carpi (MO)
Lavoro: Ciclopedonale di scavalamento tangenziale
Data: 13/06/2022

Legenda dei parametri geotecnici :

z = Profondità (m)
g = peso di volume (kN/mc)
sv = tensione litostatica totale (kPa)
sv' = tensione litostatica effettiva (kPa)
Uo = pressione nei pori (kPa)
Id = indice di densità (%)
f = angolo d'attrito (°)
Su = resistenza al taglio non drenata (kPa)
OCR = grado di sovraconsolidamento
M = modulo confinato (MPa)
Cc = Indice di Compressibilità (-)
Go = Modulo di Taglio (MPa)
Vs = Velocità onde di Taglio (m/s)

Prova penetrometrica statica CPT n. 2

Dati del Penetrometro :

Penetrometro Statico tipo Pagani da 100 KN.

*
*
*

Apertura cono = 60°

Area Punta = 10 cmq

Area Laterale = 150 cmq

Costante di trasformazione 'Ct': 1

Profondità della falda da p.d.c.: -2.80 da p.d.c..

- Parametri Geotecnici CPT2 -

z	g	sv	sv'	Uo	Id	f	Su	OCR	M	Cc	Go	Vs
0,2												
0,4	18,5	7,3	7,3	0,0			223,7	30	13,2	0,118	0,0	392
0,6	18,5	11,0	11,0	0,0			263,6	30	15,2	0,127	0,0	434
0,8	18,0	14,6	14,6	0,0			175,4	30	10,8	0,160	0,0	337
1,0	18,5	18,3	18,3	0,0			207,3	30	12,4	0,142	0,0	374
1,2	18,5	22,0	22,0	0,0			207,1	30	12,4	0,142	0,0	374
1,4	18,0	25,6	25,6	0,0			207	30	12,4	0,234	0,0	374
1,6	18,0	29,2	29,2	0,0			218,8	30	13	0,159	0,0	387
1,8	18,5	32,9	32,9	0,0			234,7	30	13,8	0,132	0,0	405
2,0	18,5	36,6	36,6	0,0			178,5	30	11	0,122	0,0	342
2,2	18,0	40,2	40,2	0,0			126,4	25,1	8,4	0,142	0,0	276
2,4	18,5	43,9	43,9	0,0			110,2	20	7,6	0,111	0,0	254
2,6	17,5	47,4	47,4	0,0			42,1	7,1	4,2	0,196	0,0	141
2,8	18,0	51,0	51,0	0,0			46	7,2	4,4	0,126	0,0	149
3,0	20,0	55,0	53,0	2,0	22	31,4		0	10,9		27,4	157
3,2	19,5	58,9	55,0	3,9	24	32,3		0	13		32,4	179
3,4	19,5	62,8	56,9	5,9	23	31,6		0	11,5		28,8	164
3,6	19,5	66,7	58,9	7,8	21	30,8		0	10,2		25,6	149
3,8	19,5	70,6	60,8	9,8	20	30,3		0	9,5		23,8	141
4,0	18,0	74,2	62,4	11,8			57	7,3	4,9	0,126	0,0	172
4,2	18,5	77,9	64,2	13,7			40,9	5	4,2	0,107	0,0	141
4,4	18,5	81,6	65,9	15,7			44,7	5,4	4,4	0,119	0,0	149
4,6	18,5	85,3	67,6	17,7			64,59	7,6	5,4	0,114	0,0	186
4,8	18,0	88,9	69,3	19,6			40,4	4,6	4,2	0,131	0,0	141
5,0	18,0	92,5	70,9	21,6			36,29	4	4	0,129	0,0	133
5,2	18,5	96,2	72,7	23,5			48,2	5,3	4,6	0,108	0,0	157
5,4	19,5	100,1	74,6	25,5	23	31,9		0	14		34,3	186
5,6	18,0	103,7	76,2	27,5			43,9	4,6	4,4	0,141	0,0	149
5,8	18,5	107,4	78,0	29,4			59,7	6,1	5,2	0,111	0,0	179
6,0	19,5	111,3	79,9	31,4	18	29,6		0	9,9		24,2	141
6,2	20,0	115,3	81,9	33,4	25	32,4		0	15,9		38,6	205
6,4	20,0	119,3	84,0	35,3	23	31,9		0	14,8		35,9	192
6,6	17,5	122,8	85,5	37,3			35,1	3,2	4	0,147	0,0	133
6,8	18,5	126,5	87,3	39,2			46,9	4,3	4,6	0,108	0,0	157
7,0	18,0	130,1	88,9	41,2			26,8	2,4	3,6	0,122	0,0	116
7,2	18,0	133,7	90,5	43,2			30,7	2,7	3,8	0,116	0,0	125
7,4	18,0	137,3	92,2	45,1			22,5	1,9	3,4	0,118	0,0	106
7,6	20,0	141,3	94,2	47,1	21	30,7		0	12,8		30,8	172
7,8	19,5	145,2	96,2	49,1	20	30,3		0	12,1		29,2	164
8,0	18,0	148,8	97,8	51,0			46	3,7	4,6	0,135	0,0	157
8,2	18,5	152,5	99,5	53,0			41,9	3,3	4,4	0,119	0,0	149
8,4	18,5	156,2	101,3	54,9			45,8	3,6	4,6	0,115	0,0	157
8,6	20,0	160,2	103,3	56,9	22	31,1		0	14,3		34,0	186
8,8	18,5	163,9	105,0	58,9			45,4	3,4	4,6	0,108	0,0	157
9,0	18,5	167,6	106,8	60,8			45,3	3,3	4,6	0,115	0,0	157
9,2	20,0	171,6	108,8	62,8	19	30,1		0	12,4		29,5	164
9,4	18,0	175,2	110,5	64,7			25	1,8	3,6	0,122	0,0	116
9,6	18,5	178,9	112,2	66,7			20,8	1,4	3,4	0,105	0,0	106
9,8	17,5	182,4	113,7	68,7			28,7	2	3,8	0,146	0,0	125
10,0	17,5	185,9	115,3	70,6			16,6	1,1	3,2	0,141	0,0	97

ANALISI PROVE PENETROMETRICHE STATICHE

- Programma CPTWIN ver. 3.2 -

Committente: Comune di Carpi (MO)
Localita': Tangenziale Bruno Losi Carpi (MO)
Lavoro: Ciclopedonale di scavalamento tangenziale
Data: 13/06/2022

Prova penetrometrica statica CPT n. 2

Dati del Penetrometro :

Penetrometro Statico tipo Pagani da 100 KN.

* Apertura cono = 60°

* Area Punta = 10 cmq

* Area Laterale = 150 cmq

Costante di trasformazione 'Ct': 1

Profondità della falda da p.d.c.: -2.80 da p.d.c..

Legenda dei parametri geotecnici :

z = Profondità (m)

g = peso di volume (kN/mc)

sv = tensione litostatica totale (kPa)

sv' = tensione litostatica effettiva (kPa)

Uo = pressione nei pori (kPa)

Id = indice di densità (%)

f = angolo d'attrito ($^\circ$)

Su = resistenza al taglio non drenata (kPa)

OCR = grado di sovraconsolidamento

M = modulo confinato (MPa)

Cc = Indice di Compressibilità (-)

Go = Modulo di Taglio (MPa)

Vs = Velocità onde di Taglio (m/s)

- Parametri Geotecnici CPT2 -

z	g	sv	sv'	Uo	Id	f	Su	OCR	M	Cc	Go	Vs
10,2	19,5	189,8	117,2	72,6	20	30,5		0	13,9		32,9	179
10,4	17,5	193,3	118,7	74,6			24,3	1,6	3,6	0,156	0,0	116
10,6	19,5	197,2	120,7	76,5	18	29,5		0	11,7		27,6	157
10,8	18,0	200,8	122,3	78,5			28	1,8	3,8	0,126	0,0	125
11,0	17,5	204,3	123,9	80,4			11,8	0,7	2,6	0,138	0,0	86
11,2	19,5	208,2	125,8	82,4	22	31,2		0	15,9		37,4	199
11,4	19,5	212,1	127,7	84,4	22	31,1		0	15,9		37,4	199
11,6	18,0	215,7	129,4	86,3			31,4	1,9	4	0,129	0,0	133
11,8	18,5	219,4	131,1	88,3			43,2	2,6	4,6	0,115	0,0	157
12,0	18,0	223,0	132,7	90,3			39,1	2,3	4,4	0,126	0,0	149
12,2	18,0	226,6	134,4	92,2			42,9	2,5	4,6	0,135	0,0	157
12,4	20,0	230,6	136,4	94,2	23	31,7		0	18,1		42,2	218
12,6	17,5	234,1	138,0	96,1			42,6	2,4	4,6	0,169	0,0	157
12,8	20,0	238,1	140,0	98,1	21	30,9		0	16,2		37,8	199
13,0	18,0	241,7	141,6	100,1			34,29	1,9	4,2	0,123	0,0	141
13,2	19,5	245,6	143,6	102,0	15	27,8		0	9,4		22,2	133
13,4	18,5	249,3	145,3	104,0			58	3,1	5,4	0,109	0,0	186
13,6	19,5	253,2	147,3	105,9	22	31,3		0	17,6		40,8	212
13,8	19,5	257,1	149,2	107,9	18	29,6		0	13,5		31,4	172
14,0	19,5	261,0	151,1	109,9	16	28,5		0	11,1		26,0	149
14,2	18,0	264,6	152,8	111,8			29,4	1,5	4	0,129	0,0	133
14,4	18,0	268,2	154,4	113,8			21,3	1,1	3,6	0,122	0,0	116
14,6	17,5	271,7	155,9	115,8			21,1	1	3,6	0,156	0,0	116
14,8	18,0	275,3	157,6	117,7			29	1,4	4	0,129	0,0	133
15,0	18,5	279,0	159,3	119,7			28,8	1,4	4	0,111	0,0	133
15,2	17,5	282,5	160,9	121,6			20,7	1	3,6	0,167	0,0	116
15,4	20,0	286,5	162,9	123,6	19	30,0		0	15		34,6	186
15,6	18,5	290,2	164,6	125,6			48,4	2,3	4,9	0,120	0,0	172
15,8	17,5	293,7	166,2	127,5			24,3	1,1	3,8	0,175	0,0	125
16,0	17,5	297,2	167,7	129,5			20,1	0,9	3,6	0,156	0,0	116
16,2	18,0	300,8	169,3	131,5			28	1,3	4	0,120	0,0	133
16,4	17,5	304,3	170,9	133,4			19,8	0,9	3,6	0,167	0,0	116
16,6	18,0	307,9	172,5	135,4			19,7	0,9	3,6	0,122	0,0	116
16,8	18,0	311,5	174,2	137,3			19,5	0,8	3,6	0,134	0,0	116
17,0	18,0	315,1	175,8	139,3			27,4	1,2	4	0,138	0,0	133
17,2	18,0	318,7	177,4	141,3			31,3	1,4	4,2	0,131	0,0	141
17,4	17,5	322,2	179,0	143,2			15,1	0,6	3,4	0,194	0,0	106
17,6	17,5	325,7	180,5	145,2			35	1,5	4,4	0,148	0,0	149
17,8	17,5	329,2	182,1	147,2			38,79	1,7	4,6	0,156	0,0	157
18,0	18,0	332,8	183,7	149,1			42,7	1,8	4,8	0,137	0,0	164
18,2	18,0	336,4	185,3	151,1			58,5	2,5	5,6	0,126	0,0	192
18,4	17,5	339,9	186,9	153,0			58,4	2,5	5,6	0,166	0,0	192
18,6	18,0	343,5	188,5	155,0			74,3	3,1	6,4	0,140	0,0	218
18,8	18,0	347,1	190,1	157,0			78,09	3,2	6,6	0,152	0,0	224
19,0	18,0	350,7	191,8	158,9			90	3,7	7,2	0,139	0,0	242
19,2	18,0	354,3	193,4	160,9			81,8	3,3	6,8	0,148	0,0	230
19,4	18,0	357,9	195,1	162,8			65,7	2,6	6	0,156	0,0	205
19,6	17,5	361,4	196,6	164,8			49,5	2	5,2	0,167	0,0	179
19,8	18,5	365,1	198,3	166,8			73,4	2,9	6,4	0,123	0,0	218
20,0	18,0	368,7	200,0	168,7			73,3	2,9	6,4	0,131	0,0	218

ANALISI PROVE PENETROMETRICHE STATICHE

- Programma CPTWIN ver. 3.2 -

Committente: Comune di Carpi (MO)
 Localita': Tangenziale Bruno Losi Carpi (MO)
 Lavoro: Ciclopedonale di scavalco tangenziale
 Data: 13/06/2022

Prova penetrometrica statica CPT n. 2

Dati del Penetrometro :

Penetrometro Statico tipo Pagani da 100 KN.

* Apertura cono = 60°

* Area Punta = 10 cmq

* Area Laterale = 150 cmq

Costante di trasformazione 'Ct': 1

Profondità della falda da p.d.c.: -2.80 da p.d.c..

Legenda dei parametri geotecnici :

z = Profondità (m)

g = peso di volume (kN/mc)

sv = tensione litostatica totale (kPa)

sv' = tensione litostatica effettiva (kPa)

Uo = pressione nei pori (kPa)

Id = indice di densità (%)

f = angolo d'attrito (°)

Su = resistenza al taglio non drenata (kPa)

OCR = grado di sovraconsolidamento

M = modulo confinato (MPa)

Cc = Indice di Compressibilità (-)

Go = Modulo di Taglio (MPa)

Vs = Velocità onde di Taglio (m/s)

- Parametri Geotecnici CPT2 -

z	g	sv	sv'	Uo	Id	f	Su	OCR	M	Cc	Go	Vs
20,2	17,5	372,2	201,5	170,7			61,1	2,4	5,7	0,160	0,0	199
20,4	18,0	375,8	203,1	172,7			57	2,2	5,6	0,146	0,0	192
20,6	17,5	379,3	204,7	174,6			52,8	2	5,4	0,166	0,0	186
20,8	18,5	383,0	206,4	176,6			72,7	2,8	6,4	0,123	0,0	218
21,0	18,0	386,6	208,1	178,5			92,5	3,5	7,4	0,133	0,0	248
21,2	18,5	390,3	209,8	180,5			108,4	4,1	8,2	0,113	0,0	270
21,4	19,5	394,2	211,7	182,5	24	31,9	0		23,5		52,8	259
21,6	19,5	398,1	213,7	184,4	23	31,8	0		23,1		51,9	254
21,8	19,5	402,0	215,6	186,4	23	31,6	0		22,3		50,0	248
22,0	19,5	405,9	217,5	188,4	22	31,2	0		21		47,1	236
22,2	18,5	409,6	219,3	190,3			75,59	2,7	6,6	0,117	0,0	224
22,4	19,5	413,5	221,2	192,3	21	30,9	0		20,5		46,0	230
22,6	18,5	417,2	223,0	194,2			55,3	1,9	5,6	0,121	0,0	192
22,8	18,5	420,9	224,7	196,2			51,2	1,8	5,4	0,114	0,0	186
23,0	18,5	424,6	226,4	198,2			59	2	5,7	0,109	0,0	199
23,2	18,0	428,2	228,1	200,1			66,9	2,3	6,2	0,135	0,0	212
23,4	18,0	431,8	229,7	202,1			74,7	2,6	6,6	0,133	0,0	224
23,6	18,5	435,5	231,5	204,0			58,6	2	5,7	0,118	0,0	199
23,8	18,0	439,1	233,1	206,0			38,4	1,3	4,8	0,130	0,0	164
24,0	18,0	442,7	234,7	208,0			38,29	1,3	4,8	0,137	0,0	164
24,2	18,0	446,3	236,4	209,9			30,1	1	4,4	0,134	0,0	149
24,4	18,5	450,0	238,1	211,9			38	1,2	4,8	0,118	0,0	164
24,6	18,0	453,6	239,7	213,9			41,9	1,3	4,9	0,132	0,0	172
24,8	18,0	457,2	241,4	215,8			45,7	1,5	5,2	0,139	0,0	179
25,0	18,5	460,9	243,1	217,8			77,59	2,5	6,8	0,119	0,0	230

**STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA CPT1
Tangenziale Bruno Losi Carpi (MO)**

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Cu (KPa)
Strato 1	2,00	2,227119	0,168674	19,3	19,3	Terzaghi	111,8
Strato 2	6,00	0,982947	0,047377	75,0	63,2	Terzaghi	49,0
Strato 3	13,80	1,387382	0,047436	183,9	114,3	Terzaghi	69,6
Strato 4	18,00	0,932323	0,048232	294,1	165,6	Terzaghi	47,1
Strato 5	25,00	1,908453	0,104602	398,9	215,5	Terzaghi	95,1

Modulo Edometrico

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Eed (Mpa)
Strato 1	2,00	2,227119	0,168674	19,3	19,3	Metodo generale del modulo Edometrico	4,5
Strato 2	6,00	0,982947	0,047377	75,0	63,2	Metodo generale del modulo Edometrico	4,3
Strato 3	13,80	1,387382	0,047436	183,9	114,3	Metodo generale del modulo Edometrico	4,7
Strato 4	18,00	0,932323	0,048232	294,1	165,6	Metodo generale del modulo Edometrico	4,2
Strato 5	25,00	1,908453	0,104602	398,9	215,5	Metodo generale del modulo Edometrico	4,2

Modulo di deformazione non drenato Eu

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Eu (Mpa)
Strato 1	2,00	2,227119	0,168674	19,3	19,3	Cancelli 1980	82,8
Strato 2	6,00	0,982947	0,047377	75,0	63,2	Cancelli 1980	34,5
Strato 3	13,80	1,387382	0,047436	183,9	114,3	Cancelli 1980	47,7
Strato 4	18,00	0,932323	0,048232	294,1	165,6	Cancelli 1980	28,8
Strato 5	25,00	1,908453	0,104602	398,9	215,5	Cancelli 1980	63,5

Modulo di deformazione a taglio

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Modulo di deformazione e a taglio (Mpa)
Strato 1	2,00	2,227119	0,168674	19,3	19,3	Imai & Tomauchi	18,5
Strato 2	6,00	0,982947	0,047377	75,0	63,2	Imai & Tomauchi	11,2
Strato 3	13,80	1,387382	0,047436	183,9	114,3	Imai & Tomauchi	13,9
Strato 4	18,00	0,932323	0,048232	294,1	165,6	Imai & Tomauchi	10,9
Strato 5	25,00	1,908453	0,104602	398,9	215,5	Imai & Tomauchi	16,8

Grado di sovraconsolidazione

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Ocr
Strato 1	2,00	2,227119	0,168674	19,3	19,3	Piacentini Righi 1978	>9
Strato 2	6,00	0,982947	0,047377	75,0	63,2	Piacentini Righi 1978	5,35
Strato 3	13,80	1,387382	0,047436	183,9	114,3	Piacentini Righi 1978	2,91
Strato 4	18,00	0,932323	0,048232	294,1	165,6	Piacentini Righi 1978	2
Strato 5	25,00	1,908453	0,104602	398,9	215,5	Piacentini Righi 1978	3,35

Peso unità di volume

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Peso unità di volume (KN/m ³)
Strato 1	2,00	2,227119	0,168674	19,3	19,3	Meyerhof	19,5
Strato 2	6,00	0,982947	0,047377	75,0	63,2	Meyerhof	18,1
Strato 3	13,80	1,387382	0,047436	183,9	114,3	Meyerhof	18,6
Strato 4	18,00	0,932323	0,048232	294,1	165,6	Meyerhof	17,8
Strato 5	25,00	1,908453	0,104602	398,9	215,5	Meyerhof	19,1

Fattori di compressibilità C Crm

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	C	Crm
Strato 1	2,00	2,227119	0,168674	19,3	19,3	0,12556	0,01632
Strato 2	6,00	0,982947	0,047377	75,0	63,2	0,19969	0,02596
Strato 3	13,80	1,387382	0,047436	183,9	114,3	0,16101	0,02093
Strato 4	18,00	0,932323	0,048232	294,1	165,6	0,2069	0,0269
Strato 5	25,00	1,908453	0,104602	398,9	215,5	0,13534	0,01759

Peso unità di volume saturo

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (KN/m ³)
Strato 1	2,00	2,227119	0,168674	19,3	19,3	Meyerhof	20,3
Strato 2	6,00	0,982947	0,047377	75,0	63,2	Meyerhof	18,9
Strato 3	13,80	1,387382	0,047436	183,9	114,3	Meyerhof	19,4
Strato 4	18,00	0,932323	0,048232	294,1	165,6	Meyerhof	18,6
Strato 5	25,00	1,908453	0,104602	398,9	215,5	Meyerhof	19,9

Velocità onde di taglio

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Vs (m/s)
Strato 1	2,00	2,227119	0,168674	19,3	19,3	Baldi et. al. 1989 Andrus et. al. 2001	194,72
Strato 2	6,00	0,982947	0,047377	75,0	63,2	Baldi et. al. 1989 Andrus et. al. 2001	202,92
Strato 3	13,80	1,387382	0,047436	183,9	114,3	Baldi et. al. 1989 Andrus et. al. 2001	237,37
Strato 4	18,00	0,932323	0,048232	294,1	165,6	Baldi et. al. 1989 Andrus et. al. 2001	234,34
Strato 5	25,00	1,908453	0,104602	398,9	215,5	Baldi et. al. 1989 Andrus et. al. 2001	278,23

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato 3	13,80	1,387382	0,047436	183,9	114,3		<5

Angolo di resistenza al taglio

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato 3	13,80	1,387382	0,047436	183,9	114,3	Durgunouglu-Mitchell 1973	26,4

Modulo di Young

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Modulo di Young (Mpa)
Strato 3	13,80	1,387382	0,047436	183,9	114,3	Schmertmann	3,5

Modulo Edometrico

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Modulo Edometrico (Mpa)
Strato 3	13,80	1,387382	0,047436	183,9	114,3	Robertson & Campanella da Schmertmann	1,8

Modulo di deformazione a taglio

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	G (Mpa)
Strato 3	13,80	1,387382	0,047436	183,9	114,3	Imai & Tomauchi	13,9

Grado di sovraconsolidazione

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Ocr
Strato 3	13,80	1,387382	0,047436	183,9	114,3	Stress-History	<0.5

Modulo di reazione Ko

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Ko
Strato 3	13,80	1,387382	0,047436	183,9	114,3	Kulhawy & Mayne (1990)	0,00

Fattori di compressibilità C Crm

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	C	Crm
Strato 3	13,80	1,387382	0,047436	183,9	114,3	0,16101	0,02093

Peso unità di volume

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Peso unità di volume (KN/m ³)
Strato 3	13,80	1,387382	0,047436	183,9	114,3	Meyerhof	17,7

Peso unità di volume saturo

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (KN/m ³)
Strato 3	13,80	1,387382	0,047436	183,9	114,3	Meyerhof	20,6

Velocità onde di taglio.

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Vs (m/s)
Strato 3	13,80	1,387382	0,047436	183,9	114,3	Baldi et. al. 1989 Andrus et. al. 2001	242,58

Permeabilità

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	K (cm/s)
Strato 1	2,00	2,227119	0,168674	19,3	19,3	Piacentini-Righi 1988	1,00E-11
Strato 2	6,00	0,982947	0,047377	75,0	63,2	Piacentini-Righi 1988	4,50E-09
Strato 3	13,80	1,387382	0,047436	183,9	114,3	Piacentini-Righi 1988	1,55E-06
Strato 4	18,00	0,932323	0,048232	294,1	165,6	Piacentini-Righi 1988	9,66E-10
Strato 5	25,00	1,908453	0,104602	398,9	215,5	Piacentini-Righi 1988	5,70E-11

Coefficiente di consolidazione

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Tensione litostatica totale (KPa)	Tensione litostatica efficace (KPa)	Correlazione	Coefficiente di consolidazione (cm ² /s)
Strato 1	2,00	2,227119	0,168674	19,3	19,3	Piacentini-Righi 1988	6,813087E-07
Strato 2	6,00	0,982947	0,047377	75,0	63,2	Piacentini-Righi 1988	1,352278E-04
Strato 3	13,80	1,387382	0,047436	183,9	114,3	Piacentini-Righi 1988	6,591467E-02
Strato 4	18,00	0,932323	0,048232	294,1	165,6	Piacentini-Righi 1988	2,755337E-05
Strato 5	25,00	1,908453	0,104602	398,9	215,5	Piacentini-Righi 1988	3,329424E-06

Allegato N. 7

**“RISCHIO LIQUEFAZIONE E CALCOLO CEDIMENTI POST-SISMICI
PROVE CPT1-CPT2”**

- dati e diagrammi Software "LiqIT v.4.7.7.5" GEOLOGISMIKI -

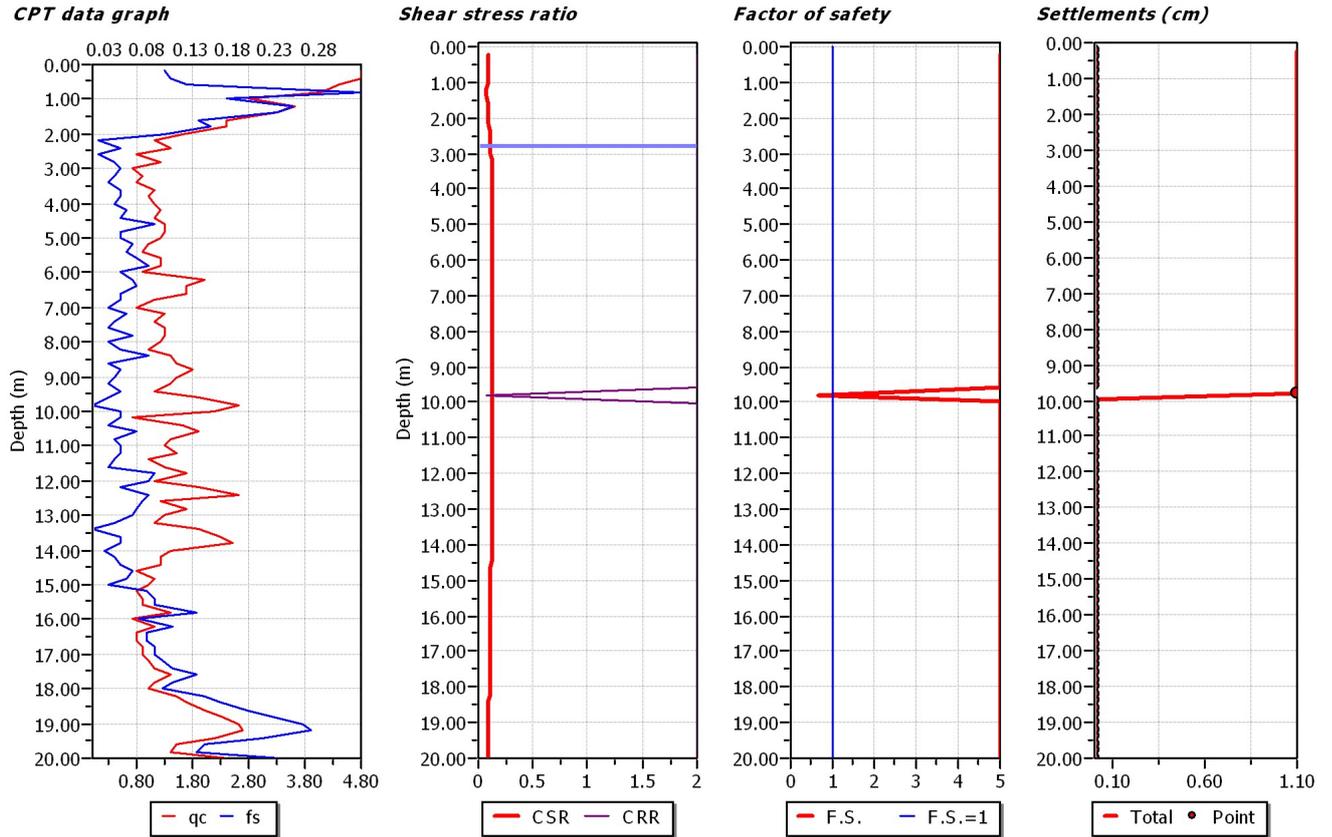
LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

Project title : Progetto per la costruzione di una pista ciclopedonale di scavalamento alla tangenziale di Carpi (MO).

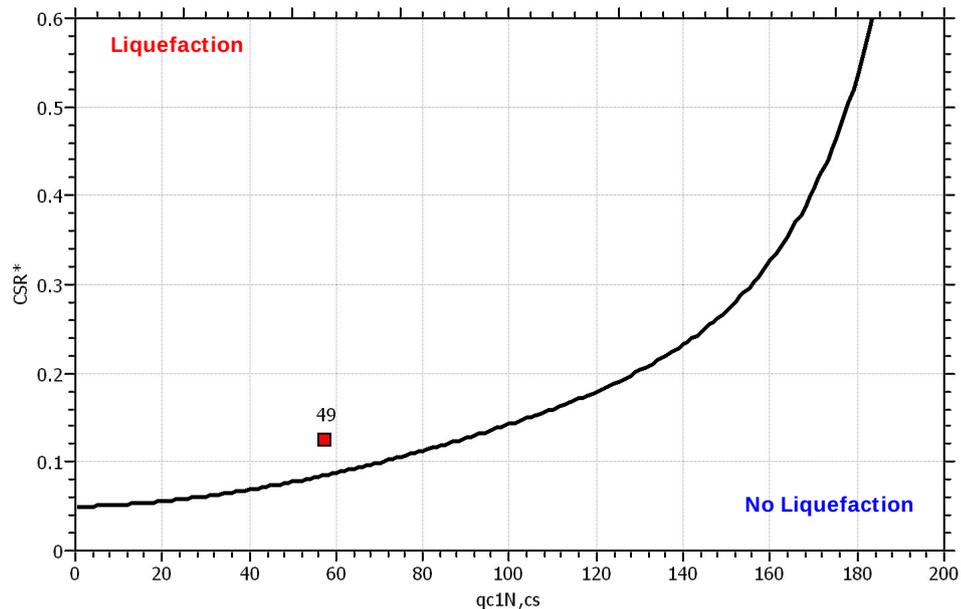
Project subtitle : Verifica a liquefazione prova CPT1

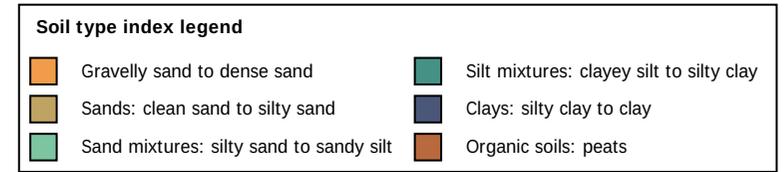
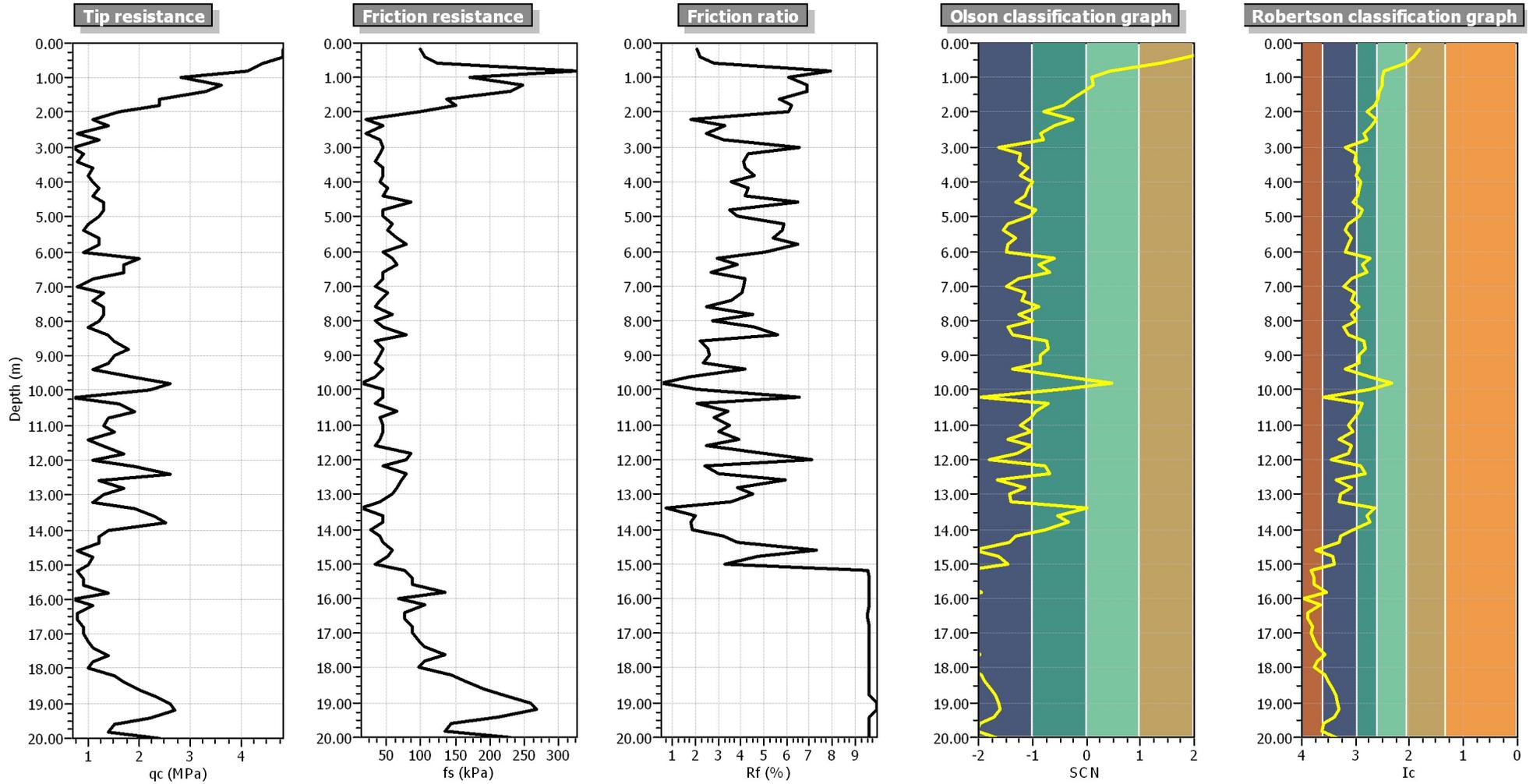
Input parameters and analysis data

In-situ data type:	Cone Penetration Test	Depth to water table:	2.80 m
Analysis type:	Deterministic	Earthquake magnitude M_w :	6.14
Analysis method:	Boulanger & Idriss (2004)	Peak ground acceleration:	0.22 g
Fines correction method:	Boulanger & Idriss	User defined F.S.:	1.00



$M_w=7^{1/2}$, $\sigma'_v=1$ atm base curve





:: Field input data ::

Point ID	Depth (m)	q _c (MPa)	f _s (kPa)	Fines content (%)	Unit weight (kN/m ³)
1	0.20	4.80	98.10	8.71	19.00
2	0.40	4.80	104.60	11.06	19.00
3	0.60	4.40	124.20	15.12	19.00
4	0.80	4.10	326.90	29.05	19.00
5	1.00	2.80	170.00	30.40	19.00
6	1.20	3.60	248.40	31.05	19.00
7	1.40	3.30	228.80	33.31	19.00
8	1.60	2.40	137.30	35.54	19.00
9	1.80	2.40	150.40	38.17	19.00
10	2.00	1.60	98.10	45.23	19.00
11	2.20	1.10	19.60	35.90	19.00
12	2.40	1.40	45.80	40.55	19.00
13	2.60	0.80	19.60	48.81	19.00
14	2.80	1.20	39.20	45.80	19.00
15	3.00	0.70	45.80	71.48	19.00
16	3.20	0.90	39.20	58.15	19.00
17	3.40	0.80	32.70	60.82	19.00
18	3.60	1.10	45.80	54.14	19.00
19	3.80	1.00	45.80	58.78	19.00
20	4.00	1.10	39.20	52.91	19.00
21	4.20	1.20	52.30	54.90	19.00
22	4.40	1.10	45.80	56.86	19.00
23	4.60	1.30	85.00	61.81	19.00
24	4.80	1.30	45.80	51.30	19.00
25	5.00	1.20	45.80	55.13	19.00
26	5.20	1.00	58.80	68.76	19.00
27	5.40	0.90	52.30	72.46	19.00
28	5.60	1.20	65.40	63.52	19.00
29	5.80	1.20	78.50	67.88	19.00
30	6.00	0.90	45.80	72.08	19.00
31	6.20	2.00	58.80	42.50	19.00
32	6.40	1.70	65.40	50.67	19.00
33	6.60	1.70	45.80	45.50	19.00
34	6.80	1.10	45.80	64.65	19.00
35	7.00	0.80	32.70	75.68	19.00
36	7.20	1.30	52.30	60.33	19.00
37	7.40	1.10	39.20	63.63	19.00
38	7.60	1.30	32.70	53.39	19.00
39	7.80	1.30	58.80	64.22	19.00
40	8.00	1.20	32.70	58.02	19.00
41	8.20	1.00	45.80	74.33	19.00
42	8.40	1.40	78.50	67.98	19.00
43	8.60	1.50	32.70	49.69	19.00
44	8.80	1.80	45.80	47.78	19.00
45	9.00	1.50	39.20	53.37	19.00
46	9.20	1.40	32.70	53.99	19.00
47	9.40	1.10	45.80	72.83	19.00
48	9.60	1.90	32.70	42.36	19.00
49	9.80	2.60	13.10	24.06	19.00
50	10.00	2.20	45.80	42.18	19.00
51	10.20	0.70	45.80	100.00	19.00
52	10.40	1.60	32.70	50.70	19.00
53	10.60	1.90	65.40	54.82	19.00
54	10.80	1.40	39.20	60.74	19.00
55	11.00	1.30	45.80	68.03	19.00

:: Field input data (continued) ::

Point ID	Depth (m)	q _c (MPa)	f _s (kPa)	Fines content (%)	Unit weight (kN/m ³)
56	11.20	1.50	45.80	60.97	19.00
57	11.40	1.00	39.20	81.94	19.00
58	11.60	1.30	32.70	63.30	19.00
59	11.80	1.70	85.00	67.87	19.00
60	12.00	1.10	78.50	93.52	19.00
61	12.20	1.90	45.80	51.79	19.00
62	12.40	2.60	78.50	47.47	19.00
63	12.60	1.20	71.90	87.27	19.00
64	12.80	1.70	65.40	64.73	19.00
65	13.00	1.30	58.80	78.62	19.00
66	13.20	1.10	39.20	81.36	19.00
67	13.40	1.90	13.10	37.63	19.00
68	13.60	2.30	45.80	45.87	19.00
69	13.80	2.50	45.80	42.82	19.00
70	14.00	1.40	26.20	61.13	19.00
71	14.20	1.20	39.20	78.43	19.00
72	14.40	1.20	45.80	82.34	19.00
73	14.60	0.80	58.80	100.00	19.00
74	14.80	1.10	52.30	92.56	19.00
75	15.00	1.00	32.70	89.79	19.00
76	15.20	0.80	76.90	100.00	19.00
77	15.40	0.90	86.60	100.00	19.00
78	15.60	0.90	86.60	100.00	19.00
79	15.80	1.40	134.60	100.00	19.00
80	16.00	0.70	67.30	100.00	19.00
81	16.20	1.10	105.80	100.00	19.00
82	16.40	0.80	76.90	100.00	19.00
83	16.60	0.80	76.90	100.00	19.00
84	16.80	0.90	86.60	100.00	19.00
85	17.00	0.90	86.60	100.00	19.00
86	17.20	1.00	96.20	100.00	19.00
87	17.40	1.10	105.80	100.00	19.00
88	17.60	1.40	134.60	100.00	19.00
89	17.80	1.10	105.80	100.00	19.00
90	18.00	1.00	96.20	100.00	19.00
91	18.20	1.50	144.30	100.00	19.00
92	18.40	1.70	163.50	98.75	19.00
93	18.60	2.00	192.30	92.07	19.00
94	18.80	2.30	221.20	86.93	19.00
95	19.00	2.60	259.70	83.75	19.00
96	19.20	2.70	269.30	82.72	19.00
97	19.40	2.20	211.60	89.75	19.00
98	19.60	1.50	144.30	100.00	19.00
99	19.80	1.40	134.60	100.00	19.00
100	20.00	2.40	230.80	87.43	19.00

Depth : Depth from free surface, at which CPT was performed (m)
q_c : Measured cone resistance
f_s : Sleeve friction resistance
Fines content : Percentage of fines in soil (%)
Unit weight : Bulk soil unit weight (kPa)

:: Cyclic Stress Ratio calculation (CSR fully adjusted and normalized) ::

Point ID	Depth (m)	Sigma (kPa)	u (kPa)	Sigma' (kPa)	r _d	CSR	MSF	CSR _{eq,M=7.5}	K _{sigma}	CSR*
1	0.20	3.80	0.00	3.80	1.00	0.14	1.67	0.09	1.00	0.09

:: Cyclic Stress Ratio calculation (CSR fully adjusted and normalized) (continued) ::

Point ID	Depth (m)	Sigma (kPa)	u (kPa)	Sigma' (kPa)	r _d	CSR	MSF	CSR _{eq,M=7.5}	K _{sigma}	CSR*
2	0.40	7.60	0.00	7.60	1.00	0.14	1.67	0.09	1.00	0.09
3	0.60	11.40	0.00	11.40	1.00	0.14	1.67	0.09	1.00	0.09
4	0.80	15.20	0.00	15.20	1.00	0.14	1.67	0.09	1.00	0.09
5	1.00	19.00	0.00	19.00	0.99	0.14	1.67	0.09	1.00	0.09
6	1.20	22.80	0.00	22.80	0.99	0.14	1.67	0.08	1.00	0.08
7	1.40	26.60	0.00	26.60	0.99	0.14	1.67	0.08	1.00	0.08
8	1.60	30.40	1.96	28.44	0.99	0.15	1.67	0.09	1.00	0.09
9	1.80	34.20	3.92	30.28	0.98	0.16	1.67	0.10	1.00	0.10
10	2.00	38.00	5.89	32.11	0.98	0.17	1.67	0.10	1.00	0.10
11	2.20	41.80	7.85	33.95	0.98	0.17	1.67	0.10	1.00	0.10
12	2.40	45.60	9.81	35.79	0.97	0.18	1.67	0.11	1.00	0.11
13	2.60	49.40	11.77	37.63	0.97	0.18	1.67	0.11	1.00	0.11
14	2.80	53.20	13.73	39.47	0.97	0.19	1.67	0.11	1.00	0.11
15	3.00	57.00	15.70	41.30	0.96	0.19	1.67	0.11	1.00	0.11
16	3.20	60.80	17.66	43.14	0.96	0.19	1.67	0.12	1.00	0.12
17	3.40	64.60	19.62	44.98	0.95	0.20	1.67	0.12	1.00	0.12
18	3.60	68.40	21.58	46.82	0.95	0.20	1.67	0.12	1.00	0.12
19	3.80	72.20	23.54	48.66	0.95	0.20	1.67	0.12	1.00	0.12
20	4.00	76.00	25.51	50.49	0.94	0.20	1.67	0.12	1.00	0.12
21	4.20	79.80	27.47	52.33	0.94	0.20	1.67	0.12	1.00	0.12
22	4.40	83.60	29.43	54.17	0.93	0.21	1.67	0.12	1.00	0.12
23	4.60	87.40	31.39	56.01	0.93	0.21	1.67	0.12	1.00	0.12
24	4.80	91.20	33.35	57.85	0.93	0.21	1.67	0.13	1.00	0.13
25	5.00	95.00	35.32	59.68	0.92	0.21	1.67	0.13	1.00	0.13
26	5.20	98.80	37.28	61.52	0.92	0.21	1.67	0.13	1.00	0.13
27	5.40	102.60	39.24	63.36	0.91	0.21	1.67	0.13	1.00	0.13
28	5.60	106.40	41.20	65.20	0.91	0.21	1.67	0.13	1.00	0.13
29	5.80	110.20	43.16	67.04	0.91	0.21	1.67	0.13	1.00	0.13
30	6.00	114.00	45.13	68.87	0.90	0.21	1.67	0.13	1.00	0.13
31	6.20	117.80	47.09	70.71	0.90	0.21	1.67	0.13	1.00	0.13
32	6.40	121.60	49.05	72.55	0.89	0.21	1.67	0.13	1.00	0.13
33	6.60	125.40	51.01	74.39	0.89	0.21	1.67	0.13	1.00	0.13
34	6.80	129.20	52.97	76.23	0.88	0.21	1.67	0.13	1.00	0.13
35	7.00	133.00	54.94	78.06	0.88	0.21	1.67	0.13	1.00	0.13
36	7.20	136.80	56.90	79.90	0.87	0.21	1.67	0.13	1.00	0.13
37	7.40	140.60	58.86	81.74	0.87	0.21	1.67	0.13	1.00	0.13
38	7.60	144.40	60.82	83.58	0.86	0.21	1.67	0.13	1.00	0.13
39	7.80	148.20	62.78	85.42	0.86	0.21	1.67	0.13	1.00	0.13
40	8.00	152.00	64.75	87.25	0.86	0.21	1.67	0.13	1.00	0.13
41	8.20	155.80	66.71	89.09	0.85	0.21	1.67	0.13	1.00	0.13
42	8.40	159.60	68.67	90.93	0.85	0.21	1.67	0.13	1.00	0.13
43	8.60	163.40	70.63	92.77	0.84	0.21	1.67	0.13	1.00	0.13
44	8.80	167.20	72.59	94.61	0.84	0.21	1.67	0.13	1.00	0.13
45	9.00	171.00	74.56	96.44	0.83	0.21	1.67	0.13	1.00	0.13
46	9.20	174.80	76.52	98.28	0.83	0.21	1.67	0.13	0.99	0.13
47	9.40	178.60	78.48	100.12	0.82	0.21	1.67	0.13	0.99	0.13
48	9.60	182.40	80.44	101.96	0.82	0.21	1.67	0.13	0.99	0.13
49	9.80	186.20	82.40	103.80	0.81	0.21	1.67	0.12	0.99	0.13
50	10.00	190.00	84.37	105.63	0.81	0.21	1.67	0.12	0.99	0.13
51	10.20	193.80	86.33	107.47	0.80	0.21	1.67	0.12	0.99	0.13
52	10.40	197.60	88.29	109.31	0.80	0.21	1.67	0.12	0.99	0.12
53	10.60	201.40	90.25	111.15	0.79	0.21	1.67	0.12	0.99	0.12
54	10.80	205.20	92.21	112.99	0.79	0.20	1.67	0.12	0.99	0.12
55	11.00	209.00	94.18	114.82	0.78	0.20	1.67	0.12	0.99	0.12
56	11.20	212.80	96.14	116.66	0.78	0.20	1.67	0.12	0.99	0.12

:: Cyclic Stress Ratio calculation (CSR fully adjusted and normalized) (continued) ::

Point ID	Depth (m)	Sigma (kPa)	u (kPa)	Sigma' (kPa)	r _d	CSR	MSF	CSR _{eq,M=7.5}	K _{sigma}	CSR*
57	11.40	216.60	98.10	118.50	0.77	0.20	1.67	0.12	0.99	0.12
58	11.60	220.40	100.06	120.34	0.77	0.20	1.67	0.12	0.99	0.12
59	11.80	224.20	102.02	122.18	0.76	0.20	1.67	0.12	0.99	0.12
60	12.00	228.00	103.99	124.01	0.76	0.20	1.67	0.12	0.99	0.12
61	12.20	231.80	105.95	125.85	0.76	0.20	1.67	0.12	0.98	0.12
62	12.40	235.60	107.91	127.69	0.75	0.20	1.67	0.12	0.98	0.12
63	12.60	239.40	109.87	129.53	0.75	0.20	1.67	0.12	0.98	0.12
64	12.80	243.20	111.83	131.37	0.74	0.20	1.67	0.12	0.98	0.12
65	13.00	247.00	113.80	133.20	0.74	0.20	1.67	0.12	0.98	0.12
66	13.20	250.80	115.76	135.04	0.73	0.19	1.67	0.12	0.98	0.12
67	13.40	254.60	117.72	136.88	0.73	0.19	1.67	0.12	0.98	0.12
68	13.60	258.40	119.68	138.72	0.72	0.19	1.67	0.12	0.98	0.12
69	13.80	262.20	121.64	140.56	0.72	0.19	1.67	0.11	0.98	0.12
70	14.00	266.00	123.61	142.39	0.71	0.19	1.67	0.11	0.98	0.12
71	14.20	269.80	125.57	144.23	0.71	0.19	1.67	0.11	0.98	0.12
72	14.40	273.60	127.53	146.07	0.70	0.19	1.67	0.11	0.98	0.12
73	14.60	277.40	129.49	147.91	0.70	0.19	1.67	0.11	0.98	0.11
74	14.80	281.20	131.45	149.75	0.70	0.19	1.67	0.11	0.98	0.11
75	15.00	285.00	133.42	151.58	0.69	0.19	1.67	0.11	0.98	0.11
76	15.20	288.80	135.38	153.42	0.69	0.18	1.67	0.11	0.98	0.11
77	15.40	292.60	137.34	155.26	0.68	0.18	1.67	0.11	0.98	0.11
78	15.60	296.40	139.30	157.10	0.68	0.18	1.67	0.11	0.98	0.11
79	15.80	300.20	141.26	158.94	0.67	0.18	1.67	0.11	0.98	0.11
80	16.00	304.00	143.23	160.77	0.67	0.18	1.67	0.11	0.98	0.11
81	16.20	307.80	145.19	162.61	0.66	0.18	1.67	0.11	0.98	0.11
82	16.40	311.60	147.15	164.45	0.66	0.18	1.67	0.11	0.98	0.11
83	16.60	315.40	149.11	166.29	0.66	0.18	1.67	0.11	0.98	0.11
84	16.80	319.20	151.07	168.13	0.65	0.18	1.67	0.11	0.98	0.11
85	17.00	323.00	153.04	169.96	0.65	0.18	1.67	0.11	0.98	0.11
86	17.20	326.80	155.00	171.80	0.64	0.18	1.67	0.11	0.97	0.11
87	17.40	330.60	156.96	173.64	0.64	0.17	1.67	0.10	0.97	0.11
88	17.60	334.40	158.92	175.48	0.64	0.17	1.67	0.10	0.97	0.11
89	17.80	338.20	160.88	177.32	0.63	0.17	1.67	0.10	0.97	0.11
90	18.00	342.00	162.85	179.15	0.63	0.17	1.67	0.10	0.97	0.11
91	18.20	345.80	164.81	180.99	0.62	0.17	1.67	0.10	0.97	0.11
92	18.40	349.60	166.77	182.83	0.62	0.17	1.67	0.10	0.97	0.10
93	18.60	353.40	168.73	184.67	0.62	0.17	1.67	0.10	0.97	0.10
94	18.80	357.20	170.69	186.51	0.61	0.17	1.67	0.10	0.97	0.10
95	19.00	361.00	172.66	188.34	0.61	0.17	1.67	0.10	0.97	0.10
96	19.20	364.80	174.62	190.18	0.61	0.17	1.67	0.10	0.97	0.10
97	19.40	368.60	176.58	192.02	0.60	0.17	1.67	0.10	0.97	0.10
98	19.60	372.40	178.54	193.86	0.60	0.16	1.67	0.10	0.97	0.10
99	19.80	376.20	180.50	195.70	0.59	0.16	1.67	0.10	0.97	0.10
100	20.00	380.00	182.47	197.53	0.59	0.16	1.67	0.10	0.96	0.10

Depth : Depth from free surface, at which CPT was performed (m)
 Sigma : Total overburden pressure at test point, during earthquake (kPa)
 u : Water pressure at test point, during earthquake (kPa)
 Sigma' : Effective overburden pressure, during earthquake (kPa)
 r_d : Nonlinear shear mass factor
 CSR : Cyclic Stress Ratio
 MSF : Magnitude Scaling Factor
 CSR_{eq,M=7.5} : CSR adjusted for M=7.5
 K_{sigma} : Effective overburden stress factor
 CSR* : CSR fully adjusted

:: Cyclic Resistance Ratio calculation CRR_{7.5} ::

Point ID	q _c (MPa)	FC (%)	C _n	q _{c1N}	D _q	q _{c1N,cs}	CRR _{7.5}
1	4.80	8.71	1.70	81.60	6.39	87.99	2.00
2	4.80	11.06	1.70	81.60	17.20	98.80	2.00
3	4.40	15.12	1.70	74.80	33.26	108.06	2.00
4	4.10	29.05	1.70	69.70	51.93	121.63	2.00
5	2.80	30.40	1.70	47.60	45.05	92.65	2.00
6	3.60	31.05	1.70	61.20	49.83	111.03	2.00
7	3.30	33.31	1.70	56.10	48.71	104.81	2.00
8	2.40	35.54	1.70	40.80	43.86	84.66	2.00
9	2.40	38.17	1.70	40.80	44.17	84.97	2.00
10	1.60	45.23	1.70	27.20	39.81	67.01	2.00
11	1.10	35.90	1.70	18.70	36.28	54.98	2.00
12	1.40	40.55	1.70	23.80	38.44	62.24	2.00
13	0.80	48.81	1.70	13.60	35.09	48.69	2.00
14	1.20	45.80	1.65	19.77	37.22	56.98	2.00
15	0.70	71.48	1.67	11.71	34.16	45.86	2.00
16	0.90	58.15	1.60	14.42	35.33	49.74	2.00
17	0.80	60.82	1.57	12.60	34.65	47.25	2.00
18	1.10	54.14	1.51	16.56	36.12	52.68	2.00
19	1.00	58.78	1.48	14.80	35.45	50.25	2.00
20	1.10	52.91	1.44	15.83	35.87	51.70	2.00
21	1.20	54.90	1.40	16.81	36.20	53.01	2.00
22	1.10	56.86	1.38	15.15	35.60	50.75	2.00
23	1.30	61.81	1.34	17.40	36.32	53.71	2.00
24	1.30	51.30	1.31	17.05	36.30	53.36	2.00
25	1.20	55.13	1.29	15.48	35.73	51.22	2.00
26	1.00	68.76	1.27	12.74	34.56	47.30	2.00
27	0.90	72.46	1.25	11.27	33.99	45.26	2.00
28	1.20	63.52	1.22	14.61	35.31	49.93	2.00
29	1.20	67.88	1.20	14.34	35.14	49.48	2.00
30	0.90	72.08	1.18	10.63	33.77	44.40	2.00
31	2.00	42.50	1.14	22.78	38.18	60.95	2.00
32	1.70	50.67	1.12	19.12	37.03	56.15	2.00
33	1.70	45.50	1.11	18.81	36.87	55.68	2.00
34	1.10	64.65	1.10	12.05	34.40	46.44	2.00
35	0.80	75.68	1.08	8.64	33.01	41.65	2.00
36	1.30	60.33	1.06	13.74	35.06	48.80	2.00
37	1.10	63.63	1.04	11.45	34.21	45.66	2.00
38	1.30	53.39	1.02	13.30	34.98	48.28	2.00
39	1.30	64.22	1.01	13.09	34.77	47.87	2.00
40	1.20	58.02	0.99	11.90	34.45	46.34	2.00
41	1.00	74.33	0.98	9.76	33.42	43.18	2.00
42	1.40	67.98	0.96	13.47	34.84	48.31	2.00
43	1.50	49.69	0.95	14.23	35.31	49.54	2.00
44	1.80	47.78	0.94	16.87	36.23	53.09	2.00
45	1.50	53.37	0.92	13.83	35.17	48.99	2.00
46	1.40	53.99	0.91	12.71	34.77	47.48	2.00
47	1.10	72.83	0.89	9.81	33.47	43.28	2.00
48	1.90	42.36	0.89	16.88	36.11	52.98	2.00
49	2.60	24.06	0.88	22.97	34.11	57.07	0.08
50	2.20	42.18	0.87	19.11	36.88	55.99	2.00
51	0.70	100.00	0.83	5.84	31.63	37.47	2.00
52	1.60	50.70	0.84	13.43	35.03	48.47	2.00
53	1.90	54.82	0.83	15.83	35.86	51.69	2.00
54	1.40	60.74	0.81	11.41	34.24	45.65	2.00
55	1.30	68.03	0.80	10.43	33.78	44.21	2.00

:: Cyclic Resistance Ratio calculation CRR_{7.5} (continued) ::

Point ID	q _c (MPa)	FC (%)	C _n	q _{c1N}	D _q	q _{c1N,cs}	CRR _{7.5}
56	1.50	60.97	0.80	11.94	34.42	46.36	2.00
57	1.00	81.94	0.78	7.75	32.59	40.34	2.00
58	1.30	63.30	0.77	10.04	33.72	43.76	2.00
59	1.70	67.87	0.77	13.11	34.71	47.82	2.00
60	1.10	93.52	0.75	8.24	32.56	40.79	2.00
61	1.90	51.79	0.76	14.38	35.37	49.75	2.00
62	2.60	47.47	0.76	19.77	37.24	57.01	2.00
63	1.20	87.27	0.72	8.69	32.82	41.51	2.00
64	1.70	64.73	0.73	12.37	34.51	46.88	2.00
65	1.30	78.62	0.71	9.23	33.16	42.39	2.00
66	1.10	81.36	0.70	7.66	32.57	40.23	2.00
67	1.90	37.63	0.71	13.45	34.63	48.09	2.00
68	2.30	45.87	0.71	16.29	36.00	52.29	2.00
69	2.50	42.82	0.70	17.62	36.38	54.01	2.00
70	1.40	61.13	0.67	9.43	33.54	42.97	2.00
71	1.20	78.43	0.66	7.92	32.71	40.64	2.00
72	1.20	82.34	0.65	7.84	32.61	40.45	2.00
73	0.80	100.00	0.63	5.06	31.36	36.42	2.00
74	1.10	92.56	0.64	6.99	32.14	39.14	2.00
75	1.00	89.79	0.63	6.25	31.94	38.19	2.00
76	0.80	100.00	0.61	4.89	31.30	36.19	2.00
77	0.90	100.00	0.61	5.47	31.51	36.98	2.00
78	0.90	100.00	0.60	5.42	31.49	36.90	2.00
79	1.40	100.00	0.61	8.57	32.57	41.14	2.00
80	0.70	100.00	0.58	4.06	31.02	35.08	2.00
81	1.10	100.00	0.59	6.49	31.86	38.35	2.00
82	0.80	100.00	0.57	4.58	31.20	35.78	2.00
83	0.80	100.00	0.57	4.53	31.18	35.72	2.00
84	0.90	100.00	0.56	5.08	31.37	36.46	2.00
85	0.90	100.00	0.56	5.03	31.35	36.39	2.00
86	1.00	100.00	0.56	5.57	31.54	37.11	2.00
87	1.10	100.00	0.56	6.11	31.72	37.84	2.00
88	1.40	100.00	0.56	7.84	32.32	40.16	2.00
89	1.10	100.00	0.54	5.99	31.68	37.68	2.00
90	1.00	100.00	0.54	5.36	31.47	36.83	2.00
91	1.50	100.00	0.55	8.22	32.45	40.66	2.00
92	1.70	98.75	0.55	9.33	32.85	42.18	2.00
93	2.00	92.07	0.55	11.04	33.55	44.58	2.00
94	2.30	86.93	0.55	12.75	34.23	46.98	2.00
95	2.60	83.75	0.56	14.48	34.88	49.36	2.00
96	2.70	82.72	0.55	14.97	35.07	50.04	2.00
97	2.20	89.75	0.54	11.84	33.86	45.70	2.00
98	1.50	100.00	0.51	7.72	32.28	39.99	2.00
99	1.40	100.00	0.51	7.10	32.06	39.16	2.00
100	2.40	87.43	0.53	12.72	34.21	46.92	2.00

- q_c : Measured cone resistance
- FC : Fines content
- C_n : Stress normalization factor
- q_{c1N} : Normalized cone resistance
- D_q : Cone adjustment portion due to fines
- q_{c1N,cs} : Normalized and adjusted cone resistance
- CRR_{7.5} : Cyclic resistance ratio for M_w=7.5

:: Settlements calculation for saturated sands ::

Point ID	q _c (MPa)	q _{c1}	FS _L	e _v (%)	Settle. (cm)
----------	-------------------------	-----------------	-----------------	-----------------------	-----------------

:: Settlements calculation for saturated sands (continued) ::

Point ID	q_c (MPa)	q_{c1}	FS_L	e_v (%)	Settle. (cm)
1	4.80	248.68	5.00	0.00	0.00
2	4.80	175.85	5.00	0.00	0.00
3	4.40	131.61	5.00	0.00	0.00
4	4.10	106.21	5.00	0.00	0.00
5	2.80	64.88	5.00	0.00	0.00
6	3.60	76.14	5.00	0.00	0.00
7	3.30	64.62	5.00	0.00	0.00
8	2.40	43.96	5.00	0.00	0.00
9	2.40	41.45	5.00	0.00	0.00
10	1.60	26.21	5.00	0.00	0.00
11	1.10	17.18	5.00	0.00	0.00
12	1.40	20.94	5.00	0.00	0.00
13	0.80	11.50	5.00	0.00	0.00
14	1.20	16.62	5.00	0.00	0.00
15	0.70	9.53	5.00	0.00	0.00
16	0.90	12.05	5.00	0.00	0.00
17	0.80	10.54	5.00	0.00	0.00
18	1.10	14.28	5.00	0.00	0.00
19	1.00	12.79	5.00	0.00	0.00
20	1.10	13.86	5.00	0.00	0.00
21	1.20	14.91	5.00	0.00	0.00
22	1.10	13.48	5.00	0.00	0.00
23	1.30	15.72	5.00	0.00	0.00
24	1.30	15.52	5.00	0.00	0.00
25	1.20	14.14	5.00	0.00	0.00
26	1.00	11.64	5.00	0.00	0.00
27	0.90	10.35	5.00	0.00	0.00
28	1.20	13.64	5.00	0.00	0.00
29	1.20	13.49	5.00	0.00	0.00
30	0.90	10.00	5.00	0.00	0.00
31	2.00	21.98	5.00	0.00	0.00
32	1.70	18.48	5.00	0.00	0.00
33	1.70	18.29	5.00	0.00	0.00
34	1.10	11.71	5.00	0.00	0.00
35	0.80	8.43	5.00	0.00	0.00
36	1.30	13.57	5.00	0.00	0.00
37	1.10	11.37	5.00	0.00	0.00
38	1.30	13.31	5.00	0.00	0.00
39	1.30	13.19	5.00	0.00	0.00
40	1.20	12.06	5.00	0.00	0.00
41	1.00	9.96	5.00	0.00	0.00
42	1.40	13.82	5.00	0.00	0.00
43	1.50	14.68	5.00	0.00	0.00
44	1.80	17.47	5.00	0.00	0.00
45	1.50	14.43	5.00	0.00	0.00
46	1.40	13.36	5.00	0.00	0.00
47	1.10	10.41	5.00	0.00	0.00
48	1.90	17.84	5.00	0.00	0.00
49	2.60	24.22	0.67	5.50	1.10
50	2.20	20.34	5.00	0.00	0.00
51	0.70	6.42	5.00	0.00	0.00
52	1.60	14.57	5.00	0.00	0.00
53	1.90	17.17	5.00	0.00	0.00
54	1.40	12.56	5.00	0.00	0.00
55	1.30	11.58	5.00	0.00	0.00

:: Settlements calculation for saturated sands (continued) ::

Point ID	q _c (MPa)	q _{c1}	FS _L	e _v (%)	Settle. (cm)
56	1.50	13.27	5.00	0.00	0.00
57	1.00	8.78	5.00	0.00	0.00
58	1.30	11.34	5.00	0.00	0.00
59	1.70	14.73	5.00	0.00	0.00
60	1.10	9.47	5.00	0.00	0.00
61	1.90	16.24	5.00	0.00	0.00
62	2.60	22.08	5.00	0.00	0.00
63	1.20	10.13	5.00	0.00	0.00
64	1.70	14.25	5.00	0.00	0.00
65	1.30	10.83	5.00	0.00	0.00
66	1.10	9.11	5.00	0.00	0.00
67	1.90	15.64	5.00	0.00	0.00
68	2.30	18.81	5.00	0.00	0.00
69	2.50	20.33	5.00	0.00	0.00
70	1.40	11.32	5.00	0.00	0.00
71	1.20	9.64	5.00	0.00	0.00
72	1.20	9.59	5.00	0.00	0.00
73	0.80	6.35	5.00	0.00	0.00
74	1.10	8.69	5.00	0.00	0.00
75	1.00	7.85	5.00	0.00	0.00
76	0.80	6.25	5.00	0.00	0.00
77	0.90	6.99	5.00	0.00	0.00
78	0.90	6.95	5.00	0.00	0.00
79	1.40	10.76	5.00	0.00	0.00
80	0.70	5.35	5.00	0.00	0.00
81	1.10	8.37	5.00	0.00	0.00
82	0.80	6.05	5.00	0.00	0.00
83	0.80	6.02	5.00	0.00	0.00
84	0.90	6.74	5.00	0.00	0.00
85	0.90	6.71	5.00	0.00	0.00
86	1.00	7.41	5.00	0.00	0.00
87	1.10	8.12	5.00	0.00	0.00
88	1.40	10.28	5.00	0.00	0.00
89	1.10	8.04	5.00	0.00	0.00
90	1.00	7.27	5.00	0.00	0.00
91	1.50	10.86	5.00	0.00	0.00
92	1.70	12.25	5.00	0.00	0.00
93	2.00	14.34	5.00	0.00	0.00
94	2.30	16.42	5.00	0.00	0.00
95	2.60	18.47	5.00	0.00	0.00
96	2.70	19.10	5.00	0.00	0.00
97	2.20	15.49	5.00	0.00	0.00
98	1.50	10.51	5.00	0.00	0.00
99	1.40	9.77	5.00	0.00	0.00
100	2.40	16.68	5.00	0.00	0.00

Total settlement : 1.10

- q_c : Measured cone resistance
- q_{c1} : Normalized cone resistance (according to Ishihara)
- FS_L : Factor of safety against liquefaction
- e_v : Post-liquefaction volumetric strain
- Settle. : Calculated settlement

:: Overall liquefaction potential according to Iwasaki ::

Point ID	F	w _z	I _L	Point ID	F	w _z	I _L
----------	---	----------------	----------------	----------	---	----------------	----------------

:: Overall liquefaction potential according to Iwasaki (continued) ::

Point ID	F	w_z	I_L	Point ID	F	w_z	I_L
1	0.00	9.90	0.00	2	0.00	9.80	0.00
3	0.00	9.70	0.00	4	0.00	9.60	0.00
5	0.00	9.50	0.00	6	0.00	9.40	0.00
7	0.00	9.30	0.00	8	0.00	9.20	0.00
9	0.00	9.10	0.00	10	0.00	9.00	0.00
11	0.00	8.90	0.00	12	0.00	8.80	0.00
13	0.00	8.70	0.00	14	0.00	8.60	0.00
15	0.00	8.50	0.00	16	0.00	8.40	0.00
17	0.00	8.30	0.00	18	0.00	8.20	0.00
19	0.00	8.10	0.00	20	0.00	8.00	0.00
21	0.00	7.90	0.00	22	0.00	7.80	0.00
23	0.00	7.70	0.00	24	0.00	7.60	0.00
25	0.00	7.50	0.00	26	0.00	7.40	0.00
27	0.00	7.30	0.00	28	0.00	7.20	0.00
29	0.00	7.10	0.00	30	0.00	7.00	0.00
31	0.00	6.90	0.00	32	0.00	6.80	0.00
33	0.00	6.70	0.00	34	0.00	6.60	0.00
35	0.00	6.50	0.00	36	0.00	6.40	0.00
37	0.00	6.30	0.00	38	0.00	6.20	0.00
39	0.00	6.10	0.00	40	0.00	6.00	0.00
41	0.00	5.90	0.00	42	0.00	5.80	0.00
43	0.00	5.70	0.00	44	0.00	5.60	0.00
45	0.00	5.50	0.00	46	0.00	5.40	0.00
47	0.00	5.30	0.00	48	0.00	5.20	0.00
49	0.33	5.10	0.33	50	0.00	5.00	0.00
51	0.00	4.90	0.00	52	0.00	4.80	0.00
53	0.00	4.70	0.00	54	0.00	4.60	0.00
55	0.00	4.50	0.00	56	0.00	4.40	0.00
57	0.00	4.30	0.00	58	0.00	4.20	0.00
59	0.00	4.10	0.00	60	0.00	4.00	0.00
61	0.00	3.90	0.00	62	0.00	3.80	0.00
63	0.00	3.70	0.00	64	0.00	3.60	0.00
65	0.00	3.50	0.00	66	0.00	3.40	0.00
67	0.00	3.30	0.00	68	0.00	3.20	0.00
69	0.00	3.10	0.00	70	0.00	3.00	0.00
71	0.00	2.90	0.00	72	0.00	2.80	0.00
73	0.00	2.70	0.00	74	0.00	2.60	0.00
75	0.00	2.50	0.00	76	0.00	2.40	0.00
77	0.00	2.30	0.00	78	0.00	2.20	0.00
79	0.00	2.10	0.00	80	0.00	2.00	0.00
81	0.00	1.90	0.00	82	0.00	1.80	0.00
83	0.00	1.70	0.00	84	0.00	1.60	0.00
85	0.00	1.50	0.00	86	0.00	1.40	0.00
87	0.00	1.30	0.00	88	0.00	1.20	0.00
89	0.00	1.10	0.00	90	0.00	1.00	0.00
91	0.00	0.90	0.00	92	0.00	0.80	0.00
93	0.00	0.70	0.00	94	0.00	0.60	0.00
95	0.00	0.50	0.00	96	0.00	0.40	0.00
97	0.00	0.30	0.00	98	0.00	0.20	0.00
99	0.00	0.10	0.00	100	0.00	0.00	0.00

Overall potential I_L : 0.33

I_L = 0.00 - No liquefaction
 I_L between 0.00 and 5.00 - Liquefaction not probable
 I_L between 5.00 and 15.00 - Liquefaction probable
 I_L > 15.00 - Liquefaction certain

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

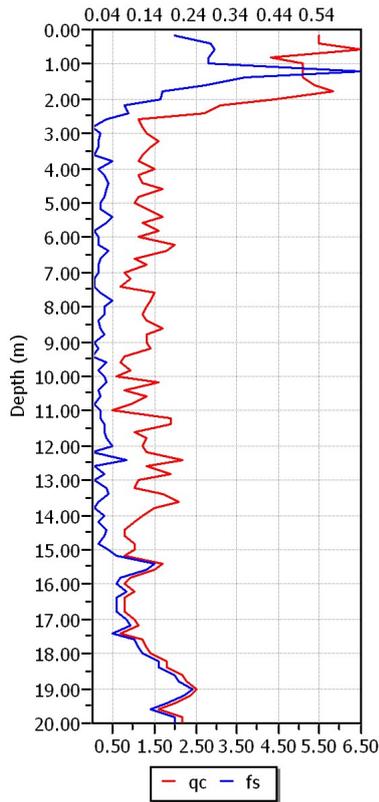
Project title : Progetto per la costruzione di una pista ciclopedonale di scavalamento alla tangenziale di Carpi (MO).

Project subtitle : Verifica a liquefazione prova CPT2

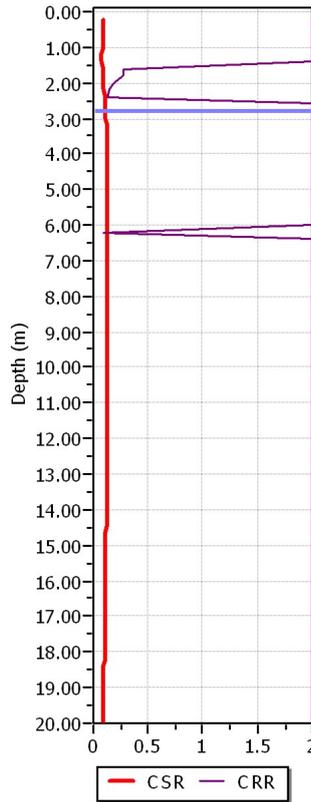
Input parameters and analysis data

In-situ data type:	Cone Penetration Test	Depth to water table:	2.80 m
Analysis type:	Deterministic	Earthquake magnitude M_w :	6.14
Analysis method:	Boulanger & Idriss (2004)	Peak ground acceleration:	0.22 g
Fines correction method:	Boulanger & Idriss	User defined F.S.:	1.00

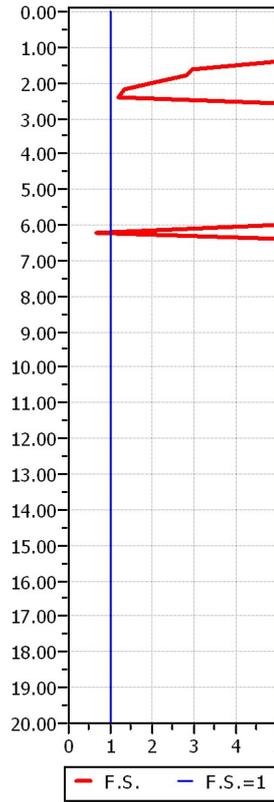
CPT data graph



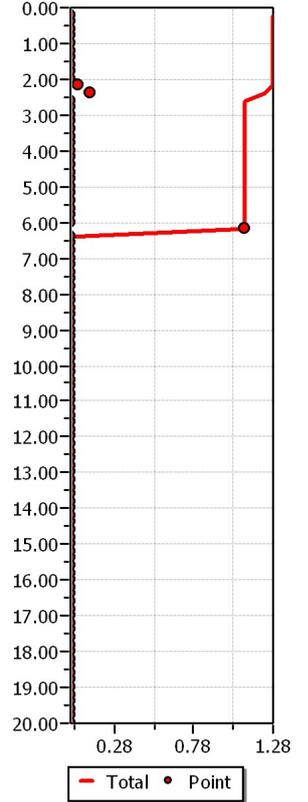
Shear stress ratio



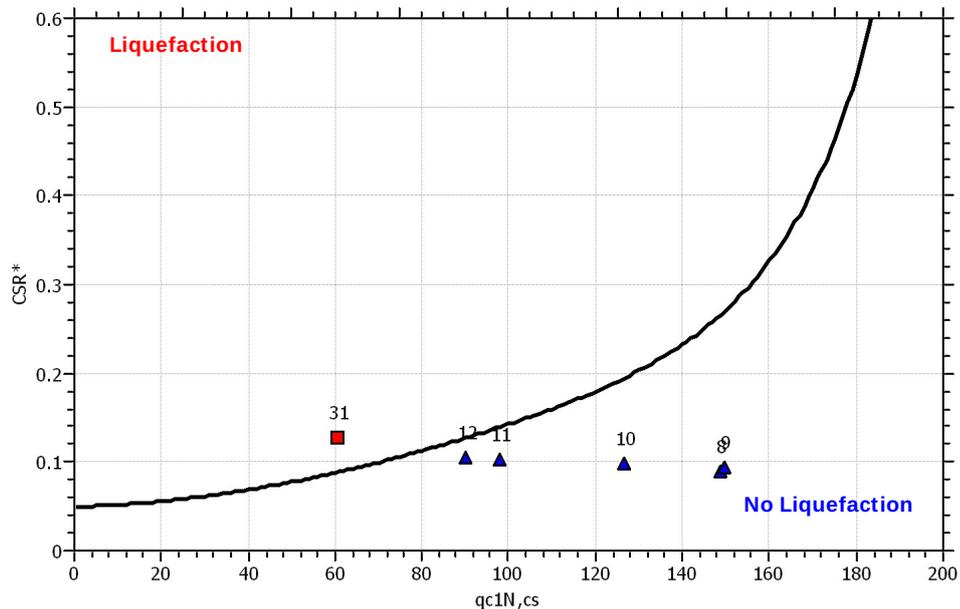
Factor of safety

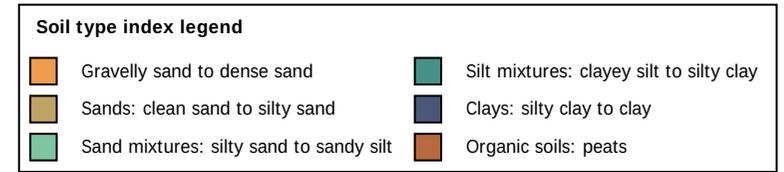
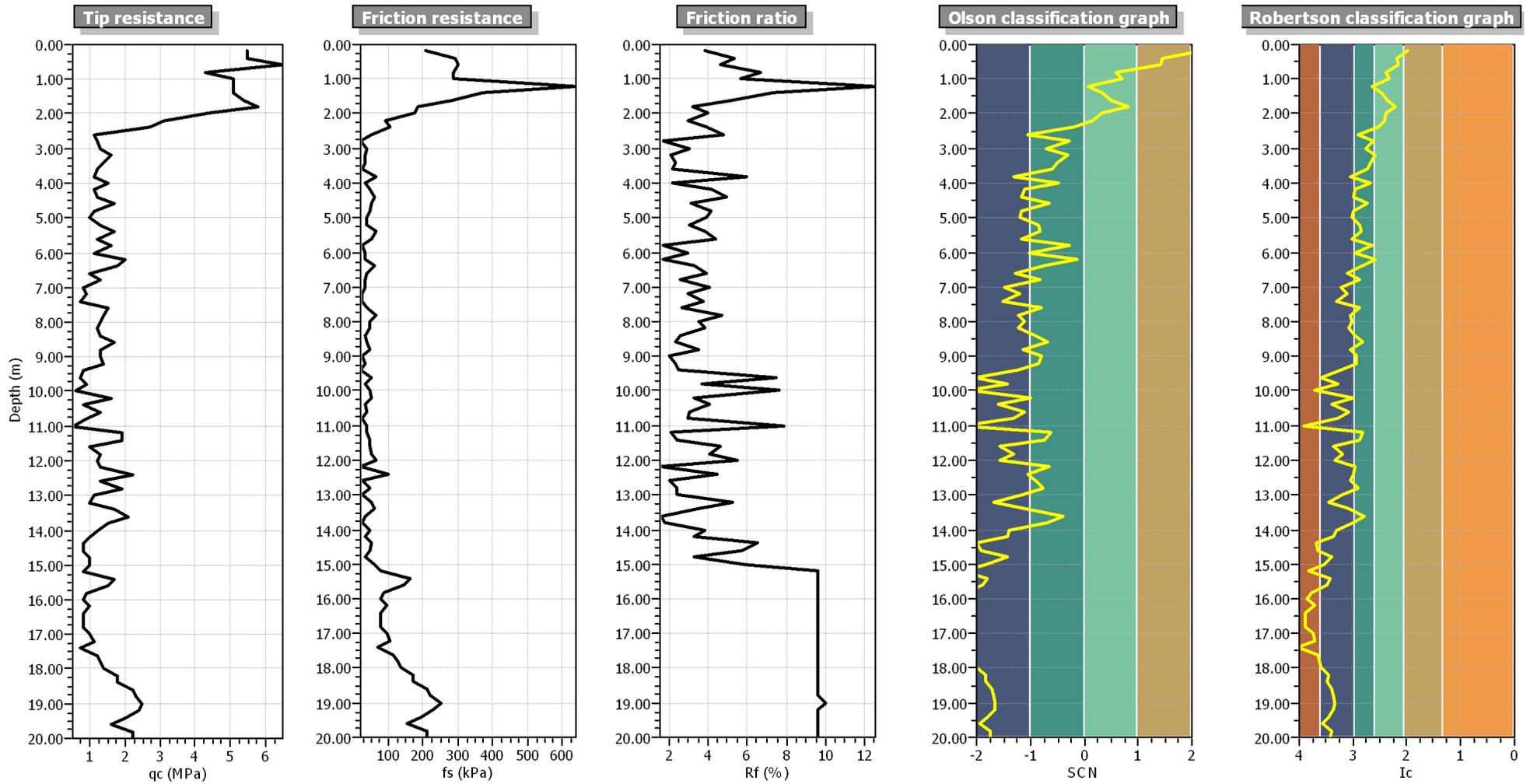


Settlements (cm)



$M_w=7^{1/2}$, $\sigma'_v=1$ atm base curve





:: Field input data ::

Point ID	Depth (m)	q _c (MPa)	f _s (kPa)	Fines content (%)	Unit weight (kN/m ³)
1	0.20	5.50	209.20	12.90	19.00
2	0.40	5.50	294.20	18.51	19.00
3	0.60	6.50	300.70	17.50	19.00
4	0.80	4.30	287.70	26.22	19.00
5	1.00	5.10	287.70	23.92	19.00
6	1.20	5.10	640.70	37.19	19.00
7	1.40	5.10	372.70	29.61	19.00
8	1.60	5.40	281.10	25.32	19.00
9	1.80	5.80	183.10	19.55	19.00
10	2.00	4.40	176.50	25.65	19.00
11	2.20	3.10	91.50	26.70	19.00
12	2.40	2.70	104.60	32.72	19.00
13	2.60	1.10	52.30	52.15	19.00
14	2.80	1.20	19.60	36.83	19.00
15	3.00	1.30	39.20	43.69	19.00
16	3.20	1.60	32.70	35.36	19.00
17	3.40	1.40	32.70	39.93	19.00
18	3.60	1.20	26.20	42.62	19.00
19	3.80	1.10	65.40	61.27	19.00
20	4.00	1.50	32.70	39.25	19.00
21	4.20	1.10	45.80	56.18	19.00
22	4.40	1.20	58.80	57.63	19.00
23	4.60	1.70	52.30	42.97	19.00
24	4.80	1.10	45.80	58.19	19.00
25	5.00	1.00	39.20	60.30	19.00
26	5.20	1.30	39.20	49.95	19.00
27	5.40	1.70	65.40	48.31	19.00
28	5.60	1.20	52.30	59.30	19.00
29	5.80	1.60	26.20	38.45	19.00
30	6.00	1.10	32.70	56.23	19.00
31	6.20	2.00	32.70	34.81	19.00
32	6.40	1.80	58.80	46.74	19.00
33	6.60	1.00	39.20	65.78	19.00
34	6.80	1.30	32.70	51.37	19.00
35	7.00	0.80	32.70	75.68	19.00
36	7.20	0.90	26.20	65.81	19.00
37	7.40	0.70	26.20	80.89	19.00
38	7.60	1.50	39.20	50.22	19.00
39	7.80	1.40	65.40	62.67	19.00
40	8.00	1.30	45.80	60.10	19.00
41	8.20	1.20	45.80	64.56	19.00
42	8.40	1.30	32.70	55.39	19.00
43	8.60	1.70	39.20	47.32	19.00
44	8.80	1.30	45.80	62.23	19.00
45	9.00	1.30	26.20	53.39	19.00
46	9.20	1.40	32.70	53.99	19.00
47	9.40	0.80	19.60	75.16	19.00
48	9.60	0.70	52.30	100.00	19.00
49	9.80	0.90	32.70	79.33	19.00
50	10.00	0.60	45.80	100.00	19.00
51	10.20	1.60	52.30	57.97	19.00
52	10.40	0.80	32.70	89.57	19.00
53	10.60	1.30	39.20	64.05	19.00
54	10.80	0.90	26.20	78.41	19.00
55	11.00	0.50	39.20	100.00	19.00

:: Field input data (continued) ::

Point ID	Depth (m)	q _c (MPa)	f _s (kPa)	Fines content (%)	Unit weight (kN/m ³)
56	11.20	1.90	39.20	47.64	19.00
57	11.40	1.90	45.80	50.37	19.00
58	11.60	1.00	45.80	85.99	19.00
59	11.80	1.30	52.30	72.83	19.00
60	12.00	1.20	65.40	83.30	19.00
61	12.20	1.30	19.60	56.41	19.00
62	12.40	2.20	98.10	58.86	19.00
63	12.60	1.30	26.20	61.91	19.00
64	12.80	1.90	45.80	52.85	19.00
65	13.00	1.10	26.20	72.61	19.00
66	13.20	1.00	52.30	94.49	19.00
67	13.40	1.70	58.80	63.91	19.00
68	13.60	2.10	32.70	44.80	19.00
69	13.80	1.50	26.20	57.11	19.00
70	14.00	1.20	45.80	81.23	19.00
71	14.20	1.00	32.70	87.21	19.00
72	14.40	0.80	52.30	100.00	19.00
73	14.60	0.80	45.80	100.00	19.00
74	14.80	1.00	32.70	89.15	19.00
75	15.00	1.00	58.80	100.00	19.00
76	15.20	0.80	76.90	100.00	19.00
77	15.40	1.70	163.50	91.83	19.00
78	15.60	1.50	144.30	97.70	19.00
79	15.80	0.90	86.60	100.00	19.00
80	16.00	0.80	76.90	100.00	19.00
81	16.20	1.00	96.20	100.00	19.00
82	16.40	0.80	76.90	100.00	19.00
83	16.60	0.80	76.90	100.00	19.00
84	16.80	0.80	76.90	100.00	19.00
85	17.00	1.00	96.20	100.00	19.00
86	17.20	1.10	105.80	100.00	19.00
87	17.40	0.70	67.30	100.00	19.00
88	17.60	1.20	115.40	100.00	19.00
89	17.80	1.30	125.00	100.00	19.00
90	18.00	1.40	134.60	100.00	19.00
91	18.20	1.80	173.10	95.73	19.00
92	18.40	1.80	173.10	96.16	19.00
93	18.60	2.20	211.60	88.26	19.00
94	18.80	2.30	221.20	86.93	19.00
95	19.00	2.50	250.00	85.19	19.00
96	19.20	2.40	230.80	86.04	19.00
97	19.40	2.00	192.30	93.66	19.00
98	19.60	1.60	153.90	100.00	19.00
99	19.80	2.20	211.60	90.49	19.00
100	20.00	2.20	211.60	90.86	19.00

Depth : Depth from free surface, at which CPT was performed (m)
q_c : Measured cone resistance
f_s : Sleeve friction resistance
Fines content : Percentage of fines in soil (%)
Unit weight : Bulk soil unit weight (kPa)

:: Cyclic Stress Ratio calculation (CSR fully adjusted and normalized) ::

Point ID	Depth (m)	Sigma (kPa)	u (kPa)	Sigma' (kPa)	r _d	CSR	MSF	CSR _{eq,M=7.5}	K _{sigma}	CSR*
1	0.20	3.80	0.00	3.80	1.00	0.14	1.67	0.09	1.00	0.09

:: Cyclic Stress Ratio calculation (CSR fully adjusted and normalized) (continued) ::

Point ID	Depth (m)	Sigma (kPa)	u (kPa)	Sigma' (kPa)	r _d	CSR	MSF	CSR _{eq,M=7.5}	K _{sigma}	CSR*
2	0.40	7.60	0.00	7.60	1.00	0.14	1.67	0.09	1.00	0.09
3	0.60	11.40	0.00	11.40	1.00	0.14	1.67	0.09	1.00	0.09
4	0.80	15.20	0.00	15.20	1.00	0.14	1.67	0.09	1.00	0.09
5	1.00	19.00	0.00	19.00	0.99	0.14	1.67	0.09	1.00	0.09
6	1.20	22.80	0.00	22.80	0.99	0.14	1.67	0.08	1.00	0.08
7	1.40	26.60	0.00	26.60	0.99	0.14	1.67	0.08	1.00	0.08
8	1.60	30.40	1.96	28.44	0.99	0.15	1.67	0.09	1.00	0.09
9	1.80	34.20	3.92	30.28	0.98	0.16	1.67	0.10	1.00	0.10
10	2.00	38.00	5.89	32.11	0.98	0.17	1.67	0.10	1.00	0.10
11	2.20	41.80	7.85	33.95	0.98	0.17	1.67	0.10	1.00	0.10
12	2.40	45.60	9.81	35.79	0.97	0.18	1.67	0.11	1.00	0.11
13	2.60	49.40	11.77	37.63	0.97	0.18	1.67	0.11	1.00	0.11
14	2.80	53.20	13.73	39.47	0.97	0.19	1.67	0.11	1.00	0.11
15	3.00	57.00	15.70	41.30	0.96	0.19	1.67	0.11	1.00	0.11
16	3.20	60.80	17.66	43.14	0.96	0.19	1.67	0.12	1.00	0.12
17	3.40	64.60	19.62	44.98	0.95	0.20	1.67	0.12	1.00	0.12
18	3.60	68.40	21.58	46.82	0.95	0.20	1.67	0.12	1.00	0.12
19	3.80	72.20	23.54	48.66	0.95	0.20	1.67	0.12	1.00	0.12
20	4.00	76.00	25.51	50.49	0.94	0.20	1.67	0.12	1.00	0.12
21	4.20	79.80	27.47	52.33	0.94	0.20	1.67	0.12	1.00	0.12
22	4.40	83.60	29.43	54.17	0.93	0.21	1.67	0.12	1.00	0.12
23	4.60	87.40	31.39	56.01	0.93	0.21	1.67	0.12	1.00	0.12
24	4.80	91.20	33.35	57.85	0.93	0.21	1.67	0.13	1.00	0.13
25	5.00	95.00	35.32	59.68	0.92	0.21	1.67	0.13	1.00	0.13
26	5.20	98.80	37.28	61.52	0.92	0.21	1.67	0.13	1.00	0.13
27	5.40	102.60	39.24	63.36	0.91	0.21	1.67	0.13	1.00	0.13
28	5.60	106.40	41.20	65.20	0.91	0.21	1.67	0.13	1.00	0.13
29	5.80	110.20	43.16	67.04	0.91	0.21	1.67	0.13	1.00	0.13
30	6.00	114.00	45.13	68.87	0.90	0.21	1.67	0.13	1.00	0.13
31	6.20	117.80	47.09	70.71	0.90	0.21	1.67	0.13	1.00	0.13
32	6.40	121.60	49.05	72.55	0.89	0.21	1.67	0.13	1.00	0.13
33	6.60	125.40	51.01	74.39	0.89	0.21	1.67	0.13	1.00	0.13
34	6.80	129.20	52.97	76.23	0.88	0.21	1.67	0.13	1.00	0.13
35	7.00	133.00	54.94	78.06	0.88	0.21	1.67	0.13	1.00	0.13
36	7.20	136.80	56.90	79.90	0.87	0.21	1.67	0.13	1.00	0.13
37	7.40	140.60	58.86	81.74	0.87	0.21	1.67	0.13	1.00	0.13
38	7.60	144.40	60.82	83.58	0.86	0.21	1.67	0.13	1.00	0.13
39	7.80	148.20	62.78	85.42	0.86	0.21	1.67	0.13	1.00	0.13
40	8.00	152.00	64.75	87.25	0.86	0.21	1.67	0.13	1.00	0.13
41	8.20	155.80	66.71	89.09	0.85	0.21	1.67	0.13	1.00	0.13
42	8.40	159.60	68.67	90.93	0.85	0.21	1.67	0.13	1.00	0.13
43	8.60	163.40	70.63	92.77	0.84	0.21	1.67	0.13	1.00	0.13
44	8.80	167.20	72.59	94.61	0.84	0.21	1.67	0.13	1.00	0.13
45	9.00	171.00	74.56	96.44	0.83	0.21	1.67	0.13	1.00	0.13
46	9.20	174.80	76.52	98.28	0.83	0.21	1.67	0.13	0.99	0.13
47	9.40	178.60	78.48	100.12	0.82	0.21	1.67	0.13	0.99	0.13
48	9.60	182.40	80.44	101.96	0.82	0.21	1.67	0.13	0.99	0.13
49	9.80	186.20	82.40	103.80	0.81	0.21	1.67	0.12	0.99	0.13
50	10.00	190.00	84.37	105.63	0.81	0.21	1.67	0.12	0.99	0.13
51	10.20	193.80	86.33	107.47	0.80	0.21	1.67	0.12	0.99	0.13
52	10.40	197.60	88.29	109.31	0.80	0.21	1.67	0.12	0.99	0.12
53	10.60	201.40	90.25	111.15	0.79	0.21	1.67	0.12	0.99	0.12
54	10.80	205.20	92.21	112.99	0.79	0.20	1.67	0.12	0.99	0.12
55	11.00	209.00	94.18	114.82	0.78	0.20	1.67	0.12	0.99	0.12
56	11.20	212.80	96.14	116.66	0.78	0.20	1.67	0.12	0.99	0.12

:: Cyclic Stress Ratio calculation (CSR fully adjusted and normalized) (continued) ::

Point ID	Depth (m)	Sigma (kPa)	u (kPa)	Sigma' (kPa)	r _d	CSR	MSF	CSR _{eq,M=7.5}	K _{sigma}	CSR*
57	11.40	216.60	98.10	118.50	0.77	0.20	1.67	0.12	0.99	0.12
58	11.60	220.40	100.06	120.34	0.77	0.20	1.67	0.12	0.99	0.12
59	11.80	224.20	102.02	122.18	0.76	0.20	1.67	0.12	0.99	0.12
60	12.00	228.00	103.99	124.01	0.76	0.20	1.67	0.12	0.99	0.12
61	12.20	231.80	105.95	125.85	0.76	0.20	1.67	0.12	0.99	0.12
62	12.40	235.60	107.91	127.69	0.75	0.20	1.67	0.12	0.98	0.12
63	12.60	239.40	109.87	129.53	0.75	0.20	1.67	0.12	0.98	0.12
64	12.80	243.20	111.83	131.37	0.74	0.20	1.67	0.12	0.98	0.12
65	13.00	247.00	113.80	133.20	0.74	0.20	1.67	0.12	0.98	0.12
66	13.20	250.80	115.76	135.04	0.73	0.19	1.67	0.12	0.98	0.12
67	13.40	254.60	117.72	136.88	0.73	0.19	1.67	0.12	0.98	0.12
68	13.60	258.40	119.68	138.72	0.72	0.19	1.67	0.12	0.98	0.12
69	13.80	262.20	121.64	140.56	0.72	0.19	1.67	0.11	0.98	0.12
70	14.00	266.00	123.61	142.39	0.71	0.19	1.67	0.11	0.98	0.12
71	14.20	269.80	125.57	144.23	0.71	0.19	1.67	0.11	0.98	0.12
72	14.40	273.60	127.53	146.07	0.70	0.19	1.67	0.11	0.98	0.12
73	14.60	277.40	129.49	147.91	0.70	0.19	1.67	0.11	0.98	0.11
74	14.80	281.20	131.45	149.75	0.70	0.19	1.67	0.11	0.98	0.11
75	15.00	285.00	133.42	151.58	0.69	0.19	1.67	0.11	0.98	0.11
76	15.20	288.80	135.38	153.42	0.69	0.18	1.67	0.11	0.98	0.11
77	15.40	292.60	137.34	155.26	0.68	0.18	1.67	0.11	0.98	0.11
78	15.60	296.40	139.30	157.10	0.68	0.18	1.67	0.11	0.98	0.11
79	15.80	300.20	141.26	158.94	0.67	0.18	1.67	0.11	0.98	0.11
80	16.00	304.00	143.23	160.77	0.67	0.18	1.67	0.11	0.98	0.11
81	16.20	307.80	145.19	162.61	0.66	0.18	1.67	0.11	0.98	0.11
82	16.40	311.60	147.15	164.45	0.66	0.18	1.67	0.11	0.98	0.11
83	16.60	315.40	149.11	166.29	0.66	0.18	1.67	0.11	0.98	0.11
84	16.80	319.20	151.07	168.13	0.65	0.18	1.67	0.11	0.98	0.11
85	17.00	323.00	153.04	169.96	0.65	0.18	1.67	0.11	0.97	0.11
86	17.20	326.80	155.00	171.80	0.64	0.18	1.67	0.11	0.97	0.11
87	17.40	330.60	156.96	173.64	0.64	0.17	1.67	0.10	0.98	0.11
88	17.60	334.40	158.92	175.48	0.64	0.17	1.67	0.10	0.97	0.11
89	17.80	338.20	160.88	177.32	0.63	0.17	1.67	0.10	0.97	0.11
90	18.00	342.00	162.85	179.15	0.63	0.17	1.67	0.10	0.97	0.11
91	18.20	345.80	164.81	180.99	0.62	0.17	1.67	0.10	0.97	0.11
92	18.40	349.60	166.77	182.83	0.62	0.17	1.67	0.10	0.97	0.10
93	18.60	353.40	168.73	184.67	0.62	0.17	1.67	0.10	0.97	0.10
94	18.80	357.20	170.69	186.51	0.61	0.17	1.67	0.10	0.97	0.10
95	19.00	361.00	172.66	188.34	0.61	0.17	1.67	0.10	0.97	0.10
96	19.20	364.80	174.62	190.18	0.61	0.17	1.67	0.10	0.97	0.10
97	19.40	368.60	176.58	192.02	0.60	0.17	1.67	0.10	0.97	0.10
98	19.60	372.40	178.54	193.86	0.60	0.16	1.67	0.10	0.97	0.10
99	19.80	376.20	180.50	195.70	0.59	0.16	1.67	0.10	0.97	0.10
100	20.00	380.00	182.47	197.53	0.59	0.16	1.67	0.10	0.97	0.10

Depth : Depth from free surface, at which CPT was performed (m)
 Sigma : Total overburden pressure at test point, during earthquake (kPa)
 u : Water pressure at test point, during earthquake (kPa)
 Sigma' : Effective overburden pressure, during earthquake (kPa)
 r_d : Nonlinear shear mass factor
 CSR : Cyclic Stress Ratio
 MSF : Magnitude Scaling Factor
 CSR_{eq,M=7.5} : CSR adjusted for M=7.5
 K_{sigma} : Effective overburden stress factor
 CSR* : CSR fully adjusted

:: Cyclic Resistance Ratio calculation CRR_{7.5} ::

Point ID	q _c (MPa)	FC (%)	C _n	q _{c1N}	D _q	q _{c1N,cs}	CRR _{7.5}
1	5.50	12.90	1.70	93.50	27.73	121.23	2.00
2	5.50	18.51	1.70	93.50	47.22	140.72	2.00
3	6.50	17.50	1.70	110.50	48.93	159.43	2.00
4	4.30	26.22	1.70	73.10	51.47	124.57	2.00
5	5.10	23.92	1.70	86.70	53.85	140.55	2.00
6	5.10	37.19	1.70	86.70	59.97	146.67	2.00
7	5.10	29.61	1.70	86.70	57.85	144.55	2.00
8	5.40	25.32	1.70	91.80	56.77	148.57	0.27
9	5.80	19.55	1.70	98.60	50.88	149.48	0.27
10	4.40	25.65	1.70	74.80	51.61	126.41	0.19
11	3.10	26.70	1.70	52.70	45.16	97.86	0.14
12	2.70	32.72	1.68	45.24	44.87	90.11	0.13
13	1.10	52.15	1.70	18.70	36.88	55.58	2.00
14	1.20	36.83	1.65	19.77	36.75	56.52	2.00
15	1.30	43.69	1.60	20.77	37.51	58.28	2.00
16	1.60	35.36	1.53	24.54	38.23	62.78	2.00
17	1.40	39.93	1.52	21.21	37.50	58.71	2.00
18	1.20	42.62	1.50	17.96	36.50	54.46	2.00
19	1.10	61.27	1.47	16.19	35.90	52.09	2.00
20	1.50	39.25	1.41	21.19	37.45	58.64	2.00
21	1.10	56.18	1.41	15.48	35.72	51.21	2.00
22	1.20	57.63	1.37	16.46	36.05	52.51	2.00
23	1.70	42.97	1.32	22.45	38.08	60.53	2.00
24	1.10	58.19	1.32	14.53	35.37	49.90	2.00
25	1.00	60.30	1.30	13.00	34.80	47.79	2.00
26	1.30	49.95	1.26	16.40	36.07	52.47	2.00
27	1.70	48.31	1.23	20.84	37.62	58.46	2.00
28	1.20	59.30	1.22	14.61	35.38	49.99	2.00
29	1.60	38.45	1.19	18.97	36.61	55.58	2.00
30	1.10	56.23	1.18	12.94	34.83	47.77	2.00
31	2.00	34.81	1.14	22.78	37.55	60.33	0.09
32	1.80	46.74	1.12	20.22	37.39	57.61	2.00
33	1.00	65.78	1.12	11.16	34.07	45.23	2.00
34	1.30	51.37	1.09	14.20	35.30	49.51	2.00
35	0.80	75.68	1.08	8.64	33.01	41.65	2.00
36	0.90	65.81	1.06	9.54	33.50	43.04	2.00
37	0.70	80.89	1.04	7.30	32.45	39.76	2.00
38	1.50	50.22	1.02	15.34	35.70	51.05	2.00
39	1.40	62.67	1.01	14.10	35.15	49.25	2.00
40	1.30	60.10	0.99	12.89	34.77	47.66	2.00
41	1.20	64.56	0.98	11.72	34.28	46.00	2.00
42	1.30	55.39	0.96	12.50	34.69	47.19	2.00
43	1.70	47.32	0.95	16.15	35.97	52.11	2.00
44	1.30	62.23	0.93	12.14	34.47	46.61	2.00
45	1.30	53.39	0.92	11.96	34.51	46.47	2.00
46	1.40	53.99	0.91	12.71	34.77	47.48	2.00
47	0.80	75.16	0.89	7.10	32.49	39.59	2.00
48	0.70	100.00	0.87	6.11	31.72	37.83	2.00
49	0.90	79.33	0.86	7.77	32.64	40.41	2.00
50	0.60	100.00	0.84	5.07	31.37	36.43	2.00
51	1.60	57.97	0.85	13.61	35.05	48.65	2.00
52	0.80	89.57	0.82	6.60	32.06	38.66	2.00
53	1.30	64.05	0.82	10.71	33.94	44.65	2.00
54	0.90	78.41	0.80	7.24	32.48	39.72	2.00
55	0.50	100.00	0.78	3.91	30.97	34.88	2.00

:: Cyclic Resistance Ratio calculation CRR_{7.5} (continued) ::

Point ID	q _c (MPa)	FC (%)	C _n	q _{c1N}	D _q	q _{c1N,cs}	CRR _{7.5}
56	1.90	47.64	0.80	15.26	35.66	50.92	2.00
57	1.90	50.37	0.79	15.07	35.61	50.69	2.00
58	1.00	85.99	0.77	7.65	32.48	40.14	2.00
59	1.30	72.83	0.76	9.92	33.51	43.43	2.00
60	1.20	83.30	0.75	9.02	33.00	42.02	2.00
61	1.30	56.41	0.74	9.68	33.69	43.36	2.00
62	2.20	58.86	0.75	16.59	36.08	52.66	2.00
63	1.30	61.91	0.73	9.45	33.53	42.98	2.00
64	1.90	52.85	0.73	13.90	35.20	49.10	2.00
65	1.10	72.61	0.70	7.75	32.76	40.51	2.00
66	1.00	94.49	0.69	6.93	32.09	39.02	2.00
67	1.70	63.91	0.70	11.96	34.38	46.34	2.00
68	2.10	44.80	0.70	14.80	35.45	50.25	2.00
69	1.50	57.11	0.68	10.25	33.88	44.13	2.00
70	1.20	81.23	0.67	8.01	32.69	40.71	2.00
71	1.00	87.21	0.65	6.54	32.08	38.62	2.00
72	0.80	100.00	0.64	5.11	31.38	36.50	2.00
73	0.80	100.00	0.63	5.06	31.36	36.42	2.00
74	1.00	89.15	0.63	6.32	31.97	38.29	2.00
75	1.00	100.00	0.63	6.25	31.77	38.03	2.00
76	0.80	100.00	0.61	4.89	31.30	36.19	2.00
77	1.70	91.83	0.63	10.76	33.45	44.22	2.00
78	1.50	97.70	0.62	9.32	32.86	42.18	2.00
79	0.90	100.00	0.60	5.36	31.47	36.82	2.00
80	0.80	100.00	0.58	4.68	31.23	35.91	2.00
81	1.00	100.00	0.59	5.87	31.64	37.51	2.00
82	0.80	100.00	0.57	4.58	31.20	35.78	2.00
83	0.80	100.00	0.57	4.53	31.18	35.72	2.00
84	0.80	100.00	0.56	4.49	31.17	35.65	2.00
85	1.00	100.00	0.56	5.63	31.56	37.19	2.00
86	1.10	100.00	0.56	6.17	31.75	37.92	2.00
87	0.70	100.00	0.54	3.77	30.92	34.70	2.00
88	1.20	100.00	0.55	6.64	31.91	38.55	2.00
89	1.30	100.00	0.55	7.17	32.09	39.26	2.00
90	1.40	100.00	0.55	7.70	32.27	39.97	2.00
91	1.80	95.73	0.56	10.02	33.13	43.15	2.00
92	1.80	96.16	0.55	9.93	33.09	43.02	2.00
93	2.20	88.26	0.56	12.25	34.03	46.28	2.00
94	2.30	86.93	0.55	12.75	34.23	46.98	2.00
95	2.50	85.19	0.55	13.86	34.64	48.51	2.00
96	2.40	86.04	0.55	13.14	34.38	47.52	2.00
97	2.00	93.66	0.53	10.66	33.39	44.05	2.00
98	1.60	100.00	0.52	8.28	32.47	40.75	2.00
99	2.20	90.49	0.53	11.65	33.78	45.43	2.00
100	2.20	90.86	0.52	11.55	33.74	45.29	2.00

- q_c : Measured cone resistance
- FC : Fines content
- C_n : Stress normalization factor
- q_{c1N} : Normalized cone resistance
- D_q : Cone adjustment portion due to fines
- q_{c1N,cs} : Normalized and adjusted cone resistance
- CRR_{7.5} : Cyclic resistance ratio for M_w=7.5

:: Settlements calculation for saturated sands ::

Point ID	q _c (MPa)	q _{c1}	FS _L	e _v (%)	Settle. (cm)
----------	-------------------------	-----------------	-----------------	-----------------------	-----------------

:: Settlements calculation for saturated sands (continued) ::

Point ID	q_c (MPa)	q_{c1}	FS_L	e_v (%)	Settle. (cm)
1	5.50	284.95	5.00	0.00	0.00
2	5.50	201.49	5.00	0.00	0.00
3	6.50	194.43	5.00	0.00	0.00
4	4.30	111.39	5.00	0.00	0.00
5	5.10	118.17	5.00	0.00	0.00
6	5.10	107.87	5.00	0.00	0.00
7	5.10	99.87	5.00	0.00	0.00
8	5.40	98.91	2.94	0.00	0.00
9	5.80	100.16	2.83	0.00	0.00
10	4.40	72.09	1.95	0.01	0.00
11	3.10	48.43	1.35	0.26	0.05
12	2.70	40.38	1.20	0.62	0.12
13	1.10	15.81	5.00	0.00	0.00
14	1.20	16.62	5.00	0.00	0.00
15	1.30	17.70	5.00	0.00	0.00
16	1.60	21.43	5.00	0.00	0.00
17	1.40	18.45	5.00	0.00	0.00
18	1.20	15.57	5.00	0.00	0.00
19	1.10	14.06	5.00	0.00	0.00
20	1.50	18.90	5.00	0.00	0.00
21	1.10	13.67	5.00	0.00	0.00
22	1.20	14.71	5.00	0.00	0.00
23	1.70	20.56	5.00	0.00	0.00
24	1.10	13.13	5.00	0.00	0.00
25	1.00	11.79	5.00	0.00	0.00
26	1.30	15.13	5.00	0.00	0.00
27	1.70	19.55	5.00	0.00	0.00
28	1.20	13.64	5.00	0.00	0.00
29	1.60	17.98	5.00	0.00	0.00
30	1.10	12.22	5.00	0.00	0.00
31	2.00	21.98	0.69	5.50	1.10
32	1.80	19.57	5.00	0.00	0.00
33	1.00	10.76	5.00	0.00	0.00
34	1.30	13.84	5.00	0.00	0.00
35	0.80	8.43	5.00	0.00	0.00
36	0.90	9.39	5.00	0.00	0.00
37	0.70	7.24	5.00	0.00	0.00
38	1.50	15.36	5.00	0.00	0.00
39	1.40	14.20	5.00	0.00	0.00
40	1.30	13.06	5.00	0.00	0.00
41	1.20	11.95	5.00	0.00	0.00
42	1.30	12.83	5.00	0.00	0.00
43	1.70	16.64	5.00	0.00	0.00
44	1.30	12.61	5.00	0.00	0.00
45	1.30	12.51	5.00	0.00	0.00
46	1.40	13.36	5.00	0.00	0.00
47	0.80	7.57	5.00	0.00	0.00
48	0.70	6.57	5.00	0.00	0.00
49	0.90	8.38	5.00	0.00	0.00
50	0.60	5.55	5.00	0.00	0.00
51	1.60	14.68	5.00	0.00	0.00
52	0.80	7.28	5.00	0.00	0.00
53	1.30	11.75	5.00	0.00	0.00
54	0.90	8.07	5.00	0.00	0.00
55	0.50	4.45	5.00	0.00	0.00

:: Settlements calculation for saturated sands (continued) ::

Point ID	q _c (MPa)	q _{c1}	FS _L	e _v (%)	Settle. (cm)
56	1.90	16.80	5.00	0.00	0.00
57	1.90	16.69	5.00	0.00	0.00
58	1.00	8.72	5.00	0.00	0.00
59	1.30	11.26	5.00	0.00	0.00
60	1.20	10.33	5.00	0.00	0.00
61	1.30	11.11	5.00	0.00	0.00
62	2.20	18.68	5.00	0.00	0.00
63	1.30	10.97	5.00	0.00	0.00
64	1.90	15.93	5.00	0.00	0.00
65	1.10	9.16	5.00	0.00	0.00
66	1.00	8.28	5.00	0.00	0.00
67	1.70	13.99	5.00	0.00	0.00
68	2.10	17.18	5.00	0.00	0.00
69	1.50	12.20	5.00	0.00	0.00
70	1.20	9.70	5.00	0.00	0.00
71	1.00	8.04	5.00	0.00	0.00
72	0.80	6.39	5.00	0.00	0.00
73	0.80	6.35	5.00	0.00	0.00
74	1.00	7.90	5.00	0.00	0.00
75	1.00	7.85	5.00	0.00	0.00
76	0.80	6.25	5.00	0.00	0.00
77	1.70	13.21	5.00	0.00	0.00
78	1.50	11.59	5.00	0.00	0.00
79	0.90	6.92	5.00	0.00	0.00
80	0.80	6.12	5.00	0.00	0.00
81	1.00	7.61	5.00	0.00	0.00
82	0.80	6.05	5.00	0.00	0.00
83	0.80	6.02	5.00	0.00	0.00
84	0.80	5.99	5.00	0.00	0.00
85	1.00	7.45	5.00	0.00	0.00
86	1.10	8.16	5.00	0.00	0.00
87	0.70	5.16	5.00	0.00	0.00
88	1.20	8.81	5.00	0.00	0.00
89	1.30	9.50	5.00	0.00	0.00
90	1.40	10.18	5.00	0.00	0.00
91	1.80	13.03	5.00	0.00	0.00
92	1.80	12.97	5.00	0.00	0.00
93	2.20	15.77	5.00	0.00	0.00
94	2.30	16.42	5.00	0.00	0.00
95	2.50	17.76	5.00	0.00	0.00
96	2.40	16.97	5.00	0.00	0.00
97	2.00	14.08	5.00	0.00	0.00
98	1.60	11.22	5.00	0.00	0.00
99	2.20	15.35	5.00	0.00	0.00
100	2.20	15.29	5.00	0.00	0.00

Total settlement : 1.28

- q_c : Measured cone resistance
- q_{c1} : Normalized cone resistance (according to Ishihara)
- FS_L : Factor of safety against liquefaction
- e_v : Post-liquefaction volumetric strain
- Settle. : Calculated settlement

:: Overall liquefaction potential according to Iwasaki ::

Point ID	F	w _z	I _L	Point ID	F	w _z	I _L
----------	---	----------------	----------------	----------	---	----------------	----------------

:: Overall liquefaction potential according to Iwasaki (continued) ::

Point ID	F	W _z	I _L	Point ID	F	W _z	I _L
1	0.00	9.90	0.00	2	0.00	9.80	0.00
3	0.00	9.70	0.00	4	0.00	9.60	0.00
5	0.00	9.50	0.00	6	0.00	9.40	0.00
7	0.00	9.30	0.00	8	0.00	9.20	0.00
9	0.00	9.10	0.00	10	0.00	9.00	0.00
11	0.00	8.90	0.00	12	0.00	8.80	0.00
13	0.00	8.70	0.00	14	0.00	8.60	0.00
15	0.00	8.50	0.00	16	0.00	8.40	0.00
17	0.00	8.30	0.00	18	0.00	8.20	0.00
19	0.00	8.10	0.00	20	0.00	8.00	0.00
21	0.00	7.90	0.00	22	0.00	7.80	0.00
23	0.00	7.70	0.00	24	0.00	7.60	0.00
25	0.00	7.50	0.00	26	0.00	7.40	0.00
27	0.00	7.30	0.00	28	0.00	7.20	0.00
29	0.00	7.10	0.00	30	0.00	7.00	0.00
31	0.31	6.90	0.43	32	0.00	6.80	0.00
33	0.00	6.70	0.00	34	0.00	6.60	0.00
35	0.00	6.50	0.00	36	0.00	6.40	0.00
37	0.00	6.30	0.00	38	0.00	6.20	0.00
39	0.00	6.10	0.00	40	0.00	6.00	0.00
41	0.00	5.90	0.00	42	0.00	5.80	0.00
43	0.00	5.70	0.00	44	0.00	5.60	0.00
45	0.00	5.50	0.00	46	0.00	5.40	0.00
47	0.00	5.30	0.00	48	0.00	5.20	0.00
49	0.00	5.10	0.00	50	0.00	5.00	0.00
51	0.00	4.90	0.00	52	0.00	4.80	0.00
53	0.00	4.70	0.00	54	0.00	4.60	0.00
55	0.00	4.50	0.00	56	0.00	4.40	0.00
57	0.00	4.30	0.00	58	0.00	4.20	0.00
59	0.00	4.10	0.00	60	0.00	4.00	0.00
61	0.00	3.90	0.00	62	0.00	3.80	0.00
63	0.00	3.70	0.00	64	0.00	3.60	0.00
65	0.00	3.50	0.00	66	0.00	3.40	0.00
67	0.00	3.30	0.00	68	0.00	3.20	0.00
69	0.00	3.10	0.00	70	0.00	3.00	0.00
71	0.00	2.90	0.00	72	0.00	2.80	0.00
73	0.00	2.70	0.00	74	0.00	2.60	0.00
75	0.00	2.50	0.00	76	0.00	2.40	0.00
77	0.00	2.30	0.00	78	0.00	2.20	0.00
79	0.00	2.10	0.00	80	0.00	2.00	0.00
81	0.00	1.90	0.00	82	0.00	1.80	0.00
83	0.00	1.70	0.00	84	0.00	1.60	0.00
85	0.00	1.50	0.00	86	0.00	1.40	0.00
87	0.00	1.30	0.00	88	0.00	1.20	0.00
89	0.00	1.10	0.00	90	0.00	1.00	0.00
91	0.00	0.90	0.00	92	0.00	0.80	0.00
93	0.00	0.70	0.00	94	0.00	0.60	0.00
95	0.00	0.50	0.00	96	0.00	0.40	0.00
97	0.00	0.30	0.00	98	0.00	0.20	0.00
99	0.00	0.10	0.00	100	0.00	0.00	0.00

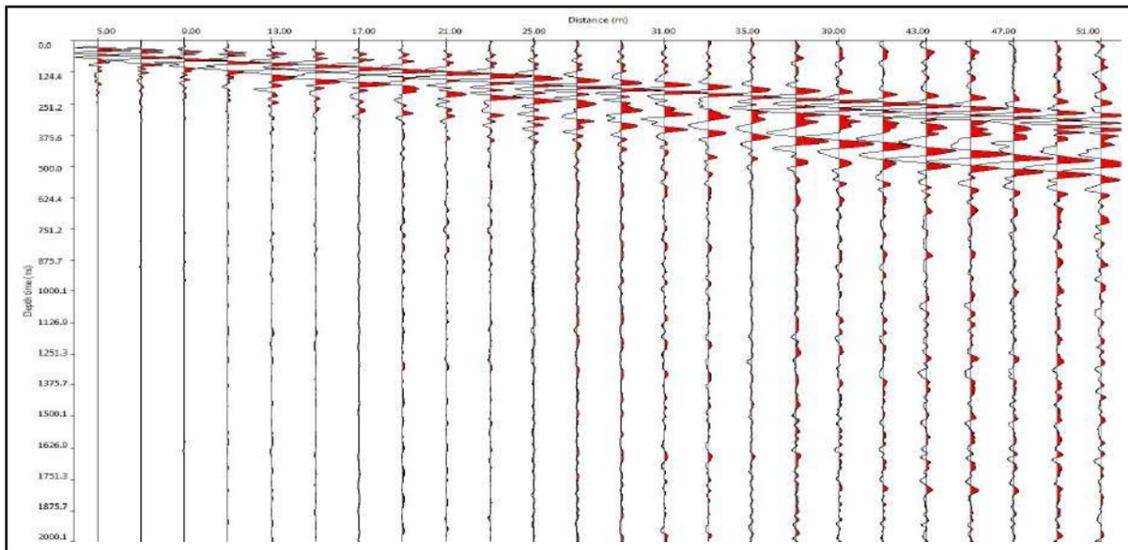
Overall potential I_L : 0.43

I_L = 0.00 - No liquefaction
I_L between 0.00 and 5.00 - Liquefaction not probable
I_L between 5.00 and 15.00 - Liquefaction probable
I_L > 15.00 - Liquefaction certain

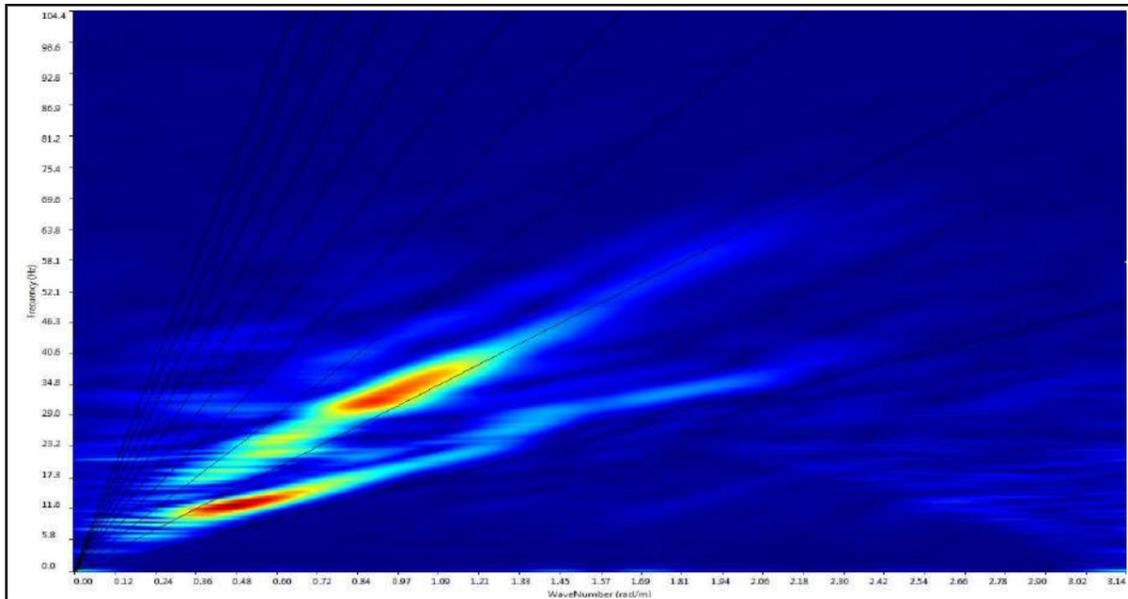
Allegato N. 8

“PROSPEZIONE SISMICA DI SUPERFICIE MASW”

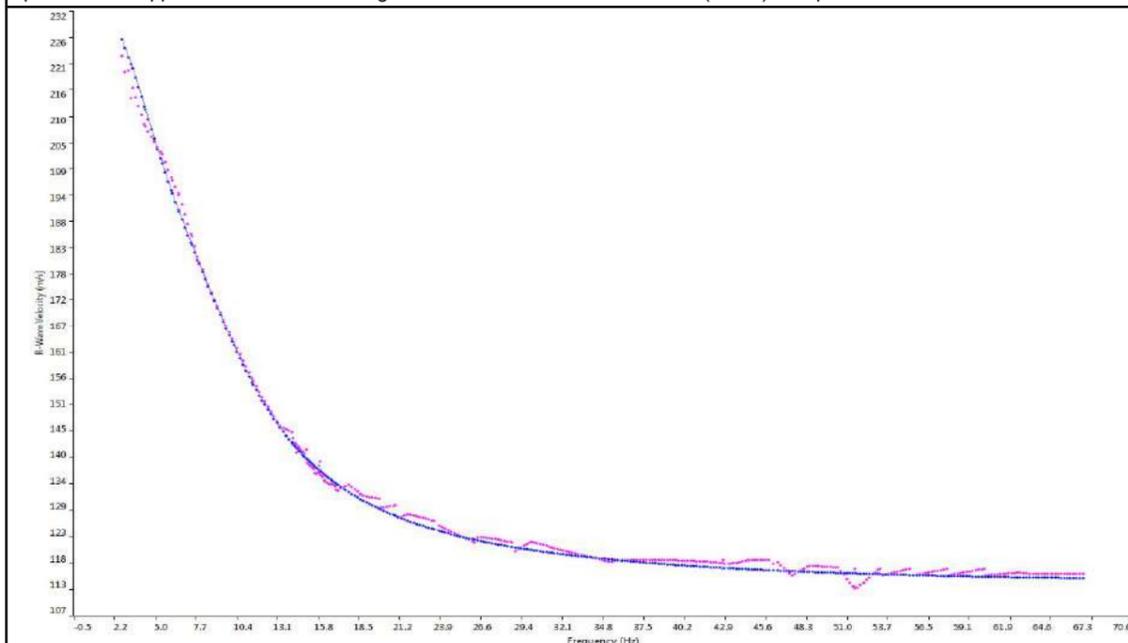
- dati e diagrammi -



Sismogramma nel dominio spazio - tempo



Spettro FK - Rappresentazione del sismogramma nel dominio numero d'onda (rad/m) - frequenza



Sovrapposizione curva di dispersione calcolata / curva teorica rappresentata nel dominio Frequenza/Velocità

V_{S30} calcolata in base al art. 3.2.2. del NTC18

Prof. posa fondazione in m da pc= 1

$$V_s \quad 1 / 31 = 208 \text{ m/sec}$$

PROFONDITA' FONDAZIONE COMUNICATA DAL
PROGETTISTA/COMMITTENTE

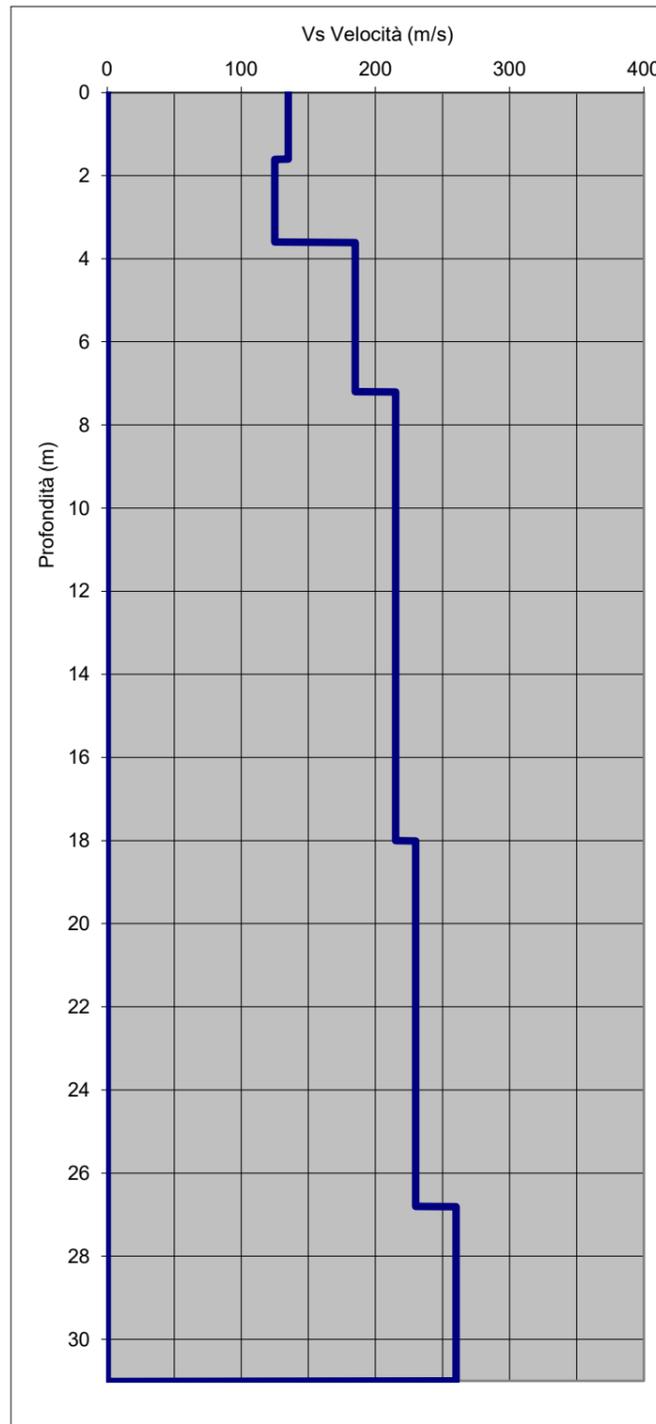


Grafico velocità/profondità onde di taglio Vs

Risultati elaborazione

Strato	Profondità da	Profondità a	Spessore m	Vel m/sec
Strato1	0.00	1.60	1.60	135
Strato2	1.60	3.60	2.00	125
Strato3	3.60	7.20	3.60	185
Strato4	7.20	18.00	10.80	215
Strato5	18.00	26.80	8.80	230
Strato6	26.80	30.00	3.20	260

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{S_i}}}$$

$$V_{S30} = 203 \text{ m/sec}$$

velocità calcolata dal p.c. naturale

*Si ricorda che in base all'art 3.2.2 del DM 17 gennaio 2018
la V_{S30} di progetto è riferita al piano di imposta delle
fondazioni superficiali o alla testa dei pali in caso di
fondazioni profonde od opere di sostegno di terreni naturali.*

Caratteristiche Indagine

Ubicazione indagine

Sismografo	PASI SG24
Geofoni	Geospace
N° geofoni a 4,5Hz	24
Spaziatura geofoni	2,0 m
Lunghezza stendimento geofonico	46 m
Energizzazione	5 m
Lunghezza totale stendimento	51 m

**PROSPEZIONE SISMICA DI SUPERFICIE
METODOLOGIA MASW**

COMMITTENTE:

Comune di Carpi (MO)

LOCALITA':

Tangenziale Bruno Losi
Carpi (MO)

CANTIERE:

Progetto di una pista ciclabile di scavalamento
della tangenziale Bruno Losi

DATA: 15 giugno 2022

FILE: MW_Losi

Dir. Lavori:

Dr. Geol. Lorenzo Malvezzi

Rif. 131_22

GEOTECH

di dott. Geol. Lorenzo Malvezzi
via I. Martinelli n°51/A
41012 Fossoli di Carpi (MO)

Allegato N. 9

“TROMOGRAFIA DIGITALE HVSR (TROMINO®)”

- dati e diagrammi -



Scheda HVSR

Tangenziale Bruno Losi Carpi (MO), HVSR -

Scheda Indagine HVSR

Strumento: TRZ-0099/01-10

Formato dati: 16 byte

Fondo scala [mV]: n.a.

Inizio registrazione: 15/06/22 09:48:59 Fine registrazione: 15/06/22 10:14:59

Tipo di lisciamento: Triangular window

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h26'00"

Analizzato 91% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz

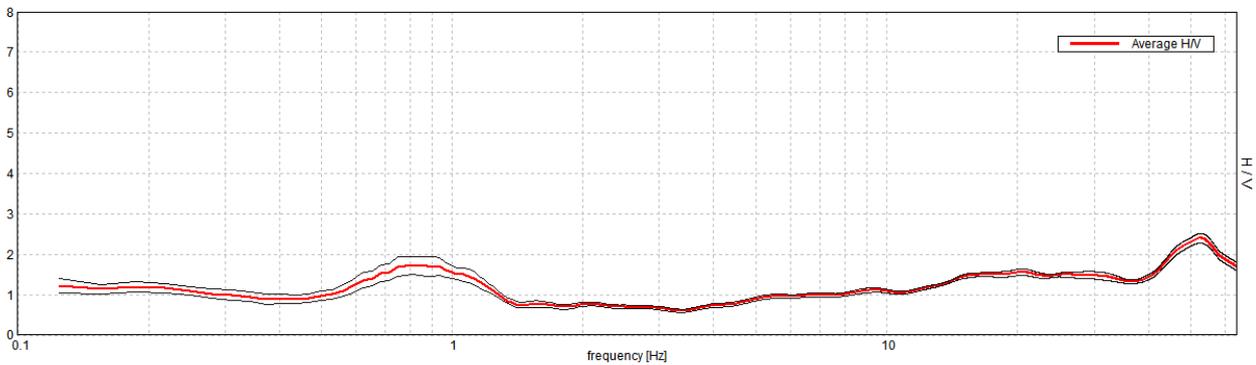
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

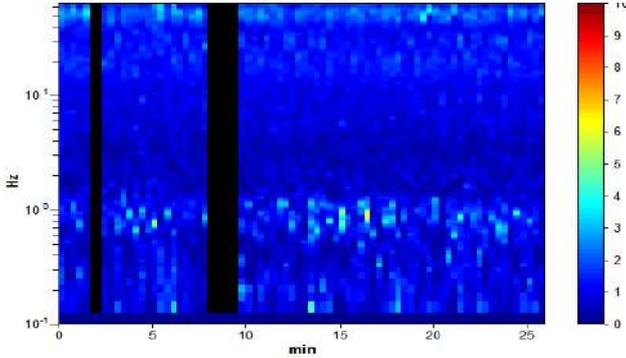
Lisciamento: 10%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

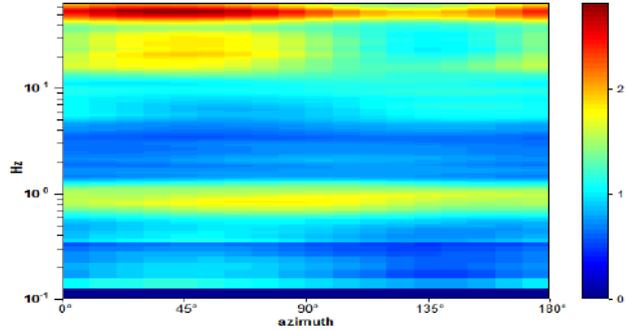
Max. H/V at 0.81 ± .19 Hz. (In the range 0.0 - 40.0 Hz).



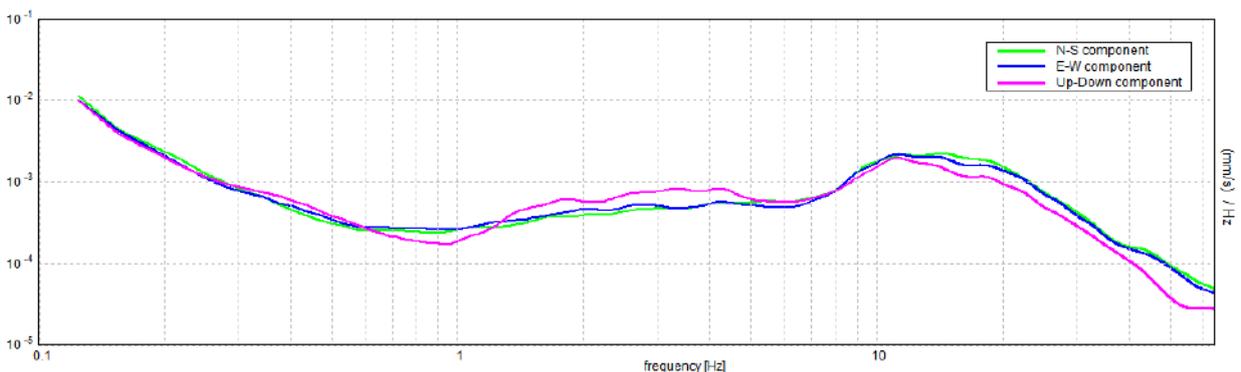
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



Picco H/V a 0.81 ± 0.19 Hz (nell'intervallo 0.0 - 40.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.81 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$1153.8 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 40	OK	

Criteri per un picco H/V chiaro

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	-1.0 Hz		NO
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.344 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$1.73 > 2$		NO
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 11.30628 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$9.18635 < 0.12188$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.2267 < 2.0$	OK	

L_w	lunghezza della finestra
n_w	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
f	frequenza attuale
f_0	frequenza del picco H/V
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	ampiezza della curva H/V alla frequenza f_0
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza f
f^-	frequenza tra $f_0/4$ e f_0 alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequenza tra f_0 e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$

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

- ✓ i primi 3 criteri della voce 1) definiscono se la registrazione è stata condotta per un tempo sufficientemente lungo rispetto alla frequenza del picco
- ✓ i secondi 6 criteri della voce 2) dovrebbero stabilire se il picco è significativo dal punto statistico; è consigliato che ne siano soddisfatti il più possibile ma non necessariamente lo devono essere tutti.

Documentazione fotografica



Piazzamento indagine HVSR



Piazzamento indagine MASW