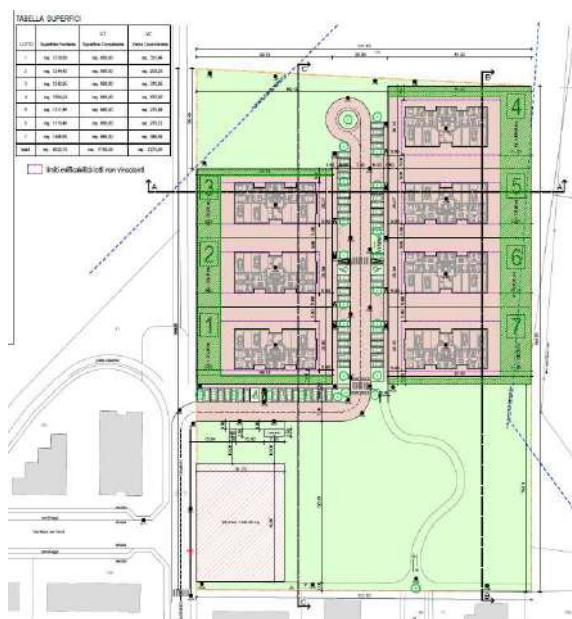


# **- COMUNE DI CARPI -**

PROVINCIA DI MODENA

PROGETTO DI UN PIANO PARTICOLAREGGIATO DI  
INIATIVA PRIVATA DENOMINATO COMPARTO B36  
"IL BOSCO URBANO" IN VIA MAR NERO A FOSSOLI

## **- RELAZIONE GEOLOGICA - - E SISMICA -**



**PROGETTISTI : Ing. Samuele Carini-Geom. Elisa Lanzi Sviluppo Prog.**  
Via Barchetta n° 6 - 41011 Campogalliano (MO)

**COMMITTENTE : Ecodomus s.r.l.**  
Via Abetone n° 20 - 41012 Carpi (MO)

**STUDIO TECNICO AMBIENTALE  
GEOTECH**

**di Dott. Geol. Lorenzo Malvezzi**

Via Martinelli, 51A - 41012 Fossoli di Carpi (MO)

Tel. 059/654076 - Fax +391782215311 - Cell. 335/6088392

P.I. 02275070361 - C.F. MLV LNZ 67D10 B819M

lorenzomalvezzi@studiogeotech.com - lorenzomalvezzi@pec.studiogeotech.com

www.studiogeotech.com

**GEOTECNICA - GEOCHIMICA - IDROGEOLOGIA - RICERCHE MINERARIE  
GEOLOGIA AMBIENTALE - PROSPEZIONI GEOFISICHE - SONDAGGI PENETROMETRICI  
GEOLOGIA APPLICATA**

**Gennaio 2022**



Studio Tecnico Ambientale

## **GEOTECH**

di Dott. Geol. Lorenzo Malvezzi

Via Martinelli n.51A

41012 - Fossoli di Carpi (MO)

Tel. 059/654076 - Fax +391782215311

Tel cell. 335/6088392

P. I.V.A. 02275070361

C.F. MLV LNZ 67D10 B819M

lorenzomalvezzi@studiogeotech.com

lorenzomalvezzi@pec.studiogeotech.com

[www.studiogeotech.com](http://www.studiogeotech.com)



### **Relazione geologica geotecnica e sismica relativa al progetto del P.P.I.P. denominato Comparto B36 “Il bosco urbano” ubicato in Via Mar Nero a Fossoli nel Comune di Carpi (MO).**

#### **1. PREMESSA.**

Su incarico della Società **Ecodomus s.r.l.** di Carpi (MO) e d'intesa con l'**Ing. Samuele Carini** e il **Geom. Elisa Lanzi** di Campogalliano (MO), si è provveduto alla stesura della presente relazione geologica geotecnica e sismica relativa al progetto del P.P.I.P. denominato Comparto B36 “Il bosco urbano” ubicato in Via Mar Nero a Fossoli nel Comune di Carpi (MO).

A tale scopo il giorno 17 Dicembre 2021 si è eseguito un sopralluogo sull'area in oggetto, durante il quale oltre all'analisi dello stato di fatto dei luoghi, è stata effettuata un'indagine geognostica al fine di determinare le caratteristiche geomeccaniche dei terreni, mediante l'esecuzione di n.2 prove penetrometriche statiche più n.1 prova penetrometrica con punta elettrica e piezocono spinte sino ad una profondità massima di -20.00 m da p.d.c. attuale, per formulare il giudizio di fattibilità geologica ai fini edificatori.

Successivamente in data 21 Dicembre 2021 si è provveduto ad effettuare una prospezione sismica di superficie MASW (Multichannel Spectral Analysis of Waves) attraverso onde Reyleight per la determinazione in modo diretto delle onde Vs30 con lo scopo di determinare la categoria di suolo del sito in esame più un'indagine a sismica passiva tipo ESAC per la determinazione in modo diretto delle onde Vs ad elevata profondità.

Contestualmente sono state rilevate le frequenze fondamentali di vibrazione dei terreni costituenti il sottosuolo dell'area in esame è stata eseguita una registrazione di microtremori mediante tromografo digitale (TROMINO®) denominata HVSR per la determinazione del primo modo di vibrare del terreno.

Le indagini geofisiche eseguite sono ubicate come da Allegato n.4 ed hanno le seguenti coordinate geografiche:

INDAGINE	UBICAZIONE (centro indagine)	
	Latitudine	Longitudine
ESAC	N 44,82554	E 10,886244
MASW	N 44,825332	E 10,886213
HVSR	N 44,825528	E 10,886267

Pertanto si è proceduto alla compilazione della presente relazione, riferita al progetto in oggetto, in ottemperanza di quanto esplicitato nella ai dettati del D.M. 11/03/88, circ. LL.PP. 24/09/88 N° 30483, e nel D.M. 17/01/2018 Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC) e successive integrazioni, Delibera della Giunta Regionale E.R. n° 2193 del 21/12/2015, DGR.ER 1661/2009, L.R.E.R. n°19/2008, D.A.L. 112/2007.

## 2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO.

L'area in esame su cui ricade il Comparto B36 si estende nella parte a NordOvest dell'abitato della Frazione di Fossoli nel Comune di Carpi su di un lotto posto ad una quota media di 21.6 m s.l.m.m..

Cartograficamente l'area è compresa nella tavola in scala 1:25.000 della C.T.R. n.183 S-E denominata "Novi di Modena" (Allegato n.1) e nella sezione, sempre della C.T.R., in scala 1:10.000 n.183150 denominata "Carpi" (Allegato n.2) e nel rispettivo Elemento in scala 1:5.000 n.183151 denominato "Casa del vento" (Allegato n. 3).

Dal punto di vista catastale l'area di sedime del comparto B36 in progetto è identificata nel Foglio 34 al mappale 189 del N.C.E.U. del Comune di Carpi (MO).

Più precisamente, entrando nel dettaglio l'area d'intervento risulta ubicata al termine di Via Mar Nero sul lato Est di Via Mar Nero e Via Magra e attualmente ha una destinazione di tipo agricolo (Fig. 1).

Su tale area con ST pari a 22.680 mq, denominata Comparto B36, le cui previsioni del PRG la identificano come zona di trasformazione insediativa (tipo B)





vi è un progetto di P.P.I.P. (Fig.2) all'interno del quale è prevista la costruzione di n.7 palazzine (Fig.3) (Fig.3) aventi n.4 piani fuori terra.

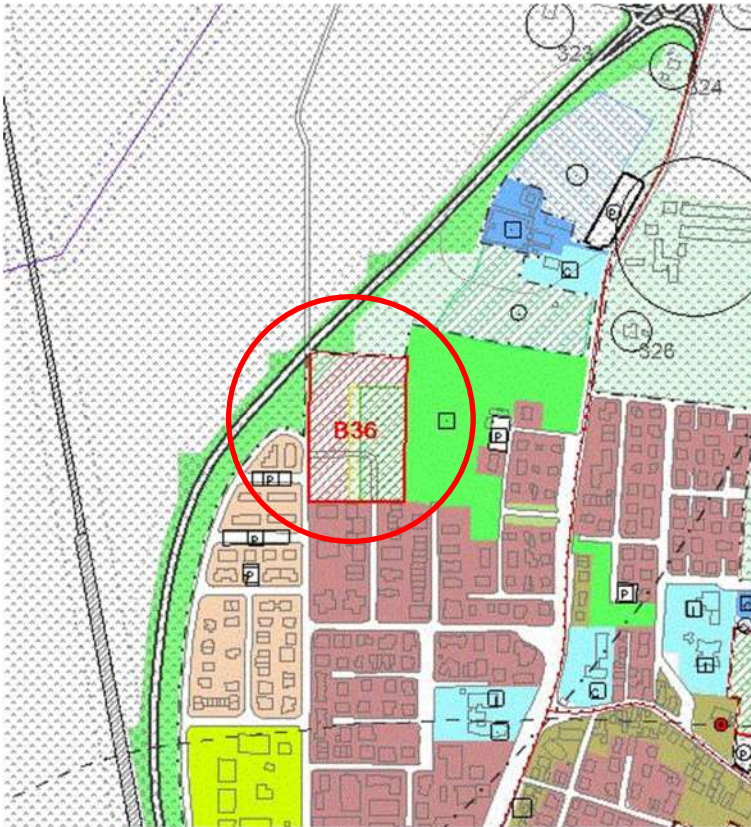


Fig.2 - Estratto di PRG Comune di Carpi.

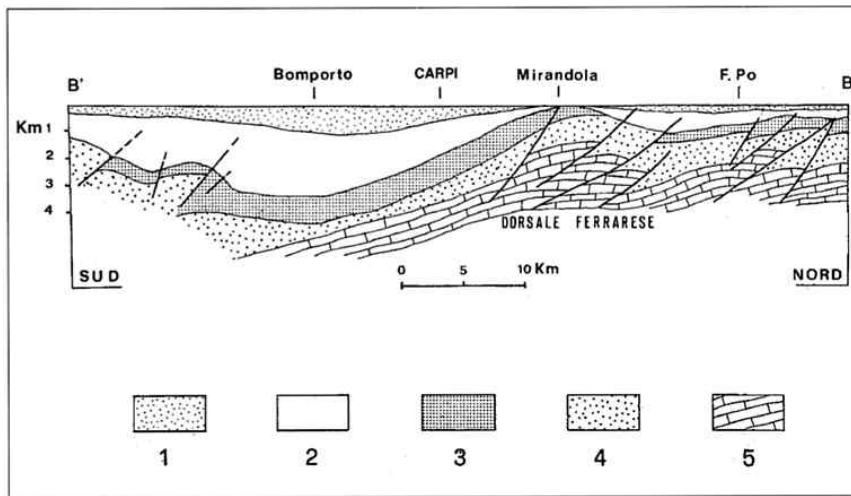


Fig. n.3 - Progetto Comparto B36.

### **3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO GENERALE.**

La zona in esame ricade nella Frazione di Fossoli nel Comune di Carpi (MO) quindi 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).



**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), sono suddivisi, a loro volta, in formazioni del Quaternario Continentale nei primi 350/400 m del sottosuolo e del Quaternario Marino da 400 a 1050/1200 m.

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-Bomporto-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.

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 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.

Come riportato in fig.5, che riporta un estratto della Tavola A4.2 "Carta litologica" del PRG 2000 del Comune di Carpi, nell'area in esame affiorano litotipi prevalentemente limosi.

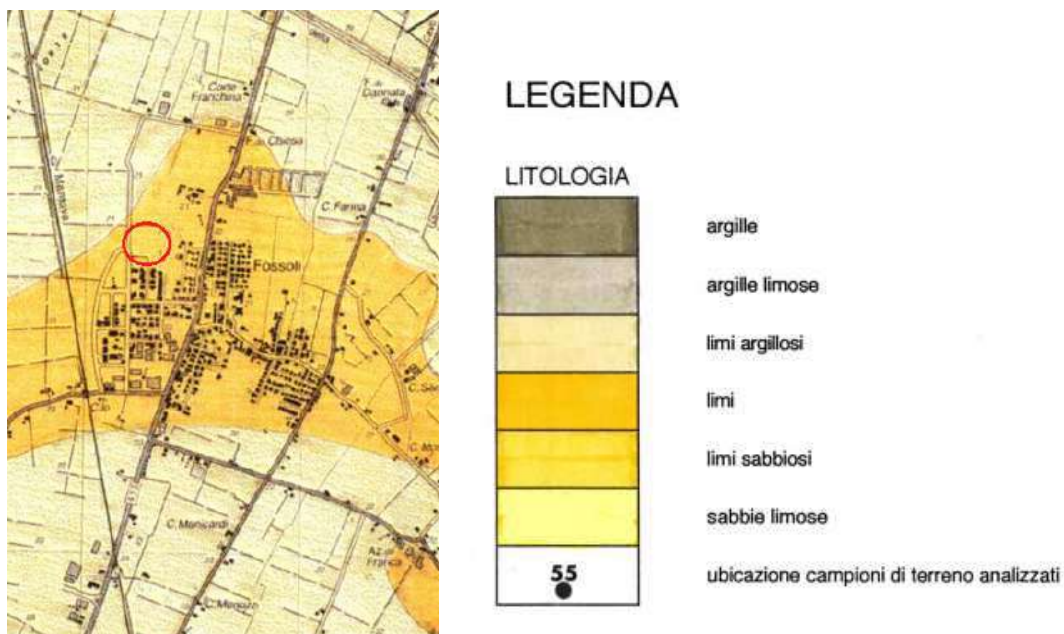


Fig.5 – Carta litologica Estratto di PRG 2000 Comune di Carpi.

La variabilità litologica del territorio comunale di Carpi è dovuta alle divagazioni dei corsi d'acqua della zona est ed in particolare modo dal fiume Secchia che attualmente scorre pochi chilometri ad Est di Carpi.

Dette caratteristiche attribuiscono la successione descritta 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 sub-alveo, 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 sono disposti in fasce parallele al corso d'acqua, mentre i depositi fini hanno una distribuzione del tutto irregolare.

Le sabbie, e comunque i depositi in genere più grossolani, sono disposti in fasce parallele ai corsi d'acqua attuali o corrispondenti ad antichi tracciati (paleoalvei), mentre i depositi più fini hanno una distribuzione del tutto irregolare.

Si evidenziano quindi numerosi paleoalvei di tale fiume 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 visto 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.

Si osserva quindi che i materiali sabbiosi si localizzano sostanzialmente in corrispondenza dei corsi d'acqua odierni ed in prossimità dei dossi topografici, generati da tracimazioni e/o divagazioni del fiume Secchia o costituenti generalmente antichi paleoalvei dello stesso fiume, i depositi limosi, ampiamente diffusi in zona, 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.

Attualmente la zona in esame è caratterizzata da una morfologia di tipo pianeggiante blandamente ondulata in senso Ovest-Est con pendenze dell'ordine dell'1-2 ‰; comunque le modifiche che subirà il territorio in seguito all'inserimento delle strutture in progetto, non influiranno sulla morfologia generale della zona.

#### **4. IDROGEOLOGIA.**

Il territorio comunale di Carpi dal punto di vista idrogeologico appartiene al sistema acquifero della media pianura modenese; quest'ultimo è caratterizzato da una situazione stratigrafica prevalentemente limo-argillosa nella quale i livelli acquiferi sono costituiti da lenti sabbiose che come spessore non superano mai il 10% del totale.

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 ed 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 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 -1.50/2.10 m dal p.d.c. con escursione stagionale che determina un aumento del livello statico del primo acquifero a Maggio rispetto Dicembre.

Tale falda, cosiddetta "libera", è caratterizzata da bassi valori di trasmissività e da una variabilità del proprio livello in stretta relazione con gli apporti meteorici e con la rete di canalizzazione e viene intercettata con pozzi tradizionali.

La sua acqua viene prevalentemente utilizzata, in relazione alla scarsa qualità, per l'irrigazione di orti e giardini, mai per uso idropotabile.

Comunque si evidenzia una situazione conservativa nel tempo dei caratteri idrogeologici freatici per la porzione di area considerata.

## **5. IDROLOGIA SUPERFICIALE.**

Il sistema drenante superficiale della parte Nord dell'abitato di Carpi ha un orientamento di scorrimento preferenziale verso SSO/NNE, dovuto ad una complessa riorganizzazione dei canali di bonifica succedutasi in varie epoche sul reticolo naturale.

Tale operazione ha portato ad una netta divisione del territorio in rete scolante delle acque alte e delle acque basse.

Questi corsi d'acqua ricadono nel comprensorio del Consorzio di Bonifica dell'Emilia Centrale che ne stabilisce, a seconda delle esigenze stagionali, la regimazione idraulica.

L'idrografia superficiale risulta composta da fossi e canali di scolo con andamento prevalente da NNE a SSO, che complessivamente creano buone condizioni di deflusso delle acque superficiali; tendendo singolarmente a confluire in aste fluviali di ordine superiore.

Uno dei principali cavi presenti nell'intorno è il Cavo Quistella il quale scorre ad 1 Km ad Est dell'area, in considerazione del quale si ritiene non sussistano pericoli di esondabilità, in virtù anche della sua buona tenuta durante i periodi di massima portata.

## **6. INDAGINI GEOGNOSTICHE ESEGUITE.**

### ***6.1 - Prove penetrometriche statiche CPT1 e CPT2 (Cone Penetration Test).***

In data 17 Dicembre 2021 si è provveduto ad eseguire un'indagine geognostica sull'area in oggetto, al fine di valutare le caratteristiche litostratigrafiche e geotecniche dei terreni su cui è in progetto il Comparto B36.

L'indagine è stata sviluppata mediante esecuzione di 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. 7), la quale possiede un cono con un'area di  $10 \text{ cm}^2$  ed un angolo di conicità pari a  $60^\circ$  e di un manicotto al di sopra del cono di  $150 \text{ cm}^2$ .

Le operazioni d'infissione si sono svolte nel seguente modo: durante l'affondamento della punta venivano riportate le pressioni lette a lettura digitale ogni  $20 \text{ cm}$  d'avanzamento ottenendo una resistenza penetrometrica alla punta ( $R_p$ ), espressa in  $\text{Kg/cm}^2$ , così anche per i valori di resistenza laterale locale ( $R_l$ ), espressa sempre in  $\text{Kg/cm}^2$ , secondo le norme internazionali standard (Fig. 6).

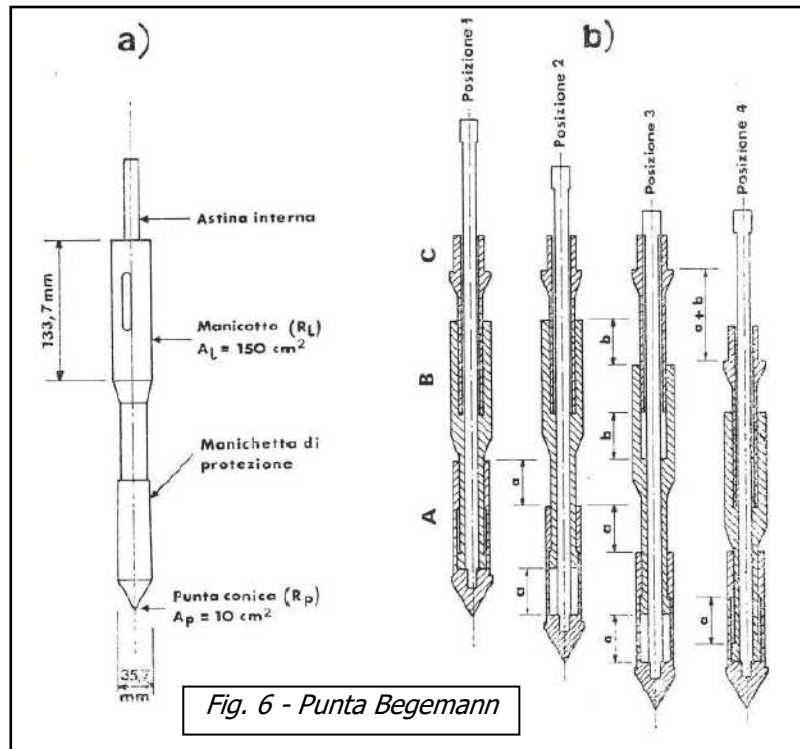


Fig. 6 - Punta Begemann



Fig. 7

Il numero e l'ubicazione delle prove sono state valutate dallo scrivente in relazione alla forma e alle dimensioni della vasca in progetto ed in funzione dell'accessibilità dell'area, rispettando il principio del massimo ricoprimiento dell'area, il risultato viene riportato nella planimetria in Allegato n. 4.

I sondaggi penetrometrici (Allegato n.7), sono stati spinti sino alla profondità di  $-20.00 \text{ m}$  dal piano campagna attuale, profondità sufficiente in relazione alla tipologia di edifici presenti all'interno del Comparto B36, rilevando inoltre un livello statico medio all'interno dei fori di sondaggio pari a:

**Prova CPT1 I.s. = -1.60 m da p.d.c.**

**Prova CPT2 I.s. = -1.60 m da p.d.c.**

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

Da un punto di vista litologico i terreni presenti sono costituiti da un'alternanza tra litotipi argillosi in prevalenza e in minor percentuale di tipo limoso e sabbioso.

Complessivamente si rilevano medie caratteristiche geomeccaniche dei terreni indagati, si può quindi affermare che non vi sono particolari impedimenti all'edificazione in tale sito.

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**

### **Coordinate Geografiche**

N 44° 49' 29.1" - E 010° 53' 10.9"

Nella prova CPT1 (Fig. 8) è stato individuato un primo strato da -0.40 m a -2.40 m caratterizzato litologicamente da argille seguite da limi e limi argillosi con medie caratteristiche geotecniche, con valori medi di  $R_p$ , resistenza alla punta in termini statici, pari a 1.08 MPa.

Subito sotto, da -2.40 m a -6.20 m di profondità si assiste ad un forte aumento dei valori di resistenza alla punta mentre dal punto di vista litologico abbiamo delle sabbie e sabbie limose a buona compattezza che danno valori medi di resistenza alla punta pari a 4.44 MPa.

Proseguendo in profondità, da -6.20 m a -13.60 m si denota una diminuzione dei valori di resistenza alla punta mentre dal punto di vista litologico abbiamo delle argille e argille limose alternate a dei livelli decimetrici di limi e limi argillosi a buona consistenza che danno valori medi di resistenza alla punta pari a 1.82 MPa.

Ancora in profondità, da -13.60 m a -14.20 m si assiste ad una locale aumento dei valori di resistenza alla punta mentre dal punto di vista litologico abbiamo dei limi e limi sabbiosi a buona compattezza che danno valori medi di resistenza alla punta pari a 3.13 MPa.

Proseguendo in profondità, da -14.20 m a -19.00 m si denota una certa regolarità dei valori di resistenza alla punta mentre dal punto di vista litologico



Fig. 8 - Prova CPT1 Penetrometro Pagani TG 63-100

abbiamo delle argille intercalate da livelli decimetrici di limi e limi argillosi a buona consistenza che danno valori medi di resistenza alla punta pari a 1.76 MPa.

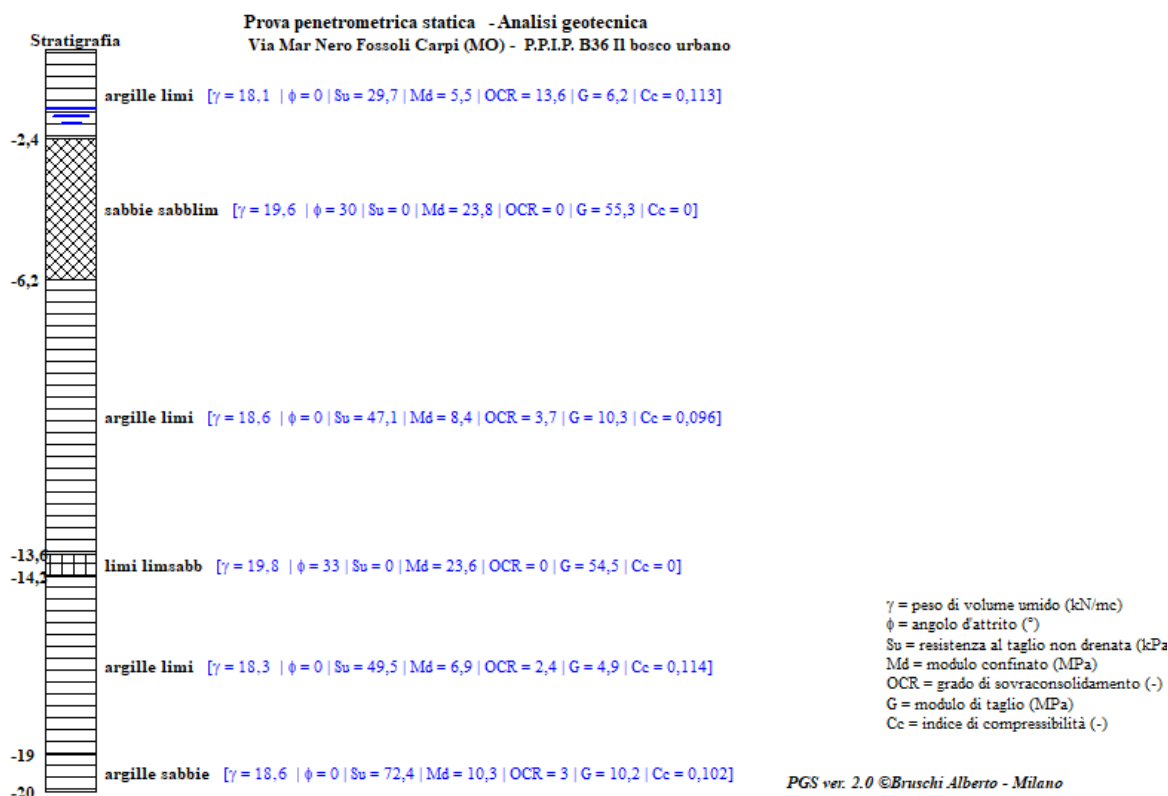
Come ultimo intervallo, da -19.00 m a -20.00 m abbiamo un locale aumento dei valori di resistenza alla punta mentre dal punto di vista litologico si rileva la presenza di argille al tetto che passano a delle sabbie a buona consistenza che danno valori medi di resistenza alla punta pari a 2.66 MPa.

**- CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA CPT1 -**

da m.	a m.	Qc	g	ld	f	Su	M	OCR	Go	Vs	Cc	Litotipo
0,4	2,4	1,08	18,1			29,7	5,5	13,6	6,2	137,9	0,113	argille limi
2,4	6,2	4,44	19,6	34	30		23,8		55,3	326,5	0	sabbie sabblim
6,2	13,6	1,82	18,6			47,1	8,4	3,7	10,3	192,9	0,096	argille limi
13,6	14,2	3,13	19,8	27	33		23,6		54,5	268,6	0	limi limsabb
14,2	19,0	1,76	18,3			49,5	6,9	2,4	4,9	188,7	0,114	argille limi
19,0	20,0	2,66	18,6			72,4	10,3	3	10,2	244	0,102	argille sabbie

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 CPT1 -**





## **DESCRIZIONE LITOMECCANICA PROVA CPT2**

### **Coordinate Geografiche**

N 44° 49' 30.8" - E 010° 53' 11.2"

Nella prova CPT2 (Fig. 9) è stato individuato un primo strato da -0.40 m a -2.80 m caratterizzato litologicamente da argille e argille limose al tetto seguite da dei limi sabbiosi con buone caratteristiche geotecniche con valori medi di  $R_p$ , resistenza alla punta in termini statici, pari a 1.28 MPa.

Subito sotto, da -2.80 m a -4.20 m di profondità si assiste ad un aumento dei valori di resistenza alla punta mentre dal punto di vista litologico abbiamo dei limi e limi argillosi a buona consistenza che danno valori medi di resistenza alla punta pari a 2.47 MPa.

Proseguendo in profondità, da -4.20 m a -5.40 m si denota un repentino aumento dei valori di resistenza alla punta mentre dal punto di vista litologico abbiamo delle sabbie a buona compattezza che danno valori medi di resistenza alla punta pari a 5.13 MPa.

Ancora in profondità, da -5.40 m a -12.40 m si assiste ad una diminuzione 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 sabbie a buona consistenza che danno valori medi di resistenza alla punta pari a 2.06 MPa.

Subito sotto, da -12.40 m a -14.00 m di profondità si denota un locale aumento dei valori di resistenza alla punta mentre dal punto di vista litologico abbiamo delle sabbie limose con intercalati dei limi argillosi a buona compattezza che danno valori medi di resistenza alla punta pari a 2.98 MPa.

Proseguendo in profondità, da -14.00 m a -18.60 m si assiste ad una certa variabilità dei valori di resistenza alla punta mentre dal punto di vista litologico abbiamo delle argille e un livello decimetrico di limi a buona consistenza che danno valori medi di resistenza alla punta pari a 1.85 MPa.



Fig. 9 - Prova CPT2 Penetrometro Pagani TG 63-100

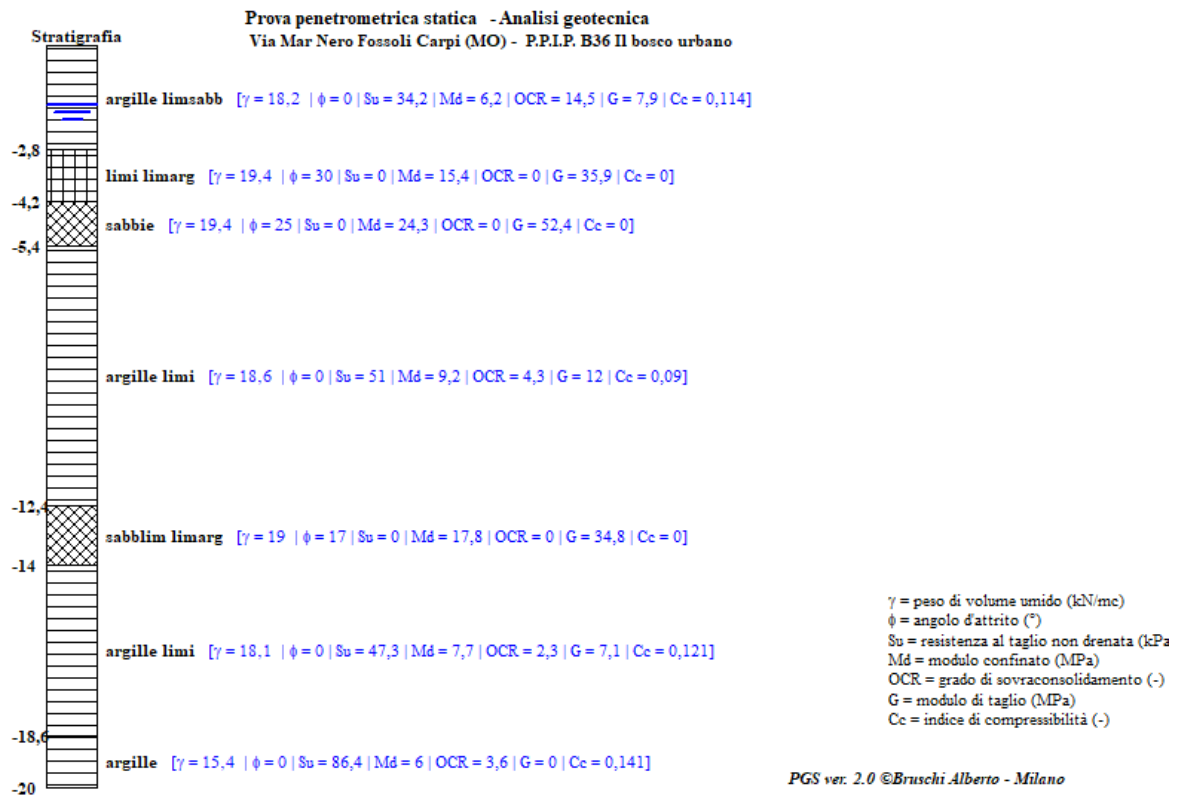
Come ultimo intervallo, da -18.60 m a -20.00 m si denota un progressivo aumento dei valori di resistenza alla punta mentre dal punto di vista litologico abbiamo delle argille a buona compattezza che danno valori medi di resistenza alla punta pari a 2.15 MPa.

**- CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA CPT2 -**

da m.	a m.	Qc	g	ld	f	Su	M	OCR	Go	Vs	Cc	Litotipo
0,4	2,8	1,28	18,2			34,2	6,2	14,5	7,9	153,7	0,114	argille limsabb
2,8	4,2	2,47	19,4	26,5	30		15,4		35,9	232,5	0	limi limarg
4,2	5,4	5,13	19,4	31	25		24,3		52,4	360,1	0	sabbie
5,4	12,4	2,06	18,6			51	9,2	4,3	12	206,8	0,09	argille limi
12,4	14,0	2,98	19	15,6	17		17,8		34,8	257,7	0	sabblim limarg
14,0	18,6	1,85	18,1			47,3	7,7	2,3	7,1	193,6	0,121	argille limi
18,6	20,0	2,15	15,4			86,4	6	3,6	0	202	0,141	argille

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 CPT2 -**



Si è proceduto inoltre ad eseguire un'elaborazione delle prove CPT1 e CPT2 per ogni 20 cm di sondaggio ottenendo i principali parametri geotecnici (Allegato n.6), inoltre è stata anche eseguita una valutazione dei parametri geotecnici medi all'interno degli strati geotecnicamente omogenei di entrambe le prove utilizzando il software "Static Probing" di GeoStru s.r.l..

### **6.2 - Prova penetrometrica statica con punta elettrica e piezocono CPTU3.**

In data 21 Dicembre 2021 è stata eseguita una prova penetrometrica statica con piezocono (CPTU3), tale prova prevede la misura della resistenza alla penetrazione di una punta conica di dimensioni e caratteristiche standard, infissa a velocità costante nel terreno tramite un dispositivo di spinta che agisce su di una batteria di aste alla cui estremità inferiore è connesso il piezocono (Fig. 10).



*Fig.10 - Piezocono.*

Il piezocono è quindi costituito da una punta conica del diametro di 35 mm e angolo di apertura del cono di 60° che viene infissa nel terreno con un velocità costante di 2 cm/sec ( $\pm 0.5$  cm/sec) permettendo di valutare la resistenza meccanica dei terreni ( $Q_c$ ) durante la penetrazione.

La punta è seguita da un settore che è dotato di un trasduttore di pressione alloggiato nella parte anteriore della sonda, all'interno di un anello in acciaio sinterizzato, necessario per misurare la variazione della pressione interstiziale ( $U$ ) al passaggio della punta, tale anello è posizionato immediatamente sopra al cono ( $U_2$ ).

Dietro al cono, generalmente subito a monte rispetto al settore poroso  $U_2$ , si trova il manicotto, un tratto di 150 mm utilizzato per la misura dell'attrito laterale locale ( $F_s$ ) esercitata dal terreno dopo il passaggio della punta.

Questa misura, definita come  $F_s$ , viene utilizzata in combinazione con la pressione di rottura del terreno ( $Q_c$ ) al fine di definire per via indiretta il tipo litologico attraversato.

Tutte le misure avvengono mediante celle di carico e sensori posizionati sulla punta e vengono trasmesse e registrate in tempo reale (tramite un cavo coassiale contenuto entro le aste di prolunga) da un elaboratore elettronico in superficie.

Il piezocono della ditta Tecnopenta s.r.l. aggiunge alla misura dei parametri standard, la misura della temperatura e dell'inclinazione durante la prova (su due assi).

Per l'esecuzione della prova CPTU3 è stato utilizzato un piezocono modello G1-CPLS D della ditta Tecnopenta s.r.l. Via G. Galilei 7a/2 - 35037 Teolo (PD) avente le seguenti caratteristiche:

*Caratteristiche del piezocono:*

**PUNTA CONICA**

Diametro :	35.70 mm
Altezza nominale :	30.90 mm
Angolo di apertura :	60°
Area nominale :	1000.00 mm <sup>2</sup>
Altezza filtro :	5.00 mm
Diametro interno filtro :	27.00 mm
Distanza tra filtro e base cono :	4.00 mm
Altezza quadring :	3.50 mm

**PIEZOCONO**

Area di base :	10.00 cm <sup>2</sup>
Diametro :	35.70 mm
Area netta (AN) :	6.60 cm <sup>2</sup>
Superficie manicotto :	150.00 cm <sup>2</sup>
Lunghezza manicotto :	133.70 mm
Area superiore manicotto (F sup.) :	2.22 cm <sup>2</sup>
Area inferiore manicotto (F inf.) :	3.31 cm <sup>2</sup>
Lunghezza totale piezocono :	450.00 mm
Peso complessivo :	2.010 Kg
Lunghezza raccordo punta - aste :	250.00 mm

I trasduttori di forza per la misura di Qc e Fs sono stati realizzati con 4 coppie di estensimetri a rosetta al fine di ridurre gli effetti di eccentricità del carico.

Nei diagrammi e tabelle presenti in Allegato n.7 sono riportati i seguenti valori di resistenza (rilevati dalle letture di campagna, durante l'infissione dello strumento):

- Qc (MPa) = resistenza alla punta (conica);
- Fs (KPa) = resistenza laterale (manicotto);
- U (KPa) = pressione dei pori (setto poroso);
- Inclinazione X-Y (°) = inclinazione degli assi X e Y rispetto la verticale;
- V (cm/sec) = velocità della punta;
- Qc/Fs (%) = resistenza alla punta / rapporto attrito laterale;

Per eseguire la prova penetrometrica con piezocono è stato utilizzato quale dispositivo di spinta un penetrometro statico semovente di tipo PAGANI TG 63-100 KN (Fig.11), autoancorante il quale esercita una spinta massima pari a 10 ton su



una batteria di aste da 36 mm di diametro (aste cave con il cavo di trasmissione dati all'interno).

Eventuali anelli allargatori sono stati posizionati ad almeno 100 cm dalla base del cono.

La corsa del meccanismo di spinta è pari ad un metro cioè si mette in sequenza un'asta per volta, la penetrazione ha inizio solo dopo un'accurata stabilizzazione in modo verticale della colonna di spinta facendo uso di una bolla sferica posizionata alla base della colonna.

La velocità di infissione della batteria di aste è di 2 cm/sec ( $\pm 0.5$  cm/sec), costante nel corso della prova, indipendentemente dalla resistenza offerta dal terreno.

I dati acquisiti con la prova

penetrometrica con piezocono (CPTU3) sono stati elaborati con il software CPeT-IT v.2 della Geologismiki Geotechnical Software.

Tale programma permette una facile interpretazione dei dati acquisiti con la prova ed esegue interpretazioni sulla base delle condizioni di comportamento del suolo (SBT: Soil Behaviour Type) e vari altri parametri geotecnici basati sulle correlazioni pubblicate da Lunne, Robertson and Powell (1977) e i più recenti aggiornamenti del Prof. Robertson (Fig.12).

I dati della resistenza alla punta, al manicotto laterale, della pressione dei pori e dell'inclinazione della punta presenti in Allegato n.7 sono stati elaborati per la ricostruzione del modello litostratigrafico attraverso il STB Index (Fig.13).

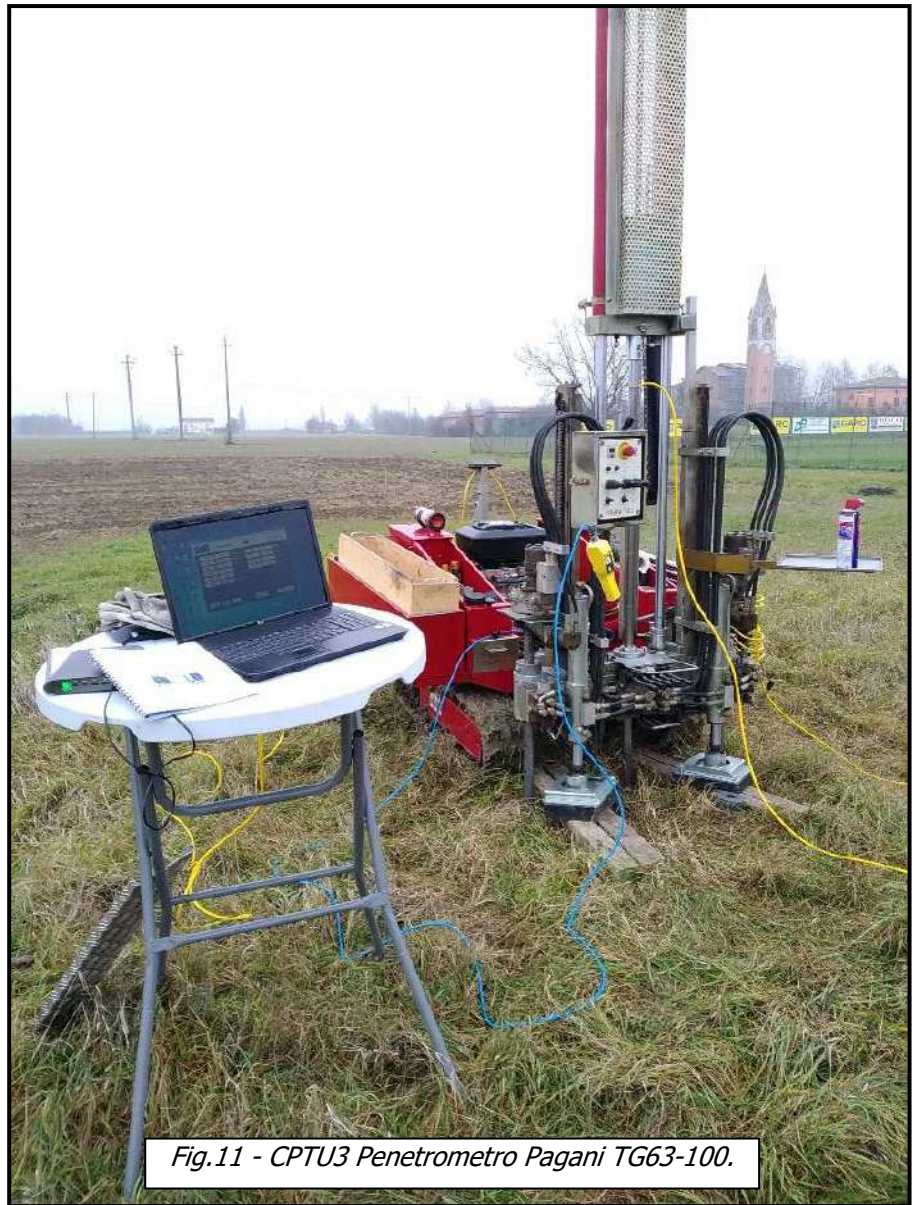


Fig.11 - CPTU3 Penetrometro Pagani TG63-100.

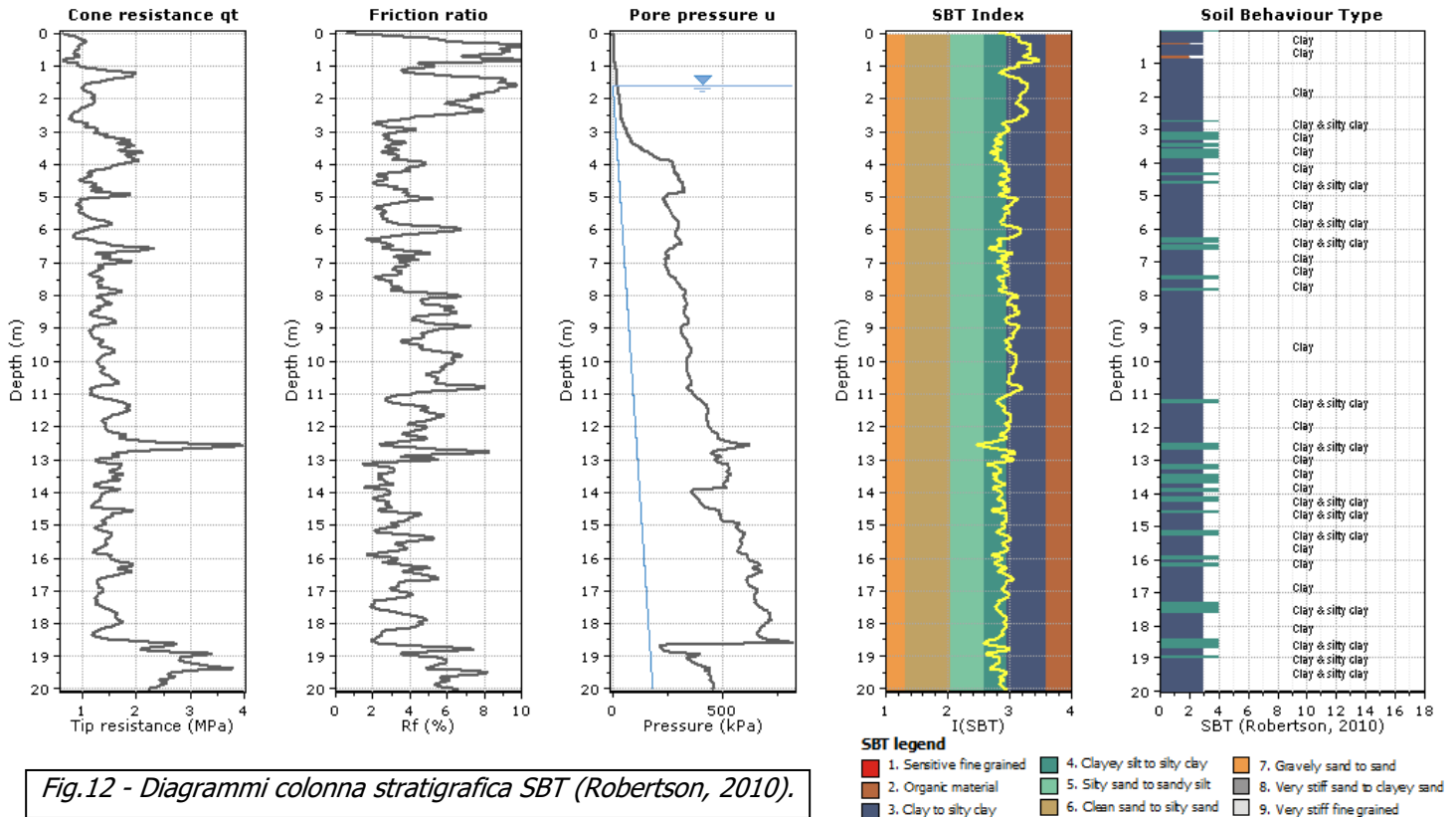


Fig.12 - Diagrammi colonna stratigrafica SBT (Robertson, 2010).

Dall'analisi litologica e geotecnica ottenuta attraverso il SBT Index (Fig. 13) si è proceduto ad eseguire una suddivisione della colonna stratigrafica (da 0 a -20 m) in strati geotecnicamente omogenei ottenendo quindi i principali parametri geotecnici che li definiscono (Fig. 13).

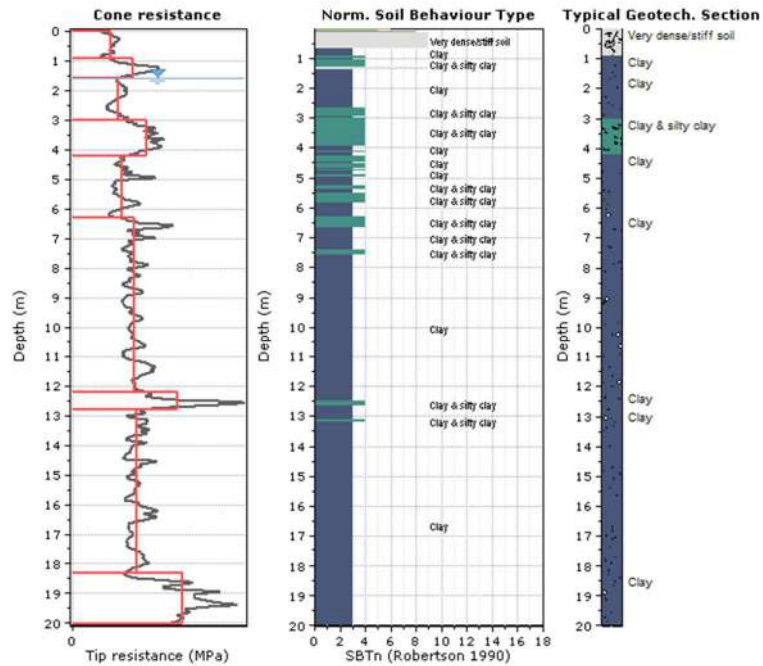
La suddivisione in strati è stata eseguita attraverso una discretizzazione soggettiva del progettista tenendo conto esclusivamente dei valori di  $q_c$  misurati in profondità senza considerare minimamente le variazioni litologiche cioè ricercando esclusivamente un'uniformità geomeccanica in profondità.

Tale tipo di analisi è finalizzata ad una discretizzazione dei litotipi ai fini meccanici per ottenere un quadro generale per le future verifiche agli stati limite che si andranno ad eseguire in fase esecutiva sui singoli edifici.

Da un'analisi completa sulla prova si evidenzia la presenza di terreni superficiali a media consistenza che tendono a migliorare leggermente con la profondità fino a -18,50 m per poi un aumento ulteriore fino a fine prova.

In questo caso specifico la verifica del potenziale di liquefazione IL è stata omessa in quanto siamo in presenza di litotipi prevalentemente argillosi e/o limo argillosi.





**Project:** Progetto di un P.P.I.P. denominato Comparto B36  
**Location:** Via Mar Nero Fossoli di Carpi (MO)

**CPT: Prova CPTU3 Via Mar Nero Fossoli modificata**

Total depth: 20.00 m, Date: 21/12/2021  
 Surface Elevation: 0.00 m  
 Coords: X:0.00, Y:0.00

Cone Type:  
 Cone Operator:

Depth (m)	Elevation: 0.00 (m)	Description	qt (MPa)	Ksbt (m/s)	N60	Es (MPa)	Dr	Phi (°)	M (MPa)	Go (MPa)	Su (kPa)	Su ratio	OCR	Gamma (kN/m <sup>3</sup> )
0.5	0.00	Very dense/stiff soil	0.9	1.81E-6	3.6	-	-	-	12.1	22.3	64.3	5.5	25.6	19.0
1	0.90	Clay	1.4	9.29E-8	5.8	-	-	-	19.2	37.5	97.9	3.5	15.9	19.0
1.5	1.60	Clay	1.1	2.37E-8	5.1	-	-	-	14.3	34.9	72.8	1.9	8.9	19.0
2														
2.5														
3	3.00	Clay & silty clay	1.7	8.87E-8	7.0	-	-	-	23.0	43.1	117.5	2.2	10.2	19.0
3.5														
4	4.20	Clay	1.2	2.09E-8	5.5	-	-	-	14.4	36.7	75.4	1.2	5.4	19.0
4.5														
5														
5.5														
6														
6.5	6.30	Clay	1.4	8.41E-9	7.7	-	-	-	15.5	55.4	90.3	0.9	4.3	19.0
7														
7.5														
8														
8.5														
9														
9.5														
10														
10.5														
11														
11.5														
12	12.20	Clay	2.4	2.40E-8	11.7	-	-	-	29.3	81.0	157.1	1.2	5.6	19.0
12.5	12.80	Clay	1.5	2.76E-9	8.5	-	-	-	9.2	60.5	84.7	0.5	2.5	19.0
13														
13.5														
14														
14.5														
15														
15.5														
16														
16.5														
17														
17.5														
18	18.30	Clay	2.5	3.75E-9	14.3	-	-	-	25.8	104.2	155.9	0.8	3.7	19.0
18.5														
19														
19.5														
20														

*Fig.13 - Principali parametri geotecnici derivati nei diversi strati.*

**Tabular results**

.: Layer No: 1 .:		
<b>Code: 1</b>	<b>Start depth:</b> 0.00 (m), <b>End depth:</b> 0.90 (m)	
<b>Description:</b> Very dense/stiff soil		
<b>Basic results</b>	<b>Estimation results</b>	
Total cone resistance: 0.89 ±0.12 MPa	Permeability: 1.81E-06 ±7.54E-06 m/s	Constrained Mod.: 12.14 ±2.15 MPa
Sleeve friction: 65.81 ±24.06 kPa	N <sub>60</sub> : 3.56 ±0.72 blows	Go: 22.26 ±5.82 MPa
Ic: 2.59 ±0.27	Es: 0.00 ±0.00 MPa	Su: 64.34 ±8.31 kPa
SBT <sub>n</sub> : 9	Dr (%): 0.00 ±0.00	Su ratio: 5.54 ±2.12
SBTn description: Very dense/stiff soil	φ (degrees): 0.00 ±0.00 °	O.C.R.: 25.60 ±9.79
	Unit weight: 19.00 ±0.00 kN/m <sup>3</sup>	
.: Layer No: 2 .:		
<b>Code: 2</b>	<b>Start depth:</b> 0.90 (m), <b>End depth:</b> 1.60 (m)	
<b>Description:</b> Clay		
<b>Basic results</b>	<b>Estimation results</b>	
Total cone resistance: 1.39 ±0.39 MPa	Permeability: 9.29E-08 ±8.25E-08 m/s	Constrained Mod.: 19.19 ±5.39 MPa
Sleeve friction: 86.77 ±35.69 kPa	N <sub>60</sub> : 5.83 ±1.44 blows	Go: 37.52 ±9.16 MPa
Ic: 2.69 ±0.15	Es: 0.00 ±0.00 MPa	Su: 97.89 ±27.50 kPa
SBT <sub>n</sub> : 3	Dr (%): 0.00 ±0.00	Su ratio: 3.45 ±0.70
SBTn description: Clay	φ (degrees): 0.00 ±0.00 °	O.C.R.: 15.94 ±3.24
	Unit weight: 19.00 ±0.00 kN/m <sup>3</sup>	
.: Layer No: 3 .:		
<b>Code: 3</b>	<b>Start depth:</b> 1.60 (m), <b>End depth:</b> 3.00 (m)	
<b>Description:</b> Clay		
<b>Basic results</b>	<b>Estimation results</b>	
Total cone resistance: 1.06 ±0.16 MPa	Permeability: 2.37E-08 ±1.99E-08 m/s	Constrained Mod.: 14.28 ±2.21 MPa
Sleeve friction: 65.06 ±26.20 kPa	N <sub>60</sub> : 5.08 ±0.77 blows	Go: 34.88 ±5.42 MPa
Ic: 2.86 ±0.10	Es: 0.00 ±0.00 MPa	Su: 72.84 ±11.26 kPa
SBT <sub>n</sub> : 3	Dr (%): 0.00 ±0.00	Su ratio: 1.92 ±0.40
SBTn description: Clay	φ (degrees): 0.00 ±0.00 °	O.C.R.: 8.89 ±1.83
	Unit weight: 19.00 ±0.00 kN/m <sup>3</sup>	
.: Layer No: 4 .:		
<b>Code: 4</b>	<b>Start depth:</b> 3.00 (m), <b>End depth:</b> 4.20 (m)	
<b>Description:</b> Clay & silty clay		
<b>Basic results</b>	<b>Estimation results</b>	
Total cone resistance: 1.71 ±0.24 MPa	Permeability: 8.87E-08 ±4.41E-08 m/s	Constrained Mod.: 23.03 ±3.38 MPa
Sleeve friction: 57.96 ±13.16 kPa	N <sub>60</sub> : 6.97 ±0.86 blows	Go: 43.13 ±4.98 MPa
Ic: 2.65 ±0.08	Es: 0.00 ±0.00 MPa	Su: 117.51 ±17.23 kPa
SBT <sub>n</sub> : 4	Dr (%): 0.00 ±0.00	Su ratio: 2.21 ±0.28
SBTn description: Clay & silty clay	φ (degrees): 0.00 ±0.00 °	O.C.R.: 10.21 ±1.31
	Unit weight: 19.00 ±0.00 kN/m <sup>3</sup>	
.: Layer No: 5 .:		
<b>Code: 5</b>	<b>Start depth:</b> 4.20 (m), <b>End depth:</b> 6.30 (m)	
<b>Description:</b> Clay		
<b>Basic results</b>	<b>Estimation results</b>	
Total cone resistance: 1.15 ±0.23 MPa	Permeability: 2.09E-08 ±1.34E-08 m/s	Constrained Mod.: 14.36 ±3.79 MPa
Sleeve friction: 39.66 ±17.39 kPa	N <sub>60</sub> : 5.54 ±0.95 blows	Go: 36.73 ±6.72 MPa
Ic: 2.88 ±0.12	Es: 0.00 ±0.00 MPa	Su: 75.36 ±16.75 kPa
SBT <sub>n</sub> : 3	Dr (%): 0.00 ±0.00	Su ratio: 1.17 ±0.28
SBTn description: Clay	φ (degrees): 0.00 ±0.00 °	O.C.R.: 5.40 ±1.30
	Unit weight: 19.00 ±0.00 kN/m <sup>3</sup>	



<b>::: Layer No: 6 :::</b>		
<b>Code: 6      Start depth: 6.30 (m), End depth: 12.20 (m)</b>		
<b>Description:</b> Clay		
<b>Basic results</b>		
Total cone resistance: 1.44 ±0.22 MPa	<b>Estimation results</b>	
Sleeve friction: 66.06 ±18.66 kPa	Permeability: 8.41E-09 ±1.30E-08 m/s	Constrained Mod.: 15.47 ±4.40 MPa
Ic: 3.06 ±0.15	N <sub>60</sub> : 7.68 ±1.01 blows	Go: 55.40 ±8.43 MPa
SBT <sub>n</sub> : 3	Es: 0.00 ±0.00 MPa	Su: 90.29 ±15.66 kPa
SBTn description: Clay	Dr (%): 0.00 ±0.00	Su ratio: 0.92 ±0.24
	φ (degrees): 0.00 ±0.00 °	O.C.R.: 4.25 ±1.13
	Unit weight: 19.00 ±0.00 kN/m <sup>3</sup>	
<b>::: Layer No: 7 :::</b>		
<b>Code: 7      Start depth: 12.20 (m), End depth: 12.80 (m)</b>		
<b>Description:</b> Clay		
<b>Basic results</b>		
Total cone resistance: 2.44 ±0.80 MPa	<b>Estimation results</b>	
Sleeve friction: 102.72 ±35.01 kPa	Permeability: 2.40E-08 ±3.50E-08 m/s	Constrained Mod.: 29.26 ±12.54 MPa
Ic: 2.95 ±0.20	N <sub>60</sub> : 11.74 ±2.52 blows	Go: 81.00 ±13.14 MPa
SBT <sub>n</sub> : 3	Es: 0.00 ±0.00 MPa	Su: 157.07 ±56.85 kPa
SBTn description: Clay	Dr (%): 0.00 ±0.00	Su ratio: 1.21 ±0.44
	φ (degrees): 0.00 ±0.00 °	O.C.R.: 5.59 ±2.04
	Unit weight: 19.00 ±0.00 kN/m <sup>3</sup>	
<b>::: Layer No: 8 :::</b>		
<b>Code: 8      Start depth: 12.80 (m), End depth: 18.30 (m)</b>		
<b>Description:</b> Clay		
<b>Basic results</b>		
Total cone resistance: 1.48 ±0.19 MPa	<b>Estimation results</b>	
Sleeve friction: 49.82 ±17.85 kPa	Permeability: 2.76E-09 ±2.83E-09 m/s	Constrained Mod.: 9.23 ±3.30 MPa
Ic: 3.18 ±0.11	N <sub>60</sub> : 8.52 ±1.00 blows	Go: 60.50 ±8.61 MPa
SBT <sub>n</sub> : 3	Es: 0.00 ±0.00 MPa	Su: 84.70 ±13.62 kPa
SBTn description: Clay	Dr (%): 0.00 ±0.00	Su ratio: 0.54 ±0.11
	φ (degrees): 0.00 ±0.00 °	O.C.R.: 2.50 ±0.51
	Unit weight: 19.00 ±0.00 kN/m <sup>3</sup>	
<b>::: Layer No: 9 :::</b>		
<b>Code: 9      Start depth: 18.30 (m), End depth: 20.00 (m)</b>		
<b>Description:</b> Clay		
<b>Basic results</b>		
Total cone resistance: 2.55 ±0.62 MPa	<b>Estimation results</b>	
Sleeve friction: 133.72 ±56.00 kPa	Permeability: 3.75E-09 ±3.48E-09 m/s	Constrained Mod.: 25.75 ±11.46 MPa
Ic: 3.13 ±0.12	N <sub>60</sub> : 14.27 ±2.95 blows	Go: 104.19 ±24.23 MPa
SBT <sub>n</sub> : 3	Es: 0.00 ±0.00 MPa	Su: 155.90 ±43.80 kPa
SBTn description: Clay	Dr (%): 0.00 ±0.00	Su ratio: 0.81 ±0.22
	φ (degrees): 0.00 ±0.00 °	O.C.R.: 3.75 ±1.03
	Unit weight: 19.00 ±0.00 kN/m <sup>3</sup>	

Tutti i dati della prova CPTU3 ottenuti in campagna quali la resistenza alla punta, l'attrito sul manicotto laterale, la pressione dei pori e l'inclinazione della punta vengono riportati in Allegato n.7.

### **6.3 - Indagine geofisica MASW.**

L'indagine sismica di tipo MASW, eseguita in data 21/12/2021 nel sito d'intervento, ha consentito la determinazione diretta della velocità delle onde trasversali (Onde di taglio - onde Sh/Sv) dei terreni del sottosuolo in esame e dalle quali è stata ottenuta 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).

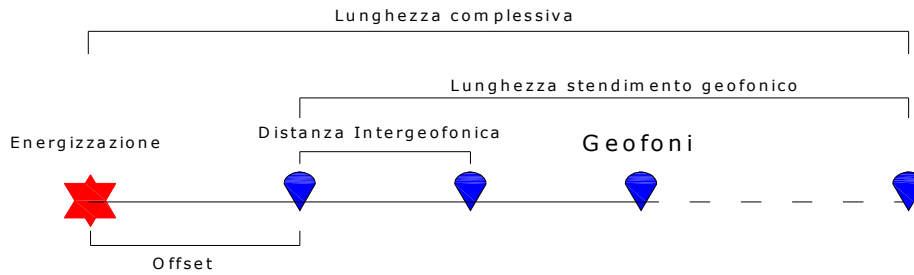
La tecnica sismica (Masw) non invasiva di superficie, è stata ampiamente testata (perfezionata già dal 1999) ed è contemplata fra le indagini per la definizione rigorosa del profilo di vs per caratterizzazione sismica del sito (*NTC-08 e ad es. Lai, Foti e Rota "Input sismico e stabilità geotecnica dei siti di costruzione - IUSS Press Eucentre 2009*) e risulta migliore per la caratterizzazione del primo sottosuolo; tecniche basate su utilizzo di registrazioni di microtremiti 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
- è 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 eseguita in data 20/12/2021 (Fig.14), per le possibilità operative presenti in corrispondenza del sito di intervento, presenta (Compreso il punto di shot) la con 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 (offset)	2 m
➤ Lunghezza complessiva	48,0 m



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 Rayleigh 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 (Fig.15), 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).



Fig.14 - Piazzamento MASW.

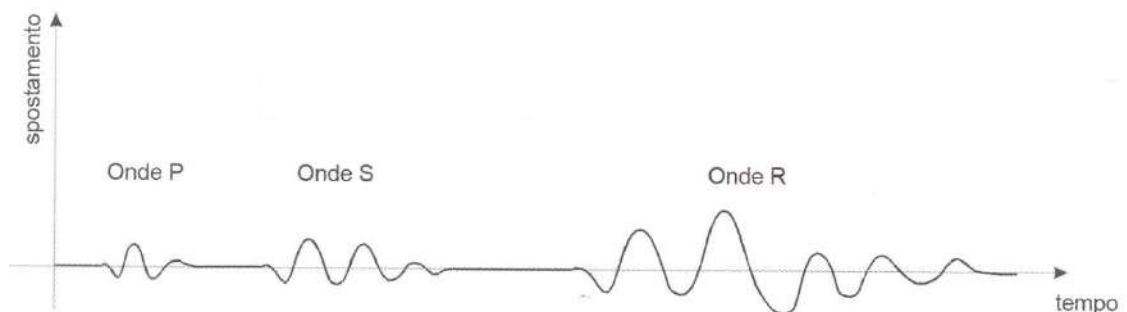


Fig. 15 - sismogramma che evidenzia l'arrivo distinto di onde P, S e di Rayleigh (da Crespellani e Facciorusso "Dinamica dei terreni").

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 Vs 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.

Gli elementi a bassa frequenza penetrano quindi più in profondità, con velocità di fase in genere più alta, rispetto alle componenti ad alta frequenza. Il calcolo del profilo delle velocità delle onde di Rayleigh, visualizzato dai grafici **V(fase)/f(frequenza)**, tramite programmi di elaborazione, è convertito in profili **Vs / profondità**.

### **6.3.1 - Caratteristiche attrezzatura**

La prospezione geofisica per le stese sismiche multicanale di superficie, è stata eseguita utilizzando un sismografo multicanale ad incrementi di segnale, della P.A.S.I. mod. 16SG24, utilizzando un sistema di energizzazione come sotto descritto:

**sismica di superficie:** energizzatore sismico di superficie con utilizzo di mazza da 5 Kg su piastra in acciaio ad innesco manuale.

Le specifiche tecniche dello strumento sono:

-processore:	Pentium 200 MMx Intel,
-Trattamento dati:	Floating Point 32-Bit,
-Ambiente operativo:	Windows 3.11,
-Canali:	24
-Display:	VGA colori LCD_TFT 10,4"
-Supporto memorizz.:	Hard Disk 2,1 Gb
-Risoluzione acquisizione:	6/24 bit
-Sonde ambiente interne:	temperatura, umidità relativa
-Formato dati:	Pasi (.osv) e SEG-2 (.dat),
-Durata acquisizioni:	Rifrazione, 32÷2048 ms    Riflessione, 32÷16384 ms,
-Tempi campionamento:	da 16 µs a 2 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

- Ricevitori – 24 geofoni da 4,5 Hz collegati in serie da due cavi con lunghezza 33 m l'uno.
- Sorgente impulsiva: mazza battente da 10 Kg con piastra metallica 15x15 cm su cui battere, da disporre sul terreno.
- Bindella metrica per posizionare i ricevitori



Importanti funzioni dello strumento sono:

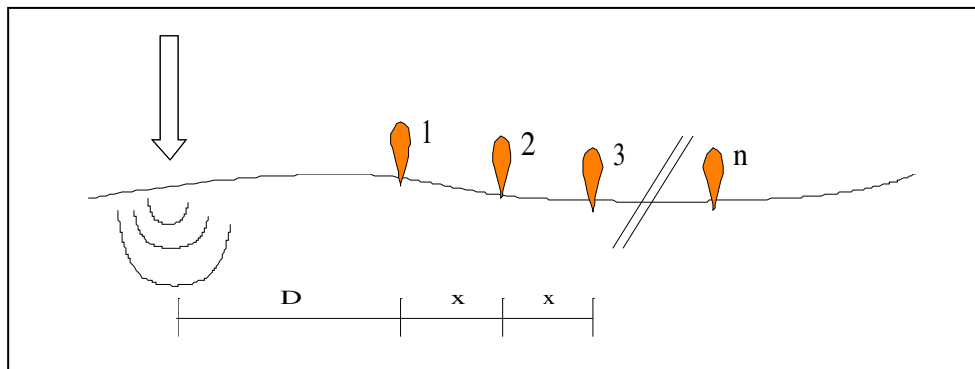
- *possibilità di sommatoria, con/senza previsualizzazione totale/parziale*
- *marker fisso o dinamico*
- *Auto Gain Control*
- *Delay Time*
- *Pre e post trigger*
- *Noise monitor*
- *Trace size automatica o manuale per ogni canale*

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.

### **6.3.2 - Prospezione MASW onde di Rayleigh.**

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.16).



*Fig. 16 - 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 ( $<10\div 20\%$ ), 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.

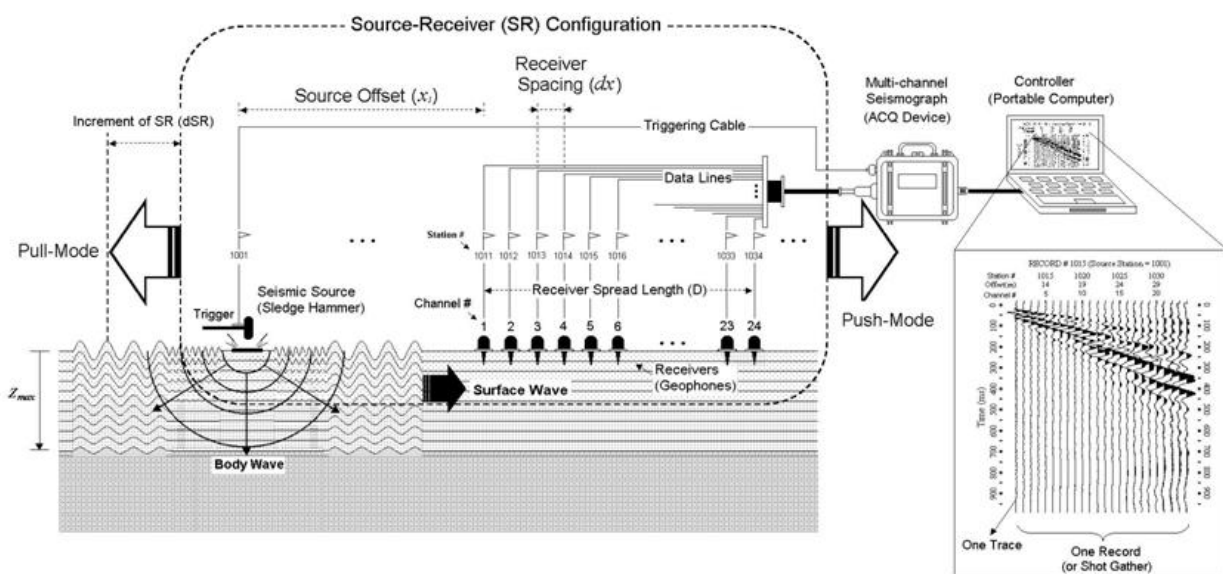
Tale tecnica risultava però poco significativa in ambienti rumorosi o nel caso di treni d'onda di pressione molto energetici che quindi coprano gli arrivi delle onde di Rayleigh.

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  $V_s$ , ottenuti dallo studio delle velocità di fase, dei numerosi treni d'onda di Rayleigh, che sono registrati ai sismometri.

I geofoni sono spazati in genere da 0,5 a 4/5 m (in funzione come sopra ricordato del sistema di energizzazione) 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).



Dal sismogramma tramite una trasformata (Fourier) si ottiene lo spettro nel dominio, frequenza (f) – numero d'onda (k), e da quest'ultimo, dall'analisi cui corrispondono i massimi spettrali (senza trascurare i modi superiori se presenti) si può 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 di Rayleigh, che interessano tale metodologia.

Il processo iniziale di individuazione della curva di dispersione caratteristica del sito in esame è ottenuto tramite il software (Masw-Esac ver. 4.0.0.2 (c) Vitantonio Roma. All rights reserved), e verifica con **SWAN** (vers. 2008) seguito poi da una fase di elaborazione-interpretazione, tramite "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.
- Analisi spettrale mediante 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 (se presenti).
- 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 error") l'inversione viene fermata quando un determinato parametro, definito  $\epsilon$  (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 ( $\epsilon_{MIN}$ ) cioè un valore percentualmente molto piccolo, la sovrapposizione delle curve è davvero molto buona.
- Fase di ottimizzazione e di taratura della curva teorica, realizzata contestualmente alla procedura d'inversione, con inserimento (eventuale) di strati sino ad un max 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 è l'ottenimento di un profilo verticale delle Vs, minimizzando le imprecisioni (risultati random), ottenendo quindi un modello finale ad elevata attendibilità e mediante le tarature apportate, fortemente rappresentativo, 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."*).

#### **6.4 - Indagine geofisica ESAC.**

Le vibrazioni ambientali (o rumore sismico ambientale o microtremiti) oltre che per le misure HVSR possono essere utilizzate anche i rilevamenti con antenna sismica conosciute come prove ESAC (fig.17).



*Fig.17 - Piazzamento ESAC linea Y (da W a E).*

I movimenti del terreno che interessano queste tecniche passive, sono caratterizzati da ampiezze dell'ordine di  $10^{-4}$  –  $10^{-2}$  mm.

Queste vibrazioni sono l'effetto di una molteplicità di sorgenti agenti a diverse frequenze: onde marine e perturbazioni atmosferiche, ad esempio, contribuiscono al campo d'onda prevalentemente a frequenze inferiori a 0,5 Hz; vento, traffico veicolare e attività industriali contribuiscono prevalentemente a frequenze superiori a 0,5 Hz.

Se da un lato il carattere stocastico del fenomeno presenta difficoltà di tipo teorico, dall'altro consente, mediante operazioni di tipo statistico, di ridurre la complessità dell'analisi.

Dato che il rumore è caratterizzato da lunghezze d'onda anche molto grandi (decine o centinaia di metri), confrontabili con quelle tipiche dei fenomeni sismici, le tecniche di sismica passiva possono trovare applicazione negli studi della risposta sismica locale, e possono arrivare a determinare profili di velocità delle onde S fino a profondità dell'ordine anche di diverse decine di metri.

La configurazione di tale rilievo è quello definito appunto ad antenna sismica (array), con cui vengono analizzati i rapporti di fase tra i treni d'onda che attraversano un'antenna sismica (array) ovvero una distribuzione di sensori disposti con geometrie variabili sulla superficie del terreno (a L a X a Triangolo, quadrato, cerchio ecc. secondo le possibilità operative).

Tra le configurazioni ad antenna sismica (array), è stata utilizzato il metodo d'indagine Esac (Aki 1959) che si basa sul principio secondo il quale la funzione di correlazione media fra le registrazioni di un rumore isotropo, effettuate su sensori verticali distribuiti in diverse direzioni a parità di distanza  $r$  da un sensore centrale, ha una forma nota (funzione di Bessel di ordine 0).

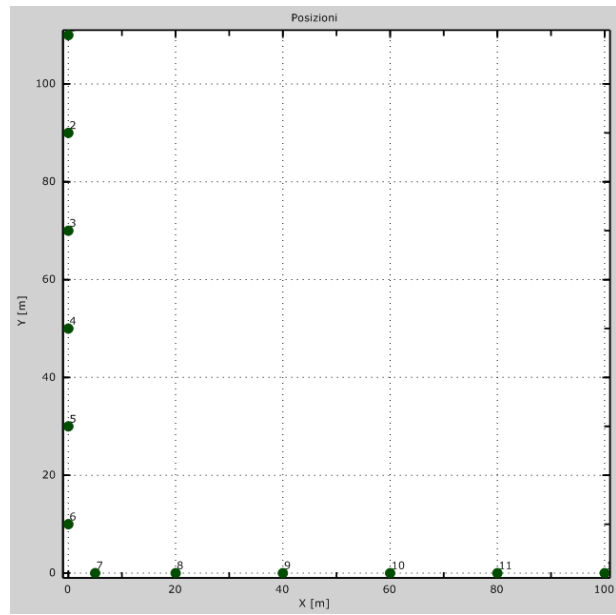
La forma di questa funzione di Bessel ad una data frequenza ed una data distanza  $r$  è controllata dal valore della velocità di fase.

Nella indagine eseguita sono state utilizzate delle configurazioni geometriche 2D e spaziature variabili tra i sensori, inoltre per migliorare la definizione della curva di dispersione, sull'asse X dell'array Esac, è stata eseguita in sovrapposizione una stesa Masw per consentire di ottenere dettaglio nei valori di propagazione delle  $V_s$  negli strati più prossimi alla superficie.

Il risultato finale del metodo Esac (accoppiato a Masw oppure a Remi) è una curva di dispersione effettiva più accurata che rappresenta una combinazione delle diverse curve modali "pesate" in base al loro specifico contenuto energetico del sito, il reale vantaggio deriva dalla possibilità, utilizzando più tecniche accoppiate (es. Masw-Esac come per il caso in esame) di "prolungare" la curva di dispersione e quindi di ottenere dati anche in profondità.



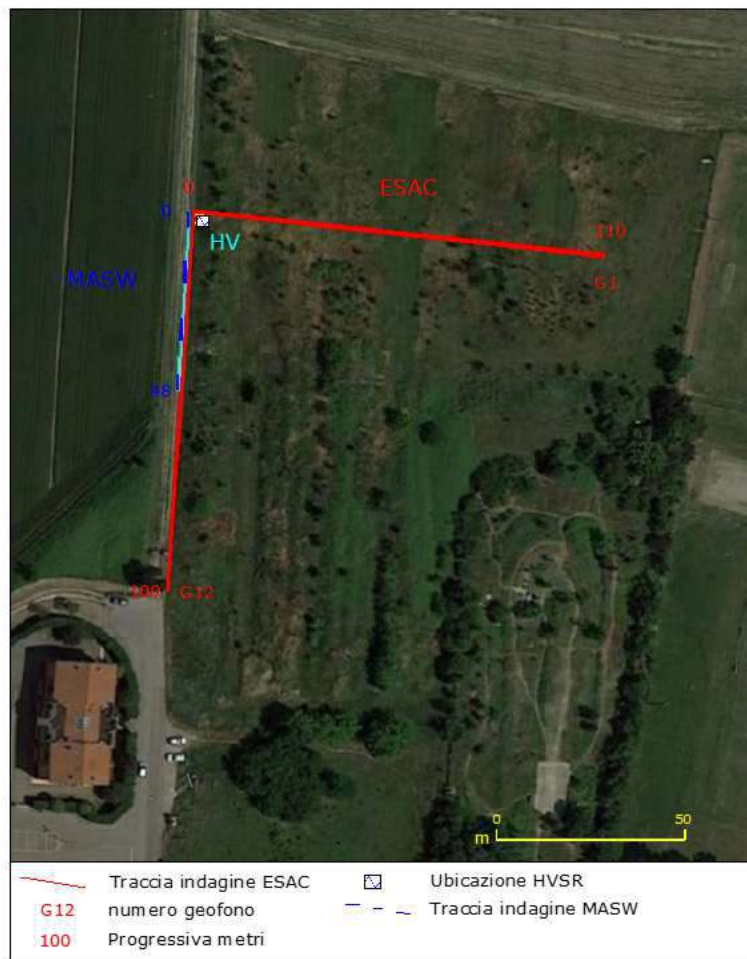
Geofono	X [m]	Y [m]
1	0	110
2	0	90
3	0	70
4	0	50
5	0	30
6	0	10
7	5	0
8	20	0
9	40	0
10	60	0
11	80	0
12	100	0



*Tabella posizioni dei geofoni ESAC*

*Schema Geofoni ESAC*

**Ubicazione indagini**



### **6.5 - Indagine geofisica di tipo passivo a stazione singola HVSR (Tromino®).**

Per l'acquisizione dei dati di microtremore sismico (misura HVSR), cioè la misura della frequenza caratteristica del sito e quindi la determinazione dello spessore della coltre superficiale, 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, in data 20/12/2021, una registrazione di microtremori mediante tromografo digitale nella posizione come in Allegato n.4.

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

I sensori sono costituiti da una terna di velocimetri smorzati che trasmettono il segnale ad un sistema di acquisizione digitale a basso rumore e dinamica  $\geq 23$  bit.

Queste caratteristiche strumentali consentono un'elevata accuratezza nella misura dei dati, maggiore di  $10^{-4}$ , sulle componenti spettrali maggiori/uguali a 0,1 Hz.

Il rumore, convenzionalmente suddiviso in microsisma (frequenze  $< 1$ Hz, sorgenti naturali lontane) e microtremore (frequenze  $> 1$ Hz, 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.



*Fig.18 - Piazzamento HVSR.*

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 HVSZ (Horizontal to Vertical Spectral Ratio).

Praticamente si tratta di installare solidalmente al suolo il Tromino® (Fig.18) e di misurare il tremore sismico, con durata di registrazione adeguata alla frequenza minima di interesse per il sito in analisi.

Per l’area in esame s’ipotizza di misurare la frequenza della coltre sedimentaria, di copertura del bedrock sismico (quindi con spessore massimo ipotizzabile non superiore a 300 m), 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 breve 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.

#### **- 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**

<b>Alimentazione:</b> 2 batterie alcaline x 1.5 VDC AA
<b>Voltaggio interno:</b> +3.3 V, +3.6 V per la sezione analogica
<b>Consumi:</b> 75 mW (GPS disattivato), 450 mW (GPS attivo)
<b>Durata delle batterie:</b> 80 h di misura continua con GPS disattivato
<b>Numero di canali:</b> 3+1 analogici
<b>Amplificatori:</b> tutti canali con input differenziali
<b>Rumore:</b> < 0.5 $\mu$ V r.m.s. @128 Hz sampling
<b>Impedenza dell'input:</b> 10 <sup>6</sup> Ohm
<b>Range di frequenze:</b> DC - 360 Hz
<b>Frequenza di campionamento:</b> 16384 Hz per canale
<b>Frequenze di sovracampionamento:</b> 32x, 64x, 128x
<b>Conversione A/D:</b> equivalente a 24 bit
<b>Massimo input analogico:</b> 51.2 mV (781 nV/digit)
<b>Display grafico:</b> 128 x 64 pixel, retroilluminato
<b>Tastiera:</b> 4 tasti a membrana
<b>Orologio:</b> interno, permanente con datario e allarme, può essere visualizzato anche durante l'acquisizione
<b>Livella:</b> a bolla d'aria, elevata precisione orizzontale, sensibilità 5' d'arco (0.083°)
<b>Conessioni:</b> porta USB, tipo B
<b>Registrazione dati:</b> memoria interna, standard 512 Mb, opzionale fino a 2 Gb
<b>Dimensione e peso:</b> 10 x 14 x 7.7 (altezza) cm, peso 1.1 kg, contenitore di alluminio
<b>Accoppiamento col terreno:</b> su punte e cuscinetto reologico
<b>Condizioni operative:</b> temperatura - 10 / +70°C, umidità 0-90% senza condensa
<b>Impermeabilità</b> indice di protezione IP = 65 (resistente alla polvere, resistente agli spruzzi)
<b>Sensori:</b> 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" 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 inneschino 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.

In figura 19 è riportato l'andamento del rapporto H/V ottenuto su tutto l'intervallo di frequenze analizzate (0-64 Hz).

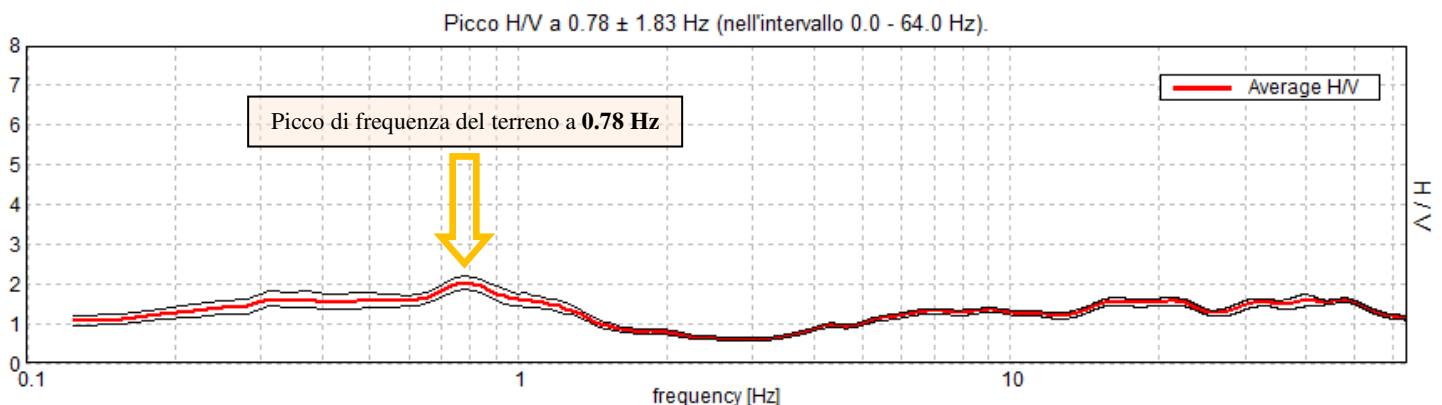


Fig. 19 - Registrazione suolo

L'elaborazione ha permesso l'individuazione di **un picco principale di risonanza collocato alla frequenza di 0.78 Hz** che risulta essere associabile a un contrasto di impedenza sismica presente ad una profondità di 140 m in corrispondenza di una discontinuità stratigrafica.

Procedendo verso le frequenze più alte il rapporto H/V si mantiene quasi costantemente pari a 1, ad eccezione del tratto tra 2 e 5 Hz in cui è presente una inversione delle velocità, mostrando pertanto un aumento graduale delle velocità sismiche con la profondità e non evidenziando comunque picchi secondari di natura stratigrafica.

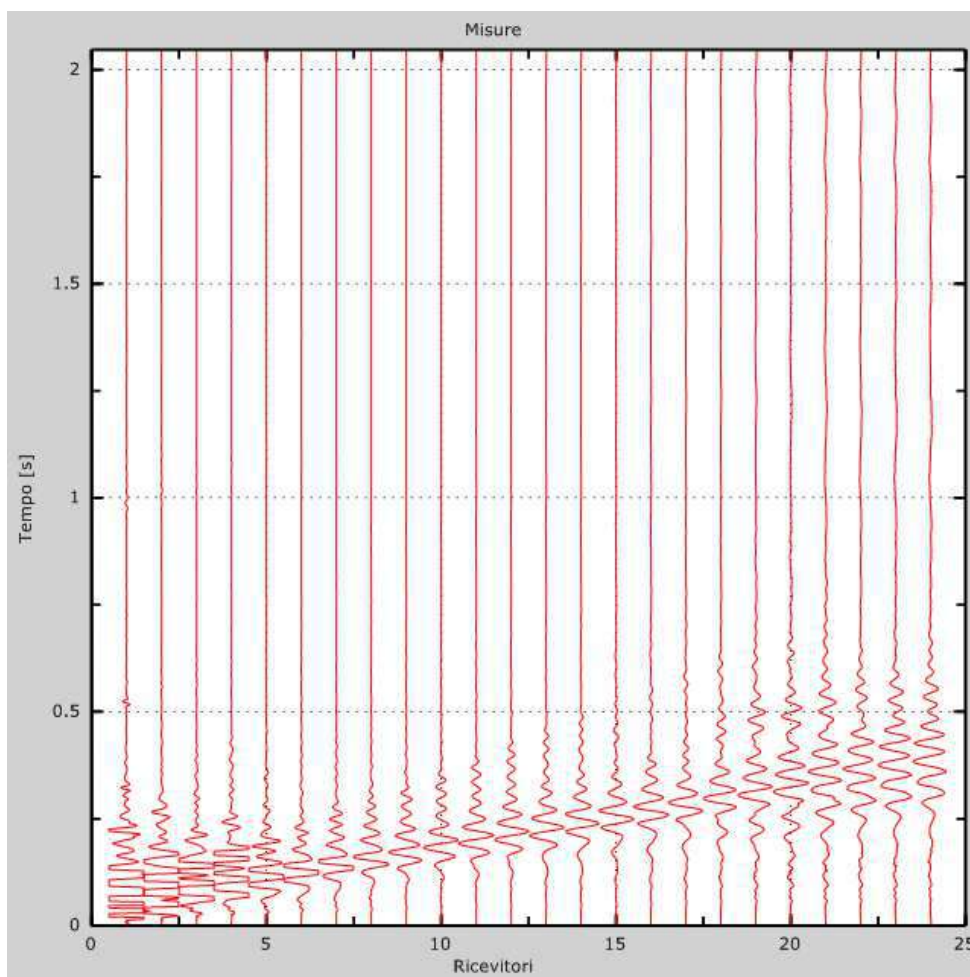
In allegato n.9 viene riportata le scheda della registrazione.

## **7. Interpretazione dati acquisiti attraverso tutte le indagini geofisiche.**

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto (come previsto da art. 3.2 del DM 17-01-18) sono stati esaminati i dati ottenuti dalle prospezioni sismiche di superficie.

L'elaborazione dei dati accoppiati Masw-Esac è stato effettuato mediante specifico programma (Masw-Esac ver. 4.0.0.2 (c) Vitantonio Roma. All rights reserved), i dati sono di seguito riassunti:

### **MASW**

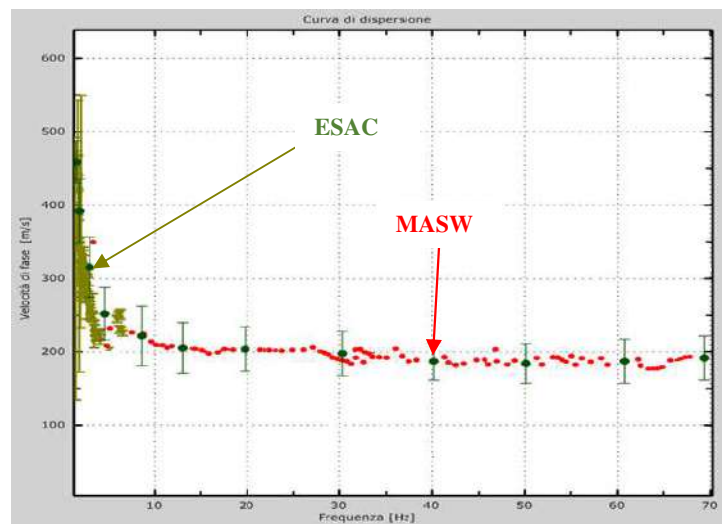
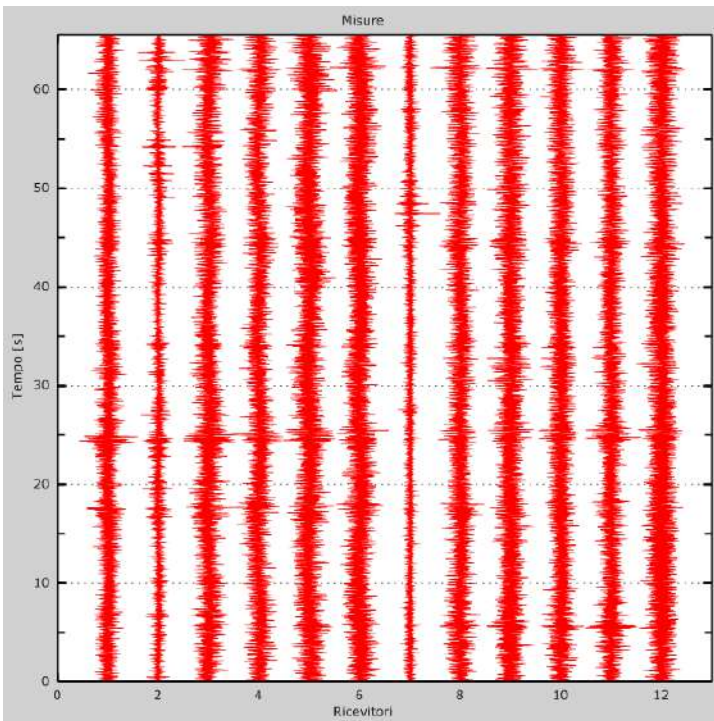


**- Tracce sperimentali -**

**Analisi Masw**

Numero di ricevitori .....	24
Distanza tra i sensori: .....	2m
Numero di campioni temporali.....	1048
Passo temporale di acquisizione .....	1ms
Numero di ricevitori usati per l'analisi.....	24
L'intervallo considerato per l'analisi comincia a .....	0ms
L'intervallo considerato per l'analisi termina a .....	2047ms
I ricevitori non sono invertiti (l'ultimo ricevitore è l'ultimo per l'analisi)	

**ESAC**

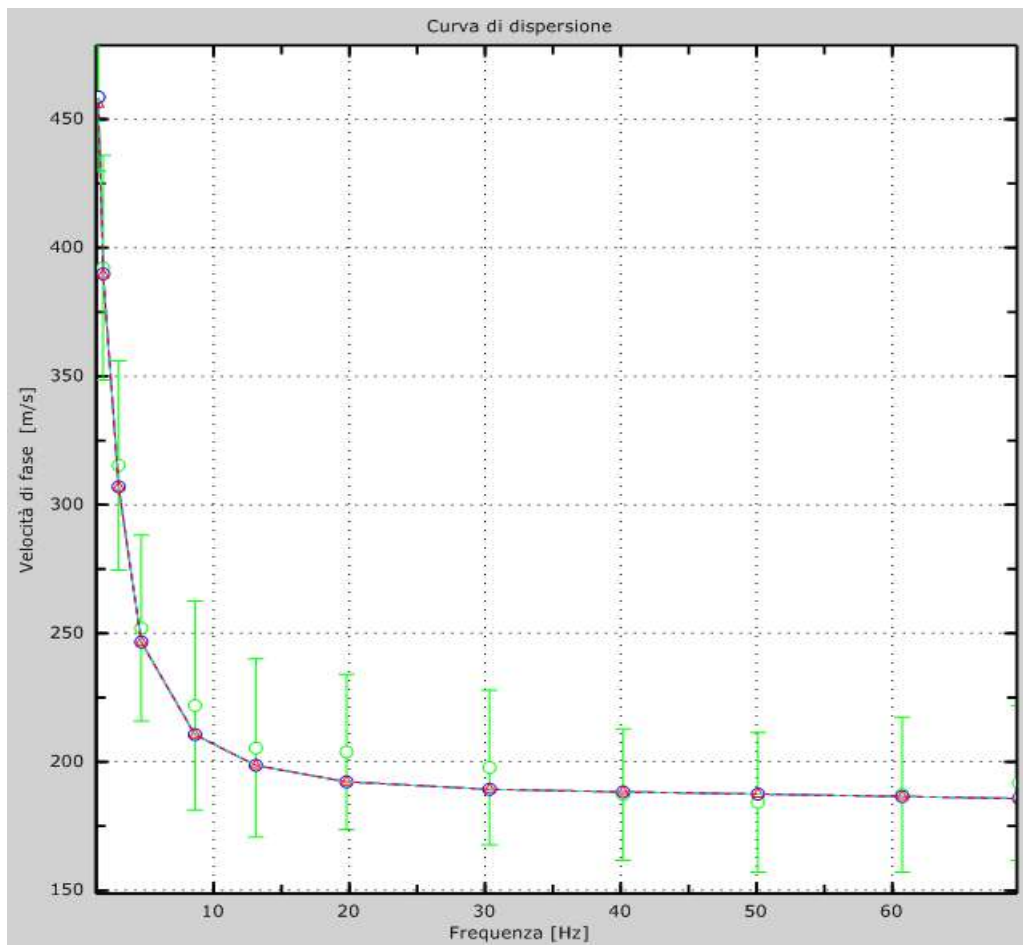


**Curva dispersione combinata Masw-Esac.**

**- Tracce sperimentali -**

**Analisi ESAC**

Numero di ricevitori .....	12
Numero di campioni temporali.....	32768
Passo temporale di acquisizione .....	2ms
L'intervallo considerato per l'analisi comincia a .....	0ms
L'intervallo considerato per l'analisi termina a .....	65534ms
Durata finestra .....	16s
Sovrapposizione .....	0s
Lisciamento .....	0.1
Soglia pulitura .....	0sqm
Numero di iterazioni.....	4

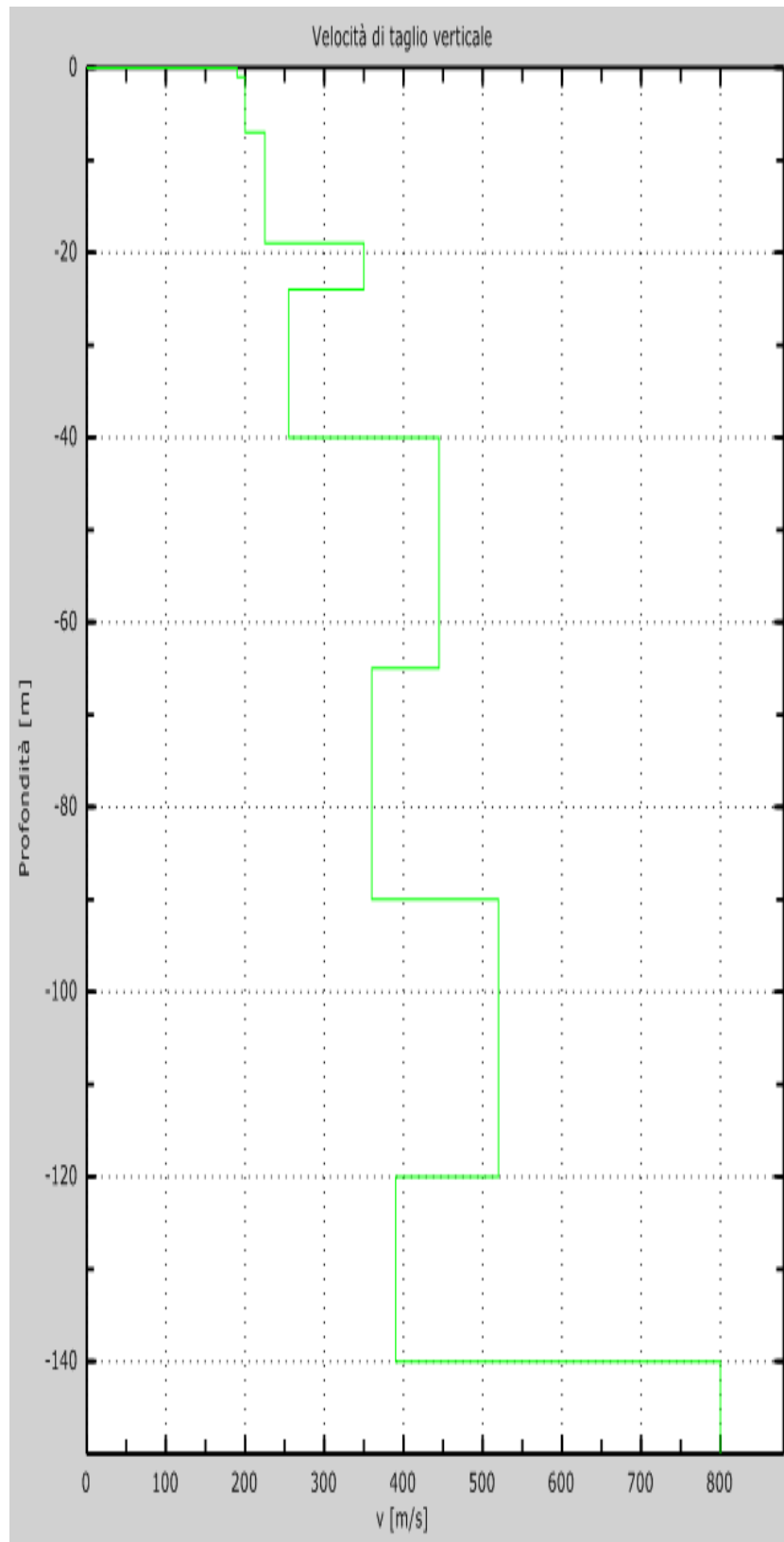


Velocità numeriche: punti sperimentali (verdi), modi di Rayleigh (ciano), curva apparente (blu) e curva numerica (rosso) sovrapposte (ottimo fitting).

Errore tra curva apparente e curva sperimentale 3% Errore tra curva effettiva e sperimentale 3%.

**- Interpretazione modello sismico del sottosuolo da analisi combinata Masw-Esac -**

Strato n°	Descrizione sommaria stratigrafia	Poisson $\nu$	Densità $T/m^3$	Prof. m		Spessore strato (m)	Vs m/sec
				da	a		
1	Terreno	0.45	1.80	0	1	1	190
2	Limo Argilloso	0.47	1.85	1	7	6	200
3	A – AL/LA	0.48	1.85	7	19	12	225
4	Sabbia	0.40	1.95	19	24	5	350
5	AL – AL/LA	0.45	1.85	24	40	16	255
6	Sabbia Media	0.38	2.05	40	65	25	445
7	AL – AL/LA	0.40	1.90	65	90	25	360
8	Sabbia	0.33	2.00	90	120	30	520
9	AL – LA e LS	0.38	1.95	120	140	20	390
10	Sabbia medio grossa	0.28	2.10	>140	-	-	800



*Grafico Vs/profondità.*



L'indagine congiunta Masw Esac ha inoltre consentito di valutare la profondità, cui con buona probabilità sono presenti, strati del sottosuolo attribuibili ad un bed rock sismico ( $V_s \geq 750/800$  m/s), che è quindi possibile ipotizzarlo a profondità di circa -140 m da p.d.c..

## **8. Categorie di suolo di fondazione (Azione sismica di progetto $V_{sh}$ o per il caso in esame $V_{s30}$ ).**

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  $V_{s,eq}$ .

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.

**Tab. 3.2.II** – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.

<b>Categoria</b>	<b>Caratteristiche della superficie topografica</b>
<b>A</b>	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
<b>B</b>	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
<b>C</b>	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
<b>D</b>	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
<b>E</b>	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</i> , con profondità del substrato non superiore a 30 m.

La classificazione delle categorie dei suoli di fondazione, come da All. 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, dall'espressione:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{Si}}}$$

Dove:  $h_i$  = spessore dello strato i-esimo  
 $V_{Si}$  = velocità onde S nello strato i-esimo  
N = numero strati considerati

Ottenendo in base ai dati sopra esposti, ed in base a quanto previsto da art. 3.2.2 NTC18, "Per le fondazioni superficiali tale profondità è riferita al piano di imposta delle stesse...", quindi in considerazione che al momento di redazione del presente report, non sono note le quote di incastro delle fondazioni, la valutazione del parametro  $V_{s30}$  è "calcolato" a partire da pc e ad una quota di -1,00 m da p.d.c. e quindi senza interrati ottenendo i seguenti risultati:

**$V_{s,30} = 237$  m/sec**  
se calcolata tra p.d.c. e -30,00

**$V_{s,30} = 239$  m/sec**  
se 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"***

***"Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti"***

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

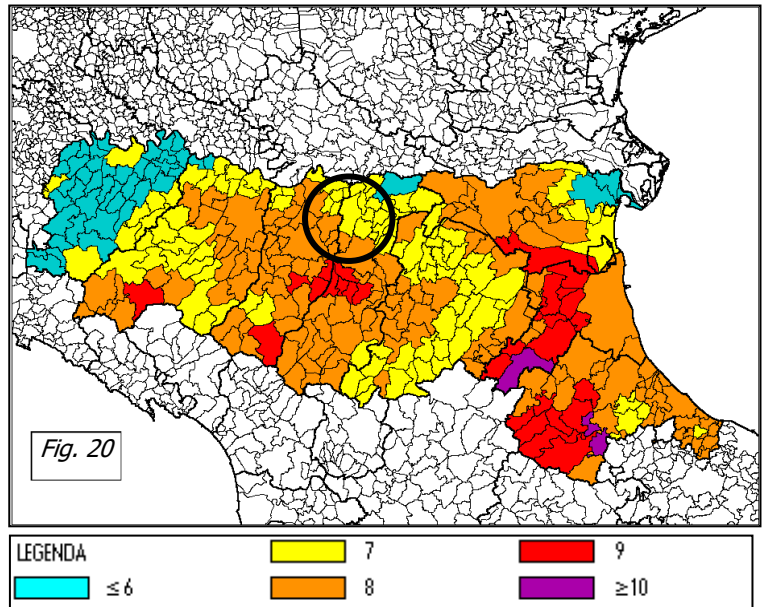
## **9. SISMICITA' DEL TERRITORIO.**

Per quanto concerne gli aspetti sismici in termini macrosismici, il catalogo DOM4.1, database di osservazioni macrosismiche di terremoti di area italiana al di sopra della soglia del danno, è stato utilizzato, su incarico della Protezione Civile, da Molin et al. (1996) in combinazione con i dati di CFTI (Catalogo dei forti terremoti italiani di ING/SGA - Boschi et al., 1995) per la compilazione della "Mappa delle

massime intensità macrosismiche osservate nei comuni italiani", di cui in Fig.20 viene riportato un estratto con la situazione della regione Emilia-Romagna.

Da tale figura si desume che il territorio Comunale di Carpi di Modena è caratterizzato da un'intensità macrosismica pari a 7.

Basandosi sul CATALOGO PARAMETRICO DEI TERREMOTI ITALIANI Edizione 2004 denominato CPTI04 e sulla ZONAZIONE SISMOGENETICA ZS9 (2004), sono stati individuati e riportati nella tabella seguente i risentimenti storici che hanno direttamente interessato la zona sismogenetica n° 912 all'interno della quale ricade il Comune di Carpi di Modena.



N	Tr	Anno	M	Gi	AE	Np	Im	Io	T	Lat	Lon	T	Ma	Daw	Mas	Das	Msp	Dsp	T	Ncf	Nnt	Ncp
18	DI	725			Classe-Ravenna	2	85	80		44,400	12,220	A	5,57	0,19	5,40	0,28	5,55	0,28	G	77		18
51	DI	1234	3	20	FERRARA	5	70	70		44,836	11,618	A	5,17	0,30	4,80	0,45	4,99	0,42	G		860	51
53	DI	1249	9	0	Modena	4	75	65	M	44,650	10,930	A	5,03	0,33	4,60	0,49	4,80	0,45	G	115	595	53
66	DI	1285	12	13	FERRARA	2	70	65		44,836	11,618	A	5,03	0,33	4,60	0,49	4,80	0,45	G		861	66
90	DI	1345	1	31	CASTELNUOVO	1	55	55		44,810	10,564	A	4,63	0,13	4,00	0,20	4,25	0,19	A		596	90
93	DI	1346	2	22	Ferrara	14	75	75		44,920	11,020	A	5,81	0,24	5,75	0,35	5,75	0,35	G	149	862	93
131	DI	1410	5	9	FERRARA	3	65	65		44,836	11,618	A	5,03	0,33	4,60	0,49	4,80	0,45	G		863	131
139	CP	1425	8	10	FERRARA SUD			60		44,833	11,667		4,83	0,26	4,30	0,39	4,53	0,36	G		864	139
171	DI	1474	3	11	MODENA	12	60	60		44,647	10,925	A	4,89	0,17	4,39	0,26	4,61	0,24	G		601	171
178	DI	1483	3	3	FERRARA	1	55	55		44,836	11,618	A	4,63	0,13	4,00	0,20	4,25	0,19	G		865	178
179	DI	1483	8	11	Romagna meridionale	14	85	80		44,170	12,230	A	5,67	0,13	5,54	0,20	5,54	0,20	G	197	888	179
207	CP	1508	10	18	FERRARA SUD			60		44,833	11,667		4,83	0,26	4,30	0,39	4,53	0,36	G		866	207
257	DI	1561	11	24	Ferrara	5	65	55	M	44,780	11,450	A	4,63	0,13	4,00	0,20	4,25	0,19	G	229	867	257
262	DI	1570	11	17	Ferrara	60	80	75		44,820	11,630	A	5,48	0,11	5,27	0,17	5,43	0,16	G	231	868	262
266	DI	1574	3	17	FINALE EMILIA	4	70	70		44,833	11,294	A	5,12	0,22	4,73	0,33	4,92	0,31	G		869	266
282	DI	1591	7	10	FORLI'	6	65	65		44,400	12,038	A	5,24	0,22	4,91	0,32	5,09	0,30	G		832	282
323	DI	1624	3	18	Argenta	17	85	75		44,650	11,850	A	5,43	0,22	5,19	0,32	5,35	0,30	G	243	870	323
362	DI	1660			MODENA	1	55	55		44,647	10,925	A	4,63	0,13	4,00	0,20	4,25	0,19	G		609	362
374	DI	1671	6	20	RUBIERA	13	70	70		44,709	10,814	A	5,34	0,15	5,06	0,22	5,23	0,20	G		610	374
393	DI	1688	4	11	ROMAGNA	36	90	90		44,390	11,942	A	5,88	0,12	5,85	0,18	5,85	0,18	G	266	834	393
395	CP	1688	8	18	FUSIGNANO			70		44,417	12,000		5,17	0,30	4,80	0,45	4,99	0,42	G		835	395
397	CP	1689	3	15	FUSIGNANO			60		44,417	12,000		4,83	0,26	4,30	0,39	4,53	0,36	G		836	397
416	DI	1695	2	28	FERRARA	1	55	55		44,836	11,618	A	4,63	0,13	4,00	0,20	4,25	0,19	G		871	416
521	DI	1743	5	29	FERRARA	1	65	65		44,836	11,618	A	5,03	0,33	4,60	0,49	4,80	0,45	G		872	521
609	DI	1780	2	6	Bolognese	7	65	55	M	44,620	11,320	A	4,85	0,11	4,32	0,16	4,54	0,15	G	323	766	609
612	DI	1780	5	25	RAVENNA	5	65	65		44,417	12,198	A	5,03	0,33	4,60	0,49	4,80	0,45	G		890	612
654	DI	1787	7	16	Ferrara	3	65	55	M	44,830	11,620	A	4,63	0,13	4,00	0,20	4,25	0,19	G	339	873	654
683	DI	1796	10	22	Emilia orientale	26	70	70		44,620	11,670	A	5,63	0,15	5,48	0,23	5,62	0,23	G	352	874	683
703	DI	1806	2	12	NOVELLARA	28	70	70		44,862	10,671	A	5,26	0,16	4,93	0,24	5,11	0,22	A		875	703
717	DI	1810	12	25	NOVELLARA	33	70	70		44,898	10,712	A	5,28	0,10	4,97	0,15	5,15	0,14	A		876	717
791	DI	1831	9	11	Reggiano	24	75	75		44,750	10,550	A	5,48	0,13	5,27	0,19	5,43	0,18	G	378	616	791
803	DI	1834	10	4	Bologna	10	60	55	M	44,600	11,370	A	4,63	0,13	4,00	0,20	4,25	0,19	G	384	768	803
871	DI	1850	9	18	MODENA	7	60	60		44,614	10,965	A	4,83	0,26	4,30	0,39	4,53	0,36	G		618	871
1174	CP	1891	8	1	LUGO			60		44,417	11,933		4,83	0,26	4,30	0,39	4,53	0,36	G		853	1174
1225	DI	1895	3	23	COMACCHIO	37	65	60		44,684	11,987	A	4,83	0,26	4,30	0,39	4,53	0,36	G		877	1225
1233	CP	1895	7	3	COMACCHIO			60		44,700	12,183		4,83	0,26	4,30	0,39	4,53	0,36	A		878	1233
1287	DI	1898	1	16	Romagna settentrional	73	70	65		44,650	11,770	A	5,03	0,33	4,60	0,49	4,80	0,45	G	452	879	1287
1482	CP	1908	6	28	FINALE EMILIA			60		44,800	11,300		4,83	0,26	4,30	0,39	4,53	0,36	G		881	1482
1499	DI	1909	1	13	BASSA PADANA	799	65	65		44,579	11,688	A	5,53	0,05	5,33	0,08	5,48	0,07	G		882	1499
1729	DI	1922	5	24	CENTO	6	45	35		44,862	11,517	A	4,50	0,14	3,81	0,21	4,07	0,19	G		883	1729
1808	DI	1928	6	13	CARPI	35	70	65		44,797	10,872	A	4,85	0,09	4,32	0,13	4,54	0,12	G		884	1808
2047	DI	1950	5	6	REGGIANO	4	40	40		44,731	10,670	A	4,46	0,14	3,74	0,21	4,01	0,19	G		635	2047

2220	CP	1965	12	18	RUSSI			55		44,400	12,000		4,95	0,09	4,47	0,13	4,68	0,12	G		857	222
2230	CP	1967	4	3	CORREGGIO			55		44,800	10,750		4,71	0,08	4,12	0,12	4,36	0,11	G		886	223
2243	DI	1967	12	30	BASSA PADANA	40	60	60		44,604	11,997	A	5,36	0,08	5,09	0,12	5,26	0,11	G		887	224
2245	CP	1968	1	11	RUSSI			50		44,400	12,000		4,58	0,20	3,92	0,29	4,17	0,27	G		858	224
2263	CP	1969	1	10	RUSSI			55		44,383	12,000		4,63	0,09	4,00	0,13	4,25	0,12	G		859	226
2389	CP	1978	12	5	RAVENNA S.O.					44,383	12,117		4,76	0,13	4,20	0,19	4,43	0,18	G		901	238
2455	DI	1986	12	6	BONDENO	604	60	60		44,879	11,334	A	4,56	0,09	4,30	0,13	4,53	0,12	G		901	245
2456	DI	1987	5	2	REGGIANO	803	60	60		44,797	10,697	A	5,05	0,07	4,79	0,08	4,98	0,08	G		902	246
2509	DI	1996	10	15	CORREGGIO	135	70	70		44,782	10,683	A	5,44	0,18	5,09	0,04	5,26	0,04	G			
2534	CP	2000	6	18	REGGIANO					44,786	10,746		4,46	0,18	4,17	0,18	4,41	0,16	G			

Legenda: N = Numero d'ordine del record

AE = Denominazione dell'area dei massimi effetti

Imx = Intensità massima x 10 (scala MCS)

TI = Codice di determinazione di Io

Lat/Lon = Coordinate epicentrali in gradi sessagesimali-decimali

TL = Codice di localizzazione

Daw = Errore associato alla stima di Maw

Das = Errore associato alla stima di Mas

Msp = Magnitudo da utilizzare in combinazione con la relazione di Sabetta e Pugliese (1996)

Dsp = Errore associato alla stima di Msp

Ncft = Numero progressivo dei record nel catalogo CFTI2

Ncpt = Numero d'ordine dei record nel catalogo CPTI99

Tr = Tipo di record

Np = Numero dei dati puntuali di intensità disponibili

Io = Intensità epicentrale x 10 (scala MCS)

Anno;Me;Gi = Tempo di origine

Maw = Magnitudo momento

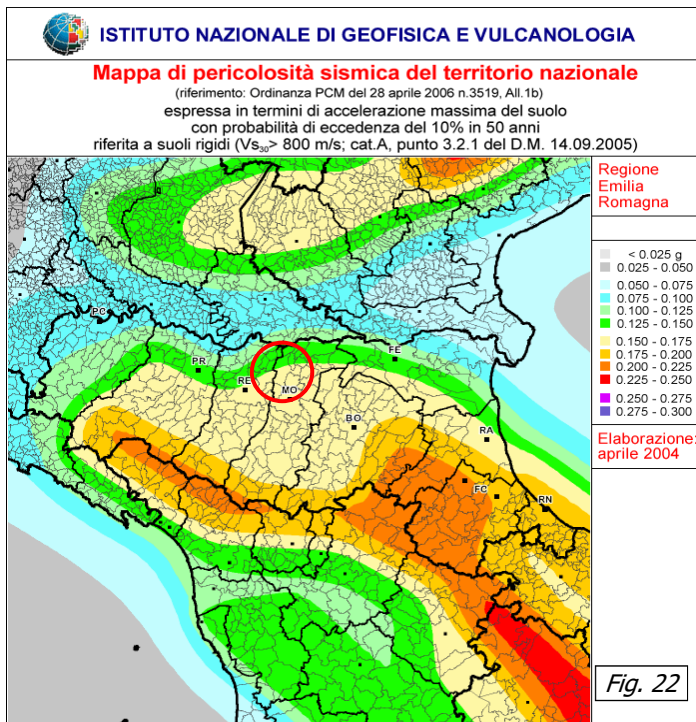
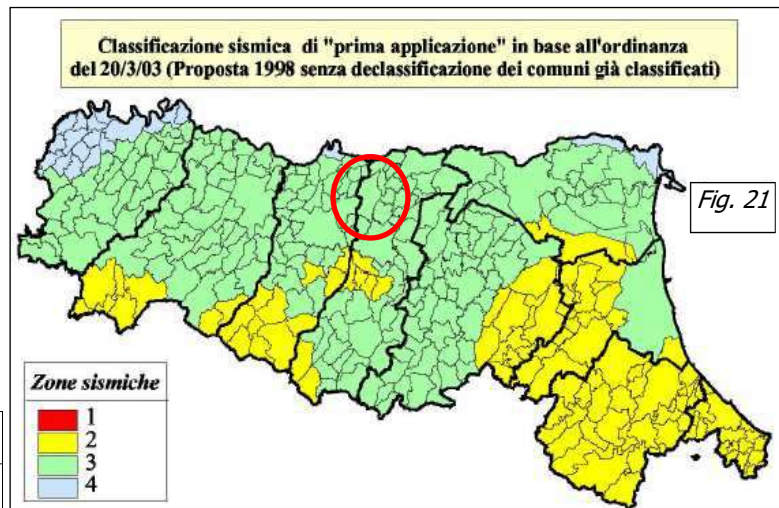
Mas = Magnitudo calcolata sulle onde di superficie

TZ = Codice di assegnazione alla zona sorgente

Nnt = Numero d'ordine dei record nel catalogo NT4.1.1

Nell'alta pianura modenese, come si può vedere nel tabulato, si sono verificati sismi anche di considerevole intensità (IX° della scala Mercalli-Cancani-Sieberg) collegati alla attività tettonica delle strutture del margine appenninico e delle faglie dell'alta pianura.

In riferimento all'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri



del 20 marzo 2003, n. 3274 pubblicata sul Supplemento Ordinario della Gazzetta Ufficiale n° 105 del 08/05/2003 (Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica), il Comune di Carpi di Modena viene classificato appartenente alla zona sismica 3 (vedi figura 21).

L'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri del 28 aprile 2006, n. 3519 pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale n°108 del 11/05/2006 (Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli



elenchi delle medesime zone), individua i criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e la nuova mappa di pericolosità sismica di riferimento a scala nazionale.

In figura 22 si riporta un estratto di tale mappa relativo alla Regione Emilia Romagna che mette in evidenza come per il comune di Carpi di Modena sia prevista una accelerazione massima al suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, riferita a suoli rigidi, compresa tra 0.150-0.175 g nella parte centro-meridionale del territorio e valori compresi tra 0.125-0.150 in quella settentrionale.

## **10. ANALISI MONODIMENSIONALE DI RISPOSTA SISMICA LOCALE (RSL).**

Nella contesto della presente relazione, si è quindi predisposto lo sviluppo di un'analisi numerica di Risposta Sismica Locale RSL, descritta nei paragrafi seguenti, che in relazione al suo utilizzo per i futuri interventi esecutivi (previsti per l'area Comparto B36), è stata sviluppata con riferimento normativo alle NTC18 (art. 7.11.3).

Un'analisi di risposta sismica locale (RSL) in campo monodimensionale permette di ottenere l'azione sismica di riferimento, attraverso una funzione di trasferimento, rappresentativa della situazione geologico/strutturale al di sotto del sito in esame dedotta da una campagna di esplorazione sismica del sottosuolo eseguita ad hoc per gli scopi dell'analisi.

La forma della funzione di trasferimento, quindi è funzione delle modalità di trasmissione delle onde all'interno dello strato superficiale (o degli strati che ricoprono il bedrock) ed in particolare alle interferenze che si generano fra queste onde.

Se si considera un basamento rigido ad una determinata profondità, l'onda sismica emergente dal basso rimarrà intrappolata nel livello superficiale di copertura e le onde sismiche intrappolate tendono ad interferire fra loro, se l'interferenza che si genera è positiva, si verifica un'amplificazione delle onde sismiche.

Le analisi di RSL richiedono quindi l'adozione di:

1) un modello geometrico: profilo geologico, tenendo conto di eterogeneità della stratificazione (livelli distinguibili secondo le proprietà fisico-meccaniche), morfologia superficiale (effetto topografico) e/o sepolta (andamento-profondità del substrato rigido);

2) un modello meccanico: comportamento dei terreni di copertura, ottenuto mediante apposite indagini od applicazione (da banche dati) di densità, parametri di deformabilità ( $G/G_0$  e  $D$ );

3) un modello numerico: per simulare la risposta del sottosuolo al terremoto di riferimento applicato al bedrock e di restituirne la risposta in superficie in termini di accelerogrammi e spettri di risposta.

Per lo studio di RSL è stato adottato il codice di calcolo Shake/Shake91 il quale agisce secondo un approccio semplificato di tipo visco elastico-lineare equivalente.

Il modello utilizzato dal codice di calcolo schematizza il terreno in N strati piani e paralleli, di estensione orizzontale presupposta infinita, su un semispazio rigido o semirigido (bedrock).

Ogni strato, considerato omogeneo ed isotropo, e caratterizzato dallo spessore  $h$ , dalla densità  $\rho$ , dal modulo di taglio  $G$  e dal fattore di smorzamento  $D$ .

### 10.1 - Definizione dell'azione sismica di riferimento.

Il primo step iniziale per la definizione dell'input sismico è quello di definire n° 7 accelerogrammi naturali così come previsto nella Circolare delle NTC18 del 21/1/19 art. C.7.11.3.1.2.2.

Tali accelerogrammi andranno opportunamente scalati al valore di  $a_g$  del sito e deconvoluti (cioè riportati in profondità al tetto del substrato, poiché di norma la loro registrazione avviene in stazioni poste in superficie).

Quindi indispensabile in partenza è il valore dell'accelerazione di base del sito di progetto ( $a_g$ ), valore al quale bisognerà scalare i 7 accelerogrammi, utilizzati per l'input sismico.

Per la stima dell'azione sismica di progetto è stato utilizzato il foglio di calcolo Spettri-NTC ver.1.0.3 rilasciato dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici facendo riferimento allo stato limite SLV.

Sulla base delle indicazioni contenute nelle NTC di cui al D.M. 17/01/18, per l'area in esame, considerando, strutture di classe II (vita nominale  $V_n = 50$  anni, coefficiente d'uso  $C_u = 1,0$ ;  $V_r = 50$  anni), risultano i seguenti valori di accelerazione di riferimento al suolo e parametri per il calcolo degli spettri di risposta di riferimento:

#### Valori dei parametri $a_g$ , $F_0$ , $T_C^*$ per i periodi di ritorno $T_R$ associati a ciascuno SL

SLATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$ [-]	$T_C^*$ [s]
SLO	30	0.041	2.543	0.247
SLD	50	0.051	2.519	0.264
SLV	475	0.148	2.573	0.270
SLC	975	0.199	2.526	0.276

dove:

SLO = Stato limite di operatività;  $P_{vr} = 81\%$

SLD = Stato limite di danno;  $P_{vr} = 63\%$

SLV = Stato limite di salvaguardia della vita;  $P_{vr} = 10\%$

SLC = Stato limite di prevenzione del collasso;  $P_{vr} = 5\%$

$a_g$  = accelerazione massima di riferimento al suolo

$F_0$  = fattore di amplificazione

$T_C$  = inizio del tratto orizzontale dello spettro di risposta

## 10.2 - Valutazione delle velocità delle onde di taglio.

Al fine di determinare le caratteristiche geofisiche dei terreni costituenti il sottosuolo dell'area in esame, è stata condotta un'indagine diretta in sito di tipo sismico ottenuta da due prospezioni sismiche di superficie (Masw-Esac ) i cui dati sono stati elaborati in modo accoppiato al fine di ottenere un valore di Vs<sub>30</sub>.

Attraverso tale elaborazione, e abbinando anche i dati ottenuti dall'acquisizione dei dati di microtremore sismico (misura HVSR) che hanno evidenziato un possibile bed rock sismico (Vs ≥ 750-800 m/s) ad una profondità di -140 m da p.d.c., si è ricostruito l'andamento della velocità delle onde S nei diversi livelli litologici (Fig. 23).

### - Interpretazione modello sismico del sottosuolo da analisi combinata Masw-Esac -

Strato n°	Descrizione sommaria stratigrafia	Poisson $\nu$	Densità T/m <sup>3</sup>	Prof. m		Spessore strato (m)	Vs m/sec
				da	a		
1	Argille limose	0.45	1.80	0	1	1	190
2	Limo Argilloso	0.47	1.85	1	7	6	200
3	A – AL/LA	0.48	1.85	7	19	12	225
4	Sabbia	0.40	1.95	19	24	5	350
5	AL – AL/LA	0.45	1.85	24	40	16	255
6	Sabbia Media	0.38	2.05	40	65	25	445
7	AL – AL/LA	0.40	1.90	65	90	25	360
8	Sabbia	0.33	2.00	90	120	30	520
9	AL – LA e LS	0.38	1.95	120	140	20	390
10	Sabbia medio grossa	0.28	2.10	>140	-	-	800

Dati da indagine combinata ESAC-MASW-HVSR

Fig. 23 - Modello Litostratigrafia sismico dell'area in esame.

## 10.3 - Dati di Input sismico (software RSLIII 1D - GeoStru s.r.l.).

Tra i diversi programmi di calcolo per eseguire modellazioni numeriche ai fini della valutazione della risposta sismica locale RSL, si è utilizzato il programma RSLIII della GeoStru s.r.l., basato sul codice SHAKE e SHAKE 91 per quanto concerne le soluzioni relative alle propagazioni delle onde di taglio.

Si tratta di un modello monodimensionale applicabile al sito in esame, in cui le cause principali di amplificazione del moto sismico sono il fenomeno di intrappolamento di onde S all'interno del deposito, favorito dal contrasto di impedenza fra terreno e basamento roccioso e la risonanza, determinata dalla prossimità tra le frequenze del moto al substrato e quelle naturali di vibrazione del deposito.

L'analisi è di tipo **lineare equivalente (EQL)** che consiste nell'esecuzione di una sequenza di analisi lineari complete con aggiornamento successivo dei parametri di rigidità e smorzamento fino al soddisfacimento di un prefissato criterio di convergenza.

Sulla base dei parametri di pericolosità sismica descritti precedentemente occorre definire quali accelerogrammi di input utilizzare per le simulazioni di RSL.

Il calcolo è stato eseguito selezionando opportuni accelerogrammi di input sismico estratti dal software REXEL (Iervolino I., Galasso C., Cosenza E. (2009). REXEL: computer aided record selection for code-based seismic structural analysis. Bulletin of Earthquake Engineering, 8:339-362. DOI 10.1007/s10518-009-9146-1) utilizzando anche la recente banca dati Simbad (Smerzini e Paolucci, 2011) qualora risultino compatibili, unitamente a European Strong-Motion Database e Italian Accelerometric Archive.

All'interno del software, per lo stato SLV, è stata impostata una ricerca in un database di registrazioni (in questo caso ESMD) di sismogrammi inserendo un range di magnitudo  $M=$ da 5.7 a 6.2 e la distanza dall'epicentro  $R=0-25$  Km in base alla disaggregazione del sito in esame (Latitudine 44.8265 - Longitudine 10.8873).

Questo set di accelerogrammi è scaturito da un'analisi critica delle varie combinazioni possibili che il programma (REXEL ver. 3.5) restituisce, ed in particolare la combinazione n. 1 (Fig. 24) per lo SLV è quella caratterizzata da minor scarto medio considerando i singoli accelerogrammi sempre rispetto allo spettro di riferimento.

ncomb	Recdev med	Recdev 1	Recdev 2	Recdev 3	Recdev 4	Recdev 5	Recdev 6	Recdev 7
1	0.075	0.205	0.240	0.249	0.294	0.322	0.357	0.447
2	0.068	0.205	0.240	0.270	0.294	0.322	0.357	0.447
3	0.075	0.205	0.240	0.270	0.294	0.322	0.363	0.447
4	0.092	0.205	0.240	0.274	0.278	0.294	0.309	0.447
5	0.079	0.205	0.240	0.274	0.278	0.294	0.357	0.447
6	0.095	0.205	0.240	0.274	0.294	0.309	0.322	0.447
7	0.073	0.205	0.240	0.274	0.294	0.322	0.357	0.447
8	0.074	0.205	0.240	0.278	0.281	0.294	0.322	0.357
9	0.074	0.205	0.240	0.278	0.294	0.322	0.357	0.447
10	0.073	0.205	0.240	0.294	0.309	0.322	0.357	0.447
11	0.078	0.205	0.240	0.294	0.321	0.322	0.363	0.447
12	0.077	0.205	0.240	0.294	0.322	0.357	0.363	0.447
13	0.077	0.205	0.240	0.294	0.322	0.363	0.382	0.447
14	0.099	0.205	0.249	0.281	0.294	0.309	0.355	0.447
15	0.069	0.205	0.249	0.294	0.321	0.322	0.357	0.447
16	0.071	0.205	0.249	0.294	0.322	0.355	0.357	0.447
17	0.064	0.205	0.249	0.294	0.322	0.357	0.363	0.447
18	0.066	0.205	0.249	0.294	0.322	0.357	0.382	0.447
19	0.081	0.205	0.263	0.294	0.321	0.322	0.357	0.447
20	0.082	0.205	0.263	0.294	0.322	0.355	0.363	0.447
21	0.069	0.205	0.270	0.274	0.294	0.322	0.357	0.447
22	0.076	0.205	0.270	0.274	0.309	0.322	0.357	0.447
23	0.073	0.205	0.270	0.294	0.321	0.322	0.357	0.447
24	0.072	0.205	0.270	0.294	0.322	0.357	0.382	0.447
25	0.083	0.205	0.270	0.294	0.322	0.357	0.447	0.502
26	0.086	0.205	0.274	0.278	0.281	0.294	0.322	0.357
27	0.064	0.205	0.274	0.278	0.294	0.321	0.357	0.447
28	0.083	0.205	0.274	0.278	0.309	0.322	0.357	0.447
29	0.090	0.205	0.274	0.278	0.309	0.322	0.363	0.447
30	0.083	0.205	0.274	0.281	0.294	0.321	0.357	0.447
31	0.072	0.205	0.274	0.294	0.309	0.322	0.357	0.447
32	0.080	0.205	0.274	0.294	0.318	0.322	0.357	0.447
33	0.059	0.205	0.274	0.294	0.321	0.322	0.357	0.447
34	0.067	0.205	0.274	0.294	0.322	0.357	0.363	0.447
35	0.072	0.205	0.274	0.294	0.322	0.363	0.382	0.447
36	0.089	0.205	0.278	0.281	0.294	0.309	0.355	0.447
37	0.072	0.205	0.278	0.281	0.294	0.321	0.322	0.357
38	0.099	0.205	0.278	0.294	0.309	0.322	0.355	0.447
39	0.071	0.205	0.278	0.294	0.322	0.328	0.357	0.447
40	0.071	0.205	0.278	0.294	0.322	0.355	0.357	0.447
41	0.065	0.205	0.278	0.294	0.322	0.357	0.363	0.447
42	0.061	0.205	0.278	0.294	0.322	0.357	0.382	0.447
43	0.077	0.205	0.278	0.294	0.322	0.357	0.447	0.502
44	0.087	0.205	0.281	0.294	0.309	0.322	0.355	0.447
45	0.070	0.205	0.281	0.294	0.321	0.322	0.357	0.447
46	0.075	0.205	0.281	0.294	0.322	0.355	0.363	0.447
47	0.072	0.205	0.281	0.294	0.322	0.357	0.363	0.447
48	0.069	0.205	0.294	0.308	0.321	0.322	0.357	0.447
49	0.070	0.205	0.294	0.309	0.321	0.322	0.357	0.447
50	0.070	0.205	0.294	0.321	0.322	0.355	0.357	0.447

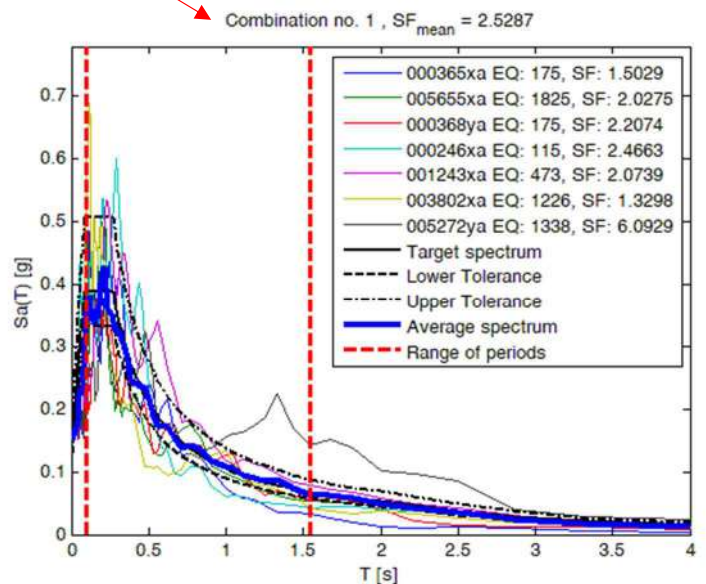


Fig. 24 - Combinazione n°1 dei 7 accelerogrammi di input selezionati con il software REXEL v.3.5

Tali accelerogrammi sono stati scalati sulla base di un valore di accelerazione massima orizzontale di picco (PGA) su un suolo di riferimento di tipo A, per  $T=0$ ,

espressa in frazione dell'accelerazione di gravità (arefg - 10% di probabilità di superamento in 50 anni) pari a 0.148 g.

In particolare si è deciso di utilizzare un set di n° 7 accelerogrammi naturali (Fig. 25) spettro-compatibili con lo spettro di categoria A per l'area in esame.

Weveform ID	Earthquake ID	Station S	Earthquake Name	Date	Mw	Fault Mechanism	Epicentral Distance (KM)
365	175	ST140	Lazio Abruzzo	07/05/1984	5.9	normal	5
5655	1825	ST2950	NE of Banja Luka	13/08/1981	5.7	oblique	10
368	175	ST143	Lazio Abruzzo	07/05/1984	5.9	normal	22
246	115	ST61	Valnerina	19/09/1979	5.8	normal	22
1243	473	ST575	Izmit (aftershock)	13/09/1999	5.8	oblique	15
3802	1226	ST2368	SE of Tirana	09/01/1988	5.9	thrust	7
5272	1338	ST2487	Mt. Vatnafjoll	25/05/1987	6	oblique	24

Fig. 25 – Sintesi delle caratteristiche dei 7 accelerogrammi spettro-compatibili estratti dal software REXEL

Di seguito i diagrammi dei n° 7 accelerogrammi estratti dal software REXEL.

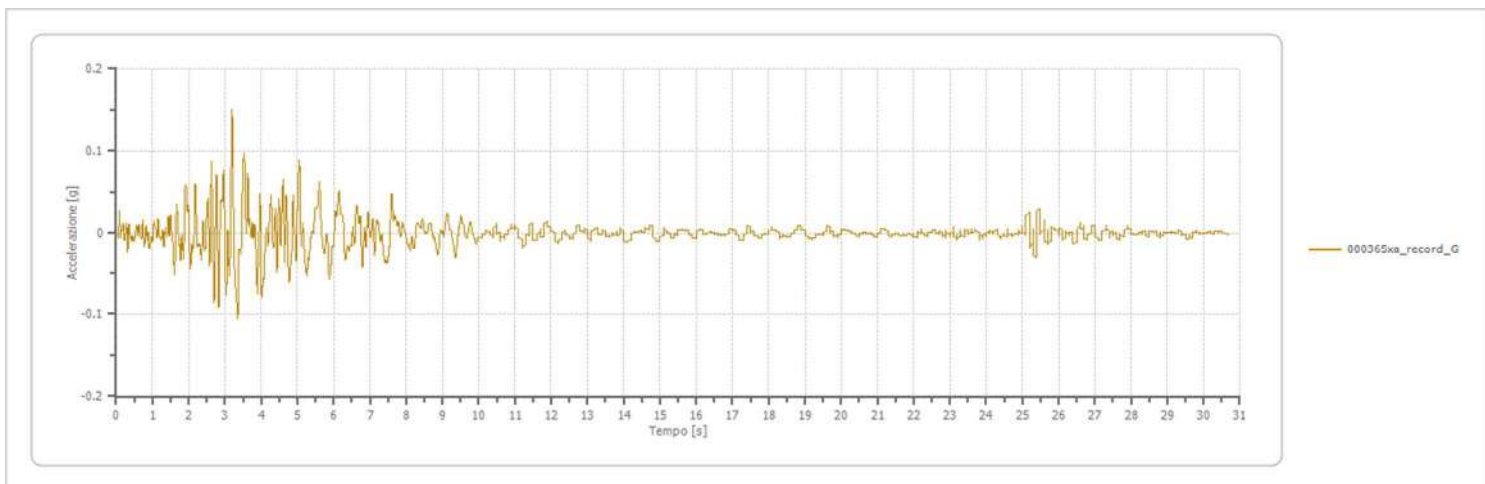


Fig. 26 - Accelerogramma 000365xa.

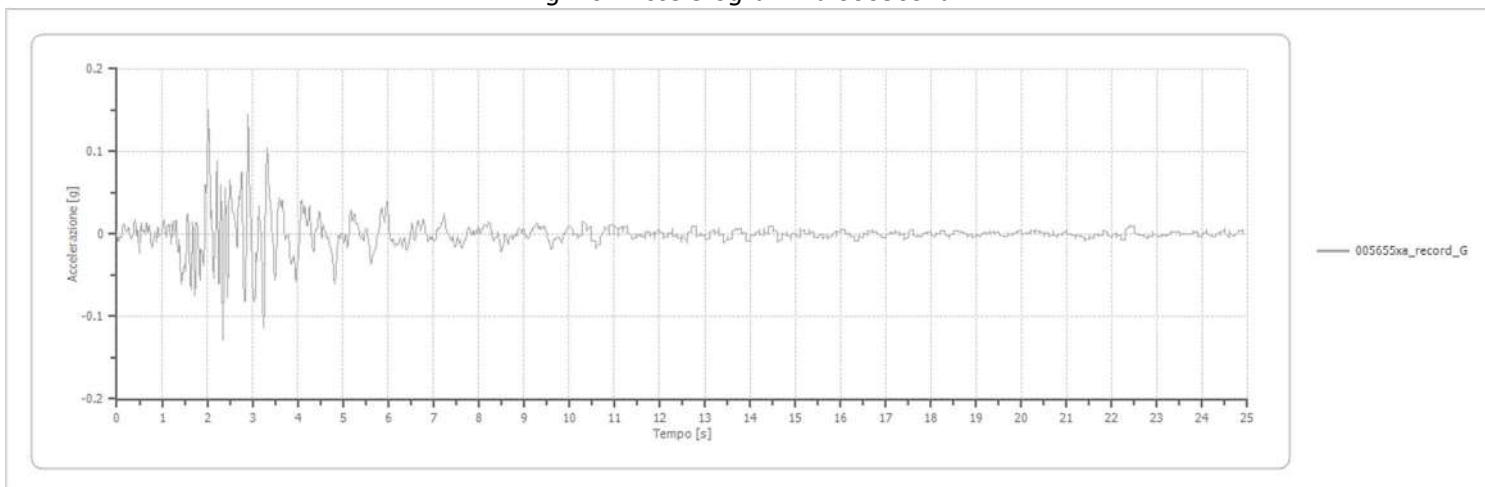


Fig. 27 - Accelerogramma 005665xa.



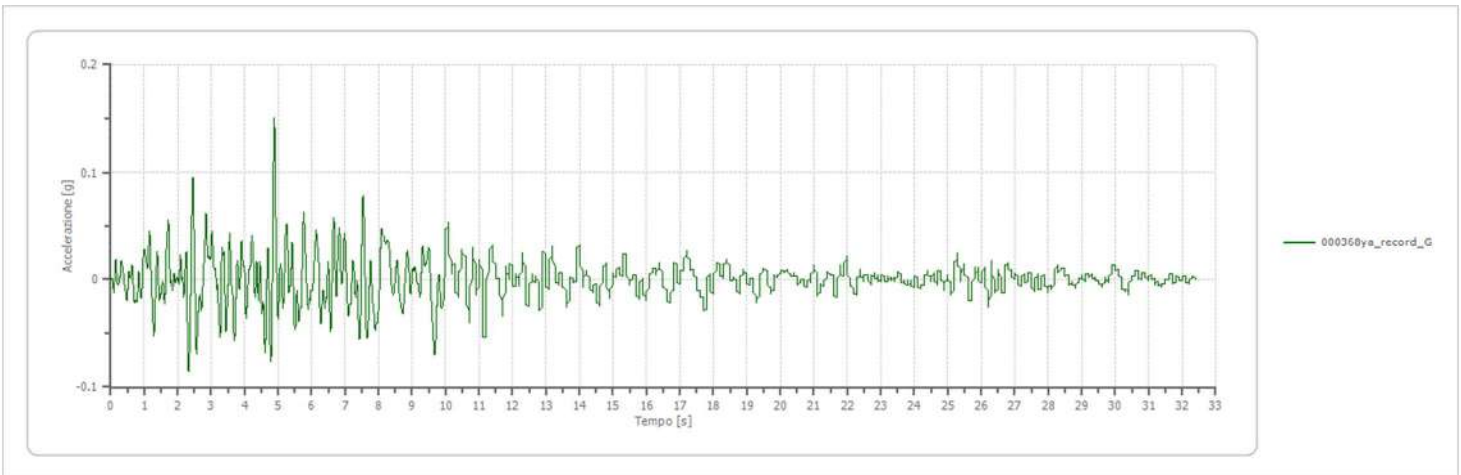


Fig. 27 - Accelerogramma 000368ya.

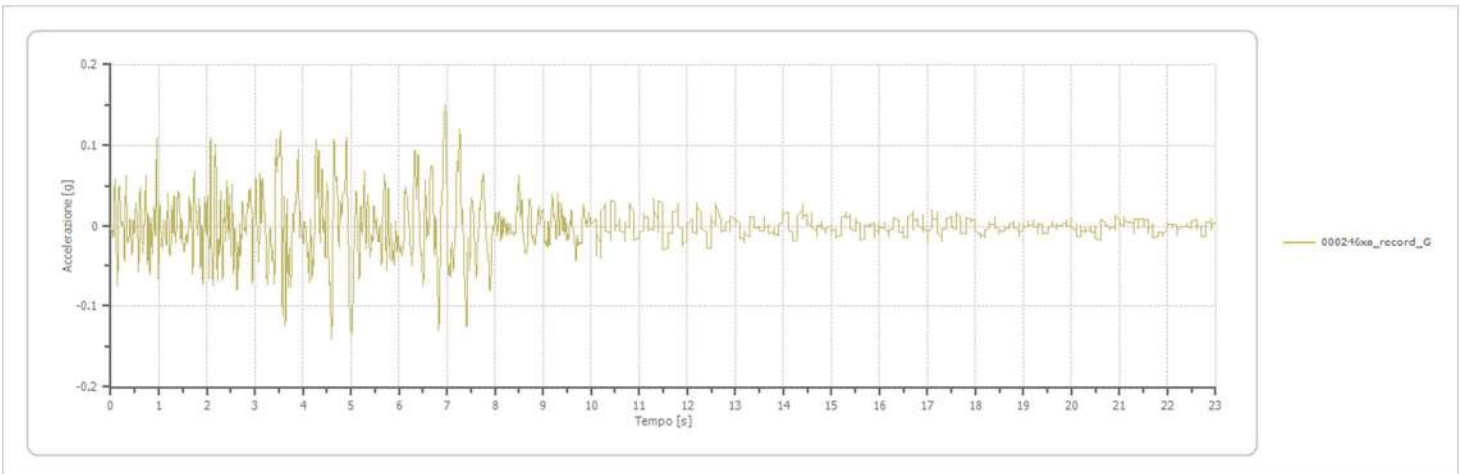


Fig. 28 - Accelerogramma 000246xa.

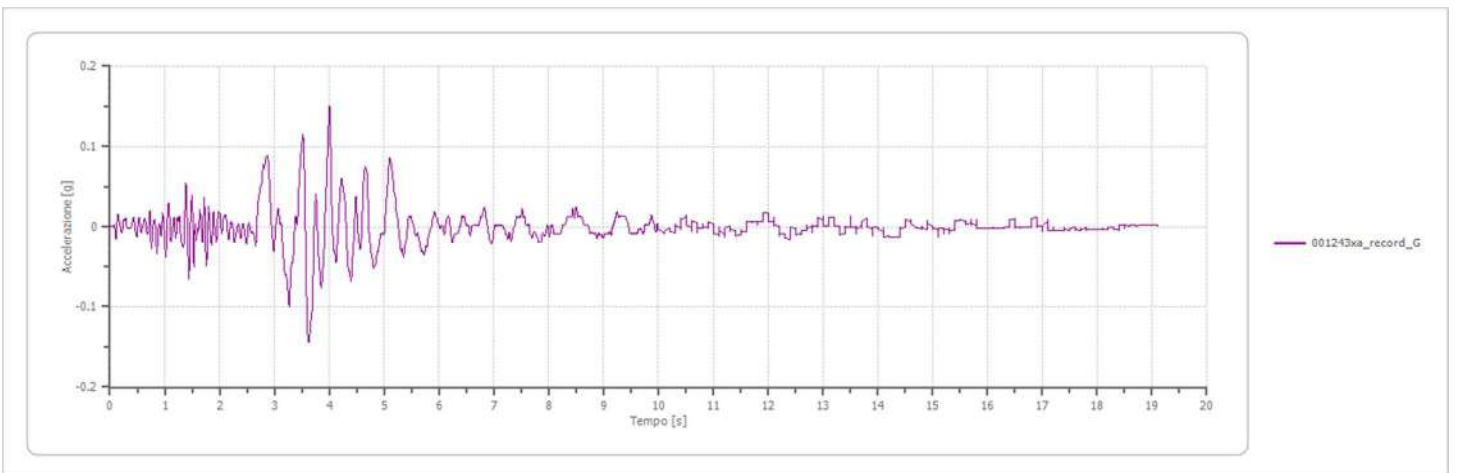


Fig. 29 - Accelerogramma 001243xa.

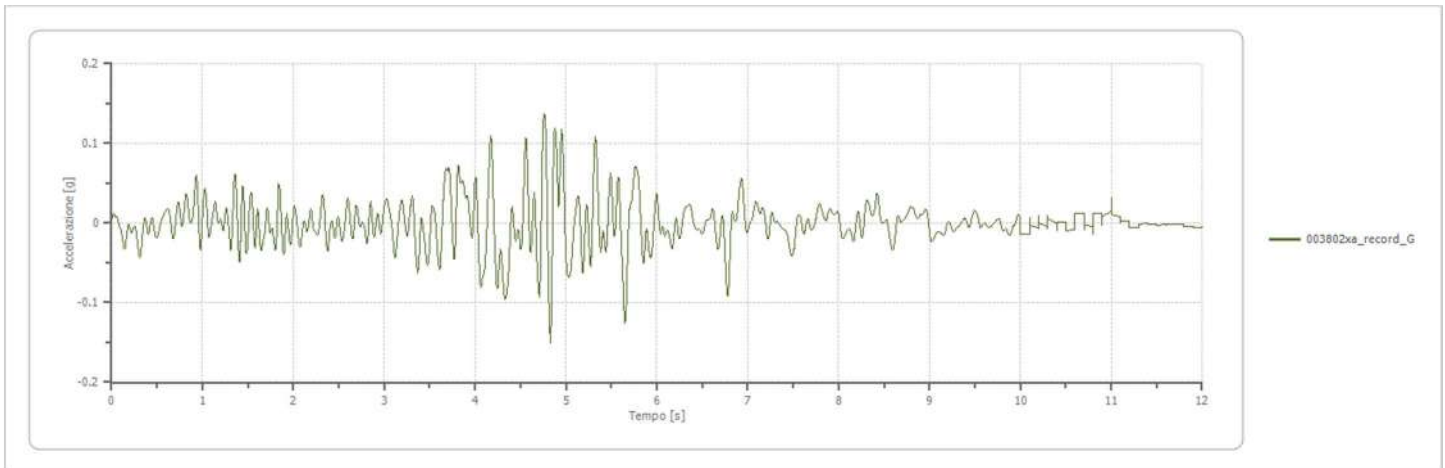


Fig. 30 - Accelerogramma 003802xa.

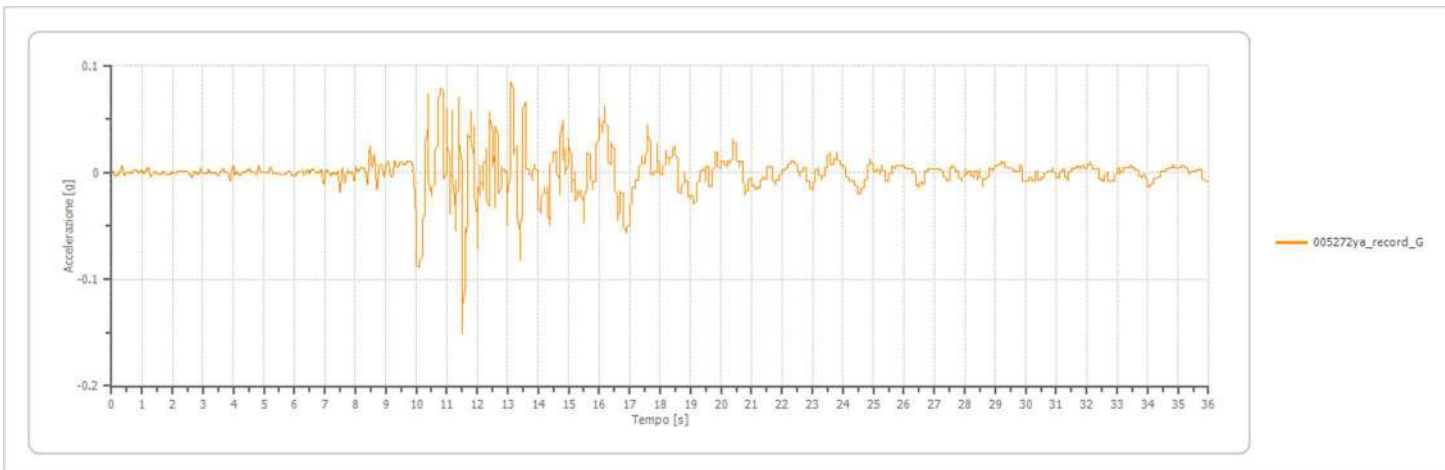


Fig. 31 - Accelerogramma 005272ya.

#### **10.4 - Analisi numerica (software RSLIII 1D - GeoStru).**

A questo punto sono noti i dati per operare la conversione e normalizzazione degli input sismici ed impostare la risposta sismica locale (RSL), mediante software basato su approccio lineare equivalente (prog. RSLIII [1D] – rel.'21), che basa la elaborazione sul codice Shake lineare equivalente, in situazioni di strati infinitamente estesi (modello 1D) operando sugli accelerogrammi estratti (secondo le metodiche sopra indicate) solo le conversioni indispensabili per l'utilizzo ottimale col programma di RSL utilizzato.

In particolare, i dati accelerometrici sono stati normalizzati alla  $a_g$  (di progetto) per la zona studiata e convertendo l'accelerazione da  $m/s^2$  a g per agevolare la procedura di scalatura dell' $a_g$ , in modo da non dover imporre al programma un fattore di conversione da  $m/s^2$  ad accelerazione di gravità (g).

Per proseguire con l'elaborazione e inoltre indispensabile stabilire una sismo stratigrafia di input (fig. 32), che tenga conto delle caratteristiche del volume di terreno che potrebbe innescare probabile amplificazione del segnale.

Sempre nell'ipotesi di analisi 1D, la stratificazione è considerata come ipotesi di progetto, piano parallela e propagazione del sisma verticale.

Per il calcolo di Risposta sismica locale al p.d.c. attuale si è inserito il profilo del terreno sino alla profondità di -140 m, che corrisponde al Bedrock sismico considerato come individuato dalle indagini sismiche e descritto nei paragrafi precedenti, secondo lo schema riportato in seguito, considerando come quota iniziale quella del p.d.c. attuale.

n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Terreno	Numero sottostrati	Gmax [MPa]	Smorzamento critico [%]	Peso unità vol. [kN/m <sup>3</sup> ]	Vs [m/s]	Tensione verticale [kPa]
1	Argille limose	--	1.0	Lombardia - Argille limose	0	66.24	--	18.0	190.0	4.1
2	Limo Argilloso	1.0	6.0	Lombardia - Limi argillosi	0	75.43	--	18.5	200.0	63.7
3	A - AL/LA	7.0	12.0	Lombardia - Argille limose	0	95.47	--	18.5	225.0	171.3
4	Sabbia	19.0	5.0	Lombardia - Sabbie	0	243.50	--	19.5	350.0	247.7
5	AL - AL/LA	24.0	16.0	Lombardia - Argille limose	0	122.63	--	18.5	255.0	341.4
6	Sabbia Media	40.0	25.0	Idriss (1990) Sand (Seed and Idriss 1970)	0	413.81	--	20.5	445.0	544.6
7	AL - AL/LA	65.0	25.0	Idriss (1990) Clay (Seed and Sun 1989)	0	251.01	--	19.0	360.0	793.1
8	Sabbia	90.0	30.0	Idriss (1990) Sand (Seed and Idriss 1970)	0	551.27	--	20.0	520.0	1060.8
9	AL - LA e LS	120.0	20.0	Idriss (1990) Sand (Seed and Idriss 1970)	0	302.34	--	19.5	390.0	1310.6
10	Sabbia medio grossa	oo	--	Smorzamento costante	0	1370.03	1	21.0	800.0	1407.5

Fig. 32 - Profilo litostratigrafico e sismico di input.

L'analisi di RSLIII è stata effettuata a partire da curve di variazione del modulo di rigidezza a taglio G e del fattore di smorzamento D (damping ratio) in funzione della deformazione per le diverse tipologie di materiali (litotipi presenti nella stratigrafia) tratte dalla banca dati per analisi sismiche di Piano Governo del Territorio-Regione Lombardia DGR7374/08 08), mentre per gli strati più profondi (>40 m) poiché non sono note curve (G/Gmax e D%), realmente calcolate in laboratorio, sono stati utilizzate le indicazioni di bibliografia da diversi autori (Idriss - EPRI).

Le rispettive curve del rapporto G/Gmax e relativo Damping utilizzate nell'elaborazione con prog 'RSLIII 1D' a seconda delle litologie di riferimento di ogni strato vengono indicate di seguito (da Fig. 33 a Fig. 37).

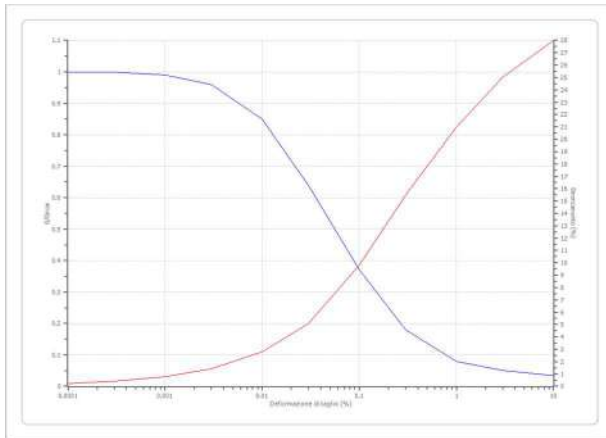


Fig. 33 - Idriss (1990) Sand (Seed and Idriss 1970)

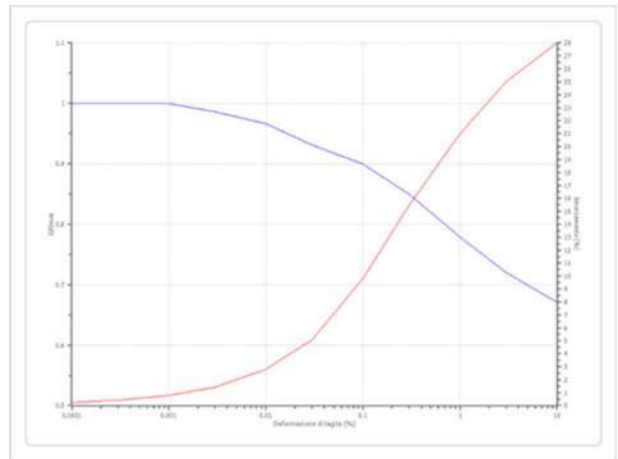


Fig. 34 - Idriss (1990) Clay (Seed and Sun 1989)

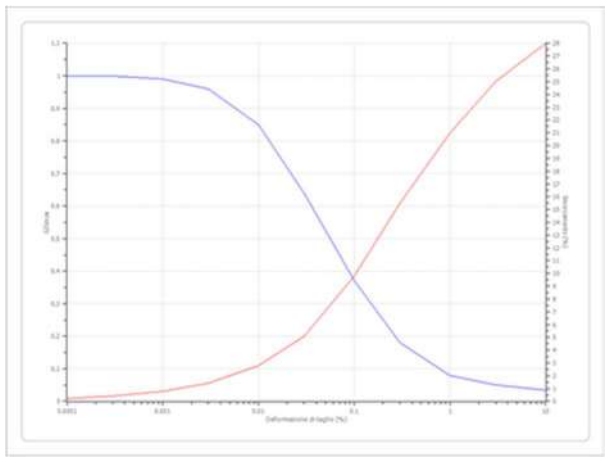


Fig. 35 - Lombardia - Limi argillosi

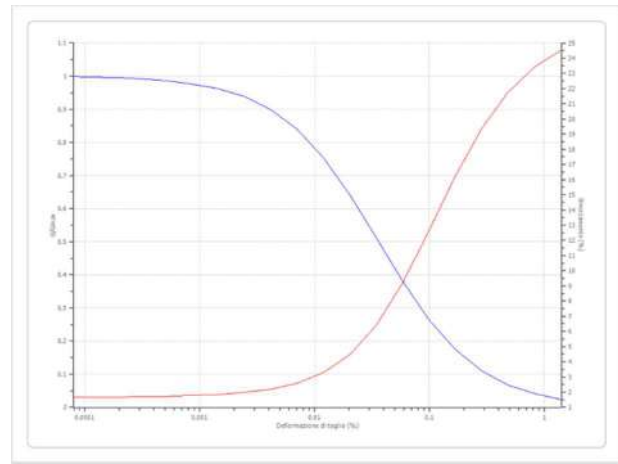


Fig. 36 - Lombardia - Argille limose

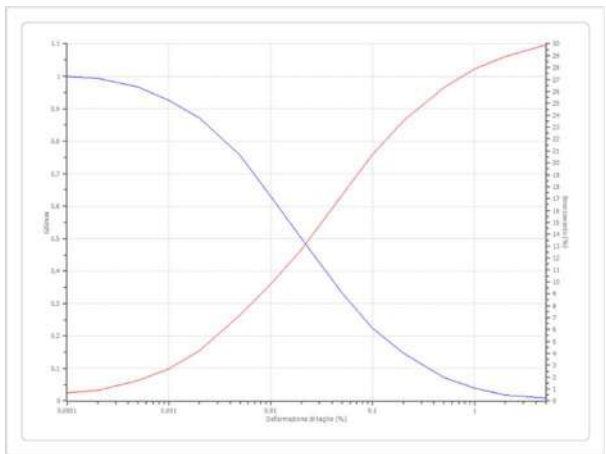


Fig. 37 - Lombardia - Sabbie

### 10.5 - Dati di Output sismico (software RSLIII 1D - GeoStru s.r.l.).

Di seguito si riportano i dati ottenuti dall'elaborazione attraverso l'utilizzo del software "RSLIII [1D] – rel.'21", basato su approccio lineare equivalente, come output ai fini progettuali.

#### Elaborazione

Numero di iterazioni	8
Rapporto tra deformazione a taglio effettiva e deformazione massima	0.5
Tipo di modulo elastico	Shake
Massimo errore percentuale di convergenza	1.67 E00

#### Fattori di amplificazione ICMS 2008

Tai	0.210 [s]
Tvi	1.350 [s]
Tao	0.210 [s]
Tvo	1.350 [s]
Sami	3.545 [m/s <sup>2</sup> ]
Svmi	0.187 [m/s]
Samo	4.089 [m/s <sup>2</sup> ]
Svmo	0.351 [m/s]
<b>Fa</b>	<b>1.153 [-]</b>
<b>Fv</b>	<b>1.875 [-]</b>
TB	0.180 [s]
TC	0.540 [s]
TD	2.192 [s]
<b>SA(0)</b>	<b>0.212 [g]</b>
SA(TB)	0.417 [g]

#### *- Fattori di amplificazione su intensità spettrale - (Intensità di Housner)*

Periodo minimo [s]	Periodo massimo [s]	Int. Housner input [m]	Int. Housner output [m]	Int. Housner input/output [m]	FA
0.100	0.500	0.052	0.065	0.200	<b>1.251</b>
0.500	1.000	0.088	0.156	0.500	<b>1.777</b>

Il fattore di amplificazione FA in termini di rapporto ( $S_i/S_{i0}$ ) di Intensità di Housner negli intervalli di frequenza **0.1-0.5 sec** e **0.5-1.0 sec.**, risultano pari rispettivamente a **1.251** e **1.777**.



L'elaborazione, svolta su sette terremoti di riferimento, ha fornito i seguenti risultati in termini di spettro di risposta elastico (Fig. 38) in accelerazione orizzontale in superficie per un valore di smorzamento critico pari al 5% di seguito i valori ottenuti.

**- Spettro medio di risposta elastico -**

Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0.00	0.1837	0.26	0.4474	0.52	0.3312	0.98	0.1939	2.25	0.0720
0.01	0.1837	0.27	0.4171	0.53	0.3272	1.00	0.1948	2.30	0.0703
0.02	0.1837	0.28	0.3957	0.54	0.3221	1.05	0.1868	2.35	0.0683
0.03	0.1848	0.29	0.3831	0.55	0.3217	1.10	0.1741	2.40	0.0653
0.04	0.1882	0.30	0.3796	0.56	0.3280	1.15	0.1724	2.50	0.0573
0.05	0.1984	0.31	0.3815	0.57	0.3328	1.20	0.1721	2.60	0.0516
0.06	0.2178	0.32	0.3773	0.58	0.3384	1.25	0.1715	2.70	0.0463
0.07	0.2207	0.33	0.3804	0.60	0.3530	1.30	0.1798	2.80	0.0409
0.08	0.2344	0.34	0.3878	0.62	0.3597	1.35	0.1772	2.90	0.0359
0.09	0.2609	0.35	0.3918	0.64	0.3621	1.40	0.1626	3.00	0.0322
0.10	0.3394	0.36	0.3933	0.66	0.3428	1.45	0.1449	3.10	0.0296
0.11	0.3765	0.37	0.3895	0.68	0.3087	1.50	0.1347	3.20	0.0274
0.12	0.3981	0.38	0.3736	0.70	0.2812	1.55	0.1276	3.30	0.0262
0.13	0.3877	0.39	0.3683	0.72	0.2652	1.60	0.1236	3.40	0.0249
0.14	0.3979	0.40	0.3630	0.74	0.2559	1.65	0.1251	3.50	0.0234
0.15	0.4287	0.41	0.3626	0.76	0.2532	1.70	0.1252	3.60	0.0221
0.16	0.3861	0.42	0.3635	0.78	0.2550	1.75	0.1212	3.70	0.0211
0.17	0.3816	0.43	0.3591	0.80	0.2506	1.80	0.1143	3.80	0.0198
0.18	0.4137	0.44	0.3534	0.82	0.2419	1.85	0.1061	3.90	0.0187
0.19	0.4428	0.45	0.3529	0.84	0.2360	1.90	0.0982	4.00	0.0175
0.20	0.4646	0.46	0.3560	0.86	0.2261	1.95	0.0908		
0.21	0.4726	0.47	0.3581	0.88	0.2164	2.00	0.0875		
0.22	0.4590	0.48	0.3595	0.90	0.2088	2.05	0.0837		
0.23	0.4451	0.49	0.3543	0.92	0.2022	2.10	0.0792		
0.24	0.4428	0.50	0.3430	0.94	0.1992	2.15	0.0748		
0.25	0.4563	0.51	0.3358	0.96	0.1950	2.20	0.0728		

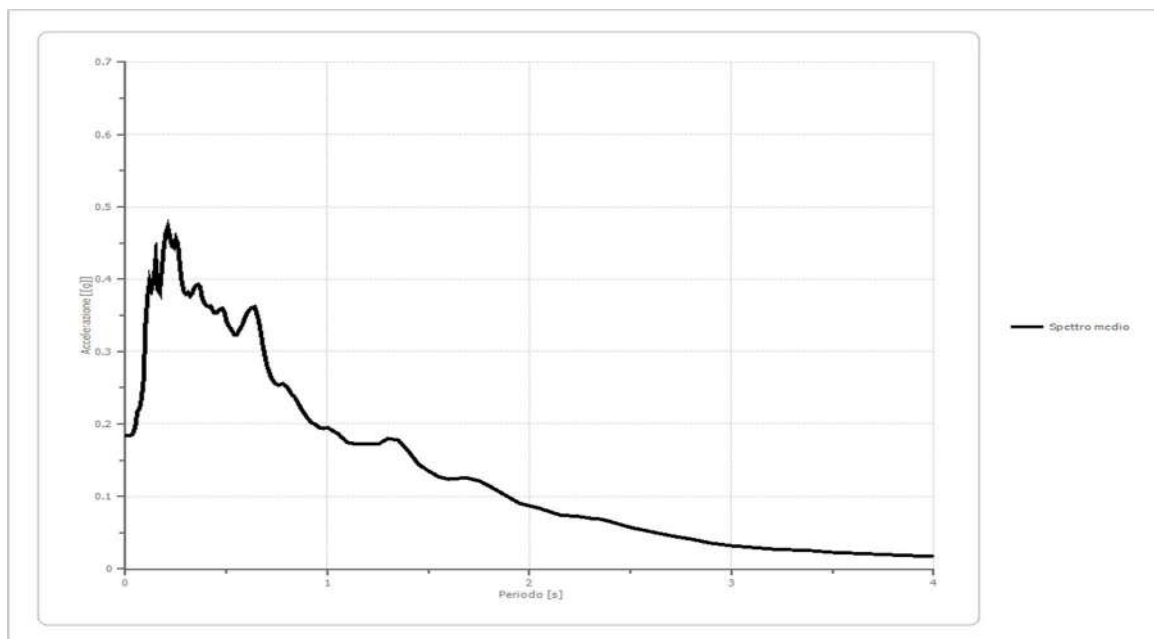
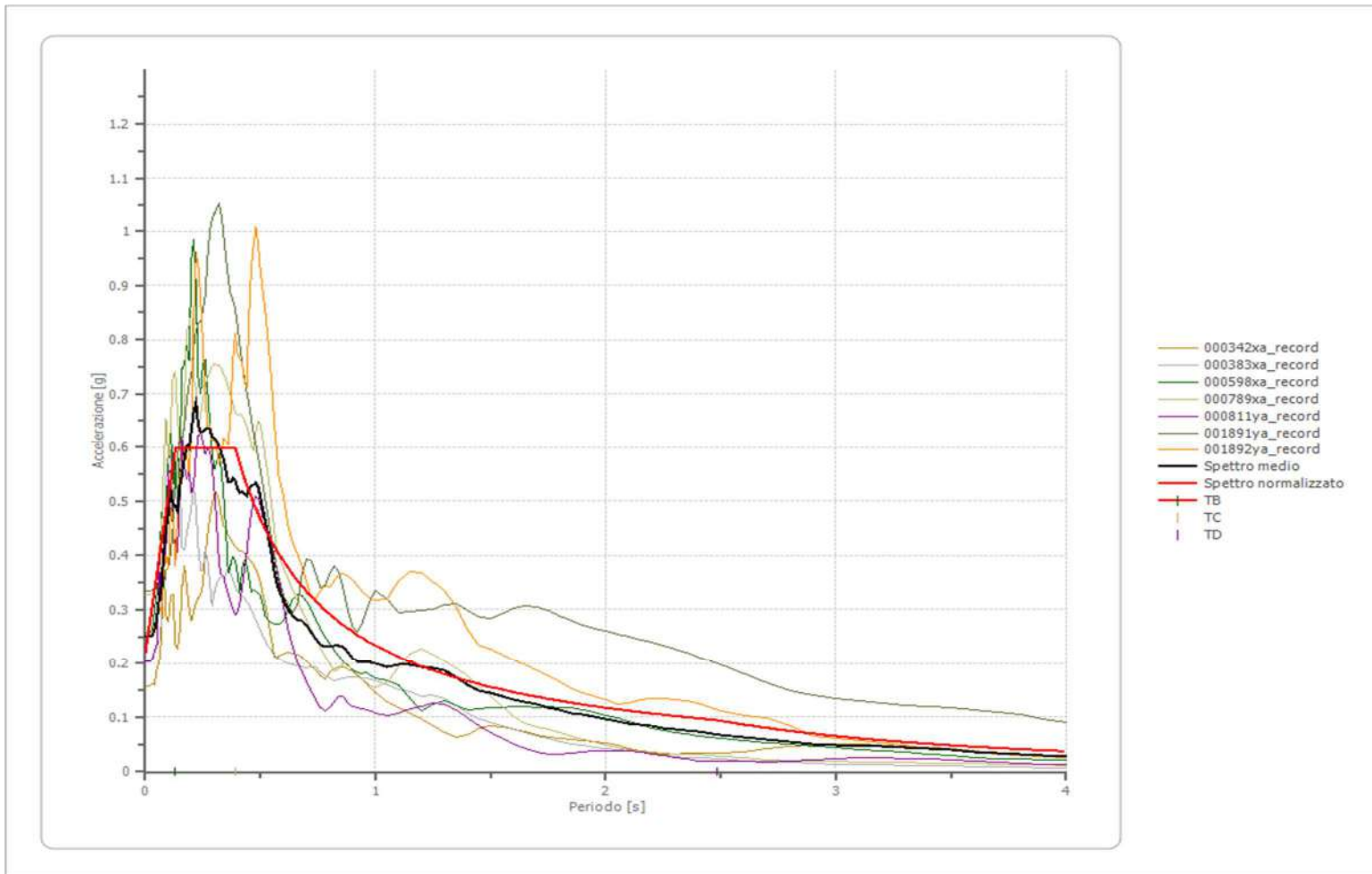


Fig. 38 - Diagramma spettro medio di risposta elastico.

- Confronto tra gli spettri -



**Confronto spettro normativa NTC 2018**

Tipo di spettro: *Spettro di risposta elastico*

	<b>Operatività SLO</b>	<b>Danno SLD</b>	<b>Salvaguardia vita SLV</b>	<b>Prev. collasso SLC</b>
Tr [anni]	30	50	<b>475</b>	975
ag [g]	0.041	0.051	<b>0.148</b>	0.199
Fo	2.543	2.519	<b>2.573</b>	2.526
Tc* [s]	0.247	0.264	<b>0.27</b>	0.276
Ss	1.50	1.50	<b>1.47</b>	1.40
St	1.00	1.00	<b>1.00</b>	1.00
Cc	1.67	1.63	<b>1.62</b>	1.61
TB [s]	0.137	0.143	<b>0.146</b>	0.148
TC [s]	0.411	0.430	<b>0.437</b>	0.443
TD [s]	1.764	1.804	<b>2.192</b>	2.396
Se(0) [g]	0.062	0.077	<b>0.218</b>	0.278
Se(TB) [g]	0.156	0.193	<b>0.560</b>	0.703

A seguire (Fig. 39) il grafico che mette invece, a confronto lo spettro medio derivato dall'analisi di RSL ed il suo omologo normalizzato e gli spettri ottenibili da approccio semplificato da NTC (sia per suolo di tipo C che A).

Per l'elaborazione dello "spettro normalizzato" dallo spettro medio ottenuto da Risposta Sismica Locale (RSL), il modello di calcolo matematico utilizzato, è stato riferito alle disposizioni ed indicazioni contenute in "Linee Guida della protezione civile 2018".

Lo spettro in accelerazione risultante da Risposta Sismica Locale (stato limite SLV)  $h$  = fattore correzione del coefficiente smorzamento viscoso  $x$  (per  $x=5\%$   $h=1$ ) volendo utilizzare valori di smorzamento diversi da 5% si dovranno reimpostare i calcoli utilizzando per  $h = 10/(5 + x)$ .

**- Confronto tra spettro normalizzato e spettro da NTC2018 -**

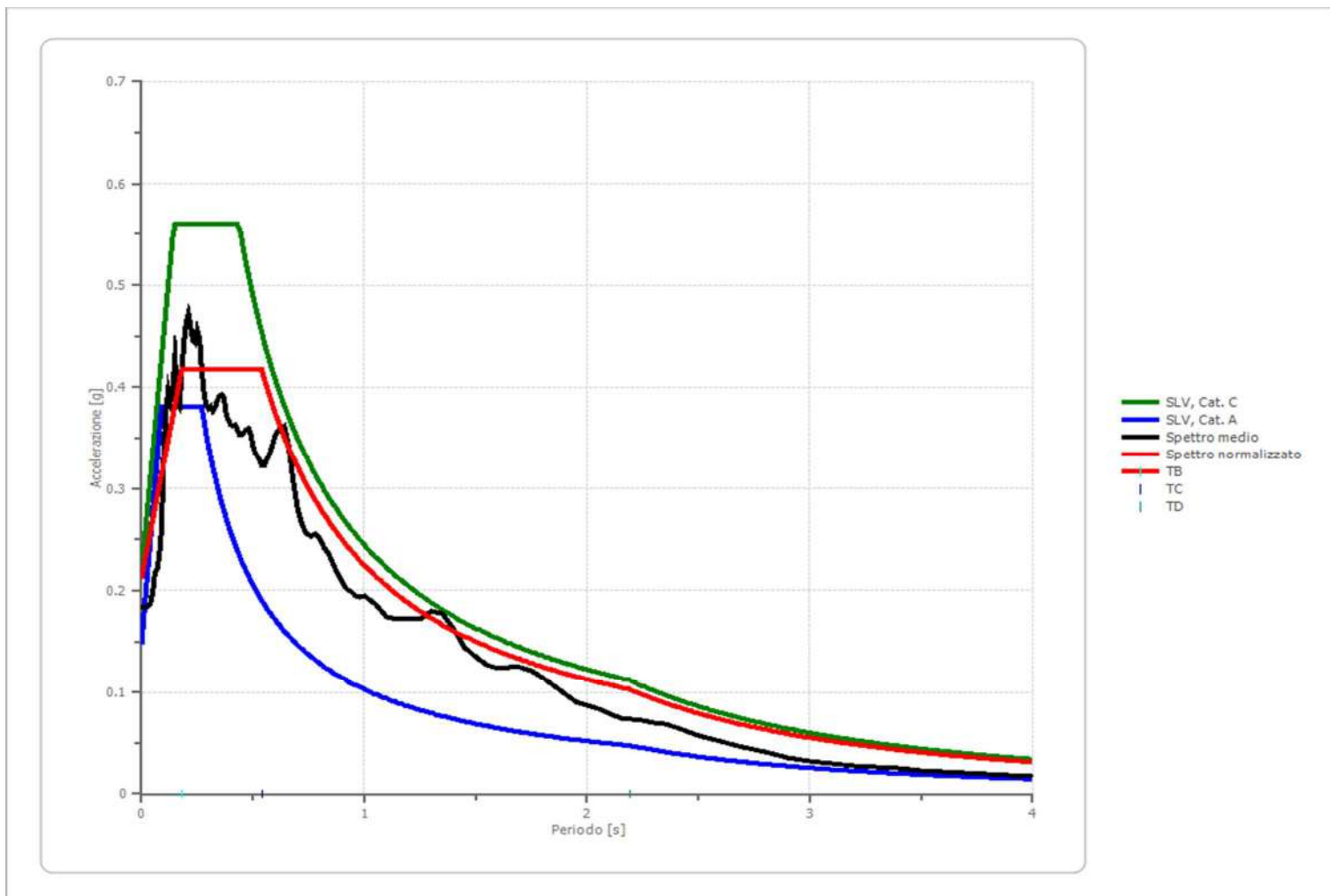


Fig. 39 - Diagramma spettro normalizzato e spettro da NTC2018.

Si ricorda e si rimarca quanto sopra esposto, cioè che **in analisi di Risposta Sismica Locale 1D per bed-rock a profondità > 100 m** (quale è il caso in esame),

in zone di piana alluvionale, ***l'approccio di calcolo utilizzabile (simulazione 1D), tende in genere ad una sottostima dell'azione sismica***, poiché prevarrebbero fenomeni dissipativi rispetto a quelli di amplificazione (D'Intinosante 2012).

#### **10.6 - Riepilogo risultati studio "RSL".**

Per il caso in esame è stata eseguito uno studio di Risposta Sismica Locale a partire dal p.d.c. attuale i cui risultati hanno portato ad un valore di **PGA** pari a **0,212g** con un **fattore di amplificazione (PGA/PGA<sub>0</sub>)** pari a **1.43**.

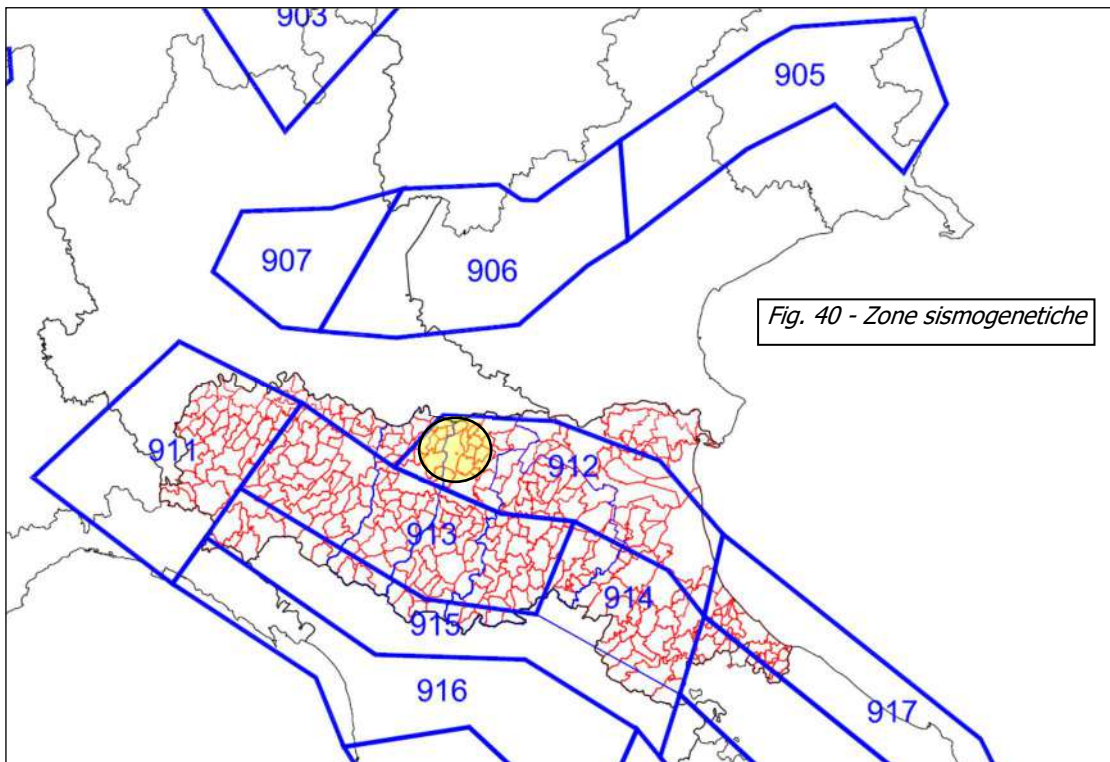
Per quel che concerne il rapporto **(S<sub>i</sub>/S<sub>l0</sub>) di Intensità di Housner** negli intervalli di frequenza **0.1 - 0.5 sec.** e **0.5 - 1.0 sec.**, i fattori di amplificazione risultano essere rispettivamente pari a **1.251** e **1.777**.

## **11. VERIFICA DELLA SUSCETTIBILITA' ALLA LIQUEFAZIONE E CEDIMENTI SISMICI.**

### **11.1 - 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 (fig. 40).

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 6.14.



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**.

### **11.2 - Liquefazione.**

Litologicamente i terreni del primo sottosuolo in tutta l'area di interesse risultano caratterizzati da una certa discontinuità e 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 di -20 m dal p.d.c. attuale.

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 pari a -1.60 m dal p.d.c. sia per la prova CPT1 che per la prova CPT2 come direttamente verificato nel foro dei sondaggi 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 20 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 6.14.**

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, ha portato 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, <math>I_L</math></i> <b>SONMEZ, 2003</b>	<b>Pericolosità di liquefazione</b>
$I_L = 0$	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. 8, e riassunto nella tabella seguente si è ottenuti un valore contenuto dell'indice di potenziale di liquefazione  $I_L$  con la pericolosità di liquefazione che può essere considerata **Bassa** e i relativi valori dei cedimenti sismici calcolati per tutte e due le prove.

<b>Prova CPT</b>	<b>Indice di potenziale liquefazione <math>I_L</math></b>	<b>Rischio di liquefazione</b>	<b>Cedimento terreni granulari saturi (cm)</b>
CPT1	1.19	Bassa	8.44
CPT2	1.29	Bassa	10.88

## **12. CONSIDERAZIONI GEOTECNICHE.**

La scelta del tipo di fondazione adottabile è strettamente legata non solo alle caratteristiche geotecniche del terreno evidenziate dai sondaggi penetrometrici, ma anche dalla tipologia dei fabbricati in progetto e quindi in rapporto alla stabilità globale dell'insieme opera-terreno.

L'analisi dei dati elaborati ha evidenziato la presenza generalizzata sull'intero comparto di terreni superficiali con medie caratteristiche di portanza, che tendono ad aumentare con la profondità.

Sulla base delle caratteristiche geomeccaniche del primo sottosuolo, evidenziate dalle prove geognostiche eseguite nell'area d'intervento e considerando la tipologia dei fabbricati previsti, si è effettuata una valutazione geotecnica preliminare del complesso fondazione-terreno; sulla base di questa si ritiene possibile l'adozione di fondazioni a platea senza escludere l'opportunità di utilizzare quelle di tipo continuo a "T" rovescia.

Qualora si procedesse ad un approfondimento geognostico, come previsto tra l'altro dalle normative vigenti in materia, in fase esecutiva e si rivelassero particolari condizioni di debolezza del terreno di sottofondazione, si potrà valutare l'opportunità di utilizzare delle fondazioni di tipo profondo.

Se si utilizzano fondazioni continue si consiglia una profondità di posa non inferiore a -1.00 m dal p.d.c. originario, in modo tale da oltrepassare completamente l'eventuale materiale di riporto se presente e del terreno agrario e del terreno interessato dal gelo, e dalle variazioni d'umidità, che si possono ripercuotere sulla consistenza dei terreni.

Sulla base dell'elaborazione dei dati delle prove eseguite, si consiglia di eseguire le verifiche agli stati limite su ogni singolo lotto in ragione delle azioni esercitate dagli edifici in progetto.

Nonostante l'omogeneità dei risultati delle prove, non si escludono possibili situazioni locali di debolezza, che possono presentare i terreni con caratteristiche portanti minori.

Sarà quindi necessario procedere in fase esecutiva, come peraltro prescrivono le normative geotecniche vigenti in materia (D.M. 17/01/2018 e successive integrazioni), ad un approfondimento e raffittimento delle indagini geognostiche sui singoli lotti d'intervento e, contestualmente alla geometria delle fondazioni, procedere alle opportune verifiche agli stati limite (SLU), nonché al calcolo dei cedimenti, assoluti e differenziali, con relative distorsioni (SLE).

Anche per quel che riguarda la morfologia, la zona in oggetto risulta caratterizzata da una regolarità planimetrica con andamento morfologico semplice presentando ottimali condizioni di stabilità, in cui risulta possibile uno sviluppo edilizio senza particolari problemi di bonifica o di tecniche costruttive.

Nell'area in esame è presente come detto una falda il cui livello statico rilevato durante le indagini nei fori di sondaggio, è risultato posto ad una profondità media di circa -1.60 m dal piano di campagna.

In relazione alle oscillazioni stagionali tale falda potrebbe risultare interferente con le strutture fondali degli edifici in progetto o con le eventuali parti interrato e/o seminterrate.

Dall'analisi completa del progetto non si evidenzia la presenza di edifici con interrati o seminterrati nonostante ciò se qualora vi fossero edifici con interrati, i quali comporteranno scavi di tipo profondo; si dovranno quindi valutare preventivamente le condizioni di stabilità delle pareti di scavo (sia in condizioni statiche che dinamiche), nonché provvedere ad eventuali sistemi di drenaggio della falda per mantenere all'asciutto i medesimi durante la fase esecutiva.

Si pone quindi il problema di mantenere all'asciutto gli scavi di sbancamento durante i lavori di costruzione, e le aree adibite a garage dell'interrato a lavori ultimati, ciò si potrà ottenere deprimendo il naturale livello acquifero durante le fasi costruttive e impermeabilizzando la struttura.

In caso di utilizzo di sistemi di depressione della falda, si genereranno dei coni di depressione nella falda che andranno valutati in fase preliminare al fine di evitare cedimenti in fabbricati limitrofi legati proprio all'abbattimento di un livello statico.

In particolare si dovranno quantificare le eventuali interferenze che i coni generano in riferimento ai fabbricati esistenti circostanti.

Una volta terminata la struttura si consiglia comunque di interrompere il pompaggio dell'acqua all'interno dello scavo in modo tale da ripristinare il livello originario della falda.

L'interrato risulterà complessivamente immerso in acqua, si consiglia quindi di utilizzare opportuni sistemi di impermeabilizzazione quali "guaine bituminose" o miscele a base di bentonite in modo tale da evitare infiltrazioni nel tempo.

***In considerazione di tutto ciò possiamo dedurre che per quanto riguarda l'edificabilità dell'area in studio, non sussistono particolari problemi sia dal***

***punto di vista geotecnico, morfologico, idrogeologico e sismico, stabilendo pertanto la fattibilità degli interventi in progetto.***

### **13. CONCLUSIONI.**

La presente relazione tratta dei caratteri geologici, idrogeologici, idrologici, geomorfologici, geotecnici e sismici di un'area ubicata in Via Mar Nero a Fossoli nel Comune di Carpi (MO) sulla quale è previsto il progetto del P.P.I.P. denominato Comparto B36 "Il bosco urbano".

La caratterizzazione geometrica e geotecnica del terreno di sottofondazione per la ricostruzione del "modello geotecnico" è stata ottenuta attraverso l'esecuzione di n.2 prove penetrometriche statiche (CPT1 e CPT2) spinte ad una profondità di -20.00 m da p.d.c. attuale più n.1 prova penetrometrica con punta elettrica e piezocono (CPTU3) spinta sino ad una profondità massima di -20.00 m da p.d.c. attuale, profondità sufficiente in relazione all'ipotesi di volume significativo (A.G.I., 1977).

Diversamente per quanto riguarda la definizione delle caratteristiche sismiche del sito è stata effettuata una prospezione sismica di superficie MASW combinata con un'ESAC le quali hanno permesso di determinare in modo diretto la velocità delle onde S in profondità che, per una fondazione posta a -1,00 m da p.d.c. attuale, permettendo di ottenere una  **$V_{s30} = 239$  m/sec** e la relativa categoria di suolo "**Categoria di suolo C**".

Contestualmente si è proceduto ad eseguire un'indagine geofisica di tipo passivo a stazione singola HVSR (Tromino®) per la determinazione della frequenza fondamentale del sottosuolo e l'attribuzione del bed rock sismico ( $V_s \geq 750/800$  m/s), ipotizzato ad una profondità di -140 m da p.d.c..

Dopo aver eseguito la modellazione litostratigrafica e sismica è stato eseguito uno studio di Risposta Sismica Locale RSL al fine di determinare il moto sismico atteso in superficie, per un tempo di ritorno di 475 anni (SLV), i cui risultati hanno portato ad un valore di **PGA** pari a **0,212 g**, in considerazione di una accelerazione su suolo rigido di tipo A considerata e pari a 0.148 g, ottenendo con un fattore di amplificazione (**PGA/PGA<sub>0</sub>**) pari a **1.43**.

Per quel che concerne il rapporto ( **$S_i/S_{i0}$** ) di **Intensità di Housner** negli intervalli di frequenza **0.1 - 0.5 sec.** e **0.5 - 1.0 sec.**, i fattori di amplificazione risultano essere rispettivamente pari a **1.251** e **1.777**.

Successivamente si è poi proceduto ad eseguire, sui dati delle prove penetrometriche statiche CPT1 e CPT2, una verifica del **potenziale di liquefazione  $L$**  al quale è associato una pericolosità di liquefazione che è risultata **Bassa** e con il rispettivo calcolo dei **cedimenti sismici**.

***Sulla base delle indagini eseguite, considerazioni ed ipotesi svolte si dichiara la fattibilità geologica dell'intervento in progetto per gli aspetti esaminati, così come richiesto dalle "Norme Tecniche per le Costruzioni" del D.M. 17/01/2018 e successive integrazioni e/o modificazioni.***

In ogni caso occorrerà, in fase esecutiva, l'assistenza di un tecnico per la verifica in corso d'opera delle condizioni geotecniche assunte in questa sede.

La presente relazione geologica e sismica è stata redatta nello spirito e ai sensi del D.M. 17/01/2018 "Norme Tecniche per le Costruzioni" e successive integrazioni.

*Carpi li, 13 Gennaio 2022*

IL TECNICO  
**Dott. Geol. Lorenzo Malvezzi**  
  


## Indice

1. Premessa.	Pag. 1
2. Inquadramento geografico.	Pag. 2
3. Inquadramento geologico e geomorfologico generale.	Pag. 3
4. Idrogeologia.	Pag. 7
5. Idrologia superficiale.	Pag. 8
6. Indagini geognostiche eseguite.	Pag. 8
6.1 - Prove penetrometriche statiche CPT1 e CPT2 (Cone Penetration Test).	Pag. 8
6.2 - Prove penetrometriche statica con punta elettrica e piezocono CPTU3.	Pag. 14
6.3 - Indagine geofisica MASW.	Pag. 21
6.3.1 - Caratteristiche attrezzatura.	Pag. 23
6.3.2 - Prospezione MASW onde di Rayleigh.	Pag. 24
6.4 - Indagine geofisica ESAC.	Pag. 27
6.5 - Indagine geofisica di tipo passivo a stazione singola HVSR (Tromino®).	Pag. 30
7. Interpretazione dati acquisiti attraverso tutte le indagini geofisiche.	Pag. 35
8. Categorie di suolo di fondazione (Azione sismica di progetto $V_{sh}$ o per il caso in esame $V_{s30}$ ).	Pag. 39
9. Sismicità del territorio.	Pag. 40
10. Analisi monodimensionale di Risposta Sismica Locale (RSL).	Pag. 43
10.1 - Definizione dell'azione sismica di riferimento.	Pag. 44
10.2 - Valutazione delle velocità delle onde di taglio.	Pag. 45
10.3 - Dati di Input sismico (software RSLIII 1D - GeoStru s.r.l.).	Pag. 45
10.4 - Analisi numerica (software RSLIII 1D - GeoStru).	Pag. 49
10.5 - Dati di Output sismico (software RSLIII 1D - GeoStru s.r.l.).	Pag. 52
10.6 - Riepilogo risultati studio "RSL".	Pag. 56
11. Verifica della suscettibilità alla liquefazione e cedimenti sismici.	Pag. 56
11.1 - Generalità.	Pag. 56
11.2 - Liquefazione.	Pag. 57
12. Considerazioni geotecniche.	Pag. 58
13. Conclusioni.	Pag. 60



## Allegati

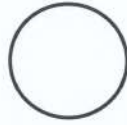
- 1) “Inquadramento Corografico” - scala 1:25.000 -
- 2) “Inquadramento geografico” - scala 1:10.000 -
- 3) “Inquadramento area di interesse” - scala 1:5.000 -
- 4) “Ubicazione indagini geognostiche eseguite” - disegno fuori scala -
- 5) “Prove penetrometriche statiche CPT1-CPT2” - dati e diagrammi -
- 6) “Elaborazione prove penetrometriche statiche CPT1-CPT2”  
- Parametri Geotecnici (ogni 20 cm) da programma "CPTWIN ver. 3.2" Geosoft s.a.s. -  
- Parametri Geotecnici (singolo strato) da programma "Static Probing" GeoStru s.r.l. -
- 7) “Prova penetrometrica statica con punta elettrica e piezocono CPTU3” - dati e diagrammi -
- 8) “Rischio di liquefazione e calcolo cedimenti post-sismici prove CPT1-CPT2”  
- dati e diagrammi Software LiqIT v.4.7.7.5 Geologismiki-
- 9) “Tromografia digitale HVSR (Tromino ®)” - dati e diagrammi -

**"INQUADRAMENTO COROGRAFICO"**  
- C.T.R. scala 1:25.000 -  
Foglio n. 183 S-E "Novi di Modena"

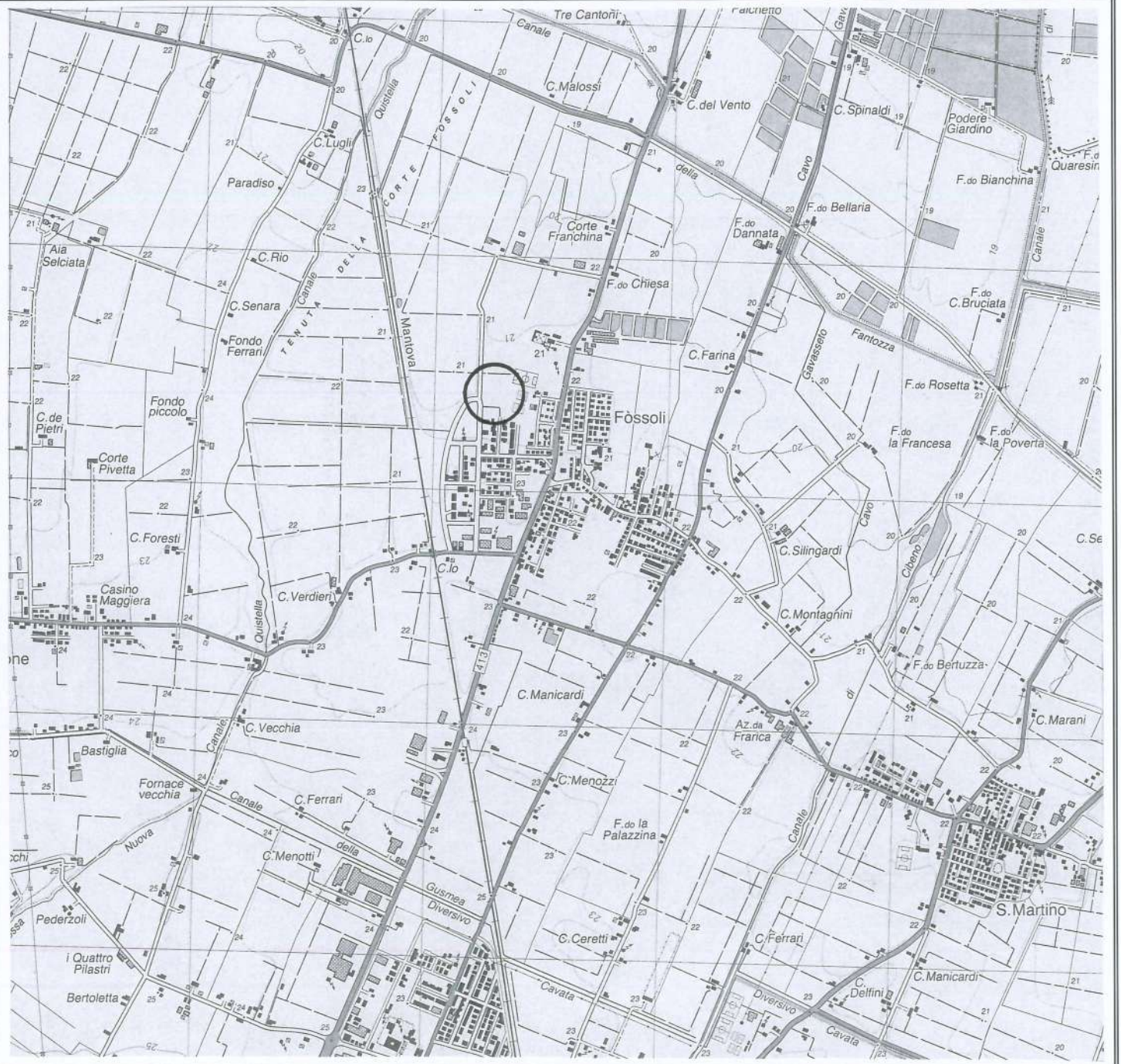
**Allegato N. 1**

Studio Tecnico Ambientale  
**GEOTECH**  
di Dott. Geol. Lorenzo Malvezzi  
Via Martinelli, 51A Carpi (MO)  
Tel. 059/654076 - Fax +391782215311

**LEGENDA**



Area di interesse





**"INQUADRAMENTO GEOGRAFICO"**  
- C.T.R. scala 1:10.000 -  
Sezione n. 183150 "Carpi"

**Allegato N. 2**

Studio Tecnico Ambientale  
**GEOTECH**  
di Dott. Geol. Lorenzo Malvezzi  
Via Martinelli, 51A Carpi (MO)  
Tel. 059/654076 - Fax +391782215311

**LEGENDA**



Area di interesse





**“INQUADRAMENTO AREA DI INTERESSE”**  
- C.T.R. scala 1:5.000 -  
Elemento n. 183151 “Casa del vento”

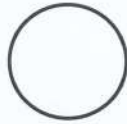
**Allegato N. 3**

Studio Tecnico Ambientale

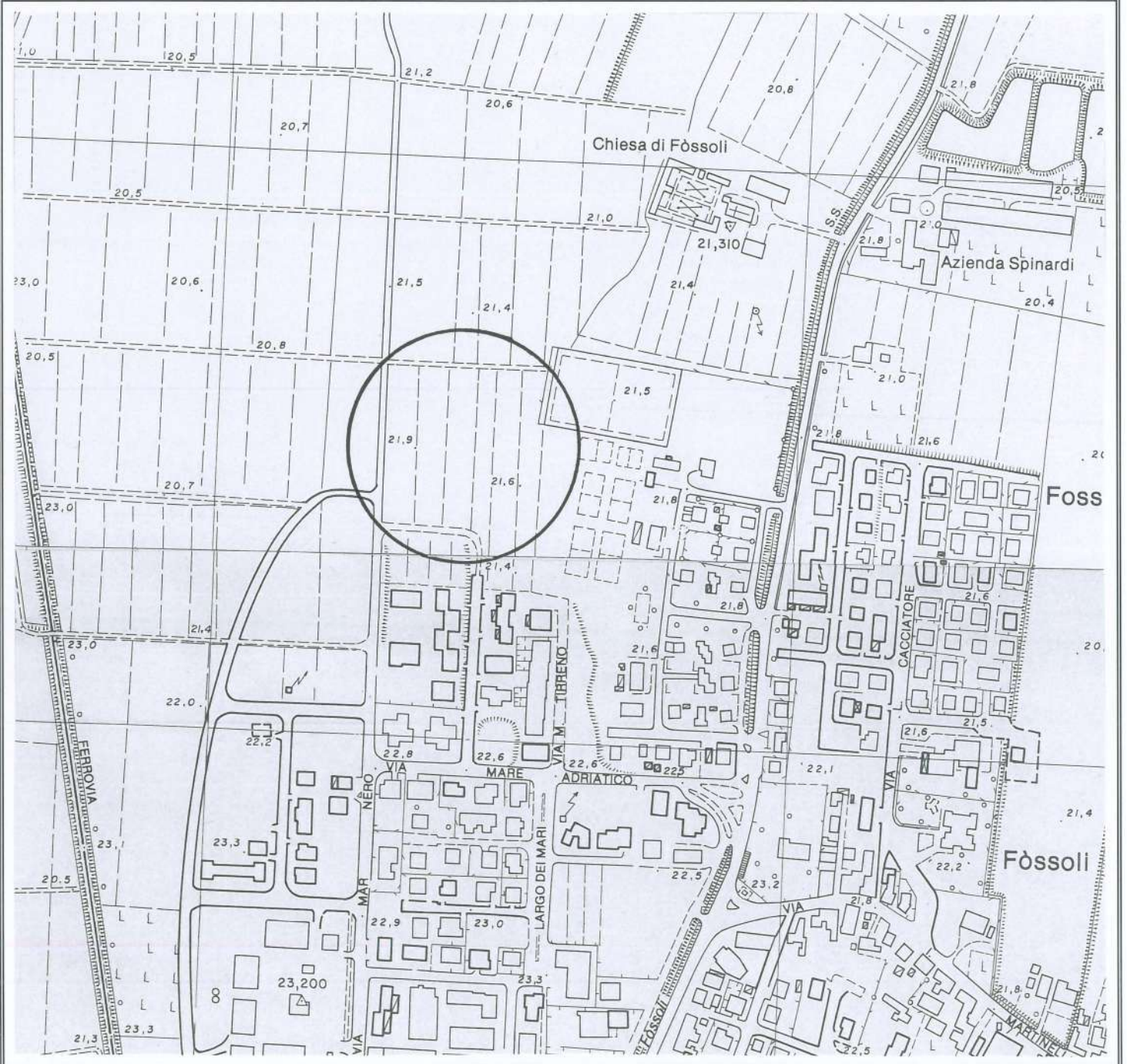
**GEOTECH**

di Dott. Geol. Lorenzo Malvezzi  
Via Martinelli, 51A Carpi (MO)  
Tel. 059/654076 - Fax +391782215311

**LEGENDA**



Area di interesse





**“UBICAZIONE INDAGINI GEOGNOSTICHE ESEGUITE”**  
 planimetria generale P.P.I.P. B36 “Il bosco urbano”

- disegno fuori scala -

**Allegato N. 4**

Studio Tecnico Ambientale

**GEOTECH**

di Dott. Geol. Lorenzo Malvezzi

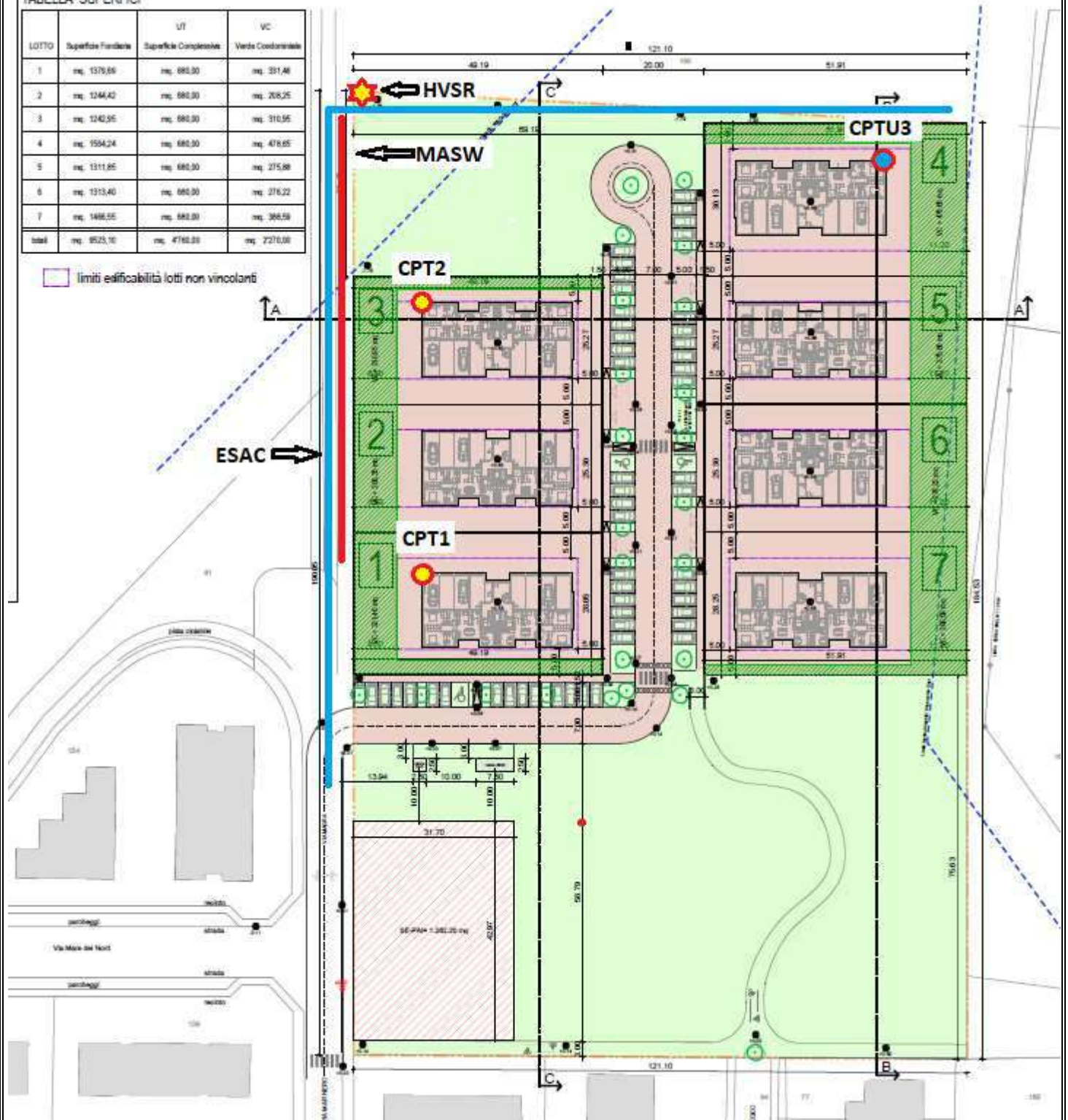
Via Martinelli, 51A Carpi (MO)

Tel. 059/654076 - Fax +391782215311

TABELLA SUPERFICI

LOTTO	Superficie Fondiaria	Superficie Complessiva	Verde Coordinabile
1	mq. 1379,66	mq. 680,00	mq. 331,46
2	mq. 1244,42	mq. 680,00	mq. 268,25
3	mq. 1242,95	mq. 680,00	mq. 310,95
4	mq. 1554,24	mq. 680,00	mq. 476,65
5	mq. 1311,85	mq. 680,00	mq. 275,68
6	mq. 1313,40	mq. 680,00	mq. 276,22
7	mq. 1489,55	mq. 680,00	mq. 308,59
<b>totali</b>	<b>mq. 8525,10</b>	<b>mq. 4760,00</b>	<b>mq. 2270,00</b>

□ limiti edificabilità lotti non vincolanti





**Allegato N. 5**

**“PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CPT1-CPT2”**

***- dati e diagrammi -***

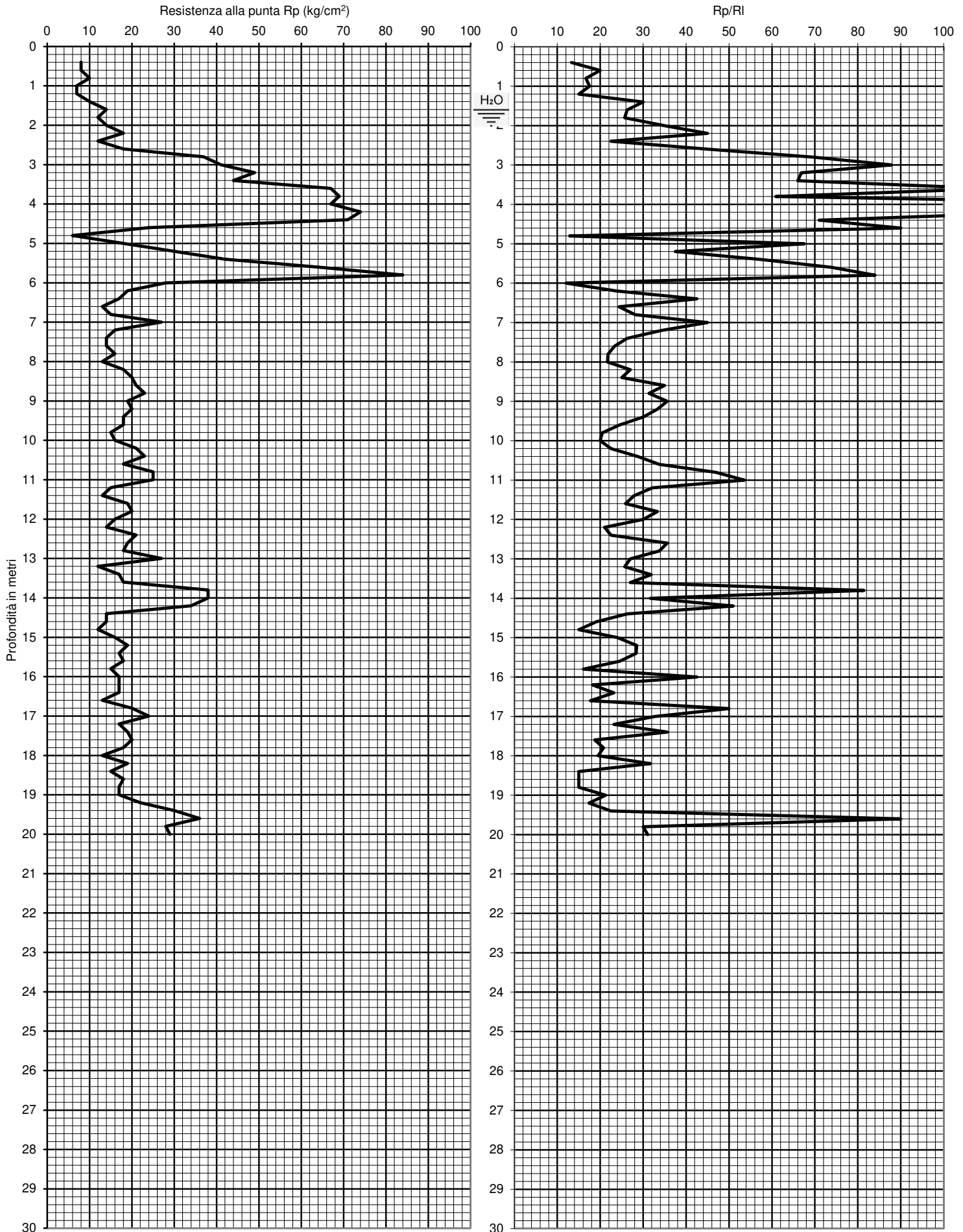
**Studio Tecnico Ambientale**

***GEOTECH***

***di Dott. Geol. Lorenzo Malvezzi***

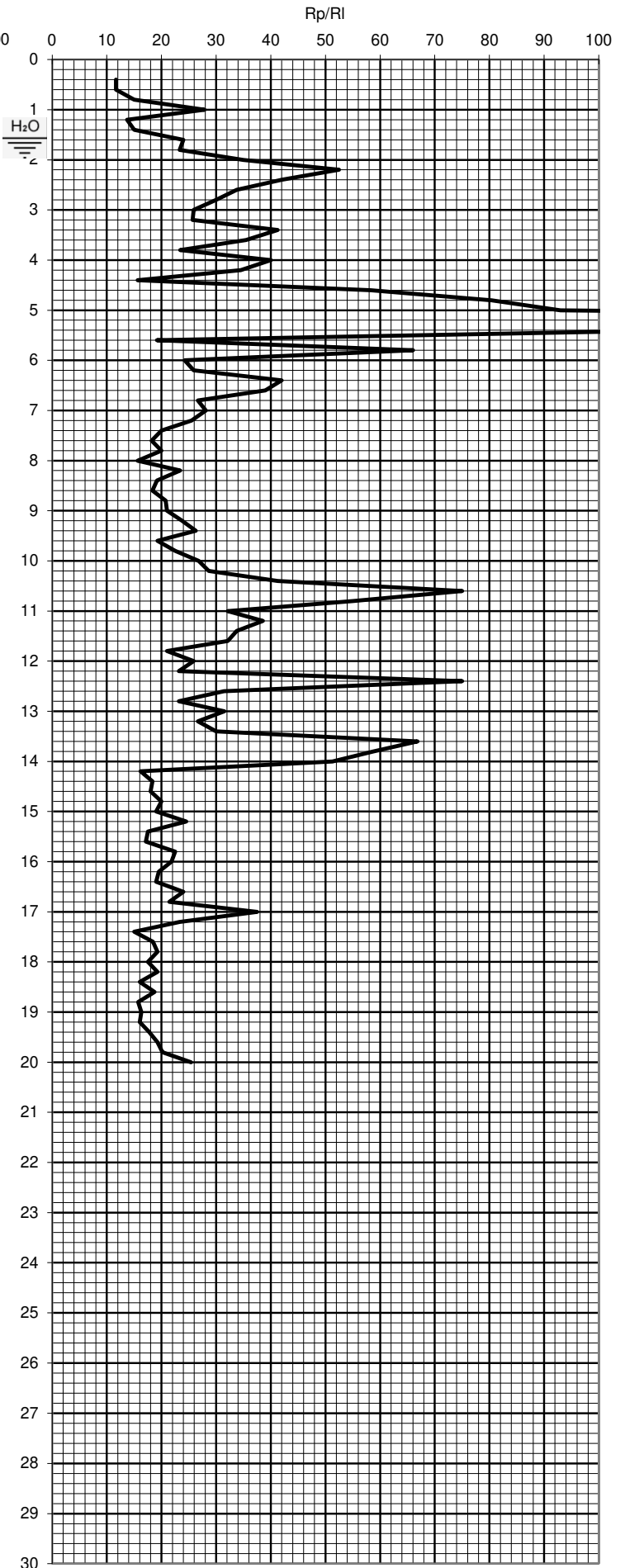
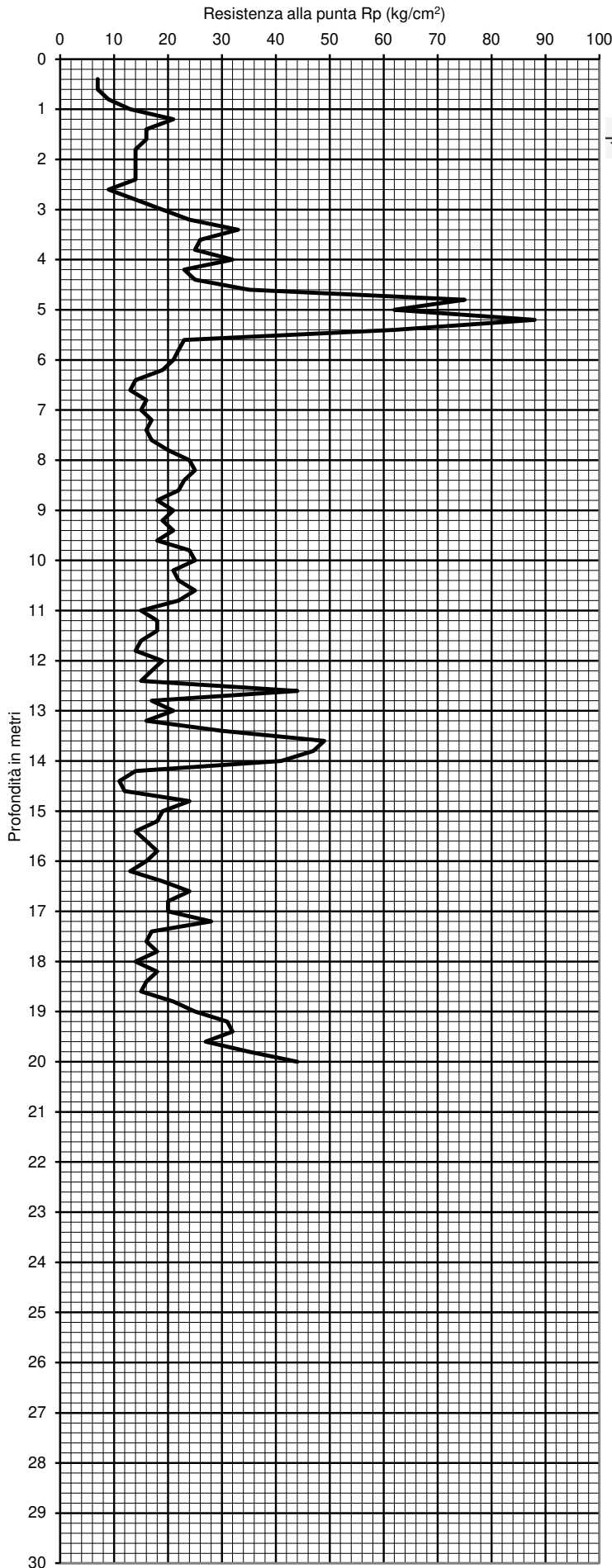
Via Martinelli, 51A - Fossoli di Carpi (MO)

Tel. 059/654076 Fax +391782215311



PROF. (M)	P (KG/CM2)	P + L (KG/CM2)	RP (KG/CM2)	RL (KG/CM2)	RP/RL [ - ]
0,20					
0,40	8	16	8	0,60	13,33
0,60	8	17	8	0,40	20,00
0,80	10	16	10	0,60	16,67
1,00	7	16	7	0,40	17,50
1,20	7	13	7	0,47	15,00
1,40	10	17	10	0,33	30,00
1,60	14	19	14	0,53	26,25
1,80	12	20	12	0,47	25,71
2,00	14	21	14	0,40	35,00
2,20	18	24	18	0,40	45,00
2,40	12	18	12	0,53	22,50
2,60	18	26	18	0,40	45,00
2,80	37	43	37	0,53	69,38
3,00	41	49	41	0,47	87,86
3,20	49	56	49	0,73	66,82
3,40	44	55	44	0,67	66,00
3,60	67	77	67	0,60	111,67
3,80	69	78	69	1,13	60,88
4,00	67	84	67	0,40	167,50
4,20	74	80	74	0,60	123,33
4,40	71	80	71	1,00	71,00
4,60	24	39	24	0,27	90,00
4,80	6	10	6	0,47	12,86
5,00	18	25	18	0,27	67,50
5,20	30	34	30	0,80	37,50
5,40	42	54	42	0,73	57,27
5,60	64	75	64	0,87	73,85
5,80	84	97	84	1,00	84,00
6,00	28	43	28	2,33	12,00
6,20	19	54	19	0,80	23,75
6,40	17	29	17	0,40	42,50
6,60	13	19	13	0,53	24,38
6,80	15	23	15	0,53	28,13
7,00	27	35	27	0,60	45,00
7,20	16	25	16	0,47	34,29
7,40	14	21	14	0,53	26,25
7,60	14	22	14	0,60	23,33
7,80	16	25	16	0,73	21,82
8,00	13	24	13	0,60	21,67
8,20	18	27	18	0,67	27,00
8,40	20	30	20	0,80	25,00
8,60	21	33	21	0,60	35,00
8,80	23	32	23	0,73	31,36
9,00	19	30	19	0,53	35,63
9,20	20	28	20	0,60	33,33
9,40	18	27	18	0,60	30,00
9,60	18	27	18	0,73	24,55
9,80	15	26	15	0,73	20,45
10,00	16	27	16	0,80	20,00
10,20	21	33	21	0,93	22,50
10,40	23	37	23	0,80	28,75
10,60	18	30	18	0,53	33,75
10,80	25	33	25	0,53	46,88
11,00	25	33	25	0,47	53,57
11,20	15	22	15	0,47	32,14
11,40	13	20	13	0,47	27,86
11,60	19	26	19	0,73	25,91
11,80	20	31	20	0,60	33,33
12,00	16	25	16	0,53	30,00
12,20	14	22	14	0,67	21,00
12,40	21	31	21	0,93	22,50
12,60	19	33	19	0,53	35,63
12,80	18	26	18	0,53	33,75
13,00	27	35	27	1,00	27,00
13,20	12	27	12	0,47	25,71
13,40	17	24	17	0,53	31,88
13,60	18	26	18	0,67	27,00
13,80	38	48	38	0,47	81,43
14,00	38	45	38	1,20	31,67
14,20	34	52	34	0,67	51,00
14,40	14	24	14	0,53	26,25
14,60	14	22	14	0,73	19,09
14,80	12	23	12	0,80	15,00
15,00	16	28	16	0,67	24,00

PROF. (M)	P (KG/CM2)	P + L (KG/CM2)	RP (KG/CM2)	RL (KG/CM2)	RP/RL [ - ]
15,20	19	29	19	0,67	28,50
15,40	17	27	17	0,67	25,50
15,60	18	27	18	0,60	30,00
15,80	15	26	15	0,73	20,45
16,00	17	31	17	0,93	18,21
16,20	17	23	17	0,40	42,50
16,40	17	31	17	0,93	18,21
16,60	13	24	13	0,73	17,73
16,80	20	31	20	0,73	27,27
17,00	24	30	24	0,40	60,00
17,20	17	28	17	0,73	23,18
17,40	19	30	19	0,73	25,91
17,60	20	28	20	0,53	37,50
17,80	18	34	18	1,07	16,88
18,00	13	26	13	0,87	15,00
18,20	19	29	19	0,67	28,50
18,40	15	24	15	0,60	25,00
18,60	18	33	18	1,00	18,00
18,80	17	35	17	1,20	14,17
19,00	17	34	17	1,13	15,00
19,20	22	34	22	0,80	27,50
19,40	30	49	30	1,27	23,68
19,60	36	56	36	1,33	27,00
19,80	28	34	28	0,40	70,00
20,00	29	43	29	0,93	31,07
20,20					
20,40					
20,60					
20,80					
21,00					
21,20					
21,40					
21,60					
21,80					
22,00					
22,20					
22,40					
22,60					
22,80					
23,00					
23,20					
23,40					
23,60					
23,80					
24,00					
24,20					
24,40					
24,60					
24,80					
25,00					
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					



PROF. (M)	P (KG/CM2)	P + L (KG/CM2)	RP (KG/CM2)	RL (KG/CM2)	RP/RL [ - ]
0,20					
0,40	7	17	7	0,60	11,67
0,60	7	16	7	0,60	11,67
0,80	9	18	9	0,60	15,00
1,00	13	22	13	0,47	27,86
1,20	21	28	21	1,53	13,70
1,40	16	39	16	1,07	15,00
1,60	16	32	16	0,67	24,00
1,80	14	24	14	0,60	23,33
2,00	14	23	14	0,40	35,00
2,20	14	20	14	0,27	52,50
2,40	14	18	14	0,33	42,00
2,60	9	14	9	0,27	33,75
2,80	14	18	14	0,47	30,00
3,00	19	26	19	0,73	25,91
3,20	24	35	24	0,93	25,71
3,40	33	47	33	0,80	41,25
3,60	26	38	26	0,73	35,45
3,80	25	36	25	1,07	23,44
4,00	32	48	32	0,80	40,00
4,20	23	35	23	0,67	34,50
4,40	25	35	25	1,60	15,63
4,60	35	59	35	0,60	58,33
4,80	75	84	75	0,93	80,36
5,00	62	76	62	0,67	93,00
5,20	88	98	88	0,33	264,00
5,40	62	67	62	0,53	116,25
5,60	23	31	23	1,20	19,17
5,80	22	40	22	0,33	66,00
6,00	21	26	21	0,87	24,23
6,20	19	32	19	0,73	25,91
6,40	14	25	14	0,33	42,00
6,60	13	18	13	0,33	39,00
6,80	16	21	16	0,60	26,67
7,00	15	24	15	0,53	28,13
7,20	17	25	17	0,67	25,50
7,40	16	26	16	0,80	20,00
7,60	17	29	17	0,93	18,21
7,80	20	34	20	1,00	20,00
8,00	24	39	24	1,53	15,65
8,20	25	48	25	1,07	23,44
8,40	23	39	23	1,20	19,17
8,60	22	40	22	1,20	18,33
8,80	18	36	18	0,87	20,77
9,00	21	34	21	1,00	21,00
9,20	19	34	19	0,80	23,75
9,40	21	33	21	0,80	26,25
9,60	18	30	18	0,93	19,29
9,80	24	38	24	1,07	22,50
10,00	25	41	25	0,93	26,79
10,20	21	35	21	0,73	28,64
10,40	22	33	22	0,53	41,25
10,60	25	33	25	0,33	75,00
10,80	22	27	22	0,40	55,00
11,00	15	21	15	0,47	32,14
11,20	18	25	18	0,47	38,57
11,40	18	25	18	0,53	33,75
11,60	15	23	15	0,47	32,14
11,80	14	21	14	0,67	21,00
12,00	19	29	19	0,73	25,91
12,20	17	28	17	0,73	23,18
12,40	15	26	15	0,20	75,00
12,60	44	47	44	1,40	31,43
12,80	17	38	17	0,73	23,18
13,00	21	32	21	0,67	31,50
13,20	16	26	16	0,60	26,67
13,40	30	39	30	1,00	30,00
13,60	49	64	49	0,73	66,82
13,80	47	58	47	0,80	58,75
14,00	41	53	41	0,80	51,25
14,20	14	26	14	0,87	16,15
14,40	11	24	11	0,60	18,33
14,60	12	21	12	0,67	18,00
14,80	24	34	24	1,20	20,00
15,00	19	37	19	1,00	19,00

PROF. (M)	P (KG/CM2)	P + L (KG/CM2)	RP (KG/CM2)	RL (KG/CM2)	RP/RL [ - ]
15,20	18	33	18	1,00	18,00
15,40	14	25	14	0,73	19,09
15,60	16	28	16	0,80	20,00
15,80	18	32	18	0,93	19,29
16,00	16	28	16	0,80	20,00
16,20	13	24	13	0,73	17,73
16,40	19	29	19	0,67	28,50
16,60	24	39	24	1,00	24,00
16,80	20	35	20	1,00	20,00
17,00	20	34	20	0,93	21,43
17,20	28	36	28	0,53	52,50
17,40	17	35	17	1,20	14,17
17,60	16	33	16	1,13	14,12
17,80	18	31	18	0,87	20,77
18,00	14	28	14	0,93	15,00
18,20	18	30	18	0,80	22,50
18,40	16	30	16	0,93	17,14
18,60	15	30	15	1,00	15,00
18,80	21	33	21	0,80	26,25
19,00	25	45	25	1,33	18,75
19,20	31	54	31	1,53	20,22
19,40	32	61	32	1,93	16,55
19,60	27	54	27	1,80	15,00
19,80	35	56	35	1,40	25,00
20,00	44	70	44	1,73	25,38
20,20					
20,40					
20,60					
20,80					
21,00					
21,20					
21,40					
21,60					
21,80					
22,00					
22,20					
22,40					
22,60					
22,80					
23,00					
23,20					
23,40					
23,60					
23,80					
24,00					
24,20					
24,40					
24,60					
24,80					
25,00					
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 (singolo strato) da programma “Static Probing” GeoStru s.r.l. -*

Studio Tecnico Ambientale

**GEOTECH**

*di Dott. Geol. Lorenzo Malvezzi*

Via Martinelli, 51A - Fossoli di Carpi (MO)

Tel. 059/654076 Fax +391782215311

# ANALISI PROVE PENETROMETRICHE STATICHE

- Programma CPTWIN ver. 3.2 -

Committente: Ecodomus s.r.l.  
Localita': Via Mar Nero Fossoli Carpi (MO)  
Lavoro: Progetto del P.P.I.P. B36 "Il bosco urbano"  
Data: 17/12/2021

### 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.: -1.60 da p.d.c..

\*  
\*  
\*

## - Parametri Geotecnici CPT1 -

z	g	sv	sv'	Uo	Id	f	Su	OCR	M	Cc	Go	Vs
0,2												
0,4	17,5	7,1	7,1	0,0			31,7	30	3,6	0,156	0,0	116
0,6	17,5	10,6	10,6	0,0			31,6	23,8	3,6	0,167	0,0	116
0,8	18,0	14,2	14,2	0,0			39,4	22,2	4	0,120	0,0	133
1,0	17,5	17,7	17,7	0,0			27,3	12,3	3,4	0,181	0,0	106
1,2	17,5	21,2	21,2	0,0			27,2	10,2	3,4	0,143	0,0	106
1,4	18,0	24,8	24,8	0,0			39	12,5	4	0,129	0,0	133
1,6	19,5	28,7	28,7	0,0	27	33,2		0	10,8		28,3	164
1,8	18,0	32,3	30,3	2,0			46,7	12,3	4,4	0,126	0,0	149
2,0	18,5	36,0	32,1	3,9			54,6	13,6	4,8	0,111	0,0	164
2,2	19,5	39,9	34,0	5,9	29	34,0		0	13,4		34,6	192
2,4	18,5	43,6	35,8	7,8			46,3	10,3	4,4	0,111	0,0	149
2,6	19,5	47,5	37,7	9,8	29	33,8		0	13,4		34,3	192
2,8	20,0	51,5	39,7	11,8	40	37,1		0	22,8		57,3	302
3,0	20,0	55,5	41,8	13,7	42	37,5		0	24,4		61,0	322
3,2	20,0	59,5	43,8	15,7	45	38,2		0	27,7		68,7	360
3,4	20,0	63,5	45,8	17,7	42	37,6		0	26,2		65,0	337
3,6	20,0	67,5	47,9	19,6	52	39,5		0	33,5		82,0	439
3,8	20,0	71,5	49,9	21,6	52	39,5		0	34,5		84,2	447
4,0	20,0	75,5	52,0	23,5	51	39,3		0	34,1		83,0	439
4,2	20,5	79,6	54,1	25,5	50	39,7		0	38,3		93,1	467
4,4	20,0	83,6	56,1	27,5	51	39,4		0	36,2		87,4	455
4,6	18,5	87,3	57,9	29,4			92,5	12,7	6,8	0,122	0,0	230
4,8	18,0	90,9	59,5	31,4			20,39	2,7	3,2	0,126	0,0	97
5,0	19,5	94,8	61,4	33,4	24	32,6		0	14,6		36,2	192
5,2	20,0	98,8	63,5	35,3	32	35,0		0	21,2		51,9	265
5,4	20,0	102,8	65,5	37,3	38	36,5		0	26,8		64,9	327
5,6	20,0	106,8	67,6	39,2	46	38,5		0	35,5		85,1	426
5,8	20,0	110,8	69,6	41,2	53	39,7		0	41,3		98,0	505
6,0	18,5	114,5	71,3	43,2			107,4	12	7,6	0,115	0,0	254
6,2	17,5	118,0	72,9	45,1			71,3	7,8	5,7	0,230	0,0	199
6,4	18,0	121,6	74,5	47,1			63,1	6,7	5,4	0,130	0,0	186
6,6	18,5	125,3	76,3	49,1			47	4,9	4,6	0,108	0,0	157
6,8	18,5	129,0	78,0	51,0			54,8	5,6	4,9	0,114	0,0	172
7,0	20,0	133,0	80,0	53,0	29	33,9		0	20,1		48,4	248
7,2	18,5	136,7	81,8	54,9			58,5	5,7	5,2	0,117	0,0	179
7,4	18,5	140,4	83,5	56,9			50,4	4,8	4,8	0,111	0,0	164
7,6	18,5	144,1	85,2	58,9			50,2	4,7	4,8	0,118	0,0	164
7,8	18,5	147,8	87,0	60,8			58,1	5,3	5,2	0,117	0,0	179
8,0	18,0	151,4	88,6	62,8			45,9	4,1	4,6	0,142	0,0	157
8,2	18,5	155,1	90,4	64,7			65,8	5,8	5,6	0,111	0,0	192
8,4	18,5	158,8	92,1	66,7			73,59	6,3	6	0,111	0,0	205
8,6	18,5	162,5	93,8	68,7			77,5	6,6	6,2	0,118	0,0	212
8,8	19,5	166,4	95,8	70,6	26	32,7		0	18		43,0	224
9,0	18,5	170,1	97,5	72,6			69,2	5,6	5,7	0,118	0,0	199
9,2	19,5	174,0	99,4	74,6	24	32,0		0	16,2		38,7	205
9,4	18,5	177,7	101,2	76,5			64,9	5,1	5,6	0,111	0,0	192
9,6	18,5	181,4	102,9	78,5			64,7	5	5,6	0,111	0,0	192
9,8	18,0	185,0	104,6	80,4			52,6	4	4,9	0,132	0,0	172
10,0	18,0	188,6	106,2	82,4			56,5	4,2	5,2	0,128	0,0	179

## ANALISI PROVE PENETROMETRICHE STATICHE

- Programma CPTWIN ver. 3.2 -

Committente: Ecodomus s.r.l.  
Località: Via Mar Nero Fossoli Carpi (MO)  
Lavoro: Progetto del P.P.I.P. B36 "Il bosco urbano"  
Data: 17/12/2021

### 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.: -1.60 da p.d.c..

\*  
\*  
\*

### - Parametri Geotecnici CPT1 -

z	g	sv	sv'	Uo	Id	f	Su	OCR	M	Cc	Go	Vs
10,2	18,5	192,3	107,9	84,4			76,3	5,6	6,2	0,118	0,0	212
10,4	18,5	196,0	109,7	86,3			84,2	6,1	6,6	0,121	0,0	224
10,6	18,0	199,6	111,3	88,3			64	4,6	5,6	0,126	0,0	192
10,8	19,5	203,5	113,2	90,3	26	32,7		0	19,6		46,1	236
11,0	19,5	207,4	115,2	92,2	24	32,7		0	20,3		47,8	236
11,2	18,5	211,1	116,9	94,2			51,6	3,5	4,9	0,108	0,0	172
11,4	18,5	214,8	118,7	96,1			43,4	2,9	4,6	0,115	0,0	157
11,6	19,5	218,7	120,6	98,1	22	31,3		0	15,9		37,5	199
11,8	18,5	222,4	122,3	100,1			71,09	4,6	6	0,116	0,0	205
12,0	18,5	226,1	124,1	102,0			55	3,5	5,2	0,117	0,0	179
12,2	18,5	229,8	125,8	104,0			46,8	2,9	4,8	0,118	0,0	164
12,4	18,5	233,5	127,6	105,9			74,7	4,6	6,2	0,109	0,0	212
12,6	18,0	237,1	129,2	107,9			66,5	4,1	5,7	0,132	0,0	199
12,8	19,5	241,0	131,1	109,9	21	30,8		0	15,4		36,0	192
13,0	20,0	245,0	133,2	111,8	24	32,7		0	21,9		51,0	248
13,2	17,5	248,5	134,7	113,8			38,1	2,2	4,4	0,178	0,0	149
13,4	19,5	252,4	136,6	115,8	20	30,4		0	14,8		34,5	186
13,6	19,5	256,3	138,6	117,7	21	30,7		0	15,4		35,8	192
13,8	20,0	260,3	140,6	119,7	30	34,2		0	27,8		64,0	307
14,0	20,0	264,3	142,7	121,6	30	34,2		0	27,8		63,9	307
14,2	18,5	268,0	144,4	123,6			125,3	6,9	8,8	0,114	0,0	287
14,4	18,0	271,6	146,0	125,6			45,1	2,4	4,8	0,130	0,0	164
14,6	18,5	275,3	147,8	127,5			45	2,4	4,8	0,118	0,0	164
14,8	17,5	278,8	149,3	129,5			36,79	1,9	4,4	0,148	0,0	149
15,0	18,0	282,4	150,9	131,5			52,7	2,7	5,2	0,134	0,0	179
15,2	18,5	286,1	152,7	133,4			64,59	3,3	5,7	0,114	0,0	199
15,4	18,5	289,8	154,4	135,4			56,4	2,9	5,4	0,119	0,0	186
15,6	18,5	293,5	156,2	137,3			60,3	3	5,6	0,111	0,0	192
15,8	18,0	297,1	157,8	139,3			48,1	2,4	4,9	0,132	0,0	172
16,0	18,0	300,7	159,4	141,3			56	2,8	5,4	0,140	0,0	186
16,2	19,5	304,6	161,4	143,2	19	30,0		0	15		34,7	186
16,4	18,0	308,2	163,0	145,2			55,7	2,7	5,4	0,140	0,0	186
16,6	18,0	311,8	164,7	147,2			39,5	1,9	4,6	0,142	0,0	157
16,8	18,5	315,5	166,4	149,1			67,4	3,2	6	0,116	0,0	205
17,0	20,0	319,5	168,4	151,1	23	31,6		0	19,8		45,3	230
17,2	18,0	323,1	170,1	153,0			55,1	2,5	5,4	0,124	0,0	186
17,4	18,5	326,8	171,8	155,0			62,9	2,9	5,7	0,118	0,0	199
17,6	19,5	330,7	173,7	157,0	21	30,6		0	17,1		39,1	205
17,8	18,0	334,3	175,4	158,9			58,6	2,6	5,6	0,146	0,0	192
18,0	17,5	337,8	176,9	160,9			38,5	1,7	4,6	0,156	0,0	157
18,2	18,5	341,5	178,7	162,8			62,3	2,7	5,7	0,114	0,0	199
18,4	18,5	345,2	180,4	164,8			46,2	2	4,9	0,120	0,0	172
18,6	18,0	348,8	182,0	166,8			58	2,5	5,6	0,141	0,0	192
18,8	17,5	352,3	183,6	168,7			53,9	2,3	5,4	0,161	0,0	186
19,0	17,5	355,8	185,1	170,7			53,8	2,3	5,4	0,156	0,0	186
19,2	18,5	359,5	186,8	172,7			73,59	3,1	6,4	0,115	0,0	218
19,4	18,5	363,2	188,6	174,6			105,5	4,4	8	0,123	0,0	265
19,6	18,5	366,9	190,3	176,6			129,3	5,4	9,2	0,116	0,0	297
19,8	20,0	370,9	192,4	178,5	24	32,0		0	22,7		51,4	254
20,0	18,5	374,6	194,1	180,5			101	4,1	7,8	0,110	0,0	259

## ANALISI PROVE PENETROMETRICHE STATICHE

- Programma CPTWIN ver. 3.2 -

Committente: Ecodomus s.r.l.  
 Localita': Via Mar Nero Fossoli Carpi (MO)  
 Lavoro: Progetto del P.P.I.P. B36 "Il bosco urbano"  
 Data: 17/12/2021

### 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.: -1.60 da p.d.c..

\*  
\*  
\*

### - Parametri Geotecnici CPT2 -

z	g	sv	sv'	Uo	Id	f	Su	OCR	M	Cc	Go	Vs
0,2												
0,4	17,5	7,1	7,1	0,0			27,7	30	3,4	0,194	0,0	106
0,6	17,5	10,6	10,6	0,0			27,6	20,8	3,4	0,181	0,0	106
0,8	17,5	14,1	14,1	0,0			35,4	20,1	3,8	0,156	0,0	125
1,0	18,0	17,7	17,7	0,0			51,3	23,1	4,6	0,128	0,0	157
1,2	19,5	21,6	21,6	0,0	35	35,9	0	0	14,1		37,5	212
1,4	17,5	25,1	25,1	0,0			63	20	5,2	0,194	0,0	179
1,6	17,5	28,6	28,6	0,0			62,9	17,5	5,2	0,156	0,0	179
1,8	18,0	32,2	30,2	2,0			54,7	14,4	4,8	0,130	0,0	164
2,0	18,0	35,8	31,9	3,9			54,6	13,6	4,8	0,124	0,0	164
2,2	19,5	39,7	33,8	5,9	25	32,8	0	0	11,1		29,0	164
2,4	20,0	43,7	35,9	7,8	24	32,7	0	0	11,3		29,4	164
2,6	18,0	47,3	37,5	9,8			34,1	7,2	3,8	0,116	0,0	125
2,8	20,0	51,3	39,5	11,8	25	32,5	0	0	11,1		28,6	164
3,0	19,5	55,2	41,5	13,7	29	33,8	0	0	14,1		35,9	199
3,2	19,5	59,1	43,4	15,7	32	34,8	0	0	16,9		42,8	230
3,4	19,5	63,0	45,3	17,7	37	36,2	0	0	21,4		53,5	281
3,6	19,5	66,9	47,3	19,6	32	35,0	0	0	18,4		46,0	242
3,8	19,5	70,8	49,2	21,6	31	34,7	0	0	18		45,0	236
4,0	18,5	74,5	51,0	23,5			125	19,6	8,4	0,111	0,0	276
4,2	18,5	78,2	52,7	25,5			88,9	13,4	6,6	0,113	0,0	224
4,4	19,5	82,1	54,6	27,5	31	34,5	0	0	18		44,6	236
4,6	18,5	85,8	56,4	29,4			136,6	19,3	8,9	0,128	0,0	292
4,8	20,0	89,8	58,4	31,4	52	39,6	0	0	37,5		90,4	471
5,0	20,0	93,8	60,4	33,4	47	38,6	0	0	33,8		81,7	418
5,2	20,0	97,8	62,5	35,3	56	40,2	0	0	41,1		98,0	520
5,4	20,5	101,9	64,6	37,3	44	38,4	0	0	35,6		85,9	418
5,6	19,5	105,8	66,6	39,2	28	33,6	0	0	17,4		42,7	224
5,8	18,0	109,4	68,2	41,2			83,6	9,8	6,4	0,140	0,0	218
6,0	20,0	113,4	70,2	43,2	26	33,0	0	0	16,4		40,2	212
6,2	18,0	117,0	71,9	45,1			71,3	7,9	5,7	0,128	0,0	199
6,4	18,0	120,6	73,5	47,1			51,2	5,5	4,8	0,137	0,0	164
6,6	19,5	124,5	75,5	49,1	20	30,6	0	0	11,3		27,7	157
6,8	20,0	128,5	77,5	51,0	22	31,5	0	0	13,4		32,7	179
7,0	18,5	132,2	79,2	53,0			54,7	5,5	4,9	0,120	0,0	172
7,2	18,5	135,9	81,0	54,9			62,6	6,1	5,4	0,109	0,0	186
7,4	18,0	139,5	82,6	56,9			58,4	5,6	5,2	0,122	0,0	179
7,6	18,0	143,1	84,2	58,9			62,3	5,9	5,4	0,130	0,0	186
7,8	18,0	146,7	85,9	60,8			74,09	6,9	6	0,129	0,0	205
8,0	18,5	150,4	87,6	62,8			90	8,2	6,8	0,122	0,0	230
8,2	18,0	154,0	89,3	64,7			93,8	8,4	7	0,149	0,0	236
8,4	18,0	157,6	90,9	66,7			85,7	7,5	6,6	0,129	0,0	224
8,6	18,0	161,2	92,5	68,7			81,59	7	6,4	0,140	0,0	218
8,8	18,0	164,8	94,2	70,6			65,4	5,5	5,6	0,156	0,0	192
9,0	18,5	168,5	95,9	72,6			77,3	6,4	6,2	0,122	0,0	212
9,2	18,0	172,1	97,5	74,6			69,09	5,6	5,7	0,137	0,0	199
9,4	18,5	175,8	99,3	76,5			77	6,2	6,2	0,118	0,0	212
9,6	18,0	179,4	100,9	78,5			64,8	5,1	5,6	0,126	0,0	192
9,8	18,5	183,1	102,7	80,4			88,7	6,9	6,8	0,119	0,0	230
10,0	18,5	186,8	104,4	82,4			92,5	7	7	0,124	0,0	236

## ANALISI PROVE PENETROMETRICHE STATICHE

- Programma CPTWIN ver. 3.2 -

Committente: Ecodomus s.r.l.  
Località: Via Mar Nero Fossoli Carpi (MO)  
Lavoro: Progetto del P.P.I.P. B36 "Il bosco urbano"  
Data: 17/12/2021

### 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.: -1.60 da p.d.c..

\*  
\*  
\*

### - Parametri Geotecnici CPT2 -

z	g	sv	sv'	Uo	Id	f	Su	OCR	M	Cc	Go	Vs
10,2	18,0	190,4	106,0	84,4			76,4	5,7	6,2	0,126	0,0	212
10,4	18,5	194,1	107,8	86,3			80,2	5,9	6,4	0,111	0,0	218
10,6	19,5	198,0	109,7	88,3	25	32,8		0	19,9		47,1	236
10,8	20,0	202,0	111,7	90,3	24	32,1		0	17,8		42,1	218
11,0	19,5	205,9	113,7	92,2	20	30,3		0	13		30,9	172
11,2	19,5	209,8	115,6	94,2	22	31,1		0	15,1		35,7	192
11,4	19,5	213,7	117,6	96,1	21	31,1		0	15,4		36,3	192
11,6	18,5	217,4	119,3	98,1			51,3	3,4	4,9	0,114	0,0	172
11,8	18,5	221,1	121,0	100,1			47,2	3,1	4,8	0,111	0,0	164
12,0	18,5	224,8	122,8	102,0			67	4,3	5,7	0,114	0,0	199
12,2	18,0	228,4	124,4	104,0			58,9	3,7	5,4	0,124	0,0	186
12,4	18,0	232,0	126,1	105,9			50,7	3,2	4,9	0,132	0,0	172
12,6	20,5	236,1	128,2	107,9	31	35,1		0	31,6		73,3	337
12,8	17,5	239,6	129,7	109,9			58,4	3,6	5,4	0,177	0,0	186
13,0	18,5	243,3	131,5	111,8			74,3	4,5	6,2	0,113	0,0	212
13,2	18,0	246,9	133,1	113,8			54,1	3,2	5,2	0,122	0,0	179
13,4	20,0	250,9	135,1	115,8	27	33,2		0	23,1		53,6	265
13,6	20,0	254,9	137,2	117,7	34	35,5		0	33,5		76,8	360
13,8	20,0	258,9	139,2	119,7	33	35,2		0	32,7		75,0	351
14,0	20,0	262,9	141,3	121,6	31	34,6		0	29,5		67,8	322
14,2	18,0	266,5	142,9	123,6			45,3	2,5	4,8	0,143	0,0	164
14,4	17,5	270,0	144,4	125,6			33,2	1,8	4,2	0,172	0,0	141
14,6	18,0	273,6	146,1	127,5			37,1	2	4,4	0,134	0,0	149
14,8	19,5	277,5	148,0	129,5	23	31,9		0	19,8		45,8	230
15,0	18,0	281,1	149,6	131,5			64,8	3,4	5,7	0,151	0,0	199
15,2	18,0	284,7	151,3	133,4			60,6	3,2	5,6	0,141	0,0	192
15,4	18,0	288,3	152,9	135,4			44,5	2,3	4,8	0,137	0,0	164
15,6	18,0	291,9	154,6	137,3			52,3	2,7	5,2	0,134	0,0	179
15,8	18,0	295,5	156,2	139,3			60,2	3	5,6	0,136	0,0	192
16,0	18,0	299,1	157,8	141,3			52	2,6	5,2	0,134	0,0	179
16,2	18,0	302,7	159,5	143,2			39,9	2	4,6	0,142	0,0	157
16,4	18,5	306,4	161,2	145,2			63,7	3,1	5,7	0,114	0,0	199
16,6	18,5	310,1	163,0	147,2			83,6	4,1	6,8	0,122	0,0	230
16,8	18,0	313,7	164,6	149,1			67,5	3,2	6	0,134	0,0	205
17,0	18,0	317,3	166,2	151,1			67,3	3,2	6	0,129	0,0	205
17,2	20,0	321,3	168,3	153,0	24	32,3		0	22,7		51,9	254
17,4	17,5	324,8	169,8	155,0			55	2,5	5,4	0,161	0,0	186
17,6	17,5	328,3	171,3	157,0			50,9	2,3	5,2	0,161	0,0	179
17,8	18,0	331,9	173,0	158,9			58,7	2,7	5,6	0,131	0,0	192
18,0	17,5	335,4	174,5	160,9			42,6	1,9	4,8	0,156	0,0	164
18,2	18,0	339,0	176,2	162,8			58,4	2,6	5,6	0,126	0,0	192
18,4	18,0	342,6	177,8	164,8			50,3	2,2	5,2	0,145	0,0	179
18,6	17,5	346,1	179,3	166,8			46,2	2	4,9	0,156	0,0	172
18,8	18,5	349,8	181,1	168,7			70	3	6,2	0,118	0,0	212
19,0	18,0	353,4	182,7	170,7			85,9	3,7	7	0,138	0,0	236
19,2	18,0	357,0	184,3	172,7			109,7	4,7	8,2	0,133	0,0	270
19,4	18,0	360,6	186,0	174,6			113,6	4,8	8,4	0,147	0,0	276
19,6	18,0	364,2	187,6	176,6			93,4	3,9	7,4	0,156	0,0	248
19,8	18,5	367,9	189,4	178,5			125,3	5,2	8,9	0,120	0,0	292
20,0	18,5	371,6	191,1	180,5			161,1	6,7	10,8	0,119	0,0	337



**STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA CPT1**  
**Via Mar Nero Fossoli di Carpi (MO)**

**TERRENI COESIVI**

Coesione non drenata

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	Cu (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	2,40	10,0	0,472222	0,2	0,2	Terzaghi	0,5
Strato 3	13,60	18,21622	0,627027	2,0	1,1	Terzaghi	0,9
Strato 5	19,00	16,91667	0,758333	3,2	1,7	Terzaghi	0,9
Strato 6	20,00	29,0	0,786667	3,8	2,0	Terzaghi	1,5

## Modulo Edometrico

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	Eed (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	2,40	10,0	0,472222	0,2	0,2	Metodo generale del modulo Edometrico	43,5
Strato 3	13,60	18,21622	0,627027	2,0	1,1	Metodo generale del modulo Edometrico	45,6
Strato 5	19,00	16,91667	0,758333	3,2	1,7	Metodo generale del modulo Edometrico	47,3
Strato 6	20,00	29,0	0,786667	3,8	2,0	Metodo generale del modulo Edometrico	58,0

## Modulo di deformazione non drenato Eu

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	Eu (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	2,40	10,0	0,472222	0,2	0,2	Cancelli 1980	366,5
Strato 3	13,60	18,21622	0,627027	2,0	1,1	Cancelli 1980	640,8
Strato 5	19,00	16,91667	0,758333	3,2	1,7	Cancelli 1980	569,1
Strato 6	20,00	29,0	0,786667	3,8	2,0	Cancelli 1980	1012,2

## Modulo di deformazione a taglio

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	Modulo di deformazione e a taglio (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	2,40	10,0	0,472222	0,2	0,2	Imai & Tomauchi	114,3
Strato 3	13,60	18,21622	0,627027	2,0	1,1	Imai & Tomauchi	164,9
Strato 5	19,00	16,91667	0,758333	3,2	1,7	Imai & Tomauchi	157,6
Strato 6	20,00	29,0	0,786667	3,8	2,0	Imai & Tomauchi	219,1

## Grado di sovraconsolidazione

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	Ocr
Strato 1	2,40	10,0	0,472222	0,2	0,2	Piacentini Righi 1978	>9
Strato 3	13,60	18,21622	0,627027	2,0	1,1	Piacentini Righi 1978	3,92
Strato 5	19,00	16,91667	0,758333	3,2	1,7	Piacentini Righi 1978	3,02
Strato 6	20,00	29,0	0,786667	3,8	2,0	Piacentini Righi 1978	2,71

## Peso unità di volume

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )
Strato 1	2,40	10,0	0,472222	0,2	0,2	Meyerhof	1,9
Strato 3	13,60	18,21622	0,627027	2,0	1,1	Meyerhof	1,9
Strato 5	19,00	16,91667	0,758333	3,2	1,7	Meyerhof	1,9
Strato 6	20,00	29,0	0,786667	3,8	2,0	Meyerhof	2,0

## Fattori di compressibilità C Crm

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	C	Crm
Strato 1	2,40	10,0	0,472222	0,2	0,2	0,2	0,026
Strato 3	13,60	18,21622	0,627027	2,0	1,1	0,14001	0,0182
Strato 5	19,00	16,91667	0,758333	3,2	1,7	0,14562	0,01893
Strato 6	20,00	29,0	0,786667	3,8	2,0	0,11286	0,01467

## Peso unità di volume saturo

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )
Strato 1	2,40	10,0	0,472222	0,2	0,2	Meyerhof	1,9
Strato 3	13,60	18,21622	0,627027	2,0	1,1	Meyerhof	2,0
Strato 5	19,00	16,91667	0,758333	3,2	1,7	Meyerhof	2,0
Strato 6	20,00	29,0	0,786667	3,8	2,0	Meyerhof	2,1

## Velocità onde di taglio

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	Vs (m/s)
Strato 1	2,40	10,0	0,472222	0,2	0,2	Baldi et. al. 1989 Andrus et. al. 2001	171,84
Strato 3	13,60	18,21622	0,627027	2,0	1,1	Baldi et. al. 1989 Andrus et. al. 2001	247,15
Strato 5	19,00	16,91667	0,758333	3,2	1,7	Baldi et. al. 1989 Andrus et. al. 2001	261,40
Strato 6	20,00	29,0	0,786667	3,8	2,0	Baldi et. al. 1989 Andrus et. al. 2001	294,79

**TERRENI INCOERENTI**

Densità relativa

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato 2	6,20	44,84211	0,740351	0,9	0,6	Harman	57,3
Strato 4	14,20	36,66667	0,777778	2,7	1,5	Harman	27,9
Strato 6	20,00	29,0	0,786667	3,8	2,0	Harman	12,7

Angolo di resistenza al taglio

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato 2	6,20	44,84211	0,740351	0,9	0,6	Schmertmann	35,8
Strato 4	14,20	36,66667	0,777778	2,7	1,5	Schmertmann	31,3
Strato 6	20,00	29,0	0,786667	3,8	2,0	Schmertmann	28,9

Modulo Edometrico

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 2	6,20	44,84211	0,740351	0,9	0,6	Buisman - Sanglerat	134,5
Strato 4	14,20	36,66667	0,777778	2,7	1,5	Buisman - Sanglerat	110,0
Strato 6	20,00	29,0	0,786667	3,8	2,0	Buisman - Sanglerat	145,0

Modulo di deformazione a taglio

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	G (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 2	6,20	44,84211	0,740351	0,9	0,6	Imai & Tomauchi	286,0
Strato 4	14,20	36,66667	0,777778	2,7	1,5	Imai & Tomauchi	252,9
Strato 6	20,00	29,0	0,786667	3,8	2,0	Imai & Tomauchi	219,1

Grado di sovraconsolidazione

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	Ocr
Strato 2	6,20	44,84211	0,740351	0,9	0,6	Larsson 1991 S.G.I.	1,6
Strato 4	14,20	36,66667	0,777778	2,7	1,5	Larsson 1991 S.G.I.	<0.5
Strato 6	20,00	29,0	0,786667	3,8	2,0	Larsson 1991 S.G.I.	<0.5

## Modulo di reazione Ko

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	Ko
Strato 2	6,20	44,84211	0,740351	0,9	0,6	Kulhawy & Mayne (1990)	0,51
Strato 4	14,20	36,66667	0,777778	2,7	1,5	Kulhawy & Mayne (1990)	0,24
Strato 6	20,00	29,0	0,786667	3,8	2,0	Kulhawy & Mayne (1990)	0,00

## Fattori di compressibilità C Crm

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	C	Crm
Strato 2	6,20	44,84211	0,740351	0,9	0,6	0,10853	0,01411
Strato 4	14,20	36,66667	0,777778	2,7	1,5	0,11459	0,0149
Strato 6	20,00	29,0	0,786667	3,8	2,0	0,11286	0,01467

## Peso unità di volume

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )
Strato 2	6,20	44,84211	0,740351	0,9	0,6	Meyerhof	1,9
Strato 4	14,20	36,66667	0,777778	2,7	1,5	Meyerhof	1,8
Strato 6	20,00	29,0	0,786667	3,8	2,0	Meyerhof	1,8

## Peso unità di volume saturo

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )
Strato 2	6,20	44,84211	0,740351	0,9	0,6	Meyerhof	2,2
Strato 4	14,20	36,66667	0,777778	2,7	1,5	Meyerhof	2,1
Strato 6	20,00	29,0	0,786667	3,8	2,0	Meyerhof	2,1

## Velocità onde di taglio.

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	Vs (m/s)
Strato 2	6,20	44,84211	0,740351	0,9	0,6	Baldi et. al. 1989 Andrus et. al. 2001	297,39
Strato 4	14,20	36,66667	0,777778	2,7	1,5	Baldi et. al. 1989 Andrus et. al. 2001	317,72
Strato 6	20,00	29,0	0,786667	3,8	2,0	Baldi et. al. 1989 Andrus et. al. 2001	310,81

## Permeabilità

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	K (cm/s)
Strato 1	2,40	10,0	0,472222	0,2	0,2	Piacentini-Righi 1988	6,95E-09
Strato 2	6,20	44,84211	0,740351	0,9	0,6	Piacentini-Righi 1988	1,72E-03
Strato 3	13,60	18,21622	0,627027	2,0	1,1	Piacentini-Righi 1988	1,26E-06
Strato 4	14,20	36,66667	0,777778	2,7	1,5	Piacentini-Righi 1988	2,62E-04
Strato 5	19,00	16,91667	0,758333	3,2	1,7	Piacentini-Righi 1988	1,22E-08
Strato 6	20,00	29,0	0,786667	3,8	2,0	Piacentini-Righi 1988	2,35E-05

## Coefficiente di consolidazione

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	Coefficiente di consolidazione (cm <sup>2</sup> /s)
Strato 1	2,40	10,0	0,472222	0,2	0,2	Piacentini-Righi 1988	2,086083E-04
Strato 2	6,20	44,84211	0,740351	0,9	0,6	Piacentini-Righi 1988	0
Strato 3	13,60	18,21622	0,627027	2,0	1,1	Piacentini-Righi 1988	6,878944E-02
Strato 4	14,20	36,66667	0,777778	2,7	1,5	Piacentini-Righi 1988	0
Strato 5	19,00	16,91667	0,758333	3,2	1,7	Piacentini-Righi 1988	6,20382E-04
Strato 6	20,00	29,0	0,786667	3,8	2,0	Piacentini-Righi 1988	2,046972



**STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA CPT2**  
**Via Mar Nero Fossoli di Carpi (MO)**

**TERRENI COESIVI**

Coesione non drenata

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	Cu (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	2,40	12,08333	0,65	0,2	0,2	Terzaghi	0,6
Strato 3	13,60	20,7027	0,756757	2,0	1,2	Terzaghi	1,0
Strato 5	19,00	18,0	0,922222	3,3	1,8	Terzaghi	0,9
Strato 6	20,00	33,8	1,373333	3,9	2,1	Terzaghi	1,7

## Modulo Edometrico

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	Eed (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	2,40	12,08333	0,65	0,2	0,2	Metodo generale del modulo Edometrico	46,9
Strato 3	13,60	20,7027	0,756757	2,0	1,2	Metodo generale del modulo Edometrico	41,4
Strato 5	19,00	18,0	0,922222	3,3	1,8	Metodo generale del modulo Edometrico	45,9
Strato 6	20,00	33,8	1,373333	3,9	2,1	Metodo generale del modulo Edometrico	67,6

## Modulo di deformazione non drenato Eu

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	Eu (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	2,40	12,08333	0,65	0,2	0,2	Cancelli 1980	444,1
Strato 3	13,60	20,7027	0,756757	2,0	1,2	Cancelli 1980	733,2
Strato 5	19,00	18,0	0,922222	3,3	1,8	Cancelli 1980	607,7
Strato 6	20,00	33,8	1,373333	3,9	2,1	Cancelli 1980	1190,2

## Modulo di deformazione a taglio

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	Modulo di deformazione e a taglio (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	2,40	12,08333	0,65	0,2	0,2	Imai & Tomauchi	128,3
Strato 3	13,60	20,7027	0,756757	2,0	1,2	Imai & Tomauchi	178,3
Strato 5	19,00	18,0	0,922222	3,3	1,8	Imai & Tomauchi	163,7
Strato 6	20,00	33,8	1,373333	3,9	2,1	Imai & Tomauchi	240,6

## Grado di sovraconsolidazione

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	Ocr
Strato 1	2,40	12,08333	0,65	0,2	0,2	Piacentini Righi 1978	>9
Strato 3	13,60	20,7027	0,756757	2,0	1,2	Piacentini Righi 1978	4,64
Strato 5	19,00	18,0	0,922222	3,3	1,8	Piacentini Righi 1978	3,57
Strato 6	20,00	33,8	1,373333	3,9	2,1	Piacentini Righi 1978	4,6

## Peso unità di volume

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )
Strato 1	2,40	12,08333	0,65	0,2	0,2	Meyerhof	1,9
Strato 3	13,60	20,7027	0,756757	2,0	1,2	Meyerhof	2,0
Strato 5	19,00	18,0	0,922222	3,3	1,8	Meyerhof	1,9
Strato 6	20,00	33,8	1,373333	3,9	2,1	Meyerhof	2,1

## Fattori di compressibilità C Crm

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	C	Crn
Strato 1	2,40	12,08333	0,65	0,2	0,2	0,17707	0,02302
Strato 3	13,60	20,7027	0,756757	2,0	1,2	0,13124	0,01706
Strato 5	19,00	18,0	0,922222	3,3	1,8	0,14089	0,01832
Strato 6	20,00	33,8	1,373333	3,9	2,1	0,11736	0,01526

## Peso unità di volume saturo

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )
Strato 1	2,40	12,08333	0,65	0,2	0,2	Meyerhof	2,0
Strato 3	13,60	20,7027	0,756757	2,0	1,2	Meyerhof	2,0
Strato 5	19,00	18,0	0,922222	3,3	1,8	Meyerhof	2,0
Strato 6	20,00	33,8	1,373333	3,9	2,1	Meyerhof	2,1

## Velocità onde di taglio

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	Vs (m/s)
Strato 1	2,40	12,08333	0,65	0,2	0,2	Baldi et. al. 1989 Andrus et. al. 2001	179,29
Strato 3	13,60	20,7027	0,756757	2,0	1,2	Baldi et. al. 1989 Andrus et. al. 2001	253,76
Strato 5	19,00	18,0	0,922222	3,3	1,8	Baldi et. al. 1989 Andrus et. al. 2001	265,64
Strato 6	20,00	33,8	1,373333	3,9	2,1	Baldi et. al. 1989 Andrus et. al. 2001	304,37

**TERRENI INCOERENTI**

Densità relativa

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato 2	6,20	33,52632	0,750877	0,9	0,6	Harman	47,1
Strato 3	13,60	20,7027	0,756757	2,0	1,2	Harman	14,5
Strato 4	14,20	34,0	0,822222	2,8	1,6	Harman	24,4
Strato 6	20,00	33,8	1,373333	3,9	2,1	Harman	17,3

Angolo di resistenza al taglio

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato 2	6,20	33,52632	0,750877	0,9	0,6	Schmertmann	34,3
Strato 3	13,60	20,7027	0,756757	2,0	1,2	Schmertmann	29,3
Strato 4	14,20	34,0	0,822222	2,8	1,6	Schmertmann	30,7
Strato 6	20,00	33,8	1,373333	3,9	2,1	Schmertmann	29,6

Modulo Edometrico

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 2	6,20	33,52632	0,750877	0,9	0,6	Buisman - Sanglerat	100,6
Strato 3	13,60	20,7027	0,756757	2,0	1,2	Buisman - Sanglerat	103,5
Strato 4	14,20	34,0	0,822222	2,8	1,6	Buisman - Sanglerat	102,0
Strato 6	20,00	33,8	1,373333	3,9	2,1	Buisman - Sanglerat	101,4

Modulo di deformazione a taglio

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	G (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 2	6,20	33,52632	0,750877	0,9	0,6	Imai & Tomauchi	239,4
Strato 3	13,60	20,7027	0,756757	2,0	1,2	Imai & Tomauchi	178,3
Strato 4	14,20	34,0	0,822222	2,8	1,6	Imai & Tomauchi	241,5
Strato 6	20,00	33,8	1,373333	3,9	2,1	Imai & Tomauchi	240,6

Grado di sovraconsolidazione

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	Ocr
Strato 2	6,20	33,52632	0,750877	0,9	0,6	Larsson 1991 S.G.I.	2,3
Strato 3	13,60	20,7027	0,756757	2,0	1,2	Larsson 1991 S.G.I.	<0.5
Strato 4	14,20	34,0	0,822222	2,8	1,6	Larsson 1991 S.G.I.	<0.5
Strato 6	20,00	33,8	1,373333	3,9	2,1	Larsson 1991 S.G.I.	<0.5

## Modulo di reazione Ko

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	Ko
Strato 2	6,20	33,52632	0,750877	0,9	0,6	Kulhawy & Mayne (1990)	0,42
Strato 3	13,60	20,7027	0,756757	2,0	1,2	Kulhawy & Mayne (1990)	0,00
Strato 4	14,20	34,0	0,822222	2,8	1,6	Kulhawy & Mayne (1990)	0,23
Strato 6	20,00	33,8	1,373333	3,9	2,1	Kulhawy & Mayne (1990)	0,00

## Fattori di compressibilità C Crm

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	C	Crm
Strato 2	6,20	33,52632	0,750877	0,9	0,6	0,11764	0,01529
Strato 3	13,60	20,7027	0,756757	2,0	1,2	0,13124	0,01706
Strato 4	14,20	34,0	0,822222	2,8	1,6	0,11715	0,01523
Strato 6	20,00	33,8	1,373333	3,9	2,1	0,11736	0,01526

## Peso unità di volume

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )
Strato 2	6,20	33,52632	0,750877	0,9	0,6	Meyerhof	1,8
Strato 3	13,60	20,7027	0,756757	2,0	1,2	Meyerhof	1,8
Strato 4	14,20	34,0	0,822222	2,8	1,6	Meyerhof	1,8
Strato 6	20,00	33,8	1,373333	3,9	2,1	Meyerhof	1,8

## Peso unità di volume saturo

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )
Strato 2	6,20	33,52632	0,750877	0,9	0,6	Meyerhof	2,1
Strato 3	13,60	20,7027	0,756757	2,0	1,2	Meyerhof	2,1
Strato 4	14,20	34,0	0,822222	2,8	1,6	Meyerhof	2,1
Strato 6	20,00	33,8	1,373333	3,9	2,1	Meyerhof	2,1

## Velocità onde di taglio.

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	Vs (m/s)
Strato 2	6,20	33,52632	0,750877	0,9	0,6	Baldi et. al. 1989 Andrus et. al. 2001	276,75
Strato 3	13,60	20,7027	0,756757	2,0	1,2	Baldi et. al. 1989 Andrus et. al. 2001	266,45
Strato 4	14,20	34,0	0,822222	2,8	1,6	Baldi et. al. 1989 Andrus et. al. 2001	313,21
Strato 6	20,00	33,8	1,373333	3,9	2,1	Baldi et. al. 1989 Andrus et. al. 2001	324,06

## Permeabilità

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	K (cm/s)
Strato 1	2,40	12,08333	0,65	0,2	0,2	Piacentini-Righi 1988	2,67E-10
Strato 2	6,20	33,52632	0,750877	0,9	0,6	Piacentini-Righi 1988	1,64E-04
Strato 3	13,60	20,7027	0,756757	2,0	1,2	Piacentini-Righi 1988	4,56E-07
Strato 4	14,20	34,0	0,822222	2,8	1,6	Piacentini-Righi 1988	7,77E-05
Strato 5	19,00	18,0	0,922222	3,3	1,8	Piacentini-Righi 1988	4,67E-10
Strato 6	20,00	33,8	1,373333	3,9	2,1	Piacentini-Righi 1988	3,67E-08

## Coefficiente di consolidazione

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	Coefficiente di consolidazione (cm <sup>2</sup> /s)
Strato 1	2,40	12,08333	0,65	0,2	0,2	Piacentini-Righi 1988	9,670572E-06
Strato 2	6,20	33,52632	0,750877	0,9	0,6	Piacentini-Righi 1988	0
Strato 3	13,60	20,7027	0,756757	2,0	1,2	Piacentini-Righi 1988	0,0283465
Strato 4	14,20	34,0	0,822222	2,8	1,6	Piacentini-Righi 1988	7,920692
Strato 5	19,00	18,0	0,922222	3,3	1,8	Piacentini-Righi 1988	2,523292E-05
Strato 6	20,00	33,8	1,373333	3,9	2,1	Piacentini-Righi 1988	3,721215E-03

**Allegato N. 7**

**“PROVA PENETROMETRICA CON PUNTA ELETTRICA E PIEZOCONO CPTU3”**

***- dati e diagrammi -***

Studio Tecnico Ambientale

***GEOTECH***

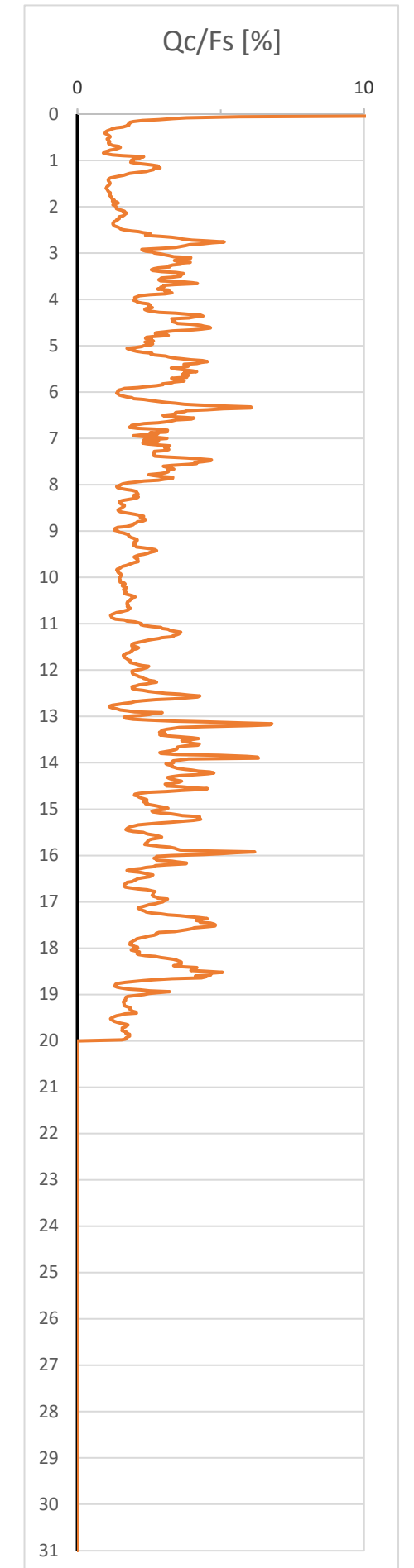
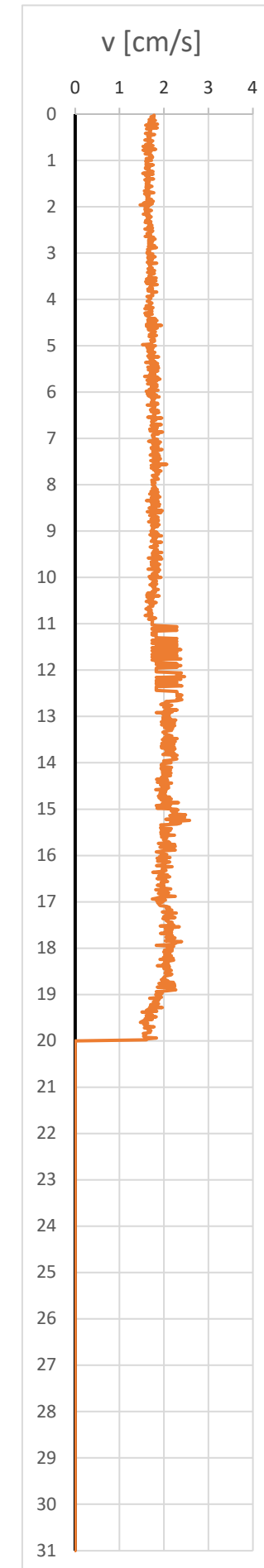
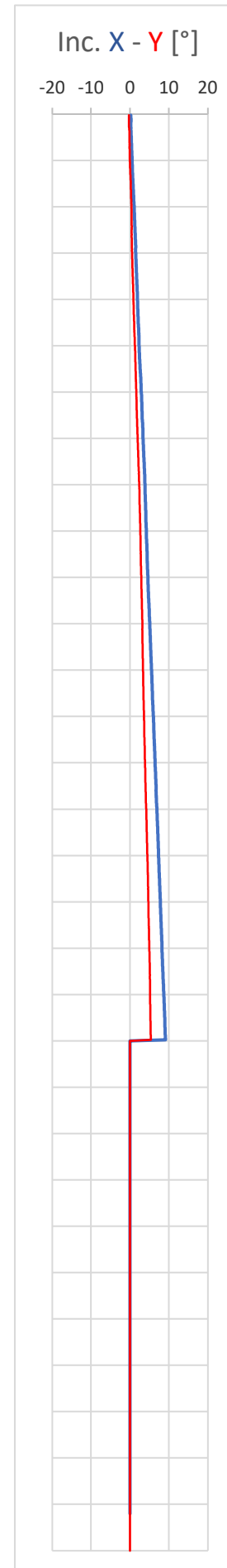
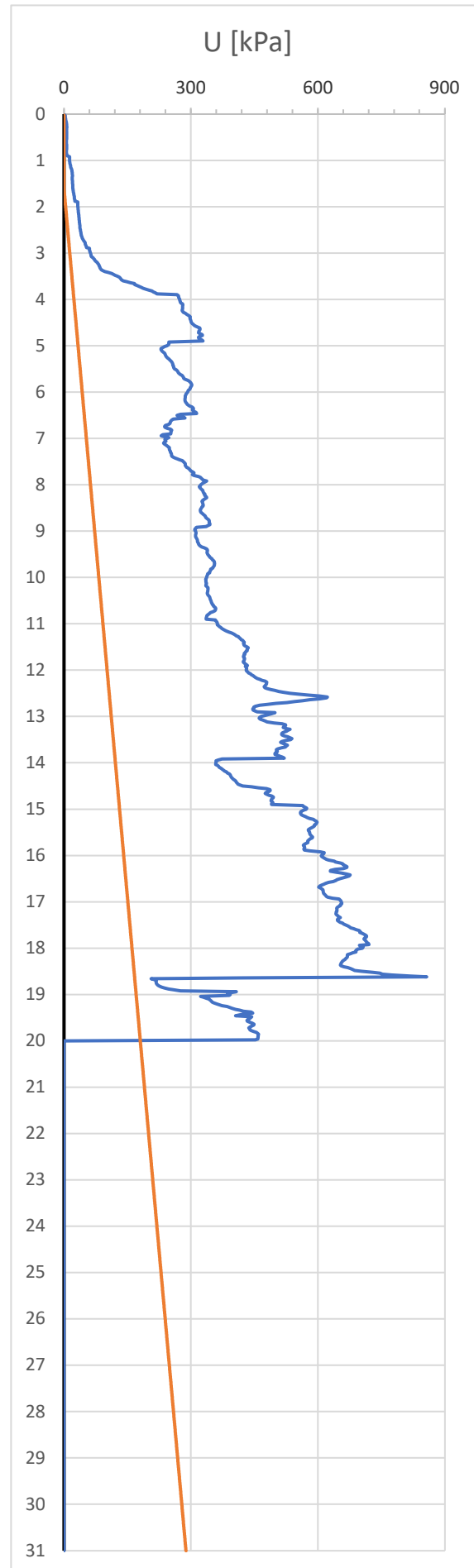
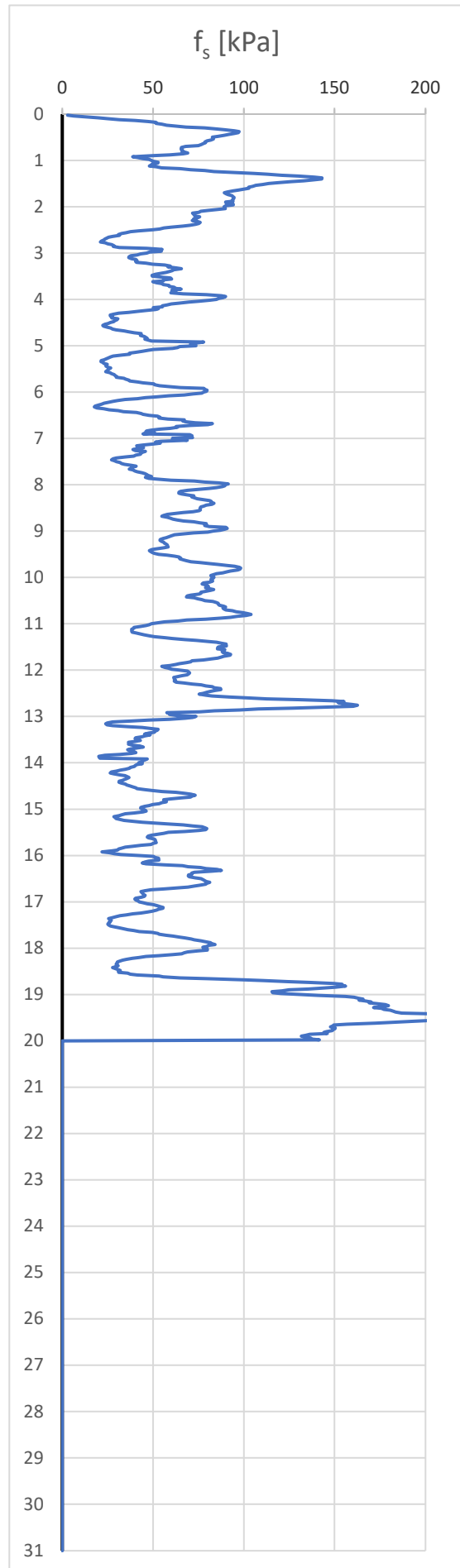
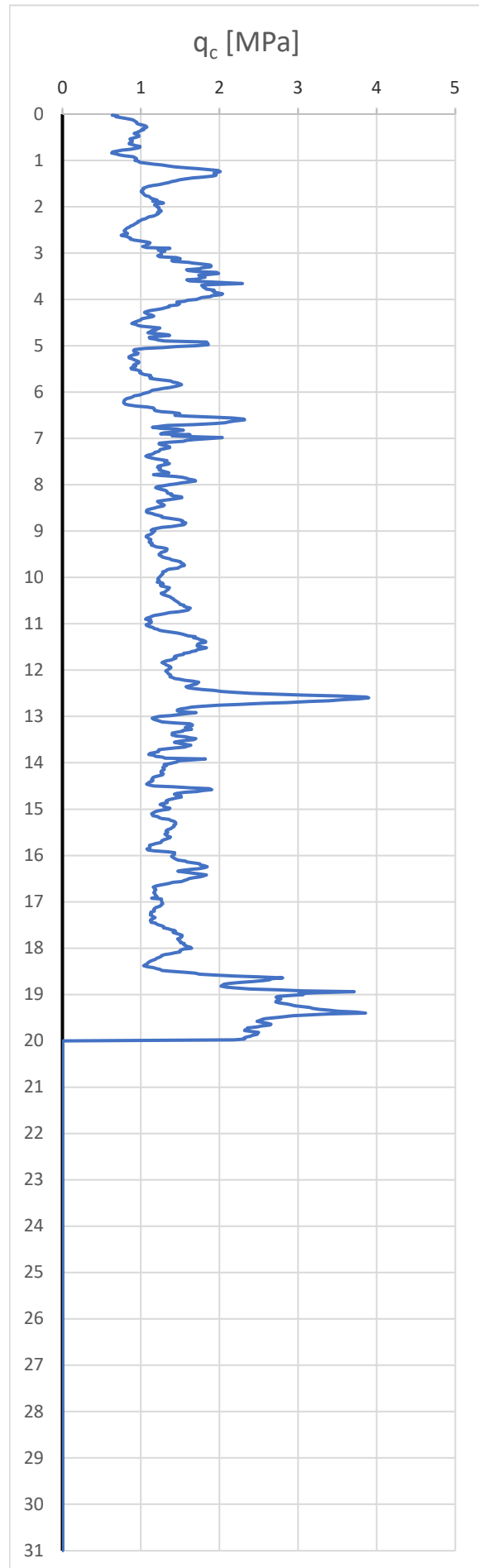
*di Dott. Geol. Lorenzo Malvezzi*

Via Martinelli, 51A - Fossoli di Carpi (MO)

Tel. 059/654076 Fax +391782215311



Prova n° :	<b>CPTU3 (009U-009)</b>	Committente :	Ecodomus s.r.l.			Commessa :	1333-2021
Data :	21/12/2021	Cantiere :	Via Mar Nero	Comune:	Fossoli di Carpi (MO)	Ubicazione (WGS84) :	44° 49' 31,4" - 10° 53' 16,1"
Quota :	p.c.	Falda :	-1,60	m. da p.c.	Note:	Tipo punta :	Tecnopenta G1-CPLS D (matr. 210317)





























**Allegato N. 8**

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

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

Studio Tecnico Ambientale

**GEOTECH**

*di Dott. Geol. Lorenzo Malvezzi*

Via Martinelli, 51A - Fossoli di Carpi (MO)

Tel. 059/654076 Fax +391782215311

## LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

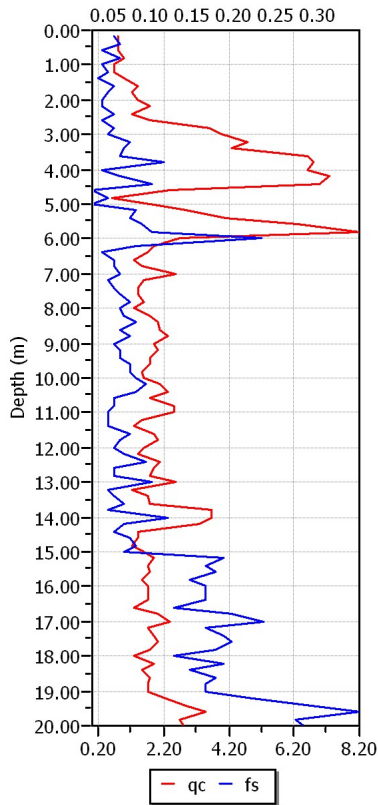
**Project title :** Progetto del P.P.I.P. B36 in Via Mar Nero a Fossoli di Carpi (MO).

**Project subtitle :** Verifica a liquefazione prova CPT1

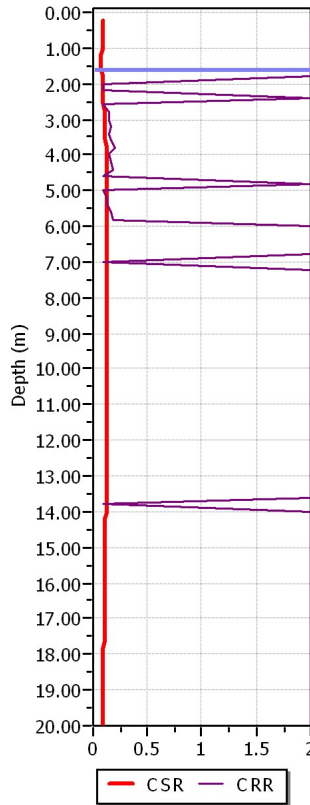
**Input parameters and analysis data**

In-situ data type:	Cone Penetration Test	Depth to water table:	1.60 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

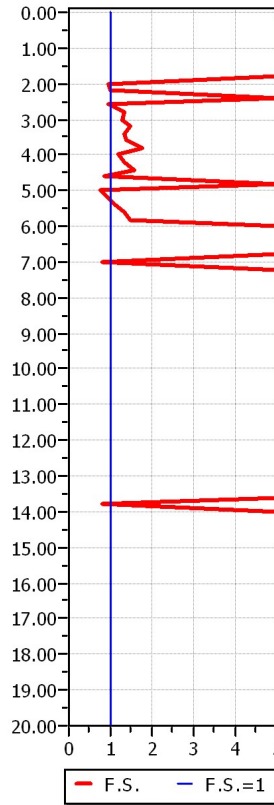
**CPT data graph**



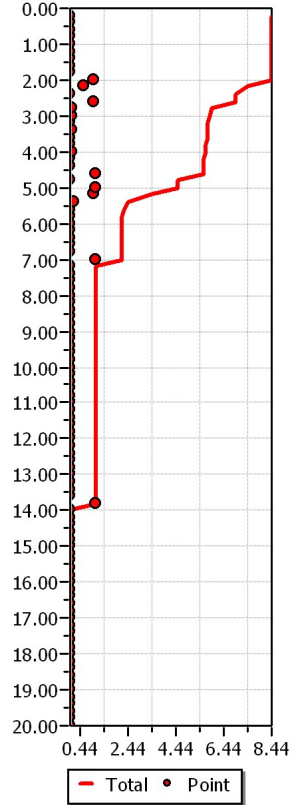
**Shear stress ratio**



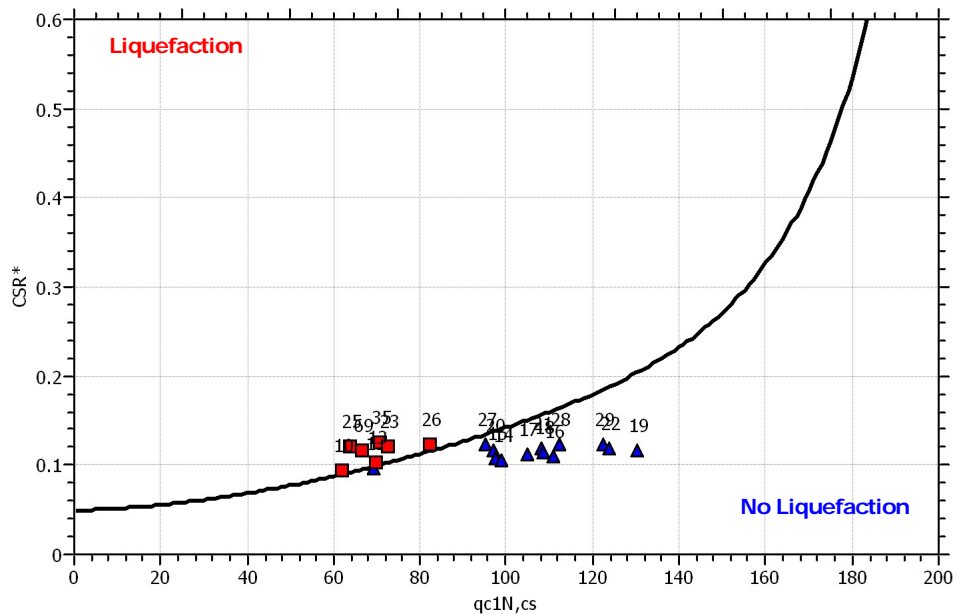
**Factor of safety**

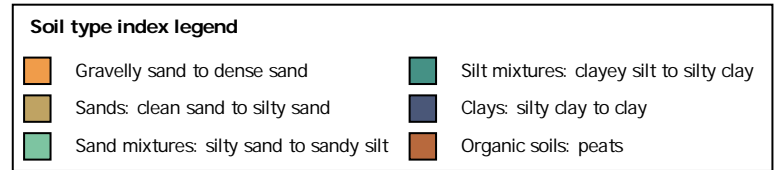
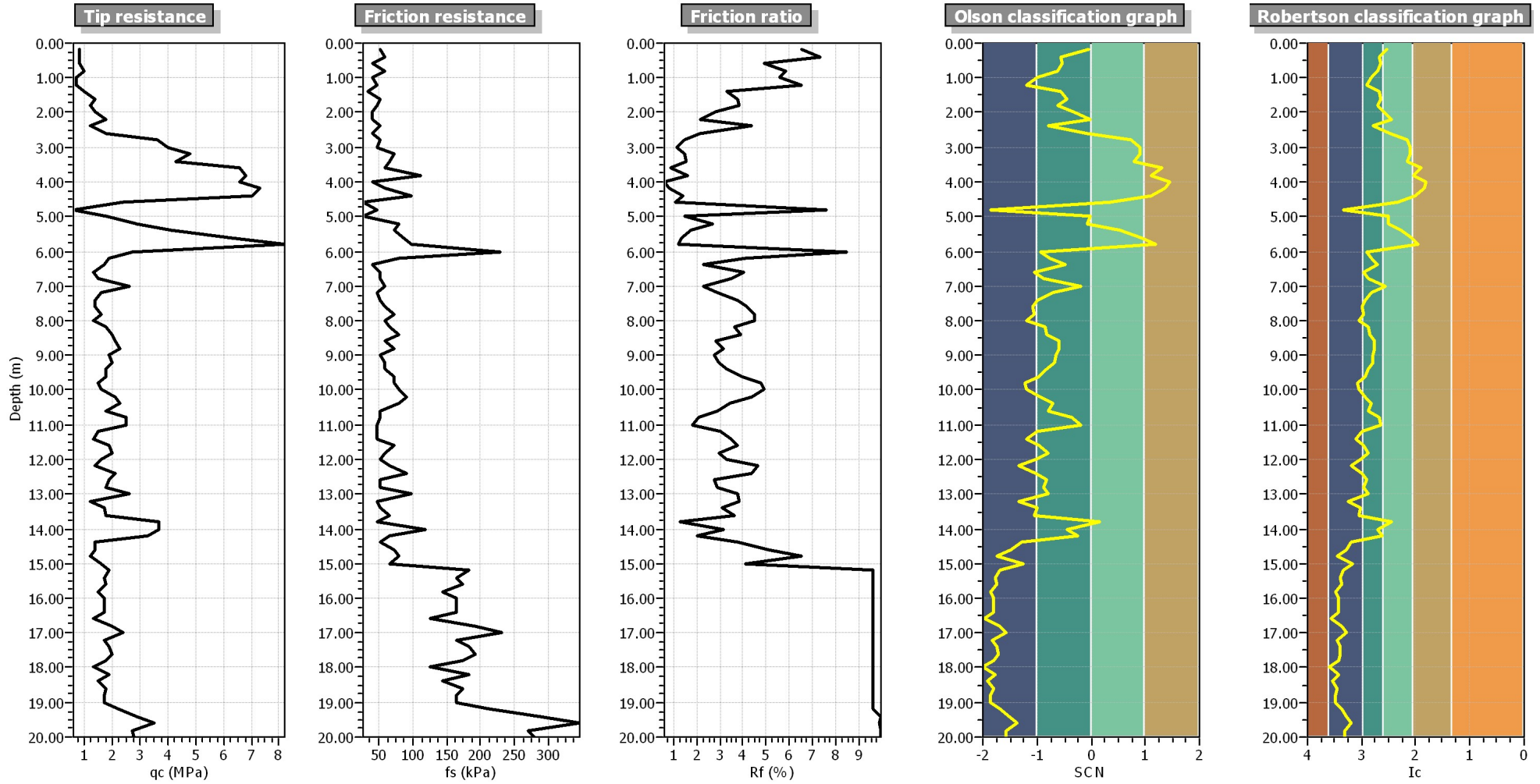


**Settlements (cm)**



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





**:: Field input data ::**

Point ID	Depth (m)	q <sub>c</sub> (MPa)	f <sub>s</sub> (kPa)	Fines content (%)	Unit weight (kN/m <sup>3</sup> )
1	0.20	0.80	52.30	31.57	19.00
2	0.40	0.80	58.80	39.06	19.00
3	0.60	0.80	39.20	37.48	19.00
4	0.80	1.00	58.80	40.15	19.00
5	1.00	0.70	39.20	47.65	19.00
6	1.20	0.70	45.80	52.96	19.00
7	1.40	1.00	32.70	38.77	19.00
8	1.60	1.40	52.30	37.03	19.00
9	1.80	1.20	45.80	40.51	19.00
10	2.00	1.40	39.20	34.77	19.00
11	2.20	1.80	39.20	28.87	19.00
12	2.40	1.20	52.30	44.85	19.00
13	2.60	1.80	39.20	29.94	19.00
14	2.80	3.60	52.30	18.02	19.00
15	3.00	4.00	45.80	15.40	19.00
16	3.20	4.80	71.90	16.01	19.00
17	3.40	4.30	65.40	17.46	19.00
18	3.60	6.60	58.80	10.06	19.00
19	3.80	6.80	111.10	14.28	19.00
20	4.00	6.60	39.20	8.20	19.00
21	4.20	7.30	58.80	9.19	19.00
22	4.40	7.00	98.10	13.37	19.00
23	4.60	2.40	26.20	23.28	19.00
24	4.80	0.60	45.80	84.77	19.00
25	5.00	1.80	26.20	31.12	19.00
26	5.20	2.90	78.50	31.02	19.00
27	5.40	4.10	71.90	21.83	19.00
28	5.60	6.30	85.00	15.06	19.00
29	5.80	8.20	98.10	11.94	19.00
30	6.00	2.70	228.80	51.94	19.00
31	6.20	1.90	78.50	46.50	19.00
32	6.40	1.70	39.20	40.60	19.00
33	6.60	1.30	52.30	55.80	19.00
34	6.80	1.50	52.30	50.43	19.00
35	7.00	2.60	58.80	33.51	19.00
36	7.20	1.60	45.80	46.81	19.00
37	7.40	1.40	52.30	54.86	19.00
38	7.60	1.40	58.80	57.47	19.00
39	7.80	1.60	71.90	55.75	19.00
40	8.00	1.30	58.80	62.03	19.00
41	8.20	1.80	65.40	50.11	19.00
42	8.40	2.00	78.50	49.37	19.00
43	8.60	2.10	58.80	43.32	19.00
44	8.80	2.30	71.90	43.39	19.00
45	9.00	1.90	52.30	46.08	19.00
46	9.20	2.00	58.80	46.29	19.00
47	9.40	1.80	58.80	50.93	19.00
48	9.60	1.80	71.90	54.81	19.00
49	9.80	1.50	71.90	63.86	19.00
50	10.00	1.60	78.50	62.89	19.00
51	10.20	2.10	91.50	53.66	19.00
52	10.40	2.30	78.50	47.60	19.00
53	10.60	1.80	52.30	51.46	19.00
54	10.80	2.50	52.30	39.06	19.00
55	11.00	2.50	45.80	37.60	19.00

**:: Field input data (continued) ::**

Point ID	Depth (m)	q <sub>c</sub> (MPa)	f <sub>s</sub> (kPa)	Fines content (%)	Unit weight (kN/m <sup>3</sup> )
56	11.20	1.50	45.80	58.84	19.00
57	11.40	1.30	45.80	66.71	19.00
58	11.60	1.90	71.90	56.55	19.00
59	11.80	2.00	58.80	51.14	19.00
60	12.00	1.60	52.30	59.85	19.00
61	12.20	1.40	65.40	71.90	19.00
62	12.40	2.10	91.50	57.91	19.00
63	12.60	1.90	52.30	52.93	19.00
64	12.80	1.80	52.30	55.81	19.00
65	13.00	2.60	98.10	50.61	19.00
66	13.20	1.20	45.80	76.48	19.00
67	13.40	1.70	52.30	59.82	19.00
68	13.60	1.80	65.40	61.47	19.00
69	13.80	3.70	45.80	28.50	19.00
70	14.00	3.70	117.70	40.99	19.00
71	14.20	3.30	65.40	36.77	19.00
72	14.40	1.40	52.30	72.91	19.00
73	14.60	1.40	71.90	80.42	19.00
74	14.80	1.20	78.50	93.59	19.00
75	15.00	1.60	65.40	70.99	19.00
76	15.20	1.90	182.70	84.98	19.00
77	15.40	1.70	163.50	89.73	19.00
78	15.60	1.80	173.10	87.95	19.00
79	15.80	1.50	144.30	96.05	19.00
80	16.00	1.70	163.50	91.18	19.00
81	16.20	1.70	163.50	91.66	19.00
82	16.40	1.70	163.50	92.13	19.00
83	16.60	1.30	125.00	100.00	19.00
84	16.80	2.00	192.30	86.54	19.00
85	17.00	2.40	230.80	80.31	19.00
86	17.20	1.70	163.50	94.03	19.00
87	17.40	1.90	182.70	89.83	19.00
88	17.60	2.00	192.30	88.22	19.00
89	17.80	1.80	173.10	92.96	19.00
90	18.00	1.30	125.00	100.00	19.00
91	18.20	1.90	182.70	91.56	19.00
92	18.40	1.50	144.30	100.00	19.00
93	18.60	1.80	173.10	94.74	19.00
94	18.80	1.70	163.50	97.77	19.00
95	19.00	1.70	163.50	98.24	19.00
96	19.20	2.20	211.60	87.69	19.00
97	19.40	2.90	288.50	78.84	19.00
98	19.60	3.50	346.20	72.76	19.00
99	19.80	2.70	269.30	82.15	19.00
100	20.00	2.80	278.90	81.18	19.00

Depth : Depth from free surface, at which CPT was performed (m)  
 q<sub>c</sub> : Measured cone resistance  
 f<sub>s</sub> : 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 <sub>d</sub>	CSR	MSF	CSR <sub>eq,M=7.5</sub>	K <sub>sigma</sub>	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 <sub>d</sub>	CSR	MSF	CSR <sub>eq,M=7.5</sub>	K <sub>sigma</sub>	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	0.00	30.40	0.99	0.14	1.67	0.08	1.00	0.08
9	1.80	34.20	1.96	32.24	0.98	0.15	1.67	0.09	1.00	0.09
10	2.00	38.00	3.92	34.08	0.98	0.16	1.67	0.09	1.00	0.09
11	2.20	41.80	5.89	35.91	0.98	0.16	1.67	0.10	1.00	0.10
12	2.40	45.60	7.85	37.75	0.97	0.17	1.67	0.10	1.00	0.10
13	2.60	49.40	9.81	39.59	0.97	0.17	1.67	0.10	1.00	0.10
14	2.80	53.20	11.77	41.43	0.97	0.18	1.67	0.11	1.00	0.11
15	3.00	57.00	13.73	43.27	0.96	0.18	1.67	0.11	1.00	0.11
16	3.20	60.80	15.70	45.10	0.96	0.18	1.67	0.11	1.00	0.11
17	3.40	64.60	17.66	46.94	0.95	0.19	1.67	0.11	1.00	0.11
18	3.60	68.40	19.62	48.78	0.95	0.19	1.67	0.11	1.00	0.11
19	3.80	72.20	21.58	50.62	0.95	0.19	1.67	0.12	1.00	0.12
20	4.00	76.00	23.54	52.46	0.94	0.20	1.67	0.12	1.00	0.12
21	4.20	79.80	25.51	54.29	0.94	0.20	1.67	0.12	1.00	0.12
22	4.40	83.60	27.47	56.13	0.93	0.20	1.67	0.12	1.00	0.12
23	4.60	87.40	29.43	57.97	0.93	0.20	1.67	0.12	1.00	0.12
24	4.80	91.20	31.39	59.81	0.93	0.20	1.67	0.12	1.00	0.12
25	5.00	95.00	33.35	61.65	0.92	0.20	1.67	0.12	1.00	0.12
26	5.20	98.80	35.32	63.48	0.92	0.20	1.67	0.12	1.00	0.12
27	5.40	102.60	37.28	65.32	0.91	0.21	1.67	0.12	1.00	0.12
28	5.60	106.40	39.24	67.16	0.91	0.21	1.67	0.12	1.00	0.12
29	5.80	110.20	41.20	69.00	0.91	0.21	1.67	0.12	1.00	0.12
30	6.00	114.00	43.16	70.84	0.90	0.21	1.67	0.12	1.00	0.12
31	6.20	117.80	45.13	72.67	0.90	0.21	1.67	0.12	1.00	0.12
32	6.40	121.60	47.09	74.51	0.89	0.21	1.67	0.12	1.00	0.12
33	6.60	125.40	49.05	76.35	0.89	0.21	1.67	0.12	1.00	0.12
34	6.80	129.20	51.01	78.19	0.88	0.21	1.67	0.13	1.00	0.13
35	7.00	133.00	52.97	80.03	0.88	0.21	1.67	0.13	1.00	0.13
36	7.20	136.80	54.94	81.86	0.87	0.21	1.67	0.13	1.00	0.13
37	7.40	140.60	56.90	83.70	0.87	0.21	1.67	0.13	1.00	0.13
38	7.60	144.40	58.86	85.54	0.86	0.21	1.67	0.13	1.00	0.13
39	7.80	148.20	60.82	87.38	0.86	0.21	1.67	0.13	1.00	0.13
40	8.00	152.00	62.78	89.22	0.86	0.21	1.67	0.12	1.00	0.12
41	8.20	155.80	64.75	91.05	0.85	0.21	1.67	0.12	1.00	0.12
42	8.40	159.60	66.71	92.89	0.85	0.21	1.67	0.12	1.00	0.12
43	8.60	163.40	68.67	94.73	0.84	0.21	1.67	0.12	1.00	0.12
44	8.80	167.20	70.63	96.57	0.84	0.21	1.67	0.12	1.00	0.12
45	9.00	171.00	72.59	98.41	0.83	0.21	1.67	0.12	1.00	0.12
46	9.20	174.80	74.56	100.24	0.83	0.21	1.67	0.12	1.00	0.12
47	9.40	178.60	76.52	102.08	0.82	0.21	1.67	0.12	1.00	0.12
48	9.60	182.40	78.48	103.92	0.82	0.21	1.67	0.12	1.00	0.12
49	9.80	186.20	80.44	105.76	0.81	0.20	1.67	0.12	1.00	0.12
50	10.00	190.00	82.40	107.60	0.81	0.20	1.67	0.12	1.00	0.12
51	10.20	193.80	84.37	109.43	0.80	0.20	1.67	0.12	1.00	0.12
52	10.40	197.60	86.33	111.27	0.80	0.20	1.67	0.12	0.99	0.12
53	10.60	201.40	88.29	113.11	0.79	0.20	1.67	0.12	0.99	0.12
54	10.80	205.20	90.25	114.95	0.79	0.20	1.67	0.12	0.99	0.12
55	11.00	209.00	92.21	116.79	0.78	0.20	1.67	0.12	0.99	0.12
56	11.20	212.80	94.18	118.62	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 <sub>d</sub>	CSR	MSF	CSR <sub>eq,M=7.5</sub>	K <sub>sigma</sub>	CSR*
57	11.40	216.60	96.14	120.46	0.77	0.20	1.67	0.12	0.99	0.12
58	11.60	220.40	98.10	122.30	0.77	0.20	1.67	0.12	0.99	0.12
59	11.80	224.20	100.06	124.14	0.76	0.20	1.67	0.12	0.99	0.12
60	12.00	228.00	102.02	125.98	0.76	0.20	1.67	0.12	0.99	0.12
61	12.20	231.80	103.99	127.81	0.76	0.20	1.67	0.12	0.99	0.12
62	12.40	235.60	105.95	129.65	0.75	0.20	1.67	0.12	0.99	0.12
63	12.60	239.40	107.91	131.49	0.75	0.19	1.67	0.12	0.99	0.12
64	12.80	243.20	109.87	133.33	0.74	0.19	1.67	0.12	0.99	0.12
65	13.00	247.00	111.83	135.17	0.74	0.19	1.67	0.12	0.98	0.12
66	13.20	250.80	113.80	137.00	0.73	0.19	1.67	0.11	0.99	0.12
67	13.40	254.60	115.76	138.84	0.73	0.19	1.67	0.11	0.98	0.12
68	13.60	258.40	117.72	140.68	0.72	0.19	1.67	0.11	0.98	0.12
69	13.80	262.20	119.68	142.52	0.72	0.19	1.67	0.11	0.98	0.12
70	14.00	266.00	121.64	144.36	0.71	0.19	1.67	0.11	0.98	0.12
71	14.20	269.80	123.61	146.19	0.71	0.19	1.67	0.11	0.98	0.11
72	14.40	273.60	125.57	148.03	0.70	0.19	1.67	0.11	0.98	0.11
73	14.60	277.40	127.53	149.87	0.70	0.19	1.67	0.11	0.98	0.11
74	14.80	281.20	129.49	151.71	0.70	0.18	1.67	0.11	0.98	0.11
75	15.00	285.00	131.45	153.55	0.69	0.18	1.67	0.11	0.98	0.11
76	15.20	288.80	133.42	155.38	0.69	0.18	1.67	0.11	0.98	0.11
77	15.40	292.60	135.38	157.22	0.68	0.18	1.67	0.11	0.98	0.11
78	15.60	296.40	137.34	159.06	0.68	0.18	1.67	0.11	0.98	0.11
79	15.80	300.20	139.30	160.90	0.67	0.18	1.67	0.11	0.98	0.11
80	16.00	304.00	141.26	162.74	0.67	0.18	1.67	0.11	0.98	0.11
81	16.20	307.80	143.23	164.57	0.66	0.18	1.67	0.11	0.98	0.11
82	16.40	311.60	145.19	166.41	0.66	0.18	1.67	0.11	0.98	0.11
83	16.60	315.40	147.15	168.25	0.66	0.18	1.67	0.11	0.98	0.11
84	16.80	319.20	149.11	170.09	0.65	0.18	1.67	0.10	0.97	0.11
85	17.00	323.00	151.07	171.93	0.65	0.17	1.67	0.10	0.97	0.11
86	17.20	326.80	153.04	173.76	0.64	0.17	1.67	0.10	0.97	0.11
87	17.40	330.60	155.00	175.60	0.64	0.17	1.67	0.10	0.97	0.11
88	17.60	334.40	156.96	177.44	0.64	0.17	1.67	0.10	0.97	0.11
89	17.80	338.20	158.92	179.28	0.63	0.17	1.67	0.10	0.97	0.10
90	18.00	342.00	160.88	181.12	0.63	0.17	1.67	0.10	0.97	0.10
91	18.20	345.80	162.85	182.95	0.62	0.17	1.67	0.10	0.97	0.10
92	18.40	349.60	164.81	184.79	0.62	0.17	1.67	0.10	0.97	0.10
93	18.60	353.40	166.77	186.63	0.62	0.17	1.67	0.10	0.97	0.10
94	18.80	357.20	168.73	188.47	0.61	0.17	1.67	0.10	0.97	0.10
95	19.00	361.00	170.69	190.31	0.61	0.17	1.67	0.10	0.97	0.10
96	19.20	364.80	172.66	192.14	0.61	0.16	1.67	0.10	0.97	0.10
97	19.40	368.60	174.62	193.98	0.60	0.16	1.67	0.10	0.97	0.10
98	19.60	372.40	176.58	195.82	0.60	0.16	1.67	0.10	0.96	0.10
99	19.80	376.20	178.54	197.66	0.59	0.16	1.67	0.10	0.97	0.10
100	20.00	380.00	180.50	199.50	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<sub>d</sub> : Nonlinear shear mass factor  
 CSR : Cyclic Stress Ratio  
 MSF : Magnitude Scaling Factor  
 CSR<sub>eq,M=7.5</sub> : CSR adjusted for M= 7.5  
 K<sub>sigma</sub> : Effective overburden stress factor  
 CSR\* : CSR fully adjusted

**:: Cyclic Resistance Ratio calculation CRR<sub>7.5</sub> ::**

Point ID	q <sub>c</sub> (MPa)	FC (%)	C <sub>n</sub>	q <sub>c1N</sub>	D <sub>q</sub>	q <sub>c1N,cs</sub>	CRR <sub>7.5</sub>
1	0.80	31.57	1.70	13.60	33.87	47.47	2.00
2	0.80	39.06	1.70	13.60	34.79	48.39	2.00
3	0.80	37.48	1.70	13.60	34.67	48.27	2.00
4	1.00	40.15	1.70	17.00	36.04	53.04	2.00
5	0.70	47.65	1.70	11.90	34.48	46.38	2.00
6	0.70	52.96	1.70	11.90	34.49	46.39	2.00
7	1.00	38.77	1.70	17.00	35.95	52.95	2.00
8	1.40	37.03	1.70	23.80	38.17	61.97	2.00
9	1.20	40.51	1.70	20.40	37.25	57.65	2.00
10	1.40	34.77	1.70	23.80	37.90	61.70	0.09
11	1.80	28.87	1.70	30.60	38.86	69.46	0.10
12	1.20	44.85	1.70	20.40	37.42	57.82	2.00
13	1.80	29.94	1.70	30.60	39.20	69.80	0.10
14	3.60	18.02	1.70	61.12	37.75	98.86	0.14
15	4.00	15.40	1.64	65.41	32.19	97.59	0.14
16	4.80	16.01	1.56	74.92	36.08	111.00	0.16
17	4.30	17.46	1.55	66.80	37.97	104.77	0.15
18	6.60	10.06	1.44	95.06	13.37	108.43	0.16
19	6.80	14.28	1.41	95.98	34.29	130.27	0.20
20	6.60	8.20	1.39	92.04	4.78	96.81	0.14
21	7.30	9.19	1.36	99.03	9.22	108.25	0.16
22	7.00	13.37	1.34	94.02	29.98	124.00	0.19
23	2.40	23.28	1.47	35.16	37.34	72.50	0.10
24	0.60	84.77	1.58	9.47	33.13	42.60	2.00
25	1.80	31.12	1.44	25.87	37.92	63.80	0.09
26	2.90	31.02	1.36	39.51	42.50	82.01	0.12
27	4.10	21.83	1.31	53.52	41.51	95.02	0.13
28	6.30	15.06	1.24	78.42	33.80	112.21	0.16
29	8.20	11.94	1.20	98.73	23.65	122.39	0.18
30	2.70	51.94	1.27	34.42	42.40	76.82	2.00
31	1.90	46.50	1.27	24.22	38.79	63.01	2.00
32	1.70	40.60	1.26	21.38	37.60	58.97	2.00
33	1.30	55.80	1.25	16.21	35.98	52.20	2.00
34	1.50	50.43	1.22	18.27	36.73	55.00	2.00
35	2.60	33.51	1.18	30.55	40.01	70.56	0.10
36	1.60	46.81	1.17	18.77	36.88	55.65	2.00
37	1.40	54.86	1.16	16.19	35.99	52.18	2.00
38	1.40	57.47	1.14	15.92	35.86	51.78	2.00
39	1.60	55.75	1.11	17.84	36.55	54.39	2.00
40	1.30	62.03	1.10	14.30	35.23	49.53	2.00
41	1.80	50.11	1.08	19.39	37.12	56.52	2.00
42	2.00	49.37	1.06	21.19	37.75	58.94	2.00
43	2.10	43.32	1.04	21.90	37.90	59.80	2.00
44	2.30	43.39	1.03	23.62	38.50	62.13	2.00
45	1.90	46.08	1.01	19.24	37.04	56.28	2.00
46	2.00	46.29	1.00	19.96	37.29	57.25	2.00
47	1.80	50.93	0.98	17.70	36.53	54.24	2.00
48	1.80	54.81	0.97	17.45	36.43	53.88	2.00
49	1.50	63.86	0.95	14.32	35.20	49.52	2.00
50	1.60	62.89	0.94	15.06	35.48	50.54	2.00
51	2.10	53.66	0.93	19.55	37.17	56.73	2.00
52	2.30	47.60	0.92	21.16	37.73	58.89	2.00
53	1.80	51.46	0.90	16.27	36.03	52.31	2.00
54	2.50	39.06	0.90	22.45	37.87	60.32	2.00
55	2.50	37.60	0.89	22.17	37.65	59.83	2.00

**:: Cyclic Resistance Ratio calculation CRR<sub>7.5</sub> (continued) ::**

Point ID	q <sub>c</sub> (MPa)	FC (%)	C <sub>n</sub>	q <sub>c1N</sub>	D <sub>q</sub>	q <sub>c1N,cs</sub>	CRR <sub>7.5</sub>
56	1.50	58.84	0.87	12.98	34.81	47.79	2.00
57	1.30	66.71	0.85	11.06	34.02	45.08	2.00
58	1.90	56.55	0.85	16.11	35.94	52.05	2.00
59	2.00	51.14	0.84	16.77	36.21	52.98	2.00
60	1.60	59.85	0.82	13.16	34.86	48.02	2.00
61	1.40	71.90	0.81	11.32	34.01	45.33	2.00
62	2.10	57.91	0.81	17.01	36.24	53.25	2.00
63	1.90	52.93	0.80	15.15	35.63	50.78	2.00
64	1.80	55.81	0.79	14.15	35.26	49.41	2.00
65	2.60	50.61	0.79	20.52	37.52	58.05	2.00
66	1.20	76.48	0.76	9.06	33.14	42.20	2.00
67	1.70	59.82	0.76	12.87	34.76	47.63	2.00
68	1.80	61.47	0.75	13.50	34.96	48.46	2.00
69	3.70	28.50	0.77	28.52	38.04	66.56	0.10
70	3.70	40.99	0.76	28.24	40.01	68.25	2.00
71	3.30	36.77	0.75	24.76	38.47	63.23	2.00
72	1.40	72.91	0.71	9.91	33.50	43.41	2.00
73	1.40	80.42	0.70	9.79	33.32	43.12	2.00
74	1.20	93.59	0.69	8.24	32.56	40.79	2.00
75	1.60	70.99	0.69	11.03	33.93	44.95	2.00
76	1.90	84.98	0.69	13.08	34.38	47.46	2.00
77	1.70	89.73	0.68	11.50	33.75	45.25	2.00
78	1.80	87.95	0.67	12.09	33.98	46.08	2.00
79	1.50	96.05	0.66	9.86	33.07	42.93	2.00
80	1.70	91.18	0.66	11.15	33.60	44.74	2.00
81	1.70	91.66	0.65	11.03	33.55	44.58	2.00
82	1.70	92.13	0.64	10.92	33.50	44.42	2.00
83	1.30	100.00	0.62	8.12	32.41	40.53	2.00
84	2.00	86.54	0.64	12.73	34.23	46.96	2.00
85	2.40	80.31	0.64	15.35	35.25	50.60	2.00
86	1.70	94.03	0.62	10.49	33.32	43.81	2.00
87	1.90	89.83	0.62	11.70	33.81	45.52	2.00
88	2.00	88.22	0.61	12.25	34.03	46.28	2.00
89	1.80	92.96	0.60	10.83	33.46	44.29	2.00
90	1.30	100.00	0.58	7.56	32.22	39.78	2.00
91	1.90	91.56	0.59	11.27	33.63	44.90	2.00
92	1.50	100.00	0.58	8.65	32.59	41.24	2.00
93	1.80	94.74	0.58	10.43	33.29	43.72	2.00
94	1.70	97.77	0.57	9.71	32.99	42.71	2.00
95	1.70	98.24	0.57	9.62	32.96	42.58	2.00
96	2.20	87.69	0.57	12.62	34.17	46.79	2.00
97	2.90	78.84	0.58	16.94	35.83	52.78	2.00
98	3.50	72.76	0.59	20.69	37.26	57.94	2.00
99	2.70	82.15	0.57	15.40	35.23	50.63	2.00
100	2.80	81.18	0.57	15.90	35.42	51.32	2.00

- q<sub>c</sub> : Measured cone resistance
- FC : Fines content
- C<sub>n</sub> : Stress normalization factor
- q<sub>c1N</sub> : Normalized cone resistance
- D<sub>q</sub> : Cone adjustment portion due to fines
- q<sub>c1N,cs</sub> : Normalized and adjusted cone resistance
- CRR<sub>7.5</sub> : Cyclic resistance ratio for M<sub>w</sub>=7.5

**:: Settlements calculation for saturated sands ::**

Point ID	q <sub>c</sub> (MPa)	q <sub>c1</sub>	FS <sub>L</sub>	e <sub>v</sub> (%)	Settle. (cm)
----------	-------------------------	-----------------	-----------------	-----------------------	-----------------

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

Point ID	$q_c$ (MPa)	$q_{c1}$	$FS_L$	$e_v$ (%)	Settle. (cm)
1	0.80	41.45	5.00	0.00	0.00
2	0.80	29.31	5.00	0.00	0.00
3	0.80	23.93	5.00	0.00	0.00
4	1.00	25.90	5.00	0.00	0.00
5	0.70	16.22	5.00	0.00	0.00
6	0.70	14.81	5.00	0.00	0.00
7	1.00	19.58	5.00	0.00	0.00
8	1.40	25.64	5.00	0.00	0.00
9	1.20	21.35	5.00	0.00	0.00
10	1.40	24.22	0.96	4.97	0.99
11	1.80	30.33	1.02	2.72	0.54
12	1.20	19.72	5.00	0.00	0.00
13	1.80	28.89	0.96	4.97	0.99
14	3.60	56.49	1.32	0.26	0.05
15	4.00	61.42	1.28	0.30	0.06
16	4.80	72.18	1.46	0.12	0.02
17	4.30	63.39	1.34	0.22	0.04
18	6.60	95.44	1.37	0.14	0.03
19	6.80	96.53	1.76	0.03	0.01
20	6.60	92.03	1.17	0.37	0.07
21	7.30	100.06	1.32	0.17	0.03
22	7.00	94.36	1.58	0.06	0.01
23	2.40	31.84	0.85	5.42	1.08
24	0.60	7.84	5.00	0.00	0.00
25	1.80	23.15	0.76	5.48	1.10
26	2.90	36.76	0.94	4.83	0.97
27	4.10	51.23	1.09	0.97	0.19
28	6.30	77.64	1.33	0.20	0.04
29	8.20	99.70	1.49	0.08	0.02
30	2.70	32.40	5.00	0.00	0.00
31	1.90	22.51	5.00	0.00	0.00
32	1.70	19.89	5.00	0.00	0.00
33	1.30	15.03	5.00	0.00	0.00
34	1.50	17.13	5.00	0.00	0.00
35	2.60	29.35	0.80	5.46	1.09
36	1.60	17.86	5.00	0.00	0.00
37	1.40	15.45	5.00	0.00	0.00
38	1.40	15.29	5.00	0.00	0.00
39	1.60	17.29	5.00	0.00	0.00
40	1.30	13.90	5.00	0.00	0.00
41	1.80	19.05	5.00	0.00	0.00
42	2.00	20.96	5.00	0.00	0.00
43	2.10	21.79	5.00	0.00	0.00
44	2.30	23.64	5.00	0.00	0.00
45	1.90	19.34	5.00	0.00	0.00
46	2.00	20.17	5.00	0.00	0.00
47	1.80	17.99	5.00	0.00	0.00
48	1.80	17.83	5.00	0.00	0.00
49	1.50	14.73	5.00	0.00	0.00
50	1.60	15.58	5.00	0.00	0.00
51	2.10	20.27	5.00	0.00	0.00
52	2.30	22.02	5.00	0.00	0.00
53	1.80	17.09	5.00	0.00	0.00
54	2.50	23.55	5.00	0.00	0.00
55	2.50	23.36	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	13.91	5.00	0.00	0.00
57	1.30	11.96	5.00	0.00	0.00
58	1.90	17.35	5.00	0.00	0.00
59	2.00	18.13	5.00	0.00	0.00
60	1.60	14.40	5.00	0.00	0.00
61	1.40	12.51	5.00	0.00	0.00
62	2.10	18.63	5.00	0.00	0.00
63	1.90	16.73	5.00	0.00	0.00
64	1.80	15.74	5.00	0.00	0.00
65	2.60	22.59	5.00	0.00	0.00
66	1.20	10.35	5.00	0.00	0.00
67	1.70	14.57	5.00	0.00	0.00
68	1.80	15.33	5.00	0.00	0.00
69	3.70	31.30	0.83	5.45	1.09
70	3.70	31.10	5.00	0.00	0.00
71	3.30	27.56	5.00	0.00	0.00
72	1.40	11.62	5.00	0.00	0.00
73	1.40	11.55	5.00	0.00	0.00
74	1.20	9.84	5.00	0.00	0.00
75	1.60	13.04	5.00	0.00	0.00
76	1.90	15.39	5.00	0.00	0.00
77	1.70	13.69	5.00	0.00	0.00
78	1.80	14.41	5.00	0.00	0.00
79	1.50	11.94	5.00	0.00	0.00
80	1.70	13.46	5.00	0.00	0.00
81	1.70	13.38	5.00	0.00	0.00
82	1.70	13.31	5.00	0.00	0.00
83	1.30	10.12	5.00	0.00	0.00
84	2.00	15.49	5.00	0.00	0.00
85	2.40	18.49	5.00	0.00	0.00
86	1.70	13.02	5.00	0.00	0.00
87	1.90	14.48	5.00	0.00	0.00
88	2.00	15.16	5.00	0.00	0.00
89	1.80	13.58	5.00	0.00	0.00
90	1.30	9.76	5.00	0.00	0.00
91	1.90	14.19	5.00	0.00	0.00
92	1.50	11.14	5.00	0.00	0.00
93	1.80	13.31	5.00	0.00	0.00
94	1.70	12.51	5.00	0.00	0.00
95	1.70	12.45	5.00	0.00	0.00
96	2.20	16.03	5.00	0.00	0.00
97	2.90	21.03	5.00	0.00	0.00
98	3.50	25.26	5.00	0.00	0.00
99	2.70	19.40	5.00	0.00	0.00
100	2.80	20.02	5.00	0.00	0.00

**Total settlement : 8.44**

- $q_c$  : 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	$w_z$	$I_L$
----------	---	-------	-------	----------	---	-------	-------



<b>:: Overall liquefaction potential according to Iwasaki (continued) ::</b>
--

Point ID	F	W <sub>z</sub>	I <sub>L</sub>	Point ID	F	W <sub>z</sub>	I <sub>L</sub>
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	0.04	9.00	0.07
11	0.00	8.90	0.00	12	0.00	8.80	0.00
13	0.04	8.70	0.07	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	0.15	7.70	0.22	24	0.00	7.60	0.00
25	0.24	7.50	0.37	26	0.06	7.40	0.09
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	0.20	6.50	0.26	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	0.17	3.10	0.11	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<sub>L</sub> : 1.19**

I<sub>L</sub> = 0.00 - No liquefaction  
 I<sub>L</sub> between 0.00 and 5.00 - Liquefaction not probable  
 I<sub>L</sub> between 5.00 and 15.00 - Liquefaction probable  
 I<sub>L</sub> > 15.00 - Liquefaction certain

## LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

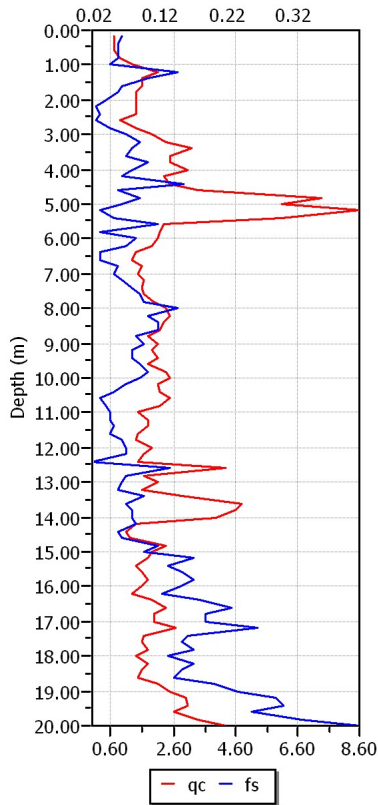
**Project title :** Progetto del P.P.I.P. B36 in Via Mar Nero a Fossoli di Carpi (MO).

**Project subtitle :** Verifica a liquefazione prova CPT2

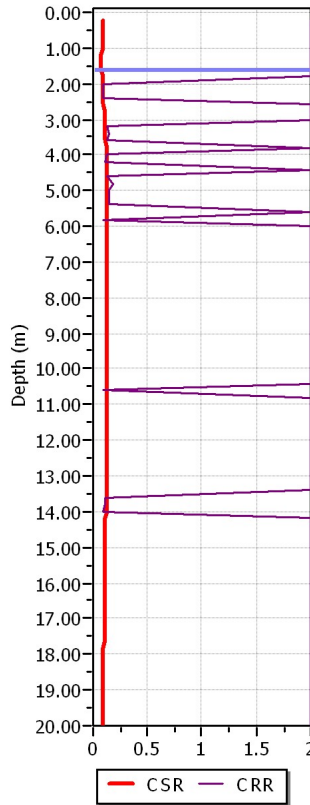
### Input parameters and analysis data

In-situ data type:	Cone Penetration Test	Depth to water table:	1.60 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

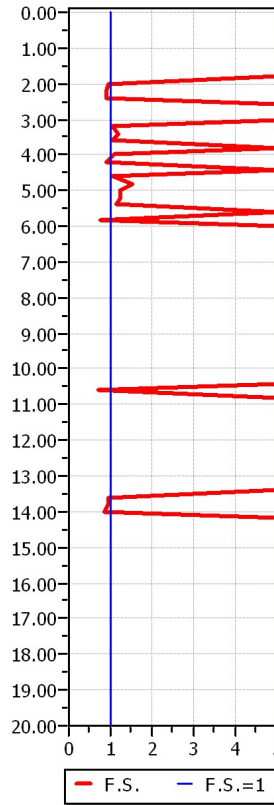
**CPT data graph**



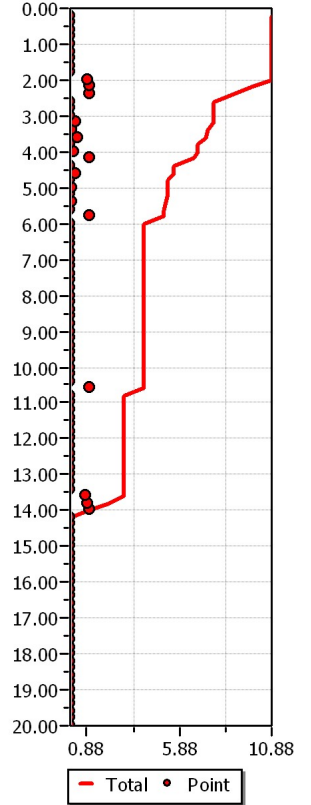
**Shear stress ratio**



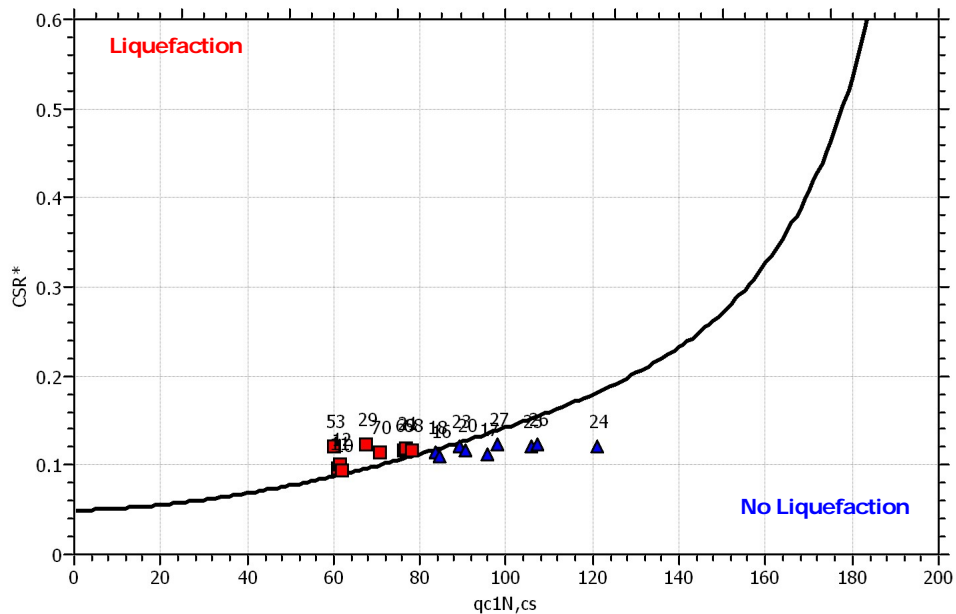
**Factor of safety**

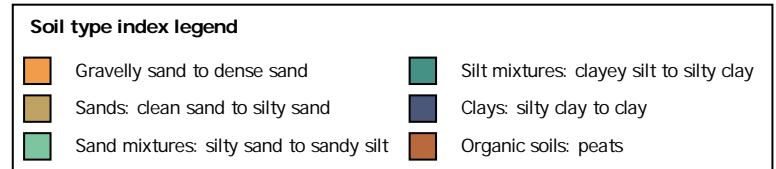
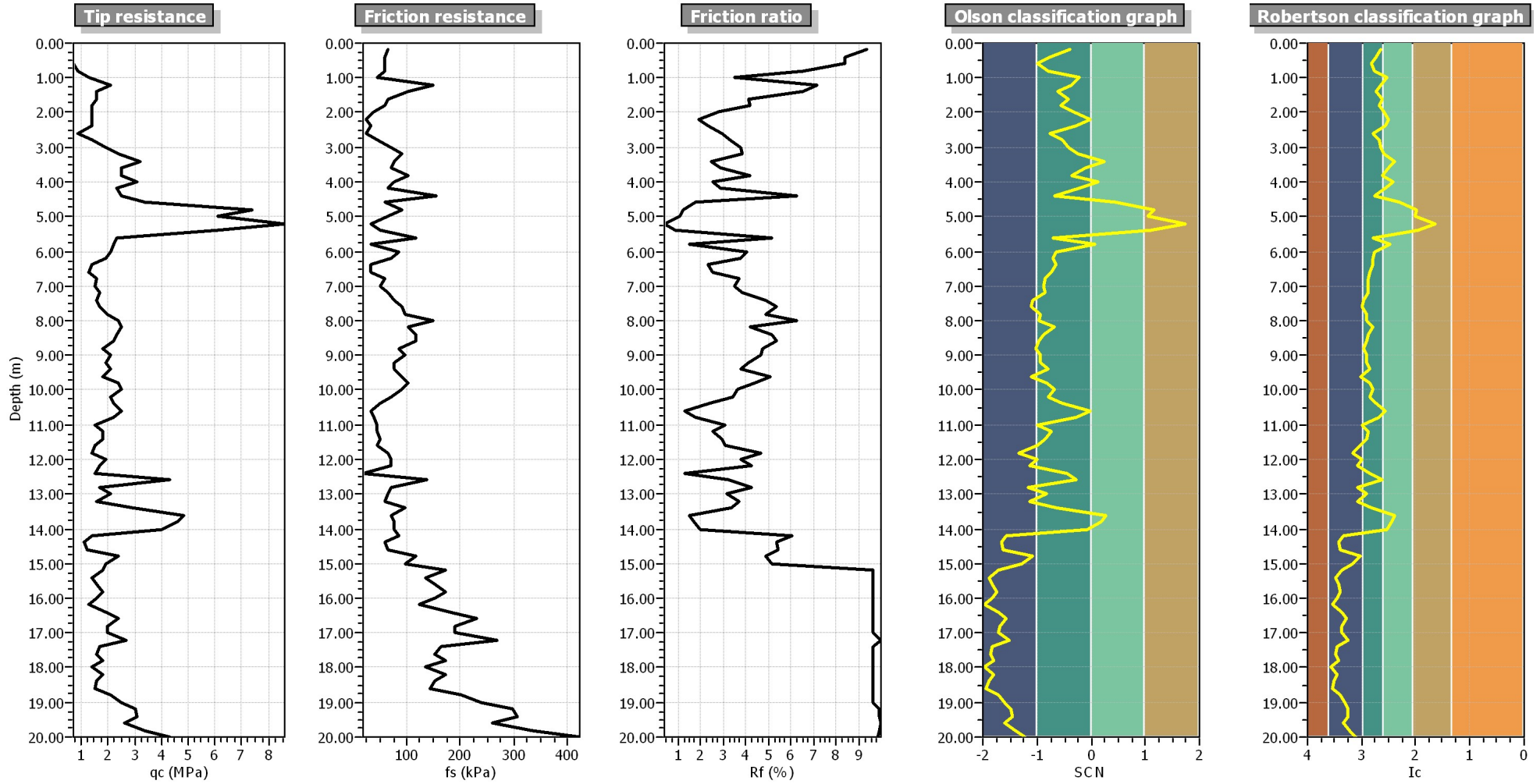


**Settlements (cm)**



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





**:: Field input data ::**

Point ID	Depth (m)	q <sub>c</sub> (MPa)	f <sub>s</sub> (kPa)	Fines content (%)	Unit weight (kN/m <sup>3</sup> )
1	0.20	0.70	65.40	37.80	19.00
2	0.40	0.70	58.80	42.70	19.00
3	0.60	0.70	58.80	47.30	19.00
4	0.80	0.90	58.80	43.20	19.00
5	1.00	1.30	45.80	32.20	19.00
6	1.20	2.10	150.40	37.71	19.00
7	1.40	1.60	104.60	41.63	19.00
8	1.60	1.60	65.40	36.29	19.00
9	1.80	1.40	58.80	39.41	19.00
10	2.00	1.40	39.20	34.77	19.00
11	2.20	1.40	26.20	30.81	19.00
12	2.40	1.40	32.70	33.91	19.00
13	2.60	0.90	26.20	45.20	19.00
14	2.80	1.40	45.80	39.46	19.00
15	3.00	1.90	71.90	37.10	19.00
16	3.20	2.40	91.50	34.21	19.00
17	3.40	3.20	78.50	25.38	19.00
18	3.60	2.50	71.90	30.88	19.00
19	3.80	2.50	104.60	36.31	19.00
20	4.00	3.10	78.50	27.20	19.00
21	4.20	2.30	65.40	33.24	19.00
22	4.40	2.50	156.90	44.08	19.00
23	4.60	3.40	58.80	22.93	19.00
24	4.80	7.40	91.50	12.30	19.00
25	5.00	6.10	65.40	13.11	19.00
26	5.20	8.60	32.70	5.22	19.00
27	5.40	6.10	52.30	11.94	19.00
28	5.60	2.30	117.70	44.91	19.00
29	5.80	2.20	32.70	29.51	19.00
30	6.00	2.10	85.00	43.72	19.00
31	6.20	1.90	71.90	45.09	19.00
32	6.40	1.40	32.70	44.95	19.00
33	6.60	1.30	32.70	48.26	19.00
34	6.80	1.60	58.80	49.78	19.00
35	7.00	1.50	52.30	50.94	19.00
36	7.20	1.70	65.40	50.11	19.00
37	7.40	1.60	78.50	56.33	19.00
38	7.60	1.70	91.50	57.07	19.00
39	7.80	2.00	98.10	51.95	19.00
40	8.00	2.40	150.40	52.83	19.00
41	8.20	2.50	104.60	45.19	19.00
42	8.40	2.30	117.70	50.83	19.00
43	8.60	2.20	117.70	53.06	19.00
44	8.80	1.80	85.00	56.07	19.00
45	9.00	2.10	98.10	52.50	19.00
46	9.20	1.90	78.50	53.17	19.00
47	9.40	2.10	78.50	49.41	19.00
48	9.60	1.80	91.50	59.30	19.00
49	9.80	2.40	104.60	49.69	19.00
50	10.00	2.50	91.50	46.16	19.00
51	10.20	2.10	71.90	49.46	19.00
52	10.40	2.20	52.30	43.05	19.00
53	10.60	2.50	32.70	33.01	19.00
54	10.80	2.20	39.20	39.73	19.00
55	11.00	1.50	45.80	58.37	19.00

**:: Field input data (continued) ::**

Point ID	Depth (m)	q <sub>c</sub> (MPa)	f <sub>s</sub> (kPa)	Fines content (%)	Unit weight (kN/m <sup>3</sup> )
56	11.20	1.80	45.80	50.50	19.00
57	11.40	1.80	52.30	53.05	19.00
58	11.60	1.50	45.80	59.77	19.00
59	11.80	1.40	65.40	70.83	19.00
60	12.00	1.90	71.90	57.35	19.00
61	12.20	1.70	71.90	63.25	19.00
62	12.40	1.50	19.60	48.34	19.00
63	12.60	4.30	137.30	36.54	19.00
64	12.80	1.70	71.90	64.58	19.00
65	13.00	2.10	65.40	52.93	19.00
66	13.20	1.60	58.80	64.74	19.00
67	13.40	2.90	98.10	46.67	19.00
68	13.60	4.80	71.90	25.92	19.00
69	13.80	4.60	78.50	28.25	19.00
70	14.00	4.00	78.50	32.61	19.00
71	14.20	1.40	85.00	83.22	19.00
72	14.40	1.10	58.80	91.67	19.00
73	14.60	1.20	65.40	88.57	19.00
74	14.80	2.40	117.70	60.70	19.00
75	15.00	1.90	98.10	69.69	19.00
76	15.20	1.80	173.10	87.02	19.00
77	15.40	1.40	134.60	98.08	19.00
78	15.60	1.60	153.90	92.72	19.00
79	15.80	1.80	173.10	88.41	19.00
80	16.00	1.60	153.90	93.73	19.00
81	16.20	1.30	125.00	100.00	19.00
82	16.40	1.90	182.70	87.65	19.00
83	16.60	2.40	230.80	79.53	19.00
84	16.80	2.00	192.30	86.54	19.00
85	17.00	2.00	192.30	86.96	19.00
86	17.20	2.70	269.30	77.54	19.00
87	17.40	1.70	163.50	94.50	19.00
88	17.60	1.60	153.90	97.71	19.00
89	17.80	1.80	173.10	92.96	19.00
90	18.00	1.40	134.60	100.00	19.00
91	18.20	1.80	173.10	93.85	19.00
92	18.40	1.60	153.90	100.00	19.00
93	18.60	1.50	144.30	100.00	19.00
94	18.80	2.10	202.00	88.74	19.00
95	19.00	2.50	240.40	82.57	19.00
96	19.20	3.00	298.10	77.31	19.00
97	19.40	3.10	307.70	76.49	19.00
98	19.60	2.60	259.70	83.18	19.00
99	19.80	3.40	336.60	74.00	19.00
100	20.00	4.30	423.10	67.03	19.00

Depth : Depth from free surface, at which CPT was performed (m)  
q<sub>c</sub> : Measured cone resistance  
f<sub>s</sub> : 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 <sub>d</sub>	CSR	MSF	CSR <sub>eq,M=7.5</sub>	K <sub>sigma</sub>	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 <sub>d</sub>	CSR	MSF	CSR <sub>eq,M=7.5</sub>	K <sub>sigma</sub>	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	0.00	30.40	0.99	0.14	1.67	0.08	1.00	0.08
9	1.80	34.20	1.96	32.24	0.98	0.15	1.67	0.09	1.00	0.09
10	2.00	38.00	3.92	34.08	0.98	0.16	1.67	0.09	1.00	0.09
11	2.20	41.80	5.89	35.91	0.98	0.16	1.67	0.10	1.00	0.10
12	2.40	45.60	7.85	37.75	0.97	0.17	1.67	0.10	1.00	0.10
13	2.60	49.40	9.81	39.59	0.97	0.17	1.67	0.10	1.00	0.10
14	2.80	53.20	11.77	41.43	0.97	0.18	1.67	0.11	1.00	0.11
15	3.00	57.00	13.73	43.27	0.96	0.18	1.67	0.11	1.00	0.11
16	3.20	60.80	15.70	45.10	0.96	0.18	1.67	0.11	1.00	0.11
17	3.40	64.60	17.66	46.94	0.95	0.19	1.67	0.11	1.00	0.11
18	3.60	68.40	19.62	48.78	0.95	0.19	1.67	0.11	1.00	0.11
19	3.80	72.20	21.58	50.62	0.95	0.19	1.67	0.12	1.00	0.12
20	4.00	76.00	23.54	52.46	0.94	0.20	1.67	0.12	1.00	0.12
21	4.20	79.80	25.51	54.29	0.94	0.20	1.67	0.12	1.00	0.12
22	4.40	83.60	27.47	56.13	0.93	0.20	1.67	0.12	1.00	0.12
23	4.60	87.40	29.43	57.97	0.93	0.20	1.67	0.12	1.00	0.12
24	4.80	91.20	31.39	59.81	0.93	0.20	1.67	0.12	1.00	0.12
25	5.00	95.00	33.35	61.65	0.92	0.20	1.67	0.12	1.00	0.12
26	5.20	98.80	35.32	63.48	0.92	0.20	1.67	0.12	1.00	0.12
27	5.40	102.60	37.28	65.32	0.91	0.21	1.67	0.12	1.00	0.12
28	5.60	106.40	39.24	67.16	0.91	0.21	1.67	0.12	1.00	0.12
29	5.80	110.20	41.20	69.00	0.91	0.21	1.67	0.12	1.00	0.12
30	6.00	114.00	43.16	70.84	0.90	0.21	1.67	0.12	1.00	0.12
31	6.20	117.80	45.13	72.67	0.90	0.21	1.67	0.12	1.00	0.12
32	6.40	121.60	47.09	74.51	0.89	0.21	1.67	0.12	1.00	0.12
33	6.60	125.40	49.05	76.35	0.89	0.21	1.67	0.12	1.00	0.12
34	6.80	129.20	51.01	78.19	0.88	0.21	1.67	0.13	1.00	0.13
35	7.00	133.00	52.97	80.03	0.88	0.21	1.67	0.13	1.00	0.13
36	7.20	136.80	54.94	81.86	0.87	0.21	1.67	0.13	1.00	0.13
37	7.40	140.60	56.90	83.70	0.87	0.21	1.67	0.13	1.00	0.13
38	7.60	144.40	58.86	85.54	0.86	0.21	1.67	0.13	1.00	0.13
39	7.80	148.20	60.82	87.38	0.86	0.21	1.67	0.13	1.00	0.13
40	8.00	152.00	62.78	89.22	0.86	0.21	1.67	0.12	1.00	0.12
41	8.20	155.80	64.75	91.05	0.85	0.21	1.67	0.12	1.00	0.12
42	8.40	159.60	66.71	92.89	0.85	0.21	1.67	0.12	1.00	0.12
43	8.60	163.40	68.67	94.73	0.84	0.21	1.67	0.12	1.00	0.12
44	8.80	167.20	70.63	96.57	0.84	0.21	1.67	0.12	1.00	0.12
45	9.00	171.00	72.59	98.41	0.83	0.21	1.67	0.12	1.00	0.12
46	9.20	174.80	74.56	100.24	0.83	0.21	1.67	0.12	1.00	0.12
47	9.40	178.60	76.52	102.08	0.82	0.21	1.67	0.12	1.00	0.12
48	9.60	182.40	78.48	103.92	0.82	0.21	1.67	0.12	1.00	0.12
49	9.80	186.20	80.44	105.76	0.81	0.20	1.67	0.12	1.00	0.12
50	10.00	190.00	82.40	107.60	0.81	0.20	1.67	0.12	1.00	0.12
51	10.20	193.80	84.37	109.43	0.80	0.20	1.67	0.12	1.00	0.12
52	10.40	197.60	86.33	111.27	0.80	0.20	1.67	0.12	0.99	0.12
53	10.60	201.40	88.29	113.11	0.79	0.20	1.67	0.12	0.99	0.12
54	10.80	205.20	90.25	114.95	0.79	0.20	1.67	0.12	0.99	0.12
55	11.00	209.00	92.21	116.79	0.78	0.20	1.67	0.12	0.99	0.12
56	11.20	212.80	94.18	118.62	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 <sub>d</sub>	CSR	MSF	CSR <sub>eq,M=7.5</sub>	K <sub>sigma</sub>	CSR*
57	11.40	216.60	96.14	120.46	0.77	0.20	1.67	0.12	0.99	0.12
58	11.60	220.40	98.10	122.30	0.77	0.20	1.67	0.12	0.99	0.12
59	11.80	224.20	100.06	124.14	0.76	0.20	1.67	0.12	0.99	0.12
60	12.00	228.00	102.02	125.98	0.76	0.20	1.67	0.12	0.99	0.12
61	12.20	231.80	103.99	127.81	0.76	0.20	1.67	0.12	0.99	0.12
62	12.40	235.60	105.95	129.65	0.75	0.20	1.67	0.12	0.99	0.12
63	12.60	239.40	107.91	131.49	0.75	0.19	1.67	0.12	0.98	0.12
64	12.80	243.20	109.87	133.33	0.74	0.19	1.67	0.12	0.99	0.12
65	13.00	247.00	111.83	135.17	0.74	0.19	1.67	0.12	0.98	0.12
66	13.20	250.80	113.80	137.00	0.73	0.19	1.67	0.11	0.99	0.12
67	13.40	254.60	115.76	138.84	0.73	0.19	1.67	0.11	0.98	0.12
68	13.60	258.40	117.72	140.68	0.72	0.19	1.67	0.11	0.98	0.12
69	13.80	262.20	119.68	142.52	0.72	0.19	1.67	0.11	0.98	0.12
70	14.00	266.00	121.64	144.36	0.71	0.19	1.67	0.11	0.98	0.12
71	14.20	269.80	123.61	146.19	0.71	0.19	1.67	0.11	0.98	0.11
72	14.40	273.60	125.57	148.03	0.70	0.19	1.67	0.11	0.98	0.11
73	14.60	277.40	127.53	149.87	0.70	0.19	1.67	0.11	0.98	0.11
74	14.80	281.20	129.49	151.71	0.70	0.18	1.67	0.11	0.98	0.11
75	15.00	285.00	131.45	153.55	0.69	0.18	1.67	0.11	0.98	0.11
76	15.20	288.80	133.42	155.38	0.69	0.18	1.67	0.11	0.98	0.11
77	15.40	292.60	135.38	157.22	0.68	0.18	1.67	0.11	0.98	0.11
78	15.60	296.40	137.34	159.06	0.68	0.18	1.67	0.11	0.98	0.11
79	15.80	300.20	139.30	160.90	0.67	0.18	1.67	0.11	0.98	0.11
80	16.00	304.00	141.26	162.74	0.67	0.18	1.67	0.11	0.98	0.11
81	16.20	307.80	143.23	164.57	0.66	0.18	1.67	0.11	0.98	0.11
82	16.40	311.60	145.19	166.41	0.66	0.18	1.67	0.11	0.98	0.11
83	16.60	315.40	147.15	168.25	0.66	0.18	1.67	0.11	0.97	0.11
84	16.80	319.20	149.11	170.09	0.65	0.18	1.67	0.10	0.97	0.11
85	17.00	323.00	151.07	171.93	0.65	0.17	1.67	0.10	0.97	0.11
86	17.20	326.80	153.04	173.76	0.64	0.17	1.67	0.10	0.97	0.11
87	17.40	330.60	155.00	175.60	0.64	0.17	1.67	0.10	0.97	0.11
88	17.60	334.40	156.96	177.44	0.64	0.17	1.67	0.10	0.97	0.11
89	17.80	338.20	158.92	179.28	0.63	0.17	1.67	0.10	0.97	0.10
90	18.00	342.00	160.88	181.12	0.63	0.17	1.67	0.10	0.97	0.10
91	18.20	345.80	162.85	182.95	0.62	0.17	1.67	0.10	0.97	0.10
92	18.40	349.60	164.81	184.79	0.62	0.17	1.67	0.10	0.97	0.10
93	18.60	353.40	166.77	186.63	0.62	0.17	1.67	0.10	0.97	0.10
94	18.80	357.20	168.73	188.47	0.61	0.17	1.67	0.10	0.97	0.10
95	19.00	361.00	170.69	190.31	0.61	0.17	1.67	0.10	0.97	0.10
96	19.20	364.80	172.66	192.14	0.61	0.16	1.67	0.10	0.97	0.10
97	19.40	368.60	174.62	193.98	0.60	0.16	1.67	0.10	0.97	0.10
98	19.60	372.40	176.58	195.82	0.60	0.16	1.67	0.10	0.97	0.10
99	19.80	376.20	178.54	197.66	0.59	0.16	1.67	0.10	0.96	0.10
100	20.00	380.00	180.50	199.50	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<sub>d</sub> : Nonlinear shear mass factor  
 CSR : Cyclic Stress Ratio  
 MSF : Magnitude Scaling Factor  
 CSR<sub>eq,M=7.5</sub> : CSR adjusted for M= 7.5  
 K<sub>sigma</sub> : Effective overburden stress factor  
 CSR\* : CSR fully adjusted

**:: Cyclic Resistance Ratio calculation CRR<sub>7.5</sub> ::**

Point ID	q <sub>c</sub> (MPa)	FC (%)	C <sub>n</sub>	q <sub>c1N</sub>	D <sub>q</sub>	q <sub>c1N,cs</sub>	CRR <sub>7.5</sub>
1	0.70	37.80	1.70	11.90	34.11	46.01	2.00
2	0.70	42.70	1.70	11.90	34.38	46.28	2.00
3	0.70	47.30	1.70	11.90	34.48	46.38	2.00
4	0.90	43.20	1.70	15.30	35.58	50.88	2.00
5	1.30	32.20	1.70	22.10	36.88	58.98	2.00
6	2.10	37.71	1.70	35.70	42.36	78.06	2.00
7	1.60	41.63	1.70	27.20	39.68	66.88	2.00
8	1.60	36.29	1.70	27.20	39.26	66.46	2.00
9	1.40	39.41	1.70	23.80	38.37	62.17	2.00
10	1.40	34.77	1.70	23.80	37.90	61.70	0.09
11	1.40	30.81	1.70	23.80	37.15	60.95	0.09
12	1.40	33.91	1.70	23.80	37.77	61.57	0.09
13	0.90	45.20	1.70	15.30	35.64	50.94	2.00
14	1.40	39.46	1.70	23.80	38.37	62.17	2.00
15	1.90	37.10	1.70	32.30	41.12	73.42	2.00
16	2.40	34.21	1.70	40.80	43.65	84.45	0.12
17	3.20	25.38	1.61	51.63	44.01	95.64	0.14
18	2.50	30.88	1.62	40.61	42.84	83.45	0.12
19	2.50	36.31	1.59	39.71	43.59	83.30	2.00
20	3.10	27.20	1.52	47.12	43.61	90.74	0.13
21	2.30	33.24	1.53	35.27	41.58	76.84	0.11
22	2.50	44.08	1.49	37.25	43.30	80.55	2.00
23	3.40	22.93	1.42	48.32	41.06	89.38	0.13
24	7.40	12.30	1.30	96.00	25.14	121.14	0.18
25	6.10	13.11	1.30	79.48	26.49	105.96	0.15
26	8.60	5.22	1.24	107.06	0.05	107.11	0.15
27	6.10	11.94	1.27	77.20	20.90	98.10	0.14
28	2.30	44.91	1.33	30.67	41.02	71.69	2.00
29	2.20	29.51	1.31	28.88	38.49	67.37	0.10
30	2.10	43.72	1.29	27.13	39.74	66.87	2.00
31	1.90	45.09	1.27	24.22	38.76	62.98	2.00
32	1.40	44.95	1.27	17.75	36.49	54.23	2.00
33	1.30	48.26	1.25	16.21	36.00	52.21	2.00
34	1.60	49.78	1.22	19.45	37.14	56.59	2.00
35	1.50	50.94	1.20	17.94	36.62	54.56	2.00
36	1.70	50.11	1.17	19.91	37.31	57.22	2.00
37	1.60	56.33	1.15	18.45	36.76	55.21	2.00
38	1.70	57.07	1.13	19.25	37.03	56.28	2.00
39	2.00	51.95	1.11	22.20	38.11	60.31	2.00
40	2.40	52.83	1.09	26.14	39.49	65.63	2.00
41	2.50	45.19	1.07	26.81	39.67	66.48	2.00
42	2.30	50.83	1.06	24.33	38.86	63.18	2.00
43	2.20	53.06	1.04	22.94	38.36	61.30	2.00
44	1.80	56.07	1.03	18.51	36.79	55.30	2.00
45	2.10	52.50	1.01	21.26	37.78	59.04	2.00
46	1.90	53.17	1.00	18.96	36.97	55.93	2.00
47	2.10	49.41	0.98	20.66	37.57	58.23	2.00
48	1.80	59.30	0.97	17.45	36.37	53.82	2.00
49	2.40	49.69	0.96	22.99	38.39	61.38	2.00
50	2.50	46.16	0.95	23.64	38.58	62.22	2.00
51	2.10	49.46	0.93	19.55	37.18	56.74	2.00
52	2.20	43.05	0.92	20.23	37.30	57.53	2.00
53	2.50	33.01	0.91	22.74	37.25	59.99	0.09
54	2.20	39.73	0.90	19.70	36.96	56.66	2.00
55	1.50	58.37	0.88	13.15	34.88	48.03	2.00

**:: Cyclic Resistance Ratio calculation CRR<sub>7.5</sub> (continued) ::**

Point ID	q <sub>c</sub> (MPa)	FC (%)	C <sub>n</sub>	q <sub>c1N</sub>	D <sub>q</sub>	q <sub>c1N,cs</sub>	CRR <sub>7.5</sub>
56	1.80	50.50	0.87	15.64	35.81	51.45	2.00
57	1.80	53.05	0.86	15.44	35.73	51.17	2.00
58	1.50	59.77	0.84	12.64	34.68	47.32	2.00
59	1.40	70.83	0.83	11.62	34.14	45.76	2.00
60	1.90	57.35	0.83	15.71	35.79	51.50	2.00
61	1.70	63.25	0.81	13.83	35.05	48.88	2.00
62	1.50	48.34	0.80	12.00	34.52	46.53	2.00
63	4.30	36.54	0.83	35.51	42.17	77.68	2.00
64	1.70	64.58	0.78	13.33	34.85	48.18	2.00
65	2.10	52.93	0.78	16.42	36.08	52.50	2.00
66	1.60	64.74	0.76	12.22	34.46	46.68	2.00
67	2.90	46.67	0.78	22.52	38.19	60.71	2.00
68	4.80	25.92	0.79	37.96	39.97	77.94	0.11
69	4.60	28.25	0.78	35.94	40.40	76.34	0.11
70	4.00	32.61	0.77	30.68	39.88	70.56	0.10
71	1.40	83.22	0.72	10.02	33.35	43.37	2.00
72	1.10	91.67	0.70	7.69	32.40	40.10	2.00
73	1.20	88.57	0.69	8.33	32.67	41.00	2.00
74	2.40	60.70	0.71	17.12	36.24	53.36	2.00
75	1.90	69.69	0.70	13.22	34.72	47.94	2.00
76	1.80	87.02	0.69	12.35	34.09	46.44	2.00
77	1.40	98.08	0.67	9.37	32.87	42.24	2.00
78	1.60	92.72	0.67	10.67	33.41	44.08	2.00
79	1.80	88.41	0.66	11.97	33.93	45.90	2.00
80	1.60	93.73	0.65	10.45	33.31	43.76	2.00
81	1.30	100.00	0.64	8.29	32.47	40.77	2.00
82	1.90	87.65	0.65	12.30	34.06	46.35	2.00
83	2.40	79.53	0.65	15.64	35.37	51.01	2.00
84	2.00	86.54	0.64	12.73	34.23	46.96	2.00
85	2.00	86.96	0.63	12.61	34.18	46.79	2.00
86	2.70	77.54	0.64	17.27	35.97	53.24	2.00
87	1.70	94.50	0.61	10.38	33.28	43.66	2.00
88	1.60	97.71	0.60	9.63	32.97	42.60	2.00
89	1.80	92.96	0.60	10.83	33.46	44.29	2.00
90	1.40	100.00	0.58	8.19	32.44	40.62	2.00
91	1.80	93.85	0.59	10.63	33.37	44.00	2.00
92	1.60	100.00	0.58	9.27	32.81	42.08	2.00
93	1.50	100.00	0.57	8.56	32.57	41.13	2.00
94	2.10	88.74	0.58	12.22	34.01	46.22	2.00
95	2.50	82.57	0.59	14.64	34.96	49.61	2.00
96	3.00	77.31	0.59	17.74	36.14	53.88	2.00
97	3.10	76.49	0.59	18.24	36.33	54.56	2.00
98	2.60	83.18	0.57	14.90	35.04	49.94	2.00
99	3.40	74.00	0.58	19.87	36.95	56.82	2.00
100	4.30	67.03	0.60	25.62	39.09	64.71	2.00

q<sub>c</sub> : Measured cone resistance  
 FC : Fines content  
 C<sub>n</sub> : Stress normalization factor  
 q<sub>c1N</sub> : Normalized cone resistance  
 D<sub>q</sub> : Cone adjustment portion due to fines  
 q<sub>c1N,cs</sub> : Normalized and adjusted cone resistance  
 CRR<sub>7.5</sub> : Cyclic resistance ratio for M<sub>w</sub>=7.5

**:: Settlements calculation for saturated sands ::**

Point ID	q <sub>c</sub> (MPa)	q <sub>c1</sub>	FS <sub>L</sub>	e <sub>v</sub> (%)	Settle. (cm)
----------	-------------------------	-----------------	-----------------	-----------------------	-----------------

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

Point ID	$q_c$ (MPa)	$q_{c1}$	$FS_L$	$e_v$ (%)	Settle. (cm)
1	0.70	36.27	5.00	0.00	0.00
2	0.70	25.64	5.00	0.00	0.00
3	0.70	20.94	5.00	0.00	0.00
4	0.90	23.31	5.00	0.00	0.00
5	1.30	30.12	5.00	0.00	0.00
6	2.10	44.42	5.00	0.00	0.00
7	1.60	31.33	5.00	0.00	0.00
8	1.60	29.31	5.00	0.00	0.00
9	1.40	24.90	5.00	0.00	0.00
10	1.40	24.22	0.96	4.97	0.99
11	1.40	23.59	0.91	5.30	1.06
12	1.40	23.01	0.89	5.37	1.07
13	0.90	14.45	5.00	0.00	0.00
14	1.40	21.97	5.00	0.00	0.00
15	1.90	29.17	5.00	0.00	0.00
16	2.40	36.09	1.07	1.46	0.29
17	3.20	47.17	1.20	0.53	0.11
18	2.50	36.15	1.03	2.25	0.45
19	2.50	35.49	5.00	0.00	0.00
20	3.10	43.23	1.09	1.10	0.22
21	2.30	31.52	0.92	5.29	1.06
22	2.50	33.70	5.00	0.00	0.00
23	3.40	45.10	1.05	1.55	0.31
24	7.40	96.64	1.50	0.08	0.02
25	6.10	78.47	1.25	0.28	0.06
26	8.60	109.01	1.26	0.20	0.04
27	6.10	76.23	1.13	0.54	0.11
28	2.30	28.34	5.00	0.00	0.00
29	2.20	26.75	0.78	5.47	1.09
30	2.10	25.20	5.00	0.00	0.00
31	1.90	22.51	5.00	0.00	0.00
32	1.40	16.38	5.00	0.00	0.00
33	1.30	15.03	5.00	0.00	0.00
34	1.60	18.27	5.00	0.00	0.00
35	1.50	16.93	5.00	0.00	0.00
36	1.70	18.98	5.00	0.00	0.00
37	1.60	17.66	5.00	0.00	0.00
38	1.70	18.56	5.00	0.00	0.00
39	2.00	21.61	5.00	0.00	0.00
40	2.40	25.66	5.00	0.00	0.00
41	2.50	26.46	5.00	0.00	0.00
42	2.30	24.10	5.00	0.00	0.00
43	2.20	22.83	5.00	0.00	0.00
44	1.80	18.50	5.00	0.00	0.00
45	2.10	21.38	5.00	0.00	0.00
46	1.90	19.17	5.00	0.00	0.00
47	2.10	20.99	5.00	0.00	0.00
48	1.80	17.83	5.00	0.00	0.00
49	2.40	23.57	5.00	0.00	0.00
50	2.50	24.34	5.00	0.00	0.00
51	2.10	20.27	5.00	0.00	0.00
52	2.20	21.06	5.00	0.00	0.00
53	2.50	23.74	0.72	5.49	1.10
54	2.20	20.72	5.00	0.00	0.00
55	1.50	14.02	5.00	0.00	0.00

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

Point ID	q <sub>c</sub> (MPa)	q <sub>c1</sub>	FS <sub>L</sub>	e <sub>v</sub> (%)	Settle. (cm)
56	1.80	16.69	5.00	0.00	0.00
57	1.80	16.56	5.00	0.00	0.00
58	1.50	13.70	5.00	0.00	0.00
59	1.40	12.69	5.00	0.00	0.00
60	1.90	17.10	5.00	0.00	0.00
61	1.70	15.19	5.00	0.00	0.00
62	1.50	13.30	5.00	0.00	0.00
63	4.30	37.87	5.00	0.00	0.00
64	1.70	14.87	5.00	0.00	0.00
65	2.10	18.24	5.00	0.00	0.00
66	1.60	13.81	5.00	0.00	0.00
67	2.90	24.86	5.00	0.00	0.00
68	4.80	40.87	0.94	4.46	0.89
69	4.60	38.92	0.93	4.72	0.94
70	4.00	33.62	0.87	5.34	1.07
71	1.40	11.69	5.00	0.00	0.00
72	1.10	9.13	5.00	0.00	0.00
73	1.20	9.90	5.00	0.00	0.00
74	2.40	19.68	5.00	0.00	0.00
75	1.90	15.49	5.00	0.00	0.00
76	1.80	14.58	5.00	0.00	0.00
77	1.40	11.28	5.00	0.00	0.00
78	1.60	12.81	5.00	0.00	0.00
79	1.80	14.33	5.00	0.00	0.00
80	1.60	12.67	5.00	0.00	0.00
81	1.30	10.23	5.00	0.00	0.00
82	1.90	14.88	5.00	0.00	0.00
83	2.40	18.69	5.00	0.00	0.00
84	2.00	15.49	5.00	0.00	0.00
85	2.00	15.40	5.00	0.00	0.00
86	2.70	20.69	5.00	0.00	0.00
87	1.70	12.96	5.00	0.00	0.00
88	1.60	12.13	5.00	0.00	0.00
89	1.80	13.58	5.00	0.00	0.00
90	1.40	10.51	5.00	0.00	0.00
91	1.80	13.44	5.00	0.00	0.00
92	1.60	11.89	5.00	0.00	0.00
93	1.50	11.09	5.00	0.00	0.00
94	2.10	15.45	5.00	0.00	0.00
95	2.50	18.30	5.00	0.00	0.00
96	3.00	21.86	5.00	0.00	0.00
97	3.10	22.48	5.00	0.00	0.00
98	2.60	18.76	5.00	0.00	0.00
99	3.40	24.42	5.00	0.00	0.00
100	4.30	30.75	5.00	0.00	0.00

**Total settlement : 10.88**

- q<sub>c</sub> : Measured cone resistance
- q<sub>c1</sub> : Normalized cone resistance (according to Ishihara)
- FS<sub>L</sub> : Factor of safety against liquefaction
- e<sub>v</sub> : Post-liquefaction volumetric strain
- Settle. : Calculated settlement

**:: Overall liquefaction potential according to Iwasaki ::**

Point ID	F	w <sub>z</sub>	I <sub>L</sub>	Point ID	F	w <sub>z</sub>	I <sub>L</sub>
----------	---	----------------	----------------	----------	---	----------------	----------------

<b>:: Overall liquefaction potential according to Iwasaki (continued) ::</b>
--

Point ID	F	W <sub>z</sub>	I <sub>L</sub>	Point ID	F	W <sub>z</sub>	I <sub>L</sub>
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	0.04	9.00	0.07
11	0.09	8.90	0.15	12	0.11	8.80	0.19
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	0.08	7.90	0.13	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	0.22	7.10	0.32	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	0.00	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	0.28	4.70	0.26	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	0.06	3.20	0.04
69	0.07	3.10	0.04	70	0.13	3.00	0.08
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<sub>L</sub> : 1.29**

I<sub>L</sub> = 0.00 - No liquefaction  
 I<sub>L</sub> between 0.00 and 5.00 - Liquefaction not probable  
 I<sub>L</sub> between 5.00 and 15.00 - Liquefaction probable  
 I<sub>L</sub> > 15.00 - Liquefaction certain



**Allegato N. 9**

**“TROMOGRAFIA DIGITALE HVSR (TROMINO®)”**

***- dati e diagrammi -***

**Studio Tecnico Ambientale**

***GEOTECH***

***di Dott. Geol. Lorenzo Malvezzi***

Via Martinelli, 51A - Fossoli di Carpi (MO)

Tel. 059/654076 Fax +391782215311

## Scheda HVSR

Strumento: TRZ-0099/01-10

Formato dati: 16 byte

Fondo scala [mV]: 51

Inizio registrazione: 20/12/21 12:10:30 Fine registrazione: 20/12/21 12:40:29

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h30'00".

Analizzato 91% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz

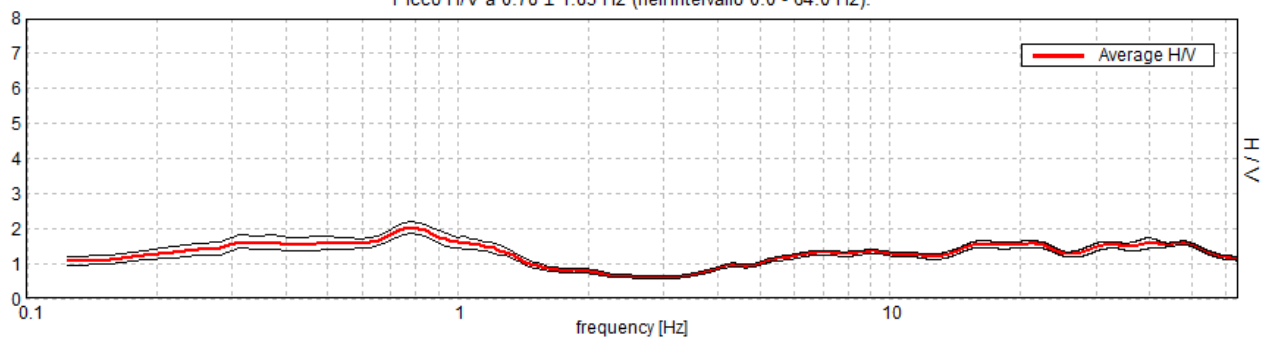
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

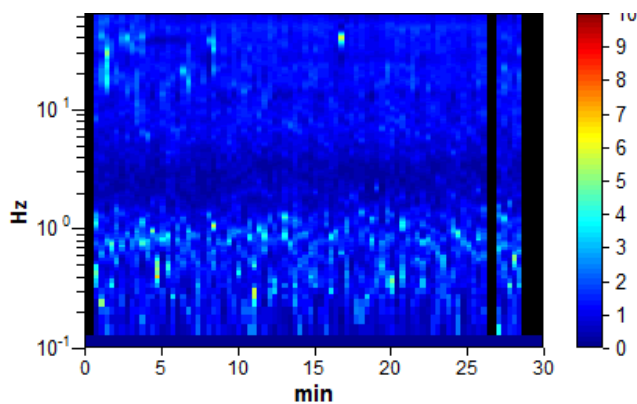
Lisciamento: 10%

### RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

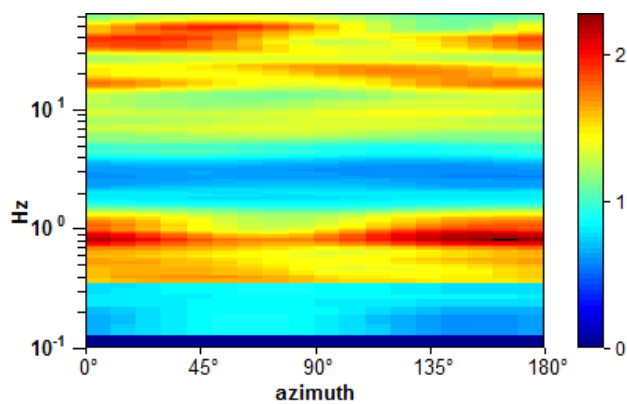
Picco H/V a  $0.78 \pm 1.83$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).



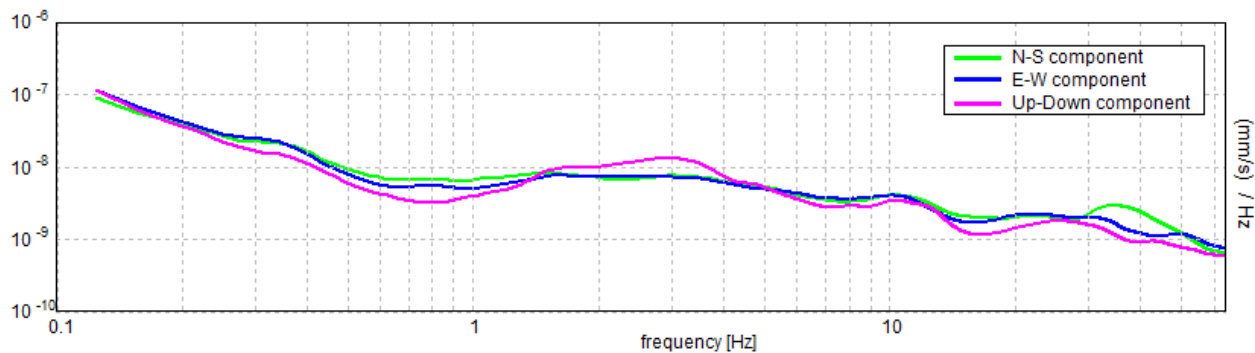
### SERIE TEMPORALE H/V



### DIREZIONALITA' H/V



### SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



**Picco H/V a  $0.78 \pm 1.83$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).**

**Criteri per una curva H/V affidabile**

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.78 > 0.50$	<b>OK</b>	
$n_c(f_0) > 200$	$1281.3 > 200$	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f) < 2$ 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 38	<b>OK</b>	

**Criteri per un picco H/V chiaro**

[è consigliato che ne siano soddisfatti il più possibile ma non necessariamente lo devono essere tutti]

<b>Esiste <math>f^-</math> in <math>[f_0/4, f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^-) &lt; A_0 / 2</math></b>			<b>NO</b>
<b>Esiste <math>f^+</math> in <math>[f_0, 4f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^+) &lt; A_0 / 2</math></b>	1.469 Hz	<b>OK</b>	
<b><math>A_0 &gt; 2</math></b>	$2.04 > 2$	<b>OK</b>	
<b><math>f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%</math></b>	$ 2.34698  < 0.05$		<b>NO</b>
<b><math>\sigma_f &lt; \varepsilon(f_0)</math></b>	$1.83358 < 0.11719$		<b>NO</b>
<b><math>\sigma_A(f_0) &lt; \theta(f_0)</math></b>	$0.1665 < 2.0$	<b>OK</b>	

$L_w$	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
$\sigma_f$	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  $\sigma_f$  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 x 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.