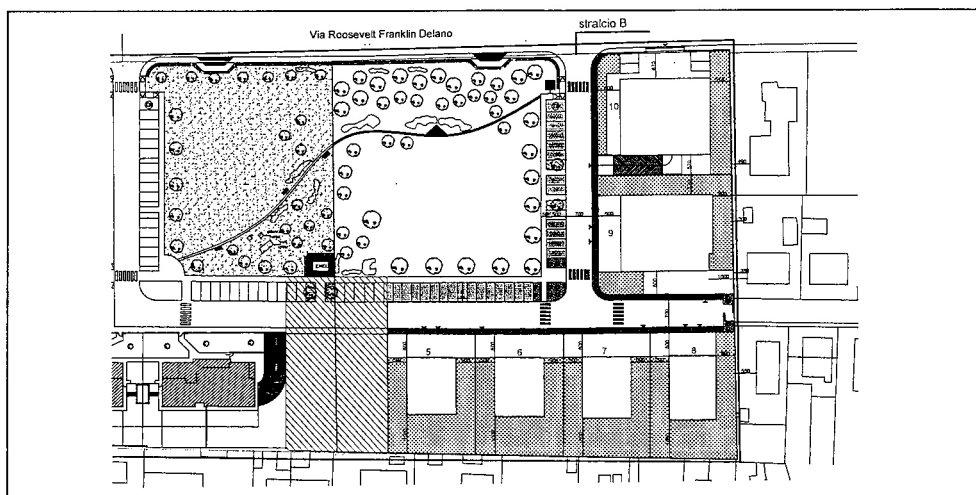


# **- COMUNE DI CARPI -**

PROVINCIA DI MODENA

VARIANTE AL PIANO PARTICOLAREGGIATO DI  
INIZIATIVA PRIVATA DENOMINATO B17

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



**PROGETTISTA : Arch. Dodi Maurizio – D.S. Projects s.r.l.**  
*Piazza Martiri n° 50 – 41012 Carpi (MO)*

**COMMITTENTE : Sig.ri Remondi Massimo e Remondi Andrea**  
*Via F.D. Roosevelt n° 186 – 41012 Carpi (MO)*

**STUDIO TECNICO AMBIENTALE**

**GEOTECH**

**di Dott. Geol. Lorenzo Malvezzi**

Via Martinelli, 51A - 41012 Fossoli di Carpi (MO) - Tel/Fax. 059/66.06.43

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

**Giugno 2013**

**Studio Tecnico Ambientale**

# **GEOTECH**

di Dott. Geol. Lorenzo Malvezzi

Via Martinelli n.51A

41012 - Fossoli di Carpi (MO)

Tel/Fax Ufficio 059/660643

P. I.V.A. 02275070361

C.F. MLV LNZ 67D10 B819M

lorenzomalvezzi@studiogeotech.com

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



## **Relazione geologica e sismica relativa alla variante al P.P.I.P. denominato “B17” ubicato in Via F.D. Roosevelt n.186 a Cibeno nel Comune di Carpi (MO).**

### **1. PREMESSA.**

Su incarico del **Sig.ri Remondi Massimo e Remondi Andrea** di Carpi (MO) e d'intesa con l'**Arch. Dodi Maurizio**, si è provveduto alla stesura della presente relazione geologica e sismica relativa alla variante al P.P.I.P. denominato “B17” ubicato in Via F.D. Roosevelt n°186 a Cibeno nel Comune di Carpi (MO).

A tale scopo il giorno 07 Giugno 2013 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. 3 prove penetrometriche statiche spinte sino ad una profondità massima di - 20 m da p.d.c. attuale, per formulare il giudizio di fattibilità geologica ai fini edificatori.

Nello stesso giorno si è provveduto ad effettuare una prospezione sismica di superficie 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.

Pertanto si è proceduto alla compilazione della presente relazione, riferita al progetto in oggetto, in ottemperanza di quanto esplicitato nella D.A.L. 112/2007 e nel D.M. 14/01/2008 e successive integrazioni.

### **2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO.**

L'area in esame si estende nella parte a Nord dell'abitato del Comune di Carpi più precisamente al centro della frazione di Cibeno e posta ad una quota media di 23.8 m s.l.m.m..

Cartograficamente l'area è compresa nella tavola in scala 1:25.000 della C.T.R. n. 201 N-E denominata “Carpi” (Allegato n. 1) e nella sezione, sempre

della C.T.R., in scala 1:10.000 n. 201030 denominata "Carpi" (Allegato n. 2) e nel rispettivo Elemento in scala 1:5.000 n. 201031 denominato "Carpi Est" (Allegato n. 3).

Più precisamente, entrando nel dettaglio l'area d'intervento risulta ubicata sul lato Est di Via F.D. Roosevelt al civico n° 186 dove attualmente risiede il "Vivaio Ivo Remondi".

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

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

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

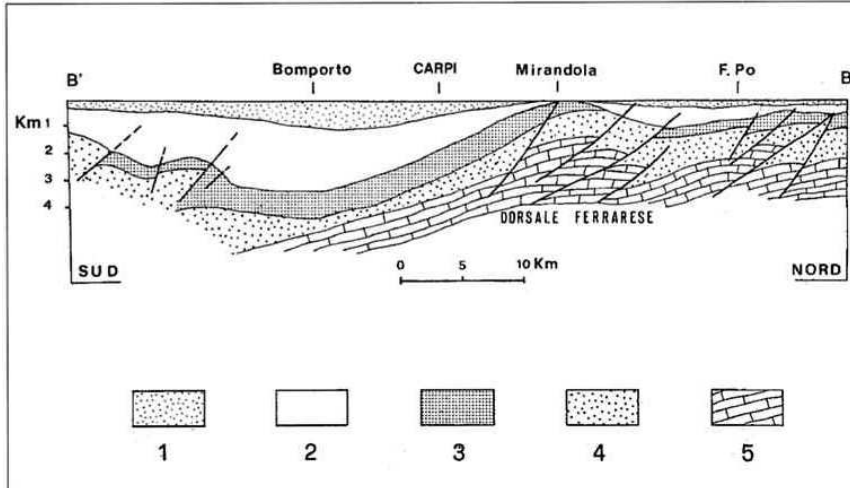


Fig. 4 - Sezione geologica schematica, indicativa della situazione strutturale profonda della bassa Pianura modenese ridisegnata adattandola alla situazione di Mirandola (rif. Fig. 3) (Fonte: PIERI, 1980).  
Legenda: 1) depositi alluvionali; 2) sedimenti marini del Pliocene superiore e Quaternario; 3)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

In particolare, in base ai dati AGIP MINERARIA (1959), 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.

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.**

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 - 2.00/2.10 m dal p.d.c. con escursione stagionale che determina un aumento del livello statico del primo acquifero a Maggio rispetto Dicembre.

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 Lama il quale scorre ad 2,5 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 CPT.***

In data 07 Giugno 2013 si è provveduto ad eseguire un'indagine geognostica sull'area in oggetto, al fine di valutare le caratteristiche litostratigrafiche e geotecniche dei terreni presenti all'interno del Comparto in esame.

L'indagine è stata sviluppata mediante esecuzione di n. 3 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), la quale possiede un cono con un'area di 10 cm<sup>2</sup> ed un angolo di conicità pari a 60° e di un manicotto al di sopra del cono di 150 cm<sup>2</sup>.

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 cm d'avanzamento ottenendo una resistenza penetrometrica alla punta

(Rp), espressa in Kg/cm<sup>2</sup>, così anche per i valori di resistenza laterale locale (RI), espressa sempre in Kg/cm<sup>2</sup>, secondo le norme internazionali standard.

Il numero e l'ubicazione delle prove sono state valutate dallo scrivente in relazione alla forma e alle dimensioni delle aree potenzialmente edificabili in progetto, rispettando il principio del massimo ricoprimento dell'area, il risultato viene riportato nella planimetria in Allegato n. 4.

I sondaggi penetrometrici (Allegato n. 6), sono stati spinti sino alla profondità di - 20 m dal piano campagna attuale, profondità sufficiente ai fini della modellazione geologica del sito, rilevando inoltre un livello statico medio all'interno dei fori di sondaggio pari:

**Prova P1 I.s. = - 1.50 m da p.d.c.**

**Prova P2 I.s. = - 1.00 m da p.d.c.**

**Prova P2 I.s. = - 1.10 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 e limosi con dei rari livelli decimetrici di limi sabbiosi.

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.

### **PROVA CPT N 1**

Nella prova n. 1 è stato individuato un primo strato da 0.40 m a 5.80 m caratterizzato litologicamente da delle argille e da argille torbose al tetto con intercalati dei livelli decimetrici di limi a media consistenza e con medie caratteristiche geotecniche, con valori medi di Rp, resistenza alla punta in termini statici, pari a 1.18 MPa.

Andando in profondità, da - 5.80 m a - 10.80 m si assiste ad un aumento dei valori di resistenza alla punta mentre dal punto di vista litologico abbiamo delle argille e argille limose alternate a dei livelli di limi e limi sabbiosi a buona consistenza che danno valori medi di resistenza alla punta pari a 2.03 MPa.

Subito sotto, da - 10.80 m a - 12.80 m abbiamo una lieve diminuzione dei valori di resistenza alla punta mentre dal punto di vista litologico incontriamo delle argille e argille limose a buona consistenza che danno valori medi di resistenza alla punta pari a 1.77 MPa.

Andando in profondità, da - 12.80 m a - 14.60 m si denota un locale aumento dei valori di resistenza alla punta mentre dal punto di vista litologico abbiamo delle

argille e argille limose e un livello decimetrico di limi sabbiosi a buona consistenza che danno valori medi di resistenza alla punta pari a 2.65 MPa.

Proseguendo, da - 14.60 m a - 16.60 m si assiste ad una diminuzione dei valori di resistenza alla punta mentre dal punto di vista litologico incontriamo delle argille e argille limose con livelli decimetrici di limi a media consistenza che danno valori medi di resistenza alla punta pari a 1.55 MPa.

Subito sotto, da - 16.60 m a - 18.80 m di profondità abbiamo un locale aumento dei valori di resistenza alla punta mentre dal punto di vista litologico abbiamo delle argille con dei livelli decimetrici di limi e limi sabbiosi a buona compattezza che danno valori medi di resistenza alla punta pari a 2.06 MPa.

In profondità, da - 18.80 m a - 20.00 m abbiamo una diminuzione dei valori di resistenza alla punta mentre dal punto di vista litologico incontriamo delle argille alternate a dei livelli decimetrici di limi a media consistenza che danno valori medi di resistenza alla punta pari a 1.46 MPa.

**- CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA -**

da m.	a m.	Qc	g	ld	f	Su	M	OCR	Go	Vs	Cc	Litotipo
0,4	5,8	1,18	18,4			31,7	5,8	7,9	7,2	146,5	0,103	argille limi
5,8	10,8	2,03	18,8	9,2	12		9,8		14,6	206,8	0	limi argille
10,8	12,8	1,77	18,2			52,1	6,8	3,6	4,9	189,9	0,117	argille arglim
12,8	14,6	2,65	18,5			75,2	9,4	4,6	7,3	243,3	0,11	argille limsabb
14,6	16,6	1,55	18,3			38,8	7,1	2,1	7,2	174,6	0,106	argille limi
16,6	18,8	2,06	16,9			56,8	8,7	2,7	9,7	201	0,101	argille limi
18,8	20	1,46	18,5			25,7	8,1	1,1	11,7	168,3	0,084	argille limi

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

## - Litologia CPT 1 -



## PROVA CPT N 2

Nella prova n. 2 è stato individuato un primo strato da 0.40 m a 4.00 m caratterizzato litologicamente da dei limi e limi argillosi con al tetto delle argille torbose a media consistenza e con medie caratteristiche geotecniche, con valori medi di  $R_p$ , resistenza alla punta in termini statici, pari a 1.00 MPa.

Andando in profondità, da - 4.00 m a - 6.00 m si assiste ad un lieve aumento dei valori di resistenza alla punta mentre dal punto di vista litologico abbiamo delle argille e argille limose e un livello decimetrico di limi a buona consistenza che danno valori medi di resistenza alla punta pari a 1.48 MPa.

Subito sotto, da - 6.00 m a - 8.00 m abbiamo un aumento dei valori di resistenza alla punta mentre dal punto di vista litologico incontriamo un'alternanza tra dei limi e delle argille a buona consistenza che danno valori medi di resistenza alla punta pari a 2.31 MPa.

Andando in profondità, da - 8.00 m a - 13.20 m si denota una diminuzione dei valori di resistenza alla punta mentre dal punto di vista litologico abbiamo delle argille e argille limose con dei livelli decimetrici di limi a buona consistenza che danno valori medi di resistenza alla punta pari a 1.74 MPa.

Proseguendo, da - 13.20 m a - 14.60 m si assiste ad un locale aumento dei valori di resistenza alla punta mentre dal punto di vista litologico incontriamo delle

argille e argille limose a buona consistenza che danno valori medi di resistenza alla punta pari a 2.40 MPa.

Ancora oltre, da - 14.60 m a - 17.60 m abbiamo una diminuzione dei valori di resistenza alla punta mentre dal punto di vista litologico incontriamo dei limi alternati a delle argille a media consistenza che danno valori medi di resistenza alla punta pari a 1.57 MPa.

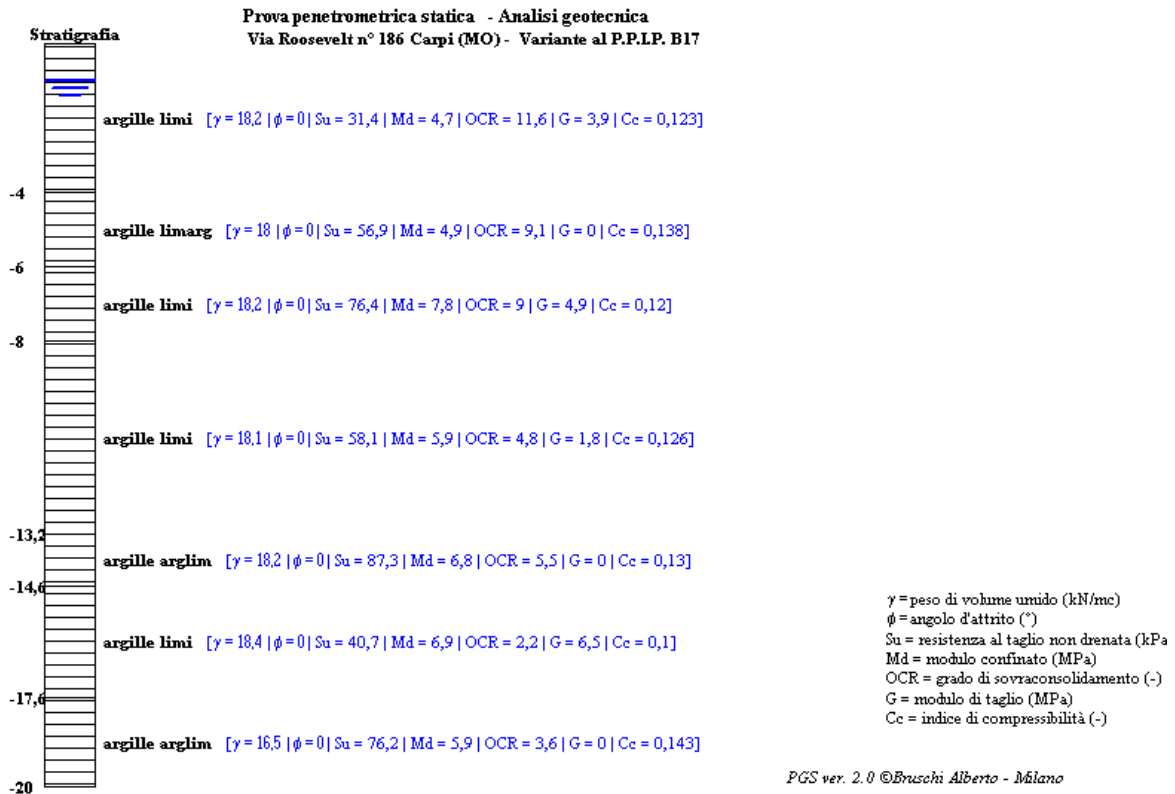
In profondità, da - 17.60 m a - 20.00 m si denota un aumento dei valori di resistenza alla punta mentre dal punto di vista litologico incontriamo delle argille e argille limose a buona consistenza che danno valori medi di resistenza alla punta pari a 2.05 MPa.

**- CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA -**

da m.	a m.	Qc	g	ld	f	Su	M	OCR	Go	Vs	Cc	Litotipo
0,4	4,0	1	18,2			31,4	4,7	11,6	3,9	132	0,123	argille limi
4,0	6,0	1,48	18			56,9	4,9	9,1	0	169,4	0,138	argille limarg
6,0	8,0	2,31	18,2			76,4	7,8	9	4,9	223,3	0,12	argille limi
8,0	13,2	1,74	18,1			58,1	5,9	4,8	1,8	187,4	0,126	argille limi
13,2	14,6	2,4	18,2			87,3	6,8	5,5	0	229,1	0,13	argille arglim
14,6	17,6	1,57	18,4			40,7	6,9	2,2	6,5	176,1	0,1	argille limi
17,6	20,0	2,05	16,5			76,2	5,9	3,6	0	201	0,143	argille arglim

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

## - Litologia CPT 2 -



## PROVA CPT N 3

Nella prova n. 3 è stato individuato un primo strato da 0.40 m a 4.00 m caratterizzato litologicamente da un'alternanza tra dei limi limi argillosi e argille a media consistenza e con medie caratteristiche geotecniche, con valori medi di  $R_p$ , resistenza alla punta in termini statici, pari a 1.07 MPa.

Andando in profondità, da - 4.00 m a - 6.40 m si assiste ad un lieve aumento dei valori di resistenza alla punta mentre dal punto di vista litologico abbiamo delle argille e argille limose con dei livelli decimetrici di limi e limi argillosi a buona consistenza che danno valori medi di resistenza alla punta pari a 1.46 MPa.

Subito sotto, da - 6.40 m a - 20.00 m abbiamo un lieve aumento dei valori di resistenza alla punta mentre dal punto di vista litologico incontriamo delle argille e argille limose con intercalati dei livelli decimetrici di limi e limi argillosi a buona consistenza che danno valori medi di resistenza alla punta pari a 1.89 MPa.

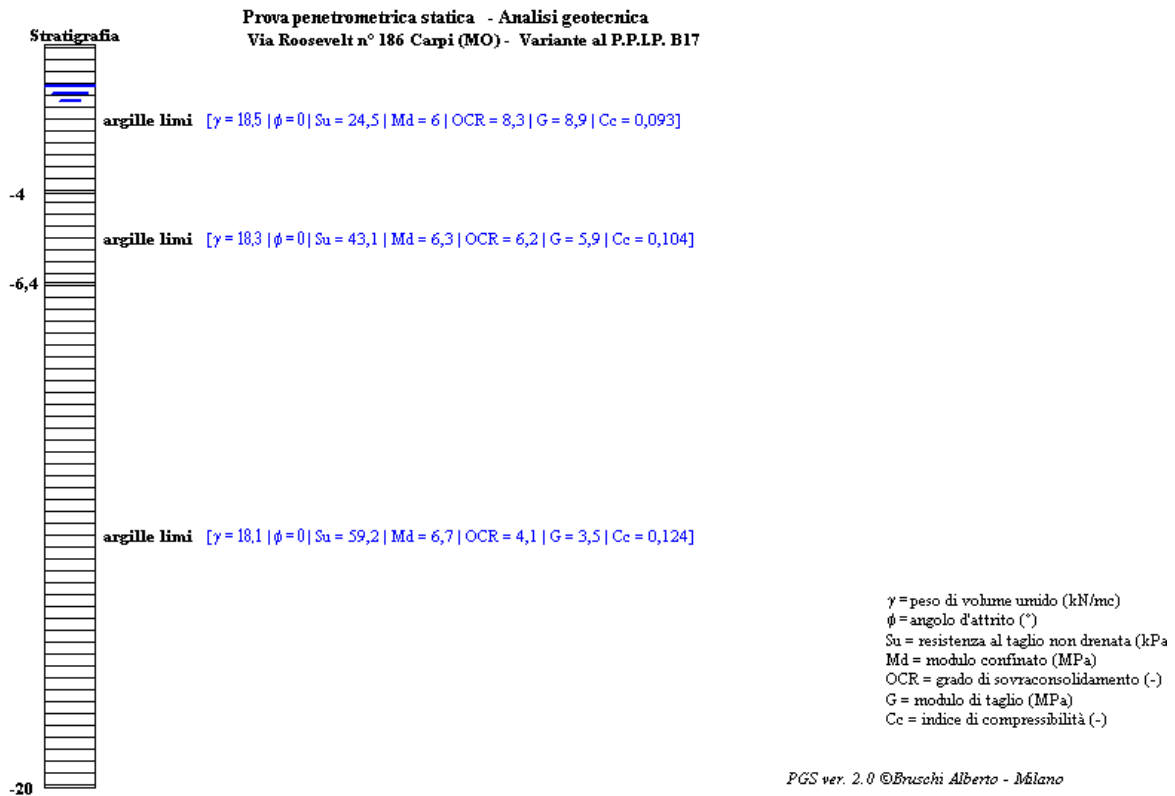


**- CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA -**

da m.	a m.	Qc	g	ld	f	Su	M	OCR	Go	Vs	Cc	Litotipo
0,4	4,0	1,07	18,5			24,5	6	8,3	8,9	138	0,093	argille limi
4,0	6,4	1,46	18,3			43,1	6,3	6,2	5,9	168	0,104	argille limi
6,4	20	1,89	18,1			59,2	6,7	4,1	3,5	197,4	0,124	argille limi

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

**- Litologia CPT 3 -**



Si è proceduto inoltre ad eseguire un'elaborazione di ogni singola prova per ogni 20 cm di sondaggio ottenendo i principali parametri geotecnici come indicato in Allegato n. 7.

## **6.2 - Indagine geofisica MASW.**

Lo scopo di un'indagine sismica di tipo MASW appositamente eseguita, nel sito d'intervento, consente la determinazione diretta della velocità delle onde trasversali (Onde di taglio - onde Sh/Sv) dei terreni del sottosuolo in esame e da queste si ottiene 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, 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	1,5 m
➤ Lunghezza stendimento geofonico	34,5 m

- **Distanza punto di shot da ultimo geofono**     **5 m**
- **Lunghezza complessiva**                             **39,5 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 R. costituisce un particolare tipo d'onda sismica ed è facilmente individuabile in quanto ha una velocità differente dai treni d'onda delle onde P ed S risultando più lenta anche di queste ultime, con una velocità di propagazione  $V_R \approx 0,9 \div 0,96 V_s$  (da V. Socco Lab. Geofisica Appl. Dip. Ing Territorio Politecnico di TORINO)

L'onda di Rayleigh si trasmette infatti sulla superficie libera di un mezzo isotropo e omogeneo ed è il risultato dell'interferenza e della combinazione d'onde sismiche di pressione (P-waves) e onde di taglio polarizzate verticalmente (Sv-waves).

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

Il profilo di  $V_s$  viene determinato attraverso la soluzione di un problema matematico di inversione della curva di dispersione ( $V_R$  in funzione della frequenza).

In un mezzo reale stratificato avviene una dispersione delle onde prodotte; in altre parole, una deformazione del treno d'onda, dovuto alla variazione della velocità di propagazione, con la frequenza, che varia in relazione alle caratteristiche di "rigidezza" di ogni singolo strato.

### Caratteristiche attrezzatura

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.

#### **Metodologia d'indagine**

La prova consiste nel produrre sulla superficie del terreno, in corrispondenza del sito da investigare, una sollecitazione, e nel registrare le vibrazioni prodotte, sempre in corrispondenza della superficie, a distanze note e prefissate (Figura 1).

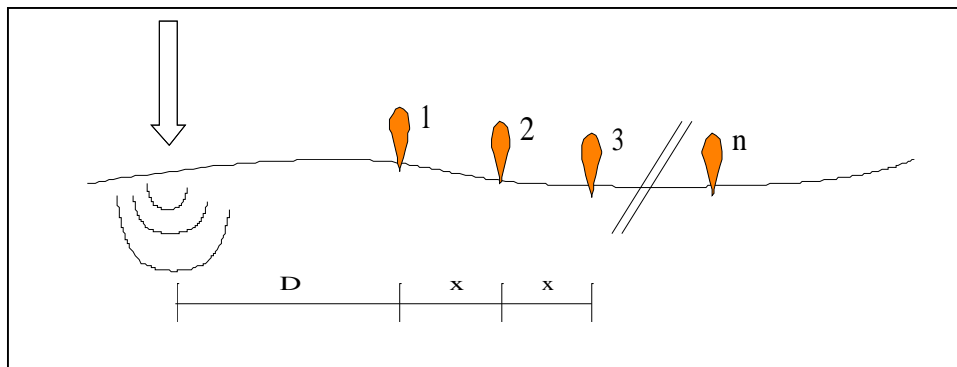


Figura 1 - Schema acquisizione multicanale.

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

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

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

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

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

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

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

A tale scopo Park et Alii (1999) hanno sviluppato il metodo MASW, per sopperire in parte alle difficoltà di applicazione della tecnica Sasw in alcune situazioni.

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

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

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

Si può così costruire un grafico ampiezza/frequenza, che consente di individuare il segnale proprio, relativo alle onde superficiali che interessano tale metodologia.

Successivamente eseguendo una particolare "analisi spettrale" si produce un grafico "Velocità di fase/frequenza" da cui è possibile distinguere ed estrarre la curva di dispersione (teorica e di calcolo) ed il profilo iniziale delle  $V_s$ , sottoposti ad inversione 1-D, consentendo quindi di minimizzare le imprecisioni (risultati random) ed elevando l'attendibilità del risultato finale.

I dati della prospezione Masw, con riferimento ai principali grafici di riferimento, sopra descritti, ed in particolare alla stratificazione della velocità sismica Vs con la profondità, sono contenuti nella allegata scheda: Prospezione Sismica di Superficie –Metodologia MASW Allegato n. 9.

Nella scheda sono riportati:

- Spettro - Frequenza (Hz) / Numero d'onda (rad/m)
- Curva di dispersione e curva teorica - Frequenza (Hz) / Velocità di Fase (m/s)
- Modello della velocità – Velocità (m/s) / Profondità (m)

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto (come previsto nelle Norme Tecniche per le Costruzioni D.M. 14/01/2008) 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 Vs.

Da tale analisi (vedi Metodo Masw sopra indicata) si sono ottenuti i relativi valori di velocità delle onde Vs, per i vari strati individuati, di seguito riassunti:

<b>1° strato: velocità media onde Vs 99 m/sec</b>	spessore 1,09 m
<b>2° strato: velocità media onde Vs 138 m/sec</b>	spessore 1,47 m
<b>3° strato: velocità media onde Vs 153 m/sec</b>	spessore 1,20 m
<b>4° strato: velocità media onde Vs 186 m/sec</b>	spessore 4,05 m
<b>5° strato: velocità media onde Vs 201 m/sec</b>	spessore 2,07 m
<b>6° strato: velocità media onde Vs 223 m/sec</b>	spessore 5,42 m
<b>7° strato: velocità media onde Vs 255 m/sec</b>	spessore 7,10 m
<b>8° strato: velocità media onde Vs 321 m/sec</b>	spessore 7,60 m

In base a quanto sopra, la classificazione delle categorie dei suoli di fondazione, come da All. 2 (cfr. Norme Tecniche per le Costruzioni D.M. 14/01/2008), ai vari strati sismostratigrafici individuati, è stato associato il valore della velocità Vs direttamente misurate, consentendo di ottenere la Vs30, cioè la velocità media di propagazione delle onde di taglio nei primi 30 m di sottosuolo, dall'espressione:

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

dove

hi = spessore dello strato i-esimo

V<sub>si</sub> = velocità onde S nello stato i-esimo

N = numero strati considerati

Dove  $h_i$  e  $v_i$  indicano lo spessore in metri e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio  $\gamma < 10^{-6}$ ) dello strato  $i$ -esimo, per un totale di  $N$  strati presenti nei 30 metri superiori.

Ottenendo in base ai dati sopra esposti i seguenti risultati in ragione di edifici con (- 3,80 m da p.d.c.) e senza interrati (- 1,20 m da p.d.c.):

$V_{s30} = 232 \text{ m/sec}$ se calcolata tra -1,20 e - 31,20
---

$V_{s30} = 251 \text{ m/sec}$ se calcolata tra -3,80 e - 33,80
---

***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. 14/01/2008) a cui si farà sempre riferimento nel 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 spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di <math>V_{s30}</math> compresi tra 180 e 360 m/s (<math>15 &lt; N_{SPT} &lt; 50</math> nei terreni a grana grossa e <math>c_u &lt; 70</math> kPa nei terreni a grana fina).</i>
---	---

## **7. VALUTAZIONE DELLA FREQUENZA FONDAMENTALE DI VIBRAZIONE DEI TERRENI MEDIANTE IL METODO DELLA SISMICA PASSIVA**

**- Indagine geofisica di tipo passivo a stazione singola HVSR (Tromino®) introduzione e basi teoriche.**

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

Al fine di determinare le eventuali frequenze fondamentali di vibrazione dei terreni costituenti il sottosuolo dell'area in esame è stata eseguita, in data 17/06/2013, una registrazione di microtremori mediante tromografo digitale nella posizione riportata in fig. 2.

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.

Il rumore, convenzionalmente suddiviso in microsisma (frequenze < 1Hz, sorgenti naturali lontane) e microtremore (frequenze > 1Hz, sorgenti antropiche locali) è costituito sia da onde di volume (onde P e onde S) sia da onde superficiali in proporzione variabile.

Il microsisma è prevalentemente costituito da onde di Rayleigh mentre il microtremore oltre alle onde di volume contiene sia onde di Love sia onde di Rayleigh.

I metodi che si basano sull'acquisizione del rumore sismico si dicono passivi in quanto il rumore non è generato ad hoc, come ad esempio nella sismica attiva.



Nel tragitto dalla sorgente “s” al sito “x” le onde elastiche (sia di terremoto che di microtremore) subiscono riflessioni, rifrazioni, intrappolamento per fenomeni di guida d’onda, attenuazioni che dipendono dalla natura del sottosuolo attraversato.

Questo significa che se da un lato l’informazione relativa alla sorgente viene persa e non sono più applicabili le tecniche della sismica classica di “ray tracing”, è presente comunque una parte debolmente correlata nel segnale che può essere estratta e che contiene le informazioni relative al percorso del segnale ed in particolare relative alla struttura locale vicino al sensore.

Questa informazione è però “sepolta” all’interno del rumore casuale e può essere estratta attraverso tecniche opportune.

La tecnica maggiormente sfruttata per lo studio dei microtremori è quella dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale e conosciuta come HVSr (Horizontal to Vertical Spectral Ratio).

Praticamente si tratta di installare solidalmente il Tromino al suolo (nel caso di misure per la frequenza del sottosuolo) o di appoggiarlo, eventualmente mediante l’uso di piedini regolabili (nel caso di misure di frequenza su strutture con pavimentazioni non perfettamente orizzontali) e di misurare il tremore sismico, con durata di registrazione adeguata alla frequenza minima di interesse per il sito e/o la tipologia d’indagine in analisi.

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

Pertanto per poter “osservare” e registrare con Tromino® queste frequenze, si tratta di mantenere in acquisizione lo strumento per una durata minima teorica di almeno 2 sec.

Poiché poi il metodo si basa su tecniche di risoluzione spettrale elevata, il segnale viene acquisito su finestre temporali di almeno 10 volte più lunghe.

E’ opportuna, ed indispensabile, anche una ridondanza statistica (30-40 ripetizioni), che consente di mediare opportunamente le registrazioni, per evitare di interpretare rumori “locali” random.

In sintesi, per ottenere un’acquisizione di rumore sismico (microtremore) a scopi stratigrafici anche profondi, si devono quindi analizzare dati con durata di acquisizione minime di 15 minuti per il terreno.

Tale strumento è in grado di acquisire il rumore sismico, presente ovunque sulla superficie terrestre, e che risulta generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall’attività antropica oltre che, ovviamente, dall’attività dinamica terrestre.

In 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>Connessioni:</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 liscio  $f$ , e calcola il rapporto spettrale HVSR ad ogni frequenza, per ciascuna finestra.

La funzione HVSR finale è data dalla 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.

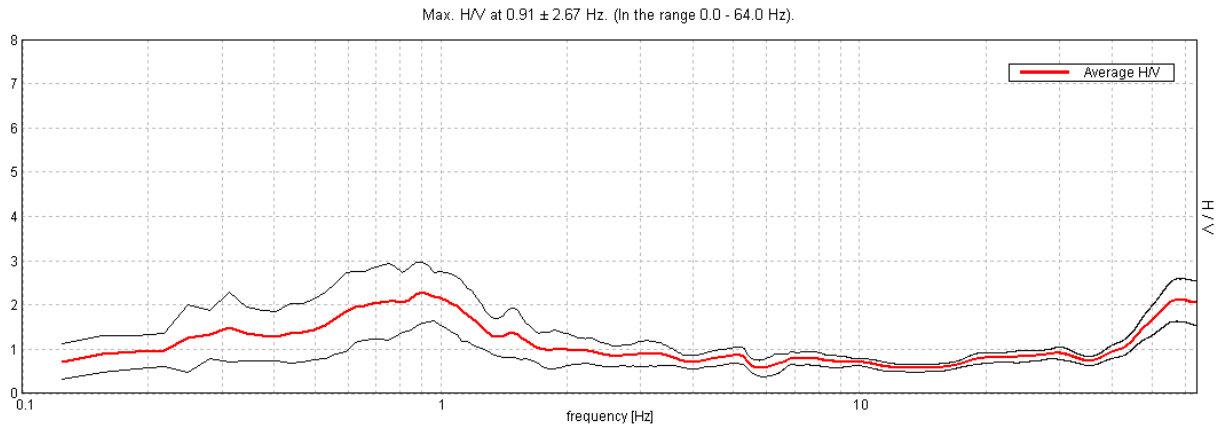
Tutti i grafici presentati in questo lavoro sono stati ottenuti con liscio secondo finestre triangolari con ampiezza pari al 10% della frequenza centrale.

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



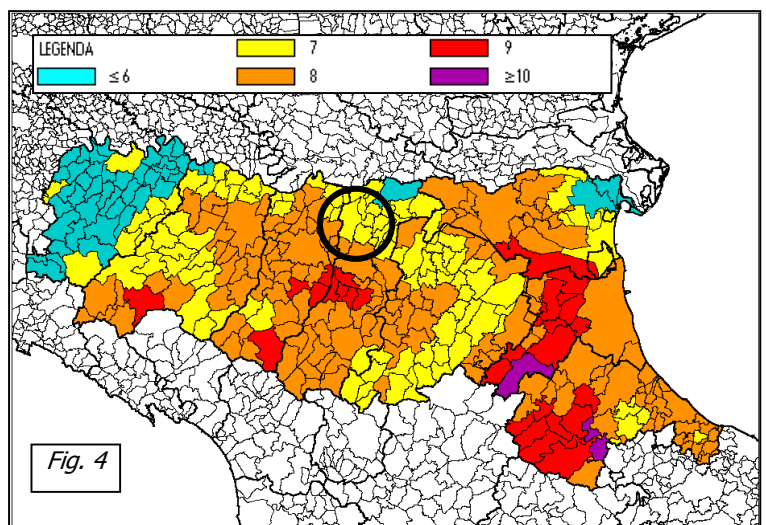
L'elaborazione ha permesso l'individuazione di un **picco principale di risonanza collocato alla frequenza di 0.91 Hz** che risulta essere associabile a un contrasto di impedenza sismica presente a profondità superiore a 100 m in corrispondenza di una discontinuità stratigrafica, che secondo le ultime analisi effettuate dalla R.E.R. potrebbe coincidere con la base del sistema AES6.

Procedendo verso le frequenze più alte il rapporto H/V si mantiene quasi costantemente pari a 1, ad eccezione del tratto tra 3 e 10 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 11 viene riportata la scheda della registrazione.

## **8. 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. 4 viene riportato un estratto con la



situazione della regione Emilia-Romagna.

Da tale figura si desume che il territorio Comunale di Novi 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	Me	Gi	AE	Np	Imx	Io	T	Lat	Lon	T	Ma	Daw	Mas	Das	Msp	Dsp	T	Ncft	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 settent.	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 SUD			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	2220
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	2230
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	2243
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	2245
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	2263
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	2389
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	2455
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	2456
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 di 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

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

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

NT4.1.1

Ncpt = Numero d'ordine dei record nel catalogo CPTI99

Maw = Magnitudo momento

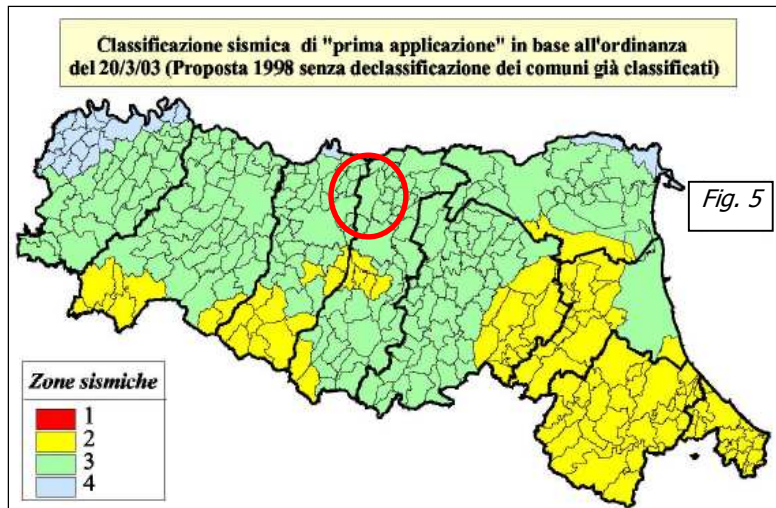
Mas = Magnitudo calcolata sulle onde di superficie

TZ = Codice di assegnazione alla zona sorgente

Nnt = Numero d'ordine dei record nel catalogo

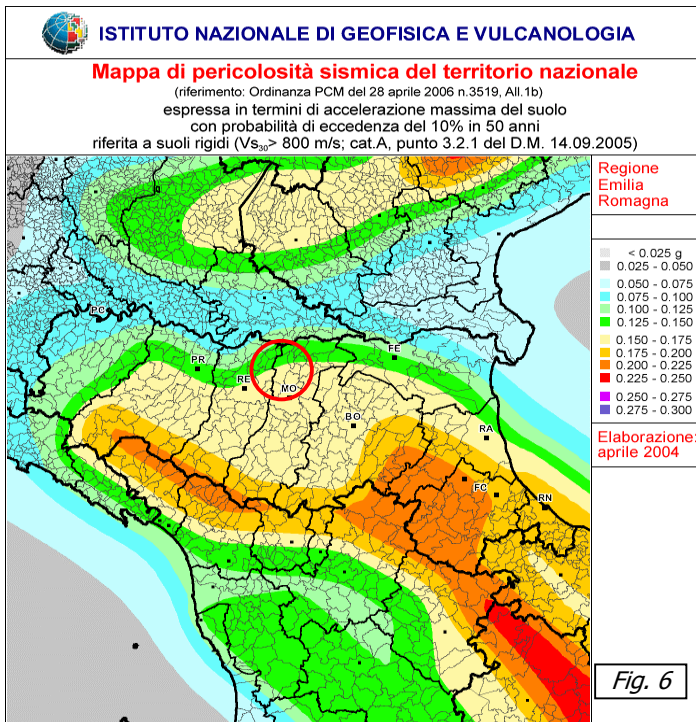
Nell'alta pianura modenese, come si può vedere nel tabulato, si sono verificati sismi anche di considerevole intensità (IX° della scala Mercalli – Cancani - Sieberg) collegati alla attività tettonica delle strutture del margine appenninico e delle faglie dell'alta pianura.

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 5).

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, di cui si riporta in figura 6 un estratto 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.

## **9. ANALISI SISMICA DI TERZO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO** **– STUDIO DI RISPOSTA SISMICA LOCALE.**

### **9.1 – Valutazione delle velocità delle onde di taglio.**

Al fine di determinare le caratteristiche geofisiche dei terreni costituenti sottosuolo dell'area in esame, è stata condotta, dalla Ditta Tecnogeofisica snc di Carpi, un'indagine diretta in sito di tipo sismico a rifrazione con determinazione sperimentale mediante inversione (Metodo MASW) del valore di  $V_{S30}$ .

I risultati dell'indagine sismica hanno evidenziato la presenza di depositi caratterizzati complessivamente da aumento graduale delle velocità delle onde S passando dalla superficie alla profondità di 30 m dal p.d.c. con valori variabili da 99 m/sec a 321 m/sec.

L'indagine sismica non ha raggiunto comunque il substrato rigido di riferimento (la normativa vigente infatti considera *bedrock sismico* il substrato caratterizzato da velocità delle onde S maggiori o uguali a 800 m/sec.).

Da tale indagine geofisica, ai sensi del DM 14/01/2008 (GU n. 29 del 04/02/2008, Suppl. Ordinario n. 30), punto 3.2.2. "Categoria di sottosuolo", il valore stimato della velocità media delle onde sismiche di taglio nei primi 30 metri ( $V_{S30}$ ) può essere considerato pari a 218 m/s a partire dal piano campagna; si può quindi considerare una categoria del suolo di fondazione di tipo C: "*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{S30}$  compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero con valori di  $15 < NSPT, 30 < 50$  nei terreni a grana grossa e  $70 < Cu, 30 < 250$  kPa nei terreni a grana fina*".

### **9.2 – Modello geologico del sito.**

Dalle elaborazioni delle indagini geognostiche e geofisiche realizzate è stato possibile ricostruire il seguente modello geologico per l'area in esame.

Come precedentemente affermato le indagini sismiche effettuate non hanno raggiunto il substrato rigido di riferimento o *Bedrock sismico* (che secondo la normativa vigente (D.M. 14/01/2008) è caratterizzato da velocità delle onde S maggiori o uguali a 800 m/sec). individuando alla profondità di circa 30 m terreni con velocità sismiche pari a 321 m/s.

Le indagini tomografiche hanno evidenziato la presenza di un contrasto di impedenza ad una profondità superiore ai 100 metri dal p.d.c. corrispondente probabilmente al passaggio con una litologia a velocità maggiori.



Il profilo di Vs è stato pertanto estrapolato in profondità fino a valori di Vs = 800 m/s (vedi figura 7), come previsto dalla normativa vigente, mantenendo lo stesso gradiente d'inclinazione dell'ultimo tratto della curva sperimentale ottenuta dall'indagine geofisica eseguita sull'area in esame.

L'extrapolazione dei valori di Vs in profondità ha permesso così di collocare il Bedrock sismico convenzionale alla profondità di circa 115 m dal p.d.c. secondo lo schema riportato in Tabella 1.

Si riportano inoltre, nella tabella sottostante, i valori di Vs presi come riferimento per le analisi di Risposta Sismica Locale eseguite per il sito in esame e riportate nei paragrafi successivi con le relative litologie, come rilevato dall'analisi dei risultati delle indagini penetrometriche e geofisiche realizzate e da stratigrafie di pozzi ubicati nelle immediate vicinanze dell'area in esame.

PROFILO Vs					
Strato	Litologia	Quota da p.d.c.	Spessore (h)	Vs	
1	A	1.09	1.09	99	MASW
2	A	2.56	1.47	138	
3	A	3.76	1.2	153	
4	A	7.81	4.05	186	
5	A	9.88	2.07	201	
6	A	15.3	5.42	223	Estrapolazione
7	A	22.4	7.1	255	
8	A	30	7.6	321	
9	S	32	2	340	
10	A	62	30	430	
11	S	92	30	590	
12	A	115	23	760	
Substrato sismico				800	

A = argille
S = sabbie
G = ghiaie

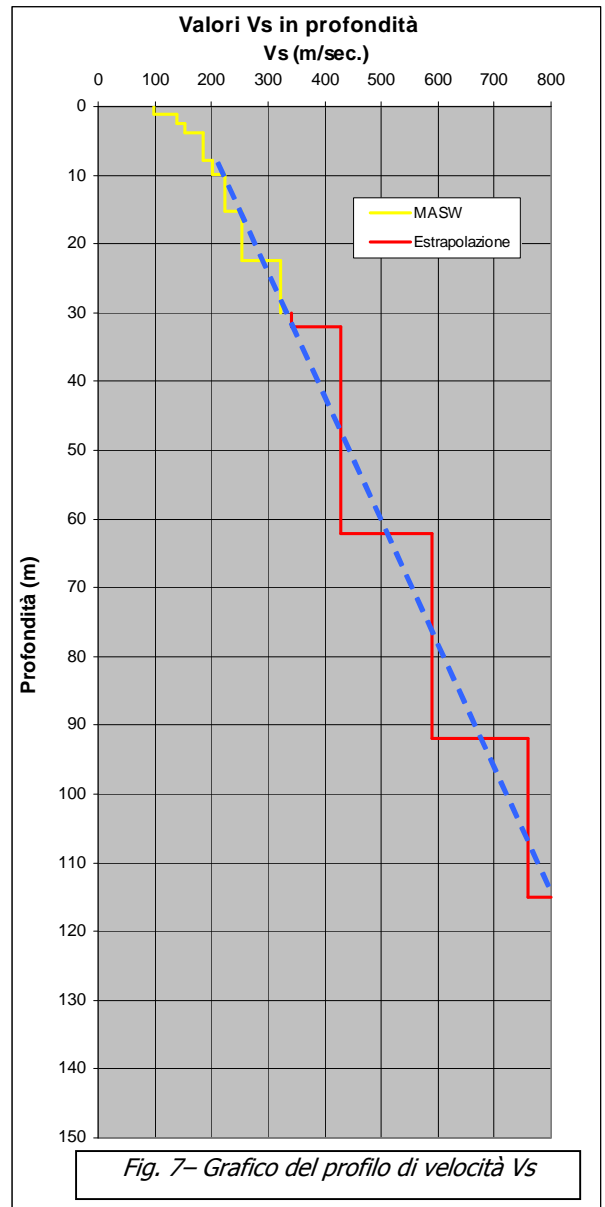


Fig. 7- Grafico del profilo di velocità Vs

Tabella 1 - dati di input per studio di RSL

### 9.3 – Dati di Input sismico.

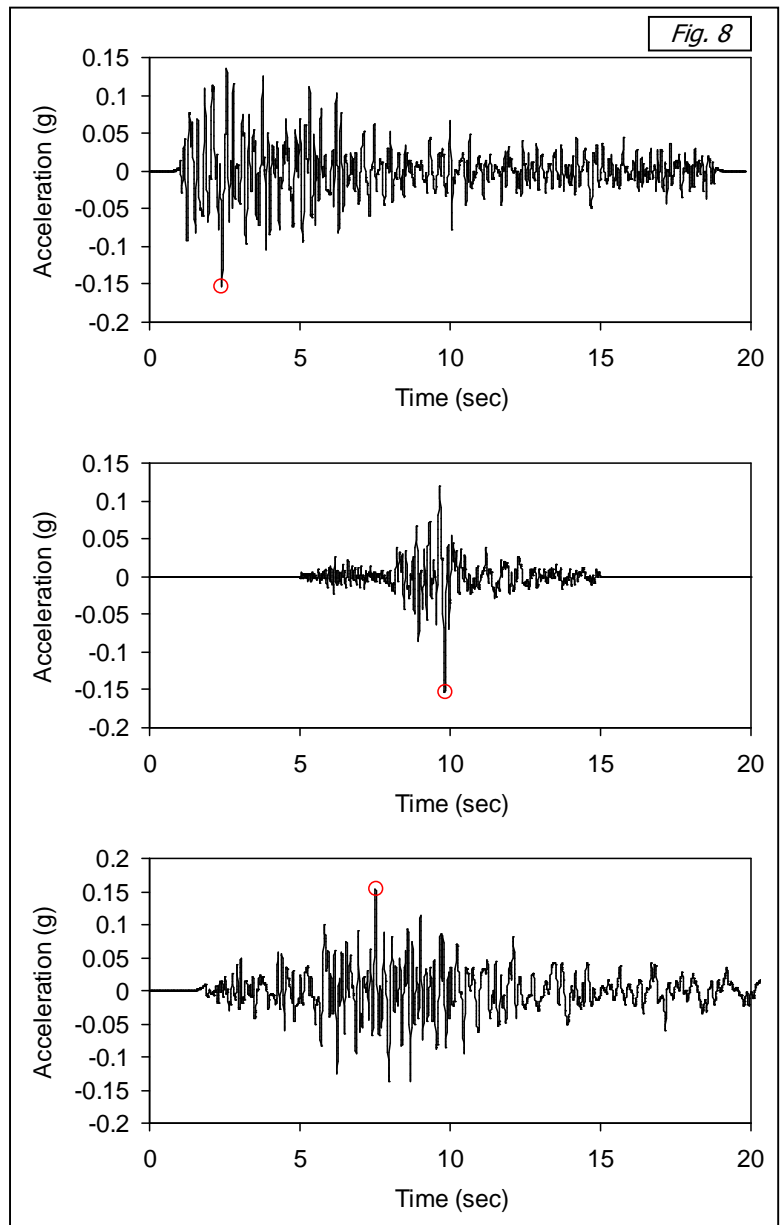
Tra i diversi programmi di calcolo per eseguire modellazioni numeriche ai fini della valutazione della risposta sismica locale, si è utilizzato il programma EERA (Equivalent-linear Earthquake site Response Analysis of Layered Soil Deposits), basato sul codice SHAKE 91 per quanto concerne le soluzioni 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 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.

Il calcolo è stato eseguito inserendo come segnale di input n° 3 terremoti (figura 8) forniti dalla Regione Emilia-Romagna per il Comune di Carpi Modena

(MO) (Allegato 4 della Delibera dell'Assemblea legislativa della R.E.R. N°112 del 2 maggio 2007), e due terremoti spetrocompatibili (figure 18, 19) con lo spettro di risposta normalizzato ( $T_r = 475$  anni) per l'Emilia Romagna definito nell'Allegato 4 della Delibera dell'Assemblea legislativa della R.E.R. N°112 del 2 maggio 2007, provvedendo al taglio delle frequenze superiori ai 25 Hz, 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 ( $a_{refg}$  - 10% di probabilità di superamento in 50 anni) pari a **0.153 g**.



L'analisi è stata effettuata inoltre a partire da curve di variazione del modulo di rigidità a taglio  $G$  e del fattore di smorzamento  $D$  (damping ratio) in funzione della deformazione per le diverse tipologie di materiali tratte da "Gruppo di lavoro MS, 2008 - Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica - Conferenza delle Regioni e delle Province autonome - Dipartimento della protezione civile, Roma, 3 vol. e Dvd" e riportate nelle figure seguenti.

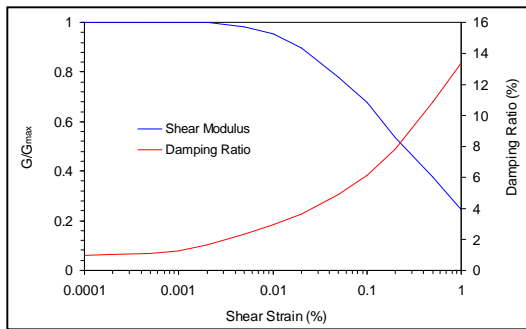


Fig. 9 – Variazione di  $G$  e  $D$  - Argilla - (Vucetic - P.I. 50)

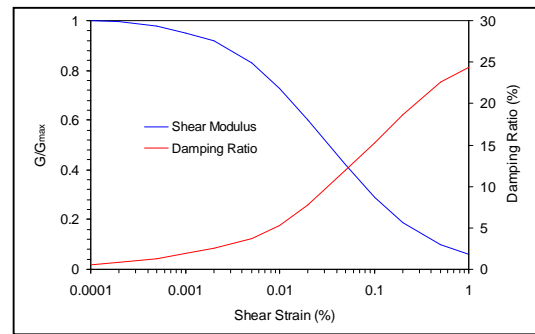


Fig. 10 – Variazione di  $G$  e  $D$  Sabbie. (Seed & Idris - Media)

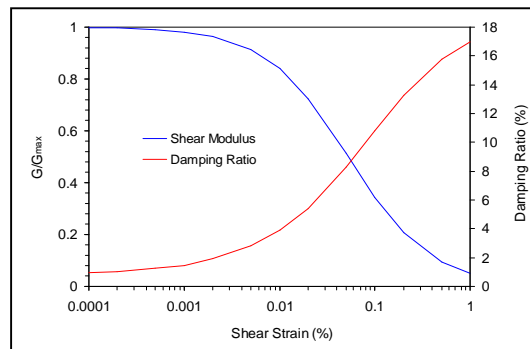
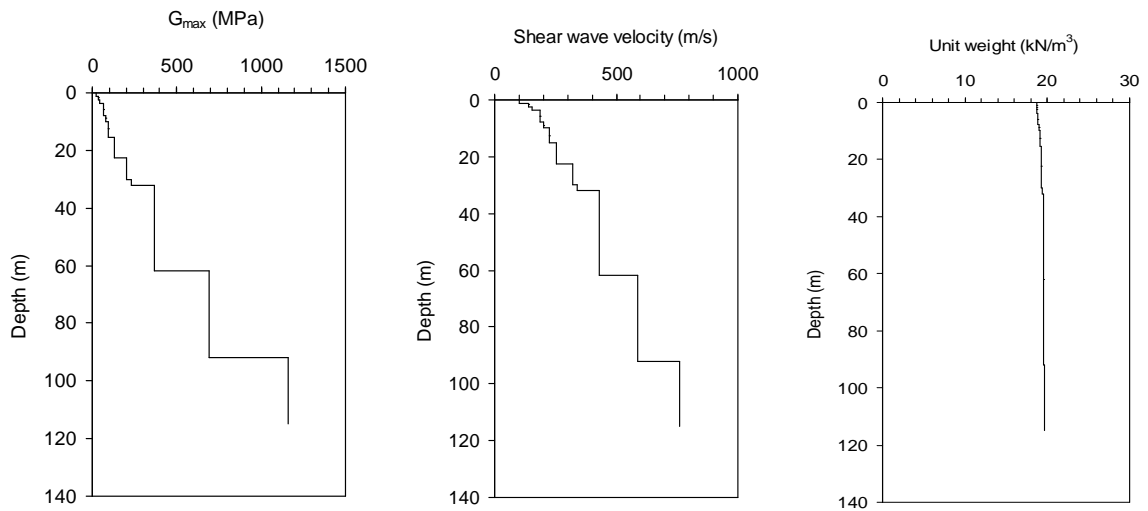


Fig. 11 – Variazione di  $G$  e  $D$  Ghiaie (Rollins et alii (1998)).

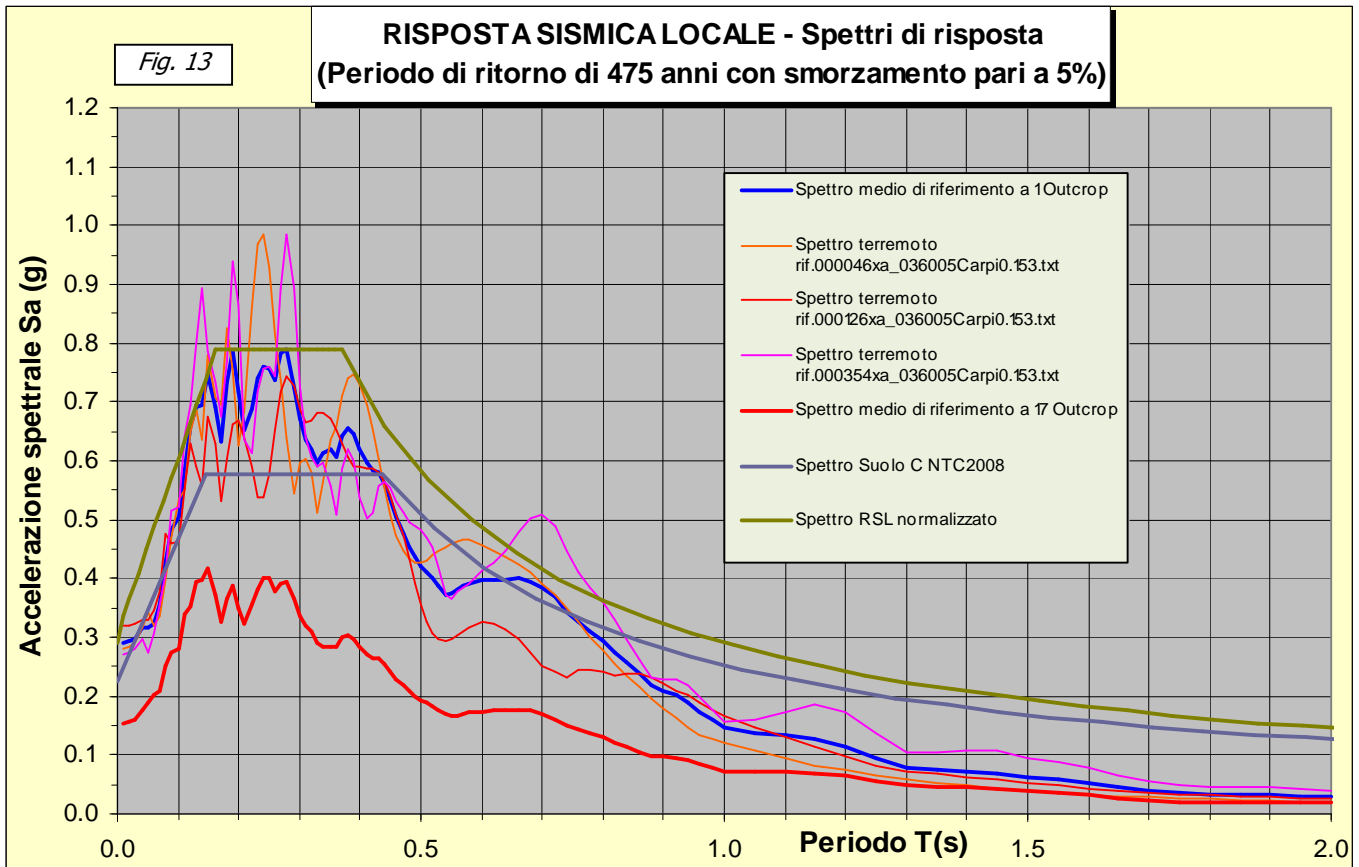
## **10. RISPOSTA SISMICA LOCALE AL PIANO DI FONDAZIONE.**

Per il calcolo di Risposta sismica locale al p.d.c. attuale si è inserito il profilo del terreno sino alla profondità di 115 m, che corrisponde al Bedrock sismico considerato come individuato dalle indagini sismiche e descritto nei paragrafi precedenti, secondo lo schema riportato in seguito (fig. 23), considerando come quota iniziale quella di posa delle fondazioni collocate a circa 3.5 m dal piano stradale.

<i>Fig. 12</i>	Layer Number	Soil Material Type	Number of sublayers in layer	Thickness of layer (m)	Maximum shear modulus $G_{max}$ (MPa)	Initial critical damping ratio (%)	Total unit weight ( $kN/m^3$ )	Shear wave velocity (m/sec)	Location and type of earthquake input motion	Location of water table
Surface	1	1	1	1.1	18.63		18.65	99		W
	2	1	2	1.5	36.30		18.70	138		
	3	1	1	1.2	44.74		18.75	153		
	4	1	2	4.1	66.30		18.80	186		
	5	1	2	2.1	78.25		19.00	201		
	6	1	2	5.4	96.82		19.10	223		
	7	1	1	7.1	127.27		19.20	255		
	8	1	1	7.6	202.72		19.30	321		
	9	2	1	2.0	228.61		19.40	340		
	10	1	1	30.0	367.54		19.50	430		
	11	1	1	30.0	695.49		19.60	590		
	12	1	1	23.0	1159.91		19.70	760		
Bedrock	13	0			1291.74	1	19.80	800	Outcrop	

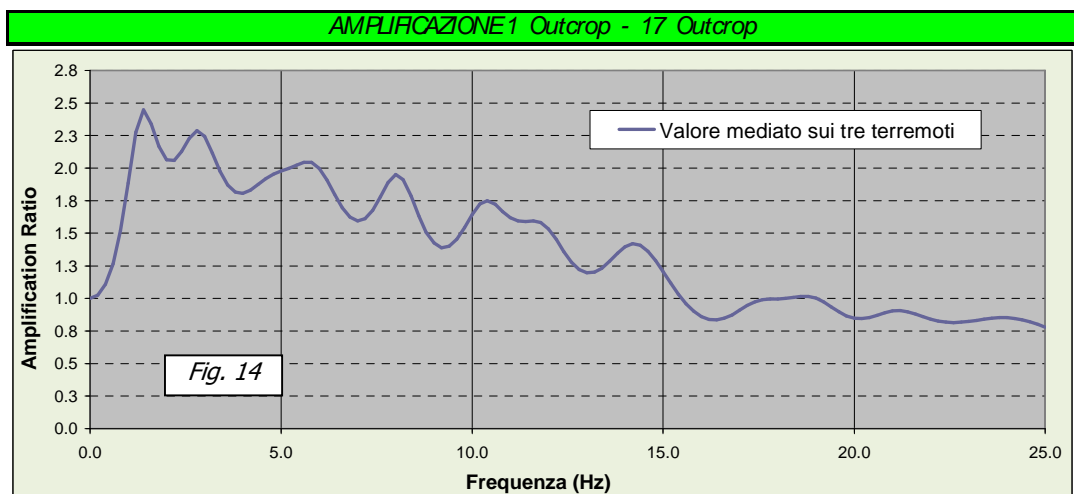


L'elaborazione, svolta sui cinque terremoti di riferimento, ha fornito i risultati, in termini di spettro di risposta elastico in accelerazione massima orizzontale in superficie, per un valore di smorzamento critico pari al 5%, presentati graficamente in figura 13 e riportati in Allegato 10.

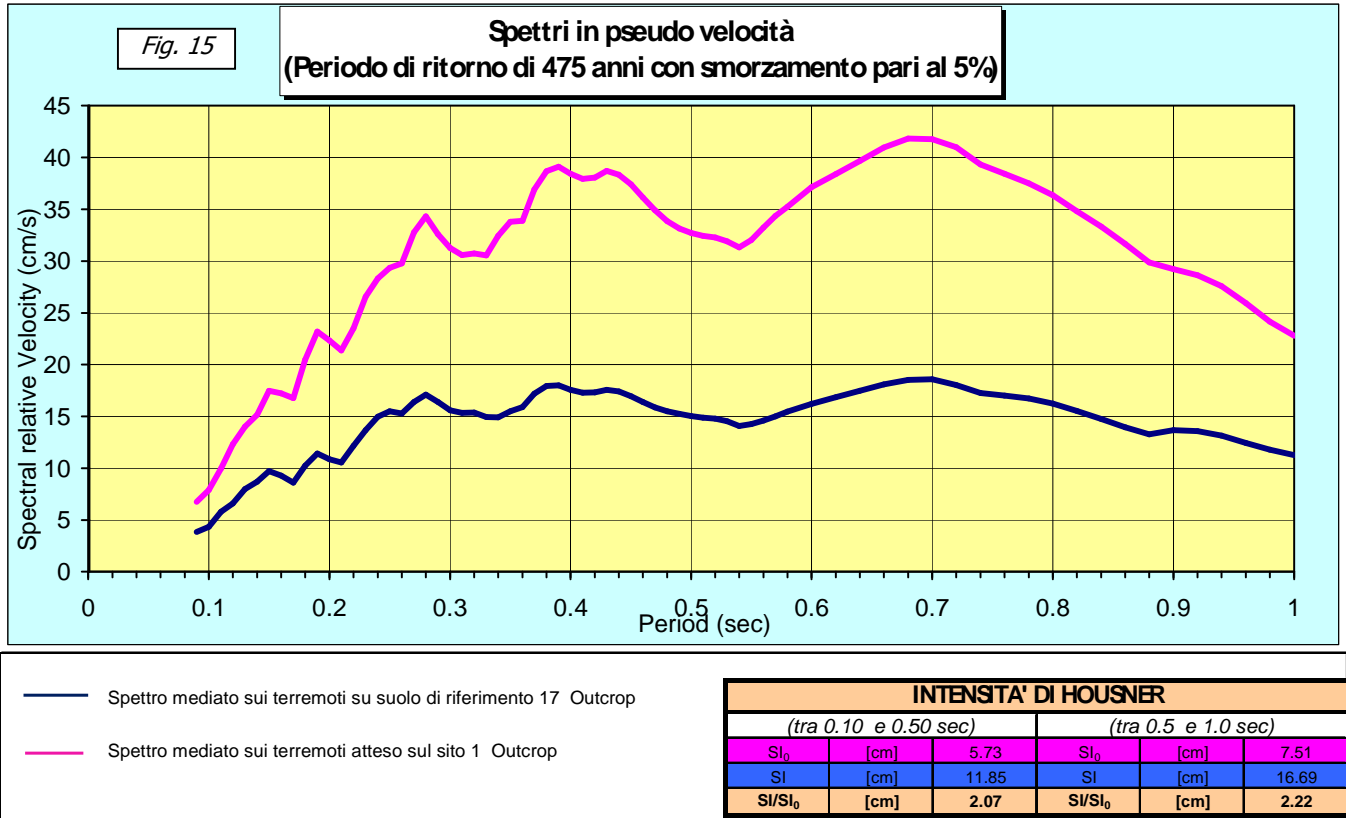


Il valore medio della PGA in superficie è risultato pari a **0.290 g**, con un fattore di amplificazione ( $PGA/PGA_0$ ) pari a **1.90**.

La figura 14 riporta invece la funzione di amplificazione locale ed identificabile come il rapporto tra l'ampiezza degli spettri di Fourier al sito e l'ampiezza in corrispondenza della formazione rocciosa affiorante (suolo di tipo A) utilizzando un valore di smorzamento critico pari al 5%.



L'analisi ha inoltre permesso di ricavare gli spettri in pseudo-velocità calcolati per ogni terremoto utilizzato sia al suolo di riferimento che alla superficie del sito esaminato (fig. 15).



Il fattore di amplificazione in termini di rapporto ( $SI/SI_0$ ) di Intensità di Housner negli intervalli di frequenza 0.1 - 0.5 sec e 0.5 - 1.0 sec., risultano pari rispettivamente a 2.07 e 2.22 come visibile in figura 15.

### 10.1 – 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 **0,290 g** con un **fattore di amplificazione (PGA/PGA<sub>0</sub>)** pari a **1.90**.

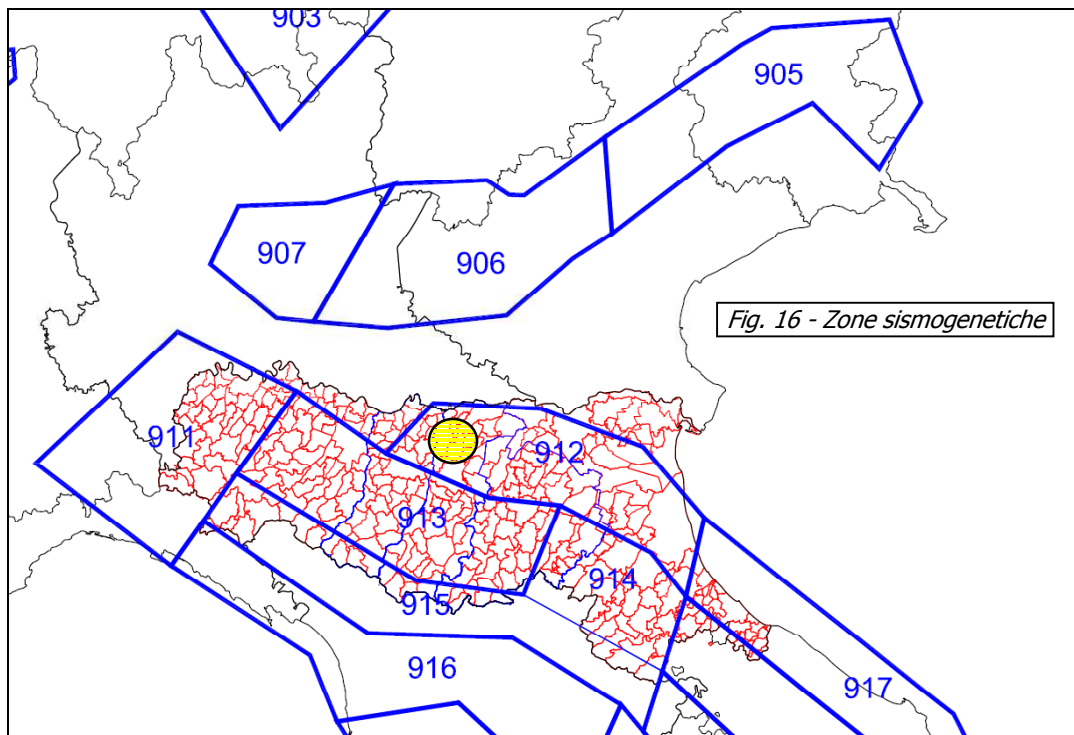
Per quel che concerne il rapporto ( $SI/SI_0$ ) di Intensità di Housner negli intervalli di frequenza **0.1 - 0.5 sec.** e **0.5 - 1.0 sec.**, i fattori di amplificazione risultano essere rispettivamente pari a **2.07** e **2.22**.

## **11. VERIFICA DELLA SUSCETTIBILITA' ALLA LIQUEFAZIONE E CEDIMENTI SISMICI E POST-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. 16).

Il Catalogo parametrico dei terremoti italiani Edizione 2004 denominato CPTI04 registra valori massimi di magnitudo momento  $M_w$  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 **6.20**.

### **11.2 – Liquefazione.**

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

Sostanzialmente si evidenzia una alternanza irregolare di limi, limi-argillosi e limi-sabbiosi sino alla profondità di circa 20 m.

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.

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

La falda è stata considerata alla profondità di 1.00 m dal p.d.c. come direttamente verificato nei fori dei sondaggi penetrometrici eseguiti.

**Per quanto concerne la magnitudo, come riportato nel capitolo precedente, si è fatto riferimento ad un valore massimo pari a 6.20.**

Per quel che concerne invece l'**accelerazione massima attesa in superficie** nell'area in esame, secondo quanto stabilito dalle NTC 2008 e dalla Circolare n°17 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 2 febbraio 2009, ha portato ad un valore pari a **0.290 g**.

Il coefficiente di sicurezza  $F_L$  è stato calcolato a partire dalla seguente formula:

$$F_L = \frac{CRR}{CSR} MSF$$

Il rapporto di tensione ciclica CSR, ad una determinata profondità, può essere valutato attraverso l'espressione di Seed e Idriss, 1971 riportata di seguito:

$$CSR = 0.65 \frac{a_{\max}}{g} \frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} R_d$$

Dove:

$a_{\max}$  : accelerazione di picco al piano campagna del terremoto di progetto;

$g$  : accelerazione di gravità;

$\sigma_{v0}$  : tensione totale verticale alla profondità considerata;

$\sigma'_{v0}$  : tensione efficace verticale alla profondità considerata;

$R_d$  : coefficiente riduttivo dell'azione sismica per valutare la deformabilità del sottosuolo;

Il coefficiente riduttivo dell'azione sismica  $R_d$  si può ricavare, per profondità del piano campagna inferiori a 20 m, mediante la seguente espressione (Idriss e Boulanger, 2004):

$$R_d = \exp \left[ \left( -1.012 - 1.126 \sin \left( \frac{z}{11.73} + 5.133 \right) \right) + \left( 0.106 + 0.118 \sin \left( \frac{z}{11.28} + 5.142 \right) \right) M \right]$$

Essendo  $z$  la profondità dal piano campagna espressa in metri ed  $M$  la magnitudo di momento dell'evento sismico atteso.

Poiché le procedure semplificate sono state elaborate sulla base di osservazioni sul comportamento dei depositi durante eventi sismici con magnitudo di momento  $M$  pari a 7.5, per eventi di magnitudo diversa occorre ridurre il carico



sismico a quello equivalente di un terremoto di magnitudo 7.5 ( $CSR$ )<sub>M=7.5</sub> attraverso la seguente relazione:

$$CSR_{M=7.5} = \frac{CSR}{MSF}$$

In cui  $MSF$  è un fattore di scala per la magnitudo che si può ricavare dall'espressione riportata di seguito (Idriss e Boulanger, 2004):

$$MSF = 6.9 \exp\left(\frac{-M}{4}\right) - 0.058$$

Per quel che concerne invece la valutazione del rapporto di resistenza ciclica CRR, la resistenza penetrometrica,  $q_c$ , ricavata dalle indagine penetrometriche statiche CPT, deve essere ricondotta ad un valore normalizzato,  $q_{c1N}$ , attraverso la seguente espressione:

$$q_{c1N} = C_Q \frac{q_c}{p_a}$$

Dove  $p_a$  (pressione atmosferica pari a 100kPa) e  $q_c$  espressa nella stessa unità di misura.

Il coefficiente  $C_Q$  (fattore correttivo per tener conto dell'influenza della pressione verticale efficace) può essere ricavato per via iterativa dalla seguente espressione (Boulanger e Idriss, 2004):

$$C_Q = \left(\frac{p_a}{\sigma'_v}\right)^{1.338 - 0.294(q_{c1N})^{0.264}}$$

Tale coefficiente non deve superare il valore di 1.7.

Dal valore di ( $q_{c1N}$ ) è possibile ottenere la resistenza alla liquefazione, per eventi sismici di magnitudo di momento pari a M=7.5, mediante la seguente espressione valida per sabbie pulite (Idriss e Boulanger, 2004).

$$CRR = \exp\left[\frac{q_{c1N}}{540} + \left(\frac{q_{c1N}}{67}\right)^2 - \left(\frac{q_{c1N}}{80}\right)^3 + \left(\frac{q_{c1N}}{114}\right)^4 - 3\right]$$

Per materiali con frazione fine non trascurabile invece, per ottenere la resistenza alla liquefazione CRR è stata utilizzata la seguente equazione (Robertson e Wride, 1997):

$$CRR = 0.883 \left[\frac{(q_{c1N})_{cs}}{1000}\right] + 0.05 \quad \text{se } (q_{c1N})_{cs} < 50$$

$$CRR = 93 \left[\frac{(q_{c1N})_{cs}}{1000}\right]^3 + 0.08 \quad \text{se } (q_{c1N})_{cs} > 50$$

Nelle equazioni sopra riportate appare il valore  $(q_{c1N})_{cs}$ .

Infatti, nel caso di materiali con frazione fine non trascurabile la resistenza penetrometrica normalizzata  $q_{c1N}$  deve essere ricondotta ad un valore per sabbie pulite  $(q_{c1N})_{cs}$  mediante la seguente espressione (Robertson e Wride, 1998):

$$(q_{c1N})_{cs} = K_c * q_{c1N}$$

Il fattore correttivo  $K_c$  è dato da:

$$K_c = 1.0 \quad \text{per } I_c \leq 1.64$$

$$K_c = -17.88 + 33.75I_c - 21.63I_c^2 + 5.581I_c^3 - 0.4031I_c^4 \quad \text{per } I_c > 1.64$$

Il parametro di comportamento del terreno  $I_c$  da inserire nelle equazioni sopra riportate è una funzione della resistenza alla punta  $q_c$  e della resistenza laterale del manicotto  $f_s$  misurate dalle prove penetrometriche CPT.

In particolare:

$$I_c = \left[ (3.47 - \log Q)^2 + (1.22 + \log F)^2 \right]^{0.5}$$

con:

$$Q = \left[ \left( \frac{(q_c - \sigma_{vo})}{P_a} \right) \right] \left[ \left( \frac{P_a}{\sigma'_{v0}} \right)^n \right] \quad \text{resistenza penetrometrica normalizzata}$$

$$F = \left[ \frac{f_s}{(q_c - \sigma_{vo})} \right] * 100\% \quad \text{resistenza laterale normalizzata}$$

Da quanto sopra, il 1° dato da ottenere è l'Indice  $I_c$  e relativo esponente di sforzo (n), che si ottengono procedendo per steps successivi:

1) se  $I_c > 2,6$  ed  $n=1$  allora il terreno è classificabile coesivo quindi non liquefacibile ed il calcolo è terminato;

2) se  $I_c < 2,6$  il suolo può essere di natura granulare e si ripete il calcolo con  $n=0,5$ ;

3) se dal ricalcolo del punto 2  $I_c > 2,6$  il suolo è classificabile come non coesivo ed il valore di  $I_c$  sarà utilizzato nel calcolo di  $q_{c1N}$

4) se dal ricalcolo del punto 3  $I_c > 2,6$  il suolo è classificabile come limoso ed eventualmente coesivo e si dovrà ripetere il calcolo con  $n=0,7$  ed il valore del nuovo  $I_c$  sarà utilizzato nel calcolo di  $q_{c1N}$

5) se dal ricalcolo del punto 4  $I_c > 2,6$  si utilizzerà come  $q_{c1N}$  il valore di  $2q_c$ .

Nel caso in esame sono stati considerati, come sabbie pulite, tutti i depositi sabbiosi rilevati sino alla profondità di 15 m.

In ottemperanza a quanto previsto dalla Del. Ass. Reg. n° 112 (All. A3, cap. 2), ottenuti i valori di CSR e di CRR è possibile valutare il coefficiente di sicurezza  $F_L$ .

Come previsto da tale normativa se  $F_L > 1$  si possono escludere fenomeni di liquefazione mentre se  $F_L < 1$  è possibile che avvengano fenomeni di liquefazione.

Ottenuto il parametro  $F_L$  è possibile operare una stima probabilistica della possibilità che avvenga la liquefazione, utilizzando la seguente relazione proposta dalla normativa:

$$I_L = \int_0^{20} F(z)w(z)dz$$

In cui  $z$  è la profondità dal piano campagna in metri e  $w(z) = 10 - 0.5z$ .  
Ad una data quota  $z$  il fattore  $F(z)$  vale:

$$F = 1 - F_L \quad \text{se } F_L \leq 1$$

$$F = 0 \quad \text{se } F_L > 1$$

In particolare, come previsto dalla normativa suddetta, il valore dell'indice del potenziale di liquefazione  $I_L$  valutato porta alla definizione del rischio di liquefazione che è: basso se  $0 < I_L \leq 5$ ; elevato se  $5 < I_L \leq 15$ ; estremamente elevato se  $I_L > 15$ .

Come riportato in Allegato n. 9, e riassunto nella tabella seguente si sono ottenuti valori bassi dell'indice di potenziale di liquefazione  $I_L$  con il rischio di liquefazione che può essere considerato molto basso.

Prova CPT	Indice di potenziale liquefazione $I_L$	Rischio di liquefazione
CPT1	0.74	molto basso
CPT2	0.00	molto basso
CPT3	0.00	molto basso

## 12. CEDIMENTI SISMICI E POST-SISMICI E DEFORMAZIONI LATERALI.

### 12.1 – Generalità.

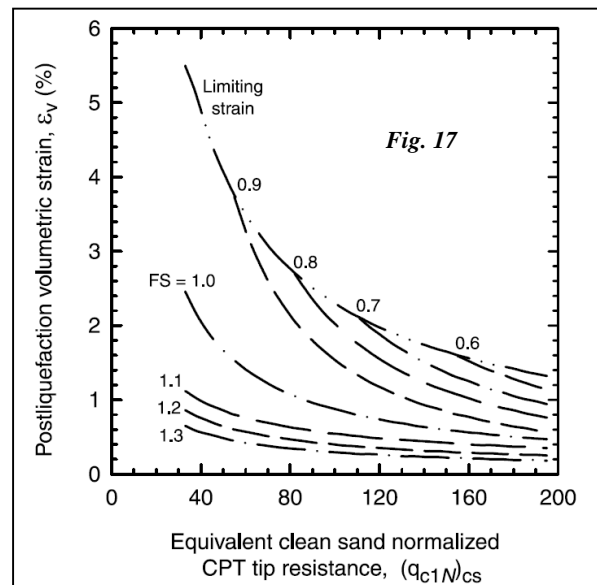
L'analisi è stata completata con la verifica dei cedimenti post-sismici per le prove suddette.

Per i terreni granulari è stata effettuata attraverso la metodologia di Zhang et All (2002), in accordo a Robertson (2009), con il cedimento (s) ottenuto mediante la valutazione della deformazione volumetrica post-sismica indotta ( $\varepsilon_v$ ), con la seguente espressione:

Per i terreni granulari saturi:

$$S = \varepsilon_v \cdot \Delta H$$

Dove  $\varepsilon_v$  viene calcolato in funzione della resistenza penetrometrica normalizzata e del fattore di sicurezza a



liquefazione riportata nelle figura 17 presente a lato.

Per i terreni fini il cedimento post-sismico, dovuto sia a fenomeni di riconsolidazione che a deformazioni di taglio indotte dalle sollecitazioni sismiche, è stato stimato sulla base del metodo proposto da Robertson (2009), che si basa sulla valutazione del fattore di sicurezza alla deformazione post-sismica, considerando il rapporto di resistenza ciclica del terreno ( $CRR_{\gamma=3\%M=7.5}$ ) corrispondente al raggiungimento di una deformazione di taglio pari al 3% per un terremoto di riferimento di magnitudo pari a 7.5.

La deformazione  $\varepsilon_v$  viene quindi valutata con le seguenti espressioni (Robertson, 2009):

$$\text{se } FS_{\gamma=3\%M=7.5} > 0.84 \quad \varepsilon_{vol} = \left[ \frac{0.8 \cdot 2.66 \log(FS_{\gamma=3\%})}{0.33 \cdot (10 - 9 \log(0.33 \cdot Q_{tn})) \cdot (Q_{tn})^2} \right]$$

$$\text{se } FS_{\gamma=3\%M=7.5} \leq 0.84 \quad \varepsilon_{vol} = \frac{1}{Q_{tn}^2} \leq 1\%$$

dove  $Q_{tn}$  = resistenza alla punta penetrometrica normalizzata e corretta in base alla procedura di Robertson (2009).

Per i terreni granulari non saturi la deformazione volumetrica di taglio dovuta alla compattazione è stata determinata attraverso il metodo di Krinitzsky et al. 1993, che per calcolare il cedimento  $\Delta H$  in un generico strato di altezza H (rapporto di compressione volumetrica  $\varepsilon_v = \Delta H/H$ , espresso in percentuale) utilizza il valore del numero di colpi corretto dello Standard Penetration Test ( $(N_1)_{60}$ ) e il picco di accelerazione  $a_{max}$  secondo il grafico riportato in fig. 18 e relativa tabella 19.

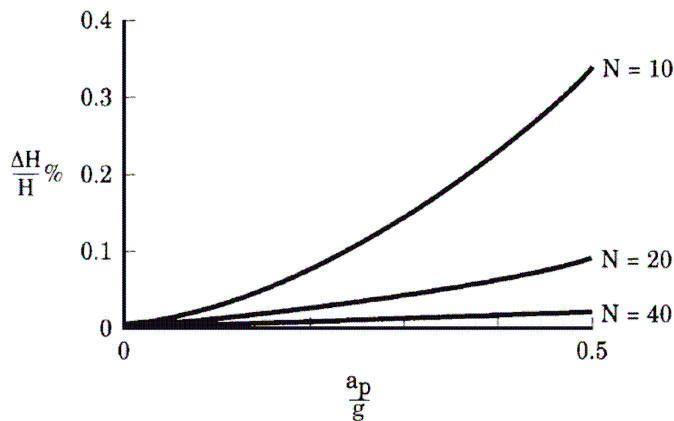


Fig. 18 - Figura per il calcolo dei cedimenti in terreni granulari non saturi (Krinitzsky et al. 1993)

$a_{max}$ [g]	$\varepsilon_v$		
	$(N_1)_{60}=10$	$(N_1)_{60}=20$	$(N_1)_{60}=40$
0.05	0.02	0.01	-
0.10	0.03	0.015	-
0.15	0.05	0.02	-
0.20	0.07	0.03	0.005
0.25	0.12	0.04	0.007
0.30	0.15	0.05	0.010
0.35	0.18	0.06	0.015
0.40	0.23	0.075	0.02

Tab. 19 - Valori del rapporto  $\varepsilon_v = \Delta H/H$  in funzione dell'accelerazione  $a_{max}$  e del numero di colpi corretto  $(N_1)_{60}$  (Del.112/2007)

Nelle tabelle in allegato n. 8 e in quella seguente, vengono riassunti i valori dei cedimenti sismici calcolati.

Prova	Cedimento terreni granulari saturi (Zhang et al, 2002) (cm)	Cedimento terreni fini saturi (Robertson, 2009) (cm)	Cedimento terreni granulari non saturi (Krinitzsky et al., 1993) (cm)	Cedimento totale (cm)
<b>CPT1</b>	4.16	0.47	0.06	4.69
<b>CPT2</b>	0.21	0.30	0.00	0.51
<b>CPT3</b>	0.18	0.16	0.03	0.36

La stima degli spostamenti laterali indotti dalla liquefazione viene effettuata attraverso li risultati ottenuti per sabbie pulite da Yoshimine (1992) e Seed (1979), che hanno esplicitato la relazione tra la deformazione di taglio ciclico massima indotta dallo scuotimento sismico ( $\gamma_{max}$  in %) ed il fattore di sicurezza alla liquefazione (FS), riportato in figura a lato.

L'integrazione dei valori di  $\gamma_{max}$  con la profondità definisce l'indice di spostamento laterale (LDI).

$$\gamma = \int_0^{z_{max}} \gamma_{max} dz$$

Dove  $z_{max}$  è la profondità massima dei livelli potenzialmente liquefacibile con FS liq < 2.0.

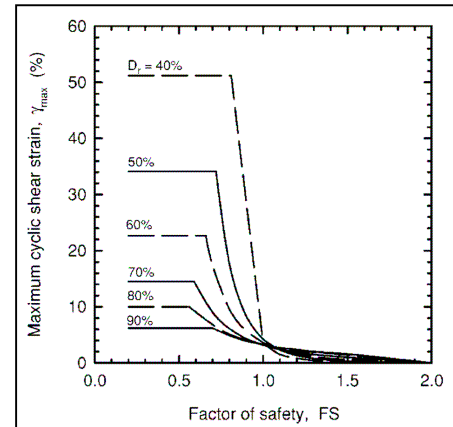
Dopo aver stimato l'LDI è possibile calcolare lo Spostamento Laterale (LD) utilizzando la seguente equazione:

$$LD = (S + 0.2) \cdot LDI \quad \text{se } 0.2\% < S < 3.5\%$$

Dove S è la pendenza (espressa in %) della superficie topografica.

Nel caso in esame è stato considerato, come pendenza della superficie topografica, il valore di 0.2.

Nella tabella in Allegato n. 9 e in quella seguente, vengono riassunti i valori dell'indice di spostamento laterale (LDI) e dello spostamento laterale (LD) per le prove eseguite.



Prova	LDI (cm)	LD (cm)
<b>CPT1</b>	7.92	3.17
<b>CPT2</b>	0.91	0.36
<b>CPT3</b>	0.82	0.33

### **13. 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 1.40 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.

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

Si raccomanda anche in relazione a ciò la valutazione dei probabili cedimenti delle fondazioni, con riferimento sia a quelli assoluti che differenziali (SLE).

Sarà quindi necessario procedere in fase esecutiva, come peraltro prescrivono le normative geotecniche vigenti in materia (D.M. 14/01/2008 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 - 1.00 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 si evidenzia la presenza di edifici con interrati o seminterrati 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 e questo sia dal punto di vista geotecnico, morfologico, idrogeologico e sismico, stabilendo pertanto la fattibilità degli interventi in progetto.*

## **14. CONCLUSIONI.**

La presente relazione tratta dei caratteri geologici, idrogeologici, idrologici, geomorfologici, geotecnici e sismici di un'area ubicata in Via F. D. Roosevelt n.186 a Cibeno nel Comune di Carpi (MO) sulla quale è in progetto di variante di un P.P.I.P. denominato "B17".

La caratterizzazione geometrica e geotecnica del terreno di sottofondazione per la ricostruzione del "modello geotecnico" è stata ottenuta attraverso l'esecuzione di n. 3 prove penetrometriche statiche spinte ad una profondità di - 20 m da p.d.c. attuale.

Diversamente per quanto riguarda la definizione delle caratteristiche sismiche del sito è stata effettuata una prospezione sismica di superficie MASW la quale ha

permesso di determinare in modo diretto la velocità delle onde Vs30 e la relativa categoria di suolo.

Si è inoltre proceduto ad eseguire un'indagine geofisica di tipo passivo a stazione singola HVSR (Tromino®) per la determinazione della frequenza fondamentale del sottosuolo.

Successivamente è stato eseguito uno studio di Risposta Sismica Locale (terzo livello di approfondimento) a partire dal p.d.c. attuale i cui risultati hanno portato ad un valore di **PGA** pari a **0,290 g** con un fattore di amplificazione (**PGA/PGA<sub>0</sub>**) pari a **1.90**.

Per quel che concerne il rapporto (**S<sub>i</sub>/S<sub>i0</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 **2.07** e **2.22**.

Dalle analisi eseguite sulle prove penetrometriche si può considerare **molto basso l'indice di potenziale liquefazione I<sub>L</sub>** e si possono considerare contenuti i valori dei cedimenti sismici e dell'indice LDI.

***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 dalla Delibera Assemblea Legislativa prog. 112 del 02/05/2007 R.E.R. e dalle "Norme Tecniche per le Costruzioni" del D.M. 14/01/2008 e successive integrazioni e/o modificazioni.***

*Carpi lì, 28 Giugno 2012*

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





## Indice

1. Premessa.	Pag. 1
2. Inquadramento geografico.	Pag. 1
3. Inquadramento geologico e geomorfologico generale.	Pag. 2
4. Idrogeologia.	Pag. 5
5. Idrologia superficiale.	Pag. 6
6. Indagini geognostiche eseguite.	Pag. 6
6.1 – Prove penetrometriche statiche CPT.	Pag. 6
6.2 – Indagine geofisica MASW.	Pag. 13
7. Valutazione della frequenza fondamentale di vibrazione dei terreni mediante il metodo della sismica passiva.	Pag. 19
8. Sismicità del territorio.	Pag. 24
9. Analisi sismica di terzo livello di approfondimento – studio di Risposta Sismica Locale.	Pag. 27
9.1 – Valutazione delle velocità delle onde di taglio.	Pag. 27
9.2 – Modello geologico del sito.	Pag. 27
9.3 - Dati Input sismico.	Pag. 29
10. Risposta Sismica Locale al piano di fondazione.	Pag. 30
10.1 – Riepilogo risultati studio “RSL”.	Pag. 33
11. Verifica della suscettibilità alla liquefazione e cedimenti sismici e post-sismici.	Pag. 34
11.1 – Generalità.	Pag. 34
11.2 – Liquefazione.	Pag. 34
12. Cedimenti sismici e post-sismici e deformazioni laterali.	Pag. 38
12.1 – Generalità.	Pag. 38
13. Considerazioni geotecniche.	Pag. 41
14. Conclusioni.	Pag. 42

## 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” – scala 1:500 -
- 5) “Dati di progetto” – scala 1:500 -
- 6) “Prove penetrometriche statiche CPT” - dati e diagrammi -
- 7) “Elaborazione prove Prove penetrometriche statiche CPT” - Parametri Geotecnici -
- 8) “Rischio di liquefazione e calcolo cedimenti post-sismici” – dati e diagrammi -
- 9) “Prospezione sismica di superficie MASW” - dati e diagrammi -
- 10) “R.S.L. con codice di calcolo EERA” – Spettro in superficie – Spettro su suolo di tipo “A” -
- 11) “Indagine a stazione singola HVSR (Tromino ®)” – dati e diagrammi -

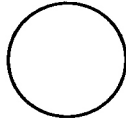
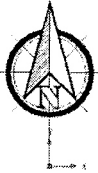
# "INQUADRAMENTO COROGRAFICO"

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

## Allegato N. 1

Studio Tecnico Ambientale  
**GEOTECH**  
di Dott. Geol. Lorenzo Malvezzi  
Via Martinelli, 51A Carpi (MO)  
Tel/Fax 059/660643

### LEGENDA



Area di interesse



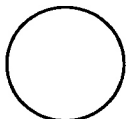
# "INQUADRAMENTO GEOGRAFICO"

- C.T.R. scala 1:10.000 -  
n. 201030 "Carpi"

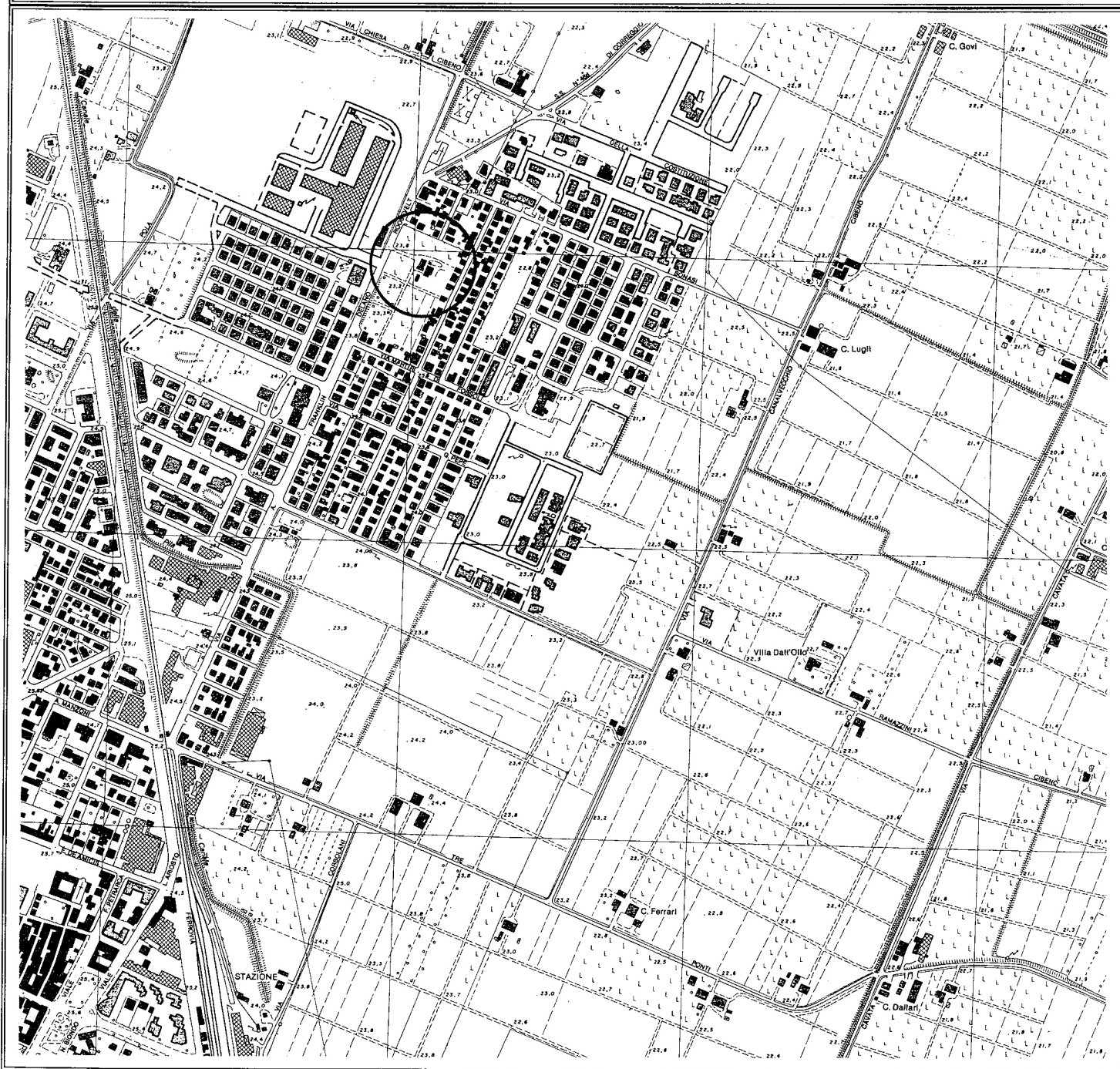
## Allegato N. 2

Studio Tecnico Ambientale  
**GEOTECH**  
di Dott. Geol. Lorenzo Malvezzi  
Via Martinelli, 51A Carpi (MO)  
Tel/Fax 059/660643

### LEGENDA



Area di interesse



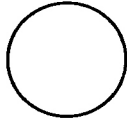
# "INQUADRAMENTO AREA DI INTERESSE"

- C.T.R. scala 1:5.000 -  
n. 201031 "Carpi Est"

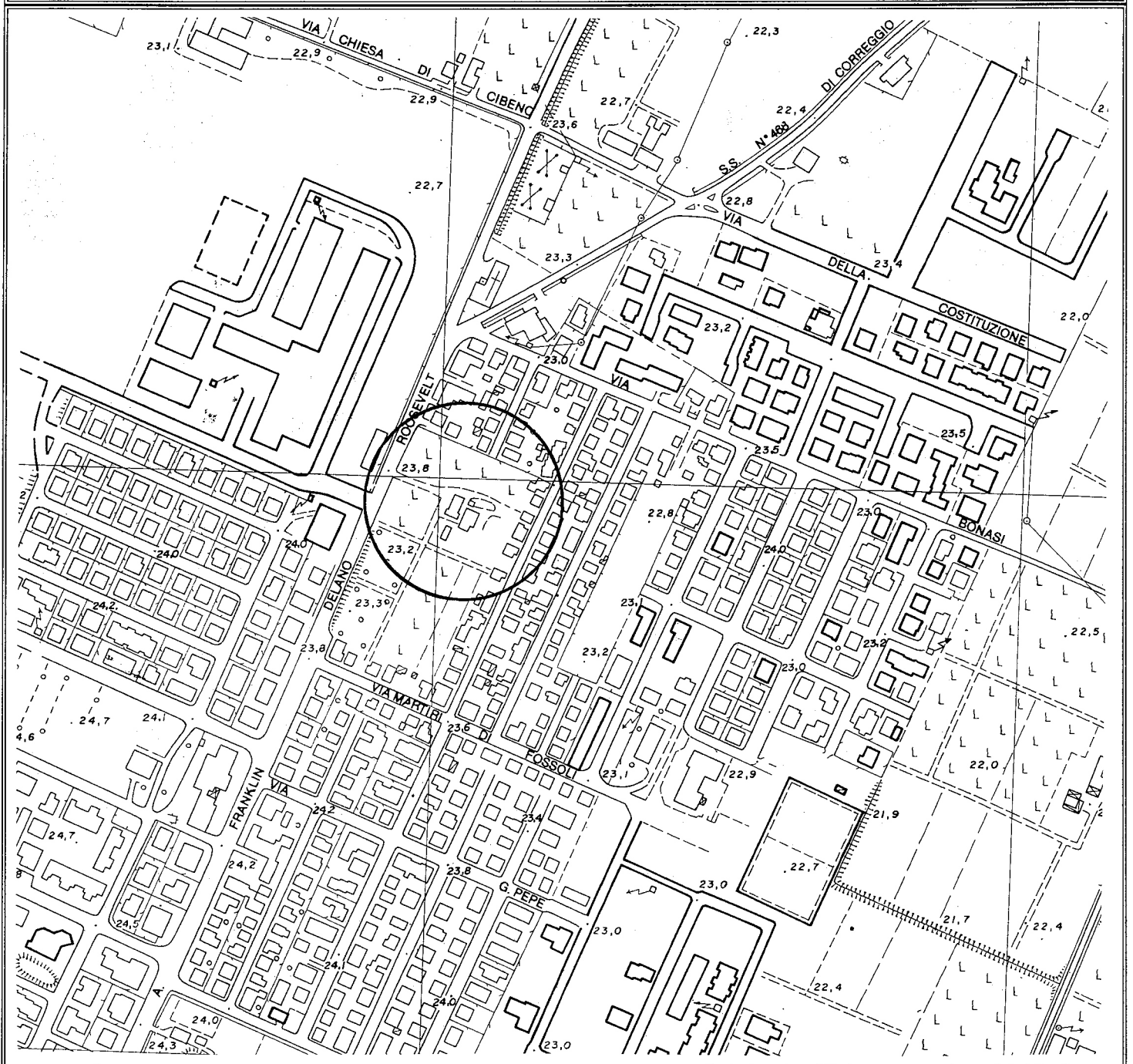
## Allegato N. 3

Studio Tecnico Ambientale  
**GEOTECH**  
di Dott. Geol. Lorenzo Malvezzi  
Via Martinelli, 51A Carpi (MO)  
Tel/Fax 059/660643

### LEGENDA



Area di interesse



**"UBICAZIONE INDAGINI GEOGNOSTICHE ESEGUITE"**

- scala 1:500 -

**Allegato N. 4**

Studio Tecnico Ambientale  
**GEOTECH**  
di Dott. Geol. Lorenzo Malvezzi  
Via Martinelli, 51A Carpi (MO)  
Tel/Fax 059/660643

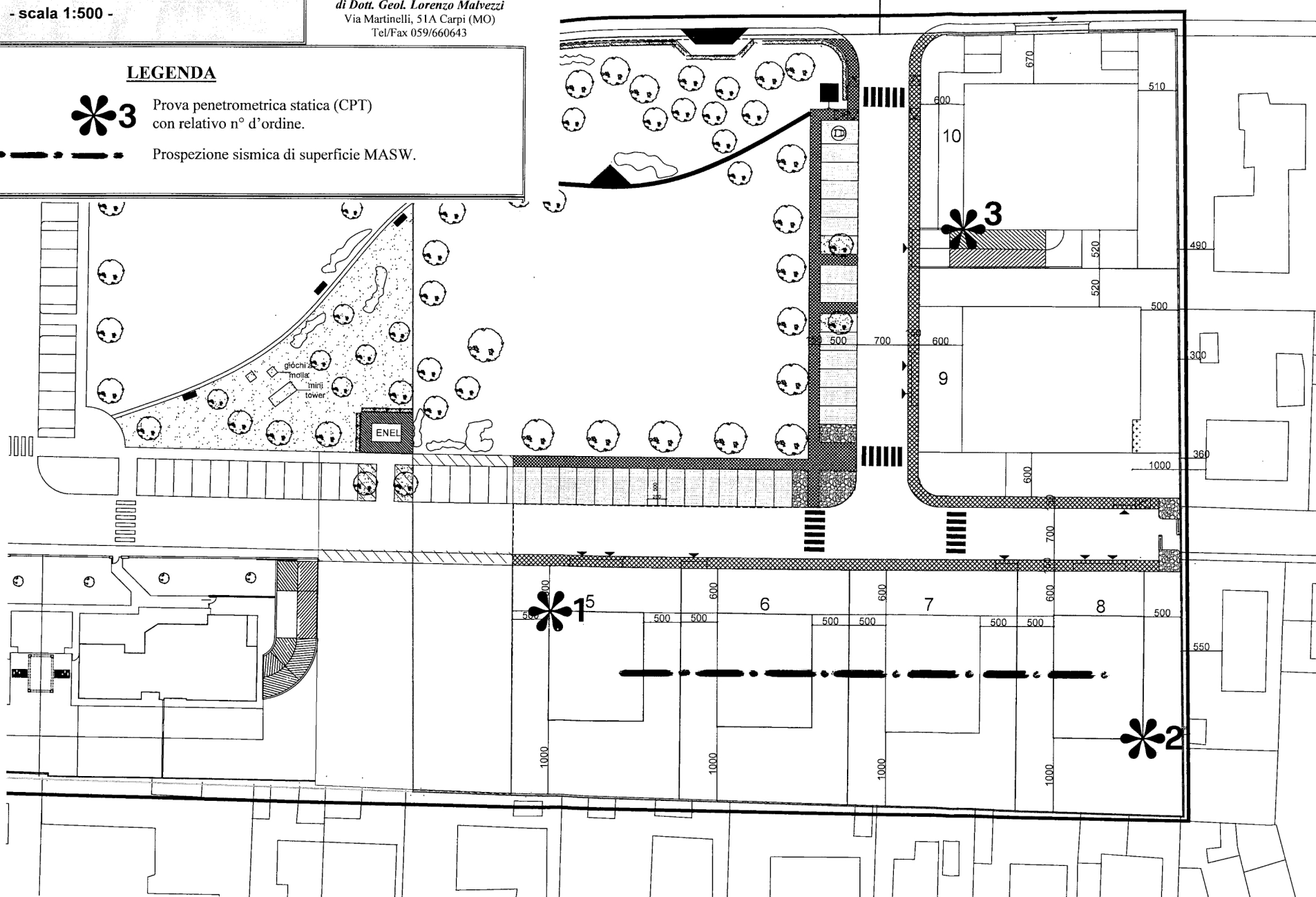
**LEGENDA**



Prova penetrometrica statica (CPT)  
con relativo n° d'ordine.



Prospezione sismica di superficie MASW.



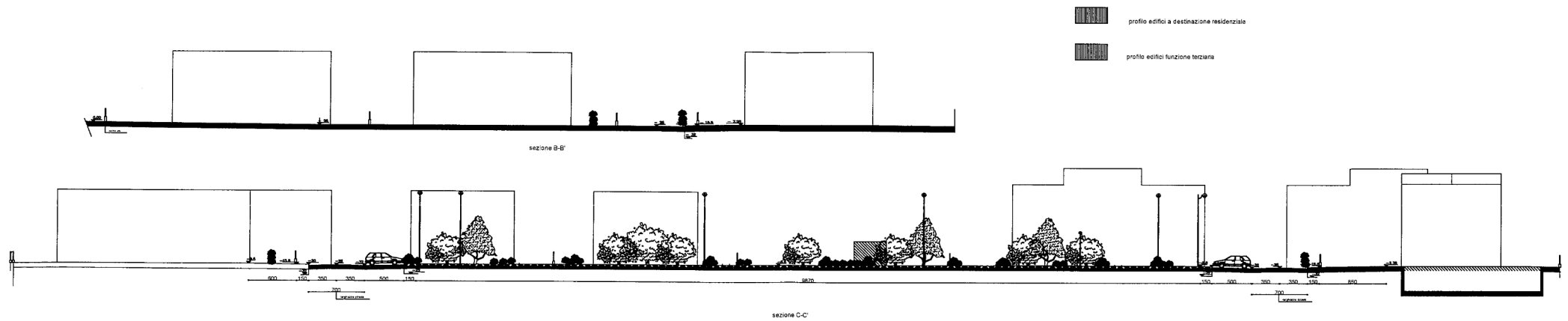
stralcio B

**"DATI DI PROGETTO"**  
**Sezioni Piano Particolareggiato di Iniziativa Privata B17**

- scala 1:500 -

**Allegato N. 5**

Studio Tecnico Ambientale  
**GEOTECH**  
di *Dott. Geol. Lorenzo Malvezzi*  
Via Martinelli, 51A Carpi (MO)  
Tel/Fax 059/660643



**Allegato N. 6**

**“PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CPT”**

**- dati e diagrammi -**

Studio Tecnico Ambientale

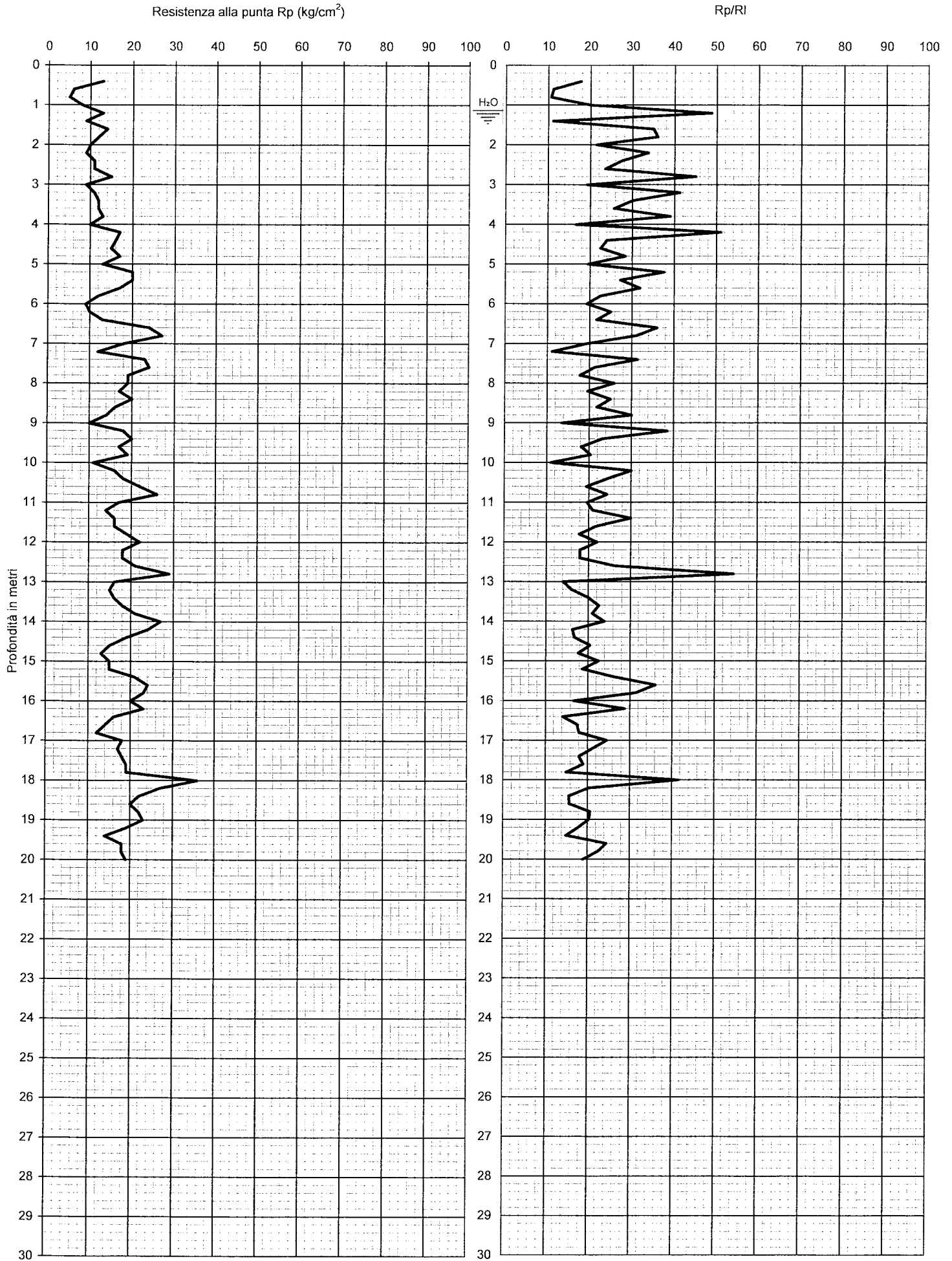
***GEOTECH***

*di Dott. Geol. Lorenzo Malvezzi*

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

Tel/Fax 059/66.06.43



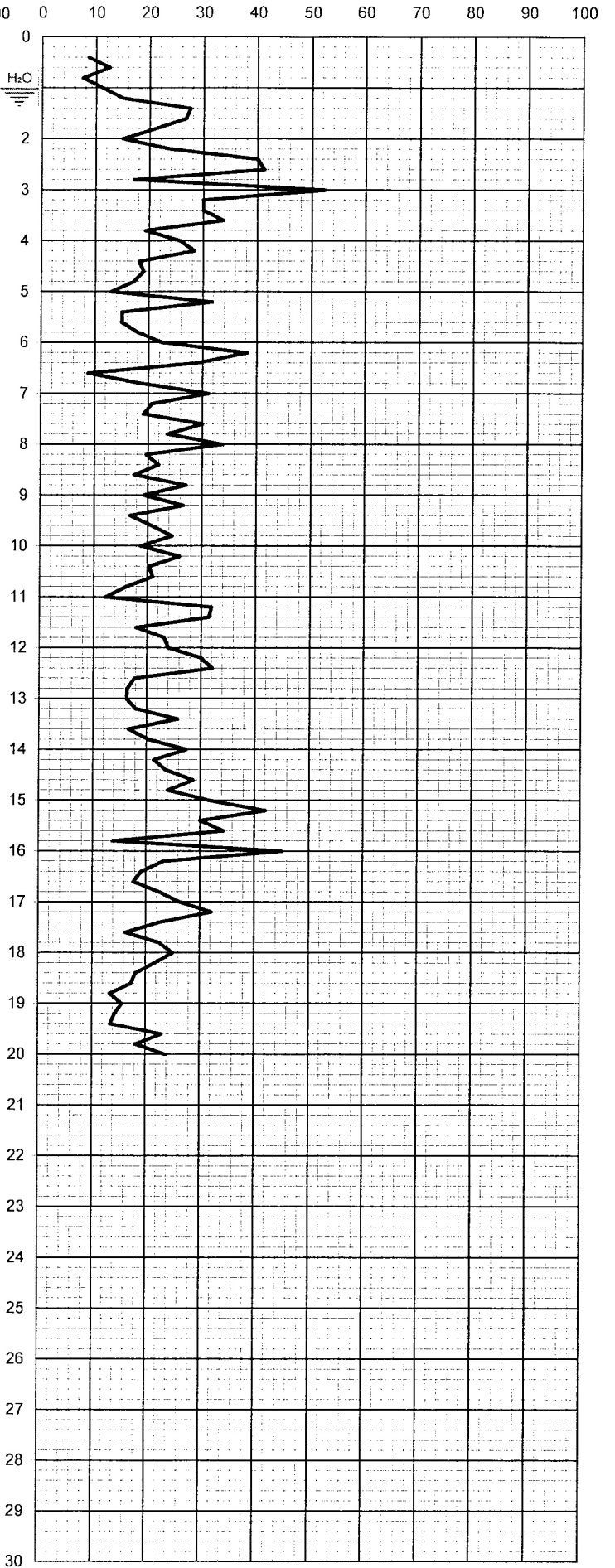
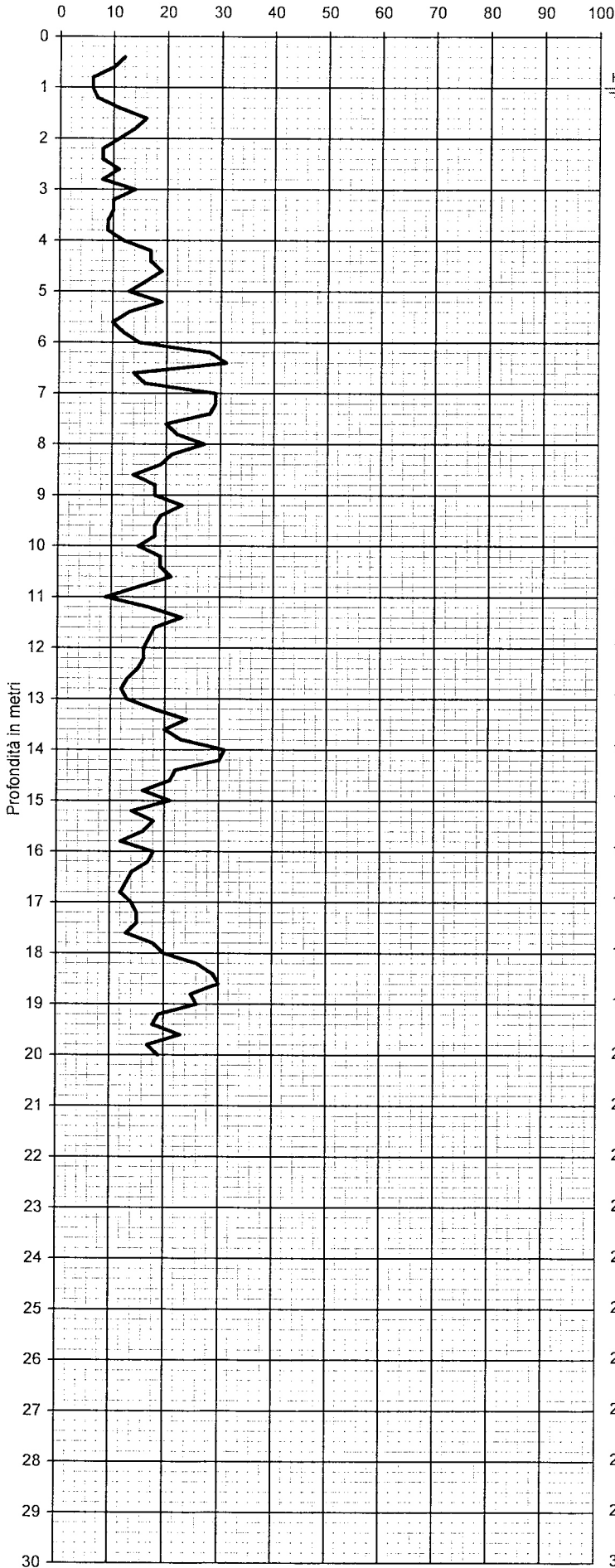


PROF. (M)	P (KG/CM2)	P + L (KG/CM2)	RP (KG/CM2)	RL (KG/CM2)	RP/RL [ - ]
0,20					
0,40	13	24	13	0,73	17,73
0,60	6	14	6	0,53	11,25
0,80	5	12	5	0,47	10,71
1,00	8	14	8	0,40	20,00
1,20	13	17	13	0,27	48,75
1,40	9	21	9	0,80	11,25
1,60	14	20	14	0,40	35,00
1,80	12	17	12	0,33	36,00
2,00	10	17	10	0,47	21,43
2,20	9	13	9	0,27	33,75
2,40	11	17	11	0,40	27,50
2,60	11	18	11	0,47	23,57
2,80	15	20	15	0,33	45,00
3,00	9	16	9	0,47	19,29
3,20	11	15	11	0,27	41,25
3,40	12	18	12	0,40	30,00
3,60	12	19	12	0,47	25,71
3,80	13	18	13	0,33	39,00
4,00	10	19	10	0,60	16,67
4,20	17	22	17	0,33	51,00
4,40	16	26	16	0,67	24,00
4,60	15	25	15	0,67	22,50
4,80	17	26	17	0,60	28,33
5,00	13	23	13	0,67	19,50
5,20	20	28	20	0,53	37,50
5,40	20	31	20	0,73	27,27
5,60	17	25	17	0,53	31,88
5,80	12	20	12	0,53	22,50
6,00	9	16	9	0,47	19,29
6,20	10	16	10	0,40	25,00
6,40	13	22	13	0,60	21,67
6,60	24	34	24	0,67	36,00
6,80	27	40	27	0,87	31,15
7,00	18	32	18	0,93	19,29
7,20	12	28	12	1,07	11,25
7,40	23	34	23	0,73	31,36
7,60	24	41	24	1,13	21,18
7,80	19	35	19	1,07	17,81
8,00	19	30	19	0,73	25,91
8,20	17	30	17	0,87	19,62
8,40	20	32	20	0,80	25,00
8,60	16	27	16	0,73	21,82
8,80	14	21	14	0,47	30,00
9,00	10	21	10	0,73	13,64
9,20	18	25	18	0,47	38,57
9,40	20	33	20	0,87	23,08
9,60	17	31	17	0,93	18,21
9,80	19	33	19	0,93	20,36
10,00	11	26	11	1,00	11,00
10,20	16	24	16	0,53	30,00
10,40	18	29	18	0,73	24,55
10,60	22	39	22	1,13	19,41
10,80	26	42	26	1,07	24,38
11,00	17	30	17	0,87	19,62
11,20	14	24	14	0,67	21,00
11,40	16	24	16	0,53	30,00
11,60	16	27	16	0,73	21,82
11,80	19	35	19	1,07	17,81
12,00	22	37	22	1,00	22,00
12,20	18	33	18	1,00	18,00
12,40	18	33	18	1,00	18,00
12,60	21	33	21	0,80	26,25
12,80	29	37	29	0,53	54,38
13,00	26	33	26	0,47	55,71
13,20	15	29	15	0,93	16,07
13,40	16	28	16	0,80	20,00
13,60	18	30	18	0,80	22,50
13,80	21	36	21	1,00	21,00
14,00	27	44	27	1,13	23,82
14,20	24	46	24	1,47	16,36
14,40	19	36	19	1,13	16,76
14,60	15	26	15	0,73	20,45
14,80	13	24	13	0,73	17,73
15,00	15	25	15	0,67	22,50

PROF. (M)	P (KG/CM2)	P + L (KG/CM2)	RP (KG/CM2)	RL (KG/CM2)	RP/RL [ - ]
15,20	15	27	15	0,80	18,75
15,40	21	33	21	0,80	26,25
15,60	24	34	24	0,67	36,00
15,80	23	34	23	0,73	31,36
16,00	20	38	20	1,20	16,67
16,20	23	35	23	0,80	28,75
16,40	16	33	16	1,13	14,12
16,60	14	26	14	0,80	17,50
16,80	12	22	12	0,67	18,00
17,00	18	29	18	0,73	24,55
17,20	17	29	17	0,80	21,25
17,40	18	33	18	1,00	18,00
17,60	19	34	19	1,00	19,00
17,80	19	38	19	1,27	15,00
18,00	36	49	36	0,87	41,54
18,20	27	47	27	1,33	20,25
18,40	22	43	22	1,40	15,71
18,60	20	39	20	1,27	15,79
18,80	22	38	22	1,07	20,63
19,00	23	40	23	1,13	20,29
19,20	19	35	19	1,07	17,81
19,40	14	28	14	0,93	15,00
19,60	18	29	18	0,73	24,55
19,80	18	30	18	0,80	22,50
20,00	19	34	19	1,00	19,00
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					

Resistenza alla punta Rp (kg/cm<sup>2</sup>)

Rp/RI

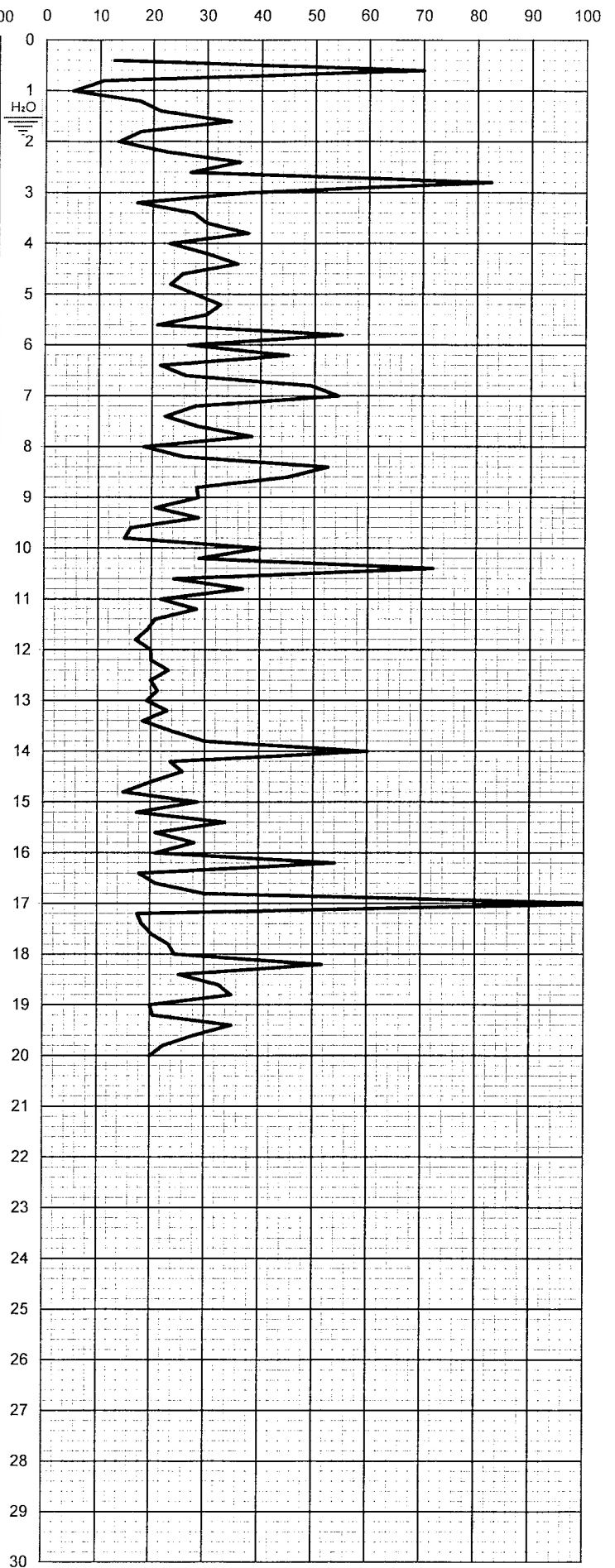
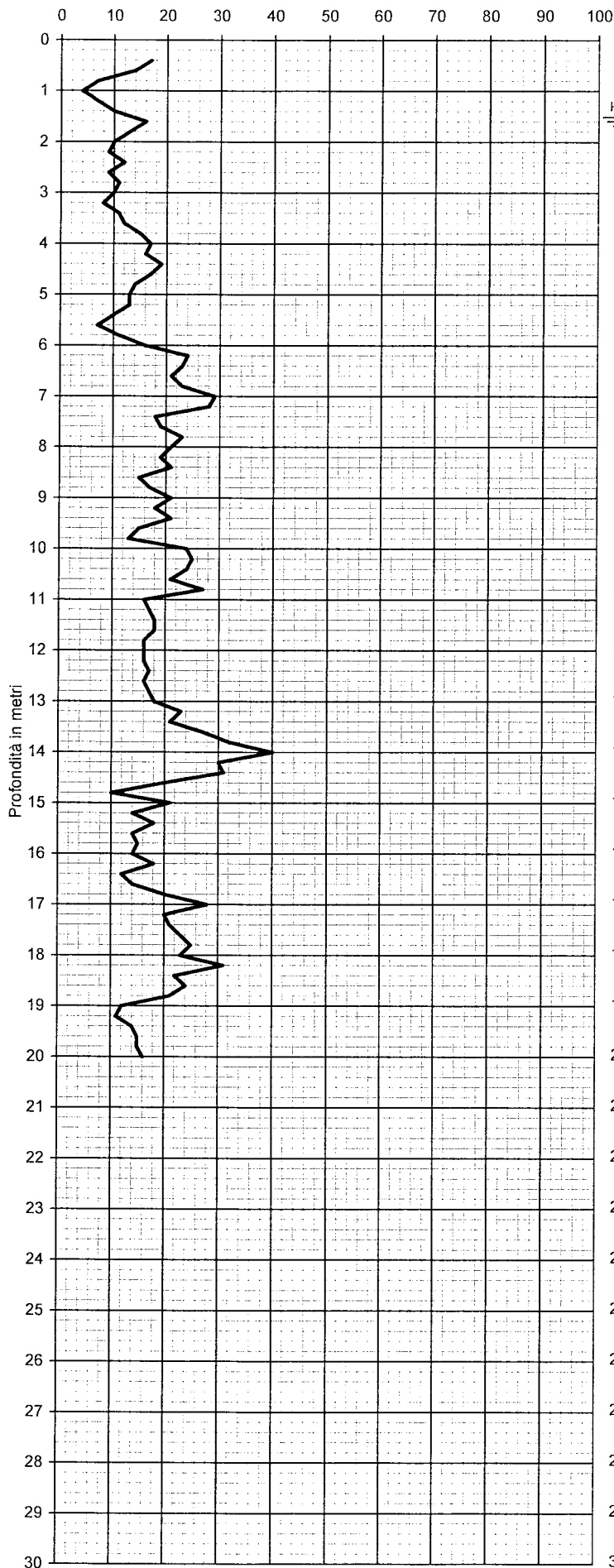


PROF. (M)	P (KG/CM2)	P + L (KG/CM2)	RP (KG/CM2)	RL (KG/CM2)	RP/RL [ - ]
0,20					
0,40	12	33	12	1,40	8,57
0,60	10	22	10	0,80	12,50
0,80	6	18	6	0,80	7,50
1,00	6	14	6	0,53	11,25
1,20	7	14	7	0,47	15,00
1,40	11	17	11	0,40	27,50
1,60	16	25	16	0,60	26,67
1,80	14	24	14	0,67	21,00
2,00	11	22	11	0,73	15,00
2,20	8	13	8	0,33	24,00
2,40	8	11	8	0,20	40,00
2,60	11	15	11	0,27	41,25
2,80	8	15	8	0,47	17,14
3,00	14	18	14	0,27	52,50
3,20	10	15	10	0,33	30,00
3,40	10	15	10	0,33	30,00
3,60	9	13	9	0,27	33,75
3,80	9	16	9	0,47	19,29
4,00	12	19	12	0,47	25,71
4,20	17	26	17	0,60	28,33
4,40	17	31	17	0,93	18,21
4,60	19	34	19	1,00	19,00
4,80	16	30	16	0,93	17,14
5,00	13	28	13	1,00	13,00
5,20	19	28	19	0,60	31,67
5,40	13	26	13	0,87	15,00
5,60	10	20	10	0,67	15,00
5,80	12	22	12	0,67	18,00
6,00	15	25	15	0,67	22,50
6,20	28	39	28	0,73	38,18
6,40	31	47	31	1,07	29,06
6,60	14	38	14	1,60	8,75
6,80	16	29	16	0,87	18,46
7,00	29	43	29	0,93	31,07
7,20	29	50	29	1,40	20,71
7,40	28	50	28	1,47	19,09
7,60	20	30	20	0,67	30,00
7,80	22	36	22	0,93	23,57
8,00	27	39	27	0,80	33,75
8,20	21	37	21	1,07	19,69
8,40	19	32	19	0,87	21,92
8,60	14	26	14	0,80	17,50
8,80	18	28	18	0,67	27,00
9,00	18	32	18	0,93	19,29
9,20	23	36	23	0,87	26,54
9,40	19	36	19	1,13	16,76
9,60	18	31	18	0,87	20,77
9,80	18	29	18	0,73	24,55
10,00	15	27	15	0,80	18,75
10,20	19	30	19	0,73	25,91
10,40	19	33	19	0,93	20,36
10,60	21	36	21	1,00	21,00
10,80	15	29	15	0,93	16,07
11,00	9	20	9	0,73	12,27
11,20	17	25	17	0,53	31,88
11,40	23	34	23	0,73	31,36
11,60	18	33	18	1,00	18,00
11,80	17	28	17	0,73	23,18
12,00	16	26	16	0,67	24,00
12,20	16	24	16	0,53	30,00
12,40	15	22	15	0,47	32,14
12,60	13	24	13	0,73	17,73
12,80	12	23	12	0,73	16,36
13,00	15	25	15	0,67	22,50
13,20	18	33	18	1,00	18,00
13,40	24	38	24	0,93	25,71
13,60	20	38	20	1,20	16,67
13,80	23	40	23	1,13	20,29
14,00	31	48	31	1,13	27,35
14,20	30	51	30	1,40	21,43
14,40	22	36	22	0,93	23,57
14,60	21	32	21	0,73	28,64
14,80	16	26	16	0,67	24,00
15,00	21	31	21	0,67	31,50

PROF. (M)	P (KG/CM2)	P + L (KG/CM2)	RP (KG/CM2)	RL (KG/CM2)	RP/RL [ - ]
15,20	14	19	14	0,33	42,00
15,40	18	27	18	0,60	30,00
15,60	16	23	16	0,47	34,29
15,80	12	25	12	0,87	13,85
16,00	18	24	18	0,40	45,00
16,20	17	28	17	0,73	23,18
16,40	14	25	14	0,73	19,09
16,60	13	24	13	0,73	17,73
16,80	12	20	12	0,53	22,50
17,00	14	22	14	0,53	26,25
17,20	15	22	15	0,47	32,14
17,40	15	25	15	0,67	22,50
17,60	13	25	13	0,80	16,25
17,80	18	30	18	0,80	22,50
18,00	20	32	20	0,80	25,00
18,20	26	44	26	1,20	21,67
18,40	29	53	29	1,60	18,13
18,60	30	56	30	1,73	17,31
18,80	25	53	25	1,87	13,39
19,00	26	51	26	1,67	15,60
19,20	19	39	19	1,33	14,25
19,40	18	38	18	1,33	13,50
19,60	23	38	23	1,00	23,00
19,80	17	31	17	0,93	18,21
20,00	19	31	19	0,80	23,75
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					

Resistenza alla punta  $R_p$  ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )

$R_p/RI$



PROF. (M)	P (KG/CM2)	P + L (KG/CM2)	RP (KG/CM2)	RL (KG/CM2)	RP/RL [ - ]
0,20					
0,40	17	37	17	1,33	12,75
0,60	14	17	14	0,20	70,00
0,80	7	17	7	0,67	10,50
1,00	4	16	4	0,80	5,00
1,20	7	13	7	0,40	17,50
1,40	10	17	10	0,47	21,43
1,60	16	23	16	0,47	34,29
1,80	13	24	13	0,73	17,73
2,00	10	21	10	0,73	13,64
2,20	9	15	9	0,40	22,50
2,40	12	17	12	0,33	36,00
2,60	9	14	9	0,33	27,00
2,80	11	13	11	0,13	82,50
3,00	10	14	10	0,27	37,50
3,20	8	15	8	0,47	17,14
3,40	11	17	11	0,40	27,50
3,60	12	18	12	0,40	30,00
3,80	15	21	15	0,40	37,50
4,00	17	28	17	0,73	23,18
4,20	16	24	16	0,53	30,00
4,40	19	27	19	0,53	35,63
4,60	17	27	17	0,67	25,50
4,80	14	23	14	0,60	23,33
5,00	13	20	13	0,47	27,86
5,20	13	19	13	0,40	32,50
5,40	10	15	10	0,33	30,00
5,60	7	12	7	0,33	21,00
5,80	11	14	11	0,20	55,00
6,00	16	25	16	0,60	26,67
6,20	24	32	24	0,53	45,00
6,40	23	39	23	1,07	21,56
6,60	21	33	21	0,80	26,25
6,80	23	30	23	0,47	49,29
7,00	29	37	29	0,53	54,38
7,20	28	43	28	1,00	28,00
7,40	18	30	18	0,80	22,50
7,60	19	29	19	0,67	28,50
7,80	23	32	23	0,60	38,33
8,00	21	38	21	1,13	18,53
8,20	19	30	19	0,73	25,91
8,40	21	27	21	0,40	52,50
8,60	15	20	15	0,33	45,00
8,80	17	26	17	0,60	28,33
9,00	21	32	21	0,73	28,64
9,20	18	31	18	0,87	20,77
9,40	21	32	21	0,73	28,64
9,60	15	29	15	0,93	16,07
9,80	13	26	13	0,87	15,00
10,00	24	33	24	0,60	40,00
10,20	25	38	25	0,87	28,85
10,40	24	29	24	0,33	72,00
10,60	21	34	21	0,87	24,23
10,80	27	38	27	0,73	36,82
11,00	16	27	16	0,73	21,82
11,20	17	26	17	0,60	28,33
11,40	18	31	18	0,87	20,77
11,60	18	32	18	0,93	19,29
11,80	16	30	16	0,93	17,14
12,00	16	28	16	0,80	20,00
12,20	16	28	16	0,80	20,00
12,40	17	28	17	0,73	23,18
12,60	16	28	16	0,80	20,00
12,80	17	29	17	0,80	21,25
13,00	27	32	27	0,33	81,00
13,20	23	38	23	1,00	23,00
13,40	21	38	21	1,13	18,53
13,60	27	44	27	1,13	23,82
13,80	32	48	32	1,07	30,00
14,00	40	50	40	0,67	60,00
14,20	30	49	30	1,27	23,68
14,40	31	49	31	1,20	25,83
14,60	20	35	20	1,00	20,00
14,80	10	20	10	0,67	15,00
15,00	21	32	21	0,73	28,64

PROF. (M)	P (KG/CM2)	P + L (KG/CM2)	RP (KG/CM2)	RL (KG/CM2)	RP/RL [ - ]
15,20	14	26	14	0,80	17,50
15,40	18	26	18	0,53	33,75
15,60	14	24	14	0,67	21,00
15,80	15	23	15	0,53	28,13
16,00	14	24	14	0,67	21,00
16,20	18	23	18	0,33	54,00
16,40	12	22	12	0,67	18,00
16,60	14	24	14	0,67	21,00
16,80	20	30	20	0,67	30,00
17,00	28	32	28	0,27	105,00
17,20	20	37	20	1,13	17,65
17,40	21	38	21	1,13	18,53
17,60	23	40	23	1,13	20,29
17,80	25	41	25	1,07	23,44
18,00	23	37	23	0,93	24,64
18,20	31	40	31	0,60	51,67
18,40	22	35	22	0,87	25,38
18,60	24	35	24	0,73	32,73
18,80	21	30	21	0,60	35,00
19,00	12	21	12	0,60	20,00
19,20	11	19	11	0,53	20,63
19,40	14	20	14	0,40	35,00
19,60	15	23	15	0,53	28,13
19,80	15	25	15	0,67	22,50
20,00	16	28	16	0,80	20,00
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. 7**

**“ELABORAZIONE PROVE PENETROMETRICHE STATICHE”**

**- parametri geotecnici -**

Studio Tecnico Ambientale

**GEOTECH**

*di Dott. Geol. Lorenzo Malvezzi*

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

Tel/Fax 059/66.06.43



## ANALISI PROVE PENETROMETRICHE STATICHE

- Programma CPTWIN ver. 3.2 -

Committente: Remondi Massimo e Andrea  
Località: Via Roosevelt n.186 Carpi (MO)  
Lavoro: Variante al P.P.I.P. B17  
Data: 07/06/2013

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

### - Parametri Geotecnici -

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			67,7	30	5,4	0,171	0,0	186
0,6	20,0	11,1	11,1	0,0	34	35,5		0	9,5		26,8	164
0,8	17,5	14,6	14,6	0,0			27,4	15	3,4	0,194	0,0	106
1,0	18,0	18,2	18,2	0,0			15,3	6,7	2,1	0,333	0,0	75
1,2	17,5	21,7	19,7	2,0			27,1	10,9	3,4	0,143	0,0	106
1,4	18,0	25,3	21,4	3,9			39	14,5	4	0,129	0,0	133
1,6	19,5	29,2	23,3	5,9	30	34,4		0	11,7		31,1	179
1,8	18,0	32,8	25,0	7,8			50,7	16,2	4,6	0,142	0,0	157
2,0	17,5	36,3	26,5	9,8			38,5	11,6	4	0,165	0,0	133
2,2	18,0	39,9	28,1	11,8			34,4	9,7	3,8	0,126	0,0	125
2,4	19,5	43,8	30,1	13,7	25	32,4		0	9,5		25,1	149
2,6	18,0	47,4	31,7	15,7			34,1	8,6	3,8	0,116	0,0	125
2,8	20,0	51,4	33,7	17,7	23	31,7		0	9		23,6	141
3,0	19,5	55,3	35,7	19,6	22	31,1		0	8,4		21,8	133
3,2	17,5	58,8	37,2	21,6			29,6	6,3	3,6	0,145	0,0	116
3,4	18,5	62,5	39,0	23,5			41,5	8,5	4,2	0,115	0,0	141
3,6	18,5	66,2	40,7	25,5			45,4	8,9	4,4	0,111	0,0	149
3,8	19,5	70,1	42,6	27,5	24	32,6		0	12,1		31,0	172
4,0	18,0	73,7	44,3	29,4			65,09	11,7	5,4	0,124	0,0	186
4,2	18,5	77,4	46,0	31,4			60,9	10,5	5,2	0,111	0,0	179
4,4	19,5	81,3	47,9	33,4	28	33,5		0	14,4		36,2	199
4,6	18,5	85,0	49,7	35,3			64,59	10,4	5,4	0,119	0,0	186
4,8	18,0	88,6	51,3	37,3			52,5	8,1	4,8	0,124	0,0	164
5,0	18,5	92,3	53,1	39,2			48,3	7,2	4,6	0,115	0,0	157
5,2	18,5	96,0	54,8	41,2			48,2	7	4,6	0,108	0,0	157
5,4	18,5	99,7	56,5	43,2			36	5	4	0,111	0,0	133
5,6	18,0	103,3	58,2	45,1			23,9	3,2	3,4	0,130	0,0	106
5,8	20,0	107,3	60,2	47,1	20	30,3		0	9,5		23,8	141
6,0	18,5	111,0	62,0	49,1			59,6	7,6	5,2	0,117	0,0	179
6,2	19,5	114,9	63,9	51,0	29	33,9		0	17,8		43,8	230
6,4	18,0	118,5	65,5	53,0			87,3	10,6	6,6	0,129	0,0	224
6,6	18,5	122,2	67,3	54,9			79,09	9,4	6,2	0,118	0,0	212
6,8	20,0	126,2	69,3	56,9	28	33,5		0	17,4		42,5	224
7,0	20,0	130,2	71,3	58,9	31	34,5		0	20,8		50,6	259
7,2	18,5	133,9	73,1	60,8			106,6	11,6	7,6	0,115	0,0	254
7,4	18,0	137,5	74,7	62,8			66,5	7,1	5,6	0,126	0,0	192
7,6	18,5	141,2	76,5	64,7			70,4	7,3	5,7	0,114	0,0	199
7,8	19,5	145,1	78,4	66,7	27	33,2		0	17,7		42,9	224
8,0	18,0	148,7	80,0	68,7			78,09	7,8	6,2	0,139	0,0	212
8,2	18,5	152,4	81,8	70,6			69,9	6,8	5,7	0,118	0,0	199
8,4	20,0	156,4	83,8	72,6	24	32,6		0	17		41,2	212
8,6	19,5	160,3	85,7	74,6	21	31,0		0	12,8		31,0	172
8,8	18,5	164,0	87,5	76,5			61,4	5,6	5,4	0,114	0,0	186
9,0	18,5	167,7	89,2	78,5			77,3	6,9	6,2	0,113	0,0	212
9,2	18,0	171,3	90,9	80,4			65,09	5,7	5,6	0,131	0,0	192
9,4	18,5	175,0	92,6	82,4			77	6,6	6,2	0,113	0,0	212
9,6	18,0	178,6	94,2	84,4			52,9	4,4	4,9	0,150	0,0	172
9,8	17,5	182,1	95,8	86,3			44,7	3,7	4,6	0,156	0,0	157
10,0	19,5	186,0	97,7	88,3	25	32,9		0	19,1		45,6	230



**- Parametri Geotecnici CPT1 -**

z	g	sv	sv'	Uo	Id	f	Su	OCR	M	Cc	Go	Vs
10,2	18,5	189,7	99,4	90,3			92,4	7,4	7	0,113	0,0	236
10,4	20,0	193,7	101,5	92,2	25	32,8		0	19,1		45,5	230
10,6	18,5	197,4	103,2	94,2			76,09	5,8	6,2	0,122	0,0	212
10,8	19,5	201,3	105,2	96,1	27	33,3		0	20,8		49,2	248
11,0	18,0	204,9	106,8	98,1			55,8	4,1	5,2	0,128	0,0	179
11,2	18,5	208,6	108,5	100,1			59,7	4,3	5,4	0,114	0,0	186
11,4	18,0	212,2	110,2	102,0			63,5	4,6	5,6	0,131	0,0	192
11,6	18,0	215,8	111,8	104,0			63,4	4,5	5,6	0,136	0,0	192
11,8	18,0	219,4	113,5	105,9			55,2	3,8	5,2	0,145	0,0	179
12,0	18,0	223,0	115,1	107,9			55,1	3,8	5,2	0,134	0,0	179
12,2	18,0	226,6	116,7	109,9			54,9	3,7	5,2	0,134	0,0	179
12,4	18,0	230,2	118,4	111,8			58,8	3,9	5,4	0,124	0,0	186
12,6	18,0	233,8	120,0	113,8			54,6	3,6	5,2	0,134	0,0	179
12,8	18,0	237,4	121,6	115,8			58,5	3,8	5,4	0,130	0,0	186
13,0	18,0	241,0	123,3	117,7			62,4	4	5,6	0,136	0,0	192
13,2	18,5	244,7	125,0	119,7			82,2	5,2	6,6	0,125	0,0	224
13,4	18,0	248,3	126,7	121,6			74,09	4,6	6,2	0,139	0,0	212
13,6	18,5	252,0	128,4	123,6			97,9	6,1	7,4	0,123	0,0	248
13,8	18,5	255,7	130,1	125,6			117,8	7,2	8,4	0,111	0,0	276
14,0	20,0	259,7	132,2	127,5	31	34,6		0	28,8		66,5	317
14,2	18,5	263,4	133,9	129,5			109,5	6,5	8	0,123	0,0	265
14,4	18,5	267,1	135,6	131,5			113,3	6,6	8,2	0,118	0,0	270
14,6	18,0	270,7	137,3	133,4			69,2	4	6	0,134	0,0	205
14,8	17,5	274,2	138,8	135,4			29	1,6	4	0,156	0,0	133
15,0	18,5	277,9	140,6	137,3			72,9	4,1	6,2	0,113	0,0	212
15,2	18,0	281,5	142,2	139,3			44,7	2,5	4,8	0,143	0,0	164
15,4	19,5	285,4	144,1	141,3	20	30,6		0	15,6		36,4	192
15,6	18,0	289,0	145,8	143,2			44,4	2,4	4,8	0,130	0,0	164
15,8	18,5	292,7	147,5	145,2			48,3	2,6	4,9	0,114	0,0	172
16,0	18,0	296,3	149,2	147,2			44,1	2,3	4,8	0,130	0,0	164
16,2	20,0	300,3	151,2	149,1	20	30,5		0	15,6		36,2	192
16,4	18,0	303,9	152,8	151,1			35,79	1,8	4,4	0,141	0,0	149
16,6	18,0	307,5	154,5	153,0			43,7	2,2	4,8	0,130	0,0	164
16,8	18,5	311,2	156,2	155,0			67,59	3,4	6	0,111	0,0	205
17,0	20,0	315,2	158,2	157,0	25	32,5		0	22,3		51,2	254
17,2	18,0	318,8	159,9	158,9			67,2	3,3	6	0,142	0,0	205
17,4	18,0	322,4	161,5	160,9			71,09	3,5	6,2	0,139	0,0	212
17,6	18,0	326,0	163,2	162,8			79	3,8	6,6	0,133	0,0	224
17,8	18,5	329,7	164,9	164,8			86,8	4,2	7	0,124	0,0	236
18,0	18,5	333,4	166,6	166,8			78,7	3,7	6,6	0,121	0,0	224
18,2	20,0	337,4	168,7	168,7	25	32,8		0	24,7		56,4	270
18,4	18,5	341,1	170,4	170,7			74,4	3,4	6,4	0,119	0,0	218
18,6	19,5	345,0	172,3	172,7	23	31,5		0	19,8		45,2	230
18,8	19,5	348,9	174,3	174,6	21	30,9		0	17,9		41,0	212
19,0	18,0	352,5	175,9	176,6			33,9	1,5	4,4	0,134	0,0	149
19,2	18,0	356,1	177,6	178,5			29,8	1,3	4,2	0,131	0,0	141
19,4	19,5	360,0	179,5	180,5	17	28,9		0	12,8		29,4	164
19,6	18,5	363,7	181,2	182,5			45,5	2	4,9	0,114	0,0	172
19,8	18,0	367,3	182,9	184,4			45,3	1,9	4,9	0,126	0,0	172
20,0	18,0	370,9	184,5	186,4			49,2	2,1	5,2	0,134	0,0	179

Studio Tecnico Ambientale

**- GEOTECH - di Dott. Geol. Lorenzo Malvezzi - Via Martinelli, 51A - Fossoli di Carpi (MO) - Tel/Fax 059/66.06.43**

## ANALISI PROVE PENETROMETRICHE STATICHE

- Programma CPTWIN ver. 3.2 -

Committente: Remondi Massimo e Andrea  
Località: Via Roosevelt n.186 Carpi (MO)  
Lavoro: Variante al P.P.I.P. B17  
Data: 07/06/2013

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

### - Parametri Geotecnici -

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			47,7	30	4,4	0,222	0,0	149
0,6	17,5	10,6	10,6	0,0			39,6	29,8	4	0,173	0,0	133
0,8	17,5	14,1	14,1	0,0			23,4	13,2	3,2	0,244	0,0	97
1,0	17,5	17,6	17,6	0,0			23,3	10,5	3,2	0,185	0,0	97
1,2	17,5	21,1	19,1	2,0			27,2	11,3	3,4	0,156	0,0	106
1,4	18,5	24,8	20,9	3,9			43	16,4	4,2	0,115	0,0	141
1,6	18,5	28,5	22,6	5,9			62,9	22,2	5,2	0,117	0,0	179
1,8	18,0	32,1	24,3	7,8			54,7	18	4,8	0,130	0,0	164
2,0	17,5	35,6	25,8	9,8			42,6	13,2	4,2	0,156	0,0	141
2,2	18,0	39,2	27,4	11,8			30,4	8,8	3,6	0,122	0,0	116
2,4	19,5	43,1	29,4	13,7	20	30,5	0	6,9			18,4	116
2,6	19,5	47,0	31,3	15,7	23	31,9	0	9			23,8	141
2,8	17,5	50,5	32,8	17,7			30	7,3	3,6	0,145	0,0	116
3,0	20,0	54,5	34,9	19,6	25	32,8	0	11,1			28,9	164
3,2	18,5	58,2	36,6	21,6			37,7	8,2	4	0,111	0,0	133
3,4	18,5	61,9	38,4	23,5			37,5	7,8	4	0,111	0,0	133
3,6	18,5	65,6	40,1	25,5			33,4	6,6	3,8	0,106	0,0	125
3,8	18,0	69,2	41,7	27,5			33,2	6,3	3,8	0,136	0,0	125
4,0	18,5	72,9	43,5	29,4			45,1	8,2	4,4	0,119	0,0	149
4,2	18,5	76,6	45,2	31,4			64,9	11,4	5,4	0,114	0,0	186
4,4	18,0	80,2	46,8	33,4			64,8	11	5,4	0,140	0,0	186
4,6	18,0	83,8	48,5	35,3			72,59	11,9	5,7	0,137	0,0	199
4,8	18,0	87,4	50,1	37,3			60,5	9,6	5,2	0,145	0,0	179
5,0	17,5	90,9	51,7	39,2			48,4	7,4	4,6	0,169	0,0	157
5,2	18,5	94,6	53,4	41,2			72,2	10,8	5,7	0,109	0,0	199
5,4	17,5	98,1	54,9	43,2			48,1	7	4,6	0,156	0,0	157
5,6	17,5	101,6	56,5	45,1			35,9	5	4	0,156	0,0	133
5,8	18,0	105,2	58,1	47,1			43,8	6	4,4	0,141	0,0	149
6,0	18,0	108,8	59,8	49,1			55,6	7,4	4,9	0,126	0,0	172
6,2	19,5	112,7	61,7	51,0	31	34,7	0	20,1			49,4	254
6,4	18,5	116,4	63,4	53,0			119,3	15	8,2	0,113	0,0	270
6,6	17,5	119,9	65,0	54,9			51,2	6,3	4,8	0,219	0,0	164
6,8	18,0	123,5	66,6	56,9			59,1	7	5,2	0,139	0,0	179
7,0	18,5	127,2	68,3	58,9			110,9	12,9	7,8	0,110	0,0	259
7,2	18,0	130,8	70,0	60,8			110,8	12,6	7,8	0,131	0,0	259
7,4	18,0	134,4	71,6	62,8			106,6	11,9	7,6	0,137	0,0	254
7,6	18,5	138,1	73,4	64,7			74,5	8,1	6	0,111	0,0	205
7,8	18,5	141,8	75,1	66,7			82,3	8,7	6,4	0,123	0,0	218
8,0	19,5	145,7	77,0	68,7	29	34,0	0	20,1			48,6	248
8,2	18,0	149,3	78,7	70,6			78	7,9	6,2	0,135	0,0	212
8,4	18,0	152,9	80,3	72,6			69,9	6,9	5,7	0,128	0,0	199
8,6	18,0	156,5	81,9	74,6			49,7	4,8	4,8	0,143	0,0	164
8,8	18,5	160,2	83,7	76,5			65,59	6,2	5,6	0,116	0,0	192
9,0	18,0	163,8	85,3	78,5			65,4	6,1	5,6	0,136	0,0	192
9,2	18,5	167,5	87,1	80,4			85,3	7,8	6,6	0,117	0,0	224
9,4	18,0	171,1	88,7	82,4			69,2	6,2	5,7	0,146	0,0	199
9,6	18,0	174,7	90,3	84,4			65	5,7	5,6	0,131	0,0	192
9,8	18,5	178,4	92,1	86,3			64,9	5,6	5,6	0,121	0,0	192
10,0	18,0	182,0	93,7	88,3			52,7	4,5	4,9	0,138	0,0	172

**- Parametri Geotecnici CPT2 -**

<b>z</b>	<b>g</b>	<b>sv</b>	<b>sv'</b>	<b>Uo</b>	<b>Id</b>	<b>f</b>	<b>Su</b>	<b>OCR</b>	<b>M</b>	<b>Cc</b>	<b>Go</b>	<b>Vs</b>
10,2	18,5	185,7	95,4	90,3			68,59	5,7	5,7	0,118	0,0	199
10,4	18,0	189,3	97,1	92,2			68,4	5,6	5,7	0,132	0,0	199
10,6	18,0	192,9	98,7	94,2			76,3	6,1	6,2	0,130	0,0	212
10,8	18,0	196,5	100,4	96,1			52,1	4,1	4,9	0,150	0,0	172
11,0	17,5	200,0	101,9	98,1			28	2,1	3,8	0,175	0,0	125
11,2	18,5	203,7	103,6	100,1			59,9	4,6	5,4	0,109	0,0	186
11,4	18,5	207,4	105,4	102,0			83,7	6,3	6,6	0,109	0,0	224
11,6	18,0	211,0	107,0	104,0			63,6	4,7	5,6	0,141	0,0	192
11,8	18,0	214,6	108,7	105,9			59,4	4,3	5,4	0,124	0,0	186
12,0	18,0	218,2	110,3	107,9			55,3	4	5,2	0,122	0,0	179
12,2	18,5	221,9	112,0	109,9			55,1	3,9	5,2	0,111	0,0	179
12,4	18,5	225,6	113,8	111,8			51	3,5	4,9	0,108	0,0	172
12,6	18,0	229,2	115,4	113,8			42,8	2,9	4,6	0,142	0,0	157
12,8	17,5	232,7	116,9	115,8			38,7	2,6	4,4	0,148	0,0	149
13,0	17,5	236,2	118,5	117,7			42,6	2,8	4,6	0,149	0,0	157
13,2	18,0	239,8	120,1	119,7			62,4	4,1	5,6	0,141	0,0	192
13,4	18,5	243,5	121,9	121,6			86,3	5,6	6,8	0,119	0,0	230
13,6	18,0	247,1	123,5	123,6			70,09	4,5	6	0,147	0,0	205
13,8	18,0	250,7	125,1	125,6			82	5,2	6,6	0,133	0,0	224
14,0	18,5	254,4	126,9	127,5			113,8	7,1	8,2	0,116	0,0	270
14,2	18,5	258,1	128,6	129,5			109,7	6,8	8	0,129	0,0	265
14,4	18,5	261,8	130,3	131,5			77,5	4,7	6,4	0,123	0,0	218
14,6	18,5	265,5	132,1	133,4			73,4	4,4	6,2	0,113	0,0	212
14,8	18,0	269,1	133,7	135,4			53,2	3,1	5,2	0,122	0,0	179
15,0	18,5	272,8	135,5	137,3			73,09	4,3	6,2	0,109	0,0	212
15,2	19,5	276,7	137,4	139,3	18	29,5	0		12,6		29,5	164
15,4	18,5	280,4	139,1	141,3			60,8	3,4	5,6	0,111	0,0	192
15,6	19,5	284,3	141,1	143,2	19	30,1	0		14,1		33,0	179
15,8	17,5	287,8	142,6	145,2			36,5	2	4,4	0,163	0,0	149
16,0	19,5	291,7	144,6	147,2	20	30,6	0		15,6		36,4	192
16,2	18,0	295,3	146,2	149,1			56,2	3	5,4	0,124	0,0	186
16,4	18,0	298,9	147,8	151,1			44	2,3	4,8	0,137	0,0	164
16,6	18,0	302,5	149,5	153,0			39,9	2,1	4,6	0,142	0,0	157
16,8	18,0	306,1	151,1	155,0			35,79	1,8	4,4	0,126	0,0	149
17,0	18,5	309,8	152,8	157,0			43,6	2,2	4,8	0,118	0,0	164
17,2	18,5	313,5	154,6	158,9			47,5	2,4	4,9	0,108	0,0	172
17,4	18,0	317,1	156,2	160,9			47,3	2,4	4,9	0,126	0,0	172
17,6	17,5	320,6	157,8	162,8			39,2	1,9	4,6	0,149	0,0	157
17,8	18,0	324,2	159,4	164,8			59	2,9	5,6	0,126	0,0	192
18,0	18,5	327,9	161,1	166,8			66,9	3,3	6	0,120	0,0	205
18,2	18,5	331,6	162,9	168,7			90,7	4,4	7,2	0,128	0,0	242
18,4	18,0	335,2	164,5	170,7			102,6	4,9	7,8	0,140	0,0	259
18,6	18,0	338,8	166,1	172,7			106,4	5,1	8	0,144	0,0	265
18,8	18,0	342,4	167,8	174,6			86,3	4,1	7	0,166	0,0	236
19,0	18,0	346,0	169,4	176,6			90,2	4,2	7,2	0,152	0,0	242
19,2	17,5	349,5	171,0	178,5			62	2,9	5,7	0,160	0,0	199
19,4	17,5	353,0	172,5	180,5			57,9	2,6	5,6	0,166	0,0	192
19,6	18,5	356,7	174,2	182,5			77,7	3,5	6,6	0,125	0,0	224
19,8	18,0	360,3	175,9	184,4			53,6	2,4	5,4	0,140	0,0	186
20,0	18,5	364,0	177,6	186,4			61,4	2,7	5,7	0,123	0,0	199

Studio Tecnico Ambientale

- **GEOTECH** - di Dott. Geol. Lorenzo Malvezzi - Via Martinelli, 51A - Fossoli di Carpi (MO) - Tel/Fax 059/66.06.43

## ANALISI PROVE PENETROMETRICHE STATICHE

- Programma CPTWIN ver. 3.2 -

Committente: Remondi Massimo e Andrea  
 Localita': Via Roosevelt n.186 Carpi (MO)  
 Lavoro: Variante al P.P.I.P. B17  
 Data: 07/06/2013

### 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. 3

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

### - Parametri Geotecnici -

z	g	sv	sv'	Uo	Id	f	Su	OCR	M	Cc	Go	Vs
0,2												
0,4	18,0	7,2	7,2	0,0			51,7	30	4,6	0,142	0,0	157
0,6	17,5	10,7	10,7	0,0			23,6	17,6	3,2	0,185	0,0	97
0,8	17,5	14,2	14,2	0,0			19,39	10,9	2,6	0,191	0,0	86
1,0	18,0	17,8	17,8	0,0			31,3	14	3,6	0,134	0,0	116
1,2	20,0	21,8	20,8	1,0	28	33,6		0	9,8		26,5	157
1,4	17,5	25,3	22,4	2,9			35	12,5	3,8	0,185	0,0	125
1,6	19,5	29,2	24,3	4,9	28	33,6		0	10,6		28,1	164
1,8	19,5	33,1	26,2	6,9	24	32,7		0	9,7		25,8	149
2,0	18,0	36,7	27,9	8,8			38,5	11	4	0,129	0,0	133
2,2	18,5	40,4	29,6	10,8			34,4	9,2	3,8	0,106	0,0	125
2,4	18,5	44,1	31,3	12,8			42,2	10,7	4,2	0,115	0,0	141
2,6	18,0	47,7	33,0	14,7			42,1	10,2	4,2	0,123	0,0	141
2,8	19,5	51,6	34,9	16,7	27	33,1		0	11,5		29,8	172
3,0	18,0	55,2	36,6	18,6			33,79	7,3	3,8	0,136	0,0	125
3,2	19,5	59,1	38,5	20,6	22	31,4		0	9,2		23,8	141
3,4	18,5	62,8	40,2	22,6			45,5	9	4,4	0,111	0,0	149
3,6	18,5	66,5	42,0	24,5			45,3	8,6	4,4	0,119	0,0	149
3,8	19,5	70,4	43,9	26,5	23	31,9		0	10,7		27,3	157
4,0	17,5	73,9	45,5	28,4			37	6,5	4	0,147	0,0	133
4,2	20,0	77,9	47,5	30,4	26	33,0		0	13,3		33,6	186
4,4	18,0	81,5	49,1	32,4			60,7	9,8	5,2	0,122	0,0	179
4,6	18,0	85,1	50,8	34,3			56,6	8,9	4,9	0,126	0,0	172
4,8	18,5	88,8	52,5	36,3			64,4	9,8	5,4	0,114	0,0	186
5,0	18,0	92,4	54,1	38,3			48,3	7,1	4,6	0,135	0,0	157
5,2	19,5	96,3	56,1	40,2	27	33,3		0	15,4		38,3	205
5,4	18,5	100,0	57,8	42,2			76	10,5	6	0,116	0,0	205
5,6	18,5	103,7	59,6	44,1			63,9	8,5	5,4	0,109	0,0	186
5,8	18,0	107,3	61,2	46,1			43,7	5,7	4,4	0,126	0,0	149
6,0	18,0	110,9	62,8	48,1			31,6	4	3,8	0,136	0,0	125
6,2	18,0	114,5	64,5	50,0			35,4	4,3	4	0,120	0,0	133
6,4	18,0	118,1	66,1	52,0			47,3	5,7	4,6	0,128	0,0	157
6,6	19,5	122,0	68,0	54,0	28	33,7		0	18,2		44,4	230
6,8	18,5	125,7	69,8	55,9			103	11,8	7,4	0,110	0,0	248
7,0	18,0	129,3	71,4	57,9			66,8	7,4	5,6	0,136	0,0	192
7,2	17,5	132,8	73,0	59,8			42,7	4,6	4,4	0,185	0,0	149
7,4	18,5	136,5	74,7	61,8			86,5	9,2	6,6	0,109	0,0	224
7,6	18,0	140,1	76,3	63,8			90,4	9,4	6,8	0,130	0,0	230
7,8	18,0	143,7	78,0	65,7			70,3	7,2	5,7	0,142	0,0	199
8,0	18,5	147,4	79,7	67,7			70,09	7	5,7	0,118	0,0	199
8,2	18,0	151,0	81,3	69,7			62	6	5,4	0,135	0,0	186
8,4	18,5	154,7	83,1	71,6			73,8	7,1	6	0,120	0,0	205
8,6	18,0	158,3	84,7	73,6			57,7	5,4	5,2	0,128	0,0	179
8,8	18,5	162,0	86,5	75,5			49,5	4,5	4,8	0,111	0,0	164
9,0	17,5	165,5	88,0	77,5			33,4	3	4	0,165	0,0	133
9,2	19,5	169,4	89,9	79,5	23	31,7		0	14,8		35,7	192
9,4	18,5	173,1	91,7	81,4			73,09	6,3	6	0,125	0,0	205
9,6	18,0	176,7	93,3	83,4			60,9	5,2	5,4	0,140	0,0	186
9,8	18,0	180,3	95,0	85,3			68,8	5,7	5,7	0,132	0,0	199
10,0	17,5	183,8	96,5	87,3			36,6	3	4,2	0,188	0,0	141

**- Parametri Geotecnici CPT3 -**

z	g	sv	sv'	Uo	Id	f	Su	OCR	M	Cc	Go	Vs
10,2	18,5	187,5	98,2	89,3			56,5	4,6	5,2	0,111	0,0	179
10,4	18,5	191,2	100,0	91,2			64,4	5,1	5,6	0,121	0,0	192
10,6	18,0	194,8	101,6	93,2			80,2	6,3	6,4	0,136	0,0	218
10,8	18,5	198,5	103,3	95,2			96,1	7,4	7,2	0,122	0,0	242
11,0	18,0	202,1	105,0	97,1			59,9	4,5	5,4	0,135	0,0	186
11,2	18,0	205,7	106,6	99,1			47,8	3,5	4,8	0,130	0,0	164
11,4	18,5	209,4	108,4	101,0			55,6	4,1	5,2	0,111	0,0	179
11,6	18,0	213,0	110,0	103,0			55,5	4	5,2	0,128	0,0	179
11,8	18,0	216,6	111,6	105,0			67,3	4,8	5,7	0,142	0,0	199
12,0	18,0	220,2	113,3	106,9			79,2	5,5	6,4	0,127	0,0	218
12,2	18,0	223,8	114,9	108,9			63	4,3	5,6	0,141	0,0	192
12,4	18,0	227,4	116,5	110,9			62,9	4,3	5,6	0,141	0,0	192
12,6	18,5	231,1	118,3	112,8			74,8	5	6,2	0,118	0,0	212
12,8	20,0	235,1	120,3	114,8	27	33,3		0	22,3		52,3	259
13,0	17,5	238,6	121,9	116,7			54,5	3,5	5,2	0,161	0,0	179
13,2	18,0	242,2	123,5	118,7			50,3	3,2	4,9	0,150	0,0	172
13,4	18,0	245,8	125,1	120,7			54,2	3,4	5,2	0,134	0,0	179
13,6	18,0	249,4	126,8	122,6			62	3,9	5,6	0,126	0,0	192
13,8	18,0	253,0	128,4	124,6			73,9	4,6	6,2	0,130	0,0	212
14,0	18,5	256,7	130,2	126,5			97,7	6	7,4	0,123	0,0	248
14,2	18,0	260,3	131,8	128,5			85,6	5,1	6,8	0,148	0,0	230
14,4	18,0	263,9	133,4	130,5			65,4	3,9	5,7	0,146	0,0	199
14,6	18,0	267,5	135,1	132,4			49,3	2,9	4,9	0,132	0,0	172
14,8	18,0	271,1	136,7	134,4			41,2	2,4	4,6	0,142	0,0	157
15,0	18,0	274,7	138,3	136,4			49	2,8	4,9	0,126	0,0	172
15,2	18,0	278,3	140,0	138,3			48,9	2,7	4,9	0,138	0,0	172
15,4	18,5	282,0	141,7	140,3			72,7	4,1	6,2	0,118	0,0	212
15,6	19,5	285,9	143,7	142,2	24	32,0		0	19,5		45,1	230
15,8	18,5	289,6	145,4	144,2			80,4	4,4	6,6	0,109	0,0	224
16,0	18,0	293,2	147,0	146,2			68,3	3,7	6	0,147	0,0	205
16,2	18,5	296,9	148,8	148,1			80,09	4,3	6,6	0,113	0,0	224
16,4	17,5	300,4	150,3	150,1			52	2,7	5,2	0,161	0,0	179
16,6	18,0	304,0	151,9	152,1			43,8	2,3	4,8	0,143	0,0	164
16,8	18,0	307,6	153,6	154,0			35,7	1,8	4,4	0,141	0,0	149
17,0	18,5	311,3	155,3	156,0			59,5	3	5,6	0,121	0,0	192
17,2	18,0	314,9	157,0	157,9			55,4	2,8	5,4	0,130	0,0	186
17,4	18,0	318,5	158,6	159,9			59,3	2,9	5,6	0,141	0,0	192
17,6	18,0	322,1	160,2	161,9			63,1	3,1	5,7	0,137	0,0	199
17,8	18,0	325,7	161,9	163,8			63	3,1	5,7	0,156	0,0	199
18,0	19,5	329,6	163,8	165,8	28	33,6		0	27,3		62,1	297
18,2	18,0	333,2	165,4	167,8			94,7	4,5	7,4	0,133	0,0	248
18,4	18,0	336,8	167,1	169,7			74,5	3,5	6,4	0,152	0,0	218
18,6	18,0	340,4	168,7	171,7			66,4	3,1	6	0,151	0,0	205
18,8	18,0	344,0	170,4	173,6			74,2	3,4	6,4	0,131	0,0	218
19,0	18,0	347,6	172,0	175,6			78,09	3,6	6,6	0,133	0,0	224
19,2	18,0	351,2	173,6	177,6			62	2,8	5,7	0,142	0,0	199
19,4	17,5	354,7	175,2	179,5			41,8	1,9	4,8	0,156	0,0	164
19,6	18,5	358,4	176,9	181,5			57,7	2,6	5,6	0,121	0,0	192
19,8	18,0	362,0	178,6	183,4			57,5	2,5	5,6	0,126	0,0	192
20,0	18,0	365,6	180,2	185,4			61,4	2,7	5,7	0,137	0,0	199

Studio Tecnico Ambientale

- **GEOTECH** - di Dott. Geol. Lorenzo Malvezzi - Via Martinelli, 51A - Fossoli di Carpi (MO) - Tel/Fax 059/66.06.43

**Allegato N. 8**

**“RISCHIO DI LIQUEFAZIONE E CALCOLO CEDIMENTI POST-SISMICI”**

**- dati e diagrammi -**

Studio Tecnico Ambientale

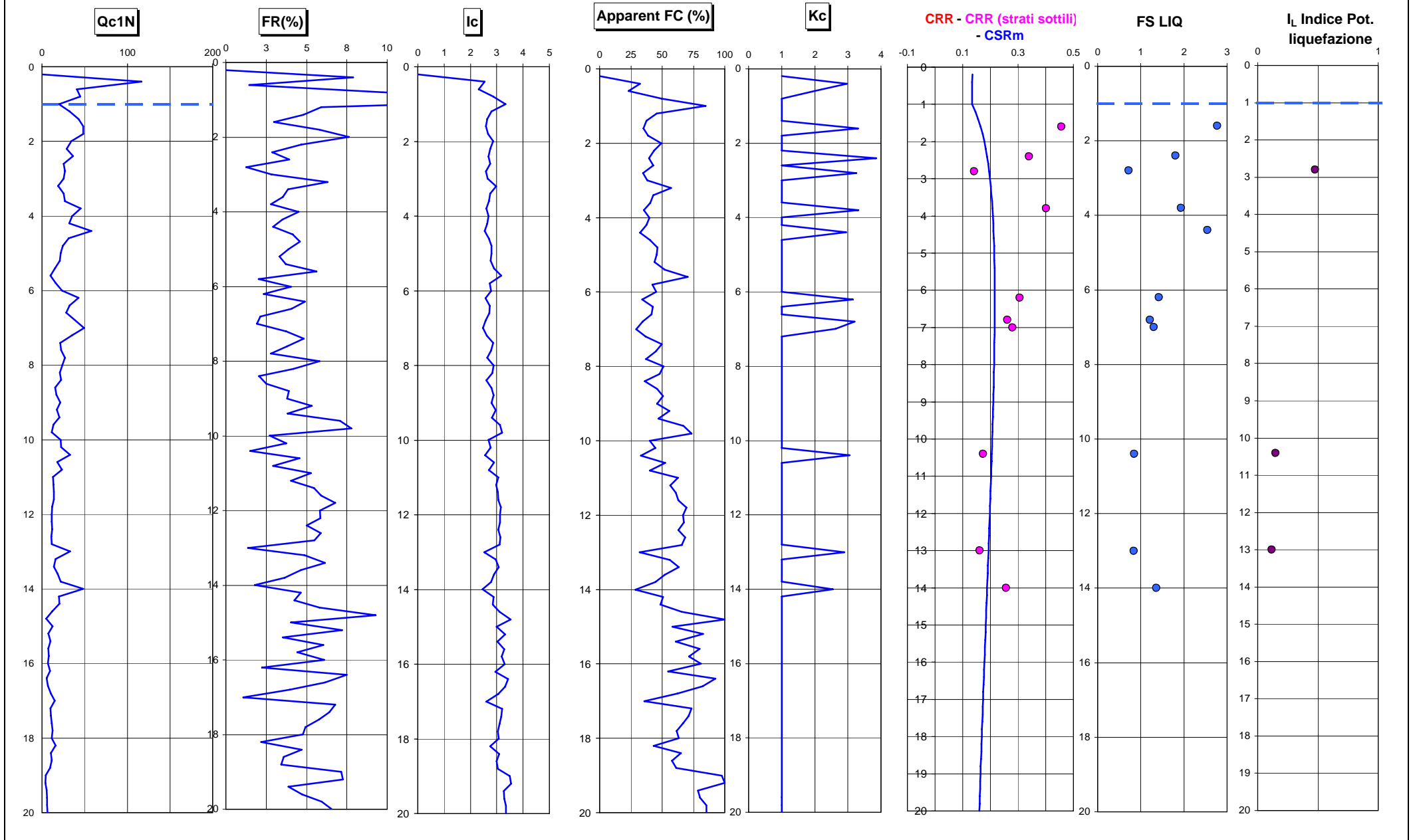
**GEOTECH**

*di Dott. Geol. Lorenzo Malvezzi*

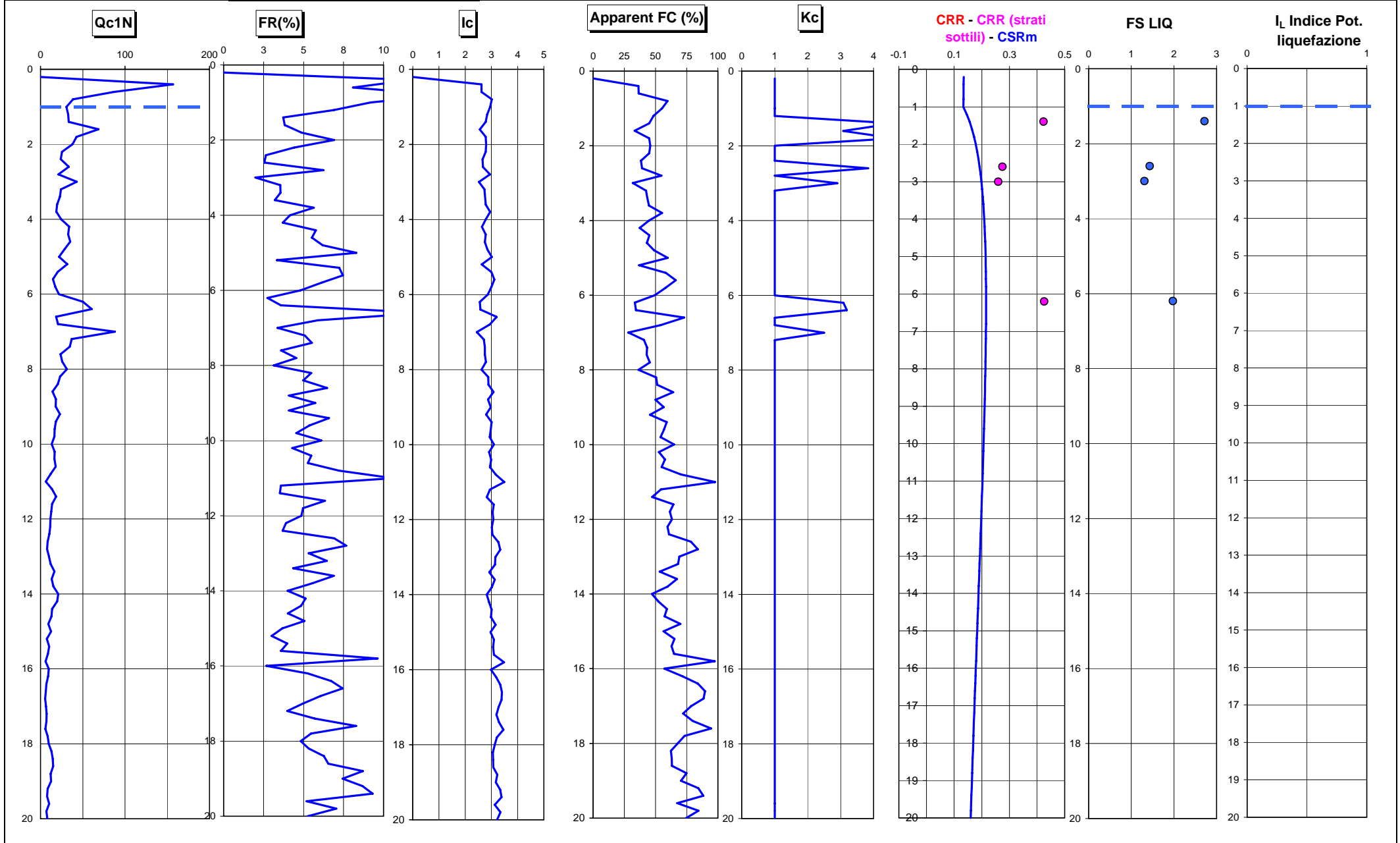
Via Martinelli, 51A - Fossoli di Carpi (MO)

Tel/Fax 059/66.06.43

Informazioni generali		Informazioni falda		Informazioni terremoto		Informazioni e Risultati analisi	
Località	Via Roosevelt Carpi (MO)	Profondità falda da pdc (m) = 1.00	<b>ALLEGATO 3.1</b>	M <sub>w</sub> :	6.20	CRR > Formule di Robertson e Wride (1997) - sabbie con fine CSR = 0.65(a <sub>max</sub> /g)(σ <sub>vo</sub> /σ' <sub>vo</sub> )r <sub>d</sub> con rd Idriss e Boulanger, 2004 F <sub>LIQ</sub> = (CRR/CSR)*MSF con MSF di Idriss e Boulanger, 2004	<b>STUDIO TECNICO AMBIENTALE</b> <b>GEOTECH</b> di Dott. Geol. Lorenzo Malvezzi Via I. Martinelli n° 51A - 41010 Fossoli di Carpi (MO) Tel./Fax 059/66.06.43
Coord GB /				a <sub>max</sub> (g):	0.290		
Prova	Prova nr. 1						
data	07/06/2013						

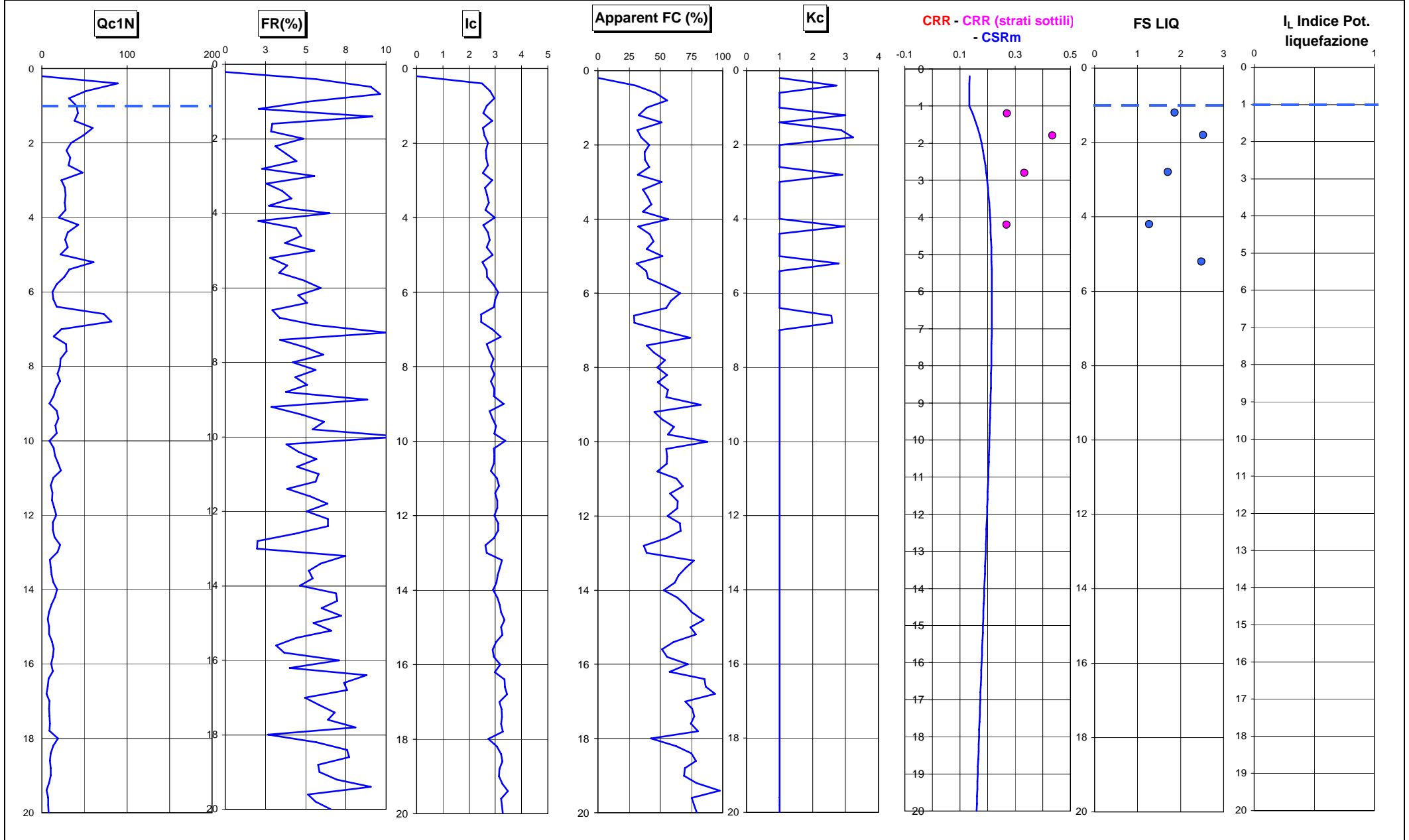


Informazioni generali		Informazioni falda		Informazioni terremoto		Informazioni e Risultati analisi	
Località	Via Roosevelt Carpi (MO)	Profondità falda da pdc (m) = 1.00	<b>ALLEGATO 3.2</b>	$M_w$ :	6.20	CRR > Formule di Robertson e Wride (1997) - sabbie con fine CSR = $0.65(a_{max}/g)(\sigma'_{v0}/\sigma'_{vo})F_d$ con rd Idriss e Boulanger, 2004 $F_{LIQ} = (CRR/CSR) * MSF$ con MSF di Idriss e Boulanger, 2004	STUDIO TECNICO AMBIENTALE <b>GEOTECH</b> di Dott. Geol. Lorenzo Malvezzi Via I. Martinelli n° 51A - 41010 Fossoli di Carpi (MO) Tel./Fax 059/66.06.43
Coord GB	/			$a_{max}$ (g):	0.290		
Prova	Prova nr. 2			$I_L$ (indice del potenziale liquefazione) =	0.00		
data	07/06/2013						

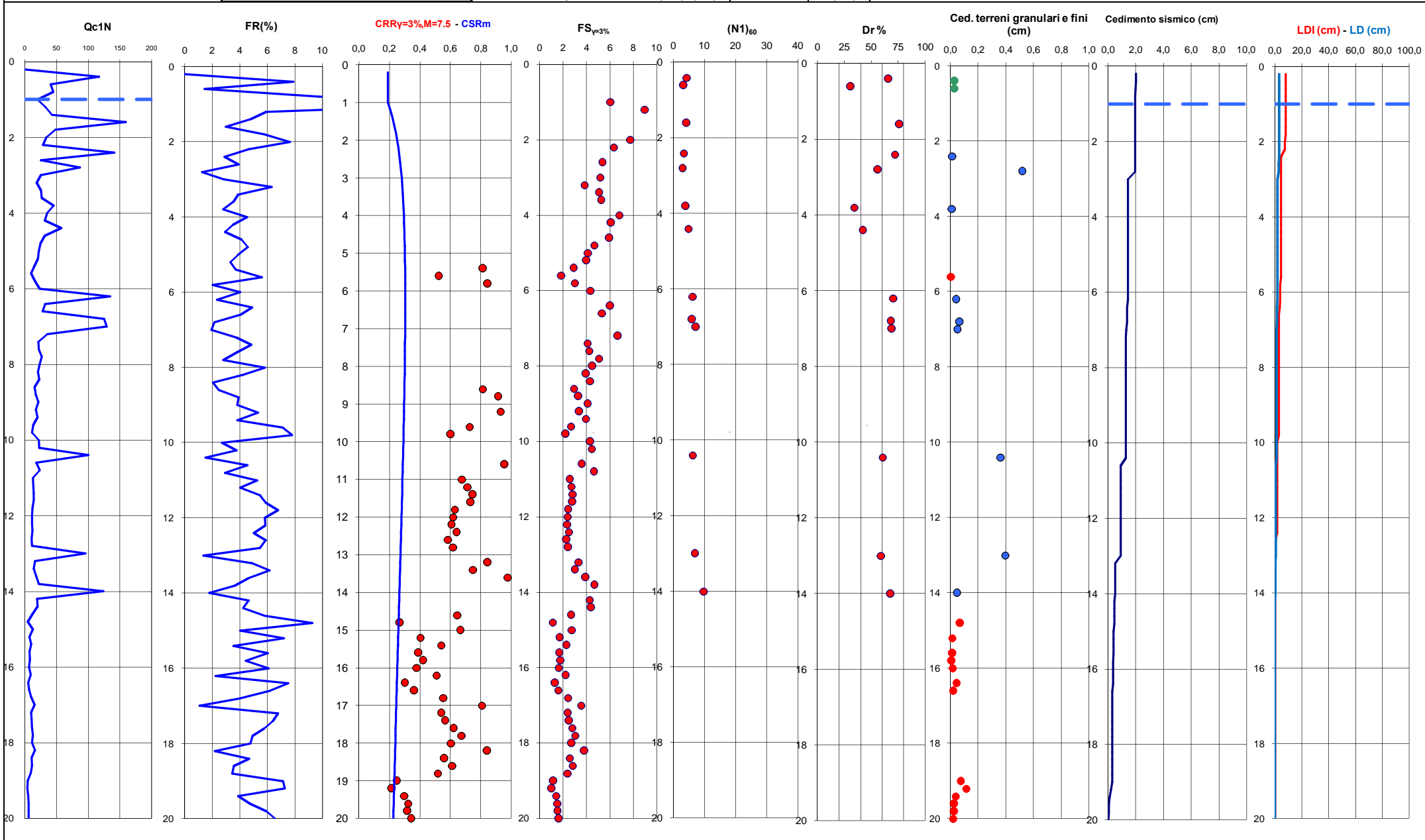




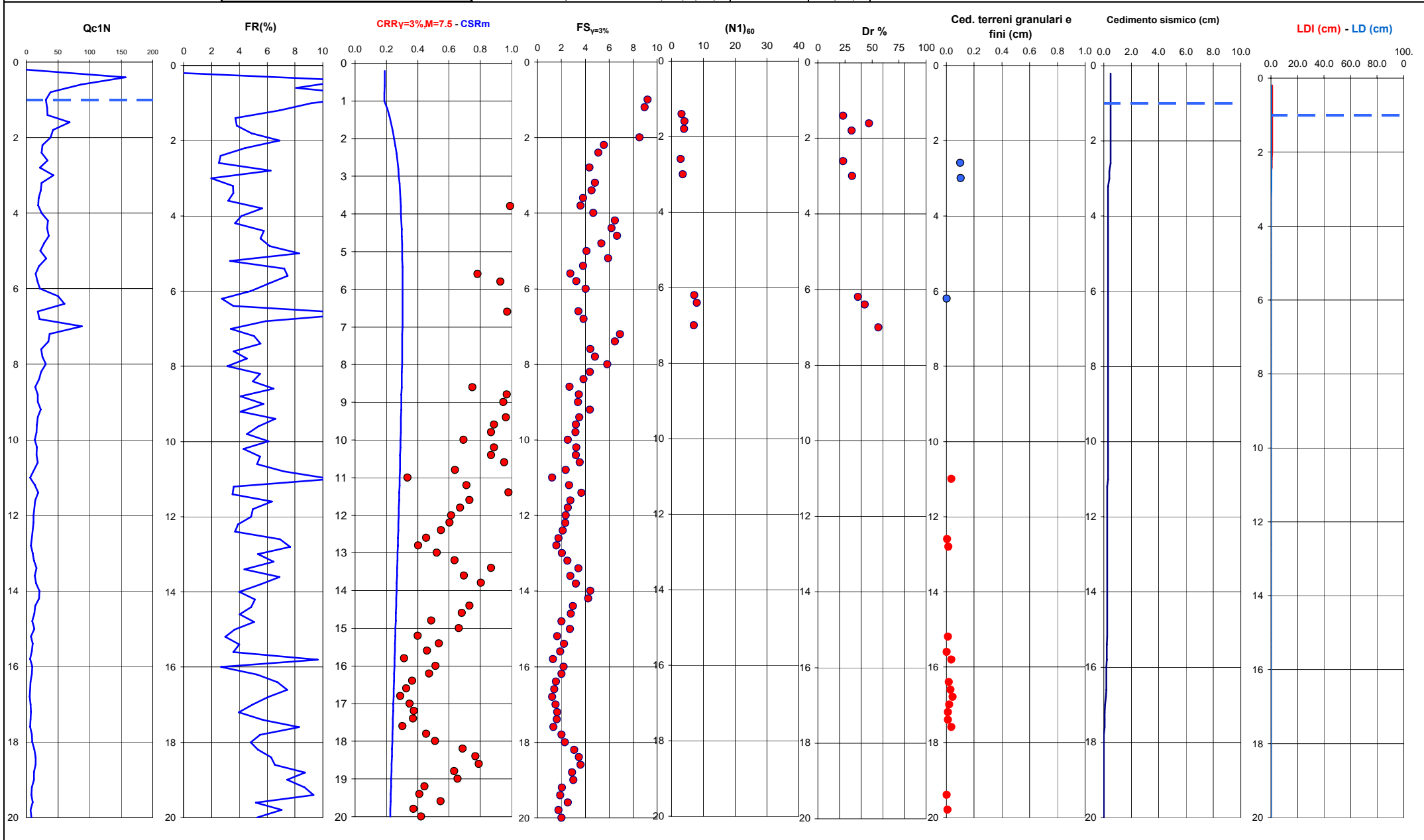
Informazioni generali		Informazioni falda		Informazioni terremoto		Informazioni e Risultati analisi	
Località	Via Roosevelt Carpi (MO)	Profondità falda da pdc (m) = 1.00	<b>ALLEGATO 3.3</b>	M <sub>w</sub> :	6.20	CRR > Formule di Robertson e Wride (1997) - sabbie con fine CSR = 0.65(a <sub>max</sub> /g)(σ <sub>vo</sub> /σ' <sub>vo</sub> )r <sub>d</sub> con rd Idriss e Boulanger, 2004 F <sub>LIQ</sub> = (CRR/CSR)*MSF con MSF di Idriss e Boulanger, 2004	STUDIO TECNICO AMBIENTALE <b>GEOTECH</b> di Dott. Geol. Lorenzo Malvezzi Via I. Martinelli n° 51A - 41010 Fossoli di Carpi (MO) Tel./Fax 059/66.06.42
Coord GB /				a <sub>max</sub> (g):	0.290		
Prova	Prova nr. 3					I <sub>L</sub> (indice del potenziale liquefazione) =	0.00
data	07/06/2013					Rischio di liquefazione =	molto basso



Informazioni generali		Informazioni falda e terremoto		Informazioni e Risultati analisi			<b>STUDIO TECNICO AMBIENTALE</b> <b>GEOTECH</b> di Dott. Geol. Lorenzo Malvezzi Via I. Martinelli n° 51A - 41010 Fossoli di Carpi (MO) Tel./Fax 059/66.06.43	
Località	Via Roosevelt Carpi (MO)	Profondità falda da pdc (m) = 1,00	M <sub>w</sub> : 6,2	a <sub>max</sub> (g): 0,29	Cedimento terreni granulari saturi (Zhang et al, 2002)	●		1,49
Coord GB	/				Cedimento terreni fini saturi (Robertson, 2009)	●		0,47
Prova	Prova nr. 1				Cedimento terreni granulari non saturi (Krinitzsky et al., 1993)	●		0,06
data	07/06/2013				<b>Cedimento totale (cm)</b>			<b>2,02</b>
					Lateral displacement Index (LDI) (cm) =	7,92	LD (cm) = 3,17	

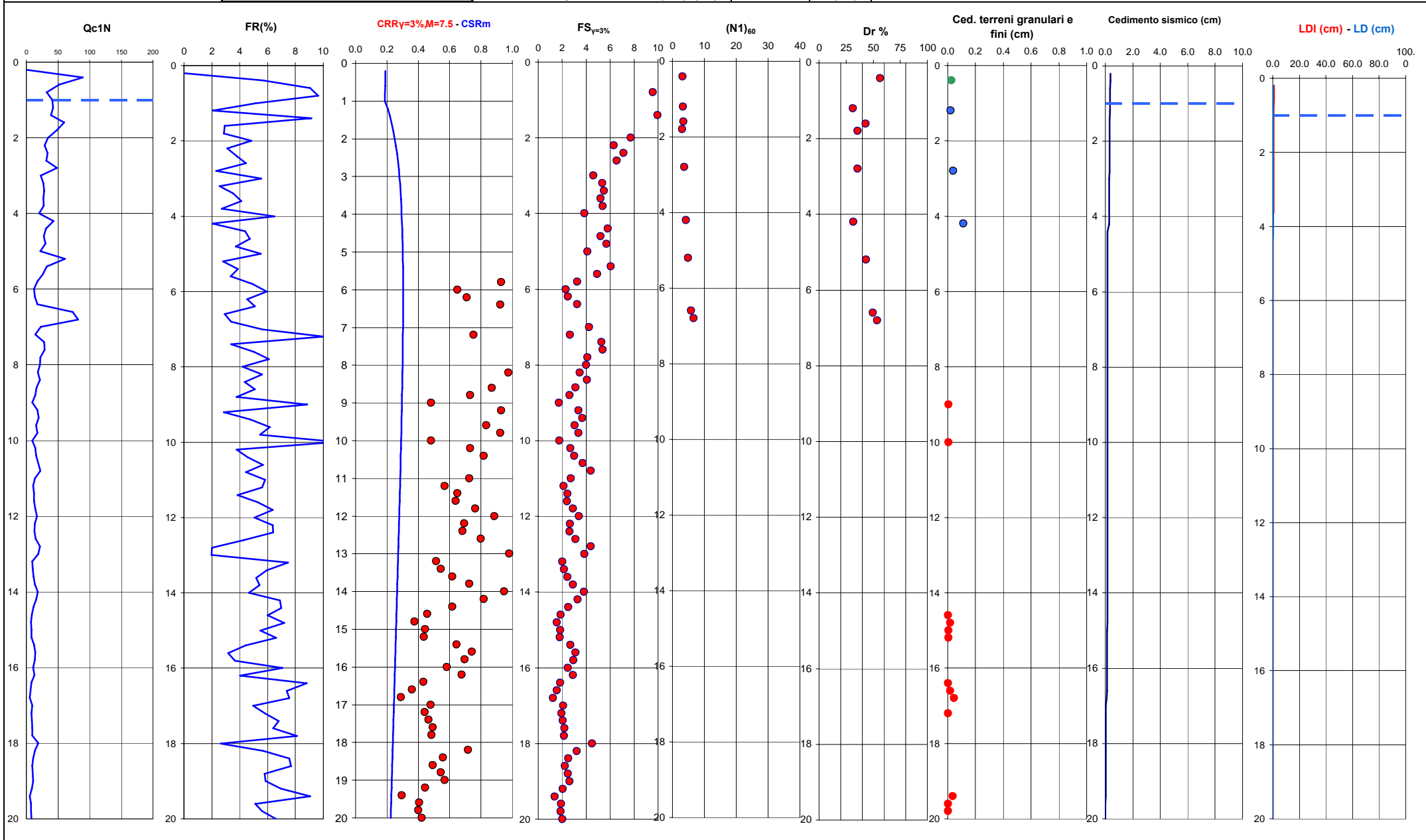


Informazioni generali		Informazioni falda e terremoto		Informazioni e Risultati analisi			<b>STUDIO TECNICO AMBIENTALE</b> <b>GEOTECH</b> di Dott. Geol. Lorenzo Malvezzi Via I. Martinelli n° 51A - 41010 Fossoli di Carpi (MO) Tel./Fax 059/66.06.43
Località	Via Roosevelt Carpi (MO)	Profondità falda da pdc (m) =	1.00	Cedimento terreni granulari saturi (Zhang et al, 2002)	●	0.21	
Coord GB	/	$M_w$ :	6.2	Cedimento terreni fini saturi (Robertson, 2009)	●	0.30	
Prova	Prova nr. 2	$a_{max}$ (g):	0.29	Cedimento terreni granulari non saturi (Krinitzsky et al., 1993)	●	0.00	
data	07/06/2013	<b>ALLEGATO 4.2</b>			Cedimento totale (cm)	■	
				Lateral displacement Index (LDI) (cm) =	0.91	LD (cm) =	0.36



Informazioni generali		Informazioni falda e terremoto		Informazioni e Risultati analisi			
Località	Via Roosevelt Carpi (MO)	Profondità falda da pdc (m) =	1.00	Cedimento terreni granulari saturi (Zhang et al, 2002)	●	0.18	
Coord GB	/	$M_w$ :	6.2	Cedimento terreni fini saturi (Robertson, 2009)	●	0.16	
Prova	Prova nr. 3	$a_{max}$ (g):	0.29	Cedimento terreni granulari non saturi (Krinitzsky et al., 1993)	●	0.03	
data	07/06/2013	<b>ALLEGATO 4.3</b>		Cedimento totale (cm)	■	0.36	
				Lateral displacement Index (LDI) (cm) =	0.82	LD (cm) =	0.33

STUDIO TECNICO AMBIENTALE  
**GEOTECH** di Dott. Geol. Lorenzo Malvezzi  
 Via I. Martinelli n° 51A - 41010 Fossoli di Carpi (MO)  
 Tel./Fax 059/66.06.43



**Allegato N. 9**

**“PROSPEZIONE SISMICA DI SUPERFICIE MASW”**

**- dati e diagrammi -**

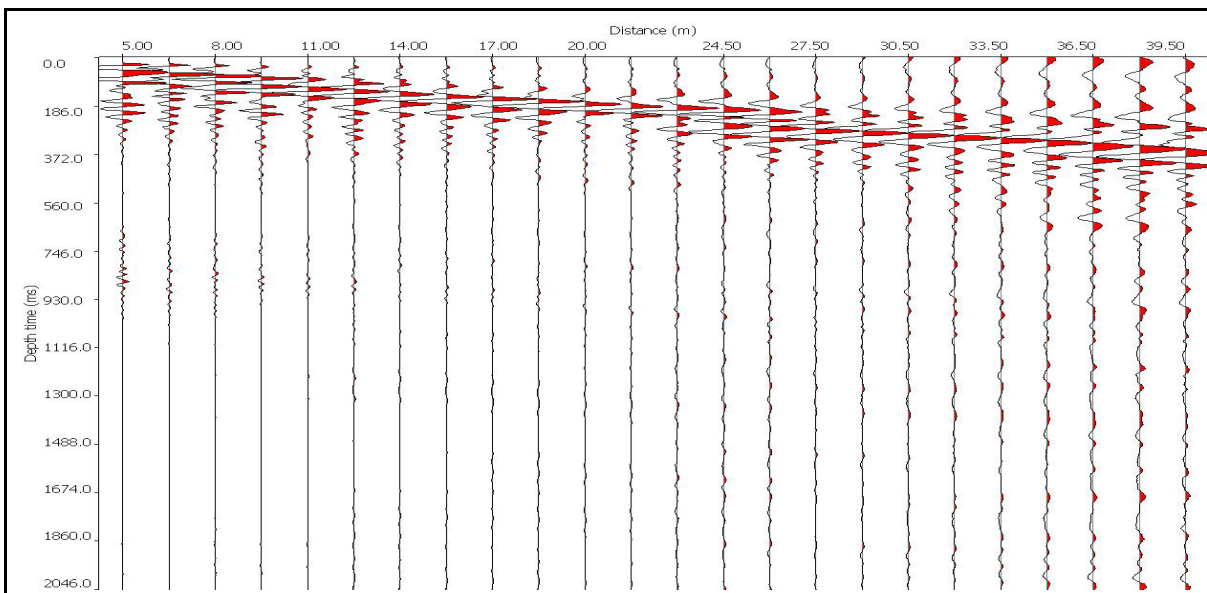
Studio Tecnico Ambientale

**GEOTECH**

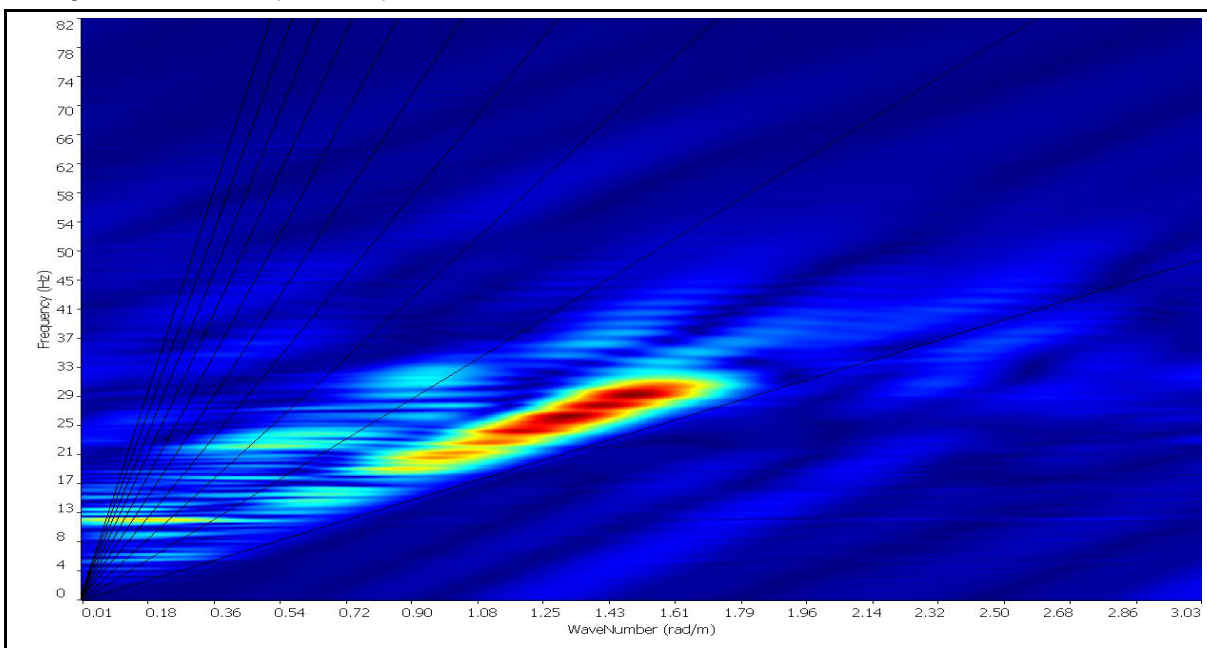
*di Dott. Geol. Lorenzo Malvezzi*

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

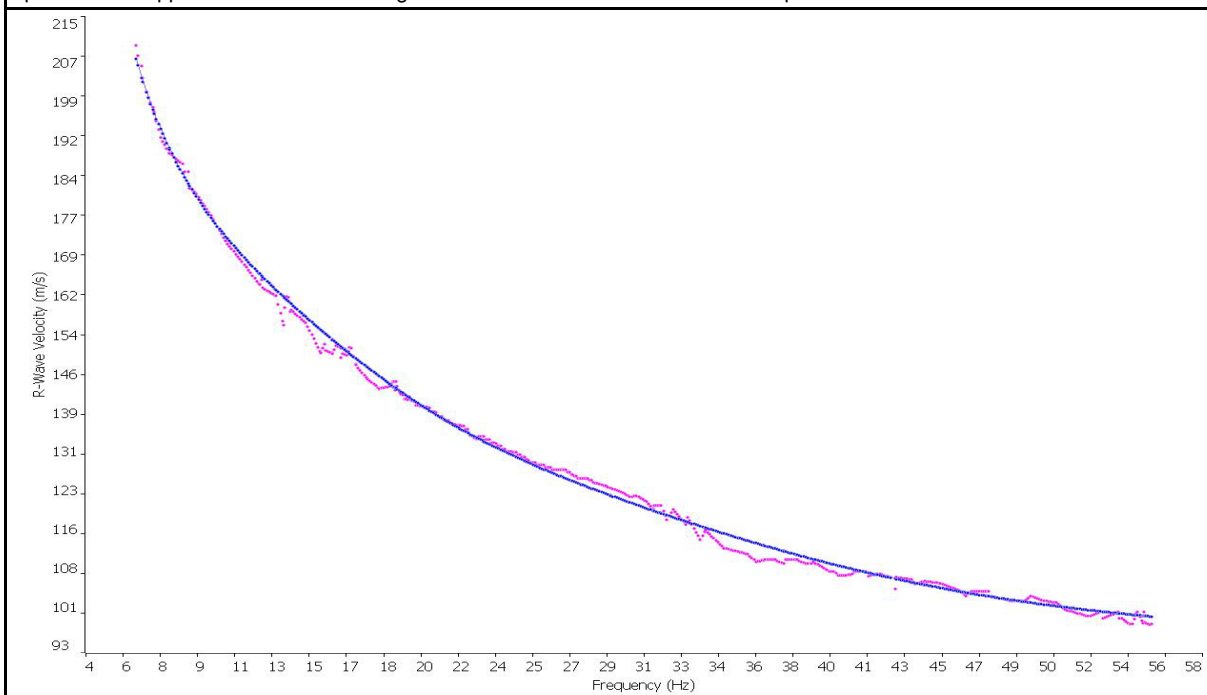
Tel/Fax 059/66.06.43



Sismogramma nel dominio spazio - tempo



Spettro FK - Rappresentazione del sismogramma nel dominio numero d'onda - frequenza



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

**V<sub>S30</sub> calcolata in base al art. 3.2.2. del NTC08**

Prof. posa fondazione in m da pc= 1.2

$$V_S \frac{1.2}{31.2} = 232 \text{ m/sec}$$

Prof. posa fondazione in m da pc= 3.8

$$V_S \frac{3.8}{33.8} = 251 \text{ m/sec}$$

Profondità comunicate dal committente

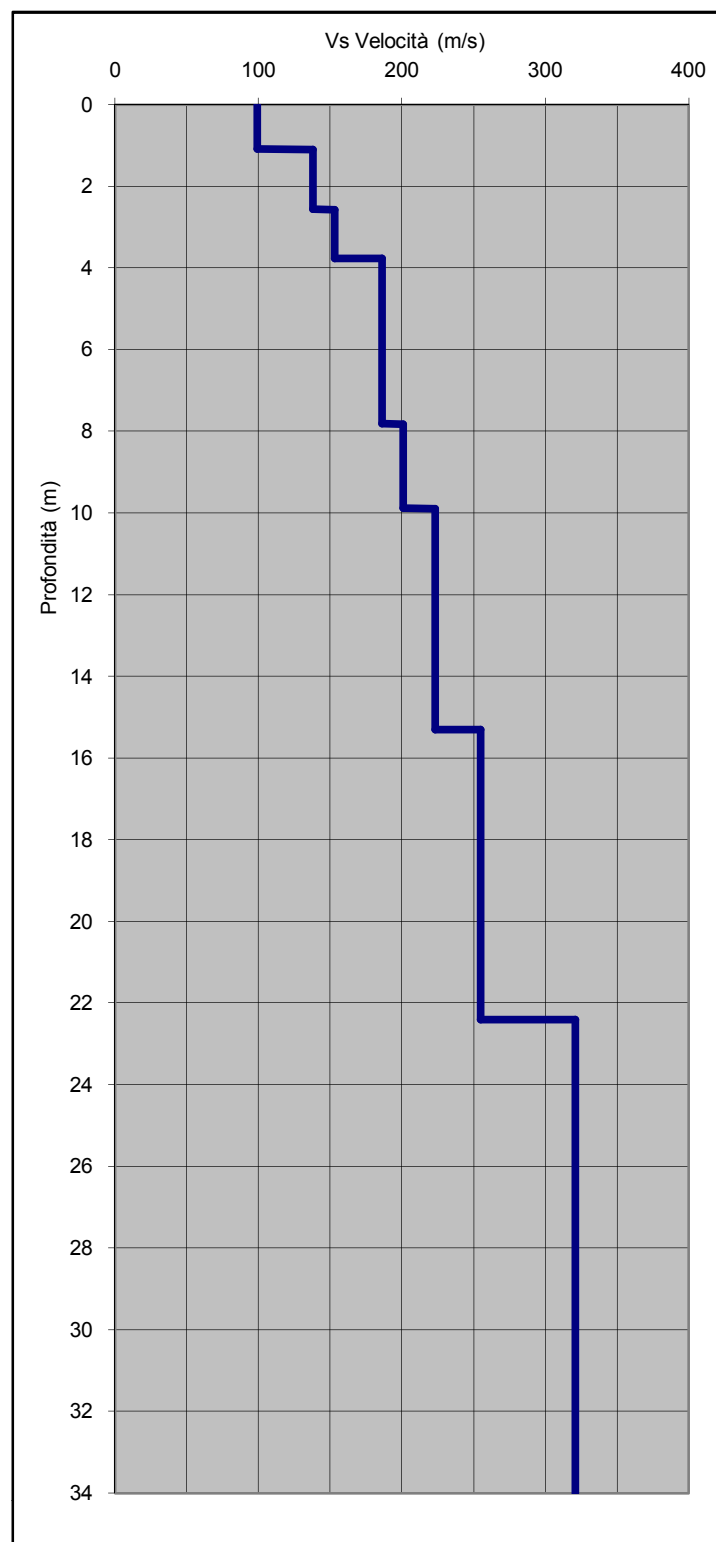


Grafico velocità/profondità onde di taglio Vs

Risultati elaborazione				
Strato	Profondità	Spessore	Vel	
	da	a	m	m/sec
Strato1	0.00	1.09	1.09	99
Strato2	1.09	2.56	1.47	138
Strato3	2.56	3.76	1.20	153
Strato4	3.76	7.81	4.05	186
Strato5	7.81	9.88	2.07	201
Strato6	9.88	15.30	5.42	223
Strato7	15.30	22.40	7.10	255
Strato8	22.40	30.00	7.60	321

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

**V<sub>S30</sub> = 218 m/sec**  
velocità calcolata dal p.c. naturale

*Si ricorda che in base all'art 3.2.2 del DM 14 gennaio 2008 la V<sub>S30</sub> di progetto è riferita al piano di imposta delle fondazioni superficiali o alla testa dei pali in caso di fondazioni profonde od opere di sostegno di terreni naturali.*

**Caratteristiche Indagine**

Ubicazione indagine

Sismografo	PASI SG24
Geofoni	Geospace
N° geofoni a 4,5Hz	24
Spaziatura geofoni	1,5 m
Lunghezza stendimento geofonico	34,5 m
Energizzazione	5 m
Lunghezza totale stendimento	39,5 m

**PROSPEZIONE SISMICA DI SUPERFICIE**  
**METODOLOGIA MASW**

**COMMITTENTE:**  
GEOTECH di dott. Geol. Lorenzo Malvezzi  
Via I. Martinelli 51/a - Fossoli di Carpi (MO)

**LOCALITA':**  
Via Roosevelt, 186  
Cibeno di Carpi (MO)

**CANTIERE:**  
Variante al P.P.I.P. denominato "B17" residenziale

<b>DATA:</b> 23 Maggio 2013	<b>TECNOGEOFISICA snc</b> Via Cattania, 1/a - 41012 Carpi (MO) info@tecnogefisica.com www.tecnogefisica.com
<b>FILE:</b> MW_Roosevelt	
<b>Dir. Lavori:</b> Dr. Geol. Lorenzo Malvezzi	
<b>Rif. 153_13</b>	

**Allegato N. 10**

**“RSL CON CODICE DI CALCOLO EERA”**

**- Spettro in superficie – Spettro su suolo di tipo “C” -**

Studio Tecnico Ambientale

**GEOTECH**

*di Dott. Geol. Lorenzo Malvezzi*

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

Tel/Fax 059/66.06.43

Allegato 2 – Risultati RSL

T (periodo)	Spettro terremoto rif. 000046xa_036005Carpi	Spettro terremoto rif. 000126xa_036005Carpi	Spettro terremoto rif. 000354xa_036005Carpi	Spettro medio di riferimento a 1 Outcrop
0.01	0.279	0.318	0.272	<b>0.290</b>
0.02	0.28	0.32	0.27	0.29
0.03	0.29	0.32	0.28	0.30
0.04	0.32	0.33	0.30	0.31
0.05	0.34	0.33	0.28	0.32
0.06	0.32	0.35	0.31	0.32
0.07	0.34	0.38	0.36	0.36
0.08	0.40	0.48	0.41	0.43
0.09	0.47	0.46	0.52	0.48
0.10	0.54	0.46	0.52	0.51
0.11	0.55	0.55	0.64	0.58
0.12	0.65	0.63	0.69	0.66
0.13	0.69	0.59	0.80	0.69
0.14	0.63	0.56	0.89	0.70
0.15	0.78	0.67	0.79	0.75
0.16	0.71	0.63	0.73	0.69
0.17	0.70	0.53	0.67	0.63
0.18	0.83	0.60	0.77	0.73
0.19	0.75	0.66	0.94	0.78
0.20	0.62	0.67	0.86	0.72
0.21	0.69	0.64	0.64	0.65
0.22	0.86	0.59	0.61	0.69
0.23	0.97	0.54	0.72	0.74
0.24	0.98	0.54	0.76	0.76
0.25	0.93	0.58	0.76	0.76
0.26	0.82	0.65	0.74	0.74
0.27	0.74	0.72	0.89	0.78
0.28	0.64	0.74	0.98	0.79
0.29	0.54	0.73	0.90	0.72
0.30	0.60	0.69	0.73	0.67
0.31	0.60	0.66	0.64	0.63
0.32	0.58	0.67	0.61	0.62
0.33	0.51	0.68	0.59	0.60
0.34	0.56	0.68	0.60	0.61
0.35	0.64	0.67	0.56	0.62
0.36	0.66	0.65	0.51	0.61
0.37	0.71	0.63	0.59	0.64
0.38	0.74	0.61	0.62	0.66
0.39	0.75	0.59	0.60	0.65
0.40	0.73	0.59	0.54	0.62
0.41	0.70	0.59	0.50	0.60
0.42	0.65	0.59	0.51	0.58
0.43	0.60	0.58	0.56	0.58
0.44	0.55	0.56	0.56	0.56
0.45	0.51	0.54	0.55	0.53
0.46	0.47	0.51	0.53	0.51
0.47	0.45	0.47	0.51	0.48
0.48	0.43	0.43	0.50	0.45
0.49	0.43	0.39	0.49	0.44
0.50	0.43	0.36	0.48	0.42
0.51	0.43	0.33	0.47	0.41
0.52	0.44	0.31	0.45	0.40



0.53	0.45	0.30	0.42	0.39
0.54	0.45	0.29	0.37	0.37
0.55	0.46	0.30	0.37	0.37
0.56	0.46	0.30	0.38	0.38
0.57	0.47	0.31	0.39	0.39
0.58	0.47	0.32	0.39	0.39
0.60	0.46	0.32	0.41	0.40
0.62	0.45	0.32	0.43	0.40
0.64	0.44	0.31	0.45	0.40
0.66	0.43	0.30	0.48	0.40
0.68	0.41	0.27	0.50	0.40
0.70	0.39	0.25	0.51	0.38
0.72	0.37	0.24	0.49	0.37
0.74	0.35	0.23	0.45	0.34
0.76	0.32	0.24	0.41	0.33
0.78	0.30	0.24	0.38	0.31
0.80	0.28	0.24	0.36	0.29
0.82	0.26	0.24	0.33	0.27
0.84	0.23	0.24	0.30	0.26
0.86	0.21	0.24	0.26	0.24
0.88	0.20	0.23	0.23	0.22
0.90	0.18	0.22	0.23	0.21
0.92	0.16	0.21	0.23	0.20
0.94	0.15	0.20	0.22	0.19
0.96	0.13	0.19	0.20	0.17
0.98	0.13	0.18	0.17	0.16
1.00	0.12	0.17	0.15	0.15
1.05	0.11	0.15	0.16	0.14
1.10	0.09	0.13	0.17	0.13
1.15	0.08	0.11	0.18	0.13
1.20	0.07	0.10	0.17	0.11
1.25	0.07	0.08	0.14	0.09
1.30	0.06	0.07	0.11	0.08
1.35	0.05	0.07	0.10	0.07
1.40	0.05	0.06	0.11	0.07
1.45	0.04	0.06	0.11	0.07
1.50	0.04	0.05	0.09	0.06
1.55	0.04	0.05	0.09	0.06
1.60	0.03	0.04	0.08	0.05
1.65	0.03	0.04	0.07	0.05
1.70	0.03	0.04	0.06	0.04
1.75	0.03	0.03	0.05	0.04
1.80	0.02	0.03	0.04	0.03
1.85	0.02	0.03	0.04	0.03
1.90	0.02	0.03	0.04	0.03
1.95	0.02	0.03	0.04	0.03
2.00	0.02	0.03	0.04	0.03

**Allegato N. 11**

**“INDAGINE A STAZIONE SINGOLA HVSR (TROMINO®)”**

**- Frequenza fondamentale del terreno (dati e diagrammi) -**

Studio Tecnico Ambientale

**GEOTECH**

*di Dott. Geol. Lorenzo Malvezzi*

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

Tel/Fax 059/66.06.43

### ALLEGATO 1 - SUOLO, VIA ROOSVELT

Instrument: TRZ-0010/01-09

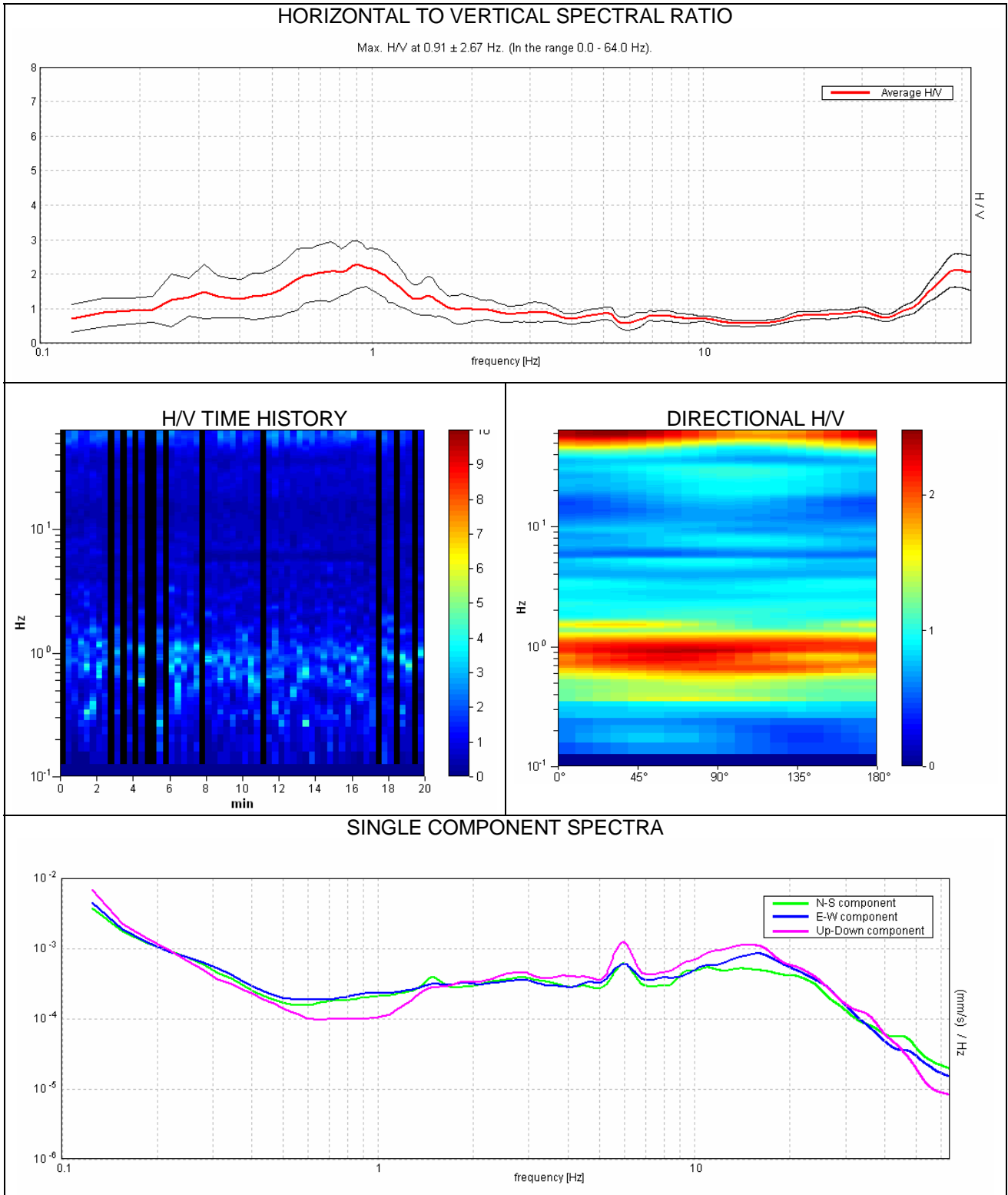
Start recording: 17/06/13 09:59:37 End recording: 17/06/13 10:19:38

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Coordinate Gauss-Boaga: 1650009-4962023

Trace length: 0h20'00". Analyzed 80% trace (manual window selection)

Sampling rate: 128 Hz - Window size: 20 s - Smoothing type: Triangular window -Smoothing: 10%



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

**Max. H/V at 0.91 ± 2.67 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).**

**Criteria for a reliable H/V curve**

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	0.91 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	870.0 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 44 times	OK	

**Criteria for a clear H/V peak**

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.219 Hz	OK	
Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.656 Hz	OK	
$A_0 > 2$	2.29 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 1.44982  < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	1.3139 < 0.13594		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.3364 < 2.0	OK	

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

**Threshold values for  $\sigma_f$  and  $\sigma_A(f_0)$**

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