



COGEO STUDIO GEOLOGICO

Dott. Cocetti Marcello - Dott. Cocetti Pier Luigi  
Via Giardini Sud n° 127 - 41026 Pavullo nel Frignano (MODENA)  
TEL. 0536/324537 - E-MAIL cogeo@fastwebnet.it



# Integrazione Sismica

(CONFORME AI PUNTI 6.1, 6.2, 6.3 DELL'ALLEGATO B.2.1 DEL BURERT N° 153)

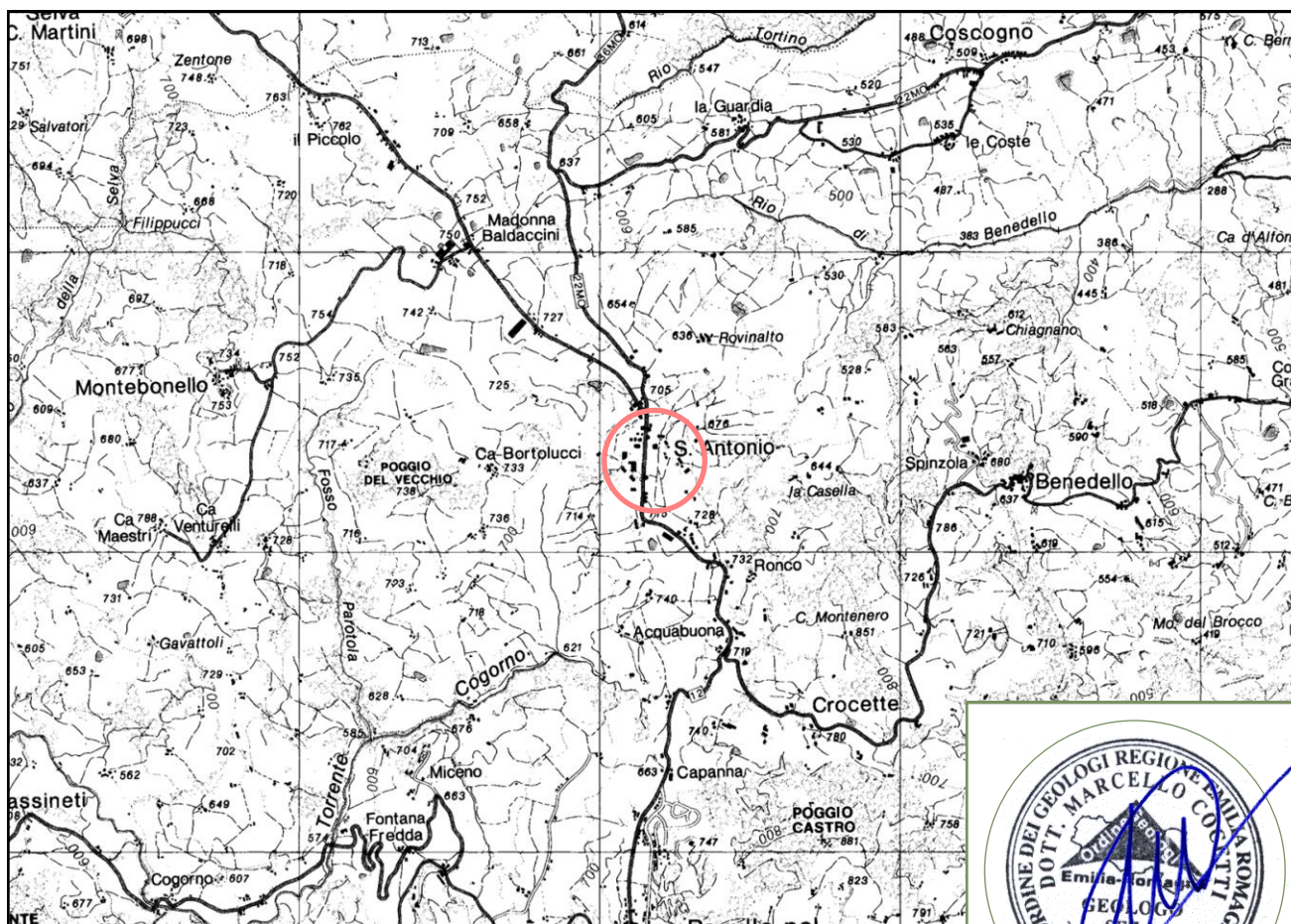
**OGGETTO** : **MANIFESTAZIONE DI INTERESSE - PROPOSTA RIGUARDO AD INTERVENTI DA PROGRAMMARE NEL PRIMO PIANO OPERATIVO COMUNALE (POC) DEL COMUNE DI PAVULLO**

**LOCALITÀ** : **S.ANTONIO - ANS 1.26**

**COMUNE** : **PAVULLO NEL FRIGNANO**

**COMMITTENTE** : **FLORINI EMER, FLORINI DENIS, GANDOLFI ILVES CIAMARONI MARIA, CIAMARONI WILSON**

**PROGETTO** : **FLORINI ING EMER**



UBICAZIONE DELL'INTERVENTO      SCALA 1:50'000      1 Km

TAV. F236

COORDINATE UTM

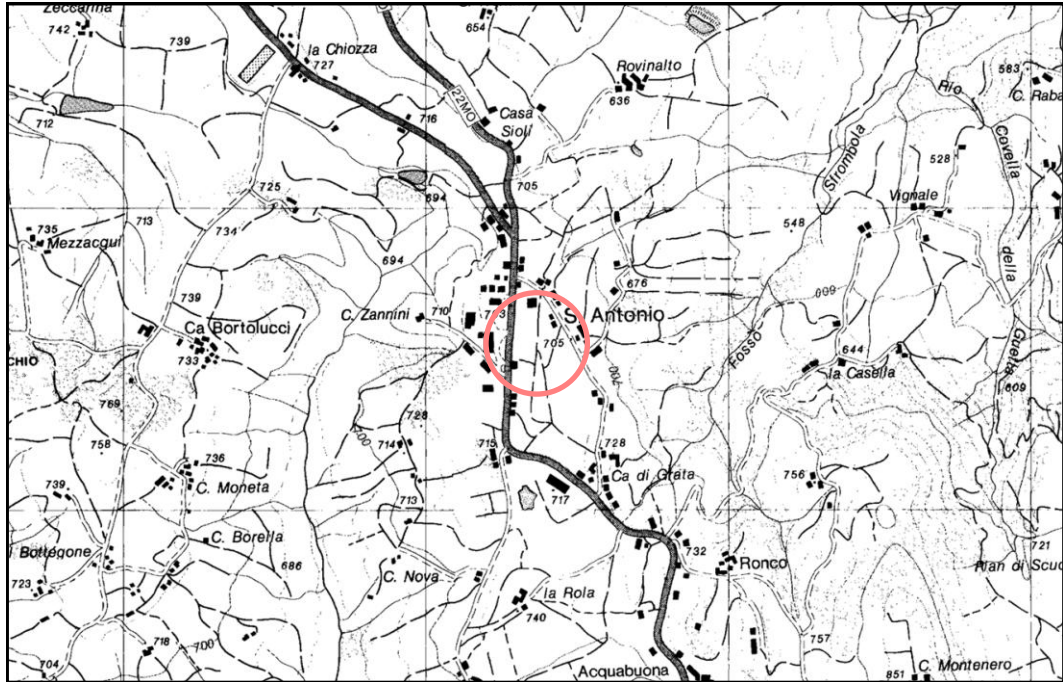
Est: 646360

Nord: 914555



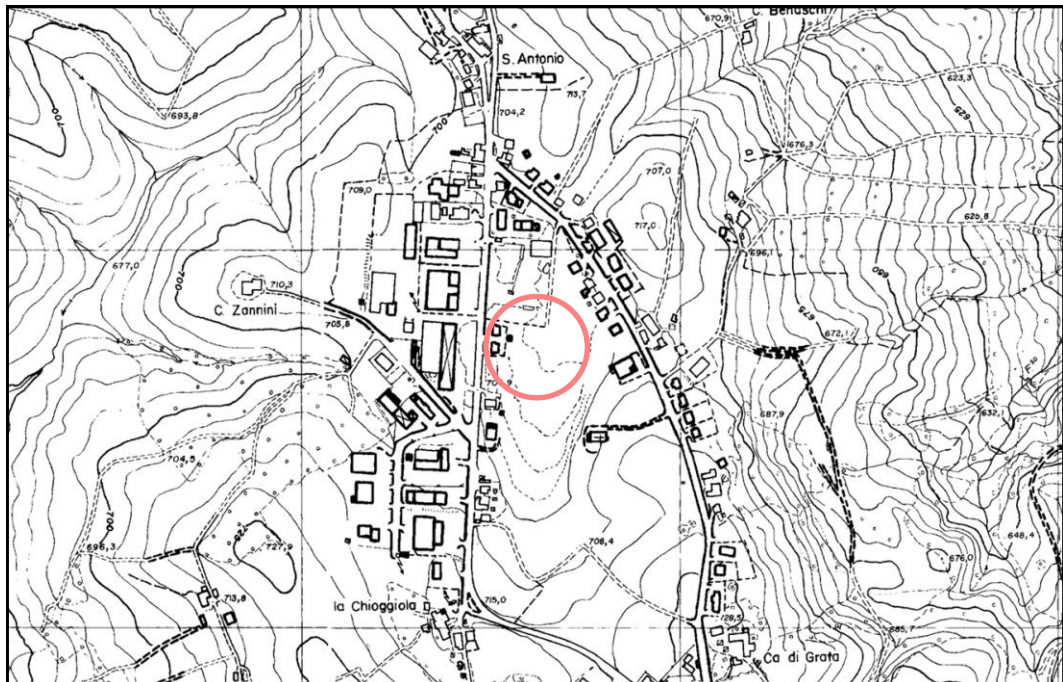
## CARTOGRAFIA C.T.R.

Scala 1:25'000  
TAVOLA 236-NO  
TAV. 1



## CARTOGRAFIA C.T.R.

Scala 1:10'000  
SEZIONE 236030  
TAV. 2



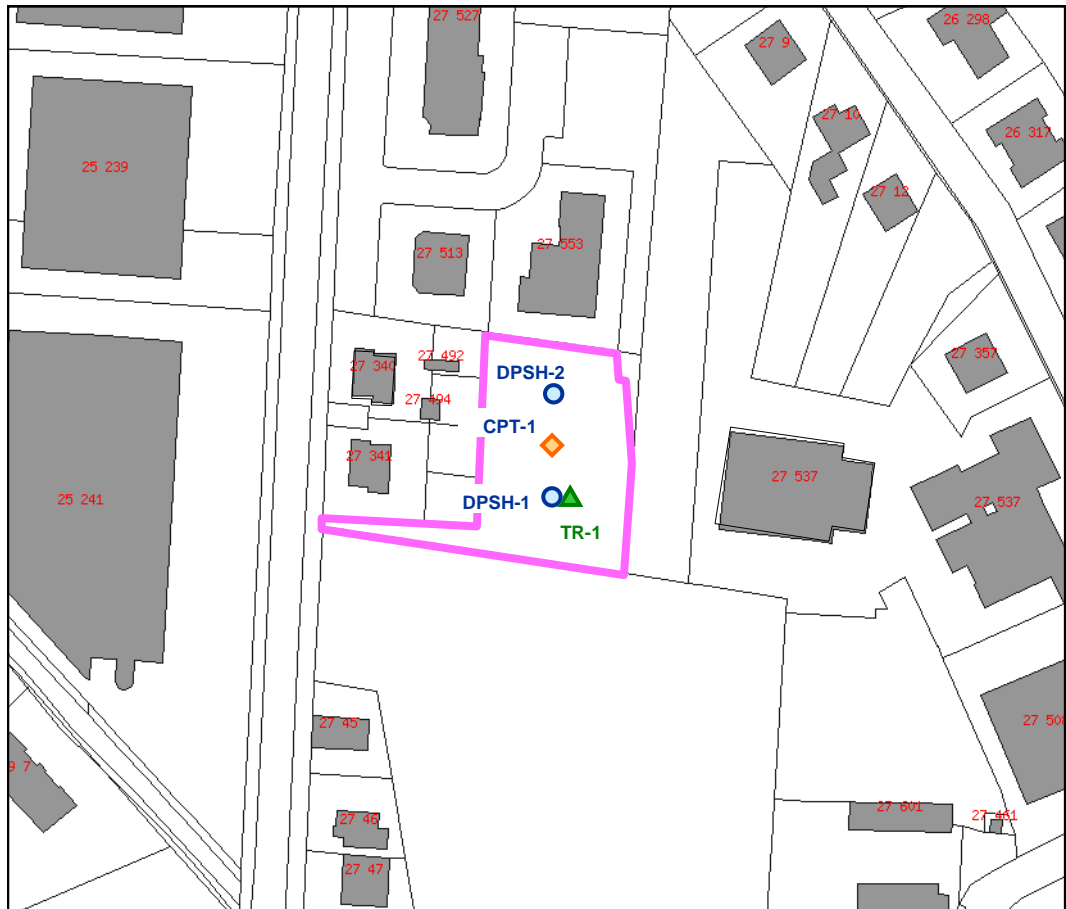
 UBICAZIONE DEL SITO



## ESTRATTO CATASTALE

Scala 1:2000

TAV. 3



COMUNE : PAVULLO

FOGLIO : 27

MAPPALE : 670

○ PROVA PENETROMETRICA DINAMICA

▲ REGISTRAZIONE SISMICA

◇ PROVA PENETROMETRICA STATICA



## PLANIMETRIA CON PROVE GEOGNOSTICHE

Scala 1:1000

TAV. 4



### LEGENDA

-  PROVA PENETROMETRICA DINAMICA SUPER PESANTE DPSH
-  REGISTRAZIONE SISMICA A STAZIONE SINGOLA HVSR
-  PROVA PENETROMETRICA STATICA PUNTA MECCANICA CPT



## 1. RSL E AMPLIFICAZIONE SISMICA (III LIV. DAL 112/2007)

E' stata eseguita l'analisi di risposta sismica locale (RSL) per l'area prevista dal presente intervento (analisi di III livello) così come indicato nella DAL RER 112/2007.

Nell'analisi di II livello è sufficiente la conoscenza delle Vs e della profondità del bedrock sismico, per calcolare i fattori di amplificazione sismica rispetto ad un suolo di riferimento (vedi tabelle e formule dell'Allegato A2 della direttiva regionale).

Questi fattori sono espressi sia in termini di rapporto di accelerazione massima orizzontale (PGA/PGAo) sia di rapporto di Intensità di Housner (SI/SIo) per prefissati intervalli di periodi, dove PGAo e SIo sono rispettivamente l'accelerazione massima orizzontale e l'Intensità di Housner al suolo di riferimento, definiti per ogni comune, ricavabili dal data base regionale (disponibile nel sito internet [www.regione.emilia-romagna.it/geologia/sismica](http://www.regione.emilia-romagna.it/geologia/sismica)) e PGA e SI sono le corrispondenti grandezze di accelerazione massima orizzontale e Intensità di Housner calcolate alla superficie dei siti.

Nell'analisi di secondo livello, per valutare gli effetti locali, è sufficiente conoscere il fattore di amplificazione (FA) da associare al sito in esame: esso dipende dalla velocità delle onde S ( $V_{s30}$  o  $V_{sH}$ ) e dalla profondità del bedrock (h), applicando i valori dettati dalla direttiva 112/2007, Allegato A2. In queste tabelle, in funzione della velocità di propagazione delle onde S e della profondità h, sono indicati i fattori di amplificazione (FA PGA ed FA SI).

Per il calcolo degli effetti locali, nelle indagini di III livello, si sono impiegati come segnali di riferimento i dati contenuti nel database regionale disponibile nel sito internet [www.regione.emilia-romagna.it/geologia/sismica](http://www.regione.emilia-romagna.it/geologia/sismica). Sulla base di questi dati è stato possibile calcolare, gli accelerogrammi e lo spettri di risposta riferiti ad un periodo di ritorno di 475 anni e ad uno smorzamento  $\zeta = 5\%$ .

La modellazione numerica dei dati ottenuti dalle diverse prove dirette ed indirette, è stata realizzata tramite l'ausilio del software EERA, che è un software di calcolo realizzato per verifiche monodimensionali che, eseguendo una sequenza di analisi lineari complete, è in grado raggiungere valori di rigidezza G e di smorzamen-



to D compatibili con le caratteristiche delle colonne litologiche oggetto di studio.

La verifica monodimensionale dell'amplificazione locale, si compone di due fasi:

- 1) elaborazione del modello;
- 2) simulazione degli effetti indotti dal sisma di progetto.

La prima fase consiste nell'inserire i dati (accelerazione, intervalli di tempo), relativi ai segnali di riferimento selezionati dalla banca dati accelerometrica "European Strong Motion database" e forniti dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli regionale.

Si tratta di sismi che possono verificarsi nel territorio del comune oggetto di studio (in questo caso Pavullo nel Frignano).

Questi tre segnali sono "scalati" rispetto al comune a cui si riferiscono, e sono rappresentati da tre differenti accelerogrammi di progetto:

- 1) impulsivo (codice 46);
- 2) con ampio contenuto in frequenze (codice 126);
- 3) con componente predominante alle alte frequenze (codice 354).

Dopo aver determinato gli input sismici, è necessaria la costruzione del modello del sottosuolo, rappresentato da strati (layer) a differente tessitura e diversi valori delle onde di taglio S (Vs).

La stratigrafia che caratterizza il modello deriva dalla sintesi delle indagini eseguite in sito (1 registrazione sismica HVSR, 2 prove penetrometriche dinamiche DPSH, 1 penetrometrica statica CPT).

Per quanto riguarda l'attribuzione delle velocità delle onde di taglio (Vs) ai differenti layer costituenti la colonna litologica schematica, vengono utilizzati i risultati derivanti dalla tomografia .

La seconda fase (elaborazione degli effetti indotti dai sisma di progetto), consente di ottenere gli "spettri di risposta".

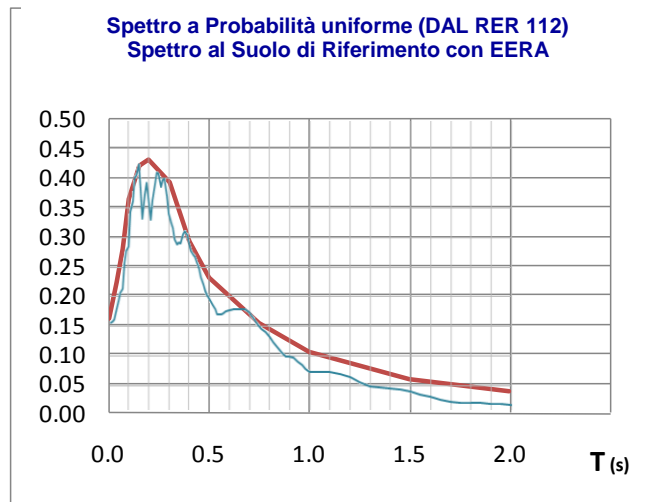
Sempre nell'allegato C vengono riportati gli spettri di accelerazione (PGA), di velocità (PGV) e di spostamento per ognuno dei tre segnali scaricati dal sito della regione.

Con il programma EERA sono stati ricostruiti sia gli spettri riferiti al modello locale del terreno che gli spettri riferiti al bedrock sismico di riferimento (SUOLO A del DM 01/14/08).



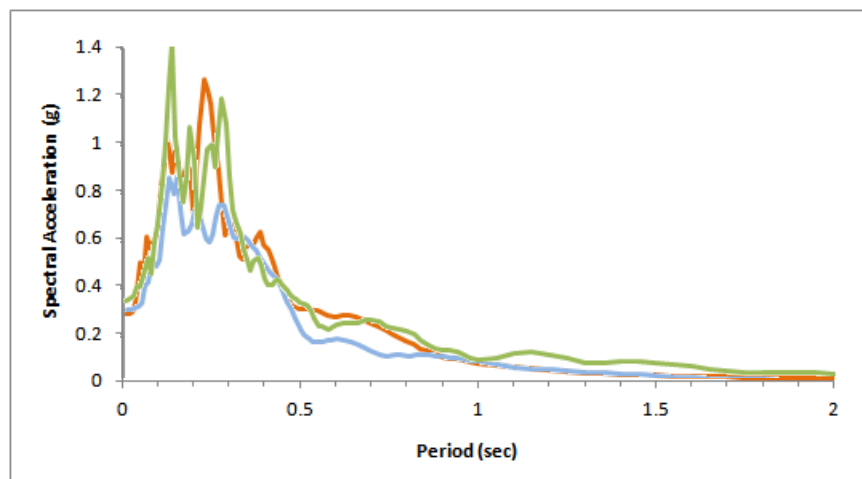
Lo spettro calcolato al suolo di riferimento (somma dei 3 spettri in output ricavati dai segnali 46, 125, 354), è stato quindi confrontato con lo spettro di risposta normalizzato al suolo di riferimento fornito dalla regione nell'allegato A4 del DAL RER 112/2007.

Dal confronto è emerso che lo spettro calcolato con EERA è praticamente sovrapponibile allo spettro di risposta in accelerazione ricavato utilizzando le tabelle dell'Allegato A4 del DAL RER 112/2007 per il comune di Pavullo nel Frignano ( $a_{ref} = 0.159$ ).



Nel grafico riportato sotto la sovrapposizione fra i tre spettri di accelerazione ricavati dai tre segnali di riferimento forniti dal database della regione e riferiti al modello locale. In rosso il segnale impulsivo (46), in blu il segnale con alto contenuto in frequenze (126), in verde, infine, il segnale con componente predominante al-

Spettri in accelerazione (46, 126, 354) per  $T_r=475$  anni

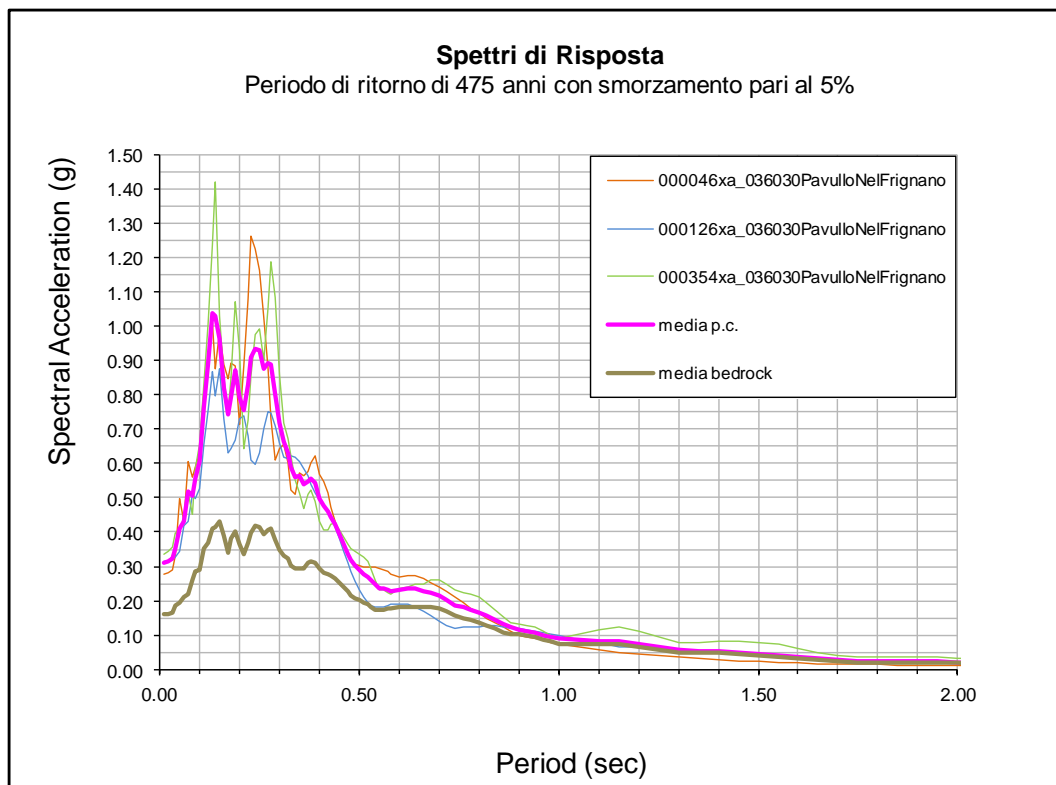




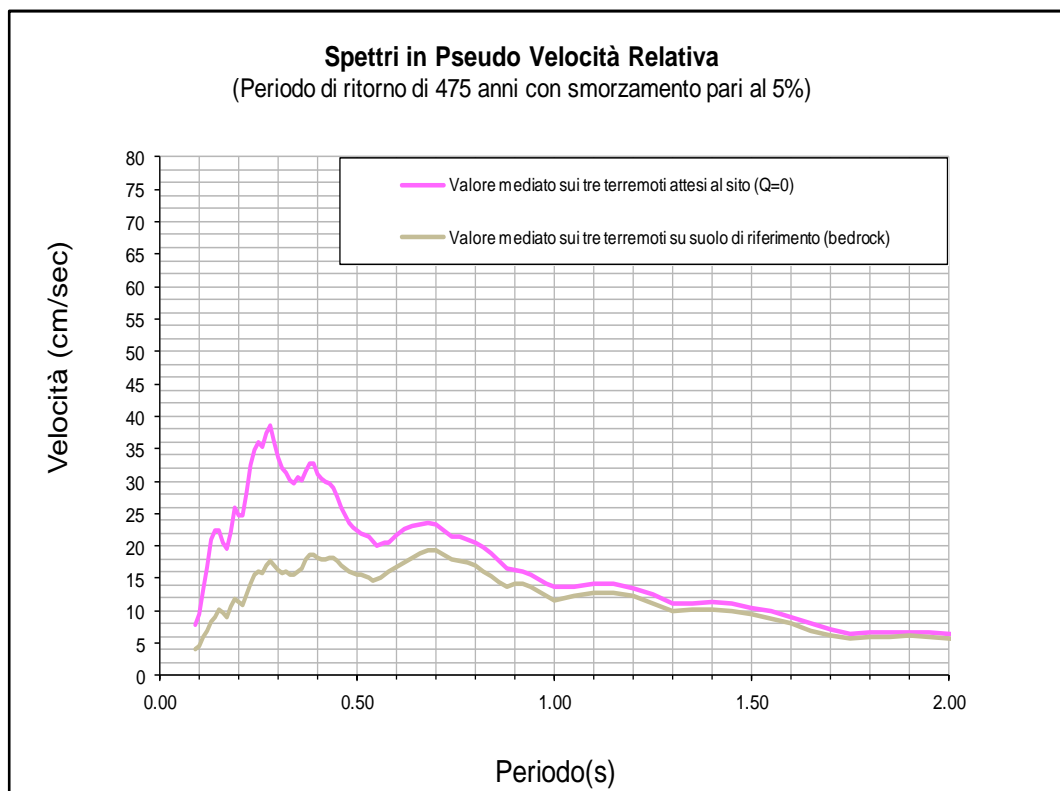
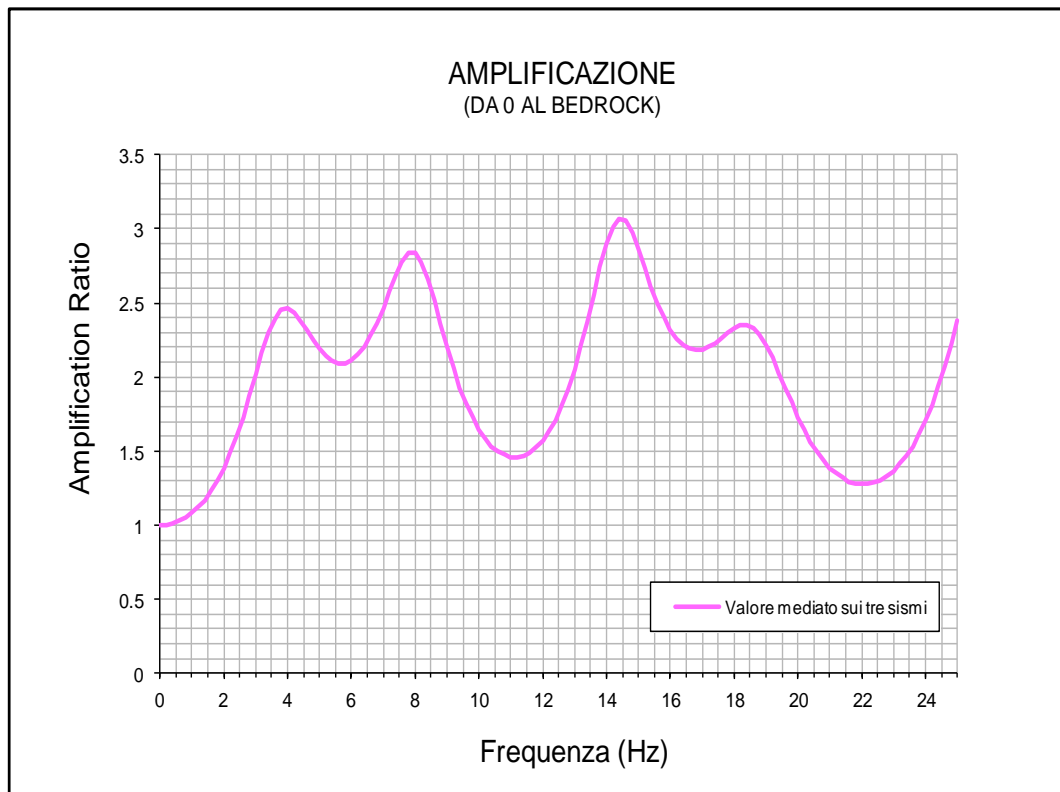
I dati in output (dati in accelerazione, spostamento e velocità e le frequenze di amplificazione) sono stati rielaborati e mediati all'interno di appositi fogli Excel.

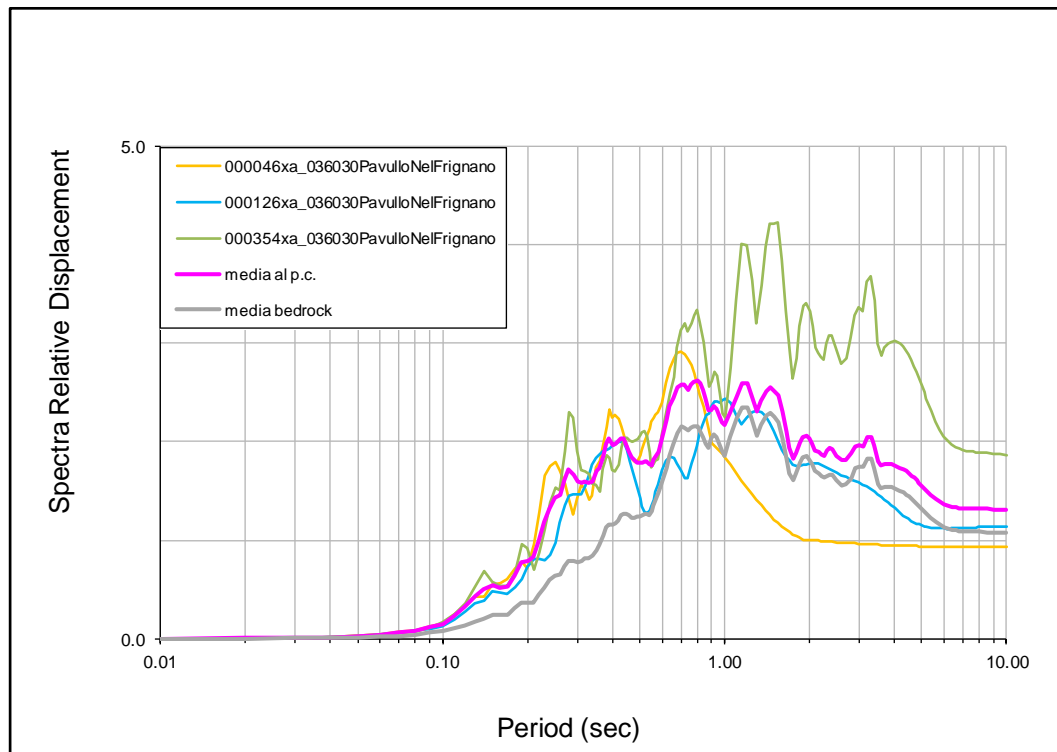
Di seguito vengono riportati i seguenti grafici:

- Le forme spettrali in accelerazione ottenute dai 3 input della regione, e la loro media.
- La funzione di amplificazione locale come rapporto tra l'ampiezza dello spettro al suolo e quello in corrispondenza del bedrock per un valore di smorzamento critico pari al 5%
- I grafico dello spettro di pseudo velocità relativa ottenuto sempre dalla media delle tre velocità ottenute dalle 3 elaborazioni separate.
- Il grafico dello spettro di spostamento relativo mediato sempre sui 3 output.
- i coefficienti di amplificazione sismica espressi come rapporto di Intensità di Housner ( $SI/SIo$ ) negli intervalli di tempo  $0.1 < T < 0.5$  s e  $0.5 < T < 1.0$  s, ricavati dallo spettro delle pseudo velocità.









Dagli spettri in accelerazione (primo grafico) si ottiene immediatamente il fattore di amplificazione PGA/PGAo e dagli spettri in Pseudo Velocità relativa (terzo grafico) integrando rispetto al tempo (da 0.1 a 0.5 s e da 0.5 a 1.0 s), si ottengono le amplificazione di Housner così come richiesto dalla delibera regionale.

F.A. PGA/PGAo = <b>1.95</b>
FA_IS (0.1_0.5) = <b>1.93</b>
FA_IS (0.5_1.0) = <b>1.24</b>

Si noti come il picco dello spettro di accelerazione, somma dei 3 spettri ottenuto da EERA (46+126+354), sia comunque sensibilmente maggiore rispetto allo spettro locale previsto dalle Norme Tecniche (DM 14/ 01/08, Suolo C, St=1.0, tempo di ritorno Tr = 475 anni). Le amplificazioni fra il II° e il III° livello di approfondimento sono invece paragonabili (soprattutto le prime 2).



## 2. VERIFICA SUSCETTIBILITA' ALLA LIQUEFAZIONE

Per verificare la suscettibilità a liquefazione degli strati individuati come maggiormente inclini a liquefarsi è stato utilizzato l'approccio semplificato illustrato nel documento "Procedure di riferimento per le analisi di terzo livello di approfondimento" DAL RER 112/2007 e basato sulla seguente relazione che definisce il coefficiente di sicurezza nei confronti della liquefazione come:

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

Dove CRR è la resistenza normalizzata (rispetto alla pressione verticale efficace  $\sigma'_{vo}$ ) che può essere valutata attraverso abachi che mettono in correlazione il parametro adimensionale CRR con i parametri desunti da prove SPT, CPT e da misure della velocità delle onde di taglio Vs.

Il parametro CSR rappresenta la tensione indotta dal sisma:

$$CSR = \frac{\tau_{media}}{\sigma'_{v0}} = 0.65 \frac{a_{max}}{g} \frac{\sigma_v}{\sigma'_v} r_d$$

dove  $a_{max}$  è il picco di accelerazione al piano campagna del terremoto di riferimento ( $a_{max}=a \cdot S$ );  $g$  è l'accelerazione di gravità;  $\sigma_v$  e  $\sigma'_v$  sono rispettivamente la tensione verticale totale e la tensione verticale efficace alla profondità considerata;  $r_d$  è un coefficiente riduttivo dell'azione sismica che porta in conto la deformabilità del sotto-suolo e che può essere determinato con la relazione semplificata  $r_d = 1 - 0.015z$ .

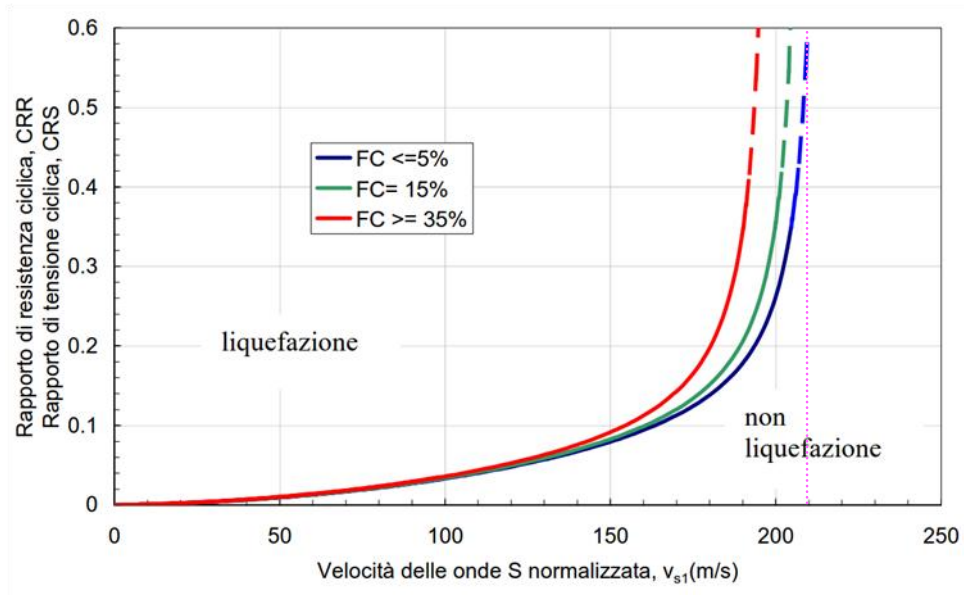
Infine MSF è un fattore di scala che può essere valutato mediante la tabella riportata sotto in funzione della magnitudo dei terremoti attesi (per l'area in oggetto MSF=1.32).

Magnitudo	MSF
5.5	1.43
6.0	1.32
6.5	1.19

Da una prima analisi del sito oggetto di studio, gli strati sabbiosi con le caratteristiche a liquefarsi sono da escludersi, inoltre la velocità delle onde S, anche nei terreni superficiali e più limosi è

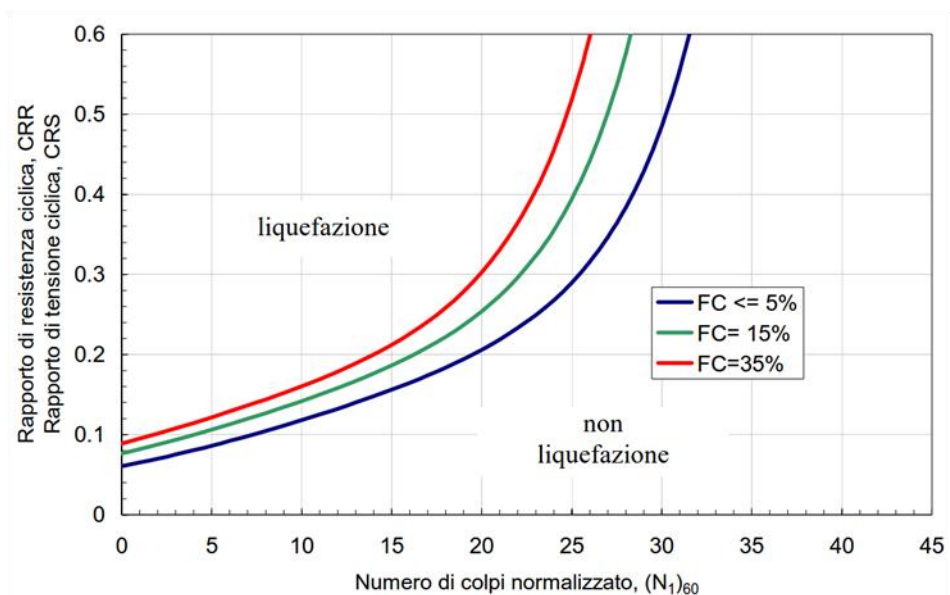


maggiore di 210 m/s (215) per cui se si esamina l'abaco seguente si ricadrebbe nell'area di non liquefazione.



Nelle pagine seguenti faremo comunque una analisi più accurata, utilizzando le correlazioni fra N ed  $N_{spt}$ .

In questo caso la resistenza normalizzata CRR verrà stimata con la seguente tabella.





## 2.1 VERIFICA VERTICALE DPSH-01 — H=2.0 m

Nspt	H (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	Falda (m)	$\sigma_v$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\sigma'_v$ (kN/m <sup>2</sup> )	CN1	CN2	CN3	N1(60)
<b>2.4</b>	<b>2.0</b>	<b>17.0</b>	<b>3.0</b>	<b>34.0</b>	<b>34.0</b>	2.05	2.07	2.07	<b>5.0</b>

$a_g/g=$ <b>0.159</b>	CRR= <b>0.120</b>
S= <b>1.462</b>	CSR= 0.147
Sv= 34.0	MSF= 1.320
Sv'= 34.0	FL= <b>1.081</b>

## 2.2 VERIFICA VERTICALE DPSH-01 — H=5.5 m

Nspt	H (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	Falda (m)	$\sigma_v$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\sigma'_v$ (kN/m <sup>2</sup> )	CN1	CN2	CN3	N1(60)
<b>5.5</b>	<b>3.2</b>	<b>20.0</b>	<b>3.0</b>	<b>64.0</b>	<b>62.0</b>	1.33	1.39	1.39	<b>7.7</b>

$a_g/g=$ <b>0.159</b>	CRR= <b>0.140</b>
S= <b>1.462</b>	CSR= 0.148
Sv= 64.0	MSF= 1.320
Sv'= 62.0	FL= <b>1.245</b>

## 2.3 VERIFICA VERTICALE DPSH-02 — H=2.0 m

Nspt	H (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	Falda (m)	$\sigma_v$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\sigma'_v$ (kN/m <sup>2</sup> )	CN1	CN2	CN3	N1(60)
<b>4.5</b>	<b>2.0</b>	<b>17.0</b>	<b>3.0</b>	<b>34.0</b>	<b>34.0</b>	1.95	2.08	2.07	<b>9.3</b>

$a_g/g=$ <b>0.159</b>	CRR= <b>0.151</b>
S= <b>1.462</b>	CSR= 0.147
Sv= 34.0	MSF= 1.320
Sv'= 34.0	FL= <b>1.360</b>

## 2.4 VERIFICA VERTICALE DPSH-2 — H=3.6 m

Nspt	H (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	Falda (m)	$\sigma_v$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\sigma'_v$ (kN/m <sup>2</sup> )	CN1	CN2	CN3	N1(60)
<b>5</b>	<b>3.6</b>	<b>20.0</b>	<b>3.0</b>	<b>72.0</b>	<b>66.0</b>	1.29	1.34	1.33	<b>6.7</b>

$a_g/g=$ <b>0.159</b>	CRR= <b>0.130</b>
S= <b>1.462</b>	CSR= 0.156
Sv= 72.0	MSF= 1.320
Sv'= 66.0	FL= <b>1.100</b>



In definitiva le verifiche, anche nelle condizioni considerate più critiche, hanno mostrato sempre un fattore  $FL > 1$  per cui l'indice del potenziale di liquefazione, così come definito nel DAL RER 112/2007 risulta nullo.

### 3. STIMA CEDIMENTI POST-SISMICI (TERRENI COESIVI)

Per verificare l'entità dei cedimenti post terremoto è stato utilizzato l'approccio semplificato illustrato nel documento "Procedure di riferimento per le analisi di terzo livello di approfondimento" DAL RER 112/2007.

Nel paragrafo E del documento sopra riportato si spiega che nei depositi coesivi molto soffici ( $c_u \leq 70 \text{ kPa}$ ) e plastici ( $I_p \geq 30\%$ ) in cui si prevede un incremento delle pressioni interstiziali  $\Delta u / \sigma'_p \geq 0.3$  durante il terremoto di riferimento deve essere valutata l'entità del cedimento di riconsolidazione conseguente alla dissipazione delle pressioni interstiziali accumulate durante il terremoto.

In un generico strato di spessore  $H$  il cedimento di riconsolidazione può essere valutato con l'espressione:

$$\Delta H = \varepsilon_{vr} \cdot H$$

dove  $H$  è l'altezza dello strato ed  $\varepsilon_{vr}$  (%) è la deformazione volumetrica post-ciclica:

$$\varepsilon_{vr} = \frac{\alpha C_r}{1 + e_0} \log \left( \frac{1}{1 - \frac{\Delta u}{\sigma'_0}} \right)$$

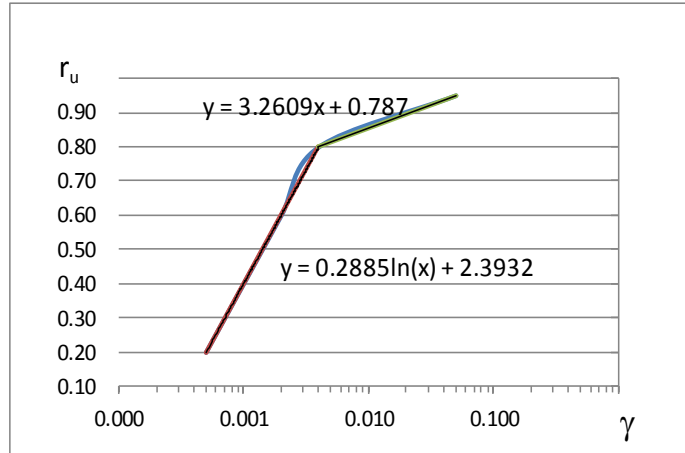
in cui  $\alpha$  è una costante sperimentale compresa tra 1 e 1.5,  $e_0$  è l'indice dei vuoti iniziale,  $C_r$  è l'indice di riconsolidazione postciclica che in prima approssimazione può essere posto pari a  $C_r = 0.225 \cdot C_c$  dove  $C_c$  è l'indice di compressione e  $\Delta u / \sigma'_0$  è il rapporto di pressione interstiziale. In prima approssimazione  $C_c$  può essere stimato con la relazione empirica:

$$C_c = 0.0348 + 0.0162 \cdot I_p$$



Per il rapporto  $\Delta_u/\sigma'_o = r_u$  (rapporto di pressione interstiziale) viene fornita nel DAL RER 112/2007 la seguente tabella:

$\gamma$	$r_u$
0.0005	0.20
0.0010	0.40
0.0020	0.60
0.0040	0.80
0.0500	0.95



Nella tabella il rapporto di pressione interstiziale viene fornito in funzione della deformazione di taglio massima indotta dal terremoto.

Graficando la tabella in Excel si ottiene una curva che può essere efficacemente rappresentata utilizzando il comando “linea di tendenza” da 2 funzioni: la prima per  $0.2 < r_u < 0.8$  di tipo logaritmico; la seconda per  $0.8 < r_u < 0.95$  di tipo rettilineo. La deformazione di taglio massima indotta dal terremoto viene usualmente espressa dalla seguente espressione:

$$\gamma_{\max} = 0.65 \frac{a_{\max s}}{g} \sigma_v r_d \frac{1}{G}$$

Dove:

$r_d = 1 - 0.015 \cdot z$  (coefficiente riduttivo azione sismica)

$a_{\max s}$  = picco di accelerazione su suolo di riferimento

$\sigma_v$  = tensione verticale totale

$G$  = modulo di taglio dinamico

$a_{\max}$	$G/G_0$
0.1000	0.80
0.2000	0.50
0.3000	0.35
0.4000	0.28

Per ricavare  $G$  possiamo utilizzare una tabella fornita sempre nel DAL RER 112/2007, che può essere espressa più comodamente in formula matematica anche dalla seguente funzione:

$$G = G_0(5.750 \cdot a_{\max}^2 - 4.585 \cdot a_{\max} + 1.197)$$

Vediamo ora i calcoli sulle 2 verticali indagate:



### 3.1 VERIFICA VERTICALE 1

PARAMETRI SISMICI	
$a_{max}$ =	<b>0.159</b>
alfa =	<b>1.50</b>

HPC (m)	$\Delta h$ (m)	$\gamma$ (KPa)	$\sigma_{v_o}$ (KPa)	$U_o$ (KPa)	$\sigma'_{v_o}$ (KPa)	OCR	RR	Go (Mpa)	G (Mpa)	rd	$\gamma_{max}$ (%)	$r_u$	$\epsilon_{vr}$ (%)	$\Delta S$ (m)	$S_T$ (m)
0.60	1.20	18	21.6	0.0	21.6	0.8	1.8E-03	78.4	48.1	0.991	4.6E-03	0.80	0.192	0.002	0.002
1.60	0.80	17	35.2	0.0	35.2	0.1	1.1E-02	27.7	17.0	0.976	2.1E-02	0.86	1.414	0.011	0.014
2.60	1.20	18	56.8	0.0	56.8	0.2	7.9E-03	52.9	32.5	0.961	1.7E-02	0.84	0.956	0.011	0.025
3.70	1.00	19	75.8	7.9	67.9	0.8	4.7E-03	91.5	56.2	0.945	1.3E-02	0.83	0.541	0.005	0.031
6.80	5.20	20	179.8	42.9	136.9	4.0	5.0E-03	150.5	92.4	0.898	1.8E-02	0.85	0.609	0.032	0.062
9.70	0.60	20	191.8	75.7	116.1	4.0	2.3E-03	242.4	148.8	0.855	1.1E-02	0.82	0.260	0.002	0.064

HPC	Centro dello strato dal piano campagna	Go	Modulo di taglio iniziale
$\Delta h$	Spessore dello strato	G	Modulo di taglio dinamico
$\gamma$	Peso di volume	rd	Coefficiente Riduttivo azione sismica
$\sigma_{v_o}$	Pressione verticale totale del terreno	$\gamma_{max}$	Deformazione di taglio massima (ciclica)
$U_o$	Pressione dell'acqua nei pori	$r_u$	Rapporto di soprapressione interstiziale
$\sigma'_{v_o}$	Pressione verticale efficace del terreno	$\epsilon_{vr}$	Rapporto di compressione volumetrica
OCR	Grado di sovraconsolidamento	$\Delta S$	Cedimento x ogni singolo strato
RR	Rapporto di ricomprensione post ciclico	$S_T$	Cedimento post-sismico totale

### 3.2 VERIFICA VERTICALE 2

PARAMETRI SISMICI	
$a_{max}$ =	<b>0.159</b>
alfa =	<b>1.50</b>

HPC (m)	$\Delta h$ (m)	$\gamma$ (KPa)	$\sigma_{v_o}$ (KPa)	$U_o$ (KPa)	$\sigma'_{v_o}$ (KPa)	OCR	RR	Go (Mpa)	G (Mpa)	rd	$\gamma_{max}$ (%)	$r_u$	$\epsilon_{vr}$ (%)	$\Delta S$ (m)	$S_T$ (m)
0.50	1.00	18	18.0	0.0	18.0	1.2	1.3E-03	88.9	54.6	0.993	3.4E-03	0.75	0.117	0.001	0.001
1.50	1.00	17	35.0	0.0	35.0	0.1	6.0E-03	45.3	27.8	0.978	1.3E-02	0.83	0.688	0.007	0.008
2.80	1.60	17	62.2	0.0	62.2	0.2	9.5E-03	49.1	30.2	0.958	2.0E-02	0.85	1.193	0.019	0.027
4.20	1.20	18	83.8	13.6	70.2	4.0	5.5E-03	82.4	50.6	0.937	1.6E-02	0.84	0.660	0.008	0.035
6.60	3.60	19	152.2	40.7	111.5	4.0	4.0E-03	153.8	94.4	0.901	1.5E-02	0.84	0.465	0.017	0.052
9.30	1.80	20	188.2	71.2	117.0	4.0	2.6E-03	223.6	137.3	0.861	1.2E-02	0.83	0.294	0.005	0.057

HPC	Centro dello strato dal piano campagna	Go	Modulo di taglio iniziale
$\Delta h$	Spessore dello strato	G	Modulo di taglio dinamico
$\gamma$	Peso di volume	rd	Coefficiente Riduttivo azione sismica
$\sigma_{v_o}$	Pressione verticale totale del terreno	$\gamma_{max}$	Deformazione di taglio massima (ciclica)
$U_o$	Pressione dell'acqua nei pori	$r_u$	Rapporto di soprapressione interstiziale
$\sigma'_{v_o}$	Pressione verticale efficace del terreno	$\epsilon_{vr}$	Rapporto di compressione volumetrica
OCR	Grado di sovraconsolidamento	$\Delta S$	Cedimento x ogni singolo strato
RR	Rapporto di ricomprensione post ciclico	$S_T$	Cedimento post-sismico totale





## 4. CONCLUSIONI

Seguendo le indicazioni del PSC, nel quale l'area viene indicata come "zona suscettibile di instabilità", per il sito in oggetto sono stati eseguiti approfondimenti di III Livello, così come previsto dalla direttiva regionale DAL 112/2007, nei casi di "aree instabili o potenzialmente instabili".

Sono state calcolate le amplificazioni sismiche in termini di  $PGA/PGA_0$  e  $SI/SI_0$ , utilizzando i segnali di riferimento forniti dalla Regione e riferiti al Comune di Pavullo. E' stato utilizzato il noto foglio di calcolo EERA nel quale è stato possibile introdurre il modello stratigrafico—sismico del sito, le  $V_s$  per ogni strato, le curve dinamiche dei materiali. Le amplificazioni così ottenute sono risultate paragonabili, anzi un po' inferiori, a quelle calcolate con le tabelle regionali del II livello, fornite nella direttiva regionale. Le amplificazioni ottenute con le procedure previste per il III livello sono:  $PGA/PGA_0=1.9$ ;  $SI/SI_{0(0.1-0.5)}=1.9$ ;  $SI/SI_{0(0.5-1.0)}=1.2$ .

E' stata quindi calcolata la suscettibilità alla liquefazione sia verificando la velocità delle onde S negli strati più superficiali, sia utilizzando le correlazioni esistenti con le  $N_{spt}$ . Entrambi i metodi hanno escluso il pericolo di liquefazione del terreno.

Infine è stato calcolato il cedimento post-sismico per terreni coesivi, così come viene indicato sempre nel DAL RER 112/2007. Il calcolo del cedimento post sismico ha fornito valori totali di circa 6 cm, ma con cedimenti differenziali molto ridotti ( $\Delta H \sim 1$  cm). I cedimenti post sismici sono quindi risultati in linea, se non minori, di quelli previsti per questi terreni.

Pavullo, 18 Febbraio

IL GEOLOGO

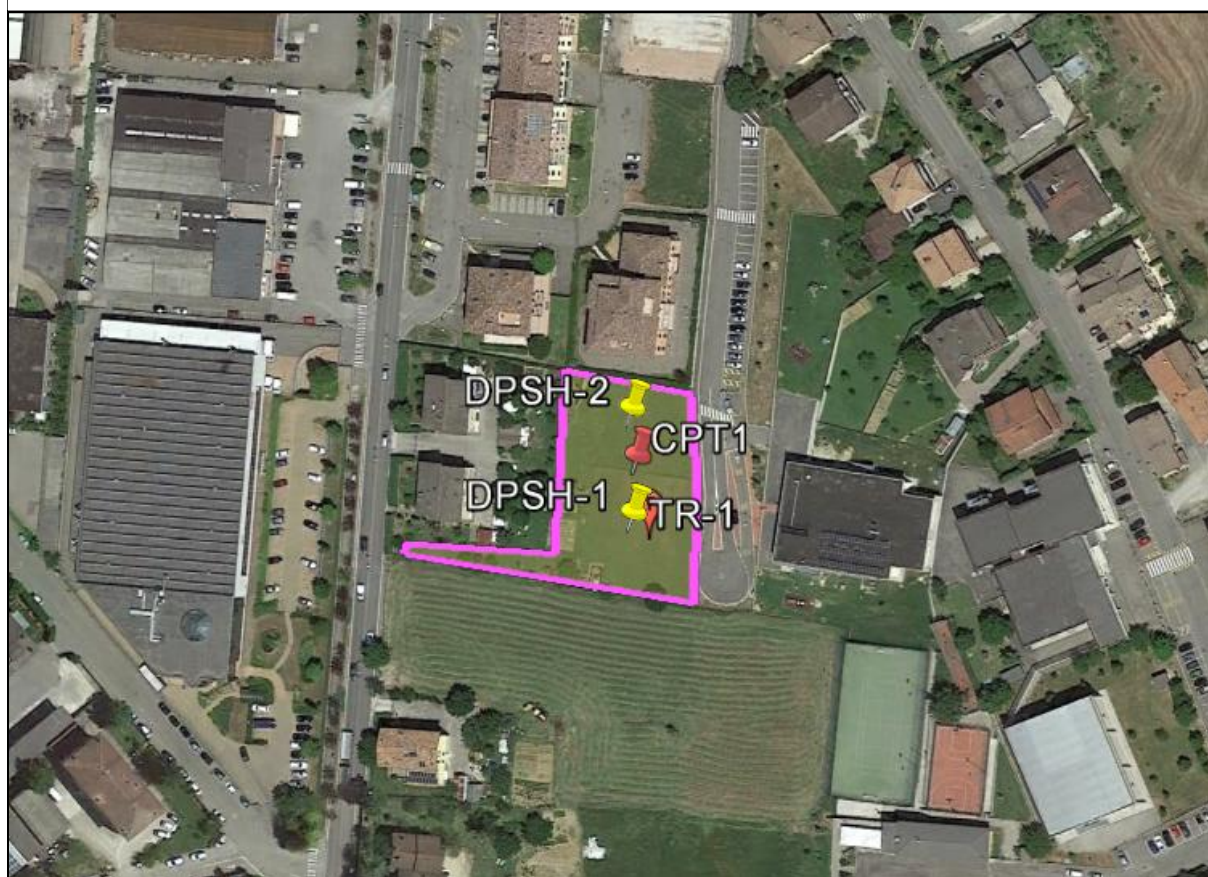




# ALLEGATO

## Elaborazione Prova CPT

### UBICAZIONE PROVE GEOGNOSTICHE

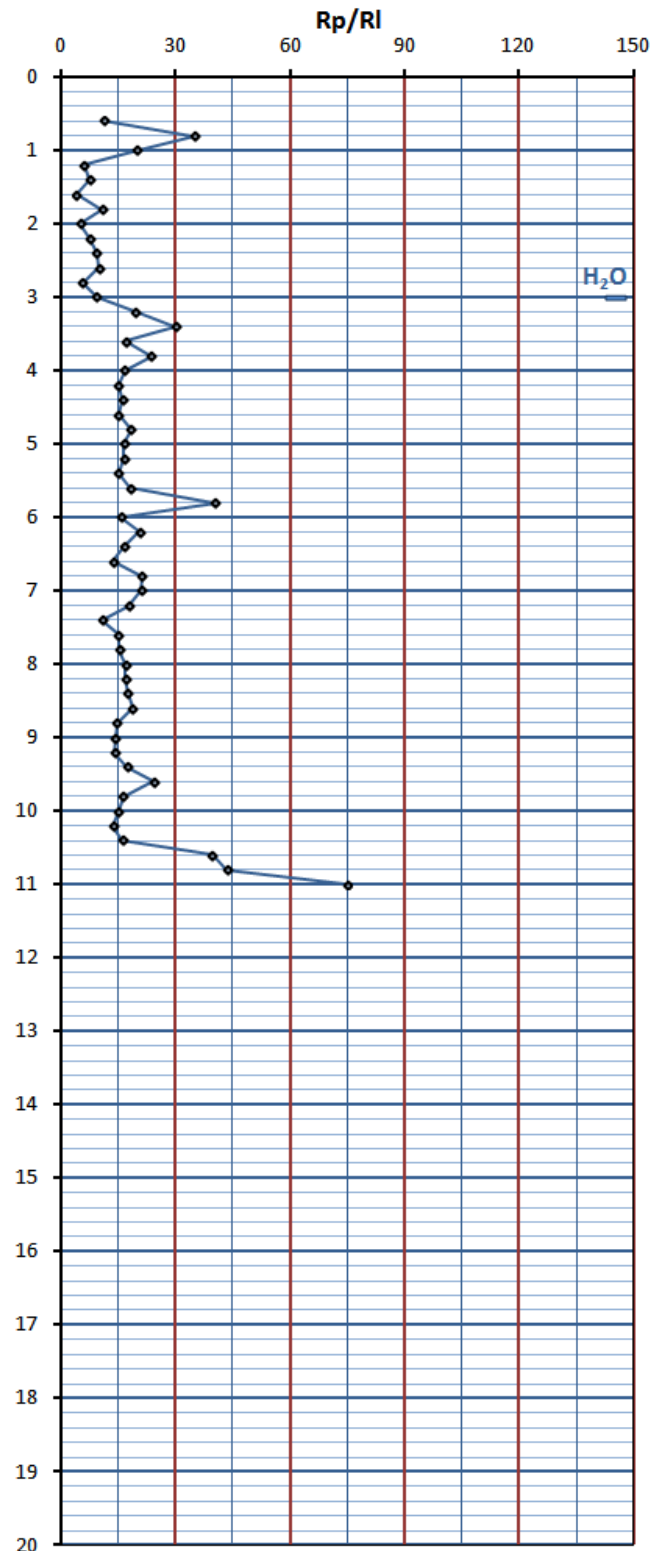
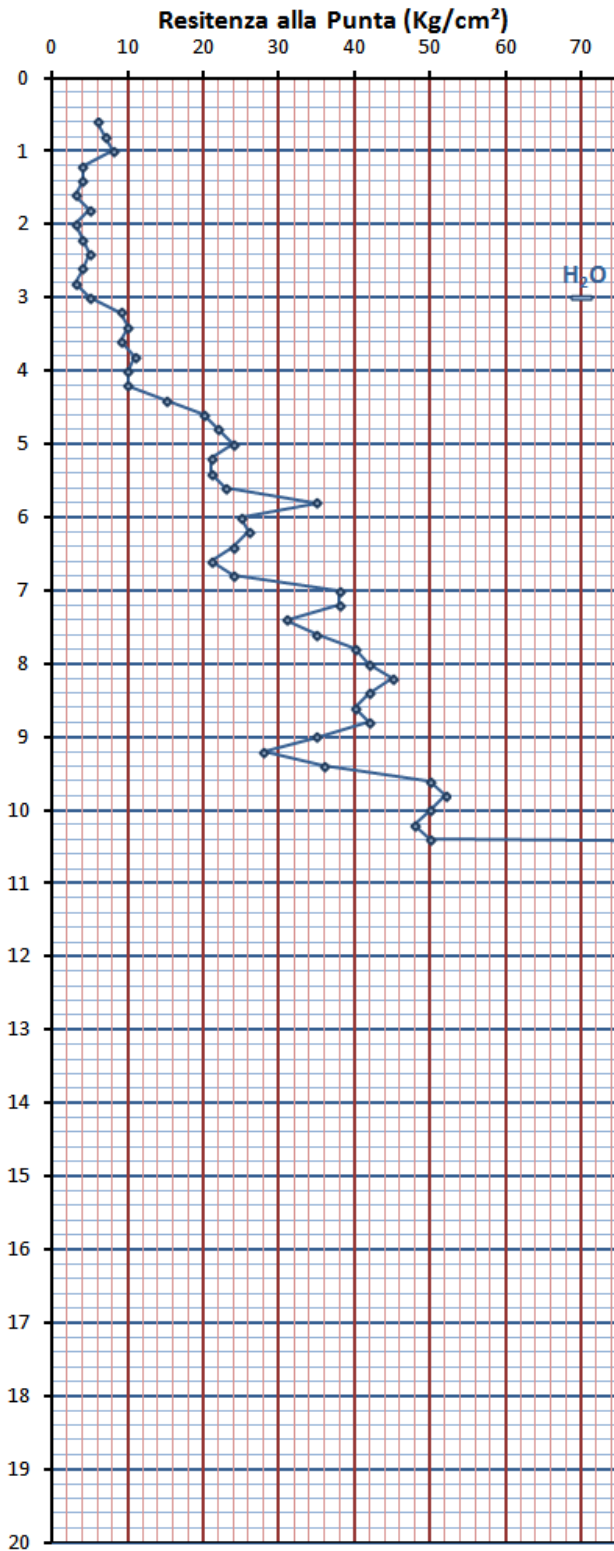


Prova Penetrometrica Statica CPT (integrazione)



## GRAFICO PROVA PENETROMETRICA STATICA 1

COMMITTENTE: FLORINI	LOCALITA': S.ANTONIO
COMUNE: PAVULLO	DATA: 15/02/2016
	Acqua = - 3 m





## ELABORAZIONE PROVA PENETROMETRICA STATICA

1

COMMITTENTE:	FLORINI
COMUNE:	PAVULLO
LOCALITA' :	S.ANTONIO
DATA:	15/02/2016

Acqua - 3 m

Prof H (m)	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	Q -	F -	Ic -	FC %	LITOLOGIA (Robertson)	σ <sub>v0</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	U (Kg/cm <sup>2</sup> )	σ <sub>v1</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	Cu (Kg/cm <sup>2</sup> )	Ed (Kg/cm <sup>2</sup> )	φ (°)	Mo (Kg/cm <sup>2</sup> )
0.2							0.040	0.000	0.040	-	-	-	-
0.4							0.080	0.000	0.080	-	-	-	-
0.6	6.0	49.0	9.1	2.8	46.7	Argille Limose e Limi Argillosi	0.120	0.000	0.120	0.35	32.90	-	-
0.8	7.0	42.8	2.9	2.5	30.5	Limi Sabbiosi e Sabbie Limose	0.160	0.000	0.160	-	-	35.9	28.00
1.0	8.0	39.0	5.1	2.7	40.1	Argille Limose e Limi Argillosi	0.200	0.000	0.200	0.46	37.17	-	-
1.2	4.0	15.7	17.7	3.4	85.9	Argille	0.240	0.000	0.240	0.22	28.76	-	-
1.4	4.0	13.3	14.3	3.3	84.4	Argille	0.280	0.000	0.280	0.22	28.68	-	-
1.6	3.0	8.4	27.4	3.7	100.0	Materiale Organico	0.320	0.000	0.320	0.16	26.85	-	-
1.8	5.0	12.9	10.1	3.2	76.3	Argille	0.360	0.000	0.360	0.27	30.41	-	-
2.0	3.0	6.5	23.1	3.7	100.0	Materiale Organico	0.400	0.000	0.400	0.15	26.71	-	-
2.2	4.0	8.1	15.0	3.5	99.6	Argille	0.440	0.000	0.440	0.21	28.39	-	-
2.4	5.0	9.4	11.8	3.4	88.7	Argille	0.480	0.000	0.480	0.27	30.18	-	-
2.6	4.0	6.7	11.5	3.5	98.2	Argille	0.520	0.000	0.520	0.20	28.25	-	-
2.8	3.0	4.4	21.9	3.8	100.0	Materiale Organico	0.560	0.000	0.560	0.14	26.44	-	-
3.0	5.0	7.3	12.1	3.5	96.8	Argille	0.600	0.000	0.600	0.26	29.95	-	-
3.2	9.0	13.5	5.6	3.1	62.4	Argille	0.640	0.020	0.620	0.49	38.57	-	-
3.4	10.0	14.6	3.6	2.9	52.6	Argille Limose e Limi Argillosi	0.680	0.040	0.640	0.55	41.04	-	-
3.6	9.0	12.5	6.4	3.1	67.0	Argille	0.720	0.060	0.660	0.49	38.47	-	-
3.8	11.0	15.1	4.6	3.0	56.1	Argille	0.760	0.080	0.680	0.61	43.62	-	-
4.0	10.0	13.1	6.5	3.1	66.1	Argille	0.800	0.100	0.700	0.55	40.89	-	-
4.2	10.0	12.7	7.3	3.2	69.3	Argille	0.840	0.120	0.720	0.55	40.84	-	-
4.4	15.0	19.1	6.6	3.0	58.0	Argille	0.880	0.140	0.740	0.84	56.03	-	-
4.6	20.0	25.1	7.0	2.9	53.5	Argille Limose e Limi Argillosi	0.920	0.160	0.760	1.13	76.88	-	-
4.8	22.0	27.0	5.7	2.8	48.3	Argille Limose e Limi Argillosi	0.960	0.180	0.780	1.25	87.19	-	-
5.0	24.0	28.8	6.4	2.9	49.2	Argille Limose e Limi Argillosi	1.000	0.200	0.800	1.36	98.88	-	-
5.2	21.0	24.3	6.3	2.9	52.2	Argille Limose e Limi Argillosi	1.040	0.220	0.820	1.19	81.62	-	-
5.4	21.0	23.7	7.0	2.9	54.7	Argille Limose e Limi Argillosi	1.080	0.240	0.840	1.19	81.51	-	-
5.6	23.0	25.4	5.8	2.9	49.7	Argille Limose e Limi Argillosi	1.120	0.260	0.860	1.30	92.44	-	-
5.8	35.0	38.5	2.6	2.5	30.3	Limi Sabbiosi e Sabbie Limose	1.160	0.280	0.880	-	-	35.3	140.00
6.0	25.0	26.4	6.7	2.9	51.7	Argille Limose e Limi Argillosi	1.200	0.300	0.900	1.42	104.70	-	-
6.2	26.0	26.9	5.1	2.8	46.4	Argille Limose e Limi Argillosi	1.240	0.320	0.920	1.48	111.42	-	-
6.4	24.0	24.2	6.5	2.9	52.7	Argille Limose e Limi Argillosi	1.280	0.340	0.940	1.36	98.00	-	-
6.6	21.0	20.5	7.8	3.0	59.8	Argille	1.320	0.360	0.960	1.18	80.89	-	-
6.8	24.0	23.1	5.0	2.8	48.9	Argille Limose e Limi Argillosi	1.360	0.380	0.980	1.35	97.75	-	-
7.0	38.0	36.6	4.9	2.7	40.5	Argille Limose e Limi Argillosi	1.400	0.400	1.000	2.18	237.60	-	-
7.2	38.0	35.8	5.8	2.8	43.7	Argille Limose e Limi Argillosi	1.440	0.420	1.020	2.18	237.30	-	-
7.4	31.0	28.4	9.7	3.0	57.8	Argille	1.480	0.440	1.040	1.76	151.92	-	-
7.6	35.0	31.6	7.0	2.9	49.1	Argille Limose e Limi Argillosi	1.520	0.460	1.060	2.00	195.62	-	-
7.8	40.0	35.6	6.8	2.8	46.5	Argille Limose e Limi Argillosi	1.560	0.480	1.080	2.29	268.42	-	-
8.0	42.0	36.7	6.1	2.8	44.1	Argille Limose e Limi Argillosi	1.600	0.500	1.100	2.41	304.40	-	-
8.2	45.0	38.7	6.2	2.8	43.3	Argille Limose e Limi Argillosi	1.640	0.520	1.120	2.58	367.85	-	-
8.4	42.0	35.4	6.0	2.8	44.3	Argille Limose e Limi Argillosi	1.680	0.540	1.140	2.40	303.63	-	-
8.6	40.0	33.0	5.6	2.8	44.3	Argille Limose e Limi Argillosi	1.720	0.560	1.160	2.28	267.06	-	-
8.8	42.0	34.1	7.1	2.8	48.2	Argille Limose e Limi Argillosi	1.760	0.580	1.180	2.40	302.86	-	-
9.0	35.0	27.7	7.4	2.9	52.8	Argille Limose e Limi Argillosi	1.800	0.600	1.200	1.99	193.89	-	-
9.2	28.0	21.4	7.6	3.0	58.5	Argille	1.840	0.620	1.220	1.58	124.13	-	-
9.4	36.0	27.5	6.1	2.9	49.0	Argille Limose e Limi Argillosi	1.880	0.640	1.240	2.04	206.08	-	-
9.6	50.0	38.2	4.3	2.6	37.6	Argille Limose e Limi Argillosi	1.920	0.660	1.260	2.87	500.91	-	-
9.8	52.0	39.1	6.4	2.8	43.9	Argille Limose e Limi Argillosi	1.960	0.680	1.280	2.98	568.05	-	-
10.0	50.0	36.9	6.9	2.8	46.3	Argille Limose e Limi Argillosi	2.000	0.700	1.300	2.86	499.64	-	-
10.2	48.0	34.8	7.7	2.9	49.3	Argille Limose e Limi Argillosi	2.040	0.720	1.320	2.75	439.46	-	-
10.4	50.0	35.8	6.5	2.8	45.8	Argille Limose e Limi Argillosi	2.080	0.740	1.340	2.86	498.37	-	-
10.6	290.0	211.7	2.5	2.0	12.6	Sabbie e Sabbie Limose	2.120	0.760	1.360	-	-	44.6	780.00
10.8	260.0	186.8	2.3	2.0	12.6	Sabbie e Sabbie Limose	2.160	0.780	1.380	-	-	44.0	720.00
11.0	300.0	212.7	1.3	1.8	7.4	Sabbie e Sabbie Limose	2.200	0.800	1.400	-	-	44.6	800.00



ELABORAZIONE PROVA PENETROMETRICA STATICA

1

COMMITTENTE:	FLORINI
COMUNE:	PAVULLO
LOCALITA' :	S.ANTONIO
DATA:	15/02/2016

Acqua - 3 m

ELABORAZIONE PROVA PENETROMETRICA STATICA 1

PROFONDITA'		NATURA COESIVA				NATURA INCOERENTE			
da	a	Cu	Ed	Nc	Qa	φ	Mo	Nq	Qa
m	m	(Kg/cm <sup>2</sup> )	(Kg/cm <sup>2</sup> )		(Kg/cm <sup>2</sup> )	(°)	(Kg/cm <sup>2</sup> )		(Kg/cm <sup>2</sup> )
0.6	1.0	0.40	35.0	5.14	0.7	35.9	28.00	37.22	8.9
1.2	2.8	0.21	28.3	5.14	0.4	-	-	-	-
2.8	4.4	0.50	39.5	5.14	0.9	-	-	-	-
4.6	6.8	1.29	91.9	5.14	2.2	35.3	140.00	34.53	59.0
7.0	10.4	2.36	314.8	6.14	4.0	-	-	-	-
10.6	11.0	-	-	7.14	-	44.4	766.67	122.17	395.8

Cu= Coesione non drenata
Ed= Modulo Edometrico
Nc= Fattore di capacità portante terrenp coesivo
Qa <sub>1</sub> = Carico ammissibile semplificato (Terzaghi)
Mo= Modulo Confinato
Nq= Fattore di capacità portante terreno incoerente
Qa <sub>2</sub> = Carico ammissibile semplificato (Terzaghi)

$Q=(Qc-Svo) / S'vo$	Resistenza alla punta normalizzata
$F=100(Fs/(Qc-Svo))$	Friction Ratio
$Ic=(3.47-\log(Q))^2 + (\log(F)+1.22)^2)^{0.5}$	Indice di comportamento del terreno
$FC=1.75 IC^{3.25} - 3.7$	Contenuto di Fine (%)

CLASSIFICAZIONE ROBERTSON 1986		
Sabbie Addensate	Ic < 1.31	
Sabbie - Sabbie Limose	1.31 < Ic < 2.05	
Limi Sabbiosi - Sabbie Limose	2.05 < Ic < 2.60	
Argille Limose -Limi Argillosi	2.60 < Ic < 2.95	
Argille - Argille Limose	2.95 < Ic < 3.60	
Materiale Organico	Ic > 3.60	



TABELLA STATISTICA 5° PERCENTILE ( $\phi$ ,  $C_u$ ) - PROVA PENETROMETRICA 1  
(Valori Caratteristici e di Progetto per grandi superfici)

COMMITTENTE:	FLORINI			DATA:	15/02/2016						
COMUNE:	PAVULLO			H <sub>2</sub> O:	- 3 m						
LOCALITA' :	S.ANTONIO			PENETROMETRO STATICO CPT							
PENETROMETRO STATICO				Natura granulare ( $\phi$ )				Natura Coesiva ( $C_u$ )			
H	Q <sub>c</sub>	IC	FC	$\phi_m$	Num Dat (DevSt)	$\phi_k$	$\phi_d$	C <sub>um</sub>	Num Dat (DevSt)	C <sub>uk</sub>	C <sub>ud</sub>
[m]	[Kg/cm <sup>2</sup> ]	-	%	[°]		[°]	[°]	[Kg/cm <sup>2</sup> ]		[Kg/cm <sup>2</sup> ]	[Kg/cm <sup>2</sup> ]
0.2 - 1.0	4.2	1.6	23	35.9	1	32.9	27.4	0.40	2 (0.1)	<b>0.30</b>	0.21
1.2 - 2.8	3.9	3.5	93					0.21	9 (0.0)	<b>0.17</b>	0.12
3.0 - 4.4	9.9	3.1	66					0.54	8 (0.2)	<b>0.43</b>	0.31
4.6 - 6.8	23.8	2.9	50	35.3	1	32.4	26.9	1.29	11 (0.1)	<b>1.23</b>	0.88
7.0 - 10.4	41.2	2.8	47					2.36	18 (0.4)	<b>2.19</b>	1.56
10.6 - 11.0	283.3	1.9	11	44.4	3 (0.4)	<b>42.3</b>	36.0				

$\phi_m$  = Dato medio dell'angolo di attrito interno dello strato  
 $\phi_k$  = Valore caratteristico dell'angolo di attrito (5° percentile di distribuzione della media)  
 $\phi_d$  = Valore di progetto dell'angolo di attrito interno del terreno  
 C<sub>um</sub> = Dato medio della coesione non drenata  
 C<sub>uk</sub> = Valore caratteristico della coesione non drenata (5° percentile di distribuzione della media)  
 C<sub>ud</sub> = Valore di progetto della coesione non drenata

TABELLA STATISTICA 5° PERCENTILE ( $M_o$ ,  $E_d$ ) - PROVA PENETROMETRICA 1  
(valori caratteristici e di progetto)

COMMITTENTE:	FLORINI			DATA:	15/02/2016						
COMUNE:	PAVULLO			H <sub>2</sub> O:	- 3 m						
LOCALITA' :	S.ANTONIO			PENETROMETRO STATICO CPT							
PENETROMETRO STATICO				Natura granulare ( $\phi$ )				Natura Coesiva ( $C_u$ )			
H	Q <sub>c</sub>	IC	FC	M <sub>om</sub>	Num Dat (DevSt)	M <sub>ok</sub>	M <sub>od</sub>	E <sub>d</sub> <sub>m</sub>	Num Dat (DevSt)	E <sub>d</sub> <sub>k</sub>	E <sub>d</sub> <sub>d</sub>
[m]	[Kg/cm <sup>2</sup> ]	-	%	[Kg/cm <sup>2</sup> ]		[Kg/cm <sup>2</sup> ]	[Kg/cm <sup>2</sup> ]	[Kg/cm <sup>2</sup> ]		[Kg/cm <sup>2</sup> ]	[Kg/cm <sup>2</sup> ]
0.2 - 1.0	4.2	1.6	23	28.0	1	18.1	18.1	35.0	2 (3.0)	<b>26.1</b>	26.1
1.2 - 2.8	3.9	3.5	93					28.3	9 (1.4)	<b>27.4</b>	27.4
3.0 - 4.4	9.9	3.1	66					41.2	8 (7.2)	<b>36.0</b>	36.0
4.6 - 6.8	23.8	2.9	50	140.0	1	90.6	90.6	91.9	11 (11.2)	<b>85.5</b>	85.5
7.0 - 10.4	41.2	2.8	47					314.8	18 (134.0)	<b>258.3</b>	258.3
10.6 - 11.0	283.3	1.9	11	766.7	3 (41.6)	<b>603.6</b>	603.6				

M<sub>om</sub> = Media del Modulo Confinato  
 M<sub>ok</sub> = Valore Caratteristico del Modulo Confinato (5° percentile di distribuzione della media)  
 M<sub>od</sub> = Valore di Progetto del Modulo Confinato  
 E<sub>d</sub><sub>m</sub> = Media del Modulo Edometrico  
 E<sub>d</sub><sub>k</sub> = Valore Caratteristico del Modulo Edometrico (5° percentile di distribuzione della media)  
 E<sub>d</sub><sub>d</sub> = Valore di Progetto del Modulo Edometrico

