

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

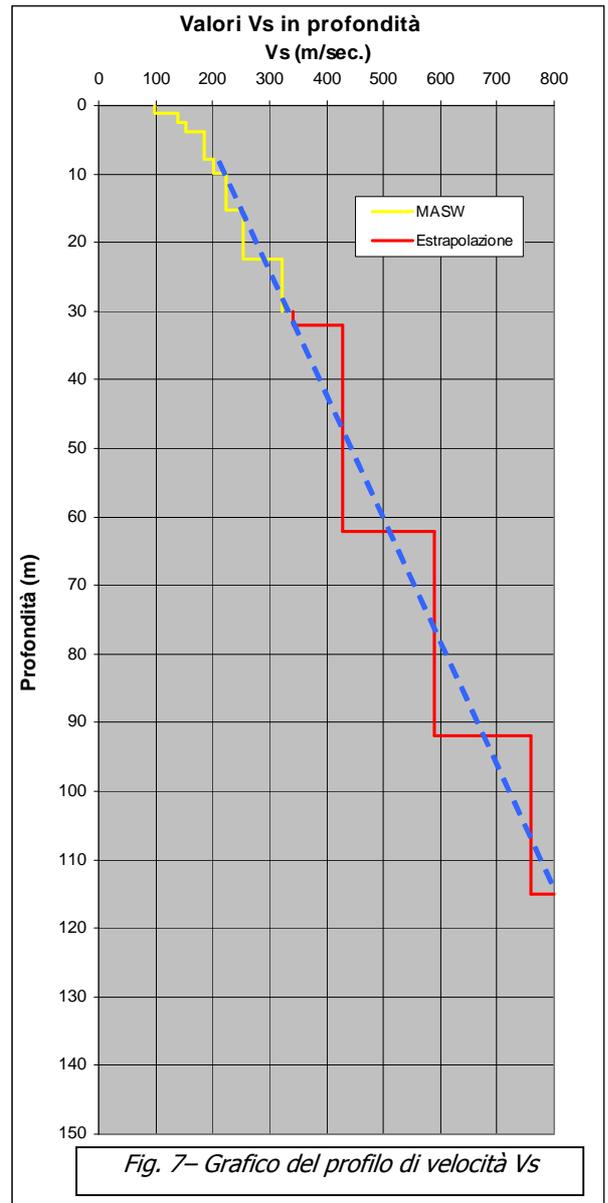


Tabella 1 – dati di input per studio di RSL

9.3 – Dati di Input sismico.

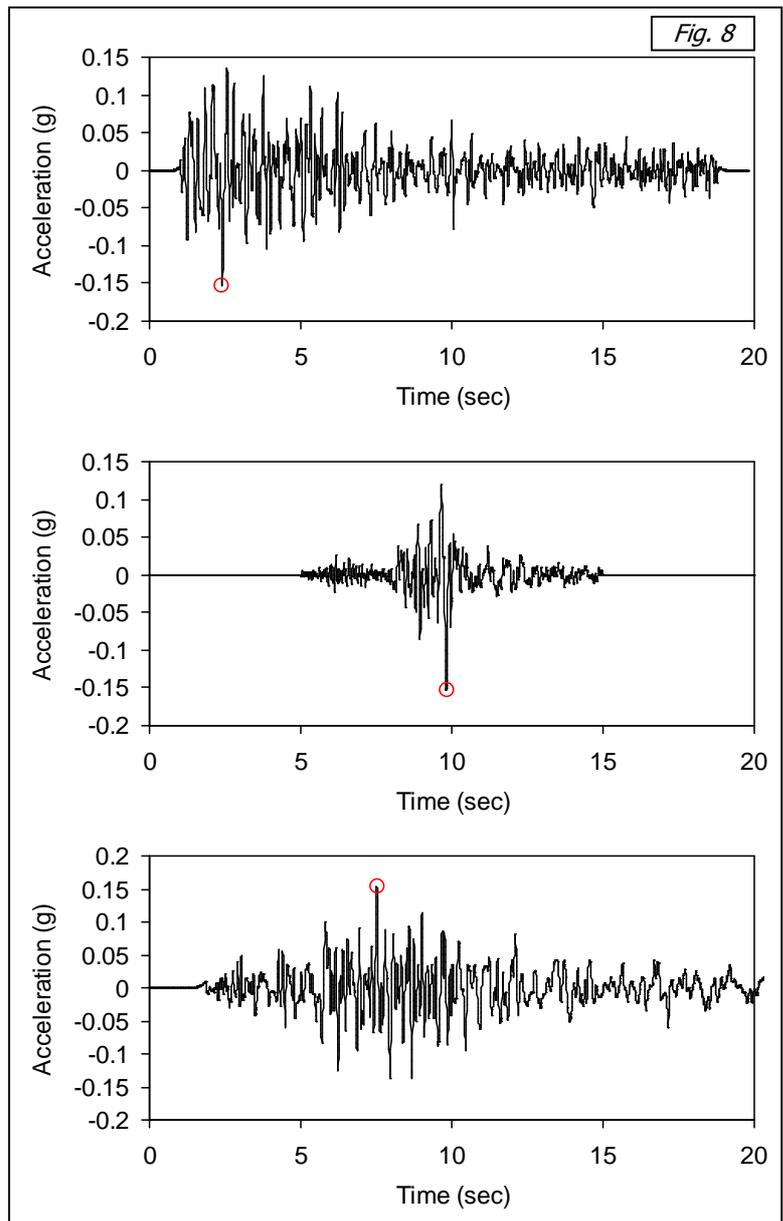
Tra i diversi programmi di calcolo per eseguire modellazioni numeriche ai fini della valutazione della risposta sismica locale, si è utilizzato il programma EERA (Equivalent-linear Earthquake site Response Analysis of Layered Soil Deposits), basato sul codice SHAKE 91 per quanto concerne le soluzioni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

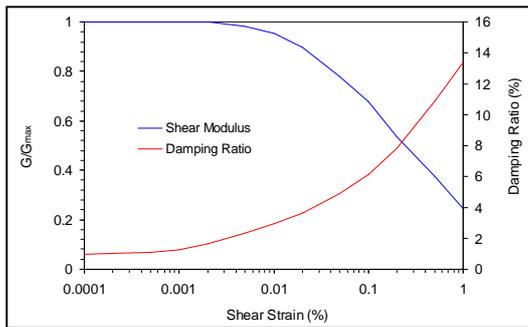


Fig. 9 – Variazione di G e D - Argilla - (Vucetic - P.I. 50)

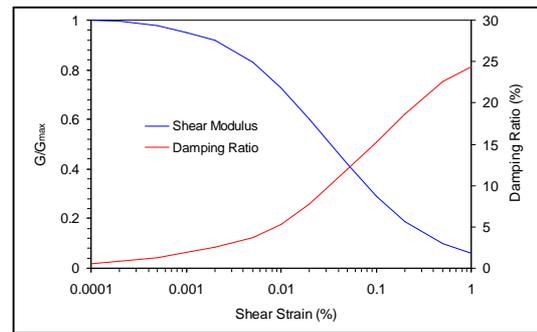


Fig. 10 – Variazione di G e D Sabbie. (Seed & Idris - Media)

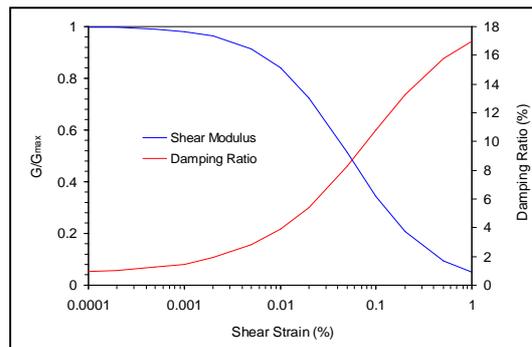
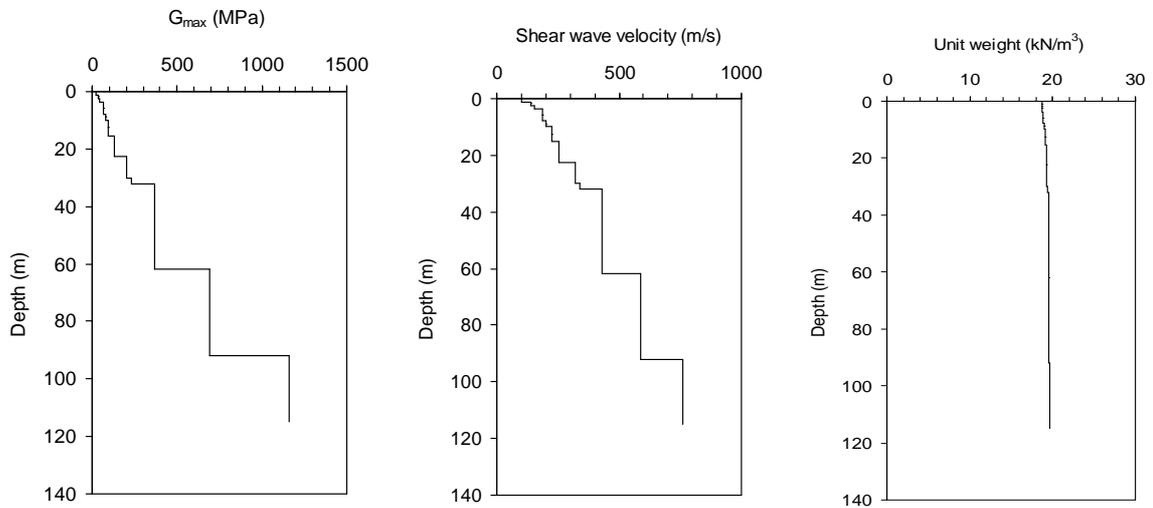


Fig. 11 – Variazione di G e D Ghiaie (Rollins et alii (1998)).

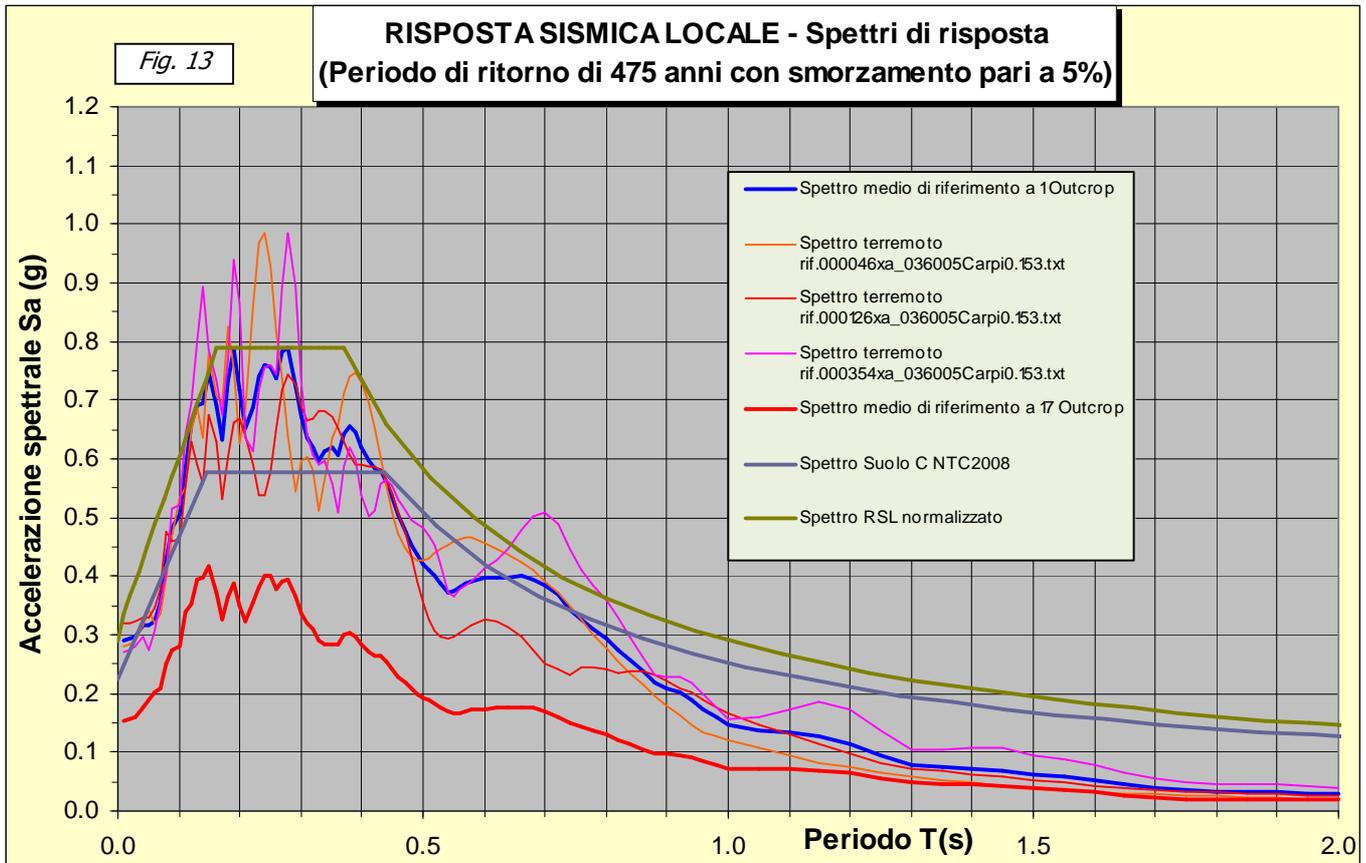
10. RISPOSTA SISMICA LOCALE AL PIANO DI FONDAZIONE.

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	

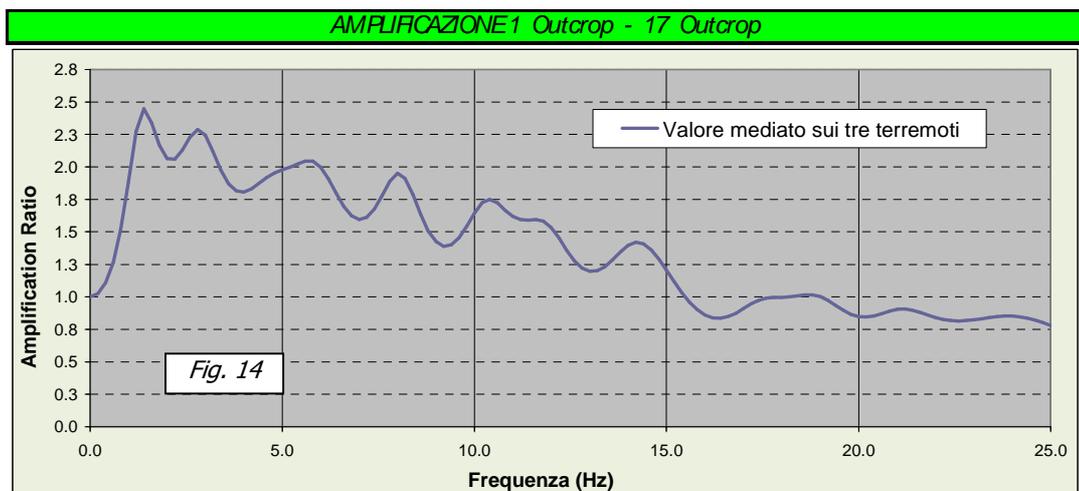


L'elaborazione, svolta sui cinque terremoti di riferimento, ha fornito i risultati, in termini di spettro di risposta elastico in accelerazione massima orizzontale in superficie, per un valore di smorzamento critico pari al 5%, presentati graficamente in figura 13 e riportati in Allegato 10.

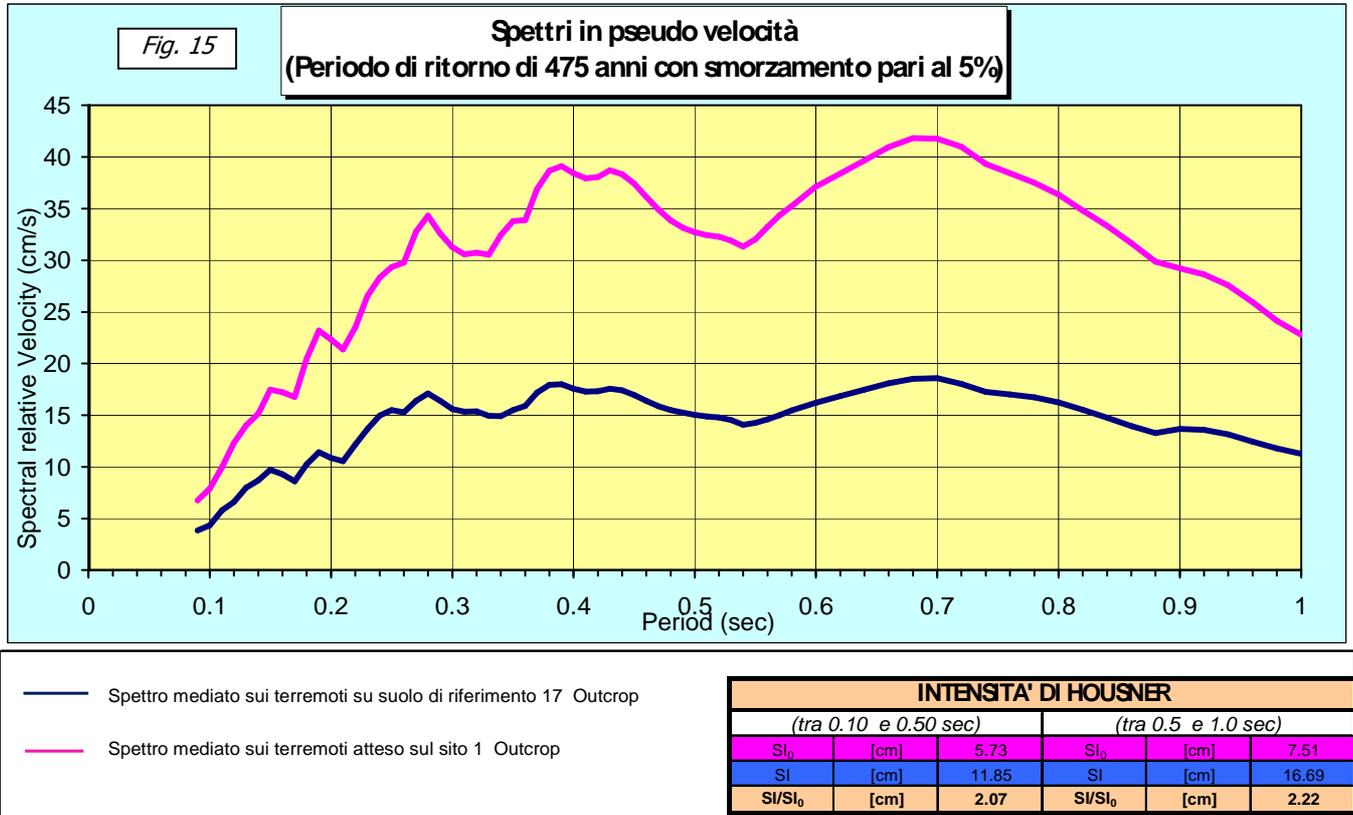


Il valore medio della PGA in superficie è risultato pari a **0.290 g**, con un fattore di amplificazione (PGA/PGA_0) pari a **1.90**.

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/PGA₀)** pari a **1.90**.

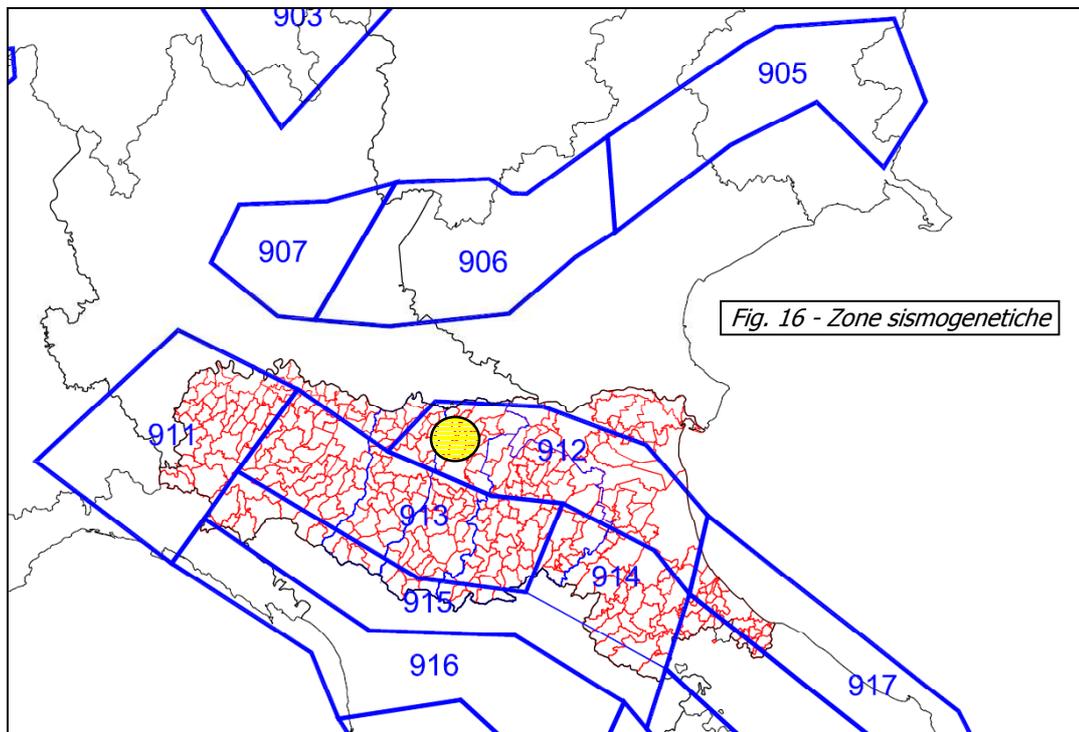
Per quel che concerne il rapporto (SI/SI_0) di Intensità di Housner negli intervalli di frequenza **0.1 - 0.5 sec.** e **0.5 - 1.0 sec.**, i fattori di amplificazione risultano essere rispettivamente pari a **2.07** e **2.22**.

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 Mw per la zona sismogenetica n°912 pari a 6.14.



In considerazione degli eventi sismici del maggio/giugno 2012 e delle prime indicazioni fornite dall'INGV (Comunicato 31 maggio 2012), per le verifiche alla liquefazione si è fatto cautelativamente riferimento ad un valore di magnitudo massima attesa pari a **6.20**.

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;

σ_{v0} : tensione totale verticale alla profondità considerata;

σ'_{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)_{M=7.5} 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.

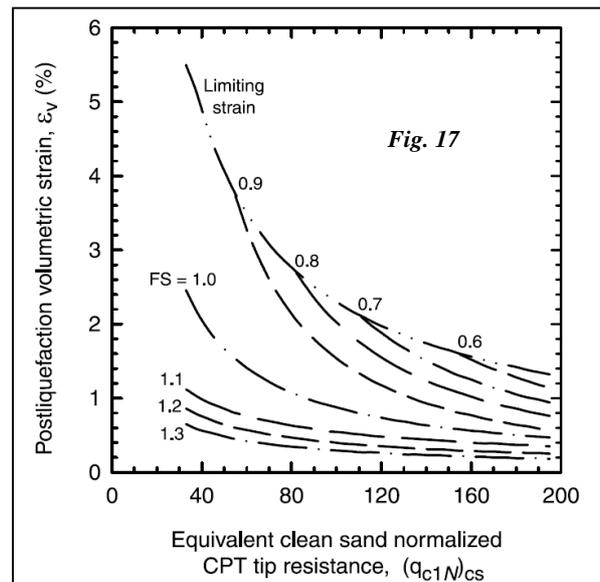
L'analisi è stata completata con la verifica dei cedimenti post-sismici per le prove suddette.

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 (ε_v), con la seguente espressione:

Per i terreni granulari saturi:

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

Dove ε_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 ε_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 ΔH 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.

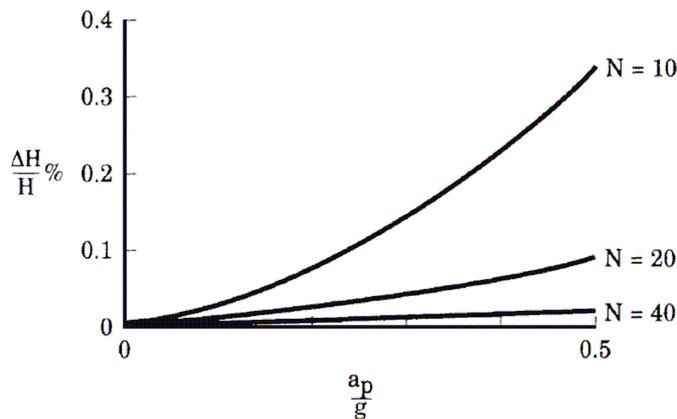


Fig. 18 - Figura per il calcolo dei cedimenti in terreni granulari non saturi (Krinitzsky et al. 1993)

a_{max} [g]	ε_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)
CPT1	4.16	0.47	0.06	4.69
CPT2	0.21	0.30	0.00	0.51
CPT3	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 (γ_{max} in %) ed il fattore di sicurezza alla liquefazione (FS), riportato in figura a lato.

L'integrazione dei valori di γ_{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.

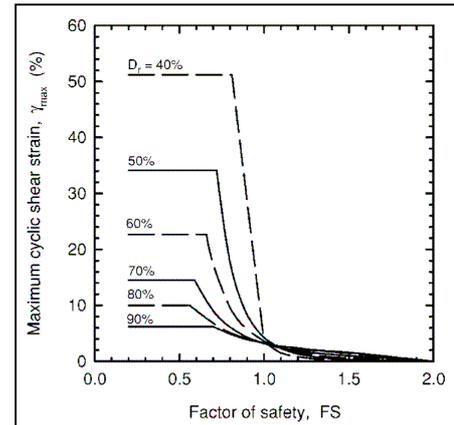
Dopo aver stimato l'LDI è possibile calcolare lo Spostamento Laterale (LD) utilizzando la seguente equazione:

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

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)
CPT1	7.92	3.17
CPT2	0.91	0.36
CPT3	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/PGA₀**) pari a **1.90**.

Per quel che concerne il rapporto (**S_i/S_{i0}**) di **Intensità di Housner** negli intervalli di frequenza **0.1 - 0.5 sec.** e **0.5 - 1.0 sec.**, i fattori di amplificazione risultano essere rispettivamente pari a **2.07** e **2.22**.

Dalle analisi eseguite sulle prove penetrometriche si può considerare **molto basso l'indice di potenziale liquefazione I_L** 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 -

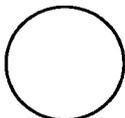
"INQUADRAMENTO GEOGRAFICO"

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

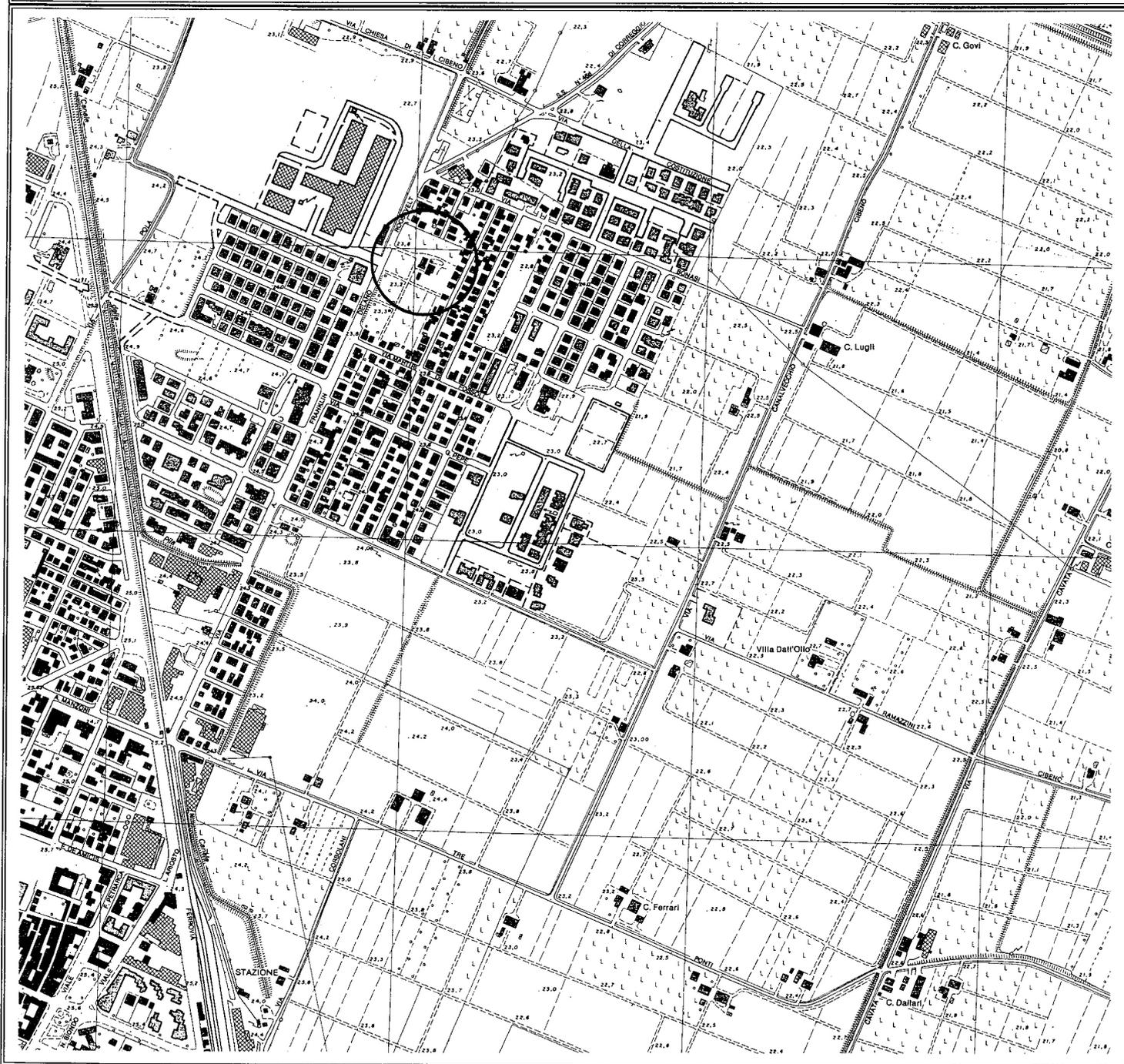
Allegato N. 2

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

LEGENDA



Area di interesse



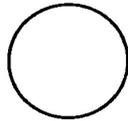
"INQUADRAMENTO AREA DI INTERESSE"

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

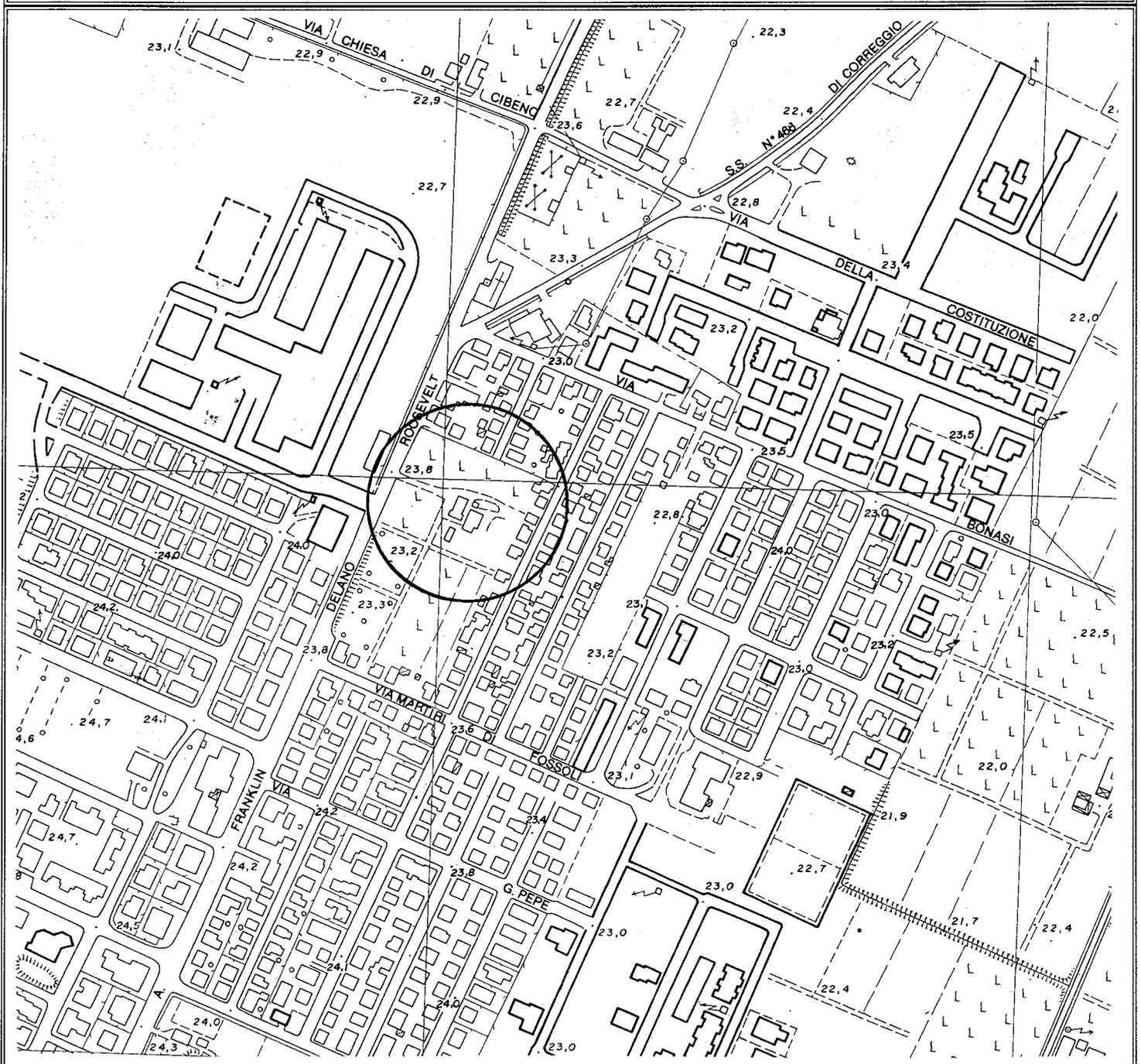
Allegato N. 3

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

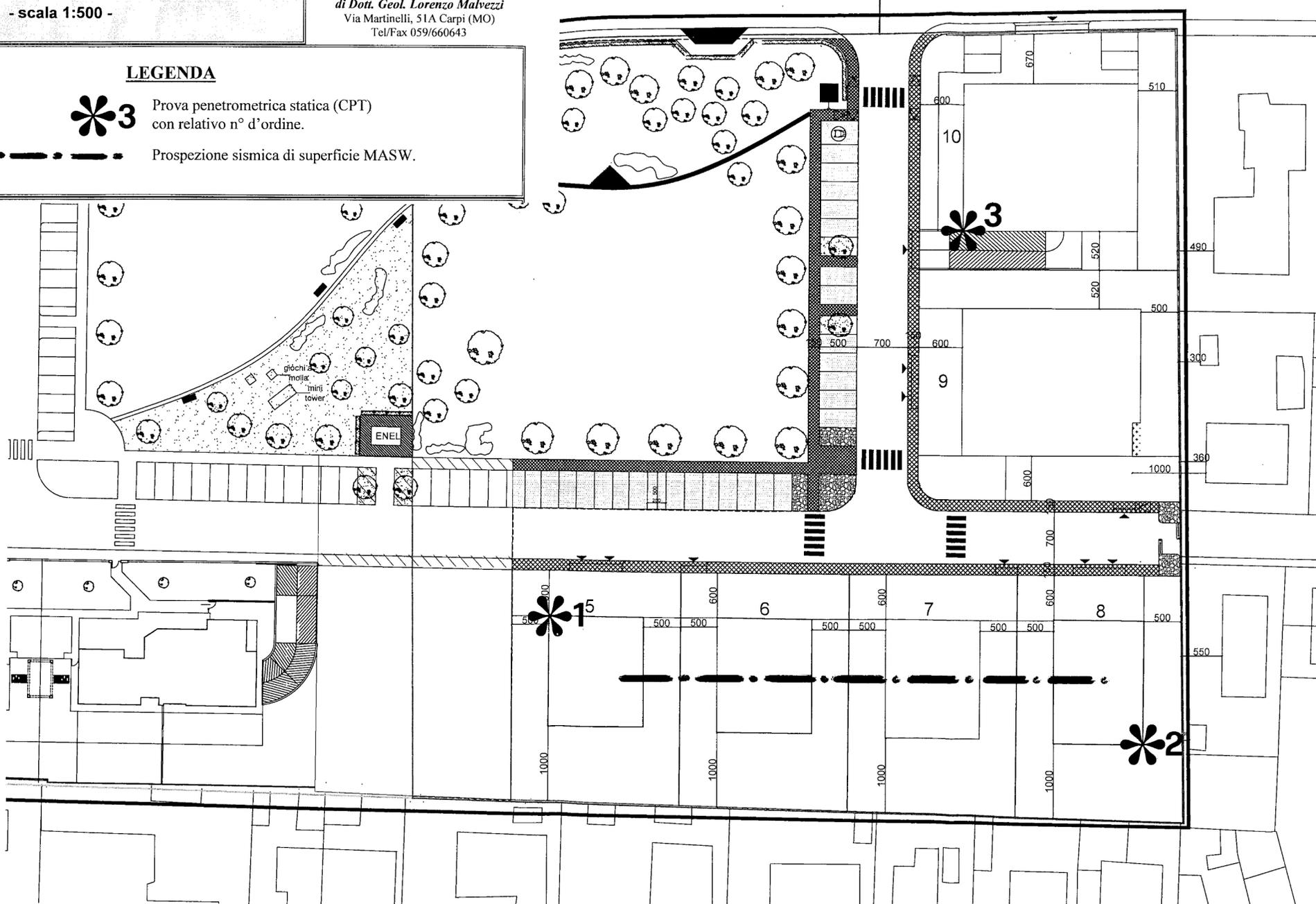
LEGENDA



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



Prospezione sismica di superficie MASW.



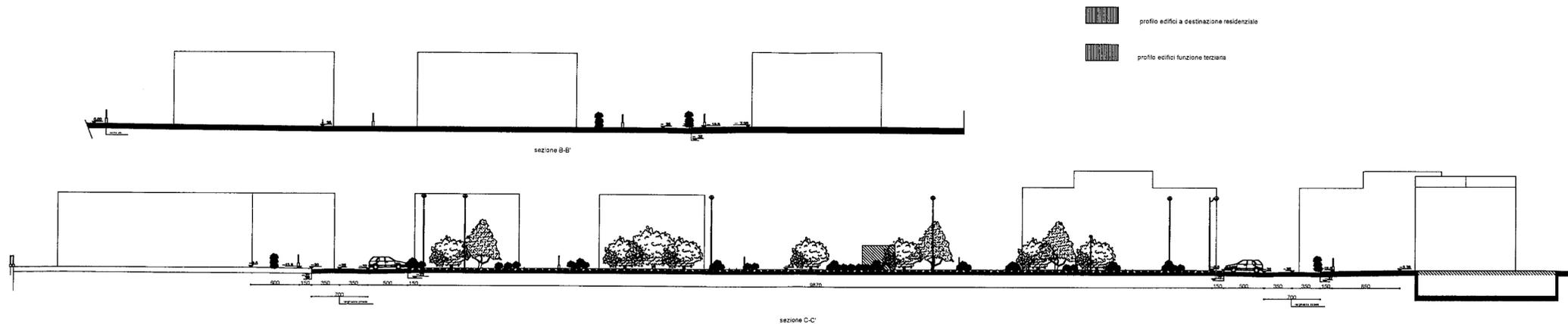
stralcio B

"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 -

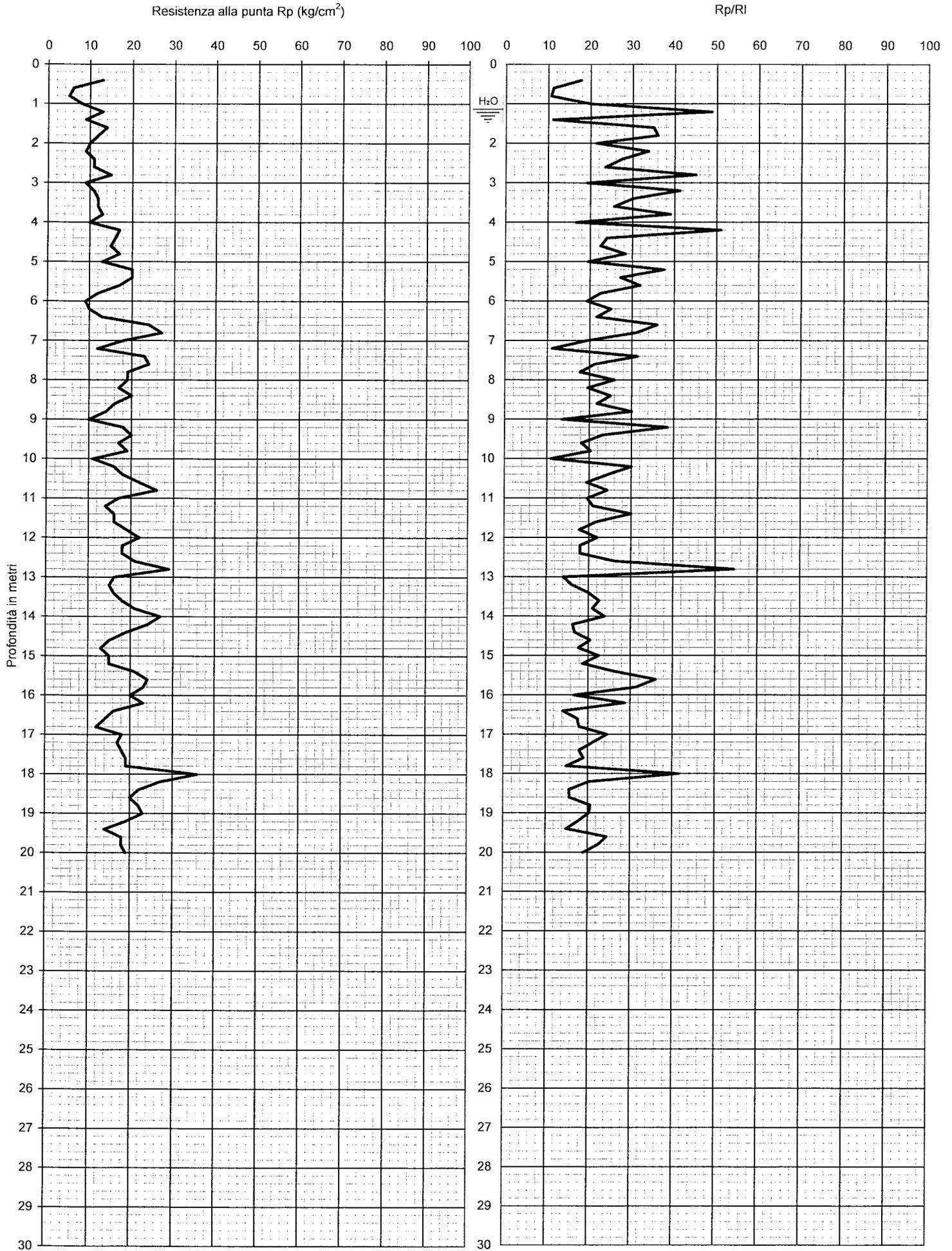
Studio Tecnico Ambientale

GEOTECH

di Dott. Geol. Lorenzo Malvezzi

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

Tel/Fax 059/66.06.43

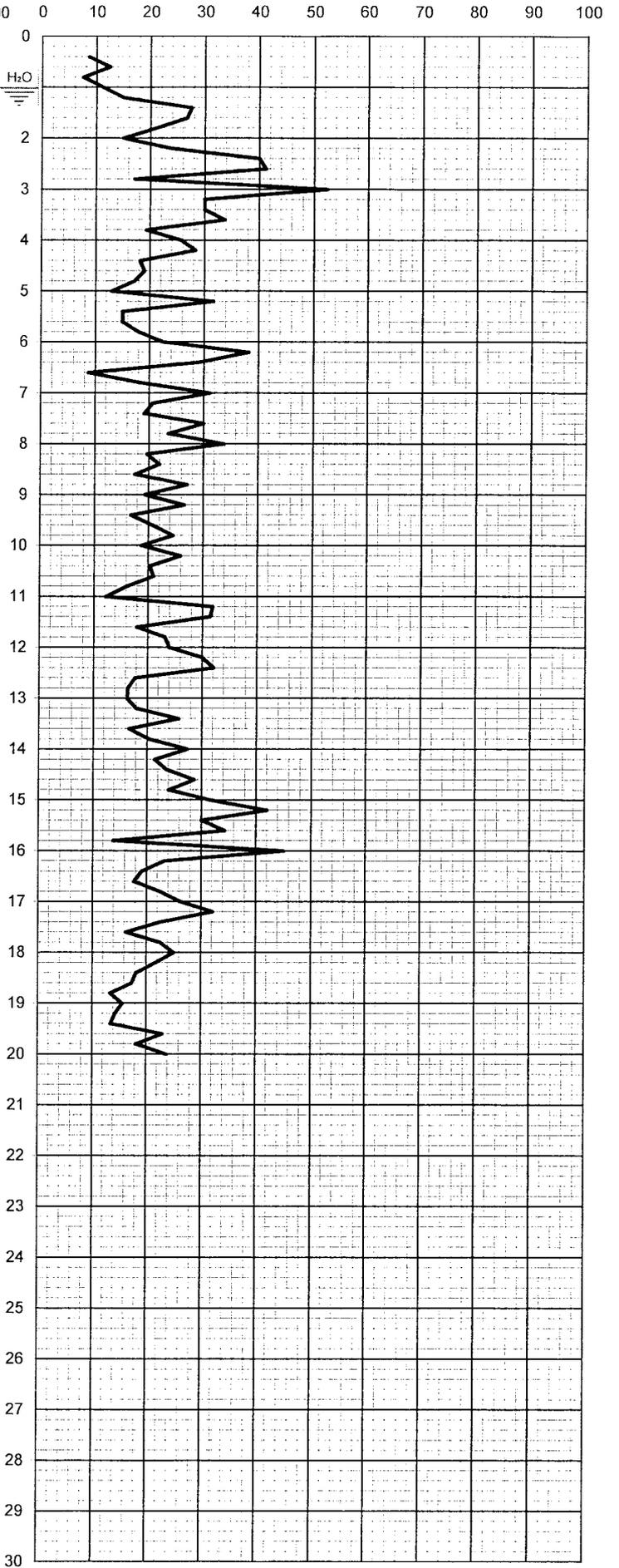
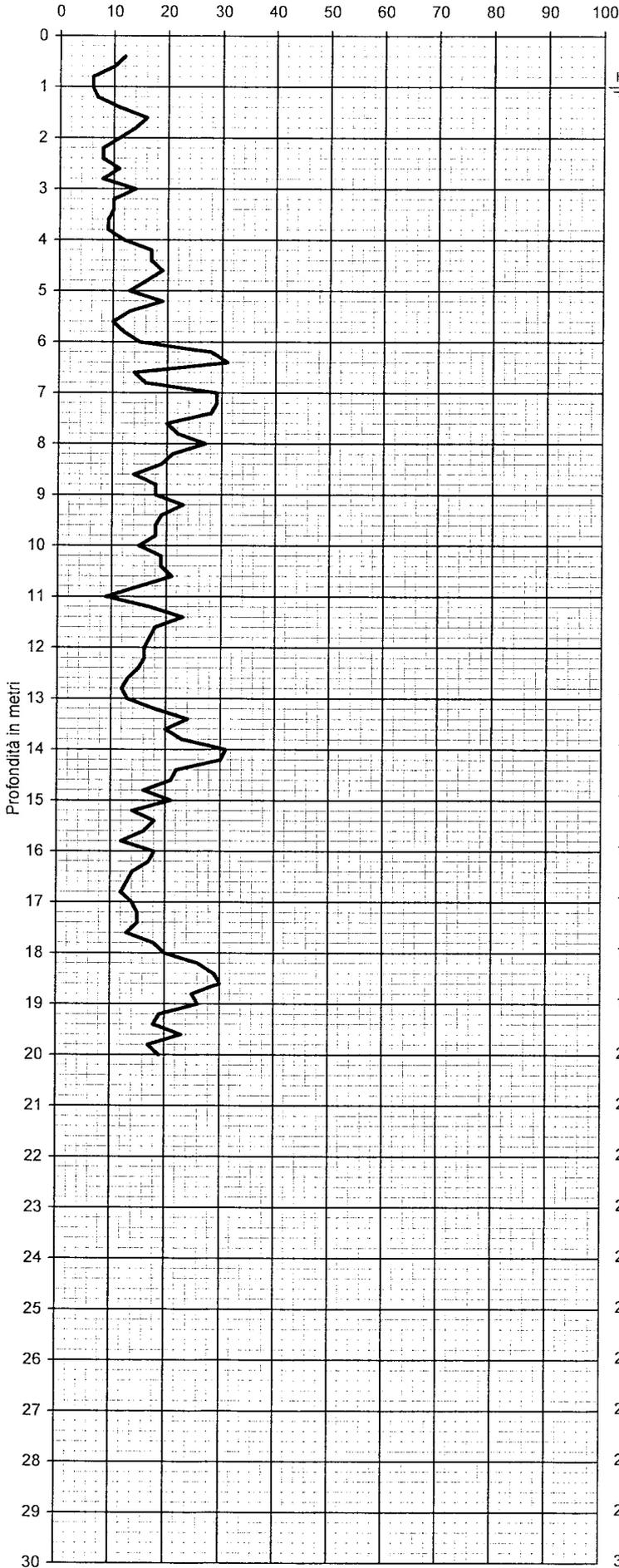


PROF. (M)	P (KG/CM2)	P + L (KG/CM2)	RP (KG/CM2)	RL (KG/CM2)	RP/RL [-]
0,20					
0,40	13	24	13	0,73	17,73
0,60	6	14	6	0,53	11,25
0,80	5	12	5	0,47	10,71
1,00	8	14	8	0,40	20,00
1,20	13	17	13	0,27	48,75
1,40	9	21	9	0,80	11,25
1,60	14	20	14	0,40	35,00
1,80	12	17	12	0,33	36,00
2,00	10	17	10	0,47	21,43
2,20	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/cm²)

Rp/RI

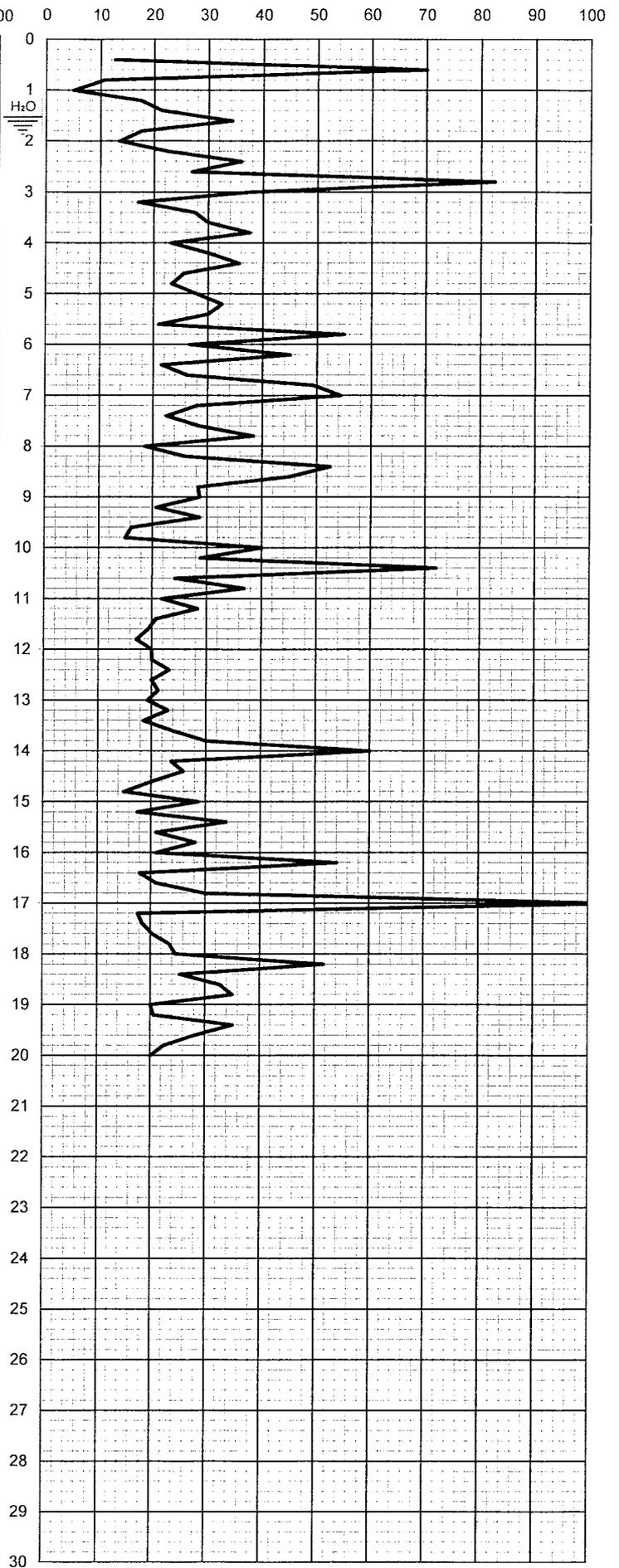
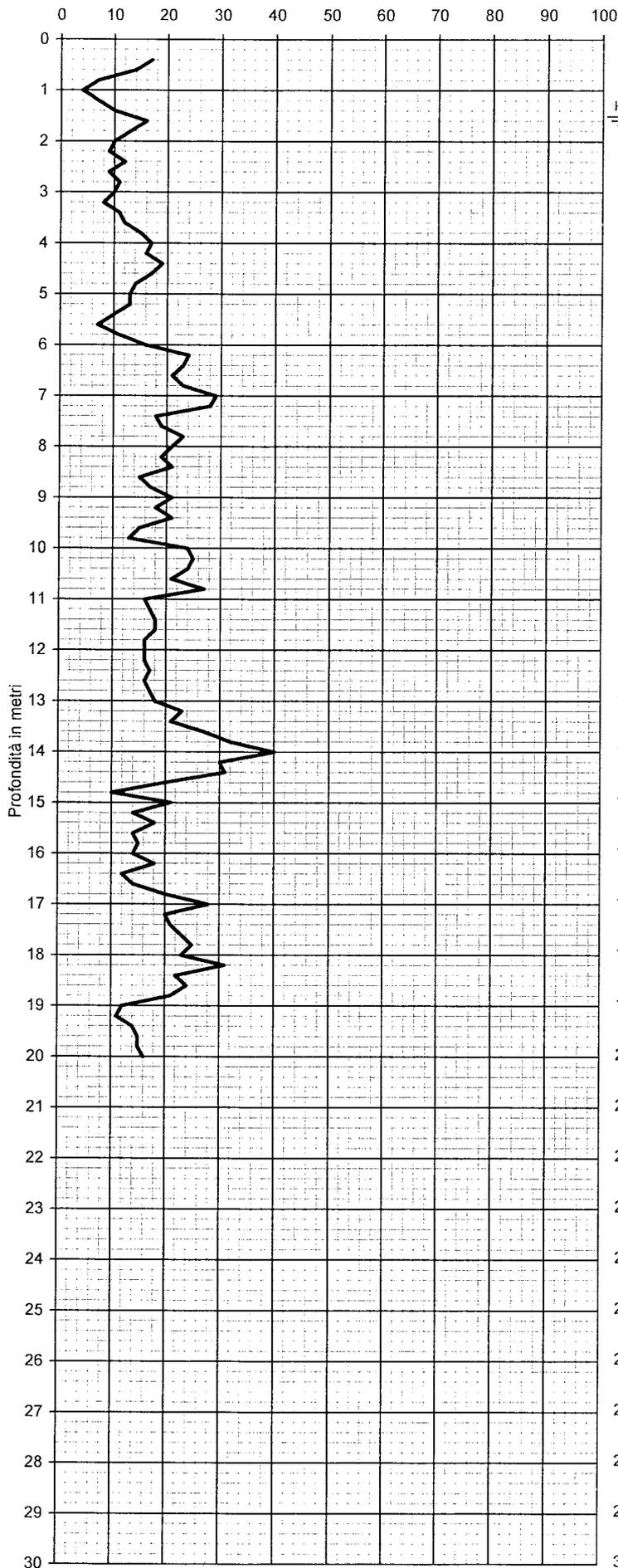


PROF. (M)	P (KG/CM2)	P + L (KG/CM2)	RP (KG/CM2)	RL (KG/CM2)	RP/RL [-]
0,20					
0,40	12	33	12	1,40	8,57
0,60	10	22	10	0,80	12,50
0,80	6	18	6	0,80	7,50
1,00	6	14	6	0,53	11,25
1,20	7	14	7	0,47	15,00
1,40	11	17	11	0,40	27,50
1,60	16	25	16	0,60	26,67
1,80	14	24	14	0,67	21,00
2,00	11	22	11	0,73	15,00
2,20	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 (kg/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					