



## RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA

### INDAGINE GEOTECNICA PREVENTIVA SUI TERRENI DI FONDAZIONE E CARATTERIZZAZIONE SISMICA

**COMMITTENTI:** MiDi s.a.s.  
BURIANI DONATELLA  
GIBERTI ANDREA

**LOCALITÀ:** CENTO FE  
VIA PONTE VECCHIO

**PROGETTO:** AMPLIAMENTO  
FABBRICATO RESIDENZIALE

*Relatore:*

Dott. Geol. Enrico Taddia



*In collaborazione con:*

Dott. Geol. Cecilia Agostini

#### sommario

n.		Pag.	n.		Pag.
1	Premessa	2	6	Verifica della stabilità globale	12
2	Prove in sito	4	7	Cedimenti	19
3	Caratterizzazione geologica	4	8	Considerazioni conclusive	20
4	Caratterizzazione geotecnica	6	<i>Allegati</i>		
5	Caratterizzazione sismica	8		Prove geotecniche	

Sant'Agostino, li 12.10.2010

## 1. PREMESSA

Dietro incarico della società MiDi s.a.s. e per conto della proprietà Buriani Donatella e Giberti Andrea, è stato eseguito uno studio geologico e geotecnico finalizzato alla definizione dei parametri fisico-meccanici dei terreni interessati da progetto di ampliamento di un fabbricato ad uso civile abitazione, in Cento FE, Via Ponte Vecchio.

Dal punto di vista geografico l'area indagata è rappresentata nell'elemento 202082 della Carta Tecnica Regionale (CTR) in scala 1:5.000, della quale in Fig. 1 si fornisce uno stralcio, ed è individuata dalle coordinate ED50 lat. 44,722626 – long. 11,294728.

I terreni investigati sono censiti al Foglio 54, mappali 155, 245 e 634 del Catasto dei Terreni del Comune di Cento.

Il territorio comunale di Cento è stato classificato sismico in zona 3, come area di nuova classificazione, dall'Ordinanza del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20/03/2003 e successive modificazioni, la sismicità delle località italiane è stata poi definita in base a una griglia a maglie quadrate dall'OPCM 3519 del 28.04.2006, recepita dal DM del 14.01.2008, recante le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni.

In base alle informazioni fornite dallo Studio di Progettazione dell'Arch. Mirco Proni il fabbricato da costruire in base al progetto attuale graverà sui terreni con carichi di 40-60 kN/ml tramite fondazioni superficiali a nastro; un eventuale progetto futuro potrà incrementare i carichi fino a circa 65-110 kN/ml.

Il fabbricato da ricostruire è caratterizzato da una vita nominale ( $V_N$ ) di 50 anni ed è attribuito alla classe d'uso II.

L'indagine vuole determinare la natura e la litologia dei sedimenti, valutare la loro portanza ed il piano di posa fondale dei manufatti da porre in atto; definire il tipo di falde, la loro giacenza e la distanza dal suolo; quantificare i cedimenti totali e differenziali; classificare i terreni dal punto di vista sismico.

Il metodo adottato ha indotto le seguenti fasi operative:

Fig. 1

**COROGRAFIA**

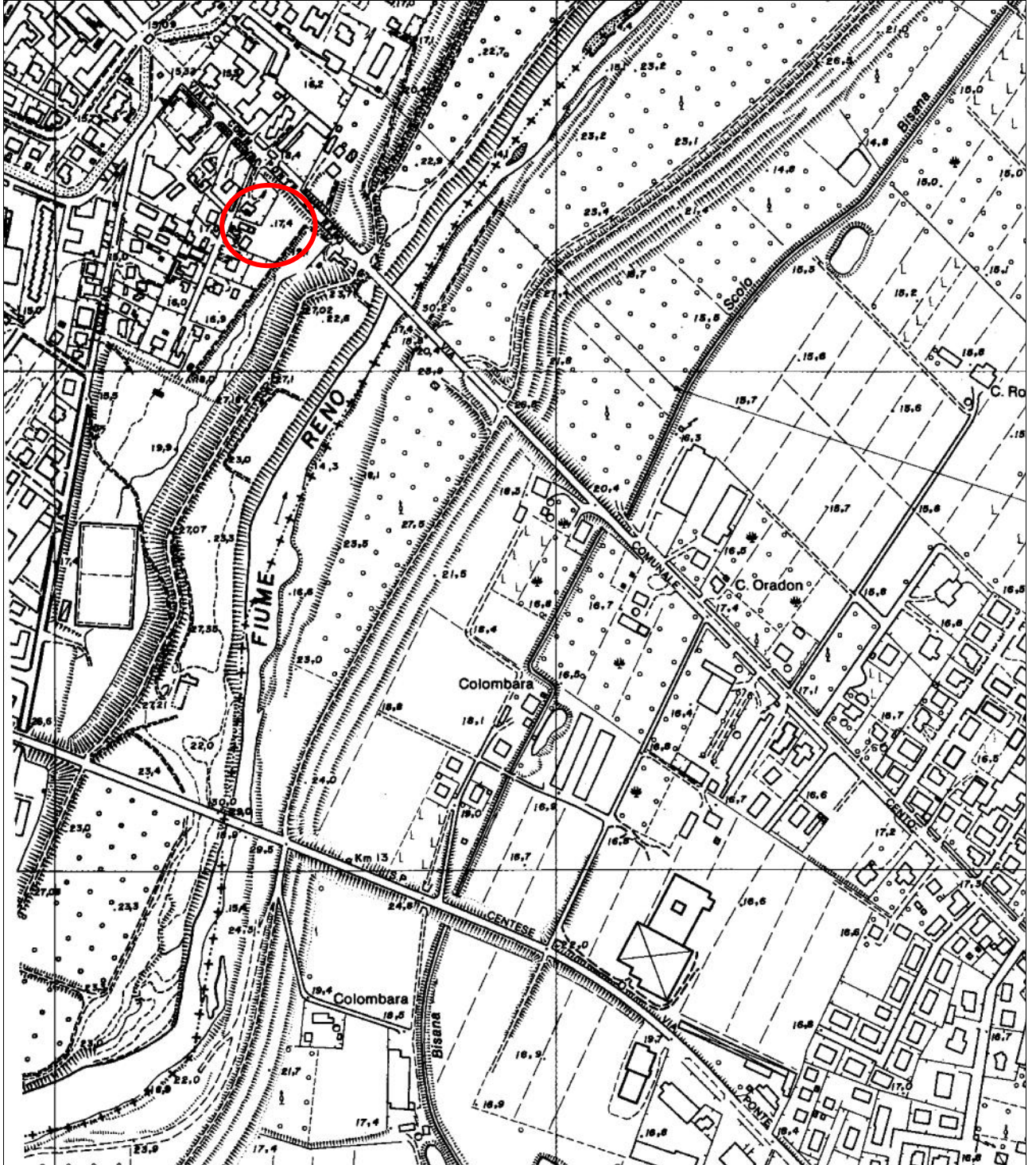
BASE TOPOGRAFICA CTR  
elemento 202082

scala 1:5.000

**Legenda**



Area oggetto di studio



## 2. PROVE IN SITO

È stata eseguita n. 1 prova penetrometrica statica CPT spinta fino alla profondità massima di m 30,00 dal piano campagna (p.c.), assunto come livello di riferimento.

Per l'esecuzione della penetrometria è stato utilizzato un penetrometro statico da t. 15 di spinta con punta conica tipo Begemann per la lettura della resistenza alla punta  $q_c$  ( $R_p$ ) e la resistenza all'attrito laterale locale  $f_s$  ( $R_l$ ). Maggiori dettagli sulla strumentazione e le modalità di prova sono forniti nella scheda tecnica allegata.

In corrispondenza del foro di prova sono state effettuate misure piezometriche per la determinazione del livello della falda acquifera tramite sonda piezometrica a segnalazione acustica e visiva.

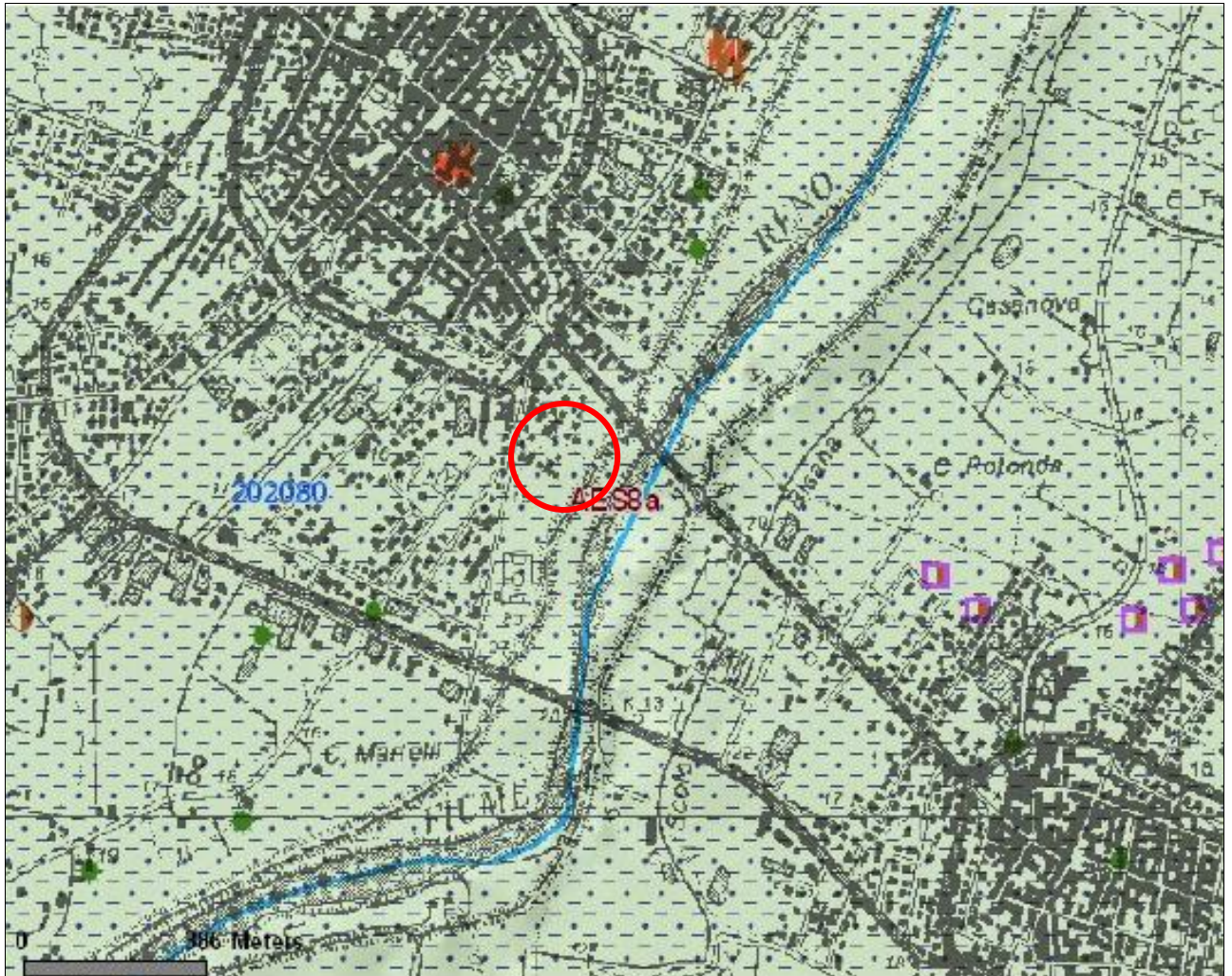
L'ubicazione della prova è riportata nell'allegato schizzo planimetrico.

## 3. CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA

La Carta Geologica in scala 1:10.000 redatta dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia Romagna rappresenta il sito in esame nella sezione 202080 (Fig. 2) e individua coperture quaternarie attribuite al Subsistema di Ravenna (AES8) e in particolare all'Unità di Modena (AES8a).

I sedimenti alluvionali del Subsistema di Ravenna (AES8) sono costituiti da depositi fluviali intravallivi e di piana alluvionale, di piana di sabbia litorale e, nel settore a mare, di prodelta e transizione alla piattaforma. Nella valle del F. Marecchia i depositi fluviali sono organizzati in 3 ordini di terrazzo con inclinazione media di 5-6 per mille. Limite superiore coincidente con il piano topografico, dato da suoli variabili da non calcarei a calcarei. I suoli non calcarei e scarsamente calcarei hanno, al tetto, colore bruno scuro e bruno scuro giallastro (10YR, 2,5Y), spessore dell'orizzonte decarbonatato da 0,3 ad 1 m e contengono reperti archeologici di età dal Neolitico al Romano. I suoli calcarei appartengono all'unità AES8a. Limite inferiore coincidente, in affioramento, con una superficie di erosione fluviale o con il contatto delle tracimazioni fluviali sul suolo non calcareo al tetto di AES7. Il Subsistema contiene un'unità di rango gerarchico inferiore (AES8a) che, dove presente, ne costituisce il tetto stratigrafico. Spessore massimo di 20-25 metri.

L'età è fatta corrispondere al Pleistocene superiore – Olocene.



I depositi attribuiti all'Unità di Modena (AES8a) sono costituiti da ghiaie, sabbie, limi ed argille di canale fluviale, argine e piana inondabile; sabbie e ghiaie di cordone litorale e di barra di foce; argille e limi di prodelta e di transizione alla piattaforma. Il limite superiore è sempre affiorante e coincidente con il piano topografico dato da un suolo calcareo di colore bruno olivastro e bruno grigiastro (2,5Y) al tetto, privo di reperti archeologici romani, o più antichi, non rimaneggiati e caratterizzato da una buona preservazione delle forme deposizionali originarie (es. argini e bacini

5

interfluviali). Il limite inferiore è dato da una superficie di erosione fluviale nelle aree intravallive e dal contatto delle tracimazioni fluviali sul suolo non calcareo (o scarsamente calcareo) di epoca romana (o più antica) nelle aree di pianura. L'unità include, concettualmente, i depositi fluviali in evoluzione b1 che però, in accordo con la tradizione della cartografia geologica preesistente, sono stati cartografati separatamente. Lo spessore massimo è di 3-4 metri. Confinano con i depositi alluvionali in evoluzione (b1) e si trovano lungo i margini fluviali sia del Fiume Marecchia che del torrente Uso.

Nel caso specifico la litologia è costituita da limi argillosi di piana alluvionale.

L'età è post - romana (IV-VI sec. d.C. - Attuale; datazione archeologica), corrispondente all'Olocene.

Dal punto di vista geomorfologico il sito risulta inserito in un territorio pianeggiante privo di fenomeni di dissesto con quote topografiche attorno a 17 m s.l.m.m., unico elemento di rilievo è costituito dall'argine destro del Fiume Reno che scorre immediatamente a sud-est.

L'analisi del microrilievo permette di individuare una generale e debole pendenza topografica da sud-est vers nord-ovest in concordanza con la posizione dell'alveo del F. Reno.

#### 4. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

L'analisi delle prove penetrometriche consente la ricostruzione del modello geologico e geotecnica del substrato, infatti permette di suddividere il terreno attraversato in intervalli a comportamento omogeneo per quanto riguarda la resistenza meccanica, per ogni intervallo vengono forniti i parametri geotecnici caratteristici ai sensi del DM del 14.01.2008.

Si può così delineare la seguente successione:

**da m. 0,00 a m. 2,40 dal p.c.**

Si registrano medio-alti valori di  $q_c$  40+/- daN/cm<sup>2</sup>, con simmetrici valori di  $f_s$  1,8+/- daN/cm<sup>2</sup>, rapporto  $q_c/f_s$  25+/-, abbastanza disperso e decrescente verso il basso.

La correlazione litologica di Schmertmann evidenzia uno strato costituito da terreni misti argillo-limosi, le discrete resistenze superficiali sono correlabili a fenomeni di essiccamento e pertanto non sono da considerare ai fini progettuali.

Coesione non drenata  $Cu_k = 0,45+/-$  daN/cm<sup>2</sup>.

Mediocre la capacità portante, discreta e variabile la cedevolezza.

**da m. 2,40 a m. 4,00 dal p.c.**

Si registrano medi valori di  $q_c$  10+/- daN/cm<sup>2</sup>, con simmetrici valori di  $f_s$  0,4+/- daN/cm<sup>2</sup>, rapporto  $q_c/f_s$  25+/-.

La correlazione litologica di Schmertmann evidenzia uno strato di argille di media consistenza.

Coesione non drenata  $Cu_k = 0,45+/-$  daN/cm<sup>2</sup>.

Mediocre la capacità portante, discreta la cedevolezza.

**da m. 4,00 a m. 7,40 dal p.c.**

Si registrano medio-alti valori di  $q_c$  25+/- daN/cm<sup>2</sup> con un calo attorno a 6,00 m dal p.c. (12+/- daN/cm<sup>2</sup>), con medi valori di  $f_s$  0,6+/- daN/cm<sup>2</sup>, rapporto  $q_c/f_s$  30+/- piuttosto disperso.

La correlazione litologica di Schmertmann evidenzia uno strato di limi sabbiosi passanti verticalmente a limi argillosi e argille limose.

Angolo di attrito  $\phi_k = 28^\circ$ .

Coesione non drenata  $Cu_k = 0,47+/-$  daN/cm<sup>2</sup>.

Mediocre la capacità portante, scarsa la cedevolezza.

**da m. 7,40 a m. 10,00 dal p.c.**

Si registrano medi valori di  $q_c$  12+/- daN/cm<sup>2</sup> debolmente crescenti con la profondità, con simmetrici valori di  $f_s$  0,5+/- daN/cm<sup>2</sup>, rapporto  $q_c/f_s$  25+/-.

La correlazione litologica di Schmertmann evidenzia uno strato di argille e argille limose.

Coesione non drenata  $Cu_k = 0,54+/-$  daN/cm<sup>2</sup>.

Discreta la capacità portante, discreta la cedevolezza.

**da m. 10,00 a m. 22,50 dal p.c.**

Si registrano medio-alti valori di  $q_c$  30+/- daN/cm<sup>2</sup>, con simmetrici valori di  $f_s$  1,2+/- daN/cm<sup>2</sup>, rapporto  $q_c/f_s$  20+/-.

La correlazione litologica di Schmertmann evidenzia un banco di argille localmente limose.

Coesione non drenata  $Cu_k = 0,80+/-$  daN/cm<sup>2</sup>.

Buona la capacità portante, discreta la cedevolezza.

#### **da m. 22,50 a m. 25,00 dal p.c.**

Si registrano alti valori di  $q_c$  120+/- daN/cm<sup>2</sup>, con medi valori di  $f_s$  2,0+/- daN/cm<sup>2</sup>, rapporto  $q_c/f_s$  60+/-.

La correlazione litologica di Schmertmann evidenzia uno strato di sabbie addensate localmente limose fino a 24,00 m dal p.c. e poi di sabbie limose.

Angolo di attrito  $\phi_k = 30^\circ$ .

Buona la capacità portante, scarsa la cedevolezza.

#### **da m. 25,00 a m. 30,00 dal p.c.**

Si registrano medio-alti valori di  $q_c$  37+/- daN/cm<sup>2</sup>, con simmetrici valori di  $f_s$  2,0+/- daN/cm<sup>2</sup>, rapporto  $q_c/f_s$  28+/- piuttosto disperso.

La correlazione litologica di Schmertmann evidenzia un banco costituito dall'alternanza di argille limose, limi argillosi e limi sabbiosi.

Coesione non drenata  $Cu_k = 0,90+/-$  daN/cm<sup>2</sup>.

Buona la capacità portante, scarsa la cedevolezza.

Si tratta di terreni di età olocenica; l'ambiente di sedimentazione è complessivamente di tipo palustre con sporadici fenomeni di esondazione registrati dai termini litologici profondi.

Al momento delle prove il livello statico della falda freatica non è stato misurato a causa di ostruzione del foro di indagine a -1,20 m dal p.c., in base alla conoscenza del territorio e all'umidità dei terreni giacenti a -1,20 m si considera il livello statico impostato a -1,40 m dal p.c..

## **5. CARATTERIZZAZIONE SISMICA**

Il territorio del Comune in oggetto è stato classificato sismico in zona 3 come area di nuova classificazione dall'Ordinanza del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20/03/2003.

Le zone previste sono n. 4 con sismicità decrescente dalla zona 1 alla zona 4, in base ad un valore di accelerazione di picco al suolo roccioso ( $a_g$ ); in seguito all'OPCM 3519 del 28.04.2006 ciascuna zona è individuata mediante valori di accelerazione massima del suolo  $a_g$  con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, riferiti a suoli rigidi caratterizzati da  $V_{s30} > 800$  m/s, secondo lo schema seguente.

ZONA	ag con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni	ag massima di ancoraggio dello spettro di risposta elastico
1	0,25 < ag 0,35 g	0,35 g
2	0,15 < ag 0,25 g	0,25 g
3	0,05 < ag 0,15 g	0,15 g
4	ag 0,05 g	0,05 g

In Emilia Romagna non è presente la zona 1 e solo alcuni comuni della provincia Piacenza, uno di Reggio Emilia e tre di Ferrara sono stati attribuiti alla zona 4.

Con il D.M. del 14.01.2008 recante le nuove “Norme Tecniche per le Costruzioni” le zone 1, 2 e 3 sono state suddivise in sottozone caratterizzate da valori di ag intermedi rispetto a quelli minimo e massimo della rispettiva zona su una griglia a maglie quadrate e passando quindi da una classificazione a livello comunale a una definizione puntuale dei valori di accelerazione di riferimento.

La nuova norma prevede una classificazione sismica dei terreni di fondazione, da eseguirsi in base ai valori della velocità media delle onde S in 30 m ( $V_{s30}$ ) oppure in base ai dati di prove SPT o al valore medio della coesione non drenata  $Cu_{30}$ ; nonché alla valutazione dell'eventuale rischio di liquefazione in condizioni dinamiche.

#### Categorie di suolo di fondazione:

<b>A</b>	Ammassi rocciosi o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di $V_{s30} > 800$ m/s eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m
<b>B</b>	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto 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 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{spt30} > 50$ nei terreni a grana grossa, $Cu_{30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina)
<b>C</b>	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 $15 < N_{spt30} < 50$ nei terreni a grana grossa, $70 < Cu_{30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina)
<b>D</b>	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s30} < 180$ m/s (ovvero $N_{spt30} < 15$ nei terreni a grana grossa, $Cu_{30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina)
<b>E</b>	Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_{s30} > 800$ m/s)
<b>S1</b>	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s30} < 100$ m/s (ovvero $10 < Cu_{30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche
<b>S2</b>	Deposito di terreni suscettibili a liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di terreno non classificabile nei tipi precedenti

In ogni specifico sito il moto sismico è definito da uno spettro di risposta elastico la cui forma dipende dalla combinazione del tipo di terreno e della zona di appartenenza attraverso l'uso di definiti coefficienti (coefficiente stratigrafico  $S_s$  e periodi di oscillazione  $T_B$ ,  $T_C$  e  $T_D$ ), dal periodo di oscillazione della struttura  $T_0$ , dall'accelerazione al suolo  $a_g$  e dal fattore che tiene conto dello smorzamento viscoso della struttura.

Per la classificazione del sito in esame sono stati utilizzati i dati della prova penetrometrica statica CPT spinta fino alla profondità di indagine di 30,00 m dal p.c.

In base a ormai diffuse e note correlazioni empiriche dai valori di resistenza forniti dalle prove CPT si possono ottenere i valori della coesione non drenata  $C_u$ , riportati nella tabella allegata "parametri geotecnici" e il valore medio di  $N_{spt}$  per gli starti granulari derivato dai valori di  $q_c$  secondo Robertson e Campanella (1985).

Nell'intervallo esaminato, l'insieme dei terreni coesivi compresi tra 1,00 m e 30,00 m dal p.c. presenta valore di coesione medio  $C_u = 100$  kPa.

In base a tale valutazione, il suolo di fondazione in oggetto viene attribuito alla **categoria 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  $15 < N_{spt30} < 50$  nei terreni a grana grossa,  $70 < C_{u30} < 250$  kPa nei terreni a grana fina)".

Ai sensi del DM del 14.01.2008 i parametri sismici per tempi di ritorno di 475 anni (SLV), calcolati tramite media ponderata, presentano i valori riportati nelle tabelle allegate e sintetizzati di seguito:

$$a_g (g) = 0,157 - F_0 = 2,591 - T_c = 0,273$$

$$S_s = 1,456 - C_c = 1,612$$

Nelle pagine seguenti vengono forniti gli spettri di risposta, ricavati considerando una probabilità di superamento del 10% in 50 anni equivalente al tempo di ritorno di 475 anni, per la determinazione dell'azione sismica di progetto e adottando i valori di  $q = 1,5$  e  $q_0 = 3$

I terreni granulari a granulometria monodimensionale immersi in acqua di falda potrebbero essere suscettibili a fenomeni di liquefazione in condizioni dinamiche<sup>1</sup>; tale rischio va valutato entro

---

<sup>1</sup> Ad es.: Crespellani T., Nardi R. e Simoncini C., 1988 – La liquefazione del terreno in condizioni sismiche. Zanichelli, Bologna.

i 20 m di profondità ai sensi degli atti di indirizzo della Regione Emilia Romagna (Del. Ass. Legisl. RER 112/2007).

La stratigrafia del sito in oggetto, derivata dai dati della prova CPT, entro la profondità di 20 m presenta uno strato granulare di natura limo-sabbiosa tra 4,00 e 5,00 m dal p.c. Pertanto, anche se la frazione limosa sembra permettere l'esclusione del rischio di liquefazione, in via cautelativa è stata effettuata una verifica tramite il metodo semiempirico di Seed e Idriss (1982) e utilizzando una magnitudo di riferimento  $M = 6,14$  in conformità con quanto stabilito dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia per la zona sismogenetica 912 della Dorsale Ferrarese.

<b>METODO DI SEED E IDRIS (1982)</b>	<b>Nspt Vs CPT</b>
<b>Dati di input</b>	
granulometria	
densità relativa	
numero di colpi	
peso di volume	
fattore di resistenza alla liquefazione	
$F = (\tau_{av}/\sigma'_v)_{lim} / (\tau_{av}/\sigma'_v)$	
$N_1 = 6,37$	
$N_1 = N_1 + 7,5 = 13,87$ per limi e sabbie limose	
$R_p = 35,4$ kg/cmq	
prof = 4,5 m	
$\gamma = 1,89$ t/m <sup>3</sup>	
falda 1,4 m	
$\sigma'_v = 0,54$ kg/cmq	
$\sigma_v = 0,85$ kg/cmq	
rd = 0,9325	
ag = 0,157	
S = 1,456	
$a_{max}/g = 0,02331$	
$(\tau_{av}/\sigma'_v) = 0,022232$	
$(\tau_{av}/\sigma'_v)_{lim} = 0,090769$ per Magnitudo $M = 6,14$	
<b>F = 4,083</b>	
<b>F &gt; 1,3 non liquefacibile</b>	
	<b>resistenza alla punta normalizzata</b>
	$q_{c1} = C_N' q_c$
	in funzione di
	$q_c/N_{SPT} \quad D_{50}$ (Robertson et al., 1983)
	$q_c = 35,4$
	$C_N' = 0,9$
	$q_{c1} = 31,86$
	$N = 6,37$

In base alla valutazione effettuata, in prima approssimazione, è possibile escludere il rischio di liquefazione in caso di sisma.

## 6. VERIFICA DELLA STABILITÀ GLOBALE

Ad una valutazione complessiva del modello geomeccanico dei terreni investigati, e considerando le caratteristiche dei manufatti su di essi fondati, il valore della resistenza dei terreni di fondazione viene determinato sulla base delle prove penetrometriche utilizzando la formula della capacità unitaria portante per fondazioni nastriformi e a plinto dovuta a Terzaghi ed altri:

$$q_d = c N_c (S_c d_c) + \gamma D (N_q S_q d_q) + 1/2 \times B N_x (1 - 0,2 B/L)$$

dove:

$N_i = D_i$	=	fattori di capacità legati al valore di $w_l$ (angolo di attrito interno)	
$c = c_u$	=	coesione non drenata ( $R_p/20$ De Beer) ( $(R_p - \gamma v)/14$ Begemann)	
$\gamma$	=	peso di volume del terreno immerso in acqua 0,0007 daN/cm <sup>3</sup> - 0,00065 daN/cm <sup>3</sup> .	
$\gamma_l$	=	peso di volume del terreno 0,0017 daN/cm <sup>3</sup>	
$D$	=	incastro delle fondazioni	
$S_c$	=	$1 + B/L (N_q/N_c)$	fattori di correzione
$d_c$	=	$1 + 0,2 D/B$	per fondazioni
$S_q$	=	1	a nastro e a plinto
$d_q$	=	1	
$B$	=	larghezza della fondazione	
$L$	=	lunghezza della fondazione	

In base alla teoria delle tensioni ammissibili, sostituendo si ha:

$$q_d = 0,46 \times 5,14 \times 1,15 = 2,72 \text{ daN/cm}^2$$

$$q_a \text{ (pressione ammissibile)} = 2,72 / 3 \text{ (fattore di sicurezza)}$$

$$= 0,91 \text{ daN/cm}^2$$

La verifica di stabilità relativa allo stato limite ultimo (SLU) per il complesso terreno-opera viene confermata qualora sia verificata la disequazione:

$$E_D \geq R_D$$

dove  $E_D$  è il valore di progetto dell'azione e  $R_D$  è il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico.

Per quanto riguarda la valutazione della resistenza del terreno agli stati limite  $R_D$  e dell'azione

di progetto  $E_D$  ai sensi del DM del 14.01.2008, si opta per la valutazione allo stato limite ultimo (SLU) utilizzando l'approccio 1, che prevede n. 2 diverse combinazioni dei fattori di sicurezza (combinazione 1 -STR valida per lo stato limite di resistenza della struttura compresi gli elementi di fondazione, combinazione 2 - GEO riferita allo stato limite di resistenza del terreno).

Si calcolano i valori di  $r_d$ , considerando che  $R_D = r_d \times A$ , dove A è l'area della fondazione.

**Approccio 1 – combinazione 1**

$r_d = (46 \times 5,14 \times 1,15) \text{ kPa} = 272 \text{ kPa}$

**Approccio 1 – combinazione 2**

$r_d = (46/1,4 \times 5,14 \times 1,15) / 1,8 \text{ kPa} = 108 \text{ kPa}$



La **combinazione 1 - STR** (appr. 1) prevede l'utilizzo di fattori di sicurezza sui carichi più severi utilizzando la combinazione A1 + M1 + R1.

Tali coefficienti, nelle condizioni ipotizzate, assumono i seguenti valori:

Coefficiente parziale sulle azioni:

carichi permanenti strutturali sfavorevoli      A1       $\gamma_{G1} = 1,3$

carichi perm. non strutturali sfavorevoli      A1       $\gamma_{G2} = 1,5$

carichi variabili sfavorevoli      A1       $\gamma_Q = 1,5$

Coefficiente parziale per la coesione:      M1       $\gamma_{cu} = 1,0$

Coefficiente parziale per fondazioni superficiali:      R1       $\gamma_R = 1,0$

Fondazione a nastro B = 70 cm				SLU – STR			
	kPa	A	kN		psi	gamma	
G1	51,1	0,7	35,8	strutt+batolo	1	1,3	46,5
				Non			
G2	0,0	0,7	0,0	strutt	1	1,5	0,0
Qk1	3,1	0,7	2,2	affollamento	1	1,5	3,3
Qk2	2,9	0,7	2,0	neve	0,5	1,5	1,5
	57,1		40,0				<b>51,3 kN</b>
							<b>73,3 kPa</b>

Relazione  $E_D$   $R_D$  soddisfatta

Fondazione a nastro B = 120 cm					SLU – STR				
	kPa	A	kN		psi	gamma			
G1	45,0	1,2	54,0	strutt+batolo Non		1	1,3	70,2	
G2	0,0	1,2	0,0	strutt		1	1,5	0,0	
Qk1	2,5	1,2	3,0	affollamento		1	1,5	4,5	
Qk2	2,5	1,2	3,0	neve		0,5	1,5	2,3	
	50,0		60,0					77,0 kN	
								64,1 kPa	

Relazione  $E_D$   $R_D$  soddisfatta

La **combinazione 2 - GEO** (appr. 1) prevede l'utilizzo dei fattori riduttivi dei singoli parametri geotecnici nella combinazione A2 + M2 + R2.

Tali coefficienti, nelle condizioni ipotizzate, assumono i seguenti valori:

Coefficiente parziale sulle azioni:

carichi permanenti sfavorevoli A2  $\gamma_{G1} = 1,0$

carichi perm. non strutturali sfavorevoli A2  $\gamma_{G2} = 1,3$

carichi variabili sfavorevoli A2  $\gamma_Q = 1,3$

Coefficiente parziale per la coesione: M2  $\gamma_{cu} = 1,4$

Coefficiente parziale per fondazioni superficiali: R2  $\gamma_R = 1,8$

Fondazione a nastro B = 70 cm					SLU – GEO				
	kPa	A	kN		psi	gamma			
G1	51,1	0,7	35,8	strutt+batolo Non		1	1	35,8	
G2	0,0	0,7	0,0	strutt		1	1,3	0,0	
Qk1	3,1	0,7	2,2	affollamento		1	1,3	2,9	
Qk2	2,9	0,7	2,0	neve		0,5	1,3	1,3	
								39,9 kN	
								57,0 kPa	

Relazione  $E_D$   $R_D$  soddisfatta

Fondazione a nastro B = 120 cm					SLU – GEO				
	kPa	A	kN		psi	gamma			
G1	45,0	1,2	54,0	strutt+batolo Non		1	1	54,0	
G2	0,0	1,2	0,0	strutt		1	1,3	0,0	
Qk1	2,5	1,2	3,0	affollamento		1	1,3	3,9	
Qk2	2,5	1,2	3,0	neve		0,5	1,3	2,0	
								59,9 kN	
								49,9 kPa	

Relazione  $E_D$   $R_D$  soddisfatta

In condizioni sismiche si utilizzano i coefficienti sismici orizzontale e verticale e i fattori riduttivi di Paolucci & Pecker (1997) per tener conto degli effetti inerziali indotti dal sisma su  $R_D$ .

$$k_h = \beta_s \text{ ag } S$$

$$z_c = 1 - 0,32 k_h$$

Nel caso considerato:  $k_h = 0,055$  e pertanto  $z_c = 0,982$ .

Tramite la combinazione 2 dell'approccio 1, più cautelativa nei riguardi del dimensionamento geotecnico, si ottiene:

$$r_d = (48/1,4 \times 5,14 \times 1,014 \times 0,982) / 1,8 \text{ kPa} = 106 \text{ kPa}$$

<b>Fondazione a nastro B = 70 cm</b>				<b>SLU – GEO</b>				
	kPa	A	kN		psi	gamma		
G1	51,1	0,7	35,8	strutt+batolo Non		1	1	35,8
G2	0,0	0,7	0,0	strutt		1	1,3	0,0
Qk1	3,1	0,7	2,2	affollamento		0,3	1,3	0,9
Qk2	2,9	0,7	2,0	neve		0	1,3	0,0
E			39,9	Kv 0,145 spettro				5,8
								<b>42,4 kN</b>
								60,6 kPa

Relazione  $E_D$   $R_D$  soddisfatta

<b>Fondazione a nastro B = 120 cm</b>				<b>SLU – GEO</b>				
	kPa	A	kN		psi	gamma		
G1	45,0	1,2	54,0	strutt+batolo Non		1	1	54,0
G2	0,0	1,2	0,0	strutt		1	1,3	0,0
Qk1	2,5	1,2	3,0	affollamento		0,3	1,3	1,2
Qk2	2,5	1,2	3,0	neve		0	1,3	0,0
E			59,9	Kv 0,145 spettro				8,7
								<b>63,8 kN</b>
								53,2 kPa

Relazione  $E_D$   $R_D$  soddisfatta

### Verifica allo slittamento

Utilizzando il carico massimo in via cautelativa per la quantificazione del taglio sismico, si ottiene:

$$Tk_{70} = 51,3 \times 0,197 = 10 \text{ kN}$$

$$Tk_{120} = 77,0 \times 0,197 = 15 \text{ kN}$$

La resistenza offerta dal terreno lungo il piano di fondazione è pari a:

$$R_d = A_c \times c_{u_d}$$

$$c_{u_d} = 46/1,4 = 32,8 \text{ kN/m}^2$$

$$R_d = 0,7 \times 32,8 \text{ kN} = 23 \text{ kN} \quad \rightarrow \text{Fs} = 2,3$$

$$R_d = 1,2 \times 32,8 \text{ kN} = 38 \text{ kN} \quad \rightarrow \text{Fs} = 2,6$$

La verifica di sicurezza rispetto allo slittamento risulta ampiamente soddisfatta.

Le verifiche di stabilità vengono eseguite anche per il caso di un eventuale e futuro progetto di sopraelevazione del fabbricato da porre in opera.

La **combinazione 1 - STR** (appr. 1) prevede l'utilizzo di fattori di sicurezza sui carichi più severi utilizzando la combinazione A1 + M1 + R1.

<b>Fondazione a nastro B = 70 cm</b>				<b>SLU – STR</b>			
	kPa	A	kN	psi	gamma		
G1	76,1	0,7	53,3	strutt+batolo	1	1,3	69,2
				Non			
G2	4,6	0,7	3,2	strutt	1	1,5	4,8
Qk1	9,3	0,7	6,5	affollamento	1	1,5	9,8
Qk2	2,9	0,7	2,0	neve	0,5	1,5	1,5
	92,8		65,0				<b>85,3 kN</b>
							121,8 kPa

Relazione  $E_D$   $R_D$  soddisfatta

<b>Fondazione a nastro B = 120 cm</b>				<b>SLU – STR</b>			
	kPa	A	kN	psi	gamma		
G1	77,7	1,2	93,2	strutt+batolo	1	1,3	121,2
				Non			
G2	4,0	1,2	4,8	strutt	1	1,5	7,2
Qk1	7,5	1,2	9,0	affollamento	1	1,5	13,5
Qk2	2,5	1,2	3,0	neve	0,5	1,5	2,3
	91,7		110,0				<b>144,1 kN</b>
							120,1 kPa

Relazione  $E_D$   $R_D$  soddisfatta

La **combinazione 2 - GEO** (appr. 1) prevede l'utilizzo dei fattori riduttivi dei singoli parametri geotecnici nella combinazione A2 + M2 + R2.

<b>Fondazione a nastro B = 70 cm</b>					<b>SLU – GEO</b>			
	kPa	A	kN		psi	gamma		
G1		0,7	53,3	strutt+batolo Non		1	1	53,3
G2		0,7	3,2	strutt		1	1,3	4,2
Qk1		0,7	6,5	affollamento		1	1,3	8,5
Qk2		0,7	2,0	neve		0,5	1,3	1,3
								<b>67,2 kN</b>
								<b>95,9 kPa</b>

Relazione  $E_D$   $R_D$  soddisfatta

<b>Fondazione a nastro B = 120 cm</b>					<b>SLU – GEO</b>			
	kPa	A	kN		psi	gamma		
G1		1,2	93,2	strutt+batolo Non		1	1	93,2
G2		1,2	4,8	strutt		1	1,3	6,2
Qk1		1,2	9,0	affollamento		1	1,3	11,7
Qk2		1,2	3,0	neve		0,5	1,3	2,0
								<b>113,1 kN</b>
								<b>94,2 kPa</b>

Relazione  $E_D$   $R_D$  soddisfatta

In condizioni sismiche si utilizzano i coefficienti sismici orizzontale e verticale e i fattori riduttivi di Paolucci & Pecker (1997) per tener conto degli effetti inerziali indotti dal sisma su  $R_D$ .

$$k_h = \beta_s \text{ ag } S$$

$$z_c = 1 - 0,32 k_h$$

Nel caso considerato:  $k_h = 0,055$  e pertanto  $z_c = 0,982$ .

Tramite la combinazione 2 dell'approccio 1, più cautelativa nei riguardi del dimensionamento geotecnico, si ottiene:

$$rd = (48/1,4 \times 5,14 \times 1,014 \times 0,982) / 1,8 \text{ kPa} = 106 \text{ kPa}$$

**Fondazione a nastro B = 70 cm****SLU – GEO**

	kPa	A	kN		psi	gamma	
G1		0,7	53,3	strutt+batolo Non		1	53,3
G2		0,7	3,2	strutt		1	4,2
Qk1		0,7	6,5	affollamento	0,3	1,3	2,5
Qk2		0,7	2,0	neve	0	1,3	0,0
E			67,2	Kv 0,145 spettro			9,7
							<b>69,7</b> kN
							99,5 kPa

Relazione  $E_D$   $R_D$  soddisfatta

**Fondazione a nastro B = 120 cm****SLU – GEO**

	kPa	A	kN		psi	gamma	
G1		1,2	93,2	strutt+batolo Non		1	93,2
G2		1,2	4,8	strutt		1	6,2
Qk1		1,2	9,0	affollamento	0,3	1,3	3,5
Qk2		1,2	3,0	neve	0	1,3	0,0
E			113,1	Kv 0,145 spettro			16,4
							<b>119,3</b> kN
							99,5 kPa

Relazione  $E_D$   $R_D$  soddisfatta

**Verifica allo slittamento**

Utilizzando il carico massimo in via cautelativa per la quantificazione del taglio sismico, si ottiene:

$$Tk_{70} = 67,2 \times 0,197 = 13 \text{ kN}$$

$$Tk_{120} = 113,1 \times 0,197 = 22 \text{ kN}$$

La resistenza offerta dal terreno lungo il piano di fondazione è pari a:

$$R_d = A_c \times c_{u_d}$$

$$c_{u_d} = 46/1,4 = 32,8 \text{ kN/m}^2$$

$$R_d = 0,7 \times 32,8 \text{ kN} = 23 \text{ kN} \quad \rightarrow \text{Fs} = 1,7$$

$$R_d = 1,2 \times 32,8 \text{ kN} = 38 \text{ kN} \quad \rightarrow \text{Fs} = 1,7$$

La verifica di sicurezza rispetto allo slittamento risulta ampiamente soddisfatta.

## 7. CEDIMENTI

Una valutazione dei cedimenti viene eseguita con carico di esercizio (SLE) quasi permanente, utilizzando la formula di Terzaghi - Buisman interrompendo il calcolo alla profondità dove viene soddisfatta la relazione  $qu = (1/10) \sigma_0$ , indicando con  $\sigma_0$  il carico litostatico normale.

1

$$UH = H_0 qu mv$$

dove:

1

$UH =$  cedimento

$H_0 =$  spessore dello strato considerato

$mv =$  coefficiente di compressibilità volumetrica legata al valore di  $R_p$  nella relazione  $1/(r R_p)$  con  $r'$  dipendente dalla litologia e dai valori di  $R_p$ .

$qu =$  sovraccarico alle varie profondità prodotto in asse ad una superficie di carico rettangolare infinitamente rigida, secondo Jelinek

CANTIERE: MiDi - BURIANI DONATELLA GIBERTI ANDREA CENTO								
CEDIMENTO IN ASSE RELATIVO AD UNA FONDAZIONE NASTRIFORME								
B = cm. 70		qa =0,52dN/cmq.		Falda -140		D = cm.80 dal p.c.		
profondità strato da	cm a	spessore strato H0 cm	qu Kg/cmq	mv.	DH cm.	CEDIMENTO TOTALE cm.		Sigma 0 Kg/cmq
0	80	80	====	====	====	=		0,136
80	110	30	0,39	0,008	0,09	=		0,162
110	150	40	0,29	0,008	0,09	=		0,221
150	200	50	0,17	0,009	0,08	=		0,261
200	250	50	0,12	0,022	0,14	=		0,293
250	300	50	0,10	0,025	0,12	=		0,326
300	350	50	0,08	0,025	0,10	=		0,358
350	400	50	0,06	0,025	0,08	=		0,391
400	450	50	0,05	0,008	0,02	=		0,423
450	500	50	0,05	0,008	0,02	0,74		0,456
500	550	50	0,04	0,008	0,01	====		0,488
550	650	100	0,03	0,012	0,04	====		0,537
650	750	100	0,03	0,008	0,02	====		0,602

**CEDIMENTO IN ASSE RELATIVO AD UNA FONDAZIONE RETTANGOLARE A NASTRO**

**CANTIERE: MiDi - BURIANI DONATELLA GIBERTI ANDREA CENTO**

B = cm. 120		qa =0,52daN/cm <sup>2</sup> .		Falda -140		D = cm.80 dal p.c.			
profondità strato da	cm	a	spessore strato H0 cm	qu Kg/cm <sup>2</sup>	mv.	DH cm.	CEDIMENTO TOTALE cm.	Sigma 0 Kg/cm <sup>2</sup>	
0		80	80	====	====	====	=	0,136	
80		110	30	0,43	0,008	0,10		0,162	
110		150	40	0,33	0,008	0,11	=	0,221	
150		200	50	0,25	0,009	0,11	=	0,261	
200		250	50	0,19	0,022	0,21	=	0,293	
250		300	50	0,15	0,025	0,19	=	0,326	
300		350	50	0,13	0,025	0,17	=	0,358	
350		400	50	0,12	0,025	0,14	=	0,391	
400		450	50	0,10	0,008	0,04	=	0,423	
450		500	50	0,09	0,008	0,04	=	0,456	
500		550	50	0,08	0,008	0,03	=	0,488	
550		650	100	0,07	0,012	0,08	1,22	0,537	
650		750	100	0,06	0,008	0,04	====	0,602	
750		850	100	0,04	0,022	0,10	====	0,667	
850		950	100	0,04	0,022	0,08	====	0,732	

## 8. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Si dà parere favorevole per la edificazione nell'area, con le precisazioni sopra esposte, **utilizzando fondazione dirette poste ad almeno cm. 70 - 80 dal piano campagna, con un carico massimo di 0,91 daN/cm<sup>2</sup> in termini di tensioni ammissibili.**

Le resistenze valutate secondo la teoria degli stati limite ultimi valgono:

Approccio 1 – combinazione 1:  $rd = (46 \times 5,14 \times 1,15) \text{ kPa} = \mathbf{272 \text{ kPa}}$

Approccio 1 – combinazione 2:  $rd = (46/1,4 \times 5,14 \times 1,15) / 1,8 \text{ kPa} = \mathbf{108 \text{ kPa}}$ .

Le verifiche di stabilità globale eseguite ai sensi del DM del 14.01.2008 risultano soddisfatte per una fondazione superficiale a nastro con B da 70 – 120 cm, impostata a -80 cm dal p.c. e con carichi di esercizio previsti dal progetto attuale massimi di 64 kN/m<sup>2</sup>, risultano soddisfatte fino ad un carico massimo di esercizio di 91 kN/m<sup>2</sup> nel caso di eventuale sopraelevazione.

Dai calcoli effettuati per la valutazione dei cedimenti risulta che si prevedono cedimenti dell'ordine di 0,7 – 1,2 cm, rispettivamente per fondazioni con B = 70 e B = 120 cm con carico di esercizio (SLE) quasi permanente.

L'entità teorica dei cedimenti totali e differenziali risulta tollerabile dal fabbricato in progetto se

verrà realizzato un complesso fondale discretamente rigido.

È opportuno mantenere il piano di posa della fondazione profondo almeno 70 - 80 cm dal p.c. a causa della presenza di terreni superficiali suscettibili a variazioni volumetriche correlate a escursioni di umidità a ciclo stagionale, quella riscontrata in loco dovrebbe tutt'oggi avere esaurito i suoi effetti, per evitare l'innescarsi di microfessurazioni è opportuno eseguire un complesso fondale rigido.

L'Ordinanza del PCM n. 3274/2003, così come recepita dal DM del 14.01.2008, ha attribuito il territorio comunale di Finale Emilia alla zona sismica 3: l'analisi sismica in base alla prova penetrometrica statica permette di attribuire il deposito sedimentario alla categoria C.

I parametri sismici per la progettazione allo stato limite ultimo di salvaguardia della vita assumono i seguenti valori:

$$ag (g) = 0,157 - F_0 = 2,591 - T_c = 0,273$$

$$S_s = 1,456 - C_c = 1,612$$

Si rimanda ad un'eventuale indagine più approfondita la quantificazione del carico limite, la definizione del grado di consolidazione effettivamente maturato, l'effettiva entità dei cedimenti e una specifica prova sismica.

Sant'Agostino, li 12.10.2010

dott. Geol. Enrico Taddia

*In collaborazione con:*

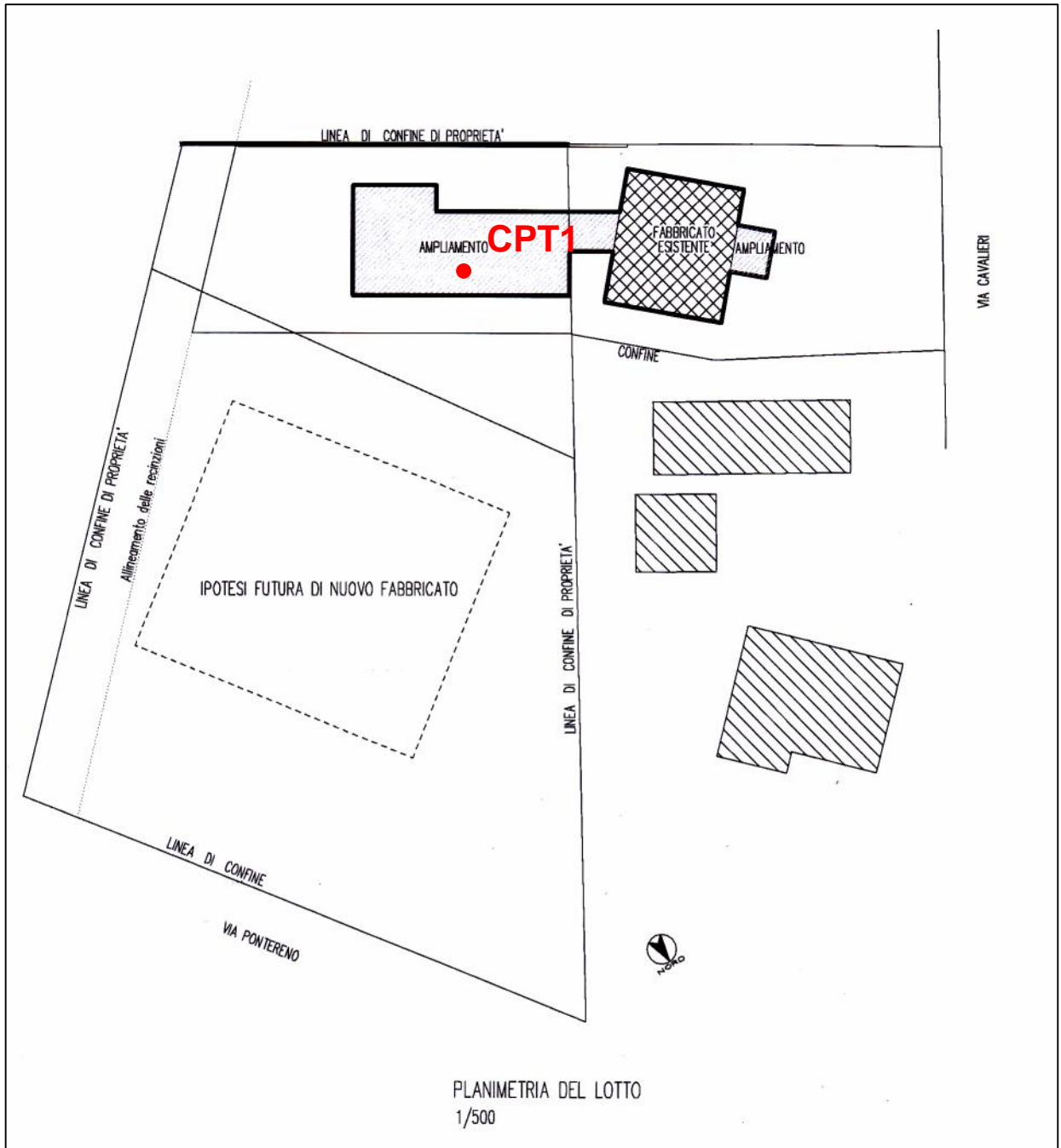
dott. Geol. Cecilia Agostini



**SCHIZZO PLANIMETRICO  
CON  
UBICAZIONE DELLE PROVE**

**Legenda**

- **CPT1** Prova penetrometrica statica



## METODOLOGIA E RISULTATI DELL'INDAGINE

Le prova penetrometrica statica CPT (di tipo meccanico) consiste essenzialmente nella misura della resistenza alla penetrazione di una punta meccanica di dimensioni e caratteristiche standardizzate, infissa nel terreno a velocità costante ( $v = 2 \text{ cm/s} \pm 0.5 \text{ cm/s}$ ).

La penetrazione avviene attraverso un dispositivo di spinta ( martinetto idraulico ) opportunamente ancorato al suolo (ovvero zavorrato), che agisce su una batteria doppia di aste (aste esterne cave e aste interne piene coassiali) , alla cui estremità inferiore è collegata la punta.

Lo sforzo necessario per l' infissione viene determinato a mezzo di un opportuno sistema di misura, collegato al martinetto idraulico.

La punta conica (tipo telescopico) è dotata di un manicotto sovrastante per la misura dell' attrito laterale (punta/manicotto tipo 'Begemann').

Le dimensioni della punta/manicotto sono standardizzate, e precisamente:

- diametro di base del cono  $\varnothing = 35.7 \text{ mm}$
- area della punta conica  $A_p = 10 \text{ cm}^2$
- angolo apertura del cono  $\alpha = 60^\circ$
- superf.laterale manicotto  $A_m = 150 \text{ cm}^2$ .

Sulla batteria di aste esterne puo' essere installato un anello allargatore per diminuire l' attrito sulle aste, facilitandone l'approfondimento.

Nei diagrammi e tabelle allegate sono riportati i seguenti valori di resistenza (rilevati dalle letture di campagna, durante l'infissione dello strumento) :

- $q_c \text{ (kg/cm}^2\text{)}$  = resistenza alla punta(conica)
- $f_s \text{ (kg/cm}^2\text{)}$  = resistenza laterale (manicotto)

( la resistenza alla punta  $q_c$  e la resistenza laterale  $f_s$  sono rilevate a intervalli regolari di 20 cm).

## LEGENDA VALORI DI RESISTENZA

Strumento utilizzato:

**PENETROMETRO STATICO OLANDESE tipo GOUDA (tipo meccanico).**

Caratteristiche:

- punta conica meccanica  $\varnothing 35.7$  mm, angolo di apertura  $\alpha = 60^\circ$  - (area punta  $A_p = 10$  cm<sup>2</sup>)
- manicotto laterale di attrito tipo 'Begemann' ( $\varnothing 35.7$  mm - h 133 mm - sup. lat. Am. = 150 cm<sup>2</sup>)
- velocità di avanzamento costante  $V = 2$  cm / sec ( $\pm 0,5$  cm / sec)
- spinta max nominale dello strumento  $S_{max}$  variabile a seconda del tipo
- costante di trasformazione (lett.  $\Rightarrow$  Spinta)  $C_t = SPINTA$  (Kg) / LETTURA DI CAMPAGNA

fase 1 - resistenza alla punta  $q_c$  ( Kg / cm<sup>2</sup>) = ( L. punta )  $C_t$  / 10

fase 2 - resistenza laterale locale  $f_s$  ( Kg / cm<sup>2</sup>) = [(L. laterale) - (L. punta)]  $C_t$  / 150

fase 3 - resistenza totale  $R_t$  ( Kg) = ( L. totale )  $C_t$

$q_c / f_s$  = 'rapporto Begemann'

- L. punta = lettura di campagna durante l' infissione della sola punta ( fase 1 )
- L. laterale = lettura di campagna relativa all'infissione di punta e manicotto ( fase 2 )
- L. totale = lettura di campagna relativa all'infissione delle aste esterne ( fase 3 )

N.B. : la spinta  $S$  ( Kg ) , corrispondente a ciascuna fase , si ottiene moltiplicando la corrispondente lettura di campagna  $L$  per la costante di trasformazione  $C_t$  .

N.B. : causa la distanza intercorrente ( 20 cm circa ) fra il manicotto laterale e la punta conica del penetrometro , la resistenza laterale locale  $f_s$  viene computata 20 cm sopra la punta .

### CONVERSIONI

1 kN ( kiloNewton ) = 1000 N  $\approx$  100 kg = 0,1 t - 1MN (megaNewton ) = 1000 kN = 1000000 N  $\approx$  100 t

1 kPa ( kiloPascal ) = 1 kN/m<sup>2</sup> = 0,001 MN/m<sup>2</sup> = 0,001 MPa  $\approx$  0,1 t/m<sup>2</sup> = 0,01 kg/cm<sup>2</sup>

1 MPa ( MegaPascal ) = 1 MN/m<sup>2</sup> = 1000 kN/m<sup>2</sup> = 1000 kPa  $\approx$  100 t / m<sup>2</sup> = 10 kg/cm<sup>2</sup>

kg/cm<sup>2</sup> = 10 t/m<sup>2</sup>  $\approx$  100 kN/m<sup>2</sup> = 100 kPa = 0,1 MN/m<sup>2</sup> = 0,1 Mpa

1 t = 1000 kg  $\approx$  10 kN

## LEGENDA VALUTAZIONI LITOLOGICHE

Valutazioni in base al rapporto:  $F = (qc / fs)$

( Begemann 1965 - Raccomandazioni A.G.I. 1977 )

valide in via approssimata per terreni immersi in falda :

F = qc / fs	NATURA LITOLOGICA	PROPRIETA'
F < 15	TORBE ED ARGILLE ORGANICHE	COESIVE
15 < F ≤ 30	LIMI ED ARGILLE	COESIVE
30 < F ≤ 60	LIMI SABBIOSI E SABBIE LIMOSE	GRANULARI
F > 60	SABBIE E SABBIE CON GHIAIA	GRANULARI

Vengono inoltre riportate le valutazioni stratigrafiche fornite da Schmertmann (1978), ricavabili in base ai valori di qc e di  $FR = (fs / qc) \%$  :

- AO = argilla organica e terreni misti
- Att = argilla (inorganica) molto tenera
- At = argilla (inorganica) tenera
- Am = argilla (inorganica) di media consistenza
- Ac = argilla (inorganica) consistente
- Acc = argilla (inorganica) molto consistente
- ASL = argilla sabbiosa e limosa
- SAL = sabbia e limo / sabbia e limo argilloso
- Ss = sabbia sciolta
- Sm = sabbia mediamente addensata
- Sd = sabbia densa o cementata
- SC = sabbia con molti fossili, calcareniti

Secondo Schmertmann il valore della resistenza laterale da usarsi, dovrebbe essere pari a:

- $1/3 \pm 1/2$  di quello misurato , per depositi sabbiosi
- quello misurato ( inalterato ) , per depositi coesivi.

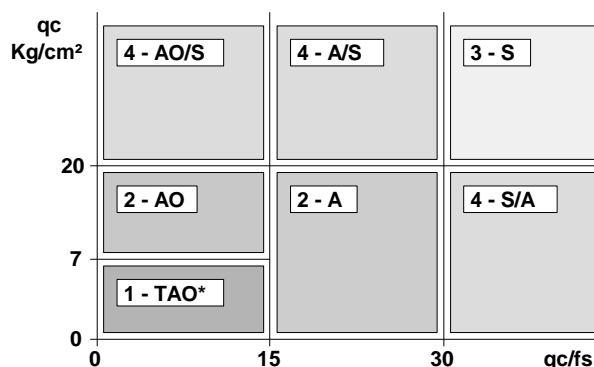
## LEGENDA PARAMETRI GEOTECNICI

### SCELTE LITOLOGICHE ( validità orientativa )

Le scelte litologiche vengono effettuate in base al rapporto  $qc / fs$  ( Begemann 1965 -Raccomandazioni A.G.I. 1977 ), prevedendo altresì la possibilità di casi dubbi :

$qc \leq 20 \text{ kg/cm}^2$  : possibili terreni COESIVI anche se  $( qc / fs ) > 30$

$qc \geq 20 \text{ kg/cm}^2$  : possibili terreni GRANULARI anche se  $( qc / fs ) < 30$



### NATURA LITOLOGICA

- 1 - COESIVA (TORBOSA) ALTA COMPRIMIBILITA'
- 2 - COESIVA IN GENERE
- 3 - GRANULARE
- 4 - COESIVA / GRANULARE

### PARAMETRI GEOTECNICI ( validità orientativa ) - simboli - correlazioni - bibliografia

- $\gamma'$  = peso dell' unità di volume (efficace) del terreno [ correlazioni :  $\gamma'$  - qc - natura ] ( Terzaghi & Peck 1967 -Bowles 1982 )
- $\sigma'_{vo}$  = tensione verticale geostatica (efficace) del terreno ( valutata in base ai valori di  $\gamma'$  )
- $C_u$  = coesione non drenata (terreni coesivi ) [ correlazioni :  $C_u$  - qc ]
- OCR = grado di sovra consolidazione (terreni coesivi ) [ correlazioni : OCR -  $C_u$  -  $\sigma'_{vo}$  ] ( Ladd et al. 1972 / 1974 / 1977 - Lancellotta 1983 )
- Eu = modulo di deformazione non drenato (terr.coes.) [ correl. : Eu -  $C_u$  - OCR -  $I_p$   $I_p$ = ind.plast.]  
Eu50 - Eu25 corrispondono rispettivamente ad un grado di mobilitazione dello sforzo deviatorico pari al 50-25% (Duncan & Buchigani 1976 )
- $E'$  = modulo di deformazione drenato (terreni granulari) [ correlazioni :  $E'$  - qc ]  
 $E'_{50}$  -  $E'_{25}$  corrispondono rispettivamente ad un grado di mobilitazione dello sforzo deviatorico pari al 50-25% (coeff. di sicurezza  $F = 2 - 4$  rispettivamente )  
(Schmertmann 1970 / 1978 - Jamiolkowski et al. 1983 )
- Mo = modulo di deformazione edometrico (terreni coesivi e granulari) [ correl. : Mo - qc - natura ] (Sanglerat 1972 - Mitchell & Gardner 1975 - Ricceri et al. 1974 - Holden 1973 )
- Dr = densità relativa (terreni gran. N. C. - normalmente consolidati) [ correlazioni : Dr - qc -  $\sigma'_{vo}$  ] (Schmertmann 1976 )
- $\emptyset'$  = angolo di attrito interno efficace (terreni granulari N.C. ) [ correl. :  $\emptyset'$  - Dr - qc -  $\sigma'_{vo}$  ] (Schmertmann 1978 - Durgunoglu & Mitchell 1975 - Meyerhof 1956 / 1976 )  
 $\emptyset'_{1s}$  - (Schmertmann) sabbia fine uniforme       $\emptyset'_{2s}$  - sabbia media unif./ fine ben gradata  
 $\emptyset'_{3s}$  - sabbia grossa unif./ media ben gradata       $\emptyset'_{4s}$  - sabbia-ghiaia poco lim./ ghiaietto unif.  
 $\emptyset'_{dm}$  - ( Durgunoglu & Mitchell ) sabbie N.C.       $\emptyset'_{my}$  - (Meyerhof) sabbie limose
- Amax = accelerazione al suolo che può causare liquefazione ( terreni granulari ) ( g = acc.gravità)(Seed & Idriss 1971 - Sirio 1976 ) [ correlazioni : (Amax/g) - Dr]

**PROVA PENETROMETRICA STATICA**  
**LETTURE DI CAMPAGNA / VALORI DI RESISTENZA**

**CPT 1**

2.01PG05-143

- committente : MiDi - GILBERTI BURIANI  
- lavoro : AMPLIAMENTO  
- località : VIA PONTE VECCHIO - CENTO (FE)  
- note :

- data : 28/10/2010  
- quota inizio : Piano Campagna  
- prof. falda : 1,40 m da quota inizio  
- pagina : 1

Prof. m	Letture di campagna punta	laterale	qc kg/cm <sup>2</sup>	fs	qc/fs	Prof. m	Letture di campagna punta	laterale	qc kg/cm <sup>2</sup>	fs	qc/fs
0,20	----	----	--	0,87	----	10,20	20,0	35,0	20,0	0,93	21,0
0,40	45,0	58,0	45,0	0,87	52,0	10,40	24,0	38,0	24,0	1,07	22,0
0,60	45,0	58,0	45,0	1,60	28,0	10,60	23,0	39,0	23,0	1,13	20,0
0,80	43,0	67,0	43,0	1,33	32,0	10,80	21,0	38,0	21,0	1,07	20,0
<b>1,00</b>	45,0	65,0	45,0	1,93	23,0	<b>11,00</b>	24,0	40,0	24,0	1,00	24,0
1,20	54,0	83,0	54,0	2,73	20,0	11,20	23,0	38,0	23,0	1,00	23,0
1,40	50,0	91,0	50,0	2,33	21,0	11,40	16,0	31,0	16,0	0,87	18,0
1,60	47,0	82,0	47,0	2,87	16,0	11,60	18,0	31,0	18,0	0,87	21,0
1,80	33,0	76,0	33,0	1,47	22,0	11,80	20,0	33,0	20,0	1,00	20,0
<b>2,00</b>	35,0	57,0	35,0	1,07	33,0	<b>12,00</b>	20,0	35,0	20,0	1,00	20,0
2,20	20,0	36,0	20,0	0,27	75,0	12,20	25,0	40,0	25,0	1,20	21,0
2,40	23,0	27,0	23,0	0,67	34,0	12,40	28,0	46,0	28,0	1,13	25,0
2,60	9,0	19,0	9,0	0,40	22,0	12,60	25,0	42,0	25,0	1,47	17,0
2,80	8,0	14,0	8,0	0,33	24,0	12,80	27,0	49,0	27,0	1,27	21,0
<b>3,00</b>	13,0	18,0	13,0	0,20	65,0	<b>13,00</b>	30,0	49,0	30,0	1,87	16,0
3,20	13,0	16,0	13,0	0,27	49,0	13,20	30,0	58,0	30,0	1,40	21,0
3,40	11,0	15,0	11,0	0,47	24,0	13,40	38,0	59,0	38,0	1,67	23,0
3,60	10,0	17,0	10,0	0,40	25,0	13,60	28,0	53,0	28,0	1,27	22,0
3,80	9,0	15,0	9,0	0,40	22,0	13,80	32,0	51,0	32,0	1,40	23,0
<b>4,00</b>	29,0	35,0	29,0	0,53	54,0	<b>14,00</b>	34,0	55,0	34,0	1,27	27,0
4,20	30,0	38,0	30,0	0,27	112,0	14,20	38,0	57,0	38,0	0,47	81,0
4,40	28,0	32,0	28,0	0,67	42,0	14,40	34,0	41,0	34,0	0,93	36,0
4,60	45,0	55,0	45,0	0,40	112,0	14,60	38,0	52,0	38,0	1,73	22,0
4,80	33,0	39,0	33,0	0,80	41,0	14,80	36,0	62,0	36,0	0,47	77,0
<b>5,00</b>	41,0	53,0	41,0	1,73	24,0	<b>15,00</b>	34,0	41,0	34,0	0,27	127,0
5,20	35,0	61,0	35,0	0,47	75,0	15,20	38,0	42,0	38,0	1,73	22,0
5,40	26,0	33,0	26,0	0,67	39,0	15,40	35,0	61,0	35,0	2,27	15,0
5,60	11,0	21,0	11,0	0,53	21,0	15,60	36,0	70,0	36,0	1,67	22,0
5,80	13,0	21,0	13,0	0,67	19,0	15,80	34,0	59,0	34,0	1,93	18,0
<b>6,00</b>	14,0	24,0	14,0	0,47	30,0	<b>16,00</b>	38,0	67,0	38,0	1,20	32,0
6,20	8,0	15,0	8,0	0,40	20,0	16,20	42,0	60,0	42,0	2,40	17,0
6,40	9,0	15,0	9,0	0,73	12,0	16,40	38,0	74,0	38,0	2,33	16,0
6,60	33,0	44,0	33,0	0,60	55,0	16,60	40,0	75,0	40,0	1,93	21,0
6,80	29,0	38,0	29,0	0,80	36,0	16,80	41,0	70,0	41,0	2,60	16,0
<b>7,00</b>	27,0	39,0	27,0	1,00	27,0	<b>17,00</b>	29,0	68,0	29,0	1,47	20,0
7,20	22,0	37,0	22,0	0,33	66,0	17,20	35,0	57,0	35,0	1,67	21,0
7,40	11,0	16,0	11,0	0,47	24,0	17,40	33,0	58,0	33,0	1,27	26,0
7,60	12,0	19,0	12,0	0,40	30,0	17,60	38,0	57,0	38,0	1,67	23,0
7,80	11,0	17,0	11,0	0,33	33,0	17,80	30,0	55,0	30,0	1,53	20,0
<b>8,00</b>	11,0	16,0	11,0	0,47	24,0	<b>18,00</b>	21,0	44,0	21,0	0,73	29,0
8,20	11,0	18,0	11,0	0,53	21,0	18,20	20,0	31,0	20,0	0,80	25,0
8,40	12,0	20,0	12,0	0,53	22,0	18,40	22,0	34,0	22,0	0,67	33,0
8,60	11,0	19,0	11,0	0,53	21,0	18,60	17,0	27,0	17,0	0,53	32,0
8,80	13,0	21,0	13,0	0,47	28,0	18,80	25,0	33,0	25,0	1,07	23,0
<b>9,00</b>	14,0	21,0	14,0	0,53	26,0	<b>19,00</b>	35,0	51,0	35,0	0,93	37,0
9,20	13,0	21,0	13,0	0,40	32,0	19,20	25,0	39,0	25,0	1,07	23,0
9,40	15,0	21,0	15,0	0,53	28,0	19,40	30,0	46,0	30,0	1,47	20,0
9,60	12,0	20,0	12,0	0,40	30,0	19,60	23,0	45,0	23,0	0,33	69,0
9,80	14,0	20,0	14,0	1,20	12,0	19,80	30,0	35,0	30,0	1,47	20,0
<b>10,00</b>	15,0	33,0	15,0	1,00	15,0	<b>20,00</b>	29,0	51,0	29,0	0,73	40,0

- PENETROMETRO STATICO tipo PAGANI da 10/20t  
- COSTANTE DI TRASFORMAZIONE Ct = 10 - Velocità Avanzamento punta 2 cm/s  
- punta meccanica tipo Begemann  $\phi = 35.7$  mm (area punta 10 cm<sup>2</sup> - apertura 60°)  
- manicotto laterale (superficie 150 cm<sup>2</sup>)

**PROVA PENETROMETRICA STATICA**  
**LETTURE DI CAMPAGNA / VALORI DI RESISTENZA**

**CPT 1**

2.01PG05-143

- committente : MiDi - GILBERTI BURIANI  
- lavoro : AMPLIAMENTO  
- località : VIA PONTE VECCHIO - CENTO (FE)  
- note :

- data : 28/10/2010  
- quota inizio : Piano Campagna  
- prof. falda : 1,40 m da quota inizio  
- pagina : 2

Prof. m	Letture di campagna		qc	fs	qc/fs	Prof. m	Letture di campagna		qc	fs	qc/fs
	punta	laterale	kg/cm <sup>2</sup>				punta	laterale	kg/cm <sup>2</sup>		
20,20	26,0	37,0	26,0	1,27	21,0	25,20	151,0	191,0	151,0	0,60	252,0
20,40	43,0	62,0	43,0	1,00	43,0	25,40	26,0	35,0	26,0	0,80	32,0
20,60	47,0	62,0	47,0	1,53	31,0	25,60	26,0	38,0	26,0	0,60	43,0
20,80	22,0	45,0	22,0	1,20	18,0	25,80	36,0	45,0	36,0	0,40	90,0
<b>21,00</b>	31,0	49,0	31,0	1,73	18,0	<b>26,00</b>	39,0	45,0	39,0	1,80	22,0
21,20	27,0	53,0	27,0	0,73	37,0	26,20	39,0	66,0	39,0	0,80	49,0
21,40	43,0	54,0	43,0	1,00	43,0	26,40	37,0	49,0	37,0	1,60	23,0
21,60	66,0	81,0	66,0	0,47	141,0	26,60	36,0	60,0	36,0	1,67	22,0
21,80	53,0	60,0	53,0	1,73	31,0	26,80	38,0	63,0	38,0	2,80	14,0
<b>22,00</b>	50,0	76,0	50,0	2,40	21,0	<b>27,00</b>	37,0	79,0	37,0	1,33	28,0
22,20	52,0	88,0	52,0	2,53	21,0	27,20	37,0	57,0	37,0	1,40	26,0
22,40	40,0	78,0	40,0	1,20	33,0	27,40	51,0	72,0	51,0	1,40	36,0
22,60	73,0	91,0	73,0	1,40	52,0	27,60	101,0	122,0	101,0	1,13	89,0
22,80	85,0	106,0	85,0	0,73	116,0	27,80	28,0	45,0	28,0	1,60	17,0
<b>23,00</b>	82,0	93,0	82,0	1,20	68,0	<b>28,00</b>	28,0	52,0	28,0	1,60	17,0
23,20	133,0	151,0	133,0	1,27	105,0	28,20	28,0	52,0	28,0	0,53	52,0
23,40	116,0	135,0	116,0	2,07	56,0	28,40	45,0	53,0	45,0	2,20	20,0
23,60	121,0	152,0	121,0	2,07	59,0	28,60	50,0	83,0	50,0	1,07	47,0
23,80	185,0	216,0	185,0	3,07	60,0	28,80	35,0	51,0	35,0	0,80	44,0
<b>24,00</b>	175,0	221,0	175,0	2,40	73,0	<b>29,00</b>	50,0	62,0	50,0	0,33	150,0
24,20	126,0	162,0	126,0	4,40	29,0	29,20	44,0	49,0	44,0	2,07	21,0
24,40	124,0	190,0	124,0	4,73	26,0	29,40	23,0	54,0	23,0	1,60	14,0
24,60	121,0	192,0	121,0	3,67	33,0	29,60	15,0	39,0	15,0	1,60	9,0
24,80	133,0	188,0	133,0	3,40	39,0	29,80	15,0	39,0	15,0	-----	----

- PENETROMETRO STATICO tipo PAGANI da 10/20t  
- COSTANTE DI TRASFORMAZIONE Ct = 10 - Velocità Avanzamento punta 2 cm/s  
- punta meccanica tipo Begemann  $\phi = 35.7$  mm (area punta 10 cm<sup>2</sup> - apertura 60°)  
- manicotto laterale (superficie 150 cm<sup>2</sup>)

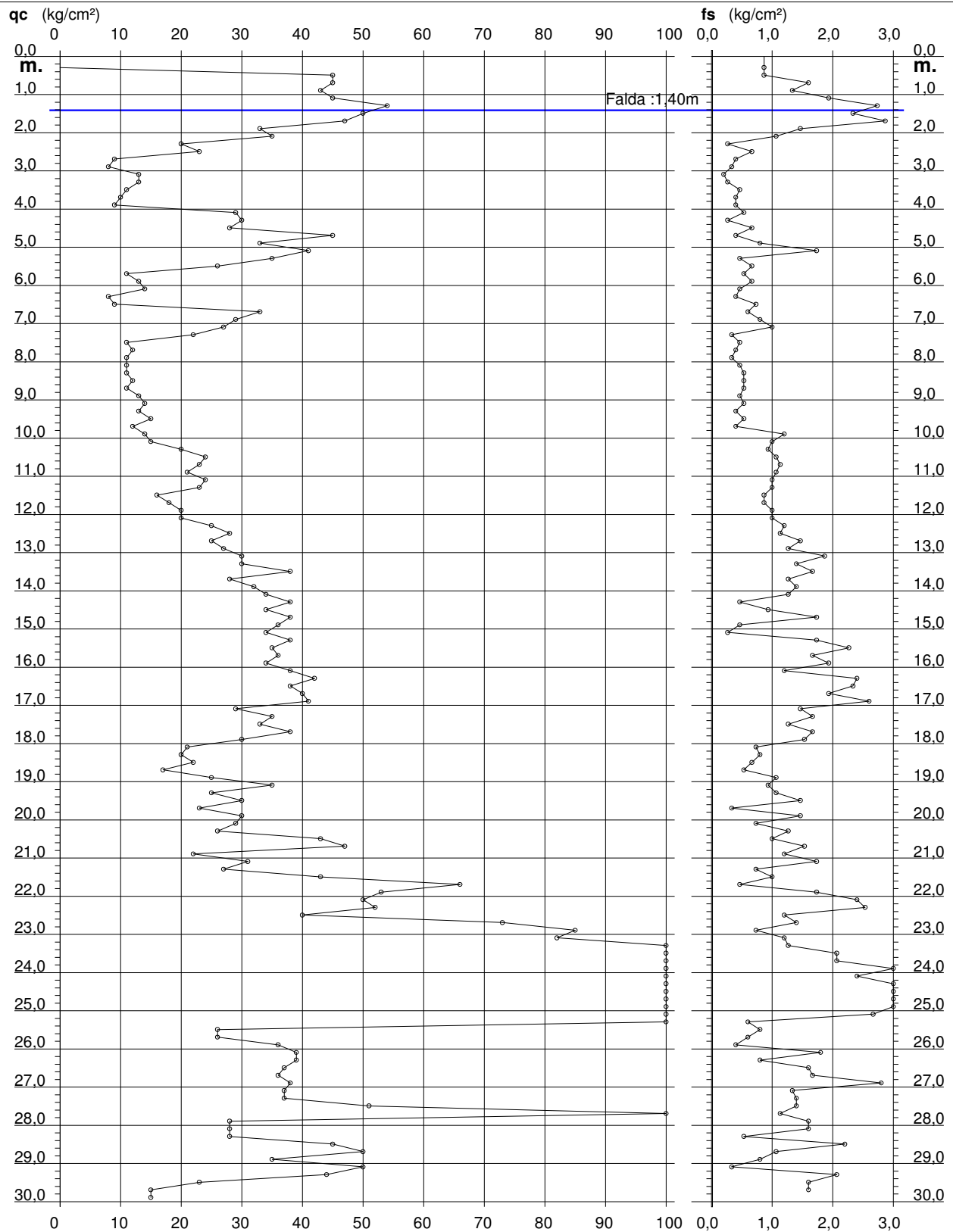
# PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

## CPT 1

2.01PG05-143

- committente : MiDi - GILBERTI BURIANI  
- lavoro : AMPLIAMENTO  
- località : VIA PONTE VECCHIO - CENTO (FE)

- data : 28/10/2010  
- quota inizio : Piano Campagna  
- prof. falda : 1,40 m da quota inizio  
- scala vert.: 1 : 150



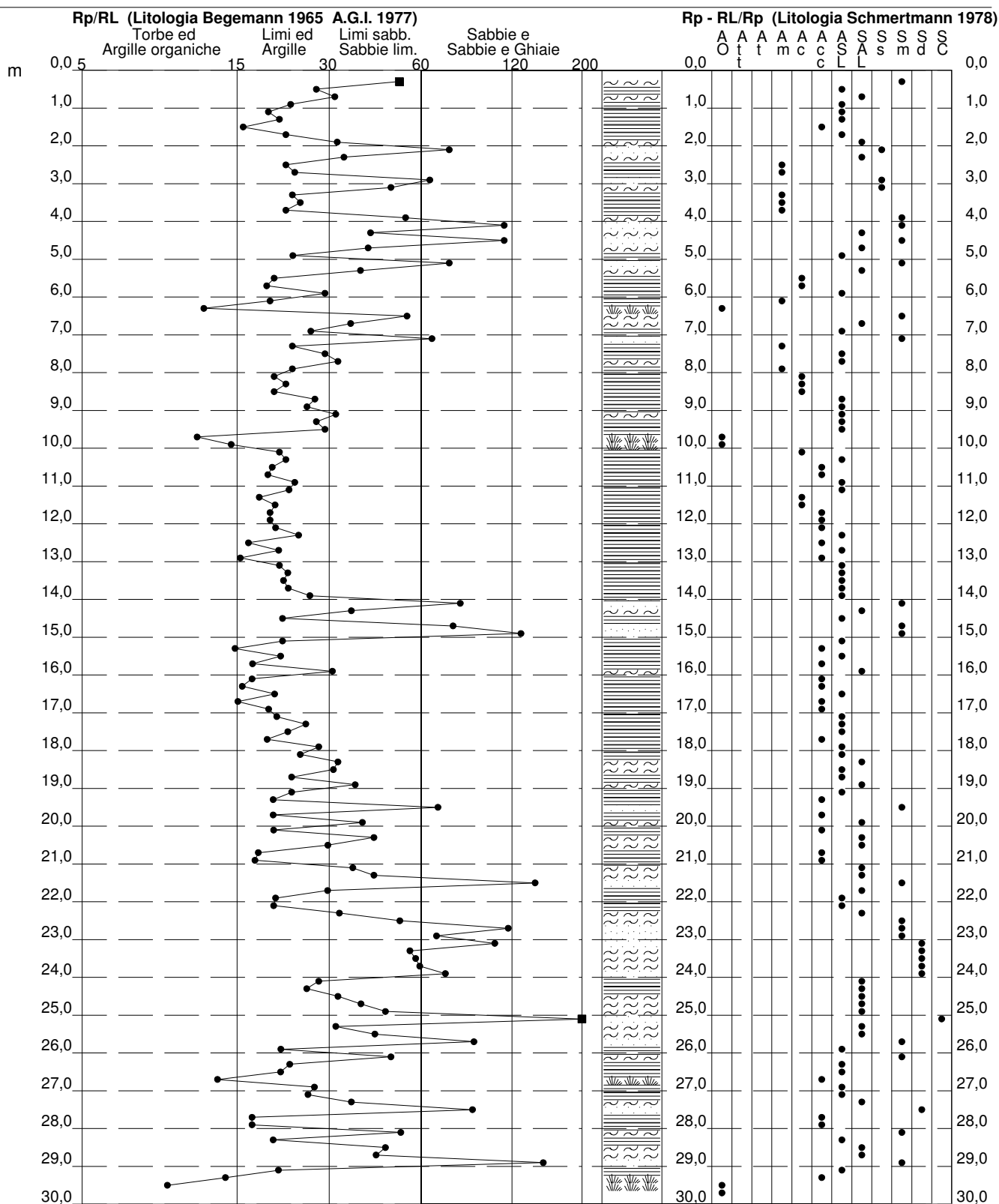
# PROVA PENETROMETRICA STATICA VALUTAZIONI LITOLOGICHE

**CPT 1**

2.01PG05-143

- committente : MiDi - GILBERTI BURIANI  
- lavoro : AMPLIAMENTO  
- località : VIA PONTE VECCHIO - CENTO (FE)  
- note :

- data : 28/10/2010  
- quota inizio : Piano Campagna  
- prof. falda : 1,40 m da quota inizio  
- scala vert.: 1 : 150





**PROVA PENETROMETRICA STATICA  
TABELLA PARAMETRI GEOTECNICI**

**CPT 1**

2.01PG05-143

- committente : MiDi - GILBERTI BURIANI  
- lavoro : AMPLIAMENTO  
- località : VIA PONTE VECCHIO - CENTO (FE)  
- note :

- data : 28/10/2010  
- quota inizio : Piano Campagna  
- prof. falda : 1,40 m da quota inizio  
- pagina : 2

Prof. m	qc kg/cm <sup>2</sup>	qc/fs (-)	Natura Litol.	Y' t/m <sup>3</sup>	d'vo kg/cm <sup>2</sup>	Cu kg/cm <sup>2</sup>	OCR (-)	NATURA COESIVA			NATURA GRANULARE										
								Eu50 kg/cm <sup>2</sup>	Eu25 kg/cm <sup>2</sup>	Mo kg/cm <sup>2</sup>	Dr %	ø1s (°)	ø2s (°)	ø3s (°)	ø4s (°)	ødm (°)	ømy (°)	Amax/g (-)	E'50 kg/cm <sup>2</sup>	E'25 kg/cm <sup>2</sup>	Mo kg/cm <sup>2</sup>
20,20	26	21	4/1/	0,95	1,98	0,93	2,4	496	744	78	9	29	32	35	39	26	28	0,019	43	65	78
20,40	43	43	3:::	0,91	2,00	--	--	--	--	--	26	32	34	37	40	28	30	0,050	72	108	129
20,60	47	31	3:::	0,91	2,02	--	--	--	--	--	29	32	35	37	40	29	31	0,055	78	118	141
20,80	22	18	4/1/	0,93	2,04	0,85	2,1	470	704	66	3	28	32	35	38	25	28	0,006	37	55	66
21,00	31	18	4/1/	0,97	2,06	1,03	2,7	537	805	93	14	30	33	36	39	26	29	0,027	52	78	93
21,20	27	37	3:::	0,87	2,07	--	--	--	--	--	9	29	32	35	39	26	28	0,019	45	68	81
21,40	43	43	3:::	0,91	2,09	--	--	--	--	--	25	31	34	37	40	28	30	0,048	72	108	129
21,60	66	141	3:::	0,94	2,11	--	--	--	--	--	39	34	36	38	41	30	32	0,079	110	165	198
21,80	53	31	3:::	0,92	2,13	--	--	--	--	--	32	32	35	38	41	29	31	0,061	88	133	159
22,00	50	21	4/1/	1,01	2,15	1,67	4,6	599	899	150	29	32	35	37	40	29	31	0,057	83	125	150
22,20	52	21	4/1/	1,01	2,17	1,73	4,7	603	904	156	31	32	35	38	40	29	31	0,059	87	130	156
22,40	40	33	3:::	0,90	2,19	--	--	--	--	--	21	31	34	37	40	27	30	0,041	67	100	120
22,60	73	52	3:::	0,96	2,21	--	--	--	--	--	42	34	36	39	41	31	32	0,084	122	183	219
22,80	85	116	3:::	0,98	2,23	--	--	--	--	--	47	35	37	39	42	32	33	0,096	142	213	255
23,00	82	68	3:::	0,97	2,25	--	--	--	--	--	45	34	37	39	42	31	33	0,093	137	205	246
23,20	133	105	3:::	1,05	2,27	--	--	--	--	--	62	37	39	41	43	34	35	0,135	222	333	399
23,40	116	56	3:::	1,02	2,29	--	--	--	--	--	57	36	38	40	43	33	35	0,122	193	290	348
23,60	121	59	3:::	1,03	2,31	--	--	--	--	--	58	36	38	40	43	33	35	0,125	202	303	363
23,80	185	60	3:::	1,13	2,33	--	--	--	--	--	72	38	40	42	44	36	37	0,167	308	463	555
24,00	175	73	3:::	1,11	2,35	--	--	--	--	--	70	38	40	42	44	35	37	0,160	292	438	525
24,20	126	29	4/1/	1,07	2,37	4,20	12,8	714	1071	378	59	36	38	40	43	33	35	0,127	210	315	378
24,40	124	26	4/1/	1,07	2,40	4,13	12,4	703	1054	372	58	36	38	40	43	33	35	0,125	207	310	372
24,60	121	33	3:::	1,03	2,42	--	--	--	--	--	57	36	38	40	43	33	35	0,122	202	303	363
24,80	133	39	3:::	1,05	2,44	--	--	--	--	--	60	36	38	41	43	34	35	0,131	222	333	399
25,00	125	47	3:::	1,04	2,46	--	--	--	--	--	58	36	38	40	43	33	35	0,124	208	313	375
25,20	151	252	3:::	1,08	2,48	--	--	--	--	--	64	37	39	41	43	34	36	0,142	252	378	453
25,40	26	32	3:::	0,87	2,50	--	--	--	--	--	3	28	32	35	38	25	28	0,008	43	65	78
25,60	26	43	3:::	0,87	2,51	--	--	--	--	--	3	28	32	35	38	25	28	0,008	43	65	78
25,80	36	90	3:::	0,89	2,53	--	--	--	--	--	14	30	33	36	39	26	30	0,028	60	90	108
26,00	39	22	4/1/	1,00	2,55	1,30	2,7	671	1006	117	17	30	33	36	39	26	30	0,032	65	98	117
26,20	39	49	3:::	0,90	2,57	--	--	--	--	--	17	30	33	36	39	26	30	0,032	65	98	117
26,40	37	23	4/1/	0,99	2,59	1,23	2,5	655	983	111	15	30	33	36	39	26	30	0,028	62	93	111
26,60	36	22	4/1/	0,99	2,61	1,20	2,4	646	968	108	13	30	33	36	39	26	30	0,026	60	90	108
26,80	38	14	4/1/	0,99	2,63	1,27	2,5	670	1005	114	15	30	33	36	39	26	30	0,029	63	95	114
27,00	37	28	4/1/	0,99	2,65	1,23	2,4	661	991	111	14	30	33	36	39	26	30	0,027	62	93	111
27,20	37	26	4/1/	0,99	2,67	1,23	2,4	662	994	111	14	30	33	36	39	26	30	0,027	62	93	111
27,40	51	36	3:::	0,92	2,69	--	--	--	--	--	25	31	34	37	40	28	31	0,047	85	128	153
27,60	101	89	3:::	1,00	2,71	--	--	--	--	--	48	35	37	39	42	31	34	0,099	168	253	303
27,80	28	17	4/1/	0,96	2,73	0,97	1,7	554	831	84	4	29	32	35	38	25	28	0,009	47	70	84
28,00	28	17	4/1/	0,96	2,75	0,97	1,7	555	832	84	4	29	32	35	38	25	28	0,009	47	70	84
28,20	28	52	3:::	0,87	2,76	--	--	--	--	--	3	28	32	35	38	25	28	0,009	47	70	84
28,40	45	20	4/1/	1,00	2,78	1,50	2,9	752	1128	135	20	31	34	36	40	27	31	0,037	75	113	135
28,60	50	47	3:::	0,92	2,80	--	--	--	--	--	23	31	34	37	40	27	31	0,044	83	125	150
28,80	35	44	3:::	0,89	2,82	--	--	--	--	--	11	29	33	36	39	25	29	0,021	58	88	105
29,00	50	150	3:::	0,92	2,84	--	--	--	--	--	23	31	34	37	40	27	31	0,043	83	125	150
29,20	44	21	4/1/	1,00	2,86	1,47	2,7	754	1131	132	18	31	33	36	39	27	31	0,035	73	110	132
29,40	23	14	4/1/	0,94	2,88	0,87	1,4	510	764	69	--	28	31	35	38	25	28	--	38	58	69
29,60	15	9	2///	0,95	2,90	0,67	1,0	400	600	50	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
29,80	15	--	2///	0,95	2,91	0,67	1,0	400	600	50	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
30,00	--	--	???	0,85	2,93	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--