



dott.  
geol.

**Cecilia Agostini**

**GEOLOGIA GEOTECNICA AMBIENTE**

Via dei Carriolanti, 16  
44047 Sant'Agostino FE  
Cell. 333 2531114  
info@demetrasrl.eu  
P.IVA:01617290380  
C.F.: GSTCCL69B43A944E

## RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA

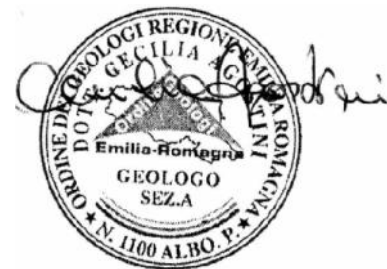
### INDAGINE GEOTECNICA PREVENTIVA E CARATTERIZZAZIONE SISMICA DI TERRENI SOTTOPOSTI A PIANO DELLA RICOSTRUZIONE

**COMMITTENTI:** TASSINARI ALFONSO E  
MAZZANTI MARIA LUISA  
SITTA MAURIZIO E  
TASSINARI ORNELLA

**LOCALITÀ:** RENAZZO FE  
VIA ALBERAZZA

**PROGETTO:** VARIANTI AL PRG  
DENOMINATE 7M - 7N

**Relatore:**  
Dott. Geol. Cecilia Agostini



sommario					
n.		Pag.	n.		Pag.
1	Premessa	2	6	Verifica della stabilità globale	15
2	Prove geotecniche	4	7	Cedimenti post-sismici	17
3	Caratterizzazione geologica	4	8	Considerazioni conclusive	19
4	Caratterizzazione geotecnica	8			
5	Caratterizzazione sismica	10	<i>Allegati</i>	Prove geotecniche	
5.1	Verifica del rischio di liquefazione	13	<i>App.</i>	Verifica del rischio di liquefazione	

Sant'Agostino, li 03.04.2015

## 1. PREMESSA

Dietro incarico del P.A. Verter Guaraldi di Renazzo e per conto della proprietà Sigg. Tassinari Alfonso e Mazzanti Maria Luisa, Sitta Maurizio e Tassinari Ornella è stato eseguito uno studio geologico e geotecnico finalizzato alla definizione dei parametri fisico-meccanici e sismici dei terreni da inserire nel Piano della Ricostruzione del Comune di Cento.

Le aree indagate sono oggetto di Variante al PRG denominate rispettivamente 7N e 7M nelle relative schede e per esse si prevede la variazione di destinazione d'uso da zona agricola – sottozona E1 “Delle partecipanze” a zona B3 – Agglomerati suburbani a prevalente destinazione industriale.

I terreni indagati sono ubicati in Comune di Cento, frazione Renazzo, Via Alberazza in confine con gli indirizzi Via Renazzo civici n. 13-17.

Dal punto di vista geografico l'area indagata è rappresentata nella sezione 202040 della Carta Tecnica Regionale (CTR) in scala 1:10.000, della quale in Fig. 1 si fornisce uno stralcio, ed è individuata dalle coordinate ED50 lat. 44,766004 – long. 11,269052.

I terreni indagati sono censiti al Foglio 38, parte mappali 637 – 670 – 709 del Catasto del Comune di Cento per una superficie complessiva di 580 m<sup>2</sup>.

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 (NTC 2008).

Al momento attuale non sono disponibili informazioni strutturali di dettaglio sul progetto delle opere da realizzare, ma si forniscono tutti i parametri geotecnici per valutare diverse e future soluzioni progettuali.

Si considera in via preliminare l'edificabilità per fabbricati caratterizzati da vita nominale ( $V_N$ ) di 50 anni e attribuiti 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 tramite verifica della stabilità globale; definire il tipo di falde, la loro giacenza e la distanza dal suolo; fornire indicazioni i cedimenti totali e differenziali; caratterizzare i terreni dal punto di vista sismico.

Fig. 1

**COROGRAFIA**

BASE TOPOGRAFICA CTR  
Sezione 202040  
scala 1:10.000

**Legenda**



Area oggetto di studio



## 2. PROVE GEOTECNICHE

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

Per l'esecuzione della prova penetrometrica è stato utilizzato un penetrometro statico da t. 20 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.

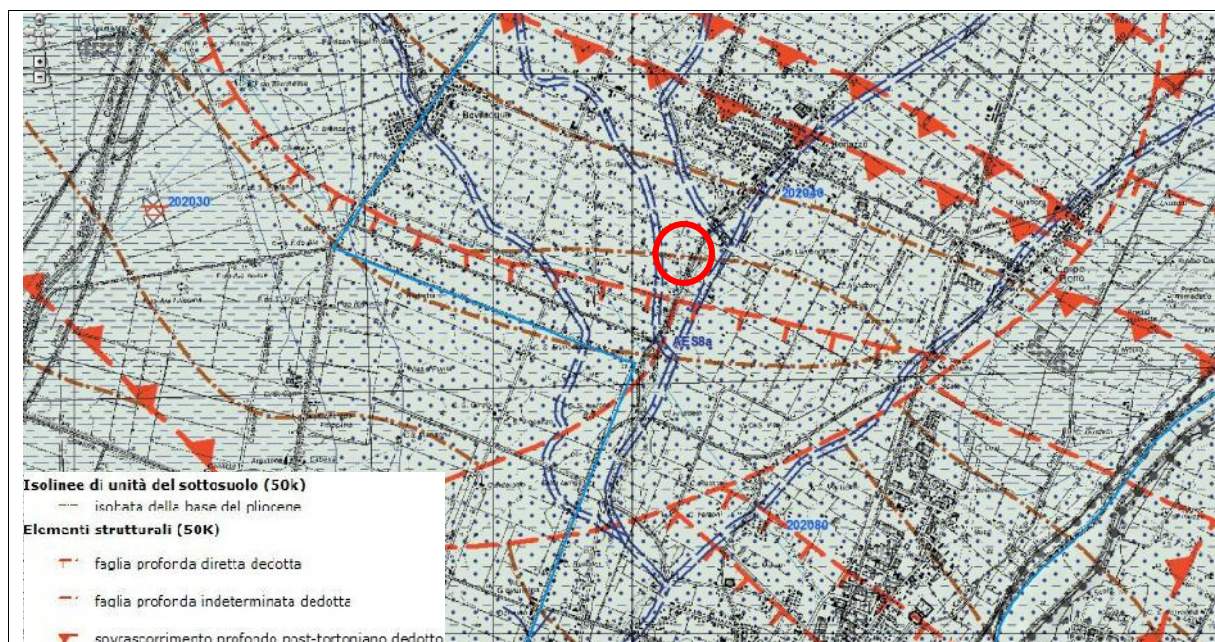
L'ubicazione della prova è riportata nell'allegato schizzo planimetrico.

## 3. CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA

La Carta Geologica in scala 1:10.000 redatta dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia Romagna rappresenta l'area in esame nella sezione 202040 (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 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.

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

La litologia superficiale in corrispondenza dell'area indagata è costituita da sabbia limosa di piana alluvionale.

Dal punto di vista strutturale l'area è caratterizzata a nord da due sovrascorrimenti profondi dedotti post-tortoniani, paralleli fra loro ed aventi direzione sudest-nordovest, mentre a sud del suddetto sito si individua un sistema di faglie profonde dedotte sia dirette che indeterminate con direzione subparallela ai sovrascorrimenti e tagliato perpendicolarmente da una coppia di faglie indeterminate (Fig. 2). Tali elementi sono inquadrabili nell'assetto strutturale appenninico.

Dal punto di vista geomorfologico il sito risulta inserito in un territorio complessivamente pianeggiante, privo di fenomeni di dissesto e con quote topografiche attorno a 19 m s.l.m.m. Si evidenzia il dislivello in corrispondenza di Via Renazzo, a est della quale le quote si attestano attorno a 13,00 m s.l.m.m.

L'area in esame si trova in sinistra del Fiume Reno, il quale scorre a sud – est, oltre il centro abitato di Cento; in questo tratto il Reno è arginato artificialmente e risulta pensile rispetto alla campagna circostante fungendo da spartiacque.


Dalla Carta geologica del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia Romagna, il sito risulta trovarsi nelle vicinanze di n. 3 paleo-alvei fluviali, rispettivamente a nord a sud e a est.

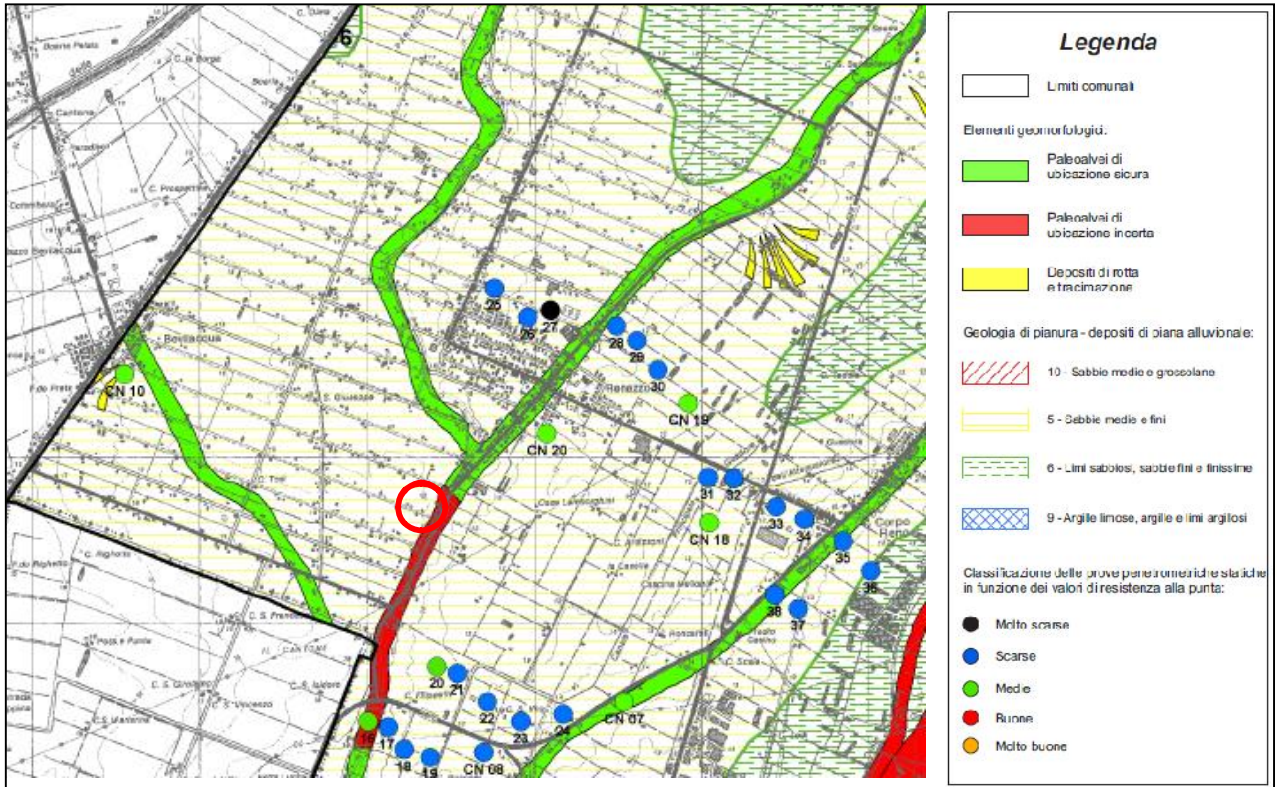
La Carta Geomorfologica a corredo del PSC (Fig. 3) individua un solo paleo-alveo di ubicazione incerta immediatamente a est dell'area esaminata, in corrispondenza della percorso stradale di Via Renazzo.

**Fig. 3**

**CARTA GEOMORFOLOGICA  
Tav. B2.1  
PSC Comuni Alto Ferrarese**

**Legenda**

 Area oggetto di studio



#### 4. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

L'analisi della prova penetrometrica consente la ricostruzione del modello geologico e geotecnico 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. 7,00 dal p.c.**

Si registrano medi e alterni valori di  $q_c$  15+/- daN/cm<sup>2</sup>, con simmetrici di  $f_s$  0,7+/- daN/cm<sup>2</sup>, rapporto  $q_c/f_s$  25+/- piuttosto disperso.

La correlazione litologica di Schmertmann evidenzia uno strato di argille limose con livelli limo-sabbiosi o di argille organiche. Le discrete resistenze superficiali sono correlabili a fenomeni di essiccamento con variazioni volumetriche a ciclo stagionale e pertanto non sono da considerare ai fini progettuali.

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

Scarsa la capacità portante, discreta e variabile la cedevolezza.

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

Si registrano medi valori di  $q_c$  20+/- daN/cm<sup>2</sup>, con simmetrici valori di  $f_s$  0,7+/- daN/cm<sup>2</sup>, rapporto  $q_c/f_s$  23+/- abbastanza disperso e con trend crescente verso il basso.

La correlazione litologica di Schmertmann evidenzia alternanze di argille limo-sabbiose passanti verticalmente a sabbie limo-argillose.

Coesione non drenata  $Cu_k = 0,60+/-$  daN/m<sup>2</sup>.

Scarsa la capacità portante, mediocre la cedevolezza.

##### **da m. 10,40 a m. 19,20 dal p.c.**

Si registrano medi valori di  $q_c$  22+/- daN/cm<sup>2</sup> con trend crescente con la profondità, con simmetrici valori di  $f_s$  compresi tra 1,3+/- daN/cm<sup>2</sup>, rapporto  $q_c/f_s$  16.

La correlazione litologica di Schmertmann evidenzia uno strato di argille inorganiche molto consistenti.

Coesione non drenata  $Cu_k = 0,70+/-$  daN/m<sup>2</sup>.

Mediocre la capacità portante, mediocre la cedevolezza.

**da m. 19,20 a m. 30,00 dal p.c.**

Si registrano medio-alti valori di  $q_c$  55+/- daN/cm<sup>2</sup> con massimi tra 25 e 26 m dal p.c., con simmetrici valori di  $f_s$  2,6+/- daN/cm<sup>2</sup>, rapporto  $q_c/f_s$  23.

La correlazione litologica di Schmertmann evidenzia un banco di argille sabbioso-limose con un livello di sabbie limose tra 25 e 26 m dal p.c.

Coesione non drenata  $Cu_k = 1,40+/-$  daN/m<sup>2</sup>.

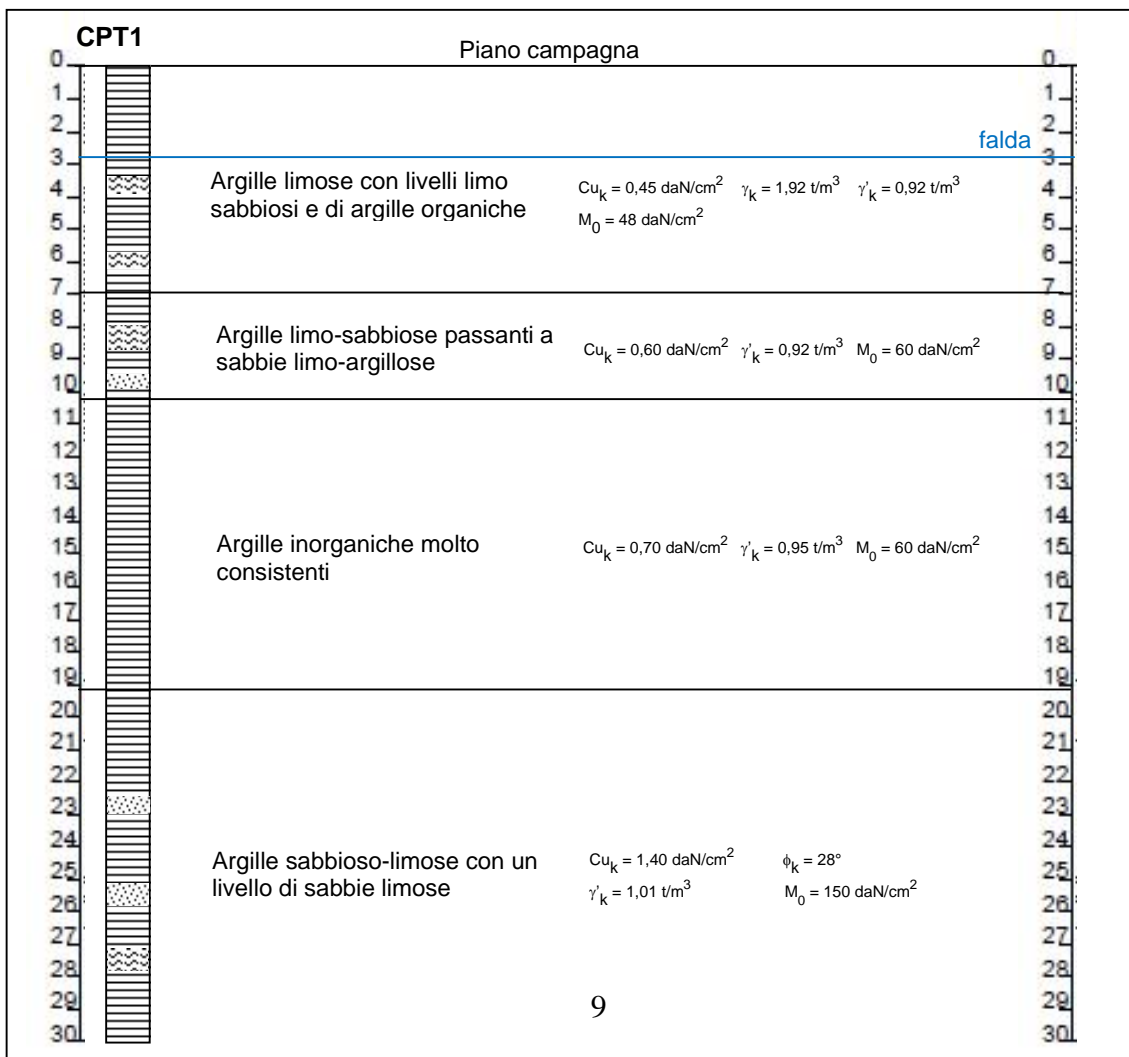
Angolo di attrito  $\phi = 28^\circ$  per il livello granulare.

Discreta la capacità portante, scarsa la cedevolezza.

Si tratta di terreni di età olocenica; l'ambiente di sedimentazione è complessivamente di tipo interfluviale con prevalenza di sedimenti palustri.

Al momento della prova il livello statico della prima falda acquifera è stato registrato alla profondità di -2,90 m dal p.c.

### Modello geotecnico schematico



Dott. Geol. Cecilia Agostini - Via dei Carriolanti 16 - 44047 Sant'Agostino FE cell. 333 2531114

## 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.

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

In Emilia Romagna non è presente la zona 1 e solo alcuni comuni della provincia di Piacenza, uno di Reggio Emilia e tre di Ferrara sono stati attribuiti alla zona 4; tutti gli altri comuni sono in zona 2 e soprattutto in zona 3.

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  $a_g$  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>	Depositati 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>	Depositati 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>	Depositati 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.

La caratterizzazione sismica del sito è stata basata sui dati stratigrafici forniti dalla prova CPT1 spinta fino a 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 strati granulari.

Nell'intervallo esaminato, i terreni sono prevalentemente coesivi e presentano un valore medio di coesione non drenata  $C_u = 93$  kPa.

Il valore della velocità delle onde di taglio  $S$  si può ottenere attraverso varie correlazioni, tra cui:

$$V_{s1} = ASF \cdot A \cdot (q_{c1N})^\alpha \text{ (Giretti, D. et al., 2007);}$$

dove  $q_{c1N} = (qc/pa)(pa/\sigma'v)^{0,5}$ ;  $pa$  = pressione atmosferica;  $ASF = 1$ ,  $A$  e  $\alpha$  = coefficienti empirici riferiti alle diverse litologie (Argilla:  $A=80,64$ ,  $\alpha=0,28$ ; Limo:  $A=77,83$ ,  $\alpha=0,24$ ; Sabbia:

$A=53,64$ ,  $\alpha=0,33$ ).

Nell'intervallo esaminato, il banco di terreni compresi in uno spessore fino a 30,00 m dal p.c. è caratterizzato da  $V_{s30} = 178$  m/s.

Occorre evidenziare che questa correlazione risulta essere piuttosto cautelativa per i terreni argillosi.

Il valore della velocità delle onde di taglio S si può ottenere anche attraverso la correlazione:  $V_s = 55,3 q_c^{0,377}$  (Iyisan, 1996).

Nell'intervallo esaminato risulta  $V_{s30} = 195$  m/s.

In base a tali valutazioni il suolo di fondazione 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 ovvero per lo stato limite ultimo di salvaguardia della vita (SLV) e per classe d'uso II, calcolati tramite media ponderata, presentano i valori riportati sintetizzati di seguito (elaborazioni tramite INGV "Spettri NTC ver. 1.0.3"):

$$a_g (g) = 0,156 \quad F_0 = 2,591 \quad T_C = 0,272$$

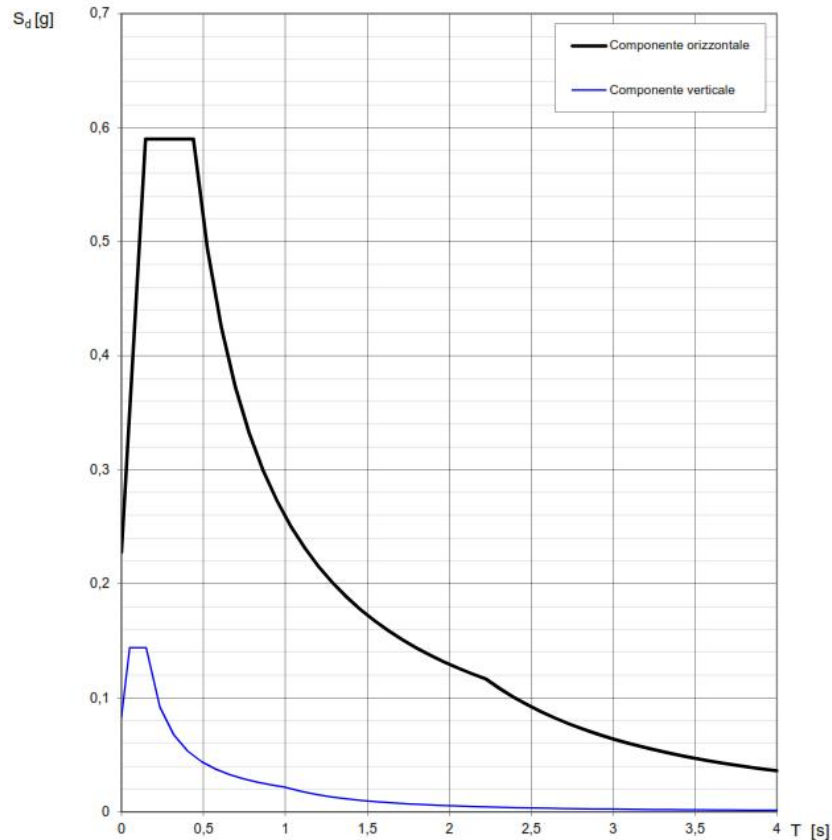
$$S_s = 1,5 \quad - \quad C_c = 1,613$$

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

SLATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$ [-]	$T_C$ [s]
SLO	30	0,043	2,517	0,256
SLD	50	0,056	2,478	0,268
SLV	475	0,156	2,591	0,272
SLC	975	0,209	2,537	0,279

Di seguito vengono forniti gli spettri di risposta relativi, 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 (elaborazione tramite INGV "Spettri NTC ver. 1.0.3"). Per la definizione dello spettro sono stati utilizzati valori di  $q = 1,5$  e  $q_0 = 3$ , nella condizione di fabbricato regolare in altezza.

**Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLV**



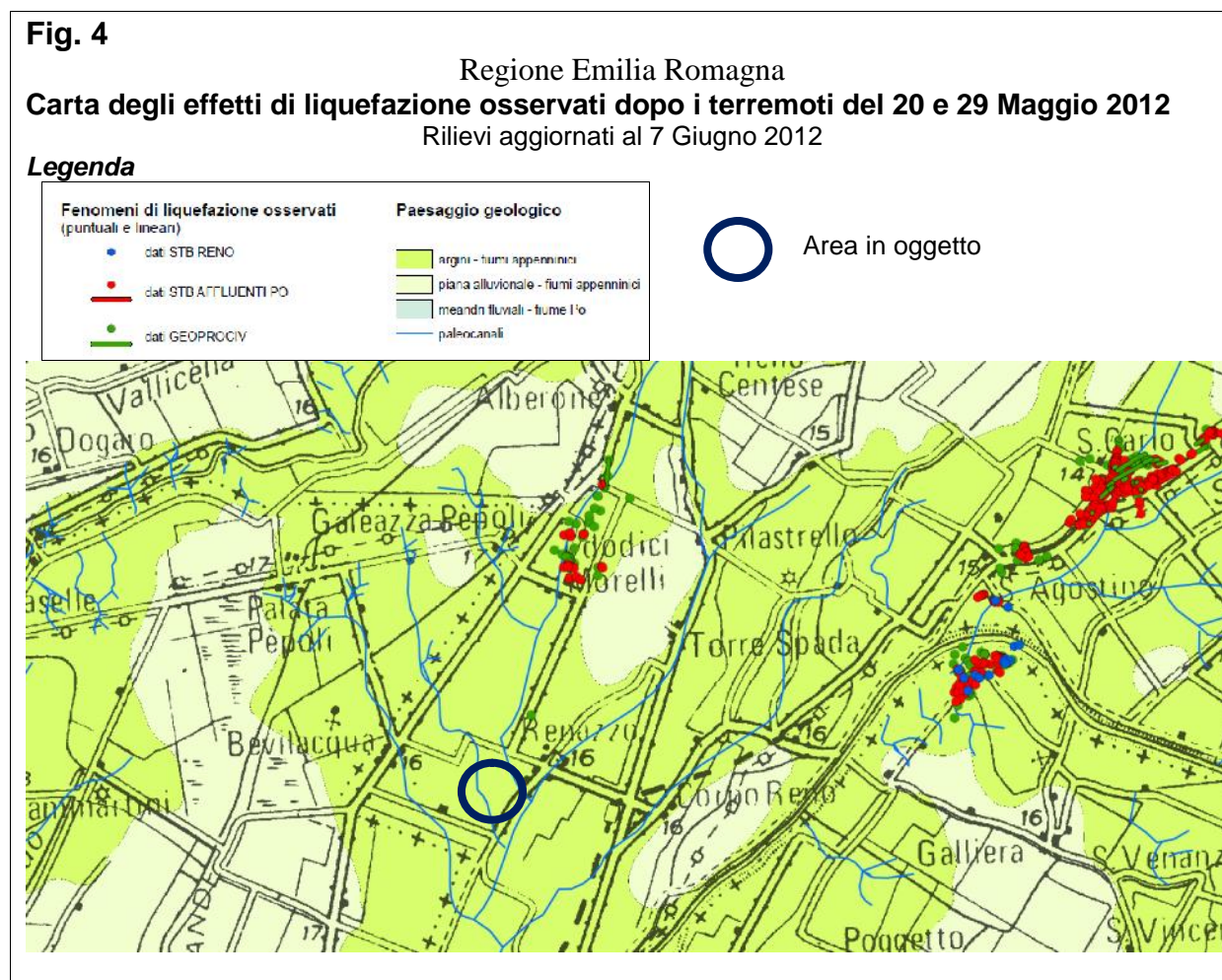
### 5.1 Verifica del rischio di liquefazione

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

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

La maggiore scossa sismica del 20.05.2012 ha innescato diversi fenomeni di liquefazione delle sabbie del sottosuolo soprattutto nei comuni dell'alto ferrarese, in corrispondenza di gran parte dei paleo-argini e dei paleo-alvei.

La Carta degli effetti della Liquefazione del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia Romagna (Fig. 4) non individua fenomeni di questo tipo in un largo intorno del sito indagato, il quale non è stato interessato da emersioni di sabbie o da altri fenomeni riconducibili alla liquefazione dei terreni.



Le Carte delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (Ordinanza RER n. 70/2013, versione del 14.10.2013) inseriscono il sito in zona LQ1 ovvero con presenza di strati liquefacibili nei primi 10 m dal p.c.

La stratigrafia nel lotto in esame evidenzia una scarsa presenza di terreni granulari saturi entro la profondità di 20 m dal p.c.

È stata eseguita in via preliminare una verifica della suscettibilità a liquefazione dei sedimenti granulari applicando il metodo di Robertson e Wride (modificato Idriss e Boulanger 2008) sulla verticale di indagine, fino alla profondità di 20 m, 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 e utilizzando i parametri sismici riferiti alla categoria C e alla classe d'uso II.

Come soglia del fattore di sicurezza si utilizza il valore di 1,0 definito dalla normativa vigente incrociandolo con il valore di 1,4 come invece suggerito recentemente da Facciorusso, J. (2008)<sup>2</sup>, specificatamente per il metodo di Robertson e Wride e in base a studi eseguiti soprattutto nella zona costiera dell'Emilia Romagna (cfr. Appendice).

I dettagli teorici e i risultati della verifica effettuata sono esposti in appendice e in base a questi è possibile individuare un livello dello spessore di 40 cm con  $F_s$  prossimo a 1 e attestato alla profondità di 9,40 – 9,60 m dal p.c.

In conclusione è possibile escludere il rischio liquefazione in condizioni dinamiche nel sito indagato.

Tuttavia la presenza di terreni granulari superficiali attualmente non saturi rende opportuno valutare la possibilità di procedere ad una loro compattazione in fase esecutiva qualora si realizzino fondazioni superficiali.

## 6. VERIFICA DELLA STABILITÀ GLOBALE

In base 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:

$$q_d = cN_c (Sc dc) + \alpha D (N_q S_q dq) + 1/2 \times B N_\alpha (1 - 0,2 B/L)$$

dove:

$N_i = D_i$  = fattori di capacità legati al valore di  $w_l$   
(angolo di attrito interno)

$c = cu$  = coesione non drenata ( $R_p/20$  De Beer)

<sup>2</sup> Facciorusso J., 2008 – “Calcolo del Potenziale di Liquefazione su vasta scala: approccio deterministico e approccio probabilistico” – Incontro Annuale dei Ricercatori di Geotecnica.

$x'$	=	$((R_p - \tau)/14 \text{ Begemann})$ peso di volume del terreno immerso in acqua 0.0007 daN/cm <sup>3</sup> - 0,00065 daN/cm <sup>3</sup> .	
$x_l$	=	peso di volume del terreno 0.0017 daN/cm <sup>3</sup>	
$D$	=	incastro delle fondazioni	
$Sc$	=	$1 + B/L (N_q/N_c)$	fattori di correzione
$dc$	=	$1 + 0.2 D/B$	per fondazioni
$Sq$	=	1	a nastro e a plinto
$dq$	=	1	
$B$	=	larghezza della fondazione	
$L$	=	lunghezza della fondazione	

Si valuta a scopo orientativo il caso di fondazioni superficiali a nastro impostate a 80-100 cm dal p.c., in base alla teoria delle tensioni ammissibili, utilizzata per puro riferimento storico e di riferimento, sostituendo si ha:

$$q_d = 0,45 \times 5,14 \times 1,13 = 2,61 \text{ daN/cm}^2$$

$$\mathbf{q_a \text{ (pressione ammissibile)} = 2,61 / 3 \text{ (fattore di sicurezza)}} \\ \mathbf{= 0,87 \text{ daN/cm}^2}$$

La verifica di stabilità globale relativa allo stato limite ultimo (SLU) per il complesso terreno-opera ai sensi del D.M. del 14.01.2008 viene confermata qualora sia verificata la disequazione:

$$E_D > R_D$$

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  $rd$ , considerando che  $R_D = rd \times A$ , dove  $A$  è l'area della fondazione.

**Approccio 1 – combinazione 1 STR**

$$rd = (45 \times 5,14 \times 1,13) \text{ kPa} = 261,3 \text{ kPa}$$

**Approccio 1 – combinazione 2 GEO**

$$rd = (45/1,4 \times 5,14 \times 1,13) / 1,8 \text{ kPa} = 103,7 \text{ kPa}$$

**Approccio 2**

$$rd = (45 \times 5,14 \times 1,13) / 2,3 \text{ kPa} = 113,6 \text{ kPa}$$



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  $R_D$ .

$$kh = \beta_s \text{ ag } S; \quad zc = 1 - 0,32 kh$$

Nel caso considerato:  $kh = 0,056$  e pertanto  $zc = 0,982$ .

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

$$rd = (45/1,4 \times 5,14 \times 1,13 \times 0,982) / 1,8 \text{ kPa} = 101,8 \text{ kPa}$$

Si rimandano ad una valutazione dei carichi in seguito alle scelte progettuali la verifica della soddisfazione della relazione  $E_D \quad R_D$ , e la verifica allo slittamento per la quale la resistenza offerta dai terreni vale:

$$R_d = A_c \times c_{u_d} \text{ dove } c_{u_d} = 45/1,4 = 32,14 \text{ kPa.}$$

## 7. CEDIMENTI POST SISMICI

I cedimenti post-sismici sono stati valutati in base alle indicazioni dell' "Atto di indirizzo e coordinamento tecnico" adottato con Delibera dell'Assemblea Legislativa della Regione Emilia - Romagna n. 112/2007.

La stratigrafia del sito in oggetto presenta dei terreni coesivi soffici ed il livello statico della falda freatica è stato individuato attorno a -2,90 m dal p.c.; pertanto sono stati valutati i cedimenti post-sismici di tali terreni saturi lungo la verticale di indagine della prova CPT1 fino alla profondità di 10,40 m dal p.c.

Il cedimento post-sismico dei terreni coesivi va valutato nel caso in cui questi siano caratterizzati da coesione non drenata  $C_u = 70$  kPa e indice plastico  $I_p = 30\%$  e risulta significativo ai fini progettuali solo se il rapporto dell'incremento delle pressioni interstiziali e della tensione verticale efficace ( $ru = \Delta u / \sigma'_{vo}$ ) risulta maggiore o uguale a 0,3.

Tale rapporto può essere valutato in modo orientativo in funzione della deformazione indotta dal sisma negli strati di terreno secondo la correlazione di Dorby (1989).

$$\text{Deformazione \%} \quad \gamma = 0,65 \cdot a_g \cdot S \cdot \sigma_{vo} \cdot r_d \cdot 1/G$$

Dove:

$a_g$  = accelerazione di riferimento

$S$  = fattore di amplificazione sismica

$\sigma_{vo}$  = carico litostatico dei terreni in termini di tensioni totali

$r_d$  = fattore di profondità dello strato ( $1 - 0,00766z$  per  $z < 9,15$  m;  $1,174 - 0,0267z$  per  $9,15 < z < 23$  m)

$G$  = valore ridotto di  $G_o$  in funzione dell'accelerazione (AGI, 2005)

$G_o$  = modulo di taglio alle piccole deformazioni =  $406 (qc)^{0,695} e^{-1,13}$

Per il calcolo del cedimento post-sismico si utilizza l'equazione

$$\Delta H = H \frac{\alpha \cdot C_r}{1 + e_o} \log (1/(1 - ru))$$

Dove:

$\alpha$  = costante sperimentale compresa tra 1 e 1,5, si assume 1,25

$e_o$  = indice dei vuoti iniziale (valore desunto dal confronto con terreni simili)

$C_r$  = indice di riconsolidazione post-ciclica =  $0,225 C_c$  dove  $C_c = 0,0348 + 0,0162 I_p$

$ru = \Delta u / \sigma'_{vo}$

#### CPT 1

Strato	prof. Tetto (cm)	prof. Letto (cm)	H (cm)	$\alpha$	$C_r$	$e_o$	$\gamma_{max}$	$ru = \Delta u / \sigma'_{vo}$	$\epsilon_{vr}$	UH (cm)
Strato 1	270	350	80	1,25	0,096	1,098	2,267E-04	0,1	0,00263	0,21
Strato 2	450	530	80	1,25	0,096	1,098	3,923E-04	0,18	0,00495	0,40
Strato 3	630	730	100	1,25	0,096	1,098	1,560E-01	0,3	0,0089	0,89
Strato 4	950	1120	170	1,25	0,096	1,098	1,500E+00	0,4	0,01274	2,17
										<b>3,66</b>

Le valutazioni sono significative ai fini ingegneristici qualora  $r_u$  risulti maggiore a 0,3 e in tal caso il cedimento atteso è pari a 2,17 cm, ma si è optato di valutare in modo cautelativo il cedimento post-sismico anche quando il valore è inferiore a 0,3.

Non risultando terreni granulari saturi liquefacibili, non si è proceduto alla stima dei cedimenti post-sismici per tale tipo di litologia.

## 8. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Si dà parere favorevole per la edificazione nell'area, con le precisazioni sopra esposte, con un carico massimo di  $0,87 \text{ daN/cm}^2$  in termini di tensioni ammissibili a titolo orientativo in fase preliminare.

Per quanto riguarda la valutazione della resistenza unitaria del terreno  $r_d$  agli stati limite (SLU), le resistenze valgono:

### **Approccio 1 – combinazione 1 STR**

$$r_d = (45 \times 5,14 \times 1,13) \text{ kPa} = 261,3 \text{ kPa}$$

### **Approccio 1 – combinazione 2 GEO**

$$r_d = (45/1,4 \times 5,14 \times 1,13) / 1,8 \text{ kPa} = 103,7 \text{ kPa}$$

### **Approccio 2**

$$r_d = (45 \times 5,14 \times 1,13) / 2,3 \text{ kPa} = 113,6 \text{ kPa}$$

### **Condizioni sismiche:**

$$r_d = (45/1,4 \times 5,14 \times 1,13 \times 0,984) / 1,8 \text{ kPa} = 102,06 \text{ kPa}$$

È possibile eseguire le verifiche di stabilità confrontando i valori di  $r_d$  per l'area di fondazione con i carichi progettuali ( $E_D$ ).

L'Ordinanza del PCM n. 3274/2003, così come recepita dal DM del 14.01.2008, ha attribuito il territorio comunale di Cento alla zona sismica 3: l'analisi sismica in base alla prova CPT spinta a 30 m di profondità permette di attribuire il deposito sedimentario alla **categoria C**.

I parametri sismici per la progettazione allo stato limite ultimo di salvaguardia della vita e per un fabbricato di classe d'uso I, in base alla normativa attualmente vigente, assumono i seguenti valori:

$$ag (g) = 0,156 \quad F_0 = 2,591 \quad T_C = 0,272$$

$$S_s = 1,5 \quad - \quad C_c = 1,613$$

In base alle verifiche della suscettibilità a liquefazione dei terreni granulari in condizioni dinamiche, si conclude che nel sito indagato non sussiste il rischio di liquefazione.

I cedimenti post sismici attesi sono dell'ordine di 3,7 cm.

Si rimanda ad un'eventuale indagine più approfondita in fase progettuale la quantificazione del carico limite e dell'effettiva entità dei cedimenti e l'esecuzione di una specifica prova sismica.

Sant'Agostino, li 03.04.2015

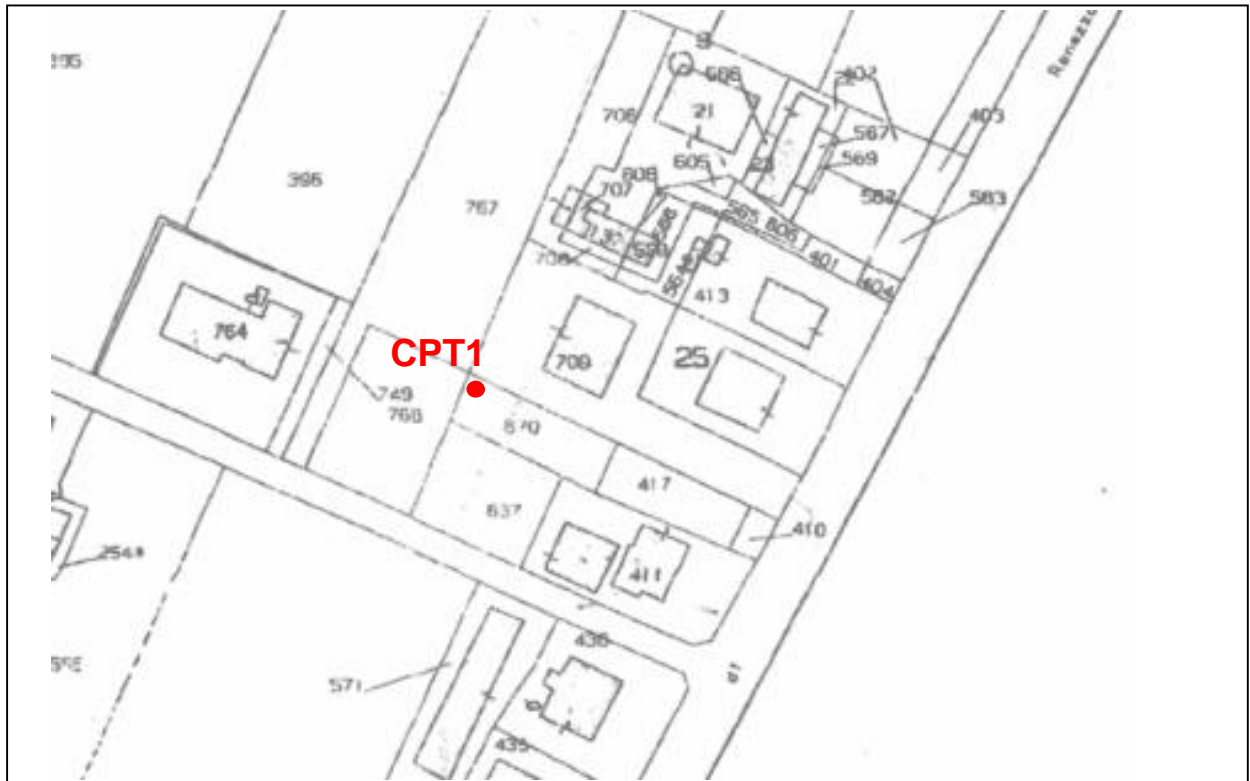
Dott. Geol. Cecilia Agostini



**SCHIZZO PLANIMETRICO  
CON  
UBICAZIONE DELLE PROVE**

**Legenda**

- **CPT1** Prova penetrometrica statica



COMUNE DI CENTO  
FOGLIO 38, MAPPALI 637 – 670 – 709 (parte)

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

fase 1 - resistenza alla punta  $q_c \text{ ( Kg / cm}^2 \text{)} = (\text{L. punta}) C_t / 10$

fase 2 - resistenza laterale locale  $f_s \text{ ( Kg / cm}^2 \text{)} = [(\text{L. laterale}) - (\text{L. punta})] C_t / 150$

fase 3 - resistenza totale  $R_t \text{ ( Kg)} = (\text{L. totale}) C_t$

$q_c / f_s = \text{'rapporto Begemann'}$

- 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  $S \text{ ( Kg)}$ , 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.



**PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA**  
**LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI**

**CPT**

**1**

riferimento

**011-2015**

n° verb. accett.

Committente: **SITTA MAURIZIO - TASSINARI ALFONSO**

U.M.: **kg/cm<sup>2</sup>**

Data esec.: **04/03/2015**

Cantiere: **VARIANTE AL PRG**

Pagina: **1**

Località: **RENAZZO**

Elaborato:

Falda: **-2,90 m da quota inizio**

H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc kg/cm <sup>2</sup>	fs kg/cm <sup>2</sup>	F -	Rf %	H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc kg/cm <sup>2</sup>	fs kg/cm <sup>2</sup>	F -	Rf %
0,20				0,00	0,80	0		15,20	30,0	63,0		30,00	1,80	17	6,0
0,40	9,0	21,0		9,00	0,80	11	8,9	15,40	25,0	52,0		25,00	1,33	19	5,3
0,60	9,0	21,0		9,00	0,60	15	6,7	15,60	18,0	38,0		18,00	1,07	17	5,9
0,80	9,0	18,0		9,00	0,53	17	5,9	15,80	20,0	36,0		20,00	1,13	18	5,7
<b>1,00</b>	<b>14,0</b>	<b>22,0</b>		<b>14,00</b>	<b>0,87</b>	<b>16</b>	<b>6,2</b>	<b>16,00</b>	<b>20,0</b>	<b>37,0</b>		<b>20,00</b>	<b>1,47</b>	<b>14</b>	<b>7,4</b>
1,20	16,0	29,0		16,00	1,00	16	6,3	16,20	28,0	50,0		28,00	1,47	19	5,3
1,40	22,0	37,0		22,00	1,00	22	4,5	16,40	31,0	53,0		31,00	1,60	19	5,2
1,60	18,0	33,0		18,00	0,93	19	5,2	16,60	21,0	45,0		21,00	1,20	18	5,7
1,80	15,0	29,0		15,00	0,60	25	4,0	16,80	18,0	36,0		18,00	1,47	12	8,2
<b>2,00</b>	<b>18,0</b>	<b>27,0</b>		<b>18,00</b>	<b>0,73</b>	<b>25</b>	<b>4,1</b>	<b>17,00</b>	<b>22,0</b>	<b>44,0</b>		<b>22,00</b>	<b>1,47</b>	<b>15</b>	<b>6,7</b>
2,20	15,0	26,0		15,00	0,93	16	6,2	17,20	31,0	53,0		31,00	1,67	19	5,4
2,40	28,0	42,0		28,00	0,60	47	2,1	17,40	48,0	73,0		48,00	2,33	21	4,9
2,60	26,0	35,0		26,00	0,87	30	3,3	17,60	47,0	82,0		47,00	2,80	17	6,0
2,80	12,0	25,0		12,00	0,40	30	3,3	17,80	43,0	85,0		43,00	2,60	17	6,0
<b>3,00</b>	<b>14,0</b>	<b>20,0</b>		<b>14,00</b>	<b>0,53</b>	<b>26</b>	<b>3,8</b>	<b>18,00</b>	<b>43,0</b>	<b>82,0</b>		<b>43,00</b>	<b>2,93</b>	<b>15</b>	<b>6,8</b>
3,20	5,0	13,0		5,00	0,47	11	9,4	18,20	54,0	98,0		54,00	3,47	16	6,4
3,40	15,0	22,0		15,00	0,93	16	6,2	18,40	50,0	102,0		50,00	3,40	15	6,8
3,60	24,0	38,0		24,00	2,53	9	10,5	18,60	53,0	104,0		53,00	3,40	16	6,4
3,80	60,0	98,0		60,00	1,53	39	2,6	18,80	56,0	107,0		56,00	3,67	15	6,6
<b>4,00</b>	<b>82,0</b>	<b>105,0</b>		<b>82,00</b>	<b>1,00</b>	<b>82</b>	<b>1,2</b>	<b>19,00</b>	<b>58,0</b>	<b>113,0</b>		<b>58,00</b>	<b>3,80</b>	<b>15</b>	<b>6,6</b>
4,20	29,0	44,0		29,00	1,00	29	3,4	19,20	58,0	115,0		58,00	3,67	16	6,3
4,40	26,0	41,0		26,00	0,80	33	3,1	19,40	62,0	117,0		62,00	3,40	18	5,5
4,60	10,0	22,0		10,00	0,60	17	6,0	19,60	67,0	118,0		67,00	3,67	18	5,5
4,80	8,0	17,0		8,00	0,73	11	9,1	19,80	69,0	124,0		69,00	3,73	18	5,4
<b>5,00</b>	<b>15,0</b>	<b>26,0</b>		<b>15,00</b>	<b>0,93</b>	<b>16</b>	<b>6,2</b>	<b>20,00</b>	<b>73,0</b>	<b>129,0</b>		<b>73,00</b>	<b>3,93</b>	<b>19</b>	<b>5,4</b>
5,20	13,0	27,0		13,00	0,87	15	6,7	20,20	63,0	122,0		63,00	3,53	18	5,6
5,40	17,0	30,0		17,00	0,60	28	3,5	20,40	53,0	106,0		53,00	3,67	14	6,9
5,60	23,0	32,0		23,00	1,07	21	4,7	20,60	65,0	120,0		65,00	3,20	20	4,9
5,80	15,0	31,0		15,00	0,93	16	6,2	20,80	65,0	113,0		65,00	3,13	21	4,8
<b>6,00</b>	<b>19,0</b>	<b>33,0</b>		<b>19,00</b>	<b>0,73</b>	<b>26</b>	<b>3,8</b>	<b>21,00</b>	<b>68,0</b>	<b>115,0</b>		<b>68,00</b>	<b>2,73</b>	<b>25</b>	<b>4,0</b>
6,20	17,0	28,0		17,00	0,73	23	4,3	21,20	48,0	89,0		48,00	2,33	21	4,9
6,40	11,0	22,0		11,00	0,80	14	7,3	21,40	52,0	87,0		52,00	2,47	21	4,8
6,60	10,0	22,0		10,00	0,60	17	6,0	21,60	39,0	76,0		39,00	2,60	15	6,7
6,80	9,0	18,0		9,00	0,80	11	8,9	21,80	48,0	87,0		48,00	2,60	18	5,4
<b>7,00</b>	<b>15,0</b>	<b>27,0</b>		<b>15,00</b>	<b>0,67</b>	<b>22</b>	<b>4,5</b>	<b>22,00</b>	<b>53,0</b>	<b>92,0</b>		<b>53,00</b>	<b>2,87</b>	<b>18</b>	<b>5,4</b>
7,20	10,0	20,0		10,00	0,73	14	7,3	22,20	43,0	86,0		43,00	3,00	14	7,0
7,40	17,0	28,0		17,00	1,00	17	5,9	22,40	42,0	87,0		42,00	2,27	19	5,4
7,60	17,0	32,0		17,00	0,73	23	4,3	22,60	68,0	102,0		68,00	3,00	23	4,4
7,80	16,0	27,0		16,00	1,00	16	6,3	22,80	65,0	110,0		65,00	2,40	27	3,7
<b>8,00</b>	<b>25,0</b>	<b>40,0</b>		<b>25,00</b>	<b>0,80</b>	<b>31</b>	<b>3,2</b>	<b>23,00</b>	<b>62,0</b>	<b>98,0</b>		<b>62,00</b>	<b>2,60</b>	<b>24</b>	<b>4,2</b>
8,20	21,0	33,0		21,00	0,93	23	4,4	23,20	70,0	109,0		70,00	2,13	33	3,0
8,40	28,0	42,0		28,00	0,87	32	3,1	23,40	62,0	94,0		62,00	2,27	27	3,7
8,60	30,0	43,0		30,00	1,00	30	3,3	23,60	72,0	106,0		72,00	2,27	32	3,2
8,80	16,0	31,0		16,00	1,13	14	7,1	23,80	59,0	93,0		59,00	3,07	19	5,2
<b>9,00</b>	<b>19,0</b>	<b>36,0</b>		<b>19,00</b>	<b>0,73</b>	<b>26</b>	<b>3,8</b>	<b>24,00</b>	<b>75,0</b>	<b>121,0</b>		<b>75,00</b>	<b>2,87</b>	<b>26</b>	<b>3,8</b>
9,20	27,0	38,0		27,00	0,73	37	2,7	24,20	59,0	102,0		59,00	2,60	23	4,4
9,40	31,0	42,0		31,00	0,67	46	2,2	24,40	55,0	94,0		55,00	2,73	20	5,0
9,60	35,0	45,0		35,00	0,60	58	1,7	24,60	48,0	89,0		48,00	2,80	17	5,8
9,80	13,0	22,0		13,00	0,73	18	5,6	24,80	55,0	97,0		55,00	3,60	15	6,5
<b>10,00</b>	<b>13,0</b>	<b>24,0</b>		<b>13,00</b>	<b>0,87</b>	<b>15</b>	<b>6,7</b>	<b>25,00</b>	<b>78,0</b>	<b>132,0</b>		<b>78,00</b>	<b>2,33</b>	<b>33</b>	<b>3,0</b>
10,20	25,0	38,0		25,00	1,13	22	4,5	25,20	105,0	140,0		105,00	2,20	48	2,1
10,40	15,0	32,0		15,00	0,60	25	4,0	25,40	98,0	131,0		98,00	2,27	43	2,3
10,60	10,0	19,0		10,00	0,87	11	8,7	25,60	102,0	136,0		102,00	2,53	40	2,5
10,80	10,0	23,0		10,00	0,53	19	5,3	25,80	103,0	141,0		103,00	2,13	48	2,1
<b>11,00</b>	<b>13,0</b>	<b>21,0</b>		<b>13,00</b>	<b>0,80</b>	<b>16</b>	<b>6,2</b>	<b>26,00</b>	<b>124,0</b>	<b>156,0</b>		<b>124,00</b>	<b>3,20</b>	<b>39</b>	<b>2,6</b>
11,20	17,0	29,0		17,00	0,93	18	5,5	26,20	61,0	109,0		61,00	2,00	31	3,3
11,40	19,0	33,0		19,00	1,07	18	5,6	26,40	43,0	73,0		43,00	2,33	18	5,4
11,60	16,0	32,0		16,00	1,07	15	6,7	26,60	42,0	77,0		42,00	2,40	18	5,7
11,80	14,0	30,0		14,00	1,13	12	8,1	26,80	52,0	88,0		52,00	2,73	19	5,3
<b>12,00</b>	<b>18,0</b>	<b>35,0</b>		<b>18,00</b>	<b>1,13</b>	<b>16</b>	<b>6,3</b>	<b>27,00</b>	<b>58,0</b>	<b>99,0</b>		<b>58,00</b>	<b>3,07</b>	<b>19</b>	<b>5,3</b>
12,20	16,0	33,0		16,00	1,00	16	6,3	27,20	62,0	108,0		62,00	2,80	22	4,5
12,40	18,0	33,0		18,00	1,00	18	5,6	27,40	63,0	105,0		63,00	3,73	17	5,9
12,60	16,0	31,0		16,00	0,93	17	5,8	27,60	68,0	124,0		68,00	3,13	22	4,6
12,80	15,0	29,0		15,00	1,20	13	8,0	27,80	71,0	118,0		71,00	3,67	19	5,2
<b>13,00</b>	<b>19,0</b>	<b>37,0</b>		<b>19,00</b>	<b>1,27</b>	<b>15</b>	<b>6,7</b>	<b>28,00</b>	<b>69,0</b>	<b>124,0</b>		<b>69,00</b>	<b>3,67</b>	<b>19</b>	<b>5,3</b>
13,20	23,0	42,0		23,00	1,27	18	5,5	28,20	61,0	116,0		61,00	2,87	21	4,7
13,40	29,0	48,0		29,00	1,60	18	5,5	28,40	59,0	102,0		59,00	3,27	18	5,5
13,60	20,0	44,0		20,00	1,33	15	6,7	28,60	48,0	97,0		48,00	3,07	16	6,4
13,80	28,0	48,0		28,00	1,47	19	5,3	28,80	56,0	102,0		56,00	3,07	18	5,5
<b>14,00</b>	<b>22,0</b>	<b>44,0</b>		<b>22,00</b>	<b>1,20</b>	<b>18</b>	<b>5,5</b>	<b>29,00</b>	<b>63,0</b>	<b>109,0</b>		<b>63,00</b>	<b>3,00</b>	<b>21</b>	<b>4,8</b>
14,20	22,0	40,0		22,00	1,40	16	6,4	29,20	67,0	112,0		67,00	2,87	23	4,3
14,40	24,0	45,0		24,00	1,53	16	6,4	29,40	54,0	97,0		54,00	2,67	20	4,9
14,60	29,0	52,0		29,00	2,07	14	7,1	29,60	61,0	101,0		61,00	2,33	26	3,8
14,80	33,0	64,0		33,00	2,20	15	6,7	29,80	63,0	98,0		63,00	2,80	23	4,4
<b>15,00</b>	<b>41,0</b>	<b>74,0</b>		<b>41,00</b>	<b>2,20</b>	<b>19</b>	<b>5,4</b>	<b>30,00</b>	<b>65,0</b>	<b>107,0</b>		<b>65,00</b>			

H = profondità  
L1 = prima lettura (punta)  
L2 = seconda lettura (punta + laterale)  
Lt = terza lettura (totale)  
CT =10,00 costante di trasformazione

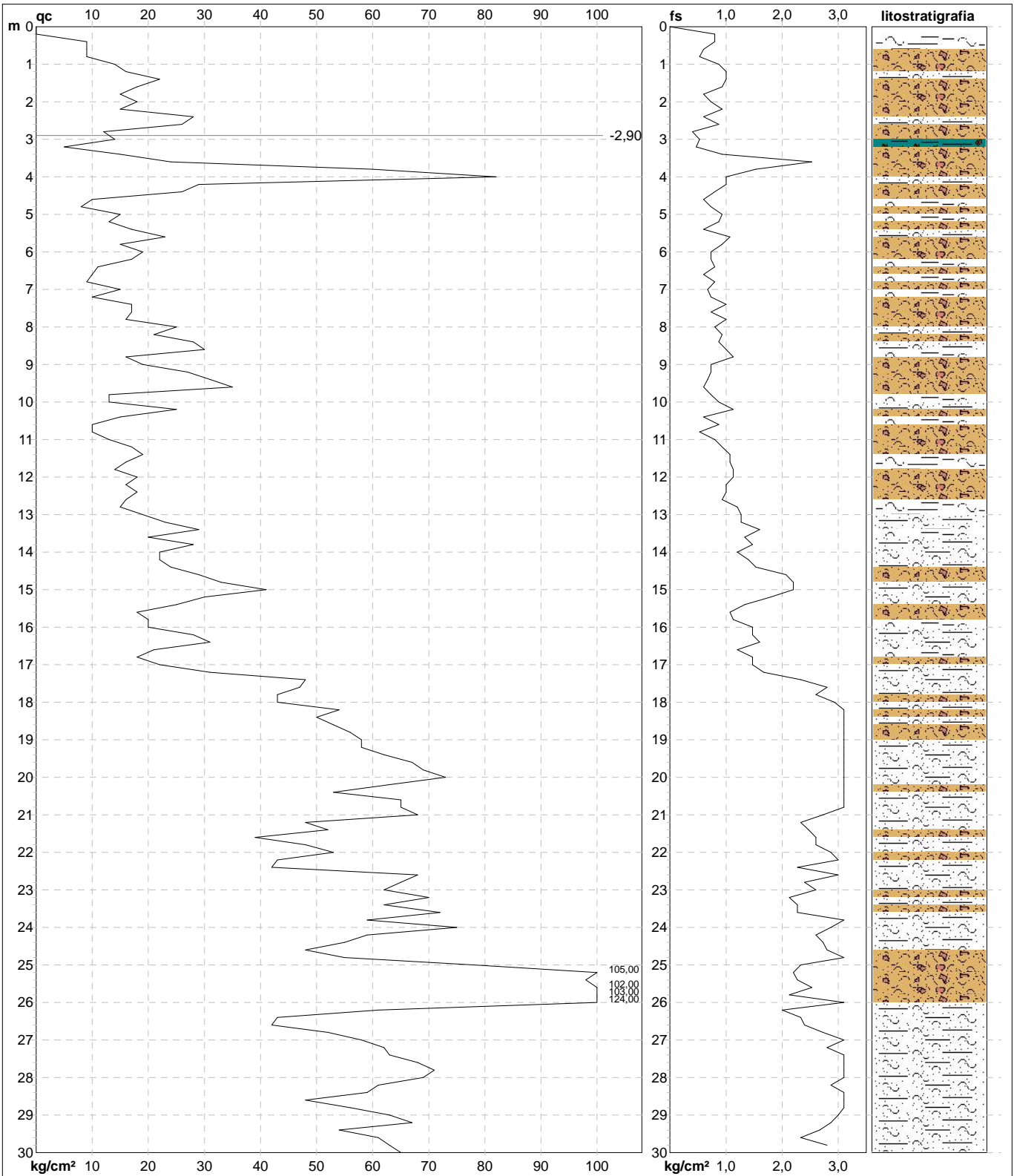
qc = resistenza di punta  
fs = resistenza laterale calcolata  
0,20 m sopra quota qc  
F = rapporto Begemann (qc / fs)  
Rf = rapporto Schmertmann (fs / qc)\*100

**PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA**  
**DIAGRAMMI DI RESISTENZA E LITOLOGIA**

<b>CPT</b>	<b>1</b>
riferimento	<b>011-2015</b>
n° verb. accett.	

Committente: **SITTA MAURIZIO - TASSINARI ALFONSO**  
Cantiere: **VARIANTE AL PRG**  
Località: **RENAZZO**

U.M.: **kg/cm<sup>2</sup>**    Data esec.: **04/03/2015**  
Scala: **1:150**  
Pagina: **1**  
Elaborato:    Quota inizio:  
Falda: **-2,90 m** da quota inizio



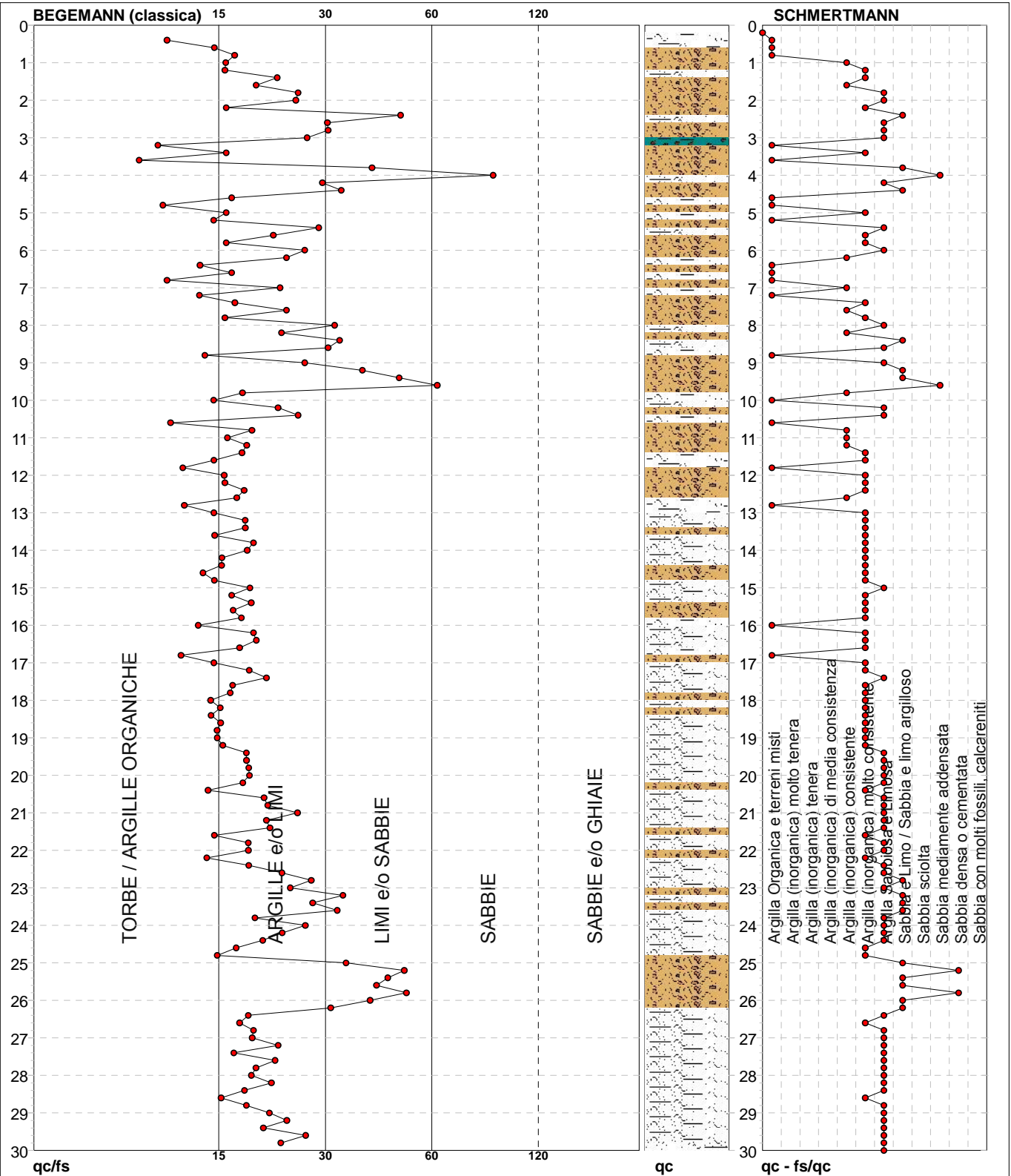
	Litologia: <b>Begemann [qc + qc/fs] 4 Zone</b> Penetrometro: <b>TG63-200S</b> Responsabile: Assistente:	Preforo: <b>m</b> Corr.astine: <b>kg/ml</b> Cod. punta:
--	--	---

**PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA**  
**DIAGRAMMI LITOLOGIA**

<b>CPT</b>	<b>1</b>
riferimento	<b>011-2015</b>
n° verb.accett.	

Committente: **SITTA MAURIZIO - TASSINARI ALFONSO**  
Cantiere: **VARIANTE AL PRG**  
Località: **RENAZZO**

U.M.: **kg/cm<sup>2</sup>**    Data esec.: **04/03/2015**  
Scala: **1:150**  
Pagina: **1**  
Elaborato:                      Falda: **-2,90 m da quota inizio**



Torbe / Argille org. :	27 punti, 18,12%	Argilla Organica e terreni misti:	19 punti, 12,75%	Argilla Sabbiosa e Limosa:	50 punti, 33,56%
Argille e/o Limi :	104 punti, 69,80%	Argilla (inorganica) consistente:	11 punti, 7,38%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo arg.:	15 punti, 10,07%
Limi e/o Sabbie :	17 punti, 11,41%	Argilla (inorganica) molto consist.:	49 punti, 32,89%	Sabbia mediamente addensata:	2 punti, 1,34%
Sabbie:	1 punti, 0,67%			Sabbia densa o cementata:	2 punti, 1,34%



**PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA**  
**PARAMETRI GEOTECNICI**

**CPT**

**1**

riferimento

**011-2015**

n° verb.accett.

Committente: **SITTA MAURIZIO - TASSINARI ALFONSO**

U.M.: **kg/cm<sup>2</sup>**

Data esec.: **04/03/2015**

Cantiere: **VARIANTE AL PRG**

Pagina: **2**

Località: **RENAZZO**

Elaborato:

Falda: **-2,90 m da quota inizio**

Prof. m	qc U.M.	qc/fs	zone	$\gamma'$ t/m <sup>3</sup>	$\sigma'_{vo}$ U.M.	Vs m/s	NATURA COESIVA					NATURA GRANULARE											
							Cu U.M.	OCR %	Eu50 U.M.	Eu25 U.M.	Mo U.M.	Dr %	Sc (°)	Ca (°)	Ko (°)	DB (°)	DM (°)	Me (°)	FL1	FL2	E'50 U.M.	E'25 U.M.	Mo U.M.
20,00	73,00	18,58	4	1,03	2,19	279	2,43	7,2	543,7	815,6	219,0	42	36	27	24	23	31	32	--	--	121,7	182,5	219,0
20,20	63,00	17,85	4	1,02	2,21	264	2,10	5,9	587,1	880,7	189,0	37	36	26	23	22	30	32	--	--	105,0	157,5	189,0
20,40	53,00	14,44	4	1,01	2,23	247	1,77	4,7	619,3	928,9	159,0	31	35	26	22	21	29	31	--	--	88,3	132,5	159,0
20,60	65,00	20,31	4	1,02	2,25	267	2,17	6,0	595,0	892,5	195,0	37	36	26	23	22	30	32	--	--	108,3	162,5	195,0
20,80	65,00	20,77	4	1,02	2,27	267	2,17	5,9	602,4	903,7	195,0	37	36	26	23	22	30	32	--	--	108,3	162,5	195,0
21,00	68,00	24,91	4	1,02	2,29	271	2,27	6,2	599,4	899,0	204,0	39	36	27	23	22	30	32	--	--	113,3	170,0	204,0
21,20	48,00	20,60	4	1,01	2,31	238	1,60	4,0	645,1	967,7	144,0	26	34	25	22	20	28	31	--	--	80,0	120,0	144,0
21,40	52,00	21,05	4	1,01	2,33	245	1,73	4,3	650,3	975,5	156,0	29	35	25	22	21	29	31	--	--	86,7	130,0	156,0
21,60	39,00	15,00	4	1,00	2,35	220	1,30	3,0	641,6	962,4	117,0	19	34	24	20	19	27	30	--	--	65,0	97,5	117,0
21,80	48,00	18,46	4	1,01	2,37	238	1,60	3,8	666,1	999,1	144,0	26	34	25	21	20	28	31	--	--	80,0	120,0	144,0
22,00	53,00	18,47	4	1,01	2,39	247	1,77	4,3	667,2	1000,9	159,0	29	35	25	22	21	29	31	--	--	88,3	132,5	159,0
22,20	43,00	14,33	4	1,00	2,41	228	1,43	3,3	673,4	1010,1	129,0	22	34	24	21	20	27	30	--	--	71,7	107,5	129,0
22,40	42,00	18,50	4	1,00	2,43	226	1,40	3,2	673,1	1009,7	126,0	21	34	24	21	19	27	30	--	--	70,0	105,0	126,0
22,60	68,00	22,67	4	1,02	2,45	271	2,27	5,7	658,0	987,0	204,0	37	36	26	23	22	30	32	--	--	113,3	170,0	204,0
22,80	65,00	27,08	4	1,02	2,47	267	2,17	5,3	674,0	1011,0	195,0	35	35	26	23	21	30	32	--	--	108,3	162,5	195,0
23,00	62,00	23,85	4	1,02	2,49	262	2,07	5,0	687,8	1031,8	186,0	33	35	26	23	21	29	32	--	--	103,3	155,0	186,0
23,20	70,00	32,86	3	0,95	2,51	274	--	--	--	--	--	37	36	26	23	22	30	32	--	--	116,7	175,0	210,0
23,40	62,00	27,31	4	1,02	2,53	262	2,07	4,9	700,6	1050,9	186,0	33	35	26	22	21	29	32	--	--	103,3	155,0	186,0
23,60	72,00	31,72	3	0,95	2,55	277	--	--	--	--	--	38	36	26	23	22	30	32	--	--	120,0	180,0	216,0
23,80	59,00	19,22	4	1,02	2,57	257	1,97	4,5	716,6	1074,8	177,0	31	35	25	22	21	29	32	--	--	98,3	147,5	177,0
24,00	75,00	26,13	4	1,03	2,59	282	2,50	6,0	685,2	1027,8	225,0	39	36	26	23	22	30	32	--	--	125,0	187,5	225,0
24,20	59,00	22,69	4	1,02	2,61	257	1,97	4,4	728,6	1092,9	177,0	30	35	25	22	21	29	32	--	--	98,3	147,5	177,0
24,40	55,00	20,15	4	1,01	2,63	251	1,83	4,0	733,7	1100,5	165,0	28	35	25	22	20	28	31	--	--	91,7	137,5	165,0
24,60	48,00	17,14	4	1,01	2,65	238	1,60	3,3	743,3	1114,9	144,0	23	34	24	21	20	27	31	--	--	80,0	120,0	144,0
24,80	55,00	15,28	4	1,01	2,67	251	1,83	3,9	748,3	1122,4	165,0	27	35	25	22	20	28	31	--	--	91,7	137,5	165,0
25,00	78,00	33,48	3	0,96	2,69	286	--	--	--	--	--	39	36	27	23	22	30	33	--	--	130,0	195,0	234,0
25,20	105,00	47,73	3	1,01	2,71	320	--	--	--	--	--	49	37	28	25	23	32	34	--	--	175,0	262,5	315,0
25,40	98,00	43,17	3	1,00	2,73	311	--	--	--	--	--	47	37	28	24	23	31	34	--	--	163,3	245,0	294,0
25,60	102,00	40,32	3	1,00	2,75	316	--	--	--	--	--	48	37	28	25	23	31	34	--	--	170,0	255,0	306,0
25,80	103,00	48,36	3	1,00	2,77	317	--	--	--	--	--	48	37	28	25	23	31	34	--	--	171,7	257,5	309,0
26,00	124,00	38,75	3	1,04	2,79	340	--	--	--	--	--	54	38	29	26	24	32	35	--	--	206,7	310,0	372,0
26,20	61,00	30,50	3	0,94	2,81	260	--	--	--	--	--	30	35	25	22	21	28	32	--	--	101,7	152,5	183,0
26,40	43,00	18,45	4	1,00	2,83	228	1,43	2,7	741,6	1112,3	129,0	18	33	23	20	19	26	30	--	--	71,7	107,5	129,0
26,60	42,00	17,50	4	1,00	2,85	226	1,40	2,6	734,2	1101,3	126,0	17	33	23	20	19	26	30	--	--	70,0	105,0	126,0
26,80	52,00	19,05	4	1,01	2,87	245	1,73	3,3	804,9	1207,3	156,0	24	34	24	21	20	27	31	--	--	86,7	130,0	156,0
27,00	58,00	18,89	4	1,02	2,89	256	1,93	3,8	814,0	1220,9	174,0	27	35	25	21	20	28	31	--	--	96,7	145,0	174,0
27,20	62,00	22,14	4	1,02	2,91	262	2,07	4,1	812,5	1218,8	186,0	29	35	25	22	20	28	32	--	--	103,3	155,0	186,0
27,40	63,00	16,89	4	1,02	2,93	264	2,10	4,1	818,5	1227,7	189,0	30	35	25	22	21	28	32	--	--	105,0	157,5	189,0
27,60	68,00	21,73	4	1,02	2,95	271	2,27	4,5	823,0	1234,6	204,0	32	35	25	22	21	29	32	--	--	113,3	170,0	204,0
27,80	71,00	19,35	4	1,03	2,97	276	2,37	4,7	826,0	1238,9	213,0	34	35	26	22	21	29	32	--	--	118,3	177,5	213,0
28,00	69,00	18,80	4	1,02	2,99	273	2,30	4,5	834,4	1251,6	207,0	32	35	25	22	21	29	32	--	--	115,0	172,5	207,0
28,20	61,00	21,25	4	1,02	3,01	260	2,03	3,8	847,3	1271,0	183,0	28	35	25	21	20	28	32	--	--	101,7	152,5	183,0
28,40	59,00	18,04	4	1,02	3,03	257	1,97	3,7	856,4	1284,6	177,0	27	34	25	21	20	28	32	--	--	98,3	147,5	177,0
28,60	48,00	15,64	4	1,01	3,05	238	1,60	2,8	814,2	1221,3	144,0	20	34	23	20	19	27	31	--	--	80,0	120,0	144,0
28,80	56,00	18,24	4	1,01	3,07	252	1,87	3,4	862,9	1294,4	168,0	25	34	24	21	20	27	31	--	--	93,3	140,0	168,0
29,00	63,00	21,00	4	1,02	3,09	264	2,10	3,9	869,2	1303,7	189,0	29	35	25	21	20	28	32	--	--	105,0	157,5	189,0
29,20	67,00	23,34	4	1,02	3,11	270	2,23	4,1	869,7	1304,5	201,0	31	35	25	22	21	28	32	--	--	111,7	167,5	201,0
29,40	54,00	20,22	4	1,01	3,13	249	1,80	3,1	867,6	1301,5	162,0	23	34	24	21	19	27	31	--	--	90,0	135,0	162,0
29,60	61,00	26,18	4	1,02	3,16	260	2,03	3,6	890,8	1336,2	183,0	27	34	24	21	20	28	32	--	--	101,7	152,5	183,0
29,80	63,00	22,50	4	1,02	3,18	264	2,10	3,7	895,5	1343,2	189,0	28	35	25	21	20	28	32	--	--	105,0	157,5	189,0
30,00	65,00	--	3	0,94	3,19	267	--	--	--	--	--	29	35	25	21	20	28	32	--	--	108,3	162,5	195,0