

MODENA, 17/06/2011

**RELAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA E SISMICA DI UN LOTTO DI  
TERRENO SITO IN COMUNE DI REGGIOLO (RE) INTERESSATO DA UN  
AMPLIAMENTO DELLA STRUTTURA SERVIZI (BAR) DELL'AREA  
SPORTIVA SITA IN VIA IV NOVEMBRE**

## INDICE

1. PREMESSA ED INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE
2. INDAGINI ESEGUITE, RISULTATI OTTENUTI, MODELLIZZAZIONE GEOTECNICA
3. ASPETTI SISMICI
4. CONCLUSIONI

ALLEGATI: Corografia  
Ubicazione lotto e prova penetrometrica  
Diagramma penetrometrico  
Tabulati di calcolo

## 1. PREMESSA ED INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE

Su incarico della Cooperativa Muratori di Reggiolo e d'intesa con l'Ing. Simonazzi, Tecnico Progettista incaricato dalla Committenza, il sottoscritto Dott. Rino Guadagnini, geologo libero professionista regolarmente iscritto all'Ordine dei Geologi della Regione Emilia Romagna con il n° 192, ha provveduto ad effettuare uno studio geologico-geotecnico e sismico di un lotto di terreno sito all'interno della zona sportiva di Reggiolo in Via IV Novembre, ove si intende procedere all'ampliamento dell'edificio destinato a Bar.

Scopo dello studio, in questa fase progettuale, è stato non tanto quello di definire il quadro geologico dell'area per accertare la fattibilità geologico-geotecnica ad ospitare l'intervento edilizio previsto, del resto già oggetto di una precedente relazione eseguita sempre dal sottoscritto (cfr. relazione Intergeo S.r.l. del 09/10/2002), ma soprattutto quello di verificare le caratteristiche litostratigrafiche, geotecniche e sismiche del sottosuolo e dei terreni che saranno interessati dall'ampliamento, in modo da permettere al Tecnico Progettista una corretta scelta fondazionale ed un altrettanto corretto dimensionamento delle fondazioni stesse, in relazione soprattutto alle interazioni che saranno indotte dall'intervento edilizio in progetto.

Come accennato il lotto oggetto dell'intervento si trova all'interno dell'area sportiva di Reggiolo, sita in Via IV Novembre nella periferia nord-ovest del centro abitato.

Morfologicamente l'area è pianeggiante ed essendo posta ad una quota di circa 19÷20 m s.l.m. appartiene alla cosiddetta bassa pianura reggiana.

Da un punto di vista geologico il sottosuolo, per parecchie decine di metri almeno e comunque per spessori di gran lunga superiori a quelli che possono essere interessati da qualsiasi tipo di fondazione e dalla diffusione in profondità dei carichi trasmessi dalle stesse, è costituito da depositi alluvionali.

Tali depositi nella zona, ed in un ampio intorno, sono caratterizzati dalla presenza di terreni fini e/o finissimi con intercalazioni di limi sabbiosi, sabbie fini e potenti lenti di sabbie medie e grossolane.

La prima lente sabbiosa arealmente continua e di spessore geotecnico significativo nella zona si rinviene a meno di una decina di metri di profondità ed è presente almeno fino a 30÷35 m di profondità.

I terreni più grossolani sono sede di falda idrica che presenta una soggiacenza minima dell'ordine di 2÷3 m dal piano campagna attuale.

Il presente studio è stato condotto, oltre che attraverso rilevamento diretto e ricerca bibliografica, soprattutto avvalendosi dei risultati di un'apposita indagine in sito espletata mediante esecuzione di una prova penetrometrica; naturalmente ci si è avvalsi anche dei risultati delle indagini geognostiche eseguite per la relazione di fattibilità del 09/10/2002 e di altre indagini eseguite nelle vicinanze su terreni del tutto simili.

## 2. INDAGINI ESEGUITE, RISULTATI OTTENUTI, E MODELLIZZAZIONE GEOTECNICA

Come accennato per verificare le caratteristiche litostratigrafiche e geotecniche dei terreni presenti nel sottosuolo e che saranno interessati dalle opere fondazionali e dalla diffusione in profondità dei carichi trasmessi è stata eseguita, in data 14/06//2011, dall'INTERGEO S.r.l. di Modena un'apposita indagine geognostica.

L'indagine è stata sviluppata mediante esecuzione di n. 1 prova penetrometrica che, in relazione alle presumibili caratteristiche granulometriche dei terreni del primo sottosuolo, è stata ad infissione statica; l'ubicazione della prova compare nella planimetria allegata unitamente al diagramma penetrometrico ed ai tabulati di calcolo.

La prova, che ha raggiunto una profondità di m 30 dal p.c., è stata eseguita in campagna utilizzando un penetrometro statico Olandese Gouda da 10 ton di spinta ed impiegando per la penetrazione una punta "Friction Jacket Cone" avente un'area di 10 cm<sup>2</sup> ed un angolo alla punta di 60°.

L'uso della punta "Friction Jacket Cone" é stato espressamente richiesto dal sottoscritto per poter determinare, oltre al carico di rottura, anche la litologia dei terreni attraversati dalla punta penetrometrica.

Infatti dal rapporto fra la resistenza alla punta e la resistenza laterale locale, applicando la correlazione di Begemann modificata da Schmestron, si riesce a risalire alla granulometria e,

come conseguenza, alla litologia dei terreni attraversati dalla punta penetrometrica.

Nei tabulati di calcolo sono stati riportati, oltre ai valori misurati in sito ogni 20 cm d'avanzamento della punta penetrometrica, i valori, calcolati mediante elaborazione automatica dei dati, della resistenza penetrometrica alla punta, (carico di rottura del terreno), espressi in  $\text{kg/cm}^2$ , i valori della resistenza laterale locale, sempre espressi in  $\text{kg/cm}^2$ , nonché i valori del rapporto fra la resistenza penetrometrica alla punta e la resistenza laterale locale (rapporto di Begemann).

Nel diagramma penetrometrico, graficato mediante plotter interfacciato con l'elaboratore automatico, per semplicità di lettura, sono state riportate solamente due curve e precisamente:

- a sinistra del diagramma la curva della resistenza penetrometrica alla punta (carico di rottura del terreno), espressa in  $\text{kg/cm}^2$ ;
- a destra, la curva del rapporto fra la resistenza alla punta e la resistenza laterale locale (rapporto di Begemann).

La prova penetrometrica, appositamente eseguita, ha evidenziato una buona omogeneità con altre prove eseguite sull'area sportiva e nelle immediate vicinanze, sia per quanto riguarda i valori della resistenza alla punta, sia per quanto riguarda i valori del rapporto di Begemann e quindi della litologia, evidenziando nel contempo una situazione litostratigrafica assai semplice e cioè la presenza fino a 7,5÷8,0 m di terreni argilloso-limosi generalmente mediamente consolidati che ricoprono

depositi sabbiosi presenti sino ad almeno 30 m di profondità dal p.c..

La caratterizzazione litologica e geotecnica dei terreni del primo sottosuolo è stata eseguita, come detto, mediante l'elaborazione di una prova penetrometrica statica, spinta sino alla profondità di 30 m dal piano campagna, eseguita sull'area sulla quale sono previste le opere in progetto.

La parametrizzazione delle unità litotecniche del sottosuolo è stata realizzata attraverso le correlazioni proposte in letteratura, con riferimento alle unità litostratigrafiche individuate.

Complessivamente l'indagine eseguita ha evidenziato la presenza di terreni con caratteristiche favorevoli alla progettazione dell'intervento previsto.

I terreni interessati dalle strutture di fondazione in progetto, ovvero quelli soggetti alla interazione struttura-terreno, sono quelli superficiali entro i primi 4-5 m di profondità, sufficientemente consistenti da affrontare le normali problematiche fondazionali.

Nella tabella seguente è riportata la caratterizzazione litostratigrafica e geotecnica, con i principali parametri.

### **PARAMETRI GEOTECNICI**

Nr:	Numero progressivo strato
Prof:	Profondità strato (m)
Tipo:	C: Coesivo. I: Incoerente. CI: Coesivo-Incoerente
Cu:	Coesione non drenata (Kg/cm <sup>2</sup> )
Eu:	Modulo di deformazione non drenato (Kg/cm <sup>2</sup> )
Mo:	Modulo Edometrico (Kg/cm <sup>2</sup> )

G: Modulo di deformazione a taglio (Kg/cm<sup>2</sup>)  
 OCR: Grado di sovraconsolidazione  
 $\gamma$  : Peso unità di volume (t/m<sup>3</sup>)  
 Dr: Densità relativa (%)  
 $\phi$  : Angolo di resistenza al taglio (°)  
 Ey: Modulo di Young (Kg/cm<sup>2</sup>)

**- PROVA P1 -**

N.	Prof.	Tipo	Cu	Eu	Mo	G	OCR	$\gamma$	Dr	$\phi$	Ey
1	1,0-7,6	C	0,67	481,44	48,07	136,72	8,92	1,90	/	/	/
2	7,6-30,0	I	/	/	216,75	584,57	1,90	1,90	64,43	36,63	289,00

Sulla base dell'indagine eseguita si può stimare, per i terreni presenti, considerando una profondità di posa delle fondazioni a circa 1 m di profondità dall'attuale piano campagna, una portata massima in termini di tensioni ammissibili, pari a 1,2÷1,4 Kg/cm<sup>2</sup> che naturalmente andrà verificata in relazione alle nuove norme vigenti (NTC2008).



### 3. ASPETTI SISMICI

Con l'entrata in vigore, il 23 ottobre 2005, delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al DM 14.09.2005, le cui norme tecniche includono tra le referenze tecniche essenziali anche l'Ordinanza n. 3274/2003 e s.m.i., è diventata obbligatoria la progettazione antisismica per tutto il territorio nazionale, facendo riferimento alle zone sismiche di cui alla OPCM 3274/2003.

Ai fini dell'applicazione di queste norme, il territorio nazionale è stato suddiviso in quattro zone sismiche, a ciascuna delle quali è assegnato un intervallo di valori dell'accelerazione di picco orizzontale del suolo ( $a_g$ ), con probabilità di superamento del 10% in 50 anni; in particolare, per la determinazione delle azioni sismiche, risulta assegnato un valore ( $a_g / g$ ), di ancoraggio dello spettro di risposta elastico, diverso per ogni zona sismica; il Comune di Reggiolo ricade nella zona 3 a sismicità bassa, a cui è associato un valore della massima accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico pari a  $a_g = 0,15g$ .

I valori di  $a_g$ , espressi come frazione dell'accelerazione di gravità  $g$ , da adottare in ciascuna delle zone sismiche del territorio nazionale sono:

<b>Zona</b>	<b>Valore di <math>a_g</math></b>
1	0,35g
2	0,25g
3	0,15g
4	0,05g

Con l'entrata in vigore del D.M. 14 gennaio 2008 la stima della pericolosità sismica, intesa come accelerazione massima orizzontale su suolo rigido ( $V_{s30} > 800$  m/s), viene definita mediante un approccio "sito dipendente" e non più tramite un criterio "zona dipendente".

Secondo l'approccio "zona dipendente", adottato dalla precedenti normative nazionali in campo antisismico, l'accelerazione di base  $a_g$ , senza considerare l'incremento dovuto ad effetti locali dei terreni, era direttamente derivante dalla Zona sismica di appartenenza del comune nel cui territorio è localizzato il sito di progetto.

Con l'entrata in vigore del D.M. 14 gennaio 2008 la classificazione sismica del territorio è scollegata dalla determinazione dell'azione sismica di progetto, mentre rimane il riferimento per la trattazione di problematiche tecnico-amministrative connesse con la stima della pericolosità sismica.

Pertanto, secondo quanto riportato nell'allegato A del D.M. 14 gennaio 2008, la stima dei parametri spettrali necessari per la definizione dell'azione sismica di progetto viene effettuata calcolandoli direttamente per il sito in esame, utilizzando come riferimento le informazioni disponibili nel reticolo di riferimento, riportato nella tabella 1 nell'allegato B del D.M. del 2008.

Tale griglia è costituita da 10.751 nodi (distanziati di non più di 10 km) e copre l'intero territorio nazionale ad esclusione delle isole (tranne Sicilia, Ischia, Procida e Capri) dove, con metodologia e convenzioni analoghe vengono forniti parametri

spettrali costanti per tutto il territorio (tabella 2 nell'allegato B del D.M. 14 gennaio 2008).

Per ciascuno dei nodi della griglia vengono forniti, per 9 valori del periodo di ritorno (da 30 anni a 2.475 anni), i valori dei parametri di pericolosità sismica, utili per la progettazione e cioè i valori di  $a_g$  (accelerazione orizzontale massima del terreno espressa in  $g/10$ ),  $F_0$  (valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale adimensionale) e  $T^*c$  (periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro di accelerazione orizzontale espresso in secondi) necessari per la definizione dell'azione sismica, una volta definito per l'intervento in progetto, ai sensi sempre delle NTC2008, il tipo e la classe (ad esempio, per fabbricati normali, tipo 2 e classe II).

Secondo quanto riportato nell'allegato A del D.M. 2008, definite le coordinate del sito interessato dal progetto, è possibile il calcolo dei suddetti parametri spettrali (per uno dei tempi di ritorno forniti) tramite media pesata con i 4 punti della griglia di accelerazioni (Tabella 1 in Allegato B) che comprendono il sito in esame, per i quattro stati limite previsti dalle norme *S.L.O.*, *S.L.D.*, *S.L.V.* e *S.L.C.*

Inoltre allo scopo di valutare l'amplificazione lito-stratigrafica dell'azione sismica di progetto, intesa come l'azione generata dal moto non uniforme del terreno di sedime per effetto della propagazione delle onde sismiche, deve essere classificato il terreno di fondazione, nelle seguenti categorie individuate dalle NTC 2008.

Il sito viene classificato sulla base di  $V_{s30}$  se disponibile, altrimenti sulla base del valore di  $N_{spt}$ , per terreni prevalentemente granulari, ovvero sulla base della  $c_u$ , per i terreni prevalentemente coesivi, nelle seguenti categorie di suolo:

- A - *Ammassi rocciosi affioranti 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 - *Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine 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 resistenza penetrometrica  $N_{SPT} > 50$  nei terreni a grana grossa, o coesione non drenata  $c_u > 250$  kPa nei terreni a grana fine).
- C - *Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensate, o terreni a grana fine 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 e 360 m/s (ovvero  $15 < N_{SPT} < 50$  nei terreni a grana grossa,  $70 < c_u < 250$  kPa nei terreni a grana fine).
- D - *Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fine scarsamente consistenti*, con spessori superiori ai 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s30} < 180$  m/s (ovvero  $N_{SPT} < 15$  nei terreni a grana grossa,  $c_u < 70$  kPa nei terreni a grana fine).
- E - *Profili di terreno costituiti da strati superficiali alluvionali*, con valori di  $V_{s30}$  simili a quelli dei tipi C o D e spessore compreso tra 5 e 20 m, giacenti su di un substrato di materiale più rigido con  $V_{s30} > 800$  m/s.

Esistono poi due categorie speciali che sono individuate con le lettere S1 e S2 per le quali le NTC2008 richiedono per la definizione dell'azione sismica il ricorso a studi specifici

- S1 - Depositi di terreni caratterizzati da valori  $V_{s30} < 100$  m/s (ovvero  $10 < c_u < 70$  kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fine di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
- S2 - Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di terreno non classificabile nei tipi precedenti.

Nelle definizioni precedenti  $V_{s30}$  è la velocità media di propagazione entro i primi 30 m di profondità delle onde di taglio e viene calcolata con la formula riportata nel capitolo precedente.

Per la determinazione della velocità delle onde S negli strati di copertura, come previsto dalla normativa vigente, si è elaborata la prova penetrometrica eseguita spinta sino ai 30 di profondità, ubicate come da allegato, applicando correlazioni empiriche note e diffuse in bibliografia (Otha e Goto – Ijisan), che correlano per i singoli strati individuati il valore del  $R_p$  medio con il corrispondente valore del  $V_s$  medio. In particolare la prova penetrometrica, spinta sino ai 30 m, è stata suddivisa in strati a caratteristiche litostratigrafiche e geotecniche omogenee e per ogni strato è stato determinato, noto il valore della resistenza alla punta medio  $R_p$ , il valore della velocità delle onde S con le correlazioni note.

Pertanto mediante la correlazione sopra detta si è calcolato il valore della  $V_{s30}$  cioè riferito ai primi 30 m di profondità e quindi la relativa categoria di suolo di fondazione.

PROVA PENETROMETRICA					
Profondità da m a m		Rp med. Kg/cmq	Spessore	$V_s$ m/sec	$h_i/V_{s_i}$
0,00	1,00	/	1,00		
1,00	7,60	16,00	6,60	185,72	0,036
7,60	30,00	142,00	22,40	422,99	0,053
					S=
					0,088

<b><math>V_{s30}</math></b>	<b>339,01</b>
-----------------------------	---------------

Per i terreni in oggetto, nell'area sulla quale è previsto l'intervento in progetto, fino ai 30 m di profondità, tenuto conto dei risultati ottenuti,  $V_{s30}$  pari a 339,01 m/sec, si definisce una categoria di suolo di fondazione di tipo C, riferibile a *Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati, o terreni a grana fine 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 e 360 m/s ( $15 < N_{SPT} < 50$ ,  $70 < c_u < 250$  kPa).

Sulla base della categoria di suolo di appartenenza del terreno, le NTC2008 associano un coefficiente di amplificazione stratigrafica  $S_s$ , da applicare alle componenti orizzontali dell'azione sismica; viene inoltre definito un coefficiente  $C_C$  che

serve per il calcolo del periodo di controllo  $T_c$  corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro di risposta elastico in accelerazione.

Poiché tale valore è riferito al bedrock, per definire il valore di  $a_g$  in superficie si calcola quindi il fattore  $S_s$ , caratteristico dell'area, che dipende dalla categoria di suolo di fondazione; essendo i terreni dell'area in esame in categoria C, avremo:

$$- S_s = 1.70 - (0.6 \times F_o \times a_g/g)$$

Viene inoltre definito un coefficiente  $C_c$ , che serve per il calcolo del periodo di controllo  $T_c$ , corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro di risposta elastico in accelerazione; in particolare  $T_c$  è calcolato come prodotto di  $C_c$  per il periodo  $T^*_c$ , ottenuto dallo studio di pericolosità sismici del sito specifico, come riportato nella tabella precedente.

Per suoli in categoria C il coefficiente  $C_c$  risulta pari a.

$$- C_c = 1.05 \times (T^*_c)^{-0.33}.$$

Le NTC 2008 di cui al DM 14/01/2008 prevedono anche un coefficiente di amplificazione topografica che tiene conto della particolare ubicazione del sito, in relazione alla sua configurazione morfologica.

Vengono previste 4 categorie topografiche, a secondo della configurazione geometrica del sito, alle quali è associato un coefficiente di amplificazione  $S_T$  che varia da 1 a 1.4.

Per quanto concerne la topografia del sito, l'area ricade nella categoria T1, caratterizzata da una superficie pianeggiante

con inclinazione media inferiore a 15°, alla quale è associata un valore del coefficiente di amplificazione topografica  $S_T$  pari a 1.

Ciò detto, sulla base della collocazione del sito in oggetto, corrispondente al punto sul quale sono in progetto le opere previste, si ottengono i relativi parametri di pericolosità sismica, come riportato di seguito.

### **Parametri sismici**

Sito in esame

Latitudine: 44,92758  
Longitudine: 10,804178  
Classe: 3  
Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 14946	Lat: 44,9032	Lon: 10,7390	Distanza: 5801,664
Sito 2	ID: 14947	Lat: 44,9048	Lon: 10,8095	Distanza: 2564,872
Sito 3	ID: 14725	Lat: 44,9548	Lon: 10,8073	Distanza: 3035,260
Sito 4	ID: 14724	Lat: 44,9532	Lon: 10,7367	Distanza: 6024,977

Categoria sottosuolo: C

Categoria topografica: T1  
Periodo di riferimento: 75anni  
Coefficiente cu: 1,5

### **Operatività (SLO):**

Probabilità di superamento: 81 %  
Tr: 45 [anni]  
ag: 0,043 g  
Fo: 2,571  
Tc\*: 0,257 [s]



**Danno (SLD):**

Probabilità di superamento: 63 %  
Tr: 75 [anni]  
ag: 0,052 g  
Fo: 2,580  
Tc\*: 0,274 [s]

**Salvaguardia della vita (SLV):**

Probabilità di superamento: 10 %  
Tr: 712 [anni]  
ag: 0,137 g  
Fo: 2,571  
Tc\*: 0,284 [s]

**Prevenzione dal collasso (SLC):**

Probabilità di superamento: 5 %  
Tr: 1462 [anni]  
ag: 0,182 g  
Fo: 2,538  
Tc\*: 0,288 [s]

**Coefficienti Sismici****SLO:**

Ss: 1,500  
Cc: 1,640  
St: 1,000  
Kh: 0,013  
Kv: 0,006  
Amax: 0,629  
Beta: 0,200

**SLD:**

Ss: 1,500  
Cc: 1,610  
St: 1,000  
Kh: 0,016  
Kv: 0,008  
Amax: 0,764  
Beta: 0,200

**SLV:**

Ss: 1,490  
Cc: 1,590  
St: 1,000  
Kh: 0,049  
Kv: 0,025  
Amax: 2,006  
Beta: 0,240

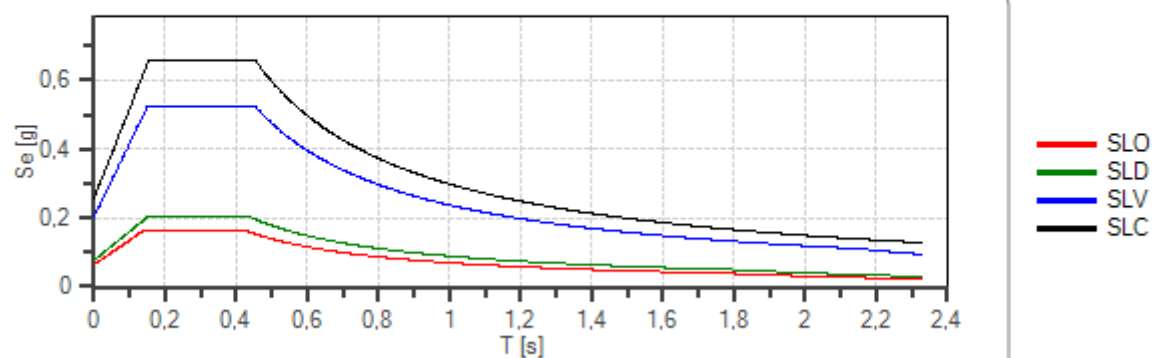
**SLC:**

Ss: 1,420  
Cc: 1,580  
St: 1,000  
Kh: 0,062  
Kv: 0,031  
Amax: 2,531  
Beta: 0,240

Dove Kh e Kv sono i coefficienti sismici, orizzontale e verticale, per il sito in esame, calcolati, nei diversi stati limite, mediante il coefficiente di riduzione sismica Beta (funzione della categoria di suolo).

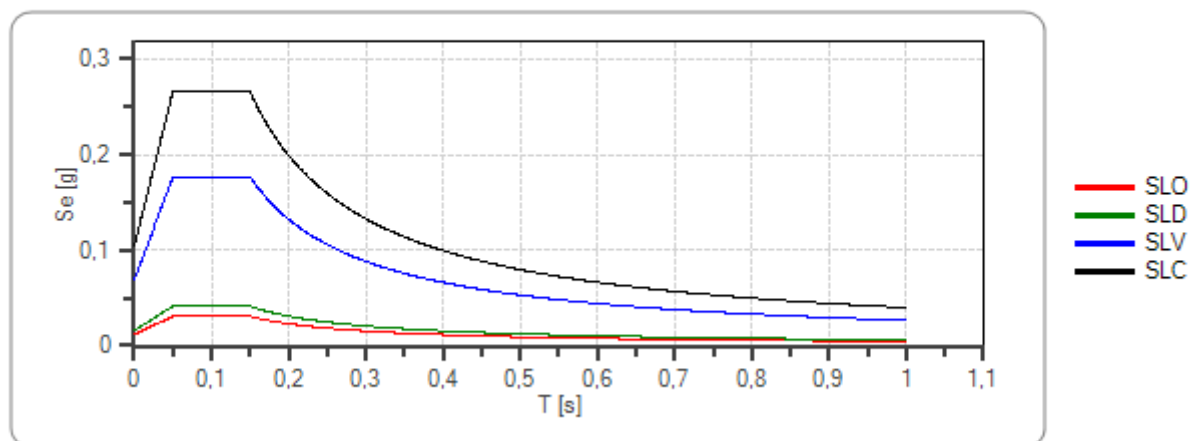
Noti i parametri di pericolosità sismica si possono calcolare gli spettri di risposta rappresentativi delle componenti (orizzontali e verticale) delle azioni sismiche di progetto per il sito in esame, relativi al computo dell'azione sismica di progetto ai sensi del D.M. 14/01/2008 (Allegato 10).

### Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali



	cu	ag [g]	Fo	Tc* [s]	Ss	Cc	St	S	$\eta$	TB [s]	TC [s]	TD [s]
SLO	1,5	0,043	2,571	0,257	1,500	1,640	1,000	1,500	1,000	0,140	0,421	1,771
SLD	1,5	0,052	2,580	0,274	1,500	1,610	1,000	1,500	1,000	0,147	0,442	1,808
SLV	1,5	0,137	2,571	0,284	1,490	1,590	1,000	1,490	1,000	0,150	0,451	2,149
SLC	1,5	0,182	2,538	0,288	1,420	1,580	1,000	1,420	1,000	0,152	0,455	2,327

### Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali



	cu	ag [g]	Fo	Tc* [s]	Ss	Cc	St	S	$\eta$	TB [s]	TC [s]	TD [s]
SLO	1,5	0,043	2,571	0,257	1,000	1,640	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000
SLD	1,5	0,052	2,580	0,274	1,000	1,610	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000
SLV	1,5	0,137	2,571	0,284	1,000	1,590	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000
SLC	1,5	0,182	2,538	0,288	1,000	1,580	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000

## **Valutazione della suscettibilità alla liquefazione**

Per liquefazione si intende un processo di accumulazione della pressione del fluido interstiziale che causa in un terreno non coesivo (sabbia, sabbie limose non plastiche) saturo diminuzione della resistenza e/o rigidità al taglio a seguito dello scuotimento sismico, potendo dar luogo a deformazioni permanenti significative. La liquefazione consiste quindi in una diminuzione della resistenza del terreno, a seguito del raggiungimento della condizione di fluidità. La perdita totale della resistenza viene raggiunta quando la pressione dell'acqua che riempie gli interstizi arriva a uguagliare la pressione di confinamento, rendendo nulle le tensioni efficaci trasmesse attraverso le particelle solide. Una volta che il terremoto ha innescato il processo di liquefazione, la massa del suolo resta in movimento fino a che non raggiunge una nuova condizione di stabilità.

Il meccanismo della liquefazione dipende sia dalle caratteristiche relative al sisma (magnitudo, durata, distanza dall'epicentro, accelerazione massima al sito) che da quelle del terreno (distribuzione granulometrica, uniformità, saturazione, densità relativa, pressioni efficaci di confinamento, stato tensionale in situ iniziale, etc.). La previsione della pericolosità di liquefazione si basa, oltre che sui parametri del sisma atteso, sulla stima di un "potenziale di liquefazione" del terreno, il quale dipende da una serie di parametri geotecnici quali ad esempio:

- a) distribuzione granulometrica: sono suscettibili di liquefazione i terreni con diametro medio dei grani  $D_{50}$  compreso fra 0.075mm e 2mm e coefficiente di uniformità compreso fra 2 e 5 (sabbie e sabbie limose);
- b) indice di plasticità: il fenomeno è possibile in terreni caratterizzati da un indice di plasticità inferiore al 10%;
- c) densità relativa: sono suscettibili di liquefazione i terreni sciolti con densità relativa  $D_r < 50\%$  o nei quali  $N < 2z$ , dove N è il numero di colpi della prova penetrometrica standard (SPT) e z la profondità in metri;
- d) saturazione: sono suscettibili di liquefazione i terreni in cui la falda è prossima al piano di campagna (profondità  $< 7m$ );
- e) profondità: in genere il fenomeno di liquefazione si può verificare entro i primi 15÷20 m di terreno o comunque per pressioni verticali di confinamento inferiori a 200kPa.

Il metodo di verifica di seguito riportato permette di esprimere la suscettibilità alla liquefazione del deposito attraverso un coefficiente di sicurezza  $F_s$ , dato dal rapporto fra la resistenza al taglio mobilitabile (R) nello strato e lo sforzo tagliante (T) indotto dal sisma. È bene chiarire che si tratta di stime basate spesso su correlazioni empiriche.

$$F_s = R / T$$

dove T è così determinato:

$$T = 0,65 \cdot \frac{a_{\max}}{g} \cdot \frac{\sigma_{VO}}{\sigma'_{VO}} \cdot rd \cdot \frac{1}{MSF}$$

dove

**$a_{\max}$**  rappresenta l' accelerazione sismica massima

**$g$**  accelerazione di gravità

**$\sigma_{VO}$**  pressione verticale totale alla profondità  **$z$**  dal p.c.

**$\sigma'_{VO}$**  pressione verticale efficace alla profondità  **$z$**  dal p.c.

**$rd$**  coefficiente in funzione della profondità

**$MSF$**  coefficiente correttivo funzione della magnitudo del sisma

$$\text{per } z \leq 9,15 \text{ m} \quad \rightarrow \quad rd = 1 - 0.00765 \cdot z$$

$$\text{per } 9,15 < z \leq 23 \text{ m} \quad \rightarrow \quad rd = 1.174 - 0.0267 \cdot z$$

$$\text{per } 23 < z \leq 30 \text{ m} \quad \rightarrow \quad rd = 0.774 - 0.008 \cdot z$$

$$\text{per } z > 30 \text{ m} \quad \rightarrow \quad rd = 0.5$$

$$\text{se } M \text{ (magnitudo)} \leq 7.5 \quad \rightarrow \quad MSF = \left( \frac{M}{7.5} \right)^{-3,3}$$

$$\text{se } M \text{ (magnitudo)} > 7.5 \quad \rightarrow \quad MSF = \frac{10^{2,24}}{M^{2,56}}$$

### **Metodo di Robertson e Wride (1997)**

Per una valutazione di massima da prove CPT della suscettività alla liquefazione dei terreni sabbiosi in falda, è stato utilizzato un programma di calcolo automatico (GeoStru) che applica la correlazione di Robertson e Wride (1997).

Verifica alla liquefazione (Robertson e Wride, 1997)	
$F_s \geq 1,25$	Liquefazione assente
$F_s = 1,0 \div 1,25$	Liquefazione possibile
$F_s < 1$	Liquefazione molto probabile

La ricostruzione stratigrafica indiretta del terreno nei primi 30 m di profondità ha evidenziato i seguenti strati sabbiosi, non suscettibili a liquefazione in occasione di sollecitazioni sismiche:

ZONA SPORTIVA – REGGIOLO RE				
Prova	Strato	Litologia	$F_s$	Liquefazione
1	da 7,0 m a 8,0 m	Terre limo-sabbiose, sabbia	2,008	assente
	da 8,0 m a 10,8 m	Sabbia	15,322	assente
	da 10,8 m a 18,2 m	Sabbia addensata o cementata	46,177	assente
	da 18,2 m a 21,8 m	Sabbia addensata o cementata	12,240	assente
	da 21,8 m a 30,0 m	Sabbia addensata o cementata	86,740	assente



#### 4. CONCLUSIONI

Lo studio geologico - geotecnico e sismico condotto sulla scorta di ricerca bibliografica, rilevamento diretto e soprattutto mediante una apposita indagine in sito espletata mediante effettuazione di prova penetrometriche ad infissione statica con punta meccanica, nonché di altre indagini effettuate per interventi edilizi nelle vicinanze su terreni del tutto simili, ha permesso di stabilire che da un punto di vista geologico - geotecnico e sismico generale e particolare il lotto di terreno oggetto della presente relazione, sito in Comune di Reggiolo all'interno dell'area sportiva di Via IV Novembre ed identificato nella cartografia allegata, è idoneo ad ospitare l'intervento edilizio che la Proprietà intende realizzare e che prevede l'ampliamento dell'edificio destinato a Bar.

Le prove eseguite e prese a riferimento hanno consentito di definire il modello litostratigrafico e geotecnico dei terreni presenti nel primo sottosuolo evidenziando la presenza di materiali argilloso limosi con buone caratteristiche geotecniche.

Per quanto riguarda le opere fondazionali, in relazione alle caratteristiche litostratigrafiche, geotecniche e sismiche riscontrate ed alle caratteristiche dell'intervento edilizio che s'intende realizzare, appare possibile ricorrere a fondazioni del tipo diretto che, salvo verifiche, potranno essere dimensionate facendo affidamento a carichi unitari massimi in termini di tensioni ammissibili dell'ordine di almeno  $1,2 \div 1,4 \text{ kg/cm}^2$ .



eff. attivo

LEGENDA



(+200 al 1° Piano) = Uffici sport.  
mq = 468 Equivalenza costi (£ 674 milioni)



1° " = 576 (potenziamento a Est di m 6)



2° " = 780 (potenziamento sia ad Est che a Sud)  
m. 39 x 20

MAGGIORAZ.  
COSTI  
+ £ 200 milioni ca

\* BAR attuale = futura sede uffici

TENNIS

coperto

mq 730

CANPETTO

TENNIS

MQ. 141.60

PARCHEGGIO

PARCHEGGIO

VIA IV NOVEMBRE

CANTIERE: REGGIOLO CENTRO SPORTIVO VIA IV NOVEMBRE

CONTR. COOP REGGIOLO

UBICAZIONE PROVA PENETROMETRICA



Via AUSTRIA, 24 - 41100 MODENA

Telefono 059/313999

Telefax 059/454827



## ***PROVA PENETROMETRICA STATICA***

Penetrometro Gouda

Certificato n. : **635/11**

Data emissione: 15/06/11

Committente : C.M.R.

Località : ZONA SPORTIVA-REGGIOLO-RE

Prova numero : 1

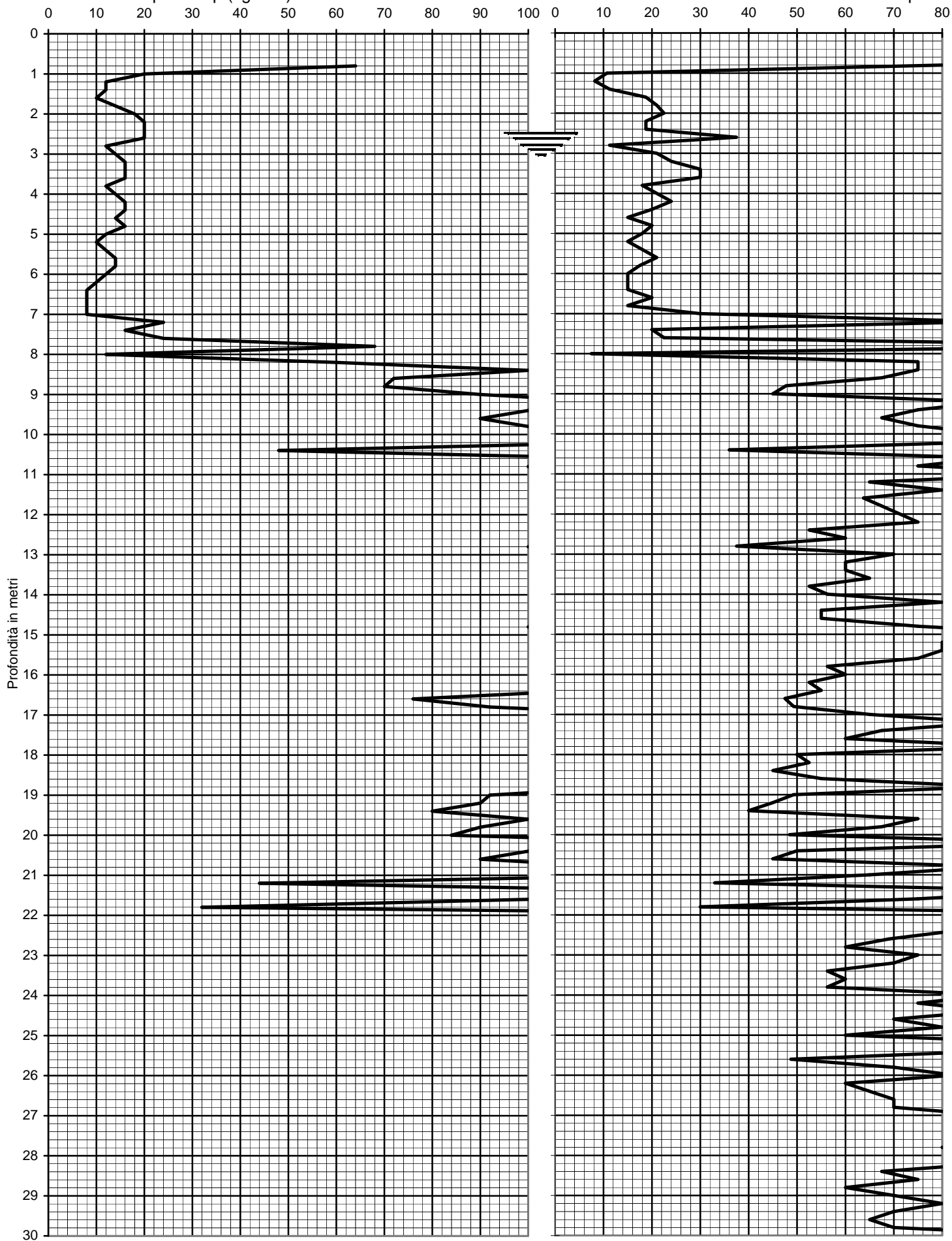
Data : 14/06/2011

Operatore : DR. REBECCHI

Quota : P.C.

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

Rp/Rl





Prof. (m)	P (kg/cm <sup>2</sup> )	P + L (kg/cm <sup>2</sup> )	Rp (kg/cm <sup>2</sup> )	RI (kg/cm <sup>2</sup> )	Rp/RI [ - ]
0,20					
0,40					
0,60					
0,80	64	76	64	0,80	80,00
1,00	20	48	20	1,87	10,71
1,20	12	34	12	1,47	8,18
1,40	12	28	12	1,07	11,25
1,60	10	18	10	0,53	18,75
1,80	14	24	14	0,67	21,00
2,00	18	30	18	0,80	22,50
2,20	20	36	20	1,07	18,75
2,40	20	36	20	1,07	18,75
2,60	20	28	20	0,53	37,50
2,80	12	28	12	1,07	11,25
3,00	14	24	14	0,67	21,00
3,20	16	26	16	0,67	24,00
3,40	16	24	16	0,53	30,00
3,60	16	24	16	0,53	30,00
3,80	12	22	12	0,67	18,00
4,00	14	24	14	0,67	21,00
4,20	16	26	16	0,67	24,00
4,40	16	28	16	0,80	20,00
4,60	14	28	14	0,93	15,00
4,80	16	28	16	0,80	20,00
5,00	12	22	12	0,67	18,00
5,20	10	20	10	0,67	15,00
5,40	12	22	12	0,67	18,00
5,60	14	24	14	0,67	21,00
5,80	14	26	14	0,80	17,50
6,00	12	24	12	0,80	15,00
6,20	10	20	10	0,67	15,00
6,40	8	16	8	0,53	15,00
6,60	8	14	8	0,40	20,00
6,80	8	16	8	0,53	15,00
7,00	8	12	8	0,27	30,00
7,20	24	28	24	0,27	90,00
7,40	16	28	16	0,80	20,00
7,60	24	40	24	1,07	22,50
7,80	68	76	68	0,53	127,50
8,00	12	36	12	1,60	7,50
8,20	60	72	60	0,80	75,00
8,40	100	120	100	1,33	75,00
8,60	72	88	72	1,07	67,50
8,80	70	92	70	1,47	47,73
9,00	90	120	90	2,00	45,00
9,20	120	140	120	1,33	90,00
9,40	100	120	100	1,33	75,00
9,60	90	110	90	1,33	67,50
9,80	100	120	100	1,33	75,00
10,00	120	140	120	1,33	90,00
10,20	120	140	120	1,33	90,00
10,40	48	68	48	1,33	36,00
10,60	120	140	120	1,33	90,00
10,80	100	120	100	1,33	75,00
11,00	140	160	140	1,33	105,00
11,20	130	160	130	2,00	65,00
11,40	160	190	160	2,00	80,00
11,60	170	210	170	2,67	63,75
11,80	180	220	180	2,67	67,50
12,00	190	230	190	2,67	71,25
12,20	150	180	150	2,00	75,00
12,40	140	180	140	2,67	52,50
12,60	120	150	120	2,00	60,00
12,80	100	140	100	2,67	37,50
13,00	140	170	140	2,00	70,00
13,20	120	150	120	2,00	60,00
13,40	120	150	120	2,00	60,00
13,60	130	160	130	2,00	65,00
13,80	140	180	140	2,67	52,50
14,00	150	190	150	2,67	56,25
14,20	160	190	160	2,00	80,00
14,40	110	140	110	2,00	55,00
14,60	110	140	110	2,00	55,00
14,80	100	120	100	1,33	75,00
15,00	140	160	140	1,33	105,00

Prof. (m)	P (kg/cm <sup>2</sup> )	P + L (kg/cm <sup>2</sup> )	Rp (kg/cm <sup>2</sup> )	RI (kg/cm <sup>2</sup> )	Rp/RI [ - ]
15,20	160	190	160	2,00	80,00
15,40	160	190	160	2,00	80,00
15,60	150	180	150	2,00	75,00
15,80	150	190	150	2,67	56,25
16,00	160	200	160	2,67	60,00
16,20	140	180	140	2,67	52,50
16,40	110	140	110	2,00	55,00
16,60	76	100	76	1,60	47,50
16,80	92	120	92	1,87	49,29
17,00	130	160	130	2,00	65,00
17,20	180	210	180	2,00	90,00
17,40	180	220	180	2,67	67,50
17,60	160	200	160	2,67	60,00
17,80	190	220	190	2,00	95,00
18,00	200	260	200	4,00	50,00
18,20	140	180	140	2,67	52,50
18,40	120	160	120	2,67	45,00
18,60	110	140	110	2,00	55,00
18,80	120	140	120	1,33	90,00
19,00	92	120	92	1,87	49,29
19,20	90	120	90	2,00	45,00
19,40	80	110	80	2,00	40,00
19,60	100	120	100	1,33	75,00
19,80	90	110	90	1,33	67,50
20,00	84	110	84	1,73	48,46
20,20	140	160	140	1,33	105,00
20,40	100	130	100	2,00	50,00
20,60	90	120	90	2,00	45,00
20,80	120	140	120	1,33	90,00
21,00	130	160	130	2,00	65,00
21,20	44	64	44	1,33	33,00
21,40	140	160	140	1,33	105,00
21,60	100	120	100	1,33	75,00
21,80	32	48	32	1,07	30,00
22,00	190	210	190	1,33	142,50
22,20	180	210	180	2,00	90,00
22,40	220	260	220	2,67	82,50
22,60	230	280	230	3,33	69,00
22,80	240	300	240	4,00	60,00
23,00	250	300	250	3,33	75,00
23,20	280	340	280	4,00	70,00
23,40	300	380	300	5,33	56,25
23,60	320	400	320	5,33	60,00
23,80	300	380	300	5,33	56,25
24,00	240	280	240	2,67	90,00
24,20	200	240	200	2,67	75,00
24,40	180	210	180	2,00	90,00
24,60	140	170	140	2,00	70,00
24,80	160	190	160	2,00	80,00
25,00	160	200	160	2,67	60,00
25,20	140	160	140	1,33	105,00
25,40	120	140	120	1,33	90,00
25,60	130	170	130	2,67	48,75
25,80	140	170	140	2,00	70,00
26,00	110	130	110	1,33	82,50
26,20	120	150	120	2,00	60,00
26,40	130	160	130	2,00	65,00
26,60	140	170	140	2,00	70,00
26,80	140	170	140	2,00	70,00
27,00	180	210	180	2,00	90,00
27,20	200	220	200	1,33	150,00
27,40	210	240	210	2,00	105,00
27,60	180	210	180	2,00	90,00
27,80	160	190	160	2,00	80,00
28,00	180	200	180	1,33	135,00
28,20	180	210	180	2,00	90,00
28,40	180	220	180	2,67	67,50
28,60	200	240	200	2,67	75,00
28,80	160	200	160	2,67	60,00
29,00	140	170	140	2,00	70,00
29,20	160	190	160	2,00	80,00
29,40	140	170	140	2,00	70,00
29,60	130	160	130	2,00	65,00
29,80	140	170	140	2,00	70,00
30,00	140	160	140	1,33	105,00