

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA
QUADRUPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA
FASE2 – PIEVE EMANUELE – PAVIA

U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI

PROGETTO DEFINITIVO

OPERE PRINCIPALI - PONTI E VIADOTTI

VI02- Ponte sul Naviglio Pavese

Relazione geotecnica dell'opera

SCALA:

-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.

N M 0 Z 2 0 D 0 9 R B V I 0 2 0 3 0 0 1 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato	Data
A	Emissione definitiva	G.Meneschini	Dic. 2018	L.Utzeri	Dic. 2018	S.Borelli	Dic. 2018	A.Viozzi	Dic. 2018

ITALFERR S.p.A.
U.D. Opere Civili e Gestione delle Varianti
Dott. Ing. Angelo Vittozzi
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma
N° A20783

File: NM0Z20D09RBVI0203001A

n. Elab.:

RELAZIONE GEOTECNICA DELL'OPERA

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM0Z	20	D 09 RB	VI0203 001	a	2 DI 28

INDICE

1.	INTRODUZIONE	3
2.	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	6
2.1	NORMATIVE NAZIONALI E RACCOMANDAZIONI.....	6
3.	MATERIALI	7
4.	AZIONE SISMICA.....	9
4.1	VITA NOMINALE	9
4.2	CLASSE D'USO	9
4.3	PERIODO DI RIFERIMENTO PER L'AZIONE SISMICA	9
4.4	ACCELERAZIONE DI PROGETTO	10
4.5	CATEGORIA DI SOTTOSUOLO	11
4.6	CONDIZIONE TOPOGRAFICA.....	11
4.7	MASSIMA ACCELERAZIONE	12
5.	STRATIGRAFIA E PARAMETRI GEOTECNICI DI CALCOLO	13
6.	CAPACITÀ PORTANTE LIMITE VERTICALE DEL PALO SINGOLO	14
6.1	PORTANZA LATERALE	14
6.2	PORTANZA DI BASE.....	15
7.	CAPACITÀ PORTANTE LIMITE ORIZZONTALE DEL PALO SINGOLO	16
8.	CAPACITÀ PORTANTE LIMITE DEL GRUPPO DI PALI	18
8.1	CAPACITÀ PORTANTE LIMITE VERTICALE	18
8.2	CAPACITÀ PORTANTE LIMITE ORIZZONTALE	18
9.	CRITERI DI VERIFICA ALLO SLU DEI PALI	20
10.	CURVE DI CAPACITA' PORTANTE	21
11.	COSTANTE DI REAZIONE ORIZZONTALE.....	24
12.	TABULATI DI CALCOLO	25

1. INTRODUZIONE

Il presente documento riporta le verifiche geotecniche dei pali di fondazione delle spalle del Ponte sul Naviglio Pavese, ubicato al km 26+500 della tratta Pavia - Rogoredo (WBS VI02). Sulla base delle informazioni ad oggi disponibili, e per la natura dei terreni incontrati, per la fondazione delle spalle sono previsti:

Opera	pk	npali	Φpali	i	L
[]	[km]	[]	[mm]	[m]	[m]
Spalla A	26+400	9	1500	4,5	39
Spalla B	26+500	9	1500	4,5	39

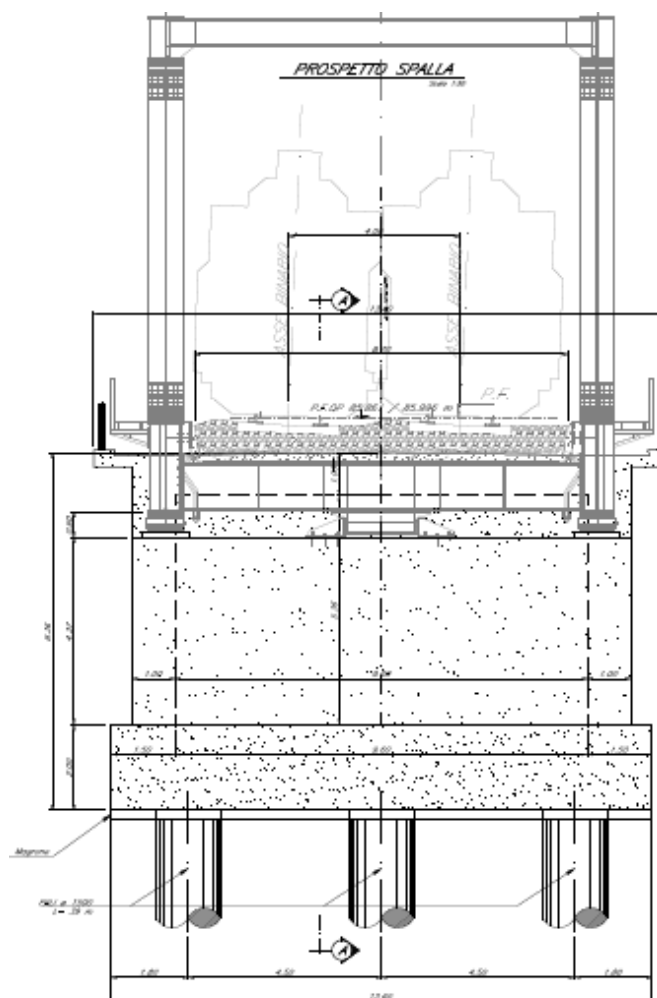


Fig. 1 – Prospetto spalla Ponte sul Naviglio Pavese

RELAZIONE GEOTECNICA DELL'OPERA

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM0Z	20	D 09 RB	VI0203 001	a	4 DI 28

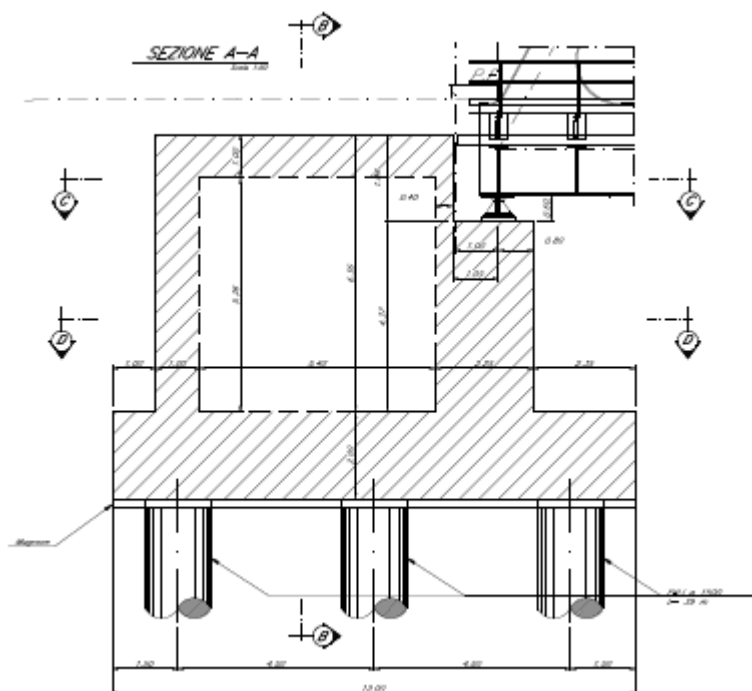


Fig. 2 – Sezione A-A spalla Ponte sul Naviglio Pavese

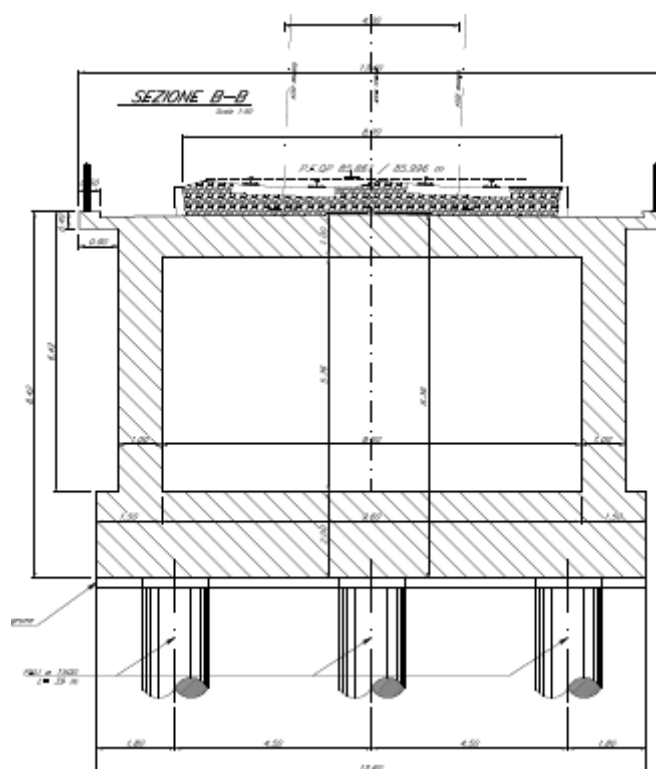


Fig. 3 – Sezione B-B spalla Ponte sul Naviglio Pavese

RELAZIONE GEOTECNICA DELL'OPERA

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM0Z	20	D 09 RB	VI0203 001	a	5 DI 28

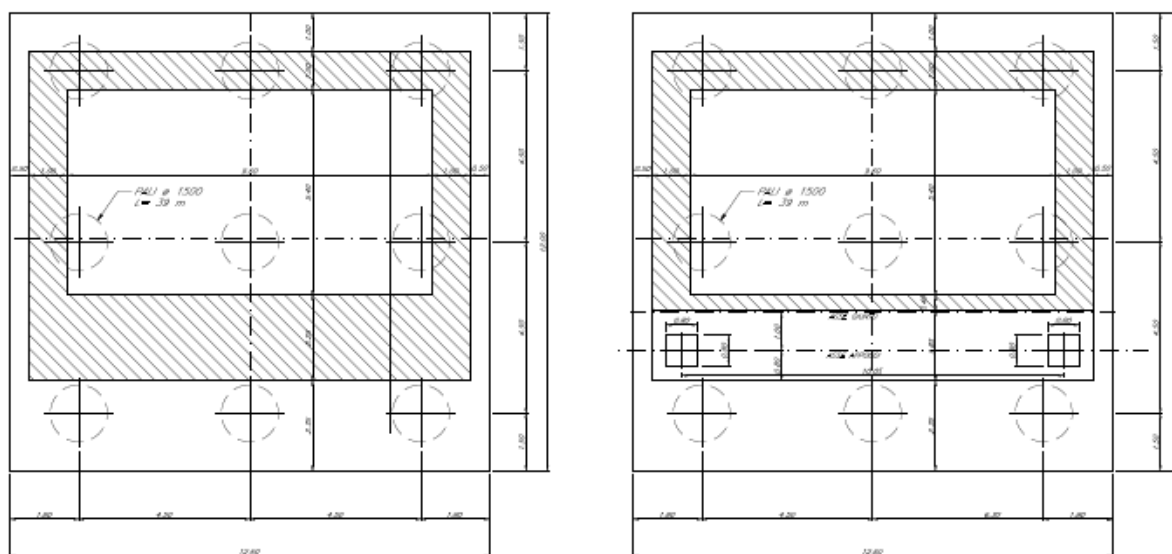


Fig. 4 – Sezioni C-C e D-D Ponte sul Naviglio Pavese

Le verifiche dei pali di fondazione sono state condotte in accordo al metodo semiprobabilistico agli stati limite secondo quanto indicato dalle NTC2008 (Doc.Rif.[6]) e dalla relativa circolare applicativa del 2009 (Doc.Rif.[7]).

La relazione si articola come segue:

- nel capitolo 2 si elencano la normativa applicata ed i documenti di riferimento;
- Nel capitolo 3 si riportano le caratteristiche dei materiali adottati;
- nel capitolo 4 si riporta la definizione dell'azione sismica;
- nel capitolo 5 sono riportate la stratigrafia e i parametri geotecnici di calcolo;
- nel capitolo 6 si riportano i criteri di calcolo della capacità portante del palo singolo a carichi verticali;
- nel capitolo 7 si riportano i criteri di calcolo della capacità portante del palo singolo a carichi orizzontali;
- nel capitolo 8 si riportano i criteri di calcolo della capacità portante del gruppo di pali;
- nel capitolo 9 si riportano i criteri di verifica;
- nel capitolo 10 si riportano le curve di capacità portante.

RELAZIONE GEOTECNICA DELL'OPERA

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM0Z	20	D 09 RB	VI0203 001	a	6 DI 28

2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

- [1] Relazione geotecnica generale - (Doc. rif. –NM0Z20D26RBOC0001001A)
- [2] Profilo geotecnico - Tav. 1/10-10/10 - (Doc. rif.- NM0Z20D26F6OC0001001-7A)
- [3] Pianta scavi e OOPP – (Doc. rif.- NM0Z20D09PAVI0203001A)
- [4] Carpenteria spalle – (Doc. rif.- NM0Z20D09BBVI0204001A)
- [5] Relazione di calcolo spalle - (Doc. rif.- NM0Z20D09CLVI0204001A)

2.1 Normative nazionali e Raccomandazioni

- [6] Decreto Ministeriale del 14 gennaio 2008: “Approvazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni”, G.U. n.29 del 04.2.2008, Supplemento Ordinario n.30.
- [7] Circolare 2 febbraio 2009, n. 617 - Istruzioni per l'applicazione delle “Nuove norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 14 gennaio 2008.
- [8] UNI EN 1997-1 : Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali.
- [9] UNI EN 1998-5 : Eurocodice 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici.
- [10] RFI DTC SI MA IFS 001 A - “Manuale di progettazione delle opere civili”
- [11] RFI DTC SI SP IFS 001 A - “Capitolato generale tecnico d'appalto delle opere civili”

RELAZIONE GEOTECNICA DELL'OPERA

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM0Z	20	D 09 RB	VI0203 001	a	7 DI 28

3. MATERIALI

Per la realizzazione delle opere oggetto della presente relazione sono da impiegare i materiali di seguito elencati:

Calcestruzzo pali: C25/30

R_{ck}	=	30	MPa	resistenza caratteristica cubica
f_{ck}	=	24.9	MPa	resistenza caratteristica cilindrica
f_{cm}	=	32.90	MPa	resistenza cilindrica media
f_{ctm}	=	2.56	MPa	resistenza media a trazione semplice
f_{ctk}	=	3.33	MPa	resistenza caratteristica a trazione semplice
f_{cfm}	=	3.07	MPa	resistenza media a trazione per flessione
E_{cm}	=	31447	MPa	modulo elastico istantaneo
γ_c	=	1.50		coefficiente parziale di sicurezza
α_{cc}	=	0.85		coefficiente riduttivo per resistenze di lunga durata
f_{cd}	=	14.11	MPa	resistenza di calcolo a compressione
f_{ctd}	=	2.22	MPa	resistenza di calcolo a trazione
XC2				classe di esposizione
S5				classe di consistenza
c	=	60	mm	copriferro

RELAZIONE GEOTECNICA DELL'OPERA

Acciaio armatura: B450C:

$f_{y,k}$	=	450	MPa	tensione caratteristica di snervamento
$f_{t,k}$	=	540	MPa	tensione caratteristica di rottura
$(f_t/f_y)_k$	$\geq$	1.15		
$(f_t/f_y)_k$	$<$	1.35		
γ_s	=	1.15		coefficiente di sicurezza
f_{yd}	=	391.30	MPa	tensione di snervamento di calcolo

4. AZIONE SISMICA

Nei confronti delle azioni sismiche gli stati limite sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali e quelli non strutturali. L'azione sismica di seguito definita è stata effettuata con riferimento allo stato limite ultimo di salvaguardia alla vita (SLV).

4.1 Vita nominale

La vita nominale di un'opera strutturale è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve poter essere usata per lo scopo al quale è destinata. Nel caso in oggetto, trattandosi di "opere nuove a velocità <250 km/h" (paragrafo 2.5.1.1.1 del MdP RFI).

La vita nominale risulta pertanto **$V_N = 75 \text{anni}$** .

4.2 Classe d'uso

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un'eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso. Nel caso in oggetto si fa riferimento alla Classe d'uso III: "*Opere d'arte del sistema di grande viabilità ferroviaria*" (paragrafo 2.5.1.1.2 del MdP RFI).

Con riferimento alla classe d'uso sopra definita il coefficiente d'uso è **$C_U=1,5$** .

4.3 Periodo di riferimento per l'azione sismica

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento V_R che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_U .

$$V_R = V_N \times C_U = 75 \text{ anni} \times 1,5 = 112,5 \text{ anni}$$

Le probabilità di superamento P_{VR} nel periodo di riferimento V_R , cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente, è pari al 63% nel caso dello stato limite di esercizio SLD mentre è pari al 10% nel caso dello stato limite ultimo SLV.

4.4 Accelerazione di progetto

Le azioni di progetto si ricavano, ai sensi delle N.T.C. 2008, dalle accelerazioni ag e dalle relative forme spettrali.

Le forme spettrali previste dalle N.T.C. 2008 sono definite, su sito di riferimento rigido orizzontale, in funzione dei tre parametri:

a_g accelerazione orizzontale massima del terreno;

F_0 → valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

T_C^* periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Per ciascun nodo del reticolo di riferimento e per ciascuno dei periodi di ritorno TR considerati dalla pericolosità sismica, i tre parametri si ricavano riferendosi ai valori corrispondenti al 50-esimo percentile ed attribuendo ad:

a_g il valore previsto dalla pericolosità sismica

F_0 e T_C^* i valori ottenuti imponendo che le forme spettrali in accelerazione, velocità e spostamento previste dalle NTC scartino al minimo dalle corrispondenti forme spettrali previste dalla pericolosità sismica.

Le forme spettrali previste dalle NTC08 sono caratterizzate da prescelte probabilità di superamento e vita di riferimento. A tal fine occorre fissare:

la vita di riferimento V_R della costruzione,

le probabilità di superamento nella vita di riferimento P_{VR} associate agli stati limite considerati, per individuare infine, a partire dai dati di pericolosità sismica disponibili, le corrispondenti azioni sismiche.

A tal fine è conveniente utilizzare, come parametro caratterizzante la pericolosità sismica, il periodo di ritorno dell'azione sismica T_R , espresso in anni. Fissata la vita di riferimento V_R , i due parametri T_R e P_{VR} sono immediatamente esprimibili, l'uno in funzione dell'altro, mediante l'espressione:

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})}$$

RELAZIONE GEOTECNICA DELL'OPERA

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM0Z	20	D 09 RB	VI0203 001	a	11 DI 28

I valori dei parametri a_g , F_0 e T_C^* relativi alla pericolosità sismica su reticolo di riferimento nell'intervallo di riferimento sono forniti nelle tabelle riportate nell'ALLEGATO B delle NTC08.

I punti del reticolo di riferimento sono definiti in termini di Latitudine e Longitudine ed ordinati a Latitudine e Longitudine crescenti, facendo variare prima la Longitudine e poi la Latitudine. L'accelerazione al sito a_g è espressa in g ($=9.81\text{m/sec}^2$); F_0 è adimensionale, T_C^* è espresso in secondi.

L'opera è ubicata nel comune di Pavia alla quale corrispondono i parametri di pericolosità sismica riportati in tabella sotto.

Parametri di pericolosità Sismica				
	perio di ritorno T_r	accelerazione orizzontale a_g	amplificazione spettrale F_0	Periodo inizio tratto velocità cost. T_c^*
"Stato Limite"	[anni]	[g]	[-]	[s]
Operatività	68	0.041	2.538	0.231
Danno	113	0.051	2.528	0.254
Salvaguardia della vita	1068	0.113	2.538	0.298
Prevenzione Collasso	2193	0.143	2.567	0.303

4.5 Categoria di sottosuolo

Sulla base di quanto si desume dalle indagini effettuate nel sito in oggetto (prova Down-Hole in corrispondenza del sondaggio DHNMOZP_10) il suolo presente è classificabile in **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 $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < NSPT_{30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < cu_{30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).”*

4.6 Condizione topografica

Le condizioni topografiche superficiali dell'area nella quale ricade l'opera in esame sono ascrivibili nella categoria topografica **T1**.

RELAZIONE GEOTECNICA DELL'OPERA

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM0Z	20	D 09 RB	VI0203 001	a	12 DI 28

Tabella 3.2.IV – Categorie topografiche

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

4.7 Massima accelerazione

Per la categoria di sottosuolo e per la categoria topografica sopra definite, la massima accelerazione è:

categoria sottosuolo		C	
categoria topografica		T1	
Coefficiente		Cc=	1.565
Coeff. Amplificazione stratigrafica		Ss=	1.50
Coeff. Amplificazione topografica		St=	1.00
Coefficiente S	SsxSt	S=	1.50
Massima accelerazione attesa per il sito allo SLV	$a_g \times S$	$a_{max} =$	0.169g

RELAZIONE GEOTECNICA DELL'OPERA

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM0Z	20	D 09 RB	VI0203 001	a	13 DI 28

5. STRATIGRAFIA E PARAMETRI GEOTECNICI DI CALCOLO

In accordo a quanto indicato nella relazione Geotecnica generale (Doc.rif.[1]) per le opere oggetto del presente documento si possono adottare la stratigrafia di calcolo ed i relativi parametri geotecnici definiti per la tratta di riferimento.

In particolare, nel seguito si riportano le tabelle contenenti la stratigrafia di progetto per le opere in esame ed i relativi parametri geotecnici di calcolo:

Stratigrafia di progetto da p.c.

Sondaggi	Q [mslm]	L [m]	SPT	CI	CR	Lefranc	Piezometro	D-H
PNMP21O-06 (2012)	84,00	30	8	-	8	1	x (30m)	-
DHNMOZP_10 (2018)	84,67	40	10	1	-	2	-	x (40m)

Tab. 1 – Sondaggi di riferimento per il Ponte sul Naviglio pavese

Le unità individuate sono principalmente di due tipi:

- S(G) = Sabbie con Ghiaie o (debolmente) Ghiaiose
- S(L)= Sabbie con Limi o (debolmente) Limose

Unità	z [m]	g _{sat} [kN/m ³]	g _{sry} [kN/m ³]	φ [°]	c' [kPa]	E' _{op} [MPa]	Cat.sottosuolo
S(G)	0-10	21	18	28	0	15	C
S(L)	10-30	21	18	30	0	20	

Quota falda 80,50 mslm

Tab. 2 – Stratigrafia di progetto per il Ponte sul Naviglio pavese

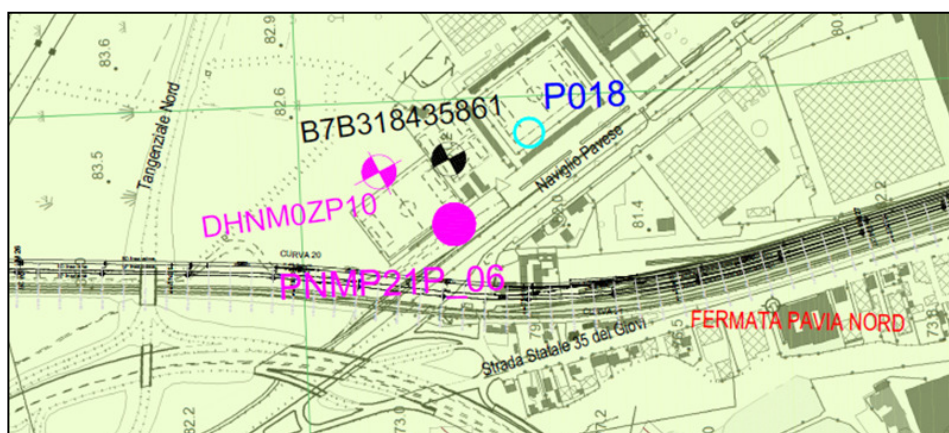


Fig. 5 - Stralcio della carta geologica per le pk in esame

6. CAPACITÀ PORTANTE LIMITE VERTICALE DEL PALO SINGOLO

La capacità portante del palo di fondazione è valutata come somma di un contributo laterale e di un contributo alla base.

$$R_t = R_s + R_b$$

dove:

R_s = resistenza limite laterale;

R_b = resistenza limite di base.

La resistenza limite laterale e di base sono valutate con le seguenti relazioni:

$$R_s = \sum_{j=1}^n A_{s,j} \cdot q_{s,j}, \quad R_b = A_b \cdot q_b,$$

dove:

$A_{s,j}$ = area laterale del palo corrispondente allo stato j ;

$q_{s,j}$ = portanza laterale limite strato j ;

n = numero totale di strati;

A_b = area base palo;

q_b = portanza limite di base.

6.1 Portanza laterale

I pali delle Spalle A e B del Ponte sul naviglio Pavese attraversano per tutta la loro lunghezza unità di tipo Sabbioso (cfr.§5). Il valore di portanza laterale negli strati incoerenti viene calcolato come segue:

$$q_{s,i} = k_{s,i} \cdot \tan \varphi_i \cdot \sigma'_v \leq 170 \text{ kPa}$$

dove:

φ_i = angolo di attrito dello strato i -esimo;

$k_{s,i} = 1 - \sin \varphi_i$.

RELAZIONE GEOTECNICA DELL'OPERA

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM0Z	20	D 09 RB	VI0203 001	a	15 DI 28

6.2 Portanza di base

La portanza di base negli strati incoerenti è valutata con la seguente relazione:

$$q_b = N_q^* \cdot \sigma_v' \leq 4300 \text{ kPa},$$

Con

q_b limite di Gwizdala per terreni sabbiosi (1984);

N_q^* di Berezantzev (corrispondente ad un cedimento pari a $0.06-0.1\Phi$).

7. CAPACITÀ PORTANTE LIMITE ORIZZONTALE DEL PALO SINGOLO

Per determinare la capacità portante dei pali sotto azioni orizzontali (H_{lim}) si segue la teoria di Broms (1964), secondo cui il terreno è assimilato ad un mezzo rigido plastico perfetto ed i pali hanno altrettanto comportamento rigido plastico perfetto. Il palo, se sottoposto ad una forza orizzontale F , subisce uno spostamento nella direzione di applicazione della stessa che porta ad una modifica del diagramma polare delle tensioni normali sul palo, con la nascita di una risultante P [$F/L-1$], avente la stessa direzione dello spostamento ma verso opposto.

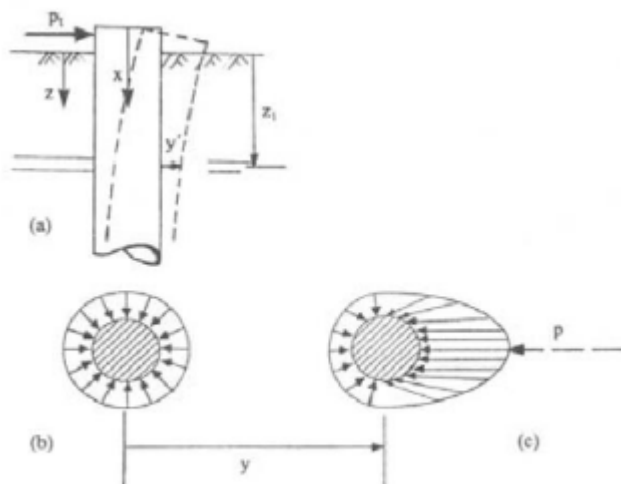


Fig. 6 – Interazione palo-terreno

L'andamento della risultante P lungo il palo è differente a seconda se ci si trova nel caso di terreni coesivi oppure terreni granulari e dal tipo di meccanismo ipotizzato. I meccanismi possibili sono:

- palo corto: traslazione rigida del palo
- palo intermedio: formazione di una cerniera plastica in testa al palo (valido solo nel caso di pali vincolati in testa e non per pali liberi di ruotare)
- palo lungo: formazione di una cerniera plastica ad una certa profondità, al di sotto della quale non avviene nessuna rotazione.

La formazione delle cerniere plastiche avviene non appena nella sezione più sollecitata il momento (M_{max}) supera il momento di plasticizzazione (M_y).

RELAZIONE GEOTECNICA DELL'OPERA

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM0Z	20	D 09 RB	VI0203 001	a	17 DI 28

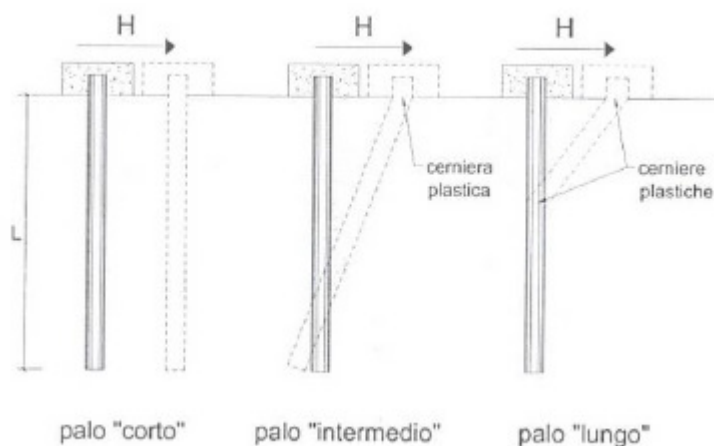


Fig. 7- -Possibili meccanismi di rottura

Nel caso in esame, per la verifica del carico limite orizzontale con la teoria di Broms si considerano pali con rotazione in testa impedita. Le equazioni con cui si determina il carico limite a forze orizzontali dei pali sono quelle definite per terreni incoerenti e dipenderanno da:

- Diametro del palo;
- Caratteristiche del terreno (ϕ');
- Momento di plasticizzazione della sezione,
- Pressione limite agente sul palo.

8. CAPACITÀ PORTANTE LIMITE DEL GRUPPO DI PALI

8.1 Capacità portante limite verticale

Nel caso di pali in terreni granulati la portanza del gruppo di pali viene valutata come segue:

$$Q_{lim,g} = \eta \cdot n_{pali} \cdot Q_{lim,i}$$

dove:

η = efficienza della palificata;

n_{pali} = numero totale di pali;

$Q_{lim,i}$ = portanza del singolo palo

Poiché i pali sono previsti ad interasse pari a 3 volte il diametro, non viene applicato nessun coefficiente di riduzione per effetto gruppo, ovvero si assume un valore di efficienza pari a d1.

8.2 Capacità portante limite orizzontale

Il comportamento di un palo soggetto ad azioni orizzontali all'interno di un gruppo differisce da quello di un palo singolo ed isolato. I principali fattori che influenzano la risposta di un gruppo di pali, e di ciascun singolo palo all'interno del gruppo, sono i seguenti:

- interazione reciproca palo-terreno-palo;
- interazione struttura di collegamento-terreno;
- caratteristiche di rigidità della struttura di collegamento.

Nel caso di un gruppo di pali soggetto a carichi orizzontali la rigidità della struttura di collegamento, caricata nel proprio piano, risulta notevolmente superiore a quella tagliante e flessionale dei pali, che si oppongono a spostamenti aventi direzione ortogonale al proprio asse. Con ottima approssimazione, sotto carichi orizzontali, si può ritenere la struttura di collegamento un elemento infinitamente rigido, e assumere che lo spostamento delle teste dei pali, vincolati nella piastra, siano tutti uguali tra loro. Eterogenea, viceversa, risulta la distribuzione dei carichi sui singoli pali del gruppo.

RELAZIONE GEOTECNICA DELL'OPERA

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM0Z	20	D 09 RB	VI0203 001	a	19 DI 28

In un gruppo di pali caricato da azioni orizzontali i fenomeni di interazione reciproca palo – terreno – palo determinano, complessivamente, una diminuzione della rigidezza del sistema. In generale, a parità di carico medio per palo, lo spostamento in testa del gruppo di pali è maggiore dello spostamento di un palo isolato; allo stesso modo, a parità di spostamento in testa, il carico sopportato dal palo isolato è superiore al carico medio sopportato dal palo del gruppo.

Quantitativamente, l'intensità dell'interazione viene rappresentata definendo l'efficienza η di un gruppo di n pali, come fatto per carichi verticali.

In un gruppo di pali, il contemporaneo verificarsi di fenomeni di interazione sotto forma di effetto ombra (differente risposta dei pali a seconda della fila di appartenenza) e di effetto di bordo (differente risposta dei pali a seconda della posizione nella fila) fa sì che, complessivamente, il gruppo di pali risulti più cedevole del corrispondente palo singolo. Il parametro che quantifica la riduzione della rigidezza del sistema è la già definita *efficienza del gruppo* η . Il valore assunto da tale parametro è, per pali disposti ad interasse ridotto, inferiore ad uno. Al crescere dell'interasse tra i pali l'efficienza tende al valore unitario, fino a divenire esattamente pari ad uno quando le distanze relative tra i pali sono tali da annullare ogni fenomeno di interazione.

Nel caso specifico la portanza laterale del gruppo di pali viene determinata ricorrendo al concetto di efficienza del gruppo η :

$$H_{lim,g} = \eta \cdot n_{pali} \cdot H_{lim,i}$$

dove:

η = efficienza della palificata;

n_{pali} = numero totale di pali;

$H_{lim,i}$ = portanza del singolo palo

Assumendo:

$$\eta = 0.85.$$

9. CRITERI DI VERIFICA ALLO SLU DEI PALI

L'approccio utilizzato per le verifiche delle fondazioni profonde è l'Approccio 2, combinazione dei parametri A1+M1+R3 (NTC08 §6.4.3.1).

Per pali soggetti a carichi verticali la resistenza di progetto va determinata come segue:

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_R} = \frac{\min \left(\frac{R_{calc,media}}{\xi_3}; \frac{R_{calc,min}}{\xi_4} \right)}{\gamma_R}$$

Resistenza	Simbolo	Pali infissi			Pali trivellati			Pali ad elica continua		
	γ_R	(R1)	(R2)	(R3)	(R1)	(R2)	(R3)	(R1)	(R2)	(R3)
Base	γ_b	1,0	1,45	1,15	1,0	1,7	1,35	1,0	1,6	1,3
Laterale in compressione	γ_s	1,0	1,45	1,15	1,0	1,45	1,15	1,0	1,45	1,15
Totale (*)	γ_t	1,0	1,45	1,15	1,0	1,6	1,30	1,0	1,55	1,25
Laterale in trazione	γ_{st}	1,0	1,6	1,25	1,0	1,6	1,25	1,0	1,6	1,25

(*) da applicare alle resistenze caratteristiche dedotte dai risultati di prove di carico di progetto.

Tab. 3 – Coefficienti parziali sulle resistenza (NTC08 tab.6.4.II)

E' da considerare che nelle verifiche effettuate con l'approccio 2 che siano finalizzate al dimensionamento strutturale, il coefficiente γ_R non deve essere portato in conto.

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	≥ 10
ξ_3	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
ξ_4	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21

Tab. 4 – Valori dei coefficienti parziali sulle resistenze in funzione delle verticali indagate (NTC08 tab.6.4.IV)

Per pali soggetti a carichi trasversali la resistenza di progetto va determinata come:

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_T} = \frac{\min \left(\frac{R_{calc,media}}{\xi_3}; \frac{R_{calc,min}}{\xi_4} \right)}{\gamma_T}$$

COEFFICIENTE PARZIALE (R1)	COEFFICIENTE PARZIALE (R2)	COEFFICIENTE PARZIALE (R3)
$\gamma_T = 1,0$	$\gamma_T = 1,6$	$\gamma_T = 1,3$

Tab. 5 – Valori dei coefficienti parziali da applicare alle resistenze caratteristiche per pali soggetti a carichi trasversali (NTC08 tab.6.4.VI)

RELAZIONE GEOTECNICA DELL'OPERA

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM0Z	20	D 09 RB	VI0203 001	a	21 DI 28

10. CURVE DI CAPACITA' PORTANTE

Si riportano di seguito le curve di capacità portante per palo singolo in compressione, in combinazione A1+M1+R3 (DA2).

Per il calcolo della portanza si farà riferimento ai seguenti dati di input, che saranno gli stessi per la Spalla A e per la Spalla B:

Geometria

D _{palo}	1,50	m
Z _{palo}	5,40	m
Z _w	1,40	m
L _{palo}	39,00	m
pp _{k,palo}	1723,0	kN

Stratigrafia da p.c.					Parametri dei terreni		
Unità	sp. [m]	z tetto [m]	z letto [m]		γ [kN/m ³]	c' [kPa]	Φ [°]
1	S(G)	10,00	0	10	21,00	0,00	28,00
2	S(L)	40,00	10	50	21,00	0,00	30,00

Stratigrafia da p.c.		Base L.T.		Laterale L.T.		Valori limite	
Unità		Nq* (LT)	Nc (LT)	ks	μ	s _{lim} [kPa]	q _{lim} [kPa]
1	S(G)	6,21	9,79	0,531	0,532	170,00	4300,00
2	S(L)	8,08	12,26	0,500	0,577	170,00	4300,00

Tab. 6 – Dati di input per il calcolo della portanza del palo singolo

Con riferimento a quanto riportato nel capitolo 9, i valori dei coefficienti parziali sulle azioni e sulle resistenze saranno i seguenti:

Coefficienti parziali sulle Azioni	
A	A1
γ _{g1}	1,35
γ _q	1,50
Coefficienti parziali sui parametri di Resistenza	
R	R3
γ _b	1,35
γ _{l,compressione}	1,15
γ _{l,trazione}	1,25
Coeff. di riduzione funzione delle verticali indagate	
ξ	1,70

Tab. 7 – Coefficienti parziali sulle azioni e sulle resistenze (DA2)

RELAZIONE GEOTECNICA DELL'OPERA

I pali di fondazione hanno lunghezza 39,00m, pertanto il valore della portanza di progetto sarà la somma dei seguenti contributi:

LATERALE		BASE	
$R_{S,k}$ (kN)	$R_{S,d}$ (kN)	$R_{b,k}$ (kN)	$R_{b,d}$ (kN)
15260,04	7805,65	7172,50	3125,27

Il valore del carico limite di progetto per palo singolo sarà dunque:

$$Q_{lim,d} = 10930,92 \text{ kN}$$

A tale valore va sottratto il contributo del peso proprio alleggerito del palo:

$$W_{palo,k} = (\gamma_{cls} - \gamma_{terreno}) \times L_{palo} \times A_{palo} = 275,54 \text{ kN}$$

Il valore di progetto sarà:

$$W_{palo,d} = W_{palo,k} \times \gamma_{G1} = 371,97 \text{ kN}$$

Pertanto, il valore del carico limite di progetto, sottratto del peso proprio del palo sarà:

$$Q_{lim,d} = 10556,85 \text{ kN}$$

Nell'immagine successiva è riportata la curva di capacità portante per il palo in esame (le curve tengono conto del peso del palo sottratto).

Nelle pagine successive sono allegati i tabulati di calcolo.

RELAZIONE GEOTECNICA DELL'OPERA

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM0Z	20	D 09 RB	VI0203 001	a	23 DI 28

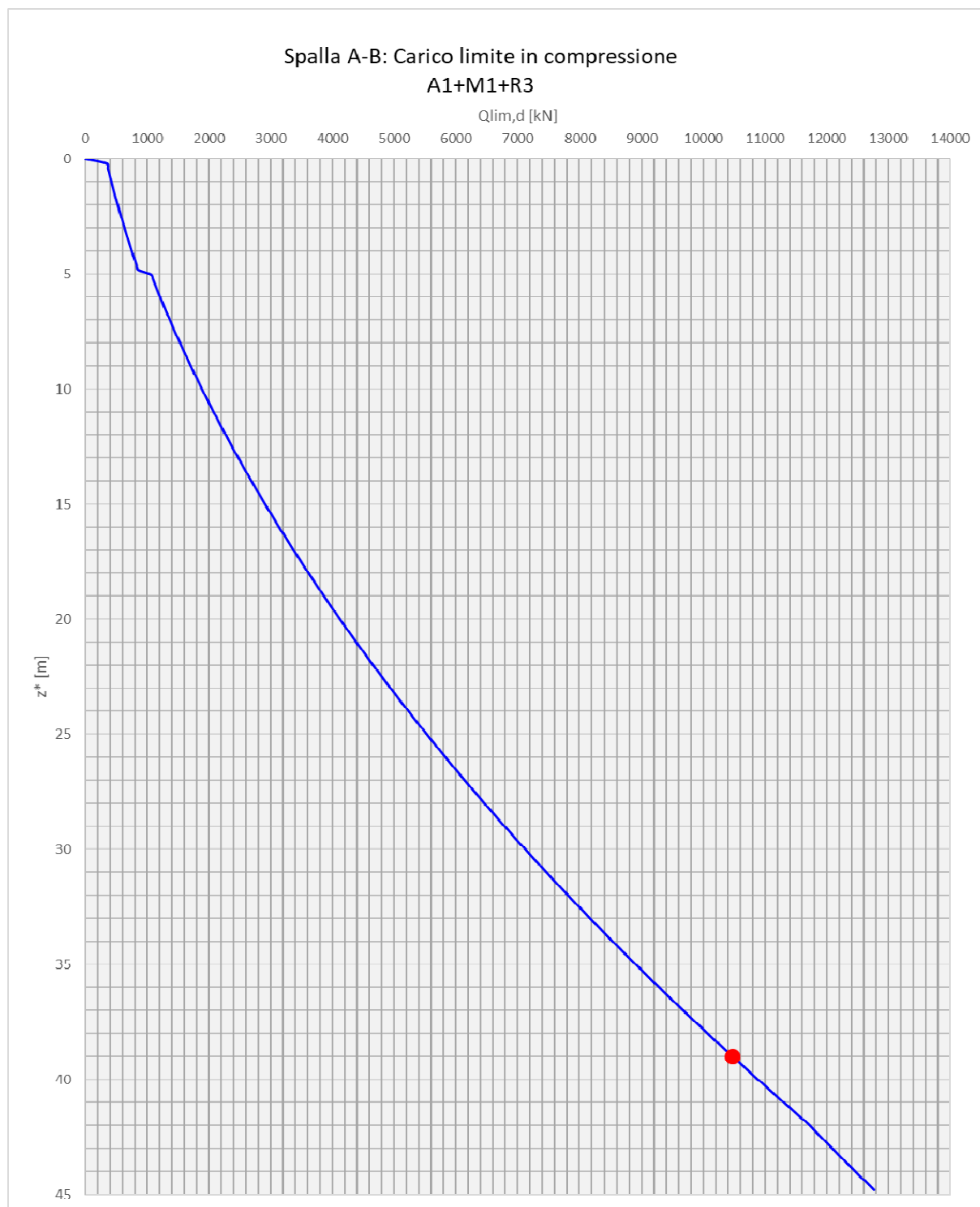


Fig. 8- -Curva di capacità portante palo singolo

RELAZIONE GEOTECNICA DELL'OPERA

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM0Z	20	D 09 RB	VI0203 001	a	24 DI 28

11. COSTANTE DI REAZIONE ORIZZONTALE

Nel caso di pali, soggetti a carichi orizzontali, il terreno viene simulato come mezzo alla Winkler, modellato quindi come un letto di molle orizzontali di costante K_h .

Per terreni granulari è usuale considerare K_h linearmente crescente con la profondità secondo l'espressione di Reese e Matlock (1956).

Per il caso di K_h costante si può fare riferimento alle soluzioni per trave di fondazione nelle quali al posto della dimensione B della trave andrà sostituito il diametro del palo.

In particolare, si fa riferimento a quanto riportato nel § 9.3.2 e 9.3.3 del Viggiani:

$$K_h = K_1 \times [(D+b) / (2D)]^2$$

Con:

b, diametro standard della piastra;

D, diametro del palo di fondazione.

Tab. 9.4 Viggiani			
Valori tipici di k_1 (N/mm ³) per Terreni incoerenti			
Addensamento	Sciolta	Media	Densa
Campo	7 - 20	20 - 100	100 - 350
Val. consigliato Non satura	15	50	175
Val. consigliato Satura	10	30	110

Il valore scelto per la costante di reazione orizzontale è pari a 5000 kN/mm³:

Terreni incoerenti		
k_1	14	N/cm ³
b	30	cm
D	150	cm
k_h	5	N/cm ³

RELAZIONE GEOTECNICA DELL'OPERA

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM0Z	20	D 09 RB	VI0203 001	a	25 DI 28

12. TABULATI DI CALCOLO

Profondità		Unità	P _{palo} alleggerito	Tensioni litostatiche			Portata di base		Portata laterale		Carico limite di progetto	
z [m]	z* [m]	-	pp _{k,palo} [kN]	sv [kPa]	u [kPa]	s'v [kPa]	q _{b,k} (kPa)	Q _{b,k} (kN)	s _{l,k} [kPa]	Q _{s,k} (kN)	Q _{lim,d-comp.r.} (kN)	Q _{lim,d-traz.} (kN)
5,4	0,00	1	1,41	113,40	40,00	73,40	455,67	805,24	0,00	0,00	348,96	1,41
5,6	0,2	1	2,83	117,60	42,00	75,60	469,33	829,37	21,02	19,81	367,70	12,15
5,8	0,4	1	4,24	121,80	44,00	77,80	482,99	853,51	21,64	40,20	386,73	23,16
6	0,6	1	5,65	126,00	46,00	80,00	496,64	877,64	22,26	61,17	406,07	34,44
6,2	0,8	1	7,07	130,20	48,00	82,20	510,30	901,78	22,88	82,74	425,71	46,00
6,4	1	1	8,48	134,40	50,00	84,40	523,96	925,91	23,50	104,88	445,64	57,84
6,6	1,2	1	9,90	138,60	52,00	86,60	537,62	950,05	24,12	127,61	465,88	69,95
6,8	1,4	1	11,31	142,80	54,00	88,80	551,28	974,18	24,74	150,93	486,41	82,34
7	1,6	1	12,72	147,00	56,00	91,00	564,93	998,32	25,36	174,83	507,25	95,00
7,2	1,8	1	14,14	151,20	58,00	93,20	578,59	1022,45	25,98	199,32	528,38	107,93
7,4	2	1	15,55	155,40	60,00	95,40	592,25	1046,59	26,60	224,39	549,81	121,14
7,6	2,2	1	16,96	159,60	62,00	97,60	605,91	1070,72	27,22	250,04	571,54	134,63
7,8	2,4	1	18,38	163,80	64,00	99,80	619,56	1094,86	27,84	276,28	593,57	148,39
8	2,6	1	19,79	168,00	66,00	102,00	633,22	1118,99	28,46	303,11	615,90	162,43
8,2	2,8	1	21,21	172,20	68,00	104,20	646,88	1143,13	29,08	330,52	638,53	176,74
8,4	3	1	22,62	176,40	70,00	106,40	660,54	1167,26	29,70	358,51	661,46	191,33
8,6	3,2	1	24,03	180,60	72,00	108,60	674,19	1191,40	30,32	387,09	684,69	206,19
8,8	3,4	1	25,45	184,80	74,00	110,80	687,85	1215,54	30,94	416,26	708,21	221,33
9	3,6	1	26,86	189,00	76,00	113,00	701,51	1239,67	31,57	446,01	732,04	236,75
9,2	3,8	1	28,27	193,20	78,00	115,20	715,17	1263,81	32,19	476,34	756,16	252,44
9,4	4	1	29,69	197,40	80,00	117,40	728,83	1287,94	32,81	507,26	780,58	268,40
9,6	4,2	1	31,10	201,60	82,00	119,60	742,48	1312,08	33,43	538,77	805,31	284,64
9,8	4,4	1	32,52	205,80	84,00	121,80	756,14	1336,21	34,05	570,86	830,33	301,15
10	4,6	1	33,93	210,00	86,00	124,00	769,80	1360,35	34,67	603,53	855,65	317,94
10,2	4,8	2	35,34	214,20	88,00	126,20	1019,55	1801,69	36,11	637,57	1063,46	335,37
10,4	5	2	36,76	218,40	90,00	128,40	1037,32	1833,10	36,75	672,20	1092,95	353,09
10,6	5,2	2	38,17	222,60	92,00	130,60	1055,10	1864,51	37,38	707,43	1122,75	371,08
10,8	5,4	2	39,58	226,80	94,00	132,80	1072,87	1895,92	38,02	743,27	1152,86	389,36
11	5,6	2	41,00	231,00	96,00	135,00	1090,64	1927,32	38,65	779,70	1183,27	407,91
11,2	5,8	2	42,41	235,20	98,00	137,20	1108,42	1958,73	39,29	816,72	1213,98	426,75
11,4	6	2	43,83	239,40	100,00	139,40	1126,19	1990,14	39,92	854,35	1245,01	445,87
11,6	6,2	2	45,24	243,60	102,00	141,60	1143,96	2021,55	40,56	892,58	1276,34	465,28
11,8	6,4	2	46,65	247,80	104,00	143,80	1161,74	2052,96	41,19	931,40	1307,97	484,96
12	6,6	2	48,07	252,00	106,00	146,00	1179,51	2084,36	41,83	970,82	1339,92	504,93
12,2	6,8	2	49,48	256,20	108,00	148,20	1197,28	2115,77	42,46	1010,85	1372,16	525,17
12,4	7	2	50,89	260,40	110,00	150,40	1215,06	2147,18	43,10	1051,47	1404,72	545,70
12,6	7,2	2	52,31	264,60	112,00	152,60	1232,83	2178,59	43,73	1092,68	1437,58	566,51
12,8	7,4	2	53,72	268,80	114,00	154,80	1250,60	2210,00	44,37	1134,50	1470,75	587,60
13	7,6	2	55,13	273,00	116,00	157,00	1268,38	2241,41	45,00	1176,92	1504,22	608,98
13,2	7,8	2	56,55	277,20	118,00	159,20	1286,15	2272,81	45,64	1219,93	1538,00	630,63
13,4	8	2	57,96	281,40	120,00	161,40	1303,92	2304,22	46,27	1263,54	1572,08	652,57
13,6	8,2	2	59,38	285,60	122,00	163,60	1321,70	2335,63	46,91	1307,76	1606,48	674,79
13,8	8,4	2	60,79	289,80	124,00	165,80	1339,47	2367,04	47,54	1352,57	1641,17	697,29
14	8,6	2	62,20	294,00	126,00	168,00	1357,24	2398,45	48,18	1397,97	1676,18	720,07
14,2	8,8	2	63,62	298,20	128,00	170,20	1375,02	2429,86	48,81	1443,98	1711,49	743,14
14,4	9	2	65,03	302,40	130,00	172,40	1392,79	2461,26	49,45	1490,59	1747,10	766,48
14,6	9,2	2	66,44	306,60	132,00	174,60	1410,56	2492,67	50,09	1537,79	1783,03	790,11
14,8	9,4	2	67,86	310,80	134,00	176,80	1428,34	2524,08	50,72	1585,59	1819,25	814,02
15	9,6	2	69,27	315,00	136,00	179,00	1446,11	2555,49	51,36	1634,00	1855,79	838,21
15,2	9,8	2	70,69	319,20	138,00	181,20	1463,88	2586,90	51,99	1682,99	1892,63	862,68
15,4	10	2	72,10	323,40	140,00	183,40	1481,66	2618,31	52,63	1732,59	1929,78	887,44

RELAZIONE GEOTECNICA DELL'OPERA

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM0Z	20	D 09 RB	VI0203 001	a	26 DI 28

Profondità		Unità	P _{palo} alleggerito	Tensioni litostatiche			Portata di base		Portata laterale		Carico limite di progetto	
z [m]	z' [m]	-	pp _{k,palo} [kN]	sv [kPa]	u [kPa]	s'v [kPa]	q _{b,k} (kPa)	Q _{b,k} (kN)	s _{l,k} [kPa]	Q _{s,k} (kN)	Q _{lim,d-compr.} (kN)	Q _{lim,d-traz.} (kN)
15,6	10,2	2	73,51	327,60	142,00	185,60	1499,43	2649,71	53,26	1782,79	1967,23	912,47
15,8	10,4	2	74,93	331,80	144,00	187,80	1517,20	2681,12	53,90	1833,59	2004,99	937,79
16	10,6	2	76,34	336,00	146,00	190,00	1534,98	2712,53	54,53	1884,98	2043,05	963,39
16,2	10,8	2	77,75	340,20	148,00	192,20	1552,75	2743,94	55,17	1936,97	2081,43	989,27
16,4	11	2	79,17	344,40	150,00	194,40	1570,52	2775,35	55,80	1989,56	2120,10	1015,43
16,6	11,2	2	80,58	348,60	152,00	196,60	1588,30	2806,75	56,44	2042,75	2159,09	1041,88
16,8	11,4	2	82,00	352,80	154,00	198,80	1606,07	2838,16	57,07	2096,54	2198,38	1068,60
17	11,6	2	83,41	357,00	156,00	201,00	1623,84	2869,57	57,71	2150,93	2237,97	1095,61
17,2	11,8	2	84,82	361,20	158,00	203,20	1641,62	2900,98	58,34	2205,91	2277,88	1122,90
17,4	12	2	86,24	365,40	160,00	205,40	1659,39	2932,39	58,98	2261,50	2318,09	1150,47
17,6	12,2	2	87,65	369,60	162,00	207,60	1677,17	2963,80	59,61	2317,68	2358,60	1178,32
17,8	12,4	2	89,06	373,80	164,00	209,80	1694,94	2995,20	60,25	2374,46	2399,42	1206,46
18	12,6	2	90,48	378,00	166,00	212,00	1712,71	3026,61	60,88	2431,84	2440,55	1234,87
18,2	12,8	2	91,89	382,20	168,00	214,20	1730,49	3058,02	61,52	2489,82	2481,98	1263,57
18,4	13	2	93,31	386,40	170,00	216,40	1748,26	3089,43	62,15	2548,39	2523,72	1292,55
18,6	13,2	2	94,72	390,60	172,00	218,60	1766,03	3120,84	62,79	2607,57	2565,77	1321,81
18,8	13,4	2	96,13	394,80	174,00	220,80	1783,81	3152,25	63,42	2667,34	2608,12	1351,35
19	13,6	2	97,55	399,00	176,00	223,00	1801,58	3183,65	64,06	2727,72	2650,78	1381,18
19,2	13,8	2	98,96	403,20	178,00	225,20	1819,35	3215,06	64,69	2788,69	2693,74	1411,28
19,4	14	2	100,37	407,40	180,00	227,40	1837,13	3246,47	65,33	2850,26	2737,01	1441,67
19,6	14,2	2	101,79	411,60	182,00	229,60	1854,90	3277,88	65,96	2912,42	2780,59	1472,34
19,8	14,4	2	103,20	415,80	184,00	231,80	1872,67	3309,29	66,60	2975,19	2824,47	1503,29
20	14,6	2	104,62	420,00	186,00	234,00	1890,45	3340,69	67,23	3038,56	2868,66	1534,52
20,2	14,8	2	106,03	424,20	188,00	236,20	1908,22	3372,10	67,87	3102,52	2913,15	1566,04
20,4	15	2	107,44	428,40	190,00	238,40	1925,99	3403,51	68,50	3167,08	2957,95	1597,83
20,6	15,2	2	108,86	432,60	192,00	240,60	1943,77	3434,92	69,14	3232,24	3003,06	1629,91
20,8	15,4	2	110,27	436,80	194,00	242,80	1961,54	3466,33	69,77	3298,00	3048,48	1662,27
21	15,6	2	111,68	441,00	196,00	245,00	1979,31	3497,74	70,41	3364,36	3094,20	1694,91
21,2	15,8	2	113,10	445,20	198,00	247,20	1997,09	3529,14	71,04	3431,32	3140,22	1727,83
21,4	16	2	114,51	449,40	200,00	249,40	2014,86	3560,55	71,68	3498,87	3186,55	1761,04
21,6	16,2	2	115,92	453,60	202,00	251,60	2032,63	3591,96	72,31	3567,02	3233,19	1794,52
21,8	16,4	2	117,34	457,80	204,00	253,80	2050,41	3623,37	72,95	3635,78	3280,14	1828,29
22	16,6	2	118,75	462,00	206,00	256,00	2068,18	3654,78	73,58	3705,13	3327,39	1862,34
22,2	16,8	2	120,17	466,20	208,00	258,20	2085,95	3686,19	74,22	3775,08	3374,94	1896,67
22,4	17	2	121,58	470,40	210,00	260,40	2103,73	3717,59	74,85	3845,62	3422,81	1931,29
22,6	17,2	2	122,99	474,60	212,00	262,60	2121,50	3749,00	75,49	3916,77	3470,97	1966,18
22,8	17,4	2	124,41	478,80	214,00	264,80	2139,27	3780,41	76,12	3988,52	3519,45	2001,36
23	17,6	2	125,82	483,00	216,00	267,00	2157,05	3811,82	76,76	4060,86	3568,23	2036,81
23,2	17,8	2	127,23	487,20	218,00	269,20	2174,82	3843,23	77,39	4133,80	3617,32	2072,55
23,4	18	2	128,65	491,40	220,00	271,40	2192,59	3874,63	78,03	4207,34	3666,71	2108,57
23,6	18,2	2	130,06	495,60	222,00	273,60	2210,37	3906,04	78,66	4281,48	3716,41	2144,88
23,8	18,4	2	131,48	499,80	224,00	275,80	2228,14	3937,45	79,30	4356,22	3766,42	2181,46
24	18,6	2	132,89	504,00	226,00	278,00	2245,91	3968,86	79,93	4431,55	3816,73	2218,33
24,2	18,8	2	134,30	508,20	228,00	280,20	2263,69	4000,27	80,57	4507,49	3867,35	2255,47
24,4	19	2	135,72	512,40	230,00	282,40	2281,46	4031,68	81,20	4584,02	3918,27	2292,90
24,6	19,2	2	137,13	516,60	232,00	284,60	2299,24	4063,08	81,84	4661,15	3969,50	2330,61
24,8	19,4	2	138,54	520,80	234,00	286,80	2317,01	4094,49	82,47	4738,88	4021,04	2368,61
25	19,6	2	139,96	525,00	236,00	289,00	2334,78	4125,90	83,11	4817,21	4072,88	2406,88
25,2	19,8	2	141,37	529,20	238,00	291,20	2352,56	4157,31	83,74	4896,14	4125,03	2445,44
25,4	20	2	142,79	533,40	240,00	293,40	2370,33	4188,72	84,38	4975,67	4177,49	2484,28

RELAZIONE GEOTECNICA DELL'OPERA

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM0Z	20	D 09 RB	VI0203 001	a	27 DI 28

Profondità		Unità	P _{palo} alleggerito	Tensioni litostatiche			Portata di base		Portata laterale		Carico limite di progetto	
z [m]	z' [m]	-	pp _{k,palo} [kN]	sv [kPa]	u [kPa]	s'v [kPa]	q _{b,k} (kPa)	Q _{b,k} (kN)	s _{l,k} [kPa]	Q _{s,k} (kN)	Q _{lim,d-compr.} (kN)	Q _{lim,d-traz.} (kN)
25,6	20,2	2	144,20	537,60	242,00	296,60	2388,10	4220,13	85,01	5055,79	4230,25	2523,39
25,8	20,4	2	145,61	541,80	244,00	297,80	2405,88	4251,53	85,65	5136,51	4283,32	2562,80
26	20,6	2	147,03	546,00	246,00	300,00	2423,65	4282,94	86,28	5217,84	4336,69	2602,48
26,2	20,8	2	148,44	550,20	248,00	302,20	2441,42	4314,35	86,92	5299,76	4390,37	2642,44
26,4	21	2	149,85	554,40	250,00	304,40	2459,20	4345,76	87,56	5382,28	4444,36	2682,69
26,6	21,2	2	151,27	558,60	252,00	306,60	2476,97	4377,17	88,19	5465,39	4498,65	2723,22
26,8	21,4	2	152,68	562,80	254,00	308,80	2494,74	4408,57	88,83	5549,11	4553,25	2764,03
27	21,6	2	154,10	567,00	256,00	311,00	2512,52	4439,98	89,46	5633,42	4608,15	2805,12
27,2	21,8	2	155,51	571,20	258,00	313,20	2530,29	4471,39	90,10	5718,34	4663,36	2846,49
27,4	22	2	156,92	575,40	260,00	315,40	2548,06	4502,80	90,73	5803,85	4718,88	2888,14
27,6	22,2	2	158,34	579,60	262,00	317,60	2565,84	4534,21	91,37	5889,96	4774,70	2930,08
27,8	22,4	2	159,75	583,80	264,00	319,80	2583,61	4565,62	92,00	5976,67	4830,83	2972,30
28	22,6	2	161,16	588,00	266,00	322,00	2601,38	4597,02	92,64	6063,97	4887,27	3014,80
28,2	22,8	2	162,58	592,20	268,00	324,20	2619,16	4628,43	93,27	6151,88	4944,01	3057,58
28,4	23	2	163,99	596,40	270,00	326,40	2636,93	4659,84	93,91	6240,38	5001,06	3100,64
28,6	23,2	2	165,40	600,60	272,00	328,60	2654,70	4691,25	94,54	6329,49	5058,41	3143,99
28,8	23,4	2	166,82	604,80	274,00	330,80	2672,48	4722,66	95,18	6419,19	5116,07	3187,61
29	23,6	2	168,23	609,00	276,00	333,00	2690,25	4754,07	95,81	6509,49	5174,04	3231,52
29,2	23,8	2	169,65	613,20	278,00	335,20	2708,02	4785,47	96,45	6600,39	5232,31	3275,71
29,4	24	2	171,06	617,40	280,00	337,40	2725,80	4816,88	97,08	6691,88	5290,89	3320,18
29,6	24,2	2	172,47	621,60	282,00	339,60	2743,57	4848,29	97,72	6783,98	5349,77	3364,93
29,8	24,4	2	173,89	625,80	284,00	341,80	2761,34	4879,70	98,35	6876,67	5408,96	3409,97
30	24,6	2	175,30	630,00	286,00	344,00	2779,12	4911,11	98,99	6969,97	5468,46	3455,28
30,2	24,8	2	176,71	634,20	288,00	346,20	2796,89	4942,51	99,62	7063,86	5528,26	3500,88
30,4	25	2	178,13	638,40	290,00	348,40	2814,66	4973,92	100,26	7158,35	5588,37	3546,76
30,6	25,2	2	179,54	642,60	292,00	350,60	2832,44	5005,33	100,89	7253,44	5648,79	3592,92
30,8	25,4	2	180,96	646,80	294,00	352,80	2850,21	5036,74	101,53	7349,12	5709,51	3639,37
31	25,6	2	182,37	651,00	296,00	355,00	2867,98	5068,15	102,16	7445,41	5770,54	3686,09
31,2	25,8	2	183,78	655,20	298,00	357,20	2885,76	5099,56	102,80	7542,29	5831,87	3733,10
31,4	26	2	185,20	659,40	300,00	359,40	2903,53	5130,96	103,43	7639,78	5893,51	3780,39
31,6	26,2	2	186,61	663,60	302,00	361,60	2921,31	5162,37	104,07	7737,86	5955,46	3827,95
31,8	26,4	2	188,02	667,80	304,00	363,80	2939,08	5193,78	104,70	7836,54	6017,71	3875,81
32	26,6	2	189,44	672,00	306,00	366,00	2956,85	5225,19	105,34	7935,81	6080,27	3923,94
32,2	26,8	2	190,85	676,20	308,00	368,20	2974,63	5256,60	105,97	8035,69	6143,13	3972,35
32,4	27	2	192,27	680,40	310,00	370,40	2992,40	5288,01	106,61	8136,17	6206,31	4021,05
32,6	27,2	2	193,68	684,60	312,00	372,60	3010,17	5319,41	107,24	8237,24	6269,78	4070,03
32,8	27,4	2	195,09	688,80	314,00	374,80	3027,95	5350,82	107,88	8338,91	6333,57	4119,29
33	27,6	2	196,51	693,00	316,00	377,00	3045,72	5382,23	108,51	8441,18	6397,66	4168,83
33,2	27,8	2	197,92	697,20	318,00	379,20	3063,49	5413,64	109,15	8544,05	6462,05	4218,65
33,4	28	2	199,33	701,40	320,00	381,40	3081,27	5445,05	109,78	8647,52	6526,75	4268,76
33,6	28,2	2	200,75	705,60	322,00	383,60	3099,04	5476,45	110,42	8751,59	6591,76	4319,14
33,8	28,4	2	202,16	709,80	324,00	385,80	3116,81	5507,86	111,05	8856,25	6657,08	4369,81
34	28,6	2	203,58	714,00	326,00	388,00	3134,59	5539,27	111,69	8961,52	6722,70	4420,76
34,2	28,8	2	204,99	718,20	328,00	390,20	3152,36	5570,68	112,32	9067,38	6788,62	4471,99
34,4	29	2	206,40	722,40	330,00	392,40	3170,13	5602,09	112,96	9173,84	6854,86	4523,50
34,6	29,2	2	207,82	726,60	332,00	394,60	3187,91	5633,50	113,59	9280,90	6921,39	4575,30
34,8	29,4	2	209,23	730,80	334,00	396,80	3205,68	5664,90	114,23	9388,56	6988,24	4627,38
35	29,6	2	210,64	735,00	336,00	399,00	3223,45	5696,31	114,86	9496,82	7055,39	4679,73
35,2	29,8	2	212,06	739,20	338,00	401,20	3241,23	5727,72	115,50	9605,67	7122,85	4732,37
35,4	30	2	213,47	743,40	340,00	403,40	3259,00	5759,13	116,13	9715,12	7190,61	4785,29

RELAZIONE GEOTECNICA DELL'OPERA

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM0Z	20	D 09 RB	VI0203 001	a	28 DI 28

Profondità		Unità	P _{palo} alleggerito	Tensioni litostatiche			Portata di base		Portata laterale		Carico limite di progetto	
z [m]	z' [m]	-	pp _{k,palo} [kN]	sv [kPa]	u [kPa]	s'v [kPa]	q _{b,k} (kPa)	Q _{b,k} (kN)	sl _k [kPa]	Q _{s,k} (kN)	Q _{lim,d-comp.r.} (kN)	Q _{lim,d-traz.} (kN)
35,6	30,2	2	214,88	747,60	342,00	405,60	3276,77	5790,54	116,77	9825,18	7258,68	4838,50
35,8	30,4	2	216,30	751,80	344,00	407,80	3294,55	5821,95	117,40	9935,83	7327,06	4891,98
36	30,6	2	217,71	756,00	346,00	410,00	3312,32	5853,35	118,04	10047,08	7395,74	4945,75
36,2	30,8	2	219,13	760,20	348,00	412,20	3330,09	5884,76	118,67	10158,92	7464,73	4999,80
36,4	31	2	220,54	764,40	350,00	414,40	3347,87	5916,17	119,31	10271,37	7534,02	5054,13
36,6	31,2	2	221,95	768,60	352,00	416,60	3365,64	5947,58	119,94	10384,42	7603,62	5108,74
36,8	31,4	2	223,37	772,80	354,00	418,80	3383,41	5978,99	120,58	10498,06	7673,53	5163,63
37	31,6	2	224,78	777,00	356,00	421,00	3401,19	6010,39	121,21	10612,30	7743,74	5218,81
37,2	31,8	2	226,19	781,20	358,00	423,20	3418,96	6041,80	121,85	10727,14	7814,26	5274,26
37,4	32	2	227,61	785,40	360,00	425,40	3436,73	6073,21	122,48	10842,58	7885,09	5330,00
37,6	32,2	2	229,02	789,60	362,00	427,60	3454,51	6104,62	123,12	10958,62	7956,22	5386,02
37,8	32,4	2	230,44	793,80	364,00	429,80	3472,28	6136,03	123,76	11075,26	8027,65	5442,32
38	32,6	2	231,85	798,00	366,00	432,00	3490,05	6167,44	124,39	11192,49	8099,40	5498,90
38,2	32,8	2	233,26	802,20	368,00	434,20	3507,83	6198,84	125,03	11310,32	8171,45	5555,77
38,4	33	2	234,68	806,40	370,00	436,40	3525,60	6230,25	125,66	11428,76	8243,80	5612,92
38,6	33,2	2	236,09	810,60	372,00	438,60	3543,38	6261,66	126,30	11547,79	8316,47	5670,34
38,8	33,4	2	237,50	814,80	374,00	440,80	3561,15	6293,07	126,93	11667,42	8389,43	5728,05
39	33,6	2	238,92	819,00	376,00	443,00	3578,92	6324,48	127,57	11787,64	8462,71	5786,04
39,2	33,8	2	240,33	823,20	378,00	445,20	3596,70	6355,89	128,20	11908,47	8536,29	5844,32
39,4	34	2	241,75	827,40	380,00	447,40	3614,47	6387,29	128,84	12029,90	8610,18	5902,87
39,6	34,2	2	243,16	831,60	382,00	449,60	3632,24	6418,70	129,47	12151,92	8684,37	5961,71
39,8	34,4	2	244,57	835,80	384,00	451,80	3650,02	6450,11	130,11	12274,54	8758,87	6020,23
40	34,6	2	245,99	840,00	386,00	454,00	3667,79	6481,52	130,74	12397,76	8833,67	6080,23
40,2	34,8	2	247,40	844,20	388,00	456,20	3685,56	6512,93	131,38	12521,58	8908,79	6139,91
40,4	35	2	248,81	848,40	390,00	458,40	3703,34	6544,33	132,01	12646,00	8984,20	6199,87
40,6	35,2	2	250,23	852,60	392,00	460,60	3721,11	6575,74	132,65	12771,01	9059,93	6260,12
40,8	35,4	2	251,64	856,80	394,00	462,80	3738,88	6607,15	133,28	12896,63	9135,96	6320,64
41	35,6	2	253,06	861,00	396,00	465,00	3756,66	6638,56	133,92	13022,84	9212,29	6381,45
41,2	35,8	2	254,47	865,20	398,00	467,20	3774,43	6669,97	134,55	13149,65	9288,94	6442,54
41,4	36	2	255,88	869,40	400,00	469,40	3792,20	6701,38	135,19	13277,06	9365,88	6503,91
41,6	36,2	2	257,30	873,60	402,00	471,60	3809,98	6732,78	135,82	13405,07	9443,14	6565,57
41,8	36,4	2	258,71	877,80	404,00	473,80	3827,75	6764,19	136,46	13533,68	9520,70	6627,50
42	36,6	2	260,12	882,00	406,00	476,00	3845,52	6795,60	137,09	13662,89	9598,57	6689,72
42,2	36,8	2	261,54	886,20	408,00	478,20	3863,30	6827,01	137,73	13792,69	9676,74	6752,22
42,4	37	2	262,95	890,40	410,00	480,40	3881,07	6858,42	138,36	13923,09	9755,22	6815,00
42,6	37,2	2	264,37	894,60	412,00	482,60	3898,84	6889,83	139,00	14054,10	9834,01	6878,06
42,8	37,4	2	265,78	898,80	414,00	484,80	3916,62	6921,23	139,63	14185,70	9913,10	6941,40
43	37,6	2	267,19	903,00	416,00	487,00	3934,39	6952,64	140,27	14317,89	9992,49	7005,02
43,2	37,8	2	268,61	907,20	418,00	489,20	3952,16	6984,05	140,90	14450,69	10072,20	7068,93
43,4	38	2	270,02	911,40	420,00	491,40	3969,94	7015,46	141,54	14584,09	10152,21	7133,12
43,6	38,2	2	271,43	915,60	422,00	493,60	3987,71	7046,87	142,17	14718,08	10232,53	7197,59
43,8	38,4	2	272,85	919,80	424,00	495,80	4005,48	7078,28	142,81	14852,67	10313,15	7262,34
44	38,6	2	274,26	924,00	426,00	498,00	4023,26	7109,68	143,44	14987,87	10394,08	7327,37
44,2	38,8	2	275,67	928,20	428,00	500,20	4041,03	7141,09	144,08	15123,66	10475,31	7392,69
44,4	39	2	277,09	932,40	430,00	502,40	4058,80	7172,50	144,71	15260,04	10556,85	7458,29
44,6	39,2	2	278,50	936,60	432,00	504,60	4076,58	7203,91	145,35	15397,03	10638,70	7524,16
44,8	39,4	2	279,92	940,80	434,00	506,80	4094,35	7235,32	145,98	15534,62	10720,85	7590,32
45	39,6	2	281,33	945,00	436,00	509,00	4112,12	7266,72	146,62	15672,80	10803,31	7656,77
45,2	39,8	2	282,74	949,20	438,00	511,20	4129,90	7298,13	147,25	15811,59	10886,08	7723,49
45,4	40	2	284,16	953,40	440,00	513,40	4147,67	7329,54	147,89	15950,97	10969,15	7790,49