

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



**POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA**  
**QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA**  
**FASE1 – QUADRUPPLICAMENTO MI ROGOREDO – PIEVE EMANUELE**

**U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI**

**PROGETTO DEFINITIVO**

**OPERE PRINCIPALI - PONTI E VIADOTTI**

VI01- Ponte sul Fiume Lambro meridionale

Relazione geotecnica dell'opera

SCALA:

-

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

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

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato	Data
A	Emissione definitiva	A.F. Rotunno	Dic. 2018	L. Utzeri	Dic. 2018	S. Borelli	Dic. 2018	A. Vittozzi	Dic. 2018

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

File: NM0Z10D09RBVI0103001A

n. Elab.:

**RELAZIONE GEOTECNICA DELL'OPERA**

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM0Z	10	D 09 RB	VI0103 001	a	2 DI 30

**INDICE**

1.	INTRODUZIONE .....	4
2.	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....	8
2.1	NORMATIVE NAZIONALI E RACCOMANDAZIONI.....	8
3.	MATERIALI.....	9
4.	AZIONE SISMICA.....	11
4.1	VITA NOMINALE.....	11
4.2	CLASSE D'USO .....	11
4.3	PERIODO DI RIFERIMENTO PER L'AZIONE SISMICA.....	12
4.4	ACCELERAZIONE DI PROGETTO .....	12
4.5	CATEGORIA DI SOTTOSUOLO .....	13
4.6	CONDIZIONE TOPOGRAFICA .....	14
4.7	MASSIMA ACCELERAZIONE.....	14
5.	STRATIGRAFIA E PARAMETRI GEOTECNICI DI CALCOLO .....	15
6.	CAPACITÀ PORTANTE LIMITE VERTICALE DEL PALO SINGOLO .....	16
6.1	PORTANZA LATERALE .....	16
6.2	PORTANZA DI BASE .....	17
7.	CAPACITÀ PORTANTE LIMITE ORIZZONTALE DEL PALO SINGOLO.....	18
8.	CAPACITÀ PORTANTE LIMITE DEL GRUPPO DI PALI .....	20
8.1	CAPACITÀ PORTANTE LIMITE VERTICALE.....	20
8.2	CAPACITÀ PORTANTE LIMITE ORIZZONTALE .....	20
9.	CRITERI DI VERIFICA ALLO SLU DEI PALI .....	23
10.	CURVE DI CAPACITÀ PORTANTE .....	24
11.	COSTANTE DI REAZIONE ORIZZONTALE.....	26
12.	TABULATI DI CALCOLO .....	27
12.1	TABULATI DI CALCOLO .....	28



POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO – GENOVA  
QUADRUPPLICAMENTO MILANO ROGOREDO - PAVIA  
VI01- Ponte sul Fiume Lambro meridionale  
**PROGETTO DEFINITIVO**

**RELAZIONE GEOTECNICA DELL'OPERA**

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM0Z	10	D 09 RB	VI0103 001	a	3 DI 30

ALLEGATO A: Report di calcolo Paratie

## 1. INTRODUZIONE

Il presente documento riporta le verifiche geotecniche dei pali di fondazione delle spalle del Ponte sul fiume Lambro, ubicato al km 9+965 della tratta Pavia - Rogoredo (WBS VI01). Sulla base delle informazioni ad oggi disponibili, e per la natura dei terreni incontrati, per la fondazione delle spalle sono previsti:

Opera	pk	n°pali	ϕpali	i	L
	[km]	[-]	[mm]	[m]	[ms/m]
Spalla A	9+986	12	1500	4.5	42
Spalla B	9+945	12	1500	4.5	42

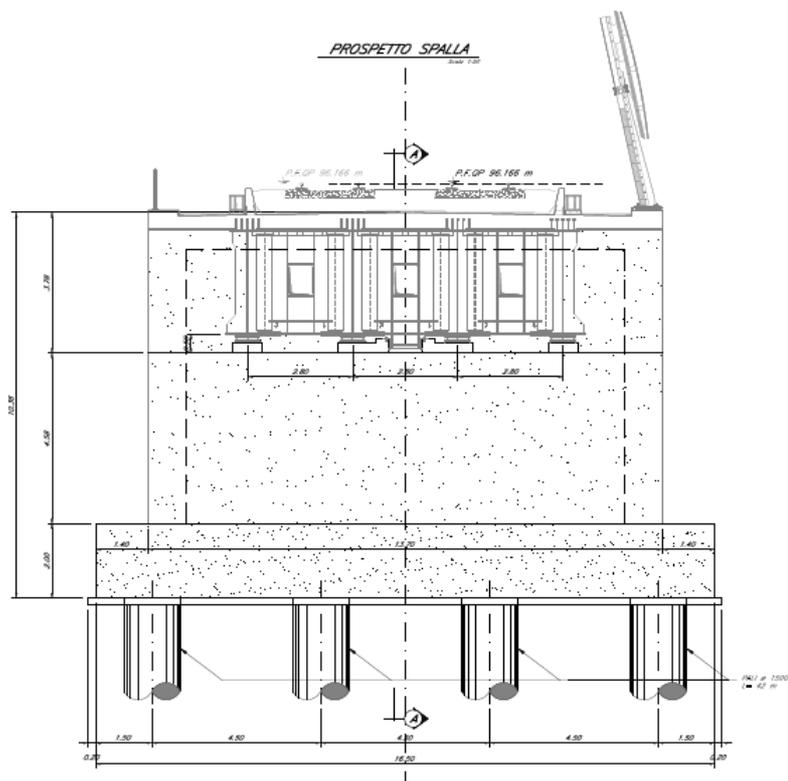


Fig. 1 – Prospetto spalla Ponte sul fiume Lambro

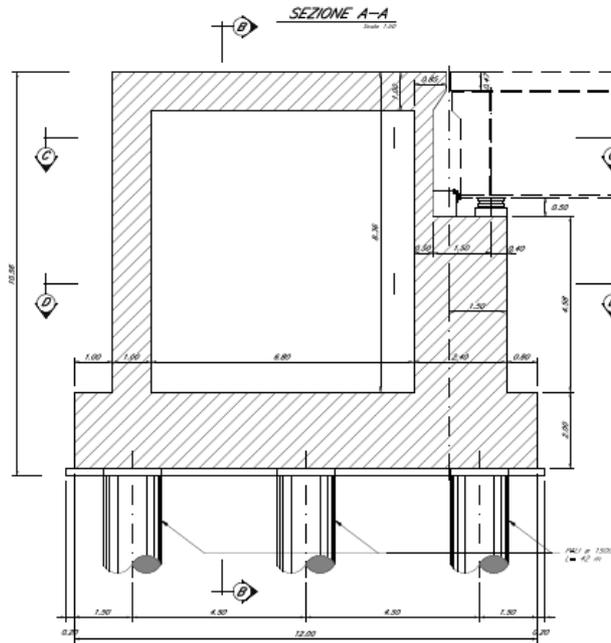


Fig. 2 – Sezione A-A spalla Ponte sul fiume Lambro

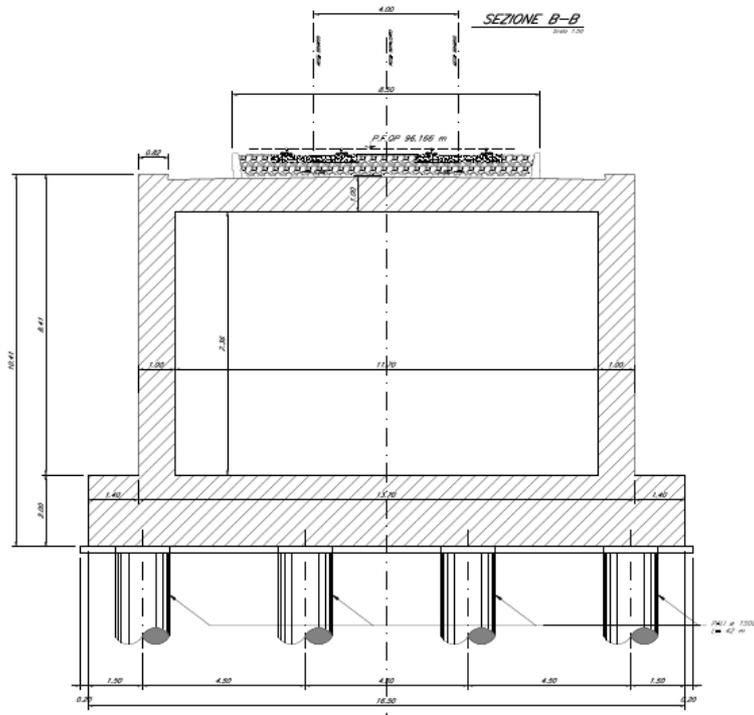


Fig. 3 – Sezione B-B spalla Ponte sul fiume Lambro

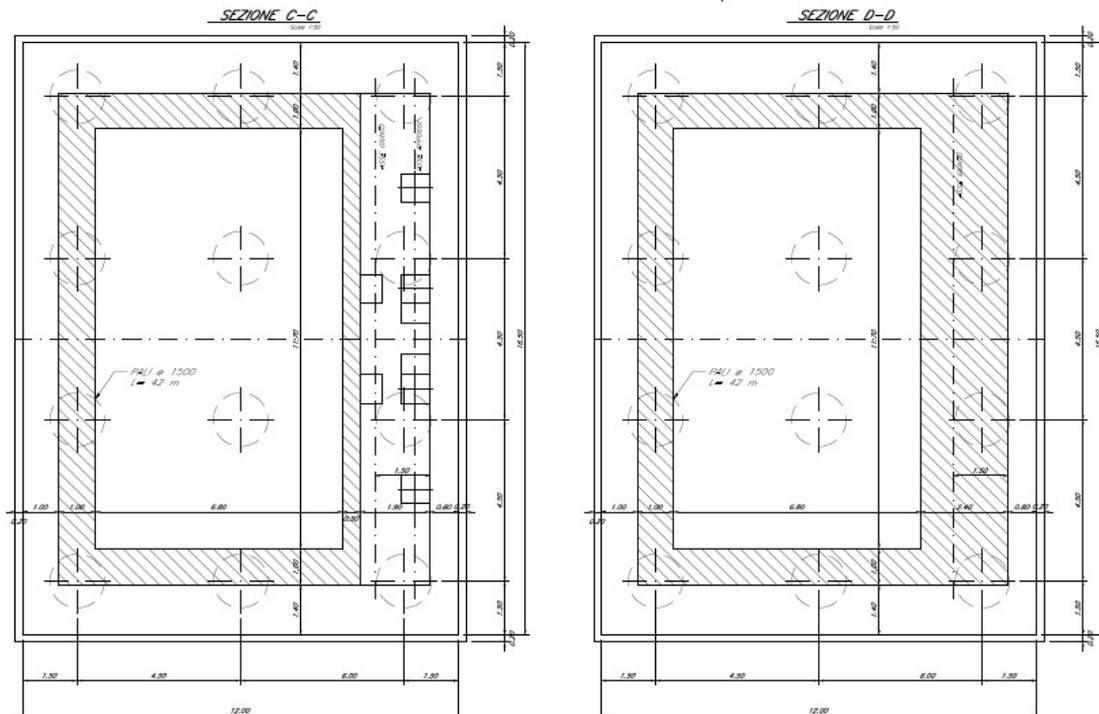


Fig. 4 – Sezioni C-C e D-D Ponte sul fiume Lambro

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;

**RELAZIONE GEOTECNICA DELL'OPERA**

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM0Z	10	D 09 RB	VI0103 001	a	7 DI 30

- 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	10	D 09 RB	VI0103 001	a	8 DI 30

## **2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO**

- [1] Relazione geotecnica generale - (Doc. rif. –NM0Z10D26RBOC0001001A)
- [2] Profilo geotecnico - Tav. 1/10-10/10 - (Doc. rif.- NM0Z10D26F6OC0001001-7A)
- [3] Pianta scavi e OOPP – (Doc. rif.- NM0Z20D09PAVI0103001A)
- [4] Carpenteria spalle – (Doc. rif.- NM0Z10D09BBVI0104001A)
- [5] Relazione di calcolo spalle - (Doc. rif.- NM0Z10D09CLVI0104001A)

### **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**

### 3. MATERIALI

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

Calcestruzzo pali: C25/30

$R_{ck}$	=	<b>30</b>	MPa	resistenza caratteristica cubica
$f_{ck}$	=	<b>24.9</b>	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
$\gamma_c$	=	<b>1.50</b>		coefficiente parziale di sicurezza
$\alpha_{cc}$	=	<b>0.85</b>		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**

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM0Z	10	D 09 RB	VI0103 001	a	10 DI 30

Acciaio armatura: B450C:

$f_{y,k}$	=	<b>450</b>	MPa	tensione caratteristica di snervamento
$f_{t,k}$	=	<b>540</b>	MPa	tensione caratteristica di rottura
$(f_t/f_y)_k$	$\geq$	1.15		
$(f_t/f_y)_k$	<	1.35		
$\gamma_s$	=	<b>1.15</b>		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, l'opera ricade all'interno del tipo di costruzione 2: "Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale" (paragrafo 2.4 delle 'Nuove Norme Tecniche per le costruzioni – D.M. 14 gennaio 2008' ").

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 III: "Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso" (paragrafo 2.4 delle 'Nuove Norme Tecniche per le costruzioni – D.M. 14 gennaio 2008' ").

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

Tab. 2.4.II – Valori del coefficiente d'uso  $C_U$

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE $C_U$	0,7	1,0	1,5	2,0

Se  $V_R \leq 35$  anni si pone comunque  $V_R = 35$  anni.

#### 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  $a_g$  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  $T_R$  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,

**RELAZIONE GEOTECNICA DELL'OPERA**

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:

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

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				
"Stato Limite"	perio di ritorno $T_r$	accelerazione orizzontale $a_g$	amplificazione spettrale $F_0$	Periodo inizio tratto velocità cost. $T_c^*$
	[anni]	[g]	[-]	[s]
Operatività	68	0.041	2.538	0.231
Danno	113	0.051	2.528	0.254
1068	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

**RELAZIONE GEOTECNICA DELL'OPERA**

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOZ	10	D 09 RB	VI0103 001	a	14 DI 30

**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**.

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		$C_c =$	1.565
Coeff. Amplificazione stratigrafica		$S_s =$	1.50
Coeff. Amplificazione topografica		$S_t =$	1.00
Coefficiente S	$S_s \times S_t$	$S =$	1.50
Massima accelerazione attesa per il sito allo SLV	$a_g \times S$	$a_{max} =$	0.169g

## 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:

Sondaggi	PK	Q [mslm]	L [m]	SPT	CI	CR	Lefranc	Pressiometriche	Piezometro	DH
PNMP210-03	9+974	92.00	30	9	1	9	1	-	x (30m)	-
DHNMOZP_03	10+020	94.89	40	10	2	-	2	-	-	x (40m)

Tabella 1: Sondaggi di riferimento per il ponte sul fiume Lambro

Unità	z [m]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\phi$ [°]	c' [kPa]	E' <sub>op</sub> [MPa]
L(S), L(A), S	0-10	19	29	0	20
S(L)	10-20	19	29	0	30
L(A), S(L)	20-30	19	29	0	30

Tabella 2: stratigrafia di progetto per il ponte sul fiume Lambro

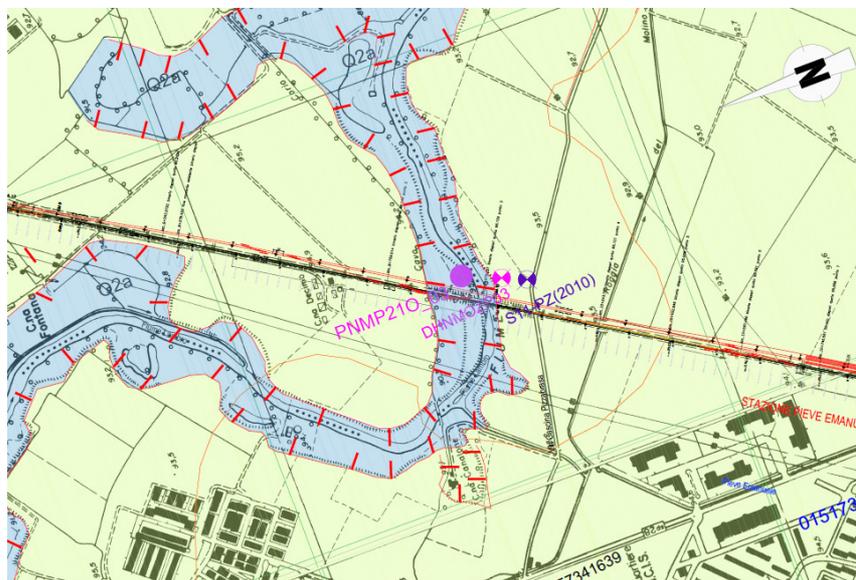


Fig. 5 - Stralcio della carta geologica per le pk in esame

## 6. CAPACITÀ PORTANTE LIMITE VERTICALE DEL PALO SINGOLO

La capacità portante del palo di fondazione è valutata come somma del contributo laterale e del 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:

$\varphi_i$  = 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	10	D 09 RB	VI0103 001	a	17 DI 30

## 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  $N_q^*$  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.

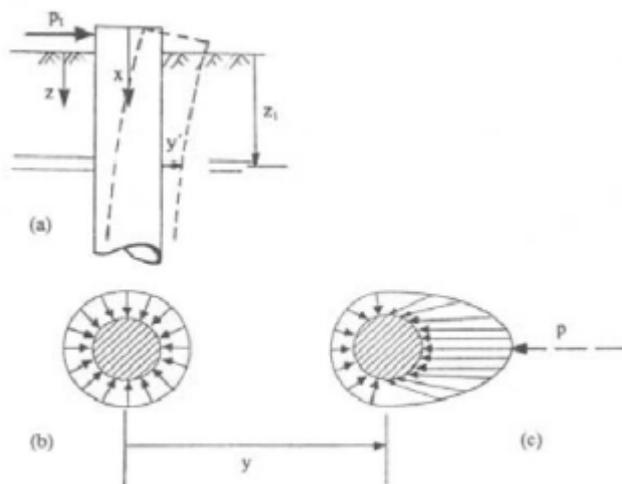


Fig. 6 – Interazione palo-terreno

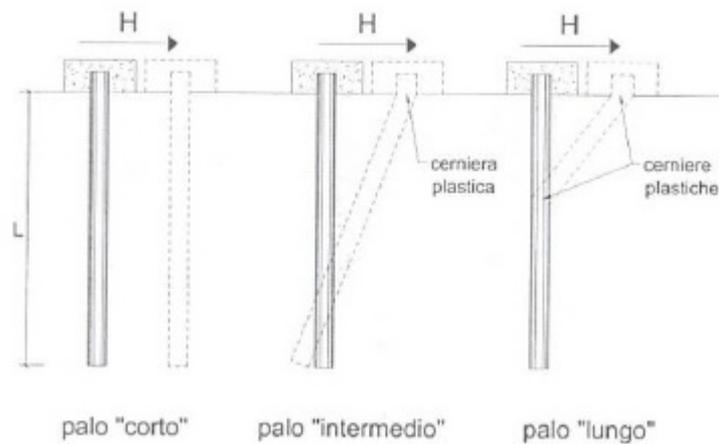
L'andamento della risultante  $P$  lungo il palo è differente a seconda se ci si trova nel caso di terreni coesivi oppure terreni granulari e dal tipo di meccanismo ipotizzato. I meccanismi possibili sono:

- palo corto: traslazione 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	10	D 09 RB	VI0103 001	a	19 DI 30



*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 ( $\varphi'$ );
- 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:

$\eta$  = 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 1.

### 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 tagliente 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. Le prove di carico condotte su gruppi di pali pubblicate in letteratura confermano, senza eccezioni, la validità di tale assunzione.

**RELAZIONE GEOTECNICA DELL'OPERA**

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  $\eta$  di un gruppo di  $n$  pali, come fatto per carichi verticali.

Per effetto delle interazioni reciproche che si verificano in un gruppo, i cui pali sono connessi da una struttura di collegamento infinitamente rigida non a contatto con il terreno, ciascun palo si comporta in maniera differente dagli altri. La diversità di comportamento si manifesta mediante un differente valore dello sforzo di taglio agente in testa a ciascun palo, differenti valori di momento flettente, diversa ubicazione del valore massimo di momento al variare della profondità (nell'ipotesi in cui il vincolo in testa al palo non sia un incastro). La modalità di risposta di ciascun palo è funzione essenzialmente dalla posizione geometrica che questo occupa all'interno del gruppo. Precisamente, la risposta del singolo palo all'interno del gruppo è condizionata:

- dalla fila di appartenenza all'interno del gruppo (effetto ombra o shadowing);
- dalla posizione all'interno della singola fila (effetto di bordo).

Il primo dei due fenomeni assume rilevanza maggiore. Principalmente, si osserva una notevole differenza nelle modalità di risposta della prima fila, che risulta più rigida, rispetto alle successive, che risultano più cedevoli. La prima fila (o fila frontale) è la prima nella direzione di avanzamento del gruppo ed è quella che spinge nel terreno indisturbato.

Il secondo dei due fenomeni induce, all'interno di una stessa fila, una concentrazione dei carichi sui pali di estremità, che risultano più caricati rispetto ai pali posti al centro.

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*  $\eta$ . Il valore assunto da tale parametro è, per pali disposti ad interasse ridotto,

**RELAZIONE GEOTECNICA DELL'OPERA**

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM0Z	10	D 09 RB	VI0103 001	a	22 DI 30

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  $\eta$ :

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

dove:

$\eta$  = 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		
	$\gamma_R$	(R1)	(R2)	(R3)	(R1)	(R2)	(R3)	(R1)	(R2)	(R3)
Base	$\gamma_b$	1,0	1,45	1,15	1,0	1,7	1,35	1,0	1,6	1,3
Laterale in compressione	$\gamma_s$	1,0	1,45	1,15	1,0	1,45	1,15	1,0	1,45	1,15
Totale (*)	$\gamma_t$	1,0	1,45	1,15	1,0	1,6	1,30	1,0	1,55	1,25
Laterale in trazione	$\gamma_{st}$	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. 1 – 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  $\gamma_R$  non deve essere portato in conto.

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	$\geq 10$
$\xi_3$	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
$\xi_4$	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21

Tab. 2 – 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. 3 – 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	10	D 09 RB	VI0103 001	a	24 DI 30

**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:

D <sub>palo</sub>	1.50	m
Z <sub>palo</sub>	5.00	m
Z <sub>w</sub>	0.00	m
L <sub>palo</sub>	42.00	m
pp <sub>k,palo</sub>	1855.5	kN

Stratigrafia da p.c.				Parametri dei terreni			
Unità	sp. [m]	z tetto [m]	z letto [m]	γ [kN/m³]	c' [kPa]	Φ [°]	Cu [kPa]
1	10.00	0	10	20.00	0.00	29.00	0.00
2	50.00	10	60	20.00	0.00	29.00	0.00

Base L.T.		Laterale L.T.		Valori limite	
Nq* (LT)	Nc (LT)	ks	μ	S <sub>lim</sub> [kPa]	Q <sub>lim</sub> [kPa]
7.08	10.97	0.515	0.554	170.00	4300.00
7.08	10.97	0.515	0.554	170.00	4300.00

Tab. 4 – 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:

**RELAZIONE GEOTECNICA DELL'OPERA**

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM0Z	10	D 09 RB	VI0103 001	a	25 DI 30

Coefficientsi parziali sulle Azioni	
A	A1
$\gamma_{g1}$	1,35
$\gamma_q$	1,50
Coefficientsi parziali sui parametri di Resistenza	
R	R3
$\gamma_b$	1,35
$\gamma_{l,compressione}$	1,15
$\gamma_{l,trazione}$	1,25
Coeff. di riduzione funzione delle verticali indagate	
$\xi$	<b>1,70</b>

Tab. 5 – Coefficientsi parziali sulle azioni e sulle resistenze (DA2)

I pali di fondazione hanno lunghezza 42.0 m, 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]
14708	7523	5881	2562

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

$$Q_{lim,d} = 10085 \text{ kN}$$

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

$$Q_{lim,d} = 9452 \text{ kN}$$

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

Nelle pagine successive sono allegati i tabulati di calcolo.

## 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.

<b>Tab. 9.4 Viggiani</b>			
Valori tipici di $k_1$ (N/mm <sup>3</sup> ) 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/mm<sup>3</sup>:

<b>Terreni incoerenti</b>		
$k_1$	14	N/cm <sup>3</sup>
b	30	cm
D	150	cm
$k_h$	5	N/cm <sup>3</sup>

## 12. TABULATI DI CALCOLO

### Spalla A-B: Carico limite in compressione A1+M1+R3

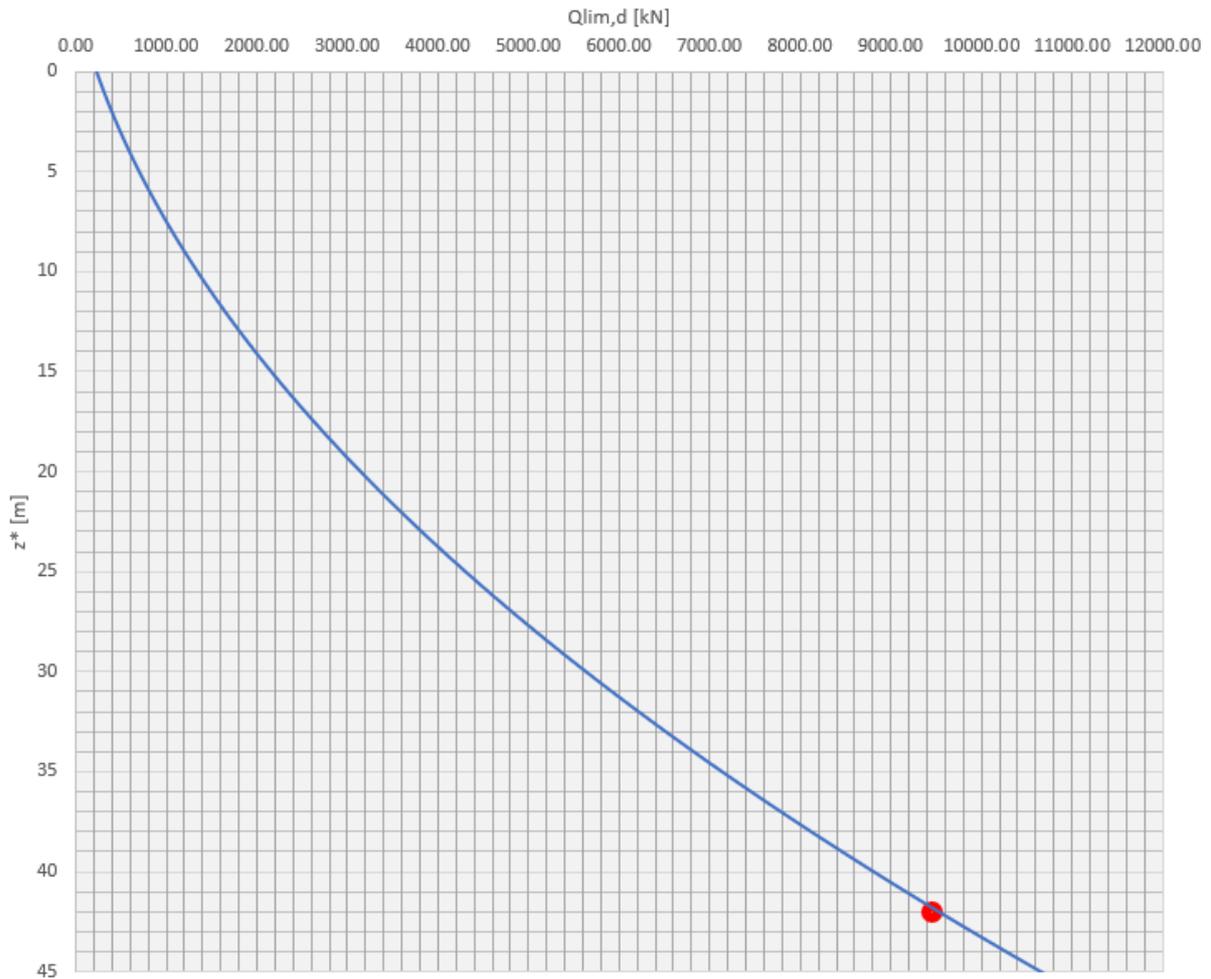


Fig. 8- -Curva di capacità portante palo singolo

## 12.1 Tabulati di calcolo

Profondità z [m]	Peso palo alleggerito pp <sub>k,palo</sub> [kN]	Tensioni litostatiche			Portata di base di progetto			Portata laterale di progetto				Carico limite di progetto	
		sv [kPa]	u [kPa]	s'v [kPa]	q <sub>b,k</sub> (kPa)	Q <sub>b,k</sub> (kN)	Q <sub>b,d</sub> (kN)	s <sub>ix</sub> [kPa]	Q <sub>s,k</sub> (kN)	Q <sub>s,d-compr.</sub> (kN)	Q <sub>s,d-traz.</sub> (kN)	Q <sub>lim,d-compr.</sub> (kN)	Q <sub>lim,d-traz.</sub> (kN)
5	44.18	100.00	50.00	50.00	354.10	625.74	272.65	13.99	13.19	6.75	6.21	219.76	50.38
5.2	45.95	104.00	52.00	52.00	368.26	650.77	283.56	14.56	26.91	13.77	12.67	235.30	58.61
5.4	47.71	108.00	54.00	54.00	382.42	675.80	294.47	15.14	41.18	21.06	19.38	251.12	67.09
5.6	49.48	112.00	56.00	56.00	396.59	700.83	305.37	15.71	55.98	28.64	26.34	267.21	75.82
5.8	51.25	116.00	58.00	58.00	410.75	725.86	316.28	16.28	71.32	36.48	33.56	283.58	84.81
6	53.01	120.00	60.00	60.00	424.92	750.89	327.18	16.85	87.20	44.61	41.04	300.22	94.05
6.2	54.78	124.00	62.00	62.00	439.08	775.92	338.09	17.42	103.62	53.00	48.76	317.14	103.54
6.4	56.55	128.00	64.00	64.00	453.24	800.95	349.00	17.99	120.58	61.68	56.74	334.33	113.29
6.6	58.32	132.00	66.00	66.00	467.41	825.98	359.90	18.56	138.07	70.63	64.98	351.80	123.29
6.8	60.08	136.00	68.00	68.00	481.57	851.01	370.81	19.13	156.11	79.85	73.46	369.55	133.54
7	61.85	140.00	70.00	70.00	495.74	876.04	381.72	19.70	174.68	89.35	82.20	387.57	144.05
7.2	63.62	144.00	72.00	72.00	509.90	901.07	392.62	20.28	193.79	99.12	91.19	405.86	154.81
7.4	65.38	148.00	74.00	74.00	524.06	926.10	403.53	20.85	213.43	109.17	100.44	424.43	165.82
7.6	67.15	152.00	76.00	76.00	538.23	951.13	414.43	21.42	233.62	119.50	109.94	443.28	177.09
7.8	68.92	156.00	78.00	78.00	552.39	976.16	425.34	21.99	254.34	130.10	119.69	462.40	188.61
8	70.69	160.00	80.00	80.00	566.55	1001.18	436.25	22.56	275.61	140.98	129.70	481.80	200.38
8.2	72.45	164.00	82.00	82.00	580.72	1026.21	447.15	23.13	297.41	152.13	139.96	501.47	212.41
8.4	74.22	168.00	84.00	84.00	594.88	1051.24	458.06	23.70	319.75	163.55	150.47	521.42	224.69
8.6	75.99	172.00	86.00	86.00	609.05	1076.27	468.96	24.27	342.63	175.26	161.24	541.64	237.22
8.8	77.75	176.00	88.00	88.00	623.21	1101.30	479.87	24.84	366.04	187.23	172.25	562.14	250.01
9	79.52	180.00	90.00	90.00	637.37	1126.33	490.78	25.42	390.00	199.49	183.53	582.91	263.05
9.2	81.29	184.00	92.00	92.00	651.54	1151.36	501.68	25.99	414.49	212.01	195.05	603.96	276.34
9.4	83.06	188.00	94.00	94.00	665.70	1176.39	512.59	26.56	439.52	224.82	206.83	625.28	289.89
9.6	84.82	192.00	96.00	96.00	679.87	1201.42	523.50	27.13	465.09	237.90	218.86	646.88	303.69
9.8	86.59	196.00	98.00	98.00	694.03	1226.45	534.40	27.70	491.19	251.25	231.15	668.76	317.74
10	88.36	200.00	100.00	100.00	708.19	1251.48	545.31	28.27	517.84	264.88	243.69	690.91	332.05
10.2	90.12	204.00	102.00	102.00	722.36	1276.51	556.21	28.84	545.02	278.78	256.48	713.33	346.61
10.4	91.89	208.00	104.00	104.00	736.52	1301.54	567.12	29.41	572.75	292.96	269.53	736.03	361.42
10.6	93.66	212.00	106.00	106.00	750.69	1326.57	578.03	29.99	601.01	307.42	282.83	759.01	376.49
10.8	95.43	216.00	108.00	108.00	764.85	1351.60	588.93	30.56	629.81	322.15	296.38	782.26	391.81
11	97.19	220.00	110.00	110.00	779.01	1376.63	599.84	31.13	659.14	337.16	310.18	805.79	407.38
11.2	98.96	224.00	112.00	112.00	793.18	1401.66	610.74	31.70	689.02	352.44	324.24	829.59	423.20
11.4	100.73	228.00	114.00	114.00	807.34	1426.69	621.65	32.27	719.43	368.00	338.56	853.66	439.28
11.6	102.49	232.00	116.00	116.00	821.50	1451.72	632.56	32.84	750.38	383.83	353.12	878.02	455.62
11.8	104.26	236.00	118.00	118.00	835.67	1476.75	643.46	33.41	781.87	399.94	367.94	902.65	472.20
12	106.03	240.00	120.00	120.00	849.83	1501.78	654.37	33.98	813.90	416.32	383.01	927.55	489.04
12.2	107.80	244.00	122.00	122.00	864.00	1526.81	665.28	34.55	846.47	432.98	398.34	952.73	506.13
12.4	109.56	248.00	124.00	124.00	878.16	1551.84	676.18	35.13	879.58	449.91	413.92	978.18	523.48
12.6	111.33	252.00	126.00	126.00	892.32	1576.87	687.09	35.70	913.22	467.12	429.75	1003.91	541.08
12.8	113.10	256.00	128.00	128.00	906.49	1601.90	697.99	36.27	947.40	484.60	445.84	1029.92	558.93
13	114.86	260.00	130.00	130.00	920.65	1626.93	708.90	36.84	982.12	502.36	462.17	1056.20	577.04
13.2	116.63	264.00	132.00	132.00	934.82	1651.96	719.81	37.41	1017.38	520.40	478.77	1082.75	595.40
13.4	118.40	268.00	134.00	134.00	948.98	1676.98	730.71	37.98	1053.18	538.71	495.61	1109.58	614.01
13.6	120.17	272.00	136.00	136.00	963.14	1702.01	741.62	38.55	1089.51	557.29	512.71	1136.69	632.88
13.8	121.93	276.00	138.00	138.00	977.31	1727.04	752.52	39.12	1126.38	576.16	530.06	1164.07	652.00
14	123.70	280.00	140.00	140.00	991.47	1752.07	763.43	39.69	1163.80	595.29	547.67	1191.73	671.37
14.2	125.47	284.00	142.00	142.00	1005.63	1777.10	774.34	40.27	1201.74	614.70	565.53	1219.66	690.99
14.4	127.23	288.00	144.00	144.00	1019.80	1802.13	785.24	40.84	1240.23	634.39	583.64	1247.87	710.87
14.6	129.00	292.00	146.00	146.00	1033.96	1827.16	796.15	41.41	1279.26	654.35	602.00	1276.35	731.01
14.8	130.77	296.00	148.00	148.00	1048.13	1852.19	807.06	41.98	1318.82	674.59	620.62	1305.11	751.39
15	132.54	300.00	150.00	150.00	1062.29	1877.22	817.96	42.55	1358.93	695.10	639.50	1334.14	772.03
15.2	134.30	304.00	152.00	152.00	1076.45	1902.25	828.87	43.12	1399.57	715.89	658.62	1363.45	792.92
15.4	136.07	308.00	154.00	154.00	1090.62	1927.28	839.77	43.69	1440.75	736.96	678.00	1393.03	814.07
15.6	137.84	312.00	156.00	156.00	1104.78	1952.31	850.68	44.26	1482.47	758.29	697.63	1422.89	835.47
15.8	139.60	316.00	158.00	158.00	1118.95	1977.34	861.59	44.84	1524.72	779.91	717.52	1453.03	857.12
16	141.37	320.00	160.00	160.00	1133.11	2002.37	872.49	45.41	1567.52	801.80	737.65	1483.44	879.03

RELAZIONE GEOTECNICA DELL'OPERA

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM0Z	10	D 09 RB	VI0103 001	a	29 DI 30

16.2	143.14	324.00	162.00	162.00	1147.27	2027.40	883.40	45.98	1610.85	823.96	758.05	1514.13	901.19
16.4	144.91	328.00	164.00	164.00	1161.44	2052.43	894.30	46.55	1654.72	846.40	778.69	1545.09	923.60
16.6	146.67	332.00	166.00	166.00	1175.60	2077.46	905.21	47.12	1699.13	869.12	799.59	1576.32	946.26
16.8	148.44	336.00	168.00	168.00	1189.77	2102.49	916.12	47.69	1744.08	892.11	820.74	1607.83	969.18
17	150.21	340.00	170.00	170.00	1203.93	2127.52	927.02	48.26	1789.56	915.38	842.15	1639.62	992.36
17.2	151.97	344.00	172.00	172.00	1218.09	2152.55	937.93	48.83	1835.59	938.92	863.81	1671.68	1015.78
17.4	153.74	348.00	174.00	174.00	1232.26	2177.58	948.84	49.40	1882.15	962.74	885.72	1704.02	1039.46
17.6	155.51	352.00	176.00	176.00	1246.42	2202.61	959.74	49.98	1929.25	986.83	907.88	1736.63	1063.39
17.8	157.28	356.00	178.00	178.00	1260.58	2227.64	970.65	50.55	1976.89	1011.20	930.30	1769.52	1087.58
18	159.04	360.00	180.00	180.00	1274.75	2252.67	981.55	51.12	2025.07	1035.84	952.97	1802.69	1112.02
18.2	160.81	364.00	182.00	182.00	1288.91	2277.70	992.46	51.69	2073.78	1060.76	975.90	1836.13	1136.71
18.4	162.58	368.00	184.00	184.00	1303.08	2302.73	1003.37	52.26	2123.04	1085.95	999.08	1869.84	1161.65
18.6	164.34	372.00	186.00	186.00	1317.24	2327.76	1014.27	52.83	2172.83	1111.42	1022.51	1903.83	1186.85
18.8	166.11	376.00	188.00	188.00	1331.40	2352.78	1025.18	53.40	2223.16	1137.17	1046.19	1938.09	1212.31
19	167.88	380.00	190.00	190.00	1345.57	2377.81	1036.08	53.97	2274.03	1163.19	1070.13	1972.63	1238.01
19.2	169.65	384.00	192.00	192.00	1359.73	2402.84	1046.99	54.54	2325.44	1189.48	1094.32	2007.45	1263.97
19.4	171.41	388.00	194.00	194.00	1373.90	2427.87	1057.90	55.12	2377.38	1216.05	1118.77	2042.54	1290.18
19.6	173.18	392.00	196.00	196.00	1388.06	2452.90	1068.80	55.69	2429.87	1242.90	1143.47	2077.91	1316.65
19.8	174.95	396.00	198.00	198.00	1402.22	2477.93	1079.71	56.26	2482.89	1270.02	1168.42	2113.55	1343.37
20	176.71	400.00	200.00	200.00	1416.39	2502.96	1090.62	56.83	2536.45	1297.42	1193.62	2149.47	1370.34
20.2	178.48	404.00	202.00	202.00	1430.55	2527.99	1101.52	57.40	2590.55	1325.09	1219.08	2185.66	1397.56
20.4	180.25	408.00	204.00	204.00	1444.71	2553.02	1112.43	57.97	2645.18	1353.04	1244.79	2222.13	1425.04
20.6	182.02	412.00	206.00	206.00	1458.88	2578.05	1123.33	58.54	2700.36	1381.26	1270.76	2258.87	1452.77
20.8	183.78	416.00	208.00	208.00	1473.04	2603.08	1134.24	59.11	2756.07	1409.76	1296.98	2295.89	1480.76
21	185.55	420.00	210.00	210.00	1487.21	2628.11	1145.15	59.69	2812.33	1438.53	1323.45	2333.18	1509.00
21.2	187.32	424.00	212.00	212.00	1501.37	2653.14	1156.05	60.26	2869.12	1467.58	1350.17	2370.75	1537.49
21.4	189.08	428.00	214.00	214.00	1515.53	2678.17	1166.96	60.83	2926.44	1496.90	1377.15	2408.60	1566.23
21.6	190.85	432.00	216.00	216.00	1529.70	2703.20	1177.86	61.40	2984.31	1526.50	1404.38	2446.72	1595.23
21.8	192.62	436.00	218.00	218.00	1543.86	2728.23	1188.77	61.97	3042.72	1556.38	1431.87	2485.11	1624.49
22	194.39	440.00	220.00	220.00	1558.03	2753.26	1199.68	62.54	3101.66	1586.53	1459.60	2523.78	1653.99
22.2	196.15	444.00	222.00	222.00	1572.19	2778.29	1210.58	63.11	3161.14	1616.95	1487.60	2562.73	1683.75
22.4	197.92	448.00	224.00	224.00	1586.35	2803.32	1221.49	63.68	3221.16	1647.65	1515.84	2601.95	1713.76
22.6	199.69	452.00	226.00	226.00	1600.52	2828.35	1232.40	64.25	3281.72	1678.63	1544.34	2641.45	1744.03
22.8	201.45	456.00	228.00	228.00	1614.68	2853.38	1243.30	64.83	3342.82	1709.88	1573.09	2681.22	1774.54
23	203.22	460.00	230.00	230.00	1628.85	2878.41	1254.21	65.40	3404.45	1741.41	1602.09	2721.27	1805.32
23.2	204.99	464.00	232.00	232.00	1643.01	2903.44	1265.11	65.97	3466.62	1773.21	1631.35	2761.59	1836.34
23.4	206.76	468.00	234.00	234.00	1657.17	2928.47	1276.02	66.54	3529.34	1805.29	1660.86	2802.19	1867.62
23.6	208.52	472.00	236.00	236.00	1671.34	2953.50	1286.93	67.11	3592.58	1837.64	1690.63	2843.06	1899.15
23.8	210.29	476.00	238.00	238.00	1685.50	2978.53	1297.83	67.68	3656.37	1870.27	1720.65	2884.21	1930.94
24	212.06	480.00	240.00	240.00	1699.66	3003.55	1308.74	68.25	3720.70	1903.17	1750.92	2925.63	1962.97
24.2	213.82	484.00	242.00	242.00	1713.83	3028.58	1319.64	68.82	3785.56	1936.35	1781.44	2967.33	1995.27
24.4	215.59	488.00	244.00	244.00	1727.99	3053.61	1330.55	69.39	3850.97	1969.80	1812.22	3009.31	2027.81
24.6	217.36	492.00	246.00	246.00	1742.16	3078.64	1341.46	69.97	3916.91	2003.53	1843.25	3051.56	2060.61
24.8	219.13	496.00	248.00	248.00	1756.32	3103.67	1352.36	70.54	3983.39	2037.54	1874.54	3094.08	2093.66
25	220.89	500.00	250.00	250.00	1770.48	3128.70	1363.27	71.11	4050.41	2071.82	1906.07	3136.88	2126.97
25.2	222.66	504.00	252.00	252.00	1784.65	3153.73	1374.18	71.68	4117.96	2106.37	1937.86	3179.96	2160.52
25.4	224.43	508.00	254.00	254.00	1798.81	3178.76	1385.08	72.25	4186.06	2141.21	1969.91	3223.31	2194.34
25.6	226.19	512.00	256.00	256.00	1812.98	3203.79	1395.99	72.82	4254.69	2176.31	2002.21	3266.94	2228.40
25.8	227.96	516.00	258.00	258.00	1827.14	3228.82	1406.89	73.39	4323.86	2211.69	2034.76	3310.84	2262.72
26	229.73	520.00	260.00	260.00	1841.30	3253.85	1417.80	73.96	4393.57	2247.35	2067.56	3355.02	2297.29
26.2	231.50	524.00	262.00	262.00	1855.47	3278.88	1428.71	74.53	4463.82	2283.28	2100.62	3399.47	2332.12
26.4	233.26	528.00	264.00	264.00	1869.63	3303.91	1439.61	75.11	4534.60	2319.49	2133.93	3444.20	2367.19
26.6	235.03	532.00	266.00	266.00	1883.79	3328.94	1450.52	75.68	4605.93	2355.97	2167.49	3489.20	2402.53
26.8	236.80	536.00	268.00	268.00	1897.96	3353.97	1461.42	76.25	4677.79	2392.73	2201.31	3534.48	2438.11
27	238.56	540.00	270.00	270.00	1912.12	3379.00	1472.33	76.82	4750.19	2429.76	2235.38	3580.03	2473.95
27.2	240.33	544.00	272.00	272.00	1926.29	3404.03	1483.24	77.39	4823.13	2467.07	2269.71	3625.86	2510.04
27.4	242.10	548.00	274.00	274.00	1940.45	3429.06	1494.14	77.96	4896.61	2504.66	2304.29	3671.97	2546.38
27.6	243.87	552.00	276.00	276.00	1954.61	3454.09	1505.05	78.53	4970.62	2542.52	2339.12	3718.35	2582.98
27.8	245.63	556.00	278.00	278.00	1968.78	3479.12	1515.96	79.10	5045.18	2580.65	2374.20	3765.00	2619.83
28	247.40	560.00	280.00	280.00	1982.94	3504.15	1526.86	79.68	5120.27	2619.06	2409.54	3811.93	2656.94
28.2	249.17	564.00	282.00	282.00	1997.11	3529.18	1537.77	80.25	5195.90	2657.75	2445.13	3859.14	2694.30
28.4	250.93	568.00	284.00	284.00	2011.27	3554.21	1548.67	80.82	5272.07	2696.71	2480.97	3906.62	2731.91
28.6	252.70	572.00	286.00	286.00	2025.43	3579.24	1559.58	81.39	5348.77	2735.95	2517.07	3954.38	2769.77
28.8	254.47	576.00	288.00	288.00	2039.60	3604.27	1570.49	81.96	5426.02	2775.46	2553.42	4002.41	2807.89
29	256.24	580.00	290.00	290.00	2053.76	3629.30	1581.39	82.53	5503.80	2815.24	2590.03	4050.72	2846.26
29.2	258.00	584.00	292.00	292.00	2067.92	3654.33	1592.30	83.10	5582.13	2855.31	2626.88	4099.30	2884.89
29.4	259.77	588.00	294.00	294.00	2082.09	3679.35	1603.20	83.67	5660.99	2895.64	2663.99	4148.16	2923.76
29.6	261.54	592.00	296.00	296.00	2096.25	3704.38	1614.11	84.24	5740.38	2936.26	2701.36	4197.29	2962.89
29.8	263.30	596.00	298.00	298.00	2110.42	3729.41	1625.02	84.82	5820.32	2977.15	2738.97	4246.70	3002.28
30	265.07	600.00	300.00	300.00	2124.58	3754.44	1635.92	85.39	5900.80	3018.31	2776.85	4296.39	3041.92
30.2	266.84	604.00	302.00	302.00	2138.74	3779.47	1646.83	85.96	5981.81	3059.75	2814.97	4346.35	3081.81
30.4	268.61	608.00	304.00	304.00	2152.91	3804.50	1657.74	86.53	6063.36	3101.46	2853.35	4396.58	3121.95
30.6	270.37	612.00	306.00	306.00	2167.07	3829.53	1668.64	87.10	6145.45	3143.45	2891.98	4447	

**RELAZIONE GEOTECNICA DELL'OPERA**

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM0Z	10	D 09 RB	VI0103 001	a	30 DI 30

32.2	284.51	644.00	322.00	322.00	2280.38	4029.77	1755.89	91.67	6821.55	3489.28	3210.14	4861.09	3494.65
32.4	286.28	648.00	324.00	324.00	2294.55	4054.80	1766.80	92.24	6908.49	3533.75	3251.05	4914.07	3537.33
32.6	288.04	652.00	326.00	326.00	2308.71	4079.83	1777.70	92.81	6995.96	3578.50	3292.22	4967.34	3580.26
32.8	289.81	656.00	328.00	328.00	2322.87	4104.86	1788.61	93.38	7083.97	3623.51	3333.63	5020.88	3623.44
33	291.58	660.00	330.00	330.00	2337.04	4129.89	1799.52	93.95	7172.52	3668.81	3375.30	5074.69	3666.88
33.2	293.35	664.00	332.00	332.00	2351.20	4154.92	1810.42	94.53	7261.61	3714.38	3417.23	5128.78	3710.57
33.4	295.11	668.00	334.00	334.00	2365.37	4179.95	1821.33	95.10	7351.23	3760.22	3459.40	5183.15	3754.52
33.6	296.88	672.00	336.00	336.00	2379.53	4204.98	1832.23	95.67	7441.40	3806.34	3501.83	5237.79	3798.72
33.8	298.65	676.00	338.00	338.00	2393.69	4230.01	1843.14	96.24	7532.10	3852.74	3544.52	5292.70	3843.17
34	300.41	680.00	340.00	340.00	2407.86	4255.04	1854.05	96.81	7623.34	3899.41	3587.46	5347.89	3887.87
34.2	302.18	684.00	342.00	342.00	2422.02	4280.07	1864.95	97.38	7715.12	3946.35	3630.65	5403.36	3932.83
34.4	303.95	688.00	344.00	344.00	2436.19	4305.10	1875.86	97.95	7807.44	3993.58	3674.09	5459.10	3978.04
34.6	305.72	692.00	346.00	346.00	2450.35	4330.12	1886.76	98.52	7900.30	4041.07	3717.79	5515.12	4023.50
34.8	307.48	696.00	348.00	348.00	2464.51	4355.15	1897.67	99.09	7993.69	4088.84	3761.74	5571.41	4069.22
35	309.25	700.00	350.00	350.00	2478.68	4380.18	1908.58	99.67	8087.62	4136.89	3805.94	5627.98	4115.19
35.2	311.02	704.00	352.00	352.00	2492.84	4405.21	1919.48	100.24	8182.09	4185.21	3850.40	5684.82	4161.41
35.4	312.78	708.00	354.00	354.00	2507.00	4430.24	1930.39	100.81	8277.10	4233.81	3895.11	5741.94	4207.89
35.6	314.55	712.00	356.00	356.00	2521.17	4455.27	1941.30	101.38	8372.65	4282.69	3940.07	5799.34	4254.62
35.8	316.32	716.00	358.00	358.00	2535.33	4480.30	1952.20	101.95	8468.74	4331.83	3985.29	5857.00	4301.61
36	318.09	720.00	360.00	360.00	2549.50	4505.33	1963.11	102.52	8565.36	4381.26	4030.76	5914.95	4348.84
36.2	319.85	724.00	362.00	362.00	2563.66	4530.36	1974.01	103.09	8662.52	4430.96	4076.48	5973.17	4396.33
36.4	321.62	728.00	364.00	364.00	2577.82	4555.39	1984.92	103.66	8760.22	4480.93	4122.46	6031.66	4444.08
36.6	323.39	732.00	366.00	366.00	2591.99	4580.42	1995.83	104.23	8858.46	4531.18	4168.69	6090.44	4492.08
36.8	325.15	736.00	368.00	368.00	2606.15	4605.45	2006.73	104.81	8957.24	4581.71	4215.17	6149.48	4540.33
37	326.92	740.00	370.00	370.00	2620.32	4630.48	2017.64	105.38	9056.55	4632.51	4261.91	6208.80	4588.83
37.2	328.69	744.00	372.00	372.00	2634.48	4655.51	2028.54	105.95	9156.41	4683.58	4308.90	6268.40	4637.59
37.4	330.46	748.00	374.00	374.00	2648.64	4680.54	2039.45	106.52	9256.80	4734.94	4356.14	6328.27	4686.60
37.6	332.22	752.00	376.00	376.00	2662.81	4705.57	2050.36	107.09	9357.73	4786.56	4403.64	6388.42	4735.86
37.8	333.99	756.00	378.00	378.00	2676.97	4730.60	2061.26	107.66	9459.20	4838.47	4451.39	6448.84	4785.38
38	335.76	760.00	380.00	380.00	2691.14	4755.63	2072.17	108.23	9561.21	4890.64	4499.39	6509.54	4835.15
38.2	337.52	764.00	382.00	382.00	2705.30	4780.66	2083.08	108.80	9663.75	4943.10	4547.65	6570.51	4885.17
38.4	339.29	768.00	384.00	384.00	2719.46	4805.69	2093.98	109.38	9766.84	4995.82	4596.16	6631.76	4935.45
38.6	341.06	772.00	386.00	386.00	2733.63	4830.72	2104.89	109.95	9870.46	5048.83	4644.92	6693.29	4985.98
38.8	342.83	776.00	388.00	388.00	2747.79	4855.75	2115.79	110.52	9974.62	5102.11	4693.94	6755.08	5036.76
39	344.59	780.00	390.00	390.00	2761.95	4880.78	2126.70	111.09	10079.32	5155.66	4743.21	6817.16	5087.80
39.2	346.36	784.00	392.00	392.00	2776.12	4905.81	2137.61	111.66	10184.55	5209.49	4792.73	6879.51	5139.09
39.4	348.13	788.00	394.00	394.00	2790.28	4930.84	2148.51	112.23	10290.33	5263.59	4842.51	6942.13	5190.64
39.6	349.89	792.00	396.00	396.00	2804.45	4955.87	2159.42	112.80	10396.64	5317.98	4892.54	7005.04	5242.43
39.8	351.66	796.00	398.00	398.00	2818.61	4980.90	2170.32	113.37	10503.49	5372.63	4942.82	7068.21	5294.48
40	353.43	800.00	400.00	400.00	2832.77	5005.92	2181.23	113.94	10610.88	5427.56	4993.36	7131.66	5346.79
40.2	355.20	804.00	402.00	402.00	2846.94	5030.95	2192.14	114.52	10718.81	5482.77	5044.15	7195.39	5399.34
40.4	356.96	808.00	404.00	404.00	2861.10	5055.98	2203.04	115.09	10827.28	5538.25	5095.19	7259.39	5452.15
40.6	358.73	812.00	406.00	406.00	2875.27	5081.01	2213.95	115.66	10936.28	5594.01	5146.49	7323.67	5505.22
40.8	360.50	816.00	408.00	408.00	2889.43	5106.04	2224.86	116.23	11045.83	5650.04	5198.04	7388.22	5558.53
41	362.26	820.00	410.00	410.00	2903.59	5131.07	2235.76	116.80	11155.91	5706.35	5249.84	7453.05	5612.10
41.2	364.03	824.00	412.00	412.00	2917.76	5156.10	2246.67	117.37	11266.53	5762.93	5301.90	7518.15	5665.93
41.4	365.80	828.00	414.00	414.00	2931.92	5181.13	2257.57	117.94	11377.69	5819.79	5354.20	7583.53	5720.00
41.6	367.57	832.00	416.00	416.00	2946.08	5206.16	2268.48	118.51	11489.38	5876.92	5406.77	7649.19	5774.33
41.8	369.33	836.00	418.00	418.00	2960.25	5231.19	2279.39	119.08	11601.62	5934.33	5459.58	7715.12	5828.92
42	371.10	840.00	420.00	420.00	2974.41	5256.22	2290.29	119.66	11714.39	5992.01	5512.65	7781.32	5883.75
42.2	372.87	844.00	422.00	422.00	2988.58	5281.25	2301.20	120.23	11827.70	6049.97	5565.98	7847.80	5938.84
42.4	374.63	848.00	424.00	424.00	3002.74	5306.28	2312.10	120.80	11941.55	6108.21	5619.55	7914.56	5994.19
42.6	376.40	852.00	426.00	426.00	3016.90	5331.31	2323.01	121.37	12055.94	6166.72	5673.38	7981.59	6049.78
42.8	378.17	856.00	428.00	428.00	3031.07	5356.34	2333.92	121.94	12170.86	6225.51	5727.47	8048.89	6105.63
43	379.94	860.00	430.00	430.00	3045.23	5381.37	2344.82	122.51	12286.33	6284.57	5781.80	8116.48	6161.74
43.2	381.70	864.00	432.00	432.00	3059.40	5406.40	2355.73	123.08	12402.33	6343.90	5836.39	8184.33	6218.09
43.4	383.47	868.00	434.00	434.00	3073.56	5431.43	2366.64	123.65	12518.87	6403.52	5891.23	8252.47	6274.70
43.6	385.24	872.00	436.00	436.00	3087.72	5456.46	2377.54	124.22	12635.95	6463.40	5946.33	8320.87	6331.57
43.8	387.00	876.00	438.00	438.00	3101.89	5481.49	2388.45	124.80	12753.57	6523.56	6001.68	8389.56	6388.68
44	388.77	880.00	440.00	440.00	3116.05	5506.52	2399.35	125.37	12871.72	6584.00	6057.28	8458.51	6446.05
44.2	390.54	884.00	442.00	442.00	3130.22	5531.55	2410.26	125.94	12990.42	6644.72	6113.14	8527.75	6503.68
44.4	392.31	888.00	444.00	444.00	3144.38	5556.58	2421.17	126.51	13109.65	6705.70	6169.25	8597.26	6561.55
44.6	394.07	892.00	446.00	446.00	3158.54	5581.61	2432.07	127.08	13229.42	6766.97	6225.61	8667.04	6619.68
44.8	395.84	896.00	448.00	448.00	3172.71	5606.64	2442.98	127.65	13349.73	6828.51	6282.23	8737.10	6678.07
45	397.61	900.00	450.00	450.00	3186.87	5631.67	2453.88	128.22	13470.58	6890.32	6339.10	8807.44	6736.70
45.2	399.37	904.00	452.00	452.00	3201.03	5656.70	2464.79	128.79	13591.96	6952.41	6396.22	8878.05	6795.59
45.4	401.14	908.00	454.00	454.00	3215.20	5681.72	2475.70	129.37	13713.89	7014.78	6453.59	8948.93	6854.74
45.6	402.91	912.00	456.00	456.00	3229.36	5706.75	2486.60	129.94	13836.35	7077.42	6511.22	9020.09	6914.13
45.8	404.68	916.00	458.00	458.00	3243.53	5731.78	2497.51	130.51	13959.35	7140.33	6569.11	9091.53	6973.78
46	406.44	920.00	460.00	460.00	3257.69	5756.81	2508.42	131.08	14082.89	7203.52	6627.24	9163.24	7033.69
46.2	408.21	924.00	462.00	462.00	3271.85	5781.84	2519.32	131.65	14206.97	7266.99	6685.63	9235.23	7093.84
46.4	409.98	928.00	464.00	464.00	3286.02	5806.87	2530.23	132.22	14331.58	7330.73	6744.27	9307.49	7154.25
46.6	411.74	932.00	466.00	466.00	3300.18								