

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO

U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI

PROGETTO DEFINITIVO

RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO

Lotto 2: Taormina (e) – Giampileri (e)

VI03 – Viadotto Letojanni

Relazione geotecnica e di calcolo fondazioni

SCALA:

-

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

RS2S 02 D 09 RB VI0303 001 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato	Data
A	Emissione Esecutiva	F. Formato 	Gennaio 2018	L. Utzeri 	Gennaio 2018	P. Carlesimo 	Gennaio 2018	A. Vittozzi Ingegnere N° 4207/82	Gennaio 2018
								ITALFERR S.p.A. Dipartimento di Gestione delle varianti Viale Chilli e Gestione delle varianti Viale Chilli, 10 00144 Roma, Italia	

INDICE

1.	PREMESSA	3
2.	NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	4
2.1	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	4
2.2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	4
3.	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....	5
4.	CALCOLO PALI DI FONDAZIONE.....	6
4.1	CAPACITÀ PORTANTE VERTICALE DEI PALI	6
4.1.1	<i>Pile P1 e P3</i>	6
4.1.2	<i>Pile P4 e P5</i>	9
4.2	MODULO DI REAZIONE ORIZZONTALE DEL TERRENO	11
4.3	VERIFICA A CARICO LIMITE ORIZZONTALE DEI PALI	12
5.	APPENDICE A	13
5.1	PILE P1 P3	14
5.2	PILE P4 P5	17

1. **PREMESSA**

Nella presente relazione si riporta il dimensionamento delle fondazioni del viadotto Letojanni (VI03) nell'ambito del Progetto Definitivo del raddoppio della tratta ferroviaria Giampileri – Fiumefreddo, Lotto II Taormina - Giampileri, della Linea Messina - Catania - Palermo.

In particolare verranno affrontati i seguenti aspetti:

- condizioni geotecniche;
- valutazione della capacità portante verticale dei pali di fondazione;
- definizione del modulo di reazione orizzontale palo-terreno;
- verifica a carico limite orizzontale dei pali.

Tutte le analisi svolte nel seguito sono eseguite in conformità alla normativa italiana vigente sulle opere civili (DM 14/01/2008).

2. *NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO*

2.1 *Normativa di riferimento*

- [N.1]. Norme Tecniche per le Costruzioni - D.M. 14-01-08 (NTC-2008).
- [N.2]. Circolare n. 617 del 2 febbraio 2009 - Istruzioni per l'Applicazione Nuove Norme Tecniche Costruzioni di cui al Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008.
- [N.3]. RFI DTC SI CS MA IFS 001 A del 30-12-16 - Manuale di Progettazione delle Opere Civili.
- [N.4]. RFI DTC SI SP IFS 001 A del 30-12-16 – Capitolato generale tecnico di Appalto delle opere civili.

2.2 *Documenti di riferimento*

- [DC1]. RS2S02D78RHGE0005001B - Relazione geotecnica generale 1/6.
- [DC2]. RS2S02D78F6GE0005001B - Profilo longitudinale geotecnico - Tav.1/6.
- [DC3]. RS2S02D69RGGE0001001B - Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica
- [DC4]. RS2S02D69F5GE0001001B - Profilo geologico tav. 1/8 da 13+860 a 17+000
- [DC5]. RS2S02D09CLVI0303001A - Relazione geotecnica e di calcolo strutturale fondazioni su pozzo
- [DC6]. RS2S02D09CLVI0304001A - Relazione di calcolo spalle
- [DC7]. RS2S02D09CLVI0305001A - Relazione di calcolo pile

3. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Per quanto riguarda la caratterizzazione stratigrafica e geotecnica dei terreni presenti in corrispondenza del viadotto si rimanda alla relazione geotecnica generale 1/6 (doc. rif. [DC1]).

In corrispondenza dell'opera sono stati eseguiti, in varie campagne di indagini, i seguenti sondaggi: LE01, LE02, LE03, LE04, S17D, S1s.

Le fondazioni delle pile del viadotto interessano i depositi alluvionali nei primi metri (sabbie grossolane e sabbie limose o debolmente limose, con presenza di ghiaia e a tratti ghiaie e ciottoli in matrice limoso sabbiosa) e si intestano nella formazione di base costituita da arenarie (CODb). La profondità delle arenarie è variabile lungo lo sviluppo del viadotto (sono più superficiali in direzione Giampilieri, in prossimità dell'imbocco della galleria Letojanni).

In considerazione dell'elevato valore di scalzamento previsto in corrispondenza della pila P2 (15.5m), per tale pila, sia su binario dispari che su binario pari, si è deciso di prevedere fondazioni su pozzo (per il dettaglio del calcolo delle fondazioni su pozzo si veda il documento [DC5]). In corrispondenza delle restanti pile, invece, sono state previste fondazioni su pali di grande diametro, D=1.5 m. Le spalle sono fondate direttamente sulle arenarie (cfr. relazione di calcolo delle spalle).

Il livello massimo di falda rilevato in corrispondenza dell'opera si attesta all'incirca a quota +19.5 m s.l.m. (LE03, LE04), tuttavia, considerando che la finestra temporale delle letture piezometriche potrebbe aver interessato anni poco piovosi e data la natura del corso d'acqua e dei terreni alluvionali su cui scorre, si ritiene plausibile considerare per i calcoli un livello di falda corrispondente al fondo alveo (cfr. relazione geologica [DC3]).

Nel seguito si riassumono i parametri geotecnici caratteristici per le unità intercettate.

Unità	γ (kN/m ³)	c'_k (kPa)	ϕ'_k (°)	σ_c (MPa)
bb	19	0	35	-
CODb	24	-	-	20

4. CALCOLO PALI DI FONDAZIONE

4.1 Capacità portante verticale dei pali

Nel presente capitolo si riportano le curve di capacità portante verticale (a compressione e trazione) per l'opera in esame ed i dati di base utilizzati per il calcolo. Il dettaglio dei calcoli è riportato in APPENDICE A.

Le metodologie di calcolo adottate per la determinazione della portanza verticale, invece, sono dettagliatamente illustrate nella Relazione geotecnica generale 1/6 (doc. rif. [DC1]).

4.1.1 Pile P1 e P3

La capacità portante per le fondazioni delle pile 1 e 3 del viadotto VI03 è stata valutata per pali di grande diametro $D=1500$ mm considerando l'Approccio 2 (A1+M1+R3) di normativa e quindi con i seguenti coefficienti parziali sulle resistenze di base e laterale:

- fattore di sicurezza per la portata laterale a compressione $\gamma_s = 1.15$,
- fattore di sicurezza per la portata laterale a trazione $\gamma_{st} = 1.25$,
- fattore di sicurezza per la portata di base $\gamma_b = 1.35$,
- n.1 verticale di indagine, da cui $\xi_3 = 1.70$.

Si noti che è stata considerata una sola verticale di indagine poiché tutti i sondaggi disponibili sono distanti dall'asse del viadotto.

Per la verifica di capacità portante del palo sono state verificate le seguenti due condizioni:

- $N_{max,SLU} < Q_d$: la massima sollecitazione assiale (sia statica, che sismica) allo SLU dovrà essere inferiore alla portata di progetto del palo;
- $N_{max,SLE} < S_{lim}/1.25$: la massima sollecitazione assiale allo SLE RARA dovrà essere inferiore alla portata laterale limite del palo, con un fattore di sicurezza di 1.25.

Per il calcolo della capacità portante si è considerata cautelativamente la testa palo a 3.5 m da p.c. e la falda a piano campagna.

Nella tabella seguente si riporta la stratigrafia di calcolo ed i principali dati utilizzati.

Stratigrafia di calcolo da testa palo

Unità	Met. Calcolo	Prof. base strato (m)	γ (kN/m ³)	c'_k (kPa)	ϕ'_k (°)	σ_{ck} (Mpa)	Nq
bb	Incoerente	32	19	0	35	-	15,61
CODb	Ammasso	8	24	-	-	20	-

Nel diagramma seguente si riporta l'andamento della capacità portante in funzione della lunghezza del palo.

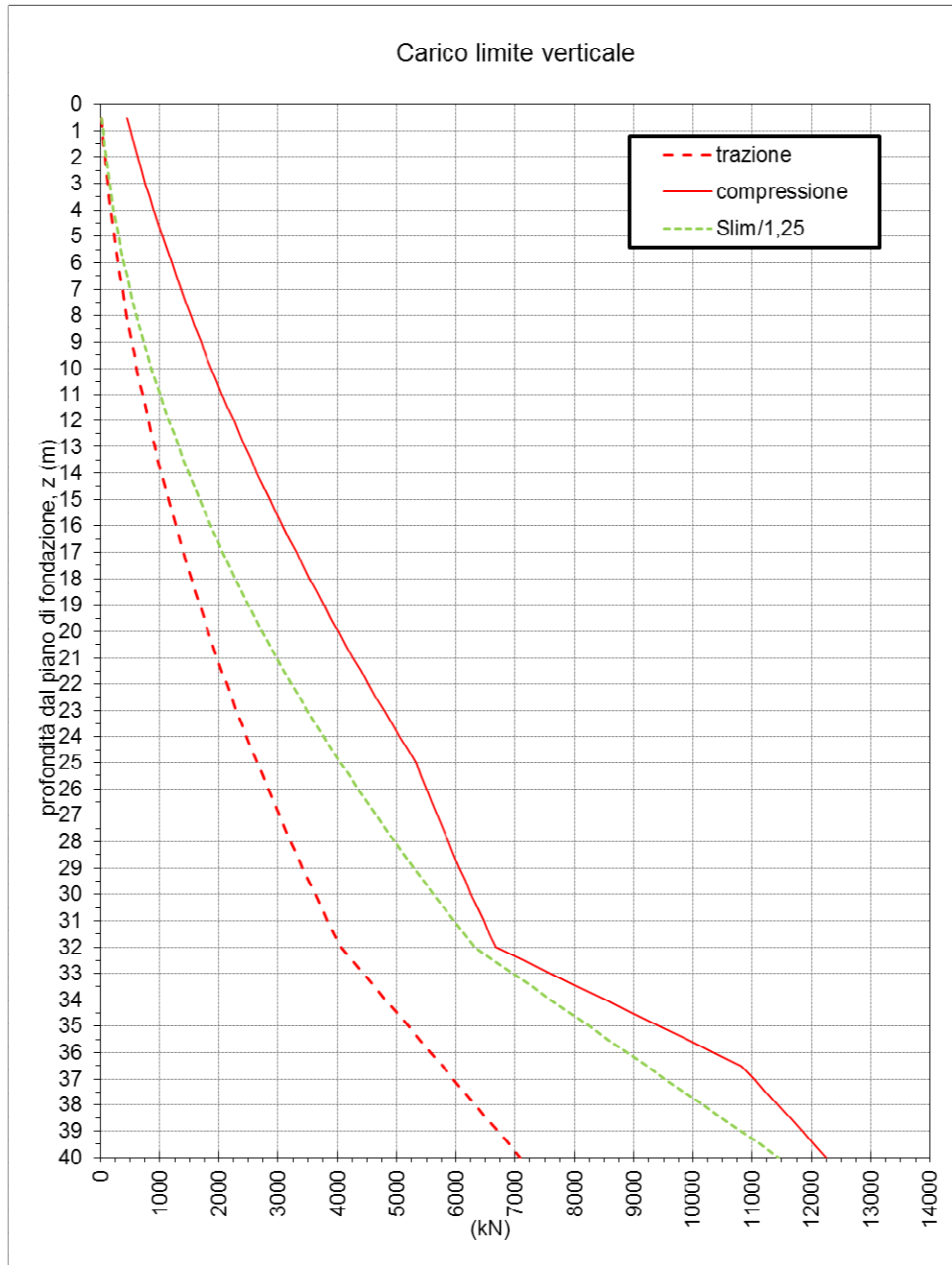


Figura 1 – VI03 P1 P3 - Capacità portante palo D=1500 mm

4.1.2 Pile P4 e P5

La capacità portante per le fondazioni delle pile 4 e 5 del viadotto VI03 è stata valutata per pali di grande diametro $D=1500$ mm considerando l'Approccio 2 (A1+M1+R3) di normativa e quindi con i seguenti coefficienti parziali sulle resistenze di base e laterale:

- fattore di sicurezza per la portata laterale a compressione $\gamma_s = 1.15$,
- fattore di sicurezza per la portata laterale a trazione $\gamma_{st} = 1.25$,
- fattore di sicurezza per la portata di base $\gamma_b = 1.35$,
- n.1 verticale di indagine, da cui $\xi_3 = 1.70$.

Si noti che è stata considerata una sola verticale di indagine poiché tutti i sondaggi disponibili sono distanti dall'asse del viadotto.

Per la verifica di capacità portante del palo sono state verificate le seguenti due condizioni:

- $N_{max,SLU} < Q_d$: la massima sollecitazione assiale (sia statica, che sismica) allo SLU dovrà essere inferiore alla portata di progetto del palo;
- $N_{max,SLE} < S_{lim}/1.25$: la massima sollecitazione assiale allo SLE RARA dovrà essere inferiore alla portata laterale limite del palo, con un fattore di sicurezza di 1.25.

Per il calcolo della capacità portante si è considerata cautelativamente la testa palo a 3.5 m da p.c. e la falda a piano campagna.

Nella tabella seguente si riporta la stratigrafia di calcolo ed i principali dati utilizzati.

Stratigrafia di calcolo da testa palo							
Unità	Met. Calcolo	Prof. base strato (m)	γ (kN/m ³)	c'_k (kPa)	ϕ'_k (°)	σ_{ck} (Mpa)	Nq
bb	Incoerente	5	19	0	35	-	15,61
CODb	Ammasso	15	24	-	-	20	-

Nel diagramma seguente si riporta l'andamento della capacità portante in funzione della lunghezza del palo.

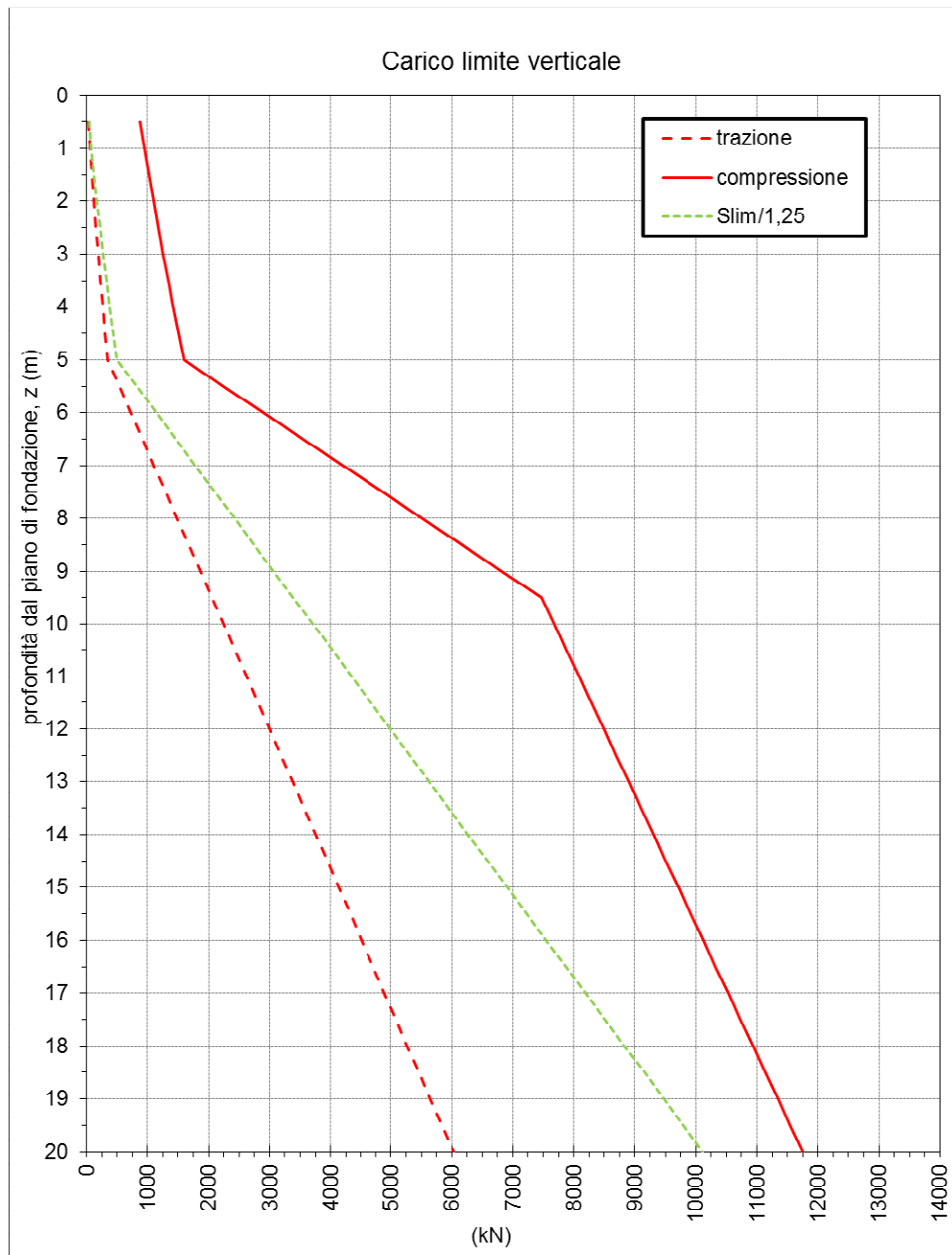


Figura 2 – VI03 P4 P5 - Capacità portante palo D=1500 mm

4.2 Modulo di reazione orizzontale del terreno

Lo studio dell'interazione tra palo soggetto ai carichi orizzontali e terreno (riportato nella relazione di calcolo delle spalle del ponte) viene effettuato ricorrendo alla teoria di Matlock e Reese che si basa sul modello di suolo alla Winkler (elastico-lineare), caratterizzato da un modulo di reazione orizzontale del terreno (k_h).

Il modulo di reazione orizzontale è definito come il rapporto fra la reazione del terreno per unità di lunghezza del palo, $p(z)$, ed il corrispondente spostamento orizzontale, $y(z)$:

$$k_h = p(z) / y(z).$$

Nel caso di terreni incoerenti, k_h può essere assunto variabile linearmente con la profondità e si assume l'espressione (Matlock e Reese, 1956):

$$k_h(z) = n_h z/D$$

in cui n_h è un valore dipendente dallo stato di addensamento del terreno e dalla presenza della falda e D è il diametro del palo.

Nel caso di terreni argillosi, k_h viene assunto costante con la profondità e, secondo Davisson (1970), può essere valutato con la seguente espressione:

$$k_h = 67 c_u/D$$

Nel caso in esame si può assumere

	bb	CODb
n_h (kN/m ³)	7000	12000

4.3 Verifica a carico limite orizzontale dei pali

Per la verifica del carico limite orizzontale si fa riferimento alla teoria di Broms per il caso di pali con rotazione in testa impedita.

Le metodologie di calcolo sono riportate in dettaglio nella Relazione geotecnica generale 1/6 (doc. rif. [DC1]). Nel caso di terreni stratificati o falda non a piano campagna, le verifiche a carico limite orizzontale sono state svolte con un programma di calcolo (Mancina, Nori, Iasiello, 2010) che opera con le stesse ipotesi di base di Broms e ricerca per tentativi le posizioni di cerniere plastiche e centri di rotazione che garantiscono le condizioni di equilibrio.

Data la lunghezza dei pali di fondazione, il meccanismo di rottura è quello di palo lungo.

Il valore caratteristico della resistenza ($H_{lim,k}$) è ottenuto applicando alla resistenza calcolata il fattore di correlazione $\xi_3 = 1.70$ (per l'opera in esame è stata considerata una sola verticale di indagine). Quindi, per ottenere il valore di progetto del carico limite del palo nella palificata (H_d), il valore caratteristico del palo singolo è stato diviso per γ_T (=1.3 per combinazione A1+M1+R3) e poi moltiplicato per un coefficiente pari a 0.8 al fine di tenere conto dell'effetto gruppo.

$$H_d = 0.8 \times H_{lim,d} = 0.8 \times H_{lim,k} / \gamma_T$$

A seguire si riporta la tabella riepilogativa delle valutazioni effettuate considerando, ad esempio, un momento di plasticizzazione pari a $M_y = 7000$ kN m. Il calcolo del carico limite per le fondazioni in esame, con il valore del momento di plasticizzazione di riferimento, è riportato nelle relazioni di calcolo delle pile e delle spalle.

In via cautelativa, è stata esaminata una sola stratigrafia di calcolo per tutte le pile, considerando la presenza del solo deposito alluvionale.

VI03				
<i>stratigrafia di calcolo</i>				
	z da testa palo (m)	γ (kN/m ³)	ϕ' (°)	prof. falda (m)
bb	15	19	35	0
<i>valutazione H_d</i>				
D palo (m)	M_y (kN m)	$H_{lim,k}$ (kN)	$H_{lim,d}$ (kN)	H_d (kN)
1,5	7000	1886,5	1451	1161



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO
RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO
LOTTO 2: Taormina - Giampileri

U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI
VI03 – Viadotto Letojanni - Relazione geotecnica e
di calcolo fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS2S	02 D 09	RB	VI0303 001	A	13 di 19

5. APPENDICE A

U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI
VI03 – Viadotto Letojanni - Relazione geotecnica e
di calcolo fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS2S	02 D 09	RB	VI0303 001	A	14 di 19

5.1 Pile P1 P3

strati	Unità geotecniche	spessore strato da testa palo	quota iniziale	quota finale	peso secco gamma_d	gamma_sat	coesione non dren. cu
		(m)	m	m	(kN/m3)	(kN/m3)	(kPa)
1° strato	bb	32	0	32	19	19	0
2° strato	CODb	8	32	40	24	24	-
		40					

lunghezza palo	incrementi	unità	diametro	peso secco gamma_d	gamma_sat	coesione non dren. cu	coesione dren. c'
(m)			m	(kN/m3)	(kN/m3)	(kPa)	(kPa)
0,5	0,50	bb	1,5	19	19	0	0
1,00	0,50	bb	1,5	19	19	0	0
1,50	0,50	bb	1,5	19	19	0	0
2,00	0,50	bb	1,5	19	19	0	0
2,50	0,50	bb	1,5	19	19	0	0
3,00	0,50	bb	1,5	19	19	0	0
3,50	0,50	bb	1,5	19	19	0	0
4,00	0,50	bb	1,5	19	19	0	0
4,50	0,50	bb	1,5	19	19	0	0
5,00	0,50	bb	1,5	19	19	0	0
5,50	0,50	bb	1,5	19	19	0	0
6,00	0,50	bb	1,5	19	19	0	0
6,50	0,50	bb	1,5	19	19	0	0
7,00	0,50	bb	1,5	19	19	0	0
7,50	0,50	bb	1,5	19	19	0	0
8,00	0,50	bb	1,5	19	19	0	0
8,50	0,50	bb	1,5	19	19	0	0
9,00	0,50	bb	1,5	19	19	0	0
9,50	0,50	bb	1,5	19	19	0	0
10,00	0,50	bb	1,5	19	19	0	0
10,50	0,50	bb	1,5	19	19	0	0
11,00	0,50	bb	1,5	19	19	0	0
11,50	0,50	bb	1,5	19	19	0	0
12,00	0,50	bb	1,5	19	19	0	0
12,50	0,50	bb	1,5	19	19	0	0
13,00	0,50	bb	1,5	19	19	0	0
13,50	0,50	bb	1,5	19	19	0	0
14,00	0,50	bb	1,5	19	19	0	0
14,50	0,50	bb	1,5	19	19	0	0
15,00	0,50	bb	1,5	19	19	0	0
15,50	0,50	bb	1,5	19	19	0	0
16,00	0,50	bb	1,5	19	19	0	0
16,50	0,50	bb	1,5	19	19	0	0
17,00	0,50	bb	1,5	19	19	0	0
17,50	0,50	bb	1,5	19	19	0	0
18,00	0,50	bb	1,5	19	19	0	0
18,50	0,50	bb	1,5	19	19	0	0
19,00	0,50	bb	1,5	19	19	0	0
19,50	0,50	bb	1,5	19	19	0	0
20,00	0,50	bb	1,5	19	19	0	0
20,50	0,50	bb	1,5	19	19	0	0
21,00	0,50	bb	1,5	19	19	0	0
21,50	0,50	bb	1,5	19	19	0	0
22,00	0,50	bb	1,5	19	19	0	0
22,50	0,50	bb	1,5	19	19	0	0
23,00	0,50	bb	1,5	19	19	0	0
23,50	0,50	bb	1,5	19	19	0	0
24,00	0,50	bb	1,5	19	19	0	0
24,50	0,50	bb	1,5	19	19	0	0
25,00	0,50	bb	1,5	19	19	0	0
25,50	0,50	bb	1,5	19	19	0	0
26,00	0,50	bb	1,5	19	19	0	0
26,50	0,50	bb	1,5	19	19	0	0
27,00	0,50	bb	1,5	19	19	0	0
27,50	0,50	bb	1,5	19	19	0	0
28,00	0,50	bb	1,5	19	19	0	0
28,50	0,50	bb	1,5	19	19	0	0
29,00	0,50	bb	1,5	19	19	0	0
29,50	0,50	bb	1,5	19	19	0	0
30,00	0,50	bb	1,5	19	19	0	0
30,50	0,50	bb	1,5	19	19	0	0
31,00	0,50	bb	1,5	19	19	0	0
31,50	0,50	bb	1,5	19	19	0	0
32,00	0,50	bb	1,5	19	19	0	0
32,50	0,50	CODb	1,5	24	24	-	-
33,00	0,50	CODb	1,5	24	24	-	-
33,50	0,50	CODb	1,5	24	24	-	-
34,00	0,50	CODb	1,5	24	24	-	-
34,50	0,50	CODb	1,5	24	24	-	-
35,00	0,50	CODb	1,5	24	24	-	-
35,50	0,50	CODb	1,5	24	24	-	-
36,00	0,50	CODb	1,5	24	24	-	-
36,50	0,50	CODb	1,5	24	24	-	-
37,00	0,50	CODb	1,5	24	24	-	-
37,50	0,50	CODb	1,5	24	24	-	-
38,00	0,50	CODb	1,5	24	24	-	-
38,50	0,50	CODb	1,5	24	24	-	-
39,00	0,50	CODb	1,5	24	24	-	-
39,50	0,50	CODb	1,5	24	24	-	-
40,00	0,50	CODb	1,5	24	24	-	-

U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI
VI03 – Viadotto Letojanni - Relazione geotecnica e
di calcolo fondazioni

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO
RS2S 02 D 09 RB VI0303 001 A 15 di 19

coesione dren. c' (kPa)	angolo attrito phi' (°)	coeff. adesione palo-terr. alpha	coeff. tensione orizz. ko	coeff. attrito palo-terr. mu	coeff. Nc (cond. non drenate)	coeff. Nc (cond. drenate)	coeff. Nq (cond. drenate)	Rci (kPa)	qbi (kPa)	qsi (kPa)			
0	35	0,90	0,43	0,70	9,00	-	15,61						
-	-	-	-	-	-	-	-	20000,00	7000	170			
angolo attrito phi' (°)	coeff. adesione palo-terr. alpha	coeff. tensione orizz. ko	coeff. attrito palo-terr. mu	coeff. Nc (cond. non drenate)	coeff. Nc (cond. drenate)	coeff. Nq (cond. drenate)	Peso proprio palo/m (non alleggerito)		sig z(L) (kPa)	pw(L) (kPa)	sig z(L) (kPa)	plim_d (kPa)	
							(kN)						
35	0,90	0,43	0,70	9,00		15,61	5	66,5	35,0	32		562	
35	0,90	0,43	0,70	9,00		15,61	5	76	40,0	36		632	
35	0,90	0,43	0,70	9,00		15,61	5	86	45,0	41		702	
35	0,90	0,43	0,70	9,00		15,61	5	95	50,0	45		773	
35	0,90	0,43	0,70	9,00		15,61	5	105	55,0	50		843	
35	0,90	0,43	0,70	9,00		15,61	5	114	60,0	54		913	
35	0,90	0,43	0,70	9,00		15,61	5	124	65,0	59		983	
35	0,90	0,43	0,70	9,00		15,61	5	133	70,0	63		1054	
35	0,90	0,43	0,70	9,00		15,61	5	142	75,0	68		1124	
35	0,90	0,43	0,70	9,00		15,61	5	151	80,0	72		1194	
35	0,90	0,43	0,70	9,00		15,61	5	162	85,0	77		1264	
35	0,90	0,43	0,70	9,00		15,61	5	171	90,0	81		1334	
35	0,90	0,43	0,70	9,00		15,61	5	181	95,0	86		1405	
35	0,90	0,43	0,70	9,00		15,61	5	190	100,0	90		1475	
35	0,90	0,43	0,70	9,00		15,61	5	200	105,0	95		1545	
35	0,90	0,43	0,70	9,00		15,61	5	209	110,0	99		1615	
35	0,90	0,43	0,70	9,00		15,61	5	219	115,0	104		1686	
35	0,90	0,43	0,70	9,00		15,61	5	228	120,0	108		1756	
35	0,90	0,43	0,70	9,00		15,61	5	238	125,0	113		1826	
35	0,90	0,43	0,70	9,00		15,61	5	247	130,0	117		1896	
35	0,90	0,43	0,70	9,00		15,61	5	257	135,0	122		1967	
35	0,90	0,43	0,70	9,00		15,61	5	266	140,0	126		2037	
35	0,90	0,43	0,70	9,00		15,61	5	276	145,0	131		2107	
35	0,90	0,43	0,70	9,00		15,61	5	285	150,0	135		2177	
35	0,90	0,43	0,70	9,00		15,61	5	295	155,0	140		2247	
35	0,90	0,43	0,70	9,00		15,61	5	304	160,0	144		2318	
35	0,90	0,43	0,70	9,00		15,61	5	314	165,0	149		2388	
35	0,90	0,43	0,70	9,00		15,61	5	323	170,0	153		2458	
35	0,90	0,43	0,70	9,00		15,61	5	333	175,0	158		2528	
35	0,90	0,43	0,70	9,00		15,61	5	342	180,0	162		2599	
35	0,90	0,43	0,70	9,00		15,61	5	352	185,0	167		2669	
35	0,90	0,43	0,70	9,00		15,61	5	361	190,0	171		2739	
35	0,90	0,43	0,70	9,00		15,61	5	371	195,0	176		2809	
35	0,90	0,43	0,70	9,00		15,61	5	380	200,0	180		2880	
35	0,90	0,43	0,70	9,00		15,61	5	390	205,0	185		2950	
35	0,90	0,43	0,70	9,00		15,61	5	399	210,0	189		3020	
35	0,90	0,43	0,70	9,00		15,61	5	409	215,0	194		3090	
35	0,90	0,43	0,70	9,00		15,61	5	418	220,0	198		3161	
35	0,90	0,43	0,70	9,00		15,61	5	428	225,0	203		3231	
35	0,90	0,43	0,70	9,00		15,61	5	437	230,0	207		3301	
35	0,90	0,43	0,70	9,00		15,61	5	447	235,0	212		3371	
35	0,90	0,43	0,70	9,00		15,61	5	456	240,0	216		3441	
35	0,90	0,43	0,70	9,00		15,61	5	466	245,0	221		3512	
35	0,90	0,43	0,70	9,00		15,61	5	475	250,0	225		3582	
35	0,90	0,43	0,70	9,00		15,61	5	485	255,0	230		3652	
35	0,90	0,43	0,70	9,00		15,61	5	494	260,0	234		3722	
35	0,90	0,43	0,70	9,00		15,61	5	504	265,0	239		3793	
35	0,90	0,43	0,70	9,00		15,61	5	513	270,0	243		3863	
35	0,90	0,43	0,70	9,00		15,61	5	523	275,0	248		3933	
35	0,90	0,43	0,70	9,00		15,61	5	532	280,0	252		4000	
35	0,90	0,43	0,70	9,00		15,61	5	542	285,0	257		4070	
35	0,90	0,43	0,70	9,00		15,61	5	551	290,0	261		4140	
35	0,90	0,43	0,70	9,00		15,61	5	561	295,0	266		4210	
35	0,90	0,43	0,70	9,00		15,61	5	570	300,0	270		4280	
35	0,90	0,43	0,70	9,00		15,61	5	580	305,0	275		4350	
35	0,90	0,43	0,70	9,00		15,61	5	589	310,0	279		4420	
35	0,90	0,43	0,70	9,00		15,61	5	599	315,0	284		4490	
35	0,90	0,43	0,70	9,00		15,61	5	608	320,0	288		4560	
35	0,90	0,43	0,70	9,00		15,61	5	618	325,0	293		4630	
35	0,90	0,43	0,70	9,00		15,61	5	627	330,0	297		4700	
35	0,90	0,43	0,70	9,00		15,61	5	637	335,0	302		4770	
35	0,90	0,43	0,70	9,00		15,61	5	646	340,0	306		4840	
35	0,90	0,43	0,70	9,00		15,61	5	656	345,0	311		4910	
35	0,90	0,43	0,70	9,00		15,61	5	665	350,0	315		4980	
35	0,90	0,43	0,70	9,00		15,61	5	675	355,0	320		5050	
-	-	-	-	-	-	-	1	687	360,0	327		5120	
-	-	-	-	-	-	-	1	699	365,0	334		5190	
-	-	-	-	-	-	-	1	711	370,0	341		5260	
-	-	-	-	-	-	-	1	723	375,0	348		5330	
-	-	-	-	-	-	-	1	735	380,0	355		5400	
-	-	-	-	-	-	-	1	747	385,0	362		5470	
-	-	-	-	-	-	-	1	759	390,0	369		5540	
-	-	-	-	-	-	-	1	771	395,0	376		5610	
-	-	-	-	-	-	-	1	783	400,0	383		5680	
-	-	-	-	-	-	-	1	795	405,0	390		5750	
-	-	-	-	-	-	-	1	807	410,0	397		5820	
-	-	-	-	-	-	-	1	819	415,0	404		5890	
-	-	-	-	-	-	-	1	831	420,0	411		5960	
-	-	-	-	-	-	-	1	843	425,0	418		6030	
-	-	-	-	-	-	-	1	855	430,0	425		6100	
-	-	-	-	-	-	-	1	867	435,0	432		6170	

plm Mey	int(slim_dz)	int(slim_dz) trazione	Plim	γ base	Slim	Slim trazione	γ laterale	Qlim	Qlim - Ppalo	γ trazione	Tlim-Ppalo	Slim 1,25
(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kN)		(kN)	(kN)		(kN)	(kN)		(kN)	(kN)
562	10	10	993	1,35	24	24	1,15	445	438	1,25	16,48	19
632	11	11	1117	1,35	51	51	1,15	513	499	1,25	34,44	41
702	13	13	1241	1,35	81	81	1,15	582	561	1,25	53,89	65
773	14	14	1365	1,35	114	114	1,15	653	626	1,25	74,84	91
843	15	15	1489	1,35	150	150	1,15	726	691	1,25	97,27	120
913	17	17	1613	1,35	190	190	1,15	800	759	1,25	121,20	152
983	18	18	1738	1,35	233	233	1,15	876	828	1,25	146,61	186
1054	19	19	1862	1,35	279	279	1,15	954	899	1,25	173,52	223
1124	21	21	1986	1,35	328	328	1,15	1033	971	1,25	201,91	262
1194	22	22	2110	1,35	380	380	1,15	1114	1045	1,25	231,79	304
1264	24	24	2234	1,35	435	435	1,15	1196	1120	1,25	263,17	348
1334	25	25	2358	1,35	494	494	1,15	1280	1197	1,25	296,03	395
1405	26	26	2482	1,35	556	556	1,15	1366	1276	1,25	330,38	444
1475	28	28	2606	1,35	621	621	1,15	1453	1357	1,25	366,22	496
1545	29	29	2730	1,35	689	689	1,15	1542	1439	1,25	403,56	551
1615	30	30	2855	1,35	760	760	1,15	1632	1522	1,25	442,38	608
1686	32	32	2979	1,35	834	834	1,15	1725	1607	1,25	482,69	667
1756	33	33	3103	1,35	912	912	1,15	1818	1694	1,25	524,49	729
1826	34	34	3227	1,35	992	992	1,15	1914	1783	1,25	567,78	794
1896	36	36	3351	1,35	1076	1076	1,15	2011	1873	1,25	612,57	861
1967	37	37	3475	1,35	1163	1163	1,15	2109	1965	1,25	658,84	931
2037	38	38	3599	1,35	1254	1254	1,15	2210	2058	1,25	706,60	1003
2107	40	40	3723	1,35	1347	1347	1,15	2311	2153	1,25	755,85	1078
2177	41	41	3847	1,35	1444	1444	1,15	2415	2249	1,25	806,59	1155
2247	42	42	3972	1,35	1543	1543	1,15	2520	2348	1,25	858,82	1235
2318	44	44	4096	1,35	1646	1646	1,15	2627	2448	1,25	912,54	1317
2388	45	45	4220	1,35	1752	1752	1,15	2735	2549	1,25	967,75	1402
2458	46	46	4344	1,35	1862	1862	1,15	2845	2652	1,25	1024,45	1489
2528	48	48	4468	1,35	1974	1974	1,15	2957	2757	1,25	1082,64	1579
2599	49	49	4592	1,35	2089	2089	1,15	3070	2863	1,25	1142,32	1672
2669	50	50	4716	1,35	2208	2208	1,15	3185	2971	1,25	1203,49	1767
2739	52	52	4840	1,35	2330	2330	1,15	3301	3080	1,25	1266,15	1864
2809	53	53	4965	1,35	2455	2455	1,15	3419	3192	1,25	1330,30	1964
2880	54	54	5089	1,35	2583	2583	1,15	3539	3304	1,25	1395,94	2067
2950	56	56	5213	1,35	2715	2715	1,15	3660	3419	1,25	1463,07	2172
3020	57	57	5337	1,35	2849	2849	1,15	3783	3535	1,25	1531,69	2279
3090	58	58	5461	1,35	2987	2987	1,15	3907	3652	1,25	1601,79	2390
3161	60	60	5585	1,35	3128	3128	1,15	4034	3772	1,25	1673,39	2502
3231	61	61	5709	1,35	3272	3272	1,15	4161	3892	1,25	1746,48	2618
3301	62	62	5833	1,35	3419	3419	1,15	4291	4015	1,25	1821,06	2735
3371	64	64	5957	1,35	3570	3570	1,15	4422	4139	1,25	1897,13	2856
3441	65	65	6082	1,35	3723	3723	1,15	4554	4265	1,25	1974,68	2978
3512	67	67	6206	1,35	3880	3880	1,15	4689	4392	1,25	2053,73	3104
3582	68	68	6330	1,35	4040	4040	1,15	4824	4521	1,25	2134,27	3232
3652	69	69	6454	1,35	4203	4203	1,15	4962	4652	1,25	2216,30	3362
3722	71	71	6578	1,35	4369	4369	1,15	5101	4784	1,25	2299,81	3495
3793	72	72	6702	1,35	4538	4538	1,15	5242	4918	1,25	2384,82	3631
3863	73	73	6826	1,35	4711	4711	1,15	5384	5053	1,25	2471,32	3769
3933	75	75	6950	1,35	4887	4887	1,15	5528	5190	1,25	2559,30	3909
4000	76	76	7069	1,35	5065	5065	1,15	5671	5326	1,25	2648,78	4052
4000	77	77	7069	1,35	5247	5247	1,15	5764	5413	1,25	2739,74	4198
4000	79	79	7069	1,35	5433	5433	1,15	5859	5500	1,25	2832,20	4346
4000	80	80	7069	1,35	5621	5621	1,15	5955	5590	1,25	2926,14	4497
4000	81	81	7069	1,35	5813	5813	1,15	6053	5681	1,25	3021,58	4650
4000	83	83	7069	1,35	6007	6007	1,15	6153	5774	1,25	3118,51	4806
4000	84	84	7069	1,35	6205	6205	1,15	6254	5868	1,25	3216,92	4964
4000	85	85	7069	1,35	6406	6406	1,15	6357	5964	1,25	3316,83	5125
4000	87	87	7069	1,35	6610	6610	1,15	6461	6061	1,25	3418,22	5288
4000	88	88	7069	1,35	6818	6818	1,15	6567	6161	1,25	3521,10	5454
4000	89	89	7069	1,35	7028	7028	1,15	6675	6261	1,25	3625,48	5623
4000	91	91	7069	1,35	7242	7242	1,15	6784	6364	1,25	3731,34	5794
4000	92	92	7069	1,35	7459	7459	1,15	6895	6468	1,25	3838,70	5967
4000	93	93	7069	1,35	7679	7679	1,15	7008	6574	1,25	3947,54	6143
4000	95	95	7069	1,35	7902	7902	1,15	7122	6681	1,25	4057,87	6322
4333	170	170	7658	1,35	8303	8303	1,15	7583	7141	1,25	4247,25	6642
4667	170	170	8247	1,35	8703	8703	1,15	8045	7602	1,25	4436,63	6962
5000	170	170	8836	1,35	9104	9104	1,15	8507	8062	1,25	4626,01	7283
5333	170	170	9425	1,35	9504	9504	1,15	8968	8522	1,25	4815,39	7603
5667	170	170	10014	1,35	9905	9905	1,15	9430	8983	1,25	5004,77	7924
6000	170	170	10603	1,35	10305	10305	1,15	9891	9443	1,25	5194,15	8244
6333	170	170	11192	1,35	10706	10706	1,15	10353	9904	1,25	5383,53	8565
6667	170	170	11781	1,35	11106	11106	1,15	10814	10364	1,25	5572,91	8885
7000	170	170	12370	1,35	11507	11507	1,15	11276	10824	1,25	5762,29	9206
7000	170	170	12370	1,35	11908	11908	1,15	11481	11028	1,25	5951,66	9526
7000	170	170	12370	1,35	12308	12308	1,15	11686	11232	1,25	6141,04	9846
7000	170	170	12370	1,35	12709	12709	1,15	11891	11436	1,25	6330,42	10167
7000	170	170	12370	1,35	13109	13109	1,15	12095	11639	1,25	6519,80	10487
7000	170	170	12370	1,35	13510	13510	1,15	12300	11843	1,25	6709,18	10808
7000	170	170	12370	1,35	13910	13910	1,15	12505	12047	1,25	6898,56	11128
7000	170	170	12370	1,35	14311	14311	1,15	12710	12251	1,25	7087,94	11449

5.2 Pile P4 P5

strati	Unità geotecniche	spessore strato da testa palo	quota iniziale	quota finale	peso secco gamma_d	gamma_sat	coesione non dren. cu	coesione dren. c'
		(m)	m	m	(kN/m3)	(kN/m3)	(kPa)	(kPa)
1° strato	bb	5	0	5	19	19	0	0
2° strato	CODb	15	5	20	24	24	-	-
		20						
lunghezza palo	incrementi	unità	diametro	peso secco gamma_d	gamma_sat	coesione non dren. cu	coesione dren. c'	angolo attrito phi'
(m)			m	(kN/m3)	(kN/m3)	(kPa)	(kPa)	(°)
0.5	0.50	bb	1.5	19	19	0	0	35
1.00	0.50	bb	1.5	19	19	0	0	35
1.50	0.50	bb	1.5	19	19	0	0	35
2.00	0.50	bb	1.5	19	19	0	0	35
2.50	0.50	bb	1.5	19	19	0	0	35
3.00	0.50	bb	1.5	19	19	0	0	35
3.50	0.50	bb	1.5	19	19	0	0	35
4.00	0.50	bb	1.5	19	19	0	0	35
4.50	0.50	bb	1.5	19	19	0	0	35
5.00	0.50	bb	1.5	19	19	0	0	35
5.50	0.50	CODb	1.5	24	24	-	-	-
6.00	0.50	CODb	1.5	24	24	-	-	-
6.50	0.50	CODb	1.5	24	24	-	-	-
7.00	0.50	CODb	1.5	24	24	-	-	-
7.50	0.50	CODb	1.5	24	24	-	-	-
8.00	0.50	CODb	1.5	24	24	-	-	-
8.50	0.50	CODb	1.5	24	24	-	-	-
9.00	0.50	CODb	1.5	24	24	-	-	-
9.50	0.50	CODb	1.5	24	24	-	-	-
10.00	0.50	CODb	1.5	24	24	-	-	-
10.50	0.50	CODb	1.5	24	24	-	-	-
11.00	0.50	CODb	1.5	24	24	-	-	-
11.50	0.50	CODb	1.5	24	24	-	-	-
12.00	0.50	CODb	1.5	24	24	-	-	-
12.50	0.50	CODb	1.5	24	24	-	-	-
13.00	0.50	CODb	1.5	24	24	-	-	-
13.50	0.50	CODb	1.5	24	24	-	-	-
14.00	0.50	CODb	1.5	24	24	-	-	-
14.50	0.50	CODb	1.5	24	24	-	-	-
15.00	0.50	CODb	1.5	24	24	-	-	-
15.50	0.50	CODb	1.5	24	24	-	-	-
16.00	0.50	CODb	1.5	24	24	-	-	-
16.50	0.50	CODb	1.5	24	24	-	-	-
17.00	0.50	CODb	1.5	24	24	-	-	-
17.50	0.50	CODb	1.5	24	24	-	-	-
18.00	0.50	CODb	1.5	24	24	-	-	-
18.50	0.50	CODb	1.5	24	24	-	-	-
19.00	0.50	CODb	1.5	24	24	-	-	-
19.50	0.50	CODb	1.5	24	24	-	-	-
20.00	0.50	CODb	1.5	24	24	-	-	-

angolo attrito phi [?]	coeff. adesione palo- terr. alpha	coeff. tensione orizz. k0	coeff. attrito palo-terr. mu	coeff. Nc (cond. non drenate)	coeff. Nc (cond. drenate)	coeff. Nq (cond. drenate)	Rci (kPa)	qbi (kPa)	qsi (kPa)		
(°)											
35	0,90	0,43	0,70	9,00	20,86	15,61					
-	-	-	-	-	-	-	20000,00	7000	170		
coeff. adesione palo- terr. alpha	coeff. tensione orizz. k0	coeff. attrito palo- terr. mu	coeff. Nc (cond. non drenate)	coeff. Nc (cond. drenate)	coeff. Nq (cond. drenate)	Peso proprio palo/m (non alleggerito)		sigz(L)	pw(L)	sigz(L)	plm
						(kN)		(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)
								66,5	0,0	67	
0,90	0,43	0,70	9,00		15,61	5	5	76	5,0	71	1108
0,90	0,43	0,70	9,00		15,61	5	11	86	10,0	76	1178
0,90	0,43	0,70	9,00		15,61	5	16	95	15,0	80	1249
0,90	0,43	0,70	9,00		15,61	5	21	105	20,0	85	1319
0,90	0,43	0,70	9,00		15,61	5	27	114	25,0	89	1389
0,90	0,43	0,70	9,00		15,61	5	32	124	30,0	94	1459
0,90	0,43	0,70	9,00		15,61	5	37	133	35,0	98	1530
0,90	0,43	0,70	9,00		15,61	5	42	143	40,0	103	1600
0,90	0,43	0,70	9,00		15,61	5	48	152	45,0	107	1670
0,90	0,43	0,70	9,00		15,61	5	53	162	50,0	112	1740
-	-	-	-	-	-	-	54	174	55,0	119	7000
-	-	-	-	-	-	-	55	186	60,0	126	7000
-	-	-	-	-	-	-	56	198	65,0	133	7000
-	-	-	-	-	-	-	57	210	70,0	140	7000
-	-	-	-	-	-	-	57	222	75,0	147	7000
-	-	-	-	-	-	-	58	234	80,0	154	7000
-	-	-	-	-	-	-	59	246	85,0	161	7000
-	-	-	-	-	-	-	60	258	90,0	168	7000
-	-	-	-	-	-	-	61	270	95,0	175	7000
-	-	-	-	-	-	-	62	282	100,0	182	7000
-	-	-	-	-	-	-	63	294	105,0	189	7000
-	-	-	-	-	-	-	64	306	110,0	196	7000
-	-	-	-	-	-	-	65	318	115,0	203	7000
-	-	-	-	-	-	-	65	330	120,0	210	7000
-	-	-	-	-	-	-	66	342	125,0	217	7000
-	-	-	-	-	-	-	67	354	130,0	224	7000
-	-	-	-	-	-	-	68	366	135,0	231	7000
-	-	-	-	-	-	-	69	378	140,0	238	7000
-	-	-	-	-	-	-	70	390	145,0	245	7000
-	-	-	-	-	-	-	71	402	150,0	252	7000
-	-	-	-	-	-	-	72	414	155,0	259	7000
-	-	-	-	-	-	-	72	426	160,0	266	7000
-	-	-	-	-	-	-	73	438	165,0	273	7000
-	-	-	-	-	-	-	74	450	170,0	280	7000
-	-	-	-	-	-	-	75	462	175,0	287	7000
-	-	-	-	-	-	-	76	474	180,0	294	7000
-	-	-	-	-	-	-	77	486	185,0	301	7000
-	-	-	-	-	-	-	78	498	190,0	308	7000
-	-	-	-	-	-	-	79	510	195,0	315	7000
-	-	-	-	-	-	-	80	522	200,0	322	7000

plim Mey	int(slim_dz)	int(slim_dz) trazione	Plim	γ base	Slim	Slim_trazi one	γ laterale	Qlim	Qlim - Ppalo	γ trazione	Tlim	Slim/1,25
(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kN)		(kN)	(kN)		(kN)	(kN)		(kN)	(kN)
1108	21	21	1958	1,35	48	48	1,15	878	871	1,25	28,06	39
1178	22	22	2082	1,35	100	100	1,15	958	945	1,25	57,61	80
1249	23	23	2206	1,35	155	155	1,15	1040	1020	1,25	88,66	124
1319	25	25	2331	1,35	212	212	1,15	1124	1097	1,25	121,19	170
1389	26	26	2455	1,35	273	273	1,15	1209	1175	1,25	155,21	219
1459	27	27	2579	1,35	338	338	1,15	1296	1255	1,25	190,72	270
1530	29	29	2703	1,35	405	405	1,15	1385	1337	1,25	227,72	324
1600	30	30	2827	1,35	476	476	1,15	1475	1420	1,25	266,22	380
1670	31	31	2951	1,35	549	549	1,15	1567	1505	1,25	306,20	439
1740	33	33	3075	1,35	626	626	1,15	1660	1591	1,25	347,67	501
2325	170	170	4108	1,35	1027	1027	1,15	2315	2245	1,25	537,05	821
2909	170	170	5141	1,35	1427	1427	1,15	2970	2899	1,25	726,43	1142
3493	170	170	6173	1,35	1828	1828	1,15	3625	3553	1,25	915,80	1462
4078	170	170	7206	1,35	2228	2228	1,15	4280	4206	1,25	1105,18	1783
4662	170	170	8239	1,35	2629	2629	1,15	4935	4860	1,25	1294,56	2103
5247	170	170	9272	1,35	3029	3029	1,15	5590	5514	1,25	1483,94	2424
5831	170	170	10305	1,35	3430	3430	1,15	6244	6168	1,25	1673,32	2744
6416	170	170	11337	1,35	3831	3831	1,15	6899	6821	1,25	1862,70	3064
7000	170	170	12370	1,35	4231	4231	1,15	7554	7475	1,25	2052,08	3385
7000	170	170	12370	1,35	4632	4632	1,15	7759	7679	1,25	2241,46	3705
7000	170	170	12370	1,35	5032	5032	1,15	7964	7882	1,25	2430,84	4026
7000	170	170	12370	1,35	5433	5433	1,15	8169	8086	1,25	2620,22	4346
7000	170	170	12370	1,35	5833	5833	1,15	8374	8290	1,25	2809,60	4667
7000	170	170	12370	1,35	6234	6234	1,15	8579	8494	1,25	2998,97	4987
7000	170	170	12370	1,35	6634	6634	1,15	8784	8697	1,25	3188,35	5308
7000	170	170	12370	1,35	7035	7035	1,15	8988	8901	1,25	3377,73	5628
7000	170	170	12370	1,35	7436	7436	1,15	9193	9105	1,25	3567,11	5948
7000	170	170	12370	1,35	7836	7836	1,15	9398	9309	1,25	3756,49	6269
7000	170	170	12370	1,35	8237	8237	1,15	9603	9512	1,25	3945,87	6589
7000	170	170	12370	1,35	8637	8637	1,15	9808	9716	1,25	4135,25	6910
7000	170	170	12370	1,35	9038	9038	1,15	10013	9920	1,25	4324,63	7230
7000	170	170	12370	1,35	9438	9438	1,15	10218	10124	1,25	4514,01	7551
7000	170	170	12370	1,35	9839	9839	1,15	10423	10327	1,25	4703,39	7871
7000	170	170	12370	1,35	10239	10239	1,15	10628	10531	1,25	4892,77	8192
7000	170	170	12370	1,35	10640	10640	1,15	10832	10735	1,25	5082,15	8512
7000	170	170	12370	1,35	11041	11041	1,15	11037	10939	1,25	5271,52	8832
7000	170	170	12370	1,35	11441	11441	1,15	11242	11142	1,25	5460,90	9153
7000	170	170	12370	1,35	11842	11842	1,15	11447	11346	1,25	5650,28	9473
7000	170	170	12370	1,35	12242	12242	1,15	11652	11550	1,25	5839,66	9794
7000	170	170	12370	1,35	12643	12643	1,15	11857	11753	1,25	6029,04	10114