



Commessa:

**PR-E-1087 Lavori urgenti di messa in sicurezza  
della briglia selettiva a funzione del manufatto limitatore  
della cassa di espansione di monte del torrente Enza  
CUP B77H22000180001**



**PROGETTO ESECUTIVO - 1° STRALCIO  
VERIFICHE STRUTTURALI**

**RELAZIONE GEOTECNICA**

Scala: -

**2022-1087-PR-STR4**

Tav.

REVISIONE	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
00	14.11.2022	Emissione	RR	RR	RR

I PROGETTISTI



*Monica Larocca* IL RUP  
Dott. Ing. Monica Larocca

## 1. PREMESSA

Sulla base delle informazioni disponibili circa i terreni di fondazione della traversa e dei materiali strutturali sono state determinate le resistenze geotecniche dei diaframmi esistenti in c.a.

La caratterizzazione del calcestruzzo e dell'acciaio per c.a. della traversa di dissipazione di monte è sviluppata in considerazione della campagna di indagini diagnostiche commissionate negli anni 2019 e 2020 dalla Stazione Appaltante ed illustrate in elaborato tecnico 2022-1087-PR-GEO3.

In considerazione delle caratteristiche di ripetitività della struttura nonché dell'acquisizione degli elaborati progettuali originari e della numerosità di prove dirette effettuate, si è ritenuto conforme alle indicazioni di Circolare 2019 l'applicazione di un livello di conoscenza pari a LC3 (con FC=1) per la valutazione della platea e della struttura di elevazione della traversa. I diaframmi strutturali, in quanto non indagati e di difficile indagine diretta, saranno invece valutati con LC2.

La verifica della struttura esistente è stata quindi sviluppata considerando calcestruzzo di classe:

- C32/40 per le strutture di elevazione con FC=1
- C20/25 per le strutture di fondazione con FC=1
- Come dichiarato a progetto (C25/30) con FC=1.20 per le diaframature di fondazione

L'acciaio per armature è assunto di tipo B450C.

I materiali sono stati mantenuti in campo elastico in considerazione della natura monolitica degli elementi strutturali che compongono la traversa.

Di seguito verranno motivate le assunzioni di caratterizzazione meccanica dei materiali nell'ambito delle procedure di verifica sulla base delle indagini diagnostiche acquisite.

## 2. CARATTERIZZAZIONE DEL C.L.S. IN OPERA

### 2.1 CERTIFICATI DI PROVA A ROTTURA DEI CAMPIONI DI CLS

Il calcestruzzo in opera è stato caratterizzato in ragione delle 15 prove a rottura delle rispettive carote prelevate in occasione della campagna di indagini 2019.

I certificati di riferimento sono i numeri 534B/19, 535B/19, 536B/19, 537B/19, 538B/19, 539B/19 emessi dal Laboratorio Geotecnologico Mantovano s.r.l.

Per convertire le resistenze ottenute dalle carote in un valore di resistenza media IN SITU è stata applicata la formula di **MASI** (2005) in cui :

$$f_{cis} = f_{car} (C_{h/D} \times C_{dia} \times C_a \times C_d)$$

In cui

- $C_{h/D}$**  Coefficiente correttivo dei rapporti h/D diversi da 2 =  $2 / (1.5 + D/h)$   
 **$C_{dia}$**  Coefficiente correttivo del diametro = 1.06, 1.00, 0.98 per D pari a 50-100-150mm  
 **$C_a$**  Coefficiente correttivo relativo alla presenza di armature incluse = 1.03 ÷ 1.13  
 **$C_d$**  Coefficiente correttivo di disturbo assunto pari a 1.10

Tabella seguente propone quindi le pressioni a rottura riscontrate sulle 15 carote insieme con le rispettive caratteristiche geometriche dei campioni cilindrici. A ciascun valore di Resistenza a compressione del provino cilindrico è applicata la formula di Masi con determinazione della resistenza media in situ del calcestruzzo.

Il valore caratteristico è quindi ricavato dalla formula:

$$f_{ck} = f_{cm} + 8 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

L'attribuzione della classe di resistenza utilizzata per la verifica degli elementi strutturali è quindi valutata in considerazione del valor medio ottenuto da campioni provenienti da elementi strutturali omogenei (spalla dx , spalla sx , fondazione, paramento)

N°	Ubicazione	D mm	H mm	H/D	Massa Volumica kg/m³	Resistenza max unit F <sub>car</sub> (MPa)	Data prelievo	Data prova	C <sub>W/D</sub>	C <sub>dla</sub>	C <sub>a</sub>	C <sub>d</sub>	Resistenza max unit F <sub>cls</sub> (MPa)	f <sub>cm</sub>	f <sub>ck</sub>	R <sub>ck</sub>
C1	Dente	102	101	0,99	2183	31,6	04/06/2018	17/06/2019	0,80	1,00	1,08	1,10	29,91			
C2	Spalla dx	102	103	1,01	2232	49,0	04/06/2018	17/06/2019	0,80	1,00	1,08	1,10	46,75			
C3	Spalla dx	102	102	1,00	2250	44,7	04/06/2018	17/06/2019	0,80	1,00	1,08	1,10	42,48	44,37	36,37	43,82
C4	Spalla dx	102	103	1,01	2242	46,0	04/06/2018	17/06/2019	0,80	1,00	1,08	1,10	43,89			
C5	Protezione dx	102	102	1,00	2235	40,2	04/06/2018	17/06/2019	0,80	1,00	1,08	1,10	38,21			
C6	Protezione sx	102	105	1,03	2240	45,0	05/06/2018	17/06/2019	0,81	1,00	1,08	1,10	43,26	37,13	29,13	35,09
C7	Spalla sx	102	103	1,01	2311	61,9	05/06/2018	17/06/2019	0,80	1,00	1,08	1,10	59,06			
C8	Spalla sx	102	103	1,01	2315	53,8	05/06/2018	17/06/2019	0,80	1,00	1,08	1,10	51,33	53,40	45,40	54,70
C9	Spalla sx	102	102	1,00	2252	52,4	05/06/2018	17/06/2019	0,80	1,00	1,08	1,10	49,80			
C23	Fondazione	102	105	1,03	2259	38,5	11/06/2018	19/06/2019	0,81	1,00	1,08	1,10	37,01			
C30	Fondazione	102	100	0,98	2321	26,0	11/06/2018	19/06/2019	0,79	1,00	1,08	1,10	24,51			
C31	Fondazione	102	104	1,02	2222	25,4	11/06/2018	19/06/2019	0,81	1,00	1,08	1,10	24,33			
C55	Fondazione	102	103	1,01	2236	23,8	14/06/2018	19/06/2019	0,80	1,00	1,08	1,10	22,71	27,35	19,35	23,31
C56	Fondazione	102	103	1,01	2295	32,4	14/06/2018	19/06/2019	0,80	1,00	1,08	1,10	30,91			
C57	Fondazione	102	104	1,02	2324	25,7	14/06/2018	19/06/2019	0,81	1,00	1,08	1,10	24,61			

**FIGURA 1: Tabella di valutazione dei valori di resistenza media del cls in funzione dei valori di resistenza sui campioni**

Parametri caratteristici agli SLU del calcestruzzo			Coefficienti utilizzati
Parametro	Formula di calcolo		
Resistenza media a compressione	$f_{cm} = f_{ck} + 8$ [N/mm²]		$f_{ck} = 0,83 \cdot R_{ck}$
Resistenza di calcolo a compressione	$f_{cd} = \alpha_{cc} \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$		$\alpha_{cc} = 0,85$  $\gamma_c = 1,50$
Resistenza media a trazione semplice (assiale)	≤ C50/60	$f_{ctm} = 0,30 f_{ck}^{2/3}$	
	> C50/60	$f_{ctm} = 2,12 \cdot \ln \left[ 1 + \frac{f_{cm}}{10} \right]$	
Resistenza caratteristica a trazione corrispondente ad un frattile del:	5%	$f_{ctk\ 5\%} = 0,70 f_{ctm}$	
	95%	$f_{ctk\ 95\%} = 1,30 f_{ctm}$	
Resistenza media a trazione per flessione	$f_{cfm} = 1,2 f_{ctm}$		
Resistenza di calcolo a trazione	$f_{cta} = \frac{f_{ctk\ 5\%}}{\gamma_c}$		
Modulo elastico [N/mm²]	$E_{cm} = 22000 \cdot \left( \frac{f_{cm}}{10} \right)^{0,3}$		

**FIGURA 2: Parametri caratteristici del cls**

Da quanto esposto si è ritenuto adeguato considerare cautelativamente per le parti strutturali della traversa oggetto di verifica le seguenti attribuzioni alle prestazioni meccaniche del cls:

- C32/40 per le strutture di elevazione con FC=1
- C20/25 per le strutture di fondazione con FC=1
- Come dichiarato a progetto (R<sub>bk</sub> 300 kg/cm² ossia C25/30) con FC=1.20 per le diaframature di fondazione

### 3. CARATTERIZZAZIONE DELL'ACCIAIO PER C.A.

Durante la campagna di indagini diagnostiche sono state estratte 3+3 campioni di barre di cui di seguito si propongono in risultati delle prove a rottura per trazione dei relativi campioni, con identificazione della rispettiva ubicazione e diametro. In sede di verifica è stata accertata la conformità tra le barre prelevate e quanto previsto negli elaborati di PE, prodotti in scansione nell'ambito del presente progetto Definitivo-Esecutivo.

N° Id. Barra	Diametro	Sez. Effettiva	F <sub>y</sub> (MPa)	F <sub>t</sub> (MPa)	Agt(%)	Data
F1	12	113	527.2	639.5	11.8	18/06/19
F2	14	153.9	504.1	592.9	12.8	18/06/19
F3	20	314	454.5	668.4	13.4	18/06/19
F9 - dente	20	314	656.0	748.1	11.9	17/03/20
F10 - sp dx	18	254,3	537.5	649.0	12.2	17/03/20
F11 - sp sx	12	113	556.3	673.1	13.1	17/03/20

I valori medi sui 6 campioni delle tensioni di snervamento e rottura sono rispettivamente pari a **539 MPa e 662MPa**, ossia comparabili con i livelli prestazionali di un acciaio di tipo B450C, le cui caratteristiche sono riportate in tabella seguente.

Tensione caratteristica di rottura	$f_{tk}$	MPa	540
Tensione caratteristica di snervamento	$f_{sk}$	MPa	<b>450</b>
Resistenza di calcolo dell'acciaio	$f_{sd} = f_{sk} / \gamma_s$	MPa	<b>391,3</b>
Modulo elastico	$E_s$	GPa	206
Deformazione al limite elastico	$e_{yd} = f_{sd} / E_s$	‰	<b>1,90</b>

## 4. MODELLO GEOTECNICO

Sulla base delle indagini geognostiche eseguite sono stati considerati ai fini delle valutazioni sui diaframmi in c.a. i seguenti terreni :

STR	$\gamma$ (kN/mc)	$\Phi$	Cu (kPa)
STR 1 ghiaia	20	35	0
STR 2 argilla	19	-	70

**FIGURA 3: Parametri geotecnici di verifica delle diaframature**

Al di sotto dello strato STR2 si è riscontrato un terreno di tipo sabbioso che potrebbe essere interessato dai diaframmi. Tale strato è stato tuttavia trascurato a favore di sicurezza ai fini delle verifiche in quanto non sempre presente alla base dei diaframmi .

Lo spessore dello strato ghiaioso per i diaframmi è leggermente variabile, da 0 a 1.3m: le verifiche saranno svolte considerando questa variabilità. I diaframmi sono considerati sotto falda.

## 5. CRITERI DI VERIFICA

La verifica dei diaframmi è stata effettuata secondo gli Stati Limite, con riferimento a quanto indicato nel Decreto del Ministero delle Infrastrutture 17.01.2018 - Testo Unico "Norme Tecniche per le Costruzioni".

Per verifica in termini di stato limite ultimo si è adottato l' **approccio 2-combinazione 1:A1-M1-R3**.

Determinata la portata limite verticale e la resistenza limite alle azioni trasversali dei pali, ad esse devono essere applicati, i coefficienti parziali  $\gamma_R$  in accordo con la tabella 6.4.II, 6.4.IV e 6.4.V.

Coefficienti parziali da applicare alle resistenze caratteristiche per carichi assiali:

Resistenza	Simbolo $\gamma_R$	R3 –pali trivellati
Base	$\gamma_b$	<b>1.35</b>
Laterale in compressione	$\gamma_s$	<b>1.15</b>
Totale	$\gamma_t$	<b>1.3</b>
Laterale in trazione	$\gamma_{st}$	<b>1.25</b>

Si considera quindi:

- portata laterale:  $\gamma_R$  :1.15 (compressione) – 1.25 (trazione)
- portata base: 1.3

Coefficienti parziali da applicare alle resistenze caratteristiche per carichi trasversali:

Resistenza	Simbolo $\gamma_R$	R3
-	$\gamma_R$	<b>1.3</b>

Si considera quindi:

- portata laterale:  $\gamma_R$  :1.3

Alla portata limite assiale e alla resistenza limite trasversale deve poi essere applicato il coefficiente parziale  $\xi$  che tiene in conto del numero di verticali d'indagini. Si considera cautelativamente :

- $\xi=1.7$

Nelle verifiche ci si ricondurrà alla formulazioni note per i pali esprimendo poi le resistenze ottenute ad elemento. La resistenza è quindi da intendersi al metro lineare di sviluppo del diaframma



## 2.1 CAPACITA' PORTANTE

La verifica di capacità portante è stata sviluppata in base alla seguente nota relazione che identifica la portata totale come somma dei contributi della portata di base e della portata laterale:

$$Q_u = Q_l + Q_b = \sum_i A_{si} \tau_{lim} + A_b q_b$$

in cui:

- $Q_u$  = carico verticale limite;
- $Q_l$  = aliquota della portata limite relativa alla superficie laterale del diaframma;
- $Q_b$  = aliquota della portata limite relativa alla base del diaframma;
- $A_{si}$  = area della superficie laterale del diaframma relativa al tronco i-esimo in cui si è suddiviso il palo ai fini del calcolo;
- $\tau_{lim}$  = aderenza limite media nel tratto i-esimo del diaframma;
- $A_b$  = area di base del diaframma;
- $q_b$  = pressione limite relativa alla base del diaframma.

Il carico assiale di progetto a compressione viene assunto pari a:

$$Q_{amm} = Q_u / F_s - W_{palo}$$

in cui:

- $F_s$  = coefficiente riduttivi di portata
- $W_{palo}$  = peso proprio del diaframma (per norma deve essere amplificato di 1,3)

Per la valutazione della **pressione limite di base  $q_b$**  si possono seguire i seguenti criteri relativi a terreni incoerenti in analogia alle formazioni geotecniche presenti. La pressione limite di base è data dalla espressione:

$$q_b = N_q \sigma'_v + c N_c$$

in cui:

- $N_c$  = coefficiente di capacità portante per terreni coesivi. Si impiega  $N_c=9$ .  $N_q=1$
- $\sigma'_v$  = pressione verticale efficace alla profondità della base del palo (p.c. posta alla testa del palo).

Per quanto riguarda la **portata laterale limite** si ha che:

$$Q_l = \sum_i A_{si} \tau_{lim}$$

dove l'aderenza  $\tau_{lim}$  si ottiene dalla seguente espressione per terreni incoerenti:

$$\tau_{lim} = k \cdot \sigma'_v \cdot \tan \phi$$

In cui  $k$  per i pali trivellati assume i seguenti valori:

- $k = 0.5$

Per quanto riguarda la **pressione litostatica**, come suggerito nella letteratura tecnica, si deve considerare una  $z$  critica “ $Z_c$ ” oltre la quale la pressione stessa rimane costante.

La legge lega la  $z$  critica al diametro del palo ed è in relazione al grado di addensamento del materiale (da impiegare nelle condizioni a lungo termine). Nel caso in esame si considera  $Z_c/d=10$ .

Per terreni coesivi si ha  $\tau_{lim} = \alpha C_u$  dove  $\alpha$  ha un valore variabile in relazione alla valore di coesione non drenata (protocollo di Viggiani).

**DIAFRAMMI SP=1000 MM**

**Caso 1: Ghaia sp circa 1m**

Lavoro : Lavori urgenti di messa in sicurezza della briglia selettiva a funzione del manufatto limitatore della cassa di espansione di monte del torrente Enza																			
Opera : Diaframmi 1000mm -ghiaia e argilla																			
DATI DI INGRESSO																			
	L1	1	A punta (mq) area laterale/m prof	1.00	Fattore di riduzione portata di base fattore di riduzione portata laterale fattore d'indagine			1.35 1.15 1.7			tipo di analisi SLU-A1M1								
	L2	1		2.00															
	L lunghezza (m)	4																	
	γ <sub>es</sub> peso specifico (kN)	25																	
	z <sub>wp</sub> profondità falda da p.c	0	ZC/D	10	Ncomp SLU/SLV (kN) Nirraz SLU (kN)			1.25											
	pressione a quota testa palo (kPa)	0	ZC	10.0															
	CALCOLO CAPACITA' PORTANTE																		
	Profondità strato	Tipo di terreno	Peso terreno efficace (kN)	Peso terreno (kN)	Altezza strato DH (m)	Angolo d'attrito (°)	Coesione non drenata (Cu) (kPa)/drenata (c') (c')	Nq	Nc	Portata laterale limite (kN)				Portata laterale (kN)-FS	Portata limite base (kN)	Portata base (kN)-FS con effic.	Portata totale progetto a compressione (kN)	Portata totale progetto a trazione (kN)	peso totale progetto a trazione (kN)
	0.0	ghiaia	20	10	1	35	0	20	0	3.50				3.04	200.00	148.1	151.2	88.9	15.0
	1.0	ug2	19	9	1	44.44	0	70	1	9				51.10	44.44	640.00	480.7	525.2	308.9
2.0	3.0	19	9	1	0	70	1	9	98.70	85.83	658.00	487.4	573.2	337.2	45.0				
3.0	4.0	19	9	1	0	70	1	9	146.30	127.22	667.00	494.1	621.3	365.5	60.0				
4.0	5.0	19	9	1	0	70	1	9	193.90	168.61	676.00	500.7	669.4	393.7	75.0				
5.0		19	9	1	0	70	1	9	241.50	203.52	685.00	507.3	727.2	441.7	90.0				
6.0		19	9	1	0	70	1	9	289.10	251.54	694.00	513.9	774.8	489.3	105.0				
7.0		19	9	1	0	70	1	9	336.70	299.56	703.00	520.5	822.4	536.9	120.0				
8.0		19	9	1	0	70	1	9	384.30	347.17	712.00	527.1	870.0	584.5	135.0				
9.0		19	9	1	0	70	1	9	431.90	394.78	721.00	533.7	917.6	632.1	150.0				
10.0		19	9	1	0	70	1	9	479.50	442.39	730.00	540.3	965.2	679.7	165.0				
11.0		19	9	1	0	70	1	9	527.10	489.99	739.00	546.9	1012.8	727.3	180.0				
12.0		19	9	1	0	70	1	9	574.70	537.60	748.00	553.5	1060.4	774.9	195.0				
13.0		19	9	1	0	70	1	9	622.30	585.21	757.00	560.1	1108.0	822.5	210.0				
14.0		19	9	1	0	70	1	9	669.90	632.82	766.00	566.7	1155.6	869.7	225.0				
15.0		19	9	1	0	70	1	9	717.50	680.43	775.00	573.3	1203.2	917.3	240.0				
16.0		19	9	1	0	70	1	9	765.10	728.04	784.00	580.0	1250.8	964.9	255.0				
17.0		19	9	1	0	70	1	9	812.70	775.65	793.00	586.6	1298.4	1012.5	270.0				
18.0		19	9	1	0	70	1	9	860.30	823.26	802.00	593.2	1346.0	1060.1	285.0				
19.0		19	9	1	0	70	1	9	907.90	870.87	811.00	600.0	1393.6	1107.7	300.0				
20.0		19	9	1	0	70	1	9	955.50	918.48	820.00	606.6	1441.2	1155.3	315.0				
21.0		19	9	1	0	70	1	9	1003.10	966.09	829.00	613.2	1488.8	1202.9	330.0				
22.0		19	9	1	0	70	1	9	1050.70	1013.70	838.00	620.0	1536.4	1250.5	345.0				
23.0		19	9	1	0	70	1	9	1098.30	1061.31	847.00	626.6	1584.0	1298.1	360.0				
24.0		19	9	1	0	70	1	9	1145.90	1108.92	856.00	633.2	1631.6	1345.7	375.0				
25.0		19	9	1	0	70	1	9	1193.50	1156.53	865.00	640.0	1679.2	1393.3	390.0				
26.0		19	9	1	0	70	1	9	1241.10	1204.14	874.00	646.6	1726.8	1440.9	405.0				
27.0		19	9	1	0	70	1	9	1288.70	1251.75	883.00	653.2	1774.4	1488.5	420.0				
28.0		19	9	1	0	70	1	9	1336.30	1309.36	892.00	660.0	1822.0	1536.1	435.0				
29.0		19	9	1	0	70	1	9	1383.90	1356.97	901.00	666.6	1869.6	1583.7	450.0				
30.0		19	9	1	0	70	1	9	1431.50	1404.58	910.00	673.2	1917.2	1631.3	465.0				
31.0		19	9	1	0	70	1	9	1479.10	1452.19	919.00	680.0	1964.8	1678.9	480.0				
32.0		19	9	1	0	70	1	9	1526.70	1509.80	928.00	686.6	2012.4	1726.5	495.0				
33.0		19	9	1	0	70	1	9	1574.30	1557.41	937.00	693.2	2060.0	1774.1	510.0				
34.0		19	9	1	0	70	1	9	1621.90	1605.02	946.00	700.0	2107.6	1821.7	525.0				
35.0		19	9	1	0	70	1	9	1669.50	1652.63	955.00	706.6	2155.2	1869.3	540.0				
36.0		19	9	1	0	70	1	9	1717.10	1700.24	964.00	713.2	2202.8	1916.9	555.0				
37.0		19	9	1	0	70	1	9	1764.70	1747.85	973.00	720.0	2250.4	1964.5	570.0				
38.0		19	9	1	0	70	1	9	1812.30	1795.46	982.00	726.6	2298.0	2012.1	585.0				
39.0		19	9	1	0	70	1	9	1859.90	1843.07	991.00	733.2	2345.6	2059.7	600.0				
40.0		19	9	1	0	70	1	9	1907.50	1890.68	1000.00	740.0	2393.2	2107.3	615.0				
41.0		19	9	1	0	70	1	9	1955.10	1938.29	1009.00	746.6	2440.8	2154.9	630.0				
42.0		19	9	1	0	70	1	9	2002.70	1985.90	1018.00	753.2	2488.4	2202.5	645.0				
43.0		19	9	1	0	70	1	9	2050.30	2033.51	1027.00	760.0	2536.0	2250.1	660.0				
44.0		19	9	1	0	70	1	9	2097.90	2081.12	1036.00	766.6	2583.6	2297.7	675.0				
45.0		19	9	1	0	70	1	9	2145.50	2128.73	1045.00	773.2	2631.2	2345.3	690.0				
46.0		19	9	1	0	70	1	9	2193.10	2176.34	1054.00	780.0	2678.8	2392.9	705.0				
47.0		19	9	1	0	70	1	9	2240.70	2223.95	1063.00	786.6	2726.4	2440.5	720.0				
48.0		19	9	1	0	70	1	9	2288.30	2271.56	1072.00	793.2	2774.0	2488.1	735.0				
49.0		19	9	1	0	70	1	9	2335.90	2319.17	1081.00	800.0	2821.6	2535.7	750.0				
50.0		19	9	1	0	70	1	9	2383.50	2366.78	1090.00	806.6	2869.2	2583.3	765.0				
51.0		19	9	1	0	70	1	9	2431.10	2414.39	1099.00	813.2	2916.8	2630.9	780.0				
52.0		19	9	1	0	70	1	9	2478.70	2462.00	1108.00	820.0	2964.4	2678.5	795.0				
53.0		19	9	1	0	70	1	9	2526.30	2509.61	1117.00	826.6	3012.0	2726.1	810.0				
54.0		19	9	1	0	70	1	9	2573.90	2557.22	1126.00	833.2	3059.6	2773.7	825.0				
55.0		19	9	1	0	70	1	9	2621.50	2604.83	1135.00	840.0	3107.2	2821.3	840.0				
56.0		19	9	1	0	70	1	9	2669.10	2652.44	1144.00	846.6	3154.8	2868.9	855.0				
57.0		19	9	1	0	70	1	9	2716.70	2700.05	1153.00	853.2	3202.4	2916.5	870.0				
58.0		19	9	1	0	70	1	9	2764.30	2747.66	1162.00	860.0	3250.0	2964.1	885.0				
59.0		19	9	1	0	70	1	9	2811.90	2795.27	1171.00	866.6	3297.6	3011.7	900.0				
60.0		19	9	1	0	70	1	9	2859.50	2842.88	1180.00	873.2	3345.2	3059.3	915.0				
61.0		19	9	1	0	70	1	9	2907.10	2890.49	1189.00	880.0	3392.8	3106.9	930.0				
62.0		19	9	1	0	70	1	9	2954.70	2938.10	1198.00	886.6	3440.4	3154.5	945.0				
63.0		19	9	1	0	70	1	9	3002.30	2985.71	1207.00	893.2	3488.0	3202.1	960.0				
64.0		19	9	1	0	70	1	9	3049.90	3033.32	1216.00	900.0	3535.6	3249.7	975.0				
65.0		19	9	1	0	70	1	9	3097.50	3080.93	1225.00	906.6	3583.2	3297.3	990.0				
66.0		19	9	1	0	70	1	9	3145.10	3128.54	1234.00	913.2	3630.8	3344.9	1005.0				
67.0		19	9	1	0	70	1	9	3192.70	3176.15	1243.00	920.0	3678.4	3392.5	1020.0				
68.0		19	9	1	0	70	1	9	3240.30	3223.76	1252.00	926.6	3726.0	3440.1	1035.0				
69.0		19	9	1	0	70	1	9	3287.90	3271.37	1261.00	933.2	3773.6	3487.7	1050.0				
70.0		19	9	1	0	70	1	9	3335.50	3318.98	1270.00	940.0	3821.2	3535.3	1065.0				
71.0		19	9	1	0	70	1	9	3383.10	3366.59	1279.00	946.6	3868.8	3582.9	1080.0				
72.0		19	9	1	0	70	1	9	3430.70	3414.20	1288.00	953.2	3916.4	3630.5	1095.0				
73.0		19	9	1	0	70	1	9	3478.30	3461.81	1297.00	960.0	3964.0	3678.1	1110.0				
74.0		19	9	1	0	70	1	9	3525.90	3509.42	1306.00	966.6	4011.6	3725.7	1125.0				
75.0		19	9	1	0	70	1	9	3573.50	3557.03	1315.00	973.2	4059.2	3773.3	1140.0				
76.0		19	9	1	0	70	1	9	3621.10	3604.64	1324.00	980.0	4106.8	3820.9	1155.0				
77.0		19	9	1	0	70	1	9	3668.70	3652.25	1333.00	986.6	4154.4	3868.5	1170.0				
78.0		19	9	1	0	70	1	9	3716.30	3709.86	1342.00	993.2	4202.0	3916.1	1185.0				
79.0		19	9	1	0	70	1	9	3763.90	3757.47	1351.00	1000.0	4249.6	3963.7	1200.0				
80.0		19	9	1	0	70	1	9	3811.50	3805.08	1360.00	1006.6	4297.2	4011.3	1215.0				
81.0		19	9	1	0	70	1	9	3859.10	3852.69	1369.00	1013.2	4344.8	4058.9	1230.0				
82.0		19	9	1	0	70	1	9	3906.70	3900.30	1378.00	1020.0	4392.4	4106.5	1245.0				
83.0		19	9	1	0	70	1	9	3954.30	3947.91	1387.00	1026.6	4440.0	4154.1	1260.0				
84.0		19	9	1	0	70	1	9	4001.90	3995.52	1396.00	1033.2	44						

Caso 2: Assenza di ghiaia

Lavoro : Lavori urgenti di messa in sicurezza della briglia selettiva a funzione del manufatto limitatore della cassa di espansione di monte del torrente Enza																																							
Opera : Diaframmi 1000mm-argilla																																							
DATI DI INGRESSO																																							
L1		1		A punta (md)		1.00		Fattore di riduzione portata di ba		1.35		tipo di analisi		SLU-A1/M1																									
L2		1		area		2.00		fattore di riduzione portata laterale		1.15																													
L		4		laterale/m				fattore d'indagine		1.7																													
gamma		25						fattore di riduzione port.lat. in tra		1.25																													
zw		0																																					
pressione a quota		0		ZC/D		10		SLU/SLV		-		Niraz		-																									
testa palo (kPa)				ZC		10.0		SLU (kN)				SLU (kN)																											
CALCOLO CAPACITA' PORTANTE																																							
Profondità strato		Tipo di terreno		Peso terreno efficace (kN)		Peso terreno (kN)		Altezza strato DH (m)		Angolo d'attrito (°)		Coesione non drenata (Cu) (kPa)/drenata (cd) (kPa)		Nc		Nq		Portata laterale limite (kN)		Portata laterale (kN)- FS		Portata base (kN)- FS con effic.		Portata totale (kN)		Portata totale progetto a trazione (kN)		peso totale *1,3											
0.0		1.0		ug2		20		10		1		0		70		1		9		47.60		41.39		640.00		474.1		515.5		303.2		283.7		37.4		15.0		19.5	
1.0		2.0				19		9		1		0		70		1		9		95.20		82.78		649.00		480.7		563.5		331.5		292.5		74.8		30.0		39.0	
2.0		3.0				19		9		1		0		70		1		9		142.80		124.17		658.00		487.4		611.6		359.8		301.3		112.2		45.0		58.5	
3.0		4.0				19		9		1		0		70		1		9		190.40		165.57		667.00		494.1		659.6		388.0		310.0		149.6		60.0		78.0	
4.0		5.0				19		9		1		0		70		1		9		238.00		206.96		676.00		500.7		707.7		416.3		318.8		187.0		75.0		97.5	
5.0		6.0				19		9		1		0		70		1		9		285.60		248.35		685.00		507.4		755.8		444.6		327.6		224.4		90.0		117.0	

La portata verticale per metro lineare di sviluppo di diaframmatura è pertanto:

Nrd= 310 kN (L=4.3m)

Nrd=319 kN (L=5.3m)

I valori sopra riportati sono di progetto, ovvero fattorizzati secondo le NTC2018 come riportato nei criteri di verifica.  
I valori limite di portata ottenuti considerando unitari i  $\gamma$  di portata e non amplificando il peso proprio sono invece :

caso 1 :

Nrd= 753 kN

caso 2 :

Nrd= 797 kN (L=4.3m)

Nrd= 839 kN (L=5.3m)

## 2.1 RESISTENZA ALLE AZIONI TRASVERSALI

Per la verifica della resistenza trasversale ci si riconduce alle formulazioni comuni adottate per i pali.

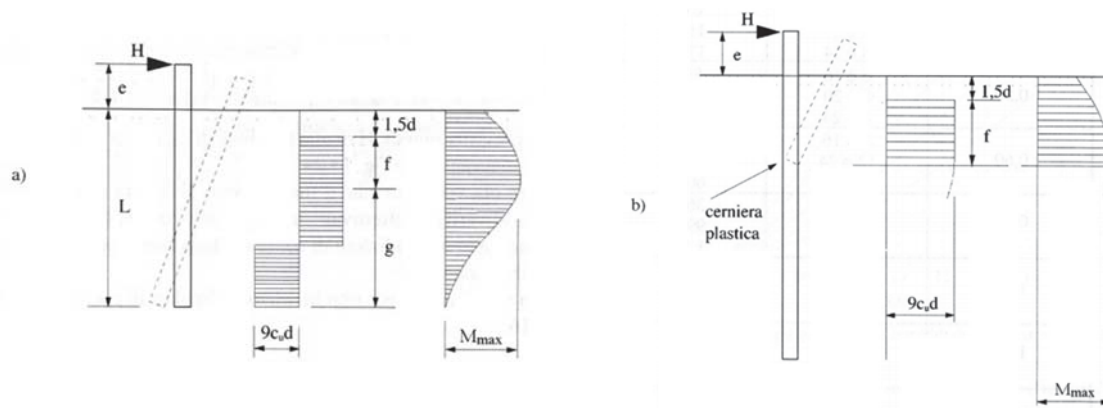
Si fa riferimento alla nota relazione di Broms che associa il taglio ultimo alle caratteristiche del terreno, al diametro e al momento resistente del palo differenziando la casistica in tipologia di terreno, vincolo in testa al palo e al tipo di comportamento (palo corto, intermedio, lungo). Di seguito si considera il terreno a lungo termine (condizione più gravosa).

Data la geometria e la resistenza strutturale dei diaframmi si considerano nella presente valutazione più configurazioni , con terreno incoerente e terreno coesivo, con meccanismo di palo lungo e corto.

Di seguito sono riportate le immagini del modello di applicazione delle formulazioni.

Pali liberi di ruotare in testa, terreni coesivi:

La rottura può avvenire secondo uno dei due meccanismi rappresentati nella seguente figura:



**FIGURA 4 – PALI LIBERI DI RUOTARE IN TESTA, TERRENI COESIVI. A) PALO CORTO; B) PALO LUNGO.**

Nel primo caso la rottura è provocata solo da una rotazione rigida del palo, dove il valore limite  $H$  della forza orizzontale dipende solo dalla geometria del problema e dalla resistenza del terreno; il massimo momento flettente agente sul palo è inferiore al suo momento di plasticizzazione. In queste condizioni il palo viene definito corto. Nel secondo caso il meccanismo della rottura sarà con la formazione di una cerniera plastica ad una certa profondità.

Pali liberi di ruotare in testa, terreni incoerenti.

Nella figura seguente sono rappresentati i due possibili meccanismi di rottura; anche in questo caso si può avere un comportamento del palo di tipo corto e lungo.



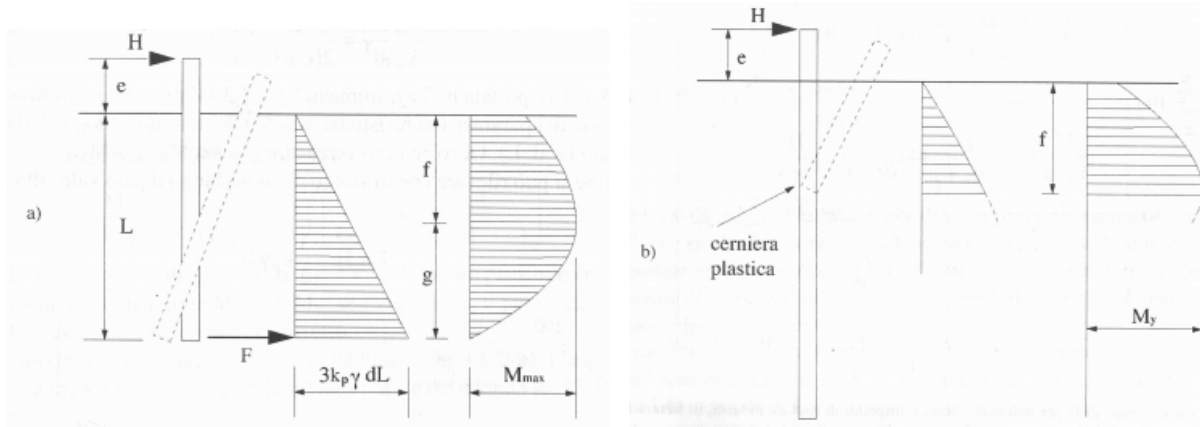


FIGURA 5 – PALI LIBERI DI RUOTARE IN TESTA, TERRENI INCOERENTI. A) PALO CORTO; B) PALO LUNGO.

Per stabilire il tipo di meccanismo di seguito è determinato il momento massimo resistente della sezione. Considerando :

- cls Rck 250
- sp=100cm
- armatura 13+13 $\Phi$ 20
- coefficiente Fc di confidenza = 1.2

Si ottiene con  $N = 0$  (in quanto condizione cautelativa per la definizione di Mrd)

Verifica C.A. S.L.U. - File: sp100 N=0

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo :

N° figure elementari 1 Zoom N° strati barre 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	100	1	15.71	5
			2	15.71	95

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub> 0 kN  
 M<sub>Ed</sub> 0 kNm  
 M<sub>yEd</sub> 0

P.to applicazione N  
☒ Centro ☐ Baricentro cls  
☐ Coord.[cm] xN 0 yN 0

Tipo rottura  
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Materiali

B450C C20/25

$\epsilon_{su}$  67.5 ‰  $\epsilon_{c2}$  2 ‰  
 $f_{yd}$  326.1 N/mm²  $\epsilon_{cu}$  3.5 ‰  
 $E_s$  200 000 N/mm²  $f_{cd}$  9.444  
 $E_s/E_c$  15  $f_{cc}/f_{cd}$  0.8  
 $\epsilon_{syd}$  1.631 ‰  $\sigma_{c,adm}$  8.5  
 $\sigma_{s,adm}$  255 N/mm²  $\tau_{co}$  0.5333  
 $\tau_{c1}$  1.686

M<sub>xEd</sub> 472.4 kNm  
 $\sigma_c$  -9.444 N/mm²  
 $\sigma_s$  326.1 N/mm²  
 $\epsilon_c$  3.5 ‰  
 $\epsilon_s$  57.4 ‰  
 d 95 cm  
 x 5.459 x/d 0.05747  
 $\delta$  0.7

Tipo Sezione  
☒ Rettang. re ☐ Trapezi  
☐ a T ☐ Circolare  
☐ Rettangoli ☐ Coord.

Metodo di calcolo  
☒ S.L.U. + ☐ S.L.U. - ☐ Metodo n

Tipo flessione  
☒ Retta ☐ Deviata

N° rett. 100  
 Calcola MRd Dominio M-N  
 L<sub>0</sub> 0 cm Col. modello

☐ Precompresso

Mrd= 472 kNm

Si calcolano quindi le resistenze trasversali dei diaframmi (1mx1m quindi per metro lineare di sviluppo) nei due casi

- Caso1; terreno ghiaioso in testa
- Caso 2: terreno coesivo in testa. In questo caso si verifica la resistenza considerando lunghezze pari a 4,3 e 5,3m

Nel calcolo si considera un valore di eccentricità e pari a 0.2m (ossia il 20% della larghezza del diaframma):

### Caso 1: terreno ghiaioso in testa

peso specifico $\gamma$ del terreno =	10	kN/m <sup>3</sup>
d palo=	1	m
lunghezza infissa effettiva L palo =	4.20	m
angolo attrito $\phi$ del terreno =	35	°
inclinazione pendio $\omega$ =	0	°
coefficiente di spinta passiva $k_p$ =	3.69	---
altezza applicazione carico da testa palo e =	0.20	m
carico limite $P_{lim}$ =	310.68	kN
Fattore di correlazione $\xi_3$ (valori medi) =	1.7	---
Coefficienti parziale $\gamma_T$ (R3) =	1.3	---
Resistenza orizzontale di progetto $P_d$ =	140.58	kN
Fattore di sicurezza $F_S$ =	19.555	---
distanza f =	2.379	m
momento massimo $M_d$ =	554.93	kNm
		cm <sup>3</sup>
		cm <sup>2</sup>
		daN/cm <sup>2</sup>
momento resistente palo $M_y$ =	472	kNm
	palo lungo	
carico limite $P_{lim} = H$ =	278	kN
$\frac{H}{k_p \gamma d^3} \left( \frac{e}{d} + 0.544 \sqrt{\frac{H}{k_p \gamma d^3}} \right) =$		
	12.76	kN
$\frac{M_y}{k_p \gamma d^4} =$		
	12.79	kN
Resistenza orizzontale di progetto $P_d$ =	125.79	kN

Come si evince dalla tabella sopra riportata essendo  $M_y < M_d = 554$  kNm il meccanismo è di palo lungo e si ha

H limite = 278 kN

H design = 126 kN

Nel caso di **palo corto** si ha:

H limite = 310 kN

H design = 140 kN

### Caso 2: terreno argilloso in testa

Caso 2a-  $L=5.3m$

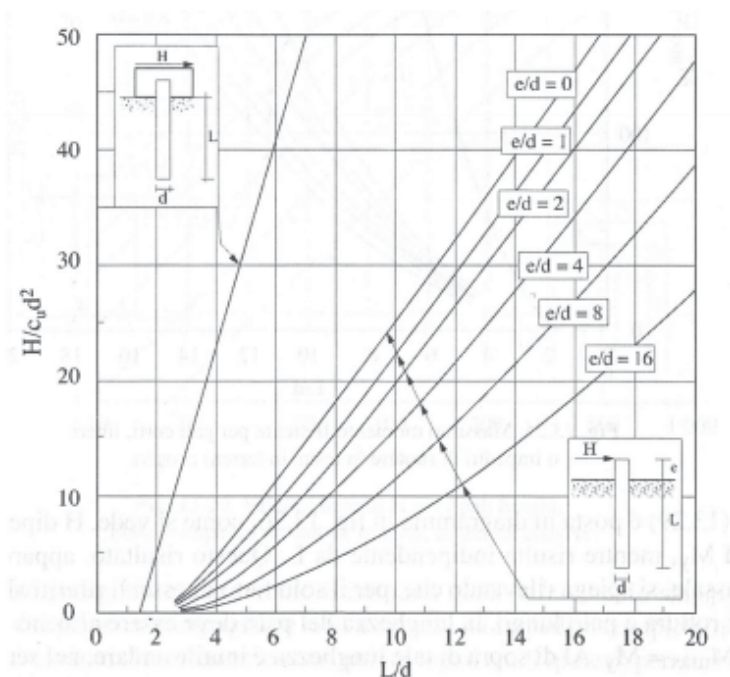
Di seguito si riporta la tabella di calcolo con evidenziata nella prima parte il calcolo con meccanismo di palo corto e nella seconda con meccanismo di palo lungo .

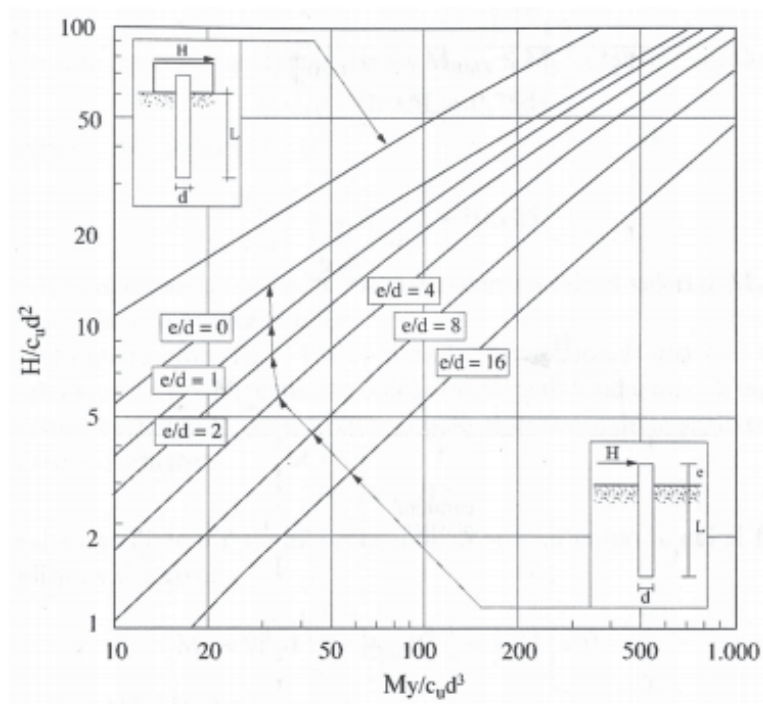
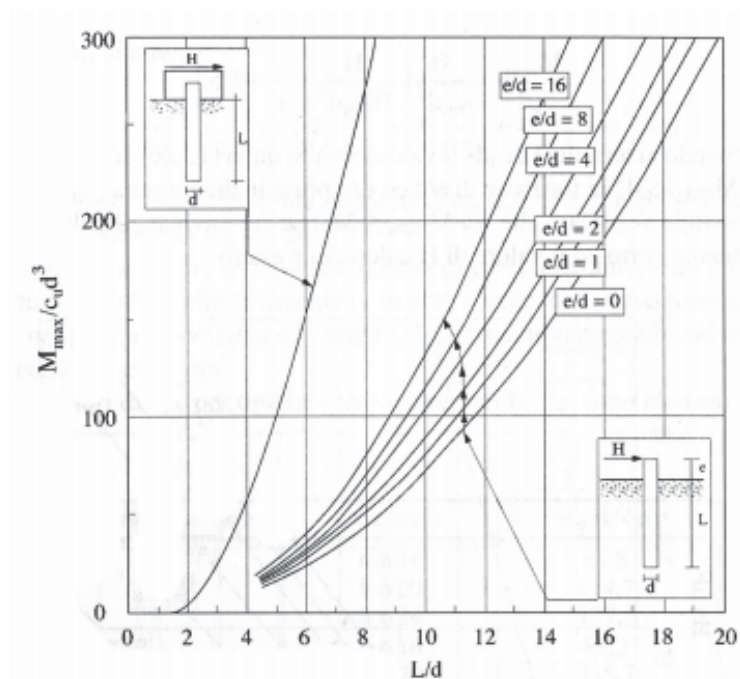
e =		0.2	m	
d =		1	m	
L =		5.3	m	
e/d =		0.2		
L/d =		5.3		
$H/c_u d^2 =$		7		da abaco
$c_u =$		70	kPa	
H =		490	kN	
Fattore di correlazione $\xi_3$ (valori medi) =		1.7	---	
Coefficienti parziale $\gamma_T$ (R3) =		1.3	---	
Resistenza orizzontale di progetto $P_d =$		221.72	kN	
$M_{max}/c_u d^3 =$		10		da abaco
$M_{max} =$		700	kNm	
Se $M_{max} < M_y \Rightarrow$ palo corto e la formulazione utilizzata è corretta altrimenti va cambiata				
<b>PALO LUNGO---&gt; vedi sotto</b>				
$M_y$		472		
$M_y/c_u d^3 =$		6.74		
$H/c_u d^2 =$		5		da abaco
H =		350	kN	
Fattore di correlazione $\xi_3$ (valori medi) =		1.7		
Coefficienti parziale $\gamma_T$ (R3) =		1.3		
Resistenza orizzontale di progetto $P_d =$		158.4		

Come si evince dalla tabella sopra riportata essendo  $M_y < M_d = 700$  kNm il meccanismo è di palo lungo e si ha  
 H limite = 350kN  
 H design= 158 kN

Nel caso di **palo corto** si ha:  
 H limite = 490 kN  
 H design= 221 kN

Di seguito gli abachi impiegati .





Analogamente per diaframma L=4.3m

e =		0.2	m	
d =		1	m	
L =		4.3	m	
e/d =		0.2		
L/d =		4.3		
H/C <sub>u</sub> d <sup>2</sup> =		5		da abaco
C <sub>u</sub> =		70	kPa	
H =		350	kN	
e di correlazione ξ <sub>3</sub> (valori medi) =		1.7	---	
Coefficienti parziale γ <sub>T</sub> (R3) =		1.3	---	
tenza orizzontale di progetto P <sub>d</sub> =		158.37	kN	
M <sub>max</sub> /C <sub>u</sub> d <sup>3</sup> =		10		da abaco
M <sub>max</sub> =		700	kNm	
Se Mmax < My => palo corto e la formulazione utilizzata è corretta altrimenti va cambiata				
<b>PALO LUNGO---&gt; vedi sotto</b>				
My		472		
M <sub>y</sub> /C <sub>u</sub> d <sup>3</sup> =		6.74		
H/C <sub>u</sub> d <sup>2</sup> =		5		da abaco
H =		350	kN	
Fattore di correlazione ξ <sub>3</sub> (valori medi) =		1.7		
Coefficienti parziale γ <sub>T</sub> (R3) =		1.3		
Resistenza orizzontale di progetto P <sub>d</sub> =		158.4		

Come si evince dalla tabella sopra riportata essendo **My < Md = 700 kNm** il meccanismo è di palo lungo e si ha

**H limite = 350kN**

**H design= 158 kN**

Nel caso di palo corto si ottengono gli stessi valori.

## 6. CONCLUSIONI

Di seguito è riportata una tabella riepilogativa della resistenze verticali ed orizzontali dei diaframmi intese al metro di sviluppo:

diaframma sp 1000 al ml	MOD 1 : terreno in testa ghiaioso	
N=0		
<b>resistenza a taglio geo in testa</b>		
<b>meccanismo</b>	<b>Trd design (kN) con N=0</b>	<b>Trd limite (kN) con N=0</b>
libero-corto	141	311
libero-lungo	126	278
<b>momento resistente in testa</b>		
	<b>Mrd (slu) kNm con N=0</b>	
	472	
<b>portata verticale compressione-argille solo non drenate</b>		
	<b>Nrd design kN</b>	<b>Nrd limite</b>
	288	753



<b>diaframma sp 1000 al ml</b>	<b>MOD 2: terreno in testa argilloso</b>	
N=0	per diaframmi L=5.3 / 4,3m	
<b>resistenza a taglio geo in testa</b>		
<b>meccanismo</b>	<b>Trd design (kN) con N=0</b>	<b>Trd limite (kN) con N=0</b>
libero-corto	221/158 *	490/350 *
libero-lungo	158	350
<b>momento resistente in testa</b>		
	<b>Mrd (slu) kNm con N=0</b>	
	472	
<b>portata verticale compresione-solo non drenate</b>		
	<b>Nrd design kN</b>	<b>Nrd limite</b>
	310/319 *	797/ 839*

I risultati sono determinati considerando il terreno totalmente reagente e quindi escludendo ad esempio fenomeni di svuotamento.

Nelle verifiche sopra riportate si considera come previsto nelle norme una resistenza della sezione del diaframma calcolata con un  $F_c=1.2$ , coefficiente per tenere in conto del livello di conoscenza dell'elemento che abbatte la resistenza. E' quindi evidente che questo elemento insieme alle caratteristiche dimensionali sono tali da produrre un meccanismo prossimo al corto o al lungo così come le inevitabili variazioni di spessore della ghiaia superficiale condizionano la resistenza.

Pertanto, se riscontrati i valori di resistenza con le sollecitazioni massime SLU/SLV di analisi, si ottiene che:

$V_{max}$  : Assione assiale (verticale) massima = 469 kN > Nrd Limite

$H_{max}$  : Azione di taglio (orizzontale) massima = 352 kN > Trd limite (per altro valutata con azione assiale nulla)

## 7. Sommario

1. PREMESSA .....	1
2. CARATTERIZZAZIONE DEL C.L.S. IN OPERA .....	1
2.1 CERTIFICATI DI PROVA A ROTTURA DEI CAMPIONI DI CLS .....	1
3. CARATTERIZZAZIONE DELL'ACCIAIO PER C.A. ....	2
4. MODELLO GEOTECNICO .....	3
5. CRITERI DI VERIFICA.....	3
2.1 CAPACITA' PORTANTE.....	4
2.1 RESISTENZA ALLE AZIONI TRASVERSALI.....	7
6. CONCLUSIONI.....	12